

第五世代コンピュータ・プロジェクトの評価及び

今後の課題と展開のあり方

中間報告

平成4年6月18日(木)

電子計算機基礎技術開発推進委員会

目 次

I. 委員名簿	1
II. 検討経緯	3
III. 社会的・政策的評価	5
IV. 学術的・技術的評価	25
V. 今後の課題と展開のあり方	43
VI. 結論	48

I . 委員名簿

電子計算機基礎技術開発推進委員会

<委員長>

田 中 英 彦 東京大学工学部教授

<委員>

浅 田 篤 シャープ(株)代表取締役副社長
内 田 禎 夫 情報処理振興事業協会専務理事
遠 藤 裕 男 三菱電機(株)代表取締役副社長
大 槻 幹 雄 富士通(株)取締役副社長
柏 木 寛 工業技術院電子技術総合研究所長
金 久 実 京都大学化学研究所教授
唐 津 一 東海大学開発技術研究所教授
佐 藤 雄二郎 (社)情報サービス産業協会常任理事政策委員会委員長
鈴 木 健 (社)日本電子工業振興協会専務理事
高 柳 誠 一 (株)東芝専務取締役
武 部 俊 一 朝日新聞社論説委員
田 中 靖 政 学習院大学法学部教授
照 山 正 夫 (財)日本情報処理開発協会専務理事
戸 倉 修 (社)情報サービス産業協会専務理事
戸 田 巖 日本電信電話(株)常務取締役
鳥 井 弘 之 日本経済新聞社論説委員
長 尾 真 京都大学工学部教授
中 村 桂 子 早稲田大学人間科学部教授
平 澤 冷 東京大学教養学部教授
廣 重 博 一 (財)新世代コンピュータ技術開発機構専務理事
瀧 一 博 (財)新世代コンピュータ技術開発機構常務理事研究所長
増 田 義 雄 沖電気工業(株)副社長
三 浦 武 雄 (株)日立製作所代表取締役副社長
水 野 博 之 松下電器産業(株)副社長
水 野 幸 男 日本電気(株)副社長
米 田 信 夫 東京電機大学理工学部教授

学術的・技術的評価ワーキンググループ

<主 査>

田 中 穂 積 東京工業大学教授

<委 員>

天 野 英 晴 慶応義塾大学講師

後 藤 厚 宏 日本電信電話（株）ソフトウェア研究所主任研究員

後 藤 滋 樹 日本電信電話（株）基礎研究所主幹研究員

二 木 厚 吉 電子技術総合研究所首席研究官

溝 口 文 雄 東京理科大学教授

II . 検 討 経 緯

平成3年11月18日(月)

第1回 本委員会

- 委員会の検討内容とスケジュール
- 第五世代コンピュータ・プロジェクト研究開発の軌跡と状況
- 第五世代コンピュータ・プロジェクトの評価と今後の展開についての
検討項目

平成4年2月13日(木)

第2回 本委員会

- 社会的・政策的評価
- 海外アンケートの実施について

平成4年4月7日(月)

第1回 ワーキンググループ

- 学術的・技術的評価について(ICOIヒアリング)

平成4年4月16日(木)

第2回 ワーキンググループ

- 学術的・技術的評価について(原案作成)

平成4年4月22日(水)

第3回 ワーキンググループ

- 学術的・技術的評価について(本委員会提出案作成)

平成4年4月24日(金)

第3回 本委員会

- 学術的・技術的評価(基本機能・性能に係わる部分)
- 今後の課題

平成4年5月20日(水)

第4回 ワーキンググループ

- 研究開発段階のソフトウェアの審査

平成4年6月1日(月)～5日(金)

第五世代コンピュータ国際会議1992

(FGCS'92)

平成4年6月18日(木)

第4回 本委員会

- 研究開発段階のソフトウェアの無償公開
- 海外アンケート結果について
- 評価ワークショップについて
- 中間報告について

今後のスケジュール

平成4年12月頃

第5回 本委員会

- 学術的・技術的評価(最終的なプロジェクトの成果)
- 最終報告案の審議

Ⅲ．社会的・政策的評価

1．目標設定とその意義

1.1 本プロジェクトに対する社会的要請

本プロジェクト開始当時の社会的背景として、例えば、昭和55年の産業構造審議会答申による「80年代の通商産業政策」をみると、国民的目標として、

- (1) 「経済大国」の国際貢献
- (2) 「資源小国」の制約の克服
- (3) 「活力」と「ゆとり」の両立

が唱われている。

具体的には、経済安全保障の確立と技術立国への道へ向け経済大国としての技術開発課題への取り組み等を求めており、産業の高次の知識集約化を政策提言のひとつとしていた。

これに対し、10年後の平成2年の産業構造審議会答申による「90年代の通産政策ビジョン」でも国際社会への貢献を第一の課題として挙げている。

このように計画策定段階から現在に至るまでの社会的要請をみると、国際貢献が極めて重要といえ、この観点から本プロジェクトの目標設定の再評価を行う必要がある。

1.2 本プロジェクトの目標設定

本プロジェクト以前のプロジェクトでは、欧米で既に開発されており、技術開発の進め方がわかっているものを目標に設定するケースが多かった。

これに対して、本プロジェクトは、独自の創造的な技術開発力の向上を図り、欧米依存でない自主技術を開発することによって、国際貢献を果たしつつ技術先進国として発展することを目的としたものであった。

独自の創造的な技術として、知識集約化という当時の社会的要請から情報技術を通じ広範な波及効果をもたらす「人工知能」、「知識情報処理」というテーマを選定した。本分野は欧米においても技術が確立しておらず、研究開発を進める上での明確なモデルがない未到領域に、研究の先鞭をつけた。

海外アンケートでは、目標とする技術について、約80%の人が「先駆的」と評価している。

このため、どこまで到達できるか、どこに具体的な目標を定めるか、何が生み出せ

るかなどのモデルがない状態で計画を立てざるを得なかった。そこで、10年計画としてのマクロな目標として、知識情報処理に適した新しいコンピュータ技術の体系を確立することを定めた。

そして、前期、中期、後期それぞれ、それまでの研究の達成度をみて、次の目標設定を行い、研究を進めていくこととした。当初計画では目標設定自身を重要な研究課題としており、「目標探索型」ともいふべきものであった。

また、優秀な人材の確保の面からは、計画に先駆性、社会に対する貢献、野心的目標などが含まれている必要があり、この面からも適切なテーマが選ばれたといえる。

知識情報処理研究の進むべき方向としては、次の技術的目標を挙げている。

目標の技術的な内容：

本プロジェクトでは、知識処理に適した新しいコンピュータ技術の体系を確立することを概ね10年の計画の目標とした。

膨大な計算機パワーを必要とする知識処理を実現するには、並列処理技術が必須である。本プロジェクトではこの知識処理と並列処理技術を結び付けるものとして、論理型プログラミング言語を採用することとした。

そして具体的な最終的な試作物の目標を1,000台のプロセッサからなる並列推論システムの開発に設定し、論理型プログラミング言語を仲介として、ソフトウェアとハードウェアとが一体となった1セットの技術を開発することとした。

1.3 目標の政策的意義と評価

第五世代プロジェクト開始以前は、後発の国産コンピュータメーカーが欧米先進国の技術にキャッチアップすることを目標にした研究開発を行うことが多かった。

本プロジェクトは、従来のコンピュータが採用していたノイマン型コンピュータアーキテクチャとは異なる、知識処理指向の並列推論マシンという独創的かつ革新的技術の研究開発を先導的に行うことを目標とした。

本プロジェクトが呼び水となり、AIの研究開発が活発化し、AIブームが引き起こされた。

知識処理分野は膨大な計算量が必要なため、コストパフォーマンスの高い高速化技術として並列化技術を開発するとともに人間の行う推論を容易にプログラムするための技術を開発した。

これらの技術は今後のコンピュータの高速化と高度な推論のプログラムの開発効率を大幅に向上させる基礎技術となっている。

従来のコンピュータは数値計算を主体とした、定型的な限られた分野で使われているのに対し、知識処理は、知識を扱う非定型な処理を含む広い分野を扱うことのできるものであり、コンピュータが現実的に扱える対象分野を大きく広げるものである。

これらの技術は全く新しい分野の研究であったため、基礎段階の研究から着手する必要があった。

特に国際貢献の観点からみれば、この基礎段階の研究という点は極めて重要である。すなわち、国際的に共通して利用できる競争段階以前（pre-competitive）の技術、すなわち基礎研究を行うプロジェクトとして本プロジェクトは推進されている。

当初、本プロジェクトに対し、日本の競争力強化策ではないかという海外の懸念があったのは事実であるが、時をおって海外からも、基礎分野からコンピュータ技術を発展させるプロジェクトとして評価を獲得し、このような誤解も解かれた。

これは他の海外プロジェクトが、むしろ国家の競争力強化を唱ったものであるのに対し、顕著な特徴といえる。

このように本プロジェクトは基礎研究によって国際貢献に役立つことを目標段階から明確化したプロジェクトであり、その後の通産省の研究開発プロジェクトのひな型となった。

このような目標設定を行うことにより、本プロジェクトは新しいコンピュータ技術の研究分野を創造するとともに、世界に開かれた研究プロジェクトとして認知され国際的な支持を得た基礎研究となっている。

2. 研究開発実施体制

2. 1 研究開発組織体制

(1) 組織体制の前提

プロジェクトの開始当初、日本には、知識情報処理指向のコンピュータシステムという先端分野の研究者は、民間のみならず、大学などにもわずかであった。このため、まず人材を育成することに最優先で取り組む必要があった。人材を育成し、独創的な研究開発を行うため、既存の組織や価値観から独立した環境で、若く、創造的な頭脳を集める必要があった。

また、目標探索型のプロジェクトであったため、研究テーマの選定等で研究リーダーの強力な指導性が発揮できる環境が必要であり、10年間の長期にわたって研究の一貫性を維持する必要があった。

さらに、研究上のアイデアと成果を効果的にフィードバックさせるため、ソフトウェア、ハードウェアを一体化した試作を行う必要があった。

また、我が国の持つポテンシャルを最大限に活用する観点から、大学・民間との技術交流や協力体制の密接化が必要であった。

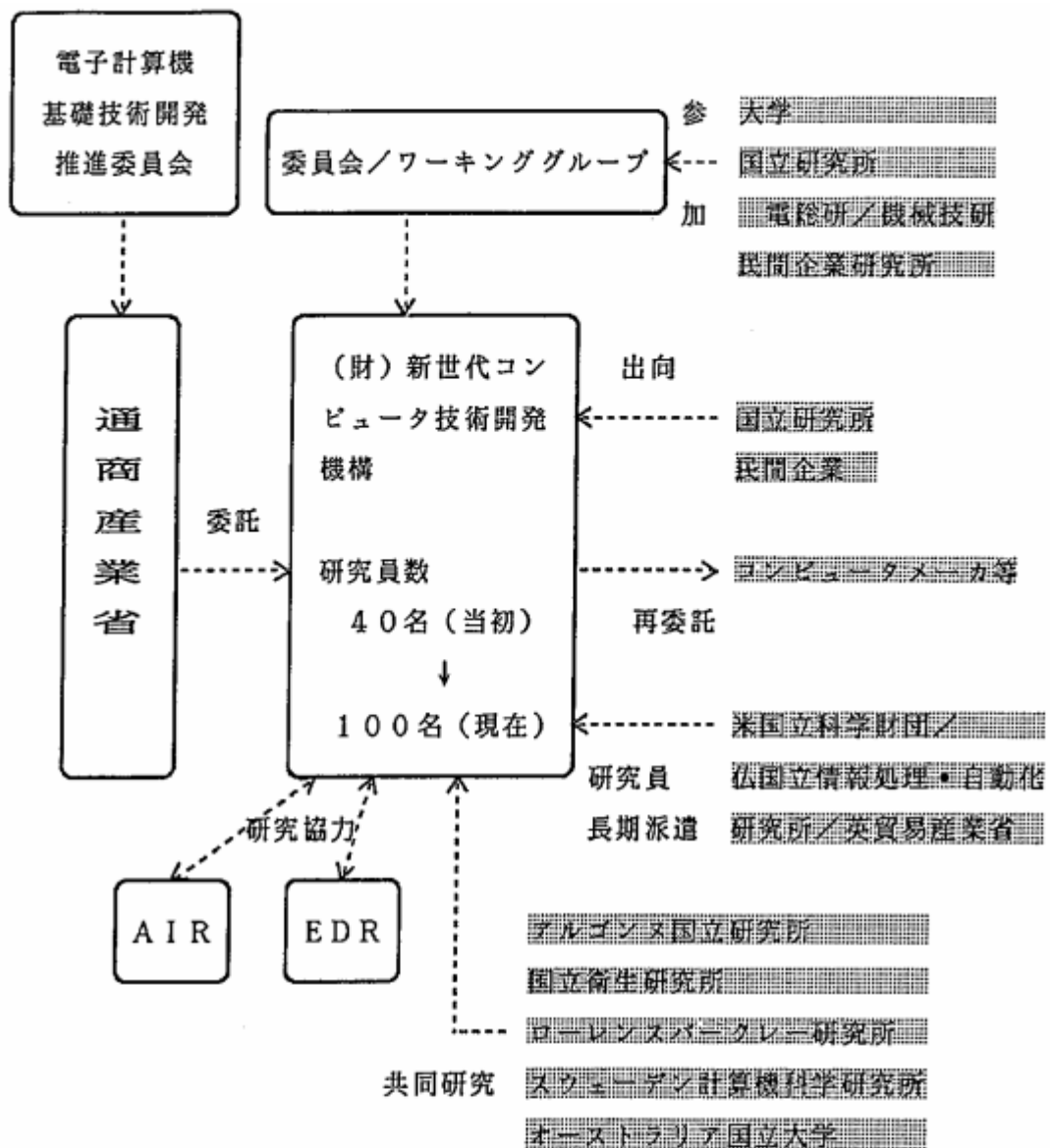
(2) 具体的な組織体制作り

図に示したように研究の中核として新たに財団法人 新世代コンピュータ技術開発機構を設立し、この中で研究を集中して行う、いわゆる集中研究所方式を採った。研究に必要な費用は国が全て負担し、研究開発の委託を行う方式を採った。また、研究員は国立研究機関、民間企業等からの出向により集めた。

新たに設立した集中研究所の中で、若い研究者が先端的分野の第一線の研究者と議論を交わし、一緒に研究を進めていくことにより、人材の育成を迅速かつ効率よく行ってきた。

集中研究所としたことによって、研究リーダーが研究の方向を統率することが容易であった。同一のソフト、ハードを使うという研究環境の中で研究を行えたため、まとまりのある技術体系が構築できた。

研究テーマが要素技術を複数開発していく場合、あるいは多様なテーマに取り組んでいく場合は、それぞれ特徴を有する研究機関で分散して研究の方が効果的である。これに対し、本プロジェクトでは、最終的には知識情報処理指向のコンピュータシステムという統合されたシステムの開発を目指しているため、分散した研究開発は人・資金の面で重複を生むとともに、統合された目標達成が難しい面がある。このため、



第五世代コンピュータ・プロジェクト組織体制

研究テーマの面からも集中研究所方式を採ったことは適切であった。

国立研究所、民間企業を中心に、35才以下の若手中心に研究者を出向の形で集め、3～4年ローテーションで入れ換えることによって、人材を育成しつつ、組織の活力を保った。また、出向者が再び民間企業等に戻っていくことにより技術の普及が効果的に行えた。一方で中核となる研究者については長期に渡って(財)新世代コンピュータ技術開発機構において継続的に研究に従事し、研究の一貫性を維持した。

独立した中立的な研究所としたことにより、海外の研究者や大学、諸機関と自由な交流ができた。

大学のプロジェクトへの参加については、ワーキンググループ活動を活発に行い、研究交流を行ってきた。ただし、大学教官の（財）新世代コンピュータ技術開発機構への出向等が容易でなかった等、今後の検討課題も残されている。

研究テーマの深化、絞り込みに応じ、組織体制を迅速かつ柔軟に変更を行ってきた。これにより研究の管理、運営が的確に行われてきた。このため、研究の進捗、テーマの変化によって組織を柔軟に変更できるよう、（財）新世代コンピュータ技術開発機構の自主性が尊重されてきた。

2.2 研究開発の実施方法

ソフトウェア研究とハードウェア研究がバラバラにならないよう、相互に密接なアイデアと人の交流、融合を行った。これは、ソフトウェア、ハードウェアを別個に研究するよりも、全体としての成果を高めることができるが、従来の日本の研究機関では体制的に不十分な点であり、（財）新世代コンピュータ技術開発機構は組織体制を含め、これを実現した。

研究開発の基本ツール（特にプログラミング言語）を統一することにより、アイデアやソフトウェアを共通に利用できるようにした。

期	開発環境・開発言語
前期	prolog言語
中期	PSI (Personal Sequential Inference Machine: 逐次推論型コンピュータ) 上の逐次論理型言語ESP
後期	マルチPSI (PSIの小規模並列版) 上の並列論理型言語K L1

ツールの統一によって、アイデアやソフトウェアが（財）新世代コンピュータ技術開発機構の中で普及することを迅速化するとともに、アイデア、研究成果の比較、評価、統合を行うためにも極めて有効であった。また、ソフトウェアの（財）新世代コンピュータ技術開発機構の中での流通性を上げ、重複投資を抑えた。

研究の中から試作を行い、評価した上でよいものを選択して、これをツールとしてさらにその上で新たな研究を行うという、繰り返しを行い、一段一段、自前のツールを積み上げながら開発を実施するという方針を採った。これによって着実に研究開発

を進展させてきた。

	ハード	OS
前期	PSI ↓	SIMPOS ↓
中期	マルチPSI ↓	PIMOS (マルチPSI版) ↓
後期	PIM	PIMOS (PIM版)

PIM (Parallel Inference Machine : 並列推論マシン)

ハードウェアの製造やプログラミングについては(財)新世代コンピュータ技術開発機構から民間企業に対して再委託を行った。メーカー、ソフトウェアハウスの要員の教育のためプログラミング言語や手法の講習会の開催、大学の研究者を含めたワーキンググループにおける研究討論を頻繁に実施した。これは(財)新世代コンピュータ技術開発機構外においての技術者の育成にも役立った。

2.3 研究テーマの選択

研究目標自身を探索する計画となっていたため、10年後の試作目標の概要と研究すべきテーマのリストがまとめられた上で、研究期間は、前期、中期、後期に明確に分けて進められた。当初計画から前期、中期、後期のそれぞれの開始時点で、研究進捗状況、研究グループの能力、それまでの研究蓄積などを考慮して、研究項目を選択し絞り込むとともに、詳細目標の設定を行うこととしており、このとおり進められた。

研究テーマの絞り込みは、各期末に担当する研究グループの能力、得られた研究蓄積、個々のテーマの進捗状況、対応する外部の関連研究の進捗などを考慮して行った。特に大きな要因となったのは、当該研究テーマを実施する能力ある研究員を確保できるか、外部でサポートするメーカー等が存在するかであった。

前期のおわりでは、機械翻訳システムの基本研究、音声・図形/画像処理の基礎研究等が(財)新世代コンピュータ技術開発機構としてのテーマから外れ、メーカーの自主研究に委ねられた。

また、中期のおわりでは、逐次版のソフトウェアとPSIの開発がメーカーの自主研究に任された。

このほか、中期の途中で、大規模の電子化辞書の開発について基盤技術研究促進セ

ンターが出資する株式会社である日本電子化辞書研究所（EDR）で、逐次型核言語のUNIX移植については、同じ形態の組織であるAI言語研究所（AIR）で進められることとなった。

2.4 まとめ

当初わずかであった本分野における研究者を育成するのに非常に有効な組織であった。民間企業の若い研究者が（財）新世代コンピュータ技術開発機構に3年間ほど出向して研究をし、再び民間企業に戻っていくことによって、本分野の研究者人口を急速に増大させることができた。

限られた予算、人員で知識情報処理指向のコンピュータシステムという全体的目標の大宗を達成した。これは極めて効率的、効果的な実施体制であったと評価される。

特にこれだけの規模のプロジェクトが効果的に運営され、多大な成果を挙げた要因をみれば、計画設定時から前述してきた要素を十分分析し、当初の段階から実施体制のための要素として提示してきており、これを実施の際にも十分踏まえた体制がとれたことである。

もちろん、これは体制面のみならず、これを支える人材面にも恵まれたこと、また、官学民からの全面的なサポートを得られたことに由来しているといえるが、このような体制をとれたからこそ、人材、サポートを得られたともいえる。

このような計画の目的にそって実施体制を十分分析し、それを実現していくという在り方は今後のプロジェクトにおいても踏襲すべきことといえる。

3. 成果の公開・普及

3. 1 成果の公開・普及の基本的な考え方

本プロジェクトにおいては、国際貢献を重要な要素と位置付けている。そのため、国際的な技術水準の向上、基礎技術の公共財としての共有、ソフトウェアの普及による品質向上等の目的から、本プロジェクトのすべての面を公開することを決めた。

このため、従来のプロジェクトではなかった、計画段階におけるプロジェクト案の公表を行っている。具体的には国際シンポジウムを開催し、計画内容を公開した。

さらに研究内容についても、民間企業等では公開できない概念設計段階、試作物の評価、ノウハウに属する部分等も積極的に公開してきた。

さらに訪問してきた外部研究者に対しても、研究中のものを含めセキュリティゾーンを設けずに研究内容を全て示してきた。

研究内容の公開は、(財)新世代コンピュータ技術開発機構における研究を広く知らしめることにより、国際的な研究活動への刺激となり、本分野の研究者の増加、技術レベルの向上等、世界的なレベルでの研究の推進に貢献した。

同時に、(財)新世代コンピュータ技術開発機構が世界的な本分野における研究の交流拠点とするためにも役立っている。

3. 2 公開・普及の実績

プロジェクトの各局面において各種情報を公開し、普及に努めた。

・プロジェクト計画段階での計画内容の国際会議での公開 (FGCS' 81)
・論文発表 国内合計：1797件 海外合計：464件 総計：2261件
・論文レベルよりさらに細部まで公表するテクニカル・レポート、 テクニカル・メモランダム テクニカル・レポート数 732件 テクニカル・メモランダム数 1147件 テクニカル・レポート/テクニカル・メモランダムの送付先数 14ヶ国 42ヶ所

<ul style="list-style-type: none"> • 研究段階のソフトウェアを研究開発ツールとして提供
<ul style="list-style-type: none"> • 海外研究者の招聘、受け入れ
<ul style="list-style-type: none"> • 機関誌 ICOT ジャーナルによる研究動向の紹介 ICOT ジャーナルの送付件数 35ヶ国 626ヶ所
<ul style="list-style-type: none"> • 国際会議 (FGCS' 84、88、92) での成果発表
<ul style="list-style-type: none"> • 毎年の成果報告会での成果発表
<ul style="list-style-type: none"> • 特許出願/ノウハウ/著作権の件数 特許出願 330 (外国 1) ノウハウ 47 著作権 20
<ul style="list-style-type: none"> • 特許出願/ノウハウ/著作権の利用状況 PSI/CHI Prolog 処理系 ソート高速化演算機構 等

また、国内の大学等への PSI 設置、海外研究機関に設置した PSI から国際回線を介して (財) 新世代コンピュータ技術開発機構の PIM/マルチ PSI にアクセスすることによる国際共同研究等を成果の公開・普及の一環として行った。

<ul style="list-style-type: none"> • PSI 国内貸与先 9 大学
<ul style="list-style-type: none"> • 国際共同研究先 米国 アルゴンヌ国立研究所 ローレンス・バークレイ研究所 国立衛生研究所 (NIH) スウェーデン スウェーデン・コンピュータサイエンス研究所 豪 オーストラリア国立大学

P S I 上でのみしか利用できなかった逐次論理型言語 E S P を U N I X マシン上に移植した A I 言語研究所の活動も、第五世代技術の普及策のひとつとなっている。

国際的に自由にアクセスが可能なネットワークなどのインフラの整備が日本では立ち遅れているなど、普及のためにも研究実施の共通基盤整備が必要となるであろう。

3. 3 研究開発段階のソフトウェアの無償公開

欧米においては、特にソフトウェアに関する研究成果の普及のため、ソフトウェアを無償で公開するいわゆるパブリックドメイン化する場合が多い。

本プロジェクトにおいても、国には帰属していない研究開発段階のソフトウェアの著作権に関し、その著作権者となる（財）新世代コンピュータ技術開発機構から無償での利用を認め、公開していく予定であり、これにより、これらのソフトウェアが国の内外の基礎から応用までの広い領域の研究開発基盤としておおいに利用されることとなろう。

海外アンケートでは、88%の人がソフトウェアの無償公開が普及のために不可欠であると答えている。

3. 4 まとめ

本プロジェクトでは、これまでも、開発された技術の公開・普及を積極的に進めてきた。引き続き、最終的に開発された技術についても公開・普及についても積極的に行っていく必要がある。

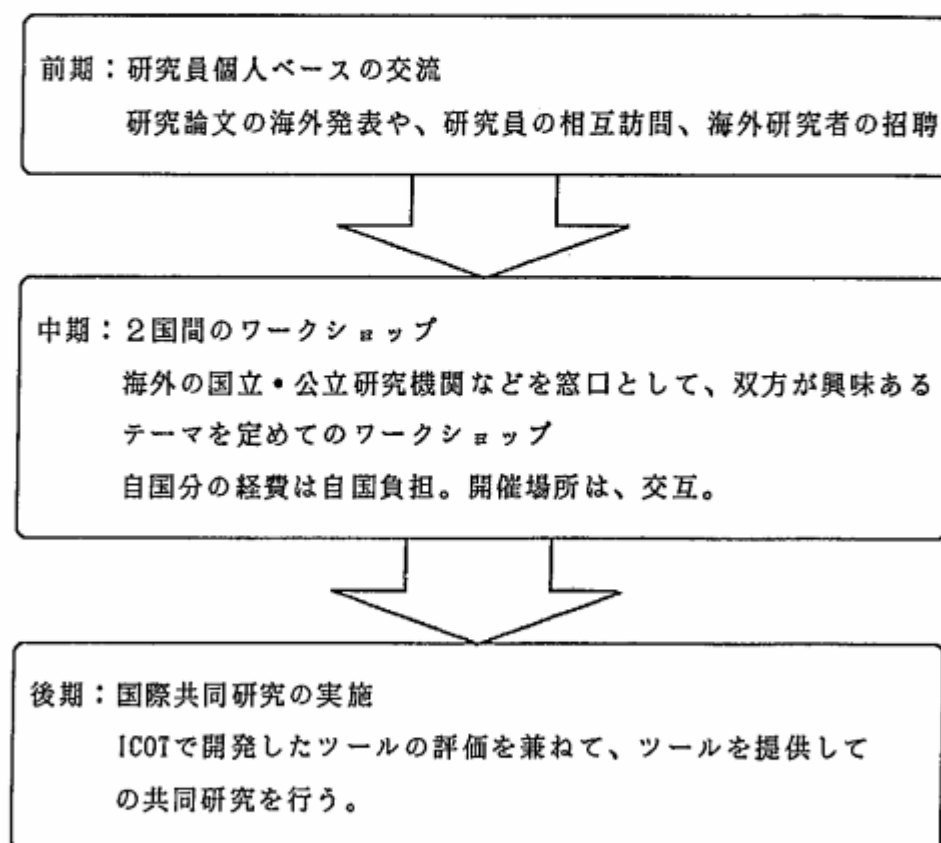
4. 国際貢献について

4.1 国際貢献に対する考え方

国際貢献は本プロジェクトの最も重要な目的である。本プロジェクトでは国際的に共通に利用可能な基礎技術を国際公共財として開発し、これを積極的に公開し、国際的な交流を行っていくということにより国際貢献を行うという基本方針をとってきた。

4.2 国際交流の方針

国際交流を担える人材が育ち、相互に利益となる形での交流ができるように研究成果が蓄積していくに従って、交流の内容を密にするという方針を立てた。



研究交流や共同研究の経費は、自国の研究者の経費は自国が負担するという方式を原則とした。これは、双方の国に対応するプロジェクトがあることを想定していたことから、『兩岸方式』と呼ばれた。

本プロジェクトの国際交流は、個々の研究者レベルの信頼関係をベースとして発展した草の根型の国際交流を基本としている。

4.3 国際交流の実施状況

研究の蓄積が進むに従って、国際的な展開を広げていった。

前期においては、研究論文の海外発表や個人レベルの研究者招聘、長期受け入れ等であった。中期にはいると、2、3国間のワークショップを開催するようになった。後期では(財)新世代コンピュータ技術開発機構で開発したツールの評価を目的として国際共同研究を実施した。

このように(財)新世代コンピュータ技術開発機構での国際交流は、実力に応じて段階的に発展していったため、実効的であり、草の根型の国際交流が進められてきた。

(財)新世代コンピュータ技術開発機構では、これまでに下記のとおり様々な形で各国との交流を行っている。

<ul style="list-style-type: none"> • 国際シンポジウム／ワークショップの開催 日米 4回 日仏 4回 日瑞(伊) 7回 日英 2回
<ul style="list-style-type: none"> • 長期派遣研究者の受け入れ 米英仏よりのべ8人を受け入れ(平成4年1月まで)
<ul style="list-style-type: none"> • 研究員の招聘 のべ74人を招聘(平成4年1月まで)
<ul style="list-style-type: none"> • 定期資料交換等による研究交流
<ul style="list-style-type: none"> • 国際会議の開催 '81、'84、'88、'92に開催。
<ul style="list-style-type: none"> • 以下の研究所にPSIを設置し、国際共同研究を実施中。 <ul style="list-style-type: none"> ①米国アルゴンヌ国立研究所(ANL) テーマ：遺伝子情報処理 ②米国国立衛生研究所(NIH) テーマ：タンパク質構造解析等 ③スウェーデン・コンピュータ・サイエンス研究所(SICS) テーマ：並列論理言語システム、CAD、制約論理プログラミング ④米国ローレンス・バークレイ研究所(LBL) テーマ：遺伝子情報処理システム ⑤オーストラリア国立大学(ANU) テーマ：定理証明

4. 4 海外研究コミュニティに対する影響

日本での国際シンポジウム開催や、プロジェクト立ち上げに触発されて、海外においても、知識処理分野の研究コミュニティが発生、活性化した。

日本で第五世代コンピュータ・プロジェクトが始まったことに刺激され、欧米でもコンピュータ・プロジェクトが開始された。

米 国	ストラテジックコンピューティングプロジェクト（'84～）
E C	エスプリ計画（'84～）
英 国	アルバイプロジェクト（高度情報技術開発計画）（'84～）
仏 国	電子計算機総合開発計画（'82～）
西 独	情報技術開発計画（'84～）

これらは、日本への対抗ということで開始された側面も否定できないが、コンピュータ技術の進展を加速することに貢献してきている。

4. 5 まとめ

論理プログラミング、並列処理、知識処理の分野で（財）新世代コンピュータ技術開発機構は世界をリードする研究の拠点となっている。

（財）新世代コンピュータ技術開発機構は開かれた機関として本分野における世界の研究の交流の拠点になっている。ただし、交流のためのインフラであるネットワークなどの整備は我が国全体として今後も進めていく必要がある。

国際共同研究も着実に拡大しつつある。特に（財）新世代コンピュータ技術開発機構で開発しているPIM、PIMOS、KL1は並列推論技術の研究基盤を供給しており、国際共同研究先からこれらの研究基盤を用いたコンピュータ技術やその応用分野の研究を続けていきたいという期待が強い。

これらの点から（財）新世代コンピュータ技術開発機構は日本における本分野のセンター・オブ・エクセレンス（COE）となっている。

5. 応用分野への適用

5. 1 第五世代の応用分野への適用

本プロジェクトは基礎分野の研究を目指してきたものであり、今後、多様な応用が考えられる。本プロジェクトは、このような多様な応用の基盤をなすものであり、本プロジェクトの成果が明確になりつつある現時点で、今後どのような応用分野に五世代技術が生かされているかを分析しておく必要がある。

5. 2 第五世代プロジェクトで開発された技術の特質と応用

(1) 大規模並列処理技術の応用への展開

数値処理のみならず、記号処理、非数値処理に向けた技術であり、数値処理に特化した現在の商用機の未到領域を開拓するものである。

推論の高速化機構、大規模マシンの接続方式などの技術は、今後出現するとみられる汎用の大規模並列マシンの基本技術となるものである。

また、KL1言語の実装方式、並列OS(PIMOS)本体は、汎用大規模並列処理を制御する基本ソフトウェアの原型となるものである。

生産性の高い並列ソフトウェアの作成方式は非定型的な数値処理や事務処理などのソフトウェア開発の基本的な手法となるものである。

(2) 高度な知識処理技術の応用への展開

論理型プログラミング技術、非正規形データベース、知識ベース処理技術、高度問題解決技術などが第五世代コンピュータ技術の特徴である。

論理型プログラミング言語およびより高級な言語により、知的で複雑な処理が容易にかつ効率的に記述できる。

知識ベース等のデータベース管理技術などは非定型の文書、図表など、従来のデータベース技術で効率的な扱いが困難なデータベース管理の基本技術となる。

高度問題解決技術(定理証明、ルールベース推論、事例ベース推論などの技術)は、従来よりも知的な検索システムや高度の専門化システムの基本技術となる。

今後、実用化レベルの知識処理応用システムを作るためには、大規模な知識ベース作りから行う必要がある。大規模な知識ベースを開発する際には、知識表現言語や知識ベース構築技術などの研究開発が必要となる。

5.3 典型例

【例 1】金融オンラインシステム

〔現状の問題点〕

オンラインシステムの巨大化で集中処理は限界に近づくとともに、ネットワークの広域化・多様化に対する要求、分散処理に対する要求は、ますます高まっている。

要求が急拡大する一方で、プログラミングは従来技術のままのため、高度な並行・分散システムに必要な通信・同期の記述は、ますます繁雑で誤り易いものとなっている。

このため、プログラム開発コストが巨額となる、システムの信頼性維持が困難となるなどの問題点がでている。

〔第五技術の活用（近い将来）〕

並列論理型言語の技術により、通信・同期は言語システムによって自動的に行え、個々のプログラマが陽に記述せずに済む。これにより、システムが複雑化しても、同期の誤りによるバグの混入を防止でき、プログラム開発効率の飛躍的向上、信頼性の飛躍的向上が期待される。

【例 2】超並列数値計算システム

〔現状の問題点〕

従来型のスーパーコンピュータが採用しているバイブライン方式は速度向上の面から限界があり、速度を向上させつつ幅広い応用分野に対応するには並列技術であるMIMD方式がコスト/性能比で有利になる。

ところが、プログラミングは従来技術のままで並列用の技術が提供されていないため、特定目的には使えても、一般ユーザのソフト開発は困難となっている。従って、並列性を容易に生かせる特殊なパターンに当てはまらないと並列ハードを生かせない

〔第五技術の活用（近い将来）〕

低いレベルは従来の数値計算言語で記述することにより実行効率を高く保ちつつ、（従来言語システムの上層に）並列論理型言語によるマクロな制御が可能である。これにより、高いレベルの記述を論理型言語ででき、ソフト開発

が容易になる。

また、負荷分散技術(半自動負荷分散)により、パターンに完全に当てはまらなくとも効率的処理が可能となる。

【例 3】遺伝子情報処理

〔現状の問題点〕

遺伝子情報の生データが急速に蓄積しつつあり、公共のデータベースとして配付されている。しかし、遺伝子情報には、多種のデータ（配列、地図、立体構造、・・・）が存在するのに、それらを統一的に扱うデータモデルがまだ存在しない。

また、それらのデータは相互に密接に関連するはずであるが、その関連知識をどのように表現するかがわからないので、データベースに書かれていない。そのため、生物学者が複数のデータベースを参照しながら解析を行わなければならない。

また、遺伝子の機能などを解析するには、大規模な知識処理の助けを必要とするが、現在のコンピュータでは計算パワーが不足である。

〔第五技術の活用（近い将来）〕

大規模データベース技術/並列推論技術により、データの効率的な整理と大量データからの高速で高レベルな検索が可能となる。

また、知識情報処理技術により遺伝子や蛋白質配列の高度な解析が可能になる。

〔第五技術の活用（その後の発展）〕

高度知識情報処理技術により以下の分野での処理が可能となる。

意味を持つ配列パターンの自律的学習

→ 生命のメカニズム解明

遺伝子病の自動的原因解明（物質 → 関係遺伝子の検索）

薬品合成のための遺伝子合成（物質 → 遺伝子のコンパイル）

並列推論技術によりこのために必要な計算パワーを提供する。

【例 4】CAIシステム

〔現状の問題点〕

CAIソフトの開発は従来通りのプログラミングでは、生徒一人ひとりの違

いに対応しきれない

〔第五技術の活用（近い将来）〕

知識表現技術と利用技術

- 「何を教えるか」を「どう教えるか」と分離記述することによってソフト開発の見通し向上，コスト低減

自然言語処理基礎技術

- 内部知識表現から自然言語表現を容易に生成

〔第五技術の活用（その後の発展）〕

知識学習技術と大規模知識データベース

- 生徒の個性を認識・学習
- 生徒のパターンを数多く蓄積し、生徒の個性に自動適応した教え方を行う

問題解決技術

- 「何を教えるか」と生徒の個性から「どう教えるか」を自動生成
- 最適化技術を駆使して、個々の生徒に最適な無駄のない教え方

並列推論技術 → 必要な計算パワーを提供

【例 5】生活情報知識ベースシステム

〔現状の問題点〕

CD-ROM などの大容量媒体が廉価になった。また、デジタル通信網の整備が進むにつれ、大容量のデータベースを個人用でも利用可能になった。しかしながら、内容の表現形式は従来のデータベースと同様で、知識は文字列などの出力表現そのものを格納されており、画一的なかたちでしか情報を提示できない。想定された単語を指定する検索しかできない。

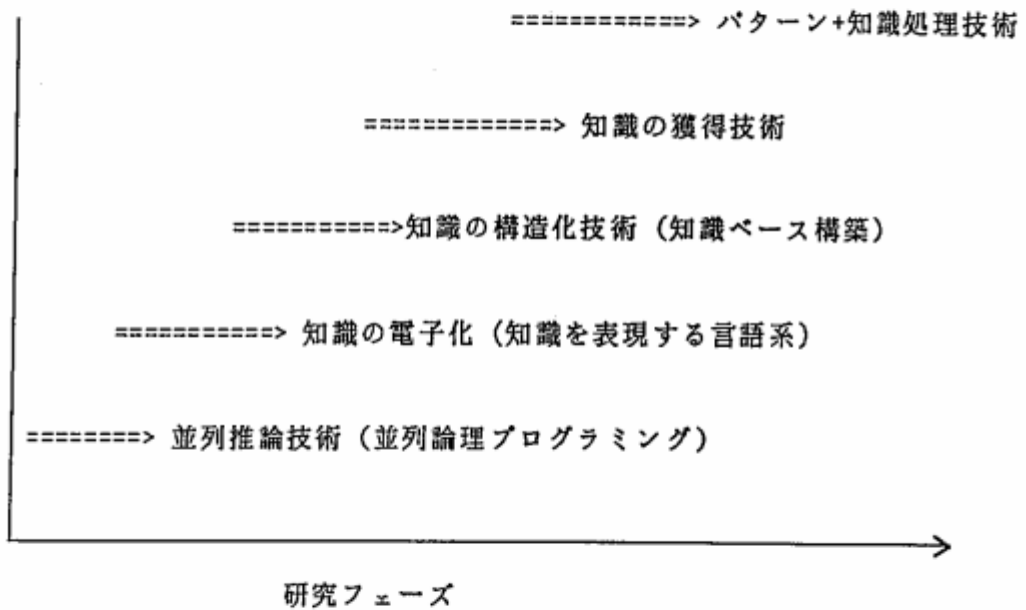
〔第五技術の活用〕

自然言語処理技術により、自然言語の文章による検索の指示と出力ができる。知識を体系的に表現する技術により、知識を統一的かつ柔軟に表現可能となり、知識自身の内部表現形式と出力表現を分離し、利用者に分かりやすい形で出力できる。従って、同じ知識ベースを使って多言語で出力も可能である。また、類推、常識推論などの高次推論による知識利用技術と複雑な処理を高速に行える並列処理による計算パワーにより、あいまいな指定による柔軟な検索が可能になるとともに、単純な知識の提示だけではなく、その他のシス

テムに組み込んでの応用にも提供可能になる。

5.4 まとめ

上に挙げたように、第五世代コンピュータ技術の応用分野はさまざまなものが考えられる。こうした応用分野は本プロジェクトで生まれたシーズから、発展していくものである。この中には、第五世代技術を基礎として近時に実用化が可能な分野も多数ある。一方でプロジェクトが目指した基盤のうえでさらに、知識の電子化技術、知識の構造化技術、知識の獲得技術等の技術の開発を行うことにより、さらにより高度な知識処理の世界が展開するであろう。



6. 第五世代コンピュータの意義

本プロジェクトは昭和57年度から、知識処理、人工知能分野における基礎研究を推進してきた。

既に、(財)新世代コンピュータ技術開発機構は並列推論技術については世界の中心的研究所として、海外からも高く評価されており、欧米諸国の研究機関と研究協力が盛んに行われている。

また、研究開発の推進体制を整備し、効果的な運営を行うことによって多大な成果を挙げ、これを内外に広く公開してきた。国に帰属しない研究開発段階のソフトウェアについても、著作権者である(財)新世代コンピュータ技術開発機構から知識情報処理等の研究基盤として無償での利用を認め、公開する予定である。

本プロジェクトを推進してきた、ここ10年間においてわが国の置かれた状況は、国際社会への貢献を不可欠なものとして求めてきたといえる。本プロジェクトは、こうした背景の中でプロジェクト当初から国際貢献を課題として挙げ、これをプロジェクト実施段階で基礎研究を推進し、成果を広く還元することによって実現してきた。

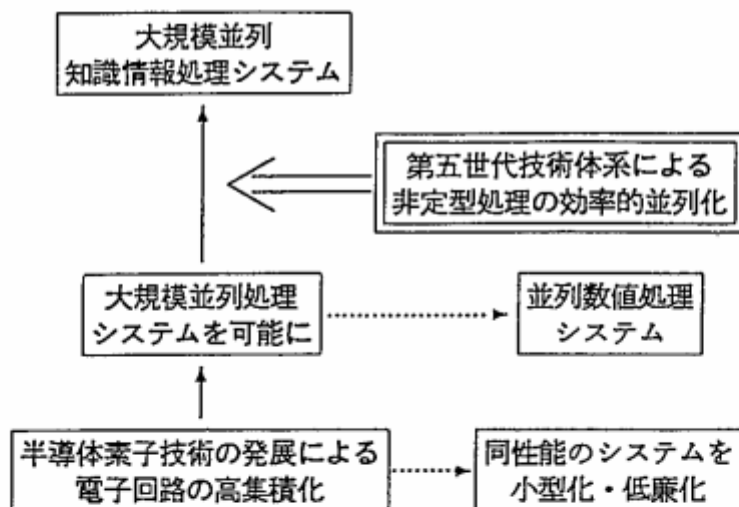
わが国の国際社会に占める位置が、相対的に大きくなっている今日、これまで以上に国際貢献が重要となる。本プロジェクトは今後、国際貢献を志向した研究開発プロジェクトの一つの有効なモデルとなるであろう。

本プロジェクトは知識処理の基盤となるツールを生み出しており、これによって新たな知識処理の研究ニーズを生み出しており、今後のコンピュータ技術発展の礎となるものであり、今後の展開が期待される。

IV. 学術的・技術的評価

1. プロジェクトの位置付け

半導体素子技術の発展による計算機の高集積化は、従来と同程度の性能を持つシステムの小型化と低廉化を可能にする、いわゆるダウンサイジングを進行させている。この技術はまた、従来到底実現不可能だった大規模な並列計算システムを現実のものにした。大規模並列計算システムの用途としては、従来からのスーパーコンピュータによる処理を置き換える数値処理分野と、近年需要が活発になってきた知識情報処理分野が考えられる。知識情報処理には非定型的な処理が重要な役割を果たすが、従来の数値処理向きの技術体系では定型的処理以外の効率向上は不可能である。第五世代コンピュータ・プロジェクトは、この非定型的処理の効率的並列処理を可能にする知識情報処理のための新たな技術体系の基礎を確立することを目指すものであった。



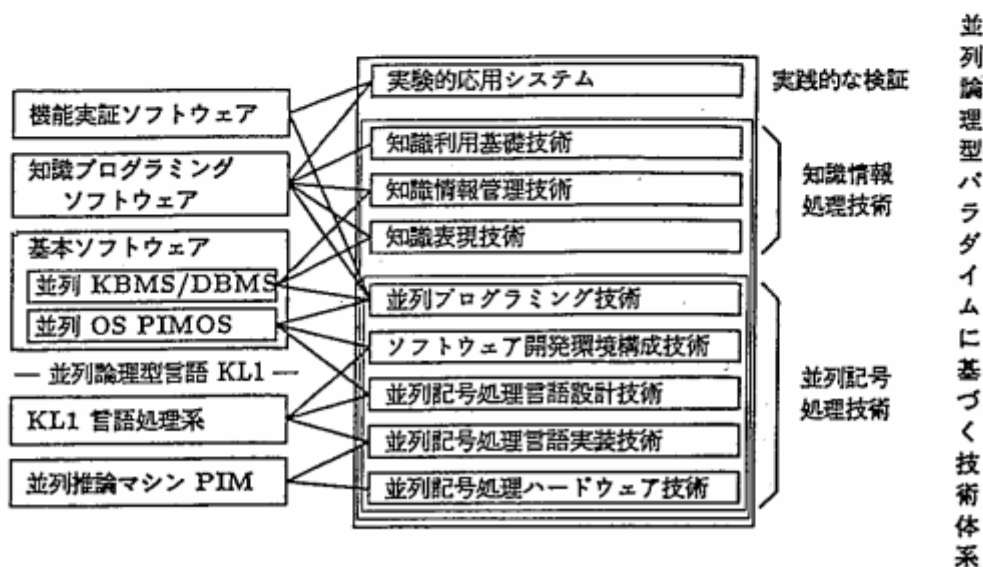
2. プロジェクト成果の概観

(1) 並列論理型のパラダイムに基づき、大規模並列知識情報処理のための一貫した技術体系を確立した。

(2) 大規模並列記号処理のための諸技術を体系的に確立した。大規模並列記号処理に必要な、並列記号処理言語の設計技術、その言語処理系の実装技術、言語実装に即したハードウェア構成技術、並列記号処理に向けたソフトウェア開発環境の構成技術、並列記号処理ソフトウェアのプログラミング技術を、一貫性を持った技術体系として組み上げ、ソフトウェア研究開発のためのツールとして提供した。

(3) 知識情報処理のための諸技術の基礎を確立した。知識情報の計算機上での表現、表現した情報の管理、情報を利用するための処理技術を、一貫性を持った技術として組み上げる基礎を確立し、一部についてはソフトウェア研究開発にツールとして提供した。

(4) 実用レベルの複雑さと規模を持つ実験的応用ソフトウェアを、プロジェクト内で開発した並列記号処理システム上に、やはりプロジェクト内で開発した知識情報処理技術を用いて構築し、大規模並列知識情報処理システムの技術体系としての機能の適切性と実装の効率性を、実践的に検証した。



3. 並列記号処理技術

3.1 主要成果

(1) 並列論理型パラダイムによる一貫した技術体系

並列記号処理技術のすべての階層の共通基盤として並列論理型パラダイムを設定し、並列処理を前提とした一貫した技術体系を構築した。並列論理型パラダイムは、数理論理という普遍原理に基づくものである。このため、ハードウェア・レベルから応用ソフトウェアに至るまでのどの階層においても、過剰な制約を課すことなしに、適切な設計指針を与えることができた。

特に、並列オペレーティングシステム PIMOS 及び並列論理型言語 KL1 は、世界で初めて並列化を自動的に行うことができるようにした本格的システムである。従来の並列化技術では、どの部分が同時に実行できるかを指定し、さらに各部分の情報のやりとりの制御の指定をすべて人手で行う必要があったのに比べ、これらを自動化し画期的な生産性向上を果たす技術として、高く評価されている。

海外アンケートにおいても、並列論理プログラミング言語システムにおける技術水準が世界の技術水準に比してどうかという質問に対し、「卓越している」および「優秀である」が約 69% となっており、多数が高く評価している。

(2) 並列記号処理言語設計技術

並列記号処理ソフトウェアの構築を難しくしている要因を同定し、その困難を取り除くために必要なプログラム言語機能を明確化した。たとえば、従来技術体系では並列実行や同期・スケジューリングのような並列処理機能はソフトウェアが提供する機能であったため、繁雑な記述や効率の低下を招いていた。これらの並列機能を言語の基本機能として自動処理機構と共に提供すれば、簡潔な記述と高い処理効率を実現できる。

こうした並列処理機能を始めとする機能を網羅しながら、並列論理型パラダイムに基づく簡潔で効率的に実装できるプログラム言語を設計した。

困難:	並列性抽出の困難、同期の繁雑さ、 効率的なスケジューリング・負荷分散の困難
解決策:	暗黙の細粒度並列性、データフローによる自動同期、 スケジューリング・負荷分散とプログラムの意味の分離
並列論理型言語:	Guarded Horn Clauses (GHC)、核言語第一版(KL1)

(3) 並列記号処理言語実装技術

並列論理型言語の効率的な実装に必要な諸技術を確立し、実用並列記号処理システムを設計・実装し、ソフトウェアの研究開発に提供し評価した。まず、並列論理型言語の提供する細粒度並列処理について、プロセッサ内および複数の分散プロセッサにわたる実装アルゴリズムを確立した。これに基づき大規模並列処理ハードウェアであるPIMの上に並列論理型言語処理系を実装した。これによって、高性能な並列記号処理言語システムを、ソフトウェア研究開発の共通ツールとして提供することができた。

単一プロセッサ内:	KL1 抽象機械、コンパイル方式、プロセス管理方式、 自動データ管理方式、自動記憶領域管理方式、
プロセッサ間:	分散自動同期方式、分散自動データ配置方式、 分散自動記憶領域管理方式、
提供システム:	PIM、Multi-PSI上の並列処理系 PSI 上の疑似並列処理系

(4) 並列記号処理ハードウェア技術

並列論理型言語の実装技術の確立を受け、並列ソフトウェアの研究開発に向けた世界最大級規模の並列記号処理システムのためのハードウェアを設計・実装し、この上の言語処理系と共にソフトウェア研究開発に提供し評価した。まず、並列論理型言語の処理に必要な各要素について、ハードウェアとソフトウェアによる実装のメリットとコストのトレードオフを検討し、これに基づき大規模並列処理ハードウェアPIMを複数モデル試作、その上に実装した並列論理型言語処理系を通して諸方式の得失を評価した。これを通して、バランスのとれた高性能並列記号処理言語システムのためのハードウェア技術を確立した。

単一プロセッサ内:	命令セット、タグアーキテクチャ、 メモリアーキテクチャ、...
プロセッサ間:	プロセッサ結合方式、通信・同期アーキテクチャ、...
提供システム:	5モデルのPIM、Multi-PSI

(5) 並列記号処理ソフトウェア開発環境技術

大規模並列処理システムに必要となるオペレーティング・システムのあり方を検討し、管理の集中によるオーバーヘッドの集中を防いだ、分散システム管理技法を開発した。また、並列論理型言語による大規模並列ソフトウェア開発に必要な開発環境を検討し、負荷分散などのソフトウェア研究開発をサポートする技法を開発した。これらに基づき、並列論理型言語で記述した世界初の実用的なオペレーティング・システムPIMOSを実装、ソフトウェア研究開発に提供し評価した。

システム管理技法:	通信路に着目した抽象化、階層的分散資源管理
開発サポート技法:	並列記号処理向きデバッグサポート 負荷分散状況の情報収集・可視化機能
OS:	PIMOS (平成4年4月現在の3.3版は約13万行の規模)

(6) 並列記号処理ソフトウェアのプログラミング技術

並列論理型言語による並列プログラミング技法、大規模並列システム向きの大規模ソフトウェア構成技法を開発し、オペレーティング・システムや種々の応用プログラムの構築において実践した。また、並列ハードウェアを有効に利用するための負荷分散技術を確立した。

プログラミング技法:	全解探索法、最適解探索技法、枝刈り技法、...
プログラム構成技法:	ストリーム結合したプロセスのネットワーク
負荷分散技術:	動的/静的負荷分散の諸技法、 負荷分散と局所性のトレードオフ理論的解析

3.2 従来技術に比しての優位点

(1) 並列処理を前提としたポリシーの一貫した記号処理システム

従来の技術は、逐次処理を前提としたシステムに、並列処理になって必要となる諸機能を個別に追加していったものだった。このため、システムは不必要に複雑化し統一性に欠け、その結果大規模な並列ソフトウェアの開発は困難を極めた。これに対し第五世代技術では、プログラム言語、その実装、ソフトウェア開発環境、プログラミング技術のすべてを、並列処理を前提とした並列論理型パラダイムに基づき、一貫した技術体系として確立した。このため、システムは無駄のない統一性を持ったものとなり、大規模並列ソフトウェアの開発が飛躍的に容易になった。

(2) 並列記号処理言語設計技術

従来技術では、逐次処理言語に並列機能を必要に応じて追加した、複雑で統一性に欠けるプログラム言語を使ってきた。これに対し第五世代技術の中核となった並列論理型言語KL1は、並列処理を出発点として言語仕様を定めたため、機能が大きく向上しているにもかかわらず、簡潔で効率的な実装が可能なものになった。これによって、並列処理の記述が平易になり、理論的解析もはるかに容易になった。また、プログラムの意味の記述とスケジューリングや処理負荷の分散の指定を明確に分離したため、実験的な負荷分散手法の研究が著しく容易になった。

(3) 並列記号処理言語実装技術

従来の逐次型記号処理言語や、定型的な並列数値処理向き言語の実装技術では、逐次処理技術に並列処理技術を継ぎ足したものであったため、細粒度並列処理を大規模な並列ハードウェア上に効率的に実装することは困難だった。この未熟な言語実装技術が、ソフトウェア記述の負担を増す原因となっていた。これに比べ、PIM、Multi-PSIの上に実現した並列論理型言語KL1のシステムでは、細粒度並列処理に適した言語実装技術を開発し実装した。このことにより、知識情報処理に不可欠な非定型的な処理や、負荷分散の容易な細粒度の並列処理の効率を大きく向上させることができた。同時に、並列プロセス間の同期、データの配置、記憶領域の管理を効率良く自動化し、並列記号処理言語で記述するソフトウェアの負担を大幅に軽減できた。

(4) 並列記号処理ハードウェア技術

従来の並列処理ハードウェア技術は、定型的な並列数値処理には向いていても、細

粒度並列プロセスによる自由な負荷分散を必要とする、非定型的な並列処理には適さなかった。これは、大規模並列記号処理のためのプログラム言語がどのようなものになるかについて、明確な見通しが得られなかったからでもある。これに比べ、並列推論マシン P I M の設計にあたっては、並列論理型言語によるプログラムの細粒度並列処理の実装方式について、ハードウェアとソフトウェアによる実装のメリットとコストのトレードオフを十分検討した上で、最適と結論された実装方式に即したハードウェア・サポートを導入できた。さらに、この検討では依然不明確だった点については、複数のモデルを試作し、その上に実装した並列論理型言語処理系を通して諸方式の得失を評価した。

(5) 大規模並列記号処理向きソフトウェア環境

従来技術での並列処理ソフトウェア環境は、小規模な並列処理や定型的な並列数値処理のためのソフトウェアの開発のみを対象としたものであった。このため、大規模で非定型的な並列処理には管理オーバーヘッドが大きく、ソフトウェア開発環境もこの種のソフトウェアの開発のためには劣悪なものだった。これに比べ、P I M、Multi-PSI を管理しソフトウェア環境を提供するオペレーティング・システム P I M O S は、大規模な並列処理システムにおいてもオーバーヘッドの少ない分散管理技法を用い、並列処理向きの開発ツールを提供することによって、負荷分散方式の研究開発も含めた大規模並列ソフトウェア研究開発を快適に行なえるプログラミング環境を実現した。

(6) 並列記号処理プログラミング技術

従来のプログラミング技術は、逐次処理を前提とした記号処理技術や、処理の単純性・定型性に依存した並列処理技術であった。これは、プログラミング技術の構築基盤である計算機システムが、このような処理だけを対象としたシステムだったことに起因する。このため、複雑な非定型処理を効率的に並列処理するプログラミング技術は確立されていなかった。第五世代プロジェクトで確立した大規模並列記号処理向きのプログラミング技術は、並列記号処理言語の高い機能、その効率的な大規模並列実装、その上のオペレーティング・システムが提供する快適な開発環境を出発点として利用できた。この環境下で、複雑で非定型な問題を効率的に並列処理する、並列論理型パラダイムに貫かれたプログラミング技法や負荷分散技法を開発、これを実践的に確立した。

3.3 当初目標の達成度

並列記号処理技術については、プロジェクトの当初目標ではソフトウェアとしての問題解決・推論メカニズムとハードウェアとしての問題解決・推論マシンが開発テーマとして挙げられていた。

問題解決・推論メカニズムについては、KL1、PIMOS等により、当初目標が十分に達成されている。

また、問題解決・推論マシンについては、PIMにより、処理能力で100MLIPS（LIPS: Logical Inference Per Second、1秒間に何回の推論処理が行えるかの単位）を達成しており、当初目標が達成されている。

4. 知識情報処理技術

4.1 主要成果

(1) 並列論理型パラダイムに基づく知識情報処理基礎技術

知識情報の表現・管理・利用の諸技術を、並列論理型パラダイムに基づいて再構成した。これによって、高いレベルで自由に表現した知識を効率的に並列処理することが可能になった。これは、大規模の実際的な問題を扱える知識情報処理に必須な基礎技術である。

例えば、計算機による定理証明の分野は、従来は現実的な時間の中に解を得ることは困難であると考えられていたが、本プロジェクトによって並列処理を有効に利用した定理証明技術が開発されており、従来未解決であった問題の証明が得られる等多大な成果を上げることができている。

海外アンケートにおいても、知識情報処理における技術水準が世界の技術水準に比べてどうかという質問に対し、「卓越している」および「優秀である」が約65%となっており、高い評価を得ている。

(2) 知識表現技術

高レベルで多角的な知識表現技法を開発し、高レベルの知識記述を行なえる知識表現言語を開発した。これによって、人間の持つ知識を計算機の理解する形式に変換す

る自由度が大幅に改善された。また、具体的にさまざまな領域の知識の変換を試みることによって、人間の知識の持つさまざまな性質を、計算機処理の側面から明らかにした。

表現形態:	論理式として、種々の領域の制約として、...
表現可能性:	更新可能性、永続性、状況依存性、...
知識表現言語:	CAL、Cu-Prolog、GDCC、CIL、Quixote、...

(3) 知識情報管理技術

高レベルで多角的な知識表現を許しながら、大容量データを効率的に管理するための基礎技術を、並列論理型パラダイムに基づいて確立し、大規模並列知識ベースシステムのモデルとして提示した。また、これを並列処理システム上に試験実装し、その機能が適切で効率的な実装が可能であることを確認した。

多角的データの管理:	非正規関係、演繹・オブジェクト指向データベース
大容量データの管理:	並列データベース、分散データベース
試験実装:	データベース言語Quixote、 分散並列データベースKappa-P

(4) 知識利用基礎技術

論理式表現、制約表現などのさまざまな形式で表現した情報を、効率的に知識情報処理に役立てる並列処理技術の基礎を確立した。これを並列処理システム上に実装し、たとえば並列自動定理証明システムMGTPにおいて実際に並列処理によって最大二百倍以上(4月24日現在、256プロセッサ使用時)の性能向上が得られることを確認した。

また、通常の推論の枠にとらわれない高次推論技術、学習技術の基礎も確立した。

論理式表現の処理:	大規模並列自動定理証明システム(MGTP)
制約表現の処理:	制約論理型言語システムの大規模並列実装(GDCC)
高次推論・学習:	仮説推論システム、類推・計算論的学習、 並列定性推論、...

4. 2 従来技術に比しての優位点

(1) 高レベルで表現した知識を効率的に処理する基礎技術

従来の技術では、低レベルの繁雑な知識表現や、高レベルでも定型的な表現ならば効率的に処理できたが、高レベルで自由に表現された知識を効率的に処理することができなかった。このため、大量の知識を手で低レベルな表現に変換する必要があり、実際的な規模の問題に取り組むことはほとんど不可能だった。第五世代技術では、知識情報の表現・管理・利用技術の研究開発にあたり、並列論理型パラダイムに基づいた一貫性を追求した。このため、大規模の実際的な問題に対する知識情報処理に不可欠な、高レベルで自由に表現した情報を効率的に並列処理する技術の基礎を確立できた。

(2) 高レベルで自由度の高い知識表現技術

従来の技術で効率的に処理できる範囲では、知識を定型的に表現するか低レベルで繁雑な表現をするしかなかった。このため、人間の持つ知識を計算機処理できる形態に変換する手間が大きく、大規模な対象は取り扱えなかったので、実際的な規模の問題に対する知識変換にどのような問題があるかすら明確でなかった。第五世代技術では、並列論理型パラダイムに基づいて、知識を高レベルで自由度が高く効率的並列処理が可能な形に表現する技術を確立し、人間の持つ知識の計算機処理できる形式への変換を容易にした。また、この技術を用いて実際に各種の問題についての知識の変換を試みることによって、人間の持つ知識のさまざまな性質を、計算機処理という側面から明らかにできた。一方、高レベルの表現は、計算機による知識獲得などのさらに高いレベルの処理も著しく容易にした。

(3) 大容量知識情報の効率的な並列管理技術

従来の関係データベースのような管理技術では、効率的に扱えるのは定型的なデータだけだった。人工知能分野などで用いられてきた管理技術では非定型的なデータも扱えたが、その効率は大規模な実用的な問題に提供するには低過ぎた。第五世代技術では、非定型的なデータでも効率的に並列分散管理できるデータベースの基礎技術を確立し、実用的な問題への計算機による知識情報処理の適用に不可欠となる、自由に表現した大量の情報の効率的アクセスへの道を開いた。

(4) 高い自由度で表現した知識の効率的利用の基礎技術

従来 of 知識情報処理技術では、定型的な表現形式のデータだけならば効率的な利用も可能だったが、自由度の高い非定型的表現形式のデータについては非効率な処理しかできなかつた。第五世代技術では、さまざまな形式で自由に表現したデータを効率的に並列処理して利用するための基礎技術を確立し、大規模な知識情報の効率的利用の基礎を作った。

4.3 当初目標の達成度

知識情報処理技術については、プロジェクトの当初目標では、知識ベースのソフトウェアとしての知識ベースメカニズムとハードウェアとしての知識ベースマシンがテーマとして挙げられていた。また、知的インタフェース・システムがテーマとして挙げられ、自然言語処理のほか、音声・画像処理も含まれていた。

知識ベース・メカニズムについては、K a p p a - p によって実現されている。また、知識ベース・マシンについては、P I M がファイルシステムを備えることで実現されている。

知的インタフェース・システムについては、音声や画像の構造をモデル化することは、幾何学的に簡単なものを除いて不可能なため、認識や処理の手法が定まらないという問題自体の難しさ等から本プロジェクトの期間の範囲内で完成することは難しく、長期的な研究課題として位置づけ、より基礎的な自然言語処理の研究を進めているほか、基盤技術研究促進センターのプロジェクトとして、別途コンピュータの自然言語処理用辞書の開発も進めており、意味を含めて基礎的な研究開発を行っている。

5. 実験的応用システム

5.1 主要成果

開発した並列記号処理技術、知識情報処理技術を具体的な問題に適用し、これらの技術を総合的に活用することによって、これらの技術が提供する機能の適切性、実現手法の効率性を検証した。また、従来技術でも同様の機能を実現している分野については、従来の手法での実現方法と比較し、第五世代技術の優位性を検証した。

例えば、法律と判例から罪状及びその理由を示すシステム、あるいはタンパク質の配列から構造と機能を推定するシステム等の成果が得られた。

5.2 従来技術に比しての優位点

従来も同程度の困難さを伴う問題を扱う技術はあったが、処理効率の問題やソフトウェア開発環境の問題から、机上の検討や小規模の実験のみに終ることが多かった。

このため、これらの技術の実用性を検証することは困難だった。この点、第五世代コンピュータ・プロジェクトにおいては、プロジェクトで構築した効率的で快適なソフトウェア開発環境の上に、開発した種々の基礎技術を要素技術として利用できたため、実用レベルの複雑性と規模を持つ問題に取り組めた。

たとえば、法的推論システムの扱う法律の分野では、その体系知識（法令文）が完全でないため、過去の運用実績（判例）を補わなければ実問題が解決できない。そのため、法的推論システムの実現には、法令文の論理的記述とそれを用いた演繹的推論、判例の自然な記述と類比による推論という、二種類の知識情報処理技術が必要である。前者の法令文の処理には、並列自動定理証明器MGT Pや、演繹オブジェクト指向データベース言語Quixoteを利用し、理論的裏付けのある論証モジュールを構築した。後者の判例の処理には、事例ベース推論や類推などの高次推論技術と、自然言語処理にも共通する知識表現技術を応用し、並列処理による効率的な類比検索モジュールを構築した。このような複雑な問題解決システムであるにも関わらず、システム自身のプログラム・サイズは両モジュールを合わせて4,500行程度、直接開発にかかった手間は9人月程度で済んでいる。このような短期間での開発は、プロジェクト内で開発した要素技術に基づき並列推論マシンPIM上に実現した、効率的で汎用性のある要素システムの利用なくしては不可能だったであろう。

こうした実用レベルの複雑性と規模を持つ問題を解決するシステムの試作を通して、開発した諸技術の実用レベルにおける適切性・効率性を実践的に検証できた。

5.3 当初目標の達成度

機械翻訳システムが、民間で実用化が始まったこともあり、民間での研究に委ねられ、より基礎的な自然言語処理システムに代わったことを除けば、ほぼ当初目標のシステムが開発された。機械翻訳においても、従来の構文からの分析のみではなく、意味に立ち入った分析が必要で、この点からコンピュータで意味を処理可能とできる自然言語処理用辞書が不可欠であり、現在、開発を進めているところである。

6. 第五世代技術の適用範囲

従来計算機の利用が困難だった分野の多くは、知識情報処理を代表とする複雑で非定型的かつ大規模な処理を必要とする分野だった。こうした分野では従来の定型的な処理を原則とする技術では効率的に処理できない。ハードウェア・コストの低廉化は今後も続くであろうが、それだけではこうした分野における計算機利用の実現は難しい。第五世代の技術は、複雑で大規模な非定型処理を効率化する技術を提供し、従来技術ではカバーし切れなかった分野での計算機の利用を可能にする。

6.1 大規模並列記号処理技術

(1) 従来の大規模並列処理技術

あらかじめおおよその計算量と処理に必要なデータを見積ることができる場合には、計算負荷の適正な分散をあらかじめ計画し、データを必要とするプロセッサに前もって配置することが可能である。従来の大規模並列処理技術は、この範疇に入る単純な構造の計算をできる限り効率的に行なうことを目的に構築された技術だった。

大規模並列処理の適用は急速に拡大してきたとはいえ、質的にはこの技術が適用できる分野に限られており、適用分野の拡大はコストの低廉化による量的なものに過ぎなかったともいえる。並列処理自身ははるかに広い分野に利用できるものであるにも関わらず、

従来技術体系の持つ限界が大規模並列処理技術の本質的な限界であるかのような誤解すら受けてきた。

(2) 第五世代の大規模並列処理技術

第五世代の大規模並列処理技術は、必要な計算量や処理にどのデータが必要かを前もって見積もることができないような複雑な処理の場合にも、効率的な処理を可能にする技術である。このような場合、処理の途中結果に応じて動的に計算負荷を分散することが効率向上のために不可欠である。また、処理にどのデータが必要かわからないからといって、あらかじめすべてのデータをすべてのプロセッサに配置するのは非常に効率が悪く、処理の必要に応じて動的にデータを再配置することも不可欠である。

従来の並列処理技術では、同様の計算負荷の分散やデータの再配置を行なうためには、プログラム中にそれを逐一指定する必要があった。計算途中で必要になる同期についても、同様の指定が必要だった。この方法では指定が非常に繁雑になり、ある程度以上複雑なソフトウェアを構築することは事実上不可能で、これが大規模並列処理の適用範囲を限定する大きな要因となっていた。第五世代技術を用いれば、こうした指定のほとんどは自動的にになり、ソフトウェア設計者の負担は大きく軽減される。これにより、従来の技術では不可能だった複雑な問題についても並列処理が可能になる。

半導体技術の進展による高集積化の急速な進行を外挿すると、次世紀初頭には数十台の高性能プロセッサと大容量のメモリを一個のICチップに集積できるようになる。

これに対し、同時期までに単一プロセッサの処理能力を現在の数十倍に向上させることは難しい。このため、まずワークステーションやパーソナル・コンピュータを皮切りに、次世紀初頭にはカード型・腕時計型のような超小型の計算機にいたるまで、並列処理システムがコスト性能比で逐次処理システムを凌駕し、あらゆる計算機処理の局面で並列処理が常識になるものと予想される。従来の並列処理技術よりはるかに広い応用範囲を持つ第五世代計算機の並列処理技術は、並列処理が中心になる次世紀の計算機技術の主流になるもの考えられる。

一方、計算機の量的な普及に伴い、数多くの計算機システムを結合するネットワーク技術も重要になる。大規模な計算機ネットワークは、新たなシステムの追加や削除、結合方法の変更など、常に複雑な変化を続けている中で運用する必要があるものである。このため、逐次処理を基本とする技術の延長にある従来のネットワーク技術では、小規模の局所ネットワークなどには十分でも、世界規模にまで広がる大域ネットワークを整合性良く効率的に管理するには限界がある。この局面でも、複雑で動的な問題を並列分散的に解決する第五世代技術は、重要な役割を果たすものと考えられる。

6.2 知識情報処理技術

(1) 従来技術

従来の知識情報処理技術はあまり複雑でない問題と、あまり大規模でない問題の解決には有効だが、複雑かつ大規模な現実世界の問題に広く適用するには限界があった。

非常に高いレベルの記述を可能にするいわゆる人工知能技術は、従来から培われてきた技術である。この技術を用いれば複雑な問題を解決するソフトウェアも構築できるが、高レベルの記述に基づく処理にはオーバーヘッドが大きい。このため、逐次処理を前提とする従来技術で解決できる問題の規模には限界があり、人工知能技術が実用に供される分野は限られたものだった。

あまり複雑でない問題については、低レベルの記述でも問題解決ソフトウェアを容易に構築できる。従来の並列処理技術では低レベルの記述しかできなかったが、その範囲で解決できる問題については効率的な処理が可能である。しかし、ある程度以上複雑な問題については、低レベルの記述によるソフトウェアの構築には膨大な時間と非常に高いコストがかかるため、その適用範囲はやはり限られたものだった。

(2) 第五世代技術

第五世代プロジェクトでは、高いレベルの知識や処理の記述を許し、それに伴う処理量の増大を大規模並列処理で解決する技術の基礎を与えた。この技術を展開すれば、複雑で大規模な問題を解決するソフトウェアも容易に構築可能になる。

知識情報処理の基礎技術として構築した知識情報の表現・管理・利用の基礎技術は、それに基づく知識情報処理の基盤システムを構築して応用システム構築の足場とすることによって、従来の低レベルからの構築に比べてはるかに高い出発点を与える。

このため、いわゆる人工知能分野に限らず、従来の技術では計算機処理しにくかったあらゆる分野において、ソフトウェアの構築に要する時間とコストを大きく低減することができる。

第五世代プロジェクトで開発した知識情報処理の基礎技術は、並列論理型パラダイムに基づいているため、大規模並列記号処理技術と高い親和性を持つ技術になっている。このため、逐次処理を前提とした従来技術とは異なり、高レベル記述に起因する処理量の増大を大規模並列処理によって解決することができる。

たとえば、実験的応用ソフトウェア・システムのひとつである法的推論システムでは、並列自動証明器MGTPや演繹オブジェクト指向データベース言語Quixoteを用いて、法令文に基づく推論という複雑な問題を解決するモジュールを非常に短期間の内に構築することができた。また、これらの要素技術システムは並列論理型言語で並列処理の効率性を生かして実装されているため、システム全体の効率性も満足

できるものとなったのである。

7. 第五世代技術の実用時期

7. 1 並列記号処理技術

第五世代技術による大規模並列記号処理システムは、プロトタイプ・システムにおいて既に、従来技術による大規模記号処理システムを大きく上回る高い機能と性能を実現している。このため、性能価格比の上で従来技術より優位となれば、従来技術の適用分野でも第五世代技術の実用化が進むであろう。また、複雑で大規模な非定型処理が必要な分野では、従来の技術では計算機の効率的な利用が困難で、こうした分野への計算機技術の適用には第五世代技術の実用化が不可欠となる。

並列処理技術の性能価格比における優位性は、数値処理分野ではすでに実証されつつある。逐次的なパイプライン処理を高度化させたベクタ・プロセッサによる数値処理システムから、比較的小規模なプロセッサを多数結合した並列数値処理システムへの移行は既に始まっており、ごく短い期間の内にこの移行は急速に本格化するものと見込まれる。並列数値処理ハードウェアは、そのまま並列記号処理に最適とはいえ必ず一定の性能低下はあるが十分流用可能で、並列数値処理の拡大による同ハードウェアの低廉化は、第五世代技術の実用化を逐次型との性能価格比面で有利にし、促進する効果を持つ。このため、第五世代の並列記号処理技術は、今後まず五年間程度の間には性能価格比で有利になる分野が数多く現れるものと予想される。

記号処理の比重は種々の応用分野で高まりつつある。一方で、単純・小規模な問題しか処理できない従来技術に基づくシステムの機能と性能への失望感も拡がってきている。このため、新たな分野への計算機の利用を可能にするために、従来のシステムよりはるかに高機能で大容量の処理能力を持つシステムへの要請が高まってきている。第五世代の並列記号処理技術はこの需要を満たすものであり、十年程度の間には新たな計算機の適用分野を次々に開拓していくことになる。記号処理計算機システムが機能・性能面で満足できるものであれば、記号処理技術の適用分野は数値処理よりはるかに広く、この技術は計算機システムの主流のひとつに発展していくものと予測される。

7. 2 知識情報処理技術

知識情報処理技術の一部は現在でも実用化されているが、従来の技術体系では多くの分野での実用化に必要なだけの機能と性能を提供できなかったため、その実用範囲が大きくは広がっていない。第五世代技術が提供する大規模並列記号処理技術は、多くの分野での知識情報処理の実用化に必須な性能を提供する。将来の適用分野拡大にあたって、並列処理は知識情報処理に不可欠なものとなろう。

一方機能面では、第五世代の知識情報処理技術が基礎を与えた諸技術は、現在実用化されている技術よりもはるかに複雑な問題を扱う際に有効性を発揮し、知識情報処理技術の適用分野拡大を加速するものである。第五世代技術は従来技術に比べ大きな進展を見たとはいえ、まだ本格的な知識情報処理技術の基礎を固めた段階である。第五世代技術による基礎固めの結果初めて、実用的な大規模知識情報処理にどのような技術開発が必要であるかが明確になった部分も多い。この方向でのさらに五年から十年程度の技術開発努力を経れば、数多くの分野で実用になるレベルの知識情報処理技術を確立することができ、さらなる研究開発努力によって急速に適用分野を拡大していくことができよう。以上のことから、第五世代の知識情報処理技術が実用面で本格的に開花するのは、次世紀の初頭、その後急速に多くの分野に適用され普及していくものと予測される。

8. 第五世代プロジェクトの成果の特筆すべき点

(1) 要素技術の個別改良ではない、一貫した技術体系の開発

既存技術の個別の要素技術の部分的改良ではなく、知識情報処理に必要な技術全体、すなわち、プログラム言語設計技術、そのハードウェアを含めた実装技術、ソフトウェア開発環境構築技術、プログラミング技術、そして、その上の知識情報の表現・管理・利用技術を、並列論理型という一貫したパラダイムに基づき、統合的に開発し体系化した。

(2) 机上検討や小規模システムではない、本格システムの構築

机上の検討や実験的な小規模システム、あるいは試験データを収集するだけのためのシステムではなく、数百台のプロセサを有効利用する大規模並列処理ソフトウェア

を容易に構築できる、本格的な機能と処理能力、快適なソフトウェア開発環境を持った並列処理システムを構築した。

(3) 実際的な複雑さと規模の問題への適用による、技術体系の検証

プロトタイプ並列処理システムと開発した知識情報処理の諸技術を実際的な複雑さと規模を持つ問題に総合的に適用して、システムの機能と能力を実証しながら実践的研究開発を行ない、机上の検討や小規模の実験のみでは得られない知見を得ることができた。また、従来計算機の利用が困難だった分野への効率的な計算機利用の方式を具体的に示すことによって、学際的な研究分野を開拓した。

V. 今後の課題と展開のあり方

1. 今後必要な研究開発課題と展開

(1) 並列技術

本プロジェクトでは、推論処理に適したアーキテクチャを有する並列推論マシンPIMを開発してきた。PIMの開発においては、並列論理型言語KL1を高速に実行できるように最適化するため、専用プロセッサを開発した。また、5種類の異なるアーキテクチャのマシンを試作し、各アーキテクチャの得失などを検証した。KL1を高速に実行するための基本技術はこれまでで確立したといえるため、今後は、専用プロセッサの高速化やアーキテクチャの改良等、商用化に向けての研究開発が必要である。

並列基本ソフトウェアについては、世界で初めての本格的な並列オペレーティングシステム等、画期的な技術が生まれており、今後これらの有効性を実証していくとともに、さらなる発展に向けての研究開発が必要である。

(2) 高度な推論技術

◇定理証明技術 ◇制約プログラミング

高度な推論技術は、本プロジェクトにおいても研究開発を行ったが、非常に基礎的な分野であり、さらに発展させた研究や異なるアプローチによる研究も今後必要である。

(3) 大規模知識ベース技術

◇知識表現技術 ◇知識構造化技術 ◇知識獲得技術

本プロジェクトにおける並列処理技術の開発により、高速な推論処理を実行できる環境はそろいつつあるが、複雑で知的な処理を行う場合には、判例、特許情報等の専門知識あるいは社会背景等の人間が持つ常識のような大規模で体系化された知識ベースを整備する必要がある。

しかし、現状ではこうした知識ベースを効率的に構築するのに必要な、

①大量な知識を容易に記述するための言語（知識表現）

②知識を構造化する技術（知識構造化）

③多くの個別の知識から体系的な知識を構成する技術（知識獲得）

の研究開発が必要である。

以上のことから、大規模知識ベースに必要となる技術の研究開発を進める必要があるが、こうした技術は知識そのものに関する基礎的な研究であり、長期的な研究開発を進めることが必要である。

（４）応用分野

- ◇遺伝子情報処理
- ◇医療情報データベース
- ◇自然言語処理
- ◇自動プログラミング
- ◇法的推論システム
- ◇機械翻訳
- ◇知的CAD
- ◇特許情報システム

本プロジェクトの中で、第五世代コンピュータ技術の応用分野として、さまざまな実験的なアプリケーションソフトウェアの開発を行ってきた。こうしたアプリケーションソフトウェアの中には、遺伝子情報の解析、タンパク質のアミノ酸配列の解析、法律の条文と判例から判決を想定する法的推論システム、LSIのCADシステム、自然言語の立論システム等がある。こうしたアプリケーションソフトウェアは、それぞれの研究分野において便利なツールとなりつつある。これらは研究開発段階のものであり、本格的な利用を図るためには、汎用的な応用のための研究開発、あるいは専門分野の応用のための当該分野の専門家と協力して行う研究開発が必須である。

2. 第五世代コンピュータ技術の今後の活用と展開

(1) 研究開発段階のソフトウェアの無償公開

本プロジェクトで開発されたKL1、PIMOS等の並列処理技術と、定理証明、Kappa、Quixote等の知識情報処理技術は、並列処理、知識処理分野の研究者や応用分野の研究者にとって、研究対象となるとともに有効な研究ツールとして今後の発展の基盤となる技術である。従って、これらのソフトウェアを米国、欧州等で一般に行われているように無償での利用を認めれば、第五世代技術の検証になるのみでなく、広い研究領域にわたる科学技術に対する貢献になる。

そこで、国に帰属しない研究開発段階のソフトウェアの著作権について、著作権者である(財)新世代コンピュータ技術開発機構は無償で自由に利用することを認めるため、具体的な準備を行っている。

(2) 国として研究を進めるべき分野

①第五世代コンピュータ技術の研究基盤化

上記の研究開発段階のソフトウェアは、研究開発の過程において評価・検証用として作成されたものであり、そのまま実用化できるものではないものの、研究開発向けには強力な基盤となりうるものである。しかし、本プロジェクトで作成されたソフトウェアの多くはKL1で記述されているため、マルチPSIおよびPIM上でのみ動くものがほとんどである。従って、これらソフトウェアが、現在の研究開発環境の中で活用されるため、既存のコンピュータ資源上での稼働を可能とし、広く利用できるような環境を整備する必要がある。

これは同時に、国際貢献という意味からも極めて重要である。従来のプロジェクトでは、開発された技術は、プロジェクト参加者のノウハウとして普及していった。しかし、国際的な広い範囲への普及を考えた場合、本プロジェクト参加者以外が本プロジェクトで開発された技術を利用可能とする環境を整備することが不可欠である。このような環境を整備することによって、世界的にみた幅広い領域の研究者が、本プロジェクトで開発された技術を利用することとなり、本分野の発展が加速されることになる。

国際貢献上重要であることは、第五世代コンピュータ国際会議1992会期中に開催された評価ワークショップにおいても、多数の海外からの参加者から本プ

プロジェクトで開発されたソフトウェアについて、市販の計算機上に移植することが必要とする要請が示されたことから明かである。

そこで、KL1を研究開発環境で広い範囲で利用されているUNIX上で利用可能となるようUNIX上に移植し、本プロジェクトで開発されたソフトウェアをUNIXベースの計算機上でも利用可能とすることが必要である。具体的にはKL1で記述されたソフトウェアをC言語に変換するためのコンパイラを開発する必要がある。また、並列処理機能を持つUNIX上にさらに拡張させることにより、市販あるいは試作段階の並列マシンを利用している並列処理の研究者がこれらの市販機では実現されていない本プロジェクトで開発された並列化を自動化する並列処理技術を研究開発に利用可能とする必要がある。

また、発電所等における制御・診断システムや、半導体、精密機械におけるCAD/CAMシステム等、応用レベルでの利用を考える場合にも、既存のシステムとの融合が重要であり、KL1で記述されたソフトウェアがUNIX上で利用できるようにすることが応用分野の発展を促進する意味でも不可欠である。

これにより、本プロジェクトで開発した技術を、今後本分野の研究基盤とすることが可能となる。

さらに、研究基盤という観点からは、今後の知識処理技術の基礎となる知識表現等の技術について、本プロジェクトで生まれた技術を発展させることが、次のステップに続ける上で重要である。

既存コンピュータ資源を活用し、第五世代コンピュータ・プロジェクトで開発された技術を研究基盤として活用できるようにする事業は、国際貢献という観点から、国として実施すべき分野である。このため引き続き官学民の協力による研究体制を維持しつつ、国が主体となって推進する必要がある。

期間的にみると、本プロジェクトで開発されたソフトウェアのUNIXへの移植は2年間程度の期間を要すると見込まれるため、その範囲内に限定することが適当である。

②大規模知識ベースの研究開発

本格的な大規模知識情報処理を実現するためには、判例、特許情報等の専門知識あるいは社会背景等の人間が持つ常識のような大規模で体系化された知識ベースが必要であり、本分野は重複投資が無意味な分野であるため、内容等に関する十分な検討を行ったうえ、国として官学民の協力の下、推進することが適当な分野である。

(3) 民間に期待する分野

並列処理技術等、近い将来実用化が期待される分野については、ハードウェア等既に競争的な領域に入りつつある分野があり、これらは本プロジェクトの技術を活用しつつ、さらに実用化に向け、民間が主体に取り組んでいくことが期待される。

(4) 大学等に期待する技術

本プロジェクトでは、多くの基礎理論を用い、1つの体系として並列推論技術を生みだし、検証してきたものである。これらの基礎理論の多くは大学等で生まれてきたものであり、今後とも、大学等からコンピュータ技術を新たな高みに引き上げる基礎理論が生まれることを期待する。

また、基礎的段階にあり、様々なアプローチが有り得る技術については、広く研究者がアイデアを出し合い、実験していくことが重要であり、こうした面でも大学等での研究が進んでいくことが期待される。

これらの研究を促進するという観点からは、研究ツールとしてPIM等の強力な並列推論パワーが利用可能な環境が整備されることが望ましい。

VI. 結論

第五世代コンピュータ・プロジェクトは、国際貢献を目的として、並列推論というパラダイムの下に研究開発を進めてきた。本プロジェクトは当初の目標を達成し、技術的にも高く評価されている。

今後は、こうした第五世代コンピュータ技術の有効活用を図り、並列処理および知識処理のための研究基盤化を進めていくことが不可欠である。こうした研究基盤の充実により、本格的な知識情報処理の時代が切り開かれてゆくこととなろう。