

エキスパートシステム技術の動向

Some New Concepts on Expert System Technology

人工知能研究の目的は、人間と同等以上の知能を持った計算機を作り出すことにある。IF～THEN～の形で人間の専門家の知識を記述することにより、熟練者並みの処理効率を計算機で実現しようとするES(Expert System)技術は、この目的実現への道の一つである。このための技術課題として、「より人間に近い」推論を実現するための仮説推論、定性推論や事例ベース推論、「より人間にやさしい」アーキテクチャを提供するための知識獲得技術や分散人工知能技術など最近のES技術の動向について概観し、知能を持ったコンピュータ実現への道程を明らかにする。

増位庄一* Shôichi Masui
広瀬 正* Tadashi Hirose
渡辺 坦** Tan Watanabe
磯辺 寛*** Hiroshi Isobe

1 緒 言

人工知能の研究は、計算機をよりいっそう人間に近づけるためのさまざまな試みの集大成である。ES(Expert System)技術¹⁾は、人工知能研究での数多くの試みの中で、実用性を獲得した数少ない技術の一つである。

ESは、推論機構と呼ばれるプログラムと、知識ベースと呼ばれる専門家の知識を整理して記述したデータベース、および周辺機能から成る図1に示すような構成を基本としている。現在のESの実用性が、知識ベースの中の専門家の知識そのものに存在することは、知識工学の提唱者である米国スタンフォード大学のファイゲンバウムの“Knowledge is Power”ということばを想起するまでもなく、よく知られた事実である。

ESは、製造業、金融業、流通業などあらゆる業種で実用化の時代を迎えつつある^{2)~4)}が、その一方で、現在のES技術、特に知識ベース内の専門家の知識だけが実用性の鍵(かぎ)となっている状況に対する問題点が種々指摘されるようになってきた。

第一の指摘は、推論機能が前向き推論、後向き推論程度しかなく、細かな推論の制御を知識の記述に依存せざるを得ないという点である。

第二の指摘は、知識の記述方法自体が限定されており、業務に関するエキスパート(専門家)だけでは、知識の記述や修正が容易ではないという点である。

以上から、ES技術の今後の方向として、(1)より人間に近い、(2)より人間にやさしい、というキーワードにあてはまる新しいES技術の開発が必要であることがわかる。

ES技術を、真の人工知能技術として位置づけられるように

するためには、推論機構の持つ機能を、より人間に近づけることが必要である。日立製作所は、この分野に関し、仮説推論⁵⁾、定性推論⁶⁾、事例ベース推論⁷⁾など、人間の推論形態に近い推論方式の研究を、主に実用化という観点から進めてきた。

一方、ESが、より実用的になるためには、(1)推論速度をさらに高め、応用分野の範囲を広げることや、(2)専門家自身の

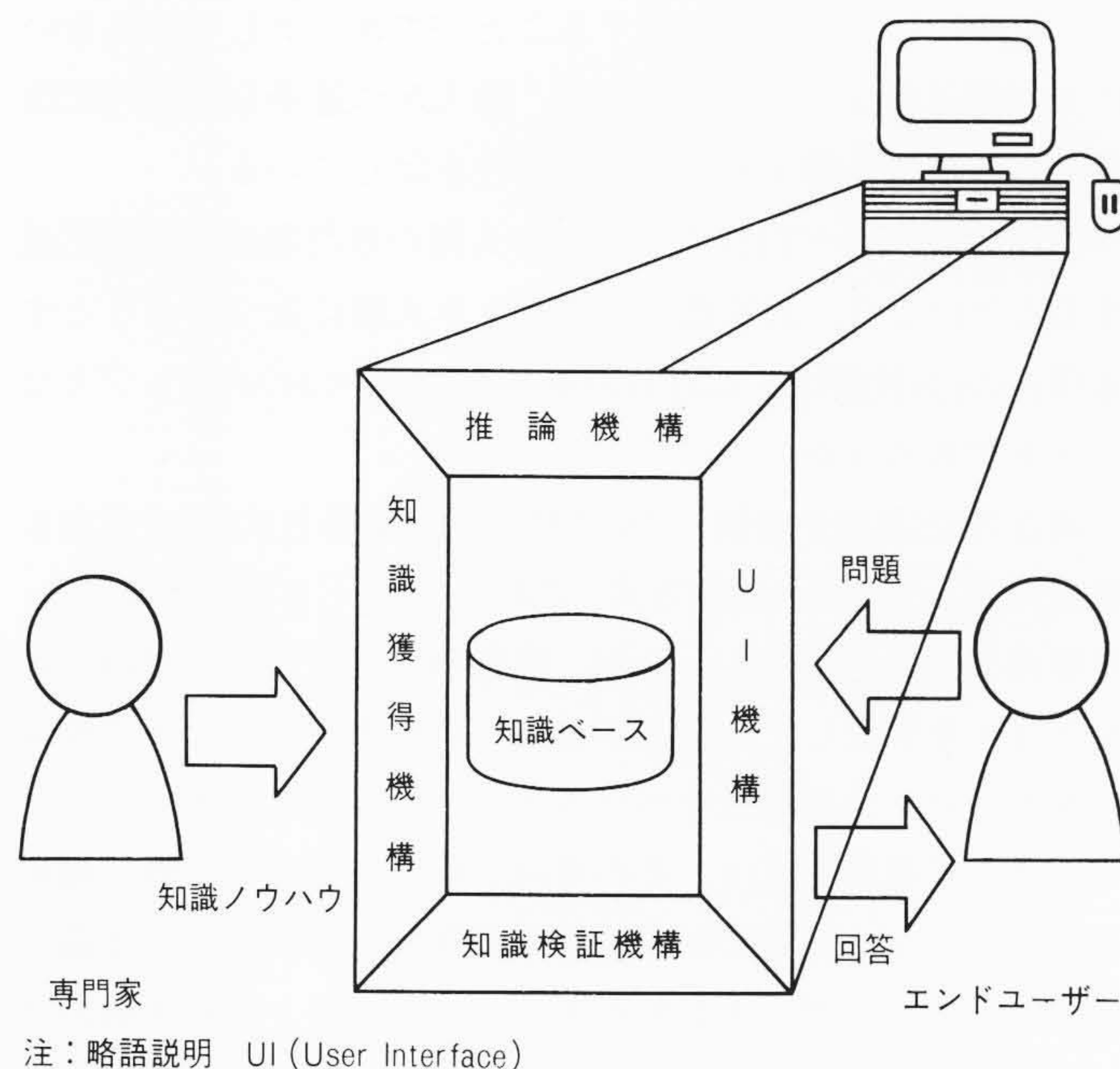


図1 ES(Expert System)の概要構成 ESは推論機構と知識ベースおよび知識獲得機構、UI(User Interface)機構、知識検証機構などの周辺機能から成る。

* 日立製作所 システム開発研究所 ** 日立製作所 システム開発研究所 工学博士 *** 日立製作所 ソフトウェア工場

手で簡単にESの構築ができるように知識獲得技術⁸⁾を高度化することが必要である。このため、従来のインタプリタ形⁹⁾に加え、コンパイラ形の推論機構を準備し、推論の実行性能を飛躍的に高めるとともに、ホスト、ワークステーション分散形の推論方式を実用化し、応用分野の拡大に努めてきた。また、知識の記述を現在のようなIF～THEN～の形式だけではなく、より自然な形式で記述できるようにする技術の開発や、事例を与えるルールを自動的に導出するルールインダクション技術¹⁰⁾の実用化、画面の作成を容易化するUI (User Interface) ビルダ¹¹⁾の高度化などを進めてきた。

2 高次推論機能の実用化

人工知能の研究者の夢の一つは、手塚治虫著作の超高性能人間形ロボット「鉄腕アトム」の開発である。「鉄腕アトム」の特徴は、自分自身で考え行動する点にある。「鉄腕アトム」は、意図や常識をどのように機械に付与すればよいかという課題を研究者に問うものである。また、人間とのコミュニケーションのための五感(マルチメディア)の重要性を示唆している。

人工知能研究者のもう一つの夢はSFの名作「2001年宇宙の旅」にでてくる電子頭脳“HAL”の実現である。“HAL”は森羅万象に通じ、宇宙船を最適に制御し、しかもチェスをこなすスーパーコンピュータである。“HAL”は人間(プログラマー)の与えたコードに従って動作するコンピュータであり、自分自身の意思を持たないが、与えられた知識を高速に検索し、質問に対する確に回答することができ、決して忘れない巨大な電子頭脳である。これは、膨大かつ雑多な知識の記憶のための構造に関する研究の必要性を示している。

それでは、IF～THEN～の形で人間の専門家の知識を記述することにより、計算機の動作をより人間に近づけようとする現在のES技術は、これらの夢の実現の一つのステップとなりうるであろうか。

現在のES技術が提供している代表的な推論方式は、「前向き推論方式」、「後向き推論方式」である。どちらもIF～THEN～の形式で記述されたルールが、現在の状況に対して適用可能かどうかを判定し、適用できるルールを実行することで推論を進めていく三段論法をベースとした推論方式である。

これらの推論方式は、その単純さゆえに幅広い分野に適用可能であるが、複雑な知識の適用順序制御のためには知識の記述にくふうを凝らす必要がある。こうなると手続き形のプログラムを書くのとあまり変わらなくなってしまう、ESの良さが失われる結果となる。

そこで、もう少し推論機構の知的能力を高めようという試みがなされてきた。ここではそれらの試みのうち、日立製作所が実用化を目指して開発を進めている仮説推論、定性推論および事例ベース推論の三つの高次推論方式について述べる。

2.1 仮説推論

現在の推論方式では、推論のためのデータはすべて推論前にそろっているか、または問い合わせた時点で明確な回答が得られることを前提としている。しかし、現実の世界ではこのようなことはむしろまれで、不明なデータに関しては推測して推論を進めなければならないことが多い。このような状況下での推論を取り扱おうとするのが仮説推論である。

いま真偽がわかっていないデータがあったとする。このデータに基づく推論が必要になったとき、とりあえずこのデータが真であるとの仮説を立て推論を進め、矛盾が生じたり、そのデータが偽とわかった時点で、そのデータが関係する部分の推論結果だけを棄却することにする。

この推論方式の実現のためには、推論結果一つ一つにこれがどのデータやルールから導かれたかについて記録しておく必要がある。また、「矛盾」とはどういう場合をいうのかをあらかじめ教えておく必要もある。このような推論を効率よく行うための方式として、TMS¹²⁾(Truth Maintenance System)やATMS¹³⁾(Assumption-based TMS)などが提案されており、各所でその実現が試みられている。

TMSでは推論の途中時点で、その推論に関係しているデータに対して、データ自身とそのデータの真偽を支持する事実または推論結果の組(サポートリスト)から成る次に示すようなノードを対応させる。

データ	サポートリスト
(L1 教室10(1時限))	((L2) (L3, L4))

L1はノードのラベル、データはこのノードの情報で、10番教室が1時限目に利用可能であるという仮説である。サポートリストはこのノードが正しいと信じられる根拠を示すもので、(L2)をinリスト、(L3, L4)をoutリストと言う。これは、inリストのすべてのノード(この場合L2だけ)が真であり、outリストのすべてのノード(L3, L4)がともに偽であるとき、L1のノードは真となることを表している。

TMSでは、このようなノードの連鎖で表されたデータの論理的導出関係を操作することにより、矛盾のない推論を行うとともに、新たな事実によってそれまでの推論に矛盾が生じた場合は、この論理的導出関係を逆にたどることによってどのデータが誤っているかを見だし、推論のやり直しが容易に行えるようにしている。

ATMSはこのTMSの考え方に仮説という概念を導入することにより、事実と矛盾しない状態を同時にすべて保持できるようにし、処理効率を大幅に向上させたものである。

TMSは、電気回路の状態を記号的に解析することを目的に作成されたもので、変電所のレイアウト設計支援システム¹⁴⁾で実用化されている。この場合、機器の配置のとき、他のどの機器の位置データに基づいて配置したのかを記憶しておき、元の機器の位置データを修正したときには、図2に示すよう

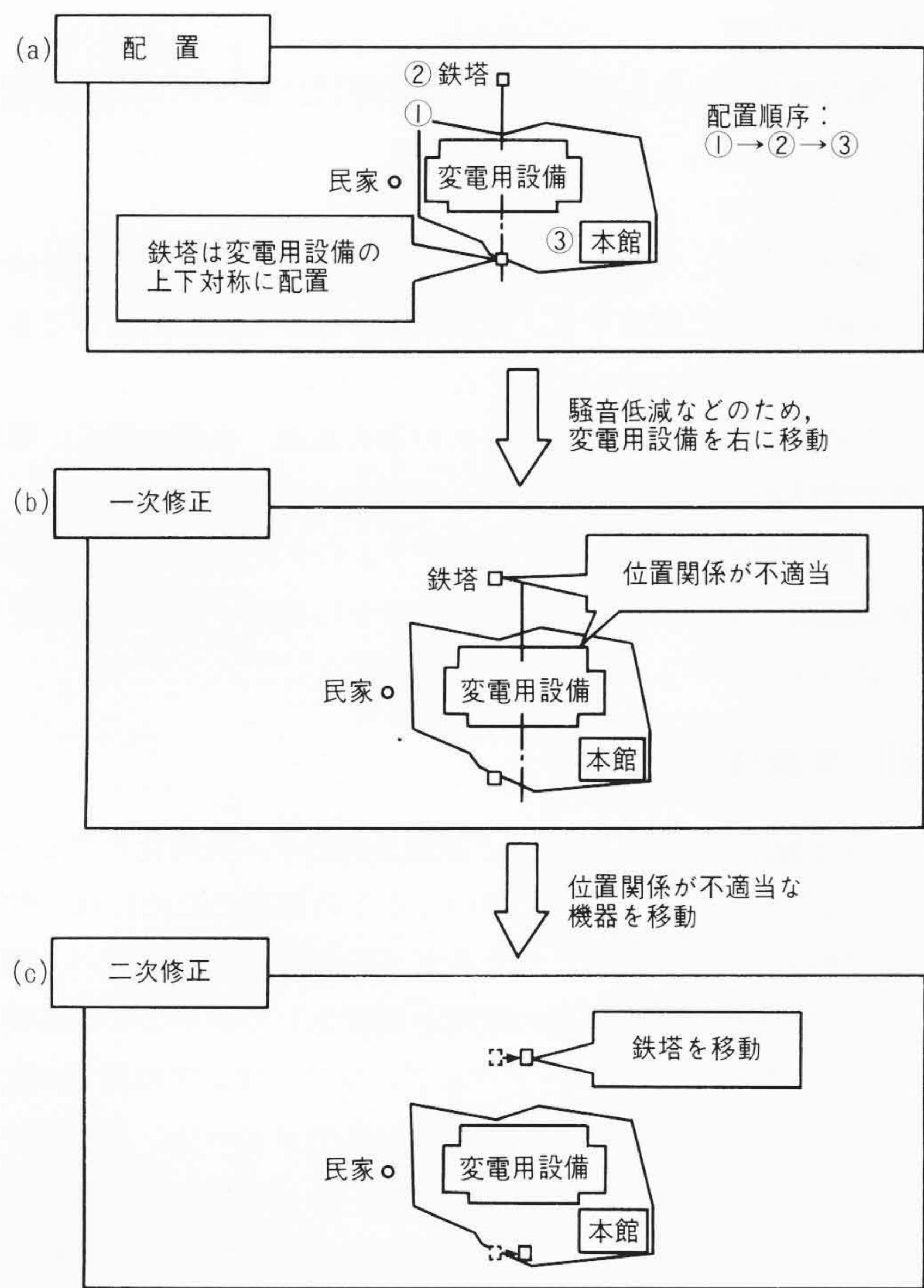


図2 変電所レイアウト設計支援システムでの仮説推論の応用例
配置済みの機器の位置を修正する(一次修正)とその他の機器の位置が不適当となる場合、その機器を再配置する(二次修正)必要が生じる。機器の相互の位置の関係を記憶しておき、二次修正の必要性を知るために仮説推論が利用されている。

に、そのデータに依存している機器の再配置をも自動的に行う方式をとっている。

仮説推論の応用には、このほか、工程計画や機器配置設計などでの試行錯誤的割り付けや、行動計画での相手の行動に即応した計画再編成などが考えられる。

2.2 定性推論

人間は、床の上にガラスコップを落とすとコップが割れてしまうと考える。また、公定歩合が上昇すると景気が悪くなるという議論を行う。これらはどのような推論に基づくものであろうか。

コップが割れるかどうかは、コップと床から成る系に関する微分方程式を解けばわかるし、その場合はどのような割れ方をするかも知ることができる。しかし、「ガラスコップは固いものに当たると割れやすい。」「床はおおむね固い。」「だからコップは割れるであろう。」といった程度の推論でもコップが割れるとわかる。実際には床がそれほど固くなく、割れない場合ももちろんある。しかし、コップは割れるということにしておくほうが無難であるし、実際その程度で十分役に

立つ場合が多い。

公定歩合の例に関しても、単なる話題としては今までの経験だけに立脚して、景気が悪くなると考えたところで実害はない。その上この場合は、いくら厳密な議論をしても正確な予測は困難で、ある程度傾向を加味した予測を行わざるを得ない。

このように詳細を無視し、傾向だけを推論の連鎖に使う推論方式を定性推論と言う。定性推論では、定量的数値ではなく、定性値と呼ばれる「+」、「0」、「-」の三つの値を用いる。定性推論の変数は、定性変数と呼ばれ [X] と記述される。この定性変数の加算、乗算に関しては、図3に示すような計算式が用いられる。“?”は値が不定であることを示している。また、動的なシステムの挙動を予測するための変数の微分値はdXで表され、変数と同様三つの定性値のいずれかをとる。

定性推論は、通常微分方程式の変数を定性変数に置き換えた形の定性方程式を解くもので、与えられた初期値に基づいて、他の変数の定性値や定性微分値を順次求める伝搬解析と、次の状態の把握のための予測解析を交互に行うことで、対象の挙動を推定していくものである。ここでの問題は図3の? (不定)の演算結果が「+」、「0」、「-」のすべての値をとりうることで、その後の挙動の推定に組み合わせ爆発が生じやすい点であり、この防止が大きな技術課題となっている。

定性推論にも種々のバリエーションがあり、コップの例はエンビジョニング¹⁵⁾(可視化)といって物理現象を微分方程式を解くことなく説明するために考えられたものであり、公定歩合の例の場合は、定性シミュレーション¹⁶⁾といって、種々の考えられるシナリオを定性的なルール(公定歩合の上昇に対して、市中金利は上昇、不変、下降の三つの定性的状態をとるなど)に基づきリストアップするためのものである。

定性推論の主な適用としては、経済シミュレーションや大規模システムの事故シミュレーションなどがある。

加算 [X]+[Y]				乗算 [X]*[Y]			
[Y]	-	0	+	[Y]	-	0	+
[X]				[X]			
-	-	-	?	-	+	0	-
0	-	0	+	0	0	0	0
+	?	+	+	+	-	0	+

図3 定性値の加算、乗算 定性値の加算、乗算は上記の表で定義される。?は不定を表し、+、0、-のいずれかの値が代入される。

2.3 事例ベース推論

人間は一度経験したことは、次回から比較的うまくこなせるようになる。新入社員のころは何かと慣れないことも多いが、2、3か月もたつとしだいにうまくこなせるようになるのは、経験が蓄積されてきて、たいていのことはそれまでの経験の範囲で処置できるようになるからにほかならない。これを計算機にまねさせようとするのが事例ベース推論である。

この推論方式では、ルール代わりに事例を知識ベースに蓄えておく。そして新しい状況になったとき、現在の状況に似た事例を知識ベースの中から探し、現在の状況に対する行動計画を、事例の中に記述された行動計画を修正することによって求める。この方式は、ルールの長い連鎖が必要な推論の時間短縮に役立ち、またルールでは表現しにくいことでも事例として蓄えることができるという利点を持つ。

事例ベース推論の一般的な枠組みを図4に示す。

(1) 特徴分類

問題の特徴を分析し、特徴を示すインデックスを付与する。インデックスとしては、事例の特徴を最もよく表現するものを選択する。

(2) 類似検索

インデックスをキーとして、事例を蓄えた知識ベースを検索し、類似の事例を見つけ出す。

(3) 事例修正

見つけた事例の解に修正を施し、現在の問題の解を求める。

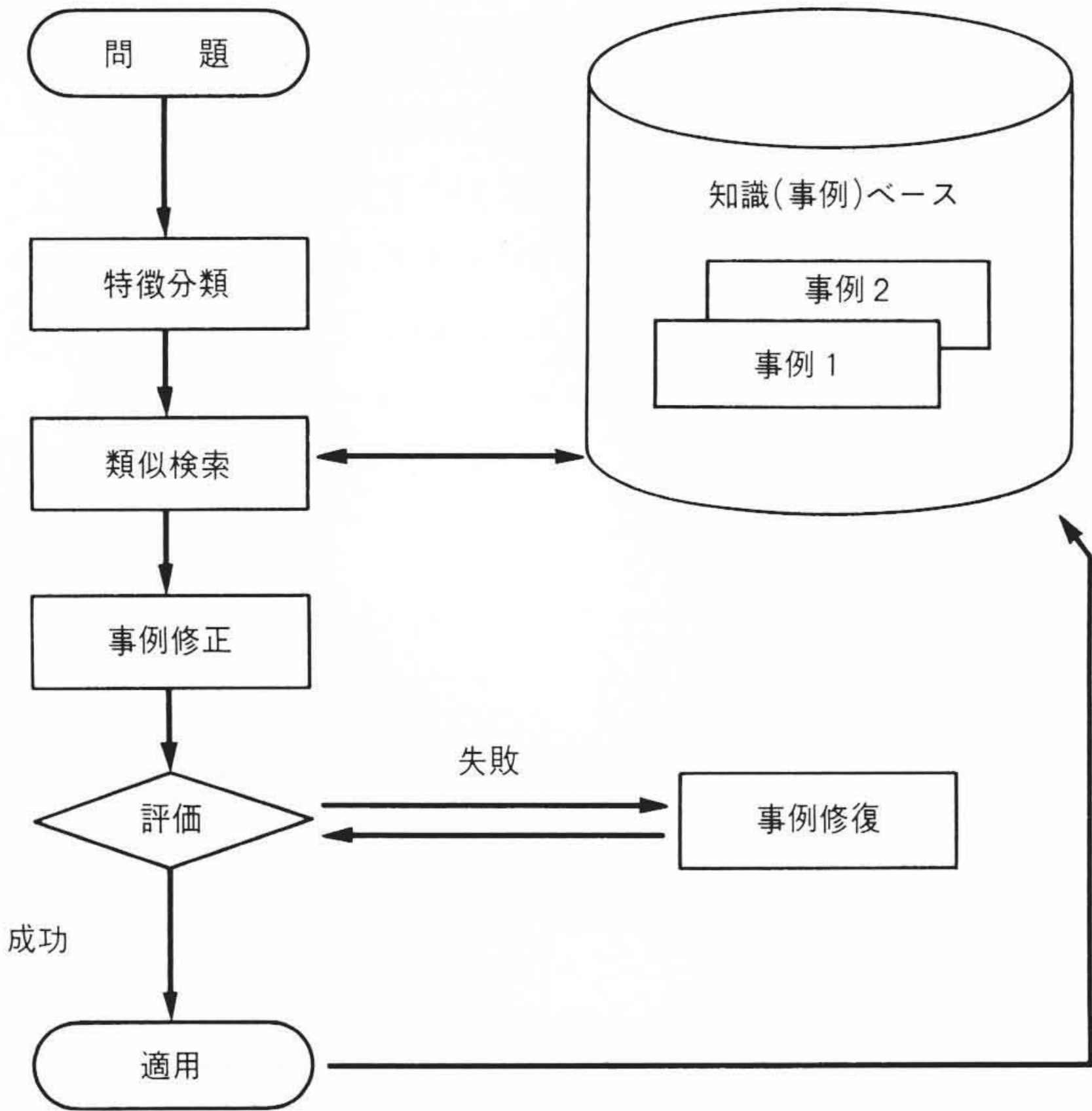


図4 事例ベース推論の一般的枠組み 事例ベース推論では、問題の特徴に基づいて事例を蓄えた知識ベースが検索し、最も適当な事例を修正して解を得る。解の適用に失敗したときは事例修復を図る。事例は知識ベースに再利用のために蓄えられる。

(4) 事例修復

解の適用に失敗したときは、その原因に基づいて解の修復を行う。

(5) 事例蓄積

新たに作成した解は、インデックスとともに再利用のために知識ベースに登録する。失敗事例に関しても登録するときもある。

この推論では、インデックスの選択基準、事例の修正、修復の方法論などの構成要素は、技術的に研究段階にある。

この事例ベース推論は、プログラムのチューニングや医学、運転制御、またスケジュール立案などに幅広く利用することが期待されている。

3 知識獲得方法論

ESは製造、金融、流通など業種を問わず、実用化のフェーズに入りつつある。実用化のいっそうの推進のためには、知識の獲得、蓄積、利用にわたるすべての段階でのサポート機能を充実させ、知識処理の環境を高度化していくことが必要である。なかでも(1)ハードウェア、ソフトウェアの面での改良により、推論速度をさらに高め、スケジューリングや設計問題などの企業戦略的に重要な分野にも、ESの手法を適用できるようにすることや、(2)専門家自身の手で簡単にESの構築ができるようにし、ESの環境適合性を飛躍的に高めることなどが、重要な技術課題となる。

3.1 推論の高速化・分散化技術

ESは、現在の状況に適用できるルール(知識)を見つけ、それをオペレータとして適用することで、状況変化を引き起こすという形式のルール形推論を中心として発展してきた。このため、考え方としても、また実現技術の上からも簡単なインタプリタ形の推論機構が標準サポートされてきた。RETEアルゴリズムは、インタプリタ形の推論を高速化するためのアルゴリズムで、多くのES構築ツールに採用されている。日立製作所は、RETEを改良した方式により、最も速い推論機構を提供してきた¹⁷⁾が、このたびこれに加え、事前解析に処理できる部分をすべて機械語に変換し、さらに高速化を達成したコンパイラ形の推論機構を開発し、問題によっては50倍程度の高速化が達成できるめどを得た。

また、大形計算機の持つ資源を有効に利用するため、ホスト、ワークステーション分散形の推論方式¹⁸⁾を実用化し、応用分野の拡大に努めてきた。さらに、ワークステーション分散を基本とした分散人工知能の研究にも着手し、エージェントモデルに基づく分散協調問題解決の手法確立を図りつつある。これらの研究により、大規模から小規模に至る各種問題を適切な計算機の組み合わせとコストパフォーマンスによって解くことが可能となり、実用化をさらに進展させることができた。

3.2 知識獲得技術

ES構築時の最大の問題点として、「知識獲得の困難性」があげられている。知識を専門家から引き出し、それをルール化するには多大の時間と試行錯誤を要するからである。

この問題に対する第一の解決策は、ES構築の標準手順を確立し、ナレッジエンジニアの養成を加速することである。ES-GUIDE(Expert System GUIDE)は、日立製作所が手がけた数多くのエキスパートシステム構築経験から導き出されたESの標準構築手順であり、これに従って、社内外で多くのナレッジエンジニアが育ってきている。

第二の解決策は、専門家みずからがナレッジエンジニアの援助なしでも、知識を計算機に移植できる知識獲得のための支援手段を準備すること¹⁹⁾である。

日立製作所は、知識獲得支援のためのツールとして、事例の形で存在する専門家の知識から事例に共通するルールを引き出し、ESの知識ベースを自動生成するルールインダクション形ツールES/TOOL/W-RI(ES/Tool/Workstation-Rule Induction)を開発した。これは、診断、分類、選択、審査、相談などを対象業務としたものである。

また、専門家が自分の知識の枠組みをそのまま入力するだけで、IF～THEN～形式の知識ベースと実行時の対話画面を自動作成し、ESの開発効率を飛躍的に高めることのできる診断形ES構築のためのドメインシェルES/PROMOTE/W-DIAG(ES/Problem Oriented Tools for ES/Workstation-Diagnosis)を開発した。

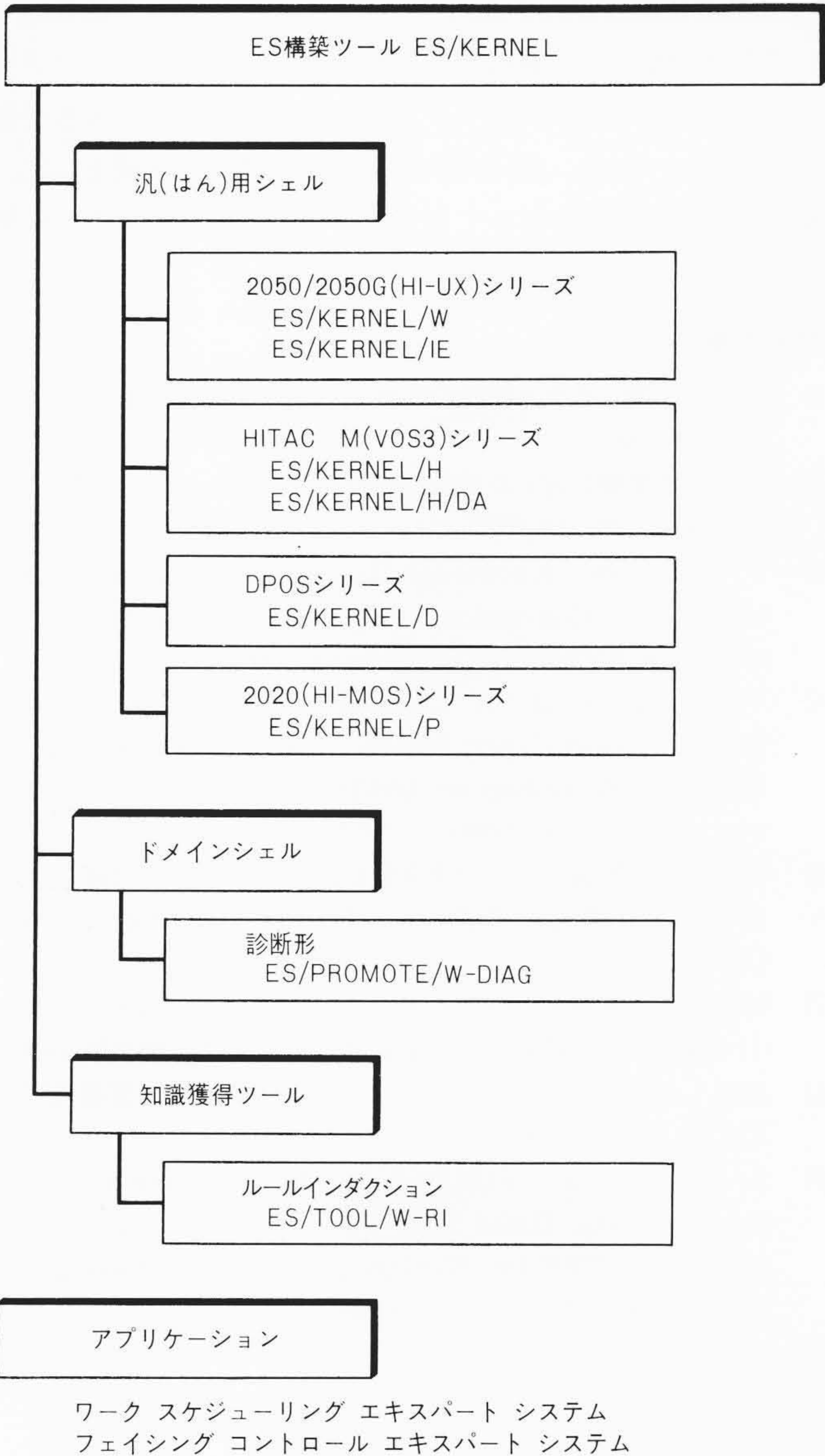
さらに、この二つのツールの連動によって、診断業務に関しては、具体的な事例からES構築までを一貫して行えるようになった。

これらのツールの開発により、日立製作所の知識システム製品体系はいっそう充実し、図5に示すようになった。

3.3 今後の技術動向

人工に関する技術は、ES技術だけでなく、知能を持ったコンピュータの実現を目指して多方面に発展している。例えば、直観を認識の対象とするニューロコンピューティング技術^{20), 21)}、事例を説明する過程から一般的な規則を発見しようとする説明形学習技術²²⁾などの要素技術に関する研究をはじめ、知的なDSS(Decision Support System)や知的CASE²³⁾(Computer Aided Software Engineering)などの、人間のアクティビティのサポートをより高度化するツールの開発が進められている。

また、ESとユーザーの会話をよりやさしいものとするためのマルチメディア ヒューマン インタフェースの研究、ハイパーテキストを利用した知識格納に適した構造を持つデータベースの研究、多人数でソフト開発や意思決定をするときに、どのような計算機支援が可能かを研究するCSCW²⁴⁾(Computer Supported Cooperative Works)の開発など枚挙にいとまが



注：略語説明
ES/KERNEL/IE (Expert System/KERNEL/Inference Engine)
VOS3 (Virtual-storage Operating System 3)
ES/KERNEL/W(ES/KERNEL/Workstation)
ES/KERNEL/H (ES/KERNEL/Host)
ES/KERNEL/H/DA (ES/KERNEL/Host/Database)
ES/KERNEL/P (ES/KERNEL/Personal Workstation)

図5 日立製作所の知識システム製品-ES構築ツールの体系
日立製作所のES構築ツールES/KERNELは、汎(はん)用シェルの多彩な品ぞろえに加え、診断形ESの構築を容易化するためのドメインシェル、事例からES/KERNELのルール形知識を導出する知識獲得ツールなどを、統一した思想のもとに提供している。

ないほど新しい技術の提案がある。日立製作所では、これらの技術をだれもが容易に利用できるようにするため、実用化を目指した研究開発を進めている。

4 結 言

ES技術の動向に関する幾つかの新しい話題について概説した。人工知能の研究者の夢の実現にはまだまだほど遠いが、

ES技術は着実に歩みを進めている。このES技術は単独技術としてだけでなく、計算機アーキテクチャ、通信アーキテクチャ、データベースアーキテクチャなど、他技術へも大きな影響を与えつつある。ES技術がこれらの技術の集大成として、夢の実現に結び付いていくことを信じ、そのためにさらに努力していきたいと考えている。

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，Vol.27, No.10(1988)
- 2) 特集 実用期を迎えた情報処理分野のエキスパートシステム：日立評論，70，11(昭63-11)
- 3) T. Watanabe：Knowledge-Based Optimal Ill Circuit Generator From Conventional Logic Circuit Descriptions, 23rd Design Automation Conference(1986)
- 4) Y. Iizuka, et al.：A Computer System Configuration Design Support Expert System：IDEA/C, Proceedings of IEEE Int. Workshop on Artificial Intelligence for Industrial Applications(1988)
- 5) 國藤：仮説推論，人工知能学会誌，Vol.2, No.1(1987)
- 6) 西田：定性推論の基礎，人工知能学会誌，Vol.4, No.5(1989)
- 7) 秋藤，外：事例を用いたプログラムチューニング支援システム(1)－構想－，情報処理学会第41回全国大会講演論文集(1990)
- 8) 渡辺：エキスパートシステムにおける知識獲得，情報処理，Vol.28, No.2(1987)
- 9) S. Tano, et al.：EUREKA-II：A Programming Tools for Knowledge-Based Real Time Control Systems, Proceedings of IEEE Int. Workshop on Artificial Intelligence for Industrial Applications(1988)
- 10) Quinlan, J. R.：Induction of Decision Trees, Machine Learning 1(1986)
- 11) 増石，外：ES/KERNEL/Wのユーザーインタフェース構築ツール「UIビルダ」，日立評論，70，11，1100～1104(昭63-11)
- 12) Doyle, J.：A Truth Maintenance System, Artificial Intelligence, Vol.12(1979)
- 13) de Kleer, J.：An Assumption-based TMS, Artificial Intelligence, Vol.28(1986)
- 14) 吉田，外：知識工学の変電所機器レイアウトCADへの応用，日立評論，67，12，971～974(昭60-12)
- 15) de Kleer, J. et al.：Foundations of Envisioning, Proc. of AAAI-82(1982)
- 16) Kuipers, B. J.：Qualitative Simulation, Artificial Intelligence, Vol.29(1986)
- 17) 金森，外：ES/KERNELでの知識表現方法と高速推論方式，日立評論，69，3，219～224(昭62-3)
- 18) 山中，外：AI実用化への展望－AIシステムからシステムAIへ－，日立評論，70，11，1081～1087(昭63-11)
- 19) 吉野，外：エキスパートシステム構築用ミドルソフトウェアの開発，日立評論，72，11，1119～1124(平2-11)
- 20) 甘利：ニューラルネットワーク研究の過去，現在，将来，人工知能学会誌，Vol.4, No.2(1989)
- 21) I. Matsuba：Optimal Simulated Annealing Method based on Stochastic-Dynamic Programming, Physical Review A, Vol.39, No.5(1989)
- 22) Mitchell, T, et al.：Explanation-based Generalization, A Unified View, Machine Learning 1(1986)
- 23) 千吉良，外：ソフトウェア再利用技術の動向，人工知能学会誌，Vol.2, No.3(1987)
- 24) 下條：Computer Supported Cooperative Work，第7回ソフトウェア研究会資料 SW-90-7，日本ソフトウェア科学会(1990)