日本における 第5世代コンピュータ・プロジェクト全体像

古川 康一*, 國藤 進*
Koichi FURUKAWA, Susumu KUNIFUJI

Key Words: Fifth Generation Computer, Problem-Solving and Inference System, Knowledge Base Management System, Intelligent Interface System, Intelligent Programming System, Inference Machine

第5世代コンピュータ・システム (FGCS: Fifth Generation Computer Systems) の研究開発推進母体である (財) 新世代コンピュータ技術開発機構 (ICOT: Institute for New Generation Computer Technology) が, 1982年4月14日に正式発足して以来, ほぼ1年になる。その間, 我が国のみならず世界各国のFGCSに関心ある人々によって, 多くの質問がICOTおよびその関係者に寄せられた。そこで本稿では, これらの質問に解答する形式で, FGCSのめざすもの, 技術開発課題の基本的考え方, 研究開発の進め方, 等について, わかりやすく解説していく⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

(Q 1) FGCSプロジェクトが発足するに至った歴史的経過を, かいつまんでお話ししていただけないでしょうか。

(A 1) 1978年ごろから通産省内に, 1990年代の基礎計算機技術の研究開発 (R & D: Research and Development) を推進する際, 国家プロジェクトとして最も適切なゴールは何かという動きがありました。ついで1979, 1980年度の2年間, 通産省の委託をうけて日本情報処理開発協会を窓口として, 社会環境条件 (2年目はシステム化技術と改称) / 基礎理論 / アーキテクチャ研究分科会の3調査委員会ができ, 10年後の第5世代コンピュータの目標像は「知識情報処理システム」(KIPS: Knowledge Information Processing System) であるという方向付けを行いました。

これをうけて1981年度は, 日本情報処理開発協会と日本電子工業振興協会を窓口とする各種の

委員会 / ワーキング・グループ活動を通じて, FGCS R & D 課題を詳細に検討し予算措置と結び付ける作業を行いました。1981年10月にはFGCS国際会議が東京で開催され, 国内外の有識者の注目を集めました。

そして1982年4月, 通産省の援助のもと, 産業界各方面の関係者のご支援により, ICOT が設立されました。6月からは電子技術総合研究所, 日本電信電話公社, 民間8社の出向者を中心とするICOT研究所がオープンし, FGCSに関するR & D を主とする各種事業を展開することになりました。

(Q 2) 1990年代のコンピュータ・ニーズについて, どのようにお考えですか。

(A 2) 1980年代におけるコンピュータの利用は, 企業・社会・専門家層から事務室・家庭・個人層へと限りなく拡大しつつあり, それに伴い利用形態もバッチ処理, オンライン処理, ネットワーク処理へと進展しつつあります。このような情報処理ツールとしての計算機システムの発展は, 数値処理, データ処理, 記号処理を容易に実現ならしめるようなプロセッサの発展に支えられています。

さてきたるべき1990年代には知識情報化社会の到来が予想されます。そこでの新しいコンピュータ・ニーズをこなすには, 知識処理プロセッサの実現が必須となります。具体的には従来人間にとってのみ可能であった創造的な知的問題解決活動を支援するシステムの実現が期待されます。すなわちFGCSは, 人間の創造活動支援機能を持ち, 人間にとって極めて使いやすい機能をそな

* (財) 新世代コンピュータ技術開発機構 研究所 (〒108 東京都港区三田 1-4-28, 三田国際ビル 21階)。

え、かつ広範な応用分野に適用可能なコンピュータになると思われます。

(Q 3) なぜそのようなコンピュータを「第5世代」と呼ぶのでしょうか。

(A 3) コンピュータの技術進歩は極めて速く、従来、コンピュータはそれに使われる素子によって分類されてきました。第1世代が真空管、第2世代がトランジスタ、第3世代がIC、第3.5世代がLSI、そして現在は第4世代、すなわちVLSI時代の入口にあります。この延長上からいえば、第5世代コンピュータの実装する素子は、ジョセフソン素子あるいはガリウムヒ素素子等であるといわれております。ともかく世代の交替とともに大幅な技術革新の成果が取り込まれ、飛躍的な性能向上が実現されてきました。

しかしながら従来のコンピュータのほとんどすべては、1946年に von Neumann によって提唱されたノイマン形コンピュータであり、そのままで素子の発展を見込んだとしても、飛躍的な性能向上に耐えられないと考えられるにいたりました。そこで第5世代コンピュータでは、ノイマン形コンピュータの技術的制約にとらわれず、将来要請される高度な機能を実現するために、大胆な発想に基づいた新しい設計思想を提案し、ハードウェア/ソフトウェアのアーキテクチャの抜本的改良に取り組みます。FGCS は、ノイマン形コンピュータの壁を越えた知識情報処理指向のコンピュータとなる予定です。

(Q 4) それでは今日のコンピュータのかかえる基本的な問題点は、何なのですか。

(A 4) 第一に今日のコンピュータは数値計算主体に設計されているので、自然言語、図形、画像等の非数値データの処理が不得意なことです。第二に逐次処理方式、一次元記憶内蔵方式をとっ

ているので、高度な記号処理を行うための演算速度、記憶アクセス速度に限界があることです。第三にソフトウェアで機能拡大要求をカバーするという設計方針のため、“ソフトウェア危機”と呼ばれるソフトウェア開発コストの増大に直面していることです。

(Q 5) 前述のような問題点を解決するには、どのようなコンピュータを作らなければいけないのでしょうか。

(A 5) 自然言語(文章、音声)、図表、図形、写真、画像等で表されたデータや知識をもとに、与えられた問題の構造や意味を理解し、マン・マシン系として実用に耐えうる時間内に的確な応答を返し、その問題を解決する手助けをするコンピュータ(図1)を作ることになるでしょう。すなわち FGCS ユーザである人間に柔軟な対話方式を提供し、蓄積された知識データベースの知識/データを十二分に活用し、問題解決支援のための高度な推論・学習機能を備えている KIPS 指向のコンピュータとなるでしょう。

(Q 6) もっと具体的に FGCS に要請される機能を説明していただけませんか。

(A 6) 第一が所与のデータや知識の集合とから、コンピュータ自身が問題解決の戦略に従って、与えられた質問に対する推論を遂行し、適切な解答を得ることを支援する問題解決・推論機能です。

第二がデータや知識の集合を、知識データベースという容器に、組織的に活用可能な形態に蓄積し、高速・大容量の情報検索を可能ならしめる知識(データ)ベース機能です。

第三が文章、音声、図表、図形、写真、画像等の入出力を可能ならしめ、柔軟かつ自然な対話能力を付与する知的インタフェース機能です。

そして第四が所与の問題を、自動的により効率のよいプログラムに変換してくれるプログラムの自動合成や最適化を支援してくれる知的プログラミング機能です。

(Q 7) 前述のような多くの機能をもつ FGCS R & D のめざす目的を、どのようにとらえていらっしゃいますか。

(A 7) その質問は、どのような立場で答えるかによって、多くの解答が考えられます。ここでは解答者の個人的背景を前提に、次の2点を強調しておきます(図2)。

図1 第5世代のコンピュータ

第一が知識情報処理というコンピュータの新しいマーケットを開拓することです。エキスパート・システム, 自然言語理解, 機械翻訳, 自動プログラミングといった人工知能, 知識工学, ソフトウェア工学等の応用分野に, たくさんのマーケットの卵が転がっています。

第二が計算機科学の新たな変革運動と無縁でないことです。計算機言語の算法言語 (Fortran, Algol, Pascal, etc.), 関数型言語 (Lisp, etc.), 論理型言語 (Prolog, etc.) という発展, 計算機科学の理論的裏付けのチューリング機械, ラムダ計算, 述語計算という発展, これら計算機科学の胎動の中から, 将来の基幹となるものを模索してまいりました。その際, 現在急速に進展している VLSI 等の高速素子技術, 高度並列処理技術, 人工知能向けアーキテクチャ等を, 技術的に正しく吸収しうることを前提に, KIPS 指向マシンの構築を意図いたしました。その両者の接点に出現したのが, 論理プログラミング言語 Prolog を中心とした計算機科学および基礎計算機技術の一大変革をはかろうという気運であります。それが可能であり, FGCS へ直結すると考えている次第です。

(Q 8) そうお考えとなった根拠を, もう少し具体的に説明していただけないでしょうか。

(A 8) 第一がアーキテクチャの発展です。すなわちコンベンショナルなアーキテクチャは, 確かに既存の計算機言語に適しているのですが, データ・フローやパラレル・モデルの正統な継承者は何かを考えたとき, Prolog は相性がいいと思っている訳です。換言すると Prolog はパラレル・アーキテクチャ向きな訳です。

第二にデバイス・テクノロジーの発展です。IC, LSI, VLSI という発展に伴い, 高速大容量のメモリを管理する諸技術 (ごみ集め, キャッシュ等) が生まれ, これと Prolog との相性がいい訳です。

第三はソフトウェア指向の強化という方向性の発展です。今後のマシンはソフトウェア指向, すなわち “ソフトウェア (言語) がアーキテクチャを決定する” という側面が強くてくる訳です。そのことがソフトウェア危機を解消する引き金となり, KIPS 指向のアーキテクチャを決定することを可能ならしめるものと思われま。

(Q 9) さきほどより FGCS で使用するプログラミング言語の核となる部分として, 論理プログラミング言語 Prolog の名前があがっています。

ICOT ではなぜ Prolog に注目され, 更にそれによどのような機能拡張をなされようとしているのでしょうか。

(A 9) ICOT では FGCS の中核となる言語を第5世代核言語 (FGKL: Fifth Generation Kernel Language) と呼んでいます。FGKL は Prolog にある種の拡張機能を付与したものであり, FGCS のシステム記述言語であり, 開発中の推論マシン (Prolog マシン) の機械語でもあります。

なぜ Prolog が FGKL の中核部分となったかという, (A 8) で述べた三つの理由のほかに, 次のような新言語にふさわしい資格を備えているからにほかなりません。第一に基本オペレーションとして, 推論の基礎となる三段論法 (syllogism) が実行可能であること, 第二に基本制御メカニズムとして, パターン照合による手続き呼出しや自動後戻りによる非決定性の制御が可能であること, 第三にデータの知識表現法として, 任意のリスト構造の集まりが利用可能であること。

Prolog の機能拡張としては, 多くの方向が考えられますが, ここ数年は次の方向への拡張が重点研究課題であると考えています。第一が並行プログラミングへの拡張, これにはコルーティン・メカニズムの導入や対象指向プログラミングのサポートが大切です。第二がデータ抽象化に基づくモジュラー・プログラミングへの拡張, これには述語の引数である “項” の構造部に, データ抽象化機構をもたせることが必須となります。第三が関係データベース管理システムとのインタフェースをとること, これには試作する推論マシンと関係データベース・マシンの結合機構をいかに構築するかが大事な研究課題となります。

(Q 10) FGCS に要請される基本機能として, (A 6) で四つの基本機能を掲げられましたが, そ

図 2 FGCS のめざすもの

れらについて説明してください。まず第一が、問題解決・推論機構でしたが。

(A 10) 問題解決・推論機構とは、与えられた問題を解決するために機械的な推論をサポートするモジュールでした。ユーザの与えた問合わせに対して、記憶している知識データベースの知識／データに基づき、機械的な推論を実行し、必要な解答を抽出していく機構のことです。ここに機械的な推論とは、現状のコンピュータで理論上・實際上処理可能な推論のことです。

さて FGKL では機械的な推論として、演繹的推論の一種である Robinson の分解証明法 (resolution principle) に基づく推論を、基本オペレーションとして実装しています。すなわちある種のパターン照合に基づく高速な単一化 (unification) という操作が、それに相当します。

われわれが FGCS 上で実現したいもののひとつに、協調型問題解決システムの設計・試作があります。協調型問題解決システムを FGKL 上に作成するには、上述の単一化という操作は必要不可欠のものです。更に次のような機能を FGKL に反映する必要があります。それらは、協調型システムを構築するためのメタ・レベル推論や対話の理論的モデルの機能の組み込み、および高次推論機能を追求する上に欠かせないデフォルト推論や帰納的／発想的推論の機能の組み込みであります。

(Q 11) (A 6) によると第二が知識ベース機構ですので、これについて説明してください。特にちまたでは最近、知識工学 (Knowledge Engineering) なるものが FGCS との関連で注目されていますのでこれとの関係も説明してください。

(A 11) 知識ベース機構の R & D は、① KIPS 基礎技術の開発、② KIPS 応用システム (例えばコンサルテーション・システム) R & D の方向性の明確化、③ R & D 成果の FGKL への反映、といった多目的のねらいをもって設定されています。知識ベース機構 R & D は、近い将来、知識ベース管理システムの設計・試作につながると思われますが、その道程として知識工学の諸成果を吸収して成長しなければいけません。それ故ここでは、知識工学の動向をまとめる中で、知識ベース機構 R & D の現状を説明します。

知識工学では、推論を主とした考え方というよりも、専門知識の利用といった知識を主とする考え方に、焦点をあわせて R & D しています。そ

れにより実用的な人工知能システムやコンサルテーション・システムの実現を追求しております。その結果、知識工学システムには説明機能、知識獲得機能、自然言語応答機能等の付与が本質的であることがわかってきました。同時に知識工学は、新たなプログラミングの方法論を提案しています。知識工学においてはルール群の記述それ自体がプログラミングになるとか、How の記述でなく What の記述で十分であることを実証してみせたとか、モジュラー・プログラミングの重要性を示唆しました。

現状での知識工学の技術的課題として、次のようなものがあります。第一が、知識は量よりも質という問題です。その知識はよく抽象化されているか、よく組織化されているかが、問題解決のキーとなりうることを知らしめました。第二が知識獲得の困難さの問題です。コンピュータの非専門家が知識の提供者であることが、むしろ普通のことだからです。第三が知識の多様性の問題です。専門知識のみならず常識やメタ知識 (知識に関する知識) というものを、どのように表現し利用するかの問題です。第四があいまいな知識の取扱いの問題です。これには種々のアプローチがありますので、文献 (4)、(5) を参照してください。

いずれにせよ ICOT における今後の知識ベース機構 R & D のアプローチとしては、過去の成果を FGKL あるいは Prolog 上で再構築し、より透明なシステムの実現をはかること、概念の整理を促進すること、新たな展開の可能性をさぐる、等が大切です。また知識の多様な扱いに関連し、対象の選択も重要な決定因子です。新しいテーマで内容の豊かなテーマを選択することが、知識ベース機構 R & D の可能性をも促進すると思われます。

(Q 12) ICOT では知識ベース管理システムとして、具体的にどのような開発イメージをもたれていますか。

(A 12) ICOT でとり上げる大規模知識ベース・システム R & D のねらいは、① 既存データベースの利用、② 演繹能力をもつデータベースの発展、③ 自然言語によるアクセス、④ データベース・マシンとの結合、⑤ 分散知識ベース・システムへの足がかり、⑥ 協調型問題解決システムへの足がかり、等にあります。

大規模知識ベース・システムの実験システムと

して, ICOT では関係データベースと論理プログラミング言語 Prolog とのなじみの良さに着目し, 小規模関係データベース・システムと大規模関係データベース・システムの両者を, 当面 R & D します。

前者は Prolog で表現可能な知識の中で, ある種の制限されたタイプそれ自身が関係データベースであることを利用し, 関係データベースを FGKL の内部データベースに格納し, 実験システムを作りあげようとするものです。このようなシステム構成の場合, 自然言語インタフェースや質問の最適化が容易に実現できます。

後者は, ICOT では昭和 59 年度末までに逐次型推論マシン (SIM: Sequential Inference Machine) と関係データベース・マシン (RDBM: Relational Data Base Machine) を開発する予定ですので, SIM 上の FGKL と RDBM 上の関係データベース管理システムとのインタフェースを提供するという形態で実現されます。RDBM は, ハードウェアとの相性の良さから, 関係代数マシンを想定して設計されています。そこで関係代数レベルでの最適化や, 次のステップで開発する並列型推論マシン (PIM: Parallel Inference Machine) への拡張可能性の検討が, 重要な R & D 課題となります。

もちろん, このような実働化研究を進めるにあたって, ICOT 内では, それを支える基礎研究も行っております。例えば, 関係データベースの世界を, より一段上からみたメタ言語によるデータベースの形式化研究を行っております。これにより閉世界仮説を仮定した上で, 解を全部求めるとか, 検索範囲を限定するといった, 解探索全体の実行過程の制御を行おうとしております。こういったきめ細かな基礎研究が, 分散知識ベース管理システムや協調型問題解決システムの R & D の基盤を提供すると考えております。

(Q 13) それでは 第三の知的インタフェース機能について説明してください。

(A 13) 知的インタフェース機能は, 人間でいえば目・耳・口に相当する, ユーザ・フレンドリーな自然言語, 音声, 図形, 画像等による柔軟な会話機能を実現する機能です。ICOT では主として, 自然言語インタフェース部分を R & D 中で, 音声・図形・画像処理については, FGCS プロジェクト全体の中で検討中であります。

自然言語インタフェースとしては, 自然言語処理技術を Prolog 型言語上で展開し, 自然言語理解システムや知識表現システムのコア部を試作し, その基礎技術を固めつつあります。それらは機械翻訳システムへの応用をも配慮されております。具体的には自然言語の構文解析・意味解析ツール, フレーム指向の知識表現言語の Prolog 上での試作, 上記システム用の辞書の整備, 等を行っております。

(Q 14) 最後に 第四の知的プログラミング機能について説明してください。

(A 14) 知的プログラミング機能は, 与えられた問題を自動的に効率よいコンピュータ・プログラムに変換する機能です。この機能を R & D するねらいは, 論理プログラミング上で検証技術, デバッグ技術, プログラム自動合成技術といった諸技術を再構築し, ソフトウェアの生産性向上や品質向上の抜本的改良をはかることにあります。

検証技術についていえば, 論理プログラムの実行が直ちに, その例題の正当性の証明となっていること, およびデータの関数性や副作用がないことからデータ構造に関する証明が容易になることが注目されます。すなわち論理プログラミング言語は, 他のプログラミング言語より, プログラムの検証が容易になります。

デバッグ技術についていえば, 証明過程を利用した対話形のデバッグ・システムの実現が期待できます。実行過程を逆追跡することにより, 自動的な誤り検出や誤り修正が可能となります。

自動合成技術については, 与えられた問題の仕様から, それを満足するプログラムの, かなりの部分を自動合成する会話的システムの実現が期待されます。プログラムの自動合成技術として活用できるものに, プログラミングの専門家知識を知識ベースとして利用できるエキスパート・システム技術と, データ抽象化に基づくモジュラー・プログラミング技法とがあります。

(Q 15) 四つの基本機能関連 R & D テーマの概略については, 大体理解いたしました。それでは FGCS プロジェクト全体の R & D の進め方について, 今後 10 年間の全体像を示していただけませんか。

(A 15) FGCS R & D の最終目標は, 1990 年代において実現が期待される KIPS のプロトタイプの確立であるといわれています。(Q 10) から

(Q 14) では、KIPS 構成の中核をなす四機能を説明をした訳です。

さて ICOT では、これら諸機能を実現する基本技術の確立を、今後 10 年間にわたる国家プロジェクトの一環として R & D していきます。本プロジェクトでは、1990 年代の KIPS 関連基礎技術開発を最重点課題としているので、それに合わせて、図 3 に示されるような研究開発ステップを設定しております。

前期の主題は基本技術開発、中期の主題はサブシステム開発、後期の主題はトータルシステム開発にあります。前期においては、ソフトウェア開発パイロット・モデル、推論サブシステム、知識ベース・サブシステム、基礎ソフトウェア・システムの 4 本柱の R & D に力を入れています。中期において、前期の成果を土台に、推論サブシステムと知識ベース・サブシステムという 2 種の実験用小規模サブシステムへまとめあげます。そして後期において、これら両サブシステムを統合し、KIPS プロトタイプたりうるトータルシステムを構築してまいります。以上が FGCS プロジェク

ト R & D 計画の大まかな全体像であります。

(Q 16) FGCS 完成時には、どのような応用分野が展開し、どのような適用分野に対して波及効果があるとお考えですか。

(A 16) FGCS 技術の特徴は、知識情報処理指向ということであります。この新技術は、第 4 世代までの技術では実現するのが困難であった、人間のもつ創造的・知的な問題解決活動を支援するシステムの実現を可能ならしめます。専門家のもつ高度な知識ベースを内包し、知的なマン・マシン・インタフェースによる柔軟な対話機能をもつことにより、製造・サービス、エンジニアリング、事務、経営・管理といった分野のみならず教育、家庭、芸術、ホビーといった種々の適用分野(図 4)に対して、その応用が飛躍的に拡大すると考えられます。換言すると FGCS は、より人間的・創造的因子をサポートするので、将来実現するであろう知識情報化社会における知識集約・技術集約産業のトリガーになると思われます。

(Q 17) FGCS プロジェクトのアウトプットの直接的波及効果はよくわかりました。プロジェ

前期：基本技術開発

中期：サブシステム開発
[実験用小規模
サブシステム]

後期：トータルシステム開発

図 3 研究開発ステップ

文 献

- NII-Electronic Library Service