

解説



重点領域研究：超並列原理に基づく情報処理基本体系

1. 超並列原理に基づく情報処理基本体系の概要†

田中英彦†

1. はじめに

文部省の科学研究費の一つに、重点領域研究がある。これは、ある特定領域の研究を格段に進めたり立ちあげたりすることを目的としているものである。この研究の一つとして、我が国の大学研究者40数人が集い、「超並列原理に基づく情報処理基本体系」というタイトルの研究を行っている。超並列処理は、今後の科学技術を支える重要な基幹技術であり、その基本技術の確立を目指して、応用から言語、OS、ハードウェアアーキテクチャに至る総合的なプロトタイプを作ることを具体的な目標に、研究を行っている。

本稿では、そのようなプロジェクトの概要を紹介し、期待される成果と今後の展開についても述べる。

2. 超並列処理研究の目的

コンピュータに代表される情報処理技術は現在、科学技術研究開発の不可欠な道具となってきた。すなわち、計算機の高速処理能力と大規模記憶能力を生かして、実験を代替したり、設計を能率良く行う重要なツールになっているが、今後ますますその重要性は高まり、新化学物質の設計、構造体の応力解析・破壊解析、地球環境シミュレーション、核融合計算、地震・資源解析、遺伝子解析、大規模経済分析、複雑系シミュレータ等、いわゆるハイテクのほとんどは高性能なコンピュータに依存することが考えられ、21世紀を担う高度技術を研究開発するためには、いかに高速で大容量のスーパーコンピュータを開発するかにかかっているといても過言ではない。そのよ

うな今後の大規模処理能力を支えるシステム技術は、並列処理である。

特に最近ではRISC等の発達により、単一のプロセッサの性能が著しく改善されてきた。したがって、これらを要素に並列機を作れば、従来のパイプライン方式に基づくスーパーコンピュータの性能を十分凌駕するものを安価に作ることができ、プロセッサの数が数百から数万にもものぼる、超並列といってよい領域まで考えられる状況である。さらに、従来の汎用機を、多くのプロセッサを集めた並列マシンという形で提供してゆく動きも始まっている。

しかしながら、並列処理は、科学技術計算やトランザクション処理等に限られる特殊分野の技術ではない。人間とコンピュータとの高度なインタフェースを実現したり、広くマルチメディアを実現する重要な基礎技術としても期待されているものであり、今後のあらゆる情報処理を支える基盤技術なのである。

この「将来の汎用コンピュータとしての並列処理」という考えのベースは1980年代におけるデータフロー計算機や、第五世代計算機プロジェクトにおける並列推論マシン等の研究である。これらは、汎用の並列処理を目指したシステムの研究とも見ることができる。これらの研究を通して、並列処理の基礎技術はかなり明らかになってきたが、現在の高度なプロセッサ技術、LSI技術、コンパイラ技術をベースに、これらの基礎を踏まえて新たに将来の並列処理技術体系を作りあげることが必要である。

現在、いくつかの高性能な並列コンピュータが商用化されているが、その利用は限定されており、まだまだ本来の能力を発揮しているとはいいがたく、並列処理は初期段階にあるのが現状である。すなわち、並列処理の利用を広く進めるた

† Outline of the Massively Parallel Processing Project by Hidehiko TANAKA (Department of Electrical Engineering, University of Tokyo).

†† 東京大学工学部電気工学科

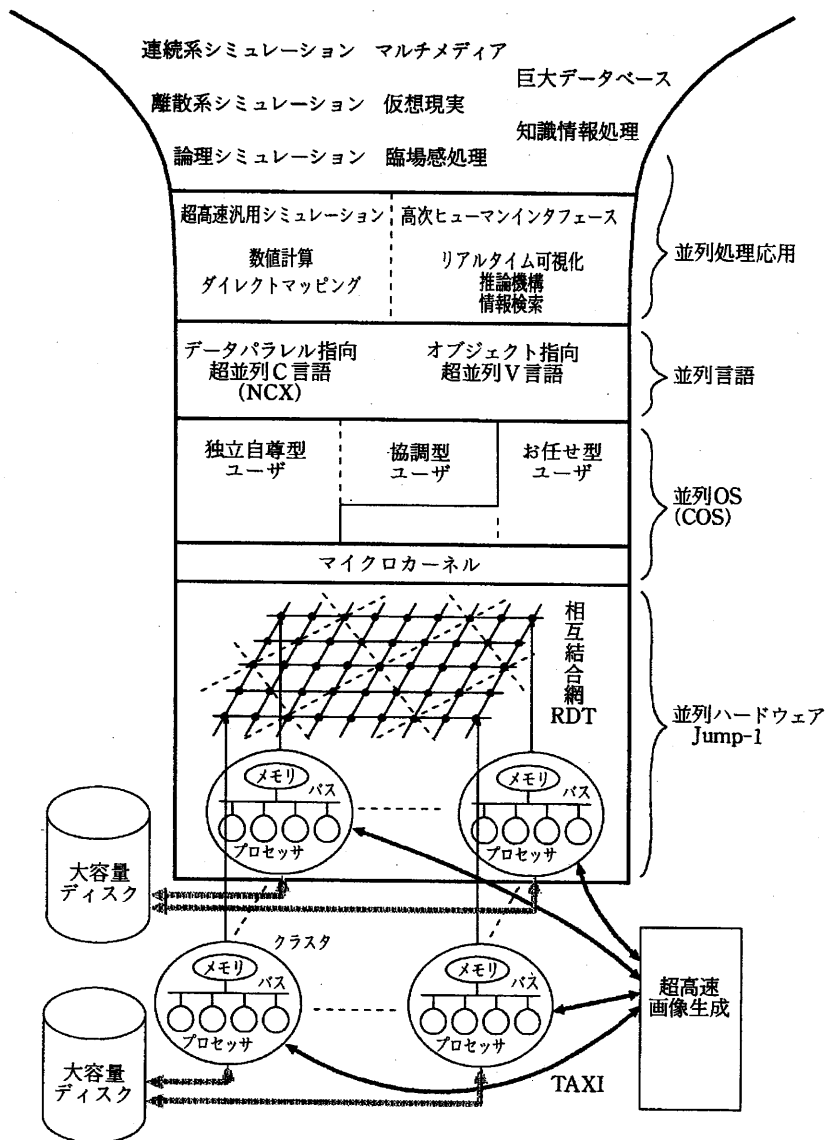


図-1 重点領域研究のイメージ

めには様々な技術の確立と積み重ねが必要で、その基幹技術をきちんと作りあげまとめあげて将来の方向を示すことが現在求められていることであろう。

我々の重点領域研究「超並列原理に基づく情報処理基本体系」(簡略して、超並列処理という)は、そのような基本技術体系の確立を目指して設立されたものである。

### 3. 研究体制

研究は、図-1のような領域について、その技術を応用、言語、OS、ハードウェアと4つに分け、それぞれを担当する班を構成した。

また、重点領域研究全体としての計画遂行と、これら班間の調整を行うことを目的として総括班

を設けた。したがって、総括班のメンバは、各班の班長と代表者若干名、および各班に属さない少数のアドバイザー等からなる。結果としては、次のような構成になった。

総括班	18名
A班：超並列処理モデルの研究	7名
B班：超並列記述系・処理系の研究	10名
C班：超並列処理体系・制御系の研究	8名
D班：超並列ハードウェア・アーキテクチャの研究	11名

これら各班の班長は以下のとおりである。

総括班	田中 英彦 (東京大学)
A班	村岡 洋一 (早稲田大学)
B班	雨宮 真人 (九州大学)

C班 齊藤 信男 (慶応大学)  
D班 富田 眞治 (京都大学)

重点領域研究の計画は、1990年ころから立て始め、1991年6月にその設立が認められ、1992年4月から正式に予算がついた。研究期間は、3年で、1995年3月に予算的には終了することになっている。また、班のメンバは当初の2年間は、研究計画内で定めていたメンバの他に公募が行われたが、最終年度の1994年度は、1993年度のメンバ(計画班と公募班のすべて)をそのままに、すべてを計画班として運用している。その人数が上の表にあげた人数である。

また、本重点領域研究では、各研究者による自由な研究の緩やかな集合体といった形態をとらず、将来の超並列処理システムのプロトタイプを作るという一つの目標を掲げ、それに向かって全員が協力するという形態をとることにした。これは、超並列処理では、バラバラな研究をするよりも、現段階では、具体的なシステムを実際に作りあげて、動かして見せることが重要であると判断したからである。したがって、すべての班の研究は、互いに密接な関連を持ち、A班の作成する様々な応用は、B班の作る言語で記述され、C班の作るOS下で制御され、D班の作成する実際のハードウェアの上で稼働することになる。結果として、超並列応用から実際のハードウェアまで一貫したシステムとなることを目指した。

したがって、この重点領域の各班の研究は、相互に強い関連を持つことになり、班間の密な協力が必要になった。その班間の技術的な擦合せやスケジュール調整を行う役目を担ったのが総括班である。この結果として、班間相互に調整を必要とする各技術的項目ごとにタスクフォースが機動的に作られた。これには、入出力システム、ファイルシステム、言語インタフェース、等がある。また、各班内に閉じる研究項目ごとにワーキンググループを設けて密な少人数の研究グループを数多く形成して自由に活動した。さらに、半年ごとに全体会合のシンポジウムを開催し議論の場としたが、この計画や出版、発表計画等を立てて実行するのも総括班の役目となった。

#### 4. 研究内容の概要

##### 4.1 超並列応用

A班の研究目的は、超並列応用を記述するモデル化の技法を作ることで、実際に様々な応用を作成すること、超並列システム評価のための標準ベンチマークを作ること、計算結果の見やすい可視化技術を開発すること等が含まれる。現在行われている研究は以下のようなものである。

1. 並列有限要素法
2. 自己組織化エージェントによる超並列協調処理
3. 分散計算環境での二分決定グラフの並列処理
4. 超並列計算システムのモデル化
5. 超並列コンピュータグラフィクス
6. 超並列処理モデル
7. 不規則場モデルによる超並列処理

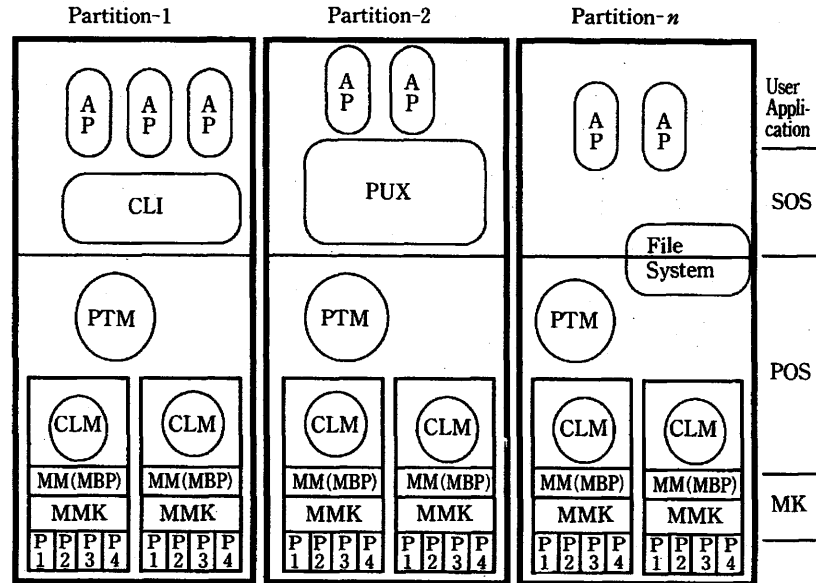
##### 4.2 超並列記述系・処理系

B班の研究目的は、超並列処理に適したプログラム記述言語の研究開発であり、具体的には二つに分かれている。一つは、超並列性を生かしやすいデータ並列処理に向けた実用的な言語を開発することで、これには言語NCXを開発している。この言語は、言語Cのシンタックスをベースに、データ並列処理を容易に書けるようにしたもので、並列計算機AP1000上の処理系開発が完了し、引続き超並列プロトタイプマシンJump-1用の処理系も開発が行われている。NCXでは、データが一つずつ対応付けられる仮想プロセッサのセットが定義可能で、それらの間の結合トポロジーも、メッシュ、二分木、ハイパキューブ等が元から用意されている。

また、二つ目は、より将来指向の言語研究で、より自由な並列処理モデルであるMIMD処理を容易に記述できるものとして、データフローに基づくV言語や、並列オブジェクト指向言語ABCLが検討されている。これらは、いずれもAP1000やJump-1上に載せてデモを行うことが計画されている。

##### 4.3 超並列処理体系・制御系

C班の研究目的は、超並列処理に向けたオペレーティングシステムを研究開発することである。そのために、OS Machをベースに、ハードウェア



P1: Processing Element 1, MMK: Meta Micro Kernel, MK: Micro Kernel  
 MM(MBP): MBP Based Memory Management, CLM: Cluster Manager,  
 PTM: Partition Manager, PUX: Parallel Unix, CLI: Common Language Interface,  
 POS: Partition OS, SOS: Service OS

図-2 COSの構成

アマシン Jump-1のプロセス間通信支援機構を考慮して、より単純であるとともに、効率の良いOSとなることを目指した研究が行われている。このOSの特徴の一つは、分散共有メモリ上の単一アドレス空間をケーパビリティとして用いることにより、メモリアクセス、通信、同期等に対して、統一された効率良い保護機構を提供していることである。

このOSを我々は、COS ('C班のOS') と称しているが、これは、マイクロカーネルの形をとり、様々な利用者からの要求を採り入れることができる形態となっており、図-2のような構成となっている。プロセッサクラスタの制御プログラムCLM、物理的なシステム割当ての単位であるPTM、UNIX様のインタフェースを利用者に与えるPUX、言語インタフェースのCLI等からなる。実装は、マルチプロセッサ型のワークステーションSS 20/514を用いて行われ、それがJump-1上に載せられる予定である。

#### 4.4 超並列ハードウェア

D班の研究目的は、超並列処理に向けたハードウェアプロトタイプ Jump-1を設計し、作りあげることである。そのためには、超並列処理に向けたプロセッサ自体のアーキテクチャから研究することが理想であるが、時間的にも予算的にもそれ

は無理であるので、既存のプロセッサ (Super-SPARC+) を用いるが、それ以外のところではできるだけ超並列処理に向けた構成を検討することとした。結果として、次のような特徴を備えたマシン Jump-1の試作が行われることになった。

1. 大規模で効率の良いキャッシュシステムによる分散共有メモリおよび、1語単位レベルの同期操作の実現
2. Memory Based Processorの設置による効率良い細粒度処理と、プロセス間通信、同期処理の支援
3. 通信距離が短く超並列実装が容易な通信ネットワーク RDTの利用
4. 主記憶を入出力サブシステム内メモリにまで拡張した柔軟な入出力サブシステムと高速シリアルリンクによるその実現

現在、これに必要なLSIとシステムの実装が行われている。

#### 5. おわりに

超並列処理の研究は、米国や日本で大変活発になってきた。ここでは、その一つである文部省の重点領域研究「超並列処理」の概要を紹介した。1994年11月現在、システムプロトタイプの試作を目指して熱心に研究が続けられている。今後、

本予算の終了時期1995年3月には、プロトタイプの諸要素技術を公開しデモを行う予定である(執筆時は予定であったがこの原稿の校正時1995年5月には、シンポジウムは完了している。多くのデモと発表が行われ、シンポジウムは大変盛況であった。)。その後、1995年度には、システムの全稼働と評価を目標に研究活動を行う予定で、1996年3月にはその全成果をシンポジウムによって公開する予定である。さらに、この成果は、現在並行して進められているプロジェクト Online Universityにも使われる予定で、高速のATM通信網の中に接続し、分散網での利用実験を行う予定になっている。これらの研究は、今後の高度な科学技術開発の重要な道具を作る研究でもあり、その成果の他に對する影響は大変大きい。今後、ハードウェアとして様々なものが出現することが予想されるが、それらを用いて様々な応用で使いこなし、応用パッケージや利用ノウハウとして蓄積し、その経験を通して、高性能であるとともに非常に使いやすい、真の情報環境が作りあげられることを期待したい。並列処理はまさにその基礎技術なのである。

**謝辞** この研究は、文部省科学研究費重点領

域研究(1)番号04235101により行われている。この研究のために一丸となって熱心に研究を進めていただいている研究グループのメンバ諸氏に感謝する。また、研究にあたり、様々なご支援をいただいた富士通、日本サンマイクロシステムズ、東芝、日立、日本電気の各メーカーの方々に感謝する。

(平成6年11月29日受付)



田中 英彦 (正会員)

1943年生。1965年東京大学工学部電子工学科卒業。1970年同大学院博士課程修了。工学博士。同年東京大学工学部講師。1971年助教授。1978~79年ニューヨーク市立大学客員教授。1987年教授。現在に至る。計算機アーキテクチャ、並列処理、計算モデル、帰納推論、自然言語処理、分散処理、CAD等に興味を持っている。著書「非ノイマンコンピュータ」、「情報通信システム」、共著「計算機アーキテクチャ」、「VLSI コンピュータ I, II」、「ソフトウェア指向アーキテクチャ」、New Generation Computing 編集長、電子情報通信学会、人工知能学会、ソフトウェア科学会、IEEE、ACM 各会員。