

資料 3

第5世代のコンピュータ

波及効果

昭和 57 年 3 月



財団法人 日本情報処理開発協会

この報告書は、日本自転車振興会から競輪収益の一部である機械工業振興資金の補助を受けて昭和56年度に実施した「第5世代電子計算機に関する内外技術動向調査」の成果をとりまとめたものであります。

は　じ　め　に

わが国における社会経済は、資源、エネルギー問題を始めとして国際的な変動と、不確実性の流れのなかにある。同時に、的確な情報の加工利用が重要視される情報化社会の形成が指向されている。

コンピュータは、われわれの情報活用においてすでに不可欠なツールとなっているが、今後10年間には多くの諸問題を解決するため、更に高度な技術が要求され、新たな理論・技術にもとづくコンピュータ・システムの実現が望まれている。

このため、当協会では、1990年代に実用化されるべき新しいコンピュータ（第5世代コンピュータ）について、過去2ヶ年間にわたり、総合的な立場から、調査研究を進めてきたが、本年度は、第5世代コンピュータ研究開発プロジェクトを推進するに当たり、研究開発内容の具体化、本プロジェクトがひき起こす波及効果、プロジェクト管理のあり方、各種新技術の動向等について調査を行なった。

更に、これまでの第5世代コンピュータに関する調査研究成果を内外に周知し、その評価及びテクノロジー・トランスファーの促進を図るとともに開発にあたっての国際協力体制作りの布石とするため、国際会議を開催した。

本報告書は、これらの調査研究成果のうち、第5世代コンピュータの波及効果についてとりまとめたものである。

最後に、本調査研究にあたって、ご指導ご協力いただいた委員会委員を始め、関係各位に対し、感謝の意を表します。

昭和57年3月

本調査で作成した報告書・資料

- ・第5世代のコンピュータ —— 研究開発計画
- ・第5世代のコンピュータ —— データフローマシン／データベースマシン
- ・第5世代のコンピュータ —— ロジックプログラミング
- ・第5世代のコンピュータ —— 波及効果
- ・第5世代のコンピュータ —— 関連技術動向調査
- ・第5世代のコンピュータ —— 研究開発計画・付属資料

波及効果調査委員会

	氏名	所属
主査	上 條 史 彦	情報処理振興事業協会開発振興部長
委員	児 西 清 義	日本電信電話公社 技術局データ処理部門調査役
"	大 上 貴 英	三菱電機㈱情報電子研究所 情報処理開発部計算機方式グループ
"	武 井 欣 二	東京芝浦電気㈱総合研究所情報システム研究所 ソフトウェア・グループ主任研究員
"	福 西 俊 策	富士通㈱電算機事業本部 開発部開発技術部開発課
"	安 原 宏	沖電気工業㈱総合システム研究所 知能システム研究部情報理解研究室研究主任
"	渡 辺 淳 三	日本電子計算機㈱ 第5世代、海外調査担当副主任
事務局	(財)日本情報処理開発協会 第5世代コンピュータ・プロジェクト室	

第5世代のコンピュータ波及効果

目 次

1. 56年度波及効果調査の概要	1
1.1 調査目的	3
1.1.1 背 景	3
1.1.2 調査の位置付け	5
1.2 調査目標および調査の基本的考え方	6
1.3 調査方法(概要)	7
1.3.1 調査分野・テーマ(概要)	7
1.3.2 作業方法(概要)	7
1.4 調査結果のまとめ	9
1.4.1 第5世代コンピュータ・システムの波及効果	9
1.4.2 今後の課題	9
2. 調査内容	13
2.1 調査方法	15
2.1.1 調査分野・テーマ	16
2.1.2 作業方法	21
2.2 調査結果	24
2.2.1 医療(診断コンサルテーション・システム)	26
2.2.2 教育(CAIへの応用)	48
2.2.3 コンピュータ用言語(エンドユーザ向言語)	60
2.2.4 薬理(遺伝子情報処理システム)	73
2.2.5 工業設計(VLSI-CADへの応用)	83
2.2.6 資源・環境(リモート・センシング・システム)	97
2.2.7 食料(長期天気予報への応用)	112
2.2.8 国際化(技術文書自動翻訳システム)	123

2. 2. 9 産業（知能ロボットへの応用）	134
2. 2. 10 事務管理（オフィス・オートメーション）	142
3. 第5世代計画と波及効果	159
3. 1 波及効果	161
3. 2 技術課題と波及効果	163
3. 3 社会的影響	167

1 . 56年度波及効果調査の概要



1. 56年度波及効果調査の概要

1.1 調査目的

昭和54年度から開始された第5世代コンピュータの調査は3年目をむかえ、そのイメージの具体化と共に、実現に対する期待も大きくなってきている。第5世代コンピュータは、在来型コンピュータが不得手であった応用分野に適用できるよう計画され、これまでコンピュータの応用が困難であった分野のコンピュータ化への貢献が期待されている。第5世代コンピュータが完成すれば、社会の種々の分野に導入され情報化が進み、社会の大きな変化が起きると予想されている。

本調査は第5世代コンピュータ・システムが完成し出現したとき、どのような影響を与えるか、その波及効果に関する調査報告をまとめたものである。

1.1.1 背景

「第5世代コンピュータ・システム」とはどのようなコンピュータで、どんな応用を、ねらって計画されたか、について説明することから始める。説明のために、調査経過について触れておく必要がある。後述する「調査方法」とも密接に関連しているからである。

(1) 要求仕様の調査

第5世代コンピュータ・システムの調査研究は、昭和54年度から開始された。当時は、第5世代コンピュータ・システムの具体的なイメージが、固まっていたわけではない。イメージの検討に、昭和54年度から55年度にかけての2年間を費している。

検討は、実現のための技術と、利用技術（アプリケーション）の両面から、行なわれた。アプリケーションの調査について説明しておきたい。

① 昭和54年度は、「社会環境条件研究分科会」で、次のテーマについて検討した。

- ・ 1990年を目途として、わが国における社会環境の望ましい姿を設定し、これを実現するに当たって予想されるボトルネックに対して、新しい情報技術が、どのように機能するか。

検討の結果、解決すべき課題（ボトルネック）として、以下の点が指摘された。

- ・ 低生産性分野への情報技術の組み込み
- ・ 国際化への対応
- ・ 省エネルギー・省資源問題への対応
- ・ 高齢化・情報化と人間との関わり合いの改善

② 昭和55年度は、「システム化技術研究分科会」が、上記の結論を受け、下記のテーマに基づいて、検討を進めている。

- 提示された課題（ボトルネック）の解決に役立つアプリケーションは何か。アプリケーションを実現するコンピュータの機能で、在来型コンピュータにはない新しい機能は何か。

とりあげたアプリケーションは、次の通りである。

- オフィス・オートメーション（OA）
- CAD（Computer Aided Design）／CAE（Computer Aided Engineering）
- デシジョン・サポート・システム（DSS）、データベース・システム（DBS）
- 分散データベース・システム（DDBS）
- 知能ロボット

加えて、ユーザ・ニーズの実態についても調査を行なった。作業の成果は、昭和54年度結論のブレーク・ダウン（具体化）として位置づけられている。検討の結果、在来型コンピュータでは満たすことのできない、「新しい機能」が、いくつか導き出された。この「新しい機能」を備えたコンピュータが、「第5世代コンピュータ・システム」である。「新しい機能」は、「第5世代コンピュータ・システムへの要求仕様」として、まとめられている。

アプリケーション側の調査では、社会のニーズに重点が置かれてきている。社会で役立つコンピュータにするための機能を、探し出したのである。「要求仕様」の内容は、「昭和55年度 第5世代のコンピュータ システム化技術研究分科会報告書」を参照されたい。

(2) 第5世代コンピュータ・システムの基本概念

「要求仕様」を出発点として、第5世代コンピュータ・システムの基本概念が構築された。基本的要素は、

- 問題解決推論システム
- 知識ベース・システム
- 知的インタフェース・システム

である。並行して行なわれた技術調査の結果、「基本要素」の実現性については充分裏付けられている。第5世代コンピュータ・システムは、新しい情報処理のニーズにマッチさせて、考え出されたもので、産まれながらにして、将来が約束されたコンピュータである。昭和56年度は開発計画の策定が行なわれた。

(3) 効果の調査

「要求仕様」から「基本概念」を導く際に、実現技術との突合せ（フィージビリティ・スタディ）が行なわれた。将来の技術開発を見込んだうえで、実際に製造可能なコンピュータとするためである。突合せ過程は、「要求仕様＝基本概念」といった条件に、とらわれないようにした。未来技術であるため、整合性は必ずしも保ち得ないからである。実現技術が策定された後、あらためて、「基本概念に基づいたコンピュータ」の効果を調査する必要性が生じたわけである。調査作業は、昭和56年度以降に残された。

「第5世代コンピュータ・システム（基本概念に基づいたコンピュータ）の波及効果」が、^{（注1）}本調査の目的である。

1.1.2 調査の位置付け

本委員会は、第5世代コンピュータ・プロジェクトの基本概念を、波及効果の面から追求するために設置された。第5世代コンピュータ・システムの「基本概念」が発表されてから、次のような意見が各方面から寄せられた。

- ① 第5世代コンピュータ・システムは多くの分野に大きな影響を与えるといわれており、波及効果について充分調査する必要がある。
- ② 第5世代コンピュータ・システムの応用システムの具体像が明らかでない。在来型コンピュータのアプリケーションとの違いが不明確である。

本調査にあたっては、こうした意見を踏まえ第5世代コンピュータ・システムに関する「効果の調査」を行なうことにより、その結果を開発計画へ反映させ、基本概念発表以来表面化した疑問点への解答作業の一助とするものである。また、短期間で作業完了を求められたため、特徴が出やすいと考えられる応用分野、テーマを選定し、サンプリング調査を行なうこととした。

（注1） 昭和55年度には、「要求仕様を満たすコンピュータの波及効果」が報告されている。

1.2 調査目標および調査の基本的考え方

具体的なコンピュータ応用分野において現在のコンピュータ利用に関する問題点および将来のコンピュータ技術への期待を調査し、第5世代コンピュータ・システムの波及効果および第5世代コンピュータ・システムに求められた機能（要求仕様）を明らかにすることを目標とする。

ここで、作業の困難性について触れておきたい。第5世代コンピュータ・システムは、1990年以降に実用化されることを目標にしている。効果が表われるのも、1990年以降となる。1990年以降の社会の状況あるいはコンピュータ利用の状況等を、予測しなければならないこととなる。現代のような不確実な時代に、10年以上先の予測を正確に行なうことは、かなり難しい。本委員会では、これに対処するため、いくつかの前提条件を設けた。

- 予測は、技術内容に限定する。
- 「ボトルネック」^(注2)に基づくコンピュータ・ニーズが、10年後も存続する。
- 社会制度・政治体制等は現状をベースとする。
- 第5世代コンピュータ・システムは提案された「基本概念」に従って着実に開発される。
- 既存のコンピュータも発達し、スーパー・コンピュータ等他のプロジェクトも、スケジュールに従って実施される。

前提条件を設けたため、本調査は、技術予測が中心的活動となった。効果を論ずる時には、市場予測が重要項目であるが、本調査では、それをほとんど断念した。商品の価格等は、技術の進歩・社会情勢の変化によって、如何様にも変化するので、予測の価値が失なわれてしまうからである。

本調査での結論は、限定されたいくつかの分野について、検討された結果である。対象とした適用分野の将来に関する予測は、行なわれていない。むしろ現状からの延長としての将来動向を、つかむことが目的である。正確な予測を行なうため、調査対象の選定にあたっては具体的応用システムを、とりあげた。多少とも知的処理の利用研究が行なわれているアプリケーションを題材にし、個別に検討することによって、予測がより現実的になることを、ねらった。

(注2) 昭和54年度 第5世代のコンピュータ 社会環境条件研究分科会報告書で指摘されている社会的ボトルネック

1.3 調査方法（概要）

調査方法は、次の通りである。詳細については、「第2章1節」に記述してある。

1.3.1 調査分野・テーマ（概要）

サンプリング調査では、分野の選定方法が結論に大きく影響するため、その点に留意しながら次の選定基準を設定した。

- ① コンピュータ応用の代表的分野を、リスト・アップする。
- ② 各代表分野の中から、存来のコンピュータでは、実現が困難であると言われているアプリケーションを、ひとつずつ選ぶ。
- ③ そのアプリケーションの中から、調査可能なものを拾って、最終的調査分野・テーマとする。

調査対象を、表1-1に示す。

1.3.2 作業方法（概要）

調査の基本構想を念頭に置いて、作業手順を次のように定めた。

- ① 選定した調査テーマについて、外部調査を行なう。
- ② 得られた情報から、調査テーマの実現を妨げている技術上の問題点を把握する。
- ③ 問題点と開発目標になっている新技術との関連を分析する。
- ④ 新技術によって問題点を解消できれば、調査テーマは実現できると判断する。

外部調査は、第5世代コンピュータ・プロジェクトとは、別のプロジェクト、研究機関あるいは応用システムの専門家に対して、調査を行なうことを指す。③、④での「分析」は、技術内容に限定した。

調査分析の結果は各調査テーマごとに、「第2章2節 調査結果」にまとめてある。たとえば「実現時のイメージ」という項目では、調査目標であるアプリケーションの将来のイメージについて、予想したものである。

表 1 - 1 調査分野・テーマ

分野名	テーマ名	選 定 理 由	アプリケーションの説明	研究開発状況
医 療	診断 コンサルテー ション・シス テム	- 研究が進んでいる - 知識処理に適した分野 - 新しいテクノロジーが必要	医者が患者の病状を診断するのを支援するシステム	研究試作段階 MECS-AI INTER-NIST MYCIN等
教 育	C A I への応用	前年度までの報告書で、解決すべきボトルネックと指摘されており、C A I による解決が期待されている	コンピュータ利用の教授-学習システム、これに付随して評価・診断を行ない、システムの最適化を行なう機能を含む	実用段階 MILESTONE 等、高度なものは研究段階
コンピュー タ用言語	エンドユーザ 向言語	コンピュータが多方面で使用され、いろいろな問題解決に役立っている現在、残された問題は“使い易さ”の実現である	自然言語の活用等によって素人でもコンピュータを使いこなせるようにする	研究段階
薬 理	遺伝子 情報処理 システム	- 今後、急成長が予想される新しい応用分野 - 人手による作業には限界があり、新しいテクノロジーによるコンピュータの支援が必要	遺伝子の解析支援あるいは遺伝子操作の支援（組換え実験シミュレーション等）を行なうシステム	実用段階 DENDRAL 等 高度なものは研究試作段階 MOLGEN 等
工業設計	VLSI-CAD への応用	自動車メーカーのような I C 専門メーカー以外のメーカーで、手軽に VLSI を設計できるよう支援ツールが要望されている	VLSI チップ上の回路の配置と配線を、自動設計するシステム	LSI 用は、実用段階 VLSI 用は、研究段階
資源・環境	リモート・ センシング・ システム	種々の技術的問題点の存在により、データ解析の部分で、コンピュータ利用が進んでいない	各種の資源調査、各種の環境調査を、人工衛星等に搭載したセンサーを使用して行なうシステム	研究段階
食 料	長期天気予報への 応用	- 適確な長期予報が要望されている - 長期予報の農業に及ぼす影響が大きい	1 年以上の期間で、平均気温・日照時間・降水量等を、予測するシステム	研究段階
国 際 化	技術文書 自動翻訳 システム	社会の急速な国際化に伴い翻訳量が増大しており、社会のボトルネックになりつつある	人間の介在は必要であるが、技術文書を、ほとんど自動的に、他の言語に翻訳するシステム	実用段階 SYSTRAN 等 高度なものは研究段階
産 業	知能ロボット への応用	労働災害、職業病防止あるいは海底調査等人間ではなし得ない作業への応用等に期待が大きい	高度な知能を持ったロボットで、作業機械と異なり、人間のように高度な作業ができるものである	研究段階
事務管理	オフィス・ オートメーション	新産業革命と言われる O A は、第 5 世代コンピュータ・システムが解決しなければならない必須のテーマである	企業の事務部門（オフィス）を機械化するための新しいテクノロジー（技術）である	一部実用段階 （ワードプロセッサ等）

1.4 調査結果のまとめ

10テーマの調査を終えて、第5世代コンピュータ・システムの効果の輪郭が、浮かびあがってきた。一方で、これから解決すべき課題が、まだ残っていることも明らかになってきた。ここで、調査の総括を行なうことにする。詳細については、「第2章 調査内容」及び「第3章 第5世代計画と波及効果」を参照されたい。

1.4.1 第5世代コンピュータ・システムの波及効果

第5世代コンピュータ・システムの効果を表1-2に示す。

昭和54年度の報告にあったボトルネックを解決するための道具として、第5世代コンピュータ・システムが機能し得る分野は、沢山ある。新利用分野の影響力は、様々であるし、将来にわたる10年間の社会的変化（ボトルネックの変化）も問題であろう。にもかかわらず人工知能にかけられる期待は、極めて大きい。情報化学の他の研究分野に比し、研究が遅れているという評価は、その通りである。研究の遅れは、それだけ未知の世界が広がっていることを意味している。

10テーマの調査で、作業を完了させたが、調査範囲を拡大すれば、さらに大きな効果が発掘できる可能性も残されている。第5世代コンピュータ・システムの利用可能分野は非常に広いことが予想できたし、従って、波及効果が大きなことも十分推定できよう。

1.4.2 今後の課題

(1) 開発計画への還元を期待する課題

① 「認識」と「連想」

われわれは、調査の全過程で、推論・知識ベース・知的インタフェースの応用について、模索してきた。その過程で、推論・知識ベースを基礎とした次段階の技術開発目標が必要なことを発見した。「認識」と「連想」である。

今年度の調査の範囲でも、「認識」と「連想」が適用できる部分（問題点）が随所にあった。「認識」・「連想」は、推論・知識ベースの応用技術とも考えられるが、新しい開発目標として顕在化させることが望ましい。第5世代コンピュータ・システムに追加する要素技術として、「認識」と「連想」を提案する。

（注3） 昭和54年、第5世代のコンピュータ 社会環境条件研究分科会報告書で指摘されている社会的ボトルネック

表 1 - 2 第 5 世代コンピュータ・システムの効果

分野名	テーマ名	効 果
医 療	診断コンサルテーション・システム	- 医療の質を高め、福祉の向上にも役立つ - 医療知識体系化の促進、後継者への効率的な伝授 - 新しい医療方法の確立（例 予後の予測等）
教 育	CAIへの応用	- 知識ベース利用の最適教授アルゴリズム確立機能の実現 - 個別化教育の推進（企業内教育、家庭内教育 etc） - 国民の教育水準向上への寄与
コンピュータ用語	エンドユーザ向 言語	- プログラミング・ボトルネックの解消 - プログラムの信頼性の向上 - コンピュータ利用層の拡大 - コンピュータ利用分野の拡大
薬 理	遺伝子情報処理システム	- 新物質（医薬品等）開発の効率化（含む経済効果） - エレクトロニクスと遺伝子工学が工学的に融合し、科学・医学・工学等の学術的発展に寄与する可能性もある。
工業設計	VLSI-CADへの応用	- IC専門メーカ以外でもVLSIの設計が可能になる。 - これまでIC化が見送られていた回路もIC化される（経済効果大）。 - 大規模なコンピュータが容易に製造できるようになる。
資源・環境	リモート・センシング・システム	- リモート・センシング・システムを利用しやすくなる。 - リモート・センシング・システムの応用分野が拡大する。 - 資源・環境問題解決の道具になる。
食 料	長期天気予報への応 用	- 気候に合った農業栽培ができ、冷害等を減少できる。 - 農業以外でも水資源管理・エネルギー需要予測等幅広い応用が期待でき、生活水準の向上に寄与する。
国 際 化	技術文書自動翻訳システム	素稿（下訳）として利用することにより、翻訳作業が大幅に機械化する。このため、翻訳のスピード・アップ、コストダウンが可能となり、社会に及ぼす影響はかなり大きい。
産 業	知能ロボットへの応 用	- 工場等の生産ラインでは、使い易さの向上とともに労働災害防止効果 - ダークワークの解除、高齢化社会への対応手段としての効果 - 宇宙開発、災害救助、医療等へ応用することによる効果
事務管理	オフィス・オートメーション	- 非データ情報のコンピュータによる自動処理化 - 事務作業の機械化による効率アップおよび生産性向上 - 新しいタイプの事務所及び事務作業の出現

② アプリケーションへの対応

第 5 世代コンピュータ・プロジェクトでは、アプリケーションに関する開発項目として、基本応用システムをとりあげており、各種応用システムの共通的基本技術の研究開発および新しいシステムの性能評価項目として位置付けられている。基本応用システムは第 5 世代コンピュータ・システムの応用分野におけるプロトタイプとして、とらえることができる。第 5 世代コンピュータ・システムの研究成果に加えて、アプリケーション開発の成果も示すことができる重要な項目となろう。

アプリケーションとしては、例えば、コンサルテーション・システムがとりあげられており、いくつかの適用分野（医療等）が設定されている。プロトタイプの開発ではあるが、汎用的なシステムとして開発する必要性は必ずしもないと思われ、例えば開発対象を 1 つにしたアプリケーションに沿ったアプローチが許されるのではないだろうか。一口に機械

装置用CAD（設計コンサルテーション・システム）と言っても大変幅が広く、普遍的に適用できる技術の開発には時間を要すると思われるので、対象範囲を狭く絞りアプリケーションに沿った短期間の開発を望む声も大きい。効率よく開発するためには、時にはアプリケーション分野の専門家の協力が必要であろう。基本応用システムの開発では、広範で全てを追求する方法が得策とは考えられない。

第5世代コンピュータ・プロジェクトの中間段階で、アプリケーション・オリエンテッドな応用プロトタイプが具体化すれば、これより説得力のある中間成果は存在し得ないと言っても良いだろう。本報告書の冒頭で述べた（1.1.2 調査の位置付け）疑問点 — 第5世代コンピュータ・システムのアプリケーションの具体像が明らかでない。 — にも答えることができる。応用プロトタイプは、当然ではあるが、中間段階に使用が予定されている逐次型推論マシンの上に展開されることとなろう。

長期的には、的を絞って具体化した応用プロトタイプを、汎用化して適用範囲を拡大し、本来の基本応用システムとして構築することも可能だろう。直接汎用システムを開発するより完成度の高い基本応用システムが得られる可能性がある。

(2) 今後の留意点

1.4.1節で、第5世代コンピュータ・システムの効果について明るい見通しを述べたが、解決すべき問題点も残されている。

第1に、第5世代コンピュータ・システムは新しいハードウェアなので、実績がない。このため、ユーザとなる可能性のある人々の知識情報処理の概念についての理解を得るため、普及活動や実績作りについて前向きに対処しなければならないだろう。

第2に、第5世代コンピュータ・システムはボタンを押せば即座に動くものではないので、導入してそれなりの効果を得るには、ソフトウェアの問題について考えておかなければならない。ただし、プログラミングについて言えば、現在よりも生産性が向上すると考えられ、今日（注4）言われるソフトウェア危機に対する解答となることが研究開発の目的のひとつである。ソフトウェアの生産性向上についてはコンピュータ利用を促進するポイントとしてとらえ、1.4.1節のような効果を期待している。本調査では定性的な結論に終わっているので、今後定量化して示す必要がある。

（注4）第5世代コンピュータ・システムでは、「プログラミング」という単語は適当でないかもしれないが、ここでは、知識ベースに知識を入れることや推論システムに問題を与える意味も含めて使用する。

第3に、コンピュータ・セキュリティとプライバシー保護の問題のように、情報化の進展に伴って情報化社会のアキレス腱ともいえるべき脆弱性について、その対応策を検討していく必要がある。超大型データベースは膨大なデータを蓄積できるが、正当な利用者が参照を許可されたデータだけを取り出せるようになっていなければならない。現状のパスワードによる方式では不十分なことを、ニューヨーク（米国）のダルトン・ハイスクールの事件等が物語っている。^{（注5）}第5世代コンピュータ・システムでは、高度の認識技術を駆使して、より完全なチェック機構を構成できる可能性があるが、今後の検討に期待するところが大きい。

また、コンピュータが雇用に与える問題も真剣に検討していくべき問題であろう。工場での生産性向上あるいはオフィス・オートメーションの実現によるオフィスの効率化が、どのように雇用に影響を与えるかは、今後の重要な検討課題である。効率化による生産性向上にコンピュータが寄与してきたのも確かであるが、応用範囲が広がるに伴って新しい問題が発生しつつあるのもまた確かである。今後コンピュータの専門家は、利用上の問題として無視することは許されなくなるだろう。これらの問題に対する対応策について、第5世代コンピュータの目指すべき方向との関連を図りながら、今後継続的な検討をしていくことが必要であろう。

（注5） ダルトン・ハイスクールのマイコンクラブの部員が、独自にパスワード（暗号）を解読し、米国やカナダの企業システムに通信回線を通じて介入し、データ・ファイルの破壊等を行なった事件。

2. 調査内容

2. 調 査 内 容

2.1 調査方法

波及効果の調査は、次のようにして行なった。

- ① 具体的なアプリケーションを題材にして、第5世代コンピュータ・システム（5 G技術）応用の可能性を調査検討する。
- ② 同時に、その具体的なアプリケーションの効果を調査する。

上記②の効果を生み出すアプリケーションが、①で検討するように、その実現に5 G技術が役立つようであれば、結果的に第5世代コンピュータ・システムは、効果があることになる。今年度の調査は、この考え方を基本にしている。ここで「5 G技術」とは、第5世代コンピュータ・システムの要素技術の総称であり、その中核は次の3要素技術である。

- ① 問題解決推論システム（以後、推論と略す。）
- ② 知識ベース・システム（以後、知識ベースと略す。）
- ③ 知的インタフェース・システム（以後、知的インタフェースと略す。）

以後、第2章では「5 G技術」という用語を、この意味で統一して使用する。

調査対象として、具体的アプリケーションを選んだのは、より現実的な予測（技術面に限定）を行なうためであり、5 G技術を応用したアプリケーションの、分かり易いイメージを描くためでもある。

調査結果の公平を期するため、調査は主に外部の専門家（第5世代コンピュータ・プロジェクトには直接参加していない、コンピュータ・アプリケーションの専門家）の協力を得て、行なった。調査に協力していただいた関係者各位に対し、ここで改めて感謝いたします。

2.1.1 調査分野・テーマ

今年度はサンプリング調査を行なうため、調査を行なうアプリケーション（これを以後、調査テーマと呼ぶ）を、次に示す方法で選定した。

- ① コンピュータ応用の効果が特に大きく、それが社会を直接的に豊かにすると言われる応用分野（これを以後、代表分野と呼ぶ）をリストアップする。
- ② それらの代表分野の中から、在来型コンピュータでは、実現が難しいと言われているアプリケーションを、ひとつずつ選ぶ。

①の代表分野は、一般的には社会システムと呼ばれるアプリケーションを含む分野である。しかしながら、その影響が極めて大きいアプリケーションの場合には、例外として、社会システムでないものも代表分野に含めた。

次に、②の意味は技術上の問題点が存在して、実現できないでいるアプリケーションを選ぶことである。ここで技術上の問題点として、われわれは以下の項目に着目した。

- ① 現在のコンピュータでは、実行速度・容量等が不足しているため実現できないアプリケーション。
- ② 速度や容量よりも、現在のシステム設計法やプログラミング法では、問題が多くて実現できないアプリケーション（例えば、プログラムが余りに膨大で正当性のチェックが困難になる。あるいは、設計やプログラミングそのものが困難になる等。）

調査テーマを選定するに当たり、②の問題点を重要視した。第5世代コンピュータ・システムは、②のようなネックの解消を目的としたコンピュータだからである。

われわれは文献調査等により、①、②の条件に合うアプリケーションを多数得た。この中から、既に調査あるいは研究等が行なわれているアプリケーションを選んで、最終的な調査分野・テーマとした。

ここで、調査分野・テーマの選定方法をまとめておく。

- ① 代表分野をリスト・アップする（主に社会システム）。
- ② 各代表分野の中から、コンピュータの機能が現状よりも大幅にアップしなければ、実現できないと考えられる調査テーマをひとつずつ選ぶ。
- ③ 上記②の調査テーマの中から調査可能なものを拾って、最終的調査分野・テーマとする。

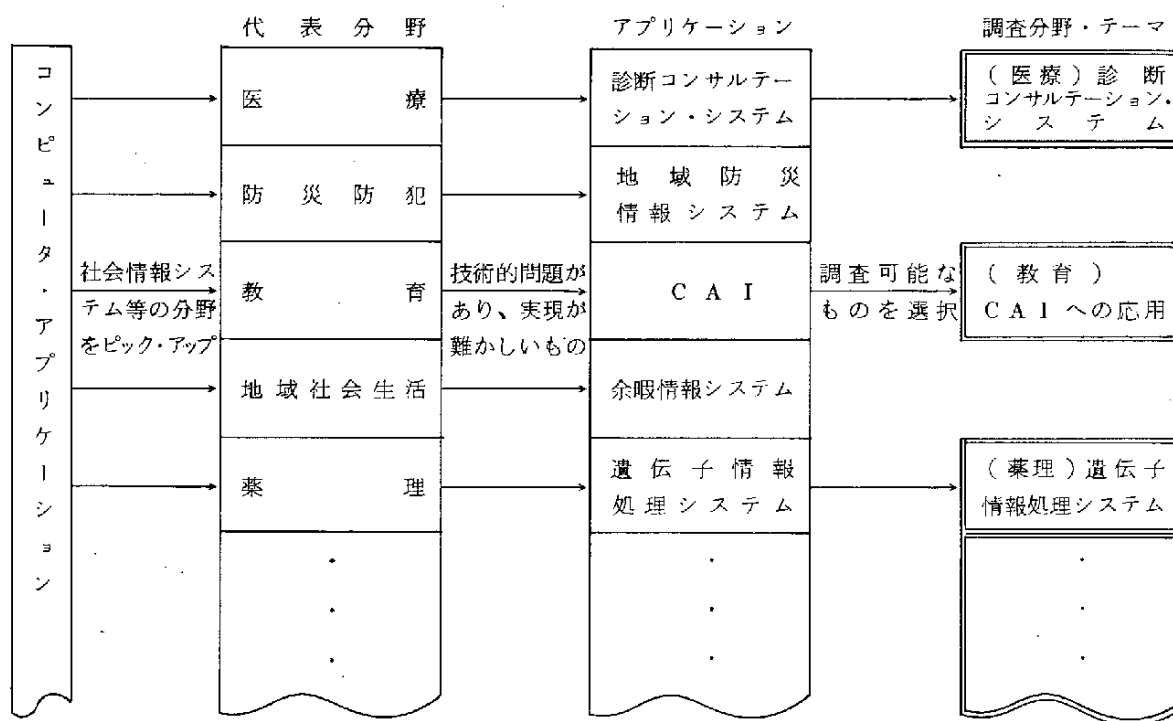


図 2.1 - 1 調査分野・テーマの選定

次に、以上のような経過で決定した調査分野・テーマを紹介する。なお、調査テーマの選定過程で将来開発が必要とされる具体的なシステム像が明らかなものは、それを取りあげた。しかしながら、個々の調査分野におけるアプリケーションの研究開発状況の違いにより、具体的なシステム像が、まだ明らかでないものもある。そのような調査分野については、現在の情報を手掛りに将来の応用の範囲を絞り、調査テーマとした。従って、すべての調査テーマが具体的なシステムであるというわけではない。ある分野での応用全般を、調査テーマにしている場合もある。

(1) 医療（自動診断システム）

医療情報システムは、社会システムの中でも、とりわけ社会に対する影響の大きい重要な応用分野である。

自動診断システムは、医者が患者の病状を診断するのを支援するシステムである。在来テクノロジーによる実現には大きな壁があると言われ、新しいテクノロジーを用いた研究が現在進められている。その新しいテクノロジーと、5G技術の関連を調べるため選定した。

表 2.1 - 1 調査分野・テーマ一覧

分野名	テーマ名	アプリケーションの説明	研究開発状況
医 療	診断コンサルテーション・システム	医者が患者の病状を診断するのを支援するシステム	研究試作段階 MECS-AI INTER-NIST MYCIN等
教 育	C A I への応用	コンピュータ利用の教授-学習システム、これに付随して評価・診断を行ない、システムの最適化を行なう機能を含む	実用段階 MILESTONE等 高度なものは研究段階
コンピュータ用言語	エンドユーザ向言語	自然言語の活用等によって素人でもコンピュータを使いこなせるようにする	研究段階
薬 理	遺伝子情報処理システム	遺伝子の解析支援あるいは遺伝子操作の支援（組換え実験シミュレーション等）を、行なうシステム	実用段階 DENDRAL等 高度なものは研究試作段階 MOLGEN等
工業設計	VLSI-CADへの応用	VLSIチップ上の回路の配置と配線を、自動設計するシステム	LSI用は、実用段階 VLSI用は研究段階
資源・環境	リモート・センシング・システム	各種の資源調査、各種の環境調査を、人工衛星等に搭載したセンサーを使用して行なうシステム	研究段階
食 料	長期天気予報への応用	1年以上の期間で、平均気温・日照時間・降水量等を、予測するシステム	研究段階
国 際 化	技術文書自動翻訳システム	人間の介在は必要であるが、技術文書を、ほとんど自動的に、他の言語に翻訳するシステム	実用段階 SYSTRAN等 高度なものは研究段階
産 業	知能ロボットへの応用	高度な知能を持ったロボットで、作業機械と異なり、人間のように高度な作業ができるものである	研究段階
事務管理	オフィス・オートメーション	企業の事務部門（オフィス）を機械化するための新しいテクノロジー（技術）である	一部実用段階 （ワードプロセッサ等）

(2) 教育（C A I への応用）

教育というのは民族の存続や発展のために、もっとも重要なテーマのひとつである。今日、各個人に適した個別化教育の必要性が叫ばれる一方、省力化のための集団教育の進行という現実があり、社会上のボトルネックになっている。この内で「C A I」は、もっとも期待されるコンピュータ・アプリケーションである。しかしながら、多数の問題を抱えていると言われ、5 G 技術で解決できれば効果は大きい。

(3) コンピュータ用言語（エンドユーザ向言語）

情報化社会と言われる今日では、社会のあらゆる分野にコンピュータが導入されている。そ

こでの最大のネックがプログラミングであることは、周知の事実である。これを取り除こうとする、これまでの試みは、いずれも予期した程の効果を得ることができなかったと、言われている。

第5世代コンピュータ・プロジェクトはこれを解決するためにあると言っても過言ではなく、このアプリケーションを取りあげることに大きな意義がある。

(4) 薬理（遺伝子情報処理システム）

遺伝子工学は新しい技術であるが、最近の成果には目ざましいものがある。しかしながら、遺伝子の組換えを行なって新しい物質を創り出すためには、長時間に渡る緻密な実験が必要である。この過程をコンピュータの応用で効率化しようという試みがあり、新しいコンピュータの応用分野であるので、調査テーマとして選定した。

(5) 工業設計（VLSI—CADへの応用）

エレクトロニクスは、今日どの分野でも使用されている。その中心はICで、最近、LSIが大量に使用されている。今後は、VLSIに移行すると言われている。VLSIの設計には、現状でも、コンピュータが使用されているが、完全自動化には程遠く、かなりの部分をマニュアルで設計している。この機械化には、在来型コンピュータを超えた機能を持った新しいコンピュータが必要だと思われ、5G技術との関連を調べるため選定した。

(6) 資源・環境（リモート・センシング・システム）

有限な資源の有効利用、有限な回復力しか持たない環境の保全は、人類にとって大きな課題である。そのためには、地球規模の調査が大切であるが、これはなかなか大変な作業である。リモート・センシング・システムは、この調査を効率的にかつ綿密にできるので、大いに注目されている。しかしながら、現状では多くの技術的問題があり、超高空写真としての応用（例：気象衛星ひまわりの写真等）に、とどまっている。5G技術の支援でどのような自動化を見出せるかが、調査のポイントである。

(7) 食料（長期天気予報への応用）

「長期予報」は、現在では日常の関心事になっており、われわれの生活に深く関係こんでいる。来年の夏が「猛暑」か「冷夏」かは、都会の住民の生活にとっては直接関係はないものの気になるところである。一方、農業関係者にとっては、大変重要な問題で、ずっと以前から予測を試みてきた。（占いに頼る時代もあった。）

超大型コンピュータを駆使する現代においても「長期予報」は難題で、予報精度がなかなか上らないと言われる。5 G技術が、この分野でどのような役割を担うことができるかを調査するため選定した。5 G技術の支援で予報精度が向上すれば、効果が大きいことは言うまでもない。

(8) 国際化（技術文書自動翻訳システム）

翻訳というのは、政治・経済が国際化した現代社会では、極めて重要な作業である。言葉の違う民族（あるいは国家）間の意思の疎通をはかるには、どうしても翻訳（あるいは通訳）が必要だからである。昔のように鎖国政策が成立し得た時代と違い、現代では、世界貿易が経済発展にとって必要不可欠のものとなり、外国との交流は自然に活発になってくる。そして、翻訳の重要性は増すばかりである。このような状況のため翻訳量は確実に増加しているが、今だに人手で処理されている。これを機械化するのに、5 G技術がどのような効果を示すか、技術文書の翻訳に的を絞ってアプローチした。

(9) 産業（知能ロボットへの応用）

知能ロボットが、次の時代の重要な生産手段になるというのは、既に一般化している。知能ロボットが製造業で役立つであろうことも、はっきりしている。さらに、知能ロボットは、いかなる悪環境でも作業できるという大きな特徴がある。そのため、例えば原子炉内での作業でも放射線対策は、人間の場合よりもはるかに簡単である。このような「ダーティ・ワーク」用としての応用で、大きな効果が期待されている。しかしながら、本格的知能ロボットはまだ実用化していない。5 G技術が知能ロボット実用化に果たす役割を調査するため、本テーマを選定した。

(10) 事務管理（オフィス・オートメーション）

オフィス・オートメーションは、新産業革命と言われ、事務部門効率化の鍵とされている。さて、現在のオフィス・オートメーションと言えば、ワード・プロセッサ、ファックス、コピー・マシンが、代表的イメージであり、オートメーションと呼ぶには、寂然としないところがある。昨年度の報告書には、望ましいオフィス・オートメーションのイメージが報告されているが、これを実現するためには、多数の課題が存在していると思われる。5 G技術は、この課題の解決に役立たねばならない。第5世代コンピュータ・システムは、この課題を解決する手段として計画されたからである。（昭和55年度 第5世代のコンピュータ システム化技術研究分科会報告書参照）本テーマは、第5世代コンピュータ・システムが解決しなければならない必須のテーマである。

2.1.2 作業方法

前節で示した経過で、選定された調査テーマについて、いかなる調査を行ない、目標とする「第5世代コンピュータ・システムの波及効果」を、導き出そうとしたかを、説明する。

本調査の主要な目的は、第5世代コンピュータ・システムの波及効果を、調査することである。ところが、第5世代コンピュータ・システムは、これから開発を始める、まったく新しいシステムであり技術である。そのため、5G技術が応用されているアプリケーションは、今現在では存在しない。わずかに、予想される5G技術と類似の新技术を用いた実験的システムがあり、これから手掛りが得られる程度であった。そこで、次に示す方法をとった。

- ・サンプリングした調査テーマについて外部調査を行なう。
- ・その結果得られた情報から、調査テーマの実現を妨げている技術上の問題点を把握する。
- ・その問題点と開発目標になっている5G技術との関連を分析する。
- ・分析の結果、その問題点を解消できれば、調査テーマは実現できると判断する。

上記の検討過程で予測を行なう必要があり、技術上の項目についてののみ行なった。この検討結果を、後述する形に、まとめた。（2.2 調査結果を参照）

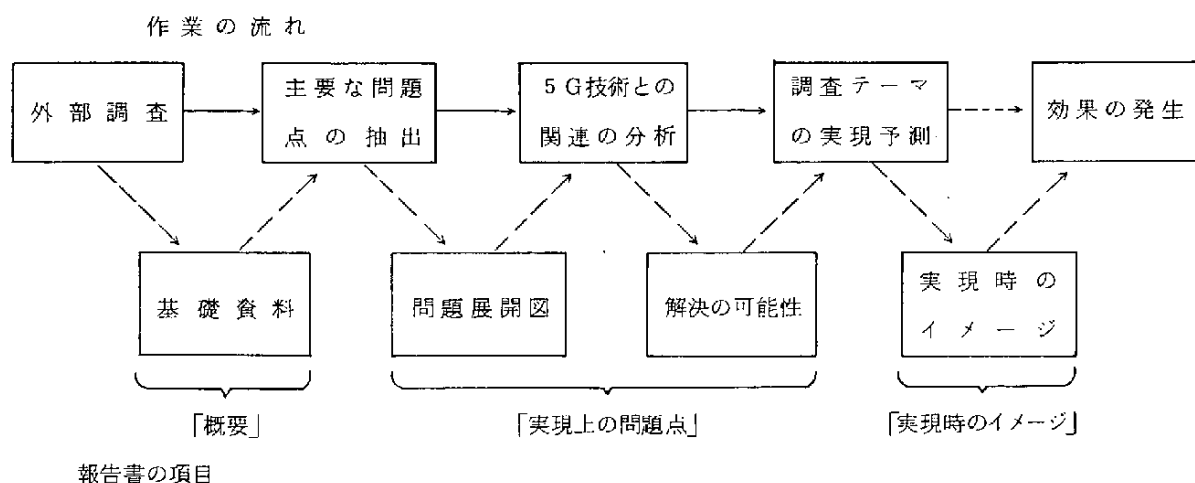


図 2.1 - 2 具体的な作業方法

次に、外部調査の実施方法と当委員会内部での検討方法について、説明する。

(1) 外部調査

外部とは、第5世代コンピュータ・プロジェクトに、直接参加していないコンピュータ・アプリケーションの専門家を意味する。このような条件で、各調査テーマを専門的に研究してい

る専門家に協力を依頼し、次に示す調査方法

- ①訪問調査（ヒアリング）
- ②委員会での講演
- ③小論文の作成依頼

で、①の方法を主体にして、調査を実施した。調査項目は、主に下記のものである。

①調査テーマの現状

- ・概 要
- ・ニーズ
- ・内部構造
- ・問題点
- ・効 果

②技術上の問題点

③将来のイメージ

- ・計画中のシステム概要
- ・研究開発の方向

④その他

前節でも述べたように、調査テーマのすべてが具体的なシステムにはなっていないので、調査テーマに合わせて調査項目を調整している。

10年以上先のアプリケーションを踏まえた調査のため、専門家個人の意見を重要視することが多くなった。さらに後述するように、この情報を出発点にした内部検討を行ってから結論を得るようにした。

(2) 内部検討

外部調査で収集した情報を基礎資料にし、5G技術が支援した場合、調査テーマであるアプリケーションの実現上の問題点が、どのように解決されるかを分析した。合わせて、調査テーマの実現の可能性を検討した。この分析過程では、アプリケーション独自の問題が多数出現する。この問題に深入りすると、コンピュータ技術の問題から離れてしまう。本調査ではコンピュータ技術に限定して予測を行なうので、これとは別種のアプリケーション独自の問題については、将来解決するものと仮定し、「コンピュータ技術上の問題点の解決＝調査テーマの実現」として、とらえた。

各調査テーマ毎に、「問題展開図」を作成した。これには、調査テーマが抱える問題点と、関連する5G技術が示してある。この作業では、第5世代コンピュータ・プロジェクト関係者

の協力を求めている。さらに、第5世代コンピュータ・システムが具備すべき機能（要求機能）についても、外部調査結果を用いての分析を試みた。

調査テーマの実現が生み出す「効果」は、外部調査結果を尊重したが、5G技術が支援することによる影響（機能アップ等）については、当委員会独自で検討した。

次に、個々の調査テーマの効果をひとつにまとめ、第5世代コンピュータ・システムの波及効果を検討した。ここでは、調査テーマの波及効果として予想される「社会への影響」について、考察を行なった。（第3章 第5世代計画と波及効果を参照）

2.2 調査結果

本論に入る前に、調査結果のまとめ方について、説明する。調査結果は、以下の6項目についてまとめている。

- ①選定理由
- ②概 要
- ③実現上の問題点
- ④実現時のイメージ
- ⑤効 果
- ⑥参考文献（資料）

次に、各項目の内容を説明する。ここでの説明とは、若干違ったまとめ方をしている調査テーマもある。

① 選定理由

調査分野・テーマを選定した理由である。

② 概 要

調査テーマの内容を、下記の観点からまとめたものである。

① 現状のシステムの問題点

- Ⅰ 将来、開発が予定されているシステムの概要あるいは予想される研究開発の方向：
調査テーマを内側（システムの構造・動作等）から見た将来の方向を、主にまとめたもの。

Ⅱ 上記Ⅰのアプリケーションを、今すぐ実現できない原因（問題点）

この部分は、外部調査の結果を、まとめた部分でもある。後続の③、④、⑤では、外部調査結果を基礎資料として当委員会内部で検討した結果を、まとめている。

③ 実現上の問題点

調査の結果、得られた問題点を分類・整理して、「問題展開図」としてまとめ、5G技術との関連を分析し問題点克服の可能性について検討した。その結果を記述している。調査テーマ実現の可能性についても言及した。

④ 実現時のイメージ

5G技術の支援で調査テーマが実現した場合のイメージを、可能な限り、まとめたものである。ここでは、外側（外観的特徴：システムの利用者から見た動作等）から見た将来のイメージについてまとめた。

⑤ 効 果

5G技術が、調査テーマに及ぼす効果（第5世代コンピュータ・システムの直接的効果）

及び調査テーマ実現による効果（間接的効果）等、本調査の中心課題についてまとめた。

⑥ 参考文献（資料）

調査あるいは検討時に参考にした、文献あるいは資料のリストである。

2.2.1 医療（診断コンサルテーション・システム）

2.2.1.1 選定理由

化学プラントや原子力プラントのように、システムが大規模・複雑化してくると、その動作運転中に故障の発生等があっても簡単に運転を中止して原因を究明することは困難である。従って、プラント内には多数のセンサーが設備され、これで検出されるデータをもとに故障箇所・原因を推定することになる。また、障害原因が同じであってもシステムの不確定性から、現象が異なることもあるので、検出される障害関係データの量は一定しないことも、ひとつの特徴である。

このようなときに推論システムが必要になってくる。すなわち、推論システムとはvariable amount of dataをもとに、ひとつの又は可能性のある複数の結論を導くためのものである。

上述のような化学プラントや原子力プラントよりも、もっと複雑でかつ未知の要素を含むものを対象とする分野もある。それは人間の病気の治療を目的とする医療情報処理の分野である。人体における異常（病気）はその発病の仕方に個人差があるうえに、人体の病理モデルは必ずしも解明されている訳ではない。また複合化した原因のものに複雑な症状となって現われることもある。加えて、正常な状態に回復させるための制御（治療）の方法も確立されていないので、その都度最善と思われる治療法を選択することになる。このように、医療情報処理は推論システムの有効性を検証するには最も適しているとともに、多分最も困難な分野であると考えられる。

医療情報処理の対象分野を図2.2-1に示す。図2.2-1に示した中から、斜線で囲った部分すなわち、医師による患者の診断と治療を中心とする「診断コンサルテーション・システム」を検討の対象としてとりあげた。その理由は次のとおりである。

- ① 第5世代コンピュータ・システムの得意とする分野である「エキスパート・システム（Expert System）」の萌芽が、既に見られること。
- ② 医師の診断の舞台である病院は、〇〇科医・××科医……、看護婦、検査技師、……等多数の専門家が有機的に作業する場所であり、Expert Systemの発展の可能性を探るのに適している場所であること。
- ③ 情報の量的処理と情報の意味内容に立ち入って処理したり、イメージや画像のような異質の情報を処理するいわゆる質的処理の両方が必要な分野であること。
- ④ 既存の情報処理技術がすでに導入されており、5G技術と既存技術の関係を考える恰好のテーマであること。
- ⑤ 第5世代コンピュータ・システムの中心となる推論に加えて、パターン認識という本質的な技術を必要とするテーマであること。

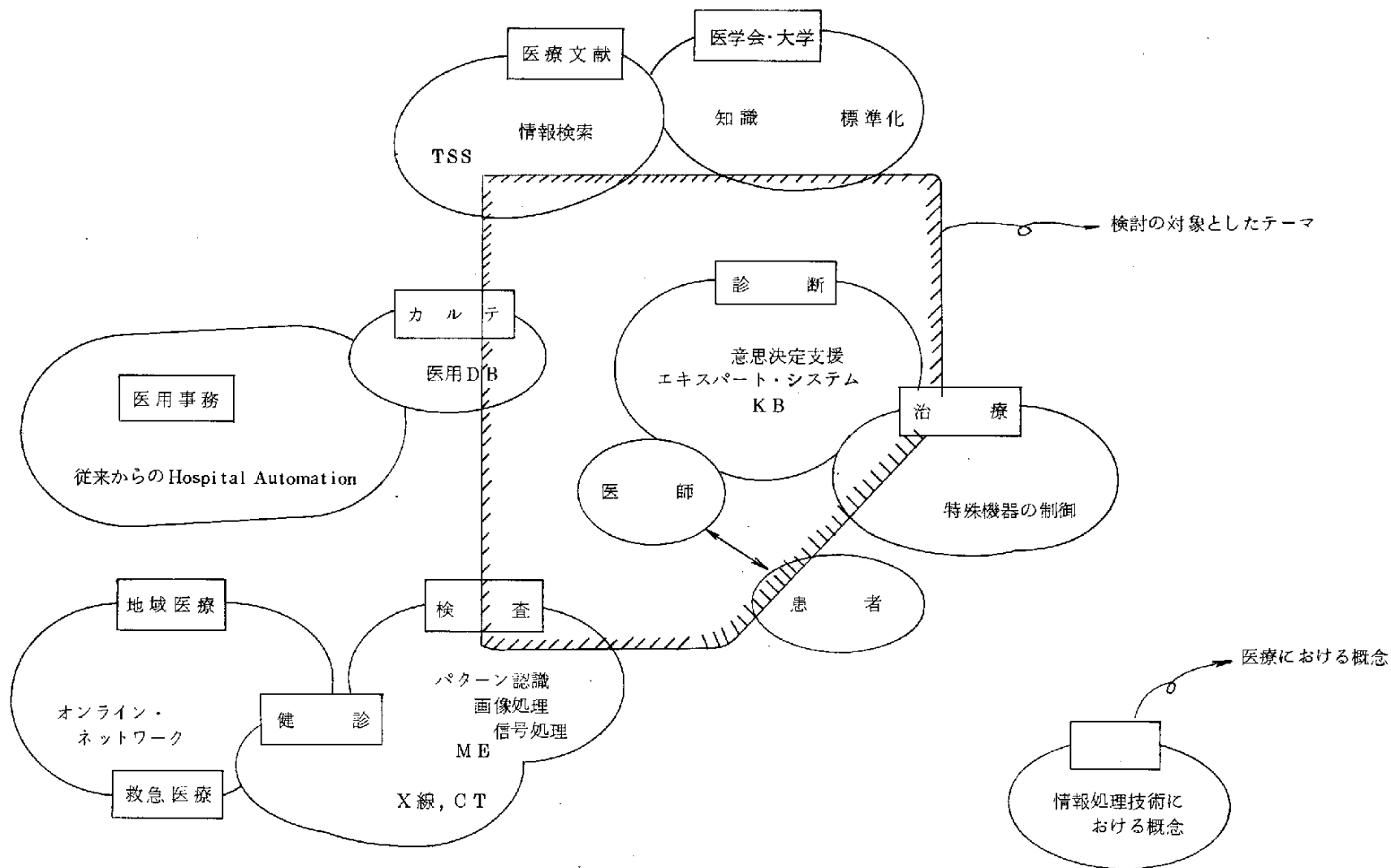


図 2.2-1 医療情報処理の分野

以上は、いずれも第5世代コンピュータ・システムの主要研究テーマにつながるものである。かつ難易度を考えれば、第5世代コンピュータ・システムの有効性と波及効果を検討するために、十分タフなテーマであると言える。

2.2.1.2 システムの現状と目標

(1) 現 状

現在までに開発されている推論システムの知識表現モデルは、大別すると、プロダクション・ルール、フレームおよびセマンティック・ネットワークの3つに分かれる。医療に関しても、MYCINファミリーと呼ばれるプロダクション・ルールを用いるものに、MYCIN（感染症治療薬の選択）、PUFF（肺機能検査）、MECS-AI（心不全治療）等がある。

この他、フレーム構造を用い腎疾患の診断に用いるPIP、原因と結果の関係をノードとリンクの関係で表わすセマンティック・ネットワークを用いるCASNET（緑内障の診断：以上図2.2-2参照）および最も成功したシステムと言われるINTER-NIST（内科診断）等がある。

これら推論システムに関して、表2.2-1からは、開発年代が新しくなるにつれて、ルール数の小さいシステムが多くなっていることが、読みとれる。その理由としては、推論結果を安定させ信頼性のある実用システムを指向した結果であるということが、言われている。推論システムにおいて対象分野の知識そのものが明確にできないこともあるが、大量の知識を構造化し記述する適切な言語がないこと、大量に記述されたルールの整合性をとるTruth Maintenanceの技術が確立されていないこと等も、大きな原因となっている。研究者が、ルールを無理に減らした結果ではない。

また、もうひとつの動向として、個別システム構築の経験をもとに、推論システムにおける共通的功能の取り出しが行なわれ始めていることがある。これは、EMYCINやMECS-AI(2)のように、汎用推論システム構築ツールの整備により新しい展開を図ろうとするものである。共通的な推論機能の抽出とアーキテクチャ化を図ろうとする、第5世代コンピュータ・プロジェクトの発想に相通じるものがある。

ただし、現時点までの経験では比較的ドロクさいことも、推論システム開発のネックになっていたことも見逃せない。参考の為に、これらドロクさいことも含めた問題点を紹介する。

relation to findings

TRIGGERS <findings>

FINDINGS <findings>

logical decision criteria

IS-SUFFICIENT <findings>

MUST-HAVE <findings>

MUST-NOT-HAVE <findings>

complementary relation to other hypotheses

CAUSED-BY <hypotheses>

CAUSE-OF <hypotheses>

COMPLICATED-BY <hypotheses>

COMPLICATION-OF <hypotheses>

ASSOCIATED-WITH <hypotheses>

competing relation to other hypotheses

DIFFERENTIAL-DIAGNOSIS

(<condition 1><hypotheses>)

...(<condition k><hypotheses>)

numerical likelihood estimator

SCORE

((<condition 1, 1><score 1, 1>)

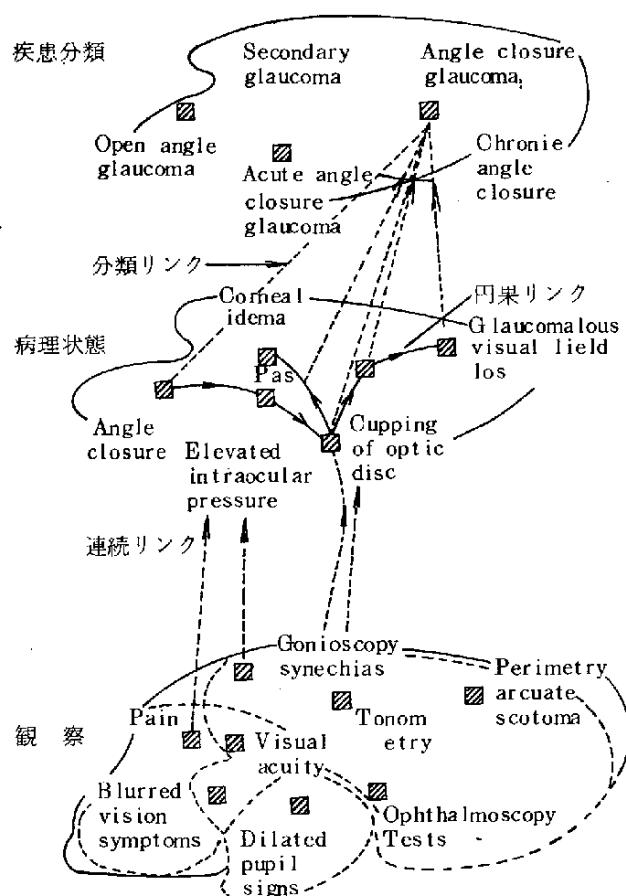
...(<condition 1, n₁₁

...

((<condition m, 1><score m, 1>)...

...(<condition m, n_{mm}

PIPにおけるHypothesis Frameの構造



第3レベル

<状態→疾患部>

State - to - disease category :

(Elevated Intraocular Pressure) AND (no (Field Loss)) - implies → (High Risk Glaucoma Suspect) under the condition that (Open Angle Glaucoma) has been confirmed

第2レベル

<状態→状態部>

State - to - state :

(Elevated Intraocular Pressure) - cause → (Field Loss) with frequency (often - Level 0.3)

第1レベル

<観察→状態部>

Observations - to - state :

((Decreased Visual Acuity) AND (Perimetry : Paracentral Scotoma)) - implies → (Field Loss) with strong confidence (Level 4)

プロダクション・ルールによる記述

CASNET の知識構造

図 2.2 - 2 PIP及びCASNETの知識表現構造

(出典 : 医療情報学 開原成允 稲田紘)

表 2.2-1 MYCIN ファミリー

システム名	問 題 領 域	ルールの数	パラメータ 数	手段選択の幅 (可能性数)	文脈樹の 使 用	開 発 者	研 究 開始年
MYCIN	感染症治療薬の選択	200→600	65→125	数十	Y	Shortliffe	1971
PUFF	肺機能検査	55		8	N	Kunz, Fagan	1976
HEAD-MED	心理薬物療法				N	Brooks	1976
SACON	航空機構造解析	100			N	Benett	1979
EMYCIN	MYCIN の一般化	—	—	—	可能	van Melle	1976
TEIRESIAS	専門知識収集システム	—	—	—	Y	Davis	1974
CENTAUR	生成ルールとフレーム（プロ トタイプ）を用いた知識表現	—	—	—	N	Aikins	1977
GUIDON	感染症診療教育	—			Y	Clancey	1977
VM	濃厚治療監視	80?	15?		N	Fagan	1977
ONCOCIN	癌化学療法の方針	30→	20→		N	Shortliffe	1979

（出典：東京都臨床医学総合研究所 神沼二真 講演資料）

(2) 開発時の問題点

我が国における医療診断コンサルテーション・システムの開発時に、実際に問題となった点について、①ツールと環境、②ソフトウェア（アルゴリズム）および③システム受入側の問題に分けて調査結果を紹介する。

① ツールと環境の問題

(i) LISPの問題

LISPの移植性の欠如、スピードの欠如

(ii) EMYCINのようなツールの動作するコンピュータがなかったこと。

(iii) TSSの1ユーザとして開発するのでは、メモリ・処理能力ともに不足すること。

(iv) EMYCIN等は、汎用のツールとして医療システムの開発に適用するには柔軟性が欠けていた。例えば、下記の点で問題があった。

- 知識ベースをサブセットに分割して制御する機能がなかった。
- データ構造の中に時間経過の概念を導入することができない。
- 結論確認と理由説明の為の手段が不満足であった。

② ソフトウェア（アルゴリズム）の問題

基本的には、知識の獲得と記述に関して未解決の問題が多いということである。具体的には以下が問題になった。

(i) プロダクション・ルールによる知識記述については、細分化して記述できることは

書き易くて良いが、最大の問題は全体として整合がとれているか判らなくなって来たことである。

(ii) ルールの信頼性を示す尺度 (Certainty Factor) を導入しているが、この計算方法・理論・評価方法がない。

(iii) データ自体の信頼性について、例えば頭が痛い、胸が締めつけられる様な入力データの信頼性を、どのように推論システムに持込むか未解決である。

(iv) 原因と結果の因果関係の説明力に関しては、セマンティック・ネットワークの方が有利である。

③ 受け入れ側 (専門家側) の問題

(i) システムの位置付け

最終結論だけを示すシステムは専門家には受け入れられない。結論に至る道筋と周辺のデータを示し得るものでなければならない。すなわち、医師の判断を助ける補助・支援システムという位置付けでなければならない。

(ii) 専門家の興味を引くことができなければ、プロジェクトは成立しない。このためにはデモンストレーションが必要。

(iii) 専門家の頭の中でも知識は必ずしも明確に構造化されている訳ではない。この知識を翻訳しルール化する通訳が必要である。

(3) システムの目標

病院業務の特徴を表 2.2-2 に示す。また病院内における情報の流れと処理を、図 2.2-3 に示す。この図からも明らかなように、医師の行なう診断と治療が病院医療の中心にあり、この質的向上を図ることが表 2.2-2 に示した病院医療の問題点の大部分を解決することになる。

従って、診断コンサルテーション・システムの質的向上を図り、病院の他業務と有機的に連動させることにより医療の質の向上と国民の福祉の向上が達成されることになる。これが医療情報システムの目標であり、その中心となる診断コンサルテーション・システムの目標でもある。

なお、システム形態としての目標としては次の3つがあげられる。すなわち、

- ① 知識ベースの大容量化
- ② 多機能化と分散化 (具体的には、マルチ・エキスパート・システムへの展開)
- ③ 病院内の他情報システムとの連動である。

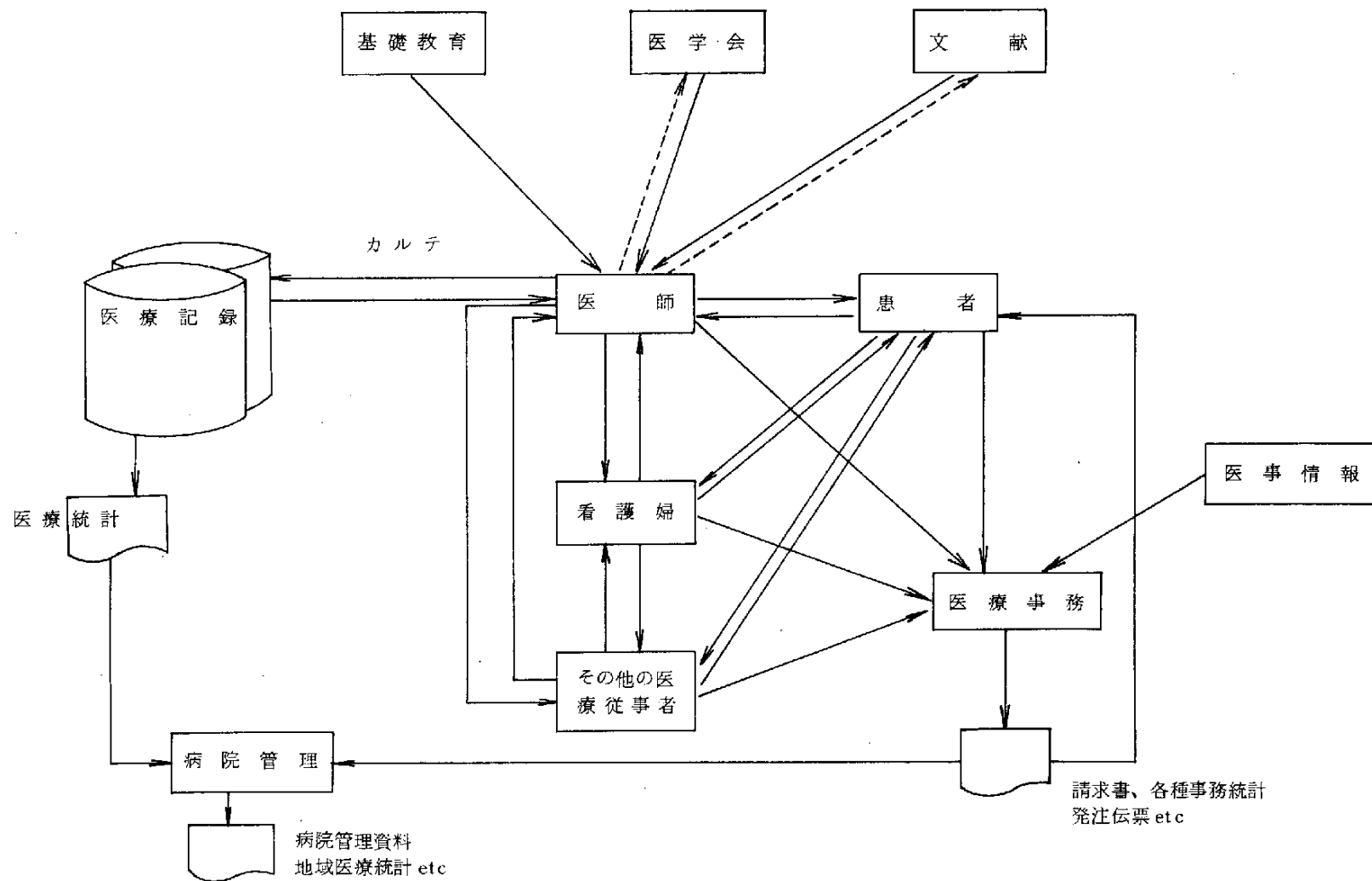


図 2.2 - 3 病院における医療情報の流れと処理

(出典：関東通信病院 電子応用医学研究室長 三宅浩之 講演資料)

表 2.2-2 病院業務の特徴と情報システムへの要求

順番	特徴（又は問題点）	要求される機能等
1	時間的連続作業	ノンストップ運転
2	質的不変性の要望（医療の質の保証）	expertise Knowledge の提供 （KB、コンサルテーション・システム）
3	知識依存性 （知識集約型の専門機能集団）	TSS情報検索 知識ベース、Multi-expert system
4	専門独立性と相互依存性	ネットワーク 分散データベース、Multi-expert system
5	非恒常性と進化性（経験のフィードバック）	データベース、知識ベースのメンテナンス （知識の獲得）
6	特異型優先性（例外処理）	例外処理の経験化（Factbase）
7	コストに占める人件費の割合大	専門家の負担軽減
8	質的評価基準の困難	—

（出典：関東通信病院 電子応用医学研究室長 三宅浩之 講演資料）

2.2.1.3 実現上の問題点

(1) 開発のシナリオ

具体的に診断コンサルテーション・システムを、どのように開発し発展させていくかについては、いくつかの考えがあり得る。現実に医療システム構築に携わっている人々は、当面、境界条件のはっきりしている比較的狭い専門分野を選んで、推論・知識ベース・システムの実績をついでいくことを目標にしているようである。しかしながら、図 2.2-3 に示される病院内の情報の流れを考えれば、関連する病院内情報システムと連動するものでなければ、本来の目標は達成できない。

2.2.1.2 に示したシステム形態としての 3 つの目標を達成するための研究開発のシナリオを図 2.2-4 に示す。図 2.2-4 に示した診断コンサルテーション・システムのマイル・ストーン（mile-stone）は、次のように考えることができる。

- （mile-stone-1）医療の各専門分野毎の独立した推論・知識ベース・システムを構築する。しかも、このシステムはスーパー・パーソナル・コンピュータ・ベースのものとする。
- （mile-stone-2）知識ベースに格納される知識量（rule の数と fact の数）を増加
（注1）

（注1） 参考資料(1)に Pauker らの試算が紹介してある。これによると内科に関して、内科学の知識はファクト数にして、1,000,000 内科領域の専門知識は、1,000,000 両方合わせて、2,000,000 ファクトであろうと言われる。これから、医療における Single Expert System の大規模化の目標値が推測できる。

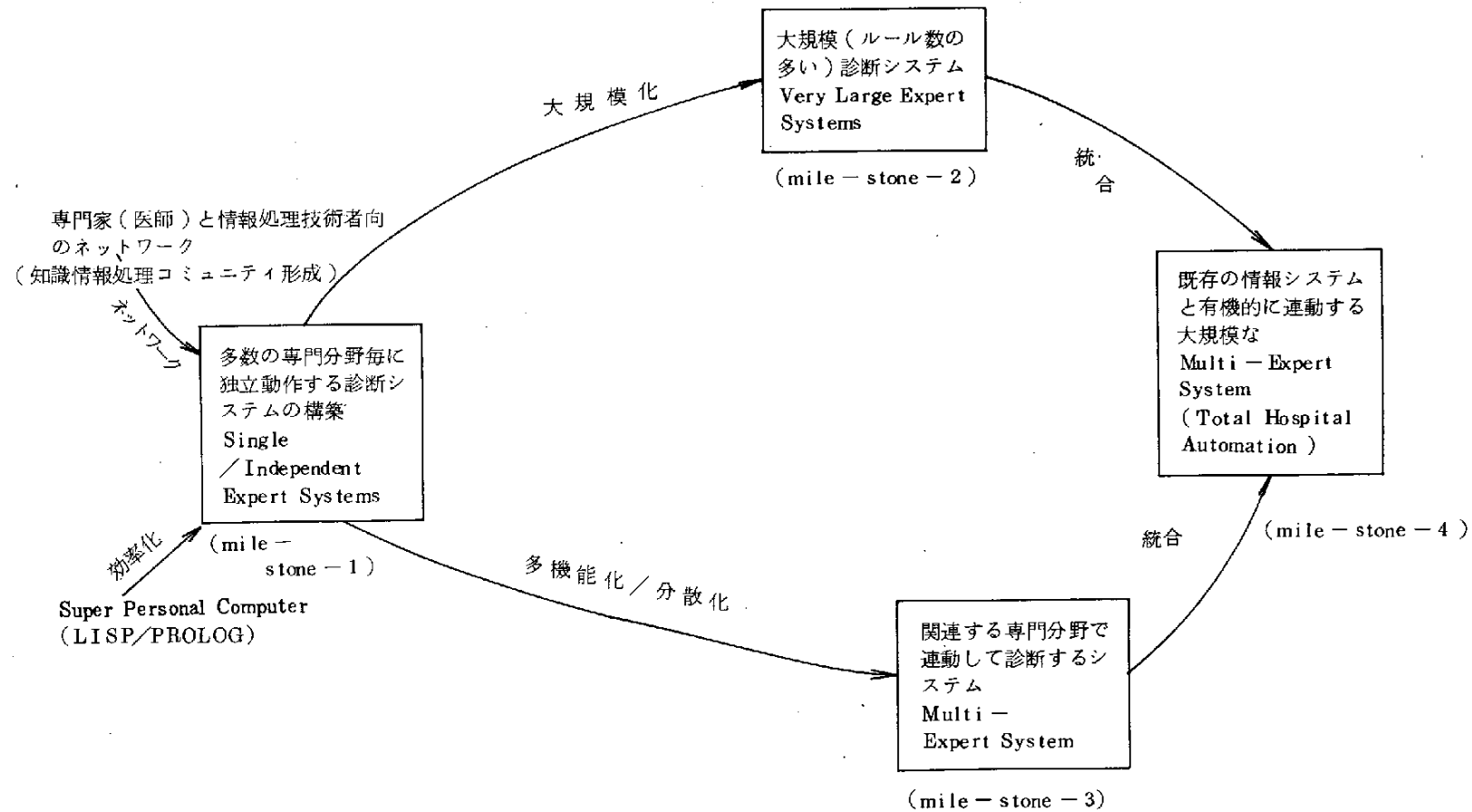


図 2.2 - 4 医療診断コンサルテーション・システムの発展シナリオ

させて、大容量知識ベースを構築する。

- (mile - stone - 3) 病院内の小児科・内科等に対応する各種推論・知識ベース・システムが連動して1人の患者の治療に対応できるようにする。
- (mile - stone - 4) 病院内の他システム、例えばデータベース・システムや各種検査システム等のセンサベース・システムと連動する。

なお、上述のmile - stone 3 と 4 については、機能レベルに応じて時間の前後関係は逆転することもあり得る。

図 2.2 - 4 のシナリオの (mile - stone - 3) , (mile - stone - 4) について、そのイメージを図 2.2 - 5 及び図 2.2 - 6 に示す。

図 2.2 - 5 においては、医療における知識ベース・システムが、単一の専門分野を対象とするものから、知識ベースが構造化・分散化に向い、それに対応して推論の効率化等のストラテジー等を制御・管理するシステムであるメタ推論システム (Meta - inference System : MIS) が機能しなければならないことを示している。多機能化の最終形態としては、図にあるように一人の患者について、例えば内科医・小児科医や外科医が相談して治療法の選択を行なうことに相当する、異なった Expert の協調型問題解決可能のシステムへと発展する。

図 2.2 - 6 については、図 2.2 - 5 の Multi Expert System が、ローカル・ネットワークにより病院内のデータベース・システムやセンサベース等と接続され、かつグローバル・ネットワークに展開されることを示している。

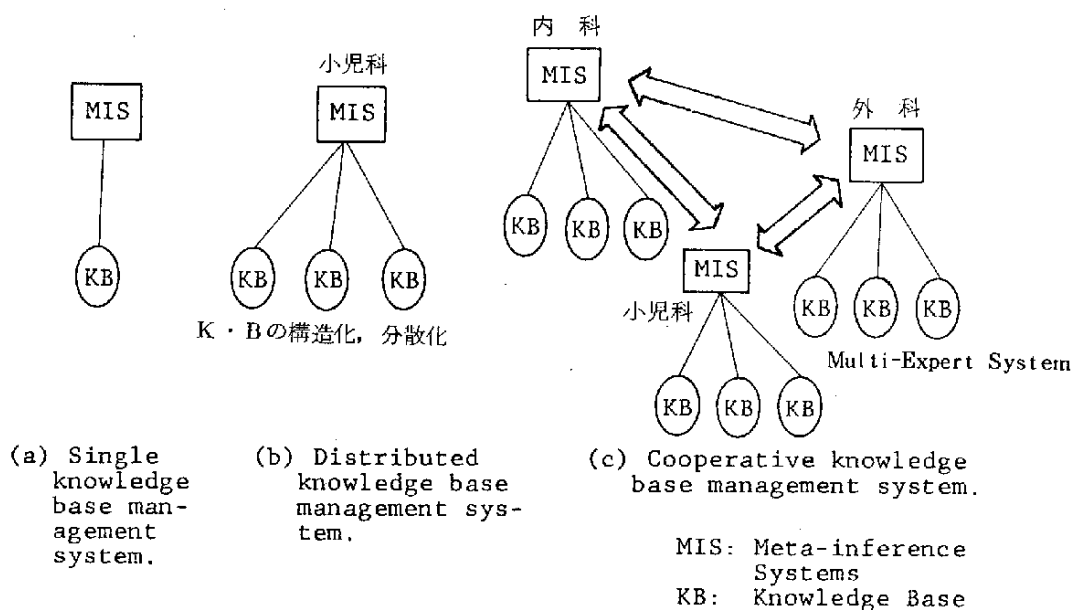


図 2.2 - 5 Multi - Expert System (mile - stone - 3) への移行

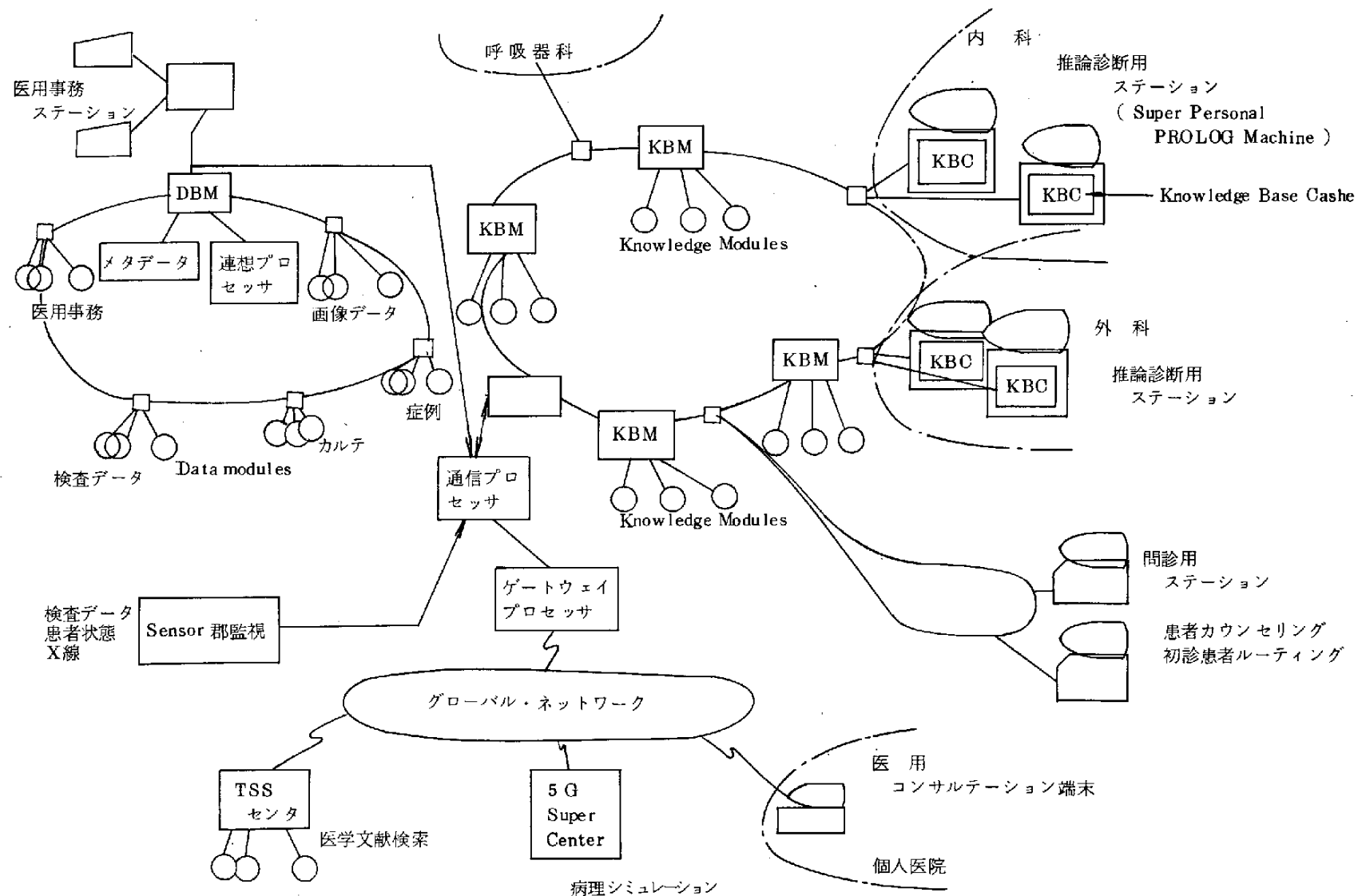
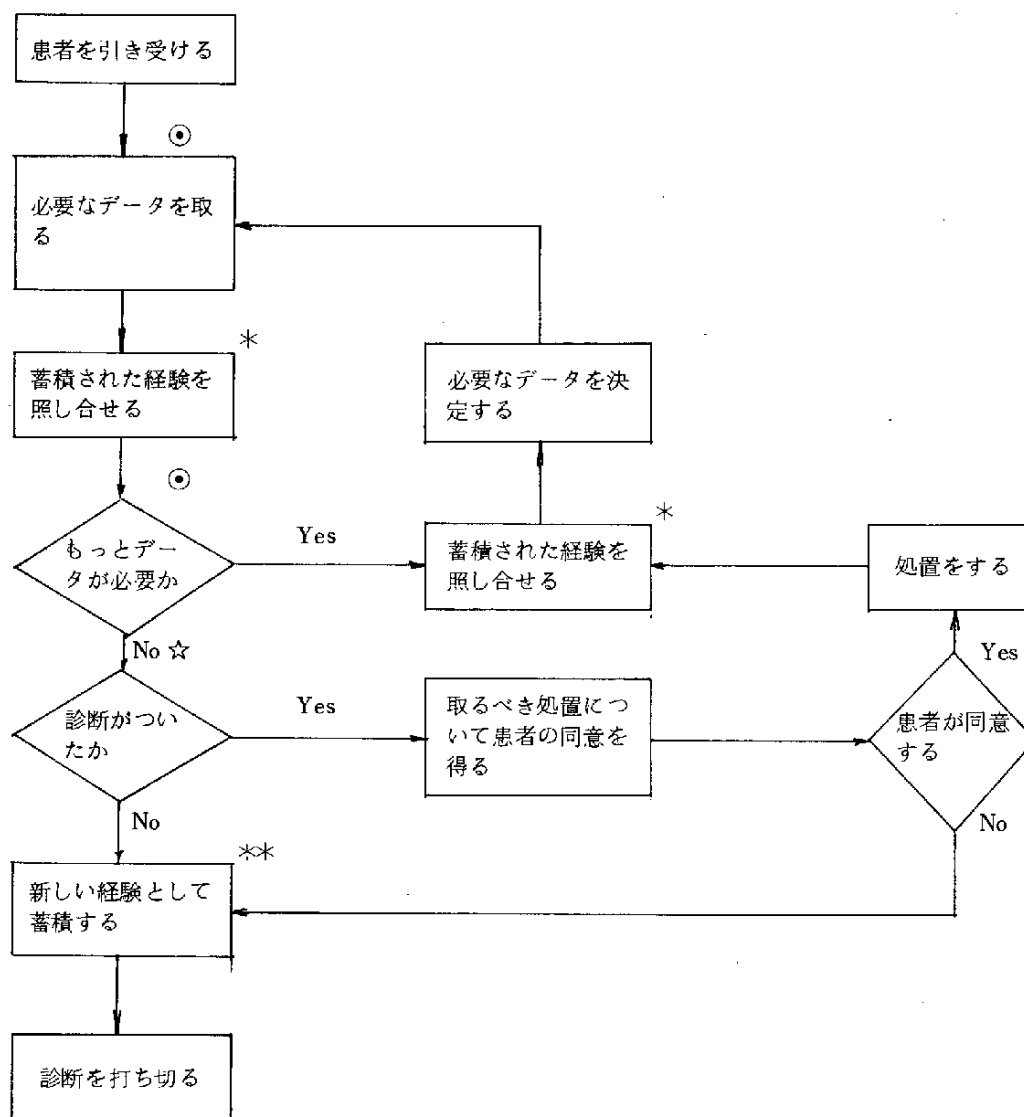


図 2.2 - 6 実現時のイメージ (mile - stone - 4)

(2) 医師の診断モデル

知識ベースの構造と同様に推論のプロセスも応用分野毎に特徴があるように思われるので、医師の診断モデルについて考察する。

マクロに見た診断のプロセス・フローを図 2.2-7 に、診断における決定のフローを図 2.2-8 に示す。

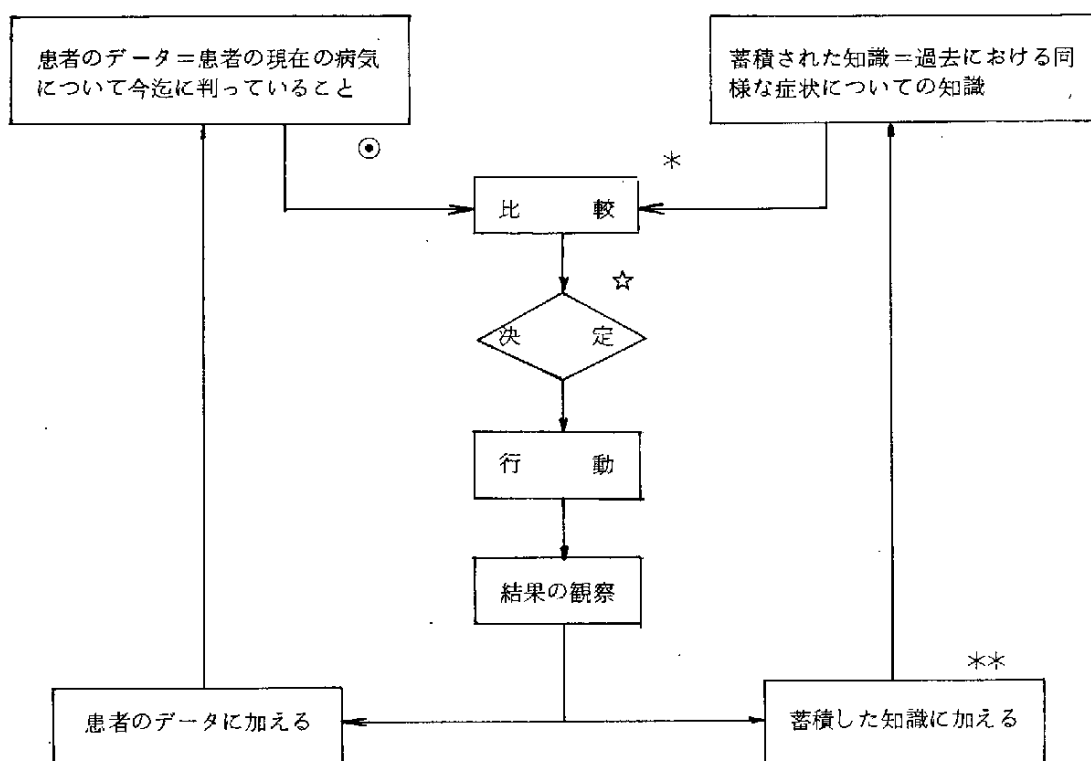


注：Moore, F.J. "Information Technologies and Health Care"

Arch. Intern. Med. 125(1): 159, Jan 1970 より

図 2.2-7 医師の診断活動プロセス・フロー

(出典 科技厅 科学技術情報活動の現状と展望 第2巻「医学情報」)



注：Moore, F.J. " Information Technologies and Health Care "
Arch. Intern. Med. 125(1) : 154, Jan. 1970より

図 2.2-8 診断における決定（診断）フロー
（出典：図 2.2-7に同じ）

図 2.2-7 及び図 2.2-8 で特徴的なことは、診断のプロセスにおいて大きな重みを持つステップとして、図中に「*」で示した「蓄積された経験と照し合わせる」という処理があることである。しかもこの場合、表 2.2-2 の項番 6 にあるように、医療そのものが個体の異常現象という疾病を扱う関係から、蓄積される経験は例外が多いということに注意しなければならない。

換言すれば、多数の症例から抽出される治療論理（ルール・ベース）と例外を含む個別症例データ（ファクト・ベース）の2つが、区別された形で管理されることが望ましいことを示唆している。さらに言えば、医療における推論システムの知識ベース（又は、知識ベースとデータベース）においては、ルールとファクトを区別しそれぞれに対するアクセス要求のトリガーと、アクセスの仕方についてのふるまいを研究する必要があるであろう。

例えば、専門家に対するヒアリング結果によれば、医師は常に「わき目」をしながら推論をしているものである。推論（診断）の途中で「わき目」をすることは、診断論理というルールの適用において、次にどのルール・サブセットに移行すれば求める結論に早く到達できるかを

考えることである。この適用するルール・サブセット間の移行制御は、推論の strategy をたてることに相当するが、これを決めるものは医師による仮説の設定である。図 2.2-7 及び図 2.2-8 に「◎」印で示したプロセスに仮説をたてるが含まれている。そして、この仮説を決めるものはルールの適用という推論プロセスと並行して行なわれている医師の頭の中の連想であるように思われる。

この連想とは、過去の症例というファクト・ベースについてのアクセスである。ところがこれは単にキーを照合するようなアクセスではなく、過去の症例というデータの中から、例えば患者の回復経過のようなストーリーを抽出し現在診断中の患者と比較する類の、高度な連想アクセス処理を行なっているように思われる。

また、図 2.2-7 及び図 2.2-8 中に「☆」印で示した診断という決定行為（＝病名・重症度及び治療法を決める）においても、医学用語でいう予後の予測というプロセスが含まれている。これは、経営情報システム等における意思決定のためのシミュレーションによる予測に対応する。ところが、経営情報システム等で構築されるような予測モデルは、医療の分野では設定できないのが普通である。従って、患者の今後を予測するという「予後の予測」というプロセスも、過去の経験というファクト・ベースにアクセスし照合し、判断するということが中心になっているようである。

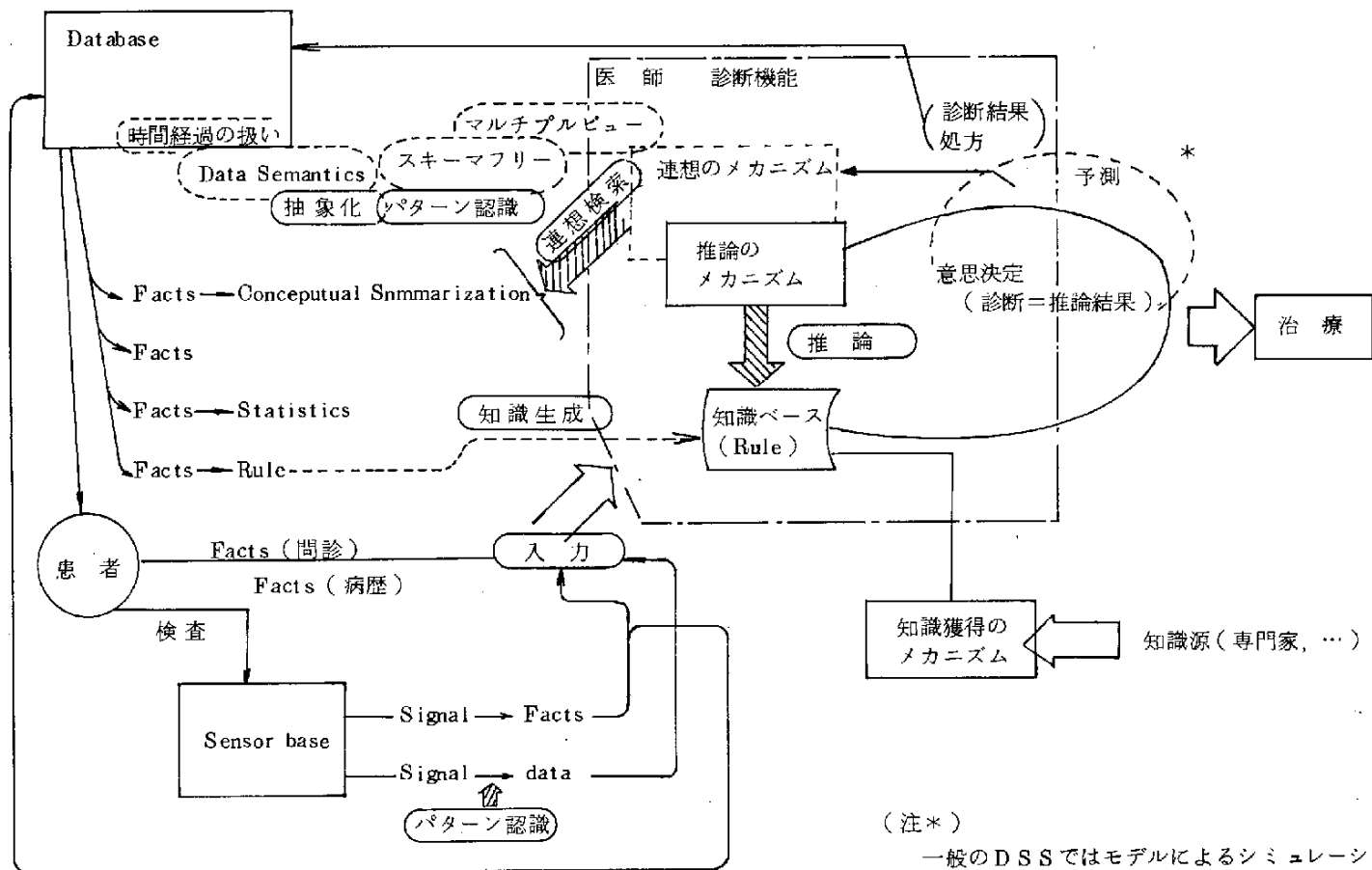
一方、図 2.2-7 及び図 2.2-8 に「**」印で示したプロセスは、経験の知識化ということである。これは、経験をデータベースとして蓄積するとともに、データベースをもとに知識ベースを改訂することに相当する。データからルールを抽出するという帰納的推論のメカニズムである。

このように、医師の診断モデルにおいては、ルールの適用という推論過程に合わせて、多角的で高度の連想処理をファクト・ベースに対して行なうことが重要である。

(3) 機能構成と実現上の課題

上述の医師の診断モデルを意識して、シナリオの（mile - stone - 4）に対応すべき将来の診断コンサルテーション・システムの機能構成を、イメージ・アップすれば、図 2.2-9 が得られる。

図 2.2-9 において、ルール・ベースの推論システムは、診断モデルにおいて考察したような連想のメカニズムにより補完された形で、システムの中心に位置する。センサ等による各種検査結果等は、信号からパターン認識されファクトという形で管理され、推論システムから診断モデルで述べたような高度に連想的なアクセスがなされるとともに、知識生成系としても機能する。



(注*)

一般のDSSではモデルによるシミュレーションが予測に対応するが、医療の場合、患者の現状の診断と予測(予後の予測)は明確に分離していない。

図 2.2-9 将来の医療診断コンサルテーション・システムの機能構成イメージ

(mile-stone-4: 知識ベースについてはMulti-Expert System になっている)

このファクト・ベースに関して、医療分野の特殊な条件かもしれないが、ここに蓄積されるデータは時間経過を含むデータのセットである。この点は従来のデータベース・システムが、対象とする世界のある時刻という一断面を表現する能力しか持たないのと対照的であり、データベース・システムとしての課題を含んでいる。

この図 2.2-9 に示す機能構成を前提として、その構成要素 (supporting mechanism) と実現上の課題・問題点を図 2.2-10 に展開する。また、それらの課題・問題点が、第 5 世代コンピュータ・システムの研究課題に含まれているかどうかについてを、表 2.2-3 に示す。

なお、図 2.2-9 及び図 2.2-10 では、ファクト・ベースは、データベース・システムとして構成されるという前提で考えている。ファクトとルールの分割については、知識ベース構成法という研究テーマであるが、このような仮説をたてた理由は病院というトータルなシステムの中で、推論システムが一般の情報システムと連動する接点として、データベースが適当ではないかという判断からである。

いずれにせよ、推論というプロセスも応用分野に依存して種々の特徴あるふるまいをするように思われる。このため、表 2.2-3 で AP (アプリケーション) として示した項目については、種々の具体例を経験することにより、一般性のある推論メカニズムという共通部を抽出すべきである。

結論的に言えば、医療における診断を構成する基本概念は、推論とファクトの連想的ハンドリング及び特徴抽出をするという広義のパターン認識である ^(注2) と言えよう。

従って、現在第 5 世代コンピュータ・システムの研究開発課題・テーマに加えて①高度な連想処理のメカニズムの解明、②データベースからの知識生成系の仕組み、及び③これら①・②をサポートするためのデータベース管理機能が必要になる。

これに加えて、注記したようなパターン認識のアルゴリズムの研究が必要になってくる。しかしながら、連想・パターン認識はいずれも人間の本質に迫るものであり、簡単にシステムとしてオンラインに構成できるとは思われない。アプローチとしては、医師のこれらの行為を支援する機能という位置付けで、どのように推論システムと連動させるかという発想で、研究を進めて行くべきであろう。

(注 2) 単に信号処理的なパターン認識ではなくデータのセマンティックスの扱いを含めた特徴抽出をするという意味の、パターン認識である。

(注 3) 以下の機能を含む DBMS である。

- ① データ構造に時間軸を自然な形でとり込める。
- ② スキーマ・フリーであり、ダイナミックにビューを生成してアクセスできる。
- ③ 蓄積されたデータからスキーマを生成する。
- ④ データのセマンティックスを自然な形でとり込み、セマンティックスの合成、ハンドリングを可能にする。

表 2.2-3 診断コンサルテーション・システムの問題点と 5 G 技術との対応

システムを構成するメカニズム	問 題 点 (課 題)	5 G 技術との対応
推論メカニズム	• 医師の推論・思考モデルの解明 • 推論の効率化と知識ベースの分割 • 推論の strategy • (中間) 仮設の設定と推論 • 時間経過データに対する推論 • 結論に至る経過、理由の説明 • 結論確認の手段	A P ○ ○ ○ × ○ ○
連想メカニズム	• 推論システムにおける連想の役割 • ルールチェック、ユニフィケーション • データベース連想検索 • 連想のレベル • パターン・マッチング (bit レベル) • 概念レベルのマッチング	△ ○ × ○ ×
知 識 ベ ー ス	• 対象分野と知識構造の関係 • 知識記述言語 • 知識記述言語と処理系アーキテクチャ • 大容量知識ベースの構成法 • Truth Maintenance • 知識の獲得メカニズム • ルール・ベースとファクト・ベースの分割 • データベース・システムとの機能分担	A P ○ ○ ○ ○ ○ △ △
予測メカニズム	• モデルのレベルと予測 (シミュレーション) - 生理モデル - 巨視的モデル - 微視的モデル • 経験 (Fact-base) への効率的アクセスー予測	A P A P A P A P A P
デ ー タ ベ ー ス	• 病歴データ (Fact-base) の時間の扱い • 病歴データの特徴抽出とストーリーの作成 • データベースからのルールの作成 (知識獲得) • データベースからの連想検索 • 知識ベースとの機能分担 • スキーマ・フリー・データベース	× (A P) × × × △ ×
センサベース	• 信号から Facts の抽出 • 信号からデータの抽出 • データベース化	A P (パターン認識) A P ○
デ ー タ 入 力	• 問診等のあいまいなデータ入力 • 非定量データの定量化 • データの信頼性	A P A P A P

注 ○：含まれる

×：否

A P：応用依存 (含まれていない)

このような立場に立てば、(注3)に示すようなデータベース管理システムが、医師に対して非常に専門的で高度なアクセス・メソッドを提供することが、マイル・ストーンとして目標にされるべきであろう。

第5世代コンピュータ・プロジェクトの開発課題・テーマに加えて、上記目標が達成されれば、医療分野において診断コンサルテーション・システムを中心とするトータルな、ホスピタル・オートメーションが高度に発達するものと期待される。

これらの機能を使って、データからファクト及びストーリーの抽出、それに対する概念的なマッチングをとるという連想アクセスやデータベースから、ルールの形成等を行なう。

現在までの第5世代コンピュータ・プロジェクトにおいて、知識ベース・マシンというとき、ルール・ベースの推論を実現するマシンを意味している。ここに述べるDBMSのインプリメントは、推論ではなく連想のための知識ベース・マシンを意味することになるかもしれない。

2.2.1.4 実現時のイメージ

2.2.1.3に示した実現上の課題・問題点はかなり困難な研究テーマを含んでいるが、バラ色のシナリオを抽くとすれば、図2.2-6に示したシステムの実現である。

この図2.2-6の医師から見た機能構成は図2.2-9であるが、医師から見たシステムの仮想的な構造は、図2.2-11のようになる。この図においてLTM(Long Term Memory)と示したものが、物理的には知識ベースとデータベースに対応する。LTMには診断・治療論理のような永続的な真理(公式や公理のようなもの)及び記憶しておくべき過去の集積としてのファクト(症例・カルテ等)が納められている。この論理が更新されるのは、新しい治療法が発見されたときや、新薬が開発されたとき等である。ファクトについては、経験として集積され続けるとともに、必要に応じて統計処理やdomain specificな手順により解析されルール・ベースの側に追加される。

STM(Short Term Memory)は、物理的には推論・診断ステーションにある知識ベース・キャッシュである。これは心理学で言うShort Term Memory又はActive Memoryに対応し、人間の知覚入力に相当するセンサからの検査データや問診によって得た患者の症状データに対して、ルールを適用する場所である。この知識ベース・キャッシュにロードされると考えてよいであろう。

医師が難解な患者に会って他の専門医に相談することは、STMに他分野の診断論理をロードすることに対応する。勿論これだけで、他の専門医に対する相談が完結する訳ではないが、多忙な大家との実際のコミュニケーションを効率的にする役割は十分に果せるであろう。

いづれにせよ、図2.2-11に示した構造はすべてシステムの側で完結するものではなく、

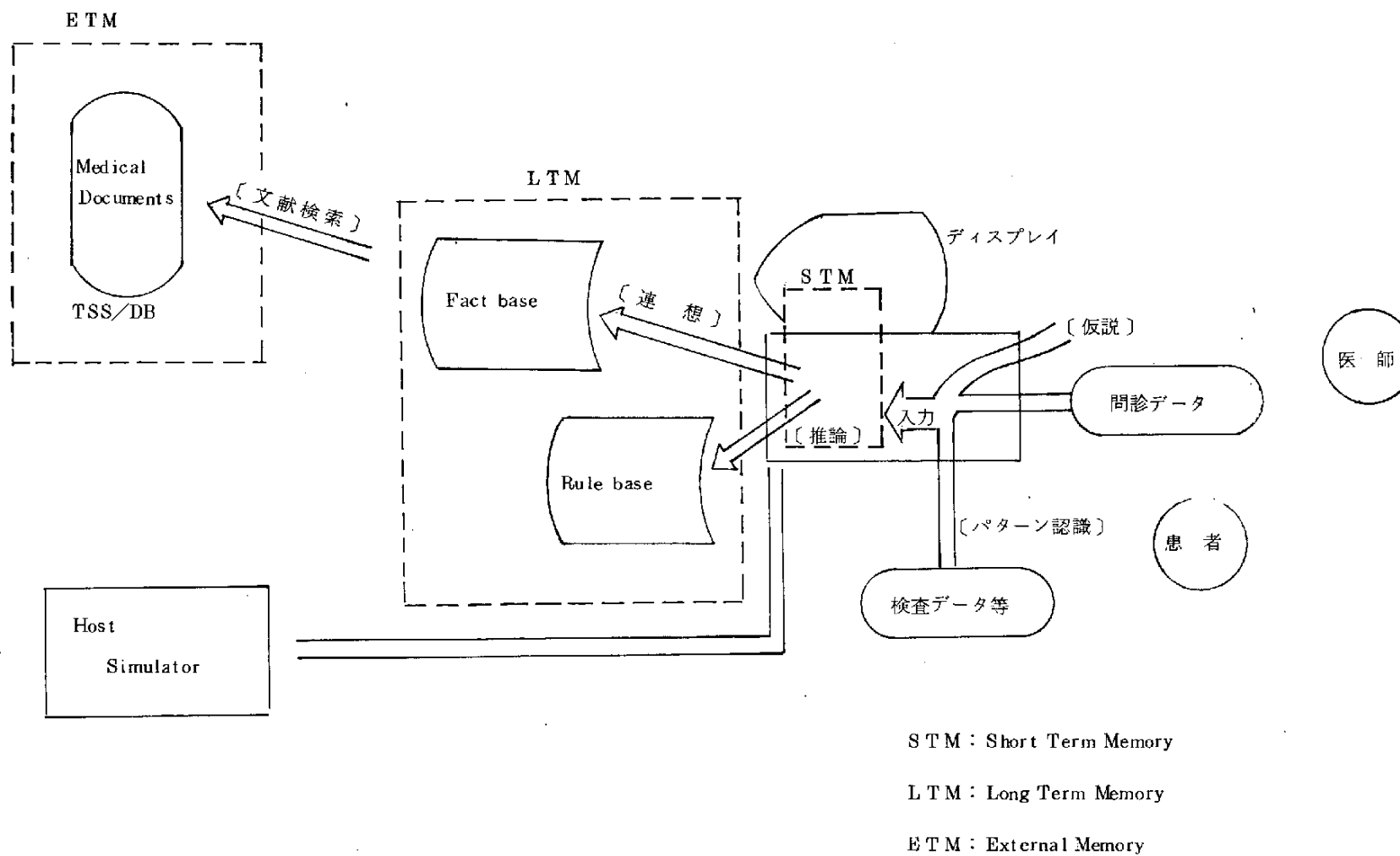


図 2.2-1.1 推論・診断ステーションの仮想的な構成

利用者也高度な専門知識と医師としての常識を身につけていることを前提とし、医師の頭脳もシステムのループの中に含まれている構成として、実現されるべきものであろう。患者に対するカウンセリングや初診者の専門医へのルーティング・レベルの常識は、システム側でインプリメント可能であるが、仮説をたて問題を解くための常識は、やはり人間の側のものであろう。

2.2.1.5 効 果

第5世代コンピュータ・プロジェクトの初期の成果は、スーパー・パーソナル・コンピュータが試作され、プロジェクトの中期には実用化されることである。

医療に限らず知識工学の発展の為には、情報交換と道具の共有を目的とするネットワークおよび体制の整備が必要である。特に専門家側と情報処理技術者が、ひとつの研究コミュニティを形成するために、このネットワークは必須である。

この意味から、第5世代コンピュータ・プロジェクトの第1段階の成果として、スーパー・パーソナル・コンピュータが完成して、知識工学を目指す各研究所・専門家集団に配備され、ネットワークされれば、第5世代コンピュータ・プロジェクトの最初の大きなインパクトになり得る。

しかし、単に述語論理マシンがハードウェアとしてのみ完成するだけでは不十分である。

2.2.1.2の(2)に述べたような理由から、ハードウェアとともにLISP文化、具体的にはLISPで記述された各種ツール類の述語論理版(拡張PROLOG版)がなければ、述語論理型言語によるLISPの世代交替はできないものと考えらるべきであろう。

これが実現されるとすれば、このネットワーク上で種々の専門分野における知識ベース・推論システムの試作が行なわれることになるので、表2.2-3で応用に依存するとしてAPの印を付した問題点・研究課題等が解決されるものと思われる。

すなわち、初期の成果がプロジェクトのブースターになって、プロジェクト自身が加速されることになる。また、このようにマシンとして診療の論理を実現しようという試みは、医師の頭の中に未整理のまま経験として個々に蓄えられているものを体系化することになる。これは診療の論理自身の発達を促すことになるとともに、高度な医学知識の効率的なトランスファーという現象を引き起すものと思われる。

プロジェクトの目標年となっている10年後の1990年代初期には、図2.2-4に示した(mile-stone-3)程度は実現されているであろうから、図2.2-6に示した全体イメージのかなりの部分が現実のシステムとして試行され始めるものと思われる。医療機関の目的は単なる経済性の追求ではなく、医療の質を高めることによる国民の福祉の向上である。CTの

(注4)

(注4) CT: コンピュータ断層写真撮影装置—内臓の診断等、体内の診断に使用される。

例をみるまでもなく、医療の質の向上に寄与する機器の普及の速度は非常に速いので、始めは国公立等の大病院にシステムが設置されるとともに、ネットワークを介して共同利用する形の医療知識センタの出現も予想される。

また、巨大な症例というファクト・ベースの蓄積と経験の集積が、現時点では実現が困難な病理モデルの構築と、それによるシミュレーションによる予後の予測を可能にしたり、経験から帰納的に診断の論理や治療方法が発見されるということも全くの夢物語ではなくなるであろう。

2.2.1.6 参考文献(資料)

- (1) 医療情報学 開原成允 稲田紘
- (2) 医学情報(科学技術庁 総合レビュー「科学技術情報活動の現状と展望」第2巻)
- (3) 講演資料「医療における情報処理の展望」三宅浩之(1980年8月JECC)
- (4) 講演資料「化学・生物学・医学領域における知的システムの概念」神沼二真(1981年11月JIPDEC)

2.2.2 教育（CAIへの応用）

2.2.2.1 選定理由

現在、世界中が目を見はるような経済発展を、十分な資源やエネルギーを持たない日本が行なっている。この日本の経済発展の基礎の一つが、現在の教育に支えられた粒のそろった多数の優れた頭脳であることは、疑うべくもない。このような柔軟で優れた頭脳およびそれを支えるための教育が、これからの日本で必要であり続けるのはまちがいない。

1990年に望ましい社会を実現するため、解決すべきボトルネックとして教育分野に関係するものが、前年度までの調査結果で指摘されている。教育分野において期待されている項目としては、教育分野における生産性の向上、生涯教育を通じて高齢化社会・福祉負担の増加への対応、教育の個別化による社会システムのサービス性・経済性の向上、教育を通じての世代間ギャップの解消、家庭の情報化にともなう家庭教育システムの必要性などである。

教育分野におけるコンピュータの利用については、学校経営管理、学校事務管理、コンピュータ教育、情報処理教育などをはじめ、測定・テストシステム（教育データ処理システムなど）、教育システム（CAIとCMIシステム）、ガイダンス・システム（コース選択・決定システムなど）などがあるが、上記目標を解決するための核となるのはCAIを中心とする教育システムである。前年度までの報告においても、CAIによるボトルネックの解決に期待が寄せられている。

2.2.2.2 システムの概要

CAI（Computer Assisted Instruction）の本来の意味はコンピュータ利用の教授－学習システムであり、その第一義の目的とするところは個別化教育の推進、つまり“誰でもが、自分なりに、自分のペースで学習できること”にある。教授－学習のステップに付随して、評価・診断を行ない、システムが最適に働くようフィードバックを行なうCMI（Computer Managed Instruction）システム（コンピュータ利用の教授管理システム）の機能も当然必要となり、以下使用するCAIという用語にはそのような機能も当然含まれた広い意味で解釈する。

また、CAIの用途は多種多様であり、相手・対象・レベル・目的によりシステム形態も異なり、使い分けられている。学校、大学、専門学校、企業を中心に、いろいろな適用形態で使われている。

- 練習－演習（Drill and Practice）

基礎的な知識や技能の練習や訓練を行なうものであり、一般に学習者とコンピュータとのインターフェースは簡単である。しかし、学習過程の制御は高度なものがある。

- 講義（Tutorial Instruction）

C A I システムの典型的なもので、学習者とコンピュータとの間で教授—学習過程を展開していくものである。

- 問合せ (Inquiry)

一般のコンピュータにおける情報検索システムの教授への利用で、データベース中に記憶された情報を利用することにより、学習の展開の補助とするものである。

- シミュレーション (Simulation)

各種の原理・法則や現象を表すシミュレーション・モデルをもとに、多様な現象だけでなく、その背後にあるモデルを支配している原理・法則を発見的に学習したり、モデルそれ自体を構成したり、シミュレーションを展開していくという形で学習を実行する。

- 問題解決 (Problem Solving)

シミュレーションと同様、多様な問題をコンピュータの諸性能を活用し、会話をかわし教授・援助・評価を受けながら問題解決を実行する。

当然これらの適用形態によって、究極的な学習目標が異なるのみならず、必然的に学習者の学習活動を制御する方法（教授方法）も異なってくる。一つの C A I システムにおいて、これらの形態が一つだけで構成されるのではなく、これらをうまく組み合わせて構成される。

以下においては、教育の中心でありかつ研究も進んでいる“学校教育”における C A I の典型である講義への適用形態を中心に話を進める。

(1) 現 状

米国においては、大型 C A I であるイリノイ大学の PLATO を代表として、実用に供されている。

日本においては、現在約 40 セットの C A I システムが設置されているが、本当に学校教育に用いられているものはその一部である。正規の授業を C A I で行なうことを目的として開発されたシステムとしては、金沢工業大学、葛飾区立常盤中学校、都立小山台高校、筑波大学、神田外語学院などのシステムがある。

米国においては、現在一番重要課題である教材（コースウェア）開発のための研究、セミナー、実地指導、大学専門コースの設定などが活発に行なわれているが、日本においては研究段階の域を出ていないのが現状である。

① システム形態

現在における C A I のシステム形態の典型例は、中大型コンピュータやミニコンピュータに多数の C A I 端末を接続したもので、コースウェアの開発から授業の実施、学習結果の分析まですべて一つのシステムで行なえる汎用システムを目指したものである。この場合

のC A I端末には、最近ではマイクロ・コンピュータを用い、ある程度のインテリジェンスを持たせたものもあり、必要に応じてスタンドアロンのC A Iシステムとしても用いることができる。

現在の多くのC A Iシステムの教授方法（教授プログラム）は、学習者の応答により適応制御が行なわれるといっても、それはあらかじめ決められた枝分れネットワークの中で、固定的な教授項目（援助項目を含めて）間のパスが規定された範囲での自由度を許しているのみである。データベース技術を利用し、ダイナミックに教授項目を選択するC A Iシステムの開発は、現状ではあまりみかけられない。

② C A I 端末

C A I端末には、古くはキーボード付き文字ディスプレイ装置とランダム・アクセス・スライドと呼ばれるプロジェクタとが一組となったものを使っていたが、現在ではマイクロ・プロセッサ制御によるフロッピー・ディスク、光ビデオ・ディスク、カラービデオ・モニタ、文字ディスプレイ、ポイントセンサ（タッチパネル）、ランダム・アクセス・オーディオ、キーボードなどから構成され、漢字表示なども行なわれている。

③ コースウェア

コースウェア作成のためには、従来よりC A I特有の言語があり、日本の場合は日本標準C A I言語が一応の基準となっている。この言語はプログラム上の難かしさを極力排除して、コンピュータを知らない現場の教師でも、コースウェア作成が容易にできることをねらったものであったが、十分普及しなかったのが実情であろう。

また、コースウェアを少ない労力で作成できるようにコースウェアの中でよく使用される手順をまとめてマクロ化を行ったり、空白欄を埋めることによりプログラミングできるコース・ジェネレータの作成が一般化している。

このようにして作られたコースウェアは、実際にC A I端末を使用して、画像表示、音声出力、テキストブック等と合せてデバッグする必要がある。この各教材間の調整は、学習者にとって使いやすくなったり使いにくくなったりするもので直接影響の現れるものであるが、現状では、ある程度のプログラム化は行なわれているもののかなり労力を要する作業である。

④ その他

現状として日本で本格的に普及しない要因の一つとしては経済性的問題がある。コンピュータをデータ処理に使った効果はある程度数値的にはっきり出るが、C A Iにおいてはその効果を金銭的に出すのが難しい。従って、本当に実用に耐えうるC A Iシステムが日本において実現されれば普及するかもしれないが、現時点ではまだそこまでいっていない。

いと思われる。

また、日本人の性格・意識が米国に比べC A Iに向いていないなどと言われるが、これは今の子供がパソコンやテレビゲームにとりつかれている様を見ると杞憂であり、集団学習を受けた人にはすぐには理解できないものであろう。現実には学校や塾でパソコン・レベルのC A Iシステムが利用されており、効果をあげるとともに好評である。

(2) 目 標

誰でもが、自分なりに、自分のペースでできる個別化教育の推進が行なえるシステムを作りあげることである。

学習者（生徒）にとって、端末機の操作は非常に簡単であり、すぐれたマンマシン・インタフェースをもっているものでなければならない。学習プログラムは学習者の自主性が尊重されており、使っていて楽しくなるものでなければならない。

教授側にとっては、教えることに関して従来の授業に比べ内容的にすぐれたものでなければならないし、教授に対する負荷は教えることに関しては軽減され、今まで十分目の届かなかった範囲にまでも目が届くように十分配慮されたシステムであることが望ましい。

教材（コースウェア）の開発については、従来のようにプログラムの延長線にあるC A I言語ではなく、柔軟で豊富な機能を持つコース・ジェネレータ方式でなければならない。なによりも素人でも2～3時間勉強することにより教材が作れるようなインタフェースを持つコース・ジェネレータが必要である。

使用環境としては、学校における教育を中心として考えても、正規の授業として集合的に使用するのとは勿論であるが、各自の自主的な学習意欲を満足させたり、補習的な使い方も当然でなければならない。

教授方法としては、すべて一律的な教え方をするのではなく、相手の能力、知識に応じてダイナミックな決定が下せるようなシステムでなければならない。つまり、学習量、学習効果を最大にし、学習時間、コストを最小にするため、複数の教授項目・教授方法の中から、学習者の内部状態に最も適切なものを選択、提示あるいは採用し、最適化を実現しようとする連続的な適応調整を実行する機能をもつシステムである。

2.2.2.3 実現上の問題点

学習者の内部状態を認識し、複数の教授項目・教授方法の中から最も適切なものを選択し最適化を連続的に適応調整していくための機能構成は、図2.2-12のようになる。

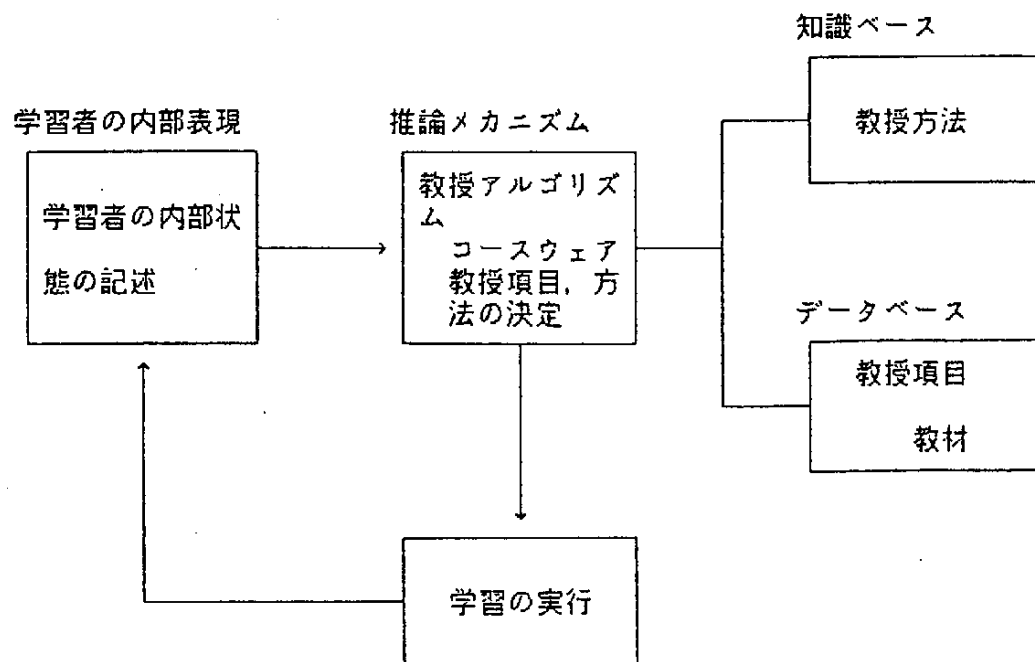


図 2.2 - 1 2 実現時の機能構成

このような C A I システムを作成するために必要な要素技術は、第 5 世代コンピュータ・プロジェクトにおける要素技術、特に一つのアプリケーションであるのでソフトウェア研究開発計画と密接に関係している。C A I システム実現のための問題展開図は図 2.2 - 1 3 の通りである。

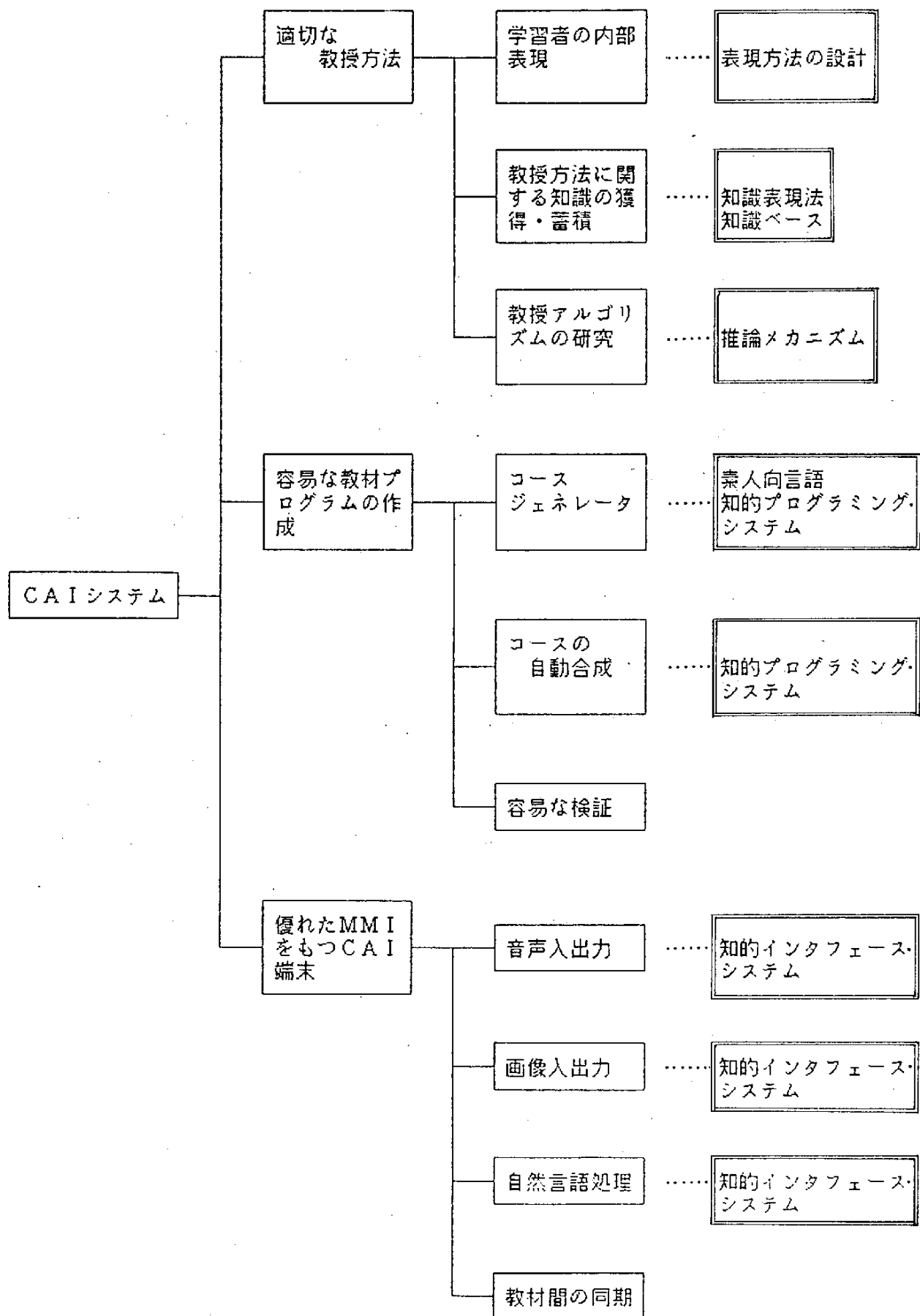


図 2.2-13 CAIにおける問題展開図

注 : 5G関連技術

(1) 適切な教授方法

適切な指導を行なうため、教授方法に関する知識の獲得を行ない学習者の状態に応じ最適な教授アルゴリズムを場所と状況に応じて決定していく必要がある。

学習者の内部表現については、表現方法、時間的経過による更新方法などにC A I特有の問題があると思われるが、ソフトウェア研究開発計画の前期、中期に予定されている知識ベース・メカニズムの内、知識表現システムを通して学習者の内部表現にも応用できるものが期待できる。

教授方法に関する知識の獲得については、C A I特有の知識表現、知識獲得のメカニズムがあると思われるが、ソフトウェア研究開発計画の前期、中期に予定されている知識ベース・メカニズムの内、知識表現システム、知識獲得実験システムを通してC A Iにも応用できる知識の獲得ができるものと期待できる。

教授アルゴリズムの確立においても、C A I特有の推論メカニズムが必要であるが、上記知識表現システム、知識獲得実験システムなどの成果に加え推論メカニズムの研究などの成果によりC A Iへの応用が期待できる。

(2) 容易な教材プログラムの作成

教材プログラムを容易に作成するためには、自然言語、素人向言語を用いたコース・ジェネレータが必要である。さらに一步進んでコースウェアの自動合成システムが必要となろう。自然言語処理については、ソフトウェア研究開発計画の前期、中期、後期を通じて行なわれる予定である知的インタフェースの自然言語処理関連の成果が期待できる。素人向言語や自動合成については同じく知的プログラミング・システムで予定されている仕様記述言語やプログラム自動合成に関する研究の成果が期待できる。

教材プログラムに関する容易な検証についても、知的プログラミング・システムの研究課題で予定されているソフトウェアの検証システムの成果が流用できる。

教材プログラムの作成についてはさらに進んで教材の自動作成も必要となるが、現在の目標に限っていえばC A I特有の要素というものがあるかもしれないが、ほとんどが第5世代コンピュータ・プロジェクトで予定されている研究課題の成果がそのまま使えるか、一部改造による流用が可能である。

(3) 優れたM M IをもつC A I端末

C A I端末は学習者にとっては唯一のシステムとのインタフェースであり、良いマンマシン・インタフェースを持つものが必要である。特に現状において、音声出力の技術は教材間の同期

の問題ともからみ重要な課題である。これは、知的インターフェース・システムの中期までに予定されている音声処理技術に関する研究開発が終ればC A Iへの適用は可能である。

また、同時に行なわれる音声認識技術に関する研究開発の成果の利用により、利用者からの応答を一部音声による入力も可能となり、一層のマンマシン・インタフェースの向上を図ることができる。

その他、必要技術である画像入出力、自然言語による操作についても前期、中期における知的インタフェース・システムの研究開発の成果が期待できる。

以上目標とするC A Iシステムは第5世代コンピュータ・プロジェクトにおける研究開発課題の成果の応用システムとしては、非常に広い分野にかかわりをもつシステムである。

技術的な課題は、第5世代コンピュータ・プロジェクトによりほとんど解決されるが、ことC A Iの普及に関してはその他の要因もあり、今後の検討、推進を待たなければならない。この一番の問題は、コストの問題である。教育における効果の評価は難しく、要求されるシステムの機能レベルと投資効果の折りあいをいかにつけるかが課題である。家庭内C A Iでは、パーソナル・コンピュータ・レベルによる教育と考えてみても、そのシステムがC A I専用とすれば結構高くつく。家庭内にホーム・コンピュータとしてパーソナル・コンピュータがいきわたり、その付加価値としてC A Iの教材が使えるのであれば一般家庭においても導入の機会が訪れる可能性がある。また、学校教育においては教材としてC A Iシステムは、実用化の暁には、制度的な見直しとともに組織的かつ積極的な普及活動を期待したい。

2.2.2.4 実現イメージ

C A Iに必要な要素技術は、第5世代コンピュータ・プロジェクトの中期までですすめば、かなりの必要項目が解決される。後期を完了すればほとんどすべての必要項目が解決される。

このとき、期待している要素技術に関する成果が一つでも得られなければ、C A Iシステムが実現できないというわけではない。現在でも、既存技術レベルでできることを行なっているというのが現状である。従って、中間段階(1981~1990)においては、現在の問題を解決すべくいろいろなシステムが構成され得るが、あくまでも過渡的な要素を含んでいる。以下においては最終段階(1990以後)におけるシステムイメージについて考察する。

(1) システム形態

システム形態は、C A Iの一連の動作を実行しうる第5世代コンピュータ・システムが拠点となるところに配置される。大学や企業で保有したり、複数の学校、企業で共同利用する形態になる場合もある。また、拠点間はネットワークにより接続され、情報交換や資源の共同利用が行なわれる。

このC A I用第5世代コンピュータ・システムは、学校のクラス内に配置されたC A I端末、企業内に配置されたC A I端末、家庭内にあるC A I端末と、用途目的に応じた通信方式で結合される。

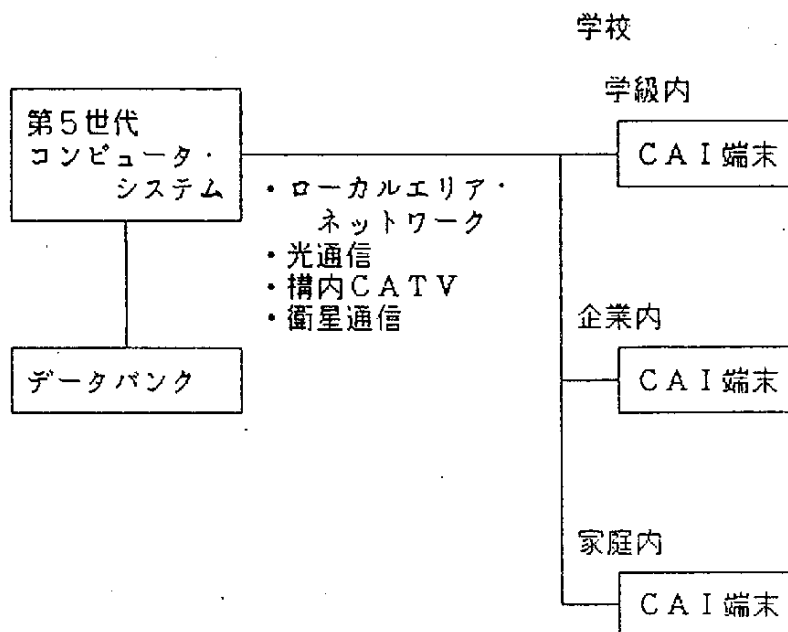


図 2.2-14 実現時のシステム形態

当然のことながら、C A Iに必要な教授方法の決定アルゴリズム、教材の作成、結果の評価とフィードバックなどに加えて、ネットワークを利用したりC A Iとは直接関係のない第5世代コンピュータ・システム利用のメリットを引き出せるものである。例えば、電子メール機能、情報検索サービス、各種コンサルテーション、各種ガイダンスを行なうシステムとしても利用できる。

教材の開発は、素人向けインタフェースを持つコース・ジェネレータやコース自動合成機能を利用して、容易に開発することができる。

(2) C A I 端末

C A I 端末は、一つのワーク・ステーションとして一人一台利用するもので、学校、企業、家庭内に配置される。当然使用目的や学習者の特性に応じてその機能レベル、使用装置、マシン・インタフェースなどは各種用意される。

一番標準的なレベルの機能を持つ端末装置としてはディスプレイ、ファンクション・キーボード、タッチパネル、音声入出力装置、教材格納用小型大容量記憶装置などから構成される。

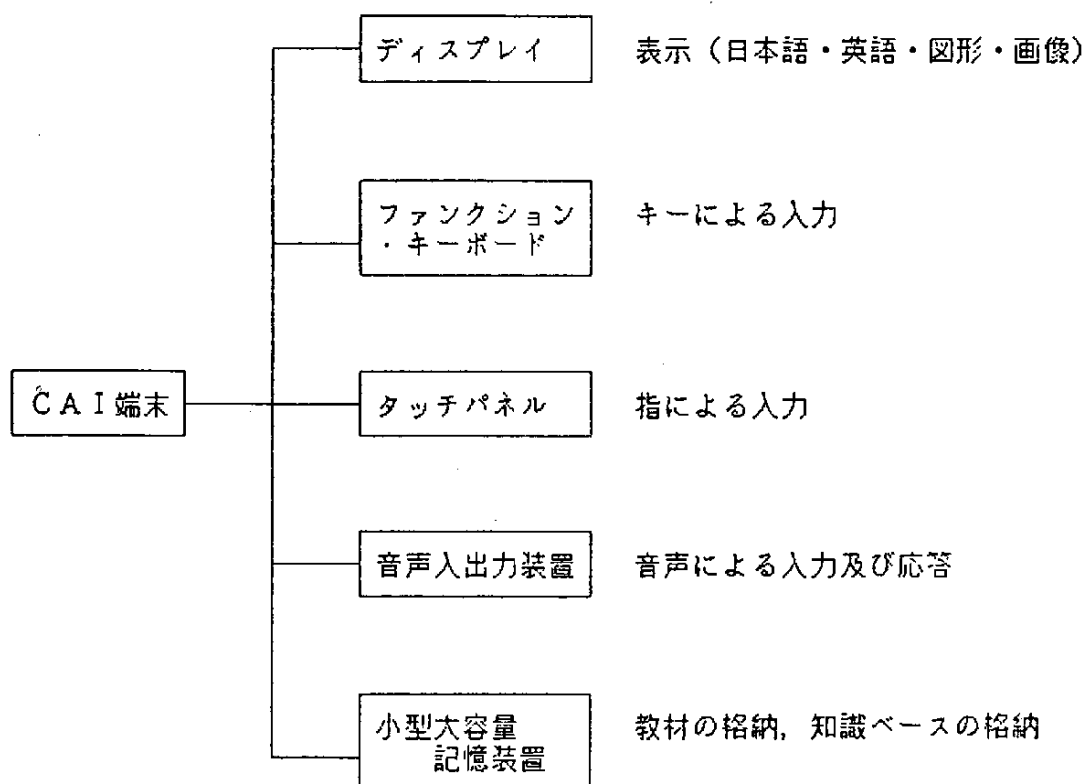


図 2.2-15 実現時の標準的 C A I 端末の構成

C A I 端末は、C A I 用第 5 世代コンピュータ・システムと接続し、教育や他の目的に利用することもできる。また、必要に応じてスタンドアロンでドリルなどのある程度の C A I を行なったり、他の目的に利用することができる。双方向 T V などの端末ともなりうるかもしれない。

2.2.2.5 効 果

(1) C A I 実現のための第 5 世代コンピュータ・プロジェクトの効果

目標とする C A I システムの開発に関係する重要課題について、第 5 世代コンピュータ・プロジェクトによりいろいろな効果がある。一つは、知識ベースを利用した最適教授アルゴリズム

ムの確立、実行時における決定機能である。現在のC A Iシステムの固定的な適応制御に比べ、学習者のレベルに応じたダイナミックな適応制御が可能となる。もう一つは、C A Iにおける現在の一番のネックとなっているコースウェアの作成に対して自然言語、素人向言語の使用、自動合成機能、ひいてはコースウェアの自動作成機能を提供することである。これによりCAI利用範囲の拡大が期待できる。さらに、知的インタフェース・システムを通して、学習者にとって最も使い易い優れたマンマシン・インタフェースをもつC A I端末の実現が可能である。これらの項目は、ともに第5世代コンピュータ・プロジェクトの調査課題と完全に一致するものではないが、第5世代コンピュータ・プロジェクトの射程圏内にあることは明らかである。

(2) C A Iシステムの直接効果

C A Iによる教育により、個別化教育による効果として、各人のレベルにあった教育ができる。これにより、レベルの低い学習者を引きあげることができ(落ちこぼれをなくせる)、一方レベルの高い学習者はより速い進歩で学習でき才能をのばすことができる。

機械を利用するということで、均質な教育を提供することができ、辺地教育などには、有効な手段となる。また、少し特殊な端末(点字端末など)を用意することにより、恵まれない人のための教育にも有効な手段となる。

学校教育以外で誰でもが学習できるので、商品教育などの企業内教育、現職教育、再教育、家庭教育などに利用できる。

(3) 社会への影響

冒頭にもあげたように現在の日本の経済繁栄を支えている基盤の一つは、現在の教育によりつちかわれた優れた頭脳の集りである。C A Iシステムがこの現在の教育に完全にとって替るとは思われないが、今後とも優れた頭脳を維持・発展させていくために必要な教育の一助になることは確かである。

また、家庭教育、生涯教育を通して世代間ギャップを解消したり、高齢者を教育し職につかせることで、社会福祉の増加に対する対策の一つにもなりうる。

2.2.2.6 参考文献(資料)

- (1) 日本情報処理開発協会：第5世代の電子計算機に関する調査研究報告書 社会環境条件研究分科会，1980。
- (2) 日本情報処理開発協会：第5世代のコンピュータ システム化技術研究分科会報告書，1981。

- (3) W. H. Woltzman : C A Iシステム, I : 基礎編, II : 実践編, 木村捨雄・細井正訳, 1976.
- (4) Seymour A. Papert : Computers and Learning, The Computer Age : A Twenty - Year View, The MIT Press, 1979.
- (5) J. C. R. Licklider : Computers and Government, The Computer Age : A Twenty - Year View, The MIT Press, 1979.
- (6) 木村捨雄 : コンピュータによる教育システム " MILESTONE " C A Iシステム.
- (7) 中山和彦 : C A Iシステムと学習プログラム, 日本経営総合研究所.

2.2.3 コンピュータ用言語（エンドユーザ向言語）

2.2.3.1 選定理由

コンピュータを誰でも自由に使えるようにするためには、今後解決しなければならない多くの問題がある。半導体技術の進歩によって、かつての経済的障壁が克服された現在、直面する最大の課題は“使い易さ”ということである。なかでも、プログラミングの難しさにどう挑戦するかは、情報処理の将来のあり方にもかかわる重要な研究テーマである。

プログラミングといえば、直ちにプログラミング言語が連想されるように、プログラミングのすべてがプログラミング言語に集約されているものとみるのが、現在の一般的な考え方である。人間同士のコミュニケーションのあり方から考えてみると、この考え方を将来にわたって維持すべきかどうかは疑問であり、マンマシン・コミュニケーションは五感のすべてを利用したもっと幅広い手段によるものへと移り変わることが予想される。しかし、こうした一般的なコミュニケーションの世界は、なお科学による未踏の領域に属していて、いまずぐには近寄り難いものである。ここでは、さしあたり見通しのきくプログラミング言語中心の考え方に立って検討を進めざるをえない。

プログラミング言語には、情報処理の専門家を対象とするものと、コンピュータを単に問題解決の一手段として活用したいという情報処理の非専門家（これをエンドユーザとよぶ）を対象とするものとがある。しかし、従来はエンドユーザが自分でプログラムを作成することはむしろ例外的で、多くはプログラミング専門家の手に委ねられてきた。このためエンドユーザ向プログラミング言語の開発は未発達で、データベース問合せ言語を除くとほとんどまともに取り上げられていないのが実状である。

マイクロ・エレクトロニクスによって促された分散処理化の傾向は、OAや家庭情報処理など新しい情報処理形態を発生させ、エンドユーザ自身によるプログラミングの必要性はいよいよ本質的な意味をもち始めている。このような大きな情報処理の動きに対して、現在構想されている5G技術の寄与するところが何かを検討したい、というのがこのテーマを特に選んだ理由である。

2.2.3.2 概要

(1) 現状での問題点

“第5世代コンピュータ・システムは、「使い易いコンピュータを実現する」という問題意識から発想されている。ここで「使い易いコンピュータ」とは、一般の利用者にとって「使い易い」ということであり、特定の専門家にとってのみ「使い易い」ということを意味しない。”

〔参考文献(1)〕

現在のコンピュータ・システムを正しく使いこなすためには、かなりの専門的な習練が必要とされる。そのため、コンピュータを利用して問題を解こうとする人、すなわちエンドユーザ（最終利用者）は、多くの場合コンピュータ専門家、すなわちシステム・ユーザの手を借りる必要がある。外国人と会うのにいちいち通訳者を介さなければならないのと同じ状況である。もし、来日する外国人の数が多くなって、通訳のできる人の数を上回るようになったら、どんなことになるであろうか。コンピュータの場合には、こうした事態の発生が近い将来の問題となっているのである。

この問題を解決するための方策としてはいろいろなことが考えられるが、理想的にはエンドユーザが自分で直接コンピュータを利用できるようにすることが望ましい。もちろん、この場合の前提として、このためにエンドユーザの負担がふえることがないことが保証されなければならない。

“現在のコンピュータを使用する場合に、使用者が困難さを感じる最大要因は、使用言語の（日常言語との）相違に基づくギャップであろう。使用者が素人になればなるほど、このギャップは大きくなり、現在のコンピュータは「使い易いコンピュータ」から遠くなる。”〔参考文献(1)〕これはつぎの証言によっても裏付けられる。“現在、パソコンのプログラム言語としては、BASICを使うのが普通だが、BASICの文法を覚え、さらに処理業務に合わせていちいちプログラムを組むのには相当な手間ひまがかかるので、よほどのプロのマニアでない限り、パソコンを使いこなすのは無理というのが実情。”〔参考文献(2)〕

このような使用言語のギャップをエンドユーザ本位に解消させるとするならば、“採るべき道はただ一つ”〔参考文献(1)〕、使用言語の自然（あるいは日常）言語化である。この方向で現在最も進んだ方向にあるのは、データベース問合せ言語である。データベース問合せ言語のあり方としては、一般につぎの4つの方向が考えられる。

- ① 自由な自然言語を使えるようにするもの。
- ② 限定的な範囲内で自然言語を用いるもの。
- ③ 基本的な枠組は形式言語としつつ、その文法と語いを自然言語に近付けたもの。
- ④ 自然言語から独立した形式言語で、エンドユーザが容易に習得できるようになっているもの。

これら4つのいずれについても、すでに具体化の試みがなされているが、実際に実用の域に達しているのは、③または④に属するものである。このように、本来理想的であるはずの①ないし②のアプローチが立遅れている理由としては、自然言語処理の難しさが決定的に効いているのかも知れないが、やゝ分析的にみるとつぎのようにいえそうである。

- (i) 自然言語のもつ特徴的な利点が何かの分析が欠けていたため、自然言語というと、all or

nothing 的な議論になりやすかった。

(ii) コンピュータの処理能力から強い制約をうけていたため、たとえやってみたとしても大したことはできないとあきらめられた。

(iii) “データベース問合せ”という応用分野そのものが、現状ではすでに十分制約的であって、それに適用してみても、自然言語の表現力が効果を発揮できる余地が少なかったこと。

いずれにしても、自然言語によるプログラミングの可能性を本格的に追及することは、今後の課題というべきである。

ここで注意しなければならないことは、たとえプログラム記述に自然言語が自由に利用できるようになったとしても、それでエンドユーザによるプログラミングが簡単に実現することにはならない、ということである。それはプログラミングという仕事の内容を反省してみれば、直ちに明らかになることである。すなわち、プログラミングはつぎのような作業から成り立っている。

(i) 問題解決のためのアルゴリズムを工夫し、

(ii) それをプログラミング言語によって記述する。

プログラミング言語の自然言語化は、(ii)の作業に関係することであって、(i)の作業に対しては本質的に寄与するところはないのかも知れない。だとすれば、エンドユーザ・プログラミングにおける“躓きの石”は、むしろ(i)の方に隠されている可能性もあることになる。“確かに、一般の人たちが現行プログラミング言語に何かと難渋していることについては、たくさんの証拠があがっている。それにも拘らず、一方ではプログラミング言語に限定的な自然言語的な機構を導入した場合の効果、他方では自由な自然言語が許された場合、それで一般の人が計算機向きのアルゴリズムをどう記述しようとするか、についてはほとんど何も分かっていない。”

〔参考文献(3)〕というのが、この問題に関する知見の現状である。

これを解明するための試みとして行なわれた最近の実験によると、つぎのような結果がえられている。〔参考文献(3)〕

① 被験者のほぼ全員が、問題解法を細かいステップを追って記述しなければならないことに、何らかの反発を表明している。

② 困難さの所在は、表現上のものというより、概念上のものにある可能性がある。すなわち、問題が複雑になるにつれて被験者が概念上完全な解法を定式化する能力は、それが頭の中のものであれ、自然言語であれ、あるいは計算機プログラムであれ、すべて低下している。

③ われわれは、ありのままの英語に高度に厳密で完全な手続き (procedure) を記述できる機能があることには、まったく疑問をもっていないが、一般の人がそれをそういう形で

使うこと、特に難しい問題に対してそうすることについては、能力的な意味で心配を感じている。

これらの結論は今後なお追試を受けるべきものであるが、これまで期待されてきたような形での自然言語プログラミングでは、十全なエンドユーザ・プログラミングの実現とはなりえないことを警告するものであることは確かである。

(2) 目 標

ここで目標とする“エンドユーザ向言語”とは、理想的には、コンピュータを使いたい人が、他人の手を介することなく自分で直接コンピュータにアクセスし、特別な訓練を積まなくても自分のしたいことを正しく、しかも自由にそれに伝えることができ、所期通りの問題解決を実現しうるようなものである。

このようなシステムを具体化するためには、前項に述べたプログラミングの局面に限らず、いわゆるマンマシン・インタフェース全体における人間工学的な要素の検討が必要である。これについては、IBM副社長B.O. Evans博士の証言がある。“コンピュータ・システムの人間工学的な要素についても、それが現在のどちらかといえば未熟な水準から脱して、今日の数十万人のオペレータでなく、数百万人の人々が正しくコンピュータを使えるようなレベルにまで、洗練されるかどうかという点について、私はまだ論じたことはありません。これは重要な領域ですが科学の弱点になっており、人間工学に関する科学の急速な進歩がなされないと、コンピュータの真の将来性は非常に低いものになると思います。”〔参考文献(4)〕

このような科学の弱点は、前項にもみた通り、エンドユーザ・プログラミングの局面にも及んでおり、われわれにはまだエンドユーザが何ものなのか、その基本的な性質や将来のニーズについてすら、よく分かっていないのである。したがって、本項の冒頭に掲げた目標も、本当は空文に過ぎないのである。しかし、方程式を解くのに、未知数を未知のまま消去してしまう方法がある。いま、われわれにできることは、エンドユーザ・プログラミングの理想的なあり方を直接追求することではなくて、現在エンドユーザ・プログラミングを困難ならしめている原因の主なもの、すなわち、ボトルネックのいくつかを取除いてみることである。表面に現われているボトルネックの下には、もっと大きなボトルネックが潜んでいるかも知れないが、いまそれを心配してもしかたがない。ここでの目標は、

- ① プログラミング言語の容易化、特にプログラミングに有効な自然言語的機構の導入
- ② アルゴリズム思考の容易化

の2点である。①はプログラミング言語に自然言語に近い表現力を与えることによって、エンドユーザの表現上の負担を減らすことを目指すものである。②はエンドユーザにとって、まっ

たく異質な知識と発想を要する計算機特有のアルゴリズム思考を、できるだけ少なくすることを目指すものである。

2.2.3.3 実現上の問題点

(1) 問題展開図

本格的なエンドユーザ・プログラミングの実現のために、2つのボトルネック解消の目標を掲げたが、これらを具体的に展開すると図2.2-16のようになる。これらに対する説明は次項で行なう。

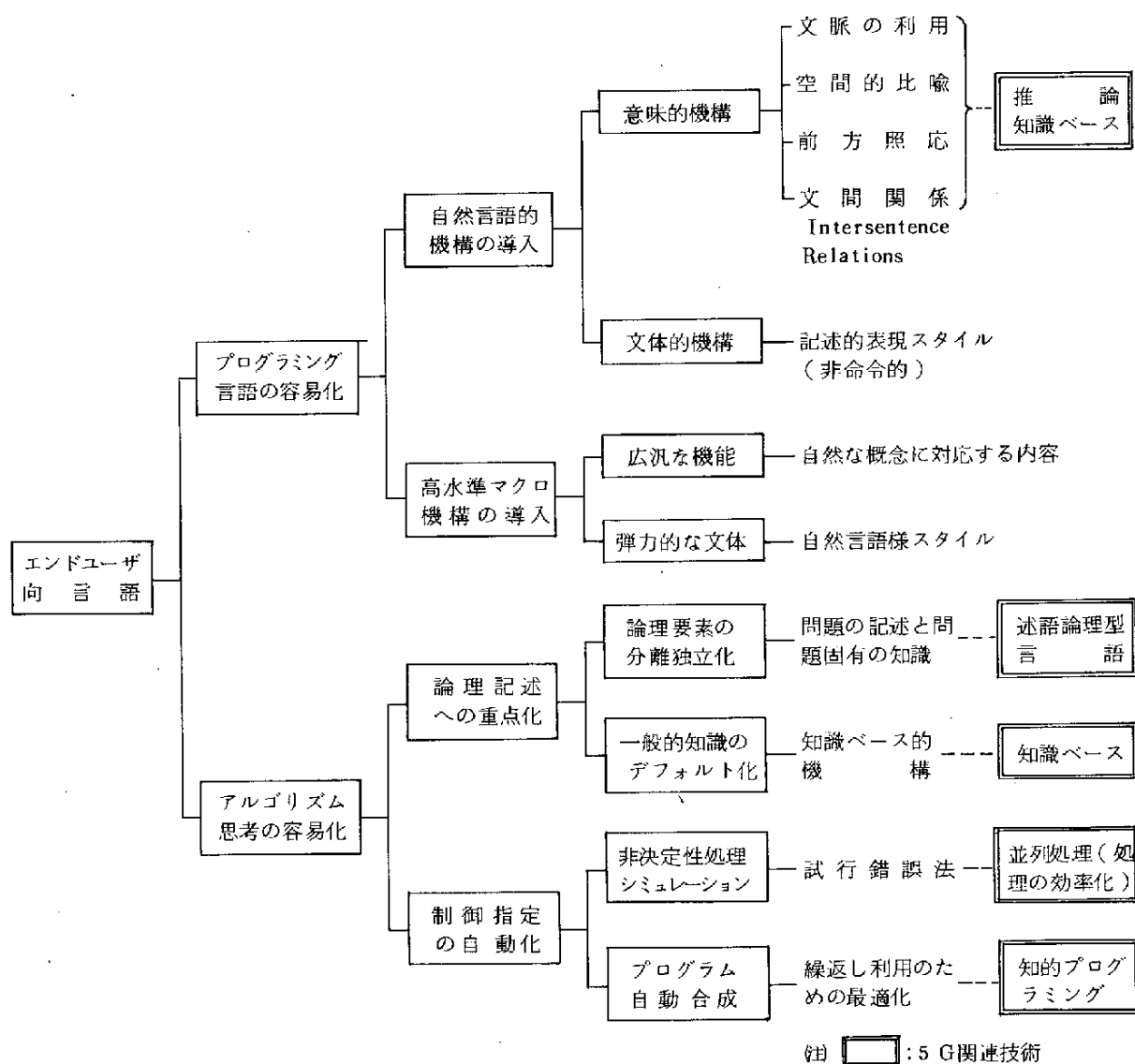


図 2.2-16 課題の展開 (問題展開図)

(2) 問題点の要旨と5G技術との関連

① 自然言語的機構の導入

一般の人々をプログラミングから遠ざける原因のひとつは、プログラムの記述に日頃使い慣れた言語表現機構の使用が許されず、改めて不自然な表現機構を習得しなければならない点にある。この制約は、複雑な内容の記述を行わなければならない場合に、特に大きな心理的負担をひき起こすことになる。

自然言語のもつ機構のうち、特にプログラミングの局面において重要性をもつものは、図2.2-16の上段に示したとおりである。〔参考文献(5)〕参考までに各項目を原文のまま示すと、

- a. redundancy, ellipsis, and contextual interpretation of words;
- b. the prevalence of spatial metaphores;
- c. various anaphoric devices; and
- d. implicit and explicit intersentence relations.

である。以下では、図2.2-16に即して検討を進めることにする。

文脈の利用：日常のことばでは、省略のある表現や多義語が用いられ、表現を直観的かつ簡潔なものにするのに役立っている。こうした表現から完全な意味を回復するのには、文脈が利用される。”そのやり方は、テキスト内で、ある語に出会うと、文中でその語と文法関係をもっている語群に対応している世界知識(world knowledge)に探針が入れられて、もとの語に内含されている条件に適合するような意味が取り出される。”〔参考文献(5)〕

語群に対応する世界知識が集積されているのが知識ベースであり、世界知識の中から条件に合う意味を抽出するのが推論マシンであるとみれば、上記の作業は正に第5世代コンピュータ・システムにぴったりのもの、ということができそうである。

空間的比喩：“あらゆる種類の英文にみられるのと同じように、アルゴリズム記述においても、より抽象的な概念を記述するのに空間的比喩を利用することが極めて多い。たとえば、あるアルゴリズムにおいて、プロセッサがひとつのステップから別のステップに行くといったり、変数が1からNに行くと、あるいはポインタがリンクド・リストを動くなどという。”〔参考文献(5)〕空間的比喩の特色は、比喩の対象となる抽象的な概念の世界で成立するある関係を、空間的なイメージに移して試みることである。このような比喩を解釈する場合に重要なことは、関係概念をできるだけ抽象化し、純化した形でとらえる機構、すなわち、本来の関係も、それを比喩的に空間化した関係も区別が消えてしまうような抽象化表現が望ましい。論理形式は最も抽象的な関係の表現である。したがって、第5世代コンピュータ・システムの中では、空間的比喩の処理は最もやりやすい仕事のひとつとい

うべきである。

前方参照：代名詞化の機構などのように、文章のまえの方で言及されていること、あるいは、それから推論できることを参照するために用いられる機構を前方参照という。たとえば、英文の場合であるが、

1. Suppose we have a binary tree. This algorithm traverses the binary tree
/ This algorithm traverses it.
2. Link through list L, printing out the value fields.

後の方の例では、前方の参照先が明示的な形では出ていない。こうしたものを解釈するには、一般常識的な知識と推論が必要になる。”（このために）自然言語プロセッサは、定冠詞付名詞句の参照対象が何かを知るために、公理の集まりを後戻り的に探索しながら、先行のテキストを出発点として、目標とする対象の所在をつかんで、推論の連鎖を重ねていく。”〔参考文献(5)〕

このような作業がまったく第5世代コンピュータ・システム向きのものであることは、特に断わるまでもないことである。

文間関係 (Intersentence Relations)： “アルゴリズムのコントロールの流れの多くは、アルゴリズム記述中の明示的ならびに暗示的な文間関係によって表現される。単純ないい方をすれば、ループ構造は通常の発話には現われないものである；これはアルゴリズム記述では “go”, “repeat”, “perform” などの動詞によって表現されている。しかし、これ以外のパターンもあるのであって、それらがどのようなもので、どのように検知されるのかは検討に値する。”〔参考文献(5)〕このようなパターンの例として、たとえば複数の文が互に対照的な関係で結ばれているものがある。

1. If INFO(M) < INFO(N), then set M to LINK(M).
2. If INFO(M) > INFO(N), then set N to LINK(N).
3. If INFO(M) = INFO(N), add one to COUNT and advance on both list.

このような文は、ひとつの “CASE” ステートメントに変換して実行するのが効率的である。こうした文間関係を検出するには、文の論理的な意味内容にもとづく、推論的操作が有効であることが多い。

記述的表現スタイル：現行のプログラミング言語は、ほとんどのものがいわゆる手続的言語に属するものである。手続的言語というのは、端的に言えば、文の形式を命令形だけに制限した言語である。これに対して、日常言語は平叙形が中心で、命令形を用いるのは特殊な場合に限られている。

R.ヤコブソンによれば〔参考文献(6)〕、日常会話において命令形が用いられるのは、話

し手の意識が専ら聞き手に集中しているときである。プログラミングをプログラマからコンピュータへの発話とみると、命令形を使うことは物事をコンピュータ本位にとらえていることになる。これはプログラマに負担のかかる記述形式である。これに対して、平叙形は言及されている対象そのものに意識が集まっているときの記述形式である。したがって、聞き手側の特殊な状況への配慮といったものは欠落している。したがって、その分だけ話し手の負担は少なくて済むわけである。ついでに話をもう一步進めると、話し手の意識が自己中心的になると、感嘆形など感情あるいは願望表出の強い表現になる。コンピュータとの対話が人間を相手にする場合と同じようになるためには、この感情表出的な表現も意志伝達的手段として許されるようにならなければならないが、それを5 G技術に（あるいはコンピュータ一般に）期待しても無理である。いま望みうるのは平叙形の実現である。

プログラミング言語における平叙形へのアプローチのひとつは、非手続型言語である。命令形だけのテキストでは、文の順序を入換えると全体の意味が変わる。これに対して、平叙形の場合には（前方参照などの問題があるが）意味は変らない。本格的な非手続型言語でもそうになっている。

平叙形式と命令形式の本質的な違いは、前者による文に対しては真偽の判定が可能であるのに対して、後者ではそれが不可能なことである。これはプログラムの正しさの保証をえようとする場合に、大きな意味をもってくることになる。

5 G技術でいうロジック・プログラミングは、平叙形式によるプログラミングを可能にするものである。何故そうなるのかはつぎに述べるアルゴリズム思考（これは命令形式思考といえる）の容易化のところで詳しく議論することにする。

② 高水準マクロ機構の導入

自然言語に用いられている単語は非常に包括的な意味内容を持ち、同じひとつの単語で、高度な機能から低度の機能まで幅広くカバーすることができる。このような仕組みは極めて便利であり、日常広く利用されているので、そのままプログラミングの場に持込めれば強力な機構となりうるものである。すなわち、

「A second type of implementable mechanism would be the development of high-level programming "macro" which-in appearance, variation, and syntax-would be highly similar to natural language expressions and would accomplish the same extensive operations as their natural counterparts.」（特に原文のまま）〔参考文献(3)〕

マクロ機構にはつぎのような利点もある。”よいプログラム構造と効率問題を折合わせ

るためのひとつの方法は、いくつかのプログラミング言語にみられるようなマクロ展開機構を用いることである。マクロ展開は、実行以前に手続呼出しの階層構造を平坦化するものであり、いくつかの定理証明システムにあるボトムアップ的ならびにミドルアウト的な推論に相当するような計算手続である。さらに、マクロ展開は Burstall と Darlington によるプログラム改良変換のうちの機構ともなっている。”〔参考文献(3)〕

このようなマクロ機構には異論もあるようであるが、ここでは選択以前の作業として、いろいろな可能性を列挙するという立場から取り上げておく。高水準マクロ機構の実現には、多義語処理や抽象データ型処理（これは第5世代コンピュータ・プロジェクトの主要な研究テーマのひとつである）など共通の機構が大いに役立つものと考えられる。

③ 論理記述への重点化

アルゴリズムは、論理要素と制御要素のふたつの要素から成り立っている。すなわち、有名な R.A. Kowalski による定式化に従えば、

$$\text{ALGORITHM} = \text{LOGIC} + \text{CONTROL}$$

となる。〔参考文献(7)〕

論理要素は、解くべき問題の定義とそれを解くために用いるべき知識そのもの、あるいはそれに相当するものである。また、制御要素は、それらの知識をどのように用いて、どういう手順で操作を進めれば、求める解に到達できるか、さらにはそれを効率的にやるにはどうすればよいかの戦略などを定めるものである。これらの内容を PROLOG 言語に即して展開するとつぎのようになる。

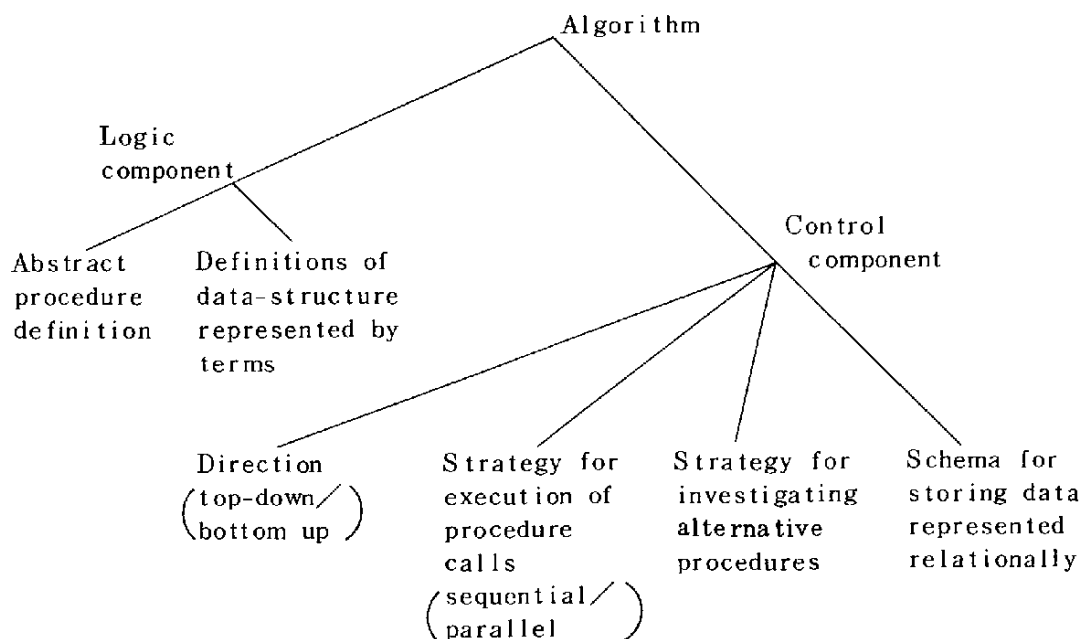


図 2.2 -17 Algorithm = Logic + Control

以上から明らかなように、アルゴリズムの意味内容 (what to do) は論理要素によって決められるのに対して、その操作的ならびに効率的内容 (how to do) は制御要素によって支配されることになる。

ここで注意しなければならないことは、アルゴリズムが論理要素と制御要素から成立するといっても、アルゴリズムの具体的表現であるプログラムにおいて、これらふたつの要素が個別に認識できるようになっているとは限らないことである。むしろ、従来のプログラミング言語による場合には、これらの要素は、深く原子的なレベルに至るまで融合化されてしまっていて、特殊な制御要素、たとえば制御命令などを別として、それぞれを分離することは、概念レベル以外では不可能であるといつてよい。そして、このことを最も典型的に示すものが、まえに述べた命令形式の表現なのである。逆に、平叙形式では制御要素が捨象されている。

論理要素の分離独立化：プログラムの記述形式を自然言語に近づけることができたとして、プログラミングにおける利用者の負担をさらに減らすためには、アルゴリズムの工夫における人間の分担分をコンピュータに肩代わりさせればよい。アルゴリズムのふたつの要素のうち、論理要素の方は問題の内容そのものの開示が含まれているので、これを完全にコンピュータに委ねることは原理的に不可能である。この部分は、丁度ソフトウェア工学でいう要求仕様定義と重なっていることに注意する必要がある。これに対して、制御要素の方は、もし必要な速度と効率さえ保証されるのであれば、それを何に任せても一向に差支えないものである。

制御要素に関する責任をコンピュータに移すためには、論理要素の部分だけを分離独立化して記述するのに適したプログラミング言語が必要である。そのような言語が一般に論理型プログラミング言語とよばれるものであり、PROLOG はその代表例である。第5世代コンピュータ・システムで実現しようとしている“核言語”がこれに属するものであることはいうまでもない。

この場合、残りの制御要素の方がどうなるかが問題であるが、それは基本的には自動的な定理証明機構として実現されることになる。この機構を具体化するものが、すなわち第5世代コンピュータ・プロジェクトでいう「推論マシン」である。ただ、制御要素を何から何まで完全に推論マシンまかせにしておくだけでよいかどうか、多少の問題が残っている。制御を制御するような機構がプログラミング言語に組込まれる必要がありそうである。

一般的知識のデフォルト化：アルゴリズムに含まれる論理要素は、解くべき問題の定義と、それを解くために用いるべき知識を記述したものである。われわれ自身が机の上でや

る場合のことを反省してみれば分るように、問題を解くのに用いられる知識には、問題そのものに密着したそれ固有の知識のほかに、一般常識や専門分野で共通的に用いられる知識など、一般性の高い知識とがある。ひとつの問題を解くためにその論理要素を記述する場合、毎回々々同じ一般的知識を繰返し記述するのは不合理である。そのような知識は予めシステムに組込んでしまっておくのがよい。このような知識を集大成して管理し、問題に応じて必要なものを供給していくようにしたものが、いわゆる知識ベースである。知識ベースの実現は、第5世代コンピュータ・プロジェクトにおける最も重要な研究課題のひとつである。

非決定処理シミュレーション：アルゴリズムの制御要素は自動的な定理証明機構として実現されるが、この証明の対象となる論理要素に特徴的なことは、その中で“この内のどれか”というような非決定性を含む表現が多用されることである。〔参考文献(8)〕このような非決定性の処理には試行錯誤が必要であり、それが効率よくサポートされるようになっていないと、制御指定の自動化、すなわち、制御要素のコンピュータまかせは現実性を失なうことになる。これに対する第5世代コンピュータ・プロジェクトの対応策は、高度な並列処理の実現（＝データフロー・マシン）である。

プログラム自動合成：非決定性を含む論理型プログラムの実行は、多くの試行錯誤を必要とするため、相当に効率の悪いものである。これはプログラミングを容易化したことの代償といえるものである。したがって、論理型プログラムを自動的な定理証明機構にかけて実行するという方式は、研究ツールとかパーソナル・コンピュータでの単純な仕事に適するものではあっても、繰返し実行される大型のプログラムに対しては、必ずしも理想的なものということとはできない。〔参考文献(9)〕

このような効率問題に対する最終的な対策は、論理型プログラムを要求仕様定義とみて（論理要素の分離独立化の項参照）、プログラムの自動合成を行なうことである。このアプローチには明るい見通しがえられつつある。

2.2.3.4 実現時のイメージ

(1) 中間段階のイメージ

述語論理型プログラミング言語のPROLOGは、すでに、大型コンピュータからパーソナル・コンピュータまで各種のマシンに実装されている。

第5世代コンピュータ・プロジェクトでは、PROLOGにつぎのような機構を拡張した「第0次核言語」が

a. プログラムの構造化メカニズム

- b. 関係データベース・インタフェース
- c. 並行プログラミング基本メカニズム
- d. データ型定義、チェック基本メカニズム

1985年前後に逐次型推論マシン上に実装されることになっている。

これらの言語を用いれば、アルゴリズム思考の容易化として説明した「論理要素の分離独立化」の利点は十分に活用できるはずである。

第0次核言語に続いて、第1次ならびに第2次核言語が開発され、1985年以降には実装化され、データ抽象化、メタ推論、帰納的推論などの機能が利用できるようになる。これと並行して、知識ベースの整備が進み、「一般的知識のデフォルト化」のメリットが享受できるようになる。

(2) 最終段階のイメージ

最終段階においては、第5世代コンピュータ・システムのフルパワーを期待できるようになり、したがって、前述した「自然言語的機能の導入」が可能になる。ここで本当の意味での“エンドユーザ向言語”が実現できることになる。このエンドユーザ向言語が具体的にどのようなものになるかを、いまから予想するのは困難である。あえていえば、数学教科書における応用問題の記述といった恰好のものになるのであろうか。

さらに、うまくいけば、相当程度のプログラム自動合成が日の目をみていることになる。

2.2.3.5 効 果

(1) エンドユーザ向言語の直接的効果

① プログラミング・ボトルネックの解消

- 特別な訓練なしでプログラムが書けるようになる。
- プログラミングの生産性が向上する。
- プログラムの互換性が改善される。

② プログラムの信頼性向上

- 正当性の検証が容易になる。
- プログラムの責任範囲が少なくなるので、誤りの入る余地が減る。

(2) エンドユーザ向言語の間接的効果

① コンピュータ利用層の拡大

- 使いたい人は誰でも使えるようになる。
- 他人を当てにしなくても利用できる。
- 高いプログラムを買わなくて済む。

② コンピュータ利用分野の拡大

ー非定型・非定常的な処理にも利用できるようになる。ーOAなど。

ープログラミング・コストが下がるので、些細な処理に利用しても採算がとれる。ーホームコンピュータなど。

2.2.3.6 参考文献(資料)

- (1) JIPDEC : 質問応答システム, 第5世代のコンピュータ, 基礎理論研究分科会報告書, 1981.
- (2) 日刊工業新聞, 56年10月, 1981.
- (3) Miller, L.A. : Natural Language Programming : Styles, Strategies, and Contrasts, IBM System Journal, Vol. 20, No. 2, 1981.
- (4) Evans, B.O. : コンピュータ過去, 現在および未来, 情報処理, Vol. 21, No. 9, 1980.
- (5) Hobbs, J.R. : What the Nature of Natural Language Tells Us About How to Make Natural-Language-Like Programming Language More Natural, SIGART Newsletter, No. 64, 1977.
- (6) Jakobson, R : Closing Statement : Linguistics and Poetics, Style in Language (ed. T.A. Sebeok), MIT, 1960.
- (7) Kowalski, R.A. : Algorithm = Logic + Control, Comm. ACM, Vol. 22, No. 7, 1979.
- (8) JIPDEC : マシンの理論, 第5世代の電子計算機に関する調査研究報告書, 1980.
- (9) Bibel, W. : Logical Program Synthesis, Proc. of International Conference on FGCS, 1981.
- (10) 神田泰典・杉本正勝・沢井進 : エンドユーザのための日本語によるプログラミング, 情報処理, Vol 21, No. 3, 1980.

2.2.4 薬理（遺伝子情報処理システム）

2.2.4.1 選定理由

近年遺伝子科学は、日進月歩で新しい技術を開発しつつあり、その成果として、従来動物や人間の体内から微量にしか抽出されなかったホルモンや、合成が困難があった薬品が遺伝子操作技術により、実験室で合成することが可能になり、さらに技術移転により工業化されつつあり、数兆円と言われる新しい成長産業になろうとしている。

遺伝子はDNAと呼ばれる高分子で、A、T、G、Cで表現される塩基が、2重らせん上で水素結合しているもので、結合パターンは、A-T、G-C対に限られている。このような単純な化学組成であるが、その塩基対の個数は高等動物で 3×10^9 に達する。

遺伝子操作は、微生物のDNAをハサミに相当する制限酵素で切断してはノリ付けしていき、目的とするDNAを作る技術である。この操作には、DNAの塩基配列や構造等の特性、実験道具や薬品の知識及び科学者の実験に対する経験・知識といったものが必要であり、関連する情報は急速に増加しつつある。科学者がこの巨大化する知識を、すべて記憶して、最適の実験をすすめるには限界がありコンピュータの支援が必要になって来ている。そのためコンピュータには巨大な知識システムと、科学者の思考を一部代行する機能が要求される。それには新しいハードウェアとソフトウェアが必要であり、第5世代コンピュータ・システムがそれに役立ちそうであり、波及効果からみても大きなものが期待されるので選定した。

2.2.4.2 概 要

(1) 目 標

遺伝子科学は、昔のアナログ的な形態進化論から、1953年のワトソン・クリックによる2重らせんモデルの解明によって、デジタル的オートマトン観で説明がつくことが分かってきた。このデジタル世界観では、遺伝子は物質から遺伝情報へ変換でき、逆に遺伝情報から遺伝子を作ることにも可能である。つまり情報処理の場にのることができるようになってきた。（図2.2-18）

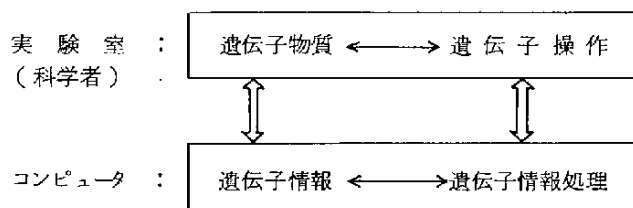


図 2.2-18 遺伝子と情報処理の関係

遺伝子産業、バイオテクノロジーという新しい先端技術産業が今後大きく展開されようとしている。その究極の目標は、自由に遺伝子を操作して望みの生体物質を製造することであるが、この技術は上記の観点に立てば情報処理と大きな関係をもっている。

この関係の重要性を認識するために簡単な例を示そう。図 2.2-19 はサイクリックな DNA であり、制限酵素 Bam, Hind III, Eco RI で切断した状態を示している。今この DNA を解析する実験を行なったとする。表 2.2-4 は、制限酵素とそれから得られた断片を示している。これだけの情報では DNA 構造の組合せは、

$$\frac{11!}{6! \times 5!} \times 6 \times \frac{6!}{2! \times 2! \times 2!} \times \frac{1}{12} = 2,494,800$$

になり、それをマニュアルで解くことは非常に困難なので 3 種の酵素を全部入れて実験することが必要となり、それで、5400 に縮小してから、1 時間の作業を行ない解が見つかった。コンピュータのプログラムは、表 2.2-4 のデータから約 2 秒で解を出した。かつそれがユニークなデータであることも示した。マニュアルの場合は、ユニーク性のテストは含んでいない。

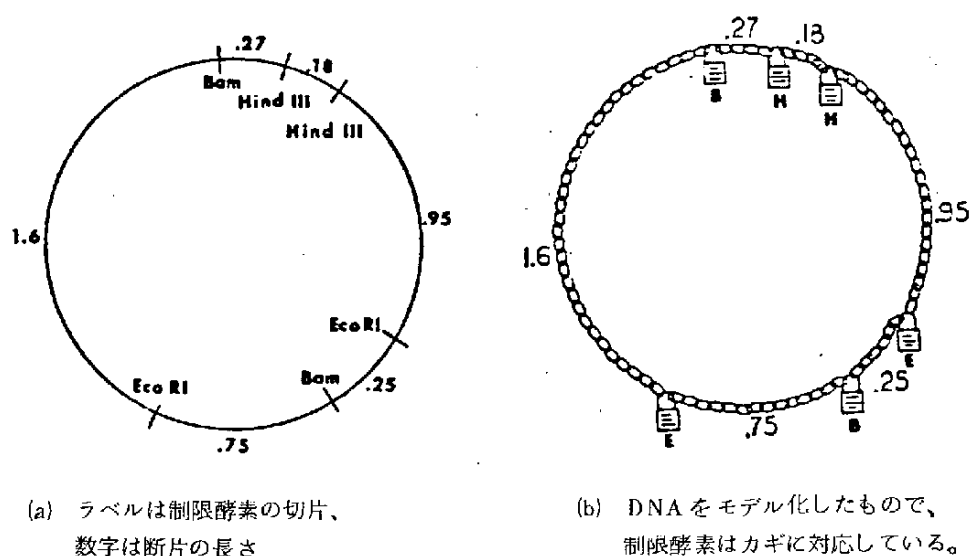


図 2.2-19 DNA の断片とそのモデル

表 2.2-4 制限酵素による DNA の切断

酵 素	断 片			
Hind III	3.82	0.18		
Bam	2.35	1.65		
Eco RI	3	1		
Hind III & Bam	2.35	1.2	0.27	0.18
Hind III & Eco RI	1.87	1.0	0.95	0.18
Bam & Eco RI	1.6	1.4	0.75	0.25

この例でも分かるように、わずか6個の断片でも組合せが爆発的にふえる。今後世界各地の研究所で行なわれる実験は、膨大な数に達するであろう。量の洪水に対処するのは、コンピュータが最適である。

以上の様な認識の上に立って、遺伝子情報処理システムの概念図を、図2.2-20に示す。基本構成要素としては、科学者とのインタフェースになるマンマシン・インタフェース部、科学者の思考、推論、直観を代行する遺伝子情報処理部、遺伝子に関する各種の情報を記憶する遺伝子情報データベースの3モジュールからなるであろう。システムの目標は、以下のものである。

① 遺伝子情報の知識ベース化

— 遺伝子に関する最新データ、法則を知識ベースで保持する。

② 遺伝子の解析、合成の実験プランニング支援

— 科学者の実験手順、問題解決法をプログラム化した、高度な実験自動化をめざす。

このシステムは、最終的には、単なる実験支援にとどまらず、記号処理による思考実験や計算シミュレーションの道具となり得るものである。

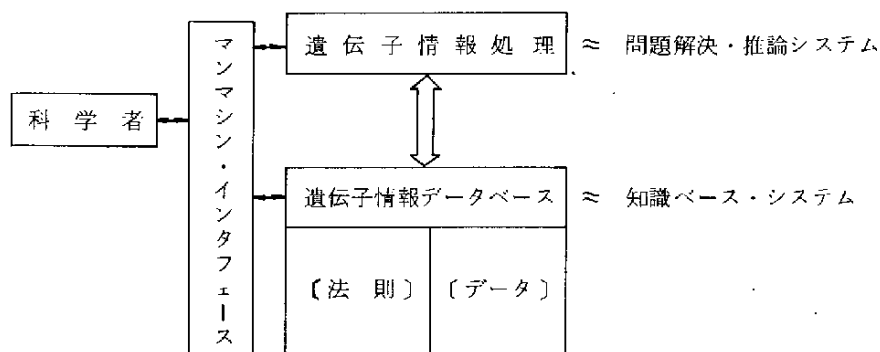


図2.2-20 遺伝子情報処理システム

(2) 現 状

米国のスタンフォード大学では、遺伝子操作に知識工学手法をもち込んだ先端的研究が既に始まっている。(図2.2-21)スタンフォード大学ではHPP(Heuristic Programming Project)の名のもとで、多くの知識処理システムを開発している。その最初のひとつとしてDENDRALが1965年から開発が始まったが、これは有機化合物の構造を質量分析器の情報から解析するシステムで、現在でも盛んに使われている。このDENDRALの後、1976年に人工知能のファイゲンバウム教授らは、科学者の問題解決を援助できる記号知識による推論プログラムの研究を始めるためにMOLGENを起した。その対象として分子遺伝学を選んだ理由は、これが非常に知的な学問であり、知識工学技術を確かめ発展させるのに、適当であった

からである。図 2.2-22 に MOLGEN の概略フローを示す。

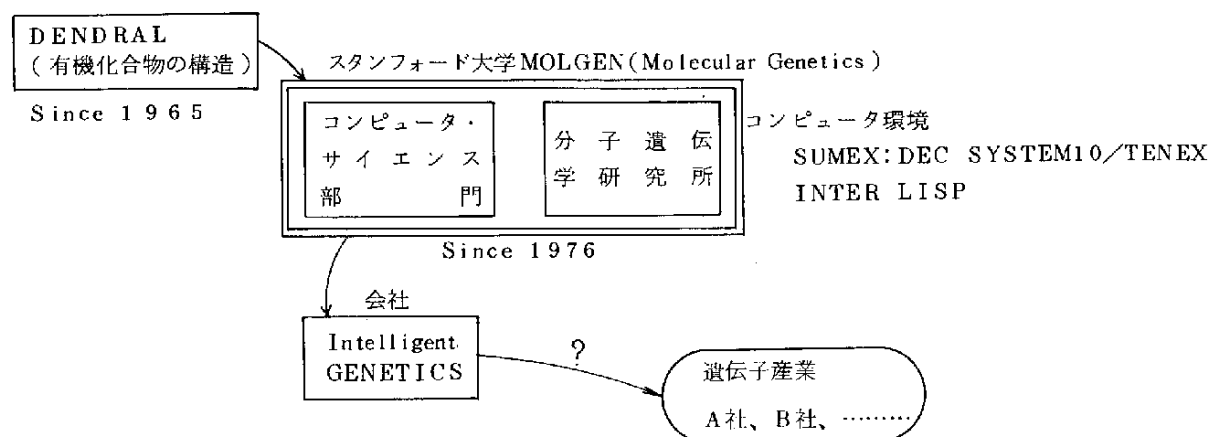


図 2.2-21 米国スタンフォード大学における遺伝子研究へのコンピュータの応用

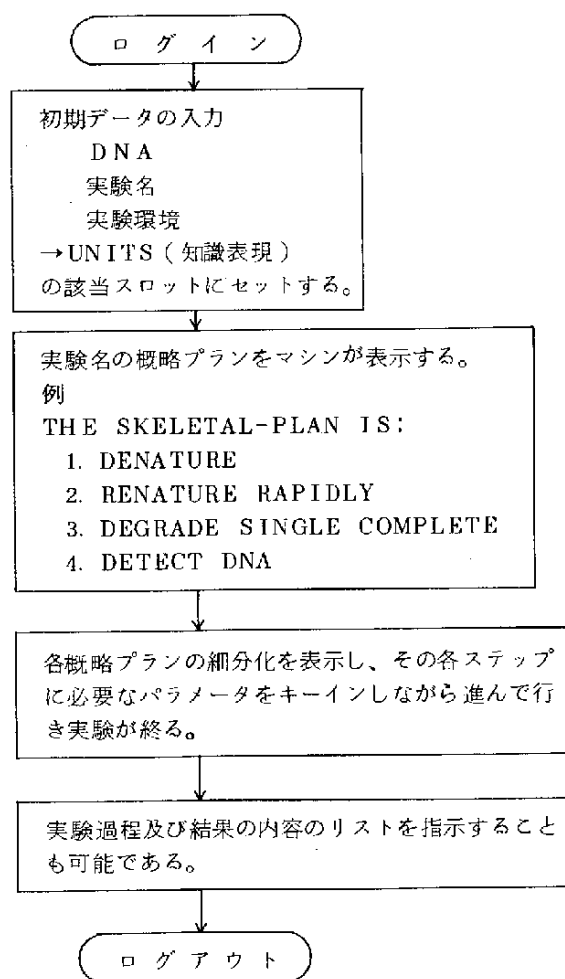


図 2.2-22 MOLGEN の実行フロー

MOLGEN プロジェクトは、第1期として、1976年1月から1978年1月、第2期として、1978年1月から1980年6月の予定で開発が開始され、当初の計画を達成した。しかし問題点はないのかというと、決してゴールに到達したものではなく、多くの問題点をかかえている。問題点は、

- ・単純な実験に対しては、科学者と同等の能力を持っているが、科学者の持つ創造性が欠如しており、今後階層的プログラミングや発見的手法を導入する必要がある。
- ・遺伝子の情報は“百科辞典”のように豊富になってきたが“辞書”と“文法（基本的法則）”という体裁になっていない。

である。

一方我が国では、知識工学の歴史は浅く、未だ基礎技術の習得が中心である。しかし遺伝子実験への関心は産業界で強く、米国での人工知能技法に刺激されて我が国でも当該技術への要求が高まることが予想され、開発へのポテンシャルは非常に高いといえる。

我が国での問題点を挙げると、

- ・人工知能及び知識工学における技術・経験の不足（米国と比べて10数年の遅れがある。）
- ・記号処理向きコンピュータが不足している。（米国では使い易いLISPシステムが普及している。）
- ・コンピュータ技術者と専門家（エキスパート）との協同作業が不十分である。（学際分野の未発達）

等があり、着手しやすいものから早急に取りかかる必要がある。

2.2.4.3 実現上の問題点

(1) 問題展開図

図2.2-23に遺伝子情報処理システムの問題展開図を掲げる。

(2) 問題点の要旨と5G技術との関連

① 遺伝子情報の表現

遺伝子に関する情報としては、遺伝子の構造や法則だけでなく、使用する酵素・実験の進め方等あらゆる知識を総合的に把握する必要がある。そのためにはこれらの情報は単な

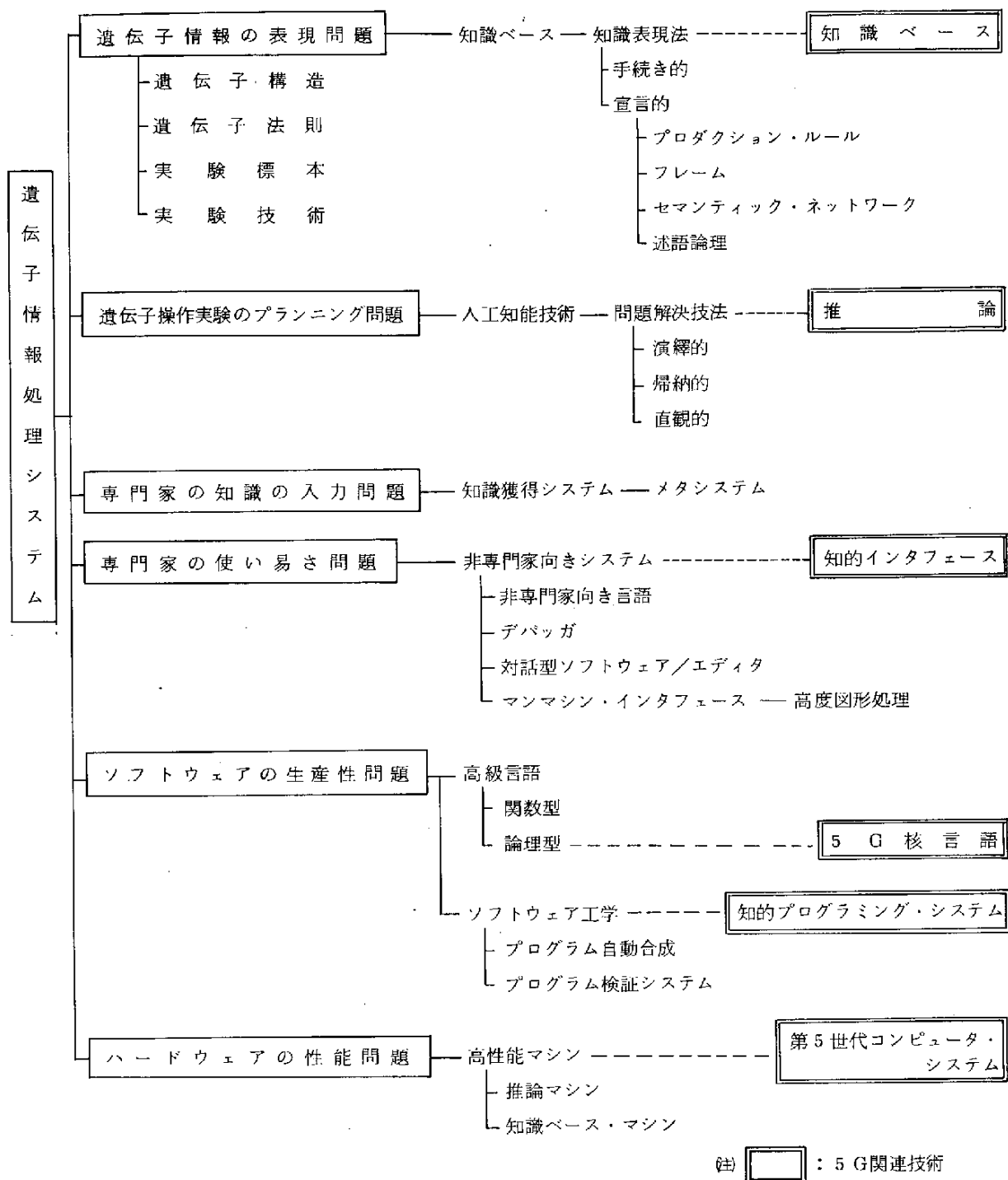


図 2.2 -23 遺伝子情報処理システムの問題展開図

るデータベースではなく、知識ベースとして統合されなければならない。MOLGEN においては、これは UNITS 表現によりフレーム構造をとっている。第5世代コンピュータ・プロジェクトでも、知識表現の重要性を認めており、質・量共に優れた知識ベースが出現することと思われる。しかしその表現法が余りに汎用指向であると、このような多様な領域に対しては効率よく表現できるか疑問の余地がある。時にはボトムアップ的に、特殊から一般化への作業も必要であろう。具体的な表現を通して、より汎用な知識ベースが作られることを期待したい。

② 遺伝子操作実験のプランニング問題

科学においては先ず問題がある。それをいかに解くかに関しては、科学者は帰納的方法・演繹的方法・直観的方法を駆使する。従って、コンピュータで問題解決を行なおうとする時も、このいずれの方法をもとり得るものでなければならない。スタンフォード大学では、Generate and Test法でモデルの生成と照合を、行なっている。実験を確実に行なうには、先ず全組合せを網羅することを行なってから、それをテストする最適な方法を発見することになるが、これには知識ベースのような問題毎の特殊性が余り必要でなく、汎用的モデルが利用できると思われる。第5世代コンピュータ・プロジェクトでは、問題解決・推論サブシステムの内では研究される項目である。

③ 専門家の知識の入力問題

これは知識ベースの維持管理上の問題で、遺伝子情報の加速的増大に対処する方法に関係する。利用者である専門家がシステムを更新できるようにするためには、そのためのユーティリティを、あらかじめ供給しておく必要がある。スタンフォード大学では TEIRESIAS というメタ・システムを持っており、そこで新しい知識を生成したり、変更したりするようになっている。これは、現知識とのインテグリティを保つ必要から分野固有の難かしさがあり、一般論で片付かないと思われる。第5世代コンピュータ・プロジェクトでは、知識獲得ということが知識ベースの課題になっているが、時々刻々入力がある具体的システムで研究する必要がある。

④ 専門家の使い易さの問題

これはどの分野に限らず問題となることであるが、使う側の立場に立って使い易いシステムをつくることが重要である。特に考慮すべき点は、図 2.2 - 2.3 にも記入したように、ユーザ言語、システムバグの原因を教えるデバッガ、端末との対話機能及び高度のマニマシオン・インタフェース等である。MOLGEN でも行なわれているように、システムに最適なように各々を開発する必要がある。

⑤ ソフトウェアの生産性問題

これはシステムの設計者（コンピュータ側）が効率よく開発できる道具に関するものであるが、言語とソフトウェア工学が大切な要因である。言語は記述能力が高いと共に、知識型システムを記述するのに適した機能を持つ必要がある。これは、5 G核言語として実現される。ソフトウェア工学からは、プログラムの自動合成や検証システムを研究しておくことは、本テーマに限らず重要で、第5世代コンピュータ・プロジェクトでも言語の研究と並行して検討されるものである。

⑥ ハードウェアの性能問題

現在LISPを使ったシステムが多く、既にマシンの限界が感じられるという大規模知識情報処理システムが作られている。知識処理に必要とされるハードウェアの機能は、記号計算・推論・知識ベースである。これらは第5世代コンピュータ・システム、特に並列型推論マシンで実現できるものである。

以上、個々の問題点と5 G技術との関係を見てきたが、問題の性格が分野に依存しない共通的なもの、例えばシステム開発用の言語やハードウェアは、いずれも第5世代コンピュータ・プロジェクトの研究開発テーマで、大部分解決できるもの、あるいはそれを利用して新たに設計すれば開発できるものであるが、本システムを実現するにあたって特に問題となる点は次のものである。

- ・量が非常に多い。（人間のDNAの遺伝情報は百科事典千冊相当）
- ・遺伝子に関する最新情報が、時々刻々に入ってきており、知識ベースの更新が激しい。
- ・知識ベースがデータと法則に明確に分離できるかどうか。

従ってこれらを解決するには、第5世代コンピュータ・プロジェクトと遺伝子専門家との共同作業の場が必要であろう。

2.2.4.4 実現時のイメージ

(1) 中間段階

以下、図2.2-24に沿って説明する。1980年代前半には、第5世代コンピュータ・プロジェクトの知識表現法の研究成果等を利用して、効率的な遺伝子情報の知識表現法が定まるであろう。また5 G核言語は本システム開発のための有効な道具となろう。さらに第5世代コンピュータ・プロジェクトの前期で開発される逐次型推論マシン（5 G核言語サポート・仮想空間サポート・100メガバイト以上のディスク・高機能ディスプレイ……etc）は、MOL-GEN程度の遺伝子情報処理システムを、パーソナル・ユースで実現するであろう。

1980年代後半では、知識獲得システムが具体化されるので、知識ベースの量が急速に増大して行くことが予想される。しかしその時点では、本格的知識ベース・マシンは未だ開発さ

れていないので、論理的検証になろう。MOLGEN を超えるために、創造的プランニング技術を研究開発することの結果は、システムの自動化・インテリジェント化につながる。ただし、並列型推論マシンは開発中なので、これもソフトウェア上のチェックのみである。

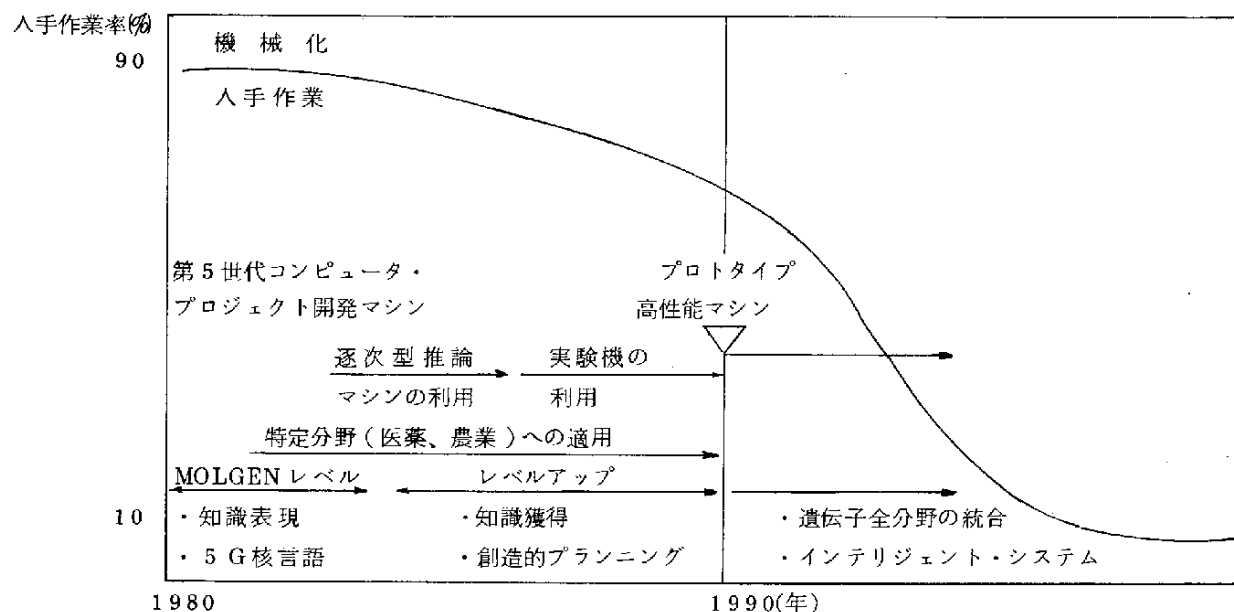


図 2.2 -24 共同システムの開発スケジュール

(2) 最終段階

第 5 世代コンピュータ・システムのプロトタイプを使用して、本システムを動かす。この時には、高性能な知識ベース・マシンと推論マシンが利用できるため、容量・スピード共に大幅に改善され、次のようなシステム特性を持つ。

- ・遺伝子分野の統合システム
 - 個別的に開発されたシステムを一本化する。
- ・インテリジェント・システム
 - 高度な推論思考能力をマシン付与することで、遺伝子の自動設計や自動解析を行なう。

2.2.4.5 効果

遺伝子情報処理システムの効果として、新しい物質（医薬品、農産物）の開発スピードを加速的に速めるだけでなく、システムのインテリジェンシイによって、具体的目標物質の自動設計を与えてくれる可能性もある。

遺伝子産業と結びつくことにより、製造工程のプランニングに利用でき経済効果も大きい。遺伝子情報処理は、コンピュータ・モデルと類似した面を持っており、図 2.2 - 25 に示すよ

うに相互に関係しあっている。

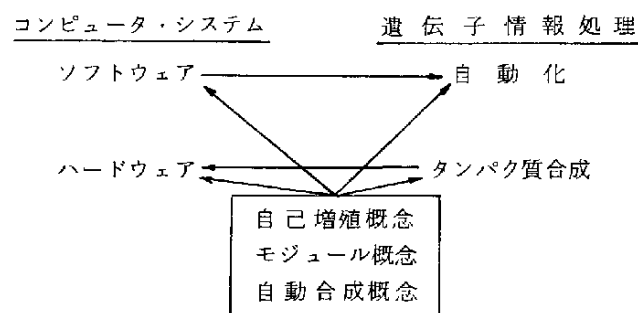


図 2.2-25 コンピュータと遺伝子工学との関係

エレクトロニクスと遺伝子工学という先端技術が同レベルで展開して行くことにより、将来工学的には、これらは融合できるものとなるだろうし、科学的には、コンピュータ・サイエンスと分子遺伝学を深めることになり、科学・医学・工学等の学術的發展に、大きく寄与するであろう。

2.2.4.6 参考文献(資料)

- (1) Edward A. Feigenbaum, Nancy Martin: Proposal MOLGEN A Computer Science Application to Molecular Genetics, (NSF Grant MCS 76-11649), October 27, 1977.
- (2) Peter E. Friedland: KNOWLEDGE-BASED EXPERIMENT DESIGN IN MOLECULAR GENETICS, A DISSERTATION OF STANFORD UNIVERSITY FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY, August, 1979.
- (3) Mark Stefik: Inferring DNA Structures from Segmentation Data, ARTIFICIAL INTELLIGENCE 11, 1978.
- (4) Heuristic Programming Project 1980, Stanford University, 1980.

2.2.5 工業設計 (VLSI - CADへの応用)

2.2.5.1 選定理由

IC (Integrated Circuits: 集積回路) の集積密度の向上は近年著しく、今やLSI (Large Scale Integration: 大規模集積回路) からVLSI (Very Large Scale Integration: 超大規模集積回路) の時代へと移りつつある。このような状況において、従来、半導体・コンピュータなどの専門メーカーだけで行なわれてきたICの設計が、自動車・光学機器などの非専門メーカーでも行なわれるようになってきた。この傾向はVLSI時代になっても続くと予想される。

VLSIの設計ではCAD (Computer Aided Design: 計算機支援設計) が重要な鍵となっており、前述のような傾向に対し、非専門家でも最小限の設計規則さえ知っていれば煩わしい作業は全てCADシステムが自動的に行なってくれるので比較的簡単にVLSIを作ることができるという状況が期待されている。

一方、専門メーカーにおけるVLSIの設計においても、テクノロジーに依存しないCAD、最新のデバイスの能力を最大限に利用できるようなCAD、フルカスタムなVLSIの設計を可能とするCAD等のシステムが強く望まれている。

第5世代コンピュータ・システム技術がこのようなVLSI設計用CADシステム、特に、VLSIレイアウト・システムの実現に役立つとすれば、その効果は非常に大きいと予想されるため、調査テーマのひとつとして選定した。

2.2.5.2 システムの概要

(1) VLSIレイアウト・システムの現状

VLSIを設計するためには、図2.2-26に示すように、機能・回路及びプロセスの設計から最後の試験までに多くの作業が必要である。現在、図に示されているような作業を可能または容易にする各種のCADプログラム/システムの研究・開発が精力的に進められている。ここでは、VLSI設計の中で、集積密度の向上による影響を大きく受けるレイアウトを中心としたシステムをとりあげる。

レイアウトは、チップ上に実現すべき論理回路記述から基本回路の配置と基本回路間の配線を行ない、マスク・パターン情報を作成する作業で、次のような処理がある。

- ・レイアウト設計 — 配置と配線
- ・アートワーク
- ・レイアウト検証

以下に、レイアウトに関する解説〔参考文献(2), (3), (6), (8), (9)〕CAD全般に関する解

説〔参考文献(1), (4), (5), (7)〕、および将来のCADに関する予測〔参考文献(10), (11), (12), (13), (14), (15), (18)〕を参考にして、現状について眺めてみる。

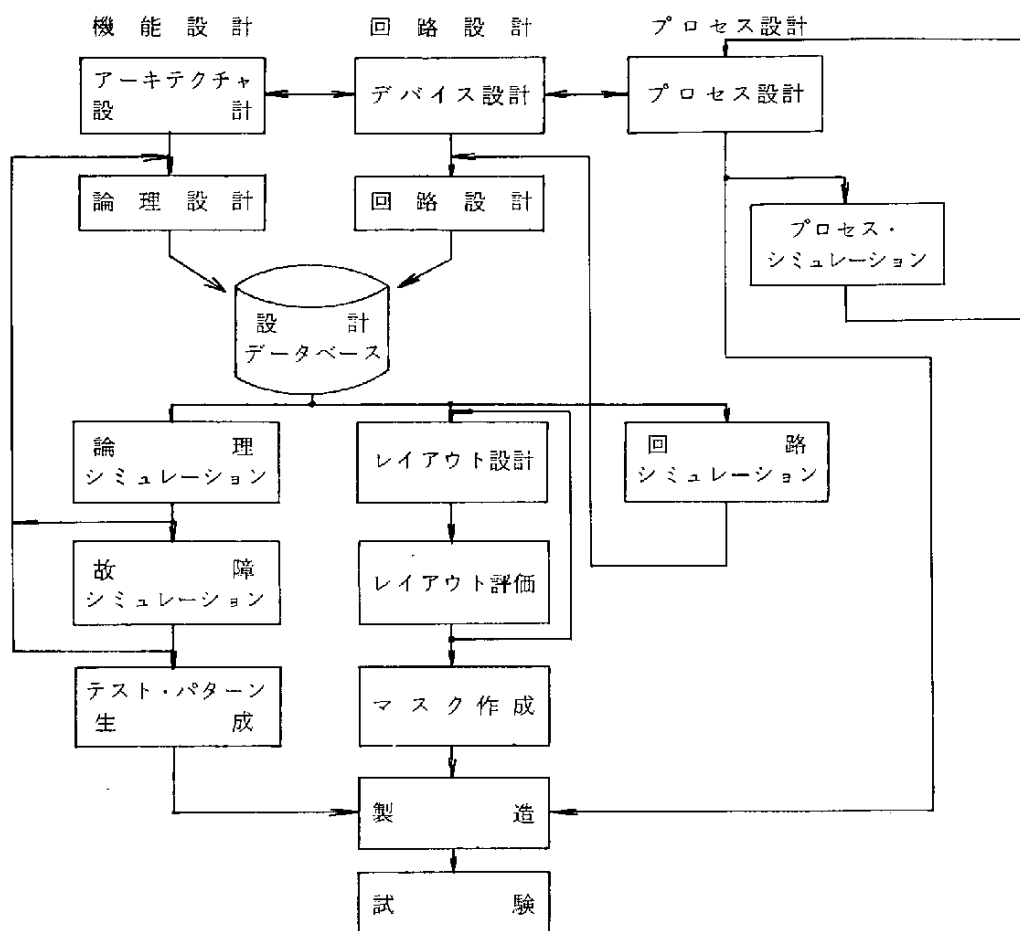


図 2.2-26 VLSI 設計フロー

① レイアウト設計手法

レイアウト設計は、通常、配置問題と配線問題とに分けて考えられるが、本来、これらの間には密接な関連があり、同時に処理されることが望ましい。しかし、計算量という点では大きな制約があるため、まず配置を行ない、次に配線を行なうという方法が一般的である。

近年、VLSI用レイアウト設計を指向した研究・開発が進んでいるが、この中で、問題全体を一気に処理する手法よりも、むしろ、問題を階層的に分割して、より小さな問題の単位で独立に処理していく階層的レイアウト設計手法が注目を集めている。

この手法は、処理をチップ、ブロック、セルというように階層的なレベルで行なおうとするもので、トップダウン的に回路を分割し、ボトムアップ的に下位から上位のレベルへ

と処理を進めて、レイアウトを完了させる手法である。この手法は、階層を増すことにより問題の細分化が可能で、VLSIの設計手法として有望と考えられている。図 2.2-27 に階層的なレイアウト設計を示す。

階層的レイアウト設計手法については、一方で、レイアウト設計の目標のチップ・サイズの最小化という点で、最適設計の実現は難しいという問題が指摘されている。これに対し、階層間にわたる処理を行なうことにより最適化も可能であろうという予測はあるものの、これを実現するための有効な手法はまだ知られていない。

従来、配置アルゴリズム、配線アルゴリズムについて、それぞれ個々に議論が盛んであったが、これらのアルゴリズムをVLSIについてもそのまま適用するには、現在のコンピュータの量的・質的な能力が不足しているなどの制約が認識され、階層的設計手法の提案にみるように、設計手法を方法論的に一段高いレベルで見直す傾向が見られるようになってきている。

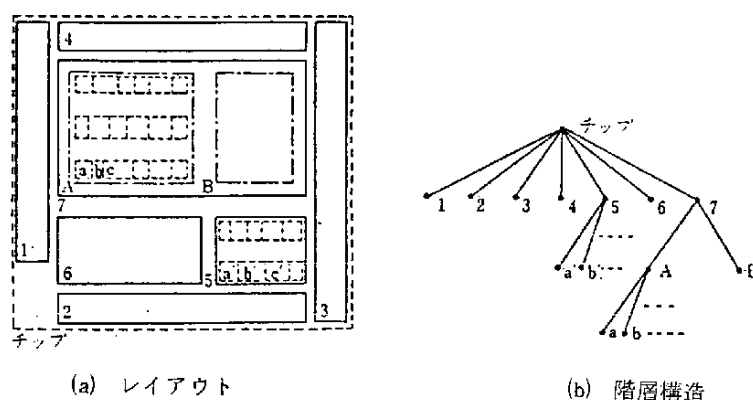


図 2.2-27 階層的なレイアウト設計〔参考文献(5)〕

レイアウト設計の自動化は長年の目標であるが、現在、一部に完全自動レイアウト設計が実現されているが、まだまだ人手による設計が主流である。これは、自動配置配線の一般問題はNP-完全(NP-complete)なクラスに属す問題で、プログラムで自動的に可能解の中から最適解を見つけることは、計算量・計算時間の点から非現実的であるためである。これに対し、最適解でなくとも実用的な解を、できるだけはやくみつけるようなヒューリスティックなアルゴリズムの提案もあるが、まだ実用化には不十分であり、人間による設計の方が質が高いということで、人手による設計が広く行なわれている。

② 自動配置

自動配置の目標は、後の自動配線による100%の配線率、チップ面積の最小化の達成が可能になるように基本回路を自動配置することで、これを反映した評価関数として次の

ようなものを最小化する提案がある。

- ・総配線長
- ・最大貫通線数
- ・最大混雑度

自動配置の手法は数多く提案されているが、大別して、構成的な方法と反復改善の方法とがあり、前者は局所的な最適化を行ないながら配置を行なう方法、後者はランダムに、または人間によって与えられた初期配置を改善していく方法であり、それぞれに長所短所を持っている。実用化されている配置プログラムには、構成的な方法で初期配置を行ない、反復改善の方法で配置の改善を行なうものが多い。

③ 自動配線

自動配線においては次の2つの問題がある。

- ・配線経路決定
- ・配線順序決定

配線経路決定は特に大きな問題で、高集積度化による配線量の増大に対し、実用的なメモリ容量と計算時間でどのように実現するかが問題になっている。高速なアルゴリズムの開発とともに、スーパー・コンピュータによる高速処理への期待も大きい。

④ 設計方式

従来の少量多品種のランダム論理LSIのための設計方式として、単一あるいは複数のゲートを構成する同一の基本回路を規則正しく配列したマスター・スライス方式が主流であった。マスター・スライス方式では、基本回路の構造の同一性や配列の規則性から配置配線問題が簡単になり、配置配線の自動化に成功している。図2.2-28にマスター・スライス方式のチップの例を示す。

VLSI設計にマスター・スライス方式を用いるには以下の点で無理ではないかと考えられている。

- ・構成に柔軟性がない。
- ・実効ゲート密度が低い。
- ・配線長が長くなる。

これらは、それぞれ、機能、チップ・サイズ、性能に関係するものである。

VLSI設計には、マスター・スライス方式の代りにビルディング・ブロック方式が有力視されており、現在、このための自動配置配線に関する研究・開発が進められている。

ビルディング・ブロック方式では、基本回路の大きさ・形状及び配列を自由に行うことによりマスター・スライス方式の難点を克服しようとするものであるが、このために配置

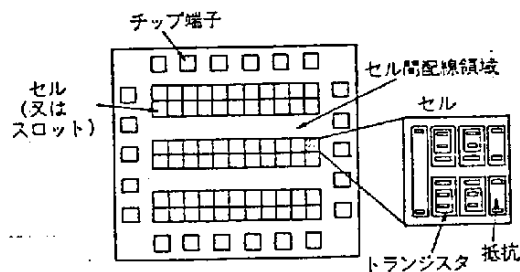


図 2.2-28 マスター・スライス方式のチップ〔参考文献(6)〕

配線の問題が難しくなっている。

マスター・スライス方式からビルディング・ブロック方式への移行は漸次的で、マスター・スライス方式における制約を徐々に取り除いていくという方向であり、マスター・スライス方式用に開発されたプログラムを改良して実用化できる点にメリットがある。ポリセル方式はこのような動きの中で提案されたもので、この方式におけるチップ・モデルでは図 2.2-29 に示すように、セル（基本回路）の大きさは異なるが配列は規則的である。

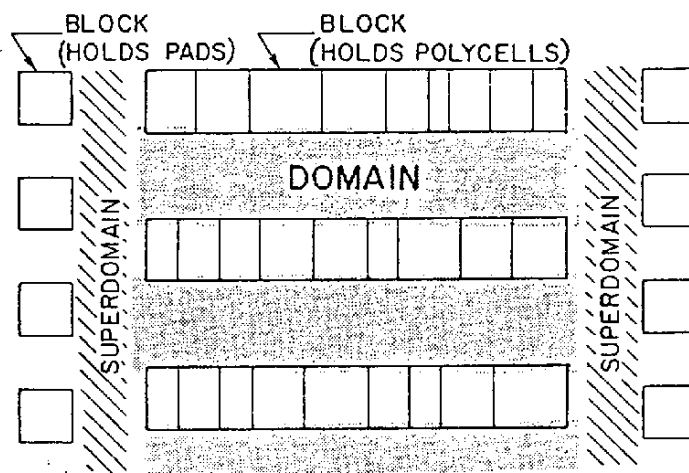


図 2.2-29 ポリセル方式におけるチップ・モデル〔参考文献(6)〕

また、前述の動きとは別に、チップ上に RAM や PLA を混在させようという動きもある。ランダムな論理を PLA で実現する場合には、論理式を PLA で実現する問題が出てくるが、配置配線の問題はなくなるというメリットがある。

⑤ 人手による設計 — アートワーク

レイアウトの自動化はまだ不完全であるため、人手による設計がまだ一般的である。こ

のため、レイアウトの自動化をめざすと同時に、人手による設計を容易にするための設計方法も考えられている。シンボリック設計法はこのような設計法のひとつで、回路のパターンを直接描くかわりに簡単なシンボルを使って設計する方法である。図 2.2-30 にこの例を示す。

人手による設計は、ディジタイザ、タブレット、グラフィック・ディスプレイ等を用いて対話形式で行なわれるが、データの精度、データの量、処理の速度、図形処理能力等、機能の向上に対する要求が強い。また、操作の容易性も求められている。

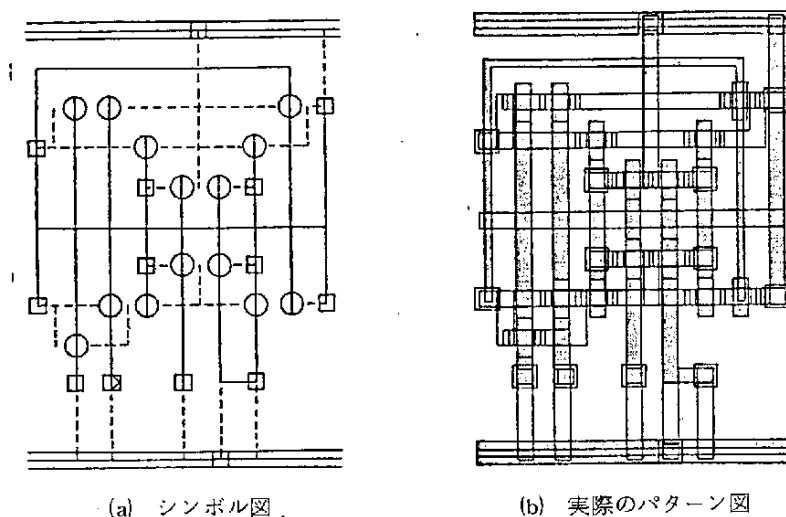


図 2.2-30 シンボリック設計法〔参考文献(5)〕

⑥ レイアウト検査

レイアウト設計に人手による操作が入ると誤りが生じる可能性があるので、レイアウト設計の終了後にこれを検査する必要がある。検査項目としては次のようなものがある。

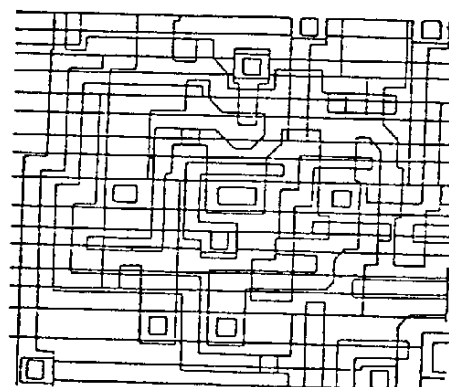
- ・幾何学的検査
- ・回路接続検査
- ・電気的特性検査

幾何学的検査では、レイアウト設計で得られたマスク・パターンが設計規則に違反していないかどうかを検査するもので、パターンの幾何学的なデータだけを用いて検査する。処理には、図 2.2-31 に示すような図形演算機能と検査機能が用いられる。一般に、図形の処理には時間がかかり、効率のよいアルゴリズム、高速な処理装置が望まれている。

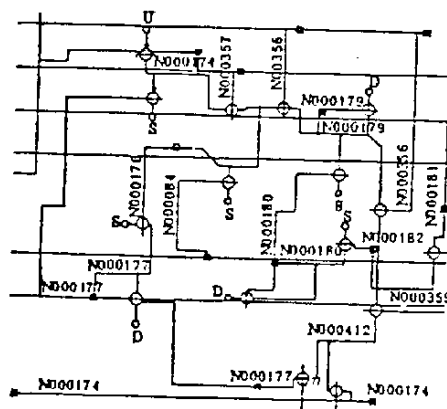
回路接続検査と電気的特性検査においては、パターンから回路の意味を認識する回路抽出の処理が必要である。(図 2.2-32 参照)。この処理においても図形演算機能が必要である。

検査機能	最小幅 最小間隔		
	図形演算	論理演算 OR AND SUB NOT	
		等方変形 縮小 拡大	
機能	位相関係判断	包含関係	
		排他関係	
		重なり関係	

図 2.2-31 検査機能と図形演算機能
〔参考文献(3)〕



(a) マスク・パターン



(b) 回路図

図 2.2-32 マスク・パターンと抽出した回路
〔参考文献(17), 参考文献(3)〕

回路接続検査においては、初歩的で簡単なミスは接続ルール・チェックで見つけることはできるが、複雑なミスはこれだけでは見つけることができない。このため、回路抽出によって得られた回路記述をもとに論理シミュレーションを行なって検査したり、正しい回路接続情報と直接に比較して検査することも考えられているが、それぞれに難しい問題がある。

電気的特性検査においては、マスク・パターンから回路パラメータを算出して回路解析が行なわれるが、現在では扱える回路の規模が小さい。他に、タイミング・シミュレーションや回路遅延を考慮した論理シミュレーションなども考えられている。

⑦ 設計データベース

LSIの設計に携わる技術者の数が増え、扱うデータの量も多くなってきていることから、

現在では様々な処理を設計データベースを中心に行なうようになってきた。設計データベースは、各種のCADプログラムで用いるデータを管理するもので、これを中心とした各種CADの統合化が進んでいる。図2.2-33にデータベースを中心としたCADシステムを示す。

CAD用の設計データベースには、論理的な回路記述データ、物理的な回路記述データ、検査系列など、様々なタイプのデータが管理され、これらのデータ構造やアクセス手法などについて色々と研究・開発が行なわれている。最近注目を集めつつある階層的な設計手法に対応した階層的なデータ構造も考えられているし、また、論理回路設計やレイアウト設計などで得られる図形データも、データベースで管理できるようにという要求が強まっており、図形の入出力・表示の装置と共に重要な研究課題となっている。設計データベースはその性格上、多くの技術者によるアクセスがある。このため、不当な操作によるデータの破壊や盗用などを防ぐための保護手段の確立も望まれている。

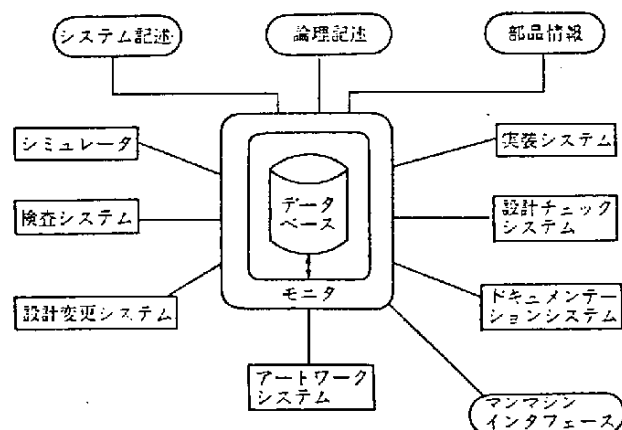


図2.2-33 データベースを中心とした統合化CADシステム〔参考文献(5)〕

⑧ システムの操作

現在のCADシステムの操作は一般に複雑で、誰でも簡単に使えるというものではない。このため、システムの利用は特定の専門家に限られている。LSI設計が一般に普及しつつある現在、このようなことに対する不満の声もあり、操作の容易性が望まれている。操作の容易性に密接に関係しているのがシステムとのインタフェースである。システムとの対話が容易であること、図形の入出力および表示ができること、各処理に関係している技術者それぞれの場所からシステムが利用できることなどが課題となっている。

⑨ その他

従来、マイクロプロセッサのように大きくまとまった機能を1個のチップ上に搭載しようという開発においては、そのときに使えるテクノロジーの能力を最大限に利用しようとしてきた。このため、人手による設計が非常に多かったが、VLSI設計においてはもはや人手による設計はあまりに時間がかかり過ぎて、事実上不可能と考えられている。これに対する完全自動化の望みは、レイアウト設計における配置配線問題がネックとなって難しいと考えられており、人工知能的な手法の応用が提案されている。

一般のランダム・ロジックのチップでは、先に述べたように、レイアウトの完全自動化に一応成功したが、一方でチップ構造を簡単なマスタ・スライス型に限定したため、テクノロジーの能力を最大限に利用することはできなかった。これに対してビルディング・ブロック方式の提案がなされたことは先に述べた通りである。ランダム・ロジックにおいてもテクノロジーの能力を限界まで利用しようという要求があり、このために複雑になる問題の解決に人工知能的な手法を取り入れようという研究が始まっている。

これまでに開発されてきたCADシステムは、プログラムの大きさ、処理時間などの点から、テクノロジーに依存した形になっているものが多く、テクノロジーが変ればCADシステムも変更しなければならなかった。また、テクノロジーに依存したCADシステムでは、テクノロジーが変われば操作方法が異なるなどインタフェースも変わる場合が多く、ユーザには使いにくい面があった。このようなことから、テクノロジーに依存しないインタフェースの提供に対する要求も高まっている。

(2) VLSI レイアウト・システムの目標

以上にみてきたような現状より、次の2点がVLSIレイアウト・システムの大きな目標と考えられる。

- ・操作が容易で柔軟な処理を可能とするインタフェースを提供すること。
- ・テクノロジーを最大限に利用できること。

この2つの大きな目標は、具体的な個々の目標にすると次のようになる。

- ・階層的な設計手法を考慮したシステムであること。
- ・処理が高速に行なえること。
- ・簡単な構造のチップの完全自動レイアウトと複雑な構造のチップの半自動レイアウト
- ・処理に人手介入がある場合、図形データの取り扱いの容易さ等の支援機能が、豊富であること。
- ・テクノロジーに依存しないシステムとのインタフェースが、確立されること。
- ・システムの人間との対話が容易で柔軟性のあるものであること。

- ・多種多様なデータが扱え、アクセスが容易で信頼性のある設計データベースを持つこと。
- ・処理結果のチェックが自動的かつ完全に行なえること。
- ・豊富な図形処理機能を持つこと。

2.2.5.3 実現上の問題点

(1) 問題展開図

図 2.2-34 に、2.2.5.2 の(2)に示したシステムの目標を実現するための問題の展開図を示す。

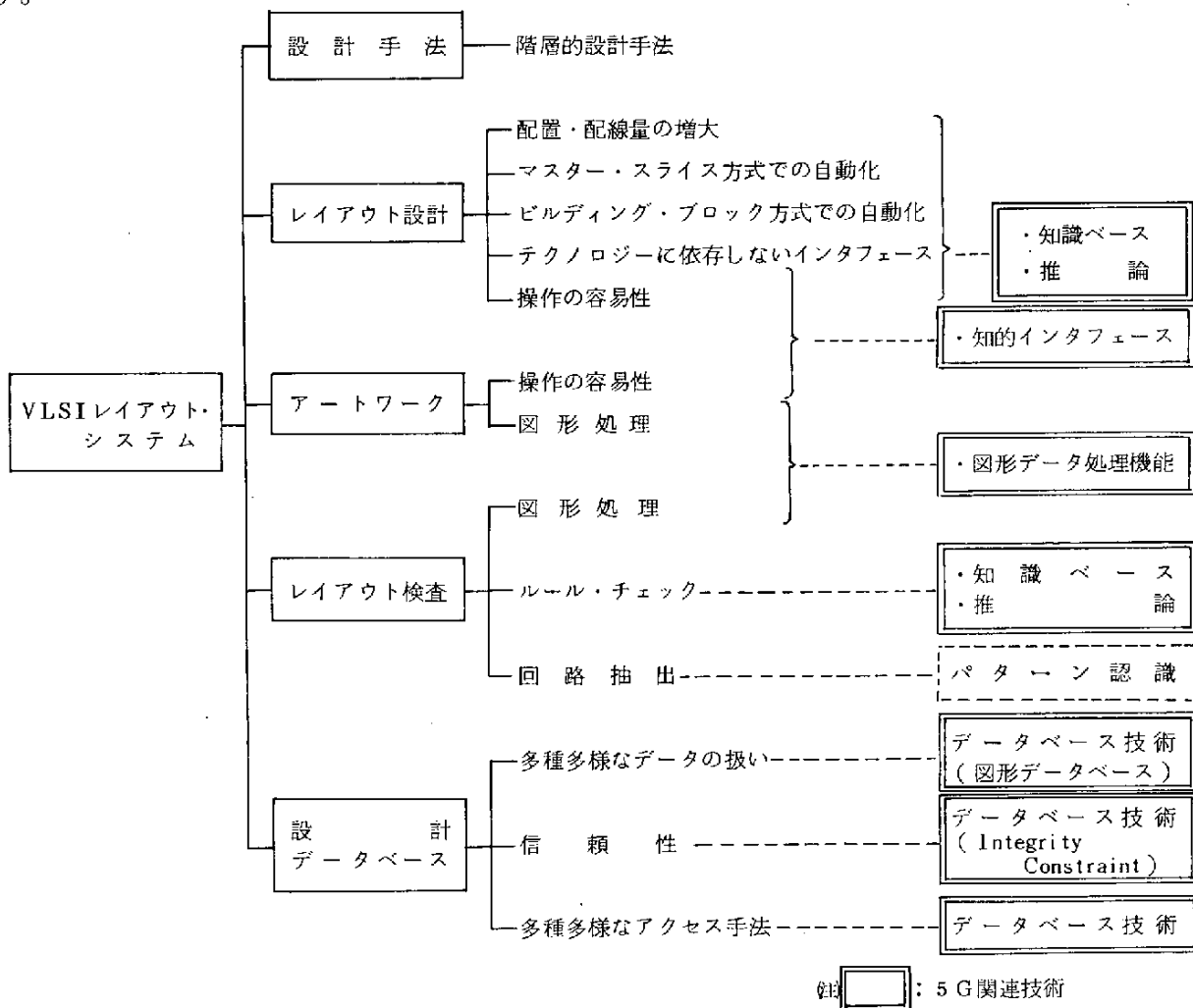


図 2.2-34 VLSI レイアウト・システムの問題展開図

(2) 問題点と 5 G 技術との関連

5 G 技術の中核である知識ベースと推論の技術は、VLSI レイアウト・システムにおいて、次のような点で非常に有効であると考えられる。

- ・高集積度化
- ・自動化
- ・テクノロジーに依存しないインタフェース
- ・操作の容易性
- ・ルール・チェック

高集積度化に対しては、ビルディング・ブロック方式の設計が可能となるように、ヒューリスティックなアルゴリズムが、知識ベースと理論の技術を使用することにより、効率よく動作できるようにインプリメントされる可能性がある。また、自動化に対しては、状況により、最も効率的なアルゴリズムを選択するように知識ベースと推論を用いれば、いちいち人間が介入してアルゴリズムを選択する必要はなくなると思われる。

テクノロジーに依存しないインタフェースの実現には、処理をテクノロジーに依存する部分と依存しない部分とに分けてモジュール化しておき、テクノロジーに関するデータを与えれば、知識ベースを使って推論しながら処理に必要なプログラムを自動合成する機能など、テクノロジーに関する情報をデータとして処理できる機能が有効であろう。

操作の容易性とは、ユーザがシステムに“HOW”を指定するのではなく、“WHAT”を指定すればよいようにすることである。この機能は、まさに知識ベースと推論によって実現されるものである。

処理結果に対するルール・チェックは、高集積度化が進むにつれて、質・量ともに増大することが予想される。これに対して、すべての場合についてチェックすることを人間が考えるのは不可能に近くなる。ここに知識ベースと推論を使っての自動的なルール・チェックの有効性が考えられる。

5 G技術における基本機能である知的インタフェースは、次のような点で有効と思われる。

- ・操作の容易性
- ・図形処理

操作の容易性の実現には、システムで音声・自然言語・図形の入出力が可能となることも重要であることは、容易に推測される。また、図形処理は、マスク・パターンが基本的には図形であることから、パターンの設計や検査には必須の処理であり、これが容易になることは、設計や検査の時間を短縮できることにつながるであろう。

さらに、5 G技術としてパターン認識技術が確立されれば、マスク・パターンにおける回路抽出に有効であろうし、データベース技術は設計データベースの構築に有効であろう。設計データベースにおいては、図形を含む多種多様のデータを扱う必要があることから、図形データベースとしての機能、多くのユーザによるアクセスにおけるデータの保護手段の提供、あるいは

は多様なアクセス手法の提供などの要求に対して、データベース技術が有効となろう。

2.2.5.4 実現時のイメージ

- ① 階層的な設計手法により、高機能な対話型大画面ディスプレイ装置を中心とした、知的インタフェースを介してレイアウト設計が進められる。
- ② ゲート・アレイ方式では完全な自動レイアウト設計が行なわれる。
- ③ ビルディング・ブロック方式では、徐々に簡単なものから複雑なものへと自動化が進んでいくが、その過程においては、人手による設計も一部に必要であろう。
- ④ ビルディング・ブロック方式やPLA, RAM, ROMを混在させる方式においては、状況に応じて、システムが自動的に最も適切なアルゴリズムを選択して設計を行なうようになるであろうが、初期の段階では人間の介入が必要である。
- ⑤ デバイスのテクノロジーに依存しないインタフェースがほぼ確立され、テクノロジーによる差異はデータとして与えれば、システムが自動的に調整してくれるようになる。
- ⑥ 操作は、システムのコンサルテーションを受けながら容易に行なえる。
- ⑦ 設計に対する種々のルール・チェックは自動的に行なわれる。
- ⑧ 設計データベースは設計の各レベルで多くの設計者に共有され、図形データを含む多種多様なデータが扱える。さらに、操作ミスによるデータの破壊の防止やデータの完全性のチェックなどの信頼性が確立される。
- ⑨ 操作上多く用いる図形処理の機能は簡単なものから徐々に拡張され、豊富なものになっていく。

2.2.5.5 効果

5 G技術に支援されて、前述のようなVLSIレイアウト・システムが実現されるならば、第一に、半導体、コンピュータなどの専門メーカーのCADの専門技術者だけでなく、他の製造業者においても少しの知識を学べば、FORTRANのプログラムを作成するぐらいの手間で、VLSIを作成できるようになるだろう。こうなれば、エレクトロニクス部品あるいは製品の小型化、低価格化が進み、製品の普及や競争力強化などで、経済社会に与えるインパクトは非常に大きいと予想される。

第2に、テクノロジーの発展に合わせて、その能力の限界まで利用した効率の良い、高速で高集積のチップの製造が容易になるであろう。これによって、従来できなかったような大規模な計算が可能になったり、大規模な処理を行なう専用システムが容易に構成できたり、その他のいろいろな面で、大きな機能を持った小さなシステムが可能になるであろう。また、VLSIレ

イアウト・システムが実現されれば、ここで得られた技術は、プリント基板のレイアウト、都市計画、配管、工場などのレイアウト、交通計画などへ応用することは容易であり、波及効果は大きいと、考えられる。

2.2.5.6 参考文献(資料)

- (1) 須藤常太：VLSI化とCAD，情報処理，Vol. 22, No. 8, 1981年8月，pp. 732 - 735.
- (2) 小澤時典：VLSIレイアウト設計における自動配置配線，ibid., 1981, pp. 778 - 782.
- (3) 吉田憲司：ア트워크・データとその検証，ibid., 1981, pp. 783 - 790.
- (4) 須藤常太他：カスタムVLSI設計システム，ibid., 1981, pp. 791 - 796.
- (5) 樹下行三：論理装置のCAD，情報処理学会，1981.
- (6) 後藤敏：LSIレイアウト設計のCAD，電子通信学会誌，Vol. 64, No. 12, 1981年12月，pp. 1274 - 1281.
- (7) 吉田憲司他：VLSI設計へのコンピュータの応用，情報処理，Vol. 22, No. 12, 1981年12月，pp. 1179 - 1186.
- (8) 田中善一郎：論理LSI開発の鍵を握るレイアウト自動化，日経エレクトロニクス，1979年9月17日号，pp. 104 - 121.
- (9) M. Marshall et al. : VLSI Pushes Super-CAD Techniques, Electronics, July 31, 1980, pp. 73-80.
- (10) D. Giuliani : Will Design Tools Catch Up to VLSI Design Needs ?, Proceedigs of the 16th Design Automation Conference, 1979, pp. 544 - 545.
- (11) R. Waxman : VLSI-A Design Challenge, ibid., 1979, pp. 546 - 547.
- (12) B. Lattin : VLSI Design Methodology, ibid., 1979, pp. 548 - 549.
- (13) W. Wiemann : CAD System for VLSI, ibid., 1979, p. 550.
- (14) R. P. Larsen : Can CAD Meet the VLSI Design Problems of the 80's?, ibid., 1979, p. 551.
- (15) D. Hightower : Can CAD Meet the VLSI Design Problems of the 80's, ibid., 1979, pp. 552 - 553.
- (16) G. Persky et al. : LTX-A Minicomputer-Based System for Automated LSI Layout, Journal of Design Auto-mation & Fault-Tolerant Computing, Vol. 1, No. 3, May 1977, pp. 217 - 255.

- (17) T. Mitsuhashi et al. : An Integrated Mask Artwork Analysis System, Proceedings of the 17 th Design Automation Conference, 1980, pp. 277 - 284
- (18) C.R. McCaw : Panel Discussion-Design Automation and VLSI in the 80's, ibid., 1980, pp. 336 - 337.

2.2.6 資源・環境（リモート・センシング・システム）

2.2.6.1 選定理由

資源・環境の調査では、一般に広範な領域を対象として、植物資源，地下資源，海洋資源などの各種の資源の調査、あるいは、水質調査，生態系の調査，被害状況調査，汚染状況調査などの各種の環境調査が行なわれる。このため、航空機や人工衛星に搭載したセンサを用いて対象物や対象領域について計測するリモート・センシング技術が広く利用されている。

現段階におけるリモート・センシング・システムにおいては、センサとこれを介して得られるデータの処理に関する議論は活発に行なわれており、技術の進展にも目ざましいものがあるが、データの解析、データの蓄積と検策、あるいは、リモート・センシングの評価や計画に関しては、現在のコンピュータシステムの能力を越える処理が必要であるなどで、それほど活発には議論がなされていないし、研究・開発もまだ実用的な段階には至っていない。これらの分野においては、コンピュータによる処理よりも人間による処理が中心になっている。

5 G 技術が、このような状況を打破し、現在人間が行なっている処理の多くを計算機で行なえるようになるために役立つとすれば、リモート・センシング・システムのより一層の発展が期待できるばかりでなく、リモート・センシング・システムを利用している各種の応用分野における技術の発展も期待できる。このような観点から、テーマとしてリモート・センシング・システムを選定した。

2.2.6.2 システムの概要

ここでは、リモート・センシング・システムの現状について概観した後、将来の発展の一方向を想定したときの問題点について述べる。

(1) リモート・センシング・システムの現状

リモート・センシング技術は、航空機や人工衛星などのプラットフォームに搭載したセンサで電磁波の分光的性質等を利用して、多重パターン情報を画像データの形で獲得し評価する技術である〔参考文献(1)〕。これを実現するものをリモート・センシング・システムとすれば、その構成は図 2.2-35 に示すものが一般的である。

図 2.2-35 に示すように、リモート・センシング・システムの機能を大別すると次のようになる。

- ・データ収集
- ・データ処理
- ・データ解析
- ・データの蓄積と検索

・評価と計画

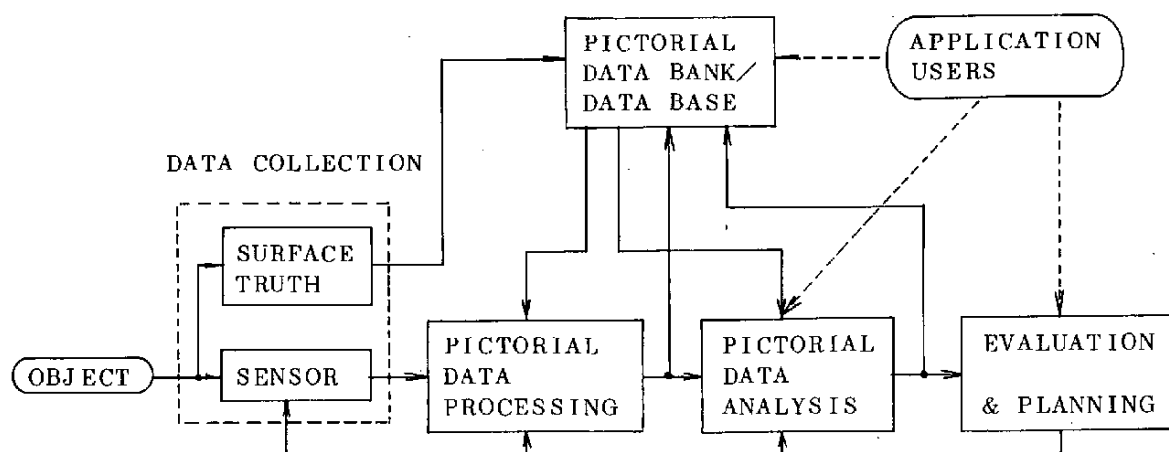


図 2.2 - 3 5 リモート・センシング・システム

以下にそれぞれの機能における現状を概観する。

① データ収集

ここではセンサが中心的位置を占める。種々の条件や要請に合わせて開発されてきたセンサは数多くあるが、計測方式によって分類すると、画像方式と非画像方式とに大別される〔参考文献(2)〕。地球観測衛星 LANDSAT に搭載された MSS (Multi-spectral Scanner : マルチスペクトル・スキャナ) や海洋観測衛星 SEASAT に搭載された SAR (Synthetic Aperture Radar : 合成開口レーダ) は画像方式に分類されるセンサである。

MSS は 1972 年に打ち上げられた LANDSAT 1 号以来、2 号、3 号と用いられているセンサで、地表からの放射を反射望遠鏡で集めて分光し、波長域ごとの放射エネルギー

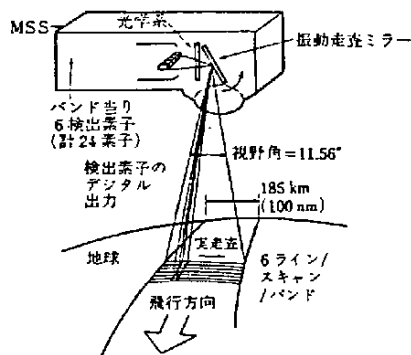


図 2.2 - 3 6 LANDSAT-1 の MSS による観測〔参考文献(6)〕

を測定するもので、チャンネル数、分解能、瞬間視野角、走査角などが異なる様々のMSSが開発されている〔参考文献(2)〕。図2.2-36にLANDSAT-1のMSSによる観測、図2.2-37にLANDSAT-2のMSSを示す。

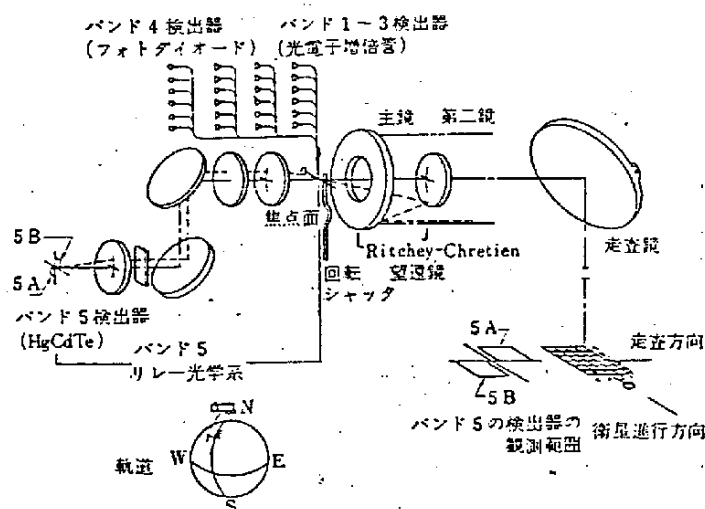


図 2.2 - 3 7 LANDSAT-2 の MSS〔参考文献(2)〕

SARは近年発展の著しい電波によるリモート・センシングにおいて、その将来性が注目されているマイクロ波センサで、分解能が高く、昼夜、荒天にかかわらず映像が得られる点に大きな特徴がある。しかしながら、まだ開発途上にあるセンサであり、有効に利用するためにはさらに多くの実験が必要であるという〔参考文献(7)〕。図2.2-38にSARによる地表面の観測図を示す。

MSSやSARに代表されるセンサについての研究・開発は非常に活発であり、実用化においても着実に経験が積み重ねられている。

② データ処理

センサから得られたデータを画像化したり、また、画像の種々の歪を補正する処理で、以後のデータ解析を容易にするために行なう前処理的なものであり、次のような処理が選択的に行なわれる〔参考文献(3)、(6)〕。

- ・幾何学的補正
- ・位置合わせ(レジストレーション)
- ・濃度補正
- ・画像の復元

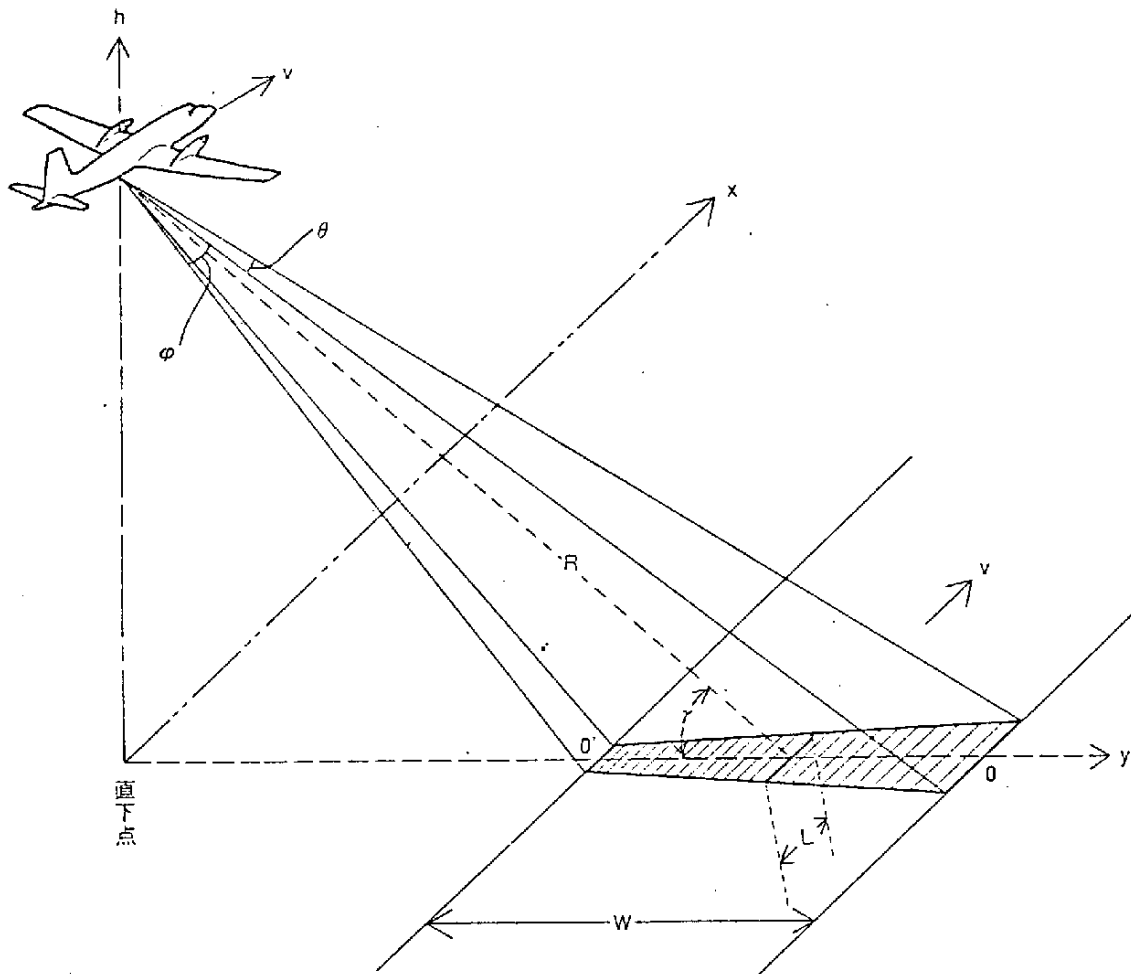


図 2.2-38 SARによる地表面の観測〔参考文献(7)〕

- 画像の強調
- 擬似着色

これらの処理は、MSSのようなセンサから得られたデータが画像データである場合に行なわれるが、SARのようなセンサでは、これらの処理の前に、図 2.2-39 に示すように、レンジ方向処理、整列処理、アジマス方向処理のようなレーダ信号処理を行なわねばならない〔参考文献(7)〕。

データ処理においては、座標変換、相互相関、自己相関、コンボリューション、フーリエ変換、フィルタリングなどデジタル信号処理でよく用いられる演算が中心となっている。

画像データ処理方式としては、このようなデジタル処理方式の他に光学的処理方式や両者のそれぞれの利点を利用したハイブリッド処理方式がある。光学的処理では、2次元の

画像のフーリエ変換や相関計算などをコヒーレント光を用いたレンズ系で簡単にしかも高速に行なえるという大きな利点はあるが、計測方式の複雑化、大量データのデジタル化、データ処理に要求される高精度など多くの理由から光学的処理では充分でないということで、デジタル処理方式が一般化しつつある〔参考文献(3)〕。

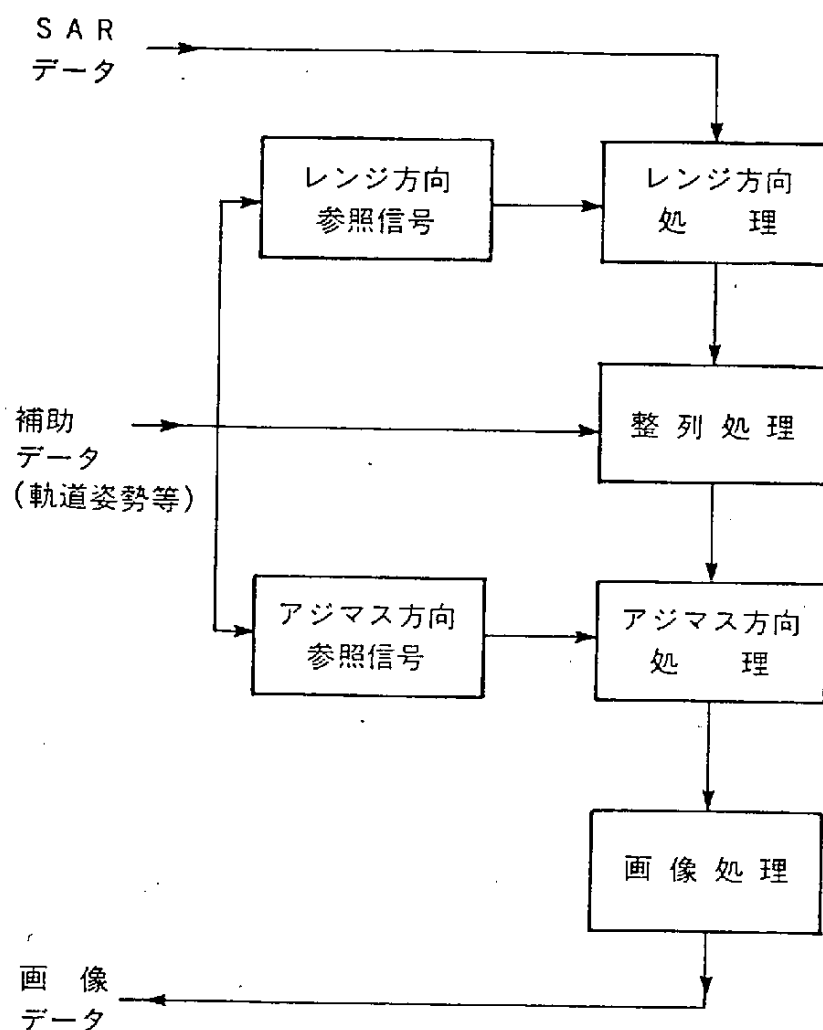


図 2.2 - 3 9 SARにおけるデータ処理〔参考文献(7)〕

デジタル処理方式においては、処理によっては膨大な画像データ进行处理するために、超高速大容量の計算機が必要であることはよく指摘されており〔参考文献(5)〕、現在の汎用大型計算機や専用アレイ・プロセッサでも能力不足であるとの報告がある〔参考文献(8)〕。このような計算機の処理能力の不足にもかかわらず、今後の処理は柔軟性のあるデジタル

処理方式が主流になるという予測もあり〔参考文献(9)〕、ますます複雑で高度なデジタル画像データ処理が要求されるであろう。これに対し、現在の段階ではスーパー・コンピュータへの期待を持つと同時に、処理のアルゴリズムの工夫によってメモリ容量と演算回数の削減に努力が払われている〔参考文献(8)〕。

③ データ解析

データ解析の主な項目としては次のようなものがある〔参考文献(3)、(6)、(11)〕。

- ・特徴抽出：通常のパターン認識における直線，分岐点，屈折点，ある種の特定の形を抽出，画像の中にある、ある種の特徴を際立たせる操作等。
- ・分類：点単位の分類と小領域単位の分類，パターン・クラスの形成とこれを基準とした分類，ベイズの決定法や最尤法による統計的パターン分類，教師のある分類と教師のない分類等。
- ・テクスチャ解析：規則的なテクスチャ・パターンの認識，階層構造の認識とクラス分け等。
- ・対象物の認識：平均的な領域形状と配置関係の認識，対象物の形状と配置の知識を利用した対象物の位置，形，大きさ，個数などの認識等。
- ・画像データの操作：会話型のカラーディスプレイ装置を介しての画像データの表示，合成，分割，拡大，縮小等。

従来、特徴抽出や分類においては理論的に広く研究が行なわれてきたが、実際の適用を考えた場合、理論的に不十分であるのは除くとしても、理論的には充分であっても、パラメータについて、不安定である、多過ぎる、選択が難しい、などで実際の適用ができないこともある〔参考文献(3)〕。

現在、画像解析システムと呼ばれているシステム〔参考文献(5)、(6)〕において、特徴抽出や分類が中心でパラメータの不安定さや欠損などを考慮した処理はできない。従って、現段階では、人間が最終的に判断することを前提に、これを援助するシステムにとどまっている。図 2.2-40 に画像解析システム ERIPS の構成を示す。

画像の中から対象物を認識するには専門家による画像の判読が必要であるが、これをコンピュータで自動的に行なうための研究〔参考文献(11)〕、あるいは、2次元画像の解析から対象物の3次元モデルの構成や物体の運動の認識などに関する研究も、始まっている。

④ データの蓄積と検索

センサを介して得られる画像データは一般に膨大な量と高い複雑度を持つものであり、これを有効に利用するためには、柔軟性のある蓄積と検索が可能な画像データバンクあるいは画像データベースが必要不可欠である。データバンクは画像データを分離して管理

するのに用いられる〔参考文献(11)〕。

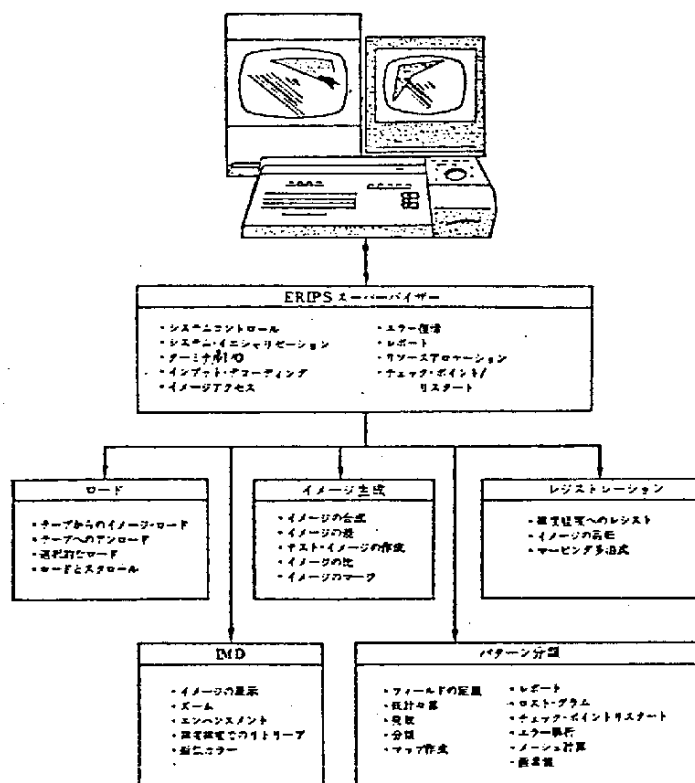


図 2.2-40 画像解析システム ERIPS の構成〔参考文献(5)〕

画像データバンクでは、画像データは磁気ディスクまたは磁気テープに観測日時や観測領域などによって個別に蓄積・管理され、画像データ間の相互参照機能はほとんどない。従って、データの検索も非常に制限されたものとなっている。LANDSATに搭載されたMSSで得られた画像データの集配を行なっている米国のEROSデータセンタのように、広範な領域に関する大量の画像データを管理し、要求に応じて配布はするが画像の解析は行なわないような所ではこのような画像データバンクが用いられている〔参考文献(4)〕。

一方、応用分野のユーザが画像データを相互参照しながら任意に操作する場合には、データバンクでは不十分で画像データベースが必要となる。画像データベースに関する研究は、データ定義言語、データ検索用言語、データ・フォーマット、データ構造モデル、データ操作などについて様々に行なわれている〔参考文献(13), (14), (15), (16), (17)〕。しかしながら、まだ標準が確立されておらず、実用化にはもう少し時間がかかる。画像データベースにおける標準化は、画像データが多くの応用分野のユーザの間で共有される場合が多いために、非常に重要である。画像データベースは単に画像データを蓄積するだけでなく、

各応用分野のユーザによる多様な画像データの検索や操作を可能とする手段を提供すると同時に、不当な操作によるデータの破壊や盗用を防ぐ保護手段も提供しなければならない。この分野についての今後の研究・開発に期待がかけられている。

⑤ 評価と計画

現在のリモート・センシング技術には、対象のモデル化あるいはシステムのモデル化について確立された手法はない。このため、望んでいたものが本当に得られたかどうか、得られたデータに一般性があるかどうかなどについての評価ができない場合が多い。

リモート・センシング・システムは大規模で、その運用における経済的な負担は決して小さくない。従って、システム全体をできるだけ効率よく運用する必要があるが、このためには、システムの各部分を個々にチューニングするのではなく、各部分の相互の有機的なつながりを充分考慮したうえでのチューニングが必要である。しかし、前述のように、評価手法が確立していないために、システムの効率などについての評価ができず、現在のシステムは効率／価格が悪い可能性もある。

また、システムのチューニングといっても大規模なシステムであるので、チューニングするパラメータの数が多く、人手ではとても全てを考慮して行なうことはできず、人手でできる範囲の主なパラメータについてのみチューニングをしている現状である。

リモート・センシング・システムの評価の難しさは、そのまま観測設計〔参考文献(10)〕の難しさにつながる。即ち、応用分野のユーザが何かある目的でリモート・センシング・システムを利用しようとしても、センサ、プラットフォーム、データ処理、データ解析などの最適な組み合わせを選択するのが難しいということになる。

従来より、リモート・センシング技術は、偶然性への依存度が高い、再現性がない、効果に対する見通しが明確でない、などの批判はあるものの、広範な領域を対象とした将来性のある技術ということでこの方面における今後の研究に期待がかけられている。

(2) リモート・センシング・システムの目標

リモート・センシング・システムの将来の発展の一方向を想定して目標を考えてみると、前述のような現状より、次のような項目があげられる。

- ・ 目的に応じて選択可能なデータの収集方法
- ・ センサによって得られたデータの高速で柔軟な処理
- ・ 高度な対話型ディスプレイ装置を介しての全自動的または半自動的なデータ解析
- ・ 大容量で高速なデータの蓄積と検索が可能なデータバンク
- ・ 柔軟性と多様性のある標準化されたデータ操作と検索が可能なデータベース

- ・モデル化を中心とする確立された評価技術
- ・効果の予測できる確立された計画技術

2.2.6.3 実現上の問題点

(1) 問題展開図

図 2.2-41 に、前述したリモート・センシング・システムの将来の目標に対して、これを
実現するために必要な技術を示す。この中で、各種センサ技術と高速大容量計算は、直接 5 G

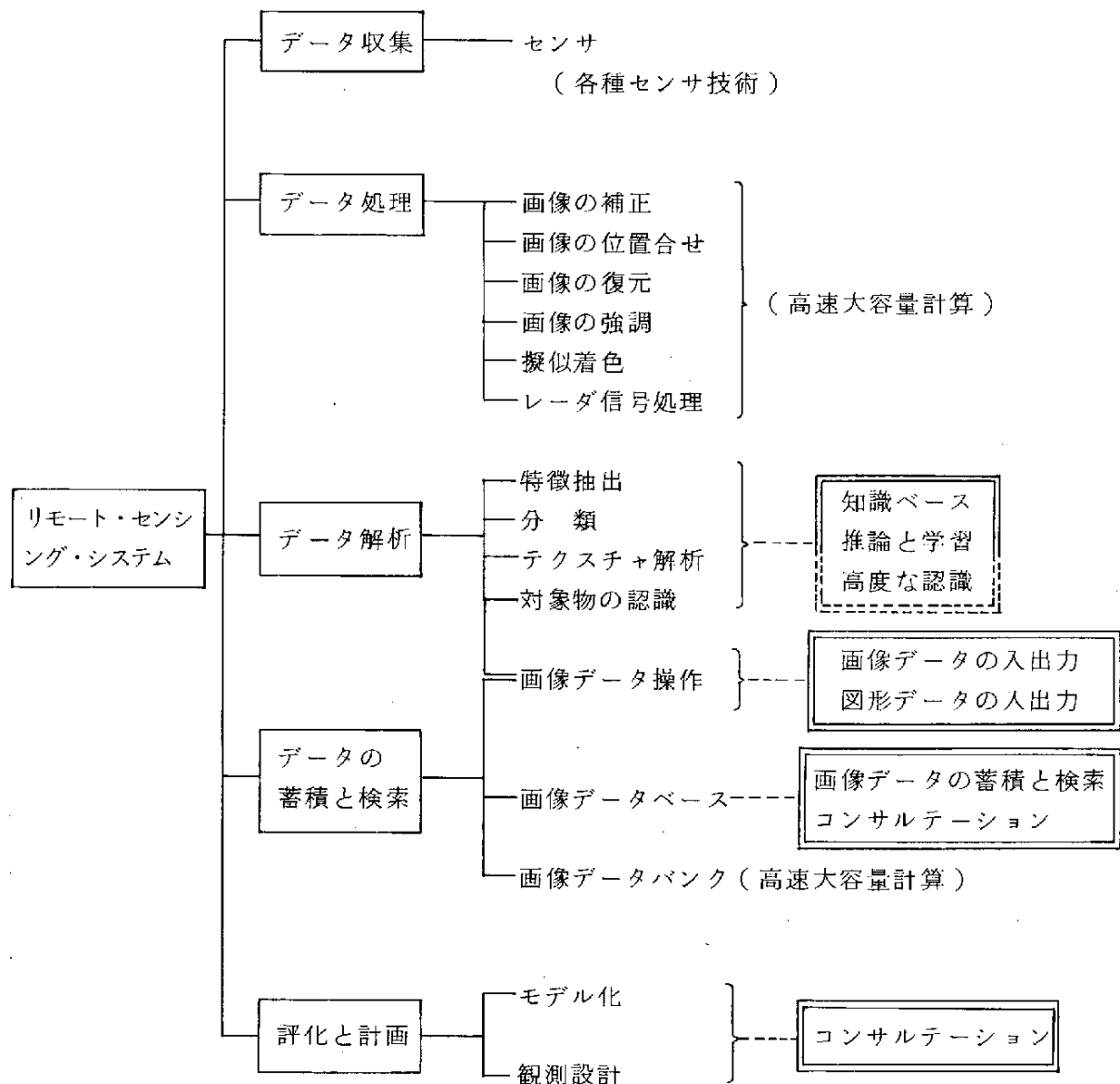


図 2.2-41 リモート・センシング・システムにおける問題展開図

技術には関係なく、それぞれの分野においての今後の発展を期待しなければならない。

(2) 問題点と 5 G 技術との関連

① データ解析

特徴抽出や分類には数多くの手法があり、データ解析に関する専門家では必ずしもない応用分野のユーザに、これらの手法の中から、最も目的に合って効果の期待できる手法を選択させることは無理である。手法の選択が自動的に行なわれ、選択された手法によって処理が行なわれるようになれば、各処理についての手法を熟知していないユーザにもシステムは使用しやすくなり、利用するユーザの増加が期待できる。これを実現するためには、様々な手法についてルール化して知識ベースに格納しておき、ユーザが画像データの解析項目をマクロに指定すれば、これに応じて、推論機能を用いて最も効果の期待できる手法を自動的に見つけ、この手法による処理を行なうような機能、即ち、知識ベースと推論の技術が必要となる。また、このようにして処理された結果が思わしくなければ、このことを知識ベースにフィードバックすることにより、知識ベースに格納されているルールの一部が変更され、手法の選択が以前よりもうまくなるような機能、すなわち、学習機能も必要である。

このような知識ベース、推論、学習の技術は、単に特徴抽出や分類の手法の選択だけでなく、データ解析全体において、応用分野のユーザが個々の処理単位ごとに、手法をいちいち指定しなくとも、マクロな指定をすればシステムが目的に合った手法を自動的に選択して処理を行なうように、用いることができる。アルゴリズム・データベース〔参考文献(9)〕は、前述のようなシステムの原型となる概念であろう。

テクスチャ解析や対象物の認識においては、高度なパターン認識の技術が要求される。これは図形の認識と異なり、背景と対象物の区別、一部しか画像に現われていない対象物や、あるいは、はっきりと画像に現われていない対象物の認識などの 2 次元的な認識、さらには、画像から対象物の 3 次元的な構造の推測・対象物の運動状態の認識など、従来は人間が判読していたもので、これをコンピュータで自動的に判読させるために、パターン認識に知識ベースや推論の機能を組み合わせた「高度な認識」技術が必要である。対象物の位置、形状、大きさなどについて、あらゆる場合を想定してこれに関するデータを作成することは現実的に不可能で、どうしても、ルール化された知識に基づいて推論を繰り返しながらパターン認識を行なうことが必要になってくる。この場合においても、結果に誤りがあれば、ルールを修正してより正確な認識を可能とする学習機能は必要である。

前述のように、データ解析を進めていくにはシステムと人間とのインタフェースに対話

型の高機能なディスプレイ装置が必要である。ユーザがシステムと対話しながらデータ解析を進めていく際には、単なる画像データの表示だけでなく、地図の線を引くように画像に線を引いたり任意の図形を書き込める機能、複数の画像データを重ね合わせる機能、ズーム機能、マルチスクリーン機能、擬似着色機能など画像データの操作に関して柔軟性が要求される。もちろん、これらの操作の指定はできるだけ簡単なものでなければならない。これはまさに知的インタフェース機能である。

② データの蓄積と検索

画像データベースは、先に述べたように画像データバンクと異なり、画像データ間の相互参照機能を持ち、データ解析などに用いる画像データを蓄積するものである。

画像データの検索では、画像データの内容に依存しない非画像的なキーによる検索だけでなく、画像内容に依存する画像的なキーによる検索も可能でなければならない。圧縮画像などの画像的なキーを用いることにより、文字・数値型データを扱うデータベースの検索にはない、画像データベース特有の多様な検索が可能となる〔参考文献18〕。このような検索の指定は、もちろん複雑なものであってはならない。さらに、不当な操作によるデータの破壊や盗用を防ぐ保護手段を備えておくことは、画像データの共有性などを考えると、必要不可欠である。

このような画像データベースの技術は、5 G技術の研究・開発が進む中で確立されていくはずのものである。

画像データベースの操作には、データ解析におけるのと同様、対話型の高機能ディスプレイ装置を中心とした知的インタフェースを用いることになる。

③ 評価と計画

システムの評価の基本となる対象のモデル化やシステムのモデル化においては、システムが大規模であるためにパラメータの数が非常に多く、いくつかのモデルを作成して検証してみることは、人間の力だけでは不可能に近い。これを行なうためにはコンピュータによる処理が必要となるが、その処理も単なる数値計算だけでは不十分で、経験を積むに従ってモデル化がより正確なものになるような処理が必要である。これは知識ベース、推論、学習の技術によって可能となるもので、モデル化に関する知識を積むごとにルール化して蓄積し、新しい経験によって得られたデータで知識を更新し、モデル化のための推論をより正確なものとして行うことができる。

モデル化といってもユーザによって要求するレベルは様々であるので、これに応えるには前述の機能をコンサルテーション・システムにまとめて利用することが有効であろう。また、モデル化だけでなく、リモート・センシング・システムの評価全般に関しても、こ

のようなコンサルテーション・システムが有効であろう。

さらに、このようなコンサルテーション・システムは、リモート・センシングの計画においても役立てることが可能である。蓄積された経験に基づいて、新しくリモート・センシングを計画したときのセンサやプラットフォームの選択、データ処理の手法やデータ解析の手法の選択など、効果的な観測設計に必要な条件をユーザに提示することにより、リモート・センシング・システムの効率的な運用を可能にできるはずである。

2.2.6.4・実現イメージ

先に述べたように、リモート・センシング・システムの発展の一方向を想定した場合について、これまで考察してきたが、ここではその実現イメージを描いた。

(1) データ解析

- はじめは、典型的な処理ならば、ユーザによる簡単な指定だけで手法の選択と処理はシステムが自動的に行ない、適当なチェック・ポイントごとにユーザに処理状況を示すようなものであろうが、最終的には、一部の特殊な処理を除いて大半の処理が自動的に行なえるようになるだろう。このとき、期待した結果が得られない場合には、ユーザはシステムが行なった処理過程を見ることができ、原因の追究とやり直しに関するコンサルテーションを受けることができるようになるだろう。
- 画像の中から特定の対象領域や対象物を認識する処理は、各応用分野に共通するもので比較的簡単なものについて、限られた項目で自動化されることから始まり、徐々に複雑なものの認識の自動化が進んでいくものと思われる。また、2次元的な認識から、対象物の3次元の構造モデルの作成、運動の認識などの3次元の高度な認識も簡単なものから徐々に可能となっていくのであろう。
- システムとの対話は、高機能の対話型大画面カラーディスプレイ装置を中心とした知的インタフェースを介して行なわれるようになり、図形や画像の単なる表示はもちろんのこと、画像の分割や合成、あるいは画像に図形を任意に書き込むことなども、容易な操作で可能となろう。

(2) データの蓄積と検索

- 標準的なフォーマットによるデータの蓄積と検索、および必要に応じたフォーマット変換が可能となり、多くのユーザにデータベースが共有されるようになると思われる。
- 非画像的なキーによる検索の他に、先ず、画像の内容を示す文字・数値による検索が可

能となり、さらに、圧縮画像などの画像的なキーによる検索が可能になっていくであろう。

- 画像データとこれに付属する文字・数値データは、始めは分離して管理されるかもしれないが、やがては一元的に管理されるようになるであろう。
- 多くのユーザに共有されるデータベースにおいては、操作ミスによるデータの破壊や盗用を防ぐための保護手段が提供されるようになり、安心してシステムを利用できるだろう。
- データ操作は、データ解析と同様、知的インタフェースを介して容易に行なえるようになるだろう。

(3) 評価と計画

- 目的・利用条件などに関するデータを入力すれば、最も効果の期待できるリモート・センシング方法を示してくれるようなコンサルテーション・システムができ、各応用分野のユーザに広く利用されるようになるだろう。
- 実際に行なった計測に関するデータや得られた画像データの処理、解析に関するデータを入力すれば、システムの運用や結果の評価を行なってくれるようになるだろう。これをユーザが知ることにより、効率的なシステムの運用や結果の妥当性の判断が容易になるものと思われる。

2.2.6.5 効果

従来、センサを中心とする技術と画像情報処理技術とは分けて論じられてきたが、リモート・センシング・システムにおいてはこれらの技術は、密接に関係しており、利用するユーザの立場からみてもシステム全体の運用についての議論が必要である。さらに、ユーザは運用方法とその効果の関係も知りたいところである。このようなことを満足するためには、様々な技術が必要であろうが、この中で5 G技術が果し得る役割は、これまでに述べた通りである。以下にその効果をまとめる。

5 G技術の提供する知識情報処理技術により、大規模なリモート・センシング・システムを構成する各部分の有機的な関係を持たせることが可能になり、利用がしやすい、目的に応じて計画が立てやすい、また、効率的な運用ができるようなシステムの実現が可能となるだろう。これに伴って、リモート・センシング・システムの応用分野が、これまで以上に拡大することが予想される。このとき〔参考文献(12)〕に示されているような非常に多くの応用分野の専門家は、必ずしもリモート・センシング・システム全体にわたって熟知していなくても、システムの利用ができるはずである。このようなシステムの利用の容易さは、さらに応用分野の拡大、ユーザの拡大を助長するであろう。

多くの応用分野で、リモート・センシング・システムが利用されるようになれば、食料、資源、環境の各問題の解決につながることも十分に予想されることである。

2.2.6.6 参考文献(資料)

- (1) 豊田弘道：リモート・センシングの展望，計測と制御，Vol. 15，No. 7，1976年7月，pp. 562-567.
- (2) 藤村貞夫他：航空機と人工衛星によるリモート・センシングのセンサ・システム，ibid.，1976，pp. 568-580.
- (3) 長尾 真：リモート・センシングにおける画像処理，ibid. 1976，pp. 581-589.
- (4) 藤村貞夫他：リモート・センシング・データバンク管理システム，ibid.，1976，pp. 600-604.
- (5) 飯坂譲二：リモート・センシングの画像解析システム EPIPS と LARSYS，ibid.，1976，pp. 605-611.
- (6) 和達清夫他：リモート・センシング，朝倉書店，1976.
- (7) 番野信義：合成開口レーダ，日本リモート・センシング学会誌，Vol. 1，No. 1，1981年11月，pp. 49-107.
- (8) 小野 誠他：衛星搭載リモート・センサ・データの高速処理，映像情報，Vol. 13，No. 9，1981年5月/6月，pp. 53-55.
- (9) G.W. Spann：Satellite Remote Sensing Markets in the 1980's，Photogrammetric Engineering and Remote Sensing，Vol. 46，No. 1，Jan. 1980，pp. 65-69.
- (10) 豊田弘道他：リモート・センシングにおける画像処理，Ⅰ-Ⅽ，Oplus E，Nos. 10-23，1980年9月-1981年10月.
- (11) 長尾 真：リモート・センシング画像の高次処理に関する研究，昭和53年度科学研究費補助金一般研究(A)研究成果報告書(課題番号：240007)，昭和54年3月，1979.
- (12) R. G. Reeves：Manual of Remote Sensing，American Society of Photogrammetry，1975.
- (13) S. K. Chang et al.：Pictorial Data-Base Systems，Computer，Vol. 14，No. 11，Nov. 1981，pp. 13-21.
- (14) N. S. Chang et al.：Picture Query Languages for Pictorial Data-Base Systems，ibid.，1981，pp. 23-33.
- (15) A. L. Zobrist et al.：Pictorial Information Processing of Landsat Data for

- Geographic Analysis, *ibid.*, 1981, pp. 34-41.
- (16) M. Chock et al.: Manipulating Data Structures in Pictorial Information Systems, *ibid.*, 1981, pp. 43-50.
- (17) G. Nagy et al.: Geographic Data Processing, ACM Computing Surveys, Vol.11, No.2, Jun. 1979, pp. 139-181.
- (18) 尾上守夫他: 画像データベース(総論), 昭和56年電気4学会連合大会講演論文集, 第5分冊, 1981, pp. 96-99.
- (19) 鳥脇純一郎: 画像処理方式のデータベース, *ibid.*, 1981, pp. 116-119.
- (20) 飯坂譲二: スーパーコンピュータと画像解析, 情報処理, Vol. 22, No.12, 1981年12月, pp. 1165-1174.

2.2.7 食料（長期天候予報への応用）

2.2.7.1 選定理由

古代より気象と農業とは密接な関係にあり、長期予報は作物の栽培時期や品種の決定に重要な役割を持っている。特に昨今の世界的規模の異常気象は、食料不足をもたらしており、より適確な長期予報が望まれている。

このように、正確な長期予報を行なうということは、重要なテーマであるが、気象という観点から考えると、長期予報だけが重要なのではなく、すべての気象現象の解明・予測が重要である。我々は、そこに新しい情報処理の成果が、応用できるのではないかと考えた。その理由は、

- ① 天気予報へのコンピュータの応用は、既に第1世代のマシンの頃から行なわれており、今後も一層高性能なコンピュータを必要としていること。
- ② 世界各地の気象台や人工衛星から、多種多量の観測データが送られてくること。（図2-42）
- ③ 長期予報は未だ数値予報のみでは成されておらず、最終的には各種の観測データにもとづいて、予報官の経験と知識にたよることが多い。

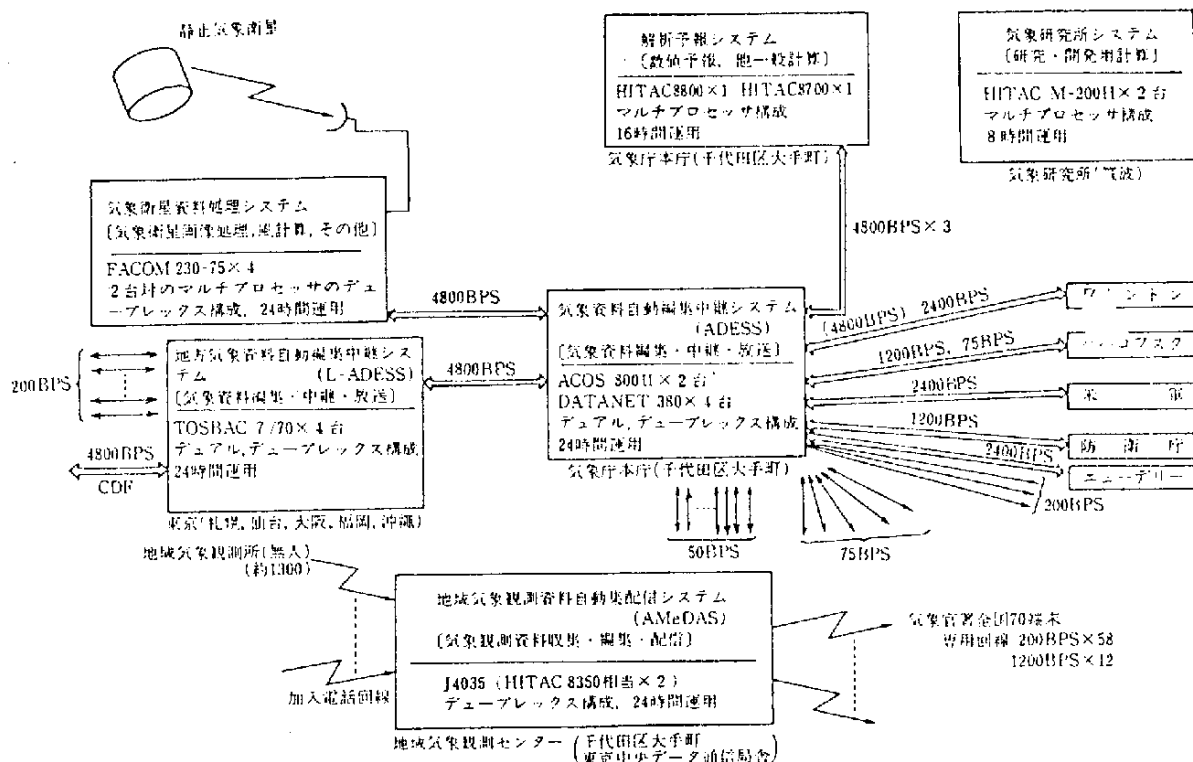


図 2.2 - 4.2 気象庁のコンピュータ・システムの概要

- ④ 数値計算や観測から得られたデータを、予報官が効果的に利用するには、気象システム全体が有機的に結合していなければならない。そのためには、単なる計算だけでなく、記号・図形・文章等処理できる新しいコンピュータが必要であること。

等である。これらのことを考慮し、長期予報にこだわらず、「天気予報への応用」という広い観点で調査することを目標として、本テーマを選定した。

2.2.7.2 概 要

長期天気予報の対象は、1カ月あるいはそれ以上先の予測である。日本の場合、毎月1カ月と3カ月の予報、9月に寒候期予報、3月に暖候期予報が出されている。9月の寒候期予報は、その先10月から翌年の3月まで、3月の暖候期予報は、その先4月から9月までの6カ月予報であり、利用者が最も関心を持っている。1カ年予報に対する社会の要望は非常に強いのであるが、まだその段階にない。

長期の天気予測をするためには、大気の大規模な流れの変動を把握する必要があり、それを説明する理論は、十数年前と比べればかなり進んできているが、まだ未知の部分が多く残されている。1～2日の短期の天気予報は、理論モデルに基づく数値予報が主体となっており、昔のように予報官の職人芸に頼る部分は少なくなり客観性を増し、予報精度は数段よいものとなっている。しかし、現在の長期予報にはそのような強力なバックアップはなく、長期予報官の長年の経験に頼る部分が多く、成績も満足し得るものではない。現在、1カ月の数値天気予報の開発が進められており、また1990年代には数カ月あるいは1カ年の数値予報が開発される可能性は十分あり、期待している状態である。

(1) 現状と問題点

長期予報を出すにあたり、用いられるデータは多種あるが、その主なものは、

① 北半球天気図

地上、500ミリバール（対流圏中層）、100ミリバール、50ミリバール（成層圏）での5日、10日及び1カ月平均の北半球天気図。

② 大規模な流れの場を表現するインデックス

中緯度の偏西風の強弱を示す東西指数、高緯度の寒気の強弱を示す極うず指数、その他多数。

③ 外因的要素

海水温、積雪分布、太陽活動の指数など。

であり、現在用いられている予測手法の主なものは、以下のものである。

① 広域天気図法（総観法）

一連の広域天気図（主として北半球平均天気図）を観察して、大規模な大気の流れの変化の動向を把握する。

② 周期法

種々の気象変数や指数の時系列から卓越する周期あるいはリズムを見出し、時間外挿を行なう。

③ 相関法

過去の資料セットから、タイム・ラグをもって良い相関関係にあるものを見出し予測に使う。その1例を図2.2-43に示す。この関係が持続すれば、1月の海水温の状態から6カ月後の東京の梅雨明けが予測できるわけであるが、上手に行くとは限らない。

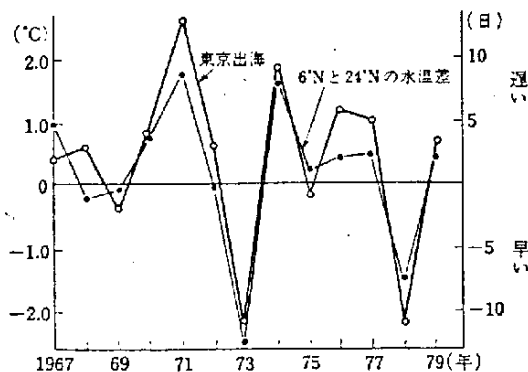


図2.2-43 1月の137°Eに沿う6°Nと24°Nの海水温差と東京7月の梅雨明け

④ 類似法

現時点の平均天気図と類似のものを、過去の天気図から探し出し、その後の変化は同様であると仮定して予測する。

周期法、相関法や類似法は古くから使われている手法であり、現在数十に及ぶ関係あるいはやり方が蓄積されており、現在も用いられているが、その各々の精度は不安定で、十分信頼の置けるものではない。現在は、広域天気図を用いて診断する方法が主体をなしている。

広域天気図の特徴を的確に把握できれば、その後の大規模な大気環流が、どのように変化して行くか、大よその見当がつく。そのためには、できるだけ多くの事例を経験し記憶していることと、その変化の物理的解釈をし得る知識の蓄積が必要である。長期予報官としての長年の経験と研さんがものをいう。また支援資料である②（周期法）、③（相関法）、④（類似法）から得られる何十もの結果の取捨選択も、経験浅い予報官では無理である。そのため、長期予

報は、いまだサイエンスではなくアートであるとの批判を受けている。

(2) 目 標

現状と問題点の所で述べたように、現在の長期予報は予報官の経験や直観に依存する所が多く、専門家の養成が緊急の課題である。しかしそのためには多くの困難な問題点があり、少ない専門家で運用できるシステムを作っておく必要がある。長期予報システムの目標は、

- ① 現在の長期予報をより正確なものにする。
- ② 予報官の専門知識を、エキスパート・システムに入れる。
- ③ 関係ユーザへのサービスを充実する。

であり、研究者とユーザの両者へのインタフェースを持っており、基礎研究から応用までを含んだものである。

2.2.7.3 実現上の問題点

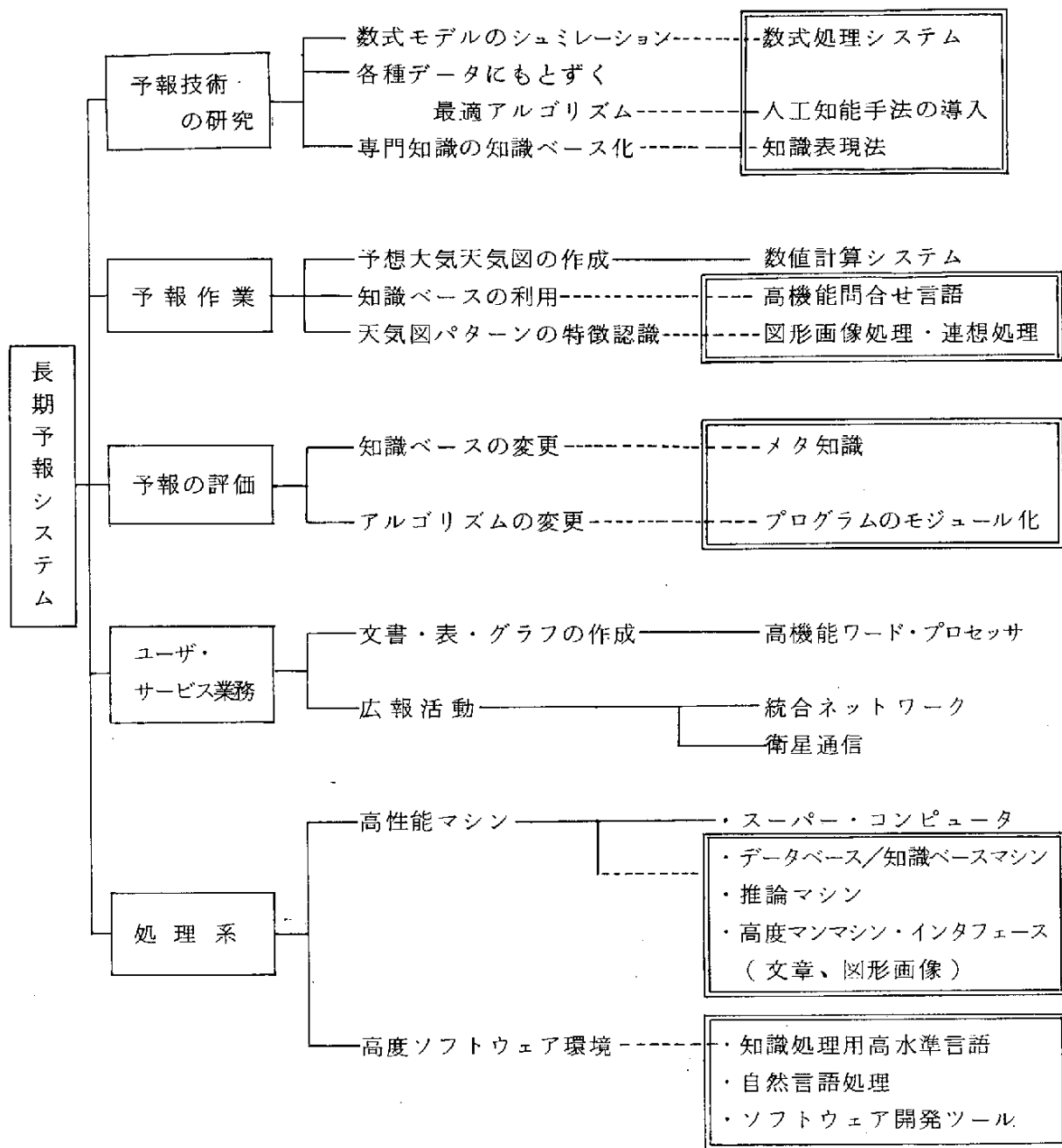
長期予報は、各種観測データや数値予報による大気の予想天気図等を、入力データとして用い、それらの相関関係を確率手法や経験則に基いて行なっている。

図 2.2-44 は長期予報システムの問題展開図であるが、これからも分かるように、長期予報の特徴として、数値計算の比重が小さいということがある。つまり、半年や1年後の予想は、スーパー・コンピュータ等による数値予報が確立している短期予報と異なるものを含み、不確定要素が多いものから各種の組合せを推測して判断するもので、人工知能における問題解決手法に類似した側面を持っている。これは、第5世代コンピュータ・システムの中核機能であり、長期予報システムが第5世代コンピュータ・システム上で実現可能となろう。

もうひとつの特徴は、推論過程で天気図が重要なデータとなることである。この場合の推論とは、論理式の流れではなく人間の持つ連想能力に類似したもので、この図形ベースの連想機能は、第5世代コンピュータ・システムの最終ゴールのひとつである。今後の研究が待たれる。

2.2.7.4 実現時のイメージ

第5世代コンピュータ・システムは、思考し、推理し、判断し学習もするマシンであり、音声・図形・自然言語を理解する知的インタフェース機能を備え、さらに曖昧性や冗長をも理解できるものを指向している。SFの世界では既に百年前から、アンドロイドあるいはロボットとして登場し、進化をとげながら現在は人間を越えたものとなっている。夢のような話が、いよいよ現実になろうとしていることになるが、第5世代コンピュータ・システムが出現した時、長期予報にどう活用できるかを空想してみたい。



注 : 5 G 関連技術

図 2.2 - 4 4 問題展開図

長期予報を出す過程において担当予報官の主観が多く含まれてしまうことを、2.2.7.2の(1)で強調した。第5世代コンピュータ・システムに期待することは多くあるが、先ず主観の入り易い部分、すなわち種々の予測結果を取捨選択してまとめ、最適予報文の原案作成をする作業

を、マシンの思考に任せたい。最初は経験の浅い予報官と同様にその思考は幼稚であろうが、人間の頭脳の到底及ばない予報処理能力を持ち、忘却することのない膨大な記憶を備え、しかも人間よりはるかに速く、正確に判断し思考する。そして、処理するマシンは、間もなく人間を超えたものとなろう。これ等を含めて、長期予報分野での第5世代コンピュータ・システムの役割を夢見たものが、図2.2-45である。但し、現在の長期予報の業務を基盤としているため、発想の飛躍はない。

知識ベースとしては、普遍的に具備すべき一般基本知識ベースとは別に、長期予報専門知識ベースを備える必要がある。その主なものは、

① 数学物理基本知識

気象や長期予報を理解するために必要な数学・物理学の知識。

② 長期予報基礎知識

長期予報の全般的知識及びそれを理解するのに必要な気象の知識。

③ 予測方式ファイル

現在までに開発されたすべての予測方式が含まれる。数式のみでなく文章や図で説明される方式もある。これらは、第1順位、第2順位と待機方式とに分類されている。その目安として、第1順位はかなり良い成績（70点以上）のもの、第2順位はまあまあの成績（55～70点）のもの、待機方式は現在あまり良くなく実際の予測には使わずにプールされているものである。最初は、人間の開発活動により順位づけられるが、その後は、マシンによる評価で変更されるし、人間やマシンの開発活動により新手法が付加される。マシンの厳密な評価によって、すべてが待機方式になってしまう恐れがある。

④ 予報文作成知識

総合された予測結果から最適な予報文を作成する知識。

⑤ 予報評価マニュアル

予報文および個々の予測方式を評価し採点するための指針。

⑥ 予報活用マニュアル

発表された予報を、様々の分野のユーザに利用しやすい最適な表現で提供する指針。

⑦ 異常天候カルテ

異常天候が出現した時の天気図とその特徴および注目すべき事項や予報官の所感を記したカルテのファイル。

⑧ 予報および予測方式成績簿

予報や個々の予測方式の過去の成績を記録したもの。

⑨ 気象資料検索システム

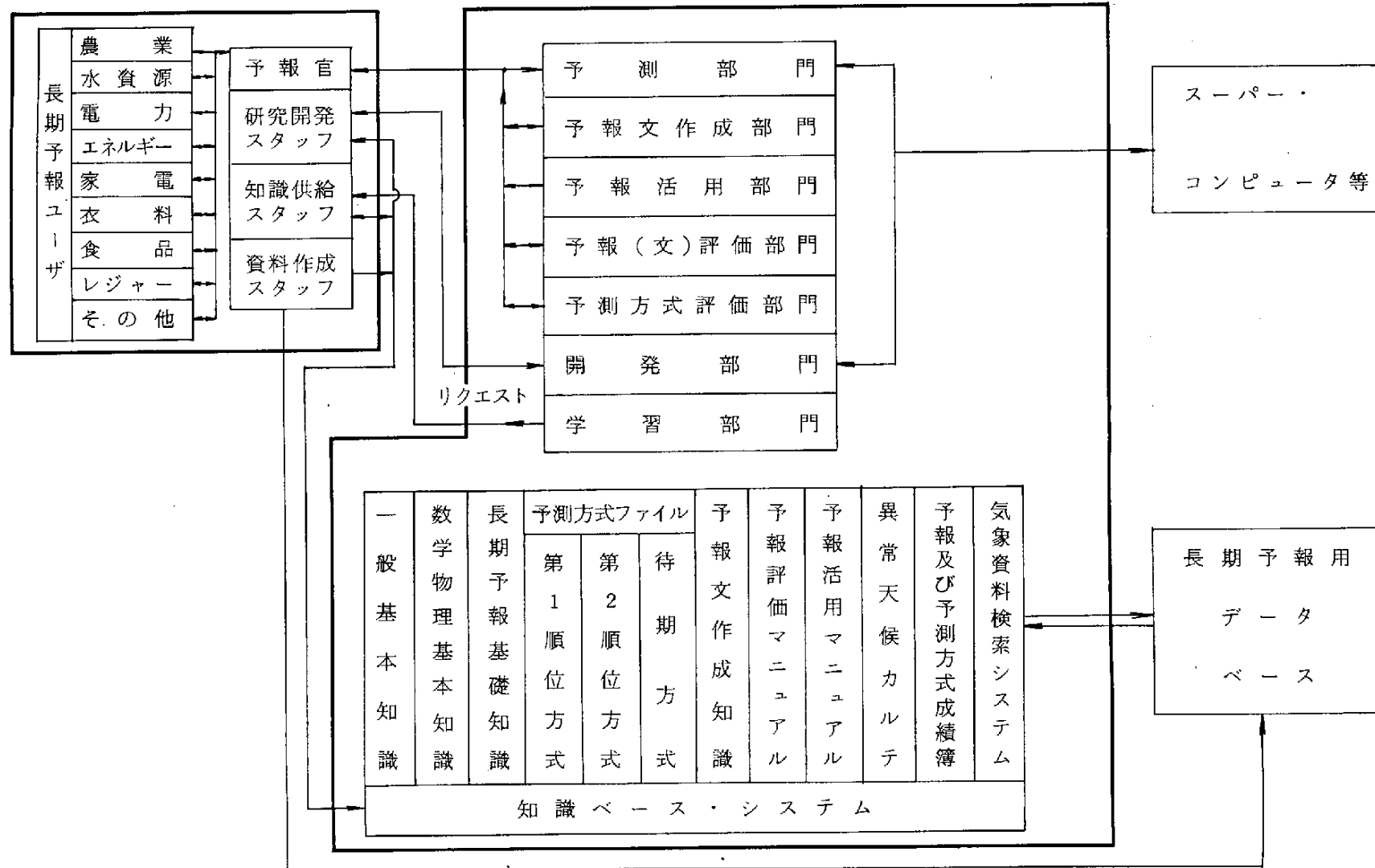


図 2.2-45 将来の長期予報システムの概観

外部に整備された長期予報用データベースより必要な資料をマシンに取り込むシステム。

知識ベースの中にいれるかどうかは、問題がある。

である。以上のような知識ベースが現在整備されていれば、長期予報は、現状においても、より良いものに改善できるであろう。しかし、それはそう簡単に作れるものではなく、知識ベースの確立はマンマシン・ミックスでなされることとなる。

次に、マシンに要望される作業部門としては、以下のようなものが考えられる。

① 予測部門

長期予報用のデータベースから必要な資料を取り出し、予測方式ファイルにあるすべての方式を用いて予測を試みる。第1、第2順位方式から得られた結果に重みを付けながら、予報官とも対応しながら予測を総合する。この際「異常天候カルテ」を、すばやく検索して、類似のものがあるかどうかを調べ、異常天候の可能性を診断することも、重要な任務である。

② 予報文作成部門

上記の総合予測結果に基づき、「予報文作成知識」に従って、最適の予報文を作成し、予報官に提供する。予報官は、それをさらに修正して、一般ユーザに発表する。この作業の段階で予報官とマシンの対話を許すかどうかは、人間心理の問題が内在しており難かしい。マシンが予報官の修正を納得しない場合も起り得る。

③ 予報活動部門

現在、気象庁から発表される長期予報の内容は総論的であり、個々の分野のユーザにとって活用しにくい面がある。現状では、予報官は時間的にみても予報を出すのに精一杯である。個々のユーザのリクエストに応じて、最大限に予報を活用する方法を示す仕事を、マシンに肩代りさせたい。そのためには、きめの細かい「予報活用マニュアル」を知識ベースに与える必要がある。

④ 予報文評価部門

予報期間に実際に現れた天候と予報とを比較し「予報評価マニュアル」に従って、予報文の採点を行ない、予報官に知らせると共に「予報成績簿」に書き加える。

⑤ 予測方式評価部門

各々の予測方式による結果を採点し、「予測方式成績簿」に書き加えると共に、過去10回以上の成績をみて、その成績によって「予測方式ファイル」内での順位を変える。待機方式の中でよいものがあれば、第2順位に移す。なお異常天候が出現した時は、そのカルテを作成し「異常天候カルテ」に挿入する。

⑥ 開発部門

マシンのもつ数学・物理学、長期予報の知識ベースと利用し得るデータベースを十分活

用して、新しい予測方式を開発する。足りない知識があるとマシンが考える時、学習部門を通じて人間系の「知識供給スタッフ」にリクエストされ、その情報を得る。なおマシンの開発部門と人間系の「研究開発スタッフ」との討論と情報交換は、研究開発の上で極めて重要である。人間系はマシンから整理された知識を得ることができるし、マシンは人間系から新知識を与えられる。

⑦ 学習部門

マシンが具備する知識ベースは、人間系によって先ず与えられねばならない。さらに、次々と新しい知識を付加して行く必要がある。しかし、人間の行なう事であるから、その時点々々で完全無欠な知識を付加することは不可能である。マシン自身の学習活動によって、それを補って行くこととなる。

以上のマシンの作業に対応する人間系は、次のようになる。

① 予報官

総合予測のまとめについてマシンと応対し、マシンの作成した予報文を社会状勢を考慮しながら修正し発表する。さらに、個々の分野のユーザのリクエストを整理し、マシンに質問しその解答を得、適当な修正を加えてユーザに提供する。予報官がマシンの主人であるとの意識を持ち得るシステムあるいはルールを確立する必要がある。

② 研究開発スタッフ

予測方式の改善、新しい方式の開発に従事する。この場合、すでに述べた様にマシンの開発部門との討論や知識ベースの活用について配慮すべきである。

③ 知識供給スタッフ

知識ベースに必要と考えられる情報およびマシンの学習部門から要請された知識を提供するスタッフである。いわば、マシンのお守り役である。

④ 資料作成スタッフ

長期予報用資料を作成し、それらをデータベースや知識ベースに付加する仕事を行なう。

以上の他に、マシンの予測部門（膨大な計算を必要とする数値予報方式が含まれる。）と開発部門は、スーパー・コンピュータ等とオンラインで、結んでおく必要があろう。

さて、マシンと人間系とが円滑で効率的な情報交換を行なうためには、マシンが文字や図形を記憶し、文章を理解し、そのエッセンスを抽出し、自己の知識ベースに蓄える能力が無くてはならぬ。英語や日本語の書籍あるいは論文を読む能力を要求される。マシンが思考し推論し判断する能力は、当然備えているものと考えよう。このような条件が満たされるならば、人間系とマシン学習部門との応対により、マシンの知識ベースはまたたく間に個々の人間の専門知識を超えたものとなり、時を経ずして最高の専門知識を具備することになるだろう。学習部門との

応対において、人間は時には家庭教師でもあるし、時にはリクエストされた問題に適した本あるいは文献を探し出してマシンに与える小間使でもある。

現在、日本の気象庁の場合、20名近くの職員が長期予報の業務に従事しているが、予報を出す準備に追われ、落ち着いて考える時間が十分でないと言われる。マシンがその大部分を肩代りすることによって、人間系はより創造的な仕事に専念することができる。

2.2.7.5 効 果

日本における長期予報は、明治時代東北地方を頻々と襲った冷夏にともなう凶作を、少しでも防ごうとの目的で研究が進められたことでも分かるように、長期予報に最もかかわりの深いものは農業である。農林水産省は長期予報に基いて、稲作・野菜・果樹栽培についての技術指導の要綱を各県に通知し、各県はそれに県毎の事情を加味して農家に知らせている。例えば、3月10日発表の暖候期予報で、冷夏の恐れありと出されれば、東北地方では冷害に強い品種の米の割合を増やすように指導が行なわれる。

農業以外の広い分野にわたり、長期予報利用の潜在的ポテンシャルは高い。その精度がよくなれば、種々の分野に積極的に活用され、その利用価値は高いものになるだろう。考えられる利用分野を列举してみる。

- 水資源管理

冬期間の積雪の多少、春から夏にかけての降雨量の多少の長期予報が重要である。積雪地帯ではその冬の積雪が多ければ、5月頃までは雪融け水で十分かんがい用水はまかなえるが、もし冬の積雪が少く春の降水量が非常に少ないと予報が出されれば、4月頃からかんがい用水の調整について考える必要がある。また空梅雨になり暑夏少雨の傾向があると予報が出された時は、ダムの貯水量をにらみつつ、5、6月頃から節水の配慮をする必要を生ずる。

- エネルギー

夏と冬の寒暖によってエネルギー消費は敏感に変動する。夏の気温は電力消費に強い影響を与える。例えば、東京電力の場合、気温が1℃上昇すると90万kWも消費量がふえる。暑夏の予報が出された場合は、それに対処するため、例年より石油備蓄を増やすこと及び水力ダムの水量管理に、より留意することになる。冬の寒暖は灯油の消費に敏感である。

- 商 品

夏や冬を主体とした季節商品は、その寒暖に売れ行きが強く左右される。半年前から製造にとりかかるものが多いので、精度のよい6カ月あるいは1カ年の長期予報への期待は強い。冬物商品としては、冬物衣料・暖房器具・スキー用具など、夏物商品としてはエア

コン・扇風機・水着・清涼飲料などで、寒暖の差によって、多量に在庫を残したり、品切れになったりする。

- レジャー産業

冷夏であれば、海水浴場や山小屋は開店休業、暖冬で雪が降らなければスキー場は開けない。精度のよい長期予報を利用すれば、対応策をたてることができ、損害を軽減し得るのである。

2.2.7.6 参考文献(資料)

- (1) 片山 昭：大気大循環の数値実験と気候変動の研究，第8回夏季大学「新しい気象学」教室，気候変動特集，日本気象学会，1974.
- (2) 片山 昭：気象の分野への応用，情報処理 特集：スーパーコンピュータの応用，Vol. 22，No. 12，1981.
- (3) 朝倉 正：長期予報，気候と人間シリーズ，第2巻，朝倉書店，1980.
- (4) 片山 昭・朝倉 正：長期予報あれこれ — その悩みと希望 — ， "気象" 23・10，1979.
- (5) 大平 昭：商戦略としての天候 — 長期予報待望論 — "気象" 23・10，1979.
- (6) 日本情報処理開発協会：気象庁 — 気象研究所調査資料，1981.

2.2.8 国際化（技術文書自動翻訳システム）

2.2.8.1 選択理由

機械装置類の高度化と多様化に伴い、輸出や輸入に必要とされる説明資料類、技術文書類、法律・契約文書類などの実務的文書の翻訳は年々増大し、毎年、多額の費用が翻訳のために使われていると推定される。特に昨今のエネルギー価格、資源価格の高騰、輸出市場の不況という制約下で国際経済を活発にするには、新しい技術開発が必要であり、工業製品についても、信頼性の向上とともに、より多様化する技術的ニーズに対処するため国際協力が不可欠とされ、より速く、より正確な翻訳による技術文書の流通が望まれる。

一方、社会の急速な国際化に伴い、国際間にわたる各種の情報を迅速に収集分析し、我が国の立場を速やかに世界に周知させ、資源や貿易摩擦等にみられる国際的問題の解決を図ることは、貿易国日本にとって今後の大きな課題となっている。そのためには、外国語学習、本格的な翻訳者養成機関の設立、翻訳に関する科学的・実際的研究機関の設立などの課題と並行して自動翻訳システムの開発を進める必要がある。

翻訳対象分野の中でも、科学技術文献、工業製品マニュアル等は、エレクトロニクス、機械工業、化学工業等、既存技術の高度化、および、ライフ・サイエンス、エネルギー関連技術等は長いリードタイムを要する未踏革新技术への挑戦などによって技術立国を図ろうとする我が国にとって、非常に翻訳ニーズの高い分野とされ、自動翻訳システムの果たす役割は、特に大きいものと思われる。

このような国際化の進展による技術文書自動翻訳システムの要請は、日本語、英語間のもののみにとどまらず、独・仏・アラビア・中国などの諸言語を扱えるものにまで拡大している。日本語はいわゆる孤立言語であるため、各種の外国語を自由に扱える日本人が少なく、また、日本語で書かれた技術文書を正確に解釈する外国人も非常に限られているため、このシステムの実現は国家的なニーズでもあり、技術面における国際協調という立場からも我が国が推進するにふさわしい技術開発項目と考えられる。このような観点から、技術文書自動翻訳システムを調査テーマとして選んだ。

2.2.8.2 概 要

技術文書自動翻訳システムは、これまでの翻訳システムの研究、用語集作成等に見られるドクメンテーション技術の研究、知識利用に関する人工知能研究などの成果を総合し、今後増大し続ける技術文書の多国語間翻訳を行なう本格的な自動翻訳システムを目指すものである。

(1) 現 状

我が国では、柔軟な文法構造および意味解釈モデルを用いたシステムが研究されているが、

海外においても、カナダのTAUMプロジェクトやフランスのGETAプロジェクトなど自動翻訳システムの研究、開発プロジェクトが精力的に進められており、SYSTRANのように実用化されているものもある。また、ECでは、超国家的プロジェクトとしてEUROTRA計画がとり上げられ、本格的な実用化を目指して大規模な研究が進められつつある。このように自動翻訳システムは、各国で実用化または開発に着手されているものの、翻訳のアルゴリズムは非常に複雑で問題点が多い。翻訳の方式としては、入力文の構文解析、意味解析、中間言語、出力文の合成が重要とされる。また、専門用語データベースの構築、整備、および人間の介在も重要な要素であり、以下に、それぞれの項目ごとに問題点を述べる。

① 翻訳の方式

a. 入力文の構文解析

文法知識を用いて文章内の主語、述語等、あるいは修飾語のかかり具合等を調べ、文章構造を決定するものである。この解析は自然言語処理にとって重要な位置を占めるが、適格文と非適格文の区別、曖昧さ、辞書にない語、省略語、指示詞などの処理において解決すべき問題が残っている。

b. 意味解析

構文解析の結果、多くの可能な構造が存在するために、単語の意味や文脈情報によって文章構造を決定するものである。対象とする意味ネットワーク・フレーム・スクリプトを作ることが要求される。

c. 中間言語

多国語間翻訳を実現するために入力文の解析結果を表示するための中間言語では、意味の他に主語、述語の関係、語順の情報など、構文についての情報をも記述可能な知識表現が中心となる。しかし、具体的な中間言語はまだ確立されていないため、研究が進められつつある。

d. 出力文の合成

目的言語文が内部表現へ変換された後、意味的整合を取りながら目的言語文の構造を決定するが、ここで原文の構造の反映としての目的文合成のし方や読み易さを追及しなければならない。日本語と西欧諸語との間の翻訳では、文の読み易さ、スタイルについての研究が、まだ、ほとんどなされていない。

② 専門用語データベースの構築、整備

テキストに含まれる用語、用法等についての網羅的な専門用語データベースが必要である。翻訳上の最大の問題は、原文中に現れる専門用語をどう訳すかという問題で、翻訳作

業に要する時間の約半分は、専門用語の訳語を探すのに費やされているという報告もある。このため、専門分野ごとに用語、用法等をデータベースで管理・活用する必要がある。特に専門用語は時々刻々、新語が追加されるので、データの更新が重要な要素となる。

③ 人間の介在

翻訳結果は100%でなくても実用システムとして使えるが、その場合、人間がどのレベルでどの程度、援助する翻訳システムとなるかが一番のキー・ポイントとなる。また、前処理や、対話形式による修正、選択等の後処理では、最適な翻訳結果を導くために、いかに効率よく処理するかの問題がある。

(2) 目 標

調査テーマとして採り上げた技術文書自動翻訳システムは、マニュアル、科学技術分野の技術報告書など一般のテキストに比べて専門用語の占める比率が高く、用語の概念規定が明確な技術文書を対象とする。このシステムは翻訳の前、および翻訳の結果に、その分野の専門家が適宜介入し、完全な翻訳テキストを作成することを前提にするが、翻訳、修正、編集、翻訳結果の印刷までの各工程でコンピュータが積極的に関与する総合システムの開発を目指す。目標として要求されるものを以下に列挙する。

- ① 翻訳専門家の介入をできる限り少なくするため、大規模な専門用語データベースを実現する。
- ② 中間言語の採用によって多国語間の翻訳を行なう。
- ③ 日本語文の中に英文が混在するようなミックス・モードの翻訳や、一部を原文のまま残すような翻訳対象文については、その箇所を指定する前処理を行なう。
- ④ 翻訳結果の修正、編集、印刷用原版の作成が容易にできる文書編集機能を備えた翻訳用高機能端末装置を備える。出力文は、印刷用原版の他、磁気ディスク、磁気テープなど多様な出力媒体ニーズに対応できるようにする。将来、これらの媒体によれば種々の分野において膨大な技術文書を蓄積・流通することが可能となろう（図2.2-4.6参照）。
- ⑤ 目標とする使用語彙数、精度等としては、次の水準が望まれる。

〔実用初期〕

使用語彙数：約10万語

精 度：90%の精度で翻訳し、人間の介在は残り10%程度の処理とする。

コ ス ト：人間が翻訳した場合に比べ、できる限り安いことが望まれる。

〔最終段階〕

使用語彙数：実用初期の2～3倍

精 度：92～93%の水準が望ましい。

最終段階においては、設置のし易さ、使い易さの向上をはかる他、コストもさらに低下することが予想されるため、中小企業でも利用可能となる。

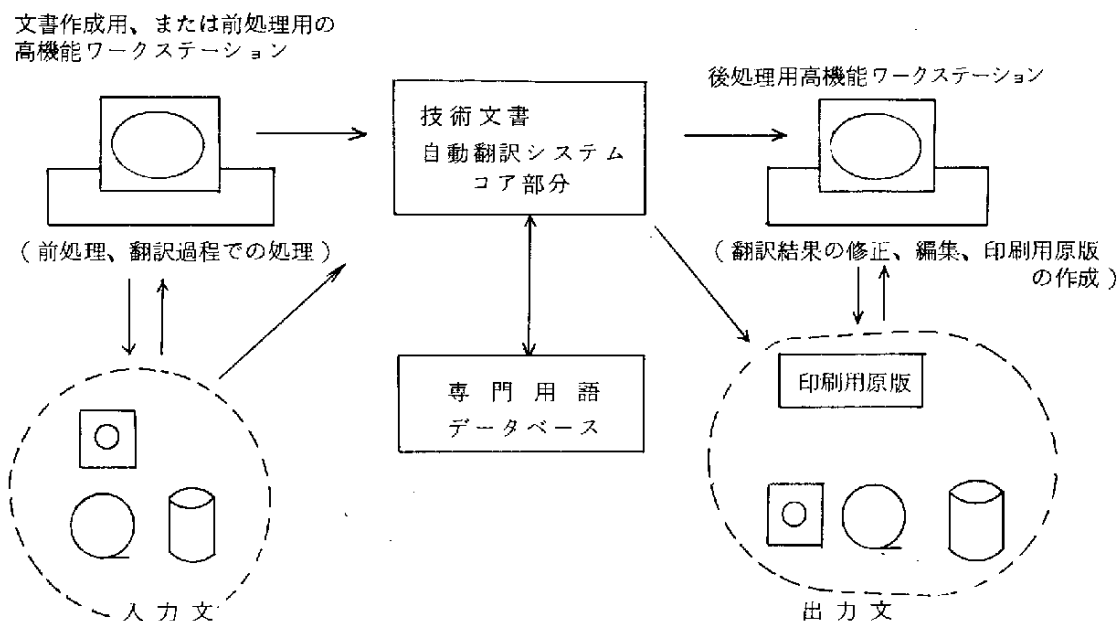


図 2.2-46 技術文書自動翻訳システムの処理の流れ

2.2.8.3 実現上の問題点

技術文書自動翻訳システムの実現を妨げている各種の問題点の中でも、特に重要と考えられる部分について、一般論としての展開を試みる。なお、技術的問題点の詳細は、機械翻訳システムに関する論文あるいは報告が多数あるので、そちらの方を参照されたい。その一部を参考文献に示す。

(1) 翻訳の方式

翻訳の方式は、現在、各種の方式が提案されているが、多国語間で翻訳を行なうには、中間言語を使用するのが有利だと言われている。ヨーロッパ共同体（EC）が進めている EUROTRA 計画でも、中間言語を使用するようである。技術文書自動翻訳システムも、中間言語を使用することになるだろう。

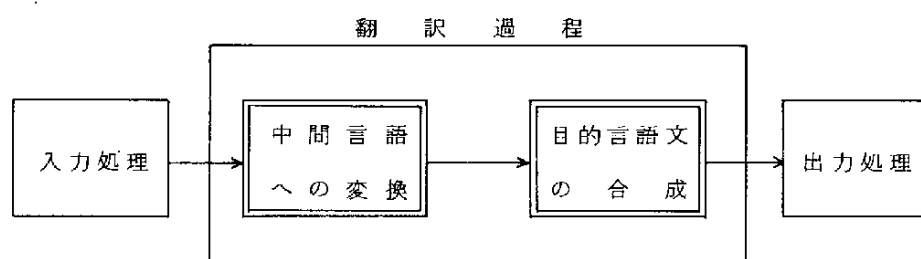


図 2.2-47 翻訳の方式

(2) 問題展開図

図 2.2-47 の方式における翻訳での主要な問題点は、中間言語への変換と目的言語文の合成である。入出力処理でも大きな問題点があるが、それらは、文書処理システム共通の問題と考えられる。ここでは、これら文書処理システムの発展を期待して（例えば、高機能ワード・プロセッサの出現等）、入出力処理は検討対象から除いた。

変換過程における主な留意点を、まとめたものが図 2.2-48 である。

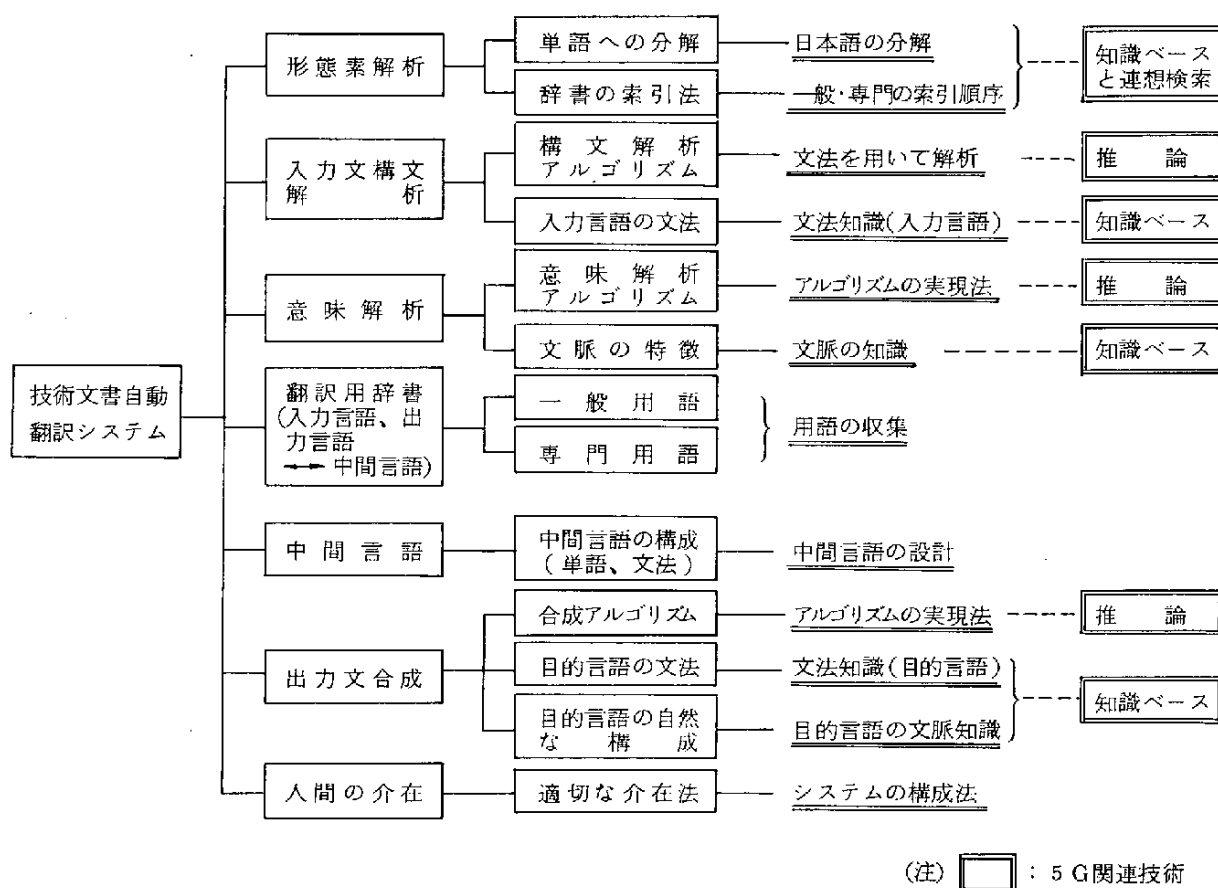


図 2.2-48 問題展開図

(3) 問題点の説明

① 形態素解析

英語・仏語・独語等アルファベットを使用する言語では、通常、単語に区切って書かれるので問題が少ない。一方、日本語・中国語では単語に区切って書く習慣がないので、この段階で単語に区切る必要がある。この時、漢字は、大きな役割をもっている。日本語の場合、すべてカナで書かれていたら、辞書を用いて単語に分解するのは困難である。

この部分は入力とも関係があり、将来予想される高機能ワード・プロセッサを使用するようになれば、既に単語に分解されたものを、技術文書自動翻訳システムの入力にすることも考えられる。1990年代にはこれが可能となり、問題点は解決されるだろう。

形態素解析では単語への分解の他に、翻訳用辞書を検索して、構文解析および意味解析の準備をする。辞書は一種のデータ・ベースであるが、翻訳という特殊性を考慮した場合、知識ベース化するのが有利であると思われる。第5世代コンピュータ・システムの知識ベースでは連想検索という機能もあり、辞書検索の高度化に役立ちそうである。

② 構文解析及び意味解析

文章には、一般的に曖昧性がある。技術文書はできるだけ曖昧にならないように記述するのが普通だが、それでも、曖昧な部分が残る。従って、構文解析だけでなく意味解析も行なわないと、中間言語に変換できない。

これらの解析では文法あるいは文脈の知識を使用して、入力文の構文あるいは文脈を判断して行く。この「判断」は数学的に厳密なものではなく、かなり柔軟なもので、むしろ類似性を追求するものである。さらに、意味を最終決定するためには、構文や文脈を総合判断しなければならない。

このような処理は、在来型コンピュータあるいはプログラミング言語では、もっとも不得手な部分である。そのため最近の機械翻訳システムでは、LISP(関数型言語)を使うことが多い。推論機構や知識ベースを備えた第5世代コンピュータ・システムは、このような処理に向いている。

③ 目的言語文合成

このプロセスでは、読み易い文章を出力するという問題がある。詳細は省略するが、ここでも「総合判断」が必要で、前述②と同様に、第5世代コンピュータ・システムの保持している機能が解決に役立ちそうである。

④ その他

その他の問題として、「専門用語の収集」「翻訳用辞書の整備」「文法の整備」「文脈の研究」等があるが、これらは言語研究の進展を待つ部分が少なくない。かつての言語研

究は、機械翻訳のために成されてきたのではなかった。そのようなニーズがなかったからである。現在では、機械翻訳のための言語研究も活発になってきているので、1990年代に十分に進展していることが期待できる。

(4) 第5世代コンピュータ・プロジェクトの基本応用システムとの関係

第5世代コンピュータ・プロジェクトでは基本応用システムとして、機械翻訳システムを開発項目に取りあげている。この成果を基礎技術として取り入れ、当技術文書自動翻訳システムを実現するのは大変効果的方法である。なぜなら基本応用システムの機械翻訳システムの仕様と、当技術文書自動翻訳システムの仕様が、大変よく似ているからである。

基本応用システムの成果は、1990年までに発表され、技術文書自動翻訳システムを、研究の段階から実用の段階に、大きく変えてくれるだろう。なお、基本応用システムの機械翻訳システムの開発計画は、昭和57年度中には確定し、発表される予定である。

2.2.8.4 実現時のイメージ

実用初期としての技術文書自動翻訳システムでは、大企業向けの高機能な翻訳システムが想定される。また、最終段階では、筐体も小型化し、価格もより安く、使い易さの向上も図られるため、大企業の主要拠点の他、中小企業への導入が可能となろう。第5世代コンピュータ・プロジェクトでの基本応用システムを基礎としたシステム・イメージでは、2.2.8.2(概要)で述べた諸性能を実現するとともに、文章の編集、翻訳結果の印刷までの各工程で、コンピュータが積極的に関与する総合システムを実現するに違いない。次にシステムの特徴について概説する。

① システム構成

文書作成用、または前処理用のワークステーションと、後処理用のワークステーションの両機能を兼ね備えた翻訳用高機能ワークステーションがオフィスの卓上に置かれる。これは磁気ディスク(またはフロッピー・ディスク)、磁気テープ等との入出力の他に印刷用原版作成装置への出力が可能なこと、各種専門用語データベースをもつ自動翻訳システムのコア部分と直結することによって一貫した翻訳処理が実現できよう。

(図2.2-4.9参照)

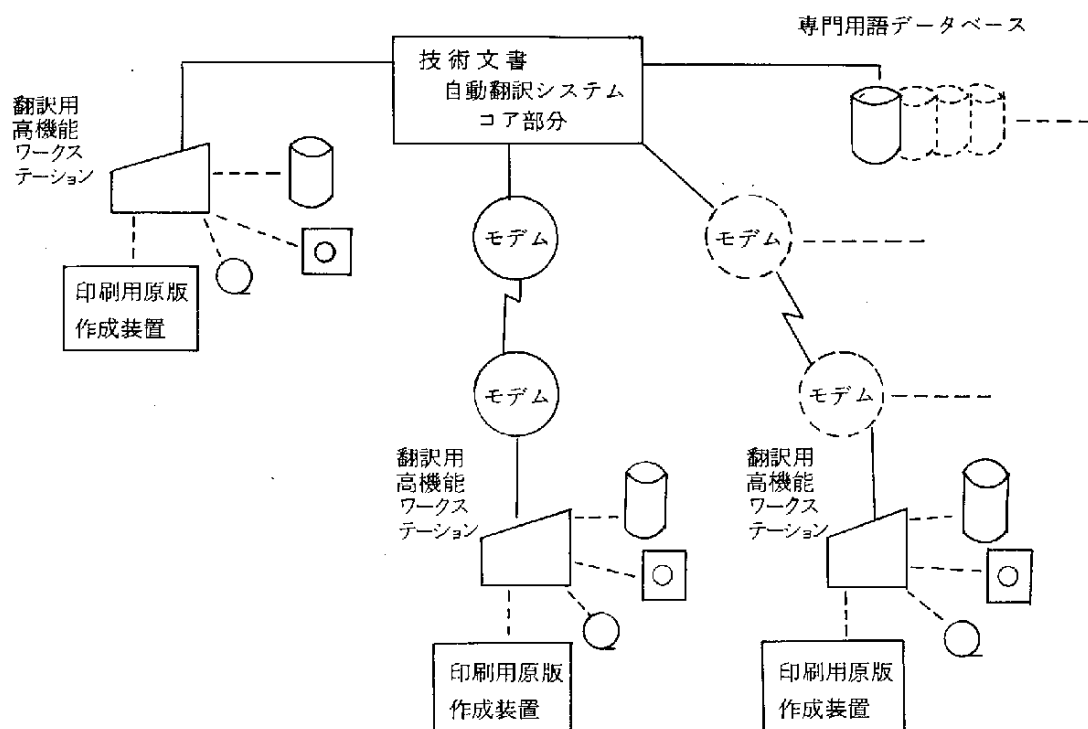


図 2.2-49 技術文書自動翻訳システムのシステム構成

② システムの利用形態、規模

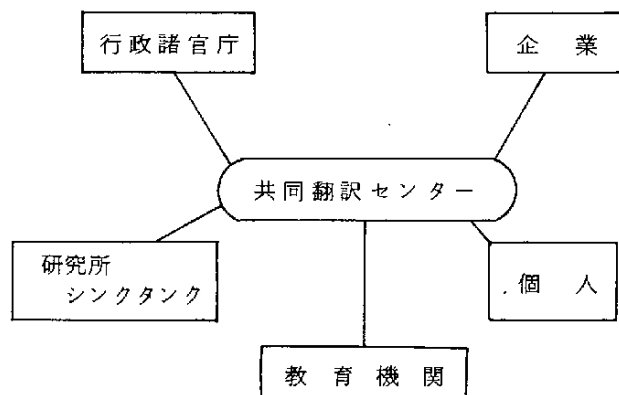
〔実用初期〕

今、オフィスで早急に翻訳したい技術文書が発生したと仮定しよう。その文書はフロッピーディスクに収められているとする。そこで翻訳用ワークステーションの前に座った利用者は、先ず、その文章をディスプレイにページ毎に表示し前処理を行ってから翻訳システムにかける。途中での修正は行なわない方針なので、同じワークステーションでの後処理をいかにうまく行なうかにかかっている。しかし、実用初期でも90%の精度なので、文章全体の流れはほぼ完全に解釈できる。後処理も簡単に済むので、この段階でも大変実用的なシステムといえる。

〔最終段階〕

筐体がより小さくなり、翻訳システムのコア部分をこれまでのように別室に置くまでもなくなった。通路伝いの壁に沿って置かれ、上が書棚となっているためか特に目障りでもなく、オフィスでの評判もよい。ワークステーションは、この室の他に、全国主要拠点の営業所、都内の子会社に合計数台ある。システムのコア部分を共同利用する形態は各拠点での翻訳ニーズに即座に対応できるし、コストも割安という利点がある。

ある。また、データベースの更新面においても本社の一元的な管理体制に基づいて実施されるので、利用者は安心して翻訳システムを利用することができる。このような共同利用形態は、将来、公共的な「共同情報センター」の実現につながるが、その場合の利用形態は、図 2.2 - 5 0 のようになるだろう。



- 利用の仕方 (1) オンラインによるバッチ処理
(2) 磁気ディスク、テープ等メディアの持込

図 2.2 - 5 0 共同利用の形態

③ 翻訳対象言語

〔実用初期〕

日・英語の他に、仏・独・伊・スペイン語のうちから 1 言語程度の相互翻訳ができるようになるだろう。

〔最終段階〕

世界の主要言語間の相互翻訳が可能となるであろう。

④ 使用方法

使用手順の一例を掲げる。

- a. 翻訳対象文を磁気ディスク、テープ等に入力する（技術レベルによっては、音声、OCRによる入力を用いる）。
- b. 前処理（フォーマット、名詞連続の区切り、原語のまま残す箇所等の指定が考えられる）を行なう。
- c. 翻訳を開始する。
- d. 後処理（タッチ・センシブル・ディスプレイ、音声入力装置の利用等により、操作手順を簡単にする）を行なう。

e. 印刷用原版を作成するか、磁気ディスク、磁気テープ等に出力する。

2.2.8.5 効 果

「国際化」という分野における第5世代コンピュータ・システムの効果は、おおむね次のようになる。

(1) 技術文書自動翻訳システムの実現

2.2.8.4で述べたイメージの技術文書自動翻訳システムの実現に、第5世代コンピュータ・システム及びその関連技術は2.2.8.3で述べたように、大きな貢献をする。

(2) 技術文書自動翻訳システムの効果

人間の介入を必要とするシステムである以上完全自動ではないが、技術文書を翻訳する過程で、以下のような効果が期待できる。

① 素稿（下訳）としての利用

現在、人手による翻訳は次のように行なっていることが多い。すなわち、④原文を翻訳する（素稿）、⑥翻訳文をチェックする。⑥については、語学に堪能な専門家が行なうことが、多いようである。技術文書自動翻訳システムは、④を、自動化するのが可能である。

② 翻訳のスピードアップと低コスト化

前記①から、翻訳のスピードアップが期待できる。また、翻訳の低コスト化も期待できる。これについて、第5世代コンピュータ・プロジェクトの中期以後の開発項目である「基本応用システム—機械翻訳システム」では、人手の場合の40%以内のコストを目標にしている。

③ 完全自動システムとしての利用

正式な訳本として出版するための翻訳では、人間が介入して正確を帰する必要があるが、大意を知るための訳文（個人的利用では多いと考えられる）であれば、自動翻訳後の文章をそのまま利用することも可能である。この場合、翻訳文の細かい部分ではエラーの存在が当然予想されるが、それでも十分目的を達することができよう。日本では、英語・仏語・独語は、ともかく、中国語・アラビア語を理解する人は少ないので、この効果は大きい。

2.2.8.6 参考文献（資料）

- (1) 情報処理システムに関する新技術調査 — 海外における機械翻訳と関連技術の動向 — ,
昭和55年3月, 日本電子工業振興協会, 1980.
- (2) 第5世代の電子計算機に関する調査研究報告書 — 社会環境条件研究分科会 — ,
昭和55年3月, 日本情報処理開発協会, 1979.

- (3) 長尾真：翻訳におけるコンピュータ，昭和56年11月，ビジネス・コミュニケーション，
Vol. 18, No. 11, 1981.
- (4) 80年代通商産業政策研究会報告，昭和54年9月，通商産業政策調査会，1979.
- (5) 第5世代の電子計算機に関する調査研究報告書 — 言語の機械翻訳とその関連技術 —，
昭和55年3月，日本情報処理開発協会，1980.
- (6) 第5世代の電子計算機に関する調査研究報告書 — 自然言語処理 —，昭和55年3月，
日本情報処理開発協会，1980.
- (7) 80年の情報化および情報産業 — 豊かなる情報化社会への道標 —，昭和56年8月15日，
通商産業省・機械情報産業局編，コンピュータ・エイジ社刊，1981.
- (8) 第5世代のコンピュータ — システム化技術研究分科会報告書 — 昭和56年3月，日本
情報処理開発協会，1981.
- (9) 第5世代のコンピュータ — 基礎理論研究分科会報告書 —，昭和56年3月，日本情報
処理開発協会，1981.
- (10) 第5世代のコンピュータ — 研究開発課題提案書 —，昭和56年3月，日本情報処理開
発協会，1981.
- (11) CARBONELL: Steps Toward Knowledge-Based Machine Translation, July
1981, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine intelligence,
Vol. PAMI-3, No. 4, 1981.
- (12) 長尾真: A Machine Translation System from Japanese into English, Proc. of
8th ICCL, 1980.
- (13) Discussion about Software Tools for MT and NL Processing, 情報処理学会，
CL研究会，18-2, 1979.

2.2.9 産業（知能ロボットへの応用）

2.2.9.1 選択理由

我が国の産業用ロボットは、導入初期に高度経済成長時代にあり、労働力不足を解消する有力な手段として積極的に導入され、現在では、ロボット製造企業数においても、普及台数においても世界の先導的な地位に立っている。工業生産工程は、NC 工作機械、ロボットなどで機械化が順次進められてきた。今後は、残された部門の機械化に知能ロボットが期待されている。この効果としては、生産性向上の他、労働災害、職業病の防止にも役立つであろう。また、その他の応用としては、海洋・宇宙開発、原子炉等への応用が期待されている。深海での海底調査（地形、地質など）、宇宙での探索・調査、原子炉の点検・保守・修理など、人間が作業しにくい環境、危険な環境下で、知能ロボットの活躍が期待されている。さらに、知能ロボットは社会の高齢化への対応、福祉の増大などを通じて、社会にますます寄与することが予想される。

しかし、複雑な環境に対応して行動するロボットを実現することは、種々の技術上のネックがあり、実現困難といわれている。5 G 技術がその解決に役立てば、効果も大きい。このような理由で、選定した。

2.2.9.2 概要

知能ロボットに対する産業用ロボット業界での定義は必ずしも確立されていないが、概ね現在の産業用ロボットに外部から情報を取り入れるセンサーを付け、そのセンサーより得た情報を、動作にフィードバックさせるもの全般を指すようである。

調査テーマとした知能ロボットは、簡単な操作のみで自ら高度の判断処理を行ないながら、複雑な作業が実行できるロボットを指す。この意味で、産業界でいう知能ロボットに比べ、かなり高度のロボットとなるが、以下では、これを「知能ロボット」と呼ぶことにする。すなわち、機能的には人間に近く、より汎用性のあるロボットを取り上げ、そのイメージや実現性について予測した。

(1) 現状

現在、広く用いられているマテリアル・ハンドリング・ロボット（塗装ロボット、スポット溶接ロボット等）は、あらかじめ教示されたメカニカルな作業を繰り返し行なうロボットで、本質的にはNC 工作機械と何ら差異はない。しかし、繰り返し動作を行なうアームをもち、その先端の手先により加工を行なうという点でNC 工作機械より複雑な制御機構を有するため、これを第1世代の産業用ロボットと呼ぶことが一般化している。これらは、1960年代後半から作

られ、1970年代中頃から広く一般に使用されるようになって現在に至っている。

一方、1970年代初期から、いわゆる知能ロボットが研究され出した。これは組み立てロボットにみられるように感覚機能（センサー）から得られる情報を判断し、自らの行動を制御する初期の知覚・判断ロボットで、第2世代の産業用ロボットといわれている。現在、稼働中の産業用ロボットの多くは第1世代であり、第2世代のロボットは、まだ開発途上であるが、両者とも「教示に従う作業ロボット」の域を出ていない。従来、中小企業では、プレス、アーク溶接、塗装用ロボットを主体に、また、大企業ではスポット溶接、工場のライン化（運搬、組み立て、出荷等）を主体に導入され、生産性を向上させるとともに危険な工作作業を減少させてきた。さらに近年では、高熱、放射線、粉塵、騒音、振動、深海などの悪環境下で人間の作業を代替するロボットや、公共・社会・福祉に利用されるロボットが提案され、一部では試作がなされている。前者の具体的な例は、石油タンクなどの検査用ロボット、海洋・宇宙開発用ロボット、原子炉保守・点検・修理ロボット、資源探査・採掘（採取）ロボットなどがあり、後者の例としては、病人・老人用の介護ロボット、義手、盲導犬ロボット、消防用ロボットなどがある。このような応用では、従来のように工場内など、ある程度、限定された環境においてだけでなく、人の往来の激しい室内や一般市中など、はるかに作業範囲の広い環境において自由に移動できることが要求される。また、人間や動物と直接触れ合い協調しつつ安全に作業を行うことが重要であり、「産業界でいう知能ロボット」よりも、かなり高機能なものが必要とされる。この機能としては、より人間に近い視覚、より高度なコンピュータ制御、より高度なマンマシン・インタフェースなどがある。これらは、各種の知能ロボットに共通な特徴である。また、ロボットのイメージは人間に近いものであろう。

(2) 目 標

各種工業生産工程、原子炉内作業、病人・老人介護、海洋・宇宙開発などに使用される知能ロボットのプロトタイプを想定する。このようなロボットは、自己のまわりの全般的な状況を把握することができるよう、視覚・聴覚など多数の感覚機能、いわゆるセンサーを保持している。それらからの情報によって、作業対象物の形状、性質、相互関係などの認識、および、組み合わせ部品の位置の調整などが行なえ、微妙で複雑な作業を巧みに遂行していけるものを目標とする。目標とされる各機能項目を以下に列挙する。

- ① 多数のセンサーによる多角的な物体認識。
- ② 複雑な作業を行なえるマニピュレータ
- ③ 素人にも扱える簡単な操作
- ④ 自然言語をインタフェースとするプログラム機能

⑤ 自走機能

⑥ 動力源の内部供給

2.2.9.3 実現上の問題点

知能ロボットの問題点は、データ収集（検出）、制御（知能）、駆動、本体の小型化、ロボットの構成、動力源（エネルギー）の各項目に及ぶ。中でも、センサーで受けた情報を制御にフィード・バックさせる判断・思考過程は、知能ロボットの本質的な要素であるが、克服すべき問題点が多い。種々の問題点のうち、特に大きなネックになる項目を分析し、展開を試みたものが図 2.2-5.1（問題展開図）である。

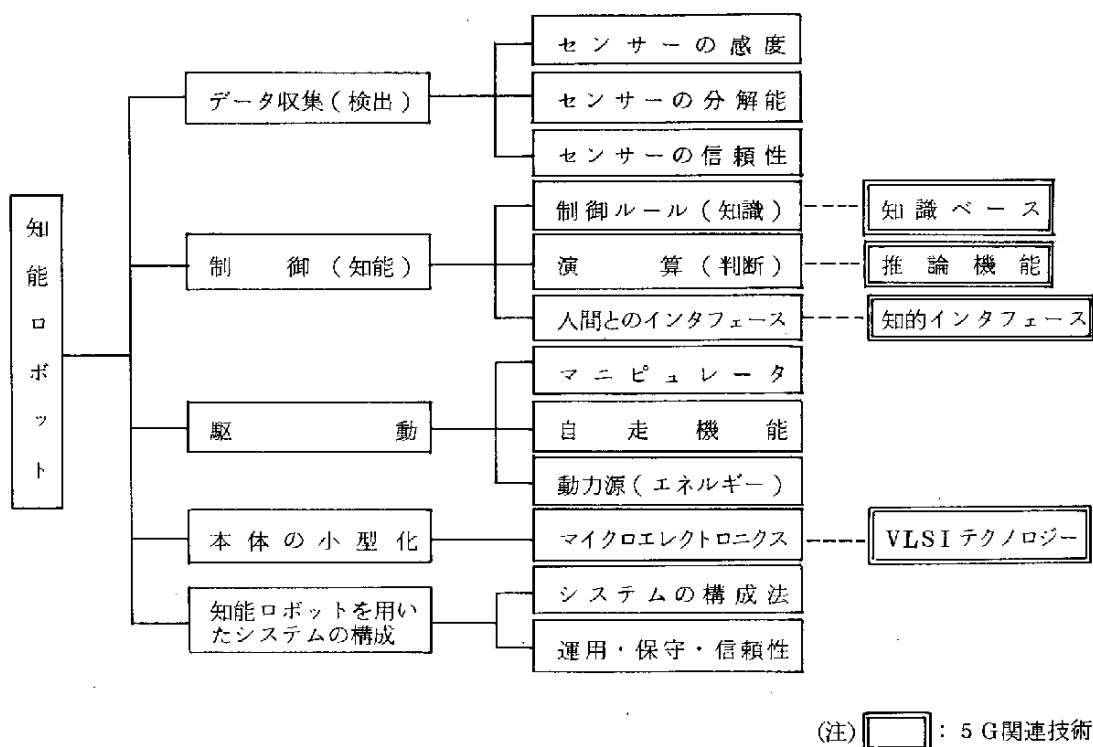


図 2.2-5.1 問題展開図

以下図 2.2-5.1 の項目に従って、実現上の諸問題について説明する。

(1) データ収集（検出）

データ収集では、センサーの性能が大きな問題である。知能ロボットは、外界の情報を用いて、適応制御を行なう。従って、センサー情報は、正確でなければならない。現状のセンサーよりも感度、分解能、信頼性を向上させる必要がある。これらについては、現在、活発に研究開

発されているので、将来は、高性能のものが期待できるであろう。

(2) 制 御 (知 能)

現状の技術では、高度の認識判断機能を実現するには種々のネックがあり、満足すべきものは、まだ試作途上にある。知能ロボットには極めて高度の認識判断機能が必要であり、今後、解決しなければならない問題が多い。その主要な問題点を以下に示す。

- ① 知能ロボットでは、外部環境や作業対象物の変化、ロボット構成各部位の動きを感知して得た情報と蓄積された経験から行動パターンを選択する必要がある。そのためには、教示や経験による制御ルール（知識）、および制御情報の蓄積の技術、問題解決のために必要な知識を検索し利用する技術、知識を更新・挿入・削除する技術が期待される。これには 5 G 技術の知識ベース技術の応用が可能であろう。
- ② 次に、このような知識ベース上の制御ルール（指示された手順）に従い、外部環境に応じた高度の動作機能を求めるには、与えられた問題を理解し、自らその解決へ向かって作業手順を決定する演算（判断）が重要である。これにも 5 G 技術の推論機能が応用可能であろう。
- ③ さらに、知能ロボットの使い易さを実現するためには、ロボットと人間とのインタフェースを向上させなくてはならない。そのためには、自然言語や音声による会話機能、図形・画像による教示、指令、応答機能が望まれる。従って、5 G 技術での知的インタフェースが適用され得る。

(3) 駆 動

知能ロボットにとってマニピュレータは欠くことのできない構成要素であるが、現在のものは、機能、機構の柔軟さ、高応答性に欠けるなどの欠点がある。特に、機能、機構の柔軟さは、複雑な組み立て可能にする重要な要素で、多関節・多自由度指の実現が望まれる。そのために、軽量で高応答性を有し、かつ強力な新しいアクチュエータが期待されている。

一方、目標とする知能ロボットには、自走機能が技術課題としてある。平面だけでなく、急な斜面や階段、および水中等を走行できる新しい移動機能が必要とされよう。さらに、駆動源をロボット本体に搭載しても、十分にパワーを発揮し得る動力源（エネルギー）も重要な課題である。これらは、現在、研究が進められつつあり、将来は実現すると予想される。

(4) 本体の小型化

現状のロボットは大型である。知能ロボットは、現状のものより機能が大幅に向上するので、

それに要する部品も増大し、現状の技術で構成すると巨大なものとなる。これでは応用範囲も狭くなる。そこで、各部品の徹底的な小型化が必要となる。特に、知能ロボットでは、知能の部分（推論のためのコンピュータ等）の占める容積が大きくなることが予想され、この部分での小型化の効果は特に大きい。

(5) 知能ロボットを用いたシステムの構成

知能ロボットでは、複数のロボットの組み合わせによって一つの目的の作業を遂行することが考えられる。原子炉用の燃料棒の交換を、一台の完全な専用知能ロボットで行なうか、あるいは、専用ではあるが、他の目的にも使えるようになっている（原子炉内清掃等）ロボット複数台で行なうかは、システムの構成上重要な項目になろう。前者の場合は、燃料棒の交換が年に1回程度のため、非常に非効率的な方式といえる。後者の場合は、若干の汎用化によって稼働率を上げることができる。その反面、ロボット自体は、かなり複雑なものになるかもしれない。これらの構成上の問題や、保守・信頼性については、今後、大いに研究されるであろう。

2.2.9.4 実現時のイメージ

(1) 知能ロボットのイメージ

知能ロボットのイメージは、図2.2-52のように推論を含む高次判断処理系を中核とし、認識・制御・動作機能をもつものとなる。

人間により与えられた動作指示（制御プログラム、データ）は、高機能マンマシン・インタフェース系（知的インタフェース）を介して推論を含む高次判断処理系に送られる。高次判断処理系では、人間からの動作指示の他に、逐次、対象物体、ロボットの各可動部位（内界）、ロボットを取りまく環境（外界）から得た各種センサー情報、および知識ベースに経験として蓄えられた情報によって、状況変化に即応した意思決定を行ない、制御機構にフィードバックさせる。このように認識・制御・動作のループをもつ知能ロボットは、種々の用途に対応でき、マニピュレータの自由度数も数十に及ぶ多関節、多自由度ロボットであるため、人間に代わって、かなり複雑な作業を遂行し得る。但し、これらの実現は、かなり先のことになる。

（1990年以降）

(2) 知能ロボットの応用

実際の応用では、目的に応じた知能ロボットが生まれてくると予想される。従来、工場では、いわゆる「教示に従う作業ロボット」が使われてきたが、安全面で不備な点が多い。知能ロボットは、危険な状況に対する適切な処理によって労働災害を防止することができる。また、高

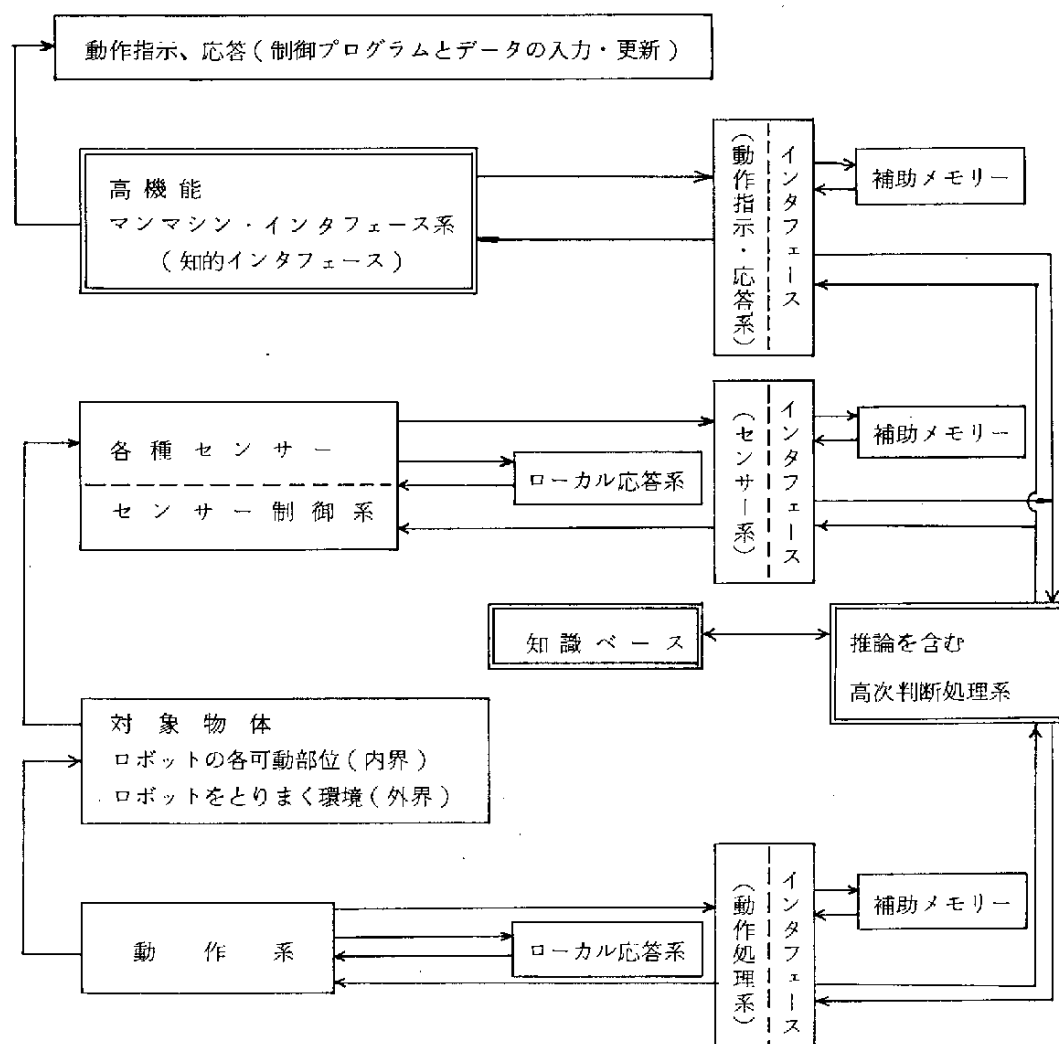


図 2.2-52 知能ロボットの構成

度のマンマシン・インタフェースによって、素人でも制御ルールと動作の指示が可能となる。

一方、知能ロボットは、悪環境作業に適用されよう。原子炉内における作業は、典型的な悪環境作業である。例えば、燃料棒の交換にロボットを用いれば人間が作業しなくて済み、人体への放射能汚染を減らせる。同様に、原子炉内での運搬・検索・計測などの作業も知能ロボットに代替させることができる。このような作業のためにロボットが原子炉内を移動するためには、周囲の環境に応じた動作が必要になる。このような応用面で知能ロボットは大きな貢献をもたらすであろう。月面など宇宙での作業も悪環境作業といえる。米NASAでは、月面で資源を採取、加工し、製品を生み出すため、その生産設備自体を複製していく月面工場の構想を打ち出している。このような工場では、ロボット自らのコピーを生産する高度な知能ロボットの応用が期待されている。

この他にも多くの悪環境作業や悪条件作業が存在する。例えば、採炭・消防・災害救助・海

洋での資源調査・開発などである。また、医療・福祉の面でも悪労働条件が存在する。その代表的なものは病人・老人などの介護であり、盲導犬の代わりに道案内をするロボットなどが試作されている。この面にも知能ロボットが使える。

2.2.9.5 効 果

知能ロボットにおける5G技術の効果は、概ね以下になるだろう。知能ロボットに高度な判断機能（推論等の高次判断）を導入できること、および高度なマンマシン・インタフェースにより、使い易い知能ロボットを実現することが重要な鍵となる。

目標とする知能ロボットのプロトタイプは、実用的な目的に応じた知能ロボットの原型になり得る。これらの知能ロボットは、多角的な物体認識、複雑な作業ができるマニピュレータ、簡単な操作、自然言語によるプログラム機能、自走機能、動力源の内部供給というような特徴から、次の効果（生産性の向上）を期待できる。

① 工場等での応用効果

知能ロボットの柔軟な状況判断機能により、生産ラインの一部の障害による他の生産工程への影響を、最小限におさえることができる。さらに、三次元物体などの認識や推論を含む高次判断処理によって、動作の指示等での人間の介入が大幅に減ることが予想される。従って、これまでの産業用ロボット以上に生産性の向上が期待できる。

② ダーティ・ワークへの応用

悪環境作業、悪条件作業、あるいは、人体に有害な作業などを知能ロボットに任せることによって、作業者はいわゆるダーティ・ワークから解放され、より人間的な労働に従事できる。特に、人口構成の変動、高齢化社会を迎えた現在、若年労働力の相対的減少によって、悪環境作業、悪条件作業の労働力は確保しにくくなっている。また、教育水準の高度化も、ダーティ・ワーク離れに拍車をかけているといえよう。この面での応用の効果は極めて大きい。

③ 労働災害の防止

生産ラインの中で作業者が起こす間違いは、精神的な油断や疲労による判断の不適切さと神経命令系の乱れによることが多い。これらの障害に対する予想力・想像力（創造力）の豊かさと、障害が起きた場合の適切な処置が作業の安全につながる。従って、推論など高次の判断機能を備えた知能ロボットは、高い信頼性を有し、労働災害の防止に寄与する。

④ ロボット使用の簡易化

知能ロボットの実現により、その高度のマンマシン・インタフェースによって、制御ルールと動作の指示が簡易化される。従って、素人が知能ロボットを操作できるとともに、そ

それぞれの作業ごとに複雑な教示を行なう要員を置く必要がなくなる。

⑤ ロボット技術の効果

知能ロボットの実現過程における技術的な成果は、現在、開発中の産業用一般機械・産業用ロボット等の知能化に寄与できる。また、産業用としての知能ロボットの技術は、海洋・宇宙開発や、消防・火災救助・災害救難・医療福祉など、社会一般への応用へと拡大し、各方面に貢献するであろう。

2.2.9.6 参考文献(資料)

- (1) 第5世代のコンピュータ — システム化技術研究分科会報告書 — , 昭和56年3月, 日本情報処理開発協会, 1981.
- (2) 尾崎省太郎, 佐藤孝平他著: 産業用ロボットの技術, 昭和54年7月, 渡辺茂監修, 日本産業用ロボット工業会編, 日刊工業新聞社刊, 1979.
- (3) 井上博允著: 知能ロボット, 別冊サイエンス — メカトロニクス — , 昭和56年12月, 日経サイエンス社, 1981.
- (4) 中野栄二著: ロボットの進化, 別冊サイエンス — メカトロニクス — , 昭和56年12月, 日経サイエンス社, 1981.
- (5) 石井威望著: 日本のメカトロニクス, 別冊サイエンス — メカトロニクス — , 昭和56年12月, 日経サイエンス社, 1981.
- (6) 渡辺 茂著: 真のメカトロニクスを模索する, 日本の科学と技術 Vol. 22, No. 210, 昭和56年7月, (財)日本科学技術振興財団, 科学技術館, 1981.
- (7) 小島利夫著: 機械工業/無人化を志向するフレキシブル生産システム, 日本の科学と技術 Vol. 22, No. 210, 昭和56年7月, (財)日本科学技術振興財団, 科学技術館, 1981.
- (8) 山羽和夫著: 重量センサ/産業用ロボットをささえる触覚センサ, 日本の科学と技術, Vol. 22, No. 211, 昭和56年9月, (財)日本科学技術振興財団, 科学技術館, 1981.
- (9) ロボット特集記事, TIME, December 8, 1981.
- (10) See U. S. Industry Spurred by Japan's Robotics Success Electronic News, November 23, 1981.
- (11) HEALY, T: Machine Intelligence and Communications in Future NASA Missions, November 1981, IEEE Communications Magazine.

2.2.1 0 事務管理（オフィス・オートメーション）

2.2.1 0.1 選定理由

オフィス・オートメーション（以下OAと略す）についてはさまざまな定義がなされ、さまざまな考え方が入り乱れて十人十色の観がある。にも拘らず、その必要性に対する認識はすでに充分定着したものとみることができる。そして、図 2.2-5 3 に示したように、本格的なOA が具体化するのは1990年代と予想されている。いうまでもなく、この時期は第5世代

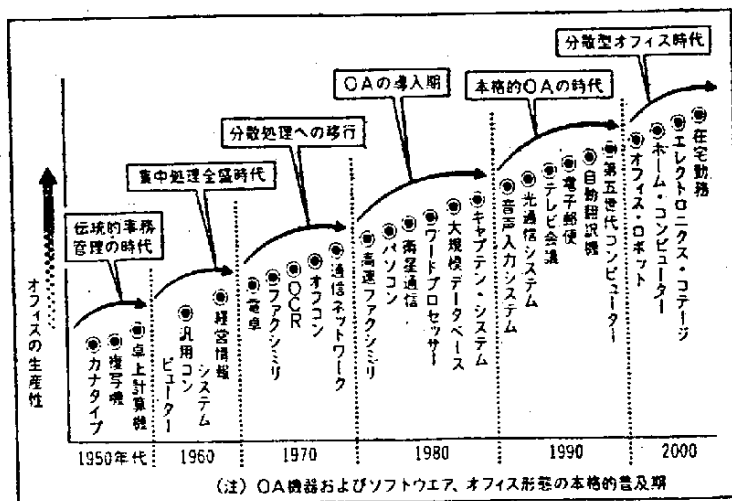


図 2.2-5 3 オフィス・オートメーションの流れ〔出典：参考文献(1)〕

コンピュータ・システムが実用の世界に登場し、活躍すべきときに当たっている。しかも、これがOA発展の日程における重要な出来事とみなされていることは、図 2.2-5 3 にそれが明記されているという事実によっても明らかである。したがって、OAに対する第5世代コンピュータ・システムの重要性はすでに世間一般の認知を得たものとしたいところである。しかし、そう簡単には問屋が卸してくれないようである。

まず第一に、図にある“第5世代コンピュータ”と第5世代コンピュータ・プロジェクトで現在目標イメージとして描かれている“第5世代コンピュータ・システム”とが、同じ内容のものであるという保証はどこにもないのである。第5世代コンピュータということばには、単に第4世代に続く新しいコンピュータという普通名詞的な意味と、第5世代コンピュータ・プロジェクトで特定化された“第5世代コンピュータ・システム”すなわちFGCSという固有名詞的な意味とがある。プロジェクトの理想は、結果的にこの両者が一致することになるようにすることであるが、現段階では前者は未知数であり、その世間的な期待値も定かではない。図の“第5世代コンピュータ”は、文脈からみて、前者の方を指すものと解釈するのが無難な

ようである。

第二に、図の“第5世代コンピュータ”が“本格的なOA”の中でどのような機能を期待されているのかが明らかではない。さらにいえば“本格的なOA”の内容が何なのか、すでにそこから問題を問い直す必要がありそうである。図2.2-53に伴う記事の中には、これらの疑問に対する直接的な解答が含まれていないのである。

普通名詞としての第5世代コンピュータに対する、本格的なOAからの、要求仕様の輪郭をさぐり、それらを正しく写しとるためには現行のコンピュータのどこに欠陥があるかを明らかにし、その解消のためにFGCSに期待しうるものが何かを検討するのが以下での目標である。

OAはこれからの生産性向上の原動力となるべきものであり、さらには、“新・産業革命の源泉の一環であるOA化の波は、次第に知識や文化、さらには生きがいをもビジネスに取り込む高度知識集約型の人間味豊かな「ヒューマレッジ（ヒューマン・アンド・ナレッジ）産業」群を形成し、世界全体の産業構造を一段と高付加価値の知識集約型へ誘導していくに違いない。”〔参考文献(1)〕とされているものである。OAに対するFGCSの意義を明らかにすることは、選択云々の問題ではなくて必須のテーマというべきかも知れない。

2.2.1 0.2 OAの課題

(1) データ処理(DP)とOA

“いままでのコンピュータの応用は情報処理ということばを使いながら、実際には計数的情報およびローマン・アルファベット、カナ文字などコード化しやすい文字情報の限定的な処理といういわゆるデータ処理(DP)の範囲に止まっていた。一般に情報伝達の手段としては、こうしたデータのはかに音声、文書、画像などが使用されるが、企業のなかで使用される情報のうちデータは20%程度しか占めないという。”〔参考文献(2)〕がある。この20%のデータ処理がすべてコンピュータで処理されている訳ではなく、また逆に、残り80%の非データ情報がまったくコンピュータ処理化されていないという訳でもないが、本格的なOAでの関心がここでいう非データ情報のコンピュータによる自動処理化にあることは異論のないところである。

“わが国でOAを論ずる場合、DPをすべてOAに含めたり、DPの延長線上にOAを展開するという考え方が少なくない。米国でもそういう論者がいないわけではないが、大多数の見解ではOAの問題点を明確にするために、OAはDPとオーバーラップしながらも別のカテゴリと考えた方がよいとされている(図2.2-54)。”〔参考文献(2)〕

①の部分には企業におけるシステム部門に相当するところで、“主として大型コンピュータを中心した計数情報のバッチ処理やオンライン・システムを運用”するものである。

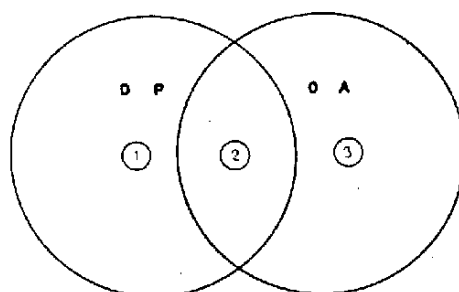


図 2.2-54 DP と OA の関係〔出典：参考文献(2)〕

②の部分はエンドユーザが端末機やオフィス・コンピュータ、あるいはパーソナル・コンピュータを用いて、自分で直接 DP を行なうものである。

③の部分は、“本社事務所の大部分の部門が属しており、ここで行なわれている情報処理の大部分は音声、文書、画像などの情報処理で、DP 出力の加工や清書などの作業も含まれよう。……この部分に属するひとはオフィス・ワーカーの大半を占め、…もっとも簡単なプログラミング言語である BASIC でも学習を強要されれば拒否する…。ただ彼らもそれが有用なツールであればそれを使うことはやぶさかではなく、コンピュータが DP の範囲を超えて各種のオフィス情報を処理できるようになり、操作も比較的に覚えやすく、それを使うことが職場のルールとなればあえて反対はしないと考えていると思われる。”

DP と OA の比較をさらに内容的に掘り下げたものとして、米国の調査会社 Booz・Allen & Hamilton 社によるものが紹介されている。〔参考文献(2)〕それを表 2.2-5 として引用する。

表 2.2-5 DP と OA の関係〔出典：参考文献(2)〕

類 似 点	相 違 点
・ システム的なアプローチ ・ 費用/便益性による正当化 ・ 情報関連技術のブレード ・ プロジェクトの計画/管理	・ 定型業務が少ない ・ 強く行動的である ・ 予期外のことが多い ・ 社外との係わり合いを含む ・ 効果測定が困難 ・ 一種の臨界レベルを超えることが必要 ・ 相互作用的要素が多い ・ もっと可視的でわかりやすいことが必要 ・ デバイスはもっとたくさん、簡便なものが必要

以上は本格的な OA のあり方を考えるための枠組として、OA に対する現時点での基本認識を要約したものである。OA の進展に伴って事務所ならびに事務作業のあり方も変化してい

くはずであり、これらの基本認識が1990年代のものとしてそのまま通用しうるものでないことはいうまでもない。しかし、逆に1990年代のOAを考えるための原点、したがってヒントも、ここにしかないことは確かである。

(2) 本格的なOAのあり方

本格的なOAシステムの具体的なイメージとしては、すでにFGCSに対する要求仕様の一部としてまとめられたものがある。すなわち、56年度第5世代コンピュータ調査研究委員会システム化技術研究分科会報告書の第3.2節「オフィス・オートメーション・システム」に記述されているのがそれである。そこに述べられている内容は極めて多岐にわたっており、それに忠実に沿った形で意味のある要約を行なうのは難しい。そこで別の概念的な枠組〔参考文献(3)〕を借用して、報告書にあるものと等価と考えられる本格的なOAのイメージをまとめることにする。

“現状を踏まえた今後のOAの発展段階は、ここでは次のように考えたい。

第1段階：これは現状で、いろいろなOA機器が個々バラバラにオフィスに導入される。

第2段階：いろいろなOA機器が、オフィス内でみられる機器としては高級マイコン、大容量ファイル、ファクシミリ機器、構内ネットワーク機器などに複合化・統合化される。

第3段階：オフィス活動のモデル化が進み、オフィス活動を支援するエンド・ユーザ言語のような知識ベースのソフトウェアが整備されて、コンピュータ支援オフィス活動が普及する。

第4段階：オフィス活動の機械的な部分はほとんど自動化または半自動化され、ビジネスマンは創造的な活動と対人サービスにほとんど専念できるようになる真のOAの時代。”

このモデルに従っていうと、上記報告書に描かれたOAシステムは、この第3段階から第4段階への経過の過程にあるものとみることができる。そして、この変化の原動力となる責任を荷うのがFGCSである。いいかえれば、「オフィス活動の機械的な部分を自動化または半自動化する」ための本質的なツールとなるのがFGCSという訳である。

2.2.1 0.3 実現上の問題点

(1) 問題の展開

OA発展の第3段階の要点は、「知識ベース指向のソフトウェアの整備」であり、そのようなソフトウェアの典型的な例が「オフィス活動を支援するエンドユーザ言語」である。エンドユーザ言語については、第2.2.3項「コンピュータ用言語（エンドユーザ向言語）」に詳しく論じてある。

その他の知識ベース指向ソフトウェアの考え方として、“意志決定に直接役立てられることまで含めた本格的なソフトウェアを作るためには、現在のソフトウェア技術の粋を集め、分散型データベースの形をした知識に対し、認識・学習・推論を行なう知識工学や人工知能の手法を加味した、高度な手法を開発する必要がある”とされている。このようなソフトウェアとして、特にOAのために何が必要かを具体的に展開することは困難である。ここでは一般論として、FGCSで構想されているソフトウェア体系を提示しておくことにする(図 2.2-55)。これらがそのままの形でOAに適合しうるかどうかは今後の検討をまたなければならないが、少なくとも「知識工学や人工知能の手法を加味」するための基本材料は充分揃っているはずである。

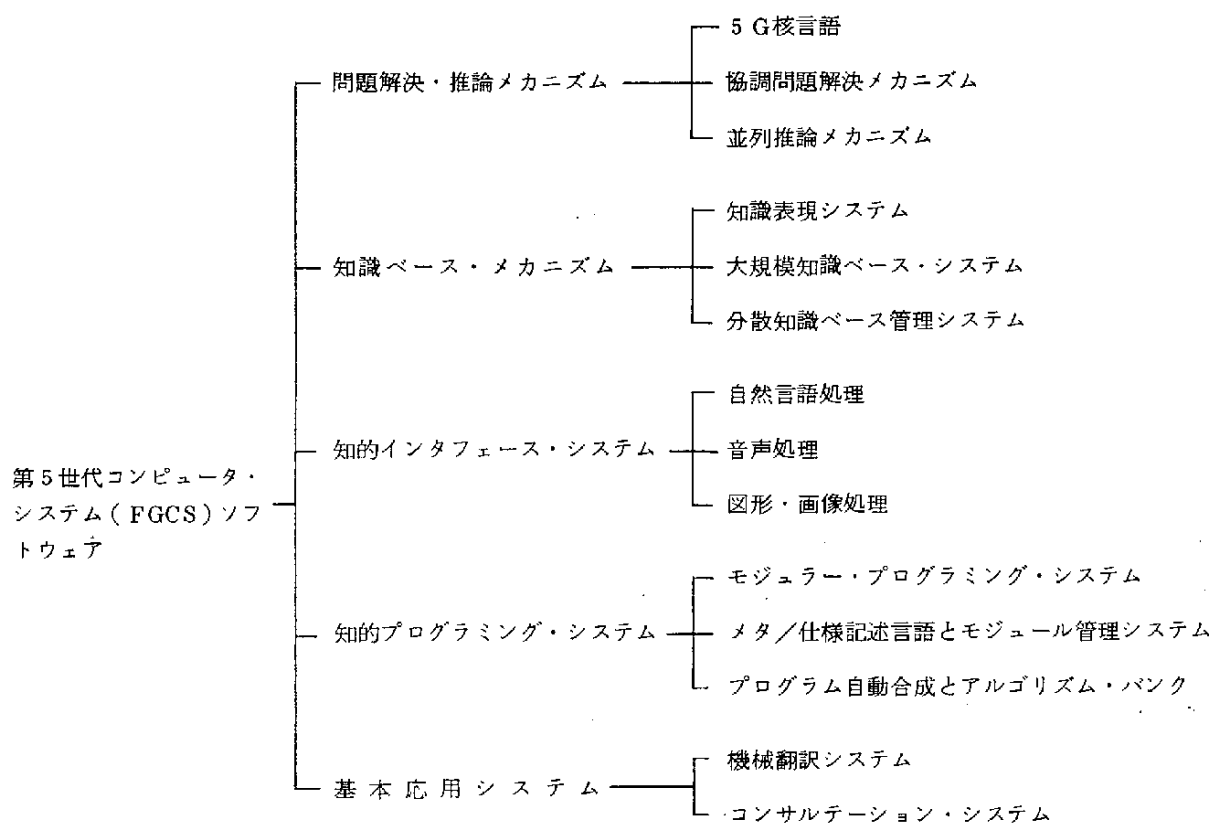


図 2.2-55 第5世代コンピュータ・システムのソフトウェア構成

つぎに、第4段階の核心は「オフィス活動の機械的な部分を自動化または半自動化する」ところにある。もちろん、これは自動化（または半自動化）がこの段階だけに限って行なわれるというのではなく、それが完成の域に達するのがこの時期であるという意味である。ここで問題になるのは「オフィス活動の機械的な部分」の具体的な内容である。2.2.1 0.2 にあげた第4段階の定義からすると、この部分はオフィス活動から創造的な活動と対人サービスを除いた

ものに相当するものとみてよさそうである。しかし、現金支払機、自動販売機、さらには音声応答システムなどを考えてみれば分かるように、対人サービスの相当部分は、むしろ機械化の好対象であることに注意する必要がある。対人サービスではなくて対人折衝というようなことばを当てるべきかも知れない。

一般的にみて、オフィス活動はつぎの5つのタイプに分類できる。〔参考文献(4)〕

- ① コミュニケーション
- ② 情報の獲得ならびに蓄積と検索
- ③ 情報の分析ならびに意思決定
- ④ 庶務（パーソナル・アシスタンス）
- ⑤ 業務管理（タスク・マネジメント）

ここで、パーソナル・アシスタンスというのは、出張に関する手順や手配の仕事、会合のためのアレンジ、予定表の管理などの庶務的なサービスを行なうものである。また、タスク・マネジメントはオフィスにおける業務処理の進行を調整して、必要な作業が必要な時点までに完成するように制御するものである。

これらそれぞれのタイプのオフィス活動に対して、それを自動化または半自動化するためにさまざまなツールが開発されつつある。こうしたツールの中にあって中心的な役割を果たしているのは、いうまでもなくコンピュータである。コンピュータをOAに適用する場合の基本的な問題点はつぎの2点に集約できる。

- ① 経済性
- ② DPとOAの違い

コンピュータ処理のコストのうちハードウェア・コストはVLSI技術の進歩によって大幅な低下が見込まれているが、ソフトウェア・コストについては現行技術の枠内ではあまりはかばかしい改善は期待できそうにない。

コンピュータ技術の観点からみたDPとOAの相違点としては、2.2.1 0.2に述べたところをまとめると、

- ① 処理対象となる情報形態の多様化・複雑化 — 文書情報、音声情報、画像情報
- ② 処理環境の変化 — 非定型・非定常化など（表2.2-5を参照）
- ③ 人間的要素の強化 — 専門家指向から大衆化へ

①と②についてはその問題点がよく知られているが、③の“人間的要素の強化”については若干の説明が必要かも知れない。これは参考文献(5)によると、つぎの6つの問題にブレイクダウンされている。

(i) 利用者インタフェース

- ・多種類のグラフィック・システム機能
- ・五感の利用
- ・自然言語インタフェース
- ・利用者の心身状況への理解

(ii) 統合化された機能性

- ・処理の有機的な関連づけの自動化
- ・状況に応じて解釈される多義的コマンド
- ・自由の効く情報構造

(iii) 知能の分散化

(Intelligence can be placed not only in the standard computer systems, but also in the rest of the user's environment.)

(iv) テレコミュニケーション

- ・ネットワーク・システム

(v) 組織ならびに社会へのインパクト

(vi) 知識の管理

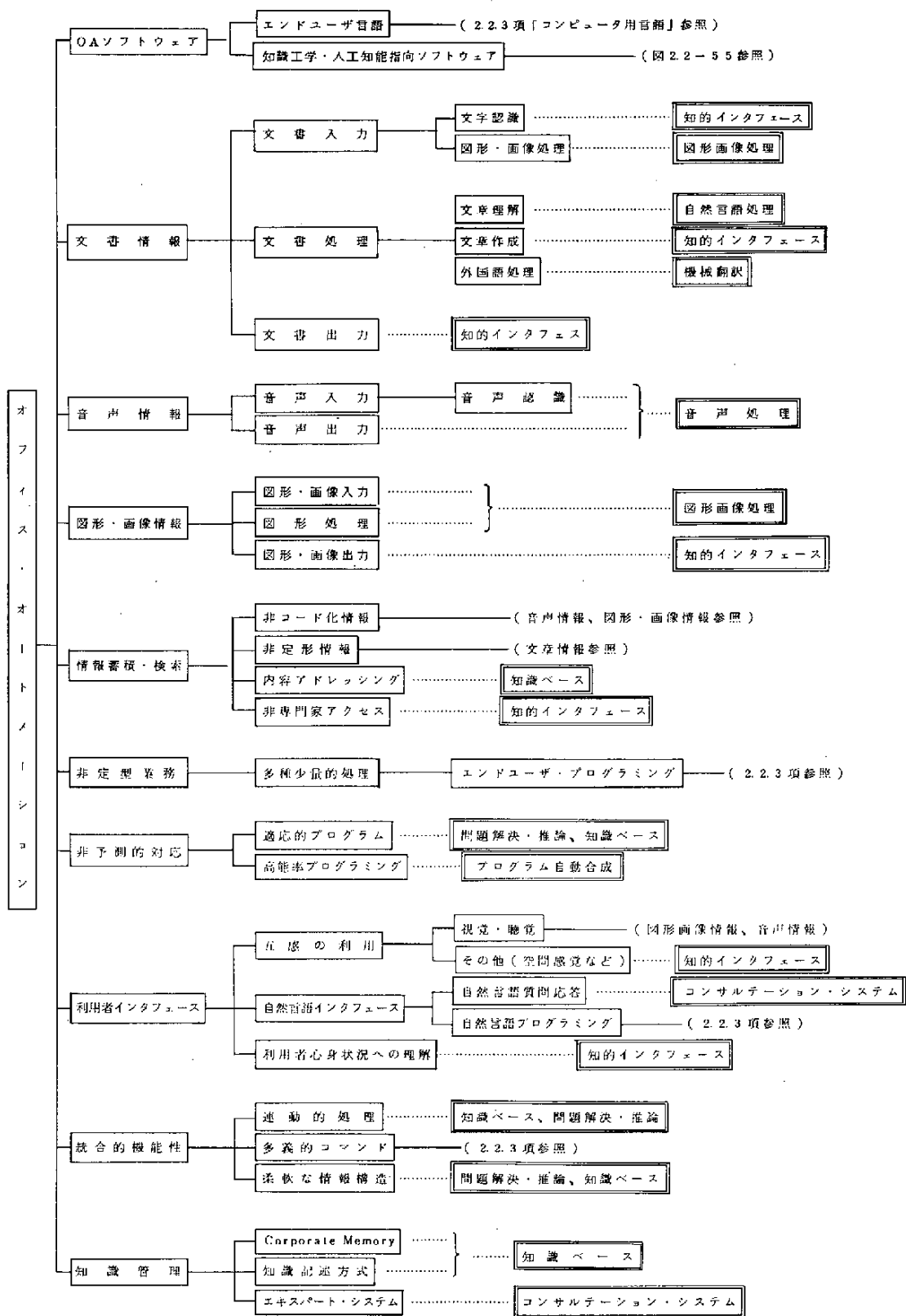
- ・個人的な知識の共用化 (Corporate Memory)
- ・知識記述方式の開発
- ・エキスパート・システム

以上に述べたことと参考文献(5)などを参考にしながら、本格的 OA 実現上の問題点を整理すると図 2.2-56 のようになる。ただし、ここですべての問題点を網羅することは不可能であるので、現行コンピュータ技術の延長線上でも解決可能と考えられる問題は取り上げていない。

(2) 問題点の要旨と 5 G 技術との関連

図 2.2-56 において枠で囲った項目が本格的な OA を実現する上での問題点である。それらの右側に点線で結ばれた ☐ 枠の項目は、それぞれの問題点を解決するのに役立つと考えられる 5 G 技術項目である。これらの技術項目は図 2.2-55 の体系図から、各問題点に最も関連性の強いものを選択したものである。したがって、これら以外の項目にも有効なものがあることはいうまでもない。以下では主な問題点について、その要旨と 5 G 技術によるアプローチのあり方をみていくことにする。

OA ソフトウェア：これは結局以下に述べるような技術課題の実現に必要なソフトウェアそのものに外ならない。特に例としてあげられている「エンドユーザ言語」については、



(注) : 5 G関連技術

図 2.2 - 5 6 問題展開図

最も有力なアプローチと考えられる自然言語による要求仕様記述という方式について、第 2.2.3 項に詳しく議論してある。もちろん、これが唯一のアプローチという訳でもなく、また OA としての特別な考慮も欠けているが、大体の考え方としては一応の目安になるはずである。OA ソフトウェアの全体像として図 2.2-55 のものが必要十分かどうかという検討は、ニーズとシーズの技術内容が熟すのをまつ必要がある。

文書情報の取扱：文書入力におけるボトルネックは非コード化情報、すなわち図表や写真、印影、手書き文字などである。これらの情報の取扱いを効率化するためには、表示内容を理解してコード化する必要がある。

文書処理における最大の問題点は、自然言語文の内容的な処理である。構文的な内容にもとづく処理は現行技術でも手の届く範囲内にあるが、意味的な内容の取扱いについては今後多くのブレークスルーが必要とされている。そこで期待されるのが知識を用いた問題解決・推論的なアプローチである。この間の事情は、第 2.2.3 項「エンドユーザ向言語」、第 2.2.8 項「技術文書自動翻訳システム」などで説明されている。文書処理においては文章に含まれる図形画像の処理、特に内容の読解が必要になることが多いが、これは入力のところに取り上げたのでここには省略してある。文章作成の基本は文の生成であるが、これにはやはり知識と推論機構が必要である。機械翻訳は異なる 2 つの言語における文章理解と文章作成の結合とみることができる。

音声情報の取扱：基本的には文書情報と同様なアプローチが成立する。すなわち、音声理解については、現行技術の延長線上のものとして、“簡単な構文規則と音形規則を利用した単純な文章入力を認識対象とする”〔参考文献(6)〕が考えられ、コンピュータ技術のブレークスルーを前提とするものとして、“意味や用語論的情報を用いて、音声認識の誤りを自動的に修正し、全体としてわかりやすい文章として出力する”〔参考文献(6)〕というものが考えられる。

音声入力についても同様に、本格的な取扱いの場合には、“応答内容の意味を把握し自然な会話となるように、イントネーションやアクセント等を適切に取入れる”〔参考文献(6)〕ことになる。音声処理の項目が含まれていないのは、その内容が文書処理に包含されるためである。

図形・画像情報の取扱：図形・画像情報に特徴的なことは、そのデータ量が莫大になることである。したがって、これをデジタル化して扱う場合には巨大な計算量をこなす必要がある。このような計算量の膨張に対抗するためには、入力情報の特徴（例えばシーンにおける拘束条件など）に着目して、その場合々々に応じた効果的な戦略を用いて処理に当たらなければならない。すなわち、知識ベースと推論機構による問題解決がものをいう場

面である。

図形・画像処理の基本はパターン認識であり、パターン認識は特徴抽出と特徴評価から成り立っている。パターン認識によって図形・画像情報はその記号的解釈である原始スケッチに変換され、そのような記号形式として関係型の知識ベースに蓄積されることになる。このような知識ベースの内容に対しては、挿入、削除、置換などの編集操作が可能になる。また、類似性にもとづく検索など連想的なアクセス機構も利用しうようになる。

図形・画像情報の出力機能としては、原始スケッチをもとにして実像を再構成する機構が重要であるが、これには高度な知的操作が必要になる。

情報蓄積・検索：音声情報や図形・画像情報にはアナログ形式のものとデジタル形式のものがある。デジタル形式のものうち、前述のような記号化ができないものを特に非コード化情報とよんでいるが、ここではそれにアナログ形式のものも含めている。コード化情報と非コード化情報の区別を一般利用者が意識しないでも済むようにするためには、相当な工夫が必要かも知れない。

コード化されている情報についても、たとえばメモ類などをみれば明らかなように、その形式や長さはまったくバラバラである。こうした情報の取扱いは従来型のデータベース手法では困難である。

このようなメモ類の集積として、たとえば知的生産の技術として有名な京大式カードのファイルに相当するものができ上がったとする。これを活用して何か創造的な発想のきっかけをつかもうとする場合を考えると、カード同士の関連づけは内容本位で、しかもそのときの関心のあり方に応じて千変万化することになる。本格的なOAにおいては、こうした形式での情報利用が重要になる。情報内容のパターンにもとづく検索方式は知識ベースでの主要な課題となっているものである。

人間の行なう最も自然な情報検索は、それを知っているひとに質問することである。人間同士の間であれば、質問が不完全であったり、不適切であったりしても、逆質問をするとかして最終的には必要な情報にありつくことができる。しかも、このときの会話は日常のことばで十分である。こうしたことが可能になるようにするのが、FGCSのひとつの目標である。

非定型業務：DPの得意とするところは、同じ形の作業を繰り返し行なうこと、いいかえれば少品種大量生産的な処理である。このようなDPの手の及ばなかったところをカバーするのがOAであり、小規模の処理が個別的に行なわれる必要がある。そこで問題になるのがこうした処理のためのプログラム作成である。専門家によるプログラム作成は高価につき、OA用プログラムを個別に製作していたのでは採算がとれなくなる。そこで「ア

アプリケーション・パッケージ”の利用が考えられ、パラメータの設定のためのメニュー選択方式が用いられるのが普通である。しかしこれでは不満足で、新しい機能を追加するとか、変更したいといった希望が発生するのが自然の成行きである。〔参考文献(6)〕したがって、OAではエンドユーザ自身によるプログラミングの実現が重要な課題になり、エンドユーザ向言語の必要性が生ずることになる。

非予測的対応：オフィス活動の特色は、何かの出来事によって仕事の起動がかけられることが多いことである。しかも、この出来事は表2.2-5にみられるように“予期外のことが多い”のである。そして、意思決定の責任の重さと仕事内容の非予測性の高さとは比例関係にあるといえそうである。とすれば、例えば社長の意思決定をサポートする場合には、突発的な新しいシミュレーションを短時日でこなさなければならないというようなことが起きる。こうした事態に対処するためには、プログラムの問題に対する適応性を高くするとか、短時間でプログラムを完成できるようなシステムが必要になる。適応性の高いプログラムを作成するには、ロジック・プログラミングの手法が極めて有効である。同じようなことは、プログラム自動合成についてもいえるのである。

利用者インタフェース：“OA化はオフィスの人々にとって心地よいものでなければならない。オフィスの生産性向上が労働強化につながったり、不自然な労働を強いるものになっては困る。OAシステムを最も円滑に抵抗少なく普及させるためには、従来のオフィス作業がほとんどそのままの形で実行でき、しかも作業結果が従来よりもすぐれたものになることであろう。しかし一方で従来のオフィス作業が人間にとって最も自然な作業形態であったか否かは不明である。より人間にとって自然で使いよい事務処理方式であれば、従来の方式と異なったものでも受け入れられるはずである。

いずれにしてもOAシステムにおけるマンマシン・インタフェースが人間にとって無理がなく使いやすいものであることが大切である。”〔参考文献(6)〕

このようなインタフェースの代表例としてよく引合いに出されるが、システムのやりとりを自然言語でできるようにすることである。その他、システムからの対応の仕方に年齢差や個人差への配慮を盛り込む必要のあることも指摘されている。また、人間は記憶内容を想起する場合その内容と関連する空間的イメージ（例えば書名と本棚での位置）を手掛りにすることが多い。情報検索にこうした手法が取込めれば大変便利になりそうである。

統合的機能性：まったく耳慣れないことばであるが原文では“Integration of Functionality”となっているものである。“システムは単にその部分の集合に終わってはならない。それはいろいろの機能やツールが統合化され、一体のものとして溶け合っていないといけない。対話形式の入力プログラムによって入ったデータが処理中の単語と一緒に文

書に組込むといったことが自然にできるようになっていなければならない。さらに、この文書が各所に電子的手段で配布され、送り返されてきたコメントはファイルされた上で同じシステムで電子的に処理される”というところまで行く必要がある。こうしたことを実現するためには、例えばバックスペース記号であれば、それがメール伝送で先行の1文字取消しの意味をもつ場合には、テキスト編集であれ、データエントリであれ、とに角それが出てくるときはすべて最終的な効果が同じになるような機能として解釈されるようになっていることが大切である。

知識管理：“将来のオフィスにおいては、組織の中の個人がもっている知識 — 手続的なものであれ、判断的なものであれ — を capture する機能が第一義的に必要になる。”これによって、人が異なるごとに同じことを繰り返す無駄をなくすることができる。例えばはじめて電話帳で調べた番号は、自分の控えに記入するというやり方を止めて、共通のファイルに入れるようにすれば、他の人がまた電話帳をめくるとはしない訳である。これを具体化した1例が“Corporate Memory”である。

2.2.1 0.4 実現時のイメージ

前節で明らかにしたように、FGCSは本格的なOAシステムを実現するための基礎技術を提供するものである。しかし、FGCSのみではOAシステムを具体化するのに不十分であることはいうまでもない。FGCSはいわば容れものであり、これに新しいオフィス活動のモデルにもとづく、自動化ないし半自動化された諸機能が実装されて、始めて「本格的なOAシステム」の実現ということができるようになる。

ここでいう「新しいオフィス活動のモデル」がどのようなものになりそうかについては、前述の通り（2.2.1 0.2 (2)項）昨年度の報告書に説明があり、ここにそれを再記するだけの余裕がないので省略することにする。以下では「自動化ないし半自動化された諸機能」が、FGCSの場合にどの程度のものになりそうなのかを、自然言語処理、図形画像処理、音声処理、そしてこれらを総合化したマンマシン・インタフェースについて簡単にみていくことにする。説明はすべて参考文献(7)によっている。

(1) 自然言語処理

図2.2-57はFGCSにおける自然言語処理の概念図である。自然言語処理機能としての固有の領域は太い実線で囲まれたふたつの部分であるが、これらが実際に稼動するためには他の機構のサポートないし関係が必要である。固有領域のうち左方にあるものがいわゆる「読み」の能力に相当するものであり、右方にあるのが「書き」の能力に当たるものである。ある言語で書かれた文章を読んで、その内容をそのまま他の言語で書けば、機械翻訳が実現することに

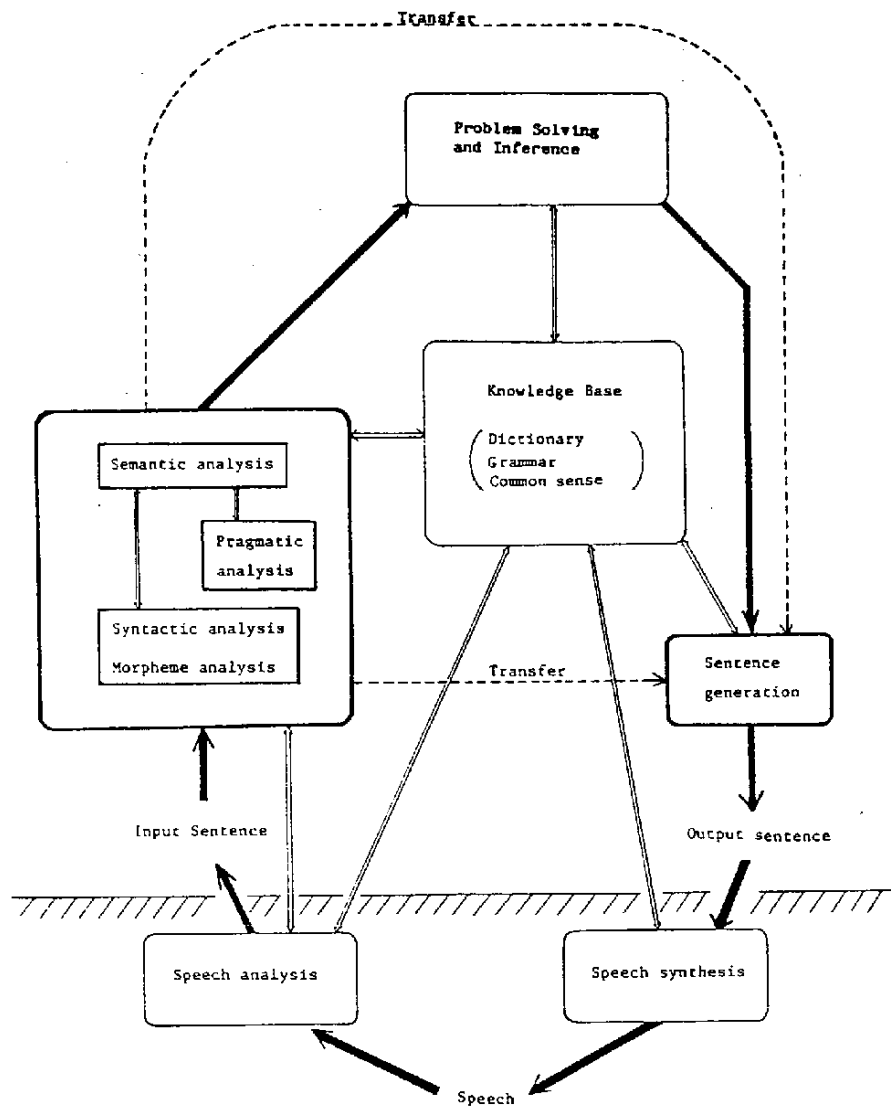


図 2.2 - 5 7 Concept of natural language and speech processing in basic application systems. [出典：参考文献(7)]

なる。また、読取った内容の意図するところに従って、必要な問題解決的な処理を行ない、その結果を適当な言語で出力すれば、たとえば質問応答システムとして機能することになる。

期待されている自然言語処理の性能目標は、25語程度の文が0.05秒程度の速度で処理でき、入力される文の99%までが完全自動で正しく構文分析しうるものである。ただ、高度な意味的処理などを要するものの取扱い能力については、現時点でどうということとは難しい。

(2) 音声処理

わが国における音声処理技術の最近の発展は極めて目覚ましいものがあるが、FGCSで目標とするところは、これらの延長上より一段上のレベルである。すなわち、連続音声を対象とし

て語い数約 5 万語を扱い、処理速度は実時間の 3 倍程度で認識率 95% を目差す。これだけの性能があれば、音声タイプや音声対話システムの実現にはまったく不自由しないと考えられる。

このような高水準の音声処理を実現するためには、単なる音声学的処理だけでは不十分であり、言語的処理のサポートが必要である。これが図 2.2-57 に音声処理が一体化されて含まれている理由である。

(3) 図形画像処理

FGCS における図形画像処理の概要は、図 2.2-58 ならびに図 2.2-59 に示した通りで

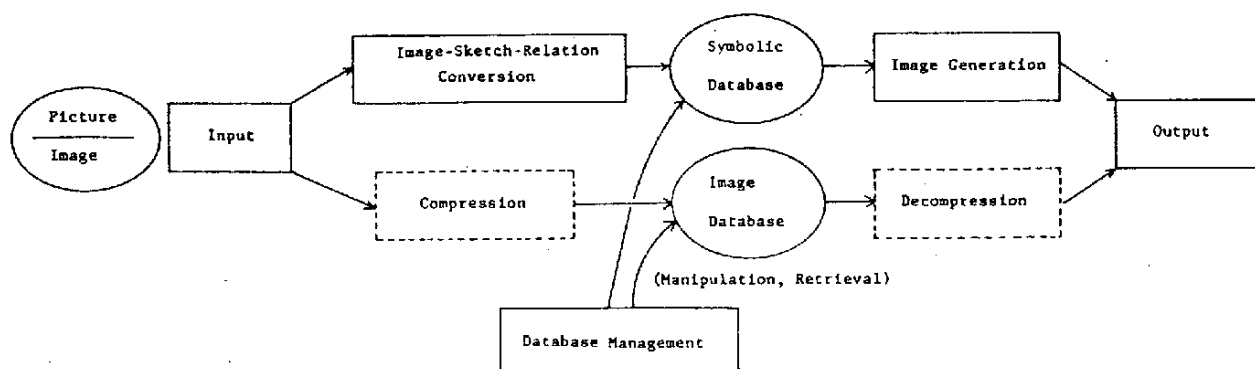


図 2.2-58 Management of pictorial and imagery database.〔出典:参考文献(7)〕

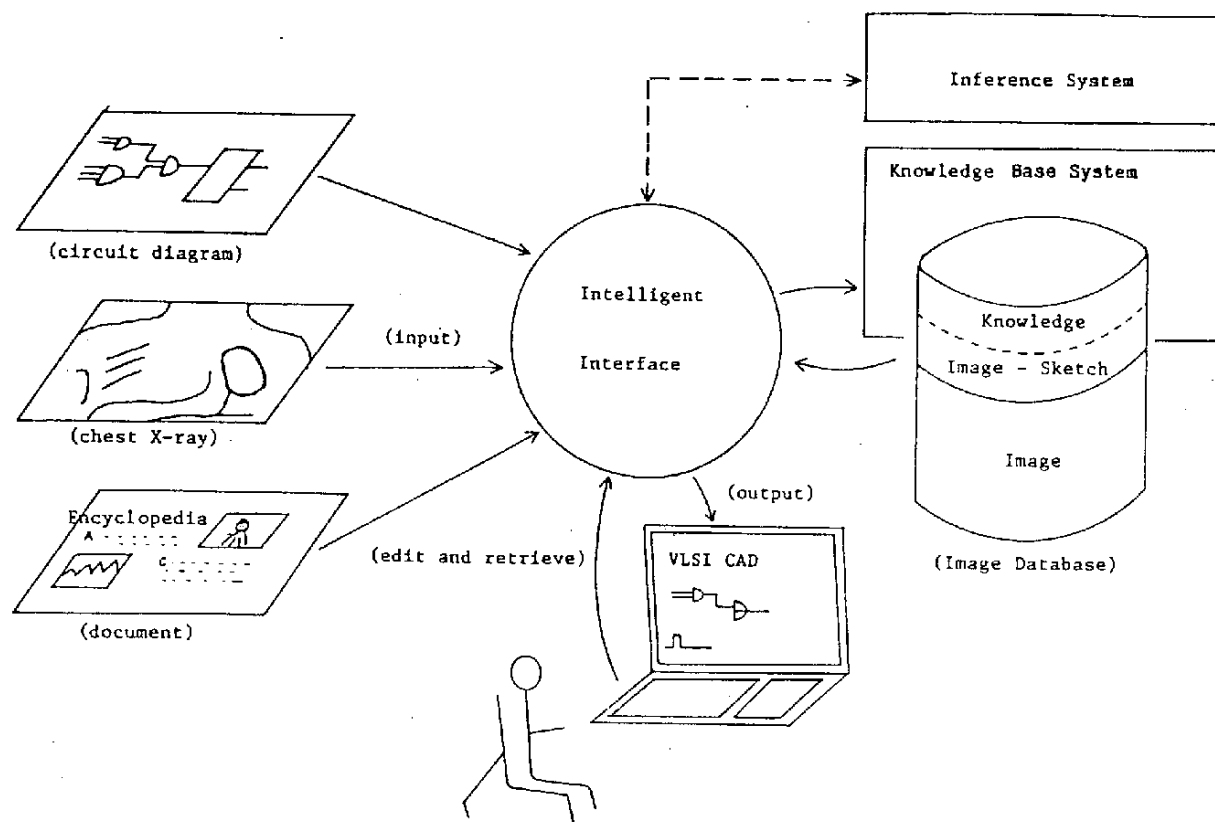


図 2.2-59 Concept of pictorial functions at intelligent interface.〔出典:参考文献(7)〕

ある。図 2.2-58 は図形画像情報の入出力と蓄積に関する機能の概要であり、図 2.2-59 は対人動作の場合の見取図である。これらの動作については 2.2.1 0.3 に一部説明してある。目標性能については、音声処理の場合のような簡単な指標がないので具体的に説明することは難しいが、オフィスでの通常の処理を自動化しうるだけの能力は確保しうるはずである。

(4) 知的インタフェース・システム

図 2.2-60 は上記 3 つの機能要素を統合して、ワークステーションとしてまとめた場合の概念図である。これらは本格的 OA システムのための端末部となるべきものである。OA システムとしての全体像としては、中心部として大規模データベース、知識ベース、推論マシンなどでサポートされる部分が必要である。

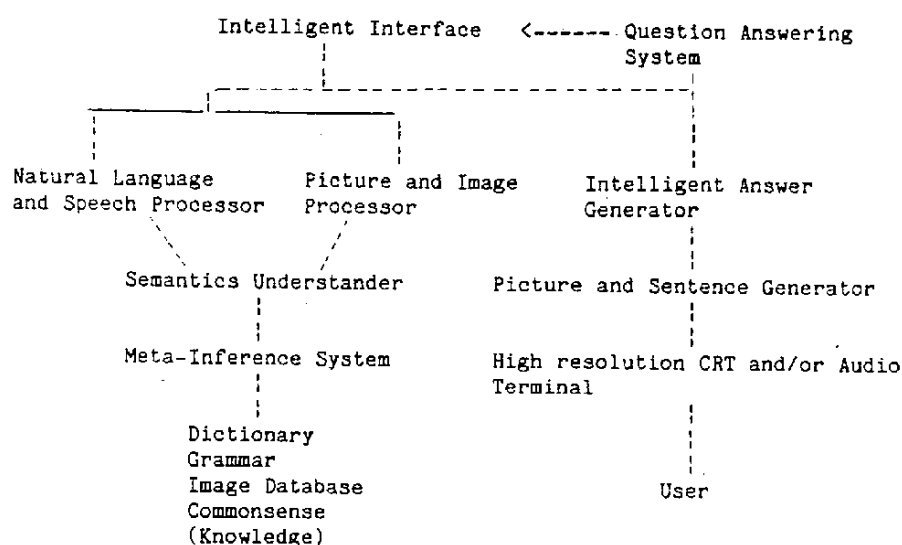


図 2.2-60 Intelligent interface system.〔出典：参考文献(7)〕

2.2.1 0.5 効 果

ここで議論すべきことは、FGCSが将来の OA のあり方にどのような効果を及ぼす可能性があるかを評価することである。

しかし、これはすでに回答済の設問である。すなわち、2.2.1 0.2 では本格的な OA を実現するための中心的な存在という第 5 世代コンピュータ・システムの位置づけを明らかにした。ついで、2.2.1 0.3 では、まず、本格的な OA とは何かを追求し、つぎにそれを実現するためのコンピュータ技術面での必要条件を洗い出し、最後にそれらの必要条件が FGCS によってどのように充足されるかをみた。

したがって、FGCS の目標が期待通りに実現されたとすれば、少なくとも 2.2.1 0.3 にみた

ような意味での本格的 OA を実現するためのコンピュータ技術は確保されることになる。もちろん、まえにも述べたように、FGCSは OA システムの容れものに過ぎず、それだけをもって本格的 OA が直ちに具現されるものではない。

2.2.1 0.6 参考文献(資料)

- (1) 日経産業新聞, 56年11月, 1981.
- (2) 斉藤彰夫: オフィスオートメーションの現状と問題点, 情報処理, Vol.22, №10, 1981.
- (3) 石田晴久: オフィスオートメーションの今後の展開, 情報処理, Vol.22, №10, 1981.
- (4) Morgan, H. L.: Research and practice in office Automation, Proc. of IFIP '80, 1980.
- (5) 元岡達: オフィスオートメーションの動向, 情報処理, Vol.22, №10*, 1981.
* 本号は大特集: オフィスオートメーションとなっており、上記以外にも参考になるものが多い。
- (6) JIPDEC: 音声応答システム, 第5世代のコンピュータ 基礎理論研究分科会報告書, 1981.
- (7) Tanaka, H. et al.: Intelligent Man-Machine Interface, Proc. of International Conference on Fifth Generation Computer Systems (Oct. 1981), JIPDEC, 1981.

3. 第5世代計画と波及効果

3. 第5世代計画と波及効果

3.1 波及効果

第5世代型コンピュータの社会に及ぼす効果については、昭和54年度に社会環境条件研究分科会の報告があり、昭和55年度にシステム化技術研究分科会のそれがある。前者は「望ましい社会」のイメージ造りから出発して、それを達成する道程で予見される問題点を「ボトルネック」としてとらえようとした。指摘されたボトルネック解決の主役は第5世代コンピュータではないかも知れないが、そのための有力な道具、「助っ人」になりうるという発想である。

後者はボトルネック解消のための手法もしくは手段としてのコンピュータを前提として、予見し得るいくつかの近未来型利用形態にもとづく「要求仕様」を抽出している。いわば第5世代コンピュータの機能仕様書といったところだ。

両者ともに利用側からの条件を抽出する形となっており、並行して作業された第5世代コンピュータ像の作成（アーキテクチャ、システム化理論）との整合は時間的成約から十分には行なわれていない。昭和56年度の「波及効果」調査は、最近になってようやく固まってきた第5世代コンピュータ像を意識しながら、利用技術上の問題点の整理を行なおうとしたものである。

当然ではあるがハードウェアのアーキテクチャや、基本ソフトウェアは利用者には見えない。見える形にしてしまっただけとはいえないと思う。現在の事務用汎用機がかかえる「ソフトウェア危機」問題を再度増幅するからである。かといって、単に高速・高度な汎用コンピュータというだけでは適用分野と結びつけようがない。そこで今回の調査では第5世代コンピュータの特色といわれる知識処理、俗に「人工知能」と呼ばれる機能が完成された姿で利用可能となることを前提とした。人工知能的機能が、第5世代コンピュータ・プロジェクトの目標の全てではないかも知れないが、関係する研究者の間に強い指向性が認められたのは事実である。

人工知能分野ときめたところで、特にはっきりした利用分野が浮び上がってくるわけではない。在来型のコンピュータでいえば、FORTRAN言語を基本とするコンピュータ、あるいはADA言語を基本とするシステムというところまでが明らかになるだけであって、オンライン・バンキング・システム（トランザクション用ファイル更新系）、ビルディング用管理システム（センサーベース系）あるいは組立工程部品管理システム（データベース系）といった適用対象（利用技術）が指摘できるわけではない。適用分野がわからなければ「波及効果」の考察としては、はなはだ不完全なものとなる。

今回の調査では以上の要件を踏まえて、54年度、55年度の報告を参考にしながら、次のような思考・作業過程を追った。

- ① 社会的ボトルネックに留意しながら、第5世代に関係の深そうな話題の中から、将来の利用の可能性が大とされるものを選び、それを「代表分野」とした。
 - ② 代表分野に属する話題であって、未来の適用業務たり得る話題を「対象テーマ」として選び出した。
 - ③ 対象テーマの実現性を調べ、技術的な問題点をあげ、問題解決のために人工知能技術が（完成されれば）どのように役立つかを、問題展開図で追求する。③の過程は適用分野の専門家の助けを借りなければできなかったもので、ヒアリング等の方法がとられている。
- ①から③の過程は個別対象テーマについて行なわれた。全体像を欠くうらみがあるので3.2節に、全体的なまとめを行なっている。

代表分野にせよ対象テーマにせよ数量的な世界とは無縁の場所で選択された。数量的とは、積算やサンプリングから導びかれる市場規模とか、影響される人間の数、GDP（国内総生産）に占める金額といった事項を指す。これらの量的指標は、第1に、第5世代コンピュータが商品化された時の具体的イメージ（日本語音声タイプライタといったもの）を必要とし、第2に10年後の社会的変化を標準化しなければならない。数字の正しさへの疑問が多く、少人数、短期間の作業でカバーし得るとは思えない。

ヒアリングでは特に相手が呈示しない限り、第5世代コンピュータの具体像を前提とはしていない。むしろ現行の適用分野で、コンピュータによる解決が困難であり、かつコンピュータ以外に適当な解決手段が無い、といった項目を導出すべく心掛けてある。

3.2 技術課題と波及効果

(1) 推 論

推論は第5世代コンピュータ・システムのもっとも基本的な機能の1つとされている。医療における「診断」はまさにこの領域の話題であり、多少とも実用可能な推論の機能が具備されなければ支援系としての質にも問題が生ずる。また「自動翻訳」でも同じことがいえる。推論系の質に求められる水準は医療のそれよりも上かも知れない。というのは、医療の場合には生命を預るという条件のため、自動化より、良き支援系としてのイメージが強い。これと異なり、翻訳は下訳程度のものは自動化されなければ意味がなく、かつ、程度の悪い下訳は修正しても良い訳にはなり難いからである。

「エンドユーザ向言語」、なかでも自然語プログラミングの分野は、推論過程の有力な適用分野である。「エンドユーザ向言語」を超高水準プログラミング言語ないし自然語によるプログラミングと見ると、事態は翻訳系におけるものと同じになってしまう。これを利用システムの操作の簡易化またはフェイルソフト系ととらえると、100パーセント処理内容を固めないといけない在来型のシステムに対し、誤入力あるいは不完全な操作でも許容できる、「エンドユーザ向きプログラム言語」が浮び上ってくる。フェイルソフト系的话题は、在来型のコンピュータが唯一の経験となっているヒアリングの場では出てこなかった。未来の適用分野として、アプリケーション・シーズの1つとして、研究者側から強くアピールすべきであろう。

誤解や誤操作からではなく、データや適用業務自体が論理的完全さを欠いている世界としては、リモート・センシングやCAIにおけるコースウェアの自動作成などの話題があげられる。前者はアプリケーション・モデル、すなわち測定対象のモデル化が困難で、かつデータが偶然性に支配されやすい。後者では教育そのものの内包する、カリキュラムの理想像が人により不定であり、評価の尺度も一様でない、という問題がある。

これら、不定かつあいまいな世界にまで、推論の処理機能を拡張しても、具体的成果がえられるかどうかはわからない。適用分野自体の進歩発展が先決という感じを受ける。ただし、リモート・センシングやコースウェア自動作成について、支援ツールとしての機能を持たせることは困難ではない。推論以外の機能について考える時に触れることとしたい。

現在すでに推論手法を用いて実験的なシステムを稼働させている分野があることも付記しておこう。遺伝子情報処理ではスタンフォード大学のヒューリスティック・プログラミング・プロジェクトの成果(DENDRAL, MOLGEN等)があり、医療関係にもスタンフォード大学のMYCIN、東京大学のMECS-AI等がある。これらは推論だけでなく、後述の知識ベース等の機能もあわせ持っているのもので、その点をお断りしておきたい。

研究分野の全てに共通する問題であるが、中間段階における成果を明らかにするために、具

体的な適用分野を利用技術指向の形で追求することが望ましい。特に推論は知識処理全体の土台ともいえる理論分野であるので、これに直結する利用システムが中間成果になれば、プロジェクト全体についての説得力が上る。新アーキテクチャの完成を待たずに、現存のハードウェアの上で、プロトタイプのアプリケーションを具体化する段階が必要である。

(2) 知識ベース

知識ベースは今回とりあげた対象テーマの全てにわたって、実現のための基礎的要件とされている。おそらくその通りであろう。しかし個別の対象テーマにおける討議を思い起こすと、知識ベースの内容には必ずしも統一性があったとは思えない。「知識」とは、けだし、とらえどころの無い存在らしい。

技術文書自動翻訳システムでは、その中心となるのは用語辞書であろう。それも単に語句の置換にとどまらず、慣用、前後関係、年代語感など、意味に対する配慮が十分に行き届かなければいけないらしい。在来形式のDBMSとは一味も二味も違っている。

診断コンサルテーション・システムや遺伝子情報処理システムでは、ルール中心の知識ベースが表面に浮び上ってくる。研究成果の具体化が原始的な形にせよ、行なわれており、使ってみての経験が導入されていると考えられる。

これら、多少とも内容が明らかになりつつある知識ベースの他に、未だ明らかというのには程遠いものもいくつかあった。例えばCAIにおけるコースウェアである。一見知識そのもののように見えるが、その内容はカリキュラムであり、一步踏外せば、コンピュータ・サイエンスの世界の外へと出てしまう。オフィス・オートメーションにおける業務オリエンテッドなファイル（帳簿）もまた然りであろう。一般的に言って知識処理の知識が、コンピュータ・サイエンスのそれと、適用業務の分野のものとのいずれかに偏した形で取り上げられており、あたかも表裏一体のごとき感じを与えているのは好ましいことではない。線引きはデータ処理系においてさえも困難なので、知識処理系では至難だろうが、少なくとも第5世代コンピュータ・システムが扱う範囲は明示しておく必要がある。

研究開発上、あいまいさの残されている問題を明らかにする機会としては、プロトタイプもしくは中間成果物のデモンストレーションが考えられる。NASAの研究開発が、月へ人間を送ること、だけを全てとしているのではないだろうが、人間を月旅行させるというデモンストレーションによって関係者への成果報告としたことが好例である。知識情報処理も、推論機構、知識ベースといった基礎研究と並行して、例えば日本語音声タイプライタのように、万人に見える中間成果物を、当初から計画的に開発してディスプレイする必要がある。基礎研究側にとっては余分な努力を強いられることを意味するかも知れないが、研究開発の範囲についてのあいまいさを無くす、一つの効果的対策であり、かつ研究を一つの方向に集中させる環境造りに

もなる。

(3) 認 識

コンピュータによる認識は、一つの知識処理応用分野であり、基本としての推論、知識ベースの技術開発が進展すれば自然に開発されてゆくことが期待される。しかし調査の対象テーマのほぼ全域にわたって、認識技術に対する期待は想像以上のものがあったので、別項として抽出することとした。

形状認識は、診断コンサルテーション・システム、遺伝子情報処理システム、VLSI-CADへの応用、リモート・センシング・システム、知能ロボットへの応用等の分野で強く期待されている。音声認識は、診断、CAI、知能ロボット、オフィス・オートメーション等にシステム実現の前提的要件として現われてくる。文字についてはCAI、自動翻訳等にニーズがある。

認識の方法論は特性抽出に始まり、パターン・マッチングに終るというが、現状は極く一部の局所実用化が行なわれているにすぎない。ところがコンピュータへの入出力系としては、大部分の知識処理系が、形状、音声、文字等の直接処理を前提にしているのである。特に音声と画像の処理は、診断、CAI等では不可欠だ。

認識の技術はまた、現在のデータ処理需要のなかで、社会システム・公共システムなどと呼ばれる適用分野と深いかかわりを持っている。印鑑照合、指紋の照合、さらに一步を進めて、ボイス・アイデンティフィケーション等、プライバシー保護に直接利用され得るからである。人工知能の技術は、データ処理の広大な拡がりからみると、局地的サブカルチャーの一つにすぎないといわれる。推論や知識ベースのノウハウをもって、定理の証明、ゲームの自動化に興じている間は、そのような評価を受けても致し方ないが、基本技術の応用分野である認識、連想、知的インタフェースなど、現行データ処理との複合化を果せば、現存する利用者側からの強い期待に応え得るものである。

(4) 連 想

連想は現在ではデータベースの検索関係で大きな話題となっている。データ処理があまりに決定論的であるのに反して、多少とも非決定論的なコンピュータ処理を必要とする場面が多いからであろう。情報のスクリーニングを要する場合には、多かれ少なかれ要求される技術である。

典型的な利用分野は診断コンサルテーション・システムであろう。多数の原因が組合さっていても、発見できた病気から治療せざるを得まい。発見の順番が、より致命的なものからであってくればなおよい。同じ徴候の組合せでも、その時の流行の状況で、疑うべき病気の種類は変ってくる。さらに過去の経験から、専門家は考えるべき対象分野を絞っているようである。

状況は天気予報における予報官の立場でも、MISを利用するコーポレート・スタッフの場合

でも変えることはない。一般的に質問応答システムの受入れられ易さは、こうした人間類似の機能によるところが大きい。もとよりコンピュータは人間ではないから、人間と同種の作業を、人間の間でさえ能力差が問題となる世界で、行なわせるのは得策でない。またコンピュータの行なう連想は人間のそれとは全く異なった手順を踏むことも、いうまでもないことだ。要は在来型の、厳密な手順を一つ一つ追ってゆく処理形式からの脱皮が必要となっていることを主張したいわけである。

エンドユーザ向きのプログラミング言語は、そのような機能を備えて欲しいものの例である。フェイルセーフであること、重要でない部分の誤りは、自動訂正したり、時には無視してくれること、などが、望まれる機能の例である。

DBMSの経験からも分っている通り、連想系は極く原始的な機能を持たせるだけでも膨大な計算量を必要とする。現行のフォン・ノイマン型では一部の超大型コンピュータでなければ、十分な実験もできない。人工知能の理論の研究と並行して、新しいアーキテクチャに期待する話題であらう。

(5) 知的インタフェース

知的インタフェースには、端末装置や周辺装置の機能、システム系プログラムの機能、アプリケーション系プログラムの機能、システム設計の内容等、多種多様な局面が含まれている。人工知能の応用分野としてみても、前出の認識技術、連想技術はもとより、それらの基本ともなる推論や知識ベースの理論が全て包含される。

知的インタフェースには、上記人工知能分野の外の、非常に重要な因子として、人間心理の問題も忘れるわけにはゆかない。人間には当然個性の差があり、環境の差がある。コンパイラのエラー・メッセージを、すぐ理解する人も居れば、どうしても理解できない人もいる。CAIのシステムでは、インタフェース(マンマシン・インタフェース)の問題は、コースウェア以前に重要である。知能ロボットも、人間のツールとして位置付けるならば、インタフェースは使い易さの指標となる。オフィス・オートメーションにおけるインタフェースについても、同様というより、更に人間心理が探求されるべき場というところの方が実情に近いであらう。

インタフェース問題は、それ自身、広範かつ巨大な研究テーマである。第5世代における人工知能系の研究目標は、人工知能自身の難しさから推して、インタフェース問題を同じ比重で追求すべきではない。人工知能に関する基礎的な理論と技術の水準が向上してから、インタフェース研究を合体させた方がよい。それまでは並列的な研究体制が望ましいのではなかろうか。

3.3 社会的影響

54年度の報告では、ボトルネック、すなわち社会のあるべき姿と予測の差を生じせしめる要因として、次のような点をあげている。

〔低生産性分野〕

- 公共サービス
- 事務と呼ばれる業務
- 行政
- 流通業

〔国際競争力の低下〕

- 技術開発のスローダウン
- 省エネ・省資源
- 輸出力の低下（輸出摩擦）

〔人口構成の変動〕

- 高齢化（若年労働力の減少）
- 教育高度化からの摩擦
- 勤労意欲の低下
- 教育・研修費の増大

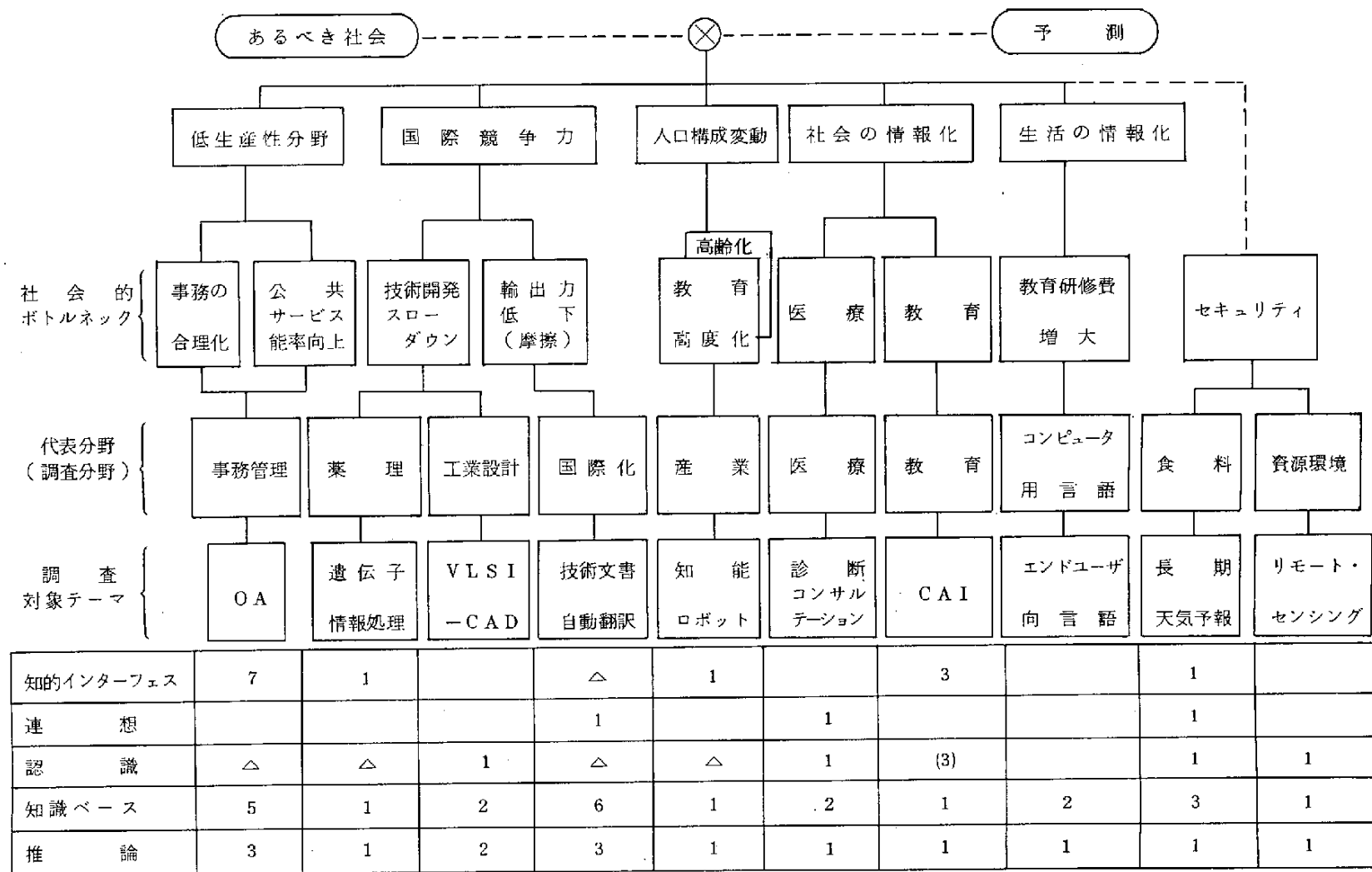
〔社会の情報化（コミュニケーション・ギャップ）〕

- 医療
- 教育
- 過密化対策
- セキュリティ・コスト
- 世代間ギャップ
- 地域間ギャップ
- 国際ギャップ

〔生活の情報化〕

- 個人を中心としたコミュニケーション・ギャップ
- 省エネ・省資源
- 個人における教育研修費増大

コンピュータがこれらの分野で生じたり、生じると予測されている問題の根本的な対策たり得るとは思えない。しかし本章冒頭に述べたように「助っ人」すなわち解決のための道具たり得る可能性はある。影響力の大きさは様々であるし、分野によっては問題自体がどのような変化



△ 明示されていない

(注) 表中の数字は、5 G技術キーワードの問題展開図での出現数を表す。

() 重複カウント

図 3 - 1

社会的ボトルネックと関連する 5 G 技術

をしてゆくか解らないものも少なくない。それを承知の上で、われわれはコンピュータ、その中でも局地的な研究分野である人工知能にかける。他の研究分野に比し、遅れているという評価はその通りである。研究の遅れはそれだけ未知の世界が広がっていることを意味している。

低生産性の分野ではオフィス・オートメーションを調査対象とした。ホワイト・カラーの生産性向上は、ただでさえオーバーヘッドの増加に悩む日本式経営に対するひとつの処方せんとなる。フューチャ・オフィスは次世代のコンピュータ利用の焦点でもある。日本が開発しなければ、他の国が先行する。しかも我国は日本語、日本字といった特殊性をかかえており、その面倒をみってくれる外国人の出現を期待するのでは、あまりに自主性がなさすぎる。

オフィス・オートメーションは、変革に伴いがちな職業人口の移動という社会的影響が予測できる点を見逃すわけにはゆかない。産業革命時代に労働人口の一次産業から二次産業への移動があり、技術革新時代には、オートメーションによって二次産業から三次産業への移動があるように、情報革命、なかんずくオフィス・オートメーションの進行は労働力の移動の大きな原因となろう。我国では人口の老齢化がこれと時を同じくして進行する。長い眼で見ると、オフィス・オートメーションは産業の活性を保つために必須であっても、短期的にはスキルの不整合といった問題を起こす可能性がある。

技術革新は二次産業、特に量産型の産業ではスローダウンしてきているといわれる。中には遺伝子工学産業、情報産業のようにこれから急成長することが予測されるものもあるが、全体として一段落していることは否めない。本調査では残された成長分野へのコンピュータ利用の可能性を探るべく、次の二つのテーマを選んだ。

- 遺伝子情報処理システム（ラボラトリ・オートメーション）

- VLSI-CADへの応用（CAD）

両者ともに人工知能の応用分野としては最適と判定できたし、産業としても将来性大といえる。技術開発の先端を行く限り、他の先進国との摩擦は最小限に止まるであろう。ただし一歩遅れをとる場合には、なまじ我国が量産技術に優れるが故に、新たな貿易摩擦を起しかねない。非常にファッション的性格を有する分野である。

貿易摩擦を回避しつつ、秩序ある輸出を続けるためには、相手国の理解を得ることが是非とも必要である。技術文書自動翻訳は、ともすれば一人よがりになりがちなカタログ、マニュアル等を中心に、相手の身になっての情報提供をしようといった面での活躍が期待される。将来の輸出品目には、適用業務全体を対象とするような、複雑・高度なシステムが多くなるだろうが、それが輸出され、設置された場所で、能力を充分発揮するためには欠くべからざる存在であろう。もっとも、その時代までに日本人の外国語についての学習が進んで、相手国の環境、

習俗に沿ったマニュアル・ライティングができるようになれば、話は別である。

社会的ボトルネックの中でも特に深刻なものに人口構成の変動、高齢化社会の問題がある。若年労働力は減少するであろうし、教育の水準の高度化は、いわゆるダーティ・ワーク離れ現象を加速するであろう。放っておけば社会生活や産業活動の底辺が揺らいでしまう。ロボット、特に知能ロボットはこうした問題の解決策として期待される。現今問題とされる自動化の進展にともなう失業問題とは、趣を異にする。オートメーションはたしかに省力化を推進してきた。単位生産量あたりの労働量は急速に減少しつつある。量産工程・化学・石油等の分野で起きた60年代の技術革新は単純労働を追放した。最近進行しつつあるCAM技術は個別生産、マテリアル・ハンドリング、検査等のスキルド・レイバーをコンピュータ化された装置で置き換えつつある。オフィス・オートメーションは遂にホワイト・カラーまでを機械化の対象に含めつつある。

上述の問題を、第5世代コンピュータ・システムと結びつけて考える議論にはやや疑問を感じる。オートメーション化に伴う労働の質の転換については問題視できるが、我国では今だかつて、オートメーションのために深刻な失業問題が生じた事実はない。なおかつ、知能ロボットの時代は、単純労働置換のはるか先の時代なのである。知能ロボットは人手を置換するかも知れないが、時代があまりに将来のこと故職業の転換という形をとるという保証はどこにもない。極論すれば趣味の転換となるかも知れぬ。ビー玉やメンコがコンピュータ・ゲームに急速に置き換えられつつあるのが、次世代の日本人社会での出来事なのである。

医療と教育は、その社会的コストが巨大であり、かつ増勢止まるところを知らず、といった実情・見通しから、解決策がコンピュータ化できれば、住みよい社会実現のためには是非とも具体化したい分野である。対象が人間、しかも個人であり、コンピュータ利用技術が最も不得意とする心理、感情等の要素が大きな比重を占めている。第5世代コンピュータ・システムが、確実に困難を克服できるとは断定できないが、従来のデータ処理系技術よりは有利な位置にいることはたしかだ。いわば残された広大な暗黒大陸を開拓するようなもので、素手に代る道具が与えられる可能性はある。

長期天気予報、リモート・センシングの2つのテーマは、それぞれ「食料」、「エネルギー」等の資源へのつながりを通じて、ナショナル・セキュリティの話題を意識したものである。またエンドユーザ向きプログラム言語は「ソフトウェア危機」の解決を意図している。ボトルネックの議論とは直接はつながらないものの、それらの重要性については議論の余地はなからう。

種々のテーマを追ってみて、人工知能研究と在来型のデータ処理の接点（インタフェース）が気になった。コンピュータ利用の基盤がデータの処理にあることは明らかである。人工知能の技術はデータ処理技術と組合されて、高度な情報処理に立ち向うのだと思うが、両者のイン

タフェースは今のところ不分明である。同じことがデータ通信系やシグナル処理系（センサベース系）との接合部でもいえる。推論、知識ベースといった基礎理論の研究と並行して、他の情報処理技術との体系化についても研究開発を進める必要がある。

適用業務の存在を前提とした利用技術の研究開発も、理論にとらず重要である。これを推進しないと、せっかくの研究の成果の活用ができない。大形のプロジェクトになればなるほど、ニーズの存在を前提とし、中間成果の実用化をしないと他のアプリケーション・オリエンテッドな研究開発に先を越されたり、あるいは無理解からくる批判を招くこととなりかねない。その意味で、プロトタイプ的な中間成果の発表はぜひ必要である。特に今回は具体的製品でなく処理ツールの開発テーマが中心となっているだけに、例えば日本語音声タイプライタといった万人向けの中間製品を発表し、評価を受けることが必要である。理論の研究と並行して、数種の間接成果を実用品の形で発表することによつて、実現性に疑問を持つ人に対しては、文句のない反論となるし、諸関係技術間のインタフェース問題についても、具体的知見が得られるであろう。

— 禁無断転載 —

昭和 57 年 3 月 発行

発行所	財団法人 日本情報処理開発協会 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館内 TEL (434)8211 (大代表)
印刷所	株式会社 三 州 社 東京都港区芝大門1-1-21 TEL (433)1481 (代表)

原本 (持出嚴禁)

受 付 No.	E -20
受付年月日	57. 4. 2
作 成 課	