

知識処理システムの現状と動向

Trends of Knowledge Processing Systems

知識処理の適用を広げる新技術として、予見ファジィ推論技術と大規模な計画・設計問題向け推論方式を開発し、実用化した。予見ファジィ推論技術は、オペレータの判断の仕方やプラントに関する深い知識を活用して複雑なプロセスも高品質に制御できるようにした。計画・設計問題向け推論技術は、いくつかのエキスパートシステムが協調して推論するという方式によって、巨大な組み合わせ問題をも解決可能とした。これらは、制御用計算機HIDIC-V90/5シリーズ、エンジニアリングワークステーションHIDIC-ESシリーズ上で、知識処理システム構築用ツールEUREKA-II (Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-II)を用いて実現している。今後は、これらの経験を踏まえて、知識情報処理から知能情報処理へと拡大・展開していく。

舩橋誠壽* *Motohisa Funabashi*
林 利弘** *Toshihiro Hayashi*
増田崇雄*** *Takao Masuda*
塩永凱夫**** *Yoshio Shionaga*

1 緒 言

意思決定を迅速かつ的確に行ったり、専門的技術者の不足を補うことなどを目的に、知識処理システムの開発が意欲的に取り組まれてきている。しかし、これらの取り組みで実際に実用システムとして使われる水準にまで到達する割合は、依然として低いのではないかと推定されている¹⁾。このようななかで日立製作所は、1960年代からAI(Artificial Intelligence:人工知能)の研究開発に着手し、知識処理技術の実用化にも積極的に取り組んできた²⁾。リアルタイム制御分野で世界で初めての実用システムを実現したり³⁾、あるいは産業の各分野でわが国初の実用システムを開発するなど、実用性を重んじた技術開発を進めてきている。

この技術開発では、知識処理技術を輸入技術として扱うのではなく、制御や情報処理への要求に照らし合わせて、知識処理を独自の技術として育成することをねらいとしてきた。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ツールEUREKA-II (Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-II)の開発がある。特に、このツールの開発では、制御分野での知識処理実用化の要点が推論処理速度にあると考え、この結果、ルール、フレーム(p.8用語解説1.参照)といった知識処理の基本的な機能を満たしながら、世界最高水準の推論処理性能を得るのに成功した⁴⁾。

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さまざまな知識処理システムを概観するとともに、これらの開発と並行して新たに生み出している新技術、さら

に今後の技術開発の方向について紹介する。

2 知識処理システムの動向

専門家のノウハウを計算機に取り込んで、専門家と同等レベルの高度な判断処理を計算機に実行させようという知識処理システムは、いくつかの成功事例が生まれるにつれて、もはや不可避な技術になり始めている⁵⁾。さまざまな分野で、実用をねらいとしたシステムの開発が推進されている。日立製作所が開発あるいは開発に貢献したこれらのシステムの代表的事例を、分野ごとに示すと図1のようになる。

電力分野では電源の多様化、系統の複雑・大規模化に伴って、系統運用に必要な技量は従来と比べいっそう高度化している。そのため、この要求にこたえる系統運用支援システムの開発が進められている。発電プラントレベルでも、発電所運用の高効率化の要求、自動化範囲の拡大などから、プラント運転を的確に支援するシステムの開発が不可欠となっている。このために、実用化を前提としてユーザー、メーカーが一体となった共同研究を進め、さらには、実用的システムを開発してきている^{6)~10)}。

上下水道、鉄道、道路といった社会システム分野では、システム利用者に対するきめ細かい、さらに安定したサービスの提供が求められている。安定したプラント運転実現のための運転、保全支援システム^{11)~13)}、きめ細かいサービス提供のための運用計画作成支援システム¹⁴⁾などの開発が盛んである。

* 日立製作所システム開発研究所 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所機電事業本部 **** 日立製作所電力事業本部

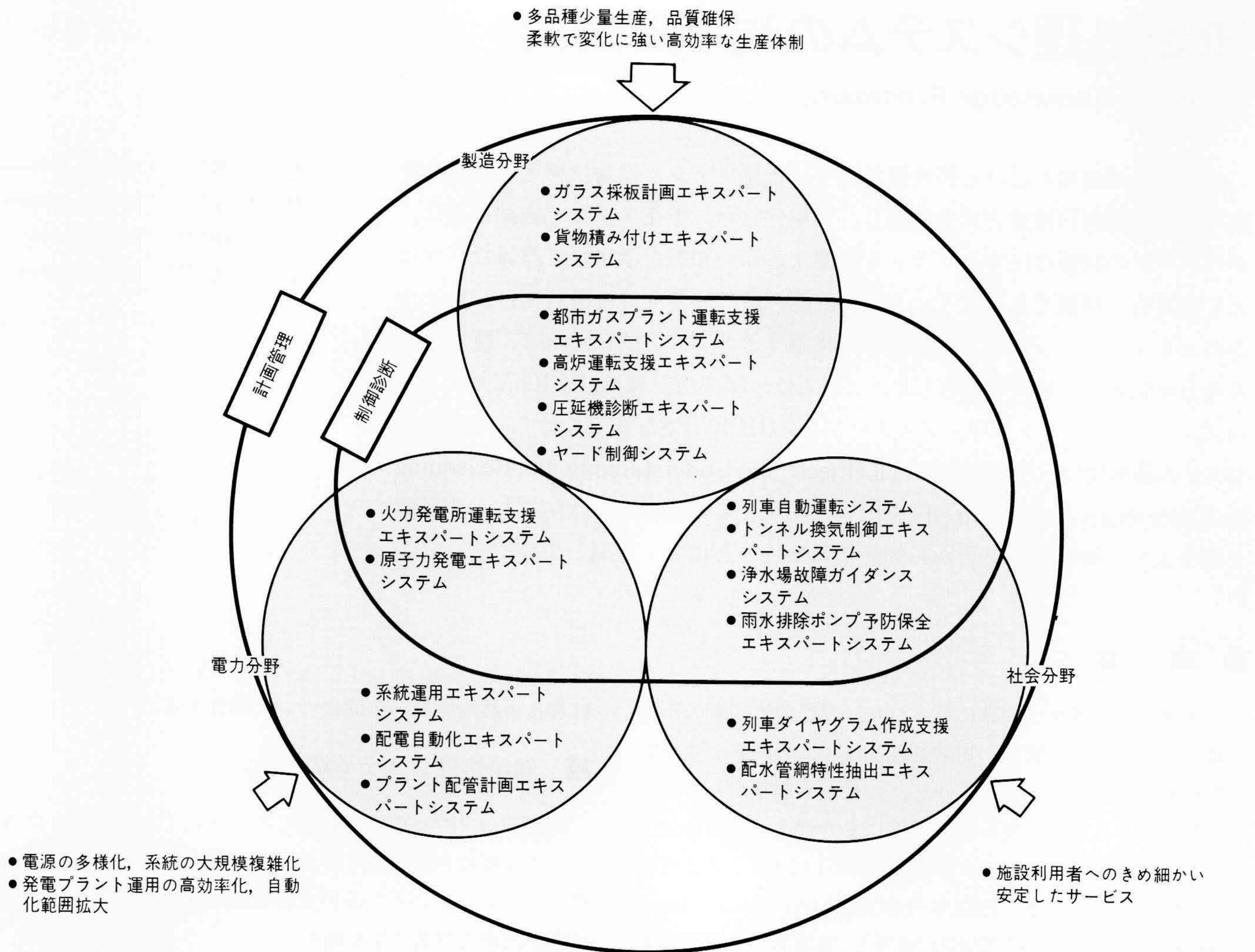


図1 産業分野での知識処理システムの実用化例 電力，社会，製造の各分野にわたって，計画・管理，制御・診断のための知識処理システムを実用化してきている。

鉄鋼，化学，食品，ガラスなどの製造分野では，製品のライフサイクルの短期化，多品種少量生産，さらには市場と直結した戦略的な生産などの要求を背景に，柔軟で変化に強い高効率な生産体制の実現が望まれている。このために，柔軟な生産計画の立案¹⁵⁾，歩留りの高い高品質なプラント運転¹⁶⁾，プラントの安定した発停止などのための支援システム¹⁷⁾が開発されている。

これらの開発事例を，知識処理技術としての発展過程として位置づけてみると，図2のようにまとめられる。「知識処理」あるいは“AI”ということばは，初めて聞く人には一般に大きな期待を抱かせる。しかし，その本質をとらえると「知識処理」の意義は，システム制御での問題解決の基本的考え方（パラダイム）の転換と，これを実現するための新しい計算機プログラミング手法の始まりといえることができる。すなわち，システム制御のさまざまな問題の解決に際して，知識処理が優れている点は，

(1) パラダイム

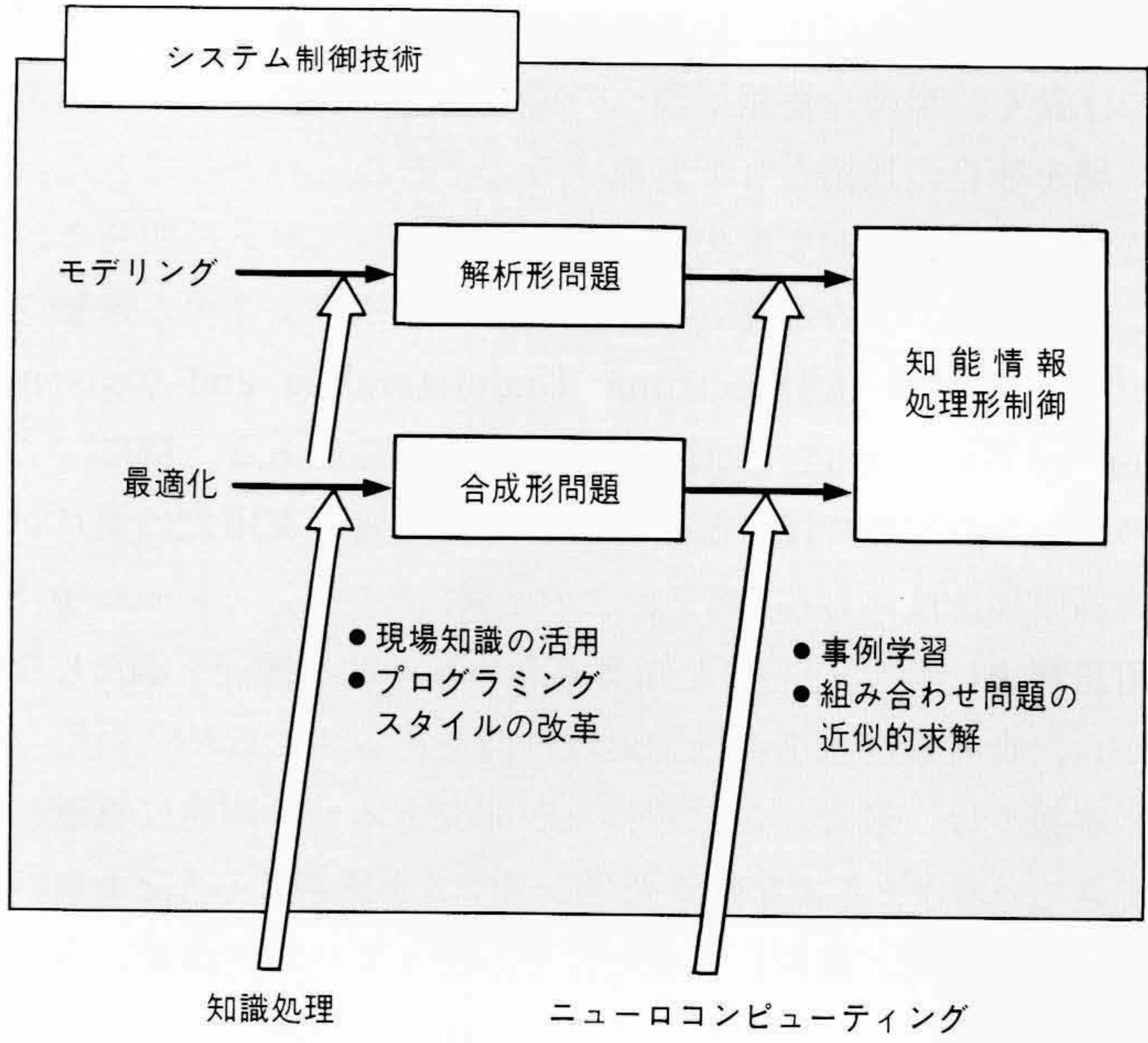


図2 制御情報処理での知識処理技術の展開 知識処理技術は解析形問題，合成形問題へと展開・分化している。今後はニューロコンピューティングと融合し発展してゆく。

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、より未組織な現場的な知識をも活用していこうとするシステム開発の新たな姿勢

(2) 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にするのが重要であるという点に着目した新しいプログラミング手法の二点にあると言える。

このような考え方に基づいて、知識処理システムは、最初は主として新しいプログラミング手法という位置づけで普及していった。その後、普及につれてシステム制御の基本的技術、すなわちモデリング技術(制御対象の動作・特性などの記述・表現であるモデルを開発する技術)あるいは数学的な最適化技術(制御対象のモデルなどに立脚して、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、今日では解析形問題、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、分化している。これらの技術課題の詳細内容と最近での代表的な開発事例を表1に示す。この表に示すように、解析形問題では対象システムに含まれる不確実性にどのように対処するかが要点であり、合成形問題では無数に存在する多様な解決代替案の中から、満足できる解決案をどのように効率よく求めるかという点が要点となっている。

3 モデリング——自然言語的な知識の活用と不確実性への対応

制御対象の動作、特性を計算機上に記述・表現するモデリングは、制御システムを実現するうえで基本的な事項である。モデリングの良しあしが制御の品質を決定する。伝統的なモデリング技術では、数式的に制御対象の特性を表現することに主眼が置かれていた。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(記号論理的)な対象認識も、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、いく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知見を、計算機に反映させることが可能となった。図1に示すような、さまざまな複雑なプラントの診断、運転支援が実現されるようになった背景である。

専門家の知識は、その構造自体は的確であるが、「大きい」「小さい」といったあいまいな表現が含まれることもある。このような場合には、実際の現象との対応づけが難しくなる。この不確実性の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(p.8用語解説2.参照)技術である。

表1 知識処理の応用問題のタイプ 問題のタイプは解析形問題と合成形問題に大別される。それぞれについて実用システムを開発している。

問題領域		内容	具体事例
解析形問題	解釈問題	●多次元アナログデータに対するパターン認識 データの特徴づけによるパターン辞書の作成、辞書と観測データとの対応づけ(一種の組み合わせ最適化)	●都市ガス製造プラント向け運転支援システム
	診断問題	●多次元アナログデータに対するパターン認識、および因果モデルに基づく原因事象の推定(一般に、構造的な因果モデルの開発は困難なため、因果関係表のレベルのモデルが利用されることが多い。)	●油圧圧下装置診断エキスパートシステム
	制御問題	●連続事象プロセス 多次元アナログデータに対するパターン認識、および因果モデルに基づく最適操作の探索 ●離散事象プロセス 知識処理言語の導入による制御ソフトの生産性、保守性向上(ソフト検証問題の解決要)	●道路トンネル換気制御システム ●ヤード制御システム
合成形問題	計画問題	●競合条件など相互干渉を持つ複数資源(含む活動)の、時系列軸上での最適組み合わせの探索、人間介入への配慮が重要である。	●列車ダイヤグラム作成支援システム
	設計問題	●競合条件など相互干渉を持つ構成要素の、最適組み合わせの探索(構成要素自体の最適化を含む場合もあり)、人間介入への配慮が重要である。	●プラント配管レイアウトシステム

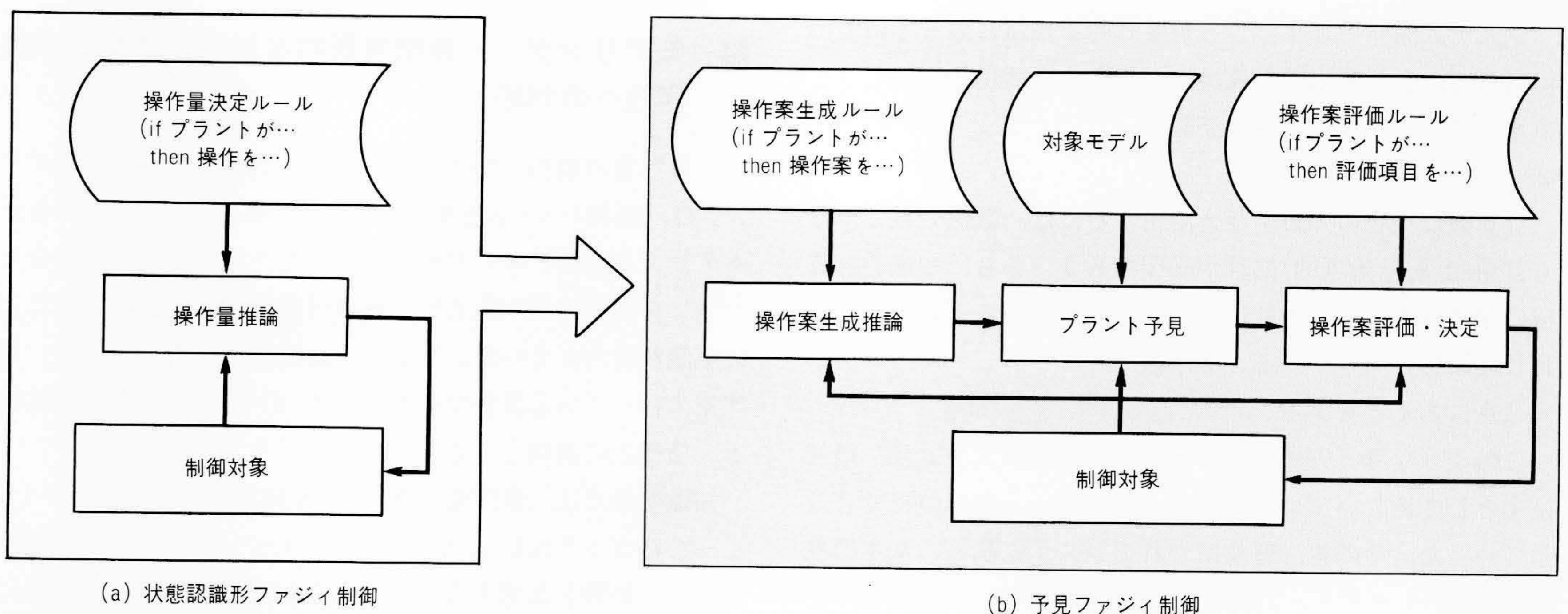


図3 深い知識を活用する予見ファジィ制御 制御対象のモデルを用いたリアルタイムシミュレーションによって、非線形・多目的な系に対しても最良の操作を実現する。

ファジィ推論の考え方を、制御に適用した状況認識形ファジィ制御と呼ばれる方法がよく知られている。この方法は制御対象の状態に応じて、採るべき制御操作を決定するという方法である。現場のあいまいな知見を活用可能にするという点でこの方法は画期的であるが、この本質は制御対象の状態に応じて採るべき操作を仕分けしているにすぎない。したがって、その制御の質にもおのずと限界がある。この問題を解決する手段として考案したのが、予見ファジィ制御である¹¹⁾(図3)。

予見ファジィ制御では、制御対象の状態に応じて採るべき操作を推論することは状況認識形ファジィ制御と同じであるが、ここではさらに制御対象に関するモデル、すなわち深い知識を活用する枠組みを作って、制御の質を大幅に向上することを可能にした点に大きな特徴がある。具体的には、操作案を実行した場合にどんな結果が生じるかを、このモデルを用いたシミュレーションによってリアルタイムに予見し、もっとも適切な結果をもたらすと思われる操作案を実行に移すという方法である。すなわち、モデルという考え方を軸として、専門家から得るべき知識を構造化しておくことによって、知識の取得を容易にしたり、取得した知識の活用水準を上げようというものである。

この予見ファジィ制御の方式は、地下鉄の自動運転で実用化し、停止精度、乗り心地などの制御指標からその効果性を確認している¹¹⁾。さらに、道路トンネルの換気制御を具体事例として、知識処理と融合発展させてきている。すなわち、トンネル内の空気汚染現象を数式的に厳密に記述することは困難なことから、ファジィ論理を含むルールによって制御対象のモデルを記述し、このモデルを用いた予見制御を実現している。さらに、ここではモデルと実際の現象との整合性をオ

ンライン環境下でどのように保ってゆくかという問題も解決している。具体的には制御の論理自体を対象の状況に応じて変更してゆくという適応制御の考え方を、記号処理のなかで展開している(図4)。

4 最適化——組み合わせ爆発への対応

線形計画法、動的計画法といった数学的最適化手法は、多様な可能性のあるなかで最適なシステム構成を求めたり、あるいは調整可能なパラメータの最適な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。これらの手法は連続的な値をとるパラメータについて、その最適値を求めるという問題には有用である。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、設計問題では無力に近い。この理由は、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当たりして見る必要があるため、選択しなければならない要素の個数が数十オーダーを超えると、ほとんど求解不可能になってしまうということによる。

このような組み合わせ問題の困難さを具体的に見るために、例として貨物の積み付けパターンの立案問題を考えてみる。この問題では、決定すべき変数が「時点*i*では、貨物*j*は取り上げるべきかどうか」といった離散的な性格を持っている。このような性格のために、連続的な事象ではなじみのある数学的な微分の概念を使うことはできず、まずどの貨物を取り上げるか、という選択に対する仮定をすることが必要となる。 n 個の貨物があるとすれば、 n 通りの選択がある。このような選択の仮定を繰り返して、問題を逐次分割してゆくこととなる。このような探索の過程は、模式的に図示すると図5のようになり、 n が大きい場合には、探索すべき木の大きさは

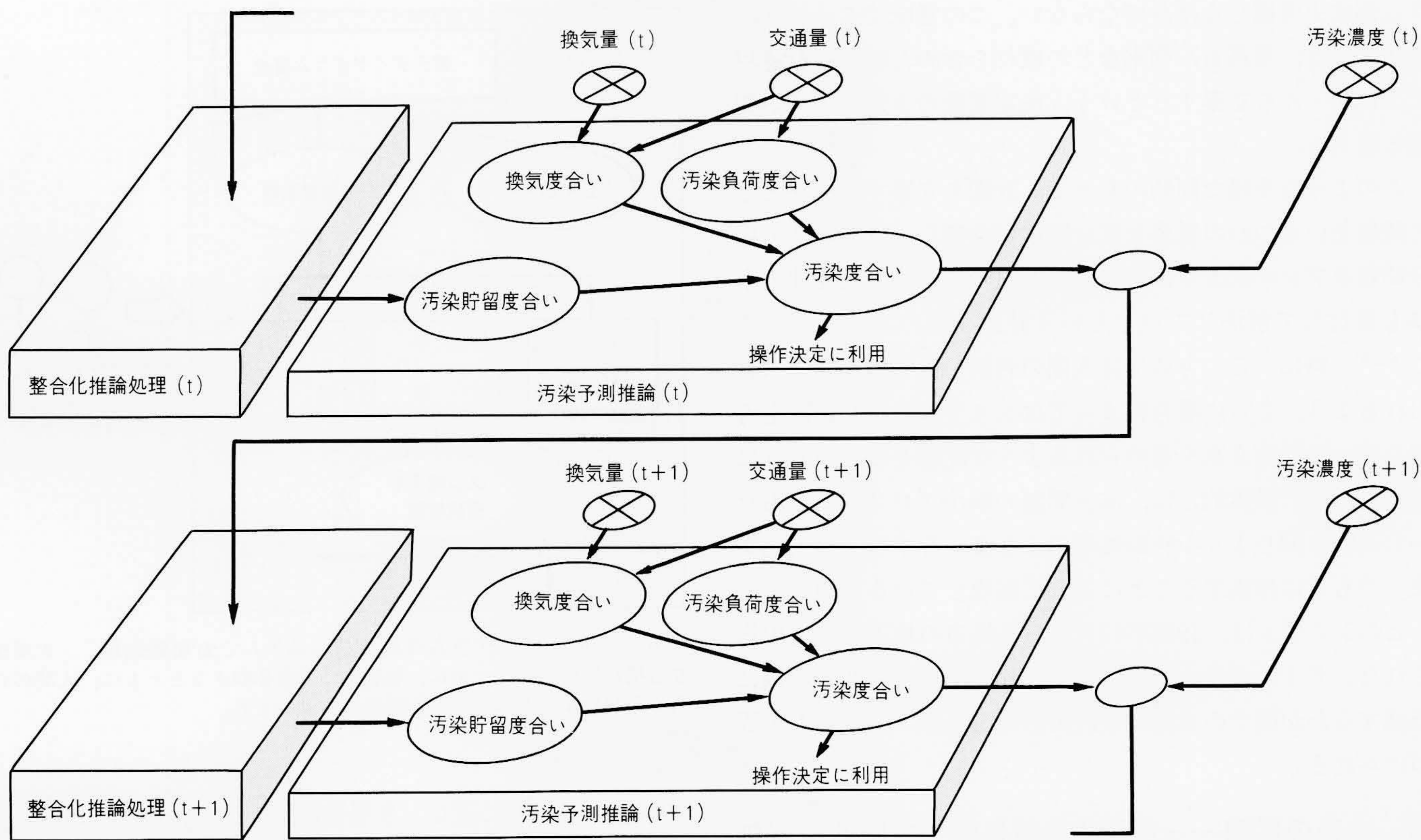


図4 知識処理での適応制御概念の実現 観測データと知識モデル出力とを突き合わせ、モデルの整合性を常時維持する。

n の階乗のオーダーになるため、実質的には計算できなくなってしまう。

計画、設計といった合成形問題は、このように工学的には無限の大きさを持つ探索木の中で、最良な組み合わせの解を見いだそうとするものである。知識処理を合成形問題に導入

するねらいは、無限に存在する代替案の中での探索を、経験的な知識——ヒューリスティクス(p.8用語解説3.参照)と呼ばれる——によって解探索の空間を狭め、有限時間で好ましいと思われる解の発見を可能にしようとする点にある。

このような問題を解決する方法として、数学的な最適化手法に関する専門的知識を活用する知識処理システムを、貨物積み付け計画を具体対象として開発した¹⁹⁾。このシステムは、貨物として積み付ける部品の3次元的配置をもっとも積載効率のよい形で立案する。2次元的な配置問題は、既存の数学的最適化手法によって解くことができるが、3次元的な問題となるととても計算量の面から実用不可能である。一方、組み合わせ論的な代替案の数えあげ爆発を、ヒューリスティクスだけで回避することも不可能である。

このため、大規模で実際には解くことができない組み合わせ論的な問題を、小規模な部分問題にヒューリスティクスを用いて分解するという方式を開発した。このようなアプローチによって、従来は専門家が数時間かかって行っていた積み付け計画が数十秒で、しかも積載効率の面では専門家以上に効果的に立案できるようになった。

より複雑な合成形問題の解決の事例として、列車ダイヤグラム作成支援システムがある。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うえで、さまざまな制約条件が介入してくる点である。使用路線の制約に加え、乗務員の勤務上の制約、車両整備上の制約をダイヤグ

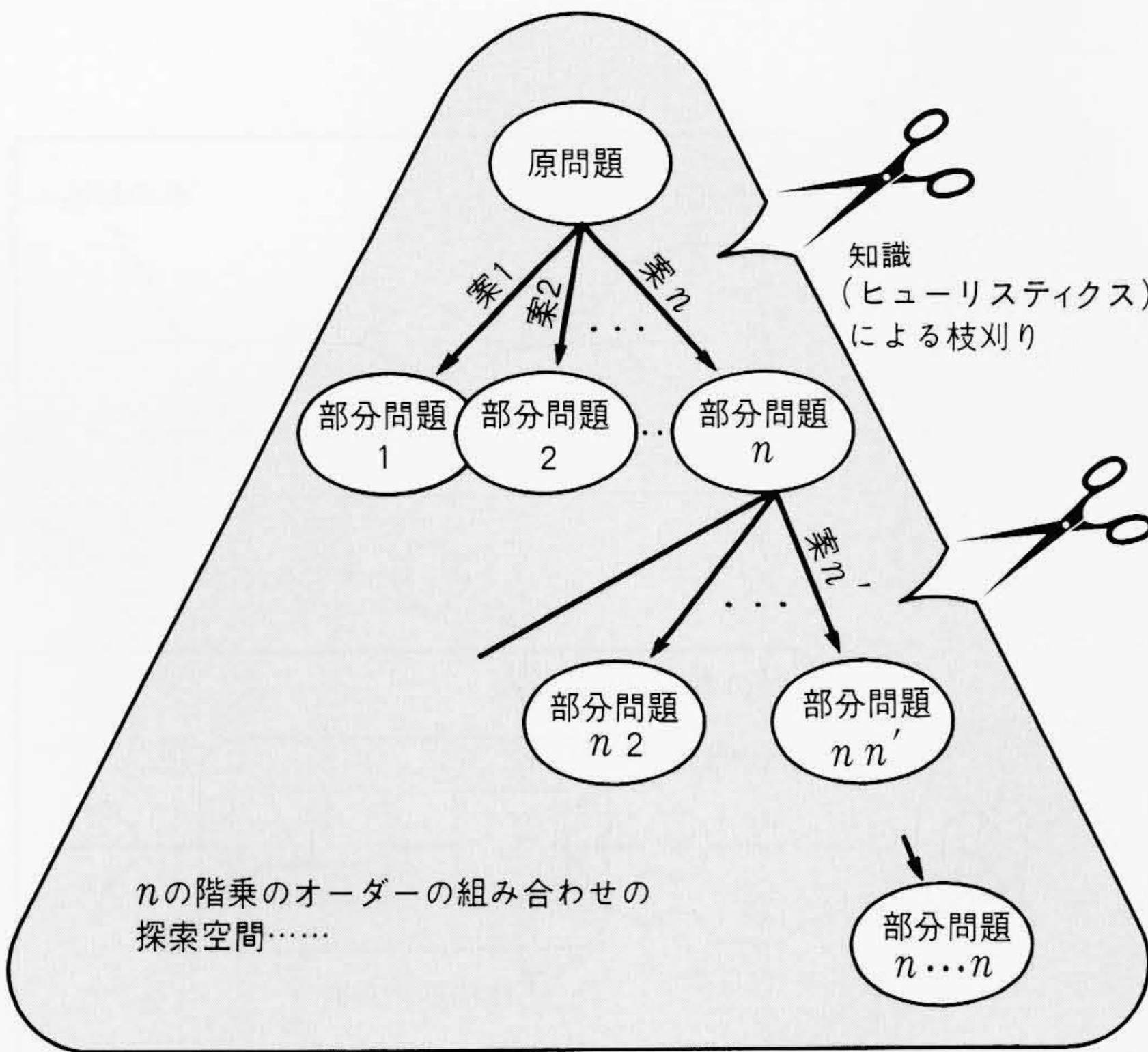


図5 組み合わせ最適化問題に対する知識処理 膨大な組み合わせケースの中から最良な解の探索を可能とするために、知識を用いて探索空間を狭める。

ラム作成上考慮しなければならない。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もとで、計画を立案する方法として問題をいく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^{14),20)}。特に、この方式では人間の判断が必要に応じて入れられるよう、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」のもとに作成することによって実現している(図6)。

このシステムは、1988年12月から札幌市の地下鉄で実用化された。ダイヤグラム作成に要求される技量、時間を大幅に低減するわが国での本格的な計画形知識処理システムと位置づけられる。

5 今後の展開——左脳的情報処理と右脳的情報処理の融合

知識処理は、計算機にことば(記号)で記述した論理を与え、この記号論理的な処理を人間に代わって実行させようとするものである。ことば(記号)によって計算機に知識を与えるという意味では、人間の左半面の脳で実行されていると言われる論理的な判断処理部分を、計算機に模倣させようとするものととらえることができる。

しかし、人間の優れた知的機能は、論理的な判断処理部分だけではない。大量の情報を直感的にパターンとしてとらえ、これに基づいて判断処理をしていく右半面の脳の作用の存在が知られている。このような作用を計算機で実現しようと、最近活発な研究が行われているのが、ニューロコンピューティングである。

ニューロコンピューティングとは、図7に示すように、記号論理的な観点からは実現困難と思われる生体機能を、物理的にまねることによって作り上げようとするものである。すなわち、生体の神経細胞の作用を要素として、これらを適切につなぎ合わせることを計算の原理とする新しい情報処理の様式を開発することを目指している。

人工的に神経機能を実現しようという試み自体は、50年ほど前に着手されたものであるが、今日、その有用性が注目されるようになったのは次のような要因が挙げられる。

- (1) 情報処理を実行するハードウェアが格段に進歩し、従来ではほとんど不可能と思われていた神経モデルの具体的なシミュレーションが可能となり始めたこと。
- (2) 生体神経の模倣のレベルが、単一の神経細胞から細胞群

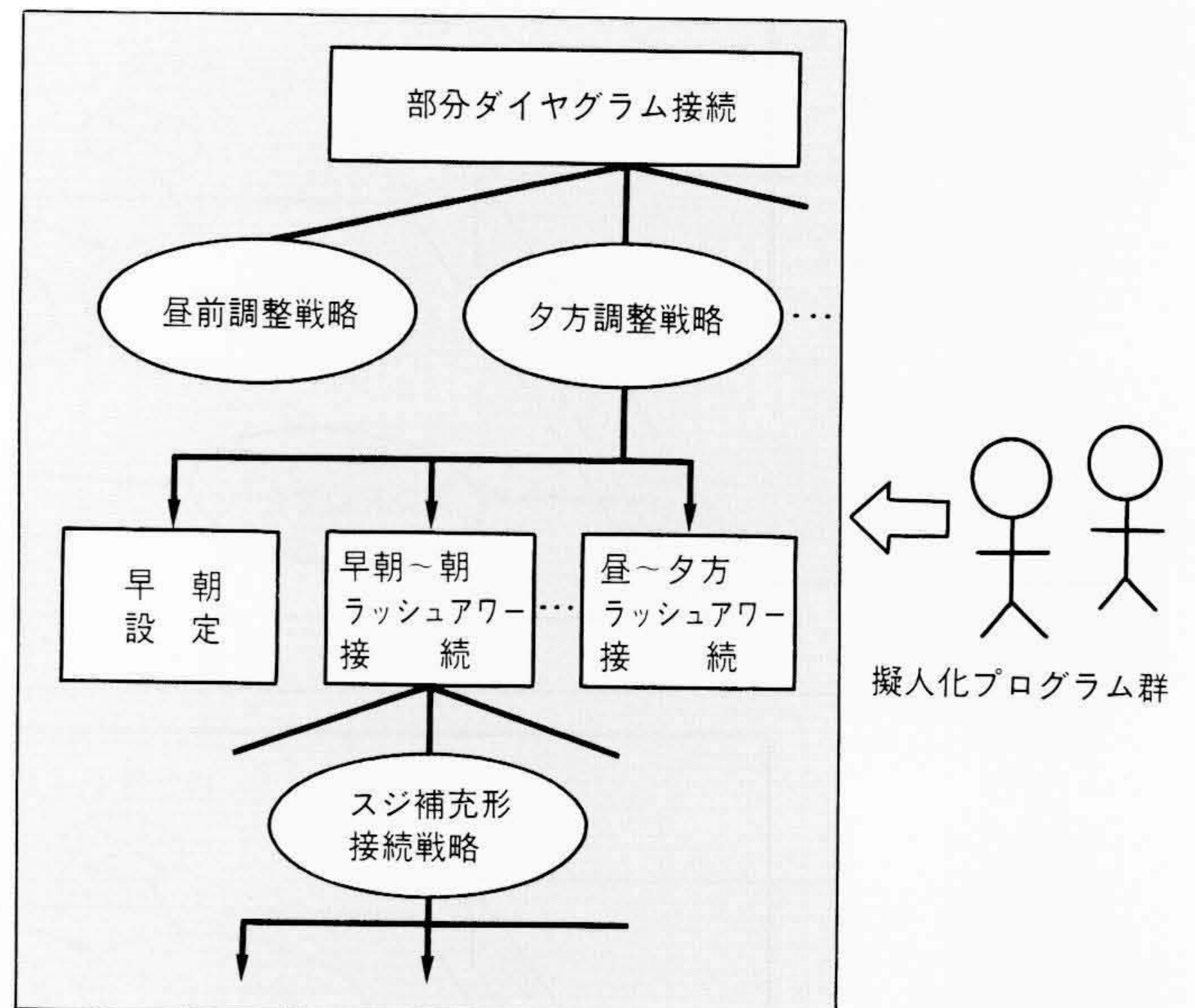


図6 列車ダイヤグラム作成支援システムでの知識処理 大規模な合成形問題解決のために、階層的に問題分割するとともに、人間の介入を容易化するため「擬人化概念」を導入した。

の模倣のレベルに達し、多層構造の神経回路網が、種々のパターン認識の問題に対して有効であることが実験的に確認され始めたこと²¹⁾。

- (3) 神経回路網に確率的な因子を導入することによって、従来は計算不可能と思われていた組み合わせ論的な数学的最適化問題が、近似的ではあるが求解できそうな期待が持てるようになってきたこと^{21),22)}。

などである。

これまでの知識処理の基本的考え方は、人間の意識上での論理処理の扱いを、計算機で模倣することに重点が置かれてきたが、神経細胞の構造的な模倣によって、無意識のうちに

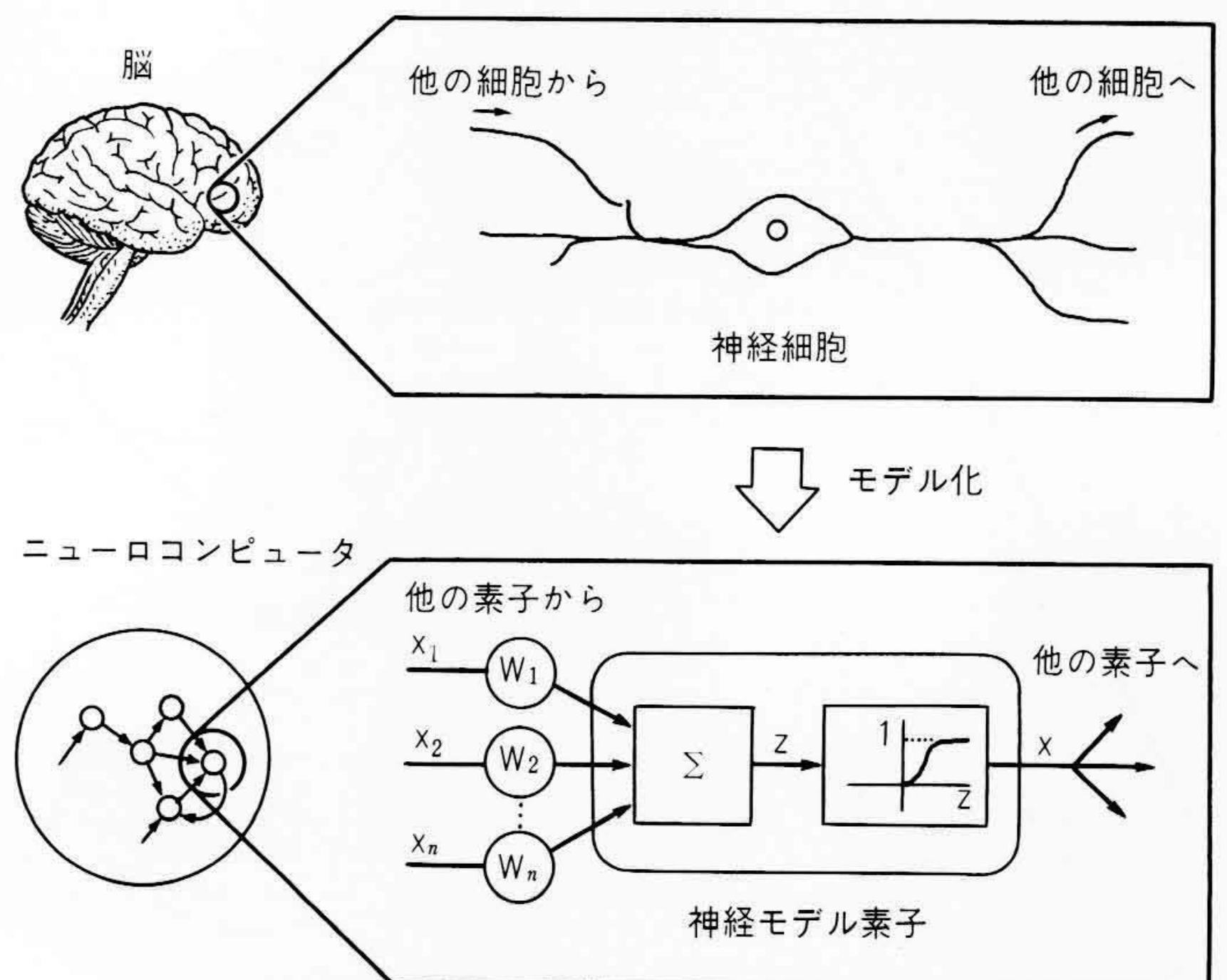


図7 神経作用を構造的に模倣するニューロコンピューティング 神経細胞の数学的モデルによって、人間に迫る高度な情報処理機能を実現することをねらっている。

行われている情報処理をも、計算機に移行させられるのではないかという期待が生まれてきた点が、大きな進展である。具体的には、これまで知識獲得という名のもとで行われてきた専門家知識を計算機へ移しかえるための活動、特に解釈問題での知識獲得のための負担が、要因(2)によって大幅に解消されるのではないかという期待が生まれてきていること、さらに要因(3)によって、組み合わせ論的な性格を持つ合成形問題の難しさが解消される可能性が生まれてきたことである。

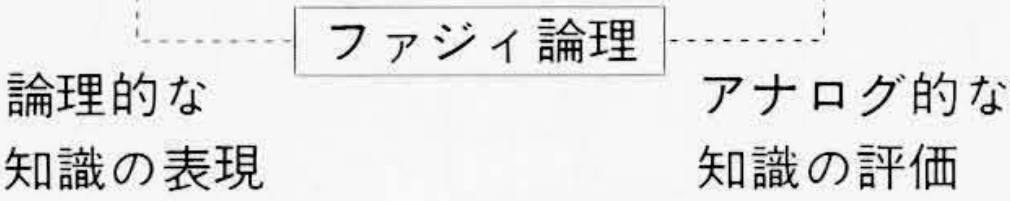
これまでの知識処理と、ニューロコンピューティングの対比を表2に示す。すでにニューロコンピューティングの基本技術に関し、強力な最適化アルゴリズムを開発²³⁾、さらには応用事例検討を進めてきているが、このような研究開発が、これまでの知識処理と融合して新たな知能情報処理技術へと展開していくことになると思われる。

6 結 言

知識処理システムにかかわる新しい技術動向について概観した。本稿で紹介したように、解析形問題での不確実性への対応、合成形問題での組み合わせ爆発への対応など、実際の課題に沿った確実な技術開発を進めてきている。しかし、これらだけによって、制御情報処理にみられる諸問題を解消できるわけではない。このために単に知識情報処理技術にとどまることなく、ニューロコンピューティング技術を含めた幅広い「知能情報処理技術」へと展開していく考えである。

表2 知識処理とニューロコンピューティングの対比 知識処理は左脳機能を、ニューロコンピューティングは右脳機能を実現する。両者が補完しあって知能情報処理へと展開する。ファジィ論理は、両者を結び付ける。

観 点	知 識 処 理	ニューロコンピューティング
基本理念	判断論理の計算機への移植 (左脳的)	脳構造の模倣によるパターン処理の実現 (右脳的)
情報の表現	ルール、フレーム、…… (論理)	ニューロンの結合パターン (ニューロン間結合への分散)
処理形態	逐次的	興奮・抑制の伝搬(並列的)
プログラミング形態	いわゆる知識獲得 (専門家からのヒヤリングなど)	●事例による学習 ●数学的最小化問題への変換



参考文献

1) 小林：知識システム技術の現状と将来，計測と制御，27，10，859～868(昭63-10)

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) 田野，外：知識ベースシステム構築用ツールEUREKAにおける高速処理方式，情報処理学会論文集，28，12，1255～1268(昭62-12)

5) T. L. Laffey, et al. : Real-Time Knowledge-Based Systems, AI Magazine, 9, 1, 27～45(1988)

6) 伊藤，外：原子力発電プラント保守支援エキスパートシステム，日立評論，71，8，747～752(平1-8)

7) 鍛冶，外：火力発電プラント設備診断・運転支援エキスパートシステム，日立評論，71，8，753～758(平1-8)

8) 赤根，外：電力系統設計計画支援エキスパートシステム，日立評論，71，8，759～766(平1-8)

9) 進，外：電力系統運転支援エキスパートシステム，日立評論，71，8，767～772(平1-8)

10) 小松，外：送変電設備診断エキスパートシステム，日立評論，71，8，773～778(平1-8)

11) 安信：列車運転のファジィ制御，システムと制御，32，11，629～636(昭63-11)

12) 笠井，外：上下水道自家発電設備予防診断エキスパートシステム，日立評論，71，8，733～740(平1-8)

13) 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1-8)

14) 柳井，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1-8)

15) 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(昭63-9)

16) 湯井，外：高炉プロセス操業監視支援における知識システムの適用，計測と制御，26，8，712～719(昭62-8)

17) 小山，外：プロセス制御用エキスパートシステム構築支援システム“APOS”の開発，日立評論，71，8，717～724(平1-8)

18) 船橋，外：定性的推論を用いた道路トンネルの換気制御，第5回計測自動制御学会産業システムシンポジウム資料，23～26(昭63-9)

19) 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(昭62-2)

20) 鶴田，外：協調推論型知識情報処理の一方式—列車スケジューリングを具体例とした提案と評価—，情報処理学会論文誌，30，4，444～445(平1-4)

21) D. E. Rumelhart, et al. : Parallel Distributed Processing, The MIT Press, Cambridge, Mass. (1986)

22) S. Kirkpatrick, et al. : Optimization by Simulated Annealing, Science, 220, 671～680(1983)

23) I. Matsuba : Optimal Simulated Annealing Method based on Stochastic-Dynamic Programming, Physical Review A, 39, 5, 2635～2642(1989)

用語解説

1. ルール(Rule), フレーム(Frame)

知識処理は、人間の行っている高度な論理判断処理を、計算機に移行しようとするものである。これを実現するに当たって、人間の持っている知識をどのように計算機に移すかということが問題となる。人間どうして日常使われている自然言語を計算機に解釈させるのはまだ困難な現段階では、一定の文法規則に従って知識を表現し、計算機に与えることが必要となる。心理学的な研究から、人間の知識を表現するには、「if~then~(もし~ならば~である)」というようなルール表現、さらには、特定の事物を表すためにその属性をテーブル、さらには、手続き形プログラム(メソッド: Method)の形式で示すフレーム表現などが有用であることが知られている。詳細は、本特集の「知識処理システム構築支援ツール“EUREKA-II”」論文の図3(p.12)を参照されたい。

2. ファジィ(Fuzzy)推論

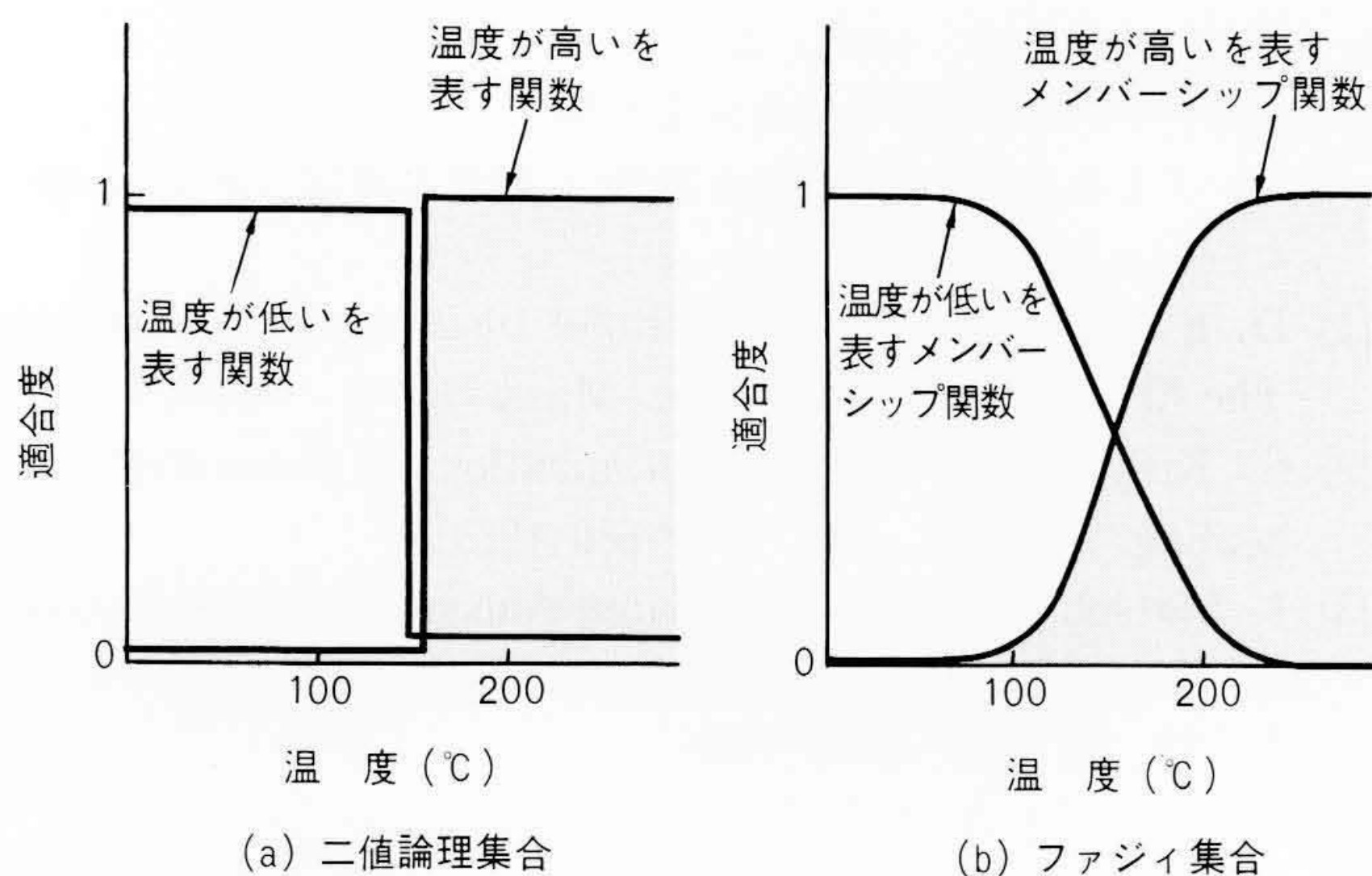
ファジィ推論の基礎となるのは、ファジィ集合論である。ファジィ集合論とは、言語的な論理を記述するうえでの基本的要素である「事象」に関して、その成立の有無を0あるいは1というように二値論理的にきめつけるのではなく、0から1までの連続的な値によって、中間的な状態をも許した形で事象の成否を扱っていかうとするものである。例えば、「温度が高い」という事象を物理的な計測値との対応づけで考え

たとき、特定の温度(例えば150℃)を区切りとしてはっきりと「温度が高い」というのではなく、温度が上昇するにつれて段階的に「温度が高い」という事象の成立度合い(一般に、この度合いを適合度: Gradeと呼び、この適合度を与える関数をメンバーシップ関数: Membership Functionと呼ぶ。)が高まっていくと考えるものである(解説図1参照)。

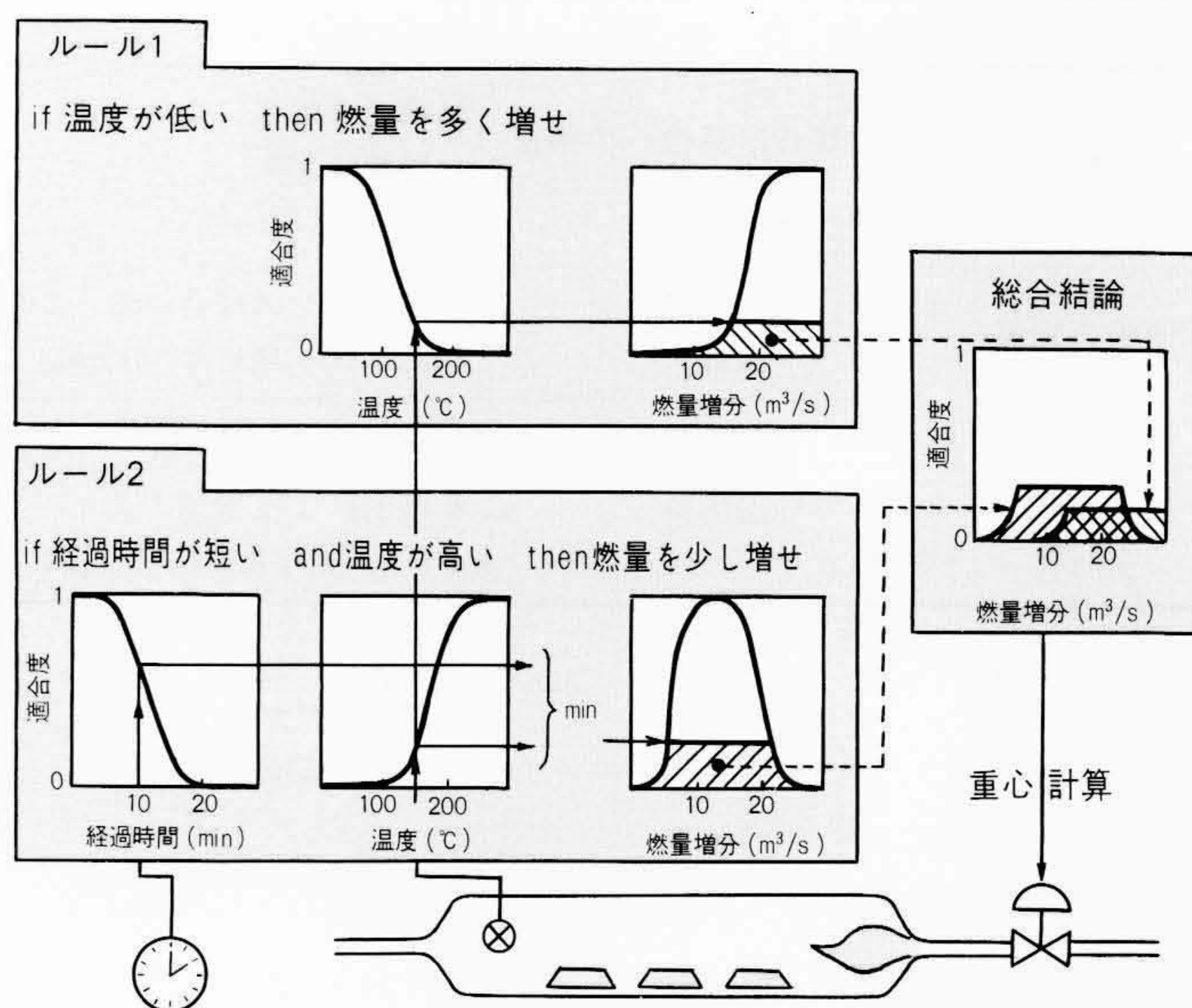
このようなファジィ集合論を基礎として、ファジィ推論が具体的に実現される。解説図2は、ファジィ推論の典型的方法を示したもので、個々のルールに基づく推論と、これらの推論結果の統合とから成る。個々のルールに基づく推論では、まずルールの条件部に記述した事象の成立度合いを調べ、結論部の事象の成立度合いを決定する。推論結果の統合では、個々のルールから導かれる結論事象の成立度合いに対しては、ルールが並列的な関係をなしていることからOR演算を施して事象の成立度合いの最終値を求める。事象の最終的な成立度合いを物理的なスケール上の値として求める必要がある場合には、成立度合いを表す分布値に重心計算を施すことによってその値を求める。

3. ヒューリスティクス(Heuristics)

本来の意味は、発見に寄与する(Serving to Discover)知識という意味である。知識処理では、特に解を探すうえで、むだな探索を省くことに有為な情報と定義される。



解説図1 ファジィ理論による事象の成立度合いの表現(ファジィ集合論) 人間の持つ感覚を計算機で扱いやすいように、連続値によって事象の成立度合いを表現する。



解説図2 ファジィ推論の方法 個々のルールに基づく推論、推論結果の統合をファジィ集合論に基づいて行う。