

RWCプロジェクト研究成果概要

平成14年2月

技術研究組合 新情報処理開発機構

序

経済産業省の主導する『リアルワールド・コンピューティング（RWC）プロジェクト』は平成4年度に開始され、21世紀をリードする新たな情報技術を開発・提供してきました。

10年前に立ち返って見ると、将来の情報社会においては、通信とコンピュータの融合が進行し、その結果、社会のあらゆる個所へ情報ネットワークが浸透し、膨大な情報がやりとりされるようになり、現実世界に存在する大量かつ多様な情報を柔軟に処理することが必要となる。これを実現するための21世紀の情報技術体系～新情報処理～を確立することを目的として、本プロジェクトがスタートしました。

本プロジェクトは、日本の情報産業関連の主要企業及び海外4カ国の有力な研究機関からなる技術研究組合新情報処理開発機構（RWCP）と産業技術総合研究所（旧電総研）によって進められてきました。研究は、RWCPにおいては各社に設置された分散研究室及び組合直轄研究所で進められ、産業技術総合研究所においては、8つのラボからなる新情報スーパーラボ「実世界知能（RWI）研究センター」を組織して研究を進めるとともに特に実世界知能技術分野の研究開発を先導してきました。また、国内外の大学とも密接に連携し、国際的な産学官の共同研究体制の下で本プロジェクトを進めてきました。

平成4～8年度（前期）における幅広い基礎的・探索的な研究を経て、平成9年度以降（後期）ネットワーク社会の情報処理を機能・性能の両面から支える非常に重要な二つの分野、つまり、機能面での実世界知能技術分野、性能面での並列分散コンピューティング技術分野における基盤技術の開発に取り組んできました。

その結果、総論でも指摘しますように、情報統合と並列分散シームレスコンピューティングという情報処理技術の新たな流れを作るとともに、プロジェクト途中で研究成果の実用化・利用が進められたテーマも多くでてくる等、大きな成果を収めて本プロジェクトを終了することとなりました。

この研究成果概要集は、本プロジェクトの主要な研究成果とその意義を紹介し、これらの研究成果が今後世の中でより広く使われるようになることを目的としてRWCPにおいて編集したものであります。

目次

I 総論	1
1. 総括	1
2. 情報統合	2
3. シームレス並列分散コンピューティング	2
4. 実用化・事業化	3
II 実世界知能技術分野	4
1. マルチモーダル機能領域	6
1. 1 目標	6
1. 2 意義	6
1. 3 アプローチ	6
1. 4 研究テーマ	6
1. 5 主な成果	8
2. 自律学習機能領域	12
2. 1 目標	12
2. 2 意義	12
2. 3 アプローチ	12
2. 4 研究テーマ	12
2. 5 主な成果	13
3. 自己組織化情報ベース機能領域	15
3. 1 目標	15
3. 2 意義	15
3. 3 アプローチ	15
3. 4 研究テーマ	15
3. 5 主な成果	16
4. 理論・アルゴリズム基盤領域	19
4. 1 目標	19
4. 2 意義	19
4. 3 アプローチ	19
4. 4 研究テーマ	19
4. 5 主な成果	20

5 . 実世界適応デバイス領域	23
5 . 1 目標	23
5 . 2 意義	23
5 . 3 アプローチ	23
5 . 4 研究テーマ	23
5 . 5 主な成果	24
6 . 実世界知能技術のための研究開発用知的資源 (RWC データベース)	28
並列分散コンピューティング技術分野	31
1 . シームレス並列分散コンピューティング技術領域	33
1 . 1 目標	33
1 . 2 意義	33
1 . 3 アプローチ	34
1 . 4 研究テーマ	35
1 . 5 主な成果	
【シームレス並列分散コンピューティング】	37
【光インターコネクション】	44
2 . 並列アプリケーション技術領域	48
2 . 1 目標	48
2 . 2 意義	48
2 . 3 アプローチ	48
2 . 4 研究テーマ	48
2 . 5 主な成果	50
3 . マルチプロセッサコンピューティング技術領域	53
3 . 1 目標	53
3 . 2 意義	53
3 . 3 アプローチ	53
3 . 4 研究テーマ	53
3 . 5 主な成果	53
研究業績	55
1 . 研究室別論文 (原著 , その他) , 特許 , 著作物 , その他報道等の件数一覧	56
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	58

総論

1. 総括

本プロジェクトでは、実世界知能技術分野における情報統合と並列分散コンピューティング技術分野におけるシームレス並列分散コンピューティングという新しいパラダイムを提唱し、その実証システムを開発した。計算機・ネットワークの普及、半導体・光技術の進展などを見越したもので、今後の情報処理技術の新しい潮流を作るものとする。

終了時点での技術の開発レベルを、

既に実用化・商用化されているもの

プロトタイプの試作を終え、研究室外で試用レベルのもの

基本技術をほぼ確立し、研究室内で試用レベルのもの

基盤技術の確立を目指している基礎研究

に分けて見た場合、大部分は、 のレベルであり、本プロジェクトの目的である要素技術の確立という当初目的は概ね達成されたといえる。

特筆すべきは、内外から高い評価を受け、プロジェクト途中で中間成果の実用化・利用が進み、 の段階に達しているものがいくつか存在することである。これはプロジェクトの当初目的を超えた成果であるとする。

2. 情報統合

音声、動画、文書などの情報処理技術はこれまで別々に研究されてきたが、本プロジェクトでは、これらのマルチモーダル情報を統合して扱う新しい情報処理技術を研究し、多くの研究テーマを取り上げて、その有効性を世界に先駆けて実証した。

具体的には、音声・動画・静止画・文書を生データのまま扱い、相互検索を可能とする CrossMediatorの開発、自律学習システムとしての事情通口ロボットの開発、ジェスチャ、顔などの認識を含むマルチモーダルな対話システムの開発、手話認識などの例が挙げられる。

3. シームレス並列分散コンピューティング

シームレス並列分散コンピューティングシステムとは、ネットワークで接続された多数の計算機を単一計算機のイメージで使用できるシステムである。この技術により、パソコンとネットワークによるスーパーコンピューティング、大量情報に対するデータマイニングサーバなど高性能で安価なネットワークサーバが実現でき、更に、ヘテロジーニアスな計算機上で動作するため、旧・新機種の混在やベクトルとスカラー計算機など異機種の計算機の協調も許される。今後のネットワーク社会でますます重要となる高性能、高信頼かつ経済性に富んだサーバ類の構築・利用技術を提供できよう。本システムのソフトウェア上の核となる並列分散OS (SCore) やコンパイラ (Omni OpenMP) はオープンソースとして提供されており、今後はコンソーシアムを主体としてその普及が期待できるとともに、PCを用いた高性能のスーパーコンピュータや各種ネットワークサーバなどの新たな市場を創るものとして期待できる。更に、並列応用プログラムとして、PAPIA (並列タンパク質情報解析システム)、異種シミュレーション技術の融合、データマイニングなどの応用技術も開発した。

また、並列分散コンピューティングにおいて今後ますます重要となる光インターコネクションについては、世界最高の伝送能力を持つ大容量光スイッチング・インタフェースシステムとこれを使用したシームレス並列分散コンピュータ実証機を開発した。更に、100Gbps以上の伝送を可能とする将来の光インターコネクション技術として、高密度並列情報転送を可能とする面発光デバイスの試作などに成功した。

4 . 実用化・事業化

各研究室における研究成果は多くの場合数年後に単品として、あるいは他のシステムに組み込んで使用される見込みである（表参照）

既に実用されているものとしては、

- ・ 実世界知能技術分野において、既に中間成果の製品化が行われている CrossMediator、商用 L S Iシステムに採用された進化システム（動的適応デバイス）技術など
- ・ シームレス並列分散コンピューティング技術分野において、国内はもとより、世界各国でシミュレーション計算などのため実用されている S Core Software System（並列分散OS）、多くのサイトからダウンロードされて使用されている Omni OpenMP コンパイラ、WWWサイトを通じて世界中から利用されている PAPIA など、が挙げられる。

表 1.2 実証（プロトタイプ）システムの実用化・事業化推移（件数）

	プロジェクト終了時	終了後 2 年以内	終了後 5 年以内
実用化・商品化レベル	14	29	62
研究室外試用レベル	20	31	6
研究室内試用レベル	31	8	2
基礎研究	8	1	0

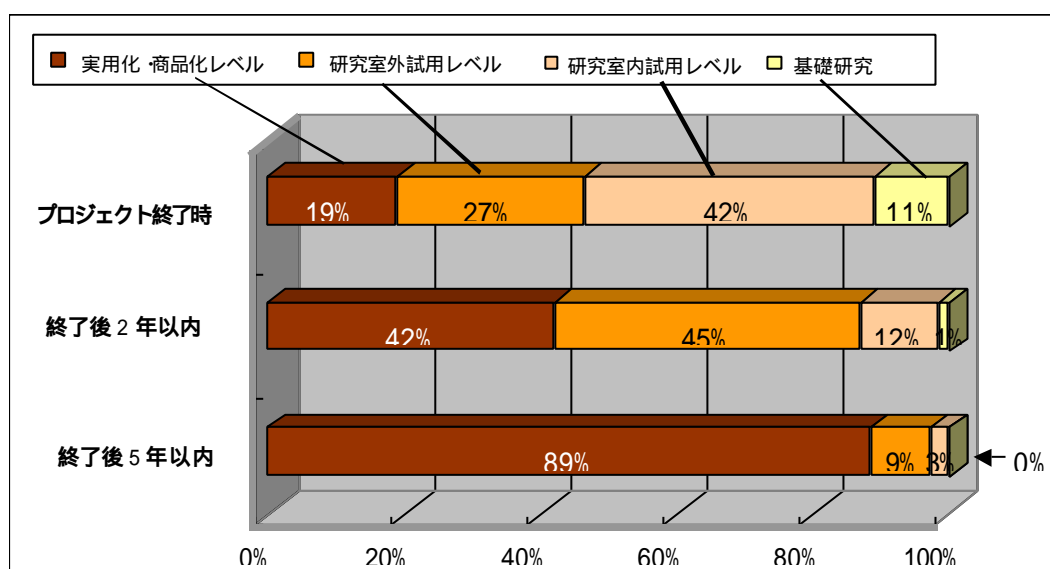


図 1-2 研究成果の実用化状況

実世界知能技術分野

【研究開発の目的】

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しているが、莫大な多様性と曖昧性を特徴とする実世界の情報を処理する場合には、不十分な点が多い。このため、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、自律的に応答することができるような情報統合・学習型情報処理能力（実世界知能）を従来の情報処理技術に付加するための基盤技術を開発することを目指した。

具体的には、次のサブテーマを設けてこの目標実現の基盤技術を開発した。

- ・ マルチモーダル機能（音声や画像等を組み合わせた自然な対話様式でコンピュータを利用するための
ヒューマンインターフェース機能）
- ・ 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情報を収集、学習し行動することのできる機能）
- ・ 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機能）

の3種類の機能実証システムについて研究開発し、

- ・ 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基盤を確立することを目指している。

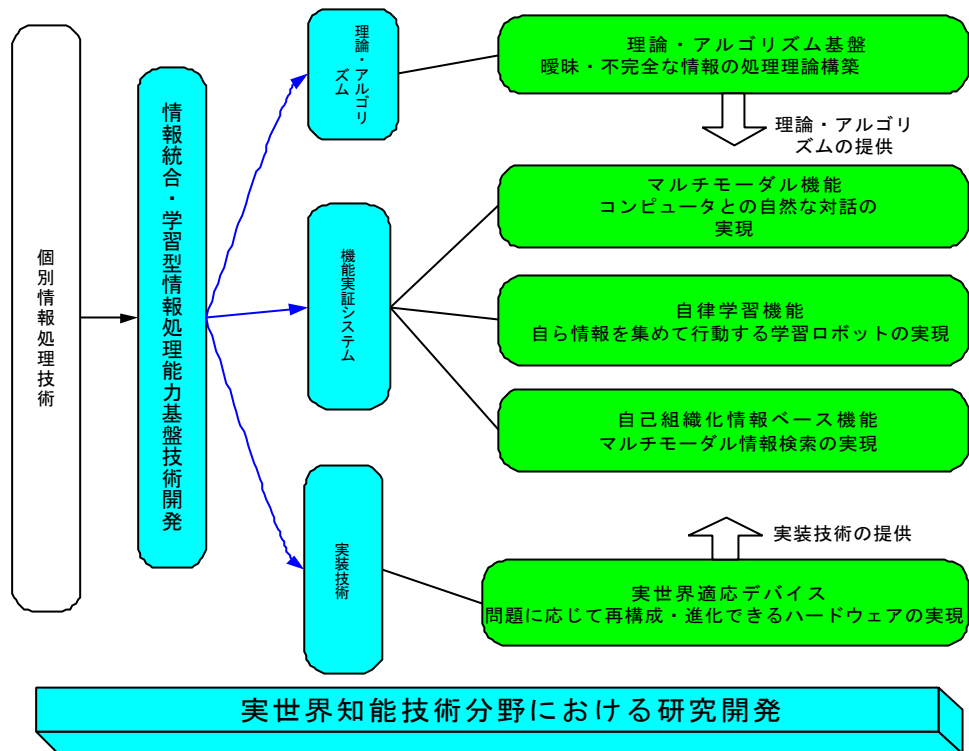
また、上記機能の実現に必要な、実世界の莫大なデータ量を高速で処理できる

- ・ 実時間・適応処理が可能な適応デバイスの開発

を進めた。

【成果概要】

多くのテーマは、既に研究室内での試作・実験による評価段階、或いはプロトタイプを試作を終え、応用分野・利用者を捜している段階である。そのために、研究室内にとどまらず、多数の人が集まるデモ会場というまさに実環境での実機デモンストレーション等を頻繁に行い、実世界知能技術の実証を行っている。また、既に中間成果が実用化段階に達しているものもいくつかあり、例えば、マルチモーダルインタフェース、CrossMediator、再構成可能適応デバイス、データマイニングツール BAYONET などが挙げられる。



1. マルチモーダル機能領域

1. 1 目標

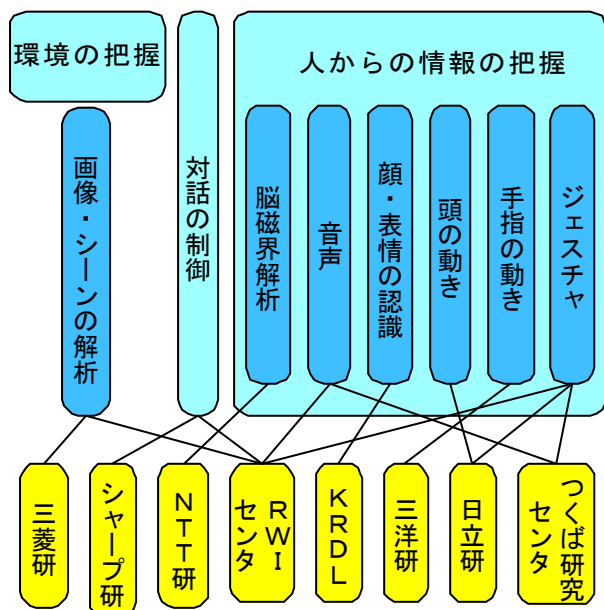
音声や画像などを合わせた人にとって自然な対話様式でコンピュータ／ネットワークの利用を可能にする次世代ヒューマンインタフェースの研究開発を行う。

1. 2 意義

コンピュータと人間のインタフェースは、現在、キーボード、マウスを主体としたGUI（グラフィックユーザインタフェース）で行われているが、今後の大衆化と応用範囲の広がりに対応して、人間が通常利用している音声、画像、手やしぐさ、更には表情による感情の伝達などのマルチモーダルなインタフェースの開発を行った。これにより、計算機を著しく簡単に使用できて、利用者層を拡大すると共に従来技術では不可能であった新しい適用分野も開拓されることが期待できる。

コンピュータとの自然な対話の 実現を目指して

マルチモーダル機能領域



1. 3 アプローチ

本領域では、異種のマルチモーダル情報を統合的に処理するための基盤技術の開発を目指して、次の3つの側面から研究を進めた。

- ・人間の発する情報の把握
- ・環境の把握
- ・応答の生成と対話の制御

1. 4 研究テーマ

(人間の発する情報の把握)

(1) 非言語的ジェスチャ把握：音声・ジェスチャによるマルチモーダルインタフェース

マルチモーダルデータベース CrossMediator のための音声・ジェスチャによる入力インタフェースを構築する。(つくば研¹, テーマ「Cross Mediator におけるマルチモーダル対話システム」)

(2) 言語的ジェスチャ把握：手話認識システム

手話において手指動作と非手指動作を統合して処理できるマルチモーダルな言語情報を統合する方式を研究開発する。(日立研, テーマ「言語的ジェスチャ把握」)

¹ 以下 X領域での Y研はXY研の略称、RWICは産総研RWI研究班内のラボを示す。

(3) インターモーダル学習：適応ビジョンシステム、音声と画像の統合

実世界における学習機能を有するビジョンシステムを研究する。3次元動き情報を利用した学習型実時間認識システムや、ウェアラブルビジョンシステムを開発する。また、音声と画像の統合による学習を研究する。また、言い淀みなどの多様な情報を用いた対話技術を研究開発する。(RWIC)

(4) 顔と表情の頑健な認識

人と計算機間の対話技術のための、頑健で正確な顔と表情の認識を行う技術を開発する。(KRDL 研, テーマ「顔と表情の頑健な認識」)

(環境の把握)

(5) 対話における手指認識

手指の階層的3次元モデル生成方式を開発する。この技術により、手指動作による3Dマウスポインタを構築する。(三洋研, テーマ「実世界モデル生成」)

(応答の生成と対話の制御)

(6) 言語・非言語の情報統合：非言語情報マルチモーダルインタフェース

対話における、人の非言語情報(頭の動き、顔の向き、音声のピッチや強さ)を解析する方法を開発する。これを基に、ユーザからの語りかけに対して、自然な応答をするマルチモーダルインタフェースシステムを構築する。(シャープ研, テーマ「非言語情報マルチモーダルインターフェース」)

(7) 人間のマルチモーダル情報処理：人間の脳におけるマルチモーダル情報処理メカニズム

人間がマルチモーダル情報処理を行う場合の脳活動を非侵襲的に観測する。特に聴覚と視覚に関する特性を研究する。脳磁界データ解析システムを構築する。(NTT 研, テーマ「人間のマルチモーダル情報処理」)

(8) 学習による実空間中の人物や物体の認識：実世界における人物トラッキングシステム

実世界の複雑な環境下で自動的に人物をトラッキングできる技術を開発する。(三菱研, テーマ「動的画像応答」)

1.5 主な成果

本領域における主な成果を表1.5.1に示す。

表 1.5.1 マルチモーダル機能領域における主な成果

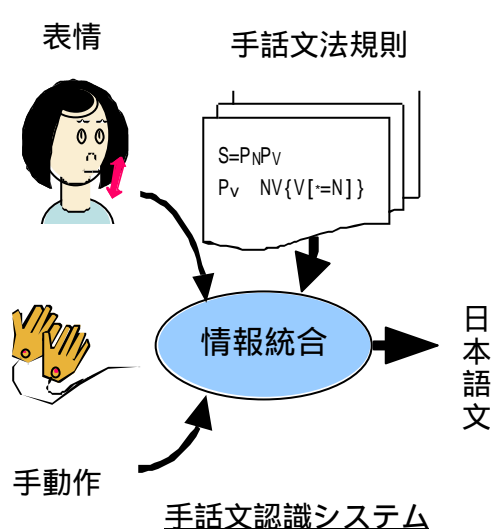
研究室名	研究成果名	概要（成果の内容）
マルチモーダル機能 日立	手話認識システム	文法規則を利用した手話認識システム
マルチモーダル機能 シャープ	おしゃべりができるコンピュータ	声や身振りによるコンピュータとの対話を可能にする技術
マルチモーダル機能 NTT	視覚・聴覚パターン同時認知時の脳活動	視覚・聴覚情報を同時に処理する時に活動する脳部位を明らかにした
マルチモーダル機能 三菱	Video Surveillance	映像から実時間で人の動きを追跡するシステム
マルチモーダル機能 三洋	Cyber Showcase	手指のジェスチャによる立体モデル操作技術
マルチモーダル機能 KRDL	顔と表情の認識	頑健で高速な顔認識と人に応じた表情認識
マルチモーダル機能 つくば	Gesture Interface	ユーザの身体表現に応えるコンピュータ
RWI適応ビジョンラボ	適応ビジョンシステム	賢い視覚情報処理で人をアシストするシステム
RWI情報統合対話ラボ	情報統合対話システム	音声と画像の統合によるインターモーダル学習技術、言い淀みを補完する音声補完技術

(1) 手話認識システム

マルチモーダル手話通訳システムでは、手指動作による単語表現だけでなく、手指動作の変化や頭部の動きによる文法表現などのマルチモーダルな手話情報を統合し、計算機で認識する技術を開発した。頭部の動きの画像認識は産総研開発技術を使用した。手話認識において、情報統合を行う方式を初めて採用し、認識率の向上を達成した。認識結果は音声として出力することも可能である。この技術を用いて、手話による問い合わせに対して情報を提供できる端末システムを開発して地方公共団体に試用した。

52種類の質問文と268語の手話単語を登録している。平成11年度では、手指動作を主体として、200～300単語の手話認識が可能となった。

更に情報統合等による性能向上を図り、約500単語で構成される任意の文を95%の認識率で1秒以内に行う事が可能なシステムを開発した。手指動作を手袋を用いて認識するため、他機関の画像認識方式と比べて認識精度と語彙数で優る。



諫早市で試用の情報提供端末



手話認識システム

(2) Gesture Interface

ユーザの発する音声とジェスチャをノートPC上で認識し、PCの操作・検索のクエリーとして利用できるシステムを構築した。音声とジェスチャを統合するタスクの記述を連続オートマトンで行い、途切れることのないジェスチャと音声の入力で動作する対話システムを開発した。このシステムはカメラ付きの市販ノートパソコンにも実装でき、後述するマルチモーダル情報ベース (CrossMediator) の入力としても用いられている。

ジェスチャ認識としては、セグメンテーション技術、ジェスチャ変動に対する頑健性、少ない特徴でも認識できることなどの点で世界最高の技術レベルを達成した。約50カテゴリ数以上のジェスチャ語彙が一連の自由動作の中に出現したときに、それを認識できる。また、背景に依存しないで、安定な移動人物計測ができる距離画像でジェスチャを観測することにより、ロボットと人間のジェスチャ対話の実現も可能とした。

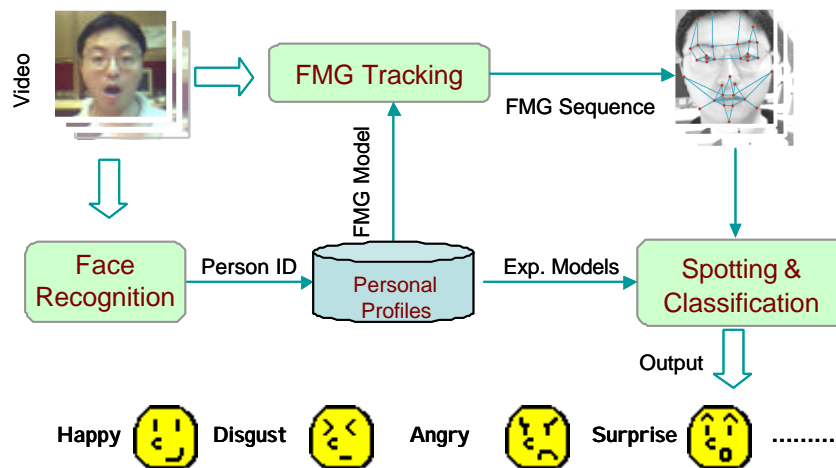


音声・ジェスチャ認識システム

音声認識については、講演や対話などの録音環境の悪い状態での連続音声の音素を平成11年度の68%から精度向上を図り、85%以上の精度で実時間認識できるシステムを開発した。

(3) 顔と表情の認識

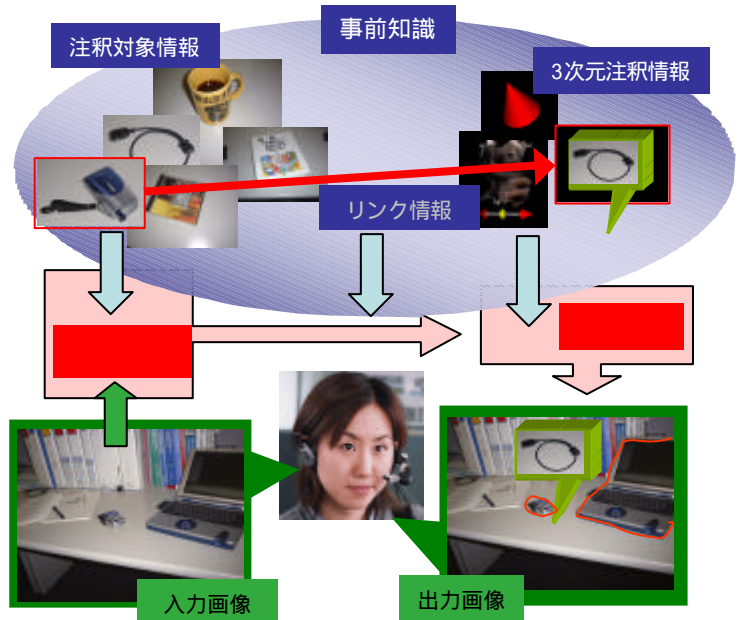
画面上の目の位置、顔の方向、或いは、メガネや口髭の有無などの物理的変化にも対応できる頑健な顔・表情認識システム技術を開発した。プロトタイプシステムは、顔認識で世界的に著名な FaceIt システムを凌ぐ性能を持つことを実証した。特に、毛髪と口髭などの変化にも頑強であることを示した。また、産総研のロボット「事情通」にも搭載した。ドアや計算機などへのアクセスの許認可を行うアクセスコントロールシステムなどに利用できる。



(4) 適応ビジョンシステム

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過去の経験から実時間認識(95%以上、毎秒30フレーム)する技術を開発した。これにより、人間を取り巻く環境をコンピュータが実時間で把握できる。

また、超小型CCDカメラ・ディスプレイを人間が装着し、この情報をコンピュータに無線で送付。コンピュータでは、着用者の映像情報を処理し、視点上の対象物に関する情報などの結果を人間がつけた超小型ディスプレイ上に提示する ウェアラブルビジョンシステム(VizWear)を開発した。これにより、知的アシスタントを実現するシステムが実現できる。



VizWear-3Dの応用例) 視野中に存在する機器を認識し、機器間の接続方法を実環境中に合成提示するバーチャルマニュアル

(5) 情報統合対話システム

実世界で音声や画像を用いてシステム(人工物)が人間と「対話」を行うための技術を開発した。音声と画像の統合による学習方式(インターモダル学習)の研究開発を行い、これまで明示的には記述しにくかった実世界の情報を対話的に獲得することが可能になった。

自然な発話における言い淀みの検出方法を開発し、ユーザが言い淀むと補完候補を提示して助けてくれる新しい音声入力インターフェースの機能「音声補完」を開発した。音声の持つ高い潜在能力を生かすことで、音声インターフェースの新しい方向性を示した。

また、マルチモーダル対話システムの開発、マルチモーダル対話の記述言語の開発、統計的手法によるジェスチャー認識手法の開発、コンピュータと人間との対話の収集、解析などを行った。これにより、システムと人間が対話を行うための要素技術が開発され、人間が行う人工物との対話における諸現象が明らかになった。

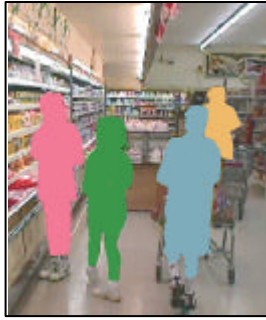
(6) Video Surveillance

実世界シーンにおいて、人物に関する情報を抽出・選別・蓄積するシステム技術を開発した。映像から情報を抽出する基本アルゴリズムを新たに開発し、これを使ったDSPによる動画処理ハードウェアモジュールを作成した。基本アルゴリズムは、領域抽出機能に基づくもので実世界映像データの多様性に適応することが出来る。動画処理モジュールは、カメラからの入力画像の解析を行い、その視野内の人物トラッキング情報等を計算することができる。またこのモジュールをネットワーク化して複数配置し、より広い空間をカバーすることができる。

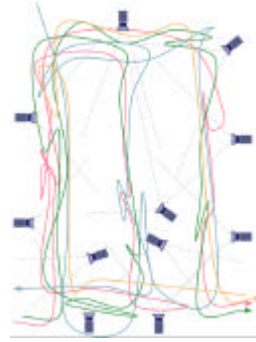
このシステムは、防犯などのセキュリティ分野をはじめ、利用状況を把握することで、空間の安全性や利便性の向上に寄与するシステムへ応用が可能である。



映像データ



対象領域抽出



マルチカメラネットを使い
動線等のサーベイランス情報

人物トラッキングシステム

2. 自律学習機能領域

2. 1 目標

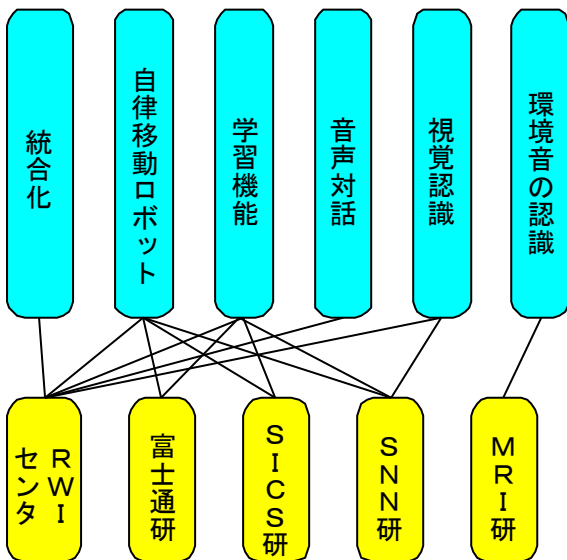
オフィス内で自律的に移動しながら、自律的に実世界の情報を収集し、人間にサービスする技術およびそれらの統合システムを開発する。

2. 2 意義

実世界の多様な情報（音声、環境音、人の動きなど）を計算機が能動的、自動的に把握できるため、人間が学習用データなどを入力する必要がない。また、把握した実世界の情報を利用して、マシンが人と共存し、自然なコミュニケーションを行うことができる。

自ら情報を集めて行動する
学習ロボットの実現を目指して

自律学習機能



2. 3 アプローチ

オフィス環境を対象として、現実世界のセンシングと表現、複数の情報ソースの統合的学習、自律的情報収集と学習に関して研究を進める。具体的には、人の追跡のための視覚、環境音の認識、音声対話、ナビゲーション方式などの技術を開発する。統合システムとして、オフィス内で道案内、人探し、スケジュール調整などのサービスを行う「事情通ロボット」を開発する。

2. 4 研究テーマ

(環境音の認識)

(1) 非音声音（物音）認識技術

マイクロホン・アレーによるビームフォーマ技術进行研究し、非音声音（物音）の認識技術を開発する。(MRI研, テーマ「自律学習移動ロボットのための音響環境理解」)

(自律移動ロボット, 学習機能, 視覚認識)

(2) 能動的地図獲得とセンサー表現

全方向ビジョンを備えた移動型ロボットシステムを開発する。センサーからの反応動作と計画動作を統合してこれを実現する。(SNN 研, テーマ「能動的地図獲得とセンサー情報表現」)

(3) 自律行動系

人工意識に基づき、自律的に行動（再充電）を行うシステムを開発する。(SICS 研, テーマ「分散型実時間自律行動系」)

(4) 移動エージェントを用いた自律学習システム

分散知能アーキテクチャ・情報構造化を用いた移動ロボット学習システムを開発する(富士通研, テー

マ「移動エージェントを用いた自律学習機能」)

(音声対話・統合化技術)

(5) オフィスロボットJi jo-2 (事情通) の開発

オフィスにおいて、人に代り道案内、人探し、スケジュールリングなどの秘書的機能ができる自律移動ロボットを開発する。(RWIC, テーマ「オフィスロボットJi jo-2 (事情通) の開発」)

2. 5 主な成果

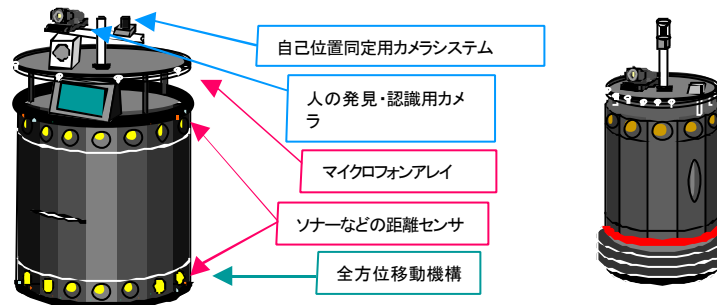
本領域における主な成果を表 2. 5. 1 に示す。

表 2. 5. 1 自律学習機能領域における主な成果

研究室名	研究成果名	概要 (成果の内容)
自律学習機能 富士通	自律学習機能	事前学習による新しい自律学習の枠組み
自律学習機能 MRI	非音声音認識システム	ノイズ環境の中から人の声以外のいわゆる『物音』の発生方向と音源種類を認識する技術
自律学習機能 SNN	自律的環境学習	視覚情報により環境モデルを学習し、位置の判定と経路選択を行う自走ロボット
自律学習機能 SICS	自己再構成を行う学習ロボット	人工意識を用いて自己再構成を行うロボット
RWI事情通ロボットラボ	オフィスロボット「事情通」	来訪者やオフィスメンバへの情報サービスを行うオフィス移動ロボット

(1) オフィスロボット「事情通(Ji jo-2)」

オフィス環境で人間に代って様々な秘書的機能を果たす自律移動ロボット「事情通ロボット」を開発した。地図のない状態から出発して、距離センサ、視覚センサにより周囲状況を認識し、地図を自分で作成し、対話によって場所の名前や行き方を学習し、さらに、人探し、道案内、配達、スケジュール調整などのオフィスの情報収集やタスクを実行できる。また、従来困難とされていたオフィス環境のノイズ下での音声による人とロボットとの対話も指向性を高めた方式とDSPにより実行可能とし、人の対話による学習システム実現した。また、ロボットに向かって対話する人の顔を見つけ、識別することも可能とした。

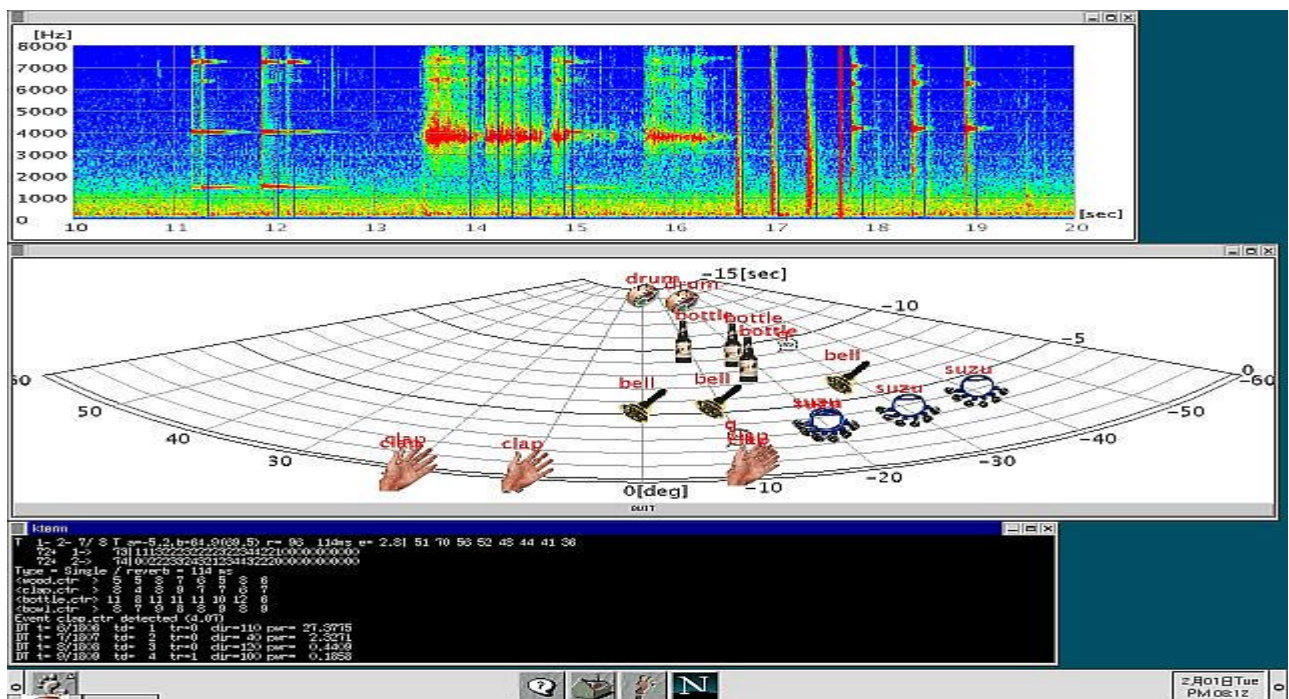


(2) 自律的環境学習

全方向ビジョンの他に超音波センサ、走行距離計測系を備え、幾何学的モデルではなく、人間と同じように外観に基づいたロボットの位置推定を自律的に行える移動型ロボットシステムを開発した。オフィス環境で動作し、この環境を自律的に探索して能動的に地図を作成し、環境の内部表現を視覚情報から学習する。

(3) 非音声音認識システム

マイクロホンアレーを用いて、物音などの非音声音を認識する技術を開発した。20種類以上の物音（拍手、口笛、瓶・缶打撃音、鈴・ベル、電子音など）を80%以上の精度で実時間（0.5秒以内）に識別する技術を開発した。16チャンネルのマイクロホンアレーを用い、ビームフォーマ技術で音源方向も分解能10度で測定することができる。



マイクロホン・アレーを用いた物音認識システム

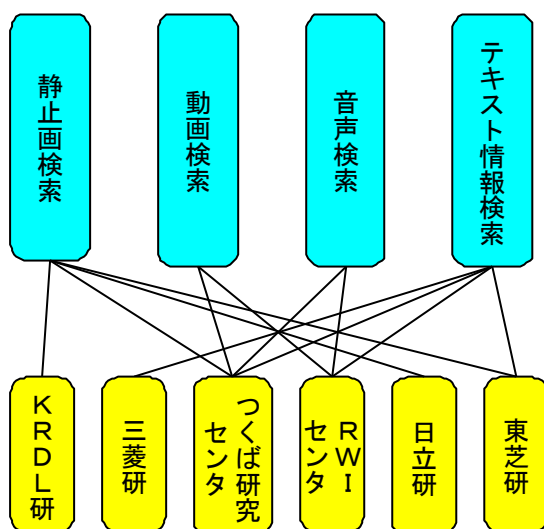
マルチモーダル情報検索の実現を目指して

自己組織化情報ベース機能

異種情報の統一化

自己組織化

分節化



3. 自己組織化情報ベース機能領域

3. 1 目標

音声・画像（静止画・動画）・テキストなどの大量のマルチモーダルデータを自動的に組織し、相互検索できる技術を開発する。

3. 2 意義

ネットワークの発展に伴い、情報DBの大規模な分散化が進んでいる。また、その情報のメディアも従来の文章主体から、動画、音声など多様なメディアへと拡がりつつある。このようなマルチモーダルデータのデジタル・アーカイブの著しい増大の中で利用者が真に望む情報に効率的にアクセスできるよう、大量かつ多様な情報を自動的に組織化し、相互に検索する機能を実現することにより、従来のようなキーワードのみによる検索や関係DBによるテキスト主体の検索よりも検索の方法、対象、機能などを格段に向上できることが期待される。

3. 3 アプローチ

マルチモーダルデータに対して、

分節化、自己組織化、および異種情報統一化に関する技術を開発する。

方法としては、

- ・生データから成るデータベースの構築、
- ・自己組織化データベース作成方式の開発、
- ・生データを質問入力とし、同一／異種データの検索技術開発
- ・ユーザ適応機能、視覚化によるユーザインタフェース技術開発

を行うことにより、研究を進める。

3. 4 研究テーマ

(音声、静止画、動画、テキストの統合(相互)検索)

(1) CrossMediator の構築

大量の音声、静止画、動画、テキストに対して、質問データと同種のデータのみならず異種情報をも検索できるシステムを開発する。(つくば研,テーマ「Cross Mediator の構築」)

(静止画検索)

(2) 大規模画像群のための検索ブラウザ

大量の静止画システムに対して検索を行い、多数の検索結果(静止画)を可視化することにより、効率的に望む結果が得られるシステムを開発する。(日立研、「画像情報の軽量化と可視化」)

(3) ユーザ依存の自己組織化情報ベース

物体や家族写真の自動分類、検索ができるスマートアルバムシステムを開発する。(KRDL研、テーマ「ユーザ依存の自己組織化情報ベース」)

(動画検索)

(4) 適応的状況認知システム

データを多様な観点から解釈し、有用な索引づけを行う技術を研究し、広告戦略策定支援システムを試作する(東芝研、テーマ「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」)

(文書情報検索)

(5) 意味的情報検索システム

文書の意味構造を利用して、意味的文書検索ができるシステムを開発する。(三菱研、テーマ「文書情報空間の自己組織化」)

3.5 主な成果

本領域における主な成果を表3.5.1に示す。

表 3.5.1 自己組織化情報ベース領域における主な成果

研究室名	研究成果名	概要(成果の内容)
情報ベース機能 日立	大規模画像群のための検索ブラウザ*	大規模(数10万件規模)画像データ検索とそのビジュアルなブラウジング
情報ベース機能 三菱	意味的情報検索	「ヒットしない」、「ヒットしすぎる」という問題を解決する意味的情報検索システム
情報ベース機能 東芝	CM分析システム	好感度やブランド種別の観点から効果的なCM分析
情報ベース機能 KRDL	マルチモーダル情報検索	Object Probe 及び Visual Keyword 技術によるマルチメディア(写真、音声、音楽)検索技術
情報ベース機能 つくば	CrossMediator	索引なしマルチメディア(動画、静止画、音声、音楽、テキスト)検索統合ソフトウェアパッケージ
RWI言語統合ラボ	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	言語の意味構造を利用した対話的マルチモーダル(画像と音声)プレゼンテーション技術

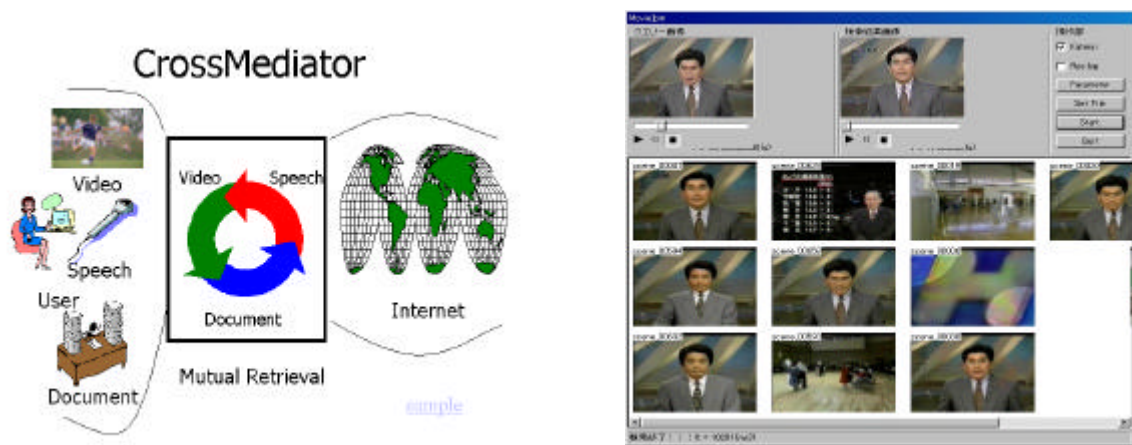
(1) CrossMediator

CrossMediatorの構築においては、静止画、動画、音声(音響も含む)、テキストの4つのデータベースを統合し、あるメディアを検索のクエリに使用して、他のメディアを検索するシステム(例えば音声を使用して動画を検索)について研究した。実用上よく使われるメディア間の組み合わせとして次のものを開発した。

- ・テキスト入力による音声の検索
- ・音声入力によるテキスト検索
- ・音声入力による音声検索
- ・音響入力による音環境検索
- ・鼻歌入力による音楽データの類似区間検索
- ・静止画入力によるテキストの検索（これを利用して、静止画入力からインターネット検索も可能とした）
- ・動画・音声・テキスト入力による動画 + 音声データの検索（ライブのTV放送を検索入力として、実時間で類似動画検索も可能）
- ・テキスト検索（連想単語を使用し、400万記事データを対象）
- ・遺伝子検索（塩基列、アミノ酸列の検索と局所アライメントも実行）

基盤技術としては、連続DPのファミリー、RUTIC (RunningTime Interval Clustering method) 法、AISIC (All word InheritingSub-Image Clustering method)、Galaxy Clustering、RIFAS(Reference Interval-free Active Search) 等の手法を開発した。これにより、大量DBの短時間での検索、探索空間の自律的組織化による各利用者や対象DBの特性に応じた探索等を可能とした。

このシステムにおいて開発している技術を用いて、動画、音声、テキストから画像探索などを行うサブシステムが既にサードパーティより製品化されている。テキストのみのシステム (ASKS) は、電子掲示



CrossMediator 概念図

動画検索例



版 fj-news の 4 0 0 万件を対象として、インターネットでその記事を検索するシステムを公開中であり、検索時間は 0.1 秒以内と高速である。この技術については、(財)日本特許情報機構 (JAPIO) の特許検索システムでの活用を開発中である。また、公開された遺伝子の検索システムもこの技術によって構築されている。 マルチモーダル情報の相互検索システムは世界でも最初のスキームの提案であり、また個々の検索技術も世界最高レベルにある。

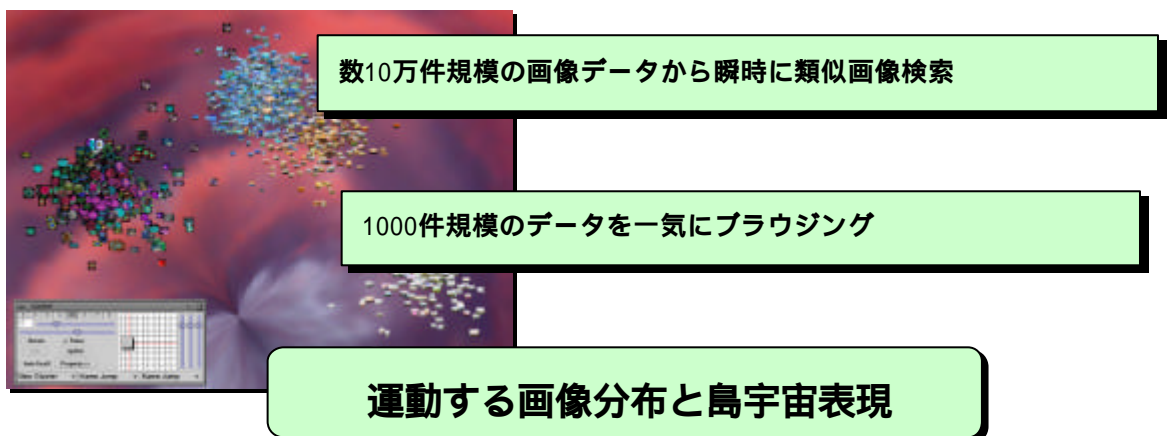
(2) 大規模画像群のための検索ブラウザ

数十万規模の画像データに対して画像自体の類似性に基づいた検索を行い、類似性が高い上位 1000 ~ 2000 件の検索結果の画像集合を、3次元空間の時空間パターンとして可視化するシステムを開発した。また、ユーザが、3次元空間を自由に歩き回り、任意のデータ集合を容易に観察することを可能とするための、2つの3次元オブジェクトを用いたウォークスルー方法を開発した。

本システムにより、ユーザは、検索結果内容を直感的に理解することが可能となり、膨大な画像データベースを効率的に利用することができる。

この方式は世界でも最初である。

更に、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。



ウォークスルーの画面

4. 理論・アルゴリズム基盤領域

4. 1 目標

実世界における不確実で曖昧な情報の学習・統合型情報処理の理論基盤および基本アルゴリズムの開発を行う。

4. 2 意義

現実の世界では、不確実で曖昧かつ複雑な情報の処理が必要となる。これを扱うための情報統合・学習型情報処理の理論基盤を確立することにより、各種の実世界知能システム構築のための汎用的基礎を与える。

4. 3 アプローチ

確率・統計的手法を共通基盤とし、次の方向で研究を進める。

- (1) 動的な構造を持つ確率分布モデルを知識・表現の基本とする
- (2) 実世界知能のマルチモダリティや人間との親和性、並列分散性をできるだけ利用する。
- (3) 要素的研究と実証的研究を並行して行い、相互作用させる。

具体的には、次に項目について研究を進める。

- ・ 知識・情報の表現と評価基準
- ・ 推論・情報統合アルゴリズム
- ・ 学習・自己組織化アルゴリズム
- ・ これらの実証システムの構築

4. 4 研究テーマ

(知識・情報の表現と評価基準)

(1) 計算学習理論の確立

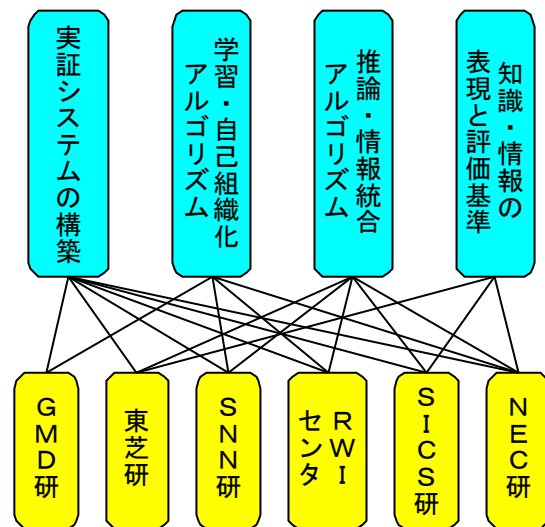
統合的な学習方法論を確立するとともに、知識の評価方式について研究する。(NEC研、テーマ「分散能動学習方式」)

(2) 確率パターン計算方式の確立

意味ベクトルを用いて知識・情報を表現する方法を研究する。(SICS研,テーマ「統計的パターンコンピューティング」)

曖昧・不完全な情報の 処理理論構築を目指して

理論・アルゴリズム基盤



(推論・統合/学習・自己組織化のアルゴリズム)

(3) 分散能動学習方式

分散能動学習技術の研究を進め、遺伝子情報処理方式、語彙意味知識獲得ツールライブラリを開発する。(NEC研, テーマ「分散能動学習方式」)

(4) 学習統合型情報処理方式

確率制約プログラムやグラフィカルモデルなどの複雑な構造を持つ確率分布モデルの推論、学習アルゴリズムおよび、対話ベース学習やインターモーダル学習などの実世界知能向きの学習方式について研究を行う(RWCI, テーマ「学習統合型情報処理の理論基盤」)

(5) 確率推論近似モデル

計算資源に応じ、単純なモデルから複雑なモデルまで近似できる確立推論近似モデルを開発し、医療診断システムなどへの応用を進める。(SNN研, テーマ「確率的知識表現および能動的意思決定」)

(6) パターン推論方式

記号とパターンを統合的に扱える情報処理パラダイムを確立する。(東芝研, テーマ「記号パターン統合」)

(7) 実世界知能技術を統合化するRチームアーキテクチャの開発

大規模システムを容易に模擬できるRチームアーキテクチャを開発し、複雑なシミュレーションなどに応用する。(GMD研, テーマ「開かれた環境における能動学習と情報統合」)

4.5 主な成果

本領域における主な成果を表4.5.1に示す。

表4.5.1 理論・アルゴリズム基盤領域における主な成果

研究室名	研究成果名	概要(成果の内容)
理論基盤 NEC	分散能動学習方式	データから自動的に規則性を発見する機械学習のための理論
理論基盤 東芝	記号としてのニューラルネット	ニューラルネットを論理命題と同一枠組みで扱う技術
理論基盤 GMD	CITY-TRAFFIC	都市交通の実時間シミュレーション技術
理論基盤 SNN	統計的知識表現と能動決定	ベイジアンネットワークによる学習・推論アルゴリズム
理論基盤 SICS	統計的パターンコンピュテーティング	異言語間でテキストを検索するために連想機能によって適切な意味の単語を選ぶモデル
RWI学習統合基礎ラボ	学習統合型情報処理の理論基盤	各種組み合わせ構造をもつ確率分布モデルに対する学習・推論技術

(1) 分散能動学習方式

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の新しい機械学習の理論

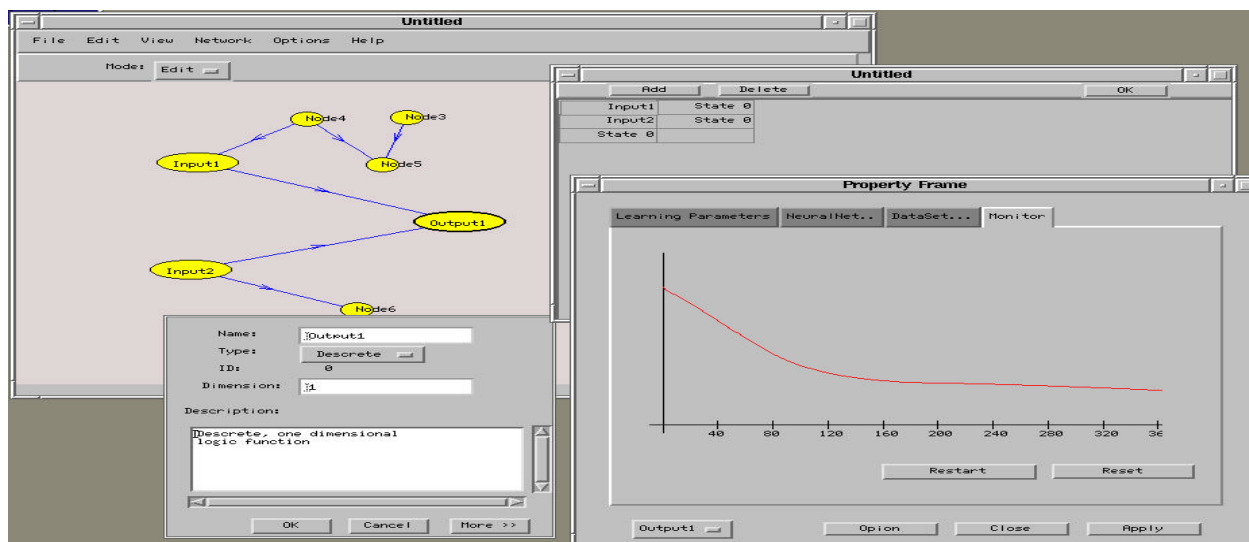
的フレームワークを構築した。

学習型自然言語処理への応用では、大量文書データ中の言葉の共起関係から単語をクラスタリングし、シソーラスを構築する方式を開発した。これに基づいて格フレームの一般化方式を考案し、これを実装することにより、自然言語解析における係り受け解析に適用して、世界最高の精度を達成した。

遺伝子情報処理への応用では、集団質問学習によってペプチド免疫特性同定に必要な実験回数を激減させることに成功し、新薬開発のための新しい実験計画の道を開いた。

(2) 学習統合型情報処理の理論基盤

学習統合型情報処理の理論基盤として、組み合わせ構造をもつ確率分布モデルの学習・推論技術を開発した。効率のよい学習・推論を実現できる。また、ベイジアンネットワークシミュレータ BAYONET を開発し、研究者間での試用を進めた。このソフトウェアは、確率ネットワークの Java による世界最初の実装の一つであり、ネットワークの構築や構造選択のための GUI とデータベースから条件つき確率を学習するための接続機構を持つことを特色としている。



確率的知識発見ツールBAYONETの使用例

(3) CITY-TRAFIC

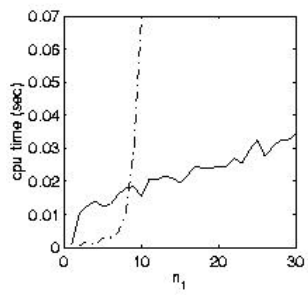
実世界のプロセスを詳細に計算機上で実現して、細粒度の大規模シミュレーションを行う方法として、Rチームアーキテクチャを開発した。これを使用し、ポン市の交通シミュレータ CITY-TRAFIC、携帯電話などの移動無線通信におけるアンテナ配置の最適化システムなどを開発した。 この技術により、仮想的な大規模人工現実を精度よく計算機上に実現できる。

(4) 統計的知識表現と能動決定

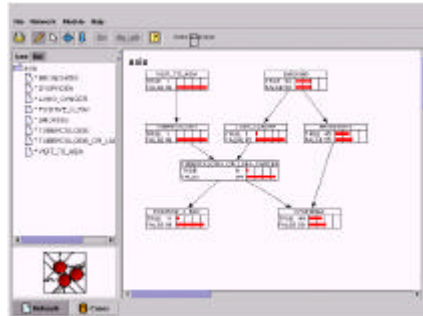
確率ネットワークにおける推論と学習のためのいくつかの近似法を開発し、確率的推論を近似的に行い高速化する方法を開発した。

BayesBuilder というグラフ構造確率モデルを扱うソフトウェアを作成し、研究者間での試用を進めているほか、貧血症の医療診断に適用し有効性を実証した。

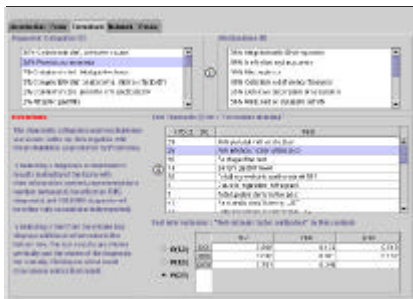
また、動的バイジアンネットワークを用いて、テンポの変動などを伴う MIDI 入力から推論して記譜を行うシステムを開発した。



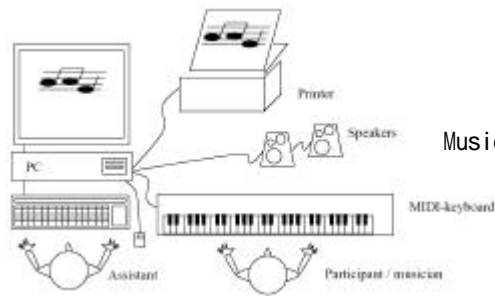
Algorithm development



Software development



Medical diagnosis



Music perception

5. 実世界適応デバイス領域

5. 1 目標

実世界情報の実時間処理を可能とする適応デバイスを開発する。

5. 2 意義

実世界知能技術の確立には、音声や画像など大量の実世界情報を実時間内で高速に処理する必要がある。計算機を用いたソフトウェアによる処理は柔軟性に富む反面、処理速度が遅い。一方、応用アルゴリズム毎に専用のハードウェアを作成する方式では、処理速度は速くなる反面、開発・製造コストが高く、柔軟性に乏しいという欠点がある。本領域では、応用ごとのアルゴリズムに最適な構造にハードウェアレベルで再構成可能で高速処理を実現できる次世代FPGA (Field Programmable Gate Array)を開発し、実世界の多様な情報を実時間で高速かつ柔軟に処理する事を可能とする。

5. 3 アプローチ

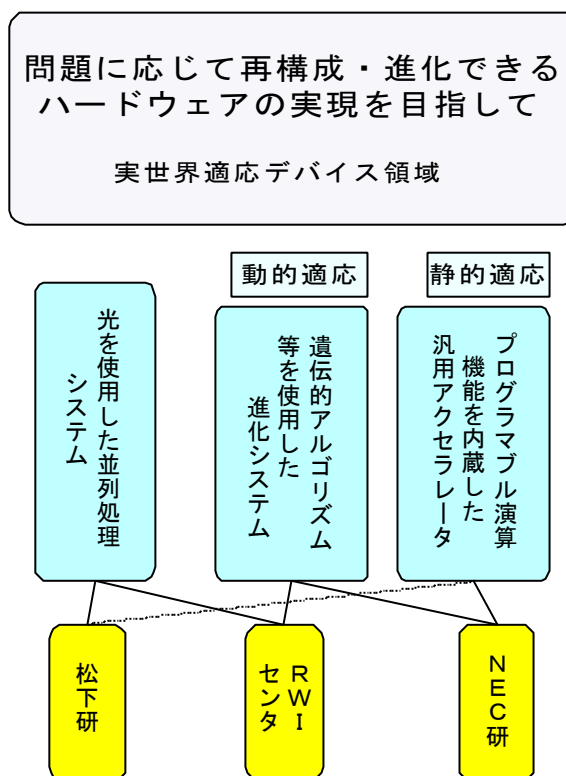
アルゴリズムやパラメータが製作前に与えられる場合、これに最適な構造に再構成可能な静的適応デバイスとこれらが時間やデータにより変化する場合に実時間で適応できる動的適応デバイスに分けて、その構成方法を研究する。電子的デバイスと光・電子並列処理システムにより目的を達成する。

5. 4 研究テーマ

(静的適応デバイス)

(1) 再構成可能適応型デバイス

アルゴリズムが前もって与えられる問題に対して最適な演算方式・データパスを再構成し、高速処理を可能とする次世代FPGAを実現する。(NEC研, テーマ「再構成可能適応型デバイス」)



(2) デジタルスマートピクセルと光実装

デジタルスマートピクセルとこれを光でカスケード接続するシステムを開発する。(松下研, テーマ「デジタルスマートピクセルと光実装」)

(動的適応デバイス)

(3) 進化システムアーキテクチャ

環境やタスク仕様の変化に対し、自律的にハードウェア構造を変更できる方式を遺伝的アルゴリズム等の見地から研究する。(RWIC・NEC研)

(4) 光ニューラルネットワークシステム

画像処理を実時間で行うことのできる光ニューラルネットワークシステムを開発する。(RWIC)

5.5 主な成果

本領域における主な成果を表5.5.1に示す。

表5.5.1 実世界適応デバイス領域における主な成果

研究室名	研究成果名	概要(成果の内容)
適応デバイス NEC	再構成可能適応型デバイス	演算性能を強化したプログラム可能ハードウェア
適応デバイス 松下	デジタル・スマートピクセル	全画素に演算機能と光入出力機能を備えた多段接続高速並列画像処理デバイス
RWI進化システムラボ	進化型ハードウェア	ハードウェア構成を使用環境に応じて動的に適応させる進化型ハードウェア
RWI情報光学ラボ	光ニューラルネットワーク	数ミリ秒で画像処理を行う光ニューラルネットワーク

(静的適応デバイス)

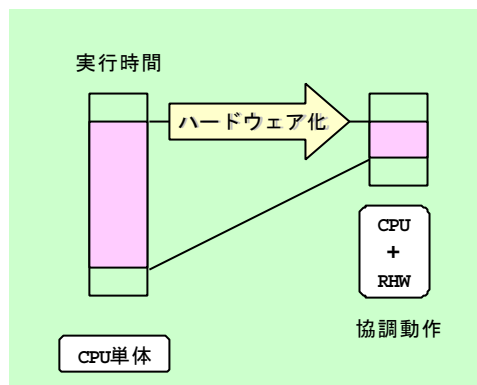
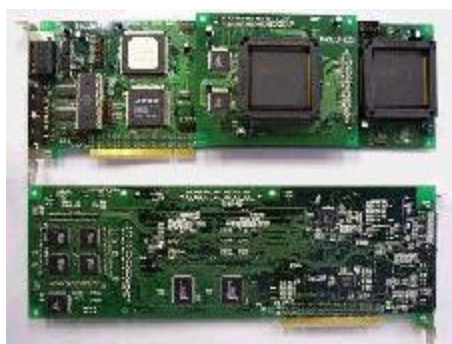
(1) 再構成可能適応型デバイス

ALUを基本素子とするFPGAである静的適応デバイスを開発した。従来のFPGAに比べて3倍以上の演算性能を有するのが特長である。これをもとに、PCやWSのCPUと協調して動作し、全体の処理を高速化(10倍~100倍)する汎用アクセラレータの実現を目指して、アルゴリズムをハードウェアにマッピングする研究を進め、アルゴリズムに応じた信号処理パスを従来よりも極めて小面積で実現する方法を開発した。また、演算にLook Up Tableを用いる従来のFPGAでは困難であった多数の浮動小数点演算による処理を可能とした。他社FPGAの3倍以上の演算器集積度をもつ実証用LSIを開発。これにより、従来不可能であった、

実行時間の大量信号処理、情報処理が可能となった。実証システムとして、高速画像処理を行う汎用アクセラレータを開発し、Pentium 1GHz の10倍の処理速度を達成し、従来のFPGAの40倍以上高速な再構成速度を実証した。

開発環境については、静的適応デバイスのためのCADに関する研究を進め、従来の40から60倍高速な論理合成方式と、自動配置方式、自動配線方式を開発した。

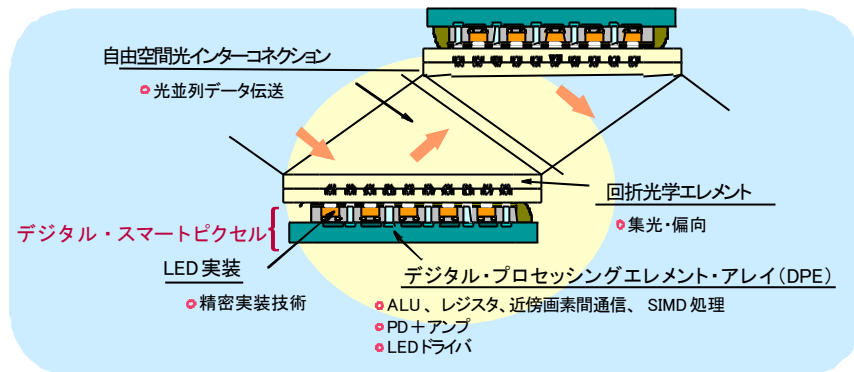
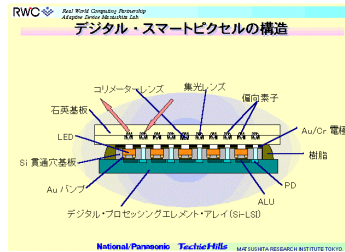
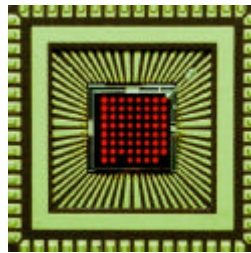
更に、これらの方式を実装して、プログラミング言語C又は半導体デバイス設計言語HDLのいずれかを用いてFPGAの設計ができる開発環境を作成した。



汎用アクセラレータのプロトタイプ

(2) デジタル・スマートピクセルと光実装

このシステムは、①光を並列に入力し、②ALUを含むデジタル電子素子に光-電変換を行って入力し、③電子素子において並列演算処理を行い、④結果を並列に光出力するチップである。このチップをカスケード接続して、より複雑な処理を行わせることも可能である。電子素子における演算方式としてはこの種の処理に多用される単一命令・複数データ (SIMD) 処理を用いている。ハードウェアレベルでの演算に加えて並列度の高い演算ができるという特徴を有することから、パターン・信号処理等の分野において計算機処理の数千倍以上の処理能力を実現可能である。他機関での研究と比較すると、規模や完成度で格段に勝っている。2×2、8×8のシステムの試作に成功し、更に256 (16×16) 光入出力を有するデジタル・スマートピクセルを開発した。このシステムを用いて、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高速 (<1ms/frame) で動作させた。



デジタルスマートピクセル

(動的適応デバイス)

(3) 進化型ハードウェア

ハードウェアの動的な再構成機能を実現し、デバイスに学習機能、環境変化への適応機能、耐故障機能などを自律的に持たせることを目標として、遺伝的アルゴリズム、更にはニューラルネットをも融合した方法を開発し、計算機による方法と比較して処理速度の著しい増加（例えばWSの60倍）が実現できる方式を提案し次のような実証システムを開発した。デジタルLSIに基づくものとメカニカルなシステムに分類してある。

(デジタル進化LSI)

- ・筋電制御型義手とその制御用進化型LSI
 - リハビリ期間を大幅に短縮
- ・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
- ・印刷データ用データ圧縮アルゴリズムとLSI化
 - 電子写真印刷における画像データのロスレス圧縮・復元。
 - 2箇所ではISO化作業中
- ・携帯電話用アナログ進化LSI
 - 携帯電話用中間周波数フィルタLSIの歩留まりを著しく改善。
 - メーカーにて事業化

・高周波通信用アナログLSI

(メカニカルな進化)

・進化型フェムト秒レーザ

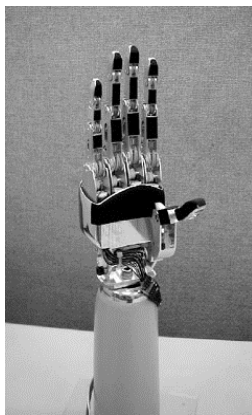
ミクロン単位のぎ調整を自動化。人手で5日かかるものを30分で実現

・進化型光インターコネクション

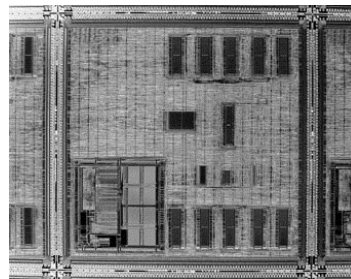
(その他)

・盲人ナビゲーションシステム

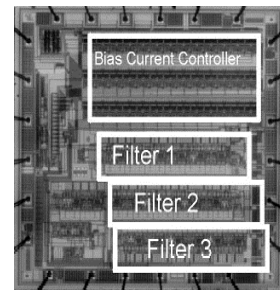
盲人の遠隔支援システム



節電制御型義手



ロスレスデータ圧縮印刷用チップ



携帯電話用フィルタLSI

6. 実世界知能技術のための研究開発用知的資源 (RWC データベース)

研究開発用知的資源 (RWC データベース) は、実世界知能技術の研究開発の基盤を提供することを目的として整備されてきた。実世界の情報をデータベースとして蓄え、データベースの開発者だけでなく、他の研究者も使用できるように整備することにより、次の利点が生ずる。

(1) 研究開発の推進

実世界の情報を研究対象として利用するためには、様々な設備と収集の労力が必要である。これをデータベース化することにより、研究者は容易に自分の研究のために実世界のデータを利用することができ、研究開発が促進される。

(2) 研究成果の評価

開発されたデータベースを他の研究者も利用することによって、開発された技術や手法の客観的な比較がより容易に行われるようになり、より客観的な研究の評価が可能になる。

(3) 研究グループ間の連携の促進

データベースを他の研究者も利用することにより、その利用過程における情報交換や相互理解により研究グループ間の連携が促進される。また、外部の研究機関との情報交換を通して、研究開発への貴重なフィードバックが得られる。

この目的のために、知的資源ワーキンググループ (WG) を設置し、この下に設けられた7つのサブWGにおいて活動を行ってきた (<http://www.rwcp.or.jp/ab/wswg/rwcdb>)。サブWGのメンバーには、産総研 (旧電総研)、大学等、RWC プロジェクトの研究者以外の有識者も加えることによって、専門的な助言と支援を受けた。

各サブWGの対象としたデータベースはつぎの通り。

- ・音声検索・要約サブWG：音声対話DB、ニュース音声DB、会議音声DB
- ・テキストDBサブWG：新聞記事・国語辞典の形態素、統語、意味情報のタグ
- ・画像DBサブWG：画像理解評価用DB
- ・マルチモーダルDBサブWG：マルチモーダルDB、ジェスチャーDB
- ・実環境音響サブWG：環境音、音環境データ、マイクロフォンアレーDB
- ・移動ロボットDBサブWG：ロボットセンサデータ、画像データ
- ・音楽DBサブWG：ポピュラー等の音楽、各楽器ごとの音響信号など

表にこれらデータベースの一覧を示す。これらのデータベースは、一般に広く配付してフィードバックを得るため、RWC プロジェクトの研究者のみならず、この方面の他の研究者も利用可能としている。これらのデータベースは、国内、海外の100箇所以上の研究機関に配付され

ており、それぞれの分野において、貴重な研究開発の基盤を提供している。

表 知的資源一覧

DB テーマ	本体研究テーマ / 研究室	文書情報空間の自己組織化 / 情報ベース三菱研究室
タグ付き テキスト コーパス	目標 (全体の目標)	文書に関する高度な意味処理を行うため必要な情報を付与したテキストコーパスを作成する
	DBの対象	新聞記事のテキスト、国語辞典の語義文と用例
	作成したDB	新聞記事、および国語辞典の語義文と用例に対して、形態素、統語構造、語義、意味構造の情報を明示するタグを付与。
	対象データの件数など	新聞記事 3000 件、国語辞典 56000 項目
	公開用メディアなど	DB の一部は RWC 知的資源テキストサブワーキンググループより、「RWC テキストデータベース第 2 版」として CD-ROM で公開中。
	備考	CD-ROM の配布は http://www.rwcp.or.jp/wswg/rwcdtb/text/ を参照。 統語構造および意味構造のタグについては http://www.i-content.org/gda/ を参照。
知的資源の 収集と 評価	本体研究テーマ / 研究室	Cross Mediator の構築 / 情報ベースつくば研究室
	目標 (全体の目標)	各種実世界データの構築。プログラムソフトの蓄積・利用・評価を行う。
	DBの対象	1. 発声音声・会議音声 2. ジェスチャ 3. 人の動き、移動時の視覚動画像 4. 音楽データベース
	作成したDB	1. 放送用テキストのアナウンサによる発声音声を記録。会議音声の収録 2. 大語彙のジェスチャを用いてタスク課題を実行するストーリー性のある動作動画像DBを作成。 3. 人間の全身の動き、野外での移動動画像などの動画像理解のために、多視点動画像複雑な環境における物体の移動シーンなどのデータベース作成。 4. 音楽検索用に新たに作詞作曲し、かつ各楽器のパートの演奏情報が付加されたデータベース。
	対象データの件数など	1. 7人・190 文章。30 分×5 件 2. 4 名による 64 手話短文動画像、および 300 語のジェスチャ。 3. グランドツル - スとしてのラベルが付加された、静止画、野外の交通 状況の観測動画像、屋内人物の動作観測動画像データ。 4. ポップス、ジャズ、クラシック。 5. 合計 48 人の被験者の発話と身振りを録音録画し、ファイル化し CD-ROM に収録した(初版では 12 人分を CD-ROM に収録した)。 1 人当たり 2 枚の CD-ROM に収録した。 25 種類の身振りを 4 回繰り返し収録した。
	公開用メディアなど	1. CD-ROM 2. DVD-RAM
備考	http://www.rwcp.or.jp/lab/mmtl/home.html を参照。	

DB テーマ	本体研究テーマ / 研究室	移動エージェントを用いた自律学習機能 / 自律学習富士通研究室
移動ロボットシステム 実験用データ	目標 (全体の目標)	実データを用いた移動ロボットの実験プラットフォームの共有
	DBの対象	移動ロボットの視覚センサデータおよび距離センサデータ
	作成したDB	1. 実際のオフィス (TRC13F) を移動ロボットが移動しながらセンサデータを測定 2. 作成したデータをインターネット経由で利用するための Java プログラムユーティリティ群
	対象データの件数など	1. 1 万地点における全方位画像データ、ロボットの周囲 20 個所に備え付けられた距離センサ (赤外、超音波) データ、接触センサデータ
	公開用メディアなど	・ CDROM4 枚組
	備考	
実環境音声・音響データベース	本体研究テーマ / 研究室	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 (全体の目標)	実環境の音響信号から音声・音源の識別や空間情報の抽出を行う研究のためのDBを作成する。
	DBの対象	非音声音、遠隔音声、移動音声、マイクロホンアレー特性
	作成したDB	1. 無響室で収録した非音声音のドライソースデータ 2. 各種の部屋でマイクロホンアレーを用いて収録したデータ (16ch 円形アレー、14ch 直線アレー) 遠隔固定音源インパルス応答・音声測定データ、移動音源インパルス応答・音声測定データ、拡散音源、背景雑音データ
	対象データの件数など	1. 非音声音ドライソース: 音源 100 種類 (合計 10000 サンプル) 1.2GB 2. マイクロホンアレー測定データ: インパルス応答 0.7GB、音声 9.0GB (6 種の部屋、0~180 度 10 度刻み)
	公開用メディアなど	DVD-ROM 3 枚組
備考	URL: http://tosa.mri.co.jp/sounddb/	

並列分散コンピューティング技術分野

【研究開発の目的】

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ものと考えられる。

このため、変化する多様な計算処理の需要に応え、分散システム上に存在する異機種の計算資源を動的に再構成し、最適な並列処理能力を提供する次世代並列分散処理環境（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、マルチプロセッサシステム上で高速な処理を実現するキーテクノロジーである並列化要素技術等を開発することを目指す。また、並列環境下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進める。

【研究開発の概要】

シームレス並列分散コンピューティング技術領域については、通信機構、グローバルオペレーティングシステム、並列言語などの要素技術について開発を行った。通信機構のうち光インターコネクションに関しては、ポート当たり 8 Gbps の世界最速の計算機間結合ネットワークシステムと将来の 100Gbps に対応できる技術を開発している。最終的には、シームレス並列分散コンピューティング実証システムを構築し、これらのうちの基本要素技術である、

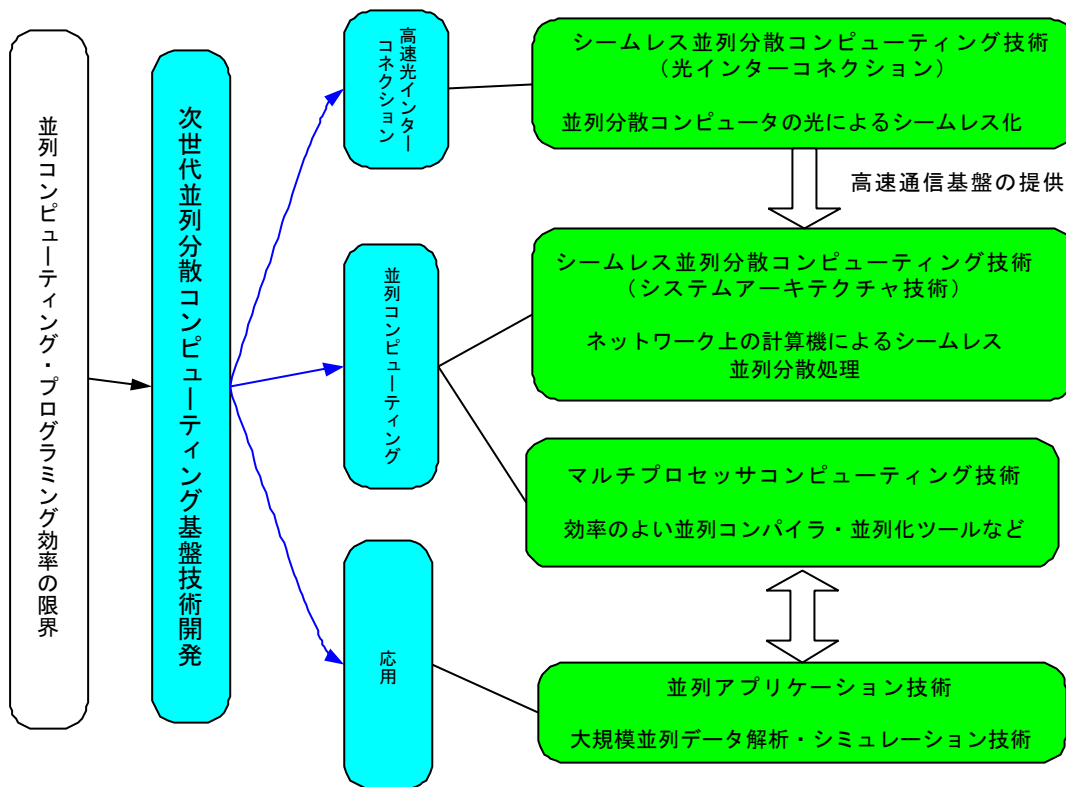
- ・高速ネットワークシステム； RHiNET
- ・グローバルオペレーティングシステム； SCore Cluster System Software
- ・並列言語コンパイラ； Omni OpenMP

を統合した。

また、SCore Cluster System Software、Omni OpenMP はオープンソースとして公開され、国内外で多くの利用者に使用されている。

並列アプリケーション技術領域においては、SCore Cluster System の上で動作する並列タンパク質情報解析（PAPIA）システム、高速分子動力学シミュレーションシステム、データマイニングシステムなどを開発した。また、異種のシミュレーション技術を融合する技術として、連成解析システム、物理・統計融合シミュレーション技術を開発した。

なお、マルチプロセッサコンピューティング技術領域については、後述する通り、平成 11 年度までに大きな成果を収めたところであるが、平成 12 年度からは独立のプロジェクトとして発展させることとなった。



並列分散コンピューティング技術分野における研究開発

1. シームレス並列分散コンピューティング技術領域

1. 1 目標

ネットワークで接続された種々の計算資源をニーズに応じて動的に構成し、一つの計算機として利用することを可能とするシームレス並列分散コンピューティング環境を実現する。また、大容量高速データ転送を可能とする光インターコネクション技術を開発する。

1. 2 意義

【シームレス並列分散コンピューティング】

本プロジェクトでいうシームレス並列分散コンピューティングとは、利用者が分散環境を意識することなく、単一計算機のイメージでネットワーク上に存在する計算機から必要に応じたコンピューティングパワーを引き出すという新しい計算パラダイムの提唱である。

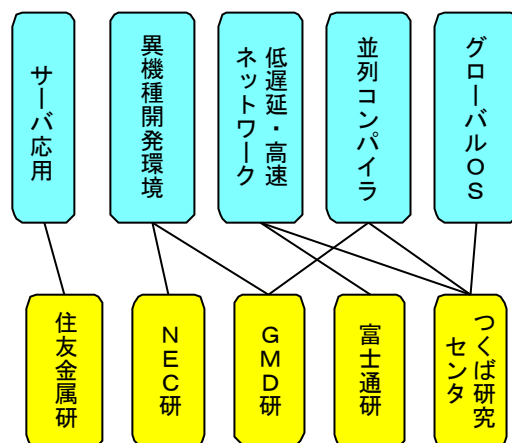
現在、高速計算サーバ、大規模データベースサーバなどは、専用のネットワークで単一筐体内、あるいは、隣接した複数の筐体間を結合している。これらは、高価であり、電力消費も大きい。また、これらのサーバ類を収容するため大容量の電力・空調能力を備えた計算機室が必要である。また、計算機も同一機種、同一OSの同一バージョンで動作するのが通常である。これに対して、ネットワークに接続された種々のパソコンやWSを単一計算機のイメージで利用でき、スーパーコンピューティング、各種サーバ類を低コストで実現するとともに、省エネルギーに貢献できる。

【光インターコネクション】

並列コンピューティングを実現する上でボトルネックとなるのはプロセッサ間の通信速度である。現在は専用のスイッチを用いてプロセッサ間を電氣的配線で結合する方式が主流であるが、転送速度、距離が大きな問題となっている。これが光の大容量転送能力によって解決され、高速かつ低消費電力のプロセッサ間結合が可能となる。

ネットワーク上の計算機による
シームレス並列分散処理
の実現を目指して

シームレス並列分散技術領域
(並列分散システムグループ)



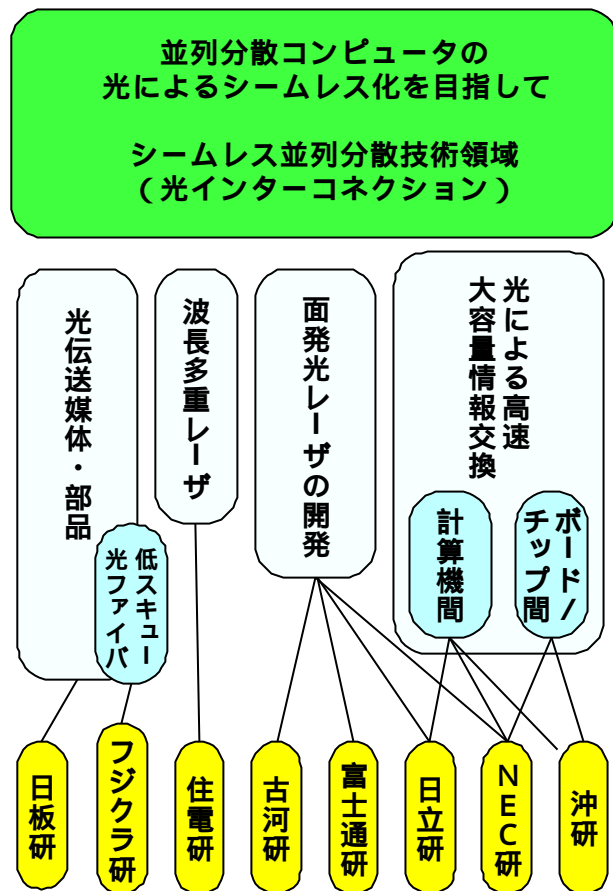
1.3 アプローチ

【シームレス並列分散コンピューティング】

(1) 高速通信ネットワーク開発
ネットワークを介した並列コンピューティングにおいてボトルネックとなる通信遅延・速度の問題を解決するため、新しい高速通信機構を開発する。

(2) 並列言語コンパイラの開発
標準的言語をターゲットとした、使いやすく、汎用的なコンパイラやライブラリの開発。

(3) シームレス分散並列OS等の開発
シングル計算機イメージでの利用が可能となるグローバルOS、ライブラリ、開発環境の開発。



【光インターコネクション】

(4) 高速光情報交換システムの開発
高速大容量光情報通信を実現するスイッチと光ファイバによるインターコネクションの開発

(5) 将来の超高速光伝送の要素技術の開発

近い将来の超100Gbpsの光インターコネクションを目指した基盤技術開発を行う。

- ・面発光デバイスの開発：高密度並列光入出力を可能とする面発光デバイスの開発
- ・超高速光ファイバ技術：波長多重技術、スキャーレス光ファイバの開発
- ・空間光転送：光ファイバを使用しない光情報伝達方式の開発

1.4 研究テーマ

【シームレス並列分散コンピューティング】

(1) コンピュータクラスタ上のグローバルオペレーティングシステム

シームレス並列分散システムを実現するグローバルオペレーティングシステム技術について研究し、SCore クラスタシステムソフトウェアを開発する。(つくば研,テーマ「コンピュータクラスタ上の基本ソフトウェア」)

(2) シームレス並列計算機用コンパイラ等

性能解析、並列ライブラリ、並列コンパイラ技術について研究する。コンパイラについては、種々のプラットフォームで使用できる Open M P コンパイラ(Omni OpenMP)等を開発する。(つくば研,テーマ「並列アプリケーションの探索的技術開発及び性能解析」)

(3) 高速光インターコネクション RHiNET

シームレス並列分散コンピューティング実現のための高速インタフェース技術について研究し、光インターコネクションシステム RHiNET の開発を行う。(つくば研、テーマ「省電力型高速光伝送向きインタフェース技術」、日立研,テーマ「大容量データベース用光インターコネクション」と共同開発)

(4) データ並列プログラミング

並列プログラミングを容易にするためのデータ並列応用向けプログラミング環境を開発する。(GMD研,テーマ「大規模応用のための高機能データ並列プログラミング」)

(5) 通信プロトコル処理技術

WAN 環境での並列分散コンピューティングを実現する高速ネットワーク向けの通信プロトコル処理プロセッサを開発し、WANを介した並列分散システム及び超高速インターネットによる新しいサービスを実現する。(富士通研,テーマ「並列ネットワークサーバ」)

(6) 異機種並列分散処理技術の開発

複数の異機種計算機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の単一プログラミングインターフェイスとして、並列分散ライブラリ、並列分散コンパイラ、並列分散ツール、実行時の動的対応ツール等を開発する(NEC研、「テーマ高性能並列分散計算機システム」)

(7) サーバアプリケーション

高信頼の並列文書検索システムを実現する並列分散サーバシステムを WindowsNT ベースで開発する。(住友金属研, テーマ「サーバアプリケーションへの並列分散技術の応用研究」)

【光インターコネクション】

《高速光情報交換システム》

(8) 超高速光インターコネクションの開発

上記高速光伝送によるインターコネクションを実現するための超高速 RHiNET システム用光スイッチングシステムを開発する。(日立研、テーマ「大容量データベース用光インターコネクション」、つくば研と共同開発)

(9) OIP による超高速光インターコネクション

RHiNET や 10 Gbit LAN に適用可能な OIP を開発する。(NEC 研, テーマ「低消費電力光インターコネクション」)

《将来の超高速光伝送要素技術》

(面発光レーザー)

単一モードファイバーを用いた大容量並列データリンクが可能な、 $1.3\mu\text{m}$ 帯の面発光レーザー ($1.3\mu\text{m}$ -VCSEL) をターゲットに研究開発を進める。VCSEL の開発のポイントは、光帰還構造形成用の高反射率 (反射率 99.9% 以上) ミラー形成である。 $1.3\mu\text{m}$ -VCSEL を従来の $1.3\mu\text{m}$ -LD 用の InP 基板上に形成しようとしても高反射率半導体多層膜ミラーができない。そこで異なった角度から研究を進めるため、3つの異なる方法で研究開発を進め、チップの試作を行う。更に光モジュール構成法を研究する。

(10) 低電圧動作型面発光レーザー

InGaAs 三元基板による低電圧・低閾値面型レーザーを実現する。(富士通研、テーマ「光インターコネクション用低電圧動作面型レーザーの研究」)

(11) 高効率面発光レーザー

GaInNAs を超格子構造の活性層としたレーザーを開発する。(日立研、テーマ「大容量データベース用光インターコネクション」)

(1 2) 長波面発光レーザ

Sb 系材料を超格子構造の活性層とした面発光レーザを開発する。上記 O I P の核とする。(N E C 研、テーマ「低消費電力光インターコネクション」)

(1 3) 無調芯型面発光 L D モジュール

面発光 L D アレイを開発し、無調芯でこれとファイバを光結合するモジュールを開発する。(古河研、テーマ「無調芯型面発光 L D モジュール」)

(波長多重用レーザ)

(1 4) 高密度波長多重用レーザ

ファイバグレーティングを用い、温度特性に優れた高密度波長多重用光源を開発する。(住電研、テーマ「波長多重型光 L A N 」)

(光伝送媒体・部品)

(1 5) 高密度光バス

装置間の高密度光バスとして高密度光ファイバモジュールを、チップ間空間光伝送路システムとして集積型光配線基盤を開発する。(沖研、テーマ「高密度光バス」)

(1 6) 低スキュー光ファイバケーブル

並列光伝送にあたっての伝送路となるテーブ型光ファイバのスキューを低減する方式について研究し、低スキュー光ファイバケーブルを開発する。(フジクラ研、テーマ「スキュー低減型多芯高速伝送路」)

(1 7) 空間分割多重光インターコネクション(日板研, 空間分割多重光インターコネクション)

並列多重光インターコネクションを実現する小型高密度光インターコネクション部品について研究し、マイクロアレイ部品、光学系、実装技術を開発する。

1 . 5 主な成果

【シームレス並列分散コンピューティング】

本領域における主な成果を表 1.5.1.1 に示す。

表 1.5.5.1 シームレス並列分散コンピューティング領域(並列分散)における主な成果

研究室名	研究成果名	概要(成果の内容)
並列分散システム 富士通	高速通信処理技術 Comet	高速、柔軟な通信プロセッサ Comet NP
並列分散システム NEC	異機種並列分散コンピューティング	並列分散システムの異機種性を意識せずにプログラム開発・実行を行えるプログラミングシステム
並列分散システム 住金	SORB による類似文書検索システム	サーバアプリケーションのクラスタ化を支援するミドルウェア SORB と類似文書検索システム
並列分散システム GMD	PROMISE データ並列プログラミング環境	高度な並列プログラムを容易に記述できるプログラミング環境
並列分散システム アーキテクチャつくば	RHiNET	フロア内、ビル内の計算機間をつなぐ低レイテンシ、広バンド幅で信頼性のあるネットワーク
並列分散システム ソフトウェアつくば	SCore Cluster System Software	PC と高速ネットワークによるパーソナルスーパーコンピュータを実現するシステムソフトウェア
並列分散システム パフォーマンスつくば	並列コンパイラ Omni OpenMP	逐次プログラムを OpenMP プログラムに変換し、様々な共有メモリ型並列機で高速実行できるシステム

(1) シームレス並列コンピューティングシステム実証機

シームレス並列コンピューティング環境の実現のために、

- ・高速光インターコネクション RHiNET II
- ・グローバルOS SCore Cluster Software System
- ・並列言語コンパイラ Omni OpenMP

を開発し、これらを統合した128ノードから成る実証システムを構築した。

以下これらの要素技術について述べる。

1) 高速光インターコネクション RHiNET(RWC High Performance Network)

並列処理のボトルネックとなるデータ転送遅延の解消等に関して研究開発を進め LANとSAN (System Area Network) の両方の特徴を有する新たなネットワーク・アーキテクチャ LASN (Local Area System Network) を提唱し、これを実現するための通信ネット



RHiNET を用いた計算機システム

ワークシステム RHiNET を開発した。これは次の特徴を持つ。

- ・ オープンな計算機間インタフェースとしては、HIPPI 6400 を凌ぎ世界最高の伝送速度
- ・ Wormhole Routing による低レイテンシの実現、
- ・ 経路パス分のパケットバッファ等により、任意のトポロジにおいてデッドロックフリーかつパケット破棄をしない高信頼通信を実現、
- ・ ホスト計算機負荷軽減のため、アドレス変換や通信プロトコルをサポート、
- ・ ゼロコピー通信、MPI のメッセージパッシング、OpenMP の共有メモリモデルをサポートする通信プリミティブの提供等。

これにより、従来では、同一筐体、あるいは、同一室内でしか実現できなかった並列計算機が LAN 環境で構成できる。このため次のシステムを開発した。

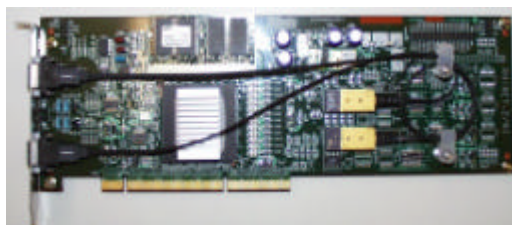
- ・ スイッチングシステム(RHiNET-2,3/SW)

1 ポートあたり、11 本、800Mbps/本の転送能力を持ち、最大接続距離 100 m の伝送が可能である。この核となるスイッチとして、CMOS で 8 × 8 ポート、ポート当たり 8 Gbps、全体で 64 Gbps のスループットを有するスイッチ素子を開発した。更に、光 - 電子デバイス変換素子、制御用 ASIC 素子などを開発した。

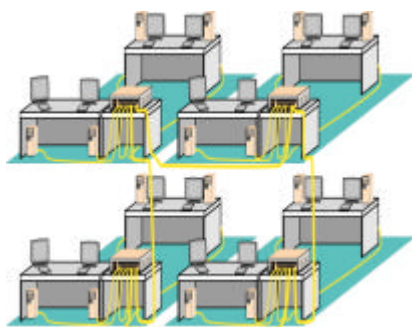
また、非同期転送による RHiNET-3/SW を開発した。ポート当たり 10Gbps の転送速度を有し、光リンクモジュールには VCSEL(850nm)を用いている。

- ・ ネットワークインタフェースカード (RHiNET-2/NI)

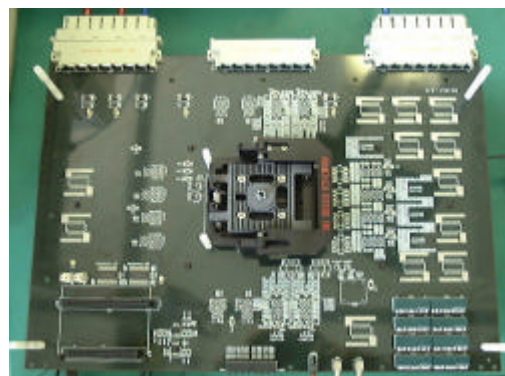
PCIバスに対応したネットワークインタフェースカード(NIC)を開発した。10Gbpsの光リンクを有し、日立研と NEC 研の両方のスイッチングシステムに対応できる。



PCIネットワークインタフェース



LASN 概念図



RHiNET スイッチ

2) グローバルオペレーティングシステム SCore Cluster Software System に関しては、高速ネットワークに接続しているホモジニアス或いはヘテロジニアスなPC、WS（コンピュータクラスタ）を一つの超高速並列コンピュータとして利用可能にできる基本ソフトウェア SCore Cluster System Software を開発した。SCore Cluster System Software は、

- ・高速通信ライブラリ PMII、WindowsNT 系への適用も可能な JavaPM
- ・グローバルオペレーティングシステム SCore-D,
- ・MPI 通信ライブラリ MPICH-SCore,
- ・分散共有メモリシステム SCASH,
- ・並列プログラミング言語 MPC++コンパイラ

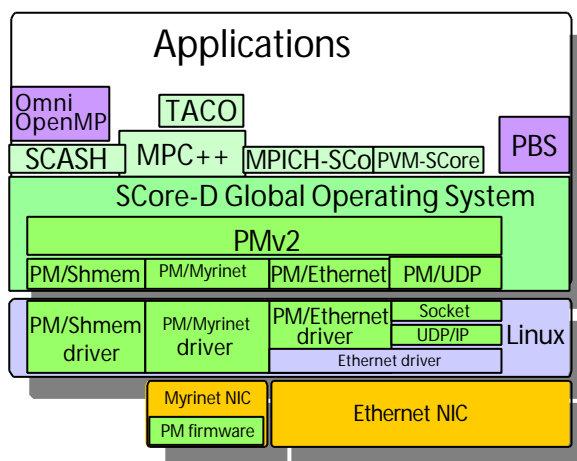
などから構成され、Linux や NetBSD などの UNIX 系 OS 上で動作し、各種のネットワーク (Myrinet、100Base-T、GigaEther、RHINET II 等) 及び各種 CPU (Alpha、Pentium 等) に対応し、単一の計算機イメージでネットワーク上の多数の計算機を利用できる。

高速化と低価格化が著しいPCを多数結合したPCクラスタを構成し、超高速計算を行う事が可能であり、また、大規模データマイニング、ネットワークサーバなどの分野にも向いている。

特徴は並列処理で最も重要な通信速度が大きいことである。ボン大学で行われた比較実験で、世界最高の通信性能を有している事が実証されている。オープンソースとして WWW などを通じて、無料で配布している。RWCP 内の研究室や海外を含む多くのサイトで既に稼働している。また、1024 台のCPUから成るシステム (SCore Cluster III) も試作した。

なお、SCore Cluster System Software は既に、米国 Los Alamos 国立研究所 (64 台規模クラスタ)、ドイツ Bonn 大学応用数学科 (154 台規模クラスタ)、フランス Lyons 大学等で実用、国内では、産総研 (Magi クラスタ、1024 台) など多くの機関で採用されているとともに、三

菱電機産業システム研究所 (実時間電力システムシミュレータ。商品化に向けて開発中。)、三菱プレジジョン (実時間画像処理装置の基本ソフト) 等商品レベルでの実用化も進められている。平成12年度には、フリー化され、更に多くの利用者が使



SCore ソフトウェアアーキテクチャ

用可能となり、インターネットやCD-ROMで配布されている。

今後はPCクラスタコンソーシアムにより、プロジェクト終了後も研究開発を続けていく予定である。



SCore Cluster III



SCore Cluster II



産総研 Magi クラスタ

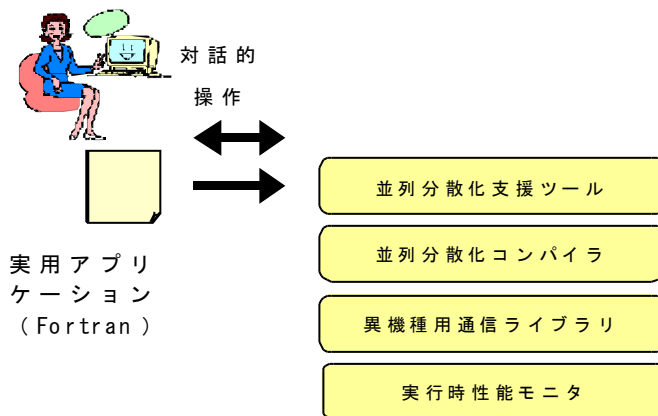
3) 並列コンパイラ Omni OpenMP

使い易い並列プログラミング言語として、OpenMP を採用し、コンパイラソフト Omni OpenMP を開発した。OpenMP はSMPをターゲットとしているが、ソフトウェア分散共有メモリ、明示的リモートコピーなどの手法を用いて、複数のSMPをネットワーク結合したSMPクラスタへの拡張を行った。広域分散コンピューティングや WindowsNT でのクラスタ技術、オブジェクト指向ライブラリ開発も行った。

(2) 異機種並列分散コンピューティング

ベクトル型・スカラー型計算機の結合システムスーパーコンピューティング分野で代表的なアーキテクチャであるベクトル型スーパーコンピュータとスカラー型スーパーコンピュータをネットワーク結合した異機種並列分散システム上で、

互いの特長を生かした処理を協調して行わせることによって、容易に高性能を得るためのプログラミングシステムを開発している。このための支援ツールとして、拡張したHPF言語から並列分散化コードを生成する拡



異機種並列分散システムでの開発・利用環境

張 HPF コンパイラ、逐次プログラムの自動並列分散化、異機種 MPI ライブラリ、プログラムの解析結果を視覚的に示す支援ソフトウェア、プロセッサへのデータの分散配置を自動的に実行するツール、性能予測ツール、プログラム実行状態表示ツール、実行時の情報を利用した動的プログラム最適化など必要となる多くのツールを開発した。これまで

に、ベクトル型スーパーコンピュータだけでは 27.1 秒、スカラー型スーパーコンピュータだけでは 62.2 秒かかっていたプログラムが 20.2 秒で終了するという成果を得ている。

(3) 高速通信処理技術

Comet

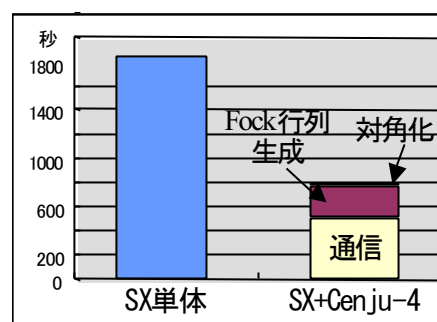
インターネット上に分散

した計算機を結合して、あたかも一つの計算機のように利用できる PC クラスタシステムを構築することを目標とすると、このシステムには LAN-WAN をシームレスに結ぶ高速インターネット通信、および高速セキュリティ通信の実現が必要である。

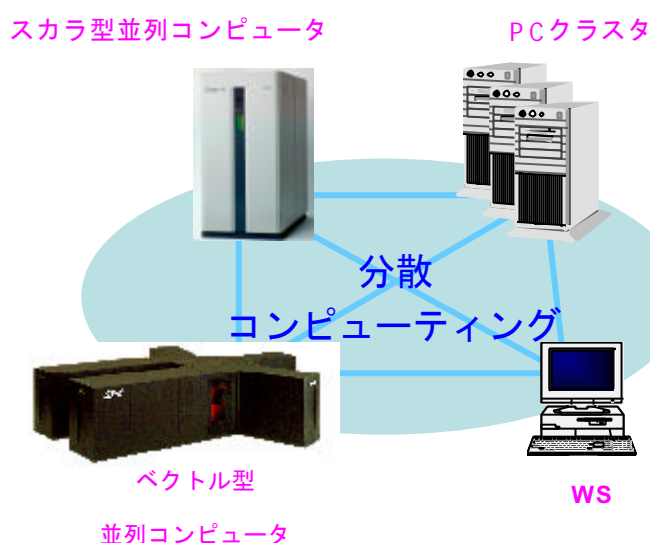
実現のためのコアテクノロジーとして、4Gbps 以上のインターネットプロトコル (IP) 処理、500Mbps 以上のセキュリティ通信処理が実現可能なネットワークプロセッサ Comet NP を試作した。

また、このシステムのアプリケーションとして高品質な双方向動画通信システムを開発し、ドイツ・米国・日本を結ぶコンサートに利用して、良好な結果を得た。

本研究の技術を適用することにより、実時間デジタル画像通信を実現するためのインタフェースボード Comet DVIP を開発し、サンプル出荷を行った。



分子軌道計算プログラム実行結果

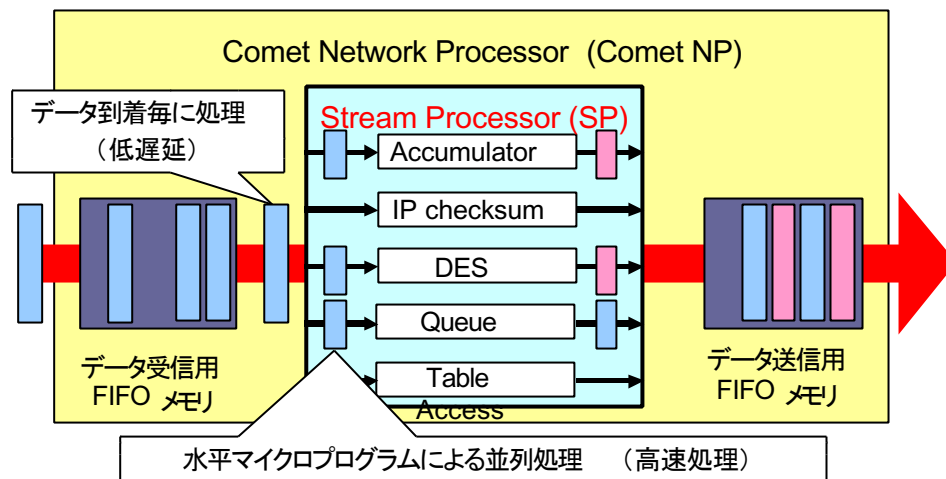


ベクトル型

並列コンピュータ

WS

新しい処理方式で高速かつ柔軟な処理を実現



【光インターコネクション】

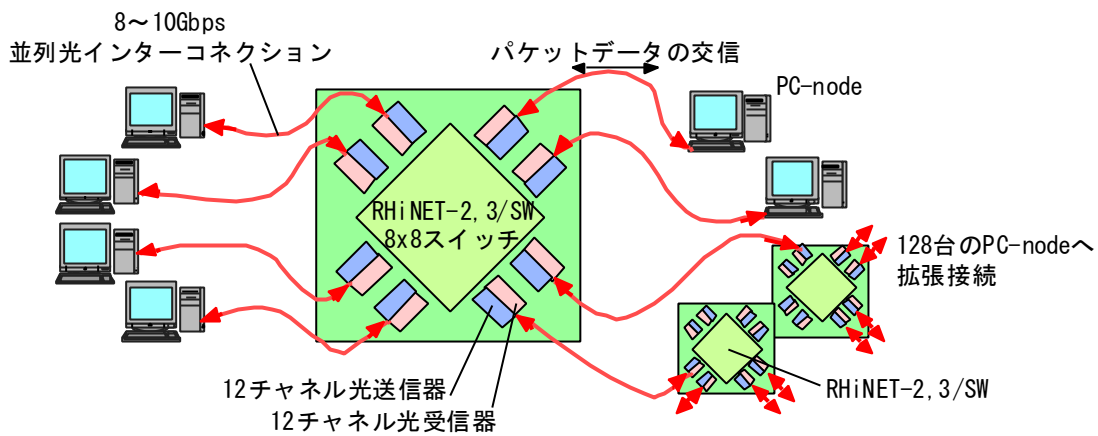
本領域における主な成果を表 1.5.5.2 に示す。

表 1.5.5.2 シームレス並列分散コンピューティング領域（光インターコネクション）における主な成果

研究室名	研究成果名	概要（成果の内容）
光インターコネクション 日立	PC ネットワーク用高速スイッチ	PC ネットワーク用小型・世界最速 64～80Gbps(8～10Gbps×8ポート)の光ネットワークスイッチ（RHiNET-2, 3/SW）を実現。
	GaInNAs 長波長半導体レーザー	世界に先駆けて提案・開発した GaInNAs による高速変調 1.3μm 帯半導体レーザー
光インターコネクション 富士通	InGaAs 基板長波長半導体レーザー	優れた温度特性の 1.3μm 帯端面発光レーザーと 1.3μm 帯面発光レーザーの要素技術
光インターコネクション NEC	GaAsSb 長波長面発光レーザー	量産性に富む方法による世界トップ性能の波長 1.3μm で発振する面発光レーザー
	オプティカル IP (OIP)	世界で初めてのシステム LSI 用 IP として使える高速光 I/O(OIP)
光インターコネクション 沖	チップ間光インターコネクション	ボード上のチップ間を光で結ぶ技術
光インターコネクション 住電	ファイバ回折格子レーザーモジュール	波長安定性を約 1 桁改善したファイバ回折格子による波長多重用半導体レーザー
光インターコネクション フジクラ	極低スキューファイバリボン	スキューが非常に小さく、また外力に対するスキュー変動がほとんどないファイバリボン
光インターコネクション 古河	パッシブアライメント面発光レーザーアレイモジュール	0.98μm 帯面発光レーザー（VCSEL）アレイとテープファイバを無調芯で直接光結合するモジュール
光インターコネクション 日板	マイクロホールアレイ	0.25mm 間隔平板マイクロホールアレイを使用した二次元光インターコネクション

（４）PC ネットワーク用高速スイッチ（RHiNET 用光スイッチシステム）

8×8のCMOSクロスバースイッチで総通信容量64～80Gbps、ポートあたり8～10Gbpsの転送能力をするRHiNET-2/SW, RHiNET-3/SWを開発した。最大通信距離は各々、100mと1kmを実現する。前述のRHiNETシステムに組み込み、シームレス並列コンピューティングを実現した。

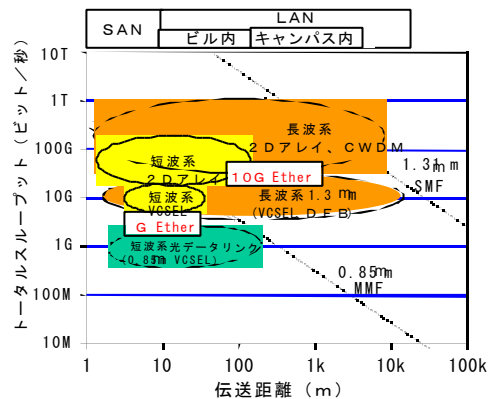
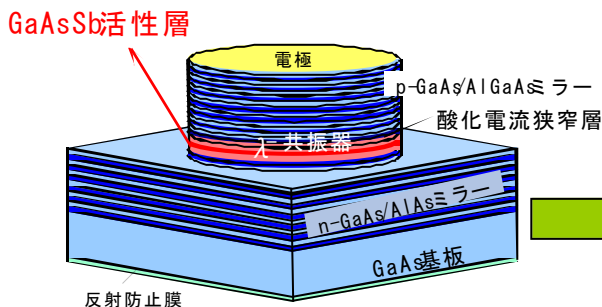


(5) 高密度ファイバ多重を実現する面発光デバイス

次の3つの異なる方法で研究開発を進め、チップの試作を行った。

- ①GaAs 基盤上に活性層材料として GaInNAs を用いたデバイスの開発。
- ②GaAs 基盤上に活性層材料として Sb 系材料を用いたデバイスの開発。
- ③基盤として GaAs 結晶基盤ではなく、InGaAs 3元基盤を使うデバイスの開発。

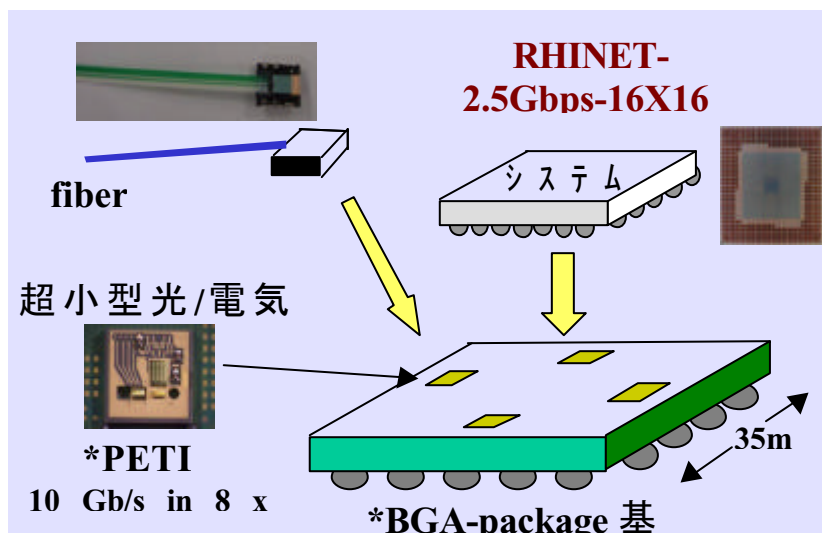
このうち、②においては、世界トップ性能の長波長1.3μmで発振する面発光レーザを量産性に富む方法で開発した。低コスト性を実現するために、GaAs 基盤上の1回積層でデバイス層構造を形成できる技術を開発した。これにより、1/10の低コスト化が可能となった。



素子②の長波面発光試作チップと特性

(6) オプティカルIP (OIP)

システムLSIを光で接続するOIP (Optical-Interconnection Intellectual Property) を提唱し、実証システムを試作した。OIPは光/電気混載LSIパッケージとその「ライブラリファイル群」で形成される。2.5Gbpsの16入力、16出力(40Gbpsのスループット)を持つLSIを試作し、総容量80GbpsのRHINET用スイッチを開発した。



(7) パッシブアライメント面発光レーザーレイモジュール (無調芯型面発光LDモジュール)

1チャンネルあたり3.125Gbps動作が可能で、低しきい値動作するp基板を用いた面発光レーザーレーを実現し、これと10芯テープファイバと無調芯で直接結合するモジュールを開発した。この技術により、ファイバと面発光レーザーレーを低コストで直接結合することができる。

(8) ファイバ解析格子レーザーモジュール (波長多重送信モジュール)

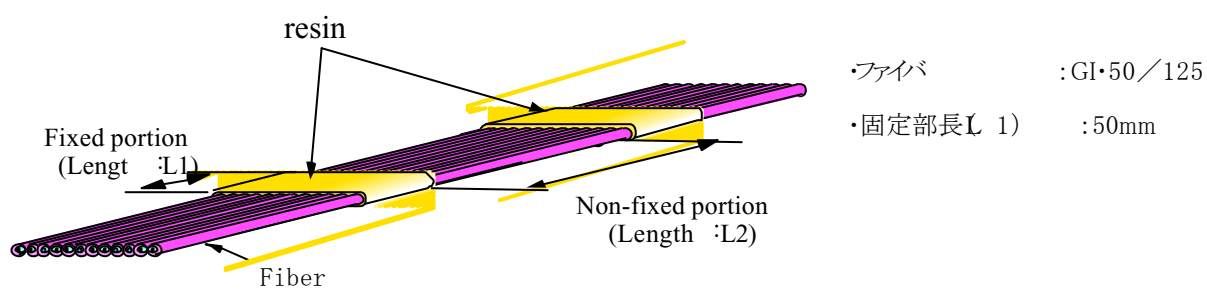
従来の半導体レーザに比べ、波長安定性を約一桁改善したファイバ回折格子レーザーモジュールを開発した。従来よりも高密度の波長多重(WDM)伝送が実現できる。温度調節不要型FGLモジュールにより、低コスト、低消費電力、小型化も実現可能である。トータル伝送データスループット10Gbps(2.5Gbps×4波、波長精度 $\leq 0.2\text{nm}$)の高密度波長多重光送信デバイスを開発した。

(9) 極低スキューファイバリボン

「すだれ型ファイバリボン」と称する極低スキューファイバリボンを開発した。すだれ型ファイバリボンは、通常のファイバリボンと異なり、ファイバの一部分のみが間欠的にリボン化されている。リボン化時に生ずる歪が小さく、比較的容易に、各素線の長さや加わる歪の差を小さくすることができるため、マルチモードファイバを用いたファイバリボンでも、1m当た

り 0.43ps という低スキューを実現できた。また、すだれ型ファイバリボンは、曲げや捻りという外力が加わった場合でも、各素線が自由に動けるために素線に歪み加わらず、スキューが増加しないという特長がある。

	従来型	すだれ型
スキュー(ps/m)	0.8~2.0	0.43
外力によるスキュー劣化	有り	無し



2. 並列アプリケーション技術領域

2.1 目標

今後、並列計算機の応用が拡大される分野として、化学・生物学・大規模システムの分野をとりあげ、先端的並列応用技術を開発するとともに、並列応用における新しいシミュレーション技術を研究する。

2.2 意義

並列計算は今後あらゆる科学技術分野で使われていくものと思われる。構造解析や流体力学シミュレーションなどは、従来から使用され、計算手法も確立されつつある。本領域においては、今後の新しい応用分野をとりあげ、並列応用技術を開発する。特に、計算生物学分野は、21世紀のテーマとして注目されているところであり、今後のこの分野の進展の鍵を握っていると考えられる。また、大量の情報ベースからデータ検索を行うデータマイニングも今後の並列応用の有力な候補と考えられる。本研究はこれらの分野における並列応用技術を開発することにより、シームレス並列コンピューティングの利用分野を更に拡大する。

また、取り扱う系が複雑になると共に、応用プログラムの開発コストも並列応用のボトルネックとなる。既存のシミュレーションプログラムの融合技術等の新しいシミュレーション技術を開発することにより、複雑なシステムの解析を容易にできる。

2.3 アプローチ

(1) 今後、並列応用が重要になる分野として、生命科学(計算生物学)、計算化学、大規模システム(電力潮流計算、データマイニング)をとりあげ、並列応用技術の開発を行う。

(2) 異種のシミュレーションモデルを統合する技術としては、既存のシミュレーションソフトの統合技術、ミクロレベルとマクロレベルのシミュレーションの融合技術を開発する。

2.4 研究テーマ

(並列応用プログラミング)

(1) 生命科学・計算化学分野

生命科学分野での並列計算システムとして、並列タンパク質情報解析システム（PAPIA）、ペプチド配座の網羅的探索システム（ESCAPE）等を開発する。また、計算化学への応用として、並列分子動力学法プログラム（MolTrec）を開発する。（つくば研、テーマ「並列分散応用プログラミングの研究」）

（２）電力分野

電力潮流計算の並列化について研究し、並列電力系統解析計算エンジンを開発する。（MRI研、テーマ「電力分野における並列情報処理の応用」）

（３）データマイニング

ビジネスへの応用として、テラバイトオーダーの大規模DBから有用なデータを抽出する方法を研究し、並列データマイニングシステムを開発する。（東芝研、並列分散データマイニング）

（４）マルチメディア検索

大規模なマルチメディアデータの並列検索手法を研究し、並列画像検索システムを開発する。（三洋研、テーマ「マルチメディアデータベースの並列分散処理」）

（異種シミュレーション技術の融合）

（５）異種シミュレーションプログラムの統合

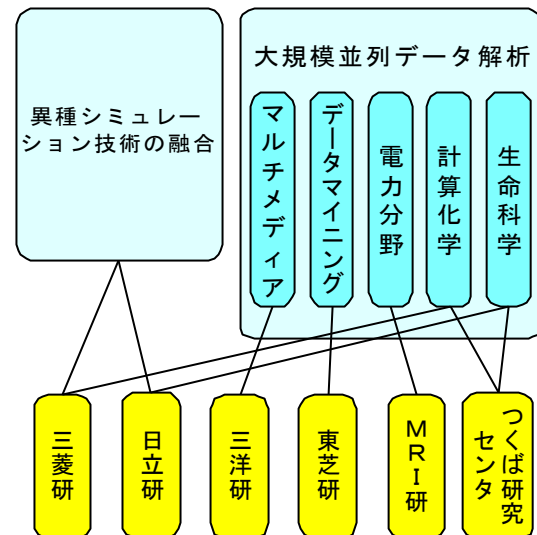
異なるシミュレーションプログラム間の情報交換インターフェースについて研究し、異種プログラムの協調により複雑なシステムのシミュレーションを可能とする方法を研究し、連成解析統合システムを開発する。（日立研、テーマ「ヘテロジニアスコンピューティング共通インターフェースソフト」）

（６）物理・統計融合型シミュレーション

物理的法則と統計的規則とを融合利用することにより、シミュレーションを実用的時間で行う方法を研究し、タンパク質構造予測システム及び気象傾向解析システムを開発する。（三菱研、

大規模並列データ解析・シミュレーションの実現を目指して

並列アプリケーション技術領域



テーマ「物理・統計融合型シミュレーション」)

2.5 主な成果

本領域における主な成果を表2.5.1に示す。

表2.5.1 並列アプリケーション技術領域における主な成果

研究室名	研究成果名	概要(成果の内容)
並列応用 日立	連成シミュレーション開発支援ツール	マクロとマイクロレベルのシミュレーションを連結、マルチスケールな解析を行うソフトウェア
並列応用 三菱	タンパク質立体構造予測	並列処理の特性を活用し物理法則と既知構造情報を併用したタンパク質立体構造予測技術
並列応用 MRI	並列電力潮流解析システム	汎用並列計算機による大規模電力系統のオンライン解析・制御技術
並列応用 東芝	並列分散データマイニングシステム	PCクラス上で大規模データから隠された知識を発見するシステム
並列応用 三洋	商標検出システム	動画像から商標や標識等の形状パターンを高速に抽出するシステム
並列応用 つくば	PAPIA: Parallel Protein Information Analysis system	並列処理によるタンパク質情報解析システム

(1) PAPIA: Parallel Protein Information Analysis system

生命科学への応用として、前述の Score Cluster System Software を64台のPC上に実装したシステム上に並列タンパク質解析システム(PAPIA)を構築した。このシステムは、立体構造や配列の類似したタンパク質を検索したり、類似配列のマルチプルアライメントやタンパク質二次構造予測などの計算ソフトウェアとタンパク質DBを搭載し、インターネットを通じて、この分野の研究者が自由に使用できるシステムとして世界に公開されている。国内は無論、海外からのアクセスも多く、アクセス総数は月あたり約3万件である。本システム内のマルチプルアライメントの計算は並列化により、256CPUシステムで、逐次処理の450倍の高速化を実現し、従来は一日かかっていた計算を数分で実行できるという結果を得た。



PAPIA システム



PAPIA WEB 画面

並列分子動力学シミュレーションシステム

計算化学への応用として、化学計算でニーズの高い分子動力学法をテーマとして AMBER プログラムの並列化を行い、世界で最高レベルの速度である、逐次処理の 3.8 倍の速度を達成した（従来は 2.0 倍程度）。また、カットオフ近似をしないで正確な分子動力学シミュレーションができるソフトウェア MolTrec を開発し、精度とスケーラビリティの良さを実証した。MolTrec では、2.56 CPU システムで約 20.0 倍という高い並列効率を実現できた。

（2）連成解析統合支援システム

計算手法の異なるシミュレーションを連結して高精度且つ高速なマルチスケールの解析を実現するソフトウェアを開発した。例えば、粒子モデルとメッシュモデルを用いたシミュレーションを連結する時、お互いの計算結果のデータ交換を円滑に行え、専用のライブラリを用いてプログラム結合部の開発効率を上げることができる。ユーザソフトと流通ソフトを有機的に連結することができ、バイオや半導体などのナノテクノロジー分野にも広く応用が可能である。流通ソフト (AMBER) とメッシュモデルの静電場解析ソフトを結合するタンパク質構造・機能の相関解析等に応用し、従来のプログラミング工数を 1/10 に削減できる効率性を実証した。

(3) タンパク質立体構造予測 (物理・統計融合型シミュレーション)

ミクロなシミュレーションと統計手法のようにマクロなシミュレーションを結合してシミュレーションを行う方式を提案し、タンパク質構造予測システム及び気象傾向解析システムを開発してその効果を検証した。

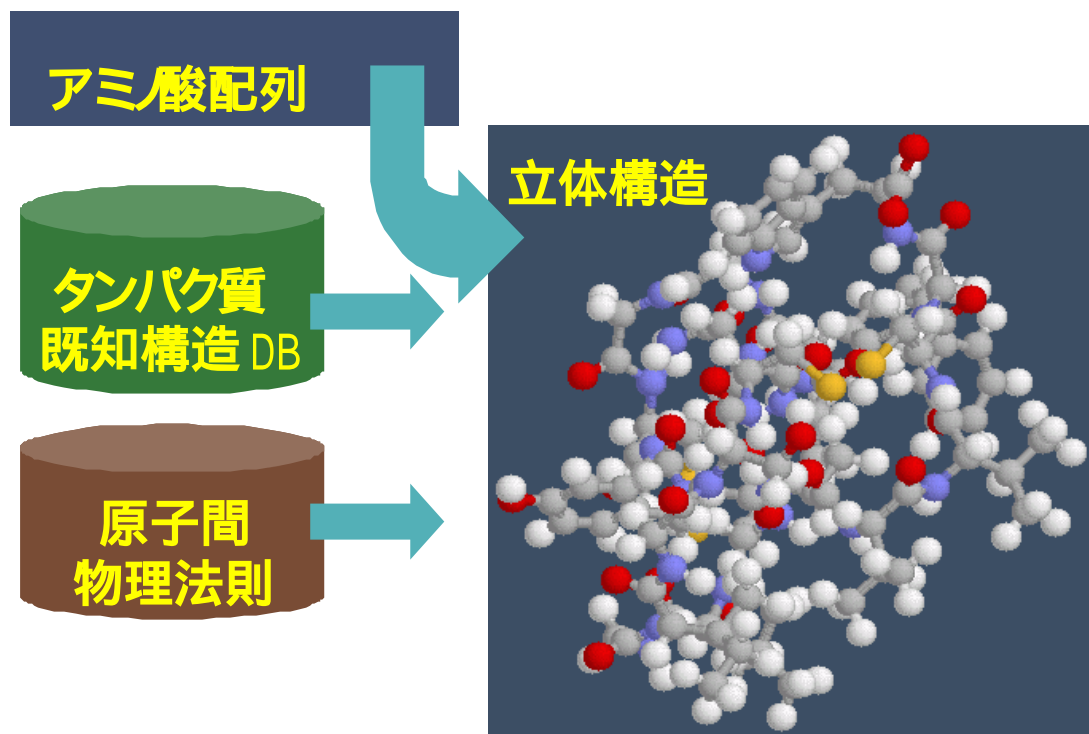


図 物理法則と既知構造情報によるタンパク質立体構造予測

(4) 並列分散データマイニングシステム

通常のPC 16台を接続したPCクラスタ上で決定木、スライスアンドダイス分析、マトリクスクラスタリングの並列化を行う手法を開発した。決定木方式では従来の3倍の並列性能の向上を達成した。これらにより、テラバイトクラスのマイニング実現の目処が立った。テラバイト規模の大規模データベースを扱える並列システムを開発し、WWWサイトでのアクセスログ分析などへの適用を進めた。

3. マルチプロセッサコンピューティング技術領域

3.1 目標

次世代高性能マルチプロセッサやシングルチップマルチプロセッサのキーテクノロジーである、コンパイラにおける並列性抽出・利用技術、スケジューリング技術などを開発する。

3.2 意義

並列計算機ハードウェアの理論最大性能は年とともに著しく増加しているが、並列演算の実効性能は、理論最大性能の50%以下であり、理論最大性能と実効性能の差は年々広がっている。キーテクノロジーとなる並列化要素技術、具体的には、並列性の抽出技術、並列性をハードウェア上に効率よくマッピングするスケジューリング技術、支援システムを開発することにより、マルチプロセッサシステムの実効性能向上が実現される。(本領域の研究開発は、平成11年度までに下記のような大きな成果を収めたところであるが、この技術はコンピュータの実効性能を飛躍的に向上させることを可能とするものであり、その重要性に鑑み、平成12年度からは独立のプロジェクトとして発展させることとなった。)

3.3 アプローチ

逐次プログラムをマイクロレベル、マクロレベルの両側面から解析し、この中から並列性抽出等の基本技術を開発する。

3.4 研究テーマ

(1) マイクロプロセッサ用並列化ソフトウェア

細粒度、粗粒度両面からのマルチグレイン並列化ソフトウェア技術を研究する。(日立研、テーマ「マイクロプロセッサ用並列化ソフトウェア」)

(2) マルチプロセッサ用並列化ソフトウェア

並列化要素技術として、分散メモリ型マルチプロセッサ並列化技術などについて研究する(富士通研、テーマ「マルチプロセッサ用並列化ソフトウェア技術に関する研究開発」)

3.5 主な成果

本領域における成果概要を表3.5.1に示す。

表3.5.1 マルチプロセッサコンピューティング領域における成果概要

研究室名	研究成果名	概要(成果の内容)
マルチプロセッサコンピューティング 日立	OpenMPを用いる自動並列化システム	逐次プログラムをOpenMPプログラムに自動変換し、様々な並列機で高速実行できるシステム
マルチプロセッサコンピューティング 富士通	多レベル並列性抽出コンパイラ技術	粗粒度と細粒度の並列性を利用するベクトル分散メモリ並列計算機用並列化コンパイル技術

(1) 自動並列化プログラムW P P

逐次プログラム(Fortran77)を解析し、自動的に並列化を行うツールを開発した。従来はループレベルで並列化を行っていたのに対し、タスクレベルでの並列性抽出も行うという特長を有する。逐次プロ

プログラムの並列性抽出を行った後これを自動的に並列処理言語 OpenMP に変換する機能を盛り込んだ WPP (Whole Program Parallelizer) を開発した。 前述の Omni OpenMP コンパイラと組み合わせることにより、逐次プログラムから並列プログラムを自動生成することが可能となった。SGI Origin2000 上で EP, turb3d について試験し、ほぼリニアな性能向上を得た。

その他、

- ・データ自動分散コンパイラプロトタイプ、
- ・階層的プロセッサクラスタ用コンパイラプロトタイプ

を開発した。

(2) 多レベル並列性抽出コンパイル技術

分散メモリ用並列計算機用の共通インターフェースである拡張 OpenMP コンパイラを開発し、更に分散メモリ並列計算機に実装した。

その他、主として VLIW アーキテクチャを対象として、

- ・ソフトウェアパイパス用コンパイラ (C 言語用)
- ・条件付き命令実行用コンパイラ (C 言語用)
- ・分散メモリ並列計算機用自動並列化コンパイラ (Fortran 言語用)
- ・SCMシミュレータ

を開発した。

研究業績

以下に平成9年4月～平成14年1月の

- 1．研究室別論文（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

を示す。

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ワークシステム/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Jio-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ェア/H10- 13コンピュータクラス上の基本ソフトウェア	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	大容量データベース用光インターコネクション	日立	58	62	21	0	7
1-9	光インター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

0 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。