次世代情報処理基盤技術開発事業総合報告

平成 14 年 2 月

技術研究組合 新情報処理開発機構

目次

巻頭言

Ⅰ. 組織・研究体制

1. 事業の目的・政策位置づけ
2. 事業の設立経緯
3. 事業の研究体制・運営体制

Ⅱ. 研究成果

A. 実世界知能技術分野

A-1. マルチモーダル機能領域

A-1-1 言語的ジェスチャ把握（マルチモーダル機能日立研究室）
A-1-2 非言語情報マルチモーダルインタフェース（マルチモーダル機能シャープ研究室）
A-1-3 人間のマルチモーダル情報処理（マルチモーダル機能ＮＴＴ研究室）
A-1-4 動的画像応答（マルチモーダル機能三菱研究室）
A-1-5 実世界モデル生成（マルチモーダル機能三洋研究室）
A-1-6 H9 ジェスチャベース対話システム／H10 マルチモーダル対話パソコンネットシステム／H11-13Cross Mediator におけるマルチモーダル対話システム（マルチモーダル機能つくば研究室）
A-1-7 顔と表情の頑健な認識（マルチモーダル機能ＫＲＤＬ研究室）
A-1-8 適応ビジョンシステムに関する研究（RWP センター適応ビジョンラボ）
A-1-9 音声と画像の統合による対話の研究（RWP センター情報統合対話ラボ）

A-2. 自律学習機能領域

A-2-1 移動エージェントを用いた自律学習機能（自律学習機能富士通研究室）
A-2-2 自律学習移動ロボットのための音響環境理解（自律学習機能ＭＲＩ研究室）
A-2-3 分散型実時間自律行動系（自律学習機能 SICS 研究室）
A-2-4 能動的地図獲得とセンサー情報表現（自律学習機能ＳＮＮ研究室）
A-2-5 オフィスロボット Jijo-2 の学習・統合型情報処理の研究（RWP センター事情通ロボットラボ）

A-3. 自己組織化情報ベース機能領域

A-3-1 画像情報の計量化と可視化（情報ベース機能日立研究室）
A-3-2 文書情報空間の自己組織化（情報ベース機能三菱研究室）
A-3-3H10-13 適応的状況認知のための自己組織化アーキテクチャの開発（情報ベース機能東芝研究室）
A-3-4H9-10 検索要約システム／H11-13Cross Mediator の構築（情報ベース機能つくば研究室）
A-3-5H9 ユーザ依存の自己組織化／H10-13 ユーザ依存の自己組織化マルチメディア情報ベース（情報ベース機能ＫＲＤＬ研究室）
A-3-6 能動知能システムの評価（RWP センター言語統合ラボ）

A-4. 理論・アルゴリズム基盤領域

A-4-1 分散能動学習方式（理論基盤ＮＥＣ研究室）

A-4-2 記号パターン統合（理論基盤東芝研究室）
A-4-3H9 実世界における能動学習と情報統合／H10-13 開かれた環境における能動学習と情報統合（理論基盤ＧＭＤ研究室）
A-4-4 統計的パターンコンピューティング（理論基盤ＳＣＳ研究室）
A-4-5 確率的知識表現および能動的意思決定（理論基盤ＳＮＮ研究室）
A-4-6 学習統合型情報処理の理論基盤の研究（ＲＷＣセンター学習統合基礎ラボ）
A-5. 実世界適応デバイス領域
A-5-1 再構成可能適応型デバイス（適応デバイスＮＥＣ研究室）
A-5-2 デジタル・スマートピクセルと光実装（適応デバイス松下研究室）
A-5-3 高並列大容量演算システムの評価（ＲＷＣセンター情報光学ラボ）
A-5-4 進化システムアーキテクチャの評価（ＲＷＣセンター進化システムラボ）

B. 並列分散コンピューティング技術分野
B-1. シームレス並列分散コンピューティング技術領域
B-1-1 並列ネットワークサーバ（並列分散システム富士通研究室）
B-1-2 高性能並列分散計算機システム（並列分散システムＮＥＣ研究室）
B-1-3H10-13 サーバアプリケーションへの並列分散技術の応用研究（並列分散システム住金研究室）
B-1-4H9-11 並列分散システムソフトウエア／H10-13 コンピュータクラスタ上の基本ソフトウエア（並列分散システムソフトウェアつくば研究室）
B-1-5 並列分散システムでの高性能計算及び性能特性の研究／並列アプリケーションの探索的技術開発及び性能解析（並列分散システムパフォーマンスつくば研究室）
B-1-6 大規模応用のための高機能データ並列プログラミング（並列分散システムＧＭＤ研究室）
B-1-7H9-11 並列分散基本システムアーキテクチャ／H10-13 省電力型高速光伝送向インタフェース技術（並列分散システムアーキテクチャつくば研究室）
B-1-8 大容量データバス用光インターコネクション（光インターコネクション日立研究室）
B-1-9 光インタコネクション用低電圧動作面型レーザの研究（光インターコネクション富士通研究室）
B-1-10 低消費電力光インターコネクション（光インターコネクションＮＥＣ研究室）
B-1-11 高密度光バス（光インターコネクション沖研究室）
B-1-12 波長多重型光 LAN（光インターコネクション住電研究室）
B-1-13 スキュー低減型多芯高速伝送路（光インターコネクションフジクラ研究室）
B-1-14 無調芯型面発光 LD モジュール（光インターコネクション古河研究室）
B-1-15 空間分割多重光インターコネクション（光インターコネクション日板研究室）
B-2. 並列アプリケーション技術領域
B-2-1 ヘテロジニアスコンピューティング共通インターフェースソフト（並列応用日立研究室）
B-2-2 物理・統計融合型シミュレーション（並列応用三菱研究室）
B-2-3H9 電力分野およびゲノム情報処理分野における並列情報処理技術／H10-13 電力分野における並列情報処理技術の研究（並列応用ＭＲＩ研究室）
B-2-4 並列分散データマイニング（並列応用東芝研究室）
B-2-5 マルチメディアデータベースの並列分散処理（並列応用三洋研究室）

Ⅲ. 研究業績

1. 研究要素別論文（原著・その他）、特許、著作物、
その他報道等の件数一覧
2. 年度別論文（原著・その他）、特許、著作物、
その他報道等の件数一覧
3. 研究要素別論文（原著・その他）、特許、著作物、
その他報道等のリスト

A. 実世界知能技術分野

A-1. マルチモーダル機能領域

A-1-1 言語的ジェスチャ把握（マルチモーダル機能日立研究室）

A-1-2 非言語情報マルチモーダルインタフェース（マルチモーダル機能シャープ研究室）

A-1-3 人間のマルチモーダル情報処理（マルチモーダル機能ＮＴＴ研究室）

A-1-4 動的画像応答（マルチモーダル機能三菱研究室）

A-1-5 実世界モデル生成（マルチモーダル機能三洋研究室）

A-1-6 H9 ジェスチャベース対話システム／H10 マルチモーダル対話パソコンネットシステム
／H11-13Cross Mediator におけるマルチモーダル対話システム
（マルチモーダル機能つくば研究室）

A-1-7 顔と表情の頑健な認識（マルチモーダル機能ＫＲＤＬ研究室）

A-1-8 適応ビジョンシステムに関する研究（RWP センター適応ビジョンラボ）

A-1-9 音声と画像の統合による対話の研究（RWP センター情報統合対話ラボ）

A-2. 自律学習機能領域

A-2-1 移動エージェントを用いた自律学習機能（自律学習機能富士通研究室）

A-2-2 自律学習移動ロボットのための音響環境理解（自律学習機能ＭＲＩ研究室）

A-2-3 分散型実時間自律行動系（自律学習機能 SICS 研究室）

A-2-4 能動的地図獲得とセンサー情報表現（自律学習機能ＳＮＮ研究室）

A-2-5 オフィスロボット Jijo-2 の学習・統合型情報処理の研究
（RWP センター事情通ロボットラボ）

A-3. 自己組織化情報ベース機能領域

A-3-1 画像情報の計量化と可視化（情報ベース機能日立研究室）

A-3-2 文書情報空間の自己組織化（情報ベース機能三菱研究室）

A-3-3H10-13 適応的状況認知のための自己組織化アーキテクチャの開発
（情報ベース機能東芝研究室）

A-3-4H9-10 検索要約システム／H11-13Cross Mediator の構築
（情報ベース機能つくば研究室）

A-3-5H9 ユーザ依存の自己組織化／H10-13 ユーザ依存の自己組織化マルチメディア情報
ベース（情報ベース機能ＫＲＤＬ研究室）

A-3-6 能動知能システムの評価（RWP センター言語統合ラボ）

A-4. 理論・アルゴリズム基盤領域

A-4-1 分散能動学習方式（理論基盤ＮＥＣ研究室）

A-4-2 記号パターン統合（理論基盤東芝研究室）

A-4-3H9 実世界における能動学習と情報統合／H10-13 開かれた環境における能動学習と
情報統合（理論基盤ＧＭＤ研究室）

A-4-4 統計的パターンコンピューティング（理論基盤 SICS 研究室）

A-4-5 確率的知識表現および能動的意思決定（理論基盤ＳＮＮ研究室）
A-4-6 学習統合型情報処理の理論基盤の研究（ＲＷＣセンター学習統合基礎ラボ）
A-5. 実世界適応デバイス領域
A-5-1 再構成可能適応型デバイス（適応デバイスＮＥＣ研究室）
A-5-2 デジタル・スマートピクセルと光実装（適応デバイス松下研究室）
A-5-3 高並列大容量演算システムの評価（ＲＷＣセンター情報光学ラボ）
A-5-4 進化システムアーキテクチャの評価（ＲＷＣセンター進化システムラボ）

B. 並列分散コンピューティング技術分野
B-1. シームレス並列分散コンピューティング技術領域
B-1-1 並列ネットワークサーバ（並列分散システム富士通研究室）
B-1-2 高性能並列分散計算機システム（並列分散システムＮＥＣ研究室）
B-1-3H10-13 サーバアプリケーションへの並列分散技術の応用研究
（並列分散システム住金研究室）
B-1-4H9-11 並列分散システムソフトウエア／H10-13 コンピュータクラスタ上の
基本ソフトウエア（並列分散システムソフトウェアつくば研究室）
B-1-5 並列分散システムでの高性能計算及び性能特性の研究／並列アプリケーションの
探索的技術開発及び性能解析（並列分散システムパフォーマンスつくば研究室）
B-1-6 大規模応用のための高機能データ並列プログラミング
（並列分散システムＧＭＤ研究室）
B-1-7H9-11 並列分散基本システムアーキテクチャ／H10-13 省電力型高速光伝送向
インタフェース技術（並列分散システムアーキテクチャつくば研究室）
B-1-8 大容量データバス用光インターコネクション（光インターコネクション日立研究室）
B-1-9 光インタコネクション用低電圧動作面型レーザの研究
（光インターコネクション富士通研究室）
B-1-10 低消費電力光インターコネクション（光インターコネクションＮＥＣ研究室）
B-1-11 高密度光バス（光インターコネクション沖研究室）
B-1-12 波長多重型光 LAN（光インターコネクション住電研究室）
B-1-13 スキュー低減型多芯高速伝送路（光インターコネクションフジクラ研究室）
B-1-14 無調芯型面発光 LD モジュール（光インターコネクション古河研究室）
B-1-15 空間分割多重光インターコネクション（光インターコネクション日板研究室）

B-2. 並列アプリケーション技術領域
B-2-1 ヘテロジニアスコンピューティング共通インターフェースソフト（並列応用日立研究室）
B-2-2 物理・統計融合型シミュレーション（並列応用三菱研究室）
B-2-3H9 電力分野およびゲノム情報処理分野における並列情報処理技術
／H10-13 電力分野における並列情報処理技術の研究（並列応用ＭＲＩ研究室）
B-2-4 並列分散データマイニング（並列応用東芝研究室）
B-2-5 マルチメディアデータベースの並列分散処理（並列応用三洋研究室）
4. 新聞発表／商業誌等の概要
5. デモンストレーション
6. 研究に利用している主な施設・装置のリスト

Ⅳ. 資料

1. リアルワールドコンピューティング基本計画書

第 1 部　基本理念

1　研究開発の目的
2　背景
3　リアルワールドコンピューティングパラダイム
4　研究開発の内容
5　基本方針

第 2 部　研究開発計画

1　理論基盤
1.1　研究の枠組み
1.2　研究課題
1.2.1 情報の柔軟な表現
1.2.2 情報および処理モジュールの評価
1.2.3 柔軟な記憶と想起
1.2.4 情報の統合および処理モジュールの統合
1.2.5 学習と自己組織化
1.2.6 最適化の方法
1.3　研究スケジュール

2　応用のための新機能
2.1　研究の枠組み
2.2　研究課題
2.2.1 柔らかな認識と理解
2.2.2 柔らかな推論と問題解決
2.2.3 柔らかなヒューマンインタフェースとシミュレーション
2.2.4 柔らかな自律制御
2.3　研究スケジュール

3　超並列システム
3.1　研究の枠組み
3.2　研究課題
3.2.1 超並列アーキテクチャ
3.2.2 オペレーティングシステム
3.2.3 超並列システムにおける言語
3.2.4 システム開発・プログラミング環境
3.2.5 システムの評価
3.3　研究スケジュール

4　ニューラルシステム
4.1　研究の枠組み
4.2　研究課題

4.2.1 ニューラルモデル
4.2.2 ニューラルシステムのハードウエア
4.2.3 ニューラルシステムのソフトウェア
4.2.4 超並列システムとの統合
4.2.5 システムの評価
4.3 研究スケジュール

5 光システム
5.1 研究の枠組み
5.2 研究課題
5.2.1 光インタコネクション技術
5.2.2 光ニューラルシステム
5.2.3 光デジタルシステム
5.2.4 システム開発の環境
5.3 研究スケジュール

2. 次世代情報処理基盤技術開発事業基本計画
第 1 部 基本理念
1. 背景
2. 基本方針
第 2 部 研究開発計画
Ⅰ. 実世界知能技術分野
1. 背景
2. 目的
3. 研究開発内容
4. 備考
Ⅱ. 並列分散コンピューティング技術分野
1. 背景
2. 目的
3. 研究開発内容

3. 用語集
・リアルワールドコンピューティング
・柔らかな情報処理
・マルチモーダル情報
・適応自律システム
・学習 ・自己組織化
・情報ベース
・ニューラルシステム
・光インターコネクション
・OIP

巻頭言

RWC（Real World Computing）プロジェクトは、21 世紀において必要とされる新しい情報処理技術を開発するため、平成 4 年（1992 年）から 10 カ年計画で通商産業省（現経済産業省）によって実施されてきた研究開発プロジェクトであり、内外の企業が組合員として参加する技術研究組合新情報処理開発機構（RWCP）及び電子技術総合研究所（現産業技術総合研究所）によって進められてきた。当プロジェクトでは、現実社会の情報をそのまま処理し得る革新的な情報処理技術体系の確立という目標を掲げ、平成 4 年度から平成 8 年度の 5 カ年間は探索的研究期間と位置づけ、新機能、並列システム、光技術等の分野において研究を実施してきた。前期の研究に引き続き平成 9 年度から平成 13 年度までの後期 5 カ年間は、RWC プロジェクトの枠組みを継承しつつ次世代の情報処理技術の基盤となる 実世界知能技術分野、並列分散コンピューティング技術分野に研究資源を集約し開発に取り組んできた。本報告はその研究成果、研究業績およびその関連資料をまとめたものである。

Ⅰ. 組織・研究体制

1. 事業の目的・政策位置づけ

⑴ 事業の立案に至った背景

来る 21 世紀には、コンピュータと通信技術とを基盤とした情報技術が社会を支える基盤としてきわめて重要なものになると予想される。とりわけ現実世界に存在する大量かつ多様な情報を処理するために、従来の情報処理機能を超えて、人間のような柔軟性や学習・適応能力を持つ新しい情報処理機能の開発が強く望まれている。こうした認識に基づき、通商産業省は、平成元年（1989 年）度から「新情報処理技術調査研究委員会」を設け、21 世紀に向けて我が国が世界の国々とともに取り組むべき新しい情報処理技術体系について 2 年間にわたり検討を行った。当委員会では、基礎研究分科会、計算機科学分科会、社会応用分科会の 3 つの分科会を設け、学識経験者の参加を仰ぎ、社会的ニーズ、技術的シーズの両面から議論を行うとともに海外の研究動向調査、国際ワークショップ等も行った。この調査研究成果をもとに、平成 3 年（1991 年）度にフィージビリティ調査によって具体的な研究の計画策定を行った。3 年間にわたるこれらの検討結果を踏まえ、平成 4 年度から 10 年間の研究開発プロジェクトとして、「リアルワールドコンピューティングプログラム」の計画がスタートした。

⑵ 事業の目的

コンピュータと通信技術の発達により、企業のみならず家庭・個人レベルへ拡がるネットワーク社会の到来に備え、あらゆる人が多様なネットワーク資源を容易に利用できるために、より人間に近く、実世界環境において人と共存し協調できる能力を持つコンピュータが求められている。その要素技術を開発するのが本プロジェクトである。

人間はきわめて柔軟で強力な情報処理を行っている。不完全な情報、矛盾した情報をもとに効果的な解決法を見いだす一方で、記号処理をもとに緻密な論理的推論をも実行できる。また、帰納的推論能力、学習・自己組織化能力をも有している。こうした人間の持つ「柔らかな情報処理技術」の基盤とそれを支える強力な並列計算機技術と光技術の基盤技術開発を本プロジェクトの目的とした。

⑶ 事業の意義

日常の生活において、人間は曖昧性や不確実性を含む種々の情報を評価し、予測、計画、あるいは判断に必要な情報を変容する環境の中で獲得している。このような柔軟な情報処理機能を実現する技術を開発することは、より高度の情報処理機能を目指すパターン情報処理、知識情報処理、知能ロボットなど、先端的な情報処理の諸分野に共通した要請となっている。従って、柔らかな情報処理の基盤技術を開発することは、このような先端的分野の発展の基盤を提供するものであり、今後の計算機の多様化と大衆化、新応用分野・ビジネスの開拓など、21 世紀の高度情報処理社会の構築基盤を作るものである。

2 事業の設立経緯

(1)機構の沿革

新情報処理開発機構は、21 世紀に向けてわが国が世界の国々と取り組むべき新しい情報処理技術体系について検討するため、「新情報処理技術調査研究委員会」が 1989 年に組織された事に始まる。1992 年 7 月に Real World Computing (RWC)計画の研究委託先としての技術研究組合新情報処理開発機構が設立され、同年 10 月につくば研究センタ(TRC 集中研)と組合企業内に分散研究室(分散研)が設置され、研究が始められた。

本節では、技術研究組合新情報処理開発機構設立までの沿革をまとめる。RWC プログラムは 3 年間にわたる調査研究を踏まえ、通商産業省機械情報産業局によって策定され、平成 4 年度に発足した。

(A)調査研究活動の概要

●平成元年度

組織:新情報処理技術調査研究委員会　委員長:石井 威望(東京大学)
- 基礎技術分科会　分科会長:甘利 俊一(東京大学)
  - 超並列・超分散処理 WG　主査:弓場 敏嗣(電子技術総合研究所)
  - 学習 WG　主査:鈴木 良次(東京大学)
  - 光技術・新デバイス WG　主査:神谷 武志(東京大学)
- 新機能分科会　分科会長:柏木 寛(電子技術総合研究所)
  - 3次元情報処理 WG　主査:島田 潤一(電子技術総合研究所)
  - 認識・理解 WG　主査:杉江 昇(名古屋大学)
  - 自律・協調 WG　主査:井上 博允(東京大学)
- 社会応用分科会　分科会長:佐々木 正(シャープ)

内容:人間の脳が行っているような高度かつ多彩な情報処理を可能にする技術の実現を目指して、技術シーズ及び新機能の動向、社会応用の観点から総合的な調査を行い、21 世紀に向けて我が国が世界と共に取り組むべき新しい情報処理技術体系構築についてとりまとめを行った。

●平成 2年度

組織:新情報処理技術調査研究委員会　委員長:石井 威望(東京大学)
- 基礎研究分科会　分科会長:鈴木 良次(東京大学)
- 計算機科学分科会　分科会長:甘利 俊一(東京大学)
  - 統合型コンピューティングWG　主査:弓場 敏嗣(電子技術総合研究所)
  - 光コンピュータ・デバイス WG　主査:神谷 武志(東京大学)
- 社会応用分科会　分科会長:佐々木 正(シャープ)

内容:前年度に引き続いて、新しい情報処理技術体系についての調査研究を行った。

●平成 3年度

組織:新情報処理技術開発フィージビリティ調査研究委員会

委員長:石井 威望(慶応義塾大学)
- ワークショップ実行委員会　委員長:甘利 俊一(東京大学)
  - 理論・新機能分科会　分科会長:大津 展之(電子技術総合研究所)
  - 超並列システム分科会　分科会長:島田 俊夫(電子技術総合研究所)
  - ニューラルシステム分科会　分科会長:古谷 立美(電子技術総合研究所)

光システム分科会　　分科会長：矢嶋　弘義（電子技術総合研究所）
プログラム準備会
PFF準備会
制度検討準備会

内容：新情報処理技術調査研究委員会での検討結果に基づき、新情報処理技術開発ための計画、体制に係わる基本事項を検討した。

●平成4年度

通商産業省の指導により、社団法人日本電子工業振興協会内に、次のメンバーによる「RWC技術研究組合設立準備委員会」が設置され、平成4年3月11日に第1回設立準備委員会が開催された。

・RWC技術研究組合設立準備委員会名簿

委員長　鈴木　健　　社団法人　日本電子工業振興協会
委　員　柳田　昭　　沖電気工業株式会社
委　員　大庭　寛　　三洋電機株式会社
委　員　川邊　昭治　シャープ株式会社
委　員　針谷　雄二　新日本製鐵株式会社
委　員　児山　正弘　住友電気工業株式会社
委　員　本多　正己　株式会社　東芝
委　員　林　　英治　日本電気株式会社
委　員　祐源　嘉明　日本電信電話株式会社
委　員　大友　篤　　株式会社　日立製作所
委　員　酒井　佐芳　富士通株式会社
委　員　有賀　利雄　松下技研株式会社
委　員　阿出川俊一　三菱電機株式会社
委　員　山本　欣子　財団法人　日本情報処理開発協会
事務局　佐藤　清俊　社団法人日本電子工業振興協会
　　樋口　和雄　社団法人日本電子工業振興協会
　　鈴木　博　　社団法人日本電子工業振興協会

(3)機構の設立までの経緯概要

(i)第1回技術研究組合設立準備委員会 の開催(平成4年5月19日及び20日)

前記の準備委員会は、第4回以降、技術研究組合 新情報処理開発機構（仮称）設立準備委員会と改称し、海外・大使館の関係者（イギリス、オーストラリア、カナダ、韓国、ドイツ）も加って、改めて初回設立準備委員会とし、設立主旨、組合定款、基本計画、収支予算、組織、役員、事務所ならびに研究所の設置場所、設立スケジュール等に関する説明と審議等を行って各々確認した。

(ii)創立総会の開催から新情報処理開発機構設立の届け出

(1)創立総会

① 日時　平成4年6月18日
② 場所　東京プリンスホテル（11階ピオニーの間）
③ 設立同意者数　12社
④ 議案

・第1号議案　定款の承認に関する件
・第2号議案　規約に関する件

・第 3号議案　試験研究実施計画に関する件
・第 4号議案　平成 4 年度事業計画ならびに収支予算に関する件
・第 5号議案　費用の賦課および徴収に関する件
・第 6号議案　理事および監事の選任に関する件
・第 7号議案　役員の報酬に関する件
・第 8号議案　借入金限度額に関する件

(2) 臨時総会(平成 4 年 10 月 14 日)
・新組合員の加入（NTT、GMD 2 社）
・理事の交代（三菱電機、東芝の各 1 名）

(3) 臨時総会（平成 5 年 3 月 8 日）
・平成 4 年度事業計画の変更及び収支予算の変更
・平成 5 年度事業計画及び収支予算
・新組合員の加入（日本板硝子、フジクラ、古河電気工業 3 社）
・平成 5 年度費用の賦課及び徴収
・借入金限度額の改定
・理事の交代（沖電気工業 1 名）及び選任（GMD 理事 1 名）

(4) 設立許認申請および設立認可

平成 4 年 6 月 24 日、設立発起人から渡部　恒三　通商産業大臣あて鉱工業技術研究組合法第 8 条 1 項の規定に基づく鉱工業技術研究組合の設立許認申請を行い、平成 4 年 7 月 13 日付 4 工技総第 3300 号により設立が認可された（鉱工業技術研究組合法第 8 条：昭和 36 年法律第 81 号）。

・設立発起人

関本　忠弘	日本電気株式会社	社長
小杉　信光	沖電気工業株式会社	取締役社長
辻　　晴雄	シャープ株式会社	取締役社長
青井　舒一	株式会社　東芝	取締役社長
金井　　務	株式会社　日立製作所	取締役社長
関沢　　義	富士通株式会社	代表取締役社長
志岐　守哉	三菱電機株式会社	取締役社長

(5) 登記

通商産業省の設立認可（認可証交付）を得て登記を行った（平成 4 年 7 月 16 日成立）。

(6) 設立届出

登記後、鉱工業技術研究組合成立届出書（鉱工業技術研究組合法第 16 条において準用する中小企業等協同組合法第 31 条の規定）を、平成 4 年 7 月 28 日に通商産業大臣あて提出し、当研究組合の設立手続きを完了した。

(2) 基本計画の要約

RWC プログラムはその憲法ともいうべき「基本計画」に基づいて進められている。その基本計画は平成 4 年 5 月に通商産業省機械情報産業局および新情報処理技術開発フィージビリティ調査研究委員会（委員長石井威望慶応義塾大学教授）により刊行された「リアルワールドコンピューティング（四次元コンピュータ）基本計画書」（詳細は本書 IV. 資料編 1）に示されている。以下にこれを要約する。

第 1部　理念

1 目的

21 世紀の高度情報化社会において必要とされる情報技術の基盤を確立する。

2 背景

解くべき多くの問題が不良設定でありアルゴリズムとして記述困難な実世界において人間の行っている柔軟な情報処理に比べると、コンピュータは依然として柔軟でない。

3 パラダイム

論理的情報処理と直感的情報処理の統合の結果として、柔らかな情報システムの基盤となり得るようなパラダイムに到達できる（そのパラダイムが何であるか、という記述はない）。

4 内容

(a) 応用のための新機能
(b) その理論基盤としての基礎理論
(c) a、b を支えるシステム計算基盤

5 基本方針

要素技術の可能性を探求する。

第 2部 計画

1 理論基盤

1・1 枠組み （略）

1・2 課題

情報の柔軟な表現

・多次元データ表に基づく情報表現
・分散的かつ疎な情報表現
・個別の処理ごとの適切な情報表現
・確率的オートマトン、隠れマルコフモデル、ランダムマルコフ場、確率的決定リストなどを用いた知識表現
・制約としての情報や知識の表現

情報および処理モジュールの評価

・学習や自己組織化のための入／出力情報の評価
・適切な情報の統合のための正則化条件の評価
・システムの信頼性と柔軟性の評価
・処理モジュールの協調と統合のための評価
・実環境との能動的な相互作用のための入力情報の評価

柔軟な記憶と想起

・確率的な推論による連想プロセス
・構造的な類似性を用いた連想
・時系列の連想
・非線形のダイナミックスを用いた動的連想記憶

情報の統合および処理モジュール

・多変量データ解析やニューラルネットワーク・モデルを用いた情報の統合
・正則化理論に基づく多様な制約情報の統合
・情報統合を制御するためのダイナミックスを含んだ制約理論システム
・人間の認知過程における情報統合の研究

学習と自己組織化

・確率的な知識を学習するアルゴリズム

・離散的なシステム構造を獲得するためのアルゴリズム
・変化する環境の下での学習アルゴリズム
・不確かな情報にもとづく学習アルゴリズム
・質問による能動的な情報獲得を用いた学習アルゴリズム
・既存知識と学習プロセスを統合する方法
・学習のためのモデルの選択

最適化の方法
・模擬焼きなまし法、遺伝的アルゴリズム、生態学的アルゴリズム、進化アルゴリズム
などの確率的最適化法
・ニューラルネットワークを用いた最適化技法
・その他の非線形最適化の方法

1・3 スケジュール

前期においては、理論とモデルが再評価され、それらを「柔らかな論理」の下で再構成し、新たな展開をはかる。情報統合や学習・自己組織化などの基礎的な機能に関する研究も行う。

後期においては、これらの基礎理論を元に、柔軟な認識機能や推論・制御など要素的な新機能のための構成的な理論とモデルの研究を行う。

2 応用のための新機能

2・1 枠組み （略）

2・2 課題

柔らかな認識と理解
・柔らかな画像理解
・柔らかな音声理解
・柔らかな自然言語理解

柔らかな推論と問題解決
・推論と問題解決
・柔らかな情報ベースと検索

柔らかなヒューマンインターフェイスとシミュレーション
・柔らかなヒューマンインターフェイス
・シミュレーション

柔らかな自律制御
・多様な機能の統合
・機能モジュール間の相互作用の制御

2・3 スケジュール

第一の段階では、統合システムに必要な個別新機能を実現するために、アルゴリズムの発見をめざす。第二の段階では、個別新機能を統合する。

3. 事業の研究体制・運営体制

(1) 技術研究組合新情報処理開発機構（RWCP）

A）設立

・創立総会：平成 4 年 6 月 18 日
・通商産業大臣の設立認可：平成 4 年 7 月 13 日
・設立登記：平成 4 年 7 月 16 日

B）本部事務所及び研究所の設置

① 本部事務所：平成 4 年 8 月開設：388.28m^2
・所在地　：東京都千代田区東神田 2-5-12　龍角散ビル 8 階
・組　織　：常勤役員（副理事長、専務理事、常務理事）、総務部、国際部

② 研究所（つくば研究センタ）：平成 4 年 10 月開設：922.95m^2
・所在地　：茨城県つくば市竹園 1-6-1 つくば三井ビル内（17 階、16 階、5 階）
・組　織　：研究所長、首席研究員、研究企画部、理論・新機能研究部、
超並列・ニューロ研究部、光研究部

C）組合員の加入

組合員（研究従事組合員）は、設立当初において 12 社であったが 10 月 14 日の臨時総会で 2 社（NTT、GMD）が加入し、計 14 社となった。その後の組合員の推移を表 1 に示す。平成 5 年 3 月 8 日の臨時総会では、3 社（日本板硝子、フジクラ、古河電気工業）の加入が承認され、加入の時期は平成 5 年 4 月 1 日からとなった。組合役員の名簿を表 2 に示す。

D）事業運営管理

本事業の前期は推進委員会と評価委員会が一体化されており評価推進委員会を局長の諮問機関として設定していた。

評価推進委員会委員は以下の通りである。

（委員長）
甘利　俊一　　理化学研究所国際フロンティア　情報処理グループ
（委　員）
安西　祐一郎　慶応大学　理工学部　教授
一岡　芳樹　　大阪大学　大学院　物質生命工学専攻　教
井上　博允　　東京大学　大学院工学系研究科　機械工学専攻　教授
板橋　秀一　　筑波大学　電子・情報工学系　教授
上坂　吉則　　東京理科大学　理工学部　情報科学科　教授
岡部　洋一　　東京大学　先端科学技術研究センター　教授
神谷　武志　　東京大学　大学院工学系研究科　電子工学専攻　教授
杉江　昇　　名城大学　理工学部　電気電子工学科　教授
鈴木　良次　　金沢工業大学　人間情報システム研究所　所長
村岡　洋一　　早稲田大学　理工学部　情報学科　教授
米澤　明憲　　東京大学　大学院理学系研究科　情報科学専攻　教授
大津　展之　　電子技術総合研究所　知能情報部　部長
諏訪　基　　電子技術総合研究所　情報科学部　部長

太田　公廣　　電子技術総合研究所　情報アーキテクチャ部　部長
築根　秀男　　電子技術総合研究所　知能システム部　部長
矢嶋　弘義　　電子技術総合研究所　光技術部　部長

しかし、推進側の委員と評価側の委員は元来別々であるべきであり、後期は推進委員会と評価委員会に分離された。推進委員会の構成は、表 3 に示すように学識経験者、民間のトップレベルの研究者などからなっており、基礎研究、実用化研究との偏りの少ない議論がなされた。また本委員会は組合とは独立した会議であり、事業の進め方について多くの注文がなされた。

本事業の後期の実施体制を図 1 に示す。局長の諮問機関として次世代情報処理基盤技術開発推進委員会（委員長：田中英彦東大教授）を設け、プロジェクト推進指針や計画の見直しなどプロジェクトの重要事項の審議を行った。研究所長の諮問機関である研究会議は、その推進委員会の提言を受けて研究の進め方を審議した。さらに、各研究テーマ間のすりあわせは、実世界知能研究開発連携会議及び並列分散コンピューティング研究開発会議という枠組みで複数のワーキンググループを設定し、随時審議を行った。

日常の研究管理は、通商産業省の指導の下に新情報処理開発機構が中心となって行われたが、新情報処理開発機構内部にも前期後期を通じて運営会議（委員名簿を表 4 に示す。）、業務会議（委員名簿を表 5 に示す。）、研究会議（委員名簿を表 6 に示す。）が設置され、これらの会議を通じて中長期的な視点に立った研究管理が行われた。例えば推進委員会の方針を具体化するために研究会議が年 4 回程度開催された。また研究会議は主目的である推進委員会の方針を具体化するだけでなく、日々研究に携わっている研究管理者の提言を研究所長に提言してきた。

(2) 研究開発体制

(A) 平成 4年度から平成 8年度まで（前期）の研究体制

平成 4 年度（初年度）から 21 世紀の情報技術体系の確立を図るべくRWC に関する試験研究事業等が開始された。平成８年度に RWC プログラム評価推進委員会による評価（中間評価）を受けるまで、5 年間にわたりRWC の研究開発が行われた。研究組合組織・研究テーマ〈平成 8 年度まで継続されたテーマ〉を以下に示す。また研究再委託テーマを表 7 に示す。

(a) 理論・新機能研究部

TRC 情報統合研究室［情報統合対話システム］
TRC 能動知能研究室［実世界適応自律システム］
新機能三洋研究室［ビジョンベース自律作業システム］
新機能シャープ研究室［多元情報を用いたヒューマンインタフェース］
新機能日立研究室［手話理解をビークルとした情報統合技術］
新機能富士通研究室［自律学習成長機能をもつ移動ロボットシステム］
新機能 MRI 研究室［シンボル情報とパターン情報に共通するジェネリックタスク］
新機能 SICS 研究室［実時間対話ロボットのプログラミング］
新機能 SNN 研究室［能動的認知理解］
新機能 ISS 研究室［マルチメディア情報の柔軟な蓄積と検索］
新機能 NTT 研究室［脳における並列情報処理機構と注意機構］
新機能三菱研究室［自己組織型情報ベース］
理論 NEC 研究室［確率的知識表現の計算論的学習理論］

理論富士通研究室［集団型情報処理のソフトウエア・モデル］
理論三菱研究室［ニューラルアーキテクチャによる視覚情報処理］
理論 GMD 研究室［遺伝的アルゴリズムの理論的基盤としての統計的推論］

(b)光研究部
光沖研究室［3次元光配線技術］
光三洋研究室［光コンピューティングシステム用3次元積層光素子］
光住電研究室［光ファイバによる並列光インタコネクション技術］
光東芝研究室［空間多重光インタコネクション用面型多機能素子］
光日板研究室［集積化光バスシステムおよび光接続システム］
光 NEC 研究室［光電融合プロセッサネットワーク］
光日立研究室［超並列コンピュータ用光インタコネクト技術］
光フジクラ研究室［空間型光偏向素子］
光富士通研究室［波長アドレス光インタコネクション］
光古河研究室［波長可変面発光ＬＤアレー］
光松下研究室［積層型光コンピューティングシステム］
光三菱研究室［光ニューロコンピュータ］

(c)超並列・ニューロ研究部
TRC 超並列ｱｰｷﾃｸﾁｬ研究室［超並列実行モデルおよび超並列ｱｰｷﾃｸﾁｬに関する研究］
TRC 超並列ｿﾌﾄｳｪｱ研究室［超並列計算モデル、OS、プログラミング言語、環境］
TRC 超並列応用研究室［超並列応用プログラミング］
TRC 超並列ﾊﾟﾌｫｰﾏﾝｽ研究室［超並列計算機での高性能計算及び性能特性］
超並列三洋研究室［超並列コンピュータにおける資源管理手法］
超並列東芝研究室［並列コンパイル技術］
超並列 NEC 研究室［適応型超並列システム］
超並列三菱研究室［超並列オブジェクト・モデル］
超並列 MRI 研究室［超並列プログラミング環境］
超並列 GMD 研究室［超並列システムプログラミングモデルの開発、実現、評価］
ニューロ東芝研究室［構造化ニューラルネットに基づくパターン認識］
ニューロ SICS 研究室［ニューラルコード化と表現］

〈平成 5 ～ 6 年度実施されたテーマ〉
新機能沖研究室［異種知識に基づく協調型問題解決］
〈平成 6 ～ 7 年度実施されたテーマ〉
新機能日立 2 研究室［エピソード記憶に基づくデスクワーク支援］
〈平成 5 年度実施されたテーマ〉
新機能 NEC 研究室［ビジョンセンサ］
〈平成 5 ～ 7 年度実施されたテーマ〉
ニューロ ISS 研究室［ニューロ・ロジック・ネットワーク］
*ニューロ ISS 研究室は、平成8年度に新機能 ISS 研究室に統合された。

(3)中間評価の概要
平成8年度にリアルワールドコンピューティングプログラム評価推進委員会は通商産業局長の諮問を受け、約1年間にわたり計画の進捗状況の調査と成果の評価を行い、「リアルワールドコンピュ

ーティング研究開発中間評価報告書」をまとめた。以下にその総合評価概要を記す（詳細は本書 IV. 資料編 2）。

(i)総合評価

数々の Awards や Invited Papers があり、成果が着々とあがっていると言える。空間光伝搬による光インターコネクションシステムの有用性については不明確なままであるが、実際に RWC-1 に実装される光インターコネクションモジュール、個々の半導体光デバイス等については十分な成果が得られた。RWC-1 並列コンピュータにおける光インターコネクションの利用は一つの成果であり、完成を見なかったのが残念である。残りの時間を有効に使い優れた結果が得られることを期待する。

一方、各研究テーマ間のつながりが希薄でインパクトが弱いものになった事も指摘できる。また、具体的課題に対して展開あるいは開発された技術や知見が、このプロジェクトの終了後も、確固とした要素技術としてあるいは基盤技術開発の口火として、多方面から関心を持たれ、長く生き残っていくことが望ましい。そのためにも各研究を基盤技術たらしめることをもっと強く認識すべきではないか。

(ii)次世代事業への展開

RWC プロジェクトの本来の仕事は最終アプリケーションシステムを仕上げることではなく、真の RWC（遠ターゲット）の実現を阻んでいる問題点とそれを打開する基盤技術・理論基盤（近ターゲット）の構築であろう。したがって、遠ターゲットとしては可能性・効用の両面において凄みのある情報処理を具体的な仕様付きで想定すべきであり、近ターゲットでは研究によって明らかにされるべき具体的内容が設定されるべきである。遠ターゲットと近ターゲットがかなり明確に色分けされていくことが望ましい。また、玩具世界から実世界に進むためには実世界のデータが必要で、実世界を反映する大規模データベースの整備と利用が必要である。

次世代情報システムを目指した光・電子複合型情報システムの基礎的研究が必要である。光を利用した時空間・多次元情報システムは、これからの高度情報化社会では必ず必要となると思われる。

光インターコネクションでは、ファイバーバンドルによる光伝送の実装研究を続けると共に、将来に向けてのデバイス開発も同時に進める必要がある。光コンピューティング分野では画像入力インターフェイスとしての必要性と必然性が明確になりつつあり、この方面での研究の展開が望まれる。

(iii)指摘を踏まえた研究計画等の変更点、改善点

上記指摘を踏まえ、後期研究計画が策定された。具体的には、前期には新機能応用技術、光技術、超並列の 3つのグループに階層構造化していた研究を 2分野に分け、更にそれぞれの分野を領域に分けた。後期においては、

① 研究内容を絞り、継続したものが３２テーマ
② 終了させたもの１１テーマ
③ 新規に発足させたもの11テーマ

とした。これらの関連を表 8 に示す。

(c)平成 9年度から平成 13年度まで（後期）の研究体制

RWC 事業の後期のあり方については、平成 8 年 3 月の評価推進委員会、各準備委員会等を通じ検討が行われた。その結果、実世界知能技術及び並列分散コンピューティング技術という 2 つの分野に研究資源を集約し、研究活動の一層の先鋭化を図ることが望ましいとされ、

平成 9 年度からの後期 5 ケ年間は上記中間評価の結果を踏まえ、RWC 事業の枠組みを継承しつつ次世代情報処理基盤技術の開発を行うとして、各分野における重要な要素技術の確立を図るとの方向が確認された。

以上の方針に基づき、RWC 事業の基本計画では前期から後期への移行にあたり研究開発課題の絞り込みが行われた。これを受けて RWC 事業の基本計画の更新が行われ、後期基本計画が策定された。前期から後期への研究の推移を図 2 に、後期研究開発体制を図 3 に示す。

通商産業省より研究委託を受けた技術研究組合新情報処理開発機構（RWCP、Real World Computing Partnership）と工業技術院電子技術総合研究所内に設けられた実世界知能センター（RWIC、Real World Intelligence Center）とで研究を行ってきた。RWCP と電子技術総合研究所は共同研究契約を結び、電子技術総合研究所から RWCP への研究者の派遣や研究交流などを行って密接な連携を図ってきた。図 4 に研究開発グループの全体像を示す。また、各研究室と担当研究テーマ、再委託先との関係については、表 9 に示す。

(D)成果普及広報体制

成果普及を実施するために以下の普及活動を行った。

(i)成果発表会の開催

- IJCNN`93 国際会議／RWC 特別セッション（RWC プログラム）：
  1993 年 10 月 25 日～29 日（5 日間）、名古屋市コングレセンター
- 1994 RWC Joint Symposium(関係研究者内部討論会)：
  1994 年 6 月 13 日～16 日（4 日間）、
  シェーンバッハ・サボー・電子技術総合研究所・工業技術院講堂、参加登録者 500 名
- 1995 RWC Symposium(関係研究者内部討論会)：
  1995 年 6 月 12 日～ 15 日（4 日間）、TEPIA、参加登録者 282 名
- 1997 RWC シンポジウム（RWC プロジェクトの前期報告及び後期計画概要）：
  1997 年 1 月 29 日～ 31 日（3 日間）、ホテルニューオータニ、参加登録者 625 名
- 1998 RWC シンポジウム（RWC プロジェクトの後期初年度報告）：
  1998 年 9 月 9 日～10 日（2 日間）、シェーンバッハ・サボー、参加登録者 382 名
- 2000 RWC シンポジウム（RWC プロジェクトの後期中間報告）：
  2000 年 1 月 17 日～19 日（3 日間）、日本都市センター会館、参加登録者 420 名
- 2001 RWC 最終成果展示発表会(予定)：
  2001 年 10 月 3 日～5 日（3 日間）、TFT（有明）、参加登録者 1500 名

(ii)機関誌の発行

1995 年 4 月に創刊号を発刊以来、毎年度四半期をベースとして発行した。主な配布先は、組合員関係先（20 社）:300 部（組合員本社及び研究室、大学等再委託先、関係委員会・研究 WG 及び WS :150 部関連機関 :100 部（電子技術総合研究所等研究機関、関係団体・大学・ユーザ企業等）RWCP 訪問者、学会関係先等配布 :約 50 部である。

(iii)WWWによる情報発信

- 1993 年度～1997 年度までは、RWC 研究者向けサイトを構築し、相互の情報交流を図った。
- 1998 年 5 月以来、RWC プロジェクトの一般公開用 RWCP ホームページを作成し、研究活動状況を紹介した。URL: http://www.rwcp.or.jp/
- RWCP の組合員（各研究室）、関係大学、関係研究機関及び企業等については内部用URL:

http://intra.rwcp.or.jp/を作成し、研究業務の相互連絡、情報交換等を積極的に図った。

(主な内容)

- RWC プロジェクト(通商産業省委託研究)の目的
- 技術研究組合 新情報処理開発機構(RWCP)の設立、主な事業、組織体制等
- 研究活動の紹介(各研究室、研究成果、研究業績、成果の仕上がりイメージ等)
- 機関誌 RWC NEWS の記事内容
- 研究成果のプレス発表(テーマ、発表年月、掲載新聞等、発表研究室)
- RWCP 活動の歩み
- 調査情報
- 最新トピックス
- 最新の行事案内等

以上の他に本WWWの特徴としては、開発したソフトウェア等を公開し、世界中から多数の利用者を得て評価・成果普及を行っていることが挙げられる。現在次のソフトウェア等を公開している。

- SCore Software System:シームレスコンピューティングのためのグローバルOS SCore を含み、日本はもとより、世界中からダウンロードされている。
- Omni OpenMP: 並列言語 OpenMP コンパイラ。我が国で一般に使用可能な初めての OpenMP コンパイラであり、多数のサイトからダウンロードされている。
- 並列タンパク質情報解析システム(PAPIA):RWCPで開発したタンパク質解析に有用なソフトウェア・データベースライブラリをインタネット経由で利用できるシステム。タンパク質の構造検索、配列相同性検索など 10 種類を公開。アクセス数は年毎に増加傾向にあり、現在月あたり約3万件台であり、製薬などの開発に用いられている。

(iv)新聞・商業誌への発表一覧(年度別)

本書のIII節 研究業績 4参照.

(v)学会・コンファレンスにおける成果の展示

本プロジェクトでは、学会やコンファレンスへの出展により、成果を体験的に示す事を重視していて学会などで積極的に成果のデモンストレーションを行ってきた(本書のIII節 研究業績 5参照)。特に HPC 分野で世界的に著名なコンファレンスである SC(Super Computer Conference)には 1996 年から 2000 年の 5年間にわたり、RWCP のシームレス並列分散シームレス計算機関連の試作システムを展示し、その完成度をアピールしてきた。年毎の出展システムを以下に示す。

1996 年 PC Cluster 1 号機、SCore1.0 システムソフトウェア(つくば研)

1997 年 PC Cluster 2 号機、SCore2.0、Femflow, PAPIA(つくば研)

1998 年 PC Cluster 2 号機改良型、SCore2 CD-ROM 配布、NetCFD, PAPIA, Moltrec, (以上つくば研),
RHiNET(つくば研、日立研) SPST(NEC), Comet(富士通研), Promoter(GMD 研),
Real-Time Power System Simulator(三菱電機)

1999 年 SCore Cluster 1 号機、SCore2.5Pre & SCore 3.0pre CD-ROM 配布、COMPaS II SMP Cluster、PAPIA, Moltrec(以上つくば研), RHiNET(つくば研、日立研), 並列コンパイラ DMP(富士通研)、SPST 並列化支援ツール(NEC研)、並列化ソフトウェアWPP(日立研)、PROMOTOR(GMD 研)

2000 年　SCore Cluster System, Omni OpenMP（以上つくば研）、RHiNET　（つくば研、日立研）、Promise　（GMD研）、異機種システム用プログラミング環境（NEC研）、Comet(富士通研)、並列データマイニングシステム（東芝研）

(vi)学会発表等

本書のIII節 1. 2. 3. 参照.

表1　技術研究組合新情報処理開発機構組合員

※順不同

組合員名	H４	H５	H６	H７	H８	H９	H１０	H１１	H１２	H１３
沖電気工業株式会社	6/18									
三洋電機株式会社										
シャープ株式会社										
住友金属工業株式会社										
住友電気工業株式会社										
株式会社東芝										
日本板硝子株式会社										
日本電気株式会社										
日本電信電話株式会社	10/14									
株式会社日立製作所										
株式会社フジクラ										
古河電気工業株式会社										
富士通株式会社										
松下技研株式会社										
松下電器産業株式会社										
株式会社三菱総合研究所										
三菱電機株式会社										
社団法人日本鉄鋼連盟										
シンガポール・ケントリッジ・デジタル研究所(KRDL)		シンガポール大学　システム・サイエンス研究所(ISS)				H10/1月 組織変更				
スウェーデン・コンピュータ・サイエンス研究所(SICS)		5/２４								
ドイツ・フラウンホーファー研究機構(FhG)	10/14			ドイツ国立情報研究所（GMD）						H13/7月 組織変更
オランダ・ニューラル・ネットワーク協会(SNN)										

組合員メンバーとしての加盟期間

表２　役員

※敬称略・順不同

役職	会社名	氏名	Ｈ４	Ｈ５	Ｈ６	Ｈ７	Ｈ８	Ｈ９	Ｈ１０	Ｈ１１	Ｈ１２	Ｈ１３
理事長	日本電気 株式会社	関本　忠弘	6→	→	→	→5						
	三菱電機株式会社	北岡　　隆				6→	→	→5				
	株式会社 日立製作所	金井　　務						6→	→	→5		
	株式会社　東芝	西室　泰三								6→	→	→5
	富士通 株式会社	秋草　直之										6→
副理事長	財団法人　情報処理相互運用技術協会	田中　達雄	6→	→	→	→5						
専務理事		入澤　　元	7→	→	→	→	→	→6				
		青柳　桂一						7→	→	→7		
		竹田原昇司								7→	→	→
常務理事		島田　潤一	7→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
理事	沖電気工業 株式会社	小杉　信光	6→3									
		神宮司　順	3→	→	→	→11						
		澤村　紫光				11→	→	→	→7			
		篠塚　勝正							7→	→	→	→
	シャープ 株式会社	辻　　晴雄	6→	→	→	→	→	→	→7			
		町田　勝彦							7→	→	→	→
	株式会社　東芝	青井　舒一	6→10									
		佐藤　文夫	10→	→	→	→	→8					
		西室　泰三					8→	→	→	→	→	→5
		岡村　　正										6→
	日本電気 株式会社	関本　忠弘	6→	→	→	→5						
		金子　尚志				6→	→	→	→	→5		
		西垣　浩司								6→	→	→
	株式会社 日立製作所	金井　　務	6→	→	→	→	→	→	→	→5		
		庄山　悦彦								6→	→	→
	富士通 株式会社	関澤　　義	6→	→	→	→	→	→	→7			
		秋草　直之							7→	→	→	→
	三菱電機株式会社	志岐　守哉	6→10									
		北岡　　隆	10→	→	→	→	→	→	→7			
		谷口　一郎							7→	→	→	→
	ドイツ国立情報処理研究所（GMD)→ﾌﾗｳﾝﾎｰﾌｧｰ研究機構(FhG)	ディオニジオス・チヒリチス	3→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
監事	社団法人　日本電子工業振興協会　→　社団法人電子情報技術産業協会	鈴木　　健	6→	→	→	→	→8					
		田中　達雄					8→	→	→	→	→	→
	財団法人　日本情報処理開発協会	照山　正夫	6→	→	→	→	→	→	→	→10		
		新　　欣樹								10→	→	→

（年度：4月1日～ 3月31日）

表3　次世代情報処理基盤技術開発事業推進委員会

※敬称略・順不同

大学名/企業名	委員（#：委員長）	所属・役職	Ｈ９	Ｈ１０	Ｈ１１	Ｈ１２	Ｈ１３
東京大学	田中　英彦#	大学院情報数理工学系研究科 研究科長	■	■	■	■	■
東京大学	井上　博允	工学部　機械情報工学科　教授	■	■	■	■	■
東京大学	米澤　明憲	理学系研究科　情報科学専攻 教授	■	■	■	■	■
東京理科大学	上坂　吉則	理工学部　情報科学科　教授	■	■	■	■	■
早稲田大学	村岡　洋一	理工学部　情報学科　教授	■	■	■	■	■
日本電気株式会社	石黒　辰雄	取締役　常務	■	■	■	■	
	戸坂　肇	取締役　常務					■
沖電気工業株式会社	榊　靖夫	取締役　研究開発本部　本部長	■				
	牛尾真太郎	常務取締役		■			
	小西　博	常務取締役			■		
	畑　和徳	常務取締役				■	■
株式会社日立製作所	武田　康嗣	専務取締役	■	■			
	浅井彰二郎	常務　研究開発本部長			■	■	
	中村　道治	理事　研究開発本部　本部長					■
三菱電機株式会社	野間口　有	常務取締役　開発本部長	■	■	■	■	
	尾形　仁士	取締役　開発本部長					■
シャープ株式会社	御手洗　顕	取締役　技術本部　副本部長	■				
	橋本　伸太郎	取締役　情報家電開発本部長		■	■	■	
	河田　亨	常務取締役　技術戦略企画室長					■
富士通株式会社	宮沢　達士	常務取締役　コンピュータ事業 本部長	■	■	■	■	■
株式会社東芝	柳父　悟	理事　技術企画部長	■				
	笠見　昭信	取締役　副社長		■	■	■	
	東　実	常務					■
独立行政法人 産業技術総合研究所 （H12年度までは、電子技術総合研究所）	大津　展之	産業技術総合研究所 フェロー	■	■	■	■	■
技術研究組合 新情報処理開発機構	島田　潤一	常務理事　研究所長	■	■	■	■	■

■ 在任期間

表４　運営会議委員

※敬称略・順不同　◎議長

会社名	氏名	Ｈ４	Ｈ５	Ｈ６	Ｈ７	Ｈ８	Ｈ９	Ｈ１０	Ｈ１１	Ｈ１２	Ｈ１３
沖電気工業 株式会社	穴田　育男	10→	→7								
	牛尾　真太郎		7→	→	→7		6→	→			
	東　　忠男				7→3						
	榊　　靖夫				3→	→	→6				
	小西　　博								→5		
	畑　　和徳									5→	→
三洋電機 株式会社	大原　省爾	10→	→2								
	桑野　幸徳		2→	→	→	→	→				
	寺田　房夫							→	→	→	→
シャープ 株式会社	片岡　照榮	10→	→6								
	河田　　享		7→	→	→	→10	9→	→4		1→	→
	御手洗　顕					10→	→9				
	橋本　伸太郎							4→	→	→1	
住友金属工業 株式会社	内田　暁洋							→	→7		
	小林　純夫								7→	→	
	戸崎　泰之										→
住友電気工業 株式会社	赤井　慎一	10→	→	→	→	→	→7				
	石田　　晶						7→	→	→	→	→
株式会社　東芝	下村　尚久	10→	→6								
	藤正　　顕		7→	→	→	4					
	柳父　　悟					4→	→				
	笠見　昭信							→	6◎→	◎→	◎5
	東　　実										6→
日本板硝子 株式会社	小泉　　健		→	→8							
	庄野　晋吉			8→	→12						
	真鍋　征一郎				12→	→11					
	藤本　勝司					11→	→	→7			
	近藤　敏和							7→	→	→	→
日本電気 株式会社	加藤　康雄	10◎→	◎→	◎→2							
	石黒　辰雄			?◎→	◎5→	→	→	→	→	→	
	戸坂　　馨										→
日本電信電話 株式会社	宮脇　　隆	10→	→	→	→	→6					
	青木　利晴					6→	→7				
	伊澤　達夫						7→	→7			
	松田　晃一							7→	→7		
	東倉　洋一									7→	→
株式会社 日立製作所	武田　康嗣	10→	→	→	→	→	6◎→	◎→	◎5→6		
	浅井　彰二郎								7→	→	
	中村　道治										→

会社名	氏名	H４	H５	H６	H７	H８	H９	H１０	H１１	H１２	H１３
株式会社 フジクラ	稲田　浩一		→	→	→	→	→	→	→	→	→
古河電気工業 株式会社	細川　宏一		→	→ 7							
	菊地　幸司			7 →	→ 6						
	稲尾　勝三				6 →	→	→ 8				
	小泉　達也						8 →	→	→ 8		
	鈴木　雄一								8 →	→	→
富士通 株式会社	平栗　俊男	10 →	→	→ 7							
	吉原　忠雄			7 →	→	→ 7					
	宮沢　達士					7 →	→	→	→	→	6◎ →
松下技研株式会社	佐野　令而	10 →	→ 6								
	吉村　　進		7 →	→ 1		5 →	→	→	→ 7		
	屋野　　勉			1 →	→	→ 5					
	高尾　正敏								7 →		
松下電器産業 株式会社	石田　　徹									→ 8	
	安立　正明									8 →	→
株式会社 三菱総合研究所	山崎　英蔵	10 →	→	→ 1							
	山田　郁夫			1 →	→	→	→	→	→	→ 2	
	森山　光彦									2 →	→
三菱電機株式会社	大野　榮一	10 →	→	→	6◎ → 11						
	野間口　有				11 →	◎ →	◎ 5 →	→	→	→	
	尾形　仁士										→
ケントリッジデジタル研究所 (KRDL)	ジュザール・モティワラ		→	→	→	→	→	→	→	→	→
ｽｳｪｰﾃﾞﾝｺﾝﾋﾟｭｰﾀ ｻｲｴﾝｽ 研究所 (SICS)	レイナ・ベルリング		→	→	→	→	→	→	→ 11		
	グナル・ビュレル								11 →	→	→
ドイツ国立情報処理研究所 (GMD) → (FhG)	ディオニジオス・チヒリチス	10 →	→	→	→	→	→	→	→	→	→
ニューラル・ネットワーク協会 (SNN)	C.C.A.M.ギーレン		→	→	→	→	→	→	→	→	→
社団法人　日本鐵鋼連盟	森　　孝	10 →	→	→ 7							
	横江　信義			8 →	→	→	→ 4				
	戸田　弘元						4 →	→	→	→	→

（年度：4月1日～3月31日）

表5　業務会議委員

※敬称略・順不同　◎議長

会社名	氏名	H４	H５	H６	H７	H８	H９	H１０	H１１	H１２	H１３
沖電気工業 株式会社	河村　和民	7→	→10								
	島田　建史		11→	→	→12						
	関戸　睦弘				12→	→	→	→			
	伊東　眞一								→	→	→
三洋電機 株式会社	鈴木　　治	7→	→	→	→	→6					
	太田　　修					6→	→9				
	前田　慶一						10→	→			
	斎藤　六弥								→		
	北村　　徹									→	→
シャープ 株式会社	川邊　昭治	7→	→	→	→	→	→5				
	谷内　一正						6→	→2			
	多田　順次							2→	→	→	→
住友金属工業 株式会社	坂本　隆秀							→	→7		
	大井　俊哉								7→	→10	
	角　　裕之									10→	→
住友電気工業 株式会社	飛岡　正明	7→	→1								
	藤田　順彦		1→	→	→						
	天野　良成					→	→				
	松本　和久							→	→		
	京籐　倫久									→	→
株式会社　東芝	本多　正己	7→									
	寺坂　宏一		→6	→6							
	田中　敏雄			7→	→	→10					
	村上　俊明					10→	→4				
	岡　　孝夫						5→	6◎			
	阪井　真人							◎→	→5		
	佐々木　恒夫								6→	→3	
	平原　奎治郎								3→	→	→
日本板硝子 株式会社	藤村　　寛		→1								
	山崎　哲也		2→	→	→	→6					
	岸本　　隆					6→	→9				
	浜中　賢二郎					9→	→6				
	小山　　正						6→	→	→4		→
	砂田　　貴								4→	→7	
	常友　啓司									7→	
日本電気 株式会社	坪内　啓夫	7→	→	→	→	→	→10				
	川出　道郎						10→	→	→	→	6◎→

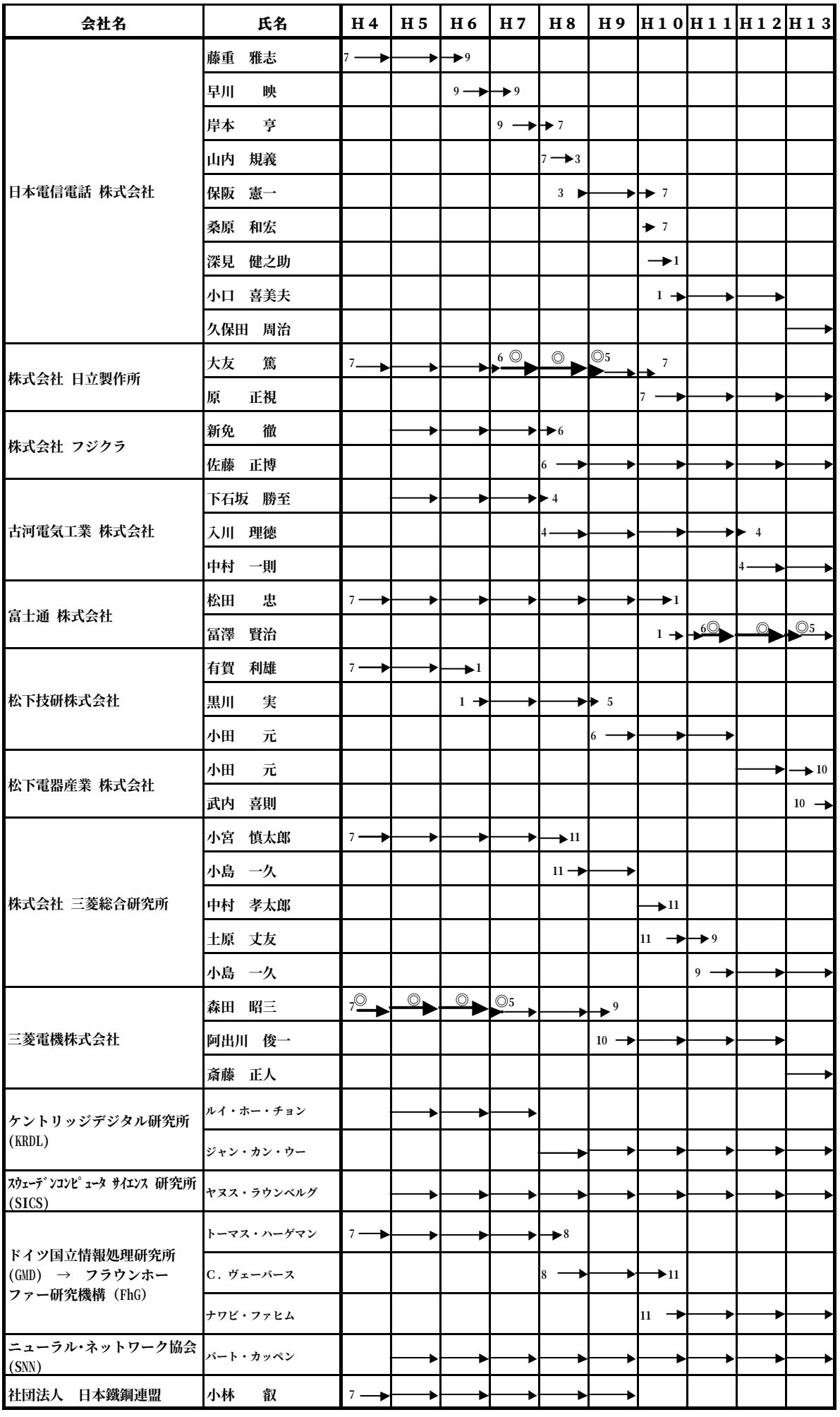

会社名
氏名
H４
H５
H６
H７
H８
H９
H１０
H１１
H１２
H１３
日本電信電話 株式会社
藤重　雅志
早川　　映
岸本　　亨
山内　規義
保阪　憲一
桑原　和宏
深見　健之助
小口　喜美夫
久保田　周治
株式会社 日立製作所
大友　　篤
原　　正視
株式会社 フジクラ
新免　　徹
佐藤　正博
古河電気工業 株式会社
下石坂　勝至
入川　理徳
中村　一則
富士通 株式会社
松田　　忠
冨澤　賢治
松下技研株式会社
有賀　利雄
黒川　　実
小田　　元
松下電器産業 株式会社
小田　　元
武内　喜則
株式会社 三菱総合研究所
小宮　慎太郎
小島　一久
中村　孝太郎
土原　丈友
小島　一久
三菱電機株式会社
森田　昭三
阿出川　俊一
斎藤　正人
ケントリッジデジタル研究所 (KRDL)
ルイ・ホー・チョン
ジャン・カン・ウー
ｽｳｪｰﾃﾞﾝｺﾝﾋﾟｭｰﾀ ｻｲｴﾝｽ 研究所 (SICS)
ヤヌス・ラウンベルグ
ドイツ国立情報処理研究所 (GMD) → フラウンホーファー研究機構（FhG）
トーマス・ハーゲマン
C．ヴェーバース
ナワビ・ファヒム
ニューラル・ネットワーク協会 (SNN)
バート・カッペン
社団法人　日本鐵鋼連盟
小林　　叡
（年度：4月1日～3月31日）

表６　研究会議委員

※敬称略・順不同　◎議長

会社名	氏名	Ｈ４	Ｈ５	Ｈ６	Ｈ７	Ｈ８	Ｈ９	Ｈ１０	Ｈ１１	Ｈ１２	Ｈ１３
沖電気工業 株式会社	石田　俊正	7→	→	→	→	→ 3					
	上條　　健					3→	→	→	→	→	→
三洋電機 株式会社	鈴木　　治	7→	→	→	→	→	→	→			
	虎沢　研二								→	→	→
シャープ 株式会社	中島　隆之	7→	→	→	→	→	→	→	→	→ 1	
	千葉　　徹									1→	→
住友金属工業 株式会社	新井　三鉉							→	→ 7		
	坂本　隆秀								7→	→	→ 7
	大井　俊哉										7→
住友電気工業 株式会社	石田　　晶	7→	→	→	→	→	→ 7				
	林　　秀樹						7→	→	→	→	→
株式会社　東芝	河田　　勉	7→									
	麻田　治男		→	→ 9							
	天野　真家			9→	6◎→						
	相川　　健					◎→	◎5→	→	→		
	増渕　美生									→	→ 11
	末田　直道										11 →
日本板硝子 株式会社	三橋　慶喜		→	→	→	→	→	→	→ 7		
	吉川　恵治								7→	→	→
日本電気 株式会社	山本　昌弘	7→	→	→	→	→ 7					
	後藤　　敏					7→	→	→	6→	◎→	◎5→
日本電信電話 株式会社	中津　良平	7→	→	→ 7							
	石井　健一郎			7→	→	→	→	→	→	→	→
株式会社 日立製作所	杉江　　衛	7◎→	◎→	◎→	◎5→	→	→ 8				
	稲上　泰弘						8→	→	→	→ 2	
	辻畑　好秀									2→	→
株式会社 フジクラ	安原　　光		→	→	→ 12						
	山内　良三				12 →	→	→	→	→	→	→
古河電気工業 株式会社	柏　　亨		→	→	→	→	→ 9				
	小粥　幹夫						9 → 1				
	城川　潤二郎						1→	→	→	→	→
富士通 株式会社	上原　貴夫	7→	→								
	村野　和雄			→	→ 7						
	戸田　光彦				7→	→	→ 5				
	林　　弘						5→ 6◎	◎→	◎5→	→	→
松下技研株式会社	吉村　　進	7→	→ 6								
	武内　喜則		7→	→ 7	12 →	→	→	→	→		
	中島　眞人			8→ 1							
	古谷　伸昭			1 →	→ 12						

会社名	氏名	H４	H５	H６	H７	H８	H９	H１０	H１１	H１２	H１３
松下電器産業 株式会社	武内　喜則									→	→
株式会社 三菱総合研究所	小林　慎一	7 →	→	→	→	→	→	→	→	→	→
三菱電機株式会社	武田　捷一	7 →	→	→	→	→	→	→	→	→	6◎ →
ケントリッジデジタル研究所 (KRDL)	テ・ホーン・ヘン		→	→	→						
	ジャン・カン・ウー					→	→	→	→	→	→
ｽｳｪｰﾃﾞﾝｺﾝﾋﾟｭｰﾀ ｻｲｴﾝｽ 研究所 (SICS)	セイフ・ハリディ		→	→	→						
	マーチン・ニルソン					→	→	→	→	→	→
ドイツ国立情報処理研究所 （GMD） → フラウンホーファー研究機構（FhG）	トーマス・ハーゲマン	7 →	→	→	→	→ 8					
	C．ヴェーバース					8 →	→	→ 11			
	ナワビ・ファヒム							11 →	→	→	→
ニューラル・ネットワーク協会　（SNN）	バート・カッペン		→	→	→	→	→	→	→	→	→
社団法人　日本鐵鋼連盟	針谷　雄二	7 →	→	→	→ 9						
	内田　靖人				9 →	→	→				

（年度：4月1日～3月31日）

表7　研究再委託・受託研究依頼先一覧（前期）

国内再委託先（前期）

※敬称略・順不同

研究区分	研究テーマ	再委託者名	所　　属	H5	H6	H7	H8
パターンと記号の相互交換	パターンと記号の相互変換	大森　隆司	東京農工大学工学部電子情報工学科	■	■	■	
	パターン情報と記号情報の相互作用に基づく視覚的認識のモデル化	石川　真澄	九州工業大学情報工学部制御システム工学科	■	■	■	
事例ベースの音声・言語理解	多言語および方言音声の識別	板橋　秀一	筑波大学電子・情報工学系	■	■	■	
	自発発話音声の理解	小林　哲則	早稲田大学理工学部電気工学科	■	■	■	
	超並列コンピュータを用いた事例型翻訳	佐藤　理史	北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科	■	■	■	
	コーパスを用いた自然言語解析用知識の獲得	徳永　健伸	東京工業大学工学部情報工学科	■	■	■	
	超並列処理による自然言語理解システム	峯　恒憲	九州大学教養学部情報科学科	■	■	■	
しなやかなヒューマンインターフェイス	変化する環境における認識と行動の統一的プラニング	白井　良明	大阪大学工学部電子制御機械工学科	■	■	■	
	画像の表現・理解および処理手法評価	阿部　圭一	静岡大学工学部情報知識工学科	■	■	■	
	並列分散協調処理による画像理解システム	松山　隆司	岡山大学工学部情報工学科	■	■		
	環境の変動に適応する対象物モデル構築法	美濃　導彦	京都大学工学部附属高度情報開発実験施設	■	■	■	
	多元的情報の統合によるプレゼンテーション映像の自動認識	大田　友一	筑波大学電子・情報工学系	■	■	■	
	協調計算に基づくコンピュータビジョン	横矢　直和	奈良先端科学技術大学院大学情報科学センタ	■	■	■	
ヒューマノイド自律システム	視覚聴覚統合能動制御ロボットヘッド	井上　博允	東京大学工学部機械情報工学科	■	■	■	
	人間型自律システム―作業システムの実現	佐藤　知正	東京大学先端科学技術研究センター	■	■	■	
非線形ダイナミクスとニューラルネットワーク	ニューラルネットワークのダイナミクス―脳における情報統合モデルを目指して	吉澤　修治	東京大学工学部機械情報工学科	■	■	■	
神経回路網のフィードバック学習	神経回路網のフィードバック学習	岡部　洋一	東京大学先端科学技術研究センター	■	■	■	
ニューラルシステムの新パラダイム	ニューラルネットワークによる3次元視覚情報処理機構の表現	平井　有三	筑波大学電子・情報工学系	■	■	■	
	色覚神経機構とその情報表現	臼井　支朗	豊橋技術科学大学工学部情報工学系	■	■	■	
	各種の制約充足問題を解くためのニューラルシステム	秋山　泰	京都大学科学研究所	■	■	■	
	時間パターンに依存した新しい学習則と記憶ニューラルネットの新パラダイム	塚田　稔	玉川大学工学部情報通信工学科	■	■	■	
カオスを用いた新情報処理	カオスニューラルネットワークの計算力学	合原　一幸	東京大学工学部計数工学科	■	■	■	
超並列計算機上でのメディアスペースの実現	実時間音楽情報処理	村岡　洋一	早稲田大学理工学部情報学科	■	■	■	
	しなやかな数学問題解決支援システム	大石　進一	早稲田大学理工学部情報学科	■	■	■	
細粒度超並列アーキテクチャ	超並列システムにおける分散共有メモリ方式	平木　敬	東京大学大学院理学系研究科	■	■	■	
超並列アーキテクチャ	関数型言語モデルに基づく超並列アーキテクチャ	島田　俊夫	名古屋大学工学部電子情報学科	■	■	■	
メッセージ駆動マシンソフトウエア	並列オブジェクト指向パラダイムによる記述方式	米澤　明憲	東京大学理学部情報科学科	■	■	■	
	オブジェクト指向に基づいたMPIの高性能実装	松岡　聡	東京大学工学部計数工学科			■	
			東京工業大学大学院情報理工学研究科				■
半導体レーザ	光トリガ方式ディジタル回路のためのパルス半導体レーザ	神谷　武志	東京大学工学部電子工学科	■	■	■	
	微小光共振器内量子井戸構造の光物性と半導体レーザスイッチへの応用	土屋　昌弘	東京大学工学部電子工学科	■	■	■	
光コンピューティング	並列ディジタル光コンピュータの研究	一岡　芳樹	大阪大学工学部応用物理科	■	■	■	
	光コンピュータ構成法・構成技術の研究	谷田　純	大阪大学工学部応用物理科	■	■	■	
光ニューロ	集積化光ニューロモジュールの開発研究	谷田貝　豊彦	筑波大学物理工学系	■	■	■	
	学習機能と大規模並列化に関する基礎的研究	石川　正俊	東京大学工学部計数工学科	■	■	■	

海外再委託先（前期）

研究テーマ	委託先	H5	H6	H7	H8
Learning a map with a stereo-vision-based system	Istituto per la Ricerca Scientifica e Tecnologica (IRST)	■	■	■	
Hybrid Evolutionary Programming Techniques: Integration of Symbolic Computation with neural networks and genetic programing	Goedel school Computer Software Company (GSCSC)	■	■	■	
Integrated information processing for pattern recgnition by self-organization,prototype optimization and fuzzy modeling	The University of Sydney	■	■	■	
Implementation of UFO on RWC-1	University of Manchester			■	■
Massively-parallel knowledge processing for complex pattern understanding	Massively Parallel Systems Erlangen			■	■

■ 研究委託期間

表8 分散研/集中研 研 究 室 推 移

	研究室名	テーマ名	H4	H5	H6	H7	H8	研究室名	テーマ名	H9	H10	H11	H12	H13
国内分散研	新機能日立ー1	手話理解をビークルとした情報統合技術		■	■	■	■	マルチモーダル機能日立	言語的ジェスチャ把握	■	■	■	■	
	新機能シャープ	多元情報を用いたヒューマンインタフェース	■	■	■	■	■	マルチモーダル機能シャープ	非言語情報マルチモーダルインタフェース	■	■	■	■	
	新機能NTT	脳における並列情報処理機構と注意機構		■	■	■	■	マルチモーダル機能NTT	人間のマルチモーダル情報処理	■	■	■	■	
	理論三菱	ニューラルアーキテクチャによる視覚情報処理		■	■	■	■	マルチモーダル機能三菱	動的画像応答	■	■	■	■	
	新機能三洋	ビジョンベース自律作業システム	■	■	■	■	■	マルチモーダル機能三洋	実世界モデル生成	■	■	■	■	
	新機能富士通	自律学習成長機能を持つ移動ロボットシステム		■	■	■	■	自律学習機能富士通	移動エージェントを用いた自律学習機能	■	■	■	■	
	新機能MRI	シンボル情報とパターン情報に共通するジェネリックタスク		■	■	■	■	自律学習機能MRI	自律学習移動ロボットのための音響環境理解	■	■	■	■	
								情報ベース機能日立	画像情報の計量化と可視化	■	■	■	■	
	新機能三菱	自己組織型情報ベース		■	■	■	■	情報ベース機能三菱	文書情報空間の自己組織化	■	■	■	■	
								情報ベース機能東芝	適応的状況認知のための自己組織化アーキテクチャの開発		■	■	■	
	理論NEC	確率的知識表現の計算論的学習理論		■	■	■	■	理論基盤NEC	分散能動学習方式	■	■	■	■	
	ニューロ東芝	構造化ニューラルネットに基づくパターン認識		■	■	■	■	理論基盤東芝	記号パターン統合	■	■	■	■	
	超並列NEC	適応型超並列システム	■	■	■	■	■	適応デバイスNEC	再構成可能適応型デバイス	■	■	■	■	
	光松下	積層型光コンピューティングシステム		■	■	■	■	適応デバイス松下	デジタル・スマートピクセルと光実装	■	■	■	■	
								並列分散システム富士通	並列ネットワークサーバ	■	■	■	■	
								並列分散システムNEC	高性能並列分散計算機システム	■	■	■	■	
								並列分散システム住金	サーバアプリケーションへの並列分散技術の応用研究		■	■	■	
	光日立	光周波数アドレス技術を用いた光インタコネクションおよび光演算方式		■	■	■	■	光インタコネクション日立	大容量データバス用光インターコネクション	■	■	■	■	
	光富士通	波長アドレス光インタコネクション		■	■	■	■	光インタコネクション富士通	光インタコネクション用低電圧動作面型レーザの研究	■	■	■	■	
	光NEC	光電融合プロセッサネットワーク		■	■	■	■	光インタコネクションNEC	低消費電力光インターコネクション	■	■	■	■	
	光沖	3次元光配線技術		■	■	■	■	光インタコネクション沖	高密度光バス	■	■	■	■	
	光住電	光ファイバによる並列光インタコネクション技術		■	■	■	■	光インタコネクション住電	波長多重型光LAN	■	■	■	■	
	光フジクラ	空間型光偏向器		■	■	■	■	光インターコネクションフジクラ	スキュー低減型多芯高速伝送路	■	■	■	■	
	光古河	波長可変面発光光LDアレイ		■	■	■	■	光インターコネクション古河	無調芯型面発光LDモジュール	■	■	■	■	
	光日板	集積化光バスシステム（OBIS）		■	■	■	■	光インターコネクション日板	空間分割多重光インターコネクション	■	■	■	■	
								並列応用日立	ヘテロジニアスコンピューティング共通インターフェースソフト	■	■	■	■	
	超並列三菱	超並列オブジェクト・モデル	■	■	■	■	■	並列応用三菱	物理・統計融合型シミュレーション	■	■	■	■	
	超並列MRI	超並列プログラミング環境	■	■	■	■	■	並列応用MRI	電力分野における並列情報処理の応用	■	■	■	■	
	超並列東芝	超大規模超細粒度相互結合網	■	■	■	■	■	並列応用東芝	並列分散データマイニング	■	■	■	■	
	超並列三洋	超並列コンピュータにおける資源管理手法	■	■	■	■	■	並列応用三洋	マルチメディアデータベースの並列分散処理	■	■	■	■	
	光三菱	光ニューロコンピュータ		■	■	■	■	（マルチモーダル機能三菱に統合）						
	新機能沖	異種知識に基づく協調型問題解決	■	■	■									
	新機能日立ー2	エピソード記憶に基づくデスクワーク支援			■	■								
	理論富士通	集団型情報処理のソフトウェア・モデル		■	■	■	■							
	光三洋	光コンピューティングシステム3次元積層光素子		■	■	■	■							
	光東芝	空間多重光インタコネクション用面型多機能素子		■	■	■	■							
海外分散研	新機能ISS	マルチメディア情報の柔軟な蓄積と探索			■	■	■	マルチモーダル機能ISS→KRDL	顔と表情の頑健な認識	■	■	■	■	
								（分離）情報ベース機能ISS→KRDL	ユーザ依存の自己組織化マルチメディア情報ベース	■	■	■	■	
	新機能SICS	実時間対話ロボットのプログラミング		■	■	■	■	自律学習機能SICS	分散型実時間自律行動系	■	■	■	■	
	新機能SNN	能動的認知理解		■	■	■	■	自律学習機能SNN	能動的地図獲得とセンサー情報表現	■	■	■	■	
								（分離）理論基盤SNN	確率的知識表現および能動的意思決定	■	■	■	■	
	理論GMD	遺伝的アルゴリズムの理論基盤としての統計的推論		■	■	■	■	理論基盤GMD	開かれた環境における能動学習と情報統合	■	■	■	■	
	ニューロSICS	ニューラルコード化と実現		■	■	■	■	理論基盤SICS	統計的パターンコンピューティング	■	■	■	■	
	超並列GMD	超並列システムプログラミングモデルの開発・実現・評価		■	■	■	■	並列分散システムGMD	大規模応用のための高機能データ並列プログラミング	■	■	■	■	
	ニューロISS	ニューロロジックネットワーク		■	■	■								
つくば研	情報統合	情報統合対話システム	■	■	■	■	■	マルチモーダル機能つくば	Cross Madiatorにおけるマルチモーダル対話システム	■	■	■	■	
								（分離）情報ベースつくば	Cross Mediatorの構築	■	■	■	■	
	超並列ソフトウェア	超並列計算モデル、OS、プログラミング言語、環境	■	■	■	■	■	並列分散システムソフトウェアつくば	コンピュータクラスタ上の基本ソフトウェア	■	■	■	■	
								並列分散システムパフォーマンスつくば	並列アプリケーションの探索的技術開発及び性能解析	■	■	■	■	
								並列分散システムアーキテクチャつくば	省電力型高速光転送向インタフェース技術	■	■	■	■	
	超並列アーキテクチャ	超並列実行モデルおよび超並列アーキテクチャ	■	■	■	■	■	（並列分散システムパフォーマンスつくばに統合）						
	ニューラルシステム	適応と進化を行う計算機	■	■	■	■								
	能動知能	実世界適応自律システム	■	■	■	■	■							

■ 研究実施期間

■ 研究実施期間

	研究室名	テーマ名	H4	H5	H6	H7	H8	ラボ	テーマ名	H9	H10	H11	H12	H13
電総研RWIセンター	情報数理 認知科学	柔らかな情報処理の理論基盤						学習統合基礎	学習統合型情報処理の理論基盤					
	画像	適応的ビジョンシステム						適応ビジョン	適応ビジョンシステム					
	音声	対話音声の認識・理解技術						情報統合対話	音声と画像の統合による対話					
	自然言語	自然言語対話システム						言語統合	能動知能システムの評価					
	自律システム 行動知能 他	柔らかなロボット技術						事情通ロボット	事情通ロボットの学習・統合型情報処理					
	計算機方式	並列システム						RWCライブラリ	並列システムの評価					
	分散システム	超流動OS												
	計算機構	柔らかな連想機構						進化システム	進化システムアーキテクチャの評価					
	光情報 プロセス基礎	光演算システム						情報光学	高並列大容量演算システムの評価					
	新情報計画室	情報統合と学習												

研究実施期間

研究実施期間

表９　研究再委託・受託研究依頼先一覧（後期）

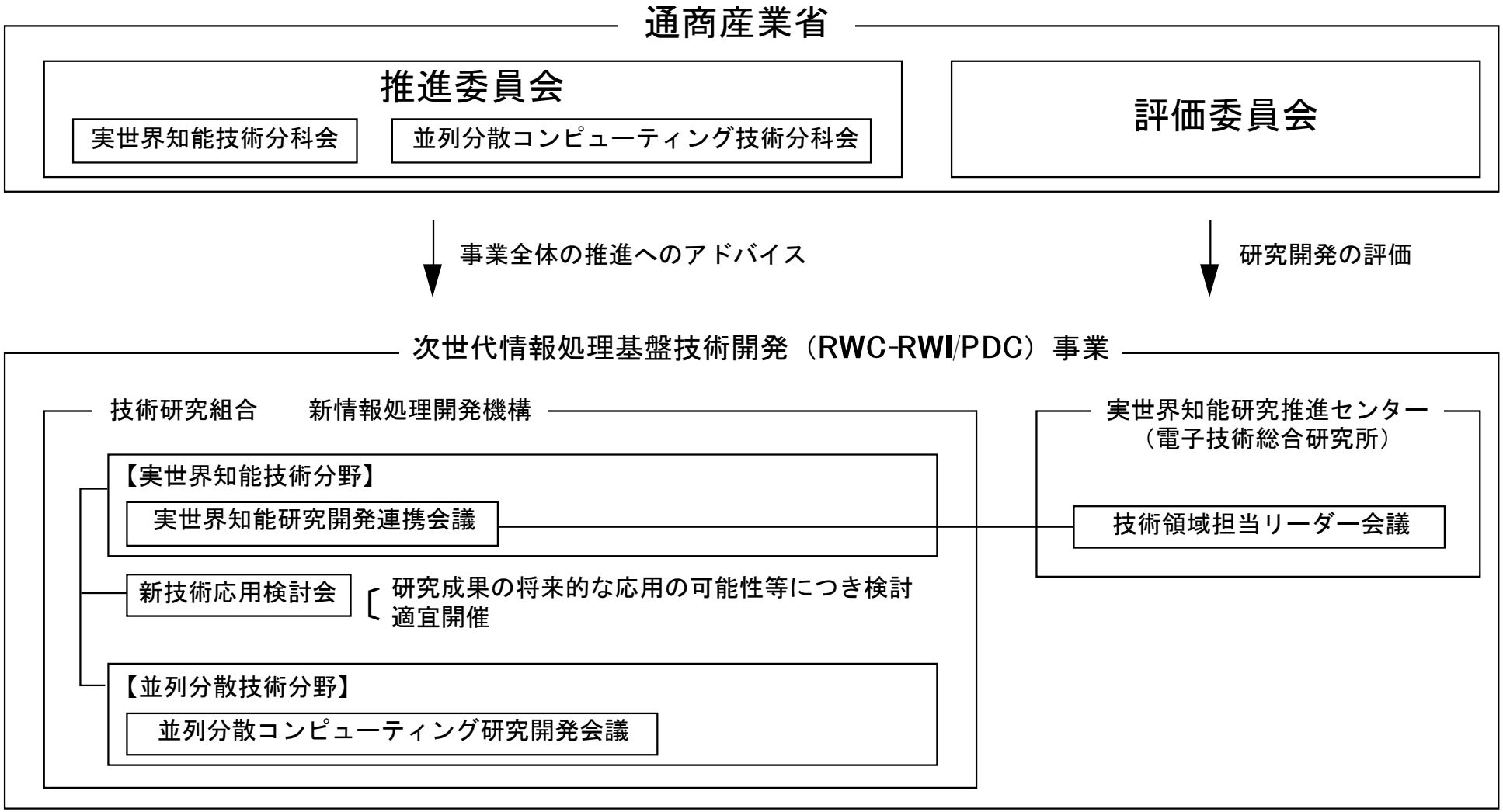
再委託先（後期）

※敬称略・順不同

分野	研究領域	関係分散研	再委託者連絡先		Ｈ９	Ｈ１０	Ｈ１１	Ｈ１２
実世界知能技術	マルチモーダル機能	三洋（北村）	大田　友一	筑波大学　機能工学系 画像情報研究室 e-mail：ohta@image.is.tsukuba.ac.jp	■	■	■	
		三洋（北村）	横矢　直和	奈良先端科学技術大学院大学　横矢研究室 e-mail：yokoya@is.aist-nara.ac.jp	■	■	■	
	自律学習機能	富士通（毛利）	稲葉　雅幸	東京大学大学院　情報工学情報システム工学研究室 e-mail：inaba@jsk.t.u-tokyo.ac.jp	■	■		
		富士通（毛利）	小笠原　司	奈良先端科学技術大学院大学　情報科学研究科 e-mail：ogasawara@is.aist-nara.ac.jp			■	
		富士通（毛利）	浅田　稔	大阪大学大学院　工学研究科 創発ﾛﾎﾞｯﾄ工学講座 e-mail：asada@ams.eng.osaka-u.ac.jp	■	■	■	
		富士通（毛利）	油田　信一	筑波大学　機能工学系 知能ロボット研究室 e-mail：yuta@roboken.esys.tsukuba.ac.jp	■	■	■	
		富士通（毛利）	Alexandar Zelinsky	オーストラリア国立大学　情報工学研究所 e-mail：alex@syseng.anu.edu.au	■	■	■	
	自己組織化情報ベース機能	日立（杉本）	有澤　博	横浜国立大学　有澤研究室 e-mail：arisawa@arislab.dnj.ynu.ac.jp	■			
		富士通（毛利）	大森　隆司	東京農工大学　大森研究室 e-mail： omori@cc.tuat.ac.jp	■	■	■	
		MRI（比屋根）	中村　哲	奈良先端科学技術大学院大学　中村研究室 e-mail：nakamura@is.aist-nara.ac.jp	■	■	■	
	理論・アルゴリズム基盤	東芝（月本）	古森　雄一	千葉大学　理学部　数学情報数理学科 e-mail：komori@math.s.chiba-u.ac.jp	■	■	■	
		東芝（月本）	小野　寛晰	北陸先端科学技術大学院大学　情報科学研究科 e-mail：ono@jaist.ac.jp	■	■	■	
		東芝（月本）	石川　眞澄	九州工業大学　情報工学部 e-mail：ishikawa@ces.kyutech.ac.jp	■	■	■	
		NEC（安倍）	伊庭　幸人	統計数理研究所　予測制御系 e-mail：iba@ism.ac.jp	■	■	■	
		NEC（安倍）	David Haussler Manfred K. Warmuth	カリフォルニア大学サンタ・クルーズ校 e-mail：haussler@cse.ucsc.edu	■			
		NEC（安倍）	宇高　恵子	京都大学大学院理学研究科生物物理学教室 e-mail：keiko@molbio.biophys.kyoto-u.ac.jp		■	■	■
	実世界適応デバイス	NEC（梶原）	嘉数　侑昇	北海道大学　嘉数研究室 e-mail：kakazu@complex.hokudai.ac.jp	■	■		
		NEC（梶原）	柳澤　政生	早稲田大学　柳澤研究室 e-mail：yanagi@yanagi.comm.waseda.ac.jp	■	■	■	
		NEC（梶原）	古谷　立美	東邦大学　古谷研究室 e-mail： furuya@is.sci.toho-u.ac.jp	■	■	■	■
		NEC（梶原）	Daniel Mange	スイス連邦工科大学　マンジュ研究室 e-mail：daniel.mange@di.epfl.ch	■	■	■	■
		NEC（梶原）	Bernard Manderick	ベルギー自由大学　マンデリック研究室 e-mail：bernard@arti.vub.ac.be	■	■	■	
		松下技研（武内）	石川　正俊	東京大学　工学部　石川研究室 e-mail：ishikawa@k2.t.u-tokyo.ac.jp	■	■	■	■
並列分散コンピューティング技術領域	シームレス並列分散コンピューティング技術	集中研（工藤）	天野　英晴	慶應義塾大学　理工学部 e-mail：hunga@aa.cs.keio.ac.jp	■	■	■	■
		集中研（工藤）	中條　拓伯	東京農工大学　工学部 e-mail：nakajo@cc.tuat.ac.jp	■	■	■	■
		集中研（石川）	松岡　聡	東京工業大学大学院　情報理工学研究科 e-mail：matsu@is.titech.ac.jp	■	■	■	
		集中研（石川）	平木　敬	東京大学　理学部　情報科学科 e-mail：hiraki@is.s.u-tokyo.ac.jp	■	■	■	
		集中研（佐藤）	朴　泰祐	筑波大学　電子・情報工学系 e-mail：taisuke@is.tsukuba.ac.jp	■	■	■	
		富士通（陣崎）	村井　純	慶應義塾大学　環境情報学部 e-mail：junsec@wide.ad.jp	■	■	■	
	並列アプリケーション技術	集中研（秋山）	高木　利久	東京大学　医科学研究所　ヒトゲノム解析センター e-mail：takagi@ims.u-tokyo.ac.jp	■	■	■	
		集中研（秋山）	高橋　勝利	北陸先端科学技術大学院大学　知識科学研究科 e-mail：sltaka@jaist.ac.jp	■	■	■	
	マルチプロセッサコンピューティング技術	富士通（木村）	笠原　博徳	早稲田大学　理工学部　電気電子情報工学科 e-mai：kasahara@oscar.elec.waseda.ac.jp	■	■	■	

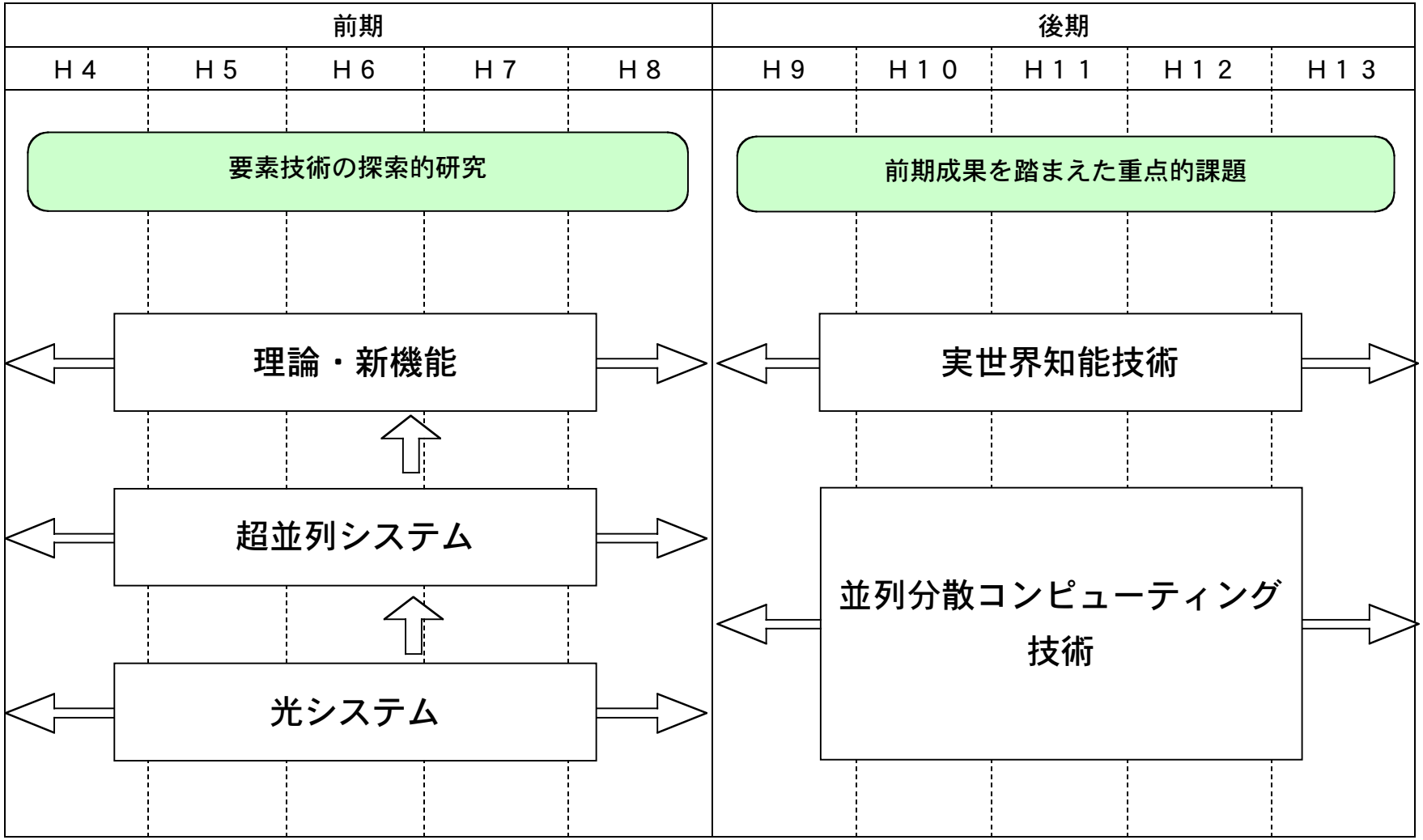
■ 研究委託期間

図1 関係組織における委員会等の役割



※組合及びセンター内の会議名称については、仮称。
※組合に設置される各会議は、分野毎の研究開発の実施にあたり、実世界知能研究推進センター等と連携を行いつつ、
　中核的役割を果たす。

図２　前期から後期への研究の推移



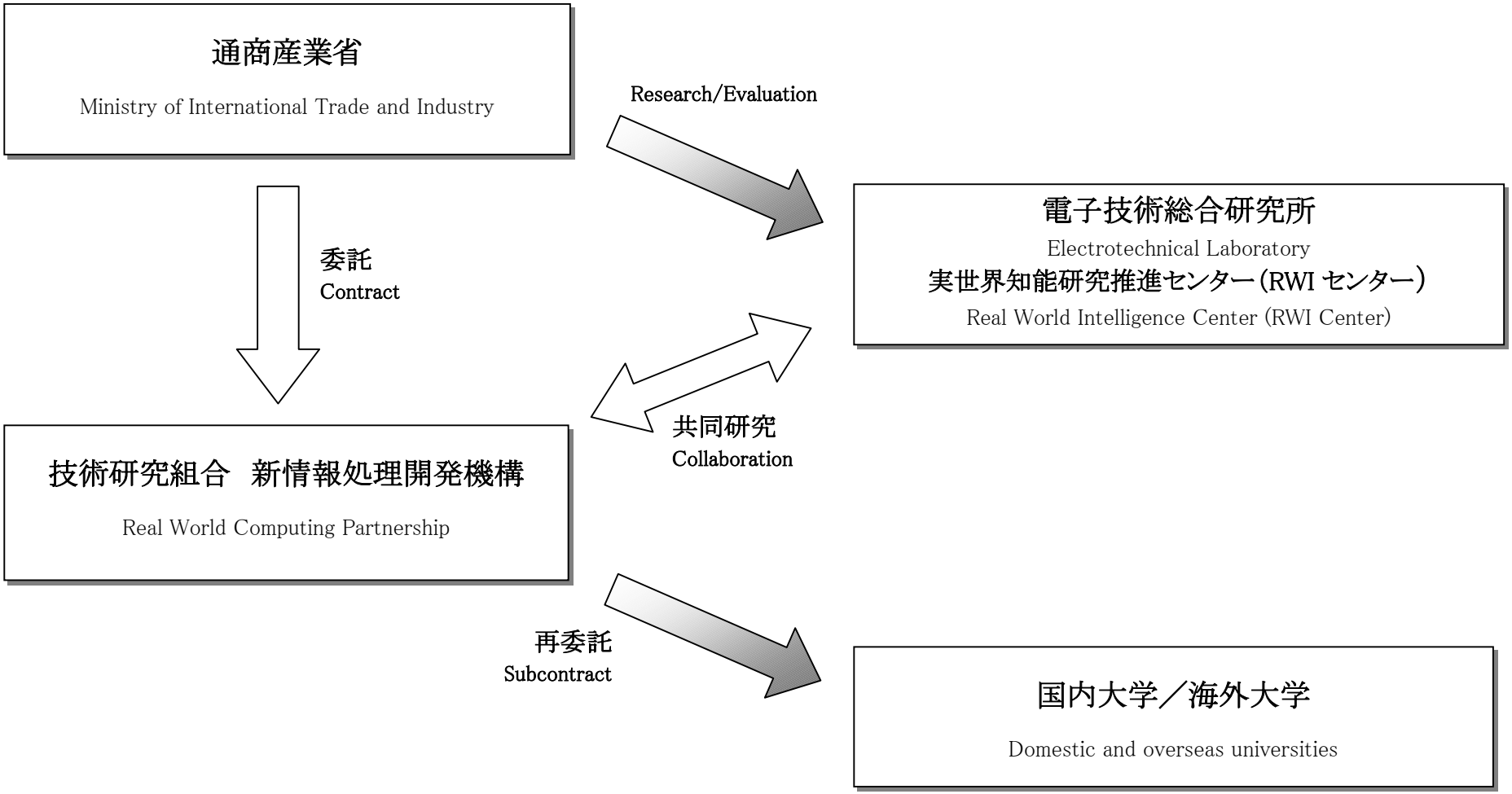
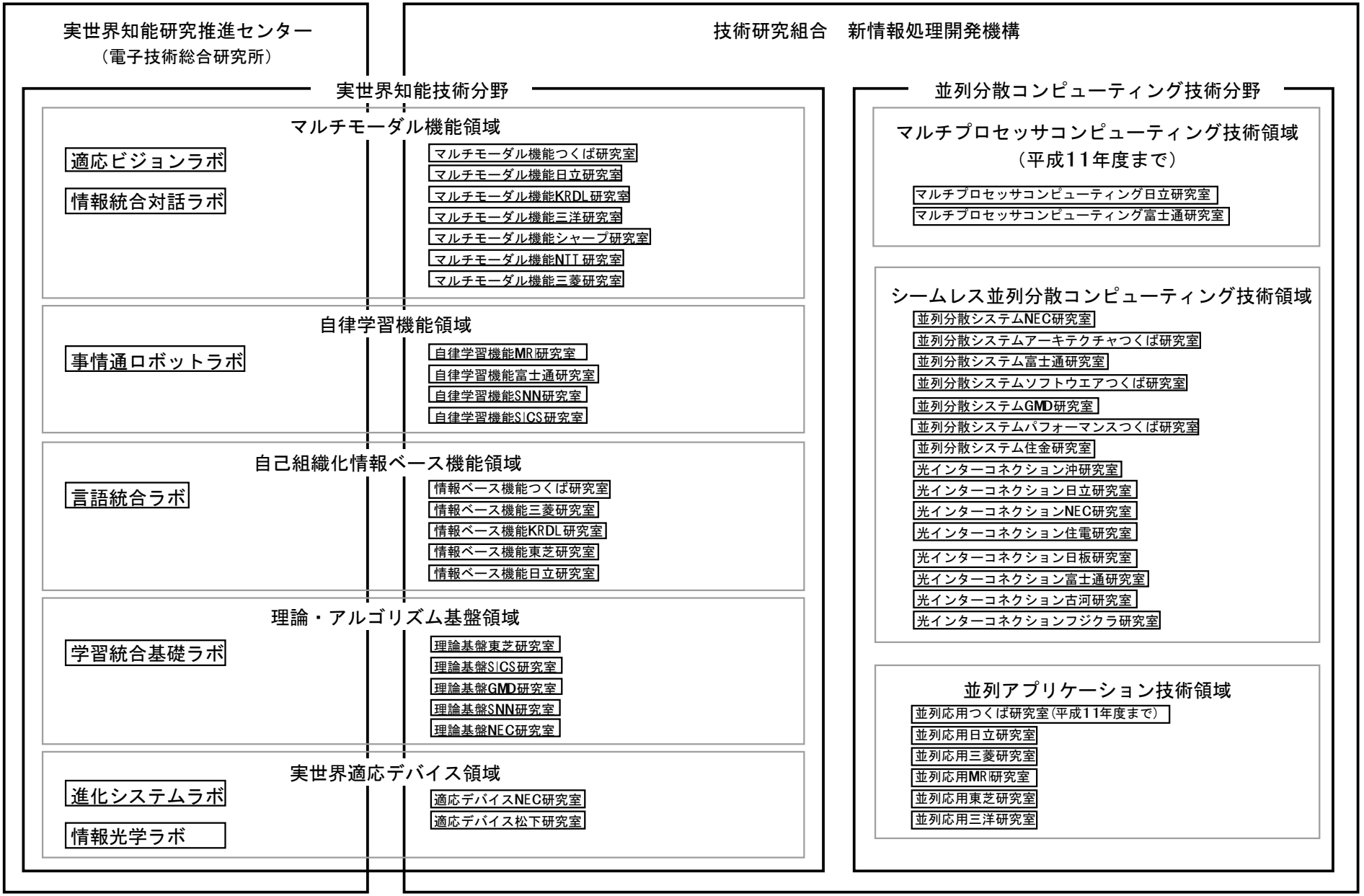

通商産業省
Ministry of International Trade and Industry
Research/Evaluation
委託
Contract
電子技術総合研究所
Electrotechnical Laboratory
実世界知能研究推進センター（RWI センター）
Real World Intelligence Center (RWI Center)
共同研究
Collaboration
技術研究組合　新情報処理開発機構
Real World Computing Partnership
再委託
Subcontract
国内大学／海外大学
Domestic and overseas universities

図3　研究開発体制

図４　研究開発グループの全体像



Ⅱ. 研究成果

A. 実世界知能技術分野

A-1. マルチモーダル機能領域

A-2. 自律学習機能領域

A-3. 自己組織化情報ベース機能領域

A-4. 理論・アルゴリズム基盤領域

A-5. 実世界適応デバイス領域

B. 並列分散コンピューティング技術分野

B-1. シームレス並列分散コンピューティング技術領域

B-2. 並列アプリケーション技術領域

A. 実世界知能技術分野

A-1. マルチモーダル機能領域

A-1-1 言語的ジェスチャ把握（マルチモーダル機能日立研究室）

◆目標

手話において、手指動作と非手指動作(うなずき・表情・口形など)が伝える言語情報(マルチモーダル情報)を統合することにより、高度な手話認識機能を実現する。

◆アプローチ

(1) 手指動作による文法情報(語順、動作位置、ポーズ、指差)を統合する知識表現および手話認識方式の開発
(2) 非手指動作による文法情報を統合する知識表現および手話認識方式の開発
(3) 手話の概念構造を統一的に記述することができる知識表現および手話－日本語通訳方式の開発
(4) 手指動作による手話認識方式を応用した試験運用システムと、手指動作と非手指動作を統合する手話－日本語通訳方式を応用した手話通訳プロトタイプシステムの構築

◆研究計画概要

(1) マルチモーダル情報統合による手話認識方式の開発および手話－日本語通訳方式の開発
(2) 試験運用システムによる手話認識方式の実世界における評価と、手話日本語通訳方式に基づく手話通訳プロトタイプシステムの開発

◆研究計画内容

(1) 手指動作による文法情報を統合する手話認識方式の開発
手話における手指動作による文法構造の解析(語順、動作位置、ポーズ、指差)を行い、それらを統合した手話認識方式を開発する。
(2) 非手指動作による文法情報を統合する手話認識方式の開発
聴覚障害者による手話発話データの収集を行い、非手指動作(うなずき、眉の動き、口形、視線など)に関して解析を行い、手話文法規則を抽出する。また、非手指動作は動画像から認識を行うことを検討する。
(3) 手話の概念構造を統一的に記述することができる知識表現および手話－日本語通訳方式の開発
抽出した手話文法規則に基づき、手指動作と非手指動作を統合するための手話知識表現および手話－日本語通訳方式の開発を行う。また、手指動作および非手指動作における副詞的な情報の統合も考慮する。
(4) 実世界における手話認識方式(手指動作のみ)の検証
手指動作に基づく手話認識方式の評価を行うために、実証システムを開発し、試験運用を実施する。聴覚障害者に対してヒアリングを行い、システムの設置場所、入出力形態などの仕様を決定する。試験運用により、手話データを収集し、手話認識方式の評価および問題点の抽出を行う。
(5)手話通訳プロトタイプシステムの開発
マルチモーダル情報を統合した手話認識方式の検証を行うため、手話通訳プロ

トタイプシステムを開発する。目標性能は、認識可能手話単語500～1000語、それらの手話単語で構成される手話文の認識率95%、応答時間1秒以内とする。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

本研究の成果である手話認識技術・手話－日本語通訳技術と、日立において開発中である日本語から手話への翻訳技術と組み合わせることにより、聴覚障害者と健聴者のコミュニケーションを支援するシステムが可能となる。さらに、情報システムのユーザインタフェースとして手話認識技術を応用することもできる。この結果、聴覚障害者の社会参加を加速し、聴覚障害者と健聴者の情報格差解消にもつながる。また、健聴者が手話を訓練するためのシステムへの応用も考えられる。健聴者が手話を学ぶ機会を増やすことにより、聴覚障害者に対する意識を高め、聴覚障害者と健聴者の間にある障壁を取り除く効果も期待できる。

◆成果概要

手話発話データの収集と解析を行い、解析結果に基づく手話－日本語通訳に必要となる手話文法を作成し、手話文法を導入した手話－日本語通訳方式を開発した。また、手指動作に基づく手話認識方式を応用した情報提供端末を開発し、試験運用を実施、問題点の抽出と認識方式の評価を行った。さらに、手指動作からの手話認識システムに画像認識による非手指動作認識を結合し、手話通訳プロトタイプシステムを構築する。

◆研究成果の内容

(1) 手話発話データの収集と解析と手話文法の作成 [1), 2)]

日本手話の文法の分析を目的に、ラベル付き手話コーパスおよび図1に示す手話文法解析ツールを開発した。約2500発話へのラベル付与結果から、日本手話においては50種類の非手指動作が存在することを確認した。

日本手話の言語現象のうち、文種と格関係に関する言語現象を分析し、非手指動作の取り扱いを中心に、句構造に基づく知識表現を試作し、記述能力の検証を行った。特に、日本手話における非手指動作のうち、出現頻度の高い頭部動作の種類と機能について分析を行い、頭部動作の機能には、手話句とよぶ、意味的な区切りに分割する機能と, 文中の手話単語の役割や文型を決定する機能があることを明確にした。

(2) 手話文法を導入した手話－日本語通訳方式の開発 [3)~6)]

非手指動作による文法情報を手話認識に導入する場合、うなづきや眉上げなどの非手指動作と、手指動作による手話単語の間の時間的な関係を解析するための動作境界の検出、および認識される手話単語候補の削減を行うことが望ましい。このため、手動作の境界を明らかにするセグメンテーション方式、および、手話単語が表現されている手の種類を判定する方式を開発した。その結果、前者では29%、後者では9%の認識率の改善が確認された。

さらに、非手指動作に基づく解析方式の開発に必要となる非手指動作の解析とルール化に関する検討を行い、手話句を導入した文脈自由文法に基づく手話文法規則を用いること、頭部動作を対応する手話単語や文の属性に変換し解析処理することを特長とする手話文構造解析方式を考案した。

これらを導入した手話認識システムの構成を図2に示す。

(3) 試験運用の実施 [7), 8)]

手話よる操作を可能とする情報提供システムを試作し、試験運用を開始した。本システムの構成を図3に示す。本システムでは、

1) 手話による質問文を認識し、質問文に対応する情報を検索する
2) ボタン上に書かれた単語を手話で表現することにより、ボタンを押す操作を代替する

が可能となっている。システムが解釈可能な手話文はあらかじめ決められた文のみである。

本システムは、H12年1月からH12年3月まで、長崎県諫早市役所において試験運用を実施した。試験運用のために設置したシステムの概観を図4に示す。このシステムには、52種類の質問文と268語の手話単語を登録している。検索できる内容は、長崎市、佐世保市および諫早市に存在する施設のバリアフリー情報となっている。

(4) 画像による非手指動作認識方式の統合 [9), 10)]

非手指動作認識方式を開発する産総研 RWI センタに対して、手話発話映像データおよび手話ラベルデータを提供し、産総研 RWI センタから手話認識用の頭部動作認識方式の供与を受けた。

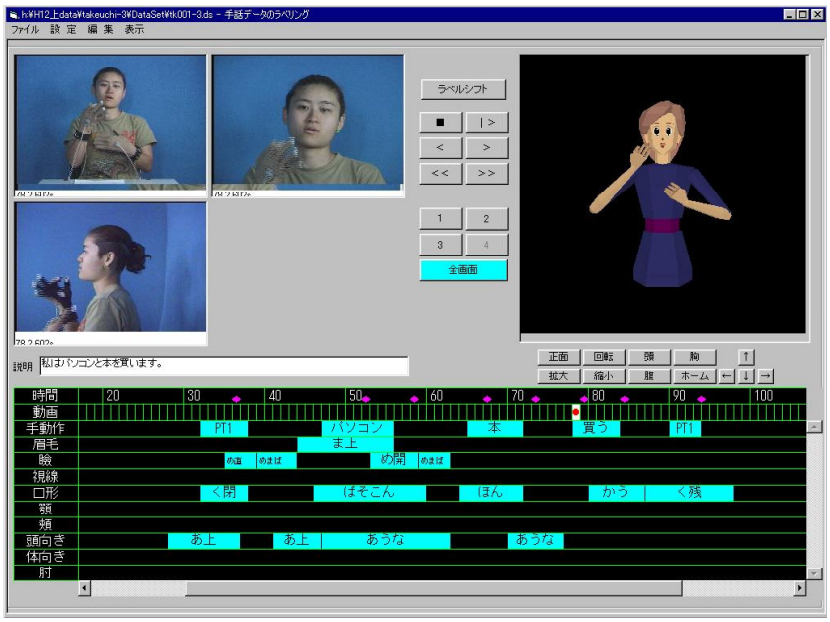


図1:手話文法解析ツール

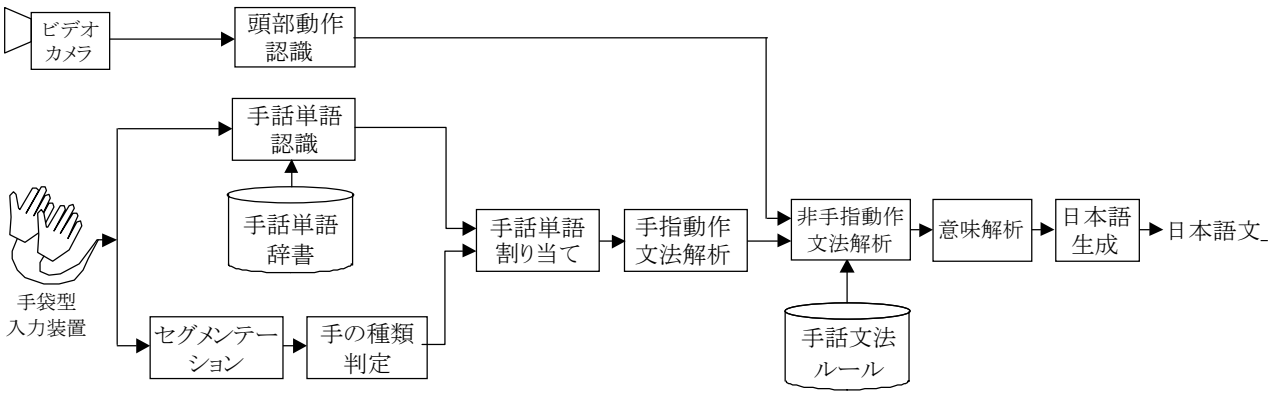


図2:手話文認識システムの構成

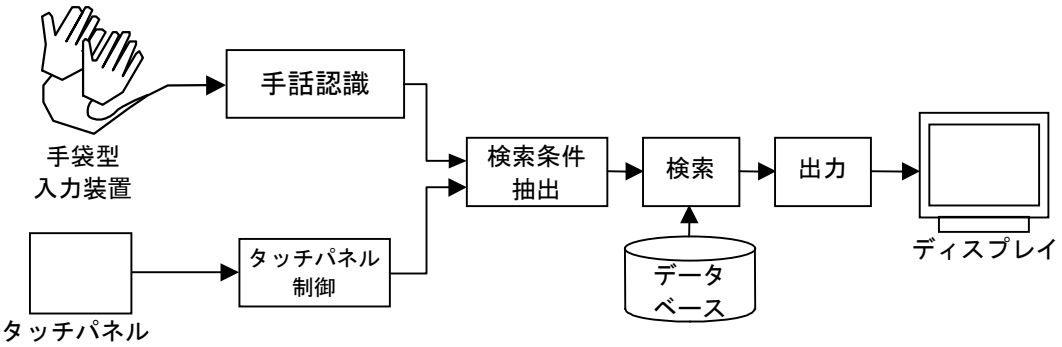


図3:手話対応情報提供端末の構成



図4:試験運用システムの概観

◆成果の意義

本研究の成果である手話認識技術・手話－日本語通訳技術と、㈱日立製作所において開発中である日本語から手話への翻訳技術と組み合わせることにより、聴覚障害者と健聴者のコミュニケーションを支援するシステムが可能となる。さらに、情報システムのユーザインタフェースとして手話認識技術を応用することもできる。この結果、聴覚障害者の社会参加を加速し、聴覚障害者と健聴者の情報格差解消につながる。また、健聴者が手話を訓練するためのシステムへの応用も考えられる。健聴者が手話を学ぶ機会を増やすことにより、聴覚障害者に対する意識を高め、聴覚障害者と健聴者の間にある障壁を取り除く効果も期待できる。

◆他機関との比較など

手話認識技術に関しては、国内では総務省通信総研が、海外では米国 MIT Media Lab.や仏国 LIMSI が研究を行っている。いずれも画像認識に基づく手話認識技術である。

本研究においては、手指動作の認識には手袋型入力装置を使用しておりデータの精度が画像認識より高いため、他の研究機関の技術より認識精度・認識可能語彙数の点で優れている。さらに、本研究では手指動作に基づく認識技術の実証実験を実施しており、実験レベルである他研究に比較し、一歩先のフェーズにあるといえる。

また、MIT の研究は画像認識の応用という位置付けであり、本研究におけるような手話の言語的な特徴に基づく研究は行われていない。総務省および LIMSI の研究では、手話の言語的な特徴を意識したシステム設計を進めているが、単語レベルの実装に留まっている。一方、本研究では一部ではあるが手話の文法規則を取り入れた認識方式の実装を完了しており、また、手話文法規則の解析も進めている。この点で、優位にあると考えられる。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】小泉敦子, 佐川浩彦, 竹内勝 :“ラベル付き手話コーパスの作成”, 第 6 回電子情報通信学会 福祉情報工学研究会, 2001 年.

【2】佐川浩彦, 小泉敦子, 竹内勝 :“手話発話データベースおよび手話文法解析支援ツールの開発”, 2001年電子情報通信学会総合大会, 2001 年.

【3】佐川浩彦, 竹内勝 : “手話認識における手動作セグメンテーション方式”, ヒューマンインタフェースシンポジウム 99 論文集, pp.749-754, 1999 年.

【4】H. Sagawa and M. Takeuchi : "A Method for Recognizing a Sequence of Sign Language Words Represented in a Japanese Sign Language Sentence", FG2000, 2000.

【5】佐川浩彦, 小泉敦子, 竹内勝, 徐明, 坂上勝彦 :“頭部動作と手動作の情報を統合した手話文認識システムの開発”, 福祉情報工学研究会, 2001 年.

【6】H. Sagawa and M. Takeuchi : "A Recognition Method of Sign Language Sentences for Japanese Sign Language Translation", JCIS2000, 2000.

【7】H. Sagawa, H. Ando, A. Koizumi, K. Iwamura and M. Takeuchi : "Sign Language Recognition and Its Applications", Proceedings of 2000 RWC Symposium, pp. 143-146, 2000.

【8】佐川浩彦, 安藤ハル, 小泉敦子, 岩村一昭, 竹内勝 :"手話認識技術とその応用システムの開発", 電子情報通信学会第2回福祉情報工学研究会, 2000 年.

【9】徐明, B.Raytchev, 坂上勝彦, 小泉敦子, 竹内勝, 佐川浩彦 :"日本手話自動通訳を支援するための頭部運動解析”, 計測自動制御学会第 51 回パターン計測部会研究会, 2000 年.

【10】Ming Xu, B.Raytchev, K.Sakaue, O.Hasegawa, A.Koizumi, M.Takeuchi and H.Sagawa : " A Vision-based Method for Recognizing Non-Manual Information in Japanese Sign Language", Springer Lecture Notes in Computer Science 1948, pp.572-581 (Third International Conference on Multi-modal Interfaces, Beijing, China, Oct.14-16, 2000.

A-1-2 非言語情報マルチモーダルインタフェース(マルチモーダル機能シャープ研究室)

◆目標

(1)抑揚やしぐさ等の非言語情報をベースにした、マルチモーダル情報の最適なやり取りの枠組を構築することで、人間と機械の間に円滑なインタフェースを実現する。
(2)人間と機械の間の対話モデル構築に必要な、人間同士のマルチモーダル対話データベースを作成する。

◆アプローチ

(1)自律性を持ち、マルチモーダル情報の統合処理に適した対話処理モデルの構築
(2)人間同士のマルチモーダル対話過程の収録とデータベース化
(3)種々のタスクへの対話処理モデルの適用と検証。言語と非言語の統合モデルへの拡張
(4)(2)に基づき対話解析の自動化及び対話処理モデルのパラメータ自動獲得を行う。

◆研究計画概要

(1)マルチモーダル対話処理モデルの構築:非言語処理モデルと言語処理モデルを組み合わせ、双方を統合的に取り扱う対話処理モデルを構築する。
(2)マルチモーダル対話過程の解析:対話データを基に、あいづちや発話交代を引き起こしやすい言語・非言語情報の要素を分析し、対話処理モデルに反映する。
(3)マルチモーダル対話データベースの構築:人間同士の対話を収録し、音声・画像・動きのデータから構成されるマルチモーダル対話データベースを構築する。

◆研究計画内容

(1)マルチモーダル対話処理モデルの構築:人間同士の対話の分析で得られた知見を手掛かりに、非言語処理モデルと言語処理モデルを組み合わせ、双方を統合的に取り扱う対話処理モデルを構築する。また、身振りや手振りを取り扱い、音声と組み合わせた柔軟なシステムの構築を行う。
(2)マルチモーダル対話過程の解析:対話における人の音声・動画データおよび動きの向きや速さの数値データから、パラメータ相互関係を解析する方法を提案する。この解析方法を用いて、対話の制御に重要な役割を果たしているあいづちや発話交代を引き起こしやすい言語・非言語情報の要素を分析し、対話処理モデルに反映する。
(3)マルチモーダル対話データベースの構築:人間同士の対話を収録し、音声・画像・動き(身体各部の3次元座標)のデータから構成されるマルチモーダル対話データベースを構築する。収録した対話データは、発話内容の書き起こしを行い、言語情報についての分析を容易にする。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

誰もが使いやすいユーザインタフェースを提供するものであり、これにより、音声・ジェスチャなどのマルチモーダル情報を使って友だちとおしゃべりするように、機械と楽しく対話ができるようになる。機械に不馴れな人でも将来の情報機器の操作が楽

しく容易に行えるようになる。電子ペット・ゲームなどのエンタテインメント分野、情報家電機器のインタフェースエージェント、さらには介護・医療ロボット等への応用が期待できる。

◆成果概要

(1)マルチモーダル対話処理モデルの構築:力学系に基づく非言語処理モデルとフレームに基づく言語処理モデルを統合した対話処理モデルを構築した。本対話処理モデルとジェスチャ認識機能を1台の PC 上に実装し、ユーザと自然な対話を行いながらインターネット検索を行う、プロトタイプシステム「MAICO」を開発した。
(2)マルチモーダル対話過程の解析:対話過程の音声、動画像、動きに関する数値データを分析するツールを作成し、これを用いて発話交代時における頭部・胴体・手の特徴的振舞いに関する知見を得た。また、あいづちの種類(機能)と挿入タイミング、及び「話し手・聞き手の情報量」との関係を分析した。
(3)マルチモーダル対話データベースの構築:マルチモーダル対話データ収集システムを構築し、35 組(70 名)の人間同士の対話と、35 名のプロトタイプシステム「MAICO」との対話を収録した。また、人間同士の対話データを基に、「音声・動画像・身体各部の3次元座標、発話内容書き起こし」から構成されるマルチモーダル対話データベースを構築した。

◆研究成果の内容

(1)マルチモーダル対話処理モデルの構築:

対話における音声の抑揚やしぐさ等の非言語情報を扱うために、力学系を用いた非言語処理モデルを構築した。

人間同士の対話では、様々な言語情報と非言語情報を通じてコミュニケーションをとっている。当研究室では、特に非言語情報の役割に注目し、人間同士の対話から知見を得て研究を進めている。そのため、人間同士の対話過程の音声、画像、身体各部の3次元座標、発話内容などを収録したデータベースを作成、分析を行っている。平成 9 年度の成果で、音声のピッチ情報を抽出したものに対して被験者があいづちを打つことが可能であり、そのあいづちタイミングは言語情報が含まれる通常の音声の場合より一致度が高いことが分った。このことは、音声の非言語的な情報に対して人は同じようなタイミングであいづちを打つことを示している。しかし我々は発話に反射的にあいづちを打つのではなく、あいづちを打つ側の状態に依存するとの仮説を立てて研究を進めている。そこでモデルパラメータの設定に先立ち、より詳細にピッチ情報に対するあいづちについて分析を行った。その結果、あいづちが発話に応じて打たれるものと、あいづちを打つ側のある種のリズムによって打たれるものとがあることが示唆され、我々の仮説を裏付けるものとなった。そこで、あいづちを打ちたいという気持ちを仮定した場合、発話者の発話を受けることで、聞き手のあいづちを打ちたいという気持ちが盛り上がるが、あいづちを打つことでその気持ちが放出されるという非言語処理モデルを提案した【13】【14】【21】。すなわち、このモデルは、システムがある種の感情に対応する内部パラメータを持ち、その変動を時間による微分方程式を用いて記述し、ユーザからの入力に単純に反応するだけでなく、システム自身の状態に従って振舞いを変え、非言語的なコンテキストに適応した振舞いを表現することを目指すものである。方程式の各係数は、インタフェースの気持ちの動きを規定することから、いわば個性のようなものであり、このパラメータは対話データの解析結果を反映させると共に、対話過程で学習を行うこと

によって、それぞれの個性に依存した、ユーザ独自のインタフェースとして変化する。

この力学系を用いた非言語処理モデルをベースに、あいづちや豊かな表情を交えながらユーザと円滑な対話を行い、所定のタスクを実行するプロトタイプシステム「MAICO」(図 1)を開発した【2】【16】【19】。システム構成図を図2に示す。このプロトタイプシステムでは、ジェスチャ及び音声を入力する。この入力は、対話処理モデルによってあいづちのタイミング・感情等の生成と、発話内容とが統合的に処理され、擬人化インタフェースの動作・発話によって表現される。対話処理モデルは、言語処理モデル・非言語処理モデルから構成され、それぞれ意味に関する処理、相槌のタイミングや感情に関する処理が行われる。この時、非言語処理モデルにおける相槌タイミングは、マルチモーダル対話データベースからの知見をもとに生成される。また、言語情報モデルにおける意味処理は、音声認識・身振りの認識結果を元に、タスク情報と合わせて処理される。

対話過程において、種々のタスクを達成するための重要な点は、擬人化エージェントの詳細な描写や対話過程の模倣ではなく、擬人化エージェントの情報伝達能力とその伝達効率を向上させる仕組みにある。そのためにはある特定のタスク処理を前提とした言語情報と非言語情報を統一的に扱う枠組みが必要不可欠である。ここでのタスク処理とは、あらかじめ定められたシナリオや手続きに従って、ある目的を達成するための手段である。

まず、このタスク処理に、音声認識を用いたユーザの発話内容を処理する言語情報処理メカニズムの導入を試みた。ユーザの発話中から時間／場所／誰の情報を常に抽出するという方式を採用した。この方式は、システムが発話権を持ち、ユーザに発話を促すという対話には非常に有効であるが、発話の主導権がユーザに移った場合、臨機応変にシステムが発話内容に対応できないという問題点があった。そこで、この問題を解決し、あらゆるタスクに対応するため、以下の機能を追加し、より広範囲なタスクへの対応を目指しユーザの発話内容に応じた対話処理メカニズムの導入を試みた【21】【22】。

1). オートマトンによる状態遷移の記述
2). キーワード抽出による意味の同定

上記の機能を追加することにより、より複雑なタスクの表現が可能になるとともに、ユーザとシステムとの間の発話権の移動が可能になった。オートマトンによる状態遷移記述とスロットによるキーワード抽出を用いたことで、入力されたユーザの発話内容(音声認識結果中に含まれるキーワード)により応答を柔軟に変化させることが可能になった。さらに、条件付きスロットを採用したことにより、同音異義語などのキーワードを記述できるようになった。また、デフォルトスロット値の採用は、あらかじめ妥当と思われる値が設定されているため、必要とされる情報が入力されなくても、自動的に対話の進行を行うことが可能になった。

プロトタイプシステムでは、オートマトンにより、複数のタスクを同時に制御できるようにした。タスクは「フリー対話、展示コーナーの紹介、ハンバーガーショップの応対」とした。本プロトタイプシステムは、現在、音声認識エンジンの認識語彙を制限することで認識率の向上・認識時間の削減を実現している。

平成12年度には、ユーザとシステムの対話を円滑にするために、あるキーワードに対する反応を対にして登録しておき、ユーザ発話のキーワードに反応してシステ

ムが応答できるようなシナリオの構成に改良した。これにより、対話のタスクを限定することなく、ユーザのどんな発話でも受付け、システムとの間に円滑な自由な対話が実現できるようにした。現在は、ユーザ発話中に天気やテレビ番組に関連したキーワードが現れると、対話中の天気情報あるいはテレビ番組の検索のタスクに移行できる設計にしてある。検索のタスクでは、実際にインターネットに接続し、リアルタイムな情報をダウンロードできるようにした。また、ユーザの割込みを受け付ける機能や自律的な問い掛けをする機能を付加した。

また、動画像を使って、対話中に発生する身振りのうち同意、否定など言語的な意味を持つものを認識できるようにした。同時に、顔の位置を推定することができるようにした。擬人化エージェントの動きについては、動きをよりリアルなものにするために、人間同士の対話を収録したマルチモーダル対話データベースのモーションデータを CG に取り込んだ。

さらに、それまでワークステーション上で行っていた開発を PC に移行し、より使いやすいパーソナルなプロトタイプシステムを実現した。音声認識、ジェスチャ認識、CG エージェント合成出力、音声認識結果、音声のパワー・ピッチ、タスクに関するシナリオを用いた対話処理をすべて 1 台の PC で行っている【5】【6】【8】【9】。



図 1 プロトタイプシステム「MAICO」

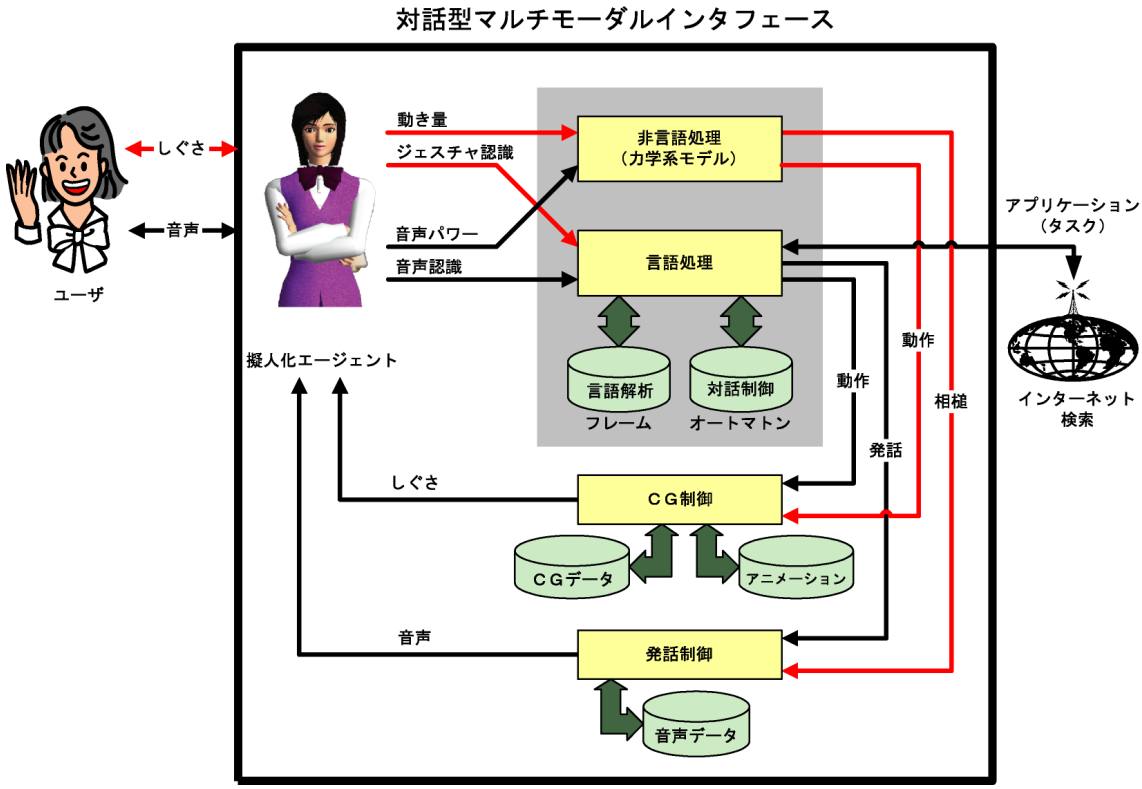


図 2 システム構成

(2)マルチモーダル対話過程の解析:

当研究室では、人間同士の対話過程を収録したデータベースを作成、分析を行っている。

まず、人間が話し相手に対してどのようなタイミングであいづちを挿入しているかを、「VTRの話者に対してあいづちを打つ」というタスクで調べた。被験者に提示する条件を、1)VTR映像＋音声、2)VTR映像＋音声ピッチ、3)VTR映像、4)音声、5)音声ピッチ、とし、被験者間のあいづち位置の相関や回数を分析した結果、発話すなわち言語情報だけでなく、話し相手の頭の動きや音声ピッチ等の非言語情報も利用してあいづちを打っていることを確認した【11】。

また、対話データ収録システムにモーションキャプチャシステムを導入し、音声、画像データと同時に、身体各部の3次元座標を自動的に収集できるようにし、対話データに含まれる音声、画像、身体各部の3次元座標、発話内容などを解析するツールを作成した。

次に、この対話データを用い、対話において目立つ行為であり、非言語的コミュニケーションの重要な機能を果たしていると考えられる頭部、胴体、手の動きに焦点をあてて、その動きの大きさと発話との関係について分析し、以下の結果を得た:

(a)頭部・胴体・手のいずれの動きも、聞き手の時よりも話し手の時により強く現れる傾向があること、また、その傾向が手の動きにより強く現れていることから、手の動きが発話内容そのものに関与しており、その機能が頭部や胴体と異なることが示唆された【17】。

(b)発話区間の開始直前に頭部が急に動き始め、開始直後に動きがピークに達すること、また、発話区間の終了直前にも、頭部が急激な動きを示すことが示唆さ

れた。また、胴体は、頭部のようなピークは示さないものの、発話区間直前にゆっくりと動き始め、発話区間中、動きつづけていること、また、発話区間終了直前にゆっくり動き始める傾向があることが確認された【18】【23】。

(c)発話区間の開始・終了において、頭部が動く傾向があるが【25】、頭部の動きは、発話交代の場合と発話継続の場合とで、あまり有意な差がないことが分かった。一方、胴体・手は、発話交代の場合は動きの大きさが減少するのに対し、発話継続の場合は減少することなく動き続ける傾向があることが分かった【3】。この結果は、発話区間の開始や終了時に頭部が動く傾向があるものの、システムとの対話において、ユーザの発話交代・継続を推定するには、各発話区間終了前後の胴体や手の動きの大きさを認識する必要があることを示唆している。また、システム側の CG エージェントの胴体や手の動きを制御することで、発話交代・継続の意志をユーザに提示できる可能性を示している。

次に、あいづちの種類（機能）と挿入タイミング、及び話し手・聞き手の情報量との関係を分析した。あいづちの機能を 9 種類（理解、継続、共感・同意、感情・感想、確認、肯定・承認、反射、間繋ぎ、自己）に分類し、これらあいづちの機能の違いにより、挿入されるあいづちの種類、および挿入のタイミングが異なることを確認した。また、話し手と聞き手の持つ情報量と、あいづちの種類、挿入タイミングとの関係を分析した。その結果、以下の傾向があることを確認した。(a)話し手の情報量＞聞き手の情報量:あいづちは相手発話末付近で挿入される場合が多い。(b)話し手の情報量＜聞き手の情報量:あいづちは相手発話中に挿入される場合が多い。(c)話し手の情報量＝聞き手の情報量:話し手と聞き手の間で情報の共有化が進んできている段階で挿入されるあいづちであるため、相手発話中でも挿入される場合が多い。

(3)マルチモーダル対話データベースの構築:

人間同士の対話に見られる音声や動きをうまく捉えられるよう、マイクとビデオカメラ、およびモーションキャプチャシステムを備えるマルチモーダル対話データ収集システムを構築した【4】【15】【21】。マルチモーダル対話データ収集システムは、二人が対話している様子の音声と動画像、および身体に装着したマーカー位置（上半身に 18 箇所）の 3 次元座標を、時間情報と共に自動的に取り込む。これにより、動画データ（顔、および全身）、音声データ、および 2 次データとして、音声パワー、音声ピッチ、身体各部の位置（3 次元座標）情報、テキスト情報（発話内容書き起こし）のファイルで構成されるデータベースを構築可能である。発話内容書き起こしはローマ字および仮名漢字で発話内容をテキスト化したものである。収録では、日頃よくおしゃべりをする間柄の二人にペアになってもらい、対話のタスクは限定せずに自由に対話をしてもらった。35 組（70 名）の対話を収録した。また、上記 1）で構築したプロトタイプシステムとの対話（「コーナー紹介」と「ハンバーガーショップ」のタスク対話）を収録した（35 名）。

◆成果の意義

誰もが使いやすいユーザインタフェースを提供するものであり、これにより、音声・ジェスチャなどのマルチモーダル情報を使って友だちとおしゃべりするように、機械と楽しく対話ができるようになる。子供からお年寄りまで、誰もが、将来の情報機器の操作が楽しく容易に行えるようになる。情報家電機器のインタフェースのみならず、電子ペット・ゲームなどのエンタテインメント分野、さらには介護・医療ロボット等への応用が期待できる。

また、音声・動画・身体各部の位置情報、発話内容書き起こしで構成されるマルチモーダル対話データベースが構築され、対話システムの開発者のみならず、人文系の対話研究者に供することができる。

◆他機関との比較など

(1)Cha'Pal (NTT):感情が伝わる音声対話
(2)C-Map (Context-aware Mobile Assistant Project) 展示ガイドシステム(ATR):
ユーザの興味や状況に応じた展示ガイド
(3)Pingu(ATR):対話での同期
(4)Blue Eyes 技術 (IBM):人の表情から感情や興味の認識

(1) (2)は音声認識の状況や対話の達成度、ユーザの興味などの言語情報を用いて、円滑な対話の実現を目指しているが、本研究では対話に含まれる非言語情報を用いることで円滑性を目指している。
(3)はエージェント間および人間とエージェントの間の社会性を中心に基礎的な研究を行っており、具体的なタスクに向けたシステムの構築の研究は行っておらず、実用化を目指した本研究と立場が異なる。
(4)はユーザの感情などを非言語情報からとらえ、インタフェースとして活用することを目指すプロジェクトで、高い目標を掲げているが、実現への道筋に具体性が乏しい。

概して、本研究ではインタフェースとして言語情報のみならず非言語情報の対話における役割を重視し、人間同士の対話を分析すると共に、力学系を用いた非言語処理モデルを提案、プロトタイプシステムとして実装を行っている点が他機関と異なる。

・成果の世界的な水準、学術的な業績、国際貢献等:

米国ノースカロライナ州アッシュビルで開催された国際ユーザインタフェース学会 12th Annual ACM Symposium on User Interface software and Technology【2】、および東京で開催されたインタラクション 2001【5】においてプロトタイプシステム「MAICO」のデモを行ない、非言語処理モデルの成果を披露。参加者から高い関心を得、擬人化エージェントのあり方について議論を深めた。

◆主要論文・成果発表・受賞等

成果物一覧
(1)査読論文一覧
【1】中沢正幸, 張建新, 岡隆一:"Topic Spotting and It's description of summary from spontaneous speech", Eurospeech'99, Vol.6,pp.2447-2450,

1999.
【2】向井理朗, 関進, 中沢正幸, 綿貫啓子, 三吉秀夫:"Multimodal Agent Interface based on Dynamical Dialogue Model", Proceedings of the 12th Annual ACM Symposium on User Interface software and Technology (CHI Letters, Vol1, Issue 1), pp.69-70, 1999.
【3】綿貫啓子、関進、三吉秀夫: "Turn Taking and Multimodal Information in Two-People Dialogue", Proceedings of the International Conference for Speech and Language Processing (ICSLP 2000), Volume I, pp.657-660, 2000.
【4】中村哲、綿貫啓子、竹沢寿幸、速水悟:“Multimodal Corpora for Human-Machine Interaction Research”, ICSLP 2000, Volume Ⅳ, pp.25-28, 2000.
【5】向井理朗、関 進、中沢正幸、綿貫啓子、三吉秀夫:”非言語情報を用いたマルチモーダル対話インタフェースの試作”、インタラクション 2001 論文集、pp139-140,2001
【6】中沢正幸, 向井理朗, 綿貫啓子, 三吉秀夫 : ”Believable Agent Interface with Multimodal Communication”, CGIM2001, (to appear), 2001.
【7】中沢正幸, 岡隆一 : ”The Slot Expression for Topic Spotting and Topic Summary in Spontaneous Speech”, MFI2001, (to appear), 2001.
【8】中沢正幸, 向井理朗, 綿貫啓子, 三吉秀夫 : ”Multimodal Agent Interface for Communicationt”, EUROSPEECH2001, (to appear), 2001.
【9】中沢正幸, 向井理朗, 綿貫啓子, 三吉秀夫 : ”Anthropomorphic Agent and Multimodal Interface for Nonverbal Communication”, PCHCI2001, (to appear), 2001.

(2)その他論文一覧

【10】坂本憲治、関進、日出晴夫、綿貫啓子、木山次郎、外川文雄:"対話データベースに基づくマルチモーダル実験システム"、画像ラボ、Vol. 8, No. 10, pp.20-23, 1997.
【11】綿貫啓子、関進、木山次郎、荒巻隆志:"あいづち位置の考察"、日本音響学会春季研究発表会、1998.
【12】木山次郎、関進、綿貫啓子、日出晴夫、荒巻隆志:"Human Interface Based on Nonverbal Information"、RWC Symposium'98 1998.
【13】関進、木山次郎、日出晴夫、綿貫啓子、 荒巻隆志:"力学系モデルに基づくリズムのあるヒューマンインタフェース"、情報処理学会 ヒューマンインタフェース研究会 音声言語情報処理研究会 合同研究発表会、1998.
【14】関進、綿貫啓子、中沢正幸、向井理朗、三吉秀夫:"力学系対話モデルを用いた相槌システム"、情報処理学会全国大会、1999.
【15】綿貫啓子:"モーションキャプチャを用いたマルチモーダル対話データの収集"、第 3 回社会言語科学会大会シンポジウム、1999.
【16】向井理朗, 関進, 中沢正幸, 綿貫啓子, 三吉秀夫:"力学系モデルに基づくマルチモーダル対話システムの試作", 人工知能学会全国大会, 1999.
【17】綿貫啓子, 関進, 三吉秀夫:"ヒューマンインタフェースのための人間の振舞いの解析-マルチモーダル対話データの解析-", 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会報告, 99-HI-84, pp.25-30, 1999.

【18】綿貫啓子, 関進, 三吉秀夫:"発話時の人間の振舞い-マルチモーダル対話データの解析-", 人工知能学会言語・音声理解と対話処理研究会, SIG-SLUD-9902, pp.49-54, 1999.
【19】向井理朗, 関進, 中沢正幸, 綿貫啓子, 三吉秀夫:"感情を持つマルチモーダル対話エージェントシステムの提案", 人工知能学会言語・音声理解と対話処理研究会, SIG-SLUD-9902, pp.11-15, 1999.
【20】綿貫啓子, 関進, 三吉秀夫:"Multimodal Dialogue Analysis", Advance Information Technology in Japan Series,（未定）
【21】関進, 綿貫啓子, 中沢正幸, 向井理朗, 三吉秀夫: "Multimodal Agent Interface for Communication", RWC2000, TR-99-002, pp.135-138, 2000.
【22】中沢正幸, 向井理朗, 関進, 綿貫啓子, 三吉秀夫:"マルチモーダル対話システム", 情報処理学会音声言語情報処理研究会, 2000-SLP-30, pp.35, 2000.
【23】綿貫啓子, 関進, 三吉秀夫:"発話交代時に現れる動作の特徴", 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会, HIP99, Vol.99, No.582, pp.59-64, 2000.
【24】三吉秀夫:"円滑な対話機能を持つインタフェースエージェント", 「次世代ネットワークと産業フロンティア情報技術に関する調査研究-ネットワークエージェント技術-」報告書, 1999.
【25】綿貫啓子, 関進, 三吉秀夫:"対話過程における身体の動きと音声との関係", 第 14 回人工知能学会全国大会, pp.422-424, 2000.
【26】三吉秀夫, 綿貫啓子, 中沢正幸, 向井理朗:“人とコンピュータとの自然な対話”,
映像情報メディア学会誌, 第 55 巻, 第 10 号, 2001 年 10 月(発表予定).

A-1-3 人間のマルチモーダル情報処理（マルチモーダル機能NTT研究室）

◆目標

人間がマルチモーダル情報処理を進めているときの脳活動を非侵襲的に観測し、人間のマルチモーダル情報処理、特に視覚・聴覚に関連する情報処理の脳活動部位・特性を推定する。そのための解析技術を開発し、解析時間を従来の3～5分の1として、被験者一人当たりの解析時間を48時間程度に短縮することを目標とする。

◆アプローチ

解決課題： 人間の脳の活動を効率よく客観的に解析する手法を確立すること、並びに、それを用いて人間の視覚・聴覚・マルチモーダル情報処理に関与する脳部位を見つけ、その特性を明らかにすること。

研究手法： 人間の脳活動に伴って発生する脳磁界に着目し、その計測法、解析法を開発するという工学的手法を採用する。また、その計測・解析法を用いて人間を調べ、その脳の特性を明らかにするという生理心理学的手法を用いる。

技術的背景： 近年の技術の進展に伴い、人間の脳機能を非侵襲的に計測することが可能となってきた。しかし、その手法には時間がかかる、客観性に乏しい、脳の視覚・聴覚高次機能、マルチモーダル機能が明らかになっていないといった点が解決すべき問題として指摘されていた。

ブレークスルー ポイント及び克服手法： 解析基準を明確化すること、統計的手法を取り入れることなどにより、客観的で高速な解析法を開発すること、及び、斬新な実験パラダイムにより人間の視覚・聴覚高次機能、マルチモーダル機能に関与する脳部位を推定すること

◆研究計画概要

人間の視覚・聴覚情報処理に関連する脳活動を計測し解析する。その高速かつ客観的な解析システムも併せて開発する。脳活動の計測解析に関しては、視覚・聴覚共に複数個の情報を処理するときの活動部位を推定する。さらに、視覚情報と聴覚情報を同時に処理するときに活動する脳部位を推定する。

新規性： 客観的な解析基準を導入した点。

独創性： クラスタ解析・統計処理を導入してより客観的な活動部位を推定する点。

アピールポイント： 開発した新しい解析法により視聴覚統合に関連する脳活動部位を推定した点。

◆研究計画内容

下記の項目に対応する低次情報処理機能、高次情報処理機能の特性解析を進め、マルチモーダル処理のメカニズムを推定すると共に、解析システムの構築を進める。

(1) 被験者に与える聴覚刺激の物理的特性（呈示時間、呈示間隔、呈示確率など）をパラメータとして変化させ、対応する脳反応の変化を記録して、物理的な入出力関係をできるだけ定量的に記述する。

(2) 被験者に与える視覚刺激、聴覚刺激と脳内の活動部位との対応関係を把握

する。与えた刺激の処理にはある程度の時間を要するが、脳の活動部位は、その情報処理の進展に伴い脳内を移動する。その移動の経路、移動の時間、移動による活動度の変化などと、与えた刺激との関連を定量化する。

(3) 視覚刺激、聴覚刺激に変化を与え、その変化に対処する脳の活動を定量化する。変化量、変化の次元、変化の種類などをパラメータとして、脳の活動度、活動経路等との関係を把握する。

(4) 視覚・聴覚機構における認知(文字認知、音声認知など)、作業記憶、また視覚・聴覚融合刺激処理といった高次活動に関連する脳反応を測定し、その解析結果から、高次活動の特性を推定する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

マルチモーダル機器は人間を対象としたものであり、人間の視聴覚特性に合って初めて満足のいく装置となる。従って、視聴覚刺激呈示に対する健常者の脳の反応を直接非侵襲的に計測し解析することは、人間の視聴覚反応特性を見る上で重要である。すなわち、利用者側から見た場合、自分たちの特性に合ったマルチモーダル機器が手に入るようになるという点に本研究の意義がある。例えば、視覚・聴覚刺激を同時に呈示する実験の成果に関しては、マルチモーダル機器での呈示手法決定などの応用分野が考えられる。

◆成果概要

視覚・聴覚機能解析の研究、そのための測定解析システム構築を進めた。具体的には、聴覚機能解析研究では、音が消えるときの脳反応、/ra/, /la/に対するアメリカ人と日本人の脳反応の差異、視覚機能解析研究では、複数個の視覚パタン認知、文字認知に関連する脳活動部位の推定の研究を進めた。さらに、視覚と聴覚刺激を同時に認知するときの脳反応を計測解析した。解析システムの研究では、脳活動部位推定の誤差解析、多くの被験者間にわたる平均活動解析システム構築を進めた。

◆研究成果の内容

人間の脳におけるマルチモーダル情報処理, 視覚・聴覚情報処理のメカニズム, 特性の解析を目的とする研究を進めた. 特に, 高次の視覚・聴覚統合情報処理機構の解析を狙っており, 音節認知などの聴覚情報処理に関連する計測・解析, 文字認知などの視覚情報処理機構に関連する計測・解析を行なった. 最初に成果概要をリストアップし、その後で若干詳しい解説を付ける。

(1)多くの活動部位がある場合に, 局所的に単一活動部位があると仮定して逆問題を解いた場合の誤差を求めた。

(2)多くの被験者にわたる一般的な傾向をつかむための、被験者間平均活動解析システムを構築した。

(3)音を聞いているときにその音が消えるときの反応を解析し、その反応が現音ばかりではなくその前に聞こえていた音の影響を大きく受けることを示した。

(4)音節「あ」「お」及びその中間音を認知する実験で、左右耳刺激に対し共に、刺激後 0.1～0.4 秒で上側頭部、頭頂葉下部に活動が見られた。

(5)/ra/、/la/の違いに対するアメリカ人の反応の方が日本人よりも大きい、日本人にも小さいながら反応が見られるという結果を得た。

(6)複数個の視覚パタンを認知するときに、後頭葉正中付近、後頭葉外側部、脳

底部、後頭頭頂部、下頭頂部に、より大きな活動を認めた。
(7)文字(平仮名, 漢字)を認知するとき、一側もしくは両側の腹側・背側視覚経路、縁上回、上側頭皮質が活動する(100−400 ms)という結果を得た。
(8)視覚と聴覚の情報を同時に処理するときに、左右外側溝、左右下前頭溝で、より大きな活動を認めた。

1) 解析システム 【文献 1)-4)】

(a) 単一 ECD モデルの誤差解析 【文献 1)-3)】
【実験内容】
脳内に複数個の活動源がある時に, その活動部位を, 単一活動源モデルで推定した場合の誤差を検討した. 基本的な場合として, 脳内に2個の活動源がある場合を想定したシミュレーションを行ない, その計算解と設定した活動源との誤差を計算した.
【実験結果】
ノイズがない場合に, 2個の活動源の距離が 2ー4 cm のときには, その推定誤差は約 5ー10 mm, 2個の活動源の距離が 5ー8 cm のときには, その推定誤差は約 5 mm 程度であることが分かった. 単一活動源モデルを用いて, 複雑な脳活動を推定しても, 実用的には十分な精度が得られることが分かった.
(b) 被験者間平均活動解析 【文献 4)】
【実験内容】
数名以上の被験者の計測結果から, その被験者間の平均的な活動を得るために, 被験者頭部と計測チャネルとの位置関係を一定に修正するアルゴリズムを開発し, シミュレーションデータに対してその効果を調べた.
【実験結果】
これまでの 33 実験での頭部位置の平均値Mと標準偏差 σ を求めた. 頭部位置が1σ, 2σ ずれたときと平均位置の時を比較すると, その一致度(goodness-of-fit)は 75-96%と悪い. しかし, 開発した方法でそのずれた位置を平均位置に修正すると, 一致度は 99-100%となり, 被験者間の平均計算が可能となった.

2)聴覚情報処理 【文献 5)-17)】

(a) 消音に対する反応 【文献 5)-8)】
【実験内容】
2種類の純音, 短音(長さ0.2 s, 周波数 1.0 kHz), 及び長音(長さ0.2, 1.2, 2.2 s, 周波数 1.0 kHz)を刺激とした. この2種類の刺激音を, 一定間隔 1.0 s, ランダム順で, 8名の被験者の左耳に呈示した. 長音の長さは, ブロック1では 0.2 秒, ブロック2では 1.2 秒, ブロック3では 2.2 秒とし, 一つのブロック内では, 一定の長さの長音を呈示した.
長音刺激及び短音刺激の直後の短音刺激の立下がり(消音)に対する脳磁界反応(それぞれ長音短音反応, 短音短音反応と呼ぶ)を, 磁気シールドルーム内の全頭型脳磁界計測装置(Neuromag-122, Neuromag, Ltd., Finland)を用いて計測した. 被験者は自分で選んだ本を読み, 刺激には注意を払わないように教示した.

【実験結果】

短音消音後約 100 msの最大反応を比較した結果，長音短音反応では，長音の長さの効果が有意であり，長音が最も長いときに最も大きな反応が得られた．一方，長音短音反応は，ブロック3で有意に短音短音反応より大きかった．

従って，刺激系列全体の特徴というよりは，着目している刺激の直前の刺激の特性が着目している刺激に対する反応に与える効果がより強いことが分かる．重要な情報の直前に，何らかの刺激を与えることは，その重要な情報に対する反応に何らかの効果を与える意味で必要であり，またこれは注意の観点からも必要かも知れない．

(b) 音節認知 【文献 9)-11)】

【実験内容】

女性が静かに発声した音節「あ」と「お」の第1ー4フォルマントまでを求め，「あ」と「お」のフォルマントの差を均等に4分割して合成した「あ」，「お」，及びその中間音3種類（「あぉ」:若干「お」に寄った「あ」，「あお」:「あ」と「お」の中央音，「おぁ」:若干「あ」に寄った「お」の3種類）を刺激とした．これら5音声の強さは一定とし，呈示時間は 200 ms，立ち上がりは 10 ms，線形で統一した．音声の呈示間隔は 1.3~1.5 秒の間でランダムとし，被験者の片方の耳に呈示した（右耳:実験1，左耳:実験2）．これら5種類の音に対して，被験者（9名）が，「あ」と聞こえたか，「お」と聞こえたかを答えるときの誘発脳磁界反応を計測・解析した．計測は磁気シールドルーム内の全頭型脳磁界計測装置（Neuromag-122, Neuromag, Ltd., Finland）を用いて行なった．

【実験結果】

右耳刺激（実験1），左耳刺激（実験2）共に，刺激後，約 100 msで，左右側頭部から大きな磁界反応が得られた．右耳刺激では左右半球の差異は見られなかったが，左耳刺激では右半球の反応の方が有意に大きかった．また，5種類の音節に対する反応にも有意差があり，「あ」に対する反応が最も大きかった．

右耳刺激（実験1），左耳刺激（実験2）共に，刺激後 0.1～0.4 秒の間上側頭部に活動源が推定され，また，頭頂葉下部にも活動を示した被験者が見られた．これらの領域が音節認知に関与していると考えられる．

(c) /ra/, /la/認知 【文献 12)-17)】

【実験内容】

第1～5フォルマントを用いて，音節/ra/と/la/，及びその中間音（第2，3フォルマントを変化:合計で9個）を計算機で合成する．これらをアメリカ人，日本人が識別するときの正答率，誘発脳磁界反応を計測・解析した．計測は磁気シールドルーム内の全頭型脳磁界計測装置（Neuromag-122, Neuromag, Ltd., Finland）を用いて行なった．

【実験結果】

アメリカ人は，/ra/と/la/のちょうど中間の音節で，その認知が/ra/100%から/la/100%へ急激に変化したが，日本人ではその変化は曖昧で/ra/も/la/も 80%程度の認知率であった．脳磁界反応では，/ra/と/la/の変化に対して，アメリカ人は大きな反応を示し，また，日本人も小さいながら反応を示した．日本人でも/ra/と/la/の識別が可能であることを示している．

3)視覚情報処理 【文献 18)-27)】

(a) 複数視覚パタン認知 【文献 18)-20)】

【実験内容】

視覚パタン1個は認知できるが2個以上になると認知できないという症状を呈する患者がいる．複数個の視覚パタンを認知する機構を調べる第1歩として，複数個視覚パタン認知実験を行なった．5個の凸図形を，原点（固視点），及び第1，2，3，4象限に呈示し，そのうちの固視点上の1個を認知する場合と5個全てを認知する場合の脳活動を比較した．

【実験結果】

5個の視覚パタンを認知するときに，後頭葉正中付近，後頭葉外側部，脳底部，後頭頭頂部，下頭頂部でより大きな活動を認めた．これらの領域が複数個の視覚パタンを認知する活動に関与しているようである．

(b) 文字認知 【文献 21)-27)】

【実験内容】

「し」，「き」の読みを持つJIS第一水準の漢字各々10個（紙，始，私，師，死，資，志，詩，誌，詞； 奇，危，気，期，基，記，喜，機，季，起），及び，母音が「あ」，「お」となる平仮名各々10個（あ，か，さ，た，な，は，ま，や，ら，わ； お，こ，そ，と，の，ほ，も，よ，ろ，を）を刺激とした．実験1（漢字実験）では，上記の刺激の中から4文字をランダムに選び，「し」と読む文字の個数が1～3個となるように調整した．実験2（平仮名実験）では，母音が「あ」となる文字の個数が1～3個となるように調整した．被験者は「し」と読む文字が4個中何個であるか（実験1），母音が「あ」となる平仮名の個数が4個中何個であるのかをできるだけ早く反応キーで答えた．文字呈示に対する誘発反応磁界を，磁気シールドルーム内の全頭型脳磁界計測装置（Neuromag-122, Neuromag, Ltd., Finland）を用いて計測した．

【実験結果】

これまで言われていた，漢字処理が左腹側視覚経路，平仮名処理が左背側視覚経路という結果とは一致しなかった．漢字，平仮名共に，左右両半球で，腹側視覚経路，背側視覚経路，頭頂葉下部，側頭部上部の活動が見られた．漢字，平仮名の処理部位に差異は見られず，しかも，左半球のみではなく，右半球も活動するという結果となった．漢字，平仮名の処理部位に大きな差異が見られないというのは，最近の神経心理学的な症例報告にも見られるが，今後の課題である．

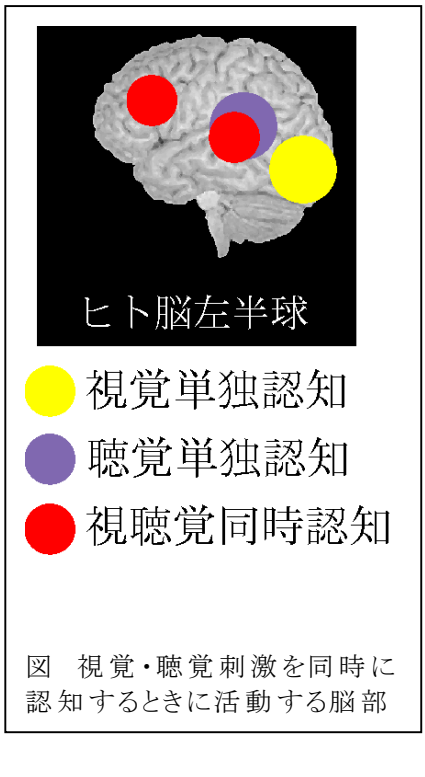


図 視覚・聴覚刺激を同時に認知するときに活動する脳部

4)マルチモーダル情報処理 【文献 28)】

(a) 視覚聴覚刺激同時認知 【文献 28)】

【実験内容】

視覚刺激と聴覚刺激を同時に認知する場

合にのみ特別に活動する脳領域，つまり，視覚刺激のみの認知，聴覚刺激のみの認知では活動しない，あるいは活動が弱い部位があるのだろうか？　そこで，視覚刺激のみ，聴覚刺激のみを認知する実験と，その両者を同時に認知する実験とを比較した．視覚刺激は平仮名の「あ」「え」「お」であり，聴覚刺激は同じく/a/，/e/，/o/の音節である．実験1では視覚刺激のみが呈示されてその平仮名を認知する，実験2では聴覚刺激のみが呈示されてその音節を認知する．実験3では両者が呈示され，両者が一致しているかどうかを認知する．

【実験結果】

視覚刺激，聴覚刺激を単独で認知しているときに比べ，視覚・聴覚刺激を同時に認知しているときに，左右の外側溝，左右の下前頭溝で，より大きな活動が認められた．これらの部位が同時認知に強く関与していることを示している．

◆成果の意義

これまでに得られた成果（脳磁界計測データ解析システム構築及びそれを用いた低次・高次脳機能解析）は，基本的には人間の脳内でどのように情報が流れて処理されているのかを推測することに大きく役に立つ．すなわち，その脳内情報処理様式の解明という科学的な意義，さらに，それをより高性能のマルチモーダル情報処理機器の設計製作に応用できるという意義があるものと考える．

ここに示した「音の終了に対する反応」「/ra/，/la/に対する反応」「複数個視覚パタン認知」「視聴覚同時処理」など，そのほとんどは世界でも最新の基礎的科学的データであり，新規制，革新性に富むことは明らかである．また，下記にも示すように，これらが基となって，多くの派生研究が開始されたり，あるいは，従来にない技術の開発に応用できるものと考える．

これら一連の研究は、多くの国内大学（東京電機大学、専修大学、東京大学、東京都立科学技術大学）、及び、海外の2大学（Helsinki University of Technology, University of Washington）との共同研究である。これらの共同研究で、我々の開発した脳磁界解析手法を用いるなど国際的にも貢献している。また、本分散研究室の研究代表者は、12th International Conference on Biomagnetism のプログラム委員、第 13 回日本生体磁気学会大会のプログラム委員長、日本生体磁気学会理事もつとめ、学術的な貢献は大きい。

以下，個々の成果について概説する．

脳磁界データ解析に関する成果は，以下に示す全ての計測データ解析に使用しており，重要な価値を持つ．特に多くの被験者のデータを解析すべき大量データ処理で，大きな力を発揮している．人間がいちいち関与しなければならず，また解析基準も曖昧な従来の解析技術を用いていたのでは，以下に示す多くの実験データの解析結果は，このように迅速には得られなかったと考える．

人間が言語でコミュニケーションする場合，あるいは単に一方的に与えられる音声情報を受取る場合，「音声の終了」は大きな意味を持つ．それは，他人とのコミュニケーションの場合にはこちらが話を始めるきっかけともなるし（ターンテイキング），意味的な繋がりの終了という情報にもなる．従って，音声刺激の終了に対する脳反応を解析することは，これらのターンテイキングや意味的終了の処理が脳内でどのように行なわれているのかを推測するのに大きく寄与する．

日本人が英語の/ra/と/la/の区別が苦手であることの音響学的音声学的理由はまだ明らかになっていない．アメリカ人，日本人の脳反応を直接観測することによっ

て，この理由を明らかにすることにより，日本人がこの区別を学ぶための良いシステム構築に寄与できるし，また，発音の悪い英語を標準的で分かりやすい発音に変換する(それによって日本人にも分かりやすくなる)といったシステムの構築にも寄与するものと考える．

人間は一度に多くの視覚パタンを処理することができる．これは計算機が不得意とし，人間が得意とする「パタン認知」の領域である．このメカニズムの解明は極めて難しく，これまでも各種のアプローチから研究が進められているが，まだ，人間のパタン認知メカニズムは明らかになっていない．この人間の能力を，まずは複数パタンの同時処理という基本的な観点から解明しようというのが，この研究の大きな特色である．現実に，「同時失認」という複数個の視覚パタンを認知できない障害を持つ患者もおり，それらの神経心理学的データと対応を取ることによって，「パタン認知」研究に大きなブレークスルーをもたらすものと期待できる．

今回の文字認知実験は，単一の文字認知に関する結果であるため，左右半球差は得られなかった．しかし，もし，単語・文章認知において左右半球差が得られ，左半球の方が単語，文章認知に大きく関与していることが明確になれば，テレビの画面上の右側に文章を呈示する方が人間にとって処理しやすい等の結果につながる可能性もある．すなわち，マルチモーダル機器の動作様式に何らかの指針を与えられる可能性がある．この研究に関しては，国際会議の plenary session での招待講演もしており，国際的な認知度があると考える．

視覚・聴覚刺激の同時処理では，左右の外側溝がその統合処理に関与しているばかりではなく，左右の下前頭溝が関与していることも分かった．これは，刺激材料が文字などの言語刺激であったことも関連していると考えられるが，メカニズムの解析は今後の課題である．しかし，左右両半球が等しく関与していることから，視聴覚同時処理では，両半球に均等に情報を入力する方が好ましいと考えられる．

◆他機関との比較など

(1) 刺激音の終了に対する聴覚野からの反応

刺激音の onset に対する 100ms 後の反応 N100m に関しては多くの研究発表がある[1, Finland; 2, Japan]。今回は音の立ち上がり onset ではなく音の終了に対する反応（off反応）に着目し、そのoff反応に対する直前音の影響を解析した。その結果、直前音の呈示時間が長いとoff反応のN100mが有意に増大することを見出した[3, 4, Japan]。これは、刺激音のonsetに対しても全体の刺激系列の特徴よりは、直前音からの空白時間が大きく影響するという報告[5, Japan]に合致する。このように、直前音の影響を見るという時間的条件を導入した場合には、脳の代謝を観測する positron emission tomography や functional Magnetic Resonance Imaging 等の画像法では困難が伴うため、脳磁界計測のメリットを活かした研究である。Off反応に関しては前述したように世界的にもほとんど研究が行なわれておらず、我々の研究室が最先端の水準にある。

1) Hari, R.: The Neuromagnetic Method in the Study of the Human Auditory Cortex. In: F. Grandori, M. Hoke, and G.L. Romani (Eds), Auditory Evoked Magnetic Fields and Electric Potentials. (Advances in Audiology), pp.222-282, Karger, Basel, 1990.

2)今田俊明、川勝真喜、益子拓徳、小谷誠:“聴覚誘発脳磁界反応と刺激呈示間隔”、医用電子と生体工学（日本ME学会雑誌論文号）、JJME, Vol.33, No.1, 15 - 23, 1994.

3)渡辺昌洋、今田俊明:“刺激純音のoffsetに対する誘発脳磁界反応”, 日本生体磁気学会誌特別号, Vol. 10, No. 1,（第12回日本生体磁気学会大会論文集）、A2-2, pp.134-137, 1997.
4)Watanabe, M. and Imada, T.:"Neuromagnetic N1m responses to pure tone burst offset vary depending on preceding tone burst duration.", Abstracts of The 6th International Evoked Potentials Symposium, p.56, 1998.
5)Imada, T., Watanabe, M., Mashiko, M., Kawakatsu, M. and Kotani, M.:"The silent period between sounds has a stronger effect than the interstimulus interval on auditory evoked magnetic fields." Electroencephalography and clinical Neurophysiology, 102, 37-45, 1997.

(2) /ra/, /la/認知

/ra/、/la/の認知に関しては古くから研究が進められている[1, 2, Japan; 3, USA]。しかし、そのいずれも心理学的実験によるものであり、脳の反応を直接見たものは少ない。我々は、/r/と/l/に対するミスマッチ反応に着目し、そのアメリカ人からの反応と日本人からの反応を比較した。脳磁界反応を使用して比較したものは極めて少なく、最近、/da/と/ta/の違いによるミスマッチ反応を解析した結果が報告されているくらいである[4, USA]。従って、我々の国際的な共同研究の結果[5-10, USA & Japan]は最先端の結果で、また、言語経験や言語教育の要素も含んでおり、今後の発展が期待される。

1) Miyawaki, K., Strange, W., Verbrugge, R.R., Liberman, A.M., Jenkins, J.J., & Fujimura, O.: An effect of linguistic experience: The discrimination of /r/ and /l/ by native speakers of Japanese and English. Perception & Psychophisics, 331-340, 18, 1975.
2) Mochizuki, M.: The identification of /r/ and /l/ in natural and synthesized speech. J. of Phonet. 283-303, 9, 1981.
3) Polka, L. and Strange, W.: Perceptual equivalence of acoustic cues that differentiate /r/ and /l/. J. Acoust. Soc. Am. 1187-1197, 78, 1985.
4) Phillips, C., Pellathy, T., Marantz, A., Yellin, E., Wexler, K., Poeppel, D., McGinnis, M., & Roberts, T.: Auditory cortex accesses phonological categories: An MEG mismatch study. 1038-1055, 12, 2000.
5)Zhang, Y., Kuhl, P. K., Imada, T., Naito, S., Kotani, M., Stevens, E. B., Tohkura, Y.: "Does Japanese subject's brain show different neuromagnetic responses to syllables /la/ and /ra/?", XXVII International Congress of Psychology,　21605.04, p.145, 2000.
6)Zhang, Y., Kuhl, P., Imada, T., Coffey-Corina, S., Kotani, M., Pruitt, J. and Stevens, E.: "Exploring Neurophysiological Bases of Speech Discrimination and Categorization Processes" Cognitive Neuroscience Society Annual Meeting Program 2000, p.34, 81A, 2000.
7)Zhang, Y., Kuhl, P. K., Imada, T., Kotani, M. and Stevens, E. B.: "MMFs to native and non-native syllables show an effect of linguistic experience", Book of Abstracts of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2000), 121b, p.121, 2000.
8) Zhang, Y., Kuhl, P. K., Imada, T., Iverson, P., Pruitt, J., Kotani, M. and Stevens, E.: "Neural plasticity revealed in perceptual training of a Japanese

adult listener to learn American /l-r/ contrast: a whole-head magnetoencephalography study", 6th International Conference On Spoken Language Processing (ICSLP 2000), 01161, p.109, 2000.
9) Zhang, Y., Kuhl, P. K., Imada, T., Kotani, M. and Stevens, E. B.: "MMFs to native and non-native syllables show an effect of linguistic experience", Proceedings of Biomag2000, in press.
10) Zhang, Y., Kuhl, P. K., Imada, T., and Kotani, M: "Mismatch fields elicited by preattentive speech categorization." Cognitive Neuroscience Society Annual Meeting Program 2001, A supplement of the Journal of Cognitive Neuroscience, 20D, p.96, 2001.

(3)複数視覚パタン認知

単一の視覚パタン認知か複数個の複数個のパタン認知かに着目して脳磁界反応を解析している研究機関はまだ無い。我々の研究も始まったばかりであるが，神経心理学的なデータはある程度揃っているので[1, USA]，そのデータとの対応を取りながら進めれば，有意義な結果が得られると考える．実際，我々が示した結果[2-4, Japan]では，後頭葉正中付近，後頭葉外側部，脳底部，後頭頭頂部，下頭頂部でより大きな活動を認めている．これらの領域は，上記 Farah らの主張する腹側視覚経路，背側視覚経路（同時に複数個の視覚パタンを認知できない同時失認患者が障害を持つ脳領域）に含まれており，神経心理学的結果と良い一致を見せている．

1) M. J. Farah, “Visual Agnosia.” Cambridge, The MIT Press, 1999.
2) Imada, T., Kawakatsu, M. and Kotani, M.: "Neuromagnetic study of pattern recognition activity in the human brain", Book of Abstracts of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2000), 81a, p.81, 2000.
3) Imada, T., Kawakatsu, M. and Kotani, M.: "Neuromagnetic study of pattern recognition activity in the human brain", Proceedings of Biomag2000, in press.
4) 近藤亨，今田俊明，関原謙介，小谷誠：“複数個視覚パタン認知に関連する脳活動”，日本生体磁気学会誌（第 16 回日本生体磁気学会大会論文集），Vol.14, No.1, 214-215, 2001.

(4)文字認知

カタカナ[1, 2, Japan]、平仮名[3, 4, 5, Japan]、漢字[6, Japan]を読むときに、脳のどの部位が処理を進めているのかに関して、脳磁界、PET を用いた研究が進んでいる。まだ確定的な結果は得られていないが、視覚野の他に後頭葉、側頭葉、頭頂葉が重要な働きをしていることが示されている。我々も、後頭葉の他に側頭葉、頭頂葉の活動を認めている[7, 8, Japan]と共に、その活動の時間経過を示しており[9, 10, Japan]、これも時間的精度の高い脳磁界計測のメリットを十分活かした研究である。

1) 藤巻則夫、平田恵啓、栗城真也、中島啓幾: カタカナ文字黙読時の脳磁界計測 (2)。日本生体磁気学会誌 8, 64-65, 1995.
2) Fujimaki, N., Hirata, Y., Kuriki, S., Nakajima, H.: Event-related magnetic fields at latencies of over 400 ms in silent reading of Japanese katakana meaningless words. Neuroscience Research, 23, 419-422, 1995.

3) Fujimaki, N., Miyauchi, S., Pütz, B., Sasaki, Y., Takino, R., Sakai, K., & Tamada, T. Functional magnetic resonance imaging of neural activity related to orthographic, phonological, and lexico-semantic judgements of visually presented characters and words. Human Brain Mapping, 8, 44-59, 1999.
4) Imada, T., Kawakatsu, M., Ikeya, A., Kadota, R., Miyamoto, J., Nakayama, S. and Kotani, M.: "Time course of Neuromagnetic signals related to reading Japanese phonograms", In: C.J. Aine, Y. Okada, G. Stroink, S.J. Swithenby, and C.C. Wood (Eds) Biomag96 (Proceedings of the Tenth International Conference on Biomagnetism), Springer, New York, pp.793-796, 2000.
5) Sakurai, Y., Momose, T., Iwata, M., Watanabe, T., Ishikawa, T., Takeda, K. and Kanazawa, I. Kanji word reading process analysed by positron emission tomography. NeuroReport, 3, 445-448, 1992.
6) Sakurai, Y., Momose, T., Iwata, M., Watanabe, T., Ishikawa, T. and Kanazawa, I. Semantic process in kana word reading: activation studies with positron emission tomography. NeuroReport, 4, 327-330, 1993.
7) Imada, T., Kawakatsu, M., Kotani, M. and Tojo, M.: "Neuromagnetic responses to reading split kanji characters", In: Y. Koga, K. Nagata, and K. Hirata (Eds) Brain Topography Today (proceedingd of III Pan-Paacific Conference on Brain Topography), Excerpta Medica International Congress Series 1147, Elsevier, Amsterdam, pp.202-208, 1998.
8) Imada, T., Kawakatsu, M., Kotani, M. and Tojo, M.: "Neuromagnetic signals associated with reading a kanji character formed by combining two kanji radicals. ", Japanese Psychological Research, 42, 15-25, 2000.
9)今田俊明:“文字を読むときの脳の活動 脳機能イメージングによる研究を中心として”、神経研究の進歩, Vol. 43, No. 4, 572-583, 1999.
10) Imada, T., Kawakatsu, M. and Kotani, M.:"Neuromagnetic signals associated with reading Japanese characters", In: T. Yoshimoto, M. Kotani, S. Kuriki, H. Karibe, and N. Nakasato (Eds) Recent Advances in Biomagnetism, Tohoku University Press, Sendai, pp.620-623, 1999.

(5)視聴覚融合機能

人間の持つ視覚と聴覚の機能は個別にも働くが, 例えば, 会話をしたりテレビを見たりするときには, 融合的に機能することが多い. その融合的に機能するときの脳内活動は, 現時点ではほとんど調べられていない. 我々は, その脳内部位を求める予備実験を進め, 左側頭頭頂近傍の活動をとらえた[1, Japan, Finland]. さらに, 詳しい計測・解析を行なった結果, 左右両側側頭葉, 左右両側下前頭溝に有意に大きな活動を見出した[3, Japan, Finland]

一方, この融合機能は, どちらのモダリティに注意を向けるかといった観点から, 視覚的あるいは聴覚的注意に強く関連する. 我々は, このうちの視覚的注意に関連する脳内活動の計測を進めている. 空間的な位置、例えば左視野に注意を向けているときに、第一次視覚野以外の部分の活動が増強することが、脳磁界[2, Japan]、PET(positron emission tomography)[4, USA]を用いて示されている。我々はその増強が刺激後 200ms 程度までに起こっていることを示しているが、これは、時間的精度の悪い PET では不可能なことでも、時間的精度の高い脳磁界計測ではそれが可能であることを示しており、脳磁界計測のメリットを十分活かしたと

いえる。

1) Sams, M., Imada, T.: “Integration of Auditory and Visual Information in the Human Brain : Neuromagnetic Evidence.” Society for Neuroscience Abstract (Abstract of 27th Annual Meeting Society for Neuroscience), Part 2, 514.5, p.1305, 1997.

2)Imada, T., Kawakatsu, M., Kotani, M.: “Attention-related enhancement of extrastriate neuromagnetic signals.” In: C. Ogura, Y. Koga, and M. Shimokochi (Eds) Recent Advances in Event-Related Potential Research, Elsevier, Amsterdam, 499-503, 1996.

3)石川大明, 山口登志子, 今田俊明, Mikko Sams, 東條正城, 小谷誠:“視聴覚情報処理統合に関連する脳活動”, 日本生体磁気学会誌(第 16 回日本生体磁気学会大会論文集), Vol.14, No.1, 218-219, 2001.

4)Heinze, H. J., Mangun, G. R., Burchert, W., Hinrichs, H., Scholz, M., Münte, T. F., Gös, A., Scherg, M., Johannes, S., Hundeshagen, H., Gazzaniga, M. S. and Hillyard, S A.: “Combined spatial and temporal imaging of brain activity during visual selective attention in humans.” Nature, 372, 543-546, 1994.

◆主要論文･成果発表･受賞等

【1】益子拓徳, 今田俊明, 関根弘美:“複数 ECD データを単一 ECD モデルで推定するときの誤差”生理学研究所研究会抄録集, p.22, 1999.

【2】T. Imada, T. Mashiko, H. Sekine: “Estimation errors of single dipole model applied to twin dipole activity.” Book of Abstracts of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2000), p.73, 2000.

【3】T. Imada, T. Mashiko, H. Sekine: “Estimation errors of single dipole model applied to twin dipole activity.” Proceedings of Biomag 2000, in press.

【4】今田俊明:“被験者間平均波形計算のための頭部標準位置への変換”, 生理学研究所研究会抄録集, p.32, 2000.

【5】渡辺昌洋, 今田俊明:“聴覚誘発脳磁界反応における直前刺激音の効果”, 日本生体磁気学会誌, Vol.12, 19-26, 1999.

【6】Watanabe, M. and Imada, T.: “Off-response to pure tone burst is affected by the previous pure tone intensity.” Book of Abstracts of the 12th International Conference on Biomagnetism, p.55, 2000.

【7】渡辺昌洋, 今田俊明:“聴覚誘発脳磁界反応に対する直前刺激音周波数の効果” 日本生体磁気学会誌, in press.

【8】Watanabe, M. and Imada, T.: “Off-response to pure tone burst is affected by the previous pure tone intensity.” Proceedings of Biomag2000, in press.

【9】浅川慶一, 今田俊明, 川勝真喜, 小谷 誠:“音声の識別に関連する脳磁界反応”生理学研究所研究会抄録集, p.6, 1999.

【10】浅川慶一, 今田俊明, 川勝真喜, 小谷 誠:“音節認知時の N100m 反応の解析”ライフサポート学会 Forum 2000, 2000.

【11】Asakawa, K., Imada, T., Kawakatsu, M. and Kotani, M.: “Hemispheric difference in processing of clear and ambiguous vowels.” Book of Abstracts of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag

2000),, p.121, 2000.
【12】Zhang, Y., Kuhl, P. K., Imada, T., Naito, S., Kotani, M., Stevens, E. B., Tohkura, Y.: “Does Japanese subject's brain show different neuromagnetic responses to syllables /la/ and /ra/?” XXVII International Congress of Psychology, 21605.04, p.145, 2000.
【13】Zhang, Y., Kuhl, P., Imada, T., Coffey-Corina, S., Kotani, M., Pruitt, J. and Stevens, E.: “Exploring Neurophysiological Bases of Speech Discrimination and Categorization Processes.” Cognitive Neuroscience Society Annual Meeting Program 2000, p.34, 81A, 2000.
【14】Zhang, Y., Kuhl, P. K., Imada, T., Kotani, M. and Stevens, E. B.: “MMFs to native and non-native syllables show an effect of linguistic experience.” Book of Abstracts of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2000), 121b, p.121, 2000.
【15】Zhang, Y., Kuhl, P. K., Imada, T., Iverson, P., Pruitt, J., Kotani, M. and Stevens, E.: “Neural plasticity revealed in perceptual training of a Japanese adult listener to learn American /l-r/ contrast: a whole-head magnetoencephalography study.” 6th International Conference On Spoken Language Processing (ICSLP 2000), 01161, p.109, 2000.
【16】Zhang, Y., Kuhl, P. K., Imada, T., Kotani, M. and Stevens, E. B.: “MMFs to native and non-native syllables show an effect of linguistic experience.” Proceedings of Biomag2000, in press.
【17】Zhang, Y., Kuhl, P. K., Imada, T., and Kotani, M: “Mismatch fields elicited by preattentive speech categorization.” Cognitive Neuroscience Society Annual Meeting Program 2001, A supplement of the Journal of Cognitive Neuroscience, 20D, p.96, 2001.
【18】Imada, T., Kawakatsu, M. and Kotani, M.: “Neuromagnetic study of pattern recognition activity in the human brain.” Book of Abstracts of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2000), 81a, p.81, 2000.
【19】Imada, T., Kawakatsu, M. and Kotani, M.: “Neuromagnetic study of pattern recognition activity in the human brain.” Proceedings of Biomag2000, in press.
【20】近藤亨, 今田俊明, 関原謙介, 小谷誠:“複数個視覚パタン認知に関連する脳活動”日本生体磁気学会誌(第 16 回日本生体磁気学会大会論文集), Vol.14, No.1, 214-215, 2001.
【21】浅川慶一, 今田俊明, 川勝真喜, 小谷 誠:“漢字および平仮名の読みに関連する脳磁界反応” 日本生体磁気学会誌, Vol.12, 11-18, 1999.
【22】今田俊明, 川勝真喜, 小谷 誠:“漢字・仮名を認知するときの脳の活動”第 29 回日本脳波筋電図学会学術大会プログラム・予稿集, シンポジウム IV-4, p.147, 1999.
【23】今田俊明:“文字を読むときの脳の活動 脳機能イメージングによる研究を中心として”神経研究の進歩, Vol. 43, No. 4, 572-583, 1999.
【24】 Imada, T., Kawakatsu, M. and Kotani, M.: “Neuromagnetic Signals Associated With Reading Japanese Characters.” Abstracts of the 11th International Conference on Biomagnetism (Biomag98), S-V-2, p.35,

1998 (Invited Talk).
【25】Imada, T., Kawakatsu, M. and Kotani, M.: “Neuromagnetic signals associated with reading Japanese characters.” In: T. Yoshimoto, M. Kotani, S. Kuriki, H. Karibe, and N. Nakasato (Eds) Recent Advances in Biomagnetism, Tohoku University Press, Sendai, pp.620-623, 1999.
【26】Imada, T.: “Where in the brain is responsible for character recognition?” RWC Technical Report (Proceedings of 2000 RWC Symposium), TR-99-002, pp.147-150, 2000.
【27】Imada, T., Kawakatsu, M., Kotani, M. and Tojo, M.: “Neuromagnetic signals associated with reading a kanji character formed by combining two kanji radicals.” Japanese Psychological Research, 42, 15-25, 2000.
【28】石川大明, 山口登志子, 今田俊明, Mikko Sams, 東條正城, 小谷誠:“視聴覚情報処理統合に関連する脳活動” 日本生体磁気学会誌(第 16 回日本生体磁気学会大会論文集), Vol.14, No.1, 218-219, 2001.

A-1-4 動的画像応答(マルチモーダル機能三菱研究室)

◆目標

人間の振るまいや環境に関わるコンピュータに明示的には指示されない情景的情報を、動画像を元に把握しマルチモーダルシステムの応答を制御するための技術の研究開発を行う。

◆アプローチ

(1)実世界情景データである動画像から画像オブジェクトを抽出しこれを追跡するための技術の研究開発を行う。また画像の収集と分散処理実現のためにマルチカメラネットワークシステムを検討する。
(2)上記の目的を実証するために、人物のトラッキング技術をベースにした画像情報収集システムの構築を行う。

◆研究計画概要

検討の結果、実証システムの課題として複数人物のトラッキングを選択した。この課題は、画像領域抽出という基本的でありながら多くの研究課題の残る分野であると同時に、その応用は、一言でいうと、安全性の向上を支援するという社会的な意義に結びつきやすいものである。この課題に対して、はじめに画像処理計算モデルの立場から技術的な問題点を一つ一つ解決し、そのめどが立った後、実証課題を実行するシステム(ハードウェア)の開発を平行して行いながら、最終的成果に到達した。

◆研究計画内容

(1)対象が複数の場合もあり、その遮蔽が起こる場合もある状況下で、動画像データをもとに対象追跡を行う画像処理アルゴリズムの開発。同様の目的のために多くの研究がなされているが、一般的に研究されている追跡対象の形状に着目するアプローチに加えて、追跡対象とその周辺部分の画像領域の推定を行い、画像領域の空間的隣接関係を時間的にトレースすることで対象となる画像領域の追跡を行うといった形の方法を採用し、追跡の性能向上を実現する計画。画像領域の推定において、エッヂ、動き、色といった画像における複数モードの情報を利用する。
(2)前項のアルゴリズムを実装しビデオサーヴェイランスを実施するためのハードウェア実証システムの開発。サーヴェイランス対象空間の全体をカバーするには複数のカメラを用いることが必須になるが、集中型で複数のカメラから収集される動画像データすべてを処理することは現状のハードウェアでは無理な点が多い。そこで画像の入力と処理が一体化されたような小型装置を開発し、それらによってネットワークを構成し分散型のサーヴェイランス実証システムを開発する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

映像監視システムとして広い応用が考えられる。例えば、コンビニエンスストアやスーパーマーケットの安全監視システム。画像入力カメラ等の改良を加えれば、屋外の自動販売機や、招かれざる来客の監視などへの応用の可能性が大きい。監視の他には、公共的スペースの利用状況の定量的測定に応用することも考えられる。

◆成果概要

(1)実世界画像を対象としたロバストな領域セグメンテーションとそのトラッキング法を開発した。

(2)分散ビデオサーヴェイランスを行うための画像処理モジュールとシステムを開発した。

(3)これらの技術を統合した人物サーヴェイランス実証システムを開発した。

◆研究成果の内容

実世界動的画像応答技術としての人物トラッキングの対象として、複数人物が行き交う室内を想定した。こうした環境では、人物同士あるいは室内に置かれている視覚的障害物によってトラッキング対象の遮蔽が起こりトラッキングの妨げになる。この問題にたいして、一般的に広く研究されているアプローチである対象の形(輪郭)情報に多くを依存する方法では困難が生じることが予測できる。そこで、トラッキング対象の形には依存しない、対象を色、大きさなどの特徴を持った画像領域の一連の動きとして抽出し、その情報を使ってトラッキングを行うというアプローチを採用することとした。

画像領域抽出では、対象が実世界データであるため画像領域の境界は不完全となることが避けられない。この困難は、局所的な境界不完全性と比較的大規模な構造的領域不完全性とに分けることができるが、その両方に対応する画素抽出方法が必要となる。実世界画像に対して領域抽出を行うためには、これらの問題に対応する領域抽出方法が必要である。

画像領域の決定には、近傍画素の性質の類似性が基本的な役割を持つが、近傍の情報のみを利用していたのでは大規模な領域不完全性の問題を解決することは原理的に不可能である。一方、すべての画素が広い範囲の画素の情報をすべて検索しながら領域推定を行うという方法は計算(資源)の効率性の問題で致命的な欠点を伴うことになることはほぼ間違いがない。そこで本研究では、各画素は空間的にはそれぞれの近傍の情報のみを検索し自らの領域推定を行うが、同時にグローバルな情報を、画素空間を伝わる波のような形で伝搬させることで、各画素は局所的情報のみを使って領域推定継続することで、次第にグローバルな意味でも妥当な領域推定結果が得られる方法を新たに考案しその評価を行った。図1は、開発した計算モデルにおける領域情報を担う「波」の伝搬の様子である。

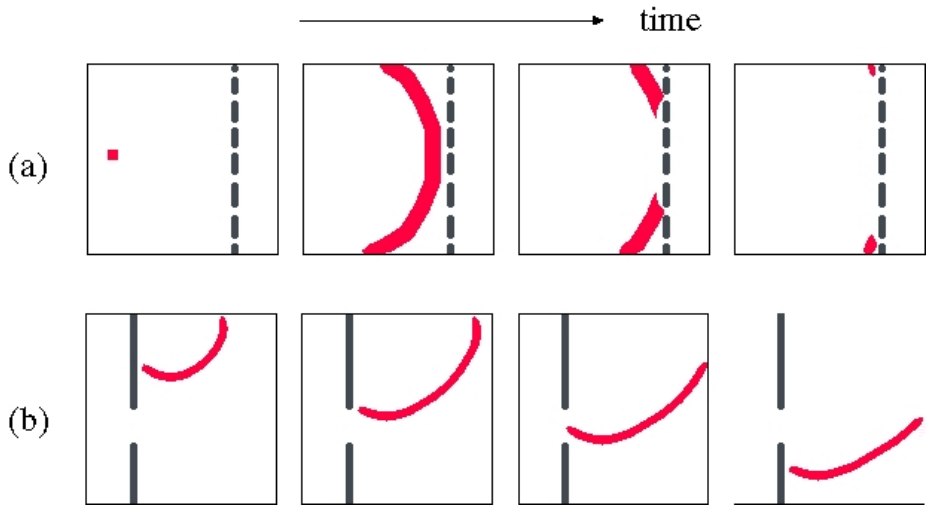


図1　領域情報を担う波の伝搬の様子。赤い部分が波の最前線であり、黒い線

は不完全な画像領域境界を示している。(a)は波が微少な領域境界を越えて伝わらないことを示し、(b)は波の伝搬が領域境界によって方向付けされるため、大規模な領域境界の不完全性を補完することができることを示している。

この方法によって単一画像を基に、ある程度以上の面積を持つ画像領域に属する画素にそれぞれ異なったラベルを与えることができる。図2は領域抽出結果を各がその与えられたラベルを色の違いとして塗り分けた図である。図からはわかりにくいが、左側の二色の緑色でしめした領域間の境界や、右下の人物の足と椅子の背の間の境界などは不完全にしか抽出されないが、この方法の性質によってそれぞれの領域が正しく抽出されている。



図2　抽出された画像領域領域

トラッキングは、領域情報を動画フレームごとに正しく更新してゆくことによって実現される。この領域情報更新を行うための計算モデルも新しく開発した。領域が継続的にフォアグラウンドに見えているような場合には、フレーム間で領域に重なりがあるという情報を用いて領域トラッキングを行うことができる。領域が遮蔽されて見えなくなってしまうような場合には、その間も遮蔽領域の情報を一時的に保持する必要がある。また、いったん誤って異なる領域を同一領域と判断した場合であっても、領域情報を担う波の伝搬によって誤りが訂正されるような機能も実世界データを扱う画像処理モデルには不可欠である。新しく開発した領域情報更新のための計算モデルはこのような機能をすべて有している。図2は、このような領域情報の更新をしばらくの間行って領域トラッキングを行った末の処理結果である。

膨大な実世界画像データ処理を行う必要のあるビデオサーヴェイランスシステムにおいて、処理と通信の負荷をどのように分散させるかがシステム構築上の課題となる。これに対して本研究では、領域抽出までを画像撮影のためのシステムと一体化したモジュールで行うことでスケーラブルにビデオサーベイランスを行うことのできるシステムを構築した。図3はこのシステムの中心的な構成要素であるヴィジョンモジュールである。

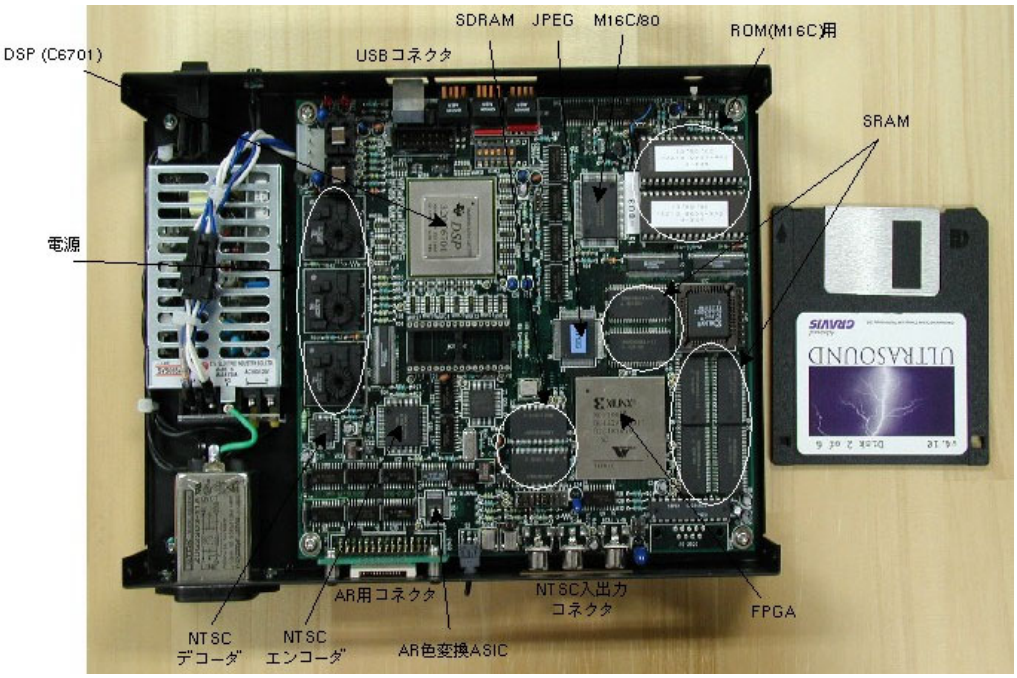


図３　ネットワークヴィジョンモジュール。画像入力、画像処理、通信のサブシステムからなる。

このモジュールで領域抽出までの画像処理を行い、変化のあった領域情報のみをシステムコントローラに送ることで通信コストが下がり、スケーラブルなサーベイランスシステムを構築する事ができる。

◆成果の意義

実世界画像データがもつ不完全性に対して柔軟に対応する画像領域抽出法を開発した。また画像領域情報を動画像フレーム間で更新しながら領域トラッキングを行う計算方法を開発した。またヴィデオサーヴェイランスを行うための要素モジュールを開発し、これらの計算モデルとハードウェアを統合して人物トラッキングを行う実証システムを開発した。

◆他機関との比較など

MIT や CMU をはじめ多くの機関が同様の研究を行っている。マルチモーダル三菱のアプローチの特徴は、対象を店舗や家庭などの室内としていて、特にトラッキング対象の遮蔽にロバストな画像処理アルゴリズムを開発したことである。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】Ishii, Kyuma: “An Image Segmentation and Tracking Method by Segment Scanning Wave Propagation Network”, Int. Conf. On Image Processing, 2001.

【2】石井, 久間 :“画像領域抽出のための神経回路モデルとそのトラッキングへの応用”, 電子情報通信学会論文誌 JII, 投稿中

A-1-5 実世界モデル生成(マルチモーダル機能三洋研究室)

◆目標

人からの指示や動作の認識,円滑な対話が可能なシステムを実現するための要素技術として,情報統合,学習に不可欠な認識・理解の機能である環境認識技術と手指の3次元モデル生成技術及び,前期記述に基いてその位置・姿勢を認識する手法を開発する.未知の提示画像に対して,90%の認識率で該当パターンに分類可能なシステムを実現する.

◆アプローチ

実世界の様々な対象を認識するためには、従来の幾何モデル等を用いた手法には限界があり、定性的、概念的な記述の生成が必要不可欠となる。例えば、「そこのペンを取って」と指示された場合に、世の中のどのようなペンであっても認識可能なシステムの実現を目指す。画像として与えられる複数の提示パターンより基本形状特徴を抽出し、それらの組み合わせにより定性的かつ階層的な記述を生成する手法を開発する。この記述に基いて、人の手指の形状モデルを用い、3 次元的な位置・姿勢を決定する認識システムを構築する。これにより、実時間追跡のための、対象物の初期位置姿勢の高速安定抽出が可能となる。

◆研究計画概要

(1)手指の位置・姿勢の認識技術の開発

従来の認識手法は、モデル駆動型のトップダウンアプローチであり、対象毎に幾何モデルを与える必要がある。知覚統合に関するものが類似研究としてあげられるが、並列的かつ階層的な記述を生成し、それに基づき認識する手法は当分散研オリジナルであり、小規模かつ定性的な記述により個体差を吸収でき、一部の隠れにも対応可能な点で優れている。

(2)手指の運動追跡技術の開発

従来の運動追跡技術は、角点といった見え方に不変的な特徴点を用いるものや、追跡のための初期値を与えた後エネルギー最小化による手法があるが、当分散研の提案手法は、特徴点を用いず、初期値として追跡開始点を与える必要もない点で優れている。

◆研究計画内容

(1)形状プリミティブに基づく、手指の位置・姿勢の認識技術の開発

1) 画像より得られたセグメント(対象物の形状プリミティブ)に基づき、指先と関節間の指部分の基本形状特徴を対応単位とする、プリミティブベース・ステレオシステムの改良を行ない、頑健性及び処理速度の向上をはかる。
2) 指示方向を3 次元ベクトルとして検出する手法を改良し、頑健性及び処理速度の向上をはかる。

(2)形状プリミティブに基づく、手指の運動追跡技術の開発

1) 手指の形状プリミティブに基づく初期フレームの認識結果から、次フレーム以降の対応を探索し、追跡する処理の高速化をはかる。セグメントを単位としたステレオ対応より得られる 3 次元情報を用いることにより隠れに頑健かつ安定した追跡を実現する。
2) 各フレームにおける手指の3次元位置・姿勢の運動情報を3次元ベクトルの

変化として計測し、3 次元空間における運動パラメータを算出する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

今後一層発展が期待されるマルチメディア産業における、3D モデルやそれらコンテンツを利用する機器におけるユーザインタフェースへの応用が考えられる。従来の認識手法はモデル駆動型のトップダウンアプローチであり、対象毎に幾何モデルを与える必要があるため、実世界に適用した場合にはモデル爆発が避けられない。本手法によれば、手指の認識に際し、ユーザの個人差(人種、性別、年齢等)によらないといった優位性がある。また、3D モデルを操作する際、ユーザの感覚にあった自然なハンドリングを実現することができる。

◆成果概要

マルチモーダル機能領域の WG において、坂上領域リーダ(RWI センタ)、主査の白井教授(阪大)、大田教授(筑波大)、横矢教授(奈良先端大)をはじめ、つくば研究センタ、各分散研メンバとの議論を踏まえ目標の修正や研究の調整を行った。当分散研では、手指のモデリング及び3次元位置・姿勢の認識技術の開発を1ー2名の担当者により行った。特に領域からの再委託として、筑波大へは、単一箇所に設置した広視野多眼ステレオを用い、全方位の3次元情景を高精細に把握する技術(環境モデルの実時間獲得)に関して研究を依頼した。また、奈良先端大学は、コンピュータとの対話を目指した複数の全方位センサを用いた、広範囲な環境の3次元観測と実時間情景提示に関して研究を依頼した。さらに、電総研タスク指向ビジョンラボとは、ツールとなるライブラリの共有及びメンテナンス、PC クラスタを用いた認識処理の並列化を含め、計測・認識の各処理に関する検討を行った。

◆研究成果の内容

(1)対話的形状モデル生成技術の開発

基本的な形状特徴とその組み合わせ(プリミティブ)により、物体を記述する手法2)3)を開発した。認識対象を自由曲面物体に拡張することと、対話システムに重要な認識対象と成り得るとの観点から、対象に人の手指を選定して、下位の階層のプリミティブとそれらの関係の整理を2次元レベルに対して行った(図 1)。

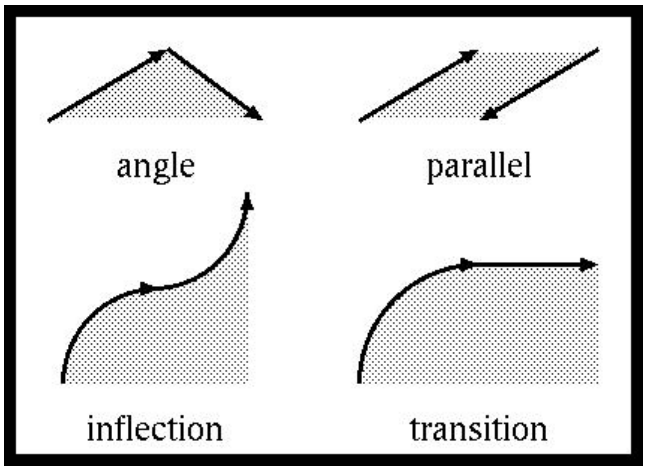


図 1. 手指の記述に用いた次の 4 つの関係

2次元の形状プリミティブの中で最下層となる直線や曲線といったセグメントを、輪郭境界線から特徴点を検出し、それらにより分割し獲得する。そのために、屈曲点、変曲点、遷移点といった特徴点を検出する手法 1)4)を開発した(図 2)。

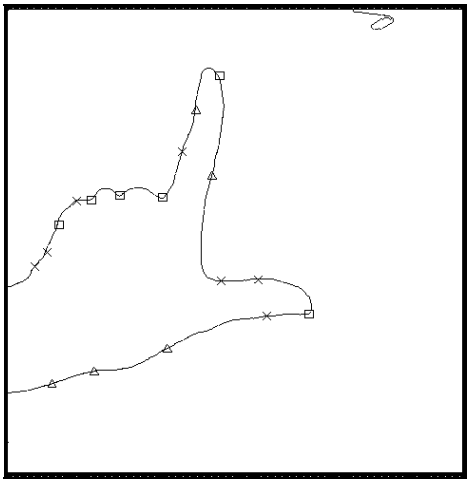
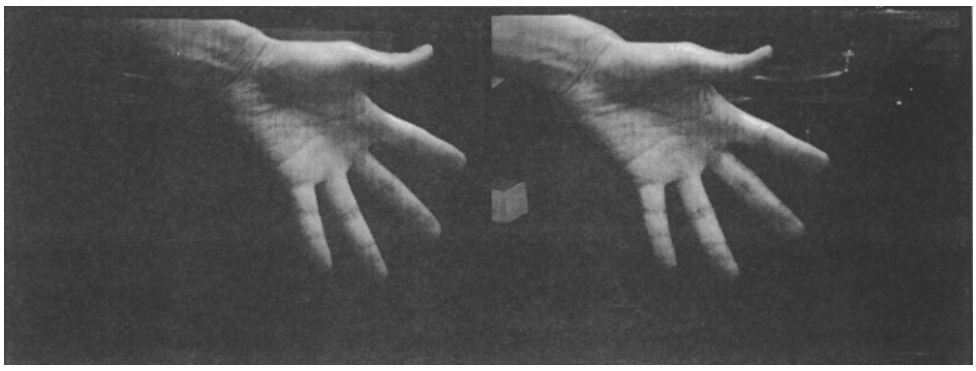


図 2.特徴点検出結果(□:屈曲点、△:変曲点、×:遷移点)

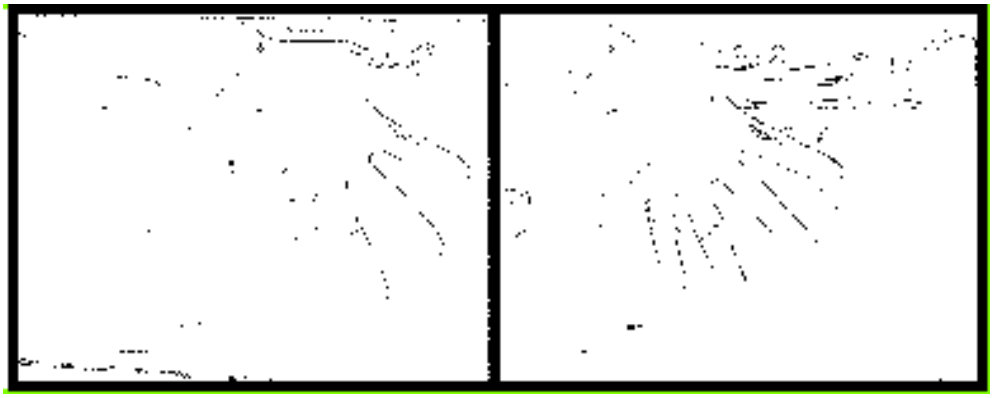
対象毎の個体差や画像中での見え方の違いに対応するために、認識システムに対して対話的に手指形状を教示・認識させるシステムを開発した。これまで、

ステレオカメラ・キャリブレーション用の立方体や、人差し指と親指の形状プリミティブを生成した。

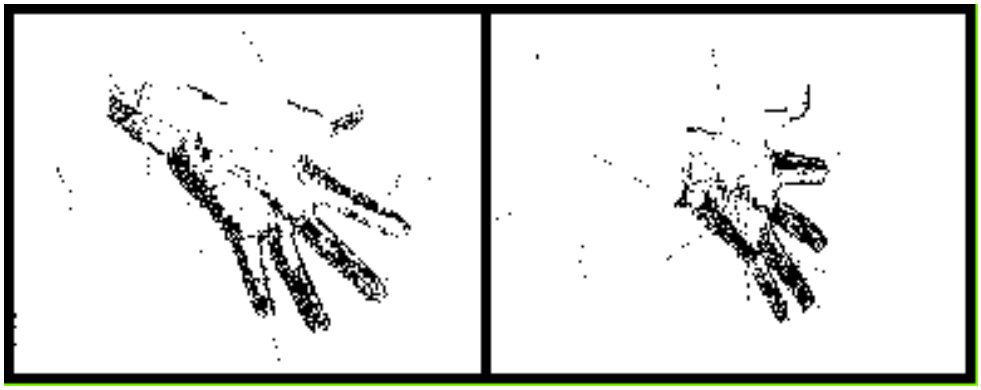
しかし、手指といった自由曲面物体を撮影して得られる画像には陰影領域があらわれ、それらの境界線は、従来のエッジ検出手法では、輝度変化が緩やかなためにしばしば検出に失敗するといった問題点があった。そこで、陰影領域抽出手法を開発し、陰影領域の境界線と、従来のステップエッジの境界線とを統合することによりエッジとして検出する手法を開発した(図 3)。



(a)入力原画像



(b)ステップエッジ画像



(c)陰影領域

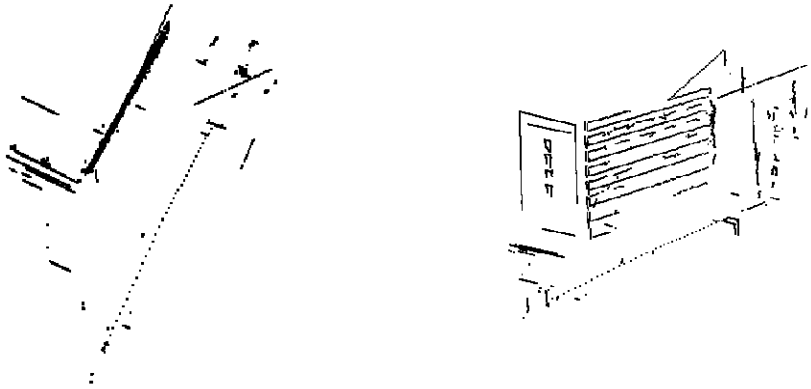
図 3.　陰影領域の抽出

また、一定距離以内の離れた複数のセグメントを一定条件下で統合する、仮想プリミティブの概念を導入することにより、手指領域輪郭のエッジの切れ方やノイズ等による欠けへの対処がはかれ、認識誤りを回避可能となった。

3次元再構成 5)にあたっては、これまで、キャリブレーションパターンを用いて、複数のカメラの相対位置関係や内部パラメータを算出し撮像系の光学的校正を行なってきた。しかし、キャリブレーションパターンを設置できない場合にも3次元復元を可能とすることを目指し、既知のキャリブレーションパターンを用いることなく、外部パラメータを算出する手法 7)を開発した (図 4)。



(a)入力原画像



（b）立体形状復元結果

図 4.平面キャリブレーションによる 3 次元形状復元

対象を自由曲面物体にまで拡張し、記述の際のデータ量の削減やモデルとの照合を行なう際の効率化、探索空間の限定の観点から、面の境界を直線や、凹もしくは凸の曲線セグメントの組み合わせにより記述するために、曲面の境界線として得られる 3 次元点列を分割するための特徴点検出手法を開発した 6)8)。これは、2 次元の境界線分割アルゴリズムを 3 次元に拡張したものである(図 5)。

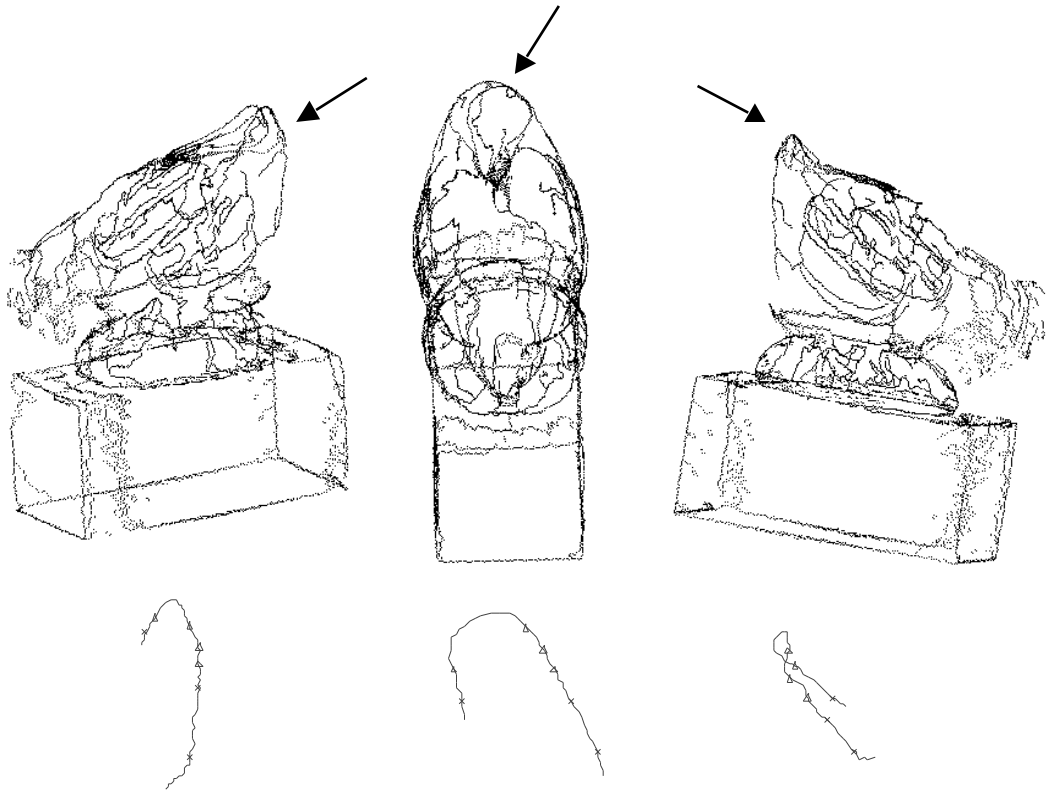
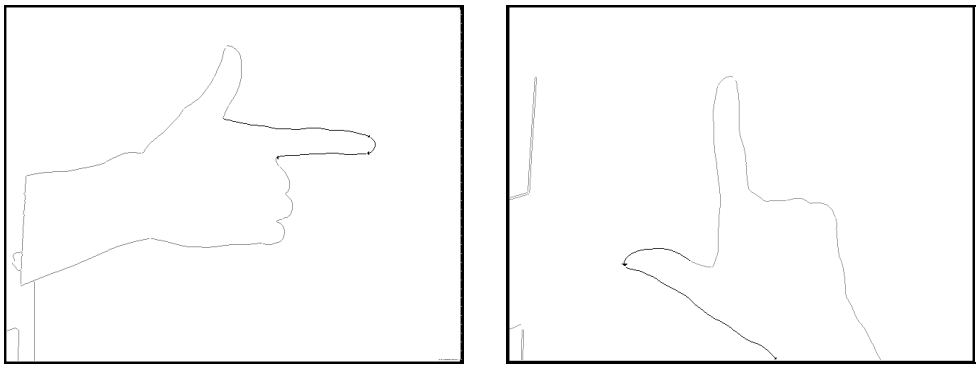


図 5.　3 次元点列上の特徴点検出

(2)手指の位置・姿勢の認識、運動追跡技術の開発

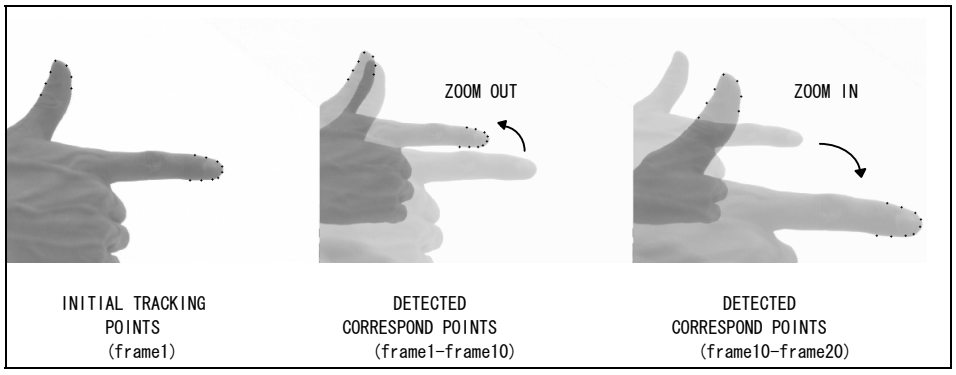
手指形状の定性的な記述に基づいて、任意の提示画像中より各指を認識するシステム (図 6)において、対応候補の探索時の枝刈りを効率的に行うよう見直すことによって、従来比において、数十倍の高速化を実現することができた。



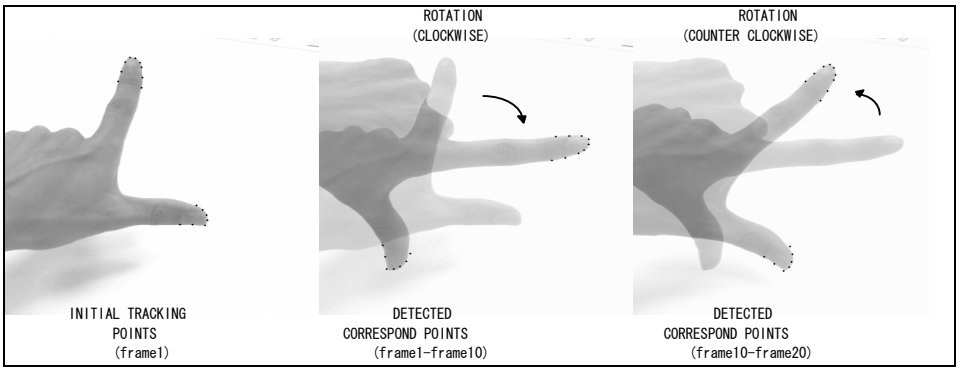
(a)人さし指認識結果(矢印付太線) (b)親指認識結果(矢印付太線)

図 6. 手指認識結果

連続するフレームに対する対応点探索処理(図 7)において、追跡点におけるエッジの勾配方向の輝度変化のパターンを考慮することにより、影等によるエッジ上に現われる点を対応候補より除外し、追跡精度の向上をはかった。



(a)拡大運動



b)回転運動

図 7. 手指運動追跡結果

手指の位置・姿勢の認識、運動追跡技術を応用したデモ・システムを構築した9)。1 台のモノクロカメラにより撮影された手指の剛体運動を観測し、その動きに応じて、あらかじめ計算機内部に用意した立体モデルを操作するシステムである(図 8.)。それぞれ、3ー10 frames/sec, 3ー5 frames /sec にて、手指の運動追跡並びに画面上でのモデルの再描画が可能である。



(a)SUN WS　　(b) note PC（Linux OS）

図 8.　デモシステム

◆成果の意義

今後一層発展が期待されるマルチメディア産業における、3D モデルやそれらコンテンツを利用する機器におけるユーザインタフェースへの応用が考えられる。従来の認識手法はモデル駆動型のトップダウンアプローチであり、対象毎に幾何モデルを与える必要があるため、実世界に適用した場合にはモデル爆発が避けられない。本手法によれば、手指の認識に際し、ユーザの個人差（人種、性別、年齢等）によらないといった優位性がある。また、3D モデルを操作する際、ユーザの感覚にあった自然なハンドリングを実現することができる。

◆他機関との比較など

当分散研の提唱する共通モデルに類似したコンセプトとして、南カリフォルニア大のジオンという考えがある。これは、世の中すべての物体は基本的な素立体(24種類)の組み合わせにより表現可能であるというものである。しかし、認知科学分野の研究であり、心理学実験に留まっており、実対象から獲得したパターンからの記述の生成は行われていない。当分散研では、画像として与えられる複数の提示パターンより基本形状特徴(最下位のレベルは画像中の直線セグメントと曲線セグメント)を抽出し、それらの組み合わせにより(組み合わせは、平行であるとか凸角をなすといった一般的な関係による)定性的かつ階層的な記述を生成するアプローチをとる。対象物の基本形状を抽出するための要素技術として、画像中のエッジ点列から特徴点を抽出し、それらによりセグメントに分割する処理を既に開発しており、これが大変重要な役割を果たす。特に、特徴点として、屈曲点(角点)、変曲点(凹凸の変化する点)、遷移点(直線と曲線が滑らかに接する点)を検出可能で、境界線点列を、直線セグメントと凹もしくは凸の曲線セグメントに分割できる意義が大きい。ボトムアップの特徴抽出アプローチとして、南フロリダ大をはじめとして進められている知覚統合の研究があげられるが、直線セグメントと楕円弧の組み合わせによるもので、一般的な関係を用いているとはいえないために対象が限定されるばかりでなく、多大な処理を要する。

要素技術として、共通モデルコンセプトに基づく斜め対称プリミティブの抽出手法(ICIP94,ACCV95)や、2次元、3次元の境界線上の特徴点検出手法(WVMV94,VSMM96,EUSIPCO98)は、パターン認識及び形状記述の分野において反響が大きかった。また、これら要素技術の応用として構築したデモ・システムは、2000 年 12 月に開催予定の第1回マルチメディア国際会議(PCM2000)にも採録され、大変興味深い応用とのコメントを受けている。同デモ・システムは、国内におい

ても、RWC2000 におけるディジタル・ポスタ・セッションにおけるデモンストレーションに関して取材を受け、日本工業新聞(2000 年 2 月 2 日)に掲載され評価を受けている。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】K. Sugimoto, F. Tomita: "Boundary segmentation bu detection of corner, inflection and transition points", Proc.WVMV'94,pp.13-17,1994.
【2】K. Sugimoto, F. Tomita: "Detection of skewed-symmetrical shape", Proc.ICIP'94,pp.696-700, 1994.
【3】K. Sugimoto, F. Tomita: "Detection of Skewed-Surface-Symmetrical Primitives for Grasping Unknown Objects", Proc.ACCV'95,vol.II pp.757-761,1995.
【4】K. Sugimoto, F. Tomita, et al: "Shape Coding by Detecting Dominant Points on Digital Curves", Proc.VSMM'96,pp.153-158,1996.
【5】杉本、荒川、富田: "ステレオによる幾何モデリング"、日本ロボット学会誌、Vol.15、No.3、pp.119-126、1997.
【6】杉本、荒川、富田: "3 次元点列上の特徴点検出"、情報処理学会第 55 回全国大会予稿集、分冊 2、pp.327-328、1997
【7】杉本、荒川、富田: "平面パターンの対応に基づく画像間のエピポーラ幾何と3次元形状復元"、電子情報通信学会総合大会予稿集、情報・システム2、pp.368、1998
【8】K. Sugimoto, F. Tomita: "How to detect dominant points on 3-D Curves", Proc.EUSIPCO'98, vol.IV, pp.2177-2179,1 998
【9】杉本和英、大上靖弘、北村徹:"手指動作による立体モデルのハンドリング"、人工知能学会(第 13 回)全国大会論文集、pp.(111-112)、1999.

A-1-6 H9ジェスチャベース対話システム／H10マルチモーダル対話パソコンネットシステム／H11−13Cross Mediatorにおけるマルチモーダル対話システム（マルチモーダル機能つくば研究室）

◆目標

CrossMediator はマルチメディア情報検索統合ソフトのパッケージである。これを使用する際、ユーザーのマルチモーダルのインタフェースを、ジェスチャと音声によって考える。これらのメディアはこのシステムを操作するコマンドとして機能する場合と、検索クエリーとして用いられる場合がある。 いずれの場合も、ジェスチャの認識と、音声波形をラベリングする音素認識の機能が求められる。この目的のために、約50カテゴリ数のジェスチャ語彙が連続したものを、認識精度は1位で75%、累積2位で90%の認識を達成し、また、不特定話者の音素認識については、一位認識85%を達成し、その利用の有効性を実証する。さらに、CrossMediator を利用するユーザーの対話モデル自動学習方式の開発も行う。

◆アプローチ

ジェスチャ認識については、ビデオ画像あるいは距離画像で観測したものを入力として、ノートPC 上で実時間動作する方式を開発する。音素認識については、高認識を実現する方式の開発と、ノートPC で実時間処理するための近似アルゴリズムも開発する。対話モデルの学習については、対話データ系列からのネットワーク形式のモデルを仮定し、その自動作成方式を開発する。

◆研究計画概要

CrossMediator の利用手段としてのジェスチャ認識処理、音声入力の音素認識処理、および対話モデルの学習により、利用環境の自動構築を行う。

◆研究計画内容

(1)手話などに用いる語彙の中で比較的大きな動作をなすジェスチャを識別し、マルチモーダル対話機能における音声認識との統合性を高める。特に、音声認識機能が低下する状況におけるジェスチャによる補完機能を実現する。
(2)ジェスチャ認識をより精度よく行うために距離画像の利用を行う.
(3)雑音環境下における音素認識率を高める.
(4)CrossMediator による統合検索対話システムを PC クラスタで構成し、そのマルチモーダル統合機能の有効性を実証する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

CrossMediator は、近年、音声・画像・テキストなどの大量の記録からの検索機能の実現であるが、この検索システムをより使いやすいものとするための、マルチモーダル対話機能の充実も同時に必要となっている。特に、利用システムにおけるジェスチャと音声の扱いはその重要性が高い。本研究開発は上記のユーザの要望に応えることになる。

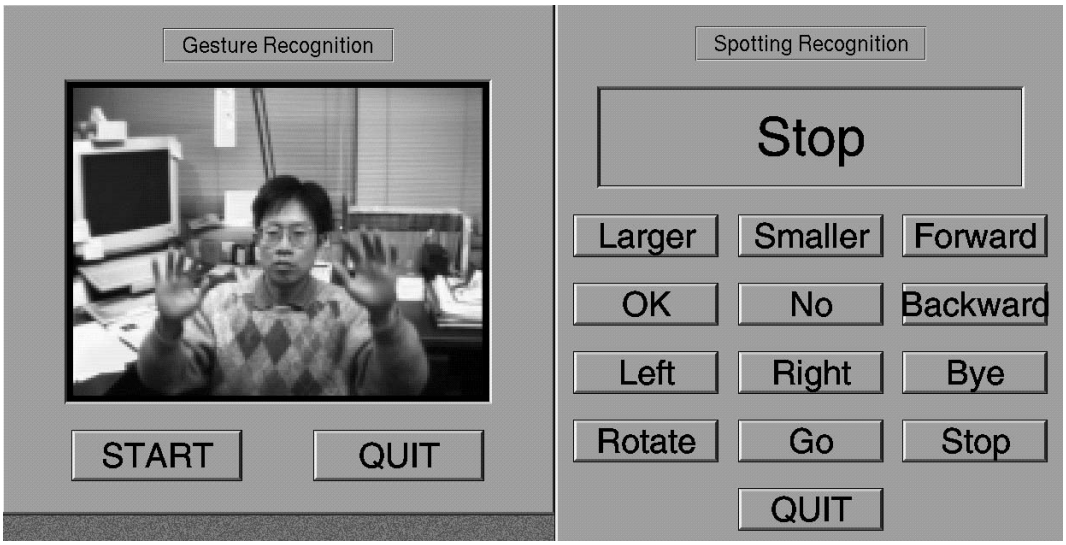
◆成果概要

マルチモーダル対話システムを構築する基本モジュールとして、ジェスチャ認識モジュール、対話モデル学習モジュール、音素認識モジュール、などの基本技術を開発し、それらの実装をノートPC 上で行い、実時間で動作するシステムを構築し

た。

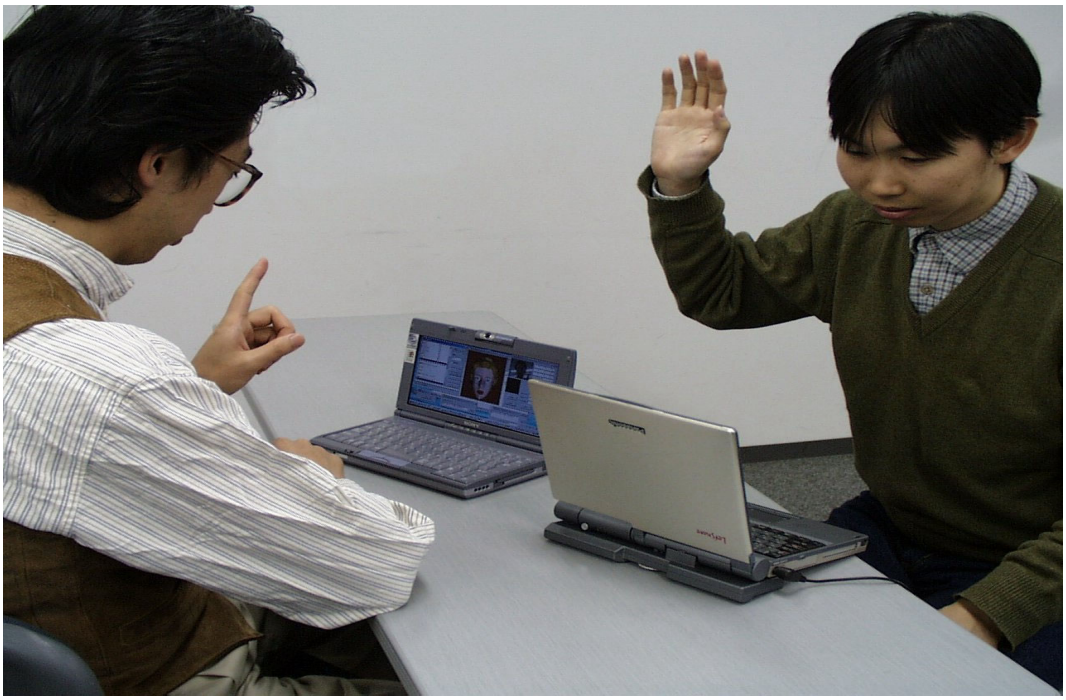
個々のモジュールの性能を高めるとともに、移植性の高いソフトウエアパッケージをつくるとともに、CrossMediator を応用の対象システムとしたマルチモーダル対話システムを構築する。

◆研究成果の内容



ジェスチャの実時間スポッティング認識およびオンライン登録
（文献 ＃1，6，7）

単眼のビデオカメラでとらえられた人のジェスチャを実時間で認識する。認識するカテゴリは画面右の 12 種類としている。これら以外にも、その場で、一回のジェスチャをすれば、それをオンラインで認識対象として登録できる。



ジェスチャと音声の対話入力でタスクを実行するシステムのノート PC 実装
（文献 ＃8）

ジェスチャと音声入力の認識処理、タスクの実行、タスクの実行された状況の CG 出力、応答の音声合成出力処理、のすべてがノート PC 上で実時間で処理される。



ジェスチャ、音声対話システム実行中のノート PC の画面（文献　＃8）

C:/ATR503/RWC-Mel TEST/BeforTr1PM8

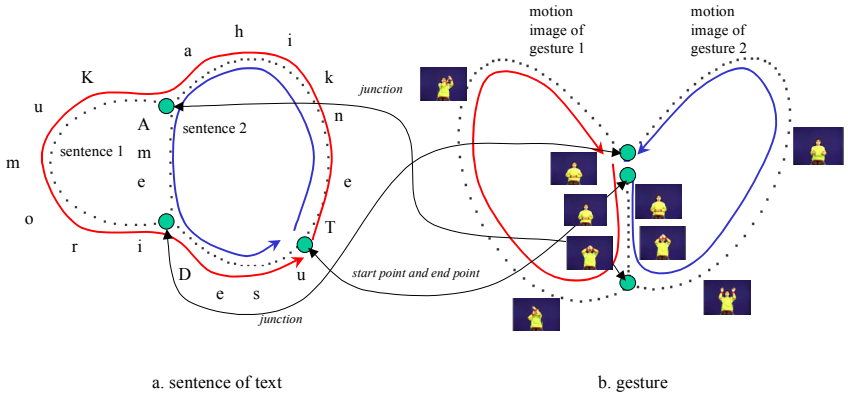
a	39222	74.9	92.9	96.8	99.1	99.6	99.9	99.9	100.0	100.0	100.0
i	20372	68.5	93.1	97.1	98.6	99.4	99.7	99.9	100.0	100.0	100.0
u	12742	64.6	84.5	91.8	95.1	96.8	98.0	98.7	99.1	99.5	99.7
e	19298	70.8	88.5	95.2	97.8	99.0	99.6	99.8	99.9	100.0	100.0
o	25723	80.8	91.6	95.5	97.8	99.0	99.6	99.8	99.9	100.0	100.0
Local		71.9	90.1	95.3	97.7	98.7	99.4	99.6	99.8	99.9	99.9
y	6226	83.1	92.5	96.0	98.0	98.9	99.5	99.7	99.8	99.9	99.9
w	2335	87.7	93.7	95.7	96.7	97.8	98.3	98.5	98.7	98.8	99.0
r	3365	78.4	91.7	95.5	97.5	98.7	99.1	99.4	99.6	99.8	99.9
Local		83.1	92.6	95.8	97.4	98.5	99.0	99.2	99.4	99.5	99.6
n	6416	87.9	95.2	97.2	98.1	98.6	98.9	99.0	99.2	99.3	99.5
m	5163	78.1	91.6	95.5	96.7	97.7	98.3	98.7	99.0	99.2	99.4
nn	4898	78.0	88.8	93.3	96.4	98.3	99.1	99.4	99.7	99.8	99.9
Local		81.3	91.9	95.3	97.1	98.2	98.7	99.0	99.3	99.5	99.6
g	4656	39.7	79.3	94.5	98.0	98.8	99.2	99.6	99.8	99.9	99.9
j	2867	90.4	98.3	99.2	99.5	99.8	99.9	99.9	99.9	100.0	100.0
z	1469	89.4	97.1	98.6	99.3	99.7	99.8	100.0	100.0	100.0	100.0

f	919	91.6	94.6	96.4	98.0	99.0	99.6	99.8	99.8	100.0	100.0
h	3958	73.8	91.4	97.1	98.5	99.4	99.6	99.7	99.8	99.9	99.9
s	7436	89.5	98.3	99.7	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
sh	6473	95.2	98.5	99.2	99.6	99.8	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0
Local		81.4	93.9	97.8	99.0	99.5	99.7	99.9	99.9	100.0	100.0
b	2113	84.9	93.6	97.3	98.7	99.5	99.7	99.9	100.0	100.0	100.0
d	3349	88.8	96.4	97.9	98.6	98.9	99.3	99.6	99.8	99.8	99.9
k	13554	88.1	97.3	99.6	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
p	1782	62.9	83.7	93.6	97.1	99.2	99.3	99.7	99.8	99.9	99.9
t	13321	83.5	96.9	99.1	99.7	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ts	2461	89.6	97.9	99.6	99.7	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ch	2736	88.2	97.8	99.4	99.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Local		83.7	94.8	98.1	99.1	99.6	99.8	99.9	99.9	100.0	100.0
sp	85044	86.7	90.2	92.8	96.3	97.5	98.5	99.1	99.4	99.6	99.7
Local		86.7	90.2	92.8	96.3	97.5	98.5	99.1	99.4	99.6	99.7
Total1	297898	80.2	91.9	95.6	97.8	98.7	99.3	99.5	99.7	99.8	99.9
Total2		80.6	92.9	96.7	98.3	99.0	99.4	99.6	99.7	99.8	99.9

OPEN　話者による文音声中のフレーム単位の音素認識率（論文投稿中）

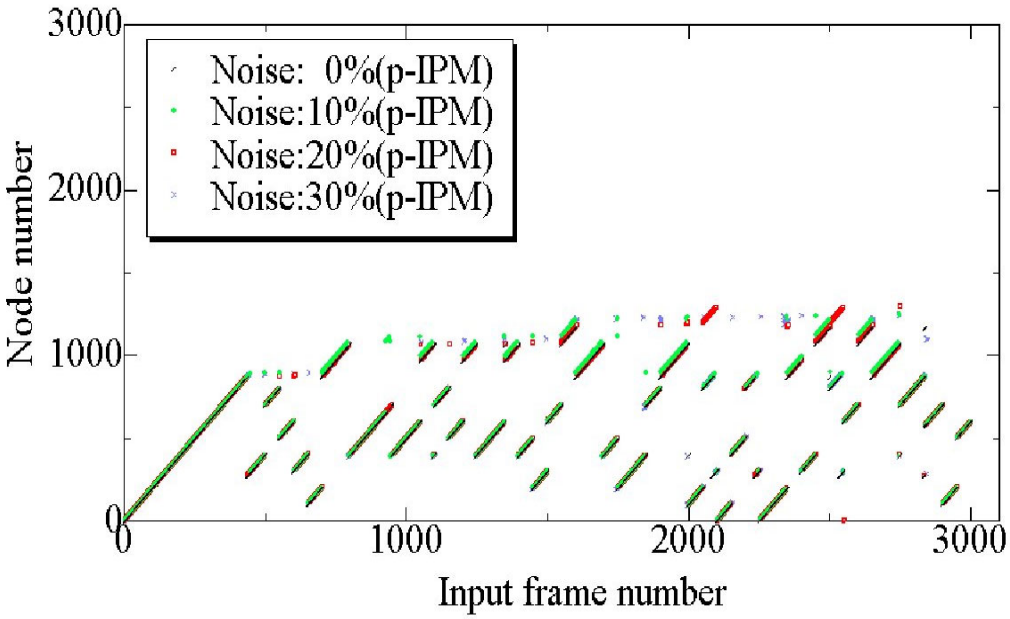
任意の単語や文音声も音素系列で表現される。音素認識が良好にできれば、音素記号系列を通じて、対話システムの語彙登録や音声検索における品質の低い音声をコード化することができる。上記の表は現在達成している、連続音声（文音声）中の音素認識率である。これは日本語の音素であるが、英語音声にも適用されている。

Determination of the isomorphic structure



マルチモーダル情報の学習（文献　＃2,3）

単語系列と動画像系列のネットワークモデルの自動作成とそれらの対応関係。左図が単語系列(ローマ字系列)を自動学習したネットワーク。右図文に対応するジェスチャ系列を動画像系列として観測したものを自動学習したネットワーク。2つのネットワークは位相的に類似したものが作られている。ネットワークによってコンテクストも学習されており、また位相的な類似性でもって、片方から他方へのつながりを構築することができ、メディア間の検索に利用される。



大規模データからのネットワークモデルの自動作成(文献　#2)

3000フレームの記号列を入力する(横軸)とき、このデータでは約1000個のノードからなるネットワークモデルが自動形成される(縦軸)。このネットワークモデルの構成において、入力データ中に類似の系列が存在するとき、それらはマージされて縮退する。縮退の様子がノイズにロバストであることが示されている。

研究開発内容の要約

(1)マルチモーダル対話モデルの自動構築については、時系列データ(単語系列)から自動的にネットワーク表現のタスクモデルを構成する基本方式の開発を行った。特にノイズのあるデータへの頑強性のあるモデルの開発に努めた。

(2)ジェスチャ認識については、低解像度の動画像によるジェスチャを認識するアルゴリズムを開発し、PC で実時間で動作することを実証した。また、ジェスチャをオンラインで教示するソフト、ためらいを伴うジェスチャを認識するアルゴリズム、多様なジェスチャを構成している動作素の自動抽出の方式、などを開発してきた。また、距離画像によるジェスチャ認識、移動ロボットに実装してのジェスチャ対話の応用など、応用範囲の拡大を行うとともに、ジェスチャ対話の移植性の高い、パッケージソフトを完成させた。

(3)音声によるマルチモーダル対話を実現するために、音素認識を高性能化するための波形からの特徴抽出の改良を行い、85%の一位認識率をうる音素認識ソフトを完成させた。また, その実時間で動作するシステムを完成した。また、その近似ソフトとして、移植性の高い音素認識のパッケージの完成させた。

(4)マルチモーダル対話システムの実装については、音声、ジェスチャ入力による「家の設計問題」を例とした対話モデルをノートPC上で行った。これは音声やジェスチャ認識が実時間認識、またタスクの実行も実時間で行うものである。

◆成果の意義

DVD によるビデオデータの大量の記録が広まる環境であるが、それらの自由な検索技術が伴っていない。動画像の検索を音声を介して行うこと、テキストでの検索、画像から単語への変換など、マルチメディア間の検索は必須のものとなる。これらの検索システムを便利に使うためのマルチモーダル対話システムの構築も同時に必要となってくる。本研究開発はこれに応えるものである。

◆他機関との比較など

放ジェスチャ認識はMITなどを中心に世界的な試みがある。しかし、低解像度の動画像データでジェスチャを観測し、40を上回るジェスチャカテゴリを実時間で認識し、かつそれらの事前切り出しを行わない方式の開発は他に例をみない。また、大規模の時系列データからのタスクやモデルの学習を自動的に行う方式の開発も他に例をみない。さらに、音声対話で用いる際に極めて品質の低下した音声データは単語や文への認識を前提には、それを行うことができない。このような場合にでも音声検索をもって対話の実行を行うことは可能であるとする検索ベースの対話を行う提案は例をみない。これらは音素認識の高精度の認識と結びつく、検索エンジンや時系列データの大規模モデルの自動作成方式をもってはじめて実現できるものであるが、本研究のこのようなアプローチは他に例をみない先進的なものであるといえる。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】T. Nishimura, H.Yabe and R. Oka:,“A Method of Model Improvement for Spotting Recognition of Gestures Using an Image”, Sequence, New Generation Computing, Vol.18, No.2, pp.89-101, 2000

【2】H.Yabe, T.Nishimura, T.Mukai and R.Oka: "Recognition of Gestures Using Morphological Features of Networks Made of Gesture Motion Images and Word Sequences", Proc. of International Workshop on Recognition, Analysis, and Tracking of Faces and Gestures in Real-Time Systems, pp.39-46 (1999).

【3】桜井 茂明、 向井 理朗、岡 隆一:”対話タスクモデルのサンプル単語時系列からの自己組織化”,電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J83-D-II, No.2 ,pp.827-839. 2000.2.

【4】R.Oka:” Spotting Method for Classification of Real World Data”, The Computer Journal, Vol.41, No.8, pp.559-565, 1998.8.

【5】S. Nagaya, Y. Itoh, T. Endo, J. Kiyama, S. Seki and R. Oka:” Information Integration Architecture for Agent-based Computer Supported Cooperative

Work System”, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E81-D. No.9, pp.976-989. 1998.11.
【6】西村拓一、向井理朗、野崎俊輔、岡隆一:”"動作者適応のためのオンライン教示可能なジェスチャ動画像のスポッティング認識システム".電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J81-D-II,No.8,pp.1822-1830 (1998).
【7】岡隆一、西村拓一、遠藤隆:”"マルチモーダルインタフェース",日本ロボット学会誌, Vol.16,No6,pp.749-753,1998.
【8】向井 理朗、西村拓一、高橋裕信、遠藤隆、中沢正幸、松村 博、岡 隆一:“マルチモーダルヒューマンインタフェースのノートパソコンへの自走”、電子通信学会、PRMU-98、vol. 98, No. 70, pp.69-75 ,1998.

A-1-7 顔と表情の頑健な認識（マルチモーダル機能KRDL研究室）

◆Goal

(1)Build up a new system paradigm for face and facila expression recognition by fusing multi-source information from 2D and 3D; color and motion.
(2)Enhance the robustness of the system to lighting condition changes, pose changes and background changes, under the new paradigm.

◆Approach

(1)Generally, our research strategy involves both theoretical exploration and research prototype development, although the research itself is more application-oriented.
(2)The work of face and facial expression recognition will be integrated with the Speech and Gesture recognition developed in TRC Multi-modal Function Laboratory to develop personalized speech and gesture dictionaries so that the recognition accuracy can be further improved. Our face recognition system is also being integrated into ETL's JIJO-2 robot system.
(3)This Lab will also join the user group of multi-modal personal computer (MMPC/net) provided by TRC. The MMPC/net is regarded as a platform on which software developed at KRDL will be implemented and also integrated with software of TRC and other user groups.
(4)Technically, we emphasis on face recognition based on multiple distorted samples, with very small images. Many samples per person, and a nearest neighbor algorithm based on the k-best responses for each person.
(5)To develop a multiscale face location very robust to diverse lighting conditions and in complex background combined with a face tracking.
(6)To develop a lighting-insensitive system with modeling the lighting variation and simulation.
(7)We will pay much attention to adaptive wavelet technologies, for example, basis pursuit and local discriminant basis algorithm.
(8)We will study on face and facial expression recognition based on a new system paradigm, perceptual fusion of multiple information. By combining the outputs of multiple vision modules, the assumptions and constraints of each module are factored out to result in a more robust system overall.
(9)We will investigate data fusion method of 2D and 3D image features by 3D face modeling and stereo vision verification; data fusion method of color and motion for moving face or face components tracking.
(10)We will investigate personalized and person-independent facial expression recognition based on model verification. Facial expressions will be modeled in terms of geometry, shading and motion patterns.

◆Outline of Research Plan

(1)To develop a fast and robust face detection and face recognition system. To demonstrate the final image of multi-modal technologies, we will build up a prototype system which can locate an approaching person, track the person from video, and attempt person identification through multiple information

sources.
(2)To develop and integrate a face recognition system for robot application. The effort is to put our face recognition module to ETL information division's JIJO2 robot with the following specification: 1) various lighting conditions in a laboratory and 2) 20 persons in the laboratory.
(3)To develop a personalized facial expression recognition system. It is achieved by extracting the motion vectors using a new approach called Facial Motion Graph (FMG) and categorizing the multiple motion patterns using on VQ-HMM (Vector Quantitization - Hidden Markov Models).

For each system, we will develop the corresponding modules, summarized as follows.

(4)To develop a multiscale face location very robust to lighting conditions and in complex background combined with a face tracking, which may detect a face as small as 40 pixels and as fast as 3 frames/second.
(5)To develop a very fast face selection system. It reduces considerably the search space by providing 99% of probability of presence of the good face within less than 5% of the complete database.
(6)To model the lighting changes using lighting simulation and modeling for improvement of face recognition.
(7)To develop a personalized facial expression recognition system, based on VQ and HMM.
(8)To develop a robust method for spectacles extraction and a face warping method to obtain frontal view face from a single image.
(9)To apply skin color detection to face segmentation.
(10)To develop a robust people tracking algorithm based on stereo vision.
(11)To develop face recognition method by using Gabor wavelet features, and propose a neural network architecture for face recall. It will further improve the face recognition accuracy. The performance is measured by a recent benchmark testing.
(12)Collected a large amount of samples of face and facial expression, and benchmarked a number of methods on the database.

◆Contents of Research Plan

The research effort for FY2000 will be focusing on further study of recognition-by-recall paradigm by perceptual fusion of 2D and 3D, colour and motion data to make the face detection and recognition system more robust. We would build a system that can capture up to four channels of synchronised video. We will connect the system to one colour video camera (RGB) and one monochrome video camera. This will provide us with two 2D images (one colour, one monochrome) at any point of time. Applying stereo vision technique, we can obtain 3D information. Continuously processing the video sequences, we can detect and track the moving objects. From the colour models of objects of interests (such as face colour), we can focus our attention to face

or other moving body parts only. So far, there is no face and facial recognition system that integrates all the information mention here.

To demonstrate the final image of multi-modal technologies, we will build up a prototype system which can locate an approaching person, track the person from video, and attempt person identification through multiple information sources of stereo, colour, facial features. Another effort is to put our face recognition module to ETL information division's JIJO2 robot.

◆Research Significance from the Users' Viewpoint and its Application Fields

Face and Facial Expression Recognition are very important capabilities of human vision system. Study shows that face recognition seems to be a learned capability whereas basic facial expression recognition is gifted. Research on realizing some of the face and facial expression capabilities by computer posses both bio-psychological and pragmatic importance.

Facial expression conveys a lot of KANSEI information, which is often very obvious to our instinct but we can seldom describe clearly. The research results of facial expression recognition will help in developing next generation of human computer interface and humanoid robots.

Face based person identification is a key to open a hall of applications such as personalized electronic services, security, people searching, etc.

Body and facial components extraction and tracking technologies can be easily adopted by applications such as virtual or augmented reality, people flow tracking, video conference and MPEG4 encoding.

◆Summary of achievements

We have so far developed techniques for robust recognition of face and facial expression recognition. The techniques we have developed include a Face Recognition System (RobustFace), a face recogntion system that integrated into ETL's JIJO-2 Robot system, a personalized facial expression recognition system, and a prototype of a web based face searching system (FaceHub).

◆Contents of research results

(1) In-depth research on facial components extraction:

1.1) Precise Eyes Location

We have developed a very robust subpixel eyes detector, achieving more than 98% of correct detection on XM2VTS and ORL databases. This algorithm is able to detect eyes even a person is wearing glasses, or light is reflected. [9,11]. Eye's positions are used for geometrical normalization of the face. A precise eye locator was needed to improve face normalization.

1.2) Face Warping

Face Warping has been developed with two aims: a) to estimate the face direction; b) to change the position of an observed face, for example to build automatically a frontal face from an observed tilted face and to feed this face into a frontal face recognition system [15,24].

Another problem that affects the performance of the face recognition is when the system is matching two faces in different poses. Here, we have proposed a method that improved the face recognition performance by building automatically frontal faces from observed tilted faces.

1.3) Glasses Detection, Extraction and Removal

Glasses detection, extraction and removal have been developed with two aims: a) when the system matches two faces, one with glasses and one without, it is able to remove them and to increase the recognition performances; b) tracking a face in a video sequence of images is more robust when the person is wearing glasses. 3D information obtained from structure from motion can be very efficiently using glasses contour matching in a video. Excellent results have been obtained on our test database containing 500 images, 100% of correct detection, only 2 false alarms [16, 20, 25]. The work has won best paper award at SCI2000.

1.4) Mouth detection

The shape and motion patterns of mouth are critical clues for facial expression recognition and lip-reading system. We developed a robust mouth detection method, which first detects mouth corners and then performs mouth boundary extraction[10,12]. The experimental results show that the proposed method is very robust to variation of mouth shape, facial expression and lighting condition. It achieved 95% for mouth corners and 92% for lip contour detection.

1.5) Face Location

We have explored several face location methods [2,4]. The first one uses derivatives of the image and an implicit face model based on local minima, representing the face as two eyes, a nose and a mouth, combined with skin color detection approach [6,7]. Subpixellic eyes estimation has been linked to it to provide better accuracy [19].

The second one is based on tracking of head contours on differential images, it is pretty fast and effective[27]. Integration with other methods shows that a real time robust face detection is achieved. We further investigated the combination of structure model [2] and statistical model for face detection [31]. Together with the head tracking method, we developed a fast and accurate face and eyes detection method.

The third one is essentially based on multiscale template matching and is up-to-now the most robust to the lighting conditions [28]. Detection of faces at various sizes is handled by applying this algorithm at different resolution of the input image.

(2) Further research in face recognition methods:

A very fast face pre-selector is developed and reached 99% recall-rate of the requested face within the 31 best among 1180 faces on the standard XM2VTS database. This algorithm works with images of 12 per 12 pixels and is extremely fast.

Next, we apply a precise face recognition working at full resolution on the remaining 31 images. It uses an attributed graph representation and matching two faces is realized by bipartite graph matching. Three attributes have been investigated: Gabor wavelets [14, 26], Zernike moments [18] and autocorrelation of the log-polar transform. Two graphs have been explored: static graph, where the points are fixed, and dynamic graph where the points are extracted automatically in specific areas. The solution we are investigating is lying between the two: Fixed points extracted in specific areas with assumption of noise creating displacement. Feature vector performance needs to be investigated as Gabor wavelets are not defined where we have no derivatives.

We also implemented Recognition-by-recall by using a neural network that verifies if a pair of images are from the same person [21,22]. Gabor wavelet features are used together with the neural network. The conventional application of neural networks is either to detect a face from an image or classify a face to different categories. Our novel way of applying neural networks does not require large amount of face samples from the same person, and its equal error is as low as 4% on the XM2VTS database [30]. The performance is among the top comparing with a recent international benchmark test at ICPR'2000.

In a video context, a probabilistic recognition system has been designed [5,8,17]. It accumulates evidences on a person and decides after few frames. After 5 frames, we obtained 100% on ORL (40 persons, 10 images per person). With 12x12 pixels images, we are investigating the storage of 100 occurrences of the same person, when we have 20 persons. Recognition is conducted after few frames, and we expect very high recognition rate. This work is in progress.

(3) Fusion of colour, motion and stereo vision

We have been investigating perceptual fusion of different data sources to further enhance the system level performance. The system is composed of a PC with a multiple-channel image grabber, a colour CCD camera and a monochrome CCD camera. The two video cameras are synchronised by the sync signal from the image grabber board to ensure capturing the moving person at the same time. Also, the two cameras are aligned vertically, which has two advantages over aligning them horizontally in traditional stereo vision systems. The first advantage is that it gives larger vertical view range to capture people of different heights. The second one is that it produces higher accuracy in depth recovery for faces, because the fact that most of the facial components have horizontal edges.

So far we have studied skin colour detection using various color spaces; developed a moving head tracking algorithm[27]; and finished camera calibration and height measuring from stereo vision. Integration of all the individual modules and speed optimisation are in progress.

(4)Facial expression recognition based on VQ-HMM

We developed a new method for automatic facial expression recognition (FER) [13]. We analyzed a problem, which we call multiple motion patterns in human expressions, and solved it using a novel method based on VQ-HMM (Vector Quantitization - Hidden Markov Models). The representation of facial expression is achieved by extracting the motion vectors using a new approach called Facial Motion Graph (FMG). Vector Quantitization is applied to convert motion vector sequences to motion code sequence, which are classified by a discrete HMM network. The application of VQ-HMM overcomes the limitations of traditionally used continuous HMM, which assumes that the output probability distribution of HMM is Gaussian. This assumption is inadequate for the expression types with multiple motion patterns. Experiments showed that our method achieved high performance on our video database, on which the video data are captured under various conditions, and with multiple motion patterns.

The algorithm cannot achieve real time recognition yet, work is in progress to make it faster.

Integration with ETL JIJO-2 robot

As requested by ETL JIJO-2 Robot team, we are working on the face recognition for the robot JIJO-2, with the following specification:

(a) various lighting conditions in a laboratory and (b) 20 persons in the laboratory. We have implemented the modules of registration, lighting-invariant classifier training, and face recognition. A new paradigm to model the lighting changes is implemented. The system is in intensive testing. The first demo prototype system is completed in March, 2001. The final demo version is completed in Aug, 2001. The online testing and fine tune is completed in Sept. 2001.

◆Significance of achievement

The techniques we have developed include a Face Recognition System (RobustFace), which is robust to lighting, facial, and hairstyle changes; a face recogntion system that integrated into ETL's JIJO-2 Robot system, which will be able to recognize 20 people in a lab environment under diverse lighting; a personalized facial expression recognition system, based on Vector Quantitization and Hidden Markov Models, and a prototype of a web based face searching system (FaceHub), which allows a user to search a large face database by presenting a photo.

We developed corresponding elementary technologies to fulfill the above overall achievements. A stereo head detection and tracking system is implemented with more than 98% accuracy. Together with the head tracking, a multi-scale and multi-orientation face detection method is developed by combination of facial structural model and example learning model. It achieves 95% accuracy of face detection for on-line testing.

For facial components detection, a subpixellic eyes location method is used

for precise eyes detection, which, tested against a video database, performed 100% eye detection and, test against a photo database, 98% eye detection.

To compensate the lighting changing that will affect the face recognition performance, a lighting model and lighting changing simulation is investigated. More intensive experiments are in progress to test the effectiveness.

In order to characterize the facial expression, a mouth detection method developed to detect mouth corners and then performs mouth boundary extraction[10,12]. The experimental results show that the proposed method is very robust to variation of mouth shape, facial expression and lighting condition. It achieved 95% for mouth corners and 92% for lip contour detection.

To improve the face recognition performance, a face wrapping and glasses detection technologies are developed to reduce the variance of face appearance. It achieves 100% of the glasses detection and only 2 false alarms.

Face recognition is done through two steps. Firstly, a very fast face pre-selector is used. It reached 99% recall rate of the requested face within the 31 best among 1180 faces on the XM2VTS database. Secondly, a precise face recognition method is used to identify the face input. Our novel way does not require large amount of face samples from the same person, and its equal error is as low as 4% on the XM2VTS database [30]. The performance is among the top comparing with a recent international benchmark test at ICPR'2000. In a video context, a novel probabilistic recognition system has been designed [5,8,17]. It accumulates evidences on a person and decides after few frames. After 5 frames, we obtained 100% on ORL (40 persons, 10 images per person).

We also developed a new method for automatic facial expression recognition (FER). Multiple motion patterns in human expressions are categorized using a novel method based on VQ-HMM (Vector Quantitization - Hidden Markov Models). The representation of facial expression is achieved by extracting the motion vectors using a new approach called Facial Motion Graph (FMG). Experiments showed that our method achieved high performance on our video database, on which the video data are captured under various conditions, and with multiple motion patterns.

◆Comparison with other research institutions

Our lab has studied and developed a full spectrum of technologies related to face and facial expression recognition, which is rare in the world. So far, we have published 30 papers in journals and international conferences, and expecting to publish more in this year.

Our system was demonstrated at RWC Symposium'98 with comparison to FaceIt, a leading US commercial product. It was shown that our system can tolerate facial changes such as hair and mustache changes while FaceIt cannot.

Our presentation cum demo in RWC Symposium'2000 attracted great deal of attention from the participants, especially the JIJO2 project team in ETL. They have been convinced to use our face recognition system in the robot.

ICPR'2000 held at Spain in September, 2000, organized an international

benchmark test on face verification. We could not participate the test as the database did not arrive in time, but our latest results show that our system would be at the second position next to University of Surrey's systems.

◆Research papers, presentations, awards, etc.

【1】Wu, J.K.: Recognition by Recall, RWC Symposium 1996.

【2】Sun, Q.B., Lam, C.P. and Wu, J.K.: Real-time human face location and Identification, Technical Report, Institute of Systems Science, 1996.

【3】Wu, J. K.: Recognition by Recall - A New Paradigm for Object Recognition, IEEE transactions, SMC'97, pp3090-3095.

【4】Huang, W., Sun, Q.B., Lam, C.P., and Wu, J.K.: A Robust Approach to Face and Eyes Detection From Image With Cluttered Background, RWC Technical Report 1998.

【5】Mariani, R.: New Features for Face Recognition, RWC Technical Report 1998.

【6】Sun, Q.B., Huang, W., Wu, J.K.: Face Detection Based on Color and Local Symmetry Information, The 3rd International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp 130-135, 1998.

【7】Huang, W., Sun, Q.B., Lam, C.P., Wu, J.K.: A Robust Approach to Face and Eyes Detection from Images with Cluttered Background, The 14th International Conference on Pattern Recognition, Vol 2, pp 110-113, 1998.

【8】Mariani, R.: Face Learning Using a Sequence of Images, Proc. of The 2nd International Conference on Multi-modal Interface, Vol IV, pp 16-21, 1999.

【9】Mariani, R.: Sub-pixellic Eyes Detection, RWC Technical Report 1999.

【10】Zhang, D.Q.: Accurate Corners' Mouth Detection, RWC Technical Report 1999.

【11】Mariani, R.: Subpixellic Eyes Detection. Proc. of ICIAP'99 pp 496-501, 1999.

【12】Zhang, D., Guo, Y., Zhong, J., Wu, J.K.: Real-time Mouth Detection Using Corner Vector Detection and Parabola Models, Asian Conference on Computer Vision (ACCV), 2000.

【13】Zhang, D., Guo, Y., Wu, J.K.: Facial Expression Recognition Using VQ-HMM, Proc. of SCI'2000, Vol V, pp 340-344, 2000.

【14】Rajapakse, M., Guo, Y.: Efficient Gabor Feature Based Approach for Face Recognition, Proc. of SCI'2000, Vol 5, pp 265-269, 2000.

【15】Bai, Y., Cardon, D., Mariani, R.: Face Warping", Proc. of SCI'2000, Vol V, pp 12-15, 2000.

【16】Jing, Z., Mariani, R., Wu, J.K.: Glass Extraction Using Bayes Rules and Deformable Contour, Proc. of SCI'2000, Vol VIII, pp 386-391, 2000.

【17】Mariani, R.: Face Learning Using a Sequence of Images, IJPRAI, Vol. 14, No. 5, World Scientific Press, 2000.

【18】Mariani, R.: Local Invariants and Local Constraints for Face recognition, Proc. of ICPR'2000, 2000.

【19】Huang, W. and Mariani, R.: Face Location and Precise Eyes Detection,

Proc. of ICPR'2000, Vol 4, pp 722-727, 2000.
【20】Jing, Z., Mariani, R.: Glasses Detection and Extraction By Deformable Contour, Proc. of ICPR'2000, 2000.
【21】Zhang, W., Guo, Y.: Feature based Face recognition: Neural network using recognition-by-recall,R. Mizoguchi and J. Slaney (Eds), Springer-Verlag, LNAI 1886, Proceedings of Pacific Rim Conference on Artificial Intelligence (PRICAI'2000), pp.599-607, 2000.
【22】Zhang, W., Guo, Y.: Benchmark Testing and Performance Improving for Face Recognition, International Conference on Artificial Intelligence (ICAI'2000), 2000.
【23】Zhang, W., Guo, Y., You, D., and Yiqun Li: FaceHub: Integrate Face Recognition with Java Technology, International Conference of Imaging Science, Systems, and Technology (CISST'2000), 2000.
【24】Bai, Y., Cardon, D., Mariani, R.: Face Warping using a Single Image, Proc of ICMI'2000, 2000.
【25】Jing, Z., Mariani, R.: Glasses Detection for Face Recognition Using Bayes Rules, Proc of ICMI'2000, 2000.
【26】Rajapakse, M., Guo, Y.: Performance Analysis of Gabor Responses in Face Recognition, Proc of MVA 2000 pp.359-362, 2000
【27】Luo, R., and Guo, Y.: Tracking of Moving Heads in cluttered Scenes from Stereo Vision, Robot Vision 2001, Feb., Auckland, New Zealand.
【28】R Mariani: A Face Location Algorithm Robust Complex Lighting Conditions, Proc. of the Third Int Conf of Audio- and Video-based Biometric Person Authentication (J Bigun and F Smeraldi Eds), Springer, pp.115-120, 2001
【29】Bai-ling Zhang Y Guo: Face Recognition by Auto-associative Radial Basis Function Network, Proc. of the Third Int Conf of Audio- and Video-based Biometric Person Authentication (J Bigun and F Smeraldi Eds), Springer, pp.52-58, 2001
【30】M Rajapakse and Y Guo: Multiple Landmark Feature Point Mapping for Robust Face Recognition, Proc. of the Third Int Conf of Audio- and Video-based Biometric Person Authentication (J Bigun and F Smeraldi Eds), Springer, pp.96-101, 2001
【31】W Huang, B Zhang and Y Guo: Face and Eyes Detection Using Structural Model and Example-based Learning Method, to be submitted, 2001
【32】R Luo and Y Guo :Real-Time Stereo Tracking of Multiple Moving Head, Proc. of the 2nd Int Workshop on Recognition, Analysis and Tracking of Faces and Gestures in Real Time System, pp.55-60, 2001
【33】H Zhang and Y Guo: Facial Expression Recognition Using Continuous Dynamic Programming, Proc of the 2nd Int Workshop on Recognition, Analysis and Tracking of Faces and Gestures in Real Time System, pp.163-167, 2001

A-1-8 適応ビジョンシステムに関する研究（RWIセンター適応ビジョンラボ）

◆目標

「コンピュータに見せて」、「コンピュータが覚えて」、「コンピュータが見回す」ことによるコンピュータとの生き生きとした視覚的対話の機能の実現のために、リアルワールドのシーンを理解し、人間を含む外界の多様な変化に適応できるビジョンシステムを開発する。

◆アプローチ

リアルワールドでは、すべての対象物のモデルを事前に登録したり、すべてを全自動で認識することは不可能である。よって、理解できる対象の種類が人間とコンピュータとの自然な対話を通じて増加したり、コンピュータによる認識状況を実時間で人間に提示したりすること等により、人間の判断を適切にシステムに組み込むことが重要である。このような視覚システムを適応ビジョンシステムと呼び、人間の行動を観察し、人間によって示された対象物を覚え、それに基づいてシーンを理解し、処理結果を実時間で人間に提示するという機能を持った適応ビジョンシステムの研究を行う。

◆研究計画概要

・適応ビジョンシステムの実現のための基本アルゴリズムを開発

下記、2種類の実証システムを実現するための要素となる基本画像処理アルゴリズムを開発する。具体的には、汎用画像学習・認識アルゴリズム、ハンドサイン等の動作認識アルゴリズム、3D奥行き情報獲得アルゴリズムである。

・3次元動き情報を利用した複数対象物の抽出とその実時間認識システムの 開発

コンピュータに見せて、コンピュータが覚えて、コンピュータが認識するステレオ動画像実時間処理システムを開発する。コンピュータに見せることによって対象物を計算機に学習させ、さらに学習した対象物を複数個同時に実時間で検出し認識する手法を提案し、実際に実時間 (30 frames/sec) で動作させる。これにより、たとえば「XXXさんがコップで何かを飲んでいる」とか「YYYさんがうちわで扇いでいる」などを画像情報から理解することが可能となる。

・ウェアラブルビジョンシステムの開発

近年の急速な画像入出力機器の小型化、処理装置・無線ネットワークの高速化等により、ビジョンシステムを着用することも不可能ではなくなっている。そこで、常に着用者と同じ体験をすることによって気が利いたインタラクションが可能なウェアラブルアシスタントのプロトタイプ「ウェアラブルビジョンシステム」を開発する。特に、ウェアラブルならではのビジョンアルゴリズムやビジョンシステム、実世界とサイバースペースとの視覚的融合による着用者への Context-aware なアシストについて研究を行う。

◆研究計画内容

3次元動き情報を利用した複数対象物の抽出とその実時間認識システムについては、固定したCCDカメラの前の人物を含む任意背景のシーン中の対象物を、同時に3個以上実時間で検出し、その動きベクトルを抽出するとともに、それが何であるかの認識を事前に学習したものとの照合によって実時間で行う。これにより、人

間を取り巻く状況（人間が何をコンピュータに指示しているか、人間が何をしているか、誰と誰がいるか）を実時間で認識するシステムを実現する。

ウェアラブルビジョンシステムについては、人間が着用した超小型CCDカメラと超小型ディスプレイを、ノートパソコンを経由して無線で高速コンピュータと接続することにより、着用者とほぼ同じ視点から得られる映像を取り込み、高度な実時間画像処理を行い、直ちに結果を超小型ディスプレイを通して着用者に提示する。画像処理としては、見ている方向を検出しその位置に注釈情報を重ね合わせ表示する処理、見ている対象物の情報を抽出し状況把握とインタフェースに利用する処理を実現し、知的アシスタントのプロトタイプを実現する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

- キーボードを使わなくともコンピュータとフレンドリーに対話が可能となる。
- 視覚に関する人間の知的活動をサポートするアシスタントシステムを実現することができる。
- お年寄りや身障者にも使いやすい案内システム、メンテナンス作業支援等への応用が期待される。

◆成果概要

適応ビジョンシステムの実現のための基本アルゴリズムを開発する。
3次元動き情報を利用した複数対象物の抽出とその実時間認識システムの開発.。
ウェアラブルビジョンシステムの開発。

◆研究成果の内容

(1)適応ビジョンシステムの実現のための基本アルゴリズムを開発する。

1)擬人化ソフトウェアロボットのための学習型画像認識システム

人間とコンピュータとの実世界での円滑な対話の実現を目指して、3Dコンピュータグラフィックスによる擬人化エージェントをコンピュータ画面に表示し、この仮想人物に「見て、聞いて、笑顔で話しかける」機能を持たせた擬人化ソフトウェアロボットを開発した【1】【2】(図1)。実時間顔認識機能を備えた対話システムであるマルチモーダル対話システム【3】の発展形である。微妙な表情の生成や、視線の制御、指による指示等が可能であり、正にソフトウェアロボットと呼べるものである。前もって学習した顔や物体を実空間内（とりあえずオフィスを想定）で探索する画像処理機能を特に強化し、対象を認識した場所や時刻を履歴として管理し、人間に話したり、視線や指で示すことでそれらの情報を人間に伝えるものである。システムは、対象物をその名称と所有者とリンクさせて対話的に学習し簡単な会話によるタスクを実現する。



図1:擬人化ソフトウェアロボット

2)ジェスチャー認識

動画像処理の重要な応用分野であり、ヒューマンインタフェースにとっても重要な要素技術がジェスチャ認識である。ユーザに依存しない手法として、我々が顔・物体認識で用いて来た判別分析を動画像に拡張した手法を開発している【4】【5】。この手法は、動きによる画素値の変化の有無のパターンを特徴ベクトルとして、判別分析を行い、事前に学習したジェスチャのオンライン認識を行う。計算量は少なく、認識を実時間で実現することは容易である。背景、照明の変動、服装、動きのスピードに対して強く、位置不変性を持ち、対象のセグメンテーションを行う必要がない。

3)View-based3D物体仮想学習手法

3次元物体の認識に関しては、モーションステレオ手法を使つて物体の3次元ビューモデルを求め、それを用いて物体の各姿勢の見かけ画像を学習サンプルとして自動的に生成し、コンピュータに学習させる手法“View-based 仮想学習手法【6】”を開発した。これにより、3次元物体の各々の姿勢のさまざまな照明条件の下の見かけ画像の膨大な学習サンプル数を用意する必要が無くなる。なお、ここで使うモーションステレオ法 7)は、物体を動かして撮った時系列ステレオ画像の中から物体の 3D モデルを獲得する手法である。まず、時系列ステレオ画像の中からいくつかのビューを選び、そのビューの近くにある時間的に連続した 2 フレームのステレオフレーム(4 枚の画像)を使って、物体の 3 次元形状を復元する。4 枚の画像を使うことによって、その 4 枚の画像に含まれている動き情報とステレオ情報が同時に利用され、信頼性の高いマッチングを得る。次に、各ビューで得られた物体の部分的な 3 次元形状を統合し、物体の 3 次元モデルを作る。物体の各表面は二つ以上のビューに現れていると仮定すれば、すべてのビューを合わせた 3 次元データから重なりのある部分だけを抽出し、不要な領域(手など)や背景領域を取り除くことが可能である。

(2)3次元動き情報を利用した複数対象物の抽出とその実時間認識システムの開発
コンピュータに見せて、コンピュータが覚えて、コンピュータが認識するステレオ動画像実時間処理システムを開発した【8】【9】。コンピュータに見せることによって対象物を計算機に学習させ、さらに学習した対象物を複数個同時に実時間で検出し認識する手法を提案し、実際に実時間 (30 frames/sec) で動作させることに成功した。これにより、たとえば「XXXさんがコップで何かを飲んでいる」とか「YYYさんがうちわで扇いでいる」などを画像情報から理解することが可能となった。

具体的には、ユーザの正面ステレオ画像から、奥行き情報（ステレオ CCD カメラからの距離）とオプティカルフロー（動きベクトル）を実時間で同時に取得し、最も手前から3番目までにあるものとそれらの動きに着目し、それらを常に実時間で認識することができるシステムである。これによりユーザが提示した対象物のスムーズな学習、ユーザ識別、ユーザの動作の識別、学習しておいたハンドサインを利用したコンピュータとのインタラクション等を可能にする。図2に実験のようすを示す。手や顔といった対象に特化した手法による認識システムは数多く開発されているが、子どもに「ほらこれ覚えておいて」と教えるようにコンピュータに覚えさせることのできる、対象に特化しない認識システムも重要であると考えている。その場合、人間はCCDカメラに物体を近づける動作によってコンピュータに物を見せようとする。こういった特徴的な3次元的情報や動き情報を利用すれば、注目すべき対象をコンピュータは簡単に切り出すことができる。

この手法を実現するために、多重解像度戦略を利用した（図3）。まず、入力画像から、ピラミッド画像を生成し、低解像度画像で奥行き情報とオプティカルフローを計算する。次に、注目する矩形小領域について高解像度画像で認識を行う。つまり、おおまかな画像で効率良く奥行きと動きを求めて、注目すべき場所をまず見つけ、次に細かい情報を用いて、そこに何があるかを認識するのである。このときの認識手法には高次局所自己相関特徴による判別分析を用いた。これにより、少ない計算量で高い精度が期待できるのと同時に対象の種類に依存しない認識が行なえる。本システムは、多重解像度画像生成専用ハードウエア(ピラミッドビジョンシステム)、2台の濃淡 CCD カメラ、結果出力用の RGB モニタ及びホストコンピュータ(SPARC station 20)から構成されている。

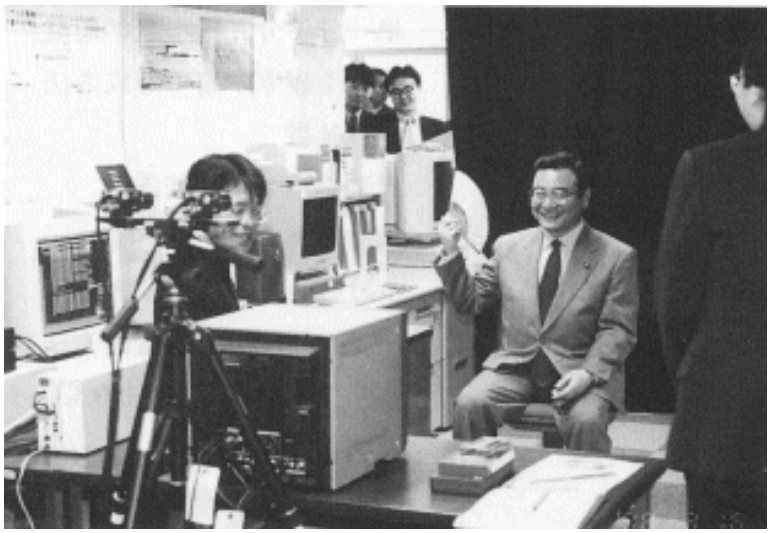


図2:加藤先生暑いですね。（手前左がステレオCCDカメラ）

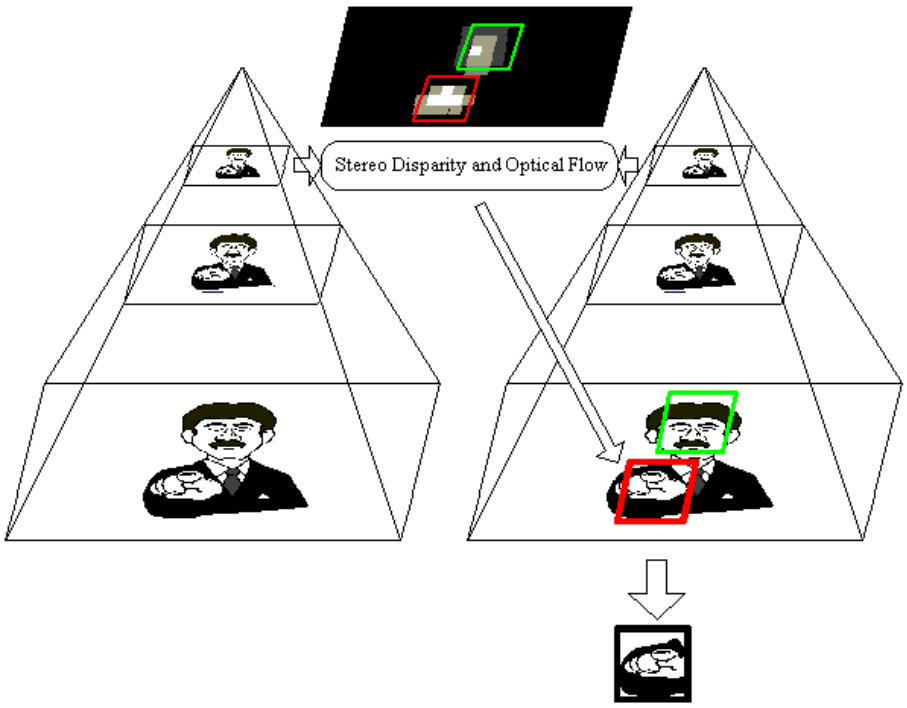


図３:多重解像度戦略

(3)ウェアラブルビジョンシステムの開発
近年の急速な画像入出力機器の小型化、処理装置・無線ネットワークの高速化等により、ビジョンシステムを着用することも不可能ではなくなってきた(図４)。そこで、常に着用者と同じ体験をすることによって気が利いたインタラクションが可能なウェアラブルアシスタントのプロトタイプ「ウェアラブルビジョンシステム」を開発した。特に、ウェアラブルならではのビジョンアルゴリズムやビジョンシステム、実世界とサイバースペースとの視覚的融合による着用者への Context-aware なアシストについて研究を行った。

超小型CCDカメラ及び超小型ディスプレーを備えたヘッドセットを身につけることにより、着用者とほぼ同じ視点から得られる映像を取り込み、これに対して高度なリアルタイム画像処理を行い、直ちに結果を超小型ディスプレイを通して着用者に示すことができる。例えば、シーン中の様々な注釈情報(展示物の紹介、道案内、非常口等)を映像に重ね合わせ表示することにより、着用者は実際に見ているシーンよりも多くの情報を得ることができる。また、手で持った物体を見まわすだけでその３次元情報を自動的に獲得することも可能である。さらに、対面してる人間の顔認識、自分自身の指をヘッドセットのカメラで撮影することによる実時間インタフェース、対象認識に基づく着用者視点映像への3次元情報提示等を実現した。

画像処理はPCクラスタによる並列処理で高速に実行され、着用者との間のデータ転送には無線LANが用いられる。画像処理アルゴリズムは、ソフトウェアによってリモート PC クラスタ(Dual-PentiumII-450MHz, Dual-PentiumIII-500MHz 等の数台の PC で構成、OS: Linux-2.2 SMP supported、100M ethernet LAN)上に実装されている。現在準リアルタイムな動作が実現されている【10】【11】【12】。

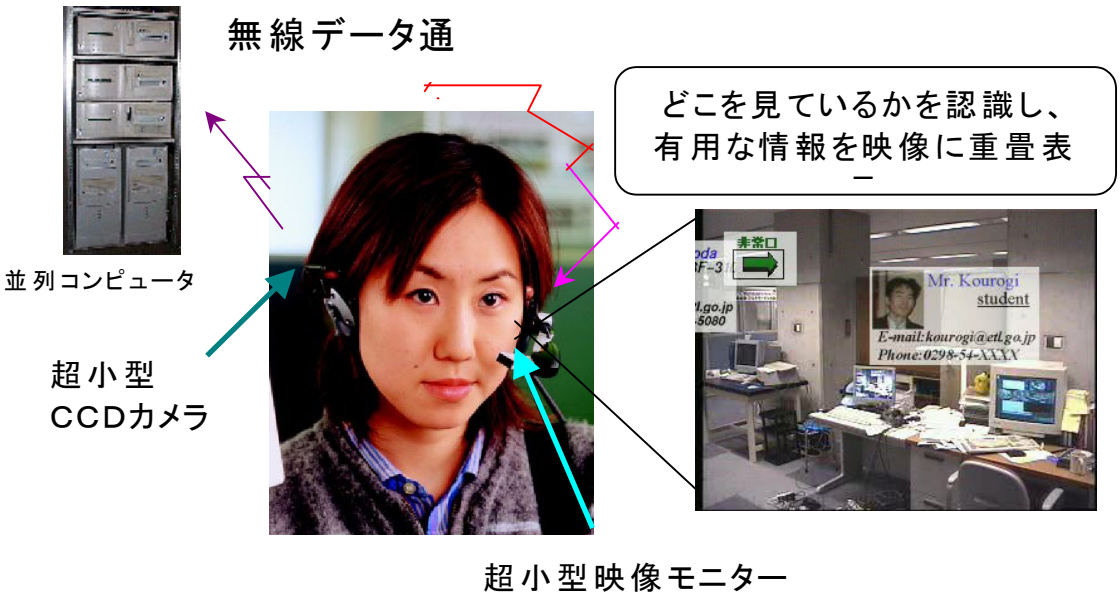


図4:ウェアラブルビジョンシステム

◆成果の意義

キーボードを使わなくともコンピュータに接続されたCCDカメラを用いて、コンピュータとフレンドリーに対話が可能となる。・視覚に関する人間の知的活動をサポートするアシスタントシステムを実現することができる。・お年寄りや身障者にも使いやすい案内システム、メンテナンス作業支援等への応用が期待される。

◆他機関との比較など

3次元動き情報を利用した複数対象物の抽出とその実時間認識システムの開発については、コンピュータに見せることによって対象物を計算機に学習させ、さらに学習した対象物を複数個同時に実時間で検出し認識する世界で初めてのシステムである。採択率の非常に低い国際会議に採択され、注目された。

ウェアラブルビジョンシステムについては、ウェアラブルコンピュータの研究は企業でも盛んになってきているが、本システムのような画像処理システム自体をウェアラブルにするという発想は世界的に見ても非常に珍しい。特に、フルディジタルで実装したのは世界で最初と考えられる。また、それが実環境で実時間安定動作することも非常に評価されており、1999年度人工知能学会全国大会(第13回)ベストプレゼンテーション賞を受賞した。国際的にもISWC2001というウェアラブルコンピュータに関する国際会議の口頭発表として採録され、IEEE PCM2001 Special Session on Wearable Media にも招待された。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】長谷川修, 坂上勝彦, 速水悟: ``実世界視覚情報を対話的に学習・管理する人間型ソフトウェアロボット," 電子情報通信学会論文誌 D-II, vol.J82-D-II, no.10, pp.1666-1674 (1999)

【2】Osamu Hasegawa, Katsuhiko Sakaue and Satoru Hayamizu: ``Interactive Learning and Management of Visual Information via Human-like Software Robot," New Generation Computing, vol.18, no.1, pp.15-28, Ohmsha, Ltd.

and Springer-Verlag (2000)
【3】Osamu Hasegawa, Katsunobu Itou, Takio Kurita, Satoru Hayamizu, Kazuyo Tanaka, Kazuhiko Yamamoto and Nobuyuki Otsu: ``Active Agent Oriented Multimodal Interface System," Proc. IJCAI-95, (14th International Joint Conference on Artificial Intelligence), pp.82-87 (1995)
【4】Bisser Raytchev, Osamu Hasegawa and Nobuyuki Otsu: ``User-Independent Gesture Recognition by Relative-Motion Extraction and Discriminant Analysis," New Generation Computing, vol.18, no.1, pp.29-38, Ohmsha, Ltd. and Springer-Verlag (2000)
【5】Bisser Raytchev, Osamu Hasegawa and Nobuyuki Otsu: ``User-Independent Online Gesture Recognition by Relative-Motion Extraction, Discriminant Analysis and Dynamic Buffer Structures," Proc. ACCV2000 (2000)
【6】Caihua Wang and Katsuhiko Sakaue: ``View-based Virtual Learning and Recognition of 3D Object Using View Model Obtained by Motion-Stereo,'' New Generation Computing, Vol.18 No.1, pp.39-47, Ohmsha, Ltd. and Springer-Verlag (2000)
【7】王彩華, 坂上勝彦: ``モーションステレオによる3次元物体形状の獲得", 電子情報通信学会論文誌 D-II, vol.J81-D-II, no.8, pp.1885-1894 (1998)
【8】Ikushi Yoda and Katsuhiko Sakaue: ``Utilization of Stereo Disparity and Optical Flow Information for Human Interaction," Proc. International Conference on Computer Vision, ICCV'98, pp.1109-1114 (1998)
【9】依田育士, 坂上勝彦: ``3次元動き情報を利用した複数対象物の抽出とその実時間認識", 電子情報通信学会論文誌 D-II, vol.J81-D-II, no.9, pp.2043-2051 (1998)
【10】蔵田武志, 興梠正克, 藤木淳, 坂上勝彦: ``ウェアラブルカメラを用いた高速でロバストな対象物体の3次元復元," 1999年度人工知能学会全国大会(第13回), ディジタルポスターS3-07 (1999)
【11】Takeshi Kurata, Jun Fujiki, Masakatsu, Kourogi and Katsuhiko Sakaue: ``A Robust Recursive Factorization Method for Recovering Structure and Motion from Live Video Frames," In CD & Web Proc. ICCV'99 FRAME-RATE WORKSHOP in Kerkyra, Greece (1999)
【12】Masakatsu Kourogi, Takeshi Kurata, Katsuhiko Sakaue and Yoichi Muraoka: ``A Real-time Panorama-based Technique for Annotation Overlay on Video Frames," In Web Proc. IWAR'99 in San Francisco, USA (1999)

受賞

1997年　第3回画像センシングシンポジウム優秀論文賞
「学習によるシーン理解の提案とその基礎実験」

1999年　1999年度人工知能学会全国大会（第13回）ベストプレゼンテーション賞
ウェアラブルカメラを用いた高速でロバストな対象物体の3次元復元」

A-1-9 音声と画像の統合による対話の研究（RWIセンター情報統合対話ラボ）

◆目標

音声や身振りなどの多様な情報を用いたマルチモーダル対話システムの研究によって、ユーザにやさしいインタフェースを実現することを目指し、音声と画像の認識・合成・再生系の統合により、人間とシステム（人工物）が自然な対話を行うための情報統合技術の研究開発を行う。

◆アプローチ

音声と画像を用いたシステムと人間との対話を実現する上で、人間と共存する実世界の情報が明示的には記述困難であることが問題となっている。これに対して音声と画像の統合による学習方式（インターモーダル学習）の研究によって、実世界情報を利用した対話システムの構築を可能にする。

◆研究計画概要

音声と画像の統合による学習方式の研究、音声と画像の統合による対話システム技術の開発を並行して進めるとともに、統計的手法によるジェスチャー認識技術や多様な情報を用いた対話技術の研究開発を行う。学習方式の研究における理論的側面の研究と、対話システムの開発によるシステム化技術の研究と、人間とシステムとの対話における現象の解明といった多面的なアプローチにより、総合的な研究開発を進める計画となっている。

◆研究計画内容

音声と画像の統合による対話の基盤技術として、つぎの4項目の研究開発を行う。

・音声と画像の統合による学習方式の研究

システムの挙動を人間がすべて記述するのでなく、対話的にシステムに教えることを目指す。具体的には、物体などの画像を見せてその名称や属性などを音声で教えるなどのインターモーダル学習の学習方式を研究する。数値目標は学習を実時間で行い、200種類の画像に対して音声との対応付けを90％の正解率。

・音声と画像の統合による対話システム技術

音声認識、音声合成、画像認識、CG画像合成を統合したマルチモーダル対話システムの情報統合技術、マルチモーダル対話の記述言語、対話システムと実世界情報との融合技術などの対話システム技術の研究を行う。

・統計的手法によるジェスチャー認識技術

音声と画像の統合による対話のための入力手法として、身振りなどの動画像の認識について、時間的な側面を含む統計的な手法を用いた認識手法の研究を行う。

・多様な情報を用いた対話技術

音声などを用いた計算機と人間による対話の収集・解析を行い、人間と人工物の対話における様々な現象を明らかにするとともに、ノンバーバル情報などの多様な情報を利用した柔軟な対話技術の研究を行う。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

システムに対話的に教える学習方式の研究や、音声や身振りなどの多様な情報を用いたマルチモーダル対話システムの研究によって、ユーザにやさしく、一人、

一人のユーザに合わせられるインタフェースを実現することができ、様々な情報機器に応用できる。

◆成果概要

画像に対する複数の属性の一つを音声で教えて、複数の属性を自動的に分類して獲得する学習を提案した。音声認識、音声合成、画像認識、画像合成を統合したマルチモーダル対話システムと記述言語を開発した。統計的手法によるジェスチャー認識手法を開発した。計算機と人間の対話を解析し対話における様々な現象を明らかにした。自然な発話における言い淀みの検出手法を提案し、音声補完という言い淀みを利用した新しい音声入力インタフェースを開発した。

◆研究成果の内容

音声と画像の認識・合成・再生系の統合によるマルチモーダル対話システムの実現のための基盤技術として、つぎの4つの項目について研究開発を行った。

(1)音声と画像の統合による学習方式の研究

音声と画像のインターモーダル学習のわく組みを提案した。形や色といった複数の属性をもつ物体の画像を見せてそのうちの1つの属性を音声で教えるということを繰り返し、画像に対する複数の属性の種類と分類を自動的に獲得するという複数情報源からの概念獲得の問題を考える。この問題に対し、隠れ変数を含む統計的な学習法である EM (Expectation-Maximization) 法を用いた学習法を提案した。特徴抽出レベルでは、多重解像度相関特徴を提案し、概念獲得のために必要な特徴を抽出するための正準相関分析を行い、最終段で EM 法を用いた多値回帰による概念獲得を行うモデルを提案し、実際の画像と音声を用いた学習実験によりその有効性を示した 1)。

また、機械学習におけるインターモーダル学習の位置づけ、特殊性について、複数情報源の間の相互関係の学習の問題として、主に確率統計的な観点から考察した。また、マルチモーダルな情報を用いた識別の問題に対して、信頼度の学習によるマルチモーダル識別器の統合について検討した。さらに、単語発声の複数サンプルを利用した未知語の音韻系列の推定手法を提案し、認識実験により有効性を示した。この手法は、音声と画像を与えて物体の名称や属性などを学習する場合に語の自動獲得を行う際の、未知語音声の音韻系列の推定に用いることができる。

(2)音声と画像の統合による対話システム技術

はじめに、音声認識、音声合成、画像認識、CG 画像合成を統合したマルチモーダル対話システムのプロトタイプを開発した。一般に人間同士が対面して対話をする際には、言葉での論理や感情の表現に加え、視線の動き、表情の変化、ジェスチャー等を意識的あるいは無意識的に使うことにより、より柔軟でかつ高度な相互理解を達成していると考えられる。本プロトタイプは、人工物である計算機と人間との対話をスムーズに促進させるため、モニタ上に人物の動画像を表示し、実時間の音声認識、音声合成、画像認識と統合することにより、ユーザは表情を持った仮想的な人物（マルチモーダル擬人化エージェント）と対話して、簡単な処理を行わせるようになっている。画像認識による人物識別と音声対話の統合によって、システムから話しかけるという「自発性」や、第三者への伝言機能を実現するといった、情報統合による新しい機能の実現の可能性を示した。



図１　マルチモーダル対話システムプロトタイプ

また、マルチモーダル対話の記述言語 MILES (Multi-modal Interaction LEading Script) を開発した。これは、システム設計者が、人と機械の間のマルチモーダル対話を容易に設計し、テストすることができるようにしたものである。ユーザにとって自然で役に立つマルチモーダル対話を実現するために、対話中のイベントの時間関係と割り込みなどを始めとする対話性について注意を払って設計した。MILES で記述したスクリプトは、アプリケーションプログラムとは切り放して実装された対話管理モジュールによって解釈・実行される。対話管理の領域依存性はアプリケーションプログラム毎に用意されたスクリプトによって表される。したがって、提案する枠組みはどんな領域のマルチモーダル対話も、システムの再構築なしに、動作させることができる 2)。

さらに、実世界情報を学習／管理可能な人間型ソフトウェアロボットのプロトタイプシステムを開発した。システムのモニタ上に人の上半身の姿を有する3次元コンピュータグラフィックス像（人間型ソフトウェアロボット）を表示し、これに視覚や聴覚を用いた対話機能や、表情や視線、指さしジェスチャーの細やかな制御機能を与え、実空間を対象とした人と計算機の円滑なインタラクションを図る。具体的には、あらかじめ学習した実空間中の人物や物体を視覚的に探索・捕捉し、それらの発見位置や時刻を履歴として管理するとともに、その3次元的な位置を発話と視線／指さしジェスチャーで示すことができる。また新たな対象物の登録を対話的に行える他、その人物の名前／所有者なども併せて登録でき、こうした機能を活用して室内の状況に関して人間（ユーザ）と簡単な対話を行う（タスクをこなす）ことが可能である 3)。

(3) 統計的手法によるジェスチャー認識技術

音声と画像の統合による対話のための入力手法として、統計的な手法によるジェスチャー認識について研究を行った。この手法は、 PARCOR (partial auto-correlation) 画像から抽出した高次局所自己相関特徴を利用してジェスチャーを認識する手法である。動画像から動きに関する情報を抽出するために、音声

情報処理で良く利用される線形予測符号化法を用いて、各画素毎にその輝度値の時系列に対して自己回帰モデルをあてはめ、その結果から PARCOR 特徴を抽出し、それらを画像として再構成し、PARCOR 画像を得る。さらに、その PARCOR 画像から認識対象の位置が変化しても変わらない特徴(高次局所自己相関特徴)を抽出し、それを隠れマルコフモデル (HMM) の入力とし、ジェスチャーを認識する。RWC マルチモーダルデータベースを用いた評価実験により、6名が各4回繰り返した 17 種類のジェスチャーに対して約 82%の認識性能が得られた。提案手法は、計算が比較的容易で、しかも、ジェスチャーを行う人の位置の変化に強く、ジェスチャー認識手法として有望である 4)。

(4)多様な情報を用いた対話技術

はじめに、対話システムを構築する知見を得るために、計算機と人間による対話データを収集した。被験者との対話にはなりすまし(Wizard of OZ)方式を用いたが、案内の内容や音声応答の生成は自動化した。システムとの対話の際の自由発話音声(道案内対話音声コーパス)とユーザの挙動および顔表情の画像データを収集した。この道案内対話音声コーパスを用いて、自由発話音声における言い淀みの分析などの言語的な現象の解析を行った 5)。また、対話音声のノンバーバル情報と発話行為との関連に着目し、発話行為タグ、話題セグメントタグ、対話潤滑語(相づち、フィラーなど)タグといった対話音声コーパスに対して付与する談話タグの種類とタグ方式について検討し、道案内対話音声コーパスに対して談話タグの付与を行った。

また、言い淀み現象である有声休止(音節の引き延ばしも含む)を自動的に検出する手法を提案した。自発的な発話に多く現れる言い淀み現象である有声休止は音声対話において発話権の保持等の大切な役割を果たしており、一方、音声認識において誤認識の原因となっており、その検出は音声対話システムを実現する上で重要である。従来、連続音声認識やワードスポッティングの枠組みで有声休止に対処する研究事例はあったが、言い淀み現象として個々に検出しておらず、その役割を把握して適切に扱うことはできなかった。これに対してボトムアップな周波数解析によって検出する手法を提案した。本手法は、有声休止中は調音器官の変化が小さいことを仮定し、基本周波数の変動とスペクトル包絡の変形が小さい箇所を有声休止として検出する。日本語の音声対話コーパスを用いた実験の結果、その有効性が確認された 6)。

さらにこの有声休止の検出手法を応用して、ユーザがある単語を最後まで思い出せずに断片だけを発話しても、システム側がその続きを補って入力することを可能にする「音声補完」という新しい音声インタフェースを提案した。既にテキストインタフェースでは、ファイル名の入力などで補完の概念が広く受け入れられているが、音声では効果的な補完機能は提案されていなかった。これに対して、ユーザが単語発声途中で有声休止(母音の引き延ばし)を行うと、それに続く補完候補の一覧を見ることができるインタフェースを構築し、労力をかけずに自発的に補完機能を呼び出しながら音声入力することを可能にした。実際に、有声休止検出機能と補完候補作成可能な音声認識機能を備えたシステムを実装して運用し、音声補完の有用性を確認した 7)。

◆成果の意義

・音声と画像のインターモーダル学習という新しいわく組みの学習方式を示した。このようなわく組みの提示そのものがこれまでになかった新しいものであり、今後の

研究の方向性を示すものとして大きな意義がある。

・音声認識、音声合成、画像認識、CG 画像合成を統合したマルチモーダル対話システムと記述言語を開発し、マルチモーダル対話システムのプロトタイプを示した。
・実空間を対象とした対話によりシステムと実世界情報との融合を実現した。
・統計的手法による新しいジェスチャー認識手法を開発した。
・計算機と人間との対話の収集・解析を行い、対話における様々な現象を明らかにした。
・自然な発話における言い淀みの検出手法を提案した。
・音声補完という新しい音声入力インタフェースを開発した。ユーザが望むときにシステムが補完候補を自動的に提示し、労力をかけずに音声入力することを可能にしたものであり、複数の学会で受賞するという高い評価を受けた。

◆他機関との比較など

同様の研究は、MIT、NTT、ATR、東大、豊橋技術科学大学などでも行われているが、音声と画像の統合による多属性の学習、音声補完、システムと実世界情報の学習の融合などの新しい研究は他に例がなく、世界的に高い水準にある。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】赤穂, 速水, 長谷川, 吉村, 麻生, “EM 法を用いた複数情報源からの概念獲得”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-A , No.9, pp.1546-1553, 1997.
【2】秋葉, 神嶌, 伊藤, “時間関係と対話性を考慮したマルチモーダル対話記述用スクリプト”, 電子情報通信学会技術報告, NLC97-53, pp.71-78, 1997.
【3】長谷川, 坂上, 速水, “実世界視覚情報を対話的に学習・管理する人間型ソフトウェアロボット”, 電子情報通信学会論文誌, D-Ⅱ,Vol.J82-D-Ⅱ, No.10, pp.1666-1674, 1999.
【4】T.Kurita, S.Hayamizu, “ Gesture recognition using HLAC features of PARCOR images and HMM based recognizer”, Proc.of International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp.422-427, 1998.
【5】K.Itou, T.Akiba, O.Hasegawa, S.Hayamizu, K.Tanaka, “A Japanese spontaneous speech corpus collected using automatically inferencing Wizard of OZ system”, Journal of Acoustical Society of Japan (E), Vol.20, No.3, pp.207-214, 1999.
【6】後藤, 伊藤, 速水, “自然発話中の有声休止箇所のリアルタイム検出システム”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J83-D-II, No.11, 2000.
【7】後藤, 伊藤, 速水, “音声補完: TAB on speech”, 情報処理学会音声言語情報処理研究会研究報告, SLP-32-16, pp.81-86, 2000.

受賞

【1】WISS2000 論文賞「音声補完:音声入力インタフェースへの新しいモダリティの導入」、インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, 2000 年 12 月 8 日.
【2】WISS2000 発表賞「音声補完:音声入力インタフェースへの新しいモダリティの導入」、インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, 2000 年

12 月 8 日.

【3】第 18 回粟屋潔学術奨励賞「音声補完:単語補完ができる新たな音声入力インタフェース」、日本音響学会, 2001 年 3 月 15 日.

【4】第 5 回ポスター賞「音声補完:単語補完ができる新たな音声入力インタフェース」、日本音響学会, 2001 年 3 月 15 日.

A-2. 自律学習機能領域

A-2-1 移動エージェントを用いた自律学習機能(自律学習機能富士通研究室)

◆目標

「実世界知能実現のために、自律学習に適した分散知能アーキテクチャとそれに利用される学習機能の開発を、移動エージェントを題材として行う」

複雑で多様な実世界に対応できる知能を実現するには、(a)分散知能アーキテクチャと、(b)自律的な学習能力が重要である。我々は、この二つを融合させた自律学習システムの開発を目標にした。

分散知能アーキテクチャは、分散処理により大規模な実世界システムへの適用を目指したものであるが、現状では分散したエージェント間での情報伝達手法や分散した評価の統合、利用など機能的に不十分な面が多い。そこで、システムの内部に分散された知識を学習により組み合わせて利用する機能を実現することが重要である。

一方、自律学習に求められている能力は、未知の状況に自ら対応することと、人間が設計するコストを機械に肩代わりしてもらうことである。それゆえ、我々が題材に選んでいる移動エージェントは実世界と直接に情報交換を行う機会が多いので、この能力が充実するほど使いやすいシステムとなる。自律学習についての技術は、自己組織化や強化学習などに見られるような弱い教師信号のもとで行われる学習であり、ニューロコンピューティング、機械学習などの分野を中心に研究が進められている。

我々の提案は、上記の技術を融合することにより、複雑で多様な状況からなる実世界に対応するシステムを自動的に構築することを可能にするものである。

具体的には20ー30人程度が働くオフィスにおいて常時稼動している移動ロボットを考える。オフィスでは人々が自由に移動でき、通路には予め予期しない障害物が存在する。また、オフィスのレイアウトは予告無しに変更されることがある。そのような実世界環境で利用者がロボットに対してゴールを与えた時、即時にゴールまでの経路を生成し、移動することができるシステムの構築を目標とする。

◆アプローチ

自律学習機能の開発のアプローチは、三つのサブテーマからなる。いずれのサブテーマにおいても、アイディア創出作業、アルゴリズム具体化作業、計算機実装作業の3作業を、相互作用させながら並列に進める。また、必ずしも我々の研究室のみではカバーしきれない多様な技術については、主に再委託先から導入する。

(1) 情報構造化技術の開発

学習システムの事前学習における全体的な構造の学習を実現する技術として、実世界情報から情報間に存在する複数の部分構造を抽出する技術の開発を行う。

(2) 実世界学習に適した分散知能アーキテクチャの開発

実世界のパターン情報を直接取り扱う学習システム向きの分散知能アーキテクチャに対する設計方針を明らかにする。 上記(1)で述べた情報構造化技術などを統合して、学習機能を実現する。この他に、分散した知識ごとに行われた評価を統合して、アーキテクチャ全体で整合性が取れた評価を作り出すことによる行動決定技術の開発を行う。

(3) 移動エージェントを用いた実験

上記(1)、(2)で開発した技術の効果を検証するために、状況に応じた行動の学習を必要とする移動エージェントの経路探索課題を設定して実験を行う。同時に、本

実験を通して発見された技術的課題を、上記(1)、(2)に フィードバックして開発を進める。

◆研究計画概要

自律学習機能をもつ分散知能アーキテクチャの開発を実現するために、情報構造化技術と実世界学習に適した分散知能アーキテクチャの開発を行い、アーキテクチャの有効性を移動エージェントを用いた実験により検証する。

◆研究計画内容

平成9年度は情報構造化アルゴリズムの提案と注意の学習モデルの提案を行い、さらに分散アーキテクチャのための開発していた入札機構をアーキテクチャに統合した。

平成10年度は情報構造化アルゴリズムにより分散された知識から評価を行う機構を開発し、注意、情報構造化に関する技術をアーキテクチャに統合し、移動エージェントの実験課題を設定して、予備実験による技術課題の抽出を行った。

平成 11 年度は、情報構造化アルゴリズムによる階層的表現の獲得機能を開発し、分散評価機構をアーキテクチャに統合し、移動エージェントの部分機能ごとの実験を行った。

平成12年度は、情報構造化アルゴリズムの高速化およびその整理と改良を行い、分散知能アーキテクチャは実験を行いながら評価機能の精密化を行う。

平成13年度は、12年度の実験からのフィードバックに基づき各技術の連携機能を改良し、ソフトウェア配布のためにソフト・資料の整備を行う。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

分散知能アーキテクチャを用いると複雑で多様な状況をもつ実世界に対応するシステムを自動的に構築することができるので非常に効果が大きい。

分散知能アーキテクチャの応用分野としてはITS技術や移動エージェントナビゲーション(例えば携帯端末、カーナビ、移動ロボットなど)がある。さらに情報構造化技術の応用分野としては市場予測などのデータ解析などがある。

◆成果概要

実世界環境からの情報を扱う従来システムでは、人間があらかじめ獲得し、設計した環境に関する知識を利用してタスク学習を行っていたが、その知識獲得に要する設計コストが大きく問題となっていた。

我々はタスク学習以前の環境に関する知識獲得を事前学習として行う"自律学習"の枠組みを提唱した。これによれば、環境に関する知識の設計コストが大幅に低減できる。

◆研究成果の内容

自律学習機能富士通研究室では、後期において自律学習を、「学習過程をタスク限定前に行われる事前学習とタスク限定後に行われるタスク学習の二段階に分離する新たな学習パラダイム」として定義した。自律学習パラダイムの目的は、事前学習を行う事でタスク決定後に必要とするリソースを削減することで現実的な処理を可能にすることである。

従来はタスク限定後の学習に関する研究は多いが、当分散研では主に事前学習に対応した学習アルゴリズムに注力し、その代表技術として情報構造化技術を開発した。

情報構造化技術で獲得した構造を、タスク決定後の処理に結合するために"分散知能アーキテクチャ"が必要となる(図1参照)。このアーキテクチャはパターン情報から分解して得た構造を自動的に取込むことができる。情報構造化技術で取り出した構造では各部分情報がセンサ入力なのか行動出力なのかを区別できないので、アーキテクチャではこれらを明示的に区別せずに扱えるようになっている。

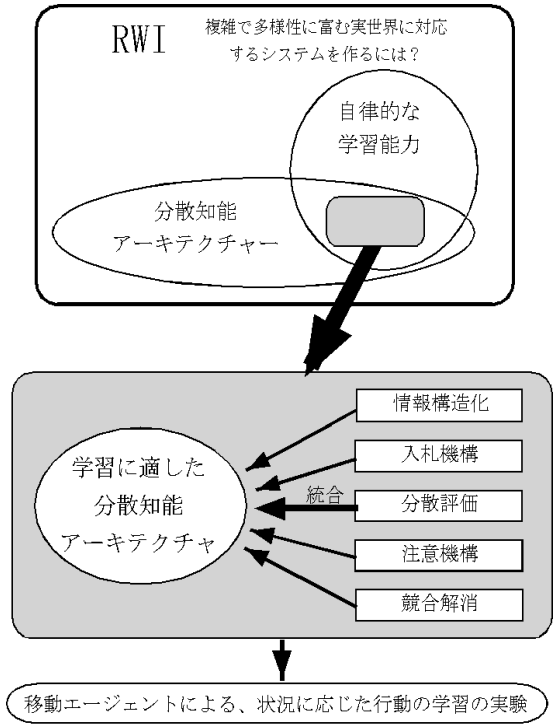


図1 自律学習研究へのアプローチ

図1に示すように、上記の自律学習技術の開発および検証のために、"移動エージェント"を研究プラットホームとして用いた。

(1)情報構造化技術の開発 [参照 1)、2)、5)]

情報技術を実世界にグラウンディングさせるための課題として、RWC前期よりシンボルグラウンディング問題の重要性が議論されている。これはパターン表現とシンボル表現に対する知的処理技術の統合に関する問題である。本サブテーマではこの問題を解決すべく、情報構造化技術の開発を行った。

シンボル表現とパターン表現の違いについては、ラベルの有無、連続と離散などの視点からの議論もあるが、当分散研究室においては以下の点に注目した。すなわち、通常のパターン表現では入力は数値のベクトルであるために分解して扱われないが、シンボル表現はパターンから人間が取り出した部分的な情報構造に対してラベルを与えて扱っている。このためシンボル処理技術では外延能力を得る事ができるが、パターン処理技術における汎化能力は内挿にとどまる事が多い。一方、シンボル処理技術ではシンボル表現自体を設計する人的コストが大きくなる弱点がある。

そこで我々は、ラベリングこそされていないが実世界データ内に存在する部分的な情報構造をプレシンボル表現と考え、このプレシンボル表現をパターン表現にグラウンディングする技術として情報構造化技術を開発した。このようなプレシンボル表現ではコミュニケーションに用いる言語としては利用できないが、汎化能力を有

する点で有効である。

情報構造化の実現技術として”状況分解手法”を開発した。本手法では、Matchability という新たに提案した評価基準を用いており、アルゴリズムは Java 言語により計算機上に実装した。状況分解は、いわゆるスプレッドシートに用いられるような、複数の特徴量と複数のイベントのマトリックス構造をもつデータから、部分特徴量と部分イベントの組み合わせである複数の部分状況(これは一種のプレシンボル表現)を抽出する手法である。部分構造を抽出するアルゴリズムは、部分特徴量選択と部分イベント選択の双方から見て、Matchability 基準が極値となる複数個の部分状況を抽出する。ここで、Matchability 基準はマッチング機会が増大するほど大きくなるように選ばれた基準であるから、抽出された複数の部分構造を用いることでシンボル処理と同じ様な汎化能力が得られる。そのため、データ解析、推論、行動決定に用いれば予測性が向上する。

一方、プレシンボル表現をシンボル表現にグラウンディングするための研究としては、例えば当プロジェクト内の事情通ロボットなどがあり、ここでは対話理解の学習が技術の中心となっている。この種の研究はパターン表現をプレシンボル表現にグラウンディングする当分散研究室の技術とは互いに補完的な関係にあるといえる。

次に状況分解により得られた階層的な部分状況を視覚化した例を図2に示す。本実験のシミュレーション環境では、全方位に赤外線センサを備えた移動ロボット Nomad200 が、壁に囲まれた室内を移動して 10 次元入力センサ情報を収集する。これを分析した結果を図2に示す。壁際状況やそれに関連する状況が抽出され、それらはイベントおよび特徴量に関する階層的な関係を持つ。

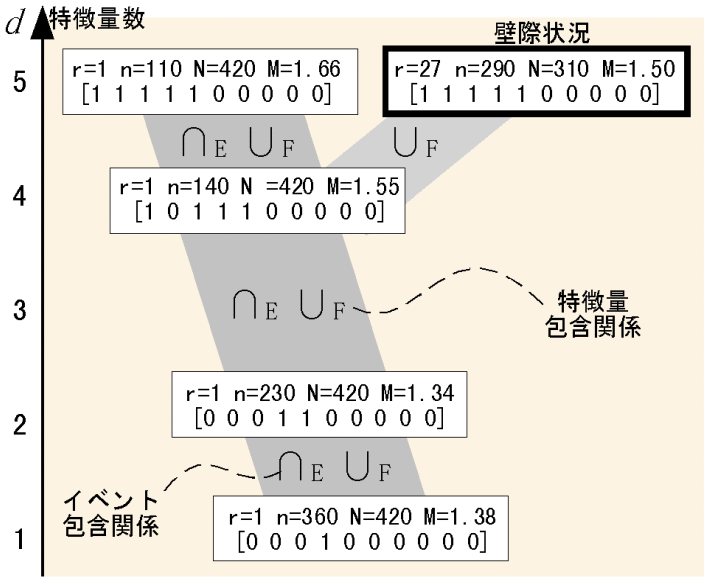


図2　抽出された5つの部分状況

部分状況を表すボックス毎に、[上段] $r=r_d$ セグメント数　n=選択イベント数　N=全イベント数　M=Matchability 評価値、[下段] 特徴量選択ベクトル(0:非選択、1:選択)

図中でボックスは各部分状況を示し、部分状況に含まれるイベントの数は n で示され、選択された特徴量は下段の値(0:非選択、1:選択)により表示される、そしてその部分状況に対する Matchability 値は M である。

(2)統合システムとしての分散知能アーキテクチャ[参照 3]]

本サブテーマでは実世界のパターン表現による情報を直接取り扱う学習システムに適した分散知能アーキテクチャの設計方針を明らかにすることを目的とする。これは、事前学習としての情報構造化技術で獲得した部分状況を、分散知能アーキテクチャにおける各エージェントとして利用する技術である。

なぜなら、我々は汎用的なアーキテクチャが実世界情報との相互作用を通した学習により自動的に内部構造を獲得できるような柔軟なシステムの構築を目指した。しかしながら、一般的にアーキテクチャにおける汎用性を高めるために柔軟性を増大させると、学習を必要とする部分が増えてしまう問題がある。そのために、事前学習の段階において問題のドメインに関する知識を状況分解により抽出し、これをアーキテクチャの内部構造の構成に利用することが必要となる。そうすれば、自律学習の後半部のタスク学習では、事前学習で獲得した内部構造を利用することで、タスクの目的に応じた学習が効率的に行える。

従来アーキテクチャ研究として、ソフトウエアエージェントの分野がある。この分野では複数のエージェントがセマンティクス(意味)を共有するオントロジーの存在が前提となっているが、学習によりセマンティクスの獲得・変化が起こるシステムではこのような前提は成り立たない。一方、包摂アーキテクチャなどはエージェントの全体的な構造は人間が設計することが前提となっているので、これを学習することはできない。これに対して、提案した分散知能アーキテクチャで・は従来技術と異なり、事前学習により得た部分状況を用いて全体構造の柔軟な学習が可能である。

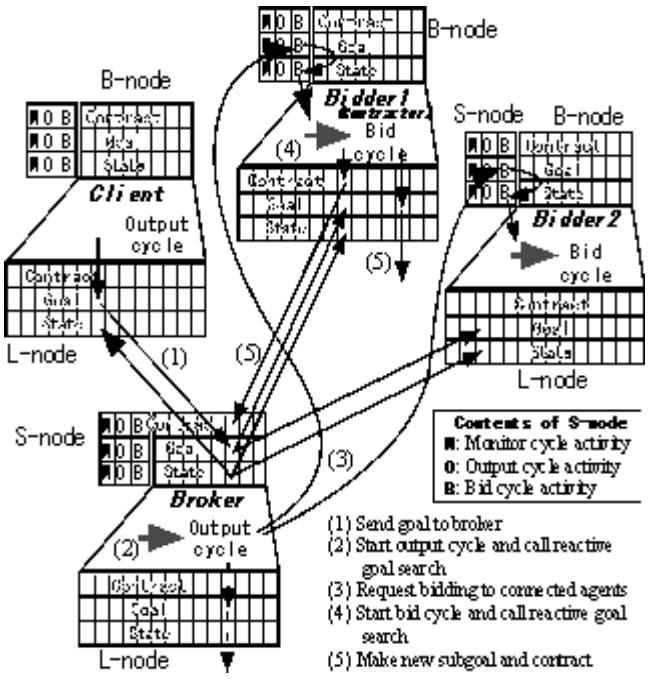


図3 分散知能アーキテクチャ

分散知能アーキテクチャは相互に通信しあう複数のエージェントより構成される。各エージェントから見ると、その周りのエージェントも外部環境である。各エージェントは通信バッファとしてノードのベクトルを持ち、ノード毎に設定された接続に従ってエージェント間で実数値が交換される。ここで、ノードには機能の異なる以下の 3 種類がある。

・B-node:自身で生成管理する情報(共有セマンティクス無)
・L-node: 他エージェントの B-node に接続(共有セマンティクス無)
・S-node:活性度など(共有セマンティクス有)

エージェント間での共有セマンティクス(意味)を、学習によって獲得することはできない。そこで、あらかじめ設計により全てのエージェントで共有されたセマンティクスを持つ情報を交換するノードとして S-node がある。一方、事前学習により決定された接続により行われる情報の発信は B-node により、受信は L-node により行われる。

また、状況分解は環境の認識を通じて行われるので、部分状況にはセンサ入力のノードと行動出力のノードの区別がない。このために、アーキテクチャにおいても各エージェントはこの区別をせず、ノードごとに現在の状態(State)と実現したいゴール(Goal)の状態を導入することで、行動生成を実現している。

エージェントの動作は、それぞれが接続した L-node のゴールを観察し、得られた

部分ゴールを自身の能力によって処理できる時にはそれを行う。そしてシステムのある部分にゴールが与えられると、各エージェントの動作が組み合わされて全体として動作する。そして、この過程において分散して保持された知識が統合される。

分散知能アーキテクチャの具体的な動作例として、7つのエージェントが協調する事で分散した部分知識を統合する実験を行った。ここではマニピュレータに関する知識を持エージェントやカメラに関する知識をもつエージェントが協調することで、マニピュレータがカメラで捕えた物体に追従することを確認した。

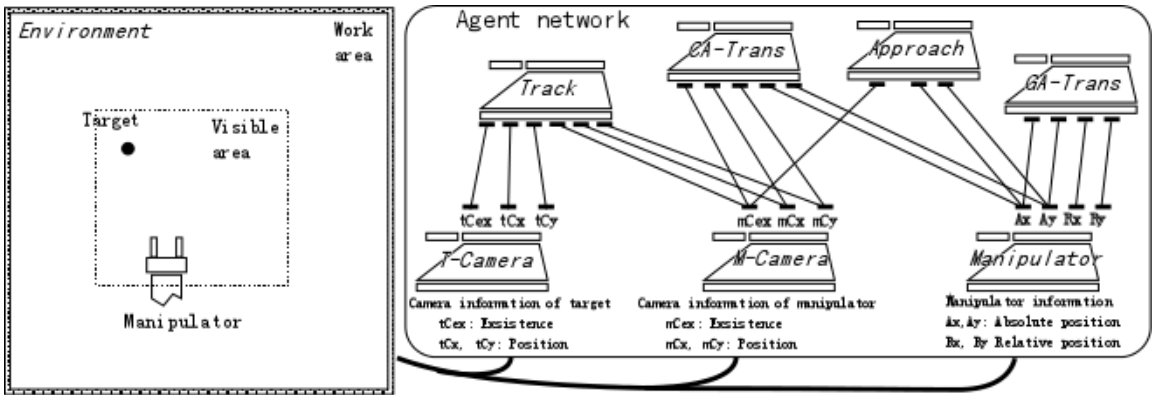


図4 分散知能アーキテクチャの適用例

(3)移動エージェントを用いた実験[参照 4]]

上記(1)、(2)で開発した技術の効果を検証するために、状況に応じた行動の学習を必要とする移動エージェントの経路探索課題を設定して実験を行った。以下で説明する実験においては移動エージェントが障害物(壁)に1度も衝突せずにスタートからゴールに到達するナビゲーション機能の実現をシミュレーションにより検証した。

環境とエージェントの処理は1ステップずつ交互に行われる。エージェントがセンサ状態に対して行動出力を行うと環境はエージェントの位置を変化させる。エージェントはステップ毎に上下左右斜めの8方向に移動可能であり、それぞれ上下左右 4 方向に近距離センサ(ﾚﾝｼﾞ: 1ー5)と長距離センサ(ﾚﾝｼﾞ: 6ー10)を備えている。

事前学習の段階でエージェントは部屋内を歩き回ることで8次元のセンサデータを収集し、その結果を状況分解したものがモジュール群と状況認識部に設定される。

その後に与えられるタスクは、壁に衝突せずにスタートからゴールに到達するナビゲーション課題である。環境から得られる報酬は、ゴールに到達した場合は1、壁に衝突した場合は−1とした。移動エージェントは1トライアル毎に固定のスタート位置から出発する。800 ステップ以内にゴールへ到達すれば成功トライアルで、壁に衝突するか 800 ステップを過ぎた場合は失敗トライアルである。トライアル終了後にロボットはスタート位置に戻されリスタートする。

図6に実験結果を示す、ここでの比較対象は単一のモジュールからなるアーキテクチャである。提案するアーキテクチャでは 80トライアルを越えたあたりからゴールへの到達確率が急激に上昇し、200トライアルまでに80%から 100%の到達確率を達成している。それに対し従来のアーキテクチャではゴールへの到達確率は 100トライアルを過ぎてから上昇し、 100%の到達確率を達成するのは 300トライアル付近

であった。加えて、環境に微小変化が加わった 600 トライアル以降も提案アーキテクチャでは 90%から 100%到達確率を達成しているのに対し、従来アーキテクチャでは到達確率が一旦 0%に低下する。

本実験を通して分散知能アーキテクチャが、タスク学習の効率化や変化する環境に対する知識の汎化能力の点で優れていることが示された。

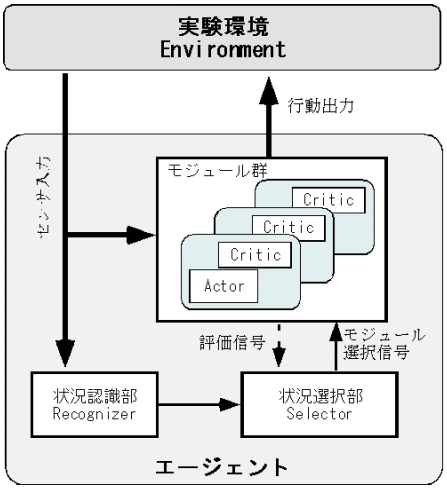


図5強化学習を用いた分散知

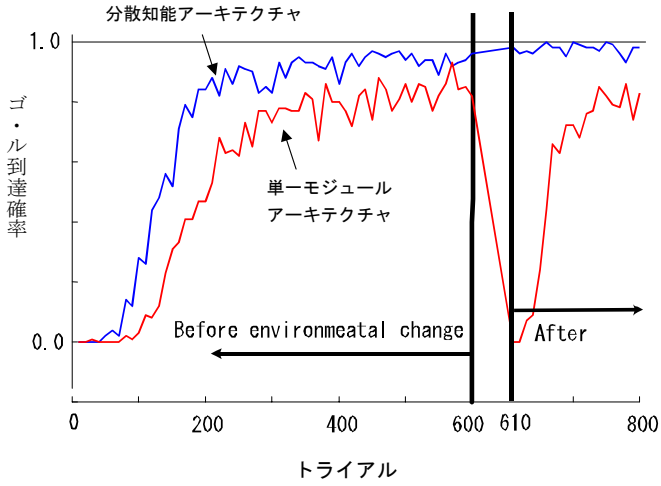


図6学習によるゴール到達確率の変化

◆成果の意義

環境に関する知識獲得の手法として、タスク学習に有効であると考えられる、関係の強い複数の部分情報を自動的に抽出する Matchable 状況分解手法とここから得られた状況を利用する分散知能アーキテクチャを開発した。

本手法より得られた部分環境知識を組み合わせて用いれば、タスク学習における計算コストの削減や、より少ない経験からの汎化能力が得られるため、複雑で多様な状況をもつ実世界に対応する学習システムの適用範囲が飛躍的に拡大する。

◆他機関との比較など

分散知能アーキテクチャのように複数のエージェントが協調して動作決定を行う他機関の技術としては、例えばマルチモジュール強化学習などがあるがこれにおいては、エージェントの作成は人間が設計しており自動的にエージェント得られたエージェントを用いて従来の単一エージェントアーキテクチャよりもタスク実行性能を示したものは世界的に見て例を見ない。

また、情報構造化技術である状況分解に類似した技術としてはIBMで開発が進められている相関ルールが有名である。相関ルールでは共起的関係のみの抽出しか行えないのに対して、状況分解技術においては共変関係（例えば身長と体重という二つの変数が変化する関係）を取り出せる点が優れている。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】Hiroshi Yamakawa: " Proposing Matchability Criterion for Situation Decomposition - Extracting situations each of which contains a rule -," Proc. Int. 1998 Conf. on Neural Information Processing (ICONIP'98), vol.3, pp.514-517, 1998.

【2】山川 宏、岡田浩之、渡部信雄: "規則性を持つ部分データを抽出するアルゴリズムの提案," 第 2 回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS99), 1999.
【3】岡田 浩之、山川 宏、大森 隆司: "刺激と報酬の連合のリセットに関わる脳内機構 −前頭葉損傷患者の固執性の検討から−," 第 2 回認知科学国際会議（ICCS'99）, 1999.
【4】伊藤 修(東京農工大学)、大森隆司、岡田浩之、山川宏: "Multi-module reinforcement learning with situation decomposition algorithm, " International Symposium of Artificial Life and Robotics, 2000.
【5】Hiroshi Yamakawa: "Matchability Oriented Feature Selection for Recognition Structure Learning," Proc. Int. Conf. Pattern Recognition (ICPR-96), Vol.4, pp.123-127（1996）
【6】岡田 浩之, 関口 実, 渡部 信雄, 松尾和洋: "移動ロボットのための仮想環境システム", ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, pp.754-755(1996)ベストポスター賞受賞
【7】岡田 浩之, 伊藤 修, 萩原 由香里, 仁木 和久, 大森 隆司: "ネットワーク分散型移動ロボット実験システム", 日本ロボット学会論文誌, Vol.17, No.6, pp.142-150(1999)
【8】岡田浩之, 山川宏, 大森隆司: "環境同定と報酬獲得のトレードオフを解消する報酬・嫌悪の二次元評価強化学習の提案"、日本ロボット学会論文誌, Vol.19, No.2, pp.244-251(2001)

A-2-2 自律学習移動ロボットのための音響環境理解(自律学習機能MRI研究室)

◆目標

・非音声音認識技術:10種類以上の物音(拍手、口笛、瓶・缶打撃音、鈴・ベル音、電子音など)を音源名または擬音語として500ms以内に識別する技術を開発する。

・ビームフォーマ技術:16チャネルの円形マイクロホンアレーを用いて、複数の音波の到来方向を推定し、各音源からの信号を分離する技術(=超指向性フィルタ)を開発する。

・デモアプリケーション:画面の指示に従いプレーヤが非音声音を発する対話型サウンドアクションゲームを開発する。

◆アプローチ

(1)音声以外の環境音の認識はこれまでほとんど手のつけられていない研究分野であった。このため認識アルゴリズム自体の研究以前に環境音(非音声音)のスペクトル分布や分類方法、人間の認知方法など解明すべき課題が多かった。最初の2年はこれらの環境音自体の解明が主たる研究テーマであり、擬音語に基づくカテゴライズと分類手法が有効であることを示した。

(2)環境音の認識では音声と異なり単一のアルゴリズムでは認識が困難であることが判明したために、単発音・連続音・断続音の種類ごとにアルゴリズムを設計し、多様な音について認識できるような非音声音認識技術を開発した。

(3)研究素材となる音響データベースが存在せず、客観的な評価ができないことも問題であった。このため実環境音声・音響データベースを他研究機関と共同で開発した。

(4)音声と異なり一般に遠隔からの音を対象にするため、ノイズ中から遠方音を認識する必要があった。そこでマイクロホンアレーを用いたビームフォーマ技術を利用し、複数の音を同時に認識する手法を開発した。ビームフォーマ自体は理論的には既存技術であるが、多チャネル(16ch)のマイクロホンアレーをリアルタイムで実装された例は皆無であった。また、一般的に使われる遅延和アレーは実環境では不十分であったので、アルゴリズム的改良も行った。

(5)非音声音認識技術とビームフォーマ技術を組み合わせ実用性をアピールするために超小型音響診断装置と対話型サウンドゲームを開発した。

◆研究計画概要

10種類程度の非音声音(拍手、瓶・缶打撃音、鈴・ベル音、電子音などの単発音が中心)をリアルタイム(1秒以内)に認識する非音声音認識技術を開発した。また、16チャネルの円形マイクロホンアレーを用いて音波の到来方向(分解能10度)を推定し、他方向からのノイズをリアルタイム(10ms)に低減(30度で6dB)する技術を開発した。

終了時までに、連続音や断続音の認識技術を開発し、実装する。また、ノイズ低減能力をさらに向上させ、同時に二つの方向から音が発生しても両方とも認識できるような技術を開発する予定である。

◆研究計画内容

・音響事象の擬音語認識方式の開発:多種多様な音源について、音の識別に有効な音響特徴量の抽出方法(音のモデル化)を開発した。実際の音と擬音語の

対応関係を調べる認知心理学実験を、統計情報として使えるよう多数実施した。

・音響ベースの学習方式の開発:上記の統計情報を教師信号に用いて、音響特徴量から擬音語への対応関係を確率的なネットワークで学習し、擬音語ベースの音響事象認識システムを開発した。

・非音声音認識技術の開発:リアルタイム認識のために単発音識別に有効な音響特徴量を選定し、数種の音源を1秒以内に識別できる技術を開発した。

・ビームフォーマ技術の開発:16チャネル円形マイクロホンアレーを導入し、遅延和フィルタ方式による音源推定とノイズ低減をリアルタイム処理として実現する技術を開発した。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

・研究の意義は、これまでほとんど実用化されていなかった物音の認識技術を確立したことである。

・応用分野は多岐にわたる。

－プラント音響診断:配管バルブやモータの運転音等を非接触で監視する装置

－聴覚障害者のための福祉機器:家庭で、電話が鳴ったこと、やかんが沸いて吹いたことを知らせる機器、車を運転中、踏み切り警報音、パトカー・救急車のサイレンを知らせる機器

－対話型ゲーム:実際に発生される物音を用いたインタラクティブゲーム

－侵入者検知装置:ガラス破壊音、足音、ドア開閉音等により室内を監視する装置

◆成果概要

「マイクロホンアレーを用いた非音声音認識システム」を開発した。本システムは非音声音認識技術とビームフォーマ技術を組み合わせ、いわゆる「物音」を識別し、同時に音源方向も特定できるシステムである。対象となる音は、金属や木の衝突音、鈴の音、笛の音、電子音、拍手などである。

◆研究成果の内容

「マイクロホンアレーを用いた非音声音認識システム」

本研究の最大の成果は「マイクロホンアレーを用いた非音声音認識システム」である。非音声音認識技術を用いて、金属や木の衝突音、鈴の音、笛の音、電子音、拍手など20種類以上の物音を80%以上の精度でリアルタイム(500ms以内)に認識するシステムである。また、ビームフォーマ技術を用いて、16チャネルのマイクロホンアレーを利用し、音源方向も分解能10度で推定することができると同時に、他の方向から来るノイズを-10dB程度(分離角30度の場合)低減することができる。

●非音声音認識技術

日常に存在する環境音、いわゆる「物音」を認識する技術である。音声認識と異なり多様な音を対象にするために、入力音は、単発音、狭帯域連続音、広帯域連続音に分類され、それぞれ異なるアルゴリズムで認識処理が行われる。例えば、単発音ではピーク時と1/10減衰時を32の周波数帯域に分割し、登録データと特徴量を比較し、判別している。静穏なオフィス環境下で20種類の音を約80%の精度

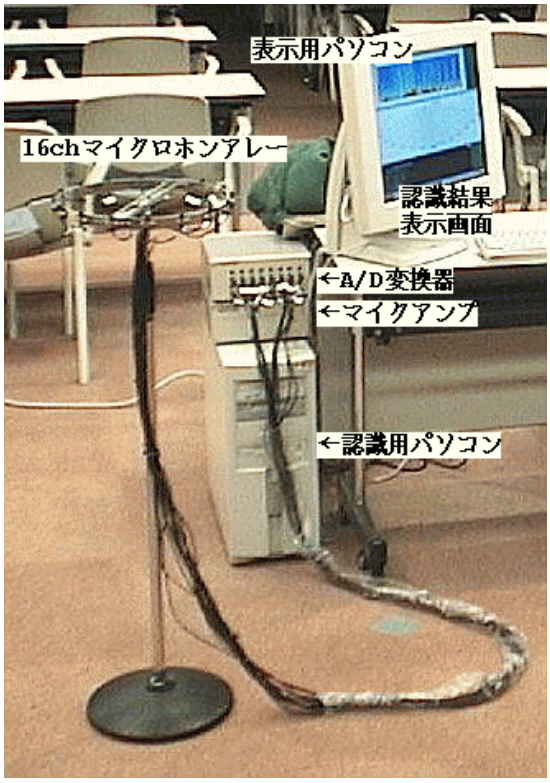
で認識することができる。1),3)

●ビームフォーマ技術

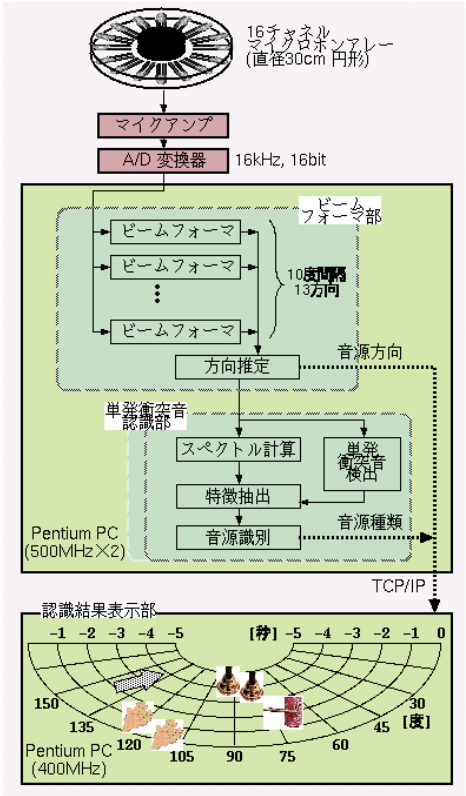
16個のマイクロフォンを直径30cmの環状に並べたマイクロホンアレーを用いて、音が各マイクに到達する時間差などから、音源の方向を推定する技術である。10度の分解能を実現した。一般的な遅延和アレーフィルタに加えて、マイク特性や定常ノイズを自動的に補正する技術を開発し、音源方向以外から来るノイズの低減性能を向上させた。

●システム実装技術

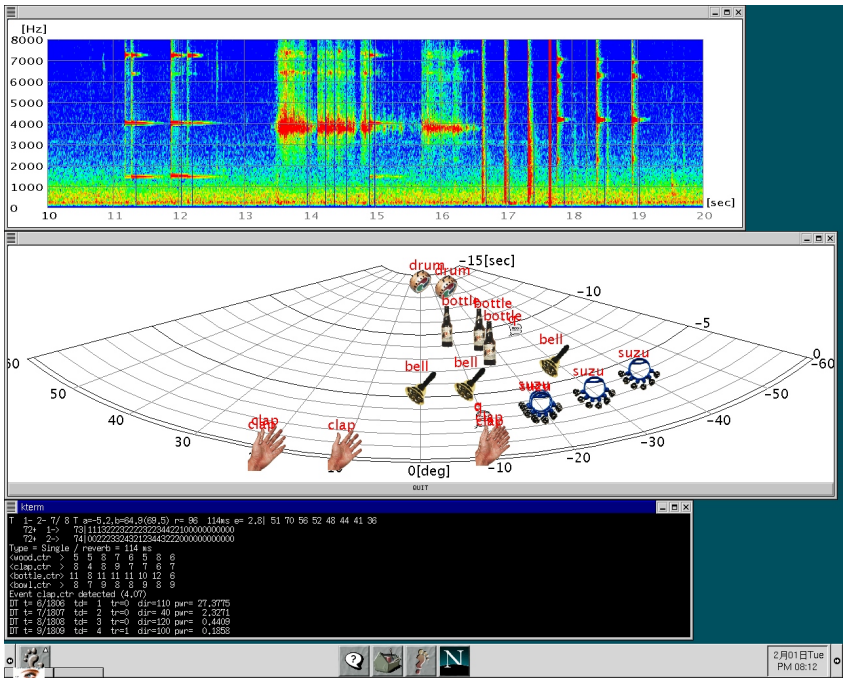
ビームフォーマ処理は高負荷処理であるため多チャネルのマイクロホンアレーではリアルタイムに実装した例はほとんど無かった。Linux PC (Pentium 500MHz×2台)を用いて、非音声認識処理と合せ500ms以内での認識処理を実現した。



システム概観図



システムの処理の流れ



スクリーンショット
（認識された音源種類と方向が表示されている）

●非音声認識における擬音語

それまで未解明であった非音声音のスペクトル分布の特徴を分類し、認知実験により擬音語による認知方法との関係を整理した。その結果、日本語の擬音語は非音声音の識別に有効であり、スペクトル分布と密接な関連を持つことが明らかになった。5),7)

●小型音響診断システム

実用プロトタイプシステムとして、小型 Linux PC (16×13×5cm)に非音声音認識機能とビームフォーマ機能を実装し、特定の音波を検出する音響診断システムを開発した。診断結果は LAN 経由で出力できるため、工場での異常音検出や聴覚障害者向け車両のサイレン音・踏切音検出に利用することができる。

「実環境音声・音響データベース」

非音声音、マイクロホンアレー研究のための共通評価用データベースを開発した。非音声音認識研究を進める上で不可欠なデータセットを作成するために、RWCP 実環境音響ワーキンググループの活動の一環として開発した。本データベースは大きく次の3つの内容を含む。2),4),6)

- **非音声音ドライソース:** 無響室で測定した反響のない非音声音の原音である。インパルス応答と畳み込むことにより各種の部屋の音を再現できる。100 種類 10000 サンプルという学習アルゴリズム研究に不可欠なデータ量も確保した。
- **マイクロホンアレーによるインパルス応答:** マイクロホンアレーの基本特性であり、マイクロホンアレー研究には欠かせない。円形 16 チャネルおよび直線 14 チャネルのデータを収録した。
- **マイクロホンアレーによる移動音声:** 移動音源の追跡研究のために利用できる。これらのデータベースは DVD-ROM3枚組(12GB)として配布される。配布条件に

制限はなく、営利目的でも利用可能である。配布費用はプレス料・送料等の実費のみである。非音声音・マイクロホンアレーという言語に依存しないデータであるために、海外からも利用できるようドキュメント類は日本語と英語で用意した。2001年4月より配布を開始し、国内100件、海外30件以上の入手申し込みがあった。

◆成果の意義

音声以外の日常的な「物音」の種類と方向を同時識別するシステムは世界初である。要素技術としての音響信号識別技術とビームフォーマ技術は存在していたが、それらを組み合わせたこと、および個々の技術についても次のような意義がある。

・非音声音認識技術:従来の対象は工場等における特定の機械音の診断技術として存在した。日常的な多様な音について認識するには、複数の認識技術を組み合わせ多段階の認識手法を構成する必要があり、その手法は本研究独自の成果である。

・ビームフォーマ技術:理論的には既知の技術であったが、一般的に利用されている遅延和アレーでは実環境では特定方向からの音の分離性能が不足していた。分離性能向上のために改良型遅延和アレーを開発し、実用的な改良を行った。

・組み合わせ:遠方音の識別のために多チャネルのマイクロホンアレーを用いたビームフォーマ技術を利用することで、実用性が格段に向上した。カーナビ等で2～3チャネルのマイクロホンアレーを採用した例はあるが、16チャネルのマイクロホンアレーをリアルタイムに実装した例は他にはない。

・実環境音声音響データベース:非音声音およびマイクロホンアレーの研究評価用に利用できる共通データベースは世界に類をみない本研究の大きな成果である。

◆他機関との比較など

非音声音認識に取り組んでいる他研究機関はほとんどない。近い分野として数年前に「音響情景分析」の研究があり欧米を中心に研究が始まり環境音の認識もその一環として取り上げられた。しかし、目立った成果が出ず、現在はノイズ環境下の音声認識や複数人音声の認識に研究の中心が移ってしまった。その意味で本研究はオリジナリティが高い。

また、「実環境音声音響データベース」は世界に唯一の本格的な非音声音、マイクロホンアレーデータベースであり、日本では100件以上、欧米からも数十件の入手依頼があった。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】K.Hiyane, and J.Iio: "Non-speech sound recognition with microphone array", Hands-Free Speech Communication (HSC2001), 2001.

【2】S.Nakamura, K.Hiyane, F.Asano, T.Nishiura, and T.Yamada: "Acoustical Sound Database in Real Environments for Sound Scene Understanding and Hands-Free Speech Recognition", 2nd International Conference on Language Resources & Evaluation, 2000.

【3】飯尾, 比屋根: "非音声信号認識のための擬音語クラスタ" 電子情報通信学会総合大会, 1999.

【4】S.Nakamura, K.Hiyane, F.Asano, and T.Endo: "Sound scene data collection in real acoustical environments", J. Acoust. Soc. Japan (E) Vol.20, No.3, 1999.
【5】比屋根, 澤部, 飯尾: "擬音語表現に基づく衝突音認識システム", 日本音響学会秋季研究発表会, 135-136, 1998.
【6】Nakamura, Hiyane, Asano, Endo: "Sound Scene Database in Real Acoustic Environments", Proc. 1st Oriental COCOSDA Workshop, 1998.
【7】比屋根一雄: "単発音のスペクトル構造とその擬音語表現に関する検討", 電子情報通信学会 音声研究会, 信学技法, SP97-125, pp.65-72, 1998.
【8】比屋根一雄, 澤部直太: "音響情景理解のための Kullback 情報量を用いた背景雑音からの音響事象の抽出法", 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会, 信学技法, PRMU96-29, 1996.

A-2-3 分散型実時間自律行動系(自律学習機能SICS研究室)

◆Goal

Understand how to control complex real-time systems. More precisely, 1) finding a learning method suitable for control of autonomous robots with many degrees of freedom; 2) finding what constraints apply to the system for this learning to be effective and the system useful (necessity); and 3) finding if systems can actually be designed to satisfy these constraints (sufficiency).

◆Approach

The main tasks included devising a general control-by-learning paradigm, examining which capabilities of the robot are required to perform the desired jobs, deriving the theoretical requirements for the application of learning, and investigating the practical satisfiability of these requirements by theoretical studies as well as practical experiments.

◆Outline of Research Plan

The research was divided into two parallel tracks, a theoretical and an experimental. During the first half of the project, there was slightly more emphasis on the theoretical track, shifting over to the experimental track at the end of the project. Both tracks followed the research topics in a matrix organization.

The research plan allocated the first half of the project to developing a control paradigm based on learning, and applying it to learning locomotion. The second half of the project studied extension to handling many degrees of freedom, and application to reconfiguration. This included the steps of finding the task requirements, the bottlenecks for learning (simulation speed), the requirements to resolve these, and finding a satisfactory solution that could be realized in practice.

◆Contents of Research

We develop a reinforcement-learning scheme based on on-line simulation. The efficiency of this system is depends critically on the performance of both the software and hardware subsystems. Much effort is therefore spent on software and hardware co-design. The target system is an office robot recharging itself. Requirements are that connection should be robust, and handle docking maneuvers with large misalignments (+/- 30 degrees angular, radius/3 lateral misalignment) as well as loads on the connection (to the order of the weight of the robot itself, at least 200N). The system runs autonomously without operator intervention, from the detection of a power outlet, to the completed charging, and subsequent detachment from the charging station. Learning is used primarily for navigation and sensor evaluation, in order to reach proximity of the charging device. However, in the neighbourhood of this device, sensor data are too inaccurate, and cannot be relied on exclusively. The physical design of the system is carefully optimized to make robust connection and maximum utilization of learning possible.

◆**Research Significance from the Users' Viewpoint and its Application Fields**

Although recharging is used as the prime application, the design has wider applicability than this. The algorithms, and physical design of the connectors are general-purpose, and can be used in a range of applications. Generally speaking, they can be used in all kinds of applications where there is a difficult navigation problem, combined with high demands on robustness and precision at the same time. Suitable applications are self-assembling structures for space stations and other remote locations. Other examples are multiple-tool machinery, and machines requiring very long uptime, without manual intervention, machines needing to replace parts of themselves, etc. There are also applications in home assistance systems for the elderly and disabled. Such systems need to be general-purpose and robust, so a reliable system for replacing parts of itself for tool change or self-repair would be useful.

Several researchers have studied the recharging and docking problem earlier, but these systems have used weak connections, and not been able to display the strength and robustness required for practical, real-world applications.

◆**Summary of achievements**

We have proposed a learning paradigm based on on-line simulation, “self-awareness”, and applied it to the control of autonomous robots. We have shown that the bottleneck lies in the speed of simulation. We have derived formal requirements on joints and connectors for the robots to perform their intended tasks, and shown that it is also possible to satisfy these in real designs, in order to accelerate learning.

◆**Contents of research results**

The overall goal of the project was to control complex real-time systems. More specifically, we decided to study self-reconfigurable robots with many degrees of freedom. Such robots have many potential applications, for instance mine clearing, search-and-rescue after fires and earthquakes, and reconnaissance and clean up after toxic spills. There are also more mundane applications, such as self-recharging, tool exchange, and maintenance of autonomous office robots.

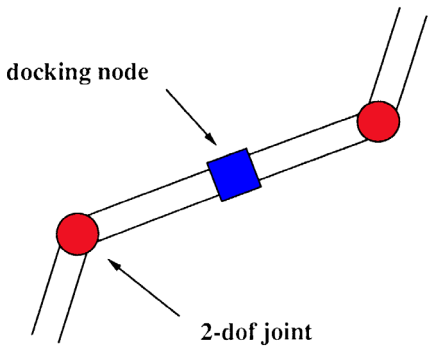


Fig. 1: Essential components of a robot with many degrees of freedom.

The principal image of the systems studied envisioned a robot composed of joints and connectors in a linear structure (Fig. 1). However, the learning principles are applicable to robots in general, since all robots are made from

ontrolled joints in some form, also those that are not snake-like.

(1) Learning method based on “self-awareness” or on-line simulation

During the early stages of the project, the goal was to develop a practical method for control. Since it is difficult for a human to predict all possible real-world situations and program the robot, the robot needs to learn and adapt to new situations on its own. The class of methods applicable is thus the unsupervised learning methods. We developed a method for reinforcement learning, the prime category of unsupervised learning methods, which accelerated learning by using an on-board simulator [1]. The simulator functions as a kind of “self-awareness” for the system. We tested this method on locomotion problems in simulation, as well as on some simple robots, with positive results.

The idea is shown in fig. 2. The triangle shows a symbolical control hierarchy, with the rising from the lowest level in hardware, over software, and learning to the self-aware level. This self-awareness is essentially a simulator that simulates another level of hardware/software/learning/self-awareness. Although this hierarchy theoretically can go on indefinitely, for humans, only the first two or three levels are used, occasionally going up to four, such as in “It seems she worries what her parents will think of him.”

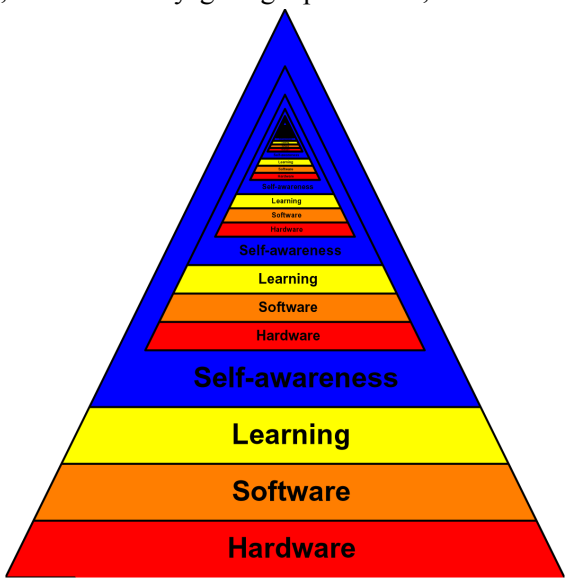


Fig. 2: The Self-awareness hierarchy.

The latter stages of the project included studying situations with many degrees of freedom, as well as extending the system with an ability to dock, or reconfigure. We soon found that there was no method that would handle the general learning problem satisfactorily for many variables. Although there were methods relatively suitable for the simulation of our previous locomotion problem with many degrees of freedom (such as the Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation by J. Spall), we realized that there is no general method that will always be optimal. In other words, an efficient algorithm for any non-toy, real-world learning problem will always be domain-specific. This is supported by formal results in theoretical computer science. D. H. Wolpert and W. G. Macready in their paper "No Free Lunch Theorems for Search" (ftp://ftp.santafe.edu/pub/wgm/) in effect say that, averaged over all search problems, no search algorithm performs better than any other. For learning, this means that any useful bias must be domain-specific. As a consequence of this

“No Free Lunch” property of learning algorithms, in order to learn efficiently by self-simulation, it became obvious that the simulator must take maximal advantage of domain knowledge. Expressed in a different way, the system simulated must be designed to allow simple and fast simulation.

(2) Necessary properties for effective learning

What does the “No free Lunch” property mean for a robot? On an abstract level, a robot can be defined by its kinematics, the motion equations describing its movements. Each additional degree of freedom introduces several new variables into these equations. Global methods for solving the kinematics equations, such as Buchberger’s algorithm and Cylindrical Algebraic Decomposition, are typically exponential or doubly exponential in the number of variables. In view of that, it is important to reduce the number of variables as much as possible. The number of degrees of freedom is determined by the application and cannot be reduced. In contrast, symmetries will also be able to reduce the number of variables. In fact, it is the only other way the number of variables can be reduced, since the removal of a variable is equivalent to introduction of a symmetry. We published a range of such conditions for effective autonomous learning of real-world tasks in several papers [2,3,4], showing that if the joints satisfied certain constraints, they would be able to perform a range of powerful tasks. Dr. M. Yim, a forefront scientist in reconfigurable robotics research, recently contacted us, lamenting that he had struck upon exactly the same idea as one of the papers, but had found it already published by us [4].

On the issue of docking and reconfigurability, we carried out a theoretical study of the desirable properties of connectors for the purpose of efficient application of simulation-based learning. As for joints, we found that symmetries are crucial. The key for connectors lies in geometry and shape; contact forces should affect connectors “contractively”. Results are relatively new, and have been published in two papers so far [6, 9]. The main conclusion is that for learning and adaptive control, robots should be designed maximally symmetric.

(3) Sufficient properties for effective learning

One of our early questions was: What are the requirements for robots to be useful? We had already found what was needed for a system to be suitable for learning by our method, but it was not clear that structures satisfying these demands existed, however. When we discussed the subject with Prof. S. Hirose from Tokyo Institute of Technology, a pioneering scientist in the field, he smiled, “if it was easy, I would have done it already.” From a general standpoint, without committing the robot design to any specific, restricted class, we found that the optimal robot joint for learning purposes would be a certain kind of roll-pitch-roll joint, with two decoupled degrees of freedom with intersecting axes of rotation. If it could be realized in practice, it would greatly simplify control and allow fast simulations. Finding this design turned out to be

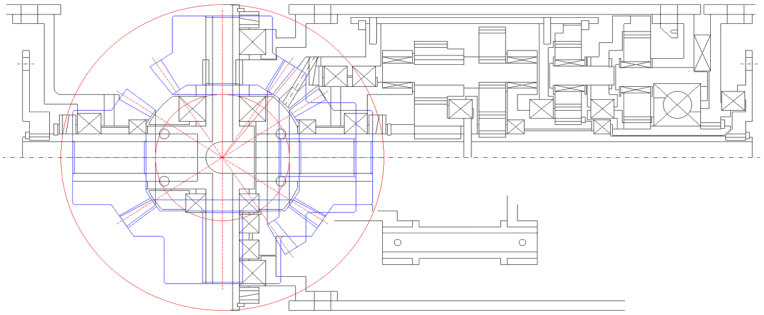


Fig. 3: Joint with maximal symmetry for learning.

extremely difficult. It did require the development of a special synthesis theory [5]. Eventually, we were able to design a joint, satisfying all the requirements, using standard components, demonstrating that the approach was practical, and fast simulation feasible. To the best of our knowledge, this joint is the only of its kind (fig. 3). Although it is compact, it is mathematically exact, and it separates the roll and pitch degrees of freedom, a vital property for simplified kinematics. We also completed a prototype connector satisfying its respective requirements, and demonstrating the feasibility of the approach (fig. 4). Distinguishing characteristics of this connector is its robustness, its ability to self-align along five degrees of freedom in 3-space, and its symmetries. Taken together, these features make autonomous docking by learning a feasible approach.

In this context, we also developed a method for proving lower bounds on the size of mechanisms, given their function and capacity [8]. The interesting aspect of this work is as a tool for proving that some tasks may never be realizable in practice, regardless of learning algorithm or system performance.

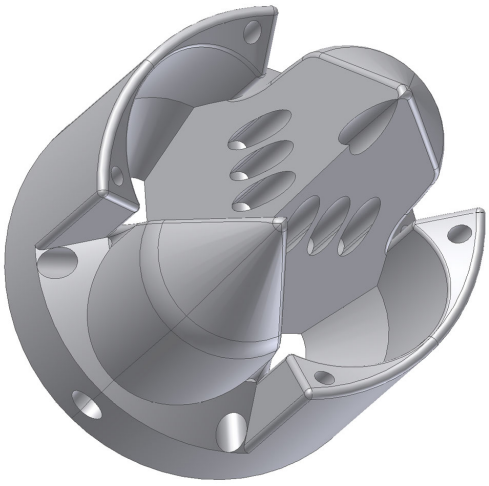


Fig. 4: Connector with the special properties for supporting learning.

In conclusion, responding to comments effectively claiming that domain-specific knowledge or research is unrelated to learning, according to the experience from this project, in real world computing, interdisciplinary as well as domain-specific knowledge and research is not only closely related to, but necessary for learning.

◆Significance of achievement

The attractive aspect of learning by on-line simulation is the simplicity of

application, and the prospects of real-time learning. The disadvantage is the prerequisite of fast simulations. This paradigm is simple, but was novel at the time of introduction. The results on system requirements for learning locomotion and reconfigurability are pioneering, to the best of our knowledge. The demonstration of designs actually satisfying these requirements appears to be without competition at the time of writing.

◆Comparison with other research institutions

At the time of publication, the idea of learning by "self-awareness" was not widespread in the research community, although there was some work on related ideas (e.g. Fujii, Stein). Robots with many degrees of freedom had been studied by a large number of researchers for many years, the foremost probably being Prof. S. Hirose at Tokyo Institute of Technology. Self-reconfiguration has been studied by Prof. T. Fukuda and his group at Nagoya University; Dr. S. Murata and Dr. S. Kokaji and their group at the Mechanical Engineering Laboratory in Tsukuba; by Dr. M. Yim and his group at Xerox Parc; Prof. D. Rus and her group at Dartmouth College; Prof. P. Khosla and his group at Carnegie-Mellon University; Prof. G. Chirikjian and his group at John Hopkins University; Prof. W.-M. Shen and his group at the University of Southern California; and Dr. K. Hosokawa at RIKEN.

Our work differs from the above in several respects: First of all, we focus on control by learning and on-line simulation. Second, we require physical robustness of the system. We expect our system to be able to withstand the loads and shocks that occur in the real world populated by humans. For instance, the load carrying part of our connector, weighing 40 g, can easily carry the weight of a human (70 kg) without damage, far beyond the capacity of any competing approach. These requirements make control more difficult. An example is that magnets cannot be used for connections, since they are too weak, although their self-alignment ability would be attractive from a control point of view. Third, our approach assumes unconstrained 3-space motion with six degrees of freedom. Compared to other work, in summary, we claim a more powerful solution for autonomous learning, offering simpler kinematics, originating in the symmetries and self-alignment of the joint and connector elements.

◆Research papers, presentations, awards, etc.

(This list only contains the most important publications.)

【1】Nilsson, M. and Ojala, J.: "Self-awareness" in Reinforcement Learning of Snake-like Robot Locomotion. In Proc. IASTED 95. Cancun, Mexico. June 12-14, 1995. p 244-247. (F-95-044). This paper presents the basic learning method based on on-line simulation.

【2】Nilsson, M.: Fast 3D Simulation of Snake Robot Motion. In Proc. Distributed Autonomous Robotic Systems '96 (DARS'96). RIKEN, Saitama, Japan. October 1996. p 63-70. (F-96-055). This paper shows how robots with many degrees of freedom can be efficiently simulated for the

purpose of learning.

【3】Nilsson, M.: Ripple and Roll: Slip-free Snake Robot Locomotion. In Proc. Mechatronical Computer Systems for Perception and Action (MCPA'97). Pisa, Italy. February 10-12, 1997. p 75-81. (F-96-104). This paper shows that if robots satisfy certain conditions, they can perform advanced tasks.

【4】Nilsson, M.: Snake Robot Free Climbing. In Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (ICRA'97). Albuquerque, New Mexico, USA. April 22-25, 1997. (F-96-118). An improved and extended version was published in IEEE Control Systems Magazine, Vol. 18, No 1. February 1998. p. 21-26. (R-97-087). This paper shows that if robots satisfy additional conditions, they can perform several more advanced tasks.

【5】Nilsson, M.: Why Snake Robots Need Torsion-free Joints and How to Design them. In Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (ICRA'98). Leuven, Belgium. May 16-21, 1998. p. 412-417. (R-97-110). This paper presents a theory for development of mechanisms satisfying the special kinematics requirements demanded by learning based on fast simulations.

【6】Nilsson, M.: Symmetric Docking in 2D: A Bound on Self-Alignable Offsets. In Proc. IASTED 99: Robotics and Automation. Santa Barbara, California, October 28-10, 1999. p. 7-11. ISBN: 0-88986-265-6. (R-99-050). This paper presents a bound on how good connectors we can expect for reconfigurable systems.

【7】Nilsson, M.: Tactile Sensing and other Distributed Sensors with Minimal Wiring Complexity. IEEE/ASME Trans. Mechatronics. Vol. 5, No. 3. September 2000. p. 253-257. IEEE/ASME. (R-00-046). This work describes a new kind of distributed tactile sensor, and was generated by the fact that autonomous learning requires environmental feedback, i.e. sensing.

【8】Nilsson, M.: Fundamental Limitations of Compact and Lightweight Mechanisms. In Proc. ICMA 2000: Osaka, Japan. September 27-29, 2000. p. 261-266. JSPE/IFToMM. (R-00-047). This paper describes a method to prove limitations of mechanisms that cannot be overcome by learning.

【9】Nilsson, M.: Essential properties of Connectors for Self-reconfigurable Modular Robots. In Proc. Workshop on Self-Reconfigurable Robots, IEEE Conf. Robotics and Automation (ICRA '2001). p 47-51. Seoul, South Korea, May 2001. (R-01-020). This paper describes the requirements of connectors for usefulness and effectiveness of learning.

A-2-4 能動的地図獲得とセンサー情報表現(自律学習機能SNN研究室)

◆Goal

Our research aims at the integration of reactive behaviour and planned behaviour for mobile robot navigation. Reactive behaviour is implemented by a direct mapping from sensor information to motor commands. Planned behaviour requires a model of the environment. For the integration of the two we argue for an internal representation of the environment in the sensor domain. This means that we do not build an explicit geometric map of the environment but that we model all the perceptions of the robot system. We test the theories and methods on a mobile robot that has to learn an internal model of an office-like environment.

◆Approach

We develop a theoretical framework on the modelling of the environment in the sensor space (`appearance modelling'). We develop neurocomputational methodologies for the learning of such a representation. We study other methods for a probabilistic representation of the environment, for example Bayes-networks or mixture models. Developed methods will be tested on real-world data, obtained with a mobile robot equipped with a vision system

◆Outline of Research Plan

In order to learn an internal representation of the environment, we
1) Develop probabilistic methods for the representation of the environment. Those models are built from data obtained with an omnidirectional vision system. We study parametric models, such as neural networks or mixture models and non-parametric, kernel smoothing methods. We also develop methods for the extraction of optimal features from the omnidirectional images.
2) Develop methods for incremental learning. These are models that are extended during learning by adding prototypes. Statistical tests will be used to judge whether new data belong to a certain prototype and whether a new prototype has to be made.
3) Develop methods for active exploration and
4) Implement and test the methods on the mobile robot. We carry out experiments on the real robot, under a wide variety of conditions, particularly in dynamic environments.

◆Contents of Research Plan

(1) Neural methods for representation of the environment. We will:

－ Develop probabilistic models for the representation of the environment. Those models are built from data obtained with an omnidirectional vision system. We will study parametric models, such as neural networks or mixture models and non-parametric, kernel smoothing methods.

－ Develop methods for the extraction of optimal features from the omnidirectional image.

－ Develop methods which are robust in dynamic environments

－ Test the accuracy of the methods in simulation and on the real robot system.

(2) Incremental learning of the representation. We will:

－ Develop models that are extended during learning by adding prototypes. Statistical tests will be used to judge whether new data belong to a certain prototype and whether a new prototype has to be made.

－ Test the accuracy of the methods in simulation and on the real system.

(3)Start with the development of methods for active exploration. We will:

－ Develop methods for control of the robot to obtain missing or uncertain information.

－ Develop an active vision system for the robot.

(4)Implementation and testing on the mobile robot. We will:

－ Implement our routines on visual reactive navigation on the Nomad.

－ Implement environment learning software on the Nomad Scout.

－ Carry out experiments on the real robot, under a wide variety of conditions, particularly in dynamic environments.

◆Research Significance from the Users' Viewpoint and its Application Fields

Indoor mobile robots have gained a lot of attention in recent years. The current technology, both in the sensor domain as in the field of computing makes it possible to build powerful systems at reasonable price. Indoor mobile robots will act as service robots such as museum guides or office assistants. Current methods that we have developed for robot localization are promising also in the field of domestic robots such as vacuum cleaners or lawn mowers.

◆Summary of achievements

We developed methodologies for environment representation for an autonomous robot. The environment is not represented as a geometric model, but as an ‘appearance’ model. This modeling involves learning of data with probabilistic models and optimal feature extraction. We also managed to make a spatial representation of the environment.

◆Contents of research results

(1)Appearance-based localization

An internal representation of the environment is needed to navigate a mobile robot optimally from a current state toward a desired state. Instead of a traditional geometric model we model directly the relation between the position of the robot and the observations (appearance modeling). We use a probabilistic model that gives the probability of the sensor measurement given the location of the robot and the parameterization of the environment (the map). We have shown that radial basis functions (Vlassis & Kröse, 1999, R98-136) can be used for that. Modeling the relation between robot location and visual observation is not a trivial task, particularly since the images are high-dimensional data vectors. For an accurate modeling of these data we should need an extremely large set of learning points. It is therefore essential that the dimensionality of

the data be reduced adequately before the modeling step. Feature extraction is very important in this task. An important question now is how to determine the best set of features. In the earlier approaches we used linear features obtained from a Principal Component Analysis (PCA). A paper on this in combination with an active vision strategy has been presented at the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation 1999 (Kröse & Bunschoten, 1999, R98-085). A full paper appeared in "Image and Vision Computing" (Kröse, Vlassis, Bunschoten, Motomura, 2000). In the next section we describe our method for finding optimal linear features.

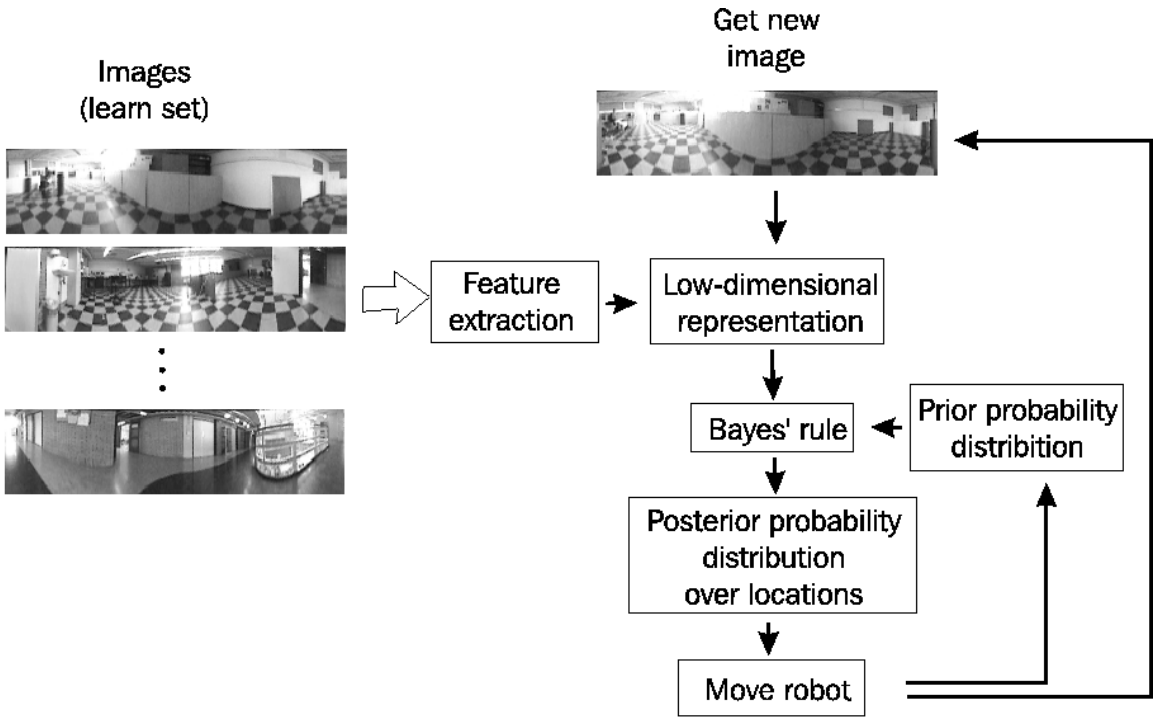


Figure 1: Approach for Markov-based robot localization

Our robot system is equipped with an omnidirectional vision system. In order to combine the localization with information from the robot's egomotion we use a Markov procedure, as depicted in Figure 1.

(2)Gaussian mixture learning

We have developed methods for learning a Gaussian mixture with maximum likelihood in an iterative fashion. Traditional methods based on EM suffer from a number of drawbacks, namely (i) they assume that the number of components is known, (ii) the initialization of the parameters is difficult, and (iii) there are many local maxima of the likelihood function.

Our approach is based on recent theoretical results that show that a greedy approach to learning a Gaussian mixture is possible. A paper has been published in IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (Vlassis and Likas, 1999) in which the use of the kurtosis of a mixing component decides when a component should be split in two. Recently we have extended this work

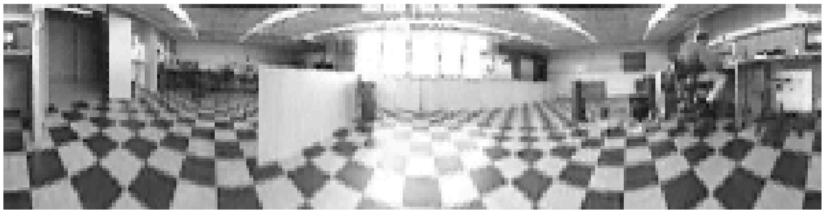
to high dimensions and a paper is under review in IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. In Fig.2 we show one example of learning a bivariate Gaussian mixture iteratively.

We have also developed a related method when the mixture data are `supervised'. In this case our algorithm learns a conditional density function which is a mixture of Gaussian submodels. Our approach extends the Mixture of Experts model, and is very efficient and simple to implement. In Fig.3 we show results from a typical application involving an inverse problem. There, traditional neural network techniques fail to model correctly the underlying distribution because of the several `modes' of the conditional density function.

(3)Feature extraction

Our original work on robot modeling was based on the use of Principal Component Analysis for extracting low-dimensional features from robot data (Vlassis and Kröse, 1999). However, because PCA is an unsupervised method is can be suboptimal for several robotic applications. Therefore we developed a supervised feature extraction method in which the position of the robot where the sensor data are observed is also taken into account during the projection step.

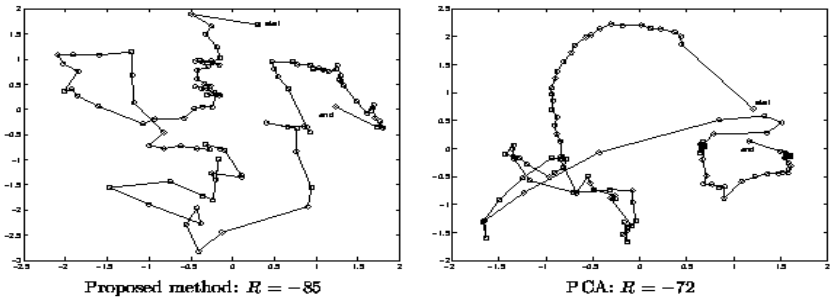
For that we proposed the use of an information-theoretic measure that serves as a robot localization risk function (Vlassis, Motomura and Kröse, 1999). By using this risk we managed to obtain linear features that are better than the PCA features (Vlassis, Motomura and Kröse, 2000). Recently we have improved the original algorithm by using a Jacobi parametrization to



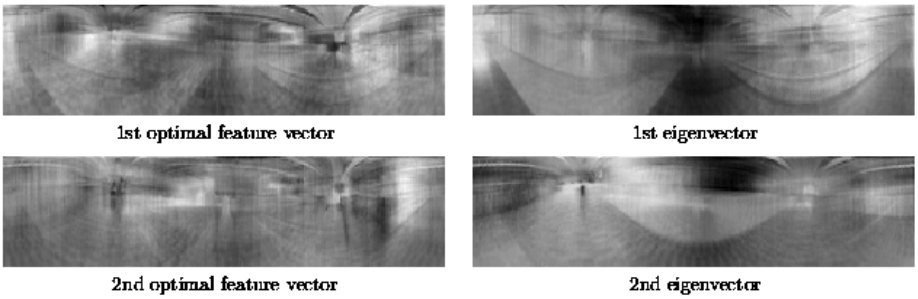
simultaneously optimize over all projection directions. The latter work is pubished in the Neural Computation journal.

Figure 2a) Panoramic image; b) Projection of high-dimensional image sequence to 2D, c) The 2 basis vectors of our representation resp. PCA representation

In Fig.4b we show one example of projecting panoramic images (like the one



Proposed method: $R = -85$ PCA: $R = -72$



shown in Fig.4a) to 2-d by using our method and by using PCA. We see that our method gives better results because there are fewer self-crossings of the resulting manifold. This means better robot localization on the average. The resulting optimal feature vectors (images) and the corresponding first two eigenimages are shown in Fig.4c.

(4)Experimental platform

We are testing the developed methodologies and software on a Nomad Scout robot. We have selected this system to be compatible with research within the group of Dr. Matsui at ETL and the group at Fujitsu.



Figure 3: the Nomad Scout robot

The robot is equipped with an omidirectional vision system identical to the one in Matsui's group at ETL. Parts of the methods have been tested on the RWCP Memorable database, developed by TRC RWCP.

We have set up a test environment in which the robot has to learn to localize itself.

(5)Spatial information from motion

We have done extensive research in the field of optic flow and motion estimation (Dev, Kröse, and Groen, 1998). This was all carried out with regular vision system. We will investigate how we can obtain spatial information with our omnidirectional vision system, and how we can use that information for localization. Preliminary results on this were presented at the IAS conference in Venice, 2000 (Kröse, 2000) and are published at ICRA 2000. (Bunschoten and Kröse, 2000)

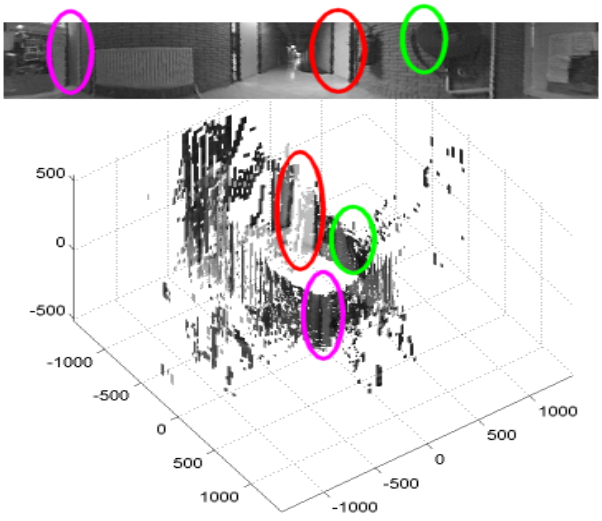


Figure 4: spatial information from four omidirectional images.

◆Significance of achievement

Indoor mobile robots have gained a lot of attention in recent years. The current technology, both in the sensor domain as in the field of computing makes it possible to build powerful systems at reasonable price. A number of scientific challenges have to be solved. One is the localization of the robot; for adequate navigation it has to know where it is. Considerable improvements have been obtained by using external sensors for the localization. We use a novel technique based on an omnidirectional vision system. In order to speed up the procedure and for robustness reasons we extract features from the image. A novel method of extracting optimal linear features has been developed. This technique is also useful for other datasets of high-dimensional patterns, such as image databases.

◆Comparison with other research institutions

The SNN group has an outstanding reputation in the fiels of learning and probabilistic modeling. The group at the University of Amsterdam is well known for its work on neural networks and other learning methods in robotics.

The group publishes in major scientific journals and conferences.

◆**Research papers, presentations, awards, etc.**

【1】R. Bunschoten and B. Kröse. Range estimation from a pair of omnidirectional images. In Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pages 1174-1179, Seoul, Korea, May 2001.

【2】B.J.A. Kröse, N. Vlassis, R. Bunschoten, and Y. Motomura. A probabilistic model for appearance-based robot localization. Image and Vision Computing, 19(6):381-391, April 2001.

【3】N. Vlassis and Y. Motomura. Efficient source adaptivity in independent component analysis. IEEE Trans. Neural Networks, 12(3):559-566, May 2001.

【4】N. Vlassis, R. Bunschoten, and B. Kröse. Learning task-relevant features from robot data. In Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pages 499-504,Seoul, Korea, May 2001

【5】N. Vlassis, Y. Motomura, I. Hara, H. Asoh, and T. Matsui. Edge-based features from omnidirectional images for robot localization. In Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pages 1579-1584, Seoul, Korea, May 2001.

【6】N. Vlassis, Y. Motomura, and Ben Kröse. Supervised dimension reduction of intrinsically low-dimensional data. Neural Computation, 13:1-25, 2001. To appear

【7】Kröse, B.J.A., "An efficient representation of the robot's environment" Proc. Intelligent Autonomous Systems 6, Venice, Italy, IOS press, ISBN 90 51993986, pp 589-595, 2000.

【8】Kröse, B.J.A., Vlassis, N., Bunschoten, R and Motomura, Y., ``Feature selection for appearance-based robot localization" Proceedings 2000 RWC Symposium, RWC Technical Report (TR-99-002), 2000.

【9】Kröse, B.J.A. A. Dev and F.C.A. Groen, `` Heading Direction of a Mobile Robot from the Optical Flow" Image and Vision Computing Journal, vol.18 nr. 5, pp. 415-424, 2000.

【10】Vlassis, N., Motomura, Y. and Kröse, B.J.A., ``Supervised linear feature extraction for mobile robot localization", Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp 2979-2984, 2000.

【11】Kröse, B.J.A., Bunschoten, R., N. Vlassis, Y. Motomura, `` Appearance based robot localization" IJCAI-99 Workshop Adaptive Spatial Representations of Dynamic Environments, Stockholm, Sweden, 1999

【12】Kröse, B.J.A. and Bunschoten, R., `` Probabilistic localization by appearance models and active vision" Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp 2255-2260, 1999

【13】Y. Motomura, N. Vlassis, B. Kröse, `` Probabilistic Robot Localization and Situated Feature Focusing" Proc. SMC'99, IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, Tokyo, Japan, Oct 1999.

【14】Y. Motomura, N. Vlassis, B. Kröse, `` Environment Modeling via PCA

Regression and Situated Feature Focusing'' Special Interest Group on Mathematical modeling and Problem Solving of Information Processing Society of JAPAN, May 1999.

【15】N. Vlassis and A. Likas. A kurtosis-based dynamic approach to Gaussian mixture modeling. IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Part A, 29(4):393-399, July 1999.

【16】N. Vlassis, Y. Motomura, B. Kröse, `` An information-theoretic localization criterion for robot map building'', Proc. ACAI'99, Int. Conf. on Machine Learning and Applications, pp. 1-6, 1999

【17】N. Vlassis, B. Kröse, `` Mixture Conditional Density Estimation with the EM Algorithm'' ICANN'99, 9th Int. Conf. on Artificial Neural Networks, IEE, pp.821-825, 1999.

【18】N. Vlassis, B. Kröse (1999), `` Robot Environment Modeling via Principal Component Regression'', Proc. IROS'99, IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 677-682, 1999.

【19】Corten, E. and Dorst, L. and Krose B., `` The design of OASIS: Open Architecture for Simulations with Intelligent Systems,'' Proc ESM'98, Manchester, June 16-19 1998, SCS Publication, ISBN 1- 56555-148-6, (Zobel, R. and Moeller, D, ed.), pp. 455-459, 1998

【20】Corten, E. and Dorst, L. and Krose, B., `` OASIS: Open Architecture for Simulations with Intelligent Systems,'' Proc IAS-5, Sapporo June 2-4 1998, IOS press, ISBN 90 51993986, (Kakazu, Y. and Wada, M. and Sato, T., ed.), pp. 6-12, 1998

【21】Dev, A. and Kröse, B.J.A. and Groen, F.C.A., `` Where are you driving to? Heading direction for a Mobile Robot from Optic Flow,'' Proceedings of the IEEE, International Conference on Robotics and Automation, pp. 1578-1583, 1998

【22】Dev, A. and Krose, B.J.A and Groen, F.C.A., `` Predicting the future path from optic flow.'' Proc. 1998 RWC Symposium, Tokyo June 9-10 1998, RWC Technical Report TR-98001, pp. 265-270, 1998

【23】Dorst, L. `` The behaviors of a car: a study in abstraction of goal-directed motions,'' IEEE Systems Man and Cybernetics A 28-6, pp. 811-822, (1998)

【24】Kröse, B.J.A, `` Environment learning and localization in `sensor-space','' Proc. of the 10th Netherlands/Belgium Conf. on Artificial Intelligence, pp. 229-239, 1998

【25】Dev, A. and Kröse, B.J.A. and Groen, F.C.A., `` Confidence measures for Image Motion Estimation,'' Proceedings 1997 RWC Symposium, RWC Technical Report TR - 96001, pp. 199-206, 1997

【26】Dev, A. and Kröse, B.J.A. and Groen, F.C.A., `` Navigation of a mobile robot on the temporal development of the optic flow, '' Proceedings IROS'97, IEEE , pp. 558-563 1997

【27】Kröse, B.J.A. and Dev, A. and Benavent, X. and Groen, F.C.A, `` Visual Navigation on Optic Flow, '' Proceedings 1997 RWC Symposium, RWC Technical Report TR - 96001, pp. 89-95, 1997.

【28】Yakali, H.H. and Kröse, B.J.A. and Dorst, L., `` Vision-Based 6-dof Robot

End-effector Positioning Using Neural Networks,'' Proceedings 1997 RWC Symposium, RWC Technical Report TR - 96001, pp. 191-198　1997

【29】Yakali, H.H. and Dorst, L. and Kröse, B.J.A., `` Pose characterization by independent moment-based image features of planar objects,'' RWCP Novel Functions: SNN Laboratory, Faculty of Mathematics and Computer Science, University of Amsterdam, 1997

A-2-5 オフィスロボット Jijo-2 の学習・統合型情報処理の研究（RWIセンター事情通ロボットラボ）

◆目標

移動ロボットが様々なセンサー情報と移動行動を統合的に用いることにより建物の構造（地図）や人々の行動を自律的に学習し、オフィスにおける情報サービスが提供できるシステムを構築するための技術を研究する。

◆アプローチ

ソナー、レーザー距離計、走行距離計、全周囲ビジョンなどを用いて、環境の幾何学的かつ確率的な地図を作成する。

人間の音声によるインストラクションによって場所にラベルを付け、トポロジカルな地図を作成する。

これらの地図をローカルなナビゲーション、目的地までの経路の計画など、タスクに応じて使い分ける。

オフィス環境中で人とロボットがなるべく自然な音声対話を行い、道案内や人の居場所案内などの情報サービスを実現する。

◆研究計画概要

・実環境中で自然・円滑な音声対話を行う技術を研究する。
・環境地図を学習的に獲得する技術を研究する。
・顔画像などに基づいて人を学習的に識別する技術を研究する。
・各種のセンサーを統合的に情報処理するアーキテクチャを研究する。

◆研究計画内容

・数百の語彙に基づいて通常のオフィスで十数種類の音声対話を行う。
・数百平方メートル規模のオフィスの地図を自律的に獲得する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

・ロボットのオフィスへの応用を拡大し、情報サービスを提供する。特に、人が自ら情報をオンライン化するのではなく、日常的な対話の内容がネットワークでアクセスできるようになる。
・多くのセンサーを用いたロボットシステムを構成するための一般的な手法が確立される。

◆成果概要

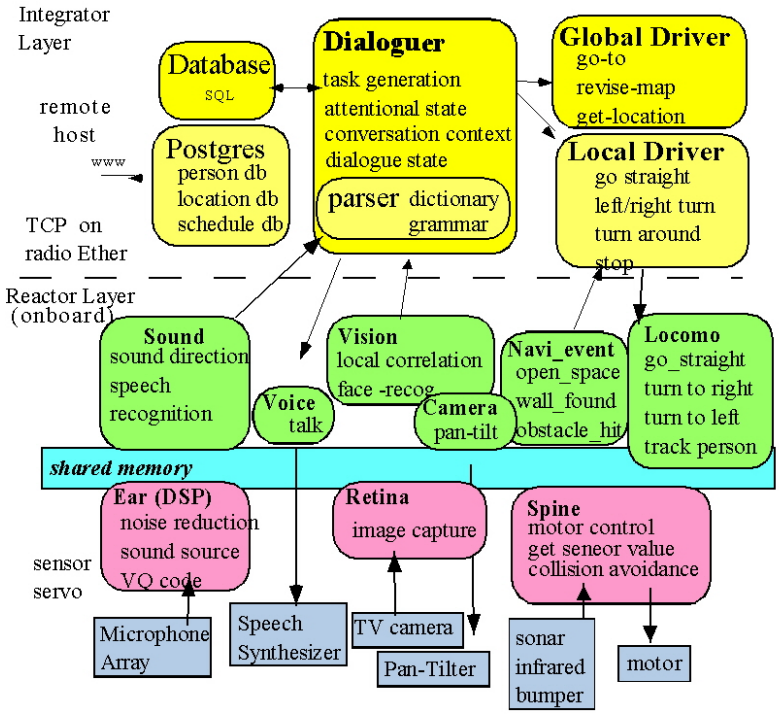
・人とインタラクションを行う移動ロボットを構成するためのマルチエージェント型ソフトウェアアーキテクチャを開発した。
・オフィスなどの実環境における音声対話を可能にするために、音源の方向を計測し指向性を高めることにより雑音環境下での音声認識率を向上させ、DSP により実時間の音声認識を行うシステムを構築した。それに基づき、文脈を考慮して、道案内、人の居場所案内などに関して自然なオフィス対話を行うシステムを実装した。
・センサ情報と対話によって得られる情報を統合することによって、オフィスのトポロジカルマップと幾何学的地図を統合的に獲得し、障害物を避けながら効率的に移動するための技術を開発した。
・ロボットに向かって対話する人間の顔を見つけ、距離や角度の影響を受けること

なく顔を識別する方法を開発した。
・人の所在などを格納し PDA などともインタフェースできるデータベースを開発した。

◆研究成果の内容

・オフィスロボット制御のためのマルチエージェント型アーキテクチャ

オフィス移動ロボットは、地図の獲得、顔認識、音声認識、音声対話、経路計画、ナビゲーションなど多種のタスクを並列的に実行しなければならない。そのためのソフトウェアを並列的に動作するマルチエージェント型アーキテクチャとして実現した。モジュールは、実時間性の高い動作をする反射層と、計画や対話文脈の追跡など記号的な処理を行う統合層として実現する。モジュール(エージェント)は、通信によって作業を別のモジュールに委託したり引き受けたりする。その動作の連鎖は、イベント駆動型のプログラミングによって実現した。これによって、複数動作の並列実行、モジュールの独立した開発、複数計算機の上での分散実行などが可能になった。また、状況依存で確率的な制御についても検討を進めた。(論文:1,18,30,39,50,62)

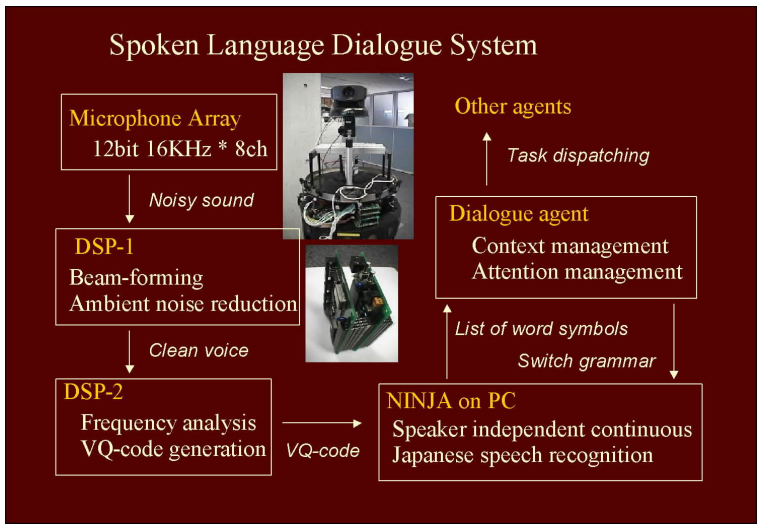


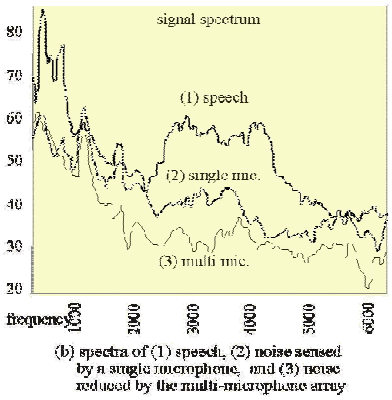
・ 実環境音声対話システム

オフィスなどの実環境で利用可能なロボットのための音声対話システムを開発した。システムは図に示すようないくつかのモジュールに分解される。

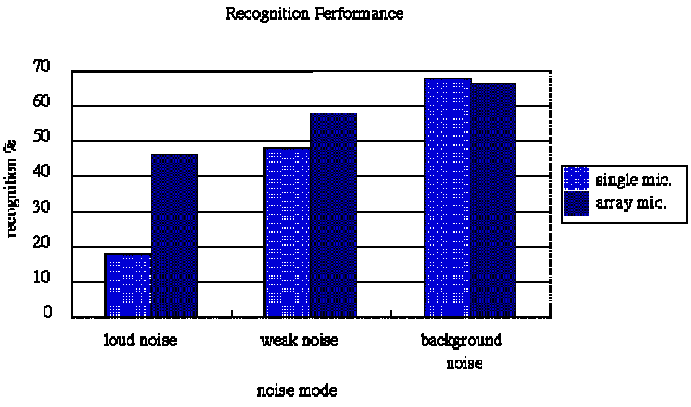
音響信号を8個のマイクロフォンからなるアレイでセンスし、DSP による信号処理によって大きな音のする方向に指向性を設定する。周囲の雑音が取り除かれるので、図に示すような雑音の軽減が得られる。二つ目の DSP が音響信号から音韻記号を取り出し、電総研で開発された不特定話者連続日本語音声認識(Ninja)に入力する。SN の改善によって、図に示すような認識率の改善が得られた。さらに高度

な信号分離を実現するため、ブラインド信号処理を実時間で実行するシステムや逆フィルタシステムを構築した。
ユーザーの発話を理解するために、音声認識に用いる文法と語彙の記述を用いて構文解析を行い、行き先、ユーザー名などを抽出する。「松井さんはどこ？」「連れて行って」などと省略される言葉や断片的な発話から完成した意味を合成するために、対話コンテキスト、注目状態スタックを用いる手法を実装した。
（論文:1,3,6,7,8,9,11,16,17,20,21,24,29,43,44,45,52,54,58,60,69,76）





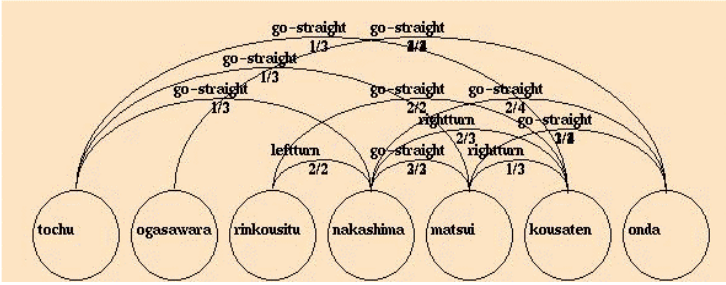
(b) spectra of (1) speech, (2) noise sensed by a single microphone, and (3) noise reduced by the multi-microphone array



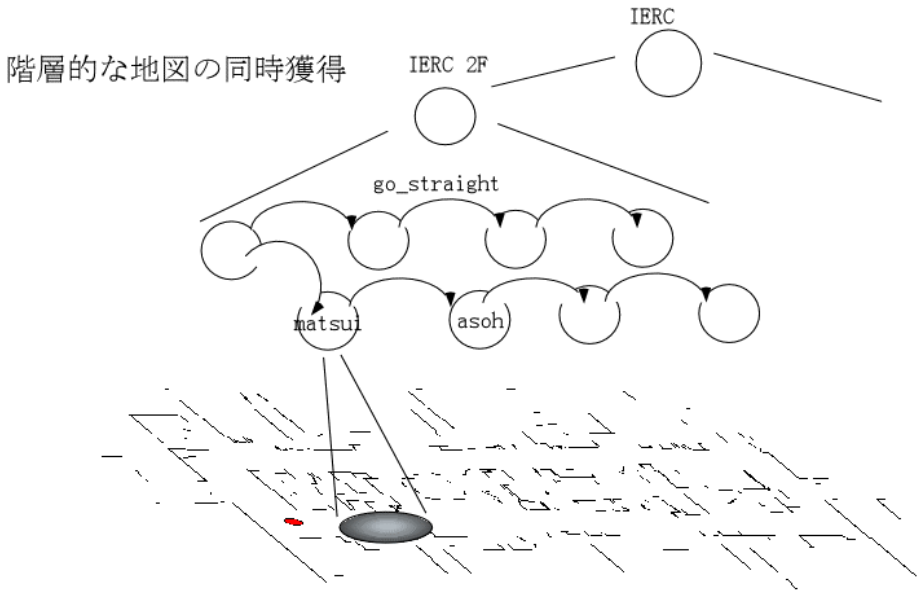
・センサ情報と対話から得られる情報の統合による確率的地図の獲得と実環境ナビゲーション
移動ロボットのための位相的な地図は、グラフ構造を持つ確率分布モデルによって表現される。そのグラフ構造を含めた学習は困難な学習課題の一つであり、一般には非常に多くのデータを必要とし、学習に時間がかかる。しかしながら、人間とロボットとの簡単な自然言語による対話を利用することによって学習が劇的に簡単化し、短時間に環境の地図を獲得することができることを示した。また、地図学習について、ソナーやレンジファインダによる距離画像から得られる確率的グリッドマップ、全方位視覚センサで検出される場所の特徴やロボットの移動情報、音声対話から得られるトポロジカル地図を統合し、経路計画、ローカルなナビゲーション、道案内などが効率的かつ汎用的に実行できる手法を研究開発した。(論文:1,4,5,10,15,22,23,25,26,28,31,33,35,40,41,42,46,47,48,55,56,78)



廊下で対話しながら地図を学習する事情通ロボット

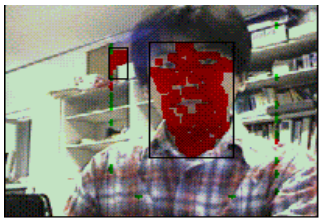


獲得された位相的な地図



・距離変化と回転にロバストな顔認識手法

高次自己相関特徴を用いると２次元画像を 35 次元のベクタとして表現することができ、これによって対象物の画像中での位置に不変な認識が行える。本研究では、画像にあらかじめ log-polar 変換を施すことにより、対象物までの距離と回転の影響を受けにくい顔認識が行えることを示した。これによって位置不変の特徴が失われることを補うために顔の肌色や顔らしさの特徴によって顔の位置を検出する手法を開発した(論文：19,32,36,61)。





Log - Polar conversion

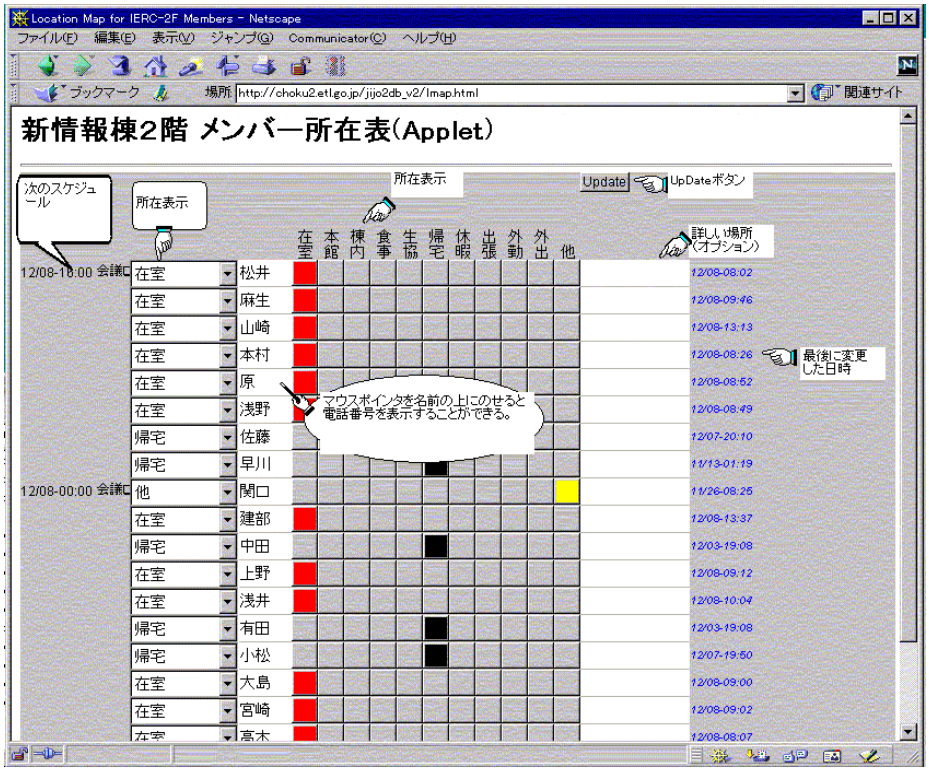


Face detection and tracking using skin color

Distance - and Angle -invariant face identification

・Jijo2 データベース

情報サービスをするロボットが、自ら収集した実環境の情報だけではなく、ネットワーク上の様々な情報にアクセスできれば、サービスの幅が大きく広がる。特に、インターネットの発達は、そうしたニーズを大きなものにした。そこで、Java のデータベースアクセス技術を利用し、人の所在などを格納し PDA などともインタフェースできるデータベースおよび汎用のデータベースアクセスモジュールを開発した。これによって、事情通ロボットが、オフィスメンバの所在等に関する情報サービスを行うことが可能になり、対話の内容にも幅が広がった。(論文:1,12,62)



所在 DB の入力アプレット画面

◆成果の意義

・同様の研究がまだほとんど行われていなかった時期に、世の中に先駆けて、さまざまな要素技術を統合することで、対話し、そこから学習するロボットのプロトタイプを提示し、対話ロボット、インタラクティブロボットという新たな技術分野を開拓した。その新規性・革新性の高さから、多くの報道機関による紹介や見学を通じて、世の中にインパクトを与えた。その研究の流れは、現在商品化されつつあるペットロボットやパーソナルロボットへとつながっている。

・多種のセンサーからの情報を統合し、オフィスという実環境中で確率的な地図を

作成し、効率的かつ頑健に移動するための技術を開発した。特に、地図の学習に対話を利用することは、新規性が高く、国際的にも評価されている。
・オフィスなどの実環境中で頑健な音声対話をするための技術を開発した。マイクロフォンアレイによる音源方向推定と雑音抑制技術、音声認識辞書の切り替え、タスク指向の対話制御など複数の技術を総合的に利用したシステムによって、300語程度の語彙の訪問者への情報提供の対話を実現したことで、ロボットとの対話による情報サービスの可能性を示して、世の中にインパクトを与えた。

◆他機関との比較など

・確率的な地図を用いる移動ロボット技術に関しては、米国カーネギーメロン大学の Sebastian Thrun のグループが世界トップレベルの技術を有している。本グループはそのグループとも交流を行っており、確率的な地図を利用した実環境中での頑健な移動技術についての一流の水準の技術に加えて、対話の活用という新規性の高い技術を持つグループとして認められている。また、RWCに参加しているオランダアムステルダム大学のグループ（SNN自律学習研究室）や、再委託先である、オーストラリア国立大学、東京大学、筑波大学、大阪大学、奈良先端科学技術大学院大学等も、移動ロボット技術に関して世界のトップレベルにあり、それらとの協力関係によって、成果の水準を高いものに維持している。
・ 実環境中での音声対話技術に関しては、世界に先駆けて、実際のロボット上に音声対話システムを実装し、その可能性を示した点が、世界的にも高く評価されている。そのことは、IEEE Intelligent Systems Magazine への論文の採択や、国際会議での招待講演などによっても示されている。ロボットとの音声対話という技術は、日本が先行している技術分野であり、同様な研究を行っている機関としては早稲田大学のヒューマノイドプロジェクトのグループの小林哲則研究室があげられるが、本グループは学生の指導なども通じて密接に交流を行ってきている。また、最近ではSONYのペットロボット、NECのパーソナルロボット等に音声認識、対話機能が搭載されるようになっているが、雑音除去能力の高さ、単語数や扱える文法の複雑さの点で優位にある。

◆主要論文・成果発表・受賞等

査読つき論文誌・国際会議

2001

【1】Hideki Asoh, Nikos Vlassis, Yoichi Motomura, Futoshi Asano, Isao Hara, Satoru Hayamizu, Katsunobu Ito, Takio Kurita, Toshihiro Matsui, Roland Bunschoten, and Ben Krose:”An office robot with good communication and learning skills, IEEE Intelligent Systems (to appear in 2001).

【2】Yoichi Motomura, Isao Hara, Katsunobu Ito, Hideki Asoh, and Taisuke Sato(CREST, JST):” Task, situation and user models for personal robots”, IJCAI-2001 Workshop on Reasoning with Uncertainty in Robotics (to appear in 2001).

【3】Nikos Vlassis and Yoichi Motomura: Efficient Source Adaptivity in Independent Component Analysis, IEEE Trans. Neural Networks (to appear in 2001).

【4】Nikos Vlassis, Yoichi Motomura, and Ben Krose: ”Supervised Dimension Reduction of Intrinsically Low-dimensional Data”, Neural Computation

(to appear in 2001).
【5】Nikos Vlassis, Yoichi Motomura, Isao Hara, Hideki Asoh, and Toshihiro Matsui:” Edge-based features from omnidirectional images for robot localization”, Proc. of ICRA2001, 2001.
【6】Futoshi Asano, Shiro, Ikeda, Michiaki Ogawa, Hideki Asoh and Nobuhiko Kitawaki: “A Combined Approach of Array Processing and Independent Component Analysis for Blind Separation of Acoustic Signals”, Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP2001) pp.MULT-P2, Salt Lake City, 2001
【7】Futoshi Asano, Shiro Ikeda, Michiaki Ogawa, Hideki Asoh and Nobuhiko Kitawaki: “Blind source separation in reflective sound fields”, Proc. International Workshop on Hands-free Speech Communication (HSC2001), pp.51-54, 2001
【8】Futoshi Asano, Masataka Goto, Katsunobu Ito and Hideki Asoh: “Real-time sound source localization and separation system and its application to automatic speech recognition”, Proc. Eurospeech2001 pp.1013-1017, 2001.

2000
【9】Futoshi Asano, Hideki Asoh, Toshihiro Matsui: “Sound source localization and separation in near field”, IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E83-A, No.11, pp.2286-2294, 2000.11
【10】Toshihiro Matsui, Hideki Asoh, Simon Thompson(Australian National University):“Mobile robot localization using circular correlations of panoramic images”, Proc. of IROS-2000, 2000.11
【11】Futoshi Asano, Yoichi Motomura, Hideki Asoh, and Toshihiro Matsui: “Effect of PCA filter in blind source separation”, Proc. of ICA2000, 2000.6
【12】原　功、本村陽一:“事情通データベース Jijo2DB“、電子技術総合研究所彙報、Vol.64, No.4,5, pp. 95-101, 2000.8
【13】松井俊浩　:“自律学習機能と事情通ロボットの研究”電子技術総合研究所彙報、Vol.64,No4,5, p15-21, 2000.8
【14】松井俊浩、麻生英樹、浅野太、栗田多喜男、原功、本村陽一、伊藤克亘、John Fly　: “Integration of Real-world Interaction Functions on the Jijo-2 Office Robot”電子技術総合研究所彙報、Vol.64,No4,5, p51-60, 2000.8
【15】Nikos Vlassis(アムステルダム大学), Yoichi Motomura　:"Supervised Linear Feature Extraction for Mobile Robot Localization" Proceedings of the 2000 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation　:pp.2979-2984, 2000.4
【16】松井俊浩、麻生英樹（情報科学部）、John Fry (CSLI, Stanford University)、浅野太（知能情報部）、本村陽一（情報科学部）、原功（知能システム部）、栗田多喜夫（情報科学部）、速水悟（知能情報部）、山崎信行（慶応大学）　:"オフィス移動ロボット Jijo-2 の音声対話システム",日本ロボット学会誌、第 18 巻、2 号、pp.300-307,2000.3

1999
【17】田中久美子, 本村陽一, 橋田浩一 ："多重文脈に即応的な対話インターフェース: 半可通",日本ソフトウェア科学会マルチエージェントと協調計算ワークショップ(MACC'99), 1999.
【18】本村陽一, 原功, 田中久美子 :“ 学習知能ロボットにおける状況依存エージェントの協調”, 日本ソフトウェア科学会マルチエージェントと協調計算ワークショップ(MACC'99), 1999.
【19】原功、Alexander Zelinsky(ANU)、松井俊浩、麻生英樹、栗田多喜夫、田中勝、堀田一弘(埼玉大) :"Communicative Functions to Support Human Robot Cooperation", Proc. of IROS'99, 1999.10
【20】浅野太, 麻生英樹, 松井俊浩 ："Sound source localization and signal separation for office robot Jijo-2”, Proc. of Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI-99), 1999.8
【21】Hideki Asoh, Toshihiro Matsui, John Fry, Futoshi Asano, and Satoru Hayamizu ："A spoken dialog system for a mobile office robot," Proc. of Eurospeech'99, pp.1139-1142, Budapest, September, 1999.
【22】Hideki Asoh and Toshihiro Matsui ："A unified framework of map learning with a hierarchy of probabilistic maps," Proc. of FSR'99, pp.86-91, Pittsburgh, August, 1999.
【23】Hideki Asoh ："Coping with uncertainty using interactions with humans," Proc. of IJCAI-99 Workshop on Reasoning with Uncertainty in Robot Navigation (RUR'99), Stockholm, August, 1999.
【24】Toshihiro Matsui, Hideki asoh, John Fry, et al ："Integrated Natural Spoken Dialogue System of Jijo-2 Mobile Robot for Office Services," Proc. of AAAI-99, Florida, July, 1999.
【25】Y.Motomura, N.Vlassis, B.Krose ："Probabilistic robot localization and situated feature focusing", IEEE int. conf. on Systems, Man and Cybernetics (SMC'99), 1999.10.
【26】Nikos Vlassis, Yoichi Motomura, Ben Krose ："An information-theoretic localization criterion for robot map building", Proc. of ACAI'99, Int. Conf. on Machine Learning and applications, 1999.7

1998
【27】Koji Horikawa, Hideki Asoh, Jun Tani, Toshihiro Matsui, and Masayoshi Kakikura ："Emergence of expert modules for mobile robot navigation from a mixture of Elman networks," Proc. of ICONIP'98, Kitakyushu, pp.256-259, 1998.
【28】Hideki Asoh and Toshihiro Matsui ："Socially embedded learning: A learning framework using natural communication between robots and humans," Proc. of Conference on Automated Learning and Discovery (CONALD), Pittsburgh, June, 1998.
【29】John Fry, Hideki Asoh and Toshihiro Matsui :“Natural dialogue with the Jijo-2 office robot”, Proceeding of the IROS'98, 1998.
【30】Hideki Asoh, Isao Hara and Toshihiro Matsui :“A structured dynamic multi-agent architecture for controlling mobile office-conversant robot”,

Proceedings of the ICRA'98, pp.1552-1557, May, 1998.
【31】Ulrich Nehmzow(マンチェスター大学)、松井俊浩、麻生英樹 :“Virtual Coordinates : Perception-based Localisation and Spatial Reasoning in Mobil Robots”, Intelligent Autonomous Systems (IAS-5), 1998.6.
【32】Takio Kurita, Kazuhiro Hotta(*), and Taketoshi Mishima :“Scale and rotation invariant recognition method using higher-order local autocorrelation features of log-polar image”, poster in the Third Asian Conf. on Computer Vison (ACCV'98), Hong-Kong, Jan. 1998.

1997
【33】T. Matsui, H. Asoh, and F. Asano :“Map learning of the office conversant mobile robot, Jijo-2, by dialogue guided navigation”, Proc. of Int. Conf. on Field and Service Robots (FSR'97), Canberra, Australia, Dec. 1997.
【34】Y. Motomura, I. Hara, H. Asoh, and T. Matsui :“Bayesian network that learns conditional probabilities by neural networks”, Proc. of the 1997 Int. Conf. on Neural Information Processing also in the Progress in Connectionist-Based Information Systems, pp.584-587, Springer, New Zealand, Nov. 1997.
【35】Hideki Asoh, Satoru Hayamizu, Hara Isao, Yoichi Motomura, Shotaro Akaho, and Toshihiro Matsui :“Socially embedded learning of the office-conversant mobile robot, Jijo-2”, Proc. of 15th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'97), pp. 880-885, Nagoya, Aug. 1997.
【36】栗田多喜夫, 堀田一弘, 三島健稔 :“Log-Polar画像の高次局所自己相関特徴を用いた大きさに不変な顔画像の認識”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-D-II, No.8, pp.2209-2217, 1997.
【37】赤穂昭太郎、速水悟、長谷川修、吉村隆、麻生英樹:“EM法を用いた複数情報源からの概念獲得”、電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-A, No.9, pp.1546-1553, 1997.
【38】松井俊浩 :“人間型ロボットは人に近づけるか”、日本ロボット学会誌, Vol.15, NO. 7, pp.961-963, 1997.
【39】T.Matsui, H.Asoh, I.Hara, and N.Otsu :“An event driven architecture for controlling behaviors of the office conversant mobile robot, Jijo-2”, Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'97), pp.3367-3371, Apr. 1997.

1996
【40】H.Asoh, Y.Motomura, I.Hara, S.Akaho, S.Hayamizu, T.Matsui : “Combining probabilistic map and dialog for robust life-long offifce navigation”, Proc. of the 1996 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'96), pp.807-812, Osaka, Nov. 1996.
【41】H.Asoh, Y.Motomura, I.Hara, S.Akaho, S.Hayamizu, and T.Matsui : “Acquiring probabilistic map with dialog-based learning”, Proceedings of the ROBOLEARN-96, pp.11-18, Key West, May 1996.

研究会発表、その他論文

2001

【42】麻生英樹:“インタラクションを通じた学習”、情報処理学会音声言語情報処理研究会資料 37-4, 2001.7.

【43】浅野太, 原功, 本村陽一, 伊藤克亘, 速水悟, 後藤真孝, 麻生英樹, 松井俊浩:“事情通ロボットの音響信号処理”、人工知能学会研究会資料 SIG-Challenge-0113, pp.43-49 2001.6.

【44】浅野太, 麻生英樹:“周波数領域のブラインド信号分離における permutation について”、信学技法, EA2001-19, pp.9-16 2001.6.

【45】浅野太:“反射のある音場における信号分離”、信学技法 EA2001-8,pp.57-64, 2001.4.

2000

【46】吉村尚秀、飯島純一(組み込みシステムデザイナー)、麻生英樹、松井俊浩:“超音波センサ情報の統合による屋内環境の地図作成、人工知能学会研究会資料 SIG-CII-2001-MAR-3, 2001.3.

【47】堀田一弘(埼玉大)、高野健太郎(埼玉大)、三島健稔(埼玉大)、栗田多喜夫:“全方位カメラを搭載した自律移動型ロボットのナビゲーションのためのランドマークの自動検出”、電子情報通信学会・システムソサエティ大会予稿集、Vol.D, p.238, 2000.10.

【48】飯島純一(筑波大 TARA 客員)、吉村尚秀(知能システム部非常勤)、麻生英樹(情報科学部)、松井俊浩、 :“超音波センサの確率モデルを用いた屋内環境の地図作成”、日本ロボット学会学術講演会論文集第18巻、滋賀県、2000.9.

【49】本村陽一 :"確率ネットワークによる知的情報処理", 統計数理研究所 共同利用研究会、2000.3

【50】原功、本村陽一 :"自律ロボットのための状況依存マルチエージェントアーキテクチャ", 第 5 回ロボティクスシンポジア予稿集, pp.86-91,2000.3

【51】本村陽一、原功 :"確率ネットワークに基づくマルチエージェントモデル",情報処理学会研究報告 2000-MPS-28:vol.2000,No.16, pp.17-20, 2000.2

【52】麻生英樹、ジョンフライ、浅野太、速水悟、伊藤克亘、本村陽一、原功、栗田多喜夫、松井俊浩 :"事情通ロボットの音声対話インターフェース"、情報処理学会音声言語情報処理研究会、2000.2.4

【53】松井俊浩、麻生英樹、浅野太、栗田多喜夫、原功、本 村陽一、伊藤克亘、ジョンフライ(スタンフォード大学 CSLI) :"Integration of Real-World Interaction Functions on the Jijo-2 Office Robot"、Proceedings of the RWC2000 :pp.197-202、2000.1.20

1999

【54】浅野太, 本村陽一, 麻生英樹, 松井俊浩 :"ブラインド信号分離における PCA フィルタの効果", 信学技報, 1999.12

【55】本村陽一, Nikos Vlassis :“Conditional Mixture of PCA による Robot Localization”、第 8 回神経回路学会全国大会, 1999.9.

【56】本村陽一, Nikos Vlassis, Ben Krose :“PCA 回帰による環境モデリングと状況に依存する特徴選択”、情報処理学会 数理モデル化と問題解決研究会

（第24回）、1999.5.
【57】松井俊浩 :“オフィスロボット Jijo-2”、工業技術、1999.4. 1998
【58】浅野太、麻生英樹、松井俊浩 :“マイクロホンアレイを用いた音声認識”、日本音響学会春季研究発表会、1999.3
【59】松井俊浩 :“ロボット等統合プログラミングシステムの研究”、JITA News, 1999.3

1998
【60】松井俊浩、麻生英樹、浅野太、John Fry :“オフィスロボット Jijo-2 の対話理解”, 日本ロボット学会第 16 回学術講演会、北海道大学、1998.
【61】栗田多喜夫、堀田一弘(埼玉大)、三島健稔(埼玉大) :“大きさの変化に頑健な顔と顔以外の対象の識別法”, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会,東京工業大学, 1998.2.19
【62】本村陽一 松井俊浩 麻生英樹 浅野太 原功 John Fry : "事情通ロボットによるオフィス環境における知的作業支援" 人工知能学会 AI シンポジウム '98 Technical report SIG-J-9801-21, 1998. (1999 年人工知能学会研究奨励賞受賞)
【63】本村陽一, 原功 :"データベースからの学習機能を持つ確率推論システム BAYONET" 人工知能学会全国大会第 12 回論文集, 1998. (1998 年人工知能学会ベストプレゼンテーション賞受賞) , デジタルプレゼンテーション (98.6.19)

1997
【64】松井俊浩 :“おせっかいロボットとも呼ばれる事情通ロボットの計画”, bit, Vol.29, No. 12, pp.4-11, 1997.
【65】麻生英樹, 松井俊浩, 原功, 本村陽一, 堀川幸二 :“所内事情通ロボットの行為の階層と制御”, 日本ロボット学会第 15 回学術講演会, 中央大学, 1997-9.
【66】堀川, 松井, 麻生, 原, 柿倉 :“自律移動ロボット Jijo-2 の復帰行動”、日本ロボット学会第15回学術講演会, 1997.
【67】T. Matsui, I. Hara, H. Asoh, Y. Motomura, F. Asano, S. Akaho : “Dialogue-guided remote navigation of the office conversant mobile robot, Jijo-2”, Academic Exhibition, IJCAI'97, Nagoya, Japan, Aug. 1997.
【68】T.Matsui, H.Asoh, I.Hara, Y.Motomura, S.Akaho, T.Kurita, F.Asano, and N.Yamasaki : “An office conversant mobile robot that learns by navigation and conversation”, Proceedings of the 1997 RWC symposium, pp.59-62, Jan. 29, 1997.

1996
【69】浅野太, 速水悟, 松井俊浩 :“遅延和アレイを用いた音源方向同定/雑音抑制 システムの試作とその音声認識への応用”, 信学技報, EA96-80 1996-12.
【70】松井, 麻生, 赤穂, 原 :“事情通ロボットのイベント駆動型情報統合アーキテクチャ”, 人工知能学会情報統合研究会, 1996-11.
【71】松井, 麻生, 赤穂, 原, 栗田 :“事情通ロボットの大脳・小脳アーキテクチャ”,

日本ロボット学会第 14 回学術講演会, 新潟大学, 1996-11.
【72】本村陽一, 麻生英樹, 原功 , 赤穂昭太郎, 松井俊浩 :“事情通ロボットにおけるニューラルベイジアンネットの学習”, 人工知能学会第4回情報統合研究会 Technical Report SIG-CII-9601-04, pp.22-25, 1996.
【73】本村陽一 :“多層パーセプトロンを用いたベイジアンネットによる 確率的推論”, 第 7 回日本神経回路学会全国大会講演論文集, 1996.
【74】麻生英樹 :“事情通ロボットの創成と育成”, 日本神経回路学会誌, Vol.3, No.3, pp.106-111, 1996-9.
【75】本村陽一, 麻生英樹, 原功 , 赤穂昭太郎, 松井俊浩 : "ベイジアン ネットによる情報統合を用いた自律移動ロボットの自己位置同定", 人工知能学会全国大会第 10 回論文集, pp.79-82, 1996.
【76】浅野太 :“コヒーレントサブスペース法を用いたアレイ信号処理による音声強調”, 信学技報 EA96-25, 1996-07.
【77】麻生英樹, 本村陽一, 原 功, 赤穂昭太郎, 速水悟 , 松井俊浩 :“所内事情通ロボットにおける情報統合”, 人工知能学会情報統合研究会資料, 1996-7. 1995
【78】麻生英樹, 本村陽一, 松井俊浩, 速水悟, 原 功 : “対話ベース学習によるオフィス環境での自律ロボットナビゲーション”, 人工知能学会研究会資料 SIG-J-9501-7, 1995-12.
【79】松井, 麻生, 速水, 原, 本村 :“学習型所内事情通ロボットの計画”, 日本ロボット学会第 13 回学術講演会, 1995.

受賞

1999 年人工知能学会研究奨励賞

本村陽一 松井俊浩 麻生英樹 浅野太 原功 John Fry : "事情通ロボットによるオフィス環境における知的作業支援".

1998 年人工知能学会ベストプレゼンテーション賞

本村陽一, 原功 :"データベースからの学習機能を持つ確率推論システム BAYONET”

A-3. 自己組織化情報ベース機能領域

A-3-1 画像情報の計量化と可視化(情報ベース機能日立研究室)

◆目標

多様な特徴抽出・統計処理、および、可視化技術を統合することにより、画像データベースの情報空間を構成し、それをユーザに効果的に可視化することで、ユーザの情報獲得を支援する技術を開発する。200,000 件規模の静止画像データベース上における検索・ブラウジング技術を開発する。

◆アプローチ

学習技術を含むパターン認識技術(計量化技術)と可視化ユーザインタフェース技術を統合することにより、大規模画像・映像コンテンツを効率的に検索・ブラウジングするための技術を開発する。

画像検索における課題の一つとして、画像における類似性の判断は主観的なものであり、複数の個人の間においても、1人の個人においても変動することにある。従って、例え計算機の判断能力が人間並みに進歩したとしても、ユーザが計算機を含む他者の類似性判断を受け入れる保証がない。そこで、判断の主体がシステム側にある従来の検索の概念を覆し、システムを人間の感覚器官の延長と捉え、人間の判断を支援する検索システムというコンセプトを提案した。つまり、我々の研究開発における基本的な問題意識は「大量のデータを如何に適切にユーザに提示するか」、「大量のデータとユーザとの接点を如何にして多くするか」にある。これによって、「システム側の判断の比重を最小にする検索システム」、「ユーザ側が判断するチャンスを最大にするシステム」の実現を目指す。このような視点は、「人間と計算機システムの関係性」という点からも重要なものと考える。

このような背景から、本テーマでは、主として、ユーザインタフェースの問題に力点をおいて開発をすすめてきた。可視化ユーザインタフェース技術としては、2次元版と3次元版の2つのバージョンを用意することによって、ユーザニーズ、ハードウェアスペック等に柔軟に対応できるようにした。3次元可視化ユーザインタフェースでは、特に、ユーザ操作へのリアルタイム応答性を重視する。学習技術としては、フリーキーワードを教師とする統計的学習技術に着目し、特に、そのユーザインタフェースへの応用について研究開発した。

◆研究計画概要

(3 次元版可視化インタフェース)

3次元的表現を用いることによって、1000 件規模の検索結果を一気にブラウジングするシステムを開発した。個々の画像に運動性を与えることによって、3次元の空間自由度を有効に活用した効率よいデータアクセスを実現した。

(キーワード軸を用いた2次元版可視化インタフェース)

類似画像検索の結果を、キーワード推定値を座標軸とする2次元空間上に可視化することによって、100 件規模の検索結果を、ユーザに理解しやすい表現で提示した。

(音響効果生成プログラム)

3 次元版可視化インタフェースにおける可視化表現を聴覚面から補助するためのプログラムを開発した。本プログラムによって、可視化空間中のデータの変化、ウォー

クスルーに伴う視点の変化等に、動的に対応できる音響効果の生成が可能となった。

◆研究計画内容

本テーマでは、大量の画像・映像コンテンツを効率的に検索・ブラウジングするための技術を開発する。基本的な問題意識は、「大量のデータを如何に適切にユーザに提示するか」、「大量のデータとユーザとの接点を如何にして多くするか」にある。これによって、「システム側の判断の比重を最小にする検索システム」の実現を目指す。これは、逆に言えば、「ユーザ側が判断するチャンスを最大にするシステム」である。このような視点は、「人間と計算機システムの関係性」という点からも重要なものと考える。このような背景から、本テーマでは、主として、ユーザインタフェースの問題に力点をおいて開発を進めてきた。可視化ユーザインタフェース技術としては、2次元版と3次元版の2つのバージョンを用意することによって、ユーザニーズ、ハードウェアスペック等に柔軟に対応できるようにする。3次元可視化ユーザインタフェースでは、特に、ユーザ操作へのリアルタイム応答性を重視する。学習技術としては、フリーキーワードを教師とする統計的学習技術に着目する。特に、そのユーザインタフェースへの応用について研究開発する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

記憶媒体の大規模化等に伴い、近年、企業・官公庁レベルあるいは個人レベルで、大量のデジタル画像・映像コンテンツが蓄積されつつあり、これらのデータの管理・運用・再利用を行うためのシステムが必要とされている。本テーマにおいて開発された技術は、このようなユーザのニーズを吸収するための基幹技術と言える。また、画像に限らず、他の領域のデータに関しての応用の可能性も大である。

◆成果概要

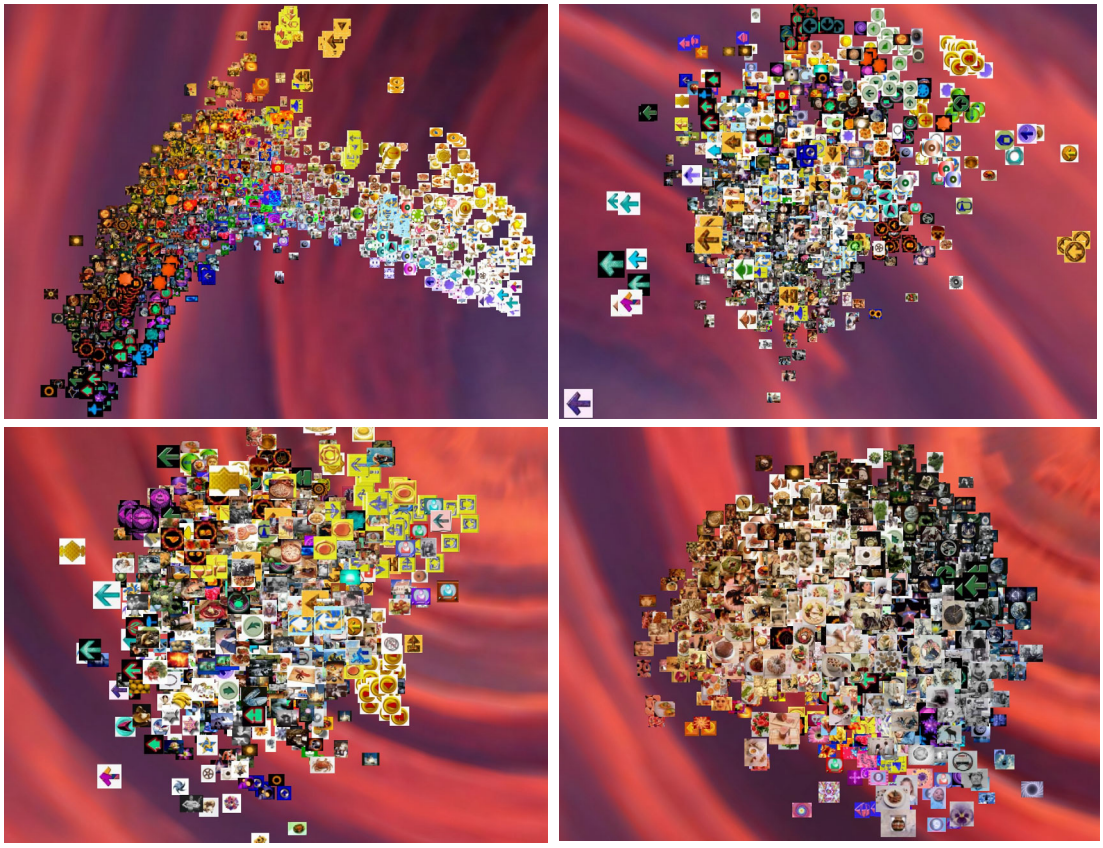
10～20 万件規模の画像データに対して、色合い、大まかな構図、形態等を表現する画像特徴量に基づく検索を行い、その結果を、3次元ないし2次元的に可視化された特徴量空間中の分布として表現するシステムを開発した。

◆研究成果の内容

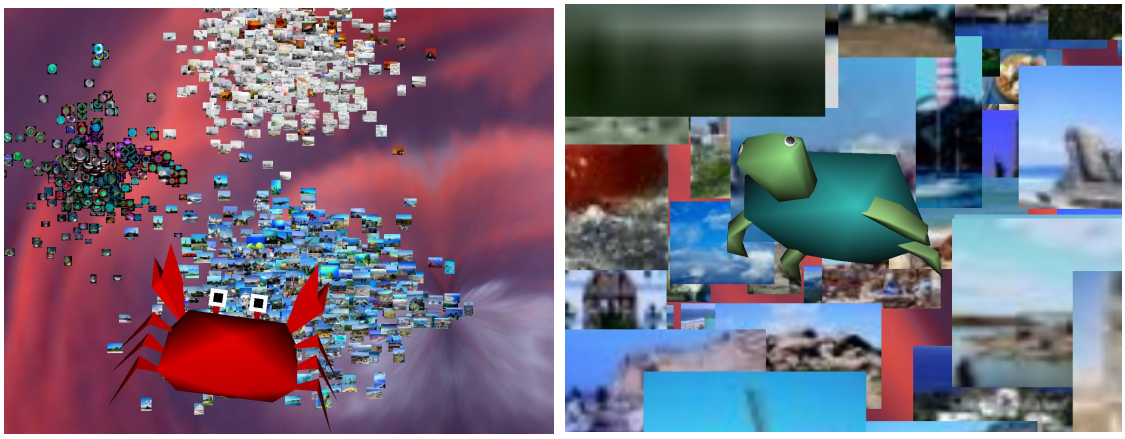
(3 次元版可視化インタフェース) 文献【2】【4】【8】【12】

1000～2000 件の検索結果画像の集合を「運動する画像の分布」として仮想的3次元空間中に表現する。検索結果は、キー画像を中心とした島を作るような分布として、特徴量ベクトルから構成された3次元空間中に表現される。表現の構成では、島間の分散と各島内のデータの分散の両者を考慮した多変量解析的な統計処理を行う。これによって、その時点の検索結果に適した表現形が導かれる。高次元の特徴量空間は様々な「3 次元的な見え」を持つ。可視化される分布は、この多様な見え方の間を移り動いていく。分布を構成する各画像の運動は、基本的には独立であるが、類似した画像どうしは類似した動き方をする。結果として、画像の分布全体が、有機的な秩序を持った独特の漂うような運動性を持つ。これによって、ユーザは、より多くのデータとの出会う機会を得ることが出来る。

情報、音声対話から得られるトポロジカル地図を統合し、経路計画、ローカルなナビゲーション、道案内などが効率的かつ汎用的に実行できる手法を研究開発した。(論文:1,4,5,10,15,22,23,25,26,28,31,33,35,40,41,42,46,47,48,55,56,78)



システムのもう一つの特徴は、画像群が形成する宇宙空間のような世界を探索するためのウォークスルー機能である。可視化空間中には、空間中を自由に動き回る「カメ」と、カメを客観的な視点から眺めながら、常にその動きに追随する「カニ」という、2つのオブジェクトが存在する。ユーザは、自らの視点をカメ・カニ間で自由に切り替えることができる。「カメ」は、特定の対象に接近し詳細に眺めるのに適した視点を与える。一方、「カニ」は、データの分布の全体像を知るのに適した視点および運動性を持っている。これら2つのオブジェクトを操ることにより、画像が星雲状に広がる空間を快適に探索することが可能となる。



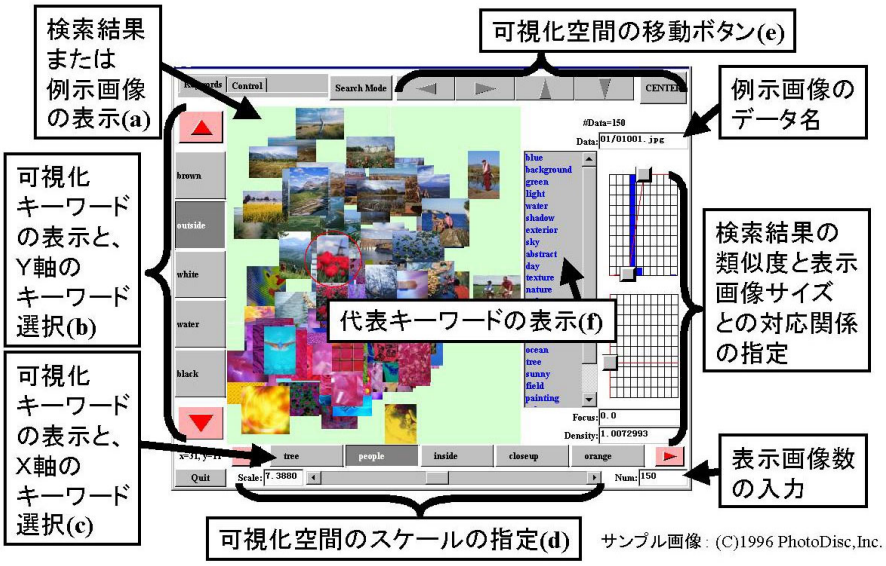
(キーワード軸を用いた2次元版可視化インタフェース) 文献 【5】【9】【11】

類似画像検索の結果を、キーワードを座標軸とする2次元空間上に可視化することによって、100 件以上の検索結果を、ユーザに理解しやすい表現で提示する。

「ある画像に対して、あるキーワードを付与することの適切さ」(キーワード推定値)を

重回帰分析を用いることによって画像特徴量から推定する。従って、キーワードが付与されていない画像に対しても利用可能である。ユーザインタフェース上では、検索結果中の各画像間の違いを際立たせると推定されるキーワードを、座標軸となるキーワード(「可視化キーワード」)の候補として提示する。各画像は、選択されたキーワード推定値に応じて配置される。また、検索結果集合全体の性質を表わすと推定されるキーワード(「代表キーワード」)も提示される。

本手法の有効性は、大規模画像集合を用いた実験によって検討された。我々は、「画像の集合を適切に表現するためのキーワード」に関心がある。従って、個々の画像についての推定精度だけではなく、画像の集合を対象とした場合の推定値の振舞いも検討した。実験の結果、キーワード全体で単純に平均化した場合、推定精度は低かったが、画像間での推定値の分散が大きいキーワード(画像間の差異を適切に表現する推定値を持つキーワード)の集合については、比較的高い推定精度が得られた。これは、実際のユーザインターフェイス上での応用を考えた場合の有効性を示すものである。



(音響効果生成プログラム) 文献【10】

3 次元版可視化インタフェースにおける可視化表現を聴覚面から補助するためのプログラムを開発した。本プログラムによって、可視化空間中のデータの変化、ウォークスルーに伴う視点の変化等に、動的に対応できる音響効果の生成が可能となった。

◆成果の意義

従来のデータベースにおける書誌的情報による検索と異なる画像の類似性に基づく検索とブラウジングは、大量の画像データへの効率的なアクセスを与える。更に、従来と異なるアクセス方法を提供するため、大量ゆえにアクセスできずに埋もれてしまったデータへの再利用性を高め、デジタルデータの再資源化を図ることができる。

「3次元版可視化インタフェース」は、1,000 規模のデータのブラウジングを可能とするもので、大規模コンテンツの管理・運用に有効である。「キーワード軸を用いた2次元版可視化インタフェース」は、より理解しやすい可視化表現を目指すもので、中規模(100 件程度)のデータのブラウジングに適する。「3次元版可視化インタフェース」に比べ、3次元グラフィックス関連のハードウェアが不要のため、ローコストで済む点も

利点である。

◆他機関との比較など

画像検索システムは、IBM、NTT、NEC等、多数発表されている。本研究室の成果の最大の特徴は、可視化ユーザインタフェース技術にある。本技術は、世界的に見ても独自のものであり、学術的価値、産業的価値ともに高い水準にある。また、フリーキーワードを用いた統計的学習技術の応用も、他の機関のシステムには無い特徴の一つである。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】武者, 森, 広池: “大量画像を対象とする特徴量空間の可視化”, 第3回知能メディアシンポジウム, 301-308, 1997.

【2】広池, 武者, 杉本:”VR空間を用いた画像特徴量空間の可視化－画像データベースの検索・ブラウジングのためのユーザインタフェイス”, 信学技報, PRMU98-86, 17-24, 1998.

【3】Musha, Y., Mori, Y., Hiroike, A., Sugimoto, A.: ”An Interface for Visualizing Feature Space in Image Retrieval,” Machine Vision and Applications, 447-450, 1998.

【4】Hiroike A., Musha, Y., Sugimoto, A., Mori, Y.: “Visualization of information spaces to retrieve and browse image data,” Third International Conference on Visual Information Systems, Springer-Verlag, 155-162, 1999.

【5】武者, 広池, 杉本: “類似画像検索における検索結果の可視化インタフェース―可視化軸として意味軸を用いる方法―“, 信学技報, PRMU99-57, 59--64, 1999.

【6】武者, 広池, 杉本: “類似画像検索における特徴量空間の可視化インタフェース”, 信学論, J82-D-II, 10, 1626-1633, 1999.

【7】A. Hiroike and Y. Musha: “Visualization for Similarity-Based Image Retrieval Systems,” RWC Technical Report, TR-99-002, 171-176, 2000.

【8】広池, 武者: “類似画像検索のための可視化とウォークスルー”, インタラクション2000, 39-40, 2000.

【9】武者, 広池: “意味を表現する空間上に検索結果を表示する可視化インタフェース”, インタラクション2000, 205-212, 2000.

【10】A. Hiroike: “Graphical representation for generating musical sequences,” Proc. 2000 IEEE International Conference on Multimedia and Expo(ICME2000), 769-772, 2000.

【11】武者, 広池: “類似画像検索における検索結果の可視化インタフェース---可視化軸としてキーワードを用いる方法---“, 日本工業出版 画像ラボ, 2000年9月号, 5--9, 2000.

【12】広池: “画像検索のための次世代ユーザインタフェイス”, 映像情報(INDUSTRIAL), 2000年9月号, 49-54, 2000.

A-3-2 文書情報空間の自己組織化(情報ベース機能三菱研究室)

◆目標

文書を対象として情報活用機能を実現するための要素技術とアーキテクチャの研究開発を実施し、高度情報化社会における快適な情報環境を実現するための基礎技術を確立する。

◆アプローチ

意味的な情報検索機能を実現するため、検索対象としてはタグつきのデータベースを開発をRWCに設置された研究開発用知的資源テキストサブWGのもとでコーパスの構築を行った。検索方式については、意味を表す単位として単語より上位にある「語の依存関係(係り受け関係)」に着目した方式の開発を行った。検索のインタフェースアーキテクチャとしては、ユーザが自分の意図を反映すことができるようなインタラクティブなアーキテクチャの研究開発を行った。

◆研究計画概要

ピンポイント検索技術、Poly-Term Vector Space Modelに基づく意味的情報検索技術を統合し、従来の全文検索技術では検索困難なクエリを自然言語によるクエリから開始してインタラクティブに検索できる統合デモシステムを開発する。

◆研究計画内容

RWCの知的資源テキストWGで開発されたタグ付テキストコーパス(新聞記事データを対象として開発)を対象として、係り受け関係とシソーラスをベースとする意味的情報検索システムを開発する。いくつかのユースシナリオを設定し、通常の全文検索、機械処理でタグ付けされたコーパスを対象とした意味的情報検索、機械処理でタグ付けされたコーパスに人手で正しく修正したコーパスを対象とした意味的情報検索を比較し、意味的情報検索機能の有用性を確認する。
また、多項関係のクラスタリングをベースとする文書集合の自己組織化アルゴリズム(Poly-Term Vector Space Model)の開発を行うとともに、検索結果の可視化ツールへの組み込みを行う。
さらに、意味的情報検索機能、検索結果の可視化機能、全文検索機能を統合した新しい情報検索システムのプロトタイプを開発する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

意義:

・情報検索の容易化
文書情報の活用のためのフレームワークを提供。
文書への意味情報の付加の有用性の検証。
意味情報を付加された文書に対する高精度の検索の実現。
文書情報のクラスタリングによる文書の意味付け(要約)、検索のガイドを提供。

応用:

・発想支援型の特許検索システム
アイデアの検索、分類
・音声認識、音声合成技術と組み合わせた、携帯電話による情報検索システム
いつでも、どこでも情報検索。メニューをたどってゆくことなく、欲しい情報にアクセ

ス。

・マニュアルを対象とした意味的情報検索
知りたい操作方法（特に、複数箇所に断片的に記述されている場合）がわかる

・保守レポートを対象とした類似故障事例検索システム
類似故障事例を参照して、現場での対処方法を知る。

・電子図書館に対して、全文検索型、ディレクトリ型に並ぶ 3 番目の情報アクセス方式
インタフェースエージェント技術と統合して図書館の案内機能を実現。

◆成果概要

シソーラスと係り受け関係を使った意味的情報検索のアルゴリズムを開発し、プロトタイプを開発した。また多項関係をベースとした新規の情報検索モデル Poly-Term Vector Space Model を開発した。さらに Poly−Term Vector Space モデルを情報検索可視化ツールに組込み、意味的情報検索、検索結果の可視化、全文検索を統合した新しい情報検索環境のプロトタイプシステムを開発した。

◆研究成果の内容

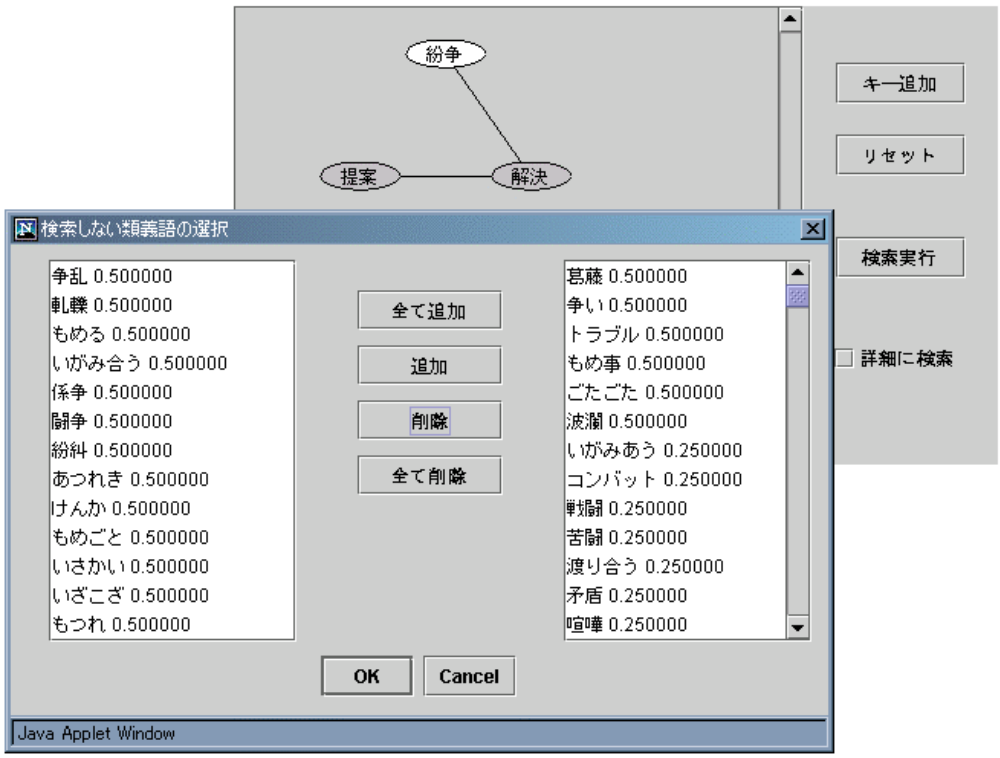
情報検索において「必要な情報がヒットしない」あるいは「ヒットしすぎて必要なものが分からない」という問題を解決する意味的情報検索システムの要素技術を開発した。

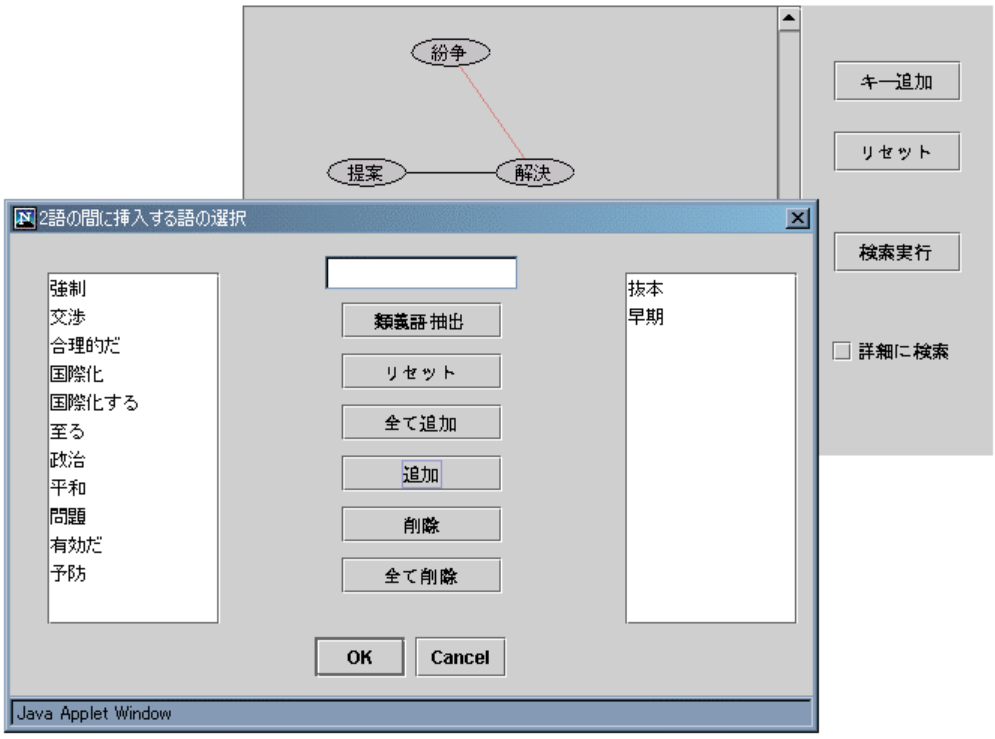
たとえば新聞記事から過去の国際紛争がどのように解決されたか調べたい時、「紛争の解決を提案した」といった検索文により検索できる。本成果では、係り受け関係と類義語の組み合わせにより「紛争の早期の終結を提言した」のように検索文と厳密に一致しない文も検索できる。また、全文検索のようにキーワードが単に含まれるだけで意味的につながりのない文書がヒットするといった「ノイズ」を抑えることができる。さらに、検索結果を語句の依存関係をもとに自動分類し、意味的に近い文書の集合を視覚化することにより検索された文書の傾向を直感的に把握することができる。

下図（左）は質問文として「紛争の解決を提案した」を入力したときのインタフェース例である。質問文は構文解析されて係り受け関係が「紛争」と「解決」の間、「解決」と「提案」の間にあることがグラフとして表示される。「紛争」「解決」「提案」のそれぞれの単語の類義語が近いと思われるものから順にスコア付きでユーザに提示される。その中でユーザは必要な類義語を選択できる。類義語の近さはスコアで表現されるので、ある閾値以上の近さを持つ類義語を自動的に選択するようにすれば、自動的な類義語展開機能となる。

検索は直接的な係り受け関係（例：「紛争を解決する」）だけでなく、間接的な関係（例：「紛争の状況を解決する」（この場合「紛争」は「解決」に係っていない。））も対象とする。単語間の関係が間接的な係り受けである場合、単語間に現れることが許される単語を指定して検索を絞り込むことができる。（下図（右））

これらの絞込みの際、可能性のある単語をシステム側から提示するので、ユーザの操作は、候補リストから選択するだけで良いので、ユーザは無意味な試行錯誤を行わなくて済む。



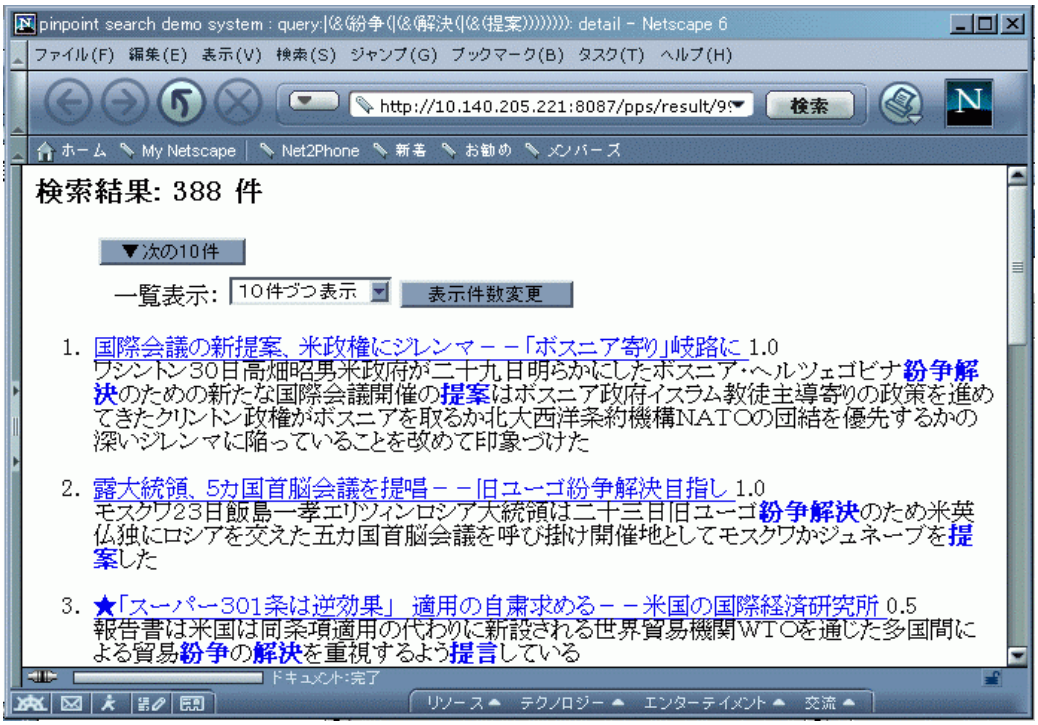


本検索により、下図のような検索結果が得られる。「紛争の解決を提案する」という初期の検索のキーフレーズに対して、

「紛争 解決のための新たな国際会議開催の提案」

「紛争の解決を重視するよう提言している」

といったフレーズを含む文が検索されている。



下図は検索結果を自動分類した結果である。(6 角形の各セルに自動分類された文書が配置される。6 角柱の高さはそのセルに配置された文書の数を表している。また 6 角形の上に書かれている単語はその分類を代表する係り受け関係のフレーズを表す。)「紛争の解決を提案する」というのが検索の初期のキーフレーズであったが、「NATO」「PKO」「NGO」「チェチェン」「常任理事国」「事務総長」「ボスニア紛争」など「紛争の解決を提案する」ことに関わる関連語が提示されていることがわかる。このマップをブラウズすることにより、ユーザは検索結果の全体的な傾向を把握することができる。



開発した統合検索環境では、再現率(Recall Ratio)と精度(Precision Ratio)をバラ

ンスよく検索を行うことができる。すなわち以下の操作をスパイラルに繰り返すことにより、適切な検索要求を対話的に構成して、効率よく意味的な検索が可能となる。

・全文検索による検索

　任意のキーワードの検索による網羅的な検索

・検索結果のクラスタリング、クラスタの特徴を表す係り受けの集合またはクラス内の文書の特徴的な文をサンプルとした検索要求の作成

　検索結果の全体傾向の把握

・類義語の拡張を行わない、あるいは類義語を絞った検索による精度の高い検索

　意味的な検索の絞込み

◆成果の意義

本成果を応用することにより、検索対象に対する知識、経験を十分に持たないユーザが効率的な情報検索を行うことができるようになる。

社会的には情報弱者（高齢者など）の情報アクセスの支援ツールに応用できる。（市役所など各組織、機関の情報公開ツール）

産業的には、情報検索技術は持っているけれども対象分野の知識を持たない人の情報収集ツールに応用できる。（R&D 分野では特許情報の検索システム、保守ビジネスの分野では、オンラインマニュアルやサービスレポートの検索システム、カスタマーサービス分野では FAQ の検索システムなど）。

◆他機関との比較など

比較の対象として、

・TRC の連想検索

・東工大の Fish Eye マッチング

がある。

TRC の連想検索の概要を RWCP の Web ページより引用する。

『大規模なデータベースから抽出した単語を対象として、検索や概念形成のための自律的な情報生成手段の研究。データベース中での近傍共起関係(二つの単語が同じ文章の近い所にあったこと)を元にして単語を空間中に配置します。関連の深い単語を連想することができます。

インターネットニュース250万件から抽出された45万語を対象として連想単語空間を作成しました。ネットニュースとウェブページの検索システムを公開しています』

FishEye マッチングは EDR 概念辞書の概念体系を利用して、ある意味グループに対応したタームだけを対象にしたり(Magnify)、またはある意味グループに対応したタームを縮退させる(Shrink)ことが可能である。

一方、PT-VSM では係り受け関係を考慮した検索、クラスタリングが可能である。

	基本要素の作り方		検索機能	
	統計量	辞書	マッチング モデル	関連語拡張
連想検索	単語の共起	単語辞書	Boolean Model	ギャラクシークラスタリングによる連想単語空間
FishEye マッチング	単語の共起	概念辞書	Vector Space Model	意味グループの拡大と縮退
Poly-Term VSM	多項関係の共起	シソーラス	Vector Space Model	多項関係の一般化と特殊化

◆主要論文･成果発表･受賞等

【1】小船、津高、小中、有田、橋田:“意味的情報検索”、人工知能学会第 15 回 AI シンポジウム、SIG-J-A101、pp33-38、2001 年

A-3-3 H10—13適応的状況認知のための自己組織化アーキテクチャの開発 （情報ベース機能東芝研究室）

◆目標

データを多様な観点から解釈する技術、有用な索引を自己組織的にデータベースに付与する技術を確立し、テレビ広告分野における意思決定支援のための実証システムを開発する。システムの特徴は、斬新な観点からの分析による発想支援効果と、各ユーザ毎に特化されたデータアクセスを可能とする自動的カスタマイゼーションである。

◆アプローチ

知的システムを、外界の情報を取り入れる知覚系，知覚系の出力を既知の概念と対応付ける認知系，認知系の出力を用いてどの行動を起こすべきかを判断する推論系，の3サブシステムに分けた上で，(1)合目的的な知覚・認知系の調節技術の開発，(2)それを用いた類推方式の開発，(3)意思決定支援システムの開発，の項目に関して研究する。

◆研究計画概要

外界の知覚・認知方法を柔軟に変化させ得る枠組みの構築。外界知覚・認知方法に関する学習。大規模知識ベース上での類推の効率化。実証システムの開発。

◆研究計画内容

(1)外界の知覚・認知方法を柔軟に変化させ得る枠組みの構築。対象とするメディアごとに、調節可能なパラメタを持った知覚・認知モジュールを構築する。

(2)外界知覚・認知方法に関する学習。各種のタスクに対して、推論系が環境から受け取った報酬を知覚・認知モジュールにフィードバックする機構を開発する。また、そのために、知覚/認知の仕方のタスクへの適合度を定量化する一般的な方式を考案する。

(3)大規模知識ベース上での類推の効率化。画像、テキストなどの情報に対して、効率的な類推の枠組みを開発し実装する。

(4)実証システムの開発。技術の有効性を実証するのに好適な領域を選定し、データを入手し、効果的なデモの行えるシステムを開発する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

個人特有の情報の受容の癖を知覚・認知モジュールのパラメタとして具体化できるため、自動カスタマイゼーションや、他人の視点に基づく情報ブラウジングを実現できる。また、特定の目的関数に適合するような情報の受容を実現できるため、合目的的な情報受容とそれに基づくデータ処理を行う、いわば次世代 OLAP とでも呼ぶべき情報システムを構築できる。

◆成果概要

外界の知覚・認知方法を柔軟に変化させ得る枠組みの構築に関しては，テキスト/画像情報に対して知覚・認知を行うモジュールを実装し，画像クラスタリングを行うシステムを開発して効果を実験的に示した。外界知覚・認知方法に関する学習に関しては，テキスト/画像情報に対する方式を実装するとともに，メディアに依存しない方法として，知覚/認知の仕方の複雑さを内部表現における既知関連概念の表現の複

雑さにより計る方法について検討した。大規模知識ベース上での類推の効率化に関しては，テキスト･画像情報に対するクラスタリング方式を実装した。さらに実証システムの開発を行った。

◆研究成果の内容

全体的枠組みの提案

従来、ひとまとめに考えられていた問題解決器を、情報を受容し、既知の概念と結び付ける部分(知覚/認知部)と、受容された情報を操作して外界への働きかけを行う部分(推論部)とに分解し、推論部の結果の評価を各サブシステムにフィードバックすることによって学習する手法を提案した[4)](図 1)。

従来法では、システム設計者が入力情報と問題解決器のアルゴリズムを注意深く分析することにより、問題解決器に与えられるべき入力情報の形式を決定していた。本来、この形式は、人間のエキスパートがタスクに熟練するにしたがって習得する「モノの見方」であり、単一のタスクのみならず関連するいくつかのタスクにとって好ましい形式と考えられるが、従来法においては、そのシステム構成と設計方法論に依存して固定的に決定されていたため、この「モノの見方」を状況に合わせて動的に、しかも自動的に学習することはできなかった。

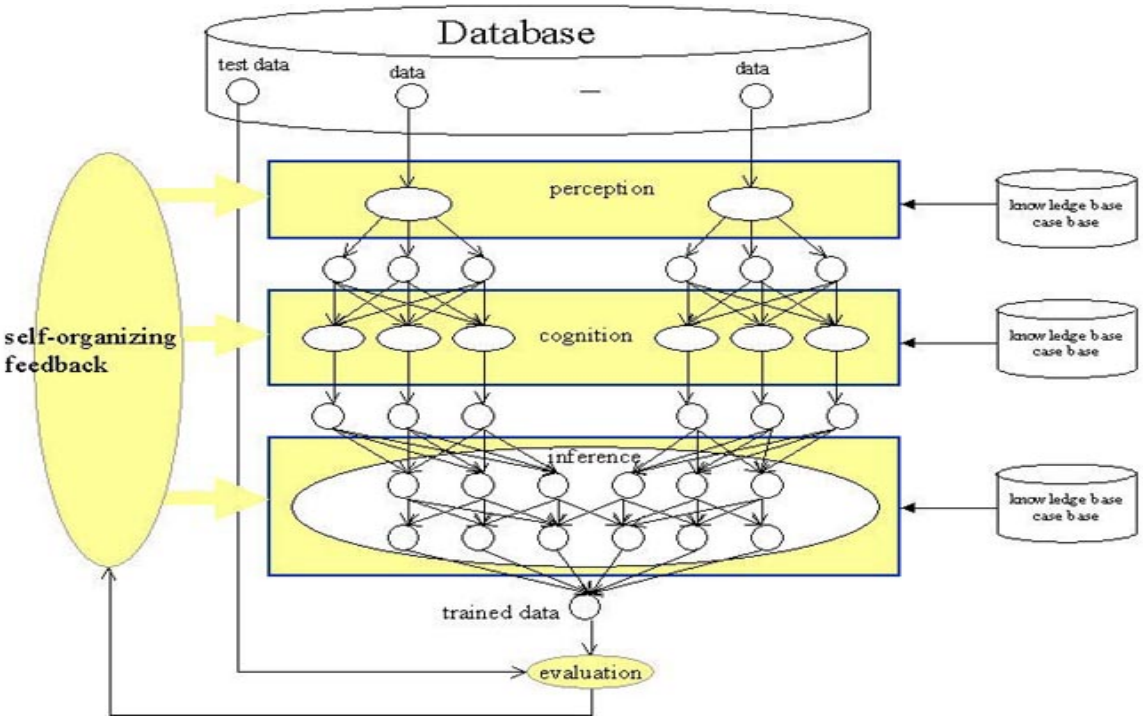


図 1　全体的枠組み

外界の知覚･認知方法を柔軟に変化させ得る枠組みの構築

テキスト情報に対し,辞書ベクトルをパラメータとして,適応的な文書のベクトル化を行うモジュールを実装した。また、語間の関連度を考慮する文書のベクトル化法を提案した。さらに、情報検索の枠組みの中で実験を行い、効果を確認した。この方法は,直観的には,文書の空間を,ユーザやその目的に適合するように歪めることに相当する(図 2)。

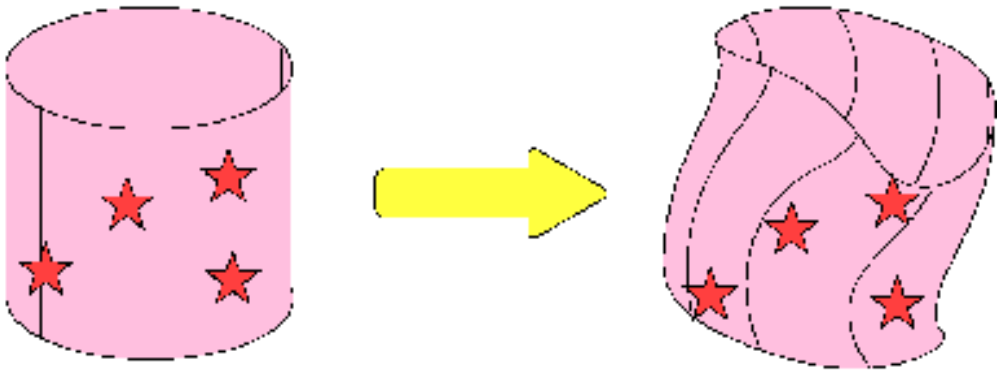


図 2　文書空間を歪ませる

また,画像情報に関しては，可変構図テンプレートによるセグメンテーションアルゴリズムおよび特徴色抽出アルゴリズムをパラメタ化することにより,空間特徴量と色彩特徴量に関して適応的な画像のモデル化を行うモジュールを実装した。図 3,図 4 に色彩特徴の抽出例を示す。これを用いて、画像クラスタリングを行うシステムを開発し、効果を実験的に示した。



図 3　色彩特徴抽出対象画像



図 4　色彩特徴抽出結果

外界知覚・認知方法に関する学習

推論系が受け取る評価を知覚・認知系にフィードバックする方法を検討した。その際，推論系のタスクが帰納学習された動作基準を利用する場合に関しては、テキスト情報に対する情報検索における適合性フィードバックを例として用いた。また,タスクがオブジェクト間の類似性を利用する場合に関しては、画像情報に対するクラスタリングを例として用いた。さらに，検討した方法は,それぞれのケースについては実装した。また,タスクやデータのメディアに依存しない方法も実装した。

大規模知識ベース上での類推の効率化

上述の知覚・認知モジュールにより生データをベクトル空間にマップし,その空間内の距離によってデータ間の類似性を定義することにより,効率的かつ目的に合わせて観点を柔軟に変化することのできる類推の枠組みを構築することができる。テキスト情報・画像情報に対するクラスタリングシステムを実験的に構築し,その可能性を示した。

実証システムの開発

本研究は、最終的には、さまざまなメディアの情報に対する柔軟な知覚/認知モジュールを開発し、それらが目的や状況に合わせて相互作用しながら、適切な情報への観点がパラメタの集合の形で学習され、それを人間の意思決定の支援に用いることを狙っている。そのための応用領域の検討と、実証システムの仕様の検討を行なってきた。その結果,テレビコマーシャルとその視聴率に関するデータベースを用いた意思決定タスクを応用領域として選定し、実証システム開発に不可欠な実データを入手した。実証システムの具体的な機能としては,テレビ CM に関わるクリエイター、マーケティング担当者などの意思決定を支援するため、ある視聴者層への到達度と相関の深い CM 空間を生成したり、ある番組の視聴率と相関の深い視聴者空間を生成する機能などを持つことにより、ターゲットを絞った広告戦略や、CM のプロトタイプの評価を可能にするシステムについて検討した(図5)。

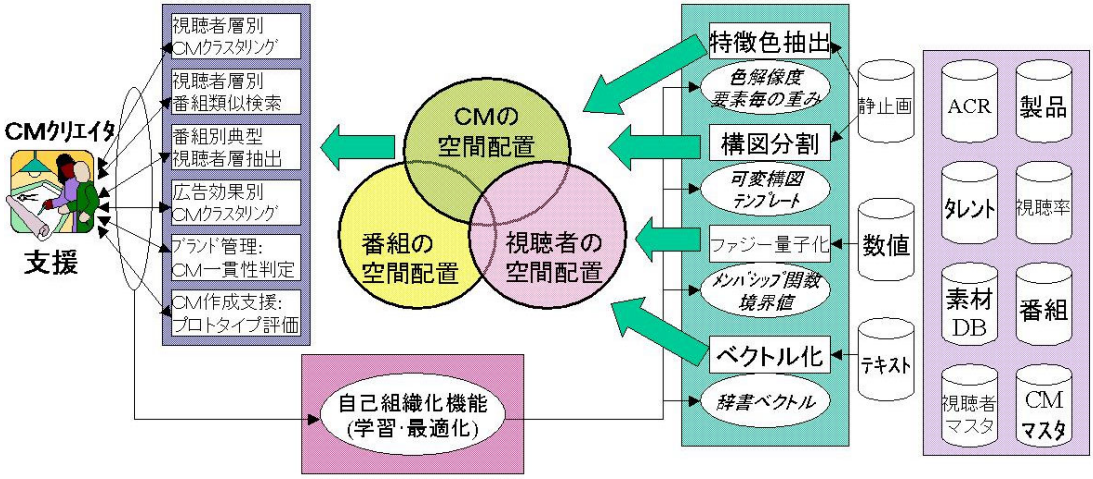


図 5　実証システムの構成

このシステムの基本となる機能は、視聴率や広告効果などの目的変数を説明するのに適した CM の空間を自動構成することである。ここで、「適した」とは、その目的変数を記述するモデルが、適応を用いない場合に比べて単純であることをいう。このような空間においては、空間内で定義される CM 間の距離と、その CM に関する目的変数とが、強い正の相関を持つことが期待される。これを用いて、以下のような具体的な機能が実現できることになる。

(1)他人の観点を利用した発想支援

与えられた視聴者層の好感度に基づいて CM の空間を自己組織化する。得られた空間は、その視聴者層がどんな CM を好むかを説明するのに好適な特徴、言い換えれば、その視聴者層が着目しがちな CM 要素によって特徴付けられている。ここで得られた特徴抽出パラメタを CM データに適用することにより、そのデータが上記視聴者層には「どう見えているか」を知ることができる。これにより、CM クリエイタが特定ターゲットにアピールする CM を作成することを支援できる。

(2)ブランド管理のための CM 一貫性判定(図7)

CM のブランドごとの集合が CM 空間内で整然と分割されるように CM の空間を自己組織化する。得られた空間は、ブランドを弁別する特徴によって特徴付けられてい

る。これにより、マーケティング担当者や CM クリエイタが、そのブランドのイメージと矛盾しない CM を作成したり、ブランド拡張（これまでそのブランドのもとで販売されていなかった製品種を投入すること）の可能性について分析することを支援できる。

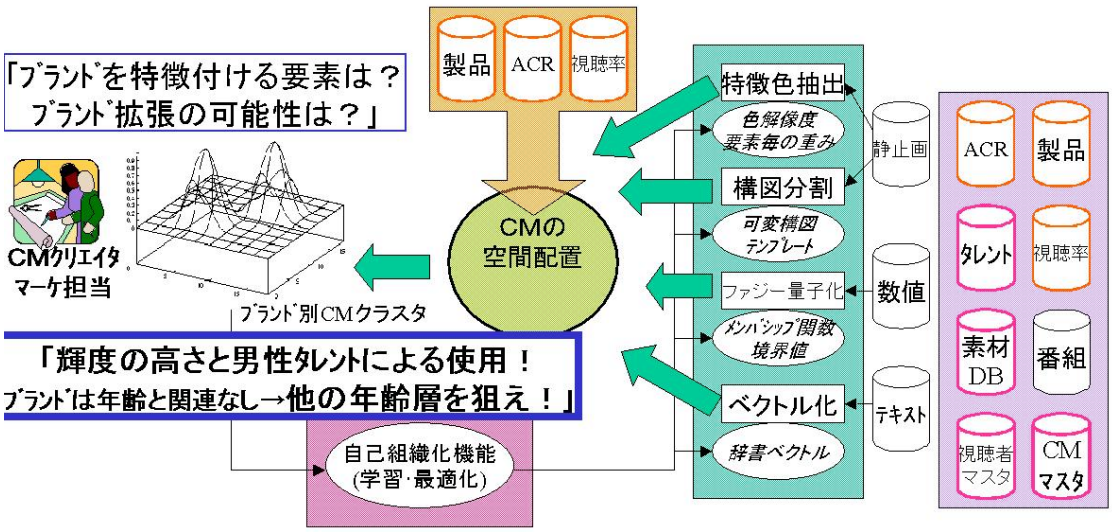


図 7　CM 一貫性判定

(3) CM プロトタイプ評価

まず、到達度、広告効果などの観点に基づいて CM 空間を自己組織化しておく。次に、製作中の CM のプロトタイプをこの空間にマップする。プロトタイプが空間内で占めた位置を観察することにより、CM クリエイタは、CM を望ましい方向（到達度が高い、広告効果が高い、…）に誘導するには、どのような修正が必要かの示唆を得ることができる。

◆成果の意義

個人特有の情報の受容の癖を知覚・認知モジュールのパラメタとして具体化できるため，自動カスタマイゼーションや，他人の視点に基づく情報ブラウジングを実現できる。また，特定の目的関数に適合するような情報の受容を実現できるため，合目的的な情報受容とそれに基づくデータ処理を行う，いわば次世代 OLAP とでも呼ぶべき情報システムを構築できる。さらに、実証システムに関していえば，CM 製作は最も創造的な作業のひとつであり，それを IT 技術により支援できることは画期的である。従来も，データベース技術は用いられていたが，本実証システムのデモ効果により，知的支援へのニーズを発掘できる可能性がある。

◆他機関との比較など

(Interactionist approach to metaphor (Indurkhya)は、2 つの空間の相互作用によりメタファ理解がなされるとするもので、メタファの創造的側面を説明できるという特徴がある。受容された情報が段階を経て理解されるというモデルは本研究と共通しているが，本研究で言うところのタスクがメタファ理解に限られており，問題解決モデルとしての汎用性がない。High-level perception (Hofstadter/Mitchell)は、多数の知覚エージェントの確率的実行により、可能な内部表現の空間を並列探索するというもので、合目的的なメンタルモデルの形成を説明できる。適応的なメンタルモデルの形成や，適応を内部表現の空間の探索に帰着するところは本研究と共通しているが，本研究

で言うところのタスクが文字列間のアナロジ検出に限られており，実世界データへの応用の可能性が薄い。）

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】Murakami, T. et al.: “Friendly Information Retrieval through Adaptive Restructuring of Information Space”, Proc. of RWC 2000, pp.165-170, 2000.

【2】Murakami, T. et al.: “Friendly Information Retrieval through Adaptive Restructuring of Information Space”, Proc. of AIE/IEA 2000, 2000.

【3】Murakami, T., Orihara, R.: “Friendly Information Retrieval through Adaptive Restructuring of Information Space”, New Generation Computing, Vol. 18, No. 2, pp.137-146, 2000.

【4】Orihara, R. et al.: “Improvement of Perception through Task Executions”, Proc. of 17th Workshop on Machine Intelligence, pp.70-73, 2000.

【5】Murakami, T. et al.: “Specification of Similar Kansei in Adaptive Perceptual Space”, Proc. of KES2001, 2001. (to be appeared)

A-3-4 H9—10検索要約システム／H11—13Cross Mediatorの構築（情報ベース機能つくば研究室）

◆目標

動画像・静止画像・音声・音楽・音響・テキストのメディア情報の生データを、同じメディア同士あるいは異なるメディア間で検索を行う移植性の高いソフトウエア集合体パッケージ(CrossMediator)を構築する。

◆アプローチ

動画像/(音声)については数十時間分以上の録画データを検索対象とし、ライブのTV放送を検索入力として、実時間で類似の動画/(音声)区間を検索する。また、音楽データについては、鼻歌を検索入力として、それに類似した音楽区間データを検索する。テキストについては、約400万記事を対象にして、クエリーの文章からの連想単語によって精度のよい検索を行う。

◆研究計画概要

時系列パターンについては、連続DPに基づく一群（連続DP family）の検索方式を開発し、個々の検索機能を実現し、また、大語彙の単語についてはその自動空間配置方式の開発などにより、連想機能を実現し、テキスト検索目的の機能を実現する。

◆研究計画内容

(1)テキスト入力による音声の検索 ---- クエリーの文書を音素記号列に変換し、事前に音素認識された音声データを高速連続DPまたはRutic 法にて検索する。

(2)声入力によるテキストの検索 --- クエリー音声入力されたものを音素認識し、音素展開されたテキストを高速連続DPまたはRutic 法にて検索する。

(3)音楽検索--- 鼻歌をクエリーとして、それに対応する音楽データの類似区間を検索する。

(4)静止画によるテキスト検索 ---- 静止画とそれに付随する単語群との対データについて、単語群における知識の拘束関係を利用した、未知画像からの単語群の推定方式を開発する。

(5)動画ー音声の相互検索の実証実験-----動画ー音声DBを数十時間のものを検索の対象として、音声ー音声検索を通じて、検索された音声部分と時間を同じくする動画を検索する。同様に、画像ー画像検索を通じて音声を検索する。

(6)テキストの検索-----テキスト検索の対象を400 万文書とした場合における、ユーザの好みを学習する検索方式を開発する。遺伝子データもテキストとみなすことで、同様にその検索の対象とする。

(7)実装 --- CrossMediator の2つの実現方式として、ソフトウエアシステムと、大規模データに対処することのできるPCcluster 上での実装を行う。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

近年、DVDへのビデオデータの大量の記録が可能となっているが、これの検索機能が無いことがそのデータの多様な利用への隘路となっている。また、それらのデータとテキスト文書データとのつながりもとられていないことも利用価値を発揮していない。本技術の開発はこのような状況を克服する技術として、ユーザの要望に応えることになる。

◆成果概要

(1)音声データの音素ラベルコーディング技術 ---- 音声を音素に変換するための高識別音素認識法を開発する。

(2)音声やテキスト入力による音声の検索技術 --- 音素記号でラベリングされたデータについて、クエリーの音声やテキストからの音素記号列による検索手法として高速連続DPや Rutic 法などを開発する。

(3)静止画によるテキスト検索 --- 静止画からの単語推定の方式として AISIC 法というものを開発する。

(4)動画による動画検索 ----- 動画の高速検索のための Rutic 法などを開発し、評価実験を行う。

(5)テキストの検索 ----- Galaxy Clustering という手法を開発し、大量語彙の単語集合について、その連想関係が定義できる配置空間を作成する。また、これを日々更新されるインタネットの文書や遺伝子の検索システムを構築する。

(6)音楽データの検索 ----- 「はなうた」をクエリー入力として、それに対応する音楽データの部分区間を検索するための方式を開発する。

◆研究成果の内容

(1)音声データの音素ラベルコーディング技術---- 音声を音素に変換するための高識別音素認識法を開発し、85%の一位認識率を得ている。また、英語音声の音素ラベルコーディングも達成した。

(2)音声やテキスト入力による音声の検索技術 --- 音素記号でラベリングされたデータについて、クエリーの音声やテキストからの音素記号列による検索手法として高速連続DPや Rutic 法などを開発した。この一部の機能はすでに商品化されている。英語音声データの検索も可能にするシステムの開発も行った。

(3)静止画によるテキスト検索 --- 静止画からの単語推定の方式として AISIC 法というものを開発した。単語から画像を推定する方式も開発も行い両者を統合した。

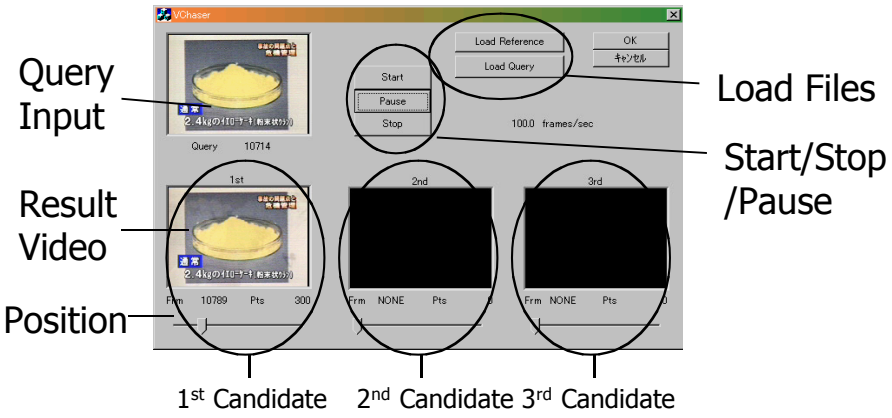
(4)動画による動画検索----- 動画の高速検索のための Rutic 法などを開発し、評価実験を行い、良好な結果を得た。最終成果のデモで、ライブの TV 放送をクエリーとして、200時間の画像データからの実時間検索を行う予定である。

(5)テキストの検索----- Galaxy Clustering という手法を開発し、50万を上回る大量語彙の単語集合について、その連想関係が定義できる配置空間を作成した。また、これを日々更新されるインタネットの文書(400 万件を上回る)の検索システムを構築し、その実証実験を行った。この方式をメールの自動分類、遺伝子を構成する塩基系列データの検索システムも構築した。

(6)音楽データの検索 ----- 「はなうた」をクエリー入力として、それに対応する音楽データの部分区間を検索するための方式として、MDCDPやsCDPを開発し、その有効性を確認した。また、MIDIデータを鼻歌で検索するシステムも構築した。

(7)音響シーンの検索 ---- 数十時間の音響シーンのデータベースから、リアルタイムの音響データの入力について、時々刻々とそれがデータベースのどこにあたるかを判別するシステムを構築した。これのためにRIFASとよばれる方式を開発した。

Video Chaser Prototype



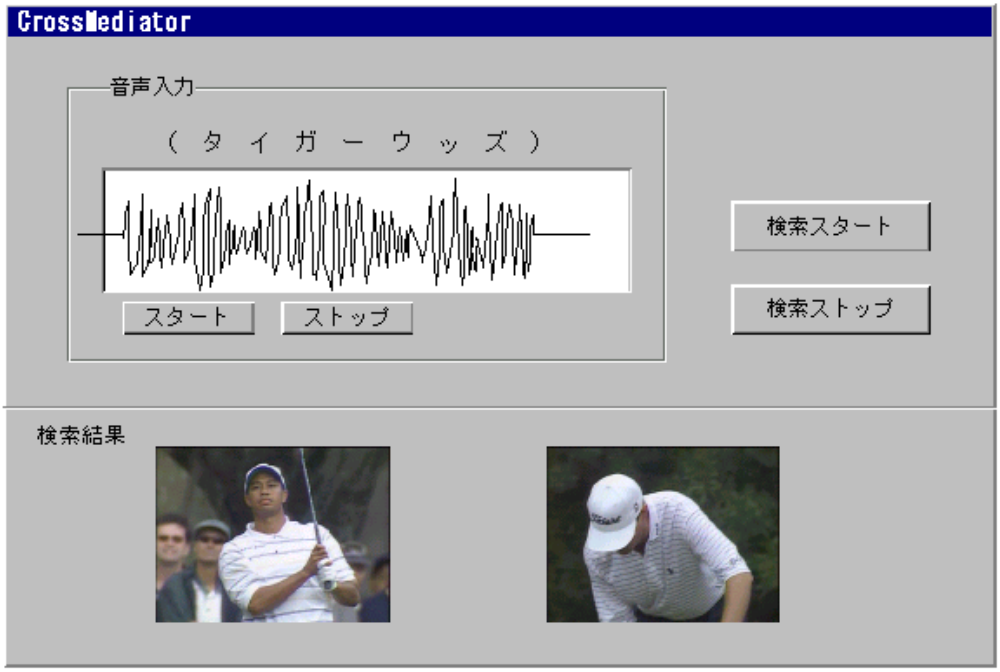
実時間動画検索システム(参考文献　＃8)

動画像のデータベースについて、ライブの TV 放送の動画像をクエリーとして入力し(図での左上)、これに類似する区間をデータベースから実時間で表示する(図左下)。
このとき、入力とデータベースの間での類似区間の長さは任意である。



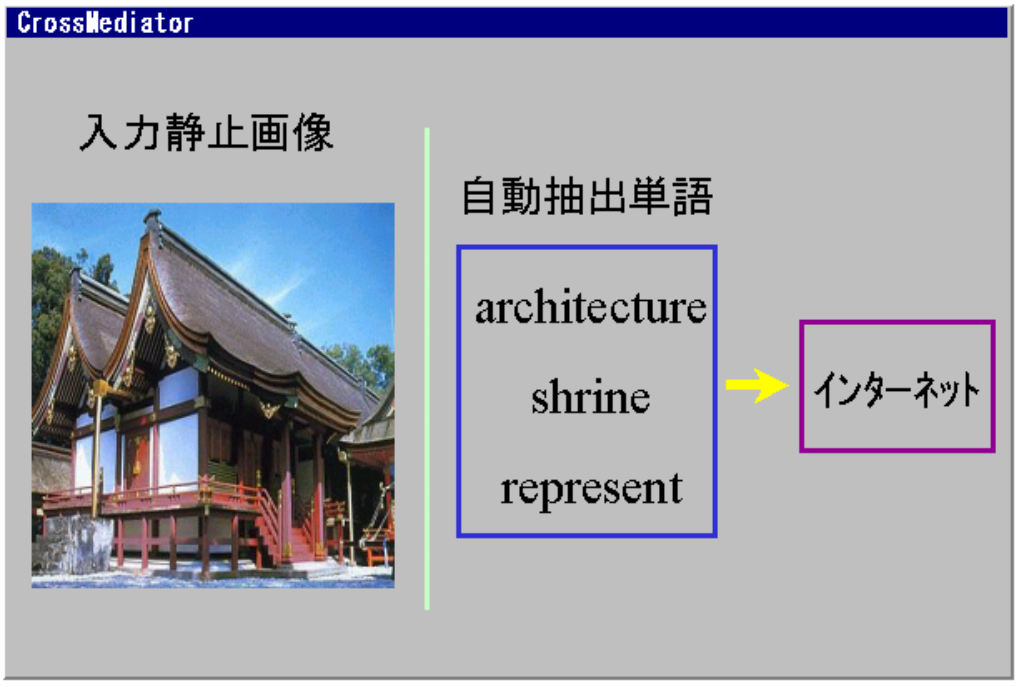
テキストによる動画検索(参考文献　＃10)

テキスト文をクエリーとして入力し、これを音素記号列展開し、ビデオの音声部分の音素認識系列について類似区間を検出する。この検出された音声区間と時間を同じくする動画像を検索結果として出力する。



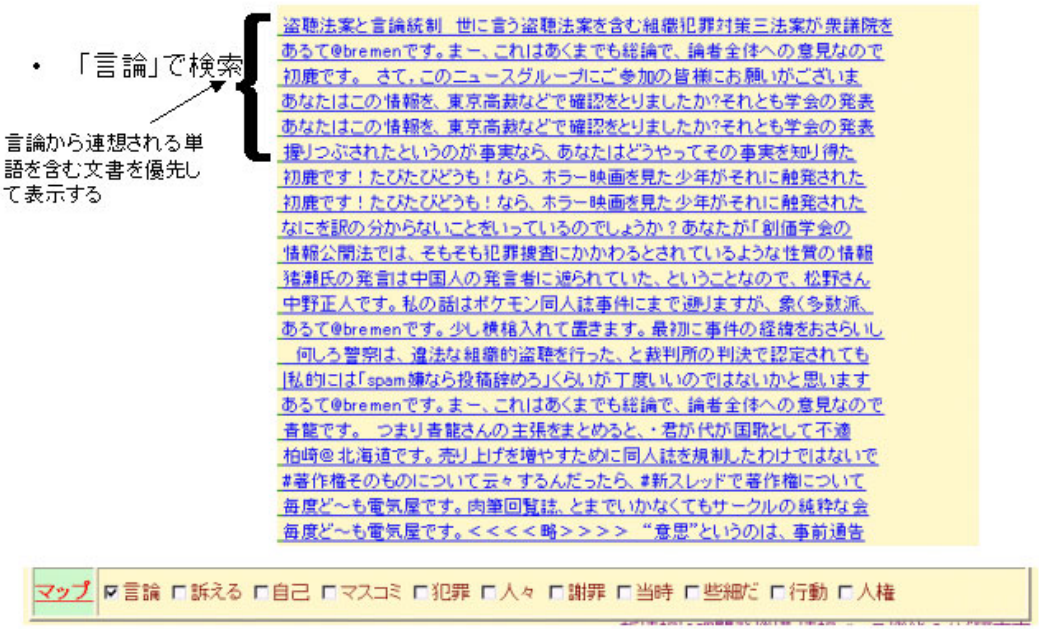
音声による動画検索（参考文献　＃10）

音声をクエリーとして入力し、これを音素記号列展開し、ビデオの音声部分の音素認識系列について類似区間を検出する。この検出された音声区間と時間を同じくする動画像を検索結果として出力する。



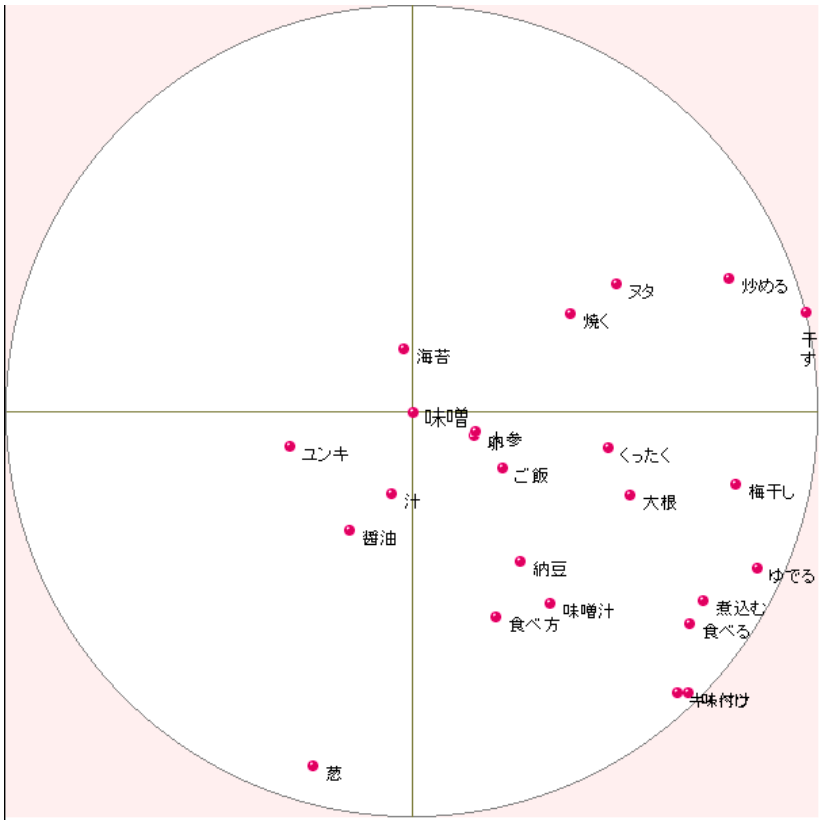
画像からの単語推定（参考文献　＃6,7）

静止画像から推定される単語を見出し、これをインタネットの検索キーワードとし、関連するホームページを検索する。



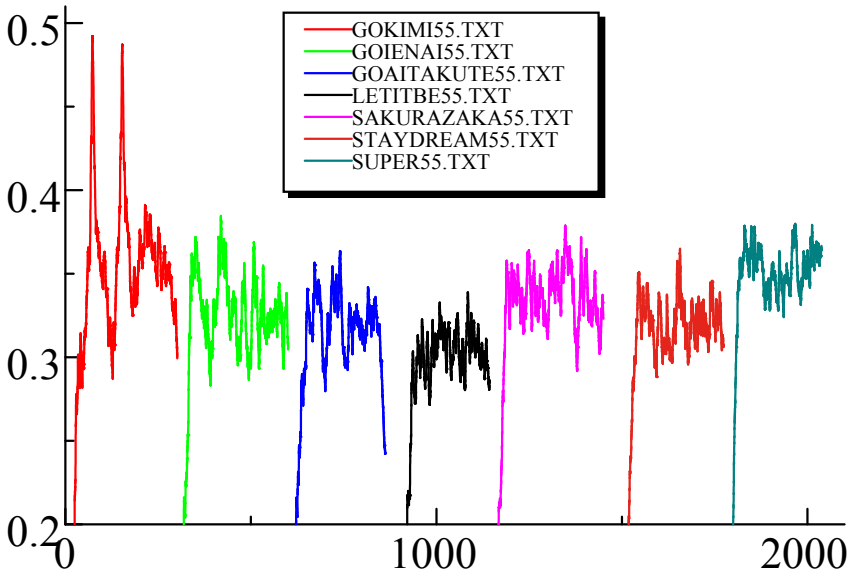
連想単語による候補の絞込み(参考文献　＃9)

文書研検索において、キーワードによるヒット記事が大すぎるとき、
キーワードの連想する単語によって記事を絞り込む。



単語連想空間の例(「味噌」の周辺の単語分布)

50万語彙の単語のそれぞれについて、連想さえる単語を自動的に作成する。上図は味噌という単語の周辺に位置する単語群を表示している。(参考文献　＃9)



鼻歌による音楽検索（横軸：音楽データ、縦軸：累積類似度）（文献　#11）

曲を思い出せないが、メロディを鼻歌で発声したとき、これに類似する音楽波形の区間データ検索する。図では、2つの類似度のピークが1つの鼻歌クエリーに対して、類似区間が存在すること得られている。ピークの部分が鼻歌の終端と音楽波形データ中の類似区間の終端となっている。

◆成果の意義

DVD　によるビデオデータの大量の記録が広まる環境であるが、それらの自由な検索技術が伴っていない。動画像の検索を行うに際し、音声を介して行い、テキストでの検索、画像から単語への変換など、マルチメディア間の検索は必須のものとなる。

また、これら、音声・静止画・動画・音楽・音響・テキストというマルチメディアの検索を扱える統合ソフトをパッケージとして、商用化の段階まで開発したことは世界的に初めてである。その一部の実用化ソフトは国際的に流通するOSとの結びつきも行っている。また、学術的にも検索ソフトの中心をなす検索エンジンのいアルゴリズムはその有効性が高く評価されている。

◆他機関との比較など

放送音声などの単語や文カテゴリ認識によっては認識が極めて困難なデータでも、音素認識を通じて検索が行えることをアルゴリズムとともに示した。またその商用化までを行っている研究は世界的にも類をみない。また、ライブの TV 放送動画像という切れ目のない動画像クエリーについて、データベース中の類似区間を実時間で検索する技術も他に類似研究をみない。さらに、数十万語彙の単語について、それぞれの連想関係を自動的につける方式についても他に類をみない。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】T. Endo, J. Xin. Zhang, M. Nakazawa and R. Oka "Mutual Spotting Retrieval

between Speech and Video Image using Self-organized Network Databases", AMCP'98 Conference Proceedings, pp. 106-121,1998.
【2】M. Nakazawa, J.Zhang. R. Oka M. Ihara, T. Akasaka, H. Takahashi and R. Oka: "Topic Spotting and its Description of Summary from Spontaneous Speech", Proceedings of Eurospeech '99, Vol.6, pp.2447-2450, 1999.
【3】R.Oka: "Spotting Method for Classification of Real World Data", The Computer Journal, Vol.41, No.8, pp.559-565,1999.
【4】豊浦潤、遠藤隆、岡隆一: "時系列データからのネットワークモデルの教師なし学習方式 - Incremental Path Method の提案 -",電子情報通信学誌 D-II, Vol.J82-D-II,No.1,pp.61-74,1999.
【5】T. Nishimura, N. Sekimoto, J. Xin Zhang, M. Ihara, T. Akasaka, H. Takahashi and R. Oka: "Methodology for Retrieving Time Sequence Pattern", Proc. of IWHIT/SM'99, pp.1-8 ,1999.
【6】N.Sekimoto, T.Nishimura, H.Takahashi, and R.Oka,: ``Continuous Retrieval of Video Using Segmentation-free Query, ''Proc. of 15th Int'l Conf. on Pattern Recognition (ICPR2000), Vol.3, pp.375-378, Sep. 2000.
【7】Y.Mori, Yasuhide Mori, Hironobu Takahashi, and Ryuichi Oka, : "Automatic word assignment to images based on image division and vector quantization," Proc. RIAO2000, Content-Based Multimedia Information Access, vol.1, pp.285-293, April 2000.
【8】森 靖英、高橋裕信、岡 隆一:“単語群付き画像の分割クラスタリングによる未知画像からの関連単語推定“、電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J84-D-II, No.4, pp.649-658, 2001.
【9】関本 信博、西村 拓一、高橋 信博、岡 隆一:“逐次フレーム入力されるクエリーによる時系列データの類似区間スポッティング検索”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J84-D-II, No.5, pp.747-757, 2001.
【10】高橋裕信、新田義貴、岡隆一:”非線形クラスタリングによるパターンの分類 -Galaxy Clustering Method の提案 -",電子情報通信学会パターン認識メディア理解研究会, NLC-97-34, pp.41−47, 1997.
【11】岡隆一、西村拓一、伊原正典、張建新、赤坂貴志:”音素系列表現を用いた音声およびテキスト検索”,電子情報通信学会,音声研究会,SP2001-29,(2001-06).
【12】橋口博樹、西村拓一、張建新、高橋裕信、岡隆一:”モデル依存の傾斜制限型をもつ連続 DP によるハミングを用いた音楽信号のスポッティング検索”電子情報通信学会,パターン認識と理解研究会, PRMU-2000-60,pp.35-40,(2000-09).
【13】西村拓一、橋口博樹、高橋裕信、岡隆一:”パターンマッチング手法を用いたはなうたによる音楽検索の高速化について”,人工知能学会、情報統合研究会、SIG-CII-2000-NOV, pp.9-12 (2000-11).
【14】西村拓一、小木しのぶ、水野道尚、関本信博、岡隆一:”参照パターンの区間を自由とするヒストグラムに基づく時系列検索”,人工知能学会、情報統合研究会、SIG-CII-2000-NOV, pp.90-95 (2000-11).

A-3-5 H9ユーザ依存の自己組織化／H10−13ユーザ依存の自己組織化マルチメディア情報ベース(情報ベース機能KRDL研究室)

◆Goal

・To develop formalism for content-based retrieval that can automatically customize the retrieval engine towards users' information need.

・To develop a unifying feature space for content-based indexing and retrieval in visual domains.

◆Approach

(1)We will develop a new formalism for visual content-based indexing and retrieval based on a unified object-oriented feature space. It will be compared with other relevant formalisms in multimedia retrieval and text retrieval.
(2)We will build an integrated system (called SmartAlbum) to test our methods on photographs of complex scenes.

◆Outline of Research Plan

The main emphasis in FY2001 is to integrate the component technologies surrounding image indexing into an application prototype called the SmartAlbum. Specifically we had accomplished the following research agendas:

1.Development of the Object Probes system for image indexing. Object Probes are specially defined detectors that are design to spot key elements in the photos like sky, water, building, foliage and etc. The definition and location of these elements can provide information that can help a user interact with the retrieval system using an elegant query-by-sketching interface.
2.Development of a speech-based photo annotation system. We develop the application to convert a user's speech annotation to indexing terms used to represent the photos.
3.We have developed a multi-modal photo indexing and retrieval system called the SmartAlbum. This application system uses information from the content of the photos (using Object Probes) as well as from speech annotation to index a database of home photos. A user interface is created to allow a user to search for photos using either a simple text-based query or a more sophisticated query-by-sketch user interface.
4.We have a created a comprehensive database of up to 2000 home photos. We are using this database to test the performance of the SmartAlbum application.

◆Contents of Research Plan

As multimedia content-based retrieval research is an area that cuts across several fields such as information retrieval, databases, computer vision, speech recognition etc, we do not restrict ourselves to a single type of techniques. However, as we aim to realise "user-centered" via self-organisation of large information base and progressive pattern-symbol processing, techniques for statistical learning, advanced image processing, speech-based indexing, and high-level visual information processing will be emphasised.

This Lab will join the user group of multi-modal personal computer (MMPC/net) provided by TRC. The MMPC/net is regarded as a platform on which software developed at KRDL will be implemented and integrated with software of TRC and other user groups.

◆Research Significance from the Users' Viewpoint and its Application Fields

The commercial impact for the Digital Photo Album is great as large corporations are looking for a system level solution to help store, manage, and retrieve image and video content in large databases for their marketing and PR needs. Portable/set-top box for digital home photo/video device is another potential product.

◆Summary of achievements

We have accomplished the goals of most of the elemental technologies. We have successfully integrated the Object Probes and the speech-based image indexing schemes together to create a photo indexing and retrieval application which we called SmartAlbum. This has been tested on a database size of close to 2000 photos.

We have developed an object-driven feature space for content-based indexing and retrieval called Visual Keywords. A query language that supports logical formulation of pattern-based visual query terms has also been proposed. These are part of our attempt to bridge the gap from low-level features to high-level semantics in our formalism.

◆Contents of research results

(1)Object Probes for Scene Indexing

Most Content-Based Image Retrieval (CBIR) system uses low-level features in the form of color, texture and shape to represent the image constituents. The use of a generic feature set is common in many CBIR systems. The problem with this is that the feature-based retrieval approach is not able to capture the variety of scene attributes found in both natural and man-made images. On top of that, feature-based systems generally require prototype samples to estimate the form of the parametric or non-parametric classifiers that are used during the decision making process. Also for practical considerations, the amount of training samples is often limited and therefore not adequate to represent the variations within the class type.

However, if one knows in advance the different possible types of physical phenomena found in the image database, one can design special detectors that are tuned to the visual perceptions of these phenomena. Some of the scene composites like sky, water, foliage, building, and etc can be detected using universal models or decision rules. Generally the color, texture and edgeness properties of the scene composites can be used as input to the decision tree.

The task of labeling the various scene phenomena can be accomplished by finding perceptual categories that can satisfy the following: (1) consistency within the phenomena class (2) distinctiveness across phenomena classes. Here, we identify 4 classes of phenomena in the form of sky, water, foliage and building that we wish to label in the image. The perceptual cues we used are the dominant RGB values (color), dominant Discrete Cosine Transform features (texture) and edgeness (edge orientation). By understanding the feature distribution within these labels, we can formulate a decision tree to perform the labeling. Here, we define the edgeness measure as the normalized occurrence of right angle corners within the region. The orientation output of the Sobel edge detector is used to estimate the orientation of prominent edges in the region.

To test the performance of the *Object Probes* approach, we set up a query environment with 1800 photos in the database. We want to define the characteristics of the system according its retrieval capabilities. So, the evaluation carried out is consistent to what is done for text retrieval systems. A test collection is composed of a set of query for which we have the retrieval assessments according to set of documents. We assessed a set of 18 queries (assessment achieved by 3 different persons), considered as the ground truth against which we evaluate our system. These queries are composed of one label, two labels, absolute and relative spatial relationships. Then, we ran the system on the queries, and we obtained the recall versus precision curves that is presented in Figure 1. The average precision obtained is 0.23. These results obtained are already promising for a fully automatic image retrieval system, and the use of additional information coming from learning may improve these results.

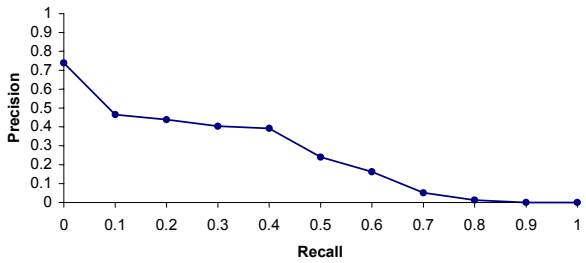


Figure 1: Recall/Precision curve on 18 queries.

Visual Keywords

To answer the quest for intuitive “keywords” in the visual domain, we propose the notion of *Visual Keywords* and a novel methodology to index and retrieve digital images. Visual Keywords are intuitive and flexible visual prototypes extracted or learned from domain-relevant regions of sample images in a visual content domain. The examples below (left-to-right) are: faces, crowd, and foliage respectively.

A 3-layer feed-forward visual information processing architecture for automatic indexing of an image is proposed as follows. The first layer (input

layer) presents raw image pixels. The next layer, namely Fuzzy Object Map (FOM), captures a tessellation of fuzzy object distribution patterns. Each pattern is derived from comparing a local region with a predefined visual vocabulary. No image segmentation is required and thus object detection is not dependent on pre-segmented regions. The third layer Spatial Aggregation Map further tessellates over FOM to summarize the image content according to a spatial configuration. The 3-layer architecture is illustrated as Fig. 2(a).

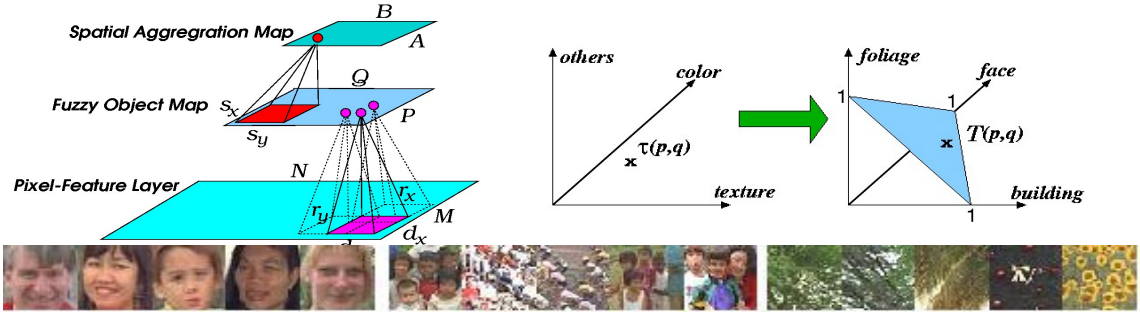


Figure 2. (a) Architecture for indexing; (b) Object-driven feature space.

Visual keywords can be regarded as co-ordinates that span a new pseudo-object feature space (Fig. 2(b)). The scale on each dimension is the fuzziness ($\in[0,1]$) of that visual keyword being detected at a specific spatial locality in the visual content.

A new visual query language and query processor support explicit specification of visual query terms (*what* and *where*), chained in a well-formed logical (*and, or, not*) formulas for intuitive query and retrieval of images. The following example shows a visual query ("people between water" as a conjunction of tree visual query terms) (Fig. 3(a)) and the top 15 retrieved home photos, ranked (top-down, left-to-right) in the decreasing order of relevance (Fig. 3(b)). The 8 visual icons appear at the bottom of the query canvas corresponds to visual classes (left-to-right): face/people, crowd, sky, ground, water, foliage, rocks, and buildings.



Figure 3: (a) Query "people between water"; (b) Top 15 retrieved images.

(2)Image Indexing Using Speech Annotation

The basic idea of our system is to integrate speech recognition and image processing together, which is actually quite different from traditional multimedia information retrieval and standard text retrieval. Here we are making use of not only the transcriptions from the automatic speech recognition (ASR) process in order to retrieve related images, but the additional information of probability features derived from the same process to compensate the common uncertainties in ASR.

Furthermore, a structured syntax is introduced for the speech annotations of images. Structured speech has been used extensively in speech-activated devices like mobile phones and PDAs. The high recognition accuracy of these applications is assured by restricting the dictionary of commands and words. Similarly, in the domain of home photo albums, an important observation is that most information that would be of interest to people can be described as *PEOPLE* (who're in the photo), *LOCATION* (where is the photo taken), *DATE* (when is the photo taken) and *EVENT* (why the photo is taken). Therefore, it's natural for us to adopt such syntax comprising of four fields mentioned above, each of which is followed by a list of elements or corresponding description.

We have developed two versions of the speech-based image indexing; one in English and the other in Chinese. The indexing terms are extracted from the transcribed text. We use the N-best hypothesis results are the speech to text transcription so as to capture more possible words and at the same time improve the performance of the retrieval system. For the Chinese language version, we apply Chinese text retrieval techniques on this N-best list. Specifically, the following indexing techniques were implemented; N-gram, N-syllable, word-based and parse-based.

We designed many queries for each field that cover most indexing terms of the collection and tested the performance of 1-best, 3-best, 6-best and 10-best for each field. Figure 4 shows the best query result for each fields of the annotation. The result shows the good performance of our system see Figure 4. Results indicate that using a minimum set the 6-best outcome is adequate for generally good retrieval performance without affecting the size of the database and hence retrieval speed.

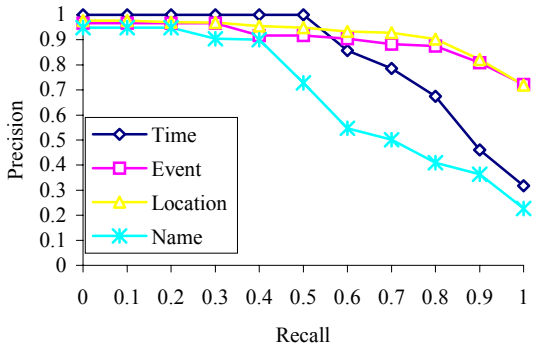


Figure 4: Precision/Recall curve for 6-best result.

This research illustrates the benefit of using speech to improve the general description of photos for retrieval purposes. The same technique can be adopted for indexing video footage.

(3)Human Posture Classification

In the context of image indexing and retrieval engines, the presence of human is an important element in the representation of the images content. Because people describe images by considering objects and people, many queries involve the status or the relationships between a person and its environment in the image, as expressed in the query ``I look for photographs with John waiting in front of the Eiffel Tower''. This query, expressed in a natural language form, characterizes the configuration of a body by a class of posture (like ``standing'', ``sitting'' or ``kneeling''). Image retrieval engines must consider such semantic symbols, because people describe images by symbols related to the actions or to the postures of the subject of an image.

Our concern here is to describe the class of posture of human subject on color photographic still images. Such approach needs first to extract the silhouette of the subject. This problem is very complex to achieve, but we show that the use of 2D puppets allows finding accurate approximation of the real silhouette of a subject. Puppets are defined using a hierarchical and articulated graph with constraints. The optimization process is initiated by the input of the head, and then the position of each limb is optimized using a local similarity measure. The proposed model is composed of 10 rectangles, each one localized by a point of reference, an angle with respect to the vertical, a height, a width and an appearance function. These rectangles simulate the 2D appearance of the limbs of a human body: the head, the trunk, 2 upper-arms, 2 arms, 2 thighs, and 2 legs. We devise a technique to find the optimum fit of this puppet to the input image, starting from the head position. Coming from our model, 18 numerical characteristics were used to represent the posture of the human subject. Figure 5 shows some of the results obtained by fitting the puppet into a still image.



Figure 5: Some results of Puppet fitting.

The extracted features were used to classify the posture of the human subjects in our database of 320 photos into two classes; mainly sitting and standing posture. The classification accuracy of our approach is 85%. Future work can be defined to improve the performance and usability of this approach, mainly in the area of improving the similarity measure to describe the homogeneity of the property of the limbs as well to to include occlusion modeling.

◆Significance of achievement

We have accomplished the goals of most of the elemental technologies. We have successfully integrated the Object Probes and the speech-based image indexing schemes together to create a photo indexing and retrieval application which we called SmartAlbum. This has been tested on a database size of close to 2000 photos.

We have developed an object-driven feature space for content-based indexing and retrieval called Visual Keywords. A query language that supports logical formulation of pattern-based visual query terms has also been proposed. These are part of our attempt to bridge the gap from low-level features to high-level semantics in our formalism.

◆Comparison with other research institutions

The use of a specially tuned detector or probes is attractive for domain-specific image retrieval applications. Kak from Purdue University had used a set of manually selected features to perform the detection of various types of lung diseases. We have demonstrated the effectiveness of the object probes approach to handle the description of some of the scenes found in home photographs.

We had successfully demonstrated the usefulness of using structured speech to annotate photographs and combine them with image-based approaches to handle larger instances of indexing capability. So far we have only encountered research activities focusing on either one of the indexing modality (e.g. ShoeBox developed by AT&T Laboratories Cambridge take advantage of audio annotations with home photograph collections for text-based retrieval).

◆Research papers, presentations, awards, etc.

【1】Wu, J.K., Kankanhalli, M., Lim, J.H., & Hong, D.Z. (2000). *Perspectives on Content-Based Multimedia Systems*. Kluwer Academic Publishers.

【2】Tele Tan and Philippe Mulhem, “Image Query System using Object Probes”, to be published in Proc. of Intl. Confr. On Image Processing (ICIP), Thessaloniki, Greece, 2001.

【3】Philippe Mulhem and Tele Tan, “The Impact of Labeling Processes on

Symbolic Image Retrieval", to be published in Proc. of IASTED Intl Confr. On Signal and Image Processing, Hawaii, USA, 2001.

【4】Jiayi Chen, Tele Tan and Philippe Mulhem, "A method of photograph indexing using speech annotation", to be published in Proc. of Pacific Rim Confr. On Multimedia, Beijing, China, 2001.

【5】Lim, J.H., Wu, J.K., Singh, S., & Narasimhalu, A.D. (2001). Learning similarity matching in multimedia content-based retrieval. *IEEE Trans. KDE* (in press).

【6】Lim, J.H. (2001). Building visual vocabulary for image indexation and query formulation. *Pattern Analysis and Applications* (Special Issue on Image Indexation), 4(2/3): 125-139.

【7】Lim, J.H. (2000). Photographs retrieval and classification by visual keywords and thesaurus. *New Generation Computing* (RWC Special Issue), 18(2): 147-156.

【8】Lim, J.H. (2000). Visual keywords: from text IR to multimedia IR. In *Soft Computing in Information Retrieval: Techniques and Applications* (F.Crestani & G.Pasi ed.), Physica-Verlag, Springer Verlag, Germany, pp. 77-101.

A-3-6 能動知能システムの評価（RWIセンター言語統合ラボ）

◆目標

言語データの意味的な構造化に基づいてマルチモーダルデータの意味的な構造化の方法を確立し、これを国際標準に組み入れる。これに基づいてさまざまな能動知能システムを開発および評価するための統合ソフトウェア環境を作成し、その応用としてインタラクティブなマルチモーダルプレゼンテーションのシステムを開発する。

◆アプローチ

さまざまなモダリティのうちで、最も明示的に意味を表現しているのは、言語モダリティである。したがって本研究では、電子技術総合研究所で開発した、言語データを意味構造化する技術に基づいて、マルチモーダル共通フォーマットを開発する。つまり、マルチモーダル共通フォーマットにおいては、言語の意味構造を他のモダリティのデータに結び付け、拡張することにより、マルチモーダルデータ全体の意味構造を記述する。また、やはり電子技術総合研究所で研究開発中の、言語の意味構造に基づく情報検索や要約の技術をマルチモーダルデータに拡張する。さらに、マルチモーダル共通フォーマットを介してさまざまな要素技術を統合するマルチモーダル統合ソフトウェア環境を構築し、それを用いて、インタラクティブなマルチモーダルプレゼンテーションのシステムを開発する。これらの成果に基づいて、ルチモーダル共通フォーマットの仕様を ISO の MPEG-7 に関する標活化活動に持ち込み、2001 年 10 月に確定される MPEG-7 の仕様に組み入れる。

◆研究計画概要

言語データの意味構造化の標準に基づいてマルチモーダル共通フォーマットを開発し、これをマルチメディアコンテンツのプレゼンテーションに応用することによってその有用性を実証する。

◆研究計画内容

マルチモーダル標準フォーマットの設計: マルチモーダルデータの意味構造化に用いるため、言語の意味構造化の手法を簡単化し、さらにテキストデータとビデオデータや音響データとの結び付きの意味を分類してタグに反映させる。このようなタグの体系は他に存在しない。

マルチモーダル標準フォーマットの応用技術の開発: マルチモーダル標準フォーマットに基づいてマルチモーダルコンテンツを構造化しさまざまな情報サービスに利用するためのソフトウェア環境を開発する。その有効性を実証するため、マルチモーダルコンテンツに関するインタラクティブなプレゼンテーションのシステムを開発する。このような高度なインタラクションが可能なプレゼンテーションシステムは他に存在しない。

マルチモーダル標準フォーマットの国際標準化: 上記の二項目に関する成果に基いて ISO/IEC の国際標準化活動に参加し、マルチモーダル標準フォーマットを MPEG-7 の一部として組み入れる。このように研究用でなく一般の利用を前提とした、言語データおよび関連するマルチメディアデータの意味的構造化の標準化は他に存在しない。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

マルチモーダル共通フォーマットの基礎となる言語データの意味構造化の標準としては、GDA タグ集合を用いる。発話の書き起こし、シナリオ、注釈などの言語データを GDA タグによって構造化し、画像や音声のデータとこれを結び付けることにより、マルチメディアコンテンツの意味的構造化を行なう方法として、マルチモーダル共通フォーマットを開発する。これに基づいてマルチモーダル情報に関連するさまざまな技術を開発・評価するための統合的なソフトウェア環境を構築する。このため、XML ファイルのオーサリングツールから(動)画像等を構造化するツールを呼び出してこれらを連動させる方法、および XML の構造に基づいてマルチメディアコンテンツを検索および要約する方法を研究開発する。マルチメディアコンテンツのインタラクティブなプレゼンテーションを行なうシステムをこの環境の上に開発することにより、マルチモーダル共通フォーマットおよび統合ソフトウェア環境の有効性を示す。これと並行して、マルチモーダル共通フォーマットの国際標準化活動を ISO/IEC の MPEG-7 の場で推進する。

◆成果概要

マルチモーダル標準フォーマットの設計: マルチモーダルデータの意味構造化に用いるため、言語の意味構造化の手法を簡単化し、さらにテキストデータとビデオデータや音響データとの結び付きの意味を分類してタグに反映させる。このようなタグの体系は他に存在しない。

マルチモーダル標準フォーマットの応用技術の開発: マルチモーダル標準フォーマットに基づいてマルチモーダルコンテンツを構造化しさまざまな情報サービスに利用するためのソフトウェア環境を開発する。その有効性を実証するため、マルチモーダルコンテンツに関するインタラクティブなプレゼンテーションのシステムを開発する。このような高度なインタラクションが可能なプレゼンテーションシステムは他に存在しない。

マルチモーダル標準フォーマットの国際標準化: 上記の二項目に関する成果に基いて ISO/IEC の国際標準化活動に参加し、マルチモーダル標準フォーマットを MPEG-7 の一部として組み入れる。このように研究用でなく一般の利用を前提とした、言語データおよび関連するマルチメディアデータの意味的構造化の標準化は他に存在しない。

◆研究成果の内容

マルチモーダル標準フォーマット(MMCF)の設計において重要な要請は、言語データを多言語にわたり一般的かつ簡便に意味構造化することが可能であること、および、テキストデータと他のモダリティのデータとの対応関係の意味を明確に規定することである。

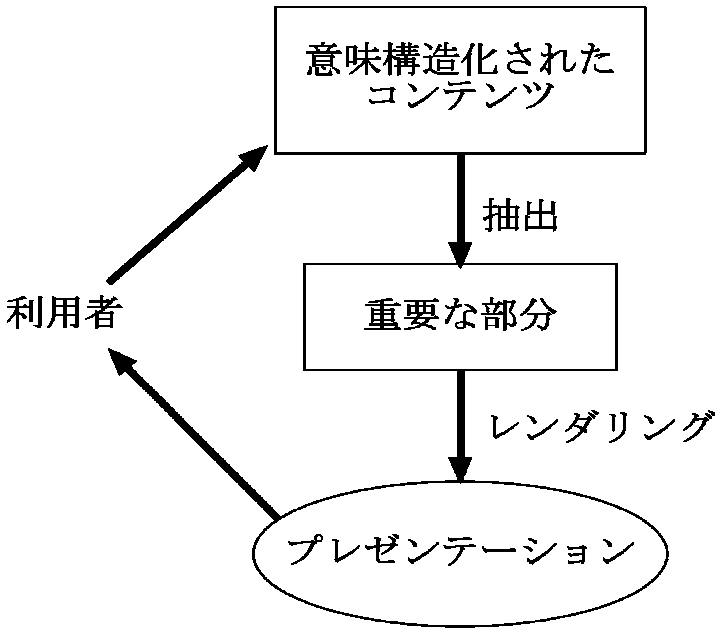
言語のデータの一般的かつ簡便な意味構造化のためには、多言語にわたるさまざまな言語現象を統一的に扱わねばならない。そのためには、さまざまな言語現象ごとにその意味構造化の方法を規定するのではなく、明示的に考慮していなかった言語現象に遭遇した場合でもその意味構造化の仕方を導き出せるような一般的な原理が必要となる。その一般原理は、構造化(タグ付け)の目的が意味構造の特定化にあることから導くことができる。すなわち、正しい意味構造を特定できるような構造化であれば正しい構造化であり、その限りにおいてなるべく簡単な構造化が望ましい、というのがその一般原理となる。正しい意味構造を定義しておけば、さまざまな言語現象が

持つ意味構造を特定することができ、したがって正しい構造化の仕方を導くことができる。

テキストデータと他のモダリティのデータとの対応関係については、データの use と mention の区別を明確にする必要がある。言語データと他のモダリティのデータとを関係付ける際、いずれのデータに関しても、関係の項がデータそのものである場合とデータが表現する意味内容である場合とがあり、それらの組合せは 4 通りである。たとえば、ある言語の発話を表わすテキストデータとその音声発話のデータとの関係は、データそのもの同士の間の関係である。また、2 つのデータの間の関係として、一方の表現する対象が他方(データそのもの) と何らかの空間的関係を持つというようなこともありうる。以上のような関係の定式化によって、さまざまなモダリティにわたるデータとそれらの意味の関係を一般的に記述することが可能になる。

MMCF の応用技術は、MMCF に基づくデータの構造化(オーサリング)と構造化されたデータに基づく情報サービスからなる。これらの機能は MMCF 自身によって自然に結び付けられ、MMCF を用いる統合環境ソフトウェア環境となる。すなわち、オーサリングとそれに必要な認識系の要素技術(画像理解や自然言語理解)の処理モジュール、およびさまざまな情報サービスを行なう応用プログラムが MMCF を共有の入出力フォーマットとすることによって融合できる。

MMCF に基づくひとつの情報サービスとしして、インタラクティブなマルチモーダルプレゼンテーションの技術を開発した。このプレゼンテーションの概念図を下に示す。



興味や予備知識は利用者によってまちまちであるため、各利用者に適したプレゼンテーションを事前に用意しておくことは不可能であり、利用者の情報要求に対応したプレゼンテーションはインタラクティブに作り出すしかない。インタラクティブなプレゼンテーションは現状では人間のプレゼンターが聴衆と遣り取りすることによって行なわれているが、MMCF に基づくインタラクティブなプレゼンテーションのシステムは、人間のプレゼンターの役割をある程度代替する。

まず、意味構造化されたマルチモーダルコンテンツに対して、各部分の重要性を評価し、それに基づいて重要な部分を抽出し、それに対して何らかのレンダリングを施すことによってプレゼンテーションの一部を生成する。利用者はそれに対してインタラクションを行ない、「ここをもっと知りたい」とか「これに関連する情報を見たい」等の指

示を与えることができる。それがもとのコンテンツにフィードバックされ、重要性の評価を変更することにより、その後のプレゼンテーションの内容が利用者の情報要求に応じて変化する。コンテンツの意味構造はこのインタラクションの手掛かりとして必要である。

MMCF の国際標準化にいつては、1999 年 12 月から ISO/IEC の MPEG 会合に参加し、MMCF の仕様を MPEG-7 に組み込む活動を行なっている。MPEG-4 までの MPEG は専ら動画像データの圧縮法の標準化を扱っていたが、MPEG-7 はマルチメディアデータの意味内容の記述に関する標準であり、その仕様の策定に必要な、人工知能や自然言語処理の専門家が MPEG のコミュニティにはほとんどいない。MMCF の内容は MPEG-7 における意味記述の中心的な部分を担うものであり、まさにそのような専門家を必要とする。したがって、MMCF の内容を MPEG-7 に組み込むには、上記のような仕様の技術的な内容を用意し、その有効性を示す応用技術のデモンストレーションを行なうだけでは不十分であり、ある程度の人数の自然言語処理や人工知能の専門家が MPEG 会合に参加して MMCF に関する標準化活動への信頼性を高める必要がある。

そこで、IPA の「マルチメディア・アノテーション技術の開発」プロジェクトと協調して、知能情報処理技術の専門家の国際的な集まりを組織し、標準化活動を共同で推進している。これにより、2002 年春に公開予定の MPEG-7 の第二版(amendment)に MMCF の仕様を組み込むことができる見込みである。

◆成果の意義

知能情報処理技術はまだ発展途上にあり、人間並みの能力を持つ自律的な知的人工物を実現するにはさらに長い歳月を要する。本研究は、マルチモーダルデータに意味構造を明示するタグを付与し、その社会的な共有と再利用を振興することにより、知能情報処理技術の実際的な適用可能性を広げて技術への需要を創出するとともに、一般利用向けのコンテンツを研究用のデータとしても利用可能にして高度な研究開発の推進に寄与する、世界に先がけた試みである。

この試みが成功するには、意味的構造化(タグ付け)を一般に普及させる必要がある。それには、意味構造化の効率的な方式を標準化し、意味構造を利用した応用サービスを提供せねばならない。これらが本研究の目標である。

本研究において開発した、一般的かつ簡便な意味構造化の方法は、多言語にわたる一般性において、言語データのタグ付けに関する従来の方法に類例を見ない。従来のタグ付けは、さまざまな研究用の目的を満たすため、意味構造以外の構造をも記述しようとしていたが、目的を意味構造の特定に限定することにより、さまざまな実用上の目的を満たし、かつ研究用にも広い利用可能性を担保しつつ、多言語にわたる一般的な適用可能性を達成することができる。

実際に意味構造化を普及させるには、人手をかけた意味構造化のコストを上回るメリットを生むようないわゆるキラーアプリケーションがあることが望ましいが、その最大の候補はインタラクティブな情報検索であり、これについては情報ベース三菱分散研との共同で研究開発を行なっている。これはテキストコンテンツに関する検索に関する研究であるが、MMCF によってその技術をマルチモーダルコンテンツの検索にもそのまま応用することができる。

◆他機関との比較など

研究用データの作成以外の目的でコンテンツの意味構造記述に関する研究開発を行なっている機関は他に存在しない。本研究は、研究用データと一般用コンテンツのを融合することによって知能情報処理技術と一般用の情報サービスを結び付け、知能情報処理技術に関する研究開発を基礎と応用の両面にわたって推進する、世界に先がけた試みである。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】橋田浩一: "大域文書修飾とマルチモーダル共通フォーマット", 人工知能学会 AI チャレンジ(HOT/PPAI)研究会, 1999.

【2】橋田 浩一: "インテリジェントコンテンツと知の共有化", 招待講演, 1999 年度人工知能学会全国大会(第 13 回)論文集, 40-42.

【3】K.Hasida, "MPEG-7 basic ontology and linguistic/data/semantic links", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG99/M5446, 1999.

【4】長尾 確, 白井 良成, 橋田 浩一: "言語的アノテーションに基づくマルチメディア要約", booktitle=ANLP00, 380-383, 2000.

【5】橋田 浩一, 中川 裕志, 山田 剛一, 高橋 誠, 垣内 朋子, 井上 健吾: "マルチモーダル共通フォーマットに基づくプレゼンテーション生成", IPA 先端的情報化推進基盤整備事業成果報告集, 2000.

【6】橋田 浩一: "GDA: 言語データの意味的構造化とインテリジェントコンテンツ", 電子情報通信学会「思考と言語」研究会, 招待講演, 2000.

【7】Koiti Hasida: "GDA: Annotated Document as Intelligent Content", Invited talk at COLING'2000 Workshop on Semantic Annotation and Intelligent Content, Luxembourg, 2000.

【8】Masao Utiyama, Koiti Hasida: "Multi-Topic Multi-Document Summarization", COLING00, 892-898, 2000.

【9】Koiti Hasida: "Linguistic DS: Annotation and Alignment of Natural-Language Data", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2000/M5794, 2000.

A-4．理論・アルゴリズム基盤領域

A-4-1　分散能動学習方式（理論基盤ＮＥＣ研究室）

◆目標

分散能動学習の方法論の確立と、高性能学習アルゴリズムの開発と解析、そして実世界問題における性能実証を目標としている。特にＲＷＣプロジェクト前期において確立した「確率的知識表現の計算学習理論」を、分散性、能動性、知識の評価法において発展、拡張し、効率的、高精度かつ頑健な分散能動学習方式を開発し、学習型自然言語処理および遺伝子情報処理分野の重要応用問題においてその性能を実証する。最終年度としては具体的に、

(1)分散能動学習方式に関する理論的解析の精緻化を行い、
正論文として完成させる。

(2)意味知識獲得方式のソフトライブラリ化の完了。

(3)能動学習に基づく実験計画による免疫ペプチド免疫特性の同定実験の結果を出し、その成果を発表する。

ことを目標とする。

◆アプローチ

統合的な分散能動学習方式の確立、および大量文書データからの意味知識獲得やたんぱく質の免疫特性分析を通じて理論の有効性を実証することを課題とする。具体的には、

(1)計算理論及び情報理論を基盤とするアプローチにより分散能動学習方式の理論限界を導く、

(2)MDL 原理を用いた学習手法を自然言語処理に適用することにより、語彙意味獲得手法を確立させる、

(3)選択的サンプリングという手法を提案することにより免疫同定実験の劇的工数削減を図る、といったアプローチをとる。

◆研究計画概要

分散学習方式、能動学習方式、知識の評価方式からなる「分散能動学習方式」の基盤となる方法論を確立し、具体的な学習アルゴリズムを考案し、その性能評価を行う。また、学習型自然言語処理と遺伝子情報処理といった重要な実問題へ上記方式を適用し、実験的に評価を行い、応用分野から見てもインパクトのある成果を目指す。

◆研究計画内容

(1)分散能動学習方式の研究：学習の分散性および能動性に着目し、従来の確率的知識の計算論的学習理論を拡張するとともに、これらの方法論の統一的な基盤として知識の評価の方法論を確立する。特に、情報理論および計算理論を融合することにより、計算効率性、精度、ノイズに対する頑健性において従来の方法論を凌駕する方式群の構築するところを特長としている。

(2)学習型自然言語処理への応用：知識の評価方法の適用により、世界最高水準レベルの精度をもつ意味知識獲得方式群を開発し、意味処理への適用においてその効果を実証し、最終的にはソフトライブラリ化して広く配布する。

(3)遺伝子情報処理への応用：分散能動学習方式の適用によりデータ効率性の高い実験計画法を考案し、これをペプチド（たんぱく質）の免疫特性の同定

問題へ適用、新薬開発において薬剤候補を従来より少ない実験回数で絞り込むことができるようにし、生物学、機械学習ともにインパクトのある結果を生み出す。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

ペプチドの免疫特性同定問題は、分子生物学の医学に対する応用として最も重要な課題の一つである。特に、ワクチン設計などにおいて患者のもつアレルギー性等を知ることは大きな意味があり、個人の免疫特性の同定を比較的安価に行える方法論の開発に成功すれば、その社会的インパクトには測り知れないものがある。

◆成果概要

分散能動学習方式の理論的成果については、オンライン能動学習方式、分散協調ベイズ学習方式、集団質問学習方式、などといった新しい機械学習の理論的フレームワークを構築した。学習型自然言語処理への応用では、単語の共起データに基づく単語クラスタリング生成方式を確立し、世界最高水準の係り受け推定精度を達成した。遺伝子情報処理への応用では、集団質問学習による実験計画法により、免疫ペプチド特性同定の実験回数を従来に較べて1/3 以下に激減することができた。

◆研究成果の内容

(１)分散能動学習方式の研究

1) スペシャリスト決定リストの学習方式と性能評価

予測値に欠損値の存在する多数の下位学習アルゴリズム（スペシャリスト）の予測結果を適切に組み合わせて高い精度の予測を行う問題において、新しいが学習・予測法を提案し、その性能評価を理論的に行った。具体的には、アルゴリズムの性能評価は、スペシャリストの優先順位付けの最良のもの（スペシャリスト決定リスト）と比べることで行った。

その結果、最悪の場合の理論評価において、提案方式を用いた場合、累積の予測誤差がオーダー的に代表的な従来法を上回ることが証明できた。この成果は、12th Annual Conference on Computational Learning Theory(COLT'99)にて発表した【1】。

2) ベイズ情報幾何に基づくロバストな学習方式と性能評価

確率分布の逐次型学習問題において、期待対数損失を最小にする問題に対する新しい方式を提案し、その性能評価を理論的に行った。 特に、逐次型学習において、学習対象が仮説空間に属さない場合に対するロバスト性を要求する新しい学習モデルを提案した上で、ミニマックス最適性をもった Bayes 学習方式を構成した。このような拡張のもとでは,、従来のモデルでミニマックス性をもった学習方式は、もはやミニマックス性を持たなくなるが、仮説クラスを指数曲率方向と混合曲率方向に拡張した上で Bayes 混合を行うことにより、ロバスト性を達成することを示した。これらの結果は The 21st Symposium on Information Theory and its Applications(SITA98)にて発表した【2】。

3) 分散協調ベイズ学習方式と性能評価

新しい分散型学習システムの形態として、分散協調ベイズ学習戦略(Distributed Cooperative Bayesian Learning Strategies,略して DCB)を提案し、その有効性について理論的保証を与えた。分散型学習システムは、並列処理による学習の高速化を実現する上で、あるいはネットワーク上に分散した端末を通じて、資源を有効に活用して学習する際に有効なシステムである。DCB の形態としては階層型と非階層型があり、いずれもエージェントと統合学習者から構成される。非階層型の DCB では、各エージェントは同一の未知の確率分布から発生されたデータ系列を観測し、そのパラメータを Gibbs アルゴリズムを用いて推定する。統合学習者はこれらの推定値の簡単な代数的操作(算術平均など)により、新しい推定値を出力する。

本研究では、確率モデルが Gauss 分布の時と Possion 分布のときに、DCB は非分散的な最適なベイズ学習戦略と(平均期待対数予測誤差の意味で)ほぼ同等の予測性能を実現しつつ、かつ O(√m)倍(m はサンプル数)の高速化が実現できることを証明した。また、階層型の DCB では、確率モデルが階層構造をもつ場合の分散学習に対応する。そこではエージェントと統合学習者はそれぞれ、確率モデルのパラメータとハイパーパラメータを Gibbs アルゴリズムを用いて推定し、互いに情報をフィードバックし合う。本研究では、確率モデルが階層的な Gauss 分布の時に DCB は非分散的な最適なベイズ学習戦略と(平均期待対数予測誤差の意味で)ほぼ同等の予測性能を実現しつつ、かつ O(√m ln m)倍(m はサンプル数)の高速化が実現できることを証明した。以上の結果の一部は、論文として Information and Computation 誌に受理され【3】、また関連研究に関する論文を、11th Annual Conference on Computational Learning Theory【4】、および 10th International Conference on Algorithmic Learning Theory において発表された【5】。

4) オンライン能動学習方式の性能評価

ネットワーク環境等の様々な知識獲得の応用においての重要な共通課題として、能動学習における「知識の獲得と利用のトレードオフ」問題がある。即ち、学習しようとしている知識の迅速な獲得のためには、より変化に富んだ選択を行う方が望ましいが、獲得された知識を利用して最大の利得を得るためには、既獲得の知識によって利得の多いと推定される選択を行う方が望ましいというトレードオフをいかに解決するかという問題である。

本研究では、この問題を逐次型学習／選択のモデルとして定式化し、解決法を提案するとともに、提案方式の優位性を漸近的最適性を証明することにより理論的に保証した。

より具体的には、ここでは獲得すべき知識は、任意の選択肢を採った時の成功確率であり、選択肢に付随した属性の線形関数で表現されるとする。システム(学習者／選択者)は、各試行において複数の選択肢を提示され、そのうち一つを選択する。各選択肢には属性ベクトルが付随しており、システムはそれらからその時点での仮説を用いて計算できる各々の選択肢の成功確率の推定値に基づいて選択を行う。システムの目的は、このような試行が多数繰り返される時、指定された試行回数での総利得(この場合成功数)の期待値を最大化することであるとし、システムの性能は、「理想的な行動者」と比較して期待成功数がどの程度下回るかを表す「期待リグレット」という指

標を用いて評価した。

以上の設定において、二種類の新しい学習／選択方式(これらを A、U と呼ぶ)を提案し、その性能を理論的に評価した。両方式とも学習方式としては、線形関数の推定法として有名な Widrow-Hoff の加法更新規則に基づくものを採用するが、選択方式については、推定成功確率が最大の選択肢を最も大きい確率で選択する点では共通しているが、その他の選択肢について、A では推定成功確率最大の選択肢の推定値と他の各選択肢の推定成功確率の差の絶対値に反比例する確率によって選択を行う。これに対して U は、他の各選択肢を同一の確率によって選択する。この時、A を用いた時の最悪の場合の期待リグレットは、試行数を m、各試行における選択肢の数を n として、O(m^{3/4}n^{1/2}) で上限され、U を用いた時の最悪の場合の期待リグレットは、O(m^{4/5}n^{2/5})で上限されることを示した。特に方式 A の期待リグレットについては、試行数 m の関数として漸近的に最適であるこもあわせて示した。これらの結果については、14th International Conference on Machine Learning (ICML'99)にて発表した【6】。また、異なる学習対象に関するオンライン能動学習方式に関する関連研究についての論文が、Journal of Computer and System Sciences に受理された【7】。

5) 集団質問学習方式

能動学習法は、受動学習において大きな問題となる計算量とデータ量の問題を解決する一つの手段として、機械学習の理論と応用において注目を浴びている。能動学習法に関する研究としては、計算論的なアプローチと情報論的なアプローチによるものがあるが、本研究ではこれらのアプローチを適切に組み合わせることによって、相互の弱点を補完するような方法論を構築した。特に、ブースティングをはじめとする精度増強方式と、情報量最大化原理に基づく集団質問学習法を組み合わせることにより、データ効率的でかつ計算効率的な「集団能動学習法」と呼ばれる方式群を考案し、その性能を実験的に評価した。具体的には、下位学習アルゴリズムとして Quinlan の C4.5 を主にを用いて、機械学習分野で頻用されるベンチマークデータである「Irvine Machine Learning data repository」を用いて実験的に評価した。その結果、提案方式による学習精度は、ブースティングのみを用いた場合、従来の集団質問学習法(Query by committee)を用いた場合それぞれと比較して、いずれをも大幅に上回ることが確認された。これらの結果は、15th International Conference on Machine Learning(ICML'98)において発表した【8】。

(２)学習型自然言語処理への応用

共起データに基く単語クラスタリング方式

共起データを基に単語をクラスタに自動的に分類する、いわゆる単語クラスタリングの方法を考案した。作成された単語クラスタは、例えば、機械翻訳、音声認識、ドキュメント分類等で利用することが可能である。本研究では、単語クラスタリング問題を与えられた共起データから「共起モデル」と呼ばれる確率モデルを推定する問題としてとらえる。また、MDL 原理を確率モデル推定の基準とし、効率的な学習アルゴリズムを用いてクラスタリングを行った。具体的な方式としては、動詞クラスタと名詞のクラスタを交互に

マージすることによってボトムアップ的に単語クラスタリングを行う。実際のアルゴリズムでは、マージ前後のモデルにおける相互情報量の変化分(減少分)を計算し、相互情報量減少がもっとも少いマージを実行する。これは MDL 原理によるモデル選択と同値となる。この方法で得られる単語クラスタを自然言語解析における曖昧性解消において評価した。その結果、曖昧性解消の正解率が 85%で、これらの結果は、the Annual Meeting of the Association of Computational Linguistics (COLING-ACL'98)において発表した【10】。また、関連研究として、大量文章データから動詞の格間の依存関係を抽出する方式に関する成果を、Computational Linguistics 誌に発表した【11】。

(３)遺伝子情報処理への応用

能動学習実験計画法による免疫ペプチド特性同定

京都大学理学部生物物理学科の宇高研究室と協力により、疾病治療等の現実問題に非常に密接に関わる免疫特定ペプチド同定問題に取り組んだ。ここで、免疫反応とは、MHC と呼ばれるタンパク質と(外部タンパク質の断片であり、8-30 残基からなる)ペプチドとの結合により自己と非自己の認識を行うものである。免疫特定ペプチド同定問題とは、特定の MHC タンパク質に対して、どのようなアミノ酸配列のペプチドが結合するかを決定する問題であり、特に未知の新しい結合ペプチドを発見することが出来れば、大きなインパクトを与えると期待される。

具体的には、本研究室の提案している集団質問学習方式である Query by Bagging(QBag)法を用いた能動学習実験計画法を実際の実験計画に適用した。Qbag の下位学習アルゴリズムとしては、結合しやすいペプチドのパターンがペプチド配列の様々な箇所に出現すること、結合能が実数値で与えられること等を考慮して、「隠れマルコフモデル(HMM)の教師あり学習アルゴリズム」を用いた。実際の能動学習実験計画法の適用においては、上記能動学習手法に基づき数十～数百万オーダーのランダムに生成した質問候補点から 50 の質問点(ペプチド)を選択し、宇高研究室において、それらのペプチドの中から実験可能なペプチドを２０～４０選択し、ペプチド合成から結合実験までを行い結合能を測定するという過程を数回繰り返した。これらの結果に一部は、予備実験の結果として、1999 Pacific Symposium on Biocomputing (PSB'99)においてポスターとして発表した【9】。また、本結果は 2001 年 6 月に新聞発表を行った。

◆成果の意義

計算論的学習理論を分散協調環境に拡張し、統合的な分散能動学習方式の理論を構築した例としては、世界はじめての業績といえる。特に、分散協調ベイズ学習方式、オンライン能動学習方式、集団質問学習による実験計画法は、全く新しい学習アルゴリズムの設計と解析の枠組みを構築しており、国際会議や国際雑誌の掲載を通じて国際的にインパクトある結果を与えている。

また、機械翻訳など、自然言語処理の主な応用における課題として、精度の高い文法や辞書等の作成に要される多大な労力がある。学習型自然言語処理技術（別名コーパスベース自然言語処理技術）は、文章データから自動的

に意味知識を獲得するので、この問題の解決策として注目されており、近年ではこの分野での主流の技術となっている。本研究により開発された一連の意味語彙知識獲得ツール群は、この分野でも世界最高レベルの精度を持つものであり、ライブラリとして広く業界に提供されれば、機械翻訳の精度向上等の点において、業界全体の技術力向上に大きく貢献することが期待される。

また、ペプチドの免疫特性同定問題は、分子生物学の医学に対する応用として最も重要な課題の一つである。特に、ワクチン設計などにおいて患者のもつアレルギー性等を知ることは大きな意味があり、個人の免疫特性の同定を比較的安価に行える方法論の開発に成功すれば、その社会的インパクトには測り知れないものがある。

◆他機関との比較など

本研究室で行っている理論研究については、計算学習理論、機械学習、情報理論などの分野における主要な国際学会や国際学術誌などにおいて多数論文として発表しており、世界的にも高く評価されている。また、本研究室のメンバーは、上記分野の主要な国際学会（ICML,ALT,COLT）および国際学術誌（Journal of Machine Learning Research）などの論文委員や編集委員などを努めており、国際的な研究者として評価されている。

類似研究を行っている研究機関としては、米国の主要な大学（Stanford、CMU、MIT、UCSC）および主要な研究機関（AT&T ラボラトリーズ、NASA、IBM、NECI)、および理論基盤 RWC 研究室のメンバー（電総研、GMD）などが有力であるが、これらの機関の研究グループと比較して遜色のないレベルの研究成果をあげている。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】A. Nakamura，”Learning Specialist Decision Lists,” The 12th Annual Conference on Computational Learning Theory(COLT'99), ACM Press, New York, N.Y., pp. 215-225, 1999.

【2】J. Takeuchi and A. Barron “Robustly Minimax Codes for Universal Data Compression,”Proc. of the 21st Symposium on Information Theory and its Applications, Gifu, Japan, pp. 213-216, 1998.

【3】K. Yamanishi, “Distributed Cooperative Bayesian Learning Strategies,”Information and Computation. Vol.150, pp.22-56, 1999.

【4】K. Yamanishi, “Minimax Relative Loss Analysis for Sequential Prediction Algorithms Using Parametric Hypotheses,” 11th Annual Conference on Computational Learning Theory(COLT'98), ACM Press, New York, N.Y., pp.32-43, 1998.

【5】K. Yamanishi, “Extended Stochastic Complexity and Minimax Relative Loss Analysis,” Proceedings of the 10th International Conference on Algorithmic Learning Theory, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp.26-38, 1999 (Lecture notes in computer science; Vol. 1720)

【6】N. Abe and P. M. Long, “Associative Reinforcement Learning using Linearn Probabilistic Concepts,” The 16th International Conference on Machine Learning(ICML'99), Morgan Kauffmann Publishers, San Francisco CA, pp. 3-12, 1999.

【7】J. Takeuchi, N. Abe and S. Amari, “The Lob-Pass Problem,” To appear, Journal of Computer and System Sciences, 2000. .
【8】N. Abe and H. Mamitsuka, “Query learning strategies using boosting and bagging,” 15th International Conference on Machine Learning(ICML'98), Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco CA, pp. 1-9, 1998.
【9】N. Abe and H. Mamitsuka, “Predicting MHC-binding Peptides using Query Learning Methods,” Poster at the 1999 Pacific Symposium on Biocomputing (PSB'99).
【10】N. Abe and H. Mamitsuka, “Predicting Protein Secondary Structure Based on Stopchastic Tree Grammars”, Machine Learning, Vol. 29, pp.275-301, 1997.
【11】H. Li and N. Abe, “Word Clustering and Disambiguation based on co-occurrencedata,” the Annual Meeting of the Association of Computational Linguistics(COLING-ACL'98).
【12】H. Li and N. Abe, ”Learning dependencies between case frame slots,” Computational Linguistics. Vol.25(2), 1999.
【13】竹内純一、川端勉、A.Barron：Properties of Jeffereys’ prior for Markov sources,2001 年情報論的学習理論ワークショップ、2001 年 8 月。

A-4-2　記号パターン統合（理論基盤東芝研究室）

◆目標

記号とパターンを統一的に扱える情報処理パラダイムの確立を主目標とし、統合に関する理論的考察、ニューラルネットの論理推論ソフトウェアとその応用、ニューラルネットの自己組織化ソフトウェアとその応用のサブテーマで研究を行った。実世界知能領域では、実世界におけるパターンデータを扱うために、学習、情報統合などの人間に近い情報処理システムを作り上げるための基盤技術開発を掲げている。理論基盤東芝研究室では、パターンデータを記号データと同じように扱うことを可能とすることで、記号処理分野では既に確立されている推論機能をパターンデータに対しても実現できるという立場をとった。ブール代数と古典命題論理の間に対応が取れるように、パターンデータを近似する関数と数理論理の対応が取れれば、パターンデータに演算を施すことで推論を実現することができる。そこで、パターンデータを近似する関数に代数モデルを作り上げ、それに対応する非古典論理を見いだすための理論研究を行った。同一変数に対して２次以上のべき乗を持たない多項式で定義される多重線形関数を、ブール代数の原子の荷重線形和に変形し、荷重値で作られる実ベクトル（多重線形関数空間）上に代数演算を定義することでいくつかの非古典論理と対応を取ることができた。層状ニューラルネットが多重線形関数の一種となることから、ニューラルネットを多重線形関数空間上にマッピングすることができ、ニューラルネットを用いて論理推論を実現することができた。これらの理論を構築するために数理論理等の分野で活躍している古森教授（千葉大)、小野教授（北陸先端大）と意見交換やディスカッションを行い助言をもらった。ニューラルネットにはパターンデータを学習によって近似する能力がある。したがって学習済のニューラルネットを用いた論理推論は、学習対象であったパターンデータによる論理推論と見なすことができる。これを「パターン推論」と呼ぶこととした。ニューラルネットを多重線形関数空間上にマッピングするための効率的なアルゴリズムの研究、非単調論理の実現など、パターン推論を拡張する研究も行った。ニューラルネットがどのようにデータを学習したかによってパターン推論によって実現される知識処理に幅を持たせることができる。教師無し学習によりニューラルネットを自己組織化させた場合が理想的であるが、教師あり学習で精度を追求する方針で進めた。遺伝的アルゴリズムや自己組織化を用いた学習方式を検討した。教師無し学習の検討は石川教授（九工大）に依頼した。

◆アプローチ

パターンの論理推論で知識獲得問題を（部分的に）解決することを大目標とする。パターンを学習したニューロを非古典論理で推論（パターン推論）できるが、その非古典論理の研究、推論アルゴリズムの確立、パターン規則の収集を研究する。

◆研究計画概要

パターンの論理推論で知識獲得問題を（部分的に）解決することを大目標とする。パターンを学習したニューロを非古典論理で推論（パターン推論）できるが、その非古典論理の研究、推論アルゴリズムの確立、パターン規則

の収集を研究する。

◆研究計画内容

(1)論理モデルとしての多重線形関数空間

ブール関数のブール代数を拡張した多重線形関数空間は、非古典論理の代数モデルである。特に縮約規則がない論理のモデルである。これに注目して、無縮約規則論理、非線形論理等の非古典論理のどのような代数モデルになっているかを、確率計算を視野に入れて、研究する。

(2)ニューラルネットの論理的推論

ニューラルネットワークは、離散領域では、多重線形関数であり、非古典論理の命題とみなせるので、非古典論理で論理的に推論できる。これをパターン推論と呼ぶ。パターン推論の基本的な問題（計算量、自然な推論等）を研究し、パターン推論アルゴリズムを確立する。

(3)NN+GA+記号情報による自己組織化

ニューラルネットを進化計算によって構造学習を行うことで自己組織化を実現するため、ニューラルネットと進化計算を組み合わせた学習方式、時系列データへの適用方式を検討し、実際の金融データによる評価を行う。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

記号処理中心の AI 技術では、パターンデータを人間が記号変換する必要があり、知識獲得ボトルネックを発生させていたが、記号変換を行わず、パターンデータのままで論理推論を行うパターン推論方式ではそのような問題が発生しない。したがって、これまで以上にデータ処理を自動化することが可能となる。コンピュータの大容量化、ネットワーク化が進み、医療データ、経済データなどを蓄積する環境が整ってきた現在、それらをできるだけ効率的に利用する手段が求められており、本研究で提案するパターン推論方式はその解決法の一つとなると考えられる。

◆成果概要

パターンと記号を同一に扱える枠組みを確立するために、多重線形関数空間上にいくつかの非古典論理とそれぞれ対応の取れる複数の代数モデルの構築、多重線形関数としてニューラルネットを採用した場合の多重線形関数空間へのマッピング方法と非単調論理などへの拡張、および、ニューラルネットの学習方式について研究開発を行った。

◆研究成果の内容

(1)代数モデルとしての多重線形関数空間の研究

従来の記号を用いた推論のベースの一つに古典命題論理が知られている。古典命題論理では項の書き換え規則が定義されていて、それにしたがって記号を書き換えることが推論である。古典命題論理に対応してブール代数がある。ブール代数で定義されている演算と性質は古典命題論理の書換え規則と同じ構造を持っていて、ブール代数の世界で行う演算をそのまま古典命題論理における推論と見なすことができる。

ブール代数を拡張してパターンデータ間で演算が定義された代数系が定義できたとして、その代数系が古典命題論理のような数理論理と対応が取れ

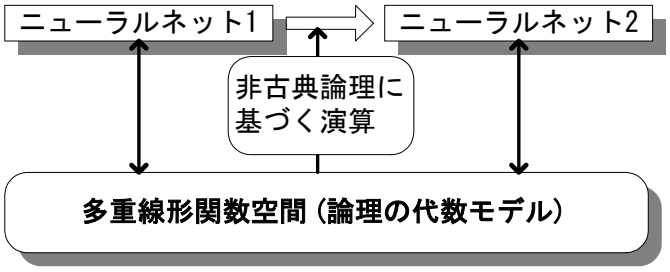
れば、代数系での演算を数理論理の世界の推論と見なすことができ、パターンデータによる論理推論が実現できたことになる。

同一変数の２次以上のべき乗を含まない多変数多項式を多重線形関数と呼び、多重線形関数をブール代数の原子の線形和に式変形したときの係数で座標が表される、実ベクトル空間を多重線形関数空間と呼ぶ。任意の多重線形関数は多重線形関数空間の１点で表される。多重線形関数空間上に適当に演算を定義することで、数理論理の代数モデルになるかどうかを調べ、結果、Lukasiewicz 論理計算、product 論理計算、Godel 論理（中間論理 LC）といった扱いやすい非古典論理に対応する代数モデルを定義することができた。以上により、多重線形関数空間上の演算で非古典論理に基づく論理推論が実現されていることが保証される。

(2)論理モデルとしてのニューラルネット研究

与えられた（パターン）データを近似する関数を学習によって自動的に作り上げるモデルとしてニューラルネットがある。パターンデータを学習したニューラルネットは、入力されたパターンを分類する能力がある。記号処理において A という記号を「A が入力された時に true、A 以外が入力された時に false を返す関数」と考えれば、学習済のニューラルネットも学習データから作り上げられた何かの概念パターンに一致する時 true、一致しない時 false を返す関数であり、両者はそれぞれ記号、パターンを表す象徴であると見なすことができる。したがって、学習済ニューラルネットで論理推論が実現できれば、概念パターンを用いた推論と言える。ところで、ニューラルネットが多重線形関数であれば、代数モデルとしての多重線形関数空間の研究成果から、非古典論理に基づく推論と見なせる。

バイナリ入力のニューラルネットは多重線形関数であった。連続値入力の場合も近似的に多重線形関数とみなすことができることが分かった。以上から、ニューラルネットにより論理推論が実現できることが示された。
ニューラルネットは多重線形関数であることは分かっても、多重線形関数空間上へのマッピング方法を作り上げる必要がある。入出力からマッピングを作り上げる方法、ニューラルネットの構造を分析してマッピングを作り上げる方法、情報量、確率を考慮した方法などいくつかの観点から検討した。



(3)自己組織化研究

学習済ニューラルネットによる論理推論は学習に用いたデータから作られた概念パターンによる論理推論とみなせることから、パターン推論と呼ぶことにした。あるパターンを学習したニューラルネットとそのパターンの反転を学習したニューラルネットの AND を取ったら false となるのが普通である。ところが、ニューラルネットの学習方法によっては明確に false とならな

いことがある。このような誤差をパターン推論の精度と考えた時、精度が上がるようなニューラルネットを作り上げる必要がある。

自己組織的に教師無しで高精度なニューラルネットを作り上げる方法、遺伝的アルゴリズムによりネットワーク構造を最適化する方法などを検討した。

(4)パターン推論の実装・評価

パターンデータとして時系列データを取り上げ、パターン推論を行う試作システムの構築を行った。時系列データの部分列からパターン推論のためのルールを抽出する機能および抽出されたルールを用いて予測を行うパターン推論機能を実装し、実データである日経平均の株価を用いた実験を行った。

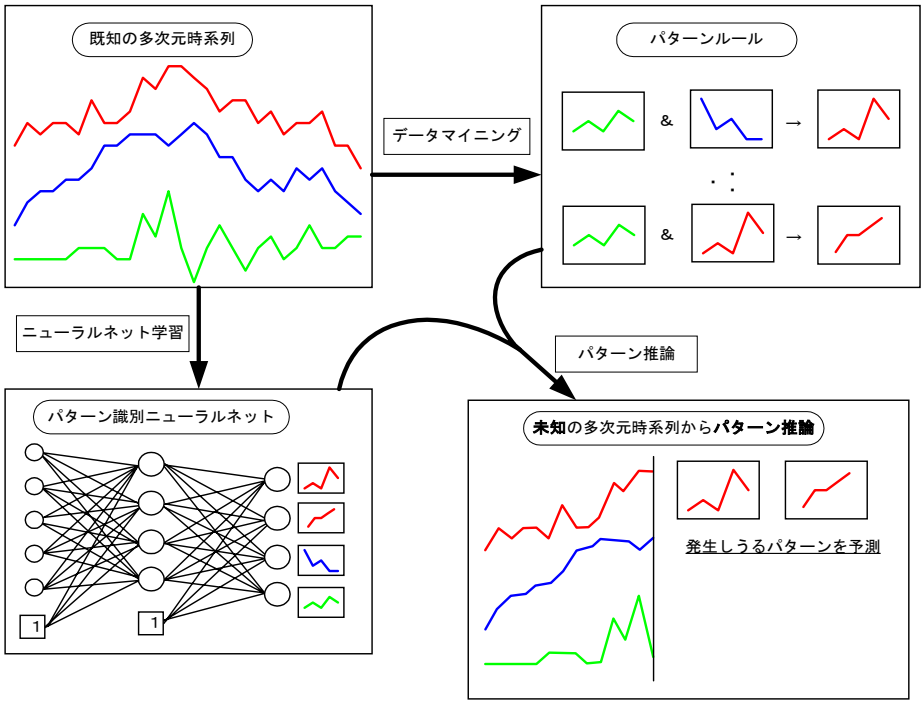
パターン推論の元になるルールはパターンの部分列そのものである。ルールの条件部がマッチするパターンが出現したときに、ルールの帰結部に記述されるパターンが発生すると推論する。以後この推論を繰り返すことで新しいパターンの発生を予測する。

また、以下の手順に従う自己組織化（クラスタリング）方式を用いたパターンルール発見方法を開発した。

a)進化計算と組み合わせたニューラルネットの構造学習により、学習データの性質を反映したニューラルネットの部分構造を見つけることを検討し、このような方法によって得られたデータの傾向を基に、時系列データをクラスタリングする際のパラメータを決定する。

b)時系列データには多くのノイズが含まれるため、クラスタリングを行う際の距離尺度の決定は難しい問題となる。そこで、ニューラルネットという予測モデルの予測結果の違いを距離として考慮しパターンをクラスタリングする。ニューラルネットの荷重値の最適化には遺伝的アルゴリズム(GA)を用いる。

c)クラスタリングによって得られたパターン間の関係をパターンルールとして取りだし、J-Measure による評価尺度が高い物を出力する。



◆成果の意義

従来の知識処理は記号をベースにしたものであり、実世界の情報を扱うためには記号でないデータ、すなわちパターンデータを扱う必要がある。情報処理ではパターンデータに対しては画像処理のような統計処理が主であり、人間が行っているであろう、パターンや記号が混在した状態での推論は実現されていない。コネクショニストモデルと呼ばれる考え方で、ニューラルネットに代表されるネットワーク形式で記号化された知識を表現する試みは行われているが、知識の表現は出来ても、論理的な推論が実現されているとは言えない。そこで、パターンデータを記号と同じように扱って論理推論を行う方式を確立した。記号を使った論理推論を記号推論と呼ぶことがあることから、パターンを使った論理推論をパターン推論と呼ぶこととした。パターン推論では時系列データのように記号でない情報、つまりパターンデータをパターンのまま扱う推論方式である。従来の記号ベースの推論ではパターンを人間が記号化する必要があったため、(1)記号化の過程で人間が介在しなければならない、(2)記号化に際し主観が含まれるため情報の整合性を取る必要がある、(3)記号化の詳細度により推論の性能が決められてしまう、などの問題が発生し、いわゆる知識獲得ボトルネックと呼ばれる問題を生じさせていた。これに対してパターン推論では人間による記号化過程を伴わないため、知識獲得の大部分を自動化することができる。

◆他機関との比較など

非古典論理の研究として [Hajek 93]などがあるが、多重線形関数空間との関連やパターン推論への応用に関しては本研究のオリジナルである。

[Hajek 93] P.Hajek, “Metamathematics of Fuzzy Logic”, Kluwer Academic Pub. 1998.

時系列パターンからルールを発見する方法として、[Das 98]があるが、本研究はニューラルネットの構造学習に基づく分析法と、独自のクラスタリング方法を用いている点が異なる。

[Das 98] G.Das, K.Lin, H.Mannila, G.Renganathan, P.Smyth, "Rule Discovery from Time Series", Proceedings: The 4th Inter. Conf. on Knowledge Discovery & Data Mining, pp.16-22, 1998.

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】月本洋,森田千絵：”パターンの論理的推論-知識獲得問題の新解決法-“, 産業システム情報化研究会(電気学会),IIS-99-1, 1999.

【2】月本 洋,波田野寿昭,森田 千絵,小野 寛晰,古森 雄一,石川 真澄: "記号とパターンの統合について-パターンの論理的推論-",RWC シンポジウム,pp.279-284,（1998）

【3】月本　洋："パターンの論理的推論-知識獲得問題の新解決法-",人工知能学会研究会資料,SIG-FAI-9804, pp.35-40（1999）

【4】Hiroshi Tsukimoto, Chie Morita: "Logical Reasoning of Patterns: A New Solution for Knowledge Acquisition Problem",Proceedings of RWC Symposium, pp.253-258（2000）

【5】月本 洋："パターン推論-ニューラルネットワークの論理的推論",電子情報通信学会論文誌,Vol.J83-D-II No.2,pp.744-753,2000.
【6】Hiroshi Tsukimoto: Pattern Reasoning:Logical Reasoning of Neural Networks, it Systems and Computers in Japan, SCRIPTA TECHNICA,INC., 2000.
【7】佐藤誠："分割平面を考慮した GA によるニューラルネットの最適化", 第 15 回人工知能学会全国大会(2001)

A-4-3　Ｈ９実世界における能動学習と情報統合／Ｈ１０－１３開かれた環境における能動学習と情報統合（理論基盤ＧＭＤ研究室）

◆Goal

Research in R-Teams aims at building Artificial Reality Systems. The goal is to reproduce complex real world processes on computers. The reproduction leads to a better understanding of the real-world processes. This enables control and optimization through interaction between the artificial and the real processes. The resulting systems operate on large data spaces with unknown properties or interact with technical or natural processes with unknown behavior.

These capabilities characterize Real World Intelligence according to the Real World Computing (RWC) Programme. In our opinion an artificial system with real world intelligence cannot be preprogrammed and remain unchanged, but it has to have capabilities to learn and evolve. This requires

Evolution of structure
Active learning
Reflection
Teamwork of agents

The R-Teams approach tries to meet these requirements within a unique framework based on parallel distributed problem solving. Many agents of varying functionality and granularity cooperate or compete in teams, referred to as reflective teams. They define subtasks and subgoals, perform subtasks, pursue subgoals and eventually produce subresults that are then combined by other agents to yield a solution, e.g., an optimum, a model, a prediction or an action. The idea is to draw on the inherent network structure of such problems and to reflect it in the architecture of the systems. Asynchronous interaction of agents and teams of agents turned out to be a suitable principle of organization for implementing division of labor and teamwork.

These long-term goals were successfully pursued in the research activities of the last three fiscal years. Due to the achieved theoretical results, a novel system architecture, called Flip-Tick Architecture (FTA), and the availability of FTA software environments for realizing such goals we are now in the position to start with complex real-world applications.

◆Approach

The research part of R-Teams investigates distributed problem solving in networks. Two major approaches are combined which have been used in separation previously. The first approach uses probability distributions and their description in graphical models, the second approach looks at the balance between local and global problem solving techniques in a network of software agents. An important technique for both cases is Bayesian statistics, especially Bayesian model selection.

The formal model of our Flip-Tick Architecture has been described by high-level Petri nets. The same has been done with certain R-Teams architectures, which use reflective agents and agent interaction.

◆Outline of Research Plan

The goal of R-Teams is to build complex Artificial Reality Systems aiming at new insights into real-world processes. This requires (i) to progress the theoretical foundations for real-world intelligent systems by new heuristics and algorithms based on soft-computing embedded in R-Teams architectures, (ii) to demonstrate the benefits of R-Teams architectures for the integration of real-world intelligence technologies, (iii) to implement real-world applications like distributed problem solving in a network of computational agents, mobile radio networks and robotics in R-Teams architectures.

The research plan of R-Teams pursues the goal along three lines of RWI research: Search of large data spaces: The data spaces are given in mathematical representation or, in the case of real-world data, as sets of value pairs obtained from observation or from simulation of real-world processes.

Interaction with real-world processes: The tasks and the behavior of the processes cannot be completely taken into account when the system is designed, since the tasks are not known in advance nor the situations which they will refer to.

Simulation of real-world processes: In complex applications data often cannot be generated by mathematical models, but has to be numerically computed by simulating the physical process.

These classes of real-world problems have in common that their solutions cannot rely on mathematical models. The R-Teams approach to solving such problems adopts the perspective of distributed problem solving based on reflective teams. The central idea is to draw on the inherent network structure of such problems and to reflect it in the architecture of the systems.

◆Contents of Research Plan

Remark: The seven research items described in the Implementation Plans for FY1997–2000 have been clustered into the following 5 items.

(1) R-Teams Architecture

The Flip-Tick Architecture for R-Teams applications was intended to be a design paradigm for scalable distributed systems that feature competition and cooperation among reflective agents. Such an architecture should include a collection of organizing principles and generic functional units for building autonomous intelligent systems based on cooperative and competitive teams of FTA agents called actors which operate in open environments. We intended to develop two FTA implementations with different operational characteristics: realACT for real-world interaction, in particular for robotics applications, and virtACT for Artificial Reality Systems.

As a realistic application of realACT we planned to develop an FTA-based control system for an autonomous vehicle solving an exploration / map building task. For virtACT applications, our goal was to run them on PC cluster systems with up to 40 clients. On a switched 100Mbit network we want to achieve a flip-tick rate of 1000 per second for our city traffic application (see 3) below).

(2) R-Teams and Active Learning/Distributed Heuristics

The R-Teams framework naturally leads to a network of agents. We intended to use networks of agents both for optimization and for learning. We planned to use Bayesian statistics as the common theoretical framework. In particular, Bayesian networks have been selected for the theoretical analysis for general networks of agents.

(3) R-Teams and City Traffic

We planned to design a micro simulation model for traffic in cities. The implementation should be based on virtACT. We wanted to simulate up to 200,000 individual cars and drivers. The simulation should run ten times faster than the real system. In addition, a highly intuitive and flexible graphical interface had to be designed and implemented.

(4) R-Teams and Socio-Economic Modeling

FTA was intended to be used for implementing a multiagent system for socio-economic problems. The model would allow direct and indirect interaction between agents on different time scales and/or spatial scales.

(5) R-Teams and Real-World Optimization

As a practical application of the research results obtained in □2) R-Teams and Active Learning /Distributed Heuristics" we planned to implement an evolutionary algorithm for a large real-world optimization problem, i.e., the placement of antennas for mobile radio transmission.

◆**Research Significance from the Users' Viewpoint and its Application Fields**

Research and development that relates to mapping real-world systems onto computer systems has so far concentrated on the visual presentation of objects (virtual reality). It is now moving very fast to augmented reality and artificial reality. Augmented reality shows real objects in more detail than they are perceived in reality. Artificial reality extends virtual reality in so far, that the dynamic behavior of a set of real objects is modelled on a computer.

Artificial reality means to reproduce the real world on computers with such a detail considered to be not possible before. Two of the largest application areas today are intelligent manufacturing systems (IMS) and intelligent traffic systems (ITS).

For the implementation of Artificial Reality Systems, multiagent systems have gradually become the techniques to be used. In R-Teams we have concentrated on a class of multiagent systems we call reflective teams (R-Teams). With our Flip-Tick Architecture we managed to ease the implementation of R-Teams. We believe that many new applications will be built using the Flip-Tick Architecture. In R-Teams we have chosen an application within intelligent traffic systems, called City-Traffic.

Governments and local authorities have identified the use of traffic simulation tools as a way of developing and testing transport policies.The growing traffic congestion and environmental pollution in urban road networks increase the demand for new simulation-based tools. Therefore, our demonstrator City-Traffic will be extended to a commercial application.

Simulation can be used to explain policies to politicians, the public and key road user groups through visualisation of changes to the road network, and animation of traffic flows under changing demands and management strategies.

Simulation can be used to study the reduction of pollution in cities from road traffic, improving traffic safety on the roads, and ensuring that requirements are traceable through the decision making processes.

◆Summary of achievements

R-Teams Theory: Population-based optimization methods like genetic algorithms have been mapped to the problem of the estimation of a probability distribution of the search points. One technique for estimation is provided by Bayesian networks. Moreover, Bayesian networks (including dynamic Bayesian networks) have been shown to be a promising foundation for the analysis of general networks of agents.

R-Teams Technology: The Flip-Tick Architecture provides a new design paradigm for implementing large networks of fine-grained agents. These agents use heuristic methods for computation. After all agents have ended their computation, they exchange messages. This cycle is repeated.

R-Teams Application: The demonstrator City-Traffic has been successfully presented to the City of Bonn. A large project concerning an integrated traffic management system will be started on 1.9.2001. The system will become the first Artificial Reality system comprising the traffic of a whole city.

◆Contents of research results

(1) R-Teams Theory:

In our research we have combined previously separated fields, namely optimization and learning. The common theoretical framework is Bayesian statistics with a special emphasis on Bayesian Networks.

We have mapped genetic algorithms to the problem of finding an appropriate search distribution generating function values of high fitness. We have initiated a new class of optimization algorithms, now called Estimation of Distribution Algorithms (EDA). The same idea is used for learning tasks. Here we try to estimate the empirical distribution of the given data set. Active learning is done by requesting new data points in areas where the uncertainty is low.

In both cases the estimation of a distribution is the central problem. The general problem is computationally intractable. But if the problem is almost decomposable, then a number of powerful heuristics have been developed. Here Bayesian networks turned out to be a very useful tool.

The theoretical foundation of the research was formulated in [R-97-129]. Convergence theory and applications have been published in [R-98-122]. Bayesian networks for optimization have been introduced in [R-99-157]. The corresponding algorithm was called Learning Factorized Distribution Algorithm (LFDA).

In a next step we have generalized the above idea still further. The algorithms based on distributions do not optimize the function f(x) directly, but the expected value
$\sum p(x)f(x)$. Thus we have transformed the discrete problem to a continuous one. This transformation is explained in [R-00-31].

In our research we have analyzed many popular evolutionary algorithms in the language of statistics using search distributions. It turned out that all evolutionary algorithms use fairly simple search distributions. This explains the computational efficiency of these algorithms.

For very difficult problems, standard evolutionary algorithms fail. Here complex search distributions have to be used which exploit the dependency of the variables. Such search distributions cannot be generated by traditional evolutionary algorithms, manipulating genetic strings by selection, recombination, and mutation. We have instead used the techniques of learning Bayesian networks to create search distributions suited to the problem.

(2) R-Teams Technology:

The Flip-Tick Architecture (FTA) for R-Teams applications is a collection of organizing principles and generic functional units for building autonomous intelligent systems based on cooperative and competitive teams of FTA agents called actors which operate in open environments [R–99–149]. The architecture resulted from experience gained with real applications dealing with optimization, exploration, modeling, prediction and real-time closed-loop control in large unknown data spaces given by real-world problems [R–98–121].

FTA is designed for the implementation of application systems consisting of cooperating or otherwise interconnected iterative heuristics. Such systems typically support medium-grained distributed processing. Medium-grained refers to the functionality of software modules building up the system: no large reasoning modules or comparable subsystems, but small straightforward (analytic or heuristic) algorithms with local memories and short execution times (compared to given real-time requirements). One of the main characteristics of this kind of problem solving is the prevalence of cycles at all levels of processing, intertwined

in multiple ways.

The Flip-Tick Architecture provides a design paradigm for implementing systems based on heuristics and cycles. An application designed according to this paradigm is called an FTA system.

The origins of the Flip-Tick Architecture are based on several well-known organizational principles, software architectures and hardware structures developed by many other research organizations. Major contributing factors to the development of the Flip-Tick Architecture include:

blackboard architectures: In FTA, the lifetime of data and the activation of knowledge sources is managed with the flip-tick mechanism rather than with sophisticated blackboard update and activation control. A tagboard is a global data store, but differs from a blackboard with respect to its organization as far as blackboard update and activation control are concerned. Tagboard update is based on the flip-tick mechanism, and activation control (of actors) is independent of the arrival of new tags on the tagboard. Data objects (tags) on a tagboard are not organized in a particular way, although applications are free to do so by using properties of tags.

parallel (synchronous) computing: For large search problems and for micro-simulations, parallel computing with FTA systems running on clusters of workstations allows the program designer to define granularity and parallelism of an application and to achieve quite a low price/performance ratio.

distributed (asynchronous) computing: Control of distribution according to the functional and performance requirements of an application is supported by FTA without the program designer being burdened by the need to elaborate sophisticated communication and synchronization mechanisms. Distributed closed-loop control involving interaction with real-world processes is a typical example.

multiagent systems and distributed problem solving: These two main areas of distributed artificial intelligence take into account that many applications are inherently distributed. Using FTA the task of solving a particular problem can be divided among a number of modules that cooperate or compete in dividing and sharing knowledge about the problem and about its evolving solution(s). Since these modules need not reside on a single computer, a loosely-coupled network of problem solvers, i.e., of actors can be implemented that work together to solve problems that are beyond their individual capabilities (teamwork).

object-oriented design: Object-oriented programming environments are not only a prerequisite for any FTA implementation, but have prepared the way of thinking that is needed to design applications which take advantage of FTA facilities.

Petri nets: The Petri net theory of systems and processes provides a conceptual and formal framework for describing and analyzing distributed systems and concurrent processes at all levels of abstraction. The Flip-Tick Architecture and its implementations have been modeled with high-level Petri nets in order to capture concurrency and locality of states and state transitions.

In FTA systems, data objects called tags are exchanged between actors via tagboards. This is the only communication mechanism supported by the Flip-Tick Architecture. Problem descriptions are displayed as tags and results are produced as tags to be posted on a tagboard. Depending on the progress of actors, a tagboard is updated by turning it over from the current display (set of visible tags) to a new display. This operation is referred to as the flip operation.

Actors that proceed in a synchronized way are grouped into so-called ensembles. In some applications, single-actor ensembles are not unusual. An actor is member of exactly one ensemble. The actors of an ensemble perform their transitions to the next cycle coincidently. This operation is referred to as the tick operation.

The term ”R-Teams architecture” denotes the structure and design of application systems that are based on teams of reflective FTA agents, i.e., of reflective actors. Such actors are able to assess themselves and the current context of operation and to draw conclusions for their future behavior, e.g., through adaptation or learning. The two implementations of FTA can be seen as ”2nd level operating systems” for R-Teams solutions running of multicomputers (clusters of PCs):

realACT is used for applications with actors operating in real environments, where actors and tags of many different types form a heterogeneous FTA system interacting with the outside world;

virtACT is used for applications with actors operating in virtual environments featuring large numbers of actors and tags in a more homogeneous setting.

(3) R-Teams Application City Traffic:

City-Traffic is not merely a traffic simulation system, but an Artificial Reality system. It is a hybrid between a real-time system and a simulation system. It continuously measures the actual traffic and uses this data as input to the forecasting/simulation component. Thus the simulation is continuously updated with the actual data.

The development is done in close cooperation with the City of Bonn. The city provides us with blueprints and sensor data. Furthermore, we get detailed informations about the everyday work concerning the design, construction and maintenance of traffic systems. This enables us to guarantee a high degree of practical relevance and a ergonomic interface of our software.

City-Traffic has the following functionality:

- Detailed modeling of the traffic area with all traffic relevant components
- Realistic models of traffic light systems
- Calculation of traffic profiles based on data from traffic light sensors
- Integration of public transport
- Micro simulation of motorized private vehicle traffic
- Stochastic simulation of not-motorized traffic
- Extraction of various standardized results of simulation runs
- Visualization of street and junction geometries

City-Traffic includes as a subsystem a workbench for the design and planning of traffic light systems. This workbench offers the following features:

- Designing and debugging of the control logic
- Interactive validation of control programs
- Optimization of the control logic
- Visualization of the principle of operation

(4) R-Teams and Socio-Economic Modeling:

We have investigated the emergence of coordinated actions in socio-economic systems by means of a spatially distributed multi-agent system (MAS). Each agent has different possibilities to act (to keep or to change its opinion on a particular subject, to stay in its current environment or to migrate). The decision about its action will depend on the information the agent receives.

In [R-00-GMD1] and [R-00-GMD2], we have investigated the problem by means of a cellular-automata-based model, that considers a finite group of agents with different influence. Here, we find different stable configurations, i.e. a state of social unification and a state, where agents are take over the opinion of a leader (”social cluster”). Depending on the influence of the leader, a transition between the two different configurations becomes possible.

In [R-00-GMD3], the generation and distribution of information in the MAS is modeled as a communication process among the agents that considers different spatial and temporal scales. For the example of a binary choice problem we find the emergence of a majority/minority relation among the agents. Moreover, the minority and the majority concentrate in particular spatial domains; thus we observe a spatial coordination of decisions as the result of a self-organization process based on the exchange of information. We also show by means of computer simulations that the subpopulation with the more efficient communication will have a better chance to become the majority in the system.

(5) R-Teams and Real-World Optimization:

The theoretical results obtained in the analysis of evolutionary algorithms have been used to design a program for a large real-world optimization problem, the placement of antennas for mobile radio applications. The mathematical model and the data has been provided by CNET from France Telecom. The mathematical model consists of points defined on a grid, e.g. service test points, traffic test points, and candidate sites. Radio transmission is modelled by a propagation loss matrix. The objectives are to minimize cost, to minimize the interference level and to have geometrically ”nice” cells. These objectives are components of a cost function which guides the evolutionary search.

One of the most difficult tasks in solving complex real world problems is to develop an appropriate model. The model used for ENCON (Evolutionary Network CONfigurator) is the result of several cycles of design, evaluation and redesign.

The quality of solutions of the APP is assessed by two constraints, which deal with cover and traffic demand, and three objectives, which address economical and technical aspects. The algorithm consists of three phases:

- Initialization Phase
- Repair Phase
- Optimization Phase

In order to deal with constraints and objectives we use two types of cost functions, a Hard Cost Function and a Soft Cost Function.

ENCON has been successfully applied to optimize the placement of antennas in eight different areas of France, four greenfield design problems and four expansion problems. ENCON performed best compared to simulated anneling, neural networks, and genetic algorithms. ENCON and its application is described in [R-00-GMD4].

◆**Significance of achievement**

(1) R-Teams Theory:

The research described had a major impact on evolutionary computation. There have been already two workshops at the last two major evolutionary computation conferences dealing with optimization by probabilistic models (GECCO2000, GECCO2001, PPSN2000). Dr. Mühlenbein has given an invited talk at CEC2001.

The research has led to a unified mathematical approach to difficult optimization problems. The research will be extended to more complicated artificial intelligence methods like genetic programming. We expect that probabilistic networks will also be an important tool for bioinformatic problems like gene expressions.

Bayesian networks can be extended to dynamic networks which include time. Dynamic Bayesian networks (DBN) allow a new theoretical investigation of stochastic processes, especially in the area of dynamical systems. DBNs open the possibility of forecasting with uncertainty. In a deterministic view the behavior of the system under study is described by a differential equation $dx/dt = f(x1,...,xn)$. Further given is an initial condition at time t=0. Consider now the case that instead of a single point we are given a distribution $p(x,t)$ of x values at time 0. We are now interested in the evolution of the distribution $p(x,t)$. This problem has been almost intractable in previous time. But now dynamic Bayesian networks offer a tremendous potential for the analysis. Up to now Bayesian networks have been restricted to approximate reasoning in artificial intelligence. Their application to general system dynamics including forecasting will revolutionize many areas of science.

(2) R-Teams Technology:

Apart from the two operational FTA implementations realACT and virtACT, a

comprehensive semi-formal and formal description of the Flip-Tick Architecture (including the formal specification of concurrent FTA processes and their asynchronous interaction) is available [R–99–149]. These results are not only used in other research projects of GMD (e.g. city traffic simulation, development of an FTA-based simulator for multiple autonomous vehicles), but are also considered candidates for systems of intelligent industrial automation. The intrinsic dynamic modularity of FTA systems and the concurrency of FTA processes allows FTA to be seen from a software engineering point of view as a potential platform for highly distributed systems with time-varying structure ([R-99-148]).

The role of architecture for controlling intelligent robots has recently gained more attention because of the need to coherently combine a variety of skills, methods, knowledge sources and sensor data into integrated systems. The Intelligent Machine Architecture (Pack,Wilkes,Biswas,Kawamura 1997), for example, uses an object-based approach for system decomposition. A control system implemented in this architecture becomes a concurrent, distributed network of agents that interact through various communication mechanisms. Also in the Cog project of Brooks (1997) it has been recognized that many different subsystems and many different low level reflexes and behavioral patterns have to be orchestrated, especially without a centralized controller, into some sort of coherent behavior—and that this will become a central problem. Although the term ”architecture” is not used, its notion is addressed.

(3) R-Teams Application City Traffic:

Traffic simulation is of rapidly increasing importance for the design of intelligent traffic systems. Governments and local authorities have identified the use of traffic simulation tools as a way of developing and testing transport policies.The growing traffic congestion and environmental pollution in urban road networks increase the demand for new simulation-based tools.

Simulation can be used to explain policies to politicians, the public and key road user groups through visualisation of changes to the road network, and animation of traffic flows under changing demands and management strategies.

Simulation can be used to study the reduction of pollution in cities from road traffic, improving traffic safety on the roads, and ensuring that requirements are traceable through the decision making processes.

Urban traffic control systems manufacturers, transport planners and road network operators desperately need integrated toolkits for modelling and simulation of urban road traffic.

Our approach – implementing the traffic simulation with such a detail that one can speak of an Artificial Reality system – opens up a number of opportunities. The application reaches from assessment of new mobility concepts to the interaction with traffic management systems.

(4) R-Teams and Socio-Economic Modeling:

The emergence of coordinated actions, for example in social cooperation, or in economic trends shared by a majority of consumers, is a highly complex and rarely understood phenomenon. Our investigations both by means of analytical tools and computer simulations provide an insight into the dynamics from a microscopic level, based on the individual decisions of the agents. This is a significant progress compared to investigations on the aggregated (macroscopic) level. In particular the spatial coordination of individual actions has been shown this way.

The research is part of an emerging scientific trend to combine methods originally developed in the natural sciences (i.e. in physics) for the analysis, modeling, simulation, and optimization of economic and social systems. The promising results of these investigations have already been internationally recognized. The renowned scientific journal Physica A (Elsevier) has invited us to conduct and to edit a special issue about this research, which appears in November 2000.

(5) R-Teams and Real-World Optimization:

Mobile radio transmission is one of the fastest growing markets. Engineering of current mobile radio networks consists of several tasks: traffic estimation, radio antenna positioning, broadcast control, frequency assignment etc. Within the selected geographic area where the radio network will be installed or extended, operators define the number of radio transmitters to be installed and the number of frequencies to be assigned to the area. These parameters are then used for the placement of antennas and the frequency assignment. The growth of mobile radio transmission facilities has been so fast, that optimization aspects played a minor role. This will change in the near future, when the market is more saturated.

◆Comparison with other research institutions

(1) R-Teams Theory:

The research is now done on a worldwide basis. There is a close cooperation with the Illinois University Genetic Algorithms Labaratory headed by Prof. D. Goldberg, Seoul National University (Prof. B.-T. Zhang), and the University of the Basque country (Prof. P. Larranga).

(2) R-Teams Technology:

A team architecture derived from a variety of optimization problems has been proposed by Talukdar et al. (1996). Computer-based agents are organized into an asynchronous team or A-Team. An A-Team is defined as ”a set of autonomous agents and a set of memories, interconnected to form a strongly cyclic network, that is, a network in which every agent, or almost every agent, is in a closed loop”. There is no strategic planning or centralized coordination. The idea of an agent is basically the same as in FTA: an agent operates between two worlds—one it perceives, the other it affects.

Similar to the Actor model of Hewitt and Inman (1991), actors of FTA are universal primitives of ”ultraconcurrent” operation, distributed in space and time. However, they do not send communications to one another, but to tagboards where the tags are looked up by actors. Tagboards can also be created and deleted dynamically (as can actors and ensembles), but there is no active distribution of tags to actors or subscribers according to filters because actors do not directly communicate with each other.

Compared with the Bulk Synchronous Parallelism (BSP) computing model (Valiant 1990), FTA pursued a less performance-oriented, but more design-oriented approach to distributed computing. A system based on BSP corresponds to a special FTA system that comprises a single distributed ensemble with a single actor on each host. FTA systems, however, can run an arbitrary number of actors, ensembles and tagboards. They are not necessarily under the control of ”bulk synchronization”, but synchronization of control flow and data flow can be defined selectively according to the needs of the application—ending up with ”bulk synchronization” if required.

An approach to parallel programming which is comparably unorthodox as FTA is the tuple space model called Linda which was proposed 15 years ago by Gelernter et al. (1985, 1989) Unlike Linda with its unification of processes and data, we think that features such as coordination mechanisms for data updates (flip) and process cycles (tick) or non-blocking read accesses (from tagboards) are more suited to applications we have in mind.

(3) R-Teams Application City Traffic:

Traffic simulation systems can be divided into microscopic, mesoscopic, and macroscopic systems. Microscopis models simulate the behavior of each vehicle including the behavior of drivers, macroscopic models use physical laws which describe flows. Mesoscopic models use a combination of microscopic and macroscopic models.

Corresponding to this classification is City-Traffic a microscopic model. Microscopic models will be the winning technology in the future. Currently there exist the following microscopic models which are of some relevance: AIMSUN, developed by TSS in Spain, TRANSIMS developed by Los Alamos in the US, and PARAMICS developed in Edinburgh, Great Britain. A new development concentrating on an individual car is the system SIPA from Hitachi.

In contrast to these systems is City-Traffic a hybrid system, consisting of a real-time measuring system and a simulation/forecasting system. As such City-Traffic can be integrated in a city traffic management system.

(4) R-Teams and Socio-Economic Modeling:

The coordination of decisions based on the flow of information (”information-contagious behavior”) is investigated from different perspectives by various organizations, i.e., Dept of Psychology, Florida Atlantic University, Boca

Raton, Dept of Economics, Queen Mary and Westfield College, London. Compared to these investigations, our efforts are concentrated on possibly analytical results in modeling decision behavior, together with more refined computer simulations with also consider spatial scales.

(5) R-Teams and Real-World Optimization:

Engineering of current mobile radio networks consists of several tasks: traffic estimation, radio antenna positioning, broadcast control, frequency assignment etc. Within the selected geographic area where the radio network will be installed or extended, operators define the number of radio transmitters to be installed and the number of frequencies to be assigned to the area. These parameters are then used for the placement of antennas and the frequency assignment.

The purpose of the Antenna Placement Problem (APP) is to optimize the radio coverage of an area. The main objective of the Frequency Assignment Problem (FAP) is to minimize electromagnetic interference due to multiple use of frequencies in different parts of the network. Whereas FAP has been intensively investigated, little has been done for APP. One reason is that the APP is much more difficult to model, and even a simple model - treating only coverage of the working area - can be shown to be NP-complete. Furthermore APP is a multi-objective and constrained problem with all its known difficulties.

The European ARNO project was the first attempt to optimize the placement of antennas.

◆Research papers, presentations, awards, etc.

(1) R-Teams Theory:

[R-97-129] Mühlenbein, H. , Ochoa, A. ”Schemata, Distributions and Graphical Models in Evolutionary Optimization”,Journal of Heuristics 5(2), pp. 215–247, 1999

[R-98-122] Mühlenbein, H., Mahnig, Th. ”Convergence theory and applications of the Factorized Distribution Algorithm”, (Invited paper) Journal of Computing and Information Technology – CIT 7,1999,1, pp. 19–32

[R-99-157] Mühlenbein, H., Mahnig, Th. ”FDA – A scalable evolutionary algorithm for the optimization of additively decomposed functions”, Evolutionary Computation 7(4), pp. 353–376, 1999

[R-00-30] H. Mühlenbein, Th. Mahnig: ”Evolutionary Algorithms: From Recombination to Search Distributions”, In: Theoretical Aspects of Evolutionary Computation; (Eds. L. Kallel, B. Naudts, A. Rogers); Springer Verlag, Berlin, pp. 137-176, 2000

H. Mühlenbein, Th. Mahnig: Evolutionary Computation and Beyond, In: Foundations of Real World Intelligence (Ed. P. Kanerva) CSL, Stanford, 2001

(2) R-Teams Technology:

[R–98–121] Veit, H., Richter, G. ”The FTA design paradigm for distributed systems”, Future Generation Computer Systems 16, pp. 727–740, 2000

[R–99–147] Schmitz, A., Richter, G. ”Fine grained multiagent architectures for robot control and simulation” In: B. Curk and J. Harnik (eds.): Proceedings of the 9th Int. Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD2000), University of Maribor, Maribor, Slovenia, pp. 297–302, 2000

[R–99–148] Richter, G., Schmitz, A., Veit, H. ”Towards more design flexibility for architectures of autonomous robot control systems”, In: Intelligent Autonomous Systems 6 (IAS-6) (Eds. E. Pagello et al.), IOS Press, Amsterdam, pp. 777–784, 2000

[R–99–149] Richter, G. ”Flip-Tick Architecture: A design paradigm for cycle-oriented distributed systems”, (GMD Report 84). Sankt Augustin: GMD, 131 pages, 1999

[R–00–060] Richter, G., Schmitz, A. ”An FTA design study on distributed map building through autonomous exploration”, (GMD Report 99). Sankt Augustin: GMD, 51 pages, 2000

Richter, G. ”Integrated distribution and functional scalability for intelligent robot control”, invited paper, IAD’2001 (IFAC Workshop on Intelligent Assembly and Disassembly) and V SBAI (V Brazilian Symposium on Intelligent Automation), Canela, Brazil, November 2001

(3) R-Teams Application City Traffic:

Due to proprietary reasons there exist no major scientific publications. City-Traffic has been selected by the German Ministry BMBF for presentation at Hannover CeBIT Fair 2001.

(4) R-Teams and Socio-Economic Modeling:

Special Issue: Frank Schweitzer, Dirk Helbing (Guest Editors): ”Economic Dynamics from the Physics Point of View”, Special Issue of Physica A, vol. 287, no. 1-2, 2000

[R-00-GMD1] Holyst, J.; Kacperski, K.; Schweitzer, F.: ”Phase Transitions in Social Impact Models of Opinion Formation”, Physica A 285, pp. 199-210, 2000

[R-00-GMD2] Holyst, J.; Kacperski, K.; Schweitzer, F.: ” Social Impact Models of Opinion Dynamics”, In: Annual Reviews of Computational Physics (Ed. D. Stauffer), vol. 9, World Scientific, Singapore 2000 (submitted for publication)

[R-00-GMD3] Schweitzer, F.; Zimmermann, J.: ”Communication and

Self-Organization in Complex Systems: A Basic Approach", In: Knowledge, Complexity and Innovation Systems (Eds. M. M. Fischer, J. Fröhlich), Springer, Berlin 2001 (to appear)

(5) R-Teams and Real-World Optimization:

[R-00-GMD4] Zimmermann, J., Höns, R., Mühlenbein, H. ENCON: An Evolutionary Algorithm for the Antenna Placement Problem to appear in Applied Artificial Intelligence, 2000

A-4-4　統計的パターンコンピューティング（理論基盤ＳＩＣＳ研究室）

◆Goal

(1) Understand natural (brain's) mechanisms of intelligence.

(2) Build computers that employ such mechanisms.

We want to build artificial systems with human-like flexible behavior. The advent of the computer has made that into a realistic problem for science and technology. Today's technology already allows the building of systems as complex as the nervous systems of many animals. In perhaps two decades we will have the technology for building systems in the scale of the human brain. However, nobody knows how such systems should be organized. This research is aimed at understanding the principles of computing employed by the brain, enabling us to build new kinds of computers to carry out brain-like functions.

◆Approach

(1) Holistic Representation.　Combine syntax and semantics in a uniform representation (e.g., the Spatter Code).

(2) Stochastic Computing.　Combine the strengths of numeric and symbolic computing in a system that computes with very large pseudorandom patterns and achieves reliability by the statistical law of large numbers.

The properties of holistic representations can be summarized by the following:
(1) UNIFORM REPRESENTATION, meaning that all things are represented by points of the same mathematical space, i.e., objects, properties, relations, functions, composed structures, mappings between structures.
(2) SIMILARITY of patterns implies similarity of meanings.
(3) Computing is highly PARALLEL.
(4) High-level representations are composed RECURSIVELY and levels can be mixed freely.
(5) Analogical parts of identical or similar structures can be found by HOLISTIC MAPPING of representations (i.e., without breaking structures into their components). Holistic representation shares recursiveness (item 4) with traditional symbolic representation. The other four properties give it additional power.

Our research into stochastic computing can be summarized by the following. We are developing and testing a new approach to computing that combines statistical (neural) and symbolic methods. It is based on large stochastic patterns (long random bit strings) and it has the expressive power of symbol-manipulation systems of traditional AI, and it has additional power due to the special mathematical properties of large stochastic patterns and operations on them. The research issue is: Does the added power allow the building of totally new kinds of systems with human-like flexible intelligence?　We try to answer that question by examining how intelligence is traditionally modeled in AI and cognitive science,

how it actually works in human behavior, and how stochastic computing could explain its working (e.g., how concepts, analogies, language, and learning could be represented in operations on large pseudorandom patterns).

A foundation for stochastic pattern computing was laid in the NEAR project (Neural Encoding And Representation) during Phase 1 of the RWC Program. A key discovery was made, called Holistic Representation, which takes a traditional record of a data base, consisting of fields, and distributes the information over a long random bit string without fields so that every bit of this "holistic record" contains some information about every field of the traditional record. This kind of representation seems much more natural and brain-like than the traditional representations used in AI and in artificial neural nets, and we have explored its properties and uses.

Stochastic computing ideas will be tested in language processing. We are preparing a demonstration, modeled after Latent Semantic Analysis/Indexing (LSA/LSI), that learns internal representations-- i.e., high-dimensional random vectors--for words, sentences, paragraphs, and documents by reading through large amounts of text and by capturing meanings of words in high-dimensional random vectors. By training the system with translations of the same documents into different languages, we expect the internal representations--the meanings--to be relatively independent of language. This would lead to practical systems for retrieving documents with natural-language queries and for multilingual text retrieval.

◆Outline of Research Plan

Theoretical (mathematical) study and exploration of high-dimensional distributed representation of structured information, followed by practical application to natural language (document retrieval).

◆Contents of Research Plan

SPC research has been conducted mainly under the following Research Items:

(1) Principles of Representation: Codes for very-high-dimensional Hamming spaces; compare Spatter Code with Holographic Reduced Representation and other distributed representations; sparse coding.
(2) Stochastic Computing Operations: Operations for holistic mapping, analogy, abstraction, and learning from example; algebra of operations.
(3) Stochastic Computing Architecture and Simulation: Pattern computer; efficient designs for SDM; optimal utilization of stored information; algorithms for fast reading and storing.
(4) Numeric Simulations and Demonstrations.
(5) Selection of Application: Collect information about language research combining statistical and structural (symbolic) methods, and about large text corpora and methods of working with them.

(6) Building of Application: Locate large on-line text corpora; program SPC algorithms for a large-scale demonstration.

◆**Research Significance from the Users' Viewpoint and its Application Fields**

Systems based on traditional computing are rigid and brittle, and often difficult to learn. An entirely new kind of computing is needed if we are to have more natural interaction with machines. The human brain accomplishes that kind of computing, except that its principles of computing are poorly understood. Research into Stochastic Pattern Computing starts with a promising idea about brain-like computing and tests it on human communication with language. Results so far have been positive, pointing to the possibility that a new class of computers will eventually be built based on these ideas. These computers would learn from experience a little like humans and animals learn, and their uses would be endless.

◆**Summary of achievements**

(1). Spatter coding and Sparchunk coding of structured information.
(2). Modeling analogy-making and learning from example.
(3). Arbitrary scaling of sparse codes.
(4). Fast activation algorithm for sparse distributed memory.
(5). Random labeling of words and documents for latent semantic analysis.
(6). Natural-language text retrieval.
(7). Book on Foundations of Real-World Intelligence.

◆**Contents of research results**

(1). Spatter coding and Sparchunk coding of structured information.

The idea of a Spatter code was introduced in 1994 [1]. It is a high-dimensional (e.g., N = 10,000), random binary code that encodes higher-level concepts in terms of their lower-level components so that concepts at different levels can be mixed freely. A key discovery--or breakthrough--was made in 1995 (published in 1996 [3]) that allows arbitrary data structures to be encoded into high-D random binary vectors. In traditional computing, information with structure--such as a data base--is organized into records composed of fields. For example, a medical record may have fields for name, sex, age, and weight and might look like (Joe, male, 66, 77). What 77 stands for is determined by its location in the records, so that this is an example of local representation. However, the brain's wiring, and robustness under local damage, suggest distributed representation. In spatter coding, variables and values are represented by high-D random binary vectors, and distributed representation is accomplished with two operations on them: bit-wise Exclusive-Or (XOR) and bit-wise majority rule (i.e., thresholded sum). The XOR is used for encoding fields (variable-binding), and the thresholded sum is used for merging the "fields" into a "holistic" record (chunking). It is argued that holistic

representation should be used in modeling high-level mental functions. [1, 2, 3, 4, 5, 6]

Robustness is essential for systems that deal with real-world problems. A memory system should form higher-level concepts from lower-level ones in a robust way. This process is called chunking. It is also important that such higher-level concepts can be analyzed, i.e., broken down into their constituent parts.This is called probing and clean-up. These issues have previously been treated for vectors of real numbers and for dense binary vectors. Using sparse vectors instead of dense ones has many advantages. We show how to define robust chunking operations for sparse codes. [13] It is shown that an SDM model using sparse codes and a suitable activation mechanism can be used as a clean-up memory, leading into robust retrieval. It is proved that the retrieval of the constituent parts can be made arbitrarily exact with a growing memory. This is so even if we let the number of stored patterns, relative to the number of memory locations,
grow indefinitely as the number of memory locations grows to infinity. [16]

(2). Modeling analogy-making and learning from example.

Analogy is a human way of coming to understand new and unfamiliar things. However, the computer analogy of the brain can both help and hinder our understanding of the human mind. It is based on the assumptions that the mind can be understood in terms of the working of the brain, and that the brain's function is to process information: that it is some kind of a computer, as contrasted for example with the heart which is a pump. It is a computer whose design we do not understand but try to, by analogy; that
is, by making a model--a "cognitive computer"--based on our understanding of computers, brains, and the working of the mind.
Human intelligence and language are fundamentally analogical and figurative whereas lower forms of intelligence and conventional computers treat meaning literally. Therefore, the challenge in designing a cognitive computer is to find the kinds of information
representation and operations that make figurative meaning and analogy come out naturally. Holistic representation is unconventional and looks promising--it easily encodes recursive (list) structure, for example--and points out a danger in taking
too literally cognitive models that have been developed on conventional computers, such as the following of rules.

Holistic representation has been used to model analogy, giving meaningful answers to questions like "What is the Paris of Sweden?" and to demonstrate learning from examples. [7, 8, 9]

(3). Arbitrary scaling of sparse codes.

Real-word systems can get very large, and therefore the prototypes must scale. We have shown that sparse codes (binary vectors with relatively few 1s) have this property when dense codes (0s and 1s equally probable) may not. For example, the original spares distributed memory (SDM; here in Jaeckel's version) does not scale up if the reading address is noisy, but this can be remedied by using a kind of SDM with sparse address vectors, showing that SDM could be used as a clean-up memory in computing with large patterns. [14, 15, 17]

(4). Fast activation algorithm for sparse distributed memory.

Deciding which memory locations to activate for any given storage or retrieval address is the most compute-intensive part of the original SDM algorithm, because it requires a high-dimensional
Hamming-distance calculation for each SDM memory location.
Consequently, simulating large SDMs in standard (serial) computer architecture is slow and impractical. We have developed an algorithm that accomplishes good activation by table look-up of a number of entries equal to the number of activated SDM locations,
which is a tiny fraction of the total number of SDM locations.
This makes simulating large SDMs in standard computer architecture practical. [13]

(5). Random labeling of words and documents for latent semantic analysis.

In statistical study of natural language, word-use statistics are collected into a huge matrix that is then analyzed mathematically with techniques such as singular-value decomposition. Latent semantic analysis (LSA) is perhaps the best-know of such methods. However, matrices for very large text data can be impractical for computers to handle. We have developed a simple method of limiting the size of the matrix without limiting the size of the data. The method is based on high-D sparse random vectors that
are used as labels for words or documents. Performance on a synonym test is comparable to LSA's. [10, 12, 19, 20, 21]

(6). Natural-language text retrieval.

We have prepared a demonstration of high-D random-vector techniques in text retrieval, where natural-language queries are used to find related documents in a collection that has not been precategorized. [12, 20, 21]

(7). Book on Foundations of Real-World Intelligence.

RWC Theoretical Foundation laboratories have collected results of their research into the book Uesaka, Y., Kanerva, P., and Asoh, H. (eds.) FOUNDATIONS OF REAL-WORLD INTELLIGENCE (CSLI lecture notes no. 125; xii+316 pp. Stanford, Calif.: CSLI Publications, 2001).
The SPC project arranged for its publishing, organized the production, and contributed a chapter on Computing with Large Random Patterns. [11]

◆**Significance of achievement**

Systems based on traditional computing are rigid and brittle, and often difficult to learn. An entirely new kind of computing is needed if we are to have more natural interaction with machines.
The human brain accomplishes that kind of computing, except that its principles of computing are poorly understood. Research into Stochastic Pattern Computing started with some promising ideas about brain-like computing and is being tested in an application to language. Results have been positive, pointing to the possibility that a new class of computers will eventually be built based on these ideas. These computers would learn from experience a little like humans and animals learn, and their uses would be endless.

The central idea is that it is possible to base computing on larger random patterns (high-D random vectors), and that the geometry and algebra of the pattern space are fundamental to our understanding of this kind of computing. Earlier objections to
distributed representation were based on their inability to deal with compositional structure, which is essential for example in language, but they have been overcome by the new methods. Representation of compositional structure is the most important breakthrough.

Our research and similar research by others is getting international attention and people are beginning to experiment with them in academic settings.

◆**Comparison with other research institutions**

As was mentioned above, our methods are related to several others. The Spatter code extends Plate's holographic reduced representation to the binary domain, the Sparchunk code is related to Kussul and Rachkovskij's context-dependent thinning, and random labeling is related to random projections of Kaski and of Papadimitriou et al. and provide new insight into latent semantic analysis. SICS is the only research institute at the moment with a major project combining these ares.

◆**Research papers, presentations, awards, etc.**

The main developments are documented in the following papers:

[1] Kanerva, P. The Spatter Code for encoding concepts at many levels. In M. Marinaro and P. G. Morasso (eds.), ICANN '94, PROC. INT'L CONFERENCE ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS (Sorrento, Italy), pp. 226-229. London: Springer-Verlag, 1994.

[2] Kanerva, P. A family of binary spatter codes. In F. Fogelman-Soulie and P. Gallineri (eds.), ICANN '95, PROC. INT'L CONFERENCE ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS (Paris, France), vol. 1, pp. 517-522. Paris: EC2 & Cie, 1995.

[3] Kanerva, P. Binary spatter-coding of ordered K-tuples. In C. von der Malsburg, W. von Seelen, J. C. Vorbruggen, and B. Sendhoff (eds.), ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS--ICANN 96 PROC. (Bochum, Germany; Lecture Notes in Computer Science, vol. 1112), pp. 869-873. Berlin: Springer, 1996.

[4] Kanerva, P. Fully distributed representation. PROC. 1997 REAL WORLD COMPUTING SYMPOSIUM (RWC'97, Tokyo, January 1997), Report RWC TR-96001, pp. 358-365, Real World Computing Partnership, Tsukuba Research Center, Japan, 1997.

[5] Kanerva, P. Pattern completion with distributed representation. PROC. 1998 IEEE INT'L JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS (IJCNN/WCCI, Anchorage, Alaska, May 1998), vol. 2, pp. 1416-1421. Pincataway, NJ: IEEE Press, 1998.

[6] Kanerva, P. Encoding structure in Boolean space. In L. Niklasson, M. Boden, and T. Ziemke (eds.), ICANN 98: PERSPECTIVES IN NEURAL COMPUTING (Proc. 8th Int'l Conference on Artificial Neural Networks, Skoevde, Sweden, Sep. 1998), vol. 1, pp. 387-392. London: Springer, 1998.

[7] Kanerva, P. Dual role of analogy in the design of a cognitive computer. In K. Holyoak, D. Gentner, and B. Kokinov (eds.), ADVANCES IN ANALOGY RESEARCH: INTEGRATION OF THEORY AND DATA FROM THE COGNITIVE, COMPUTATIONAL, AND NEURAL SCIENCES (Proc. int'l workshop, Sofia, July 1998, NBU Series in Cognitive Science), pp. 164-170. Sofia: New Bulgarian University, 1998.

[8] Kanerva, P. Large patterns make great symbols: An example of learning from example. In S. Wermter and R. Sun (eds.), HYBRID NEURAL SYSTEMS, pp. 194-203. Heidelberg: Springer, 2000.

[9] Kanerva, P. Analogy as a basis of computation. In Y. Uesaka, P. Kanerva, and H. Asoh, FOUNDATIONS OF REAL-WORLD INTELLIGENCE, pp. 254-272. Stanford, Calif.: CSLI Publications, 2001 (in press).

[10] Kanerva, P., Kristoferson, J., and Holst, A. Random indexing of text samples for latent semantic analysis. In L. R. Gleitman and A. K. Josh (eds.), PROC. 22nd ANNUAL CONFERENCE OF THE COGNITIVE SCIENCE

SOCIETY (U Pennsylvania), p. 1036. Mahwah, New Jersey: Erlbaum, 2000.
[11] Kanerva, P., Sjoedin, G., Karlgren, j., Karlsson, J., Levin, B., Holds, A., Karlgren, J., and Sahlgren, M. Computing with large random patterns. In Y. Uesaka, P. Kanerva, and H. Asoh, FOUNDATIONS OF REAL-WORLD INTELLIGENCE,
pp. 251-311. Stanford, Calif.: CSLI Publications, 2001 (in press).
[12] Karlgren, J. and Sahlgren, M. From words to understanding. In Y. Uesaka, P. Kanerva, and H. Asoh, FOUNDATIONS OF REAL-WORLD INTELLIGENCE, pp. 294-308. Stanford, Calif.: CSLI Publications, 2001 (in press).
[13] Karlsson, R. A fast activation mechanism for the Kanerva SDM memory. In Y. Uesaka, P. Kanerva, and H. Asoh, FOUNDATIONS OF REAL-WORLD INTELLIGENCE, pp. 289-293. Stanford, Calif.: CSLI Publications, 2001 (in press).
[14] Kristoferson, J. Some results on activation and scaling of sparse distributed memory. In A.P. Braga and T.B. Ludermir (eds.), SBRN '98: PROC. Vth BRAZILIAN SYMPOSIUM ON NEURAL NETWORKS (Belo Horizonte, Brazil, December 1998), vol. 1, pp. 157-160. Los Alamitos, Calif.: IEEE Computer Society, 1998. Reprinted in In Y. Uesaka, P. Kanerva, and H. Asoh, FOUNDATIONS OF REAL-WORLD INTELLIGENCE. Stanford, Calif.: CSLI Publications, 2001 (in press).
[15] Sjoedin, G. Getting more information out of SDM. In C. von der Malsburg, W. von Seelen, J.C. Vorbruggen, and B. Sendhoff (eds.), ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS--ICANN 96 PROC. (Bochum, Germany; Lecture Notes in Computer Science, vol. 1112), pp. 477-482. Berlin: Springer, 1996.
[16] Sjoedin, G. The Sparchunk code: A method to build higher-level structures in a sparsely encoded SDM. PROC. 1998 IEEE INT'L JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS (IJCNN/WCCI, Anchorage, Alaska, May 1998), vol. 2, pp. 1410-1415. Pincataway, NJ: IEEE Press, 1998. Reprinted in Y. Uesaka, P. Kanerva, and H. Asoh, FOUNDATIONS OF REAL-WORLD INTELLIGENCE, Stanford, Calif.: CSLI Publications, 2001 (in press).
[17] Sjoedin, G. Convergence in a sparse distributed memory. In A. P. Braga and T. B. Ludermir (eds.), SBRN '98: PROC. Vth BRAZILIAN SYMPOSIUM ON NEURAL NETWORKS (Belo Horizonte, Brazil, December 1998), vol. 1, pp. 165-168. Los Alamitos, Calif.: IEEE Computer Society, 1998.

The following presentations were made and submitted to the proceedings (not yet published).

[18] Holst, A. and Sahlgren, M. Dispersing the conceptual confusion. Poster presented at the Consciousness and Its Place in Nature: Toward a Science of Consciousness Conference, August 7-11, 2001, Skoevde, Sweden. [19] Sahlgren, M. Representing word meanings based on random labels. Poster presented at the 23rd Annual Conference of the Cognitive Science Society, August 1-4, 2001, Edinburgh, Scotland.

[20] Sahlgren, M. Vector-based semantic analysis: Representing word meanings based on random labels. Paper presented at the Semantic Knowledge Acquisition and Categorisation Workshop at ESSLLI XIII (European Summer School in Logic, Language and Information), August 13-17, 2001, Helsinki, Finland.

[21] Sahlgren, M. and Swanberg, D. Using linguistic information to improve the performance of vector-based semantic analysis. Paper presented at the 13th Nordic Conference on Computational Linguistics, NoDaLiDa '01, May 21-22, 2001, Uppsala, Sweden.

A-4-5　確率的知識表現および能動的意思決定（理論基盤ＳＮＮ研究室）

◆Goal

The aims of this project are to develop novel theory, techniques and implementations for learning and reasoning in a complex dynamic multi-sensory environment. The approach to reasoning and learning is based on the axioms of probability theory and Bayesian

statistics. It is argued that such an approach is the most attractive way to design systems for reasoning and learning that are capable of reliable and robust performance in complex real-world environments.

Our research efforts can be summarized in two main research items:

・Probabilistic knowledge representation. The development of approximate methods for inference in large probability models.

・Statistical embedding of learning methods. The development of quantitative methods for confidence estimation for neural networks and other non-linear estimators.

In addition, we will demonstrate the use of these methods in a number of target applications:

・A medical diagnostic decision support system

・An automatic music accompanying system and music quantisation system.

◆Approach

1)Probabilistic knowledge representation

Traditional rule-based systems based on pure logic are incapable of handling uncertain (imprecise, incomplete or inconsistent) data. The issue is especially problematic for real world computing applications, where complete knowledge is not possible, except in very trivial situations. The probabilistic approach can in principle solve this problem. However, probabilistic methods are usually too slow for practical applications. Thus, the main problem is to design robust systems that are semantically correct and that are computationally efficient. The research aims at design of algorithms to enable learning and reasoning involving up to the order of 1000 variables. This allows for applications which are order of magnitude larger than previously possible.

The goals regarding algorithm development were fully achieved but the implementation of these methods in a software library has not been achieved.

2)Statistical embedding of learning methods

Neural networks have been applied in many problem domains for regression problems (fitting continuous outputs) and classification tasks (finding the proper class). In several application domains, neural networks regularly outperform competitive algorithms. An often heard disadvantage of neural networks, which seems to hamper their widespread use, is their presumed obscurity. In this research project, we aim to enlighten the neural black box and develop statistical methods for quantifying the confidence of the network solutions.

The goals regarding this topic were fully realized.

3)Medical diagnosis

The probabilistic and statistical methods, described above, are evaluted in practice in the context of medical diagnostis. The system is based on probabilistic model and features learning with missing values; improved generalization through combination of learning from data and domain knowledge; case based reasoning; extraction of rules from data; efficient inference and learning using mean field and variational approaches.

The goals regarding this topic were fully realized.

4)Automatic Music Transcriber

The Automatic Music Transcriber automatically generates an acceptable music score from onsets obtained from a MIDI keyboard. There are two problems in automatic transcription: tracking tempo fluctuations and ``filtering out'' expressive timing deviations. If these fluctuations are not filtered out, the resulting notation would be very complicated and useless. This is a shortcoming of current commercial transcription software.

The goals regarding this topic were fully realized.

◆Outline of research plan

Since 1997, the first three research items are developed in parallel and have yielded numerous publications. The research on music transcription was added this year when an extension of the budget was offered. In the last year we will put more effort towards the demonstrations for the RWC final conference as well as implementation of our tools in a software library.

◆Content of research plan

We developed several approximate methods for reasoning and learning in probabilistic networks. These methods are based on mean field theory, which is a well-known approximation method in statistical physics. We have built a graphical program, called Bayesbuilder that allows design of graphical models and will contain in the future implementations of our approximation methods. We are building a library of software routines that is intended for public distribution.

We developed statistical methods for confidence estimation in feed-forward neural networks. These methods are based on ensemble learning and give reliable parameter estimates as well as their confidences. Examples are confidence estimation of the outputs for specific inputs, confidence estimates of parameters of the network after training, relevance determination of inputs, relevance determination of hidden units. The software will be made publicly available at the end of the project.

We are developing a medical diagnostic system in close collaboration with the Department of Internal Medicine of the University Hospital Utrecht. The prototype medical diagnostic system will be evaluated by target users, such as physicians. The system consists currently of 130 variables. Preliminary evaluation shows that the medical experts in the Netherlands receive this approach with enthusiasm.

For music transcription, we are developing a dynamic Bayesian network, which

jointly tracks the tempo and quantize the events. This model closely resembles human performance on this task. The model reads Midi data from a keyboard and outputs a music notation, closely resembling the original score. See Fig. 6.

◆Research significance from the users viewpoint and its application fields

This project addresses an essential aspects of Real World Intelligence because it provides a principled solution to deal with uncertain information (how to combine uncertain sources etc.). The probabilistic approach is computationally expensive, but by using generic approximation methods useful results can be obtained, also for large applications. This is illustrated for medical diagnosis and music transcription. However, the potential impact of these methods is much broader. Other applications that can benefit from this research are self-organizing information databases, human-machine dialogue systems, reasoning in large knowledge domains and robotics. The fundamental algorithms that implement our ideas are demonstrated during the RWC final symposium on the above mentioned applications. The software implementing these algorithms is made publicly available at the end of the project.

◆Summary of achievements

We developed several approximate methods for reasoning and learning in probabilistic networks. These methods are based on mean field theory which is a well-known approximation method in statistical physics.

We have built a graphical program, called Bayesbuilder, that allows design of graphical models and will contain in the future implementations of our approximation methods.

We developed statistical methods for confidence estimation in feed-forward neural networks. These methods are based on ensemble learning and give reliable parameter estimates as well as their confidences. The software will be made publicly available at the end of the project.

We have developed a medical diagnostic system in close collaboration with the Department of Internal Medicine of the University Hospital Utrecht. The prototype medical diagnostic system is evaluated by target users, such as physicians. The system consists of 200 variables and covers part of internal medicine.

For music transcription, we have developed a dynamic Bayesian network which jointly tracks the tempo and quantizes the events. This model closely resembles human performance on this task.

◆Contents of research results

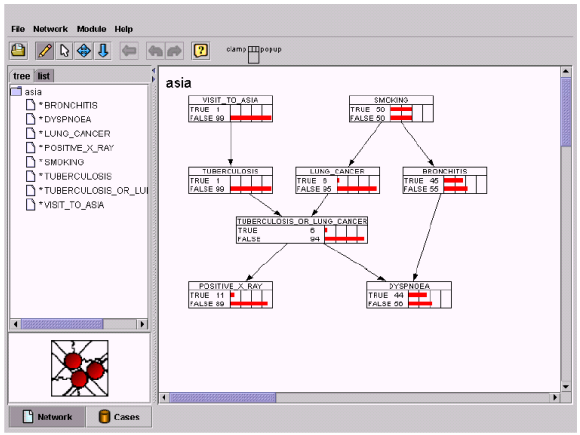
（1）Probabilistic knowledge representation

Traditional rule-based systems based on pure logic are incapable of handling uncertain (imprecise, incomplete or inconsistent) data. The issue is especially problematic for real world computing applications, where complete knowledge is not possible, except in very trivial situations. The probabilistic approach can in principle solve this problem. However, probabilistic methods are usually too slow for practical applications. Thus, the main problem is to design robust systems that

are semantically correct and that are computationally efficient. The research aims at design of algorithms to enable learning and reasoning involving up to the order of 1000 variables. This allows for applications which are order of magnitude larger than previously possible.

The central idea is to approximate an intractable probability distribution by a simpler distribution [1]. Typically, a factorized model is used as the simple model. This results in the standard mean field framework.

- It is possible to consider non-factorized models as long as they are tractible. The tractibility of the model is essentially determinined by its maximal clique-size (cliques are irreducible structures in the network). An example of such graphical structure is a tree in which each of the cliques consists of two nodes. We have shown that when approximating structure is chosen in a smart way, a significant improvement can be obtained over the standard mean field approach. We also studied how one can choose `smart' structures in a more systematic way [2,3,4,5]. See Fig. 2
- We extend the standard mean field method by using an approximating distribution that factorises into cluster potentials. We show that the method bridges the gap between the standard mean field approximation and the exact junction tree algorithm, both in terms of computational complexity and accuracy [6,7,8].
- We present a new approximate learning algorithm for Boltzmann Machines, which is based on mean field theory and the linear response theorem. The computational complexity of the algorithm is cubic in the number of neurons. We show that the solutions of this method are close to the optimal solutions and give a significant improvement when correlations play a significant role. We apply the method to a pattern completion task and show good performance for networks up to 100 neurons [9]. We apply the method to a real world problem of optical character recognition and show superior performance to any other method [10,11].



Node	Exact	MF	TAP
visit to Asia?	0.010	0.010	0.010
Smoking?	0.500	0.420	0.524
Tuberclosis?	0.010	0.000	0.000
Lung cancer?	0.050	0.000	0.000
Bronchitis?	0.450	0.264	0.410
Either t or l?	0.065	0.000	0.000
positive X ray?	0.110	0.050	0.050
Dyspnoea?	0.436	0.223	0.497

Figure 1: (Left) Marginal probabilities of states in the chest clinic model (ASIA) as computed by our software Bayesbuilder. (Right) A comparison of exact marginal with approximates marginal. First column: exact marginal. Second column: marginal computed using first order approximation (mean field). Third column: marginal computed using an approximation up to second order (TAP). The

TAP approximation is more accurate and does not require much more CPU time.

- Another powerful extension is to include higher order (TAP) corrections to the standard mean field theory. For physical systems, such as Ising spins, with homogeneous connectivity, such higher order corrections are unimportant for large networks. However, in frustrated systems such as spin glasses and neural network learning, these higher order terms are known to be important for an adequate description of the system. We applied the TAP framework to learning in undirected graphs [12]. See Fig.1.
- All mean field based approximation schemes are only valid within its radius of convergence. Outside this radius, the approximation most likely is useless. Like almost anything else, the computation of the radius of convergence is intractible for probability models. We apply the mean field approximation to approximately compute the radius of convergence. We demonstrate its use for learning in Boltzmann Machines [13].
- Another approach that can be applied in layered sigmoid belief networks is to approximate the incoming field distribution of each node by a tractable (Gaussian) field distribution. Results are comparable with standard mean field approximations but at significant less computational cost [14].
- We use the probabilistic models to extract knowledge. We have developed a novel method, called active decision, which queries the individual features of the input vector in a definite order, depending on the known feature values. Subsequent features are selected whose expected information, given the present information, is maximal. Active decision computes the expected information gain (in the form of an entropy) if certain additional measurements were to be made. Active decision requires good probabilistic models as well as efficient methods for inference. The idea is that the sequence of most informative measurements shows in essence the {¥em rules} that underlie the corresponding decision or prediction task [15,16]
- We have developed a graphical software interface, called BayesBuilder, to build large probabilistic models. See Fig.1.

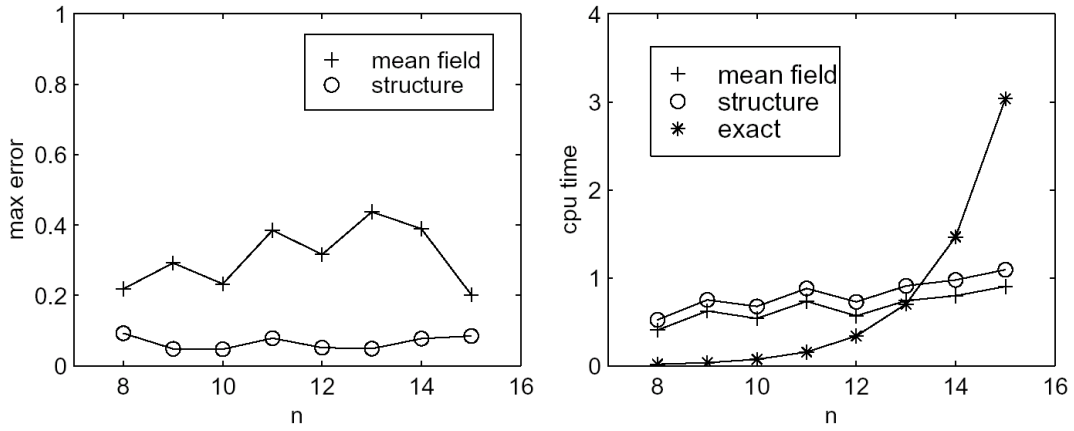


Figure 2: Numerical results of the standard mean field approximation and a more advanced variational approximation using tractable substructures, applied on a set

of artificially generated networks. Left: the maximal error as a function of the network size. Right: CPU-time (arbitrary units) for exact and approximate inference as a function of the network size.

（2） Statistical embedding of learning methods

Neural networks are ``unstable'' classifiers and function estimators in the sense that small changes in training set and initializiation can lead to quite different models. Therefore it makes sense to train not just a single network, but a whole ensemble of networks. It has been shown, both theoretically and in many simulation studies, that such a statistical approach indeed leads to better classification and prediction performance [17].

Considering that it is already a difficult task to extract knowledge out of a single trained neural network, understanding the mapping induced by an ensemble of networks is a real challenge. In the context of the RWCP project the following tools for analyzing and visualizing ensembles of trained neural networks have been developed.

Error bars: to address the reliability of the obtained mapping [18].
Input relevance: determining the overall relevance of explanatory variables [19,20,21,16].
Rules: a simpler description of the mapping in terms of rules.
Pattern explanation: to understand the mapping response on a single input pattern.

An important feature in our approach is to estimate model incertainty from the variation between the neural networks in the ensemble [18]. The important advantage is that appropriate error bars are obtained, even in regions of the input space with a low density of input patterns.

To be able to compute the relevance of explanatory variables (the inputs of the neural networks), we have developed a method to quickly retrain a neural network with less input variables, from the original network with all input variables [19,20]. This method, called partial retraining, is used as a subroutine to consecutively remove the least relevant input variables. Partial retraining has been extended to work on ensembles of neural networks in [21] and generalized to pruning individual weights in [16].

- We propose a new method to compute prediction intervals. Especially for small data sets the width of a prediction interval does not only depend on the variance of the target distribution, but also on the accuracy of our estimator of the mean of the target, i.e., on the width of the confidence interval. The confidence interval follows from the variation in an ensemble of neural networks [17].

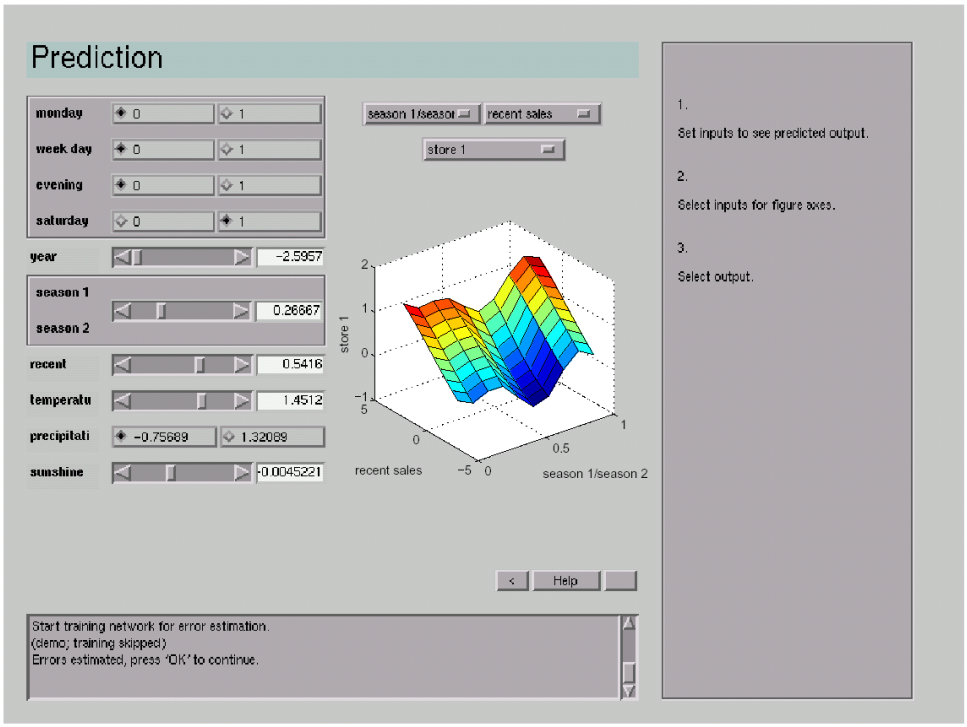


Figure 3: User interface of the SNN statistical neural network package. This software implements our statistical methods for neural network learning, including confidence estimates.

- We introduce a novel method called balancing which combine predictions from neural networks trained on different bootstrap samples of a regression problem.We show on real-world data that balancing clearly outperforms other recently proposed alternatives as bagging and bumping [18].
- We describe how input selection can be performed with partial retraining. We show that removing irrelevant input variables saves resources, improves generalization and facilitates human interpretation [19,22,20].
- One of the consequenses of the statistical approach to neural network learning is the intractability of computation. This is most readily demonstrated in the Bayesian approach, where one must average predictions over a distribution of neural network solutions [23]. A concrete example, where such a Bayesian approach is beneficial is survival analysis. This is the problem of finding the most important causes of death in a population of patients. We show that a variational approximation outperform the standard MCMC sampling method in the sense that more accurate results are obtained in less time [24].
- We have developed a software library containing efficient implementations of the above methods in Matlab. See Fig.3

（3） Medical diagnosis

The probabilistic and statistical methods, described above, are evaluted in practice in the context of medical diagnostis. The system is based on a probabilistic model.

Medical diagnosis is a very well known problem in AI. The different systems that

have been developed during the last 40 years use a variety of modeling approaches which can be roughly divided into two categories: rule-based approaches with or without uncertainty and probabilistic methods. The rule based approach can be viewed as an attempt to simplify the probabilistic approach in order to reduce computational complexity. The probabilistic approach has the advantage of mathematical consistency and correctness. In particular belief networks provide a powerful and conceptual transparent formalism for probabilistic modeling. The progress that has been made during the last decade in exact computation in belief networks makes the argument in favor of rule based approaches less and less persuasive Indeed, most modern approaches for medical diagnosis are based on the probabilistic approach.

The problem of building a system for internal medicine can be subdivided into two subproblems: a modeling problem and an inference problem. We restrict ourself to the medical domain of anemia. With this restriction, modeling and inference is already a non-trivial task, since about 100 diseases and several hundreds of other variables
are involved in anemia[25].

The *modeling problem* is to build a model which includes -up to a satisfactory level- all the necessary knowledge needed for medical reasoning. Our experience has shown [25], that in general the data available from hospital databases is insufficient to train a detailed model up to a satisfactory level of accuracy. This is also the case for aneamia [1]. Therefore, our approach is to build a belief network on the basis of expert knowledge of physicians and to later refine the model by training on prospective patient data.

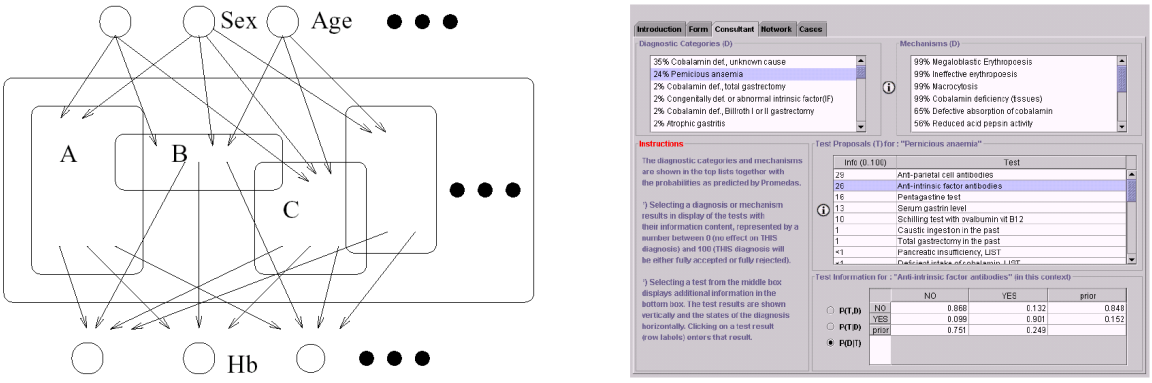


Figure 4: Left. Modular structure of the network for medical diagnosis. A, B, C... represent (overlapping) sub-domains. Each sub-domain is modeled by a number of nodes (not shown in the figure) representing variables that are relevant in that domain. The upper nodes, e.g. `sex' and `age' represent common ancestors of nodes in several sub-domains. The lower nodes represent observations such as symptoms or laboratory results, e.g., `HB'-level. The value of these nodes typically depend on a large number of possible causes, causing the intractability of the network. Right. Physicians interface of the medical diagnostic system: In the example shown, the most likely diagnosis (given the entered patient-data), is

Cobalamin def. unknown cause. The user can select another diagnosis of interest for which he/she wants test proposals. In this example, the selected diagnosis, however, is pernicious anaemia (ranked secondly in the differential diagnosis diagnosis). The test proposals are in relation with this selected diagnosis. The most informative test proposal is anti-parietal cell antibodies. The second most informative test proposal, anti-intrinsic factor antibodies, is selected for test information. Test information is provided in terms of probabilities. In this example, the conditional probability of the diagnosis given the test-result (and all entered patient-data) is provided. For example, the probability of diagnosis pernicious anemia (i.e. D = yes) given the a negative test result of anti-intrinsic factor antibodies (i.e. T = no) is 0.132 (is 13.2 %). The prior indicate P (D) and P (T), e.g. the probability of pernicious anaemia without knowing the test-result (but in the context of all entered patient data) is 0.249 (which is – rounded to below - equal to its probability provided in the upper left panel).

Building a belief network is only feasible if the number of parents states is limited, or if parametrized nodes are used, such as noisy-OR nodes. However, this restriction is not likely to limit the amount of expert knowledge that can be put in the network, since the expert knowledge of the physicians seem to have exactly the same restrictions.

In addition, medical experts tend to subdivide the medical domain into subdomains, which have only a small overlap. As a result, the final network has a modular structure (cf. fig.4). Each module represents a subdomain by a reasonably small belief network (typically 50-100 nodes). The nodes in the subdomains have only a small number of parents. The interconnectivity between the subdomains is also small. There are two types of variables outside the subdomains. One type are variables like 'age' or 'sex', which determine a priori probabilities of diseases. These variabeles are modeled as common ancestors of a large number of subdomains. The other type are variables such as `HB' level. Intuitively, in an anaemia model, `HB' is a variable that typically can have its cause in a large number of subdomains. Such variables are modeled as common children of a large number of subdomains. Since these nodes have parents in many subdomains, they should be modeled in a parametrized way, such as noisy-OR.

The *inference problem* is to compute probabilities in the model, given evidence. In the modular network described above, exact inference on the common children is intractable, since that involves a summation over a large number of parent states. On the other hand, on the upper part of the network - that is the network apart from the common children - exact inference is tractable, due to the modular structure and sparse connectivity. We use variational approximations as described in section 1) to obtain approximations of the probabilities to be inferred [5] (see fig. 2).

We obtained the following results:

- We developed a neural network based medical diagnostic systems in two medical domains: Iron Metabolism Disorders and Anemia. The performance of the Iron

Metabolism system was better than the performance of general specialists in internal medicine. This succes can be attributed to the high quality of the training data and the rareness of the disease area. The Aneamia system performed poorly in comparison to human experts. The reason is the lack of sufficiently good training data. We conclude that clinically useful systems can be learned from data only, when 1) the quality of the data is sufficiently high and 2) the disease area is not well understood in terms of rules [25].

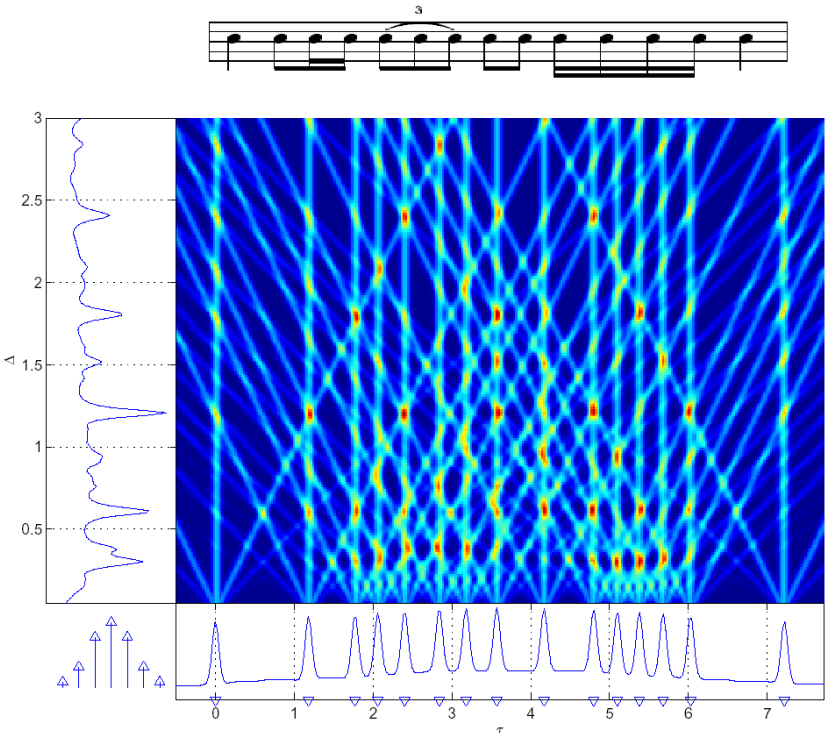


Figure 5: When a musical score is performed, expressive timing and tempo changes causes deviations from the exact rhythm. The figure displays a tempogram, which is a multiscale representation of the onset times. The most likely tempo curve can be deduced by connecting the red points using a Kalman filter.

- A medical diagnostic system has been built for part of the anaemia domain. The system is based on a probabilistic model and features inference with missing values and reasoning with multiple causes (see fig. 4). The system provides a differential diagnosis, and insight in underlying mechanisms. In addition, it can advise the physician in the optimal selection of actions (based on the diagnostic interest of the physician, see fig. 4 for a more detailed explanation) and to assist in the diagnostic process. Because of the probabilistic approach, the system can deal properly with missing values. The system is developed and evaluated in close collaboration with the Department of Internal Medicine of the University Hospital Utrecht. The system consists of 200 variables and covers the megaloblastic anaemias. The underlying model can be viewed as one submodule of a sytem covering the whole of anaemia. Preliminary evaluation shows that this approach is received with enthousiasm by the medical experts in the Netherlands. An overview of the research results was given in [26,27].

（4） Automatic Music Transcriber

Automatic Music Transcription is the extraction of an acceptable notation from performed music. An important and interesting subtask is tempo tracking, i.e. the induction of a sequence of beats in time, which coincides with the human sense of tactus when listening to music. One can speculate that beat induction is a basic process in music perception since, for most types of musical styles, listeners develop unambiguously a sense of rhythm after listening a short segment of music.

In contrast to most current approaches to tempo tracking, we base our methods on Bayesian statistics. This framework enables us to compare possible tempo interpretations by their respective likelihoods. Furthermore, to estimate the parameters of the model, we can systematically make use of data describing human behaviour in following the tempo.

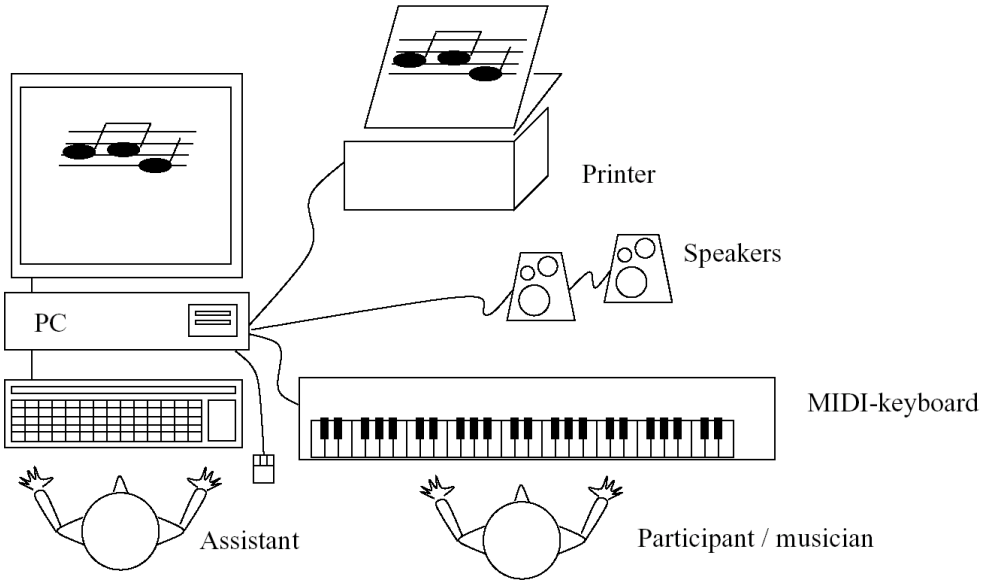


Figure 6: A system for automatic transcription of music into human readable notation.

We formulate tempo tracking as a hidden state estimation problem in a linear dynamical model. The hidden states of the model represent the beats of the tempo track. The model consists of two components. A state transition model, which describes likely tempo fluctuations in the absence of data; and a measurement model which locally in time describes the likelihood of a beat given an onset sequence.

We propose a measurement model, which we name as the Tempogram, which is a wavelet transform-like representation. This representation is also useful for visualization of tempo changes and musical meter structure.

An advantage of this approach is its generality and modularity. In our view, many of the existing methods can be viewed as particular choices of state transition and measurement model.

We have demonstrated the validity of this approach on a set of human performances by both expert and beginner musicians. The musical material is popular western music with simple rhythmic structure where there is ample

opportunity for adding expressiveness by fluctuating the tempo. The Automatic Music Transcriber automatically generates an acceptable music score from onsets obtained from a MIDI keyboard. There are two problems in automatic transcription: tracking tempo fluctuations and ``filtering out'' expressive timing deviations. If these fluctuations are not filtered out, the resulting notation would be very complicated and useless. This is a shortcoming of current commercial transcription software.

Due to the recent inclusion of this topic in the RWC program, there are no publications of this topic that have been submitted to RWC. See however [28,29].

（5） Other research results

In addition, to the above results, we have done some research on topics that are not directly linked to the concrete deliverables that will be demonstrated at the end of the project.

- Cortical neurons display synchronous firing for some stimuli and not for others. The resulting synchronous cell assemblies are thought to form the basis of object perception. We demonstrated the 'dynamic linking' phenomenon and in networks of binary neurons with stochastic dynamics. We discuss the possibility to use these correlations as a mechanism for scene segmentation [30,31].
- On-line learning. We show how to extend the statistical mechanics framework to quantitatively check the effect of correlations on learning in networks with a large number of input units [32,33,34,35].
- We showed that for Gaussian mixtures the generalization error is not a monotonic function of the number of model parameters [36].
- We showed how to apply Gaussian processes to the problem of Bayesian classification [37].
- We show that the popular Kohonen algorithm for self-organization maps can be derived from an energy function by slightly changing the definition of the best-matching unit [37]. The existence of this energy function allows for a statistical interpretation with important theoretical and practical consequences (convergence proofs, faster learning algorithms [39].

◆Significance of achievement

This project addresses an essential aspects of Real World Intelligence because it provides a principled solution to deal with uncertain information (how to combine uncertain sources etc.). The probabilistic approach, which is the only principled approach, is computationally expensive, but by using generic approximation methods useful results can be obtained, also for large applications.

The results are illustrated for medical diagnosis and music transcription. However, the potential impact of these methods is much broader. Other applications that can benefit from this research are self-organizing information databases, human-machine dialogue systems, reasoning in large knowledge domains and robotics. The fundamental algorithms that implement our ideas are demonstrated during the RWC final symposium on the above mentioned applications. The software implementing these algorithms is made publicly

available at the end of the project.

◆Comparison with other research institutions

Recently, practical systems have been realized using the ideas of probability both in Europe and in the United States and there is a surge of academic interest in building probability based systems for learning and reasoning (Annual Workshop on Uncertainty in AI; NIPS, Denver USA; Newton Institute, Cambridge UK 1997).

Work related to the present proposal on approximate methods for learning and inference is done in the groups of Jordan (Berkeley, USA), and Hinton (London, UK). The results of our work is reported at the best conferences in the field:

- NIPS, Denver USA, Vancouver CA
- Snowbird, Utah USA
- UAI and ICML, various locations in USA

◆Research papers, presentations, awards, etc.

[1] W. Wiegerinck, H.J. Kappen, M. Leisink, D. Barber, S. Stroeve, T. Heskes, and S. Gielen. Variational methods for approximate reasoning in graphical models. In Proceedings RWC, pages 265-270, 2000. R-99-090.

[2] D. Barber and W. Wiegerinck. Tractable variational structures for approximating graphical models. In M.S. Kearns, S.A. Solla, and D.A. Cohn, editors, Advances in Neural Information Processing Systems, volume 11 of Advances in Neural Information Processing Systems, pages 183-189. MIT Press, 1999. R-98-031 SNN-98-015.

[3] David Barber and Wim Wiegerinck. Tractable undirected approximations for graphical models. In ICANN'98, pages 93-98, 1998. R-98-001, SNN-98-012.

[4] D. Barber and P. van de Laar. Variational Cumulant Expansions for Intractable Distributions. Journal of Artificial Intelligence Research, 10:435-55, 1999. F-98-058 SNN-98-017.

[5] W. Wiegerinck and H. Kappen. Approximations of bayesian networks through kl minimisation. New Generation Computing, 18:167-175, 1999.

[6] W. Wiegerinck. Variational approximations between mean field theory and the junction tree algorithm. In C. Boutilier and M. Goldszmidt, editors, Proceedings of Uncertainty in AI, pages 626-633. Morgan Kaufmann, 2000. R-99-171.

[7] W. Wiegerinck. Variational approximations between mean field theory and the junction tree algorithm. In Proceedings BNAIC, 2000. Accepted.

[8] W. Wiegerinck and H.J. Kappen. A bridge between mean field theory and exact inference in probabilistic graphical models. R-99-134, 2000.

[9] H.J. Kappen and F.B. Rodriguez. Efficient learning in Boltzmann Machines using linear response theory. Neural Computation, 10:1137-1156, 1998. SNN-97-001, F-97-005.

[10] M. Leisink and H.J. Kappen. An application of linear response learning. R-99-133, 2000.

[11] M. Leisink and H.J. Kappen. An application of linear response learning. In Proceedings BNAIC, 2000. Accepted. R-00-051.

[12] H.J. Kappen and F.B. Rodriguez. Mean field approach to learning in boltzmann machines. Pattern Recognition Letters, 18:1317-1322, 1997. R-97-011.

[13] H.J Kappen and M.J Leisink. On the validity of mean field theory for finite size boltzmann machines. In Proceedings Snowbird, 1999. R-98-140 SNN-98-031.

[14] D. Barber and P. Sollich. Gaussian fields for approximate inference in layered sigmoid belief networks. In NIPS, 1999. Accepted, R-99-032 SNN-99-007.

[15] H.J. Kappen, M.J. Nijman, and T. van Moorsel. Learning active vision. In F. Fogelman and P. Gallinari, editors, Industrial Applications of Neural Networks, pages 193-202, Paris, 1998. World Scientific. F-95-060.

[16] P. van de Laar and Tom Heskes. Pruning using parameter and neuronal metrics. Neural Computation, 11(4):977- 993, 1999. R-97-125, SNN-98-010.

[17] T. Heskes. Balancing between bagging and bumping. In M. Mozer, M. Jordan, and T. Petsche, editors, Advances in Neural Information Processing Systems 9, pages 466-472, Cambridge, 1997. MIT Press. SNN-96-039, F-96-032.

[18] T. Heskes. Practical confidence and prediction intervals. In M. Mozer, M. Jordan, and T. Petsche, editors, Advances in Neural Information Processing Systems 9, pages 176-182, Cambridge, 1997. MIT Press. SNN-96- 038, F-96-034.

[19] P. van de Laar, T. Heskes, and S. Gielen. Partial retraining: a new approach to input relevance determination. International Journal of Neural Systems, 9:75-85, 1999. F96-129.

[20] P. van de Laar, Stan Gielen, and Tom Heskes. Input selection with partial retraining. In Wulfram Gerstner, Alain Germond, Martin Hasler, and Jean-Daniel Nicoud, editors, Artificial Neural Networks - ICANN'97, volume 1327 of Lecture Notes in Computer Science, pages 469-474, Berlin, 1997. Springer. R-97-023, SNN-97-003.

[21] P. van de Laar and T. Heskes. Input selection based on an ensemble. Neurocomputing, 34:227-238, 2000. R-97-109.

[22] P. van de Laar, Tom Heskes, and Stan Gielen. Task-dependent learning of attention. Neural Networks, 10(6):981-992, August 1997. F 95-180.

[23] D. Barber and C. M. Bishop. Ensemble Learning in Bayesian Neural Networks. In C.M. Bishop, editor, Neural Networks and Machine learning, volume Vol. 168 of NATO ASI series F: Computer and Systems Sciences, pages 215-238. Kluwer, 1998. R-98-112.

[24] B. Bakker, T. Heskes, J. Neijt, and H.J. Kappen. Improving Cox survival analysis with a neural-bayesian approach. Statistics in Medicin, page Submitted, 2000. R-00-080.

[25] W. Wiegerinck and H.J. Kappen. Lab-test selection in diagnosis of anaemia. In Proceedings RWC, pages 83-88, Tokyo, Japan, 1997. SNN-96-031,TR-96-001.

[26] H.J. Kappen, C.C.A.M. Gielen, T.M Heskes, W. Wiegerinck, D. Barber, and P. vd Laar. Probabilistic knowledge representation. In Proceedings RWC,

Tokyo, Japan, 1998. TR-98-001 SNN-98-014.

[27] W. Wiegerinck, H.J. Kappen, E.W.M.T ter Braak, W.J.P.P ter Burg, M.J. Nijman, Y.L. O, and J.P. Neijt. Approximate inference for medical diagnosis. Pattern Recognition Letters, 20:1231-1239, 1999. R-98-139 SNN- 98-030.

[28] Cemgil A.T., B. Kappen, P. Desain, and H. Honing. On tempo tracking: Tempogram representation and kalman filtering. In Ioannis Zannos, editor, Proceedings of the 2000 International Computer Music Conference, pages 352-355, Berlin, September 2000. International Computer Music Association, The Berliner Kulturveranstaltungs GmbH.

[29] A.T. Cemgil, P. Desain, and H.J. Kappen. Rhythm quantization for transcription. Computer Music Journal, pages 60-75, 2000.

[30] H.J. Kappen. Stimulus dependent correlations in stochastic networks. Physical Review E, 55:5849-5858, 1997. SNN-96-044, F-96-094.

[31] S. Stroeve, B. Kappen, and S. Gielen. Stimulus segmentation in a stochastic neural network with exogenous signals. In Proceedings ICANN, pages 732-737, 1999. R-98-138 SNN-98-029.

[32] T. Heskes and J. Coolen. Learning in two-layered networks with correlated examples. Journal of Physics A, 30:4983-4992, 1997. F-96-159.

[33] T. Heskes and W. Wiegerinck. On-line learning with time-correlated examples. In D. Saad, editor, Proceedings of the Newton Institute Workshop on On-line Learning, 1998. R-97-124, SNN-98-009.

[34] David Barber and Peter Sollich. Online learning from finite training sets. In David Saad, editor, Proceedings of the Newton Institute workshop on online learning, 1998. R-97-133,SNN-98-011.

[35] P. Sollich and D. Barber. Online learning from finite training sets and robustness to input bias. Neural Computation, 1998. Accepted. R-98-137.

[36] S. Akaho and H.J. Kappen. Nonmonotonic generalization bias of gaussian mixture models. Neural Computation, 1999. Accepted. R-98-057 SNN98-018.

[37] C.K.I Williams and D. Barber. Bayesian classification with Gaussian processes. IEEE PAMI, 1998. Submitted. R-98-064 SNN-98-019.

[38] T. Heskes. Energy functions for self-organizing maps. In E. Oja and S. Kaski, editors, Kohonen Maps, pages 303-315, Amsterdam, 1999. Elsevier. R-99-019.

[39] T. Heskes, J.J. Spanjers, and W. Wiegerinck. EM algorithms for self-organizing maps. In Proceedings IJCNN, volume 6, pages 9-14, 2000. R-99-132.

A-4-6　学習統合型情報処理の理論基盤の研究（ＲＷＩセンター学習統合基礎ラボ）

◆目標

人間を含む実世界と密に相互作用しながら柔軟に情報処理を行なう実世界知能システムのための学習・統合型情報処理方式を確立し、その性質を理論的に解明する。また、それらの方式を効率よく実装し、実世界知能システムの研究に提供する。特に、グラフ構造をもつ確率分布モデルに対して、連続値・離散値を含む１０００以上のノード数のグラフを扱えるシミュレータと、数１００の変数の中から数個の変数の間の関係を抽出できる変数間関係の学習法を開発する。

◆アプローチ

知識の表現として組み合わせ構造を持つ確率分布モデルを用い、確率統計的なアプローチの研究を行う。また、実世界知能システムのプロトタイプ構築研究と連携し、実世界知能システムに適した新規な学習・情報統合の枠組みについても研究を行う。

◆研究計画概要

(1)組み合わせ構造を持つ確率分布デルに対する学習・推論方式の研究
(2)実世界知能システムに適した新規な学習の枠組みの研究

◆研究計画内容

(1)実世界の複雑な情報を表現するために、組み合わせ構造を持った確率モデルとして、Bayesian Network、確率制約プログラム、有限混合分布、遺伝的アルゴリズムを取り上げ、それらに対する効率的な学習・推論のアルゴリズムを提案するとともに、その性能の理論的な解析を行い、推論・学習システムとして実装する。
(2)実世界知能システムに適した学習の枠組みとして、対話ベース学習やインターモーダル学習などの新しい学習の枠組みを提案し、事情通ロボットやマルチモーダル対話エージェントなどの実世界知能プロトタイプシステムに適用して有効性を示す。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

曖昧さや雑音を含む実世界情報を処理するために不可欠な確率的な学習・推論の基本アルゴリズムは、さまざまな実世界知能システムに応用が可能であり、そうしたシステムの実現を促進する。また、複雑な構造を持つ確率分布モデルの学習は一般に困難であるが、新しい学習の枠組みによって学習可能なモデルが増えれば、確率的な学習・推論の適用範囲が広がる。

◆成果概要

(1)組み合わせ構造をもつ確率分布モデルに対する推論・学習方式の研究
・Bayesian Network と Neural Network を融合した確率的学習・推論を行うデータマイニングツール BAYONET を開発した。
・多変量情報量解析手法を提案し、fMRI 脳画像の解析に適用した。
・確率制約プログラムを提案し、効率的な推論アルゴリズムを実装した。
・遺伝的アルゴリズムの収束過程について理論的な解析を行い、最適なパラ

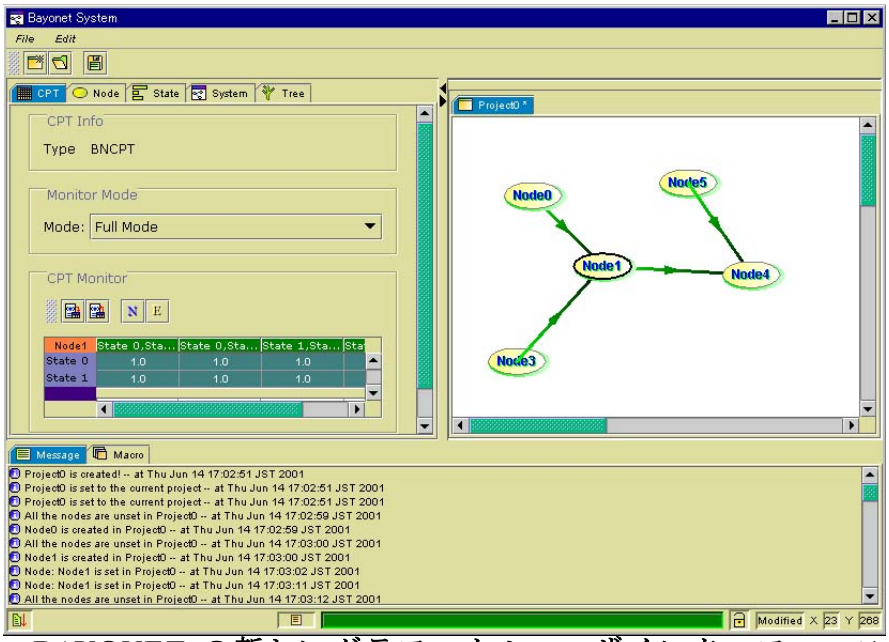
メータ設定基準を明らかにした。
・有限混合分布の学習の収束過程について理論的な解析を行い、汎化性能が単純なモデルとは異なる振る舞いをすることを示した。また、混合分布と EM アルゴリズムによる学習を物体認識に適用した。
・混合予測器による時系列信号の分節過程について実験的な解析を行い、学習パラメータと学習過程との関係を明らかにした。また、ロボットによる観測データや、マルチモーダル対話データベースのデータに適用した。

(2)実世界知能システムに適した新規な学習の枠組みの研究
・対話ベースの学習を提案し、事情通ロボットの階層的な地図学習に適用した。
・インターモーダル学習を提案し、物体の色、形、大きさの多属性同時学習に適用した。
・能動学習方式に対する理論的な解析を行った。

◆研究成果の内容

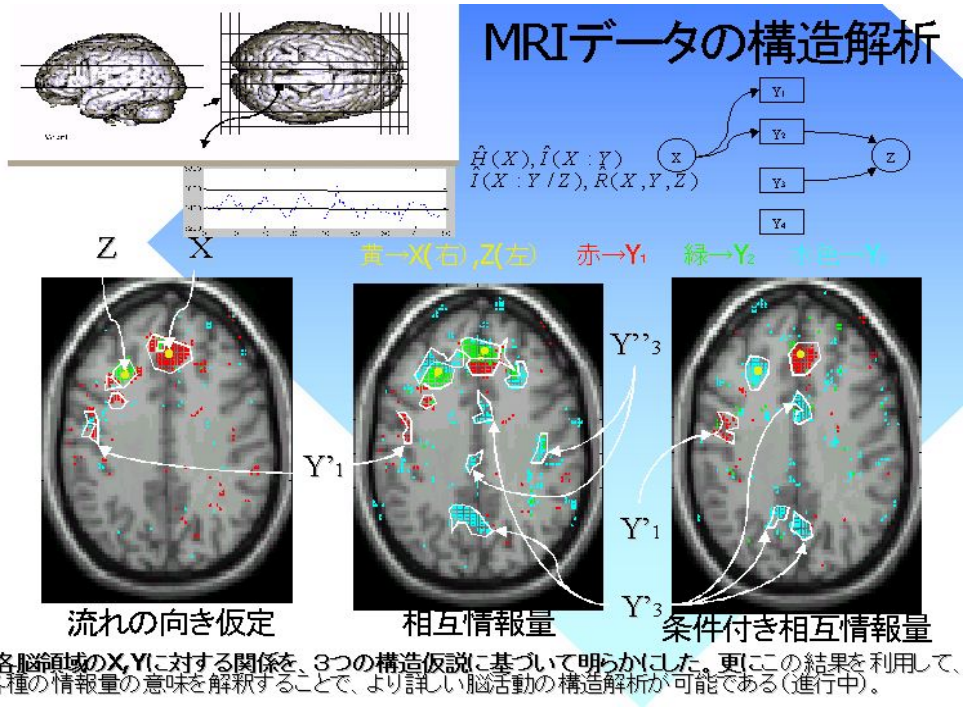
(1)組み合わせ構造を持つ確率分布モデルに対する推論・学習方式の研究

・Bayesian Network と Neural Network を融合して確率的学習・推論を行うデータマイニングツール BAYONET の開発： Bayesian Network は代表的なグラフ構造を持つ確率分布モデルとして広く注目を集めているが、多くのシステムでは離散的な確率変数のみを扱い、また、グラフの各ノードに付随する条件付き確率を人手で記述するのが普通であった。これに対して、Bayesian Network と、代表的な学習モデルである Neural Network を融合することによって、多変数の連続値を扱うことを可能にするとともに、条件付き確率をデータから学習することを可能にした。この方式に基づいて、汎用のデータベース接続機能やグラフ構造選択機能、グラフィカルユーザインターフェースを備えた Bayesian Network シミュレータ BAYONET を開発した。このシステムは、Java による世界で初めての Bayesian Network シミュレータの一つで、Java によるソフトウェアリソースを集めている Java Repository にも登録された。(発表 7,8,9,10,11,12,13,14)



BAYONET の新しいグラフィカルユーザインターフェース

・多変量情報量解析の提案と fMRI 画像解析への適用： 従来の多変量データ解析手法の多くは、共分散行列のような２変数間の２次の統計量に基づくものであった。これに対して、相互情報量（高次の統計量）や媒介作用（３変数間の相互情報量）を基準とするデータ解析手法を提案した。提案手法を fMRI による脳活動計測画像データに適用し、脳の活動部位の間の関連性を解析することに成功した。(発表 15,16,17,18)



多変量情報量解析による fMRI 脳画像の解析

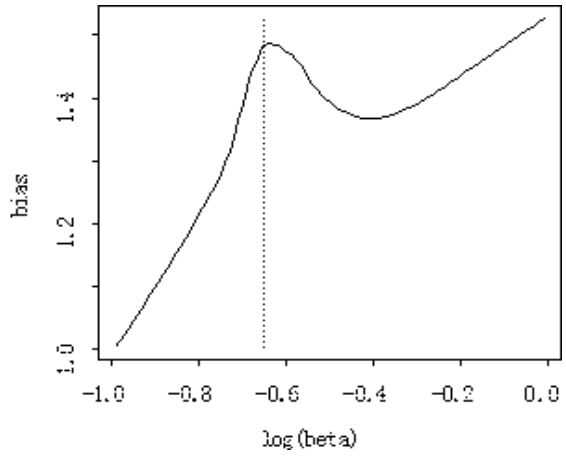
・確率制約プログラムの提案と構文解析への適用： 従来、実世界の情報の複雑な制約関係を記述するために、論理式を用いる論理制約プログラムが用いられてきているが、その枠組みでは知識の確からしさを扱うことができない。一方、従来からエキスパートシステムのルールに確信度を付与するような確率的推論システムは存在しているが、確信度の扱いが理論的に ad hoc であった。これに対して、論理制約プログラムの各論理式に確率値を付与した確率制約プログラムを定式化し、その処理系を実装している。(発表 19,20.21)

$$\leftarrow p(A) \wedge q(A).$$
$$p(X) \leftarrow X = f(a) : 0.3.$$
$$q(Y) \leftarrow Y = f(b) : 0.7.$$
$$q(Z) \leftarrow Z = f(U) \wedge r(U) : 0.6.$$
$$q(W) \leftarrow Z = g(V) \wedge r(V) : 0.4.$$
$$r(a) : 0.8.$$
$$r(b) : 0.2.$$

簡単な確率制約プログラムの例

・遺伝的アルゴリズムの収束過程の解析と最適なパラメータ設定：遺伝的アルゴリズムはロバストで効率的な最適化手法として盛んに研究されているが、遺伝集団を最適解の場所の確信度を表現した確率分布とみなせば、構造を持つ確率分布の一種といえる。遺伝的アルゴリズムはアルゴリズムの動作を制御するパラメータが多く、それらを最適に設定することがむずかしい。これに対して、簡単な遺伝的アルゴリズムの収束過程を理論的に解析し、最適な制御パラメータ（突然変異率や、島モデル並列遺伝的アルゴリズムにおける移住率）の決定の指針を明らかにした。また、遺伝集団を確率分布と見る観点から、新規な遺伝的アルゴリズムを提案し、その収束の様子を理論的に解析した。(発表 22,23,24)

・有限混合分布の学習のダイナミクス解析および物体認識への適用：有限混合分布は Bayesian Network と並んで、代表的なグラフ構造を持つ確率分布モデルの一種であるが、その学習過程のダイナミクス、特に、混合成分の分岐が始まる状況はよく理解されていない。最も簡単な混合分布である Gaussian Mixture に対して、混合成分の分岐がはじまる状況での汎化誤差を理論的に評価したところ、通常の学習とは異なる、興味深い振る舞いをすることが明らかになった。また、有限混合分布を物体認識に適用し、物体の形状、回転、スケールを同時に認識することに成功した。(発表 25,26,27,28,31)



Gaussian Mixture の分岐点付近での学習曲線の振舞い。通常のモデルでは単調に増加する曲線が、一時的に減少するような特異現象が起こっている。

・混合予測器による時系列データの分節：実世界の情報の多くは多次元の時系列データであり、人間はその中から「まとまり」を検出して、認識・理解を行っている。こうした情報処理過程の最も基盤となる時系列データの分節のための有力な手法の一つに混合予測器があるが、混合予測器の学習過程は制御パラメータが多く、学習結果の安定性に欠けるという問題がある。そこで、人工的な時系列に混合予測器を適用し、パラメータと学習結果との関連を明らかにした。また、移動ロボットによって採取されたデータやＲＷＣマルチモーダル対話データベースのジェスチャ動画像データに適用し、分節が行われることを確認した。(発表 29,30)

(2)実世界知能システムに適した新規な学習の枠組みの研究

・対話ベース学習の提案と事情通ロボットの地図学習への適用： 実世界知能システムの特徴の一つは、システムが実環境において、そこにいる人間と密なインタラクションをすることである。インタラクションの中でも、自然言語による対話は人間にとって最も自然な情報伝達手段である。そこで、学習システムと人間との間の簡単な音声対話による情報のやりとりを学習の加速に利用する「対話ベースの学習」を提案し、実世界知能システムプロトタイプの一種である事情通ロボットの位相的な地図の学習に適用した。移動ロボットのための位相的な地図は、グラフ構造を持つ確率分布モデルによって表現される。そのグラフ構造を含めた学習は、困難な学習課題の一つである。しかしながら、人間とロボットとの対話を利用することによって学習が劇的に簡単化し、短時間で環境の地図を獲得することができることを示した。(発表 32,33,34,35)



対話的に地図を学習している事情通ロボット

・インターモーダル学習の提案： 実世界知能システムの特徴の一つは、システムと人間との間のインタラクションのマルチモーダル性である。EM アルゴリズムと正準相関分析を用いて、音声と画像の組み合わせのデータから、画像中の物体の複数の属性（色、形、大きさ）を同時に学習する枠組みを提案した。(発表 36,37,38)

・能動学習の理論的解析： 能動学習は、学習システムが情報量の多い学習データを能動的に要求する学習の枠組みで、少数の学習サンプルから効率のよい学習が可能になることから盛んに研究されている。能動学習の過程を理論的にきちんと定式化し、学習サンプルの新しい選択基準を導出した。(発表 39)

◆成果の意義

実世界の情報を扱うために必須と考えられている様々な組み合わせ構造を持つ確率分布モデルに対して、効率のよい推論・学習アルゴリズムを提案するとともに、それらを一般に利用しやすい形でソフトウェアとして実装したことは、さまざまな実世界知能システムの開発、実現を促進することに貢

献する。特に、BAYONET や多変量情報量解析は、既に研究室レベルでの応用段階に達しており、今後　その利用が拡大してゆくことが期待される。また、実世界知能システムに向いた新規な学習アルゴリズムの提案もまた、さまざまな実世界知能システムの開発にとって有効な指針を示すものである。特に、対話ベース学習のアイデアは既に研究室レベルでの応用段階に達しており、今後、同様のアイデアが学習対象などを拡大してさまざまなシステムに利用されてゆくという形で幅広い影響を及ぼすことが期待される。

◆他機関との比較など

組み合わせ構造を持つ確率分布モデルに対する推論・学習アルゴリズムの研究は、世界的な人工知能研究における最近の大きな流れの一つとなっており、多くの先端的な研究機関で研究が行われているが、我々のグループは国内では主導的な位置にある。世界における代表的な研究拠点としては、カリフォルニア大学バークレイ校（S.Russel のグループ)、カーネギーメロン大学（T.Mitchel, S.Thrun のグループ)、MIT（M.Jordan のグループ)、ブラウン大学（L.Kaelbring のグループ)、そして、RWCP のメンバであるオランダニューラルネットワーク協会のナイメヘン大学（B.Kappen のグループ）などがあげられるが、これらの中においても、多くの種類の確率モデルを統一的な視点から研究している点でユニークな存在となっている。また、世界に先駆けて、Java による Bayesian Network シミュレータを実装し、その後も改良を続けている。

実世界知能システムに適した新規な学習の枠組みの研究は、まだ他の機関においていはほとんど研究が始められていない。類似の方向性の研究としては、知能ロボットに対する実演による教示の研究などがあげられるが、われわれの研究は、用いるインタラクションのレベル（言語的なレベルの情報のやりとり)、マルチモーダル性（画像、音声の組み合わせ）などの点で異なっている。特に、実際に稼動している実世界知能プロトタイプの研究と密接に連携しながら、並行して研究を進めている点は我々の大きな特徴であり、研究を単なる理論的、あるいは机上のアルゴリズム研究に終わらせないために非常に有効である。

◆主要論文・成果発表・受賞等

総説

【1】麻生 :“情報論的学習理論”, 人工知能学会誌, Vol.16, No.2, 287-299, 2001.3.

【2】H．Asoh，Y．Motomrau，K.Hasida, K.Niki, S.Akaho, M.Tanaka, T.Niwa, and K.Fukumizu:”Inference and learning with graphical models”, *Bulletin of the Electrotechnical Laboratory*, Vol.64, No.4,5, 67-74, 2000.8.

【3】麻生：理論・アルゴリズム基盤の研究開発状況, 電子技術総合研究所彙報, Vol.64, No.4,5, 23-27, 2000.8.

【4】H.Asoh, Y.Motomura, K.Hasida, K.Niki , S.Akaho, M.Tnaka, T.Niwa, and K.Fukumizu: ”Inference and learning with graphical models”, *Proc. of 2000 RWC Symposium*, 177-182, 2000.

【5】H.Asoh: Research and development in the RWI theoretical and algorithmic foundation area, *Proc. of 1998 RWC Symposium*, 175-180, 1998.

【6】麻生, 赤穂, 本村：”統計的推論と AI の推論”, 人工知能学会誌, Vol.12, No.2, 196-203, 1997.

Bayesian Network

【7】本村陽一:“不確実性モデリングのための情報表現:ベイジアンネット”, 人工知能学会ベイジアンネットチュートリアル BN2001 講演論文集, 5-13, 2001.7.
【8】本村陽一：“データベースと連携したベイジアンネット構築システム”, 第 4 回情報論的学習理論ワークショップ予稿集, 223-226, 2001.7.
【9】Y. Motomura: “Bayesian network learning system based on neural networks,” *Proc. of AFSS2000 (Asian Fuzzy Systems Symposium)*, Vol.2, 826-831, 2000.6
【10】本村, 佐藤：”ベイジアンネットワーク －不確定性のモデリング技術－”, 人工知能学会誌, Vol.15, No.4, 575-582, 2000.
【11】本村, 赤穂, 麻生:”ベイジアンネット学習の知能システムへの応用”, 計測と制御, Vol.38, No.7, 468-473, 1999.
【12】本村陽一：“データベースからの学習機能を持つ確率推論システム BAYONET”, 人工知能学会全国大会（第 12 回）論文集, 632-633, 1998 .（ベストプレゼンテーション賞）
【13】Y. Motomura: “Integration of situated prior probability and neural network classifier in a handwritten recognition task,” *Proc. of the 5th Int. Conf. on Neural Information Processing* 283-286, 1998.
【14】Y. Motomura, I. Hara, H. Asoh, and T. Matsui: “Bayesian network that learns conditional probabilities by neural networks,” *Proc. of 4th Int. Conf. on Neural Information Processing* , 584-587, 1997.

多変量情報量解析

【15】羽藤, 仁木, 太原：“情報量、共分散を用いた fMRI 画像のブロック解析と構造解析, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2001.3.
【16】K.Niki, J.Hatou, J.Luo, and I. Tahara: “Functional connectivity analysis for fMRI data using mutual information and interaction, *NeuroImaging*, Vol.11, No.5, 2000.
【17】K.Niki, J.Hatou, and I.Tahara: Structure analysis for fMRI brain data by using mutual information and intersection, *Proc. of 6 th International Conference on Neural Information Processing*, Vol-III, 928-933, 1999.
【18】仁木, 羽藤, 太原：”多変量情報量による fMRI データの脳活動マッピング画像化と構造解析”, 第 14 回生体工学シンポジウム論文集, 429-432, 1999.

確率制約プログラム

【19】K. Hasida: “Static and dynamic compilation for constraint reduction in parsing and generation,” Dagstuhl Seminar on Efficient Language Processing with High-Level Grammar Formalizm, 1999.
【20】K. Hasida and T.Miyata: “Parsing and Generation with Tabulation and

Compilation,” *Proc. of TAPD '98* , 26-35, 1998.
【21】K. Hasida: “Constraint-based derivation of cognitive model on parsing,” *Proc. of 1997 Int. Conf. on Cognitive Science* , 51-56 1997.

遺伝的アルゴリズム
【22】T. Niwa and M. Tanaka: “Analysis on the island model parallel genetic algorithms for the genetic drifts,” *Proc. of 2nd Asia-Pacific Conference on Simulated Evolution and Learning*, 349-356, 1998.
【23】T. Niwa and M. Tanaka:”Analysis of simple genetic algorithms and island model parallel genetic algorithms,” Proceedings of International Conference on Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms, 224-228, 1997.
【24】T. Niwa and M. Tanaka: “On the mean convergence time for simple genetic algorithms,” *Proc. of 1995 Int. Conf. on Evolutionary Computing,* 1995.

混合分布と EM アルゴリズム
【25】赤穂昭太郎:“EM アルゴリズム-クラスタリングへの適用と最近の発展-, 日本ファジイ学会誌, Vol.12, No.5, 2000.10.
【26】S. Akaho and H.J. Kappen: “Nonmonotonic generalization bias of Gaussian mixture models,” *Neural Computation*, Vol.12, No.6, 2000.
【27】赤穂昭太郎：”ECM 法を用いた確率分布の位置、尺度、回転パラメータの推定法”, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol.J82-D-II, No.12, 2240-2250, 1999.
【28】S. Akaho: “Statistical learning in optimization: Gaussian modeling for population search,” *Proc. of 5th Int. Conf. on Neural Information Processing* ,675-678, 1998.
【29】K. Horikawa, H. Asoh, J. Tani, T. Matsui, and M. Kakikura: “Emergence of expert modules for mobile robot navigation from a mixture of Elman networks,” *Proc. of 5th Int. Conf. on Neural Information Processing* , 256-259, 1998.
【30】麻生英樹：”Mixture of predictors によるマルチモーダル時系列の統合と注意の形成について”, 人工知能学会研究会資料, SIG-CII-9807-04, 1997.
【31】S. Akaho: “The EM algorithm for multiple object recognition,” *Proc. of 1995 IEEE Int. Conf. on Neural Networks* , 2426-2431, 1995.

対話ベース学習
【32】Hideki Asoh, Nikos Vlassis, Yoichi Motomura, Futoshi Asano, Isao Hara, Satoru Hayamizu, Katsunobu Ito, Takio Kurita, Toshihiro Matsui, Roland Bunschoten, and Ben Krose:”An office robot with good communication and learning skills,”*IEEE Intelligent Systems* (to appear) 2001.
【33】H.Asoh and T.Matsui: A unified framework of map learning with a hierarchy of probabilistic maps, *Proc. of 1999 International Conf. on Field and Service Robotics*, 81-91, 1999.
【34】H. Asoh, S. Hayamizu, I. Hara, Y. Motomura, S. Akaho, and T. Matsui: “Socially embedded learning of the office-conversant robot Jijo-2,” *Proc. of 15th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence*, 888-885, 1997.

【35】H. Asoh, Y. Motomura, I. Hara, S. Akaho, S. Hayamizu, and T. Matsui: “Combining probabilistic map and dialog for robust life-long office navigation,” *Proc. of 1996 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems,* 807-812, 1996.

インターモーダル学習

【36】赤穂, 速水, 長谷川, 吉村, 麻生：”EM 法を用いた複数情報源からの概念獲得,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-A, No.9, 1546-1553, 1997.

【37】H.Asoh, S.Akaho, O.Hasegawa, T.Yoshimura, S.Hayamizu: "Intermodal learning of multimodal interaction systems", *Proc. of International Workshop on Human Interface Technology*, 55-62, 1997.

【38】麻生, 赤穂：”機械学習におけるインターモーダル学習の位置づけ”, 人工知能学会研究会資料, SIG-CII-9710-1, 1997.能動学習

【39】福水健次：”能動学習”, 情報処理, Vol.38, No.7, 1997.

受賞

(1)人工知能学会 1998 年度全国大会ベストプレゼンテーション賞
本村陽一：データベースからの学習機能を持つ確率推論システム BAYONET (1998.6)

(2)人工知能学会 1999 年度研究奨励賞
本村, 松井, 麻生, 浅野, 原, J.Fry：事情通ロボットによるオフィス環境における知的作業支援 (1999.12)（事情通ロボットグループとの共同受賞）

A-5. 実世界適応デバイス領域

A-5-1 再構成可能適応型デバイス(適応デバイスNEC研究室)

◆目標

世界適応デバイス領域の目標は、実時間処理を行うための高速性及び適応性を兼ね備えた次世代 FPGA(適応デバイス)を開発することである。

問題のアルゴリズムに最適な構造に再構成可能で、高速な処理が可能な次世代 FPGA(Field Programmable Gate Array)の開発を行なう。適応デバイス及びその適応化の技術を確立し、音声や画像等の多量のパタン情報を扱う実世界知能技術分野の実応用にて有効性を実証する。このため静的適応、動的適応という2つの問題領域に対して研究開発を行なう。静的適応では、多様な応用に対して適応可能な、汎用性の高いデバイスを開発する。動的適応では、幾つかの応用毎に評価用 LSI、応用システムを開発し、従来にない新しい動的適応の手法を確立する。

◆アプローチ

2種類の適応型デバイスを開発している。1つは最適なアルゴリズムが時々刻々と変化するような問題に対しても、ハードが自律的/動的に適応し効率的な処理が可能な動的適応デバイス EHW (Evolvable Hardware)である。もう 1 つは、CPU の固定的なアーキテクチャでは効率的な処理が困難な問題に対して、最適なデータパスを構成し高速に処理することのできる静的適応デバイス RHW (Reconfigurable Hardware)である。EHW はどちらかというと応用に特化しているのに対して、RHW はより汎用性を重視している。このため動的適応では、幾つかの応用分野を設定し、複数の動的適応デバイス、応用システムを開発し、有効性を実証する。静的適応では、従来の FPGA に比べて、多ビットの演算性能を重視したアーキテクチャを開発し、高性能を達成する。

前半2年間で実験用/評価用 LSIを開発し有効性評価を行った。後半3年では、静的適応では実証システムの開発に向けて、回路部品の設計、機能検証用 LSI、実証用 LSI、高級言語ベース適応化ツール、実証用 LSI 向け適応化ツールの開発を行なう。動的適応では、関数レベル適応 LSI、ゲートレベル適応 LSI、耐故障性 LSI、及びこれらの LSI を用いた応用システムの開発を行う。

◆研究計画概要

適応デバイス実証用 LSIの予備検証のために、機能検証用 LSIを開発し、動作を検証する。実証用 LSI 向け適応化ツールを開発する。実証システムとして、適応デバイスを用いた汎用アクセラレータの設計を行なう。動的適応として、耐故障性 LSI、ゲートレベル適応 LSI の改良を行ない、応用システムを開発する。

◆研究計画内容

(1)適応デバイス構成技術

・適応デバイス実証用 LSI の予備検証ために、新規アーキテクチャでマクロを専用設計し、これを搭載した機能検証用 LSI を設計製造および検証する。

・動的適応評価用 LSI として耐故障性 LSI、及びゲートレベル適応 LSI の高機能化を行なう。

(2)適応化技術

・適応評価用 LSI 向け適応化ツールを機能拡張し、実証用 LSI 向け適応化ツー

ルを開発する。
・実証用 LSI の特徴を生かした高性能演算器ライブラリを開発する。
・パフォーマンス・ドリブンな配置配線手法を開発する。
(3)応用技術
・適応デバイスの実証システムとして、ホストコンピュータの CPU と適応デバイスが協調動作できる汎用アクセラレータの設計を行なう。
・関数レベル適応 LSI を複数用いたニューロシステムを開発する。ゲートレベル適応 LSI、耐故障性 LSI を用いた応用システムを開発する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

静的適応デバイスの主用な応用は、CPU と協調して動作する汎用のコプロセッサ(汎用アクアセラレータ)である。応用プログラムの利用者、及び、応用プログラム、アルゴリズムの開発者にとって有効である。応用プログラムの利用者に対しては、CPU 単体システムよりも高速な処理速度を提供する。特に画像、音声等の大量のデータを対象とするマルチメディア処理に有効。応用プログラムや、アルゴリズムの開発者にとっては、計算量の多いアルゴリズムの効率的な開発環境を提供する。C 言語からハードウェア構成データの高速なコンパイルツールにより、ソフトウェアと同様な手順で開発が可能。構成データは、適応デバイスにロードすることにより高速に実行できる。

動的適応では、進化ハードウェアという新しい概念に基づく LSI の開発と実応用への適用により、新しい分野を開拓した。幾つかの応用を対象に以下のような LSI を開発した。1)世界初の、自律的にニューラルネットのトポロジーと基底関数を変更できる LSI、2)ISO 化中の印刷データに特化したデータ圧縮方式用 LSI、3)義手、移動ロボットへの適用で動的適応の成功例となった、ゲートレベル動的適応 LSI。また、動的適応という新しい概念に基づくハードウェアの有効性を示すことにより、従来の CPU、DSP、ASIC、FPGA 等のソリューションとは異なる新たなハードウェアソリューションを提供する。

◆成果概要

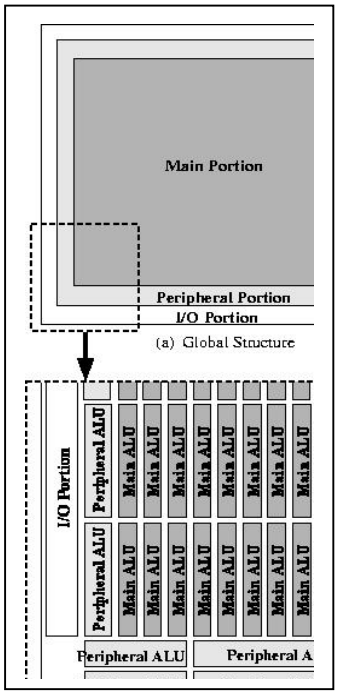
(1)適応デバイス構成技術: 実験用 LSI、評価用 LSI を開発し、機能検証、有効性評価を行なった。実証用 LSI 向けの新規アーキテクチャを開発し、回路部品を最適設計した。動的適応は、関数レベル適応、ゲートレベル適応、データ圧縮、耐故障性 LSI を開発。他社 FPGA の 3 倍以上の演算器集積度を持つ実証用 LSI を開発。

(2)適応化技術: 静的適応評価用 LSI 向け論理合成、配置配線ツール、高級言語ベース適応化ツールを開発した。これらを機能拡張し、適応デバイスを搭載した汎用アクセラレータ用に適応化ツールを開発。

(3)応用技術: 静的適応評価用 LSI を用いた汎用アクセラレータ上に高速画像検索システムを実装し、Pentium 1GHz の 10 倍の処理速度を達成。また、汎用アクセラレータを用いた画像認識システム開発し、従来の FPGA の 40 倍以上高速な再構成速度を実証。動的適応では、ニューロシステム、データ圧縮、義手、自律ロボット、耐故障性応用等多数の応用システムを開発。

◆研究成果の内容

2 種類の適応型デバイスを開発した。1 つは最適なアルゴリズムが時々刻々と変化するような問題に対しても、ハードが自律的/動的に適応し効率的な処理が可能な動的適応デバイス EHW (Evolvable Hardware)である。もう 1 つは、CPU の固定的なアーキテクチャでは効率的な処理が困難な問題に対して、最適なデータパスを構成し高速に処理することのできる静的適応デバイス RHW (Reconfigurable Hardware)である。EHW はどちらかというと応用に特化しているのに対して、RHW はより汎用性を重視している。このため静的適応で従来の FPGA に比べて、多ビットの演算性能を重視したアーキテクチャを開発し、高性能を達成する。動的適応では、幾つかの応用分野を設定し、複数の動的適応 LSI、応用システムを開発し、有効性を実証する。



(1)静的適応デバイス(RHW)【1】、【2】、【3】、【4】、【5】

1)適応デバイス構成技術(デバイスアーキテクチャ)

汎用アクセラレータは応用プログラムの演算量の多い部分を CPU に代わって高速処理し、全体の処理速度を加速する。大規模な応用をハードウェア化すると、多くの場合、多ビットの演算器からなるデータパスが回路のほとんどを占める。

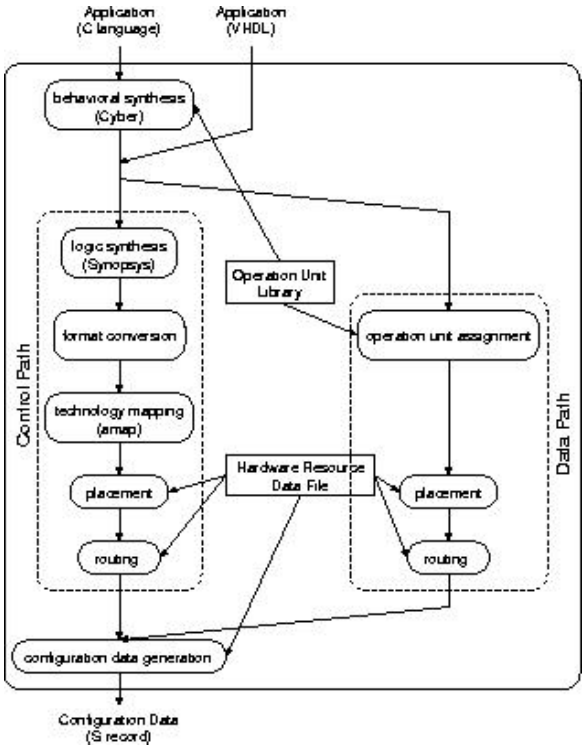
RHW では、多ビットのデータパスと演算器を効率的に実装するため、チップの大部分をデータパス用の ALU の 2 次元配列が占め、その周辺を制御回路用の ALU が占める。ALU を構成する機能セルとしてデータパス用としても制御回路用としても使用可能な回路を開発した。0.35 μ m セルベース IC を使ってプロトタイプチップ RHW1 と評価用チップ RHW2 を開発した。RHW1、RHW2 はメイン ALU としてそれぞれ 6×20、6×63 の 9 ビット ALU を集積した。同一プロセスの FPGA に比べて約 2 倍の演算器の実装効率を達成した。

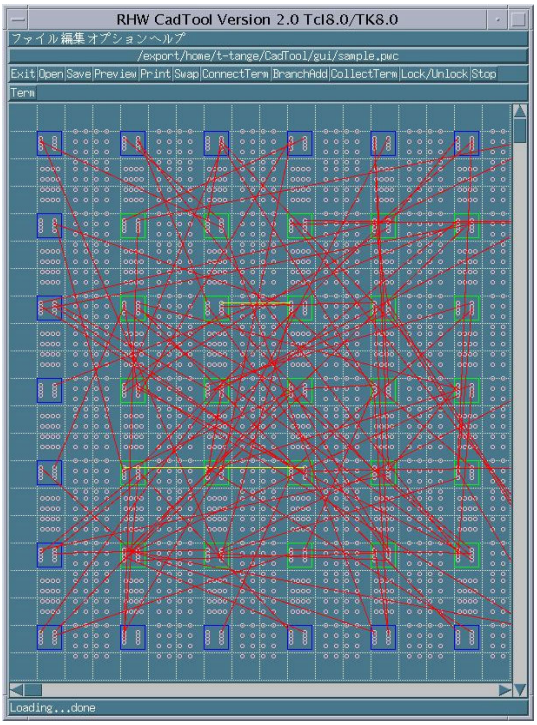
従来の FPGA の、3 倍以上の集積度と 2 倍の速度を持つ適応デバイス実証用 LSI を開発した。0.25 μ プロセスのセルベース IC で開発する。既存 FPGA に対抗するため I/O バッファを除いた全回路をカスタム設計して一つのマクロにし、セルベース IC の中に埋め込んだ。この手法により、フルカスタム LSI に匹敵する高性能高集積度のチップを実現した。

2)適応化技術(マッピングツール)

RHW では、アルゴリズムを直接、再構成可能ハードウェアにマッピングすることにより高速処理を実現するため、マッピング処理が非常に重要である。そこで高級言語ベースのマッピングツールを開発した。

RHW のデータパスを重視したアーキテクチャを活かすため、データパス系と制御系はそれぞれ分離して処理する。制御系のテクノロジマッピングとして、従来のライブラリベースのアルゴリズムに対して 20～40 倍高速な、アルゴリズムを開発した。伝搬遅延が最小となる径路を探索可能な、複数端子間の配線アルゴリズムも開発した。





配置配線フロー　　CAD ツール GUI

適応デバイスを搭載した汎用アクセラレータシステム全体へのアルゴリズムのマッピングを可能とした。このため、RHW の特徴を生かした入出力、メモリアクセス用ライブラリを開発し、オンチップ/オフチップのメモリアクセス時間の遅延及び、システムの主記憶とのデータ転送遅延を考慮してメモリアクセスのスケジューリングを行なう様に機能合成ツールを改良した。

3)応用技術(汎用アクセラレータ、画像検索、画像認識システムへの適用)

RHW2 を用いた汎用アクセラレータプロトタイプを開発した。RHW2 を 2 チップと複数のローカルメモリを実装している。PCI スロットに挿入し、ホスト PC と協調して動作可能である。

応用として、画像認識システムを実装した。RHW2 は画像の高次自己相関という特徴量の計算部分を担当する。1 チップの RHW2 に、並列動作可能な 35 個の固定小数点積和演算器を実装した。PentiumII(400MHz)での処理に比べて約 20 倍高速である。ホスト PC とのデータ転送等のオーバーヘッドを含めても約 6 倍の高速処理が可能である。本システムは、CPU、RHW での処理、CPU/RHW 間のデータ転送は並列実行可能で、処理を分割することによるオーバーヘッドは最小限とどめることができる。

RHW2 チップの性能評価結果

対象(MHz)	計算時間(μ秒)	対 CPU 比(倍)
Pentium II (400)	386.0	1.0
RHW2 チップ (66.6)	19.6	19.7
RHW2 チップ (33.3)	39.3	9.8
汎用アクセラレータプロトタイプ(33.3)	63.4	6.1

1 画像に対する計算時間 (40x30 ピクセル)

汎用アクセラレータを用いた高速画像検索システムを開発した。ホストPCのCPUと強調動作することにより応用全体として、Pentium 1GHzの10倍の処理速度を達成した。ストリームデータ評価用システムを機能拡張し、高速化、並列処理化を図った。

汎用アクセラレータを用いた画像認識システムを開発し、従来のFPGAの40倍以上高速な再構成速度を実証した。高次自己相関用と前処理用の再構成データを実時間で切替えながら2種類の処理を単一の適応デバイス上で時分割処理可能。



汎用アクセラレータプロトタイプ



画像認識システムGUI

(2)動的適応デバイス(EHW)【8】、【9】、【10】、【11】、【12】、【13】、【14】、

動的適応では幾つかの応用に対してLSIを開発し、実応用での有効性実証をRWIセンター進化システムラボと共同で進めた。

1)自律再構成可能ニューロチップ(EHW1、EHW1V2)

EHW1 は時間と共に構造の変化するニューラルネットを直接ハードウェアで実行する。移動体通信など、実時間での非線形関数の合成を必要とする応用を対象として開発した。EHW1 の特徴は、RBF（Radial Basis Function）やシグモイド関数などの、ニューラルネットの基底関数の種類、及びニューラルネットの構造を動的に変更できること、さらに、その動的な決定が人手を介さず、本チップ内で自律的に行えることである。容易に複数チップ構成へと拡張することができる。

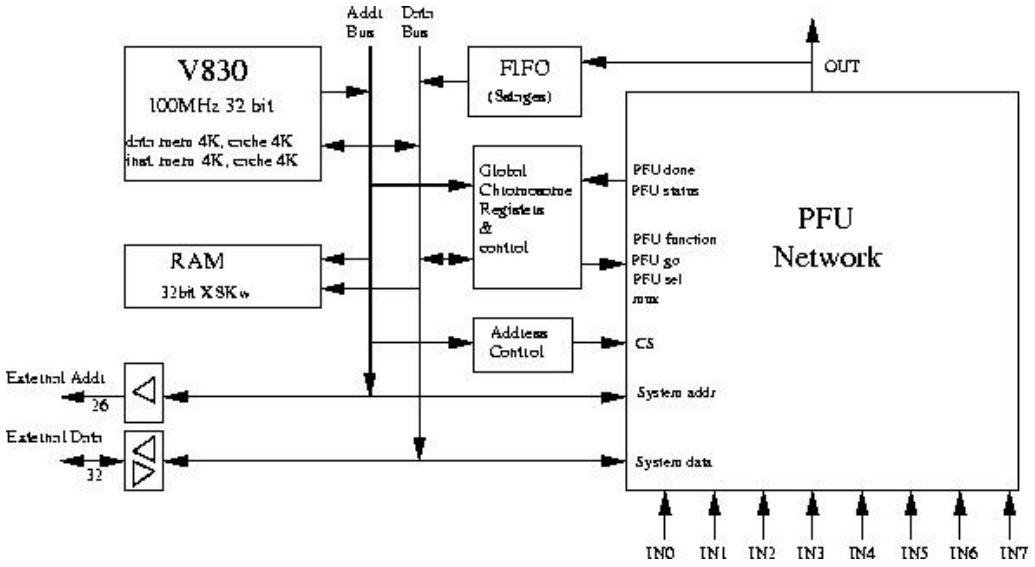
32 ビット RISC プロセッサ V830 と、15 個の DSP（Digital Signal Processor）を 1 チップに集積している。V830 は、主に遺伝的アルゴリズムを実行する。DSP は、RWI センタ進化システムラボの基本設計に基づくもので ALU と乗算器が並列に動作する。15 個の DSP は、バイナリツリー状に結合してあり、任意のニューラルネットワーク構造を動的に決定、変更していくことが可能である。

EHW1 の PFU の演算機能を強化（シフト演算関係）すると共に、LSI 内部のクロック供給系回路の強化を行った EHW1V2 も開発した。このクロック系の強化により、同 LSI を複数チップ接続し、並列動作させる場合に、高い動作安定性を実現した。

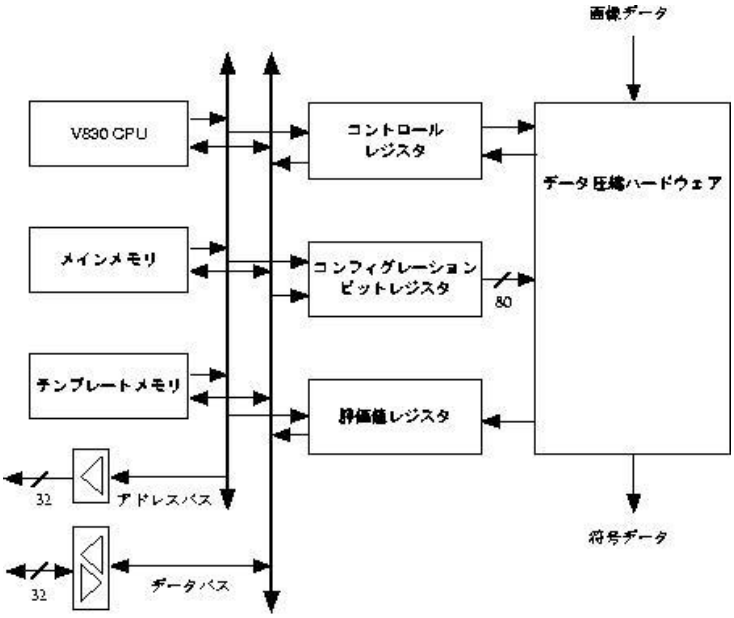
2)データ圧縮用チップ(EHW2)

電子写真印刷機用のデータ圧縮器には、(a)高効率なデータ圧縮が可能であること、(b)ロスレスデータ圧縮であること、(c)高速に圧縮データを伸張できること、の 3 点が求められる。これらの要求仕様を満足するために、予測符号化技術と進化型ハードウェアを融合したデータ圧縮用チップ EHW2 を開発した。

予測符号化では、画素をそのままではなく、画素の予測値と実際の値との誤差を符号化する。このとき、予測誤差が小さいほど表現量を抑えることが可能となり、圧縮効果が高くなる。これが予測符号化の原理であり、予測の精度が圧縮率に大きく影響する。予測は符号化対象画素の近傍を参照して行われるが、できるだけ対象画素と相関の強い画素を選択することで、予測精度が向上する。相関の強い画素パターン（テンプレート）と予測関数を遺伝的アルゴリズムによって動的に選択することにより、高速で高い圧縮率を実現する。



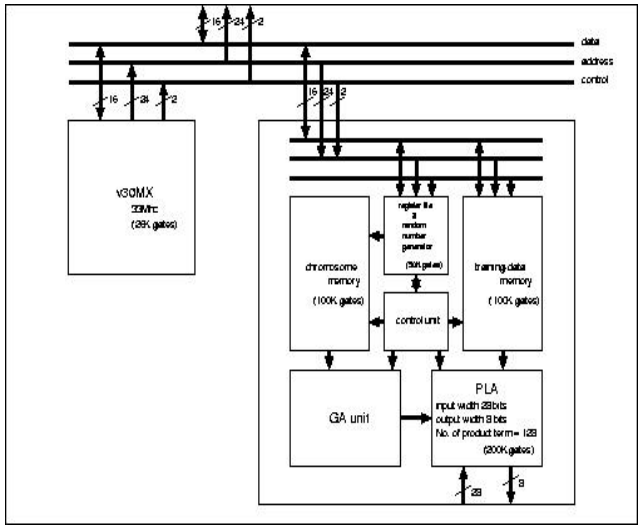
EHW1 構造図



EHW2 構造図

3)適応制御用チップ(EHW3、EHW3V2、EHW3V3、EHW3V4)

適応制御用にゲートレベルでの動的適応チップ EHW3 を開発した。EHW3 は、自律的に再構成可能な PLD である。義手制御やロボット制御など、時間の経過と共にハードウェア構造の変更が必要な応用において用いられる組み合わせ回路の実現に用いる。この動的なハードウェアの変更は、本チップ内にある GA（Genetic Algorithms）ハードウェアによって行われる。



EHW3V2 では、GRGA（Gene Replacement Genetic Algorithm）と呼ぶ新しい GA アルゴリズムを開発し処理速度を 3 倍に向上し、回路サイズは約 3 分の 1 に縮小した。また学習中のトレーニングパターン書き換え機能を追加した。

さらに、この EHW3、EHW3V2 の基本的概念を生かして、各回路を簡略化し、チップを小型化、高機能化した EHW3V3 を開発した。EHW3V3 は、GA（Genetic Algorithm）回路、PLA ブロックから構成される。EHW3V2 ではチップ内にあった RAM と CPU をチップ外に配置したことにより、チップ面積を約 2 分の 1 に小型化した。RAM と CPU を使用環境に応じて選択してシステムを組めるため、応用に応じて、より柔軟な処理が可能になった。EHW3V3 では、さらに GR 回路に自律移動ロボットに適した新たな学習モードを追加した。EHW3V4 では組込み用に CPU,I/O 機能も 1 チップに集積した。

◆成果の意義

(1)適応デバイス構成技術

実証用 LSI(RHW3)は、MUX と XOR を中心にしたまったく新しいアーキテクチャの機能セルを用いた再構成可能デバイスである。特に本機能セルは、乗算器やマルチプレクサなど、従来の FPGA が不得意としていた回路を効率的にマッピングできる独自の仕組みを有する。このため、 同じ回路をマッピングした場合、FPGA に比べて 1/2～1/8 という圧倒的に低いコストで実現でき、強力な競争力を持つ。

組込み用ゲートレベル動的適応 LSI は、1 チップに GA（遺伝的アルゴリズム）ハードウェア、PLD（プログラム可能論理）、外部インタフェース用 I/O、及び制御用の CPU コアを集積しており、小型化が重要な義手等の組込み機器へ最適なアーキテクチャである。

(2)適応化技術

オフチップメモリアクセスのスケジューリングを含めて再構成可能デバイス向けに機能合成をするツールは他に無く、これによりシステム全体の高性能化が図れる。汎用アクセラレータ用メモリ転送チャネル命令の自動生成をサポートするマッピング・ツールは例が無い。これにより、汎用アクセラレータのシステム全体の高性能化が容易に実現可能となる。再構成可能なシステム全体をターゲットとしたマッピング・システムを本格的に実現しているところは未だ無い。これを実現することで、再構成可能な適応デバイスをコンピューティングに用いることが可能になる。

(3)応用技術

応用プログラムの計算負荷の大きい部分を適応デバイスで高速に処理することにより、応用全体を高速化可能な汎用アクセラレータ。適応デバイスによる高速処理だけでなく、汎用アクセラレータ上の適応デバイス、ホスト CPU、及びデータ転送を並列に実行することによりシステム全体としての高速化を実現。適応デバイス（RHW）の高速な再構成機能により、1 つのチップで複数処理を時分割で切替えながらの処理を可能とした。

◆他機関との比較など

・実証用 LSI は、米国 Xilinx 社の FPGA(Virtex シリーズ)と比較して、3 倍以上の演算器集積度、2 倍の速度を持つ。
・自律的にニューラルネットのトポロジー、基底関数を変更できる LSI を世界ではじめて開発。
・ISO 化中の、印刷データに特化したデータ圧縮方式を開発。
・ゲートレベル動的適応 LSI は、動的適応の成功例として、学会をはじめ内外で高く評価されており、商用化が強く福祉関係者から望まれている。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】T.Yamauchi, S.Nakaya, T.Inuo and N.Kajihara: "Arithmetic Operation Oriented Reconfigurable Chip: RHW", 11th International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL 2001), Aug. 27, 2001.

【2】T.Yamauchi, S.Nakaya, T.Inuo and N.Kajihara: "Mapping Algorithms for a Multi-Bit Data Path Processing Reconfigurable Chip RHW", IEEE Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines

(FCCM'00), Apr. 17, 2000.
【3】山内、中谷、犬尾、梶原: "適応デバイスRHWの概要とマッピング手法"、電子情報通信学会 VLSI設計技術 VLD98-42、 pp.39-46（1998）
【4】犬尾、中谷、山内、梶原: "再構成可能適応型デバイスプロトタイプチップRHW1の開発と検証"、 情報処理学会第57回全国大会、名古屋大学（1998/10/5）
【5】犬尾、梶原、中谷、山内: "再構成可能デバイスRHWを用いたコプロセッサシステム"、情報処理学会第59回全国大会（1999年9月）
【6】T.Furuya, Y.Sato, N.Kajihara, S.Nakaya, T.Yamauchi, T.Inuo and T.Higuchi: "Comparison of Two Blind Sequence Estimations", PIMRC'99, Sep. 14, 1999.
【7】藤崎善彦, 古谷立美, 佐藤洋一, 樋口哲也, 梶原信樹: "FPGAのよるブラインド系列推定器の実現", 第6回 FPGA/PLD Design Conference & Exhibit, 1998年6月24日
【8】T.Higuchi, N.Kajihara: "Evolvable Hardware Chips for Industrial Applications", CACM, Vol. 42, No. 4, p. 60, 1999.
【9】T.Higuchi, M.Iwata, D.Keymeulen, H.Sakanashi, M.Murakawa, I.Kajitani, E.Takahashi, K.Toda, M.Salami. N.Kajihara and N.Otsu: "Real-world Applications of Analog and Digital Evolvable Hardware", IEEE Transactions On Evolutionary Computation, Vol.3, No.3, p. 220, 1999.
【10】M.Murakawa, S.Yoshizawa, I.Kajitani, Xin Yao, N. Kajihara, M.Iwata and T.Higuchi: "The GRD Chip: Genetic Reconfiguration of DSPs for Neural Network Processing", IEEE Trans. on Computers, Special Issue on Configurable Computing, Vol. 48, No. 6, p.628, 1999.
【11】H.Sakanashi, M.Salami, M.Iwata, S.Nakaya, T.Yamauchi, T.Inuo, N.Kajihara and T.Higuchi: "Evolvable Hardware Chip for High Precision Printer Image Compression", AAAI'98, Jul. 26, 1998.
【12】I.Kajitani, T.Hoshino, D.Nishikawa, H.Yokoi, S.Nakaya, T.Yamauchi, T.Inuo, N.Kajihara, M.Iwata, D.Keymeulen, and T.Higuchi: "A gate-level EHW chip: implementing GA operations and reconfigurable hardware on a single LSI", Proc. of ICES98, Lecture Notes in Computer Science 1478, Sep. 23, 1998.
【13】I.Kajitani, M.Murakawa, D.Nishikawa, H.Yokoi, N.Kajihara, M.Iwata, D.Keymeulen, H.Sakanashi and T.Higuchi: "An Evolvable Hardware Chip for Prosthetic Hand Controller", International Conference on Microelectronics for Neural, Fuzzy and Bio-inspired Systems (MicroNeuro'99), Apr. 8, 1999.
【14】M. Iwata、I. Kajitani、Yong Liu、N.Kajihara、T.Higuchi: "Implementation of a Gete-level Evolvable Hardware Chip", The 4th International Conference on Evolvable Systems: From Biology To Hardware (ICES2001), Oct. 3, 2001

A-5-2 デジタル・スマートピクセルと光実装（適応デバイス松下研究室）

◆目標

ビジュアルフィードバックによる高機能高速並列画像処理システムの構築に必要な、デジタル・スマートピクセル（16×16）とこれをカスケード接続する 3 次元光インターコネクションを開発する。

◆アプローチ

(1)16×16 のデジタル・プロセッシングエレメント・アレイ上に LED、さらに回折光学エレメントを、アライメント精度よく実装し、0.1ms/frame で動作するデジタル・スマートピクセルを実現する。

(2)8×8 デジタル・スマートピクセルを 2 個カスケード接続し、並列処理アルゴリズムを実際に動作させる。

(3)ブロック光学系を用いてカスケード接続光学系（3 次元光インターコネクション）を小型安定化する。

(4)16×16 素子を用いた並列画像処理システムを構築し、システム上で複数の画像処理アルゴリズムを動作させる。

◆研究計画概要

2×2、8×8 デジタル・スマートピクセルの試作を通じて、これに関わる要素技術を開発する。さらに 16×16 素子の試作を実施し、これをカスケード接続したシステム構築して、0.1ms/frame の速度で動作する並列画像処理システムを実証する。

◆研究計画内容

(1)デジタル・プロセッシングエレメント・アレイ上に LED、さらに回折光学エレメントを、アライメント精度よく実装する精密実装技術を、2×2 素子の試作を通じて開発する。

(2)試作した 2×2 デジタル・スマートピクセルを、3次元光インターコネクションでカスケード接続し、基本動作を実証する。

(3) 8×8 デジタル・スマートピクセルを開発し、これを 2 個カスケード接続して、並列処理アルゴリズムを実際に動作させる。

(4)平面光学系を用いて、小型カスケード接続光学系を開発する。

(5) 16×16 デジタル・スマートピクセルを開発すると共に、これを用いた並列画像処理システムを構築し、システム上で複数の画像処理アルゴリズムを 0.1ms/frame の速度で動作させる。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

従来型画像処理技術では、高速実時間処理といっても、33m/frame 程度の処理時間が必要で、この速度では、対象物の動きに合わせて機器を制御するビジュアル・フィードバックを、容易に実行することが困難である。少なくとも、ステッピングモーターの速度に対応できる 1ms/frame の処理速度を実現しなければ、ビジュアル・フィードバックをベースとしたシステムの構築は難しい。デジタル・スマートピクセルは、1ms/frame 以上の処理速度を実現するキーデバイスである。

ビジュアル・フィードバックによって、システム制御にもたらされる技術的なメリットは次のようなものである。

(1)認識アルゴリズムの簡素化:
処理速度が速いため、フレーム間の差異が少なく、複雑な予測計算や対象を同定するための相関演算が不要。
(2)制御アルゴリズムの簡素化:
処理速度が速く、センシング結果が即座にフィードバックされるので、大きな遅延時間を前提とした複雑な予測を伴う制御が不要。
(3)環境の変動に強い制御システム:
複雑な予測を伴わない制御なので、外界からの擾乱を受けても、即座に対応できるロバストなシステムが構築できる。
(4)機械的繰返し精度に対する許容度が大きい:
制御対象を認識しながら制御するので、アクチュエータと制御対象部位の間の機械的剛性を保証しなくとも、精密に対象部位を制御することができる。このため、軽くて柔らかい機器を実現できる。
デジタル・スマートピクセルの高速視覚認識能力は、全く新たな構成の視覚認識システム・機器制御システムの実現を可能とする。従来型システムは、センサ、認識系、制御系の間の連携が十分ではなく、真に一体のシステムと機能していなかった。デジタル・スマートピクセルが、認識とフィードバックのボトルネックを解消することによって、センサ、認識系、制御系がクローズドループで堅く結ばれたシステムの構築が可能となる。このようなシステムでは、情報の取り込みが静的なものにとどまることはなく、能動的な認識が主体となる。すなわち、制御そのものもセンシングと認識の一翼を担う形で、システムに組み込まれる。これは、センシングと制御が渾然一体となったシステムである。
このように、デジタル・スマートピクセルの実現する高速視覚認識能力によって、機器制御システムの新たなパラダイム、画像認識の新たなアルゴリズムが創出されることが期待される。
応用分野としては、産業用ロボットに代表される高速機器制御、ITS(高度道路交通システム)、マイクロビジョンシステムの視覚センサが最も重要である。

◆成果概要

(1)2×2 と 8×8 素子の試作を通じて、LED、回折光学エレメントの Si チップ上への高歩留まり精密実装技術を開発した。
(2)3 次元光インターコネクションを用いてカスケード接続した 2×2 および 8×8 素子で、1ms/frame 以上の速度、プログラマブル動作、画素間通信の基本動作を実証した。
(3)0. 1ms/frame 以下のフレームレートで動作する 16×16 画素のデジタル・スマートピクセルを開発した。
(4)デジタル・スマートピクセルの画素間を、カスケード接続する小型 3 次元光インターコネクションを開発した。
(5)複数個のデジタル・スマートピクセルをカスケード接続した実時間高速画像処理システムを構築し、1ms/frame 以下のフレームレートで動作させた。

◆研究成果の内容

現在の一般的な画像処理システムにおいて、実世界からの大容量データは、まず CCD でセンシングされた後、パラレルーシリアル変換されて、フレームメモリに送られる。このパラレルーシリアル変換は、高速画像処理を実現する上でのボトルネッ

クであり、これを解消する方法の一つは、光並列処理である。

本研究では、デジタル・スマートピクセルと、3次元光インターコネクションによる光並列処理システムを開発している。デジタル・スマートピクセルの各画素は、ALU（数値論理ユニット）と光入出力部を有しており、外部から入力された命令に従って、近傍画素と通信しながら、直接 SIMD 処理を実行すると共に、光出力部から処理結果を並列に出力することができる。並列データ伝送を実現する3次元光インターコネクションで、デジタル・スマートピクセルをカスケード接続したシステムは、パラレルーシリアル変換ボトルネックの無い実時間処理システムである。

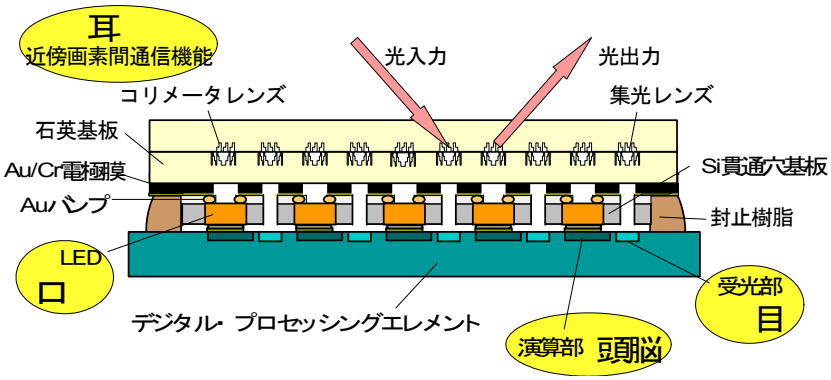


図1　デジタル・スマートピクセルの構造

デジタル・スマートピクセルの構成を図 1 に示す。デジタル・スマートピクセルは、DPE アレイ、LED、回折光学素子（DOE）を形成した石英基板とで構成されている。DPE アレイは汎用型の並列デジタル演算チップで、画素ごとに ALU、レジスタ、PD、LED 駆動回路を備えている（図 2）。DPE の各画素には、光出力のための LED がフリップチップ実装される。LED を、Si 基板に形成された貫通穴に挿入することで、その位置精度を確保している（図 3）。LED 上の石英基板には集光・コリメートレンズおよび偏向素子が形成されており、デバイスとレンズの一体化で、3次元光インターコネクションの小型高効率化を図っている。このように、デジタル・スマートピクセルは、各画素に目、頭脳、耳、口を備えた並列処理デバイスである。図 4 には、試作した 8×8 のデジタル・スマートピクセルの写真を示す。

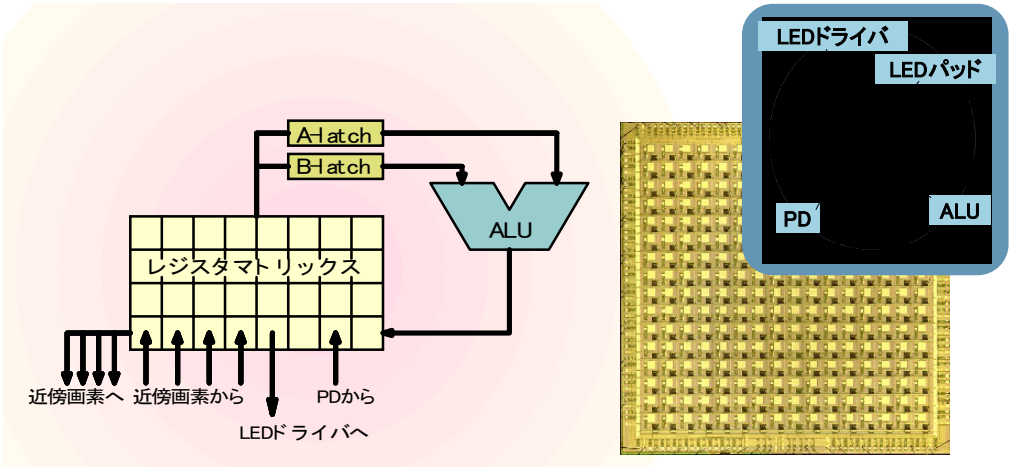


図 2　デジタル・プロセッシングエレメント・アレイ

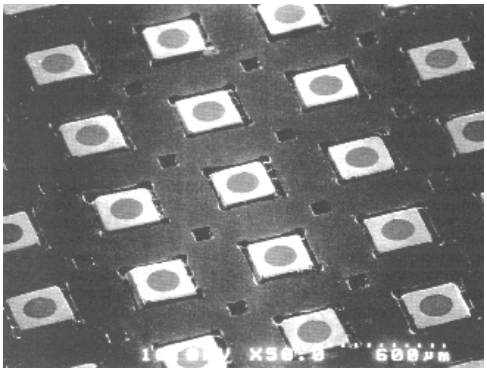


図 3 Si 貫通穴基板に挿入された LED の SEM 写真

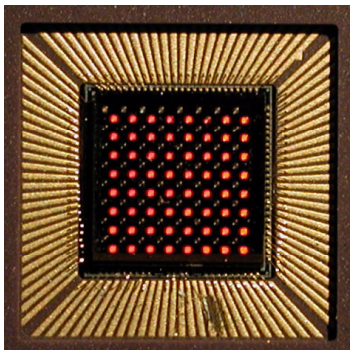
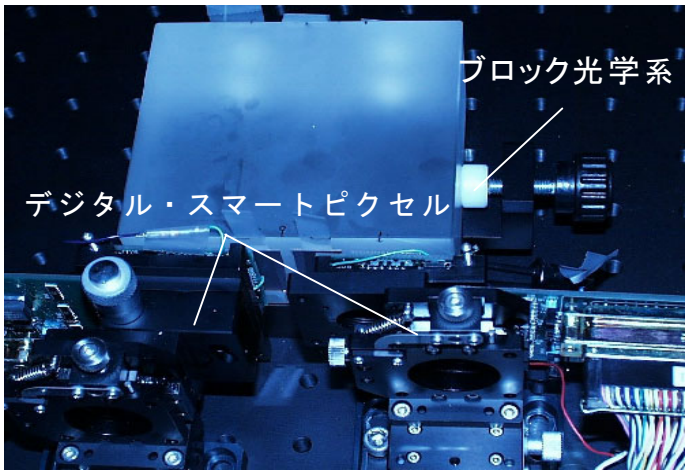
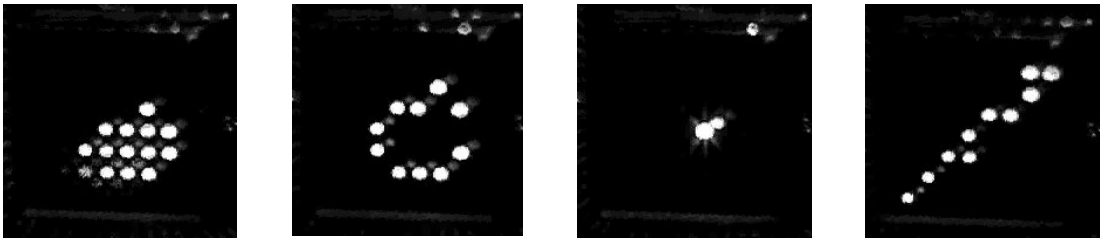


図 4 8×8 デジタル・スマートピクセル

デジタル・スマートピクセルは、3次元光インターコネクションによって、カスケード接続されることによって、その能力を発揮することができる。デジタル・スマートピクセルは、外部命令によって動作モードを変更できることが大きな特長である。また、4近傍画素との通信機能も、並列処理アルゴリズムを動かす上で欠かせない機能である。この二つの機能についても、8×8 の素子のカスケード接続でこれらの動作を確認している。カスケード接続による動作実験には、昨年度までは組レンズによる光学系を用いていたが、現在は、ガラスブロックによる小型安定化した光学系を用いている(図5)。

図6には、簡単な並列処理を 8×8 デジタル・スマートピクセルに実行させた例を示す。(a)は、入力画像をそのまま出力させたものである。(b)は輪郭抽出処理後の出力、(c)は重心抽出処理後の出力である。高速で移動する対象に対して重心抽出動作を繰り返し、その軌跡を記録して出力させた例である。これらの処理は、通常のビデオレートの 15 倍以上の速さで実行されている。





(a) (b) (c) (d)

図 6 デジタル・スマートピクセルによる並列処理の例

2001 年 10 月に開催される RWC2001 までには、16×16 デジタル・スマートピクセル2段と PSD を3次元光インターコネクションでカスケード接続した高速センサシステムを核として、高速機器制御システムを構築し、1ms/frame 以下のフレームレートでの実動作展示を行う。デジタル・スマートピクセルの大きな特長は、並列データ伝送機能であって、デジタル・スマートピクセルの並列処理能力を評価するには、少なくとも2個をカスケード接続したシステムが必要である。また、画素数としては 16×16 以上が望ましい。カスケード接続システムでなければ実行できないアルゴリズムの一例を、このシステム上で実際に動し、高速機器制御用視覚センサとしての、デジタル・スマートピクセルの高い能力を示す。

◆成果の意義

(1)プログラマブルな準汎用光並列処理システムでは、初の実動作するシステムである。16×16 の規模で発光素子を実装し、実動作システムに組込んだ例はこれまでない。プロトタイプデバイスによって光並列多段接続による並列処理の実動作を示すことによって、潜在的ポテンシャルが高い光情報処理技術分野の研究開発に刺激を与え発展を促す。

(2)ビジュアル・フィードバックシステムを実現する高速画像処理デバイスが実現されたことにより、この種のデバイスを核とした、高速機器制御の新たな領域における新規画像処理アルゴリズムの創出を誘うことが期待できる。

◆他機関との比較など

(1)スマートピクセルの研究動向

1)アメリカとヨーロッパでは、主としてチップ間インターコネクションをターゲットとした、スマートピクセルの開発が盛んとなっている。光変調デバイスの SEED をフリップチップボンディングした CMOS-SEED の研究が一歩先行しているが、最近は自発光の面発光レーザを一体化した CMOS-VCSEL の研究も始まった。

2)Heriot Watt 大(英国)のシステムが、CMOS-SEED のスマートピクセルをカスケード接続したシステムとしては今のところ一番完成度が高い。これの概要は次の通り。

a)CMOS と SEED をフリップチップボンド、CMOS は専用回路。SEED はルーセント製。

b)スマートピクセル2個をカスケード接続。データソーティングを実行。

c)ピクセル数 32×32、1ピクセル当たり1入力1出力。

d)動作速度:100MHz

3)CMOS-LED では、5×5 のデバイスを動作させた例はあるが、CMOS-VCSEL 型では、大きな規模のデバイスを作製し、カスケード接続動作させた例はない。

(2)デジタル・スマートピクセルの先行例に対する優位点

1)他のスマートピクセルに対して

a)現在までに動作しているスマートピクセルには、入出力光を制御する光学エレメントを、素子に一体化実装したものはない。本テーマのデジタル・スマートピクセルは回折光学エレメントを一体化実装しているので、高い光結合効率を得ることが期待され、光接続システム構成も容易である。

b)現在までに動作しているスマートピクセルの演算処理部は、専用回路が用いられており、限られた処理しか実行できない。本テーマのデジタル・スマートピ

クセルように、プログラマブルで準汎用のものはない。

2）CMOS-SEED に対して

a）自発光デバイスなので、光学系の構成が簡単。

b）よりシステム構成の容易な裏面入射型への展開が容易。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】川合英雄、馬場彩子、大木芳正、武内喜則, “デジタル・スマートピクセルにおける実装技術," 1998 RWC シンポジウム, pp.249-252 (1998)

【2】武内喜則, "小画素数・高速処理デバイスの応用," Optics Japan '98 (日本光学会 '98 学術講演会, 岡山), 18p2F05 (1998)

【3】川合英雄、馬場彩子、大木芳正、武内喜則, "デジタル・スマートピクセルにおける実装技術," Optics Japan '98 (日本光学会 '98 学術講演会, 岡山), 18p2F02 (1998)

【4】馬場彩子、武内喜則, "デジタル・スマートピクセルのための回折光学素子を用いた光接続," Optics Japan '98 (日本光学会 '98 学術講演会, 岡山), 18p2F01 (1998)

【5】川合英雄、馬場彩子、武内喜則、小室孝、石川正俊, "デジタル・スマートピクセルと光接続," Optics Japan '99 (日本光学会 '99 学術講演会, 大阪), 23pA4, (1999)

【6】武内喜則, "デジタル・スマートピクセルを使った Hough 変換と回転検出," Optics Japan '99 (日本光学会 '99 学術講演会, 大阪), 23aC6, (1999)

【7】川合英雄、馬場彩子、武内喜則、小室孝、石川正俊, "デジタル・スマートピクセルと光接続," 第 7 回光インターコネクト情報処理研究会／第 89 回光コンピューティング研究会, 研究会資料（OIP99-20), pp.45-49 (1999)

【8】Hideo KAWAI, Asako BABA, Yoshimasa OHKI, and Yoshinori TAKEUCHI, "8×8 Digital Smart Pixel Array," 2000 RWC Symposium (Tokyo, 2000), Proceedings RWC Technical Report, pp.243-246 (2000)

【9】Hideo KAWAI, Asako BABA, Yoshinori TAKEUCHI, Takashi KOMURO, and Masato ISHIKAWA, "8×8 Digital Smart Pixel Array," Optics in Computing 2000 (OC 2000 Quebec City, Canada), pp.715-720 (2000)

【10】川合英雄、馬場彩子、武内喜則、小室孝、石川正俊, "8×8 デジタル・スマートピクセルの試作," 第 61 回応用物理学会学術講演会, 4p-D14 (2000)

【11】川合英雄、馬場彩子、武内喜則、小室孝、石川正俊, "8×8 デジタル・スマートピクセルと光実装," Optics Japan 2000 （日本光学会年次学術講演会、北見）, 講演予稿集 7aC1, pp.31-32 (2000)

【12】Hideo KAWAI, Asako BABA, Motoshi SHIBATA, Yoshinori TAKEUCHI, Takashi KOMURO and Masatoshi ISHIKAWA, "Image Processing on a Digital Smart Pixel Array," The 4th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO/PR 2001 Makuhari), Technical Digest II, Th1-3, pp.680-681 (2001)

【13】武内喜則, "並列画像処理センサー「デジタル・スマートピクセル」," 次世代センサ協議会 第 39 回次世代センサーセミナー (2001)

【14】川合英雄、馬場彩子、柴田元司、武内喜則、藤村英範、小室孝、石川正俊, "デジタル・スマートピクセルによる画像処理," 第 62 回応用物理学会学術講演会, (2001)

A-5-3 高並列大容量演算システムの評価（RWIセンター情報光学ラボ）

◆目標

情報媒体としての光の特徴である大容量情報伝送性、高並列性を生かし、状況変化に応じて柔軟な演算を可能とする高並列大容量演算システムを構築する。具体的には、大規模・高速動作する光情報処理システム（デジタルスマートピクセルを用いた光ニューラルネットワークシステム）を構築、性能評価を行い、実用システムへの発展性を追及する。そのために並列光電子デバイスの作成および評価を行う。

◆アプローチ

これまでの光情報処理研究はシステムからの提案と、基本的なデバイス開発とが別々にすすめられており、システムが要求する性能と、個別光電子デバイスの性能とがかけ離れ、実用的なシステムの構築が困難であった。本研究では実用システムを目指し、デバイス開発とシステム開発を一体化した研究をすすめ、2次元画像を直接扱うことが可能な光ニューラルネットワークやビーム偏向半導体レーザの応用研究の進展を図ってきた。今後の実用化のため、従来の電子計算機主体の情報処理システムの性能を超える光電子システムの開発をめざし、より実用的なデバイス開発、システム実装技術および有効なアーキテクチャの研究が必要である。本研究では、並列光デバイスをベースにした、光情報処理技術に基づく基本光演算システムの実用化に向けたシステム、デバイスの開発を行う。特に実世界画像情報処理に有効な光ニューラルネットワーク技術を開発し、各種デバイスを評価しつつ実用可能なシステム構築を目指す。本プロジェクト内で開発されているデジタルスマートピクセルを用いることにより、より実用に近い高速画像処理システムを構築することが可能となり、従来の情報処理システムの性能を超える可能性を明確に示すことができる。

◆研究計画概要

大規模・高速動作する光情報処理システム（デジタルスマートピクセルを用いた光ニューラルネットワークシステム）を構築、性能評価を行い、実用システムへの発展性を追及する。そのために並列光電子デバイスの作成および評価を行う。これまでのスマートピクセルを用いた実証システムは光通信用のものしかなく、情報処理システムとしてのスマートピクセルの有用性を始めて示すことができる。

◆研究計画内容

ビーム偏向面発振半導体レーザおよび、ツインストライプ半導体レーザ等を中心とした光半導体素子設計のためのシミュレーション技術を開発し、その技術を用いて光情報処理に用いる光半導体素子を作成し評価を行う。さらに、開発した素子を組み込んだ光情報処理システム（光ファジー推論システム）を構築し実装技術を開発、高速動作の確認を行う。

マイクロレンズアレイを用いた顔認識可能な光ニューラルネットワークを作成し、大規模、高速化に向け、学習にも光演算を利用したシステムを開発する。さらに、高機能なネットワーク実現のために高並列光電子デバイスの利用、ファジーコントロールを利用した光技術に適したニューラルネットワークアルゴリズムの開発、光コンピューティングのための2次元集積光電子素子アレイ（ランダムアクセス疑似マルチレベル空間光変調器）開発を行う。また、開発した光ニューラルネットワーク技術を

元に松下から提供されるデジタルスマートピクセルを組み込んだシステムを構築し、デバイスの評価および実用システムへの課題抽出を行う。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

柔らかな情報処理の実現には、ソフトウェア、アーキテクチャの革新に劣らずハードウェア技術上での革新が必須であるが、従来のエレクトロニクス技術の延長ではこのような要求には対処困難である。それゆえ、情報伝送媒体としての光の優れた特性を生かした情報処理システムの実現が求められている。並列光半導体デバイスを用いた、超高速・超並列演算システムが実現されれば、各種情報技術革新への貢献は計り知れない。

◆成果概要

前期は、光半導体素子設計のためのシミュレーション技術を進展させ、光論理演算素子、2次元並列デバイスの設計に有用であることを明らかにし、ビーム偏向半導体レーザの高機能化が可能になった。前期よりシステムの開発を行ってきたが、後期はシステムに集中し、高速光電子ファジーコントロールシステム、並列光電子デバイスを用いた画像認識学習システム等を構築した。また、デジタルスマートピクセルを用いた光ニューラルネットワーク画像処理システムを構築中である。

◆研究成果の内容

(1) 光半導体用素子設計シミュレーション技術の開発及びビーム偏向半導体レーザの高機能化(前期)

光半導体素子設計のためのシミュレーション技術を進展させ、光論理演算素子、2次元並列デバイスの設計に有用であることを明らかにし、ビーム偏向半導体レーザの電極構造の最適化等により高機能化を実現した。また、垂直共振器型面発振半導体レーザのモード解析からこのタイプのレーザでもビーム偏向が可能であることを明らかにし、ビーム偏向面発振半導体レーザを作成した。

(2) 光電子ファジー推論システムの構築

前期の成果で高機能化したビーム偏向半導体レーザを用い、高速でファジー演算を行う光電子システムを構築、実証システムとして倒立振り子制御を実現し、有効性を示した。このシステムは半導体レーザと光ビームのポジションセンシングデバイスのスピードで制御を行うことができ、通常のコンピュータを用いた複雑な演算を必要としない。

(3) 光技術に適したニューラルネットワークアルゴリズムの開発

ファジー関数を用いて光ニューラルネットワークのパラメータを制御する手法を開発し、画像処理における有効性を詳細に検討した。また、人間の視覚情報処理に基づく新しいニューラルネットワーク画像情報処理方法を開発し、コンピュータシミュレーションによりその有効性を確認した。

(4) 2次元集積光電子素子アレイ設計試作

将来の高速光ニューラルネットワークシステムにおいては、学習機能も高速化を図る必要がある。より柔軟で制御性のよいシステムを実現するには高速、超並列なけ都合果汁表示装置が必要である。これを実現するためのシリコンベースに強誘電液晶を用いた空間光変調素子を提案した。これに基づき SRAM ベースの疑似マルチレベル表示可能なスマートピクセルのシリコン電子回路を設計し、プロトタイプを作成し、基本動作の確認を行った。(図 1)

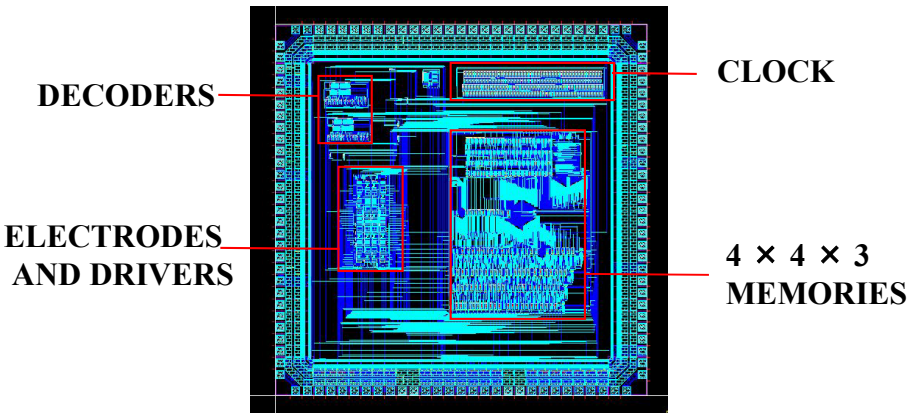


図 1　SRAM ベースの疑似マルチレベル表示スマートピクセルのシリコン電子回路

(5) 光ニューラルネットワークシステムの構築

大規模、高速化に向け、マイクロレンズアレイを用いた顔認識可能な光学ニューラルネットワークシステム及び学習にも光演算を利用したシステムを開発し、顔認識学習実験に成功した。(図 2,3)このシステムの性能評価を行い、通常のパーソナルコンピュータと同程度の学習性能を持つことを明らかにした。現状で入手可能なデバイスで改良することにより更なる高速化を図ることが可能でありスーパーコンピュータに匹敵する性能が可能となる。さらに、本プロジェクト内、あるいは外部で開発中のデバイスを採用することで、スーパーコンピュータを超える性能が可能であることを示した。

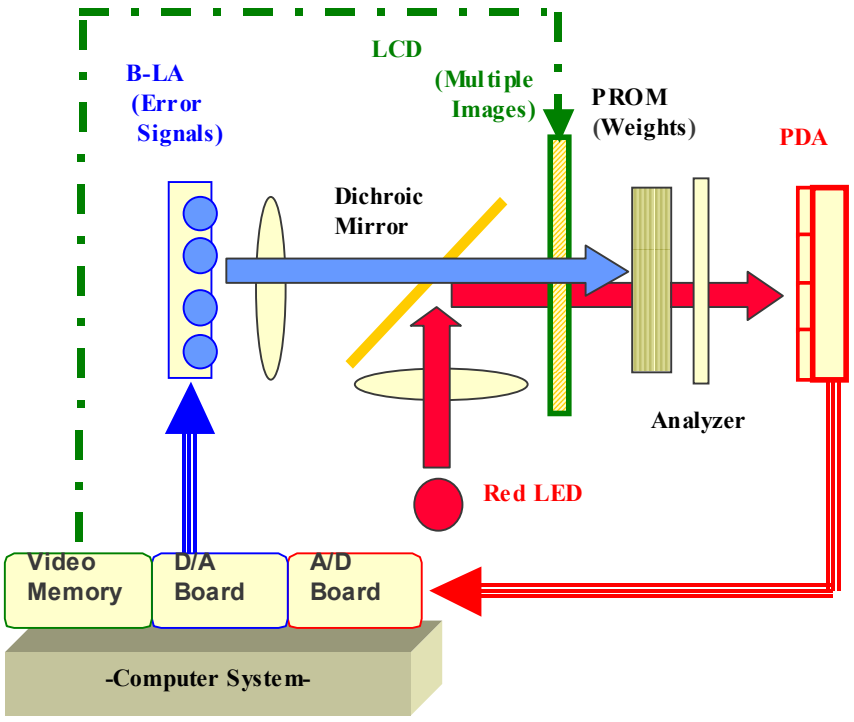


図２　光学習型ニューラルネットワークシステム

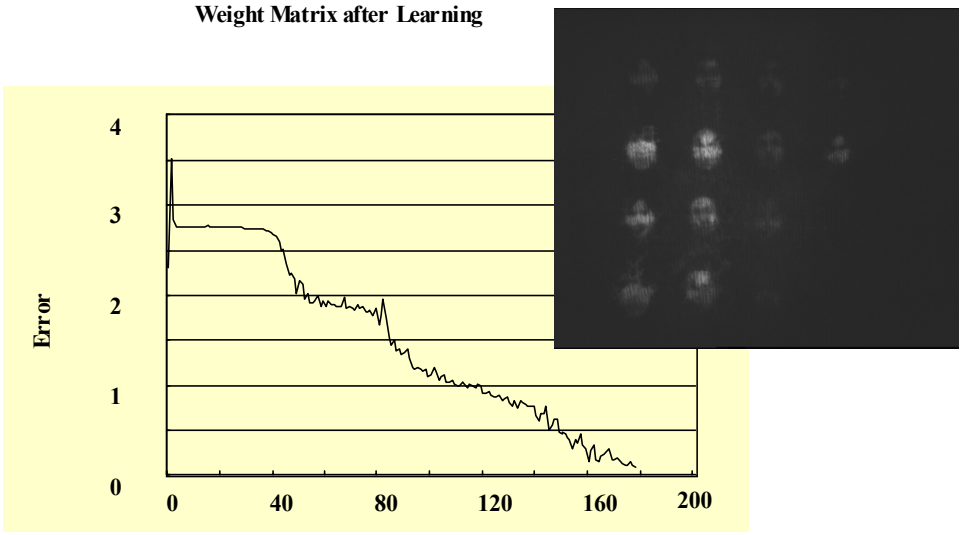


図3 顔認識の学習カーブと学習終了後の結合荷重

(6) 高速画像処理光ニューラルネットワークシステムの構築

デジタルスマートピクセルを用いた高速画像処理光ニューラルネットワークシステムを構築中である。

◆成果の意義

ビーム偏向半導体レーザは我々のオリジナル発明である。このビーム偏向半導体レーザを用いた光電子ファジー推論システムはまったく新しい提案、システムであり、その実証システムによりその有効性が明らかになった。

並列光電子素子を用いた学習型光ニューラルネットワークは他では研究されておらず、大規模ネットワークを必要とする顔認識学習を実現した光電子融合システムも他にはない。また、これまでの並列光情報処理システムはその動作を確認する程度のものがほとんどで、電子計算機との比較に耐えうるものは少ない。本システムはいまだ電子計算機の性能を超えたものではないが、電子計算機の性能を超える道筋をはっきりと示したことにより、今後の並列光情報処理研究の指針を示したといえる。

デジタルスマートピクセルの開発が遅れたため、本来の本研究の中心テーマであるデジタルスマートピクセルを用いた光ニューラルネットワーク構築が遅れている。しかし、このシステムにより、カメラと電子計算機という従来型の画像処理システムの限界を超えたスピードの画像処理システムを実証し、その有効性を明らかにできる。

◆他機関との比較など

光電子ファジー推論システム、並列光電子素子を用いた学習型光ニューラルネットワークは他ではほとんど研究されていない。非線形光学結晶等をもちいた光ニューラルネットワークの研究はカリフォルニア工科大学などでも研究されたが、柔軟性や電子計算機とのマッチングに問題がある。日本女子大等で研究されている相互変換相関器をもちいた光情報処理システムによる画像認識は学習機能がなく、膨大なデータとの一対一の参照が必要という問題があり、本システムが優れている。

近年各所でビジョンチップの研究がされているが、それらのシステムでは撮像後の情報は全て電子回路の中で処理される。柔軟で学習機能を持ち複雑なプログラムを必要としないニューラルネットワークは膨大なインターコネクションを必要とし、光インターコネクションを用いる本システムが有利である。

◆主要論文・成果発表・受賞等

(1)査読論文, (2)その他論文

【1】Yoshio Hayasaki, Masahiko Mori, Toyohiko Yatagai, Nobuo Nishida", Simplification of Space-Variant Parallel Logic Operations by Using the Temporal Method", Optical Review, Vol.4, No.2, 305-308 (1997).

【2】Masahiko Mori, Toyohiko Yatagai", Optical learning neural network with two dimensional structure for pattern recognition", Optical Memory and Neural Networks, Vol.6, No.3, 205-211 (1997).

【3】Xin Lin, Junji Ohtsubo, Masahiko Mori", Capacity of Optical Associative Memory Using a Terminal Attractor Model", Optics Communications, Vol.146, 49-54 (1998).

【4】Masahiko Mori, Toyohiko Yatagai", Optical learning neural network with two dimensional structure", Proceedings of SPIE, Vol.3402, 226-232 (1998).

【5】Masahiko Mori, Yutaka Yagai, Masanobu Watanabe, Toyohiko Yatagai", Optical learning neural network with Pockels readout optical modulator", Applied Optics, Vol.37, No.14, 2852-2857 (1998).

【6】Xin Lin, Junji Ohtsubo, Masahiko Mori", Terminal Attractor Optical Associative Memory with Adaptive Control Parameter", Optics Communications, Vol.151, 353-365 (1998).

【7】Yoshio Hayasaki, Masahiko Mori, Nobuo Nishida", Optical image transformations for fully-parallel optical analog-to-digital conversion ", Applied Optics, Vol.37, No.17, 3607-3611 (1998).

【8】Toyohiko Yatagai, Yutaka Yagai, Masahiko Mori, Masanobu Watanabe", Real-time face recognition system with optical leaning neural network", Proceedings of SPIE, Vol. 3466, p. 240-245 (1998).

【9】Toyohiko Yatagai, Yutaka Yagai, Masahiko Mori, Masanobu Watanabe, "Real-Time Face Recognition System with Optical Learning Neural Network", , ARBEITBERICHTE Des Instituts Fur Mathmatische Maschinen unt Datenverarbeitung, Vol.31 No.6, 129-134、(1998).

【10】Toyohiko Yatagai, Yutaka Yagai, Masahiko Mori, Masanobu Watanabe, "Realtime Face Recognitionby Optical Learning Neural Network Using Pockels Readout Optical Modulator", Proceedings of 13th Conference on waves and lasers, (1998).

【11】Xin Lin, Masahiko Mori, Junji Ohtsubo, and Masanobu Watanabe", Terminal attractor optical associative memory for pattern recognition", Proc. SPIE, Vol. 3864, 0277-786X/99, 145-147 (1999).

【12】Hiroyuki Arima, Masahiko Mori, Toyohiko Yatagai", Optoelectronic Parallel Interface for Neural Computing", Optical Memory and Neural Networks, Vol.8, No.3, (1999).

【13】Xin Lin, Masahiko Mori, and Masanobu Watanabe", Improvement of generalization capability for pattern recognition neural network using Gaussian synapse neuron model", Appl.Opt.39(5), 770-775 (2000).
【14】Xin Lin, Masahiko Mori, Junji Ohtsubo, and Masanobu Watanabe", Terminal attractor optical associative memory for pattern recognition", Jpn. J. Appl. Phys. 39(2B), 908-911 (2000).
【15】Xin Lin and Masahiko Mori, "Pattern recognition neural-net by spatial mapping of biology visual field", Proc. SPIE, Vol.4089, 688-694 (2000).
【16】Masahiko Mori, Xin Lin, Yutaka Yagai, and Toyohiko Yatagai, "Optical learning neural network with fuzzy controlling", Proc. SPIE, Vol.4089, 676-681 (2000).
【17】Xin Lin and Masahiko Mori, "Multilayer neural network with a fuzzy controlled learning method for optical pattern training", Opt. Engineering, Vol.39(10), 2734-2739 (2000).

A-5-4 進化システムアーキテクチャの評価（RWIセンター進化システムラボ）

◆目標

ハードウェアならびにシステムが環境の変化に応じて自律的に最適な構成をとって性能を最適化できる進化型アーキテクチャならびに進化システムの概念を確立するとともにその有用性を産業応用やベンチャー起業を通じて実証する。

◆アプローチ

デジタルシステム、アナログシステム、およびメカニカルなシステムにおいて、それらの構成を自律的に変更しうる手段として主に人工知能の進化型計算や統計処理の技術を用い、常に状況に応じて最適な性能を発揮させる。

◆研究計画概要

・適応のための、進化型の基本アルゴリズムを開発する。
・移動体通信を主眼としたアナログ進化回路、義手などの適応制御に用いるデジタル進化チップ、データ圧縮用進化ハードの実現、自律移動ロボット、自律再構成可能型ニューラルネットLSI
・フェムト秒レーザ、干渉計、光ファイバ接続など、メカニカルな部分を含む進化型システムの実現

◆研究計画内容

デジタル進化、アナログ進化、メカニカル進化の3部門で、それぞれ、実応用性の高い以下のテーマを集中的に実施する。

(1)義手の適応制御用 LSI の開発と、その実用化（LSI は適応デバイス NEC 研究室と共同、義手は原田電子への技術移転）
(2)携帯電話用アナログ進化 LSI（中間周波数フィルタ）の適応時間の最適化と実用化（旭化成マイクロシステムとの共同開発）
(3)印刷用データ圧縮技術とそのハードウェア化、ならびに本技術のISO標準化活動（9月イギリス、12月アメリカでの ISO 会議）、シンボリックコントロール社の技術指導とオンデマンド出版への基盤技術の開発
(4)進化型フェムト秒レーザ、進化型干渉計の開発と、3月のアメリカ展示会への出展

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

現在、ハイテクの工業製品ほど、歩留まりの悪さや、設置調整の手間の煩雑さに悩まされている。進化システムは、広範な応用分野において、上記のような利点を発揮しうる。

◆成果概要

（デジタル進化）
・筋電制御型義手とその制御用進化型LSIの開発
リハビリ期間を従来の一ヶ月から数分に短縮
・自律移動型ロボット Evolver
環境変動に対する適応時間を2桁高速化。耐故障性など高度の自律性
・印刷データ用データ圧縮アルゴリズムとそのLSI化
2箇所でISO化中（印刷分野と圧縮技術分野）

（アナログ進化）
・携帯電話用アナログ進化LSI
　2001年秋より大手携帯電話会社で搭載内定。月産数十万チップ。
・高周波通信用アナログ進化LSI
　来年度、次世代携帯での実用化をめざして開発中
（メカニカル進化）
・進化型フェムト秒レーザ
　ミクロン単位の微調整を自動化。人手で5日かかるところを30分で実現。
・進化型光インターコネクション
　5自由度以上の接続を数分で達成（人手だと数十分）。熟練技能の代替。
（その他）
・盲人ナビゲーションシステム
　適応的な画像取得に基づく盲人の遠隔支援システム。NPOと連携。

◆研究成果の内容

（デジタル進化）
・筋電制御型義手とその制御用進化型LSIの開発
　腕は切断されたあとも筋肉が残存しており、その筋肉の動きによって、皮膚表面から電位が発生する。これを筋電と呼ぶ。この筋電パターンの違いを読み取り、握るとか開くとかいった動作を行うのが筋電制御型義手で1960年代から存在する。しかし筋電は個人差が大きいため、リハビリに通常一月程度かかるため、それが普及のさまたげとなっていた。
　しかし進化型チップにより、患者個人個人の筋電パターンに応じたパターン認識回路が作れるようになり、この結果、わずか数分で義手の使いこなしが可能になった。

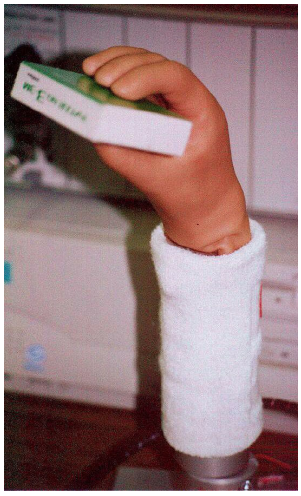
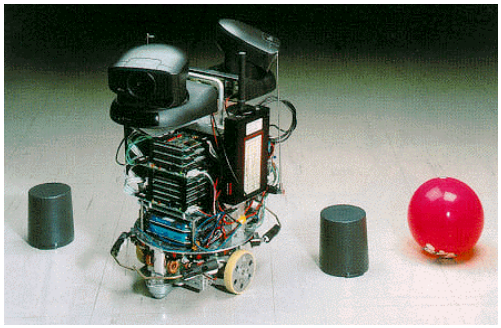


図1　筋電制御義手

・自律移動型ロボット Evolver
　カメラで目的物体を認識し、それに追従する自律移動ロボットの制御回路を進化型ハードウェアで実現した。この制御回路は、センサー入力に対する適切なロボット行動（前進や後退などの動作指令）を規定するもので、スクラッチ状態から学習を通じて最適な制御回路を獲得する。意図的にセンサーを壊しても残りの正常なセンサーで追従可能なように制御回路が動的に再構成される。



・印刷データ用データ圧縮アルゴリズムとそのLSI化

印刷用のデータはきわめて巨大であり、近未来のインターネットを用いたオンデマンド出版ではますます、そのデータ圧縮の重要性がきわだつことになる。しかし、印刷データは、網点という特殊なデータ構造をもつため、通常のデータ圧縮技法では高い圧縮率をあげることができず、印刷用のデータ圧縮は、他の FAX 用手法で代用されていた。そこで進化ラボでは、圧縮するデータの性質に合わせた予測関数を進化ハードで実現することにより、現行国際標準（JBIG）の2倍の圧縮率を達成し、その成果が認められ、現在 ISO（TC130とSC29の2箇所）で標準化に取り組んでいる。手順としてはまず静止画像符号化のISOであるSC29でのISO化を図った後、このデータ圧縮に基づいた印刷用データのISOとしてTC130でのISO化を行う。すでにSC29では標準化が進み、あと1，2年以内でのISO化がほぼ確実と見られている。

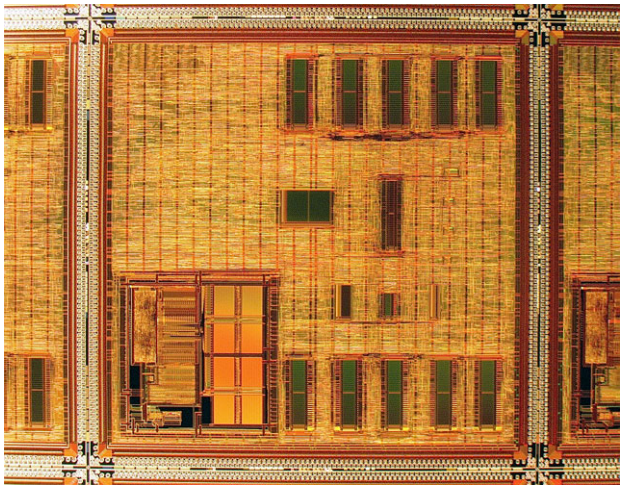


図２　データ圧縮 LSI

（アナログ進化）

・携帯電話用アナログ進化LSI

アナログ LSI は歩留まりが悪いうえに、小型化、低消費電力化に問題を抱えている。アナログ LSI は、今後携帯電話など移動体通信が発展すればするほどその重要性は増すが、上記の問題につちえの根本的な解決策が与えられていなかった。進化システムラボでは、アナログ LSI の歩留まりの悪さの問題を、LSI 自身の中に、進化的調整機構を入れることで、試作30チップにおいて100％の歩留まりを実現した。この技術は単に歩留まり向上だけではなく、アナログ素子の小型化を可能と

し、実現した中間周波数フィルタLSIでは、回路面積を従来より60％縮小し、それに伴って消費電力を38％低減した。具体的な調整の方法は、39箇所あるアンプの利得を同時に進化計算で行うことにある。ただし、本LSIは月産で数十万チップとなることから、その調整時間は1秒以内であることをメーカから強く求められていて、その制約をクリアすることができたのが2001年秋より大手携帯電話会社での搭載内定につながった。

・高周波通信用アナログ進化

上記、携帯電話のLSIの例では、目的スペックにあわせて回路性能を適応させている。これに対し、アナログ回路の性能自体を進化型調整により向上させ、人手による調整以上の性能を高速にかつ自動的に達成することを目的に設計。来年度、次世代携帯での実用化をめざして開発中。

（メカニカル進化）

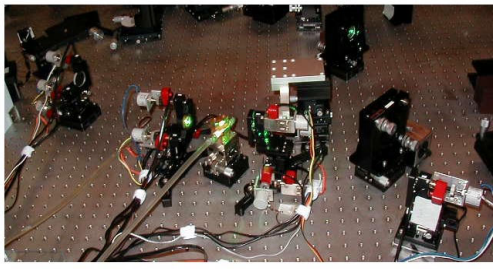
・進化型フェムト秒レーザ

ミクロン単位の微調整を自動化。人手で5日かかるところを30分で実現。 フェムト秒レーザは、鏡やプリズムなど十数か所の光学部品間の、ミクロン単位での微調整をなしえないと、最適な出力がえられない。その微調整は経験を必要とし、熟練者でも数日かかることがありうる。進化型フェムト秒レーザは、このような微調整をすべて進化計算で行い、短時間での調整を可能とするものである。この自動調整の実現により、小型化も可能になり、現在はノートパソコンサイズにまで縮小可能になった。

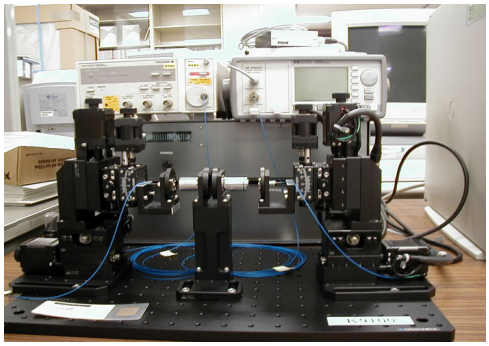
また進化型干渉計も同様な光学部品の自動調整を実現するもので、これによりポータブルなオンサイト計測を可能とする。

・進化型光インターコネクション

5自由度以上の接続を数分で達成（人手だと数十分）。光通信部品の大量生産化のための必須技術。従来の市販システムでは自動調芯を3自由度までを実現していたが、最適値が得られない可能性大。しかし遺伝的アルゴリズムと局所学習の組み合わせにより、5自由度以上でも高速に調芯。



進化型フェムト秒レーザ



進化型光インターコネクション

（その他）

・盲人ナビゲーションシステム

適応的な画像取得に基づく盲人の遠隔支援システム。夕方や薄暮では、物体の色が正しく伝達なかったり、背景が明るすぎるときに目的物体が真っ黒になったりと、環境に応じて画像入力センサーの機能は適応的でなくてはならない。後段の画像処理で処理しようとしても元々の入力情報が不十分であれば限界がある。そこで、CMOSセンサーの画像蓄積時間を適応的に制御する。 盲人に装着させる眼鏡にCMOSセンサとマイクを組込み、そこで取得した画像と音声を携帯電話を通じてインターネットに送り、ネット上のガイドヘルパーに受信させる。そのガイドヘルパーに盲人を遠隔支援させる。最終年度末までに進化型CMOSセンサを作成予定。全体システムを10月のシンポジウムでデモ予定。なお遠隔支援のためには、盲人の歩行支援技術を高めることが重要で、そのためのNPOを福祉関係者と申請中（10月初旬に埼玉県で認可予定）。

◆成果の意義

・障害者が義手に合わせるのではなく、義手の方が障害者に合わせるシステムを進化型LSIで実現。
・印刷データ用データ圧縮技術のISO化
・高度の自律適応性を進化ロボットで実現
・高歩留まりだけでなく、回路面積削減、低消費電力を実現するアナログ進化型LSI
・自動調整が可能で、かつ小型で移動可能な進化型フェムト秒レーザ。人手による調整のわずらわしさを解消。フェムト秒レーザの産業化への道筋をつける試み。

◆他機関との比較など

進化ラボは、進化型ハードウェアの概念を創出しただけでなく、その産業応用化の程度においても他の機関に先んじている。他の研究機関ではいまだ実用化に達していない。また進化システム国際会議の創設など、学会での活動も盛んに行っている。

◆主要論文・成果発表・受賞等

海外

【1】Evolving Hardware with Genetic Learning (Not yet available by Internet), T. Higuchi, T. Niwa, T. Tanaka, H. Iba, H. de Garis, and T. Furuya Proc. of Simulation of Adaptive Behaviour, pp. 417-424, MIT Press, 1992.

【2】Darwin on a Chip (Not yet available by Internet) T. Higuchi The Economist, p.79, 1993.

【3】A Parallel Architecture for Genetic Based Evolvable Hardware (Not yet available by Internet) T. Higuchi, H. Iba, T. Niwa, T. Tanaka, and T. Furuya Proc. of 2nd Int. Workshop on Parallel Processing for Artifical Intelligence (PPAI93), pp.46-52, 1993.

【4】Applying Evolvable Hardware to Autonomous Agents (Not yet available by Internet) T. Higuchi, H. Iba, and B. Manderick Parallel Problem Solving from Nature (PPSN III), pp. 524-533, Springer-Verlag, 1994.

【5】Evolvable Hardware T. Higuchi, H. Iba, and B. Manderick Massively Parallel Artifical Intelligence, pp.398-421, MIT Press, 1994.
【6】Evolvable Hardware with Genetic Learning (Not yet available by Internet) T. Higuchi and Y. Hirao Proc. of 2nd Workshop on Synthetic World,1995.
【7】 Evolvable Hardware and its Applications to Pattern Recongnition and Fault-tolerant Systems T. Higuchi, M. Iwata, I. Kajitani, H. Iba, Y. Hirao, B. Manderick, and T. Furuya Towards Evolvable Hardware: the evolutionary engineering approach, Lecture Notes in Computer Science 1062, pp. 118-135, Springer-Verlag, 1997.
【8】Hardware Evolution at Gate and Function Levels T. Higuchi, M. Iwata, I. Kajitani, M. Murakawa, S. Yoshizawa, and T. Furuya Proc. of Biologically Inspired Autonomous Systems: Computation, Cognition and Action, 1996.
【9】Evolvable Hardware with Genetic Learning T. Higuchi, M. Iwata, I. Kajitani, H. Yamada, B. Manderick, Y. Hirao, M. Murakawa, S. Yoshizawa, and T. Furuya Proc. of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS96), Vol. 4, pp. 29-32, 1996.
【10】Variable Length Chromosome GA for Evolvable Hardware (Not yet available by Internet) I. Kajitani, T. Hoshino, M. Iwata, and T. Higuchi Proc. of 3rd Int. Conf. on Evolutionary Computation (ICEC96), Nagoya,1996.
【11】A Pattern Recognition System using Evolvable Hardware M. Iwata, I. Kajitani, H. Yamada, H. Iba, and T. Higuchi Parallel Problem Solving from Nature - PPSN IV, Lecture Notes in Computer Science 1141, pp.761-770, Springer-Verlag, 1996.
【12】Hardware Evolution at Function Level M. Murakawa, S. Yoshizawa, I. Kajitani, T. Furuya, M. Iwata, and T. Higuchi Parallel Problem Solving from Nature - PPSN IV, Lecture Notes in Computer Science 1141, pp.62-71, Springer-Verlag, 1996.
【13】Promises and Challenges of Evolvable Hardware X. Yao and T. Higuchi Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259 (Proc. of ICES1996), pp.55-78, Springer-Verlag, 1997.
【14】 Data Compression Based on Evolvable Hardware M. Salami, M. Murakawa and T. Higuchi Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259 (Proc. of ICES1996), pp.169-179, Springer-Verlag, 1997.
【15】ATM Cell Scheduling by Function Level Evolvable Hardware W. Liu, M. Murakawa and T. Higuchi Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259 (Proc. of ICES1996), pp.180-192, Springer-Verlag, 1997.
【16】An Evolutionary Robot Navigation System using a Gate-Level Evolvable Hardware D. Keymeulen, M. Durantez, K. Konaka, Y. Kuniyoshi, and T. Higuchi Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259 (Proc. of ICES1996), pp.195-209,

Springer-Verlag, 1997.
【17】Evolvable Hardware: an Outlook (Not yet available by Internet) B. Manderick and T. Higuchi Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259 (Proc. of ICES1996), pp.305-310, Springer-Verlag, 1997.
【18】Machine Learning Approach to Gate-Level Evolvable Hardware, H. Iba, M. Iwata, and T. Higuchi Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259 (Proc. of ICES1996), pp.327-343, Springer-Verlag, 1997.
【19】Adaptive Equalization of Digital Communication Channels Using Evolvable Hardware M. Murakawa, S. Yoshizawa, and T. Higuchi Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259 (Proc. of ICES1996), pp.470-481, Springer-Verlag, 1997.
【20】Evolution of Binary Decision Diagrams for Digital Circuit Design using Genetic Programming H. Sakanashi, T. Higuchi, H. Iba, and Y. Kakazu Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259 (Proc. of ICES1996), pp.470-481, Springer-Verlag, 1997.
【21】Evolvable Hardware at Function Level T. Higuchi, M. Murakawa, M. Iwata, I. Kajitani, W. Liu, and M. Salami Proc. of 1997 IEEE Int. Conf. on Evolutionary Computation (ICEC97), pp. 187-192, 1997.
【22】Evolvable Hardware for On-line Adaptive Traffic Control in ATM Networks (Not yet available by Internet) W. Liu, M. Murakawa, and T. Higuchi Genetic Programming 1997, Proceedings of the Second Annual Conference, pp. 504-509, Morgan Kaufmann Publishers, 1997.
【23】On-line Adaptation of Neural Networks with Evolvable Hardware M. Murakawa, S. Yoshizawa, I. Kajitani, and T. Higuchi Proc. of 7th Int. Conf. on Genetic Algorithms (ICGA97), pp. 792-799, Morgan Kaufmann Publishers, 1997.
【24】Lossless Image Compression by Evolvable Hardware M. Salami, M. Iwata and T. Higuchi Proc. of 4th European Conf. on Artificial Life (ECAL97), pp.407-416, MIT Press,1997.
【25】Robot Learning Using Gate-level Evolvable Hardware D. Keymeulen, K. Konaka, M. Iwata, Y. Kuniyoshi, and T. Higuchi Proc. of Sixth European Workshop on Learning Robots (EWLR-6), Springer Verlag, 1997.
【26】Gate-Level Evolvable Hardware: Empirical Study and Application H.Iba, M.Iwata, and T.Higuchi Evolutionary Algorithms in Engineering Applications, pp.259-276, Springer-Verlag, 1997.
【27】Adaptive Threshold Cell Discarding Based on Evolvable Hardware W. Liu, M. Iwata, M. Murakawa and T. Higuchi Proc. of IJCAI-97 Workshop on Evolvable Systems, pp.61-67, IJCAI, 1997.
【28】Lossy Image Compre ssion by Evolvable Hardware M. Salami, M. Murakawa and T. Higuchi Proc. of IJCAI-97 Workshop on Evolvable Systems, pp.53-59, IJCAI, 1997.

【29】Evolvable hardware for Generalized Neural Networks M. Murakawa, S. Yoshizawa, I. Kajitani, and T. Higuchi Proc. of the Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-97), pp.1146-1151, Morgan Kaufmann Publishers, 1997.

【30】Evolvable Reactive Execution System using Reconfigurable Hardware: a Robot Navigation System Case Study D. Keymeulen, K. Konaka, M. Iwata, Y. Kuniyoshi, and T. Higuchi Working notes of AAAI Fall Symposium on Model-directed Autonomous Systems, pp 23--31, AAAI Press, 1997.

【31】Off-line Model-free and On-line Model-based Evolution for Tracking Navigation using Evolvable Hardware D. Keymeulen, M. Iwata, K. Konaka, R. Suzuki, Y. Kuniyoshi, and T. Higuchi Proceedings of the First European Workshop on Evolutionary Robotics, pp. 208-223, Springer Verlag, 1998.

【32】On-Line Compression of High Precision Printer Images by Evolvable Hardware M. Salami, H. Sakanashi, M. Tanaka, M. Iwata, T. Kurita, and T. Higuchi Proc. DCC'98 Data Compression Conference, pp. 219 - 228, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA, 1998.

【33】Evolvable Hardware: A Robot Navigation System Testbed (Not available by Internet) D. Keymeulen, M. Iwata, K. Konaka, Y. Kuniyoshi, and T. Higuchi New Generation Computing, Vol.16, No.2, pp.97 - 122, 1998.

【34】Evolvable Hardware Chip for High Precision Printer Image Compression H. Sakanashi, M. Salami, M. Iwata, S. Nakaya, T. Yamauchi, T. Inuo, N. Kajihara, and T. Higuchi The 15th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-98), pp. 486 - 491, AAAI press / MIT press, Cambridge, Massachusetts, 1998.

【35】Comparison between an Off-line Model-free and an On-line Model-based Evolution applied to a Robotics Navigation System using Evolvable Hardware　D. Keymeulen, M. Iwata, Y. Kuniyoshi, and T. Higuchi Artificial Life VI: Proceedings of the Sixth International Conference on Artificial Life, pp 109-209. MIT Press, 1998.

【36】Data Compression for Digital Color Electrophotographic Printer with Evolvable Hardware M. Tanaka, H. Sakanashi, M. Salami, M. Iwata, T. Kurita, and T. Higuchi Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1478 (Proc. of ICES1998), pp. 106-114, Springer Verlag, 1998.

【37】A gate-level EHW chip: Implementing GA operations and reconfigurable hardware on a single LSI I. Kajitani, T. Hoshino, D. Nishikawa, H. Yokoi, S. Nakaya, T. Yamauchi, T. Inuo, N. Kajihara, M. Iwata, D. Keymeulen, T. Higuchi Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1478 (Proc. Of　ICES1998), pp. 1-12, Springer Verlag, 1998.

【38】Analogue EHW Chip for Intermediate Frequency Filters M. Murakawa, S. Yoshizawa, T. Adachi, S. Suzuki, K. Takasuka, M. Iwata, T. Higuchi Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in

Computer Science 1478 (Proc. Of ICES1998), pp. 134-143, Springer Verlag, 1998.

【39】Online Evolution for a Self-Adapting Robotic Navigation System Using Evolvable Hardware (Not yet available by Internet) D. Keymeulen, M. Iwata, Y. Kuniyoshi, T. Higuchi Artificial Life Journal, Vol.4, No. 4, pp. 359-393, 1999.

【40】Adaptive Blind Equalization Using Bottleneck Networks Implemented by Evolvable Hardware Masahiro Murakawa, Kazuyuki Hiraoka, Tetsuya Higuchi, Tatsumi Furuya and Shuji Yoshizawa Proc. of the Fifth International Conference on Neural Information Processing, pp. 79-83, 1998.

【51】On-line Model-based Learning using Evolvable Hardware for a Robotics Tracking Systems D. Keymeulen, M. Iwata, Y. Kuniyoshi, T. Higuchi Koza et al. eds., Genetic Programming 1998: Proc. of the Third Annual Conference, Morgan Kaufmann, pp. 816-823, 1998.

【41】Promises and Challenges of Evolvable Hardware Xin yao, T. Higuchi IEEE Tran. on Systems, Man, and Cybernetics- Part C: Applications and Reviews, Vol. 29, No. 1, pp. 87-97, 1999.

【42】Evolvable Hardware Chips for Industrial Applications (Not yet available by Internet) T. Higuchi, N. Kajihara Communications of the ACM, Vol. 42, No. 4, pp. 60-69, 1999.

【43】Evolvable Hardware Chips for Neural Network Applications I. Kajitani, M. Murakawa, N. Kajihara, M. Iwata, H. Sakanashi and T. Higuchi Proc. of the Fourth International Conference on Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms (ICANNGA99), pp. 127-134, 1999.

【44】An Evolvable Hardware Chip for Prosthetic Hand Controller I. Kajitani, M. Murakawa, D. Nishikawa, H. Yokoi, N. Kajihara, M. Iwata, D. Keymeulen, H. Sakanashi and T. Higuchi Proc. of the Seventh International Conference on Microelectronics for Neural, Fuzzy, and Bio-Inspired Systems (MicroNeuro99), pp. 179-186, 1999.

【45】An Evolvable Hardware Chip and Its Application as a Multi-Function Prosthetic Hand Controller I. Kajitani, T. Hoshino, N. Kajihara, M. Iwata and T. Higuchi Proc. of the 16th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-99), pp. 182-187, 1999.

【46】Evolvable Hardware Chips and their Applications H. Sakanashi, M. Tanaka, M. Iwata, D. Keymeulen, M. Murakawa, I. Kajitani and T. Higuchi Proc. of the 1999 IEEE Systems, Man, and Cybernetics Conference (SMC'99), pp. V559-V564, 1999.

【47】The GRD Chip: Genetic Reconfiguration of DSPs for Neural Network Processing (Not yet available by Internet) M. Murakawa, S. Yoshizawa, I. Kajitani, Xin Yao, N. Kajihara, M. Iwata and T. Higuchi IEEE Transactions on Computers, vol. 48, no. 6, pp.628-639, 1999.

【48】Real-world Applications of Analog and Digital Evolvable Hardware (Not yet available by Internet) T. Higuchi, M. Iwata, D. Keymeulen, H. Sakanashi, M. Murakawa, I. Kajitani, E. Takahashi, K. Toda, M. Salami,

N. Kajihara and N. Otsu IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 3, no. 3, pp. 220-235, 1999.
【49】An Evolvable-hardware-based Clock Timing Architecture towards GigaHz Digital Systems　E. Takahashi, M. Murakawa, K. Toda and T. Higuchi Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, 1999.
【50】Initial Evaluation of an Evolvable Microwave Circuit Y. Kasai, H. Sakanashi, M. Murakawa, S. Kiryu, N. Marston, and T. Higuchi Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1801 (Proc. of ICES2000), Springer Verlag, pp. 103-112, 2000.
【52】Pattern Recognition System Using Evolvable Hardware (Not yet available by Internet) M. Iwata, I. Kajitani, M. Murakawa, Y. Hirao, H. Iba, and T. Higuchi Systems and Computers in Japan, vol. 31, no. 4, pp. 1-11, 2000.
【53】An Evolutionary Approach to GHz Digital Systems N. Marston, E. Takahashi, M. Murakawa, Y. Kasai, T. Adachi, K. Takasuka, and T. Higuchi Proc. of The Second NASA/DoD Workshop on Evolvable Hardware , pp. 125-131, 2000.
【54】Adaptive Wavelet Transform for Lossless Compression using Genetic Algorithm Yasuo Takehisa, Hidenori Sakanashi, Tetsuya Higuchi Proc. of The Genetic And Evolutionary Computation Conference 2000 (GECCO-2000), pp. 259-266, 2000.
【55】Ensemble Learning via Negative Correlation Yong Liu, Xin Yao Neural Networks, vol. 12, pp. 1399-1404, 1999.
【56】Simultaneous Training of Negatively Correlated Neural Networks in an Ensemble Yong Liu, Xin Yao IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B: Cybernetics, vol. 29, no. 6, pp. 716-725, 1999.
【57】Development of Evolvable Hardware at Electrotechnical Laboratory, Tetsuya Higuchi, Masaya Iwata, Eiichi Takahashi, Yuji Kasai, Hidenori Sakanashi, Masahiro Murakawa, Isamu Kajitani IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation (CDROM: SEAL0) , 2000.
【58】An integrated on-line learning system for evolving programmable logic array controllers Y. Liu, M. Iwata, T. Higuchi, and D. Keymeulen Parallel Problem Solving from Nature -- PPSN VI: Proc. of the Sixth International Conference on Parallel Problem Solving from Nature , Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1917, Springer-Verlag,Berlin, 2000, pp.589-598.
【59】Evolutionary Ensembles with Negative Correlation Learning Y. Liu, X. Yao, and T. Higuchi　IEEE Transactions on Evolutionary Computation , vol. 4, no. 4, pp.380-387, 2000.

国内
【1】"遺伝的学習によるハードウェア進化の基礎実験", 樋口哲也, 伊庭斉志, 丹羽竜哉, 田中敏雄, 古谷立美, 北野編,「遺伝的アルゴリズム」, pp.263-285, 産業図書, 1993.
【2】"進化するハードウェア", 樋口哲也, 丹羽竜哉, 伊庭斉志, 北野編,「グランド

チャレンジ」, pp.38-52, 共立出版, 1993.
【3】"関数レベルにおけるハードウェア進化", 樋口哲也, 村川正宏 北野編,「遺伝的アルゴリズム3」, pp.271-298, 産業図書, 1997.
【4】"進化するハードウェアによるパターン認識システム", 岩田昌也, 梶谷勇, 村川正宏, 平尾友二, 伊庭斉志, 樋口哲也, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J81-D-II, No.10, pp.2411-2420, 1998.
【5】"実世界適応デバイスー実時間適応を目指してー", 樋口哲也, 岩田昌也, Didier Keymulen, 坂無英徳, 梶谷勇, 村川正宏, 中谷正吾, 山内宗, 犬尾武, 梶原信樹, 電子情報通信学会技術研究報告 CPSY97-112, pp.1-8, 1998.
【6】"RBF ネットワークを用いた時変環境における Q-learning -- 遺伝的アルゴリズムによる有用度関数の構成法 --", 村川正宏, 米井友浩, 樋口哲也, 吉澤修治, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J81-D-II, No. 12, pp. 2828-2839, 1998.
【7】"GA によるニューラルネットワークの構造学習用回路の実現", 梶谷勇, 星野力, 村川正宏, 樋口哲也, 日本神経回路学会誌, Vol. 5, No. 4, pp. 145-153, 1998.
【8】"RBF を用いた進化型ハードウェアによる適応等化器", 村川正宏, 中根牧子, 樋口哲也, 古谷立美, 吉澤修治, 電子情報通信学会技術研究報告 NC97-95, pp.51-58, 1998.
【9】"進化型ハードウェアチップの研究開発と応用事例 ー電子印刷機用データ圧縮チップを中心にー", 坂無英徳, 田中雅晴, 岩田昌也, ディディエ・ケミュレン, 村川正宏, 梶谷勇, 西川大亮, 横井浩史, 樋口哲也, 第8回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集, pp.319-324, 1998.
【10】"障害者に適応可能な筋電操作型義手の開発", 梶谷勇, 星野力, 西川大亮, 横井浩史, 梶原信樹, 樋口哲也, 電子情報通信学会技術研究報告 PRMU98-85, pp.9-16, 1998.
【11】"進化型ハードウェアの設計と応用に関する研究", 梶谷勇, 筑波大学大学院工学研究科博士論文, 1999.
【12】進化型ハードウェアに関する研究 ー適応性をもつLSIの実現ー", 村川正宏, 東京大学大学院工学系研究科博士論文, 1999.
【13】"進化型ハードウェアと産業応用", 坂無英徳, 岩田昌也, ディディエ・ケミュレン, 村川正宏, 梶谷勇, 田中雅晴, 梶原信樹, 樋口哲也,, 電子情報通信学会技術研究報告 AI99-3, pp.17-24, 1999.
【14】"近傍モデル遺伝的アルゴリズムによる多目的最適化", 村川正宏, 吉澤修治, 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 4, pp. 1792-1800, 1999.
【15】"遺伝的アルゴリズムによる回路合成方式の高速化手法", 梶谷勇, 星野力, 平尾友二, 岩田昌也, 樋口哲也, 電気学会論文誌 C 編, Vol. 119-C, No. 7, pp.839-847 , 1999.
【16】"進化型ハードウェア", 樋口哲也, 情報処理学会誌 Vol. 40, No. 8, pp. 795-800, 1999.
【17】"遺伝的アルゴリズムを用いたディジタル印刷画像の 2 値画像符号化", 田中雅晴, 坂無英徳, 溝口正信, 樋口哲也, 電子情報通信学会論文誌 Vol. J83-D-II, No.5, pp.1274-1283, 2000.
【18】"アナログ進化型ハードウェアの研究開発", 村川正宏, 河西勇二, 高橋栄一,

坂無英徳, ニールマーストン, 桐生昭吾, 樋口哲也, 電子情報通信学会技術研究報告 AI2000-10, pp.1-8, 2000.
【19】"進化型ハードウェアと産業応用", 樋口哲也, 応用物理 第69号 第9号, pp.1095-1098, 2000.
【20】"進化型アナログ LSI ---遺伝的アルゴリズムによる製造誤差への適応---", 村川 正宏, 河西 勇二, 安達 敏男, 高須賀 馨, 吉澤 修治, 樋口 哲也, 電気学会論文誌 C 編, Vol. 121, No. 1, pp.134-141, 2001.
【21】"進化型光学システムの研究開発", 野里 博和, 古谷 立美, 村川 正宏, 板谷 太郎, 河西 勇二, 樋口 哲也 電子情報通信学会技術研究報告 AI01-8, pp.63-70, 2001.
【22】"遺伝的アルゴリズムを用いた光ファイバの自動調芯システム", 村川 正宏, 野田 芳弘, 樋口 哲也, 電子情報通信学会論文誌 Vol. J84-D-I, no. 6, pp.878-887, 2001.

受賞

第 2 回進化システム国際会議 最優秀論文賞(村川正宏、他), 1998.
第 2 回進化システム国際会議 最優秀学生論文賞(梶谷勇), 1998.
平成 12 年度 つくば奨励賞 若手研究者部門(村川正宏)
電気学会 ミレニアム最優秀論文賞, 2001(村川正宏、他)

B. 並列分散コンピューティング技術分野

B-1. シームレス並列分散コンピューティング技術領域

B-1-1 並列ネットワークサーバ(並列分散システム富士通研究室)

◆目標

「超高速インターネット」技術の確立とその応用
(1)並列分散システムをオフィス、構内、地球規模へ拡大する
(2)現在のインターネットでは性能問題から実現できないサービスを実現

◆アプローチ

(1) インターネットプロトコルを高速に処理するハードウェア技術の開発
プロトコル処理プロセッサの実現
並列ネットワークサーバの実現
(2) 超高速インターネットによる新しいサービスの実現
実時間ストリーム通信(ディジタルビデオ画像、音声)の実現
大規模な広域並列分散計算のためのデータ転送技術の実現
ネットワークの通信速度で暗号化／復号化ができる IPsec 処理技術の実現

◆研究計画概要

プロトコル処理ハードウェアによる高速通信処理技術を開発し、その応用として超高速インターネットを実現する。応用での評価をプロトコル処理ハードウェアの開発にフィードバックする。

◆研究計画内容

プロトコル処理ハードウェアによる高速通信処理の目標
プロトコル処理プロセッサ
97 年度:方式検討
97 年度:エミュレータによる実現で 200Mbps の処理性能
98 年度: FPGA による実現で 1Gbps の処理性能
99 年度: ASIC モデルの設計評価でシミュレーションで 4Gbps の処理性能
2000 年度: ASIC モデル製造評価で 4Gbps の処理性能
Comet VIA による高速通信アーキテクチャの実現
並列ネットワークサーバの試作
超高速インターネットによる新しいサービスの実現目標
97 年度:LAN での実時間ストリーム通信を実現
98 年度:広域網での実時間ストリーム通信を実現
99 年度:実時間ストリームや並列分散計算の大規模データの高速中継を実現
2000 年度:ネットワークの通信速度でパケットを暗号化できる IPsec 処理技術を実現

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

性能向上、価格低下の著しい PC およびインターネット機器を用いることにより、利用者は広域並列分散システムを従来よりも安価に、しかも技術の進化する速度に合わせた性能で入手可能になる。
プロトコル処理のボトルネックがなくなりインターネットの速度向上の恩恵を利用者

は直接受けることができるようになる。

プロトコル処理性能の観点から使用が難しかった、パケットの暗号化や実時間ストリーム通信など、安全性が高く高機能な通信を容易に使用することができるようになる。

◆成果概要

(1)インターネットプロトコルを高速に処理するハードウェア技術の開発

プロトコル処理プロセッサは予備試作の結果を元にLSI版を開発し、4Gbpsの処理性能を検証した。また、高速通信アーキテクチャComet VIAの開発を行った。終了時までに実用化に向けた評価を行う。

(2)超高速インターネットによる新しいサービスの実現

広域網での高品質ストリーミング、数百Mbpsの高速暗号化処理IPsecを開発し、広域分散クラスタシステム構築技術を確立した。

◆研究成果の内容

本研究テーマでは、標準的なネットワーク技術(インターネット技術)を用いて並列分散システムを構築するための通信アーキテクチャ(超高速インターネット技術)の研究、およびこの通信アーキテクチャの具体的な応用として超高速インターネットサービスの研究を行っている。

(1)超高速インターネット技術

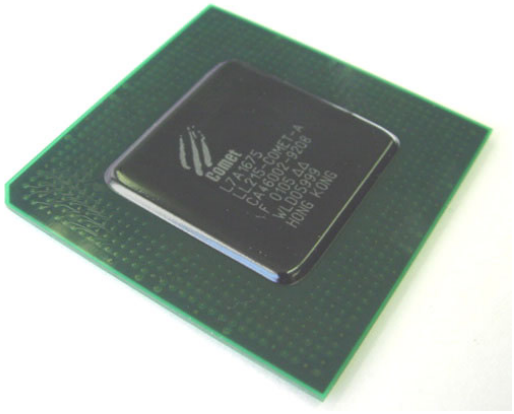
並列分散処理の要求する高性能なコンピュータネットワークを、インターネット技術をベースとして実現するための問題としてプロトコル処理のオーバヘッドがある。このオーバヘッドを削減することを目的としてプロトコル処理を計算機のオペレーティングシステムからネットワークアダプタへオフロードするプロトコル処理オフロード方式を研究し、プロトコル処理プロセッサ、Cometネットワークアダプタ、ドライバソフトの開発を行った。

プロトコル処理プロセッサ

プロトコル処理オフロード方式ではネットワークアダプタで高速なプロトコル処理を実現することが重要である。本テーマでは各種方式を検討の上、処理の柔軟性と高性能を期待できる方式としてプロトコル処理向けの専用プロセッサ(プロトコル処理プロセッサ)を用いる方式(6)を採用し、1997年度からソフトエミュレーション、FPGA(Field Programmable Gate Array)を用いた部分試作、評価、改善を行い、LSIチップを製造した。このチップを評価し4Gbpsのインターネットプロトコル処理性能を確認した。

表:プロトコル処理プロセッサ開発状況

年	概要	処理速度
1997	ソフトエミュレーション	200Mbps
1998	FPGA試作	1Gbps
1999	ASIC設計シミュレーション	4Gbps
2000	LSI試作	4Gbps



図：プロトコル処理プロセッサ「Comet NP」

Comet ネットワークアダプタ、Comet ネットワークサーバ

プロトコル処理プロセッサの実験評価、およびプロトコルオフロード方式の実験評価のため、プロトコル処理プロセッサ試作や各種デバイス制御用プロセッサ搭載したネットワークアダプタとそれを搭載し実応用での評価を行う Comet ネットワークサーバを開発した。年を追って高速のネットワークが製品化し、これに対応するため、ネットワークアダプタやネットワークサーバ（PC、WS）のデータ処理能力を増強したものを開発した。

表：Comet 試作システムの高性能化

	97 年版	98 年版	99 年版	2000 年度版	2001 年版
PCI バス	32bit/33MHz	64bit/33MHz	64bit/33MHz	64bit/33MHz	64bit/66MHz
プロトコル処理プロセッサ	Alpha 21066A（166MHz）Flex 10K-100（33MHz）	Alpha 21066A 2MB 2nd cache（166MHz）Flex 10K-100（33MHz）	Xilinx Vertex XCV 1000E	Xilinx Vertex XCV 1000E	Comet NP
制御プロセッサ	Intel i960RP（66MHz）	Intel i960RN（100MHz）	Intel i960RN（100MHz）	Intel Strongarm 110（233MHz)	Intel StrongArm 110（233MHz）
ネットワークインタフェース	Fast Ethernet、ATM OC-3、IEEE1394、Gigabit Ethernet			（左記）、OC48	

ドライバソフトウェア

Comet VIA（3）は並列計算機用の高速ネットワーク制御インタフェースとして世界的に標準となった VIA（Virtual Interface Architecture）をベースにインターネットで利用するための機構を拡張したものであり、並列計算機向け通信プロトコルよりオーバーヘッドが大きなインターネットの通信プロトコルを高速に処理可能である。

（2）超高速インターネットサービス

超高速インターネットサービスの研究は、Comet ネットワークサーバシステムと実験評価ネットワークを用いて応用システムを試作、運用し、我々が開発している並列分散システムの方式の検証、詳細化を行うこと、また、従来のインターネットでは通信処

理性能の側面から実現できない応用を試作、実現し、開発した並列分散システムの有効性を検証することを目的としている。

Comet DV

Comet DV はインターネットを使って高品質のディジタルビデオ(DV)を双方向転送する世界初の技術である(1, 5)。従来のホスト処理では処理能力的に実現不可能であったが、Comet ネットワークアダプタで処理することにより実現可能となった。この技術は展示会のデモのみならず 1999 年の朝日新聞社主催オペラ「LIFE」の公演にも利用され公演関係者から高い評価を受けた。このことから実運用レベルの通信品質、機能を満たした完成度にあることが確認できた。



図 : Comet DV/IP デモ

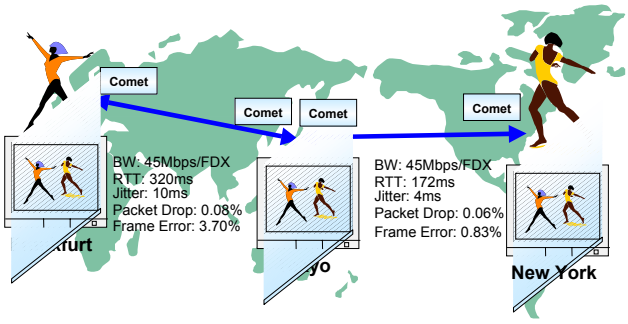


図 : オペラ「LIFE」での使用

実時間ストリームや並列分散計算の大規模データの高速中継

応用システムとして Comet を用いたギガビットルータの検討を行った(2)。Comet ネットワークサーバを Gigabit Ethernet など高速スイッチで結合することによって小規模から大規模までの幅広い領域で使用できるルータを安価に実現する方式の考察を行った。

また、インターネットを使用して広域並列分散システムを構築する際の効率の良いデ-タ転送方式として、信頼できる一対多(マルチキャスト)通信方式を提案し、Comet ネットワークサーバを使用した場合の処理速度、必要なハードウェア量を考察した。

さらに、従来の、インターネットに接続されている計算機のみならず、そこに蓄積されている文章や画像などの情報を指し示すインターネットのアドレスを提案し(4)、Comet ネットワークサーバを使用した場合の実現可能性を考察した。

高速セキュリティ通信

オープンなインターネットを用いて重要な通信を行うためには通信データの保護が重要となる。Comet NP ではインターネットの標準暗号化通信方式 IPsec をサポートする。IPsec に使用する暗号方式 DES の処理評価で従来のソフトウェア処理(Pentium III 500MHz クラス)に比較して 20 倍以上の 300Mbps という高速処理を実現した。

インターネットによる並列分散クラスタシステム

複数の Comet ネットワークサーバをインターネットで接続しクラスタシステムを構築する実験を行った。システムソフトウェアとして並列分散システムソフトウェア研究室が開発した SCore-D を使用。同研究室が開発した高速通信ライブラリ PM を Comet ネ

ットワークサーバに適合させた。このプロトタイプシステムは、相互接続ネットワークとしてキャリアが使用する OC48 を使用して、SC2000 でデモを行った。さらに高速な通信方式を Comet NP でサポートしたものを RWC2001 シンポジウムおよび SC2001 でデモする予定である。

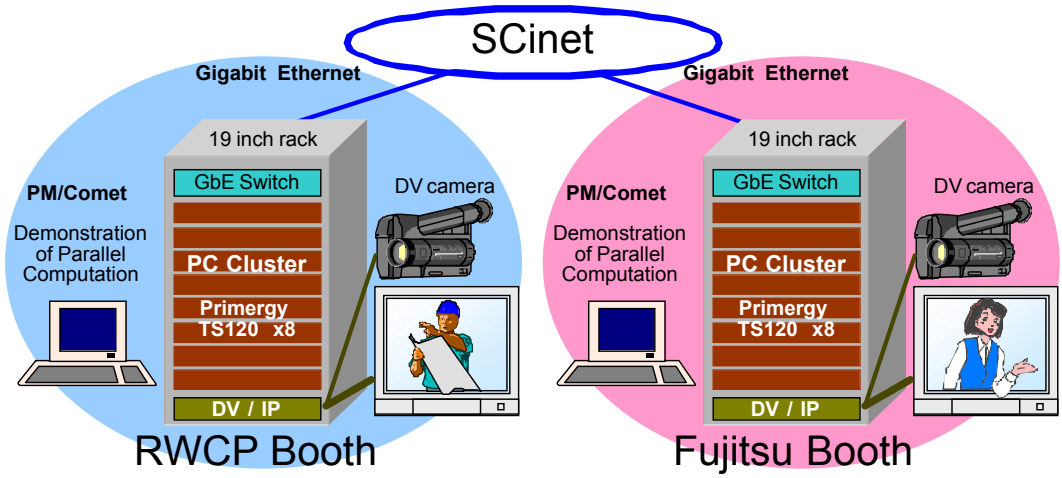


図 : SC2001 での展示システム

◆成果の意義

性能向上、価格低下の著しい PC およびインターネット機器を用いることにより、利用者は広域並列分散システムを従来よりも安価に、しかも技術の進化する速度に合わせた性能で入手可能になる。

プロトコル処理のボトルネックがなくなりインターネットの速度向上の恩恵を利用者は直接受けることができるようになる。

プロトコル処理性能の観点から使用が難しかった、パケットの暗号化や実時間ストリーム通信など、安全性が高く高機能な通信を容易に使用することができるようになる。

◆他機関との比較など

ネットワークプロセッサの用途別分類と Comet NP との比較

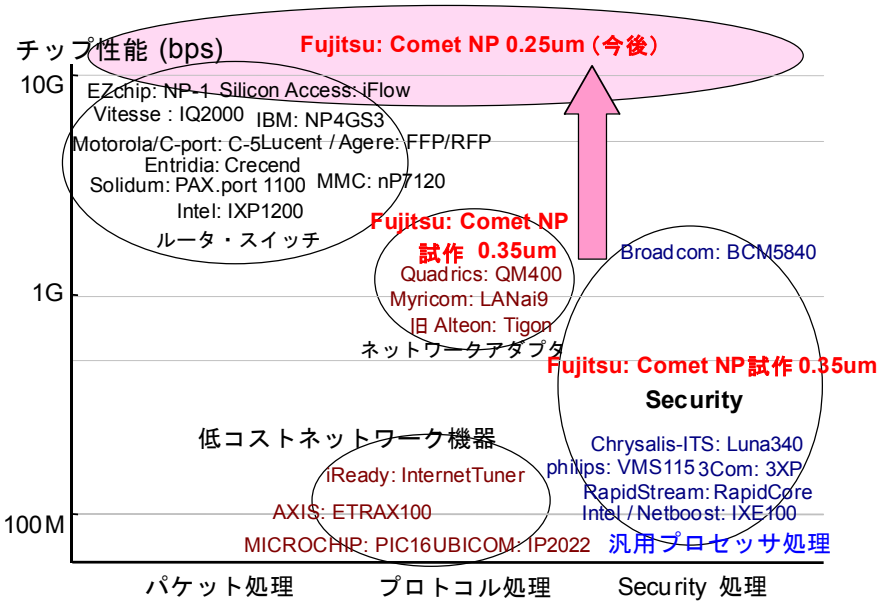
ネットワークプロセッサの主な用途は以下のように分類できる

(1)ルータ・スイッチで SONET/SDH や Ethernet など低レベルのパケット処理を高速に実行。専用ハードウェアを付加したマルチプロセッサチップ。

(2)低コストネットワーク機器に組み込み、低速ながら TCP/IP 処理を行い、Thin server を実現するもの。汎用プロセッサで実現

(3)ネットワークアダプタに組み込み、比較的高速にクラスタ用高速通信プロトコルやインターネットプロトコル処理を行うもの。専用プロセッサや汎用プロセッサで実現

(4)ネットワークのセキュリティ機器に組み込み、通過パケットの暗号化/復号化を行うもの。専用ハードウェアもしくは汎用プロセッサで実現



図：ネットワークプロセッサの用途別分類

当研究室が開発している Comet NP は複雑な TCP/IP 処理を柔軟かつ高速な新方式で実現する。

また、セキュリティ通信も、DES コアを内蔵することにより、オーバーヘッドを低減し専用ハードウェアに匹敵する処理性能を達成可能である。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】古賀　久志, 陣崎　明: “IEEE 1394 バスの計算機ネットワークへの適用”, 並列処理シンポジウム JSPP'98, IPSJ Symposium Series Vol.98, No.7, p. 158, 1998.

【2】陣崎　明, 中村　修, 村井　純 : “ギガビットルータ Comet のアーキテクチャとその評価”, インターネットコンファレンス'98 論文集, 日本ソフトウェア科学会研究会資料シリーズ No. 9, pp. 89-96, 1998.

【3】小林　伸治, 陣崎　明 : “Virtual Interface Architecture の Internet 拡張方式”, 並列処理シンポジウム JSPP'99, IPSJ Symposium Series Vol.99, No.6, pp. 23-30, 1999.

【4】水野　裕識, 陣崎　明 : “ネットワーク層における情報検索機構の検討”,インターネットコンファレンス'99 論文集,日本ソフトウェア科学会研究会資料シリーズ No. 14, pp. 67-75, 1999.

【5】 Hisashi Koga, Akira Jinzaki : “DV Stream Transmission over World Wide Internet by Video Frame Recognition”, Packet Video 2000, 2000.

【6】陣崎　明 : “Stream Processor”, 並列処理シンポジウム JSPP2000, IPSJ Symposium Series Vol. 2000, No.6, pp. 205-212, 2000.

【7】陣崎　明 : “ネットワークプロセッサの動向と展望”, 並列処理シンポジウム JSPP2001 チュートリアル資料,2001.

B-1-2 高性能並列分散計算機システム(並列分散システムNEC研究室)

◆目標

異なるアーキテクチャの複数の計算機システムをネットワークで結合した高性能並列分散計算機システムにおいて、プログラミング上のシームを取り除く単一プログラミングインタフェースの提供と、実行時のシステム環境の変化に柔軟に対応する動的対応機能の提供を目標に、並列分散コンパイラ、並列分散ツール、並列分散アプリケーションの開発および評価を行なう。

◆アプローチ

HPF(High Performance Fortran)を拡張して、異機種並列分散処理をプログラム上に記述できるようにすると共に、並列分散プログラムを生成するコンパイラ、異機種複数ノード間/内でシームレスに利用できる通信ライブラリ、並列分散プログラミングを強力に支援するツールを開発する。

◆研究計画概要

異なるアーキテクチャの複数の計算機システムをネットワークで結合した高性能並列分散計算機システムにおいて、プログラミング上のシームを取り除く単一プログラミングインタフェースの提供と、実行時のシステム環境の変化に柔軟に対応する動的対応機能の提供を目標に、並列分散コンパイラ、並列分散ツール、並列分散アプリケーションの開発および評価を行なう。

◆研究計画内容

(1)並列分散ライブラリの開発

単一並列システムの通信ライブラリとして実質的な標準仕様である MPI(Message Passing Interface)をベースとし、異機種複数ノード、ノード内並列プロセッサから構成される階層性を有するシステムにおいて、ノード内/ノード間でのシームレスな通信を実現する並列分散ライブラリを開発する。

(2)並列分散化コンパイラの開発

単一並列システムの並列処理記述言語として実質的な標準仕様である HPF 言語を拡張し、異機種分散処理を単一インターフェースで扱える言語インターフェースを構築すると共に、拡張仕様で記述されたプログラムを並列分散プログラムに変換する、並列分散コンパイラを開発する。

(3)並列分散プログラミング支援ツールの開発

並列分散プログラミングを、性能改善、並列分散化、実行時性能情報の把握のそれぞれのフェーズでグラフィックユーザインターフェースを用いて支援する並列分散ツールを開発する。

(4)並列分散アプリケーションの開発

上記コンパイラ、ツール、ライブラリを利用して分子軌道法の実用アプリケーションプログラムを開発し、評価用ハードウェア(SX-Cenju 結合システム)上で並列分散化し、評価を行う。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

本研究成果により、異機種並列分散システム(さまざまな異なる並列プロセッサをノードシステムとした高性能並列分散計算機システム)を、単一計算機のイメージで簡単に、かつ効率よく利用するための、シームレスなプログラミング環境を利用者に提

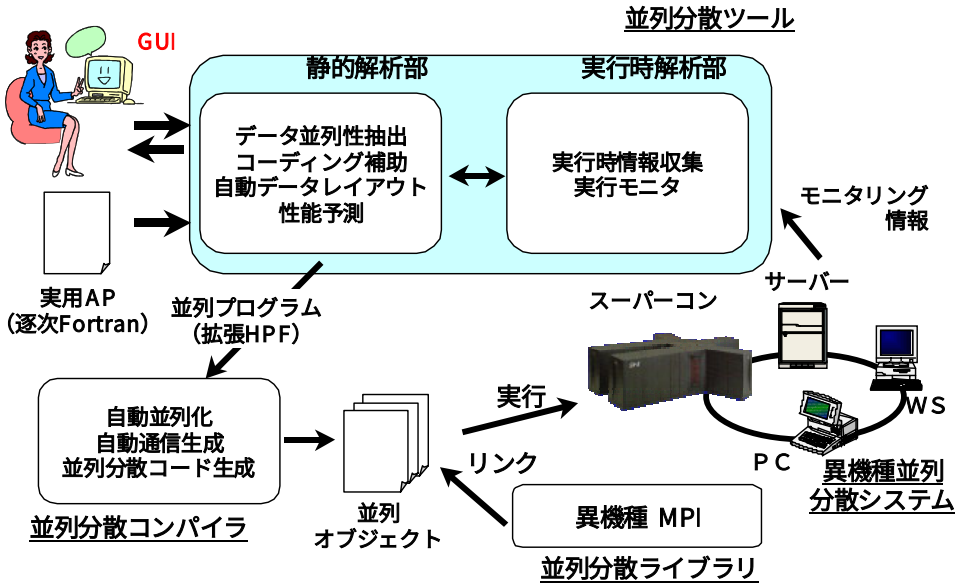
供することができる。これにより、従来は困難であった巨大な計算パワーを必要とする大規模数値シミュレーションプログラムの開発・実行が容易になる。

◆成果概要

異機種並列分散システム(さまざまな異なる並列プロセッサをノードシステムとした高性能並列分散計算機システム)を、簡単に、かつ効率よく利用するための、シームレスなプログラミングシステムを構築した。このプログラミングシステムは、大きく分けて異機種計算機をシームレスに扱うことのできる「並列分散ライブラリ」、異機種並列分散システム用のプログラムを自動生成する「並列分散コンパイラ」、並列分散プログラミングを支援する「並列分散化支援ツール」から成る。

◆研究成果の内容

プログラミングシステムの構成イメージ図を以下に示す。

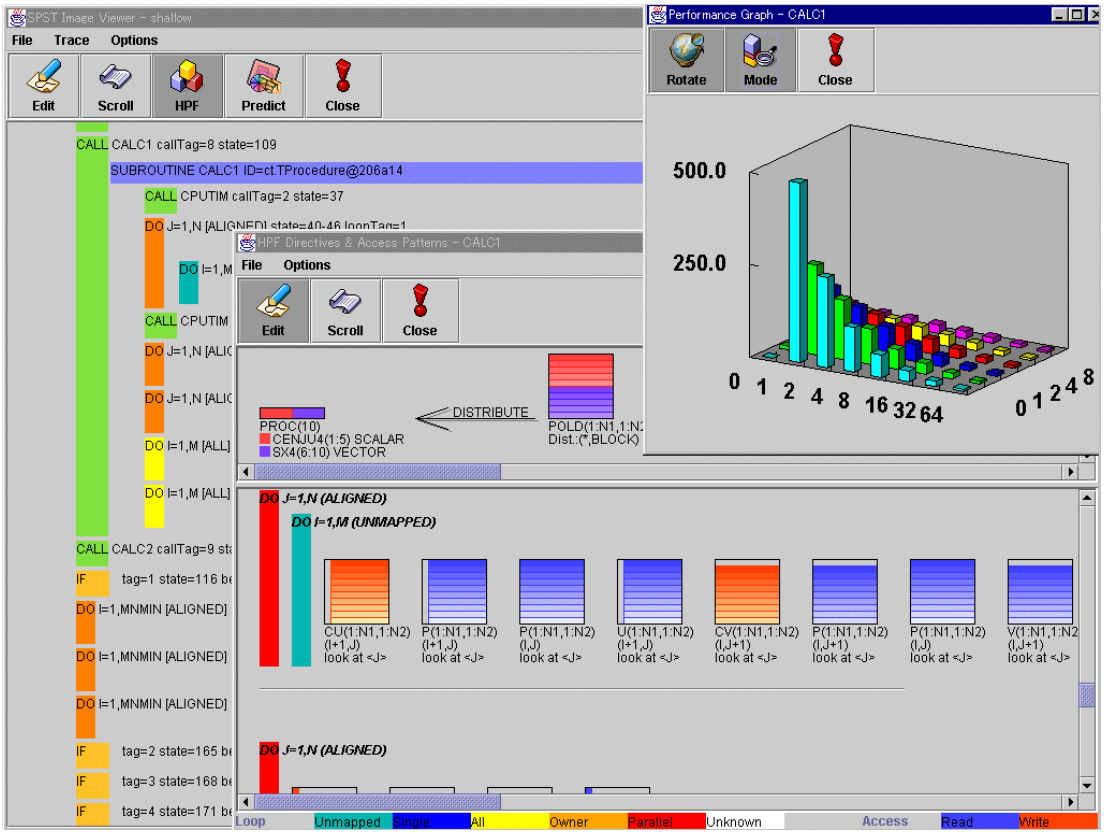


並列分散ツールは、逐次 Fortran で記述されたアプリケーション・プログラムを入力として受け取り、GUI により利用者と対話しながらプログラムの並列分散化を行う。本ツールの出力する並列 Fortran コード(拡張 HPF コード)を並列分散コンパイラによりコンパイルし、並列分散ライブラリとリンクすることにより、異機種並列分散システム上で動作する目的コードを得ることができる。各構成要素の特長は以下の通りである。

(1) 並列分散ツール

1) プログラム情報のビジュアル表示と、並列化指示のビジュアル操作

プログラムの論理構造、配列の分散、ループの並列化状態、通信の発生個所などのプログラム情報をビジュアルに表示する。また、利用者はドラッグ&ドロップにより配列の分散が指示できるなど、直感的な操作によりプログラムの並列化を進めることが可能である。

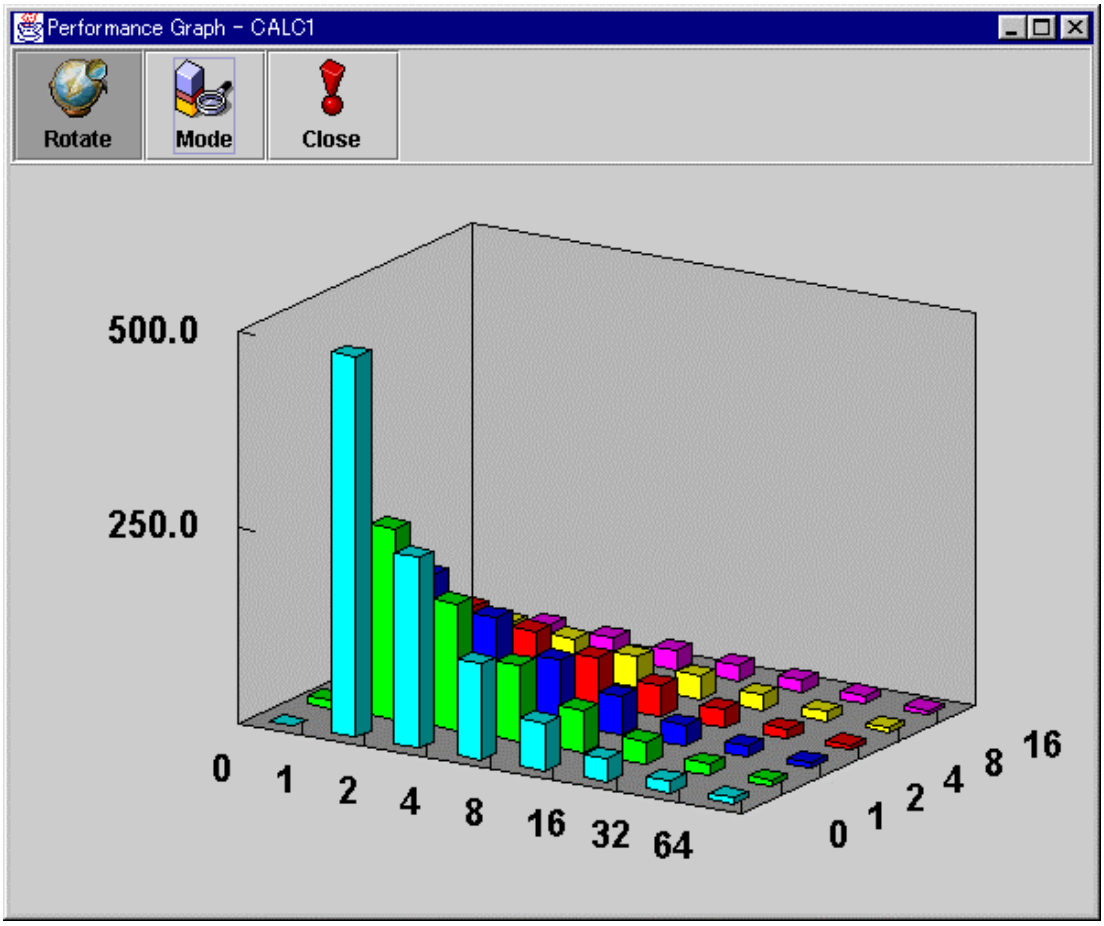


2) 自動データレイアウト機能

全てのデータのプロセッサへの割り当てを、自動的に決定する機能である。本機能では、まず、プログラム中の最も実行回数の多い部分のデータに対して最適なレイアウト方法を決定し、これをプログラムの制御フローにそってプログラムの他の部分に伝播させながら、データの転送量がなるべく少なくなるように全体のデータレイアウト方法を決定する、という考え方に基づいた処理を行う。本手法は、短時間で複数の手続きにわたるデータのレイアウトを決定することができるという特長を持つ。また、予め収集しておいた対象プログラムの実行時情報を利用することによって、より適切なデータレイアウトを決定することができる。さらに、利用者がプログラムに関する知識を利用して、主要なデータの分散を予め適切に指示しておけば、指示された分散に合わせる形で他のデータのレイアウトをより最適に決定することができる。(詳細は文献[3],[7]参照)

3) 静的性能予測表示機能

並列化チューニング作業の途中で、いつでもおおよその性能見積もりが可能であり、また、対象プログラムの実行時情報を利用することによって、より正確な性能を見積もることができる。



4) 実行モニタリング機能

プログラムの実行の進捗状況や、変数の値など、プログラムの実行時の状況をモニタリングすることができる。

5) 実行時情報の採取・利用機能

プログラムの最適化に利用できる情報のうち、プログラムの文面の解析だけでは得ることのできない(実行時にしかわからない)情報を収集するためのコードを自動的に生成する機能を持つ。

(2) 並列分散コンパイラ

HPF (High Performance Fortran) 言語をベースに、異機種並列分散処理をプログラム上に記述することができるよう拡張した、独自言語のコンパイラであり、並列分散ツールの出力は、この拡張 HPF 言語により記述されたプログラムとなる。

並列分散コンパイラを単体で利用する場合、システムの異機種性を積極的に活用したい利用者は、拡張された文法を利用して、異機種並列分散システムの任意のノードにデータや処理を割り当てることができる。一方、異機種性を意識せずに異機種並列分散システムを単一システムとして扱いたい利用者は、通常の HPF 言語によりプログラムを記述すれば、コンパイラが自動的に適当なノードにデータや処理を割り当てる。

具体的には、次の処理を入力プログラムに対して行い、並列分散プログラムを生成する。

・プログラムに記述された論理プロセッサと、異機種並列分散システムの物理プロセッサとのマッピング

・プログラムに明示的に指示されなかったデータや処理のプロセッサへの割り付け
・ループの並列実行可能性の判定
並列実行に必要な通信やデータ再配置コードの挿入また、並列分散ツールと連携して、動的情報を採取するためのコードの挿入を行う。

（3）並列分散ライブラリ
異機種並列分散システム上で、ノード間/内のシームレスなメッセージ通信を実現する、異機種 MPI (Message Passing Interface)ライブラリである。プログラムの並列分散実行や通信を制御するための並列分散コンパイラのランタイムルーチンは、このシームレス分散ライブラリを通信プリミティブとして利用する。

想定される一般的な利用法は以下のようになる。ユーザは逐次 Fortran 言語で書かれた既存のアプリケーションプログラムを「並列分散ツール」（以下、ツール）に掛ける。ツールはプログラム自動並列分散化機能を備えているため、ひと通りの並列分散化作業はユーザの介入無しに行なうことができるが、グラフィカルユーザインタフェース（GUI）を介してユーザが性能チューニングに必要な指示を細かく与えることもできる。この場合、ツールのコーディング支援機能、自動並列分散化機能、性能予測機能などがユーザのチューニング作業を補助する。このようにして並列分散化されたプログラムは「並列分散コンパイラ」（以下、コンパイラ）によりコンパイルされ、「並列分散ライブラリ」(以下、ライブラリ)とリンクされて異機種並列分散システム上で実行される。プログラム実行時の挙動は必要に応じてモニタリングされ、ツールにより表示される。並列言語により直接並列プログラムを記述したい上級ユーザは、最も一般的な並列言語である HPF によりプログラムを記述すれば、コンパイラを直接利用することにより、異機種並列分散システムをほとんど意識しないシームレスなプログラミングができる。また、メッセージパッシングによりプリミティブな通信を記述したいパワーユーザは、MPI によりプログラムを記述すれば、ライブラリを直接利用することでシームレスなプログラミングを行なうことができる。

◆成果の意義
本研究成果により、異機種並列分散システム（さまざまな異なる並列プロセッサをノードシステムとした高性能並列分散計算機システム）を、単一計算機のイメージで簡単に、かつ効率よく利用するための、シームレスなプログラミング環境を利用者に提供することができる。これにより、従来は困難であった巨大な計算パワーを必要とする大規模数値シミュレーションプログラムの開発・実行が容易になる。

◆他機関との比較など
関連する研究としては以下のものが挙げられる。
(1) OPUS
OPUS は Vienna 大学、ICASE、NASA Langley Research Center の共同で行なわれている研究であり、データ並列言語にタスク並列性を付加することにより、複数の計算スキームから構成される複合シミュレーションの並列化を効率良く記述するインタフェースの研究開発プロジェクトである。複合シミュレーションの記述インタフェースの研究という点では、本研究のアプローチと同一であるが、OPUS では異機種並列分散処理を直接の対象としていない。

(2) NetSolve、Ninf

両者とも、いわゆるメタコンピューティングと呼ばれる研究プロジェクトであり、それぞれ、テネシー大学、オークリッジ国立研究所、ならびに電総研、御茶ノ水大学、東京工業大学で行なわれている。(広域)ネットワークで結合された異機種並列分散システムの実現としている点では、本研究と類似性があるが、研究の主対象は、ライブラリ層での効率の良い並列分散システム制御にあり、本研究のように言語処理技術に踏み込んだ研究ではない。

(3) AppLeS

AppLeSも、メタコンピューティングにおける動的スケジューリング支援ソフトウェアの研究開発プロジェクトである。時々刻々と変化するネットワークや要素コンピュータの負荷の状況をモニタリングしながら、効率の良いアプリケーションのスケジューリングを支援する。ただし、本研究と異なり、並列化解析技術を異機種並列分散処理に適用するものではない。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】草野, 妹尾, 左近, 片山, 小藤, 中田:「異機種並列分散処理による高性能計算機システムの構想」, SWoPP'97, 信学技報 CPSY97-63, pp.91-96,1997.

【2】片山, 中田, 妹尾, 左近, 西川, 末広:「高性能並列分散システムの設計」, 1998 RWC シンポジウム, RWC Technical Report (TR-98001), pp.41-46,1998.

【3】松浦, 村井, 末広, 妹尾:「データ並列プログラムに対する高速な自動データ分割手法」, 並列処理シンポジウム JSPP'99, 情報処理学会シンポジウムシリーズ Vol.99, No. 6, pp.87-94, 1999.

【4】末広, 松浦, 菊地, 村井, 妹尾:「異機種並列分散システム向けプログラミング環境」, SWoPP'99, 情処研報 Vol.99, No.66, pp.77-82, 1999.

【5】荒木、松浦、村井、末広、小西、妹尾:「異機種並列分散システムにおける HPF プログラムの実行と評価」, 情処研報 Vol.99, No.103, pp.43-48, 1999.

【6】村井、荒木、松浦、末広、妹尾:「実行時再コンパイルによる並列プログラムのメモリ割り付け最適化」, 情処研報 Vol.99, No.103, pp.61-66, 1999.

【7】松浦、村井、末広、妹尾:「データ並列プログラムに対する高速な自動データ分割手法」, 情報処理学会論文誌、Vol. 41, No.5, pp.1420-1429, 2000.

【8】荒木、村井、松浦、蒲池、妹尾:「実行時再コンパイルを用いた HPF プログラムの最適化」、並列処理シンポジウム JSPP2001、pp.343-350.

B-1-3 H10—13サーバアプリケーションへの並列分散技術の応用研究（並列分散システム住金研究室）

◆目標

RWC PC クラスタ技術の産業活用を目的に、多数ユーザに同時サービスを提供するサーバシステムのコストパフォーマンス、耐故障性／拡張性を高めるサーバシステム構築用並列分散ミドルウエアの開発を Windows NT ベースで行う。本ミドルウエアの有効性を実証するため並列類似文書検索システムを構築し、評価実験を行う。

◆アプローチ

PC クラスタの産業活用においては、実運用に耐える信頼性の向上と並列アプリケーションのシステム設計の容易性が重要である。

サーバアプリケーションを分散化しスループットの向上を図る代表的な技術として CORBA に代表される分散オブジェクト管理技術がある。同技術は、機能的に異なるサーバアプリケーション間の通信処理を制御し、比較的大きな処理単位で分散化する。利用効果としてシステム全体の処理能力向上とオブジェクト指向技術によるシステム設計の容易性向上があげれらる。

本研究では、つくば研究室の成果である基本通信ソフトを利用して既存の分散オブジェクト管理技術の分散化単位を小さくし、単一のサーバアプリケーションの並列化に利用できる並列分散化ミドルウエアの開発を実施する。本ミドルウエアを用いることにより、分散オブジェクト管理技術の設計容易性を並列アルゴリズムの設計にも活かすことができる。同時にサーバシステムで必要となる通信機能、セキュリティ管理機能なども PC クラスタ上で統合化できる。

さらに、分散オブジェクト管理技術の持つデータ等の抽象化機能と PC クラスタの冗長構成を利用することによって、障害発生等による物理的構成変化をアプリケーションプログラムから隠蔽し、一貫したデータへのアクセスと処理の継続性を保証する機能をミドルウエアに付加する。本ライブラリの有効性を実証するため、市販の類似文書検索ライブラリを用いて並列類似文書検索システムを構築し、評価実験を行う。

◆研究計画概要

サーバアプリケーションのクラスタ化、耐故障化を支援するミドルウエア SORB を開発する。SORB を市販の類似文書検索ライブラリに適用し、並列化による高速化と冗長なクラスタ構成により耐故障化した類似文書検索システムを構築する。

SORB のインターフェースは Java RMI ライクとして、アプリケーションから透過的に 耐故障性や拡張性などの SORB の独自機能が利用できるように実装する。

◆研究計画内容

NT クラスタと通信環境の構築を行う。PM/Myrinet 通信ライブラリの NT 環境への移植を行い、Java から PM を利用可能にする JavaPM クラスライブラリを開発する。PM の高信頼化のため、通信障害の検知回復機能を開発する。具体的には通信障害や PC 故障時に通信全体の停止を防止し、回復処理を可能にする。

NT クラスタ上でサーバアプリケーションを並列分散化し、可用性、拡張性の向上を図る並列分散ライブラリ（SORB）の開発を行う。SORB のベースとしては、Java のクライアント／サーバ処理で一般的な RMI（Remote Method Invocation）を基本とする。また、SORB の耐故障機能の応用として、単一ファイルシステム上のデータを多重化して分散保持する高可用データ管理システムの開発を行う。

上記ライブラリの実用性を検証するため、情報検索に対する実験システムを構築して評価実験を行う。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

PC クラスタ上で耐故障性／拡張性の必要なサーバアプリケーションに対して、並列分散ライブラリで開発を開発し、分散オブジェクト技術による開発生産性と優れたコストパフォーマンスで並列サーバシステムの構築を可能とした。

◆成果概要

クラスタ化と耐故障化を支援するミドルウエア SORB を開発することにより、既存のサーバアプリケーションを短納期／低コストで高性能化できるようにした。アプリケーションとして類似文書検索ライブラリを利用して、並列化による高速化と冗長なクラスタ構成により耐故障化した類似文書検索システムの構築を行った。

◆研究成果の内容

RWC PC クラスタ技術の産業活用を目的に、多数ユーザに同時サービスを提供するサーバシステムのコストパフォーマンス、耐故障性／拡張性を高めるサーバシステム構築用並列分散ミドルウエア SORB と高信頼データ管理システムの開発を行った。本ミドルウエアの有効性を検証するため、並列類似文書検索システムを構築して評価実験を行った。

(1)並列分散ミドルウエア SORB【1】

SORB は、アプリケーションを並列処理するための集団実行機能と耐故障とするためのスタブ管理、高信頼オブジェクト管理、ネットワーク二重化機能で構成される(図 1)。SORB はアプリケーションから透過的に、並列化による高速化と冗長なクラスタ構成による耐故障化を行う。SORB は既存アプリケーションのクラスタによる高性能化を短納期／低コストで可能とし、アプリケーション開発者にとってプログラミングを容易とするため、Java RMI ライクなインターフェースを持つ。

スタブ管理は、クラスタ内の全スタブを対象にスタブが参照するリモートオブジェクトの位置情報の修正を行う。これにより、アプリケーションから透過的にリモートオブジェクトの置換(スワップ)が可能となる(図 2)。

集団実行は、複数のリモートオブジェクトのメソッド呼出し(リモート呼出し)を同時に実行する。スタブ管理により、集団実行するリモートオブジェクトの追加削除が行える(図 3)。これにより、集団実行はクラスタ構成変化にも対応可能であり、また、集団実行するリモートオブジェクト全体を置換することで、アプリケーションのバージョンアップもオンライン状態で可能となる。集団実行は単一実行と同じインターフェースでリモート呼出しが行え、クラスタ化のプログラミングが容易である。

高信頼オブジェクト管理は、リモート呼出し毎にリモートオブジェクトの複製を作成する。障害が発生した場合には、この複製からリモートオブジェクトを回復した後、スタブ管理によりクラスタ内のスタブの修正することで障害復旧を行う(図 4)。アプリケーションで準備する構成管理を SORB に登録することで、障害発生時にこの構成管理が実行される。これにより、アプリケーション個別の障害対応を行える。

ネットワーク二重化は、Myrinet と複数のイーサネットに対応しており、ネットワークの障害発生を検出してデバイスを切替えることで耐故障性を持たせている。
Myrinet はつくば研の研究成果である基本高速通信ソフト(PM)を用いており、これに

より、高スループットで低レイテンシなリモート呼出しが行える。【2】

(2)高信頼データ管理システム【3】

分散オブジェクト管理による耐故障機能の応用として、レプリカ(複製)を使うリモート呼出しシステムの研究を行った。これはリモート呼出しに関して全ての処理を二重化する。リモート呼出しを二重化する場合、通信の遅れなどによりレプリカ間で処理の前後関係に不整合が起こり得る。そこで、レプリカ間で決定性のある実行を行うための対策を検討した。

パーシステント・オブジェクトを実現するオブジェクト・ストアの開発を行った。オブジェクト・ストアはディスクへの疑似的な耐故障書き込みを行う。オブジェクトはすべてポインタ情報のみを持つ「プロキシ・オブジェクト」を介して間接的に参照され、必要時にディスクから読み込まれてメモリ上に配置される。

分散オブジェクト管理による耐故障機能の応用として、高信頼データ管理システムを開発した。耐故障データの対象として、ファイル管理を取り上げた。ファイル管理は、従来のファイルシステムを直接的に分散化したものである。そこでは、ファイル管理は一種のソフトウエア RAID として機能しており、ディスク内容が RAID0 のコピーとして複数の PC 上に保持されている。また、ディスクエリアの管理情報、バッファ内容等の動的な情報に関しても、高信頼データ管理に基づく複製が作成され耐故障性を持っている。また、このファイル管理は単一のファイルシステムとしてクラスタの動的構成変化に対応できるようになっている。

(3)類似文書検索システム【4】

並列分散ライブラリの有効性実証の一環として、既存の類似文書検索ライブラリを利用し、類似文書検索システムを構築した。SORB を利用することで、柔軟な検索であるが故に処理が複雑な類似文書検索を並列化により高速化し、クラスタ構成を冗長にすることで耐故障化した。

類似文書検索システムは 1998 年～1999 年分の公開特許情報を検索対象とし、11 台の PC で構成される(図 5)。検索システムは、WWW サーバと複数の類似文書検索サーバから構成され、それぞれ耐故障化のため、WWW サーバについては二重化し、検索サーバについては予備サーバを持つ冗長な構成にした。1998 年～1999 年の 2 年分のデータを 8 台の検索サーバで検索する設定となっている。各検索サーバはそれぞれ順に予備の特許データと検索インデックスを保持しており、単一の検索サーバに障害が発生した場合には、順番に処理する特許データ、検索インデックスをずらすことで復旧を行う(図 6)。

類似文書検索マネージャは、WWW サーバの Java アプリケーションである Servlet として実装されており、検索サーバへの検索要求の分配、検索結果の収集、ソート、および、検索結果の表示を行う。検索サーバでは、SORB を利用して文書検索マネージャからの検索要求を処理する。

類似文書検索システムの検索性能は、93 年度から 98 年度特定分野の特許データ 14.7GB、760,489 件の検索対象に対して 7 台の検索サーバで検索を実行した場合に、6 倍から 13 倍に向上した(図 7)。

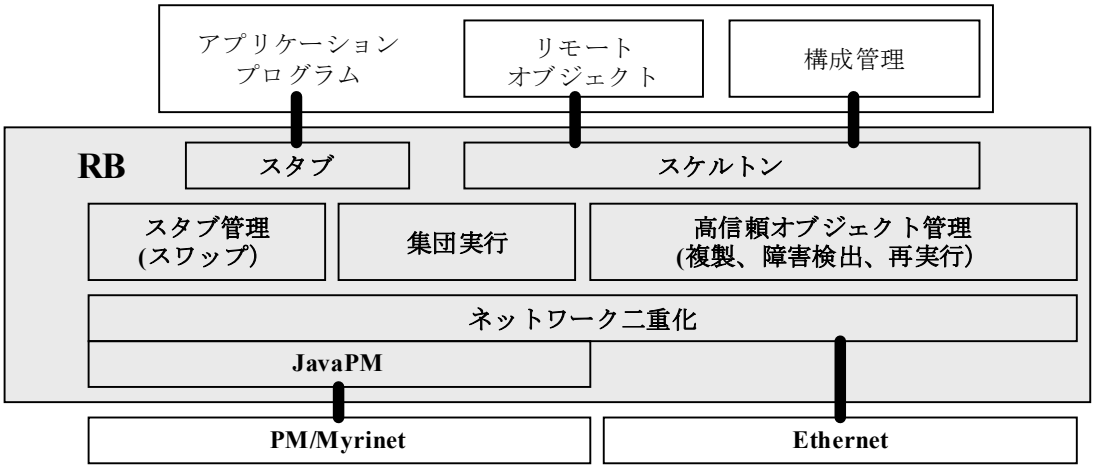


図 1. SORB の構成

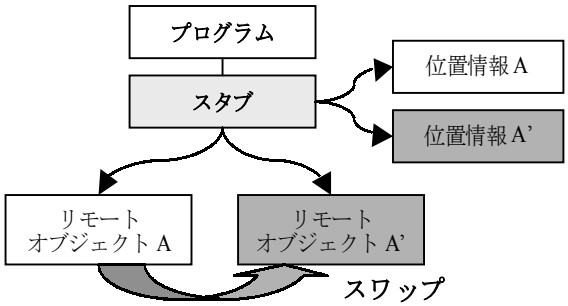


図 2. スタブ管理

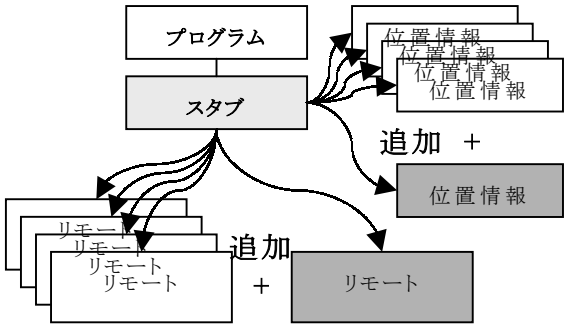


図 3. 集団実行とスタブ管理

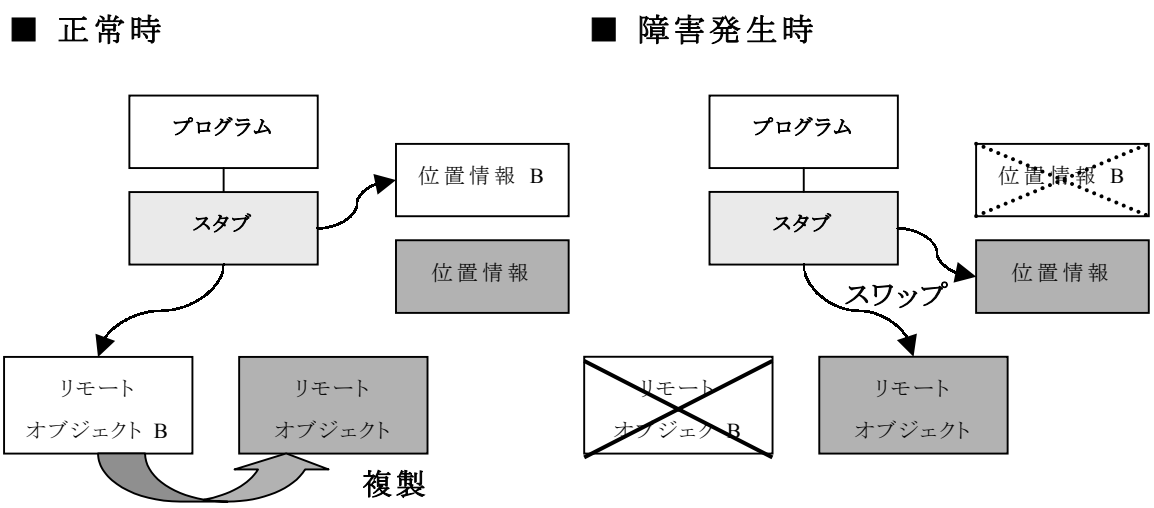


図 4. 高信頼オブジェクト管理

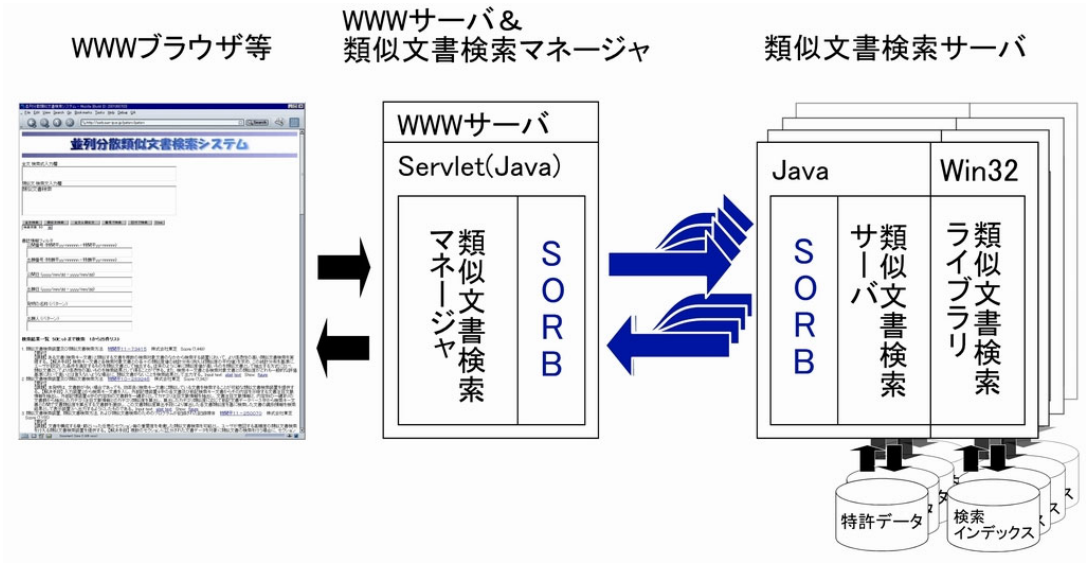


図 5. 類似文書検索システムの構成

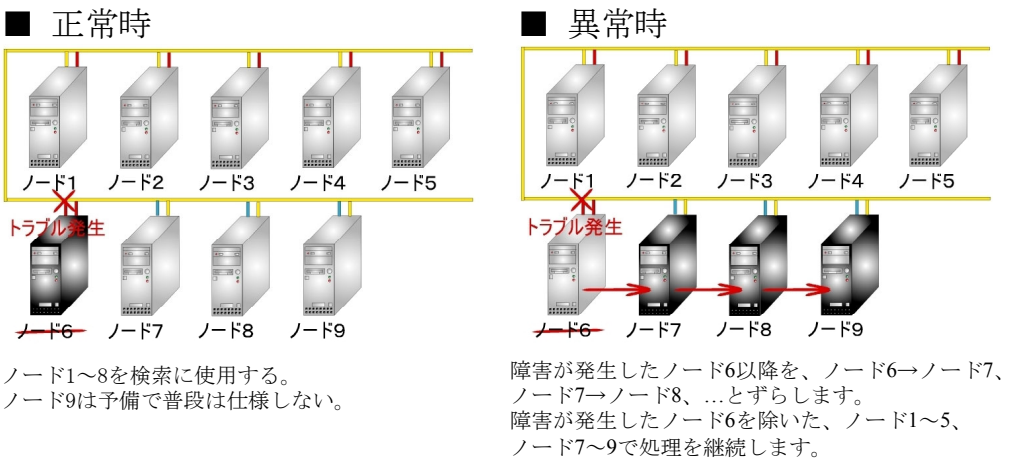


図 6. 障害発生時の回復動作

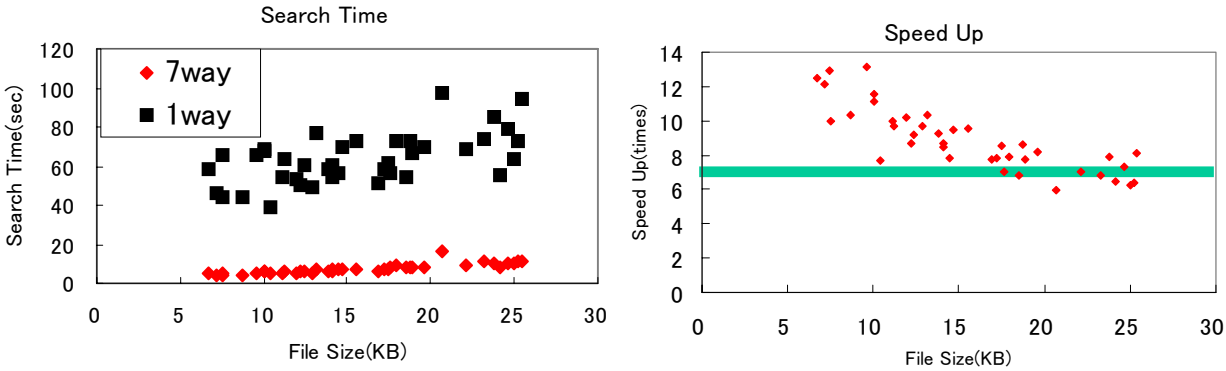


図 7. 類似文検索システムの検索性能

◆成果の意義

PC クラスタの持つ低価格で高性能な特徴を活用したシステム構築は、今後、重要性が一層高くなる。本研究の成果である SORB を利用することで、既存アプリケーションに対して並列化による高速化と冗長なクラスタ構成による耐故障化が短納期／低コストで行える。さらに、SORB の Java RMI ライクなインターフェースによって、プログラミングが容易に行える。

文書検索は様々な電子データを活用する情報システムの根幹となる機能である。本研究では、柔軟な検索であるが故に処理が複雑な類似文書検索を並列化により高速化し、加えてクラスタ構成を冗長にすることで耐故障化した類似文書検索システムを構築した。

◆他機関との比較など

科学技術計算に特化しない汎用的な並列分散環境として、ObjectSpace 社の Voyager や IBM 東京基礎研究所の Aglets、富士通研究所の Kafka などの移動エージェントシステムとネットワーク上のロケーションに依存しない永続的なオブジェクト空間を利用する Sun 社 Jini などがある。

移動エージェントシステムがユーザの記述したオブジェクトを他のノードに送り付けて実行する機能を持つ点では SORB と共通しているが、実行後のオブジェクトがノードに残らないため、同じオブジェクトを繰返し利用するサーバアプリケーションでは通信オーバヘッドが大きくなる。また、移動エージェントを利用するには複雑なプロトコルが必要であり、サーバアプリケーション開発者の負担となる。

Jini では、各ノードがユーザの記述したオブジェクトを永続的なオブジェクト空間からダウンロードして実行する。Jini のプログラミングは SORB(Java RMI) と同様に簡便で容易である。しかし、ダウンロードして実行するタイミングは各ノードで非同期となるため、サーバアプリケーションで発生する単一タスクを並列処理するには各ノード間のスケジューリングを考慮する必要がある。SORB では、集団実行時においても同期処理として実行するため、特別なスケジューリングを必要としない。

SORB は、Java RMI のインターフェースを拡張したことでサーバアプリケーション開発者にとって受入れやすく、このインターフェースに SORB の拡張機能を隠蔽したことで既存アプリケーションのクラスタ化を容易にした。具体的には、並列処理による高速化と冗長なクラスタ構成による耐故障化、オンライン状態でのクラス構成の変更とアプリケーションのバーションアップを可能にした。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】岡崎史裕、松田元彦、入口浩一："JavaPM/Myrinet と SORB の性能評価",情報処理学会研究報告 99-HPC-79,Vol.99, No.103, pp.31-36, 1999.

【2】M. Matsuda, Y. Tanaka, K. Kubota, and M. Sato: “Network Interface Active Messages for Low Overhead Communication on SMP PC Clusters”, Future Generation Computer Systems. Vol. 16, pp. 494--502, 2000.

【3】M. Matsuda, F. Okazaki, H. Iriguchi: ”Replica Extension of Java Remote Object for Fault Tolerant PC Clustering”, 5th International Conference and Exhibition on High Performance Computing in the Asia-Pacific Region(HPC Asia 2001), 2001（発表予定）

【4】入口浩一、岡崎史裕、松田元彦、佐藤三久:”Windows NT SMP クラスタでの SORB による並列類似文書検索システムの評価”, 並列処理シンポジウム

JSPP2001, Vol2001, No.6, pp.311-318, 2001（つくば研の発表）

B-1-4 H9—11並列分散システムソフトウエア／H10—13コンピュータクラスタ上の基本ソフトウエア（並列分散システムソフトウエアつくば研究室）

◆目標

多数の既存のコンピュータを高速ネットワークに接続して一つの超高速並列コピュータとして利用可能にするための基本ソフトウエアの開発

◆アプローチ

既存オペレーティングシステム上に、高速通信、ソフトウエア分散共有メモリシステム、ならびにマルチユーザ環境を実現して単一並列システムイメージを提供する。

◆研究計画概要

コモディティコンピュータとネットワーク上で稼動する SCore クラスタシステムソフトウエアの研究開発および SCore を並列分散システムアーキテクチャつくば研究室で開発した RHiNET 上に移植し、また、並列分散パフォーマンス研究室が開発した Omni OpenMP 処理系と統合することにより、単一並列システムイメージ環境を提供する。

また、SCore クラスタシステムのスケーラビリティおよびユーザ普及を目的とした 1,024 台規模クラスタを開発し、ユーザを獲得しながら様々なベンチマークプログラムを実行して有用性を実証する。

◆研究計画内容

上記を達成するために、コモディティコンピュータとネットワーク上で稼動する SCore クラスタシステムソフトウエアの研究開発はほぼ終了して、今後、Intel86 系プロセッサ、Compaq Alpha プロセッサ以外のプロセッサアーキテクチャへの移植作業ならびに評価改良を行っていく。さらに、以下のことを行っていく。

(1)SCore クラスタシステムソフトウエアの RHiNET 上への移植

(2)SCore と Omni コンパイラの統合また、SCore クラスタシステムのスケーラビリティおよびユーザ普及を目的とした 1,024 台規模クラスタを開発し、ユーザを獲得しながら様々なベンチマークプログラムを実行して有用性を実証していく。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

SCore クラスタシステムソフトウエアにより、今まで高価な並列コンピュータを購入できず並列処理が出来なかったユーザが、PC とネットワーク機器を購入するだけで並列コンピュータを手に入れることが出来るようになる。潜在的ユーザを呼び起こし、並列市場を拡大することが可能となる。

応用分野は科学技術計算等の計算科学の分野（計算機科学ではない）、ボリュームレンダリングを必要とするような画像処理（例えば、医療分野における MRI から得られる画像の処理）、実時間シミュレータ（例えば、実時間電力系統シミュレータ）等、様々である。

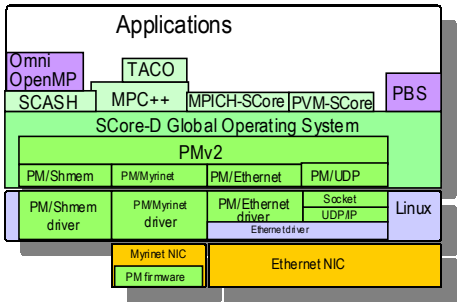
◆成果概要

異機種クラスタシステムソフトウエアである SCore 4.1 を開発した。SCore 4.1 では、Myrinet、ギガビットイーサネットを含むイーサネット、UDP ネットワークプロトコルを有するネットワークを使用したクラスタ上で利用できる。また、SCASH ソフトウエア DSM システムを開発し、RHiNET および Omni OpenMP 処理系との橋渡しをする基盤を開発し

た。

◆研究成果の内容

1990 年初頭より、ネットワークに繋がったパソコンを束ねて並列コンピュータ環境を実現する、いわゆるクラスタ、の研究開発が活発になった。このようなクラスタは、パイオニアである Beowulf プロジェクトに敬意を表し、Beowulf 型クラスタと呼ばれている。ほぼ同時期に始まった本テーマでは、Beowulf 型クラスタコンピュータの持つ問題点である低い通信性能、非効率なコンピュータ管理機能を改善するために、クラスタ上で動くシステムソフトウエアとして SCore クラスタ システムソフトウェアを開発してきている。



SCore は、ワークステーションや PC 等で稼働しているオペレーティングシステムである Linux 上に構築したトータルシステムソフトウェアである。上記図に示すとおり、研究開発した SCore クラスタシステムソフトウエアは、PM 通信ライブラリ、SCore-D グローバルオペレーティングシステム、MPC++プログラミング言語、TACO ライブラリ、MPICH-SCore MPI 通信ライブラリ、PVM-SCore, SCASH ソフトウエア分散共有メモリシステムのモジュールから構成される。また、Omni OpenMP 処理系を SCASH 上で稼動するようにした。さらに、PBS バッチ処理システムを移植した。

(1)PM 通信ライブラリ

Myrinet ネットワーク上の PM 通信ライブラリ PM/Myrinet は Myrinet ネットワークカード上のオンボードコンピュータのプログラムを独自開発し、低遅延、高バンド幅通信機能を実現した。Ethernet 上の PM/Ethernet では、従来の TCP/IP プロトコル処理の代わりに軽量ネットワークプロトコルを設計し、カーネル内で効率よくプロトコル処理を行うようソフトウエアを工夫し高性能通信機能を実現した。その他、UDP プロトコル上に実現した PM/UDP、共有メモリ機能を使った PM/Shmem がある。PM は単に高性能通信機能を実現したに留まらず次のような環境を提供している。

SCore 環境下で開発されたソフトウエアは、Myrinet 上でも Ethernet 上でも、また、UDP プロトコルを有するネットワーク上でもソフトウエアを再構築することなくシームレスに実行することが出来る。従来のシステムでは、Myrinet 上の通信ライブラリ、Ethernet 上の通信ライブラリとそれぞれの環境毎にアプリケーションソフトウエアを再構築する必要があった。

(2)SCore-D グローバルオペレーティングシステム

カーネルを変更することなく、ユーザレベルで、高性能通信を保ちながら、TSS 環境、バッチジョブ環境を提供する SCore-D グローバルオペレーティングシステムを開

発した。従来、高性能通信ライブラリはシングルユーザで、マルチユーザで使用するときは TCP/IP 上で作られた通信ライブラリを使用するといったシステムがほとんどであった。

(3)MPC++プログラミング言語

C++のテンプレート機能を利用してマルチスレッドプログラミング、リモートオブジェクト生成機能、グローバル通信等を実現した。また、異機種コンピュータを使ったクラスタ上で稼動する実行時ライブラリを開発した。

(4)TACO ライブラリ

並列プログラミングで必要とされるトポロジとトポロジ上での通信を抽象化したライブラリを構築した。これは C++のテンプレート機能を使い、MPC++上に構築した。

(5)MPICH-SCore MPI 通信ライブラリ

デファクトスタンダードである MPI 通信ライブラリを PM 上で稼動するようにした。MPICH は MPI 通信ライブラリを実現したソフトウエアでありフリーで入手できる。MPICH 通信ライブラリを PM 上に移植した。

(6)PVM-SCore PVM 通信ライブラリ

並列分散システム記述のための通信ライブラリである PVM を SCore 環境上に移植した。

(7)SCASH ソフトウエア分散共有メモリシステム

ソフトウエア分散共有メモリシステムをカーネルの変更をせずにユーザレベルで実現した。

SCore を元にして三菱産業システム研究所と実時間電力系統シミュレータの研究開発を行った。本シミュレータには遮断機等の電力設備が接続される。接続されている設備からの交流データをシミュレータに入力し、シミュレータ側で電力系統を模擬して、その結果を設備にフィードバックする。この一連の処理を 50 マイクロ秒以下の間隔で模擬することによりシステムの過渡解析を行う。今まで専用並列計算機でしかできなかったことが SCore によって PC ででも可能となり、コストが 1/10 以下になった。

SCore は、世界中の多くの研究機関が注目し、日本国内の大学、研究機関だけでなく、アメリカ国立研究所、ドイツやフランスの大学等で利用されている。

理化学研究所では SCore を Sun Micro Systems 社の Sun ワークステーションに移植して利用している。ドイツ ボン大学の Parnas2 クラスタでは、SCore を利用して Linpack Benchmark の結果として 29.6 Gflops を達成している。ドイツ テュエビンゲン大学の Kepler も SCore を使用している。Linkpack Benchmark の結果として 96.2 Gflops の性能を達成している。英国オックスフォード大学スーパーコンピュータセンタでは、SCore を利用して計算サービスを行っている。

◆成果の意義

SCore クラスタシステムソフトウエアにより、今まで高価な並列コンピュータを購入できなくて並列処理を出来なかったユーザが、PC と高速ネットワークを購入するだけ

で並列コンピュータを手に入れることが出来るようになる。潜在的ユーザを呼び起こし、並列市場を拡大することが可能となる。

応用分野は科学技術計算等の計算科学の分野（計算機科学ではない）、ボリュームレンダリングを必要とするような画像処理（例えば、医療分野におけるMRIから得られる画像の処理）、実時間シミュレータ（例えば、実時間電力系統シミュレータ）、等様々である。

◆他機関との比較など

高性能通信ライブラリとしては AM, FM 等あるが、マルチユーザ環境を含めたトータルシステムとして設計されたクラスタシステムソフトウエアは SCore しかない。多くの高性能通信ライブラリは通信ハードウエアに特別化したものがほとんどである。SCore システムが持つ PM 通信ライブラリは Myrinet、Ethernet、UDP プロトコルを有するネットワーク上で高性能通信を実現している。このようなシステムは他には存在しない。学術的業績については論文を参照のこと。

国際貢献としては、SCore システムソフトウエアを無償で配布することにより、今までに 300 以上のサイトが download している。米国 Los Alamos 国立研究所、独国ボン大学、マンハイム大学、ハイデルベルグ大学、英国オックスフォード大学が利用している。

また、SCore を用いて三菱産業システム研究所は実時間電力系統シミュレータを開発した。三菱電機は本技術を元にして実用化を進めている。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】Jorg Nolte, Mitsuhisa Sato, and Yutaka Ishikawa, "TACO -- Exploiting Cluster Networks for High-Level Collective Operations," IEEE Cluster Computing and the Grid (CCGRID), pp. 253 -- 260, May 2001.

【2】Shinji Sumimoto, Hiroshi Tezuka, Atsushi Hori, Hiroshi Harada, Toshiyuki Takahashi, and Yutaka Ishikawa: "High Performance Communication using a Commodity Network for Cluster Systems," In the Ninth International Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC-9), pages 139-146. IEEE, August 2000.

【3】Hiroshi Harada, Yutaka Ishikawa, Atsushi Hori, Hiroshi Tezuka, Shinji Sumimoto, and Toshiyuki Takahashi: "Dynamic Home Node Reallocation on Software Distributed Shared Memory," In 4Th HPC ASIA 2000, pages 158-163. IEEE, May 2000.

【4】Shinji Sumimoto, Hiroshi Tezuka, Atsuhi Hori, Hiroshi Harada, Toshiyuki Takahashi, and Yutaka Ishikawa: "GigaE PM: a High Performance Communication Facility using a Gigabit Ethernet," In New Generation Computing, volume 18, pages 177-186. Springer-Verlag, Jan 2000.

【5】Atsushi Hori, Hiroshi Tezuka, Francis O'Carroll, and Yutaka Ishikawa: "Gang Scheduling vs. Coscheduling: A Comparison with Data-Parallel Workload," In H. R. Arabnia, editor, Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, volume II, pages 1050-1057, July 1998.

【6】Yasushi Fujiimoto, Yuan Bin, Hisao Taoka, Hiroshi Tezuka, Shinji Sumimoto, and Yutaka Ishikawa: " Real-time Power System Simulator on a PC Cluster,"

In Proceedings of International Conference on Power System Transients (IPST'99), June 1999.

【7】Shinji Sumimoto, Hiroshi Tezuka, Atsuhi Hori, Hiroshi Harada, Toshiyuki Takahashi, and Yutaka Ishikawa: "The Design and Evaluation of High Performance Communication using a Gigabit Ethernet," In International Conference on Supercomputing '99, pages 243-250. ACM SIGARCH, June 1999.

【8】Yutaka Ishikawa, Atsuhi Hori, Hiroshi Tezuka, Shinji Sumimoto, Toshiyuki Takahashi, and Hiroshi Harada.: "RWCP PC Cluster Programming Environment - Extended Abstract," In Extreme Linux Workshop #2, pages 16-19. USENIX, June 1999.

【9】Yasushi Fujiimoto, Yuan Bin, Hisao Taoka, Hiroshi Tezuka, Shinji Sumimoto, and Yutaka Ishikawa: "Design and Implementation of a Real-Time Power System Simulator using a PC Cluster," In 3rd Intl. conf. on Digital Power System Simulator, May 1999.

【10】Yutaka Ishikawa, Hiroshi Tezuka, Atsushi Hori, Shinji Sumimoto, Toshiyuki Takahashi, Francis O'Carroll, and Hiroshi Harada: "RWC PC Cluster II and SCore Cluster System Software -- High Performance Linux Cluster," In Proceedings of the 5th Annual Linux Expo, pages 55-62, May 1999.

【11】Yutaka Ishikawa, Atsuhi Hori, Hiroshi Tezuka, Shinji Sumimoto, Toshiyuki Takahashi, and Hiroshi Harada: "Parallel C++ Programming System on Cluster of Heterogeneous Computers," In IPPS'99 Heterogeneous Computing Workshop '99, pages 73-82. IEEE, April 1999.

【12】Toshiyuki Takahashi, Francis O'Carroll, Hiroshi Tezuka, Atsushi Hori, Shinji Sumimoto, Hiroshi Harada, Yutaka Ishikawa, and Peter H. Beckman, "Implementation and Evaluation of MPI on an SMP Cluster," In Paralel and Distributed Processing -- IPPS/SPDP'99 Workshops, volume 1586 of Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, April 1999.

【13】Atsushi Hori, Hiroshi Tezuka, and Yutaka Ishikawa: "Highly Efficient Gang Scheduling Implementation," In SC'98, CD-ROM, November 1998.

【14】Francis O'Carroll, Hiroshi Tezuka, Atsushi Hori, and Yutaka Ishikawa: "The Design and Implementation of Zero Copy MPI Using Commodity Hardware with a High Performance Network," In International Conference on Supercomputing '98, pages 243-250, July 1998.

【15】Hiroshi Tezuka, Francis O'Carroll, Atsushi Hori, and Yutaka Ishikawa: "Pin-down Cache: A Virtual Memory Management Technique for Zero-copy Communication," In IPPS/SPDP'98, pages 308-314. IEEE, April 1998.

【16】Tosiyuki Takahashi, Yutaka Ishikawa, Mitsuhisa Sato, and Akinori Yonezawa: "A compile-time meta-level architecture supporting class specific optimization," In Scientific Computing in Object-Oriented Parallel Environment, ISCOPE'97, volume 1343 of Lecture Notes in Computer Science, pages 89-96, December 1997.

【17】Hiroshi Tezuka, Atsushi Hori, Yutaka Ishikawa, and Mitsuhisa Sato:, "PM: An Operating System Coordinated High Performance Communication Library," In Peter Sloot Bob Hertzberger, editor, High-Performance

Computing and Networking, volume 1225 of Lecture Notes in Computer Science, pages 708-717. Springer-Verlag, April 1997.

新聞発表

1997 年 10 月 スーパーパソコンシステム
2001 年 4 月 千台規模 PC クラスタ構築に成功
--- 情報処理産業の市場拡大に貢献 ---

表彰

・情報処理学会 山下記念研究賞(1996 年)
論文名「並列プログラミング言語 MPC++のワークステーションクワークステーションクラス上での実現」
・情報処理学会 並列処理シンポジウム JSPP'98 最優秀論文賞(1998 年 6 月)
論文名「ギャングスケジューリングの高速化技法の提案」
・情報処理学会 論文誌優秀賞(2001 年)
論文名「GigaE PM:Gigabit Ethernet を用いた高速通信機構の設計と実装」
・情報処理学会 並列処理シンポジウム JSPP'98 最優秀論文賞(2001 年)
論文名「Cluster-enabled OpenMP: ソフトウエア分散共有メモリシステム SCASH 上の OpenMP コンパイラ」
・IEEE CCGrid2001 最優秀論文賞(2001 年)
論文名「TACO: Exploiting Cluster Networks for High-Level Collective Operations」

B-1-5 並列分散システムでの高性能計算及び性能特性の研究／並列アプリケーションの探索的技術開発及び性能解析（並列分散システムパフォーマンスつくば研究室）

◆目標

並列分散システムを使いやすく、かつ、高性能を得るため必要な性能解析、オブジェクト指向技術による並列ライブラリなどのソフトウエアの開発。分散／共有メモリを含む形態の異なる並列システム間をシームレスに移行可能な並列プログラム最適化コンパイラの研究開発する。また、不規則な並列性をもつアプリケーションや、広域ネットワーク上の並列アプリケーションなど、まだ並列化が困難で着手されていないアプリケーションおよび新規の並列プラットフォーム上のアプリケーションを探索的に開発、性能評価し、並列処理の適用範囲の拡大を図る。

◆アプローチ

並列プログラミングを容易にするために逐次プログラムに並列記述を加えてプログラミングできる言語のコンパイラ（OpenMP)を開発する。これをベースに分散／共有メモリを含む形態、性能の異なる並列システム間をシームレスに移行可能にするために、分散・共有両並列システムの形態で共通に使える OpenMP コンパイラシステムを開発する。探索的な並列アプリケーション開発として、Window NT 環境を活用した並列データベースサーバ、並列オブジェクト指向ライブラリ、広域分散並列処理ソフトウエアの研究を進める。

◆研究計画概要

並列分散アーキテクチャ研究室が開発するネットワークで共有メモリマルチプロセッサを結合した SMP クラスタをターゲットに共有メモリだけでなく、分散メモリ環境にも対応できる OpenMP コンパイラの開発、評価、改善を行う。

◆研究計画内容

前年度までに開発した共有メモリ向けの OpenMP コンパイラをクラスタなどの分散メモリ並列システム上で実行させる OpenMP のコンパイラの実装、改良、性能評価を行う。特に、分散メモリ上に対応するコンパイラの研究開発では、コンパイラから通信コードを直接出力するコンパイラのほかに、Score クラスタ上のソフトウエア分散共有メモリシステムである SCASH を用いた OpenMP コンパイラを開発する。さらに、RHiNET で稼動するクラスタで動作できるようにし、高速かつシームレスでプログラミングが容易な並列システムの実現を目指す。

また、Window NT 環境を活用した並列データベースサーバ、並列オブジェクト指向ライブラリ、広域分散処理については、評価ならびに応用プログラムの開発評価を進める。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

従来、並列システムを利用する場合には、メッセージ通信ライブラリを用いて並列ソフトウエアを作成しなくてはならないが、開発コストが大きく、並列システムの利用拡大の大きな障害になってきた。OpenMP により、これまである逐次プログラムをベースに並列化できるため、非常に容易に並列ソフトウエアを開発できるようになる。これまで、共有メモリ向けの OpenMP コンパイラを開発、公開してきたが、多くのユーザに利用されている。これまでの OpenMP コンパイラは共有メモリ向けだけだったが、これを

分散メモリ向けにも利用可能なコンパイラを開発することにより、現在安価で高性能のプラットフォームとして注目されているクラスタにおいても、OpenMP を用いて並列ソフトウエアが開発できるようになり、並列処理技術の拡大に貢献できる。

また、探索的な並列処理の研究として行っている Window NT 環境を活用した並列データベースサーバ、並列オブジェクト指向ライブラリ、広域分散処理については、潜在的な並列処理の応用分野の拡大をすることになる。

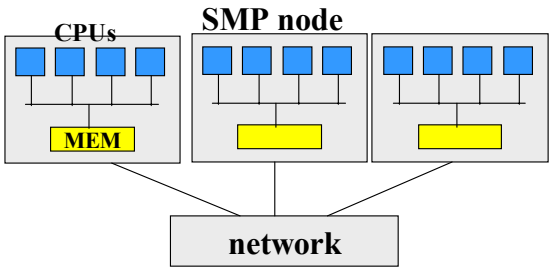
◆成果概要

これからのクラスタの形態として、共有メモリ計算機を結合した COMPaS を構築、ここでの並列プログラミング、性能特性の研究を行った。また、大規模な並列システムにおいて、どのような性能が得られるかを検証、予測する大規模並列システムシミュレーションシステムを構築、主要並列プログラムの解析を行った。

OpenMP によって並列プログラミングを可能にする Omni OpenMP コンパイラを開発した。現在、多くの共有メモリのマシンにおいて、利用可能になっている。分散メモリに対応するコンパイラとして、通信コードをコンパイラから直接生成するコンパイラのほかに、並列分散ソフトウエア研究室が開発している SCore クラスタソフトウエア上の SCASH ソフトウエア DSM システムで実行する OpenMP コンパイラを開発した。

◆研究成果の内容

これまで、当研究室において共有メモリプロセッサ（SMP）を結合したSMPクラスタを開発してきた。PCにおいても、複数のプロセッサを持つものが現れるなど、近い将来、一般的な並列コンピュータの形態はSMPクラスタになるもの思われる。我々は、PCで用いられるチップをベースにした4CPUのSMPをネットワークで結合したCOMPaS(Cluster of MultiProcessor System)を構築して、このプラットフォームでのプログラミング技法や性能特性を研究してきた。また、SMP クラスタ向きの通信機構 NICAM を設計、開発した（参考文献：1、5）。

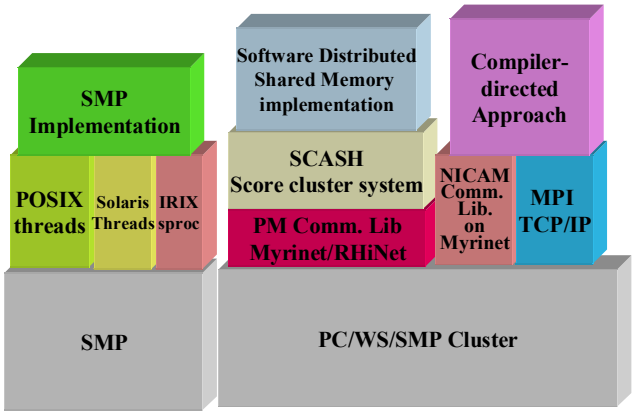


同時に超並列機あるいはこれから構築される大規模なクラスタにおいて、どのくらいまでの規模でどの程度の性能が得られるかを解析するために、大規模並列システムのシミュレーション技法を開発し、その結果について発表した（参考文献：2）。

その結果として、SMP クラスタでは性能を得るためには共有メモリと分散メモリに対し、2重の並列プログラミングをするためのコストが高いことが問題点として指摘した。また、依然として分散メモリのためにはメッセージ通信によるプログラミングが一般のユーザにとって、利用の最大の障害になっていることは変わりがない。

そこで、共有メモリ向けのプログラミングモデルとして注目されあった OpenMP を利用できる Omni OpenMP コンパイラを先駆けて、開発した（参考文献：9）。そのコンパ

イラは、現在、主要な SMP システムで利用可能になっており、全世界のユーザに利用されている。さらに、OpenMP プログラムをコンパイラにより、クラスタを含む分散メモリ型並列計算機上でも使うことができるコンパイラ技術の開発を進めている。その構成を以下の図に示す



●分散メモリ計算機向けの OpenMP コンパイラ開発にあたっては、次の2つのアプローチを取っている。

1)並列分散ソフトウエア研究室で開発した Score クラスタソフトウエアで稼動している仮想メモリ機構を利用したソフトウエア分散共有メモリ SCASH を用いる方法。共有メモリは SCASH によってサポートされており、コンパイラはこの共有メモリを利用するためのコード変換を行う(参考文献:10)。

2)コンパイラが共有データの読み書きに対して、メモリの一貫性を維持するためのコードを挿入し、共有メモリを提供する方法。コンパイラによって、冗長なメモリ一貫性コードを最適化することによって、高性能化する。(参考文献:5、11)

1)の SCASH 上のコンパイラの実装は完了し、性能向上のための改善を行った。

2)のアプローチではシステムソフトウエアを介せずに実行時ライブラリが直接通信を行う。コンパイラがソースプログラムを解析し、その結果を最適化に反映できるため、OpenMP のデータ並列ループやメモリモデルの知識を利用することにより、規則的な通信パターンのみですむプログラムの場合、さらなる高速化が期待できる。いずれにしても、ユーザはそれぞれの応用プログラムに適した実行方法を選択することにより、分散メモリ上でも性能を得ることができると期待されるが、試作段階にとどまった。

●探索的な並列応用プログラムの開発に関しては、以下の成果をあげることができた。

1)広域ネットワークを利用したグローバルコンピューティング。電総研、東工大とともに進めたグローバルコンピューティングの研究開発では、ミドルウエア Ninf を開発、これを利用した流体解析プログラム netCFD を試作した(参考文献:7)。また、現在、グローバルコンピューティングで普及している Globus を firewall がある環境でも利用できるようにした(参考文献:6)。

2)オブジェクト指向技術を使って並列プログラムの開発を容易にするためのライブラリの開発。不定形メッシュを用いた有限要素法のためのライブラリ Janus (参考文献:3)、並列処理で頻繁に使用される集合演算をサポートする TACO を開発した(参考文献:8)。

3)住友金属分散研と協力、NT クラスタを利用した高速並列文献検索システムを開発している。

◆成果の意義

従来、並列システムを利用する場合には、メッセージ通信ライブラリを用いて並列ソフトウエアを作成しなくてはならないが、これが開発コストが大きく、並列システムの利用拡大の大きな障害になってきた。OpenMP により、これまである逐次プログラムをベースに並列化できるため、非常に容易に並列ソフトウエアを開発できるようになる。これまで、共有メモリ向けの OpenMP コンパイラを開発、公開してきたが、多くのユーザに利用されている。これまでの OpenMP コンパイラは共有メモリ向けだけだったが、これを分散メモリ向けにも利用可能なコンパイラを開発することにより、現在安価で高性能のプラットフォームとして注目されているクラスタにおいても、OpenMP を用いて並列ソフトウエアが開発できるようになり、並列処理技術の拡大に貢献できる。

また、探索的な並列処理の研究として行っている Window NT 環境を活用した並列データベースサーバ、並列オブジェクト指向ライブラリ、広域分散処理については、潜在的な並列処理の応用分野の拡大をすることになる。

◆他機関との比較など

クラスタにおいて、OpenMP を利用できるコンパイラは米 Rice 大学の TreadMarks 上で実験的な結果が示されているだけであるが、最近になり、米 KAI 社がこのコンパイラを商用化することを計画している段階である。現実に利用可能であるのは、我々の SCASH 上の Omni OpenMP コンパイラのみである。

また、現在、フリーで利用できる OpenMP コンパイラは、Omni OpenMP コンパイラしかなく、Linux 等フリーな環境で多く使われている。また、ソースも公開されているため、OpenMP の実験的な他のプロジェクトで利用されることを期待している。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】Tanaka, M. Matsuda, M. Ando, K. Kazuto and M. Sato, ``COMPaS: A Pentium Pro PC-based SMP Cluster and its Experience'', IPPS Workshop on Personal Computer Based Networks of Workstations, LNCS 1388, pp. 486--497, 1998.

【2】K. Kubota, K. Itakura, M. Sato and T. Boku, ``Practical Simulation of Large-Scale Parallel Programs and its Performance Analysis of the NAS Parallel Benchmarks'', Euro-Par'98 Parallel Processing, pp.244--254, 1998

【3】Jens Gerlach, Mitsuhisa Sato, and Yutaka Ishikawa: ``Janus - a C++ Template Library for Parallel Dynamic Mesh Applications'', Computing in Object-Oriented Parallel Environments, Proceedings of the Second International Symposium, ISCOPE 98, Santa Fe, NM, USA, December 1998, Lecture Notes in Computer Science 1505, pp. 215-222

【4】M. Matsuda, Y. Tanaka, K. Kubota and M. Sato, ``Network Interface Active Messages for Low Overhead Communication on SMP PC Clusters'', Proceedings of HPCN'99(LNCS 1593), pp.764-773, 1999

【5】Mitsuhisa Sato, Shigehisa Satoh, Kazuhiro Kusano and Yoshio Tanaka, ``Design of OpenMP Compiler for an SMP Cluster '', Proc. of 1st European Workshop on OpenMP (EWOMP'99), pp. 32-39, Lund, Sweden, Sep. 1999

【6】Y. Tanaka, M. Sato, M. Hirano, H. Nakada and S. Sekiguchi, ``Resource

Manager for Globus-based Wide-area Cluster Computing", 1st IEEE International Workshop on Cluster Computing (IWCC'99), Dec. 1999
【7】Mitsuhisa Sato, Kazuhiro Kusano,Hidemoto Nakada, Satoshi Sekiguchi, Satoshi Matsuoka, "netCFD: a Ninf CFD component for Global Computing, and its Java applet GUI", Proc. of HPC Asia 2000, pp.501-506
【8】Joerg Nolte, Mitsuhisa Sato , Yutaka Ishikawa, " Template Based Structured Collections ", IPDPS 2000, May 2000, Cancun, Mexico
【9】Kazuhiro Kusano, Shigehisa Satoh and Mitsuhisa Sato, "Performance Evaluation of the Omni OpenMP Compiler", WOMPEI(part of ISHPC2K), Tokyo, Oct, 2000
【10】Mitsuhisa Sato, Hiroshi Harada and Yutaka Ishikawa, "OpenMP compiler for Software Distributed Shared Memory System SCASH",WOMPAT2000,San Diego, July, 2000
【11】Shigehisa Satoh, Kazuhiro Kusano, and Mitsuhisa Sato, "Compiler Optimization Techniques for OpenMP Programs", Second European Workshop on OpenMP (EWOMP 2000), Edinburgh, September 14-15, 2000.

新聞発表

1997 年11月 OpenMP コンパイラと自動 OpenMP 変換ツールの開発

表彰

(1)インターネットカンファレンス‘99 最優秀論文賞

田中 良夫,平野 基孝,佐藤 三久,中田 秀基,関口 智嗣 "Globus を用いたグローバルコンピューティング環境の構築とその評価" インターネットカンファレンス'99 論文集, pp. 97-106, 1999.

(2)並列処理シンポジウム JSPP2001 最優秀論文賞

佐藤三久、原田浩、長谷川篤史、石川裕、“Cluster-enabled OpenMP: ソフトウエア分散共有メモリ SCASH 上の OpenMP コンパイラ”、並列処理シンポジウム JSPP2001 論文集、pp. 15-22,2001.

B-1-6 大規模応用のための高機能データ並列プログラミング（並列分散システムGMD研究室）

◆Goal

The goal of the project is to provide a comfortable, architecture independent programming environment for large scale computations on all forms of current and next-generation parallel and distributed machines. An architecture independent programming model for data parallel applications will be established, and its programming environment on heterogeneous parallel machines will be developed. This will be achieved through a high-level, message-passing programming system that makes programming for seamless parallel computing as simple as sequential programming.

◆Approach

The technological background of the PROMISE software is generic programming inspired by the C++ Standard Library. For portability reasons the PROMISE software is based on standard interfaces like MPI and OpenMP. Furthermore, we also exploited the new MTTL (TRC) to take full advantage of high speed user-level networks. Several sample applications are developed to validate the basic concepts and to evaluate the results.

PROMISE software can cooperate well with standard software like PETc and Metis.

An essential part of the PROMISE approach is the cooperation with other scientific groups,especially with the TRC (Tsukuba).

◆Outline of Research Plan

(1)Implementation of new scientific applications, e.g. algebraic multigrid methods.
(2)Extension of the applicability of the PROMISE library to non-numerical applications e.g. graph theoretic problems.
(3)Improvement of PROMISE running at the MTTL (TRC).
(4)Completion and improvement of the functionality of the PROMISE library Janus.
(5)Completion and improvement of the new interface to distributed platforms.
(6)Making Janus run with OpenMP clusters.
(7)Making the PROMISE environment cooperating with other libraries e.g. PETc, MTL, ITL.
(8)Preparation of demonstrations for the RWCP Symposium 2001.

◆Contents of Research Plan

Validation of PROMISE by sample applications.
Integration of algebraic and linear programming methods.
Performance improvements in case of dynamic data structures.
Implementation of
Quantum chemical programming package.
Adaptive Finite Element methods.

Particle dynamics simulation.
Group theoretic alignment, Polytope boundaries by linear programming
Integration of two-phases dynamic data structures
Making PROMISE software 64 bit clean.

◆Research Significance from the Users' Viewpoint and its Application Fields

Parallel scientific programming is still difficult and error prone. Low level programs are hard to understand and hard to maintain. The programmer has to take care of the details of the parallel execution and can not maintain her/his global problem view. PROMISE is an interesting attempt to overcome this problem by automatic dealing with local index schemes and communication patterns.

◆Summary of achievements

PROMISE is a generic and extensible C++ application framework for regular and irregular, static and dynamic scientific applications. PROMISE hides low level aspects of parallel programming and maps (remote) data access to the message passing system MPI and other communication interfaces like the MTTL (TRC) or OpenMP, respectively. Target platforms are supercomputers and Linux - clusters. The new platform interface Jade eases the task of porting PROMISE to new platforms. The PROMISE software can cooperate well with widely used standard components like PETc and Metis which is of extreme importance for customer acceptance.

The PROMISE environment comprises two libraries, Janus and Mosaik. In February 2001 we asked RWCP for copyright (gratuitous public offering) for the generic library Janus and in March 2001 we asked for copyright (gratuitous public offering) for the mapping library Mosaik. Janus can be downloaded from the web. The same will be true for Mosaik in the near future.

◆Contents of research results

The PROMISE framework follows the SPMD (Single Program, Multiple Data) programming paradigm. It hides the details of the parallel program like local index schemes and internode communications. Using PROMISE allows the application programmer to maintain the global problem oriented view.

In contrast to conventional data structures like C or FORTRAN arrays PROMISE deals with data domains explicitly. The same is true for the data dependencies or relations, which are conceptually very similar to data domains. The explicitness of the spatial structures eases the generation of parallel code. This explicitness is especially exploited for the task of mapping (assignment of data points to processes).

In the last two years the focus of development was on Janus, the final PROMISE runtime library. It has turned out that Janus can deal with dynamic and irregular applications more efficiently than the earlier version of the PROMISE runtime library.

The generic PROMISE runtime library Janus is based on the C++ Standard

Template Library. It supports a variety of data domains and dependence relations (dense, sparse, regular, irregular, static, dynamic) by appropriate predefined classes. Domain classes are the regular grid classes corresponding to arrays in C or FORTRAN, the polytope classes - whose iterators are constructed by methods of linear programming - and the most general domain classes. Concerning dependencies or relations we have stencils (the most regular ones), so called n-relations (one to fixed n), and the most general relations. Domains and relations can have two phase structures to meet efficiency requirements for construction of irregular and dynamic domains and relations. The two phases are separated by a freeze operation.

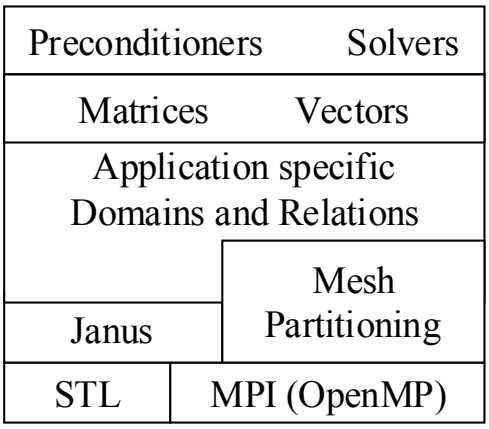


Figure 2: Janus' role in a parallel adaptive mesh application

Due to the generic nature of its components, it is possible to provide extensions within the framework to meet special application requirements.

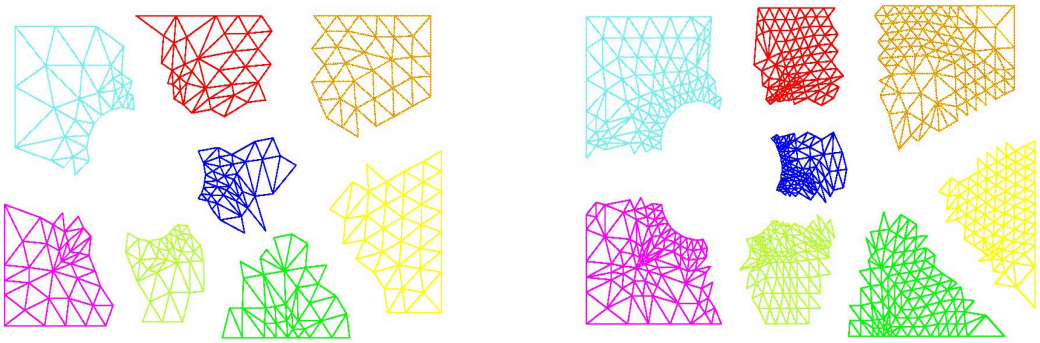
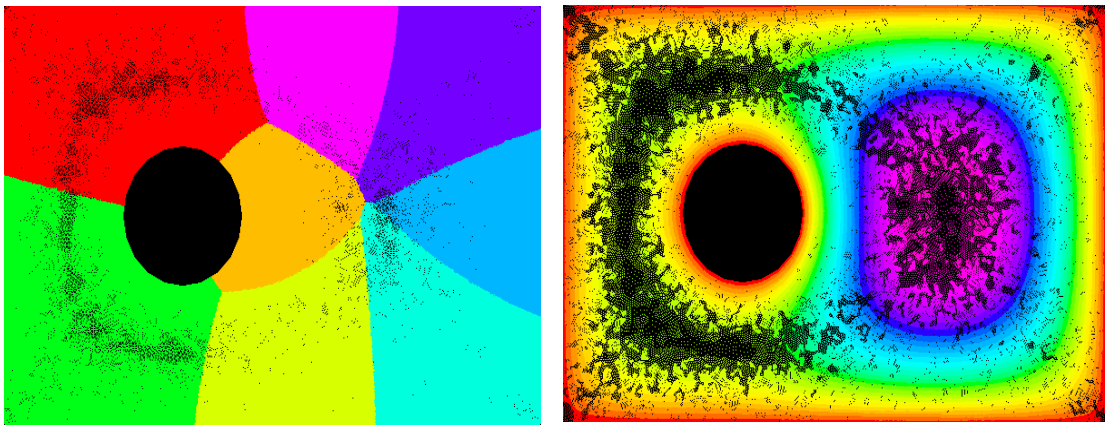


Figure 3: Two refinement steps of a finite element mesh. Different colours indicate different partitions.

PROMISE provides conceptually simple and powerful communication abstractions which resemble matrix vector multiplication. The data flow of a given dependence relation can be expressed by a family of push and pull operations which are resolved by the system to local and remote memory access. Janus was originally designed for finite element meshes. However, it is demonstrated by application examples that Janus can be applied in much more general contexts e.g. finite volumes, particle simulation, graph algorithms and so on.



a b

Figure 4: A finite element mesh (mapped with Mosaik) (a) and a corresponding domain function (b).

To ease the task of mapping irregular and dynamic applications the PROMISE group has developed the geometric mapping library Mosaik. Its algorithm is called Balanced Hypersphere Tessellation (BHT) which is a generalization of vector quantification. Its parallel version has a nearly linear speed-up and it competes with state of the art methods (e.g. Metis).

◆Significance of achievement

Parallel scientific programming is still difficult and error prone. Low level programs are hard to understand and hard to maintain. The programmer has to take care of the details of the parallel execution and can not maintain her/his global problem view. PROMISE is an interesting and successful attempt to overcome this problem by automatically dealing with local index schemes and communication patterns.

◆Comparison with other research institutions

There are many efforts to develop component frameworks for scientific applications. Here we concentrate on those approaches that are related to generic programming.

The Matrix Template Library (MTL) is a very consequent way of applying generic programming in the field of high performance computing. It is a generic component library that provides comprehensive linear algebra functionality for a wide variety of matrix formats.

Similar to the Standard Template Library, MTL uses a five-fold approach, consisting of generic functions, containers, iterators, adaptors, and function objects. Experimental results demonstrate that MTL achieves performance comparable vendor-tuned libraries. Thus, MTL proves (as STL) that proper abstractions can lead to high levels of performance.

Janus concentrates on spatial structures of scientific applications and considers matrices and vectors as functions on these structures. Janus communication methods are based on matrix-vector operations but Janus is not a linear algebra framework. For example, our key concepts are Domain and Relation and not Vector or Matrix. It would be very interesting for Janus and MTL if their relation and matrix concepts would be combined. So far, the MTL does not support parallel matrix-vector operations which are very essential for Janus. However, it has been announced that the MTL will eventually support parallelism.

MTL comes along with the Iterative Template Library (ITL) which is a generic component library that provides numerous preconditioners and iterative methods for solving linear systems. In the implementation of our cascadic conjugate gradient method, we actually use the CG template algorithm from IML++ (Iterative Matrix Library) which is a forerunner of ITL. Both libraries use abstract (yet different) interfaces of matrix-vector, vector-vector, and vector-scalar operations. The IML++ interface makes heavy use of overloaded operators, whereas the ITL uses the more efficient interface specified by the Matrix Template Library.

We have overcome some performance problems of IML++ by adapting its interface for matrix-vector operations to our pull and push methods. So, currently we are using IML++ and not ITL. However, in the long run we plan to switch to MTL/ITL libraries.

POOMA (Parallel Object-Oriented Methods and Applications) is an object-oriented framework for applications in computational science requiring high-performance parallel computers. It is organized into several abstraction layers and is implemented in ISO-C++. On lower levels, it provides generic containers to model domains and arrays. This is the level on which POOMA and Janus can be compared.

POOMA offers several template classes to represent different kinds of (nested) subgrids of Z^n. It is not clear how complicated spatial structures, such as finite element meshes, are to be efficiently represented within this framework. POOMA takes a sophisticated two layered approach to represent arrays on these domains. On the lower level, there is the concept of an Engine which provides a common interface for randomly accessing and changing data. How the data are stored and indexed is hidden by the particular engine type. On a higher level, there is the template class Array that describes a logical rectangular, N-dimensional table of elements.

In contrast to POOMA, we have taken a different approach for representing data on domains. We experienced that the explicit decoupling of domain and array types reduced the compilation time considerably. Long compilation times and huge executables are still a problem when using template libraries, in particular when they contain many closely intertwined template classes and functions.

SAMRAI is an object-oriented code framework that provides scientists with extensible software support for rapid prototyping and development of parallel

structured adaptive mesh refinement (AMR) applications. Structured AMR works on a mesh hierarchy of nested levels of grid cells. On each level, the cells are clustered to form logically-rectangular patches.

The goal of the SAMRAI project is to facilitate numerical and algorithmic exploration in AMR applications that require high performance computing hardware. The use of Janus is not restricted to such relatively regular spatial structures. It can be applied to more general adaptive mesh refinement methods. Similar to Janus, SAMRAI defines computations and data dependencies with respect to an underlying abstract index space.

On the other hand, it must be clearly stated that SAMRAI is higher-level or (in its scope) more application-oriented than Janus. SAMRAI supports for example various time integration schemes, linear solvers for composite grids, and addresses also the problem of visualization

◆Research papers, presentations, awards, etc.

【1】Bi, Hua; Kessler, Matthias; Pohl, Hans Werner; Tief, Matthias: “PROMISE – High-Level Data-Parallel Programming Environment”, Proceedings of the 3rd Workshop on Advanced Parallel Processing Technologies”, (APPT’99), Changsha, China, Oct. 19-21, pp 207-211.

【2】Schramm, Andreas, “The Structured-Universe Approach for Irregular and Dynamic Spatial Structures”, Proceedings of the 13th Annual International Symposium on High-Performance Computing Systems ans Applications, (HPCS’99), Kingston, Ontario, Canada.

【3】Gerlach, Jens; Mitsuhisa Sato, “Generic Programming for Parallel Mesh Problems”, Proceedings of the Third International Symposium, ISCOPE’99, San Francisco, CA,USA, Dec. 8-10, 1999.

【4】Gerlach, Jens; Gottschling, Peter; Pohl, Hans Werner: “Core Components of Janus, Release 2.0”, Technical Report. May 2000.

【5】Zheng-Yu, Jiang, “Parallel Integral-Direct SCF Computations in a High-Level Date-Parallel Programming Environment PROMISE”, Proceedings of the Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, Las Vegas, Nevada, USA, Jun. 26-29, 2000.

【6】Gottschling, Peter; Nagel, Wolfgang E.: Tief, Matthias: “Domain Decomposition of Large Problems on Cray T3E”, Proceedings of The Sixth European SGI/Cray Workshop, Manchester, UK, Sep. 7-8, 2000.

【7】Der, Uwe: “A Parallel Implementation Job Shop Scheduling Heuristics”, Proceedings of the PARA’2000 workshop, Bersen, Norway, 2000.

【8】Zheng-Yu, Jiang: “An Efficient Shell-Partitioning Algorithm for Parallelism of Integral-Direct SCF Calculation on PC-Clusters”, Proceedings of the Conference on Distributed Objects in Computational Science, Las Vegas, USA, June 2000.

【9】Schramm, Andreas: “UNIVERSE: Formalism and Rationale”, Proceedings of the CMPP’2000 workshop, Ponte di Lima, Portugal, July 2000.

【10】Gerlach, Jens; Der, Uwe; Gottschling, Peter: “A Generic Framework for Parallel Mesh Based Scientific Applications”, HIPS’2001, San Francisco,

USA, April 2001.
【11】Tief, Matthias; Gerlach, Jens: “High-Quality Geometric Repartitioning with Mosaik”, Proceedings of PDPTA 2001, Las Vegas, Nevada, USA, June 2001.
【12】Zheng-Yu, Jiang; Gerlach, Jens; Pohl, Hans Werner: “Integrating OpenMP into a Generic Framework for Scientific Computing”, Proceedings of WOMPAT 2001, West Lafayette, Indiana, USA, July 2001.
【13】Gerlach, Jens; Pohl, Hans Werner; Der, Uwe; Zheng-Yu, Jiang: “A Janus Tutorial”, http://www.first.gmd.de/janus/, 2001.

B-1-7 H9—11並列分散基本システムアーキテクチャ／H10—13省電力型高速光伝送向インタフェース技術（並列分散システムアーキテクチャつくば研究室）

◆目標

光インタコネクションの高バンド幅な伝送能力を生かすことができるネットワークを開発する。本ネットワークは ASIC 技術の発達によって可能になったメモリ混載 ASIC を用いることによって、高バンド幅(最大10Gbpsのリンクバンド幅)、低レイテンシ（プロセス間で片道2μ秒程度）、信頼性のある通信、自由なトポロジなどの SAN と LAN の利点を併せ持つ、高性能並列処理のためのネットワークである。

◆アプローチ

LAN 領域のシームレス並列分散コンピューティングをサポートするネットワーク RHiNET を開発する。RHiNET にはネットワークスイッチおよびネットワークインタフェースと通信プロトコルが含まれ、高バンド幅、低レイテンシ、信頼性のある通信、自由なトポロジなどの SAN と LAN の利点を併せ持つ、高性能並列処理のためのネットワークである。

◆研究計画概要

光インタコネクションを用い、パケットを廃棄しない低レイテンシネットワークを実現するネットワークスイッチと、大容量のメモリをコントローラチップ上に実装することにより並列処理を支援する機能を持つネットワークインタフェースを開発する。

◆研究計画内容

近年の光通信技術の発達によって実用可能になったコンパクトで高いバンド幅を持つ光インターコネクションを、高性能計算のための並列処理システムで利用する技術を開発することを目的として、LAN 領域のシームレス並列分散コンピューティングをサポートするネットワーク RHiNET を開発する。RHiNET にはネットワークスイッチおよびネットワークインタフェースと通信プロトコルが含まれる。RHiNET は、光インターコネクション技術とメモリ混載 ASIC 技術の発達により開発が可能になったものである。

スイッチとして光インタコネクション日立研究室と共同で高速スイッチ RHiNET/SW を開発する。RHiNET/SW は、多数のバーチャルチャネルを持つことにより、パケットを廃棄することなく、低レイテンシかつ自由なトポロジを構成可能なネットワークを実現する。

また、ネットワークインタフェース RHiNET/NI は、プロトコルコントローラにメモリ混載 ASIC を用いることにより、高い性能とコンパクトな実装を両立させる。このコントローラは、複数のメモリバンクを並行して高速にアクセスすることにより高い性能を持つ。これは、上記の日立研究室との共同開発スイッチの他、光インターコネクション NEC 研究室が開発するスイッチにも接続する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

従来、ビル内やフロア内の計算機間の接続には主として TCP/IP プロトコルを用いる LAN が使われてきた。この種のネットワークは、混雑時にはパケットを廃棄する可能性があり、パケットの到着順序も保証されないため、TCP プロトコルにより再送、到着順序制御をおこなっている。しかし、Gbps クラスを超える通信速度が実現できるようになると、プロトコル処理のオーバヘッドが無視できず、通信遅延も大きい。

本研究テーマは、ビル内、フロア内で用いる、パケットを廃棄しない低遅延ネットワ

ークの実現法を開発するもので、これにより、計算機相互接続による高性能並列処理環境、サーバ間接続などの分野で大きなアドバンテージを持つネットワークを提供することができる。

◆成果概要

1Gbps の双方向リンクを8ポート持つネットワークスイッチ RHiNET-1/SW、8Gbps の双方向リンクを8ポート持つ RHiNET-2/SW、10Gbps の双方向リンクを持つ改良版スイッチ RHiNET-3/SW およびこれらに接続するネットワークインタフェースおよびそのコントローラLSIを開発し、128プロセッサからなるデモシステムを構築した。

◆研究成果の内容

(1) RHiNET のコンセプト

PC や WS を接続して高性能並列処理を可能にするためのネットワーク RHiNET(RWCP High Performance Network)を開発した. RHiNET は, 我々が提案する LASN と呼ぶ新しいネットワーククラスに属し、PC や WS の I/O バスに装着されるネットワークインタフェースと, 高速なネットワークスイッチ, そしてそれらの間を接続する光インタコネクションから成り, 図 1 に示すようにビル内やフロア内に配置された PC や WS を接続して高性能並列処理を行うことを目指している.

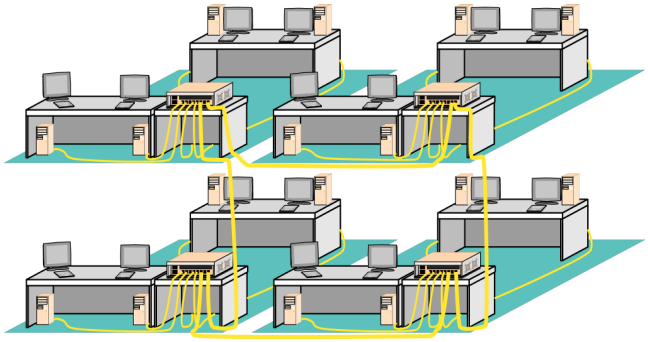


図1 RHiNET/LASN 概念図

近年、PC を多数使ったクラスタコンピューティングと呼ばれる並列処理が注目を集めている。従来のクラスタシステムは、大きく 100Base-T や Gigabit Ethernet などの LAN を用いて PC 間を結合したものと、Myrinet などの SAN(System Area Network)を用いて PC 間を結合したものにわかれる。

SAN は低遅延と高い bi-sectioin バンド幅を提供する一方で, 配線の延長距離やトポロジにおける制約が厳しいため, 集約型の構成をとらざるを得ない.

一方 LAN としては、Gigabit Ethernet や 1.06Gbps の Fibre Channel などが実用・普及段階に入り, 数ギガビットクラスの高速な通信が可能となっている. しかし, 従来の LAN では物理層でのパケットの廃棄や順序の入れ変えを許しているため, 信頼性のある通信を行う場合には, 上位レイヤにおいて再送や順序の入れ換えを行う TCP/IP などのプロトコルを用いる必要がある. しかしこの様なプロトコルはホストプロセッサが行う処理のオーバヘッドが大きく, 数ギガビットのバンド幅を持つネットワークを有効利用するだけの実効バンド幅を得ることが困難である.

そこで, 我々は SAN と LAN の利点を併せ持つ新しいネットワーククラス, LASN(Local Area System Network) を提唱している. LASN はフロアやビルに分散して配置されている PC を接続し, PC クラスタと同様の並列処理を行うシステムであ

る.

・SAN と同様の信頼性のある低遅延通信を行う

・SAN に匹敵する高い bi-section バンド幅を持つ

・LAN と同様にビル内やフロア内に分散して配置された PC を相互に結合する

このような特徴を持つ LASN は次のような利点を持つ.

・日常の業務で利用されている PC を, クラスタの構成要素として用いることができる. 常時全ての PC がフル稼働しているとは考え難く, 余剰計算能力を集めることで性能の高い並列マシンを安価で構築できる可能性がある.

・異なる設置スペースにあるサーバやクラスタマシンの計算能力を集約することができる.

・ベクトルマシン, MPP, DSP など, 異なる性能や得意分野を持つ計算機を集約することができる.

・特別に設置スペースを設ける必要がなくなる.

RHiNET(RWCP High Performance Network) は LASN に属するネットワークであり、並列処理をサポートする。RHiNET はネットワークとネットワークインタフェース(NI)から構成され, 上記 LASN の性質に加えて NI が並列処理をサポートする様々な機能を持つ.

RHiNET の開発は, 1Gbps クラスの光インタコネクションを用いる RHiNET-1 と, 8Gbps クラスの光インタコネクションを用いる RHiNET-2 の 2 段階で行なっている. RHiNET は LASN のインプリメンテーションであり、LASN の要求事項を解決するために, 次のような戦略をとっている.

1)パケットの廃棄や順序の入れかえを行わず, ハードウエアでのエラーレートを低くすることで, 上位プロトコル層における通信品質補償に必要な通信コストを極力小さくする. また, パケットの破棄を許さず, 通信コストを抑えるため, デッドロックフリーを保障する. これまでの SAN では、ネットワークのトポロジを限定して、伝達路間に環状の依存関係が生じないように伝達路を定めることによりデッドロックを回避してきた。しかし、フロア内やビル内の計算機群を接続するには、より自由なネットワークトポロジが求められる。そこで、RHiNET では、Asynchronous wormhole routing と構造化チャネル法を用い、多数の Virtual Channel(VC)を各入力ポートに用意することにより自由なトポロジにおいてデッドロックフリーを実現する.

2)ビル内やフロア内に分散して配置された計算機を接続するために, ループを含むある程度自由なトポロジを許し, 100m 程度のリンク長と, 並列処理で要求される十分な bi-section bandwidth を確保する.

（2）RHiNET-1

一次試作である RHiNET-1 では, 1～1.3Gbps の光インタコネクションを用いる. ネットワークインタフェース RHiNET-1/NI と, スイッチ ASIC RHiNET-1/SW を開発した.

1) RHiNET-1/NI(2)

RHiNET-1/NI(図 2)は, PCI バスに装着されるネットワークインタフェースで, コントローラに PLD(Programmable Logic Device) を用いており, PLD の設定を変更することにより様々な通信プロトコルを実装, 評価することができる.

アドレス変換テーブル(TLB)を内部に持ち, 任意の大きさの領域のゼロコピー通信をサポートする. 4 つのメモリバンクに同時アクセスでき, アドレス変換などの操作とデータ転送を同時に行なうことが出来る. アプリケーション開発は message passing

(MPI)ベース，共有メモリ(Open/MP)ベースの両方のスタイルで記述でき，専用の LINUX のライブラリおよびデバイスドライバを用いる．

このプリミティブ処理は NI で行われ，これらを組み合わせることにより，マルチタスク環境での zero-copy 通信を実現する．RHiNET-1/NI は，パケット送受信部(Interconnection Interface)，PCI バス制御部(PCI Bus Interface)，プリミティブ処理部(Function Unit)およびプリミティブ処理用に用いるメモリから構成される．高速動作が要求されるパケット送受信部および PCI バス制御部は，高速なアンチヒューズ型 FPGA を用い，プリミティブ処理部は，in-system programming が可能な FPGA を用いている．

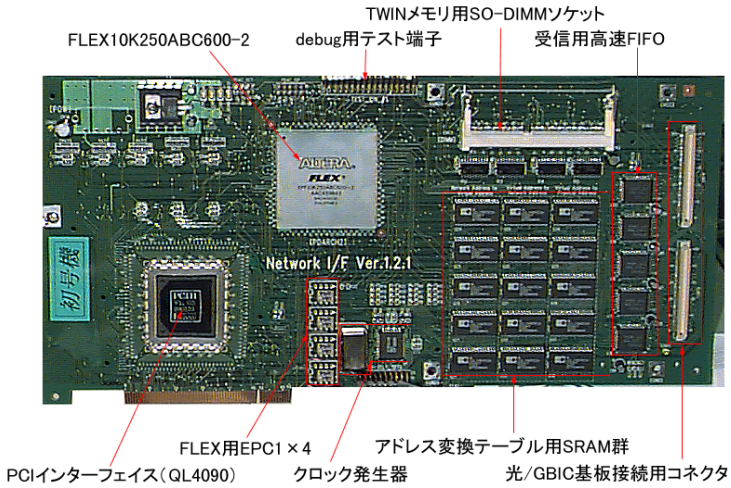


図２　RHiNET-1/NI

2) RHiNET-1/SW(1)

RHiNET-1/SW は 0.35μm CMOS エンベッデッドアレイを用いて構成した 1 チップスイッチで，8 x 8 のクロスバを内蔵している．

（3）RHiNET-2

1)RHiNET-2/NI0

RHiNET-2 システムで最終的に用いるネットワークインタフェース RHiNET-2/NI は，コントローラに ASIC を用い,8Gbps の光インタコネクションモジュールを用いる．現在、RHiNET-2/NI のプロトタイプとして RHiNET-1/NI を改良した RHiNET-2/NI0 が稼動している。RHiNET-2/NI は、RHiNET-1/NI の基本構成をそのままに、基板サイズを小さくし、プロトコルコントローラの動作周波数を向上するとともに、次節に述べる RHiNET-2/SW に接続できるようにリンクインタフェース部を改造したものである。

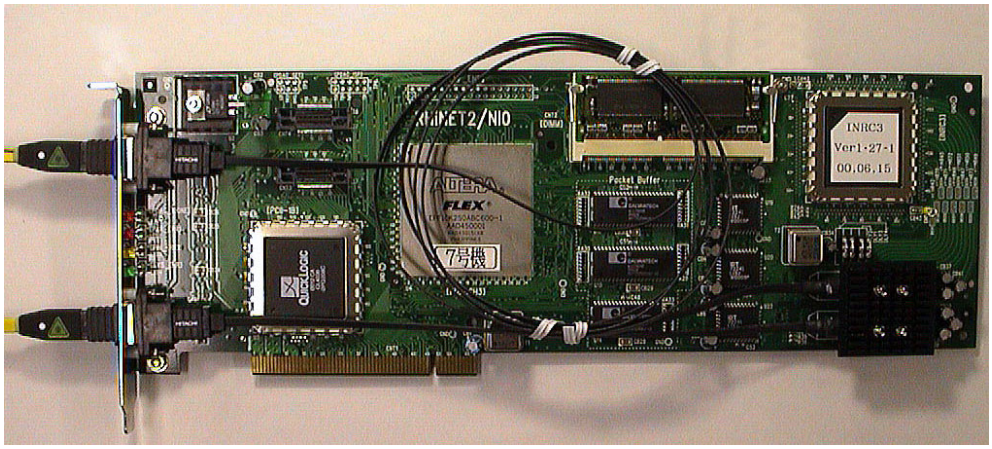


図３　RHiNET-2/NI0

2)RHiNET-2/NI

ASIC にコントローラを集積し、より高いバンド幅のリンクを持つネットワークインタフェース RHiNET-2/NI を開発した。RHiNET-2/NI は、Martini と呼ぶプロトコル制御チップを中心に構成され、RHiNET-2/SW に接続される 8Gbps の光リンク、RHiNET-3/SW に接続される 10Gbps の光リンク、光インタコネクション NEC 研究室が開発している OIP を用いたスイッチに接続するための 2.5Gbps の入出力のいずれかを持つ。

RHiNET-2NI は 64bit/66MHz の PCI bus Interface を持ち、SO-DIMM をボード上に搭載する。

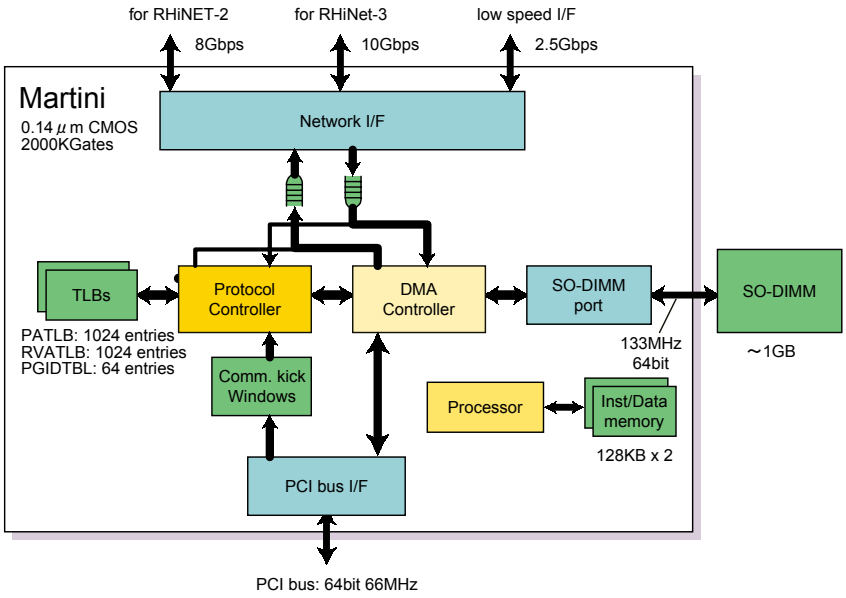


図４ Martini プロトコル制御チップのブロック図

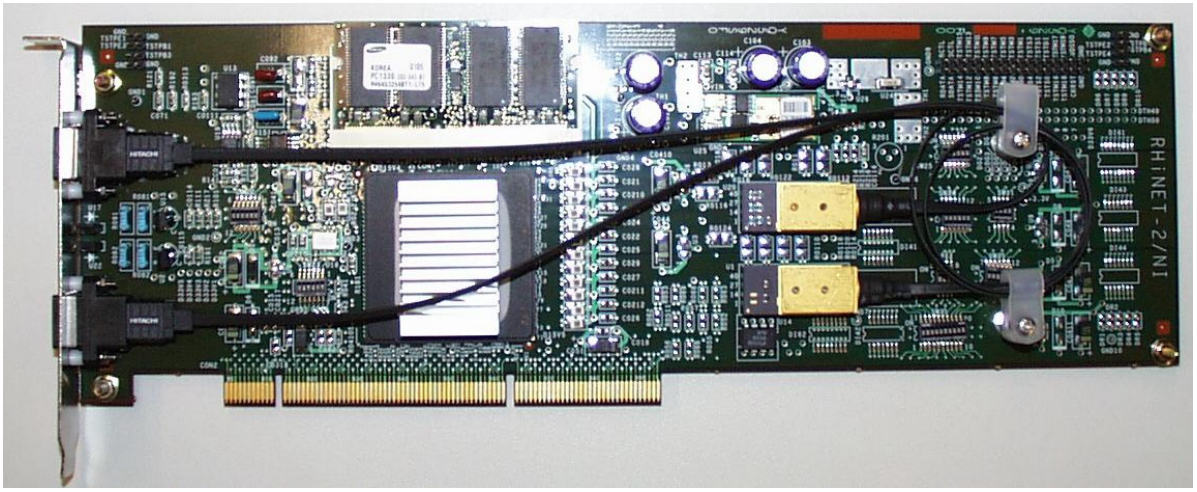


図５ RHiNET-2/NI

3) RHiNET-2/SW(3,4)

RHiNET-2/SW では，RHiNET-1 から以下の点について改良を行なった．

(a)光インタコネクトモジュール

RHiNET-2 では，日立製作所製のインタコネクトモジュール MDS4212A/MDR4212A を用いた．このモジュールは，１本のパラレルファイバケーブルで，クロックと 11bit の 800Mbps のデータを転送することができ，最大 100m の伝送が可能である．

(b)大容量オンチップメモリの採用

0.18μmルールの CMOS を用いることにより，オンチップメモリ上にポートあたり 512Kbits の仮想チャネルのためのバッファを持つ．これを用いて，4Kbytes の仮想チャネルをポート毎に 16 個装備した．これにより 8Gbps，100m のリンクで waveform pipeline と拡張 slack buffer を実現した．

(c)仮想ネットワーク

RHiNET では，仮想チャネルをデッドロック回避に用いており，RHiNET-2/SW は各入力ポートに 16 個の仮想チャネルを備えて直径の大きなネットワークにも対応している．しかし，ネットワークの直径が大きくない場合には，これらの仮想チャネルを仮想ネットワークの実現に用いることが考えられる．

RHiNET では，ネットワークの信頼性が高いことを利用して，再送などの動作を省くことにより高速転送を行う．RHiNET-2/SW で使用する光インタコネクションモジュールの単体での Bit Error Rate（BER）は 10^{-20} 以下である．これは，1000 台の PC で構成される程度の規模で RHiNET システムを構築し，全てのスイッチが最大転送バンド幅で 1000 時間動作し続けた場合を想定しても，システム全体で 1 つ以下のエラーしか発生しないことを意味する．また，RHiNET-2/SW では ASIC パッケージの I/O や基板上の配線を伝達される電気信号も非常に伝送レートが高いことを考慮して，エラー訂正符号（ECC）を用いることによりさらに信頼性を向上させている．

RHiNET-2/SW は、電気的特性を調べるための最初のプロトタイプによる実証試験を終え、論理動作を含めて動作する最終プロトタイプを用いた調整を行なっている。図4に RHiNET-2/SW チップのダイの写真を示す。このチップは日立製作所製の 16.5mm 角の 0.18μルールエンベッデッドアレイである。

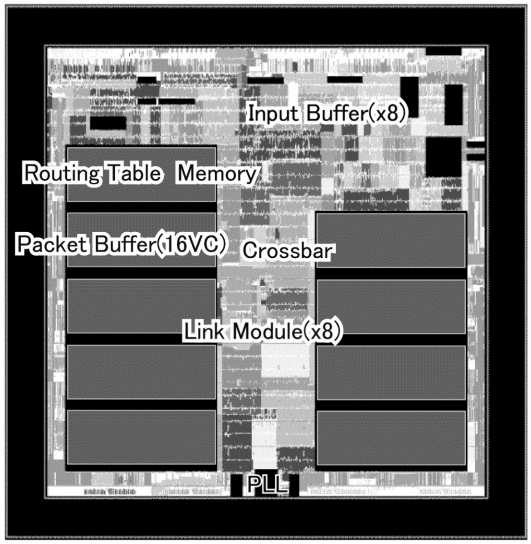


図 6 RHiNET-2/SW チップ ダイ

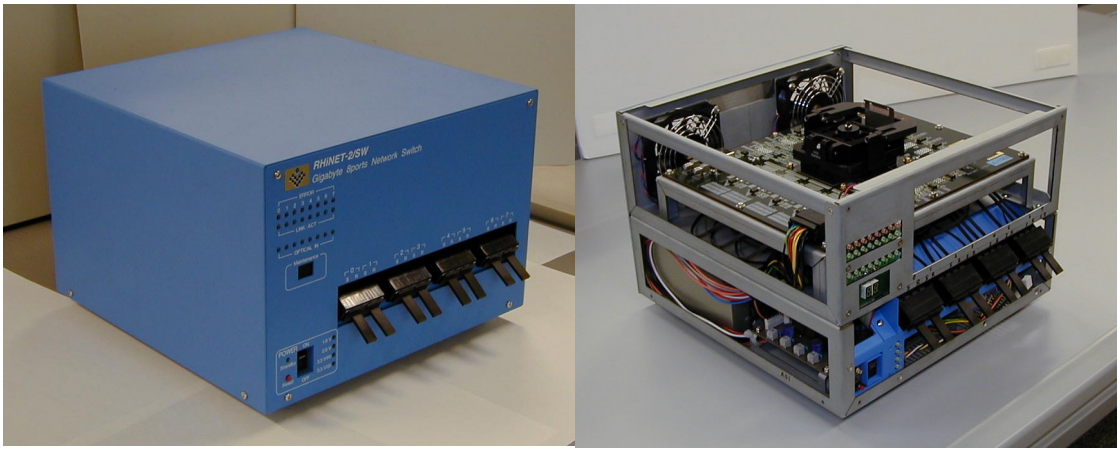


図 7 RHiNET-2/SW

（4） RHiNET-3/SW

RHiNET-1/SW、RHiNET-2/では、Window ベースのフロー制御方式を用い、ビット誤り率がほぼ無視できるほど低い(BER = 10^{-20})デバイスを用いた。しかし、使用できるリンク長が制限されること、デバイスが高価であることなどの問題があった。

そこで、クレジットベースのフロー制御方式を用い再送機構を持つスイッチ RHiNET-3/SW の開発を光インタコネクション日立研究室と共同で行った。RHiNET-3/SW は、広く用いられつつある比較的安価な光インタコネクションモジュールを用い、10Gbps/link のポートを 8 ポート持つ。

（5）DIMMnet

パソコンのメモリバスに直結する形で実装されるネットワークインタフェース DIMMnetを開発た。従来の PCI バスに接続される形でのネットワークインタフェースには、バンド幅や遅延時間に限界があり、10Gbps クラスのネットワークバンド幅を有効

に活用することができない。そこで、メモリスロット（DIMM スロット）にネットワークインタフェースを装着することにより、これらの問題を解決する。DIMMnet のプロトコル制御には、RHiNET-2/NI のプロトコルコントローラと同一の設計を用いている。

◆成果の意義

従来、ビル内やフロア内の計算機間の接続には主として TCP/IP プロトコルを用いる LAN が使われてきた。この種のネットワークは、混雑時にはパケットを廃棄する可能性があり、パケットの到着順序も保証されないため、TCP プロトコルにより再送、到着順序制御をおこなっている。しかし、Gbps クラスを超える通信速度が実現できるようになると、プロトコル処理のオーバヘッドが無視できず、通信遅延も大きい。

本研究テーマは、ビル内、フロア内で用いる、パケットを廃棄しない低遅延ネットワークの実現法を開発するもので、これにより、計算機相互接続による高性能並列処理環境、サーバ間接続などの分野で大きなアドバンテージを持つネットワークを提供することができる。

◆他機関との比較など

クラスタシステム用ネットワークとしては Myrinet が広く用いられている。リンクバンド幅は単方向あたり最大 2Gbps である。最新の Myrinet-2000 のネットワークインタフェースは, 64bit/66MHz の PCI バスをサポートし、LANai 9.0 と呼ぶ専用プロセッサをネットワークインタフェース上に持っている。オンボードに最大 16MByte のメモリを持ち、これらのメモリは LANai プロセッサ上のプログラムにより様々な用途に使われる。LANai プロセッサは、2 つのコンテストをオーバヘッド無しに切替えられるようにレジスタセットを 2 組用意するなど、ネットワークインタフェースのコントローラプロセッサに適した構造になっている。しかし、すべての通信の起動は LANai によって行なわれるため、リモート DMA のようなもっとも基本的な通信にも LANai での処理のオーバヘッドがレイテンシに加算される。RHiNET では、基本的なデータ転送はハードウェアのみによって行われるので、Myrinet よりもレイテンシが小さい。また、リンクバンド幅も RHiNET の方が大きい。

Quadrics 社の QsNET のネットワークインタフェースは、64bit/66MHz の PCI バスをサポートし、Elan III とよぶネットワークインタフェースコントローラを持つ。Elan III の詳細は不明であるが、その機能は Martini の機能と共通点が多い。Elan III はハードウェアで DMA 転送などの通信をサポートする。また、プロセッサをチップ上に持ち、複雑な通信はプロセッサによりサポートする。ボード上に 64MB のメモリを持ち、ここにページテーブルなどの情報を格納する。リンクバンド幅は実データで 340Mbytes/sec(2.72Gbps)である。プロセスからプロセスへの remote write のレイテンシは 2 μ sec とされている。

Myrinet, QsNET いずれも、ネットワークは簡単な構成をとっている。QsNET は筐体内にネットワークを構成し、このネットワークに計算機が接続される形をとる。ネットワークのトポロジは FAT TREE に限られる。Myrinet でもデッドロックを防ぐためにトポロジに制限がある。これに対して RHiNET にはトポロジ、リンク長の自由度が高い

また、RHiNET-3/SW では、ハードウェアにより Hop-by-hop retransmission を行う。これまでに、このようなスイッチは提案されてはいたが、実装例の報告は見当たらず、新規性がある。Hop-by-hop retransmission を用いれば、End-to-end retransmission をハードウェアで行った場合に問題となる、必要な再送バッファ容量が爆発する可能性があるという問題が避けられる。

◆主要論文･成果発表･受賞等

【1】西宏章、工藤知宏、多昌廣治、天野英晴: “効率のよい並列処理をサポートするローカルエリア向けネットワークスイッチ”,電子情報通信学会論文誌 D-1 Vol. J83-D-I No2 pp.245 - 254 2000 年 2 月

【2】西　宏章、山本　淳二、工藤　知宏、多昌　廣治、西村　信治、天野　英晴: “ LASN 用 8Gbps/port8×8One-chip スイッチ:RHiNET-2/SW ”,並列処理シンポジウム JSPP2000 pp. 173- 180 2000 年 6 月

【3】Tomohiro Kudoh, Junji Yamamoto, Osamu Tatebe, Hideharu Amano: “RHiNET: A network for high performance parallel processing using locally distributed computers. Innovative Architecture for Future Generation High-Performance Processors and Systems pp 69 - 73(Proc. Of IWIA99, Oct. 1999)

B-1-8 大容量データバス用光インターコネクション（光インターコネクション日立研究室）

◆目標

高密度光インターコネクションを搭載した並列計算機の実証システムの開発を目標とする。具体的には、(1)80Gbit/s 高速スイッチによる複数計算機の並列結合、(2)実並列計算機搭載時の信頼性向上、さらに(3)新規材料 GaInNAs を用いた高効率レーザ技術の開発。

◆アプローチ

大容量信号処理 LSI と高速光モジュールを高速・高密度配線にてボード上に集積実装した、大容量光インターコネクション技術を開発する。

128 ノード大規模並列分散計算機システム（RHiNET-2）用に、64 Gbit/s(8 Gbit/s ×8 ポート)の通信容量を持つ大容量・低遅延スイッチを量産規模に匹敵する 32 台分開発し、並列分散計算機システムに搭載する。さらに高速なネットワークシステム用に 80 Gbit/s(10 Gbit/s×8 ポート)を実現する大容量・低遅延・小型スイッチを開発し、並列分散計算機システム（RHiNET-3）に搭載する。

GaInNAs レーザの活性層には当研究室が独自に開発した新材料を採用した。本材料は長距離伝送・低電圧駆動に有利な 1.3 μ m 帯用半導体であり、温度特性に優れる特徴を有する。

◆研究計画概要

(1)大規模並列分散計算機（RHiNET-2）向け 64Gbit/s 光スイッチの量産開発（スイッチ 32 台）
(2)並列分散計算機（RHiNET-3）向け 100 Gbit/s 光スイッチの試作開発
(3)新規材料 GaInNAs を活性層に用いた面発光レーザモジュールを開発する。

◆研究計画内容

(1)並列分散計算機（RHiNET-2）向け実証試験用光スイッチシステムの開発

並列分散計算機環境の開発の為に、大容量スイッチ LSI と大容量光インタコネクションモジュールを搭載した RHiNET-2 システム向け実証試験用の 8×8 光スイッチを開発する。前年度開発した機能試験用スイッチに搭載した LSI 技術を改良・応用して通信容量 8.8 Gbit/s 光インタコネクションモジュールと集積し、回路チューニングと EMI 対策をし、大容量(64Gbit/s)光入出力スイッチを開発する（スイッチ台数は 32 台）。

(2)並列分散計算機（RHiNET-3）向け光スイッチシステムの開発

ネットワークシステムの大容量化と接続長の拡大を目指して、高性能スイッチシステムを開発する。100Gbit/s のスイッチ LSI を開発し、通信容量 12.5Gbit/s の 850nm 面発光レーザ光モジュールと組み合わせ、高速なネットワークへの対応を可能とするスイッチ(100Gbit/s)の試作開発を行い、ハードウェア基盤技術を構築する。

(3)面発光レーザモジュールの開発

高速・高密度集積駆動に不可欠な面発光レーザモジュールを開発する。面発光レーザの活性層には当研究室が独自に開発した新材料 GaInNAs/GaAs を採用する。本材料系は長距離伝送・低電圧駆動に有利な 1.3 ミクロン帯用半導体であり、温度特性に優れ、面発光レーザ構造を低コストに実現しやすい特徴を有する。これまでに開発した長波長面発光レーザ及びレーザアレイの特性改善を行い、12ch の面発光レーザモジュールを開発する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

大容量で並列計算環境に適した低遅延な光インターコネクションを、トータル計算機実機システムとして完成する事により、計算機ネットワーク上で高速・長距離接続を

可能とする本技術を大容量並列計算機から高速ルータ網などの様々な分野に、容易に展開できる。
GaInNAs 面発光レーザ技術は、将来的に長距離、高速伝送の可能な低コスト光源を提供できる。

◆成果概要

(1)大規模並列分散計算機(RHiNET-2)向け 64Gbit/s 光スイッチの量産開発
(2)並列分散計算機(RHiNET-3)向け 100 Gbit/s 光スイッチの試作開発
(3)次世代の大容量・高密度光インターコネクション技術への応用を目指す高性能かつ低コストな半導体レーザの開発

◆研究成果の内容

(1)並列分散型計算機 RHiNET-2 システム向け光スイッチシステムの開発

RHiNET システムは、長距離を広帯域接続できる光インターコネクションを PC ノード間接続に採用し、高性能な並列計算処理を実現する事を目標としている(図 1 参照)。本システムはビル内フロア内に分散配置された計算機等にも適用できる。
RHiNET-2 システムにおいては、各 PC は PCI バスベースの NIC(network interface card)を搭載し、8.8Gbit/s の転送性能を有する光インターコネクションを介して 8×8 の専用クロスバースイッチ(RHiNET-2/SW:図 2 参照)に接続した。
本研究においては、RHiNET システムにおいて各 PC ノード間を光インターコネクションにて接続する高速 8×8 スイッチ(RHiNET-2/SW)を開発した。本スイッチは 8Gbit/s の高速光インターフェースを 8 ポート有し、単体で総容量 64Gbit/s の世界最高速のネットワーク処理を実現した。今回開発した技術の特長は、以下の通り3点である。

1)高速 CMOS スイッチ LSI
周辺回路とのインターフェースを高速光入出力用に最適化すると共に、大容量メモリ(512kbyte)をチップ内に搭載した高機能 CMOS スイッチ LSI。チップ当たりの通信容量として、ネットワーク用 CMOS-LSI での最高速クラスの 64Gbit/s を実現した。入出力バッファを 8 Gbit/s 光インターコネクションモジュールに最適化し、高速・大容量動作を実現した(図 3 参照) [1]。

2)8.8Gbit/s の超高速並列光インターコネクションモジュール
本システムに用いた光インターコネクションは 800Mbit/s×12bit の並列同期伝送(内訳:データ 11bit、クロック 1bit)が可能で、接続距離は最大 100m と電気ケーブルの 10 倍を有しビル・フロア内での自由な接続を可能にしている。

3)低ノイズかつコンパクトな、光ネットワークスイッチ搭載ボード実装技術
RHiNET-2/SW においては、ボードの中心に CMOS スイッチ LSI が搭載され、その直近に光インターコネクションモジュールを送受 8 対高密度実装して 8×8 のクロスバースイッチを実現した。各ポートは 12bit 並列データを速度 800 Mbit/s で並列同期入/出力できる(ビット内訳:パケットデータ信号 10 bit、搬送クロック 1 bit、フレーム信号 1 bit、総データ容量:8 Gbit/s/port)。ボードサイズは 270×220mm である[2,3]。

以上 3 つの技術の融合により、総容量 64Gbit/s(8Gbit/s×8 ポート)の 8×8 のクロスバースイッチを 1 ボードで実現した(図 4,5 参照)。
動作試験として RHiNET-2/SW の各入力ポートに 800 Mbit/s×10bit のパケット信号を入力し、出力信号のアイパターンを観測し、ビットエラーレート(BER)を測定した。データレート 800 Mbit/s の条件において、BER が 10^{-14} 以下の高信頼性を実現した[3-6]。
計算機システムとしての機能を検証するため、16 台の PC と 5 台の RHiNET-2/SW

を接続してクラスタシステムを構成し、並列動作プログラムの動作確認を行った。
16 台の PC と 5 台のスイッチは図 6 に示すようなツリー構造のネットワーク構成にて接続した。PC ノード側のネットワークインターフェースは前 4 章と同様に NIC-1 を使用し、PC ノードから出力されるデータ信号は1Gbit/s（100 Mbit/s×10 チャネル）の並列光リンクにて入出力する。ゆえに、PC とスイッチ間は1Gbit/s で接続され、スイッチとスイッチの間のみ定格の 800 Mbit/s のデータレートで接続する。PC-スイッチ間のファイバ長は 5 m、スイッチ-スイッチ間は 5 m を 3 本と 50 m を 1 本のアンバランスな接続を混在し、装置間レイアウトに対する柔軟性を確認した。（本システムは国際会議 SC2000（2000 年 11 月 6-9 日、米国ダラス市）にて動態展示を実施した際に利用した[7]）。
動作確認用のプログラムは、レイトレーシングのプログラムを専用に開発し、実行した。レイトレーシングは 3 次元立体配置した図形に光線を当てた際の、反射光を計算させるものである。このデモンストレーションシステムにおいては、16 台の PC ノードを 1 台のサーバと15 台のクライアントマシンとして使用し、画面上の計算領域を15 等分に分割して、サーバから各クライアントに分割投入して計算を実行し、再びデータを集める形の並列計算処理を実行した。本プログラムを開催期間中（4日間）デモすることにより、高速ネットワークを含むシステム全体の動作信頼性は確認した。(4 日間は障害も生ずる事なく連続動作した)。
本 RHiNET-2/SW は、動作の信頼性を高める改良の後、128 ノードからなる大規模実証システムに搭載して、その高い通信パフォーマンスを実証した（図 7）。

(2)光インターコネクション搭載高速ネットワークスイッチ(RHiNET-3/SW)
光インターコネクションを応用した並列計算機システム(RHiNET: RWCP high performance network system(1))において計算機間接続に使用するネットワークスイッチとして、従来開発してきたネットワークスイッチ RHiNET-2/SW(総通信容量: 64Gbit/s)(2)を改良し、より高速なスイッチ RHiNET-3/SW を新たに開発した[8]。本 RHiNET-3/SW スイッチは、下記の 2 つの特長を有する。
1)10Gbit/s × 8 ポート(総容量:80Gbit/s)の大容量通信を実現。
2)12 チャンネルマルチモードファイバ(MMF)にて最大 1km までの長距離通信が可能。

本 RHiNET-3/SW は、以下の 4 つの主要部品により上記の大容量・長距離通信を実現した。
1)スイッチ LSI (SW-LSI): 8×8 のクロスバースイッチ機能を有する CMOS-LSI(図 8)。各ポートは、10Gbit/s の通信容量を 1.25Gbit/s×8bit のチャネル構成で実現した。1km の長距離通信を実現するため、通信方式に、バッファメモリのオーバーフローを予防できるクレジットフローコントロール方式(3)を採用した。更に、光リンクモジュールのエラー補償(BER: ～10^{-12})のため、エラーパケットの再送機構を各 I/O ポートに搭載した。
2)12 チャネル光リンクモジュール: VCSEL(波長 850nm)を光源に用いた高速並列光リンクモジュールを適用した。
3)スキュー補正 LSI (DS-LSI): 並列光リンクモジュールと MMF を用いた 1 km の高速光接続を実現するため、フレーム同期方式のスキュー補正機能と 8B10B 符号を用いた AC スクランブル機能を搭載した CMOS-LSI。フレーム同期方式の採用により、1km の接続に十分な最大+/-256ns のスキュー調整を実現した。8B10B 符号による AC スクランブル符号/復号処理により、信号の伝送帯域を保証して高速接続を実現した。DS-LSI は 1 チップに 2 ポート分のスキュー補正機能を搭載した(8 ポート機能を有するマザーボードには DS-LSI を 4 つ搭載した。図 9 参照)。
4)マザーボード: SW-LSI(1 個)、DS-LSI(4 個)、光リンクモジュール(送受を各 8 個)を高密度実装したボード(大きさ:550mm×550mm)。8 入力・8 出力の大容量

(80Gbit/s)クロスバースイッチを単一ボードで実現した(図 10)。

(3)高効率 GaInNAs レーザの開発

超並列計算システムの高度化に必要な次世代光接続アーキテクチャの開発には、基本素子の設計開発から実装技術まで、あらゆる角度からの検討が必要となる。本研究では、日立製作所中央研究所が現在までに蓄積した半導体レーザ技術およびモジュール化技術を重要基盤技術として、次世代の大容量・高密度光インターコネクションの開発に向けた新半導体レーザの研究とそれを応用した光モジュールの開発を行っている。具体的には、次世代インターコネクションの光源となる 1.3μm帯半導体レーザの開発を目指している。開発レーザの活性層には、当研究所が独自に提案・開発した GaInNAs を用いる。

図 11 に、III-V 族混晶半導体における格子定数とバンドギャップの関係を示す[9]。従来の半導体材料(網かけ部分)は、格子定数が小さくなる程バンドギャップが大きくなる。格子定数が小さい程、原子の相互作用が大きくなる為である。一方、N 系 V 族混晶半導体の GaNAs は、バンドギャップのボウイングが非常に大きく従来半導体の範囲(網かけ部分)から大きく外れる。N 組成が小さい範囲では、GaNAs のバンドギャップは N 組成の増加と共に減少する。従来の III-V 族半導体が格子定数とバンドギャップの関係において左上がりの特性を持つのに対して N 系 V 族混晶半導体は左下がりの特性を持つので、III-V 族半導体の世界を大きく拡げることができる。次に、GaInNAs について説明する。GaAs へ In を加えて GaInAs 混晶半導体とすると、格子定数は増大する。一方、GaAs へ N を加えて GaNAs 混晶半導体とすると、格子定数は減少する。従って、In と N の組成を調整することにより GaInNAs は GaAs 基板と格子整合することができる。バンドギャップに関しては、In と N のどちらを GaAs へ加えても共に減少する。従って、GaInNAs は、図 11 に示す様に GaAs 基板と格子整合することができ、尚且つ、光ファイバ通信に適する長波長帯のバンドギャップ(0.8-1.0 eV)を有する。

現在の光通信システムで使用されている半導体レーザは、InP 基板上に作製されたものであり、材料に GaInPAs 混晶半導体が用いられている。それは、屈折率導波型構造及び量子井戸構造の採用により、非常に高性能となっている。しかし、20 年来の研究開発の努力にもかかわらず、高温動作時に特性が大きく劣化する欠点が今以て残っている。今迄の幹線系光ファイバ通信では、この対策として半導体レーザをペルチェ電熱素子で冷却しながら使用している。しかし、この方法では光通信用モジュールが大掛かりとなり、消費電力も大きく、価格も高くならざるを得ない。光ファイバ通信が各家庭・オフィスへ、各コンピュータへと導入される今後の加入者系光ファイバ通信及び光インターコネクションでは、半導体レーザ送信モジュールの低価格化と低消費電力化が必須となるので、冷却素子を必要としない高温特性に優れる長波長半導体レーザが非常に強く求められている。半導体レーザの特性が高温動作時に大きく劣化する主原因は、発光に寄与する電子の閉じ込めエネルギーが不十分な為である。電子の閉じ込めエネルギー即ちΔEc が小さいと、電子を発光部分に注入しても一部の電子が熱エネルギーにより発光部分から閉じ止め部分に溢れだし発光に寄与しなくなる。この発光に寄与しない電子の割合が高温動作時には急激に増大するので、半導体レーザの特性が大きく劣化する。GaInPAs 系レーザでのΔEc は 100meV である。一方、GaInNAs では、300 meV 以上のΔEc を容易に達成でき、半導体レーザにとって理想的なバンドラインナップとなる。従って、高温動作時においても電子と正孔の両方を完全に GaInNAs の発光部分に閉じ込めることができ無効電流が発生せず、温度特性が半導体レーザの理想値まで改善される。また、GaAs 基板上には AlAs と GaAs を交互に積層した高反射率ミラーを容易に形成できるので、GaInNAs を活性層に用いることで AlAs/GaAs 高反射率ミラーとの一体形成が可能になり、低コスト化と集積化に有利な長波長帯面発光型レーザの作製においても非

常に有利である。

我々は、分子線エピタキシー法による GaInNAs の結晶成長法を開発し、諸条件を最適化することにより従来のレーザ材料と同程度の高品質な GaInNAs 結晶性を得ることに成功した[10]。その結果、図 12 に示すように端面発光型レーザにおいて次世代の半導体レーザに必須な 10Gbit/s 動作を 80℃までの高温で成功した。また、70℃でも 1000 時間以上に渡って全く劣化しないことを確認した。RWC2001 に向けて 10Gbit/s 動作対応の光送信モジュールを作製している。また、低コスト化と集積化に有利な GaInNAs 面発光型レーザの室温動作にも世界に先駆けて成功した[11]。

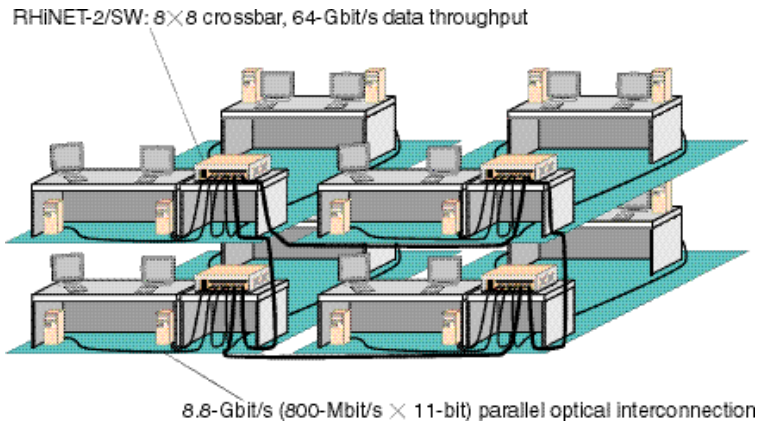


図 1　RHiNET-2 システムの概念図

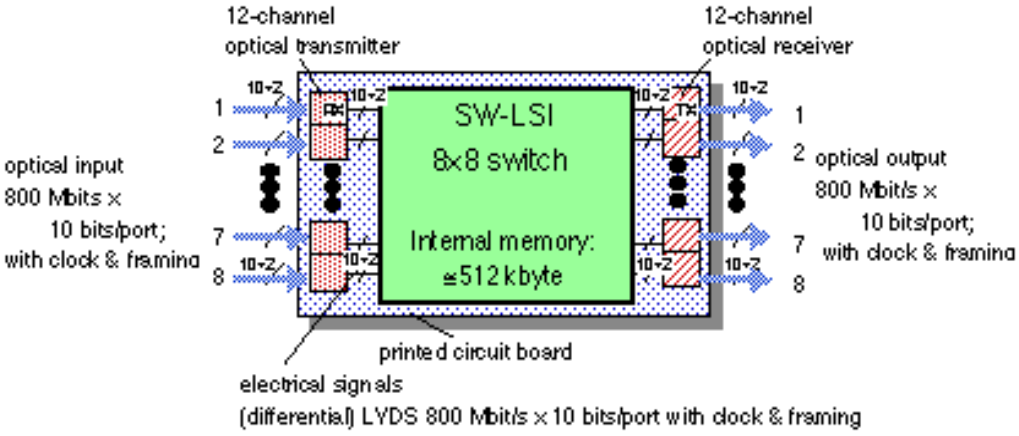


図 2　RHiNET-2/SW 高速ネットワークスイッチの概念図

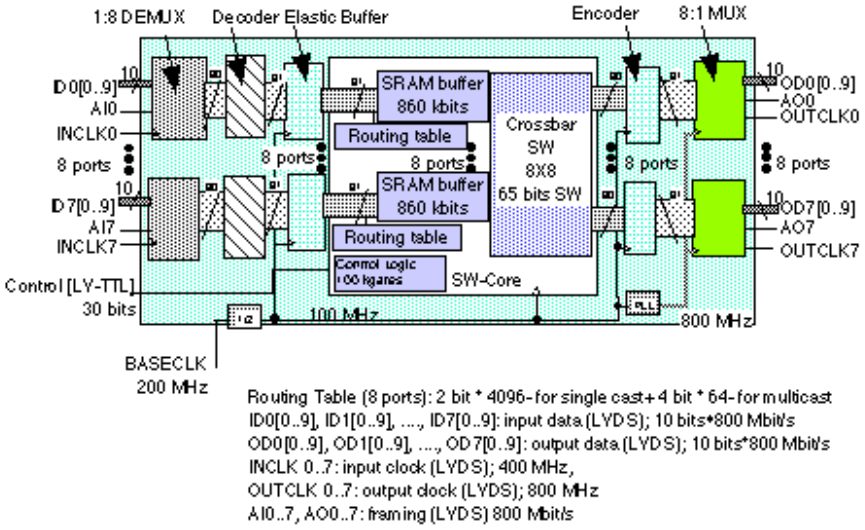
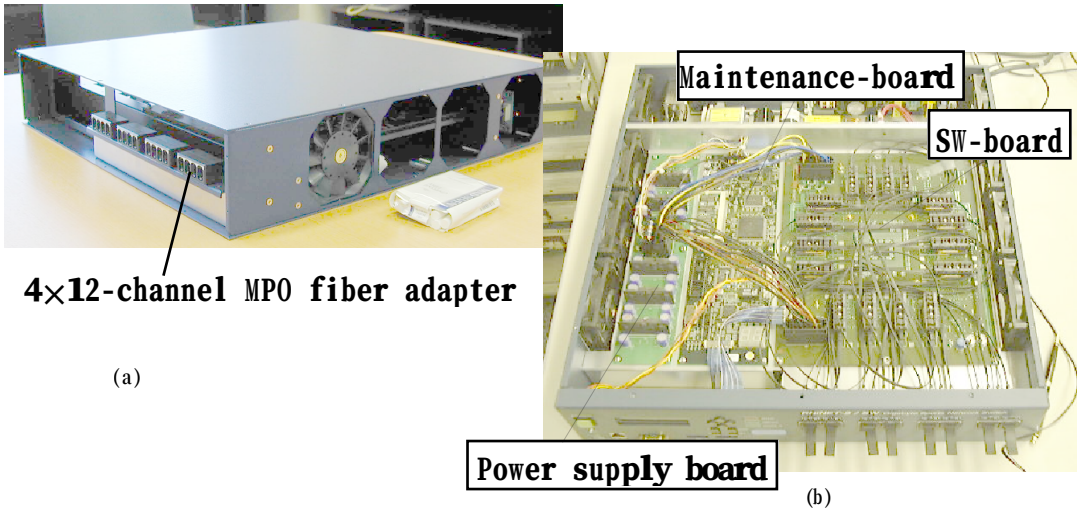
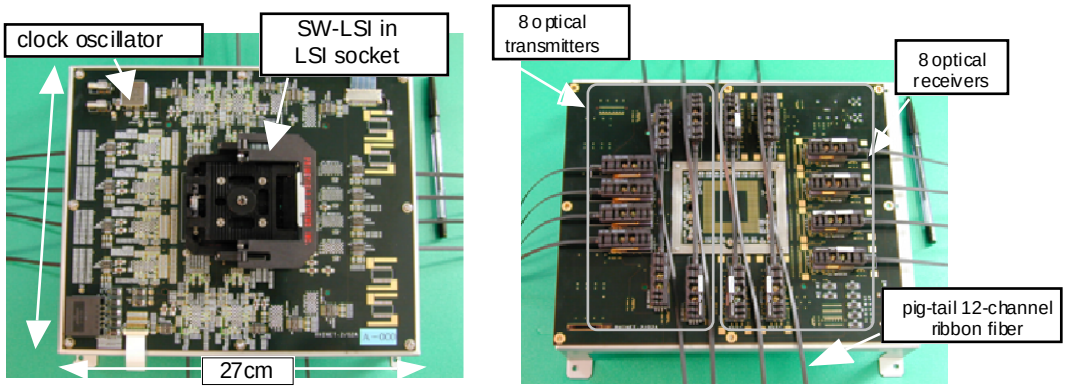


図 3　スイッチ LSI の機能ブロック図



(a)　(b)

図 4　RHiNET-2/SW の装置外観　(a) 全体図、(b)内部構造



(a)　(b)

図 5　ネットワークスイッチ RHiNET-2/SW のボード外観図
（a）スイッチ LSI 搭載面　(b) 光モジュール搭載面

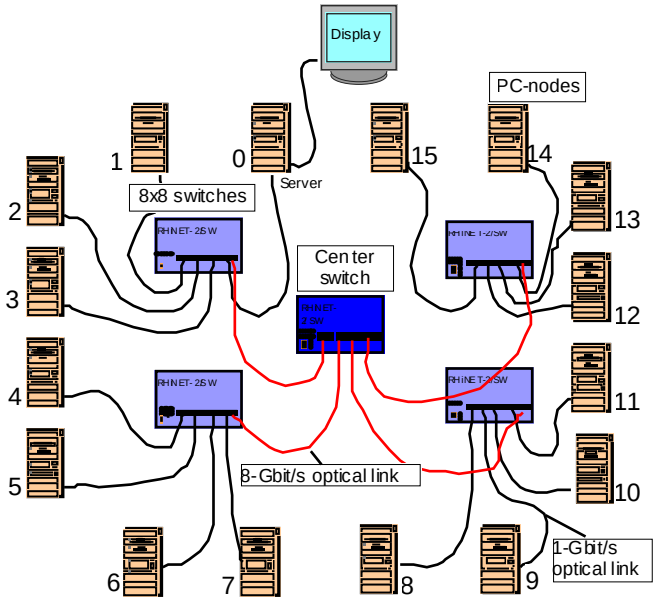


図 6　16 ノード並列計算機システム

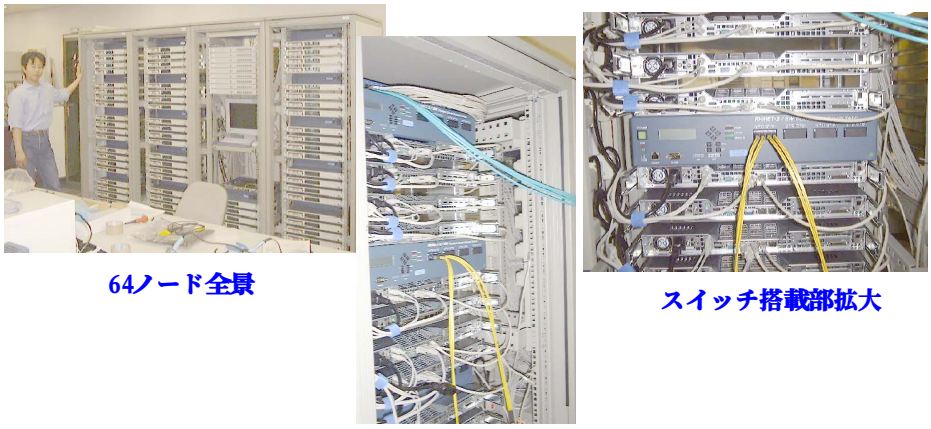


図 7　最終成果システム 128 ノード並列システムの外観

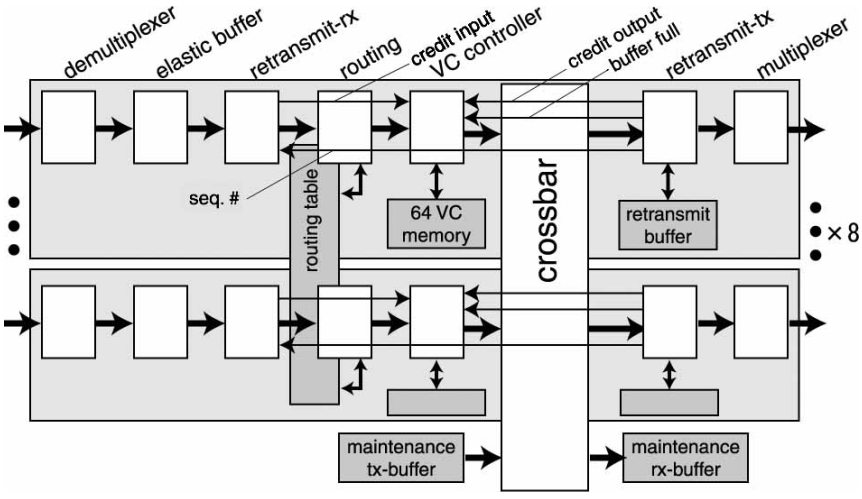


図 8　RHiNET-3: スイッチ LSI の内部ブロック図

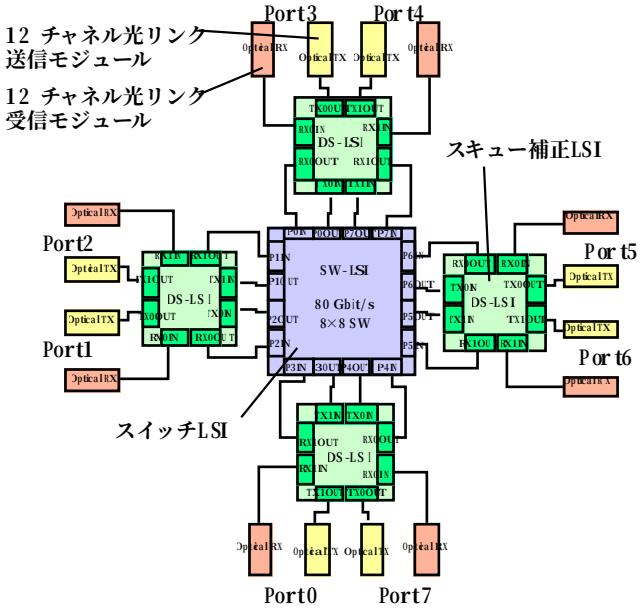


図 9　RHiNET-3: スイッチ全体の機能ブロック図

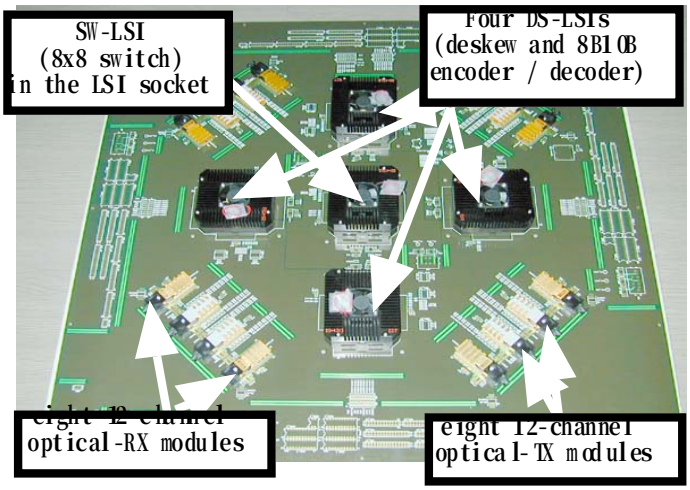


図 10　RHiNET-3: スイッチボードの外観写真

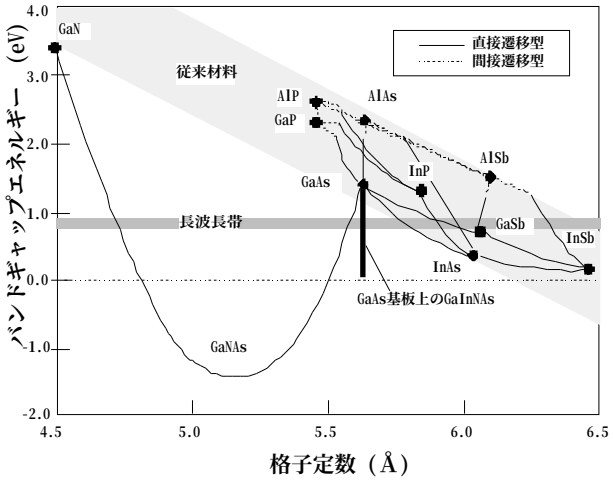


図 11　III-V 族混晶半導体における格子定数とバンドギャップの関係

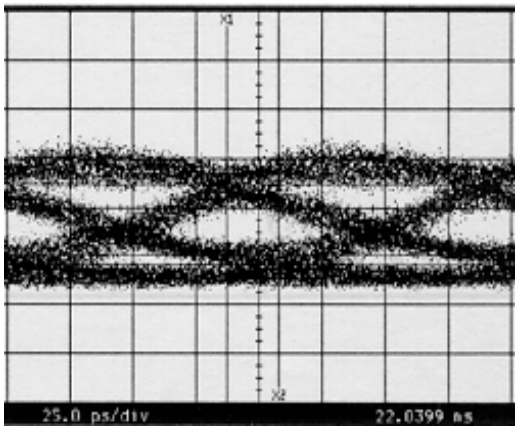


図 12 端面発光型 GaInNAs レーザにおける 10Gbit/s 動作の 80℃でのアイパターン

◆成果の意義

本研究により、大容量でシームレスコンピューティング環境に適した低遅延な光インターコネクションを、実機搭載した実用システムの形で利用できる。
高速大容量システムを実用パッケージにまとめた事により、本技術を大容量並列計算機から高速ルータ網などの様々な分野に展開できる。
また RWCP で産まれた GaInNAs は、次世代半導体レーザの有力材料技術と見なされており、現在 40-50 ヶ所の国内外の研究機関で研究開発されている。因って、RWCP が技術潮流を作ったと言える。

◆他機関との比較など

本研究の成果である高速ネットワークスイッチは Gbit/s の高速光インターフェースを 8 ポート有し、単体で総容量 64Gbit/s の世界最高速のネットワーク処理を実現した。本スイッチに搭載した CMOS スイッチ LSI は、計算機内ネットワーク・ATM ネットワーク用に開発された高速 CMOS ネットワークスイッチとして、発表時点で世界最高速の性能を実現した。

GaInNAs 結晶成長技術および端面発光型レーザの特性において、絶えずトップレベルにあり世界を牽引している。面発光型レーザにおいては、我々が世界で初めて動作に成功した。最近、米国のベンチャー企業が、面発光型レーザの今年度中の製品化（サンプル出荷）を発表した。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】S. Nishimura, T. Kudoh, H. Nishi, J. Yamamoto, K. Harasawa, N. Matsudaira, S. Akutsu, K. Tasyo, and H. Amano: " High-speed network switch RHiNET-2/SW and its implementation with optical interconnections", Proceedings of Hot Interconnects 8, pp. 31-38, Stanford U.S.A., Aug. 2000.

【2】S. Nishimura: " RHiNET-2/SW: 64-Gbit/s network switch implemented parallel optical interconnection (Invited)", 2000 IEEE Computer Packaging Japan Workshop, P022, Hikone Japan, Feb. 2000.

【3】S. Nishimura, K. Harasawa, N. Matsudaira, S. Akutsu, T. Kudoh, H. Nishi, and H. Amano: "RHiNET-2/SW: a large-throughput, compact network-switch using 8-Gbps optical interconnection", New Generation Computing, vol. 18, pp. 188-197, 2000.

【4】S. Nishimura, T. Kudoh, H. Nishi, K. Harasawa, N. Matsudaira, S. Akutsu, K. Tasyo, and H. Amano: " High-throughput network switch for the RHiNET-2 optically interconnected parallel computing system", Proceedings Optics in Computing 2000 (OC2000), vol. 408, pp. 562-589, 2000.

【5】S. Nishimura, T. Kudoh, H. Nishi, K. Harasawa, N. Matsudaira, S. Akutsu, and H. Amano: "64-Gbit/s highly reliable network switch (RHiNET-2/SW) using parallel optical interconnection", IEEE Journal of lightwave technology, special issue on Optical Networks, vol. 18, No.12, pp. 1620-1627, 2001.
【6】S. Nishimura, T. Kudoh, H. Nishi, K. Tasho, K. Harasawa, S. Akutsu, S. Fukuda and Y. Shikichi: "A high-speed, highly-reliable network switch for parallel computing system using optical interconnection", The IEICE Transaction on Electronics, a special issue on Optical Interconnects/ Optical Signal Processing, vol. E84-3, p. 288-294, 2001.
【7】S. Nishimura: "RHiNET: A local area system network", SC2000：Conference on High performance networking and computing, R403, Dallas U.S.A., Nov. 2000.
【8】S. Nishimura, T. Kudoh, H. Nishi, J. Yamamoto, R. Ueno, K. Harasawa, S. Fukuda, Y. Shikichi, S. Akutsu, K. Tasho, and H. Amano: “RHiNET-3/SW: an 80-Gbit/s high-speed network switch for distributed parallel computing”, will be presented at Hot Interconnect 9, Stanford, Aug. 2001.
【9】M. Kondow, K. Uomi, A. Niwa, T. Kitatani, S. Watahiki, and Y. Yazawa: "GaInNAs: A novel material for long-wavelength-range laser diodes with excellent high-temperature performance," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 35, pp. 1273-1275, 1996.
【10】T. Kitatani, M. Kondow, and T. Tanaka: "Molecular beam epitaxy of GaInNAs by using solid source arsenic," J. Cryst. Growth Vol. 227/228, pp.521-526, 2001.
【11】M. C. Larson, M. Kondow, T. Kitatani, K. Nakahara, K. Tamura, H. Inoue, and K. Uomi: "GaInNAs/GaAs long-wavelength vertical-cavity surface-emitting laser diodes," IEEE Photonics Technology Lett. Vol. 10, pp. 188-190, 1998.

受賞：
The ISCS (Int’l Symposium of Compound Semiconductors) Young Scientist Award for 2001

B-1-9 光インタコネクション用低電圧動作面型レーザの研究（光インターコネクション富士通研究室）

◆目標

低コストの光インターコネクションを実現可能とするために、次世代の CMOS の駆動電圧 1.5-1.8V で動作する、CMOS 直接駆動可能な波長 1.3μm 帯の面型レーザを実現する。

◆アプローチ

低電圧駆動を可能にするために、ビルトイン電圧の低い、波長 1.3μm 帯の面型レーザを目指す。波長 1.3μm 帯の面型レーザを実現するにあたっての課題は、従来の InGaAsP/InP 系の材料では実現できなかった、温度特性に優れた高利得の歪量子井戸を実現することと、高反射率の半導体多層膜のミラーを実現することである。このため、新しい InGaAs 基板を用いて、高利得で温度特性の優れた活性層と高反射率ミラーを開発、低電圧動作の波長波長 1.3μm 帯の面型レーザを実現する。

◆研究計画概要

InGaAs 基板上に高反射率のミラーと高利得で温度特性の優れた波長 1.3μm 帯の歪量子井戸活性層を製作、さらに素子化のための電流狭窄構造を開発して、波長 1.3μm 帯の低電圧動作面型レーザを実現する。

◆研究計画内容

・In 組成 0.27-0.3 程度の InGaAs 三元基板上に高利得で温度特性の優れた波長 1.3□m 帯の歪量子井戸の設計・製作技術を確立する。このために、理論解析による設計を行う他、ファブリーペロー型のレーザの製作を行い特性評価を行う。
三元基板上の MOCVD 結晶成長条件の最適化を進め波長 1.3□m の高反射率の InGaAs/InAlAs ミラーを実現する。

・低電圧動作化を目指して、電流狭窄構造の構造、製作方法の開発行う。電流狭窄構造としては InAlAs 層の酸化による方法を第一候補に開発を進める。また、低抵抗化のためにミラーのドーピング条件の適正化を図る。

・以上の技術で波長 1.3□m 帯の高性能面型レーザを実現する。さらに、変調特性についても最適化を行い、1Gb/s で良好な変調特性を実現する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

波長 0.8□m 帯の面型レーザはすでに特性の優れたものが開発されているが、長波長帯の 1.3□m 帯の面型レーザは特性が十分なものがない状況であった。このため、1.3□m 帯で実用に耐える性能の面型レーザが実現することは、各種の応用分野で大きな意義がある。

第1の応用分野は光インターコネクションで、波長が長いほど pn 接合のビルトイン電圧が低い。このため、1.3□m 帯のレーザは短波長帯のレーザに比べて低電圧で駆動でき、今後低電圧化する CMOS で直接駆動できる可能である。余分なドライバー回路が不要となり、光インターコネクションの低コスト化につながる。

第2は、波長 1.3□m が通信の波長帯であり、通信の分野でも応用が開ける。

◆成果概要

InGaAs3元基板を用いて波長 1.3μm 帯の温度特性の優れた低しきい値のファブリー・ペローレーザを実現した。InGaAs 基板上に、面型レーザに必要不可欠な、反射率 99%を超える InGaAs/InAlAs 多層ミラーを実現することに成功した。これらにより、1.3μm 帯面型レーザを実現する基本的な設計ならびに結晶成長技術を確立した。また、電流狭窄構造についても InAlAs 層の酸化を行う方法を採用し、酸化条件を

確立した。

◆研究成果の内容

図1に本研究で目指している面型レーザの構造図を示す。新しいInGaAs3元基板を用いて、温度特性に優れ、低電圧動作が可能な波長1.3μm帯の面型レーザを実現することを目指す。

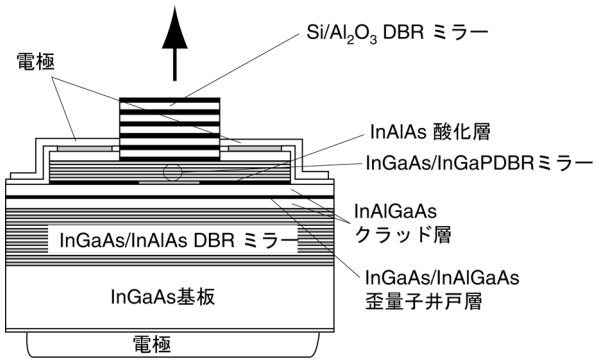


図1　面型レーザの構造図

(1)面型レーザの設計

InGaAs3元基板を用いた場合の歪量子井戸の光学利得、ミラー反射率等の理論解析を行った。3元基板を用いることで、温度依存性の少ない大きな光学利得の歪量子井戸が実現できることを示し、さらに、少ないミラーのペア数で、面型レーザで必要とされる99%以上の高い反射率が実現できることを明らかにした。これらの結論として、従来のInGaAsP/InP系のレーザでは実現できない低しきい値で温度特性に優れた波長1.3μm帯の面型レーザが実現できることを理論的に明らかにした[1)]。

(2)3元基板上の高利得歪量子井戸の実現

3元基板上に波長1.3μmの歪量子井戸を活性層とするファブリー・ペロー・レーザを製作し特性の評価を行った。In組成0.22の基板を用いたレーザは波長1.23μmで発振、優れた温度特性を示し210℃までの高温度動作が実現された。特性温度は140Kという大きな値（従来のInGaAsP/InP系の材料では50-70K）が実現できた[2), 3), 4), 5)]。この成果は固体素子材料国際会議(SSDM)での発表に対してPaper Award[受賞1)]、応用物理学会学術講演会の発表に対して講演奨励賞[受賞2)]を受賞した。また、In組成0.31の基板に波長1.3μmのレーザを製作することに成功[6), 7)]、さらに歪量子井戸を高性能化したレーザでは、発振波長1.35μmで148A/cm^{2}の低しきい値電流密度と108Kの特性温度を実現、190℃までの高温度動作を達成した[8)]。さらに、3元基板上のレーザは微分利得が大きくなることを実験的に確認し、高速変調に適していることを明らかにした[9)]。図2に3元基板を用いたレーザの単位井戸層あたりのしきい値電流密度と特性温度T_0との関係を示す。また、比較のために従来のInGaAsP/InP系のレーザの結果も示す。3元基板上のレーザでは、しきい値電流密度の低下と共に特性温度T_0が大きくなり、温度特性が良くなることがわかる。より高品質の3元基板を用いることで、しきい値電流密度が下がり、いっそうの温度特性の改善が可能である。一方、従来のInGaAsP/InP系のレーザではしきい値電流密度を下げても特性温度の増大は少ない。これはキャリアの漏れが温度特性を支配しているからである。これらの結果より、深いポテンシャル井戸の歪量子井戸が形成できる3元基板上には、温度特性のすぐれた高利得の波長1.3μm帯の歪量子井戸が実現できることが実証された。

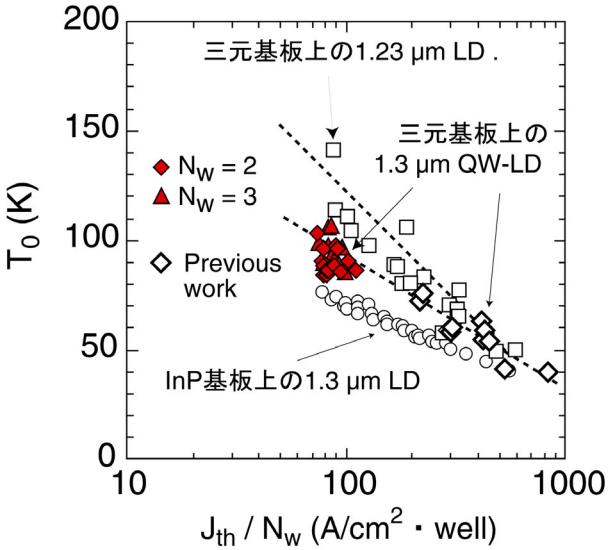


図２　特性温度の単位井戸層あたりのしきい値電流密度依存性。3元基板上のレーザでは、しきい値電流密度を下げることで特性温度 T_0 が増大し、温度特性が改善されることがわかる。この傾向は従来の InP 基板上レーザに比較して大きい。（赤で示したのが井戸数2層と3層の 1.35 μ m レーザ）

(3)　3.InGaAs 基板上の高反射率ミラーの実現

In 組成 0.27 の InGaAs3元基板の上に、基板に格子整合した InGaAs/InAlAs のミラーの結晶成長条件を確立した。当初、10 ペアのミラーで InP 基板上のミラーより有利であることを実験的に示した [10]。さらに結晶成長条件の適正化により、平坦性の優れたミラーを3元基板上に形成する技術を確立した。製作したミラーの断面写真を図3に示す。図4にこのミラーの反射率の測定結果を示す。25ペアのミラーで反射率９９%以上が得られた。これは3元基板に格子整合した InGaAs/InAlAs では大きな屈折率差が取れるため、高い反射率が実現できたものであり理論解析 1)とよく一致し、3元基板を用いることの優位性が実証されている。

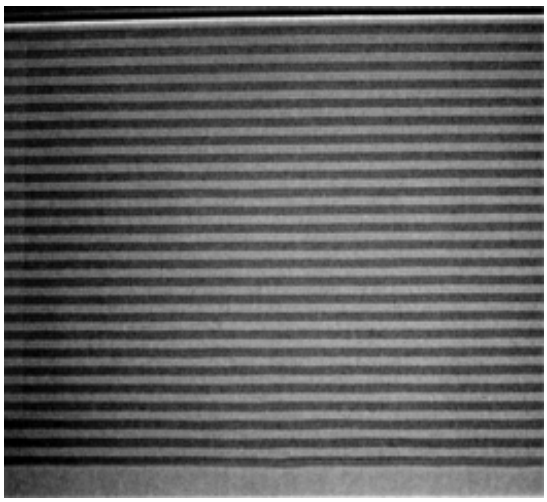


図３　InGaAs 基板上のミラー

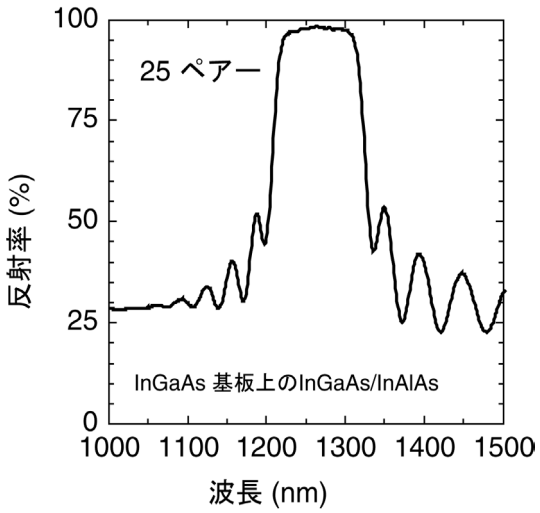


図４　InGaAs 基板上のミラーの反射率

(4)　プロセス技術

面型レーザの電流狭窄構造として InAlAs 層の native oxide 層を用いることとし、native oxide 形成のプロセス技術を開発した。図5に InGaAs/InAlAs の多層膜を水蒸気雰囲気中で酸化したときの断面図を示す。InAlAs 層の native oxide が形成され

ているのが確認できる。図1に示した製作予定の面型レーザのn側はInGaAs/InAlAsの多層膜を用いるが、もう一方のp側はSi/Al2O3の誘電体多層膜を用いる。これまでに、多層膜の形成技術と図1の構造実現のためのリフトオフプロセス技術を確立した。

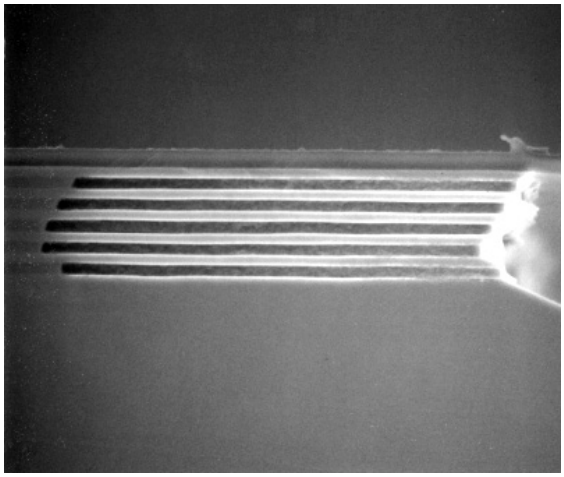


図4　電流狭窄のためのInAlAsのnative oxide。図中の黒い層が酸化層で、メサの右側から酸化を行っている。

◆成果の意義

これまで、長波長帯の1.3μm帯の面型レーザは充分な特性のものがない状況であった。1.3μm帯で実用に耐えうる性能の面型レーザが実現することは、各種の応用分野で大きな意義がある。波長が長いほどpn接合のビルトイン電圧が低いため、短波長帯の面型レーザに比べて低電圧で駆動でき、低電圧化の進むCMOSで直接駆動が可能なレーザが実現できる。このため、余分なドライバー回路が不要になる可能性があり、光インターコネクションの低コスト化につながる。第二は、波長1.3μm帯が通信の波長帯であり、通信の分野でも応用が開ける。

また、本研究で3元基板上のポテンシャル井戸の深い量子井戸を製作することでレーザの温度特性が大幅に改善されることが実証されたことは、長波長帯のレーザの温度特性についての長年の課題に答えを与えるものでその学術的意義は大きい。

◆他機関との比較など

波長1.3μm帯の面型レーザ実現のために各種のアプローチで研究が進められている。

以下の2つが課題である。

・高利得で温度特性の優れた活性層を実現すること

・高反射率の半導体多層膜のミラーを実現すること

前者に対しては、材料的ブレークスルーが不可欠で、InGaAs基板上の歪量子井戸以外に、日立分散研のGaAsを基板とし、GaInNAsを活性層とする研究、NEC分散研のGaAs基板上の量子ドット活性層の研究が行われている。目標に向けてそれぞれ一長一短がある。GaInNAsを用いる方法は、結晶がいわゆるミシビリティギャップの領域に入るため、結晶の質に問題があるが、従来のGaAs基板をそのまま用いることができるという利点がある。量子ドットを用いる方法は、量子ドット自体の性能が未だに充分でなく、今後かなりの努力が必要である。一方、本研究のInGaAs基板を用いる方法は、すでに実証されたように、高利得で温度特性の優れた歪量子井戸活性層を実現できる。問題点は、低コストで良質のInGaAs基板が作製できるか否かで、今後の基板技術の進展が鍵となる。

後者のミラーについては、米国を中心としてAlAs/GaAsのミラーをInP系の活性層に貼り付ける方法、InP系の活性層部に高歪のAlAs/GaAsのミラーを無理やり成長させる等の試みが行われている。それぞれ、発振に成功しているものの、充分な性能は得られていない。

本研究のアプローチは、InGaAs基板の上に面型レーザを製作することで、上記2つの課題を一挙に解決しようというもので、高性能の面型レーザの実現が期待され、実現した時は世界トップの研究成果となる。

これまでに実現された3元基板を用いた温度特性の優れた低しきい値のファブリー・ペロー・レーザは、ポテンシャル井戸を深くすることでレーザの特性が大幅に改善できることを実証したもので、学術的な意味のある重要な成果である。

◆主要論文・成果発表・受賞等

主要論文・学会発表

【1】H. Shoji, K. Otsubo, T. Fujii, and H. Ishikawa:"Calculated Performance of 1.3 μm Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers on InGaAs Ternary Substrates", IEEE J. Quantum Electron. Vol. 33, no. 2, pp. 238-245 (1997).

【2】K. Otsubo, H. Shoji, T. Kusunoki, T. Suzuki, T. Uchida, Y. Nishijima, K. Nakajima, and H. Ishikawa: "Low Threshold and Record High T_0 (140 K) Long Wavelength Strained Quantum Well Lasers on InGaAs Ternary Substrates," Extd. Abs. 1997 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM '97), Hamamatsu, C-4-6 (LN), pp. 556-557 (1997).

【3】K. Otsubo, H. Shoji, T. Kusunoki, T. Suzuki, T. Uchida, Y. Nishijima, K. Nakajima, and H. Ishikawa: "High T_0 (140 K) and Low-Threshold Long-Wavelength Strained Quantum Well Lasers on InGaAs Ternary Substrates," Electron. Lett. vol. 33, no. 21, pp. 1795-1797 (1997).

【4】K. Otsubo, H. Shoji, T. Kusunoki, T. Suzuki, T. Uchida, Y. Nishijima, K. Nakajima, and H. Ishikawa: "High Temperature (210℃) Operation of Long Wavelength Strained Quantum Well Lasers on InGaAs Ternary Substrates," 1998 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO '98), San Francisco, California, CWL1 (1998).

【5】K. Otsubo, H. Shoji, T. Kusunoki, T. Suzuki, T. Uchida, Y. Nishijima, K. Nakajima, and H. Ishikawa: "Long-Wavelength Strained Quantum Well Lasers Osillating up to 210°C on InGaAs Ternary Substrates," IEEE Photon. Technol. Lett. vol. 10, no. 8, pp. 1073-1075 (1998).

【6】K. Otsubo, Y. Nishijima, T. Uchida, H. Shoji, K. Nakajima, and H. Ishikawa: "Lasing at 1.3 μm in Strained Quantum Well Lasers on InGaAs Ternary Substrates," Conf. Dig. 1998 IEEE 16th International Semiconductor Laser Conference, Nara, MC5, pp. 27-28 (1998).

【7】K. Otsubo, Y. Nishijima, T. Uchida, H. Shoji, K. Nakajima, and H. Ishikawa: "1.3-μm InGaAs/InAlGaAs Strained Quantum Well Lasers on InGaAs Ternary Substrates," Jpn. J. Appl. Phys. vol. 38, pp. L312-L314 (1999).

【8】K. Otsubo, N. Sekine, Y. Nishijima, O. Aoki, A. Kuramata, and H. Ishikawa,: 1.3 μm Strained Quantum Well Lasers on InGaAs Ternary Substrates with a Low Threshold Current Density", 17th IEEE International Semiconductor Laser Conference, Monterey, WA4, pp. 111-112 (2000).

【9】N. Sekine, K. Otsubo, Y. Nishijima, O. Aoki, A. Kuramata, M. Sugawara, and H. Ishikawa:"Evaluation of High-T0 1.3 μm Strained Quantum Well Lasers on InGaAs Ternary Substrates by Frequency Response", IEEE Laser and Electro-Optics Society 2000 Annual Meeting (LEOS 2000), Puerto Rico, WF5, pp. 442-443 (2000).

【10】K. Otsubo, H. Shoji, T. Fujii, M. Matsuda, and H. Ishikawa:

"High-Reflectivity $In_{0.29}Ga_{0.71}As/In_{0.28}Al_{0.72}As$ Ternary Mirrors for 1.3 μm Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers Grown on GaAs," Jpn. J. Appl. Phys. vol. 34, no. 2B, pp. L227-229 (1995).

受賞

【1】K. Otsubo, H. Shoji, T. Kusunoki, T. Suzuki, T. Uchida, Y. Nishijima, K. Nakajima, and H. Ishikawa: SSDM Paper Award（98年9月受賞;国際会議2)に対して)

【2】大坪孝二:第4回(1998年春季)応用物理学会講演奨励賞(98年9月受賞)

B-1-10 低消費電力光インターコネクション（光インターコネクションNEC研究室）

◆目標

並列分散コンピュータ用で、光入出力インターフェースをLSIパッケージ内に搭載したスループット10Gbit／sの光電気混載LSIと、それに適合した半導体光源（長波VCSEL）の開発。

◆アプローチ

2つのテーマである光電気混載LSI（OIP）と1．3μm帯の面発光レーザは最終的には一つにできる内容であるが、それぞれでも実現されると大きな意味がある。そこで、前者において入手可能な従来型面発光光源等を用いることにより、2つのテーマを平行して研究開発し効率的に進めるアプローチを採った。

まず、OIPテーマでは、光インターコネクション分野で、LSI 間の光インターコネクションを初めて実用化できるレベルで実現することを狙った。LSI 間光インターコネクションはこれまで光デバイスからの seeds 指向で行われてきた研究テーマであった。それに対し我々は CMOS−LSI の大規模化と高速化のロードマップを考慮し、電気インターコネクション（入出力接続）のスループット不足と速度限界をスループット 100G、速度 10Gbps@2001～2002 年と予想し、そこに目標仕様を設定した。さらに、性能だけでなく、その時点で電気インターコネクションより抵消費電力、抵コストで使いやすくシステムサイドからメリットが見えることに重点をおいた。具体的なアプローチは、第1に、LSI 間光インターコネクションの実現形態を「光入出力を有するパッケージ」と「LSI 設計用ライブラリファイル」で構成すると決定した点である。これには目標仕様の実現性、システムサイドの視点、半導体設計フロー、コスト、事業化時の部品開発分担まで含めて考慮した。第2のアプローチは、ハードウェア部分にあたる「光入出力を有するパッケージ」の実現方法である。初期には高速モジュール・光モジュールで実績の高いセラミックパッケージ上のマルチチップモジュールによる開発を行ったが、今後の高スループット LSI の実装形態をガラエポ基板を用いた BGA(Ball Grid Array)が最有力であると予想し、これに整合する、光素子・アナログフロントエンド IC をコンパクトなかたまりに実装する BGA パッケージベースの開発を行った。

次に1．3μm帯VCSELは、当時は、低消費電力、高速、低コストなど優れた特性が期待されながらも実現が困難な状況にあった。その主要因は、VCSELを構成する多層反射膜（DBR）と活性層材料の適切な組み合わせが無かったことにある。本研究室では、これまで短波系VCSELとしてその有効性が実証されているGaAs／AlAs系のDBRを用いて、これに適合するような活性層材料を探求する研究手法をとった。これまでGaAs／AlAs系のDBRと適合する、GaAs基板上で1．3μm帯で発光する光半導体材料は殆ど報告が無かった。そこで、このような1．3μm帯で発光する光半導体材料を創出しこれを活性層とした面発光レーザの開発を行った。具体的には、GaAsSb層とInAs量子ドットの2つの材料を提案し、長波VCSELの研究開発を行った。

◆研究計画概要

OIPテーマではLSI側に所要の光インターフェース処理回路コア部分とこれに整合した光実装部分との開発を行い、さらに実際にこのインターフェースをSW機能LSIに搭載して機能実証を行う。長波VCSELテーマについてはGaAs基板上で1．3μm帯で発光する光半導体材料を創出しこれを活性層とした面発光レーザの開発を行う。

◆研究計画内容

OIPテーマでは、光電気混載LSIとその実現手段をソリューションとして実証することを目指す。具体的には、まず、光インターフェース処理を行う回路コア部分とこれに

整合した光実装部分との開発を行い、これらを用いてMCMベースでの1パッケージ化を行った試作品を作製、ネットワークインターフェースボード（NIC）に搭載して動作解析し改善要素を抽出する。次に、LSIベースでの混載に適用するため、上記回路コアと簡易 Rinet プロトコルSWコアを入れ込んだLSIを試作、また、LSIパッケージに整合した光実装部分を開発、この両者を合わせてLSIパッケージに光入出力ポートを持たせた光電気混載LSIを試作する。さらに、これをネットワークSWとして用いてネットワーク機能実証を行う。これによって光をLSIパッケージ内に搭載した光電気混載LSIと、その光部分をシステムサイドから容易に扱えるようにするための光IP (Intellectual Property)の提供というアイデアの有効性を実証する。

長波VCSELテーマでは、ます、GaAsSbをベースにした量子井戸構造を用いてGaAs基板上に1．3μm帯で発光する光半導体を実現する。さらにこの発光材料のバンド構造を解明し発光特性を改善する。次に、この発光層をVCSELの活性層とし、反射ミラーをGaAs／AlAs系としたVCSEL構造を試作し、改善要素を抽出する。これらをもとに長波帯特有の最適設計、デバイス特性改善、発光材料の改善を進め、実用レベルの素子を実現する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

OIPはLSIの設計者側からみて光インターフェースを容易に扱うようにするためのソリューションであり、これを用いることで特別な光部品の知識なしに大容量光インターフェースをLSIパッケージに搭載することができる。これによって、利用者は、いわゆるLSIのピンボトルネックに制約されない大容量のデータを扱うLSIが活用できるという意義がある。応用分野は、高速・大容量・高密度インターフェースや光インターフェースが必要となるLSI全般、ネットワーク機器、高速コンピュータ等である。

また、長波 VCSEL は低コスト、高速、大容量の光インターコネクションやLANを実現するキーとなる重要な技術である。応用分野は、大容量の光インターコネクション、LAN、ネットワークの物理層向けデバイス、光モジュールである。

◆成果概要

OIPにおいては、標準的な光インターコネクション機能をあらかじめLSIパッケージ側に搭載する手法を考案、実際にシステムLSIを搭載して工業的に実現可能な事を示した。さらに、これを搭載したネットワークインターフェースカード、LSIパッケージと整合したCSPレベルのOIP、及び、SW機能を搭載した光電混載LSIの開発、評価、機能実証を行った。また、長波VCSELでは、GaAsSbを量子井戸層とする活性層構造を用いて、量産性に富むモノリシック構造のVCSELを試作。波長1．3μm帯での高性能特性を実証した。

◆研究成果の内容

OIP及び1．3μm帯面発光レーザについて、それぞれ、研究成果内容を述べる。

(1)OIP技術の研究開発成果

成果1:OIP コンセプトの確立

分散並列処理に用いる大容量ネットワークを実現するためには、大容量すなわち（ポート数）x（1ポートあたりの伝送速度）が大きいスイッチ LSI が重要である。LSI の内部回路は微細化、低電圧化が非常な速度で進んでいて 1.0V 動作で GHz クラスの IC も実現されている。一方で外部とのインターフェースについては、LVDS などの低振幅、高速動作の I/O（Input/Output)回路が考案されてはいるものの、常に電流が流れるタイプの回路になるため、同じ CMOS でも内部回路に比べて消費電力が非常に大きい上、I/O には静電気破壊対策ダイオード（ESD)や伝送劣化に耐える電圧・

電流振幅が必須なため高速化が難しい。また Gbps クラスの信号になると無線の領域にあたり、電磁波ノイズの発生が大きな問題となる。さらにこの信号をケーブルを介して接続しようとすると、ケーブルでの電磁放射・減衰、接続点での反射などの波形劣化が顕著である。すなわち、大容量ネットワークを実現するボトルネックは LSI の I/O になりつつある。
これに対して CMOS パッケージ内に電気/光(E/O)変換素子、及び光ファイバ用コネクタを実装して高速信号はすべて光に変換すれば、電圧・電流振幅及び ESD 抑制による低消費電力化、高速化、さらには EMI フリーが実現され[1)]、さらにこの E/O ブロックとその内部回路への接続部をマクロ化することで、設計者側から見れば CMOS 設計環境のままで、高速大容量の光伝送路が扱えるようになる。
RWC 後期スタート時における OIP コンセプト提案はオリジナルかつ時代を先取りしたもので、事業化が成功すれば分散並列処理のための大容量ネットワークを実現する key となる。

成果2. OIP コンセプトの具体化-MCM タイプの OIP 実現[2)]

これまでに CMOS チップに直接 VCSEL や PD をのせてフリースペースで LSI の光接続を試みられた例は報告されているが、OIP はこのような純粋な研究要素ではなく、きちんと産業活用できるものである事をアピールすることが重要である。そこで主な開発要素とその問題点抽出のために、プロトタイプ的な OIP を作製した。これは(1)光インターコネクションマクロセルのハードウェア記述言語(HDL)による記述、(2)CMOS 搭載用フットプリントのピンアサインメント、(3)プリインストールした電気/光変換部と光コネクタと CMOS 搭載用フットプリントを有する LSI パッケージからなる。CMOS 設計者は(1)を用いて通常の CMOS 設計環境で全体チップを設計する。CMOS ベンダはこれを(2)のピンアサインを考慮して CMOS チップ化する。できた CMOS ベアチップを(3)のパッケージに実装すると全体では高速信号が光化された LSI ができあがる。この手法によって 1.25Gbps の I/O を最大 6 ポート実装できるパッケージを作製した。さらにシステム内で実動させる目的で、このうち1port を実装した OIP パッケージにギガビットイーサネットの 1000BASE-SX の serdes 機能を持つ CMOS-IC を実装し、OIP-LSI を実現した。これを新規開発のネットワークインターフェースカードに搭載し、OIP がただのコンセプトではなくギガビットイーサネットという一般的な、しかも高速なシステム LSI の作製に役立つものである事を示した。この MCM タイプの OIP は新聞より取材を受け写真入りで掲載された。

OIPによるGbE-PHY-LSIの実装
OIPとそのシステム搭載デモ(～最終目標)を前倒しで実現

(1)Opitcal I/O BlockのUDP　(2)Pin Grid Assignment　(3)pre-installed optical interface

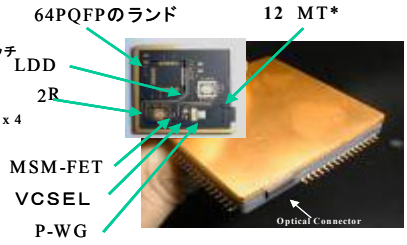
機能無し。IOと遅延のみ

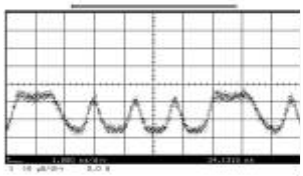
```
`celldefine
`timescale 10ps/1ps
module OIP_GbE_opt(qq_in, data_a_in, b_in, dout_ser, clock);
 input sel, data_a_in, b_in, clock;
 output dout_ser;
  ---------------------
udp_OIP_GbE_opt int(data, clock, a);
bufb1 (qq_in);
  ---------------------
specify
setup (data, posedge clock && &_c 12);
  ---------------------
endspecify
endmodule
```

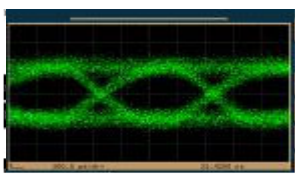
pin #	機	pin #	機
1	Vcc	21	Vcc
2	Gnd	22	Gnd
3	I/O	23	I/O
4	I/O	24	I/O
5	Vcc	25	Vcc
6	Gnd	26	Gnd
7	I/O	27	I/O
8	I/O	28	Gnd
9	I/O	29	high speed
10	Vcc	30	Gnd
11	Gnd	31	high speed
12	I/O	32	Gnd
13	I/O	33	I/O
14	Gnd	34	Gnd
15	high speed	35	Vcc
16	Gnd	36	Gnd
17	high speed	37	I/O
18	Gnd	38	Gnd
19	I/O	39	I/O
20	I/O	40	I/O

フットプリント:
64-pinPQFP 0.5mmピッチ

Mux power　1.5 W
Vcc　< +5V
high speed　1.25 Gbps x 4
PECL



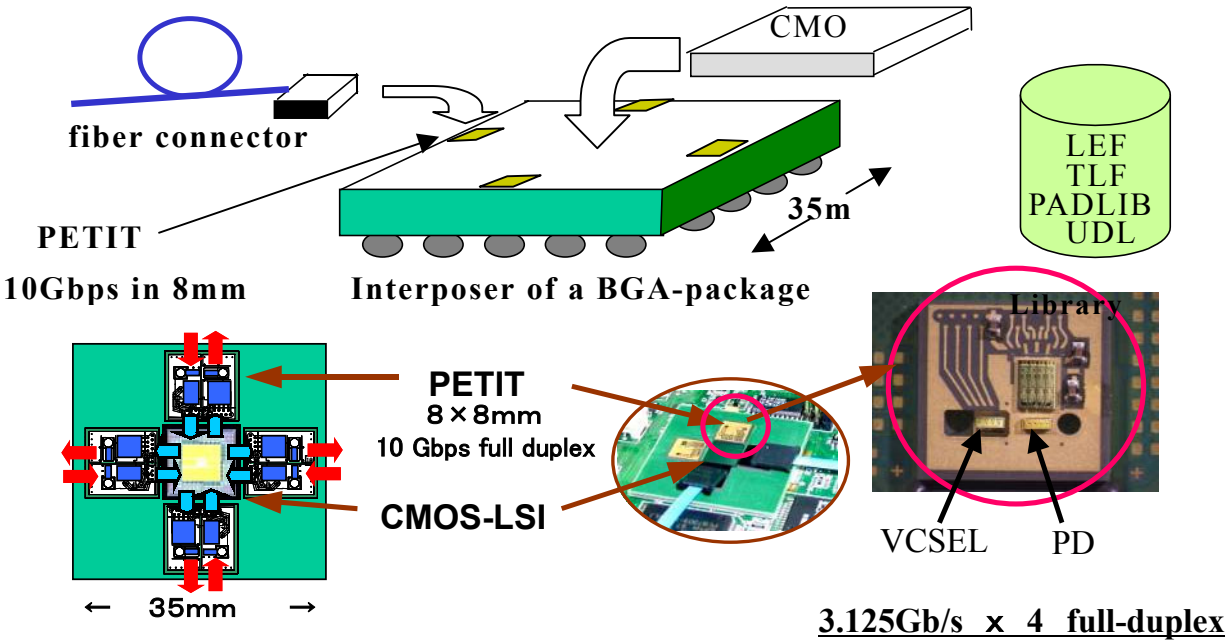

1000 BASE SX 送信波形


受信フロントエンド出力

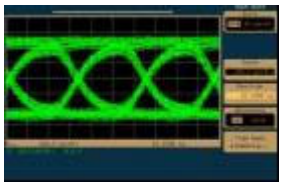

OIP Network Interface Card

成果3. OIP 早期事業化のための挑戦-BGA タイプの OIP 実現[3)]

OIP のメリットである高速かつ高スループットを実現するために、BGA タイプの光・電気パッケージを開発した。これは小型光インターフェースを BGA 基板に搭載したものである。この光インターフェースは8mmx8mmサイズに 3.125Gbps、4ch、送受信を集積したものであり、IO として 25Gbps を有する。LSI はマルチチャネル SERDES とスイッチを作製した。スイッチは 3.125G-16x16 で IO として 100Gbps（スループット 50Gbps）である。また、この LSI 光インターフェースに用いるコネクターも新しく開発した。光インターフェースの発光素子は面発光レーザ（VCSEL）で端面発光レーザに較べて消費電力が低く、12.5Gbps 送受信で 1.1W(mux)という抵消費電力を実現した。



PETIT: Photonic/Electric Tied InTerface



光インターフェスから CMOS への出力

(2)GaAs 基板上の長波 VCSEL の研究開発成果

成果1:GaAs 基板上1．3μm発光材料の探索

長波系 VCSEL の実現には、その構成要素である半導体多層反射膜ミラー(DBR)と活性層の適切な組み合わせが必要不可欠である。DBR として低閾値特性、高温動作を実現するためには、AlAs の酸化狭窄構造や高い熱伝導度を有する GaAs/AlAs からなる DBR が最適である。そこで当研究室では、GaAs 基板上で1．3μm発光が可能となる材料系の開発を行った。これにより、DBR、活性層共に GaAs 基板上に一括成長が可能になり、VCSEL の持つ低コスト性をも生かすことができる。当研究室では、GaAs 基板上の1．3μm発光材料として GaAsSb3)と歪緩和 InAs 量子ドット構造 4)を提案し、その結晶構造評価や光学的評価を行い、レーザの活性層材料として有望であることを実証した。

従来、GaAs 基板上の GaAsSb 系材料では1．3μm発光は不可能と考えられており、またそのバンド構造もレーザの活性層としては不利なタイプ2であると信じられていたが、その1．3μm発光と本活性層による波長1．3μmでのレーザ発振を実証した。1.3μm発光が可能となった原因を探るため、断面透過型電子顕微鏡像観察により構造評価を行い、GaAsSb 層内に組成変調構造5)を見いだした。このような組成変調構造はバンドギャップの狭小化に寄与すると考えられ、これが従来不可能と思われていた GaAsSb の1．3μm発光を可能にしたものと考えられる。また GaAs/GaAsSb ヘテロ接合の伝導帯バンド不連続値を測定6)し、この組み合わせがタイプ I のバンドラインアップとなることを実証した。更にこの組成変調構造によりその光学的な特性に偏波依存性が生じることを見いだし、この組成変調構造が、特性面で大きな影響を持つことを明かにした。

また従来構造の InAs 量子ドットは、1．3μmでの発光が困難でその発光線幅もブロードであったが、新たに歪緩和量子ドット構造を提案し、発光の長波化、半値幅の低減を実現した。また歪緩和量子ドット構造では、フォトルミ(PL)の半値幅が温度無依存であることを見いだし、この構造が高温動作時に有利であることを示唆した。

成果2:GaAsSb を用いた端面発光レーザの1．3μm発振

まず GaAsSb 材料系を用いて波長1．3μmにおけるレーザ発振が可能であることを、端面発光型レーザで実証7)した。図1は3つの GaAsSb 量子井戸構造を有するレーザの発振スペクトルと光出力-電流特性を示したものである。閾値電流密度 790A/cm2、波長 1.30μmでの発振を実現した。また GaAsSb 系では価電子帯のバンド不連続値が約 440meV と大きく、多重量子井戸レーザの電流注入時にホールの不均一注入が起こり特性劣化を起こすことを明らかにし、その改善策として Be の変調ドープ構造を採用しゲイン係数や内部量子効率等の特性改善を実証した。この結果、本材料系が1．3μm-VCSEL の活性層として十分適用できることが明かとなった。

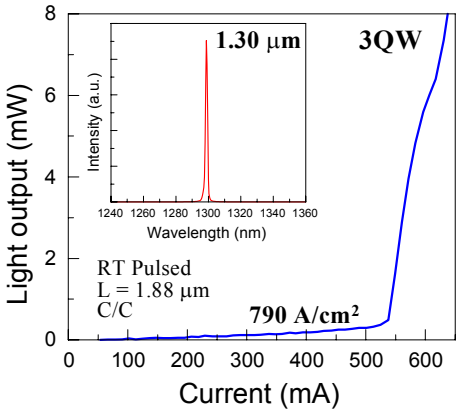


図1　GaAsSb 系 FP-LD の光出力-電流

また InAs 量子ドット構造においても、成長機構の解明や高均一量子ドット作製技術の改良を進め、歪緩和量子ドット構造によって 1.35μmまでの長波長化と量子井

戸を凌ぐ半値幅 21meV の高均一化を初めて実現し、半導体レーザ特性として、その低閾値（Jth=76A/cm2）、特性温度無限大（T<200K）9）を実証した。

成果３:GaAsSb を用いた面発光レーザの１．３μｍ発振

GaAsSb 活性層を用いて図２に示すような酸化狭窄型 VCSEL を試作した 12)。ここでは前述のように GaAs/AlGaAs の DBR を用いさらに AlAs 層の一部を酸化することで電流狭窄構造を実現 8)している。VCSEL 構造としては、FP-LD から抽出した活性層のゲイン係数や DBR での光吸収ロス等を用いて、DBR ペア数、ドーピング濃度などの最適設計を行った。図３は、その光出力-電流-電圧特性を示したものである。発振波長は 1.295μｍで、室温ＣＷ駆動において閾値電流 1.1mA での発振と発振閾値電圧 2.0V を実現した。簡易ヒートシンク構造でありながら最高動作温度は 70℃を示した。また 10GEther の規格波長（1265-1355nm）内で、1.272μｍで発振した VCSEL では室温ＣＷ駆動において閾値電流 0.75mA での発振と発振閾値電圧 2.0V 及び最高動作温度は 80℃を実現した。また高速変調特性を小信号変調測定により調べ、3dB 変調帯域として約 4.5GHz を得た。更に長波 VCSEL の実用化には現在量産化の主流になっている MOVPE 法での成長が重要となる。このため、当研究室では MOVPE 法による GaAsSb 成長を行い、高品質 GaAsSb 成長が可能な条件を見いだし、端面発光型 LD において初めて室温低閾値発振を実現した。

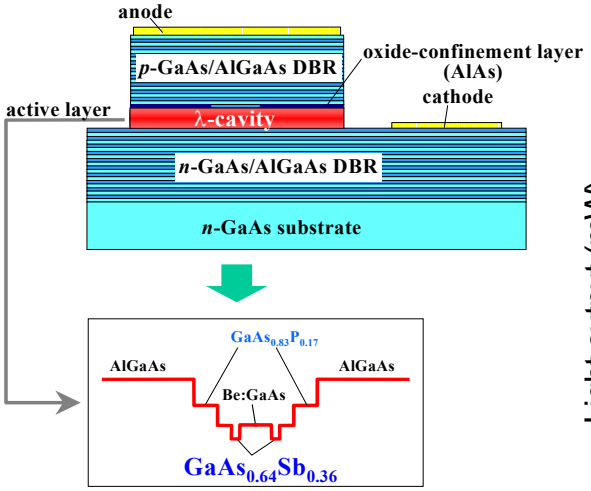


図２　酸化狭窄型 VCSEL 構

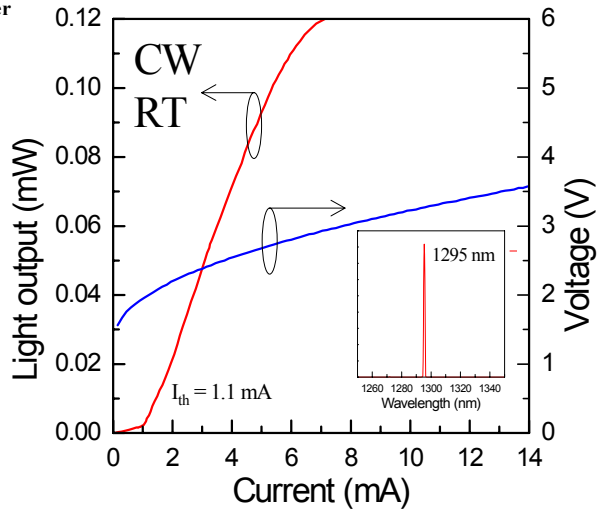


図３　光出力−電流-電圧特性

◆成果の意義

OIP は CMOS システム LSI に「光による信号入出力」という新しい高速大容量インターフェースを、通常の「セルベース IC 設計環境」の下でもたらすものである。計算機、スイッチ、ルータなどの大規模システム LSI では入出力容量（データ速度×ピン数）が不足する、いわゆる I/O(Input/Output)ボトルネックの問題が顕著である。光インターコネクションでは電気に較べて高速大容量接続を容易に実現できる。そこで光 I/O を直接システム LSI にもたせることで、電気 LSI では実現できなかった、大容量システム LSI が実現できる。

また、長波ＶＣＳＥＬは、ＧａＡｓ基板上に一括成長が可能であるという点で、従来の貼り合わせタイプのＶＣＳＥＬと大きく異なる。このため、ＶＣＳＥＬが本来有する、低コスト性が発揮され、市場に対して十分魅力的なデバイスとなる。そしてこの長波ＶＣＳＥＬは、低コスト性、高密度集積性に加えて、従来の 0.8μｍに比べて長波長化による光ファイバ広帯域性が利用でき、更に駆動電圧の低減が可能であるため、低コスト、大

容量の光インターコネクションやLANを実現することが可能となる。大容量の光インターコネクション、LAN、ネットワークの物理層向けデバイス、光モジュールなどの応用上のキーデバイスとして重要な意義がある。この長波VCSELの実現を可能にしたのは、GaAs基板上に1．3μmで発光するGaAsSb活性層を見いだした点にある。本研究室がこの材料系を提案して以来、世界の多くの研究機関でもこの材料系の研究を進めてきており、成果のインパクトの大きさがわかる。

◆他機関との比較など

OIPに関しては、DARPAのphotonic−VLSIプロジェクトにはHoneywell、HPなど多くの企業・大学が参加しているが、空間結合を行うため非実用的である。日本ではASETが同じく光・電気混載実装をかかげてスタートした。発表当初からのコンセプト、目標設定、実用化への見通しの点で他に類はない。

長波VCSELに関しては、現在世界中で熾烈な特性改善競争が進められており、トップデータが数ヶ月後には更新されるといった状況にある。GaAs基板上の一括成長の1．3μmVCSEL研究では当研究室のGaAsSbの他、活性層にGaInNAsや量子ドット構造を用いたものがある。そのVCSEL特性は、日立が98年にGaInNAs系VCSELにおいて1．18μmにおける室温パルス発振を報告して以来特性改善が進められている。特に米国Sandia研究所では同じくGaInNAsを用いて1．294μmにおける55℃までのCW発振を実現している。またごく最近、波長1．288μm、125℃までのCW発振を実現しており、これが現時点でのトップデータである。量子ドットを用いたものではベルリン大の共同チームが1．3μmにおける室温CW発振を報告しているが量子ドットを用いたレーザは一般にその変調帯域が数GHz程度と小さく実用上問題である。

またウエハ貼り合わせ技術により、Gore社が光ポンプを用いた1．3μmVCSELの95℃連続発振、Nova社が電流注入VCSELの100℃連続発振を報告しているが、これら貼り合わせ技術では量産性に難がありVCSELの大きな特徴の1つである低コスト化に問題がある。

当研究室のVCSELは、GaAsSb活性層を用いているため温度特性に問題があるという指摘があるが、実際には端面発光レーザの2QWで特性温度60K、3QWで80K程度あるので、VCSEL構造において低閾値であれば、十分実用レベルの特性が実現できると考えている。実際に、量産に適したモノリシック構造の1．3μm帯面発光レーザでは最も長波長（1．295μm）で、高温（70℃）まで発振できている。

本研究に関しては、これまでに主要な国際会議から8件の招待講演の依頼があり大きな評価を受けている。

◆主要論文・成果発表・受賞等

これまでの論文・学会発表41件、新聞発表2件、受賞1件のうち、主要なものを以下に示す。

【1】Yoshikawa T, Matsuoka, H; "Optical Interconnection Subsystem in Parallel Processing Machine RWC-1", pp. 777, G10, Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 98), 1998 July, Nantes, FRANCE; Proceedings volume 2,

【2】T. Yoshikawa, "Optical Interconnections for Parallel and Distributed Computing", Proceedings of IEEE, (to be published)

【3】T. Anan, K. Nishi, S. Sugou, K. Kasahara, M. Yamada, K. Tokutome and A. Gomyo,:"Novel GaAsSb quantum well for 1.3 μm lasers on GaAs substrate", IEEE LEOS'97 PDP1.4 ,1997.

【4】H. Saito, K. Nishi and S. Sugou, "High-uniform InAs quantum dots with temperature-insensitive photoluminescence linewidth for long-wavelength optical devices" OSA topical meeting, Colorado, QMD4-1, pp. 49-51, 1999.

【5】T. Anan, M. Yamada, K. Kurihara, K. Nishi, S. Sugou, K. Tokutome and A. Kamei, "GaAsSb-based long-wavelength VCSELs" International symposium on ultra-parallel optoelectronics, Kanagawa, , E-3 , pp. 51-52, 2000.
【6】阿南 隆由、徳留 圭一、山田 みつき、西 研一、菅生 繁男、「GaAsSb/GaAs 系の伝導帯バンド不連続値の同定」、1999 年春季応用物理学会
【7】M. Yamada, T. Anan, K. Nishi, K. Tokutome, A. Gomyo and S. Sugou, "Low-threshold lasing at 1.3 μm from GaAsSb quantum wells directly grown on GaAs substrates" LEOS'98 11th annual meeting, Florida, Vol. 1, WA3, pp. 147-148, 1998.
【8】M. Yamada, T. Anan, K. Kurihara, K. Nishi, K. Tokutome, A. Kamei, and S. Sugou, "Room temperature low-threshold CW operation of 1.23-μm GaAsSb VCSELs on GaAs substrates" Electron, Lett., Vol. 36, pp. 637-638, 2000.
【9】H. Saito, K. Nishi, Y. Sugimoto and S. Sugou "Low-threshold lasing from high-density InAs quantum dots of uniform size" Electron. Lett., Vol. 35, No. 18, pp. 1561-1563, 1999.
【10】T. Yoshikawa and H. Matsuoka, "Calibration-free parallel optical interconnection subsystem implemented by a gigabyte per second array optical transceiver and a one-chip-link LSI, Optics in Computing (OC'98),Bruges, pp. 524, 1998.
【11】T.Yoshikawa, "Skewless MMF-parallel Optical Interconnection of The Parallel Machine RWC-1", SPIE Optoelectrical Interconnects VI in Photonic West '99, San Jose, 1999.
【12】T. Anan, M. Yamada, K. Nishi, K. Kurihara, K. Tokutome, A. Kamei, and S. Sugou, "Continuous-wave operation of 1.30-μm GaAsSb/GaAs VCSELs " Electron, Lett., Vol. 37, No. 9, pp. 566-567, 2001.
【13】菅生 繁男、阿南 隆由:「次世代 LAN の光源に応用期待」日刊工業新聞 5/17、P.7、2000.
【14】吉川 隆士:「データ伝送に光技術」、日経産業新聞、11/13、1999
【15】山田 みつき:長波VCSELの連続発振、応用物理学会講演奨励賞受賞、9月、2000.
【16】T. Yoshikawa, "Optical Interconnections for Parallel and Distributed Computing", Proceedings of The IEEE, Vol. 88, No. 6, pp. 849-855, 2000
【17】T. Yoshikawa, I. Hatakeyama, K. Miyoshi, K. Kurata, T. Kudoh, H. Nishi, ” Optical-interconnection as an IP macro of a CMOS Library” HOT Interconnects 9, Stanford, CA, Aug. 2001

B-1-11 高密度光バス(光インターコネクション沖研究室)

◆目標

(1)装置間インターコネクション用高密度並列ファイバモジュール技術の開発 (1 Gb/s x 多 ch)

(2)装置内インターコネクションを指向した集積形光インターコネクション技術の開発 (Si LSI チップ間を 50 Mb/s/ch にて 光配線)

◆アプローチ

(1)高密度並列光ファイバモジュール技術 (装置間を 1 Gb/s x 多 ch にて光配線)

・光ファイバアレイ密度向上のための、光学設計・パッシブアライメント技術を開発する。

・Gb/s/ch の並列モジュールの高密度化にともなう OE/EO 部の高周波電気実装技術を開発する。

(2)集積形光インターコネクション技術 (LSI チップ間を 50 Mb/s/ch にて 光配線)

・光デバイス集積型 Si-LSI を光配線基板上に搭載し、50 Mb/s のチップ間 光配線を実現する。

◆研究計画概要

(1)装置間インターコネクション用高密度並列ファイバモジュール技術の開発(1Gb/s ×多 ch)

(2)装置内インターコネクションを指向した集積光インターコネクション技術の開発

新規性、独創性

装置間インターコネクション

狭ピッチ光ファイバアレイ作製技術

高周波伝送用プラスチックパッケージ作製技術

装置内インターコネクション

異種基板直接接着技術を用いた光素子集積型 Si-LSI チップ作製技術

回折光学素子を用いた平板光学系光回路設計。作製技術および光実装技術

◆研究計画内容

(1)高密度形並列光ファイバインタコネクションモジュールの開発

1)光学系、高周波伝送路、素子を一体化した光伝送モジュールを作成し、1Gb/s の高周波多チャンネル伝送を行う。

2)光学系に高密度 125μm間隔の自己整列化技術を適用したアレイファイバを作製する。

(2)光デバイス集積型 Si-LSI 間の光インターコネクション技術開発

1)Si-LSI 上に InP 系発光デバイス及び裏面回折レンズを一体集積化したものを、光配線基板上に搭載する。

2)上記の光配線基板としては、回折光学素子を平板光学基板上に集積配置したものを設計作製し、その基板面内で 50 Mbit/s の光信号の伝達実験を試み、将来のチップ間光配線における問題点抽出を行う。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

シームレス並列分散コンピューティング

◆成果概要

(1)高密度形並列光ファイバモジュールの開発

・高密度 125μm間隔の光ファイバアレイの自己整列化技術を用いたプロトタイプを作製した。

・高周波実装におけるモジュールのパッケージ及びキャリアについて、材質、構造のシミュレーション、試作を行いプロトタイプモジュールを作製し高周波伝送の検証を終了した。

(2)集積型 Si-LSI 間 光インターコネクション技術の開発

・直接接合技術を用いて LSI チップ上へ InP LED アレイを一体集積化し、裏面からの光出力（> 50 μW）を確認。かつ、裏面からの LED 光出力増大のための基礎技術確立を行った。

・平板光学配線基板の第２試作を行った.

◆研究成果の内容

1）高密度光バス技術

～シームレスコンピューティングのさらなる高速・高機能化に向けて～

●外部光バス技術（ボード間光インターコネクション）

- **狭ピッチ光ファイバアレイ技術**
  - **→小型コネクタ、小型モジュール**
- **プラスチックパッケージ技術**
  - **→高帯域（電気）伝送路設計作製技術**
  - **→低価格パッケージング技術**

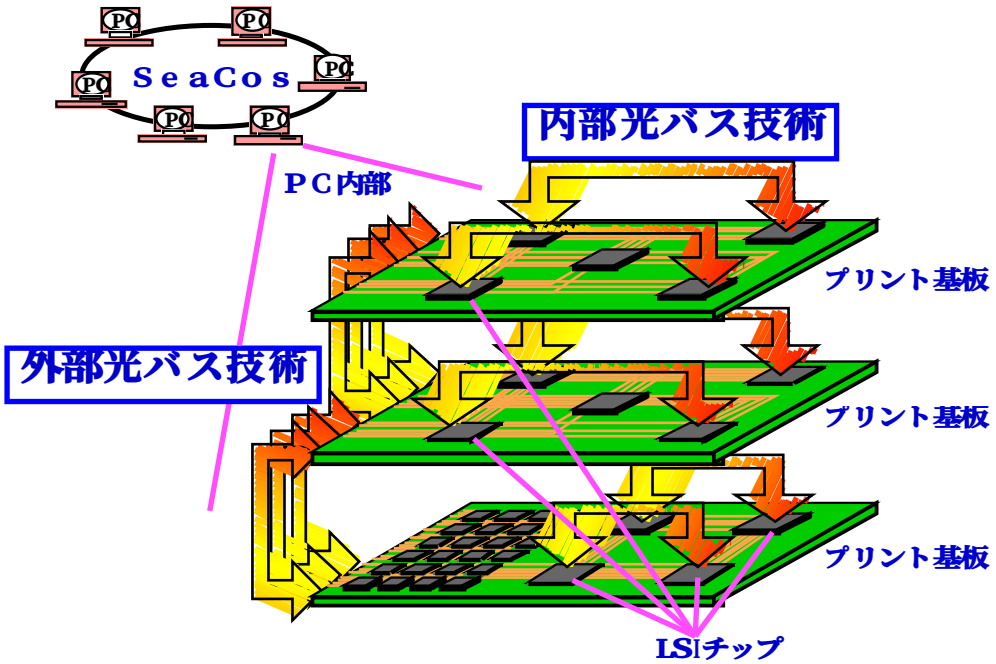
PC内部のボード間の高速化が実現される

●内部光バス技術（チップ間光インターコネクション）

- **自由空間光配線技術**
  - **→既存プリント基板技術＋高速光バス空間**
- **光電子集積化技術**
  - **→光送受信機能を持つシリコンLSI**

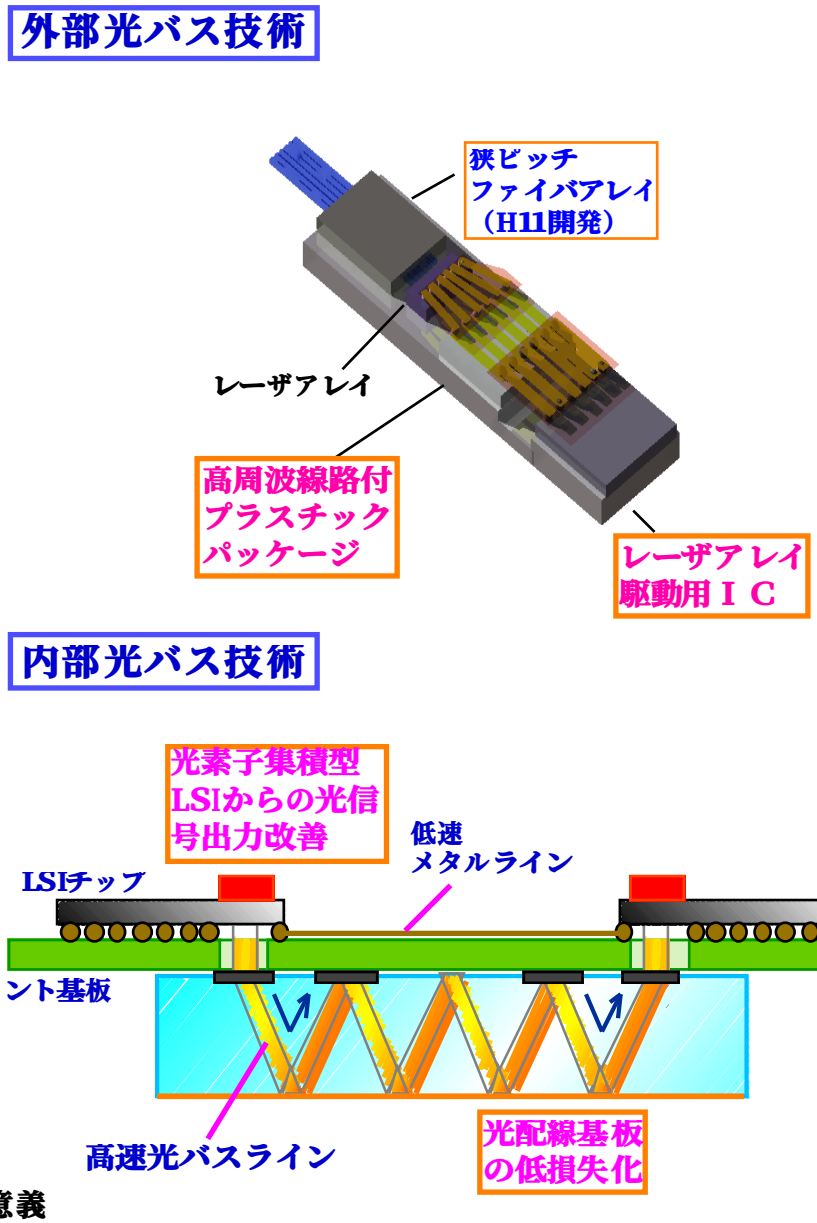
ボード内のLSI間の高速化が実現される

マクロからミクロに至る光シームレス化



2）これまでの成果

最終成果応用イメージ図中、赤字の部分がこれまでの成果に相当



◆成果の意義

(1)装置間インターコネクションにおける、並列光ファイバモジュールの光ファイバ実装の高密度化による配線密度の向上から、ボード実装レイアウトのフレキシビリティや配線信号スループットの向上をもたらす。この結果、フロアレベルの装置間距離に対応する高スループットのインターコネクションをより高密度にボード上に実装できるという技術インパクトを与える。

(2)Si-LSI 間光インターコネクションは、チップ／ボード間 I/O スピードのミスマッチを解決する手段として、Si-LSI を基盤とするコンピュータアーキテクチャにおける今日の深刻な技術課題への解決策としてのインパクトを与える。

◆他機関との比較など

(1)NTT 光エレクトロニクス研究所の ParaBIT モジュールの研究に競合する。

1)使用している発光デバイスが VCSEL であり、現段階では長期信頼性の確認はなされていない。現実に使用可能となるまでは、時間が掛かると思われる。
2)また、ポリイミド導波路を用いているが、導波路が長いため、導波ロスが大きく、入出力パワーを大きく取るために、ドライバ IC もしくはアンプの負荷が大きく発生する熱が処理しきれず、水冷により冷却を行っており、現状のシステムで使用するには困難である。
3)マイクロキャピラリーを介してファイバ結合を行うが、マイクロキャピラリの作製は機械加工を施し、量産性に向かなく、また低コスト化への実現も限界が生じる

(2)米国 DARPAプログラム「Microsystems Technology」の中にある「VLSI Photonics Program」が、競合するプロジェクトである。
1)この DARPA プログラムでは、やはり高速画像処理チップを実現するために Si-LSIチップ間光配線を利用しようとするものであるが、当面は波長帯が短波長領域(0.7ー1μm)にある光源を用いることを計画しているようであり、従って上述のような Si 基板裏面にレンズをモノリシック集積したり、Si 基板を透過させての光配線は実現しにくいように思われる。
2)Si-LSI チップと光デバイスを集積させる手法としても、ハイブリッド(フリップチップボンディング)集積を用いることを主流としているようで、将来的により大規模な集積に向くと思われる準モノリシック集積(ウェハ直接接合など)への取り組みは(計画の中には入っているようであるが)やや手薄と思われる。3)光配線光学系も，単体の光学素子(レンズなど)をパッケージングする手法が主流であり，本プロジェクトのように，必要なレンズ群をモノリシックに一括してパッケージするというアプローチではない．そのため，デモンストレーションとしては可能だが，将来的な大量生産には不適当と考えられる．

◆主要論文・成果発表・受賞等

査読論文

【D-97-121】 光インタ沖 和田浩、佐々木浩紀、上條健: "InP light emitting diodes on Si substrates integrated with back-surface diffractive lenses", 10th International conference on InP & Related Materials (IPRM99), Technical Proceedings, pp. 239-242, 1998.

【D-98-049】 光インタ沖 和田浩、佐々木浩紀、上條健: "Wafer bonding technology for optoelectronic integrated devices" (Invited), Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics for Information System Applications (TWHM-ISA '98), Abstracts, pp. 102-103, 1998.

【D-98-107】 光インタ沖 和田浩、佐々木浩紀、上條健: "Wafer bonding technology for optoelectronic integrated devices", Solid State Electronics, vol. 43, pp. 1655 - 1663, 1999.

【D-98-126】 光インタ沖 和田浩、上條健: "チップ間光配線のための光電子集積化技術 ", ハイブリッド光集積・実装技術研究会論文集,vol. 98, No. 1, p. 13-18, 1998.

【D-98-141】 光沖 佐々木浩紀、和田浩、上條健: "Calability analysis of photonic circuit consisting of planar optical elements for inter-chip interconnection", accepted for presentation at OC'99 (1999).

【D-98-143】 光インタ沖 佐々木浩紀、和田浩、上條健:沖電気 小林正男:「平板光学素子を用いたチップ間光配線」、第13回エレクトロニクス実装学術講演大会講演論文集、(社)エレクトロニクス実装学会、p. 39 (1999).

【D-98-175】 光インタ沖 佐々木浩紀、和田浩、上條健、沖電気 小谷恭子: "INTER-CHIP FREE-SPACE OPTICAL INTERCONNECTION CONSISTING OF DIFFRACTIVE OPTICAL ELEMENTS", Paper

MB3, pp. 34 - 37, 7th Microoptics Conference (1999).

【DT-99-03】 光インタ沖　佐々木浩紀、和田浩、上條健: "Scalability analysis of photonic circuit consisting of planar optical elements for inter-chip interconnection", in Technical Digest of Optics in Computing, pp. 139 - 141 (1999).

【D-99-028】 光インタ沖　和田浩、佐々木浩紀、上條健:「LSI チップ間光配線のための光電子集積化技術」、光インターコネクト情報処理研究会 / 電子情報通信学会、1999.

【D-99-036】 光インタ沖　和田浩:「室温大気中接着した Si-InP 光デバイス」、薄膜第 131 委員会研究会、日本学術振興会、1999.

【D-99-056】 光インタ沖　和田浩、渋谷佳樹、佐々木浩紀:「高密度光バス技術 - 装置間・装置内光インターコネクション-」、InterOpto'99 展示会、1999.

【D-99-057】 光インタ沖　佐々木浩紀、和田浩、高森毅、牛窪孝: 沖電気　小谷恭子:「チップ間光配線用平板光学素子光回路」、エレクトロニクス実装学会誌、Vol. 2, No.5, pp. 361 - 367 (1999)

【D-99-100】 光インタ沖　佐々木浩紀、和田浩、高森毅、牛窪孝: 沖電気　小谷恭子:「平板光学素子を用いた平面実装型チップ間自由空間光配線」、電子情報通信学会技術研究報告 Vol. EMD 99, No. 30, pp.43 - 48 (1999).

【D-99-101】 光インタ沖　和田浩、佐々木浩紀:「チップ間光配線について」、フランス大使館化学技術部によるインタビュー、1999.

【D-99-104】 光インタ沖　佐々木浩紀、和田浩、高森毅、牛窪孝: 沖電気　小谷恭子:「光学基板によるチップ間自由空間光配線」、応用物理学会誌、Vol. 69, No.1, pp. 52 - 56 (2000)

【D-99-248】 光インタ沖　佐々木浩紀、和田浩、高森毅、牛窪孝: 沖電気　小谷恭子:「回折光学素子を用いたチップ間光配線用光回路」、MES'99 第9回マイクロエレクトロニクスシンポジウム , pp. 109 - 112 (1999).

【D-99-168】 光インタ沖　佐々木浩紀、和田浩、高森毅、牛窪孝: 沖電気　小谷恭子:「回折光学素子を用いたチップ間光配線用光回路」、関西ワークショップ99（エレクトロニクス実装学会）, p. 13 (1999).

【D-99-169】 光インタ沖　佐々木浩紀、和田浩、高森毅、牛窪孝: 沖電気　小谷恭子: "Scalability analysis of diffractive optical element-based free-space photonic circuits for inter-optoelectronic chip", submitted to Applied Optics

【D-99-177】 光インタ沖　佐々木浩紀、和田浩、高森毅、牛窪孝: 沖電気　小谷恭子:「チップ間光配線用回折光学素子光回路」、エレクトロニクス実装技術, Vol. 16, No.1, pp. 50 - 55 (2000).

【D-99-191】 光インタ沖　佐々木浩紀、和田浩、高森毅、牛窪孝: 沖電気　小谷恭子: "Diffractive optical element-based photonic circuit for inter-chip free-space optical interconnects", International Symposium on Ultra-Parallel Optoelectronics (The 30th Precision & Intelligence Laboratory Symposium), pp. 117 - 118 (2000).

【D-01-039】 光インタ沖　高森毅: “(招待講演) 光電子集積化技術と回折光学素子を用いたチップ間光インターコネクション”, 電子情報通信学会　光通信システム研究会　2001.

【D-01-041】 光インタ沖　高森毅、佐々木浩紀、和田浩: “(Invited) Inter-chip optical interconnection using optoelectronic integration and binary optics”, 5TH world multi-conference on systemics, cybernetics and informatics, 2001.

【D-01-042】 高森毅: “(招待講演) DOE を用いたボード内光インターコネクション技術”, 光学シンポジウム, 2001.

B-1-12 波長多重型光 LAN（光インターコネクション住電研究室）

◆目標

波長多重技術をLANやWAN形態の光インターコネクションに応用する。トータル伝送データスループット10Gbps（2.5Gbps×4波、波長精度≦0.2nm）の波長多重デバイスを作製し、伝送実験を行い超高密度波長多重伝送の可能性を示す。さらに、この技術を応用し、温度制御をすることなく発振波長が安定な無温調WDM用光源を試作、評価する（目標波長安定性 0.03nm/℃）

◆アプローチ

ファイバグレーティングを用いた波長多重用光源（波長精度≦0.2nm）を作製。光伝送実験（2.5Gbps/波）による性能確認。

次に、無温調波長多重光源を開発することにより、温度制御を行わずに、0.03nm/℃以下の波長変動を実現する。 無温調WDM光源を用いて、波長間隔1.6nm、2.5Gbps×4波伝送実験を行う。

◆研究計画概要

波長多重技術をLANやWAN形態の光インターコネクションに応用する。
波長安定性に優れたファイバーグレーティング（FBG）を外部共振器として利用した半導体レーザを開発することを特徴とする。

◆研究計画内容

平成9年度は、FGLの主要部品である半導体光増幅器の端面の低反射率化を行い、FGL動作を確認した。また、モジュール化に必要な1μm以下の精度の組立技術を確立した。

平成10年度は、0.2nm以下の波長精度を持つFGLのモジュール化を行い、2.5Gbpsの変調実験を行った。また、FGLのモードホッピングや発振スペクトル等の詳細な静特性の検討も行った。

平成11年度は、目標の0.2nmの波長間隔で4波長の合分波を行い、2.5Gbps/波、100kmの伝送実験を行った。また、波長チャーピング等の伝送に係わる動特性の詳細な検討を行った。

平成12年度は、FGLモジュールの温度制御を行うことなくモードホッピングを抑制し、発振波長が安定な（波長変動 0.02nm/℃以下）無温調FGLモジュールの開発を行っている。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

インターネットの普及と共に、伝送データトラフィックが急増しており、LAN/WAMシステムにおいてもデータ伝送容量の拡大が望まれている。伝送容量を上げる方法として波長多重(WDM)技術があるが、波長多重度を上げるためには、より波長安定性の良い光源が必要である。当研究室では、従来のWDM光源の5倍以上の波長安定性が期待できるWDM光源としてFGLを開発している。

◆成果概要

波長多重光通信用レーザモジュールとして波長安定性に優れたFGLモジュールを提案、開発を行った。作製したFGLモジュールを用いて、データ伝送実験（2.5Gbps直接変調、100km～400km）に成功。また、波長間隔0.2nmの4波長合分波実験を行い、目標とした0.2nm以下の波長精度でFGLモジュールが作製できていることを示した。さらに、温度制御不要の同軸型FGLモジュールの作製に初めて成功した。

◆研究成果の内容

急速な情報通信技術の立ち上がりにより、データ伝送容量は拡大の一途を辿っている。光インターコネクション分野に於いても、必要なデータ転送容量は、2005 年には、600Gbps 以上になると言われている。大容量データの伝送手段として、データを複数の光ファイバで並列に伝送してトータルスループットを上げる並列光インターコネクション技術があるが、単に空間的にチャンネル数を増やす並列光伝送方法では、デバイス作製、光インターフェイス実装、スキューの点から限界が見えている。

当研究室では、波長多重(WDM)技術を光インターコネクションに応用した WDM-LAN、あるいは WDM と空間並列技術と併用することにより、先に述べた並列伝送の限界になっている問題を解決でき、高価で技術的にも難しい超高速電気－光変換器を用いることなく、少ないファイバ数で、伝送容量が上げられると考えている。

WDM システムの要素部品は、光送信デバイスである。伝送容量の拡大、あるいは、WDM の特徴を活かした波長合分波機能を備える WDM システムでの波長アドレッシング時の伝送スループットの向上を考えると、今後、WDM 波長間隔は、さらに縮まり、波長数も増えていくと思われる。このような、高密度 WDM システム用光源では、厳しい波長の制御性、安定性が要求され、通常の DFB レーザでは、外部温度や注入電流の変動による波長変化のため用いることが難しい。

当研究室では、高密度 WDM 用光源として、図 1 に示すファイバグレーティング外部共振器レーザ(FGL)を提案し、開発を行っている。FGL の発振波長は、ファイバに紫外光照射で書き込んだファイバグレーティング(FBG)の回折波長で決まる。FBG 回折波長の温度依存性が通常のレーザと比べ 1/10 と小さいため、外部環境温度の変動に対して、安定した波長でレーザ発振する。また、回折格子に電流を流さないので、レーザの電流依存性も小さい。

平成 10 年度は、FGL モジュールを作製し、FGL の発振波長の温度依存性が、20～30pm/℃、注入電流依存性が、1～1.5pm/mA と DFB レーザに較べて、それぞれ、1/5、1/10 と非常に小さい値が得られることを示した。また、2.5Gbps で FGL を直接ディジタル変調し、通常の光ファイバで伝送をおこなったときのパワーペナルティも DFB レーザに比べて小さいことを示した[1)、2)]。

平成 11 年から平成 12 年度は、25GHz(0.2nm)の波長間隔で発振する FGL モジュールを作製し、それらを用いて 25GHz 間隔 4 波長の WDM 合分波伝送実験を行った。その結果、図 2 に示すように安定した 25GHz 間隔 4 波長の合分波を行うことができ、ファイバ伝送後の分波実験でも伝送特性に問題が無いことを示した。また、モジュールの経時変化に対して想定される注入電流の変化時においても、発振波長は、図 3 に示すように安定しており、FGL が超高密度 WDM-LAN 用光源として、優れていることを示した[3), 4)]。

平成 13 年度上期には、最終目標の一つである、温度調節が不要の同軸型 FGL モジュールの作製に成功し、基本的な動作を確認した[5)]。

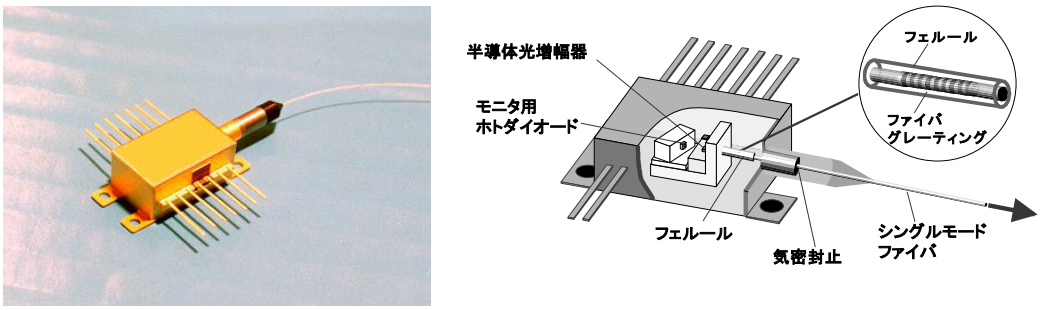


図 1　FGL モジュール写真(左)と構造図(右)

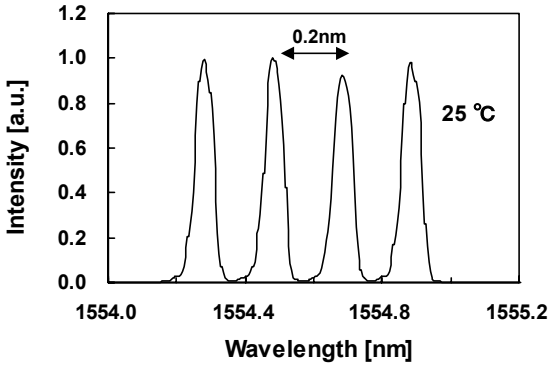


図 2　25GHz 間隔 4 波長 FGL 合波ｽﾍﾟｸﾄﾙ

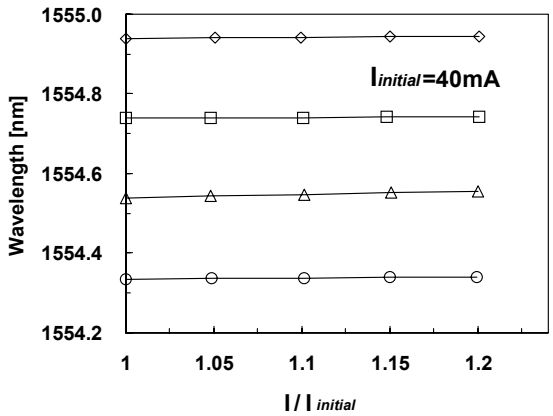


図 3　25GHz 間隔 4 波長 FGL 発振波長の電流変化依存性

◆成果の意義

波長多重(WDM)技術において、さらに波長多重度を上げて伝送容量を拡大するためには、より波長安定性の良い光源が必要とされている。当研究室では、波長安定性に優れた WDM 光源として FGL モジュールを開発し、現行の WDM で用いられている光源の5倍の波長安定性を実現した。また、変調時の波長変動も小さく、安価な直接変調方式により 2.5Gbps でデータ伝送が可能なことを示した。

◆他機関との比較など

世界的に、FGL のモジュール化まで実現している研究機関は無く、本研究が最も実用に近い水準にある。実験レベルでも、FGL を用いた 2.5Gbps 波長多重データ伝送実験は、ブリティシュテレコムの報告があるのみで、本研究は、世界的に見て最高水準である。また、高密度波長多重(0.2nm 間隔)伝送は、世界初の成果である。無温調 FGL モジュールの開発例は無く、世界初の成果。

◆主要論文･成果発表･受賞等

【1】加藤隆志、高木敏男、浜川篤志、岩井圭子、佐々木吾朗:”Fiber-Grating Semiconductor Laser Modules for Dense-WDM Systems”、IEICE 英文論文誌、E82-C、p357-359、1998 年

【2】高木敏男、加藤隆志、佐々木吾朗、三木敦、稲野滋、岩井圭子、浜川篤志、茂原政一:”Fiber-Grating External-Cavity Laser Diode Module for 2.5 Gb/s Dense WDM Transmission”、ECOC 1998(スペイン)、p81-82、1998 年

【3】高木敏男、加藤隆志、佐々木吾朗:”WDM 光 LAN 用 FGL”、月刊オプトロニクス、8 月号、2000 年
【4】橋本順一、高木敏男、佐々木吾朗、茂原政一、村島清孝、塩崎学、岩島徹:”25 GHz-Spacing DWDM Transmission using Directly Modulated Fiber-Grating Lasers”、ECOC 2000(ドイツ)、2000 年
【5】橋本順一、他:”Coaxial fiber-Bragg-grating external cavity semiconductor laser module without temperature control”、ECOC 2001(アムステルダム)、2001 年

B-1-13 スキュー低減型多芯高速伝送路（光インターコネクションフジクラ研究室）

◆目標

スキュー低減型多心光ファイバケーブルの製作
多心ファイバ数:12 以上
条長:200m 以上
遅延時間差:0.5ps/m 以下

◆アプローチ

(1)ファイバ及びケーブル構造/材質とスキューの関係調査
(2)歪の影響を緩和するファイバリボン構造及びケーブルの検討
(3)変換コネクタの開発

◆研究計画概要

ファイバリボンの低スキュー化を、本質的に目指し、「すだれ型ファイバリボン」という類例の無い新構造ファイバリボンを提案し、設計・試作・評価し、さらにケーブル化・コネクタ作成も含む実用化検討を行った。

◆研究計画内容

以下の手順で検討をおこなっっている。
(1)スキュー評価技術の検討（基礎データ収集）
スキューの評価を簡便に行うための評価方法を確立した。
(2)既存型テープファイバのスキュー測定（基礎データ収集）
通常の低スキューファイバを評価し、現状レベルを把握した。
(3)新構造ファイバ設計・試作
2つの新構造ファイバである、簾型ファイバ、マルチコアファイバを提案、設計、試作、評価した。
(4)簾型ファイバ増産試作
新構造ファイバのうち、製造性・特性安定性に優れた簾型ファイバに検討を絞り、量産試作の検討を行った。
(5)ケーブル製造技術
(6)変換コネクタの検討
実用化に向けて、ケーブル化、コネクタの検討を行っている

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

シームレス並列コンピューティングを実現するためには、コンピュータ間の光並列伝送は不可欠である。そのハードウエアとして、特にスキュー特性に優れたファイバの要求は強く、その要求に応えるものである。

◆成果概要

ファイバリボンの低スキュー化を本質的に目指し、「すだれ型ファイバリボン」という類例の無い新構造ファイバリボンを提案し、開発した。全体をリボン化する通常のファイバリボン構造と比較して、すだれ型ファイバリボンは、リボン化材の絶対量が少ないため、リボン化時のリボン化材硬化による歪の影響が小さく、また、ファイバの自由度が大きいため、特に曲げ・ひねりなどの外力の影響も小さい。よって低スキューかつ外力によるスキュー変動の小さいファイバリボンの製造が可能になった。さらに、この新構造ファイバリボンを用いて、低スキューケーブルを開発した。

◆研究成果の内容

本研究の目的は、低スキューかつ外力に対しスキュー変動の小さい光並列伝送路

の開発である。

図１に示すように、100mの距離を10Gbpsの速度でデータ伝送するためには、伝送路のスキューは1ps/m以下でなくてはならない。また、通常のファイバリボンのスキューは、外力により変動するため、実際には外力の加わった状態でのスキューを問題にしなければならない（図２）。

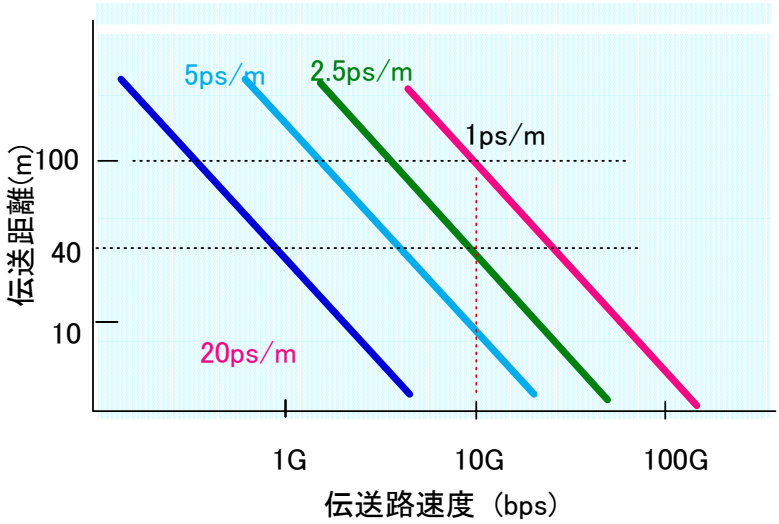


図１　スキューによる伝送距離制限

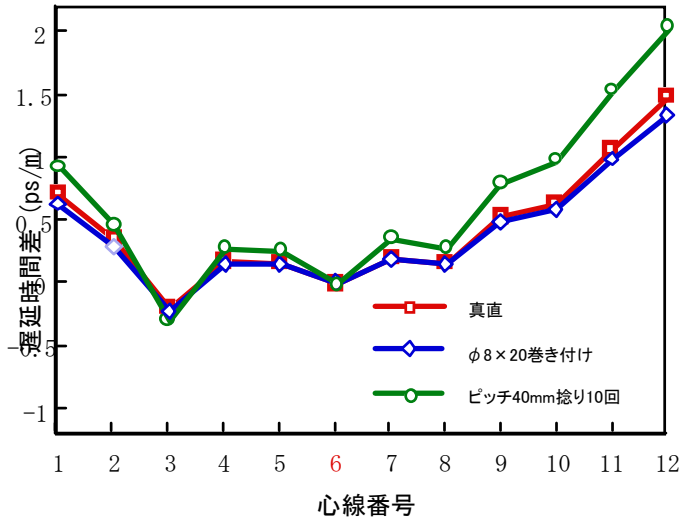


図２　ファイバリボンへの曲げ／捻りによるスキューの変動

本研究では、新構造のすだれ型ファイバを提案し、検討したところ、低スキューかつ外力によるスキュー変動のほとんどないファイバリボンを開発出来た。

すだれ型ファイバは、図３の固定部のみリボン化しており、その他の部分は素線のままという構造である。通常のファイバリボンと比較すると、ごく一部のみがリボン化されているため、リボン化時に各ファイバに加わる歪みが小さく、比較的容易に低スキュー化出来る。また、外力が加わっても固定していない部分の素線が自由に動けるため、歪みが生じず、スキュー劣化が起こらない。

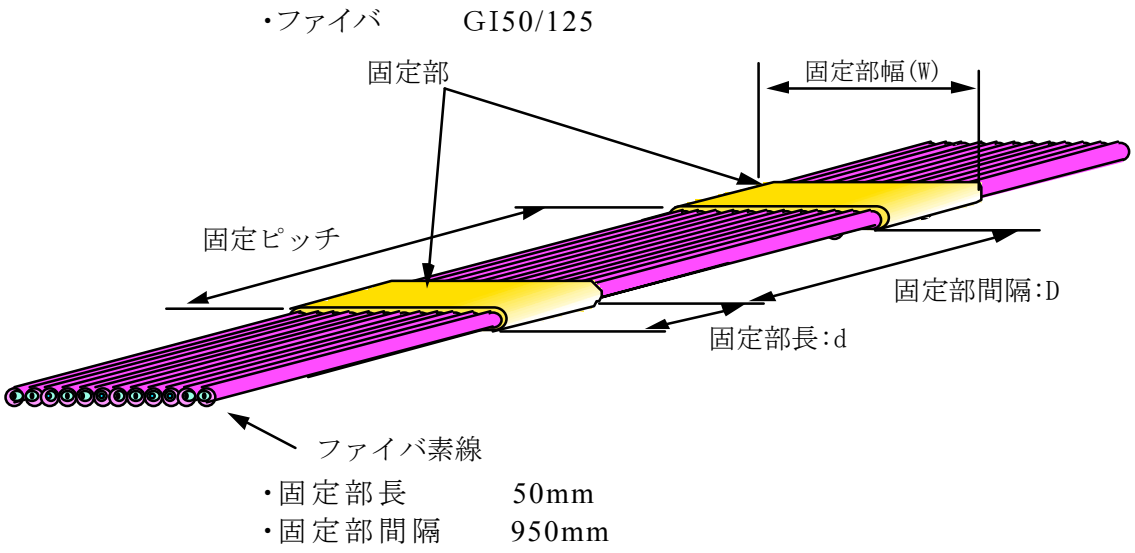


図３　すだれ型ファイバリボン概念図

図４にすだれ型ファイバリボンと従来型低スキューファイバリボンのスキューを示す。すだれ型ファイバリボンのスキューは0.43ps/mを達成した[(1)]。また、図５に、図４で示したファイバリボンに捻りを加えた場合のスキューを示す。図４と図５と比較すると、すだれ型ファイバリボンは殆どスキュー変動がないことがわかる。

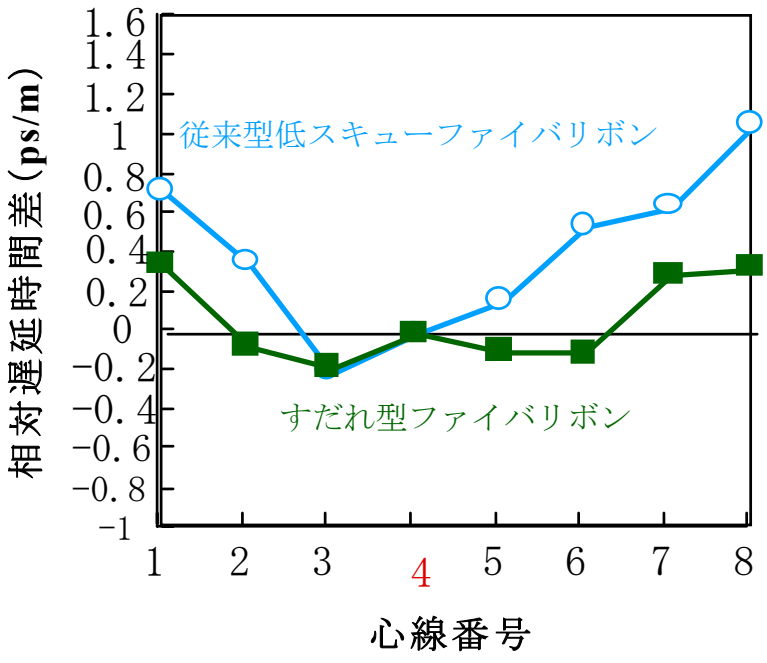


図４　すだれ型ファイバリボンと従来型ファイバリボンのスキュー比較

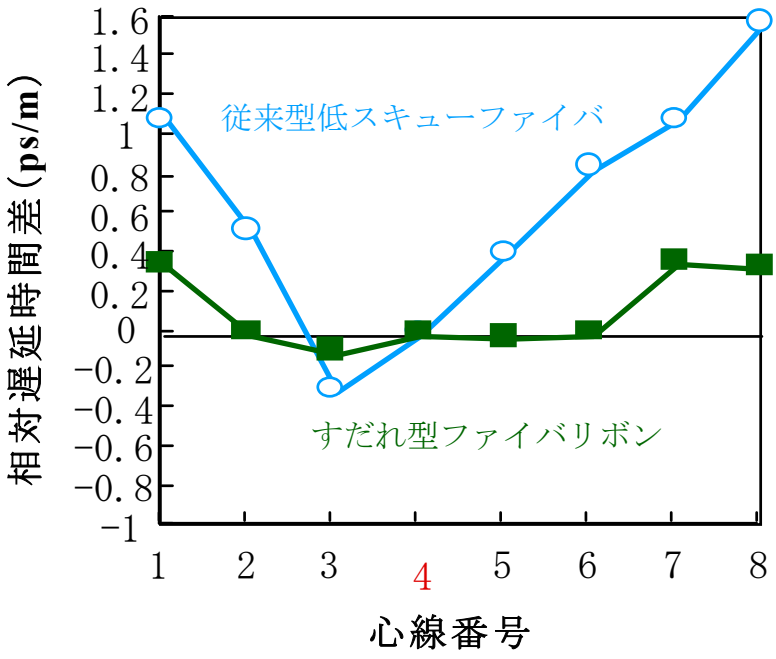


図５　ネジリによるスキュー変動の比較

◆成果の意義

光並列伝送を行うためには、伝送路のスキュー（ファイバ間の伝送時間のばらつき）が問題となる。ファイバリボンの低スキュー化は、本研究開始以前から市場より要求されており、すでに通常のファイバリボンの形状で、製造条件を検討することにより低スキュー化したファイバリボンは存在するが、安定して製造できるレベルとしては 0.8ー2.0ps/m である。また、ファイバリボンに曲げ・ひねり等の外力が加わると、ファイバリボン内のファイバに不均一に歪が加わるため、スキューはさらに増加する。そのため多量の信号伝送を前提とする場合は、使用するファイバリボンの単長は数mから数10m程度とせざるを得ない。

本研究では、0.43ps/mという低スキューファイバリボンの製作に成功した。また、外力が加わっても、スキューの変化がほとんど無いという優れた特性が得られた。これにより1Gbps の伝送速度でもでも 200m以上の伝送が可能になる。

この成果は、本研究で提案した、新構造のファイバリボンで初めて実現したもので、ファイバリボン構造そのものに新規性、革新性がある。またファイバを部分的にリボン化するためのリボン化材塗布方法に特徴があり、実用化へのブレークスルーとなっている。

◆他機関との比較など

成果の意義でも述べたとおり、通常のファイバリボン構造での低スキュー化の例はあるが、実用化レベルでは、スキューは 0.8ー2.0ps/m で、かつ外力によるスキュー劣化がある。当研究の成果は最先端のものである。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】N.Shamoto, K.Nakatate: “New multimode fiber ribbon for optical parallel interconnection”, OFC’99 Technical Digest, FG6 (1999)

【2】社本，中楯 ：“光並列伝送用ファイバアレイ”，第23回光波センシング技術研究講演論文集,LST29-21 (1999)

【3】社本, 菅谷:“低スキューファイバケーブル”,2001 年電子情報通信学会総合大会講演論文集,B-13-16 (2001)

B-1-14 無調芯型面発光 LD モジュール(光インターコネクション古河研究室)

◆目標

並列分散コンピュータのシームレス化に必須な 10Gbps レベルの伝送能力を持ち、低消費電力で動作(しきい値電流 I_{th}<1mA、動作電圧 V≦2V@15mA)し、低コスト化を目指した無調芯型面発光レーザ(LD)10 チャネルアレーモジュールを開発する。

◆アプローチ

(1) 980nm 帯面発光 LD の開発:高速変調を行なうために必要なアノード共通のバイポーラトランジスタ回路を用いたレーザアレードライバを適用するために、p 基板を用いた 980nm 帯面発光 LD アレーの研究開発を行なう。まず、p 基板面発光 LD の低消費電力化を実現するために、高反射率/低抵抗の反射鏡を持ち、低しきい値で特性の均一な面発光 LD ウエハを開発する。また、素子の低しきい値化を実現するために、酸化閉じ込め構造の開発、更に、10Gbps レベルの伝送能力を持つ 10 チャネル面発光 LD アレーを実現するために、1Gbps 以上の変調が可能な面発光 LD 素子の構造を検討する。

(2)面発光 LD モジュールの開発:低コスト化を目指した面発光 LD アレーとマルチモードテープファイバを直接結合した無調芯型モジュールを設計する。無調芯の設計に加え、高速動作化が可能なモジュール構造を検討し、10Gbps 伝送が可能なプロトタイプの無調芯型面発光 LD アレーモジュールを開発する。

◆研究計画概要

980nm 帯面発光 LD アレーの開発:p 基板を用いた高速動作が可能な酸化閉じ込め構造面発光 LD アレーを開発する。

面発光 LD アレーモジュールの開発:LD を発光させることなく無調芯で面発光 LD アレーとテープファイバを直接光結合するモジュールの設計、および、設計に基づき、フェルールに樹脂成形部品を用いたモジュールを開発する。

◆研究計画内容

(1)980nm 帯面発光 LD アレーの開発

面発光 LD 用ウエハの開発:面発光 LD の低消費電力動作化、アノード電極を共通電極とするアレーを実現するために、高反射率/低抵抗ミラーおよびp-GaAs 基板を用いた面発光 LD 用ウエハを開発する。

980nm 帯面発光 LD アレーの開発:面発光 LD の低しきい値動作化を目指し、AlAs 酸化電流閉込め構造の開発および p 基板を用いた低消費電力面発光 LD (Ith<1mA、動作電圧<2V)の開発を行なう。これを基に各素子が1Gb/s 以上で動作が可能な 10 チャネル面発光 LD アレーを開発する。更に、素子容量の低減を図り、2Gb/s 以上で動作する面発光 LD を開発する。

(2)面発光 LD アレーモジュールの開発

面発光 LD とマルチモードファイバを無調芯で結合するモジュールのデザイン設計を行ない、これを基にプラスチック成形部品を用いた 1Gb/s/ch 動作が可能な無調芯型面発光 LD10 チャネルモジュールを開発する。更に、高速伝送を実現するための SM ファイバを用いた無調芯型面発光 LD モジュールの可能性を検討する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

利用者から見ると、プラスチック成形部品、シリコン実装基板を用いた無調芯モジュールは、低コスト(低価格)化が期待でき、光インターコネクションや LAN 用光源モジュールとして広い範囲で利用が可能である。

◆成果概要

p-GaAs 基板を用いた 980nm 帯面発光 LD アレーの開発を進め、10 チャネルアレーでしきい値電流 1.3±0.1mA、動作電圧 2V（動作電流 15mA）という特性の均一性が良好で低消費電力動作が可能な面発光 LD アレーを実現した。また、面発光 LD アレーとテープファイバを無調芯で結合するモジュールのデザイン設計および試作を進め、10 チャネルモジュールにおいて 2.5Gbps/ch 動作を実現した。

◆研究成果の内容

(1)980nm 帯面発光 LD アレーの開発

・面発光 LD ウエハの開発

面発光 LD の低消費電力動作化、アノード電極を共通電極とするアレーを実現するためには、高反射率／低抵抗半導体多層膜分布反射型ミラー(DBR)および、p-GaAs 基板を用いた面発光 LD ウエハを開発する必要がある。そこで、有機金属気相成長（MOCVD）法を用いて、DBR および p 型基板面発光 LD 用ウエハの結晶成長の研究開発を行なった。半導体多層膜を用いた DBR では、p 型の低抵抗化が課題であり、そこで、この p-DBR の抵抗を低減するための構造を検討し、25 対の p-DBR で抵抗値を 10Ω（素子サイズ 25μmΦ）まで低減した。また、p 型基板を用いた面発光 LD 用ウエハの開発を行ない、端面共振器型ブロードエリアレーザによるしきい値特性の評価で、n 型基板を用いたウエハと同等以上のしきい値電流密度 330A/cm^2（共振器長 600μm）という結果を得た。

・980nm 帯面発光 LD アレーの開発

面発光 LD の低しきい値化を実現するための電流閉じ込め構造として、AlAs 酸化電流閉じ込め構造を取り上げ、均一なサイズを持つメサおよび酸化狭窄層の作製条件の検討および p 基板ウエハを用いた面発光 LD の開発を行なった。均一なサイズを持つメサを実現するために、反応性イオンビームエッチングを、また、素子容量の低減およびウエハの平坦化を実現するためにポリイミドでメサを埋め込む構造を採用した。図 1 に試作した素子の構造と AlAs 酸化後の顕微鏡写真を示す。試作した素子特性として、活性領域約 120μm^2 の素子で、しきい値電流 0.6mA 得た（図 2、文献 1）。更に、活性領域約 150μm^2 の素子で構成した 10 チャネルアレーを試作し、しきい値電流 1.3±0.1mA という均一性の良好な特性を持つアレーを実現した（図 3、文献 2、3）。

(2)面発光 LD アレーモジュールの開発

・モジュール設計

980nm 帯面発光 LD を用いた無調芯型面発光 LD アレーモジュールのデザイン設計を、1.ファイバフェルールには樹脂成形技術による MT コネクタを用い、LD を発光させることなく光ファイバへの光結合が寛厚な無調芯型光結合構造を目指す、2.フェルールと面発光 LD チップの位置合せはフェルールのガイドピンと面発光 LD チップ実装基板の溝を用いることで行なう、3.実装基板にはシリコン基板を用いる、というコンセプトで行なった。図 4 に設計したモジュールのコンセプト図を示す。（文献 1）

・面発光 LD アレーモジュールの開発

モジュールの設計をもとに、4 チャネル面発光 LD アレーを用いたモジュールを試作し、光結合効率 90%（結合損失 0.45dB）を確認した（文献 1）。次いで、10 チャネル 980nm 帯面発光 LD アレーを用いてプロトタイプの面発光 LD アレーモジュールの試作した（図 5）。モジュールに用いた VCSEL の平均しきい値が 1.3mA に対して、モジュール組立て後の平均しきい値電流は 1.5mA であり、組立て前後のしきい値電流の変化はほとんどのチャネルで 0.3 mA 以下と小さかった。小信号変調特性では、3dB 帯域幅として、しきい値電流 1.5mA に対して、バイアス電流 5mA で 4GHz が得られた。図 3 に各チャネルのパルス変調特性の測定結果を示す。面発光 LD モジュールの立

上がり時間、立ち下がり時間はそれぞれ 150psec、200psec であり、2.5Gbps、PRBS2^{23}-1 のランダムパターン変調でのアイパターンは良好なアイ開口が得られた。隣り合うチャネルの同時動作を行った場合でも、アイ開口の顕著な劣化は見られなかった(文献 2、3)。

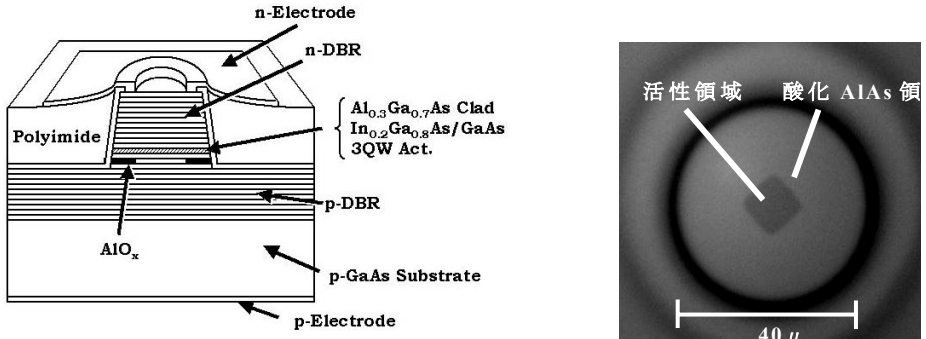


図 1 (a) p 基板 980nm 帯面発光 LD の構造と(b)AlAs 酸化後の赤外顕微鏡写真

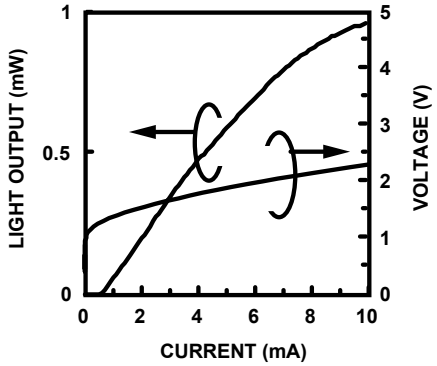


図 2 p 型基板 980nm 帯面発光 LD の L-I-V 特性

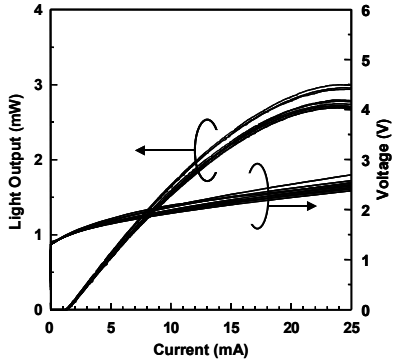


図 3 10 チャネルアレーの L-I-V 特性

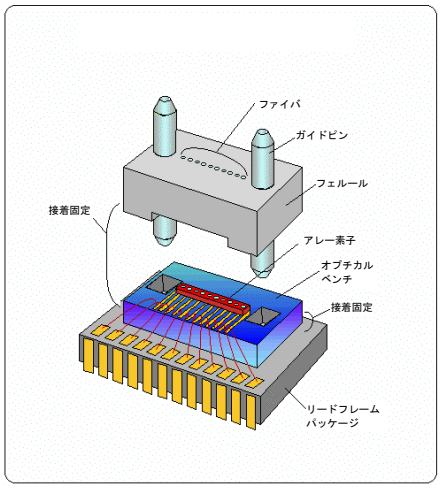


図 4 無調芯型面発光 LD アレーモジュールのコンセプト図

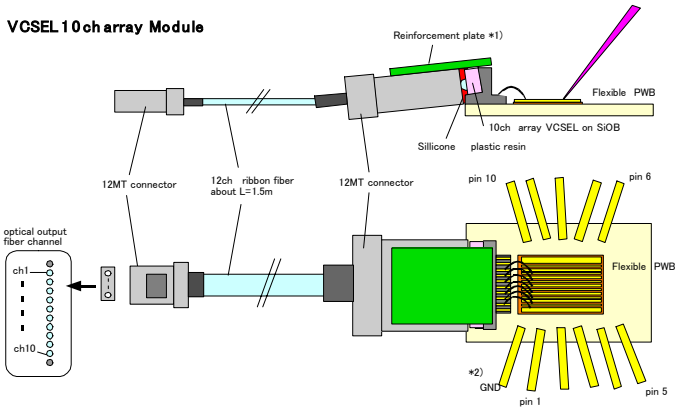


図 5　試作モジュールの構造

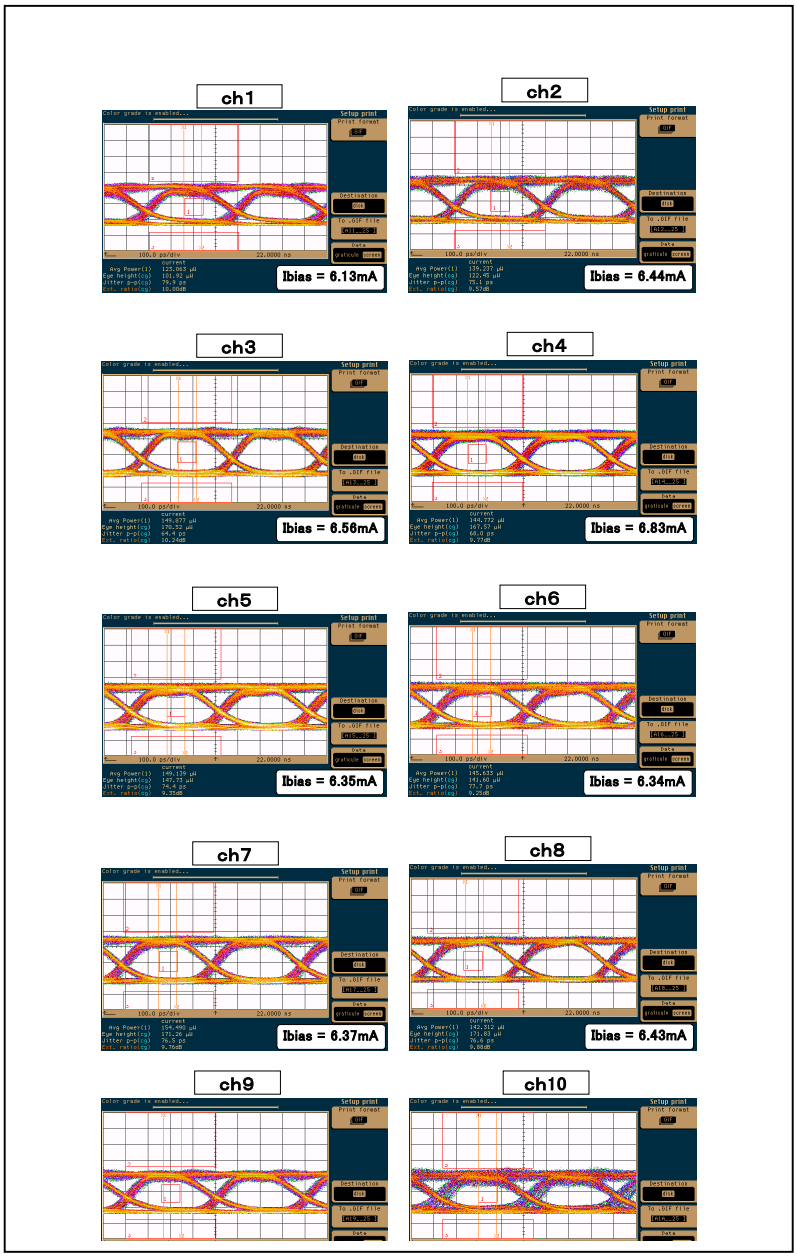


図 6　2.5Gb/s パルス変調特性

◆成果の意義

p基板面発光LDアレーの開発により、アノードを共通とする高速動作が可能なバイポーラトランジスタ駆動回路が使用できる。また、プラスチック成形部品、シリコン実装基板等の部材を用いた無調芯型モジュールの実現は、モジュールの低コスト化が期待でき、光インターコネクション用モジュールとして有望である。

◆他機関との比較など

面発光LDアレーを用いた無調芯モジュールとしてファイバと面発光LDをポリガイド等の導波路を介して結合する方法を用いた OPTOBUS（モトローラ）、POLO（HP 他）、ParaBIT（NTT）等が開発されている。これに対して、本研究はファイバとLDを直接結合する方式を用いているため、モジュールの小型化、低コスト化に有利な構造となっている。また、NECからファイバコネクタに挿入したファイバとn基板面発光 LDアレーを直接接合するモジュールが報告されている。本研究では、p 基板を用いているため、バイポーラトランジスタを用いた高速変調用のドライバ回路（アノード共通）が使用できること、また、ファイバとLDの位置を固定しているため、コネクタの抜き差しによる結合効率の変化が押さえられる等の利点がある。）

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】内山, 横内, 岩瀬, 南野, 椎名, ”パッシブアライメント980nm VCSELアレーモジュール”, 電子情報通信学会技術報告, Vol. 99, No.652, LQE99-130, pp. 1-6 (2000).

【2】内山, 横内, 岩瀬, 濱, 椎名, “980nm VCSELアレーモジュール”, 電子情報通信学会技術報告, Vol. 100, No.626, LQE2000-121, pp. 7-12 (2001).

【3】S.Uchiyama, Y.Yokouchi, M.Iwase, T.Hama and Y.Shiina, “p-Substrate VCSEL Array for Passive-Aligned Module”, Proc. of OECC/IOOC 2001 Conference, WH3, pp.337-338 (2001).

B-1-15 空間分割多重光インターコネクション(光インターコネクション日板研究室)

◆目標

光インターコネクションの小型高密度化(16 チャンネル／1mm^2)、空間分割多重化(8 または 16 チャンネル)、簡易調心化(マイクロホールアレイによるパッシブ調心)のためのマイクロアレイ光部品とマイクロ光学系、および、簡易調心パッケージを実現する。

◆アプローチ

小型高密度な空間多重化、および、簡易調心化を可能にするため、

①マイクロレンズアレイ、マイクロホールアレイなどの高精度なマイクロアレイ光部品の開発

②LD アレイ／PD アレイと光ファイバアレイとの高効率高安定光結合光学系の開発

③パッシブ光デバイスと光ファイバとの接続用コリメート光学系の開発

④簡易調心用の嵌合マイクロホールアレイと嵌合ピン付光ファイバの開発

⑤簡易調心ジグおよび組立方法の確立

を行い、コンピュータのボード間／ボード内接続に好適な空間多重光インターコネクションモジュールを実現する。

◆研究計画概要

小型高密度な空間分割多重光インターコネクションを実現するためにマイクロアレイ素子開発、マイクロ光学系開発、簡易実装要素技術開発を行い、パッシブ調心・自己調心機構を盛り込んだ、高耐候性、温度安定性を有する空間分割多重光インターコネクションを開発する。

◆研究計画内容

空間分割多重光インターコネクションを簡易実装化するためのキーエレメントである平板マイクロホールアレイを、フォトマシナブルガラスを用いて作製し、単一モードファイバの実装に必要なピッチ精度、穴形状精度を実現すべく作製ばらつきの低減を行う。

また、空間分割多重光インターコネクション用平板マイクロレンズアレイのピッチ精度、開口径精度、焦点距離精度を改善し、空間分割多重時の結合トレランス特性を考慮した、マイクロ光学系の設計を行う。

また、テープファイバと平板マイクロレンズアレイ、平板マイクロホールアレイとのパッシブ実装技術の開発を、プロトタイプ試作を通じて行い、総合的な結合効率特性を評価することにより、一次元配列の空間分割多重光インターコネクション光学系から二次元配列の光学系までに拡張性のある空間分割多重光インターコネクション用のマイクロ光学系のパッケージング技術を確立する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

一次元から二次元配列まで拡張可能な空間分割多重光インターコネクション技術は、モジュールの小型化、高密度化に必須となる技術である。今後、MEMSスイッチや長波長のVCSELが実用化する中で、超高速光 LAN や光交換機のシステムを構成する上で重要なキー技術の一つとなっていくと思われる。

◆成果概要

シームレス並列分散コンピューティング技術におけるコンピュータボード内／ボード間の光接続に適した小型高密度実装が可能で、結合光学系からコリメート光学系まで拡張可能な空間分割多重光インターコネクションの構成を提案した。量産性が高く高耐候・高精度のガラスマイクロホールアレイを適用しマイクロレンズアレイと光ファイ

バとのパッシブ調心機構を導入したパッケージを開発し、配列密度 16 チャンネル /1mm^2 のプロトタイプを開発した。

◆研究成果の内容

コンピュータボード内／ボード間の高速大容量接続には並列光インターコネクションが適しているが、特にアレイ化した空間光学系を用いることにより結合光学系の構成自由度を大きくでき、VCSEL や PD アレイなどの実用化に伴って電気実装に匹敵する二次元配列での一括接続が可能になるなど、より高密度な光インターコネクションモジュールに展開される期待がある。一方、空間光学系の課題は LD/PD アレイとマイクロレンズアレイと光ファイバの 3 素子を空間中で調心固定する必要があるため調心実装が複雑になり実装コストが高くなってしまう点である。

本研究ではこのような点に鑑み、光ファイバのパッシブ調心や自己調心機構の開発をその中心に据え、モジュール実装に係る問題点を解決した空間分割多重光インターコネクションを開発し、マイクロオプティクスによる空間光学系の利点を最大限に活かしたパッケージを実現したものである。

空間分割多重光インターコネクションの構成【図１】[1)2)3)6)10)]

空間分割多重光インターコネクションは、マイクロレンズアレイ、嵌合マイクロホールアレイ、貫通マイクロホールアレイ、テープファイバにより構成した。各構成素子は全てガラスを使用し耐候性に優れる。

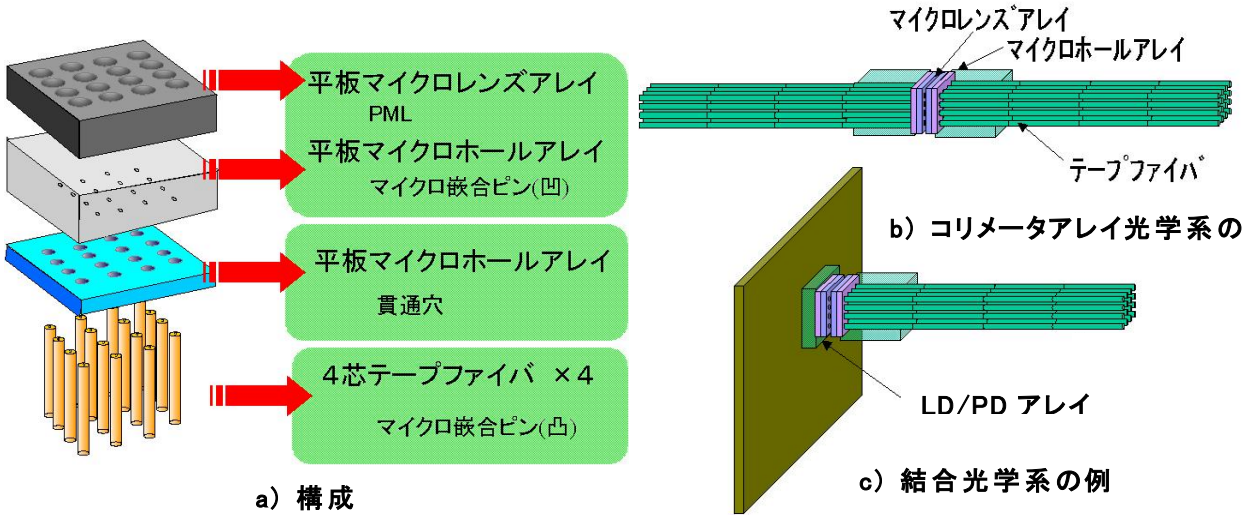


図１ 空間分割多重光インターコネクションの構成

嵌合マイクロホールアレイはレーザ光による透過照明でマイクロレンズアレイを照明し集光スポットとパッシブ調心固定する。貫通マイクロホールアレイは画像観察しながら嵌合マイクロホールアレイとパッシブ調心固定する。光ファイバは先端に凸状の嵌合ピンを形成し貫通穴に挿入することで嵌合により自己調心する。光ファイバの接着には屈折率整合をとった UV 硬化樹脂を用い光ファイバ出射光の発散角変化を抑制しバックリフレクションを最小化する。本構成の特徴は、嵌合マイクロホールアレイは精密研磨により任意の厚さに調整することで、結合光学系からコリメート光学系まで任意の光学系をとり得ること、またマイクロアレイ光部品の配列を選択することで任意のマイクロ光学系配置をとり得ることである。

マイクロアレイ光部品の開発 [3)4)5)6)8)9)]

空間光学系を用いて並列光インターコネクションを構成する場合、光軸方向を含め

所望の配列精度を実効的な手段で実現することが重要である。本研究では光軸方向に対してはマイクロレンズアレイの焦点距離と嵌合マイクロホールアレイの厚さによって、光軸と直交する方向に対しては構成部品の配列精度によって、それぞれ配列精度を確保することを狙ってマイクロアレイ光部品を開発した。マイクロレンズアレイは、フォトリソグラフィーによるパターニング技術を用いてガラス基板表面に形成したマスク開口から、ガラスの屈折率を増大させる一価の陽イオンを拡散するイオン交換法を適用して開発した。結合光学系用にはLD出射光を効率よく光ファイバに結合できる高NAタイプ(NA0.34～0.5)のマイクロレンズアレイ【図 2】をコリメータアレイ光学系用には大口径タイプ(φ250um)のマイクロレンズアレイを使用し、焦点距離ばらつき低減を行った【図 3】。

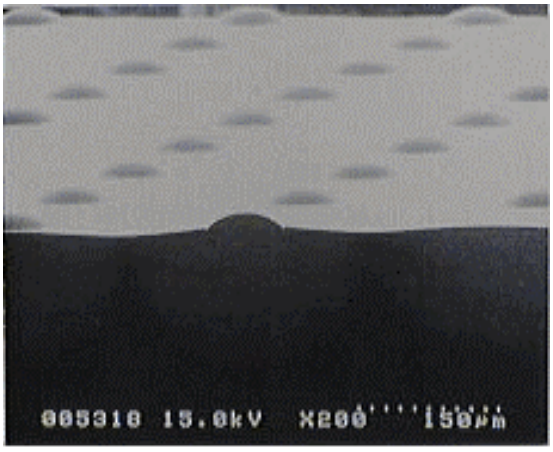


図２ 高 NA マイクロレンズアレイの SEM 写真

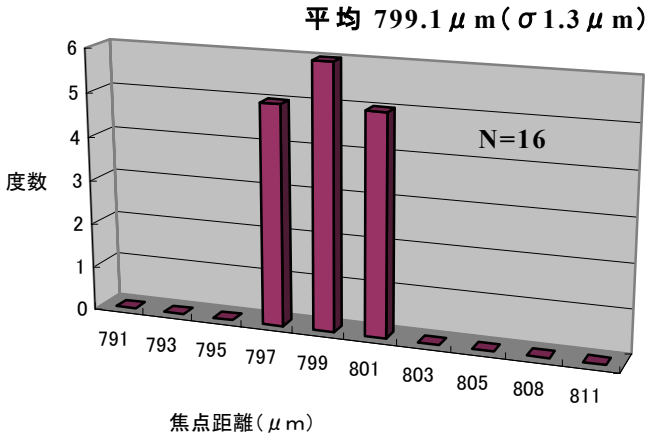


図３ 焦点距離ばらつき評価結果

貫通マイクロホールアレイは、KrF エキシマレーザによるレーザアブレーション加工装置にステッパと同様の縮小結像光学系を適用し、ガラス基板表面にフォトマスクのパターンを縮小結像することにより直接加工する方法で開発した【図 4】。硝材には紫外レーザ加工性を改善したフォトマシナブルガラスを用いた。この方法の特徴は、250um ピッチ 16 穴のマイクロホールを約 10 秒で一括して加工できることから多数のガラスマイクロホールアレイを高精度かつ短時間で形成することが出来る点にあり、他に例をみないものである【図 5】。

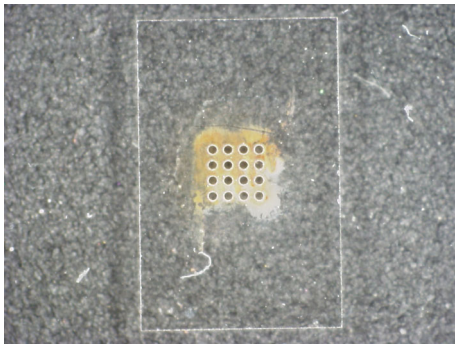


図４ 4x4配列貫通マイクロホールアレイ

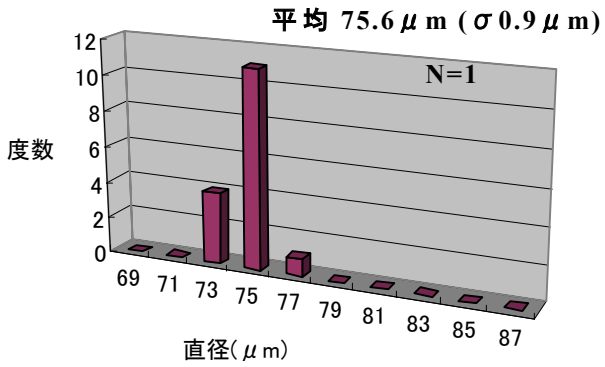


図５ 穴径ばらつき評価結果

嵌合マイクロホールアレイは、Nd:YAG レーザの第 3 高調波(355nm)によるレーザアブレーション加工装置にマイクロレンズアレイ光学系を挿入し、その集光スポット群を

用いてフォトマシナブルガラス上に直接加工する方法を用いて開発した【図 6】。この方法の特徴は調心するマイクロレンズアレイを用いてマイクロホールを作製するため、ピッチや配列が完全に一致した素子を容易に作製出来る点にあり、ユニークな製法である【図 7】。



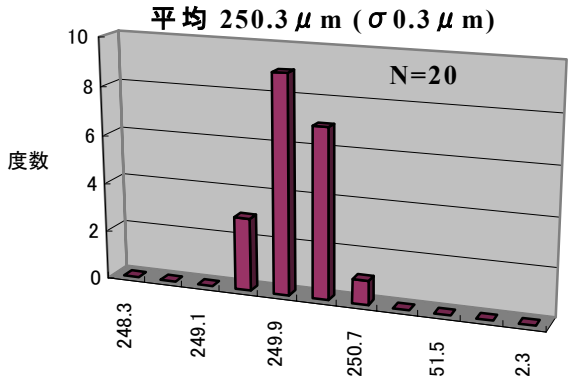


図６　4x4配列嵌合マイクロホールアレイ

マイクロ光学系の開発 [3)6)]

空間分割多重化した多数のマイクロ空間光学系を一括して安定に接続するため、ピークの性能を求めるのではなく、部品の加工公差や調心ずれに対して光学特性変化が小さいのマイクロ光学系を開発した。結合光学系モデルとコリメート光学系モデルについて検証を各々行い、それに基づいて光学設計を実施した【図 8】。

結合光学系の場合、最適位置での結合損失は 6.6dB、過剰損失 1dB におけるトレランスは、±3.8um(光軸直交方向)、±110um(光軸方向)、±1.7°(光軸に対する角度)と評価され、コリメート光学系の場合、インターコネクション距離(コリメート長)<10mm まで損失増加は殆どない結果が得られた【図 9】。これらは実測値とほぼ一致する結果であり、空間分割多重光インターコネクションのプロトタイプはこれらの設計に基づいて開発した。

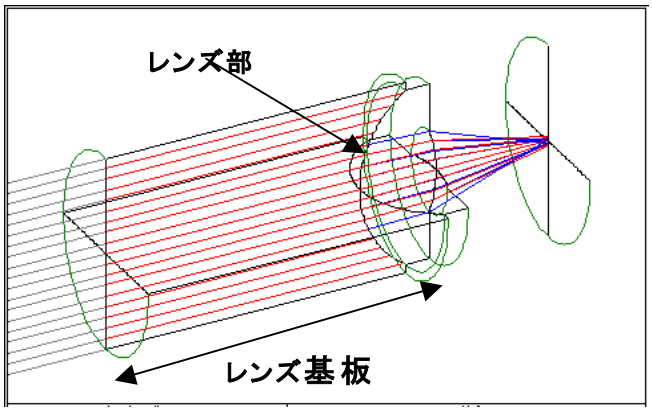


図８　光学設計モデル(コリメート光学系)

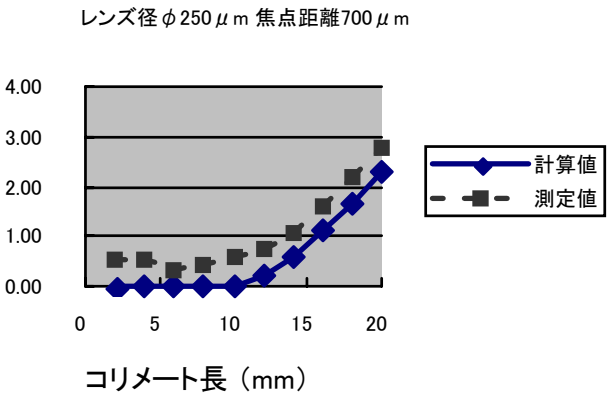


図９　シミュレーション結果

簡易実装技術の開発 [1)2)3)7)10)]

本研究では、単一モード光ファイバに対して適用可能な簡易実装技術を組み込んだパッケージの開発が大きなテーマの一つである。そのために、前述のマイクロアレイ光部品を適用すると同時に光ファイバ端面への凸状嵌合ピンの形成プロセスの開発を行った。

凸状マイクロ嵌合ピンは、クラッド部とコア部のガラス組成の差を利用したフッ酸系エッチャントによる選択エッチングにより形成した【図 10】。光ファイバの直径と嵌合ピンの高さは、貫通マイクロホールアレイ、嵌合マイクロホールアレイに合わせてエッチャント組成、温度により微調整できるプロセスを開発した【図 11】。

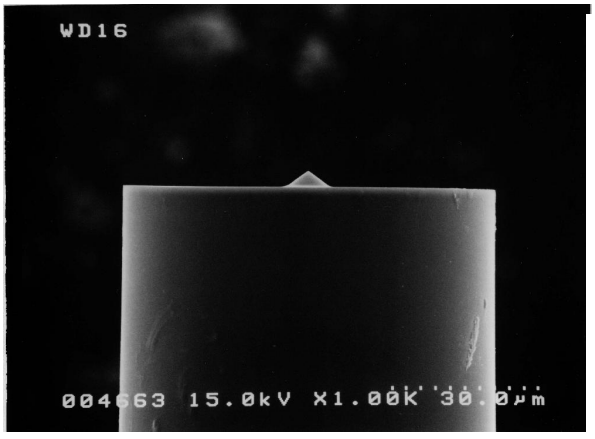


図１０　嵌合ピン付光ファイバ SEM 写真

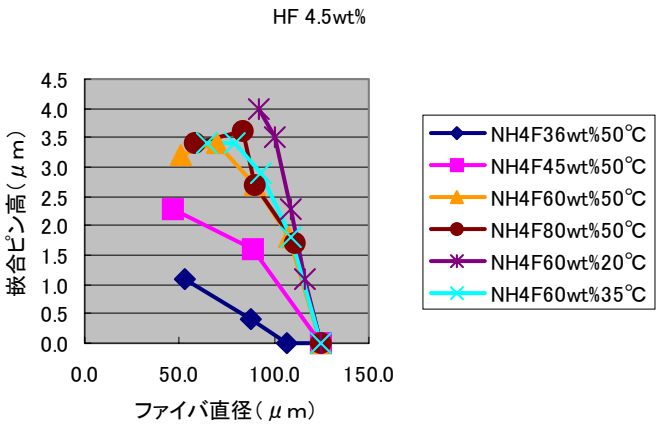


図１１　嵌合ピン付光ファイバ試作結果

空間分割多重光インターコネクションのプロトタイプは、パッシブ調心固定したマイクロレンズアレイと嵌合マイクロホールアレイに、貫通マイクロホールアレイをパッシブ調心して、予め挿入してあった光ファイバを自己調心固定する方法で開発した【図 12、13】。光ファイバコリメータアレイを構成した場合の接続損失は 0.5dB 以下(インターコネクション間距離 6mm において、インターコネクション間の相対位置は調整)であり【図 9】、バックリフレクションは-40dB と評価され、嵌合ピンを形成していない光ファイバの場合よりも-6dB の低減効果が得られた。

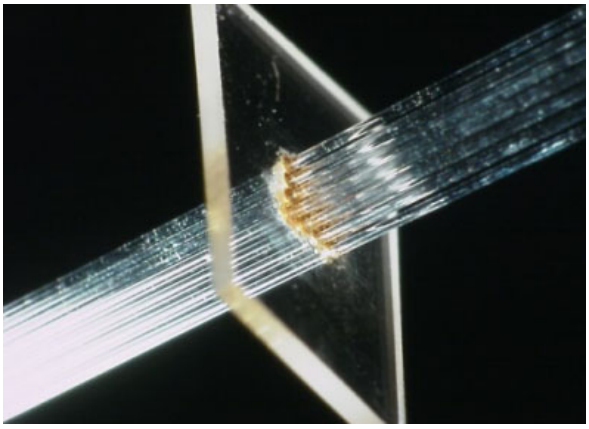


図１２　光ファイバを挿入したマイクロホールアレイ

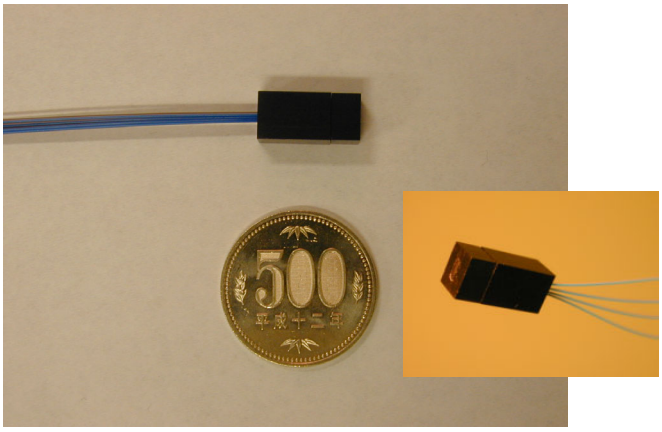


図１３　空間分割多重光インターコネクションプロトタイプ

◆成果の意義

本研究は、従来空間光学系による光インターコネクションを構成する場合に課題であった、受発光素子とマイクロレンズアレイと光ファイバの 3 素子を空間中でアクティブ調心しなければならないという問題点をパッシブ調心と自己調心機構により抜本的に解決し、小型高密度な二次元配列が可能で光学系の自由度の大きい長所を活かすとともに、耐候性、温度特性に優れたオールガラスの部材で構成した光インターコネクションパッケージであるということに価値がある。また、構成素子も耐候性と量産性を考慮した新しい作製プロセスと新しい光学ガラス材料をもって開発し、先例のない独自のパッシブ調心用素子を開発したことに新規性・革新性がある。各構成素子のパッシブ調心のコンセプトや接着固定材料については、従来技術を適用しているものの、量産性が高く大規模な空間多重化にも対応可能な新しい調心固定方法を開発していくことで、1000 チャンネルを越える大規模な空間多重化においても、温度変化などに対して光接続特性の安定した二次元配列の空間光学系による光インターコネクションパッケージが実現できると考える。

◆他機関との比較など

空間分割多重化による光インターコネクション技術は、V溝による光ファイバ配列体を基本とした一次元配列のものが報告されており、二次元配列に対してV溝を積層して光ファイバを配列する方法が報告されているが、積層方向のピッチ間隔や配列精度については大きな問題がある。また一部機関からはマイクロホールアレイや嵌合を用いた実装コンセプトが報告されているがレジストなど樹脂ベースのものが多く耐候性の点で課題がある。また特に大規模なものは光交換機用として MEMS 光スイッチを用いた大規模なマイクロオプティクス型の空間マトリクススイッチにマイクロレンズアレイを用いたコリメータアレイを用いたものが報告されているが、調心実装の煩雑さから量産性に乏しい。

本研究による空間分割多重光インターコネクションはこれらの課題を解決するものであり、耐候性の高いオールガラスの素子により構成された、パッシブ調心／自己調心機構をもつ小型高密度の空間光学系の二次元配列による空間分割多重光インターコネクションパッケージを提供する点でこれら他機関の報告に対して進歩性がある。

◆主要論文･成果発表･受賞等

【1】仲間、新毛、今西、常友、小山、水島:“空間分割多重光インターコネクション”,1997 年秋季第 58 回応用物理学学術講演会予稿集, 2p-Zp-15, 1997

【2】K. Nakama, K. Shinmou, H. Imanishi, K. Tsunetomo, T. Koyama, and E. Mizushima: “Parallel optical interconnection using microlens array”, Proc. Of 2nd International Symposium on Optics In Engineering, D2, 1997.

【3】K. Nakama, K. Shinmou, T. Kishimoto, and E. Mizushima: “Optical Interconnection System using Planar Microlens Array”, Proceedings of 1997 Real World Computing Symposium (RWC97), pp. 630-635, 1997.

【4】仲間、新毛、今西、常友、小山、水島:“空間分割多重光インターコネクション用平板マイクロホールアレイの試作”, 1998 年春季第 45 回応用物理学関係連合講演会予稿集, 28a-SG-6, 1998

【5】仲間、新毛、水島、関口、今西、常友、小山: “平板マイクロホールアレイを用いた空間分割多重光インターコネクション”, The 10th Meeting on Glasses for Photonics 講演予稿集, pp. 28-29, 1998.

【6】K. Nakama, K. Shinmou, Y. Sekiguchi, H. Imanishi, K. Tsunetomo, T. Koyama, and M. Funaki: “Space division multiplexing optical interconnection using planar microlens array”, Technical digest of 7th microoptic conference (OC99), pp.228-231, MF30, 1999

【7】仲間、新毛、今西、常友、小山、水島:“空間分割多重光インターコネクション用マイクロ嵌合コネクタ”, 1998 年周期第 59 回応用物理学会学術講演会予稿集, 15p-T-8, 1998.

【8】T. Koyama, K. Tsunetomo, K. Kamada, and K. Nakama: “Laser micro machining for Ag ion exchanged glasses”, Proceedings of The 2nd International Symposium on Laser Precision Micro Fabrication (LPM2001), 2001. (To be published)

【9】関口, 川崎, 引地, 小林, 常友, 仲間: “レーザ加工によるマイクロ嵌合コネクタの試作”, 2001 年(平成 13 年)春季第 48 回応用物理学関係連合講演会予稿集, 2001.

【10】引地、新毛、関口、常友、仲間:「空間分割多重光インターコネクション用マイクロ嵌合ピンの形状制御」, 2001 年(平成 13 年)春季第 48 回応用物理学関係連合講演会予稿集, 2001.

B-2. 並列アプリケーション技術領域

B-2-1 ヘテロジニアスコンピューティング共通インターフェースソフト(並列応用日立研究室)

◆目標

異なるシミュレーション間のシームレス化技術を開発し、複数のプログラムを効率的に連結した連成解析(ヘテロジニアスコンピューティング)を支援する統合システムの構築、並びに、その有効性を実証する。本研究では、ユーザによるプログラムの改変を最小限に抑えることを基本方針として、単一のプログラムでは解析不可能な物理現象をターゲットに、下記四つのテーマに取り組む。

(1) 異なる離散手法(粒子法やメッシュ法)を用いたプログラム間のデータ通信とデータ変換を、エージェント方式で自動化する標準通信ライブラリ MPI(Message Passing Library)と PVM(Parallel Virtual Machine)上の連成解析用ミドルウェアを開発。

(2) 上記コア技術を用いて、ユーザが簡便に連成解析を実現するために、開発、実行や検証の一連の作業を支援する連成解析統合支援システムを開発。

(3) ソフトベンダーの開発する流通ソフトやユーザの開発ソフト等を連結し、本技術を用いて初めて実現可能な生物分野では蛋白質構造・機能相関解析、半導体分野では材料・デバイスの連成解析等を実証。プログラム結合部の開発工数を従来の 1/5～1/10 に削減。

(4) 連成解析用ミドルウェアを Web 上で公開し、成果ソフトの普及を推進。

◆アプローチ

産官学連携の研究体制や企業間共同開発へのパラダイムシフトが生まれ、ユーザ間でシミュレーションプログラムを有機的に連結し複合的な解析を実現するニーズが拡大している。又、単一の計算手法のプログラムを改良するのみでは、解析精度の向上と解析規模の拡大を両立させることは難しい。高精度且つ高速な解析を実現するためには、複数のシミュレーションプログラムを連結することが必要不可欠である。

連成解析の実現には、数値モデリングにおいて、メッシュや粒子の異なる離散手法のシミュレーションプログラムを改変し連結しなければならない。又、物理モデリングにおいて、メッシュを用いたマクロなシミュレーションと粒子を用いたミクロなシミュレーションを連結するため、空間スケールと時間スケールの異なった物理データを交換する必要がある。

これら課題を解決するため、下記アプローチに従って連成解析用ミドルウェアを開発し、ナノテクノロジー分野で必須なブレークスルー技術として、蛋白質の構造・機能相関解析と極短ゲート半導体デバイスの高速化・高信頼化設計に応用する。

(1)異なる離散点間の相関関係(最近接、第1近接)を定義する一般的な連結方法を提案する

(2)相関関係を自由に選択し、離散点上の物理データを交換する専用ライブラリを開発する。

(3)各プログラムにライブラリを挿入し、最小連結単位としてコンポーネント化する。

(4)エージェントを介してコンポーネント間の物理データの通信・変換を自動化するために、ハイパフォーマンス計算に優位なメッセージパッシングベースのミドルウェアを開発する。

(5)生物分野への応用では、蛋白質活性部位に強く作用する蛋白質構造部位を同定するために、高精度且つ高速な蛋白質の構造・機能相関解析を実証する。

(6)半導体分野への応用では、極短ゲート素子内の高速電子と衝突し生成する欠陥数を削減するために、従来不可能であった欠陥数の経時変化を予測するナノメ

ートル素子の高速且つ高信頼設計を実証する。

◆研究計画概要

異なる計算手法のプログラムを効率的に結合するために、データの通信・変換を自動化するコア技術と統合支援環境を構築する。蛋白質構造・機能の相関解析や欠陥の存在する半導体基板中の熱伝導解析に応用し、統合システムの有効性を実証する。

◆研究計画内容

並列分散環境下の多様な計算リソースを活用するためには、ハードのみならずアプリケーションレベルのシームレス化技術が不可欠である。本研究では、ユーザによるオリジナルプログラムの変更を最小限に抑えることを基本方針として、単一のプログラムでは解決不可能な物理現象をターゲットに、下記三つのテーマに取り組む。

(1)粒子やメッシュの異なる離散手法を用いたプログラム間のデータ通信とデータ変換を、エージェント方式で自動化する標準通信ライブラリ MPI(Message Passing Library)と PVM(Parallel Virtual Machine)上のミドルウェア技術を開発。

(2)上記コア技術を用いて、ユーザが簡便に連成解析を実現するために、開発、実行や検証の一連の作業を支援する JAVA 統合環境を開発。

(3)ソフトベンダーの開発する流通ソフトや一般ユーザの開発ソフト等を結合し、生物分野では分子動力学法と連続体モデルを結合する蛋白質構造と機能の相関解析、半導体分野ではミクロな格子欠陥によるマクロな異方的な熱伝導解析等に応用。プログラム結合部の開発工数を従来の1/5～1/10に削減。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

高精度解析に適した粒子モデルと高速解析に適した連続体モデルの結合を効率化し、マルチフィジックス対応の大規模で高精度な連成解析が容易になる。異分野の先進ユーザがお互いのソフトを連結し、蓄積された手法やノウハウの効率的な融合を加速することができる。科学技術計算分野のソフトウェアインテグレーションが可能となり、Web サイト上からユーザ環境に最適なソフトを選択し結合したり、ソフトベンダーが顧客のニーズに合わせて最適なソフト形態を提示するソリューションビジネスに展開することが期待される。

◆成果概要

物理量を代表する離散点間の相関関係を定義し、エージェント方式によりデータの送受信先の決定と変換を自動化する連成解析用ミドルウェアを開発した。本ミドルウェアを用いた一貫した枠組みで 5 種類の連成解析を実現した。蛋白質解析では、酵素特性の指標となる活性中心の水素解離係数を世界最高水準の高精度で解析できることを実証した。又、極短ゲート素子設計では、高速電子と衝突し生成する欠陥数の経時変化予測を世界で初めて実証した。

◆研究成果の内容

異なるシミュレーションプログラムの連結では、多様なヘテロジニアス性が介在するが、そのシームレス化技術として連成解析用ミドルウェアの機能を概説する。表1には、本研究成果として、連成解析用ミドルウェアの各機能を用いて連結した生物分野と半導体分野の 5 種類の実証例を纏めた。

・連成解析ミドルウェアの特徴と機能

連成解析用ミドルウェアでは、FORTRAN や C 言語で開発されたベンダーの流通ソフトや一般ユーザソフトに専用ライブラリを挿入し、最小連結単位としてプログ

ラムをコンポーネント化する。ベンダーソフトは、ソースオープンの必要はなく、ハイエンドサーバ用の高速行列ライブラリを挿入する場合と同じライセンス契約を締結することで対応できる。

連成解析では、シミュレーション毎に有限差分法、有限要素法や粒子法を用いた離散点が定義され、物理量を代表する離散点上のデータを交換する。本研究で新規に提案する連結方法[1)]では、異なる離散点間の相関関係として、最近接、第1近接、球内相関等を定義する。例えば、球内相関では、一つの離散点とその点を中心とする球に内在する離散点との間でデータ変換が生じることを意味する。データの変換関数は、物理量の保存則を満たすように、総和、相加平均や線形補間等を提供する。ユーザは、シェアードライブラリを用いて独自の重み関数を設定し変換することもできる。シミュレーション間の通信パターンとして、一方向型、粒子法のように時間と共に位置が変わり離散点間の相関関係が変化する変動型、更には、密な結合に対応する双方向反復型の通信パターンに対応できる。

	生物分野	半導体材料・プロセス・デバイス分野			
	蛋白質構造・機能相関解析	極短ｹﾞｰﾄ素子特性解析	量子輸送解析	熱伝導解析	化学気相成薄解析
連成解析	分子動力学法(AMBER) + 静電ｴﾈﾙｷﾞｰ解析	ﾃﾞﾊﾞｲｽﾓﾝﾃｶﾙﾛ + 格子ﾓﾝﾃｶﾙﾛ	静電ｴﾈﾙｷﾞｰ解析 + Schrödinger eq.	分子動力学法 + 熱伝導解析	流体ガス解析 + 粒子ﾓﾝﾃｶﾙﾛ法
ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑｽﾀｲﾙ	ISV，並列プログラム	FORTRAN	FORTRAN	高級科学計算言語	並列プログラム
離散手法	粒子 + 3D-FDM	粒子 + 3D-FDM	3D + 2D-FDM	粒子 + 3D-FDM	2D-FEM + 粒子
物理量	電荷，誘電率，静電ｴﾈﾙｷﾞｰ	電子分布，ｴﾈﾙｷﾞｰ分布 欠陥分布	静電ｴﾈﾙｷﾞｰ	運動ｴﾈﾙｷﾞｰ，格子温度	ガス密度，速度
相関関係	球内相関	最近接	第１近接	最近接	第１近接
変換関数	重み関数，相加平均	総和	線形補間	相加平均	線形補間 ﾏｯｸｽｳｪﾙ分布
通信ﾊﾟﾀｰﾝ	一方向，変動型	一方向，変動型，双方向	一方向	一方向，変動型	一方向
ﾒｯｾｰｼﾞﾊﾟｯｼﾝｸﾞ	MPI-CH	MPI-CH，PVM	PVM	PVM	PVM
ﾊｰﾄﾞｳｪｱ	Hitachi SR2201, DEC WSs	Hitachi SR2201, DEC WSs	HP WSs	HP WSs	Hitachi SR2201
ﾗｲﾌﾞﾗﾘﾌｫｰﾏｯﾄ整合	94 ｽﾃｯﾌﾟ 140 ｽﾃｯﾌﾟ	34 ｽﾃｯﾌﾟ 240 ｽﾃｯﾌﾟ	16 ｽﾃｯﾌﾟ 70 ｽﾃｯﾌﾟ	24 ｽﾃｯﾌﾟ 170 ｽﾃｯﾌﾟ	22 ｽﾃｯﾌﾟ 100 ｽﾃｯﾌﾟ

表１　連成解析ミドルウェアを用いた実証例

連成解析用ミドルウェアは、メッセージパッシング型の通信ライブラリ MPI1、MPI-CH と PVM ベースで開発しており、これら標準通信ライブラリを用いて開発された並列プログラムを異種マシン上で結合することができる。このように、連成解析用ミドルウェアを用いて一貫した枠組みの元で、広範な分野の連成解析を実現することが可能である。

・エージェント方式によるデータ通信・変換の自動化

これら機能を実現する方式として、エージェントプロセスを介してデータの通信・変換を自動化する専用ライブラリを開発した。図2は、シミュレーションプログラムに専用ライブラリを挿入し作成したコンポーネントを標準通信ライブラリ上で実行した時のプロセス関連図を示す。シミュレーションの各プロセスにそのデータの送受信を担当するエージェントが一つずつ配置される。専用ライブラリは主に三種類から構成され、プロセスの管理、離散点の情報として離散方法、離散点の数、番号と座標等の登録、データの送受信をエージェントに実行させることができる。エージェントは、離散点情報を収集した後、エージェント間で情報を交換し、相関関係に従って相関をもつ離散点をO(NlogN)で自動的に探索する(N:離散点数)[1)]。その探索した相関関係に応じて、自動的にデータの送受信先を判断し、変換関数を用いてデータを変換する。ユーザからは、複数プロセス間の複雑な送受信が隠蔽され、連

成解析実行時のデータの抽出、転送と変換が簡便になる。
表1に纏めた連成解析の連結に要したプログラムステップ数は、専用ライブラリ20～90程度、宣言文やデータフォーマットの整合用プログラム70～240ステップ程度である。ユーザが独自に開発する場合は、千ステップ以上と見積もられ、プログラム開発工数を1/5～1/10に削減することができる。

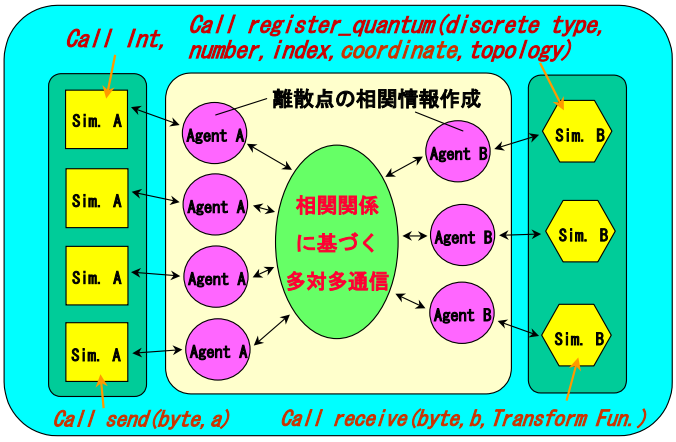


図2　連成解析用ミドルウェアライブラリと実行時のプロセス関連図

・連成解析の実証例とその有効性
次に、バイオと半導体関連のナノテクノロジー分野に応用した新規且つ先進的な連成シミュレーションの実証例を説明する。
分子動力学法に基づく蛋白質構造解析の流通ソフトとして有名なAMBERと半導体分野で活用していた静電場エネルギー解析ソフトを連結し、蛋白質の構造・機能の相関解析を実現した[3)-5)]。図3では、連成解析用ミドルウェアを用いて、酵素蛋白質HEWL(Hen Egg White Lysozyme)の分子構造から静電場エネルギーを解析する流れを示した。原子の電荷と誘電率を、各時刻での原子位置に対し球内相関にあるメッシュ点上に、電荷密度と誘電率としてデータ変換する様子を表している。

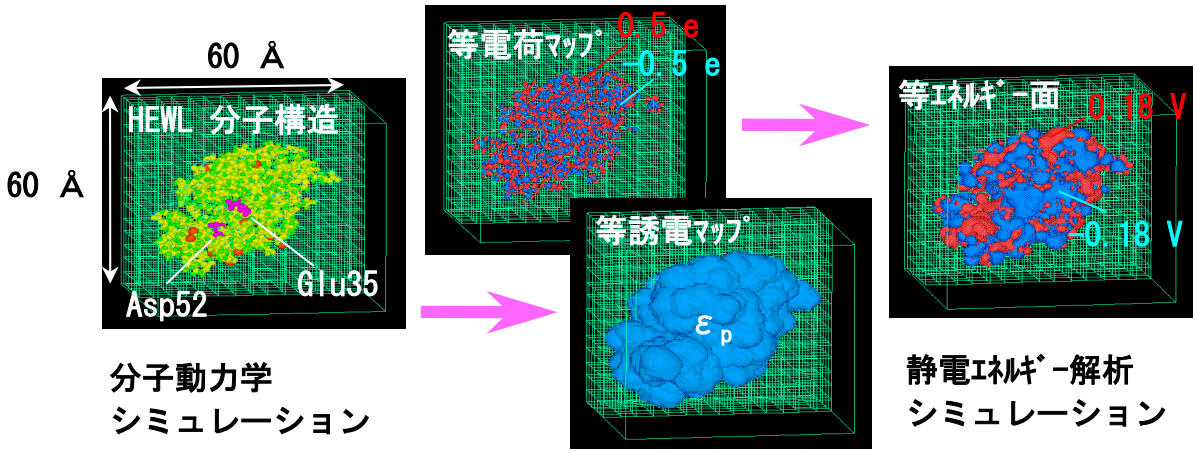


図3　蛋白質構造・機能相関の連成解析

酵素特性の指標である極性アミノ基の水素解離係数シフトΔpKaは、通常蛋白質の平均誘電率を仮定し解析する。一方、新規の連成解析手法では、分子動

力学法から得た原子位置のゆらぎから蛋白質の各領域の誘電率を算出し、連成解析ミドルウェアを用いてメッシュ上に変換する。本解析から、酵素活性部位 Glu35 の近傍の局所誘電率 ε=8 であり、蛋白質の平均誘電率 ε=30 よりかなり低いことを見出した。図4には、局所誘電率を用いて算出したΔpKa とその揺らぎを示す。ΔpKa の時間平均値 1.7 は測定値 1.8 に非常に良く一致し、標準偏差は 0.6 とかなり大きく揺らぐことが分かった。

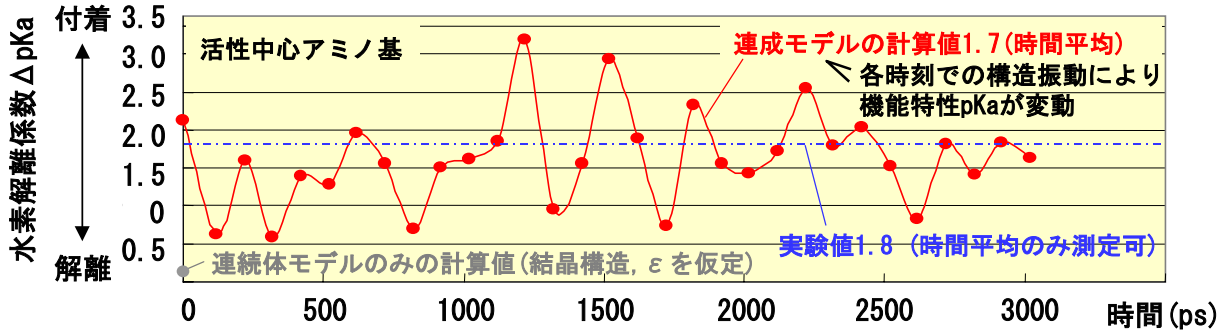


図4 酵素活性部位 Glu35 の水素解離係数シフトΔpKa の時間依存性

表2に示すように、平均誘電率を仮定する従来手法では、酵素活性部位と全極性残基の測定値に対する平均二乗誤差 rmsd を共に精度良く解析することは不可能であった。新規手法では、酵素活性部位 Glu35 のΔpKa は測定値に近く、しかも、全極性残基の測定値に対する平均二乗誤差 rmsd は 0.63 と非常に小さくなっている。水溶液中の蛋白質の構造・機能相関特性をフィッテングパラメータ無しに世界最高レベルの精度で解析可能であり、連成解析予測技術の有効性を実証した。

表2 蛋白質の構造・機能相関の複合予測手法と従来手法の比較

	構造	電荷	誘電率	ΔpKa(Glu35)*	rmsd
当分散研	水和構造	AMBER	ε=8,30	1.7	0.63
Karpulus ｸﾞﾙｰﾌﾟ	結晶構造	CHARMm	ε=4(仮定)	1.9	2.70
Gilson ｸﾞﾙｰﾌﾟ	結晶構造	CHARMm	ε=20(仮定)	0	0.67

測定値:1.8

次に、ナノメートル素子の高速化・高信頼化予測ツールとして、ゲート絶縁膜界面の水素解離に起因し発生する欠陥数の経時変化予測を世界で初めて実証する。素子構造や印加電圧条件をパラメータに、高速動作が可能で信頼性の高い素子設計に応用可能である。図5に示すように、極短ゲート素子内の高速電子分布を解析するデバイスモンテカルロシミュレーションとゲート絶縁膜界面の水素の動的挙動を解析する格子モンテカルロシミュレーションを連結した。本解析は、時事刻々変化する電子分布と欠陥分布のデータを双方向反復的に通信・変換する。又、データを送受信する通信頻度を制御し、fs オーダーから Ms オーダーまでのマルチスケールの物理現象を解析することが可能である。

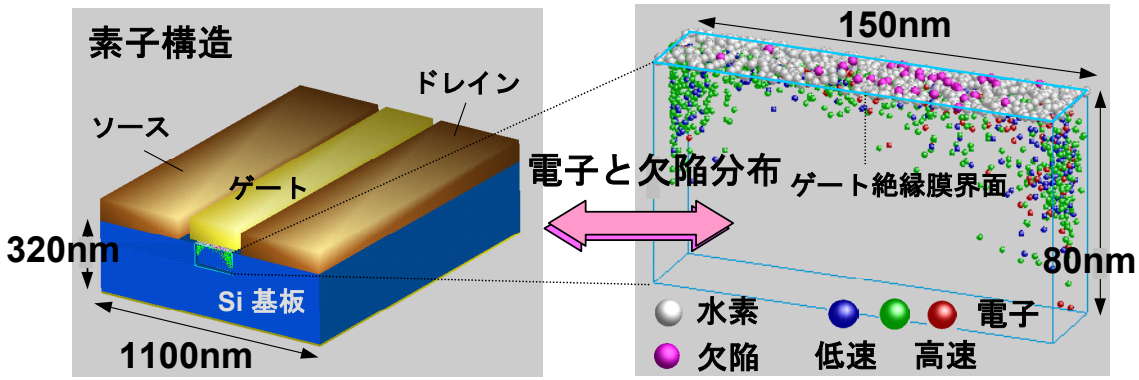


図５　極短ゲート素子の高速化・高信頼化予測の連成解析

図6には、高速電子との衝突に起因する欠陥発生数の時間依存性を示した。時間と共に欠陥数が増加する累乗則が得られている。この累乗則は、素子構造と印加電圧により決定し、従来はシミュレーションで解析不可能なため、素子を試作し実測するほかなかった。連成解析により、累乗則の傾きは0.4978と得られ、経験則として知られる0.5を物理的な因果に基づき世界で初めて見出した。本連成解析により、試作前に累乗則を予測し、傾きが低く信頼性の高いナノメートル素子を設計する新規ツールを実現した。

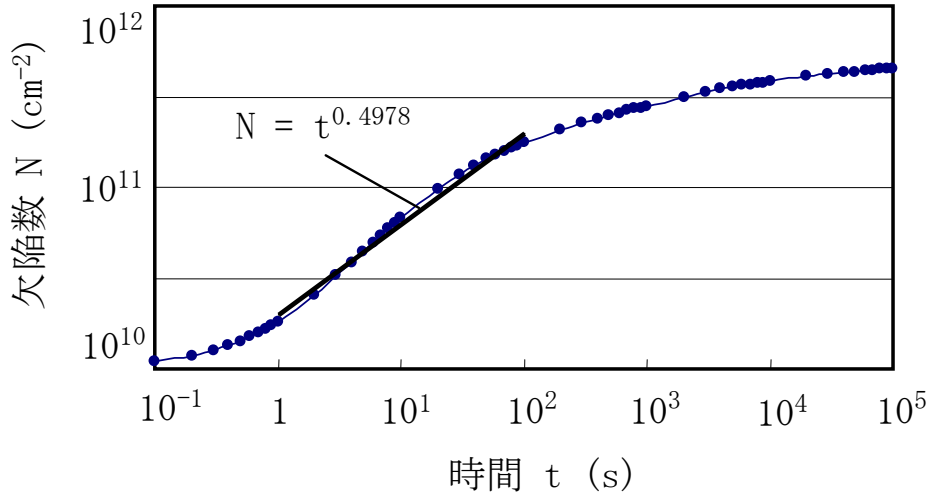


図６　欠陥発生数の時間依存性

・連成解析統合支援システム

ユーザが効率的に連成解析を実現するために、開発、実行や検証の一連の作業を支援する連成解析統合支援システムのプロトタイプを開発した。主なユーティリテイー機能を示す。

(1)並列分散環境下でクライアントマシンから、ハードリソースとソフトリソースを選択し、離散点間の相関関係、変換関数、通信パラダイムを設定するビューア。

(2)シミュレーションプログラムに専用ライブラリを挿入するためのプログラム編集、コンパイルとミドルウェアライブラリをリンクしコンポーネント化する作業ビューア。

・連成解析ミドルウェアの Web 公開

粒子―有限差分メッシュ間のデータ通信・変換を支援する連成解析ミドルウェアを Web 上で無償公開する。現在、経済産業省に著作物登録を申請中。承認後に、モジュールソフトを RWCP の Web ページ上で公開する。又、ソフトウェアインテグレーション等のソリューションサービスの事業化に向けて、自社ホームページ上で公開し、学会発表や新聞発表を通して成果ソフトの普及を推進する。

◆成果の意義

異なる離散点間の相関関係に基づき連結する新規な枠組みは、表1に示したように、広範な科学技術計算分野に応用可能である。連成解析用ミドルウェアならではの実証例として、バイオ分野では、世界最高レベルの精度で高速解析可能な蛋白質構造・機能相関解析を実現した。半導体分野では、極短ゲート素子の高速化・高信頼化解析を目指し、従来不可能であった欠陥発生数の経時予測を世界に先駆け実現した。今後、ナノテクノロジー分野では、空間・時間スケールの異なるマルチスケールやマルチフィジックスな現象を解析するニーズが増えることから、連成解析ミドルウェアは先進的なシミュレーションを融合するキー技術となる。ミクロな物理現象を高精度に解析可能な粒子シミュレーションとマクロな物理現象を高速に解析可能なメッシュシミュレーションを効率的に連結し、大規模で高精度な解析を実現することが容易になる。異分野の先進ユーザがお互いのソフトを連結し、蓄積された計算手法やノウハウといった知の文化の融合を促進することが可能である。

蛋白質構造・機能相関解析において、ベンダー開発ソフトを連結し新規な機能を実現したように、連成解析ミドルウェアは、流通ソフトの機能拡張ツールや SE 向けソフト開発支援ツールとして活用することができる。科学技術計算分野のソフトウェアインテグレーションを促進し、顧客ニーズに合わせて、顧客の開発ソフトやベンダー開発の流通ソフトを連結し最適なソフト融合形態をカスタマイズするソリューションビジネスに展開できる。独自の組み合わせで構築した連成解析ツールは、非常に付加価値の高い解析結果を算出する。顧客にそのデータベースを提供し、ASP(Application Service Provider)的な解析サービス事業への発展が期待される。

◆他機関との比較など

(1)アプリケーションレベルの独創性と優位性

解析領域をミクロな領域とマクロな領域に分けたり、空間的に重複した領域を境に空間スケールや時間スケールの異なるシミュレーションを結合する複合的な解析は、各アプリケーション分野で個別に進められている。幾つか例を挙げれば、IBM では、外力を受けた Si 結晶内部のクラック発生メカニズムを解析するため、第1原理計算、分子動力学法と有限要素法の構造解析を結合した連成解析を行っている。又、ヨーロッパプロジェクトの CISPRER では、同様に、流体ー構造の連成解析に向けて、境界メッシュの自動生成技術を特徴にプロジェクトを進行中である。国内でも、産業技術融合領域研究所を中心とした「計算科学アプローチによる多原子システム複雑過程の解明」では、古典的な分子動力学法と量子力学的な電子状態に基づく分子動力学法を融合し、多原子システムの示す複雑な過程を原子レベルの運動から効率的に予言することが可能な計算科学的な手法の開発を目指している。

しかし、このように個別な結合方法によって、個々のプログラム毎を連結するのでは、シミュレーションの結合部の開発工数が膨大となり、ソフトウェアインテグレーションといったソフト機能の拡張性や発展性に乏しくなる。成果内容で述べたように、マルチフィジカルな問題を解決する連成解析ミドルウェアを用いて、流通ソフト AMBER を結合し、世界最高水準の精度をもつ蛋白質の構造・機能相関の複合

的な予測ツールを新規に構築した。表2には、新規手法と他研究グループの従来手法の比較を示した。従来の平均誘電率を仮定する手法では、酵素活性部位Glu35と全極性残基の測定値に対する平均二乗誤差 rmsd を共に精度良く解析することは不可能であった。新規手法では、水溶液中の蛋白質の構造・機能相関特性をフィッテングパラメータ無しに世界最高レベルの精度で解析可能である。図6に示したように、高速電子との衝突に起因し時間と共に欠陥数が増加する累乗則は、80年代前半から測定で見出されていた経験則であったが、その物理的な因果は不明であった。単一のシミュレーションでは解析不可能であり、素子を試作し実測する以外に得ることはできなかった。連成解析を用いて、世界で初めて物理的な因果に基づき累乗則を見出した。素子構造と印加電圧を設計し、試作前に累乗則を予測し、累乗則の傾きが低く信頼性の高い素子を設計可能である。連成解析用の共通プラットフォームを用いて、物理的に先進的なシミュレーションを実現した例は少なく、有意義な成果と考えている。

(2)ミドルウェアレベルの独創性と優位性
連成解析ミドルウェアのシステム機能の特徴を下記に纏める。
・粒子―メッシュ間や異種メッシュ間(有限差分法、有限要素法)の連結において、物理量を代表する離散点間の相関関係(最近接、第1近接、球内相関等)をユーザが自由に選択する一般的な結合方式を採用。
・エージェント方式により、$O(N\log_2 N)$の高速アルゴリズムに基づく相関探索を自動化。N:
離散点数。
・データの送受信先を自動的に決定し、物理量の保存則を満たすように、相加平均や線形補
間等のデータ変換を自動化。
・一方向通信、変動型通信、双方向反復通信の通信パラダイムを支援。
・標準通信ライブラリ MPI1, MPI-CH や PVM を用いたメッセージパッシングベースの並列プログラムを結合可。
・FORTRAN や C 言語で開発されたベンダーの流通ソフトや一般ユーザソフトに専用ライブラリを挿入し、プログラムをコンポーネント化。ベンダーソフトは、ソースオープンの必要はなく、ハイエンドサーバ用の高速行列ライブラリを挿入する場合と同じライセンス契約を締結することで対応可。

連成解析に関連した研究として、Dongarra グループでは、遠隔距離にあるハードウェア上に実装された行列計算ライブラリを有効利用するための支援システム Netsolve の開発を進めている。 ユーザの要求に対して、エージェントが適切なコンピュータリソースを選択し、サーバで計算処理させた後にクライアントに結果を転送する RPC（Remote Procedure Call）の通信方式を採用している。又、Ninf（Network based Information Library for high performance computing）は、遠隔距離にあるハードやソフトおよびデータベース等のコンピュータリソースの有効活用を目指したRPC通信方式の支援システムである。RPC通信方式の標準仕様として、CORBA(Common Object Request Broker Architechture) や Enterprise JAVA Beans が提案されているが、シーケンシャルなビジネスアプリ向けの通信方式である。

近年、科学技術計算向けのハイパフォーマンスな並列計算を支援することを目指し、CCA(Common Component Architecture)フォーラムが組織され、その中でコンポーネントと共通フレームワークを提案している。コンポーネントは、本研究で開発した専用ライブラリを挿入し作成するプログラムコンポーネントに対応し、共通フレームワークは、高速並列計算に優位なメッセージパッシング型の標準ライブラリ

MPI や PVM 上でデータの通信・変換を制御するエージェントに対応する。CCA は、プロセスとスレッド間の結合を想定している代わりに、離散点の相関関係を定義する概念を含んでいないため、並列プロセス間の複雑な通信・変換に対応することは難しい。連成解析ミドルウェアでは、ユーザが異なる離散点間の相関関係を自由に選択でき、エージェント方式でデータの送受信先の決定とデータの変換を自動化している点が優位性の高い特徴技術である。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】Shirun Ho, Satoshi Itoh, Sigeo Ihara, and Richard Schlichting, "Agent middleware for heterogeneous scientific simulations", Proceedings of the 1998 ACM/IEEE SC98 conference, http://www.supercomp.org/sc98/TechPapers/ sc98 FullAbstracts/Ho693, 1998

【2】Shirun Ho, Sigeo Ihara and Satoshi Itoh, Shoichi Kubo, Masato Ikegawa, Nobuyuki Mise and Richard D. Schlichting, "Agent-based middleware system applied to particle-mesh heterogeneous scientific simulations", Proceedings of Real World Computing symposium 2000, pp.43-48, 2000

【3】何 希倫、井原茂男、渡邉 克博、久保昭一、斎藤稔:「 分子動力学法と静電場解析の連続体モデルを結合した HEWL の水素電離係数 pKa の複合解析」、日本生物物理学会第 38 回年会講演予稿集、p.S26、2000

【4】渡邉 克博、何 希倫、井原茂男、久保昭一、斎藤稔:「 HEWL の活性部位における水素電離係数 pKa 揺らぎの相関解析」、日本生物物理学会第 38 回年会講演予稿集、p.S26、2000

【5】何 希倫、井原茂男、渡邉 克博、久保昭一、斎藤稔:「 分子動力学法と連続体モデルの静電場解析を結合した HEWL の水素電離係数 ΔpKa とその揺らぎの複合解析」、分子構造総合討論会 2000

【6】井原茂男、伊藤 智、何 希倫:「並列計算機を利用したシミュレーション技術」、はじめての並列プログラミング、bit 別冊、共立出版、pp.175-178、1998、「連成解析ミドルウェア」電子情報通信学会誌《NEWS》欄 1 月号、1999

【7】何希倫, 井原茂男:「異なる計算手法を結合したヘテロジニアスコンピューティング」, 第 47 回応用力学連合講演会、講演予稿集、Japan NCTAM ,pp.187-188, 1998

【8】Shirun Ho, Sigeo Ihara, and Richard Schlichting, "A common software structure for heterogeneous computing", Proceedings of Real World Computing symposium 98, pp.137-142、1998

【9】何希倫, 井原茂男, 伊藤智:「異種シミュレーションを結合するエージェントミドルウェアのプロトタイプ開発」、第 47 期第 2 回分子動力学部門委員会、講演会資料、PP.1-12、1998

【10】Shirun Ho, Sigeo Ihara, Satoshi Itoh, and Richard Schlichting, "Agent middleware for heterogeneous scientific simulations", Workshop of Agent Based High Performance Computing, Autonomous agent 99, 1999

【11】何 希倫、井原 茂男、伊藤 智 : "A common software platform for heterogeneous scientific simulations", Joint Symposium on Parallel Processing 99, P.221, 1999

【12】久保 昭一、何 希倫、井原 茂男、伊藤 智、リチャード・シュリックティング、渡邉 克博、"連成解析用ミドルウェアを用いた複合シミュレーションにおけるエージェント処理の性能評価"、情報処理学会第 60 回全国大会講演論文集 (1) pp.49-50

B-2-2 物理・統計融合型シミュレーション(並列応用三菱研究室)

◆目標

力学法則に代表される物理的法則と確率過程に代表される統計的規則とを融合利用するシミュレーションを実用的な時間で実施するため、並列処理の特徴を活かしたシミュレータ構築技術を開発する。また、それを実データに適用することによって有効性を検証する。

◆アプローチ

(1)【並列時系列事象予測技術】時系列データ分類技術およびその並列化技術を開発する。
(2)【融合型シミュレーション技術】時系列データの分類結果と力学的法則とを融合利用する方法として、両者を評価関数のレベルで融合表現する方法、分類結果の微調整として力学的法則を利用する方法等を実現し、比較検証を行う。
(3)【実データへの適用】環境観測で得られる時系列データについて並列時系列事象予測技術の評価を行う。またタンパク質立体構造予測などを題材に並列時系列事象予測技術および融合型シミュレーション技術の評価を行う。

タンパク質のアミノ酸配列と立体構造との関係をデータベースに基づいて統計表現するために、アミノ酸を時系列データと見なし、並列時系列事象予測技術を用いて迅速に解析して、統計的評価関数の形で表現する。これを通常の力学的ポテンシャル関数と融合表現し、適当な初期形状からのエネルギー最小化を、並列最適化技術を用いて実用時間内に行うことにより、未知タンパク質の立体構造予測の実現を狙う。

◆研究計画概要

並列時系列事象予測技術により統計的解析手段を開発・高速化し、得られた統計的法則と既知の力学的法則との融合表現を開発し、並列最適化技術の開発・高速化によって融合表現に基づく最適解探索を行う。

◆研究計画内容

nhi高速光転送向インタ Plan:されているが、長波長帯の 1997 年度より並列時系列事象予測技術の方式検討を開始し、同年度からタンパク質の配列を対象に、また 1999 年度から環境観測を対象に加え、試作と検証を実施している。

確率過程の解析技術である隠れマルコフモデルについて、モデル形状の探索技術である逐次状態分割法のタンパク質配列への適用検討を 1997 年度に実施。また隠れマルコフモデルの基盤をなす期待値最大化法およびその確定的アニーリング法について、1998 年度に適用検討を開始し、1999 年度に並列化を実施、同年度に環境観測を対象に適用検証を行った。

一方、1998 年度から融合シミュレーション技術の方式検討を開始し、タンパク質構造予測を対象として試作と検証を実施している。

統計的ポテンシャルと既知の力学的ポテンシャルとの融合表現については 1999 年度から方式検討を実施し、並列最適化技術として、局所探索法において近傍選択および最適化方向の決定に実験計画法を用いることを特徴とする、直交計画局所探索法の開発・試作を 1998 年度より実施し、並列版の試作とタンパク質構造予測を対象とした有効性検証を行っている。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

研究計画において検証の対象として選択している環境観測の分野では、並列時系列事象予測技術として開発試作した隠れマルコフモデルおよび期待値最大化法に関する技術により、単純な正規分布を用いがちな回帰的解析に比べ、分布の裾の広い頑健なモデルを用いることとなり、安定な予測が迅速に得られると期待

できる。
また、同じく研究計画において検証の対象として選択しているタンパク質解析の分野では、従来よく用いられる立体構造予測技術であるスレッディング、ホモロジーモデリング、分子動力学法と併用できる方式であり、予測可能なタンパク質の種類を広げることが期待できる。
並列最適化技術については、実数変数を制御変数とする最適化問題一般に、特に評価関数の導関数が入手困難な場合において、有効であると考える。

◆成果概要

逐次および並列計算機上で、確率過程に基づくデータ分類ツールを開発した。
逐次計算機上で、直交計画法に基づく最適化ツールを開発した。
高層気象の可視化ツールを開発した。
確率過程解析結果の表示ツールを開発した。
終了時までに、上記データ分類ツール・最適化ツール・表示ツールを用いたタンパク質立体構造予測システムを開発する予定。

◆研究成果の内容

・確率過程に基づくデータ分類

対角共分散正規分布の混合モデルパラメータを並列 EM 法（Expectation Maximization Algorithm, 期待値最大化法）により推定する。ある標本集合について、それが複数の性質の混合したものを母集団としているという仮定を立てると、均質な母集団の仮定よりも詳細に対象集団の性質を記述でき、結果的に集団の分類も得られる。この混合母集団のひとつひとつをここでは要素母集団と呼ぶことにする。また、時系列データに適用すると、各データについて最も混合比率の高い要素母集団をそのデータの帰属要素母集団と定義することにより、要素母集団間の遷移確率行列を生成できる。

混合母集団モデルにおいて推定すべきパラメータは、均質とみなせる各要素母集団の平均や標準偏差と、それら要素母集団の混合比になる。このような要素母集団の性質とこの混合比とを同時に求める方法として、EM 法が知られている。対角共分散、すなわち変数間の共分散成分のない分布を選んだ理由は、確率密度分布関数が変数毎の確率密度分布関数の積で簡単に表現でき、計算が容易であることによる。パラメータをより高速に推定するために、データを並列プロセッサにほぼ均等に配置するという前提で、以下のような単純な並列方式を採用している。(文献 2,11)

(1)要素分布毎変数毎の一次元正規分布のパラメータ推定過程において、各データの要素母集団への帰属割合に基づく総和計算および二乗和計算を各プロセッサにて実施。
(2)結果を一ヶ所に集めて全体の総和および二乗和を計算し、要素母集団の正規分布パラメータを推定。
(3)推定結果を各プロセッサに通知し、各データの要素母集団への帰属割合を各プロセッサにて計算。
(4)以上1～3をパラメータの収束まで反復。

図1は、鹿児島高層気象観測官署においてレーウィンゾンデ観測で得られた高度 30km 程度までの風速を混合数 20 で分類した結果を示している (文献 2)。これは指定気圧面（ほぼ高度に対応）22ヶ所の風速、計 3652 回分のデータを 20 種類に分類したものである。図 1 において、横軸は指定気圧面、縦軸には風速をとっている。凡例の部分の数字は何回分がその分類に帰属するかを表している。

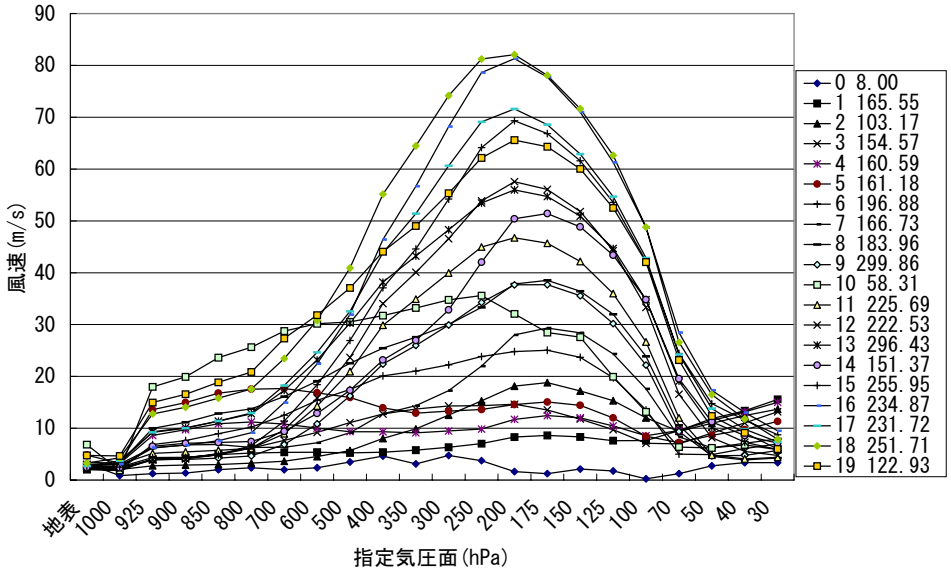


図1　鹿児島上空 1993～1997 年の風速分布の 20 分類(例)

・直交計画法に基づく最適化

直交計画局所探索法(Orthogonal experimental Design Local Search, ODLS)により、非制御変数が存在するなどによりノイズのある評価関数の最適化を行う。(文献 1,5,6,7,8,9,10,12,13)

局所探索法(Local Search, LS)は、関数最適化や組合せ最適化の方法として、遺伝的アルゴリズム、シミュレーテッドアニーリング、タブーサーチなどを含む概念であり、探索アルゴリズムの共通基盤概念と位置づけることができる。LS は(1)初期値を与える段階、(2)探索のある時点における「現在値」について、現在値自身およびその適当な近傍の関数値を局所的に探索する段階、(3)現在値を更新する段階、(4)探索終了を判定する段階の大きく4段階からなり、中の(2)局所探索段階と(3)現在値更新段階の2段を繰り返して探索を進める方法と言える。この LS の(2)局所探索段階に、実験計画法の一手法である2水準直交計画法を用い、(3)の現在値更新段階に直交計画にもとづいた単因子分析、つまり各変数(因子)の単独での平均的な影響を見積もり、影響の大きい変数を選んで良い方に更新するという方法が、直交計画局所探索法である。

図 2 に、他の次元を固定しつつ1次元毎に評価関数の差分をとる差分近似法による局所探索と ODLS を、乱数によるノイズをつけた 100 次元の二次関数(数式(1)で R は 0 または 1 をそれぞれ確率 0.5 でとる乱数,、n=100)の最大化問題で比較した例を示す。

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^{n} \left[-(x_i - 10)^2 + R \right] \qquad (1)$$

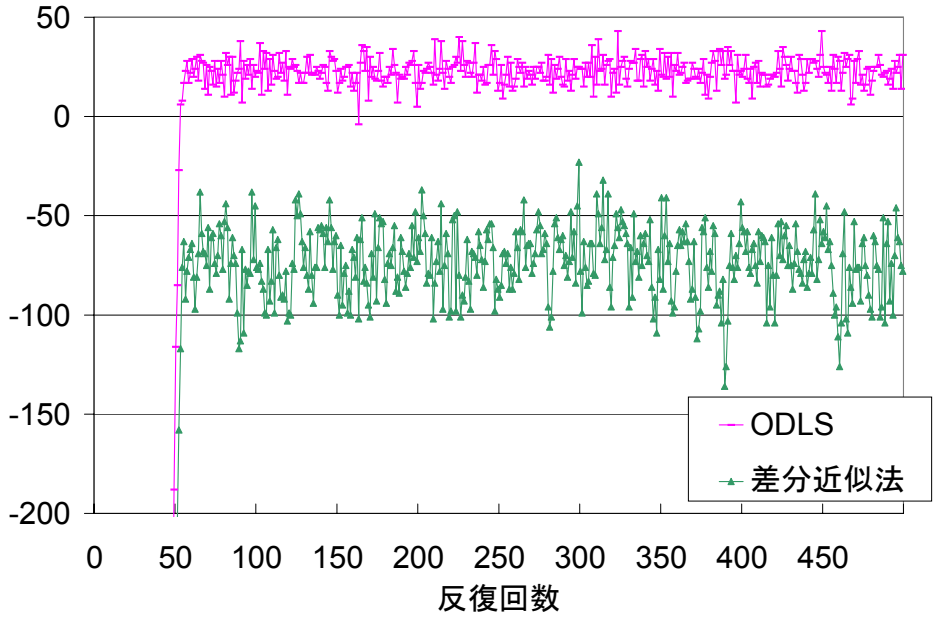


図２　ODLS と従来法である差分近似法との比較

・高層気象の可視化

図1で用いたレーウィンゾンデ観測による風速データなどを、分類結果との比較評価およびデモンストレーションのために可視化する必要があり、可視化ツールを作成した(文献 4)。商用ソフトウェアである IRIS Explorer を用い、気象業務支援センターの提供している CDROM 内のデータを 3 次元座標データに変換するツール SondeViewer を作成し、日本地図の上に表示するようにした。図3に例を示す。ボールの色が気温を、矢印の大きさと色が風速を、矢印の向きが風向を、それぞれ示している。

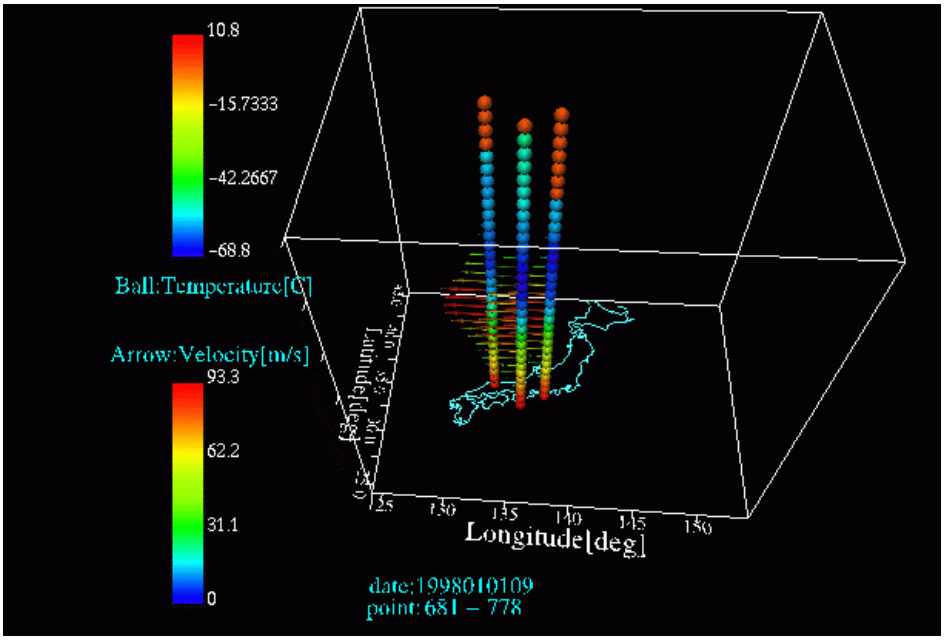


図 3　高層気象データ可視化の例

・移確率行列グラフ化
遷移確率行列をグラフの形で表示するツール HMMViewer を試作した。このツールは、N個の状態の遷移確率行列または遷移頻度行列を記述したファイルを読み込み、状態を円、遷移確率(頻度)を指向線分で示したグラフとして二次元表示するもので、SGI IRIX 上で動作する。グラフ表示には LEDA (Library of Efficient Data types and Algorithms)のライブラリを使用している。読み込む対象は、HTK Toolkit (Entropic 社)の使用する HMM ネットワークファイルおよび CSV 形式のファイルである。本ツールの主な特徴は以下の通り。
(1)遷移確率(頻度)を示す指向線分の色は値に応じて変化する。
(2)円や指向線分はグラフのトポロジーを崩すことなく任意の位置にマウス操作により移動することができる。
(3)状態を示す円上においてマウス左ボタンでクリックするとその状態の持つ属性値をグラフ化して別ウィンドウに表示する。この属性値ウィンドウは複数同時に表示可能である。
図 4 に、図 1 で用いたレーウィンゾンデ観測データの 25 分類して作成した遷移確率行列の例を示す(文献 4)。

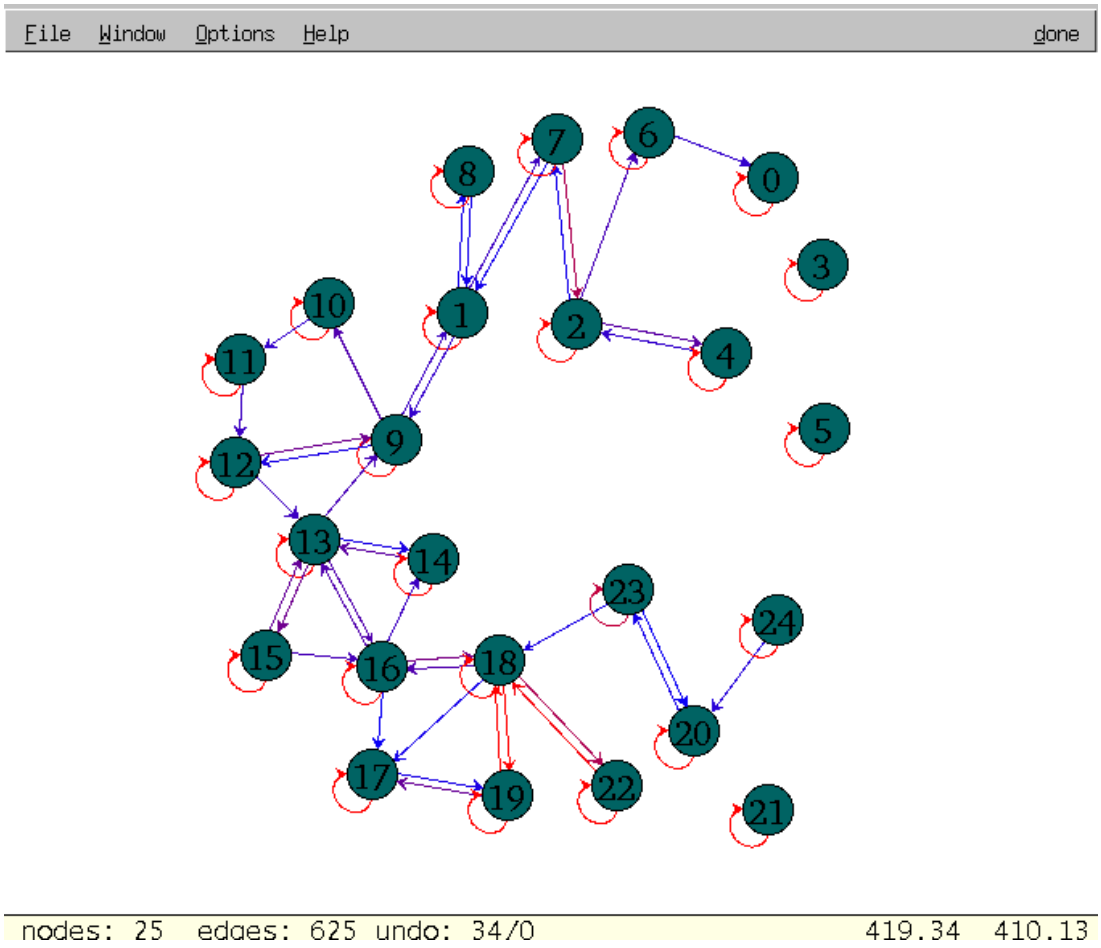


図 4 鹿児島上空風速(1993～1997 年)25 分類による遷移確率の例

・タンパク質立体構造予測支援システム
・アミノ酸でできた「鎖」が折り畳まれてタンパク質の立体構造ができる、その折り畳まり方をアミノ酸の組成から予測する技術の到達状況を紹介する。予測技術の中で用いられている最適化技術・並列化技術・シミュレーション構築技術について、既存方式と比較し優位性をアピールする。(文献 3,4,8,10,11,13)

表示内容
・立体構造既知のタンパク質をいくつか選び、予測手法で予測した結果と実際の立体構造とを並べて見せることができる。
・予測手法を PC クラスタで実行させ、実行状況をモニター画面で見せることができる。

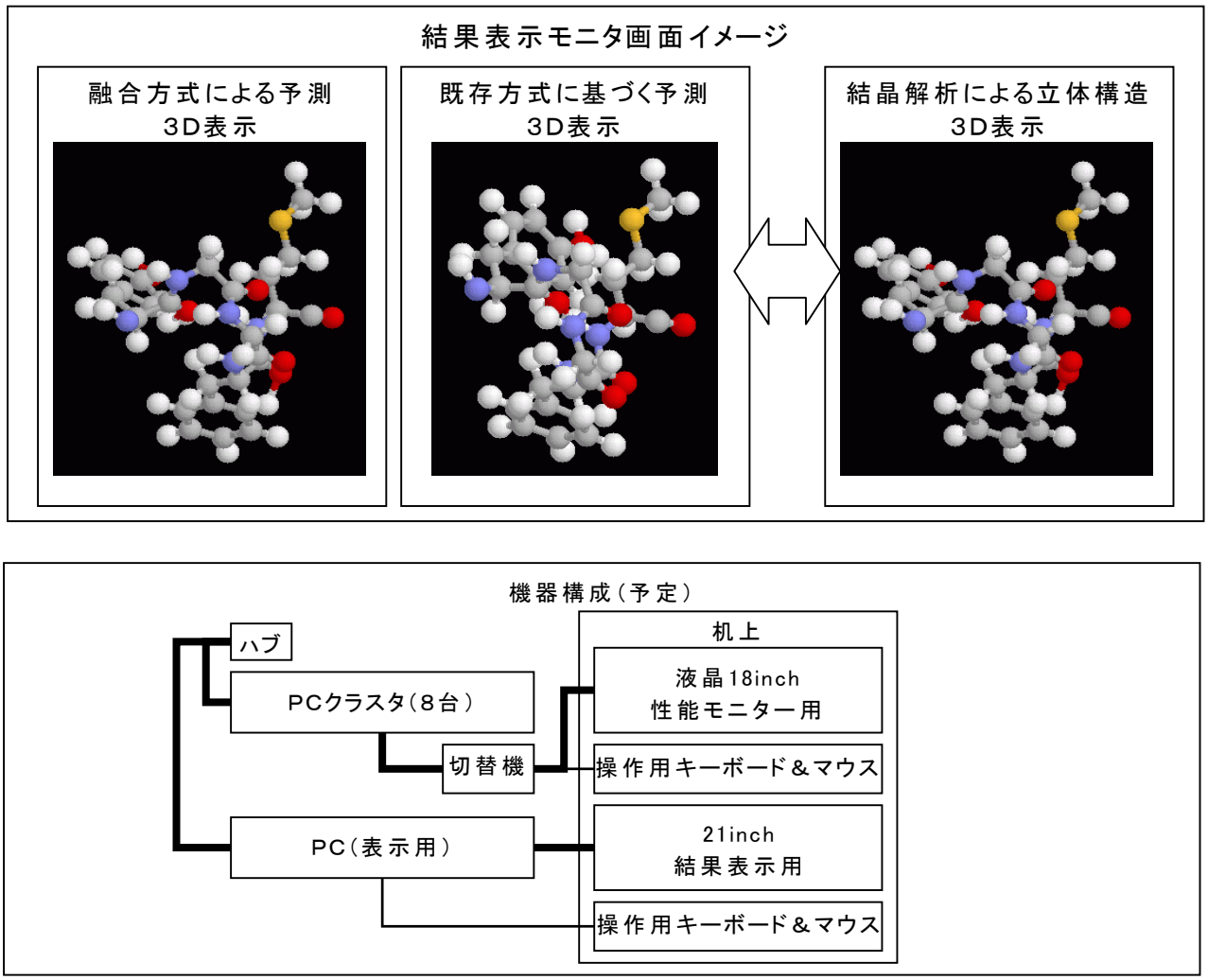


図 5 表示内容(例)および機器構成

◆成果の意義

研究計画において検証の対象として選択している環境観測の分野では、並列時系列事象予測技術として開発試作した隠れマルコフモデルおよび期待値最大化法に関する技術により、単純な正規分布を用いがちな回帰的解析に比べ、分布の裾の広い頑健なモデルを用いることとなり、安定な予測が迅速に得られると期待できる。

また、同じく研究計画において検証の対象として選択しているタンパク質解析の分野では、従来よく用いられる立体構造予測技術であるスレッディング、ホモロジーモデリング、分子動力学法と併用できる方式であり、予測可能なタンパク質の種類を広げることが期待できる。

並列最適化技術については、実数変数を制御変数とする最適化問題一般に、特に評価関数の導関数が入手困難な場合において、有効であると考える。

◆他機関との比較など

元並列応用つくば研、現産業技術総合研究所における並列分子動力学法とハイブリッド型二次構造予測法、および現松下技研における独自ポテンシャル（残基周辺の原子の種類および6自由度に関して球面調和関数展開を経て情報圧縮し効率的にポテンシャル化）によるスレッディングの手法は、1999 年まで同じ RWCP 並列応用領域において関連があり、本研究はこの元並列応用つくば研の成果を一部用いている。成果水準については、両機関ともシステムを完成させているのに対し、本研究はシステム構築途上であるが、両機関の成果とは方式が異なるため、併用による相乗効果が可能と考えている。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】田中秀俊, 白石將, 佐藤裕幸, 中島克人:"A Parallel Search Algorithm for Discrete Space and its Application to Protein Folding Problem", RWC TR-98-001, pp.133-136, 1998.

【2】田中秀俊:"高層大気の風速解析と予測", 数理モデル化と問題解決研究会, 1999.

【3】田中秀俊:"タンパク質二面角の分類と予測", 人工知能学会 分子生物情報研究会, 1999.

【4】田中秀俊, 白石將, 佐藤裕幸, 中島克人:"Parallel Analysis and Prediction of Sequence Data", RWC TR-99-002, pp.49-52, 2000.

【5】田中秀俊, 白石將, 佐藤裕幸, 中島克人:"Local Search Using Orthogonal Design of Experiment", Parallel and Distributed Processing Technologies and Applications, 2000.

【6】田中秀俊, 白石將, 佐藤裕幸, 中島克人:"直交計画法によるノイズ付き多次元関数の勾配推定", 第 61 回情処学会全国大会, 2000.

【7】田中秀俊, Daniel Eriksson, 白石將, 佐藤裕幸, 中島克人:"並列局所探索法の比較評価",第 62 回情処学会全国大会, 2001.

【8】田中秀俊, Daniel Eriksson, 白石將, 佐藤裕幸, 中島克人:"分子ポテンシャル最小化問題に関する並列局所探索法の比較評価",数理モデル化と問題解決研究会, 2001.

【9】田中秀俊, 白石將, 佐藤裕幸, 中島克人:"A Hybrid Method of Random Mutation Hill Climbing and Orthogonal Design of Experiments", Software Engineering, Artificial Intelligence, Network and Parallel/Distributed Computing, 2001.

【10】白石將, 田中秀俊, 佐藤裕幸, 中島克人:"Evaluating Global Optimization Algorithms on Molecular Potential Energy Function", Software Engineering, Artificial Intelligence, Network and Parallel/Distributed Computing, 2001.

【11】田中秀俊, 白石將, 川上かおり, 青山功, 佐藤裕幸:"多数の無相関混合正規分布によるタンパク質立体構造のモデル化",第 63 回情処学会全国大会, 2001.

【12】青山功, 白石將, 川上かおり, 田中秀俊, 佐藤裕幸:"多峰性関数に対する最適化アルゴリズムの探索性能比較",第 63 回情処学会全国大会, 2001.

【13】白石將, 川上かおり, 青山功, 田中秀俊, 佐藤裕幸:"タンパク質立体構造予測問題に関する最適化アルゴリズムの比較評価",第 63 回情処学会全国大会, 2001.

B-2-3 H9電力分野およびゲノム情報処理分野における並列情報処理技術／H10—13電力分野における並列情報処理技術の研究（並列応用MRI研究室）

◆目標

電力分野における大規模問題を解く並列プログラムを作成し、並列分散コンピューティング技術の有効性を実証する。

◆アプローチ

研究では、並列分散コンピューティングによる電力分野の電力潮流計算及び、この手法をベースとする最適潮流計算などの応用アプリケーションの高速化を目指している。従来から、電力分野の電力潮流計算における求解法として直接法での並列化などの研究が既に行われてきた。しかし、直接法は並列化効果が出にくい性質を持つため、高度なプロセッサ配置やコンパイラ技術を併用する必要性があり、汎用的な並列計算機への適用が困難である。本研究においては、並列計算機を選ばずに十分な性能をあげられる、汎用的な電力解析用並列計算ソフトウエアのアルゴリズム開発を目指している。

具体的にはアルゴリズムに採用した求解法は、最近発展を遂げている反復法の一種であるNewton-Krylov反復法を採用した。ただし、反復法に必要な前処理を実施すると、収束計算部分に入る前の逐次処理部分で直接法に比べると倍近く時間がかかるハンデを持つため、並列化の効果を出すためにまず逐次処理段階の高速化を行った。次に、共有メモリ方式のワークステーションにおいて、高速化と収束安定化のためのアルゴリズム改良、検証を行いアルゴリズムを改良し、その後、通信負荷が計算時間の上で非常にクリティカルな分散メモリ方式の適応に移行した。なお、内外の電力系統シミュレーションの専門家の意見を総合すると、電力取り引きの自由化に伴い、送電線容量など電力系統の各種の制約を考慮しながら、送電ロスなど電力潮流の評価や送電線混雑時の発電設備の振り替え運用をシミュレーションできる最適潮流計算を並列化、高速化するニーズが潮流計算のアプリケーションの中でも最も高いと判断され、開発のオリジナリティも高いと判断したため、並列潮流計算アプリケーションの拡張対象として最適潮流計算の並列アルゴリズムを開発した。

◆研究計画概要

電力分野の電力潮流計算問題の特性を考慮して改良した前処理付き反復法の計算アルゴリズムを提案し、その有効性を共有メモリ方式で検証し、並列効果の改善を図った後分散メモリ方式への適応に移行する。併せて、これをベースとする電力計算アプリケーション開発にも展開する。

◆研究計画内容

第一段階の平成9年度では、電力潮流計算問題の特質も考慮して、従来手法の直説法よりも並列化による効果が出やすい改良型の前処理付き反復法を提案し、逐次処理のレベルで計算時間を直接法より短くできることを確認した。第二段階の平成10年には、4CPUのワークステーションを導入して、共有メモリ方式でのアルゴリズム検証を行い、平成11年までにこの手法の課題である計算安定性の劣化問題を解決しながら、同時に並列化効果も高める改良を加えた。平成12年以降の第三段階では、さらに並列化効果の出にくい分散メモリ方式の適応に移行する。また、複数の電力関係の専門家の意見により、電力事業の規制緩和の中で、電力系統の各種の制約を考慮しながら電力潮流の評価や発電設備の運用をシミュレーションできる、最適潮流計算の高速化のニーズが一番高いと判断されたため、最適潮流計算を並列化潮流計算の拡張アプリケーションの最初の対象として、その研究開発に着手した。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

今後、多数の電力関係の事業者の取引が錯綜する電力系統の高速な解析技術は、公平な電力系統の運用を行う責務を負う系統運用者の給電指令システムでのオンライン計算での適用のみならず、系統の混雑時や事故時に多大な影響を受ける旧来の電気事業者や新規参入の発電・配電事業者にとって重要なリスクマネージメントツールとなる。

◆成果概要

電力系統のオンライン解析・制御への適用を想定した、並列電力潮流解析システムを開発した。この解析システムで用いられるアルゴリズムは、単一 CPU 向けに作られた従来の電力潮流計算アルゴリズムより並列効果が高く、汎用の並列計算機において高いパフォーマンスが期待できる。

◆研究成果の内容

電力潮流計算への Bi-CGSTAB 法の適用の提案

Krylov 理論による反復法は並列性を抽出しやすいため、並列処理に向いていると言われているが、オリジナルな Krylov 理論による反復法は収束性が悪いため、あまり実用に至っていない。最近、直交ベクトルに基づく CG 法を拡張した GMRES 法や Bi-CGSTAB 法がその改善方法として提案され、その求解安定性から反復法は再び注目されるようになった。Krylov 理論による反復法の電力潮流計算への適用にはいろいろなアプローチが提案されたが、電力系統の係数行列は特殊な場合を除いて非対称行列であり、スパースで、転置行列がないことから、本研究では Bi-CGSTAB 法を使用することにした。

ところで、Krylov 理論による反復法の収束性を高めるためには、係数行列に対して前処理を行うことが有効である。Bi-CGSTAB 法も例外ではない。そのための前処理行列 M はさまざまなものが考えられているが、本研究では一般的に有効である fill-in なしの不完全 LU 分解による ILU(0) 前処理行列を用いた。しかし、前処理を行うことは全体的に計算量が増えることにつながるため、Krylov 理論による反復法の計算量が少ないという利点を打ち消す危険性がある。特に ILU(0) 前処理の場合では、Newton-Raphson 法の中の LDU 分解や前進/後退代入に相当する計算量がかかる。すなわち、前節に述べた Bi-CGSTAB 法に ILU(0) 前処理を行うと、表 1 のように、反復ごとに Bi-CGSTAB 法は Newton-Raphson 法より一回多く前進/後退代入を行うことになる。Newton-Raphson 法のケースからも分かるように、前進/後退代入は潮流計算全体の半分弱の計算量を占めている。このような計算量を削減するために、潮流計算の初期値は通常の運用電圧の近傍にあるということを利用して、電力潮流計算に前処理行列を固定する Bi-CGSTAB 法（Newton-Krylov 法と呼ぶ）を導入することを提案した（論文1）を参照）。

表1 逐次処理での時間比較

手 法		時間 (outer iterations)		
		43 母線系統	57 母線系統	118 母線系統
Bi-CGSTAB による Newton-Krylov 法	前処理無し	0.49(10)	0.33(3)	0.99(4)
	前処理有り	0.16(6)	0.22(3)	0.88(4)
	前処理有り（固定）	0.16(6)	0.22(3)	0.76(4)
CGS による Newton-Krylov 法	前処理無し	発散	発散	発散
	前処理有り	0.16(6)	0.22(3)	0.88(4)
	前処理有り（固定）	0.16(6)	0.22(3)	0.77(4)
Newton-Raphson 法		0.11(6)	0.22(3)	0.77(4)

前処理のためのオーダーリング手法の検討

前処理のためのオーダーリング手法は、前処理行列の性質そして計算の安定性を左右する要因である。すなわち、Fill-in なしの不完全 LU 分解による ILU(0)前処理行列を用いる場合には、ヤコビ行列の性質を反映するために LU 分解時の Fill-in 要素数を最小に押さえる必要がある。特に、高速化のために前処理行列を固定する場合、この処理は非常に重要である。この問題に対処するため、前処理のためのオーダーリング手法（ノードに関する最適順序付け）の検討を行った。検討の結果、Fill-in 要素数を準最小化する Tinney-2 のオーダーリング手法は Fill-in 要素数が少なく、ILU(0)前処理行列に適していることがわかった。今回のプログラム試作では、電力潮流計算においてよく使われているオーダーリング手法である Tinney-2 法を採用することとした。この方法は、検証計算の結果でも ILU(0)前処理行列に適用して実際に効果があることがわかった。ただし、超並列化では、物理的な系統構成に影響される系統分割も考慮する必要があるので、更なる検討が必要と思われる（たとえば、Domain Decomposition によるオーダーリング手法の適用など）。また、Tinney-2 法のオーダーリングの効果を、異なる規模の電力系統により検証した。その結果を表2に示す。簡単な5母線系統では、Fill-in 要素数をゼロに押さえることができ、規模が大きくなっても、Fill-in 要素数をオーダーリング無しの時の Fill-in 要素数の 4%以下に押さえることができる。

表 2 オーダーリング効果

テスト系統	次元数	非ゼロ要素数	Fill-in 要素数 (オーダーリング無し)	Fill-in 要素数 (オーダーリング有り)
5 母線系統	8	56	8	0
IEEE 30 母線系統	58	410	676	131
IEEE 118 母線系統	234	1486	6226	1174

並列プログラムの試作と検証

電力潮流計算に適する前処理行列を固定した Newton-Krylov（Bi-CGSTAB または CGS）法による計算アルゴリズムのプログラムを Fortran 90 で作成した。なお、前処理行列を固定としたため、オーダーリングは反復計算の一回目のみ行うことにしている。

共有メモリ方式において並列プログラムの改良を図り、その上で分散メモリ方式に適用することを考えている。Compaq Professional Workstation 8000（4 CPU）を

導入して試作プログラムの共有メモリ環境での有効性を検証し、合わせてプログラムの改良を行った。他機種での検証としてSUN Enterprise450(4PE)上でも実行した。この検証では、指令による明示的な並列化を併用した自動並列化(基本的にDOSERIAL指令により並列効果を悪くするDOループの並列化を抑制する)を行い、並列効果を評価した。図1に、IEEE 118母線標準系統におけるCPU台数ー速度改善効果を示す。比較のため、従来手法のNewton-Raphson法を同様の方法で並列化を行った結果も図中に示した。並列化される部分の比率を考慮すると、Newton-Raphson法ではタスクスケジューリングなどを行わないかぎり、3CPU程度で並列化効果が出にくくなっている。またこれまでの研究事例では、仮にタスクスケジューリングを行っても10数台で飽和するという報告があった。これに対して、Newton-Krylov法はかなりのスケーラビリティがあると思われる。

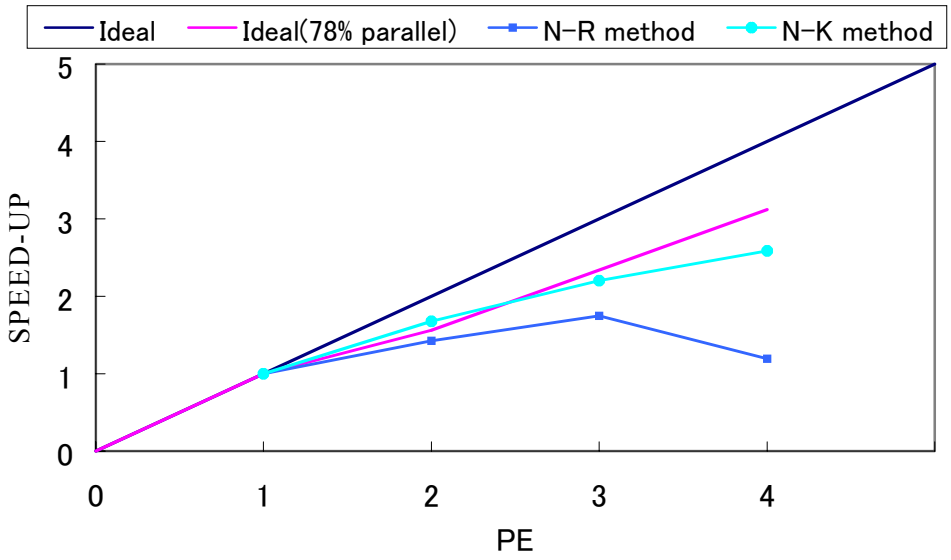


図1 IEEE 118母線標準系統における並列効果(共有メモリ方式)

並列プログラムの改良

昨年度開発した並列処理向け潮流計算プログラムについては、まずプログラムのモジュール性を高めるためのインターフェースの改良を行っている。さらに、大規模系統(千ノード以上)への適用に向けてのプログラム修正については、主に大規模潮流計算で考慮する必要性があり、また後述の最適潮流計算向けプログラム開発に必要な変圧器タップの反映などの系統機器モデルのプログラムへの組み込みを行った。

分散メモリ方式への適用の考察

今まで、Krylov反復法の特徴を考慮した分散並列処理向けのモジュールの開発はPETScプロジェクト、AZTECプロジェクトなどがある。米国ミネソタ大学のSaad教授の研究室で開発された公開ソースであるPSPARSLIB【1】は、MPI方式による分散メモリ方式の並列計算機やクラスタへの適用が簡単で、かつ独立性の高いプログラムである。従って、われわれは並列潮流計算プログラムにPSPARSLIBを適用することとし、この方針に基づくプログラム修正を行い、SR2201にて性能検証を行った。その結果を図2に示す。分散メモリ方式における通信コストの関係上、小規模系統では、あまり効果が見られないものの、系統規模が大きくなると、並列効果が出てくることが分かる。たとえば、米国西部系統に相当する8436母線の系統

規模の計算で、単一 CPU の場合のおおよそ 11 倍（32CPU）の計算速度を得ることが可能である。クラスタへの適用は未検討であるが、それと相当する並列効果が出ることが予想される。

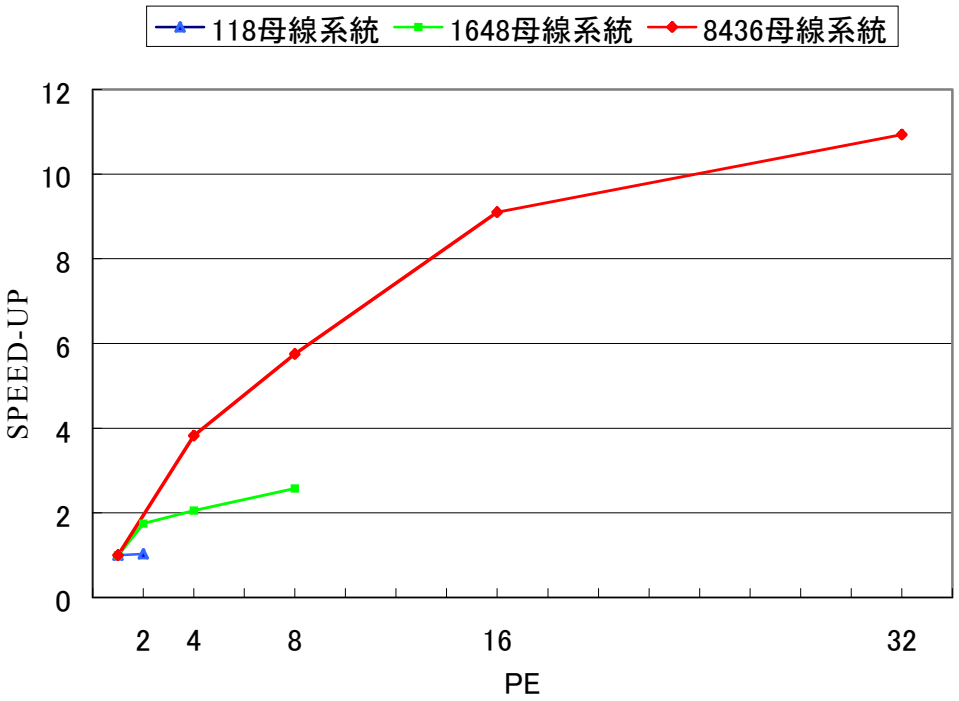


図２　SR2201 における並列効果（分散メモリ方式）

並列プログラムの拡張

世界的に電力業界の規制緩和が進み、様々な事業者が参入し多数の電力取引が錯綜する時代において、電力系統の送電容量などの各種の運用制約を考慮して電力系統の運用を最適化できる最適潮流計算手法の高速化のニーズが、公平な電力取引のコントロールという意味から、ますます高くなっている。最適化手法としては、現在、最も有力視されているのは、逐次二次計画法、ニュートン法と内点法である。ニュートン法に関しては、Krylov 反復法の拡張による並列化を図れる可能性があるが、拘束される不等式制約条件を予め把握する必要があるという難しさがある。一方、内点法では、モード分解によるサブシステムの並列処理が基本であるが、最適潮流計算問題での適用ではこのモード分解が可能かどうかは課題であった。そこで、本研究では、最近提案された、これらの障害を回避できる Unlimited Point 法【2】に注目して、並列処理向きの最適潮流計算アルゴリズムを確立しプログラム化した。このアルゴリズムは潮流計算アルゴリズムと同様な並列効果が得られると思われる。

【参考文献】

Saad Y., et al: A Portable Library of Parallel Sparse Iterative Solvers, http://www.cs.umn.edu/research/darpa/p_sparslib/psp-abs.html
Tognola, G. and Bacher, R.: “Unlimited Point Algorithm for OPF Problems”; IEEE Trans. Power System, Vol. 14, No. 3, pp.1046-1054 (1999)

◆成果の意義

今後、電力の自由化が進むにつれて、多数の事業者が電力取引に参入してくる。このため、大規模な電力系統において運用・制御する中央給電システムでは、多数の事業者に対して公平にかつ供給信頼度を落とさずに、系統運用をきめ細かく行う義務があり、高速に系統状態を評価する系統解析ツールが必要となる。また、中央給電システムでは、システム自体の高信頼性も要求されることから、並列計算を採用する場合には、実績のある汎用計算機を選択すると考えられる。従って、本研究で提案したような、解析手法の見直しによる並列計算アルゴリズムの開発は、並列計算機を選ばずに並列効果を高める手段として極めて有用性が高い。

◆他機関との比較など

国内外の大学、電力系の研究機関を中心とする研究実績では、単 CPU の逐次計算型計算機に一般的に利用されている直接法の並列計算化研究がこれまでの主流であった。また、この方法による製品も一部すでに登場している。しかし、これら製品は専用計算機ハードと一体の製品が多く、汎用性が少ないうえ、元々のアルゴリズムはメモリー、CPU 能力の制約を意識した30年前に確立したアルゴリズムであり、もともと並列化効果が出にくいアルゴリズムとなっていた。一方、汎用機での並列化において有利と考えられている反復法での並列化研究は、意外にもこれまで内外でも事例が少なく、対象の並列計算機を選ばないの汎用並列計算用アルゴリズム開発という目的でこれまでの研究と差別化できる。また、アプリケーションの一種である最適潮流計算の並列化については、現状では、内外でも研究開発の初期段階で、新規性と有用性が高い。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】Y. Huang:“Study on Power Flow Calculation Method for Parallel Computing”, Proc. 1998 National Conference of IEE of Japan, Vol. 6, No.1315, 1998.

【2】Y. Huang, Y. Yoshinari, T. Kondo, S. Morozumi, and N. Ichiyoshi: “Parallel Computing Applications in Power Systems And Genome Information Processing”, Proc. 1998 RWC Symposium, 129-132, 1998.

【3】Y. Huang, T. Kashiwagi, and S. Morozumi: “Parallel Power Flow Calculation Based on Bi-CGSTAB”, Proc. 2000 RWC Symposium, 59-62, 2000.

B-2-4 並列分散データマイニング(並列応用東芝研究室)

◆目標

PCクラスタ上でテラバイト級データを「分類」、「クラスタリング」、「統計処理」するデータマイニングエンジンを高性能化し、それらを用いて実世界のデータをマイニングして知識や傾向を発見するアプリケーションシステムを開発する。

◆アプローチ

・テラバイトデータの分析に最適なアルゴリズムとデータ分散配置方法の検討。
・データのマイグレーションコストを考えた負荷分散方式の検討。
・上記データマイニング手法を実世界のデータに適用するアプリケーションシステムの検討。

◆研究計画概要

PCクラスタ上でテラバイト級のデータを分類するデータマイニングエンジンの試作と、それらを用いて実世界データ(画像データ、インターネットデータ)から有用な知識を発見するシステムを開発する。

◆研究計画内容

(1)データマイニングの並列分散化

32ノード程度のPCクラスタを作成し、その上でテーブル形式の大規模データを分類するデータマイニングエンジンの試作を行う。以下の項目が主な研究となる。表形式のデータから特徴的な部分を発見する、並列スライスアンドダイス分析の提案と開発。

・データを木構造に分類する決定木作成プログラムの並列化。
・表形式のデータから類似性の大きなレコード群を発見する Matrix Clustering 方式の提案とその並列化。

(2)データマイニングの高度化

時系列データ、時間的に変化するデータ、画像データなど非定型のデータに対するデータマイニング方式の開発を行う。

・時系列データ内の相関関係を発見する方式の提案と開発。
・時系列データを効率よく格納する方式の提案と開発。
・画像データから特徴的な部分を発見する方式の並列処理による高速化。
・データの更新、追加が頻繁なデータに対してインクリメンタルにデータイニングを行う方式を開発。

(3)データマイニング手法を用いた実用的アプリケーションの開発

また、上記エンジン及びその基本部分を用いて、実世界のデータ(脳機能画像データ、インターネットアクセスログデータ)から知識を発見するアプリケーションシステムを試作する。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

近年のEコマースの発展により、ECサイトのアクセスログなど大規模な購買行動データが様々な業種で入手可能となりその分析の必要性も増している。当研究で開発されるPCクラスタ上のデータマイニングシステムを用いると安価に大規模データが分析可能となり、Eコマースの活性化を加速することが期待される。

◆成果概要

データマイニングの代表的手法である決定木とオリジナルな手法であるスライスアンドダイス分析を並列化し、PCクラスタ及びSMP計算機、MPPなどの異なるプラットフォーム上で実行。高い並列効果を確認した。

オリジナルな手法であるMatrix Clustering手法を開発した。これを用いて、実際のWWWアクセスログを分析し、パーソナライゼーションに応用した。

◆研究成果の内容

32ノードのPCクラスタを試作し、その上で100G～1Tバイトのデータを並列データマイニングエンジンで分析し、性能向上のポイントを明らかにした。

(1)並列決定木　(論文(1)、(3)、(5))

決定木は、データマイニングで用いられる代表的な手法である。図 1 のテーブルから図 2 の木が生成される。決定木は、テーブルの属性からクラスを予測するための分類器である。

月収	カード	応答
20 万	所有	あり
28 万	なし	なし
35 万	所有	あり
45 万	所有	なし
52 万	所有	なし

図 1

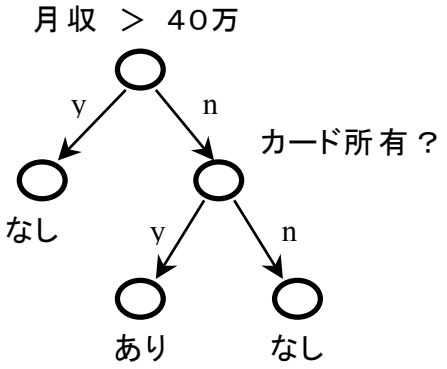


図 2

数 100 ギガバイト～数テラバイトクラスのデータを扱うことを目標に、並列決定木生成システムを構築した。IBM で開発された SPRINT という決定木生成アルゴリズムをベースとしている。SPRINT は、メインメモリに乗らない大規模なデータを扱えるという特徴を持つが、ディスクアクセスのため性能が低下する。このため、木の内部ノード生成時に各ノード生成処理で必要なメモリの大きさを調べ、動的にスケジューリングを行なう方式を開発した。(図 3)　これにより従来の並列処理に比べて2倍以上の高速化が期待できる。(図 4)

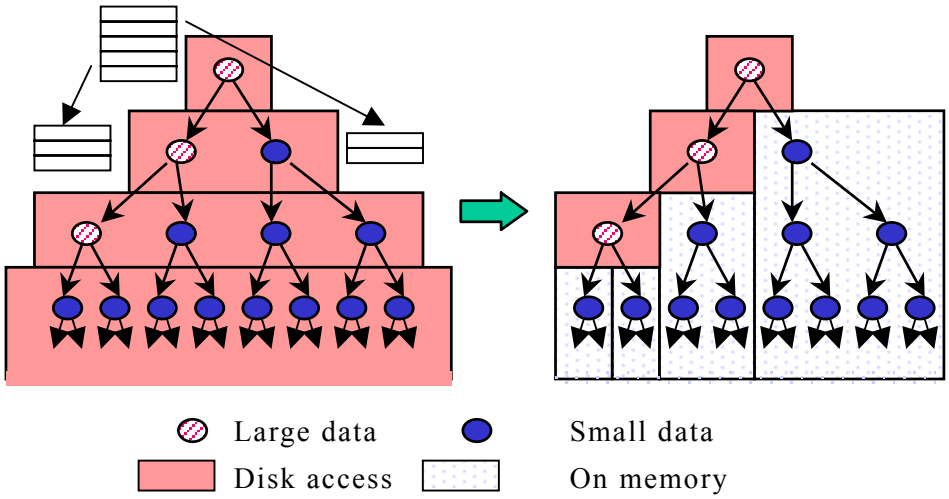


図3:決定木作成プログラムの並列実行

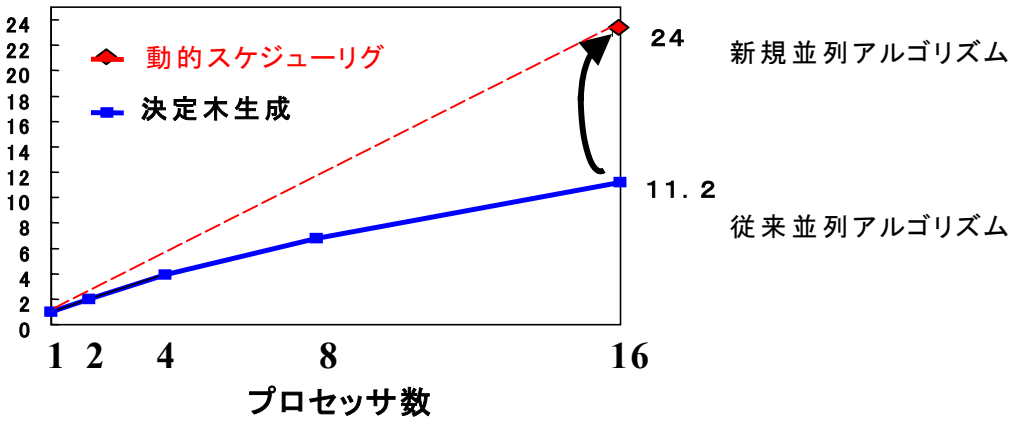


図 4:決定木作成プログラムの並列効果

(2)並列スライスアンドダイス分析　(論文(2))
表形式のデータを用いて、与えられた条件で選択されたレコード群に共通する特徴をデータベースの属性の属性値を用いて説明するスライスアンドダイス分析手法を開発した。
例えば、図 5 の小売業の売上データで、廃棄数の 0 以上のレコードを正例、他を負例とした場合、図 6 のように単価と売上数の属性を直行した軸として生成される空間から、正例レコードの密集した空間を発見する。

商品名	商品分類	価格	販売数	廃棄ロス
チョコモナカ	冷菓子	100	56	0
のり弁当	弁当	250	153	4
ちらし寿司	弁当	400	167	35
大福	常温菓子	250	43	1

図5小売業の売上データ

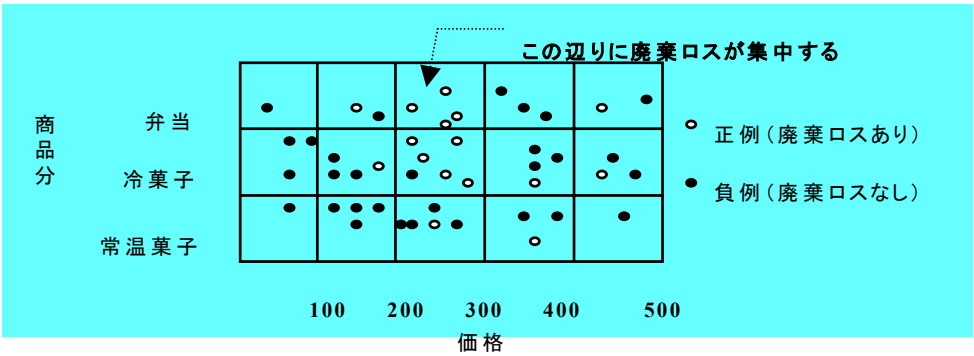


図6:スライスアンドダイス分析の例

スライスアンドダイス分析では、分析対象データがPCクラスタの各ノードのディスクに分散配置されている場合でも、各ノードのデータを集計してデータサイズを小さく

した後に全ノードのデータを集めることにより、ネットワークのトラフィックを低く押さえることが出来る。(図7)　試作した16台構成のPCクラスタで実行した結果、14倍以上の並列効果を得た。(図8)

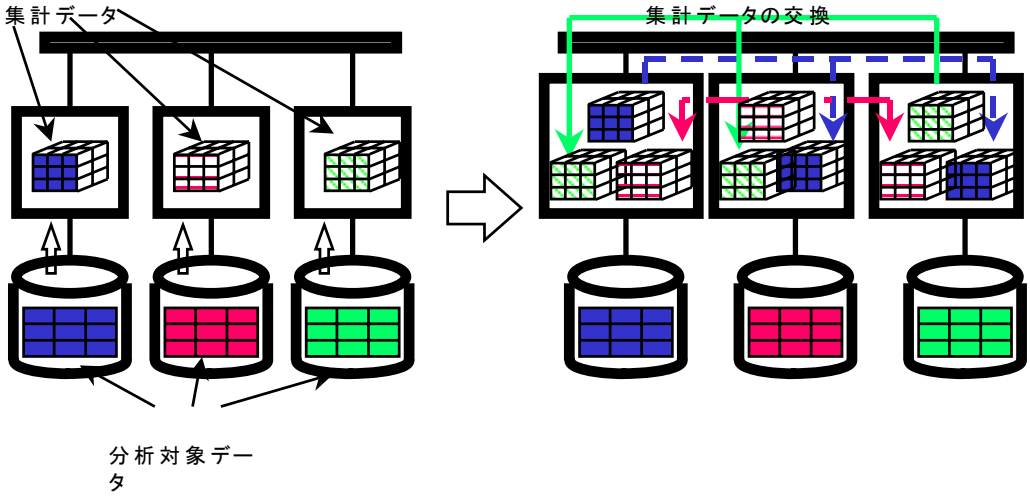


図7:スライスアンドダイス分析の並列実行

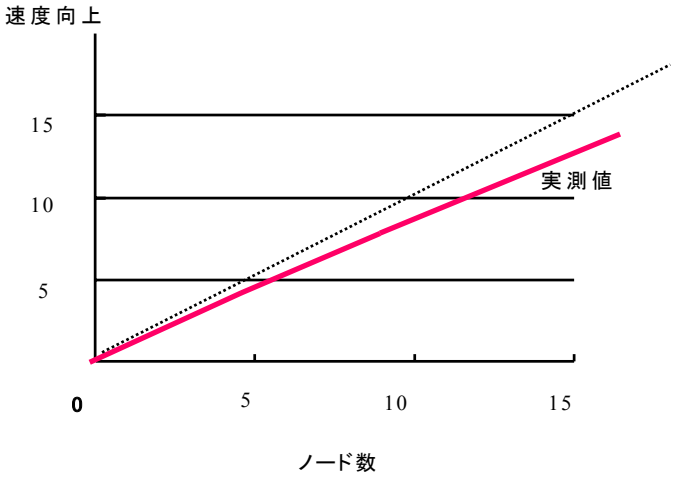


図8:スライスアンドダイス分析の並列効果

(3)Matrix Clustering 分析

CRM(customer relationship management)において、商品やサービスの種類とそれらを購買利用する顧客との関係を調べ、顧客のセグメンテーションを行うことは重要である。これは、たとえば各顧客を縦軸に商品を横軸に持ち、ある顧客がある商品を購入している場合は値が1で購入していない場合は値が0である2値行列から1の密集するクラスタを発見する操作と考えられる(図9)

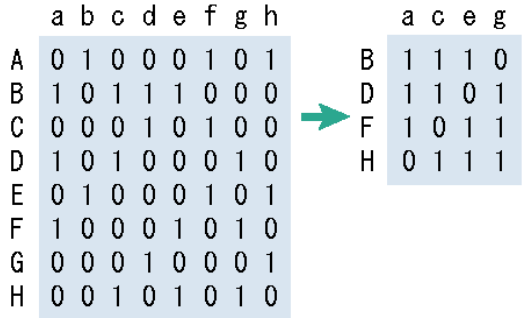


図9 Matrix Clustering の例

この計算を高速に実行するアルゴリズム Ping-Pong 方式(図10)を開発し、実装・評価した。

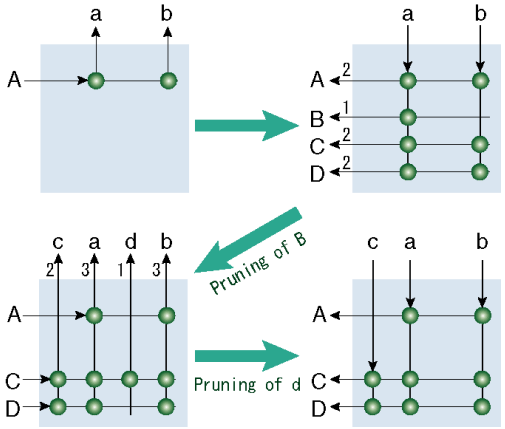


図10 Ping-Pong 方式

実際のWWWのアクセスログに適用し、アクセス者のIDと閲覧ページとの相関関係を発見した。ナイーブに実装した場合に比べて約1000倍以上の高速化を達成した。

◆成果の意義

実世界における大規模なデータを分析することにより、ビジネス分野から自然科学分野まで幅広く「データ → 情報 → 知識」という知識創造プロセスの発展を支えることが可能となる。

PCクラスタ向けの並列データマイニング手法(並列スライスアンドダイス分析、並列決定木、等)を用いることにより、安価に大規模データを分析することが可能となる。これらは、EC(Electronic Commerce)などのインターネット上のビジネスにおける情報戦略の強化に対する重要な技術となる。

◆他機関との比較など

PCクラスタ、WSクラスタを用いたデータマイニングは東京大学、IBMなどで行わ

れている。それぞれマイニングアルゴリズム、マイニング対象、並列処理方式は異なっているが、スライスアンドダイス方式は独自方式であり、決定木の動的負荷分散方式も独自方式で、他よりも良い並列効果を示す。

実用システムでのコスト面では、PCクラスタ上でテラバイト級のデータマイニングを実現すると、SUN 社、SGI 社などのサーバ計算機を使った商用のテラバイト級データマイニングシステムと比較して 1／10以下のコストダウンとなる。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】Kazuto Kubota, Akihiko Nakase, Hiroshi Sakai, Shigeru Oyanagi: “Parallelization of Decision Tree Algorithm and its Performance Evaluation”, in Proc. of HPC-Asia 2000, 2000.

【2】仲瀬　明彦、酒井　浩、小柳　滋、柿元　満、”時系列データマイニングにおける相関関係発見方式”、アドバンストデータベースシンポジウム’97,pp159-164,1997.

【3】久保田　和人、仲瀬　明彦、酒井　浩、小柳　滋、”決定木の並列化とその評価”、SwoPP’99, 1999.

【4】仲瀬　明彦、久保田　和人、酒井　浩、小柳　滋、”表データからの傾向抽出方式と並列化手法”、SwoPP’99,1999.

【5】久保田　和人、仲瀬　明彦、酒井　浩、小柳　滋、”決定木の並列化とその評価”、HOKKE2000,2000.

【6】酒井　浩、仲瀬　明彦、小柳　滋、”時系列データの保持方法に関する一提案”、信学技報 AI97-49、DE97-82、1997

【7】Kazuto Kubota, Akihiko Nakase, Shigeru Oyanagi: “Implementation and Performance Evaluation of Parallel Decision Tree Construction”, in Proc. of 4th International Workshop on Parallel and Distributed Data Mining, 2001.

【8】Kazuto Kubota, Akihiko Nakase, Shigeru Oyanagi: “Performance Evaluation of Implementation Technique of Parallel Decision Tree Generation”, in Proc of HPC-ASIA 2001, 2001.

【9】久保田　和人、仲瀬　明彦、小柳　滋、”決定木生成手法の並列化方式とその評価”、SwoPP’2001, 2001.

【10】Shigeru Oyanagi, Kazuto Kubota, Akihiko Nakase: “Application of Matrix Clustering to Web Log Analysis and Access Prediction”, in Proc of WEBKDD2001, 2001.

【11】小柳　滋、久保田　和人、仲瀬　明彦、“Matrix Clustering: CRM 向けの新しいデータマイニング手法”、情報処理学会論文誌 2001 年 8 月。

B-2-5 マルチメディアデータベースの並列分散処理（並列応用三洋研究室）

◆目標

本研究では，大規模なマルチメディアデータから必要な画像などの情報を高速に検索する「並列情報検索技術」を確立する．画像を含むマルチメディアデータの処理は，「計算の膨大さ」と「要求されるリアルタイム性」から並列応用の需要が高く，産業的有用性からも期待されている．

◆アプローチ

・画像中の物体を示す特徴や名称をキーワードとして情報検索を行なうための「画像内容検索技術」を開発する。
・具体的には、独自に開発した定性的物体認識手法を「画像内容検索技術」に適用し、頑健性に優れた画像内容検索を実現する。
特に、基本形状特徴による定性的物体認識手法を用いて画像データベースを検索し、検索手法の実証評価を行なう。
・提案する物体認識手法の並列性を活かし、実用的な速度でインデクシングを行なう「並列処理手法」を開発する。

◆研究計画概要

独自の物体認識手法による画像内容検索技術を開発し、高速な画像内容検索を実現する並列物体認識手法を確立する。

◆研究計画内容

独自の基本形状特徴による階層モデルを用いた定性的物体認識手法とその並列化手法の研究を行なう。提案する定性的物体認識手法は、画像に映っている対象物の「隠れ」「角度（向き）の違い」「歪み」などに頑健であり、数少ないモデル記述によって多様な環境下にある対象物を認識することができるため、画像内容検索に有効な認識手法である。本認識手法を用いた画像内容検索技術として、テレビで放映されるスポーツ中継の映像から指定されたロゴマークが中継画像中の広告看板上に含まれている画像を抽出できることを目指す。また、画像検索の高速化のために、物体認識手法の並列化とデータ検索の並列化を併用した並列処理方式を開発する。テレビ放映のような時間的に連続する画像群を対象とし、検索対象のロゴマークが入力画像中の何フレームに含まれていたかを出力とする処理において、画像入力終了から結果出力までの時間を、入力された画像群の規模によらず、一定時間とすることを目指す。

◆利用者から見た研究の意義・応用分野

画像データベースから画像データの内容を用いてユーザ所望のデータを検索することができる画像内容検索技術を提供する。企業の広報、宣伝部門においては、スポーツなどのテレビ中継で企業のロゴマークが放映された時間の計測に用いて、スポンサーとしての投資効果を評価するなどの応用が想定される。

◆成果概要

画像から与えられたモデルに相当する物体の位置姿勢を検出する物体認識の並列処理手法を開発し、ワークステーションクラスタ上で評価検証を行なった。また、画像中の物体の特徴や名称をキーワードとして検索できる「画像内容検索」の実現を目指し、独自の定性的物体認識手法を提案し、実用的なツールとして画像中の物体の基本形状特徴を自動的に生成するシステムを開発した。さらに、本物体認識手法を小規模な画像データベースに適用し、手法の有効性を検証するとともに並列化による高速化の評価を行なった。終了時までに、テレビで放映されるスポーツ中継映像のような実用的な画像からの物体認識に対応できる頑健な認識

手法とその並列処理手法を開発し、入力された画像群の規模によらず、画像入力終了から一定時間内に結果出力が得られるシステムを開発する予定。

◆研究成果の内容

画像から与えられたモデルに相当する物体の位置姿勢を検出する物体認識の並列処理手法を開発し、ワークステーションクラスタ上で評価検証を行なった[1]。行われる画像処理は「画像中の物体からの特徴点の抽出」と「特徴点とモデルとの照合」の二つの過程からなり、後者が認識処理全体の処理時間の大半を占めるが、各特徴点の照合処理を並列に実行することで高速化を実現した。
画像中の物体の特徴や名称をキーワードとして検索できる「画像内容検索」の実現を目指し、独自の定性的物体認識手法を提案した。本認識手法は、物体を図1に示すような階層的な基本形状特徴で表現し、画像中の輪郭線情報から認識対象を構成する基本形状特徴を抽出することにより認識を行なう手法である。基本形状特徴は階層構造であり、上位の基本形状特徴は下位の基本形状特徴を一般的な関係で組み合わせることにより構成される。最も下位の基本形状特徴はは直線及び曲線である。これらを組み合わせる関係は、平行である、角を成す、なめらかに接続するなどであり、上位の基本形状特徴においては、隣接する、特定の順序で一列に並ぶといった位置関係も用い、最も上位の基本形状特徴が物体のモデルとなる。また、基本形状特徴は原則的に絶対的な寸法を考慮しないで定性的に表現される。これにより、変形や隠れに頑強な認識が可能となる。

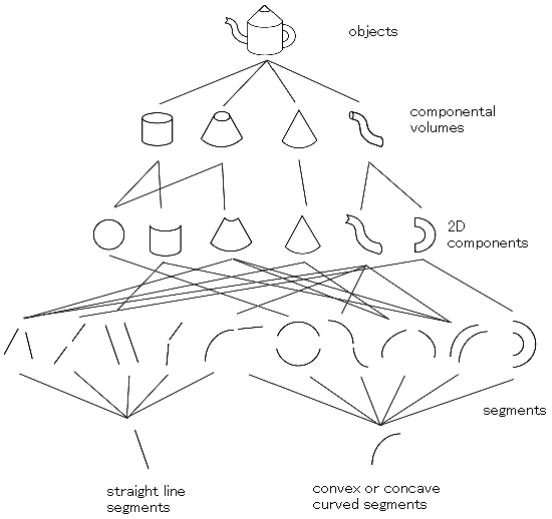


図1 基本形状特徴による物体の記述

本認識手法では、物体の輪郭線を形状特徴を抽出して認識を行なうが、現状では画像から輪郭線を安定して抽出することは難しく、画像のノイズや隠れにより認識精度が低下するという問題があった。そこで、仮想基本形状特徴と呼ぶ基本形状特徴を導入している。これは、ノイズなどにより輪郭線が複数の部分に分断された場合に、これらを仮想的に1本の輪郭線として扱うための基本形状特徴である。

本認識手法に基づき、画像内容検索を行なうためには、検索対象となる物体についてあらかじめモデルを作成することが必要となる。モデルの作成は手作業でも可能であるが、認識対象が複雑になるにつれて、それを構成する基本形状特徴の数も増大するため、その作業には多大な労力を要する。そのため、例示画像から物体の基本形状特徴による記述を自動的に作成するためのモデル教示システムを作成している[2]。本システムを用いれば、例示物体から認識対象に関する知識(形状特徴とそれらの関係)を自動的に抽出し、これを用いてユーザが対話的にモ

デルを構築することが可能となる。図2にモデル教示システムの表示例を示す。



図2 モデル教示システム

本認識手法を小規模な画像データベースに適用し、手法の有効性を検証するための画像検索評価システムを構築した。検索の対象となる画像は、デジタルカメラで撮影した風景画像、テレビから取り込んだCM画像、テレビから取り込んだサッカー中継の画像であり、これらの画像からロゴマークの認識を行なった。図3は画像検索評価システムの表示例であり、図4はサッカー中継の画像を対象とした、広告看板に表示されたロゴマークの認識例である。このような、非常に複雑な自然画からの小さなロゴマークの認識は、色などの特徴量を利用した従来の認識手法では認識できないと思われるが、本認識手法では認識が可能であることを示している。



図3 画像検索評価システムの表示例



図４ ゴマークの認識例

また、本画像検索評価システムを、MPIを用いて並列化してワークステーションクラスタ上に実装した。ワークステーションクラスタはイーサネットに接続された3台のワークステーションにより構成され、各計算機は2つのプロセッサを有する。検索プログラムは画像単位で並列処理を行なう。処理時間は画像の複雑さに依存するため、画像により認識に要する時間が大きく異なる。そこで、タスクプール方式に基づく動的負荷分散手法[1]を用いて実装している。140枚の画像からSANYOのロゴマークを検索した時の台数効果を図5に示す。図に示すように、6プロセッサ使用時の台数効果は約４．８倍であった。

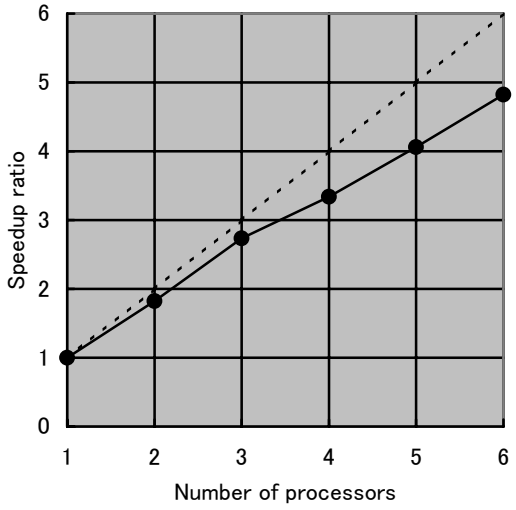


図５ 画像検索処理の台数効果

◆成果の意義

画像データベースから画像データの内容を用いてユーザ所望のデータを検索することができる画像内容検索技術を提供する。企業の広報、宣伝部門においては、スポーツなどのテレビ中継で企業のロゴマークが放映された時間の計測に用いて、スポンサーとしての投資効果を評価するなどの応用が想定される。

◆他機関との比較など

従来の幾何モデルベースの手法は、対象毎に個別にモデルを用意する必要があるため、実世界の様々な対象を認識するためには、モデル数の爆発という問題を持つ。これに対して、本手法は数少ないモデルで対象を記述できるという利点を有する。

ボトムアップの階層的な記述に基づく類似のコンセプトとして、南カリフォルニア大の geon があげられる。これは、世の中すべての物体は基本的な24種類の素立体の組み合わせにより表現可能であるというものである。しかし、認知科学分野の研究であり、心理学実験に留まっており、実対象から獲得したパターンからの記述の生成は行なわれていない。当分散研では、画像として与えられる提示パターンより基本形状特徴を抽出し、それらの組み合わせにより定性的かつ階層的な記述を生成するアプローチをとる。また、そのための要素技術として、画像中のエッジ点列から特徴点を抽出し、それらによりセグメントに分割する技術を開発済みである。

ボトムアップの特徴抽出アプローチとして、南フロリダ大をはじめとして進められている知覚統合の研究があげられるが、直線セグメントと楕円弧の組み合わせによるもので、一般的な関係を用いているとはいえないために対象が限定される。

◆主要論文・成果発表・受賞等

【1】大上、杉本、北村、角、富田:"ネットワーク型並列計算環境における物体認識"、電子情報通信学会論文誌、Vol.J82-D-II, No.12, pp.2307-2315, 1999.

【2】大上、北村、杉本、富田:"定性的認識のための共通モデル教示システム"、電子情報通信学会総合大会講演論文集, 1999.

Ⅲ. 研究業績

1. 研究要素別論文（原著・その他）、特許、著作物、
その他報道等の件数一覧

2. 年度別論文（原著・その他）、特許、著作物、
その他報道等の件数一覧

3. 研究要素別論文（原著・その他）、特許、著作物、
その他報道等のリスト

4. 新聞発表／商業誌等の概要

5. デモンストレーション

6. 研究に利用している主な施設・装置のリスト

1. 研究要素別論文(原著, その他), 特許, 著作物, その他報道等の件数一覧

NO.	研究テーマ名	研究室名	原著論文数	その他論文数	特許出願数	著作物数	新聞報道等数
A	実世界知能技術分野						
1	マルチモーダル機能領域						
1-1	言語的ジェスチャ把握	日立	10	12	4	17	9
1-2	非言語情報マルチモーダルインタフェース	シャープ	10	21	12	31	6
1-3	人間のマルチモーダル情報処理	NTT	29	21	0	0	0
1-4	動的画像応答	三菱	4	3	0	2	1
1-5	実世界モデル生成	三洋	3	4	3	0	2
1-6	H9ジェスチャベース対話システム／H10マルチモーダル対話パソコンネットシステム／H11-13Cross Mediatorにおけるマルチモーダル対話システム	つくば	23	42	2	0	4
1-7	顔と表情の頑健な認識	KRDL	39	0	0	0	0
1-8	適応ビジョンシステムに関する研究	適応ビジョンラボ	44	63	3	0	19
1-9	音声と画像の統合による対話の研究	情報統合対話ラボ	36	66	4	0	4
2	自律学習機能領域						
2-1	移動エージェントを用いた自律学習機能	富士通	20	20	5	1	2
2-2	自律学習移動ロボットのための音響環境理解	MRI	3	6	0	0	3
2-3	分散型実時間自律行動系	SICS	9	1	0	0	0
2-4	能動的地図獲得とセンサー情報表現	SNN	41	3	0	0	0
2-5	オフィスロボットJijo-2の学習・統合型情報処理の研究	事情通ロボットラボ	40	30	0	6	8
3	自己組織化情報ベース機能領域						
3-1	画像情報の計量化と可視化	日立	8	19	8	1	7
3-2	文書情報空間の自己組織化	三菱	0	5	4	2	0
3-3	H10-13適応的状況認知のための自己組織化アーキテクチャの開発	東芝	5	4	4	0	1
3-4	H9-10検索要約システム／H11-13Cross Mediatorの構築	つくば	22	52	7	0	11
3-5	H9ユーザ依存の自己組織化／H10-13ユーザ依存の自己組織化マルチメディア情報ベース	KRDL	25	1	0	0	0
3-6	能動知能システムの評価	言語統合ラボ	4	13	0	1	0
4	理論・アルゴリズム基盤領域						
4-1	分散能動学習方式	NEC	17	7	6	0	2
4-2	記号パターン統合	東芝	3	4	1	0	0
4-3	H9実世界における能動学習と情報統合／H10-13開かれた環境における能動学習と情報統合	GMD	39	6	0	0	0
4-4	統計的パターンコンピューティング	SICS	17	2	0	0	0
4-5	確率的知識表現および能動的意思決定	SNN	26	0	0	1	0
4-6	学習統合型情報処理の理論基盤の研究	学習統合基礎ラボ	26	31	0	4	0
5	実世界適応デバイス領域						
5-1	再構成可能適応型デバイス	NEC	13	8	14	21	6
5-2	デジタル ・スマートピクセルと光実装	松下	4	16	8	0	4
5-3	高並列大容量演算システムの評価	情報光学ラボ	26	18	0	0	0
5-4	進化システムアーキテクチャの評価	進化システムラボ	64	9	29	0	26
	実世界知能技術分野小計		610	487	114	87	115

NO.	研究テーマ名	研究室名	原著論文数	その他論文数	特許出願数	著作物数	新聞報道等数
B	並列分散コンピューティング技術分野						
1	シームレス並列分散コンピューティング領域						
1−1	並列ネットワークサーバ	富士通	6	16	17	0	6
1−2	高性能並列分散計算機システム	NEC	4	8	4	72	2
1−3	H10−13サーバアプリケーションへの並列分散技術の応用研究	住金	2	1	0	15	0
1−4	H9−11並列分散システムソフトウエア／H10−13コンピュータクラスタ上の基本ソフトウエア	ソフトウェアつくば	30	49	0	3	23
1−5	並列分散システムでの高性能計算及び性能特性の研究／並列アプリケーションの探索的技術開発及び性能解析	パフォーマンスつくば	48	35	0	4	1
1−6	大規模応用のための高機能データ並列プログラミング	GMD	13	5	0	2	0
1−7	H9−11並列分散基本システムアーキテクチャ／H10−13省電力型高速光伝送向インタフェース技術	アーキテクチャつくば	15	27	(2)	0	2
1−8	大容量データバス用光インターコネクション	日立	58	62	21	0	7
1−9	光インタコネクション用低電圧動作面型レーザの研究	富士通	8	11	7	0	1
1−10	低消費電力光インターコネクション	NEC	28	23	0	0	4
1−11	高密度光バス	沖	19	19	13	0	2
1−12	波長多重型光LAN	住電	6	11	1	0	2
1−13	スキュー低減型多芯高速伝送路	フジクラ	1	8	3	0	2
1−14	無調芯型面発光LDモジュール	古河	1	6	7	0	2
1−15	空間分割多重光インターコネクション	日板	4	11	6	0	1
2	並列アプリケーション技術領域						
2−1	ヘテロジニアスコンピューティング共通インターフェースソフト	日立	4	12	1	5	1
2−2	物理・統計融合型シミュレーション	三菱	3	8	0	6	0
2−3	H9電力分野およびゲノム情報処理分野における並列情報処理技術／H10−13電力分野における並列情報処理技術の研究	MRI	1	2	0	0	1
2−4	並列分散データマイニング	東芝	6	10	7	0	3
2−5	マルチメディアデータベースの並列分散処理	三洋	3	1	2	0	1
2−6	並列分散応用プログラミング	並列応用つくば	18	40	0	9	3
3	マルチプロセッサコンピューティング技術領域						
3−1	マイクロプロセッサ用並列化ソフトウェア	日立	4	12	17	6	1
3−2	マルチプロセッサ用並列化ソフトウェア技術	富士通	1	10	0	18	0
	並列分散コンピューティング技術分野小計		283	387	106	140	65
	合　計		893	874	220	227	180

() 内は、他研究室との共同発明

２ 年度別論文(原著，その他） 特許，著作物，その他報道等の件数一覧

成果	H9	H10	H11	H12	H13	合計
原著論文数	150	184	210	208	141	893
その他論文数	146	213	220	159	136	874
特許出願数	39	33	54	64	30	220
著作物数	48	51	80	30	18	227
新聞報道等数	15	33	44	34	54	180

（注）産業技術総合研究所（旧電子技術総合研究所）RWIセンターの分も含む。

3. 研究要素別論文（原著・その他）、特許、著作物、その他報道等のリスト

A．実世界知能技術分野

A-1．マルチモーダル機能領域

A-2．自律学習機能領域

A-3．自己組織化情報ベース機能領域

A-4．理論・アルゴリズム基盤領域

A-5．実世界適応デバイス領域

B．並列分散コンピューティング技術分野

B-1．シームレス並列分散コンピューティング技術領域

B-2．並列アプリケーション技術領域

A. 実世界知能技術分野

A-1. マルチモーダル機能領域

A-1-1. 言語的ジェスチャ把握（マルチモーダル機能日立研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

(1)査読論文一覧

【R-00-166】H. Sagawa,H. Ando,M. Takeuchi and N. Hataoka,"Universal Access Design for Information Kiosk", HCII2001, 2001

【R-01-034】H. Sagawa,A. Koizumi and M. Takeuchi, "A Recognition Method of Japanese Sign Language Sentences Based on Head Movements", HCII2001, 2001

【R-01-067】佐川，小泉，竹内，"頭部動作によって表される手話文法情報を利用した手話文認識方式"，ヒューマンインタフェース学会論文誌, 2001 年

【R-01-083】H. Sagawa,A. Koizumi,M. Takeuchi,M. Xu and K. Sakaue, "A Method for Recognizing Sign Language Sentences Based on Head Movements", OZCHI2001, 2001

・12 年度

【R-00-058】 H.Sagawa and M.Takeuchi:"Development of an Information Kiosk with a Sign Language Recognition System", CUU2000, 2000.

【R-00-124】 H.Sagawa and M.Takeuchi:"An Information Kiosk with a Sign Language Recognition System and Its Evaluation", IUI2001, 2001.

・11 年度

【R-99-106】 H. Sagawa, M. Takeuchi : A Recognition Method of Sign Language Sentences for Japanese Sign Language Translation, Proceedings of the Fifth Joint Conference of Information Sciences (JCIS2000), Vol.2, pp858-861, 2000.

【R-99-137】 H. Sagawa, M. Takeuchi : A Method for Recognizing a Sequence of Sign Language Words Represented in a Japanese Sign Language Sentence, Proceedings of the Fourth International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG '2000), pp.434-439, 2000.

・10 年度

【R-98-053】 Hirohiko Sagawa, Masaru Takeuchi : A Method for Analyzing Spatial Relationships Between Words in Sign Language Recognition, Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction (Proceedings of GW '99), pp. 197-209, 1999.

・9 年度

【R-97-088】 Hirohiko Sagawa, Masaru Takeuchi : Learning Method of Gesture Templates for Sign Language Based on Gesture Components, Proceeding of ISCA 13th International Conference on Computers and Their Applications (CATA-98), pp. 344-347, 1998.

(2)その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

【R-01-047】佐川，"手話認識および生成技術の応用システム"，手話コミュニケーション研究, 2001 年

【R-01-065】佐川，小泉，竹内，徐，坂上，"頭部動作と手動作の情報を統合した手話文

認識システムの開発", 電子情報通信学会福祉情報工学研究会, 2001 年

・12 年度

【R-00-072】 佐川, 竹内 :"手話認識技術を応用した情報提供端末とその試験運用", HIS2000, 2000.

【R-00-130】 佐川, 小泉, 竹内 :"手話発話データベースと手話文法ルールの解析", 信学会総合大会(2001/3).

【R-00-159】 小泉, 佐川, 竹内 :"ラベル付き手話コーパスの開発", 第 6 回電子情報通信学会福祉情報工学研究会, 2001.

・11 年度

【R-99-048】 佐川浩彦,竹内勝, "手話認識における手動作セグメンテーション方式",ヒューマンインタフェースシンポジウム '99 論文集,pp.749-754,1999.

【R-99-125】 H. Sagawa, H. Ando, A. Koizumi, K. Iwamura, M. Takeuchi, "Sign Language Recognition and Its Applications", Proceedings of 2000 RWC Symposium, pp. 143-146, 2000.

【R-99-160】 佐川浩彦,安藤ハル,小泉敦子,岩村一昭,竹内勝:手話認識技術とその応用システムの開発,電子情報通信学会技術研究報告,WIT99-49,pp.145-150,2000 年.

・10 年度

【R-98-041】 佐川浩彦,竹内勝, "空間情報を利用した手話認識方式", 第 14 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集,pp.169-174,1998 年

【R-98-042】 佐川浩彦,竹内勝, "空間情報を利用した手話認識方式",情報処理学会第 57 回全国大会講演論文集(4),pp.278-279,1998 年

【R-98-113】 竹内勝, 佐川浩彦 : 手話マルチモーダルデータベース, 情報処理学会研究報告, 99-NL-130,pp.145-152,1999 年

・9 年度

【R-97-037】 佐川浩彦, 竹内勝, "手話認識における空間情報利用に関する検討", 第 13回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集,pp.231-236,1997 年

6)特許出願リスト

・13 年度

RWC整理番号 2001R-007
発明考案の名称 手話文認識装置およびユーザインタフェース
発明者 佐川浩彦、小泉敦子、竹内勝
出願日 平成 13.8.6
出願番号 特願 2001-237373
出願人 株式会社日立製作所
分類番号 G06T 7/20
状況 出願中

概要）

手話から日本語への翻訳を行う場合、入力された手話文データから個々の手話単語を認識した後、手話の文法規則を用いて手話単語間の関係を解析する必要がある。手話では、文法的な情報の多くを頭部動作などの非手指動作によって伝達している。本発明は、非手指動作による情報を用いて手話単語間の関係の解析を行うための技術である。これにより、手話単語の認識結果か

ら手話文の認識結果候補である手話単語列を生成する精度を向上させることが可能となる。

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

RWC 整理番号　97-R-012
発明考案の名称　手話単語辞書学習装置
発明者　佐川浩彦，竹内勝
出願日　平 10.4.8
出願番号　特願平 10-075879
出願人　株式会社日立製作所、技術研究組合新情報処理開発機構

（概要）動作要素に基づく手話認識において手話単語辞書の作成を自動化することは必要不可欠である。本発明では、手話データから動的な動作要素を認識し、動作要素の関係を動作の概略を記述した辞書テンプレートに基づいて検証することにより手話単語候補を生成する。さらに、生成された手話単語候補の時間範囲に基づいて手話データから静的な動作要素のパラメータを抽出する。それらの結果から必要なパラメータを計算し、手話単語辞書を作成する。これにより、手話単語辞書作成におけるユーザの労力を削減し、精度の良い認識を行える手話単語辞書を作成することができる。

・9 年度

RWC 整理番号　97R-007
発明考案の名称　動作認識装置
発明者　佐川浩彦，竹内勝
出願日　平 9.10.21.
出願番号　9-288212
出願人　株式会社日立製作所, 技術研究組合新情報処理開発機構

（概要）複数の手話単語が連続的に表現される手話文の認識において, 認識される複数の手話単語の候補から，最良の手話単語列を生成することは重要である。本発明では, 手話における空間的な表現に基づく文法を利用して手話単語間の関係を解析することにより, 手話単語の認識結果から精度良く手話単語列を生成することを可能とする。その際、位置関係を表すパラメータの分布に基づく評価関数により位置関係を評価する。また、絶対的なパラメータと相対的なパラメータで位置関係を表す。これにより、さまざま手話単語の関係を柔軟に精度良く評価することが可能となる。

(4)著作物リスト

・13 年度

管理番号　MMFH-1301
著作物の名称　マルチモーダル手話－日本語通訳プロトタイプシステム
原著作者　株式会社　日立製作所
完成日　平 13.10.31
記録媒体　3.5"MO Disk

（概要）

手指動作と頭部動作を利用して手話から日本語への翻訳を行うシステムである。手指動

作は手袋型入力装置から入力されるデータに基づいて認識を行い、頭部認識モジュールから送られてくる頭部認識の結果と手話文法ルールを用いて手話単語間の関係を解析し、日本語文への翻訳を行う。

管理番号　　MMFH-1303
著作物の名称　　タグ付き日本手話コーパス
原著作者　　株式会社　日立製作所
完成日　　平 13.10.31
記録媒体　　3.5"MO Disk
（概要）
（1）機能
手話－日本語通訳プロトタイプシステムで使用される辞書であり、手話形態素辞書、手話単語辞書、手話文法ルール、頭部動作属性変換ルール、日本語単語辞書、日本語翻訳ルールから構成される。
（2）形式 テキストファイル
（3）サイズ　　370KB
（特記事項）　なし

管理番号　　MMFH-1303
著作物の名称　　タグ付き日本手話コーパス
原著作者　　株式会社　日立製作所
完成日　　平 13.10.31
記録媒体　　3.5"MO Disk
（概要）
ビデオ映像データおよび手袋型入力装置による手動作データからなる日本手話文データベースに対し、手話の文法的な解析を行うためのタグを付与したものである。タグの情報は、手指動作（手話単語）と非手指動作（文法機能を担う表情、頭の動き等）を映像に対応付けて記述したもので、発話の書き起こしに相当するものである。
（特記事項）　なし

・12 年度
管理番号　　MMFH-1201
著作物の名称　　手話単語辞書作成統合環境
原著作者　　株式会社日立製作所
完成日　　平 12.12.31.
記録媒体　　3.5”MO Disk
（概要）
手話認識用手話単語テンプレート辞書を構築するための統合ツール。手話単語辞書の管理、手動作データの入力、手動作データへのラベリング、手話単語辞書骨格の作成、手動作データから手話単語骨格に基づいて統計的なパラメータを抽出し手話単語テンプレートを作成する機能を有する。

管理番号　　MMFH-1202
著作物の名称　　手話単語認識 OCX コントロール

原著作者　　株式会社日立製作所
完成日　　平 12.12.31.
記録媒体　　3.5”MO Disk
（概要）
手話文を表す手動作データに対し、動作要素の認識・統合、セグメントへの分割、セグメント中で使用されている手の種類の判別を行うことにより、手話文中に表現されている手話単語を高精度に認識するプログラムモジュールである。本モジュールは、Visual C++や Visual Basic においてプログラム部品として使用されるActiveX コントロールの形式で作成されている。

管理番号　　MMFH-1203
著作物の名称　　手話文解析支援ツール
原著作者　　株式会社日立製作所
完成日　　平 13.1.31.
記録媒体　　3.5”MO Disk
（概要）
ビデオ映像データおよび手袋型入力装置による手動作データからなる手話例文データベースに対し、手話の文法的な解析を行うためのラベル付けを行うためのツールである。ラベル登録の他、複数のデータの時間を一致させる、すでに登録したラベルを参照する等の機能により、効率的にラベル付けを行うことができる。

・11 年度
管理番号　　MMFH-1101
著作物の名称　　手話対応情報提供端末
原著作者　　マルチモーダル機能日立研究室
完成日　　平 12.3.31
記録媒体　　3.5" MO Disk
（概要）
1）機能
手話認識技術を搭載した情報提供端末である。入力された手話の質問文を解釈し、その質問文で要求されている情報の検索を行い、結果を表示する。また、画面上のボタン上に表示されている日本語単語あるいは日本語文に相当する手話表現を入力することにより、そのボタンを操作を手話により行うことができる。本システムは手話認識技術評価のための試験運用システムとして利用している。
2）記述言語　　Visual Basic，Visual C++
3）プログラムサイズ ソース：100K ステップ
実行ファイル：750KB
4）動作環境　　Windows95/98
（特記事項）　　なし

管理番号　　MMFH-1102
著作物の名称　　試験運用システム用手話単語辞書
原著作者　　マルチモーダル機能日立研究室
完成日　　平 12.3.31
記録媒体　　3.5" MO Disk

（概要）
1）機能
　試験運用システムに組み込まれている手話認識で使用される268 語からなる手話単語辞書である。
2）形式　テキストファイル
3）サイズ　400KB
（特記事項）　なし

管理番号　MMFH-1103
著作物の名称　手話文法解析用データセット
原著作者　マルチモーダル機能日立研究室
完成日　平 12.3.31
記録媒体　DV-テープ、CD-R Disk
（概要）
1）機能
手話文法の解析を目的として収集している手話ビデオ映像および手話動作タグ情報データである。
2）形式　JPEG、バイナリ、テキストファイル
3）サイズ　30GB
（特記事項）　なし

・10 年度
管理番号　MMFH-1001
著作物の名称　PC版手話認識モジュール
原著作者　マルチモーダル機能日立研究室
完成日　平 10.09.31.
記録媒体　3.5" MO Disk
（概要）
1）機能
　グローブ型入力装置を用いて入力された手動作データから、手の形状や方向、直線運動や円運動等の動作の構成要素を検出し、その結果から手話単語の認識を行う。
Windows 上の ActiveX コントロールの形式で実装している。
2）記述言語　Visual C++
3）プログラムサイズ ソース：75K ステップ
実行ファイル：800KB
4）動作環境　Windows95/98
（特記事項）　なし

管理番号　MMFH-1002
著作物の名称　PC 版手話通訳プロトタイプシステム
原著作者　マルチモーダル機能日立研究室
完成日　平 11.1.31.
記録媒体　3.5" MO Disk
（概要）
1）機能

手話から日本語および日本語から手話への翻訳を行う手話通訳システムのプロトタイプである。
2)記述言語　　Visual Basic, Visual C++
3)プログラムサイズ ソース:3K ステップ
実行ファイル:400KB
4)動作環境　　Windows95/98
(特記事項)　　なし

管理番号　　MMFH-1003
著作物の名称　　手話認識用手話単語辞書
原著作者　　マルチモーダル機能日立研究室
完成日　　平 11.1.31.
記録媒体　　3.5" MO Disk
(概要)
1)機能
手話認識モジュールで使用される300 語の手話単語辞書である。
2)形式　　テキストファイル
3)サイズ　250KB
(特記事項)　　なし

管理番号　　MMFH-1004
著作物の名称　　手話マルチモーダルデータベースサンプルデータセット
原著作者　　マルチモーダル機能日立研究室
完成日　　平 11.1.31.
記録媒体　　DV-テープ、CD-R Disk
(概要)
1)機能
手話認識研究で用いる映像データ、手袋型入力装置データ、および、手話動作タグ情報データである。
2)形式　　JPEG、バイナリ、テキストファイル
3)サイズ　2.8GB
(特記事項)　　なし

・9 年度
管理番号 MMFH-0901
著作物の名称　　手話形態素作成プログラム
原著作者　　マルチモーダル機能日立研究室
完成日　　平 9.10.31.
記録媒体　　3.5" MO Disk
(概要)
1)機能
手話形態素の動作の概要を記述した辞書テンプレート、手話形態素を表現した動作データおよびデータ中の手話形態素の時間範囲を指定したラベル情報から、構動素統合型手話認識方式で用いる手話形態素辞書を自動的に作成するプログラムである。
2)記述言語　　C言語

3) プログラムサイズ ソース :69K ステップ
実行ファイル :6.2MB
4)動作環境　　HP-UX 9.0 以上
(特記事項)　　なし

管理番号 MMFH-0902
著作物の名称　　手話形態素辞書
原著作者　　マルチモーダル機能日立研究室
完成日　　平 9.10.31.
記録媒体　　3.5" MO Disk
(概要)
1)機能
構動素統合型手話認識方式用の 60 種類の手話形態素からなる辞書である.
2)形式　　テキストファイル
3)サイズ　91KB
(特記事項)　　なし

管理番号 MMFH-3
著作物の名称　　手話マルチモーダルデータベース管理ファイル検索ツール
原著作者　　マルチモーダル機能日立研究室
完成日　　平 10.2.20.
記録媒体　　3.5 インチ MO ディスク
(概要)
1)機能
データベース管理ファイルを対象にキーワード検索を行い、検索結果 (動画像データ) を表示するツール。手話マルチモーダルデータベース閲覧ツール (開発予定) の一部。
2) 記述言語　　C 言語
プログラムサイズ　ソース :2.3K ステップ
3) 動作環境　　HP-UX 9.0 以上
(特記事項)　　無し

管理番号　　MMFH-4
著作物の名称　　被験者参照用 Signdex 会話例文
原著作者　　マルチモーダル機能日立研究室
完成日　　平 9.12.20.
記録媒体　　Mini DV 形式ディジタルビデオテープ
(概要)
1)機能
(内容) データ採取時に被験者が参照するためのビデオ映像データ。質疑応答形式の 545 例文に基づいた、聴覚障害者の発話状況が撮影されている。
2) 記述言語　　mini DV 形式圧縮データ
3) 動作環境　　mini DV ビデオデッキ
(特記事項)　　本データは研究室内部で使用するものであり、外部への公開は行わない。

A-1-2. 非言語情報マルチモーダルインタフェース（マルチモーダル機能シャープ研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【R-01-018】 Masayuki Nakazawa, Keiko Watanuki, Toshiro Mukai, Hideo Miyoshi: "Believable Agent Interface with Multimodal Communication", Proc. of the IASTED International Conference of Computer Graphics and Imaging (CGIM2001), pp.60-65, 2001.

【R-00-142】 Masayuki Nakazawa, Ryuichi Oka: "The Slot Expression for Topic Spotting and Topic Summary in Spontaneous Speech", Proc. of the IEEE Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI2001), pp.221-226, 2001.

【R-00-015】Masayuki Nakazawa, Keiko Watanuki, Toshiro Mukai, Hideo Miyoshi: "Anthropomorphic Agent and Multimodal Interface for Nonverbal Communication", Proc. of the Human Computer Interaction (PCHCI2001), 2001.

【R-01-110】三吉秀夫，綿貫啓子，中沢正幸，向井理朗："非言語を活用したマルチモーダルインタフェースを目指して"，人工知能学会誌 2002 年 3 月号, 2002.

・12 年度

【R-00-002】 マルチモーダル機能シャープ研究室 Keiko Watanuki, Susumu Seki, Hideo Miyoshi："Turn Taking and Multimodal Information In Two-People Dialog”, ICSLP 2000, Volume I, pp.657-660, 2000.

【R-00-027】 マルチモーダル機能シャープ研究室 ATR 音声翻訳研究所、電子技術院総合研究所 Satoshi Nakamura, Keiko Watanuki, Toshiyuki Takezawa,Satoru Hatyamizu："Multimodal Corpora for Human-Machine Interaction Research”, ICSLP 2000, pp.25-28, 2000.

【R-00-039】 マルチモーダル機能シャープ研究室 綿貫啓子、関進、三吉秀夫："対話過程における身体の動きと音声との関係”、人工知能学会全国大会、pp.422-424、2000.

【R-00-131】 マルチモーダル機能シャープ研究室 向井理朗、中沢正幸、関進、綿貫啓子、三吉秀夫："非言語情報を用いたマルチモーダル対話インタフェースの試作”、Interaction 2001（2001 年 3 月 5 日）

・11 年度

【R-99-005】 中沢正幸、張建新、岡隆一："Topic Spotting and It’s description of summary from spontaneous speech", Eurospeech ’99, Vol.6,pp.2447-2450,1999.

【R-99-057】 向井理朗、 関進、 中沢正幸、 綿貫啓子、 三吉秀夫："Multimodal Agent Interface based on Dynamical Dialogue Model", Proceedings of the 12th Annual ACM Symposium on User Interface software and Technology(CHI Letters, Vol1, Issue 1), pp.69-70, 1999.

・10 年度

なし

・9 年度

なし

(2)その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

【R-01-044】三吉秀夫："人とコンピュータとの自然な対話"，映像情報メディア学会誌, Vol. 55, No.11, pp.1403-1406, 2001.

【R-01-087】綿貫啓子："マルチモーダル対話システム MAICO の試作"，人工知能学会第 33 回言語・音声理解と対話処理研究会，ビデオによる口頭発表（論文なし）, SIG-SLUD-A102, 2001.

【R-01-124】三吉秀夫："非言語を活用したマルチモーダルインタフェースを目指して"，（社）電子情報技術産業協会，「言語処理技術専門委員会」におけるスライドによる口頭発表（論文なし）, 2001 年 12 月.

【R-01-129】三吉秀夫："ネット検索ガイド嬢"，月刊「言語」, 2002 年 3 月号，大修館書店，2002.

・12 年度

【R-00-042】三吉秀夫, 関進, 綿貫啓子："研究室紹介 RWCP マルチモーダル機能シャープ研究室"，信号処理, Vol.4, No.5, pp.383-392, 2000

【R-00-137】三吉秀夫："コミュニケーションと非言語"，ネットワークエージェント技術に関するワークショップ予稿集, 2001 年 1 月, pp.159-162, 2001

・11 年度

【R-99-010】 向井理朗、関進、中沢正幸、綿貫啓子、三吉秀夫："力学系モデルに基づくマルチモーダル対話システムの試作"、第 13 回人工知能学会全国大会、pp.109-110、1999 年 6 月 16 日.（デジタルポスター）

【R-99-029】 綿貫啓子、関進、三吉秀夫："ヒューマンインタフェースのための人間の振舞いの解析-マルチモーダル対話データの解析-"、情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会報告、99-HI-84、pp.25-30,1999.

【R-99-056】 綿貫啓子、関進、三吉秀夫："発話時の人間の振舞い-マルチモーダル対話データの解析-"、人工知能学会言語・音声理解と対話処理研究会、SIG-SLUD-9902、pp.49-54、1999.

【R-99-086】 向井理朗、関進、中沢正幸、綿貫啓子、三吉秀夫："感情を持つマルチモーダル対話エージェントシステムの提案"、人工知能学会言語・音声理解と対話処理研究会、SIG-SLUD-9902、pp.11-15、1999.

【R-99-088】 綿貫啓子、関進、三吉秀夫："Multimodal Dialogue Analysis",Advance Information Technology in Japan Series.（投稿中）

【R-99-120】 関進、綿貫啓子、中沢正幸、向井理朗、三吉秀夫："Multimodal Agent Interface for Communication", RWC2000, TR-99-002,pp.135-138,2000.

【R-99-131】 中沢正幸、向井理朗、関進、綿貫啓子、三吉秀夫："マルチモーダル対話システム"、情報処理学会音声言語情報処理研究会、2000-SLP-30,pp.35, 2000.

【R-99-138】 綿貫啓子、関進、三吉秀夫："発話交代時に現れる動作の特徴"、電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会、HIP99,Vol.99,No.582,pp.59-64,2000.

【R-99-153】 三吉秀夫："円滑な対話機能を持つインタフェースエージェント"、次世代ネットワークと産業フロンティア情報技術に関する調査研究報告書-ネットワークエージェント技術-、財団法人 日本情報処理開発協会、pp.218-220, 2000 年 3 月.（論文）

・10 年度

【R98-001】 J.Kiyama, S.Seki, K.Watanuki, H.Hinode and T.Aramaki :"Human Interface Based on Nonverbal Information", RWC Symposium'98,pp.211-214, June 9, 1998. （口頭）

【R98-062】 関進、木山次郎、日出晴夫、綿貫啓子、荒巻隆志 :"力学系モデルに基づくリズムのあるヒューマンインタフェース"、情報処理学会 ヒューマンインタフェース研究会 音声言語情報処理研究会 合同研究発表会、pp.39-40, 1998 年 10 月 16 日.（口頭）

【R98-095】 関進、綿貫啓子、中沢正幸、向井理朗、三吉秀夫 :"力学系対話モデルを用いた相槌システム"、情報処理学会第 58 回全国大会、pp.(4 巻)5-6,1999 年 3 月 11 日. （口頭）

【R98-098】 綿貫啓子 :"モーションキャプチャを用いたマルチモーダル対話データの収集"、第 3 回社会言語科学会大会シンポジウム、pp.142-143,1998 年 1 月 31 日. （口頭）

・9 年度

【R-97-017】 坂本、関、日出、綿貫、木山、外川 :"対話データベースに基づくマルチモーダル実験システム"、画像ラボ、Vol.8, No.10, pp.20-23, 1997 年 10 月.（論文）

【R-97-095】 綿貫、関、木山、荒巻 :"あいづち位置の考察"、日本音響学会平成 10 年度春季研究発表会、 pp.111-112, 1998 年 3 月 19 日.（口頭）

(6)特許出願リスト

・13 年度

発明考案の名称 ジェスチャ認識方法、ジェスチャ認識装置、対話装置及びジェスチャ認識プログラムを記録した記録媒体
発明者 向井理朗
出願日 平 14.1.23
出願番号 特願 2002-013677
出願人 シャープ株式会社

RWC 整理番号 2001R-012
発明考案の名称 対話装置
発明者 中沢正幸
出願日 平 13.10.24
出願番号 特願 2001-326579
出願人 シャープ株式会社
（概要）
対話システムを利用する子供や大人、老人などシステムにすぐに馴染めない人や使いにくさを感じる人など、いろいろなタイプの人にでも使いやすいように、システムの出力情報を逐次管理する手段と出力情報を途中停止する手段と出力情報を変更する手段と、出力変更パターンを保持するテーブルを具備したことを特徴とする対話装置。

・12 年度

RWC 整理番号 2000R-005
発明考案の名称 ネットワーク機器制御装置

発明者　　向井理朗、関進
出願日　　平 12.4.17.
出願番号　　2000-115703
出願人　　シャープ株式会社
分類番号　　G01L, G06F
状況　　公開前
（概要）
擬人化エージェントとの対話によりネットワークに接続された複数の機器を統一的に制御することができるネットワーク機器制御装置を提供する。

RWC 整理番号　2000R-006
発明考案の名称　音声処理装置、動画像処理装置、音声・動画像処理装置および音声・動画像処理プログラムを記録した記録媒体
発明者　　綿貫啓子
出願日　　平 12.6.27.
出願番号　　2000-193118
出願人　　シャープ株式会社
分類番号　　G06L, G06F, G01H
状況　　公開前
（概要）
笑い声区間を自動的に、しかも少ない演算量とメモリサイズで抽出することができる音声処理装置を提供する。また、動画像から笑い動作区間を自動的に抽出することができる動画像処理装置を提供する。さらに音声信号と動画像から笑い動作、笑い声、笑いを伴う音声区間を区別して抽出することができる音声動画像処理装置を提供する。

RWC 整理番号　2000R-012
発明考案の名称　対話装置および対話処理プログラムを記録した記録媒体
発明者　　綿貫啓子
出願日　　平 12.9.28.
出願番号　　2000-295661
出願人　　シャープ株式会社
分類番号　　G06L, G06F
状況　　公開前
（概要）
人間とコンピュータの対話装置においてユーザとシステムとの間に自然な対話を実現することができる対話装置および対話処理プログラムを記録した記録媒体を提供する。

RWC 整理番号　2000R-013
発明考案の名称　機器制御システム
発明者　　向井理朗
出願日　　平 12.11.15.
出願番号　　2000-348096
出願人　　シャープ株式会社
分類番号　　H04L,G10L
状況　　公開前

（概要）
　ユーザが複数の機器の構成、制御コマンド等を気にすることなく簡単に複数機器を制御することができる機器制御システムを提供する。

・11 年度
RWC 整理番号　98R-016
発明考案の名称　データベース作成装置及びデータベース作成プログラムを記録した記録媒体
発明者　綿貫啓子
出願日　平 11.5.6
出願番号　11-125991
出願人　シャープ株式会社、新情報処理開発機構
（概要）
　音声動画像を含むデータベース作成においてモーションキャプチャシステムを利用することにより、所望の場面の音声や動画を再生しながら同時に人間等の動作に関する数値データを参照することを可能にするデータベース作成装置を提供し、更に数値データを基に、半自動的に動作に対してラベル（タグ）をつけることを可能にするデータベース作成装置を提供する。

RWC 整理番号　99R-011
発明考案の名称　ネットワークの自動分節装置及び自動分節プログラムを記録した記録媒体
発明者　向井理朗、岡隆一
出願日　平 11.8.12
出願番号　11-228423
出願人　シャープ株式会社、新情報処理開発機構
（概要）
　IPM 等の手法により生成したネットワーク構造から特徴的な部分を抽出する手段を提供する。

・10 年度
RWC 整理番号　98R-003
発明考案の名称　対話装置
発明者　関進
出願日　平 10.04.22
出願番号　10-112008
出願人　新情報処理開発機構、シャープ株式会社
（概要）
人間と人工エージェントの対話を円滑に進めるための相槌を生成する装置

RWC 整理番号　98R-017
発明考案の名称　音声要約装置及び音声要約プログラムを記録した記録媒体
発明者　中沢正幸、岡隆一
出願日　平 11.3.31
出願番号 特願平　11-92705

出願人　　新情報処理開発機構、シャープ株式会社
（概要）
音声中から抽出された部分的な音声を音声認識し　、要約記述を生成することにより、音声中に含まれる話題を要約し　、利用者が音声内容を短時間で把握・利用することを可能にする音声要約装置を提供すること

・9 年度
RWC 整理番号　97R-005
発明考案の名称　音声合成装置、音声合成及び CG 合成出力装置、なら びに対話装置
発明者　　綿貫啓子
出願日　　平 9.8.25
出願番号 特願平 9-228029
出願人　　新情報処理開発機構、シャープ株式会社
（概要）
人間とコンピュータの対話装置において、　リズム制御をコンピュータから出力される音声パワー、音声ピッチ及び　CG 人物の手の動き等の特徴量が相補的・等時間的に出現するよう制御することにより、自然な合成音声や　CG 画像の動きを出力することを可能にする。

(4) 著作物リスト
・13 年度
なし
・12 年度
管理番号　　H12-0001
著作物の名称　マルチモーダル対話データベース
原著作者　　シャープ株式会社
完成日　　平 13.3.31.
記録媒体　　DLT Tape
（概要）
データサイズ　2.6GB×36 人
マルチモーダル対話データ収集システムを用いて対話データを収集した　。マルチモーダル対話データ収集システムは　、ビデオカメラ、マイク、モーション　キャプチャ用赤外線カメラを備えており、二人が対話している様子の音声と動画像　、および身体に装着したマーカー位置（上半身に 18 箇所の　3 次元座標を、時間情報と共に自動的に取　り込む。これにより、動画データ（顔、および全身）、音声データ、および　2 次データとして、音声パワー、音声ピッチ、身体各部位の位置（3 次元座標）情報、テキスト　情報（発話内容書き起こし　）のファイルで構成されるデータベースを構築できる。
今年度は、外部から被験者を募 り、新たに 18 組（36 名）のデータを収集した。日頃よ　くおしゃべりをする間柄の二人に加え、初対面の被験者にペアになってもらい　、対話のタスクは限定せずに自由に対話をしてもらった。表　1 にデータの内容を示す。さらに、今年度は、昨年度構築したプロトタイプシステム　MAICO との対話も収録した。「ロボーナー紹介」と「ハンバーガーショップ」のタスク対話を、　35 名の被験者に行ってもらった。　表 2 にデータの内容を示す。

表 1 マルチモーダル対話データベース（自由対話）

データ番号	性別		年代	データ長（sec.）	データ種			
	男	女			音声	動画	動き(位置)	テキスト
018	2	0	20 代	600	○	○	○	×
019	0	2	20 代	600	○	○	○	○
020	2	0	20 代	600	○	○	○	○
021	2	0	20 代	600	○	○	○	○
022	0	2	20 代	600	○	○	○	×
023	0	2	20 代	600	○	○	○	○
024	1	1	20 代	600	○	○	○	×
025	2	0	20 代	600	○	○	○	×
026	0	2	20 代	600	○	○	○	×
027	1	1	20 代	600	○	○	○	○
028	0	2	20 代	600	○	○	○	×
029	0	2	20 代	600	○	○	○	×
030	1	1	20 代	600	○	○	○	×
031	2	0	20 代	600	○	○	○	○
032	0	2	20 代	600	○	○	○	○
033	0	2	20 代	600	○	○	○	○
034	0	2	20 代	600	○	○	○	×
035	1	1	20 代	600	○	○	○	×

表 2 マルチモーダル対話データベース（システムとの対話）

データ番号	性別		年代	データ長（sec.）	データ種			
	男	女			音声	動画	動き(位置)	テキスト
101	1	0	20 代	150	○	○	○	×
102	1	0	20 代	150	○	○	○	×
103	0	1	20 代	150	○	○	○	×
104	0	1	20 代	150	○	○	○	×
105	1	0	20 代	150	○	○	○	×
106	1	0	20 代	150	○	○	○	×
107	1	0	20 代	150	○	○	○	×
108	1	0	20 代	150	○	○	○	×
109	0	1	20 代	150	○	○	○	×
110	0	1	20 代	150	○	○	○	×
111	1	0	20 代	150	○	○	○	×
112	0	1	20 代	150	○	○	○	×
113	1	0	20 代	150	○	○	○	×
114	0	1	20 代	150	○	○	○	×
115	1	0	20 代	150	○	○	○	×
116	1	0	20 代	150	○	○	○	×
117	0	1	20 代	150	○	○	○	×
118	0	1	20 代	150	○	○	○	×
119	1	0	20 代	150	○	○	○	×
120	0	1	20 代	150	○	○	○	×
121	0	1	20 代	150	○	○	○	×
122	0	1	20 代	150	○	○	○	×

123	0	1	20 代	150	○	○	○	×
124	0	1	20 代	150	○	○	○	×
125	1	0	20 代	150	○	○	○	×
126	0	1	20 代	150	○	○	○	×
127	1	0	20 代	150	○	○	○	×
128	1	0	20 代	150	○	○	○	×
129	0	1	20 代	150	○	○	○	×
130	0	1	20 代	150	○	○	○	×
131	0	1	20 代	150	○	○	○	×
132	0	1	20 代	150	○	○	○	×
133	0	1	20 代	150	○	○	○	×
134	0	1	20 代	150	○	○	○	×
135	1	0	20 代	150	○	○	○	×

管理番号　　H12-0002
著作物の名称　マルチモーダルインタフェース対話プログラム
原著作者　　シャープ株式会社
完成日　　平 13.3.31.
記録媒体　　650MB CD-R
（概要）
記述言語　　Visual C++ 6.0
動作環境　　Windows 2000/Me
プログラムサイズ 450MB
音声認識・ジェスチャ認識・あいづち生成を含むマルチモーダル情報を用いて対話を行うプログラム。

管理番号　　H12-0003
著作物の名称　ジェスチャ認識プログラム
原著作者　　シャープ株式会社
完成日　　平 13.3.31.
記録媒体　　650MB CD-R
（概要）
記述言語　　Visual C++ 6.0
動作環境　　Windows 98/NT4.0/2000/Me
プログラムサイズ 8MB
ユーザの身振り、顔の位置を認識するプログラム。

管理番号　　H12-0004
著作物の名称　マルチモーダル対話データベース解析ツール
原著作者　　シャープ株式会社
完成日　　平 13.3.31.
記録媒体　　30MB CD-R
（概要）
記述言語　　Mathematica
動作環境　　Mac OS 8.5/IRIX6.5 以降

プログラムサイズ 320MB
　マルチモーダル対話データベースの発話内容、音響情報、画像、動きなどの様々な種類の情報を時系列データとして統一的に分析を行うためのツール群。

管理番号　　H12-0005
著作物の名称　　モーションデータ表示プログラム
原著作者　　シャープ株式会社
完成日　　平 13.3.31.
記録媒体　　650MB CD-R
（概要）
記述言語　　Microsoft Visual C++
動作環境　　Windows 98 or NT4.0 以降
プログラムサイズ 15MB
　モーションキャプチャで収録した動きデータを、windows 上でワイヤフレーム表示するプログラム。

・11 年度
管理番号　　H11-0001
著作物の名称　　マルチモーダル対話データベース
原著作者　　綿貫啓子（マルチモーダル機能シャープ研究室）
完成日　　平 12.3.31
記録媒体　　DLT Tape
（概要）
データサイズ　2.6GB×14 人
マルチモーダル対話データ収集システムを用いて対話データを収集し、データベース化した。マルチモーダル対話データ収集システムは、ビデオカメラ、マイク、モーションキャプチャ用赤外線カメラを備えており、二人が対話している様子の音声と動画像、および身体に装着したマーカー位置（上半身に 18 箇所）の 3 次元座標を、時間情報と共に自動的に取り込む。これにより、動画データ（顔、および全身）、音声データ、および 2 次データとして、音声パワー、音声ピッチ、身体各部位の位置（3 次元座標）情報、テキスト情報（ローマ字による発話内容書き起こし）のファイルで構成されるデータベースを構築した。
本年度は、14 組（28 名）のデータを収集した。日頃よくおしゃべりをする間柄の二人にペアになってもらい、対話のタスクは限定せずに自由に対話をしてもらった。下表にデータの内容を示す。

データ番号	性別		年代	データ長（sec.）	データ種			
	男	女			音声	動画	動き〔位置〕	テキスト
001	2	0	20 代	600	○	○	○	○
002	0	2	20 代	600	○	○	○	○
003	0	2	20 代	600	○	○	○	○
004	0	2	20 代	600	○	○	○	○
005	0	2	20 代	600	○	○	×	×
006	0	2	20 代	600	○	○	×	×
007	0	2	20 代	600	○	○	○	○

008	0	2	20 代	600	○	○	○	○
009	0	2	20 代	600	○	○	○	○
010	0	2	20 代	600	○	○	○	○
011	0	2	20 代	600	○	○	○	×
012	0	2	20 代	600	○	○	○	×
013	0	2	20 代	600	○	○	○	×
014	1	1	20 代	600	○	○	○	×

管理番号　　H10-0002
著作物の名称　　マルチモーダルインタフェース対話プログラム
原著作者　　中沢正幸（マルチモーダル機能シャープ研究室）
完成日　　平 12.3.31
記録媒体　　650MB CD-R
（概要）
記述言語　　C++
動作環境　　UNIX
プログラムサイズ　9MB
マイク入力された音声を認識し、その音声に適した応対をモニタ上に表示されるＣＧキャラクタを通して行わせるプログラム。

管理番号　　H10-0003
著作物の名称　　音声認識インタフェースプログラム
原著作者　　中沢正幸（マルチモーダル機能シャープ研究室）
完成日　　平 12.3.31
記録媒体　　650MB CD-R
（概要）
記述言語　　C++
動作環境　　Windows95, 98, NT4.0
プログラムサイズ　368KB
Microsoft Speech API に準拠した音声認識プログラムの認識結果を抽出し、マルチモーダルインタフェース対話プログラムに送信するプログラム。

管理番号　　H10-0004
著作物の名称　　CG エージェント表示プログラム for Windows
原著作者　　向井理朗　（所属）マルチモーダル機能シャープ研究室
完成日　　平 12.3.31
記録媒体　　650MB CD-R
（概要）
記述言語　　Microsoft Visual C++
動作環境　　Windows 98 or NT4.0 以降
プログラムサイズ　320MB
softimage 3D で作成した CG アニメーションをwindows 上で表示する。ネットワークを会して得たコマンドにより背景をかえることができる。

管理番号　　H10-0005

著作物の名称　モーションデータ表示プログラム
原著作者　向井理朗（マルチモーダル機能シャープ研究室）
完成日　平 12.3.31
記録媒体　650MB CD-R
（概要）
記述言語　Microsoft Visual C++
動作環境　Windows 98 or NT4.0 以降
プログラムサイズ　32MB
モーションキャプチャで収録した動きデータを、windows 上でワイヤフレーム表示する。

・10 年度
管理番号　H10-0001
著作物の名称　CG 表示プログラム
原著作者　日出晴夫（マルチモーダル機能シャープ）
完成日　平 11.3.31
記録媒体　DLT Tape
（概要）
機能
　対話応対を行うCG エージェントの表示関係の処理（CG データ読み込み、設定、描画、通信処理、動作コマンド処理等）
記述言語 ANSI C
プログラムサイズ　290MB
動作環境　Hardware Silicon Graphics OCTANE MXI
Software　OpenGL1.0, Softimage3.7, SAAPHIRE ver1.7

管理番号　H10-0002
著作物の名称　非言語対話モデルプログラム
原著作者　関進（マルチモーダル機能シャープ）
完成日　平 11.3.31
記録媒体　DLT Tape
（概要）
機能
　ユーザのマルチモーダル情報に対し、力学系モデルに基づいて「相槌をうちたい」などの感情を生成する。
記述言語　ANSI C
プログラムサイズ　310KB
動作環境　Hardware Silicon Graphics Indigo2

管理番号　H10-0003
著作物の名称　音声認識プログラム
原著作者　中沢正幸（マルチモーダル機能シャープ）
完成日　平 11.3.31
記録媒体　DLT Tape
（概要）
機能

対話時のユーザの音声を認識し、結果を言語情報対話処理部に送る。
記述言語　　ANSI C++
プログラムサイズ　140KB
動作環境　　Hardware PC/AT 互換機
Software　　IBM ViaVoice

管理番号　　H10-0004
著作物の名称　音情報抽出プログラム
原著作者　　木山次郎（マルチモーダル機能シャープ）
完成日　　平 11.3.31
記録媒体　　DLT Tape
（概要）
機能
対話時のユーザの音声のピッチやパワーを抽出し、結果を非言語情報対話処理部に送る。
記述言語　　ANSI C
プログラムサイズ　520KB
動作環境　　Hardware Silicon Graphics OCTANE MXI
Software　　Digital Media Library

管理番号　　H10-0005
著作物の名称　画像認識プログラム
原著作者　　関進（マルチモーダル機能シャープ）
完成日　　平 11.3.31
記録媒体　　DLT Tape
（概要）
機能
対話時のユーザ顔の向き、動き情報等を抽出し、結果を非言語対話処理部に送る。
記述言語 ANSI C
プログラムサイズ　36MB
動作環境　　Hardware Silicon Graphics OCTANE MXI

管理番号　　H10-0006
著作物の名称　言語対話モデルプログラム
原著作者　　中沢正幸（マルチモーダル機能シャープ）
完成日　　平 11.3.31
記録媒体　　DLT Tape
（概要）
機能
音声認識プログラムによる認識結果に基づいて対話の進行状況を制御し、その結果を非言語対話モデルに送る。
記述言語　　ANSI C++
プログラムサイズ　310KB
動作環境　　Hardware Silicon Graphics OCTANE MXI
Software　　Digital Media Library

管理番号　　H10-0007
著作物の名称　音声出力プログラム
原著作者　　木山次郎（マルチモーダル機能シャープ）
完成日　　平 11.3.31
記録媒体　　DLT Tape
（概要）
機能
　非言語対話モデルからの要求に基づく音声出力。
記述言語　　ANSI C
プログラムサイズ　38MB
動作環境　　Hardware Silicon Graphics OCTANE MXI
Software　　Digital Media Library

管理番号　　H10-0008
著作物の名称　対話データ解析プログラム
原著作者　　関進、綿貫啓子（マルチモーダル機能シャープ）
完成日　　平 11.3.31
記録媒体　　DLT Tape
（概要）
機能
　対話データの発話とジェスチャの相関関係を解析する。
記述言語　　Mathematica
プログラムサイズ　100KB
動作環境　　Hardware Silicon Graphics OCTANE MXI
Software　　Wolfram Research Mathematica

・9 年度
管理番号　　H09-0001
著作物の名称　CG 表示出力プログラム 1
原著作者　　日出晴夫（マルチモーダル機能シャープ）
完成日　　平 9.3.31.
記録媒体　　DLT Tape
（概要）
機能
　対話応対を行うCGエージェントの表示関係の処理(エージェントモデル 1用)CG データの読み込み、アニメーションデータの読み込み、設定、データの描画、通信処理、動作コマンド処理
記述言語　　ANSI C
プログラムサイズ　433Kbyte (見込み)
動作環境
　Hardware　　SiliconGraphics OCTANE MXI
　Software　　OpenGL1.0 (+ GLUT library)、Softimage3.7 + SAAPHIRE ver1.7

管理番号　　H09-0002

著作物の名称　CG 表示出力プログラム 2
原著作者　日出晴夫（マルチモーダル機能シャープ）
完成日　平 9.3.31.
記録媒体　DLT Tape
（概要）
機能　対話応対を行うCG エージェントの表示関係の処理(エージェントモデル 2 用)CG データの読み込み、アニメーションデータの読み込み、設定、データの描画、動作コマンド処理
記述言語　ANSI C
プログラムサイズ　800Kbyte (見込み)
動作環境
Hardware　SiliconGraphics OCTANE MXI
Software　OpenGL1.0 (+ GLUT library)、Softimage3.7 + SAAPHIRE ver1.7

管理番号　H09-0003
著作物の名称　エージェントモデル１
原著作者　日出晴夫（マルチモーダル機能シャープ）
完成日　平 9.3.31.
記録媒体 DLT Tape
（概要）
機能　CG エージェントモデルデータ（男性）
記述言語　softimage format
データサイズ　35Mbyte (見込み)
構築環境
Software　Softimage3.7

管理番号　H09-0004
著作物の名称　エージェントモデル 2
原著作者　日出晴夫（マルチモーダル機能シャープ）
完成日　平 9.3.31.
記録媒体 DLT Tape
（概要）
機能　CG エージェントモデルデータ（女性）
記述言語　softimage format
データサイズ　40Mbyte (見込み)
構築環境
Software　Softimage3.7

管理番号　H09-0005
著作物の名称　あいづち生成プログラム
原著作者　関進（マルチモーダル機能シャープ）
完成日　平 9.3.31.
記録媒体　DLT Tape
（概要）
機能　力学系を用いて、ユーザのマルチモーダル情報を元にあいづちを生成

記述言語　　ANSI C
データサイズ　　28Kbyte (見込み)
構築環境
　Hardware　　SiliconGraphics INDIGO2

管理番号　　H09-0006
著作物の名称　　音声再生プログラム
原著作者　　木山次郎（マルチモーダル機能シャープ）
完成日　　平 9.3.31.
記録媒体　　DLT Tape
（概要）
機能
　対話処理部より送られるコマンドに基づいて、あらかじめ用意した対話用音声ファイルを再生する
記述言語　　ANSI C
データサイズ　　107Kbyte(見込み)
構築環境
　Hardware　　SiliconGraphics OCTANE MXI
　Software　　Digital Media Library

管理番号　　H09-0007
著作物の名称　　音声認識、ピッチ・パワー抽出プログラム
原著作者　　木山次郎（マルチモーダル機能シャープ）
完成日　　平 9.3.31.
記録媒体　　DLT Tape
（概要）
機能
　対話時にユーザの音声認識、ピッチやパワーの抽出を行い、結果を対話処理部に送る
記述言語　　ANSI C
データサイズ　　50Kbyte(見込み)
構築環境
　Hardware　　SiliconGraphics OCTANE MXI
　Software　　Digital Media Library

管理番号　　H09-1001
著作物の名称　　説明データ１
原著作者名　　綿貫啓子
完成日　　平 9.12.25
記録媒体　　ベータカムテープ
（概要）
・デモンストレータがシステムの説明をしているもの。聞き手あり／なしの条件で収録した。

管理番号　　H09-1002
著作物の名称　　あいづち実験データ１
原著作者名　　綿貫啓子

完成日　　平 10.1.9
記録媒体　　ベータカムテープ
（概要）
・説明データ１を使用し、「VTR の話者に対しあいづちを打つ」というタスクで収録した対話データ。被験者に提示する条件を変えて、計25名のデータを収録した。

管理番号　　H09-1003
著作物の名称　　あいづち実験データ２
原著作者名　　綿貫啓子
完成日　　平 9.11.13
記録媒体　　ベータカムテープ
（概要）
・放送大学の講師の説明データ（TV 番組を録画したものを編集）を使用し、「VTR の話者に対しあいづちを打つ」というタスクで収録した対話データ。被験者に提示する条件を変えて、計１０名のデータを収録した。

A-1-3. 人間のマルチモーダル情報処理（マルチモーダル機能ＮＴＴ研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【R-01-027】渡辺昌洋，今田俊明：“聴覚誘発脳磁界反応に対する直前刺激音周波数の効果”，日本生体磁気学会誌, Vol.13, No.2, 57-65, (2000)

【R-01-085】Zhang, Y., Kuhl, P. K., Imada, T., Kotani, M. and Pruitt, J.: "Brain plasticity in behavioral and neuromagnetic measures: A perceptual training study." Abstract of the 142nd Meeting of Acoustical Society of America, 2pSC16, (2001)

【R-01-117】渡辺昌洋，今田俊明：“聴覚誘発脳磁界反応に対する直前刺激音音圧の効果”，日本生体磁気学会誌，投稿中.

【R-01-116】神本さゆり，浅香雪夫，今田俊明，関原謙介，小谷誠：“周波数変化に対する脳磁界反応”，日本生体磁気学会誌，投稿中.

【R-01-117】渡辺昌洋，今田俊明：〃聴覚誘発脳磁界反応に対する直前刺激音音圧の効果〃，日本生体磁気学会誌，投稿中.

【R-01-127】近藤亨，関原謙介，今田俊明，小谷誠：”複数個視覚パタン認知に関連する脳活動”，日本生体磁気学会誌

【R-01-130】Watanabe, K., Imada, T., and Shimojo, S.: "Neuromagnetic responses to chromatic flicker: Implications for chromatic sensitivity." Nature 投稿中）.

・12 年度

【R-00-003】 Zhang, Y., Kuhl, P. K., Imada, T., Kotani, M. and Stevens, E. B.: "MMFs to native and non-native syllables show an effect of linguistic experience", Abstracts of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2000), 121b, p.121, 2000.

【R-00-004】 Imada, T., Mashiko, T. and Sekine, H.: "Estimation errors of single dipole model applied to twin dipole activity", Abstracts of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2000), 173b, p.173, 2000.

【R-00-005】 Imada, T., Kawakatsu, M. and Kotani, M.: "Neuromagnetic study of pattern recognition activity in the human brain", Abstracts of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2000), 81a, p.81, 2000.

【R-00-006】 Asakawa, K., Imada, T., Kawakatsu, M. and Kotani, M.: "Hemispheric difference in processing of clear and ambiguous vowels", Abstracts of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2000), 121a, p.121, 2000.

【R-00-007】 Ishikawa, H., Imada, T. and Tojo, M.: "Neuromagnetic activity was enhanced by reward-related visual stimulus", Abstracts of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2000), 81b, p.81, 2000.

【R-00-008】 Sugiura, Y., Asakawa, K., Imada, T., Kawakatsu, M. and Kotani, M.: "Neuromagnetic signals associated with translation of English words into Japanese words", Abstracts of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2000), 115a, p.115, 2000.

【R-00-107】 Zhang, Y., Kuhl, P. K., Imada, T., Kotani, M. and Stevens, E. B.: "MMFs

to native and non-native syllables show an effect of linguistic experience", Proceedings of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2000), submitted.

【R-00-108】 Imada, T., Mashiko, T. and Sekine, H.: "Estimation errors of single dipole model applied to twin dipole activity", Proceedings of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2000), submitted.

【R-00-109】 Imada, T., Kawakatsu, M. and Kotani, M.: "Neuromagnetic study of pattern recognition activity in the human brain", Proceedings of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2000), submitted.

【R-00-110】 Ishikawa, H., Imada, T. and Tojo, M.: "Neuromagnetic activity was enhanced by reward-related visual stimulus", Proceedings of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2000), submitted.

【R-00-111】 Sugiura, Y., Asakawa, K., Imada, T., Kawakatsu, M. and Kotani, M.: "Neuromagnetic signals associated with translation of English words into Japanese words", Proceedings of Biomag2000, submitted.

【R-00-127】 Zhang, Y., Kuhl, P. K., Imada, T., and Kotani, M: "Mismatch fields elicited by preattentive speech categorization." Cognitive Neuroscience Society Annual Meeting 2001, submitted

【R-00-128】 今田俊明："仮名・漢字を認知するときの脳活動"、臨床脳波、永井書店、772-779, 2000.

【R-00-132】 Watanabe, M. and Imada, T.: "Off-response to pure tone burst is affected by the previous pure tone intensity", Proceedings of the 12th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2000), submitted.

・11 年度

【R-99-100】 Y. Zhang, P.K. Kuhl, T. Imada, S. Naito, M. Kotani, E.Stevens, Y.Tohkura: "Does Japanese subject ‘s brain show different neuromagnetic responses to syllables /la/ and /ra/?" International Journal of Psychology Vol.35, No.3 (Abstracts of the XXVII International Congress of Psychology), 21605.04, Jul. 25, 2000. (poster)

【R-99-154】 浅川慶一、今田俊明、川勝真喜、小谷誠："漢字および平仮名の読みに関連する脳磁界反応"、日本生体磁気学会誌、Vol.12,No.2,11-18,1999.

【R-99-155】 渡辺昌洋、今田俊明："聴覚誘発脳磁界反応における直前刺激音の効果"、 日本生体磁気学会誌、Vol.12,No.2,19-26,1999.

・10 年度

【R-98-068】 T. Imada, M. Kawakatsu, M. Kotani, and M. Tojo:"Neuromagnetic signals associated with reading a kanji character formed by combining two kanji radicals" Japanese Psychological Research, Vol.42,No.1, 15-25, 2000.

【R-98-120】 渡辺昌洋、今田俊明："ペア音の周波数と聴覚誘発脳磁界反応"、日本生体磁気学会誌、 Vol.11, No.2, 15-22, 1999.

・9 年度

【R-97-029】 Watanabe, M. and Imada, T.: "Effects of frequency and ISI of paired tone stimuli on N1m amplitudes." Y. Koga, K. Nagata and K. Hirata(Eds) Brain Topography Today (Proceedings of III Pan-Paacific Conference on Brain Topography), Elsevier, Amsterdam, pp.120-123, 1998.

【R-97-028】 Imada, T. Kawakatsu, M. Kotani, M. and Tojo, M.:"Neuromagnetic

responses to reading split kanji characters." Y. Koga, K.Nagata and K. Hirata (Eds) Brain Topography Today (Proceedings of III Pan-Pacific Conference on Brain Topography), Elsevier, Amsterdam, pp.202-208,1998.

【R-97-116】 Imada, T. Nakayama, S.,Kawakatsu, M. and Kotani, M.:"Neuromagnetic responses associated with object recognition." NeuroImage,Vol.7, No.4, p.S354 (Abstracts of 4th International Conference on Functional Mapping of the Human Brain), 1998.

(ヘ)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

【R-01-028】浅香雪夫, 今田俊明, 関原謙介, 小谷誠:“周波数変化に対する脳磁界反応 ー周波数と呈示時間の影響ー”, 日本生体磁気学会誌 第 16 回日本生体磁気学会大会論文集), Vol.14, No.1, 206-207, (2001)

【R-01-029】神本さゆり, 今田俊明, 関原謙介, 小谷誠:“周波数変化に対する脳磁界反応 ー繰り返しの効果ー”, 日本生体磁気学会誌 第 16 回日本生体磁気学会大会論文集), Vol.14, No.1, 208-209, (2001)

【R-01-030】近藤亨, 今田俊明, 関原謙介, 小谷誠:“複数個視覚パタン認知に関連する脳活動”, 日本生体磁気学会誌 第 16 回日本生体磁気学会大会論文集), Vol.14, No.1, 214-215, (2001)

【R-01-031】杉浦貴保, 藤田直昭, 今田俊明, 川勝真喜, 小谷誠:“非オドボール系列における MMF 発生”, 日本生体磁気学会誌 第 16 回日本生体磁気学会大会論文集), Vol.14, No.1, 192-193, (2001)

【R-01-032】石川大明, 山口登志子, 今田俊明, Mikko Sams, 東條正城, 小谷誠:“視聴覚情報処理統合に関連する脳活動”, 日本生体磁気学会誌 第 16 回日本生体磁気学会大会論文集), Vol.14, No.1, 218-219, (2001)

【R-01-088】Zhang, Y., Kuhl, P. K., Imada, T., Kotani, M. and Pruitt, J.: "Behavioral and MEG measures reveal brain plasticity in training Japanese adults to learn the /l-r/ contrast.", 第 2 回脳磁場ニューロイメージング抄録集, 投稿中.

【R-01-89】神本さゆり, 浅香雪夫, 今田俊明, 関原謙介, 小谷誠:“周波数変化に対する脳磁界反応”, 第 2 回脳磁場ニューロイメージング抄録集、投稿中.

・12 年度

【R-00-009】 浅川慶一、今田俊明、川勝真喜、小谷誠:"音声の判別に関連する脳磁界反応"、日本生体磁気学会誌 第 15 回日本生体磁気学会大会論文集)、Vol.13, No.1, U-12, 224-225, 2000.

【R-00-010】杉浦貴保、浅川慶一、今田俊明、川勝真喜、小谷誠:"英語から日本語への翻訳時における脳磁界計測"、日本生体磁気学会誌 第 15 回日本生体磁気学会大会論文集)、Vol.13, No.1, U-18, 236-237, 2000.

【R-00-112】今田俊明:" 被験者間平均波形計算のための頭部標準位置への変換"、生理学研究所研究会抄録集、32, 2000.

・11 年度

【R-99-101】 浅川慶一、今田俊明、川勝真喜、小谷誠："声の識別に関連する脳磁界反応"、生理学研究所研究会抄録集、 p.6, 1999.

【R-99-102】 今田俊明、川勝真喜、小谷誠："漢字・仮名を認知するときの脳の活動"、第 29 回日本脳波筋電図学会学術大会プログラム・予稿集、シンポジウム IV-4, p.147, 1999.

【R-99-103】 益子拓徳、今田俊明、関根弘美："複数 ECD データを単一 ECD モデルで推定するときの誤差"、 生理学研究所研究会抄録集、p.22, 1999.

【R-99-109】 今田俊明, 川勝真喜, 小谷誠："漢字・仮名を認知するときの脳の活動", 日本脳波筋電図学会誌, in press.

【R-99-116】 T. Imada: "Where in the brain is responsible for character recognition? " RWC Technical Report (Proceedings of 2000 RWC Symposium), TR-99-002, pp.147-150, 2000.

【R-99-167】 浅川慶一、今田俊明、川勝真喜、小谷誠："音節認知時の N100m 反応の解析"、ライフサポート学会 Forum 2000, 2000.

・10 年度

【R-98-001】 渡辺昌洋、今田俊明："人間のマルチモーダル情報処理機能の計測と解析--聴覚誘発脳磁界による基本的反応の解析--"、RWC Technical Report (Proceedings of 1998 RWC Symposium),TR-98001,pp.215-218, 1998.

【R-98-008】 加藤和美、今田俊明："日本語音節に対する聴覚誘発脳磁界 N1m の活動位置推定"、日本生体磁気学会誌 第 13 回日本生体磁気学会大会論文集)、Vol. 11, No. 1, 2-C-9, pp.236-239, 1998.

【R-98-009】 渡辺昌洋、今田俊明："異なる周波数の直前刺激音による offset 反応増強の消失"、日本生体磁気学会誌 第 13 回日本生体磁気学会大会論文集)、Vol. 11, No. 1, 2-C-10, pp.240-243, 1998.

【R-98-026】 加藤和美、今田俊明："単語の角音節に対応した脳磁界反応について"、日本音響学会聴覚研究会資料、H-98-44, pp.1-7, 1998.

【R-98-094】 今田俊明："MEG による脳高次機能の解析"、日本画像医学雑誌 第 18 回日本画像医学会大会論文集)、Vol. 17, No. 4, p.199, 1999.

・9 年度

なし

6)特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

⑷著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-1-4. 動的画像応答（マルチモーダル機能三菱研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

なし

・12 年度

【R-00-167】 Ishii, Kyum: “An Image Segmentation and Tracking Method by Segment Scanning Wave Propagation Network”, IEEE Signal Processing Society, Int. Conf. on Image Processing

【R-00-168】 石井、久間：”画像領域抽出のための神経回路モデルとそのトラッキングへの応用 ”、電子情報通信学会論文誌 D-II、投稿中

・11 年度

なし

・10 年度

【R-98-029】 T. Ishii and K. Kyuma, "Learning template in dynamic link matching neural network", Proc. of ICONIP 98 Kitakyusu, pp.166-168, 1998

・9 年度

【R-97-053】 Lange and Kyuma, "Wavelet-Domain Principal Component Analysis Applied to Facial Similarity Trees, Caricaturing and Nonlinear Illumination-Invariant Processing", The 3rd IEEE Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition, 1998

(2)その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

【R-01-126】石井：“人物追跡システム ”センシング技術応用研究会第 129 回研究例会

・12 年度

【R-00-052】 石井、久間：”ニューラルネットワークによる画像領域のバインディグ”、第 10 会日本神経回路学会全国大会、P-129, 2000

・11 年度

【R-99-053】 石井、久間 「位相ラベルを応用した柔軟な画像セグメンテーション表現」、日本神経回路学会第 9回全国大会、P-30、1999

・10 年度

なし

・9 年度

なし

(3)特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし
・9 年度
なし

(4)著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
管理番号　　RWCP-MMM-2000-01
著作物の名称　「V1a」設計データ、ファームウェア及びドライバソフトウェア

原著作者　　三菱電機株式会社
完成日　　平 12.5.17
記録媒体　　CDROM
（概要）
実世界知能技術分野　マルチモーダル機能領域　動的画像応答において開発を行ったネットワーク型画像処理ボードの設計データ、ファームウェア、ホストコンピュータ上のドライバなどその動作環境一式。

・11 年度
管理番号
著作物の名称　　「V1a」設計データ、ファームウェア及びドライバソフトウェア
原著作者　　石井俊直 他（マルチモーダル機能三菱研究室）
完成日　　平成 12 年 3 月 17 日
記録媒体　　CDROM
（概要） 新規に開発した開発した画像処理機能付きカメラモジュールの設計データ、ファームウェアおよびコンピュータと接続して動作させるための、ドライヴァソフトウェアおよび機能検証用ユーティリティソフトウェア一式

・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-1-5. 実世界モデル生成（マルチモーダル機能三洋研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度
終了
・12 年度
【R-00-028】 杉本和英、大上靖弘、富田文明："モノクロ単眼動画像からの手指の検出と運動追跡"、画像の認識・理解シンポジウム（MIRU2000）、Vol.II, pp.79-84, 2000.
【R-00-064】 Kazuhide SUGIMOTO and Fumiaki TOMITA:"Rigid Hand Motion Tracking based on a Generic Model for Manipulating 3-D Models of Objects",Proc.PCM2000, pp.202-205,2000.
【D-00-081】 Yasuhiro OUE, Kazuhide SUGIMOTO, Toru KITAMURA, Yasushi SUMI, Fumiaki TOMITA:"Object Recognition on Distributed Computing Environment", Systems and Computers in Japan, Vol.32, No.1, pp.10-19, 2001.
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

(2)その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度
終了
・12 年度
なし
・11 年度
【R-99-009】 杉本和英、大上靖、北村徹："手指動作による立体モデルのハンドリング"、人工知能学会（第 13 回）全国大会論文集、pp.111-112,1999.
・10 年度
【R-98-025】 杉本、荒川、富田:"3 次元点列上の特徴点検出"、情報処理学会画像認識と理解シンポジウム'98 予稿集、分冊 II,pp.119-124,1998
・9 年度
【R-97-031】 杉本、荒川、富田:"3 次元点列上の特徴点検出"、情報処理学会第 55 回全国大会予稿集、分冊 2,pp.327-328,1997
【R-97-081】 杉本、荒川、富田:"平面パターンの対応に基づく画像間のエピポーラ幾何と3 次元形状復元"、電子情報通信学会総合大会予稿集、2,pp.368,Mar.27.1998

(3)特許出願リスト

・13 年度
終了
・12 年度
なし

・11 年度
RWC 整理番号　　98R-018
発明考案の名称　　画像処理方法及び装置並びに媒体
発明者　　杉本和英、北村徹、富田文明
出願日　　平 11.9.1.
出願番号　　11-248030
出願人　　三洋電機株式会社、新情報処理開発機構、工業技術院長
（概要）
【課題】抽出対象毎に画像全体をくまなくスキャンするため、探索効率が悪かった。
【解決手段】入力された画像をあらかじめ 1 度スキャンし特徴抽出を行なう。次に、あらかじめ用意された複数の解像度にてブロック分割し、前記分割されたブロックを単位として、各ブロック中に存在する特徴のみを選択し特徴のリストを生成する。分割生成された各解像度のブロックリストに対して、階層別の各ブロック間の包含関係をリストとして生成する。探索特徴指示に従い、画像中の探索開始位置と探索方向を決定し、まず、低分解能画像特徴リストを用いて、指示方向に該当する大きなブロック中に該当する特徴のリストが存在するか判別する。該当したブロックについてのみ、包含関係に従って包含されるブロックを決定し、高分解能画像特徴リストを用いて、詳細な特徴探索を行なう。

RWC 整理番号　　99R-013
発明考案の名称　　画像処理装置及び方法並びに記録媒体
発明者　　杉本和英、富田文明
出願日　　平 11.12.24.
出願番号　　11-368148
出願人　　三洋電機株式会社、工業技術院長
（概要）
【課題】従来の画像処理方法及び画像処理装置においては、いずれも、エッジ検出に用いられるが、ステップ状のエッジを抽出することはできても、緩やかな傾斜をもつ輝度変化をもつ陰影領域の境界をエッジとして検出することができないという問題点がある。
【解決手段】上記課題を解決するために、本発明は、画像中に含まれるエッジ情報を抽出する画像処理方法及び画像処理装置であって、前記画像全体を 1 次微分処理することにより輝度勾配の強度及び方向を算出し、輝度が急激に変化する画素からなるエッジを検出する第 1 の工程と、前記画像全体を処理することにより、輝度勾配の方向が等しい画素を統合して陰影領域を抽出することにより、前記陰影領域の境界線をエッジとして検出する第 2 の工程と、前記第 1 の工程にて検出されたエッジ及び前記第 2 の工程にて検出されたエッジを統合することによりエッジを生成する第 3 の工程を含むことを特徴とする。
　この発明においては、まず第 1 の工程により、画像中の輝度勾配の強度及び方向が算出され、輝度が急激に変化する画素からなるエッジが検出される。つづいて、第 2 の工程により、第 1 の工程により算出された輝度勾配の方向が等しい画素が統合され陰影領域が抽出された後、前記領域の境界線上の画素がエッジとして検出される。次に、第 3 の工程では、前記第 1 の工程にて検出されたエッジ及び前記第 2 の工程にて検出されたエッジが統合され、エッジ画像が生成される。
以上の本発明によれば、輝度や色が急激に変化する画素からなるエッジを検出可能なばかりでなく、緩やかな傾斜からなる輝度変化をもつ、陰影領域と他の領域との境界をもエッジとして検出することが可能となる。

・10 年度
なし

・9 年度
RWC 整理番号　R-97-004
発明考案の名称　立体形状記述方法及び特徴点抽出方法
発明者　杉本和英、富田文明
出願日　平 9.7.23.
出願番号 9-197538
出願人　三洋電機株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構、工業技術院長、佐藤壮郎
（概要）
立体形状を記述する方法に関する。処理対象となる立体の表面を囲む、3 次元点列からなる境界線上の各注目点について、その注目点及びその近傍の所定個数の参照点の位置座標に基づいて、それら注目点及び参照点の近傍範囲内に位置する近似曲線の所定の幾何情報を算出し、幾何学的な性質を手がかりとして特徴箇所（屈曲点、変曲点、遷移点等）を検出し、それら特徴箇所に関する情報に基づいて境界線を曲線近似することにより、立体形状を記述する形状記述手法。

(4)著作物リスト
・13 年度
終了
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-1-6. Ｈ９ジェスチャベース対話システム／H10マルチモーダル対話パソコンネットシステム／Ｈ 11～13Cross Mediator におけるマルチモーダル対話システム（マルチモーダル機能つくば研究室）

（1）査読論文リスト

・13 年度

【R-01-122】 西村拓一，十河卓司，小木しのぶ，岡隆一，石黒浩:”動き変化に基づく View-based Aspect Model による動作認識”，電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J84-D-II, No.10 , pp.2212-2223 (2001).

・12 年度

【R-00-150】 西村拓一、岡隆一、滝田順子、後藤真孝:” 類似メロディ区間検出による音楽時系列検索の高速化 ”、第 39 回音楽情報科学研究会、2001.

【R-00-151】 橋口博樹、西村拓一、矢部博明 、岡隆一、赤坂貴志:” 鼻歌による音楽検索と歌詞音声検索の統合処理の検討 ”、第 39 回音楽情報科学研究会、2001.

・11 年度

【R-99-022】 S.Sakurai, T.Endo, T.Mukai, R.Oka: "Automatic task modeling for realizing a multi-modal interface system", Proc. of ACAI-99 Workshop on Machine Learningin Human Language Technology, pp.78-87.

【R-99-036】 S.Sakurai, T.Endo, R.Oka: "Automatic model construction for a user oriented task using speech utterances", KES' 99, pp.74-77.

【R-99-039】 S.Sakurai, T.Mukai, R.Oka:"Network modeling of a human-computer interaction task based on a self-organization method", Networks' 99, pp.27-308.

【R-99-041】 櫻井茂明、向井理朗、岡隆一: "対話タスクのサンプリング単語時系列からの自己組織化 "、 電子情報通信学会、 Vol.J83-D-II, No.2, pp.827-839 (2000-02).

【R-99-055】 H.Yabe, T. Nishimura, T.Mukai, R.Oka : "Recognition of gestures using morphological features of networks made of gesture motion images and word sequences", RATFG-RTS ' 99, pp.39-46 (1999).

【R-99-062】 S.Sakurai, T.Endo, R.Oka:"Automatic acquisition of a user model based on text search by speech utterances", INES' 99, pp.93-98.

・10 年度

【R-98-024】 岡隆一、西村拓一、遠藤隆一: "マルチモーダルインターフェース "、 日本ロボット学会誌、 Vol.16,No6 ,pp.749-753.

【R-97-103】 西村拓一、向井理朗、岡隆一: "白黒動画像からの形状特徴を用いたジェスチャのスポッティング認識システム "、 電子情報通信学会誌 、D-II, Vol.J81-D-II, No.8, pp.1812-1821.

【R-97-131】 西村拓一、向井理朗、野崎俊輔 、岡隆一: "動作者適応のためのオンライン教示可能なジェスチャ動画像スポッティング認識システム "、 電子情報通信学会誌 D-II, Vol.J81-D-II,No.8,pp.1822-1830.

【R-97-147】 S. Nagaya, Y. Itoh, T. Endo, J. Kiyama, S. Seki and R. Oka : "Ingormation Integration Architecture for Agent-based Computer Supported Cooperative Work system", IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, Vol.E81-D, No.9, pp. 976-987 .

【R-97-148】 西村拓一、古川清、向井理朗、岡隆一: "時系列パターン検索のための重

み減衰型 Refrence Interval-Free 連続 DP について"、 電子情報通信学会論文誌、 J81-D-II, 3, 472-482.

【R-98-128】 西村拓一、野崎俊輔、向井理朗、岡隆一："連続 DP への非単調性導入によるジェスチャ動画像からの戸惑い動作のスポッティング認識"、 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J81-D-II, No.1, pp.18-26.

・9 年度

【R-97-042】 S. Nagaya, K. Furukawa and R. Oka:"A Recognition method of Multimodal expression for 3D Space manipulation", Proc. WIPUI'97, pp. 65-67.

【R-97-059】 T. Nishimura, T. Mukai and R. Oka:" Non-monotonic Continuos Dynamic Programming for Spotting Recognition of Hesitated Gestures from Time-Varying Images", 3rd Asian Coference on Computer Vision(ACCV'98),VOl. 2, pp. 734-741.

【R-97-085】 T. Mukai, T. Nishimura, T. Endo and R. Oka:" A Symbol Grounding Problem of Gesture Motion Through a Self-Network of Time-Varying Motion Images", IEEE World Congress on Computational Intellgence.

【R-97-090】 西村拓一、野崎俊輔*、岡隆一:" Non-Momotonic 連続 DP によるスポッティングに基づく移動ロボットを用いた大局的位置の推定", 電子情報通信学会論文誌 (D-Ⅱ), Vol.J81-D-Ⅱ, No.8, pp.1876-1884, 1998.

【R-97-091】 西村拓一、向井理朗、岡隆一:"白黒動画像からの形状特徴を用いたジェスチャのスポッティング認識システム"、電子情報通信学会論文誌 (D-Ⅱ)、Vol.J81-D-Ⅱ, No.8, pp.1812-1821, 1998.

【R-97-093】 西村拓一、向井理朗、野崎俊輔*、岡隆一:" 動作者適応のためのオンライン教示可能なジェスチャ動画像のスポッティング認識システム"、電子情報通信学会論文誌 (D-Ⅱ),Vol.J81-D-Ⅱ,No.8,pp1822-1830,1998.

【R-97-119】 R. Oka, H. Takahashi, T. Mukai, T. NIshimura, T. Endou, M. Nakazawa, S. Nagaya and H. Matsumura*:" Realtime Gesture-Speech Human Interface on Notebook Size Personal Computer", AAAI-98 Intelligent Systeme Demonstration. (投稿中)

【R-97-120】 R. Oka: "Spotting Method Approach Towards Classification of the Real World Data", The Computing Journal- a special issue on clustering and classification -(投稿中)

ℓ)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

なし

・12 年度

【R-00-082】 西村拓一、関本信博、岡隆一："参照パターンの区間を自由とする高速マッチング手法-Reference Interval free Active Search (RIFAS)-", 電子情報通信学会技術研究報告、PRMU2000-65, pp.29-34

【R-00-083】 橋口博樹、西村拓一、高橋裕信、岡隆一、張建新："モデル依存の傾斜制限型をもつ連続ＤＰによるハミングを用いた楽曲信号のスポッティング検索"、電子情報通信学会技術研究報告、PRMU2000-61, pp.35-40

【R-00-101】 西村拓一、岡隆一、十河卓司、小木しのぶ、石黒浩："動き変化に基づく View-based Aspect Model", 電子情報通信学会技術研究報告、

PRMU2000-96, pp.1-8
【R-00-113】 西村拓一、矢部博明、岡隆一、野崎俊輔、小木しのぶ:"人のジェスチャ動作と移動ロボットの動きとのインタラクション対話"、人工知能学会研究会資料、SIG-SLUD-A00202, pp7-12.
【R-00-114】 森靖英、高橋裕信、岡隆一:"データベースの学習による文書と画像の関連づけ、人工知能学会研究会資料、SIG-SLUD-A002, pp.13-16
【R-00-115】 西村拓一、関本信博、岡隆一、小木しのぶ、水野道尚:"参照パターンの区間を自由とするヒストグラムに基づく時系列検索-Reference Interval-free Active Search (RIFAS)-", 人工知能学会情報統合研究会第 14 回資料、SIG-CII-2000-Nov, pp.90-95
【R-00-118】 森靖英、高橋裕信、岡隆一:"画像と単語の相互検索手法"、人工知能学会情報統合研究会第 14 回資料、SIG-CII-2000-Nov, pp.102-103
【R-00-119】 西村拓一、橋口博樹、高橋裕信、岡隆一:"パターンマッチング手法を用いたはなうたによる音楽検索の高速化について"、人工知能学会情報統合研究会第 14 回資料、SIG-CII-2000-Nov, pp.9-12
【R-00-120】 橋口博樹、西村拓一、高橋裕信、岡隆一、赤坂貴志:"鼻歌による音楽検索と歌詞音声検索の統合処理"、人工知能学会情報統合研究会第 14 回資料、SIG-CII-2000-Nov, pp.1-8
【R-00-122】 関本信博、西村拓一、高橋裕信、岡隆一:"実時間動画像検索方式 Rutic におけるアナログ投票の導入"、人工知能学会情報統合研究会第 14 回資料、SIG-CII-2000-Nov, pp.13-15
【R-00-123】 矢部博明、西村拓一、岡隆一:"ジェスチャ動画像のいおける短時間動作の順序系列の認識"、人工知能学会情報統合研究会第 14 回資料、SIG-CII-2000-Nov, pp.96-101
【R-00-125】 橋口博樹、西村拓一、岡隆一、赤坂貴志:"鼻歌と歌詞をクエリーとする楽曲信号のスポッティング検索"、電子情報通信学会技術研究報告、PRMU2000-118, pp.79-86
【R-00-126】 西村拓一、矢部博明、岡隆一、野崎俊輔、小木しのぶ:"人のジェスチャ動作と移動ロボットの動きとのインタラクション対話"、2000 年度 第 2 回山彦シンポジウム.

・11 年度

【R-99-014】 西村拓一、野崎俊輔、矢部博明、岡隆一:"距離画像を用いた低解像度特徴によるジェスチャのスポッティング認識"、1999 年度人工知能学会全国大会、pp.95-98
【R-99-015】 櫻井茂明、高橋裕信、岡隆一:"マルチモーダル対話モデルの自動生成"、人工知能学会全国大会 第 12 回)論文集 pp.87-99
【R-99-023】 矢部博明、西村拓一、向井理朗、岡隆一:"ジェスチャ動画像と意味記述単語系列とのネットワーク構造対応"、1999年度人工知能学会全国大会、pp.95-98
【R-99-031】 櫻井茂明、遠藤隆、岡隆一:"音声データからの文書検索向けユーザモデルの自動獲得"、電気学会システム・制御研究会、SC-99-24, pp.1-6
【R-99-038】 矢部博明、西村拓一、向井理朗、岡隆一:"ジェスチャ動画像と意味記述単語系列とのネットワーク構造対応に基づくジェスチャ認識"、電子情報通信学会パターン認識メディア理解研究会、 PRMU99-40
【R-99-042】 西村拓一、野崎俊輔、矢部博明、岡隆一:"距離画像を用いた移動人物

のジェスチャのスポティング認識"、 信学技法、PRMU99-63, pp.105-113 .

【R-99-063】 矢部博明、西村拓一、岡隆一 :"ジェスチャ動画像とその単語系列との構造相似を用いたジェスチャ認識"、人工知能学会研究会資料、SIG-CII-9907, pp.28-35

【R-99-076】 櫻井茂明、伊原正典、岡隆一 :"音声検索システムにおけるユーザモデルの自己組織化法による構成"、電気学会連合研究会、SC-99-33, pp.5-10

【R-99-078】 西村拓一、野崎俊輔、矢部博明、岡隆一 :"動画像を用いたジェスチャのスポティング認識における教示モデルの改良方式"、人工知能学会、情報統合研究会資料、SIG-CII-9907, pp.14-21(1999).

【R-99-081】 櫻井茂明、高橋裕信、岡隆一 :"対話タスクのネットワークモデル自動獲得手法におけるノイズの影響について"、第 10 回情報統合研究会、SIG-CII-9907, pp.6-13

・10 年度

【R-98-002】 向井理朗、高橋裕信、岡隆一 :"マルチモーダルヒューマンインタフェースのノートパソコンへの実装"、電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会、vol. 98, No. 70, pp.69-75, 1998.

【R-98-014】 西村拓一、向井理朗、岡隆一 :"形状特徴を用いたジェスチャのスポッティング認識システム"、1998 年度人工知能学会全国大会、 pp.116-117.

【R-98016】 向井理朗、西村拓一、遠藤隆、中沢正幸、高橋裕信、松村博、岡隆一 :"マルチモーダルヒューマンインタフェースのノートパソコンへの実装"、人工知能学会、pp.112-125.

【R-98-018】 R. Oka, H. Takahashi, T. Mukai, T. Nishimura, T. Endo, M. Nakazawa, S. Nagaya, H. Matsumura :"Realtime Gesture-Speech Human Interface on Notebook Size Personal Computer", RWC'98 Symposium.

【R-98-038】 櫻井茂明、遠藤隆、向井理朗、高橋裕信、岡隆一 :"タスク実行対話の単語時系列からのネットワーク表現タスクモデルの自動獲得方式"、信学技報、PRMU98-75, pp.17-24 .

【R-98-043】 向井理朗、岡隆一 :"ノート型パソコン上での仮想人間とのマルチモーダル対話の実現"、画像ラボ 12 月号、Vol.9,No.12,pp.33-37.

【R-98-060】 櫻井茂明、遠藤隆、向井理朗、高橋裕信、岡隆一 :"ネットワーク表現タスクモデルの自動獲得における基本ルールの効果"、第 11 回ファジィワークショップ in 新潟、pp. 39-44.

【R-98-129】 西村拓一、向井理朗、岡隆一 :"知的作業支援のためのジェスチャ対話機能"、人工知能学会研究会資料、SIG-J-9801, pp. 85-88.

・9 年度

【R-97-008】 長屋茂喜、古川清、岡隆一: "音声とジェスチャによるマルチモーダル表現の時間的関係を用いた認識理解方式について"、人工知能学会全国大会論文集、pp.99-100.

【R-97-027】 長屋茂喜: " CVCV-WG報告- -コンピュータビジョンにおける技術評論と将来展望 XIV"、CVIM 研究会 CVCV-WG ミーティング.

【R-97-033】 末広尚士、高橋裕信*、山川宏**:"エージェントネットワークによる手渡しロボットシステムの構築"、 第 15 回日本ロボット学会学術講演会.

【R-97-034】 向井理朗、西村拓一、遠藤隆、岡隆一: "ジェスチャ動画像の自己組織化

ネットワークによるモデル化と要素動作の自動抽出"、人工知能学会情報統合研究会、
【R-97-047】 向井理朗、西村拓一、遠藤隆、岡隆一: "ジェスチャ動画像の自己組織化ネットワークによるモデル化と要素動作の自動抽出"、電子情報通信学会技術研究報告、Vol.97, No. 325, pp.55-61.
【R-97-054】 西村拓一 :"ジェスチャ音声操作パソコン・ネット"、ブレーン・ダイナミクス社、月刊 燃えろリーダー」、Vol.22,No.12,pp.18-21.
【R-97-055】 西村拓一、岡隆一:"Non-monotonic 連続 DP によるスポッティングに基づく自律ロボットの時系列画像を用いた大局的位置の推定"、 信学技報、PRMU97-146,pp.133-140.
【R-97-056】 西村拓一、向井理朗、岡隆一:"差分動画像の幾何学的な特徴に基づくジェスチャのスポッティング認識"、 信学技報 PRMU97-147,pp.141-146.
【R-97-062】 長屋茂喜、古川清、岡隆一: "マルチモーダルデータベース検索に基づく音声とジェスチャのモーダル変換"、第 3 回知能情報メディアシンポジウム論文集、pp.173-179.
【R-97-065】 西村拓一、岡隆一: "連続 DP と2次元連続 DP の相補的効果による時空間パターンのスポッティング認識"、人工知能学会研究会資料、SIG-J-9702-11,pp. 65-70.
【R-97-103】 西村拓一、向井理朗、岡隆一:"白黒動画像からの形状特徴を用いたジェスチャのスポッティング認識システム"、 パターン認識メディア理解研究会.

6)特許出願リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし

・11 年度
RWC 整理番号　99R-007
発明考案の名称　パターン検索装置、方法および記録媒体
発明者　西村拓一、岡隆一
出願日　平 11.10.18
出願番号 11-296004
出願人　新情報処理開発機構
（概要）
時系列データのスポッティング方式とした連続 DP が既に提案してとるか、この連続ＤＰ計算量を大きく削減する方式である。これにより、大量の参照時系列データからのスポッティング認識が少ない計算量で可能となる。

・10 年度
なし

・9 年度
RWC 整理番号　97R-003
発明考案の名称　音声とジェスチャによるマルチモーダル表現の時間的関係用いた認識

方法」
発明者　　長屋茂喜、古川清 、岡隆一
出願日　　1997/8/29
出願番号　　特願平 9-234611
出願人　　日立　 鉄鋼連盟　RWCP
（概要）
人間同士のコミュニケーションのように、音声やジェスチャ等のモーダルを利用可能とするためには個々のモーダルに対して音声認識装置やジェスチャ認識装置の認識率を高めるだけでは不十分である。たとえば、ジェスチャに関する分類（Ekman,P. Friesen, W.V. ," The reportoire of nonverbal behavior-categories, origins,usage, and coding",Semiotical, pp.49-98 (1969).）にも指摘されているように、音声で「こっち」とか「このくらい」とか言いながらジェスチャで位置や程度を表すことがしばしばある。このようにモーダルの組み合わせにより初めて解釈可能なケースは数多く存在する。こうしたモーダルの組み合わせ表現を認識装置により自動認識するためには音声とジェスチャとの間の対応する部分を見つけねばならない。
音声を認識する音声認識装置およびジェスチャを撮影画像に基づき認識するジェスチャ認識装置は提案されているものの上述した音声およびジェスチャの組み合わせを認識対象とした装置、方法は提案されておらず、このようなマルチモーダル表現を認識しようとした場合、上述の例でいえば、音声の「こっち」を認識して文字列に変換できるものの「こっち」に対応するジェスチャが動画像の中でどこから始まりどこで終了するかは、人間が目視で確認しないと判定できないという解決すべき問題がある。
そこで、本発明の目的は、上述の点に鑑みて、ジェスチャに関連する音声データおよびジェスチャの動作を撮影した動画像データが与えられたときに、音声とジェスチャ部分の対応付けを自動的に行うことができる認識方式を提供することにある。

(4)著作物リスト

- 13 年度
  なし
- 12 年度
  なし
- 11 年度
  なし
- 10 年度
  なし
- 9 年度
  なし

A-1-7. 顔と表情の頑健な認識（マルチモーダル機能ＫＲＤＬ研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【R-01-106】Bai-ling Zhang Y Guo: Face Recognition by Auto-associative Radial Basis Function Network, Proc. of the Third Int Conf of Audio- and Video-based Biometric Person Authentication (J Bigun and F Smeraldi Eds), Springer, pp.52-58, June, 2001

【R-01-004】R Mariani: A Face Location Algorithm Robust Complex Lighting Conditions, Proc. of the Third Int Conf of Audio- and Video-based Biometric Person Authentication (J Bigun and F Smeraldi Eds), Springer, pp.115-120, June, 2001

【R-01-078】M Rajapakse and Y Guo: Face Matching with Hybrid Features, to be published on The 8th International Conference on Neural Information Processing, Shanghai, China, Nov 14-18, 2001

【R-01-005】M Rajapakse and Y Guo: Multiple Landmark Feature Point Mapping for Robust Face Recognition, Proc. of the Third Int Conf of Audio- and Video-based Biometric Person Authentication (J Bigun and F Smeraldi Eds), Springer, pp.96-101, June, 2001

【R-01-108】W Huang, B Zhang and Y Guo: Face and Eyes Detection Using Structural Model and Example-based Learning Method, To be published on ICVNZ'01, Nov 26-28, 2001

【R-01-050】R Luo and Y Guo :Real-Time Stereo Tracking of Multiple Moving Head, Proc. of the 2nd Int Workshop on Recognition, Analysis and Tracking of Faces and Gestures in Real Time System, Canada, pp.55-60, July, 2001

【R-01-051】H Zhang and Y Guo: Facial Expression Recognition Using Continuous Dynamic Programming, Proc of the 2nd Int Workshop on Recognition, Analysis and Tracking of Faces and Gestures in Real Time System, Canada, pp.163-167, July, 2001

【R-01-107】H Zhang and Y Guo: Personalized facial expression recognition for next generation man-machine interaction, Int Conf on Information, Communications & Signal Processing, Singapore, October 2001

【R-01-115】Liyuan Li and Maylor K.H. Leung, Robust Change Detection by Fusing Intensity and Texture Differences, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Hawaii, 9-14 December 2001

【R-01-080】Y Guo and H Zhang: Avatar Control by Facial Expression, to be published in IEEE Int Conf on Fuzzy Systems, Melbourne, Australia, Dec 2-5, 2001

【TR-01-04】Wu Jian-Kang: Face and Facial Expression Recognition – Report on Research Achievements of RWCP Multi-Modal Functions KRDL Laboratory, Technique Report, Sept, 2001

【TR-01-06】Zheng Lei and Wu Jian-Kang: A New Personalized Feature Selection Algorithm for Recognition of Human Face Images, Technique Report, Sept, 2001

【TR-01-05】Zheng Lei and Wu Jian-Kang: A New Model-based Lighting Normalisation Algorithm And Its Application in Face Recognition, Technique Report, Sept, 2001

【TR-01-03】R Mariani, A Face Location and Recognition System Based on Tangent Distance, Technique Report, Sept, 2001

・12 年度

【R-99-105】 Zhang, D., Guo, Y., Zhong, J., Wu, J.K., "Real-time Mouth Detection Using Corner Vector Detection and Parabola Models", Asian Conference on Computer Vision (ACCV), 2000.

【R-00-057】 Zhang, D., Guo, Y., Wu, J.K., "Facial Expression Recognition Using VQ-HMM", Proc. of SCI'2000, Vol V, pp 340-344, 2000.

【R-00-048】 Rajapakse, M., Guo, Y., "Efficient Gabor Feature Based Approach for Face Recognition", Proc. of SCI'2000, Vol 5, pp 265-269, 2000.

【R-00-162】 Bai, Y., Cardon, D., Mariani, R., "Face Warping", Proc. of SCI'2000, Vol V, pp 12-15, 2000.

【R-000-55】 Jing, Z., Mariani, R., Wu, J.K., "Glass Extraction Using Bayes Rules and Deformable Contour", Proc. of SCI'2000, Vol VIII, pp 386-391, 2000. (Best Paper Award)

【R-00-163】 Mariani, R., "Face Learning Using a Sequence of Images", IJPRAI, Vol. 14, No. 5, World Scientific Press, 2000.

【R-00-022】 Mariani, R., "Local Invariants and Local Constraints for Face recognition", Proc. of ICPR'2000, 2000.

【R-00-021】 Huang, W. and Mariani, R., "Face Detection and Precise Eyes Location", Proc. of ICPR'2000, Vol 4, pp 722-727, 2000.

【R-00-023】 Jing, Z., Mariani, R., "Glasses Detection and Extraction By Deformable Contour", Proc. of ICPR'2000, 2000.

【R-00-095】 Zhang, W., Guo, Y., "Feature based Face recognition: Neural network using recognition by-recall",R. Mizoguchi and J. Slaney (Eds), Springer-Verlag, LNAI 1886, Proceedings of Pacific Rim Conference on Artificial Intelligence (PRICAI'2000), pp.599-607, 2000.

【R-00-015】 Zhang, W., Guo, Y., "Benchmark Testing and Performance Improving for Face Recognition", International Conference on Artificial Intelligence (ICAI'2000), 2000.

【R-00-016】 Zhang, W., Guo, Y., You, D., and Yiqun Li, "FaceHub: Integrate Face Recognition with Java Technology", International Conference of Imaging Science, Systems, and Technology (CISST'2000), 2000.

【R-00-056】 Bai, Y., Cardon, D., Mariani, R., "Face Warping using a Single Image", ICMI'2000.

【R-00-164】 Jing, Z., Mariani, R., "Glasses Detection for Face Recognition Using Bayes Rules", ICMI'2000.

【R-00-089】 Rajapakse, M., Guo, Y., "Performance Analysis of Gabor Responses in Face Recognition", MVA 2000, pp.359-362

【R-00-138】 Luo, R., and Guo, Y., "Tracking of Moving Heads in cluttered Scenes from Stereo Vision", Robot Vision 2001, Feb., Auckland, New Zealand.

・11 年度

【R-99-105】 Zhang. D.Q., Guo, Y., Zhong, J., & Wu, J.K. (2000). Real-time Mouth Detection Using Corner Vector Detection and Parabola Models. In Proc. of Asian Conf. on Computer Vision, Taipei, Taiwan, Jan 8-11, pp.711-716.

【R-99-059】 Mariani, R. (1999). Subpixellic Eyes Detection. In Int'l conf. on Image Analysis and Processing, Venice, Sept. 99.

【R-99-067】 Mariani, R. (2000). Face Learning Using a Sequence of Images, accepted for publication in Special Issue on Multi-Modal Interfaces, International Journal on Pattern Recognition and Artificial Intelligence.

・10 年度

【R-98-071】 Multi-Modal Functions KRDL Laboratory, R. Mariani, "Face Learning Using a Sequence of Images", The 2nd International Conference on Multi-modal Interface, Hong-Kong, January 5-7, 1999, pp IV.16-IV.21.

【R-97-126】 ISS Lab., Q.B. Sun, W. Huang, J.K. Wu, "Face Detection Based on Color and Local Symmetry Information", The 3rd International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp 130-135, Nara, Japan, 14-17 April, 1998.

【R-98-012】 ISS Lab.,W. Huang, Q. Sun, C.P. Lam, J.K.Wu, "A Robust Approach To Face and Eyes Detection from Images with Cluttered Background", The 14th International Conference on Pattern Recognition, August 16-20, 1998, Brisbane, Australia, Vol 2, pp 110-113.

・9 年度

【R-97-080】 J. K. Wu, Recognition by Recall - A New Paradigm for Object Recognition, IEEE SMC'97, pp3090-3095, Orlando, Florida, USA, Oct 12-15, 1997.

【R-97-012】 C.P. Lam, Q.B. Sun, J.K. Wu, A Practical Automatic Face Recognition System, NATO Advanced Study Institute (ASI) Programme: Face Recognition, Scotland, UK, June 1997

【R-97-126】 Sun Qibin, Huang Weimin, Wu Jiankang, Face detection based on color and local symmetry information, The third IEEE international conference on automatic face & gesture recognition, Nara, Japan, 14-17 April, 1998

（2）その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

(3)特許出願リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

(4)著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-1-8. 適応ビジョンシステムに関する研究（RWPセンター適応ビジョンラボ）

(1)査読論文リスト

・13 年度

1. Takeshi Masuda, "Generation of Geometric Model by Registration and Integration of Multiple Range Images," in Proceedings of the Third International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM2001), pp.254-261, Quebec City, Canada (28 May-1 June 2001)
2. Ming Xu, O.Hasegawa, K.Sakaue: “Tracking Head Pose in Unconstrained Environment", Proceedings of The International Conference On Artificial Intelligence, IC-AI'2001, CSREA Press, pp.581-586, Las Vegas, Nevada, USA (June 25-28,2001)
3. Takeshi Kurata, Takashi Okuma, Masakatsu Kourogi, and Katsuhiko Sakaue: "The Hand Mouse: GMM Hand Color Classification and Mean Shift Tracking", In Proc. RATFG-RTS 2001 in conjunction with ICCV2001 in Vancouver, Canada, pp.119-124 (2001)
4. 藤木淳, 蔵田武志, :"計量アフィン射影モデルの逐次型因子分解法", 信学論, J84-D-II, No. 8 (2001)
5. Masakatsu Kourogi, Takeshi Kurata, and Katsuhiko Sakaue: "A Panorama-based Method of Personal Positioning and Orientation and Its Real-time Applications for Wearable Computers", In Proc. ISWC2001 in Zurich, Switzerland (2001)
6. Takeshi Kurata, Takashi Okuma, Masakatsu Kourogi, Takekazu Kato, and Katsuhiko Sakaue: "VizWear: Toward Human-Centered Interaction through Wearable Vision and Visualization",In Proc. PCM2001 in Beijing, China (2001) (invited)
7. Takashi Okuma, Takeshi Kurata, and Katsuhiko Sakaue: "Real-Timae Camera Parameter Estimation for 3-D Annotation on a Wearable Vision System", IEICE TRANS. INF. & SYST, Vol.E84-D, No.12, pp.1668-1675 (2001)
8. 蔵田武志, 藤木淳, 興梠正克, 坂上勝彦：``ライブ映像からの 3 次元構造と運動の復元のための高速でロバストなアプローチ", 信学論, J84-D-II (2001)
9. 興梠正克, 蔵田武志, 坂上勝彦, 村岡洋一：``パノラマ画像群を位置合わせに用いたライブ映像上への注釈提示とその実時間システム," 信学論, J84-D-II (2001)

・12 年度

1. Takeshi Kurata, Jun Fujiki, Masakatsu Kourogi, and Katsuhiko Sakaue: "A Fast and Robust Approach to Recovering Structure and Motion from Live Video Frames", In Proc. CVPR 2000 in Hilton Head Island, USA, Vol.2, pp.528-535, (2000)
2. Masakatsu Kourogi, Takeshi Kurata, Katsuhiko Sakaue, and Yoichi Muraoka: "A Panorama-based Technique for Annotation Overlay and Its Real-time Implementation" ,In Proc. ICME 2000 in New York, USA, pp. 657-660, (2000)
3. Jun Fujiki and Takeshi Kurata: "Recursive Factorization Method for the Paraperspective Model Based on the Perspective Projection",In Proc. ICPR 2000 in Brcelona, Spain, Vol.1, pp.406-410 (2000)
4. Takashi Okuma, Katsuhiko Sakaue, Haruo Takemura and Naokazu Yokoya: "Real-Time Camera Parameter Estimation from Images for a Mixed Reality System,"Proc. 15th Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR2000), Vol.4, pp.482-486, September (2000)
5. M.Xu, B.Raytchev, K.Sakaue, O.Hasegawa, A.Koizumi, M.Takeuchi and H.Sagawa : "

A Vision-based Method for Recognizing Non-Manual Information in Japanese Sign Language", Proc. Third International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI 2000), (2000)
6. Masakatsu Kourogi, Takeshi Kurata, Katsuhiko Sakaue, and Yoichi Muraoka: "Improvement of Panorama-based Annotation Overlay Using Omnidirectional Vision and Inertial Sensors", In Proc. ISWC 2000 in Atlanta, USA, pp.183-184 , (2000)
7. O. Hasegawa, K. Sakaue and S. Hayamizu: "Interactive Learning and Management of Visual Information via Human-like Software Robot", New Generation Computing, Vol.18, No.2, pp.113-116 (2000)
8. B. Raytchev, O. Hasegawa, N. Otsu: "User-Independent Gesture Recognition by Relative Motion Extraction and Discriminant Analysis", New Generation Computing, Vol.18, No. 2, pp.117-126 (2000)
9. C. Wang and K. Sakaue: "View-based Virtual Learning and Recognition of 3D Object Using View Model Obtained by Motion-Stereo", New Generation Computing, Vol.18, No.2, pp.127-135 (2000)
10. Takashi Okuma, Takeshi Kurata and Katsuhiko Sakaue: "Real-Time Camera Parameter Estimation from Images for a Wearable Vision System," Proc. IAPR Workshop on Machine Vision Applications (MVA2000), pp.83-86 (November, 2000)
11. Masakatsu Kourogi, Takeshi Kurata, Katsuhiko Sakaue, and Yoichi Muraoka: "Panorama-based annotation overlay with projective transform", In Proc. ISMR2001 in Yokohama, Japan, pp.182-183 (2001)
12. Takashi Okuma, Takeshi Kurata, and Katsuhiko Sakaue: "3-D annotation of images captured from a wearer's camera based on object recognition", In Proc. ISMR2001 in Yokohama, Japan, pp.184-185 (2001)
13. Takeshi Kurata, Takashi Okuma, Masakatsu Kourogi, and Katsuhiko Sakaue: "The Hand-mouse: A Human Interface Suitable for Augmented Reality Environments Enabled by Visual Wearables", In Proc. ISMR2001 in Yokohama, Japan, pp.188-189 (2001)

・11 年度

1. I.Yoda, K.Yamamoto, H.Yamada, "Automatic acquisition of hierarchical mathematical morphology procedures by genetic algorithms", Image and Vision Computing, Vol.17, No.10, pp.749-760 (Aug. 1999)
2. 蔵田、藤木、坂上、"アフィンエピポーラ幾何の因子分解法による解釈"、情報処理学会論文誌、Vol.40, No.8, pp.3188-3197 (Aug. 1999)
3. T.Kurata, J.Fujiki, M.Kourogi, K.Sakaue, "A robust recursive factorization method for recovering structure and motion from live video frames", In CD&Web Proc. ICCV'99 FRAME-RATE WORKSHOP in Kerkyra, Greece (Sep. 1999)
4. M.Kourogi, T.Kurata, J.Hoshino, Y.Muraoka, "Real-time image mosaicing from a video sequence", In Proc. ICIP'99 in Kobe, Vol.4, pp.133-137, 28AO3.6 (Oct. 1999)
5. M.Kourogi, T.Kurata, K.Sakaue, Y.Muraoka, "A real-time panorama-based technique for annotation overlay on video frames", In Web Proc. IWAR'99 in San Francisco (Oct. 1999)
6. 大隈、竹村、横矢、"拡張現実感システムのための画像からの実時間カメラ位置姿勢推定"、電子情報通信学会論文誌(D-II), Vol.J82-D-II, No.10, pp.1784-1792

(Oct.1999)

7. 神原、大隈、竹村、横矢、"ビデオシースルー型拡張現実感のための実時間ステレオ画像合成"、電子情報通信学会論文誌(D-II), Vol. J82-D-II, No.10, pp.1775-1783 (Oct. 1999)
8. T. Masuda :"Unified Framework of Registration and Integration of Multiple Range Images for Geometric Model Construction," Proceedings of the Fourth Asian Conference on Computer Vision, pp.1064-1069, Taipei, Taiwan, (January 8-11, 2000)

・10 年度

1. T.Kurata, J.Fujiki, K.Sakaue, "Affine epipolar geometry via factorization method", In Proc. ICPR'98 in Brisbane, pp.862-866 (Aug. 1998)
2. 増田健、"A unified approach to volumetric registration and integration of multiple range images" , 14th International Conferense on Pattern Recognition (Aug. 1998)
3. 王彩華、坂上勝彦、"モーションステレオによる３次元物体形状の獲得"電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J81-D-II, No.8, pp.1885-1894 (Sep. 1998)
4. 依田育士、坂上勝彦、"３次元動き情報を利用した複数対象物の抽出とその実時間認識"、電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J81-D-II, No.9, pp.2043-2051 (Sep. 1998)
5. C.Wang, K.Sakaue, "Acquiring 3D model of object by motion-stereo", Proc.IAPR Workshop on Machine Vision Application, pp. 301-305 (Nov. 1998)
6. T.Kurata, J.Fujiki, K.Sakaue, "Affine epipolar geometry via factorization method and its application", In Proc. SPIE in San Diego, Vol.3457-13 (1998)
7. B.Raytchev, O.Hasegawa, N.Otsu, "Online gesture recognition using predictive statistical feature extraction and multivariate analysis", Proc. IAPR Workshop on Machine Vision Applications (MVA'98), pp.569-572 (1998)
8. O.Hasegawa, S.Morishima, M.Kaneko, "Processing of facial information by computer", Electronics and Communications in Japan, Part 3, Vol.81, No.10, pp.36-57 (1998)
9. K.Sakaue, A.Amano, N.Yokoya, "Optimization approaches in computer vision and image processing", Vol.E82-D, No.3 (Mar. 1999)
10. M.Kaneko, O.Hasegawa, "Processing of face images and its applications", IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E82-D, No.3, pp.589-599 (Mar. 1999)

・9 年度

1. 長谷川、森島、金子、"「顔」の情報処理（招待論文）"、電子情報通信学会論文誌、Vol.J80-A, No.8, pp.1231-1249 (Aug.1997)
2. 赤穂、速水、長谷川、吉村、麻生、"EM 法を用いた複数情報源からの概念獲得"、電子情報通信学会論文誌、 Vol.J80-A , No.9, pp.1546-1553 (Sept. 1997)
3. Yoda, K.Sakaue, "Utilization of stereo disparity and optical flow information for human interaction", Inter. Conf. on Computer Vision, ICCV'98, pp.1109–1114 (Jan. 1998)
4. C.Wang, K.Sakaue, "Shape from motion-stereo by integrating partial shapes obtained at optimally selected motion-stereo frames", Proc.of 4th Japan-Korea Joint Workshop on Computer Vision, pp.109-114 (Feb. 1998)

(2)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

1. 興梠正克，蔵田武志，坂上勝彦：`パノラマベースドアノテーション手法 --円筒面・平面への再射影と輝度勾配に着目した位置合わせの安定化," 第 7回画像センシングシンポジウム(SSII2001), pp. 77-82 (2001)
2. 蔵田武志,大隈隆史,興梠正克,坂上勝彦: "ハンドマウス:正規混合分布による色モデルの動的生成と平均値シフトを用いた手の検出と追跡"，第 7 回画像センシングシンポジウム (SSII2001), pp.405-410 (2001)
3. 蔵田武志，大隈隆史，興梠正克, 加藤丈和, 坂上勝彦: "VizWear: ウェアラブルビジョンとディスプレイによる人間中心インタラクション"，高臨場感ディスプレイフォーラム 2001 (2001) (招待講演)
4. 依田育士，坂上勝彦: "顔と手の認識のための HLAC 特徴による多眼多重解像度画像の利用" 電気学会 光・視覚応用研究会 LAV-01-05 pp23-32 (2001.7.19)
5. 佐川浩彦，小泉敦子，竹内勝, 徐明, 坂上勝彦：“頭部動作と手動作の情報を統合した手話文認識システムの開発”，電子情報通信学会福祉情報工学研究会 (2001.8. 23－8.24)
6. 依田育士，坂上勝彦: "ユビキタスステレオビジョンによるヒューマンセンシング”信学会ソサエティ大会, SD-4 (2001.9.18)
7. 坂上勝彦: “ヒューマンセンタードビジョン －人間中心指向の視覚情報技術－ ”，精密工学会知能メカトロニクス専門委員会 第 20 回メカトロニクスフォーラム (2001) (招待講演)
8. 依田育士，坂上勝彦: "ユビキタスステレオビジョンによるヒューマンセンシングとその応用 ” 計測自動制御学会 第 6 回パターン計測シンポジウム (2001.10.12)
9. 坂上勝彦: “ヒューマンセンタードビジョン－人間中心指向の視覚情報技術 ”，日本ファジィ学会 知能システム・ワークショップ (2001.10.19)
10. Takashi Okuma, Takeshi Kurata, and Katsuhiko Sakaue: "VizWear-3D: A Wearable 3-D Annotation System Based on 3-D Object Tracking using a Condensation Algorithm", In Proc. IEEE VR 2002, in Florida, USA (Mar. 2002)
11. 蔵田武志,興梠正克,加藤丈和,大隈隆史,坂上勝彦: "ハンドマウスとその応用： 色情報と輪郭情報に基づく手の検出と追跡"，映情学技報, VIS2001-103, Vol.25, No.85, pp.47-52 (2001)
12. 蔵田武志,興梠正克,遠藤健,坂上勝彦: "ハンドマウスの応用:ユニバーサルリモコンと実環境中の文字情報取得"，インタラクション 2002 (Mar. 2002)
13. 興梠正克,蔵田武志,坂上勝彦: "ウェアラブルシステムのためのビューベースな位置・方位取得手法 －歩数計を用いた広域移動の実現と画像データベースの縮約 －"，信学技報, PRMU (Feb. 2002)

・12 年度

1. 王彩華、坂上勝彦: RWC プロジェクトにおけるコンピュータビジョン研究 「3D モデルを用いた View-based 仮想学習と 3 次元物体の認識」，画像ラボ 2000.4 月号 (April 2000)
2. 中谷広正，佐藤淳，杉山岳弘，馬場口登，増田健，眞鍋佳嗣，八木康史，横矢直和："第 4 回コンピュータビジョン・アジア会議(ACCV2000)報告(A Report on Fourth

Asian Conference on Computer Vision(ACCV2000)," 電子情報通信学会研究報告, PRMU2000-22, pp. 79-86, 名古屋工業大学 (2000.5.12)
3. 興梠正克, 蔵田武志, 坂上勝彦, 村岡洋一: ``パノラマベースドアノテーション -- 全方位センサーによる大量コンテンツ生成の簡便化とジャイロセンサーを用いた注釈提示の安定化 --", 第 6 回画像センシングシンポジウム (SSII2000), pp.381-386, (June, 2000)
4. 大隈隆史, 蔵田武志, 興梠正克, 坂上勝彦:``ウェアラブルビジョンのための実環境画像からの視点位置姿勢実時間推定手法'' 第 6 回画像センシングシンポジウム (SSII2000), pp.255-260 (June, 2000)
5. 大隈隆史, 蔵田武志, 興梠正克, 坂上勝彦:``ウェアラブルビジョンのための実環境画像からの視点位置姿勢実時間推定手法'' 第 6 回画像センシングシンポジウム (SSII2000), pp.255-260 (2000)
6. 蔵田武志, 坂上勝彦, 興梠正克, 村岡洋一:シリーズ: RWC プロジェクトにおけるコンピュータビジョン研究 3`気が利いたウェアラブルビジョンシステムの実現にむけて 状況把握に有効な要素機能の実時間実装",日本工業出版, 画像ラボ 2000 年 6 月号, pp.49-54 (2000)
7. 藤木淳, 蔵田武志:``透視射影に基づくParaperspective モデルの逐次型因子分解法", 第 5 回画像の認識理解シンポジウム (MIRU2000), Vol.1, pp.403-408 (2000)
8. 増田健 :"複数の距離画像の位置あわせと統合による物体の形状モデルの生成 (Generation of Geometric Model by Registration and Integration of Multiple Range Images)," 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2000), 講演論文集 I, pp. 229-234, 長野ビッグハット若里ホール (2000.7.18-7.21)
9. Katsuhiko Sakaue, Takeshi Kurata, and Masakatsu Kourogi: "Adaptive Vision Systems for Real-wolrd Intelligence -- A Wearable Vision System --", In Proc. RWC2000 in Tokyo, Japan, pp.183-186 (2000)
10. 長谷川修 :"マルチモーダル研究の現状と展望－フレーム問題の疑似的解決と実世界知能－", 電子情報通信学会, パターン認識とメディア理解(PRMU)研究会, 招待講演, (2000.11)
11. 徐明, 長谷川修, 栗田多喜夫, 赤穂昭太郎, 坂上勝彦 :"学習による不特定環境下の顔の追跡と向きの推定", 電子情報通信学会, PRMU2000-100 (2000.11)
12. 興梠正克, 蔵田武志, 坂上勝彦, 村岡洋一 :``入力映像とパノラマ画像の射影変換を用いた位置合わせパラメータの高速推定手法 --パノラマベースド注釈提示手法の拡張として--", 信学技報, PRMU2000—153, pp. 47-52 (2001)
13. 大隈隆史, 蔵田武志, 坂上勝彦 : ``対象認識に基づく着用者視点映像への 3次元情報提示'', 信学技報, PRMU2000-154, pp.53-60 (2001)
14. 蔵田武志, 大隈隆史, 興梠正克, 坂上勝彦: ``ハンドマウス : ビジュアルウェアラブルズが可能にする拡張現実環境に適したインターフェイス",信学技報, PRMU2000-156, pp.69-76 (2001)
15. 依田 育士: "ヒューマンインタフェースのためのビジョン技術の展開～画像情報研究からヒューマンセンタードビジョンへ～", 第 3 回電気学会 メディア情報・視覚技術調査専門委員会 (依頼講演) (2001.3.15)

・11 年度
1. 蔵田、興梠、藤木、坂上、"ウェアラブルカメラを用いた高速でロバストな対象物体の 3 次元復元"、 第 13 回人工知能学会全国大会 (JSAI'99),

pp.103-104(Jun.1999)
2. 興梠、蔵田、村岡、"映像からの動き物体の分離・追跡の実時間処理"、第 13 回人工知能学会全国大会（JSAI'99）,pp.105-108 (Jun. 1999)
3. 興梠、蔵田、星野、村岡、"映像からのパノラマ画像の実時間生成と可視化"、第 5 回画像センシングシンポジウム（SII'99）, pp.147-152 (Jun. 1999)
4. 依田、坂上、"高次局所自己相関特徴を使った多眼画像からの顔とその向きの認識"、第 5 回画像センシングシンポジウム(SII'99) (Jun. 1999)
5. 王、坂上、"View-based 仮想学習における 3 次元物体のポーズクラスタリング",電子情報通信学会技術報告、PRMU-98, pp.67-74 (Sep. 1999)
6. 興梠、蔵田、坂上、村岡、"パノラマ画像群を位置合わせに用いた注釈つき映像の実時間提示システム --パノラマベース・アノテーション--"、電子情報通信学会技術報告、PRMU99-64, pp.1-8 (Sep. 1999)
7. 興梠、蔵田、坂上、村岡、"パノラマ画像群を位置合わせに用いたライブ映像上への注釈提示とその実時間システム"、第 5 回知能情報メディアシンポジウム、pp.17-24(Dec.1999)
8. 稲葉、山田、加藤、増田、"複数照明画像のソートによる鋳肌面の観測"、 電気学会、情報処理・産業システム情報化合同研究会(Dec.1999)
9. 坂上、栗田、"繰り返し演算による重なり合った粒子像の分離 --円形分離の改良と楕円への拡張--"、電気学会情報処理/産業システム情報化合同研究会(Dec.1999)
10. 依田育士, 坂上勝彦: RWC プロジェクトにおけるコンピュータビジョン研究 「HI のためのビジョンシステムの展開」, 画像ラボ 2000.1 月号, Vol.11, No.1, pp.54 - 57 (Jan. 2000)
11. 蔵田武志, 興梠正克, 栗田多喜夫, 村岡洋一, 坂上勝彦:``気の利いたウェアラブルビジョンシステムの実現にむけて：顔検出・認識とハンドマウスの実装', 信学技報, PRMU99-270, pp.65-72, (Mar. 2000)
12. 坂上勝彦 :RWC 実世界知能技術 --動画像処理への期待とウェアラブルビジョンシステム--,精密工学会第 1 回動画像処理実利用化ワークショップ, pp.43-48, (2000)

・10 年度

1. 依田育士、坂上勝彦 "高次局所自己相関特徴を使った複数画像からの物体認識" SII'97 第 4回画像センシクングシンポジウム、第4回画像センシクングシンポジウム予稿集、pp.55-60 (June1998)
2. 依田育士、坂上勝彦、"高次局所自己相関特徴を使った多眼多重解像度画像からの物体認識の試み"電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 、電子情報通信学会技術報告 PRMU98, (9), pp. 1-7 (Sep. 1998)
3. 長谷川修、坂上勝彦、速水悟、"学習による実空間中の人物や物体の認識・判別とそのマルチモーダル擬人化エージェントへの応用"、第 4回 画像センシングシンポジウム講演論文集、pp.169-174 (1998)
4. 長谷川修、坂上勝彦、速水悟、"人間型マルチモーダルエージェントによる実世界情報の学習と管理"、電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会、PRMU98-76, pp.25-32 (1998)
5. 曽根崇、長谷川修、坂上勝彦、"部分画像からの物体の認識と切り出し手法の提案"、電気学会 情報処理・産業システム情報化 合同研究会、IP-98-3, pp.13-17(1998)
6. 長谷川修、坂上勝彦、速水悟、"実世界知能のための人間型ソフトウエアロボットの試

作"、第4回知能情報メディアシンポジウム論文集、 pp.69-76 (1998)

7. 長谷川修、"実世界知能を創る "、第4回知能情報メディアシンポジウム論文集、 pp.93-98 (1998)
8. 長谷川、 "マルチモーダル擬人化エージェン トによる実世界知能の研究 "、情報通信A ブレイクスルー基礎研究 21、 Synsophy 研究会、pp87-92 (Jan. 1999)
9. 蔵田、藤木、坂上、 "ロバスト推定を用いた一般アフィン射影モデルの因子分解法 "、電子情報通信学会 PRMU 研究会 (Jan.1999)
10. 蔵田、興梠、藤木、坂上、 "実時間単眼 3D ビジョンシステムの実現にむけて "、3回動画像処理実利用化研究報告会 (Mar. 1999)
11. 長谷川、"顔のインタフェース技術 "、電子情報通信学会 ヒューマンコミュニケーシ ョン技術セミナー (Mar.1999)
12. 王、坂上、"3D モデルを用いた View-based 仮想学習と 3 次元物体の認識"、電子情報通信学会技術報告、PRMU-98, No.678, pp.25-32 (Mar. 1999)
13. 王、坂上、"3D モデルを用いた View-based 仮想学習と物体ポーズの認識 "、1999 年度電子通信学会全国大会講演論文集、D-12-89 (Mar. 1999)

・9 年度

1. 志井田, 長谷川, 坂上, 李(江洪), "計算モデル ATMAN で人間の意識体験を模擬するための考察 ", 日本認知科学会第 14 大会講演予稿集, pp.200-201 (June 1997)
2. 間瀬, 長谷川, "ディベート:「仮想ネッ トワ ーク社会に自律擬人化エージェン トは必要か」の主旨と論点 ", 情報処理学会研究報告, 97-HI-73-7, pp.37-41 (July 1997)
3. T.Shiida, O.Hasegawa, J.Li, "A consideration on an event memory", Proc. Int'l Conf. on Cognitive Science '97, pp307-308 (Aug. 1997)
4. 速水, 長谷川, 赤穂, 坂上, 吉村, 長屋, 遠藤, 中沢, 坂本, 外川, 山本, "身振り発話のマルチモーダルデータベース ", 電子情報通信学会技術報告, PRMU97-95, pp.1-8 (Sept. 1997)
5. 吉村, 速水, 伊藤(克亘), 長谷川, 田中, "ノンバーバル情報を導入した音声 ・画像統合対話システムでの初期データ収録 ", 日本音響学会講演論文集, pp.105-106 (Sept. 1997)
6. S.Nobe, S.Hayamizu, O.Hasegawa, H.Takahashi, "Are listeners/users paying attention to the hand gestures of anthropomorphic agents? : An evaluation using a gaze tracking method", Bielefeld Gesture Workshop 1997 (Sept. 1997)
7. T.Kurita, Y.Kobayashi, T.Mishima "Higher order local autocorrelation features of PARCOR images for gesture recognition", International Conf. on Image Processing (Oct. 1997)
8. 速水, 長谷川, 赤穂, 坂上, 吉村, 長屋, 遠藤, 中沢, 坂本, 外川, 山本, "RWC マルチモーダルデータベース ", 第3回知能情報メディアシンポジウム講演予稿集 , pp.245-252 (Dec. 1997)
9. 長谷川,“ 生体の視覚に学ぶコンピュータビジ ョン”, 情報処理 vol.39, No.2, pp.133-138 (Feb. 1998)
10. 長谷川, 速水, 坂上,“ 実空間中の人物や物体を認識して対話するマルチモーダル 擬人化エージェン ト” 情報処理学会全国大会講演論文集, 4 分冊, pp.4-26, 27 (Mar. 1998)

（3）特許出願リスト

・ 13年度
　2件

（4）著作物リスト

　なし

A-1-9. 音声と画像の統合による対話の研究（RWCセンター情報統合対話ラボ）

(1)査読論文リスト

・13 年度

1 M. Goto, “A Predominant-F0 Estimation Method for CD Recordings: MAP Estimation using EM Algorithm for Adaptive Tone Models”, Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, AUDIO-L3.1 (May 2001)

2 M. Goto, K. Itou, T. Akiba, S. Hayamizu, “Speech Completion: New Speech Interface with On-demand Completion Assistance”, Proc. of the 9-th International Conference on Human-Computer Interaction, HCI International 2001 (Aug. 2001)

3 T. Akiba and K. Itou, “A Structured Statistical Language Model conditioned by Arbitrarily Abstracted Grammatical Categories based on GLR parsing”, Eurospeech 2001 (Sep. 2001)

4 M. Goto, “A Predominant-F0 Estimation Method for Real-world Musical Audio Signals: MAP Estimation for Incorporating Prior Knowledge about F0s and Tone Models”, Proceedings of CRAC-2001 (Workshop on Consistent & Reliable Acoustic Cues for Sound Analysis), (Sep. 2001)

5 M. Hamanaka, M. Goto, N. Otsu, “Learning-Based Jam Session System for a Guitar Trio”, Proceedings of the 2001 International Computer Music Conference, pp.467-470 (Sep. 2001)

6 尾本，後藤，伊藤，小林，“音声シフト: 音高を利用した新たな音声入力インタフェース”，インタラクティブシステムとソフトウェアIX日本ソフトウェア科学会WISS 2001，暦本 純一 (編), pp.17-26，近代科学社, (Dec. 2001)

7 後藤，根山，“Open RemoteGIG: 遅延を考慮した不特定多数による遠隔セッションシステム”，情報処理学会論文誌, Vol.43, No.2 (Feb. 2002)

8 浜中，後藤，麻生，大津，“発音時刻の楽譜上の位置を確率モデルにより推定するクォンタイズ手法”，情報処理学会論文誌, Vol.43, No.2 (Feb. 2002)

・12 年度

1 M.Goto,“A Robust predominant-F0 Estimation Method for Real-time Detection of Melody and Bass Lines in CD Recordings”, Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, pp.II-757-760(Jun. 2000)

2 T.Akiba, K.Itou, “Semi-automatic language model acquisition without large corpora”, Proceedings of International Conference on Spoken Language Processing, ICSLP-2000, Vol.4, pp.49-52 (Oct. 2000)

3 S.Nakamura, K.Watanuki, T.Takezawa, S. Hayamizu, “Multimodal corpora for human-machine interaction research”, Proceedings of the International Conference of Spoken Language Processing, ICSLP-2000,Vol-4, pp.25-28 (Oct. 2000)

4 後藤，伊藤，速水，“自然発話中の有声休止箇所のリアルタイム検出システム”，電子情報通信学会論文誌, Vol.J83-D-II, No.11, pp.2330-2340(Nov. 2000)

5 伊藤，速水，田中，“単語発声の複数サンプルを利用した未知語の音韻系列の推定”，電子情報通信学会論文誌, Vol.J83-D-II, No.11, pp.2152-2159(Nov. 2000)

6 後藤,伊藤,秋葉,速水,“音声補完：音声入力インタフェースへの新しいモダリティの導入”,インタラクティブシステムとソフトウエアVIII日本ソフトウエア科学会WISS2000,

Workshop on Interactive Systems and Software 2000, pp.153-162 (Dec. 2000)
7 後藤，“音楽音響信号を対象としたメロディーとベースの音高推定”，電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-D-II, No.1, pp.12-22(Jan. 2001)

・11 年度

1. 後藤、日高、松本、黒田、村岡、"仮想ジャズセッションシステム :VirJa Session"，情報処理学会論文誌、Vol.40, No.4, pp.1910-1921 (Apr. 1999)
2. 園田、後藤、村岡、"WWW 上での歌声による曲検索システム"、電子情報通信学会論文誌、D-Ⅱ, Vol.J82-D-Ⅱ, No.4, pp.721-731 (Apr.1999)
3. M.Goto, Y.Muraoka, "Real-time beat tracking for drumless audio signals: Chord change detection for musical decisions", Speech Communication, Vol.27, No.3-4, pp.311-335 (Apr. 1999)
4. K.Itou, T.Akiba, O.Hasegawa, S.Hayamizu, K.Tanaka, "A Japanese spontaneous speech corpus collected using automatically inferencing Wizard of OZ system", Journal of Acoustical Society of Japan (E), Vol.20, No.3, pp.207-214 (May 1999)
5. M.Goto, S.Hayamizu, "A real-time music scene description system: Detecting melody and bass lines in audio signals", Working Notes of the IJCAI-99 Workshop on Computational Auditory Scene Analysis, pp.31-40 (Aug. 1999)
6. S.Hayamizu, S.Nagaya, K.Watanuki, M.Nakazawa, S.Nobe, T.Yoshimura, "A multimodal database of gestures and speech", Proceedings of the 6th European Conference on Speech Communicational Technology, pp.2247-2250 (Sep. 1999)
7. M.Goto, K.Itou, S.Hayamizu, "A real-time filled pause detection system for spontaneous speech recognition", Proceedings of the 6th European Conference on Speech Communicational Technology, pp.227-230 (Sep. 1999)
8. 長谷川、坂上、速水、"実世界視覚情報を対話的に学習・管理する人間型ソフトウェアロボット"、 電子情報通信学会論文誌、D-Ⅱ,Vol.J82-D-Ⅱ,No.10,pp.1666-1674(Oct. 1999)
9. O.Hasegawa, K. Sakaue, S. Hayamizu, "Interactive learning and management of visual information via human-like software robot", New Generation Computing, Vol.18, No.2, pp.103-116 (Feb. 2000)
10. S. Nobe, S. Hayamizu, O. Hasegawa, H. Takahshi, "Hand gestures of an anthropomorphic agent: listeners' eye fixation and comprehension", Cognitive studies, Vol.7, No.1, pp.86-92 (Mar. 2000)

・10 年度

1. T.Kurita, S.Hayamizu, "Gesture recognition using HLAC features of PARCOR images and HMM based recognizer", Proc.of International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp.422-427 (Apr. 1998)
2. A.Ichikawa, M.Araki, M.Ishizaki, S.Itahashi, T.Itoh, H.Kashioka, K.Kato, H.Kikuchi, T.Kumagai, A.Kurematsu, H.Koiso, M.Tamoto, S.Tutiya, S.Nakazato, Y.Horikuchi, K.Maekawa, Y.Yamashita, T.Yoshimura, "Standardising annotation

schemes for Japanese Discourse", Proceedings of the first International Conference on Language Resources and Evaluation (May 1998)

3. M.Goto, Y.Muraoka, "An audio-based real-time beat tracking system and its applications", Proceedings of the 1998 International Computer Music Conference, pp.17-20 (Oct. 1998)
4. T.Sonoda, M.Goto, Y.Muraoka, "A WWW-based melody retrieval system", Proceedings of the 1998 International Computer Music Conference, pp.349-352 (Oct. 1998)
5. F.Asano, "Speech enhancement using array signal processing with 4th-order cumulant", Proceedings of the International Conference of Signal Processing, pp.415-418 (Oct. 1998)
6. 後藤、根山、村岡、"RMCP:遠隔音楽制御用プロトコルを中心とした音楽情報処理"、情報処理学会論文誌、Vol.40, No.3, pp.1335-1345 (Mar. 1999)
7. F.Asano, Y.Suzuki, D.C.Swanson, "Optimization of control source configuration in active control systems using gram-schmidt orthogonalization", IEEE Transaction on Speech and Audio Processing, Vol.7, No.2, pp.213-220 (Mar. 1999)

・9 年度

1. 長谷川、森島、金子、" 顔」の情報処理 (招待論文)"、電子情報通信学会論文誌、Vol.J80-A, No.8, pp.1231-1249 (Aug. 1997)
2. O.Hasegawa, K.Sakaue, "A CG tool for constructing anthropomorphic interface agent", Proceednigs of Animated Interface Agents, IJCAI-97 W5, pp.23-26 (Aug. 1997)
3. T.Shiida, O.Hasegawa, J.Li, "A consideration on an event memory", Proc. Int'l Conf. on Cognitive Science '97, pp307-308 (Aug. 1997)
4. 赤穂、速水、長谷川、吉村、麻生、"EM 法を用いた複数情報源からの概念獲得"、電子情報通信学会論文誌、Vol.J80-A , No.9, pp.1546-1553 (Sept. 1997)

(ロ)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

1. 秋葉, 伊藤, "LR 表縮退法の提案と自然言語処理および音声認識への応用", 電子情報通信学会技術研究報告 言語理解とコミュニケーション研究会, pp.21-28 (May 2001)
2. 北原, 後藤, 奥乃, "音高による音色変化に着目した音源同定手法", 情報処理学会 音楽情報科学研究会 研究報告 2001-MUS-40-2, Vol.2001, No.45, pp.7-14 (May 2001)
3. 浜中, 後藤, 麻生, 大津, "学習に基づくクォンタイズ: 発音時刻の楽譜上の位置の推定", 情報処理学会 音楽情報科学研究会 研究報告 2001-MUS-40-4, Vol.2001, No.45, pp.21-28 (May 2001)
4. 平田, 後藤, "音楽システムを考える", 情報処理学会 音楽情報科学研究会 研究報告 2001-MUS-40-8 Vol.2001, No.45, pp.47-54 (May 2001)
5. M. Hamanaka, M. Goto, H. Asoh, N. Otsu, "A Learning-Based Quantization: Estimation of Onset Times in a Musical Score", Proceedings of the 5th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (Jul. 2001)
6. 秋葉, "音声、言語、対話における知識と確率の統合 - 音声対話における事例研究 -", ベイジアンネット チュートリアル BN2001 (Jul. 2001)

7. 秋葉, 伊藤, 大平, 田中, “LR 表を利用した構造的確率言語モデル - 自然発話コーパスによる評価 ”日本音響学会講演論文集, 秋季 (Oct. 2001)
8 後藤, 橋口, 西村, 岡, “RWC 研究用音楽データベース: ポピュラー音楽データベースと著作権切れ音楽データベース ”, 情報処理学会 音楽情報科学研究会 研究報告 2001-MUS-42-6, Vol.2001, No.103, pp.35-42 (Oct. 2001)
9 後藤, 橋口, 西村, 岡, “RWC 研究用音楽データベース: クラシック音楽データベースとジャズ音楽データベース ”, 情報処理学会 音楽情報科学研究会 研究報告 2002-MUS-44-5, Vol.2002 (Feb. 2002)
10 尾本, 後藤, 伊藤, 小林, “音声シフト: "SHIFT" on Speech ”, 情報処理学会 音声言語情報処理 研究報告 2002-SLP-40-3, Vol.2002 (Feb. 2002)
11 後藤, 伊藤, 速水, “音声補完の評価 ”, 情報処理学会 音声言語情報処理 研究報告 2002-SLP-40-4, Vol.2002 (Feb. 2002)
12 後藤, 伊藤, 速水, “音声補完: 単語補完機能の評価 ”, 日本音響学会 2002 年春季研究発表会 講演論文集, 3-5-3, (Mar. 2002)
13 後藤, 橋口, 西村, 岡, “RWC 研究用音楽データベース: ポピュラー音楽データベースと著作権切れ音楽データベース ”, 日本音響学会 2002 年春季研究発表会 講演論文集, 2-6-7, (Mar. 2002)

•12 年度
1 矢部, 岡, 速水, 吉村, 桜井, 野辺, 向井, 山下, “ジェスチャ認識システム評価用ジェスチャデータベースの開発 ”, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU2000-47, pp.45-50 (Jul. 2000)
2 後藤,伊藤,速水, “音声補完 :"TAB" on Speech ”,情報処理学会 音声言語情報処理研究会研究報告,2000-SLP-32-16,Vol.2000,No.64,pp.81-86 (Jul. 2000)
3 後藤,伊藤,速水, “音声補完 :単語補完ができる新たな音声入力インタフェース ”, 日本音響学会 2000 年秋季研究発表会講演論文集, 2-Q-10, pp.109-110 (Sep. 2000)
4 浜中,後藤, “なりかわりセッションシステム---人間の演奏者の振る舞いを学習した仮想演奏者との共演-- ”,第 11 回感性評価構造モデル構築特別プロジェクト研究会報告 (Sep. 2000)
5 後藤, “ リアルタイム音楽情景記述システム :全体構想と音高推定手法の拡張 ”,情報処理学会 音楽情報科学研究会研究報告, 2000-MUS-37-2, Vol.2000, No.94, pp.9-16 (Oct. 2000)
6 長谷川, “マルチモーダル研究の現状と展望---フレーム問題の擬似的解決と実世界知能--- ”,電子情報通信学会技術研究報告 PRMU,PRMU2000-106,pp.47-52(Nov. 2000)
7 R.Curtis(著), 青柳, 小坂, 平田, 堀内 (訳 •監修), 後藤, 引地, 平野, 松島(訳), “コンピュータ音楽 — 歴史 •テクノロジー •アート —”, 東京電機大学出版局 (Jan. 2001)
8 西村, 滝田, 後藤, 岡, “類似メロディー区間検出による音楽時系列検索の高速化 ”, 情報処理学会 音楽情報科学研究会 研究報告, 2000-MUS-39-10, Vol.2001, No.16, pp.63-70 (Feb. 2001)
9 北原, 後藤, 奥乃, “楽器音オントロジー作成のための楽器音特徴抽出 ”, 情報処理学会 第 62 回全国大会 講演論文集, 4M-5 (Mar. 2001)
10 後藤, 伊藤, 秋葉, 速水, “音声補完: 音声ワイルドカード補完機能の実現 ”, 日本音響学会 2001 年春季研究発表会 講演論文集, 3-8-2, pp.141-142 (Mar. 2001)

11 秋葉, 伊藤, “正準 LR 表を用いた文脈自由文法の perplexity 計算法の提案と評価 ”, 日本音響学会講演論文集, 春季, pp.85-86 (Mar. 2001)

・11 年度

1. 麻生、"化学反応過程と自然言語理解過程とのアナロジー"、意味と理解研究会 (May 1999)
2. 後藤、伊藤、速水、"自然発話中の言い淀み箇所の リアルタイム検出システム"、情報処理学会音声言語情報処理研究会研究報告、99-SLP-27-2, Vol.99, No.64, pp.9-16 (Jul. 1999)
3. 後藤、"実世界の音楽音響信号を対象としたメロディーとベースの音高推定"、情報処理学界音楽情報科学研究会研究報告、99-MUS-31-16,Vol.99,No.68,pp.91-98 (Aug. 1999)
4. 後藤、"伴奏システムとセッションシステム"、人工知能学会誌、Vol.14,No.5, pp.914 (Sep. 1999)
5. 後藤、伊藤、速水、"自発的な発話中の言い淀み (有声休止) 箇所の リアルタイム検出 "、日本音響学会 1999 年秋季研究発表会講演論文集、3-1-5,pp.105-106 (Oct. 1999)
6. M.Goto, "Music scene description: A predominant-F0 estimation method for detecting melody and bass lines", 人工知能学会 AI チャレンジ研究会、SIG-Challenge-9907-8, pp.45-52 (Nov. 1999)
7. M. Goto, "A real-time filled pause detection system: toward spontaneous speech dialogue", 2000 RWC Symposium Proceedings, TR-99-002, pp.187-192 (Jan. 2000)
8. 浜中、後藤、大津、"学習するセッションシステム :演奏者の振る舞いのモデルの獲得"、情報処理学会音楽情報科学研究会研究報告、2000-MUS-34-5,Vol.2000, No.19, pp.27-34 (Feb. 2000)
9. 後藤、"音楽情報処理"、音は心で音楽になる [音楽心理学への招待]、pp.48-50 (Mar. 2000)
10. 千田、伊藤、後藤、"道案内 WOZ システムとの対話における言い淀み表現の分析"、言語処理学会第 6回年次大会発表論文集、pp.344-347(Mar.2000)
11. 後藤、伊藤、速水、"有声休止箇所の リアルタイム検出システムの評価"、日本音響学会 2000 年春季研究発表会講演論文集、3-8-8,pp.81-82(Mar.2000)
12. 吉村、"対話音声のノンバーバル情報と発話行為との関連についての一考察"、日本音響学会 2000 年春季研究発表会講演論文集、3-8-9, pp.83-84 (Mar. 2000)

・10 年度

1. M.Goto, Y.Muraoka, "Musical understanding at the beat level:Real-time beat tracking for audio signals", Computational Auditory Scene Analysis (Lawrence Erlbaum Associates, Publishers), pp.157-176, ISBN0-8058-2283-6(June1998)
2. T.Nakatani, H.Okuno, M.Goto, T.Ito, "Multiagent based binaural sound stream segregation", Computational Auditory Scene Analysis (Lawrence Erlbaum Associates, Publishers), pp.195-214, ISBN0-8058-2283-6 (June1998)
3. 後藤、根山、"不特定多数による遅延を考慮した遠隔セッションシステム"、情報処理学

会音楽情報科学研究会研究報告、Vol.98, No.74, pp.95-102(Aug. 1998)

4. 後藤、"拍節認識(ビートトラッキング)"、bit 別冊コンピュータと音楽の世界---基礎からフロンティアまで---、pp.100-116(Aug. 1998)
5. 後藤、"ネットワークを利用した音楽情報処理システム"、bit 別冊コンピュータと音楽の世界---基礎からフロンティアまで---、pp.357-369(Aug. 1998)
6. 後藤、"音楽とCG を中心としたマルチモーダルインタラクション"、視聴覚情報研究会(AVIRG) (Sep. 1998)
7. 秋葉、伊藤、"スクリプト言語を用いたマルチモーダル対話記述の試み"、情報処理学会音声言語情報処理研究会 (Oct. 1998)
8. 後藤、"音楽音響信号を対象としたリアルタイムビートトラッキング"、人工知能学会研究会資料 AI チャレンジ研究会、SIG-Challenge-9801-2, pp.7-14 (Nov.1998)
9. 後藤、"音楽音響信号を対象としたリアルタイムビートトラッキング"、平成 10 年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集、S12-2, pp.S65 (Nov. 1998)
10. 後藤、"音楽とCG を中心としたマルチモーダルインタラクション"、JSTERATO 北野共生システムプロジェクト共生系知能グループセミナー (Dec. 1998)
11. 吉村、速水、"ノンバーバル情報を導入した音声・画像統合対話システムでの初期収録データ解析"、日本音響学会平成 11 年度春季研究発表会,2-1-19,pp.93-94(Mar.1999)
12. 根山、後藤、園田、村岡、"拡張性の高い Java マルチユーザ・フレームワークMug"、情報処理学会第 58 回全国大会講演論文集、5M-05(Mar.1999)
13. 園田、根山、後藤、村岡、"仮想空間中のマルチユーザ環境を利用した WWW 上での曲検索システム---歌声とテキストを入力とした検索---"、情報処理学会第 58 回全国大会講演論文集、5T-06 (Mar. 1999)

・9 年度

1. 荒木、市川、青柳、石崎、伊藤(敏彦)、柏岡、熊谷、小磯、田本、土屋、中里、堀内、前川、村上、山下、吉村、"談話タグワーキンググループ活動報告"、人工知能学会研究会資料、SIG-SLUD-9701-6 (6/6), pp.31-36 (June 1997)
2. 志井田、長谷川、坂上、李(江洪)、"計算モデル ATMAN で人間の意識体験を模擬するための考察"、日本認知科学会第 14大会講演予稿集、pp.200-201 (June 1997)
3. 間瀬、長谷川、"ディベート:「仮想ネットワーク社会に自律擬人化エージェントは必要か」の主旨と論点"、情報処理学会研究報告、97-HI-73-7, pp.37-41(July 1997)
4. 秋葉、神嶌、伊藤(克亘)、"マルチモーダル対話記述用スクリプトとその処理系"、日本音響学会講演論文集、 pp.179-180(Sept. 1997)
5. 速水、長谷川、赤穂、坂上、吉村、長屋、遠藤、中沢、坂本、外川、山本、"身振りと発話のマルチモーダルデータベース"、電子情報通信学会技術報告、PRMU97-95, pp.1-8 (Sept.1997)
6. 吉村、速水、伊藤(克亘)、長谷川、田中、"ノンバーバル情報を導入した音声・画像統合対話システムでの初期データ収録"、日本音響学会講演論文集、pp.105-106 (Sept.1997)
7. S.Nobe, S.Hayamizu, O.Hasegawa, H.Takahashi, "Are listeners/users paying attention to the hand gestures of anthropomorphic agents? : An evaluation using a gaze tracking method", Bielefeld Gesture Workshop 1997 (Sept.1997)
8. 赤穂、"信頼度の学習によるマルチモーダル識別器の統合について"、人工知能学会研究会資料、SIG-CII-9710, pp.15-19 (Oct.1997)

9. 河原、李 (晃伸)、伊藤 (克亘)、伊藤 (彰則)、宇都呂、小林、清水、田本、荒井、峯松、山本、竹沢、武田、松岡、鹿野、"大語彙日本語連続音声認識研究基盤の整備-評価用連続音声認識プログラムの開発"、 情報処理学会研究報告、 Vol.97, No.101, pp.1-6 (Oct. 1997)
10. 伊藤 (克亘)、伊藤 (彰則)、宇都呂、河原、小林、清水、田本、荒井、峯松、山本、竹沢、武田、松岡、鹿野、"大語彙日本語連続音声認識研究基盤の整備-学習・評価テキストコーパスの作成"、情報処理学会研究報告、Vol.97, No.101, pp.7-12 (Oct.1997)
11. 武田、峯松、伊藤 (彰則)、伊藤 (克亘)、宇都呂、河原、小林、清水、田本、荒井、山本、竹沢、松岡、鹿野、"大語彙日本語連続音声認識研究基盤の整備-汎用音素モデルの作成"、情報処理学会研究報告、Vol.97, No.101, pp.13-18 (Oct.1997)
12. T.Kurita, Y.Kobayashi, T.Mishima "Higher order local autocorrelation features of PARCOR images for gesture recognition", International Conf. on Image Processing (Oct. 1997)
13. 速水、長谷川、赤穂、坂上、吉村、長屋、遠藤、中沢、坂本、外川、山本、"RWC マルチモーダルデータベース"、第 3回知能情報メディアシンポジウム講演予稿集、pp.245-252 (Dec.1997)
14. 秋葉，神嶌，伊藤，"時間関係と対話性を考慮したマルチモーダル対話記述用スクリプト"、 電子情報通信学会技術報告、NLC97-53, pp.71-78 (Dec.1997)
15. 伊藤、秋葉、岡登、河原、"日本語対話処理研究に必要なもの "、情報処理学会第 20回音声言語情報処理研究会、 SLP20-8, pp.47-50(Feb. 1998)
16. 速水、竹澤、"マルチモーダル情報統合システムの研究動向"、人工知能学会誌、Vol.13, No.2, pp.206-211 (Mar1998)
17. 伊藤、田中、山本、踊堂、鹿野、"音声認識用統計的言語モデルのための形態素解析済みテキストの後処理"、日本音響学会平成 10 年度春季研究発表会、1-6-12, pp.27-28 (Mar1998)

(3)特許出願リスト

(4)著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-2. 自律学習機能領域

A-2-1. 移動エージェントを用いた自律学習機能（自律学習機能富士通研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【R-01-068】山川宏，宮本祐司，馬場孝之，岡田浩之：(2001)．" 認知距離学習による問題解決器の実行時探索削減の評価と学習プロセスの解析"，人工知能学会誌，17(1)，2002.

【R-01-069】馬場孝之，山川宏，岡田浩之：(2001)．" カード分類課題に対するmatchable 状況分解を用いた概念獲得"，日本認知科学会論文誌，（印刷中）.

【R-01-008】Takayuki. Baba, Hiroshi Yamakawa, Hiroyuki Okada：(2001). "A concept acquisition using the matchable situation decomposition method for card classification problems", The Third International Conference on Cognitive Science (ICCS2001), pp. 317.

【R-01-012】Hiroshi Yamakawa, Yuji Miyamoto, Hiroyuki Okada：(2001). "Comparison the learning processes of cognitive distance learning and search based agent", 6th International Work-Conference on Artificial and Natural Neural Networks (IWANN2001), pages 378--385.

【R-01-010】Hiroyuki Okada, Hiroshi Yamakawa, Takashi Omori：(2001). "Two dimensional evaluation reinforcement learning", 6th International Work-Conference on Artificial and Natural Neural Networks (IWANN2001), pp. 370--377.

【R-01-114】山川宏，宮本裕司，馬場孝之，岡田浩之：(2001)．" 自律学習におけるCITTA による部分知識の結合"，In Proc. MACC2001.

・12 年度

【R-00-026】 Hiroshi Yamakawa, Hiroyuki Okada：(2000). "Prediction in Complex Situation Problem by Situation Recognition Mechanism with Automatically Extracted Situations", Proc. The 4th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics SCI 2000, Vol. 10, pp. 191-196, 2000

【R-00-105】 山川宏、岡田浩之、馬場孝之："認知距離を用いた問題解決器の提案"、Proc. MACC2000, 2000

【R-00-145】 岡田浩之、山川宏、大森隆司："環境同定と報酬獲得のトレードオフを解消する -報酬・嫌悪の二次元評価強化学習の提案-"、日本ロボット学会論文誌（印刷中）

【R-00-146】 山川宏、岡田浩之："認知距離学習による問題解決器の実行時探索削減の評価と学習プロセスの解析"、人工知能学会誌、査読中

【R-00-144】 山川宏、岡田浩之："Matchability 基準とその基準を用いて規則性を持つ部分状況を抽出する状況分解手法の提案"、人工知能学会誌、査読中

【R-00-033】 岡田浩之、山川宏、馬場孝之："Matchable 状況分解に基づく強い予測性を持つ認知モデルの獲得"、日本認知科学会第 17 回大会（JCSS 2000）予稿集、P1-27, pp. 108-109, 2000.

【R-00-034】 馬場孝之、岡田浩之、山川宏："カード分類課題におけるMatchable 状

況分解による概念獲得"、日本認知科学会第 17 回大会（JCSS 2000）予稿集、 P2-26, pp. 180-181, 2000.

・11 年度

【R-99-163】 山川宏、岡田浩之、渡部信雄 :規則性を持つ部分データを抽出するアルゴリズムの提案、1999 年度情報論的学習理論ワークショップ予稿集、p.75-80,1999.

【R-99-164】 岡田浩之、山川宏、大森隆司: 環境同定と報酬獲得のトレードオフを解消する報酬・嫌悪の二次元評価強化学習の提案、日本ロボット学会論文誌，査読中）

【R-99-165】 伊藤修(東京農工大学)、大森隆司、岡田浩之、山川宏:"Multi-module reinforcement learning with situation decomposition algorithm", International Symposium of Artificial Life and Robotics, pp.657-661,2000.

・10 年度

【R-98-070】 山川宏、岡田浩之、渡部信雄 :"一般化状態における協調と競合のためのエージェント内部機構", 第 7 回マルチエージェントと協調計算ワークショップ (MACC98), 1998.

【R-98-004】 Hiroshi Yamakawa (RWC), " Proposing Matchability Criterion for Situation Decomposition - Extracting situations each of which contains a rule -", Proc. Int. 1998 Conf. on Neural Information Processing (ICONIP'98), vol.3, pp.514-517, 1998.

・9 年度

【R-97-064】 山川宏(新情報処理開発機構)、高橋裕信(新情報処理開発機構)、末広尚士(電子技術総合研究所) :"学習のためのマルチエージェントシステムとその入札機構",第 6 回マルチ・エージェントと協調計算ワークショップ（MACC'97）, Vol. F7, No. 8, 1997.

【R-97-063】 岡田浩之（新情報処理開発機構)、萩原由香里（東京農工大学）、大森隆司（東京農工大学）、仁木和久(電子技術総合研究所) :"ネットワーク分散型移動ロボット実験システム",第 3 回ロボティクス・シンポジア予稿集, pp.155-162,1997

(2)その他論文一覧（口頭を含む）

・13 年度

【R-01-046】 山川宏、馬場孝之、岡田浩之,"情報選択における Matchable 原理",第 16 回生態・生理工学シンポジウム（BPES2001）,2001.6.13

【R-01-013】 山川宏、馬場孝之、岡田浩之、宮本裕司,"認知距離学習による問題解決器の階層化", 2001 年度人工知能学会全国大会（第 15 回）, 2001.4.24

・12 年度

【R-99-183】 岡田浩之, 山川宏, 大森隆司 :"行動学習における負の強化の検討", 信学技報, NC99-100, pp. 55-62, 20002000.

【R-99-185】 山川宏, 益岡竜介, 岡田浩之 :"階層型ニューラルネットワークを用いて任意の確率密度関数を学習する乱数発生器", 信学技報, NC99-153, pp. 23-30, 2000

【R-99-184】 伊藤 修, 岡田浩之, 山川宏, 大森隆司 :"Matchable 状況分解に基づく

Multi-module 強化学習による移動ロボットの経路探索", 信学技報, NC99-99, pp. 47-54, 2000

【R-00-036】 山川宏, 岡田浩之, 馬場孝之 :"状況分解に用いる Matchability 基準の相互情報量からの検討", 第 23 回日本神経科学大会 ・第 10 回日本神経回路学会 合同大会 予稿集, P-157, 2000

【R-00-054】 馬場孝之, 岡田浩之, 山川宏 :"カード分類課題における Matchable 状況分解を用いた概念獲得", 第 23 回日本神経科学大会 ・第 10 回日本神経回路学会 合同大会 予稿集, P-153, 2000

【R-00-053】 岡田浩之, 山川宏, 馬場孝之 :"Matchable 状況分解を利用したマルチモジュールニューラルネットワークの自動生成", 第 23 回日本神経科学大会 ・第 10 回日本神経回路学会 合同大会 予稿集, P-631, 2000

【R-00-034】 馬場孝之, 岡田浩之, 山川宏 :"カード分類課題における Matchable 状況分解による概念獲得", 日本認知科学会第 17 回大会 (JCSS 2000) 予稿集, P2-26, pp. 180-181, 2000

【R-00-033】 岡田浩之, 山川宏, 馬場孝之 :"Matchable 状況分解に基づく強い予測性を持つ認知モデルの獲得", 日本認知科学会第 17 回大会 (JCSS 2000) 予稿集, P1-27, pp. 108-109, 2000

【R-00-035】 山川 宏, 岡田 浩之, 伊藤 修, 大森 隆司 : (2000). "Matchable 状況分解の Multi-Module 強化学習への適用", 2000 年度人工知能学会全国大会 予稿集, S3-01, pp. (66)-(67) , 2000

・11 年度

【R-99-121】 渡部信雄、岡田浩之、山川宏、毛利友治 : "自律学習のための状況分解アルゴリズム", 2000RWC シンポジウム,2000.

【R-99-161】 岡田浩之、山川宏、大森隆司: "刺激と報酬の連合のリセットに関わる脳内機構 ～前頭葉損傷患者の固執性の検討から～ ", 第 2 回認知科学国際会議 (CCS'99), 1999.

【R-99-162】 岡田浩之、山川宏、大森隆司 : "注意の切り替えを学習する神経回路～前頭葉損傷患者の固執性の検討から～ ", 第 22 回日本神経科学大会,1999.

・10 年度

【R-98-040】 山川宏、岡田浩之、渡部信雄、毛利友治 :"移動ロボットにおける赤外線センサを用いた状況の抽出 Matchability 基準に基づく状況分解の移動ロボットへの応用 -",第 16 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ'98),Vol.2 pp.647-648, (2I21), 1998.

【R-98-039】 山川宏、岡田浩之、渡部信雄 : "改良モアレ法による非接触式三次元距離測定装置", 第 16 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ'98), Vol.1 pp.155-156, (1E12), 1998.

【R-98-015】 山川宏、岡田浩之、渡部信雄、松尾和洋 :"実世界で自律学習を行うための分散知能アーキテクチャ -CITTA-",1998 年度人工知能学会全国大会(第 12 回)(JSAI-98), 2 -02, pp. 455-456, 1998.

【TR-98001】 山川宏、岡田浩之、渡部信雄、松尾和洋 :"実世界において自律学習する分散知能アーキテクチャ", 1998 Real World Computing Symposium (RWC'98), pp.253-258,1998.

・9 年度

【R-97-033】 末広尚士(電子技術総合研究所)、高橋裕信(新情報処理開発機構)、山

川宏(新情報処理開発機構) :"エージェントネットワークによる手渡しロボットシステムの構築"、第 15 回日本ロボット学会学術講演会予稿集、Vol.2, pp.373-374, 1997.

【R-97-117】 岡田浩之(新情報処理開発機構)、山川宏(新情報処理開発機構)、渡部信雄(新情報処理開発機構)、松尾和洋(新情報処理開発機構) :"注意のモデルと強化学習-前頭葉-大脳基底核における注意の学習メカニズム-"、人工知能学会第 2 種研究会「情報統合(SIG-CII)」、1997.

(6)特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

RWC 整理番号　2000R-004
発明考案の名称　マルチモジュール型強化学習方法及び装置並びにプログラム記録媒体
発明者　岡田浩之、山川宏、渡部信雄、毛利友治
出願日　平 12.6.23
出願番号　2000-189034
出願人　富士通株式会社
分類番号　G06N-1/00
(概要)

本発明は、最適なモジュールを自動的に構築できるようにすることで、マルチモジュール型強化学習を高精度かつ効率的に実行できるようにする新たなマルチモジュール型強化学習方法の提案を目的とする。
特徴量とイベントとのマトリックスとして定義される全体状況に含まれる部分状況を順次選択し、規定の評価関数に従って、その部分状況の規則性を評価することで、再利用性の高い複数の部分状況を特定する第 1の処理過程と、第 1の処理過程で特定された部分状況に対応付けて、強化学習に用いる複数のモジュールを生成する第 2 の処理過程と第 2 の処理過程で生成された複数のモジュールを使って強化学習を行う第 3の処理過程とを備えるように構成する。

RWC 整理番号　2000R-014
発明考案の名称　問題解決器、及び記録媒体
発明者　山川宏、岡田浩之、馬場孝之
出願日　平 12.11.20
出願番号　2000-352343
出願人　富士通株式会社
分類番号　G06F-9/44
(概要)

問題空間中で初期状態から目的状態へ至る行動系列を生成する問題解決器において、任意の状態間の行動によって結びつけられた距離(認知距離)を用いることで、実行時の行動決定の計算コストを小さくする。

・11 年度

RWC 整理番号　99R-004

発明考案の名称　実世界情報データベース構築方法及び装置と自律移動走行体学習方法
発明者　　岡田浩之、山川宏、渡部信雄、毛利友治
出願日　　平 11.8.27
出願番号　　特願平 11-240686
出願人　　富士通株式会社、技術研究組合　新情報処理開発機構
（概要）
実世界の多様性に富んだ環境におけるシミュレーションを実現する手段として予め測定したデータをデータベース化し再利用する手段が提案されている。
しかし、上記従来例では環境の変化への対応に困難な点が存在する。従来例では予め測定したセンサデータを利用するため、測定時の環境に関する実験は可能だが、明るさやレイアウトが変化するオフィスでの経路探索といった
環境の変化に依存するような課題を実験することが出来ない。
本発明では、環境の変化に対応するために、廊下に障害物を置いた場合と置かなかった場合のデータや照明を暗くした場合と明るい場合などといったシナリオを作成してデータを収集する。

・10 年度
なし
・9 年度
なし

(4)著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
管理番号　　GA00-P-222-921304-0001
著作物の名称　Matchability 基準を用いた状況分析プログラム
原著作者　　富士通株式会社
完成日　　平 12.08.21.
記録媒体　　3.5 ”MO Disk　（例）
（概要）
複数のイベントに対し所定の種類の特徴量が対応づけられたデータの中から、特徴量とイベントを組み合わせて、相互に関連性のあるデータを抽出する技術を提供する。各イベントに対する特徴量の内、どの特徴量を選択するかを表す特徴量選択ベクトルを固定し、各特徴量を座標軸とする特徴量選択空間を各セグメントに分割し、その中に入っているイベントの数を計数する。含まれているイベントの数が多いセグメントの順に順序付け、関連性の高さを評価する関数の値が極大値になるセグメントの選択数を順序付けられたセグメントの順番に走査する。極大値になる選択セグメント数により決定される部分状況が、特徴量の選択数を変化させても評価値を極大値にする場合、その部分状況を抽出する。

・11 年度
なし
・10 年度
なし

・9 年度
なし

A-2-2. 自律学習移動ロボットのための音響環境理解（自律学習機能MR 研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【R-00-158】Kazuo Hiyane, Jun Iio: "Non-speech Sound Recognition withMicrophone Array", Proc. of Workshop on hands-free speech communication, pp.107-110, 2001.4

・12 年度

【R-00-158】 Kazuo Hiyane, Jun Iio: "Non-speech Sound Recognition withMicrophone Array", Workshop on hands-free speech communication, 2001.4

・11 年度

なし

・10 年度

【R-97-115】 S.Nakamura, K.Hiyane, F.Asano, T.Endo: "Sound Scene in Real Environments", Proc. 1st Oriental Cocosda Workshop, May, (1998)

・9 年度

なし

(2)その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

【R-99-117】 比屋根一雄、飯尾淳："マイクロホンアレーを用いた非音声音認識"、RWC2000 シンポジウム、Jan, 2000.

・10 年度

【R-98-047】 比屋根一雄、澤部直太、飯尾淳："擬音語表現に基づく衝突音認識システム"、日本音響学会秋季研究発表会講演論文集、1-R-9, pp.135-136,Sep.(1998)

【R-98-050】 中村哲、比屋根一雄、浅野太、遠藤隆："実環境における音響シーンデータベースの構築"、日本音響学会大会講演論文集、1-R-10,pp.137-138, Sep. (1998)

【R-98-104】 比屋根一雄、中村哲、浅野太、遠藤隆："RWCP 実環境音声・音響データベース"、信学大会、Mar, 1999.

【R-98-105】 飯尾淳、比屋根一雄："非音声信号認識のための擬音語クラスタ"、信学大会、Mar. (1999)

・9 年度

【R-97-112】 比屋根一雄、澤部直太、飯尾淳："単発音のスペクトル構造とその擬音語表現に関する検討"、信学技報、SP97-125, pp.65-72, Mar, 1998.

⑶特許出願リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

⑷著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-2-3. 分散型実時間自律行動系（自律学習機能ＳＩＣＳ研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【R-01-020】 M. Nilsson,"Essential Properties of Connectors for Self-reconfiguring Modular Robots", Proc. WS on Reconf. Robots ICRA'2001, 2001.5.8

・12 年度

【R-00-046】 Nilsson, M.: "Tactile Sensing and other Distributed Sensors with Minimal Wiring Complexity", IEEE/ASME Trans. Mechatronics. Vol. 5, No. 3. September 2000. p. 253-257. IEEE/ASME.

【R-00-047】 Nilsson, M.: "Fundamental Limitations of Compact and Lightweight Mechanisms", In Proc. ICMA 2000: Osaka, Japan. September 27-29, 2000. p. 261-266. JSPE/IFToMM.

・11 年度

【R-99-050】 Nilsson, M.: Symmetric docking in 2D: A Bound on Slf-Alignable Offsets. In Proc. IASTED 99: Robotics and Automation. Santa Barbara, California, October 28-10, 1999. pp. 7-11.ISBN:0-88986-262-6

・10 年度

【R-98-087】 Autonomous Learning SICS Laboratory, Ojala, J.: "Adaptive behavior with protozoa inspired dynamics". Biological Cybernetics. Vol 79, No 5.pp 403-411.

【R-97-110】 Autonomous Learning SICS Laboratory, Nilsson, M. "Why Snake Robots Need Torsion-free Joints and How to Design them". In Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (ICRA'98).Leuven, Belgium. May 16-21,1998.pp.412-417.

・9 年度

【R-97-087】 Nilsson, M.: Snake Robot Free Climbing. IEEE Control Systems Magazine. Vol.18, No 1. February 1998. pp. 21-26.

【R-97-110】 Nilsson, M.: Why Snake Robots Need Torsion-free Joints and How to Design them. In Proc. Int. Conf. Robotics and Automation (ICRA'98). Leuven, Belgium. May. pp. 16-21, 1998.

【R-97-111】 Ali, K. M.: A Simple Generational Real-time Garbage Collection Scheme.J. New Generation Computing. 1998.

(2)その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

【R-99-122】 Nilsson, M.: Difficulties when Applying Learning and Adaptation to Reconfiguration and Mating Problems. In Proc. RWCP Symposium 2000. Tokyo, Japan, January 17-19, 2000. pp. 229-232.

・10 年度
なし
・9 年度
なし

⑶特許出願リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

⑷著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-2-4. 能動的地図獲得とセンサー情報表現（自律学習機能ＳNN研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【R-01-059】R. Bunschoten and B. Krose. 3-d scene reconstruction from cylindrical panoramic images. In Proceedings of the 9th International Symposium on Intelligent Robotic Systems (SIRS'2001), pages 199-205, LAASCNRS, Toulouse, France, July 2001.

【R-01-055】Stephan ten Hagen and Ben Krose. Autonomous map building by mobile robots. In Ben Krose, Maarten de Rijke, Guus Schreiber, and Maarten van Someren, editors, Proceedings of the 13th Dutch-Belgian Artificial Intelligence Conference, BNAIC'01, pages 117-124, 2001

【R-01-099】S. ten Hagen and B. Krose. Trajectory reconstruction for selflocalization and map building. submitted to IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002

・12年度

【R-01-093】N. Vlassis, B. Terwijn and B. Krose. Auxiliary particle filter robot localization from high-dimensional sensor observations. submitted to IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002. ・12 年度

【R-00-049】 N. Vlassis and B. Krose "Dimension Reduction with Mutual Information", NIPS 2000 , Denver,Colorado.

【R-00-050】 N. Vlassis and Aristidis Likas "An EM-VDM algorithm for Gaussian mixtures with unknown number of components", NIPS 2000, Denver,Colorado.

【R-00-099】 R. Bunschoten and B. Krose. Range estimation from a pair of omni directional images. In IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation

【R-00-141】 S. ten Hagen and B. Krose. Convergence of Q-learning for a LQR task with an unknown noisy system. International Journal of Control, 2000.

【R-00-140】 S. ten Hagen and B. Krose. Neural Q-learning. IEEE transactions on Neural Networks, 2000.

【R-00-102】 S. ten Hagen and B. Krose. Q-learning for systems with continuous state and action spaces. In A. Feelders, editor, proceedings of the Tenth Belgian-Dutch Conference on Machine Learning, pages 47-54, 2000.

【R-00-100】 N. Vlassis and A. Likas. A greedy EM algorithm for Gaussian mixture learning.

【R-00-024】 N. Vlassis, A. Likas, and B. Kr-ose. Multivariate Gaussian mixture modeling with unknown number of components. IEEE Transactions on Systems， Man and Cybernetics

【R-00-106】 N. Vlassis and Y. Motomura. Efficient source adaptivity in independent component analysis. 2000.

【R-00-098】 N. Vlassis, Y. Motomura, I. Hara, H. Asoh, and T. Matsui. Edge-based features from omnidirectional images for robot localization. In IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation .

【R-00-097】 N. Vlassis, R. Bunschoten,and B. Krose. Learning task-relevant features from robot data. In IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation .

【R-00-154】 Vlassis， Bunshoten， Krose，麻生，本村，浅野，原，速水，松井 "An

officerobot with good communication and learning skills", IEEE Intelligent Systems Magazine.

・11 年度

【R-98-085】 B. Krose and R. Bunschoten. Probabilistic localization by appearance models and active vision. In Proc. ICRA'99, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pages 2255-2260, Detroit, Michigan, May 1999.

【R-98-136】 N. Vlassis and B. Krose. Robot environment modeling via principal component regression. In Proc. IROS'99, IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pages 677-682, Kyongju, Korea, October 1999.

【R-99-001】 N. Vlassis, Y. Motomura, and B. Krose. An information-theoretic localization criterion for robot map building. In Proc. ACAI'99, Int. Conf. on Machine Learning and Applications, pages 1-6, Chania, Greece, July 1999.

【R-99-020】 Y. Motomura, N. Vlassis, and B. Krose. Probabilistic robot localization and situated feature focusing. In Proc. SMC'99, IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, Tokyo, Japan, October 1999.

【R-99-083】 N. Vlassis, Y. Motomura, and B. Krose. Supervised linear feature extraction for mobile robot localization. In Proc. ICRA'2000, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, San Fransisco, USA, April 2000.

【R-99-108】 B. Krose, N. Vlassis, R. Bunschoten, and Y. Motomura. A probabilistic model for appearance-based robot localization. Image and Vision Computing Journal, 2000, Submitted.

【R-99-142】 N. Vlassis and Y. Motomura. Independent component analysis with the EM and FFT algorithms. IEEE Trans. Neural Networks, 2000, Submitted.

【R-99-170】 B.J.A. Krose. An efficient representation of the robot's environment. In Submitted to IAS-6 conference, Venice, Italy, July 2000, 2000.

【R-98-141】 B. Krose, N. Vlassis, and R. Bunschoten. Issues on appearance modeling of the robot's environment. In Proc. ASCI'99, Heijen, The Netherlands, June 1999, pages 390 -397.

【R-99-004】 B. Krose, R. Bunschoten, N. Vlassis, and Y. Motomura. Appearance-based robot localization. In Proc. IJCAI'99, 16th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, ROB-2 Workshop, pages 53-58, Stockholm, Sweden, August 1999.

【R-99-018】 Y. Motomura, N. Vlassis, and B. Krose. Environment modeling via PCA regression and situated feature focusing. IPSJ SIG Notes, 24th SIG-MPS Inf. Proc. Soc. Japan, 99(36):37-40, 1999.

【R-98-086】 B. Krose, A. Dev, and F.C.A. Groen. Heading direction for a mobile robot from optic flow. Image and Vision Computing Journal, 18:415-424, 2000.

【R-98-065】 N. Vlassis and A. Likas. A kurtosis-based dynamic approach to Gaussian mixture modeling. IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Part A, 29(4):393-399, July 1999.

【R-98-117】 N. Vlassis and B. Krose. Mixture conditional density estimation with the EM algorithm. In Proc. ICANN'99, 9th Int. Conf. on Artificial Neural Networks, pages 821-825, Edinburgh, Scotland, September 1999. RWC.

【R-99-091】 B. Krose, N. Vlassis, R. Bunschoten, and Y. Motomura. Feature selection for appearance-based robot localization. In Proc. RWC'2000, Real World Computing Symposium, Tokyo, Japan, 2000.

・10 年度

【R-98-084】 B.J.A Krose. "Environment learning and localization in ‘sensor-space ’". In Proc. of the 10th Netherlands/Belgium Conf. on Artificial Intelligence, pages 229--239, 1998

【R-98-086】 B.J.A Krose, A. Dev, and F.C.A. Groen. "Heading direction for a mobile robot from optic flow".Submitted to Image and Vision Computing Journal

【R-98-085】 B.J.A. Krose and R. Bunschoten. "Probabilistic localization by appearance models and active vision". In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Detroit, May 1999

【R-98-065】 Vlassis, Nikos and A. Likas. "The Kurtosis-EM algorithm for Gaussian mixture modeling". Accepted for IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, B

【R-98-117】 Vlassis, Nikos and Ben Krose. "Mixture conditional density estimation with the EM algorithm". Submitted to ICANN'99, Edinburgh, Scotland, Sept.1999

【R-98-136】 Vlassis, Nikos and Ben Krose. "Robot environment modeling via principal component regression". Submitted to IROS'99, Korea, Oct 1999

【R-98-135】 Vlassis, Nikos. "Fast regression with input dependent noise". Submitted to Pattern Recognition Letters Journal

・9 年度

【R-97-057】 A. Dev, B. J. A. Krose and F. C. A. Groen :""Where are you driving to ?" Heading Direction for a Mobile Robot form Optical Flow", ICRA'98 International Conf. on Robotics and Automation, 1997.

【R-97-083】 E. Coten, L. Drst and B. Krose :"OASIS: Open Architecture for SImulations with Intelligent Systems", IAS-5 (Intelligent Autonomous Systems 5), 1997.

【R-97-108】 L. Dorst :"Analyzing the Behaviors of a Car: a Study in Abstraction of Goal-Directed Motions", IEEE System, Man and Cybernetics, Part B. , 1997.

ﾛ)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

なし

・12 年度

【R-00-155】 Vlassis, Bunshoten, Krose: "Omnidirectional Vision for Appearance-based Robot Localization", Modelling of Sensor-Based Inrelligent Robot Systems.

・11 年度

なし

・10 年度

【TR-98001】 Dev, A. and Krose, B.J.A and Groen, F.C.A. "Predicting the future path

from optic flow"., Proc. 1998 RWC Symposium, Tokyo June 9-10 1998, RWC Technical Report ,pp.265-270(1998)

・9 年度

【TR-97-4】 L. Dorst and H. Erkamp :"Generating effective exploration from a sensor space representation of robot perception", 1997

⑸特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

⑷著作物リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

A-2-5. オフィスロボットJijo-2の学習・統合型情報処理の研究（RWCセンター事情通ロボットラボ）

(1)査読論文リスト

・13年度

1. Yoichi Motomura, Isao Hara, Katsunobu Itou, Hideki Asoh, and Taisuke Sato: "Task, situation and user models for personal robots," IJCAI-2001 Workshop on Reasoning with Uncertainty in Robotics, pp.51-56, 2001.
3. Nikos Vlassis and Yoichi Motomura: "Efficient source adaptivity in independent component analysis," IEEE Trans. Neural Networks, Vol.12, pp.559-566, 2001.
4. Nikos Vlassis, Yoichi Motomura, and Ben Krose: "Supervised dimension reduction of intrinsically low-dimensional data," Neural Computation, (to appear).
5. Ben Kroese, N. Vlassis, R. Bunschoten, Y. Motomura: "A probabilistic model for appearance-based robot localization," Image and Vision Computing, Vol.19, No.6, pp.381-391, 2001.
6. Nikos Vlassis, Yoichi Motomura, Isao Hara, Hideki Asoh, and Toshihiro Matsui: "Edge-based features from omnidirectional images for robot localization," Proceedings of ICRA2001, 2001.
7. Futoshi Asano, Masataka Goto, Katsunobu Itou, Hideki Asoh: "Real-time sound source localization and separation system and its application to automatic speech recognition," Proceedings of Eurospeech 2001, pp.1013-1016, 2001.
8. Futoshi Asano, Shiro, Ikeda, Michiaki Ogawa, Hideki Asoh and Nobuhiko Kitawaki: "A combined approach of array processing and independent component analysis for blind separation of acoustic signals," Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP2001) pp.MULT-P2, Salt Lake City, 2001
9. Futoshi Asano, Shiro Ikeda, Michiaki Ogawa, Hideki Asoh and Nobuhiko Kitawaki: "Blind source separation in reflective sound fields," Proc. International Workshop on Hands-free Speech Communication (HSC2001), pp.51-54, 2001
10. Hideki Asoh, Nikos Vlassis, Yoichi Motomura, Futoshi Asano, Isao Hara, Satoru Hayamizu, Katsunobu Itou, Takio Kurita, Toshihiro Matsui, Roland Bunschoten, and Ben Krose: "An office robot with good communication and learning skills," IEEE Intelligent Systems, Vol.15, No.5, pp.46-51, 2001.
11. Toshihiro Matsui, Hideki Asoh, Futoshi Asano, Takio Kurita, Isao Hara, Yoichi Motomura, Katsunobu Itou, and John Fry: "Spoken language interface of the Jijo-2 office robot for map learning and office information service," International Symposium of Robotics Research 2001, 2001.(Invited)

・12年度

1. Futoshi Asano, Hideki Asoh, Toshihiro Matsui: "Sound source localization and separation in near field", IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E83-A, No.11, pp.2286-2294, 2000.11
2. Toshihiro Matsui, Hideki Asoh, Simon Thompson(Australian National University):"Mobile robot localization using circular correlations of panoramic images", Proc. of IROS-2000, 2000.11
3. Futoshi Asano, Yoichi Motomura, Hideki Asoh, and Toshihiro Matsui: "Effect of PCA filter in blind source separation", Proc. of ICA2000, 2000.6

4. 原 功、本村陽一：“事情通データベース Jijo2DB “、電子技術総合研究所彙報、Vol.64, No.4,5, pp. 95-101, 2000.8
5. 松井俊浩 ：“自律学習機能と事情通ロボットの研究 ”電子技術総合研究所彙報、Vol.64,No4,5, p15-21, 2000.8
6. 松井俊浩、麻生英樹、浅野太、栗田多喜男、原功、本村陽一、伊藤克亘、John Fly ：“Integration of Real-world Interaction Functions on the Jijo-2 Office Robot ”電子技術総合研究所彙報、Vol.64,No4,5, p51-60, 2000.8
7. Nikos Vlassis(アムステルダム大学), Yoichi Motomura ："Supervised Linear Feature Extraction for Mobile Robot Localization" Proceedings of the 2000 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation ：pp.2979-2984, 2000.4

・11 年度

1. 松井俊浩、麻生英樹（情報科学部）、John Fry (CSLI, Stanford University)、浅野太（知能情報部）、本村陽一（情報科学部）、原功（知能システム部）、栗田多喜夫（情報科学部）、速水悟（知能情報部）、山崎信行（慶応大学）："オフィス移動ロボットJijo-2の音声対話システム"、日本ロボット学会誌、第 18 巻、2 号、pp.300-307,2000.3
2. 原功、Alexander Zelinsky(ANU)、松井俊浩、麻生英樹、栗田多喜夫、田中勝、堀田一弘（埼玉大）："Communicative Functions to Support Human Robot Cooperation", Proc. of IROS'99, 1999.10
3. 浅野太、麻生英樹、松井俊浩："SOUND SOURCE LOCALIZATION AND SIGNAlL SEPARATION FOR OFFICE ROBOT "Jijo-2", Proc. of Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI-99), 1999.8
4. Hideki Asoh, Toshihiro Matsui, John Fry, Futoshi Asano, and Satoru Hayamizu ："A spoken dialog system for a mobile office robot", Proc. of Eurospeech'99, pp.1139-1142, Budapest, September, 1999.
5. Hideki Asoh and Toshihiro Matsui："A unified framework of map learning with a hierarchy of probabilistic maps", Proc. of FSR'99, pp.86-91, Pittsburgh, August, 1999.
6. Hideki Asoh： "Coping with uncertainty using interactions with humans", Proc. of IJCAI-99 Workshop on Reasoning with Uncertainty in Robot Navigation (RUR'99), Stockholm, August, 1999.
7. Toshihiro Matsui, Hideki asoh, John Fry, et al："Integrated Natural Spoken Dialogue System of Jijo-2 Mobile Robot for Office Services", Proc. of AAAI-99, Florida, July, 1999.
8. Y.Motomura, N.Vlassis, B.Krose ："Probabilistic robot localization and situated feature focusing", IEEE int. conf. on Systems, Man and Cybernetics (SMC'99), 1999.10.
9. Nikos Vlassis, Yoichi Motomura, Ben Krose ："An information-theoretic localization criterion for robot map building", Proc. of ACAI'99, Int. Conf. on Machine Learning and applications, 1999.7

・10 年度

1. Koji Horikawa, Hideki Asoh, Jun Tani, Toshihiro Matsui, and Masayoshi Kakikura ："Emergence of expert modules for mobile robot navigation from a mixture of Elman networks", Proc. of ICONIP'98, Kitakyushu, pp.256-259,1998.
2. Hideki Asoh and Toshihiro Matsui："Socially embedded learning: A learning

framework using natural communication between robots and humans", Proc. of Conference on Automated Learning and Discovery (CONALD), Pittsburgh, June, 1998.
3. John Fry, Hideki Asoh and Toshihiro Matsui :"Natural dialogue with the Jijo-2 office robot", Proceeding of the IROS'98, 1998.
4. Hideki Asoh, Isao Hara and Toshihiro Matsui :"A structured dynamic multi-agent architecture for controlling mobile office-conversant robot", Proceedings of the ICRA'98, pp.1552-1557, May, 1998.
5. Ulrich Nehmzow(マンチェスター大学)、松井俊浩、麻生英樹 :"Virtual Coordinates : Perception-based Localisation and Spatial Reasoning in Mobil Robots", Intelligent Autonomous Systems (IAS-5), 1998.6.

・9 年度
1. Takio Kurita, Kazuhiro Hotta(*), and Taketoshi Mishima :"Scale and rotation invariant recognition method using higher-order local autocorrelation features of log-polar image", poster in the Third Asian Conf. on Computer Vison (ACCV'98), Hong-Kong, Jan. 1998.
2. 本村陽一、松井俊浩、麻生英樹、浅野太、原功、John Fry :"事情通ロボットによるオフィス環境における知的作業支援" 人工知能学会 AI シンポジウム'98Technical report SIG-J-9801-21, 1998. (1999 年人工知能学会研究奨励賞受賞)
3. T. Matsui, H. Asoh, and F. Asano :"Map learning of the office conversant mobile robot, Jijo-2, by dialogue guided navigation", Proc. of Int. Conf. on Field and Service Robots (FSR'97), Canberra, Australia, Dec. 1997.
4. Y. Motomura, I. Hara, H. Asoh, and T. Matsui :"Bayesian network that learns conditional probabilities by neural networks", Proc. of the 1997 Int. Conf. on Neural Information Processing also in the Progress in Connectionist-Based Information Systems, pp.584-587, Springer, New Zealand, Nov. 1997.
5. Hideki Asoh, Satoru Hayamizu, Hara Isao, Yoichi Motomura, Shotaro Akaho, and Toshihiro Matsui :"Socially embedded learning of the office-conversant mobile robot, Jijo-2", Proc. of 15th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'97), pp. 880-885, Nagoya, Aug. 1997.
6. 栗田多喜夫、堀田一弘、三島健稔 :"Log-Polar 画像の高次局所自己相関特徴を用いた大きさに不変な顔画像の認識"、電子情報通信学会論文誌、Vol.J80-D-II,No.8, pp.2209-2217, 1997.
7. 松井俊浩 :"人間型ロボットは人に近づけるか"、日本ロボット学会誌、Vol.15,NO.7, pp.961-963, 1997.
8. T.Matsui, H.Asoh, I.Hara, and N.Otsu :"An event driven architecture for controlling behaviors of the office conversant mobile robot, Jijo-2", Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'97), pp.3367-3371, Apr. 1997.

(ﾛ)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度
1. 原　功、麻生　英樹、本村　陽一：“インタラクティブ・ロボット”デモンストレーション，ロボフェスタ神奈川２００1横浜会場, 2001.
2. 原　功：“Web ブラウザを用いた遠隔操作用ソフトウェア”，日本ロボット学会第６２回講

習会資料, pp.13-23, 2001.
3. 麻生英樹：“インタラクションを通じた学習”、情報処理学会音声言語情報処理研究会資料 37-4, 2001.7.
4. 浅野太、原功、本村陽一、伊藤克亘、速水悟、後藤真孝、麻生英樹、松井俊浩：“事情通ロボットの音響信号処理”、人工知能学会研究会資料 SIG-Challenge-0113, pp.43-49 2001.6.
5. 浅野太、麻生英樹：“周波数領域のブラインド信号分離におけるpermutationについて”、信学技法, EA2001-19, pp.9-16 2001.6.
6. 浅野太：“反射のある音場における信号分離”、信学技法 EA2001-8, pp.57-64, 2001.4.

・12 年度
1. 吉村尚秀、飯島純一（組み込みシステムデザイナー）、麻生英樹、松井俊浩：“超音波センサ情報の統合による屋内環境の地図作成、人工知能学会研究会資料 SIG-CII-2001-MAR-3, 2001.3.
2. 堀田一弘（埼玉大）、高野健太郎（埼玉大）、三島健稔（埼玉大）、栗田多喜夫：“全方位カメラを搭載した自律移動型ロボットのナビゲーションのためのランドマークの自動検出”、電子情報通信学会・システムソサエティ大会予稿集、Vol.D, p.238, 2000.10.
3. 飯島純一（筑波大 TARA 客員）、吉村尚秀（知能システム部非常勤）、麻生英樹（情報科学部）、松井俊浩、：“超音波センサの確率モデルを用いた屋内環境の地図作成”、日本ロボット学会学術講演会論文集第18巻、滋賀県、2000.9.

・11 年度
1. 本村陽一："確率ネットワークによる知的情報処理"、統計数理研究所共同利用研究会、2000.3
2. 原功、本村陽一："自律ロボットのための状況依存マルチエージェントアーキテクチャ"、第 5 回ロボティクスシンポジア予稿集、pp.86-91,2000.3
3. 本村陽一、原功："確率ネットワークに基づくマルチエージェントモデル"、情報処理学会研究報告 2000-MPS-28：vol.2000,No.16,pp.17-20,2000.2
4. 麻生英樹、ジョンフライ、浅野太、速水悟、伊藤克亘、本村陽一、原功、栗田多喜夫、松井俊浩："事情通ロボットの音声対話インターフェース"、音声言語情報処理、2000.2.4
5. 松井俊浩、麻生英樹、浅野太、栗田多喜夫、原功、本村陽一、伊藤克亘、ジョンフライ（スタンフォード大学CSLI）："Integration of Real-World Interaction Functions on the Jijo-2 Office Robot", Proceedings of the RWC2000 ：pp.197-202, 2000.1.20
6. 浅野太、本村陽一、麻生英樹、松井俊浩："ブラインド信号分離におけるPCA フィルタの効果"、信学技報、1999.12
7. 田中久美子、本村陽一、橋田浩一："多重文脈に即応的な対話インターフェース: 半可通"、日本ソフトウェア科学会 マルチエージェントと協調計算ワークショップ(MACC'99)、1999.
8. 本村陽一、原功、田中久美子："学習知能ロボットにおける状況依存エージェントの協調"、日本ソフトウェア科学会マルチエージェントと協調計算ワークショップ(MACC'99)、1999.
9. 本村陽一、Nikos Vlassis："Conditional Mixture of PCA によるRobot Localization"、第8 回神経回路学会全国大会、1999.9.
10. 本村陽一、Nikos Vlassis、Ben Krose："PCA 回帰による環境モデリングと状況に依存

する特徴選択"、情報処理学会 数理モデル化と問題解決研究会 (第 24 回)、1999.5.
11. 松井俊浩 :"オフィスロボットJijo-2"、工業技術、1999.4.

・10 年度
1. 浅野太、麻生英樹、松井俊浩 :"マイクロホンアレイを用いた音声認識"、日本音響学会春季研究発表会、1999.3
2. 松井俊浩 :"ロボット等統合プログラミングシステムの研究"、JITA News, 1999.3
1998
3. 松井俊浩、麻生英樹、浅野太、John Fry :"オフィスロボットJijo-2 の対話理解"、日本ロボット学会第16 回学術講演会、北海道大学、1998.

・9 年度
1. 栗田多喜夫、堀田一弘(埼玉大)、三島健稔 (埼玉大) :"大きさの変化に頑健な顔と顔以外の対象の識別法"、電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会、東京工業大学、1998.2.19
2. 本村陽一、原功 :"データベースからの学習機能を持つ確率推論システム BAYONET" 人工知能学会全国大会第 12 回論文集、1998.(1998 年人工知能学会ベストプレゼンテーション賞受賞) 、デジタルプレゼンテーション (98.6.19)
3. 松井俊浩 :"おせっかいロボットとも呼ばれる事情通ロボットの計画"、bit,Vol.29, No. 12, pp.4-11, 1997.
4. 麻生英樹、松井俊浩、原功、本村陽一、堀川幸二 :"所内事情通ロボットの行為の階層と制御"、日本ロボット学会第 15 回学術講演会、中央大学、1997-9.
5. 堀川、松井、麻生、原、柿倉 :"自律移動ロボットJijo-2 の復帰行動"、日本ロボット学会第 15 回学術講演会、中央大学、1997-9.
6. 赤穂昭太郎、速水悟、長谷川修、吉村隆、麻生英樹 :"EM 法を用いた複数情報源からの概念獲得"、電子情報通信学会論文誌、Vol.J80-A, No.9, pp.1546-1553, 1997.
7. T. Matsui, I. Hara, H. Asoh, Y. Motomura, F. Asano, S. Akaho :"Dialogue-guided remote navigation of the office conversant mobile robot, Jijo-2", Academic Exhibition, IJCAI'97, Nagoya, Japan, Aug. 1997.

(3)特許出願リスト
・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

(4)著作物リスト
・13 年度
著作物の名称 XR-4000 用デモンストレーションプログラム

原著作者　原　功、飯島　純一、麻生　英樹　他
完成日　2001.9
記録媒体　ロボット上の　HD
（概要）
機能：移動ロボット XR-4000 に、デモ会場内の頑健な移動と案内サービスを行わせるためのソフトウェア
記述言語：C、Lisp、Java
プログラムサイズ：約 3MB（ソース含む）
動作環境：Linux, EusLIps, Java が使える環境

著作物の名称　アレイ処理による音源同定と音源分離プログラム
原著作者　浅野　太
完成日　2001.5
記録媒体　PC 上の　HD
（概要）
機能：複数の音源からの音響信号をマイクロフォンアレイで収録し、音源方向の同定と、音源の分離を行う
記述言語：Matlab
プログラムサイズ：約 18MB　（Matlab　ソース）
動作環境：Matlab　が動く環境

・12 年度
著作物の名称　Jijo-2 Agent
原著作者　原　功
完成日　2001.2
記録媒体　ロボット上の　HD
（概要）
機能：移動ロボット XR-4000 の各種センサおよびアクチュエータを、上位のプログラムモジュールから使用可能にするための制御モジュール群およびそれらを開発するためのライブラリ。
記述言語：C
プログラムサイズ：約 1MB　（ソース）
動作環境：Linux

著作物の名称　部分空間法とICA　を組み合わせたブラインド信号分離ソフトウェア
原著作者　浅野　太
完成日　2001.3
記録媒体　PC 上の　HD
（概要）
機能：複数の音源からの音響信号を、独立成分分析でブラインド信号分離する。部分空間法を用いて、アンビエントな雑音への頑健性を高めている。
記述言語：Matlab
プログラムサイズ：約 3MB　（Matlab　ソース）
動作環境：Matlab　が動く環境

著作物の名称　XR-4000 用地図作成プログラム
原著作者　吉村　尚秀、飯島　純一、麻生　英樹
完成日　2001.2
記録媒体　ロボット上の　HD
（概要）
機能：移動ロボット XR-4000 のソナーで採取したロボットの周囲状況のデータを確率的に蓄積・統合して局所的な Occupancy Grid 地図を作成し、そこから壁などの線分を抽出するソフトウェア。
記述言語： C
プログラムサイズ： 約 1MB （ソース）
動作環境： Linux, GTK が使用可能な環境

・11 年度
著作物の名称　事情通データベース
原著作者　原、本村
完成日　2000.3.31
記録媒体　FTP によるダウンロード、またはフロッピーディスク
（概要）
機能： JDBC を用いたデータベースアクセス用ミドルウェア。PostgreSQL 上に構築されたスケジュールデータ、所在表データを TCP/IP を用いてネットワーク上のクライアントプログラムから参照・変更等を行うことができる。特徴として、プログラム実行中にリモートサイトから JAVA Class をロードし、内部のクラスを呼び出し、インスタンスの生成が可能であり、他の CGI、Java Applet と連携して個人情報サービスを構築し、利用している。
記述言語：　Java 1.2
プログラムサイズ：128KB（ソースを含む）
動作環境：　Java1.2 の動作する環境

・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-3. 自己組織化情報ベース機能領域

A-3-1. 画像情報の計量化と可視化（情報ベース機能日立研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

なし

・12 年度

【R-00-018】 A. Hiroike: “Graphical representation for generating musical sequences”, Proc. 2000 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME2000), pp.769-772, 2000.

【R-00-081】 武者、広池：”画像群の意味的な可視化表現を用いた画像検索システム”、映像情報メディア学会誌、vol. 54, No. 12, pp. 1742-1747, 2000.

【R-00-085】 Y.Musha and A.Hiroike: “Visualization System for Displaying Retrieved Images in 2-D Semantic Space”, Proc. IAPR Workshop on Machine Vision Applications (MVA2000), pp.103-106, 2000.

・11 年度

【R-98-149】 武者義則、広池敦、杉本晃宏："類似画像検索における特徴量空間の可視化インタフェース"、電子情報通信学会和文論文誌 D-II,Vol.J82-D-II, No.10, pp. 1626-1633, 1999

【R-99-150】 武者義則、広池敦："意味を表現する空間上に、検索結果の画像群を表示する可視化インタフェース"、IPSJ シンポジウムシリーズ(インタラクション 2000 論文集)、vol.2000,No.4,pp.205-212,2000.

【R-99-151】 広池敦、武者義則："類似画像検索のための可視化とウォークスルー"、IPSJ シンポジウムシリーズ(インタラクション 2000 論文集)、Vol.2000,No.4,pp.39-40,2000.

・10 年度

【R -98-055】 Y.Musha, A. Hiroike, Y. Mori and A. Sugimoto: " An Interface for Visualizing Feature Space in Image Retrieval", Proc. IAPR Workshop on Machine Vision Applications, pp.447-450, 1998.

【R -98-124】 A. Hiroike, Y.Musha, A.Sugimoto and Y.Mori: " Visualization of Information Spaces to retrieve and browse image data", Proc.Third International Conference of Visual Information Systems, pp.155-162, 1999.

・9 年度

なし

(2)その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

【R-01-001】広池敦：“大規模画像コンテンツのための検索・ブラウジングシステム”, 日本テクノセンタセミナー, 7 月, 2001.

【R-01-054】広池敦, 武者義則：“大規模画像コンテンツの検索と可視化”, 人工知能学会AIシンポジウム 第15回）WWW情報検索と情報統合, SIG-J-A101, pp. 27—31, 2001.

【R-01-075】広池敦：“大規模画像コンテンツのための検索と可視化, ”日立製作所中央研究所パンフレット, 8月, 2001.

【R-01-095】広池敦, 武者義則：“画像検索のための次世代ユーザインタフェース”, トラ

ンクルームサービス研究セミナー, 11 月, 2001.

【R-01-103】広池敦, 武者義則：“画像検索システム”, 日立ユビキタスフォーラム, 11 月, 2001.

・12 年度

【R-00-017】 武者、広池：”類似画像検索における検索結果の可視化インタフェース---可視化軸としてキーワードを用いる方法---“、画像ラボ 2000 年 9 月号（画像ラボ編集委員会）、日本工業出版（株）、東京、pp. 5—9, 2000.

【R-00-025】 広池、武者：”「Ēnra-Enra」類似画像検索のためのユーザインタフェイス)”、情報処理学会研究報告、2000-CVIM-122, pp. 91-98, 2000.

【R-00-070】 Y. Musha and A. Hiroike: “RWCP”, 2000 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME2000), 2000.

【R-00-079】 広池：”画像検索のための次世代ユーザインタフェイス”、映像情報 INDUSTRIAL 2000年9月号（宇野裕喜）、産業開発機構（株）、東京、pp. 49-54, 2000.

【R-00-087】 広池、武者：”次世代画像検索システム”、日立 IT コンベンション、9 月、2000.

【R-00-088】 A.Hiroike and Y.Musha: “Visualization for a Large-Scale Image Archive”, Proc. Electronic Imaging & the Visual Arts 2000 GIFU (EVA-GIFU2000), pp.10-1--10-10, 2000.

・11 年度

【R -99-035】 武者義則、広池敦: 類似画像検索における検索結果の可視化インターフェース--可視化軸として意味軸を用いる方法---、 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会、PRMU99-57,pp.59-64,1999.

【R -99-051】 A. Hiroike and Y. Musha: "Visualization for similarity-based image retrieval systems", 1999 IEEE Symposium on Visual Languages, p.315, 1999.

【R -99-111】 広池敦、武者義則: "Visualization for similarity-based image retrieval systems", 2000 RWC シンポジウム、TR-99-002, pp. 171-176, 2000.

・10 年度

【TR -98-001】 武者義則、広池敦、森靖英、杉本晃宏："Visualizing Feature space for Massive Image Contents", 1998ＲＷＣ研究成果発表会、pp.233-238,1998.

【R-98-036】 広池敦、武者義則、杉本晃宏："画像情報の計量化と可視化－特徴量を用いた画像データベースのブラウジングシステム－"、第 4 回関西情報関連学会連合大会、pp. 33-36, 1998.

【R-98-037】 武者義則、広池敦、森靖英、杉本晃宏："類似画像検索における特徴量空間の可視化インターフェイス"、電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会、PRMU98-72,pp.141-148,1998.

【R-98-054】 広池敦、武者義則、杉本晃宏："VR 空間を用いた画像特徴量空間の可視化－画像データベースの検索・ブラウジングのためのユーザインターフェイス"、電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会、PRMU98-86, pp. 17-24, 1998.

・9 年度

【R-97-060】 武者義則、森靖英、広池敦："大量画像を対象とする特徴量空間の可視化

"、第 3回知能情報メディアシンポジウム、pp.301-308, 1997.

6)特許出願リスト

・13 年度

RWC 整理番号　2001R-003
発明考案の名称　データの分類、検索および表示方法
発明者　廣池敦、武者義則
出願日　2001.6.29
出願番号　2001-197917
出願人　日立製作所
（概要）

・12 年度

なし

・11 年度

RWC 整理番号　99R-003
発明考案の名称　画像表示方法および装置およびこれを利用した検索サービス
発明者　武者義則
出願日　平 11.6.21
出願番号　11-173605
出願人　日立製作所
（概要）

従来の類似画像検索システムでは、検索結果の画像群を可視化空間へ表示する際に、システムが可視化軸を自動的に生成し可視化を行っていた。しかし、システムが生成する可視化軸は必ずしも人間にとって理解しやすいものとは限らない。本発明では、あらかじめキーワードあるいはシンボルと画像特徴量との対応付けを統計処理により行っておき、任意の画像検索による検索画像群において、個々の画像の違いを効果的に表現するキーワードあるいはシンボルを検索毎にダイナミックに自動選択し、ユーザへ提供する。ユーザがキーワードあるいはシンボルを選択すると、それらについて各画像の特徴量から推定される適合値を座標とする可視化空間上の位置へ、その画像を配置する。これらにより、ユーザが理解しやすい可視化軸によって画像群の可視化が実現される。

RWC 整理番号　99R-012
発明考案の名称　仮想 3次元的空間におけるオブジェクト表示方法および表示プログラムを記録した媒体
発明者　広池敦、武者義則
出願日　平 12.1.14
出願番号　2000-010141
出願人　日立製作所
（概要）

従来の仮想的 3 次元空間中のウォークスルーでは、空間中を自由に動き回る機能と、ある対象の全体像を眺める機能とを、同時に実現することは困難であった。本発明では、仮想的 3 次元空間中に、視点中心の回転機能と対象中心の回転機能、それぞれを表現する2つのオブジェクト用意する。ユーザインターフェイス上には、ユーザ視点を両オブジェクトの

何れかに切替える機能、両オブジェクトの回転と並進移動を制御する機能を実装する。これによって、ユーザが、仮想的3 次元空間を動き回ることと、その空間中の対象物の概観を眺めることを、同時に行える、操作性のよいユーザインターフェイスが実現できる。

・10 年度
RWC 整理番号　98 R -007
発明考案の名称　類似画像検索方法および装置
発明者　広池敦、武者義則
出願日　平 10.7.9.
出願番号　10-193838
出願人　日立製作所、技術情報組合　新情報処理開発機構
（概要）
従来の類似画像検索システムでは、システムが判断した類似度の定量的な性質をユーザが知ることができない。また、データベース規模の増大により、より多くのデータを秩序ある形式でユーザに提示することが必要とされている。本発明では、類似画像検索における検索結果を、画像特徴量を軸とする２ないし３次元空間中に小画像の散布図として表現するシステムにおいて、小画像の大きさが類似度の大きさに対応するように表示する。また、特徴量からの軸の選択を自動的に変更させることによって、散布図の表示に運動性を与える。これによって、システムの類似度判定を定量的に可視化すること、および、大量画像を秩序ある形式でユーザに提示することが可能となった。

RWC 整理番号　98R-013
発明考案の名称　会議支援方法および装置
発明者　武者義則、山口敦子
出願日　平 11.2.22
出願番号　11-43029
出願人　日立製作所、技術情報組合　新情報処理開発機構
（概要）
本発明は、映像が投影されたスクリーンを使って図形入力を行い、あるいは、それを利用して図形描画やあらかじめ定義されたアクションを引きおこして会議支援を行うことを特徴とする。本手法によれば、スクリーン上の発光ポインターの光とその位置を検出し、発表者が描いた光の軌跡パターンを記録する。その軌跡パターンと同じ形や位置に、光を投影することにより発光ポインターの光でスクリーン上に図形を描画することができる。また、あらかじめページめくりなどの動作を定義したシンボルをスクリーン上へ投影しておき、発光ポインターでその付近を指示することで、その動作を引きおこすことができる。

・9 年度
RWC 整理番号　97R-009
発明考案の名称　画像検索方法およびその装置およびこれを利用した検索サービス
発明者　森靖英、広池敦、武者義則
出願日　平 9.12.8.
出願番号　9-336750
出願人　日立製作所、技術情報組合 新情報処理開発機構
（概要）
画像データベース中の画像の一覧性と、検索の進行具合いがわかる類似画像検索方法を

提供するため、画像特徴量から統計処理などによって、各画像に対する3 次元座標を算出して割り振る。それに基づいて、コンピュータグラフィックスなどによって、3 次元空間中に画像をアイコン化したものを添付し利用者に提示する。また、利用者がその3 次元空間を見る視点を自由に移動させることを、一つの検索方法として提供する。

RWC 整理番号　97R-010
発明考案の名称　画像検索方法およびその装置およびこれを利用した検索サービス
発明者　武者義則、広池敦、森靖英
出願日　平 9.12.8.
出願番号　9-336751
出願人　日立製作所、技術情報組合 新情報処理開発機構
（概要）
多様な観点によって検索された大量の画像の特徴量を統計処理してベクトル空間を算出し、対応する座標に縮小画像を配置することで序列に従ったブラウジング表示をする。またブラウジング表示画面の座標指定によるセンタリングと拡大縮小率指定によって、縮小画像集合の概観表示と詳細表示とを連続的に操作する。さらに、序列にしたがって配置された画像を画像指定あるいは領域指定によって参照画像として一度に選択し検索を行う。

(4)著作物リスト

・13 年度
名称　画像情報計量化・可視化システム
著作者　日立製作所
完成日　平 13.11.13
（概要）
大規模画像アーカイブの検索・ブラウジングシステムで、画像間類似性に基づく検索、仮想的 3次元空間でのブラウジングを可能とする。

・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-3-2. 文書情報空間の自己組織化 情報ベース機能三菱研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

(2)その他論文一覧（口頭を含む）

・13 年度

【R-01-053】 小船隆一、津高新一郎、小中裕喜、有田英一、橋田浩一,"意味的情報検索",人工知能学会第 15回 AI シンポジウム,2001.6.21

・12 年度
なし
・11 年度

【R-99-114】 S.Tsudaka, H.Konaka, J.Toyoura, and H.Arita: "Semantic Information Retrieval from Tagged Text Corpus", proceedings of 2000 Real World Computing Symposium, pp155-158, 2000.

・10 年度

【R-98-035】 豊浦、津高、小中 :"大量テキストのネットワーク表現と可視化手法の検討"、57 回情処全大、2L-1,1998.

【R-98-107】 豊浦、津高、瀬尾 :"ネットワークを用いた複数テキストの要約方式の提案"、第 5 回言語処理学会年次大会、1999

・9 年度

【R-97-086】 豊浦潤、井佐原均、荻野紫穂、桑畑和佳子、高橋裕信、徳永健伸、橋田浩一、橋本美奈子、元吉文男、"RWCP における研究用テキストデータベースの開発"、言語処理学会第 4回年次大会、1998

(3)特許出願リスト

・13 年度

RWC 整理番号 2000R-017
発明考案の名称 情報検索装置
発明者 小中裕喜、津高新一郎、小船隆一、有田英一
出願日 平 13.2.14.
出願番号 2001-037163
出願人 三菱電機株式会社

（概要）

キーワード間の関係を反映した類似度計算を可能とし、分類あるいは検索の精度を向上することができる情報検索装置を得る。本発明は複数の文書データを格納する文書データベースと、各々の文書データに対しキーワードの特徴ベクトルを生成するベクトル生成手段

と、特徴ベクトル間の類似度を計算して各文書データを分類する分類手段と、文書データの分類結果を出力する出力手段とを有する情報検索装置において、ベクトル生成手段は、各文書データを各々解析してキーワード及びキーワード間の関係を抽出し、これら両方の出現頻度に基づいて特徴ベクトルを生成する。

・12 年度

RWC整理番号　2000R-001
発明考案の名称　情報検索装置及び情報検索プログラムを格納した記憶媒体
発明者　津高新一郎、有田英一、小中裕喜
出願日　平12.4.19.
出願番号　2000-117405
出願人　三菱電機株式会社
分類番号　G06F　17/30
状況　出願済
(概要)
通常の情報検索の結果は単なる文書のリストによってしか提示されないため、ユーザは情報検索の結果を起点とした効率的な知識の獲得ができなかった。本発明は文書データベースを検索対象として、ユーザの情報要求に基づいて基本的な検索を行い、情報検索により取得した検索結果のリストにおける文書群を互いに類似した文書により構成される文書集合に分類し、検索結果の各文書集合から特徴的な単語および特徴的な関係を抽出し、分類されたグループと抽出された単語および関係に基づいてユーザに対して操作可能な出力画面の情報を生成する。

RWC整理番号　2000R-017
発明考案の名称　情報検索装置
発明者　小中裕喜、津高新一郎、小船隆一、有田英一
出願日　平13.2.14.
出願番号　2001-037163
出願人　三菱電機株式会社
分類番号　G06F　17/30
状況　出願済
(概要)
　キーワード間の関係を反映した類似度計算を可能とし、分類あるいは検索の精度を向上することができる情報検索装置を得る。本発明は複数の文書データを格納する文書データベースと、各々の文書データに対しキーワードの特徴ベクトルを生成するベクトル生成手段と、特徴ベクトル間の類似度を計算して各文書データを分類する分類手段と、文書データの分類結果を出力する出力手段とを有する情報検索装置において、ベクトル生成手段は、各文書データを各々解析してキーワード及びキーワード間の関係を抽出し、これら両方の出現頻度に基づいて特徴ベクトルを生成する。

・11 年度

RWC 整理番号　98R-019
発明考案の名称　テキスト集合要約装置
発明者　豊浦潤
出願日　平 11.4.21

出願番号　　11-113552
出願人　　三菱電機株式会社
（概要）複数テキストの内容を一括して要約する

・10 年度
なし
・9 年度
なし

(4)著作物リスト

・13 年度
名称　タグ付きテキストコーパスタグ情報データ
著作者　三菱電機株式会社
完成日　H13.11.15
（概要）
テキストデータに付与されたGDA タグフォーマットのタグ情報データ。テキストコーパスを作成できる。

名称　意味的情報検索プログラム
著作者　三菱電機株式会社
完成日　H13.11.15
（概要）
単語の依存関係レベルでの検索を行うプログラム。

・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-3-3. Ｈ10～13 適応的状況認知 のための自己組織化アーキテクチャの開発(情報ベース機能東芝研究室)

(1)査読論文リスト

・13 年度

【R-01-063】 村上知子、折原良平、末田直道 ,"Specification of kansei patterns in an adaptive perceptual space", Australian Joint Cof. on Artificial Intelligence, in Dec. of 2001.

【R-01-021】 村上知子、折原良平、末田直道 ,"Specification of similar kansei pattern in an adaptive perceptual spaceInt. conf. Knowledge-based Intelligent Information Engineering Systems, pp.973-977, 2001.

【R-01-081】R. Orihara et al.: ″ Information Space Optimization with Real-Coded Genetic Algorithm for Inductive Learning″, Proc. of First International Workshop on Hybrid Intelligent Systems, in Dec. of 2001.

・ 12 年度

なし

・11 年度

【R-99-073】 T.Murakami and R.Orihara: "Friendly Information Retrieval through Adaptive Restructuring of Information Space",New Generation Computing, Vol. 18, pp.137-146,2000.

【R-99-118】 T.Murakami et al.: "Friendly Information Retrieval through Adaptive Restructuring of Information Space", proceedings of IEA/AIE, pp.639-644,2000

・10 年度

なし

(2)その他論文リスト (口頭を含む)

・13 年度

【R-01-066】 村上知子、折原良平、末田直道 ,"適応的なパラメタによる概念学習のためのデータ処理", 第63回情報処理学会全国大会 ,2001.7.26

【R-01-002】 末田直道、折原良平、村上知子 ,"適応的なパラメタによる概念学習 のためのモデルの構築", 人工知能学会 ,2001.4.4

・12 年度

【R-00-078】 村上知子、折原良平、末田直道: "魅力度に基づくコマーシャル画像空間の再構成"、第 2 回感性工学会大会誌、p.170、2000.

・11 年度

【R-99-008】 村上知子、折原良平、横田健彦 、田中利一 、末田直道: "文書ベクトル空間操作による視点を考慮した情報検索 "、人工知能学会全国大会第 13 回論文集、pp.494-497、1999 年 6 月 18 日.

・10 年度

なし

(3)特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

RWC 整理番号　2000R-009
発明考案の名称　画像処理装置及び画像処理方法並びに記録媒体
発明者　村上知子、折原良平
出願日　平 12.9.12.
出願番号　2000-277124
出願人　株式会社東芝
分類番号　G06F-15/00
状況　出願中

（概要）

静止画像データの集合に対して、各画像を、抽象的な表現をもつ色と構図に基づく、特徴量に変換する（モデル化）。その際、各画像毎、もしくは全体を操作するパラメタを入力とし、画像のイメージカラーと構成要素を抽出する。これらパラメタと特徴的な情報を保存する。

RWC 整理番号　2000R-010
発明考案の名称　画像処理装置及び画像処理方法並びに記録媒体
発明者　村上知子、折原良平
出願日　平 12.9.13.
出願番号　2000-278837
出願人　株式会社東芝
分類番号　G06F-15/00
状況　出願中

（概要）

特徴量化された画像データに対して、画像に付随する書誌情報から帰納的に学習を行い、抽出されたルールを画像データに適用し、得られた評価をモデル化装置へフィードバックさせることでモデル化方法を操作する。

RWC 整理番号　2000R-016
発明考案の名称　属性生成装置及び属性生成方法並びにプログラム
発明者　折原良平、村上知子、末田直道
出願日　H13.3.14.
出願番号　2001-072101
出願人　株式会社東芝
分類番号　G06F 15/00
状況　出願済

（概要）

順序つきの値を、複数の属性から帰納的に作成されたモデルで予測する場合に、属性の概形を表すパラメタ付き関数を用意し、パラメタを属性空間における値の滑らかさに基づいて最適化することにより、有効な新属性を生成する。

・11 年度

なし

・10 年度
RWC 整理番号　98R-015
発明考案の名称　文書ベクトル化方法および情報検索方法および情報検索装置および記録媒体
発明者　村上知子、折原良平
出願日　平 11.2.18.
出願番号　11-40123
出願人　技術研究組合 新情報処理開発機構、株式会社 東芝
（概要）
利用者の指定する辞書ベクトルを初期辞書ベクトルとし、それを1 次元縮小した辞書ベクトルを作成し、それに基づいた単語間関連度を考慮した文書の重み付けを行い、類似度を計算する。利用者によってつけられた順位を用いた評価尺度で辞書の性能評価を行いながら、ヒューリスティックとバックトラックで辞書ベクトル空間の探索を行う。

(4)著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし

A-3-4. Ｈ９～10検索要約システム／H11～13Cross Mediatorの構築(情報ベース機能つくば研究室)

(1)査読論文リスト

・13 年度

【R-01-033】西村拓一，岡隆一:” Retrieval of Similar Time-series Patterns for Chance Discovery”，人工知能学会全国大会ワー クショップ(チャンス発見)(2001).

【R-01-037】橋口博樹，岡隆一，西村拓一，瀧田順子，張建新:”Music Signal Spotting Retrieval by a Humming Query”, SCI2001 (2001).

【R-01-038】高橋裕信，岡隆一:” Self-organizing an Associated Keyword Space for Text Retrieval”, SCI2001 (2001).

【R-01-040】森靖英，高橋裕信，岡隆一:”Image-driven keyword selection for searching database by image”, SCI2001 (2001).

【R-01-043】西村拓一，関本信博，岡隆一:” Auditory Scene Retrieval”, The 5th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Infomatics (2001).

【R-01-072】西村拓一，後藤真孝，橋口博樹，岡隆一，滝田順子，張建新:”Music Signal Spotting Retrieval by a Humming Query Using Start Frame Feature Dependent Continuos Dynamic Programming”, ISMIR (2001).

【R-01-118】橋口博樹，西村拓一，張建新，滝田順子，岡隆一:”モデル依存傾斜制限型の連続 DP を用いた鼻歌入力による楽曲信号のスポッテ ィング検索”，電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J84-D-II, No.12 (in press).

【R-01-119】森靖英，高橋裕信，岡隆一:”単語群つき画像の分割クラスタ リングによる未知画像からの関連単語推定 ” 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J84-D-II, No.4 ,pp.649-658 (2001).

【R-01-120】関本信博，西村拓一，高橋裕信，岡隆一:”逐次フレーム入力されるクエリーによる時系列データの類似区間スポッテ ィング検索”，電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J84-D-II, No.5 ,pp.747-757 (2001).

【R-01-121】西村拓一，水野道尚，小木しのぶ，関本信博，岡隆一:”アクティブ探索法による時系列データ中の一致区間検出 ”，電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J84-D-II, No.8 , pp.1826-1837 (2001).

【R-01-122】西村拓一，十河卓司，石黒浩，小木しのぶ，岡隆一:” 動き変化に基づく View-based Aspect Model による動作認識 ” 電子情報通信学会論文誌 Vol.J18-D-II, No.10 ,pp.2212-2223 (2001).

・12 年度

【R-00-012】 N. Sekimoto, T. Nishimura, T. Hironobu, R. Oka: "Continuous Retrievalof Video Using Segmentation-free Query", Proc. of 15th International Conference on Pattern Recognition(ICPR2000), Vol.3, pp.375-378

【R-00-019】 森靖英、高橋裕信、岡隆一: "画像による単語推定を用いたインターネット検索"、2000 年人工知能学会全国大会 (第 14 回)論文集、S3-05, pp.76-77

【R-00-037】 高橋裕信、森靖英、岡隆一: "Galaxy Clustering によるメールの自動分類と自動返送"、2000 年人工知能学会全国大会 (第 14 回)論文集、S3-03, pp.72-73

【R-00-059】 T. Hironobu, Y. Mori, R. Oka: "Extraction of Microscopic and Microscopic Structural Feature From the DNA Sequence of Human

Chromosome 22, International Coference on Intelligent Systems for Molecular Biology,

【R-00-076】 T. Nishimura, R. Oka, T. Sogo, H. Ishiguro: "Recognition of human motion behaviors using multiple omni-directional vision sensors", IECON2000

【R-00-077】 T. Nishimura, H. Yabe, R. Oka, S. Nozaki, K. Uemura, S. Endo:"Gesture Recognition for a walking person by Using a Sequence of Spatially Reduced Range Image", Proc. ICMI2000, pp.81-87

・11 年度

【R-98-095】 T.Nishimura, N.Sekimoto, J.Xin Zhang, M.Ihara, T.Akasaka, H.Takahashi, R.Oka:"Methodology for Retrieving Time Sequence Patterrn", Proc. of IWHIT/SM '99, pp.1-8, 1999.

・10 年度

【R-97-090】 西村拓一、野崎俊輔、岡隆一 :"Non-Momotonic 連続 DP によるスポッティングに基づく移動ロボットを用いた大局的位置の推定"、電子情報通信学会論文誌、 Vol.J81-D-II,No.8,pp.1876-1884

【R-98-069】 T. Endo, Jian Xin ZHANG, M. Nakazawa and R. Oka :"Multual spotting retrieval speech and video image useing self-organized network dateabases", AMCP'98 Conference Proceedings, pp.106-121

・9 年度

【R-97-070】 豊浦潤*、遠藤隆、岡隆一:"時系列データからのネットワーク・モデルの教師なし学習方式--Incremental Path Method の提案--"、電子情報通信学会論文誌 D-Ⅱ、Vol.J82-D-Ⅱ,No.1pp.61-74(1999).

【R-97-105】 M. Nakazawa, K. Tanaka amd R. Oka:" Speech Database for the Research and Development in the Real World Computing Program",COCOSDA'98 音声データベース及び音声入出力システム評価国際会議.

(ヒ)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

【R-01-022】岡隆一 :" 情報統合と情報検索", 2001 年度人工知能学会全国大会講演論文集 (2001).

【R-01-025】矢部博明, 西村拓一, 岡隆一 :"人のジェスチャ動作と移動ロボットの動きとのインタラクション対話", ロボティクスメカトロニクス講演会2001 (2001).

【R-01-036】矢部博明, 西村拓一, 岡隆一 :" Realtime Gesture-Speech Recognition on Personal Computer System", The 5th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Infomatics (2001).

【R-01-041】岡隆一, 伊原正典, 西村拓一, 赤坂貴志, 張建新 :"音素系列表現を用いた音声およびテキスト検索", 電子情報通信学会技術研究報告 (2001).

【R-01-052】岡隆一, 高橋裕信, 伊原正典, 矢部博明, 橋口博樹, 西村拓一, 関本信博, 森靖英, 松村博 :" パターン検索のアルゴリズム・マップ～"CrossMediator"を支えるもの～", 電子情報通信学会技術研究報告 (2001).

【R-01-094】後藤真孝, 西村拓一, 橋口博樹, 岡隆一 :"RWC 研究用音楽データベース：ポピュラー音楽データベースと著作権切れ音楽データベーズ", 第 42 回音楽情報科学研究会(2001)

・12 年度

【R-00-011】 西村拓一、矢部博明、岡隆一、野崎俊輔、槇村浩司、遠藤新太郎 :"距離画像を用いた低解像度特徴によるジェスチャのスポッティング認識"、ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMEC'00)、2A1-73-100

【R-00-013】 関本信博、西村拓一、高橋裕信、岡隆一 :"逐次入力されるMPEG2 クエリー動画像での動画像検索"、2000 年度人工知能学会全国大会 (第 14 回)論文集、S3-04, pp.74-75

【R-00-014】 矢部博明、西村拓一、岡隆一 :"手ジェスチャを用いたリアルタイム対話型アプリケーション"、2000 年度人工知能学会全国大会 (第 14 回)論文集、S3-06, pp.78-79

【R-00-032】 西村拓一、矢部博明、岡隆一、野崎俊輔、槇村浩司、遠藤新太郎 :"距離画像を用いた低解像度特徴によるジェスチャのスポッティング認識"、2000 年度人工知能学会全国大会 (第 14 回)論文集、S3-07, pp.80-83

【R-00-043】 矢部博明、岡隆一 :"ジェスチャ認識システム評価用ジェスチャデータベースの開発"、電子情報通信学会技術研究報告、PRMU2000-47, pp.45-50

【R-00-044】 森靖英、高橋裕信、岡隆一 :"単語と画像の双方向検索のための単語および特徴量の選択"、電子情報通信学会技術研究報告、PRMU2000-56, pp.53-60

【R-00-065】 高橋裕信、森靖英、岡隆一 :"文書の自動分類空間の自動作成"、人工知能学会情報統合研究会第 13 回資料、SIG-CII-2000-July, pp.5-6

【R-00-066】 関本信博、西村拓一、高橋裕信、岡隆一 :" 「予測」テレビの開発"、人工知能学会情報統合研究会第 13 回資料、SIG-CII-2000-July, pp.14-17

【R-00-067】 西村拓一、関本信博、岡隆一 :"時系列データ中の同一区間の検索"、人工知能学会情報統合研究会第 13 回資料、SIG-CII-2000-July, pp.18-22

【R-00-068】 森靖英、高橋裕信、岡隆一 :"単語と画像の相互検索空間の構成"、人工知能学会情報統合研究会第 13 回資料、SIG-CII-2000-July

【R-00-069】 橋口博樹、西村拓一、高橋裕信 、岡隆一: "モデルに依存する傾斜制限型をもつ連続 DP によるハ ミングを用いた楽曲信号のスポッティング検索 "、人工知能学会情報統合研究会第 13 回資料、SIG-CII-2000-July, pp.1-4

【R-00-116】 岡隆一、伊原正典: "音素ラベリングのされていない音声データからのフレーム音素識別関数の自動学習について "、人工知能学会情報統合研究会第 14 回資料、SIG-CII-2000-Nov, pp.106-113

【R-00-117】 高橋裕信、森靖英 、岡隆一: "遺伝子検索システムにおける対称型 RIFCDP を用いた部分アライメントの実現"、人工知能学会情報統合研究会第 14 回資料、SIG-CII-2000-Nov.

【R-00-121】 伊原正典、岡隆一: "PC クラスタによる「拡張クロスメディエタ」の構築"、人工知能学会情報統合研究会第 14 回資料、SIG-CII-2000-Nov, pp.104-105

・11 年度

【R-99-144】 伊原正典、赤坂貴志、岡隆一: "ベイズ識別関数を利用した音素認識におけるメルケプストラムトスペクトルベクトル場の特徴比較時 "、電子情報通信学会、技報、SP-139 (2000-01) .

【R-99-021】 森靖英、高橋裕信、岡隆一: "単語付き画像の分割ベク トル量子化に基づく画像理解"、信学技報、PRMU-99-47 (1999).

【R-99-096】 関本信博、 西村拓一、高橋裕信、岡隆一: "逐次フレーム入力される時系列クエ リーによるスポッティング検索 "、信学技報、 PRMU-99-126 (1999).

【R-99-097】 西村拓一、関本信博、張建新、伊原正典、赤坂貴志、高橋裕信、岡隆一:"時系列パターンの検索手法 "、信学技法、PRMU99-125, pp.173-180.

【R-99-022】 伊原正典、赤坂貴志、張建新、遠藤隆、岡隆一: "音声によるテキスト検索について "、1999 年度人工知能学会前項区大会、pp.91-94.

・10 年度

【R-98-013】 高橋裕信、新田義貴、岡隆一: "非線形クラスタ リングによるパターンの分類 -Galaxy Clustering Method の提案 -"、電子情報通信学会パターン認識メディア理解研究会、

【R-98-017】 遠藤隆、中沢正幸、高橋裕信、岡隆一: "音声と動画像の自己組織化ネットワ ークによるデータ表現とスポッティング相互検索 "、1998 年度人口知能学会全国大会、pp.122-125.

【R-98-021】 高橋裕信、新田義貴 、岡隆一: "非線形クラスタ リング -Galaxy Clustering Method- によるテキストの組織化とテキスト検索への応用 "、人工知能学会、pp.118-121.

【R-98-023】 岡隆一: "実世界情報の知能化とは? "、1998 年度人工知能学会全国大会、pp.44-49

【R-98-059】 森靖英、高橋裕信、岡隆一、新田義貴: "画像とテキストの自己組織化データに基づく画像理解方式の提案 "、信学技報、PRMU98-74, pp.9-16.

【R-98-063】 岡隆一: "音声と画像とテキス トの相互検索パラダイム "、情報処理学会研究報告、Vol.98, No.95, pp. 31-38.

【R-98-089】 森靖英、高橋裕信、岡隆一: "知的作業支援のためのテキス トデータベースに基づく画像理解"、人工知能学会研究会資料、SIG-J-9801,pp.101-106.

【R-98-096】 高橋裕信、森靖秀、岡隆一、野崎俊輔: "テキスト空間における帰納と演繹によるテキスト検索知的作業支援 "、人工知能学会研究会資料、SIG-J-9801, pp.95-100.
【R-98-130】 高橋裕信、向井理朗、岡隆一、新田義貴: "時系列パターンの空間軌跡の非線形クラスタ リングについて "、人工知能学会情報統合研究会、SIG-CII-9807, pp.1-7.
【R-98-131】 遠藤隆、向井理朗、高橋裕信、岡隆一: "時系列パターンの自己組織化ネットワークを通じての空間表現 "、人工知能学会情報統合研究会、SIG-CII-9807, pp.8-13.
【R-98-132】 西村拓一、岡隆一: "動画像パターンへの重み減衰型時空間 RIFCDP 適用による移動物体の検出 - Self-applicative 連続 DP -", 人工知能学会情報統合研究会、SIG-CII-9807, pp.14-18.
【R-98-133】 岡隆一: "情報統合における時間と空間 "、人工知能学会情報統合研究会、SIG-CII-9807, pp.31-34.
【R-98-134】 新田義貴、高橋裕信、向井理朗 、岡隆一: "時系列パターンの空間軌跡の非線形クラスタ リングについて "、信学技報、PRMU98-73, pp.1-8.
【TR-98-001】 R. Oka, T. Endou, H. Takahashi and T. Mukai: "Tow Methods for Self-organizing Time-sequence Pattern and Text", RWC Symposium'98, pp.223.
【TR-98-001】 R. Oka: "Development of Information Basis Function", RWC Symposium'98, pp.161.

・9 年度

【R-97-009】 中沢正幸、古川清 、遠藤隆、岡隆一 :" 音声話題要約における話題の分節の検討"、人工知能学会全国大会論文集、pp.95-96 (1997).
【R-97-030】 遠藤隆、高橋裕信、豊浦潤*、向井理朗、岡隆一 :" 動画像の自己組織化ネッ トワ ークによるモデル化とその動的特徴の可視化 -Video Intra-structure Visualization - ", パターン認識 ・メ ディア理解研究会、pp. 49-54.
【R-97-035】 中沢正幸、岡隆一 :" 話題要約のための話題のセグメンテーシ ョンとシソーラスを用いた話題グループ生成の検討 "、 平成9年秋期日本音響学会講演論文集、pp. 97-98.
【R-97-051】 高橋裕信、新田義貴 *、遠藤隆 、岡隆一 :" 大規模 Bigram-net の空間クラスタリングとそのテキスト検索への応用 - Bigram-net Galactic Spatialization - ", 言語理解とコミュニケーション研究会(NLC) NLC97-34(1997).
【R-97-066】 遠藤隆、中沢正幸、長屋茂喜、高橋裕信、岡隆一 :"音声と動画像の自己組織化ネッ トワークによるデータ表現とスポッティング相互検索 "、第 8 回 AI シンポジウム・合同研究会.
【R-97-098】 遠藤隆、張建新*、中沢正幸、岡隆一 :" 音声の自己組織化ネットワークモデルとスポッティング認識 "、音響学会春季研究発表会.
【R-97-100】 高橋裕信、新田義貴 *、遠藤隆 、岡隆一:" 大規模テキストの単語 Bigram に基づくネットワーク空間化と知識抽出 "、人工知能学会情報統合研究会、pp. 30-34.
【R-97-101】 中沢正幸、岡隆一 :" 話題要約のための話題セグ メンテーションとシソー

ラス・ネットワーク検索"、人工知能学会情報統合研究会、pp.13-20.
【R-97-102】 遠藤隆、高橋裕信、豊浦潤*、向井理朗、岡隆一:"動画像の自己組織化ネットワークモデル化--そのトポロジーと動的特徴の解析--"、 人工知能学会第 5回情報統合研究会、pp.1-6.
【R-97-104】 中沢正幸、張建新*、岡隆一:"テキスト出力をもつ音声・話題要約システムの構築"、平成 10 年度音響学会春期研究会発表会 pp.1-2.
【R-97-041】 速水悟*、長谷川修*、赤穂昭太郎*、坂上勝彦*、吉村隆*、山本和彦**、長屋茂喜、中沢正幸、坂本憲治***、外川文彦***:" 身振りと発話のマルチモーダルデータベース"、電子情報通信学会技術報告、PRMU97-95, pp. 1-8.
【R-97-046】 速水悟*、長谷川修*、赤穂昭太郎*、坂上勝彦*、吉村隆*、山本和彦**、長屋茂喜、遠藤隆、中沢正幸、坂本憲治***、外川文雄***:"RWC マルチモーダルデータベース"、 第 3 回知能情報メディアシンポジウム論文集、 pp. 245-252.
【R-97-049】 速水悟*、長谷川修*、赤穂昭太郎*、坂上勝彦*、吉村隆*、山本和彦**、長屋茂喜、中沢正幸、坂本憲治***、外川文彦***:"RWC マルチモーダルデータベース", 人工知能学会第 5 回情報統合研究会.

6)特許出願リスト

・13 年度
1 件
・12 年度

RWC 整理番号 2000R-003
発明考案の名称 楽曲検索装置および方法
発明者 西村拓一、橋口博樹、岡隆一
出願番号 2000-208945
出願日 並 12.7.10.
出願人 技術研究組合新情報処理開発機構
分類番号 G06F 15/20
状況 出願済

(概要)
楽曲に関するユーザの操作および検索処理を簡素化することができる楽曲検索装置および方法を提供する。

RWC 整理番号 2000R-008
発明考案の名称 音素認識装置および方法
発明者 伊原正典、岡隆一
出願番号 2000-305386
出願日 並 12.10.4.
出願人 技術研究組合新情報処理開発機構、シャープ株式会社
分類番号 G10L 1/00
状況 出願済

(概要)
フレームごとに音素認識を行う独自手法を拡張したフレーム単位に 1 つの音素特徴を複数評価するマルチテンプレート方式において、音素特徴の出現位置ごとに特徴をまとめ評価

を行うとともに、認識結果において位置の違いが生じても敢えて誤認識を無視することで認識率の向上を図る手段を提供する。

・11 年度
RWC 整理番号　99R-002
発明考案の名称　文書付き画像の分類方法、分類装置および記録媒体
発明者　高橋裕信、岡隆一,森靖英
出願日　平 11.6.11
出願番号　11-165885
出願人　新情報処理開発機構、株式会社日立製作所
（概要）
静止画とそれに附随する単語群の対データから、部分画像の寄与すべき単語の出現確率を学習する方式である。これにより、未知画像について、それが持つべき単語集合が与えられる。

RWC 整理番号　99R-008
発明考案の名称　データ系列検索装置、方法および記録媒体
発明者　岡隆一、関本信博
出願日　平 11.10.22
出願番号　11-301745
出願人　新情報処理開発機構
（概要）
検索対象のデータベースが時系列データ（ラベルの列）であるとする。また、query データを同じく時系列データであるとする。この時、query 時系列の各時刻において、その時刻を終端とし、然るべき始端があって、その区間データがデータベースの中に類似のものがあれば抽出方式である。これにより、定時間で音声や動画像が検索可能となる。

・10 年度
RWC 整理番号　98R-004
発明考案の名称　分類装置・方法および検索方法
発明者　高橋裕信、岡隆一
出願日　平 10.5.20.
出願番号　10-139001
出願人　技術研究組合　新情報処理開発機構
（概要）
ノイズの影響をなくして、自己組織化データベースを作成するために、与えられた標本から親和度に基づいて、非線形関数と標本の一様分布の制約のもとに、繰り返し計算でそれらの標本の配置を定める方式の考案である。

RWC 整理番号　98R-009
発明考案の名称　マルチメディア・クラスタリング装置、マルチメディア・クラスタリング方法および記録媒体
発明者　高橋裕信、森靖英、向井理朗、岡隆一
出願日　平 10.9.16.
出願番号　平 10-261997

出願人　技術研究組合 新情報処理開発機構、株式会社 日立製作所、 シャープ株式会社

（概要）

画像などのパターンを特徴ベクトルで表現したものについて、それらが事前にカテゴリーが存在するとき、同一カテゴリーの属するものはより集約し、同一カテゴリーの属しないものは離れるというデータの配置方法において、非線形関数とそのデータの配置の一様性の制約を課すことにより、従来の判別分析法などに比べて、より精度の高いクラスタリング法を提案した。また、これをテキストと画像のような異なるメディアの対データについて、片方の近さ関係を他方の近さ関係に反映させる方式への応用を提案した。

・9 年度

なし

(4)著作物リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

A-3-5. Ｈ9ユーザ依存の自己組織化／Ｈ１０～13ユーザ依存の自己組織化マルチメディア情報ベース 情報ベース機能ＫＲＤＬ研究室）

（1）査読論文リスト

・13 年度

【R-01-019】T. Tan and P. Mulhem, ″Image Query System Using Object Probes″, Proc. of the International Conference on Image Processing, ICIP 2001, Oct 2001, Thessaloniki, Greece, pp. 701-704.

【R-01-026】P. Mulhem and T. Tan, “Impact of Labeling Processes on Symbolic Image Retrieval”, Proc. of the IASTED International Conference on Signal and Image Processing, Aug 13-16, 2001, Hawaii, pp. 7-11.

【R-01-090】J. Chen, T. Tan and P. Mulhem,″ A Method for Photograph Indexing using Speech Annotation″ in Proc. of the Pacfic Rim Conference on Multimedia, Beijing, 24-26 Oct 2001.

【R-01-076】J. Zhang, T. Tan, J.K. Wu and P. Mulhem, “Multiple Indexing and Retrieval of Still Image Chinese Speech Annotations”, In Proc. of the International Conference on Chinese Computing, Singapore, 27 – 29 Nov 2001.

【R-01-091】M. Codina, T. Tan and P. Mulhem, “Silhouette Extraction and Human Posture Classification on Still Images”, In Proceeding of the Digital Image Computing : Techniques and Applications 2002, Melbourne, Australia.

【R-01-039】Y. Zhu, C. Xu and M. Kankanhalli, ″Melody Curve Processing for Music Retrieval″ in Proc. of the International Conference on Multimedia and Expo, Tokyo, 22-25 Aug 2001.

【R-01-057】Y. Zhu, M. Kankanhalli and C. Xu, ″Pitch Tracking and Melody Slope Matching for Song Retrieval″ in Proc. of the Pacific Rim Conference on Multimedia, Beijing, 24-26 Oct 2001

【R-01-071】Lim, J.H. (2001). Fuzzy object patterns for visual indexing and segmentation. To appear in Proc. of FUZZ-IEEE 2001, Melbourne, Australia, Dec. 2-5, 2001

【R-01-086】Y. Zhu, C. Xu and D. Dagan Feng, ″Content Protection and Usage Control for Digital Music″ Internatiional conference on Web Delivering of Music, Florence Italy, Nov 2001.

【R-01-104】Lim, J.H. , J.K. Wu , S.Singh and D. Narasimhalu, ″Learning Similarity Matching in Multimedia Content-Based Retrieval″ IEEE Transactions on knowledge and data engineering, pp. 846-850. Sep, 2001

・12 年度

【R-00-143】 Lim, J.H. (2001). Building visual vocabulary for image indexation and query formulation. To appear in Pattern Analysis and Applications (Special Issue on Image Indexation).

【R-00-086】 Lim, J.H. (2000). Explicit query formulation with visual keywords. In Proc. of ACM Multimedia ユ 2000, Los Angeles, CA, USA, Oct 30-Nov 3, 2000, pp. 407-409.

・11 年度

【R-99-065】 Hong, D.Z., Singh, S., Zhu, Y.W., & Wu, J.K. (1999). Customisable Image Categorization and Retrieval with Interactive User Interface. In Proc. of Intl. Conf. on Multimedia Modeling, Ottawa, Canada, Oct . 4-6, 1999, pp. 441-462.

【R-99-028】 Lim, J.H. (1999). Learnable Visual Keywords for Image Classification. In Proc. of ACM Digital Libraries'99, Berkeley, CA, USA, Aug. 11-14, 1999, pp. 139-145.

【R-99-064】 Lim, J.H. (2000). Photographs Retrieval and Classification by Visual Keywords and Thesaurus. New Generation Computing, 18(2): 147-156.

【R-99-027】 Lim, J.H. (2000). Visual Keywords: From Text IR to Multimedia IR. In F. Crestani & G. Pasi (eds.), Soft Computing in Information Retrieval: Techniques and Applications, Physica-Verlag (Springer-Verlag), Heidelberg, Germany, pp. 77-101.

【R-99-143】 Lim, J.H. et al. (2000). Learning Similarity Matching in Multimedia Content-Based Retrieval. To appear in IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering.

・10 年度

【R-97-058】 Lim, J.H., Wu, J.K., Singh, S., & Narasimhalu, A.D. (1998). "Learning for Content-Based Multimedia Retrieval". In Proc. of Intl. Forum of Multimedia and Image Processing, Anchorage, Alaska, USA, May 10-14, 1998, pp. 074.1-074.8

【R-97-145】 Sun, X.D., Kankanhalli, M.S., & Zhu, Y.W. (1998). "Content-Based Representative Frame Extraction for Digital Video". In Proc. of IEEE Multimedia Systems Conference, Austin, TX, USA, June 28 - July 1,1998.

【R-98-100】 Hong, D., Wu, J.K., & Singh, S.S. (1999). "Refining Image Retrieval Based On Context-Driven Methods". In Proc. of IS&T/SPIE's International Symposium on Electronic Imaging, San Jose Convention Center, San Jose, California, Jan. 26-29, 1999, pp. 581-592.

【R-98-118】 Lim, J.H. (1999). "Categorizing Visual Contents by Matching Visual Keywords". To appear in Proc. of Visual'99, Amsterdam, Netherlands, June 2-4, 1999.

【R-98-119】 Lim, J.H. (1999). "Learning Visual Keywords for Content-Based Retrieval". To appear in Proc. of IEEE ICMCS'99, Florence, Italy, June 7-11, 1999.

・9 年度

【R-97-079】 J. K. Wu, Formalism for Content-based Retrieval of Multimedia Systems, IEEE SMC'97, pp3108-3113, Orlando, Florida, USA, Oct 12-15, 1997.

【R-97-007】 Liya Ding, Reasoning and Retrieval Based on Similarity and Satisfaction, IEEE SMC'97, pp.3102-3107, Orlando, Florida, USA, Oct 12-15, 1997.

【R-97-058】 Lim, J.H., Wu, J.K., Singh, S., Narasimhalu, A.D.（1998）Learning for content-based multimedia retrieval. Proc. of Int'l. Forum of Multimedia and Image Processing, Anchorage, Alaska, USA, May 10-14, 1998.

（2）その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

【R-01-026】 Tele Tan,"Impact of Labeling Processes on Symbolic Image Retrieval", IASTED,2001.5.18

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

(3)特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

(4)著作物リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

A-3-6. 能動知能システムの評価（RWC センター言語統合ラボ）

(1) 査読論文リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

1. 田中、本村、橋田、"多重文脈に即応的な対話インターフェース： 半可通"、MACC Online Proceedings (Nov. 1999)
2. K.Hasida, "MPEG-7 basic ontology and linguistic/data/semantic links", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG99/M5446 (Dec. 1999)
3. K.Tanaka, I.Frank, I.Noda, H.Matsubara, "A statistical perspective on the RoboCup simulator eague---progress and prospects---", Proceedings of the RoboCup Workshop (1999)

・10 年度

1. 橋田、井佐原、徳永、橋本、荻野、柏野、豊浦、高橋、"The RWC text databases", Proceedings of The First International Conference on Language Resource and Evaluation (May 1998)

(2) その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

1. 橋田浩一: "知能とメディアのテクノロジー", オーディオビジュアル複合情報処理シンポジウム 2001～ MPEG-7, 最新動向と将来展望～ , 2001.
2. 橋田浩一: "情報インフラに基づくシンポルグラウンディング", 電子情報通信学会大会招待講演, 2001.
3. Koiti Hasida: "Interactive Multimodal Presentation", Dagstuhl Seminar `Coordination and Fusion in, Multimodal Interaction', 2001.
4. 橋田浩一: "マルチメディアと意味構造記述", 精密工学会セミナー「ライフサイクル支援のためのＸＭＬ技術」, , 2001.
5. 橋田浩一: "情報学の基本課題としてのグラウンディング", 情報学シンポジウム 2002 基調講演, 2002.

・12 年度

1. 橋田, 中川, 山田, 高橋, 垣内, 井上, “マルチモーダル共通フォーマットに基づくプレゼンテーション生成”, IPA 先端的情報化推進基盤整備事業成果報告集 (May 2000)
2. K.Tanaka-Ishii, I.Frank, K.Arai, “Trying to understand robocup”, Artificial Intelligence Magazine, Vol.21, No.3, pp.19-24, Fall(2000)
3. K.Tanaka-Ishii, I.Frank, “Multi-agent explanation strategies in real-time domains”, In 2000 Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, pp.158-165 (Oct.2000)
4. E.Andre, K.Binsted, K.Tanaka-Ishii , “Three robocup simulation league commentator systems”, Artificial Intelligence Magazine, Vol.21, No.1, pp.57-66 (2000)

5. I.Frank, K.Tanaka-Ishii, H.Okuno , "And the fans are going wild! SIG+MIKE ", In The 4th Proceedings of RoboCup Workshop (Aug.2000)

・11 年度

1. 橋田, "Design and Application of Multimodal Common Format ", 2000 RWC Symposium (Jan.2000)
2. 長尾, 白井, 橋田, "言語的アノテーションに基づくマルチメディア要約 ", 言語処理学会第 6 回年次大会 (Mar.2000)

・10 年度

1. 橋田, "大域文書修飾とマルチモーダル共通フォーマット" (Feb. 1999)

(3)特許出願リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし

(4)著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし

A-4. 理論・アルゴリズム基盤領域

A-4-1. 分散能動学習方式（理論基盤ＮＥＣ研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【R-01-006】 Takeuchi, Kawabata , and Barron :"Properties of Jeffreys mixture for Markov sources'', 第 4 回情報論的学習理論シンポジウム予稿集, pp. 327-332, 2001.

・12 年度

【R-00-074】 N. Abe, A. Biermann and P. M. Long: "Reinforcement Learning with Immediate Rewards and Linear Hypotheses", Machine Learning 投稿.

【R-00-001】 竹内純一 :"定常確率系列の族に関するミニマックスリグレットについて（On the Minimax Regret for Classes of Stationary Stochastic Processes）", 第 3 回情報論的学習理論ワークショップ（IBIS2000）予稿集.

【R-01-125】K. Udaka, H. Mamitsuka and N. Abe :"Prediction of MHC calss I binding peptides by dynamic experiment design based on query learning," Asian Joint Wrokshop for Protein Informatics, Dec. 2001.

・11 年度

【R-99-033】 J. Takeuchi, N. Abe and S. Amari: "The Lob-Pass Problem", Journal of Computer and System Sciences, 61(3), 2000.

【R-99-139】 N. Abe, J. Takeuchi and M. K. Warmuth: "Polynomial Learnability of Stochastic Rules with respect to the KL-divergence and Quadratic Distance", The IEICE Transactions on Information and Systems 受理.

【R-99-061】 K. Yamanishi, Extended Stochastic Complexity and Minimax Relative Loss Analysis, Proceedings of the 10th International Conference on Algorithmic Learning Theory, pp.26-38, 1999.

【R-98-110】 N. Abe and P. M. Long, Associative Reinforcement Learning using Linear Probabilistic Concepts, Proceedings of the 16th International Conference on Machine Learning, pp.3-11, 1999.

【R-98-127】 A. Nakamura: " Learning Specialist Decision Lists",Proceedings of the 12th Annual Conference on Computational , Learning Theory(COLT'99), ACM press, pp:215-225, July 1999.

・10 年度

【R-98-127】 A. Nakamura: " Learning Specialist Decision Lists", Submitted to the 12th Annual Conference on Computational , Learning Theory(COLT'99).

【R-98-110】 N. Abe and P. M. Long: " Associative Reinforcement Learning using Linearn Probabilistic Concepts", Proceedings of the 16th International Conference on Machine Learning(ICML'99),pp.3-11, 1999.

・9 年度

【R-97-019】 K. Yamanishi: " Distributed Cooperative Bayesian Learning Strategies", Information and Computation, 150, pp.22-56, 1999.

【D-97-003】 A. Nakamura, Query Learning of Bounded-Width OBDDs. Theoretical Computer Science, 241, pp:83-114, 2000.

【R-97-044】 H. Li and N. Abe: " Learning dependencies between case frame slots", Computational Linguistics, Vol. 25, No.2 p.283-291, 1999.

【R-97-097】 H. Li and N. Abe: " Word Clustering and Disambiguation based on co-

occurrence data", the Annual Meeting of the Association of Computational Linguistics, (COLING-ACL'98),Vol.2p.749-755,1998.

【R-97-099】 K. Yamanishi: " Minimax Relative Loss Analysis for Sequential Prediction Algorithms", Using Parametric Hypotheses, Proceedings of 11th Annual Conference on Computational Learning Theory, pp:32-43, July, 1998.

【R-97-127】 N. Abe and H. Mamitsuka: " Query learning strategies using boosting and bagging", Proceedings of the 15th International Conference on Machine Learning(ICML'98),pp.1-9,1998.

ℓ)その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

【R-01-049】 安倍直樹、山西健司、中村篤祥、馬見塚拓、竹内純一、李航,"Distributed and Active Leanring", The Foundations of Real-World Intelligence, 2001.6.14

【R-01-023】 宇高恵子、馬見塚拓、安倍直樹,"Prediction of MHC class I binding peptides by a query learning algorithm with hidden Markov models", 第1回日本蛋白質科学会年回,2001.5.9

【R-01-125】 K. Udaka, H. Mamitsuka and N. Abe：Prediction of MHC calssI binding peptides by dynamic experiment design based on query learning,"、Asian Joint Wrokshop for Protein Informatics, Dec. 2001.

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

【R-98-074】 N. Abe and H. Mamitsuka: " Predicting MHC-binding Peptides using Query Learning Methods", Poster at the 1999 Pacific Symposium onBiocomputing (PSB'99).

【R-98-076】 J. Takeuchi and Andrew R. Barron : " Robustly Minimax Codes for Universal Data Compression", The 21st Symposium on Information Theory and Its Applications, 1998.

【R-98-091】 N. Abe and H. Mamitsuka :" Empirical Evaluation of Two New Query Learning Strategies", 文部省特定領域研究「発見科学」A 3班研究集会

・9 年度

【R-97-061】 李航、安倍直樹："共起データに基づいた単語クラスタリング法"、自然言語処理シンポジウム 1997、（ページ不明）

ϐ)特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

RWC 整理番号　98R-001
発明考案の名称　実験計画法および実験計画プログラムを記憶した記録媒体
発明者　馬見塚拓、安倍直樹（理論基盤 NEC 研究室）
出願日　平 10.5.6.
出願番号　10-123057
出願人　日本電気株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
概要：対象となる全試行の遂行が事実上不可能な実験を行う際に、能動学習を用いて効率的な実験手順を指定することにより、少ない実験回数で目的関数の推定を可能にする実験計画の立案方法を提供する。

RWC 整理番号　98R-002
発明考案の名称　分散型学習予測装置
発明者　山西健司（理論基盤 NEC 研究室）
出願日　平 10.5.6.
出願番号　10-123383
出願人　日本電気株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
概要：情報端末が分散している環境下で、線形予測関数などの実数値関数を高速に学習し、未知データを高い精度で予測する。

RWC 整理番号　98R-008
発明考案の名称　組み合わせ最適化方法および組み合わせ最適化システム
発明者　馬見塚拓（理論基盤 NEC 研究室）
出願日　平 10.8.14.
出願番号　10-229574
出願人　日本電気株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
概要：複数地点（マーカー或いはプローブ）のすべての各二地点間の距離を所与のデータとし、距離和が最短となる地点の順序を決める組合せ最適化方法を提供する。

RWC 整理番号　98R-012
発明考案の名称　データ発生確率推定装置
発明者　竹内純一（理論基盤 NEC 研究室）
出願日　平 10.11.25
出願番号　10-334546
出願人　日本電気株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
概要：データ列の発生確率に関して、相対冗長度をなるべく小さくするようにベイズ混合確率密度を計算するとともに相対冗長度をなるべく小さくするように予測確率密度を計算すること。

RWC 整理番号　98R-014
発明考案の名称　集合型予測装置
発明者　山西健司（理論基盤 NEC 研究室）
出願日　平 11.2.25
出願番号　11-048184

出願人　　日本電気株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
概要 :用意された複数の予測関数のうちの最良の予測関数の性能をも上回る予測精度をもつ、集合型のオンライン予測方式を実現する装置を提供する。

・9 年度
RWC 整理番号　97R-008
発明考案の名称　単語自動分類装置及び単語自動分類方法
発明者　　李航、安倍直樹
出願日　　平 9.11.10
出願番号　　特願平 09-306966
出願人　　日本電気株式会社、新情報処理開発機構
概要：

(4)著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-4-2. 記号パターン統合 理論基盤東芝研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

なし

・12 年度

【R-00-103】 Hiroshi Tsukimoto : “Pattern Reasoning: Logical Reasoning of Neural Networks”, Systems and Computers in Japan, SCRIPTA TECHNICA, INC., 2001.(To appear)

【R-00-104】 Hiroshi Tsukimoto: “Symbol pattern integration using multilinear functions”, Deep Fusion of Computational and Symbolic Processing, T. Furuhashi, S.Tano, and H.A.Jacobsen eds., Springer-Verlag, pp.41-70, 2001.

・11 年度

【R-99-094】 月本洋：パターン推論-ニューラルネットワークの論理的推論、電子情報通信学会論文誌、Vol.J83-D-II No.2, pp.744-753,2000.

・10 年度

なし

・9 年度

なし

(2)その他論文リスト (口頭を含む)

・13 年度

【R-01-003】 佐藤誠,"分割平面を考慮した GA によるニューラルネット最適化",人工知能学会全国大会,2001.4.5

・12 年度

なし

・11 年度

【R-99-135】 Hiroshi Tsukimoto, Chie Morita: "Logical Reasoning of Patterns: A New Solution for Knowledge Acquisition Problem",Proceedings of RWC Symposium, pp.253-258 (2000)

・10 年度

【R-98-115】 月本洋、森田千絵："パターンの論理的推論-知識獲得問題の新解決法"、産業システム情報化研究会(電気学会)、IIS-99-1,1999.

【R-98-116】 月本洋、森田千絵："パターンの論理的推論-知識獲得問題の新解決法-"、第 36回人工知能基礎論研究会(人工知能学会)、1999.

・9 年度

なし

(3)特許出願リスト

・13 年度

RWC 整理番号　2001R-001

発明考案の名称　ニューラルネットの結合重み最適化装置および方法並びにプログラム

発明者　佐藤誠

出願日　　H13.5.24
出願番号　　特願 2001-155478
出願人　　株式会社東芝
（概要）
ニューラルネットの結合加重値を遺伝的アルゴリズムなどで最適化する際の、新しい遺伝子符号化／復号化方法に関する発明。実験結果から、通常用いられる方法よりも優れた最適化性能を示すことが確認されている。

・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

(4)著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-4-3. Ｈ９実世界における能動学習と情報統合／H10 ～13 開かれた環境における能動学習と情報統合（理論基盤ＧＭＤ研究室）

（**1**）査読論文リスト

・13 年度

【R-01-014】Th. Mahnig H. Mühlenbein: "A New Adaptive Boltzmann Selection Schedule," In: CEC 2001, IEEE press, Piscataway, pp. 183–190, 2001.

【R-01-100】H. Mühlenbein, Th. Mahnig: "Evolutionary Computation and Beyond," In: Foundations of Real World Intelligence (Eds. Y. Uesaka, P. Kanerva, H. Asoh); CSLI Publications, Stanford, pp. 123–188, 2001

【R–01–082】G. Richter: "Integrated distribution and functional scalability for intelligent robot control," In: Proceedings of IFAC Workshop on Intelligent Assembly and Disassembly (IAD'2001) and V Brazilian Symposium on Intelligent Automation (V SBAI), to appear 2001

・12 年度

【R-00-029】 H. Mühlenbein, J. Zimmermann: " Size of Neighborhood More Important than Temperature for Stochastic Local Search", In: 2000 Congress on Evolutionary Computation, pp. 1017-1024, IEEE, 2000

【R-00-030】 H. Mühlenbein, Th. Mahnig: "Mathematical Analysis of Optimization Methods Using Search Distributions", to be published 2001

【R-00-031】 H. Mühlenbein, Th. Mahnig: "Evolutionary Algorithms: From Recombination to Search Distributions", In: Theoretical Aspects of Evolutionary Computation (Eds. L. Kallel, B. Naudts, A. Rogers); Springer Verlag, Berlin, pp. 137–176, 2000

【R-00-090】 W. Ebeling, F. Schweitzer "Active Motion in Systems with Energy Supply", In: Integrative Systems Approaches to Natural and Social Sciences – Systems Science 2000 (Eds. M. Matthies, H. Malchow, J. Kriz), Springer, Berlin (Chapter 9), 2001

【R-00-091】 Schweitzer, F.; Zimmermann, J.: "Communication and Self-Organization in Complex Systems: A Basic Approach", In: Knowledge, Complexity and Innovation Systems (Eds. M. M. Fischer, J. Fröhlich), Springer, Berlin, pp. 285–308, 2001

【R-00-092】 Holyst, J.; Kacperski, K.; Schweitzer, F.: "Phase Transitions in Social Impact Models of Opinion Formation", Physica A 285, pp. 199–210, 2000

【R-00-093】 Holyst, J.; Kacperski, K.; Schweitzer, F.:"Social Impact Models of Opinion Dynamics", In: Annual Reviews of Computational Physics (Ed. D. Stauffer), vol. 9, World Scientific, Singapore 2001 (pp. 253–272)

【R-00-094】 Zimmermann, J., Höns, R., Mühlenbein, H. "ENCON: An Evolutionary Algorithm for the Antenna Placement Problem", to appear in Applied Artificial Intelligence, 2001

【R-00-096】 Zimmermann, J., Höns, R., Mühlenbein, H. "From Theory to Practice: An Evolutionary Algorithm for the Antenna Placement Problem", to appear, 2001

【R-00-147】 H. Mühlenbein, Th. Mahnig: "Wright's Equation and Evolutionary Computation", WSES International Conference on Evolutionary Computation, February, 2001

【R-00-148】 H. Mühlenbein, Th. Mahnig: "Application of Wright's Equation in Evolutionary Computation", WSES International Conference on Evolutionary Computation, February, 2001

・11 年度

【R-99-158】 H. Muhlenbein, Th. Mahnig "The Factorized Distribution Algorithm for additively decomposed functions" Proc. IEEE Conference on Evolutionary Computation, pp. 752-759 (1999)

【R-99-157】 H. Muhlenbein, Th. Mahnig "FDA A scalable evolutionary algorithm for the optimization of additively decomposed functions" Evolutionary Computation 7(4), pp. 353-376,1999

【R-99-074】 H. Muhlenbein, Th. Mahnig "Evolutionary optimization using graphical models" New Generation Computing 18 (2000),pp. 157-166

【R-99-147】 A. Schmitz, G. Richter "Fine grained multiagent architectures for robot control and simulation"Submitted to RAAD2000, 1999

【R-99-148】 G. Richter, A. Schmitz, H. Veit "Towards more design flexibility for architectures of autonomous robot control systems" Submitted to IAS-6, 1999

【R-99-107】 G. Paass, J. Kindermann, "Multistep Sequential Exploration of Bayesian Classification Models Using Stochastic Gradients" In G.Paass (ed.): Learning and Adaptivity for Connectionist Models and Neural Networks (GMD Report 59). St. Augustin, pp. 80-90 (1999)

【R-99-166】 G. Paass, J. Kindermann "Multistep Sequential Exploration of Growing Bayesian Classification Models" Submitted to IJCNN'00, 1999

・10 年度

【R-97-072】 Muhlenbein, H. :"The Equation for the Response to Selection and its Use for Prediction", Evolutionary Computation, Vol.5, No. 3, pp. 303--346, 1998

【R-97-129】 Muhlenbein, H. , Ochoa, A.:"Schemata, Distributions and Graphical Models in Evolutionary Optimization",to appear 1999 (Journal of Heuristics Vol. 5, No. 2)

【R-98-077】 Paass, G., Kindermann, J.:"Bayesian Classification Trees with Overlapping Leaves Applied to Credit-Scoring",In: X. Wu , R. Kotagiri, K.B. Korb (eds.): Research and Development in Knowledge Discovery and Data Mining. LNCS, Vol. 1394 Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, Berlin 1998 pp. 234--245

【R-98-078】 Veit, H., Richter, G.:" A generic architecture for distributed systems of interacting medium-grained agents",In: P. Kacsuk, G. Kotsis (eds.): Proceedings of DAPSYS98 Distributed and ParallelSystems. University of Vienna, Dep. of Applied Computer Science TR-98102, Wien 1998 pp. 61--67

【R-98-079】 Kindermann, J., Paass, G.:" Model switching for Bayesian classification trees with soft splits",In: J. M. Zytkow, M. Quafafou (eds.): Principles of data mining and knowledge discovery. LNCS, Vol. 1510 Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag,Berlin 1998 pp. 148--157

【R-98-080】 Paass, G., Kindermann, J.:" Klassifikation mit Populationen von

heterogenen Modellen", Kunstliche Intelligenz No. 2/1998, pp. 56--65, 1998 - In German

【R-98-081】 Zhang, Q., Leung, Y.-W.:" Convergence of a Hebbian-type learning algorithm", to appear 1999 (IEEE Trans. on Circuit and System)

【R-98-082】 Zhang, Q., Leung, Y.-W.:"An orthogonal genetic algorithm for multimedia multicast routing",to appear 1999 (IEEE Trans. on Evolutionary Computation)

【R-98-121】 Veit, H., Richter, G.:" The FTA design paradigm for distributed systems",to appear 1999 (special issue of Future Generation Computer Systems)

【R-98-122】 Muhlenbein, H., Mahnig, Th.:" Convergence theory and applications of the Factorized Distribution Algorithm", to appear 1999 (Journal of Computing and Information Technology)

・9 年度

【R-97-071】 Theoretical Foundation GMD Laboratory, Dornaika, F., Garcia, C. "Pose estimation using point and line correspondences" Journal of Real-Time Imaging （JRTI) scheduled to appear in FY 1997

【R-97-072】 Theoretical Foundation GMD Laboratory, Muehlenbein, H. "The Equation for the Response to Selection and its Use for Prediction" Evolutionary Computation, 5: pp. 303-346（1998)

【R-97-073】 Theoretical Foundation GMD Laboratory, Beyer, U., Smieja, F. "A Heuristic Approach to the Inverse Differential Kinematics Problem" Journal of Intelligent and Robotic Systems Vol.18, No. 4（1997) , pp. 309-327

【R-97-074】 Theoretical Foundation GMD Laboratory, Paass, G. "Query sampling for prediction and model selection" Jyouhoushori, Vol.38, No.7, 562-568 （1997)

【R-97-075】 Theoretical Foundation GMD Laboratory, Dornaika, F., Garcia, C. "Robust camera calibration using 2D to 3D feature correspondences" In: S. F. El-Hakim（ed.) : Videometrics V, Proceedings of SPIE Vol. 3174. SPIE - The International Society for Optical Engineering, San Diego 1997 pp. 123-133

【R-97-076】 Theoretical Foundation GMD Laboratory, Garcia, C. "Matis3D: An adaptive stereo vision machine" In: Frydrych M., Parkkinen J., Visa A. （eds.) : Proceedings ofThe 10th Scandinavian Conference on Image Analysis （SCIA'97） Pattern Recognition Society of Finland, Lappeenranta1997 pp.831-838

【R-97-078】 Theoretical Foundation GMD Laboratory, Richter, G., Smieja, F., Beyer, U. "Integrative architecture of the autonomous hand-eye robot JANUS" In: Proceedings of the 1997 International Symposium on Computational Intelligencein Robotics and Automation（CIRA'97) .IEEE Computer Society Press,Los Alamitos 1997 pp.382-389

【R-97-121】 Theoretical Foundation GMD Laboratory, Dornaika, F., Garcia, C. "Object pose by affine iterations"In: A. Del Bimbo（ed.) : Image Analysis and Processing. Proceedings ICIAP'97. LNCS1310,1997, Vol.1,pp.478-485

(2) その他論文リスト (口頭を含む)

・13 年度

なし

・12 年度

【R–00–060】 Richter, G., Schmitz, A. "An FTA design study on distributed map building through autonomous exploration" (GMD Report 99). Sankt Augustin: GMD, 2000, 51 p. http://www.gmd.de/publications/report/0099/ でも公開

・11 年度

【R-99-149】 -Theoretical Foundation GMD Laboratory - Richter, G."Flip Tick Architecture: A design paradigm for cycle-oriented distributed systems" (GMD Report 84). Sankt Augustin: GMD, 1999, 131p. also available at http://www.gmd.de/publications/report/0084/

【R-99-124】 Muhlenbein, H., Bartling, U., Beyer, U., Richter, G."Artificial Reality: Mapping Real-World Processes into Fine-Grained Multiagent Systems" Proceedings of the 2000 RWC Symposium, Tokyo 2000, pp.259-264

・10 年度

【R-98-027】 Richter, G.:" Flip-Tick Architecture: a cycle-oriented architecture for distributed problem solving", (GMD Report 19). Sankt Augustin: GMD, 1998, 53p.

【TR-98-001】 Muhlenbein, H., Richter, G.:" Reflective Teams: Architecture and Real-World Applications", Proceedings of the 1998 RWC Symposium, pp. 293--298, Tokyo 1998

・9 年度

【R-97-077】 Theoretical Foundation GMD Laboratory, Richter, G. "Introduction to Autonomous Manipulator Control in Open Environments"In: W. Banzhaf (ed.) : Draft Proceedings GWAL'97. Second German Workshop on Artificial Life - Workgroup Autonomous Manipulator Control in Open Environments. University of Dortmund, April 1997, pp. 77-79

(3) 特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

(4) 著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-4-4. 統計的パターンコンピューティング（理論基盤ＳＩＣＳ研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【R-01-056】Holst, A. and Sahlgren, M. "Dispersing the conceptual confusion." Proceedings of the Consciousness and Its Place in Nature: Toward a Science of Consciousness Conference, Index nr. 107, August 7-11, 2001, Skoevde, Sweden.

【R-01-062】Sahlgren, M. "Vector-based semantic analysis: Representing word meanings based on random labels." Paper presented at the Semantic Knowledge Acquisition and Categorisation Workshop at ESSLLI XIII (European Summer School in Logic, Language and Information), August 13-17, 2001, Helsinki, Finland. To appear in Kluwer Academic Publishing in the Text, Speech and Language Technology series.

【R-01-077】Sahlgren, M. and Karlgren, J. "Vector-based semantic analysis using random indexing for cross-lingual information retrieval." Proceedings of the Second Workshop of the Cross-Language Evaluation Forum, CLEF 2001, Darmstadt, Germany, in press.

【R-01-097】Kanerva, P., Sjoedin, G., Kristoferson, J., Karlsson, R., Levin, B., Holst, A., Karlgren, J., and Sahlgren, M. "Computing with large random patterns." In Y. Uesaka, P. Kanerva, and H. Asoh, FOUNDATIONS OF REAL-WORLD INTELLIGENCE (pp. 251-311). Stanford, Calif.: CSLI Publications, 2001.

【R-01-061】Sahlgren, M. "Representing word meanings based on random labels." Poster at the 23rd Annual Conference of the Cognitive Science Society, August 1-4, 2001, Edinburgh, Scotland.

・12 年度

【R-99-174】 Kanerva, P., Kristoferson, J., and Holst, A. (2000) "Random indexing of text samples for Latent Semantic Analysis", In L.R. Gleitman and A.K. Josh (eds.), Proc. 22nd Annual Conference of the Cognitive Science Society (Philadelphia), p. 1036. Mahwah, New Jersey: Erlbaum.

【R-00-152】 Sahlgren, M. (2001). "Vector-based semantic analysis: Representing word meanings based on random labels", Submitted to 23rd Annual Conference of the Cognitive Science Society.

・11 年度

【R-98-072】 Kanerva, P. "Large Patterns Make Great Symbols: An Example of Learning from Example", In S. Wermter and R. Sun (eds.), Hybrid Neural Systems. Heidelberg: Springer, 2000.

【R-99-043】 Kanerva, P. "Artificial Minds, Stan Franklin, MIT Press, 1995", Book review. Journal of Cognitive Systems Research, Vol. 1, No.1, pp.53-57, 1999.

・10 年度

【R-97-045】 Kanerva, P. (1998) "Pattern completion with distributed representation", Proceedings 1998 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN/WCCI, Anchorage, Alaska, May 1998), vol. 2, pp. 1416-1421.

【R-97-096】 Sjoedin, G. (1998). "The Sparchunk code: A method to build higher-level structures in a sparsely encoded SDM".Proceedings 1998 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN/WCCI, Anchorage, Alaska, May 1998), vol. 2,pp.1410-1415.

【R-98-006】 Kanerva, P. (1998)"Encoding structure in Boolean space" In L. Niklasson, M. Boden, and T. Ziemke (eds.), ICANN 98: Perspectives in Neural Computing (Proceedings 8th International Conference on Artificial Neural Networks, Skoevde, Sweden, Sep. 1998),vol.1,pp. 387-392.London: Springer.

【R-98-022】 Kanerva, P. (1998) "Dual role of analogy in the design of a cognitive computer", In K. Holyoak, D. Gentner, and B. Kokinov (eds.), Advancesin Analogy Research: Integration of Theory and Data from the Cognitive,Computational, and Neural Sciences (Proceedings of international workshopon analogy, Sofia, July 1998, NBU Series in Cognitive Science), pp.164-170. Sofia: New Bulgarian University.

【R-98-056】 Sjoedin, G. (1998) "Convergence in a Sparse Distributed Memory", In A.P. Braga and T.B. Ludermir (eds.), SBRN '98: Proceedings Vth Brazilian Symposium on Neural Networks (Belo Horizonte, Brazil, Dec.1998),vol. 1,pp.165-168. Los Alamitos, Calif.: IEEE Computer Society.

【R-98-075】 Kristoferson, J. (1998) "Some results on activation and scaling of Sparse Distributed Memory", In A.P. Braga and T.B. Ludermir (eds.), SBRN '98: Proceedings Vth Brazilian Symposium on Neural Networks (Belo Horizonte, Brazil, Dec. 1998), vol.1, pp.157-160. Los Alamitos, Calif.: IEEE Computer Society.

・9 年度

【R-97-045】 Kanerva, P. "Pattern completion with distributed representation", Proceedings of IJCNN'98, in press.

【R-97-096】 Sjoedin, G. "The Sparchunk code: A method to build higher-level structures in a sparsely encoded "

(2)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

【R-99-123】 Kanerva, P., and Sjoedin, G. "Stochastic Pattern Computing", Proc. 2000 Real World Computing Symposium (RWC2000, Tokyo, January 2000). Report TR-99-002, pp. 271-276, Real World Computing Partnership, Tsukuba-city, Japan, 1999.

・10 年度

なし

・9 年度

【R-97-084】 Kristoferson, J. "Some results on activation and scaling of sparse distributed memory", Report SICS R97:04, Swedish Institute of Computer Science. 1997

(3)特許出願リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

(4)著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-4-5. 確率的知識表現および能動的意思決定（理論基盤ＳＮＮ研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【R-01-096】H.J. Kappen, C.C.A.M. Gielen, W.A.J.J. Wiegerinck, A.T. Cemgil, T.M. Heskes, M. Nijman, and M. Leisink. Approximate reasoning: Real world applications of graphical models. In Y. Uesaka, P. Kanerva, and H. Asoh, editors, Foundations of Real-World Intelligence, pages 73-121. CSLI, California, USA, 2001.

・12 年度

【R-00-051】 M.Leisink and H.J. Kappen. An application of linear response learning. InProceedings BNAIC, pages 117--124, 2000.

【R-99-171】 W.Wiegerinck. Variational approximations between mean field theory and the junction tree algorithm. In C.Boutilier and M.Goldszmidt, editors, Proceedings of Uncertainty in AI, pages 626--633. Morgan Kaufmann, 2000.

【R-99-134】 W.Wiegerinck and H.J. Kappen. A bridge between mean field theory and exact inference in probabilistic graphical models, 2000.

【R-00-129】 T.M. Heskes. Self-organizing maps, vector quantization and mixture modeling. IEEE Transactions on neural networks, 2001.

【R00-136】 M.Westerdijk and W.A.J.J Wiegerinck. Improving classification with latent variable models by sequential constraint optimization. Neurocomputing, 2001.

【R-00-080】 B.Bakker, T.Heskes, J.Neijt, and H.J. Kappen. Improving Cox survival analysis with a neural-bayesian approach. Statistics in Medicine}, 2000.

・11 年度

【R-98-140】 H.J Kappen and M.J Leisink. On the validity of mean field theory for finite size boltzmann machines. In Proceedings Snowbird, 1999. SNN-98-031.

【R-99-133】 M. Leisink and H.J. Kappen. An application of linear response learning. In Proceedings IJCNN, 2000. Submitted.

【R-99-071】 W. Wiegerinck and H. Kappen. Approximations of bayesian networks through kl minimisation. New Generation Computing, 18:167-175, 1999. in press, SNN-99-008.

【R-99-032】 D. Barber and P. Sollich. Gaussian fields for approximate inference in layered sigmoid belief networks. In NIPS, 1999. Accepted, SNN-99-007.

【R-99-090】 W. Wiegerinck, H.J. Kappen, M. Leisink, D. Barber, and S.Stroeve. Variational methods for approximate reasoning in graphical models. In Proceedings RWC, pages265-270, 2000.

【R-99-134】 W. Wiegerinck and H.J. Kappen. A bridge between mean field theory and exact inference in probabilistic graphical models. In Proceedings IJCNN, 2000. Submitted.

【R-98-138】 S. Stroeve, B. Kappen, and S. Gielen. Stimulus segmentation in astochastic neural network with exogenous signals. In Proceedings ICANN, pages 732-737, 1999. SNN-98-029.

【R-99-019】 T. Heskes. Energy functions for self-organizing maps. In E. Oja and S. Kaski, editors, Kohonen Maps, pages 303-315, Amsterdam, 1999. Elsevier.
【R-99-132】 T. Heskes, J. Spanjers, and W. Wiegerinck. Em algorithms for self-organizing maps. In International Joint conference on neural networks, 1999. submitted.
【R-98-137】 P. Sollich and D. Barber. Online learning from finite training sets and robustness to input bias. Neural Computation, 1998. Accepted.
【R-98-112】 D. Barber and C. M. Bishop. Ensemble Learning in Bayesian Neural Networks. In C.M. Bishop, editor, Neural Networks and Machine learning, volume Vol. 168 of NATO ASI series F:Computer and Systems Sciences, pages 215-238. Kluwer, 1998.
【R-98-139】 W. Wiegerinck, H.J. Kappen, E.W.M.T ter Braak, W.J.P.P ter Burg, M.J. Nijman, Y.L. O, and J.P. Neijt. Approximate inference for medical diagnosis. Pattern Recognition Letters, 20:1231-1239, 1999. SNN-98-030.

・10 年度
なし

・9 年度
【R-97-011】 H. J. Kappen and F. B. Rodriguez: "Mean field approach to learning in Boltzmann Machines", Pattern Recognation in Practice V, 1997.
【R-97-022】 P. vd. Laar, T. Heskes: "Subset Selection for Network Ensembles", NIPS'97.
【R-97-023】 P. vd. Laar, S. Gielen and T. Heskes: "Input Selection with Partial Retraining", ICANN'97.
【R-97-109】 P. vd. Laar and T. Heskes: "Input Selection Based on and Ensemble", Neural Procesing Letters,1997.
【R-97-124】 T. Heskes and W. Wiegerinck: "On-Line Learning with Time-Corretated Examples", On-Line Learning Proceedings, 1997.
【R-97-125】 P. v. d. Laar and T. Heskes: "Architecture Selection Using Metrics", Neural Computation, 1997.
【R-97-133】 D. Barber and P. Sollich*: "Onine learning from finite training sets", Proc. of the Newton Institute workshop online-learning, 1997.

(2) その他論文リスト（口頭を含む）

・ 13年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

(3)特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

(4)著作物リスト

・13 年度

管理番号　　01TH01

著作物の名称　BayesBuilder

原著作者　　SNN(オランダ　ニューラル・ネットワーク協会)

完成日　　平 13.9.3

記録媒体　　CD-ROM

(概要)

当ソフトウェアはグラフィカルなユーザインタフェースによりグラフィカルモデルの設計を可能とする。

その後、当ソフトウェアはグラフィカルモデルに関する推論を可能とする。

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

A-4-6. 学習統合型情報処理の理論基盤の研究（RWI センター学習統合基礎ラボ）

(1)査読論文リスト

・13 年度

1. Kazuhisa Niki and Jing Luo; An fMRI study on the time-limited role of the medial temporal lobe in long-term topographical autobiographic memory, Journal of Cognitive Neuroscience 14:3 (In Print, 2002).
2. Jing Luo and Kazuhisa Niki ; The role of medial temporal lobe in extensive retrieval of task-related knowledge, Hippocampus (In Print).
3. Hideki Asoh, Nikos Vlassis, Yoichi Motomura, Futoshi Asano, Isao Hara, Satoru Hayamizu, Katsunobu Ito, Takio Kurita, Toshihiro Matsui, Roland Bunschoten, and Ben Krose:"An office robot with good communication and learning skills, IEEE Intelligent Systems, Vol.16, No.5, 46-55, 2001.9.
4. 本村陽一："データベースと連携したベイジアンネット構築システム"，第 4回情報論的学習理論ワークショップ予稿集, 223-226, 2001.7.

・12 年度

・12 年度

1. 麻生："情報論的学習理論"，人工知能学会誌, Vol.16, No.2, 287-299, 2001.3.
2. H. Asoh, Y. Motomrau, K.Hasida, K.Niki, S.Akaho, M.Tanaka, T.Niwa, and K.Fukumizu:"Inference and learning with graphical models", Bulletin of the Electrotechnical Laboratory, Vol.64, No.4,5, 67-74, 2000.8.
3. 麻生：理論・アルゴリズム基盤の研究開発状況，電子技術総合研究所彙報, Vol.64, No.4,5, 23-27, 2000.8.
4. Y. Motomura: "Bayesian network learning system based on neural networks," Proceedings of AFSS2000 (Asian Fuzzy Systems Symposium), Vol.2, 826-831, 2000.6
5. 本村，佐藤："ベイジアンネットワーク －不確定性のモデリング技術－"，人工知能学会誌, Vol.15, No.4, 575-582, 2000.
6. K.Niki, J.Hatou, J.Luo, and I. Tahara: "Functional connectivity analysis for fMRI data using mutual information and interaction, NeuroImaging, Vol.11, No.5, 2000.
7. 赤穂昭太郎："EM アルゴリズム-クラスタリングへの適用と最近の発展-，日本ファジイ学会誌, Vol.12, No.5, 2000.10.
8. S. Akaho and H.J. Kappen: "Nonmonotonic generalization bias of Gaussian mixture models," *Neural Computation*, Vol.12, No.6, 2000.

・11 年度

1. 本村、赤穂、麻生、"ベイジアンネット学習の知能システムへの応用"、計測自動制御学会誌「計測と制御」、Vol.38,No.7,pp468－473(Jul.1999)
2. K. Hasida, "Static and dynamic compilation for constraint reduction in parsing and generation", Dagstuhl Seminar on Efficient Language Processing with High-Level Grammar Formalisms (Oct. 1999)
3. K.Niki, J.Hatou, I.Tahara, "Structure analysis for fMRI brain data by using mutual information and interaction", Proceedings of 6th International Conference of Neural Information Processing, Vol III, pp. 928-933 (Nov. 1999)
4. 赤穂、"ECM 法を用いた確率分布の位置、尺度、回転パラメータの推定法"、電子情報通信学会論文誌 D-II,Vol.J82-D-II,No.12,pp.2240-2250(Dec.1999)

5. S.Akaho and H.J.Kappen, "Nonmonotonic generalization bias of Gaussian mixture models", Neural Computation, Vol.12, No.6, (2000).
6. 本村、佐藤、"ベイジアンネットワークー不確定性のモデリング技術ー"、人工知能学会誌、Vol.15, No.4, 575-582, 2000.

・10 年度

1. K.Hasida, "Parsing and generation with tabulation and compilation", Proceedings of TAPD'98, pp.26-35 (Apr. 1998)
2. S.Akaho, "Statistical learning in optimizantion:Gaussian modeling for population search", Proceedings of ICONIP'98, pp.409-412 (Oct. 1998)
3. K.Horikawa, H.Asoh, J.Tani, T.Matsui, M.Kakikura, "Emergence of expert modules for mobile robot navigation from a mixture of Elman networks", Proceedings of ICONIP'98, pp.256-259 (Oct. 1998)
4. Y.Motomura, "Integration of situated prior probability and neural network classifier in a handwriting recognition task", Proceedings of ICONIP'98, pp.283-286 (Oct. 1998)
5. T.Niwa, M.Tanaka, "Analysis on the island model parallel genetic algorithms for the genetic drifts", The Second Asia-Pacific Conference on Simulated Evolution and Learning (Nov. 1998)

・9 年度

1. K. Hasida, "Constraint-based derivation of cognitive model on parsing", in Proceedings of the International Conference on Cognitive Science '97, pp.51-56 (Aug. 1997)
2. K.Niki, "Self-organizing information retrieval system on the web: SirWeb", Proceedings of ICONIP'97, pp.881-884 (Nov.1997)
3. 福水、"ニューラルネットワークの能動学習"、情報処理、Vol.38,No.7,pp.569-574 (July 1997)

ﾛ)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

1. 本村陽一：“ベイジアンネットワークとその実世界情報処理への応用”, 計測自動制御学会東北支部第 199 回研究集会, 2001.
2. 麻生英樹：“インタラクションを通じた学習”、情報処理学会音声言語情報処理研究会資料 37-4, 2001.7.
3. 本村陽一：“不確実性モデリングのための情報表現：ベイジアンネット”, 人工知能学会ベイジアンネットチュートリアル BN2001 講演論文集, 5-13, 2001.7.
4. 本村陽一：“ベイジアンネット構築システム：BAYONET” 人工知能学会ベイジアンネットチュートリアル BN2001 講演論文集, 54-58, 2001.7.
5. Yoichi Motomura: “BAYONET: Bayesian Network on Neural Network” In Y. Uesaka et al. (eds.) Foundations of Real-World Intelligence, pp.28-37, CSLI Publications, 2001.
6. Kazuhisa Niki, Junpei Hatou, Toshiaki Kawamata, and Ikuo Tahara: “Multivariate Information Analysis”, In Y. Uesaka et al. (eds.) Foundations of Real-World Intelligence, pp.38-54, CSLI Publications, 2001.
7. Hideki Asoh: Theoretical and Algorithmic Foundations of Real-World Intelligence, In Y. Uesaka et al. (eds.) Foundations of Real-World

Intelligence, pp.9-18, CSLI Publications, 2001.
8. Hideki Asoh, Kazuhisa Niki, Koiti Hasida, Shotaro Akaho, Masaru Tanaka, Yoichi Motomura, Tatsuya Niwa, and Kenji Fukumizu: An Overview of Theoretical Foundation Research in RWI Research Center, In Y. Uesaka et al. (eds.) Foundations of Real-World Intelligence, pp.21-28, CSLI Publications, 2001.

・12 年度

1. 羽藤, 仁木, 太原：“情報量、共分散を用いた fMRI 画像のブロック解析と構造解析, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2001.3.

・11 年度

1. 橋田、宮田、"コンパイレーションとメモを用いたデータフロー型制約変換としての統語解析"、言語処理学会ワークショップ「構文解析」(Mar.1999)
2. H.Asoh, "Coping with uncertainty in robot navigation using dialog with humans", Proc. of IJCAI-99 Workshop on Reasoning with Uncertainty in Robot Navigation(RUR'99) (Aug. 1999)
3. 岡田、伊藤、萩原、仁木、大森、"ネットワーク分散型移動ロボット実験システム"、ロボット学会誌、Vol.17, No.6, pp.896-904 (Sep.1999)
4. 仁木、羽藤、太原、"多変量情報量による fMRI データの脳活動マッピング画像化と構造解析"、第 14 回生体工学シンポジウム論文集、pp.429-432(Oct.1999)
5. 赤穂昭太郎: 混合分布による学習のモデル化、統計数理研究所研究会情報科学・統計科学・人工知能の接点を探る (2000.3.17).
6. 本村陽一:確率ネットワークによる知的情報処理 統計数理研究所研究会情報科学・統計科学・人工知能の接点を探る (2000.3.17).
7. 麻生英樹 :非線形の多変量解析、第 23 回多変量解析シンポジウム発表要旨、9-16, (2000.3.1)
8. H.Asoh, Y.Motomura, K.Hasida, K.Niki , S.Akaho, M. Tnaka, T.Niwa, and K.Fukumizu: "Inference and learning with graphical models", Proc. of 2000 RWC Symposium, 177-182, 2000.

・10 年度

1. 大森、岡田、仁木、"実移動ロボットデータベース"、研究開発用知的資源実移動ロボットデータベース報告書、pp.1-36(Apr. 1998)
2. H.Asoh, "Research and development in the RWI theoretical and algorithmic foundation area", Proceedings of 1998 RWC Symposium, pp.175-180 (June 1998)
3. 本村、原、"データーベースからの学習機能を持つ確率推論システム BAYONET", 第 12回人工知能学会全国大会論文集、pp.632-633(June1998)
4. 岡田、伊藤、萩原、仁木、山川、大森、"移動ロボット実験用システム"、第 12 回人工知能学会全国大会論文集、pp.453-454(June1998)
5. 麻生、"Mixture of Predictors によるマルチモーダル時系列の統合と注意の形成について"、人工知能学会研究会資料、SIG-CII-9807-04(July1998)
6. 本村、"ニューラルネットにより条件付き確率を学習するベイジアンネット"、1998 年情報論的学習理論ワークショップ予稿集、pp.61-64(July1998)

・9 年度

1. 麻生、速水、"機械学習におけるインターモーダル学習の位置づけ"、人工知能学会研究会資料、SIG-CII-9702-1 (Oct. 1997)
2. 本村、"Bayesian network による大規模データのモデル化について"、人工知能学会研究会資料、SIG-CII-9707-04 (July 1997)
3. 本村、"条件付き事前分布による文脈・状況に依存する先験知識の統合モデル"、 人工知能学会研究会資料、SIG-J-9702-12 (Dec. 1997)
4. 本村、"確率モデルの学習によるエージェント間の合意形成"、日本ソフトウェア科学会マルチエージェントと協調計算ワークショップ (MACC'97)、(Dec. 1997)
5. 橋田、"コンパイル処理を含む制約解消系による統語解析と文生成"、電子情報通信学会技術研究報告 NLC97-31 (Oct. 1997)
6. 橋田、杉村、柏岡、内山、C.J.Neumann, "大域文書修飾：標準タグによる言語データの大規模な構造化と再利用"、言語処理学会第 3 回年次大会、pp.135-138、(Mar. 1997)
7. 萩原、岡田、森、仁木、大森、"移動ロボットの学習のための実情報データベースシステムの構築"、日本ロボット学会学術講演会講演集、pp.169-170 (Sept. 1997)
8. 仁木、幸島、"自己組織型情報検索システムの開発"、創造的研究開発のための自己組織型情報ベースシステムの構築に関する研究成果報告書、pp.83-101 (Aug.1997)

(3)特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

(4)著作物リスト

・13 年度

著作物の名称　ベイジアンネットワークシミュレータBAYONET　試験配布版
原著作者　本村　陽一、Clement Cheng
完成日　2001.7.28
記録媒体　PC 上の HD
概要）
機能：昨年度開発したベイジアンネットワークシミュレータの改良版
全体のモジュラリティをあげるとともに、グラフィカルユーザインターフェースデザインを改善している。
記述言語： Java
プログラムサイズ： 約 500KB（ソース含む）
動作環境： Java が使用可能な環境

著作物の名称　多変量情報量解析　デモ版

原著作者　仁木　和久
完成日　2001.9
記録媒体　PC 上の HD
（概要）
機能：昨年度開発した多変量情報量解析プログラムの改良版
高速化とより大きなデータへの対応を可能にしている。
記述言語：C
プログラムサイズ：約 500KB（ソース含む）
動作環境：Linux

・12 年度
著作物の名称　ベイジアンネットワークシミュレータ BAYONET　内部評価版
原著作者　本村　陽一、Clement Cheng
完成日　2001.2.28
記録媒体　PC 上の　HD
（概要）
機能：ベイジアンネットワークを構築し、それを用いた推論を行うシミュレータ。SQL データベースに接続し、条件つき確率をデータベースから学習することもできる。また、複数のグラフ構造を保存し、切り替えることで、構造の選択を支援することができる。
記述言語：Java
プログラムサイズ：約 500KB（ソース含む）
動作環境：Java が使用可能な環境

著作物の名称　多変量情報量解析　内部評価版
原著作者　仁木　和久
完成日　2001.2
記録媒体　PC 上の HD
（概要）
機能：相互情報量などの情報量基準を用いて 3つの変数間の関係構造を解析するデータ解析ソフトウェア。fMRI 画像の解析を可能にしている。
記述言語：Java
プログラムサイズ：約 500KB（ソース含む）
動作環境：Java が使用可能な環境

・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-5. 実世界適応デバイス領域

A-5-1. 再構成可能適応型デバイス（適応デバイスNEC研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【R-00-156】Yamauchi,T., Nakaya,S., Inuo,T. and Kajihara,N.: "Arithmetic Operation Oriented Reconfigurable Chip: RHW," 11th International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL2001), 2001.

【R-01-007】Iwata,M., Kajitani,I., Liu,Y., Kajihara,N. and Higuchi,T.,: "Implementation of a Gete-level Evolvable Hardware Chip," The 4th International Conference on Evolvable Systems: From Biology To Hardware (ICES2001), 2001.

・12 年度

【R-00-133】 山内、中谷、犬尾、梶原："再構成可能デバイス RHW 向け高速演算器の実装と評価"、第 14 回回路とシステムワークショップ（2001 年 4 月 23 日）

・11 年度

【R-99-026】 T.Furuya, Y.Sato, N.Kajihara, S.Nakaya, T.Yamauchi, T.Inuo, T.Higuchi: "Comparison of Two Blind Sequence Estimations", PIMRC'99, Sep. 14, 1999.

【R-99-060】 T.Higuchi, M.Iwata, D.Keymeulen, H.Sakanashi, M.Murakawa, Kajitani, E.Takahashi, K.Toda, M.Salami, N.Kajihara, N.Otsu:"Real-world Applications of Analog and Digital Evolvable Hardware", IEEE Transactions On Evolutionary Computation, Vol.3, No.3, p.220,1999.

【R-99-089】 古谷、佐藤、梶原、中谷、山内、犬尾、樋口："高性能陰形式ブラインドビタビアルゴリズム"、電子情報通信学会論文誌A（投稿中）

【R-99-130】 T.Yamauchi, S.Nakaya, T.Inuo, N.Kajihara: "Mapping Algorithms for a Multi-Bit Data Path Processing Reconfigurable Chip RHW",IEEE Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM'00),Apr.17,2000 (poster).

・10 年度

【D-97-162】 藤崎善彦、古谷立美、佐藤洋一、樋口哲也、梶原信樹:"FPGA のよるブライインド系列推定器の実現"、第 6 回 FPGA/PLD Design Conference & Exhibit, 1998 年 6 月 24 日.

【D-97-173】 I.Kajitani, T.Hoshino, D.Nishikawa, H.Yokoi, S.Nakaya, T.Yamauchi, T.Inuo, N.Kajihara, M.Iwata, D.Keymeulen, and T.Higuchi: "A gate-level EHW chip: implementing GA operations and reconfigurable hardware on a single LSI", Proc. of ICES98, Lecture Notes in Computer Science 1478, Sep. 23,1998.

【R-98-007】 M.Murakawa, S.Yoshizawa, I.Kajitani, Xin Yao, N.Kajihara, M.Iwata, T.Higuchi: "The GRD Chip: Genetic Reconfiguration of DSPs for Neural Network Processing", IEEE Trans. on Computers, Special Issue on Configurable Computing, Vol.48, No.6, p.628, 1999.

【R-98-028】 T.Higuchi, N.Kajihara: "Evolvable Hardware Chips for Industrial Applications", CACM, Vol.42, No.4, p.60, 1999.

【R-98-088】 I.Kajitani, M.Murakawa, D.Nishikawa, H.Yokoi, N.Kajihara, M.Iwata,

D.Keymeulen, H.Sakanashi, T.Higuchi: "An Evolvable Hardware Chip for Prosthetic Hand Controller", International Conference on Microelectronics for Neural,Fuzzy and Bio-inspired Systems(MicroNeuro'99),Apr.8, 1999.

・9 年度

【D-97-138】 H.Sakanashi, M.Salami, M.Iwata, S.Nakaya, T.Yamauchi, T.Inuo, N.Kajihara and T.Higuchi: "Evolvable Hardware Chip for High Precision Printer Image Compression", AAAI'98, Jul.26, 1998.

(2)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

なし

・12 年度

【R-00-040】 山内、中谷、犬尾、梶原:"再構成可能デバイス RHW 向けレイアウト手法の実装と評価"、情報処理学会第 61 回全国大会(2000 年 10 月)

【R-00-041】 犬尾、中谷、山内、梶原:"再構成可能デバイス RHW2 を用いた画像認識処理の高速化"、情報処理学会第 61 回全国大会、愛媛大学(2000/10/4)

・11 年度

【R-99-025】 坂無、岩田、D.Keymeulen、村川、梶谷、田中、梶原、樋口:"進化型ハードウェアと産業応用"、電子情報通信学会研究会「進化システム」(1999 年 5 月)

【R-99-054】 犬尾、梶原、中谷、山内: "再構成可能デバイス RHW を用いたコプロセッサシステム"、情報処理学会第 59 回全国大会(1999 年 9 月)

・10 年度

【R-98-030】 犬尾、中谷、山内、梶原: "再構成可能適応型デバイスプロトタイプチップ RHW1 の開発と検証"、情報処理学会第 57 回全国大会、名古屋大学(1998/10/5)

【R-98-034】 山内、中谷、犬尾、梶原: "適応デバイス RHW の概要とマッピング手法"、電子情報通信学会 VLSI 設計技術 VLD98-42、 pp.39-46 (1998)

・9 年度

【D-97-137】 樋口、岩田、D.Keymulen、坂無、梶谷、村川、中谷、山内、犬尾、梶原:"適応デバイスの研究開発"、1998 年電子情報通信学会総合大会

【D-97-139】 樋口、岩田、D.Keymulen、坂無、梶谷、村川、中谷、山内、犬尾、梶原:"実世界適応デバイス -実時間処理を目指して -"、電子情報通信学会実時間処理に関するワークショップ(RTP'98)

(3)特許出願リスト

・13 年度

RWC 整理番号　2001R-002
発明考案の名称　半導体集積回路の機能検査装置とその機能検査方法
発明者　犬尾武
出願日　平 13.5.24.
出願番号　特願 2001-155352
出願人　日本電気株式会社

概要）
テストデータを適当な長さにグループ化し、各グループのデータに対して並列にパラレルシリアル変換することにより、少ないメモリバンクで動作可能な低コスト半導体検査装置。

RWC 整理番号　2001R-004
発明考案の名称　RECONFIGURABLE DEVICE HAVING PROGRAMMABLE INTERCONNECT NETWORK SUITABLE FOR IMPLEMENTING DATA PATHS
発明者　中谷正吾
出願日　平 13.6.14.
出願番号　US 09/880018
出願人　日本電気株式会社
概要）
多ビットデータパスに適した、省面積かつ高速なプログラマブル相互接続網。

RWC 整理番号　2001R-005
発明考案の名称　データパスに適したプログラマブル相互接続網を有する再構成可能デバイス
発明者　中谷　正吾
出願日　平 13.6.15.
出願番号　特願 2001-182396
出願人　日本電気株式会社
概要）
多ビットデータパスに適した、省面積かつ高速なプログラマブル相互接続網。

RWC 整理番号　2001R-006
発明考案の名称　機能ブロック
発明者　中谷　正吾
出願日　平 13.6.25.
出願番号　特願 2001-191770
出願人　日本電気株式会社
概要）
RHW3 に使用している機能ブロックに関する特許。本機能ブロックは特に乗算とマルチプレクサを効率的に実現できる。

・12 年度
RWC 整理番号　2000R-002
発明考案の名称　データパスに適したプログラマブル相互接続網を有する再構成可能デバイス
発明者　中谷　正吾
出願日　平 12.6.15
出願番号　2000-184598
出願人　日本電気株式会社
概要）
多ビットデータパスに適した、省面積かつ高速なプログラマブル相互接続網。

・11 年度
RWC 整理番号　99R-001
発明者　犬尾武
発明考案の名称　プログラマブル集積回路を用いたデータ処理装置
出願日　平 11.06.30
出願番号　11-184808
出願人　日本電気株式会社、新情報処理開発機構
（概要）
被処理データと一緒にしたデータ列を用い、装置内部でデータを分割し、必要ならば、入力データ用バッファから直接プログラマブル集積回路の再構成を行なう。また、装置からの出力データを入力データと同じフォーマットになるように生成する。装置の回路規模を縮小しつつ拡張性を有し、効率的な再構成ができるようなデータ処理装置。

RWC 整理番号　99R-005
発明者　中谷正吾
発明考案の名称　PROGRAMMABLE FUNCTION BLOCK
出願日　平 11.06.04
出願番号　US 09/325,339
出願人　日本電気株式会社、新情報処理開発機構
（概要）
本発明は高速かつ多機能で、小さいプログラマブル機能ブロックを提供する。排他的論理和回路の直列接続段数を減らした高速で多機能な論理回路に、高速なリップルキャリ専用ロジックを組み合わせることで、高速かつ多機能なプログラマブル機能ブロックを実現する。さらに、プログラマブル機能ブロックの引数入力やコンフィギュレーションメモリを複数のプログラマブル機能ブロックにわたって共通化することで占有面積を低減する。

RWC 整理番号　99R-006
発明者　中谷正吾
発明考案の名称　PROGRAMMABLE FUNCTION DEVICE AND MEMORY CELL THEREFOR
出願日　平 11.10.07
出願番号　US 09/413,693
出願人　日本電気株式会社、新情報処理開発機構
（概要）
本発明は簡単にコンフィギュレーションメモリを初期化する手段を提供する。コンフィギュレーションメモリにデータを書き込む機構を利用して初期値データを書き込むことで、コンフィギュレーションメモリの初期化を行う。また、コンフィギュレーションメモリの出力信号との衝突が起きないように、両者間を遮断できるコンフィギュレーションメモリを用いる。

・10 年度
RWC 整理番号　98R-005
発明考案の名称　プログラマブル機能ブロック
発明者　中谷正吾
出願日　平 10.6.4.

出願番号　　10-156313
出願人　　日本電気株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
（概要）
排他的論理和回路の直列接続段数を減らした高速で多機能な論理回路に、高速なリップルキャリ専用ロジックを組み合わせることで、高速かつ多機能なプログラマブル機能ブロックを実現する。さらに、プログラマブル機能ブロックの引数入力やコンフィギュレーションメモリを複数のプログラマブル機能ブロックにわたって共通化することで占有面積を低減する。

RWC 整理番号　98R-010
発明考案の名称　プログラマブル機能デバイス及びそのためのメモリセル
発明者　　中谷正吾
出願日　　平 10.10.9.
出願番号　　10-288064
出願人　　日本電気株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
（概要）
コンフィギュレーションメモリにデータを書き込む機構を利用して初期値データを書き込むことでコンフィギュレーションメモリの初期化を行う。また、コンフィギュレーションメモリにデータを書き込むとき、データ信号とコンフィギュレーションメモリの出力信号との衝突が起きないように、両者間を遮断できるコンフィギュレーションメモリを用いる。

・9 年度
RWC 整理番号　97R-002
発明考案の名称　プログラマブル機能ブロック
発明者　　中谷正吾
出願日　　平 9.06.27
出願番号　　9-187737
出願人　　日本電気、技術研究組合 新情報処理開発機構
（概要）
全加算器に多様な論理回路として機能するAND-NOR 回路を付加したロジックブロックと、相互結合配線およびハイ、ロウのいずれかの信号をロジックブロックに提供するプログラマブル入力ブロックとから成るプログラマブル機能ブロックによって、高速な算術演算と多様な論理機能を実現する。

RWC 整理番号　97R-006
発明者　　中谷正吾
発明考案の名称　プログラマブル機能ブロック
出願日　　平 9.10.15
出願番号　　9-297883
出願人　　日本電気、技術研究組合新情報処理開発機構
（概要）
全加算器に多様な論理回路として機能する前置ロジックを付加したロジックブロックと、相互結合配線およびハイ論理レベル、ロウ論理レベルのいずれかの信号をプログラムによって選択してロジックブロックに供給する入力ブロックとから成るプログラマブル機能ブロックによって、高速な算術演算と多様な論理機能を実現する。

RWC 出願番号　97R-011
発明者　山内宗
発明考案の名称　多点網配線方法とそのための電子ハードウェア装置
出願日　平 9.12.5
出願番号　9-335181
出願人　日本電気、技術研究組合 新情報処理開発機構
(概要)
実際の回路における信号の流れる向き注目して、伝搬遅延が小さく、且つ総配線長も短い配線径路を自動的に求める手法。電子ハードウェア装置は、まず信号源から各々の端子への最短径路を求め、それらの最短径路の重なり具合を、枝の重みと重なっている最短径路の本数を用いて重複コストを評価し、重複コストの大きい複数の最短径路の重なり部分の端点 T を求め、最短径路が端点 T を通る端子については端点 T との最短径路が求める配線径路の部分解になり、残った端子と端点 T を新たな端子として、端子数が 1 になるまで同様のことを再帰的に繰り返すという手法であり、この手法により、従来よりも伝搬遅延や配線の電気的容量が少なく、高速動作に適した配線径路を自動生成する。

(4)著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
管理番号　RWC-ADNEC-99-001
著作物の名称　EHW3V3 の VerilogHDL ソースコード
原著作者　適応デバイス NEC 研究室
完成日　平 12.3.31
記録媒体　MO
概要）
動的適応評価チップ EHW3V3 の設計データ。VerilogHDL のソースコード。

管理番号　RWC-ADNEC-99-002
著作物の名称　EHW4 の VerilogHDL ソースコード
原著作者　適応デバイス NEC 研究室
完成日　平 12.3.31
記録媒体　MO
概要）
動的適応評価チップ EHW4 の設計データ。VerilogHDL のソースコード。

管理番号　RWC-ADNEC-99-003
著作物の名称　実証チップ用回路部品
原著作者　適応デバイス NEC 研究室
完成日　平 12.3.31
記録媒体　紙
概要）

実証チップ用に専用に開発した回路部品の設計データ。

管理番号　　RWC-ADNEC-99-004
著作物の名称　静的適応評価チップ用 CAD ツール
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 12.3.31
記録媒体　　CD-R
（概要）
静的適応評価用 LSI 向けの開発環境ソフトウェア。記述言語は C/C++言語。動作環境は、Linux。

管理番号　　RWC-ADNEC-99-006
著作物の名称　静的適応評価用ソフトウェア
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 12.3.31
記録媒体　　CD-R
（概要）
RHW2 評価用ボードを汎用アクセラレータとして動作させるために必要なデバイスドライバ及びライブリソフトウエア。記述言語は C。動作環境は Linux。

管理番号　　RWC-ADNEC-99-007
著作物の名称　EHW3V2 評価プログラム
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 12.3.31
記録媒体　　MO
（概要）
動的適応チップ EHW3V2 を実装した EHW3V2 評価システムの基本動作（遺伝的的アルゴリズム実行ハード、PLA 部）を評価検証するためのソフトウェア。記述言語は、C 及びアセンブラ。動作環境は、MSDOS/Windows。

管理番号　　RWC-ADNEC-99-008
著作物の名称　EHW1V2 評価プログラム
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 12.3.31
記録媒体　　MO
（概要）
複数の動的適応チップ（再構成可能型ニューロチップ EHW1V2）から構成されるEHW1V2 評価システムの制御、実行を行なうためのソフトウェア。記述言語は、C 及びアセンブラ。動作環境は、MSDOS/Windows。

・10 年度
管理番号　　RWC-ADNEC-98-001
著作物の名称　RHW2 回路図
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 11.3.31

記録媒体　　CD-R
（概要）
静的適応評価チップ RHW2 の設計データ。LSI 設計ツール OpenCAD によって作成した RHW2 の回路図。

管理番号　　RWC-ADNEC-98-002
著作物の名称　EHW1V2 の VerilogHDL ソースコード
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 11.3.31
記録媒体　　MO
（概要）
動的適応評価チップ EHW1V2 の設計データ。VerilogHDL のソースコード。

管理番号　　RWC-ADNEC-98-003
著作物の名称　EHW3V2 の VerilogHDL ソースコード
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 11.3.31
記録媒体　　MO
（概要）
動的適応評価チップ EHW3V2 の設計データ。VerilogHDL のソースコード。

管理番号　　RWC-ADNEC-98-004
著作物の名称　実証チップ用回路部品
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 11.3.31
記録媒体　　紙
（概要）
実証チップ用に専用に開発した回路部品の設計データ。

管理番号　　RWC-ADNEC-98-005
著作物の名称　静的適応評価チップ用 CAD ツール
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 11.3.31
記録媒体　　CD-R
（概要）
静的適応デバイス評価チップ用の開発環境ソフトウェア。記述言語は C/C++ 言語。動作環境は、SunOS 5.5.1。

管理番号　　RWC-ADNEC-98-006
著作物の名称　静的適応評価用ソフトウェア
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 11.3.31
記録媒体　　CD-R
（概要）
高次自己相関アルゴリズムを用いた画像認識システムを RHW2 評価用ボードで動作させ

るために必要なソフトウェア。

-9 年度
管理番号　　SA97-R-171-0651889-0001
著作物の名称　RHW1 回路図
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 9.1.8
記録媒体　　4mm DAT
（概要）
静的適応プロトタイプチップ RHW1 の設計データ。LSI 設計ツール u-designer によって作成した RHW1 の回路図。

管理番号　　SA97-R-171-0651889-0002
著作物の名称　EHW1 の VerilogHDL ソースコード
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 9.2.27
記録媒体　　FD
（概要）
動的適応プロトタイプチップ EHW1 の設計データ。VerilogHDL のソースコード。

管理番号　　SA97-R-171-0651889-0003
著作物の名称　EHW2 の VerilogHDL ソースコード
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 9.2.27
記録媒体　　FD
（概要）
動的適応プロトタイプチップ EHW2 の設計データ。VerilogHDL のソースコード。

管理番号　　SA97-R-171-0651889-0004
著作物の名称　EHW3 の VerilogHDL ソースコード
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 9.2.27
記録媒体　　FD
（概要）
動的適応プロトタイプチップ EHW3 の設計データ。VerilogHDL のソースコード。

管理番号　　SA97-R-171-0651889-0005
著作物の名称　高次相関回路の VHDL ソースコードおよびシミュレーションデータ
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 9.12.18
記録媒体　　FD
（概要）
RHW のデモとしてインプリメントする高次相関回路の VHDL ソースコードおよびシミュレーションデータ。VHDL シミュレータVSYSTEM 上で動作。動作環境は AT 互換機。トータル 250KB。

管理番号　　SA97-R-171-0651889-0006
著作物の名称　　自動配置配線ツールプロトタイプシステム
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 10.2.27
記録媒体　　4mm DAT
（概要）
静的適応デバイスプロトタイプチップ用の手動/自動配置配線システム。記述言語は C 言語とTcl/Tk。オブジェクトサイズは、合計 22M バイト。動作環境は、SunOS5.5.1

管理番号　　SA97-R-171-0651889-0007
著作物の名称　　パタン認識実験用ソフトウェア
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 10.2.27
記録媒体　　4mm DAT
（概要）
静的適応応用システムとして開発した、パタン認識実験用ソフトウェアのソースコード。記述言語は C 言語。

管理番号　　SA97-R-171-0651889-0008
著作物の名称　　データ圧縮実験用ソフトウェア
原著作者　　適応デバイス NEC 研究室
完成日　　平 10.2.27
記録媒体　　4mm DAT
（概要）
動的適応応用システムとして開発した、データ圧縮実験用ソフトウェアのソースコード。記述言語は C 言語。

A-5-2. デジタル・スマートピクセルと光実装（適応デバイス松下研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【R-00-139】 H. Kawai, A. Baba, M. Shibata, Y. Takeuchi, T. Komuro and M. Ishikawa: "Image Processing on a Digital Smart Pixel Array", Technical Digest of CLREO/Pacific Rim 2001, Vol. II, pp. 680-681.

・12 年度

【R-99-092】 H. Kawai, A. Baba, Y. Takeuchi, T. Komuro and M. Ishikawa: "8×8 Digital Smart Pixel Array", Proceedings of Optics in Computing 2000, pp.715-720.

【R-00-139】 H. Kawai, A. Baba, M. Shibata, Y. Takeuchi, T. Komuro and M. Ishikawa: "Image Processing on a Digital Smart Pixel Array", CLREO/Pacific Rim 2001, (2001 年 7 月 15 日)

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

【R-97-144】 Adaptive Devices Matsushita Laboratory, Asako Baba and Yoshinori Takeuchi: "Four-Image Duplication with Diffractive Functional Optical Interconnection Device", Technical Digest of The sixth microoptics conference and The fourteenth Topical meeting on gradient-index optical systems, Tokyo, 1997 pp.82-85.

(2)その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

【R-01-042】適応デバイス松下研究室: 川合英雄, 馬場彩子, 柴田元司, 武内喜則, 東京大学大学院工学系研究科: 小室孝, 藤村英範, 石川正俊 :"デジタル・スマートピクセルによる画像処理", 第 62 回応用物理学会学術講演会予講集 No.3, p.764.

【R-01-064】適応デバイス松下研究室: 武内喜則 :"並列画像処理センサー 「デジタル・スマートピクセル」", 次世代センサ協議会第 39 回次世代センサセミナーシリーズ講演予稿.

【R-01-070】適応デバイス松下研究室: 武内喜則 :"並列画像処理センサー 「デジタル・スマートピクセル」", テラ光情報技術研究会講演予稿.

【R-01-073】適応デバイス松下研究室: 川合英雄, 馬場彩子, 柴田元司, 武内喜則, 東京大学大学院工学系研究科: 小室孝, 藤村英範, 石川正俊 :"デジタル・スマートピクセルによる画像処理と16×16 デバイスの試作", Optics Japan 2001 講演予講集, pp.39-40.

【R-01-102】適応デバイス松下研究室: 武内喜則, 川合英雄, 馬場彩子, 柴田元司, 東京大学情報理工学系研究科: 藤村英範, 小室孝, 石川正俊："高速視覚センサ「デジタル・スマートピクセル」と高速機器制御", 画像電子学会第 190 回研究会 (2001)予稿集印刷中.

【R-01-109】適応デバイス松下研究室: 武内喜則, 川合英雄, 馬場彩子, 柴田元司, 東京大学情報理工学系研究科: 藤村英範, 小室孝, 石川正俊："デジタ

ル・スマートピクセルと高速画像処理", レーザ学会学術講演会第 22 回年次大会 (2002)予稿集印刷中

・12 年度

【R-99-173】 適応デバイス松下研究室、川合英雄、馬場彩子、武内喜則："デジタル・スマートピクセル"、第 8 回光インターコネクト研究会

【R-00-038】 適応デバイス松下研究室、川合英雄、馬場彩子、武内喜則、東京大学大学院工学研究科、小室孝、石川正俊："8×8 デジタル・スマートピクセルの試作"、第 61 回応用物理学会学術講演会予講集 No.3, p.886

【R-00-073】 適応デバイス松下研究室、川合英雄、馬場彩子、武内喜則、東京大学大学院工学研究科、小室孝、石川正俊："8×8 デジタル・スマートピクセルと光接続"、Optics Japan 2000 講演予講集、pp.31-32

・11 年度

【R-99-084】 川合英雄、武内喜則、東京大学大学院工学研究科、小室孝、石川正俊："デジタル・スマートピクセルと光接続"、Optics Japan'99 講演予稿集、pp.127-128

【R-99-085】 武内喜則："デジタル・スマートピクセルを使った Hough 変換と回転検出"、Optics Japan '99 講演予稿集、pp.95-96

【R-99-112】 H. Kawai, A. Baba, Y. Ohki, Y. Takeuchi : "8×8 Digital Smart Pixel Array", Proceedings of 2000 RWC Symposium, p.243-246

・10 年度

【R-98-044】 川合英雄、馬場彩子、大木芳正、武内喜則："デジタル・スマートピクセルにおける実装技術"、光学連合シンポジウム(Optics Japan 98)、1998 年 9 月 18 日.

【R-98-045】 馬場彩子、武内喜則："デジタル・スマートピクセルのための回折光学素子を用いた光接続"、光学連合シンポジウム(Optics Japan 98)、1998 年 9 月 18 日.

【R-98-046】 武内喜則："小画素、高速処理デバイスの応用"、光学連合シンポジウム(Optics Japan 98)、1998 年 9 月 18 日.

・9 年度

【D-97-143】 川合英雄、武内喜則："積層型光コンピューティング用液晶空間変調器"、液晶：LCD の基礎と新しい応用、シグマ出版、pp.148-156,1997

(6)特許出願リスト

・13 年度

RWC 整理番号　2001R-008
発明考案の名称　光情報処理装置
発明者　川合英雄，武内喜則
出願日　平成 13 年 9 月 21 日
出願番号　特願 2001-290000
出願人　松下電器産業株式会社

(概要)

光コンピューティング、光画像処理等に利用される光情報処理装置で、光入力に対し高感度でかつ高速応答特性を持つ受光素子アレイにより、小型一体化した光情報処理装置を供給する。

RWC 整理番号　2001R-009
発明考案の名称　ロボットおよびこれを用いる遊戯装置およびその制御方法
発明者　　山本正樹，武内喜則，川合英雄
出願日　　平成 13 年 9 月 21 日
出願番号　　特願 2001-290008
出願人　　松下電器産業株式会社
（概要）
人間とロボットが球技等の高速移動物体を用いてゲームを行う時に、人間が手加減しないですむような強いロボットプレーヤを提供すること。

RWC 整理番号　2001R-010
意匠に係る物品　ロボット
創作者　　園山隆輔（松下電器産業），山本正樹，武内喜則，川合英雄
出願日　　平成 13 年 9 月 25 日
出願番号　　意願 2001-27968
出願人　　松下電器産業株式会社
（概要）
本物品は、エアーホッケーゲームで人間と対戦するロボットで、内蔵する高速ビジョン技術を用いてパックを発見・追跡するとともに、ロボットが両手で握っているアームを動かして先端の反射版にてパックをはじき返す機能を有したロボットである。

・12 年度
RWC 整理番号　2000R-018
発明考案の名称　OPTICAL INFORMATION PROCESSING APPARATUS
発明者　　川合英雄、東和司
出願日　　H12.12.21.
出願番号　　00128189.8
出願人　　松下電器産業株式会社
（概要）
日本国での出願「特願平 11-372574」を基礎特許とした EPC（英国、独国、仏国）出願。
シリコン基板の貫通穴へ発光素子を埋め込んだ発光素子アレイにより、高密度でピクセル数の多い小型一体化した光情報処理装置を実現する。

RWC 整理番号　2000R-019
発明考案の名称　OPTICAL INFORMATION PROCESSING APPARATUS
発明者　　川合英雄、東和司
出願日　　H12.12.28.
出願番号　　09/749,600
出願人　　松下電器産業株式会社
（概要）
日本国での出願「特願平 11-372574」を基礎特許とした米国出願。
シリコン基板の貫通穴へ発光素子を埋め込んだ発光素子アレイにより、高密度でピクセル数の多い小型一体化した光情報処理装置を実現する。

・11 年度
RWC 整理番号　99R-09
発明者　武内喜則
発明考案の名称　光情報処理装置
出願日　平 11.11.16
出願番号　11-325850
出願人　松下技研株式会社
（概要）
画像の重心計算部とエッジ抽出画像の作成部とHough 変換部と、センサ部分の指向方向を対象の方向と合致させるアクチュエータ部からなり、Hough 変換部がスマートピクセルとスペースバリアントな光インターコネクトで構成する。

RWC 整理番号　99R-10
発明者　川合英雄、東和司
発明考案の名称　光情報処理装置
出願日　平 11.12.28
出願番号　11-372574
出願人　松下技研株式会社、松下電器産業株式会社
（概要）
シリコン基板の貫通穴へ発光素子を埋め込んだ発光素子アレイにより、高密度でピクセル数の多い小型一体化した光情報処理装置を実現する。

・10 年度
RWC 整理番号　98R-006
発明考案の名称　光学素子
発明者　馬場彩子
出願日　平 10.6.8.
出願番号　10-159363
出願人　松下技研株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
（概要）
光学素子中の 2 箇所に回折パターンを形成することにより、本来作製時の描画の分解能によって制限されていた回折効率と比べ、より高い回折効率の光学素子を提供することができる。

・9 年度
なし

⑷ 著作物リスト
・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし

・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-5-3. 高並列大容量演算システムの評価（RWI センター情報光学ラボ）

(1)査読論文リスト

・13 年度

なし

・12 年度

1. Xin Lin and Masahiko Mori, "Multilayer neural network with a fuzzy controlled learning method for optical pattern training", Opt. Engineering, Vol.39(10), 2734-2739 (2000).

・11 年度

1. X.Lin, M.Mori, J.Ohtsubo, M.Watanabe, "Terminal attractor optical associative memory for pattern recognition", Proc. SPIE, Vol. 3864, 145-147 (1999)
2. H.Arima, M.Mori, T.Yatagai, "Optoelectronic parallel interface for neural computing", Optical Memory and Neural Networks, Vol.8, No.3 (1999)
3. Y.Yagai, T.Yatagai, M.Mori, M.Watanabe, "Large-scale optical neural network with high-speed learning", OSA Topical Meeting on Optics inComputing (OC'99) (Apr. 1999)
4. Y.Yasuno, N.Yoshikawa, M.Itoh, T.Yatagai, M.Mori, K.Komori, M.Watanabe, "Femtosecond pulse shape correlation by spatio-temporal joint transform correlator", 3rd Pacific Rim Conf. Lasers and Electro-Optics (CLEO/Pacific Rim '99) (Sep. 1999)

・10 年度

1. X.Lin, J.Ohtsubo, M.Mori, "Capacity of optical associative memory using a terminal attractor model", Optics Communications, Vol.146, pp.49-54 (Jan. 1998)
2. M.Mori, T.Yatagai, "Optical learning neural networks with two dimensional structure", Proceedings of SPIE, Vol.3402, pp.226-232 (Apr. 1998)
3. M.Mori, Y.Yagai, M.Watanabe, T.Yatagai, "Optical learning neural network with Pockels readout optical modulator", Applied Optics, Vol.37, No.14, pp.2852-2857 (May 1998)
4. X.Lin, J.Ohtsubo, M.Mori, "Terminal attractor optical associative memory with adaptive control parameter", Optics Communications, Vol.151, pp.353-365 (June 1998)
5. M.Mori, Y.Yasuno, M.Watanabe, T.Yatagai, "Differentiation images on spatio-temporal plane with femto second light pulses", Optics in Computing (OC'98) (June 1998)
6. H.Itoh, M.Shimizu, M.Ogura, S.Mukai, M.Watanabe, "Optoelectronic Fuzzy inference architecture using beam-steering vertical cavity surface emitting laser diodes", Optics in Computing (OC '98), Proceedings of SPIE, Vol. 3490, pp. 70-73 (June 1998)
7. Y.Hayasaki, M.Mori, N.Nishida, "Optical image transformations forfully-parallel optical analog-to-digital conversion", Applied Optics, Vol.37, No.17, pp.3607-3611 (June 1998)
8. M.Mori, Y.Yagai, M.Watanabe, T.Yatagai, "Optical neural network with two-dimensional parallel optoelectronic devices", Proc. OII'98, Optics for Information Infrastructure, G.G.Mu, Editor, J. of Optoelectronics / Laser (JOEL), Vol.9, Supp.,

154-156 (1998)

9. 谷貝、森、渡辺、谷田貝、"フォトディテクタアレイによる光学習型ニューラルネットワークの高速化"、Optics Japan '98 (Sep. 1998)
10. 林、森、渡辺、"ガウシアンシナプスニューロンモデルを用いたパターン認識ニューラルネットの汎化能力向上"、Optics Japan '98 (Sep. 1998)
11. T.Yatagai, Y.Yagai, M.Mori, M.Watanabe, "Real-time face recognition system with optical leaning neural network", Proceedings of SPIE, Vol. 3466, pp.240- 245 (Oct. 1998)

・9 年度

1. M.Watanabe, M.Mori, H.Itoh, "Optical neural network and fuzzy controlling systems developed in the Electrotechnical Laboratory", 1997 RWC Symposium (RWC'97), pp.553-560 (Jan. 1997)
2. H.Itoh, T.Yamada, S.Mukai, M.Watanabe, "Optoelectronic implementation of real-time control of an inverted pendulum by fuzzy-logic-control units based on a light-emitting-diode array and a position-sensing device", Appl. Opt., Vol.36, No.4, pp.808-812 (Feb. 1997)
3. M.Mori, Y.Yagai, M.Watanabe, T.Yatagai, "Optical learning neural network using PROM", OSA Topical Meeting on Optics in Computing (OC'97), pp.102-104 (Mar. 1997)
4. Y.Hayasaki, M.Mori, T.Yatagai, N.Nishida, "Simplification of space-variant parallel logic operations by using the temporal method", Optical Review, Vol.4, No.2, pp.305-308 (Apr. 1997)
5. Y.Yagai, M.Mori, M.Watanabe, M.Itoh, T.Yatagai, "Face recognition by optical learning neural network", The Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO/Pacific Rim '97), p.277 (July 1997)
6. X.Lin, J.Ohtsubo, M.Mori, "Parameter b(m) dependence in TA model optical associative memory", The Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO/Pacific Rim '97), pp.309-310 (July 1997)
7. M.Mori, T.Yatagai, "Optical learning neural networks with two dimensional structure", International Symposium on Optical Information Science & Technology (Aug. 1997)
8. 林、森、渡辺、"ファジィ制御を用いた多層ニューラルネットワークの学習高速化"、Optics Japan, pp.179-180 (Oct. 1997)
9. 森、"光コンピューティングの将来"、電子情報通信学会誌 Vol.80,No.12,pp.1294-1295 (Dec.1997)
10. M.Mori, T.Yatagai, "Optical learning neural network with two dimensional structure for pattern recognition", Optical Memory and Neural Networks, Vol.6, No.3, pp.205-211 (Dec.1997)

ﾛ)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

なし

・12 年度

1. Xin Lin and Masahiko Mori, "Pattern recognition neural-net by spatial mapping of

biology visual field", Optics in Computing (OC 2000), (Quebec City, June 2000).
2. Masahiko Mori, Xin Lin, Yutaka Yagai, and Toyohiko Yatagai, "Optical learning neural network with fuzzy controlling", Optics in Computing (OC 2000), (Quebec City, June 2000).
3. Xin Lin and Masahiko Mori, "Pattern recognition neural-net by spatial mapping of biology visual field", Proc. SPIE, Vol.4089, 688-694 (June 2000).
4. Masahiko Mori, Xin Lin, Yutaka Yagai, and Toyohiko Yatagai, "Optical learning neural network with fuzzy controlling", Proc. SPIE, Vol.4089, 676-681 (June 2000).

・11 年度

1. 林、森、渡辺、"ファジイニューラルネットワーク学習システムを使ったパターン認識"、第 46 回応用物理学関係連合講演会 (Mar.1999)
2. 安野、吉川、伊藤、谷田貝、森、小森、渡辺、"光アドレス型液晶空間光変調器を用いた時空間パルス相関器"、第 46 回応用物理学関係連合講演会 (Mar.1999)
3. 谷貝、森、渡辺、谷田貝、"PROM を用いた光ニューラルネットワークによる顔認識(III)-並列デバイスによる高速学習"、第 46 回応用物理学関係連合講演会(Mar. 1999)
4. 有馬、森、谷田貝、"光コンピューティングのためのRAM 型強誘電性液晶空間光変調器"、第 46 回応用物理学関係連合講演会 (Mar.1999)
5. 林、森、"生体視覚系の空間マッピングによるニューラルネットワークのパターン認識"、日本光学会年次学術講演会(Optics Japan '99) (Nov. 1999)
6. 安野、須藤、森、伊藤、渡辺、谷田貝、"Wigner 分布関数による時空間結合パルスシェイパーの解析"、日本光学会年次学術講演会(Optics Japan '99) (Nov. 1999)
7. 仲間、安野、吉川、伊藤、森、谷田貝、"SLD 時空間結合変換相関法によるコヒーレントトモグラフィー "、日本光学会年次学術講演会(Optics Japan '99) (Nov. 1999)

・10 年度

1. 森、"学習型光ニューラルネットワーク"、レーザー学会学術講演会第 18 回年次大会、pp.281 (Jan. 1998)
2. 森、谷貝、渡辺、谷田貝、"PROM を用いた光ニューラルネットワークによる顔の認識(II)-想起実験"、第 45 回応用物理学関係連合講演会(Mar. 1998)
3. 谷貝、森、渡辺、谷田貝、"並列デバイスを用いた光学習型ニューラルネットワーク"、第 45 回応用物理学関係連合講演会(Mar. 1998)
4. 森、"光を用いた情報処理－光で顔を学習する－ "、第 11 回石川サイエンスフォーラム (Nov. 1998)
5. 森、"光ニューラルネットワークを用いた顔認識"、第 84 回光コンピューテリング研究会 (Dec. 1998)

・9 年度

1. 谷貝、森、渡辺、谷田貝、"PROM を用いた光ニューラルネットワークによる顔の認識"、第 44 回応用物理学関係連合講演会、p.902 (Mar. 1997)
2. 林、大坪、森、"TA モデル連想メモリにおけるパラメータb(m)依存性"、第 44 回応用物理学関係連合講演会、p.932 (Mar. 1997)

(3)特許出願リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

(4)著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

A-5-4. 進化システムアーキテクチャの評価（RWI センター進化システムラボ）

(1) 査読論文リスト

・13 年度

1. 村川, 野田, 樋口 ,"遺伝的アルゴリズムを用いた光ファイバの自動調芯システム",電子情報通信学会論文誌 Vol. J84-D-I, no. 6, pp.878-887, 2001.
2. Yong Liu, Tetsuya Higuchi, and Masaya Iwata"Design of Evolvable Hardware for Robotic Navigation "Wuhan University Journal of Natural Sciences , vol. 6, no.1-2, pp. 547-554,2001.
3. Isamu Kajitani, Iwao Sekita, Nobuyuki Otsu and Tetsuya Higuch,, "Improvements to the Action Decision Rate for a Multi-Function Prosthetic Hand." , The First International Symposium on Measurement, Analysis and Modeling of Human Functions (Proc. of ISHF2001) , pp. 84-89, 2001.
4. Hidenori Sakanashi, Masaya Iwata, and Tetsuya Higuchi, "A Lossless Compression Method for Halftone Images using Evolvable Hardware Evolvable Systems: From Biology to Hardware', Lecture Notes in Computer Science 2210 (Proc. of ICES2001), Springer Verlag , pp. 314-326, 2001.
5. Hirokazu Nosato, Yuji Kasai, Taro Itatani, Masahiro Murakawa, Tatsumi Furuya, Tetsuya Higuchi, "Evolvable Optical Systems and Their Applications Evolvable Systems: From Biology to Hardware", Lecture Notes in Computer Science 2210 (Proc. of ICES2001), Springer Verlag , pp. 327-339, 2001.
6. M. Iwata, I. Kajitani, Y. Liu, N. Kajihara, and T. Higuchi "Implementation of a Gate-Level Evolvable Hardware Chip "Evolvable Systems: From Biology to Hardware", Lecture Notes in Computer Science 2210 (Proc. of ICES2001), Springer Verlag , pp. 38-49, 2001.
7. 野里博和, 河西勇二, 村川正宏, 板谷太郎, 古谷立美, 樋口哲也, "遺伝的アルゴリズムを用いたフェムト秒パルスレーザーの自動調整", 情報処理学会 MPS シンポジウム論文集, IPSJ Symposium Series, Vol.2001、No.12, pp.253-256. Oct. 2001.
8. 河西勇二, 坂無英徳, 高橋栄一, 村川正宏, 樋口哲也,, "進化型ハードウェア技術のマイクロ波回路への応用", 情報処理学会 MPS シンポジウム論文集, IPSJ Symposium Series, Vol.2001, No.12, pp.123-130. Oct. 2001.

・12 年度

1. Y. Kasai, H. Sakanashi, M. Murakawa, S. Kiryu, N. Marston, T. Higuchi "Initial Evaluation of an Evolvable Microwave, Circuit",Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1801 (Proc. of ICES2000), Springer, Verlag, pp. 103-112, (2000)
2. M. Iwata, I. Kajitani, M. Murakawa, Y. Hirao, H. Iba, T. Higuchi ,"Pattern Recognition System Using Evolvable Hardware", Systems, and Computers in Japan, vol. 31, no. 4, pp. 1-11(2000)
3. N. Marston, E. Takahashi, M. Murakawa, Y. Kasai, T. Adachi, K. Takasuka, T. Higuchi, "An Evolutionary Approach to GHz Digital Systems",Proc. of The Second NASA/DoD Workshop on Evolvable Hardware , pp.125-131 (2000)
4. Y.Takehisa, H. Sakanashi, T. Higuchi "Adaptive Wavelet Transform for Lossless Compression using Genetic Algorithm",Proc. of The Genetic And Evolutionary Computation Conference 2000 (GECCO-2000), pp. 259-266 (2000)

5. T.Higuchi, M.Iwata, E. Takahashi, Y. Kasai, H. Sakanashi, M. Murakawa, I. Kajitani"Development of Evolvable Hardware at Electrotechnical Laboratory",IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation (CDROM: SEAL0) (2000)
6. Y. Liu, M. Iwata, T. Higuchi, and D. Keymeulen ,"An integrated on-line learning system for evolving programmable logic array controllers",Parallel Problem Solving from Nature -- PPSN VI: Proc. of the Sixth International Conference on Parallel Problem Solving from Nature , Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1917, Springer-Verlag, Berlin, 2000, pp.589-598.
7. Y. Liu, X. Yao, T. Higuchi "Evolutionary Ensembles with Negative Correlation Learning",IEEE Transactions on Evolutionary Computation , vol. 4, no. 4, pp.380-387, (2000)
8. 田中，坂無，溝口，樋口，"遺伝的アルゴリズムを用いたディジタル印刷画像の2 値画像符号化",電子情報通信学会論文誌 Vol.J83-D-II, No.5, pp.1274-1283 (2000)
9. 村川，河西，安達，高須賀，吉澤，樋口，"進化型アナログ LSI ---遺伝的アルゴリズムによる製造誤差への適応---",電気学会論文誌Ｃ編, Vol. 121, No. 1, pp.134-141(2001)

・11 年度

1. D.Keymeulen, M.Iwata, Y.Kuniyoshi, T.Higuchi, "Online evolution for a self-adapting robotic navigation system using evolvable hardware", Artificial Life Journal, Vol.4, No.4, pp.359-393 (Jan. 1999)
2. X.Yao, T.Higuchi, "Promises and challenges of evolvable hardware", IEEE Tran. on Systems, Man, and Cybernetics- Part C: Applications and Reviews, Vol.29, No.1, pp. 87-97 (Feb. 1999)
3. I.Kajitani, M.Murakawa, D.Nishikawa, H.Yokoi, N.Kajihara, M.Iwata, D.Keymeulen, H.Sakanashi, T.Higuchi, "An evolvable hardware chip for prosthetic hand controller", Proceedings of the Seventh International Conference on Microelectronics for Neural, Fuzzy, and Bio-Inspired Systems (MicroNeuro'99), pp. 179-186 (Apr. 1999)
4. I.Kajitani, M.Murakawa, N.Kajihara, M.Iwata, H.Sakanashi, T.Higuchi, "Evolvable hardware chips for neural network applications", Proc. of the Fourth International Conference on Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms (ICANNGA99), pp. 127-134 (Apr. 1999)
5. T.Higuchi, N.Kajihara, "Evolvable hardware chips for industrial applications", Communications of the ACM, Vol.42, No.4 (Apr. 1999)
6. 樋口、"進化型ハードウェア"、情報処理学会誌、Vol.40,No.8(Aug.1999)
7. M.Murakawa, S.Yoshizawa, I.Kajitani, X.Yao, N.Kajihara, M.Iwata, T.Higuchi, "The GRD chip: Genetic reconfiguration of DSPs for neural network processing", IEEE Transaction on Computers, Vol.48, No. 6,
pp. 628 – 639 (Jun. 1999)
8. I.Kajitani, T.Hoshino, N.Kajihara, M.Iwata, T.Higuchi, "An evolvable hardware chip and its application as a multi-function prosthetic hand controller", Proceedings of the Sixteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-99), pp.182-187 (Jul. 1999)
9. E.Takahashi, M.Murakawa, K.Toda, T.Higuchi, "An evolvable-hardware-based clock timing architecture towards GigaHz digital systems", Proc. of the Genetic and

Evolutionary Computation Conference (Jul. 1999)
10. 梶谷、星野、平尾、岩田、樋口、"遺伝的アルゴリズムによる回路合成方式の高速化手法"、電気学会論文誌 C 編,Vol. 119-C, No.7, pp.839-847 (Jul. 1999)
11. H.Sakanashi, M.Tanaka, M.Iwata, D.Keymeulen, M.Murakawa, I.Kajitani, T.Higuchi, "Evolvable hardware chips and their applications", Proceedings of 1999 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'99), pp.559 – 564 (Aug. 1999)
12. T.Higuchi, M.Iwata, D.Keymeulen, H.Sakanashi, M.Murakawa, I.Kajitani, E.Takahashi, K.Toda, M.Salami, N.Kajihara, N.Otsu, "Real-world applications of analog and digital evolvable hardware", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.3, No.3 (Sep.1999)
13. 村川, 吉澤,"近傍モデル遺伝的アルゴリズムによる多目的最適化",情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 4, pp. 1792-1800, (1999)

・10 年度
1. M.Salami, H.Sakanashi, M.Tanaka, M.Iwata, T.Higuchi, "On-line compression of high precision printer images by evolvable hardware", DCC'98 DataCompression Conference, pp.219-228, IEEE Computer Society Press (Mar. 1998)
2. D.Keymeulen, M.Iwata, K.Konaka, R.Suzuki, Y.Kuniyoshi, T.Higuchi, "Off-line model-free and on-line model-based evolution for tracking navigation using evolvable hardware", Proc. of the First European Workshop on Evolutionary Robotics, pp.208-223, Springer Verlag
(Apr. 1998)
3. D.Keymeulen, M.Iwata, K.Konaka, Y.Kuniyoshi, T.Higuchi, "Evolvable hardware: a robot navigation system testbed", New Generation Computing, Vol.16, No.2, pp.97-122 (Apr.1998)
4. D.Keymeulen, M.Iwata, Y.Kuniyoshi, T.Higuchi, "Comparison between an off-line model-free and an on-line model-based evolution applied to a robotics navigation system using evolvable hardware", Artificial Life VI :Proc of the Sixth International Conference on Artificial Life, pp.99-209, MIT Press (June 1998)
5. H.Sakanashi, M.Salami, M.Iwata, S.Nakaya, T.Yamauchi, T.Inuo, N.Kajihara, T.Higuchi, "Evolvable hardware chip for high precision printer image Compression", Proc. of Fifteenth National Conf. on Artificial Intelligence, pp.486-491(July 1998)
6. M.Tanaka, H.Sakanashi, M.Salami, M.Iwata, T.Kurita, T.Higuchi, "Data compression for digital color electrophotographic printer with evolvable hardware", Evolvable Systems: From Biology to Hardware, LNCS 1478, pp.106-114, Springer Verlag (Sep. 1998)
7. I.Kajitani, T.Hoshino, D.Nishikawa, H.Yokoi, S.Nakaya, T.Yamauchi, T.Inuo, N.Kajihara, M.Iwata, D.Keymeulen, T.Higuchi, "A gate-level EHW chip: Implementing GA operations and reconfigurable hardware on a single LSI", Evolvable Systems: From Biology to Hardware, LNCS 1478, pp.1-12, Springer Verlag (Sep. 1998)
8. M.Murakawa, S.Yoshizawa, T.Adachi, S.Suzuki, K.Takasuka, M.Iwata, T.Higuchi, "Analogue EHW chip for Intermediate frequency filters", Evolvable Systems: From Biology to Hardware, LNCS 1478, pp.134-143, Springer Verlag(Sep. 1998)

9. D.Keymeulen, M.Iwata, Y.Kuniyoshi, T.Higuchi, "On-line evolution for a self-adapting robotics navigation system using evolvable hardware", Artificial Life Journal, Vol.4, No.4, pp.359-393 (Oct. 1998)
10. 岩田、梶谷、村川、平尾、伊庭、樋口、"進化するハードウェアによるパターン認識システム"、電子情報通信学会論文誌 Vol.J81-D-II, No.10, pp.2411-2420 (Oct. 1998)
11. M.Murakawa, K.Hiraoka, T.Higuchi, T.Furuya, S.Yoshizawa, "Adaptive blind equalization using bottleneck networks implemented by evolvable hardware", Proc. of the Fifth International Conf. on Neural, Information Processing, pp.79-83(Oct. 1998)
12. 村川、米井、樋口、吉澤、"RBF ネットワークを用いた時変環境における Q-learning－遺伝的アルゴリズムによる有用度関数の構成法－"、電子情報通信学会論文誌 Vol.J81-D-II, No.12, pp.2828-2839(Dec. 1998)
13. 梶谷、星野、村川、樋口、"GA によるニューラルネットワークの構造学習用回路の実現"、日本神経回路学会誌、Vol.5, No.4, pp.145-153(Dec. 1998)
14. D. Keymeulen, M. Iwata, Y. Kuniyoshi, T. Higuchi ,"On-line Model-based Learning using Evolvable Hardware for a Robotics Tracking Systems", Koza et al. eds., Genetic Programming 1998: Proc. of the Third Annual Conference, Morgan Kaufmann,pp.816-823, (1998)

・9 年度

1. W.Liu, M.Murakawa, T.Higuchi, "Evolvable hardware for on-line adaptive traffic control in ATM networks", Genetic Programming 1997, Proceedings of the Second Annual Conference, Morgan Kaufmann Publishers, p.509 (July 1997)
2. M.Murakawa, S.Yoshizawa, I.Kajitani, T.Higuchi, "On-line adaptation of neural networks with evolvable hardware", Proc. of 7th Int. Conf. on Genetic Algorithms (ICGA97), Morgan Kaufmann Publishers, pp.792-799 (July 1997)
3. M.Salami, M.Iwata, T.Higuchi, "Lossless image compression by evolvable hardware", Proc. of 4th European Conf. on Artificial Life (ECAL97), MIT Press, pp.407-416 (July 1997)
4. H.Iba, M.Iwata, T.Higuchi, "Gete-level evolvable hardware: empirical study and application", Evolutionary Algorithms in Engineering Applications, Springer-Verlag,pp.259-276(Mar. 1997)
5. W.Liu, M.Iwata, M.Murakawa, T.Higuchi, "Adaptive threshold cell discarding based on evolvable hardware", Proc. of IJCAI-97 Workshop on Evolvable Systems, IJCAI, pp.61-67(Aug. 1997)
6. M.Salami, M.Murakawa, T.Higuchi, "Lossy image compression by evolvable hardware", Proc. of IJCAI-97 Workshop on Evolvable Systems, IJCAI, pp.53-59 (Aug. 1997)
7. M.Murakawa, S.Yoshizawa, I.Kajitani, T.Higuchi, "Evolvable hardware for generalized neural networks", Proc. of the Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-97), Morgan Kaufmann Publishers,pp.1146-1151(Aug.1997)
8. D.Keymeulen, K.Konaka, M.Iwata, Y.kuniyoshi, T.Higuchi, "Evolvable reactive execution system using reconfigurable hardware: a robot navigation system case study", Working notes of AAAI Fall Symposium on Model-directed Autonomous Systems,

AAAI Press, pp.23-31(Nov. 1997)
9. 樋口、村川、"関数レベルにおけるハードウェア進化"、北野編、遺伝的アルゴリズム3、産業図書、pp.271-298 (1997)
10. T. Higuchi, M. Iwata, I. Kajitani, H. Iba, Y. Hirao, B. Manderick, T. Furuya, "Evolvable Hardware and its Applications to Pattern Recognition and Fault-tolerant Systems", Towards Evolvable Hardware: the evolutionary engineering approach, Lecture Notes in Computer Science 1062, pp. 118-135, Springer-Verlag(1997)
11. X. Yao and T. Higuchi ,"Promises and Challenges of Evolvable Hardware",Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259 (Proc. of ICES1996) pp.55-78, Springer-Verlag (1997)
12. M. Salami, M. Murakawa ,T. Higuchi ,"Data Compression Based on Evolvable Hardware",Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259 (Proc. of ICES1996),pp.169-179, Springer-Verlag(1997)
13. W. Liu, M. Murakawa ,T. Higuchi ,"ATM Cell Scheduling by Function Level Evolvable Hardware",Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259 (Proc. of ICES1996), pp.180-192, Springer-Verlag (1997)
14. D. Keymeulen, M. Durantez, K. Konaka, Y. Kuniyoshi, T. Higuchi ,"An Evolutionary Robot Navigation System using a Gate-Level Evolvable Hardware",Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259 (Proc. of ICES1996),pp.195-209, Springer-Verlag(1997)
15. B. Manderick and T. Higuchi ,"Evolvable Hardware: an Outlook ",Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259 (Proc. of ICES1996), pp.305-310, Springer-Verlag (1997)
16. H. Iba, M. Iwata, and T. Higuchi "Machine Learning Approach to Gate-Level Evolvable Hardware",Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259 (Proc. of ICES1996), pp.327-343, Springer-Verlag(1997)
17. M. Murakawa, S. Yoshizawa, T. Higuchi ,"Adaptive Equalization of Digital Communication Channels Using Evolvable Hardware",Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259 (Proc. of ICES1996), pp.470-481, Springer-Verlag (1997)
18. H. Sakanashi, T. Higuchi, H. Iba, Y. Kakazu "Evolution of Binary Decision Diagrams for Digital Circuit Design using Genetic Programming",Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259 (Proc. of ICES1996), pp.470-481, Springer-Verlag(1997)
19. T. Higuchi, M. Murakawa, M. Iwata, I. Kajitani, W. Liu, M. Salami "Evolvable Hardware at Function Level",Proc. of 1997 IEEE Int. Conf. on Evolutionary Computation (ICEC97), pp. 187-192, (1997)
20. D. Keymeulen, K. Konaka, M. Iwata, Y. Kuniyoshi, and T. Higuchi,"Robot Learning Using Gate-level Evolvable Hardware",Proc. of Sixth European Workshop on Learning Robots (EWLR-6), Springer Verlag (1997)

ℓ)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

1. 野里，古谷，村川，板谷，河西，樋口 ,"進化型光学システムの研究開発",電子情報通信学会技術研究報告 AI01-8, pp.63-70 (2001)

2. 梶谷 勇 樋口 哲也,"筋電義手開発のための義手に対する意識調査 ",電子情報通信学会技術研究報告 MBE-01-25, 2001.

・12 年度

1. 村川, 河西, 高橋, 坂無,マーストン, 桐生, 樋口,"アナログ進化型ハードウェアの研究開発",電子情報通信学会技術研究報告, AI2000-10, pp.1-8 (2000)
2. 樋口,"進化型ハードウェアと産業応用",応用物理 第 69号 第 9号, pp.1095-1098 (2000)

・11 年度

1. 坂無、岩田、ケミュレン、村川、梶谷、田中、梶原、樋口、"進化型ハードウェアと産業応用"、電子情報通信学会技術研究報告、AI99-3, pp.17-24 (Jul. 1999)

・10 年度

1. 樋口、岩田、ケミュレン、坂無、梶谷、村川、中谷、山内、犬尾、梶原、"実世界適応デバイスー実時間適応を目指してー"、電子情報通信学会技術研究報告、CPSY97-112, pp.1-8(Feb. 1998)
2. 村川、中根、樋口、古谷、吉澤、"RBF を用いた進化型ハードウェアによる適応等化器"、電子情報通信学会技術研究報告 NC97-95, pp.51-58(Feb. 1998)
3. 梶谷、星野、西川、横井、梶原、樋口、"障害者に適応可能な筋電操作型義手の開発"、電子情報通信学会技術研究報告 PRMU98-85, pp.9-16(Sep. 1998)
4. 坂無、田中、岩田、ケミュレン、村川、梶谷、西川、横井、樋口、"進化型ハードウェアチップの研究開発と応用事例～電子印刷機用データ圧縮チップを中心に～"、第 8 回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集、 pp.319-324 (Oct. 1998)

・9 年度

なし

6)特許出願リスト

・13 年度

・12 年度

発明考案の名称　カラーマッチング方法および装置ならびにカラーマッチングプログラムを記録した記録媒体
発明者　村川正宏 坂無英徳 樋口哲也 伊藤 誠
出願日　H12.11.22
出願番号　特願 2000-355305
出願人　村川正宏 坂無 英徳 樋口哲也 国 SCI
概要：　人工知能技術を用いたデバイス・インディペンデントな色合わせ方式

発明考案の名称　適応型予測符号化、復号化方法およびそれらの装置ならびに適応型予測符号化、復号化プログラムを記録した記録媒体
発明者　坂無英徳 樋口 哲也
出願日　H12.12.28

出願番号　　特願 2000-402163
出願人　　坂無英徳 樋口哲也 国
概要：　　進化型ハードウェアを用いた印刷画像用データ圧縮方式

発明考案の名称　画像符号化方法および装置ならびに画像符号化プログラムを記録した記録媒体
発明者　　坂無英徳 樋口 哲也
出願日　　H12.12.28
出願番号　　特願 2000-402164
出願人　　坂無英徳 樋口哲也 国
概要：　　進化型ハードウェアを用いた印刷画像用データ圧縮方式

発明考案の名称　筋電パターン識別方法および装置
発明者　　梶谷勇 樋口哲也
出願日　　H13.01.30
出願番号　　特願 2001-20880
出願人　　梶谷勇 樋口哲也 国
概要：　　筋電義手制御のためのパターン認識方式

発明考案の名称　筋電の特徴パターン識別方法および装置
発明者　　梶谷勇 樋口哲也
出願日　　H13.01.30
出願番号　　特願 2001-20881
出願人　　梶谷勇 樋口哲也 国
概要：　　筋電義手制御のためのパターン認識方式

発明考案の名称　アナログフィルタ回路およびその調整方法
発明者　　村川正宏 樋口哲也
出願日　　H12.07.26
出願番号　　特願 2000-225350
出願人　　樋口哲也 国 AKM
概要：　　アナログＬＳＩの歩留まり向上技術

発明考案の名称　デジタル通信用等化フィルタ回路の調整方法およびその調整方法の実施に使用するデジタル通信用等化フィルタ回路
発明者　　村川正宏 梶谷勇 樋口哲也
出願日　　H13.03.30
出願番号　　特願 2001-100301
出願人　　樋口哲也 国 AKM
概要：　　信号処理における等化技術

発明考案の名称　不要電磁放射を低減するデジタルシステム、インピーダンス調整方法、およびその方法を実行する処理プログラム
発明者　　高橋栄一 村川正宏 河西勇二 樋口哲也
出願日　　H13.03.30

出願番号　　特願 2001-101446
出願人　　高橋栄一 村川正宏 河西勇二 樋口哲也 国
概要：　　EMIを除去する回路技術

発明考案の名称　部品保持装置
発明者　　原田証英 樋口哲也
出願日　　H13.02.28
出願番号　　特願 2001-053881
出願人　　原田電子工業(株) 樋口哲也 国
概要：　　光学素子のホルダー機構

発明考案の名称　半導体光吸収素子および半導体光吸収素子を応用したパルス光発生装置
発明者　　板谷太郎 河西勇二 村川正宏 樋口哲也
出願日　　H13.03.14
出願番号　　特願 2001-72906
出願人　　板谷太郎 河西勇二 村川正宏 樋口哲也 国
概要：　　レーザ発振に用いる半導体光吸収素子を用いたパルス光発生装置の構成方式

発明考案の名称　光軸調整方法およびその調整プログラムを記録した記録媒体
発明者　　村川正宏 樋口哲也
出願日　　H12.10.18
出願番号　　特願 2000-318278
出願人　　村川正宏 樋口哲也 国
概要：　　光ファイバの調芯技術

発明考案の名称　情報処理システム、方法、色補正システムおよび色補正用プログラム
発明者　　村川正宏 内田ユリ子 樋口哲也 田中清
出願日　　H13.3.29
出願番号　　特願 2001-97113
出願人　　村川正宏　内田ユリ子　樋口哲也 田中清 国
概要：　　色弱者のための色補正システム技術

発明考案の名称　干渉計の調整方法、その調整方法の実施に使用する干渉計および、その調整方法の実施のための処理プログラム
発明者　　村川正宏 野里博和 樋口哲也 鈴木孝治
出願日　　H13.02.28
出願番号　　特願 2001-054691
出願人　　村川正宏 樋口哲也 鈴木孝治 国
概要：　　干渉計の自動位置調整方式

発明考案の名称　磁場均一度調整方法、調整装置及びプログラム
発明者　　村川正宏 樋口哲也 鈴木孝治 石川
出願日　　H13.02.27

出願番号　　特願 2001-052927
出願人　　村川正宏 樋口哲也 鈴木孝治 国 JEOL
概要：　　ＮＭＲの磁場自動調整技術

発明考案の名称　微小化学反応装置
発明者　　桐生昭吾 前田 村川正宏 樋口哲也 清水肇
出願日　　H13.03.26
出願番号　　特願 2001-88170
出願人　　桐生昭吾 村川正宏 樋口哲也 国
概要：　　汎用マイクロリアクタの構成方式

発明考案の名称　支援必要者遠隔支援システム
発明者　　関田巖 内田ユリ子 樋口哲也
出願日　　H13.03.06
出願番号　　特願 2001-062108
出願人　　関田巖 内田ユリ子 樋口哲也 国
概要：　　視覚障害者の遠隔支援システム

発明考案の名称　**Optical axis adjustment method, and storage medium recorded with a program that executes said adjustment method**
発明者　　**M.Murakawa, T.Higuchi**
出願番号　　**U.S. Patent Application No. 09/749,903**
出願人　　**M.Murakawa, T.Higuchi**
概要：　　光軸の自動調整技術

・11 年度
発明考案の名称　義肢用可動指、その可動指を用いた義手、およびその可動指用制御装置
発明者　　樋口哲也 原田証英
出願日　　平 11.5.19
出願番号　　特願平 11-139150
出願人　　工業技術院長、樋口哲也、原田電子工業(株)
概要：　　義手に複雑な動作をさせるために、進化型ハードウェアを含んだ制御装置により、その義手を制御する。

発明考案の名称　電子回路およびその調整方法
発明者　　樋口哲也 村川正宏 河西 勇二 桐生 昭吾 安達敏男 鈴木史郎
出願日　　平 11.8.26
出願番号　　特願平 11-240034
出願人　　工業技術院長、樋口哲也、旭化成マイクロシステム(株)
概要：　　電子回路の製造バラツキを吸収するために、アナログ素子値を微調整可能とし、その調整を製品毎に遺伝的アルゴリズムを用いて適応的に行う。

発明考案の名称　Electronic circuit and adjusting mehotd thereof （米国出願）
発明者　　T.Higuchi M.Murakawa Y.Kasai S.Kiryu T.Adachi S.Suzuki
出願番号　　U.S. Patent Application No. 09/397,636

概要：　電子回路の製造バラツキを吸収するために、アナログ素子値を微調整可能とし、その調整を製品毎に遺伝的アルゴリズムを用いて適応的に行う。

発明考案の名称　Optical apparatus, optical apparatus adjustment method, and storage medium recorded with a processing program that executes said adjustment method.
（米国、EU、中国、カナダ、オーストラリア出願）
発明者　Y.Kasai M.Murakawa T.Itatani T.Higuchi
出願番号　U.S. Patent Application No. 09/536,620

発明考案の名称　Adjustment of clock signals in a digital circuit（米国出願）
発明者　E.Takahashi, M.Murakawa, K.Toda, T.Higuchi
出願番号　U.S. Patent Application No. 09/519,463

発明考案の名称　デジタルシステム、デジタルシステムのクロック信号調整方法および、その調整方法で実行する処理プログラムを記録した記録媒体
発明者　高橋栄一、 村川正宏、 戸田賢二、 樋口哲也
出願日　平 12. 1.12
出願番号　特願 2000-3449
出願人　工業技術院長、高橋栄一、戸田賢二、樋口哲也
概要　クロック信号がデジタルシステム内を伝播するときの微妙な時間差を個体ごとに吸収する手法として遺伝的アルゴリズムによる調整法の考案

発案考案の名称　光学装置、光学装置の調整方法、およびその調整方法で実行する処理プログラムを記録した記録媒体
発明者　河西勇二、村川正宏、板谷太郎、樋口哲也
出願日　平 12. 1.17
出願番号　特願 2000-7741
出願人　工業技術院長、河西勇二、村川正宏、板谷太郎、樋口哲也
概要　光学系を構成する要素間の物理的位置を遺伝的アルゴリズムによって微調整することで、光学システムの性能の最適化を実現する方法を考案した。

発案考案の名称　支援必要者用遠隔支援システム
発明者　関田巌、樋口哲也、内田ユリ子
出願日　平 12. 3.27
出願番号　特願 2000-86076
出願人　工業技術院長、関田巌、樋口哲也、内田ユリ子
概要　視覚障害者に画像・音声取得装置を具備した眼鏡を装着させ、指示を行わせるための実現手法を考案した。

・10 年度
発明考案の名称　フィルタ回路およびその調整方法
発明者　樋口哲也 村川正宏 安達敏男 鈴木史郎
出願日　平 10.9.18

出願番号　　特願平 10-265363
出願人　　工業技術院長、樋口哲也、旭化成マイクロシステム(株)
概要：　　Gm-C フィルタ回路の製造バラツキを製品毎に遺伝的アルゴリズムを用いて適応的に行い、製品仕様を満たす。

発明考案の名称　デジタル回路およびそのクロック信号調整方法
発明者　　樋口哲也 高橋栄一 戸田賢二 村川正宏
出願日　　平 11.3.29
出願番号　　特願平 11-86167
出願人　　工業技術院長、樋口哲也、高橋栄一、戸田賢二
概要：　　デジタル回路のクロックスキューの問題を解決するための調整を製品毎に遺伝的アルゴリズムを用いて適応的に行う

・9 年度
発明考案の名称　データ圧縮装置および方法
発明者　　樋口哲也 メフラッドサラミ
出願日　　平 9.5.27
出願番号　　特願平 9-136490
出願人　　工業技術院長、樋口哲也
概要：　　画像データをいくつかに分割し、それぞれについて適切な圧縮方式を、最適化し、決定する。

発明考案の名称　適応進化型画像圧縮符号化装置
発明者　　樋口哲也、栗田多喜夫、坂無英徳、田中雅晴
出願日　　平 10.2.26
出願番号　　特願平 10-45325
出願人　　工業技術院長、三菱重工業株式会社、樋口哲也、栗田多喜夫
概要：　　画像データ圧縮において、圧縮率を最大化する参照画素位置の組み合わせを遺伝的アルゴリズムにより発見的に決定することができる.

(4)著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

B. 並列分散コンピューティング技術分野

B-1. シームレス並列分散コンピューティング技術領域

B-1-1. 並列ネットワークサーバ 並列分散システム富士通研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

なし

・12 年度

【D-99-244】 陣崎 :"Stream Processor"、並列処理シンポジウム JSPP2000、IPSJ symposium Series Vol. 2000、No.6、pp. 205-212、2000 年 6 月

・11 年度

【D-98-145】 小林、陣崎 :"Virtual Interface Architecture の Internet 拡張方式"、並列処理シンポジウム JSPP'99、pp.23-30、1999 年 6 月.

【D-99-128】 水野、陣崎 :"ネットワーク層における情報検索機構の検討"、インターネットコンファレンス99 論文集、pp. 67-75、1999 年 12 月.

【D-99-199】 H. Koga and A. Jinzaki :"DV Stream Transmission over World Wide Internet by Video Frame Recognition", Packet Video 2000, 2000.

・10 年度

【D-98-008】 古賀久志、陣崎明 :"IEEE 1394 バスの計算機ネットワークへの適用"、並列処理シンポジウム JSPP'98、pp.158、1998.

【D-98-090】 陣崎明、中村修、村井純 :"ギガビットルータ Comet のアーキテクチャとその評価"、インターネットコンファレンス'98 論文集、pp.89-96、1998.

・9 年度

なし

(2)その他論文リスト (口頭を含む)

・13 年度

【D-01-045】 新家正総、河合純、小林伸治、水野裕織、古賀久志、下國治、陣崎明、住元慎司, "Comet Network Processor を用いた PM/Comet の実装と評価", SWopp2001,2001.7.6

【D-01-019】 陣崎明, "Comet", Networld + Interop 2001 Tokyo IPv6 Show Case, 2001.5.23

・12 年度

【D-00-049】 水野他 :"広域並列分散システムにおける通信特性の評価"、信学技報 CPSY2000-54、pp. 17-24、2000 年 8 月 3 日

【D-00-050】 小林、陣崎 :"Comet-VIA の評価"、信学技報 CPSY2000-53、pp. 9-16、2000 年 8 月 3 日

【D-00-114】 小林他 :"Comet による OC48c クラスタの性能評価"、情処研報 HPC HOKKE-2001,2001 年 3 月 9 日

・11 年度

【D-99-084】 下國他 :"インターネットでの並列分散処理の方式検討"、信学技報 CPSY99-67、pp. 43-48、1999 年 8 月.

【D-99-085】 古賀他 :"インターネットでの並列分散処理の実装検討"、信学技報 CPSY99-68、pp. 49-54、1999 年 8 月.

【D-99-170】 Jinzaki,. et al :"Construction of Virtual Private Distributed System by

Comet", Proc. of 2000 RWC Symposium (TR-99-002), pp. 23-26, 2000, Jan.

【D-99-217】 下國治他："広域並列分散システムの信頼できるマルチキャスト"、情処研究報告計算機アーキテクチャ 137-10、pp. 53-58、2000 年 3 月 2 日.

・10 年度

【TR-98001】 陣崎明、河合純、小林伸治、河合純、古賀久志、下國治、水野裕識、村井純、中村修："ネットワークサーバ Comet による実時間ストリーム通信処理の実験"、RWC Technical Report (TR-98001)、pp.47-50、1998.

【D-98-058】 陣崎明、中村修、村井純："並列ネットワークサーバ Comet のアーキテクチャとその応用"、信学技報 CPSY98-62、pp.15-22、1998.

【D-98-059】 水野裕識、陣崎明："Comet による分散共有メモリの提案とその評価"、信学技報 CPSY98-64、pp.29-34、1998.

【D-98-060】 小林伸治、陣崎明："Comet における VIA 的インタフェース"、信学技報 CPSY98-63、pp.23-28、1998.

【D-98-061】 古賀久志、陣崎明："Comet による IEEE 1394 を利用した計算機ネットワークの構築"、信学技報 CPSY98-65、pp.35-40、1998.

【D-98-062】 河合純、下國治、陣崎明、都筑俊秀、竹原勝："Comet のハードウェア試作と性能評価"、信学技報 CPSY98-66、pp.41-48、1998.

・9 年度

【D-97-056】 並列分散システム富士通 陣崎明、林弘、中村修、村井純："大規模広域並列分散システムの実現を目指す超高速インターネットの構想"、信学技報 CPSY97、Vol. 97、No.226、pp.75-82、1997.

8)特許出願リスト

・13 年度

RWC 整理番号　2001D-007
発明考案の名称　放送型通信システム
発明者　陣崎　明
出願日　平成 13 年 7 月 31 日
出願番号　特願 2001-231361
出願人　富士通株式会社
分類番号　H04B 1/03
状況　出願

（概要）

送信者側の情報処理装置である配送サーバが、配送品質を低下させずに同時にサービス可能な受信者数を増大させる。より具体的には、配送サービスのプロセッサ負荷及び I/O バス負荷を低減し、配送品質を受信者側の要求に対応して調整できるようにする。

・12 年度

RWC 整理番号　2000D-001
発明考案の名称　情報装置、テーブル検索装置、テーブル検索方法、及び記録媒体
発明者　陣崎 明
出願日　H12.5.15.
出願番号　2000-142102

出願人　　富士通株式会社
分類番号　　G06F 15/00
状況　　出願済
（概要）
少ないメモリ容量で無駄なエントリのない、高速検索可能なテーブルのデータ構造を提供する。テーブルを検索するための検索キーを複数のビット列からなる分割検索キーに分割する。各分割検索キーには、対応した検索表を設けるようにし、1つの分割検索キーで検索するテーブルの大きさを全体の検索キーで一度の検索する場合のテーブルよりも小さなものとする。最初に分割検索キー（Aビット）で一次検索表を検索し、結果が得られればそのまま出力する。二次検索表へのポインタが得られたら、その二次検索表を分割検索キー（Bビット）で検索する。以下同様にして、分割検索キーを使って検索する。

RWC 整理番号　2000D-008
発明考案の名称　複数の通信を同期させるシステム及び方法
発明者　　陣崎　明、古賀　久志
出願日　　H12.11.27.
出願番号　　2000-359579
出願人　　富士通株式会社
分類番号　　H04L　12/46
状況　　出願済
（概要）
複数の通信を受信側で同期させて受信することの出来る通信システム及び方法を提供する。送信者は送信すべき通信データを分割して別経路で分割された通信データを送信する。受信側では別経路で分割されて送られてきた通信データの相互の同期をとって再生する。受信側で同期がとれるようにするため、分割通信データの付加情報として「チャネル番号」、「発信時刻」、「データ生成時刻」、「音声情報の有無」、「画像情報の有無」などを用いる。そして、これらを基に受信側で独立して送信されきた通信データ間の同期をとる。あるいは送信側で予め同期をとった通信データを送信し、送信側が通信データを送信する際に使用した同期情報を用いて受信側で受信データ間の同期を取る。

RWC 整理番号　2000D-018
発明考案の名称　テーブルを用いたデータ処理装置および処理システム
発明者　　陣崎　明
出願日　　H13.2.14.
出願番号　　09/782,285
出願人　　富士通株式会社
状況　　出願済
（概要）
日本国での出願「特願平 12-036874」を基礎特許とした米国出願。
ストリームデータ処理をはじめ、汎用のデータ処理を実行する場合に、入力されるデータをメモリ検索用データに変換し、該メモリ検索用データでメモリを検索し、入力データに対して行われるべき処理の内容を含む状態語を状態遷移テーブルから読み出し、読み出された状態語の内容に応じて、次の入力データに対して行われるべき処理の状態に対応する状態遷移テーブルへのアクセス状態を得ると同時に状態語の内容に応じた演算を実行することにより、汎用のデータ処理を高速に実行し、また処理機能を容易に変更することができる

データ処理装置を実現することができる。

RWC 整理番号　2000D-019
発明考案の名称　テーブルを用いたデータ処理装置および処理システム
発明者　陣崎　明
出願日　H13.2.15.
出願番号　01301333.9
出願人　富士通株式会社
状況　出願済
（概要）
日本国での出願「特願平 12-036874」を基礎特許とした EPC（英国、独国、仏国）出願。
ストリームデータ処理をはじめ、汎用のデータ処理を実行する場合に、入力されるデータをメモリ検索用データに変換し、該メモリ検索用データでメモリを検索し、入力データに対して行われるべき処理の内容を含む状態語を状態遷移テーブルから読み出し、読み出された状態語の内容に応じて、次の入力データに対して行われるべき処理の状態に対応する状態遷移テーブルへのアクセス状態を得ると同時に状態語の内容に応じた演算を実行することにより、汎用のデータ処理を高速に実行し、また処理機能を容易に変更することができるデータ処理装置を実現することができる。

RWC 整理番号　2000D-020
発明考案の名称　情報装置、テーブル検索装置、テーブル検索方法、
及び記録媒体
発明者　陣崎　明
出願日　H13.2.15.
出願番号　09/783,559
出願人　富士通株式会社
状況　出願済
（概要）
日本国での出願「特願 2000-142102」を基礎特許とした米国出願。
少ないメモリ容量で無駄なエントリのない、高速検索可能なテーブルのデータ構を提供する。テーブルを検索するための検索キーを複数のビット列からなる分割検索キーに分割する。各分割検索キーには、対応した検索表を設けるようにし、１つの分割検索キーで検索するテーブルの大きさを全体の検索キーで一度の検索する場合のテーブルよりも小さなものとする。最初に分割検索キー（Aビット）で一次検索表を検索し、結果が得られればそのまま出力する。二次検索表へのポインタが得られたら、その二次検索表を分割検索キー（Bビット）で検索する。以下同様にして、分割検索キーを使って検索する。

RWC 整理番号　2000D-021
発明考案の名称　情報装置、テーブル検索装置、テーブル検索方法、
及び記録媒体
発明者　陣崎　明
出願日　H13.2.21.
出願番号　01301556.5
出願人　富士通株式会社
状況　出願済

（概要）
日本国での出願（特願平 12-036874」を基礎特許とした EPC（英国、独国）出願。
少ないメモリ容量で無駄なエントリのない、高速検索可能なテーブルのデータ構造を提供する。テーブルを検索するための検索キーを複数のビット列からなる分割検索キーに分割する。各分割検索キーには、対応した検索表を設けるようにし、1つの分割検索キーで検索するテーブルの大きさを全体の検索キーで一度の検索する場合のテーブルよりも小さなものとする。最初に分割検索キー（Aビット）で一次検索表を検索し、結果が得られればそのまま出力する。二次検索表へのポインタが得られたら、その二次検索表を分割検索キー（Bビット）で検索する。以下同様にして、分割検索キーを使って検索する。

・11 年度
RWC 整理番号　99D-017
発明考案の名称　情報検索機能をもつネットワークシステム、情報検索機能をもつネットワーク端末装置、及び情報検索機能をもつネットワーク中継装置
発明者　陣崎明
出願日　平 11.10.26
出願番号　11-303543
出願人　富士通株式会社
（概要）
情報又は物を保有するネットワーク装置と情報検索装置とがネットワークで接続され、情報検索装置とネットワーク装置との間で通信が行われるシステムにおいて、情報又は物の名称に情報ネットワークアドレスを付与する。情報検索装置は、情報ネットワークアドレスを使用して、情報又は物を保有するネットワーク装置に対して通信を行い、直接的に情報検索を行う。これにより、情報とネットワークアドレスの対応を調べるという意味での検索処理は不要となる。

RWC 整理番号　99D-018
発明考案の名称　通信ネットワークにおける通信ノード装置の名前検索
発明者　陣崎明
出願日　平 11.10.29
出願番号　JP99/06052
出願人　富士通株式会社
（概要）
通信ネットワーク内の通信ノード装置を特定する情報を検索するための名前検索装置において、通信ノード装置の動作状態、使用状態、位置情報、特性を表す情報、通信ノード装置が保有する情報を表す情報、その他通信ノード装置を特定するのに有効な情報の少なくとも1つ又は複数の情報を組み合わせた名前検索条件に従って、その通信ノード装置を特定する情報を検索する。これにより、通信先の通信ノード装置としてできるだけ適切なノードを決定することができるようになる。

RWC 整理番号　99D-019
発明考案の名称　データ通信システム
発明者　陣崎明
出願日　平 12.1.25
出願番号　12-15504

出願人　　富士通株式会社
（概要）
データを一定の転送速度、転送遅延で連続的に転送するような同期通信を、データ喪失、データ冗送、データ転送順序の変更が起こりうる通信ネットワークシステムを用いて実現する際に、送信側では同期通信データにそのデータに関する情報を付加して通信ネットワーク上に転送し、受信側ではその同期通信データに関する情報を利用して同期通信データを復元するようにする。これにより、データグラム方式のネットワークを経由するデータ通信システムにおいて、既知のデータ構造をもつデータを高品質に伝送することができるようになる。

RWC 整理番号　99D-023
発明考案の名称　テーブルを用いたデータ処理装置および処理システム
発明者　　陣崎明
出願日　　平 12.2.15
出願番号　　12-36874
出願人　　富士通株式会社
（概要）
ストリームデータ処理をはじめ、汎用のデータ処理を実行する場合に、入力されるデータをメモリ検索用データに変換し、該メモリ検索用データでメモリを検索し、入力データに対して行われるべき処理の内容を含む状態語を状態遷移テーブルから読み出し、読み出された状態語の内容に応じて、次の入力データに対して行われるべき処理の状態に対応する状態遷移テーブルへのアクセス状態を得ると同時に状態語の内容に応じた演算を実行することにより、汎用のデータ処理を高速に実行し、また処理機能を用意に変更することができるデータ処理装置を実現することができる。

RWC 整理番号　99D-024
発明考案の名称　データ通信システム
発明者　　古賀久志、陣崎明
出願日　　平 12.2.16
出願番号　　12-38514
出願人　　富士通株式会社
（概要）
物理的に独立なネットワーク 1 とネットワーク 2 が中継ネットワークで接続されている際に、ネットワーク1 に存在する送信側中継手段がネットワーク 1 のパケットを、ネットワーク2 の受信側中継手段の宛先をもつ中継ネットワークのパケットに変換し、送信した後受信側中継手段が中継ネットワークのパケットを、ネットワーク2 のパケットに再構成することによって、ネットワーク1 とネットワーク2 とを論理的に一つのネットワークとしてデータの転送を実現するデータ通信システムを提供することができるようになる。

RWC 整理番号　99D-025
発明考案の名称　データ通信システム
発明者　　古賀久志
出願日　　平 12.2.25
出願番号　　特願 2000-49775
出願人　　富士通株式会社

概要）
インターネットに代表されるような確実性のないデータグラム通信を用いて、一定の速度、遅延で連続的に転送するような同期通信で一定の構造をもつデータを転送するためのデータ通信方式として、受信側装置がバッファリングされたパケットで構造が再構成されるかを、構造を利用した簡単な処理で判断することにより、途中経路の遅延のゆらぎを吸収し、パケット喪失を検出し適切な代替措置をとり、ネットワークの利用可能帯域に合わせて同期通信のデータ量を固定的に調整することができるようになる。

・10 年度
なし
・9 年度
なし

4）著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

B-1-2. 高性能並列分散計算機システム（並列分散システム NEC 研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【D-01-055】荒木，村井，松浦，蒲池，妹尾："実行時再コンパイルを用いた HPF プログラムの最適化", 情報処理学会論文誌（投稿中）

【D-01-076】荒木，村井，蒲池，妹尾："Optimization of HPF programs with Dynamic Recompilation Technique", The 5th International Symposium on High Performance Computing, 2002.5

【D-01-082】荒木，村井，蒲池，妹尾："データ並列言語を対象とした動的負荷分散機構の実現と評価"，並列処理シンポジウム JSPP2002.2002.5

・12 年度

【D-00-091】 荒木、村井、松浦、蒲池、妹尾："実行時再コンパイルを用いた HPF プログラムの最適化"、JSPP2001、（2001 年 6 月 5 日）

【D-00-104】 荒木、村井、松浦、蒲池、妹尾："Optimization of HPF programs with Dynamic Recompilation Technique"、Europar2001、（2001 年 8 月 28 日）

・11 年度

【D-99-102】 松浦、村井、末広、妹尾："データ並列プログラムに対する高速な自動データ分割手法"、情報処理学会論文誌、2000. 第 41 巻第 5 号（平成 12 年 5 月）pp.1420-1429

・10 年度

【D-98-138】 並列分散システム NEC 研究室　松浦、村井、末広、妹尾："データ並列プログラムに対する高速な自動データ分割手法"、JSPP'99、1999 発表 pp.87-94

・9 年度

なし

(2)その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

【D-01-035】 松浦健一郎、荒木拓也、蒲池恒彦、妹尾義樹,"Web インタフェースを備えた異機種並列分散プログラミング環境", SWopp2001, 2001.6.26

・12 年度

なし

・11 年度

【D-99-074】 末広、松浦、菊地、村井、妹尾："異機種並列分散システム向けプログラミング環境"、SWoPP 下関'99、1999.

【D-99-123】 村井、荒木、松浦、末広、妹尾："実行時再コンパイルによる並列プログラムのメモリ割り付け最適化"、情報処理学会第 79 回 HPC 研究会、1999.

【D-99-124】 荒木、松浦、村井、末広、小西、妹尾："異機種並列分散システムにおける HPF プログラムの実行と評価"、情報処理学会第 79 回 HPC 研究会、1999.

【D-99-176】 中田、末広："A Programming Environment for Heterogeneous Parallel and Distributed Systems"、2000 RWC シンポジウム、2000.

・10 年度

【D-98-122】 並列分散システム NEC 研究室 片山、中田、妹尾、左近、西川、末広: "高性能並列分散システムの設計"、1998 RWC シンポジウム、 RWC

Technical Report (TR-98001)、pp.41-46、1998.
【D-98-151】 並列分散システムNEC研究室 村井、 妹尾:"A Programming Tool for Heterogeneous Distributed Parallel Systems", 1999 Korea-Japan Joint Workshop on High Performance Computing, 1999.

・9 年度

【D-97-036】 草野、妹尾、左近、片山、小藤、中田:"異機種並列分散処理による高性能計算機システムの構想"、信学技報 CPSY97-63、pp.91-96、1997.

8)特許出願リスト

・13 年度

RWC 整理番号　2001D-002
発明考案の名称　実行時負荷分散システム及び実行時負荷分散方法並びにプログラム
発明者　　松浦健一郎
出願日　　平 13.5.31
出願番号　　特願 2001-165177
出願人　　日本電気株式会社
（概要）
実行時に収集するプロセッサの負荷状況の情報を利用し、個々のプロセッサへのデータの割り付け範囲を実行時に変更することによって、計算処理の割付方法を変更する、自動負荷分散機能を提供する。

・12 年度

RWC 整理番号　2000D-013
発明考案の名称　コンパイルシステム、コンパイル方法およびプログラム
発明者　　荒木拓也
出願日　　平 13.01.25.
出願番号　　2001-017287
出願人　　日本電気株式会社
（概要）
実行時に変数値の情報を収集し、その情報を利用してプログラムを実行中に再コンパイル、最適化を行うことにより、プログラムをより高速に実行可能にする。また、再コンパイルをプログラムの実行と並列に行うことにより、プログラムの実行速度を低下させず実行時コンパイルの利点を享受できるシステムを提供する。

・11 年度

RWC 整理番号　99D-004
発明考案の名称　並列プログラム生成方法
発明者：　　村井均
出願日　　平 11.6.8
出願番号　　特願平 11-160973
出願人：　　日本電気、技術研究組合 新情報処理開発機構
概要:並列分散システム上に自動的にプログラム中の配列データを分割配置するための方式。配列アクセスの情報を元に、ループを効率的に並列化し、かつループ間における通信オーバヘッドを抑制するようなデータ分割を短い時間で自動的に決定する。

RWC 整理番号　99D-011
発明考案の名称　メモリ割り付け最適化システム、方法、及び記録媒体
発明者　村井均
出願日　平 11.11.4
出願番号　11-314130
出願人　日本電気株式会社
（概要）
プログラムの必要メモリサイズを計算機システムの備えるメモリ以下に抑えつつ、添字変換や領域の動的割り付けといった実行時のオーバヘッドを削減できるメモリ割り付けを実現する方式。プログラム実行時に、最適なメモリ割り付けを実現するオブジェクトを再コンパイルし、プログラム実行を停止することなく、オブジェクトファイルの置換を行うことで実現する。

・10 年度
なし
・9 年度
なし

4）著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
管理番号　NEC-RWC-M069
著作物の名称　並列分散コンパイラ
原著作者　日本電気株式会社
完成日　平 13.3.31.
記憶媒体　CD-ROM
（概要）
HPF プログラムを変換し、並列分散プログラムを生成するプログラムであり、実行時再コンパイルを実現するプログラムの自動生成、及び再コンパイル実行時の制御・実行時情報の管理を行うための機能が付加されている。

管理番号　NEC-RWC-M70
著作物の名称　並列分散ツール
原著作者　日本電気株式会社
完成日　平 13.3.31.
記憶媒体　CD-ROM
（概要）
入力されたソースプログラムの静的解析、静的/動的解析結果の可視化を行い、並列分散プログラム開発の支援を行うプログラムであり、実行時モニタリングを実現するプログラムの自動生成、及び種々のプログラム情報の収集を行うための機能が付加されている。

管理番号　NEC-RWC-M71
著作物の名称　並列分散ライブラリ
原著作者　日本電気株式会社
完成日　平 13.3.31.

記憶媒体　　CD-ROM
（概要）
　コンパイラが生成した並列分散プログラムとリンクされるライブラリ群であり、並列分散実行・プロセッサ間の通信などの制御を行うためのプログラム群である。

管理番号　　NEC-RWC-M72
著作物の名称　並列分散アプリケーション
原著作者　　日本電気株式会社
完成日　　平 13.3.31.
記憶媒体　　CD-ROM
（概要）
　異機種並列分散システム上で実行可能な非経験的分子軌道法（Hartree-Fock 法）のプログラムであり、評価用の異機種システム（SX-Cenju 結合システム）上で実行される。

・11 年度
管理番号　　RWC-NEC-M-040
著作物の名称　並列分散ライブラリ／異機種 MPI 第三版改良項目仕様書
原著作者　　小西弘一
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
異機種 MPI ライブラリ第三版の、第二版からの改良項目の仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M041
著作物の名称　並列分散ライブラリ／異機種 MPI 第三版性能評価報告書
原著作者　　小西弘一
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
異機種 MPI ライブラリの第三版における、一対一通信および集団通信の通信性能の評価報告書である。

管理番号　　RWC-NEC-M042
著作物の名称　並列分散ライブラリ／コンパイラランタイム改良仕様書
原著作者　　立川江介
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
並列分散コンパイラの出力コードがランタイムルーチンとして呼び出す実行時ライブラリの改良項目の仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M043
著作物の名称　並列分散ライブラリ／ HPF_LIBRARY 機能仕様書
原著作者　　立川江介
完成予定日　　平 12.3.31

記憶媒体　　紙
（概要）
HPF 言語の標準ライブラリであるHPF_LIBRARY を実現する実行時ライブラリの機能仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M044
著作物の名称　　並列分散ライブラリ／ HPF_LIBRARY ソースコード
原著作者　　立川江介
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
HPF 言語の標準ライブラリであるHPF_LIBRARY を実現する実行時ライブラリのソースプログラムである。プログラムは C 言語で記述されている。

管理番号　　RWC-NEC-M045
著作物の名称　　並列分散コンパイラ／タスク並列拡張機能設計仕様書
原著作者　　林康晴
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
並列分散コンパイラへのON 指示文 ･部分プロセッサマッピング機能の拡張の設計仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M046
著作物の名称　　並列分散コンパイラ／タスク並列拡張機能ソースコード
原著作者　　林康晴
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
並列分散コンパイラへのON 指示文 ･部分プロセッサマッピング機能の拡張のソースプログラムである。プログラムは C 言語で記述されている。

管理番号　　RWC-NEC-M047
著作物の名称　　実行時再コンパイル機能によるメモリ割り付け最適化 ･有効性検証報告書
原著作者　　田村正典
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
実行時再コンパイルによりメモリ割り付けを最適化することの有効性を検証した報告書である。

管理番号　　RWC-NEC-M048
著作物の名称　　並列分散コンパイラ／実行時コンパイル機能仕様書
原著作者　　田村正典

完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
並列分散コンパイラへの実行時コンパイル機能拡張の機能仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M049
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／性能予測モジュール仕様書
原著作者　　末広謙二
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
並列分散プログラムが、ターゲットとなるマシン上で実行された場合の性能をプログラム解析情報を用いて予測する性能予測モジュールの機能仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M050
著作物の名称　　並列分散化支援ツール/性能予測モジュールソースコード
原著作者　　末広謙二
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
並列分散プログラムが、ターゲットとなるマシン上で実行された場合の性能をプログラム解析情報を用いて予測する性能予測モジュールのソースプログラムである。プログラムは C/C++言語で記述されている。

管理番号　　RWC-NEC-M051
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／タスク並列性表示インターフェース仕様書
原著作者　　松浦健一郎
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
異機種並列分散環境における並列分散プログラムの開発を支援するための分散情報可視化モジュールにおいて、タスク並列性を編集・表示する機能を付加するための追加モジュールの機能仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M052
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／タスク並列性表示インターフェースソースコード
原著作者　　松浦健一郎
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
異機種並列分散環境における並列分散プログラムの開発を支援するための分散情報可視化モジュールにおいて、タスク並列性を編集・表示する機能を付加するための追加モジュールのソースプログラムである。このプログラムは Java 言語で記述されている。

管理番号　　RWC-NEC-M053
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／モニタリングプログラム自動生成モジュール機能仕様書
原著作者　　村井均
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
実行モニタリングモジュールにおいて、モニタリングプログラムを自動生成するモジュールの機能仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M054
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／モニタリングプログラム自動生成モジュールソースコード
原著作者　　村井均
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
実行モニタリングモジュールにおいて、モニタリングプログラムを自動生成するモジュールのソースプログラムである。このプログラムは C 言語で記述されている。

管理番号　　RWC-NEC-M055
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／プログラム情報モニタリングライブラリ機能仕様書
原著作者　　村井均
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
実行モニタリングモジュールにおいて、自動生成されたモニタリングプログラムから呼び出されるランタイムライブラリの機能仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M056
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／プログラム情報モニタリングライブラリソースコード
原著作者　　村井均
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
実行モニタリングモジュールにおいて、自動生成されたモニタリングプログラムから呼び出されるランタイムライブラリのソースプログラムである。このプログラムは C 言語で記述されている。

管理番号　　RWC-NEC-M057
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／モニタリング情報中継モジュール機能仕様書
原著作者　　末広謙二

完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
実行モニタリングモジュールにおいて、異機種環境にて採取されたモニタリング情報を一元化するための中継モジュールの機能仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M058
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／モニタリング情報中継モジュールソースコード
原著作者　　末広謙二
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
実行モニタリングモジュールにおいて、異機種環境にて採取されたモニタリング情報を一元化するための中継モジュールのソースプログラムである。このプログラムは C 言語で記述されている。

管理番号　　RWC-NEC-M059
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／モニタリング情報管理モジュール機能仕様書
原著作者　　荒木拓也
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
実行モニタリングモジュールにおいて、採取されたモニタリング情報を管理し、他モジュールに提供する管理モジュールの機能仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M060
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／モニタリング情報管理モジュールソースコード
原著作者　　荒木拓也
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
実行モニタリングモジュールにおいて、採取されたモニタリング情報を管理し、他モジュールに提供する管理モジュールのソースプログラムである。このプログラムは Java 言語で記述されている。

管理番号　　RWC-NEC-M061
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／トレースプログラム自動実行モジュール機能仕様書
原著作者　　松浦健一郎
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）

実行モニタリングモジュールにおいて、モニタリング手順を自動化するためのモジュールの機能仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M062
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／トレースプログラム自動実行モジュールソースコード
原著作者　　松浦健一郎
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
実行モニタリングモジュールにおいて、モニタリング手順を自動化するためのモジュールのソースプログラムである。このプログラムは Java 言語で記述されている。

管理番号　　RWC-NEC-M063
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／実行時情報可視化モジュール機能仕様書
原著作者　　松浦健一郎
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
実行モニタリングモジュールにおいて、モニタリング情報を可視化するためのモジュールの機能仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M064
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／実行時情報可視化モジュールソースコード
原著作者　　松浦健一郎
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
実行モニタリングモジュールにおいて、モニタリング情報を可視化するためのモジュールのソースプログラムである。このプログラムは Java 言語で記述されている。

管理番号　　RWC-NEC-M065
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／コーディング支援機能仕様書
原著作者　　村井均
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
実行モニタリング結果を利用した自動データ分散機能の機能仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M066
著作物の名称　　並列分散化支援ツール／コーディング支援機能ソースコード仕様書
原著作者　　村井均
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）

実行モニタリング結果を利用した自動データ分散機能のソースプログラムである。このプログラムは C 言語で記述されている。

管理番号　　RWC-NEC-M067
著作物の名称　異機種並列分散アプリケーション性能評価報告書
原著作者　　荒木拓也
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
並列分散アプリケーションを利用した異機種環境の評価報告書である。

管理番号　　RWC-NEC-M068
著作物の名称　異機種並列分散アプリケーション・ソースコード
原著作者　　荒木拓也
完成予定日　　平 12.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
並列分散ライブラリおよびコンパイラの評価用に作成した並列分散アプリケーションのソースコードである。プログラムは HPF 言語で記述されている。

・10 年度
管理番号：　　RWC-NEC-M-021
名称：　　異機種 MPI 第二版改良項目仕様書
原著作者：　　小西弘一
完成予定日：　　平 11.3.31
記憶媒体：　　紙
概要：異機種 MPI ライブラリ第二版の、第一版からの改良項目の仕様書である。

管理番号：　　RWC-NEC-M-022
名称：　　異機種 MPI 第二版性能評価報告書
原著作者：　　小西弘一
完成予定日：　　平 11.3.31
記憶媒体：　　紙
概要：異機種 MPI ライブラリの第二版における、一対一通信、およびバリア同期とブロードキャストの通信性能の評価報告書である。

管理番号：　　RWC-NEC-M-023
名称：　　並列分散ライブラリ・機能/インターフェース仕様書
原著作者：　　立川江介
完成予定日：　　平 11.3.31
記憶媒体：　　紙
概要：タスク並列および部分プロセッサマッピングを実現するための各種実行時制御およびデータ転送を実現するランタイムルーチンの機能/インタフェース仕様書である。

管理番号：　　RWC-NEC-M-024

名称：　　並列分散ライブラリ（ソースコード）
原著作者：　　立川江介
完成予定日：　　平 11.3.31
記憶媒体：　　紙
概要：タスク並列および部分プロセッサマッピングを実現するための各種実行時制御およびデータ転送を実現するランタイムルーチンのソースプログラムである。プログラムは C 言語で記述されている。

管理番号：　　RWC-NEC-M-025
名称：　　解析モジュール・機能仕様書
原著作者：　　横谷雄司
完成予定日：　　平 11.3.31
記憶媒体：　　紙
概要：並列分散コンパイラの解析モジュールの機能仕様書である。

管理番号：　　RWC-NEC-M-026
名称：　　解析モジュール（ソースコード）
原著作者：　　横谷雄司
完成予定日：　　平 11.3.31
記憶媒体：　　紙
概要：並列分散コンパイラの解析モジュールのソースプログラムである。プログラムは C 言語で記述されている。

管理番号：　　RWC-NEC-M-027
名称：　　並列分散化モジュール・機能仕様書
原著作者：　　稲葉勝
完成予定日：　　平 11.3.31
記憶媒体：　　紙
概要：並列分散コンパイラの並列分散化モジュールの機能仕様書である。

管理番号：　　RWC-NEC-M-028
名称：　　並列分散化モジュール（ソースコード）
原著作者：　　稲葉勝
完成予定日：　　平 11.3.31
記憶媒体：　　紙
概要：並列分散コンパイラの並列分散化モジュールのソースプログラムである。プログラムは C 言語で記述されている。

管理番号：　　RWC-NEC-M-029
名称：　　通信生成モジュール・機能仕様書
原著作者：　　林康晴
完成予定日：　　平 11.3.31
記憶媒体：　　紙
概要：プログラムの並列分散実行に必要なデータ転送を解析し、適切なデータ転送を実行するランタイムルーチンの呼び出しを挿入するモジュールの機能仕様書である。

管理番号：　　RWC-NEC-M-030
名称：　　通信生成モジュール（ソースコード）
原著作者：　　林康晴
完成予定日：　　平 11.3.31
記憶媒体：　　紙
概要：プログラムの並列分散実行に必要なデータ転送を解析し、適切なデータ転送を実行するランタイムルーチンの呼び出しを挿入するモジュールのソースプログラムである。プログラムは C 言語で記述されている。

管理番号：　　RWC-NEC-M-031
名称：　　実行時コンパイル機能有効性検証報告書
原著作者：　　田村正典
完成予定日：　　平 11.3.31
記憶媒体：　　紙
概要：動的情報採取機能、再コンパイル判断機能、オブジェクト入れ替え機能の動作を検証した報告書である。

管理番号：　　RWC-NEC-M-032
名称：　　モニタリングツール・機能/インターフェース仕様書
原著作者：　　菊地賢太郎
完成予定日：　　平 11.3.31
記録媒体：　　紙
概要：モニタリングツールのシステム構成、モニタリング対象とする実行時情報の詳細な説明、および実行時情報の記録方式について記載した仕様書である。

管理番号：　　RWC-NEC-M-033
名称：　　モニタリングツール・モジュール（ソースコード）
原著作者：　　菊地賢太郎
完成予定日：　　平 11.3.31
記録媒体：　　紙
概要：Cenju-4 上でのプログラム実行時情報を取得し、分析するためのモニタリングツールを構成するモジュールを記述したソースプログラムである。このプログラムは C 言語および Fortran 言語で記述されている。

管理番号：　　RWC-NEC-M-034
名称：　　分散情報可視化ツール・機能/インターフェース仕様書
原著作者：　　松浦健一郎
完成予定日：　　平 11.3.31
記録媒体：　　紙
概要：分散情報可視化ツールが各種情報を取得するためのコンパイラとのインターフェース、取得した情報の可視化方式、情報を操作するために提供するユーザーインターフェースの詳細な説明を記載した仕様書である。

管理番号：　　RWC-NEC-M-035

名称：　　分散情報可視化ツール -モジュール（ソースコード）
原著作者：　　松浦健一郎
完成予定日：　　平 11.3.31
記録媒体：　　紙
概要 :異機種並列分散環境における並列分散プログラムの開発を支援するためのツールの一つとして開発した分散情報可視化ツールを構成するモジュールを記述したソースプログラムである。このプログラムは Java 言語で記述されている。

管理番号：　　RWC-NEC-M-036
名称：　　自動データ分割ツール -機能/インターフェース仕様書
原著作者：　　村井均
完成予定日：　　平 11.3.31
記録媒体：　　紙
概要 :自動データ分割ツールの機能および自動データ分割手法の詳細な説明を記載した仕様書である。

管理番号：　　RWC-NEC-M-037
名称：　　自動データ分割ツール -モジュール（ソースコード）
原著作者：　　村井均
完成予定日：　　平 11.3.31
記録媒体：　　紙
概要 :異機種並列分散環境における並列分散プログラムの開発を支援するためのツールの一つとして開発した自動データ分割ツールを構成するモジュールを記述したソースプログラムである。このプログラムは C/C++言語で記述されている。

管理番号：　　RWC-NEC-M-038
名称：　　性能予測ツール -機能仕様書
原著作者：　　末広謙二
完成予定日：　　平 11.3.31
記憶媒体：　　紙
概要 :並列分散プログラムが、ターゲットとなるマシン上で実行された場合の性能をプログラム解析情報を用いて予測する性能予測ツールの機能仕様書である。

管理番号：　　RWC-NEC-M-039
名称：　　性能予測ツール（ソースコード）
原著作者：　　末広謙二
完成予定日：　　平 11.3.31
記憶媒体：　　紙
概要 :並列分散プログラムが、ターゲットとなるマシン上で実行された場合の性能をプログラム解析情報を用いて予測する性能予測ツールのソースプログラムである。プログラムは C++言語で記述されている。

-9 年度
管理番号　　RWC-NEC-M-001
著作物の名称　　ネットワークトポロジへのアプリケーション適合性に関する検討結果報告

書
原著作者　　小柳尚夫（NEC コンピュータ事業部）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
各種ネットワークトポロジの特性調査およびネットワークトポロジへのアプリケーション適合性に関する検討を行った結果の報告

管理番号　　RWC-NEC-M-002
著作物の名称　　異機種間結合網の検討結果報告書
原著作者　　小柳尚夫（NEC コンピュータ事業部）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
異機種間結合網として検討すべき項目の洗い出しを行った結果の報告

管理番号　　RWC-NEC-M-003
著作物の名称　　高速結合網に最適な接続方式を決定する為のフィージビリティスタディ結果報告書
原著作者　　篠原真史（NEC コンピュータ事業部）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
高速結合網に最適な接続方式を決定する為のフィージビリティスタディとして非閉塞網、再構成型非閉塞網及び閉塞網におけるパケット交換方式、回線交換方式のそれぞれの性能、物理量、実装方式、コスト、ＲＡＳ等の比較検討を行った結果の報告

管理番号　　RWC-NEC-M-004
著作物の名称　　ノード間インタフェースの検討結果報告書
原著作者　　新井雅裕（NEC コンピュータ事業部）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
ノード間インタフェースの伝送方式の検討結果、光インタフェースの評価結果および電気インタフェースの評価結果の報告

管理番号　　RWC-NEC-M-005
著作物の名称　　クロスバー網の性能検証検討結果報告書
原著作者　　鈴木勉幸（NEC コンピュータ事業部）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
集中制御型（回線交換方式）のクロスバー網の高速結合網について、プロトタイプの簡易性能シミュレータによる基本性能特性データの採取結果および性能評価シミュレータ設計仕様書作成結果の報告

管理番号　　RWC-NEC-M-006
著作物の名称　　異機種分散のための拡張言語仕様書
原著作者 横谷雄司（NEC 第一コンピュータソフトウェア事業部）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
異機種並列分散処理を行うための HPF 言語の拡張仕様に関する言語設計仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M-007
著作物の名称　　コンパイラ拡張機能設計仕様書
原著作者 林康晴（NEC 第一コンピュータソフトウェア事業部）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
異機種並列分散処理に必要な計算マッピング、プロセッササブセット処理機能を実現するための設計仕様書である。

管理番号　　WC-NEC-M-008
著作物の名称　　実行時コンパイル機能実現方式基本設計書
原著作者　　田村正典（NEC 第一コンピュータソフトウェア事業部）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
実行時コンパイル機能をUNIX システム上で実現するための方式についての基本設計書である。

管理番号　　RWC-NEC-M-009
著作物の名称　　実行時コンパイル機能予備実験結果報告書
原著作者　　山田正一郎（NEC 第一コンピュータソフトウェア事業部）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
実行時コンパイル機能の基本機能をUNIX システム上に試作し、予備実験を行った結果についての報告書である。

管理番号　　RWC-NEC-M-010
著作物の名称　　異機種ライブラリシステム・機能／インタフェース仕様書
原著作者　　末広謙二（NEC C&C メディア研究所）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
異機種分散処理は、並列分散コンパイラが出力並列プログラムに異機種ライブラリシステムの呼び出しを挿入することで実現される。本仕様書は、このライブラリの機能／インタフェー

スについて記載されている。

管理番号　　RWC-NEC-M-011
著作物の名称　異機種ライブラリシステム・製造仕様書
原著作者　　村井均（NEC C&C メディア研究所）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
並列分散コンパイラが生成する並列分散プログラムに挿入される異機種ライブラリシステム（試作品）の製造仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M-012
著作物の名称　異機種ライブラリシステム（ソースコード）
原著作者　　立川江介（NEC C&C メディア研究所）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
並列分散コンパイラが生成する並列分散プログラムに挿入される異機種ライブラリシステム（試作品）のソースコードである。プログラムは C 言語で記述されている。

管理番号　　RWC-NEC-M-013
著作物の名称　D Data 構造設計書
原著作者　　吉田幸正（NEC 第一コンピュータソフトウェア事業部）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
異機種分散処理を扱うためのコンパイラ内部表現形式である D Data の構造設計書である。

管理番号　　RWC-NEC-M-014
著作物の名称　異機種分散並列解析用データ生成モジュール（ソースコード）
原著作者　　津田義典（NEC 第一コンピュータソフトウェア事業部）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
D Data 構造設計書に記載されている内部表現形式を入力ソースプログラムから生成するモジュールの試作品についてのソースコードである。プログラムは C 言語で記述されている。

管理番号　　RWC-NEC-M-015
著作物の名称　ソースプログラム生成モジュール（ソースコード）
原著作者　　工藤淑裕（NEC 第一コンピュータソフトウェア事業部）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）

D Data 構造設計書に記載されている内部表現形式からForran プログラムに変換するソースプログラム生成モジュールの試作品についてのソースプログラムである。プログラムは C 言語で記述されている。

管理番号　　RWC-NEC-M-016
著作物の名称　　ツールインタフェース用ライブラリ設計書
原著作者　　根元亮治（NEC 第一コンピュータソフトウェア事業部）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
コンパイラの並列分散処理についての解析結果を並列分散ツールでユーザにフィードバックするためのインタフェース用ライブラリの設計仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M-017
著作物の名称　　並列分散化支援ツール・UI 仕様書
原著作者　　岡野夏樹（NEC 第一コンピュータソフトウェア事業部）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
並列分散化支援ツールの機能および利用者への表示インタフェース（UI）の設計仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M-018
著作物の名称　　並列分散ライブラリ設計仕様書
原著作者　　小西弘一（NEC C&C メディア研究所）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
異機種並列分散処理を行うための MPI ライブラリの設計仕様書である。

管理番号　　RWC-NEC-M-019
著作物の名称　　並列分散ライブラリ（ソースコード）
原著作者　　荒木宏之（NEC C&C メディア研究所）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）
異機種並列分散処理を行うための MPI ライブラリシステム試作品ソースプログラムである。プログラムは C 言語で記述されている。

管理番号　　RWC-NEC-M-020
著作物の名称　　並列分散ライブラリ性能評価報告書
原著作者　　小西弘一（NEC C&C メディア研究所）
完成予定日　　平 10.3.31
記憶媒体　　紙
（概要）

SX-Cenju 結合システム上でRWC-NEC-M-019 の並列分散ライブラリ（試作品）を動作させた場合の性能評価に関する報告書である。

B-1-3. Ｈ10～13サーバアプリケーションへの並列分散技術の応用研究（並列分散システム住金研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【D-01-047】　松田元彦、岡崎史裕、入口浩一 , "Replica Extension of Java Remote Objects for Fault Tolerant PC Clustering", HPC Asia 2001 (5th International Conference and Exibition on High-Performance Computing in the Asia-Pacific Region), 2001.7.16

・12 年度

【D-00-103】　松田元彦:″Network interface active messages for low overhead communication on SMP PC clusters″, Future Generation Computer Systems, Vol.16, pp.493-502, 2000.

・11 年度

なし

・10 年度

なし

(2)その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

【D-99-148】　岡崎史裕、松田元彦、入口浩一: ″JavaPM/Myrinet と SORB の性能評価″、情報処理学会研究報告 99-HPC-79、Vol.99、No.103、 pp.31-36、1999.

・10 年度

なし

(3)特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

(4)著作物リスト

・13 年度

なし

・12 年度

管理番号　　RWC-SMI-2000-001

著作物の名称　JavaPM プログラム

原著作者　　住友金属工業株式会社
完成日　　平 13.3.31.
記録媒体　　CD-ROM
（概要）
高速通信ライブラリPM をJava から利用するクラスライブラリ、1999 年度のプログラムの改良版
記述言語 C、Java
動作環境 Windows NT、JDK1.2

管理番号　　RWC-SMI-2000-002
著作物の名称　SORB プログラム
原著作者　　住友金属工業株式会社
完成日　　平 13.3.31.
記録媒体　　CD-ROM
（概要）
分散オブジェクト管理技術による高速アプリケーション間通信ライブラリ。1999 年度のプログラムの改良版
記述言語 Java
動作環境 JDK1.2

管理番号　　RWC-SMI-2000-003
著作物の名称　高信頼データ管理プログラム
原著作者　　住友金属工業株式会社
完成日　　平 13.3.31.
記録媒体　　CD-ROM
（概要）
データの多重コピーを保持し、一貫したデータアクセスを提供する分散オブジェクト管理技術によるファイルシステム。1999 年度のプログラムの改良版
記述言語 Java
動作環境 JDK1.2

管理番号　　RWC-SMI-2000-004
著作物の名称　オブジェクト・ストア・プログラム
原著作者　　住友金属工業株式会社
完成日　　平 13.3.31.
記録媒体　　CD-ROM
（概要）
耐故障性を考慮したオブジェクトのインスタンスを永続化するシステム。
記述言語 Java
動作環境 JDK1.2

・11 年度
管理番号　　RWC-SMI-99-001
著作物の名称　JavaPM プログラム
原著作者　　岡崎史裕、松田元彦

完成日予定　　平 12.3.31.
記録媒体　　CD-ROM
（概要）
高速通信ライブラリPM をJava から利用するクラスライブラリ、1998 年度のプログラムの改善版
記述言語　　C、Java（2.5K 行）
動作環境　　Windows NT、JDK1.2.1

管理番号　　RWC-SMI-99-002
著作物の名称　　JavaPM の高信頼機能の設計書
原著作者　　岡崎史裕
完成日予定　　平 12.3.31.
記録媒体　　CD-ROM
（概要）
JavaPM に障害検出、復旧、アプリケーションへの通知機能を追加拡張するソフトウェア設計書
記述言語　　MS Word

管理番号　　RWC-SMI-99-003
著作物の名称　　SORB プログラム
原著作者　　岡崎史裕、大崎敦司、高橋秀樹
完成日予定　　平 12.3.31.
記録媒体　　CD-ROM
（概要）
分散オブジェクト管理技術による高速アプリケーション間通信ライブラリ
記述言語　　Java（4K 行）
動作環境　　JDK1.2.1

管理番号　　RWC-SMI-99-004
著作物の名称　　高信頼データ管理プログラム
原著作者　　松田元彦、大崎敦司、高橋秀樹
完成日予定　　平 12.3.31.
記録媒体　　CD-ROM
（概要）
データの多重コピーを保持し、一貫したデータアクセスを提供する分散オブジェクト管理技術によるファイルシステム
記述言語　　Java
動作環境　　JDK1.2.1

管理番号　　RWC-SMI-99-005
著作物の名称　　並列情報検索システムプログラム
原著作者　　竹中一起、入口浩一、斎藤知隆
完成日予定　　平 12.3.31.
記録媒体　　CD-ROM
（概要）

Web の検索サーバと既存の検索エンジンを使用したデータパラレル型の並列検索処理システム
記述言語　C、Java
動作環境　Windows NT、JDK1.2.1、Jigsaw

・10 年度
管理番号　RWC-SMI-98-001
著作物の名称　Java-PM ソケットエミュレータプログラム
原著作者　岡崎史裕（住友金属 システム研究開発部）
完成日　平 10.12.28
記録媒体　3.5 インチ FD
（概要）
Java の標準ソケット通信用 API に準拠した通信レイヤのクラスライブラリプログラムおよび PM との I/F プログラム。
記述言語：　C、Java（2.5K 行）
動作環境：　WindowsNT、Java VM

管理番号　RWC-SMI-98-002
著作物の名称　NT クラスタ基本通信性能測定プログラム
原著作者　入口浩一（住友金属 システム研究開発部）
完成日　平 10.12.28
記録媒体　3.5 インチ FD
（概要）
NT クラスタの通信性能を測定評価するためのプログラム。
記述言語：　C、Java（4.5K 行）
動作環境：　WindowsNT、JavaVM

管理番号　RWC-SMI-98-003
著作物の名称　インターネットデータ収集プログラム
原著作者 新井三鉉（住友金属 システム研究開発部）
完成日　平 11.3.31
記録媒体 3.5 インチ FD
（概要）
並列情報検索システムの実験用データをインターネットから自動収集するためのプログラム。
記述言語：　C++（2.3K 行）
動作環境：　WindowsNT

管理番号　RWC-SMI-98-004
著作物の名称　高速アプリケーション間通信ライブラリ設計書
原著作者　岡崎史裕（住友金属 システム研究開発部）
完成日　平 11.3.31
記録媒体　紙
（概要）
RMI に非同期通信、集団通信、オブジェクト移動の各機能を追加拡張した通信ソフトウエ

アの仕様書。

管理番号　　RWC-SMI-98-005
著作物の名称　　高信頼オブジェクト管理ライブラリ設計書
原著作者　　岡崎史裕（住友金属 システム研究開発部）
完成日　　平 11.3.31
記録媒体　　紙
（概要）
オブジェクトの複製管理ソフトウエアの仕様書。

管理番号　　RWC-SMI-98-006
著作物の名称　　並列情報検索サーバアプリケーション設計書
原著作者　　入口浩一（住友金属 システム研究開発部）
完成日　　平 11.3.31
記録媒体　　紙
（概要）
データパラレル型の情報検索データベースサーバの仕様書。

B-1-4. Ｈ９～11並列分散システムソフトウエア／Ｈ１０～１３コンピュータクラスタ上の基本ソフトウエア（並列分散システムソフトウェアつくば研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【D-01-061】 Nolte, 石川 , 佐藤: ″TACO - Prototyping High-Level Object-Oriented Programming Constructs by Means of Template Based Programming Techniques,″ OOPSLA2001, 2001.

【D-01-064】 住元 , 原田,石川, 堀:″複数 Ethernet を束ねる Network Trunking 機構の提案と 1,024 プロセッサ PC クラスタ上での性能評価 ″, ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム , 2002（投稿中）

・12 年度

【D-00-030】 住元、手塚、堀、原田、高橋、石川: ”High Performance Communication Using a Commodity Nerwork for Cluster System”, 9th International Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC-9), IEEE, pp. 139 - 146, 2000.

【D-00-056】 高橋、住元、堀、原田、石川: ”PM2 : High Performance Communication Middleware for Heterogenous Network Environments”, SC2000, 2000.

【D-00-077】 西岡、堀、石川: ”Consisten Checkpointing for Performaance Clusters”, CLUSTER 2000 Poster session, 2000.

・11 年度

【D-99-001】 S. Sumimoto and H. Tezuka and A. Hori and H. Harada and T.Takahashi and Y. Ishikawa:″The Design and Evaluation of High Performance Communication using a Gigabit Ethernet,″ SIGARCH International Conference on Supercomputing ’99, ACM, pp. 243-250(1999)

【D-99-004】 H.Harada, H. Tezuka,T.Takahashi,S.Suminoto, A. Hori, and Y. Ishikawa:″SCASH:Software DSM using High Performance network using commodity hardware and software,″ WSSMM8, ACM, pp. 26-27(1999)

【D-99-011】 西岡、堀、手塚、石川: ″クラスタにおける コンシステントチェックポイントの実現″、JSPP’99、pp.229-236(1999)

【D-99-014】 住元、堀、手塚、原田、高橋、石川: ″Gigabit Ethernet を用いた高速通信ライブラリの設計と評価 ″、並列処理シンポジウム JSPP’99、情報処理学会、pp. 63-70(1999)

【D-99-015】 原田、手塚、堀、住元、高橋、石川:″Myrinet を用いた分散共有 メモリにおけるメモリバリアの実装と評価 ″、JSPP99、情報処理学会、pp.237-244(1999)

【D-99-058】 M. Maeda andY. Ishikawa:″On-the-fly Hybrid Garbage Collector for Parallel and Distributed Computing、″ Object-Oriented Parallel and Distributed Programming, Hermes, pp. 273 - 292(2000)

【D-99-106】 住元、手塚、高橋、堀、原田、石川: ″GigaE PM: Gigabit Ethernet を用いた高速通信ライブラリの設計と評価 ″、 情報処理学会論文誌、情報処理学会、第 41 巻 第 5 号、pp. 1390--1399、2000 年 5 月.

【D-99-109】 S. Sumimoto, H. Tezuka, A. Hori, H. Harada, T. Takahashi, and Y. Ishikawa:″GigaE PM: a High Performance Communication Facility using a Gigabit Ethernet″, New Generation Computing, Springer-Verlg, Vol.18, pp.177 - 186(2000)

【D-99-115】 原田、石川、堀、手塚、住元、高橋："ソフトウエア分散共有メモリシステムにおけるページ転送方式の比較"、情報処理学会論文誌、情報処理学会、第 41 巻、pp.1410-1419、2000 年 5 月.
【D-99-005】 Y.Ishikawa："RWC PC Cluster II and SCore Cluster System Sofware --High Performance Linux Cluster --",Linux Expo,pp.55-62（1999)
【D-99-006】 Y. Fujimoto, Y. Bin, H. Taoka, H.Tezuka, S. Sumimoto, and Y.Ishikawa："Design andImplemen tation of a Real-TimePower System Simulator using a PC Cluster," Third International Conference on Digital Power System Simulator（1999）
【D-99-008】 Y.Fujimoto, Y.Bin, H.Taoka, H.Tezuka, S.Sumimoto, and Y. Ishikawa："Real-time Power System Simulator on a PC Cluster," International Conference on Power Systems Transients（1999）
【D-99-010】 堀、手塚、石川："ギャングスケジューリングの高速化技法の提案"、情報処理学会論文誌、vol.40、no.5、pp.2072-2083（1999）
【D-99-029】 Y. Ishikawa："The RWCP Cluster Programming Environment," USENIX 2nd Extreme Linux Workshop, pp.16-19（1999）
【D-99-147】 H. Harada, Y. Ishikawa, A. Atsushi, H.Tezuka, S. Sumimoto, and T. Takahashi,："Dynamic Home Node Reallocation on Software DistributedShared Memory," 4th HPC Asia 2000 ",pp.158-163,2000 May.
【D-99-232】 Y. Ishikawa："Userbility in SCore version 3.0," Linux Cluster Developpers Forum（1999）

・10 年度

【D-98-164】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば Yutaka Ishikawa, Atsushi Hori, Hiroshi Tezuka, Toshiyuki Takahashi, Hiroshi Harada："Parallel C++ Programming System on Cluster of Heterogeneous Computers", HCW '99, 1999.
【D-98-007】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば、MRI システムズ* A. Hori, Y. Ishikawa, H. Tezuka and F. O'Carroll*："Gang Scheduling vs. Co-scheduling: A Compariso with Data-Paralle Workload", The 1998 International Conference on Paralle and Distributed Processing Techniques and Applications(PDPTA'98),pp.1050-1057,1998
【D-98-009】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば 堀敦史、手塚宏史、石川裕："ギャングスケジューリングの高速化技法の提案"、JSPP'98 論文集、pp.207-233、1998
【D-98-024】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば Francis O'Carroll、手塚宏史*、堀敦史*、石川裕*："The Design and Implementation of Zero Copy MPI Using Commodity Hardware with a Higt Performance Network"、 ICS'98、pp.243 - 250、1998
【D-98-065】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば 前田宗則、石川裕："ハイブリッド分散ガーベジコレクションの一方式の提案とその評価"、日本ソフトウェア科学会論文誌、vol.15、no.4、pp.67-72、1998
【D-98-066】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば 堀敦史、手塚宏、石川裕："ネットワークプリエンプションによるギャングスケジューリングの実現"、情報処理学会論文誌、vol.39、No.9、pp.2705-2717、1998

【D-98-079】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば 堀敦史、手塚宏、石川裕 :"Highly Efficient Gang Scheduling Implementation"、SC'98、1998(CD-ROM)

・9 年度

【D-97-094】 並列分散システムソフトウエアつくば 原田浩、手塚宏史、堀敦史、石川裕 :"Myrinet における分散共有メモリシステムの実装と基本評価"、コンピュータシステムシンポジウム'97、(1997)

【D-97-142】 並列分散システムソフトウエアつくば H. Tezuka, F. O'Carroll, A. Hori and Y. Ishikawa :"Pin-down Cache: A Virtual Memory Management Technique for Zero-copy Communication", 12th International Parallel Processing Symposium,(1998)

【D-97-152】 並列分散システムソフトウエアつくば A. Hori, H. Tezuka and Y. Isikawa :"Overhead Analysis of Preemptive Gang Scheduling", IPPS'98 Job Scheduling Strategies for Parallel Processing Workshop, (1998)

【D-97-153】 並列分散システムソフトウエアつくば M. Maeda and Y.Ishikawa :"Proof of Safety for Snapshot-based Global Marking with Dijkstra's Temination Detection Underlying GLEANER-7 Algorithm", SPA'98, (1998)

(2)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

【D-01-057】住元, 原田, 石川 :"Cluster Computing at RWCP and experiences on RWC SCore Cluster III," Cluster2001, 2001.

【D-01-016】 石川裕, "PC クラスタとSCore 入門", JSPP2001 チュートリアル, 2001.5.8

・12 年度

【D-00-011】 石川、堀、住元、原田、高橋 :"SCore/TurboLinux"、Linux World Expo/Toko 2000、2000.

【D-00-012】 石川 :"スーパパソコンシステムソフトウェア:SCore の先端技術紹介"、Linux World Expo/Toko 2000、2000.

【D-00-025】 石川 :"Making a High Performance PC Cluster using SCore 3.1"、Supercomputer 2000、2000.

【D-00-046】 石川 :"SCore 型クラスタ"、機械学会ワークショップ「PC を使ったハイパフォーマンス計算は可能か」、2000.

【D-00-062】 石川、佐藤、工藤、中田、陣崎、西村、Gerlach、小柳 :"Seamless Parallel and Distributed Computing"、SC2000 研究展示、2000.

【D-00-063】 石川 :"The SCore Cluster System Software in the World"、第 13 回日独情報技術フォーラム、2000.

【D-00-073】 堀 :"SCore: An Integrated Cluster System Software Package for High Performance Cluster Computing"、CLUSTER 2000 招待講演、2000.

・11 年度

【D-99-067】 T. Takahashi and Y. Ishikawa :"A Meta-Level Architecture for C++ Parallel Distributed Programming Environment," International Workshop on Parallel and Distributed Computing for Symbolic and Irregular Applications (1999)

【D-99-078】 住元、堀、手塚、原田、高橋、石川 :"GigaE PM II: Gigabit Ethernet による高速通信ライブラリの設計"、情報処理学会研究報告 99-ARC-134 (SWoPP'99)、情報処理学会、pp. 61-66 (1999)

【D-99-079】 原田、手塚、堀、住元、高橋、石川："ソフトウェア分散共有メモリSCASHにおけるページ管理ノードの動的再配置機構の実装と評価"、情報処理学会研究報告 99-HPC-77（SWoPP'99）、情報処理学会、pp.89-94（1999）
【D-99-136】 T. Takahashi and Y. Ishikawa："A Meta-Level Architecture for C++ Parallel Distributed Programming Environment,"ISCOPE'99（1999）
【TR-99-03】 S. Sumimoto, H. Tezuka, A. Hori, H. Harada, T. Takahashi, and Y. Ishikawa："PM/Ethernet：High Performance Communication for Cluster Systems using an Existing Operating System Framework 添付資料, "Technical Report, RWCP TR-99003, Feb（2000）
【D-99-007】 Y.Ishikawa, A. Hori, H. Tezuka, F. O'Carroll, S. Smimoto, H. Harada, and T. Takahashi："RWC PC Cluster II and SCore Cluster System Software, "High Performance Cluster Computing Volume 1, Prentice Hall, pp. 648-663（1999）
【D-99-035】 栄、石川、小川、松岡："MPC++ Multi-Thread Template Library の MPI による実装と性能評価"、 情報処理学会研究報告 99-HPC-77（SWoPP'99）、pp.41-46（1999）
【D-99-080】 堀、手塚、高橋、曽田、住元、原田、石川："クラスタ上のプログラミング環境 SCore クラスタシステムソフトウエア"、情報処理学会研究報告 99-HPC-77（SWoPP99）、情報処理学会、pp.83-88（1999）
【D-99-117】 石川、工藤、佐藤、秋山、西村、菊池、中山、中田："Toward Seamless Parallel and Distributed Computing at RWCP," SC99（1999）
【D-99-149】 Y. Ishikawa："Parallel Computing using a PC Cluster", SFT999, pp.E109-E109（1999）
【D-99-197】 石川、掘、手塚、住元、原田、高橋："An Overview of SCore Cluster System Software and Its Technology Transfer"、RWC2000、Real World Computing Partnership、pp. 1-4（2000）
【D-99-218】 西岡、堀："クラスタにおける並列プロセスマイグレーションの評価"、情報処理学会研究報告 OS、情報処理学会、2000-OS-83、pp.13-18、2000 年 2 月.

・10 年度

【D-98-028】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば 住元真司："A Design of High Performance Communication Library on Gigabit Ethernet"、CS (International Conference on Supercomputing) Workshop（スライド原稿）
【D-98-094】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば 住元真司、石川裕、堀敦史、手塚宏史、原田浩、高橋俊行："Design and Implementation of High Performance Communication Library using a Gigabit Ethernet",SC98 Poster Exhibits
【TR-98-003】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば S. Sumimoto, H.Tezuka, A.Hori, H.Harada, T.Takahashi and Y. Ishikawa："High performance Communication using a Gigabit Ethernet"
【D-98-108】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば 原田浩、手塚宏史、堀敦史、住元真司、高橋俊行、石川裕："Myrinet を用いた分散共有メモリシステムの評価"、情報処理学会 HPC 研究会、情報処理学会、pp. 73-78、1998.
【D-98-120】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば 高橋俊行、石川裕："The MPC++ Meta-Level Architecture Building C++ Source to Source Translators", SCOPE98 Poster Exhibits.

【D-98-165】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば 住元真司、堀敦史、手塚宏史、原田浩、高橋俊行、石川裕 :"Gigabit Ethernet NIC の性能評価"、HOKKE-99.

【D-98-042】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば、三菱電機*、藤本康*、田岡久雄*、石川裕、手塚宏史、住元真司 :"PC クラスタを使用したリアルタイム電力系統シュミレータ"、電気学会研究会資料 PE-98-118-135、電気学会電力技術研究会、pp.7-12、10 月、1998.

【D-98-056】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば、MRI システムズ* 高橋俊行、F.O'Carrol*、堀敦史、手塚宏史、住元真司、原田浩、石川裕 :"SMP クラスタ上での MPI の実装と評価"、98-HPC-72、pp.115-126、1998.

【D-98-084】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば、並列分散ｼｽﾃﾑｱｰｷﾃｸﾁｬつくば*、並列分散ｼｽﾃﾑﾊﾟﾌｫｰﾏﾝｽつくば**、並列応用つくば***、並列分散 NEC****、並列分散富士通*****、並列分散ＧＭＤ******、三菱産業研究所******* Y. Ishikawa, T. Kudoh*, M. Sato**, Y. Akiyama***, Y. Seo****, A. Jinzaki*****, M. Kessler****** and Y. Fujimoto*******："Towards a Seamless Parallel and Distributed Computing Environment", SC'98, 1998 (研究展示概要）

【D-98-095】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば、MRI システムズ 高橋俊行、住元真司、手塚宏史、原田浩、石川裕、堀敦史、Francis O'Carroll :"MPICH-PM/CLUMP: MPI on Cluster of Multiple Processors", SC98 Poster Exhibits.

【D-98-123】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば 手塚宏史 :"特集 :手作りスーパーコンピュータのすすめ RWCP における PC クラスタ"、エレクトロニクス誌、オーム社、99 年 1 月号、pp.39-42、1998.

【D-98-130】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば 石川裕、堀敦史、手塚宏史 :"RWCP におけるクラスタ開発記"、情報処理,情報処理学会、vol.39、No. 11、pp.1095-1099、1998.

【D-98-172】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば、㈱SRA 手塚宏史、住元真司、堀敦史、石川裕、曽田哲之 :"通信ライブラリPM の UDP 上への移植と評価"、HOKKE-99、1999.

【TR-98-002】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば、システム 21 Y.Ishikawa, A.Hori, H.Tezuka and F.Ocarroll* :"RWC PC Cluster II and its Software Environment"

【TR-98-004】 並列分散ｼｽﾃﾑｿﾌﾄｳｪｱつくば、MRI ｼｽﾃﾑｽ* T.Takahashi, H.Tezuka, F.O'carroll*, A.Hori, S.Sumimoto, H.Harada and Y.Ishikawa :"MPICH-PM/CLUMP : MPI on Cluster of Multi Processors"

・9 年度

【D-97-019】 並列分散システムソフトウエアつくば 石川裕、堀敦、手塚宏史 :"TRC におけるクラスタシステム"、月刊 Sun World, (1997)

【D-97-044】 並列分散システムソフトウエアつくば 手塚宏史、堀敦史、F. O'Carroll、原田浩、石川裕 :"ピンダウンキャッシュを用いたユーザレベルゼロコピー通信"、情報処理学会研究報告 97-ARC-125、 Vol.97、No.76、pp.167-172、(1997)

【D -97-055】 並列分散システムソフトウエアつくば 堀敦史、手塚宏史、石川裕 :"ギャングスケジューリングＰＣ クラスタ上での実装"、情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、pp.79-84、(1997)

【D -97-057】 並列分散システムソフトウエアつくば 高橋俊行、石川裕、佐藤三久、米

澤明憲："メタレベル機能が支援するハイパフォーマンスオブジェクト指向計算"、SWoPP'97 情報処理学会プログラム研究会、(1997)

【D-97-058】 並列分散システムソフトウエアつくば 石川裕、佐藤三久、工藤知宏、秋山泰："分散環境におけるシームレス並列コンピューティングシステムの構想"、SWoPP'97 電子技術通信学会コンピュータシステム研究会、(1997)

【D-97-064】 並列分散システムソフトウエアつくば 前田宗則、石川裕："ハイブリッド分散ガーベージコレクションの一方式とその評価"、日本ソフトウエア科学会第 14 回大会論文集、pp.369-372、(1997)

【D-97-065】 並列分散システムソフトウエアつくば Y. Ishikawa, Y. Akiyama, M. Sato, A. Hori, H. Tezuka, K. Onizuka, M. Saito and T. Noguchi："RWCP PC Cluster"、SC'97 Research Exhibits, (1997)

【D-97-069】 並列分散システムソフトウエアつくば Y. Ishikawa："Parallel Object-Oriented Computing in C++, Now and Future"、2nd France-Japan Workshop Object Based Parallel and Distributed Computing, (1997)

【D-97-078】 並列分散システムソフトウエアつくば T. Takahashi, Y. Ishikawa, M. Sato, A. Yonezawa："A Compile-Time Meta-Level Architecture Supporting Class Specific Optimization"、ISCOPE'97 Intl' Conference, (1997)

【D-97-079】 並列分散システムソフトウエアつくば 石川裕："並列分散システムソフトウェア研究室研究紹介"、日経産業新聞、(1997)

【D-97-114】 並列分散システムソフトウエアつくば A. Hori："PC Cluster II"、Scalable Cluster Workshop、(1997)

【D-97-151】 並列分散システムソフトウエアつくば 手塚宏史、堀敦史、 Francis O'carroll、石川裕："RWC PC Cluster II の構築と性能評価"、HOKKE'98、(1998)

【TR-97-005】 並列分散システムソフトウエアつくば Y. Ishikawa:： "The MPC++ Multi-Thread Template Library on MPI"、RWC Technical Report TR-97-005、(1997)

【TR-97-006】 並列分散システムソフトウエアつくば H. Tezuka, F. O'Carroll, A. Hori and Y. Ishikawa："Pin-down Cache: A Virtual Memory Management Technipue for Zero-Copy Communication"、RWC Technical Report TR-97-006, (1997)

8)特許出願リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

4)著作物リスト

・13 年度

管理番号　　SA01-P-012-124-0001
著作物の名称　SCore 4.2 Cluster System Software
原著作者　　石川裕、堀敦史、手塚宏史、住元真司、高橋俊行、原田浩、
　　Joerg Nolte
完成日　　H13.10.23
記録媒体　　CD-ROM

（概要）

MyrinetネットワークあるいはEthernetあるいはUDPプロトコルが利用可能なネットワークを有したIntel Pentiumプロセッサ系コンピュータあるいはCompaq Alphaプロセッサ系コンピュータで、Linuxオペレーティングシステム上で稼動するクラスタのためのシステムソフトウエア。

・12 年度

なし

・11 年度

管理番号　　SA99-P-012-124-0001
著作物の名称　SCore 2.5 Cluster System Software
原著作者　　石川裕，堀敦史，手塚宏史，住元真司，高橋俊行
　　（並列分散システムソフトウエアつくば研究室）
完成日　　1999.11.1
記録媒体

（概要）

Myrinet ネットワークを有した Sun ワークステーションあるいは Intel Pentium プロセッサ系コンピュータあるいは Compaq Alpha プロセッサ系コンピュータで、SunOS あるいは Linux あるいは NetBSD オペレーティングシステム上で稼動する、同一プロセッサタイプから構成されるクラスタのためのシステムソフトウエアであり、以下のソフトウエアから構成される。
PM 通信ライブラリ：Myrinet ネットワークインターフェイス上の搭載プロセッサ用プログラム、オペレーティングシステムカーネルドライバプログラム、ユーザレベルライブラリプログラムから構成される。
ULT：ユーザレベルスレッドライブラリプログラム。
MPC++：C++テンプレート機能とULTを用いた並列プリミティブライブラリプログラム。
SCore-D：デーモンプロセスによってマルチユーザ環境を実現したグローバルオペレーティングシステムプログラム。
MPICH-PM/CLUMP：フリーソフトウエアである MPICH MPI 通信ライブラリプログラムをPM上で稼動するように移植したプログラム。
Easy Installation Tool：インストレーションを容易にするツールを実現しているプログラム。
Administration Tool：システム管理に必要なツールを実現しているプログラム。

（特記事項）

契約書第 3 条第 4 項の規定により通称産業大臣に著作物通知書を提出済み。

管理番号　　SA99-P-012-124-0002
著作物の名称　SCore 3.0 Cluster System Software
原著作者　　石川裕、堀敦史、手塚宏史、住元真司、高橋俊行

（並列分散システムソフトウエアつくば研究室）
完成日　　1999.11.1
記録媒体
（概要）
Myrinet ネットワークあるいは Ethernet あるいは UDP プロトコルが利用可能なネットワークを有した Intel Pentium プロセッサ系コンピュータあるいは Compaq Alpha プロセッサ系コンピュータで、Linux オペレーティングシステム上で稼動する、Pentium と Alpha プロセッサから構成される異機種クラスタのためのシステムソフトウエアであり、以下のプログラムから構成される。
PM II API：異機種ネットワーク上でもクラスタのための同一通信 API を利用できるようにした通信ライブラリソフトウエア。
PM/Myrinet：Myrinet ネットワークインターフェイス上の搭載プロセッサ用プログラム、オペレーティングシステムカーネルドライバプログラム、PM II API とのインターフェイスをとるユーザレベルライブラリプログラムから構成される。
PM/Ethernet：Ethernet 用オペレーティングシステムカーネルドライバプログラム、PM II API とのインターフェイスをとるユーザレベルライブラリプログラムから構成される。
PM/UDP：UDP プロトコル上で PM II API を利用できるようにしたデーモンプロセスのためのプログラムと PM II API とのインターフェイスをとるユーザレベルライブラリプログラムから構成される。
PM/SHMEM：共有メモリを使って PM II API を実現するために、オペレーティングシステムカーネル内プログラムと PM II API とのインターフェイスをとるユーザレベルライブラリプログラムから構成される。
ULT：異機種プロセッサ上で稼動するユーザレベルスレッドライブラリプログラム。
MPC++：C++テンプレート機能と ULT を用い、異機種プロセッサ上で稼動するようにした並列プリミティブライブラリプログラム。
SCore-D：デーモンプロセスによってマルチユーザ環境を実現したグローバルオペレーティングシステムプログラム。
MPICH-SCore：フリーソフトウエアである MPICH MPI 通信ライブラリプログラムを PM II API 上で稼動するように移植したプログラム。
SCASH：PM II API 上に構築したユーザレベルソフトウエア分散共有メモリシステムを実現したプログラム。
Easy Installation Tool：インストレーションを容易にするツールを実現しているプログラム。
Administration Tool：SCOOP 等システム管理に必要なツールを実現しているプログラム。
（特記事項）
契約書第 3 条第 4 項の規定により通称産業大臣に著作物通知書を提出済み。

・10 年度
　なし
・9 年度
　なし

B-1-5. 並列分散システムでの高性能計算及び性能特性の研究／並列アプリケーションの探索的技術開発及び性能解析 並列分散システムパフォーマンスつくば研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【D-01-011】 佐藤三久、平野元基、田中良夫、関口智嗣, "OmniRPC : a Grid RPC facility for Cluster and Global Computing in OpenMP", WOMPAT2001:Workshop on OpenMP Applications and Tools, 2001.4.16

【D-01-010】 佐藤三久、草野和寛、細見武夫、妹尾義樹,"The Omni OpenMP compiler for the dietributed Shared Memory of Cenju-4", WOMPAT2001:Workshop on OpenMP Applications and Tools, 2001.4.16

・12 年度

【D-99-190】 佐藤茂久、草野和寛、佐藤三久 :"OpenMP コンパイラにおけるメモリ一貫性制御の最適化"、並列処理シンポジウム JSPP2000)、pp.221-228、2000.

【D-00-003】 草野和寛、佐藤茂久、佐藤三久 :"Omni OpenMP コンパイラと実行時ライブラリの性能評価"、並列処理シンポジウム JSPP2000)、pp.221-228、2000.pp.229-236、2000.

【D-00-031】 Mitsuhisa Sato, Hiroshi Harada and Yutaka Ishikawa: "OpenMP compiler for Software Distributed Shared Memory System SCASH," WOMPAT2000, San Diego, July, 2000.

【D-00-019】 Shigehisa Satoh, Kazuhiro Kusano, and Mitsuhisa Sato: "Compiler Optimization Techniques for OpenMP Programs," Second European Workshop on OpenMP (EWOMP 2000), Edinburgh, September 14-15, 2000.

【D-00-057】 Mitsuhisa Sato, Kazuhiro Kusano, and Shigehisa Satoh: "OpenMP using ParkBench", Second European Workshop on OpenMP (EWOMP 2000), Edinburgh, September 14-15, 2000.

【D-00-015】 Kazuhiro Kusano, Shigehisa Satoh and Mitsuhisa Sato: "Performance Evaluation of the Omni OpenMP Compiler", WOMPEI(part ofISHPC2K), Tokyo, Oct, 2000.

【D-00-072】 佐藤茂久、草野和寛、佐藤三久 :"OpenMP 向けコンパイラ支援ソフトウエア DSM"、情報処理学会論文誌ハイパフォーマンスコンピューティングシステム 採録予定）

【D-00-118】 草野和寛、佐藤茂久、佐藤三久 :"Omni OpenMP コンパイラと実行時ライブラリの性能評価"、情報処理学会論文誌ハイパフォーマンスコンピューティングシステム 採録予定）

【D-99-208】 Joerg Nolte, Mitsuhisa Sato , Yutaka Ishikawa, " Template Based Structured Collections ", 14th International Parallel and Distributed Processing Symposium, IPDPS 2000, pp. 483-491, May 2000, Cancun, Mexico.

【D-99-215】 Joerg Nolte, Mitsuhisa Sato , Yutaka Ishikawa, " TACO - Template Based Collections for Distributed Computing Platforms ", The 4th International Conference on High Performance Computing in the Asia-Pacific Region, HPC Asia 2000, May 2000, pp. 463-469, Beijing, China.

【D-99-212】 Mitsuhisa Sato, Kazuhiro Kusano,Hidemoto Nakada, Satoshi Sekiguchi,

Satoshi Matsuoka, "netCFD: a Ninf CFD component for Global Computing, and its Java applet GUI", Proc. of HPC Asia 2000, pp.501-506, Beijing, China.

【D-00-029】 Joerg Nolte, Paul Horton, "Parallel Matching and Sorting with TACO's Distributed Collections - A Case Study from Molecular Biology Research ", 9th IEEE Symposium on High Performance Distributed Computing, HPDC-9, pp. 247-252, August 2000, Pittsburgh, Pensilvania.

【D-00-116】 Y. Tanaka, M. Hirano, M. Sato, H. Nakada and S. Sekiguchi, “Performance Evaluation of a Firewall-compliant Globus-based Wide-area Cluster System”, 9th IEEE Symposium on High Performance Distributed Computing, HPDC-9, pp. 121-128, August 2000, Pittsburgh, Pensilvania.

【D-00-117】 田中、平野、佐藤、中田、関口、“ファイヤーウォールに対応した Globus による広域クラスタシステムの構築とその評価”、情報処理学会論文誌ハイパフォーマンスコンピューティングシステム、Vol. 41、No. SIG8(HPS2)、pp.48-59、2000.

【D-00-016】 Joerg Nolte, Mitsuhisa Sato , Yutaka Ishikawa, " TACO - Dynamic Distributed Collections with Templates and Topologies ", 6th International Euro-Par Conference, Euro-Par 2000, pp. 1071-1080, August 2000, Munich, Germany.

【D-00-065】 Joerg Nolte, Mitsuhisa Sato , Yutaka Ishikawa, " Parallel Programming with Distributed Object Groups - The TACO Approach ", 4th International Conference on Algorithms and Architectures for Parallel Processing, ICA3PP, pp. 15-26, December 2000, Hong Kong, China.

・11 年度

【D-99-003】 K. Kusano and M. Sato :"Comparison of automatic parallelizing compiler and improvements by compiler directives," High Performance Computing (LNCS 1615),pp.95-108 (1999)

【D-99-119】 Mitsuhisa Sato, Shigehisa Satoh, Kazuhiro Kusano and Yoshio Tanaka : "Design of OpenMP Compiler for an SMP Cluster ," Proc. of 1st European Workshop on OpenMP (EWOMP'99),pp.32-39,Lund, Sweden, Sep. (1999)

【D-99-189】 草野、佐藤、佐藤、:"Omni OpenMP コンパイラと実行時ライブラリの性能評価"、並列処理シンポジウム JSPP (2000)、情報処理学会シンポジウムシリーズ、Vol.2000、No.6、pp229-236、2000.

【D-99-190】 佐藤、草野、佐藤:"Omni OpenMP コンパイラにおけるメモリ一貫性制御の最適化"、並列処理シンポジウム JSPP (2000)、情報処理学会シンポジウムシリーズ、Vol.2000、No.6、pp.221-228、2000.

【D-99-118】 Y. Tanaka, M. Sato, M. Hirano, H. Nakada and S. Sekiguchi :"Resource Manager for Globus-based Wide-area Cluster Computing," 1st IEEE International Workshop on Cluster Computing (WCC'99),Dec. (1999)

【D-99-140】 田中良夫、平野基孝、佐藤三久、中田秀基、関口智嗣 :"Globus を用いたグローバルコンピューティング環境の構築とその評価"、インターネットカンファレンス'99 論文集、pp. 97-106 (1999)

【D-99-212】 Mitsuhisa Sato, Kazuhiro Kusano,Hidemoto Nakada, Satoshi Sekiguchi,

Satoshi Matsuoka,"netCFD: a Ninf CFD component for Global Computing, and its Java applet GUI", Proc. of HPC Asia 2000, pp.501-506

【D-99-208】 Joerg Nolte, Mitsuhisa Sato , Yutaka Ishikawa, " Template Based Structured Collections ", IPDPS 2000, May 2000, Cancun, Mexico.

【D-99-209】 Joerg Nolte, Mitsuhisa Sato , Yutaka Ishikawa, " TACO-Template Based Collections for Distributed Computing Platforms ", HPC Asia 2000, May 2000, Beijing, China.

・10 年度

【D-97-154】 Y. Tanaka, M. Matsuda, M. Ando, K. Kazuto and M. Sato: "COMPaS: A Pentium Pro PC-based SMP Cluster and its Experience",IPPS Workshop on Personal Computer Based Networks of Workstations, LNCS 1388, pp. 486--497, 1998.

【D-98-012】 田中良夫、松田元彦、安藤誠、久保田和人、佐藤三久:"COMPaS: Pentium Pro を用いた SMP クラスタとその評価'、並列処理シンポジウム JSPP'98、IPSJ Symposium Series Vol. 98、No. 7、pp. 343--350、 1998.

【D-98-010】 久保田和人、板倉憲一、佐藤三久、朴泰祐:"大規模データ並列プログラムの性能予測手法とNPB2.3 の性能評価"、並列処理シンポジウム JSPP'98、IPSJ Symposium Series Vol. 98、No. 7、pp. 71--78、1998.

【D-98-022】 Y. Tanaka, M. Matsuda, K. Kubota and M. Sato: "Performance Improvement by Overlapping Computation and Communication on SMP Clusters", Int'l Conf. on PDPTA'98, Vol.1, pp.275--282, 1998.

【D-98-029】 K. Kubota, K. Itakura, M. Sato and T. Boku: "Practical Simulation of Large-Scale Parallel Programs and its Performance Analysis of the NAS Parallel Benchmarks", Euro-Par'98 Parallel Processing, pp.244--254, 1998.

【D-98-083】 K. Kubota, K. Itakura, M. Sato and T. Boku: "Accuracy of Fast Performance Prediction by instrumentation tool EXCIT", High Performance Computing Asia '98, pp.1031--1038, 1998.

【D-98-191】 田中良夫、松田元彦、久保田和人、佐藤三久: "COMPaS: Pentium Pro を用いた SMP クラスタとその評価"、情報処理学会論文誌、1999.

【D-98-189】 松田元彦、田中良夫、久保田和人、佐藤三久:"SMP クラスタ向けネットワーク・インタフェース AM 通信"、情報処理学会論文誌,1999.

【D-98-158】 S.Satoh, K.Kusano, Y.Tanaka, M.Matsuda, and M.Sato:Parallelization of Sparse Cholesky Factorization on an SMP Cluster", To appear in HPCN'99.

【D-98-159】 M.Matsuda, Y.Tanaka, K.Kubota and M.Sato, "Network Interface Active Messages for Low Overhead Communication on SMP PC Clusters",Proceedings of HPCN'99(LNCS 1593),pp.764-773,1999.

【D-98-140】 K. Kusano and M. Sato: "Comparison of automatic parallelizing compiler and improvements by compiler directives", to appear in ISHPC '99.

【D-98-082】 M. Ando, Y. Tanaka, K. Kubota, M. Matsuda, Y. Akiyama and M.Sato: "Performance Characterization of Shared- and Distributed-Memory Multiprocessors on a Tree Search Problem", High Performance Computing Asia '98, pp.620--629, 1998.

【D-98-131】 佐藤、草野: "Ninf を用いたネットワーク数値流体解析コンポーネント netCFD"、インターネットカンファレンス'99 論文集

・9 年度

【D-97-082】 Y.Tanaka, K.Kubota, M.Matsuda, M.Sato and S.Sekigutchi, "A Comparison of Data-Parallel Collective Communication Performance and its Application", Proc. of HPC Asia 97, pp. 137--144,1997.

【D-97-052】 K.Kubota, Y.Tanaka, M.Matsuda, M.Sato, H.Tezuka, A.Hori, and Y.Ishikawa,"Communication Performance of Gigabit LAN Workstation Cluster RWC/WSC", Parco '97,1997(to appear its post proceedings).

【D-97-043】 松田、石川、佐藤、"C++テンプレートを使ったデータ並列ライブラリの効率化手法"、情報処理学会論文誌、Vol.38、No.9、pp.1781--1789.

【D-97-075】 M. Matsuda, M. Sato and Y. Ishikawa, "OBP Lib: An Object-Oriented Parallel Library and its Preliminary Performance",2nd France-Japan Workshop on Object Based Parallel and Distributed Computing, 1997.

【D-97-131】 Y. Tanaka, M. Matsuda, M. Ando, K. Kazuto and M. Sato, "COMPaS: A Pentium Pro PC-based SMP Cluster and its Experience", PC-NOW '98 (to appear)

【D-97-179】 M. Matsuda, M. Sato and Y. Ishikawa,"Parallel Array Class Implementation Using C++ STL Adapter", LNCS 1343, Scientific Computing in Object-Oriented Parallel Environment (ISCOPE),pp.113--120, 1997.

【D-97-098】 佐藤、坂根、児玉、小池、山名、坂井、山口、"細粒度通信機構を持つ並列計算機 EM-X による疎行列計算の性能評価"、情報処理学会論文誌、Vol. 38、No. 9、pp.1761--1770.

【D-97-175】 J. Gerlach, M. Sato and Y. Ishikawa,"A Framework for Parallel Adaptive Finite Element Methods and Its Template Based Implementation in C++", LNCS 1343, Scientific Computing in Object-Oriented Parallel Environment (ISCOPE), pp. 105--112, 1997.

ℓ)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

なし

・12 年度

【D-00-018】 佐藤茂久、草野和寛、佐藤三久:"OpenMP 並列プログラムのデータフロー解析手法"、情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会 (WoPP 2000)、Aug. 2000.

【D-00-051】 佐藤三久、原田浩、石川裕:"ソフトウエア分散共有メモリシステム SCASH 上の OpenMP コンパイラ"、情報処理学会ハイパフォー研究会 (WoPP 2000)、Aug. 2000.

【D-00-071】 草野和寛、佐藤茂久、佐藤三久:"Cenju-4 の分散共有メモリ機構を用いた Omni OpenMP コンパイラ"、情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、Oct. 2000.

【D-00-099】 佐藤茂久、草野和寛、佐藤三久:"OpenMP 向けコンパイラ支援ソフトウェア DSM の性能評価"、情報処理学会アーキテクチャ研究会 (HINING2001)、 Jan. 2001.

【D-00-120】 平野基孝、佐藤三久、建部修見："GNU MP を用いた Fortran コンパイラ omf77 の多倍精度浮動小数拡張"、情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会 (HOKKE2001)、Mar. 2001.

【D-00-124】 長谷川篤史、佐藤三久、石川裕、原田浩："ソフトウエア分散共有メモリ上の OpenMP Omni/SCASH における NPB の最適化と性能評価"、情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会 (HOKKE 2001)、Mar. 2001.

【D-00-125】 入口、岡崎、松田、佐藤 "Windows NT SMP クラスタでの SORB+Java/Myrinet による並列類似文書検索システムの評価"、情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会(HOKKE 2001)、Mar. 2001.

・11 年度

【D-99-024】 草野、佐藤、佐藤："OpenMP コンパイラの試作と評価"、情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、Vol.99、No.38、pp.7-12 (1999)

【D-99-068】 Mitsuhisa Sato, Shigehisa Satoh, Kazuhiro Kusano and Yoshio Tanaka："OpenMP Design for an SMP Cluster," International Symposium on Parallel and Distributed Computing for Irregular applications, Sendai, Japan (1999)

【D-99-086】 佐藤、草野、田中、佐藤："SMP クラスタ向けOpenMP コンパイラ"、情報処理学会システムハイパフォーマンスコンピューティング研究会 (1999)

【D-99-120】 佐藤："SMP クラスタのプログラミング:OpenMP とMPI"、日本応用数理学会年会論文集.

【D-99-193】 Mitsuhisa Sato, Shigehisa Satoh, Kazuhiro Kusano and Yoshio Tanaka："OpenMP Compiler for an SMP Cluster", RWC (2000)

【D-99-224】 草野、佐藤、佐藤："Omni OpenMP コンパイラの性能評価"、情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会 (HOKKE2000) (2000)

【D-99-012】 田中良夫、佐藤三久、中田秀基、関口智嗣："globus を用いたグローバルコンピューティングの性能評価"、情報処理学会システムソフトウェアとオペレーティングシステム研究会、Vol.99、No.32、pp.71-76 (1999)

【D-99-054】 佐藤三久、草野和寛 (新情報処理開発機構)、中田秀基、関口智嗣 (電子技術総合研究所)、松岡聡 (東京工業大学)："グローバルコンピューティングシステムNinf を用いた数値流体解析コンポーネント netCFD"、第 10 回計算流体シンポジウム (1999)

【D-99-082】 田中良夫、平野基孝、佐藤三久、中田秀基、関口智嗣："Globus における Resource Manager の試作 ～ グローバルコンピューティング環境の構築に向けて～ "、情報処理学会システムハイパフォーマンスコンピューティング研究会、Vol. 99、No. 66、pp. 191-196 (1999)

【D-99-213】 入口浩一、岡崎史裕、松田元彦、佐藤三久："WindowsNT クラスタでの類似文書検索システムの構築"、情報処理学会システムソフトウェアとオペレーティングシステム研究会 (2000)

・10 年度

【D-98-016】 草野和寛、佐藤三久: "共有メモリワークステーション向け C コンパイラの並列化機能による並列化"、情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、Vol. 98、No. 39、pp. 13--18、1998.

【D-98-067】 久保田和人、板倉憲一、佐藤三久、朴泰祐:"高精度大規模並列プログラムシミュレーション環境による NPB の挙動解析、"情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、Vol.98、No.72、pp.7--12、1998.
【D-98-053】 佐藤三久、建部修見、関口智嗣、朴泰祐: "自動適応並列プログラム性能最適化ツール TEA Expert" 、情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、Vol.98、No.72、pp.13--18、1998.
【D-98-054】 田中良夫、松田元彦、久保田和人、佐藤三久:"SMP クラスタ上で のリモートメモリ転送を用いた通信と計算のオーバーラップによる性能改善"、情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、Vol.98、No.72、pp. 121--126、1998.
【D-98-072】 松田元彦、田中良夫、久保田和人、手塚宏史、石川裕、佐藤三久: "Windows NT クラスタ上での Myrinet による通信の実現".情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会、Vol.98、No.70、pp.145--150,1998.
【D-98-111】 佐藤茂久、草野和寛、松田元彦、田中良夫、佐藤三久:"SMP クラスタにおけるコレスキー分解の並列化"、情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、Vol.98、No.73、pp.49-54、1998.
【D-98-050】 佐藤 :"C++ Templates による反復解法と並列オブジェクトクラスライブラリ"、東京大学地震研共同研究集会 「大規模計算と並列計算機」予稿集
【D-98-070】 西川、佐藤、田中 :"並列非圧縮性流体解析プログラムのオブジェクト指向言語による実装と評価"、日本流体学会第 9回計算流体シンポジウム論文集
【TR-98-006】 Jens Gelach: "Natural Indexing for Non-Standard Subdivision of Tetrahedral Mesh", TRC Technical Report TR-98-006.
【D-98-155】 M. Sato: "SPEChpc96 results of large-scale MPP Hitachi SR2201 and its scalability", SPECHPG Meeting, Jan., 1999.
【D-98-176】 藤三久、田中良夫、草野和寛、中田秀基、関口智嗣、長嶋雲兵、松岡聡、"Ninf による遠隔計算資源アクセスシステムの構築とグローバルコンピューティングシステムの性能評価"、情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会(HOKKE'99)HPC-75-7、pp37-42、1999.

・9 年度

【D-97-023】 佐藤、松田、西川、Gerlach、"c++テンプレート機能による数値計算プログラミングとその性能"、第26回数値解析シンポジウム論文集、pp 107-110、1997.
【D-97-046】 松田元彦、手塚宏史、田中良夫、久保田和人、安藤誠、佐藤三久、"SMP クラスタ向けネットワーク・インタフェース上 AM 通信"、情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会資料、Vol.97、No.125、 pp.55--60、1997.
【D-97-047】 田中良夫、松田元彦、安藤誠、久保田 和人、佐藤三久、"SMP クラスタでの共有/分散融合プログラミング"、情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、Vol.97、No.75、pp.61--66、1997.
【D-97-051】 安藤誠、田中良夫、松田元彦、久保田和人、佐藤三久、秋山泰、"Knapsack 問題における共有メモリ／分散メモリ型並列計算機の性能比較"、 情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、Vol.97、No.75、pp. 49-54、1997.
【D-97-087】 M.Sato, Y.Tanaka, M.Matsuda, K.Kubota, M.Ando,"Performance Analysis on Pentium Pro PC-based SMP Cluster", SC'97 Poster Exhibit,1997.

【D-97-125】 M.Sato, Y.Tanaka, M.Matsuda, K.Kubota, M.Ando,"Performance Analysis on Pentium Pro PC-based SMP Cluster", Posters in Scalable Cluster Workshop, 1997.

【D-97-156】 田中良夫、松田元彦、佐藤三久、"SMP クラスタ COMPaS の性能評価"、情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、Vol.98、No. 18、pp. 49--54、1998.

3)特許出願リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

4)著作物リスト

・13 年度
なし

・12 年度
管理番号　　EA2000-D-016-133-0001
著作物の名称　Omni OpenMP コンパイラ 1.1
原著作者　　佐藤三久、草野和寛、佐藤茂久（RWCP）
完成日　　平 12.6.22.
記録媒体　　3.5" MO Disk
（概要）
業界標準になっている並列拡張記述 OpenMP をサポートするコンパイラ。現在、そのベース言語としてC言語とFortran をサポートしている。SUN Solaris および Pthread ライブラリをサポートしている共有メモリにおいて動作する。付属ソフトウエアとして、並列実行状況をトレース表示する tlogview がある。
（特記事項）　現在、無償公開されている。

管理番号　　EA2000-D-016-133-0002
著作物の名称　性能評価ツールキット
原著作者　　佐藤三久（RWCP）
　　久保田和人（株式会社東芝）
完成日　　平 13.2.28.
記録媒体　　3.5" MO Disk
（概要）
通信コードに性能評価のためのコードを挿入するインストルメンテーションツール excit、性能に影響を及ぼすパラメータを変えながら最適値を見つけるツールTeaExpert、性能デ

ータを集計、可視化するツールperfview を含む、性能評価のためのプログラム群。
（特記事項） 無償公開希望。

・管理番号 EA2000-D-016-133-0003
著作物の名称 並列分散オブジェクト指向ライブラリおよび
アプリケーションプログラム
・原著作者 佐藤三久（並列分散システムパフォーマンス研究室）
Joerg Nolte（並列分散システムパフォーマンス研究室）
松田元彦（住友金属）
石川裕（並列分散システムソフトウエア研究室）
・完成日 平 13.2.28.
・記録媒体 3.5" MO Disk
・（概要）
分散メモリ上の配列データに関して並列操作を提供する科学数値計算むけオブジェクト指向ライブラリOBPLib、汎用集合操作オブジェクト指向ライブラリTACO、オブジェクト指向言語Ｃ＋＋による有限要素法並列流体解析プログラム femFlow を含む、並列オブジェクト指向ライブラリ群。
・（特記事項） 無償公開希望

管理番号 EA2000-D-016-133-0004
著作物の名称 グローバルコンピューティングシステムRMF
および広域ネットワークアプリケーション
・原著作者 佐藤三久（並列分散システムパフォーマンス研究室）
田中良夫（電子技術総合研究所）
・完成日 平 13.2.28.
・記録媒体 3.5" MO Disk
・（概要）
広域ネットワーク環境におけるグローバルコンピューティングシステムRMF(Resource Manager beyond Firewall)、これを用いるために Ninf RPC ライブラリ、Ninf を用いた広域ネットワークアプリケーション netCFD(流体解析)、netMO(分子軌道解析)を含む、広域ネットワークコンピューティングに関するソフトウエア群。
・（特記事項） 無償公開希望

・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

B-1-6. 大規模応用のための高機能データ並列プログラミング（並列分散システム GMD 研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【D-01-052】 Jens Gerlach, "Janus Parallel Generic Programming for Scientific Application", APPT2001,2001.7.26

・12 年度

【D-00-074】 Gottschling, Peter; Tief, Matthias; Nagel, W. G., "Domain Decomposition of Large Problems on Cray T3E, 6th European SGI / Cray MPP Workshop, Manchester, UK

【D-00-100】 Schramm, Andreas, "Indexable Types with Structured Virtual Index Domains", HLPP2001, Orleans, France

【D-00-002】 Schramm, Andreas, "UNIVERSE: Formalism and Rationale", CMPP 2000, Ponte de Lima, Portugal

【D-00-105】 Gerlach, Jens; Gottschling, Peter, "A Generic C++ Framework for Parallel Mesh Based Scientific Applications, HIPS 2001, San Francisco, USA

【D-00-026】 Der, Uwe; Steinhoefel, Kathleen, "A Parallel Implementation of Job Shop Scheduling", PARA 2000 proceedings

【D-00-006】 Jiang, Zheng-Yu, "Parallel Integral-Direct SCF-Computations in a High-Level Data-Parallel Programming Environment PROMISE", (renamed to "Parallel Quantum Chemistry Computation in a high-level data-parallel Programming Environment PROMISE"), Conference on Distributed Objects in Computational Science 2000 (in PDPTA 2000),Las Vegas, USA

【D-00-008】 Jiang, Zheng-Yu, "An Efficient Shell-Partitioning Algorithm for Parallelism of Integral-Direct SCF Calculation on PC_Clusters", (renamed to "PC Cluster: A Suitable Platform for Parallel Evaluation of SCF Quantum Chemistry Computations"), Conference on Distributed Objects in Computational Science 2000 (in PDPTA 2000), Las Vegas, USA

・11 年度

【D-99-032】 Bi, Hua; Kessler, Matthias; Pohl, Hans Werner; Tief, Matthias "PROMISE -High-Level Data-Parallel Programming Environment", Proceedings of the 3rd Workshop on Advanced Parallel Processing Technologies", (APPT '9), Changsha, China, Oct.19-21,1999,pp207 -211.

【D-99-237】 Zheng-Yu, Jiang, "The Design and Implementation of Massively Parallel Algorithm for Evaluation of External Exchange Operators in ab inito Quantum Chemestry Computations", Proceedings of the 3rd Workshop on Advanced Parallel Processing Technologies", (APPT '9), Changsha, China, Oct. 19 - 21, 1999.

【D-98-194】 Schramm, Andreas, "The Structured - Universe Approach for Irregular and Dynamic Spatial Structures", Proceedings of the 13th Annual International Symposium on High-Performance Computing Systems and Applications", (HPCS9), Kigston, Ontario/ Canada.

【D-99-056】 Gerlach, Jens; Mitsuhisa Sato, "Generic Programming for Parallel Mesh

Problems", Proceedings of the Third International Symposium, ISCOPE '9, San Fracisco, CA, USA, Dec. 8 - 10 1999.

・10 年度

【D98-026】 H. Bi, G. Kessler, M.Wilhelmi: "Object-oriented Run-time support for Data-parallel applications". Pro. of the 1998 International Scientific Computing in Object- oriented Parallel Environment Conference ISCOPE'98,LNCS1505.pp.175-182.Dec.8-11,1998,New Mexico,USA.

・9 年度

なし

12)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

なし

・12 年度

【D-00-053】 Gottschling, Peter; Gerlach, Jens, "Generic Components for Parallel Mesh Based Scientific Applications",

【D-00-028】 Gelach, Jens; Pohl, Hans Werner, Gottschling, Peter; Der, Uwe, "Core Components of Janus, Release 2.0", Technical Report

【TR-00-01】 Gelach, Jens; Pohl, Hans Werner, Gottschling, Peter; Der, Uwe, "A Janus Tutorial", Technical Report,

・11 年度

【D-99-160】 Pohl, Hans Werner; Gerlach, Jens; Tief, Matthias, "PROMISE - Runtime Support for Regular and Irregular Applications", Proceedings of the 2000 RWCP Symposium,Jan.17-19 2000, Tokyo, Japan.

【D-99-221】 Gerlach, Jens; Pohl, Hans Werner, "Janus - Introduction and User Guide", Release 1.4.

・10 年度

なし

・9 年度

なし

13)特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

4)著作物リスト

・13 年度

管理番号　　22000240/MOSAIK
著作物の名称　MOSAIK（Release 2.0）
原著作者　　GMD
完成日　　2001.4.2
(概要)
負荷分散や最適化通信を確保するための、不規則メッシュなどの並列科学技術計算のライブラリ。

・12 年度

管理番号　　22000240/Janus
著作物の名称　Janus（Release 3.4）
原著作者　　GMD-Forschungszentrum Informationstechnik GmbH
完成日　　平 13.2.28.
記録媒体　　MO Disk
（概要）
Janus は規則的そして不規則的な科学アプリケーション用 C++テンプレートライブラリであり、これらの応用の空間構造（潜在的に分散した）や数値データを表現するためのデータ構造を提供する。Janus は C++標準テンプレートライブラリ（STL）の最上部に実装され、デフォルトの並列プラットフォームとして MPI を使用する。

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

B-1-7. Ｈ９～11並列分散基本システムアーキテクチャ／Ｈ１０～13省電力型高速光伝送向インタフェース技術（並列分散システムアーキテクチャつくば研究室）

（1）査読論文リスト

・13 年度

【D-01-034】 山本淳二、工藤知宏、西宏章、田邊昇 、土屋潤一郎、渡邊幸之介、今城英樹、上嶋利明 , "Martini: A network processornfor flexible user level communication", 34th Annual International Symposium on Microarchitecture, 2001.6.25

【D-01-015】 田邊昇、山本淳二、工藤知宏、今城英樹、上嶋利明、濱田芳博 、中條拓伯、天野英晴 , "A prototype of high bandwidth low latency network interface plugged into a DIMM slot", SSGRR2001, 2001.4.28

・12 年度

【D-00-037】 Hiroaki Nishi, Koji Tasho, Junji Yamamoto, Tomohiro Kudoh: “A local system network RHiNET-1: a network for high performance parallel comuputing,” High Performance Distributed Computing 2000

【D-00-040】 Noboru Tanabe, Junji Yamamoto, Hiroaki Nishi, Tomohiro Kudoh, Yoshihiro Hamada, Hironori Nakajo, Hideharu Amano: “MEMOnet: Network interface plugged into a memory slog,” CLUSTER 2000

【D-00-047】 Noboru Tanabe, Junji Yamamoto, Hiroaki Nishi, Tomohiro Kudoh, Yoshihiro Hamada, Hironari Nakajo, Hideharu Amano: “On-the-fly Sending: A Low Latency High Bandwidth Message Transfer Mechanism,” I-SPAN 2000

【D-00-139】 Ryuichiro Ueno, Satoru Inasawa, Hiroaki Nishi, Tomohiro Kudoh, Hideharu Amano: “Flow Control Method in high speed transfer using Optical Interconnect,” Applied Informatic 2001

・11 年度

【D-99-129】 Tomohiro Kudoh, Shinji Nishimura, Junji Yamamoto, Hiroaki Nishi, Osamu Tatebe and Hideharu Amano:″RHiNET:A network for high performance parallel processing using locally distributed computers,″ In IWIA 99,(1999)

【D-99-066】 西宏章、多昌廣治、工藤知宏、天野英晴:″効率のよい並列処理をサポートするローカルエリア向けネットワークスイッチ″、電子情報通信学会論文誌 D-I

・10 年度

【D-98-019】 山本淳二、工藤知宏:″Analysis of communication traffic of shared memory based program, ″ PDPTA’98,pp.843-850,1998

【D-98-183】 W.Ono, H.Nakajo, A.Ichikawa, K.Anjo, H.Amano, T.Kudoh:″Home Proxy Cache for High Performance DSM on a Workstation Cluster, ″PDPTA 99

【D-98-182】 横山知典、周東福強、天野英晴 、清水敏行、山本淳二、工藤知宏:″FLEX 10K を用いた軽量メモリベース通信用ネットワークインタフェース、″ALTERA PLD WORLD’98 技術論文集、pp.171-176、1998.

【D-98-181】 X.Dong, T.Kudoh, H.Amano: ″Wavelength Division Multiple Access Ring,″ IEICE Trans. Inf & Syst. Sept, 1998.

【D-98-186】 X.Dong, T.Kudoh, H.Amano: "A Routing Algorithm for DS-WDM Ring" Proc. on IASTED Applied Informatics Feb, 1999.

【D-98-187】 X.Dong, T.Kudoh, H.Amano: "A Routing Algorithm for Multihop WDM Ring" IEICE Trans. Inf & Syst. Feb, 1999.

・9 年度

【D-97-095】 並列分散システムアーキテクチャつくば Tomohiro Kudoh, Junji Yamamoto, Fukukyoh Sudoh, Hideharu Amano, Yutaka Ishikawa, Mitsuhisa Sato: "Memory based light weight communication architecture for local area distributed computing", Proceedings of International Workshop of Innovative Architectures 1997

(2)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

【D-01-058】**山本淳二, 渡邊幸之介, 宮脇達朗, 西宏章, 工藤知宏, 天野英晴, "PLI を用いたネットワークインタフェースコントローラとホストプログラムの協調シミュレーション", デザインガイア** 2001(2001)

【D-01-014】**濱田芳博, 中條拓伯, 田邊昇, 工藤知宏, "メモリバスに接続される NIC による PC クラスタの性能予測", 並列／分散／協調処理に関するサマー・ワークショップ** 2001

【D-01-007】**山本淳二, 土屋潤一郎, 寺川博昭, 田邊昇, 渡邊幸之介, 今城英樹, 西宏章, 工藤知宏, "RHiNET の概要と** Martini **の設計／実装",** SWoPP 2001, ARC-144-7, pp.37-42 (Jul. 200)

【D-01-008】**宮脇達朗, 山本淳二, 工藤知宏, "RHiNET のソフトウェアレイア",** SWoPP 2001, ARC-144-8, pp.43-48 (Jul. 2001)

【D-01-009】**渡邊幸之介, 山本淳二, 土屋潤一郎, 田邊昇, 西宏章, 今城英樹, 寺川博昭, 上嶋利明, "RHiNET/MEMOnet ネットワークインタフェース用コントローラチップ** Martini **の予備評価",** SWoPP 2001, ARC-144-9, pp.49-54 (Jul. 2001)

【D-01-006】**西宏章, 多昌廣治, 稲沢悟, 西村信治, 工藤知宏, 天野英晴, "RHiNET スイッチ** RHiNET-2,3/SW", **情報処理学会研究報告** 2001-ARC-144-10, pp. 55-60 (Jul. 2001)

【D-01-013】**田邊昇, 山本淳二, 今城英樹, 上嶋利明, 濱田芳博, 中條拓伯, 工藤知宏, 天野英晴, "DIMM スロット搭載型ネットワークインタフェース** DIMMnet-1 **の試作",** SWoPP 2001 (2001)

【D-01-005】**大塚智宏, 横山知典, 土屋潤一郎, 宮脇達朗, 清水敏行, 山本淳二, 西宏章, 工藤知宏, 天野英晴, "RHiNET ネットワークインタフェースプロトタイプの性能評価", 情報処理学会アーキテクチャ研究会,** ARC-143, pp. 13-18 (May 2001)

【D-01-002】**宮脇達朗, 住元真司, 清水敏行, 長谷川篤史, 工藤知宏, "Pentium III SMP サーバの** I/O **およびメモリの転送性能",** JSPP 2001 (2001)

・12 年度

【D-00-059】 天野英晴、工藤知宏："光インターコネクションを用いたネッ”、エレクトロニクス、2000 年 10 月号、pp.32-37

【D-00-079】 山本淳二、田邊昇、西宏章、土屋潤一郎、渡辺幸之介、今城英樹、上島利明、金野英俊、寺川博昭、慶光院利映、工藤知宏、天野 英晴:“高速性と柔軟性を併せ持つネットワークインタフェス用チップ:Martini”、情報処理学会研究報告 2000-ARC-140、pp.19-24、2000

【D-00-080】 西宏章、上野龍一郎、多昌廣治、稲沢悟、西村信治、工藤知宏、天野英晴:“LASN 用 10Gbps/port 8x8 ネットワークスイッチ: RHiNET-3/SW”、情報処理学会研究報告 2000-ARC-140、pp.13-18、2000

・ 11 年度

【D-99-171】 Tomohiro Kudoh, Noboru Tanabe, Junji Yamamoto, and Hiroaki Nishi: ″RHiNET:A network for high performance parallel computing using locally distributed computers,″In 2000 RWC Symposium, pages 5-10. Real World Computing Partnership, 1(2000)

【D-99-222】 田邊昇、山本淳二、工藤知宏:″メモリスロット搭載型ネットワークインタフェース DIMMnet-1 における細粒度通信機構″、 In 情報処理学会研究報告、HOKKE 2000、3(2000)

【D-99-223】 山本淳二、建部修見、横山知典、土屋潤一郎、宮脇達朗、清水敏行、天野英晴、 工藤知宏:″高性能計算機用ネットワーク RHiNET-1 の実装と評価″、In 情報処理学会研究報告、HOKKE 2000、3(2000)

【D-99-083】 建部修見、工藤知宏、山本淳二、佐藤三久、石川裕:″RHiNET による共有メモリプログラミングのサポート″、In 情報処理学会研究報告、ARC、8(1999)

【D-99-022】 田邊昇、山本淳二、工藤知宏:″メモリスロットに搭載されるネットワークインタフェース MEMnet″、In 情報処理学会研究報告、 SWoPP'99、8(1999)

【D-99-016】 西宏章、工藤知宏、天野英晴:″仮想チャネルキャッシュを持つネットワークルータの構成と性能″、並列処理シンポジウム(1999)

【D-99-113】 西宏章、多昌廣治、工藤知宏、天野英晴:″64Gbps のスループットを持つワンチップネットワークスイッチ RHiNET-2/SW″、電子情報通信学会技術研究報告 CPSY

・10 年度

【D-98-174】 山本淳二、工藤知宏、宮脇達朗、坂光彦、清水敏行、横山知典、天野英晴:″コモディティ PC を用いた並列処理のための通信機構について、″Hokke'99、(情処研報 99-ARC-132-20、99-OS-80-20、99-HPC-75-20 pp.115-120)、1999 年 3 月

【D-98-179】 工藤知宏、山本淳二、建部修見、佐藤三久、西宏章、天野英晴、石川裕:″PC 間ネットワークによる共有アドレス空間を持つ並列処理システム、″Hokke'99 (情処研報 99-ARC-132-21、99-05-80-21、99-HPC-75-21pp.121-126)

【D-98-185】 西宏章、多昌廣治、工藤知宏、天野英晴:″コモディティ PC を用いた並列処理のためのネットワークルータアーキテクチャ、″信学技報 CPSY98-158、pp57-64、1999.

【D-98-184】 西宏章、工藤知宏、天野英晴:″軽量メモリベース通信用ネットワークルータ、″信学技報 CPSY 98-1、pp1-8、1998.

・9 年度

【D-97-059】 並列分散システムアーキテクチャつくば 西宏章、天野英晴、工藤知宏:″光インターコネクションを用いたＷＳクラスタ用ネットワーク″、信学技法 CPSY97-49 pp101-108 、1997

【D-97-133】 並列分散システムアーキテクチャつくば 中條拓伯、小野航、市川明弘、安生健一朗、山本淳二、工藤知宏、天野英晴:″WS クラスタにおける分散共有メモリのためのHome Proxy″、信学技法 CPSY97-103 pp15-22 、1998

【D-97-134】 並列分散システムアーキテクチャつくば 高麗順一郎、山本淳二、久保田和人、工藤知宏:″コードインスツルメントによる分散共有メモリシステムの試作″、信学技法 CPSY97-102 pp9-14 、1998

【D-97-135】 並列分散システムアーキテクチャつくば 上野茂紀、山本淳二、宮脇達郎、工藤知宏:″軽量メモリベース通信機構への SPLASH2 の移植と評価″、信学技法 CPSY97-104 pp23-28 、1998

【D-97-155】 並列分散システムアーキテクチャつくば 周東福強、山本淳二、西宏章、天野英晴、工藤知宏:″軽量メモリベース通信のためのネットワークインタフェース″、情処研報 ARC、1998

(3)特許出願リスト

・13 年度

RWC 整理番号	2001D-003
発明考案の名称	光リンク用スキュー補正装置
発明者	西村信治、原澤克嘉、大杉浩三 、工藤知宏、西宏章、山本淳二
出願日	平 13.8.2
出願番号	2001-248930
出願人	新情報処理開発機構 、株式会社日立製作所

(概要)

光リンク装置の小型化と、調整範囲の拡大を図る。

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

(4)著作物リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度
なし
・9 年度
なし

B-1-8. 大容量データバス用光インターコネクション（光インターコネクション日立研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【D-01-001】 S. Nishimura, T. Kudoh, H. Nishi, J. Yamamoto, R. Ueno, K. Harasawa, S.Fukuda, Y. Shikichi, S. Akutsu, K. Tasho, and H. Amano: “RHiNET-3/SW: an 80-Gbit/s high-speed network switch for distributed parallel computing”, Hot Interconnect 9, pp. 119-123, Stanford U.S.A., 2001.

【D-01-033】 T. Kitatani, M. Kondow, and M. Kudo: "Variation in photoluminescence of highly strained GaInNAs/GaAs multiple-quantum-well structures with different thickness of GaAs barrier layers", to be published in Jpn. J. Appl. Phys.

【D-01-036】 M. Kondow, T. Kitatani, M. Aoki and S. Nakatsuka: "Improved Crystallinity of GaInNAs by Additional Rapid Thermal Annealing", IEEE/LEOS 2001 annual meeting, WCC-2, San Diego, Nov. 2001. （UCSD 大 Tu 教授による代読）

【D-01-037】近藤正彦：“光通信用長波長帯面発光レーザの研究”，レーザ研究, 29 巻、12 号、772 頁. （招待論文）

【D-01-073】 T. Kitatani, and M. Kondow: "Characterization of the Refractive Index of Laterally Oxidied AlxOy by Spectrscopic Ellipsometry", Jpn. J. Appl. Phys.

【D-01-086】 M. Kondow, T. Kitatani, M. Aoki, S. Nakatsuka and M. Kudo: "Molecular beam epitaxy of GaNAs and GaInNAs", to be published in Semiconductor Science and Technology. （招待論文）

・12 年度

【D-00-061】 Shinji Nishimura, Tomohiro Kudoh, Hiroaki Nishi, Koji Tasho, Katsuyoshi Harasawa, Shigeto Akutsu, Shuji Fukuda and Yasutaka Shikichi: "A high-speed, highly-reliable network switch for parallel computing system using optical interconnection", to be published in The IEICE Transaction on Electronics, a special issue on Optical Interconnects/ Optical Signal Processing. （84-C,p288-294）

【D-00-094】 西村信治、工藤知宏、西宏章、山本淳二、原澤克嘉、福田周司、敷地泰卓、圷重人："RHiNET-2/SW: 並列光インターコネクションを搭載した並列計算機システム用高速ネットワークスイッチ"、電子情報通信学会和文論文誌Ｃ「21 世紀の光エレクトロニクス実装技術特集号」（投稿中）

【D-00-102】 Shinji Nishimura, Tomohiro Kudoh, Hiroaki Nishi, Katsuyoshi Harasawa, Shuji Fukuda, Yasutaka Shikichi, and Shigeto Akutsu: "High-throughput network switch for RHiNET-based optically interconnected distributed parallel computing system", Opto-electronices and communication conference 2001. （投稿中）

【D-00-042】 M. Kondow, T. Kitatani, and T. : anaka, "In-situ annealing of GaInNAs at high temperatures", IEEE/LEOS 2000 annual meeting, WS-4, Rio Grande, Puerto Rico, Nov. 2000.

【D-00-052】 T. Kitatani, M. Kondow, and T. Tanaka: "High quality GaInNAs active layers for 1.3- μm lasers" SPIE International Symposium on

Optoelectronics 2001, San Jose, USA, Jan. 2001.（招待講演）

【D-00-060】 T. Kitatani, M. Kondow, and T. Tanaka: “Molecular Beam Epitaxy of GaInNAs by using solid source arsenic”, to be published in J. Cryst. Growth.

【D-00-067】 M. Kondow and T. Kitatani: “In-situ annealing of GaInNAs up to 600℃”, Jpn. J Appl. Phys. Vol. 40, pp. 108-109, 2001.

【D-00-093】 S. Shirakata, M. Kondow, and T. Kitatani: “Photoluminescence and photoreflectance of GaInNAs single quantum well”, submitted to Appl. Phys. Lett.（投稿中）

【D-00-109】 西村信治、”高速光ネットワークスイッチとその並列計算機への応用 ” 、日本テクノセンタ、セミナー：次世代 WDM ネットワークと光スイッチング、市ケ谷、2001 年 2 月 7 日

・11 年度

【D-99-122】 Shinji Nishimura, Tomohiro Kudoh, Hiroaki, Nishi, Katsuyoshi Harasawa, Nobuhiro Matsudaira, Shigeto Akutsu, Koji Tasyo, and Hideharu Amano"High-throughput network parallel computing system", Proceedings of Optics In Compp switch for the RHiNET-2 optically interconnected uting 2000, pp. 562-569, Quevec Canada, June 2000.

【D-99-203】 Shinji Nishimura, Tomohiro Kudoh, Hiroaki Nishi, Katsuyoshi Harasawa, Nobuhiro Matsudaira, Shigeto Akutsu, and Hideharu Amano: "High-throughput network switch using high-speed highly reliable optical interconnection", submitted to OECC2000, 幕張メッセ,2000.

【D-99-194】 Shinji Nishimura: "RHiNET-2/SW：64-Gbit/s network switch implemented parallel optical interconnection",2000 IEEE Computer Packaging Japan Workshop, P022, 彦根プリンス,2000.

【D-99-060】 Shinji Nishimura, Tomohiro Kudoh, Hiroaki Nishi, Katsuyoshi Harasawa, Nobuhiro Matsudaira, Shigeto Akutsu, Koji Tasyo and Hideharu Amano: "Network switch using optical interconnection for high performance distributed parallel computer using PCs", The Sixth International Conference on Parallel Interconnects, pp. 5-12, Anchorage USA,1999.

【D-99-105】 Shinji Nishimura, Katsuyoshi Harasawa, Nobuhiro Matsudaira, Shigeto Akutsu, Tomohiro Kudoh, Hiroaki Nishi, and Hideharu Amano: "RHiNET-2/SW：a large-throughput, compact network-switch using 8-Gbps optical interconnection'", New Generation Computing, vol. 18, no. 2, pp. 188-197, 2000.

【D-99-043】 T. Kitatani, M. Kondow, K. Nakahara, K. Uomi, and T. Tanaka: "Excellent characteristic temperature (To) through thermal annealing of a 1.3- μ m GaInNAs/GaAs single-quantum-well laser diode,"1999 MRS Fall Meeting, Boston, USA, Nov., 1999.

【D-99-059】 T. Kitatani, K. Nakahara, M. Kondow, K. Uomi, and T. Tanaka: "Mechanism analysis of improved GaInNAs optical properties through thermal annealing", J. Cryst. Growth Vol. 209, pp.345-349, 2000.

【D-99-097】 T. Kitatani, K. Nakahara, M. Kondow, K. Uomi, and T. Tanaka: "A 1.3- μ m GaInNAs/GaAs single-quantum-well laser diode with high charcteristic temperature over 200K", Jpn. J. Appl. Phys. Lett. Vol.39, pp. L86-L87, 2000.

【D-99-127】 M. Kondow,T. Kitatani, K. Nakahara, and T. Tanaka : "A 1.3- μ m GaInNAs laser diode with a lifetime of over 1000 hours", Jpn. J. Appl. Phys. Express Lett. Vol.38, pp. 1355 - 1356, 1999.

【D-99-154】 T. Kitatani, M. Kondow, K. Nakahara, K. Uomi, and T. Tanaka : "Excellent characteristic temperature (To) through thermal annealing of a 1.3- μ m GaInNAs/GaAs single-quantum-well laser diode," to be published in 1999 MRS Fall Meeting Proceedings.

【D-99-174】 M. Kondow, T. Kitatani, T. Tanaka : "GaInNAs for VCSELs", International Symposium on Ultraparallel Optoelectronics, Kawasaki, Japan, E-2, 2000.

【D-99-182】 T.Kitatani, M.Kondow, K.Nakahara, and T.Tanaka : "Recent Progress in GaInNAs Laser", to be published in IEICE Transaction on Electronics.

【D-99-196】 T. Kitatani, M. Kondow, and T. Tanaka, "Effects of thermal annealing procedure and a strained intermediate layer on a highly strained GaInNAs/GaAs double-quantum-well structure", The 10th Intern. Conf. on Metalorganic Vapor Phase Epitaxy, We-B8, Sapporo, Japan, June 2000.

【D-99-205】 M.Kondow, T.Kitatani, K.Nakahara, and T.Tanaka : "Temperature dependence of Lasing Wavelength in a GaInNAs Laser Diode ", submitted to Photon. Tech. Lett.

・10 年度

【D-98-113】 S.Nishimura, "Large-throughput optical interconnection subsystem for the RWCP seamless computing system", High performance networking and computing conference, research exhibit, R230, Orlando, U.S.A., 1998.

【D-97-167】 S.Nishimura, H.Inoue, H.Matsuoka, and T.Yokota, "Synchronized parallel optical interconnection for the massively parallel computer RWC-1(Invited)", Optics in computing, vol. 1, pp. 536-540, Brugge, Belgium, 1998.

【D-97-140】 S.Nishimura, H.Inoue,H. Matsuoka, and T.Yokota, "Optical interconnection used in the massively parallel computer RWC-1", Optoelectronics and Communication Conference, 16A2-5, Makuhari, 1998.

【D-98-171】 S.Nishimura, K.Harasawa, N.Matsudaira, S.Akutsu, S.Sasaki, T.Kudoh, "Large-throughput optical interconnection for a distributed parallel computing system", submitted to CLEO Pacific Rim '99, Seoul,Korea,1999.(発表予定)

【D-98-100】 S.Nishimura, H.Inoue, H.Matsuoka, and T.Yokota, "Synchronized parallel optical interconnection subsystem implemented in the RWC-1 massively parallel computer", submitted to IEEE photonics technorogy letters, 1998.

【D-98-116】 S.Nishimura, H.Inoue, H.Matsuoka, and T.Yokota, "Optical interconnection subsystem used in the RWC-1 massively parallel computer", submitted to IEEE jornal of selected topic in quantum electronics, 1998.

【D-98-017】 T.Kitatani, M.Kondow, T.Kikawa, Y.Yazawa, M.Okai, and K.Uomi, "Band Offset Analysis of GaNAs/GaAs by X-ray Photoelectron Spectroscopy",

Spectroscopy", Solid State Device and Materials, Hiroshima, Japan, 1998.

【D-98-040】 M.Kondow, T.Kitatani, K.Nakahara, and K.Uomi, "Material Properties of GaInNAs for Long-Wavelength Laser Diodes with Excellent High-temperature Performance", The 11th Annual Meeting of the IEEE Laser and Eletro-Optics Society, Orlando, USA, 1998.

【D-98-080】 M.Kondow, T.Kitatani, K.Nakahara, and K.Uomi, "GaInNAs Long-wavelength Lasers", International Topical Conference: Frontiers in Semiconductor Lasers and Qunatum Dot Technologies, San diego, USA, 1998.

【D-98-081】 T.Kitatani, K.Nakahara, M.Kondow, M.C.Larson, Y.Yazawa, M.Okai, and K.Uomi, "Nitrogen Incorporation Rate, Optimal Growth Temperature, and AsH3-flow-rate in GaInNAs Growth by Gas-Source MBE using N-radicals as an N-source", to be published in J. of Cryst. Growth.

【D-98-105】 T.Kitatani, M.Kondow, T.Kikawa, Y.Yazawa, M.Okai, and K.Uomi, "X-ray Photoelectron Spectroscopy Analysis of Band Offset in GaNAs/GaAs", submitted to Jpn. J. of Appl. Phys.

【D-98-170】 T.Kitatani, K.Nakahara, and K.Uomi, "Mechanism analysis of improved GaInNAs optical properties through thermal annealing", 7th Intern. Conf. on Chemical Beam Epitaxy, Th2-2, Tsukuba, Japan, July 1999.

・9 年度

【D-97-027】 S.Nishimura, H.Inoue, S.Hanatani, H.Matsuoka, and T.Yokota, "Error-free optical interconnection for the massively parallel computer", IEEE photonics technology letters, vol. 10, no. 1, pp.147-1491997.

【D-97-140】 S.Nishimura, H.Inoue, S.Hanatani, H.Matsuoka, and T.Yokota, "Optical interconnection used in the massively parallel computer RWC-1", Technical digest of the Optoelectronics and Communication Conference, pp. 422-423, Makuhari Japan, July1998.

【D-97-001】 M.Kondow, T.Kitatani, Micheal C.Larson, K.Nakahara, K.Uomi, and H.Inoue,"Gas-Source MBE of GaInNAs for Lang-Wavelength Laser Diodes", 6th International Conference on Chemical Beam Epitaxy., Montreux Switzerland , 1997.

【D-97-002】 T.Kitatani, M.Kondow, S.Naktsuka, Y.Yazawa, M.Okai, " GaInNAs Semiconductor Lasers", the 16th Electronic Material Symposium, B-2, Minoo, Japan, 1997.

【D-97-003】 M.Kondow, T.Kitatani, S.Naktsuka, Michael C.Larson, K.Nakahara, Y.Yazawa, M.Okai, and K.Uomi, "GaInNAs: A Novel Material for Long-Wavelength Semicondutor Lasers", IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics. vol. 3, pp. 719-730, 1997.

【D-97-022】 T.Kitatani, M.Kondow, K.Shinoda, Y.Yazawa, and M.Okai, "Characterization of the Refractive Index of Strained GaInNAs Layers by Spectroscopic Ellipsometry", to be published in Jpn. J. of Appl. Phys.

【D-97-029】 M.Kondow, T.Kitatani, Michael C.Larson, K.Nakahara, K.Uomi, and H.Inoue, "GaInNAs Lasers", LEOS'97, ThE3, San Francisco, USA, Nov., 1997.

【D-97-041】 S.Nakatsuka, M.Kondow, T.Kitatani, Y.Yazawa, and M.Okai,"Index

Guide GaInNAs Laser Diode for Optical Communications", Solid State Device and Materials, Hamamatsu, Japan, Sep.,1997.

【D-97-060】 M.Kondow, T.Kitatani,Micheal C.Larson, K.Nakahara, K.Uomi, H.Inoue, "Gas-Source MBE of GaInNAs for Long-Wavelength Laser Diodes", to be published in J. of Crsyt. Growth.

【D-97-061】 Micheal C.Larson, M.Kondow, T.Kitatani, K.Nakahara, K.Tamura, H.Inoue, and K.Uomi, "GaInNAs/GaAs long-wavelength vertical-cavity surface-emitting laser diodes", to be published in IEEE Photo. Tech. lett.

【D-97-073】 Micheal C.Larson, M.Kondow, T.Kitatani, K.Nakahara, K.Tamura, H.Inoue, and K.Uomi, "GaInNAs/GaAs long-wavelength vertical-cavity surface-emitting laser diodes", LEOS'97, PD1.3, San Francisco, USA, Nov., 1997.

【D-97-074】 S.Nakatsuka, M.Kondow, T.Kitatani, Y.Yazawa, and M.Okai, " Index Guide GaInNAs Laser Diode for Optical Communications", to be published in Jpn. J. of Appl. Phys.

【D-97-090】 M.Kondow, K.Nakahara, and T.Kitatani, "Temperature Dependence of Lasing Wavelength in a 1.3- μm GaInNAs Laser Diode with High T0", to be presented in CLEO'98,San Francisco, USA,May,1998.

【D-97-091】 K.Nakahara, M.Kondow, T.Kitatani, Micheal C.Larson,"1.3μm-Continuous Wave Lasing Operation in GaInNAs Quantum Well Lasers", to be published in IEEE Photo. Tech. lett.

【D-97-100】 T.Kitatani, M.Kondow, K.Shinoda, Y.Yazawa, M.Okai, and K. Uomi, "Extremely Large Refractive Index of Strained GaInNAs Thin Films", to be presented in IPRM'98 , Tsukuba, Japan, May, 1997.

【D-97-119】 Micheal C.Larson, M.Kondow, T.Kitatani, K.Nakahara, K.Tamura, H.Inoue, Y.Yazawa, M.Okai, H.Inoue, and K.Uomi, "Progress in GaInNAs/GaAs long-wavelength vertical-cavity surface-emitting lasers",SPIE Photnics WEST Optoelectronics'98,3286-04,San Jose,USA,Jan.,1998.

【D-97-120】 M.Kondow, T.Kitatani, Micheal C.Larson, K.Nakahara, K.Uomi, and H.Inoue,"GaInNAs/GaAs Long-Wavelength Lasers",SPIE Photnics WEST Optoelectronics'98, 3284-27, San Jose, USA, Jan., 1998.

ℓ)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

【D-01-025】西村信治：" 64Gbps 光ネットワークスイッチ(RHiNET-2/SW)搭載並列計算機システム", InterOpto2001, No.290, 幕張メッセ, 7 月

【D-01-032】西村信治, 工藤知宏, 西宏章, 山本淳二, 原澤克嘉：" 光インタネクション搭載高速ネットワークスイッチ(RHiNET-3/SW)", 電子情報通信学会ソサエティ大会, B-10-55, 電気通信大, 9 月 2001 年.

【D-01-051】 原澤克嘉, 西村信治：" RHiNET ネットワークスイッチ", OEIC 光インターコネクション技術懇談会, 東京, 講演番号 3, 7 月 2001 年.

【D-01-053】 西村信治：" 高速光インターコネクションとその計算機への応用", テラ光情報技術研究会, 大阪, 8 月 2001 年.

【D-01-067】 西村信治, 原澤克嘉："光ネットワークベース並列計算機システム

RHiNET)の開発", 日立 CS 技術・事業化発表会, 講演番号 1, 横浜, 11 月 2001 年.

【D-01-068】 西村信治, 原澤克嘉:"並列分散処理コンピュータ用高速ネットワークスイッチ", MST2001 (Embedded Technology Conference and Exhibition), ブースB-03, 東京, 11 月 2001 年.

【D-01-020】北谷健, 近藤正彦, 工藤真:"GaInNAs の結晶成長と物性評価", 2001 年秋季第 62 回応用物理学会学術講演会, 12a-ZW-4, 豊田市, 2001.

【D-01-074】北谷健, 近藤正彦, 辻伸二:"分光エリプソメトリ法を用いた AlAs 選択酸化に関する要素技術の検討", 2002 年春季第 49 回応用物理学会学術講演会, 平塚市, 2002.

【D-01-081】西村信治, 西宏章:"並列分散型計算機用高速ネットワークスイッチ (RHiNET-3/SW)",プリント配線板 EXPO 日立化成工業ブース, 東京ビッグサイト, 2002.1

【D-01-080】 西村信治、工藤知宏、西宏章、山本淳二、原澤克嘉、"光インタコネクション搭載高速ネットワークスイッチ(RHiNET-3/SW)", 2002 年電子情報通信学会総合大会, 東京, 2002.

【D-01-075】北谷健, 近藤正彦, 辻伸二 "分光エリプソメトリ法を用いた AlAs 選択酸化に関する要素技術の検討", 2002 年春季第 49 回応用物理学会学術講演会, 平塚市, 2002.

【D-01-077】近藤正彦, 北谷健, 青木雅博, 中塚慎一 "端面発光型 GaInNAs レーザの高速動作", 2002 年春季第 49 回応用物理学会学術講演会, 平塚市, 2002.

【D-01-078】 白方祥, 近藤正彦, 北谷健 "GaInNAs/GaAs のフォトルミネッセンスとフォトリフレクタンス(II)", 2002 年春季第 49 回応用物理学会学術講演会, 平塚市, 2002.

【D-01-079】 白方祥, 近藤正彦, 北谷健" GaInNAs/GaAs のフォトルミネッセンスとフォトリフレクタンス(III)", 2002 年春季第 49 回応用物理学会学術講演会, 平塚市, 2002.

・12 年度

【D-00-001】 西村信治、工藤知宏:"並列計算機システムにおける光実装技術マテリアルインテグレーション"、エレクトロニクセラミクス号, vol. 13、no. 6、pp. 32-38、2000.

【D-00-014】 西村信治:"光並列伝送システムを用いた並列計算機用ネットワークスイッチ"、オプトロニクス (雑誌)、no. 223、pp. 181-184、2000.

【D-00-021】 西村信治:"光インターコネクションを応用した計算機システム"、情報処理学会機関誌、vol.41、no. 9、pp. 1012-1015、2000.

【D-00-024】 西村信治:"並列分散計算機 (RHiNET)用大容量光ネットワークスイッチ"、インターオプト2000、232 ブース、幕張メッセ、7 月 2000 年.

【D-00-054】 西村信治、工藤知宏、松岡浩司、横田隆史:"計算機内部ネットワークに実装した光インターコネクション"、エレクトロニクス (雑誌)、vol. 5、no. 10、pp. 41-44、2000.

【D-00-092】 西村信治、工藤知宏、西宏章、原澤克嘉:"光インターコネクション搭載高速ネットワークスイッチとその並列計算機 (RHiNET-2)への応用"、電子情報通信学会総合大会、B-10-121、滋賀 彦根、2001.

【D-00-017】 近藤正彦、北谷健、田中俊明:"固体ヒ素を用いた GaInNAs の MBE 成

長"、2000 年秋季第 61 回応用物理学会学術講演会、5p-ZA-2、札幌、2000.

【D-00-087】 T. Kitatani, M. Kondow, and T. Tanaka: "High quality GaInNAs active layers for 1.3-μm lasers", to be published in SPIE International Symposium on Optoelectronics 2001 proceedings.

【D-00-088】 北谷健、近藤正彦、工藤真："熱アニールを施した GaInNAs の赤外吸収スペクトル"、2001 年春季第 48 回応用物理学関係連合講演会、東京、2001 年 3 月 28 日

【D-00-089】 白方祥、近藤正彦、北谷健："GaInNAs/GaAs のフォトルミネッセンスとフォトリフレクタンス"、2001 年春季第 48 回応用物理学関係連合講演会、東京、2001 年 3 月 28 日

【D-00-101】 T. Kitatani, M. Kondow, and M. Kudo: "Infrared absorption of thermally annealed GaInNAs", submitted to The 43rd Electronic Materials Conference. Notre Dame, USA.

・11 年度

【D-99-183】 西村信治、工藤知宏、西宏章、原澤克嘉、松平信洋、圷重人、天野英晴："並列計算機（RHiNET-2）用光インタコネクション搭載スイッチシステム"、電子情報通信学会総合大会、B10-84、広島、2000 年 3 月.

【D-99-195】 圷重人、松平信洋、原澤克嘉、西村信治、工藤知宏："光インタコネクト搭載 64Gbps ネットワークスイッチ（RHiNET-2/SW）の実装設計"、電子情報通信学会総合大会、C-3-90、広島、20003 月.

【D-99-207】 西村信治、工藤知宏："並列光インターコネクションデバイスと計算機システムへの応用"、信学技報、LQE99-139、機会振興会館、2000 年 2 月.

【D-99-146】 Shinji Nishimura, and Shinya Sasaki："RHiNET-2/SW high-throughput network switch implemented 8.8 Gbps optical interconnection"、RWC 2000、pp. 95-100、都市センターホテル、2000.

【D-99-167】 西村信治："光インターコネクション搭載高速ネットワークシステム（RHiNET-2/SW）"、エレクトロニクス実装技術（株）技術調査会刊、vol.16、No.1、pp.56-61、2000.

【D-99-139】 Shinji Nishimura："RHiNET-2/SW prototype optical network switch for the RHiNET", SC'99：Conference on High performance networking and computing, Portland, USA 1999.

【D-99-038】 西村信治、原澤克嘉、松平信洋、圷重人、佐々木慎也、工藤知宏："光インタコネクション搭載並列計算機システム向け光スイッチシステム（RHiNET-2/SW）"、電子情報通信学会ソサエティ大会、B-10-132、日大習志野、1999.

【D-99-044】 西村信治："大容量光インタコネクション-並列分散計算機システム（RHiNET）搭載用サブシステム-"、InterOpto'99、幕張メッセ、1999.

【D-99-103】 西村信治："並列リンク用レーザーモジュール/システム"、電気学会「超高速デバイスとその応用」調査専門委員会、p.2、市ケ谷、1999.

【D-99-030】 北谷健、中原宏治、近藤正彦、魚見和久："熱アニールによる 1.3-μm 帯 GaInNAs 半導体レーザの特性温度の改善(T0=215K)"、1999 年秋季第 60 回応用物理学会学術講演会、神戸、1999.

【D-99-071】 北谷健、近藤正彦、中原宏治、田中俊明、魚見和久："熱アニールによる GaInNAs の発光特性向上"、日本学術振興会半導体界面制御技術第

154 委員会第 26 会研究会、東京、1999.

【D-99-173】 近藤正彦、北谷健、中原宏治、田中俊明、"GaInNAs 半導体レーザにおける発振波長の温度依存性"、2000 年春季第 47 回応用物理学関係連合講演会、31a-N-10、東京、2000.

【D-99-186】 北谷健、近藤正彦、田中俊明、"熱アニール手法を改善した GaInNAs/GaAs 2 重量子井戸の作製"、2000 年春季第 47 回応用物理学関係連合講演会、30a-P13-12、東京、2000.

・10 年度

【D-98-147】 西村信治、"超並列計算機における光インタコネクト技術とその応用および今後の展望"、セミナー：光インタコネクション技術とその応用および今後の展望、5、市ケ谷、1999.

【D-98-168】 松岡浩司、横田隆史、西村信治、"リアルワールドコンピューティングにおける光インターコネクション"、光学、vol.28、No.1、pp.22-23、1999.

【D-98-113】 西村信治、井上宏明、松岡浩司、横田隆史、"超並列計算機 RWC-1 内光インタコネクトシステム"、電子情報通信学会通信ソサエティ大会、B-10-82、1998.

【D-98-150】 西村信治、工藤知宏、原澤克嘉、松平信洋、圷重人、佐々木慎也、"大容量並列分散計算機システム向け光インタコネクション"、電子情報通信学会総合大会、B-10-157、日吉、1999 年 3 月.

【D-98-002】 西村信治、"超並列計算機 RWC-1 における光実装技術"、エレクトロニクス実装学会誌、 vol. 1、No. 3、pp.180-185、1998.

【D-98-096】 西村信治、"超並列コンピュータに適用される光実装技術"、エレクトロニクスショー'98、大阪、1998.

【D-97-123】 西村信治、"超並列計算機 RWC-1 における光実装技術"、回路実装学会・光回路実装技術公開研究会公開セミナー、 pp.1-6、1998.

【D-98-027】 中原宏治、北谷健、近藤正彦、マイクラルソン、魚見和久："光インタコネクト用高温動作半導体レーザ"、InterOpto'98、1998.

【D-98-034】 近藤正彦 "第 17 章 AlGaInNAs デバイス"、アドバンストエレクトロニクスシリーズ III 族窒化物半導体 培風館、1999.

【D-98-039】 北谷健、近藤正彦、中原宏治、矢澤義昭、魚見和久 "N ラジカルを用いたガスソースMBE 法による GaInNAs 結晶成長条件の検討"、1998 年秋季第 59 回応用物理学会学術講演会、広島、1998.

【D-98-089】 中原宏治、"新半導体を用いた長波長帯面発光半導体レーザ"、日立評論、 1998.

【D-98-093】 北谷健、"GaInNAs の結晶成長と半導体レーザへの適応性の検討結果"、第 20 回下田ワークショップ、軽井沢、1998.

【D-98-102】 北谷健、近藤正彦、中原宏治、魚見和久、"N ラジカルを用いた GaInNAs のガスソースMBE 成長とレーザ特性"、1999 年春季第 46 回応用物理学会学術講演会、29p-T-11、野田、1999. (招待講演)

【D-98-169】 T.Kitatani, M.Kondow, K.Nakahara, K.Shinoda, T.Kikawa, Y.Yazawa, and K.Uomi, "Characterization of the material properties of GaInNAsfor long wavelength semiconductor lasers", 16th Semiconductor Laser Symposium, 10, Yokohama, Japan, Mar. 1999. (招待講演)

・9 年度

【D-97-129】 S.Nishimura, H.Inoue, S.Hanatani, H.Matsuoka, and T.Yokota, "Optical

Interconnection subsystem for the massively parallel computer", Hitachi Stanford Seminar, p.12, Feb., 1998.

【D-97-083】 S.Nishimura, H.Inoue, H.Matsuoka, and T.Yokota, "Optical interconnection for the massively parallel computer RWC-1",3rd JOP Experts workshop, Long Beach, U.S.A.,Sep.,1997

【D-97-113】 西村信治、井上宏明、松岡浩司、横田隆史、"超並列計算機 RWC-1 内光インタコネクトシステム"電子情報通信学会総合大会、1998 (発表予定)

【D-97-123】 西村信治、"超並列計算機 RWC-1 における光実装技術"、回路実装学会・光回路実装技術公開研究会公開セミナー、"脚光を浴びる光インターコネクション"、pp.9-16、1998.

【D-97-084】 西村信治、井上宏明、松岡浩司、横田隆史、"超並列計算機 RWC-1 用光インタコネクション"、電子情報通信学会光インターコネクション情報処理研究会、OIP1-7、1997

【D-97-031】 中原宏治、近藤正彦、北谷健、マイク ラルソン、井上宏明、魚見和久："光通信用 GaInNAs 半導体レーザーの 1.3μm 室温連続発振"、第 59回応用物理学会学術講演会、2p-ZC-4、Oct.、1997.

【D-97-032】 北谷健、近藤正彦、紀川健、矢澤義昭、岡井誠、魚見和久、井上宏明："XPS による GaNAs のバンドオフセット評価"、第 59 回応用物理学会学術講演会、3p-T-13、Oct.,1997.

【D-97-085】 近藤正彦："新半導体材料により光ファイバー通信用面発光レーザーを実現"、日経産業新聞、H9/11/10 付掲載

【D-97-116】 北谷健、近藤正彦、中原宏治、マイク ラルソン、矢澤義昭、魚見和久："CBr4 を用いた C-doping による VCSEL 低抵抗化の基礎検討"、第 45回応用物理学会関係連合講演会、29p-ZM-15、Mar.、1997.

【D-97-128】 井上宏明："新半導体を用いた長波長帯面発光レーザー"、(社)電子情報通信学会誌 Vol.81pp.220 1998.

(6)特許出願リスト

・13 年度

RWC 整理番号 2001D-001
発明考案の名称 半導体レーザとそれを用いた光モジュール及び光通信システム
発明者 近藤正彦、北谷健、工藤真
出願日 平 13.5.28
出願番号 2001-158785
出願人 株式会社日立製作所
(概要)
再成長界面へのデルタドープにより素子の低抵抗化を図る。

RWC 整理番号 2001D-003
発明考案の名称 光リンク用スキュー補正装置
発明者 西村信治、原澤克嘉、大杉浩三、工藤知宏、西宏章、山本淳二
出願日 平 13.8.20
出願番号 2001-248930

出願人　　株式会社日立製作所、新情報処理開発機構
（概要）
並列光リンクのスキュー調整機構の小型化と、調整範囲の拡大を図る。

RWC 整理番号　2001D-008
発明考案の名称 Wavelength Division Multiplexed Optical Interconnection Device
発明者　　西村　信治
出願日　　平 13.7.31
出願番号　　09/917,707
出願人　　株式会社日立製作所
（概要）
光インターコネクション装置内部に波長多重装置を集積し、大容量入出力を実現する。

RWC 整理番号　2001D-013
発明考案の名称 半導体レーザ素子及びこれを用いた光モジュール、及び光システム
発明者　　北谷健、近藤正彦、工藤真、中塚慎一、青木雅博
出願日　　平 13.12.3
出願番号　　2001-368182
出願人　　株式会社日立製作所
（概要）
逆メサ型の選択酸化領域を設け、面発光レーザ素子の CR 時定数の低減を図り、高速動作を達成する。

RWC 整理番号　2001D-014
発明考案の名称 データリンク装置、スキュー検出方法、およびスキュー検出・補正方法
発明者　　西村信治（光インターコネクション日立研究室）、工藤知宏、西宏章、山本淳二（以上、RWCP）
出願日　　平 14.1.28
出願番号　　特願 2002-18898
出願人　　株式会社日立製作所、技術研究組合新情報処理開発機構
（概要）
光インターコネクションにおいて、光ファイバ間スキューの検出と補正を実現

・12 年度
RWC 整理番号　2000D-007
発明者　　西村信治
発明考案の名称　波長多重光インターコネクション装置
出願日　　平 12.9.21.
出願番号　　2000-286753
出願人　　株式会社日立製作所
分類番号　　H01L 27/15、H01S 5/026、H04B 10/00
状況　　出願済み
（概要）

光インターコネクション装置内部に波長多重装置を集積し、大容量入出力を実現する。

RWC 整理番号　2000D-006
発明者　　北谷健、近藤正彦、田中俊明
発明考案の名称　半導体レーザ及びこれを用いた光通信システム
出願日　　平 12.9.18.
出願番号　　2000-286870
出願人　　株式会社日立製作所
分類番号　　H01S 3/18
状況　　出願済み
（概要）
N 原子位置に周期性を導入し、熱アニール時の GaInNAs のバンドギャップシフト量を低減する。

RWC 整理番号　2000D-009
発明者　　北谷健、近藤正彦、田中俊明
発明考案の名称　面発光レーザ装置、これを用いた光モジュール、及び光システム
出願日　　平 12.12.15
出願番号　　2000-381433
出願人　　株式会社日立製作所
分類番号　　H01S 3/18.
状況　　出願済み
（概要）
注入電流の基板に対する水平方向成分を、変調ドープ構造による 2 次元キャリアガスで伝導させることを特徴とする面発光レーザ。

・11 年度
RWC 整理番号　99-D-005
発明者　　近藤正彦、 北谷健、 田中俊明
発明考案の名称　GaInNAs を用いた半導体素子の作製方法
出願日　　平 11.7.9
出願番号　　11-196178
出願人　　日立製作所　新情報処理開発機構
（概要）
水素フリー環境下でGaInNAsを結晶成長させることにより、活性層の結晶品質を向上させ、半導体レーザの高性能化、高信頼化を実現する。

RWC 整理番号　98-D-007
発明者　　北谷健、 近藤正彦、 中原宏治
発明考案の名称　半導体レーザ装置
出願日　　平 11.3.24
出願番号　　11-79340
出願人　　日立製作所　新情報処理開発機構
（概要）
GaInNAs 半導体レーザの活性層を歪補償型とし、信頼性を向上する。

RWC 整理番号　99-D-012
発明者　中原宏治、 北谷健
発明考案の名称　半導体レーザ装置及び光通信装置
出願日　平 11.11.15
出願番号　11-324226
出願人　日立製作所
（概要）
GaInNAs 量子ドットにより、1.3μm 低しきい電流面発光レーザを実現する。

RWC 整理番号　99D-020
発明者　北谷健、 近藤正彦、 田中俊明、 青木雅博
発明考案の名称　半導体レーザ装置
出願日　平 12.2.7
出願番号　2000-34344
出願人　日立製作所
（概要）
GaAs を埋め込み層に用いた GaInNAs 埋め込み型レーザダイオード提供する。

RWC 整理番号　99D-022
発明者　北谷健、 中原宏治、 青木雅博、 魚見和久
発明考案の名称　半導体レーザ装置およびこれを用いた光通信システム
出願日　平 12.2.10
出願番号　2000-38149
出願人　日立製作所
（概要）
GaAs 系 BEX-LD の BEX 部に GaInNAs を用い、反射損失を低減して LD の高性能化を図る。

・10 年度
RWC 整理番号　98D-002
発明考案の名称　光インタコネクション装置
発明者　西村信治
出願日　H10.9.24
出願番号　10-260357
出願人　日立製作所　新情報処理開発機構
（概要）
アレイ構造を有するレーザおよびホトダイオードの省面積実装方法に関する。

RWC 整理番号　98-D-001
発明者　北谷健、近藤正彦、中原宏治
発明考案の名称　面発光レーザーおよびそれを用いた光送信モジュールならびにシステム
出願日　H10.7.28
出願番号　特願平 10-212159

出願人　　日立製作所　新情報処理開発機構
（概要）
面発光レーザーの多層膜反射鏡における低屈折率半導体層に、燐を含むIII-V族化合物半導体からなる半導体層を用い、素子作製時の歩留り低下を抑制する。

RWC整理番号　97D-024
発明考案の名称　波長多重光インタコネクション装置
発明者　　西村信治
出願日　　H10.4.2
出願番号　　10-089728
出願人　　日立製作所　新情報処理開発機構
分類番号
状況　　出願済み
（概要）
面発光レーザと大口径光ファイバを用いた波長多重光インタコネクション装置に関する。

・9年度
RWC整理番号　97D-006
発明考案の名称　GaInNAsを有する半導体素子の作製方法、該作製方法を用いて作製した半導体素子、および該半導体素子を用いた光通信システム
発明者　　近藤正彦、北谷健、中原宏治
出願日　　H9.9.2
出願番号　　9-236791
出願人　　日立製作所　新情報処理開発機構
（概要）
基板結晶上にGaInNAsを350℃から490℃の温度範囲で結晶成長させて半導体レーザーなどの半導体素子を作製する。

RWC整理番号　97D-009
発明考案の名称　光モジュール搭載ボード
発明者　　重田淳二、西村信治
出願日　　平9.9.16
出願番号　　9-250450
出願人　　日立製作所　新情報処理開発機構
（概要）
光インタコネクションを搭載した装置における、光モジュールの実装方式に関する。

RWC整理番号　97D-010
発明考案の名称　光モジュール冷却装置
発明者　　重田淳二、西村信治
出願日　　平9.9.16
出願番号　　9-250451
出願人　　日立製作所　新情報処理開発機構
（概要）

光インタコネクションを搭載装置にて、複数光モジュールの同期動作時の温度平衡化機構に関する。

RWC 整理番号　97D-014
発明考案の名称　面発光レーザーおよびそれを用いた光送信モジュールならびにシステム
発明者　北谷健、近藤正彦、中原宏治、マイク ラルソン
出願日　H9.11.7
出願番号　9-305166
出願人　日立製作所　新情報処理開発機構
概要）
面発光レーザーの上部反射鏡と電流狭窄層との間に、エッチング停止層として燐系の化合物半導体材料、あるいは、それを少なくとも1層は含む半導体多層膜を導入し、素子作製時の歩留り低下を抑制する。

4）著作物リスト

- 13 年度
  なし
- 12 年度
  なし
- 11 年度
  なし
- 10 年度
  なし
- 9 年度
  なし

B-1-9. 光インタコネクション用低電圧動作面型レーザの研究 光インターコネクション富士通研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

なし

・12 年度

【D-00-020】 K. Otsubo, N. Sekine, Y. Nishijima, O. Aoki, A. Kuramata, and H. Ishikawa: " 1.3μm Strained Quantum Well Lasers on InGaAs Ternary Substrates with a Low Threshold Current Density," 17th IEEE International Semiconductor Laser Conference, Monterey, WA4, pp. 111-112 (2000).

【D-00-043】 N. Sekine, K. Otsubo, Y. Nishijima, O. Aoki, A. Kuramata, M. Sugawara, and H. Ishikawa: "Evaluation of High-T0 1.3μm Strained Quantum Well Lasers on InGaAs Ternary Substrates by Frequency Response," IEEE Laser and Electro-Optics Society 2000 Annual Meeting (LEOS 2000), Puerto Rico, WF5, pp. 442-443 (2000).

・11 年度

なし

・10 年度

【D-98-011】 大坪孝二, K.Otsubo, Y.Nishijima, T.Uchida, H.Shoji, K.Nakajima, H.Ishikawa :"Lasing at 1.3 μm in Strained Quantum Well Lasers on InGaAs Ternary Substrates", Conf. Dig. 1998 IEEE 16th International Semiconductor Laser Conference, Nara, MC5, pp. 27-28.

【D-98-025】 大坪孝二, K.Otsubo, Y.Nishijima, H.Ishikawa :"Long-Wavelength Semiconductor Lasers on InGaAs Ternary Substrates with Excellent Temperature Characteristics",Fujitsu Sci. Tech. J., vol. 34, No. 2, pp. 212-222 (1998).

【D-98-136】 大坪孝二,K.Otsubo, Y.Nishijima, T.Uchida, H.Shoji, K.Nakajima, H.Ishikawa, "1.3μm InGaAs/InAlGaAs Strained Quantum Well Lasers on InGaAs Ternary Substrates", accepted for publication to Jpn.J.Appl.Phys.(1999).

・9 年度

【D-97-048】 光インターコネクション富士通研究室 執筆者 :大坪孝二, K.Otsubo, H.Shoji, T.Kusunoki, T.Suzuki, T.Uchida, Y.Nishijima, K.Nakajia, and H.Ishikawa, "Low Threshold and Record High T0(140K) Long Wavelength Strained Quantum Well Lasers on InG As Ternary Substrates", Extd. Abs. 1997 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM '97), Hamamatsu, C-4-6(LN), pp.556-557 (1997).

【D-97-06】 光インターコネクション富士通研究室 執筆者 :大坪孝二, K.Otsubo, H.Shoji, T.Kusunoki, T.Suzuki, T.Uchida, Y.Nishijima, K. Nakajima, and H. Ishikawa, "High T0(140 K) and Low-Threshold Long-Wavelength Strained Quantum Well Lasers on InGaAs Ternary Substrates", Electron. Lett. vol.33, no.21, pp.1795-1797 (1997)

【D-97-097】 光インターコネクション富士通研究室 執筆者 :大坪孝二, K.Otsubo, H.Shoji, T.Kusunoki, T.Suzuki, T.Uchida, Y.Nishijima, K.Nakajima, and

H.Ishikawa, "High Temperature (210℃) Operation of Long Wavelength Strained Quantum Well Lasers on InGaAs Ternary Substrates", 1998 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO '98), San Francisco, California CWL1.

(ｸ)その他論文リスト(口頭を含む)

・13 年度

【D-01-028】 大坪孝二、関根徳彦、菅原充、鳥羽伸明," InGaAs 3元基板上の 1.3μm 帯半導体レーザ ～光インターコネクション用低電圧動作面発光レμm 帯半導体レーザに向けて～ 、interOpto2001

・12 年度

【D-00-022】 大坪孝二、関根徳彦、西嶋由人、青木修、倉又朗人、石川浩："InGaAs3元基板上 1.3μm 帯歪量子井戸レーザの低しきい値電流密度発振"、2000 年 (平成 12 年)秋季第 61 回応用物理学会学術講演会、6p-R-13 (2000).

【D-00-106】 大坪孝二、関根徳彦、西嶋由人、青木修、倉又朗人、菅原充、石川浩："InGaAs3 元基板上低しきい値 1.3μm レーザ"、レーザ・量子エレクトロニクス研究会、(2001)

・11 年度

【D-99-037】 光インターコネクション富士通研究室 執筆者：石川浩、"新材料技術による1.3μm 帯の温度特性の優れた半導体レーザ"、雑誌 FUJITSU vol.50、 No.4、 pp.259-265 (1999).

・ 10 年度

【D-98-033】 大坪孝二、大坪、小路、内田、石川："光インターコネクション用低電圧動作面型レーザのための歪量子井戸の作製"、The International Optoelectronics Exhibition '98(InterOpto '98) (幕張メッセ) ポスター展示

【D-98-043】 大坪孝二、大坪、西嶋、内田、小路、中嶋、石川："InGaAs 3元基板上歪量子井戸レーザの 1.3μm 発振"、1998 年秋期第 59 回応用物理学会学術講演会 (広島大学)、15a-A-6(1998).

【D-98-163】 大坪孝二、西嶋由人、内田徹、小路元、石川浩："InGaAs 3元基板を用いた 1.3μm 帯歪量子井戸レーザ"、 電子情報通信学会技術研究報告 (レーザ・量子エレクトロニクス)、LQE98-150.

・9 年度

【D-97-033】 光インターコネクション富士通研究室 執筆者：大坪孝二、大坪、小路、楠木、鈴木、内田、西嶋、中嶋、石川、"InGaAs 3元基板上の低しきい値、高 T0 (140K) 長波長帯歪量子井戸レーザの実現"、1997 年秋期第 58 回応用物理学会学術講演会 (秋田大学)、2p-ZC-1 (1997)

【D-97-072】 光インターコネクション富士通研究室 執筆者：(新聞発表)、"新しい半導体基板を用いて温度特性の優れた長波長帯の半導体レーザの実現に成功"、 日経産業新聞、1997 年 10 月 23 日.

【D-97-117】 光インターコネクション富士通研究室 執筆者：大坪孝二、大坪孝二、小路元、楠木敏弘、鈴木貴志、内田徹、西嶋由人、中嶋一雄、石川浩、"InGaAs 3元基板上長波長帯歪量子井戸レーザの高温(210℃)動作"、1998 年 (平成 10 年)春期第 45 回応用物理学関係連合講演会、30p-ZH-7.

【D-97-147】　光インターコネクション富士通研究室　執筆者：大坪孝二、K.Otsubo, H.Shoji, T.Kusunoki, T.Suzuki, T.Uchida, Y.Nishijima, K.Nakajima, and H.Ishikawa, "Lasing at 210℃ in Long Wavelength Strained Quantum Well Lasers on InGaAs Ternary Substrates", 第 15 回半導体レーザシンポジウム (東京工業大学、1998), 7.

(6)特許出願リスト

・13 年度

RWC 整理番号　2001D-009
発明考案の名称　SEMICONDUCTOR DEVICE AND MANUFACTURING METHOD THEREOF
出願日　平 13.9.27
発明者　関根　徳彦
出願人　富士通株式会社
(概要)
異なる種類の半導体をウエハ接着で接合する際に、温度条件を選定することによって中間にアモルファス層を形成する。このアモルファス層の存在により、接合した半導体の ヘテロ障壁がなだらかになって電流が流れやすくなる。

RWC 整理番号　2001D-012
発明考案の名称　SURFACE EMITTING SEMICONDUCTOR LASER DEVICE CAPABLE OF IMPROVING HEAT RADIATION EFFICIENCY AND ITS MANUFACTURE METHOD
出願日　平 13.10.18
発明者　大坪　孝二
出願人　富士通株式会社
状況
(概要)
半導体基板上に第一半導体が酸化された層と第二半導体層からなる下部 DBR ミラーと、半導体基板と格子定数が異なる、第一半導体の酸化によって歪が緩和された歪緩和層と、歪緩和層の格子定数を元に形成された、活性層を含む共振器構造と、上部 DBR ミラーで構成される面発光半導体レーザとその製造方法。

・12 年度

RWC 整理番号　2000D-003
発明考案の名称　半導体レーザ装置
発明者　大坪　孝二
出願人　富士通株式会社
分類番号　H01S3/18
状況　出願済
出願日　平 12.7.26.
出願番号　2000-225809
(概要)
GaAs より大きい格子定数を持つ半導体基板上に Al 組成が 0.51 以下の層をレーザのクラッド層や DBR ミラーの低屈折率層に用いることにより、Al を多く含む半導体レーザで問題となっている

信頼性を向上させる。

RWC 整理番号　2000D-004
発明考案の名称　温度無依存分布ブラッグ反射型ミラー及び面型光素子
発明者　　大坪　孝二
出願人　　富士通株式会社
分類番号　　H01S3/18
状況　　出願済
出願日　　平 12.9.1.
出願番号　　2000-265065
（概要）
分布ブラッグ反射型ミラーの多層構造を屈折率の温度係数が正の材料（半導体等）と負の材料（半金属等）で構成して多層膜 1ペア分の光学長さが、温度によって変化しないようにすることによって、反射率の温度依存性を無くす 。

RWC 整理番号　2000D-0011
発明考案の名称　半導体装置及びその製造方法
発明者　　関根　徳彦
出願人　　富士通株式会社
分類番号　　H01S3/18
状況　　出願済
出願日　　平 12.12.15.
出願番号　　2000-382697
（概要）
異なる種類の半導体をウエハ接着で接合する際に、温度条件を選定することによって中間にアモルファス層を形成する。このアモルファス層の存在により、接合した半導体の ヘテロ障壁がなだらかになって電流が流れやすくなる。

RWC 整理番号　2000D-014
発明考案の名称　面発光半導体レーザ及びその製造方法
発明者　　大坪　孝二
出願日　　平 13.1.17.
出願番号　　2001-009003
出願人　　富士通株式会社
分類番号　　H01S3/18
状況　　出願済
（概要）
半導体基板上に第一半導体が酸化された層と第二半導体層からなる下部DBR ミラーと、半導体基板と格子定数が異なる、第一半導体の酸化によって歪が緩和された歪緩和層と、歪緩和層の格子定数を元に形成された、活性層を含む共振器構造と、上部DBR ミラーで構成される面発光半導体レーザとその製造方法。

・11 年度
RWC 整理番号　99D-006
発明考の名称　面発光レーザ及びその製造方法

発明者　　大坪孝二
出願日　　平 11.8.25
出願番号　　11-237904
出願人　　富士通株式会社、新情報処理開発機構
（概要）
面発光レーザ及びその製造方法に関し、高利得の活性層と高反射率の DBR ミラーを有する面発光レーザを、より少ない工程数で製造する。半導体 DBR ミラーを含む構造と活性層を含む構造を接着すると同時に酸化膜電流狭窄構造を形成する。

・10 年度
　なし
・9 年度
　なし

(4)著作物リスト

・13 年度
　なし
・12 年度
　なし
・11 年度
　なし
・10 年度
　なし
・9 年度
　なし

B-1-10. 低消費電力光インターコネクション（光インターコネクション NEC 研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【D-00-136】 T. Anan, M. Yamada, K. Nishi, K. Kurihara, K. Tokutome, A. Kamei and S. Sugou, " Continuous-wave operation of 1.30-μm GaAsSb/GaAs VCSELs " Electron. Lett., Vol.37, No.9 pp.566-567, 2001.

【D-01-022】 K. Nishi, T. Anan, M. Yamada, K. Kurihara, S. Sugou, K. Tokutome, and A. Kamei, " GaAsSb/GaAs 1.3-μm VCSEL for 10G-Ethernet " LEOS 2001 Summer Topical Meeting, ThS1 pp.848-849, 2001.

【D-01-044】 M. Yamada, T. Anan, K. Kurihara, K. Nishi, S. Sugou, K. Tokutome, and Kamei, "High-performance 1.3-μm VCSELs with GaAsSb/GaAs quantum wells " LEOS 2001 14th annual meetings. 2001.

【D-01-046】 T. Yoshikawa, I. Hatakeyama, K. Miyoshi, K. Kurata, J. Sasaki, N. Kami, T. Sugimoto, M. Fukaishi, K. Nakamura, K. Tanaka, H. Nishi, and T. Kudoh, "Optical-Interconnection as an IP Macro of a CMOS Library" Hot Interconnects 9. 2001.

・12 年度

【D-99-234】 M. Yamada, T. Anan, K. Nishi, S. Sugou, K. Tokutome, and A. Kamei: "Low-threshold operation of 1.3-μm GaAsSb quantum-well lasers directly grown on GaAs substrates" Photonics Technol. Lett., Vol.12, pp. 774-776, 2000.

【D-00-045】 T. Anan, K. Nishi, M. Yamada, K. Kurihara, S. Sugou, K. Tokutome, and A. Kamei: "GaAsSb alloys for long-wavelength lasers "LEOS 2000 13th annual meetings. pp. 848-849 2000.

【D-00-075】 菅生繁男、阿南隆由、山田みつき、栗原香、西研一、徳留圭一、亀井明夫：”GaAsSb 長波長面発光レーザ”、学術振興会光電相互変換 125 委員会　本委員会 170 回研究会、2000.

【D-00-108】 T. Anan, M. Yamada, K. Nishi, K. Kurihara, S. Sugou, K. Tokutome, and A. Kamei: “Continuous-wave operation of 1.27-μm GaAsSb/GaAs VCSELs”, CLEO/PR 2001.

・11 年度

【D-98-139】 H.Saito, K.Nishi and S.Sugou: "High-uniform InAs quantum dots with temperature-insensitive photoluminescence linewidth for long-wavelength optICaLDevICes" OSA topICal meeting, Colorado, QMD4-1, pp. 49-51, 1999.

【D-98-188】 T.Anan, M.Yamada, K.Tokutome, S.Sugou, K.Nishi, and A.Kamei: "RooMTeperature pulsed operatI/On of GaAsSb/GaAs VCSELs "Electron, Lett., Vol.35, pp.903-904, 1999.

【D-98-200】 K.Nishi, H.Saito, and S.Sugou: "Temperature-insensitive luminescence linewidth from highly-uniform strain-reduced InAs quantum dots "

IEEE/LEOS Summer TopICal Meetings, San Diego, Nanostructures and Quantum Dots, pp.25-26, 1999.

【D-98-202】 T.Anan, M.Yamada, K.Tokutome, S.Sugou, K.Nishi, and A.Kamei: "RooMTemperature pulsed operatI/On of GaAsSb/GaAs VCSELs"Electron,Lett.,Vol.35,pp.903-904,1999.

【D-99-021】 K.Nishi, T.Anan, and S.Sugou: "GaAsSb quantum well for 1.3μm VCSEL applICatI/On" IEEE/LEOS Summer TopICal Meetings, San Diego, VCSELs and MICrocavities, pp. 3-40, 1999.

【D-99-042】 S.Sugou, T.Anan, M.Yamada and K.Nishi: "GaAsSb/GaAs new materials for long-wavelength VCSELs applICatI/On" InternatI/Onal symposium on compound semIConductors, Berlin,ThI-1, 1999.

【D-99-076】 H.Saito, K.Nishi, Y.Sugimoto and S.Sugou: "Low-threshoLD lasing from high-density InAs quantum dots of uniform size" Electron. Lett., Vol.35, No.18, pp.1561-1563, 1999.

【D-99-159】 S.Sugou, T.Yoshikawa, T.Anan, K.Nishi, M.Yamada, H.Saito and K.Kurihara: "GaAsSb long-wavelength VCSELANd optICal interface MACro for system LSI" RWC2000, DP/P-14, pp.101-106,2000.

【D-99-188】 T.Anan, M.Yamada, K.Kurihara, K.Nishi, S.Sugou, K.Tokutome and A. Kamei: "GaAsSb-based long-wavelength VCSELs" InternatI/Onal symposium on ultra-parallel optoelectronICs, Kanagawa, E-3, pp.51-52, 2000.

【D-99-206】 M.Yamada,T.Anan,K.Kurihara,K.Nishi,K.Tokutome,A.Kamei, and S.Sugou: "RooMTemperature low-threshoLD CW operatI/On of 1.23-mm GaAsSb VCSELs on GaAs substrates" Electron, Lett..

・10 年度

【D-98-086】 T.Anan, K.Nishi, S.Sugou, M.Yamada, K.Tokutome and A. Gomyo, "GaAsSb: A novel material for 1.3μm VCSELs" B. Electron.Lett., Vol. 34,No. 22, pp.2127-2129, 1998.

【D-97-161】 S.Sugou, T.Anan, K.Nishi, T.Yoshikawa, H.Saito and K.Kasahara,"New materials for 1.3μm smart pixels" IEEE/LEOS Summer Topical Meetings, Monterey, Smart Pixels, pp. 9-10, 1998.

【D-98-045】 M.Yamada,T.Anan,K.Nishi,K.Tokutome,A.Gomyo and S.Sugou, "Low-threshold lasing at 1.3μm from GaAsSb quantum wells directly grown on GaAs substrates" LEOS'98 11th annual meeting, Florida, Vol. 1, WA3, pp.147-148, 1998.

【D-98-133】 M.Yamada, T.Anan, K.Nishi, S.Sugou, K.Kasahara, K.Tokutome and A.Kamei, "Room-temperature pulsed operation of long-wavelength vertical-cavity surface-emitting lasers with GaAsSb quantum wells" LEOS'98 11th annual meeting, Florida, PD1.2, 1998.

【D-97-166】 T.Yoshikawa and H.Matsuoka, "Calibration-free parallel optical interconnection subsystem implemented by a gigabyte per second array optical transceiver and a one-chip-link LSI,Optics in Computing(OC'98), Bruges, pp.524,1 998.

【D-97-109】 T.Yoshikawa, H.Matsuoka, "Optical Interconnection Subsystem in Parallel Processing Machine RWC-1", pp.777, G10, Progress in

Electromagnetics Research Symposium (PIERS 98), Nantes, Proceedings volume 2,1998.

【D-98-077】 T.Yoshikawa,"Skewless MMF-parallel Optical Interconnection of The Parallel Machine RWC-1", SPIE Optoelectrical Interconnects VI in Photonic West '99, San Jose, 1999.

・9 年度

【D-97-104】 阿南他："Novel GaAsSb quantum well for 1.3 μm lasers on GaAs substrate", IEEE LEOS'97 PDP1.4 ,1997.

【D-96-045】 吉川他："Skewless Optical Data-Link Subsystem for Massively Parallel Processors Using 8 x 1.1Gb/s MMF Array Optical Module",IEEE Photonics Technology Letters 9, pp. 1625-1627, 1997.

【D-97-014】 吉川他："Paralle Optical Interconnection for Massively Parallel Processor RWC-1", The 4th International Conferemce on Massively Paralle Processing Using Optical Interconnections (MPPOI'97) pp.4-9, Montreal, 1997.

ｲ)その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

【D-01-003】 栗原 香、西 研一、阿南 隆由、山田 みつき、菅生 繁男："VCSEL arrays for the JOP project and recent developments"、JOP participants review seminar 2001/4/20.

【D-01-023】 山田 みつき、阿南 隆由、栗原 香、西 研一、菅生 繁男、徳留 圭一、亀井 明夫："1.295μm GaAsSb/GaAs 面発光レーザの CW 発振"、第 62 回 秋季応用物理学会, 2001/9/11.

【D-01-026】 菅生 繁男、阿南 隆由、吉川 隆士："システム LSI 向け光 IP 及び長波 VCSEL"インターオプト2001 2001/7/16.

【D-01-063】 菅生 繁男、栗原 香、西 研一、阿南 隆由、山田 みつき："JOP 向け VCSEL アレイと最近の進展"、JOP 報告会.

・12 年度

【D-00-034】 菅生繁男："次世代光 LAN 用長波長面発光レーザ"、オプトロニクス、Vol.8、118-123.

【D-00-070】 阿南隆由、山田みつき、栗原香、西研一、吉川隆士、菅生繁男、徳留圭一、亀井明夫："GaAsSb を用いた 1.3μm 面発光レーザの開発"、第 3 回 OEIC・光インターコネクション技振懇談会、2000.

・11 年度

【D-99-040】 斎藤英彰、西研一、菅生繁男："高均一・高密度量子ドットによる低しきい値レーザ発振実現"、1999 年秋季応用物理学会

【D-99-046】 栗原香、西研一、菅生繁男："1.24μm 発光 GaAsSb 量子井戸の MOVPE 成長"、1999 年秋季応用物理学会.

【D-99-200】 山田みつき、阿南隆由、栗原香、西研一、徳留圭一、亀井明夫、菅生繁男："GaAs 基板上 GaAsSb 長波面発光レーザの室温 CW 発振"、2000 年春季応用物理学会.

【D-99-214】 山田みつき、阿南隆由、栗原香、西研一、徳留圭一、亀井明夫、菅生繁男："GaAsSb 系面発光レーザ"、レーザ・量子エレクトロニクス研究会（LQE）2000.

・10 年度

【D-98-044】 徳留圭一、阿南隆由、西研一、菅生繁男、"GaAs 基板上 1.3μm発光 GaAsSb 量子井戸の高品質化"、1998 年秋季応用物理学会

【D-98-046】 山田みつき、阿南隆由、徳留圭一、西研一、菅生繁男、"GaAs 基板上 GaAsSb 量子井戸レーザの 1.3μm帯低閾値発振"、1998 年秋季応用物理学会

【D-98-052】 菅生繁男、阿南隆由、山田みつき、徳留圭一、西研一、"GaAsSb 系長波長半導体レーザ"、1998 年秋季電子通信学会

【D-98-146】 菅生繁男、阿南隆由、西研一、山田みつき、徳留圭一、"GaAsSb 系長波面発光レーザ"、応用電子物性分科会誌、第 5 巻、第1号 pp.16-20、1999.

【D-98-166】 阿南隆由、山田みつき、徳留圭一、亀井明夫、西研一、菅生繁男、"GaAsSb/GaAs 系長波 VCSEL"、レーザ・量子エレクトロニクス研究会（LQE）1999.

【D-98-153】 山田みつき、阿南隆由、徳留圭一、亀井明夫、西研一、菅生繁男、"GaAs 基板上 GaAsSb 長波面発光レーザの室温パルス発振"、1999 年春季応用物理学会

【D-98-154】 斎藤英彰、西研一、菅生繁男、"量子ドットの PL 半値幅温度無依存性"、1999 年春季応用物理学会

【D-98-152】 阿南隆由、徳留圭一、山田みつき、西研一、菅生繁男、"GaAsSb/GaAs 系の伝導帯バンド不連続値の同定"、1999 年春季応用物理学会

【D-98-048】 吉川隆士、松岡浩司、"超並列計算機 RWC-1 の PE 間スキューレス光並列接続"、1998 年秋季電子情報通信学会ソサイエティ大会

・9 年度

【D-97-034】 吉川他："Gbyte クラス skewless 並列光インターコネクション(2)"、H9 年秋季電子通信情報学会、1997

【D-97-078】 阿南他："BGaInAs の MBE 成長"、第 58 回応用物理学会学術講演会、1997、3aST-32. 1997

【D-97-124】 阿南他："GaAs 基板上 GaAsSb 量子井戸による 1.3mm 発光"、第 45 回応用物理学関係連合講演会、1998、29pZM-10. 、1998.

【D-97-126】 阿南他："GaAsSb/GaAs 系 1.3mm 帯レーザの室温パルス発振"、第 45 回応用物理学関係連合講演会、1998、29pZH-14. 、1998

(6)特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度
なし

⑷著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

B-1-11. 高密度光バス（光インターコネクション沖研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

なし

・12 年度

【D-00-097】 高森毅，佐々木浩紀，和田浩，上條健："平板光学基板と光素子集積型LSIとを用いたチップ間光インターコネクション"，電子情報通信学会和文論文誌C, pp.784-792, 2001.

・11 年度

【D-98-107】 和田浩、佐々木浩紀、上條健："Wafer bonding technology for optoelectronic integrated devices", Solid State Electronics, vol. 43, pp.1655-1663,1999.

【D-98-141】 佐々木浩紀、和田浩、上條健："Scalability analysis of photonic circuit consisting of planar optical elements for inter-chip interconnection", in Technical Digest of Optics in Computing, pp.139-141(1999).

【D-98-175】 佐々木浩紀、和田浩、上條健、小谷恭子："INTER-CHIP FREE-SPACE OPTICAL INTERCONNECTION CONSISTING OF DIFFRACTIVE OPTICAL ELEMENTS", Paper MB3,pp.34-37, 7th Microoptics Conference (1999).

【D-99-028】 和田浩、佐々木浩紀、上條健：「LSI チップ間光配線のための光電子集積化技術」、光インターコネクト情報処理研究会/電子情報通信学会、1999.

【D-99-057】 佐々木浩紀、和田浩、高森毅、牛窪孝、小谷恭子：「チップ間光配線用平板光学素子光回路」、エレクトロニクス実装学会誌、Vol.2、No.5、pp.361-367 (1999)

【D-99-104】 佐々木浩紀、和田浩、高森毅、牛窪孝、小谷恭子：「光学基板によるチップ間自由空間光配線」、応用物理学会誌、Vol.69、No.1、 pp.52-56(2000).

【D-99-169】 佐々木浩紀、和田浩、高森毅、牛窪孝、小谷恭子："Scalability analysis of diffractive optical element-based free-space photonic circuits for inter-optoelectronic chip", submitted to Applied Optics

・10 年度

【D-97-121】 和田浩、佐々木浩紀、上條健："InP light emitting diodes on Si substrates integrated with back-surface diffractive lenses", 10th International conference on InP & Related Materials (IPRM99), Technical Proceedings, pp. 239-242, 1998.

【D-98-049】 和田浩、佐々木浩紀、上條健："Wafer bonding technology for optoelectronic integrated devices"(Invited),Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics for Information System Applications (TWHM-ISA'98), Abstracts,pp.102-103,1998.

【D-98-107】 和田浩、佐々木浩紀、上條健："Wafer bonding technology for optoelectronic integrated devices",Solid State Electronics, March, 1999 (to be published).

【D-98-126】 和田浩、上條健："チップ間光配線のための光電子集積化技術 "，ハイ

ブリッド光集積・実装技術研究会論文集, vol.98, No.1, pp.13-18, 1998.

【D-98-141】 佐々木浩紀、和田浩、上條健："Calability analysis of photonic circuit consisting of planar optical elements for inter-chip interconnection", accepted for presentation at OC'99 (1999).

・9 年度

【D-96-072】 光沖　佐々木浩紀、篠崎啓助、上條健："Computer-aided design environment of diffractive optical elements for free-space optical interconnections", CLEO / Pacific Rim '97, Conference Proceedings, Paper P91,pp.206-207,1997.

【D-96-075】 光沖　和田浩、高森毅、上條健："Photo-pumped operation of InGaAsP vertical-cavity lasers on Si fabricated by wafer bonding",9th International Conf. on InP & Related, Conference Proceedings, pp.40-43,1997.

【D-96-076】 光沖　和田浩、上條健："1.3-μm InP/InGaAsP lasers fabricated on Si subsstrates by direct wafer bonding", IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron.3,pp.937-942,1997.

【D-97-004】 光沖　和田浩、上條健："Wafer bonding of InP to Si for optoelectronic integration", Trends in Optics & Photonics Vol.14 (Optical Society of America),pp.58-64,1997.

【D-97-025】 光沖　和田浩、上條健："Wafer bonding technology for optoelectronic integration (Invited)", IEEE LEOS Annual Meetings, Proceeding Vol.2, p.32-33,1997.

【D-97-045】 光沖　和田浩、上條健："Wafer bonding of InP to Si and its application to optical devices (Invited)", Solid State Devices & Materials (SSDM97), Extended Abstract, p.54-55,1997.

【D-97-086】 光沖　和田浩、上條健："Wafer bonding of InP to Si and its application to optical devices", Jpn.J. Appl. Phys Vol.37, No.3, 1998 (to be published).

ｲ)その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

【D-01-039】高森毅："自由空間を用いたボード内光インターコネクション（招待講演）", 電子情報通信学会　光通信システム研究会（OCS），電子情報通信学会技術研究報告, OCS2001-1～9, 2001.

【D-01-040】高森毅，佐々木浩紀，和田浩，澁谷佳樹，長井清，牛窪孝，上條　健："平板光学基板と光素子集積型 LSI とを用いたチップ間光インターコネクション"，インターオプト2001, 2001.

【D-01-041】高森毅："(invited paper)Inter-Chip Optical Interconnection Using Optoelectronic Integration and Binary Optics)", Proceedings of The 5th World Multi-Conference on Systems, Cybernetics and Informatics Volume V, pp.363-368, 2001.

【D-01-042】高森毅："DOE を用いたボード内光インターコネクション技術（招待講演）", 第 26 回光学シンポジウム 光学技術・学術講演会）講演予稿集, pp.69-72, 2001.

【D-01-054】高森毅："チップ間自由空間光配線（招待講演）", 光産業技術振興協会 OEIC・光インターコネクション技術懇談会，第 3 回 OEIC・光インターコネクション技術懇談会資料, 2001.

【D-01-075】高森毅:″自由空間を用いたボード内光インターコネクション(招待講演)″, 電子情報通信学会　有機エレクトロニクス材料研究会, 信学技報 OME2001-89(2001-10), pp. 13-17, 2001.

・12 年度

【D-00-041】　高森毅、和田浩、澁谷佳樹、佐々木浩紀:" 高密度光バス"、InterOpto2000 展示会(2000)

【D-00-048】　佐々木浩紀、上川真弘、小谷恭子、和田浩、高森毅:"チップ間自由空間光配線の現状と課題"、極限構造電子物性第 151 委員会、超集積化デバイス・システム第 165 委員会合同研究会資料(日本学術振興会)、pp.120-127(2000)

【D-00-097】　高森毅、和田浩佐々木浩紀、上條健:" 平板光学基板と光素子集積型 LSI とを用いたチップ間光インターコネクション"、電子情報通信学会和文論文誌 C(2001)

・11 年度

【D-98-143】　佐々木浩紀、和田浩、上條健、小林正男:「平板光学素子を用いたチップ間光配線」、第13回エレクトロニクス実装学術講演大会講演論文集、(社)エレクトロニクス実装学会、p.39(1999).

【D-99-036】　和田浩:「室温大気中接着した Si-InP 光デバイス」、薄膜第 131 委員会研究会、日本学術振興会、1999.

【D-99-056】　和田浩、渋谷佳樹、佐々木浩紀:「高密度光バス技術 -装置間・装置内光インターコネクション-」、InterOpto'99 展示会、1999.

【D-99-099】　佐々木浩紀、和田浩、高森毅、牛窪孝、小谷恭子:「回折光学素子を用いたチップ間光配線用光回路」、MES'99 第 9 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム、 pp.109-112 (1999).

【D-99-100】　佐々木浩紀、和田浩、高森毅、牛窪孝、小谷恭子:「平板光学素子を用いた平面実装型チップ間自由空間光配線」、電子情報通信学会技術研究報告 Vol.EMD 99、 No.30、 pp.43-48 (1999).

【D-99-101】　和田浩、佐々木浩紀:「チップ間光配線について」、フランス大使館化学技術部によるインタビュー、1999.

【D-99-168】　佐々木浩紀、和田浩、高森毅、牛窪孝、小谷恭子:「回折光学素子を用いたチップ間光配線用光回路」、関西ワークショップ 99(エレクトロニクス実装学会)、p.13(1999).

【D-99-175】　牛窪孝、渋谷佳樹、長井清、和田浩、佐々木浩紀、高森毅、上条健:「High-denshity Optical Bus」、RWC2000 シンポジウム、pp.89-94、2000.

【D-99-177】　佐々木浩紀、和田浩、高森毅、牛窪孝、小谷恭子:「チップ間光配線用回折光学素子光回路」、エレクトロニクス実装技術、 Vol.16, No.1、pp.50-55 (2000).

【D-99-191】　佐々木浩紀、和田浩、高森毅、牛窪孝、小谷恭子: "Diffractive optical element-based photonic circuit for inter-chip free-space optical interconnects", International Symposium on Ultra-Parallel Optoelectronics (The 30th Precision & Intelligence Laboratory Symposium), pp.117-118 (2000).

・10 年度

なし

・9 年度

なし

(3) 特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

RWC 整理番号　98D-005
発明考案の名称　光配線用光学装置
発明者　佐々木浩紀
出願日　平 10.12.22.
出願番号　10-363638
出願人　沖電気工業株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
（概要）
光配線用の回折光学素子の最小線幅要求を緩和し、より偏向角度を大きくとり、また配線距離を長くとることができる、光配線用光回路の設計方法。

・9 年度

RWC 整理番号　97D-001
発明者　佐々木浩紀、篠崎啓助
名称　回折光学素子の製造方法
出願日　平成 9 年 4 月 17 日
出願番号　09-115272
出願人　沖電気工業株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
（概要）
光配線用の、結像レンズ、プリズム、コリメータ、集光レンズの各機能を有する回折光学素子の前後の空間の屈折率を明示的に含んだ場合の設計方法.

RWC 整理番号　97D-002
発明者　佐々木浩紀、篠崎啓助
名称　自由空間光配線用光学レンズ装置
出願日　平成 9 年 7 月 10 日
出願番号　09-200836
出願人　沖電気工業株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
（概要）
光配線光学系において、単一リレーレンズを挿入することによりアライメントトレランスを緩和した。

RWC 整理番号　97D-007
発明者　佐々木浩紀
名称　自由空間光配線用光学装置
出願日　平成 9 年 8 月 29 日

出願番号　　09-249612
出願人　　沖電気工業株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
（概要）
光配線光学系において、リレーレンズ群を複数カスケードする事により、配線長を伸ばすことを特徴とする。

RWC 整理番号　97D-008
発明者　　佐々木浩紀
名称　　自由空間光配線用光学装置
出願日　　平成 9 年 8 月 29 日
出願番号　　09-249613
出願人　　沖電気工業株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
（概要）
光配線光学系において、屈折率の異なる光導波基板をスタックする事により、配線長を伸ばすことを特徴とする。

RWC 整理番号　97D-011
発明者　　佐々木浩紀
名称　　自由空間光配線用光学レンズ装置及びその製造方法
出願日　　平成 9 年 9 月 16 日
出願番号　　09-269251
出願人　　沖電気工業株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
（概要）
自由空間光配線用光学系において、光源のビームウェストを適宜コントロールすることで、アライメントトレランスを改善したことを特徴とする.

RWC 整理番号　98D-005
発明者　　佐々木浩紀
名称　　自由空間光配線用光学装置
出願日　　平成 10 年 12 月 22 日
出願番号　　特願平 10-363638
出願人　　沖電気工業株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
（概要）
ハイブリッド光学系を用いた光配線光学系において、光源、受光器とそれらを配置する基板の裏面にコリメート、あるいは集光用の回折光学素子を一体化して作製したことを特徴とする。
RWC 整理番号　97D-023
発明者　　佐々木浩紀
名称　　反射型回折光学素子の製造方法
出願日　　平成 10 年 2 月 4 日
出願番号　　特願平 10-38104
出願人　　沖電気工業株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
（概要）
反射型の回折光学素子の設計、作製方法を開示する。

RWC 整理番号　97D-022
発明者　佐々木浩紀
名称　反射型 CGH 素子のためのマスク判定方法
出願日　平成 10 年 2 月 4 日
出願番号　特願平 10-38103
出願人　沖電気工業株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
（概要）
反射型の回折光学素子の作製時に必須となる、最小線幅を解析的に求める決定方法を開示する。

RWC 整理番号　97D-021
発明者　佐々木浩紀
名称　ガウス光束用反射型回折光学素子の製造方法
出願日　平成 10 年 2 月 4 日
出願番号　特願平 10-38102
出願人　沖電気工業株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
（概要）
ガウス光束に特化した、反射型回折光学素子の設計方法と、その最小線幅の決定方法を開示する。

(4)著作物リスト

- 13 年度
  なし
- 12 年度
  なし
- 11 年度
  なし
- 10 年度
  なし
- 9 年度
  なし

B-1-12. 波長多重型光 LAN 光インターコネクション住電研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【D-01-056】Junichi Hashimoto, Takashi Kato, Hiromi Nakanishi, Kazunori Yoshida, Goro Sasaki, Akira Yamaguchi, Tsukuru Katsuyama, Naoyuki Yamabayashi: "Coaxial Fiber-Bragg-grating External-Cavity Semiconductor Laser Module without Temperature Control ", 27th ECOC 2001 Proceedings vol.2, 130(2001)

・12 年度

【D-00-035】 J. Hashimoto, T. Takagi, T. Kato, G. Sasaki, M. Shigehara, K. Murashima, M. Shiozaki, T. Iwashima, "25GHz-Spacing DWDM Transmission Using Directly Modulated Fiber-Grating Lasers", 26th ECOC 2000 Proceedings vol.2, 59(2000)

・11 年度

なし

・10 年度

【D-98-031】 T.Takagi,T.Kato,G.Sasaki,A.Miki,S.Inano,K.Iwai,A.Hamakawa: "Fiber-Grating External-Cavity Laser Diode Module For 2.5Gb/s Dense WDM Transmission", ECOC '98、1998

【D-98-115】 T.Kato,T.Takagi,A.Hamakawa,K.Iwai,G.Sasaki,:"Fiber-Grating Semiconductor Laser Modules for Dense-WDM Systems",IEICE 英文雑誌'98、1998

・9 年度

【D-97-049】 光インターコネクション住電研究室, T.Takagi, T.Kato, G.Sasaki,: "Laser diode array module for parallel optical interconnection", LEOS '97、1997

【D-97-165】 光インターコネクション住電研究室, T.Hattori, S.Semura, A.Hamakawa, H.Kobayashi, T.Kato, G.Sasaki, N.Akasaka: "Fabrication of a Fiber-Grating External-Cavity-Laser with an angled facet", Third Optoelectronics and Communications Conference, 1998, (submitted)

(2)その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

【D-01-069】 加藤隆志、橋本順一、佐々木吾朗："WDM 伝送用ファイバグレーティングレーザ"、InterOpto2001、幕張メッセ

【D-01-070】 橋本順一、加藤隆志、中西裕美、吉田和宣、佐々木吾朗、山口章、勝山造、山林直之："無温調同軸型ファイバブラッググレーティング外部共振器半導体レーザ", PS 研究会, 2002 年 1 月

・12 年度

【D-00-009】 橋本順一、高木敏男、佐々木吾朗、茂原政一、村嶋清孝、塩崎学、岩島徹："直接変調ファイバグレーティングレーザ（FGL）を用いた周波数間隔 25GHz での DWDM 伝送"、信学技報、Vol.100、No.92、41 (2000)

【D-00-032】 加藤隆志："波長多重伝送用ファイバグレーティングレーザ"、InterOpto2000、幕張メッセ

【D-00-036】 高木敏男、加藤隆志、佐々木吾朗、橋本順一："WDM 光 LAN 用 FGL"、

Optronics No.224、124 (2000)

【D-00-096】 橋本順一、高木敏男、佐々木吾朗、茂原政一、村嶋清孝、塩崎学、岩島徹：”直接変調ファイバグレーティングレーザ（FGL）を用いたチャンネル間隔12.5GHz及び25GHzでのDWDM伝送”、信学技報、Vol.100、No.587、37 (2001)

・11 年度

【D-99-050】 加藤隆志、高木敏男、佐々木吾朗："波長多重伝送用ファイバグレーティング半導体レーザ"、インターオプト99（パネル展示）、1999 年 7 月 13 日-7 月 16 日

【D-99-157】 加藤隆志、高木敏男、佐々木吾朗、橋本順一："Fiber-Grating Laser Module for WDM Systems", RWC2000（都市センター会館）、2000 年 1 月 19 日

・10 年度

なし

・9 年度

【D-97-050】 光インターコネクション住電研究室、高木敏男、加藤隆志、佐々木吾朗："8ＣＨ並列光送信モジュール"、電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエテイ大会(C-3-93)、1997 年 9 月 3 日-9 月 6 日

【D-98-132】 光インターコネクション住電研究室、服部哲也、瀬村滋、浜川篤志、小林秀俊、加藤隆志、佐々木吾朗、赤坂伸宏："斜め端面を有するファイバグレーティングレーザ用半導体アンプの作製と評価"、電子情報通信学会総合大会（C-3-139）、1998 年 3 月 27 日-3 月 30 日

【D-97-139】 光インターコネクション住電研究室、高城政治、塩崎学、加藤隆志、佐々木吾朗："ファイバグレーティングを用いた外部共振器レーザの数値解析"、光通信システム研究会、1998 年 3 月 19 日

(6)特許出願リスト

・13 年度

RWC 整理番号	2001D-008
発明考案の名称	Wavelength Division Multiplexed Optical Interconnection Device
出願日	H13.7.31
出願番号	09/917707
出願人	住友電工株式会社
概要：	波長多重デバイスの提案

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

RWC 整理番号	97D-019
発明考案の名称	注入同期レーザ
発明者	加藤隆志
出願日	H10.1.21
出願番号	特願平 10-9732
出願人	住友電工株式会社、技術研究組合 新情報処理開発機構
概要：	簡素な構造で安定した光が得られる注入同期レーザを提供する。

(4)著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

B-1-13. スキュー低減型多芯高速伝送路 (光インターコネクションフジクラ研究室)

(1)査読論文リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

【D-98-106】 社本尚樹、菅谷征弘、中楯健一、妻沼孝司 :"New multimode fiber ribbon for optical pararllel interconnection", OFC'99, FG6 (1999)

・9 年度

なし

(2)その他論文リスト (口頭を含む)

・13 年度

【申請予定】 社本他 :"極低スキューファイバリボンコード (仮題)", 2002 年電子情報通信学会総合大会

・12 年度

【D-00-095】 社本尚樹、菅谷征弘、鈴木孝昭、和田朗 :"低スキューファイバケーブル"、2001 年電子情報通信学会総合大会 (2001)

・11 年度

【D-99-033】 社本尚樹、菅谷征弘、中楯健一、和田朗: "光並列伝送用ファイバアレイ"、第 23 回光波センシング技術研究会、1999

【D-99-047】 社本尚樹、菅谷征弘、鈴木孝昭、和田朗:"スキュー低減型多芯高速伝送路の開発"、 電子情報通信学会ソサエティ大会、1999

【D-99-048】 社本尚樹:"スキュー低減型多芯高速伝送路"、 InterOpto'99、 1999

【D-99-152】 社本尚樹、菅谷征弘、鈴木孝昭、和田朗:"New multimode fiber ribbon for optical parallel interconnection"、 2000RWC シンポジウム、 2000

・10 年度

【D-98-076】 中楯健一、菅谷征弘、社本尚樹、妻沼孝司 :"低スキューファイバの開発"、第 3回 光ファイバ応用技術研究会 (1998)

【D-98-179】 社本尚樹 :"新構造、簾型スキュー低減テープファイバを開発"、オプトコム 2月号 (1999)

・9 年度

なし

6)特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

RWC 整理番号　99D-027
発明考案の名称　光ファイバーテープ心線の製造方法
発明者　社本尚樹、和田朗
出願日　平 12.3.21
出願番号　特願 2000-79121
出願人　株式会社フジクラ
（概要）
簾型ファイバの製造方法。テープ材となる樹脂をしみこませたフェルト上の布で、間欠的にファイバを挟み込むようにして樹脂を塗布し、紫外線等により架橋することにより、連続して簾型ファイバを製造することことを特徴とする製造設備及び製造方法。

RWC 整理番号　98D-028
発明考案の名称　光ファイバーテープ心線の製造方法
発明者　社本尚樹、和田朗
出願日　平 12.3.21
出願番号　特願 2000-79122
出願人　株式会社フジクラ
（概要）
簾型ファイバの製造方法。テープ材となる樹脂を、ディスペンサ状の塗布治具を用いてファイバ上に間欠的に塗布し、成形ダイスでしごいてファイバ上に均一に塗り付け、紫外線架橋炉等で、樹脂を連続的に硬化させることにより、簾型ファイバを製造することを特徴とする装置及び製造方法。

RWC 整理番号　98D-029
発明考案の名称　光ファイバーテープ心線の製造方法
発明者　社本尚樹、和田朗
出願日　平 12.3.21
出願番号　特願 2000-79123
出願人　株式会社フジクラ
（概要）
簾型ファイバの製造方法。固定部の間隔に相当する円周を持つ円盤の一部に、樹脂をしみこませたフェルト等を取り付けた樹脂供給部を設け、円盤を回転させながらファイバを挟み混むことによって間欠的に樹脂を塗布し、紫外線等により架橋することにより、連続して簾型ファイバを製造することを特徴とする製造設備及び製造方法。

・10 年度

なし

・9 年度
なし

⑷著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

B-1-14. 無調芯型面発光 LD モジュール (光インターコネクション古河研究室)

(1)査読論文リスト

・13 年度

なし

・12 年度

【D-00-115】 S.Uchiyama, N.Yokouchi, M.Iwase, T.Hama and Y.Shiina:" p-Substrate VCSEL Array for Passive-Aligned Module ", OECC-IOOC 2001, Sydney, WH3, pp.337-338, (2001) ・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

(2)その他論文リスト (口頭を含む)

・13 年度

【D-01-024】 内山誠治, "パッシブアライメント面発光レーザアレーモジュール", InterOpto 2001, 2001.6.8

・12 年度

【D-00-033】 内山、横内、岩瀬:"無調芯型面発光 LD モジュール"、インターオプト 2000、2000.

【D-00-107】 内山、横内、岩瀬、椎名、南野:" 980nm p 基板面発光レーザ"、電子情報通信学会技術研究報告 (レーザ・量子エレクトロニクス)、Vol.100,No.656,LQE2000-121, pp. 7-12 (2001)

・11 年度

【D-99-053】 内山、 横内、 岩瀬:"無調芯型面発光LD モジュール",インターオプト99, 1999.

【D-99-161】 S.Uchiyama, N.Yokouchi and M.Iwase: "Passive-Aligned 980nm VCSEL Module", RWC Technical Report (TR-99-002),pp.107-110, 2000.

【D-99-211】 内山誠治、 横内則之、 岩瀬正幸、 南野正幸、 椎名泰一:"パッシブアラメント980nmVCSEL アレーモジュール"、電子情報通信学会レーザ・量子エレクトロニクス研究会、2000 年 2 月 23 日

・10 年度

なし

・9 年度

なし

(3)特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

RWC 整理番号　99D-009
発明考案の名称　面発光型レーザ素子およびその作製方法
発明者　内山誠治
出願日　平 11.10.14
出願番号　11-292592
出願人　新情報処理開発機構、古河電気工業株式会社
（概要）
基板に透明な波長で発振する半導体多層膜反射鏡を有する面発光レーザの発光領域直下の基板面に直進性の優れたビームを用いる乾式エッチングで基板を固定してマスクを変位することにより、任意の面方位および任意の傾斜角を持つ傾斜面を形成し、基板と空気の境界面からの反射による発光領域への戻り光を防ぐ構造を持つ面発光レーザの製作方法

・10 年度
RWC 整理番号　97D-027
発明考案の名称　アレイ光素子モジュール
発明者　二ノ宮隆夫、横内則之
出願日　平 10.4.22
出願番号　特願平 10-111750
出願人　新情報処理開発機構、古河電気工業株式会社
（概要）エピ面に形成した個別光素子を二次元同一平面内で正三角形の頂点に配置し、一光素子の中心軸上の基板面側に結合用ガイドを設けて、ファイバブロックもこれに対応した結合用ガイドを設けて嵌合し結合したアレイモジュール。

RWC 整理番号　97D-026
発明考案の名称　面発光レーザモジュール
発明者　横内則之
出願日　平 10.4.22
出願番号　特願平 10-111749
出願人　新情報処理開発機構、古河電気工業株式会社
（概要）複数個の面発光レーザを一エレメントとし、光ファイバをガイドする光コネクタの位置に応じて、その面発光レーザエレメント中で最も光取り出しに適した位置にある面発光レーザを選択的に発振させるモジュール。

RWC 整理番号　97D-028
発明考案の名称　面発光半導体レーザ素子及びその作製方法
発明者　内山誠治
出願日　平 10.4.22
出願番号　特願平 10-111739
出願人　新情報処理開発機構、古河電気工業株式会社
（概要）半導体と酸化アルミニウム支持体で構成される半導体／空気反射鏡を搭載する面発光半導体レーザの作製方法。

RWC 整理番号　98D-009
発明の名称　面発光型レーザ素子及びその製作方法

発明者　　内山誠治
出願日　　平成 11.3.29
出願番号　　特願平 11-85541
出願人　　新情報処理開発機構、古河電気工業株式会社
（概要）発振光に対して透明な（100）面基板および半導体多層膜反射鏡を用いる面発光レーザの発光部直下に異方性エッチングを用いて、（111）A を露出させ戻り光を防ぐ面発光レーザの製作方法

RWC 整理番号　98D-008
発明の名称　　面型受発光素子モジュール
発明者　　岩瀬正幸
出願日　　平成 11.3.30
出願番号　　特願平 11-87975
出願人　　新情報処理開発機構、古河電気工業株式会社

・9 年度
RWC 整理番号　97D-020
発明考案の名称　面型光デバイス及び光ファイバとの光結合方法
発明者　　横内則之、二ノ宮隆夫、内山誠治
出願日　　平 10.1.29
出願番号　　特願平 10-16704
出願人　　新情報処理開発機構、古河電気工業株式会社
（概要）面型光デバイスの基板に、その光デバイスから出射される、あるいは入射する光ビームの中心と突起の中心が概ね同一位置になるように、突起を形成しておき、また、その突起と嵌合する穴を有する板材料に、前記面型光デバイスを嵌合し、他方の面よりその穴に光ファイバを挿入することで、前記光デバイスと光ファイバの光結合を行う方法。

(4)著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

B-1-15. 空間分割多重光インターコネクション 光インターコネクション日板研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【D-01-072】N. Hikichi, F. Kobayashi, Y. Sekiguchi, K. Shinmou, K. Nakama: “Space division multiplexing optical interconnection using planar micro hole array,” Fifth International Symposium on Contemporary Photonics Technology (CPT2002) (To be published).

・12 年度

【D-00-110】 T. Koyama, K. Tsunetomo, K. Kamada, and K. Nakama: "Laser micro machining for Ag ion exchanged glasses," Proceedings of The 2nd International Symposium on Laser Precision Micro Fabrication (LPM2001), 2001. (To be published)

・11 年度

【D-99-088】 K. Nakama, K. Shinmou, Y. Sekiguchi, H.Imanishi, K. Tsunetomo, T. Koyama, M.Funaki: "Space division multiplexing optical interconnection using planar microlens array", Technical digest of the 7th microoptics conference (MOC'99), pp.228-231, MF30, (1999).

・10 年度

なし

・9 年度

【D-97-070】 K. Nakama, K.Shinmo, H.Imanishi, K. Tsunetomo, T. Koyama, and E.Mizushima, "Paralel optical interconnection using microlens array", Proceedings of 2nd Inernational Symposium on Optics In Engineering, D2 (1997).

(2)その他論文リスト (口頭を含む)

・13 年度

【D-01-027】 船木正昭、仲間健一、新毛勝秀, "空間分割多重光インターコネクション", Interopt'01,2001.6.11

・12 年度

【D-00-111】 仲間、新毛、船木："空間分割多重光インターコネクション"、Interopt 2000.

【D-00-112】 関口、川崎、引地、小林、常友、仲間："レーザ加工によるマイクロ嵌合コネクタの試作"、2001 年 (平成 13 年)春季第 48 回応用物理学関係連合講演会予稿集、2001.

【D-00-113】引地、新毛、関口、常友、仲間："空間分割多重光インターコネクション用マイクロ嵌合ピンの形状制御"、2001 年 (平成 13 年)春季第 48 回応用物理学関係連合講演会予稿集、2001.

・11 年度

【D-99-087】 仲間、新毛、船木："空間分割多重光インターコネクション"、Interopt'99.

【D-99-233】 仲間、新毛、船木："Space Division Multiplexing Optical Interconnection"、2000RWC シンポジウム予稿集、pp.111-114 (2000).

・10 年度

【D-98-091】 仲間、新毛、今西、常友、小山、水島："空間分割多重光インターコネクション用マイクロ嵌合コネクタ"、1998 年秋季第 59 回応用物理学会学術講

演会予稿集、15p-T-8、1998.

【D-98-114】 仲間 :"空間分割多重光インターコネクション"、第 4 回 OEIC 光インターコネクション技術懇談会予稿集、1998.

【D-98-160】 仲間、新毛、水島、関口、今西、常友、小山 :"平板マイクロホールアレイを用いた空間分割多重光インターコネクション"、The 10th Meeting on Glasses for Photonics 講演要旨集、pp.28-29、1998.

・9 年度

【D-97-040】 仲間、新毛、今西、常友、小山、水島、 空間分割多重光インターコネクション」、1997 年秋季第 58 回応用物理学会学術後援会予稿集, 2p-Zp-15 (1997)

【D-97-130】 仲間、新毛、今西、常友、小山、水島, 空間分割多重光インターコネクション用マイクロ勘合コネクタの試作」、1998 年秋季第 59 回応用物理学会学術後援会予稿集 (1998)pp.1024.

6)特許出願リスト

・13 年度

RWC整理番号 2001D-005
発明考案の名称 光モジュールおよびその組立て方法
発明者 小林史敏、仲間健一
出願日 平13.5.23
出願番号 特願2001-153353
出願人 日本板硝子株式会社
分類番号 G02B/00
状況 工業所有権出願通知書提出
(概要)
多数のマイクロレンズの光軸と光ファイバを一括してパッシブ調芯固定する際に、多本数の光ファイバの平板マイクロレンズアレイに対する角度を一括して規定することができる光モジュールを提供する。

RWC整理番号 2001D-004
発明考案の名称 光モジュールおよびその製造方法
発明者 小林史敏、仲間健一、新毛勝秀
出願日 平13.5.23
出願番号 特願2001-153541
出願人 日本板硝子株式会社
分類番号 G02B/00
状況 工業所有権出願通知書提出
(概要)
レンズアレイ基板の裏面に設けたゾルゲル層に凹部を形成し、この凹部に光りファイバとの嵌合機能を持たせた光モジュールを提供する。

RWC整理番号 2001D-006
発明考案の名称 光モジュールおよびその組立て方法
発明者 仲間健一、引地奈緒子、関口幸成、小林史敏
出願日 平13.6.18

出願番号　　特願2001-182894
出願人　　日本板硝子株式会社
分類番号　　G02B/00
状況　　工業所有権出願通知書提出
（概要）
面内の配列に対しては、一列からマトリクス状の配列まで対応可能で、かつ、平板マイクロレンズアレイの光軸方向に対しても、任意の共役比が簡単に実現でき、かつ、パッシブ調心により調心時間を短縮し、小型高密度で任意の光学設計に対して自由度の大きい、低コストの光モジュールを提供する。

RWC整理番号　2001D-010
発明考案の名称　光接続モジュールの製造方法
発明者　　小林史敏、仲間健一、引地奈緒子
出願日　　平13.10.12
出願番号　　特願2001-314933
出願人　　日本板硝子株式会社
分類番号　　G02B/00
状況　　工業所有権出願通知書提出
（概要）
マイクロレンズによる集光を利用して孔アレイを作製する。
また、前記孔アレイを用いて光接続モジュールを作製する。

RWC整理番号　2001D-011
発明考案の名称　光ファイバ結合系
発明者　　引地奈緒子、小林史敏、仲間健一
出願日　　平13.10.26
出願番号　　特願2001-328553
出願人　　日本板硝子株式会社
分類番号　　G02B/00
状況　　工業所有権出願通知書提出
（概要）
テープファイバの先端を円錐状に加工することにより、反射戻り光を低減する。

・12 年度
RWC 整理番号　2000D-017
発明考案の名称　光モジュール
発明者　　仲間健一
出願日　　H13.3.15.
出願番号　　2001-073218
出願人　　日本板硝子株式会社
分類番号　　G02B /00
状況　　出願済
（概要）
表面が平坦な透明基板に形成したマイクロレンズアレイと表面が平坦な透明基板に多数の微小窪みを形成した嵌合用マイクロホールアレイ基板と表面が平坦な基板に多数の微

小貫通穴を配列してなる貫通マイクロホールアレイ基板とファイバのコア部を凸状に露出させた複数のテープファイバを構成要素とし、嵌合用マイクロホールアレイ基板の板厚を任意に調整して同一構成でありながらマイクロレンズアレイとテープファイバとの結合共役比を任意に調整することを可能にした光モジュール

・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

(4)著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

B-2. 並列アプリケーション技術領域

B-2-1. ヘテロジニアスコンピューティング共通インターフェースソフト（並列応用日立研究室）

(1)査読論文リスト

・13 年度

【D-01-17】 Shirun Ho, Yasuyuki Ohkura, Masato Ikegawa, Nobuyuki Mise, Joshi Prasad, Yuko Kawashima and Shoichi Kubo, "Agent-based common software platform applied to multi-scale device and process simulations", Simulation of Semiconductor Process and Device, Springer Wien NewYork, pp.372-375, 2001

・12 年度

【D-00-058】 何 希倫、渡邉 克博、井原 茂男、久保 昭一、斎藤 稔、"分子動力学法と静電場解析の連続体モデルを結合した HEWL の水素解離係数 pKa の複合解析"、分子構造総合討論会 2000.

・11 年度

【D-99-009】 Shirun Ho, Sigeo Ihara, Satoshi Itoh, and Richard Schlichting :"Agent middleware for heterogeneous scientific simulations", Workshop of Agent Based High Performance Computing, Autonomous agent '99

・10 年度

【D-98-074】 Parallel Application Hitachi Laboratory, Shirun Ho, Satoshi Itoh, Sigeo Ihara, and Richard Schlichting : "Agent middleware for heterogeneous scientific simulations", Proceedings of the 1998 ACM/IEEE SC98 conference, http://www.supercomp.org/sc98

・9 年度

なし

(2)その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

【D-00-82】Shirun Ho, Sigeo Ihara, Katsuhiro Watanabe, Shoichi Kubo, Minoru Saito and Richard D. Schlichting, "Correlative analysis of pKa and structure variation in HEWL by coupling molecular dynamics and continumm electronic simulation", Fourth European Symposium of the Protein Society, Protein science, p.150, Vol.10 suppl.1, 2001

【D-01-059】何希倫、井原茂男、“分子動力学とポアソンソルバー（蛋白質構造解析への応用）”、ポアソンソルバーの現代化研究会

【D-01-060】何希倫、井原茂男、“蛋白質の連成解析 ”、バイオグリッド研究会

・12 年度

【D-00-078】 Shirun Ho, Sigeo Ihara, Katsuhiro Watanabe, Shoichi Kubo, Minoru Saito and Richard D. Schlichting, "Composite analysis of pKa in HEWL by coupling molecular dynamics and continumm electronic simulation", Pacific Symposium of Biocomputing on 2001, p.82

【D-00-039】 何 希倫、渡邉 克博、井原 茂男、久保 昭一、斎藤 稔、"分子動力学法と静電場解析の連続体モデルを結合した HEWL の水素解離係数 pKa の複合解析"、 生物物理学会予稿集

【D-00-038】 渡邉 克博、何 希倫、井原 茂男、久保 昭一、斎藤 稔、"HEWL の活性部位における pKa の揺らぎの相関解析"、生物物理学会予稿集

【D-00-119】 丸泉 琢也、何 希倫、"半導体材料、デバイスシミュレーションの現状と将来への期待"、次世代計算科学ソフトウェアに関するシンポジウム

・11 年度

【D-99-018】 何希倫、井原茂男、伊藤智 :"A common software platform for heterogeneous scientific simulations", Joint Symposium on Parallel Processing, P.221, 1999

【D-99-163】 Shirun Ho, Sigeo Ihara and Satoshi Itoh, Shoichi Kubo, Masato Ikegawa, Nobuyuki Mise and Richard D. Schlichting :"Agent-based middleware system applied to particle-mesh heterogeneous scientific simulations", Proceedings of Real World Computing symposium 2000, pp.43-48

【D-99-201】 久保 昭一、何希倫、井原茂男、伊藤智、リチャード・シュリックティング、渡邉克博 :"連成解析用ミドルウェアを用いた複合シミュレーションにおけるエージェント処理の性能評価"、情報処理学会第 60 回全国大会

【D-99-202】 日立製作所基礎研究所 :"半導体基板内の熱拡散現象の複合解析"日立基礎研究所案内パンフレット

・10 年度

【D-97-149】 並列応用日立研究室、井原茂男：『並列計算機を利用したシミュレーション技術」、はじめての並列プログラミング、bit 別冊、共立出版、pp.175-178

【D-98-085】 並列応用日立研究室、何希倫、井原茂男、伊藤智：『異種シミュレーションを結合するエージェントミドルウェアのプロトタイプ開発」、第 47 期第 2 回分子動力学部門委員会、 講演会資料、PP.1-12

【D-98-137】 「連成解析ミドルウェア」電子情報通信学会誌《NEWS》欄 1 月号(1999)

・9 年度

【D-97-080】 何希倫、井原茂男 :"異なる計算手法を結合したヘテロジニアスコンピューティング"、Japan NCTAM、preprint、pp.187-188、(1998)

8)特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

RWC 整理番号　97D-029
発明考案の名称　ジョブ及びデータ処理方法
発明者　佐治みゆき、井原茂男、何希倫
出願日　平 10.5.27
出願番号　特願平 10-145414
出願人　日立製作所　新情報処理開発機構

（概要）

多数のシミュレーションを実行すると、多数の入力データ、ジョブや結果データが現れ、その

管理が煩雑になる。本特許では、下記特徴により、データ等の管理を容易にし、シミュレーションに要する時間を短縮する。
1)複数のシミュレーションの入力データ、ジョブ、結果データおよび入力データの差分、ユーザメモ、ジョブ間の関係について、処理中データ用テーブル及び履歴データテーブルを用いて一元管理する。
2)検索キーワードを多数用意し各種方向から、また階層的にも、目的のデータを各データテーブルより容易に検索可能にする。

・9 年度
なし

4)著作物リスト

・13 年度
管理番号　　CST-2001
著作物の名称　連成解析用ミドルウェアおよび連成解析アプリケーションプログラム
原著作者　　株式会社 日立製作所
完成日　　平 13.7.06
記録媒体　　3.5" MO Disk
(概要)
計算手法の異なるシミュレーションプログラムの効率的な連結を支援する連成解析用ミドルウェアプログラム、並びに、複数のシミュレーションプログラムを連結した連成アプリケーションプログラム。

・12 年度
管理番号　　CSS-2000
著作物の名称　データ通信・変換ミドルウェアおよび連成解析プログラム
原著作者　　株式会社日立製作所
完成日　　平 13.2.09
記録媒体　　3.5" MO Disk
(概要)
計算手法の異なるシミュレーションプログラムを効率的に結合するために、エージェント方式のデータ通信・変換ミドルウェア技術を拡張開発した。異なる離散点間の球内相関を探索するプログラム等の修正を行った。連成解析の実証において、流通ソフトAMBER を拡張したプログラムとして、蛋白質の誘電率を算出するプログラムを開発した。尚、記述言語は、C とFORTRAN、並びに、JAVA である。

・11 年度
管理番号　　CSS-99
著作物の名称　データ通信・変換ミドルウェアおよび連成解析プログラム
原著作者　　何希倫
完成日　　平 12.3.21
記録媒体　　3.5" MO Disk

（概要）
計算手法の異なるシミュレーションプログラムを効率的に結合するために、エージェント方式のデータ通信・変換ミドルウェア技術を拡張開発した。標準通信ライブラリMPI（Message Passing Interface）ベースのデータ通信・変換ミドルウェアと異なる離散点間の球内相関を探索する機能の新規モジュールの開発を行った。粒子～メッシュ間の連成解析の実証において、流通ソフトAMBERのプログラムを拡張した。又、アミノ酸配列の側鎖の水素乖離定数や水溶液による分極エネルギーを解析するための静電場シミュレーションのプログラム（ポアソンソルバー）を開発した。システムの全体構成図およびプログラムの一覧表を添付する。尚、記述言語は、CとFORTRAN、並びに、JAVAである。

・10年度
管理番号　　CSS-98
著作物の名称　　データ通信・変換ミドルウェアおよび連成解析プログラム
原著作者　　何希倫、井原茂男、佐治みゆき（並列応用日立研究室）
完成日　　平11.2.19
記録媒体　　3.5" MO Disk
（概要）
異種計算手法のシミュレーションプログラムを効率的に結合するために、インターフェースの共通化技術、および、エージェント方式のデータ通信・変換技術において変動型の通信パラダイムを支援する新規ライブラリの開発と一部プログラムの修正を行った。又、熱伝導の連成解析において、高級科学技術言語を用いた拡散シミュレーションのプログラムおよび連成解析の結合部のプログラムを開発した。タンパク質構造の連成解析においては、SR2201とWSクラスタ間の通信プログラムとダミーAmbarプログラムを開発した。その他、連成解析のアニメーション作成用の描画プログラム他を開発した。
システムの全体構成図および本年度開発プログラムの一覧表を添付する。尚、記述言語は、CとFORTRANおよび高級科学技術言語(PSILAB)である。

・9年度
管理番号　　CSS-97
著作物の名称　　SR2201版エージェントミドルウェアおよび処理性能評価プログラム
原著作者　　何希倫、井原茂男、佐治みゆき（並列応用日立研究室）
完成日　　平10.2.20.
記録媒体　　3.5" MO Disk
（概要）
異種計算手法のシミュレーションプログラム間のデータ通信・変換技術（エージェントミドルウェア）を超並列機SR2201上に実装するため、ミドルウェアのプログラムのデータ送受信関数とデータ変換関数の一部を開発した。又、超並列機に特有なパーティションの実行環境を設定し、処理性能の評価に用いた異種メッシュの領域分割法によるテストプログラム、および、時間計測ライブラリと時間集計プログラムを開発した。
システムの全体構成図および本年度開発プログラムの一覧表を添付する。尚、記述言語は、CとFORTRANである。

B-2-2. 物理 統計融合型シミュレーション（並列応用三菱研究室）

(1)査読論文一覧

・13 年度

【D-01-029】H.Tanaka, M.Shiraishi, H.Sato, K. Nakajima, :"A Hybrid Method of Random Mutation Hill Climbing and Orthogonal Design of " Software, Engineering, Artificial Intelligence, Network and Parallel/Distributed Computing. (2001).

【D-01-030】M.,Shiraishi, D.,Eriksson, H.Tanaka, H.Sato, K.Nakajima, :"Evaluating Global Optimization Algorithms on Molecular Potential Energy Function "Engineering, Artificial Intelligence, Network and Parallel/Distributed Computing. (2001).

・12 年度

【D-00-004】 Tanaka, H., Shiraishi, M., Sato, H., Nakajima, K.,"Local Search Using Orthogonal Design of Experiment. "Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications. (2000).

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

(2)その他論文一覧（口頭を含む）

・13 年度

【D-01-048】田中，白石，川上，青山，佐藤："多数の無相関混合正規分布によ るタンパク質構造分布のモデル化" 情処学会 63 回全国大会. (2001).

【D-01-049】青山，田中，白石，川上，佐藤："多峰性関数に対する最適化アルゴリズムの探索性能比較" 情処学会 63 回全国大会. (2001).

【D-01-050】白石，田中，青山，佐藤，川上："タンパク質立体構造予測問題に関する最適化アルゴリズムの比較評価" 情処学会 63 回全国大会. (2001).

・12 年度

【D-00-055】 田中、白石、佐藤、中島、"直交計画法によるノイズ付き多次元関数の勾配推定"、情処学会 61 回全国大会. (2000).

【D-00-098】 田中、Eriksson. D.、白石、佐藤、中島、"並列局所探索法の比較評価"、情処学会 62 回全国大会. (2001).

【D-00-130】 田中、Eriksson. D.、白石、佐藤、中島、"分子ポテンシャル最小化問題に関する並列局所探索法の比較評価"、情処学会 33 回数理モデル化と問題解決研究会. (2001).

・11 年度

【D-99-116】 田中、"タンパク質二面角の分類と予測"、人工知能学会 分子生物情報研究会. (1999).

【D-99-156】 Tanaka,H., Shiraisi,M., Sato,H., and Nakajima,K. Parallel Analysis and

Prediction of Sequence Data. Proc. of RWC Symposium 2000. (2000).

・10 年度
なし
・9 年度
なし

3)特許出願リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

4)著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
管理番号　H12-1.4.2-1
著作物の名称　ChainViewer
原著作者　三菱電機株式会社
完成日　平 13.2.25
記録媒体　3.5" MO Disk
(概要)
タンパク質の立体構造・主鎖を表示し、類似箇所を明示する。
記述言語は C++および Chime ライブラリ、
Linux Kondara MNU Server 1.1 上で動作確認。

・11 年度
管理番号　H11-1.4.5-1
著作物の名称　HMMViewer
原著作者　田中秀俊
完成日　平 12.3.28
記録媒体　3.5" MO Disk
(概要)
状態遷移確率行列をもとに状態遷移グラフを描画し、状態の出力分布をクリックに応じて表示する。記述言語は C++および LEDA ライブラリ、IRIX 6.5 上で動作確認。

管理番号　H11-1.4.5-2
著作物の名称　SondeViewer
原著作者　田中秀俊

完成日　　平 12.3.28
記録媒体　　3.5" MO Disk
（概要）
高層気象観測データCDROMのデータをIRIS-Explorer を用いて表示する。記述言語はC++および IRIS-Explorer、IRIX 6.5 上で動作確認。

管理番号　　H11-1.4.5-3
著作物の名称　　ParallelEM
原著作者　　白石将
完成日　　平 12.3.28
記録媒体　　3.5" MO Disk
（概要）
データ並列方式の EM アルゴリズムによって対角共分散混合ガウシアンのパラメータを推定し、各データの帰属を判定して分類を行う。
記述言語は MPI および C++。SR2201 上で動作確認。

・10 年度
管理番号　　H10-3.1.5-1
著作物の名称　　pdb2htk
原著作者　　田中秀俊（並列応用三菱研究室）
完成日　　平 11.3.16
記録媒体　　3.5" MO Disk
(概要)
立体構造データベースからデータを獲得し制約条件で絞り込み隠れマルコフモデルによるデータ解析ツールの形式およびＣＳＶ形式に変換する
・9 年度
管理番号　　1.2.5-1
著作物の名称　　タンパク質角度列分類ツール
原著作者　　田中秀俊
完成日　　平成 10 年 1 月 26 日
記録媒体　　3.5" Floppy Disk
（概要）
機能：角度列およびアミノ酸残基名の列を入力とし、所与の数の対角共分散正規分布の混合分布を仮定して各正規分布の平均と分散、ならびに混合比を算出する。
記述言語：　　C
プログラムサイズ：6 kbyte（200 行）

B-2-3. H9電力分野およびゲノム情報処理分野における並列情報処理技術/H10―13電力分野における並列情報処理技術の研究 並列応用 MRI 研究室）

1)査読論文リスト

・13 年度

なし

・12 年度

【D-00-138】 黄、柏木、諸住："Toward A Scalable Parallel OPF", CIGRE 2001 International Conference on Power Systems (CIGRE ICPS'2001)

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

2)その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

【D-01-038】黄，柏木，諸住："並列電力潮流解析における Bi-CGSTAB 法の応用"，電力技術・電力系統技術合同研究会，PE-01-135/PSE-01-129.

【D-01-062】黄，諸住："大規模電力系統解析向けの超並列計算アルゴリズムの開発"，月刊「電気現場技術」11 月号. ・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

【D-97-158】 黄："超並列計算向けの潮流計算手法の検討"、平成10 年電気学会全国大会講演論文集、1998.

3)特許出願リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

4)著作物リスト

・13 年度

なし

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

なし

B-2-4. 並列分散データマイニング（並列応用東芝研究室）

1）査読論文リスト

・13 年度

【D-01-031】久保田和人，仲瀬明彦，小柳滋："決定木生成手法の並列化方式とその評価"，情報処理学会第 87 回 HPC 研究会，2001

・12 年度

【D-00-069】 小柳　滋、久保田　和人、仲瀬　明彦、"Matrix Clustering: CRM 向けの新しいデータマイニング手法"，情報処理学会論文誌（投稿中）

【D-00-085】 Kazuto Kubota, Akihiko Nakase, Shigeru Oyanagi, "Implementation and Performance Measurement of Dynamic Scheduling for Parallel Decision Tree Generation", 4th International Workshop on Parallel and Distributed Data Mining,2001 (to be appeared)

【D-00-086】 久保田　和人、仲瀬　明彦、小柳　滋、"PC クラスタを用いた決定木生成の並列化"、情報処理学会論文誌（投稿中）

・11 年度

【D-99-145】 Kazuto Kubota, Akihiko Nakase, Hiroshi Sakai, and Shigeru Oyanagi,"Parallelization of Decision Tree Algorithm and its Performance Evaluation",Proceedings of 4th HPC-ASIA2000, pp.574-579, 2000.

・10 年度

なし

・9 年度

【D-97-081】 並列応用東芝、仲瀬明彦、酒井浩、小柳滋、柿元満："時系列データマイニングにおける相関関係発見方式」アドバンスト・データベース・シンポジウム'97、pp.159-164、1997

2）その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

【D-01-031】 久保田和人、仲瀬明彦、小柳滋，"決定木生成手法の並列化方式とその評価", SWOPP 沖縄 2001, 2001.6.19

【D-01-018】 小柳滋、久保田和人、仲瀬明彦,"Application of Matrix Clustering to Web Log Analysis and Access Prediction", WEBKDD2001, 2001.5.16

【D-01-012】 久保田和人、仲瀬明彦、小柳滋，"Performance Evaluation of Data Management in Parallel Decision Tree Generation", HPC ASIA 2001, 2001.4.23

・12 年度

【D-00-068】 小柳　滋、久保田　和人、仲瀬　明彦、"Matrix Clustering: CRM 向けの新しいデータマイニング手法"、信学技報 DE2000-94"、(2000-10)

・11 年度

【D-99-069】 並列応用東芝、仲瀬明彦："表データからの傾向抽出方式と並列化手法"、並列/分散/協調処理に関する『下関』サマー・ワークショップ、1999.

【D-99-070】 並列応用東芝、久保田和人："決定木の並列化とその評価"、並列/分散/協調処理に関する『下関』サマー・ワークショップ、1999.

【D-99-151】 並列応用東芝、 仲瀬明彦："Parallel Classification Methods on PC Clusters"、2000 RWC Symposium、pp.53-58、2000.

【D-99-210】　並列応用東芝、久保田和人："PC クラスタを用いた決定木生成"、情報処理学会 HPC 研究会 (HOKKE2000)、2000.

・10 年度

【D-98-001】　並列応用東芝 酒井浩「マイニングマートの設計と実装」1998 RWC シンポジウム、pp.143-146、1998

・9 年度

【D-97-111】　並列応用東芝　酒井浩、仲瀬明彦、小柳滋：時系列データの保持方に関する一提案」信学技報 AI97-49、DE97-82 pp.25-30、1997

8)特許出願リスト

・13 年度

発明考案の名称　Data Extracting Method Information Processing Apparatus and Recording Medium
発明者　小柳　滋、仲瀬　明彦、久保田　和人
出願日　平 13.9.6
出願番号　09/946362
出願人　株式会社東芝
（概要）
顧客と商品を軸とする行列として購買情報を表現し、この行列の行や列を入れ替えて密な部分行列を生成して特徴を抽出する。この手法の高速化アルゴリズムの提案。

・12 年度

RWC 整理番号　2000D-002
発明考案の名称　情報分析方法および装置
発明者　小柳　滋、酒井　浩、仲瀬　明彦、久保田　和人
出願日　平 12.5.31.
出願番号　2000-162080
出願人　株式会社東芝
分類番号　G06F 15/00
（概要）
相関規則発見において、過去のマイニング結果を保存しておき、データの追加があったとき過去のマイニング結果を追加データに関して検証することと、追加データのみのマイニング結果を合成することにより、全体のマイニングを行う。

RWC 整理番号　2000D-005
発明考案の名称　データ抽出方法および情報処理装置および記録媒体
発明者　小柳　滋、仲瀬　明彦、久保田　和人
出願日　平 12.9.7.
出願番号　2000-271903
出願人　株式会社東芝
分類番号　G06F 7/00
状況　審査中
（概要）
顧客と商品を軸とする行列として購買情報を表現し、この行列の行や列を入れ替えて密な部分行列を生成して特徴を抽出する。この手法の高速化アルゴリズムの提案。

RWC 整理番号　2000D-010
発明考案の名称　データ分析方法および情報処理装置およびプログラム
発明者　仲瀬　明彦、久保田　和人、小柳　滋
出願日　平 12.12.21.
出願番号　2000-389061
出願人　株式会社東芝
分類番号　G06F 7/00
状況　審査中
（概要）
決定木作成時のデータアクセス時間を削減することができるデータ分析方法および情報処理装置を提供する。

・11 年度
なし

・10 年度
なし

・9 年度
RWC 整理番号　D-97-017
発明考案の名称　時系列データの格納方法及び記録媒体
発明者　酒井浩
出願日　平成 9 年 12 月 1 日
出願番号　特願平 9-330527
出願人　東芝、新情報処理開発機構
（概要）
少数属性のデータの参照処理を高速化し、必要記憶容量が削除できる時系列データ格納方法及び記録媒体を提供する。多くの対象について複数の属性について定期的に測定することによって選られる大規模なデータを、索引ファイルと属性別にデータを格納するファイルに格納する。索引ファイルは、すべての属性についての測定データが既定値であるか否かを示すビットマップと属性ファイル上で対応するデータの格納位置を保持する。各属性ファイルには、対象ごとに測定されたデータを時刻順に所定長で格納する。ただし、すべての属性についての測定データが既定値である場合には、属性ファイルへのデータの格納は行わない。以上により、少数属性のデータの参照処理を高速化し、必要記憶容量が削減できる。

4）著作物リスト

・13 年度
なし
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし

・9 年度
なし

B-2-5. マルチメディアデータベースの並列分散処理 並列応用三洋研究室）

1）査読論文リスト

・13 年度

終了

・12 年度

【R-00-028】 杉本和英、 大上靖弘、富田文明: ”モノクロ単眼画像からの手指の検出と運動追跡”、 画像の認識・理解シンポジウム（MIRU2000）、 Vol.II、 pp.79-84、2000.

【D-00-081】 Yasuhiro OUE, Kazuhide SUGIMOTO, Toru KITAMURA, Yasushi SUMI, Fumiaki TOMITA:”Object Recognition on Distributed Computing Environment”, Systems and Computers in Japan, Vol.32, No.1, pp.10-19, 2001.

・11 年度

なし

・10 年度

【D-98-121】 大上靖弘、杉本和英、北村徹、角保志、富田文明 :"ネットワーク型並列計算環境における物体認識"、電子情報通信学会論文誌、Vol.J82-D-II、No.12、pp.2307-2315、1999.

・9 年度

なし

2）その他論文リスト（口頭を含む）

・13 年度

終了

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

【D-98-144】 大上靖弘、北村徹、杉本和英、富田文明 :"定性的認識のための共通モデル教示システム"、電子情報通信学会総合大会講演論文集、1999.3.

・9 年度

なし

3）特許出願リスト

・13 年度

終了

・12 年度

なし

・11 年度

なし

・10 年度

なし

・9 年度

RWC 整理番号　96P-006
発明考案の名称　アクセス負荷管理方法およびその方法を用いた並列二次記憶システム
発明者　北村徹
出願日　平 9.7.31.
出願番号　9-206559
出願人　三洋電機、技術研究組合 新情報処理開発機構
（概要）
多数の記憶装置に対するプロセッサからの書き込みアクセス要求をアクセス負荷量の少ない記憶装置に移動することにより、各記憶装置の負荷分散を実現する手法においては、各記憶装置の負荷量を管理装置間で通知し合うことが必要であるため、通信オーバーヘッドが生じシステムのスケーラビリティが阻害される。本発明では、管理装置が計算機からのデータ書き込み要求を負荷の低い記憶装置に移動する際に、書き込み先の対象となる空き領域を管理対象となるデータ領域中に多く含む記憶装置のアクセス負荷量のみを通信要求することにより、通信オーバーヘッドの削減を実現する。

RWC 整理番号　97D-018
発明考案の名称　分散処理システムの分散処理方法
発明者　大上靖弘
出願日　平 10.1.7.
出願番号　10-1782
出願人　三洋電機、技術研究組合 新情報処理開発機構
（概要）
性能が大きく異なる複数の計算機（プロセッサ）で並列処理を行なう場合、効率的な並列処理を行なうためには負荷分散が重要となる。各プロセッサからのタスク要求に応じて、残りのタスクを与えていく負荷分散方式において、本発明では、処理の最初では 1回のタスク要求に対して各プロセッサに分配するタスク数を多くし、処理時間の経過とともにタスク数を減らしていく。また、各プロセッサからのタスク要求回数に基づき各プロセッサの性能を予測し、与えるタスクの量を動的に変更することにより、効率的な負荷分散を実現する。

4）著作物リスト

・13 年度
終了
・12 年度
なし
・11 年度
なし
・10 年度
なし
・9 年度
なし

４．新聞発表／商業誌等の概要

・平成13年度（合テレビ１1件）

・

No	件名	日付	発表研究室	発表先
57	2005年のコンピュータ	2002.1.7	情報ベース機能つくば研究室	NHKニュース10（1/7）
56	自然な会話ができるコンピュータMAICO	2001.12.29	マルチモーダル機能シャープ研究室	NHK教育テレビ「サイエンスアイスペシャル」（12/29）
55	コンパック社がPCクラスターシステム事業に参入	2001.12.18	コンパックコンピュータ（株）（並列分散システムソフトウェアつくば研究室の成果利用）	日経産業新聞（12/18）
54	「頭の動きもとり入れた手話?日本語翻訳技術」および「手話教育システム」	2001.12.2	マルチモーダル機能日立研究室	CS放送「日経CNBC」（12/2、12/8）、NHK教育テレビ「サイエンスアイスペシャル」（12/29）
53	ハミングや口笛による検索ソフト	2001.11.26	情報ベース機能つくば研究室	朝日新聞・夕刊（11/26）
52	SCoreを利用して産総研Magiクラスタが654GFlops達成	2001.11	産業技術総合研究所 生命情報科学研究センター（並列分散システムソフトウェアつくば研究室の成果利用）	日経Linux12月号
51	RWCプロジェクトの研究成果（RWC2001）	2001.10.13		週刊宝島 11.21号
50	世界初、高品質デジタルビデオ画像を暗号化してリアルタイム送信	2001.11.9	並列分散システム富士通研究室	日経産業新聞（11/9）
49	SCoreをOSDLジャパンラボのプロジェクトの一つに採用	2001.10.25	並列分散システムソフトウェアつくば研究室	ASCII 24 NEWS（10/25）、Linux magazine12月号
48	SCoreを利用した高性能クラスタシステム「世界初、InfiniBand技術を採用したHPC向けLinuxクラスタ」	2001.10.29	富士通　（並列分散システムソフトウェアつくば研究室の成果利用）	日本工業新聞（10/30）、日経プレスリリース（10/29）、Begi.net（10/29）、ASCII 24 NEWS（10/30）、ZD Net uk（10/30）
47	RWCプロジェクトによる研究成果の実用化について	2001.10.26	島田潤一他	日本経済新聞（10/26）
46	「リアルワールドコンピューティング」		島田潤一他	日経産業新聞（10/23上、10/24下）
45	鳥や虫の泣き声から名前を判明できるソフトを開発	2001.10.21	情報ベース機能つくば研究室	朝日新聞～茨城版（10/21）
44	「デジタルスマートピクセル」を使ったエアホッケーロボット	2001.10.17	適応デバイス松下研究室	テレビ東京、日本テレビ
43	世界最速の光ネットワークスイッチを開発	2001.10.17	並列分散システムアーキテクチャつくば研究室、光インターコネクション日立研究室	日経産業新聞（10/17）
42	VizWear（ウエアラブルビジョン）	2001.10.3	RWIセンター適応ビジョンラボ	ZDNet NEWS（10/3）
41	新しい学習機能により自動翻訳の精度向上	2001.10.11	理論基盤NEC研究室	日経産業新聞（10/11）
40	PCクラスタ上でタンパク質挙動解析ソフトの開発	2001.10.10	産業技術総合研究所 生命情報科学研究センター　（並列分散システムソフトウェアつくば研究室の成果利用）	日本工業新聞（10/10）

39	3 次元画像操作システム	2001.10.5	マルチモーダル機能三洋研究室	日経産業新聞（10/5）
38	映像中の商標を高速に検索するシステム	2001.10.9	並列応用三洋研究室	日経産業新聞（10/9）
37	大規模 PC クラスタシステム654 ギガ FLOPS 達成	2001.10.4	産業技術総合研究所 生命情報科学研究センター、NEC　並列分散システムソフトウェアつくば研究室の成果利用）	日経 BizTech News（10/4）、日刊工業新聞（10/5）、日経産業新聞（10/9）
36	動体視力の優れた新画像処理素子	2001.10.5	適応デバイス松下研究室	日本経済新聞（10/5 朝刊）
35	LSI 間の光配線技術	2001.10.4	光インターコネクション沖研究室	日刊工業新聞（10/4）、日経産業新聞（10/4）、日本工業新聞（10/4）
34	CM 好感度分析	2001.10.4	情報ベース機能東芝研究室	日経産業新聞（10/4）
33	RWC プロジェクトが１０年間の研究成果を展示 「研究成果の19%が既に実用化」「RWC は世界に誇れる成果を上げた」	2001.10.3	RWC(RWC2001）	日経 BizTech News（10/3）、MYCOM PC WEB（10/3）、ASCII24 ニュース（10/4）
32	音の方向と種類を識別する小型音響装置	2001.10.3	自律学習機能 MRI 研究室	日刊工業新聞（10/3）
31	画像検索を高速化するアクセラレータ	2001.10.3	適応デバイス NEC 研究室	日刊工業新聞（10/3）
	日刊工業新聞			
30	PC クラスタコンソーシアムの設立	2001.10.3	NEC、富士通他　並列分散システムソフトウェアつくば研究室の成果利用）	日本経済新聞（10/3）、日経産業新聞（10/9）、日経 BizTech News（10/9）、日経 Linux（9月号）
29	視覚障害者の遠隔支援システム/ DR 圧縮技術による測量地図配信システム/　進化型フェムト秒レーザーシステム	2001.10.2	RWI 進化システムラボ	NHK ニュース（10/2）、化学工業日報（10/3）、日本工業新聞（10/3）、毎日新聞（10/3）、日刊工業新聞（10/3）日経産業新聞（10/10）、CNN.com（10/10）、朝日新聞（10/15 夕刊）、読売新聞（10/22）、福祉 NEWS チャンネル（10/4）
28	学習時間を短縮できる自律学習の枠組み（ALGS）	2001.10.2	自律学習機能富士通研究室	日経産業新聞（10/2）
27	光ファイバに無調整で直結できる面発光レーザモジュール	2001.10.1	光インターコネクション古河研究室	日刊産業新聞（10/1）、化学工業日報（10/1）、鉄鋼新聞（10/1）
26	並列処理による WEB マイニング技術		並列応用東芝研究室	日刊工業新聞（10/1）
25	超高速ネットワークスイッチ LSI	2001.10.1	光インターコネクション NEC 研究室	日刊工業新聞
24	小型、低コストの光波長分割多重伝送用発信装置	2001.9.28	光インターコネクション住電研究室	日本経済新聞
23	CG モデルと会話しながらネット検索		マルチモーダル機能シャープ研究室	朝日新聞（9/27）、CNN.com（10/10）、電波新聞（10/12）

22	頭の動きも取り入れた 手話-日本語翻訳技術」	2001.9.26	マルチモーダル機能日立研究室	NHK BS1 経済最前線（9/26）、テレビ東京「ワールドビジネスサテライト」（9/26）、日本工業新聞（9/27）、日刊工業新聞（9/27）、日経産業新聞（9/27）、産経新聞（9/27）、電波新聞（9/27）、福祉 NEWS チャンネル（9/27）
21	クラスタ化支援ミドルウェアにより高速文書検索処理を実現		並列分散システム住金研究室	日刊工業新聞（10/2）
20	極低スキューの光ファイバーリボン		光インターコネクションフジクラ研究室	日本工業新聞（9/26）
19	異機種並列処理プログラムの自動作成	2001.9.20	並列分散システム NEC 研究室	日経 BizTech News（9/20）、日経 BizTech News（9/21）日経産業新聞（9/26）
18	言い淀みを補完してくれる音声入力ソフト	2001.9.20	RWI 情報統合対話ラボ	日本経済新聞（9/20）、福祉 NEWS チャンネル（9/21）、テレビ東京「ワールドビジネスサテライト」（9/25）、日刊工業新聞（9/24）、日本工業新聞（10/1）、毎日新聞（10/5）、ユニバーサロン・ニュースクリッピング（10/9）、IP WEB サイエンスニュース、朝日新聞（11/26 夕刊）
17	空間分割多重光インターコネクションの実用化		光インターコネクション日板研究室	化学工業日報（9/20）、日経産業新聞（9/21）
16	映像上の複数の人物移動情報を自動抽出、意味的情報検索機能		マルチモーダル機能三菱研究室、情報ベース機能三菱研究室	日刊工業新聞（9/18）、日本工業新聞（9/25）、日経産業新聞（10/10、10/12）
15	ハミングなどによる音楽・画像検索ソフトの商品化	2001.9.14	メディアドライブ（株）（情報ベース機能つくば研究室の成果利用）	日本経済新聞（9/14）、ZDNet News（9/26）、MacWIRE（9/19）
14	インターコネクション向け1.3μm 帯面発光レーザーを開発	2001.9.14	光インターコネクション NEC 研究室	日刊工業新聞（9/14）
13	電力系統解析の並列リアルタイム処理		並列応用 MRI 研究室	電気新聞（9/3）
12	SCore・クラスタ	2001.8 月	並列分散システムソフトウェアつくば研究室	日経コンピュータ、日経 Linux
11	ＣrossMediator for Video」Mac 版	2001.7.18	メディアドライブ（株）（情報ベース機能つくば研究室の成果利用）	PR Newswire(7/18)
10	PC クラスタ	2001.7.16	NEC ソリューションズ（並列分散システムソフトウェアつくば研究室の成果利用）	日経 BizTech News（7/16）
9	SCore 及び PC クラスタコンソーシアム	2001.7.13	並列分散システムソフトウェアつくば研究室	日経 BizTech News（7/13）

8	研究室の自作スーパーコン性能で世界ランク入り	2001.7.27	東京工業大学 松岡研究室,並列分散システムソフトウェアつくば研究室の成果利用）	日本経済新聞 (7/27)、日経 BizTech News
7	大規模クラスタシステムを理研に納入	2001.7.5	NEC 並列分散システムソフトウェアつくば研究室の成果利用）	日経 BizTech News (7/5)日本経済新聞 (7/6)、日経産業新聞 (7/6)、日刊工業新聞 (7/6)、日本工業新聞 (7/6)
6	新薬開発コンピュータ支援技術	2001.6.26	理論基盤 NEC 研究室	日経産業新聞 (6/26)、日本経済新聞 (6/26)、日刊工業新聞 (6/26)、日本工業新聞 (6/26)、電波新聞 (6/26)、化学工業日報 (6/26)、日刊工業新聞 (10/12)
5	1Gbps 以上の超高速インターネット通信が可能な IP 処理技術を開発	2001.6.5	並列分散システム富士通研究室	日経産業新聞 (6/5)
4	富士通が SCore を使用した「Linux ハイエンドクラスタ構築サービス」を開始	2001.6.1	富士通 並列分散システムソフトウェアつくば研究室の成果利用）	日本工業新聞 (6/1)、日刊工業新聞 (6/1)
3	NEC が並列リナックス・クラスタシステム技術センターを開設	2001.5.17	NEC 並列分散システムソフトウェアつくば研究室の成果利用）	日経産業新聞 (5/18)、日刊工業新聞 (5/18)、日本工業新聞 (5/18)、電波新聞 (5/18)、朝日新聞 (5/17)、毎日新聞 (5/17)、日経 BiZTech (5/18)、Nikkei NET (5/18)
2	千台規模 PC クラスタ構築	2001.4.21	並列分散システムソフトウェアつくば研究室	毎日新聞 (4/21)、茨城新聞 (4/21)、日刊工業新聞 (4/23)、日本経済新聞 (4/23)、日本工業新聞 (4/23)、日経産業新聞 (4/23)
1	ウェアラブルビジョンシステム	2001.4.13	RWI 適応ビジョンラボ	産経新聞 (4/13)

平成 12年度

	発表年月日	件名	発表研究室	発表先
1	2001 年 3 月 15 日	ハンドマウス	RWI センター 適応ビジョンラボ	ZDNet NEWS. 2001-03-15.

2	2001 年 2 月	意のままに義手を操る	RWI センター 進化システムラボ	読売新聞. 2001-02-27, 夕刊.
3	2001 年 2 月 19 日	ウェアラブルビジョンシステム	RWI センター 適応ビジョンラボ	日本経済新聞. 2001-02-19.
4	2001 年 2 月 15 日	PC クラスタリアルタイムシミュレータ	並列分散システムソフトウェアつくば研究室	電気新聞. 2001-02-15.
5	2001 年 2 月 12 日	スマートピクセル	適応デバイス松下研究室	日経産業新聞. 2001-02-12.
6	2001 年 2 月	筋電制御義手	RWI センター 進化システムラボ	ニュージーランド
7	2001 年 1 月	Oh God, it's alive! - The century of the robots	RWI センター 進化システムラボ	ドイツ ARD. 2001-01-31.
8	2000 年 11 月 18 日	Science & Technology of Japan	RWI センター 適応ビジョンラボ	Channel-J. 2000-11-08.
9	2000 年 10 月 30 日	インターネットサーバ向け高速通信技術（Comet）を開発	並列分散システム 富士通研究室	日経産業新聞. 2000-11-02. 日経インターネットテクノロジーニュース 2000-11-13.
10	2000 年 10 月 30 日	鼻歌による音楽信号の検索ソフト	情報ベース機能 つくば研究室	日経産業新聞. 2000-10-31. Yomiuri On-Line. 2001-10-30. "森本毅郎スタンバイ". TBS ラジオ. 2000-11-01, 7:45. "エクスプレス".

				TBS テレビ. 札幌 STV ラジオ. 2000-11-01. "ワールドビジネスサテライト - トレンドたまご". テレビ東京. 2000-11-03, 23:00. "ねっとパラダイス". テレビ朝日. 2000-11-11, 18:28～18:58 読売新聞. 2000-11-28, 夕刊. 朝日新聞. 2000-11-29, 夕刊. "ニューズ". 日本テレビ. 2000-11-30, 11:40. "ラジオいきいき倶楽部". NHK ラジオ第1. 2000-12-05. 毎日新聞. 2000-12-15,茨城版. "大阪ほんわかテレビ". 大阪読売テレビ. 2000-01-07, 22:30. "e-NITE". TBS ラジオ. 2000-01-12, 20:35.
11	2000 年 10 月	マルチモーダル対話エージェントシステム	マルチモーダル機能 シャープ研究室	"東京サイト". テレビ朝日. 2000-10-09, 16:50～16:55. "未来生活どっとこい！". 朝日放送. 2000-11-18.
12	2000 年 10 月	「光インターコネクトモジュールを用いたネットワークコンピューティング」 「内部ネットワーク実装型の並列システムに挑む」	並列分散システムアーキテクチャつくば研究室	エレクトロニクス. オーム社. 2000 年 10 月号.
13	2000 年 10 月	筋電制御義手	RWI センター 進化システムラボ	"テレビ博物館". 東海テレビ. 2000-10-08.
14	2000 年 10 月	「光デバイスと電子デバイスを、どう集積化するか？」	光インターコネクション沖研究室	エレクトロニクス. オーム社, 2000 年 10 月号.

15	2000 年 9 月	光インターコネクションを応用した計算機システム	光インターコネクション日立研究室	情報処理. 2000 年 9 月号
16	2000 年 9 月	SCore System Software	並列分散システムソフトウェアつくば研究室	日経 Linux. 2000 年 9 月号, p.26.
17	2000 年 9 月	類似画像検索における 検索結果の可視化インタフェース 可視化軸としてキーワードを用いる方法	情報ベース機能 日立研究室	画像ラボ. 2000 年 9 月号.
18	2000 年 9 月	画像検索のための次世代 ユーザインタフェイス	情報ベース機能 日立研究室	映像情報. 2000 年 9 月号.
19	2000 年 9 月	“気が利いた”ウェアラブルビジョンシステムを開発中, “拡張現実感”を実現する画像処理ソフト	RWI センター 適応ビジョンラボ	エンジニアタイプ. キャリアデザインセンター, 2000 年 9 月号,p. 86-89.
20	2000 年 8 月	進化するハードウェアチップを用いた筋電制御型義手の開発	RWI センター 進化システムラボ	静岡新聞. 2000-08-07 山陰中央新報. 2000-08-09. 宮崎日日新聞. 2000-08-13. 山陽新聞. 2000-08-15, 夕刊. 河北新報. 2000-08-16. 信濃毎日新聞. 2000-08-19. 南日本新聞. 2000-08-19, 夕刊. 埼玉新聞. 2000-08-23. テレビ東京. 2000-07-20, 11:30, （ニュース, ２１世紀夢の技術展） "こんにちは いっとろっけん". NHK. 2000-07-25, 11:10. AkibaTV.
21	2000 年 8 月	筋電制御義手	RWI センター 進化システムラボ	テレビせとうち. 2000-08-25, 17:25, （ニュース, 岡山未来技術フェア） 岡山放送. 2000-08-25.

22	2000 年 8 月	次世代画像検索技術を開発	情報ベース機能 日立研究室	画像ラボ. 2000 年 8 月号.
23	2000 年 8 月	画像検索のための次世代 ユーザインターフェース	情報ベース機能 日立研究室	“NEWS”. 電子情報通信学会誌. 2000 年 8 月号.
24	2000 年 7 月 30 日	マルチモーダルとは	RWI センター 情報統合対話ラボ	牧野昇. これからの IT 革命. 学生社, p143.
25	2000 年 7 月	LinuxWorld Expo/Tokyo 2000 におけるSCore のデモンストレーション	並列分散システムソフトウェアつくば研究室	日経 Linux. 2000 年 7 月号.
26	2000 年 6 月 28 日	デジタルファクトリ 住商エレクトロニクス、コンパックの Linux に関する提携に伴い、住商エレが Score を組み込んだ製品を販売	並列分散システムソフトウェアつくば研究室	日経産業新聞. 2000-06-29. 日経 BizTech News. 2000-06-29. ASCII 24 Net News. 2000-06-29.
27	2000 年 6 月 21 日	CrossMediator （Mac 版）	情報ベース機能 つくば研究室	日経産業新聞. 2000-06-26.
28	2000 年 6 月	次世代画像検索技術	情報ベース機能 日立研究室	科学新聞. 2000-06-09, 週刊.
29	2000 年 6 月	RWC プロジェクトにおけるコンピュータビジョン研究 気が利いたウェアラブルビジョンシステムの実現に向けて 状況把握に有効な要素機能の実現時間実装」	RWI センター 適応ビジョンラボ	画像ラボ. 2000 年 6 月号.

30	2000 年 5 月 29 日	類似画像検索のための 3次元可視化システム	情報ベース機能 日立研究室	日経産業新聞. 2000-05-30. 日刊工業新聞. 2000-05-30. 日本工業新聞. 2000-05-30. 電波新聞. 2000-05-30. 電気新聞. 2000-05-30. "ワールドビジネスサテライト ". テレビ東京. 2000-05-29. 日経 NET IT ニュース 2000-05-30. ASCII 24 ニュース 2000-05-30. 日経 BizTech ニュース 2000-05-30. JNN ニュースバード. スカイパーフェクTV. 2000-05-29.
31	2000 年 5 月 15 日	PC クラスタを用いた データマイニング	並列応用東芝研究室	日本経済新聞. 2000-05-22.
32	2000 年 5 月 12 日	インターコネクション向け 長波面発光レーザ (VCSEL)の低しきい値 連続発振を実現	光インターコネクション NEC研究室	日刊工業新聞. 2000-05-18.
33	2000 年 4 月 20 日	光る研究室	マルチモーダル機能 日立研究室	日本工業新聞. 2000-04-25 ～2000-4-28.
34	2000 年 4 月	RWC プロジェクトにおけるコンピュータビジョン研究 「3D モデルを用いた View-based 仮想学習と3 次元物体の認識」	RWI センター 適応ビジョンラボ	画像ラボ. 2000 年 4 月号.

平成11年度

	発表年月日	件名	発表研究室	発表先
1	2000 年 3 月 29 日	CrossMediator の商品化について	情報ベース機能 つくば研究室	日経産業新聞. 2000-03-29. NIKKEI NET IT ニュース for Business. "ワールドビジネスサテライト - トレンドたまご". テレビ東京. 2000-04-18.
2	2000 年 3 月 22 日	世界最高速の光ネットワーク用スイッチを試作	並列分散システムアーキテクチャつくば研究室 光インターコネクション 日立研究室	日経産業新聞. 2000-03-23. 日刊工業新聞. 2000-03.23. 日本工業新聞. 2000-03-23. 電波新聞. 2000-03-23. 化学工業日報. 2000-03-23. 日経エレクトロニクス ONLINE NEWS.
3	2000 年 3 月 17 日	映った物体認識 関連情報を表示 身につけるシステム 電総研など開発	RWI センター 適応ビジョンラボ	日経産業新聞. 2000-03-17.
4	2000 年 3 月 16 日	RWC 分散研究室の研究成果（光インターコネクション）	光インターコネクション フジクラ研究室 光インターコネクション 古河研究室 光インターコネクション 住電研究室	通産新報. 2000 年 3 月 15 日号.
5	2000 年 3 月 1 日	筋電制御義手	RWI センター 進化システムラボ	"Tomorrow's World". BBC. 2000-03-01.
6	2000 年 1 月 20 日	情報提供端末型手話通訳システム試験運用開始	マルチモーダル機能 日立研究室	朝日新聞. 2000-01-29. 長崎新聞. 2000-01-29. 読売新聞. 2000-01-29, 長崎版. 毎日新聞. 2000-02-16, 長崎版. 地元サークル紙. テレビ長崎. 2000-02-01, （ニュース番組）. 長崎国際テレビ. 2000-02-03, （ニュース番組）. 日経産業新聞. 2000-03-14.

7	2000 年 1 月 18 日	Visualization for similarity-based image retrieval systems	情報ベース機能 日立研究室	日経産業新聞. 2000-01-31.
8	2000 年 1 月 18 日	マルチモーダル インターフェース	マルチモーダル機能 シャープ研究室	千葉日報. 2000-01-21.
9	2000 年 1 月 17 日	画像・音声の相互検索 （CrossMediator の 基礎技術）	情報ベース機能 つくば研究室	日経産業新聞. 2000-03-02.
10	2000 年 1 月 17 日	高品質映像の高速伝送技術 （Comet）	並列分散システム 富士通研究室	日本経済新聞. 2000-02-26.
11	2000 年 1 月 17 日	マイクロホンアレーを 用いた非音声音認識	自律学習機能 MRI 研究室	産経新聞. 2000-02-10. 北陸中日新聞. 2000-02-10. 新潟日報. 2000-02-10. 南日本新聞. 2000-02-10. 秋田さきがけ. 2000-02-10. 静岡新聞. 2000-02-10. 福島民友. 2000-02-10. 長崎新聞. 2000-02-10. 北日本新聞. 2000-02-10. 京都新聞. 2000-02-10. 東典日報. 2000-02-10. 佐賀新聞. 2000-02-10. 河北新報. 2000-02-10. 四国新聞. 2000-02-10. 下野新聞. 2000-02-10. 熊本日日新聞. 2000-02-10. 北国新聞. 2000-02-10. 愛媛新聞. 2000-02-10. 信濃毎日新聞. 2000-02-10. 琉球新聞. 2000-02-10. MX テレビ ニュース
12	2000 年 1 月 17 日	マイクロホンアレーを 用いた非音声音認識	自律学習機能 MRI 研究室	日経産業新聞. 2000-01-28.
13	2000 年 1 月 17 日	手指動作による 立体モデルのハンドリング	マルチモーダル機能 三洋研究室	日本工業新聞. 2000-02-02.

14	2000 年 1 月 17 日	8×8 デジタル・スマートピクセル	適応デバイス松下研究室	日経産業新聞. 2000-01-20. 日本工業新聞. 2000-01-21. O plus E. 2000 年 2 月号, P.158. Laser Focus World.
15	2000 年 1 月 17 日	マルチモーダル インタフェース	マルチモーダル機能 シャープ研究室	日経産業新聞. 2000-01-26. Nikkei Weekly. 2000-02-28.
16	2000 年 1 月 6 日	SCore System Software	並列分散システムソフトウェアつくば研究室	日経 Linux. 2000 年3 月号, p.77 －81.
17	2000 年 1 月 1 日	複数対象物の 学習認識システム	RWI センター 適応ビジョンラボ	画像ラボ. 2000 年 1 月号.
18	1999 年 12 月 5 日	デジタルナイト: 最新の情報処理技術の紹介	RWI センター 適応ビジョンラボ	テレビ朝日. 1999-12-05.
19	1999 年 12 月 1 日	事情通ロボット	RWI センター 事情通ロボットラボ	“サイエンスアイ”. NHK. 1999-12-11, 21:00.
20	1999 年 11 月 12 日	異機種並列分散プログラミングシステムの開発	並列分散システム NEC 研究室	日本工業新聞. 1999-11-12.
21	1999 年 11 月 11 日	光通信を使ってシステム LSI 間の情報伝送を高速に行う技術	光インターコネクション NEC 研究室	日経産業新聞. 1999-11-11.
22	1999 年 11 月 8 日	OpenMP コンパイラと自動 OpenMP 変換ツールの開発	並列分散システムパフォーマンスつくば研究室 マルチプロセッサコンピューティング日立研究室	日刊工業新聞. 1999-11-09. 日経産業新聞. 1999-11-09.
23	1999 年 10 月 6 日	擬人化エージェント	RWI センター 情報統合対話ラボ	長尾真也. マルチメディア情報学の基礎. 岩波書店, p.164-166.
24	1999 年 10 月	自ら学習する半導体	RWI センター 進化システムラボ	日経産業新聞. 1999-10-08.

25	1999 年 9 月	世界初のアナログ進化型 LSI の開発に成功	RWI センター 進化システムラボ	朝日新聞. 1999-09-15. 日刊工業新聞. 1999-09-15. 日経産業新聞. 1999-09-16. 日本工業新聞. 1999-09-16. 半導体産業新聞. 1999-12-15.
26	1999 年 9 月 6 日	自律移動型ロボット Evolver	RWI センター 進化システムラボ	"ニュースの森". TBS. 1999-09-06.
27	1999 年 9 月 2 日	連想で賢く検索するソフトの開発	情報ベース機能 つくば研究室	日刊工業新聞. 1999-09-03. 日経産業新聞. 1999-09-03.
28	1999 年 8 月 30 日	PDPTA'99 学会出席報告 ～ 並列分散処理の最先端に触れて～	並列応用つくば研究室	SPP 技術情報誌「Octave」. Vol.16.
29	1999 年 8 月 20 日	Comet を使用しての技術協力『LIFE a ryuichi sakamoto opera 1999」	並列分散システム 富士通研究室	朝日新聞. テレビ朝日. (WWW 上，当日配布のパンフレット，事前宣伝パンフレット) (9/4～9/5 大坂， 9/9～9/12東京にて公演)
30	1999 年 7 月 25 日	進化するハードウェアチップを用いた筋電制御義手の開発	RWI センター 進化システムラボ	"特命リサーチ". NTV.
31	1999 年 6 月	A helping hand	RWI センター 進化システムラボ	New Scientist. 1999-07-31, p. 16.
32	1999 年 6 月 21 日	手話通訳システムと手話教育システム	マルチモーダル機能 日立研究室	"バリアフリー商品紹介". JBS 日本福祉放送， (CS 放送局)
33	1999 年 6 月 9 日	通産省電子技術総合研究所動作認識システム開発	RWI センター 適応ビジョンラボ	北日本新聞 1999-6-9.

34	1999 年 6 月 4 日	事情通ロボット	RWI センター 事情通ロボットラボ	日本経済新聞. 1999-06-13. 産経新聞. 中日新聞. "おはよう日本". NHK. 1999-06-18, 7:45 - 7:49. "スーパーニュース". フジテレビ. 1999-06-21, 18:30.
35	1999 年 6 月 4 日	複数対象物の学習認識 システム	RWI センター 適応ビジョンラボ	共同通信社 テレビ部配信.
36	1999 年 5 月 5 日	進化するハードウェア チップを用いた筋電制御 義手の開発	RWI センター 進化システムラボ	"21 世紀のプロジェクト - ヒトの旅・ヒトへの旅". 100 TBS.
37	1999 年 4 月 20 日	筋電制御義手 マルチモーダル対話システム事情通ロボット	RWI センター 進化システムラボ RWI センター 適応ビジョンラボ RWI センター 事情通ロボットラボ	French Nimbus TV. フランス国営テレビ (France 3).
38	1999 年 4 月 6 日	CrossMediator の 開発について	情報ベース機能 つくば研究室	月刊アドバタイジング.

平成10年度

	発表年月日	件名	発表研究室	発表先
1	1999 年 3 月 31 日	タンパク質の世界を探検して ～ RWCP での研究活動報告 ～	並列応用つくば研究室	SPP 技術情報誌「Octave」. Vol.15.
2	1999 年 3 月 30 日	人間と対話するインターフェース・エージェント	RWI センター 情報統合対話ラボ	田村, 若月. マルチメディア情報学の基礎. 岩波書店, p.164-166.
3	1999 年 1 月 5 日	ロボット上のマルチモーダル対話	マルチモーダル機能 つくば研究室	"たけしの万物創世紀". ABC 放送 (ANN 系列), 1999-02-16.
4	1998 年 12 月 5 日	研究所最前線	RWI センター 適応ビジョンラボ	サイエンスチャンネル. 1998-12-05.
5	1998 年 11 月 4 日	光インタコネクト搭載並列計算機	光インターコネクション 日立研究室	日立社報. 12 月号.
6	1998 年 10 月 27 日	まちかどコーナー:通産相が研究成果視察	RWI センター 適応ビジョンラボ	朝日新聞. 1998-10-27.
7	1998 年 10 月 19 日	インターネット対応の大規模シミュレーション融合技術の開発	並列応用日立研究室	日経産業新聞. 1998-11-05.
8	1998 年 10 月 12 日	スーパーパソコンシステムによるリアルタイム電力系統シミュレータを開発	並列分散システムソフトウェアつくば研究室	日刊工業新聞. 1998-10-22. 日経産業新聞. 1998-10-23. 電気新聞. 1998-10-23. 電波新聞. 1998-10-24.
9	1998 年 10 月	Der Chip Lebt!	RWI センター 進化システムラボ	Konr@d. p.47-54, 1998-10-11.
10	1998 年 9 月	Artificial body parts become more lifelike, sophisticated	RWI センター 進化システムラボ	The Nikkei Weekly. 1998-09-14.
11	1998 年 9 月 10 日	応用に合わせて構造を変化させる再構成可能プロセッサの開発	適応デバイス NEC 研究室	日本経済新聞社.
12	1998 年 8 月	自律再構成機能を持った, 世界初のニューラルネットワークチップの開発	RWI センター 進化システムラボ	日本経済新聞. 1998-08-29. 日本工業新聞.

				1998-09-01. Business VEGA. Vol.57, p.80-81, 1999.
13	1998 年 7 月 27 日	自律再構成機能を持った、世界初のニューラルネットワークチップの開発	適応デバイス NEC 研究室	日本経済新聞. 1998-08-29. 日刊工業新聞. 1998-09-17.
14	1998 年 6 月、7 月	RWC'98 における発表を中心とした RWC プロジェクトの現状と1997 年度成果	自律学習機能 富士通研究室 マルチモーダル機能 シャープ研究室 光インターコネクション 日立研究室	通産新報. 1998 年 7 月 15 日号, 第二部全面特集).
15	1998 年 7 月 17 日	手話通訳システム	マルチモーダル機能 日立研究室	"めざましテレビ". フジテレビ.
16	1998 年 7 月	人型ロボット開発前線	RWI センター 進化システムラボ	"ワールド・ビジネス・サテライト". テレビ東京, 1998-07-15.
17	1998 年 7 月 17 日	表情を持った機械たち	RWI センター 適応ビジョンラボ	SCIaS. 朝日新聞社, 1998 年 7 月 17 日号.
18	1998 年 7 月 10 日	大容量データバス用光インターコネクション (世界で初めて光インタコネクトを用いた並列コンピュータを試作)	光インターコネクション 日立研究室	"技術燦々". 日経産業新聞. 1998-07-13, (一面トップ).
19	1998 年 6 月	筋電制御義手	RWI センター 進化システムラボ	"首都圏ネットワークニュース". NHK, 1998-06-23, 18:00-19:00.
20	1998 年 6 月 4 日	進化するハードウェアチップを用いた自律移動ロボットの開発	適応デバイス NEC 研究室	"ワールド・ビジネス・サテライト". テレビ東京. 日経産業新聞. 1998-06-24.
21	1998 年 6 月	進化するハードウェアチップを用いた筋電制御型義手の開発	適応デバイス NEC 研究室 RWI センター 進化システムラボ	NHK-TV. 1998-06-23, (18 時のニュース). 日本経済新聞. 1998-06-24. 日刊工業新聞. 1998-06-24. 日本工業新聞. 1998-06-24. 朝日新聞.

				1998-07-06, 夕刊. 朝日新聞. 1999-10-14, 夕刊. "アートタイム". 日本テレビ. (1998-07-10 取材) 赤旗. 1998-07-15. 読売新聞. 1998-07-09, 夕刊. 北海道新聞. 1998-08-19.
22	1998 年 5 月 25 日	並列タンパク質情報解析 (PAPIA) システム	並列応用つくば研究室	日経産業新聞. 1998-05-26. 日刊工業新聞. 1998-05-26. 日本工業新聞. 1998-05-26.
23	1998 年 5 月	"Virtual Human" Interfaces That See Right Back.	RWI センター 適応ビジョンラボ	Advanced Imaging. Cygnus Pubrishing,Inc., 1998, May. p.12-15.
24	1998 年 5 月	人工生命への挑戦	RWI センター 進化システムラボ	NHK 衛星第 2, 平成 10 年 5 月放映).
25	1998 年 5 月	進化するハードウェアチップを用いた電子写真印刷データ用高速、高圧縮率のデータ圧縮 LSI の開発	適応デバイス NEC 研究室 RWI センター 進化システムラボ	日経産業新聞. 1998-05-29.

平成9年度

	発表年月日	件名	発表研究室	発表先
1	1998 年 3 月 14 日	ジェスチャ認識と音声認識ソフトが市販ノートパソコンで同時に動く技術」（MMPC）	マルチモーダル機能 つくば研究室	日経産業新聞. 1998-3-25. 日刊工業新聞. 1998-03-25. 週刊アスキー. ビジュアル 2+1. （パソコン通信ニュース）.
				New Technology Japan. Vol.26, No.2, May1998 号, （JETRO 発行の英文誌）.
2	1998 年 3 月	データマイニング	並列応用東芝研究室	日経産業新聞.
3	1998 年 2 月	進化するハードウェア提唱 ／先端人 樋口哲也氏	RWI センター 進化システムラボ	日本経済新聞. 1998-02-16.
4	1998 年 2 月	柔軟思考で素早く行動 ／工技院電総研新ロボット開発 電子回路に工夫	RWI センター 進化システムラボ	読売新聞. 1998-02-12, 夕刊.
5	1998 年 1 月 5 日	サイバーエージェント： 電脳世界の代理人	RWI センター 適応ビジョンラボ	O plus E 1998 年 1 月 5 日号. p.100-109.
6	1998 年 1 月	進化するハードウェアを用いた自律移動ロボット Evolver の開発に成功	RWI センター 進化システムラボ	日刊工業新聞. 1998-01-30. 日本工業新聞. 1998-01-30. 日経産業新聞. 1998-01-30.
7	1998 年 1 月 14 日	手話通訳システム	マルチモーダル機能 日立研究室	日経産業新聞.
8	1997 年 11 月 6 日	新半導体材料による光ファイバ通信用面発光レーザを実現	光インターコネクション 日立研究室	日本経済新聞.
9	1997 年 11 月 5 日	ジェスチャ音声操作パソコン・ネット	マルチモーダル機能 つくば研究室	燃えろリーダー. ブレーン・ダイナミクス社, 月刊.
10	1997 年 10 月 30 日	並列スーパーパソコンシステム	並列分散システムソフトウェアつくば研究室	日本経済新聞. 1997-10-31. 日刊工業新聞. 1997-10-31. 毎日新聞. 1997-10-31. 茨城新聞. 1997-11-05. NHK TV. 1997-11-01.

				読売新聞. 1997-02-24.
11	1997 年 9 月 26 日	パソコンつなぎ並列計算	並列分散システムソフトウェアつくば研究室	日経産業新聞. 1997-10-02.
12	1997 年 9 月 12 日	新しい半導体基板を用いて温度特性の優れた長波長帯の半導体レーザの実現に成功	光インターコネクション 富士通研究室	日経産業新聞. 1997-10.23.
13	1997 年 5 月	ジェスチャと音声によるコンピュータとの実時間対話	マルチモーダル機能 つくば研究室	映像情報. 産業開発機構発行, 1997 年 5 月号.
14	1997 年 4 月	手話通訳プロトタイプシステム	マルチモーダル機能 日立研究室	テレビ東京及び TXN ネット局 (全 12 局)

５．デモンストレーション

Ａ．実世界知能技術分野

A-1.マルチモーダル機能領域

A-1-1 言語的ジェスチャ把握（マルチモーダル機能日立研究室）

1. 1999年６月 17 日、“手話通訳プロトタイプシステムと手話教育システムの展示”、早稲田大学国際会議場（1999年度人工知能学会全国大会）

A-1-2 非言語情報マルチモーダルインタフェース（マルチモーダル機能シャープ研究室）

1. 1999年 1 月 12 日～、“マルチモーダル対話システム(MAICO)の常設展示”、千葉市美浜区 シャープ幕張ビル 2F ハイテクホール
2. 1999年 6 月 16 日、“マルチモーダル対話システム(MAICO)の展示”、東京都新宿区早稲田大学（人工知能学会全国大会）
3. 1999 年 11 月 9 日～ 10 日、“マルチモーダル対話システム(MAICO)の展示”、米国ノースカロライナ州アッシュビル（12th Annual ACM Symposium on User Interface software and Technology）

A-1-3 人間のマルチモーダル情報処理（マルチモーダル機能ＮＴＴ研究室）

A-1-4 動的画像応答（マルチモーダル機能三菱研究室）

A-1-5 実世界モデル生成（マルチモーダル機能三洋研究室）

1. 1999年６月１６日、“手指の動きによるのハンドリング・システムの展示”、早稲田大学国際会議場（第 13 回人工知能学会 ディジタル・ポスタセッション）

A-1-6 Ｈ９ジェスチャベース対話システム／Ｈ１０マルチモーダル対話パソコンネットシステム／Ｈ１１～１３Cross Mediatorにおけるマルチモーダル対話システム（マルチモーダル機能つくば研究室）

1. 1998 年 6 月 17 日～ 19 日、“ジェスチャ認識および音声認識による実時間対話システム MMPC の展示”、人工知能学会全国大会、ディジタルポスター、「情報統合」.
2. 1998 年 7 月 26 日～ 30 日、“ジェスチャおよび音声対話システムの展示”、米国マディソン市 (Fifth National Conference on Artificial Intelligence AAAI-98)
3. 1999 年 6 月 16 日～ 18 日、“ジェスチャ認識とその学習システムの展示”、人工知能学会全国大会、ディジタルポスター、「Cross-Media と情報統合」.
4. 2000 年 7 月 4 日～ 7 日、“ジェスチャ音声対話システムのノートPC ステムの展示”、人工知能学会全国大会、ディジタルポスター、「情報統合における学習と検索」.

A-1-7 顔と表情の頑健な認識（マルチモーダル機能ＫＲＤＬ研究室）

A-1-8 適応ビジョンシステムに関する研究（ＲＷＩセンター適応ビジョンラボ）

1. 1999 年 6 月 16 日、“ ウェアラブルビジョンシステムの展示 ”、東京（人工知能学会全国大会）
2. 1999 年 11 月 17 日～ 19 日、“ ウェアラブルビジョンシステムの展示 ”、つくば市（ＳＦＴ999）

A-1-9 音声と画像の統合による対話の研究（ＲＷＩセンター情報統合対話ラボ）

A-2.自律学習機能領域

A-2-1 移動エージェントを用いた自律学習機能（自律学習機能富士通研究室）

1. 1998 年 6 月 18 日、“ 実世界で自律学習を行うための分散知能アーキテクチャ -CITTA-の展示 ”、 東京(第 12 回人工知能学会全国大会)
2. 1998 年 6 月 18 日、“ 移動ロボット実験用データベースシステムの展示 ”、東京(第 12 回人工知能学会全国大会)
3. 2000 年 7 月 6 日、“ Matchable 状況分解の Multi-Module 強化学習への適用の展示 ”、東京(第 14 回人工知能学会全国大会)

A-2-2 自律学習移動ロボットのための音響環境理解（自律学習機能ＭＲＩ研究室）

A-2-3 分散型実時間自律行動系（自律学習機能ＳＩＣＳ研究室）

A-2-4 能動的地図獲得とセンサー情報表現（自律学習機能ＳＮＮ研究室）

1. 2000 年５月１９日、“ Demonstration of the Office Robot at the Industrial Applications of Neural Networks symposium in Utrecht ”、the Netherlands
2. 2000 年５月２９日～ ６月２日、“ Demonstration at the European RoboCup 2000 ”、Amsterdam, The Netherlands

A-2-5 オフィスロボット Jijo-2 の学習・統合型情報処理の研究（ＲＷＩセンター事情通ロボットラボ）

1. 1997 年 8 月、“ 国際人工知能学会(IJCAI) ”、名古屋市
2. 1998 年 11 月、“ 国民文化祭ロボットシンポジウム ”、大分県

A-3.自己組織化情報ベース機能領域

A-3-1 画像情報の計量化と可視化（情報ベース機能日立研究室）

1. 2000 年 2 月 29 日、“画像検索システムの展示”、東京工業大学（Interaction 2000）
2. 2000 年 6 月 1 日、“画像検索システムの展示”、湘南国際村センター(FJK2000)
3. 2000 年 7 月 31 日～ 8 月 2 日、“画像検索システムおよび音楽生成システムの展示”、ニューヨーク（ICME2000）
4. 2000 年 9 月 26 日～ 27 日、“画像検索システムの展示”、新高輪プリンスホテル（日立 IT コンベンション）
5. 2000 年 10 月 4 日～ 6 日、“画像検索システムの展示”、岐阜県ソフトピアジャパンセンター（EVA GIFU2000）

A-3-2 文書情報空間の自己組織化（情報ベース機能三菱研究室）

A-3-3 Ｈ１０～１３適応的状況認知のための自己組織化アーキテクチャの開発（情報ベース機能東芝研究室）

A-3-4 Ｈ９～１０検索要約システム／Ｈ１１～１３Cross Mediator の構築（情報ベース機能つくば研究室）

1. 1998 年 7 月 26 日～ 30 日、“動画および音声検索要約システムの展示”、米国マディソン市(Fifth National Conference on Artificial Intelligence AAAI-98)
2. 1999 年 6 月 16 日～ 18 日、“大規模データの自己組織化、音声によるテキスト音声検索要約システムの展示”、人工知能学会全国大会、ディジタルポスター「Cross-Media と情報統合」
3. 1998 年 6 月 17 日～ 19 日、“音声と動画像の相互検索システム、テキスト検索システムの展示”、人工知能学会全国大会、ディジタルポスター「情報統号」
4. 1999 年 8 月 17 日、“連想空間（ASKS）に基づくテキスト検索ソフトの開発”、Press Release
5. 2000 年 7 月 4 日～ 7 日、“動画の実時間検索、画像からのインタネット検索、メールの自動分類システムの展示”、人工知能学会全国大会、ディジタルポスター「情報統合における学習と検索」

A-3-5 Ｈ９ユーザ依存自己組織化／Ｈ１０～１３ユーザ依存の自己組織化マルチメディア情報ベース（情報ベース機能ＫＲＤＬ研究室）

1. 2000 年 10 月 31 日、“VSE system”、Los Angeles（ACM Multimedia 2000 conference）

A-3-6 能動知能システムの評価（ＲＷＩセンター言語統合ラボ）

1. 1999 年 6 月 25 日、“GDA Tools: Authoring, Browsing, Summarization, and Interactive Presentation of Semantically Annotated Linguistic Contents”，米国メリーランド市(37th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics)

A-4.理論・アルゴリズム基盤領域

A-4-1 分散能動学習方式（理論基盤ＮＥＣ研究室）

A-4-2 記号パターン統合（理論基盤東芝研究室）

A-4-3 Ｈ９実世界における能動学習と情報統合／Ｈ１０～１３開かれた環境における能動学習と情報統合（理論基盤ＧＭＤ研究室）

A-4-4 統計的パターンコンピューティング（理論基盤ＳＩＣＳ研究室）

A-4-5 確率的知識表現および能動的意思決定（理論基盤ＳＮＮ研究室）

1. 1999 年 4 月 6 日～ 9 日、“Kappen. Information geometry for Boltzmann Machines.”、Utah.（Snowbird Workshop）
2. 1999 年 4 月 6 日～ 9 日、“Cemgil. Quantization for Transcription.”、Edinburgh UK（AISB Symposium on Musical Creativity）
3. 1999 年 6 月 7 日、“Kappen. Probabilistic methods for medical diagnosis.”、Basel（Biometrica meeting）
4. 1999 年 6 月 20 日、“Wiegerinck. Promedas: A probabilsitic medical diagnostic advisory system.”、Aalborg（EC conference on AI in Medicine.）
5. 1999 年 7 月 1 日～ 3 日、“Heskes. Energy functions for self-organizing maps.”、Helsinki（WSOM）
6. 1999 年 11 月 30 日～ 12 月 4 日、“Kappen. Mean field theory for asymmetric networks.”、Breckenridge（NIPS Workshops）
7. 2000 年 4 月 4 日～ 7 日、“Bayesian Multitask Learning.”、Utah（Snowbird Workshop）
8. 2000 年 6 月 29 日～ 7 月 2 日、“ Heskes. Bayesian Multitask Learning.”、Utah（Snowbird Workshop）
9. 2000 年 7 月、“Wiegerinck. EM algorithms for self-organizing maps.”、Como Italy（IJCNN）
10. 2000 年 4 月 4 日～ 7 日、“Kappen. Dominant self-interaction.”、Utah（Snowbird Workshop）
11. 2000 年 5 月 18 日、“Learning and reasoning.”、Utrecht（SNN 2000）
12. 2000 年 8 月 27 日～ 9 月 2 日、“Cemgil. On tempo tracking: Tempogram Representation and Kalman filtering.”、Berlin（ICMC）

A-4-6 学習統合型情報処理の理論基盤の研究（ＲＷＩセンター学習統合基礎ラボ）

1. 1998 年 6 月 17 日～ 19 日、“データベースからの学習機能を持つ確率推論システム BAYONET”、 人工知能学会全国大会、（ベストプレゼンテーション賞受賞）

A-5.実世界適応デバイス領域

A-5-1 再構成可能適応型デバイス（適応デバイスＮＥＣ研究室）

A-5-2 デジタル・スマートピクセルと光実装（適応デバイス松下研究室）

A-5-3 高並列大容量演算システムの評価（ＲＷＩセンター情報光学ラボ）

A-5-4 進化システムアーキテクチャの評価（ＲＷＩセンター進化システムラボ）

1. 1998 年 7 月 31 日、“義手”、工業技術院統一公開
2. 1999 年 11 月 17 ～ 19 日、“義手”、SFT999（サイエンスフロンティア１９９９）
3. 2000 年 1 月 21 ～ 22 日、“義手”、技術交流 in つくば２０００
4. 2000 年 7 月 21 日～ 8 月 6 日、“義手”、２１世紀夢の技術展
5. 2000 年 8 月 25 日～ 8 月 27 日、“義手”、岡山未来技術フェア
6. 2000 年 9 月 26 日～ 9 月 28 日、“義手”、国際新技術フェア

Ｂ．並列分散コンピューティング技術分野

B-1.シームレス並列分散コンピューティング技術領域

B-1-1 並列ネットワークサーバ（並列分散システム富士通研究室）

1. 1998 年 3 月 16 日～ 19 日、“DV/IP システムの公開実験”、浜松市（WIDE 研究会）
2. 1998 年 5 月 15 日～ 16 日、“広域 DV/IP システムの公開実験”、奈良市（WIDE 研究会）
3. 1998 年 6 月 2 日～ 5 日、“広域 DV/IP システムの公開実験”、千葉市 (Networld+Interop Tokyo '98)
4. 1998 年 6 月 3 日～ 5 日、“IEEE 1394 バスの計算機ネットワークへの適用”、名古屋市（JSPP'98）
5. 1998 年 11 月 9 日～ 11 日、“Comet システムの展示”、米国オーランド市（SC’98）
6. 1999 年 9 月 4 日～ 5 日、“オペラ「LIFE」でのインターネット中継”、大阪府（朝日新聞主催オペラ「LIFE」大阪公演）
7. 1999 年 9 月 9 日～ 13 日、“オペラ「LIFE」でのインターネット中継”、東京都（朝日新聞主催オペラ「LIFE」東京公演）
8. 1999 年 11 月 6 日～ 9 日、“Comet システムの展示”、米国ダラス市（SC 2000）

B-1-2 高性能並列分散計算機システム（並列分散システムＮＥＣ研究室）

1. 1998 年 11 月 9 日～ 12 日、“異機種並列分散プログラミングシステムの展示”、米国オーランド(SC98)
2. 1999 年 11 月 13 日～ 19 日、“異機種並列分散プログラミングシステムの展示”、米国ポートランド市（SC99）

B-1-3 Ｈ１０～１３サーバアプリケーションへの並列分散技術の応用研究（並列分散システム住金研究室）

B-1-4 Ｈ９～１１並列分散システムソフトウエア／Ｈ１０～１３コンピュータクラスタ上の基本ソフトウエア（並列分散システムソフトウェアつくば研究室）

1. 1996 年 11 月 15 日～ 21 日、“SCore1.0 クラスタ環境の展示”、米国ピッツバーグ(SC96)
2. 1997 年 11 月 15 日～ 21 日、“SCore 2.0 クラスタ環境の展示”、米国サンノゼ(SC97)
3. 1998 年 11 月 9 日～ 13 日、“SCore 2.4 クラスタ環境の展示”、米国オーランド(SC98)
4. 1999 年 11 月 13 日～ 19 日、“SCore 3.0異機種クラスタ環境の展示”、米国ポートランド(SC99)
5. 2000 年 11 月 4 日～ 10 日、“SCore 3.2 + Omni OpenMP の展示”、米国ダラス(SC2000)
6. 2001 年 11 月 10 日～ 16 日、“Score の展示”、米国デンバー(SC2001)

B-1-5 並列分散システムでの高性能計算及び性能特性の研究／並列アプリケーションの探索的技術開発及び性能解析（並列分散システムパフォーマンスつくば研究室）

1. 1997 年 11 月 15 日～ 21 日、“SCore 2.0 クラスタ環境上での流体アプリケーション femFlow”、米国サンノゼ(SC97)
2. 1998 年 11 月 9 日～ 13 日、“グローバルコンピューティングソフトウエア Ninf を用いた並列流体解析システム netCFD”、米国オーランド(SC98)

3. 1999 年 11 月 13 日～ 19 日、“Omni OpenMP と自動並列化ツール WPP”、米国ポートランド (SC99)
4. 2000 年 11 月 4 日～ 10 日、“SCore 3.2 + Omni OpenMP の展示”、米国ダラス(SC2000)

B-1-6 大規模応用のための高機能データ並列プログラミング（並列分散システムＧＭＤ研究室）

1. 1999 年 11 月 11 日～ 13 日、“Display of the PROMISE system inside the RWCP frame”、Portland city in the U.S.（the Super Computing Conference）
2. 2000 年 8 月 22 日～ 24 日、“Presentation of PROMISE”、the workshop “Irregular Applications in Cactus” of the Cactus group.
3. 2000 年 11 月 4 日～ 10 日、“Display of the PROMISE system inside the RWCP frame”、Dallas city in the U.S.（the Super Computing Conference）
4. 2000 年 11 月 13 日～ 17 日、“Presentation of PROMISE”、Argonne National Laboratory, Lawrence Berkeley, Lawrence Livermore National Laboratory, Stanford University.

B-1-7 Ｈ９～１１並列分散基本システムアーキテクチャ／Ｈ１０～１３省電力型高速光転送向インタフェース技術（並列分散システムアーキテクチャつくば研究室）

1. 1998 年 11 月 15 日～ 18 日、“RHiNET-1 システムの展示”、米国オーランド市（SC’'98）
2. 1999 年 6 月 9 日～１1 日、“RHiNET-1 システムのデモンストレーション”、茨城県つくば市（JSPP’99）
3. 1999 年 11 月 15 日～ 18 日、“RHiNET-1 システムのデモンストレーションおよび RHiNET-2 スイッチの展示”、米国ポートランド市（SC’99）
4. 2000 年 4 月 24 日～ 25 日、“RHiNET-1 スイッチのデモンストレーション”、東京都港区（CoolChips’99）
5. 2001 年 11 月 10 日～ 16 日、“RHiNET の展示”、米国デンバー市 (SC2001)

B-1-8 大容量データバス用光インターコネクション（光インターコネクション日立研究室）

1. 1997 年 7 月、“超並列計算機応用光インタコネクション技術”、幕張メッセ（InterOpto’97）
2. 1998 年 7 月、“超並列計算機 RWC-1 内光インタコネクトシステム”、幕張メッセ（InterOpto’98）
3. 1998 年 10 月、“超並列コンピュータに適用される光実装技術”、大阪（エレクトロニクスショー）
4. 1998 年 11 月、“Large-throughput optical interconnection subsystem for the RWCP seamless computing system”、米国オーランド市 (High performance networking and computing conference、SC’98）
5. 1999 年 7 月、“大容量光インタコネクション　-並列分散計算機システム（RHiNET）搭載用サブシステム-”、幕張メッセ（InterOpto’99）
6. 1999 年 11 月、“RHiNET-2/SW prototype optical network switch for the RHiNET”、米国ポートランド市（High performance networking and computing conference、SC’99）
7. 2000 年 7 月、“並列分散計算機（RHiNET)用大容量光ネットワークスイッチ”、幕張メッセ（InterOpto 2000）

8. 2000年11月、“RHiNET-2システム（16ノード）の動態展示”、米国ダラス市（High performance networking and computing conference、SC2000）
9. 2001年7月、“並列分散計算機（RHiNET）用大容量光ネットワークスイッチ”、幕張メッセ（InterOpto 2001）

B-1-9 光インタコネクション用低電圧動作面型レーザの研究（光インターコネクション富士通研究室）

B-1-10 低消費電力光インターコネクション（光インターコネクションＮＥＣ研究室）

1. 1998年7月20日-24日、“光インターコネクションの展示”,千葉県幕張(インターオプト９８)
2. 1999年7月12日-16日、“システムLSI向け光IPコア及び長波VCSELの展示”、千葉県幕張(インターオプト９９)
3. 2000年7月10日-14日、“光インターコネクション向け光IPコア及び長波VCSELの展示”、千葉県幕張(インターオプト２０００)
4. 2001年7月、光インターコネクション向け光IPコア及び長波VCSELの展示、幕張メッセ（InterOpto 2001）

B-1-11 高密度光バス（光インターコネクション沖研究室）

1. 1998年、インターオプトへ出展
2. 1999年、インターオプトへ出展
3. 2000年、インターオプトへ出展
4. 2001年、インターオプトへ出展

B-1-12 波長多重型光LAN（光インターコネクション住電研究室）

1. 1999年7月13日～16日、“パネル展示（RWCP）”、幕張メッセ（インターオプト99）
2. 2000年3月6日～11日、“パネル、モジュール展示（JOP）”、米国ボルチモア（OFC 2000）
3. 2000年7月11日～14日、“パネル展示（RWCP）”、幕張メッセ（インターオプト2000）
4. 2001年、“パネル展示（RWCP）”、幕張メッセ（インターオプト2001）

B-1-13 スキュー低減型多芯高速伝送路（光インターコネクションフジクラ研究室）

1. 1998年、“パネル展示”、InterOpto
2. 1999年、“パネル展示”、InterOpto
3. 2000年、“パネル展示”、InterOpto
4. 2001年、“パネル展示”、InterOpto

B-1-14 無調芯型面発光LDモジュール（光インターコネクション古河研究室）

1. 1999年7月13日～16日、”成果内容のポスターの展示”、千葉市（InterOpto'99）
2. 2000年7月11日～14日、”成果内容のポスターおよび面発光LDモジュールの展示”、千葉市（InterOpto2000）
3. 2000年7月、”成果内容のポスターおよび面発光LDモジュールの展示”、千葉市

（InterOpto2001）

B-1-15 空間分割多重光インターコネクション（光インターコネクション日板研究室）

1. 1998 年、“ パネル展示 ”、Interopt’98
2. 1999 年、“ パネル展示 ”、Interopt’99
3. 2000 年、“ パネル展示 ”、Interopt2000
4. 2001 年、“ パネル展示 ”、Interopt2000

B-2.並列アプリケーション技術領域

B-2-1 ヘテロジニアスコンピューティング共通インターフェースソフト（並列応用日立研究室）

1. 1999 年６月１０日～１３日、“A common software structure for heterogeneous computing の展示”、筑波市（ Joint Symposium Prallel Processing 99）

B-2-2 物理・統計融合型シミュレーション（並列応用三菱研究室）

B-2-3 Ｈ９電力分野およびゲノム情報処理分野における並列情報処理技術／Ｈ１０～１３電力分野における並列情報処理技術の研究（並列応用ＭＲＩ研究室）

B-2-4 並列分散データマイニング（並列応用東芝研究室）

1. 2000 年 11 月 4 日～ 10 日、“並列分散データマイニングシステムの展示”、米国ダラス市 (Super Computing 2000)

B-2-5 マルチメディアデータベースの並列分散処理（並列応用三洋研究室）

６．研究開発に利用している主な施設・装置のリスト（および簡単な説明）

0. 共通施設

1) 並列コンピュータシステム :型名 SR2201, (株)日立製作所製, 128プロセッサ, メモリ２５６MB／プロセッサ (総計 32GB) , RWC P傘下の研究室の共有スーパーコンピュータとして, シミュレーション, 並列プログラムの作成と評価などに使用.

A. 実世界知能技術分野

A-1.マルチモーダル機能領域

A-1-1 言語的ジェスチャ把握（マルチモーダル機能日立研究室）

1) Virtual Technologies CyberGlove：手話における手動作入力用に使用している手袋型入力装置である。各指に2個のセンサが装着してあり、手の形状の変化を入力することが可能である。
2) Canopus DVREX-M1：デジタルビデオ対応のＰＣ用画像入力ボードである。ビデオ撮影した手話発話データをＰＣ上に取り込み、解析を行うために使用する。
3) DELL DIMENSION XPS：Pentium III 450MHz のＰＣである。手話認識技術の開発のプラットフォームおよび手話発話データ解析に使用する。
4) Microsoft Visual Studio 6.0 Professional Edition：手話認識技術およびその応用システムの開発に使用する開発用ソフトである。
5) Bounds Checker 6.0 Visual C++ Edition： プログラムのデバッグを効率化するためのプログラム解析ソフトである。手話認識技術および応用システムの開発時のデバッグを行うために使用するソフトである。

A-1-2 非言語情報マルチモーダルインタフェース（マルチモーダル機能シャープ研究室）

1) SGI Octane：Unix ワークステーション、マルチモーダル対話過程の解析に使用。
2) SGI Workstation (PC)：プロトタイプシステム(MAICO)の CG 実装に使用。
3) DELL Precision Workstation (PC)：プロトタイプシステム(MAICO)の音声認識・対話処理に使用。
4) モーションキャプチャシステム(EVA)：マルチモーダル対話データ収集に使用。
5) ビデオカメラ・ベータカム機器：マルチモーダル対話データ収集に使用。
6) Softimage: プロトタイプシステム(MAICO)の CG 描画に使用。
7) Mathematica:マルチモーダル対話過程の解析に使用。

A-1-3 人間のマルチモーダル情報処理（マルチモーダル機能ＮＴＴ研究室）

1) 全頭型脳磁界計測装置：脳から発生する微弱な磁界を計測する装置
2) 磁気シールドルーム： 外部磁気雑音を低減する部屋
3) 脳磁界データ解析システム：計測脳磁界データを解析し表示するソフトウェア
4) 高速視覚刺激呈示装置：精度よく視覚刺激を呈示する装置
5) 高速聴覚刺激呈示装置：精度よく聴覚刺激を呈示する装置
6) 反応トリガ装置：脳磁界計測実験などで被験者のキー反応を計測する装置
7) 3次元ディジタイザ：脳の位置などを3次元的に計測する装置

A-1-4 動的画像応答（マルチモーダル機能三菱研究室）

1) ワークスステーションおよびソフトウェア開発ソフトウェア：様々な画像処理アルゴリズムの評価シミュレーション、新しい画像処理アルゴリズムの研究における評価シミュレーションを実施する。
2) 大容量ディスクサーヴァおよび高速ネットワーク： アルゴリズム評価に用いる大量の動画像データの保存、利用と、処理結果の保存用。
3) 画像入力/処理モジュールとその開発環境：図 3 に示したハードウェアモジュールとその開発用コンピュータおよび計測機器。分散型のビデオサーヴェイランスシステムの評価、実証に用いている。

4) デモシステム表示用機器：2001年開催のRWCPシンポジウムにおけるデモンストレーションのためのシステム処理結果を表示するためのパソコン。
5) 画像入力装置：アルゴリズム開発および評価で用いる画像を採取するための、カメラおよびビデオキャプチャボードおよびホストコンピュータ等。

A-1-5 実世界モデル生成（マルチモーダル機能三洋研究室）

1) WS(SGI　Octane MXE)：ソフトウェア開発用ワークステーション
2) PC(Vintage Pro)：Linux搭載 PC、デモ・システム構築用プラットフォーム
3) PC(Vaio)：PCG-Z505JL、数値計算用PC（旧デモ・システム）
4) LaserPrinter(LBP2260PS)：カラーPostScriptプリンタ、デバッグ用データ出力

A-1-6 Ｈ９ジェスチャベース対話システム／Ｈ１０マルチモーダル対話パソコンネットシステム／Ｈ１１～１３Cross Mediatorにおけるマルチモーダル対話システム（マルチモーダル機能つくば研究室）

1) ビデオつきノートPC：ジェスチャや音声で対話するシステムを実装するPCとして用いている。
2) 距離画像計測装置：ジェスチャの背景により依存しない画像として距離画像を用いたシステムを構築するときに用いている。
3) 10PC からなるPC クラスタ：拡張 CrossMediatorを応用システムとするマルチモーダル対話システムの実装用として用いている。

A-1-7 顔と表情の頑健な認識（マルチモーダル機能ＫＲＤＬ研究室）

1) Argocraft video capture board running on LINUX
2) Sony EVI-D30 pan/tilt camera ： A similar setup is used in the ETL Jijo-2 Robot. ETL requested KRDL to deliver a face recognition system to run on the Jijo-2 Robot.

A-1-8 適応ビジョンシステムに関する研究（ＲＷＩセンター適応ビジョンラボ）

1) ピラミッドビジョンシステム：ステレオ対応付けと動き検出を同時にリアルタイムで実行するための装置。
2) PCクラスタ：ウェアラブルビジョンの各種画像処理機能を同時にリアルタイムで実行するための並列コンピュータ。
3) ワークステーション（SGI）：画像処理アルゴリズム開発及び映像の高速取り込み・表示用。
4) 超小型ディスプレー：ウェアラブルビジョンシステムのための解像度320×240画素の超小型でスプレー。

A-1-9 音声と画像の統合による対話の研究（ＲＷＩセンター情報統合対話ラボ）

1) 音声・動画像処理装置：音声および動画像を高精度に入力 、処理できる装置である。音声と画像を用いた対話システムの研究には 、その処理能力に優れた計算機が必要である。
2) 音声・動画像解析装置：音声および動画像データを用いた演算を高速に実行できる装置である。音声および動画像の解析に用いる。
3) 画像表示装置：CG 画像合成を高速に実行できる装置である。マルチモーダル対話システムの表示に用いる。

4) 数値解析ソフトウェア：信号処理や統計処理などの数値解析を対話的に行うソフトウェアである。音声の分析やシミュレーションに用いる。

A-2.自律学習機能領域

A-2-1 移動エージェントを用いた自律学習機能（自律学習機能富士通研究室）

1) パーソナル・コンピューター：個人が専有し、小規模の利用に供する小型コンピューター。卓上型が多い。パソ‐コン。用途としてはソフトウエア開発、計算機実験の実行などが主である。
2) ワークステーション：ミニコンピューターとパーソナルコンピューターの中間の規模のコンピューターで、ビットマップ表示装置、マウス_入力装置、ウインドー･システムなどを備えたもの。文字情報だけでなく、図形、画像をはじめとするマルチメディア情報処理ができる。用途としてはソフトウエア開発、計算機実験の実行などが主である。
3) Java 言語開発環境：Sun Microsystems 社の開発した完全なオブジェクト指向性を備えたプログラミング言語。ネットワーク環境で利用されることを強く意識した仕様になっておりソフトウェアは特定のOSやマイクロプロセッサに依存することなく動作する。用途としてはソフトウエア開発、計算機実験の実行などが主である。
4) EXCEL 多変量解析：EXCEL 上のデータに対して相関分析 ･回帰分析 ･重回帰分析 ･判別分析 ･主成分分析 ･因子分析クラスター分析などを行うことが可能なアドインソフトウエア。用途としては解析手法の性能比較。

A-2-2 自律学習移動ロボットのための音響環境理解（自律学習機能ＭＲＩ研究室）

1) 音響計測装置： 16チャネルの円形マイクロホンアレー、フィルタアンプ、ADコンバータである。音響信号の計測に利用している。
2) パソコン1：Pentium III Xeon 550MHz× 2個を搭載した Linux PC である。マルチプロセッサによるリアルタイム処理の実装に利用した。
3) パソコン2：Pentium III 1GHz× 2個を搭載した Linux PC である。マルチプロセッサによるリアルタイム処理の実装への利用を予定している。
4) 音響処理装置：DSP 搭載ボードである。超小型ハードウエアの実装可能性の評価に利用した。

A-2-3 分散型実時間自律行動系（自律学習機能ＳＩＣＳ研究室）

1) visualNastran Motion：Mechanical simulation package. Used for experiments and testing of prototypes.
2) AutoDesk Inventor ：CAD program. Used for design of experimental equipment.
3) 3D Studio Max：Animation program. Used for visual rendering of simulations.
4) GNU C compiler：Open source C compiler. Used for program development.

A-2-4 能動的地図獲得とセンサー情報表現（自律学習機能ＳＮＮ研究室）

1) The research is carried out on 2 SUN Workstations. For the robotics developments we lease the Robot Lab of the University of Amsterdam. The facilities in the laboratory include the following equipment
2) Nomad Scout Robot
3) Frame grabber, processor
4) Omnidirectional camera system
5) Other camera systems (Sony pan-tilt camera's)
6) PC system

7) Matlab licenses

A-2-5 オフィスロボット Jijo-2 の学習・統合型情報処理の研究（RWIセンター事情通ロボットラボ）

1) 移動ロボット: Nomadic 社製 XR-4000 型移動ロボットプラットフォーム。これに音響処理・音声認識用の DSP 装置、音声合成装置、TV カメラなどを搭載。無線LAN、電池などを含む。
2) 統計数学計算ソフトウェア、MatLab：画像処理、主成分解析などのソフトウェア開発、シミュレーションに使用。
3) 音響処理装置：DSP(TI-320C44/50MHz)を2個用いた単音源用ビームフォーミングおよび音声認識の音韻解析用ハードウェアモジュール。さらに 320C67 を2個用い、複数音源の推定機能を備えた PCI バスモジュールを開発中。
4) 全周囲カメラシステム：球面反射鏡を用いた全周囲カメラに、画像入力、画像処理用のPCI ボード、そのドライバソフトウェアを組み合わせたもの。

A-3.自己組織化情報ベース機能領域

A-3-1 画像情報の計量化と可視化（情報ベース機能日立研究室）

1) Onyx2-IR: SGI社製のグラフィックワークステーション。H9 末より運用。3次元表示、マルチスレッド等の機能が安定したUnixプラットフォームとして、開発および研究施設内でのデモに活用している。
2) Polywell PC: 米 Polywell社製の PC。CPU PentiumIII750×２、グラフィックボード Geforce256。Linux で運用。グラフィックドライバ等の関連でやや動作が不安定な面があるが、外部デモのためには必須。開発でも活用。
3) MediaChef DLL: 映像からカット割画像を自動的に取り出す日立製のソフトウェアライブラリ。Windows上で動作。

A-3-2 文書情報空間の自己組織化（情報ベース機能三菱研究室）

1) ワークステーション：検索対象データの前処理、各種中間データの保存に用いる。
2) ノートPC：本研究で開発する新規の情報検索方式のデモンストレーションに用いる。

A-3-3 Ｈ１０～１３適応的状況認知のための自己組織化アーキテクチャの開発（情報ベース機能東芝研究室）

1) 東芝 UNIXワークステーション：大容量メモリを備えた高速ワークステーション。データベースサーバおよびテキスト自己組織化装置として用いる。
2) EDR 電子化辞書：日本語の意味の体系をデータベースにまとめたもの。テキスト自己組織化装置が語間の距離を計算するために参照する。
3) 東芝パソコン：大容量メモリを備えた高速パソコン。実証システムのクライアントおよび画像自己組織化装置として用いる。一部データのデータベースサーバとしても用いる。

A-3-4 Ｈ９～１０検索要約システム／Ｈ１１～１３Cross Mediatorの構築（情報ベース機能つくば研究室）

1) Origin2000: シミュレーションを実行する計算機として用いている。
2) PC Cluster: Windows PC が 8 台から 10 台で構成されるPC Clusterで、大規模データや複数の検索が同時的に実行できるシステムの実現を行う。

A-3-5 Ｈ９ユーザ依存自己組織化／Ｈ１０～１３ユーザ依存の自己組織化マルチメディア情報ベース（情報ベース機能ＫＲＤＬ研究室）

1) Intel Pentium II and III PC: This is the choice computing platform used for our current research and development work.
2) Sun Sparc station: The older generation of codes is resident and supported in this Unix platform.
3) Microsoft Visual C++: We develop our new codes mainly on the PC environment using the C/C++ programming support provided by Visual C++.
4) Kodak digital camera: The camera is used to take digital photos to add to our database of photos that are used for algorithm testing and bench marking.

A-3-6 能動知能システムの評価（RWIセンター言語統合ラボ）

1) マルチモーダルコンテンツ処理装置：マルチモーダルコンテンツの意味的構造化作業、およびマルチモーダル統合環境とマルチモーダルプレゼンテーションに関する開発・実験を行なうための高性能ワークステーション。
2) 可搬型マルチモーダルプレゼンテーション装置：マルチモーダルプレゼンテーションの一部をデモンストレーションするためのノート型パーソナルコンピュータ。
3) マルチモーダル情報処理言語：マルチモーダル統合環境およびマルチモーダルプレゼンテーションシステムを実装するためのJAVA 言語の処理系 (JDK 1.2.1)。
4) マルチモーダル共通フォーマット処理言語：XML ベースのマルチモーダル共通フォーマットを処理するためのJAVA 言語のライブラリ(XML for JAVA 1.1.16)。

A-4.理論 ・アルゴリズム基盤領域

A-4-1 分散能動学習方式（理論基盤ＮＥＣ研究室）

1) 遺伝子情報処理用ワークステーション： Sunワークステーション。遺伝子情報処理の実験用、およびつくばの並列計算機との通信に用いている。
2) 通信用兼自然言語処理用ワークステーション： Sunワークステーション。学習型自然言語処理の実験用、およびつくば研との通信に用いている。
3) 端末用パソコン： 上記ワークステーションを複数で利用する時の端末として用いてきた。
4) 文書作成用パソコン： Mac。RWC 報告書などの文書作成、およびARAを介しての通信用に用いている。

A-4-2 記号パターン統合（理論基盤東芝研究室）

1) AS システム： Sunの SparcStationの東芝 OEM 製品。SS10 相当4台、SS20 相当3台およびその周辺機器(CDROMドライブ、CMTドライブ、プリンタなど)プログラム作成・実行、論文作成に用いた。
2) CNAPS： ベクトル計算機。LANによりASからコントロールする。ニューラルネット計算に用いた。
3) PC システム： PentiumIII 700～800MHzの DUAL CPUタイプの PC2台および液晶モニタ。PC 上で動作するデモンストレーション用プログラムの開発、パターン推論の計算実験・分析に用いた。
4) その他パッケージソフト： Sparcプリンタ用ドライバーソフト、統計ソフト Statistica、Visual C++など。

A-4-3 Ｈ９実世界における能動学習と情報統合／Ｈ１０～１３開かれた環境における能動学習と情報統合（理論基盤ＧＭＤ研究室）

1) All systems run under LINUX on PC clusters ranging from 8 to 32 clients. realACT is implemented in Java, virtACT in C++. City-Traffic uses CINEMA-4D for graphical presentation.

A-4-4 統計的パターンコンピューティング（理論基盤ＳＩＣＳ研究室）

1) A 10-million word TASA corpus (Touchstone Applied Science Associates) of unmarked English, and
2) 80-question TOEFL synonym test (Test of English as a Foreign Language) from the University of Colorado,
3) Bell Labs' software for Latent Semantic Analysis (LSA) from Telcordia Technologies, and
4) FDG software for word-stemming and part-of-speech tagging from Conexor.

A-4-5 確率的知識表現および能動的意思決定（理論基盤ＳＮＮ研究室）

1) One workstation per researcher.

A-4-6 学習統合型情報処理の理論基盤の研究（ＲＷＩセンター学習統合基礎ラボ）

1) 学習用データ入力装置: 学習実験に使用する音声、画像、数値データ等の学習用データを入力する装置
2) 学習・推論実験用計算機: 学習・推論の実験に使用する高速な計算機
3) 学習用データ蓄積装置: 学習実験に使用するデータを蓄積し、実験用計算機に供給する装置
4) 統計解析、数値解析ソフトウェア: データの前処理や実験結果の処理に利用する商用ソフトウェア

A-5.実世界適応デバイス領域

A-5-1 再構成可能適応型デバイス（適応デバイスＮＥＣ研究室）

1) LSI 設計用 WS 一式（NEC EWS4800/470, Sun Ultra2 Model 2300 × 2）：LSI 設計に必要な、回路設計、論理設計、シミュレーションを行うためのワークステーション。
2) CAD ツール開発用 WS 一式（Sun Ultra2 Model 2300)：適応デバイス用の適応化ツール開発用のワークステーション。
3) 論理設計用 CAD ソフトウェア一式（Synopsys HDL コンパイラ、デザインコンパイラ、VHDL コンパイラ、VHDL シミュレータ）：LSI の論理設計用の CAD ツール。適応デバイス用の論理合成ツールとしても使用。
4) 回路設計用 CAD ソフトウェア一式（セイコーインスツルメンツ(株) ARTED3)：LSI のマスクパタン設計用 CAD ツール。
5) 回路設計用 CAD ソフトウェア II 一式（CADENCE Dracule III)：LSI を専用設計する際の各種検証及びシミュレーションに必要な、パラメータ抽出を行うCAD ツール。
6) 回路設計用 CAD ソフトウェア III 一式（Avanti Star-Sim, Star-HSPICE, OrCAD Capture)：LSI を専用設計する際に必要となる、大規模回路用シミュレータ、最適設計用シミュレータ、回路図エディタ。
7) ボード設計用 CAD ソフトウェア一式（OrCAD CIS V9, EXPRESS V9, LAYOUT PLUS)：適応デバイスの評価、実験用ボードの設計に必要な、回路設計、プリント基板設計、プリント基板シミュレーション用ソフトウェア。

A-5-2 デジタル・スマートピクセルと光実装（適応デバイス松下研究室）

1) 両面マスクアライナー：裏面からマスク合わせを行うことのできる露光機。回折光学素子、貫通穴基板、実装試験用チップ作製に使用。
2) 研磨用ボンディング装置：研磨治具へ基板を精密に装着する装置。これにより研磨精度が向上する。貫通穴基板研磨時に使用。。
3) 多チャンネル信号発生装置：36ch（64kword/ch）出力、クロック200MHz。デジタル・スマートピクセルの動作試験に使用。
4) バンドスライサー：もろくて厚い材料の切断が可能。石英基板加工に使用。
5) フリップチップボンディング装置：バンプ形成、チップ整列、マイクロ接合を行う試作用装置。LED の実装に使用。
6) ステッパー：1/4 縮小露光の露光装置。回折光学素子の作製に使用。
7) 反応性イオンエッチング装置：CF4、H 2を使用するドライエッチング装置。回折光学素子の作製に使用。
8) 電子ビーム蒸着装置：一般的な蒸着装置。回折光学素子、実装試験用チップ作製に使用。
9) 熱酸化装置：水蒸気雰囲気中で Si 基板表面に熱酸化膜を形成する装置。貫通穴基板作製に使用。

A-5-3 高並列大容量演算システムの評価（ＲＷＩセンター情報光学ラボ）

1) 並列画像入力装置：16x16 画素の実世界画像情報を入力し光電変換後並列に電気的に出力する装置。実世界画像入力および光演算結果検出に用いる。
2) 電気アドレス型空間光変調装置：制御用の電気信号により 2 次元空間上の光の位相を変調する装

置。光情報処理システムへコンピュータ内の画像情報を高速に入力する。

3) 光アドレス型空間光変調装置：制御用の 2次元光信号により 2 次元空間上の光の位相を変調する装置。光情報処理システム内で 2次元光情報同士の演算をおこなう。

4) 画像入力制御装置：実時間画像入力を行うデバイスの入力方向を機械的に制御する装置。光情報処理の演算結果に基づき入力をリアルタイムでコントロールする。

A-5-4 進化システムアーキテクチャの評価（RWＩセンター進化システムラボ）

1) CAD ソフトウェア：進化型 LSI の設計に用いる。

B. 並列分散コンピューティング技術分野

B-1.シームレス並列分散コンピューティング技術領域

B-1-1 並列ネットワークサーバ（並列分散システム富士通研究室）

1) NTT メガリンク（並列分散システム富士通研究室、慶応義塾大学湘南藤沢キャンパス間）：メガリンク135Mは ATM135Mbpsの広域回線であり、開発したシステムを実世界のネットワークに接続する評価実験に使用する。
2) Cisco 社製ルータ 7505： Cisco7500シリーズは事実上の世界標準のルータであり、開発したシステムを接続し相互接続実験に使用する。
3) Fore 社製 ATMスイッチ ASX-200BX： Fore ASX シリーズは事実上の世界標準のATMスイッチであり、開発したシステムを接続し相互接続実験に使用する。
4) Hewlett & Packard 社製ロジックアナライザ HP16500C：HP16500は、対応する解析ツールが多く市販されており、これらと共に開発したシステムのマイクロ秒単位の測定に使用する。
5) Hewlett & Packard社製ネットワークアナライザ HP J2300C: HP J2300CはGigabit Ethernetに接続し、パケットを解析可能な計測器であり、開発したシステムの動作の検証評価に使用する。

B-1-2 高性能並列分散計算機システム（並列分散システムＮＥＣ研究室）

1) Cenju-4： 32プロセッサからなるスカラ型並列コンピュータ。下記SX-4とネットワーク接続して異機種並列分散システムの評価システムとして利用。並列分散ライブラリは本評価システム上で試作している。
2) SX-4：2 プロセッサからなるベクトル型並列コンピュータ。上記Cenju-4とネットワーク接続して異機種並列分散システムの評価システムとして利用。並列分散ライブラリは本評価システム上で試作している。
3) EWS4800： NEC 製ワークステーション。主に並列分散コンパイラおよび並列分散ライブラリの開発/評価用として利用。
4) SUN ワークステーション： SUN社製ワークステーション。主に並列分散ライブラリの開発用として利用。
5) NX7000： NEC 社製サーバ。主に並列分散コンパイラおよび並列分散ツール開発評価用として利用。
6) PC： NEC 製パーソナルコンピュータ。主に並列分散ツールの開発評価用として利用。

B-1-3 Ｈ１０～１３サーバアプリケーションへの並列分散技術の応用研究（並列分散システム住金研究室）

1) 開発用 PC クラスタシステム： Myrinetを装備した8台構成のPC クラスタで、研究全体の開発に利用する。
2) 評価用 PC クラスタシステム： 20台構成のPC クラスタで、並列検索システムの評価試験に利用する。
3) 検索エンジン： 弊社で開発した文書検索エンジン。並列検索システムの検索エンジンとして利用する。

B-1-4 Ｈ９～１１並列分散システムソフトウエア／Ｈ１０～１３コンピュータクラスタ上の基本ソフトウエア（並列分散システムソフトウェアつくば研究室）

1) RWC PC Cluster 2号機: Intel社PC上でのSCoreシステムソフトウエアの開発
2) RWC Alphat Cluster1号機: Compaq社Alphaプロセッサ上でのSCoreシステムソフトウエアの開発
3) RWC SCore Cluster 1号機: 異機種コンピュータ上でのSCoreシステムソフトウエアの開発
4) RWC PC Cluster 3号機: 1,024台規模クラスタ構築のためのパイロットシステム

B-1-5 並列分散システムでの高性能計算及び性能特性の研究／並列アプリケーションの探索的技術開発及び性能解析（並列分散システムパフォーマンスつくば研究室）

1) COMPaS I : 東芝SMPサーバを用いたSMPクラスタ上でのSMPクラスタでのプログラミング技法と性能評価
2) COMPaS II : Compaq SMPサーバを用いたSMPクラスタ上での分散メモリシステム対応のOpenMPコンパイラシステムの開発

B-1-6 大規模応用のための高機能データ並列プログラミング（並列分散システムＧＭＤ研究室）

1) 24 node Linux PC-cluster, our distributed platform.
2) AlphaPC , to make and maintain PROMISE 64 bit clean.
3) C++ compilers: Gnu 2.95.2, KAI 3.4
4) CVS, version management system.
5) MPI (MPICH, MPI-BIP, MPI-PM), platform independent message passing libraries.
6) MPE for visualzation.
7) OpenMP, making PROMISE run on SMP platforms.

B-1-7 Ｈ９～１１並列分散基本システムアーキテクチャ／Ｈ１０～１３省電力型高速光転送向インタフェース技術（並列分散システムアーキテクチャつくば研究室）

1) Synopsys Design Compiler: 論理合成ソフトウェア。LSI内部回路の論理合成に使用
2) Cadence NC-Verilog : 論理シミュレーションソフトウェア。LSI内部回路のシミュレーションに使用
3) ロジックアナライザ (Agilent 16702A) : 試作装置の調整時に、論理動作の測定に使用
4) ワークステーション (Compaq XP1000, Sun Enterprise 450) : 論理合成・シミュレーションに使用する計算機
5) オシロスコープ (テクトロニクスTDS640) : 試作装置の調整時に、電気信号の測定に使用
6) データジェネレータ (HP80000 54720A) : スイッチの動作測定のための信号入力に使用

B-1-8 大容量データバス用光インターコネクション（光インターコネクション日立研究室）

1) 光インターコネクションシステム評価装置: 高速ネットワークスイッチの動作試験に使用する高速並列データパターン生成・評価装置(HP81250)、ジッタアナライザ(HP71250)やオシロスコープ等の回路・システム動作の評価装置類
2) 光インターコネクションモジュール評価装置: 光インターコネクションモジュールの高速動作時の特性評価に用いるパルスパターンジェネレータ(HP80000)や直流電源等のデバイス・部品類の素子特性評価装置類
3) 高速ネットワークシステム設計用CAD: 大規模回路システムを設計するためのCAD(Concept, Allegro)と高周波回路設計用のシミュレーションCAD(HFSS)

4) ハイブリッドMBE 装置：新規材料 GaInNAs を結晶成長するための分子線エピタキシー(MBE)装置
5) 窒素プラズマ発生装置：新規材料 GaInNAs を結晶成長する際に、活性度の高い窒素原子を発生させる装置
6) ミラー反射率測定装置：高性能な面発光レーザを歩留まり良く作製するため、半導体ミラーの反射率を測定する装置

B-1-9 光インタコネクション用低電圧動作面型レーザの研究（光インターコネクション富士通研究室）

1) 酸化膜形成装置：水蒸気をバブリングで導入することが可能な高温熱処理炉。面型レーザ構造の中にある(In)AlAs を酸化し、酸化膜電流狭窄構造の作製に用いる。
2) 結晶切断装置：InGaAs バルク結晶を切断して複数枚の InGaAs 基板を作製するための装置。方位測定のためのX線回折装置とダイヤモンドカッターで 1セットになっている。
3) 面型レーザ活性層評価装置：面型レーザの高速応答特性や、相対強度雑音の測定に用いる。
4) 高速光学測定系制御装置：3) の装置を自動制御するためのパーソナルコンピューター式。
5) レーザダイオード温度制御装置：面型レーザの温度特性を測定するための装置で、ペルチェを加熱、冷却するために用いる。
6) パルス電流電源：面型レーザの初期特性を測定するための装置。CW測定を行う前に、素子の発熱の影響を軽減した測定を行うために、パルス電流を印加するのに用いる。
7) 光スペクトラムアナライザ：面型レーザのスペクトル特性を測定するための装置。
8) 光学材料・新素材評価装置：面型レーザのプロセス前のウエハや、作製条件の選定のために成長したウエハなどの光学的評価をする装置。

B-1-10 低消費電力光インターコネクション（光インターコネクションＮＥＣ研究室）

1) 光帯域アナライザ：高速で光素子や光学素子の帯域をの詳細な観測を行う。OIP を構成するIC、光素子、ファイバとの結合系などを実装した場合の光素子、光学素子の評価に用いている。
2) IP設計ツール：ハードウェア記述言語を用いて光インターコネクションを記述するためのソフトウェア。OIPで光インターコネクションを作成するのに用いている。
3) 結晶成長装置：有機金属気相成長による光半導体結晶のエピタキシャル成長装置。長波 VCSEL の形成に用いている。
4) 結晶分析装置：X線回折を用いた半導体結晶の解析装置。長波 VCSEL 用半導体結晶の解析に用いている。
5) 電極用プロセス装置：電極金属の加工用装置。長波VCSEL の電極加工に用いている。

B-1-11 高密度光バス（光インターコネクション沖研究室）

1) モジュール組立装置：
   用途：多芯光ファイバアレイの組立実験及び光部品と光デバイス、高周波伝送部品の組立及び評価実験に用いる。
   必要性：高密度並列光モジュールの組立は、高密度光部品を再現性良く、高精度に固定及び組立、評価できる本装置が必要不可欠である。
2) 伝送評価装置：
   用途：並列光モジュールの多チャンネルの伝送特性及びチャンネル間のクロス特性等の伝送実験及

び評価に用いる。
必要性：並列光モジュールを多チャンネル同時に駆動した際の伝送実験を行うために、チャンネル毎の各特性とチャンネル間での特性を同時に評価し、実使用と同様なレベルの評価を行うために必要不可欠な装置である。

3) デバイス波長特性測定系一式：
用途：発光素子の波長、及びその温度特性の測定に用いる。
必要性：集光レンズ系は発光素子の波長によって特性が変わるので、発光波長及びその温度特性を正確に決定することが必要である。本装置は、それらの特性の電流依存性、温度依存性などを簡便に測定するための装置である。

B-1-12 波長多重型光 LAN（光インターコネクション住電研究室）

1) 波長計：波長の測定に用いる。本研究では、ファイバグレーテイング評価に用いている。
2) デジタルデータアナライザ：モジュール伝送特性の測定に用いる。本研究では、FGL モジュールの伝送特性評価に用いている。
3) リフレクトメータ：光反射位置、反射強度の測定に用いる。本研究では、ファイバグレーテイング評価に用いている。
4) ＦG特性測定装置：光反射、透過スペクトルの測定に用いる。本研究では、ファイバグレーテインング評価に用いている。

B-1-13 スキュー低減型多芯高速伝送路（光インターコネクションフジクラ研究室）

1) 光ネットワークアナライザ：位相法により、ファイバ間の遅延時間差の測定をする。本研究にて開発した評価システムの一部
2) 特殊ファイバ研磨装置：簾型ファイバ、マルチコアファイバの端面を研磨するための特殊な治具のついた研磨装置
3) 樹脂供給用ディスペンサ：簾ファイバの部分コーティングを行うための樹脂供給装置
4) 張力制御装置：簾ファイバ製造のために、各ファイバ素線の張力を高精度に制御する装置

B-1-14 無調芯型面発光 LD モジュール（光インターコネクション古河研究室）

1) 有機金属気相成長（MOCVD）装置：結晶成長装置。面発光 LD 用ウエハの結晶成長に使用。
2) 水蒸気酸化装置：水蒸気雰囲気中で AlAs を酸化する装置。面発光 LD の電流閉じ込め構造を形成するとき使用。
3) マスクアライナー：フォトレジストを露光する装置。面発光 LD のメサや電極パターンを形成するとき使用。
4) 電子ビーム蒸着装置：金属薄膜を形成する装置。面発光 LD の電極を形成。
5) LD テスター：面発光 LD の L-I 特性、V-I 特性、発振波長等を評価。
6) パルス変調測定装置：面発光 LD およびモジュールのパルス変調特性を評価。

B-1-15 空間分割多重光インターコネクション（光インターコネクション日板研究室）

1) レンズ設計解析ソフトおよびサブモジュール：光線追跡シミュレーションソフト、光学設計、解析に使用。
2) 揺動型イオン交換炉：平板マイクロレンズアレイの試作に使用。

3) レーザ顕微鏡：平板マイクロレンズアレイ、平板マイクロホールアレイの形状評価に使用
4) 簡易実装組立装置：空間分割多重光インターコネクションの簡易調心実装に使用。
5) 簡易実装組立装置用ＵＶ接着機：空間分割多重光インターコネクションの接着固定に使用。

B-2.並列アプリケーション技術領域

B-2-1 ヘテロジニアスコンピューティング共通インターフェースソフト（並列応用日立研究室）

1) DEC ワークステーションクラスタ: 連成解析プログラムの実行環境
2) 100BASE ルータ: ワークステーションクラスタを繋げる高速ネットワーク
3) AMBER: 分子動力学法に基づく蛋白質構造解析流通ソフト. 蛋白質構造・機能相関特性の複合予測に応用
4) AVS: 複合表示描画システム

B-2-2 物理・統計融合型シミュレーション（並列応用三菱研究室）

1) ワークステーション（SGI OCTANE）: グラフィクス性能に優れ、多く商用タンパク質研究用ツールが開発されている機種である。ソフトウェア開発、商用ソフトプラットフォームとして利用している。
2) HTK (Hidden Markov model ToolKit): 時系列解析、特に音声認識の分野で一般的なソフトウェアである。独自開発のツールとの結果対照、ツール開発中の解析作業に用いている。
3) IRIS Explorer: データ可視化ツールとして一般的なソフトウェアである。解析結果の表示用に用いている。
4) LEDA: グラフ・ネットワーク関係の数値処理および可視化のツールとして一般的なソフトウェアである。解析結果の表示用に用いている。
5) Mathematica: 数式処理およびデータ処理ツールとして一般的なソフトウェアである。データの分類のために補助的に用いている。
6) PC (Gateway 2000 SOLO 9100): Windows95機。ソフトウェア開発および発表用である。
7) PC (IBM 570): Windows98機。ソフトウェア開発および発表用である。
8) PC クラスタ (Dell OptiPlex GC 933MHz ×8台構成): Linux機。ソフトウェア開発、データ解析および速度性能評価用である。
9) PC (Gateway 2000 G-300M): WindowsNT機。ソフトウェア開発およびデータ解析用である。

B-2-3 Ｈ９電力分野およびゲノム情報処理分野における並列情報処理技術／Ｈ１０～１３電力分野における並列情報処理技術の研究（並列応用ＭＲＩ研究室）

1) Compaq Professional Workstation 8000 (4PEs): プログラムの試作と検証。
2) Potland Group PGHPF Compiler: プログラムの試作と検証。
3) Sun Enterprise450 (4PEs): プログラムの試作と検証。
4) Sun Workshop (Fortran, C++): プログラムの試作と検証。

B-2-4 並列分散データマイニング（並列応用東芝研究室）

1) PCクラスタ装置: 16台構成のPCクラスタ。データマイニングプログラム実行装置
2) SUN社製 EWS: データマイニングプログラム開発装置
3) Oracleデータベースシステム: データマイニングプログラム開発、実験用。
4) SUN社製 ディスクアレイシステム: データマイニングプログラム開発装置

B-2-5 マルチメディアデータベースの並列分散処理（並列応用三洋研究室）

1) ソフトウェア開発用装置：ワークステーション及び RAID ディスクなどの周辺装置。画像検索ソフトウェアの開発、及び開発したソフトウェアの動作検証を行なうための装置。
2) 並列実験用装置：ワークステーション。ソフトウェア開発装置とネットワークで接続し、開発したソフトウェアの並列処理動作について、並列計算機システムに実装する前に動作検証を行なうための装置。
3) 画像データベース構築装置：カメラと WindowsNT 搭載パソコン及びその周辺装置。開発した画像検索技術の評価実験を行なうための、実験用画像データベースの構築に用いる装置。
4) 画像データ蓄積管理装置：複数のハードディスク装置とパソコン。開発した画像検索技術の評価実験に用いる大量の画像データを蓄え、管理するための装置。

Ⅳ. 資料

1. リアルワールドコンピューティング基本計画書

2. 次世代情報処理基盤技術開発基本計画書

3. 用語集

リアルワールドコンピューティング
（四次元コンピュータ）
基 本 計 画 書

The Master Plan for the Real-World Computing Program

平成 **4** 年 **5** 月

通 商 産 業 省 機 械 情 報 産 業 局

新情報処理技術開発フィージビリティ調査研究委員会

新情報処理技術開発（四次元コンピュータ）
フィージビリティ調査研究委員会委員名簿

（敬称略）

	氏 名	所属・役職
委員長	石井　威望	慶應義塾大学環境情報学部教授
委員	穴田　育男	沖電気工業株式会社取締役
	甘利　俊一	東京大学工学部計数工学科教授
	大槻　幹雄	株式会社富士通取締役副社長
	大野　栄一	三菱電機株式会社常務取締役技術開発本部長
	柏木　　寛	工業技術院電子技術総合研究所長
	加藤　康雄	日本電気株式会社常務取締役
	冨浦　　梓	新日本製鐵株式会社常務取締役
	小林　　力	日本 DEC 株式会社研究開発センター所長
	酒田　英夫	日本大学医学部第一生理学教室教授
	佐々木　正	シャープ株式会社特別顧問
	菅野　卓雄	理化学研究所国際フロンティア研究システムディレクタ
	鈴木　良次	東京大学工学部計数工学科教授
	高柳　誠一	株式会社東芝専務取締役
	武田　康嗣	株式会社日立製作所常務取締役
	田中　英彦	東京大学工学部電気工学科教授
	戸田　　巌	日本電信電話株式会社常務取締役
	戸田　正直	中京大学情報科学部認知科学科教授
	渕　　一博	財団法人新世代コンピュータ技術開発機構常務理事研究所長
	御子柴宣夫	ヒューレット・パッカード日本研究所長
	三井　恒夫	東京電力株式会社最高顧問

目次

第 1 部 基本理念

1 研究開発の目的・・・Ⅳ1-5

2 背景・・ Ⅳ1-6

3 リアルワールドコンピューティングパラダイム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・Ⅳ1-8

4 研究開発の内容・・・Ⅳ1-11

5 基本方針・・・Ⅳ1-13

第 2 部 研究開発計画

1 理論基盤

1.1 研究の枠組み・・ Ⅳ1-15

1.2 研究課題 ・・・ Ⅳ1-16

1.2.1 情報の柔軟な表現

1.2.2 情報および処理モジュールの評価

1.2.3 柔軟な記憶と想起

1.2.4 情報の統合および処理モジュールの統合

1.2.5 学習と自己組織化

1.2.6 最適化の方法

1.3 研究スケジュール・・・ Ⅳ1-19

2 応用のための新機能

2.1 研究の枠組み・・ Ⅳ1-21

2.2 研究課題・・・ Ⅳ1-23

2.2.1 柔らかな認識と理解

2.2.2 柔らかな推論と問題解決

2.2.3 柔らかなヒューマンインタフェースとシミュレーション

2.2.4 柔らかな自律制御

2.3 研究スケジュール・・・ Ⅳ1-28

3 超並列システム

3.1 研究の枠組み・・ Ⅳ1-30
3.2 研究課題・・ Ⅳ1-30
3.2.1 超並列アーキテクチャ
3.2.2 オペレーティングシステム
3.2.3 超並列システムにおける言語
3.2.4 システム開発・プログラミング環境
3.2.5 システムの評価
3.3 研究スケジュール・・・ Ⅳ1-36

4 ニューラルシステム

4.1 研究の枠組み・・ Ⅳ1-38
4.2 研究課題・・ Ⅳ1-39
4.2.1 ニューラルモデル
4.2.2 ニューラルシステムのハードウエア
4.2.3 ニューラルシステムのソフトウェア
4.2.4 超並列システムとの統合
4.2.5 システムの評価
4.3 研究スケジュール・・・ Ⅳ1-44

5 光システム

5.1 研究の枠組み・・ Ⅳ1-45
5.2 研究課題・・ Ⅳ1-45
5.2.1 光インタコネクション技術
5.2.2 光ニューラルシステム
5.2.3 光デジタルシステム
5.2.4 システム開発の環境
5.3 研究スケジュール・・・ Ⅳ1-49

第 1 部
基本理念

1　研究開発の目的

リアルワールドコンピューティングプログラムは、21世紀の高度情報化社会において必要とされる情報技術の基盤を確立することを目的とする。

コンピュータは急速に発達し、大きな計算パワーを提供するようになった。しかしながら、例えばパターン認識、不完全情報に基づいた問題解決、学習能力といった多くの分野において、コンピュータの情報処理は依然として柔軟性に欠け、人間の足元にも及ばない。

21世紀の高度情報化社会において人間とコンピュータの高度な協調関係を生みだし、革新的かつ包括的な技術の創造を支援するためには、情報処理技術は、人間の情報処理能力により近く、実世界の多種多様な情報を処理できるようなものでなければならない。

本研究プログラムのめざすものは、そのような先進的で柔軟な情報処理技術の基盤の確立である。

21世紀の情報システムは、単一の技術ではなく、多くのキー・テクノロジに支えられてはじめて実現されるであろう。超並列コンピューティング、光コンピューティング、ニューラルコンピューティング、論理をベースとするコンピューティングなどが、そのような技術に含まれよう。これらの技術を柔軟に統合し、情報システムとして結実させてゆくことが望まれる。本研究プログラムは、これらの重要でありながら依然実現されていない技術への挑戦である。我々は、これらの先進的技術の理論基盤を確立し、その可能性を探るとともに、それらを統合するためのスタイルを与えることを試みる。また、技術の可能性と有用性を確かめるためにいくつかの実世界問題に対しての挑戦も試みる。我々は、ここで得られた知見を広く世界に公開することにより、人類の共有財産としての知識と富の発展に貢献することを目指す。

この基礎的かつ挑戦的な目標を達成するために、研究における国際的および学際的連携を促進することが極めて重要である。また、企業、国立研究機関、大学の間の共同研究を支援していくことも不可欠である。

2　背景

コンピュータと通信技術の発達に支えられて、情報化社会は、新たな財・サービスの提供、生産流通の合理化などの産業活動のみならず、国民生活水準の質的向上、地域の振興、さらには教育や文化の面でも革新的な変化をもたらすであろう。

特に、情報のネットワーク化が、企業における組織内ネットワークから、組織間さらに家庭・個人を結ぶネットワークへと進展するにつれて、情報処理の主体が企業から家庭・個人へと広がってゆく。その結果、処理されるべき情報が量的に増加するのみならず、情報の質すなわち、種類も多種多様なものになってゆき、このような高度な情報ネットワーク社会の基盤として、あらゆる人がネットワークの多様な情報資源をより高度な次元で容易に利用できるようになるための新しい技術が強く求められる。

こうした社会的背景、そしてまた様々な応用分野での技術的要求として、現在のコンピュータをより人間に近く、実世界環境において人と共存し協調できる能力を持ったものにしてゆくことが不可欠である。

歴史的な経緯を振り返ると、コンピュータは、技術的進歩に支えられて驚異的な発展を遂げてきた。まず、コンピュータは伝統的なフォン・ノイマン方式の路線に沿って、数値計算、文書処理、そしてデータベースの蓄積と検索の管理といった分野で発達した。
というのは、それらの応用分野は明確なアルゴリズムを持ち、伝統的なコンピュータで処理するのに向いていたからである。

次の発展は、論理的（演繹的）推論といった人間の知的思考過程に光を当て、論理と記号を操作する方向であった。AI や知識工学の研究分野は、コンピュータに記号で表現された知識や推論規則を取り扱う能力を与えるのに貢献した。1981 年、日本は新世代コンピューティングへの新しいアプローチとして、第五世代コンピュータの概念を打ち出したが、それはコンピュータに強力な論理的推論能力を付与し、大規模知識情報処理への扉を開こうとするものであった。

今日、コンピュータは、解法のためのアルゴリズムが存在しプログラム言語で明確に記述可能な良設定問題を解く能力においては、人間をはるかに上回る。しかしながら、解くべき多くの問題が不良設定でありアルゴリズムとして記述困難な実世界において人間の行なっている柔軟な情報処理に比べると、コンピュータは依然として柔軟ではない。

従って、そうした実世界問題に対処し情報処理技術の新たな地平を開くためには、人間の直観あるいは記号下(subsymbolic)レベルの情報処理に光を当てて、人間のような柔らかな情報処理の基本的な原理を追究し、発達するハードウェア技術の基盤の上にそれらを新しい情報処理技術として具現化してゆくことが重要かつ不可欠である。

近年、人間の脳における情報処理の仕組みに関する知識の蓄積は著しく、また、21 世紀初頭には、超並列的なシステムを可能にするハードウェア技術も利用可能になると期待されている。こうした状況を踏まえて、我々は新たな情報処理のパラダイムとして「リアルワールドコンピューティング」のコンセプトを提唱し、人間の情報処理の持つ「実世界性」を情報処理システムに与えることを目指す(図 1.1 も参照)。

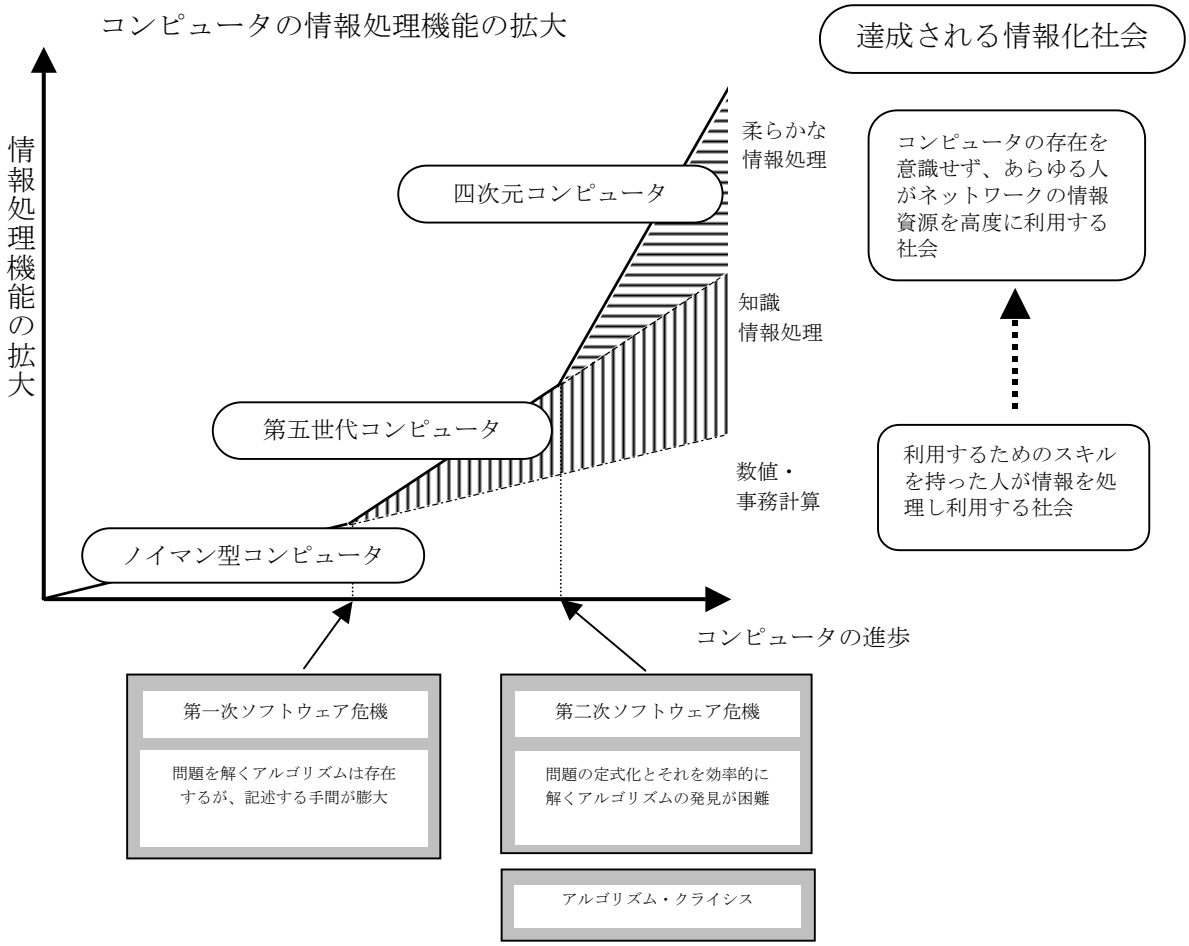


図 1.1：コンピューティングシステムの機能の拡張

21 世紀を、人間と情報処理システムがより密接かつ柔軟に協調するような世界規模で繁栄した情報ネットワーク社会にするために、新しい基礎的で包括的な技術の実現をめざすリアルワールドコンピューティングプログラムの実施が喫緊の課題である。

3　リアルワールドコンピューテイングパラダイム

情報処理は、変化する実世界環境において生命が生存し続け、適応するための進化の過程を通じて獲得した機能である。また、周囲の状況を認識し、予測を行い、その予測に基づいて行動するといった、多面的な機能でもある。ここでは、このような機能を次のような 2 つのカテゴリーに分けて考える。

A:論理的情報処理

B:直観的情報処理

論理的情報処理は、意識的、分析的、直列集約的、デジタル的といった言葉で特徴づけられる。これに対して、直観的情報処理は、無意識的、総合的、並列分散的、そしてアナログ的といった言葉で特徴づけることができる。

基本的に、情報処理技術は人間のこうした 2 つの情報処理機能の両面を全体として、補完し、代替していくことを意図したものである。しかしながら、歴史的には、側面 A の機能において優れた機械がコンピュータとして実現され、ハードウェア技術の驚異的な発展に支えられて飛躍的な進歩を遂げてきた。一方、いわゆる「直観的情報処理能力」については、従来のコンピュータは人間の能力にはるかに劣っている。コンピュータの柔軟性の欠如もこの 2 つの側面の発展がバランスを欠いたことに起因する。

日常の生活において、人間は曖昧性や不確定性を含む種々の情報を評価し、予測、計画、あるいは判断に必要な情報を変容する環境の中で獲得している。柔軟な情報処理機能を有したシステムを開発することは、より高度の情報処理機能を目指すパターン情報処理、知識情報処理、知能ロボットなど、今日の先端的情報処理の諸分野に共通した要請となっている。

こうしたシステムを開発するには、人間が行う情報処理能力の直観的側面の機械による実現を探求するとともに、前述の 2 つの側面を統合することが最も重要となる。統合の結果として、より人間的で、柔らかな情報システムの基盤となり得るような新しい情報処理のパラダイムに到達できる。そうした柔軟な情報処理を「リアルワールドコンピューティング」と呼ぶことにする(図 1.2 参照)。

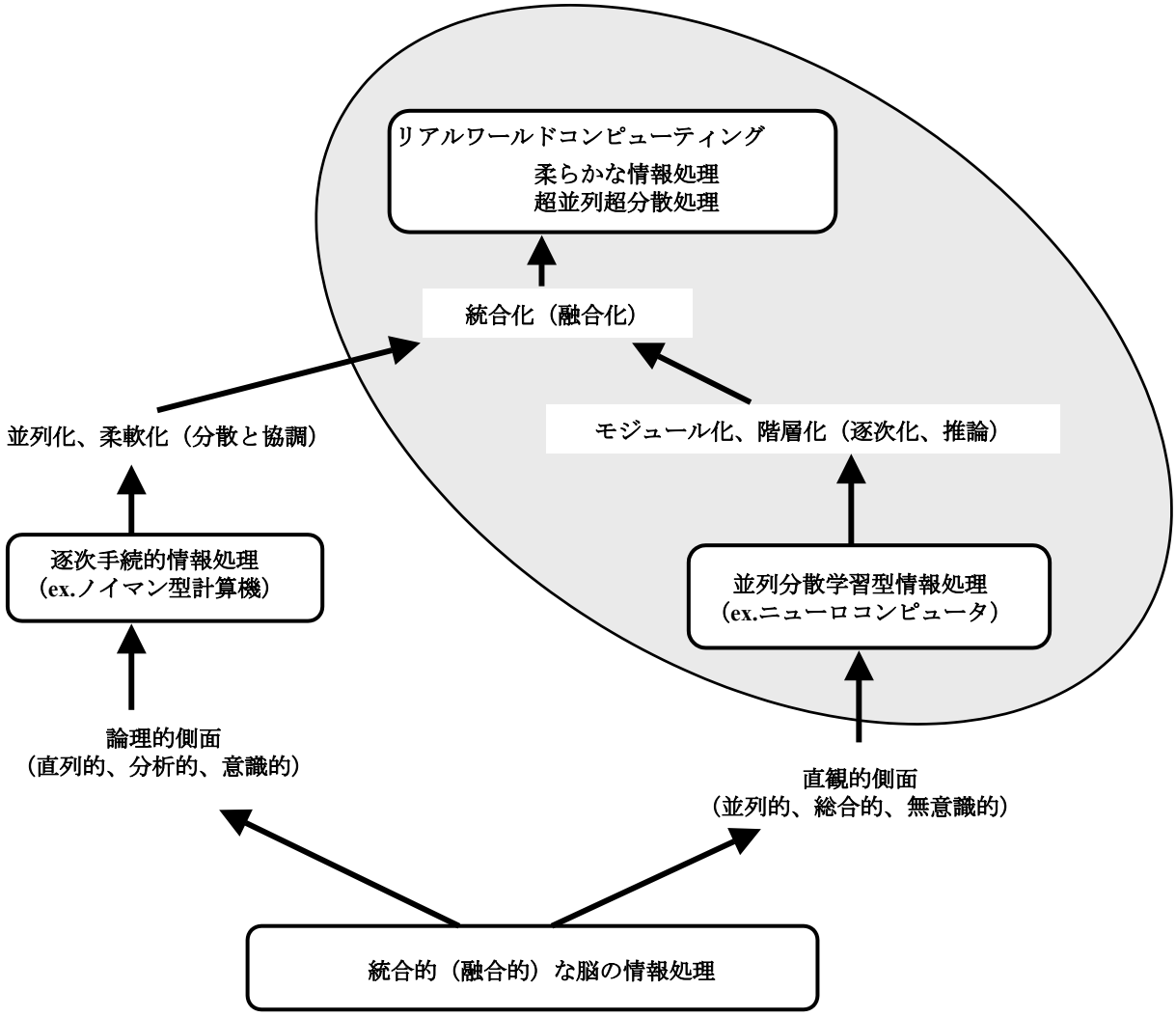


図 1.2：情報処理技術の 2 分化と統合

リアルワールドコンピューティングのシステムは、次のような特性によって特徴づけることができる:

・開放性(Openness)

・頑健性(Robustness)

・実時間性(Real-time)

「開放性」とは、予期していない状況に遭遇した場合にも、システムが自律的かつ適応的に自己を変化させたり拡張できること意味する。「頑健性」は、入力情報が雑音で汚れていたり、環境が変化したりしてもシステムの挙動が頑強かつ安定していることを意味している。「実時間性」とは、システムが現実的な時間内に解を求めることを意味する。

人間がこのような実世界性を有した情報処理能力を維持できる理由は、我々の脳が情報を分散的に表現し超並列的に処理する能力、学習および自己繊化能力、および情報統合能力

を持つことに由来する。従って、上記のような特性を持つリアルワールドコンピューティングシステムを実現するためのキーコンセプトとして、次の二つがあげられるであろう。

・柔らかな情報処理

情報の曖昧さや不確実さを許容するとともに、学習、適応能力を持った情報処理

・超並列超分散情報処理

相互に複雑に絡み合った多様な情報を超並列超分散的に処理する情報処理

この二つのキーコンセプトを実体化するためにリアルワールドコンピューテイングプログラムの研究開発要素としての技術項目を、以下のように 3 つ設定する:

・柔らかな情報処理の理論

・超並列超分散情報処理システム

・実世界問題への応用のための新しい要素機能

これら研究開発項目を通じて、単に高速なコンピュータを開発することだけではなく、従来の論理的情報処理機能と新たな直観的情報処理機能を統合化することによって、たとえば、以下のような機能が実現されることが期待される。

- 不完全な情報や誤りを含む複雑に関連し合った情報を総合し、実時間に適当な(近似的に妥当な)判断や問題解決を行う機能
- 必要な情報や知識を能動的に獲得したり、具体例から一般的な知識を帰納的に修得する機能
- ユーザや使用環境の変化にシステムが自らを適応させる機能

リアルワールドコンピューティングの応用分野は、雑音を伴った環境下における状況を理解するといった不完全(不良設定)問題、社会や経済現象のシミュレーションといった大規模問題、仮想現実感を用いた情報環境の実現および自律ロボットの知的制御といった実時間問題などの、「実世界問題」一般にわたる、非常に幅広いものとなることが期待できる。

4　研究開発の内容

すでに述べたように、リアルワールドコンピューテイングプログラムにおける研究開発の主要部分は、相互に関連し合う次の 3 つのカテゴリーに分けられる。

・柔らかな情報処理の基本原理の探求による革新的技術の理論基盤の確立。

・システム基盤としての超並列システムの開発、運用。

・広範な現実の応用システムを構築するための新しい要素機能の具体化。

これらのカテゴリー分けに対応して、(a)応用のための新機能、(b)その理論基盤としての基礎理論、(c)(a)、(b)を支えるシステム計算基盤、という 3 層構造が、本研究プログラムの基本的な枠組みとなる(図 1.3 参照)。

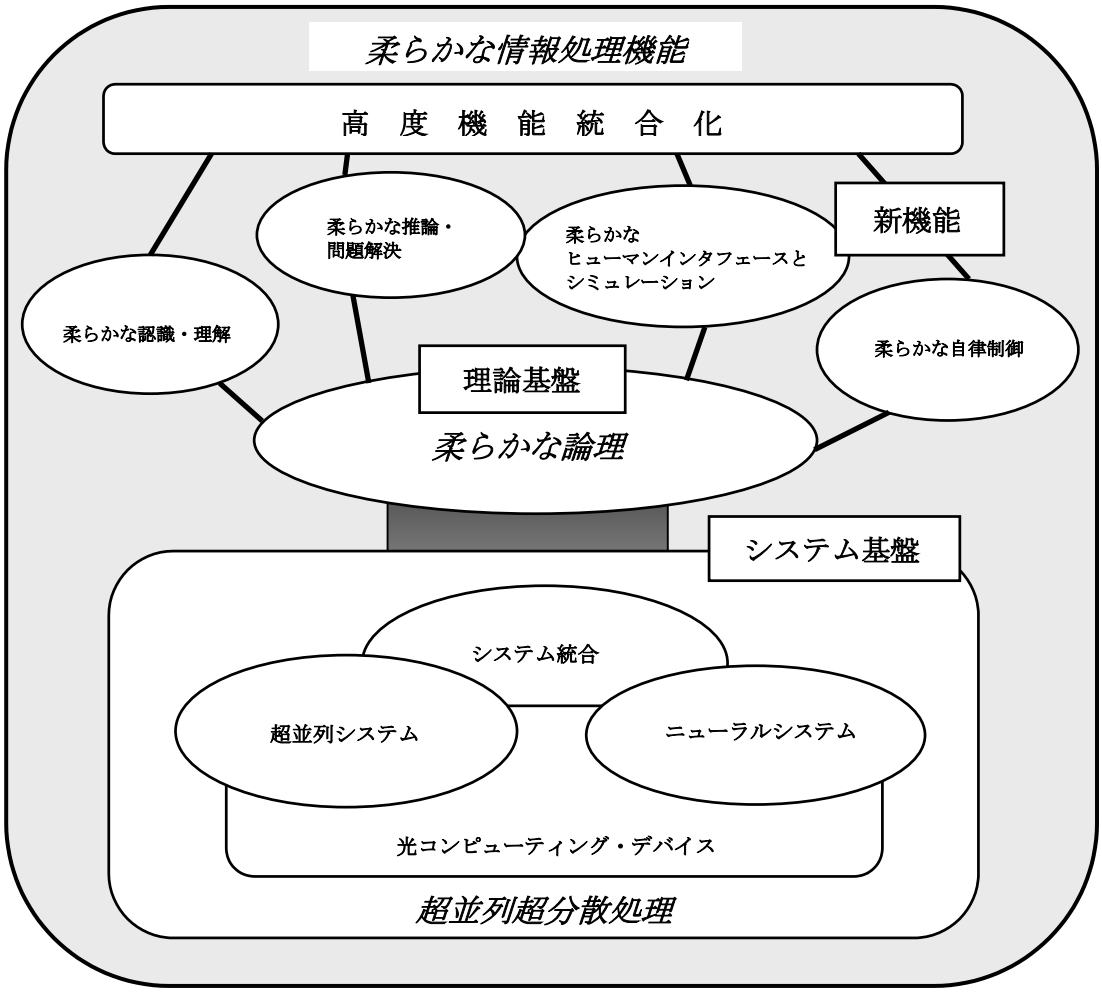


図 1.3：技術開発項目の構成

応用のための新機能に関する研究においては、広範な実世界問題を解決し実世界性を有したシステムを実現するために、共通的に重要な新しい要素機能が探求されることになる。ここでの研究課題は以下のように分類される:

・多種多様な情報の柔らかな認識と理解

・柔らかな情報ベースに基づいた柔らかな推論と問題解決

・人間と機械の対話系のための柔らかな情報環境

・柔らかで自律的な制御

これらの要素技術を統合化する方法を探り、さらにその有効性を検証するために、いくつかの典型的な問題への応用を試みる。

理論基盤の研究開発目標は、柔らかな情報処理のための理論基盤を確立することである。このためには、まず、従来の情報処理の枠組みを次のような観点から拡張あるいは一般化することが重要である:

・情報の表現、記憶、想起

・さまざまな情報の統合処理

・情報の価値および要素モジュールの能力の評価

・学習および自己組織化

特に、「多様な情報の統合」と「学習および自己組織化」は、最も基本的な項目であり、これらを超並列超分散情報処理システムの上で具体化する方法が、主なキーポイントとなるであろう。

リアルワールドコンピューティングでは、時空間的に分散した大量の情報を、それらの相互作用を配慮しながら高速に処理することが求められる。リアルワールドコンピューティングのシステム基盤として、いくつかの処理レベルで並列分散処理を利用できる計算システムの開発が不可欠である。このために、次に掲げる 3 つの視点から、研究開発を進めることが重要である:

・汎用超並列システム

・専用システムの 1 つとしてのニューラルシステム

・光情報処理システム

同時に、これらの技術を統合する方法についても研究を進める。

5　基本方針

本研究プログラムの主目的は、単一のマシンを開発することではなく、重要でありながら未だ確立されていない要素技術の可能性を探求することである。この挑戦的かつきわめて基礎的な目的を達成するために、プログラムは、下記のような方針にのっとって推進されるべきである。

- 柔軟な実施体制:
  本研究開発の推進に当たっては、統合性、象徴性、共通性の高い研究を集中研において、個別性、要素性の高い研究を分散研においてという研究課題の適切な配分を行ない、両者間の有機的で柔軟な連携を確保する。

- 競争原理の導入:
  研究開発の前期では、競争原理(様々なアプローチ間の競合による研究の効果的な進展)を導入し、中間評価時にはその結果に基づいて研究開発課題を絞り込む。

- 学際性、国際性:
  本研究開発の基礎的かつ挑戦的な目標を達成するため、学際的、国際的な連携を促進する。そのため、電総研や大学等の研究機関との共同研究を積極的に行ない、また、国内外の大学等の研究機関に対し再委託の公募等を行なう。

- 研究成果の公開性:
  研究成果の公開性を保つため、研究開発の進捗状況および成果を国内外の会議等で報告、公開し、また、シンポジウムやワークショップ等を積極的に開催する。

- 研究インフラの整備:
  以上の柔軟な実施体制と研究成果の公開性を支えるために、世界的な規模の分散研究基盤として、高速ネットワーク環境の整備を行なう。

第 2 部
研究開発計画

1　理論基盤

1.1 研究の枠組み

実世界の環境(人間を含む)は常に不確定性と変化に満ちている。しかしながら、われわれ人間は変化に富んだ環境の中で、不完全で曖昧さを含んだ情報を用いて、統合的に意志決定を行ない、きわめて柔軟に行動することができる。

このような人間における情報処理機能は、これまで計算機によって行なわれてきた仮想的な、あるいは限定的に設定された世界における完全な情報を用いた固い情報処理と対比的に、「柔らかな情報処理」あるいは「リアルワールドコンピューティング」として特徴づけられる。

リアルワールドコンピューテイングプログラムにおける理論基盤の研究の目的は、人間の持つ柔軟な情報処理能力を情報処理の新しいパラダイムとして実現するための理論的基盤を確立することである。

これまでにも柔軟で並列分散的な情報処理に関して各分野で多くの理論的研究がなされてきた。例えば、パターン認識、多変量データ解析、確率・統計的推論、ファジィ論理、ニューラルネットワークによる計算・学習・自己組織化、そして正則化・最適化などに関する諸研究である。

柔軟な情報処理に理論的基盤を与えるには、このような研究をさらに深く押し進める必要があると同時に、これらの分野に潜在する共通な論理基盤として「柔らかな論理」(柔軟な確率的推論)の理論的枠組みを明らかにし、リアルワールドコンピューティングに対する統一的な理論的基礎を構築することが重要である。そこでは、学習および自己組織化機能と結びついた確率・統計的な対象や問題の定式化と非線形なダイナミクスによる情報処理の研究に力点が置かれることになろう。

以上の目標のために、従来型の情報処理の枠組みを情報の表現・処理・評価などあらゆる点から拡張・一般化し、基礎理論を体系化する必要がある。

次に挙げる 2 点は共通的な最も重要な課題である:

・多様な情報の(および非階層的な情報処理モジュールの)統合

・学習と自己組織化(最適化と適応)

これらの課題を超並列超分散的な処理メカニズムの上でどのように実現するかということが・柔軟な認識、推論、制御と言った応用に向けての新機能を開発する上で一番のキー・ポイントとなると思われ、そのための理論基盤の研究が特に重要である。また、個々の項目の研究において、リアルワールドコンピューティングシステムが持つべき性質である「開放性」、「頑健性」、「実時間性」との関係が深く考慮されるべきである。

情報処理の新しいパラダイムを確立するために、自然から学ぶということも非常に重要であるだろう。このために、分野の壁を越えた研究交流のためのフォーラムにおける情報交換の促進などによって、人間の脳、生物の進化過程、生態系などに関する科学的な知見の利用を促進することが必要であろう。

理論基盤の研究課題は次のように分類されると考えられる:

・多種多様な情報の柔軟な表現

・情報や処理モデルの評価

・柔軟な記憶と想起

・情報と処理モジュールの統合

・学習および自己組織化

・最適化技法

これらは、いろいろな応用に向けての新機能のための理論的基礎を提供するものと考えられる。

理論基盤の研究においては、一般的で統一的な基礎理論の構築をその主要目標とする。したがって、以下の研究課題のリストにおいては、すべての応用分野とすべての実現手法とに共通的な一般的な研究項目についてのみ述べる。それぞれの応用分野や超並列システム、ニューラルシステム、および光コンピューティングといった実現手法に個別に関わる理論・計算モデルは、それぞれの章において別に議論される。

1.2 研究課題

1.2.1 情報の柔軟な表現

視覚情報や音声信号などに代表される低次の感覚データから高次の記号的言語までの広汎な情報を統一的に扱い、散層的で柔軟なシステムを構築するためには、情報表現の柔軟なフレームワークを確立し開発することが重要な課題となる。このフレームワークではまた、情報の確からしさをも扱うことができる必要がある。さらに、いろいろな種類の情報を表現できるだけでなく、それを用いて連想記憶や学習あるいは自己繊化といった手続きを効率よく実現できるようでなければならない。

重要な研究課題としては以下のようなものが考えられる:

・多次元データ表に基づく情報表現

・分散的かつ疎な情報表現

・個別の処理ごとの適切な情報表現

・確率的オートマトン、隠れマルコフモデル、ランダムマルコフ場、確率的決定リストなどを用いた知識表現

・制約としての情報や知識の表現

1.2.2 情報および処理モジュールの評価

実世界との能動的な相互作用や学習、自己組織化などを実現するために、リアルワールドコンピューティングシステムは情報の価値を評価するための体系だった枠組みを持つ必要がある。情報統合のプロセスで用いられる正則化のための評価を行なう基準やシステムの能力の評価基準も合わせて必要である。

重要な研究課題としては以下のようなものが考えられる:

・学習や自己組織化のための入/出力情報の評価

・適切な情報の統合のための正則化条件の評価

・システムの信頼性と柔軟性の評価

・処理モジュールの協調と統合のための評価

・実環境との能動的な相互作用のための入力情報の評価

1.2.3 柔軟な記憶と想起

人間の記憶の高度に洗練された機能は、人間の柔軟な情報処理を実現する上での一つの鍵となっている。リアルワールドコンピューティングシステムは、柔軟な記憶機能と、連想的にさまざまな知識を取り出す機能を持つべきである。したがって、連想記憶の理論的解析と、柔軟な連想記憶のための新しい効率的なメカニズムの開発が必要になってくる。

重要な研究課題としては以下のようなものが考えられる:

・確率的な推論による連想プロセス

・構造的な類似性を用いた連想

・時系列の連想記憶

・非線形のダイナミックスを用いた動的な連想記憶

1.2.4 情報の統合および処理モジュールの統合

推論、予測、計画のような情報処理はいろいろな情報や制約、知識の統合プロセスであると考えられる。このような情報統合プロセスを解析するという理論的研究を続けていくとともに、そのプロセスを制御する柔軟な方法を開発していくことも重要となるだろう。

多変量データ解析の手法は情報統合手法の一つの候補である。しかしながら、従来の手法の多くは線形変換に限定されたものであり、それらを非線形に拡張することが重要である。ニューラルネットワークモデルは非線形への拡張の一つの方向を与える。また、正則化理論も、さまざまな種類の情報を統合するための一つの理論的基礎を与えるであろう。

多数の処理モジュールによる協調的な処理も重要な問題である。これもまた統合化の問題と考えることができる。

こうした情報の統合については、従来それほど多くの研究が行なわれていないため、人間の認知過程における高次な情報の統合機能の研究も重要であろう。

重要な研究課題としては、以下のようなものが考えられる:

・多変量データ解析やその非線形的拡張であるニューラルネットワーク・モデルを用いた情報の統合

・正則化理論にもとづく多様な制約情報の統合

・情報統合を制御するためのダイナミクスを含んだ制約論理システム

・人間の認知過程における情報統合の研究

1.2.5 学習と自己組織化

リアルワールドコンピューティングの理論基盤のうち、情報統合の研究とならんで最も重要なものの 1 つは学習と自己組織化の理論である。複雑で散層的なシステムを構築するためには、これら学習機能と自己組織化機能が重要な役割を担うはずである。記憶とデータベースの自己組織化機能も重要である。このような見地から、いろいろな概念や構造を学習する機構を探求するために、学習、自己組織化の計算理論を確立し、新しい効率的なアルゴリズムを開発することが研究目標となる。

重要な研究課題としては次のようなものが考えられる:

・確率的な知識を学習するアルゴリズム

・散層的なシステム構造を獲得するためのアルゴリズム

・変化する環境の下での学習アルゴリズム

・不確かな情報にもとづく学習アルゴリズム

・質問による能動的な情報獲得を用いた学習アルゴリズム

・既存知識と学習プロセスを統合する方法

・学習のためのモデルの選択

1.2.6 最適化の方法

情報統合化のプロセスは本質的には最適化のプロセスとして定式化することができる。また、学習、自己組織化も処理方式の最適化プロセスと考えることができる。このような最適化問題を厳密に解くことは、通常、莫大な計算量を必要とする。この困難を乗り切るためには、大規模並列システム上で効率的に実行可能な、近似的最適化技法を開発することが重要である。

重要な研究課題としては次のようなものがあげられる:

・ 模擬焼きなまし法(シミュレーテッド・アニーリング法)、遺伝的アルゴリズム、 生態学的アルゴリズム、進化アルゴリズムなどの確率的最適化技法

・ニューラルネットワークを用いた最適化技法

・その他の非線形最適化の方法

1.3 研究スケジュール

理論的基礎の研究スケジュールは大きく分けて、2 つのステップから成る。

研究開発の前期においては、並列性や柔軟性をもつ情報処理に関連して、理論とこれまでに提示されたモデル、例えばパターン認識、多変量データ解析、ニューラルネットワークによる情報処理などが情報表現や評価などの情報処理のフレームワークの拡張または一般化の中で再評価され、それらを根底となる「柔らかな論理」の下で統一的な観点から再構成し、さらに新たな展開を図る。同時に、情報統合や学習・自己組織化などの基礎的な機能に関する研究も行なう。

後期においては、これらの基礎理論を元に、柔軟な認識機能や推論・制御など要素的な新機能のための構成的な理論とモデルの研究を行なう。ここにおいては、新機能の研究とのインタラクションを強く保ちつつ研究開発を行なうことが重要である。また、新機能におけるシステ

ム統合化の基盤となる、種々の要素機能モジュールを高次のレベルで統合するための基礎となる理論・モデルの研究も行なわれる。

2　応用のための新機能

2.1 研究の枠組み

リアルワールドコンピューティングシステムは、画像、音声、触覚などの多種類の情報を獲得し、また処理することによって、人間のさまざまな活動を支援する。ここで扱うべき情報は膨大であり多様である。さらには、実世界の情報はその本来の性質から不完全性と不確実性を含んでいる。

リアルワールドコンピューティングは様々な柔らかさを備えた新機能を求めるものである。頑健性、開放性、実時間といった側面は、柔らかさについての異なる特質を反映している。したがって、柔らかさをいかにして実現するかということが、新機能研究の基本課題である。

研究開発の目的は、(理論基盤との接点を保って)新たな基本機能を各種の応用分野において探求することである。それらの機能はそれぞれの応用分野で働くことになるか、あるいは、新しい情報システムを実証するために統合されることになる。ここでいう新機能の優れている内容は、リアルワールドコンピューティングにふさわしい新たな概念をもつ理論とアルゴリズムによってもたらされうるものであり、それらは記号とパターンとの統合、新しい頑健な機能を与える学習や自己組織によって従来考えられている情報処理の隘路を克服しているものである。単に、従来技術の組合せや、特殊目的のために安易にシステムを構築することは望まれない。
柔らかな情報処理は、従来の情報処理能力の限界を越えるものを目指しているいるので、期待される応用分野は極めて幅が広い。それらは、大きく次のように分類されよう。

- 画像や音声のようなパターン情報や自然言語のようなシンボル情報といった多様な情報の柔らかな認識と理解、
- 実世界の情報の直接操作を許容し、学習能力や自己組織化能力を有する柔らかな情報ベースに基づく、柔らかな推論と問題解決、
- 人間と実世界間の相互対話を実現するための、仮想現実感を含む柔らかなヒューマンインタフェースとシミュレーション、
- 実世界環境と相互作用するための、柔らかでかつ自律的な制御と統合方法。

基本的な新機能を統合した機能統合システムの重要な方向としては、次の 2 つが考えられる:

- リアルワールド適応自律システム、
- 情報統合対話システム。

前者の意味するものは、実世界との能動的な相互作用を通じ、環境の理解や制御が自律的にできる柔らかなシステムである。このシステムは計算モジュール群と実世界との間で協調を行なう。実世界における人間活動の部分的な代替が 1 つの目的である。このシステムは実世界を理解し、実世界の情報から必要な概念を学習し、新たな状況に適応する。さらに、このシステムは情報の獲得と望ましい状況の達成のため、実世界に対して制御行動を行なう。このためにシステムは不確実、不完全、そして変容する実世界の特徴を扱わなければならない。

後者の意味するものは、人間とシステム間の拡大された情報チャネルを通じ、人間の能力を支援・強化する柔らかなシステムである。後者のシステムは計算モジュール群と人間との間の協調するものを意味し、それは明らかに先のものとは別の協調システムになる。人間はさまざまな情報を扱うことができる。人間は様々な情報をつくり出すこともできるが、そこには人間の意図が、あいまいな表現ではあっても、込められてもいる。

人間にとって必要となっている様々な問題解決や、新たな情報の創造を支援するために、計算モジュール群にはこれらの人間の意図を含む情報を柔軟に理解し統合することが要求される。ここでは、この計算モジュール群を含むシステムは人間の知的活動を拡大する強力なツールとみなされるべきである。

各システムは、現時点ではまだ明らかになっていないそのシステム固有の基礎的な新機能から構成されるであろう。また、各新機能は前述の 4 つの分類のいずれかに含まれる。新機能のいくつかについては双方のシステムにも適用可能であろう。

リアルワールド適応自律システムを実現するためには、以下のような機能が必要である。

- ・シーン画像の理解、
- ・人間を含む実世界モデルと自律システム間の音声自然言語による質疑応答、
- ・行動系列の計画と環境に適応するための最適制御、
- ・パターン認識、刻刻に変容する世界のモデル、制御メカニズムの統合。

情報統合対話システムを実現するには、以下のような機能が必要である。

- ・人間の発する種々の情報からその意図を理解すること、
- ・大量のデータベースから価値ある情報を検索・提示するための知的対話型支援機能の実現、
- ・新たな情報を創造し、実世界の遷移状態を予測する知的シミュレーション、
- ・人間の要素と実世界の計算モデルとの組合せるための統合方法。

基礎的な機能は、双方のシステムの実現にどれだけ貢献するかという視点と、各機能の属する分野でブレークスルーをなしているかという視点の両者から評価されるべきである。そのブレークスルーはリアルワールドコンピューティングの側面、すなわち、頑健性、開放性、実時間性

というものと関連するであろう。研究開発プログラムは、個々の機能と統合機能の双方における新たなアルゴリズムの発見を試みる。以下、研究課題を列挙する。これらは、先に述べた 2 つのシステムの実現に必要なものと思われる研究課題である。このことはここで列挙した全ての課題を研究プログラムが行なうことを意味しない。

これらの新機能を実現する計算基盤については、ニューラルシステム、光計算システムを含む超並列分散システムによるものが想定される。

2.2 研究課題

2.2.1 柔らかな認識と理解

1. 柔らかな画像理解

情報が不十分であったり不完全であったりする場合の画像処理には、実世界における画像理解の新たなパラダイムが必要である。画像理解には定義不良、設定不良といった問題が存在する。多くの研究者が、究極的には分散されたパターン情報を凝縮された言語表現に変換する手段である認識と理解の技術の研究に努力を捧げてきた。

画像認識・理解の初期段階(色、形、位置、動き)は、最適化問題として定式化されるモジュールとして明解に定義される。そして、制約充足パラダイムに基づいて統合されるべきである。画像情報の構造を把握するには、能動的な概念化が必要である。時には、構造化の結果を改善するために画像内に制約を導入することも必要である。この場合の画像処理は制約充足計算を含む。

画像理解の柔軟性は、動きを含む画像の分割に関する新たなアルゴリズムの発見と、可能ならば世界モデルを仮定したり他の情報を用いて画像を分割したオブジェクトを統合することによって生じる。

重要な研究課題を挙げる。

- 画像データの学習、自己組織化、分割のためのアルゴリズム、
- 画像理解のための画像特徴と概念的記号の統合、
- 画像理解に基づく、動的世界を取り扱う技術の構築、
- 非剛体の物体表現のための柔らかで変形可能なモデルに基づく、人間の意図理解のための人間についての動画像認識、

・人間のもつ直観的情報を画像から抽出する基本機構。

2. 柔らかな音声理解

実現すべき柔らかな情報処理の中で、音声は重要な情報のひとつである。計算機が不特定話者の会話を理解できたならば、計算機ユーザにとって音声は強力な情報伝達手段となる。音声理解の柔らかさは、動的な音声の特徴抽出と、不完全な認識という制約下におけるマッチング手法を含む認識モジュールの統合のための新しいアルゴリズムの発見から生じる。この新機能を得るためには、以下のような研究課題が考えられる。

・騒音環境化における雑音抑圧と認識技術、
・初期段階の音声処理と音声の動的特徴の抽出、
・未知単語の取扱が可能な不特定話者の会話理解機構、
・超並列計算での実現に適した単純明解な認識アルゴリズム。

実世界における柔らかな発声・合成音声に基づく、コンピュータとユーザ間のインタフェース技術が開発されなければならない。以下のような研究課題が挙げられる。

・ノイズのある記号列(音声認識の単語出力)でも頑健な構文的、意味的処理、
・音声駆動型会話モデルと音声会話と結合した動的世界モデル、
・補完する特徴を持つような他の情報と音声との関係。

3. 柔らかな自然言語理解

実世界では、自然言語で表現される膨大な生データであるがコード化されたデータが生成される。しかしながら、それらはさまざまな目的、状況下で使われるために、機械による理解処理のために変換されているものはほとんどない。この分野での新機能は、膨大なコード化された自然言語を生データとして管理し、汎用的な概念表現を抽出できる頑健な理解システムの実現に焦点を当てるべきである。

新機能の鍵となる概念は自然言語の分割方法である。この分割には概念的なものとや構造的なものがある。分割された単位は知識表現として言語世界の状況変化に頑健になるように構成されるべきである。同時に、学習と自己組織化の機構も更新可能な知識単位であるために必要とされる。以下のような研究課題が挙げられる。

・大規模かつ不完全な文に適用できる頑健な構文解析、

・各種の電子化辞書の自然言語理解系への組み込み方法、
・談話から得られる文系列を自己組織化するアルゴリズム、
・汎用的な概念表現を抽出する機能、
・談話を扱うための概念的構造的測度に基づく状況理解や、知識単位を統合する計算モデル、
・説明指向の自然言語理解、
・自然言語と画像・音声など他の情報との統合(連係と補完)。

2.2.2 柔らかな推論と問題解決

1. 推論と問題解決

柔らかな推論は、実世界で生成される不整合性・不完全性・不確定性をもつ情報・知識を扱う。また、問題自体が完全に記述できないものも扱い、ユーザーの不完全な要求の定式化も要求されるので、知識表現の問題は重要である。推論の柔らかさは、それぞれが特化した作業課題を実行する各推論エージェント間の協調メカニズムから生じる。

実世界における生産システムを含む多くの大規模システムは、協調によって全体システムを安定化、準最適化、適応させるような、数多くの異なったエージェントが存在する。これらによって問題解決行なわれるが、そこでは実時間性も要求される。

従って、これらを許容する柔らかな推論・問題解決の新たな枠組が必要である。記号とパターンとの統合する柔らかな情報表現、実世界情報からの柔軟な知識獲得(確率構造や因果関係の学習)、確率論やファジー推論等を統合した柔らかな論理に基づく推論や類推、不良設定問題や暗黙的な多くの仮定を含んだ問題を高速に解くための制約充足問題、ネットワークダイナミクスによる最適化としての柔軟な超並列分散処理など、要素機能を柔軟に拡張する新しい技術の開発が重要である。

以下のような研究課題が挙げられる。

・準大域的な関係や制約の獲得と、曖昧な要求に基づく問題記述の枠組、
・対話型知識獲得、
・動的プランニング、

・類推や確率的推論に基づく柔らかな問題解決アルゴリズム、
・人間を含めた多数のエージェントの間での協調方式による問題解決や意思決定支援、
・通信が制約されている条件のもとでの大規模システムの問題解決、
・人間の問題解決過程のモデル化の研究。

2. 柔らかな情報ベースと検索

柔らかな推論・問題解決、認識・理解、行動といった新機能を支えるもの、また高度情報ネットワーク社会における人間の知的活動を支援する情報基盤として、実世界の多様な形態の情報・知識を柔軟に管理できる柔らかな情報ベースが望まれる。
そこでは、実世界の情報構造を柔軟に内部に表現し記憶する技術と、ユーザの意図に対して正確かつ柔軟に対応し検索を行なう技術が特に重要である。

これまで、知識ベース、関係データベース、オブジェクト指向データベース、演繹データベースなどが活発に研究・応用され、手続き的知識、宣言的知識など多彩な情報・知識の取り扱いが可能となってきている。しかし、情報の記憶と管理手段として記号と論理操作を主体とした現在のデータベースや知識ベースに残されている課題も多い。

柔軟な情報表現:情報獲得・自己組織化・情報提供の機能を備えた柔らかな情報ベースの構築と運用技術の確立が必要である。

以下の研究課題が挙げられる。

・大量の多様な生データや知識・手続き等を統一的かつ統合的に処理することを可能とするような枠組、
・実体のもつ位相性も含めた柔軟な情報表現、
・情報階層に適したデータ構造の表現、
・互いに独立なあるいは共通な知識の表現、
・情報の価値の評価や特徴抽出による情報要約や自動インデックシング、
・不足情報の明確化と能動的情報獲得、
・外部環境からの情報に適応して内部情報構造を柔軟に自己組織化し拡張できる機能、

・情報間の対応関係や協調関係の学習、

・不完全・暖昧要求からの意図の同定、

・連想による情報検索、

・超並列処理による高速検索技術。

2.2.3 柔らかなヒューマンインタフェースとシミュレーション

1. 柔らかなヒューマンインタフェース

リアルワールドコンピューティングシステムの優れた使用方法は、上述した個別新機能の開発と同時に開発されるべきである。新しい情報処理環境は新しいコンピュータと幅広く知的協調活動を可能にし、広く知的活動を拡大・支援するものとして理解される。このような環境では、ユーザとしての人間は身振り、表情、話し言葉のような自然な手段によって計算機と対話でき、また実時間の 3 次元画像によって情報を受け取ることができる。これによって、ユーザは従来のように狭いチャネルを通してのスキルを要する対話の煩わしさから解放され、よりレベルの高い知的作業に集中できることになるであろう。これらの情報環境を実現するための関連する研究課題には以下のものを含む。

・広帯域の多様なインタフェース(身振り・表情、自然言語や画像のパターン認識など)、

・仮想現実感を使った情報表示システム、

・人間の意図を理解するための感覚統合や認知行動モデル。

2. シミュレーション

リアルワールドコンピューティングは、新たなシミュレーション技術を実現する。
それは現実には目にみることができない現象を可視化することによって人間の思考・創造・決定を支援するとともに、それは非常に困難な問題を解くための強力なツールをユーザに提供する。ここでは、費用と時間を要するうえに、いつも正確な結果が得られるとは限らない物理的な実験を代替するものとして、大規模かつ複雑な系のシミュレーションを可能とし、時間の制約なしに系の挙動を予測できることが求められる。未知の現象や将来の予測(例えば地球環境や天気予報など)は実時間コンピューティングの重要な応用分野である。関連する研究課題としては以下のものがあげられる。

・学習・適応型シミュレーション、

・複雑・カオス的な時系列の予測と制御、

・環境・経済・交通などの大規模シミュレーションと決定支援。

2.2.4 柔らかな自律制御

実世界において実時間で動作する柔らかな自律的協調システムを実現するために要求される技術の開発に焦点を当てた研究が必要である。ロボットはその典型的な例である。また、高年齢者や、身体的に障害を持つ人々の支援・補償も応用分野である。このようなシステムは認知、決定、行動のために互いに相互作用する多様な機能モジュールからなる。解くべき問題は、これらの多様な機能をいかに統合するかの方法であり、実世界の制約のもとで望まれるゴールを達成するために機能モジュール間の相互作用の制御をいかに行なうかの方法を明らかにすることである。実世界とは、不完全性、用いることのできる情報の曖昧性、物理的世界の動的変化、用いることのできる時間や空間の制限等があるもので、前記の統合機能はこれらを考慮したものでなくてはならない。自発的で発見的な学習・自己組織化機能が必要であろう。関連する研究課題には以下のものがある。

・環境・作業課題・制御の柔らかなモデリング、

・能動的分散計測とセンサ統合、

・作業する場面での計画と分散協調探索、

・物体を上手く実時間で操作するための複数の計測・計画・行動エージェントの構造化と調整、

・動的な実世界と内部的な世界モデル間の無矛盾性の維持。

2.3 研究スケジュール

研究開発は2段階に分けられる。第一の段階では、統合システムに必要な個別新機能を実現するために、アルゴリズムの発見を目指す研究が行なわれる。柔らかな認識と理解では、指の動きやジェスチャなどを示す動画像の理解や会話音声の理解技術の確立がその研究道程となろう。柔らかな推論と問題解決では、画像を含む特定の領域の情報ベースをつくり、それに対して柔らかな推論や問題解決のための新しいアイディアの適用を行ない、それらの新しいアイディアの発展と革新を図る。新規性をもつアイディアにおいては確率推論や制約充足など

の方法によるものも含まれるであろう。また、大規模データベースを自己組織化する方法の発見もその道程になろう。柔らかなヒューマンインタフェイスとシミュレーションでは、人間の意図とそれを表す多様な情報表現との関係を、心理学的証拠や実験と情報処理メカニズムと結びつけることで明らかにすることがなされよう。また、認識や理解の結果を用いてつくり出される時間とともに変化する状況を表現する仮想現実感による表示技術の確立もその研究道程となろう。柔らかな自律制御においては、観測、認知、計画、行動を実世界において行なうことを適応と学習の観点から統合する方法論の確立がその研究道程となろう。

第二の段階では、第一の段階で発見された個別新機能を統合して、統合システム、すなわち実世界適応自律システムと情報統合対話システムの実現に向かう研究が行なわれる。ここにおける一つの研究道標としては、実時間で動作するシステムの実現である。

この研究開発で提案される種々の新機能群についてはそれらを統合するために生じる組合せ問題を知的にかつ洗練された方法で解決することがその研究道程になるであろう。

そのとき、個々の新機能は統合システムの中で他のそれらと協調することを通じてシステムが頑健性と開放性をもっことに貢献するであろう。

第一の段階ではその大部分は個別新機能の発見を目指すが、部分的には要素新機能の統合のための研究も行なわれる。同様に、第二の段階でもその大部分は統合システムの構築研究であるが、部分的には個別新機能の発見のための研究も行なわれる。

個別の研究活動の中では、リアルワールドコンピューティングにふさわしい新たなパラダイムの構築のための関連研究を刺激するようなアルゴリズムの発見活動(ただし、この段階では新たなアルゴリズムの理論的基盤は必ずしも要求されない)、新機能の実現方法と理論基盤に基づく実世界コンピューティング技術体系の構築活動、が行なわれる。

しかしながら、個々の研究課題はプログラムの開始5年後に見直しがなされるべきである。この見直しの機会には、本研究プログラムで開発される超並列計算機上での実装可能性やそれへの反映、あるいは、実世界コンピューティングに関連する個別の技術分野でいかなるブレークスルーをなしているか、のいずれかの観点から各新機能が評価されよう。

3 超並列システム

3.1 研究の枠組み

リアルワールドコンピューティングには多種多様な情報を総合的かつ柔軟に処理する計算の枠組みが要求される。リアルワールドコンピューティングの応用例としては、柔らかな認識と理解、柔らかな推論と問題解決、柔らかなヒューマンインタフェースとシミュレーション、柔らかな自律制御などがある。これらの応用を実現するようなシステムは、数多くのモジュールにより構成され、モジュール間あるいはモジュール内という様々なレベルでの並列分散処理が行われる。

これらの応用に適用可能な、並列オブジェクト指向、データフロー、データ並列、ニューラルネットワーク、確率的情報処理、などといったいくつかの並列パラダイムが提案されてきた。リアルワールドコンピューティングは、このようなパラダイムの組み合わせにより実現されるであろう。リアルワールドコンピューティングに基づいたこのような柔らかな情報処理においては、さまざまなパラダイムに基づいた多くのレベルの並列性がある。これらの新しいパラダイムは超並列システムと自然に適合し、実世界の問題を実用的な時間内に解くために膨大な計算を必要とする。このことは、超並列システムがリアルワールドコンピューティングを可能とする計算パワーを実現するためには不可欠であることを示している。またこのような超並列システムは、複数パラダイムを効率良く実行するようなシステムである必要がある。

リアルワールドコンピューティングの計算基盤としての超並列システムはそれ自体が柔軟である必要がある。ハードウェアの柔軟性に関しては、耐故障性と信頼性が重要である。アーキテクチャの観点からは、超並列システムは種々のパラダイムを効率良く支援する汎用的なものでなければならない。ソフトウェアは適応性、自己組織性、最適化などの機能を持つ必要がある。超並列システムは最適な性能を得るため、それ自身が環境に適応し、ユーザには過大な要求をしない。このような観点から、本研究プログラムにおける超並列システムに関する研究では、アーキテクチャ、オペレーティングシステム、言語、そしてシステム環境の開発を対象とする。

3.2 研究課題

3.2.1 超並列アーキテクチャ

以下に示すものは、汎用の超並列システムを開発するために推進されるべき基礎技術である。

1. モデル

   複数のパラダイムをサポートする柔らかな実行モデルは、言語モデルとハードウェアの間隙を埋める能力が必要である。また仮想的なコンピュータを実要素プロセッサにマッピングすることを許容するような柔らかさが必要である。

2. アーキテクチャ

   アーキテクチャは様々なパラダイムを効率良くサポートする必要がある。したがって特定の応用を指向したものではなく、汎用のアーキテクチャでなければならない。

   超並列システムの効率的な実現のためには、将来のデバイス技術や実装技術を考慮したハードウェアアーキテクチャを研究することも重要である。

3. 相互結合網

   相互結合網は計算速度と同等の高速な通信を提供しなければならない。また、動的な負荷分散、全体的な同期、全体的な優先度制御もサポートする必要がある。高速な相互結合網はシリコン技術による実現だけでなく光技術についても研究されるべきである。

4. 頑健性・信頼性

   超並列システムで予想される部分的な故障に耐えるようなハードウェア指向の頑健性が研究されなければならない。システムを構成する要素は、自己診断、自己修復機能を持つ必要がある。システム全体はメンテナンスのためのアーキテクチャや機能を持ち、システムの信頼性を維持しなければならない。

リアルワールドコンピューテイングプログラムで開発されるシステムは汎用の超並列システムでなければならない。汎用性は複数のパラダイムをハードウェア実行モデルにソフトウェア的にマッピングすることで実現されよう。ハードウェア自体が種々のタイプのアプリケーションに対して適応する機能を持つことが可能ならば、そのハードウェアは汎用と考えることができるであろう。実世界コンピューティングにおいては、膨大な数のモジュールやプロセスが並列的に実行されるため、高速なプロセススイッチ機構と低コストな同期の機構をサポートするようなアーキテクチャがシステムとして統合的に実現されなければならない。

プログラムの前半において 10^4 要素プロセッサを持つプロトタイプシステムが開発される。いくつかのハードウェアプロトタイプを試作するが、これらのプロトタイプのうち 1 つはソフトウェア開発や新機能を検証するためのプラットホームとして設計製作される。超並列モデルや超並列アーキテクチャに関する基礎研究も同時に行なわれる必要がある。プログラムの後半においては、10^6 要素プロセッサを持つシステムの開発が期待される。このシステムは様々な種類のリアルワールドコンピューティングのアプリケーションが実時間で実行可能な性

能を持つであろう。そのアーキテクチャはこのプログラムにおいて研究される新しい超並列コンピューティングモデルに基づいたものになるであろう。

3.2.2 オペレーティングシステム

オペレーティングシステムの主要な目的は、計算資源を並列プロセスに対し効率良く配分すること、ハードウェアの詳細を知る必要のない、人に優しいインターフェースを構築することである。逐次計算機のオペレーティングシステムと同様、超並列オペレーティングシステムは、汎用、対話型、マルチユーザシステムでなければならない。超並列システムのオペレーティングシステムは、様々なプロセスが高いスループットで並行的に動作することを支援するよう設計されなければならない。多数のプロセッサを管理するために、人間社会にみられるような階層的な構造になるであろう。数多くの並列なプログラムの同時実行を支援するためには、オペレーティングシステムがプログラマ間の資源分割の調整と実行時における資源再配分を行う必要がある。局所性、グループ化、および平衡原理が分割のガイドラインとなる。

オペレーティングシステムのひとつの目的は、プログラマが並列プログラムを書きやすくするために、汎用並列システムの抽象レベルを高めることである。この抽象化を通じて、オペレーティングシステムは上記のガイドラインに従うことで、資源とユーザープログラムの協調を管理する。

超並列システムにおけるオペレーティングシステムの研究課題を以下に示す。

1. 階層構造

   プロセッサの柔軟な管理を目指して機能的に分散された管理システムを実現するためには、オペレーティングシステムは階層的な構造を必要とするであろう。階層的構造は超並列システムに拡張性をもたらす。ソフトウェア、ハードウェアにより、作業や階層構造を制御する機構が必要である。また、並列性の制御やクリティカルセクションの実行におけるオーバヘッドを削減することが考慮されなければならない。

2. ネットワーク管理

   高度な知的ルーティング、アドレッシング、同期、デッドロック回避、流れ制御、そして故障の回避は、柔軟なネットワーク管理システムに組み込まれなければならない。

3. 資源管理と負荷分散

   超並列システムにおいては同期に起因するオーバヘッド、アクセスの衝突、そして通信オーバヘッドがより大きな問題となるであろう。これらの問題を解決するために、オペレーティングシステムは自律的に管理情報を収集し、統計的あるいは適応的に管理することが可

能でなければならない。効率的なスケジューリングや負荷分散のために、メモリ管理や資源管理の仮想化について研究する必要がある。たとえば、ページングと仮想記憶は、記憶管理のアイデアとして従来型コンピュータシステムにおいて大きな成功を収めた。これらの利点を並列システムにも期待することは妥当であろう。プロセッサ間での負荷をバランスさせるために、プロセスグループを他のプロセッサの集合に移動させることも望まれる。有効なプロセス移動を支援するようなハードウェアが、オペレーティングシステムと同じ位必要である。

4. 耐故障性

超並列システムにおいて、資源管理は予想される構成要素の故障率を許容するような方式で実行されなければならない。したがって、故障回避システムを通常の処理として扱う必要がある。故障を回避するために、多重ルーティング処理が必要となる。超並列システムを効率良く管理するために、高度な知的ルーティングや故障回避機構が柔軟なネットワーク管理システム内に取り込まれていなければならない。

3.2.3 超並列システムにおける言語

超並列システムにおけるプログラミング言語では、数多くのプロセスの統合的なオペレーションの記述が可能でなければならない。いくつかのパラダイムに基づいたいくつかの言語が研究されるべきである。問題は、並列性を抽出する方法とシステムが提供可能な並列度を最大限に利用して実行する方法である。そのようなシステムのユーザープログラムは非常に複雑なものとなろう。大規模な並列プログラムの開発、検証、試験、デバッグ、そして保守は、逐次コンピュータに較べより複雑になるであろう。百万のプロセッサに拡張可能な種々のコンパイル技術や実行時処理の技術を研究しなければならない。実際的な応用が記述できる高水準言語を幾つか開発する必要がある。以下に示す項目について研究を行なう。

1. 言語モデル

言語モデルは超並列システムに実現される柔軟なプログラミング言語のための記述モデルである。言語モデルは、根底にあるアーキテクチャに対して基本的なプログラミングの抽象化を与える。そのモデルは単純で計算パワーを損なうことなく十分にアーキテクチャに近くなければならない。同時に、ソフトウェアのプログラミングを容易にし、可搬性を高め、再利用を可能とする強力な手段を提供しなければならない。このような性質を持つひとつの有力な候補として、並列オブジェクト指向モデルが挙げられる。言語モデルの研究において、柔軟な言語、協調的なアクションを記述するモデル、継承やリフレクションに対する基礎研究を推進すべきである。

継承はオブジェクトをコンピューティング環境に適応させる手助けとなる。最近の研究では、並行的な挙動や継承に関してオブジェクト指向の並行性に対する深い理論的な基礎が与えられた。言語におけるリフレクションの考え方は、根底にあるプログラム実行の枠組みを言語内で記述することである。リフレクションは、並列処理システムにおいてスケジューリング、通信、そして負荷分散といったさまざまな側面をプログラミング言語の枠組みの内部に取り入れることを可能にする。

2. 超並列システムにおける高水準言語

超並列システムにおける高水準言語は百万プロセッサのスケールにおけるプログラミングの容易さと計算の記述能力を主な目的としなければならない。いくつかの並列処理パラダイムに基づいたいくつかの高水準言語が考慮されるであろう。そのような言語のなかの一つの有力な候補として、並行オブジェクト指向、関数的・宣言的な制約に基づいたアプローチを適切に組み合わせたものとなる言語があるであろう。このような高水準言語はいくつかの中間的なプログラミング言語の階層から構成されるであろう。共通の基本言語によって、いくつかの高水準言語における共通的なプログラム抽象化を提供することが可能となる。効率的な階層間のコンパイル技術は、より高水準な言語の利用を阻害することなく開発されなければならない。並列制約充足の枠組みの中では、見込み計算のサポートも推進される。並行オブジェクト指向言語に関しては、現在のオブジェクト指向モデルでは百万単位の処理を考慮していないため、以下に示すような拡張が必要となるであろう。

・複雑な問題を階層的に分解することが可能な記述系の導入

・種々のメッセージ伝搬システム

・オブジェクトを適応・進化させるためのセルフリフレクション機能の導入

・オブジェクト間の関係の宣言的な記述

3.2.4 システム開発・プログラミング環境

1. プログラミング環境

複数のパラダイムをサポートすることによって、ユーザーはいくつかのプログラミング言語の中から選択できる自由を与えられる。したがって複数パラダイムのプログラミングをサポートするようなプログラミング環境の開発の必要性がある。デバッグ、負荷分散のグラフィック表示による監視や解析、通信特性などのツールが必要である。これらはハードウ

ェアによりサポートされるため、これらの要求を考慮してアーキテクチャの設計を行なわなければならない。

2. システム開発支援環境

超並列システムの開発をサポートする環境に対する要求は従来のものとは異なるふたつの特徴を含んでいる。ひとつは相互結合網に対する支援である。相互結合網の開発においては、耐故障性、動的負荷分散、大域同期などを含むいくつかの目的に対する要求や制限が検討されなければならない。相互結合網の全体的な機能と性能は、システムレベルのシミュレーション以前に評価される必要がある。もうひとつは要素プロセッサのアーキテクチャ開発の支援である。超並列システムにおける要素プロセッサのアーキテクチャ開発においては、相互結合網を含むさまざまなサブシステムの機能的な評価を通じ、要素プロセッサの基本的な機能が決定されていなければならない。

3.2.5 システムの評価

応用分野は、リアルワールドコンピューティングのための超並列計算の有効性を検証するために取り上げられなければならない。設定されたモデルから将来の出来事を予測するシミュレーションは、このような目的の一例である。シミュレーションは微視的な要素間の相互作用を記述することで巨視的な振る舞いを予測することが可能となる。このような超並列システムの応用として、ダイレクトマッピングなどのパラダイムを用いることによる非線形な問題あるいは多体問題などの処理を行なうことがあげられる。また、現象が複雑すぎたり確率的な現象を記述するための知識が不十分なため、そこで支配する方程式を記述することが困難なようなシミュレーションも扱えるようになると期待される。

3.3 研究スケジュール

最終的に開発されるべき超並列システムは百万オーダーの要素プロセッサを持つことが期待される。しかしながら、そのようなシステムを一気に開発するのは大きな危険を伴うと考えられる。したがって、プロトタイプ化による評価が重要となる。プロトタイプシステムはこの計画の中間で構築される。開発に要する技術としては、現在利用可能な技術と最終システムで要求される技術との中間的なものとなるであろう。半導体技術の進歩を睨む必要がある。ソフトウェア開発や新機能研究のためのツールとしてプラットフォームシステムも開発される必要がある。プロトタイプシステムのひとつがプラットフォームとして設計、開発されるであろう。このプラットフォーム上でのソフトウェア開発は、本研究プログラムにおいて高水準計算するための基礎として大変に重要である。最終的なシステムは超並列システムとニューラルシステムとの統合になる。

超並列システムの研究開発は、以下に示すような 2 段階に分けることができる。

1. 前期

   いくつかのハードウェアプロトタイプシステムがこの段階で開発される。プロトタイプのひとつはプラットフォームとして設計、開発されなければならない。それ以外のプロトタイプシステムは、最終的な超並列システムの中間目標となるように設計・開発されなければならない。前期の終了時には、プラットフォームシステムを含むプロトタイプシステムは、最終的なシステムを設計するという立場から評価される。超並列のモデルとアーキテクチャに対する基礎研究も並行して進められる。

   言語やオペレーティングシステムに関する概念の形成やそのプラットホームシステムでの実験もここで行なわれる。超並列システムのための共通的な基盤言語の設計と開発が最初に行なわれる。言語モデルに関する研究は応用指向の高水準言語の抽象化の手段を提供するために行なわれる。後期において実際の応用問題を解決するために使われるいくつかの高水準言語やオペレーティングシステムはプラットホーム上に実装されていなければならない。いくつかのコンパイル技術やランタイム処理の技術はいくつかのプロトタイプシステムを用いて研究される。新しいユーザープログラミング環境もまた、百万オーダーの並行オブジェクトの同時実行を容易にするために開発されなければならない。基礎言語の上位には、ユーザーの要求に応じた問題指向の高水準言語も提供しなければならない。

2. 後期

最終システムは、前期で開発されたプロトタイプシステムの評価に基づいて、本研究プログラムの後半で設計される。最終システムを構築するための基礎となる技術は、プロトタイプシステムの中から選択される。前期で開発された重要な技術は、最終システムの設計において統合される。本研究プログラムの後半では、前期で研究された超並列モデルに基づいた超並列システムの開発に重点をおく。これは、本研究プログラムの前半で得られた理論的な基礎や新機能の研究成果を踏まえたものとなるであろう。この最終システムとニューラルシステムは、さらに 1 つの情報処理システムとして統合される。後期における超並列システムのソフトウェア研究は、超並列のオペレーティングシステムや言語システムの実現に焦点が置かれる。

高水準言語モデルの拡張についての研究も並行して行なわれる。最適化コンパイルの技術に関する研究の成果はプラットホームシステム上に実装されるとともに、最終システム上でのプロトタイプ化を図る。さらに、複雑さを扱うために大規模並列プログラムを階層的に分割する方法や解析の枠組みを研究しなければならない。

本研究プログラムに参加する多くの研究者は、彼らの研究所からプラットフォームシステムを使うことができなければならない。これは、研究所とプラットフォームシステムを高速の広域ネットワークで結ぶことで可能となる。このためのネットワーク環境の全体構成に関する研究開発もなされなければならない。さらに、システムソフトウェアは、標準ユーザーインタフェースや現在使われているシステム環境を支援する必要がある。少数の要素プロセッサで構成される小規模なプラットフォームシステムを各研究所に設置することも考えられるであろう。多くの研究者が共通の状況下で研究できるということは、実世界コンピューティングのための共通な概念と技術を与え、本研究プログラムの推進のために非常に重要である。

4 ニューラルシステム

4.1 研究の枠組み

神経細胞の処理速度はシリコン論理ゲートに較べて 5 桁から 6 桁遅いにもかかわらず、脳は最速のデジタルコンピュータよりもはるかに速く計算処理を行う場合がある。ニューラルシステムは、生物が用いている組織化原理を利用するように構築されたシステムである。脳を模したこのようなニューラルシステムは、特定の情報処理を高速に処理し、知的な振る舞いをすることが期待される。ニューラルネットワークによる情報処理が注目されるのは、ニューラルネットワークでは、多数の単純な処理ユニットが互いに密な情報交換を行ないつつ、「協調と競合」の原理にしたがって処理を行っている点である。

さらに、従来型のコンピュータで動くプログラムは結合強度で表現されているため、システムが学習や適応を行う際には、従来の数値的最適化手法を用いることが可能である。

このような特徴から、ニューラルシステムは柔らかな情報処理のプラットフォームとなり得ると考えられる。

近年、様々なニューラルネットワークが提案されてきており、パターン処理、最適化問題における近似解法、制約充足処理などに適していることが示されている。しかしながら、それらのネットワークは小規模なアプリケーションに限定されたものである。それらのアプリケーションで使用されるニューラルモデルは非常に単純なものであり、学習方法はほとんどの場合、バックプロパゲーションを採用していた。柔らかな情報処理の実現は、過去のアプリケーションと比較してより難しいものであり、我々は、新たなニューラルモデル、学習方法、自己組織化などといった、ニューラルネットワークの新たな可能性について探求しなければならない。

今日では、ニューラルネットワークは従来型のコンピュータ上に構築され、シミュレーションが行なわれているが、特に大規模なネットワークにおいては、シミュレーション速度は非常に遅い。この問題はおそらく汎用超並列コンピュータにより解決されるであろうが、コストと集積規模とを考慮すると、専用ハードウェアの出現が望まれるであろう。

本プログラムにおいては、実世界領域で動作する柔らかな情報処理システムを実現するための大規模ニューラルネットワークの可能性を探求したい。本プログラムの目標は、新たなニューラルモデルにもとづいたハードウェアおよびソフトウェアからなるニューラルシステムを構築することであり、ニューラルモデルの開発は本プログラムの重要なテーマの 1 つである。そのモデルは、外界との相互作用により知識を学習したり自身の構造を適応的に変化させることが可能な、大規模ニューラルネットワークをサポートするものでなければならない。

ハードウェアシステムは 100 万ユニットのニューラルネットワークをサポートし、10TCUPS(Tera

Connections Updates Per Second)の処理速度を実現することが望まれる。最終段階では、柔らかな情報処理を実現するため、ニューラルシステムと超並列システムが統合される予定である。そのため、ニューラルシステムと超並列システムの研究者は、早い時期から統合のメカニズムを検討しておく必要がある。

4.2 研究課題

4.2.1 ニューラルモデル

本プロジェクトでは、柔らかな情報システムを実現するための新たなニューラルモデルを開発しようとしている。柔らかな情報システムは、実世界との相互作用により適応的に自己の構造を変化させる大規模ニューラルネットワークにより実現される。ネットワークは実時間環境において、教師あり学習あるいは自己組織化により動的に成長する。
しかし、成長に際して存在している知識を忘れないようにしなければならない。これらの要求を満足するため、ネットワークは以下の特性をもって構築されるべきである。すなわち、モジュール性、階層的構造化、および機能分化である。以上の特性を実現するためには、以下に示すような各領域の研究が必要であろう。

1. ニューロンユニットモデル

これまでは単純なニューロンユニットモデルが利用され、応用も狭い範囲のみで成功を収めていた。より洗練されたニューロンモデルの開発が知的な機能を実現すると思われる。例えば、カオスニューロンモデル、複素数ニューロン、ニューロン論理モデル(ニューロンに論理属性が保持される)などが、より洗練されたニューロンユニットモデルの候補として提案されている。
我々はこれらの可能性を評価し、新たなニューロンユニットモデルを開発しなければならない。

2. モジュール化と階層化

実世界で利用される大規模ニューラルネットワークは、外部環境との相互作用を行ない、適応や訓練によってネットワーク構造を変化させる機能を備える必要がある。
そのような状況では、既存の知識を破壊することなく新たな知識を獲得し、情報を効率よく取り出す能力が必要である。これらの要求を満たすためには、知識のモジュール化と階層化とがなされなければならない。モジュール化、構造化および機能分化のための分散学習法や学習制御法を開発する必要がある。このためには以下の機構に関して考慮すべきであろう。

・外部環境への適応による機能分化および階層構造の構築
・実世界との相互作用によるニューラルネットワークの自律的成長
・集中あるいは分散制御を用いたモジュール化
・モジュール間相互作用
・モジュール化と階層構造化を評価するための手法

3. 学習と自己組織化

リアルワールドコンピューティングにおいては、実時間学習が非常に重要である。
既存の知識を破壊することなく新たな知識を追加でき、かつ一貫性を保ちながら既存の知識の削除を行えるような学習方式を開発することが重要である。大規模ニューラルネットワークの多くは、再帰ループを持っている。階層式ニューラルネットワークが空間的パターン認識に有効であるのに対し、リカレントニューラルネットワークには時間的パターン認識や時間的パターン生成に対し有効と期待される。またリカレントニューラルネットワークは、制約充足の機能を有するため、最適化問題に利用できるであろう。リカレントニューラルネットワークは今後 10 年以上に渡って重要な役割を果たすと思われる。リカレントネットワークに対する学習や自己組織化の機構を構築する必要がある。

ネットワークのトポロジーやサイズは、汎化能力を決定するうえで最もクリティカルなパラメータに属するものである。最適な自己組織ネットワークを構築するための学習手続きが開発されなければならない。そのようなネットワークは問題学習のための十分な大きさを持つと同時に、汎化を行なうために十分小さくなければならない。

4. 連想記憶

連想はニューラルネットワークにより創出される基礎的な機能の一つである。空間パターンや時間パターン等、色々な情報が分散記憶され、ベストマッチの原理で想起が行なわれる。これら連想機能の原理を理論的に解明すると共に、その機能を実現するための工学的機構が開発される必要がある。

5. アナログコンピューティングの新たな原理

ニューラルシステムの情報処理は、システムがもつアナログ的な非線形力学を基盤としている。この視点から、カオス力学も含む、ニューラルシステムのアナログコンピューティングの原理について、明確化されなければならない。

6. 異なるパラダイムの統合

異なるパラダイムを統合したモデルに関する研究が行なわれなければならない。例えば、

ニューラルネットワークと論理処理との統合、パターン処理と記号処理との組み合わせなどが、ニューラルシステムを実現する上で求められよう。統合モデルは並列処理環境上で実行されなければならない。入出力表現は、様々なパラダイムを統合する際のインタフェースとなる。特に、ニューラルネットワークの入出力表現の選択は、ネットワークの処理能力に大きく影響する。したがって、ニューラルシステムの開発に際しては、入出力表現に関する理論的立場および実験的立場からの研究が重要となる。

4.2.2 ニューラルシステムのハードウエア

ニューラルシステムのハードウェアは、外部環境との相互作用により構造を適応的に変化させるようなモジュール化された大規模ニューラルネットワークをサポートしなければならない。ニューラルシステムは 100 万ユニットのニューラルネットワークをサポートすべきであろう。このように大規模なニューラルネットワークは、1000 個のニューロンが完全結合されたサブニューラルネットワークから構成されるようなものになろう。

目標とする処理速度は 10TCUPS(Tera Connections Updates Per Second)である。専用ハードウェアの設計においては、現時点でニューラルネットワークモデルが明確にされていないこと、将来において他のさまざまな新しいモデルが発表されるであろうということに注意しなければならない。ニューラルシステムのアーキテクチャは、汎用かつ拡張性のある機構を盛り込まなければならない。本研究プログラムの初期段階ではさまざまなアーキテクチャに関する研究が実施される必要がある。

ニューラルシステムのハードウェアは以下の 3 種に分類される。

・ニューロアクセラレータ

・VLSI ニューロチップ

・ニューラルネットの工学的実現

ニューロアクセラレータは、ニューラルネットワーク処理のために開発される専用の並列プロセッサである。多くのアーキテクチャが提案されているが、その典型的なものは、数百の要素プロセッサからなり、1GCPUS を実現している。VLSI ニューロチップはニューロンユニットモデルをシミュレートするニューロンユニットのハードウェアから成る。ニューロチップアーキテクチャの領域は広く、デジタル処理チップからアナログ処理チップの範囲にまで及んでいる。3 番目の工学的実現のアプローチは、ニューラルネットワークの機能をニューロンユニットモデルを使わずにハードウェアロジックで工学的手法で実現するものである。

以上の各アプローチは学習能力、スケーラビリティ等についてそれぞれの特徴をもっており、

比較することは不可能である。本ニューラルシステムにおいては、2番目および3番目のアプローチに焦点を当てることとする。この場合以下の様な選択が考えられる。

1. デジタル回路ニューロチップ
   デジタル回路は耐ノイズ性と処理精度の高さという点において多くの利点を備えており、大規模システムにおける安定的な処理に適している。デジタルニューロ回路にはコンピュータの製造技術を直接応用することが可能である。従来のアプローチに加え、パルス密度モデル等を利用する多くのバリエーションが提案されている。
   これらのアプローチによりニューロチップの新たな可能性が生じることも期待されよう。

2. アナログ回路ニューロチップ
   アナログシステムは、演算回路が少ないため、ハードウェア体積の削減が可能である。これは大規模ネットワークの開発においては非常に魅力的である。さらにアナログ回路には、動的ネットワークや、その他カオスニューロンのような複雑なニューラルネットワークを実現する可能性もある。

3. ハイブリッドニューロチップ
   デジタルおよびアナログの各々の利点を利用したハイブリッドチップを考えることも可能である。

4. 工学的実現
   上述したニューロチップはニューロンユニットモデルを直接実現するものである。
   これに対し、ニューラルネットワークの機能を実現するための別のアプローチも存在する。それは、ニューロンユニットモデルをシミュレートしない論理ハードウェアによる連想のようなアプローチである。これらのシステムは単純な論理回路の繰り返しにより構築される。

ニューラルシステムでは、全てのニューロンは基本的に活性値を互いに交換している。相互結合ネットワーク・アーキテクチャは設計上の重要なポイントである。時間多重方式と周波数多重方式とが、この問題に対する答えの候補となるであろう。結合ネットワークの設計は実装技術と深い関係がある。結合ネットのバンド幅は、チップやボードのピン数の制限で決まる。これらを、解決するための技術としてウエハスケールでの集積、三次元アーキテクチャ、光技術等が考えられる。また、設計のための道具としてCADやシリコンコンパイラ等も重要と思われる。

4.2.3 ニューラルシステムのソフトウェア

ニューラルシステムの研究および開発においては、様々なニューラルソフトウェアシステムが必要とされる。

1. シミュレーションシステム

ニューラルネットワークの研究および開発においては、シミュレーションシステムが重要なツールである。ニューラルネットワーク研究者のほとんどは独自のシミュレータを持っている。大規模ニューラルネットワークのための柔軟性のある汎用ニューラルシミュレータが強力なツールとなるであろう。このようなシミュレータに対して求められる要件には、マシン独立性、拡張性、便利なユーザインタフェース、高速性、豊富なユーティリティルーチン等がある。又、シミュレータには、ネットワークの収束性等を制御するための解析ツールが付加されていることが望ましい。

2. ニューラルネットワークの言語

ニューラルネットワーク処理は、高水準言語によって記述されるべきである。このような言語の設計のため、以下に示す研究テーマ、開発テーマが必要となろう。

・曖昧情報の表現

・ベストマッチ操作の記述

・論理プログラムとの統合

・シミュレータとの統合

3. オペレーティングシステム

一般的に、ハードウェアのニューロン数は、ニューラルネットワークにおけるニューロン数を下回る。したがって、このギャップを埋めるための仮想機構がニューラルシステムにおいては重要である。

・ニューラルネットワークをハードウェアにマッピングするための機構

・資源のスケジューリング

4.2.4 超並列システムとの統合

ニューラルシステムは、多種多様なニューラルサブシステムから構築されるであろう。しかしながら、ニューラルシステムは、パターン認識、連想記憶、最適組合せの探求、および他の特殊な機能といった専用目的のためのプロセッサのひとつとなるであろう。

このことは即ち、ニューラルシステムが他のシステムと結合あるいは統合されなければならないことを意味する。強結合から疎結合まで、様々な統合機構が考えられる。すでに提案されてい

る統合機構には以下のようなものがある。密結合の例:ニューラルネットワークが連想メモリとして超並列システムの要素プロセッサに結合されたもの。疎結合の例:超並列プロセッサが例えば最適化問題のような問題をニューラルシステムに対して投げ掛けるようなもの。

4.2.5 システムの評価

ニューラルネットワークの理論およびモデルは、4.2.1 節に列挙された機能を満足しているか否かにより評価される。ニューラルハードウェアは 2 つの方法により評価される。第一の評価方法は処理速度(TCUPS)によるものであり、第二の評価方法は本計画で開発される実際のアプリケーションによるものである。ベンチマーク用アプリケーションでは、柔軟かつ高速な情報処理が実装されるべきであろう。柔軟な動的イメージの処理等がベンチマークプログラムの候補である。

4.3 研究スケジュール

ニューラルシステムの開発は 2 段階に分かれる。各段階はそれぞれ 5 年間継続する。

第 1 の開発段階では、新規の理論、モデル、およびハードウェアアーキテクチャが研究される。ニューラルモデルは、幅広く様々な方式を試みる必要がある。それらは評価され、後期において使用可能なモデルが選ばれる。モデルはやがてハードウェアに反映される。ハードウェアのプロトタイプが次期の開発段階のために構築される。プロトタイプシステムは、数万ユニットからなり、後期のニューラルモデルや新機能の実験に用いられる。この段階で利用される技術は、現時点で入手可能なものと最終システムで必要とされるものとの中間と位置づけられる。

第 2 段階は最終システムの構築に費やされる。第 1 段階の成果に基づき、理論およびモデルが精製される。ニューラルモデルは、最終システム上で効率良く実行されるよう、モデルのハードウェアへの実装法も研究されるべきである。最終システムは第 1 段階のプロトタイプの経験を生かし、百万ユニット規模のシステムが構築される予定である。

最終マシンの開発には、その時点の最新研究結果を生かし、最新の技術が使われる。最終システムは超並列システムと統合される。統合の機構は、最終システムのアーキテクチャにおいて最も重要な点となるであろう。特に第 2 段階の初期において、理論およびモデルの研究成果に基づき、新たな統合アーキテクチャについて議論すべきであろう。

ニューラルシステムと超並列システムの両グループは互いに関連して、新たな統合アーキテクチャを設計、構築すべきであろう。システム上にはいくつかのアプリケーションシステムが実装され、システム全体が評価されることになるであろう。

5 光システム

5.1 研究の枠組み

光はその大容量性と超並列処理性により、新しい情報媒体として期待されている。光の情報処理への利用は、柔らかな情報処理および超並列超分散情報処理の実現をめざすリアルワールドコンピューテイングプログラムに対して、新しいアーキテクチャ、アルゴリズムおよび新しいデバイス技術を提供する。

本プログラムで開発すべき技術は次の 3 つのカテゴリーに分けられる。

・光インタコネクション技術

・光ニューラルシステム

・光デジタルシステム

光インタコネクション技術は、現状の電子システムが直面しているいわゆる配線限界を克服することが目的である。また、光インタコネクションは、光ニューラルシステムや光デジタルシステムのための技術基盤として位置づけられる。

光ニューラルシステムは、画像情報などの広がりを持つ情報に対して、光によるニューロン間の接続を実現し、学習や連想を実時間に処理可能とする技術の開発を目指す。

光デジタルシステムでは、光をベースとして正確な計算を行う超並列処理の実現を目標とする。

光コンピューティング技術では、光デバイスの開発がまずその前提となる。

開発された光電子素子のモジュール化もまた、本計画の重要な研究目標の一つである。こうしたモジュールによって、高度に並列で分散的なシステムに対する光の寄与が検証される。

5.2 研究課題

5.2.1 光インタコネクション技術

光インタコネクション技術は、VLSI に代表される先端的なエレクトロニクス技術と光通信技術を融合したものであり、伝送遅延、クロストーク配線のための空間、電力消費、といったような電子システムにおける情報伝達に関わる問題を克服するものである。

光インタコネクションは上記のような問題を克服し、高速、大容量で柔軟な情報伝送の実現をめざす。

重要と思われる技術的課題は次の通りである:

1. 光インタコネクションデバイス

   光インタコネクションデバイスには、光電子的な能動および受動素子が含まれる。
   これらのデバイスの組合せによって、時間・空間・波長の 3 つの領域における高密度多重技術を用いた高速、大容量、構造変更可能な相互接続ネットワークが実現できる。

   ピコ秒以下の超高速な光インタコネクションデバイスの研究では、時分割多重を利用した大容量インタコネクションの実現をめざす。

   空間並列および／または機能的な光インタコネクションデバイスの研究では、空間分割多重技術と多様な電子-光的機能とを利用した構造変更可能な高速インタコネクションをめざす。

   波長並列および／または機能的な光インタコネクションデバイスの研究では、波長分割多重および波長選択自己ルーティング技術を用いた大容量および／または構造変更可能なインタコネクションをめざす。とくに、波長分割多重技術は、大容量バスの実現に有効であろう。

   マイクロオプティクスおよび回折素子のような受動光デバイスの研究は安定性が高く、高密度な光インタコネクションのためのモジュールの実現をめざす。

   さらに、上記のような異なる性質／機能を持つデバイスを統合した高度な光統合デバイスの研究は、次の世代の光デバイスの基礎となる。

2. 光インタコネクションネットワーク

   アーキテクチャーおよびデザイン技術の研究は、構造変更可能で、自己ルーティングができるようなコンパクトで高速、多チャンネルの光結合ネットワークの実現をめざす。

   チップ内およびチップ間結合の研究は、プロセッサ間、プロセッサーメモリ間、およびメモリ間の高速で柔軟な光インタコネクションネットワークの実現をめざす。

   光電子デバイスと受動光デバイスとのモジュール化の研究は、光インタコネクション要素の統合と微小化をめざす。これによって、位置合わせの問題が回避される。

5.2.2 光ニューラルシステム

光ニューラルシステムでは、超並列かつ柔軟な光接続によって、学習や連想機能を実現し、

画像情報などの空間的に分散された情報や波長情報を実時間処理する技術の実現を目標とする。

重要と考えられる研究開発課題は次の通りである:

1. 光ニューラルモデル

   画像情報を直接処理するモデルでは、2次元、3次元情報を直接ニューラルネットワークに入力し、処理を行なうようなモデルの開発を目指す。
   光の物理現象を導入するモデルでは、双安定現象、カオス、位相共役といった光物性に基づく現象を利用した新しいニューラルネットワークの理論的なモデルの開発を目指す。

   拡張可能なモジュラーモデルでは、多数の単位モジュールから構成される拡張可能かつ柔軟なネットワークモデルを開発対象とする。

   アナログデバイスに適したモデルでは、低精度ながら大規模、高速性に優れた光アナログデバイスを利用するニューラルモデルが開発の対象となる。

2. 光ニューラルデバイス

   大規模・高速学習光ニューラルデバイスでは、電気または光の学習信号でシナプス強度を変更する光ニューラルチップの大規模化、高速化技術の開発を目指す。

   画像処理用光ニューラルデバイスでは、画像を直接認識したり処理する光ニューロデバイス、画像の特徴抽出を行うニューラルデバイスの開発を目指す。

   光ニューラルデバイスのモジュール化では、光ニューラルチップのモジュール化および標準化の実現を目的とする。

3. 光ニューラルシステム

   設計技術の確立では、機能分割、階層化などの技術を確立を目指す。また、デジタルコンピュータとの統合化による機能の高精度化技術も開発対象とする。

   学習手法の確立では、学習結果を構造化された知識として整理し、他のシステムに移植する技術、学習の高速化技術を対象とし、これらの手法の確立を目指す。

   人間に優しい入出力技術では、マルチメディア情報を直接処理する技術の開発や、キーとなる画像で類似像を直接検索できる画像情報ベースの開発を目的とする。

5.2.3 光デジタルシステム

論理演算原理を基本として、光の超並列性と柔軟接続性を生かしながら、画像情報に代表される空間的拡がりを持つ情報や波長情報を超高速、高精度に処理可能とするのが、光デジタルシステムである。

本システムの開発において重要とおもわれる研究開発課題は次の通りである:

1. 光論理素子

   超高速光論理演算素子では、2 値あるいは多値論理の超高速処理を行う光デバイスを開発するとともに、低消費電力で 2 次元集積化する技術の開発を目指す。

   空間並列光論理演算素子では、空間符号パターンとして符号化し、デジタル演算を行う光論理素子を開発する。

   波長並列光論理演算素子では、異なる波長の組合せとして符号化し、デジタル演算を行う光論理素子を開発する。

   受動光デバイスでは、マイクロ光学素子、平面光学素子、回折オプティクスおよび高精度オプティクスを開発する。

2. 光論理回路

   光論理素子間光接続技術としては、構造変更可能な光接続回路構成法と、その部品化を開発目標とする。

   光機能モジュールでは、専用演算ユニット、並列光レジスタ、並列光メモリ、並列クロスバー接続装置、並列入出力装置などのモジュール技術の開発を目指す。

   光論理回路の設計では、3 次元光回路素子のための CAD 技術の確立を目指す。

3. 光デジタルシステム

   アーキテクチャおよび設計技術の確立では、高精度で柔軟な処理能力を有する汎用および／または専用光並列コンピュータの設計技術の確立を目指す。

   入出カインタフエースでは、光論理回路と電子システムとの高速情報交換を可能にする物理的、論理的インタフェースに関する技術の開発を目指す。

   光機能モジュールの実現技術では、光機能モジュールのアレイ化、複数の異なる光機能モジュールの一体化のための実装技術の開発を目指す。

   プログラミング言語、コンパイラ開発では、電子的コンピュータ・プログラミング言語やコン

パイラと整合性の高い、光並列デジタルシステム用高級言語とそのコンパイラの開発を目指す。

5.2.4 システム開発の環境

光電子集積回路(OEIC)は、光ニューラルシステムや光デジタルシステム、光インタコネクションにとってキーとなるデバイスである。OEIC の開発はシステム内における互換性を保つために、処理およびモジュール技術に関する共通のプラットフォームの上に行なわれるべきである。

ここでは次に挙げる技術の研究開発が課題となる:

・先進的 OEIC プロセス技術

・光電子モジュール化技術

・標準化および CAD 技術

先進的 OEIC プロセス技術では、高性能、高信頼性、低コスト化な OEIC を実現するための先進的な材料、プロセス技術の開発を目指す。

光電子モジュール化技術では、光インタコネクション/ニューラル/デジタルデバイス、光受動素子、電子回路、入出力回路、等を一つのパッケージにモジュール化する技術の開発を目指す。

OEIC 用 CAD 技術では、OEIC の構造設計、および回路、パッケージモジュールのシミュレーションを支援するための CAD 技術の開発を目的とする。

標準化技術では、光電子モジュールの入出カインタフエースの標準化を目指す。

5.3 研究スケジュール

光システムの開発は、2 つの段階に分けて進められる。それぞれの段階の研究期間は 5 年間である。

前期には、光インタコネクション、光ニューラルシステムおよび光デジタルシステムに必要となる基本的なデバイス技術が開発されることになる。同時に、光部品の標準化およびモジュール化も研究課題とする。小規模な光システムのアーキテクチャに関する研究も実施する。

後期には、デバイス技術についてある程度の進歩が見えてくるので、光コンピューティングシステムのプロトタイプの開発に着手する。光デバイスの大規模な集積化を開始し、本研究プログラムの終了段階では、実世界コンピューティングのために複数の光モジュールが利用可能になるであろう。単位面積あたりのスループットとしてはテラビット／平方センチ秒オーダの性能が期待される。

次世代情報処理基盤技術開発（RWC-RWI/PDC）事業

基本計画

Ⅰ．実世界知能技術分野
（Real World Intelligence）

Ⅱ．並列分散コンピューティング技術分野
（Parallel Distributed Computing）

平成９年５月

通商産業省機械情報産業局

第 1 部　基本理念

1. 背　景

現実社会の情報をそのまま処理し得る革新的な情報処理技術体系の確立という目標を掲げ、10カ年を予定したリアルワールドコンピューティング（RWC）事業が平成4年度から開始された。平成4ー8年度の5ケ年間は探索的研究の期間と位置付けられ、新機能、並列システム、光技術等の分野において研究が実施された。

RWC 事業の後期のあり方については、平成8年3月の評価推進委員会、各準備委員会等を通じ検討が行われた。その結果、実世界知能技術及び並列分散コンピューティング技術という2つの分野に研究資源を集約し、研究活動の一層の先鋭化を図ることが望ましいとされ、平成9年度からの後期5ケ年間は、RWC 事業の枠組みを継承しつつ次世代情報処理基盤技術の開発を行うとして、各分野における重要な要素技術の確立を図るとの方向が確認された。

RWC 事業の基本計画では前期から後期への移行にあたり、研究開発課題の絞り込みを行うこととされている。本基本計画は、これを受けて RWC 事業の基本計画の変更を行うものである。

2. 基本方針

柔軟な実施体制、競争原理の導入等、RWC 基本計画の基本方針を原則として継承するとともに、実世界知能技術、並列分散コンピューティング技術分野ごとに適切な方法、体制によって研究開発を実施する。また、重要な次世代の情報処理基盤技術の確立を効果的、効率的に図るとの観点から研究資源の配分等、両分野の調整・連携を行う。

実世界知能技術分野においては、情報技術の新たな領域を開拓し産業への展開を図るための新しい技術基盤が求められている。かかる基盤は産学官が有機的な連携により各々の役割を果たすことで初めて得られるものである。このような連携を可能とするために、研究開発の詳細な内容の策定、実施（研究資源の配分を含む）等において電子技術総合研究所が具体的な枠組みの下で先導的役割を担い、実世界知能技術分野における研究開発を推進する。

第2部　研究開発計画

I. 実世界知能技術分野

1. 背　景

現在の情報処理技術は、論理・手続型情報処理を柱としており、予め定められたアルゴリズムに従って、効率良く処理を行うアプリケーションに適する。しかしながら、実世界における情報の多くは、時空間的に広がりを持つパターン情報であり、莫大な多様性と曖昧性を特徴とする。このようなパターン情報が対象となる場合は、例えば人物の認識や人との対話のように、予めあらゆる状況を想定してアルゴリズムを用意しておくことは不可能であって、アルゴリズム自体が不明であることも多い。人間の脳は、パターン情報を並列・統合的に処理するとともに、経験によって神経回路の結線を自ら変える学習・自己組織化機能によって、未知の状況や環境の変化への適応能力を高めていると考えられている。情報処理技術の適用や応用範囲の拡大を図るためには、このような情報統合・学習型情報処理能力を、現在の情報処理技術に新たに付加することが不可欠である。

2. 目　的

従来の情報処理技術に情報統合・学習型情報処理能力（実世界知能）を付加するための基盤技術等を開発し、情報処理の応用分野の拡大を図る。

3. 研究開発内容

(1)目　標

実世界の情報をそのままの形で受けとり、環境や状況を認識または推測し、自律的に応答する事がでる情報統合・学習型情報処理システムに必要な次の要素技術等を開発する。

①情報統合技術
　実世界における曖昧さ・不確かさを含む不完全な画像・音声などの情報を統合的に処理し、認識・理解や総合的判断、行為の決定に利用するための技術。

②学習・自己組織化技術
　現実世界との相互作用を通してシステムが自律的に情報を収集し、自らの機能を適応・進化させるための技術。

(2)概　要

認識・理解、対話、問題解決、制御等の要素的機能を含む3種類の機能実証システムの構築を並行研究方式によって行い、理論・アルゴリズム基盤研究との連携によって情報統合、学習・自己組織化技術等の確立を図る。同時に、これらの技術の実現に有用な実時間・適応処理が可能なデバイスを開発する。また、研究開発に必要な実世界情報データベース、ベンチマークとなる課題、ソ

フトウェアライブラリ等の整備を行う。

①機能実証システム

1)マルチモーダル機能

情報システムを、音声や画像等を組み合わせた様式で利用するためのエージェント型のヒューマンインタフェース。

2)自律学習機能

実環境内を自律的に移動し、センシングや対話等を通じて環境と自らをとりまく情報を収集、学習し行動することのできるエージェントシステム。

3)自己組織化情報ベース機能

実世界あるいは情報ネットワーク上の多様な情報を自己組織的に整理、要約、検索、提示することのできるエージェントシステム。

②理論・アルゴリズム基盤

情報統合、学習・自己組織化、最適化手法などの基礎理論や共通手法の研究。

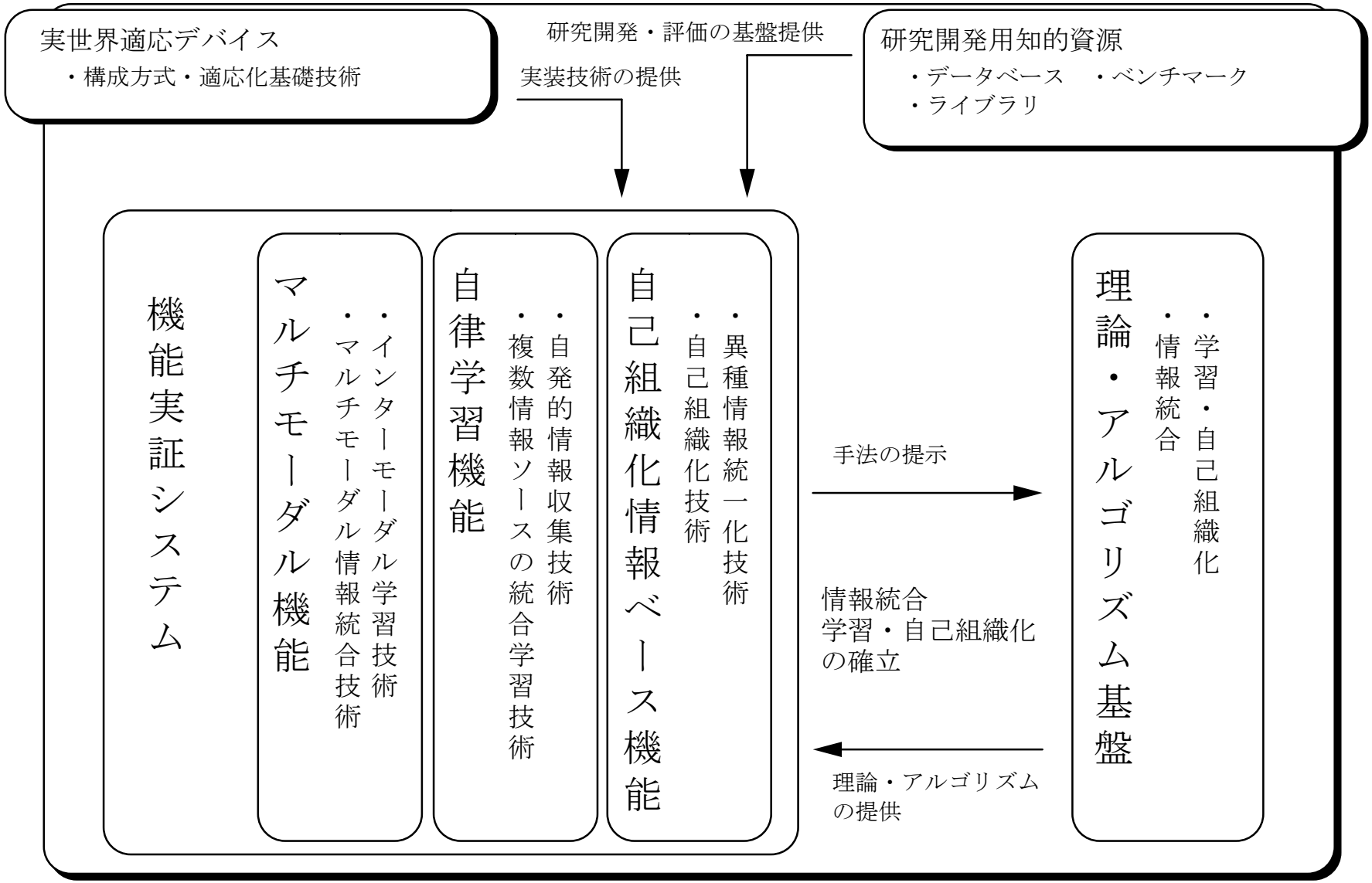
③実世界適応デバイス

実時間処理を行うための高速性及び適応性を備えた次世代フィールドプログラマブルゲートアレイ(適応デバイス)の開発。

4. 備　考

並行研究方式を採用する機能実証システムに関しては、評価プロセスを通じ、情報統合技術、学習自己組織化技術の確立に最も効果的な機能の研究開発に研究資源の集中化等を行うことを検討する。また、様々な産業分野への技術移転を促すための具体的な方策等について、検討を行う。

実世界知能技術分野


実世界適応デバイス
・構成方式・適応化基礎技術
研究開発・評価の基盤提供
実装技術の提供
研究開発用知的資源
・データベース　・ベンチマーク
・ライブラリ
機能実証システム
マルチモーダル機能
・インターモーダル学習技術
・マルチモーダル情報統合技術
自律学習機能
・自発的情報収集技術
・複数情報ソースの統合学習技術
自己組織化情報ベース機能
・異種情報統一化技術
・自己組織化技術
手法の提示
情報統合
学習・自己組織化
の確立
理論・アルゴリズム
の提供
理論・アルゴリズム基盤
・学習・自己組織化
・情報統合

II. 並列分散コンピューティング技術分野

1. 背　景

21 世紀の初頭にはデバイス技術による高速化が物理的な限界に達することが予測されており、コンピュータシステムの高性能化には様々なレベルでの並列分散技術が柱となると考えられる。技術的アプローチとしては、チップへの集積化を念頭においたマルチプロセッサシステム上で高速な処理を実現する技術及び多様化する計算需要に応え、分散システム上に存在する異機種の計算資源を動的に構成し、最適な並列処理環境を提供する並列分散処理技術が期待されている。また、並列環境上で効率良く動作する並列アプリケーションの実証的な開発も課題となっている。

2. 目　的

変化する多様な計算処理の需要に応じて最適な並列計算能力を得ることができる次世代並列分散環境（シームレス並列分散コンピューティング環境）の実現に必要な基盤技術等を開発するとともに、次々世代のコンピューティングアーキテクチャの開発能力の向上を図る。

3. 研究開発内容

(1)目　標

マルチプロセッサシステムのハードウェア性能を効果的に利用するための並列化ソフトウェア技術を確立するとともに、様々なアーキテクチャの計算資源を、それらのアーキテクチャの相違を意識することなく利用することができる並列計算環境に必要な基盤技術等を確立する。また、先端的な並列アプリケーションの実証的な開発を行う。

(2)概　要

①マルチプロセッサコンピューティング技術

次世代高性能マルチプロセッサシステムやシングルチップマルチプロセッサ（SCM）開発のキーテクノロジとなる並列性抽出・利用技術、スケジューリング技術に代表される並列化要素技術の研究開発を次の2項目を柱として、ソフトウェア面からのアプローチにより行う。

1)並列性抽出・利用技術

プログラムに内在する、命令レベル、ループレベル、プロシージャレベル等、複数の粒度に渡る並列性を利用するためのプログラム解析基盤技術及び性能評価技術等。

2)スケジューリング技術

得られた並列性を効率よくハードウェア上にマッピングし、かつ処理とデータ転送のオーバラッピングを可能とするスケジューリング技術等。

また、開発された並列化要素技術の効果的な適応を支援するプロセッサアーキテクチャ、メモリアーキテクチャ等の基盤アーキテクチャの検討を行う。

②シームレス並列分散コンピューティング技術

代表的な形態の分散システムをプラットフォームとして、変化する多様な計算処理の需要に応じて最適な並列計算能力を得ることのできるシステムに必要な技術の研究開発を次の2項目を柱として行う。

1)システムアーキテクチャ技術

異機種分散環境において並列実行性能の向上及び性能スケーラビリティを実現するための通信／メモリアーキテクチャ、プログラミング、ライブラリ及び環境利用技術等。

2)光インターコネクション技術

計算処理に関わるデータを超高速で並列に伝送することを可能とする光電送モジュール及び光／電気インターフェース並びにそれらを構成するデバイス等。

③並列アプリケーション技術

先端的な並列アプリケーション開発の基盤となる研究開発の枠組みのあり方を検討するとともに、情報技術以外の産業分野への波及効果が最も期待される次の研究分野を中心に、実証的なアプローチによって研究開発を行う。

1)計算化学・計算生物学分野

分子動力学法、蛋白質構造予測、遺伝子発見、遺伝子解析等。

2)大規模システム分野

大規模システム（社会インフラ等）を対象としたシステム解析及び大規模な情報検索等。

並列分散コンピューティング技術分野

マルチプロセッサコンピューティング技術

次世代高機能マルチプロセッサシステム、シングルチップマルチプロセッサ開発のための並列化要素技術

・並列性抽出・利用技術　・スケジューリング技術　・並列化支援アーキテクチャ技術

シームレス並列分散コンピューティング技術

多様な計算処理の需要に応じて最善な並列計算能力を提供する技術

システムアーキテクチャ技術

・通信機能技術
・プログラミング技術（言語拡張・性能改善ツール）
・ライブラリ技術（統合通信インターフェース、オブジェクト指向ライブラリ）
・ユーザ利用環境技術（仮想並列計算環境技術）

光インターコネクション技術

・並列光伝送用素子、伝送路

並列アプリケーション技術

先端的な並列アプリケーションの実証的なアプローチによる開発研究

・計算化学・計算生物学分野　　・大規模システム分野

用語解説集

平成 13 年

■用語解説

●リアルワールドコンピューティング

リアルワールドコンピューティングとは、「現実世界の情報をそのまま処理しうる革新的な情報処理技術体系の確立」を目標に、コンピュータをできるだけ人間の脳の働きに近づけたいという願いのもとで、1992 年より 10 年計画でスタートした国家プロジェクトである。このプロジェクトは、コンピュータがノイマン型（数値処理）に始まり、第五世代コンピュータ（知識情報処理）プロジェクトを経て、それに続くプロジェクトとしてスタートしたものであり、柔らかな情報処理をコンセプトに 21 世紀における新しい情報処理のニーズに答えるべく提唱されたものである。

リアルワールドコンピューティングの主眼は、明快に記述が困難な現実世界の問題に対処するための情報処理技術の開発にあり、「柔らかな情報処理（人間に近い情報処理）」を実現するところにある。具体的には①論理的・記号的情報処理機能や②直感的・パターン的情報処理機能等の実現を目指す。

リアルワールドコンピューティングシステムは、画像、音声、触覚、記号的知識データなどの多種類の情報を獲得し、また処理することによって、人間のさまざまな活動を支援するものとして位置づけられる。ここで扱うべき情報は膨大であり多様である。さらには、実世界の情報はその本来の性質から不完全性と不確実性を含んでいる。研究開発の目的は、論理基盤との接点を保って新たな基本機能を各種の応用分野において探求することである。それらの機能はそれぞれの応用分野で働くことになるか、あるいは、新しい情報システムを実証するために統合されることになる。ここでいう新機能の優れている内容は、リアルワールドコンピューティングにふさわしい新たな概念をもつ情報の表現とアルゴリズムによってもたらされうるものであり、それは記号とパターンとの統合、新しい頑健な機能を与える学習や自己組織によって従来考えられている情報処理の隘路を克服しているものである。単に、従来技術の組合せや、特殊目的のために安易にシステムを構築することは望まれない。記号とパターンの統合は新機能の研究開発の 1 つの目標であるが、ここでは、パターン側からの記号に向かっての統合により重点がある。

（引用）機械振興（1994 年 1 月）pp.48~55
（引用）情報処理 Vol.34 No.12（1993 年 12 月）pp.1422~1439

●柔らかな情報処理

「柔らかな情報処理」は、リアルワールドコンピューティングプログラムにおける統一コンセプトであり、「入力情報の不完全で不確実さの程度に応じて結果を与える処理」を意味する。頑健性、解放性、実時間といった特徴は、この柔らかさについての異なる側面を反映している。柔らかさをいかにして実現するかということが、新機能研究の基本課題である。

「柔らかな情報処理」という考え方には、「より人間に近い情報処理」という意味が込められており、人間が行う情報処理において、論理的情報処理のほかにも無意識的な直感的情報処理があり、この直感的情報処理について、本格的な研究を行い、論理的情報処理と統合することによって、より人間の情報処理の「柔らかさ」に近づこうとしている。

（引用）機械振興（1994 年 1 月）pp.48~55
（引用）四次元コンピュータ（鑑修 通商産業省機械情報産業局）pp.27~32
（引用）リアルワールドコンピューティング パラダイム（鑑修 通商産業省機械情報産業局）pp.44~45

●マルチモーダル情報

コンピュータと人間の主要なインタフェースは、カード、キーボード、マウス、GUI(Graphical User Interface)と発展してきた。そして、次世代のインタフェース技術として、音声や画像等、異種の情報様式(モード)を複数統合的に用いてコンピュータを利用することができるマルチモーダル技術が注目されている。

マルチモーダル情報とは、抑揚、しぐさ、手話、ジェスチャ、音声、画像等の非言語情報を指し、実世界における「より人間らしい情報処理」を行うには、これらの情報を統合的に処理する機能の開発が必要となる。

(引用)機械振興(1997 年 8 月)pp.26~27

●適応自律システム

外界からの情報をより人間らしく理解し、自ら判断を下して自律的に行動するシステムとしての知能ロボットの開発は、リアルワールドコンピューティングの 1 つの課題テーマである。
これを実現するためには、画像処理(観察理解)、音声処理(音声理解)、先に挙げたマルチモーダル処理などの具体的なシステムとしての多くの技術が必要である。
また、必要な機能としては、

1) スキル学習(人間が行った作業を模倣し、さらにロボット自身の動作を観察し、より的確な動作を自ら学びとっていく機能)
2) 行動理解(作業環境およびそこで行われる人間の作業動作を観察し、それらを理解する機能)
3) 協調行動(作業手順や構造を人間と分担し、協調しながら適応的に作業を実行していく機能)

などが挙げられる。

(引用)機械振興(1994 年 1 月)pp.60~62

●学習・自己組織化

多数の処理要素を使いこなす並列分散システムでは、限られた単純な場合を除いては、要素システム間の関係をあらかじめ明確に記述し尽くすことはむずかしく、それに代わって、個々の要素が自律的に他と協調してゆく学習機能、自己組織化機能が不可欠であると思われる。我々の脳においても、そうした機能が実現されていることはよく知られているが、そのメカニズムの詳細については、最近やっと明らかにされ始めた段階である。

脳における学習・自己組織化の研究は、1)分子レベルのメカニズム、2)回路網レベルの学習研究、などのさまざまなレベルでの研究があるが、それぞれのレベルの研究が互いに連携を取りながら進められることが望まれる。

(引用)リアルワールドコンピューティング パラダイム(鑑修 通商産業省機械情報産業局)p.154

●情報ベース

情報ベースとして望まれるものは、柔らかな推論・問題解決、認識・理解、行動といった新機能を支えるものであり、また高度情報ネットワーク社会における人間の知的活動を支援する情報基

盤として、実世界の多様な形態の情報・知識を柔軟に管理できるものである。そこでは、実世界の情報構造を柔らかに内部に表現し記憶する技術と、ユーザの意図に対して正確かつ柔軟に対応し検索を行う技術が特に重要となる。

これまでに、知識ベース、関係データベース、オブジェクト指向データベース、演繹データベースなどが活発に研究・応用され、手続き的知識、宣言的知識など多彩な情報・知識の取り扱いが可能になってきている。しかし、情報の記憶と管理手段として記号と論理操作を主体とした現在のデータベースや知識ベースに残されている課題も多い。柔軟な情報表現・情報獲得・自己組織化・情報提供の各機能を備えた情報ベースの構築と運用技術の確立が必要である。

＜情報ベースとして持つべき機能＞

・大量の多様な生データや知識・手続き等を統一的かつ統合的に処理することを可能とするような枠組み
・実体のもつ位相性も含めた柔軟な情報表現
・情報階層に適したデータ構造の表現
・互いに独立なあるいは共通な知識の表現
・情報価値の評価や特徴抽出による情報要約や自働インデックシング
・不足情報の明確化と能動的情報獲得
・外部環境からの情報に適応して内部情報構造を柔軟に自己組織化し拡張できる機能
・情報間の対応関係や協調関係の学習
・不完全・曖昧要求からの意図の同定
・連想による情報検索
・超並列処理による高速検索技術

（引用）四次元コンピュータ（鑑修 通商産業省機械情報産業局）pp.100~101

●ニューラルシステム

ニューラルシステムは、生物が用いている組織化原理を利用するように構築されたシステムである。脳を模したこのようなニューラルシステムは、特定の情報処理を高速に処理し、知的な振る舞いをすることが期待される。ニューラルネットワークによる情報処理が注目されるのは、ニューラルネットワークでは、多数の単純な処理ユニットが互いに密な情報交換を行ないつつ、「協調と競合」の原理にしたがって処理を行っている点である。さらに、従来型のコンピュータで動くプログラムは結合強度で表現されているため、システムが学習や適応を行う際には、従来の数値的最適化手法を用いることが可能である。このような特徴から、ニューラルシステムは柔らかな情報処理のプラットフォームとなり得ると考えられている。

近年、様々なニューラルネットワークが提案されてきており、パターン処理、最適化問題における近似解法、制約充足処理などに適していることが示されている。しかしながら、それらのネットワークは小規模なアプリケーションに限定されたものである。それらのアプリケーションで使用されるニューラルモデルは、非常に単純なものであり、学習方法はほとんどの場合、バックプロパゲーションを採用していた。柔らかな情報処理の実現は、過去のアプリケーションと比較してより難しいものであり、ここでは、新たなニューラルモデル、学習方法、自己組織化などといった、ニューラルネットワークの新たな可能性について探求しなければならない。

(引用)四次元コンピュータ(鑑修 通商産業省機械情報産業局)pp55~62、pp.112~118

(引用)機械振興(1994 年 1 月)pp.65~70

(引用)情報処理 Vol.34 No.12(1993 年 12 月)pp.1445~1448

●光インターコネクション

光インターコネクション技術は、VLSI に代表される先端的なエレクトロニクス技術と光通信技術を融合したものであり、転送遅延、クロストーク、配線のための空間、電力、消費といったような電子システムにおける情報伝達に関わる問題を克服するものである。

光インターコネクションは、上記のような問題を克服し、高速、大容量で柔軟な情報伝達の実現を目指す。重要と思われる技術的課題は次ぎの通りである。

・光インターコネクションデバイス

光インターコネクションデバイスには、光電子的な能動および受動素子が含まれる。これらのデバイスの組合せによって、時間・空間・波長の 3 つの領域における高密度多重技術を用いた高速、大容量、構造変更可能な相互接続ネットワークが実現できる。

・光インターコネクションネットワーク

アーキテクチャおよびデザイン技術の研究は、構造変更可能で、自己ルーティングができるようなコンパクトで高速、多チャンネルの光結合ネットワークの実現をめざす。

チップ内およびチップ間結合の研究は、プロセッサ間、プロセッサーメモリ間、およびメモリ間の高速で柔軟な光インターコネクションネットワークの実現をめざす。

光電子デバイスと受動光デバイスとのモジュール化の研究は、光インターコネクション要素の統合と微小化をめざす。これによって、位置合せの問題が回避される。

(引用)四次元コンピュータ(鑑修 通商産業省機械情報産業局)pp.119~120

●OIP（Optical-interconnection Intelectual Property)

並列計算機、交換機など多くのシステムが大容量接続の実現に光インターコネクションを利用しつつある。その場合システムサイドから光インターコネクションに求められるのは低価格と使いやすさである。OIP（Optical-interconnection Intellectual Property）は、この2点に対する解のひとつである。OIP は CMOS システム ASIC の高速 I/O マクロの形で光インターコネクションを実装するものである。ユニバーサルに使える光インターフェスの実装により低価格を実現し、かつ、光インターコネクション部分まで含めて一貫してハードウェア記述言語を用いてシステム設計を行う事で使いやすさを実現する。具体的には、(1)ソフト部分：光インターコネクションのHDLによる記述と、(2)ハード部分：それを用いて設計したCMOS-LSIにシステムに応じて Gigabit Ethernet、HIPPI6400 などのいくつかの標準的な光入出力を複数個持たせるための光・電気入出力パッケージ、のふたつで構成される。