

## 第五世代コンピュータの研究基盤化プロジェクトに関する総合報告\*

内田俊一

(財) 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

uchida@icot.or.jp

### 概要

本論文では、11年間に亘った第五世代コンピュータプロジェクト (FGCS Project) の後を受けて、その後継プロジェクトとして2年間実施された第五世代コンピュータの研究基盤化プロジェクト (FGCS Follow-on Project) について報告する。

後継プロジェクトの活動は大きく2つに分けられる。一つは研究開発であり、他の一つはFGCS技術の普及活動である。

研究開発活動は、KLICと呼ばれる、Unixベースの逐次および並列マシン上のKL1プログラミングの新しい環境の開発と、KLICを用いて知識処理の主なツールやアプリケーションシステムをこれらのマシンに移植するための修正や拡張を含んでいる。

普及活動は、内外の研究機関や大学との様々な共同研究を編成すること、ワークショップやセミナーを開催すること、作られたソフトウェアをICOT無償公開ソフトウェア (IFS) として配布すること、Internet上のanonymous FTPやWorld Wide Web (WWW) を介して研究開発活動に関する技術情報を公開すること、などを含む。

KLICは現在、各種のUnixベースのワークステーションや数種のMIMD型並列マシン上で稼働している。いくつかの並列ツールとアプリケーションシステムがすでにこれらのマシンに移植され、Unix環境で利用可能な様々な既存のソフトウェアシステムとともに使用されている。

これらのツールやアプリケーションシステムのすべてはICOT無償公開ソフトウェアとして配布されている。1992年8月の最初のリリース以来、2,100を超える人々が12,000以上のファイルにアクセスした。KLICはすでに日本や海外の数十の大学で並列言語として教育に使用されている。

我々は、後継プロジェクトが全体目標を達成して、1995年3月に成功裡に終了することを確信している。またICOTの研究所が活動を終える1995年3月以降も、数年間はICOT無償公開ソフトウェアの保守と配布を継続する計画である。

### 1 はじめに

最近、コンピュータ科学技術の主流は急速に並列分散コンピューティングに向かっている。この変化はコンピュータにおける新時代の幕開けと見ることができる。変化はハードウェア技術から始まり、今やソフトウェア技術やアプリケーションにまで拡大している。

この新時代において、FGCS技術はより重要で実用的な基本技術となり、我々に大規模な並列分散知識処理システムを構成する際の機能を提供することができる。

後継プロジェクトがその目標を達成すると、FGCS技術の利用が拡大し、結果としてコンピュータ科学技術の世界的な進歩に貢献するだろう。

本論文では、11年間続いた第五世代コンピュータプロジェクトの後継プロジェクトとして1993年4月より2年間実施された後継プロジェクトについての活動報告を行う。

後継プロジェクトは第五世代コンピュータプロジェクトで開発されたFGCS技術の普及を目的としている。FGCS技術は核言語にロジックプログラミングを用い、高度な並列処理と知識処理技術を組み合わせて開発された。

FGCS技術の中心部分は、KL1並列言語と、約1000台の要素プロセッサを持つ並列推論マシン (PIM) 上に実装されたPIMOSオペレーティングシステムである。

PIM上でこのKL1/PIMOS環境を用いて、多くの並列ソフトウェアシステムが開発された。KL1/PIMOS環境によって、要素プロセッサ数にほぼ比例するリニアな速度向上を達成できることを、定理証明器MGTPのような多くの並列ソフトウェアシステムが証明した。

本格的な知識処理やAIの応用システムが、高度な並列処理を用いてほぼリニアな速度向上を達成できたことは、おそらく世界で最初のことであろう。PIMおよびその上で動くKL1/PIMOS環境は、知識処理において現在最も強力な並列システムである。

第五世代コンピュータプロジェクトの終了に際し、ICOTと通産省は、コンピュータ科学技術の先端研究のための新しい共通基盤としてFGCS技術を普及すべきだと考えた。そのため、ICOTでは第五世代コンピュータプロジェクトで開発された主なソフトウェアのすべてをICOT無償公開ソフトウェアとして提供した。

しかしながら、PIMOSオペレーティングシステムを

\*S. Uchida, "General Report of the FGCS Follow-on Project", Proc. of FGCS '94, Tokyo, December 1994の和訳。

表 1: '91 年度から'94 年度までの予算と人数の移り変わり

プロジェクト名	会計年度 4月-3月	予算 十億円	ICOT の メンバ総数	契約企業各社の メンバ総数
FGCS(10年目)	'91	7.2	90	500
FGCS(11年目)	'92	3.6	60('92/10)	200
Follow-on(1年目)	'93	1.3	40('93/4)	50
Follow-on(2年目)	'94	1.3	40	50

含む主要なソフトウェアが KL1 で書かれていたため、PIM 上でしか動作できなかった。このことは普及するうえで明らかに障害となった。

第五世代コンピュータプロジェクトの終わり頃、大規模な数値処理アプリケーション向けの汎用の MIMD 型並列マシンが市場に出現し始めた。これらの並列マシンの規模は PIM ほどではなかった。しかし、これらのマシンには近い将来、より強力な処理能力を低価格で提供する可能性がある。そのうえ、これらは「仮想並列マシン」(Parallel Virtual Machine: PVM) と呼ばれるソフトウェアなど並列処理向拡張機能を持った Unix ベースのオペレーティングシステムを搭載していた。

このような状況を検討した結果、ICOT と通産省は後継プロジェクトの実施を決定した。後継プロジェクトが掲げる技術面での第 1 目標は、Unix ベースの並列マシン上に新たな KL1/PIMOS の環境を開発することである。この新しい環境は、KL1 プログラムを C プログラムにコンパイルすることから、KLIC と名付けられた。

第 2 目標は、第五世代コンピュータプロジェクトで新しく開発された興味深いいくつかのシステムを KLIC を使用して Unix ベースのマシンに移植することである。この目標を達成するために、これらのシステムをコンパクトにし、現時点では PIM より規模の小さい Unix ベースのマシン上で動くようにする必要があった。さらに、X-windows Motif といった標準規格のソフトウェアツールを用いて、新しいユーザインタフェース部分を開発する必要もあった。

これらの目標は現在ほぼ達成されている。新しいソフトウェアシステムのいくつかは、ICOT 無償公開ソフトウェアとしてすでに配布されている。残りの部分も完成されて、1995 年 3 月には anonymous FTP や World Wide Web (WWW) を介して配布が開始される予定である。

KLIC を含むこれらのソフトウェアシステムは現在、実用的な応用開発用のほか、大学における並列言語、プログラミング方法論、並列知識処理などの教育用としても使用されている。我々は、大規模並列マシンの価格がより廉価になり、もっと普及するようになれば、FGCS 技術の貢献度はますます増大するものと確信している。

## 2 研究開発活動

### 2.1 後継プロジェクトの開始

1992 年 6 月、後継プロジェクトの実施が決定され、FGCS'92 国際会議において公表された。その時点から我々は後継プロジェクトの準備を開始した。

我々は後継プロジェクトの技術目標の大枠は決めたが、詳細な研究テーマについては、ICOT 研究所が担当する研究員を確保できるかどうかによって決めていかねばならなかった。

第五世代コンピュータプロジェクトの後期では、ICOT 研究員の多くが 4 年から 5 年もの間 ICOT に在籍していた。この在籍期間は、ICOT と派遣元企業との間の研究員の標準的な交替期間に比べて長くなっていた。したがって、研究員の多くを派遣元の親会社に帰社させ、新たに若い研究員を ICOT に派遣するように各社に依頼する必要があった。我々は個々の研究員と派遣元の各社の双方と交渉した。

研究員と各社には後継プロジェクトの意図が十分理解されていたので、プロジェクトの重要な研究テーマの研究リーダーと約 20 名の新しい研究員を確保することができた。新しい研究員の多くは、派遣元の企業やソフトウェアハウスにおいて以前から第五世代コンピュータプロジェクトに参加していたため、割り当てられた研究業務を遂行するのに十分な知識と能力を持っていた。

表 1 に '91 年度から '94 年度までの予算と人数の移り変わりを示した。

'92 年度には ICOT 研究員の数が 90 名から 40 名に減り、7 つの研究室が 2 つの研究部に縮小された。再委託メーカやソフトウェアハウスでも、研究員、技術者、管理者の数が 500 名規模から 50 名規模に減少した。この 50 名は ICOT 研究所に集められた。

多くの研究員や技術者が第五世代コンピュータプロジェクトを離れていったが、その中で ICOT や自社で第五世代コンピュータプロジェクトに関係していた約 30 名の研究員が '91 年度から '93 年度にかけて主要な大学に移っていった。彼らの多くは第五世代コンピュータプロジェクトにおける研究成果によって博士号を取得した。これらの研究員達は後継プロジェクトにおいて大変重要な役割を担っている。

## 2.2 研究テーマの選択

予算と ICOT 研究員の人数が減少したため、我々は研究テーマを縮小した。第五世代コンピュータプロジェクトの後期には、約 20 の並列応用システムを含めて 50 を超える研究テーマを持っていた。これらのテーマには基礎研究のほか、ジョブスケジューリングや VLSI CAD システム向けのエキスパートシステムといった実用的な研究テーマも含まれていた。

後継プロジェクトの全体的な技術目標は、第五世代コンピュータプロジェクトで開発された主要なソフトウェアシステムを Unix ベースの並列マシン上で稼働させることである。したがって、技術面での第 1 目標は、KLIC と名付けられた KL1/PIMOS の新しい環境を Unix ベースのマシン上で開発することである。

他のテーマを選ぶ際の選択基準は、そのテーマがコンピュータ科学の将来に大きな影響を与えるかどうか、並列処理の利用によってそのテーマが効果的に進歩するかどうかといった点であった。

我々は後継プロジェクトの研究テーマとして以下のものを選んだ。これらのテーマは 2 つのグループに分けられている。

- 並列基本ソフトウェア
  1. KLIC システム: Unix ベースの逐次および並列マシン向け KL1 プログラミング環境
  2. PIM アーキテクチャと KL1 言語処理系の評価
  3. 並列非正規 RDBMS, Kappa
- 知識処理ソフトウェア
  1. 並列定理証明器 MGTP
  2. 知識表現言語
    - 演繹オブジェクト指向データベース言語 *QUIXOTE*
    - 並列制約論理プログラミング言語 GDCC
    - 異種分散協調問題解決システム Helios
  3. 遺伝子情報処理システム
    - DNA および蛋白質配列アライメントシステム
    - 配列・構造解析のための新アルゴリズム
    - 生物学データベースおよび知識ベース管理システム
  4. 法的推論システム new HELIC-II

## 2.3 各研究テーマの研究活動

### 2.3.1 KLIC システム

KLIC システムは KL1 コンパイラと実行時ライブラリから構成されている。KL1 コンパイラは KL1 で書かれて

いる。KL1 コンパイラは KL1 プログラムをコンパイルして C プログラムに変換する。実行時ライブラリは C プログラムのライブラリとして準備され、デバッグ、モニタリング、並列実行管理、資源管理などの諸機能を提供している。これらの機能は、PIMOS が PIM 上で提供するものとほぼ同じものである。

ユーザプログラムがこれらの機能を使用すると、これらライブラリ中の C プログラムのいくつかがユーザプログラムにリンクされる。ユーザプログラムがこれらの諸機能を使用しない場合は、それは小型のパソコン上でも実行可能な、非常にコンパクトな C プログラムに変換される。KLIC のこのような特徴は教育目的に適している。

KLIC の開発は 2 段階で行われた。最初の段階では、KLIC の逐次版が開発された。KL1 コンパイラの開発が主な題目であった。この版はまずまずの性能を達成した。SS-10/30 上で 2MLIPS、DEC AXP 上で 3.7MLIPS を達成した。KLIC の逐次版は 1993 年 11 月に ICOT 無償公開ソフトウェアとしてリリースされた。

次の段階では、KLIC の並列版が開発された。この版は逐次版に比べて複雑で、PVM と呼ばれる Unix 上の並列機能拡張用ソフトウェアを使用する。この PVM は並列マシンや分散マシン上でプロセッサ間通信の標準インタフェースを提供する。このソフトウェアは PDS として配布され、最近のほとんどの並列マシン上で提供されている。

並列版 KLIC の新しい実行時ライブラリが開発され、並列実行管理、資源管理、デバッグ、モニタリングなどの諸機能を提供している。KLIC の並列版の最初のリリースが 1994 年 9 月に行われた。ICOT 無償公開ソフトウェアとしてのリリースは 1995 年 2 月に行われる予定である。

KLIC の並列版は、Sparc Center, DEC AXP 7000, CM-5, AP-1000+, Cenju-3, SR-2001, SP-2 などの並列マシンに移植される予定である。

### 2.3.2 PIM アーキテクチャの評価

本テーマでは PIM の 5 つのモデルをさらに研究することを意図している。すべてのモデルは KL1 をサポートしている。しかし、要素プロセッサのアーキテクチャや要素プロセッサ間の接続機構はモデルごとに異なっている。

5 つの PIM モデルの設計者達はタスクグループを形成して興味深い議論を行った。彼らは評価データを集めて、設計のユニークな点をお互いに比較した。全体的な評価結果が FGCS'94 シンポジウムで発表されている。

### 2.3.3 並列非正規 RDBMS, Kappa

Kappa は、くり返し構造を持つ関係テーブルを使ってデータ表現ができる拡張型 RDBMS である。

標準の RDBMS では通常、2 次元のテーブルを用いてデータ構造を表現する。1 つのテーブルは行と列によって多くの矩形の枠に分けられる。このテーブルの構造は非常に規則的だが柔軟性に欠ける。各枠には 1 つのデータ項目

しか入れることができない。この規則性は単純なデータ構造だけを扱う限りは長所となる。

非正規 RDBMS では複数のデータ項目を 1 つの枠に入れることができる。したがって、自然言語辞書や生物学データなどの複雑なデータ構造を扱うのに適している。非正規 RDBMS の方が、標準の RDBMS に比べて複雑なデータをよりコンパクトで分かり易い形式に表現できる。

我々は PIM 上で Kappa を開発し、並列処理の利点を十分に活用して高性能を達成した。

後継プロジェクトでは Kappa を再構築して、小型で高速なシステムに作りかえた。低レベル機能のいくつかは性能を上げるために C コードに書き換えられた。

現在では、GenBank のような複雑なデータベース向けの正規 RDBMS にほぼ匹敵する性能を逐次マシン上で達成している。並列マシン上で使用した場合、並列処理を用いて、さらに高い性能を達成することが可能である。

### 2.3.4 並列定理証明器, MGTP

MGTP は 1 階述語論理用のモデル生成型定理証明器である。これは第五世代コンピュータプロジェクトで最も成功したアプリケーションプログラムの 1 つであり、PIM 上における KL1/PIMOS 環境の効果を実証した。

定理証明器は非常に広大な探索領域を持つため、並列処理における興味深いアプリケーションと考えられてきた。しかし、計算構造が非常に不規則で、しかも探索木が枝をどのように延ばすかを予測することが困難である。

したがって、計算を並列処理可能なプロセスに分けて、実行途中で多くの要素プロセッサに動的に割り当てる必要がある。従来の方法でこれを行うことは非常に困難であった。

MGTP は 1991 年後半に PIM 上の KL1/PIMOS 環境において効率の良いジョブの分割と割り当ての実装に成功した。実行速度は要素プロセッサの数にほぼ比例して向上した。

しかも、プログラム開発期間が驚くほど短かった。このことによって初めて、PIM 上の KL1/PIMOS 環境を大規模な AI 問題の解決に適用可能であることが証明された。

MGTP グループの経験と技術はすぐに、ICOT の他の研究グループに伝えられた。このことは ICOT や各社の研究員のすべてにとって大きな励みとなった。

後継プロジェクトにおいて MGTP グループは、さらに証明器の開発を続けた。結果として、MGTP はこの種の証明器としては世界最高速となったうえ、実際に準群の未解決問題を解くことができた。

それだけでなく、MGTP 証明器のいくつかは、法的推論システム HELIC-II のルールベースエンジンのような実用的なアプリケーション用ツールとして利用された。

このことは、定理証明器を高度な推論エンジンと見なして、KBMS、自然言語理解、ソフトウェア工学といった知識処理アプリケーションに適用できる、ということを示している。

通常の MGTP 証明器だけでなく、MGTP グループは教育用に Prolog を用いて証明器の小型版も開発中である。

### 2.3.5 知識表現言語

第五世代コンピュータプロジェクトの当初から、ICOT における知識表現言語の研究は数学論理に基づいていた。研究は非正規関係データベースと演繹言語から始まった。中期には、制約論理プログラミングの研究も開始された。

一方、オブジェクト指向言語の研究は、主に ESP のようなシステム記述言語で行われた。ESP というのは、PSI マシン向けプログラミング言語として開発された拡張型 Prolog である。

ICOT 以外のデータベース研究者の何人かは、オブジェクト指向言語とオブジェクト指向言語のモジュール化や継承の機構とに関心を寄せていた。彼らはオブジェクト指向データベースを開発して、それが関係データベースや演繹データベースよりも柔軟なデータモデルを提供できることを示した。我々はオブジェクト指向データベースの長所を我々の枠組みに組み込む方法について議論を始めた。

第五世代コンピュータプロジェクトの後期には、演繹オブジェクト指向言語と DBMS の設計を開始した。この言語とシステムの設計は最終的には、知識表現言語 *Quixote* として完成した。その最初の版は KL1 で実現された。

*Quixote* は演繹言語と組み合わせたオブジェクト指向ベースの豊富な機能を持っており、法規や生物反応といった複雑な知識を記述することができる。しかし、その機能が豊富なために実装が複雑になり、ソフトウェアシステムの性能と安定性は満足できるものではなかった。

後継プロジェクトでは、言語仕様とシステム実装の改良に努力を集中した。システムは KLIC を用いて Unix ベースのマシンに移植された。*Quixote* は 1995 年 3 月により実用的なシステムとしてリリースされる予定である。

このシステムは現在、Big-*Quixote* と呼ばれている。小型のサブセットの Micro-*Quixote* も教育用に開発された。Micro-*Quixote* は小さいのでパソコン上でも十分に動くものとなっている。

### 2.3.6 遺伝子情報処理システム

遺伝子情報処理の研究は、蛋白質配列のマルチプルアライメントの並列処理から開始した。この研究テーマは後継プロジェクトに引き継がれ、現在の配列アライメントシステムに拡張された。

このシステムは蛋白質と DNA の双方を処理できる。アライメントのアルゴリズムは、DP マッチングアルゴリズムに基づいて KL1 で実現された。このアルゴリズムの並列実装は、PIM 上でより高速でかつ高品質の結果を得るために何度も改良された。

最近では、遺伝アルゴリズムの利用によって、いくつかの興味深い事例において優れたアライメントが得られている。探索領域を狭めるためにアミノ酸間や核酸間の制約を利用することも試みた。このシステムは現在、Unix

ベースの並列マシンに移植中であり、移植後は生物学者にも利用できるようになる。

蛋白質構造の予測の研究は後継プロジェクトで行われた。隠れマルコフモデル (Hidden Markov Model: HMM) の利用によって、いくつかの事例で興味深い結果が得られた。

生物学 DBMS と KBMS の研究も知識表現言語の研究と関連して行われている。生物化学物質の特性だけでなく、いくつかの生化学的反応も *QUIXOTE* で書かれ、知識ベースに蓄積されている。

これらの反応は生物学者によって数百の図式で表現され、蓄積されてきたものである。それらは *QUIXOTE* で記述することで、KBMS で蓄積し検索可能となる。我々は、この種の知識表現言語の利用が他の多くの応用分野において可能であると考えている。

遺伝子情報処理の研究では共同研究が不可欠である。我々は海外や国内の生物学者や生物関係のコンピュータ専門家と共同研究プロジェクトを編成した。これらのプロジェクトによって、最近の分子生物学における多くの興味深い問題が提供された。我々の生み出したソフトウェアツールが生物学の研究に大きく貢献することが期待される。

### 2.3.7 法的推論システム, new HELIC-II

法的推論システム HELIC-II の研究は、第五世代コンピュータプロジェクトの後期に開始された。このシステムは、KL1/PIMOS 環境、知識表現言語、および他のソフトウェアツールを、総合的に評価するために開発された応用システムの1つである。

このシステムは FGCS 技術の有用性の証明に成功しただけでなく、初期の期待を超えた FGCS 技術の利用可能性を示すことにも成功した。このシステムによって、FGCS 技術を社会科学分野に応用する方法についてより良く理解出来るようになった。

与えられた事例を分析し可能な判決のすべてを予想するために、HELIC-II は2つの知識ベースと2つの推論エンジンを用いている。一つは事例ベースの推論エンジンとそれに組み合わせられた事例知識ベースである。他の一つはルールベースのエンジンとそれに組み合わせられたルール知識ベースである。ルールベースのエンジンはその核として MGTP 定理証明器を用いて構築された。

刑法と事例ルールを記述するために、関連する研究成果を取り入れた知識表現言語が用いられた。両方の推論エンジンは KL1 で実現され、PIM 上の並列処理によって高速化された。

HELIC-II は、第五世代コンピュータプロジェクトで開発された他の多くの研究成果を効果的に使用したので、FGCS 技術の総合的評価に最適のプログラムとなった。

後継プロジェクトではさらに研究が進み、検事と弁護士との論争をシミュレートするような洗練された機能を持つようになってきている。この拡張版は new HELIC-II システムと呼ばれ、より多くの複雑な事例とルールを持っている。

この開発を行うには、法律と法的システムに関する背

景知識がもっと必要である。したがって、ICOT 研究員と法律分野の専門家との共同研究が不可欠である。コンピュータ科学と法律との間にはカルチャーギャップが存在するため、この共同研究を編成する際には、遺伝子情報処理の共同研究編成よりも多くの努力を必要とした。

本研究の最終目標はまだはるか彼方にあるが、この研究から生み出される技術が、社会科学分野における実際的な諸問題へ応用されることが期待される。New HELIC-II は Unix ベースのマシンに移植中であり、ICOT 無償公開ソフトウェアとして配布される予定である。

## 3 普及活動

### 3.1 普及体制

FGCS プロジェクトの終わり頃、通産省は第五世代コンピュータプロジェクトの研究成果を評価するための諮問委員会を組織した [DPBCT 1994]。そこでの結論の一つは、学術的見地からそれらの成果は高く評価されているが、市場のニーズからまだかけ離れているため、コンピュータ企業での数年内の商業化は無理だろう、というものであった。

したがって、普及活動は主に内外の研究機関や大学などの学術分野に向けられた。しかし、ごく最近では内外のコンピュータ企業がともに我々の普及活動を積極的に支持するようになった。

我々は二つの方向から普及の準備をした。一つは、ICOT 無償公開ソフトウェアのプログラムやドキュメントを保守するためのチームが使用する、Internet と接続されたファイルサーバや、共同研究者達が離れた場所から PIM を利用できるような高速ネットワークリンクといったハードウェアや設備の準備である。

他の一つは、ICOT に関連する研究者間のヒューマンネットワークを作ることであった。我々は第五世代コンピュータプロジェクトにおいて編成された共同研究プロジェクトのいくつかを維持することとした。さらに、後継プロジェクトの新しい研究テーマに基づいて内外の研究機関や大学と新しい共同プロジェクトを編成することを試みた。

### 3.2 日本国内における共同研究

#### 3.2.1 タスクグループの編成

第五世代コンピュータプロジェクトでは、いくつかの「ワーキンググループ (WG)」を持った。この WG では大学やメーカの研究員を集めて、技術情報の交換と ICOT の研究ツールの提供を主に行なった。

WG の主な活動は、特定の研究テーマについて議論することであったため、WG のメンバと ICOT 研究員との関係はあまり緊密ではなかった。

後継プロジェクトでは、我々の研究開発部分の一部分を実施したり、セミナーやワークショップなどの開催を手伝ってもらうために、大学や研究機関の研究者達とのより緊密な関係を構築した。

そのため、我々は新しいタスクグループ (TG) を編成することとし、大学や産業界から研究員を集めた。ICOT や各社で第五世代コンピュータプロジェクトに関係していた人達が自然に多く集まった。

現在、彼らは普及活動において大変重要な役割を担っている。例えば、これらの TG メンバの援助で大学において数回 KLIC セミナーを開催したりしている。

現在、以下に示す 7 つのタスクグループが活動している。括弧の中の数字は、ICOT の研究員を除く正規メンバの数を示している。

1. 並列記号処理システム全般に関するタスクグループ (18 名)
2. 並列推論マシン評価に関するタスクグループ (10 名)
3. ポータブル KL1 言語処理に関するタスクグループ (9 名)
4. 並列定理証明タスクグループ (9 名)
5. 異種知識ベース・異種問題解決タスクグループ (17 名)
6. 蛋白質立体構造予測タスクグループ (17 名)
7. 法的推論タスクグループ (7 名)

### 3.2.2 日本の大学や研究機関との共同研究

第五世代コンピュータプロジェクトの研究成果のいくつかは具体的だが、なかには具体的でないものもある。KLIC は具体的なものの典型である。このような成果はソフトウェアシステムとして統合され有用なツールとして利用可能である。したがって、技術の移転は比較的容易である。

しかし、他のいくつかはひとまとまりのソフトウェアシステムとしてうまく統合されていない。例えば、KL1 を用いた並列プログラミング方法論は、技術論文で一部が記述されたり、いくつかの KL1 プログラムとして一部が統合されたりしているが、大部分は研究員の頭脳の中に入ったままである。

このような成果はまだ整理されていないため、非常に抽象的である。法的推論システムの開発で得た法律知識を表現する方法の経験も、一つの抽象的な成果の例である。

これらの抽象的な成果を普及させるために、日本の大学と小規模な共同研究プロジェクトを編成することとした。これらのプロジェクトでは、大学で新しい研究プロジェクトを始める際の種として、我々の成果を利用することを期待している。もちろん、具体的な成果を教育ツールや新しい研究基盤として利用することも要請している。

現在、以下に示す 15 のプロジェクトを実施している。

1. 並列言語処理系と環境
  - 言語処理系の最適化 (東大 田中研究室)

- KL1 の実装最適化 (京大 中島研究室)
- プログラム解析と最適化 (早大 上田研究室)
- 視覚的インタフェース (筑波大 田中研究室)

#### 2. 並列定理証明

- 推論技術の高速化 (東大 淵研究室)
- 定理証明に基づく論理型言語処理 (九大 雨宮研究室)

#### 3. 自然言語処理

- PIM を用いた自然言語処理 (東工大 田中研究室)
- 並列自然言語理解 (九大 谷口研究室)
- 自然言語処理ツール (奈良先端大 松本研究室)

#### 4. 応用システム等

- 分散システム上の AI 技術 (慶大 古川研究室)
- KL1 による制約処理 (東理大 溝口研究室)
- 並列 VLSI-CAD システム (神戸大 瀧研究室)
- 論理型言語向きアーキテクチャ評価 (東大 田中研究室)
- トランザクション管理 (北陸先端大 横田研究室)
- 高速並列科学技術計算法 (北陸先端大 國藤研究室)

さらに、電子技術総合研究所 (ETL) や機械技術研究所 (MEL) との共同プロジェクトがある。これらは通産省に付属する国立研究所である。これらのプロジェクトは第五世代コンピュータプロジェクトから続いている。

### 3.3 国際共同研究と成果の共有

第五世代コンピュータプロジェクトの技術目標は非常に高いものであったため、世界の代表的な研究者達の協力が不可欠であった。そのため、第五世代コンピュータプロジェクトの前期から国際的な共同研究が始められた。初期の共同研究は、個々の研究者の招待や相互訪問の形で行われた。

中期からは、以下に示す政府関係機関や研究所と、研究者の交換やワークショップの開催などを行なう共同研究を開始した。

- 米国立科学財団 (National Science Foundation : NSF) (Mr. Y.T. Chien)
- 仏国立情報処理・自動化研究所 (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique : INRIA)(Dr. L. Kott and Dr. G. Kahn)

- スウェーデン計算機科学研究所 (Swedish Institute for Computer Science: SICS)(Dr. S. Haridi and Dr. M. Nilsson)
- 英国産業貿易省 (Department of Trade and Industry: DTI)(Dr. K. Shotton and Dr. P. Rothwell)

後期には、KL1, PIMOS, および PIM 向けの応用を探るため、より具体的な共同研究を開始した。我々は以下に示す米国の研究所と研究情報や研究ツールの交換を行った。

- 米アルゴンヌ国立研究所 (Argonne National Laboratory: ANL)(Dr. E. Lusk, Dr. R. Overbeek and Dr. R. Stevens)
- 米国立衛生研究所 (National Institute of Health: NIH)(Mr. R.J. Feldmann and Dr. G.S. Michaels)
- 米ローレンス・バークレイ研究所 (Lawrence Berkeley Laboratory: LBL)(Dr. C. Cantor and Dr. C. Smith)

ANL の研究者とは、生物学的な解析や定理証明の研究を行った。彼らは定理証明に関していくつかの興味深い問題を提示した。彼らは並列定理証明や生物学解析に関する我々の研究を大いに刺激した。我々は NSF と ICOT の後援によるロジックプログラミングと定理証明に関する日米ワークショップを ANL において 2 度開催した。

NIH と LBL の研究者とは、蛋白質構造解析と配列アライメントの研究を行った。我々はこれらの共同研究を通じて最先端の分子生物学を効率良く学ぶことができた。

その後、定理証明に関する共同研究は、オーストラリアの研究者が参加するまでに拡大した。

- オーストラリア国立大学 (The Australian National University: ANU)(Prof. M. McRobbie and Dr. J. Slaney)

ANU とは、PIM 上で MGTP 定理証明器を用いて、準群における未解決問題を解決する試みを行った。この試みは大成功を収めた。この共同研究の成果は、この分野における世界中の研究者を大いに刺激した。我々はこれらの研究者達と何度か国際的なワークショップを開き、我々の研究成果と経験を共有した。

これらの共同研究は、我々の研究グループが遺伝子情報処理や並列定理証明の研究を進めるのに大いに役立った。これらの共同研究は、まだ個人ベースで継続している。

後継プロジェクトでは、以下に示す 2 つの大学とより緊密な新しい共同研究プロジェクトを編成した。

- ブリストル大学 (Prof. D. Warren and Prof. S. Gregory)
- オレゴン大学 (Prof. J. Conery and Prof. E. Tick)

我々は、海外においても KLIC システムや他のプログラムが ICOT 無償公開ソフトウェアとして普及するだけでなく、さらに発展することを期待した。

ブリストル大学の研究者とは、KLIC システムの拡張機能として使える並列デバッガや制約ソルバーを開発するための研究を行っている。

オレゴン大学の研究者とは、KLIC 向けコンパイラの最適化や制約を用いた生物学データの配列解析の研究を行っている。この共同研究に基づいて、我々はオレゴン大学において国際的な研究者が出席する 5 回目の日米ワークショップを開催した。

これら共同研究の成果はすべて無償公開されて、ICOT 無償公開ソフトウェアの拡張部分として配布される予定である。

後継プロジェクトの完了に伴って、これらすべての共同研究は終了することになる。我々としてはこれらの共同研究がその後も個人ペースで続くことを期待している。

### 3.4 ICOT 無償公開ソフトウェア (IFS) とそのほかの技術情報の配布

1992 年 8 月に、Internet 上で anonymous FTP を介して ICOT 無償公開ソフトウェア (IFS) の配布を開始した。その時以来、45 カ国の 2,200 人が 12,000 のファイルを送った。これらのファイルのうち、40% は日本国内、30% は米国、残りの 30% はその他の国々に転送された。

第五世代コンピュータプロジェクトの後期には、77 本のプログラムを ICOT 無償公開ソフトウェアとして提供し、1992 年 8 月に ICOT の FTP サーバを立ち上げた。これらの IFS プログラムは、比較的大きなものである。例えば、PIMOS オペレーティングシステムはそのようなプログラムの一つである。

これらの IFS プログラムには、PIM 上でしか動かない KL1 で書かれた多くのプログラムが含まれている。そのため、ICOT 以外の研究者達から興味を持たれるか不安であった。幸いにも、ICOT 無償公開ソフトウェアサーバには開始当初より多くの国々から頻りにアクセスがあった。

後継プロジェクトでは、IFS ユーザが自分達のマシン上で KL1 プログラムを動かせる環境を提供するために、KLIC の逐次版の完成を急いだ。そして 1993 年 11 月に、KLIC の逐次版を含む 7 本のプログラムを ICOT 無償公開ソフトウェアとしてリリースした。

KLIC は期待通り、多くの人々に頻りに転送された。

最終リリースとして 1995 年 3 月に、KLIC の並列版やいくつかの興味深い並列アプリケーションプログラムを含む、16 本のプログラムを ICOT 無償公開ソフトウェアに追加する予定である。それらは実際に多くのワークステーションや並列マシン上で稼働している。

1994 年 10 月には、ICOT's World Wide Web サーバ\*

\*Internet アドレス: ICOT 無償公開ソフトウェアの anonymous FTP server は、ftp.icot.or.jp, ICOT's World Wide Web server は、http://www.icot.or.jp

により配布を開始した。

我々は、ICOTの活動、技術論文/報告やICOTジャーナルといったICOT刊行物、および主な研究成果の概要などの一般情報を提供している。ICOT無償公開ソフトウェアもこのサーバから転送できる。

始動して以来、「ICOT Home Page」ファイルは800を超えるサイトに転送された。このことは非常に励みになっている。我々は最近のより多くの成果物をサーバ上に置く予定である。

Internetの利用によって我々は、ICOT無償公開ソフトウェアや他の技術情報を効果的に配布することができた。共同研究の成功には直接的な対話は欠かせないが、我々は先端技術情報、研究ツール、プロダクトなどの共有を、より多くコンピュータネットワークに頼るようになっていく。

1995年3月にICOT研究所を閉じた後も数年間、研究員と技術者のチームを編成してICOT無償公開ソフトウェアや他の情報の保守を行なっていく予定である。

#### 4 おわりに

後継プロジェクトの総合的な目標は、二つの側面を持っていた。一つは、第五世代コンピュータプロジェクトの成果物の普及である。他の一つは、コンピュータ技術分野において日本最大級の国家プロジェクトである第五世代コンピュータプロジェクトを無事「軟着陸」させることであった。

FGCS技術の普及という目標は達成できることが明白になっている。

第一に、KLICの開発がスムーズに進んでいる。KLICの逐次版は、ICOT外の多くのユーザによってUnixベースのワークステーションに移植が進められている。KLICユーザの数は日本や海外で急速に増えている。彼らはKLICを主に研究目的や教育目的に使用している。

KLIC並列版は現在、ICOTで使用され、デバッグ中である。KLIC並列版もいくつかの異なるサイトで数台の並列マシンに移植中である。

移植は比較的容易である。しかし、最高の性能を得るには並列マシン専用のハードウェア機能を用いた最適化が必要である。

この問題は、PVMのような並列処理をサポートするミドルソフトウェアが現在急速に、多くの並列マシン上で最適化されているので解決されると期待している。

応用システムの改良と移植はまだ進行中である。この移植において抱える問題の一つは、大規模MIMD型並列マシンがまだ高価であり、多くの研究者が容易に利用できるに至っていないことである。特に、要素プロセッサの数やメモリ容量が不十分のため我々の応用システムを十分に利用できない状況にある。

並列マシンのユーザの期待は非常に大きいように思われる。しかし、並列マシンのベンダは市場がまだ小さいと感じている。このギャップは、満足できる並列プログラミング言語や環境が不足しているためと理解している。我々はKLICがこのギャップを埋める有望な解決手段だと確信

している。

第五世代コンピュータプロジェクトを軟着陸させるという目標も達成されつつある。ICOTの研究員が大学や研究所、メーカにおいて有望な仕事か地位に恵まれていることは喜ばしいことである。

自社に戻ったICOT出身者の多くは、並列マシンや分散ソフトウェアといった興味深い仕事についている。長年に亘ってICOTにおいて第五世代コンピュータプロジェクトを主導した研究員達は、多くの大学に迎え入れられた。

また、PIMもいくつかの大学に移設され、利用されることになった。PIMはこれらの大学で次世代の研究者を育成するために使用されるだろう。

ICOT無償公開ソフトウェアの保守とより一層の普及のために、ICOTの卒業生や共同研究者で構成する、Internet上の仮想研究所を編成する構想がある。ICOT無償公開ソフトウェアに共通の興味を有する、緩やかに結ばれた研究グループを構成したいと考えている。我々はこのグループが将来の研究プロジェクトを生み出すシンクタンクとして活動することを期待している。

#### 参考文献

- [近山 1994] T. Chikayama, "Parallel Basic Software", Proceedings of the International Symposium on Fifth Generation Computer Systems 1994, Dec. 1994.
- [新田 ほか 1994] K. Nitta, K. Yokota, A. Aiba and M. Ishikawa, "Knowledge Processing Software", Proceedings of the International Symposium on Fifth Generation Computer Systems 1994, Dec. 1994.
- [DPBCT 1994] 電子計算機基礎技術開発推進委員会：第五世代コンピュータシステムプロジェクトの最終評価報告, ICOT ジャーナル, No.35, pp-2-17(1994).
- [内田 ほか 1993] S. Uchida, T. Chikayama, and K. Nitta, "Knowledge Information Processing by Highly Parallel Processing", ICOT Technical Report TR-0854, Sep. 1993.
- [内田 ほか 1993] S. Uchida, R. Hasegawa, K. Yokota, T. Chikayama, K. Nitta and A. Aiba, "Outline of the FGCS Follow-on Project", New Generation Computing, Vol. 11, No. 2, OHMSHA and Springer-Verlag, 1993.
- [内田 (編)1992] S. Uchida (Ed.), "Proceedings of the FGCS PROJECT EVALUATION WORKSHOP", ICOT Technical Memo TM-1216, Sep. 1992.