

F G C S プロジェクト 10 年間の概観

黒住 恭司

財団法人 新世代コンピュータ技術開発機構

〒108 東京都港区三田1丁目4番28号

kurozumi @ icot. or. jp

概要

本資料は第五世代コンピュータプロジェクトの発足経緯とプロジェクト全期間における全体状況およびプロジェクトにおける研究開発成果の概要を紹介するものである。第五世代コンピュータプロジェクトは3年間の調査期間の後、1982年にICOTの設立と共に開始された。

第五世代コンピュータは、ロジックプログラミング技術に基づく高並列処理と推論処理が基本枠組となっており、近い将来における知識情報処理を指向したコンピュータシステムである。

本資料では、本プロジェクト遂行にかかわるICOTの活動と関連機関との関係の他、推定される並列推論マシンの展望についても述べている。

1 F G C S プロジェクトの発足

までの経緯

第五世代コンピュータプロジェクトの調査段階における時代的背景を要約すると次のとおりである。

- 日本のコンピュータ技術が欧米先進国に追いついた頃。
- コンピュータ技術に関する日本のナショナルプロジェクトの役割が「欧米の最新技術に対するキャッチアップによる競争力向上」から「世界に先駆けてのリスクの多い先端技術開発の実施による世界のコンピュータ科学への貢献」へと転換することが論議された。

この様な状況下で、通産産業省は新しいプロジェクトとして、第五世代コンピュータに関する調査を1979年に開始し、1981年まで継続した。第五世代コンピュータのネーミングには当時登場が予想されていたフューチャシステムとしての第4世代機より更に先行した先端技術開発に向けた通産産業省の

意気が込められていた。

新しいプロジェクトのための調査検討を行うため、図1-1に示す調査研究委員会が1979年に構成され、第五世代コンピュータの枠組とプロジェクトとしての目標を提案し、1981年まで継続した。

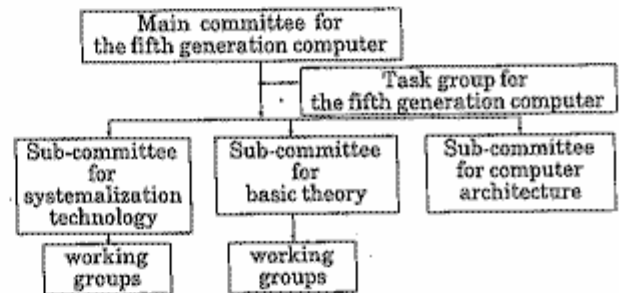


図1-1 第五世代コンピュータ調査研究委員会の構成

委員会のメンバーは、大学・国公立研究機関・コンピュータメーカーの研究者で3年間全体で百数十人が延べ百数十回の打合わせに参加し、そこでは近未来の重要なコンピュータ技術としての以下に示す候補が議論された。

- 知識処理指向の推論コンピュータ技術
- 大規模データベース・知識ベース向きのコンピュータ技術
- 高性能ワークステーション技術
- 機能分散型コンピュータ技術
- 大規模科学計算向きのスーパーコンピュータ技術。

これ等のコンピュータ技術は日本のオリジナルな技術開発による国際貢献、将来技術としての重要性、社会的ニーズとの結び付き、日本のナショナルプロジェクトとしての枠組と役割の観点等で調査検討が行われた。

その結果、委員会は1980年末には第五世代コンピュータ像を決定し、更に技術的観点、社会的インパクト、プロジェクトの

枠組への検討を継続した。委員会のプロジェクトに対する提案は次のとおり要約できる。

- ①第五世代コンピュータの枠組：並列 (non-Von Neumann 型) 処理と知識ベースを用いた推論処理を基本メカニズムとする。
このためのハードウェアとソフトウェアのインタフェースは論理型言語とする。(図1-2参照)
- ②第五世代コンピュータプロジェクトの目的：知識情報処理を指向し、現存の方式でのコンピュータの技術的限界に対処しうる革新的コンピュータの技術体系を確立する。

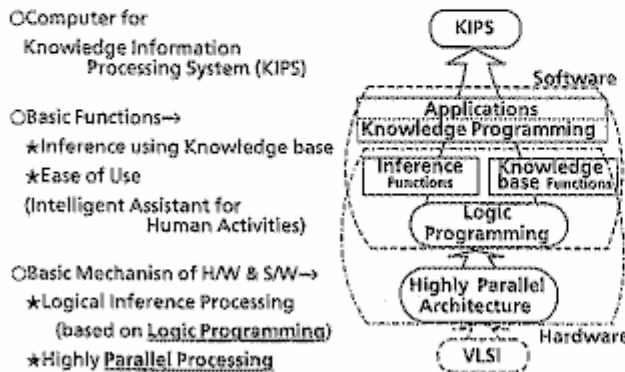


図1-2 第五世代コンピュータの枠組

- ③プロジェクトの研究開発目標：第五世代コンピュータのハードウェアおよびソフトウェアの技術を1セットとして研究開発する。そのための第五世代コンピュータプロトタイプシステムとして1000台規模の要素プロセッサから成る100MLIPS (1秒間の推論実行回数) から1GLIPSの性能を目指す。
- ④プロジェクトの研究開発期間：前期 (要素技術開発)、中期 (サブシステム開発)、後期 (トータル (プロトタイプ) システム開発) の3段階に区分された10年間と見積る。
通産省はこの提案に基づき第五世代コンピュータプロジェクトをナショナルプロジェクトとして開始すべく、各方面との折衝を行った。一方、国際会議を1981年10月に開催し、この調査結果を発表し海外の専門家を含む議論を行った。

2 FGCSプロジェクトの研究開発成果概要

2.1 FGCSプロジェクトの研究開発ステップ・予算

本プロジェクトはリスクで先端的な技術開発を行う必要性から、次の3段階に分割された長期間の計画である。

- 前期 (昭和57年度から59年度)：第五世代コンピュータとして必要な要素技術の研究開発。
- 中期 (昭和60年度から63年度)：小規模の各サブシステムの研究開発。
- 後期 (平成元年度から4年度)：トータルシステムとしてのプロトタイプシステムの研究開発。当初計画に対し、平成4年度に統合化・評価・改良を行うこととなった。

計画を実施するための予算は全額国の予算であり、各年度毎の予算は、前年度に予算要求に基づき審議され定められて来た。前期約80億円、中期約220億円であり、後期約240億円 (総額540億円) の予定である。

| Budget (Billion yen) | Initial Stage 3 years: 82-84 (TOTAL: ¥5.3B) | | | Intermediate Stage 4 years: 85-88 (TOTAL: ¥21.5B) | | | | Final Stage 4 years: 89-92 (3 years total: ¥20.7B) | | | |
|----------------------|---|---------|---------|---|----------|---------|---------|--|---------|----------|---------|
| | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 |
| Research | ¥400M | ¥2.7B | ¥5.1B | ¥4.7B | ¥5.55B | ¥5.6B | ¥5.7B | ¥5.5B | ¥7.0B | ¥7.2B | ¥3.6B |
| Total | \$1.84M* | \$12.6M | \$23.7M | \$21.8M | \$34.3M* | \$35.0M | \$35.6M | \$40.0M | \$42.7M | \$31.4M* | |
| Yearly | ¥1.30M* | ¥6.02M | ¥16.5M | ¥15.3M | ¥22.0M* | ¥22.0M | ¥22.8M | ¥26.0M | ¥28.0M | ¥20.0M* | ¥20.0M* |

10-year Initial plan

●R&D are carried out under the auspices of MITI.
(All budget (Total budgets: ¥54.6B) are covered by MITI.)

* \$1 = ¥ 215, † \$1 = ¥ 207 (1982-1985)
* \$1 = ¥ 195, † \$1 = ¥ 230 (1986-1990)
* \$1 = ¥ 195, † \$1 = ¥ 240 (1991-)

図2-1 FGCSプロジェクト予算推移

2.2 各ステップにおける研究開発課題

プロジェクトが目標探索型の性格をもち、かつ長期間に渡るものであることから、具体的な研究開発計画と技術的目標は当初からは定められていなかった。そのため各段階の始めに、各段階での研究開発課題と目標を定めつつ、プロジェクトが遂行されてきた。

前・中・後期の各段階における研究開発課題は、以下に述べる状況を考慮しつつ、図2-2に示すように定められた。

| Fiscal Year | Initial Stage | | | Intermediate Stage | | | | Final Stage | | | |
|----------------------------------|---|-----|-----|---|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|
| | 1982 | '83 | '84 | 1985 | '86 | '87 | '88 | 1989 | '90 | '91 | '92 |
| ● Basic SW System | ● SG Kernel Languages ● Problem Solving & Inference SWMM ● KB Management SWMM ● Intelligent Interface SWMM (Software module) ● Intelligent Programming SWMM | | | ● Basic SW System ● SG Kernel Languages ● Problem Solving & Inference SWMM ● KB Management SWMM ● Intelligent Interface SWMM ● Intelligent Programming ● Experimental Application system for Basic SW | | | | ● Experimental Parallel Application System ● Knowledge Programming SW System ● Knowledge construction & Utilization Interface ● Natural Language Interface ● Problem Solving & Programming (CLP, Prover) ● Advanced Inference Method | | | |
| ● Pilot Model for Support System | ● SW Hardware ● SIM Software | | | ● Development Support System ● Pilot Model for Parallel Software Development ● Network System for Development Support | | | | ● Basic Software System ● Inference Control Module (PIMOS) ● KB Management Modul (KBMS: Kappa & Quikote) | | | |
| ● Hardware System | ● PIM Functional Mechanism ● KBM Functional Mechanism | | | ● Hardware System ● Inference subsystem ● KB Subsystem | | | | ● Prototype Hardware System | | | |

図2-2 前・中・後期における研究開発課題

第五世代コンピュータ調査研究委員会の提案した5グループ10課題を基として、前期開始に当り3グループ9課題に前期目標が定められた。前期終了時点までに機械翻訳、および音声・図形・画像認識の基礎研究について、民間での開発機運が高まったことから、プロジェクトの対象から外し、メーカーの自主研究に委ねることとした。

中期の途中段階では、大規模電子化辞書の開発について、基盤技術促進センターが出資する日本電子化辞書研究所（EDR）が、逐次論理型言語のESP（Extended Self-Contained Prolog）の汎用（UNIX）マシンに対する移植についても同様の形態組織のAI言語研究所（AIR）が進めることとなった。

更に、本プロジェクト遂行上の特徴として、ソフトウェア開発環境、特にプログラム言語を統一したことである。これにより開発ツールや研究開発成果の共用やプロジェクト内部での利用評価や改良に資することが可能となっている。ソフトウェア開発環境自体をプロジェクト内で開発したのは、市販製品に適したものがないということもこのプロジェクトの目標の性格から言えることである。

各段階において、次のとうりの言語とソフトウェア開発環境に統一して来た。

- 前期：DECマシン上のProlog
- 中期：PSI・SIMPOS上のESP
- 後期：マルチPSI（又はPIM）・PIMOS上のKL1
（なお、PSIも擬似マルチPSIとして利用されている）

2.3 ハードウェアシステムの研究開発成果概要

ハードウェアシステムのうち逐次型推論マシンの研究開発成果はPSI（Personal Sequential Inference Machine）とCHI（Co-operative (back-end type) high performance Inference Machine）である。PSIはKLO（Kernel Language Version 0）マシンとして開発され、前期のPSI-Iは約35KLIPS（1秒間の推論実行速度で、Logical Inference Per Second）は中期前半までのESPのための主要な開発環境用ワークステーション（WS）として約100台が利用された。

CHI-IはWAM命令セットと高速デバイスの採用により、約200KLIPSの性能を達成した。

中期においてPSIはマルチPSI用のFEP（Front End Processor）およびPSI-IIとして再設計され、約330から400KLIPSの性能を達成し、CHIは同様にCHI-IIとして再設計された。PSI-IIは、中期中盤以降のESP用のWSとして約300台が利用され、更にKL1に対しても擬似マルチPSIとして利用された。

PSI-IIIは更にPIM/mのCPUの利用（通商産業省からの利用許諾による）とUNIXとの結合をメーカーが行ったもので、

後期におけるPSI-IIの後継機となった。

並列推論マシン（PIM）の研究開発は、次のとうりである。

- 前期においては、8～16台規模の実験用ハードウェアシミュレータやソフトウェアシミュレータをデータフロー方式やリダクション方式に基づいて試作した。
- 中期においては、6台のPSI-Iを接続し、KL1エミュレータによる最初のKL1マシンとしてマルチPSIV1を開発した。
この性能は数KLIPS程度であるが、マルチPSIV1の開発によりKL1の実装や小規模のPIMOSの開発経験を得ることができた。次いで64台のPSI-II用CPUをメッシュ型ネットワークで接続したマルチPSIV2を開発した。KL1実行速度はCPU当たり約150KLIPS、64PE（要素プロセッサ）システムでは、約5MLIPS、種々のKL1プログラムを開発する上では十分な性能であった。
- マルチPSIV2の開発経験に基づき、PIMの設計と実験版の試作を行い、現時点では大規模モジュール3種類と小規模実験モジュール2種類からなるプロトタイプハードウェアの組立・調整を行っている。これらの各モジュールはハードウェアの要素技術に対する実験を行うため、プロセッサの構成や接続の方式は異なっているが、すべてKL1を実装する様設計され、PIMOSを含むKL1プログラムが走行可能である。
VPIMシステムはクラスタ構成の各PIMモジュールのKL1-b言語開発のベースとなる共通処理系であり、汎用機上で開発されている。

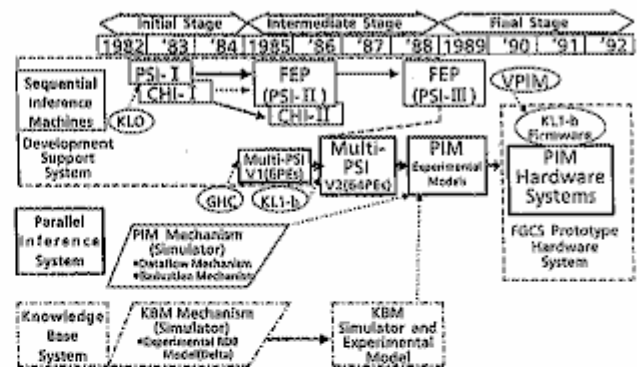


図2-3 ハードウェアシステムの研究成果の推移

知識ベースマシン（KBM）の研究開発は中期まで行われた。前期においては、4台の関係度数演算エンジンを持つ関係データベース実験機（Delta）を試作した。中期においては、比較・サーチ等のためのアクセレータをPSIに付加した演算データベースシミュレータ、CHI-IIをベースとした多重-多重名前空間を持つデータベース実験システム、および単一化エンジンとマルチポートページメモリからなる知識ベースハードウェアシミュレータを試作した。後期においては、ファイルシステムを持

つPIMとその上の知識ベース管理ソフトウェア (KBMS) の開発に集約し、これ等の研究成果を反映している。

2. 4 ソフトウェアシステムの研究開発成果概要

ソフトウェアシステムの研究開発は図2-2の基礎ソフトウェア・基本ソフトウェア・知識プログラムソフトウェア等の研究開発課題に基づいて行われた。

2. 4. 1 第五世代コンピュータ言語の研究開発成果

逐次論理型言語としては、核言語第0版 (KL0) とESPが前期にまず設計された。

KL0はPSIハードウェア用の言語としてPrologをベースとして設計され、ESPはKL0にOSや応用プログラム等の大規模ソフトウェア開発のためのモジュラープログラミング機能やマクロ記述機能が付加されたものである。

並列論理型言語としては、ParlogやCP (Concurrent Prolog) をベースとしてGHC (Guarded Horn Clauses) が前期に提案され、FGHC (Flat GHC) を経て核言語第1版 (KL1) の基本仕様となった。KL1はマクロ記述など多くの機能をFGHCに追加したものであるが、マシンレベルの言語KL1-b (base)、中核言語のKL1-c (core)、並列プロセスの制御を記述するKL1-p (pragma) から構成される。

マルチPSIやPIMはこのKL1-bに基づいて設計され、並列OS (PIMOS) を含む種々の並列ソフトウェアはKL1-cとKL1-pで記述されている。

オブジェクト指向言語としてA'umが設計され、その処理系の実験がKL1の改良に反映されている。

高水準言語としては、個々の適用分野の記述のために数種類の逐次型言語がまず設計された。CIL (Complex Indeterminate Language) は自然言語処理における意味や状況記述をするためにPrologを拡張したものである。CRL (Complex Record Language) は非正規型関係DBソフトウェア上の演繹DBのための内部表現に用いられる知識表現言語の1種として開発された。CAL (Contrainte Avec Logique) は問題を制約として宣言的に記述する逐次制約論理プログラミング言語である。

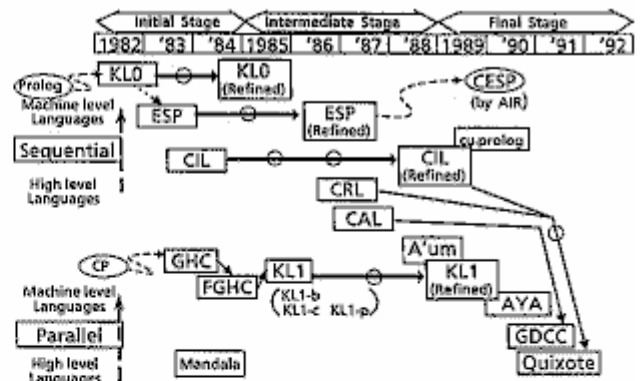


図2-4 5G言語の研究開発成果の推移

並列論理型の高水準言語としては、まずMandalaが知識表現言語として前期に提案されたが、並列処理環境や経験等の不足により中期においては知識表現言語としては前述の逐次型言語をまず開発することとした。

後期において、CILとCRLの開発経験に基づき、並列型知識表現および知識ベース言語としてQuixoteが設計された。Quixoteは演繹オブジェクト指向言語であり、KBMSにおけるユーザインタフェースとしての重要な役割も持っており、処理系を現在開発中である。GDCC (Guarded Definite Clause with Constraints) はCALの開発経験に基づく並列型制約論理プログラミング言語であり、処理系の開発が現在行われている。

2. 4. 2 基本ソフトウェアの研究開発

前期において、PSIのための、ESP記述による逐次型推論マシン用プログラミングオペレーティングシステム (SIMPOS) を開発し、その後中期においてプロジェクト内部のESP開発環境としての利用結果等を反映し機能拡張と改良を継続した。

並列OSとしては、本プロジェクトの目的に適した先行する技術はなく、SIMPOSの経験に基づきまずマルチPSIV1上に中期前半に小規模実験用の並列推論マシン用OS (PIMOS) を開発した。次いで中期後半にマルチPSIV2上にPIMOS (V1) を開発し、KL1プログラム開発環境として利用した。

この他、プログラム開発支援ソフトウェア (PDSS) が汎用機上のKL1プログラミング環境として中期に開発された。

並列プログラムの開発支援として、並列処理状況を表示し、並列処理アルゴリズムや負荷分散の改良を行うためのParagraphが開発されている。

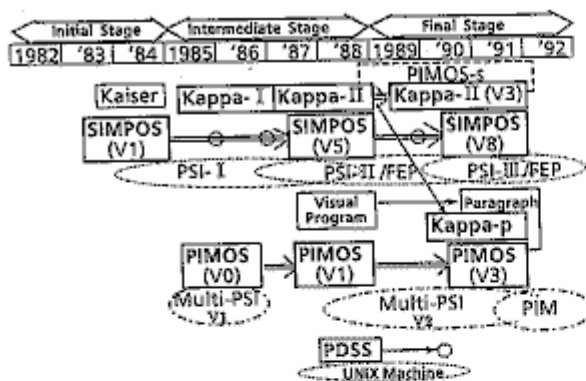


図2-5 基本ソフトウェアの研究開発成果の推移

DB/KB管理ソフトウェアとしては、前期にまず関係データベース管理ソフトウェア(Kaiser)を試作した。

次いで中期において、自然言語処理、定理証明や種々のエキスパートシステムに適用される大規模DB/KBの構築に必要な機能を持つKappa-IおよびKappa-IIを開発した。

Kappa-IおよびKappa-IIは非正規関係モデルに基づく演繹オブジェクト指向DB管理システムのデータベースエンジンを目指したものである。

後期において、PIM上の分散ディスクに格納され分散DBの管理機能を持つKappaの並列版(Kappa-p)を開発しており、このKappa-pとQuixoteがKBMSを構成している。

2. 4. 3 問題解決プログラミング技術の研究開発

定理証明とプログラム仕様についての処理の類似性の観点から、前期以来証明技術研究を継続して来ており、まず前期において証明支援システム(CAP)実験版を試作し、中期において改良・拡張を行うと共に等号に対する数式変換を行う項書き換えシステム(TRSおよびMetis)を開発した。

プログラム検証合成実験システム(Argus)についても前・中期にかけて試作・改良等が行われた。

これ等の研究成果は後期において定理証明の研究に集約され、MGTP(Model Generator Theorem Prover)が開発され、推論エンジンとして法的推論システムに適用されている。

この他、メタプログラミングや部分計算技法、学習メカニズム等の高次推論・学習に関する基礎研究が行われた。

2. 4. 4 自然言語処理技術の研究開発

自然言語処理のためのソフトウェアツールとして、前期においてBUP(Bottom up Parser)や小規模電子化辞書の実験版を試作し、中期において汎用日本語処理ツール(LTB:Language

Tool Box)としてまとめ、更にツールの追加や改良等を行った。LTBには形態素解析のLAX(Lexical Analyser)、構文解析のSAX(Syntactic Analyser)、文生成(Text Generator)、言語データベース等が含まれており、ESP記述で開発されたが、後期において汎用UNIX WSでも走行可能な様にCESP版が開発された。

談話理解実験システムDUALSについてこれらのツールの機能検証と自然言語理解の研究のための実験版として、前期に第1版を試作し、中期においては第3版まで改良した。

後期においては、これらの研究成果を踏まえて並列自然言語処理実験システムとして立論システム(Dulcinea)の試作を進めている。

2. 4. 5 知識利用技術と並列応用実験システムの研究開発

知識利用実験ツールとしては、中期において、仮説推論技術に基づくツール(APRICOT)や定性推論技術に基づくツール(Qupras)を試作した。

後期においては仮説ベース推論や事例ベース推論メカニズムに基づく応用実験システムの試作を通じて研究を行っている。応用実験システムとしては前期におけるProlog記述による論理回路設計支援と配線支援のCAD実験システムの試作に始まり、中期においては、応用分野を拡大し、配置と論理設計CAD、故障診断、プラント制御、囲碁対局システム等のESP記述による試作を行った。

中期後半においてマルチPSI、PIMOSの開発により並列応用ソフトウェアの研究開発が可能となり、まずKL1記述による並列プログラムの開発実験と並列システムの評価のために、小・中規模のプログラムを試作し、後期にも並列アルゴリズム等の改良が行われた。並列構文解析プログラム(PAX)、ペントミノプログラム、最短経路プログラム、詰め碁プログラムがそのプログラムである。後期においては、以上述べた中期までの開発成果を踏まえ、応用分野を更に増し、KL1記述による、並列応用実験システムとして、LSI-CADシステム(論理シミュレーション、配線、セル配置、論理回路設計)、遺伝子情報処理、事例ベース推論に基づく法的推論システム、および故障診断・プラント制御・囲碁対局のエキスパートシステムを開発している。

2. 5 研究開発環境

2. 2節で述べた様に研究開発環境のベースとなる言語は、前期はProlog、中期はESP、後期はKL1として統一されて来た。

そのため前期においては、汎用機上のPrologと端末を利用した。中期においては、逐次論理型言語としてのESPのため

の開発環境としてSIMPOSとPSI（IおよびII）を利用した。後期においては並列推論マシン（マルチPSIおよびPIM）及びその端末兼ワークベンチとしてPSI（IIおよびIII）を利用している。

この他、PIM設計のためのシミュレーションや通信のために汎用機も利用している。

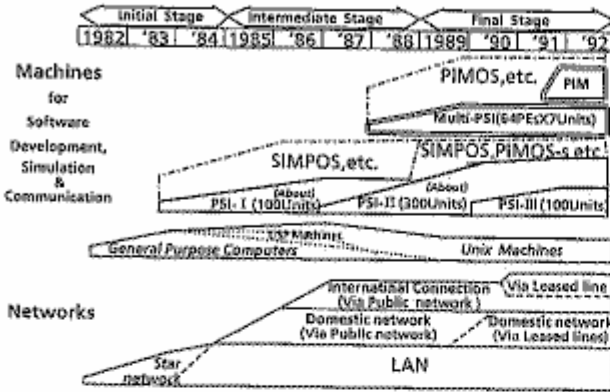


図2-6 研究開発環境の推移

コンピュータネットワークシステムとしては、構内接続にはLANを、国内・海外接続にはゲートウェイを通して接続を行っている。

3 FGCSプロジェクト推進体制

本プロジェクトを遂行するための中核非営利組織の財団として1982年4月にICOTが設立され、同年6月から研究開発を開始した。

ICOTの設立は創造的研究開発を一体として進めるために次を示すような中核組織の必要性和効率性を考慮して行われたものである。

- 研究開発を行うに当たり、強力なリーダーシップに基づくテーマの選択や指導が、10年という長期間に渡る研究を第五世代コンピュータという統一的枠組の内で行うために必要なこと。
- 本研究分野での研究者を集中研究所の中で迅速に育成することが必要なこと。
- 外部の組織や研究者と交流するための中核が必要なこと。



図3-1 ICOT組織

ICOTは事務局と研究所から成り、ICOT研究所内の組織は研究進展に合わせて変更されて来た。（図3-1参照）

ICOT研究所の全研究者は国立研究所、公的機関、企業からの出向者であり、研究者の育成を行いつつ創造的研究を行う必要性から、35才以下の若手中心に集められ、3~4年ローテーションが行われた。これにより組織の活力の維持や効果的な技術の普及が行えた。更に研究者のローテーションにより、研究活動の一貫性や研究能力の維持向上の面で多大な努力を要したが、一方若手研究者の集団（平均30才程度）としての維持や組織変更時の融通性をもたらした。

現在までに、延べ184人の研究者が出向しており、平均3年8ヶ月の在職期間（約半数の現職を含む）となっている。研究者数は年々増加しており、当初の40人から中期末の約100人になって現在に至っている。出向元組織数は当初の11から19までに増加して来た。これは中期において、約25社から成る一般賛助会社からの出向を受け入れたことによるものである。

| Fiscal Year | Initial Stage | | | Intermediate Stage | | | Final Stage | | | | |
|---|---------------|-----|-----|--------------------|-----|-----|-------------|------|---------------|-----|-----|
| | 1982 | '83 | '84 | 1985 | '86 | '87 | '88 | 1989 | '90 | '91 | '92 |
| Director | | | | | | | | | | | |
| Deputy Director | | | | | | | | | | | |
| Deputy Directors | | | | | | | | | | | |
| 1st R.Lab. | | | | 1st R.Lab. | | | | | Research Dep. | | |
| 2nd R.Lab. | | | | 2nd R.Lab. | | | | | 1st R.Lab. | | |
| 3rd R.Lab. | | | | 3rd R.Lab. | | | | | 2nd R.Lab. | | |
| | | | | 4th R.Lab. | | | | | 3rd R.Lab. | | |
| | | | | 5th R.Lab. | | | | | 4th R.Lab. | | |
| | | | | | | | | | 5th R.Lab. | | |
| | | | | | | | | | 6th R.Lab. | | |
| | | | | | | | | | 7th R.Lab. | | |
| | | | | | | | | | | | |
| Research Planning Department / Section | | | | | | | | | | | |
| Number of Researchers | 40 | 42 | 45 | 50 | 80 | 90 | 95 | 100 | 100 | 100 | |
| Number of Researchers' Parent Organizations | 11 | 11 | 12 | 12 | 12 | 13 | 16 | 19 | 19 | 17 | |
| Number of Committee and Working Groups | 7 | 7 | 8 | 13 | 15 | 9 | 13 | 13 | 15 | 17 | |

図3-2 ICOT研究所組織の推移

ICOT研究所組織は、前期には研究計画部と3研究室であったが、中期には5研究室に増加した。更に平成2年には、1研究部7研究室体制へと変更した他、研究室のテーマ分担も研究の進捗に合わせて変更して来た。現時点での研究室の分担と研究所組

織を図3-3に示す。

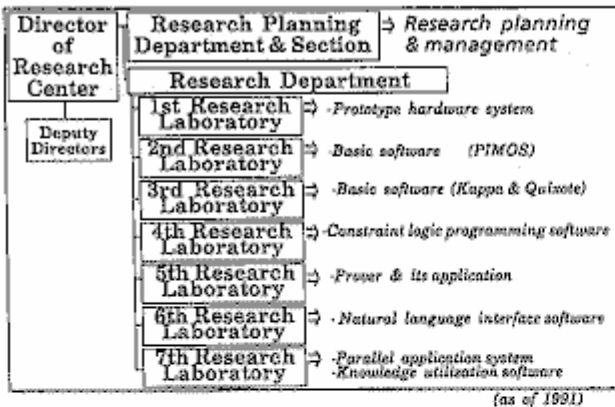


図3-3 ICOT研究所組織と任務

研究交流の一貫として、毎年数名の海外研究者を数週間招聘し、特定の研究テーマでICOT研究者と意見交換を行って来ており、現在までに、延べ74名を12ヶ国から招聘した。

又、8名の長期(約1年間)の研究者の派遣受け入れを外国政府機関との覚書に基づき行って来ている。

この覚書は米国NSF(National Science Foundation)、仏国INRIA(Institute National de Recherche en Informatique et Automatique)、英国DTI(Department of Trade and Industry)と締結している。

全体のプロジェクト推進体制を図3-4に示す。

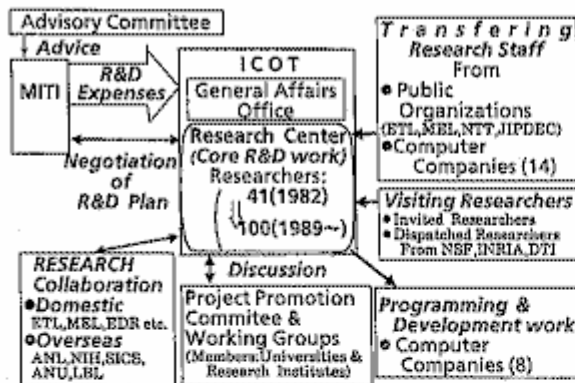


図3-4 FGCSプロジェクト推進体制

研究開発に関わる全費用は通商産業省からICOTへの委託契約に基づき国が負担している。各段階と毎年の研究計画は通商産業省の承認を受けるが、このために、通商産業省は本プロジェクトの諮問のための委員会を設置し、プロジェクトの計画と成果評価についてのアドバイスを受けて来た。

ICOTは中核的研究開発を行うと共に、ハードウェアの製造やソフトウェアの開発等についてはコンピュータメカに再委託契約を行うことにより、全体のプロジェクトを遂行して来た。

その他、ICOTは委員会やワーキンググループ(WG)を設

置し、大学や研究機関の研究指導者・研究者からの全体計画と成果や特定の研究テーマ毎についての意見交換を行って来た。

このWGも研究進捗に合わせて変更して来ているが、1WG当り10~20人程度の委員からなり、全体としては毎年150~250人程度の委員により構成されて来た。

他に研究交流や研究成果の普及の枠組があるが、次章で詳しく述べる。

4 研究成果の普及と研究交流活動

本プロジェクトはナショナルプロジェクトとして、世界のコンピュータ科学分野への貢献が重要と考えており、ICOT活動に関して研究開発の成果のみならず、研究のアイデアや過程についても論文や資料を通じて公表・説明を行うこと、および外部の研究者や機関との研究交流を行うことの努力を続けて来ている。この努力は並列処理や知識情報処理技術の進歩への貢献のみならず、この分野での研究コミュニティの拡大にも役立って来ており、今後共プロジェクトの成果の普及を通じて、更に拡大して行くものと期待している。

又、多数の外部研究者から、ICOT研究者との意見交換等を通じて、本プロジェクトは多大な貢献を受けて来ている。例えば、並列論理型言語の母体であるGHCはParlogやCPの研究者との交流の結果生まれ、ハードウェアシステム(PSI等)の性能改善にはウォーレン教授の提案したWAM命令セットの導入効果が大きく寄与している。

この様な研究交流や研究開発成果の普及のための全体的枠組みを図4-1に示す。

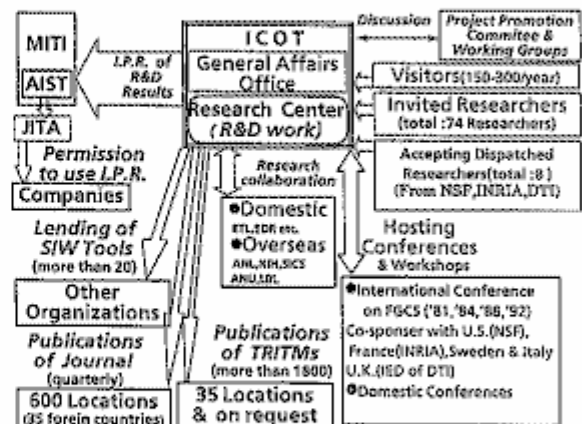


図4-1 研究交流と研究開発成果の普及の枠組み

- ① 研究活動と成果の公表のために、ICOTジャーナルと研究資料の出版・配布を行っている。ICOTジャーナルは季刊でICOT活動と研究資料の紹介を掲載しており、海外35ヶ国約600ヶ所に配布されている。
- 研究資料には、研究論文(TR)と研究メモ(TM)があり、現在までに約700のTRと約1100のTMを発行しており、これ等の約1/3は英語版である。このTR/TMは海外約30ヶ所に定期送付すると共に要望に応じて個別に送付している。
- ② ICOT研究者が外部研究者と意見交換や研究討論を行う次の様な機会がある。
- 国内外での学会・ワークショップ等で論文発表や意見交換を行っており、現在までに約450回の国際会議等での発表、約1800回の国内学会等での発表を行って来た。又、多くの海外研究機関を訪問し、ICOT活動の紹介や研究交流も行ってきた。
 - 毎年、150~300人程度の研究者や専門家等のICOT訪問を受け入れ、ICOT活動の紹介や意見交換等を行っている。
 - 前章で述べた様に、研究者の招聘や海外政府機関からの派遣研究者の受け入れを行って来た。派遣研究者の受け入れは中期に入って開始され、その研究成果は論文として発表されている。
- ③ ICOTは種々のシンポジウムやワークショップ(WS)を開催し、研究成果や活動状況の発表や意見交換を行って来た。
- 2章で述べたFGCS国際会議'81に引き続き、前期の成果をFGCS国際会議'84(昭和59年11月開催)で発表した。その後、中期の成果をFGCS国際会議'88(昭和63年11月開催)で発表した。
 - 国別シンポジウム・WGを次のとおり開催してきた。
 - ・1983年以降、日瑞(又は日瑞伊)WSを7回開催(スウェーデンコンピュータ科学研究所(SICS)、伊ビサ大学と共催)
 - ・1986年以降、日仏AIシンポジウムを4回開催(仏国INRIAと共催)
 - ・1987年以降、日米AIシンポジウムを4回開催(米国NSFと共催)
 - ・1989年以降、日英WSを2回開催(英国DTIと共催)
- ④ 本プロジェクトの研究開発費用は全額国の負担であることから、特許等の知的所有権(IPR)は日本政府に帰属する。このIPRは工業技術院(AIST)が管理し、利用を希望する企業に対し、有償で差別なく許諾される。この利用に関する無差別な許諾は本プロジェクトの成果としてのIPRが政府所有になることにより可能となっており、普及の1つの枠組となっている。なお、既にPSIやSIMPOSについては、企業

が利用許諾を受け商用化している。

- ⑤ AISTにより管理される段階にない本プロジェクトで研究開発中のソフトウェアは、研究開発ツールとして営利目的以外の利用目的に対して、利用を希望する企業・大学等にICOTから貸与されて来た。
- 現在PIMOS、PDSS、Kappa-II、LTB、A'umシステム、CAPシステム、cu-prologシステム、TRSジェネレータ等20以上のツールを運用中である。
- この他、学術的情報として広く利用可能とするため研究資料(TR/TM)にソースプログラムまで掲載しているものもある。
- ⑥ 論理プログラミング分野での研究交流の一環として、米国アルゴンヌ国立研究所(ANL)、米国国立衛生研究所(NIH)、米国ローレンスパークレイ研究所(LBL)、スウェーデンのSICS、オーストラリア国立大学(ANU)との共同研究活動を行っている。

5 第五世代マシンの将来展望

LSI技術は過去において3年で約4倍のゲート数となる進歩を着実にとげて来た。本プロジェクトは、このLSIの進歩の利用により、マシンの性能を高並列処理により大巾に向上させ得ることが可能かつ必要との認識に基づいている。

推論マシンの場合、通常のCPUより多くの回路を必要とすることから、最初のPSI-IのCPUは10枚以上のボードが必要であったが、マルチPSIV2(PSI-II)では4枚に、PIMでは1枚に減少して来た。他にメモリ80MBに対して、PSI-Iは16枚(256Kbitチップの利用)、マルチPSIV2は4枚、PIM(PIM/m)は1枚である。

要素プロセッサ(PE:CPUとメモリ)当りのボード数およびPE当りのコストの過去の傾向と今後の予測値を図5-1に示す。

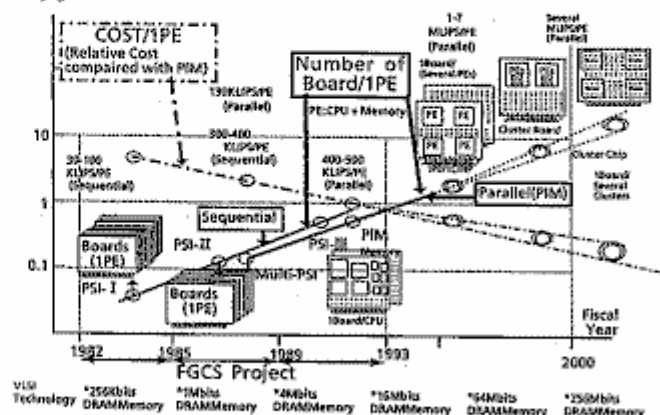


図5-1 5GマシンのPEサイズとコスト傾向

図5-1においては、2000年までには10程度のPEが1ボードに搭載され、デスクサイド筐体に100PE程度、大型筐体で1000PE程度が実装され得ると予測できる。又コストについても3年で約半減していくことになる予測している。

5Gマシンの性能予測を本プロジェクトの現在までの実績値をベースとして図5-2に示す。逐次型推論処理性能は現在までに3年で約4倍になっている。並列型推論処理性能向上は逐次型の場合ほど大きくなく、マルチPSIからPIMで2.5倍程度である。図5-2においては、現在までのCISCおよびRISCのマイクロプロセッサの性能向上や推論マシンの推論処理性能のボード当りの性能向上傾向も示してある。ボード当りでは2000年頃にはPIMの100倍程度の20MLIPSを、大型筐体の推論マシンは1GLIPSを、達成可能と予測している。

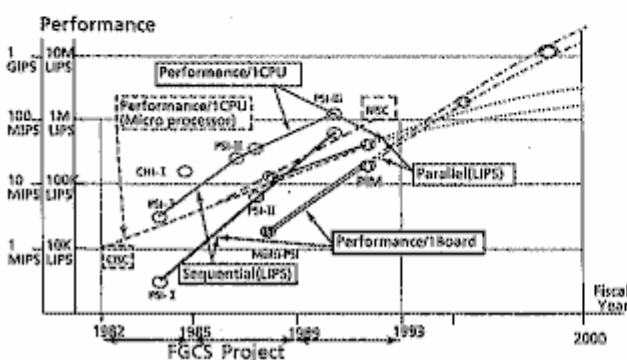


図5-2 5Gマシンの性能傾向

本プロジェクトにおいて、CAD、定理証明、遺伝子情報処理、自然言語処理、法的推論等のいくつかの応用分野についてのプログラムを開発しているが、これは近い将来における並列処理の適用分野の開拓の目的も含まれているものである。

並列処理の技術は近い将来においてコンピュータ処理へ汎用的に適用され、産業・社会の種々の分野へ拡大されて行き、今後の並列処理技術と知識処理技術の進歩に伴って、徐々に並列処理応用プログラムの実用化が進むものと考えられる。

6 おわりに

逐次ベースであるが、前期の成果であるPSI、SIMPOSやいくつかの応用実験を通して、論理プログラミング技術が第五世代コンピュータの基本枠組として実現し得ることを示した。

次いで中期末には、並列論理プログラミング環境としてマルチPSIやPIMOSの開発を通して、論理プログラミングに基づく並列処理の実現可能性を示した。

本プロジェクトの最終成果として、第五世代コンピュータ・プロトタイプシステムを示すことにより、近い将来に汎用的並列処

理の時代が到来し得ることを示し得るものと考えている。

謝 辞

本プロジェクトは、通商産業省、実際の研究開発を行って来た研究員、本プロジェクトを支援して頂いている多くの方々の努力と協力により進められた。

本報告の終りに当り、本プロジェクトを直接・間接的に支えて来た多くの方々に感謝する。

参 考 文 献

- [Motooka, et al 1981] Proceedings of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems, 1981, JIPDEC
- [Kawanobe, et al 1984] K. Kawanobe, et al, ICOT Research and Development, Proceeding of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems 1984, 1984, ICOT
- [Kurozumi, et al 1987] Y. Kurozumi, et al, Fifth Generation Computer Systems Project, 1987, ICOT TM303
- [Kurozumi, et al 1988] Y. Kurozumi, et al, ICOT Research and Development, Proceedings of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems 1988, 1988, ICOT
- [Kurozumi, 1990] T. Kurozumi, Fifth Generation Computer Systems Project-Outline of Plan and Results, 1990, ICOT TM-936