

# 知識処理システムとその構築支援ツール

## Knowledge-Based Control Systems and the Related Building Tools

産業分野での知識処理システムの実用化が一段と進み、適用範囲をより拡大する技術が必要となってきた。日立製作所ではこのニーズに対して、新たな技術として、予見ファジィ推論技術、大規模な知識に対する推論技術などを開発し実用化した。これにより、従来以上の制御・診断問題の適用範囲拡大、計画問題への本格的適用を可能とした。これらは、制御用計算機HIDIC V90/5シリーズ上で、知識処理システム構築支援ツールEUREKA-II (Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-II)の拡張機能として実現している。

中野利彦\* Toshihiko Nakano

森 清三\* Kiyomi Mori

船橋誠壽\*\* Motohisa Funabashi

### 1 はじめに

産業分野では、プラントの多様化、設備の複雑化・大規模化に伴って、プラント運用に必要な技量は以前にもまして高度化している。このため、プラント運用の自動化範囲の拡大、効率的かつ安定した操業、および高度な品質制御を実現する計算機制御システムの構築が強く要求されている。

しかし、従来用いられている数値処理制御だけでは、これらの解決に限界がある。

これらを解決することを目的に、知識処理システムの開発が意欲的に取り組まれ、近年実用システムとして運用されている例が増加している<sup>1)</sup>。

日立製作所はこのような中で、1960年代からAIの研究に着手し、知識処理技術の実用化に積極的取り組み<sup>2)</sup>、リアルタイム制御分野で世界で初めての実用システムの実現や<sup>3)</sup>、産業各分野でわが国初の実用システムを開発するなど、実用性を重視した技術開発を進めている<sup>4)</sup>。

この技術開発では、知識処理技術を特別な個別技術として扱うのではなく、実用システムでの情報制御への要求に照らし合わせ、総合的な観点から進めている。

これまでの具体的な成果としては、実用システムの開発と、これらシステムの基盤となっている知識処理システム構築支援ツールEUREKA-II (Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-II)の開発がある。

本稿では、最近、日立製作所が開発あるいは開発に貢献してきている知識処理システムを概観するとともに、これらシステム構築の基礎となっているツールEUREKA-IIについて述べる。

### 2 知識処理システムの概要

知識処理システムの幾つかの成功事例をきっかけとして、さまざまな分野で実用システムの開発が進められている。これらの発展は、伝統的なシステム制御技術の流れの中に位置づけてみると、図1のようにまとめられる。

図1に示すように、「知識処理」の工学的な意義は、次の2点にあると言える。

#### (1) システム制御の問題解決の考え方(パラダイム)

これまでのシステム開発のよりどころが数式的な知識に偏っていたのに対して、経験的な現場の知識をも活用してこうとする新たな姿勢

#### (2) 新しい計算機プログラミング手法

計算機に現場の知識を与え活用するには、数値処理ではなく言語的(記号論理的)処理が必要であり、さらに、知識を計算機に与える過程も段階的でなければならないという点に着目したプログラミング手法の提供

このような考え方に基づいて、知識処理システムは最初は新しいプログラミング手法という位置づけで普及し<sup>4)</sup>、その後、システム制御の基本的技術である「モデリング技術(制御対象の動作・特性などの記述、すなわちモデルを求める技術)」や「数学的な最適化技術(制御対象のモデルに基づいて、最良な操作量あるいはシステム構成を見つけだす技術)」と融合し、現在では解析形問題、合成形問題と呼ばれる課題に取り組む技術分野へと発展している。

#### 2.1 制御・診断問題への適用(モデリング)

制御の品質向上や複雑なプラントの運転支援のためには、制御対象の動作や特性などを計算機の中に記述しなければな

\* 日立製作所 大みか工場 \*\* 日立製作所 システム開発研究所 工学博士

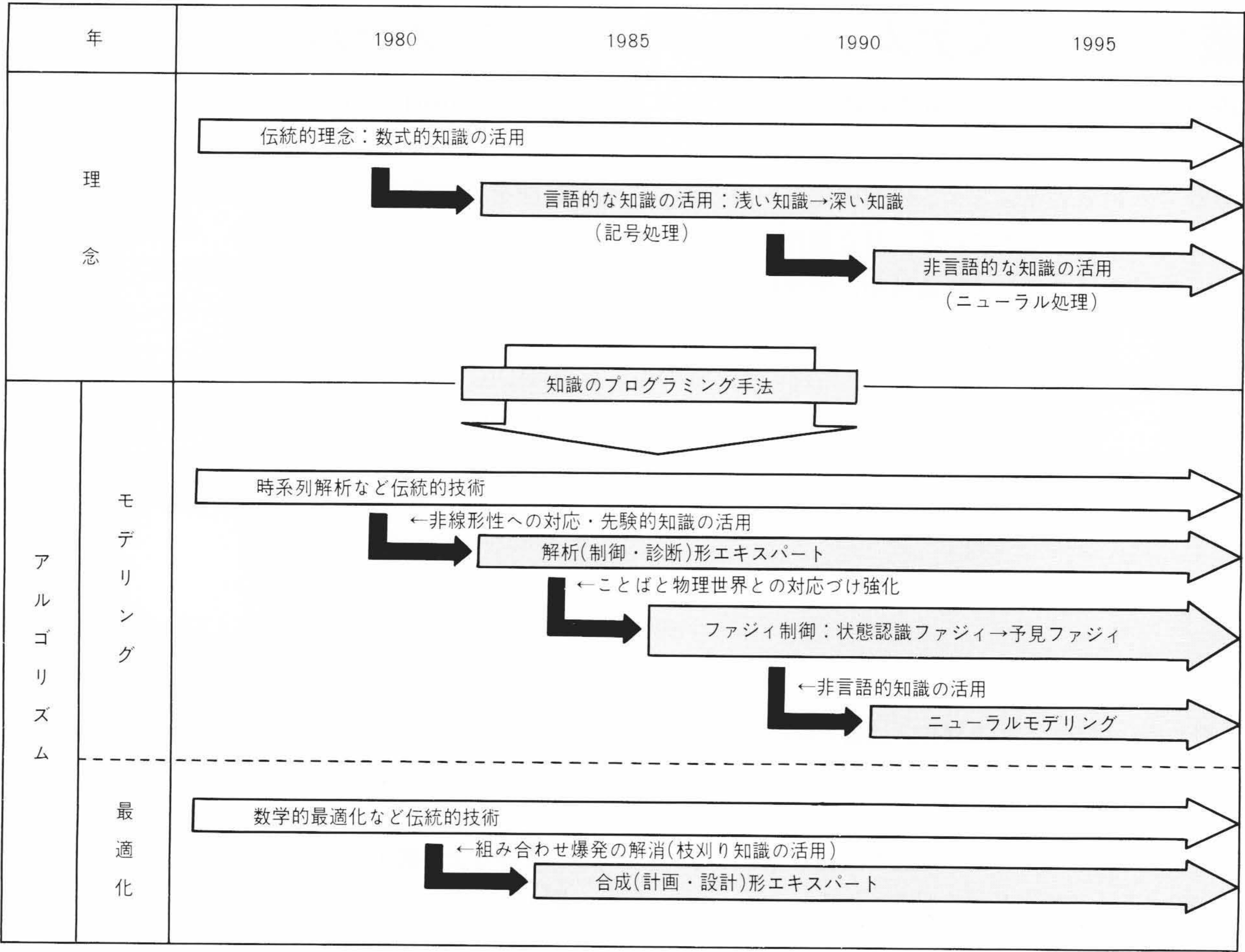


図1 システム制御分野におけるAI技法の展開 システム制御技術は、AI技法を取り込んで新たな成長を遂げ始めている。

らない。このような記述は、伝統的には数式を基本とすることが多かった。しかし、知識処理技術によって専門家の持っている素朴な、自然言語的な知識も積極的に活用できるようになってきている。知識処理では、専門家の持っている知識を、「if～then～(もし～ならば～である)」といったルールや、幾つかの属性の集まりで事物を表現するフレームなどによって、自然言語に近い形で計算機に与えることができる。これらの知識を、計算機は状況に応じてつなぎ合わせて結論を導く。このため、数式では表しにくい、制御対象の特性表現としては貴重な専門家の知見を、計算機に反映させることが可能となった。

ことばで表した専門家の知識は、実際の物理現象と関連づけるのが難しいことがしばしばある。このような問題を解決する手段として注目を集めているのが、ファジィ推論である。ファジィ推論の考え方を制御に適用する方法としては、状況認識形ファジィ制御方式がよく知られているが、日立製作所では知識の活用度合いをさらに高めた「予見ファジィ制御方式」を開発し、実用化している<sup>6)</sup>。

制御・診断問題への適用事例を図2に示す。同図に示すように、プラント診断などを中心とした運転支援システムの開

発が多く、また、専門家から得られる知識の不確実性に対処するために、ファジィ推論が活用され始めている。制御問題についても、ファジィ推論の活用が増えている。道路のトンネル換気制御では、トンネル内の空気汚染現象の持つ不確実性に対処するために、汚染現象の特性をファジィ推論モデルで表し、このモデルを用いた深い推論から操作量を決定する予見ファジィ制御方式を開発した。従来の制御方式に比べて著しい省エネルギー効果を生み出すことに成功している<sup>6)</sup>。

2.2 計画問題への適用(最適化)

線形計画法に代表される数学的最適化手法は、多様な可能性のある中から最適なシステム構成を求めたり、あるいは最適な操作量の値を求めるための強力な手段として、さまざまな分野で利用されてきている。しかし、多数の代替的要素の最適な組み合わせを求めるという計画、設計問題の場合には無力に近い。なぜなら、最適組み合わせを求めるには、代替的要素の組み合わせケースを総あたりして見る必要があり、この組み合わせのケースが天文学的数字になってしまうことが多いからである。

知識処理を合成形問題に導入するねらいは、無数といえるほどある代替案の集まりに対して、経験的な知識を用いて解

| 問題のタイプ | 知識処理適用のねらい                | 具 体 例                                                                           |
|--------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 診断問題   | プラント診断・措置マニュアルの計算機化       | ●プラント電力系統診断・措置ガイダンス<br>●自家発電プラント予防保全<br>●ファジィ応用雨水排除ポンプ予防保全<br>●ファジィ応用化学プラント運転支援 |
| 制御問題   | 不確定なプロセス制御のための関連情報の総合的な活用 | ●高炉操業ガイダンス<br>●鉄鋼加熱炉運転制御<br>●ファジィ応用道路トンネル換気制御<br>●ファジィ応用鉄鋼圧延形状制御                |

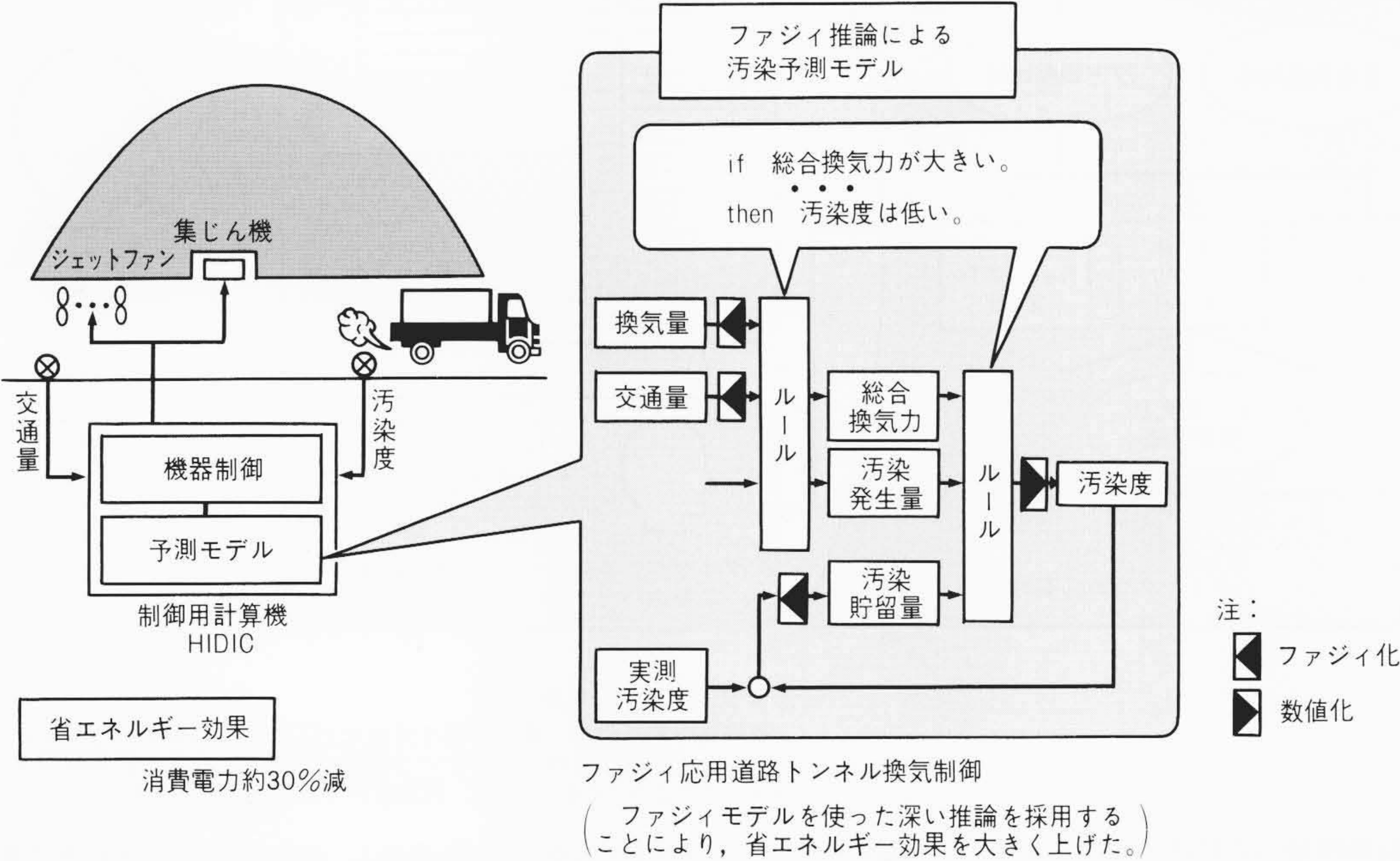


図2 診断・制御問題への知識処理技術の応用例 プラントについてのさまざまな知識が、ルール、フレーム、ファジィルールといった形で計算機システムに蓄えられて、診断や制御に効果を上げている。

を探索する領域を狭め、実用的に許される時間の範囲内で有用な解を見つけられるようにする点にある。このような問題解決の実際レベルでの例としては、図3に示すように、貨物積み付け計画<sup>7)</sup>、ガラス採板計画<sup>8)</sup>、列車ダイヤグラム作成<sup>9)</sup>、鉄鋼ヤード運用計画<sup>10)</sup>などの支援システムがある。

典型的な合成形問題の事例としては、列車ダイヤグラム作成支援システムをあげることができる。列車ダイヤグラム作成の難しさは、輸送需要に合わせた列車運行を立案する上で、さまざまな制約条件(例えば、使用路線の構成、乗務員の勤務条件、車両の整備など)を考慮しなければならない点である。この意味で、ダイヤグラム作成とは、乗務員、列車などの機材を含めた総合的な運用スケジュールを立案するという、決定変数のきわめて多い問題と言える。このような多様な制約の下で計画を立案する方法として、問題を幾つかの重要な部分問題に分割し、さらにこの部分問題をブレークダウンしていくと同時に、部分問題間の干渉も並行して解決していくという、計画立案の方式を開発した。

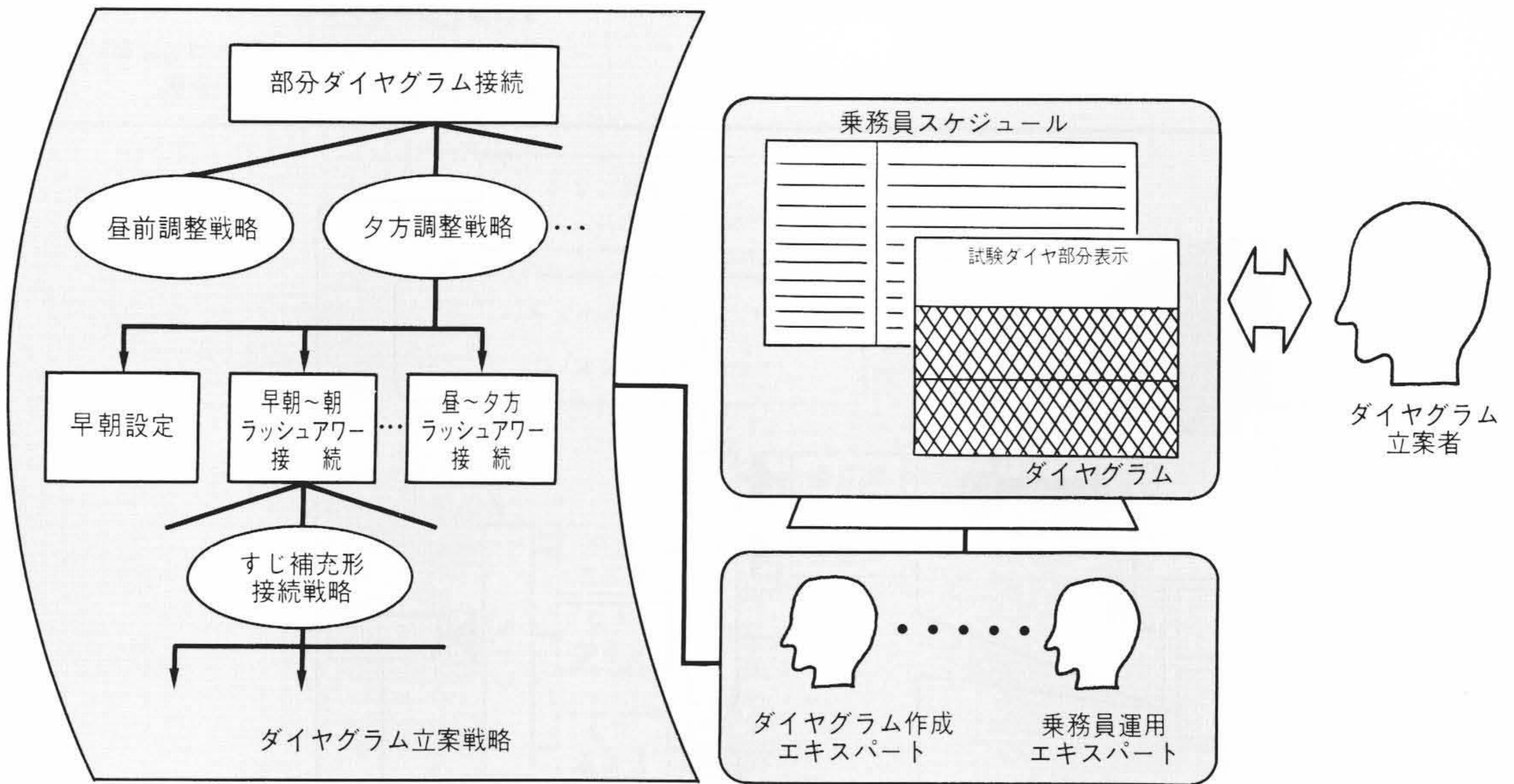
特に、この方法では、計画の途中で必要に応じてシステムユーザーが判断を加えられるよう、さらに場合によっては、システムユーザーが主導権を持って、計画立案を進められるような配慮をしている点に大きな特徴がある。具体的には、部分問題の解決プログラムを、あたかも人間と同じような判断処理のふるまいをする「擬人化概念」の下に作成することによって実現している。

2.3 パターン認識的問題解決への展開

知識処理は、計算機にことばで記述した論理を与え、このことば処理を人間に代わって実行させようとするものである。しかし、パターン認識に見られるように、人間の判断処理の中には、その処理の過程をことばで表現するのは困難な場合も多い。このような場合の有力な手段として期待されているのが、人間の知能をハードウェア的にまねようとするすなわち神経回路網を人工的に作り上げるニューロコンピューティングである。

すでに、鉄の圧延形状を認識したり<sup>11)</sup>、化学プラントの状態

| 問題のタイプ | 知識処理適用のねらい                              | 具 体 例                                                |
|--------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 計画問題   | 要素組み合わせ案の生成と評価・絞り込み、<br>経験的知識による探索領域の縮小 | ●貨物積み付け計画<br>●ガラス採板計画<br>●鉄鋼ヤード運用計画<br>●列車ダイヤグラム作成支援 |



列車ダイヤグラム作成支援：  
乗務員の割り付け、車両の割り付けなど、複数個のエキスパートシステムを協調的に動作させるという構成によって、複雑な計画問題を解決できるようにするとともに、利用者からの割り込みも容易にした。

図3 計画問題への知識処理の応用例 知識の代表的な表現方法であるルール形記述は、制約条件を満たす計画代替案の探索につごうがよい。この特性を生かして、生産スケジューリングなどの計画問題への適用が進んでいる。

変化を時系列データから検出する<sup>12)</sup>といったパターン認識的課題で実用化を図っている。知識処理では解決の難しい側面を補う技術として、このような直観処理とも言える人間の判断機能部分の計算機化が、今後いっそう進んでいくものと思われる。

3 知識処理システム構築支援ツールEUREKA-II

3.1 支援ツールのニーズ

知識処理システム構築支援ツールとは、前章で述べたような知識処理システムを具体的に作り上げるための支援ツールであり、これに対するニーズは、以下のように整理される。

まず、知識処理システムは、適用する問題に応じた種々の知識を容易に表現できる必要がある。すなわち、熟練運転員の判断知識はもとより、プラント設備の機器構成や状態に関する知識も容易に表現できる能力が必要である。

また、知識利用形態の重要なポイントは、専門家の思考過程に近い推論方式を備えていることである。この方式の代表的な推論方法として、三段論法である演繹(えき)的推論を行

うプロダクションシステムや、専門家の持つ知識の不確実性をメンバーシップ関数で表現するファジィ推論がある。さらに高度な知識処理システム実現のためには、複雑な問題を階層化して解決する階層推論や、予見ファジィ推論の支援が不可欠である。

さらに、産業分野ではプラントのトータル制御実現のため、複数の知識処理システムが互いに有機的結合を図りながら、協調して推論を進める方式も必要不可欠である。

一方、計算機システムに組み込み実行するためには、前記のニーズのほかに、次のような点も具備する必要がある。

(1) リアルタイム性・信頼性

知識処理では、パターンマッチングによって処理が進行する。このため、計算機の処理負荷は従来ソフトウェアに比べて必然的に増大する。オンラインリアルタイムシステムに適用するためには、推論の高速性が要求される。

また、信頼性の確保も必要不可欠である。すなわち、異常発生時のフェイルセーフ機能、推論過程・結果の検証機能などが要求される。

表1 EUREKA-II の特徴的機能 多様な知識表現でさまざまなノウハウが容易に入力でき、リアルタイム向けの推論処理速度を備えている。

| ニ ー ズ              | 項 目         |       | EUREKA-Ⅱ の特徴的機能                                                                                                      |
|--------------------|-------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 知識の表現・利用形態の<br>多様性 | プロダクションシステム | 知識表現  | ● ルール，フレーム<br>● プライベートメモ（推論過程での中間仮説）<br>● メタルール（ルール群の実行制御）                                                           |
|                    |             | 推 論 法 | ● 前向き，後ろ向き一体形推論<br>● トップダウン形の階層推論<br>● 複数知識ベースの並列推論<br>● 大規模知識推論                                                     |
|                    | ファジィシステム    | 知識表現  | ● ファジィルール<br>● メンバーシップ関数                                                                                             |
|                    |             | 推 論 法 | ● 基本ファジィ推論<br>● 予見ファジィ推論                                                                                             |
|                    | 共 通         |       | ● 日本語ベースの知識記述<br>● プロダクションとファジィの協調推論                                                                                 |
| リアルタイム性・信頼性        | 推 論 速 度     |       | ● 高速推論<br>● ルールの総数によらない応答性能                                                                                          |
|                    | 信 頼 性 確 保   |       | ● 推論の上限条件指定<br>● 推論異常時のフェイルセーフ                                                                                       |
| 従来ソフトウェアとの結合性      |             |       | ● プロセスデータ入出力インタフェース<br>● グラフィックディスプレイ表示インタフェース<br>● 従来ソフトウェアをEUREKA-Ⅱのサブルーチンとして利用<br>● EUREKA-Ⅱを従来ソフトウェアのサブルーチンとして利用 |
| 使い勝手の良い開発環境        |             |       | ● マルチウインドウ，マウスによる操作<br>● 日本語ベースの知識エディタ<br>● 知識ブラウザ（静的解析）<br>● 知識デバッグ                                                 |

注：略語説明 EUREKA-II (Electronic Understanding and Reasoning Knowledgege Activation-II)

(2) 大規模システムへの対応

知識処理システムの扱う知識の規模は、目的によって数十のものから数千のものまである。このため、小規模な知識はもとより大規模な知識をも効率よく扱うことができる必要がある。

(3) 従来ソフトウェアとの結合性

実用的な計算機制御システムを構築する場合、知識処理システム単体で実現することは少ない。知識処理は、人間の思考過程の計算機化あるいは条件分岐の多い業務の計算機化に適している。したがって、従来ソフトウェアと知識処理が相互に役割分担して、一つのシステムを実現するのが妥当である。さらに、既存ソフトウェアの機能拡張として、知識処理システムを導入する場合についても考慮する必要がある。

このため、手続きプログラミング言語で作成された従来ソフトウェアとの高い結合性が要求される。

3.2 EUREKA-II の機能

EUREKA-IIは、上記3.1に述べたニーズを満足させるものとして開発した知識処理システム構築支援ツールである。その特徴的機能を表1に示す。

これら特徴的機能のうち、近年の知識大規模化に対応した機能である「大規模知識推論」、さらに知識処理システムを効率よく構築する上で重要となる「開発環境」について説明する。

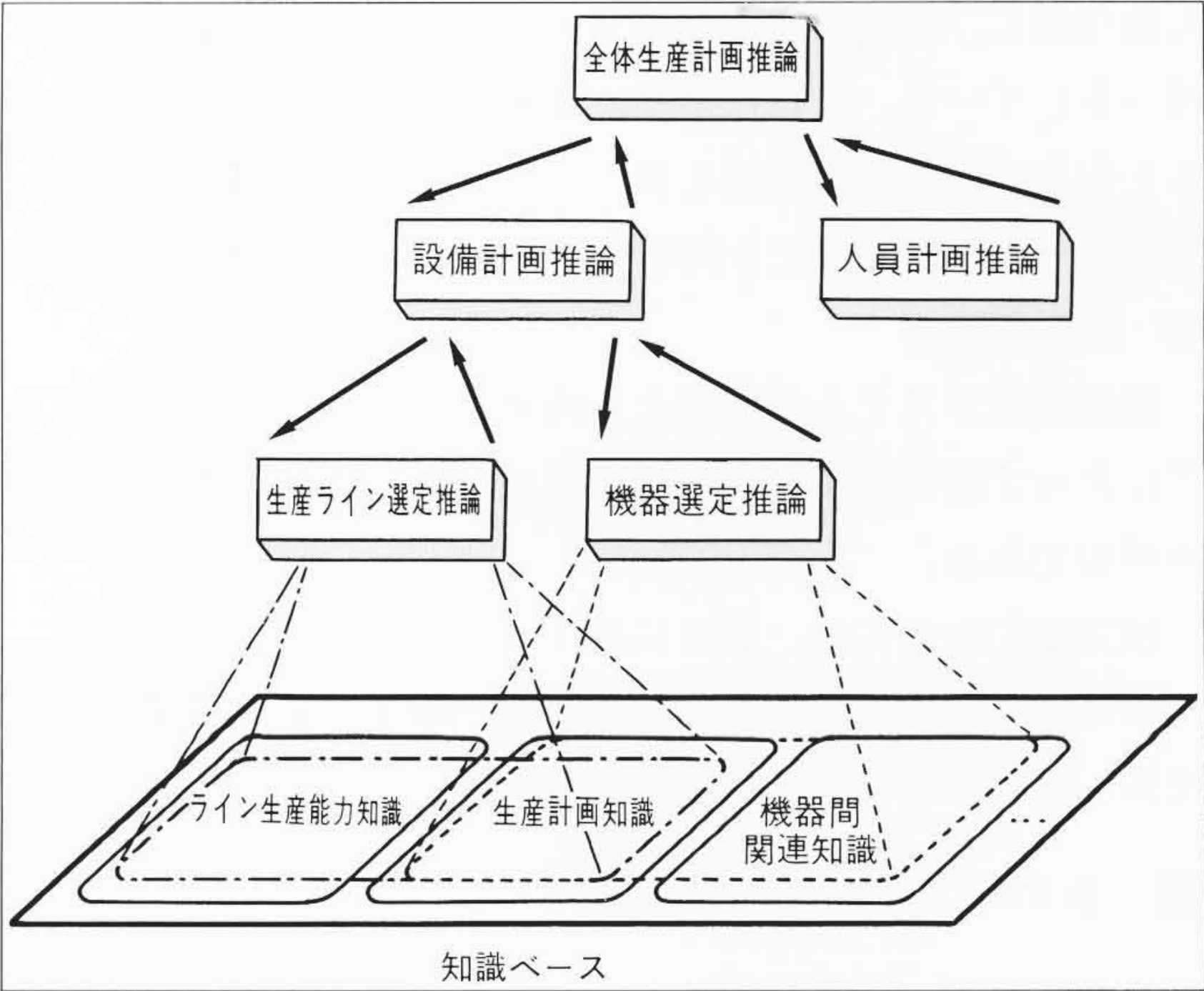


図4 大規模知識推論の例 複雑な問題を詳細な問題に分割し、概略レベルから詳細レベルと段階的に推論を進めることができる。各推論時には、必要となる知識だけを動的に用いる。

(1) 大規模知識推論

知識の規模が大規模になると、通常の推論方法では著しく推論速度が低下し、実用に耐えられるシステムを構築することができなくなる。

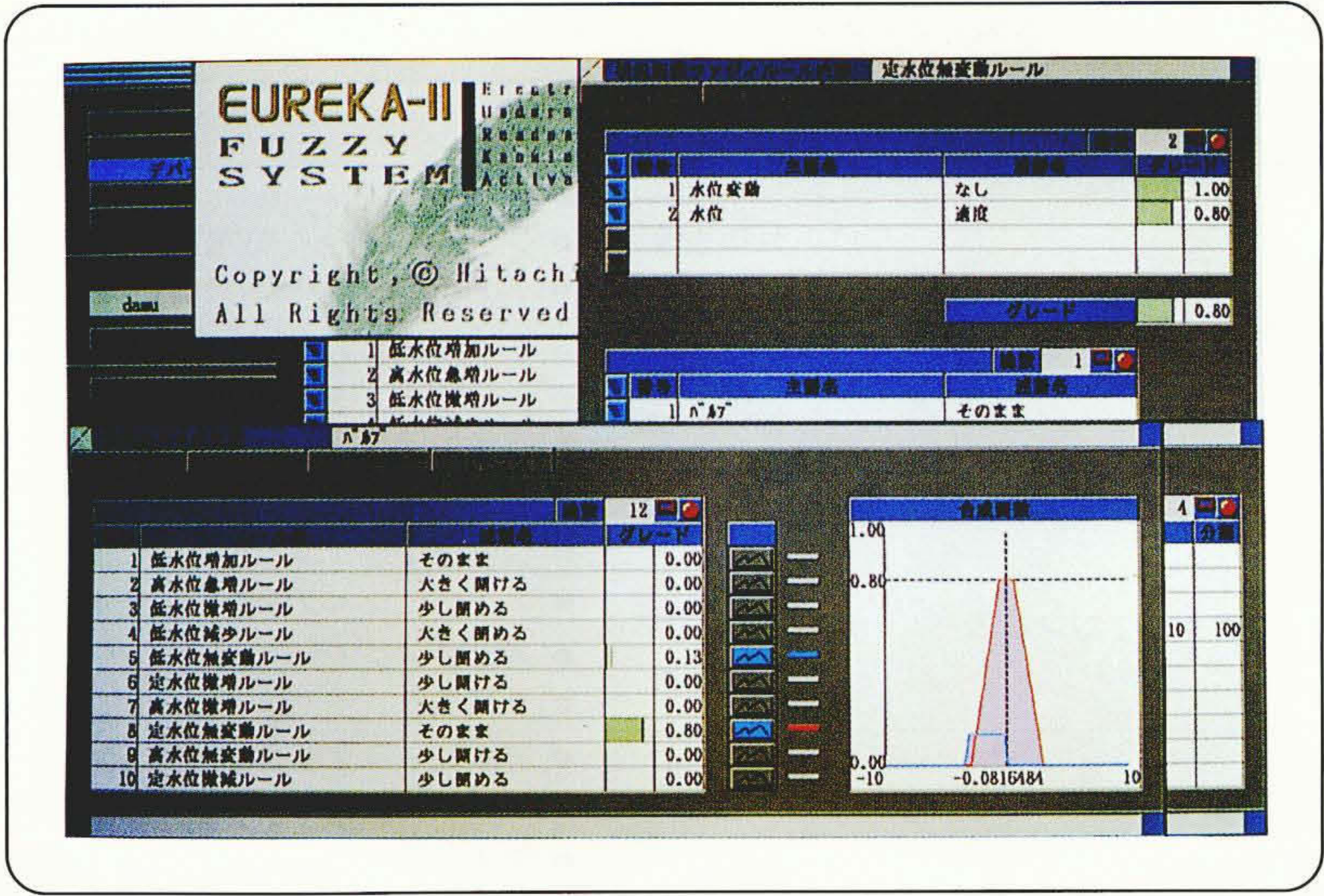


図5 開発環境の画面例 マルチウインドウ，マウスによる操作を基本とした開発環境を備えており，知識の入力や正しさの確認が容易に行える。

このような大規模な知識を専門家が扱う場合，すべての知識を同時に扱うのではなく，最初に概略についての検討を行い，さらに大きな問題を幾つかの詳細問題に分割しながら問題解決を行う。各問題解決段階では，それぞれの問題解決に必要な知識だけを動的に用いる。

EUREKA-IIでは，図4に示すように問題解決手順を階層定義し，各推論で必要となる知識だけを動的に知識ベースから取り出し，推論結果を知識ベースに反映する推論方法をサポートしている。これにより，従来の推論速度を低下させることなく，大規模な知識を扱うことができる。これによって，知識を一元的に管理でき保守性も向上するという利点がある。

(2) 開発環境

知識処理システムを効率よく構築するためには，エンジニアにとって使い勝手のよい開発環境を備えていることが必要不可欠である。

EUREKA-IIでは，図5に示すようなマルチウインドウ，マウスによる操作を基本とした，使い勝手のよい環境として提供している。

4 おわりに

産業分野での知識処理システムおよびその構築支援ツールEUREKA-IIについて概観した。本稿で述べたように，制御・診断問題での不確実性への対応，計画問題での組み合わせ爆発への対応，さらにパターン認識的問題解決など，実際の課題に沿った確実な技術開発を進め，実用的な知識処理システムに適用してきた。また，これらの技術を多くの知識処理シ

ステムで共有できるよう，EUREKA-IIへの取り込み・拡張を進めてきた。今後とも，幅広い知識工学技術を取り入れ，よりユーザーのニーズにこたえるため不断の努力を積み重ねていく考えである。

参考文献

- 1) 日経AI別冊1991冬号「日本のエキスパートシステムを総ざらいする」(1991年1月20日)
- 2) 船橋，外：知識処理システムとその構築支援ツール，日立評論，70，5，547～554(昭63-5)
- 3) 日経産業新聞(昭和59年4月20日号)
- 4) 船橋，外：知識処理システムの現状と動向，日立評論，71，8，701～707(平元-8)
- 5) 安信：列車運転のファジィ制御，システムと制御，32，11，629～636(1988)
- 6) 長滝，外：トンネル制御への知識工学の応用と効果，日立評論，71，8，725～732(平元-8)
- 7) 天満，外：知識工学技術を応用した貨物配置決定方式の提案，電気学会論文誌，107C，2，165～172(1987)
- 8) 堀尾，外：採板計画エキスパートシステム，電気学会論文誌，108C，9(1988)
- 9) 漆崎，外：札幌市交通局納め列車ダイヤグラム作成支援システム，日立評論，71，8，741～746(平元-8)
- 10) 柴垣，外：製鉄原料ヤード配置計画エキスパートシステム，日立評論，71，8，797～802(平元-8)
- 11) 中島，外：ニューロ・ファジィ応用圧延機形状制御システム，日立評論，73，8，749～756(平3-8)
- 12) 川口，外：プロセス分野向け多品種管理・制御パッケージMSCRの開発，日立評論，73，8，781～786(平3-8)