

講演



第5世代コンピュータの構想†

元岡達††

1. はじめに

講演をはじめの先に先立って申し上げておかななくてはならないことは、これからお話しすることは過去2年半の間の多くの委員会活動を通じて150人近くの各方面の専門の方々から意見を拝聴し、それらの方々と論議をすることによって得られた事柄を委員会としてまとめたものであるということであり、本来ならば、それらの方々の名前を列挙することが望ましいわけですが、あまりに多くの方々なので略させていただきますが、この場をかりてそれらの方々のご協力に深甚なる感謝の意を表したいと思ひます。

第5世代コンピュータの研究・調査委員会は通産省のきも入りで昭和54年度、昭和55年度の2年間にわたって日本情報処理開発協会に設置されたもので、図-1に示しますものが昭和55年度の委員会組織の概要であります。昭和54年度にはタスク・グループがなかったとか、システム分科会の代りに社会環境分科会があったといったことなどの差があります。これからお話しすることの概要はこの委員会の結論であります。今年度に入ってから通産省内に諮問委員会ができ、その意味では組織も大幅に代っています。現時点では来年度から本プロジェクトを正式に発足させることを目指してさらに細部をつめ、目標をしぼっている段階であります。

これまでの委員会活動の目的は“1990年代に実用されるべきコンピュータシステムを想定し、それを実現するために1980

年代に国として研究・開発する必要がある課題ならびにそれに必要な研究体制を明らかにすること”でありました。そしてこれを基に、来年度から第5世代コンピュータプロジェクトを発足させたいと願っているわけです。

このことから明らかなように、“第5世代コンピュータは、1990年頃までにそのプロトタイプが完成する1990年代の中心的なコンピュータを指すわけですが、同時に個々の企業の単独の努力では開発が困難であると考えられる分野を中心に各企業、研究所、大学などの協力を得ながら国家レベルで開発を進めるにふさわしいコンピュータである”というところに本プロジェクトの特色があります。

以下に、これからのコンピュータ関連産業が直面する社会的ならびに技術的環境を考察し、それらを背景にして第5世代コンピュータに要求される機能を説明します。そのあとで第5世代コンピュータプロジェクトの目標像と研究・開発計画についてふれたいと思ひます。

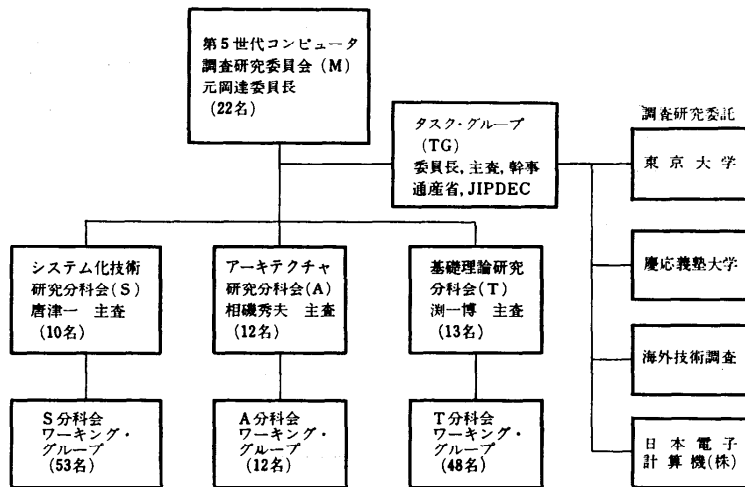


図-1 調査委員会の構成

† 情報処理学会第23回全国大会招待講演 (昭和56年10月15日)

†† 東京大学工学部

2. 当初の問題意識

この調査を開始するに当たって私をふくめ関係者の間にあった問題意識を整理してみると、次のような事柄でありました。

ハードウェアに関しては、VLSI 技術をどのように取り入れるか、問題点が鮮明になってきたアーキテクチャ上の諸問題をどのように解決するかということでありました。

ソフトウェアに関しては、プログラミングの生産性をいかにして向上させるか、要求仕様の記述をプログラムに変換するための支援システムをどう構築するかといったことでありました。

基礎理論についてはソフトウェア工学、人工知能といった計算機科学の諸分野で、この10年ないし20年の間に多くの成果があげられているのに、実用されている情報処理技術には、それらがほとんど反映されていないということであり、これらの基礎理論の成果を取り入れることのできる環境をどのように整備するかということでありました。

社会ニーズとしては、これから21世紀にかけて、社会の急速な変化が予想され、これに適合し、変革を受け入れやすいものとするためにコンピュータ技術がどのように貢献できるかといった問題、情報化社会の実現を目指してコンピュータの利用分野を拡大するために何が必要かといった問題が考えられていたわけでありました。

3. 社会の要請

社会環境分科会では、1990年代に期待できる理想社会を想定し、その実現を目指すときに隘路となる問題点を列挙し、これを克服するためにコンピュータ技術はどのような面で貢献できるかといったアプローチをとりました。その結果を集約した社会的要請としては次の4項目があげられています。

- (1) 低生産性分野の生産性向上
- (2) 国際競争力の確保と国際的貢献
- (3) 省エネルギー、省資源問題の解決への援助
- (4) 高齢化社会への移行に対する支援

製造業を中心とする二次産業では計算機制御や産業用ロボットの導入によって生産性の向上に成功しましたが、農・水産業、鉱業といった一次産業や、今後の発展が期待されているサービス業などの三次産業の生産性はほとんど向上していません。知能ロボットやオ

フィスオートメーション技術の導入、設計支援システム(CAD)や意思決定支援システム(DSS)などの非定形業務へのコンピュータ利用分野の拡大などによって、低生産性分野の生産性向上を目指す必要があります。

わが国には教育レベルが高く勤勉な国民以外、ほとんどみるべき資源はありません。このような国が今後、国際競争力を確保しつつ、世界の国々から信頼され、尊敬される国として存在を続け、国際社会に貢献してゆくためには、情報産業のような知識集約型産業の分野で先端技術を開発して世界に貢献し、指導的役割を果たす必要があります。これにはデータベースの整備、知的ロボットやCADシステムの開発、翻訳や通訳の支援システム、自動化システムの開発などに一層の努力をする必要があります。

21世紀にかけてエネルギーや資源の有限問題は世界的な問題として認識されていますが、シミュレータ等による省エネルギー技術や新エネルギー技術の研究開発の促進、計算機制御による効率的運用、CADシステムによる最適設計などによってコンピュータ技術が省エネルギー、省資源問題の解決に直接的に貢献できるものと期待しています。

1990年にはわが国の人口の12%以上が65才以上の高齢者で占められることとなります。しかもわが国においては社会の高齢化が他の諸国には見られなかったほどに急速に進行することとなります。医療関連情報システム、健康管理システム、身体不自由者の活動援助システム、生涯教育用CAIシステム、在宅作業を可能にする分散処理システムなどいろいろな面でコンピュータ技術を社会の高齢化問題解決に活用することが考えられます。

4. 今日の計算機のかかえる問題点

次に、今日の計算機がかかえている問題点を要約して列挙し解決の方向についてふれてみたいと思います。

(1) 記号・図形・文字・画像・音声といった非数値データを処理するために今日のコンピュータを使おうとすると、その非力なことは多くの人々が経験している通りであります。これらのデータの処理に必要な高次の演算機能、たとえばパターン照合、連想などの機能を金物で実装する必要があります。

(2) von Neumann形と呼ばれる今日のコンピュータは逐次制御であり、最小限のハードウェア機能

を有効に使うことで高速処理することを基本的な設計思想としたコンピュータであります。これは真空管やトランジスタで論理回路を構築し、高価な磁心記憶を使う必要のあった時代には正しい設計思想でしたが、大量生産による大幅なコストダウンが期待でき、1チップに 10^5 個のゲートや 10^6 ビットの記憶が集積できるVLSI技術を前提とした設計思想として正しいものとは考えられません。並列処理を可能にし、高次の機能を多数そなえた非ノイマン形アーキテクチャを研究・開発することが求められる時代であります。

(3) 大規模計算からの要求と、大形機の方が性能/価格比が優れていることから、大容量高速計算機による集中処理と汎用コンピュータによる単一アーキテクチャ化が今日のコンピュータの中心技術となって10年以上を経過したことになります。しかしこの思想もVLSI技術を前提としたときには正しい思想ではなく、地域的な分散処理、機能的な分散処理をとり入れた、より使いやすく、合目的なアーキテクチャを持ったシステム構成を目指すことが望まれます。

(4) ソフトウェアの開発に要する費用の増大が、今日のコンピュータ技術の最大の課題であります。このためソフトウェア工学の研究が盛んになり、多くの成果が得られていますが、これを効率よく実用化するためにはアーキテクチャ上の変更を必要とする点が多くなってきています。このため、これらの成果を取り入れたソフトウェアシステムを開発するとともに、その支援のために必要となる機能の金物化も行う必要があります。

5. 技術基盤の熟成と新技術に対する期待

これまで述べてきたような諸問題の解決に対して、使うことのできる技術としてはどのようなものがあるかを列挙すると次のようになります。

(1) VLSI技術：VLSIをRAMとして記憶に取り入れる技術はすでに定着したといえますが、論理についてはなお解決を要する多くの課題があります。

チップ当たり 10^5 ゲートを集積する技術はプロセス技術として遠からず実現するでありましょう。これは今日の大形コンピュータのCPUが1チップに入ってしまうことを意味します。マイクロコンピュータは良いとして、その時代の最先端技術を駆使した大規模高性能の情報システムの中枢をVLSI技術を使って構築するためには、論理装置にVLSIを使いこなす技術を開発する必要があります。一つはVLSI-CADシ

ステムを開発することであり、もう一つはVLSIに向けたアーキテクチャを確立することです。ゲート数と同時に接続回路長がVLSI上では重要な設計の評価基準となることから、革新的な技術進歩がこの分野で期待されていることは明らかであります。

(2) 高速素子技術：素子の高速化がこれまでのコンピュータ技術の進歩を支えてきた中心技術であることはいうまでもありません。シリコンプロセスに代るすぐれた素子技術が現われれば当然のことながら第5世代コンピュータにも取り入れられることになりましょう。

将来を期待されている素子技術にはジョセフソン接合素子、HEMT、GaAsFETなどがありますが、これらの開発は昭和57年1月から発足がきまっている科学技術計算用スーパーコンピュータの大形プロジェクトで行うことが決定していますので、本プロジェクトで直接開発する予定はありません。

光通信技術も重要な基礎技術と考えられますが、すでに多くの研究が行われているので、それらの成果を取り入れることとして現段階では本プロジェクトで直接研究・開発することは考えていません。

(3) 通信技術との融合：計算機網の技術は、正確で斬新な情報を世界中で共用するためにも重要な技術であります。すでに各方面で活発な研究が開始されており、標準化の努力もISOやCCITTを中心に進められているので、本プロジェクトとしては、それらの成果を利用することにして研究課題のような形では取り上げない予定であります。

しかし本プロジェクトを実行するための支援システムとしてはローカル網などをすぐにも取り入れる必要があります。その意味での実用化研究が一部必要になることが考えられます。

(4) 並列処理技術：VLSI技術を全面的に取り入れるためにも、高性能システム実現のためにも、研究開発が必要で、かつ多くの困難の予想される技術として並列処理技術があります。システム構成の立場からはデータ駆動や要求駆動によるデータフロー制御方式が並列処理の自然な表現方式として注目されています。並列処理の問題を解決するためには、アルゴリズムや言語などの面からも同時に併行して研究を進める必要があります。各方面の研究者の協力が望まれます。

(5) ソフトウェア技術：モジュール化、データ抽象化、関数形言語、非手続き形言語、論理プログラム等々多くの課題があります。これらをソフトウェア技

術としてコンピュータ・システムに取り入れ、いろいろなレベルでユーザに提供するためには、アーキテクチャ面からの支援が是非とも必要でありましょう。これらの課題を通して、ソフトウェアとハードウェアの技術を相互に融合させることを本プロジェクトでは是非とも実現したいと考えています。

(6) 人工知能とパターン認識：文字認識、音声認識などとともに自然言語理解を中心にした人工知能の分野の研究も基礎研究の分野でかなりの進歩がありました。これらを実用化するためには、コンピュータの処理能力の向上、推論機能の金物化などを、人工知能の研究と併行して進めることが望まれます。またコンピュータの応用分野を拡大するためには、人間とコンピュータのインタフェースを人間にとって自然なものとする、コンピュータシステムが人間に近い常識を持つこと、推論・学習といった機能を持つことが望まれ、このためにもコンピュータの人工知能化が望ましい方向であります。

6. 第5世代コンピュータに要求される機能

以上のような考察から、第5世代のコンピュータに要求される特徴的な機能としては次の4項目があげられます。これは現段階で考えられる一つの理想像と考えていただくのが適当かもしれません。

- (1) コンピュータの知能レベルが高く、人間の良き協力者としての親和性が高いこと。
- (2) 人間の代替をする能力や人間にとって未知の分野を開拓する場合の支援能力を持つこと。
- (3) 各種の形態の情報を必要に応じ、容易にかつ即時に入手することを可能にすること。
- (4) 未知の状況をシミュレートすることにより、人間が新しい知見を得るのを支援すること。

第1の項目はマンマシンのインタフェースの改善の方向を示したものであり、第2の項目は処理能力として将来のコンピュータに望まれる機能を示したものといたしましょう。第3の項目は情報システムとしての理想像であり、第4の項目は従来のコンピュータでも果たしてきた役割ではありますが、その一層の強化を主張しているといえましょう。

以上はやや抽象的すぎ、ばく然としすぎているかもしれませんが、これらをコンピュータを使うユーザの視点に立った要求機能としていいなおしてみますと次の5項目のようになります。

- (1) 専門知識がなくても利用できる使いやすい機

能：これには自然言語によるマンマシンの情報交換、コンピュータに人間の持つ常識を持たせること、多種媒体による情報交換などが含まれます。

(2) 判断や意志決定で人間を支援できる機能：これには高度の推論機能や学習機能などをコンピュータがそなえることが望まれます。

(3) 多様な業務に適用できる柔軟な構成を可能にする機能：これは従来のコンピュータにおいても重視されていた機能であります。応用分野の多様化に適合するためには一層重要性を増すといえましょう。

(4) プログラミングを容易にする機能：今日のコンピュータ技術の最大の隘路を解決するためにも、応用分野拡大のためにも大切な機能であります。非手続き形言語の導入、プログラムの自動作成や修正機能の実現、さらには常識的な判断は指示を待たずに行う機能などがあげられます。

(5) 信頼して便利に使うことのできるシステム構成：機密保護、高信頼化、自己修復機能、分散処理機能、性能/価格比の向上などはすべてこのために必要な機能であります。

7. 第5世代コンピュータのイメージ

1990年代に要求されるであろうコンピュータ機能のうちで、今日のコンピュータに最もかけており、また近い将来実現される見通しの少ない機能として、推論や学習の機能が考えられること、またこの分野は基礎研究が過去10年ないし20年の間に相当の進展をみており、この分野に各種の資源を集中的に投入することによって実用化に大きく前進することが期待できる分野であることなどが委員間の共通の理解として育ってきました。

その結果、第5世代コンピュータプロジェクトで目標とするコンピュータシステムとしては、知識情報処理を指向したコンピュータシステムである KIPS (Knowledge Information Processing System) を目指すことにいたしました。

KIPS がそなえるべき中枢機能を大別すると、次の3分野に分類できます。

- (1) 問題解決と推論機能
- (2) 知識ベース管理機能
- (3) 知的インタフェース機能

問題解決と推論のための機能は、数値計算における四則演算機能と、それらを制御して数値計算を実行するのに必要な制御機能に対応するといえましょう。推

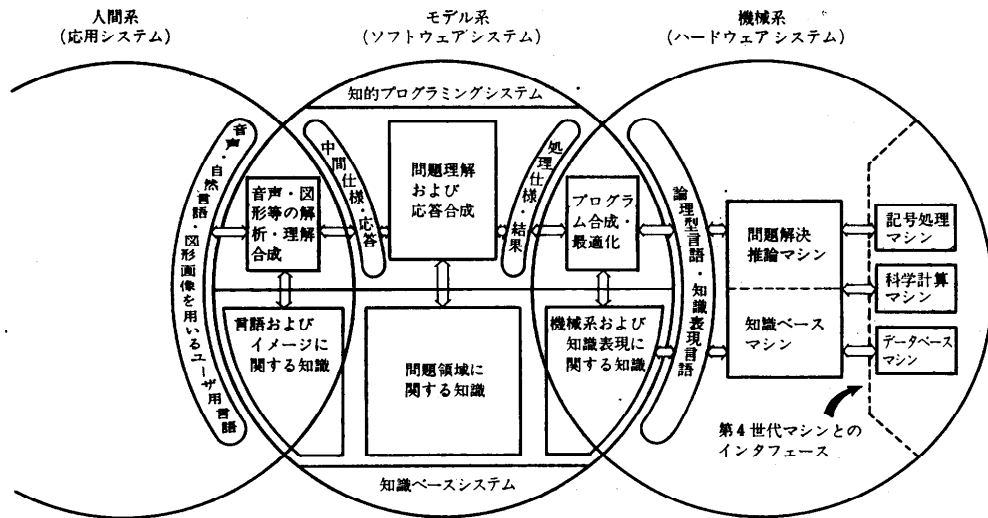


図-2 第5世代コンピュータシステムの概念図

論機構の金物による実現、並列処理のための制御機構の実現、それらの上に構成される論理プログラム、さらに高階述語論理のためのソフトウェアシステムなどによってこれらの機能を実現するシステムが構成されます。ハードウェアとソフトウェアのインタフェースには PROLOG を包含したような言語を想定しています。

知識ベース管理機能は、データベース管理機能に、意味構造の処理機能を付加したものを考えています。基本データモデルには PROLOG との親和性もよい関係データモデルを選び、関係代数を並列処理する機能程度まではハードウェアが分担し、その上に知識ベース管理のソフトウェアをのせることとなります。

知的インタフェース機能は今日のコンピュータの入出力機能に相当するものですが、文字・音声・図形・画像といったさまざまな入出力媒体を処理し、認識または合成するシステムの集まりから構成されることになりましょう。人間にとって自然な情報交換手段を提供することが大切だと考えています。

8. KIPS の機能

KIPS の機能を説明する概念図は図-2 のようなものになります。

左側の円は人間系や応用システムに相当します。中央の円はモデル系でソフトウェアシステムの機能を表わします。右の円は機械系でハードウェアに対応します。中央のモデル系を中心に説明すると次のようになります。

ります。

上半円は知的プログラミングシステムで推論機能を使った問題理解と応答合成をする部分であり、下半円は知識ベースシステムで、ここに貯えられる知識には問題領域に関する知識のほか、知的インタフェース機能で使う言語や画像などに関する知識と、機械系と知識表現に関する知識とがあります。左の人間系から問題が音声・図形などを用いたユーザ用言語で与えられると、これが前述の言語や画像などに関する知識を使って解析・理解され、中間仕様に変換されて知的プログラミングシステムへ与えられます。ここで問題領域に関する知識を用いて問題理解が行われ、処理仕様が作られ、これがさらに機械系や知識表現に関する知識を参照しながらプログラムに自動合成され、その最適化も行われます。こうしてできた論理型言語によりプログラムがハードウェアシステム中の問題解決・推論マシンと知識ベースマシンによって処理されます。途中の知的プログラミングシステムは高次のコンパイラのようなものですがここでも機械系が用いられることはいうまでもありません。記号処理マシン、科学計算マシン、データベースマシンのようなハードウェアは問題解決・推論マシンと知識ベースマシンの下受けをするマシンと考えるのが適当でしょう。第4世代までのコンピュータのハードウェアは、この部分しかないわけですから、第5世代コンピュータのハードウェアやソフトウェアの機能が、大幅に人間の側に近づくことがこの図からご理解いただけると思います。

処理結果はこの逆の過程をたどり、知的プログラミングシステムで応答が合成され、さらに人間に理解しやすい図形や音声などに合成されて人間系にわたされることとなります。

9. 第5世代コンピュータシステム

図-3は第5世代コンピュータシステムの基本構造を示す概念図であります。基礎ソフトウェアシステムは現在のOSに相当するものとお考え下さい。前述のように問題解決・推論システム、知識ベース管理システム、知的インタフェースシステムの3システムからなっており、これを支えるハードウェアシステムとして、問題解決・推論マシン、知識ベースマシン、知的インタフェースマシンの3種のマシンがあります。

問題解決・推論マシンはPROLOGのような述語論理型言語の処理マシンであり、高度の推論機構をハードウェアで持つほか、並列処理のためデータフロー制御機構が必要になります。従来形のプログラムも効率よく受け付けられるように新ノイマン機構も考

ます。また抽象データ型サポート機構がデータ保護、モジュール型プログラミングなど多くの観点から必要であります。

知識ベースマシンは関係形データベース機構と、関係代数演算の並列処理機構とを組み合わせることで実現され、抽象データ型をサポートする機構などを介して、問題解決・推論マシンと一体化されることでしょう。

知的インタフェースマシンは音声理解・合成マシン、画像理解マシンなど多くの媒体対応専用マシンの集合として構成されることになりましょう。

10. 第5世代コンピュータソフトウェアシステム

第5世代コンピュータを使いこなすためにはこれまで述べてきた基礎ソフトウェアシステムのほかに、プログラミング環境として知的ユーティリティシステム、知的システム化支援システム、基本応用システムなどを整備し、ユーザが応用システムを作り上げるための道具をそろえる必要があります。この関係を示したものが図-4であります。

基本応用システムは各種応用システムの共通核となるような部分を提供する目的で開発することを考えており、機械翻訳システム、質問応答システム、音声応用システム、図形画像応用システム、問題解決システムなどが話題に上がっています。

このプロジェクトは人工知能の研究が対象としているような新しい応用分野へのコンピュータの利用を念頭においているわけですが、このプロジェクトに投入できる資源にも、期間にも限界がありますので、本プロジェクトでは、このような目的に適合できるコンピュータシステムのプロトタイプを作り上げることを目指す予定であります。換言すれば特定分野のエキスパートシステムを完成することはこのプロジェクトの目標には含まれていません。しかし役に立たないコンピュータシステムを作っても無意味でありますから、

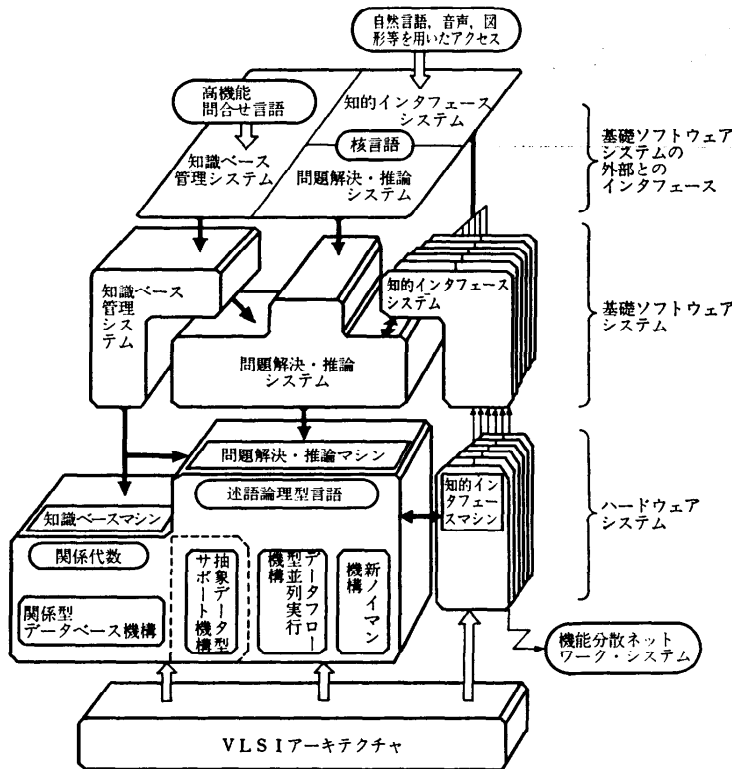


図-3 第5世代コンピュータシステムの基本構造概念図

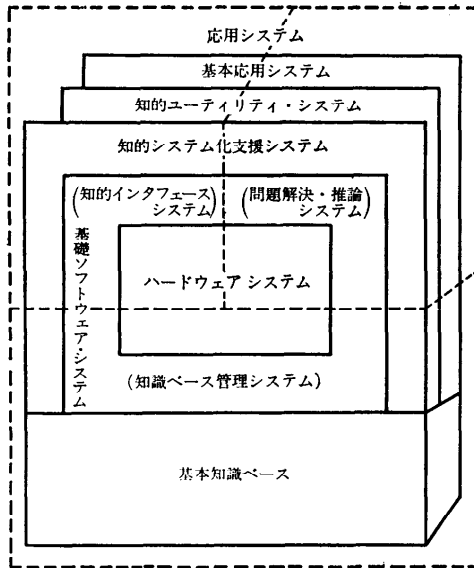


図-4 第5世代コンピュータソフトウェアシステムの構成

コンピュータシステムの評価や、計算機技術自体に役立つ身近な応用分野として、プログラム作成知的支援システムと VLSI 用知的設計支援システムを取り上げたいと考えています。

11. おわりに

本プロジェクトを来年度から正式に発足させることを希望しているわけですが、従来の通産省のプロジェクトには例がないほど先端技術の開発を目指したプロジェクトであることはご理解いただけたことと思います。

未踏分野も含まれており、研究を必要とする事項を数多く含んでおります。10年間でプロジェクトの実施期間とし、これを3年、4年、3年の前・中・後期にわけ、節目ごとに見直し修正を加えながらプロジェクトを進めてゆく予定になっています。特にプロジェクトの中核となる要素技術の研究・開発を重点的に行う前期3年では研究的色彩が強く、産・官・学の研究者の方々のご協力が是非とも必要と考えております。

またこのようなプロジェクトは海外にも類似のプロジェクトが生まれて、相互に刺激し合い、また協力しあって進めてゆくことがプロジェクトの効率的な推進に役立つとともに、わが国が世界の技術進歩に積極的に貢献できることになると考えて、国際協力をこのプロジェクトの重要な柱と考えています。