

知識工学の現状と動向

Overview of Knowledge Engineering at Hitachi, Ltd.

井原廣一* Hirokazu Ihara

人工知能の一分野としての知識工学は、我が国の第5世代コンピュータプロジェクトの発足によって先進国から一斉に戦略研究開発として認識され、急速な展開を見せている。市場規模も将来は現在の計算機市場に匹敵するものと予想されている。本稿では知識工学の位置づけを試み、知識ベースシステムの概要及び日立製作所での産業分野への適用例の展望、更に知識ベースシステム特有の問題点について述べる。

適用は計画、設計、運用、制御、診断及び信号処理の広い範囲に及び、知識の獲得、表現、利用などに新しい試みを施し、一部は実用化されている。残された問題点は人間の知的活動に深く関係しており、認知科学、計算機科学などの今後の成果に期待するところが多い。

1 緒言

人工知能の研究は12世紀にさかのぼるとされているが、技術としての本格的な研究の起点は1956年のDartmouth会議にあるとされている¹⁾。A.Newell, H.Simon, M.Minsky, J.McCarthyらの理論的探究の時代を第1世代, E.A.Feigenbaum, E.Shortliffe, B.Buchananら医学、理学の場での実証の時期を第2世代, 1977年E.A.Feigenbaumによる知識工学(Knowledge Engineering)の提唱と1981年に発足した我が国の第5世代コンピュータ開発プロジェクトに誘発された先進国による先端技術競争が第3世代ということができよう。この時期まで常に計算機工学及び情報処理技術のフロンティアであった人工知能研究は、ハードウェアの束縛から逃れられず実用化の例はなかったが、高速で安価な論理素子やメモリ素子を提供するLSI技術の発展は研究の環境を一変させた。サイエンスの場にあった人工知能研究の中から、知識工学として取り上げられ、やや行き詰まりを見せている情報処理、計算機利用で新しい展望を開きつつあり期待は大きい。

日立製作所での人工知能の研究は、ロボット研究の一環として行なわれてきたが、知識工学として明確な意識のもとに研究開発に着手したのは1980年である。その端緒は半導体製造、海外プロジェクト管理、そして原子力発電プラント運転での技術的行き詰まりであった。VLSIプロセスでの製品歩留まり向上技術が事業に強く影響し、海外ターンキープロジェクトで未知の危機管理はプロジェクトリーダーを悩まし続けており、また1979年の米国、スリーマイルズ島原子力発電プラントの事故は非常時での操作者の能力に疑問をもたせた。1981年上記テーマを含めた調査結果をもって米国の先進研究機関を訪問し研究方向を定めた。同年10月には通商産業省主導の第5世代プロジェクトの内容が公開され、日立製作所もそれに参加した²⁾。

人間の頭脳機能の一部をコンピュータに転移するには、その機能を果たすソフトウェアの解明がまず必要である。幸いにも日立製作所には、多分野の技術エキスパートがおり、彼らの知識を利用した知的活動の研究の場に恵まれた環境にある。そこで、各種の知識の事例を対象として、まずそれぞれの知識の構造、推論方法などを解明し、その中から共通な要

求機能及び性能を見つける人工知能コンピュータ開発へのアプローチを取っている。

本稿では、知識工学の人工知能研究での位置づけと在来情報処理技術との関係を述べ、エキスパートシステムの産業分野への適用事例を紹介し、技術的問題点を述べる。なお、ビジネス分野への知識工学の応用については別の機会に譲り、ここでは割愛する。

2 知的活動と人工知能^{3),4)}

人工知能と従来の情報処理の関係を、対象とする問題の構造化程度と知識表現の軸を用いて考えてみる。

図1を知的活動の場とすれば、第1象限の問題は現在の情報処理の領域に相当し明確に問題が表現され、その構造も明らかで確定的である。

第3象限は人間の本能的頭脳活動の部分で、計算機に移すことはなかなか困難である。表現も構造も明らかでなく、論理性が乏しく主観性の強い問題領域で、感覚や勘などがこれに属する⁵⁾。

第2象限は問題の構造は明らかにされており、普遍性の強い抽象的な問題領域である。知識は数式で表現され問題の構造は数式の組合せで明解にモデル化することができる。したがって、適用範囲は広く汎用性をもっている反面、知識の構造に変化があるときにはモデルを作り替える必要がある。強度非線形、組合せ、探索問題をここに位置づける。

第4象限は構造が不確定な問題領域である。ここでの知識は非数値的で具体的に表現され、問題の構造は境界が不明確のためあらかじめアルゴリズムとして組み込んでおけない。ここでは表現されている知識そのものが重要で、知識の内容がアルゴリズムを決定していく。

人間の知的活動のうち、知識を公理化法則化及び構造化することによって第2象限の問題に転換し、更に細分化、直線化することによって第1象限の問題に置換できる。第2象限の問題は、数学、解探索、ゲームの問題として、初期の人工知能研究の中心であった。

一方、問題の領域を限定することによってその領域に関す

* 日立製作所システム開発研究所

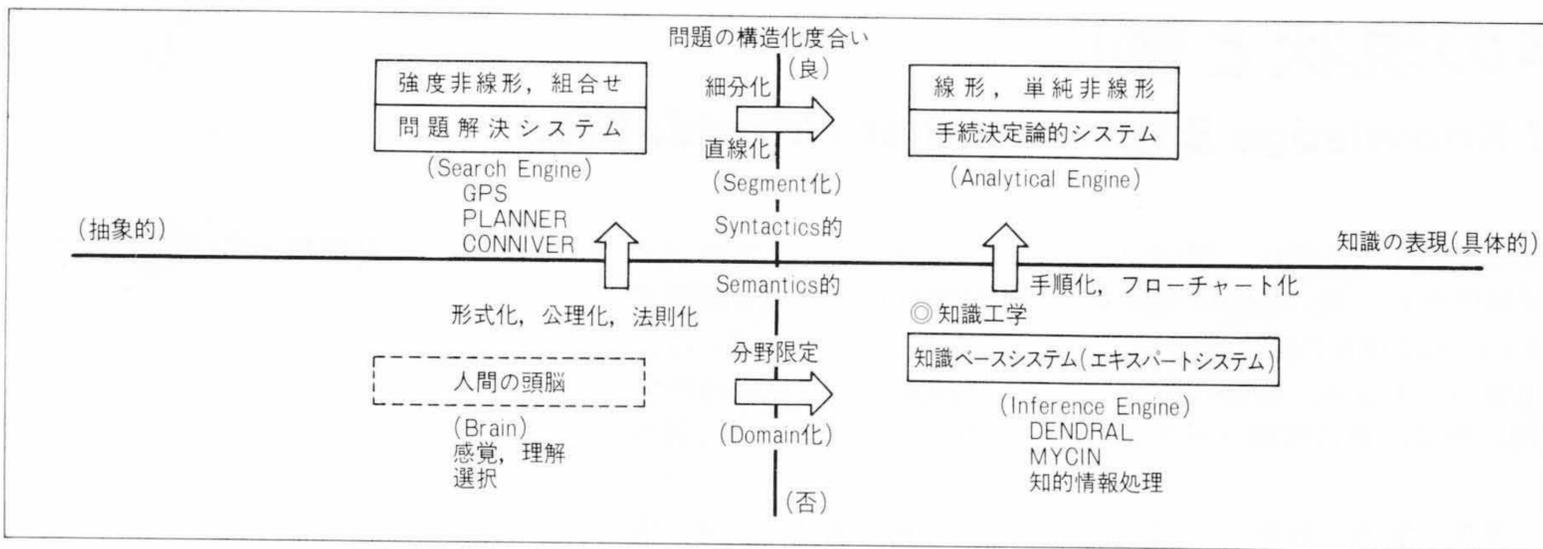


図1 知的活動と知識工学 問題の構造化の度合いと知識表現の2軸で分類してみると、知識工学の位置づけが分かる。GPS, PLANNER, CONNIVER, DENDRAL, MYCINは先駆的なシステム例である。

る知識を集めて、第3象限から第4象限に転換し更にこれを手順化することにより、第1象限の問題として現存の計算機技術で容易に解けるようになる。知識工学は第4象限の問題を対象とする。すなわち知識の組合せが多く知識の内容が非数値的であり、知識の内容によって演算手続きが変化する問題を解決する手段である。第3象限、第4象限は手続き論(Syntactics)中心の第1、第2象限と異なり、意味論(Semantics)として知識の内容を取り扱うので情報のあいまいさが本質的に存在する。

さて、問題解決のモデルの一例として図2のようなものがある⁶⁾。モデルは3階層から成っており、最下層が従来の情報処理技術や制御技術に対応するもの、最上位の知識ベース階層は人間の高度な問題発見、同定、方策決定を示している。人工知能と言われるものはこの階層に属するであろう。中間のルールベースは、知識ルールの集合から外界の状況に従って知識を組合せ、取るべき方策を決定するものであり、第4象限に属する知識工学に相当するとしておこう。

ルールベース、知識ベースに属する問題の処理には、新しい計算機アーキテクチャやプログラミング技法が必要である。それが第5世代コンピュータの目指すところであるが、上述のように現在のコンピュータを置換するものでなく、併存して新境地を開き人類に貢献するものである。

人工知能の研究の対象としてロボットがある。現在の商用プロセスロボットは最下位レベル、組立てロボットは中間層レベルの機能をもったものである。移動ロボットは最上位に属する情景理解の機能を具備する必要がある、このレベルの機能をもったロボットの出現はまだ先のことであろう。

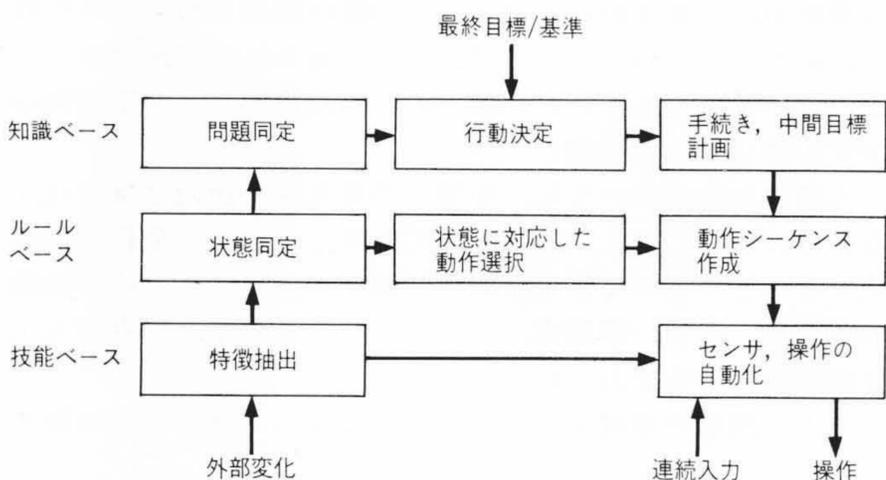


図2 Rasmussenの問題解決モデル 人間の問題解決のレベルを三つに分けて考えると、上位2層が人工知能のもつべき機能と言える。

3 エキスパートシステム

知識ベースシステムが実現されれば、人的、地域的、時間的に分散された知識の統合、集積、流通及び伝承が可能になり、また、多変数、膨大な組合せ、あいまい不確定情報によって高度な学習を伴った知的活動が可能となり、管理・制御の高度化及びシステムの開発を効率よく、しかも量的にも質的にも段階的に建設していくことが可能となる。

知識ベースシステムに、専門的知識を加えたものをエキスパートシステムと呼んでいる。専門領域を限定することは常識と言われる知識と比べて比較的容易であるから、工学的な取り扱いが可能であり実用化に最も近い距離にある。

3.1 エキスパートシステムへの期待

エキスパートシステムのもつ知的活動を模擬することによって、次のような効用が期待される。

第1は非専門家が専門家の知識の援助を受けて専門家並みの知的活動を行なうことが期待される。したがって、専門家の高齢化による引退や能力の衰退、あるいは増員要求に対する専門家養成の負担から逃れることができる。

第2は専門家の知的活動の監視又は援助を行なうことができる。緊急事態や異常事態に遭遇した場合、専門家でも誤りを犯すことがしばしばある。誤判断、考え落とし、早合点などを未然に防ぐための監視をし、情報を提供する立場にエキスパートシステムは存在する。

第3は異なっているが近接する領域の専門知識を結合して、より広く高次の知的活動を行なうことが期待される。専門家グループによる協同作業に相当する機能を果たす。

3.2 エキスパートシステムの構造

エキスパートシステムは図3のように主として四つのサブシステムから成り立っている。外部からの情報を解釈し、それに対応する知識の断片あるいは知識の集合を取り出し、知識を比較し、選択して推論を進めていく。結論に至れば外部に出力する。推論の過程で判断に必要な情報が不足している場合は、外部に情報を要求する。推論方法に原因から結論を導く前向き推論、逆に結論から原因を見つける後ろ向き推論がある。

知識表現法としては述語論理形式、意味ネット形式、フレーム形式、プロダクション形式などが用いられている。

知識ベースとしては、対象(Object)、出来事(event)、行為(behavior)に関する知識が集められているが、それぞれ事実(fact)と言われる一般的な知識と、個人的な特殊な知識(heuristic knowledge)を含んでいる。factとしては、2章で述べた第1、第2象限にある手続き形の知識ベース(プログラ

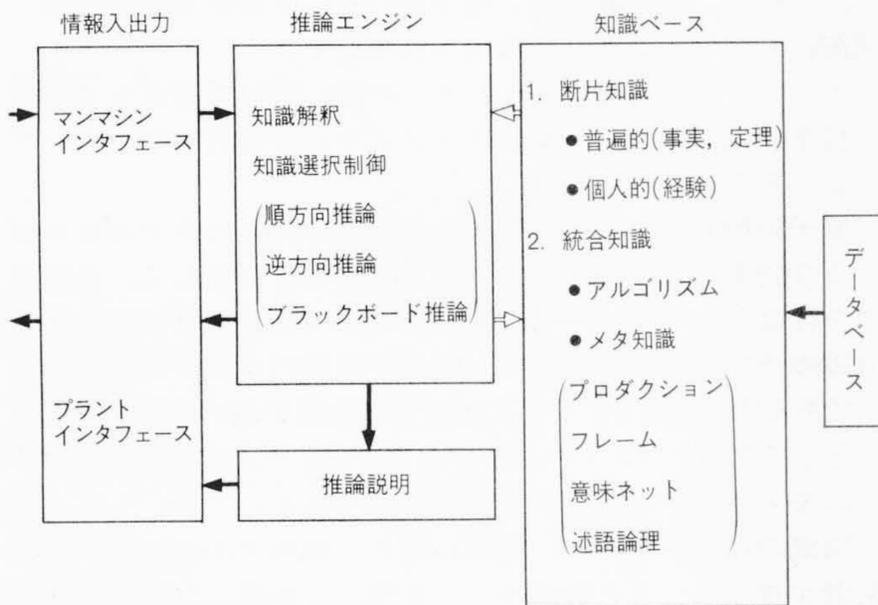


図3 知識ベースシステムの構造 知識ベースには事実(Fact)経験的知識(Heuristics)及びこれらの統合知識が収納される。

ムベース)も含まれる。また一連の知識群の場合もある。知識の属性(存在場所, 使い方, 相互関係)などの知識—メタ知識—も知識ベースに蓄えられる。

知識の特性について調べてみると, 人工物に関する知識のように対象の内部構造が明らかになっている知識と, 自然現象に関する知識のように対象の外部状態に関する知識に分けられる。前者は計画, 設計, 製造, 運営, 制御に関する知識が多く, 後者は診断保守に関する知識の場合が多い。

推論結果について納得性を増すこと, 知識の不足や誤りを発見する目的で, 推論の過程を示す機能が必要とされている。

4 知識ベースシステム

知識ベースシステムとしては, 知識の利用目的に従って種々開発されているが, 日立製作所での代表的なものとして, プロダクション形式の高速推論ソフト(μ -EUREKA), プロダクション形式と対象指向形式による高記述推論ソフト(EUREKA: Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation), 述語論理とフレーム表現を扱う高機能推論ソフト(KRIT: Knowledge Representation and Inference Tool), 述語論理言語(PROLOG)を中心として従来ソフトウェアとの結合など, 実用性を重視した核言語(LONLI: Logic Oriented Language Inferencer)があり, 知識や問題の特性に応じた処理を行なう。またこれらの推論機構とユーザーの間に, ユーザー言語とプログラミング環境として, S-LONLIを開発している。EUREKA, LONLI系は, いずれも汎用のシステム記述言語として広く採用されている“C”言語で記述されているので, 各種の計算機に移植することが可能である。

以上の知識ベースシステムについての詳細は, 本特集の文献^{7),8)}を参照してもらうとして, 以下簡単に紹介しておく。

4.1 高速推論システム(μ -EUREKA)

このシステムは, 製造業での製造システムの運転ノウハウが運用規則集的な, 「もし~なら, ~を行なう」という規則の羅列であることに着目し, “IF(条件), THEN(結論)”のプロダクション形式で表現し, 日本語を含めた文字列で記述する。実時間用として用いられるので, 高速推論機構で使用するコードへ変換するプログラムと, プロセスの状態と運転ルールを結合する推論プログラムにより成り立っている。

これにより, プログラムに関する専門知識や経験がなくても, 現場を熟知した生産技術者がオンラインで運転に即した製造システム制御プログラムを作成することができるようになり, システムの段階的開発や保守もルールを追加するだけで行なえるようになった。

4.2 高記述推論システム(EUREKA)

EUREKAは, システム管理制御のためプロダクションシステムとオブジェクトオリエンテッドプログラミングを機能的に融合したものである。すなわち, プラント構成を自然な形で表現できるオブジェクト記述で, 対象の設備, 機器を表現し, それらの管理や制御の方策は追加, 削除が容易でかつ記述性の高いプロダクション形式で表現する。この記述法により, 一部の構成要素の変更は, その要素に対応するオブジェクトデータだけの, 制御方策の変更や推論知識の追加などはルールだけの変更で対処でき, 制御や推論知識の水準をしいに高められるように工夫されている。

4.3 高機能推論システム(KRIT)

KRITでは, 対象システムについての物理的あるいは機能的な知識は構造化されるのでフレーム形式で, 構造化の困難な一般的知識は述語論理形式で表現する。推論方式も, 前向き推論, 後ろ向き推論及び与えられた条件下で目的に応じた知識を抽出する導出原理による推論を含んでいる。推論の途中で, 対象とする機器やシステムのシミュレータを起動し, その結果を推論に取り入れる。以上のような表現形式と推論方式の組合せにより, 動的システムの設計や診断のエキスパートシステムを効果的に構築することができる。

4.4 知識処理核言語(LONLI)

LONLIは, 最も普及している汎用計算機で利用できる述語論理(prolog)言語を中心とした言語体系である。LONLIは述語論理形式で問題の性質や事実関係を「事実」や「規則」として記述するだけで, 処理系に内蔵された推論機構により処理の手順が決められ実行される。しかし, 問題によっては手続形式のFORTRANやPL/I言語での記述が適当であったり, これらの言語で記述された過去のソフトウェア財産の利用が必要である。そこで, LONLI言語から他の言語によるプログラムを自由に呼び出すことができるようにしてある。したがって, 推論, 判断, 検索, 変換, 構文解析などはLONLI言語で, 数値計算, 特にシミュレーションなど多量・高速演算はFORTRAN言語で, ファイル操作などはPL/Iで記述することができる。また既開発の図形表示用ライブラリや汎用データベースも利用することができるので, 構築システムの適用性や開発効率を高めることができる。

4.5 知識処理汎用言語システム(S-LONLI)

ユーザー用高級言語としてのS-LONLIは, 対象(オブジェクト)の属性を表わす宣言形知識と処理を表わす手続形知識を対にした, 新しい概念の対象指向形(オブジェクトオリエンテッド)言語体系をとることによって, 知識のモジュール性と関連性を組み込んでいる。したがって, ユーザーは対象オブジェクトにだけ注目して任意の知識表現形式で知識を記述していけばよい。また階層的記述によりオブジェクト上下の知識が自動的に継承されるから, 記述量を大幅に減らすことができる。このように記述された知識は, 用いられた知識表現形式に対応したLONLIやEUREKAなどの解釈規則に従って実行される。システム構築のための知識編集システム, テストデバッグシステムなどから成るツールをマルチウインドウやマウスなどを備えたワークステーション上に展開して, 知識の獲得, 記述及び利用を容易にしている。

5 知識工学の応用例

知識工学が適用される範囲は広いが、本稿では主として産業システムへの応用例を分類して特徴を簡単にまとめることにし、詳細については本特集の別論文及び参考文献を参照されたい。プログラミング技術や情報処理及びOA (Office Automation)に関する応用例も数多くあるが、本特集の主題に従って別の機会に譲ることとする。

日立製作所での応用例の代表的なものを図4の右欄にまとめて示す。このうち信号理解については知識工学より人工知能に近い例として紹介する。

5.1 計画・設計

計画及び設計活動は、無限の方法の中から最適の方法を選び合成する組合せ問題を内在させている。これは、人間の知的活動に特徴的な創造活動に属するものであり、本質的な難しさが存在する。したがって、システムは設計基準のような専門家の主観的な面を強く反映することになる。

電子計算機室や変電所の配置は、周囲条件や配線条件などの制限内で個々の機器の制約条件を満たして最適と思われる案を作る2次元知識を対象とし^{9),10)}、複雑なプラントのパイプルーティングは、3次元知識を対象としている¹¹⁾。実験の行なわれにくい原子炉炉心のような複雑なシステム設計は、各種のコンピュータシミュレーションを中心に行なわれるが、この際の計算アルゴリズムの選択や、多種多量の計算機入出力データの編集ガイダンスとして、設計者向けの知識ベースが開発されつつある¹²⁾。同様に、材料強度、熱、振動などの設計計算のためのシステムもある¹³⁾。石炭積出し港ヤードのような大規模離散システムの計画は、複数設備間の運用法を勘案した最適設備構成を行なう必要があり、計画者が、種々の運用ノウハウや設備条件を変えてシミュレーションを行ない、システム案を得る¹⁴⁾。またプロジェクトの計画支援にもエキスパート知識が利用される。

5.2 運用・制御

運用・制御のためのシステムは対象を監視し、その状態が目標から外れないように種々の方策を取るものである。非線

形、多峰性、また離散的で組合せの多い実時間事象駆動形の制御に有効であるとして採用されている。

エネルギー運用管理は、コストの安い燃料を選択して複数の自家発電プラントの運転スケジュールを電力需要に応じて作成する¹⁵⁾。

原子炉炉心運用は燃料棒の燃焼履歴と将来の炉の運転計画により効率のよい運転ができるよう燃焼計算をして、燃料交換を行なうものであり¹⁶⁾、プラント機器寿命管理は運転履歴と故障の予兆や消耗程度から、部品や機器の交換予測をするものである¹⁷⁾。複雑なプラント起動や事故復旧時の操作ガイダンスとして火力プラント¹⁸⁾、原子力プラント¹⁹⁾、給電運用向け²⁰⁾のエキスパートシステムが出現しつつある。

鉄鋼の加熱炉制御は、製品に応じた加熱アルゴリズムを技術者が知識ベースと数式ベースを用いて作成し、制御用計算機システムにオンラインロードするものである²¹⁾。現場の作業指示者が、直接操作に関する知識をルールとして事象駆動形推論システムに与え、設備の有効運転や計画変更を実時間で実行するファクトリーオートメーション用コントローラ²²⁾及び列車の運行管理システム²³⁾への適用も行なわれた。

列車の自動運転は、従来からPID制御理論に基づいて行なわれていたが、熟練運転者の運転技能ノウハウをFuzzy理論に基づいて知識化し、走行時分の短縮、乗り心地の改善、省電力運転を同時に満足させる予見Fuzzy制御方式が実用化されている²⁴⁾。

5.3 診断

診断は観測されたデータから因果関係知識を用いて、対象の状態を推定する機能である。この種の研究は医療の場でまず行なわれ、感染症の診断と薬剤投与指示を行なうMYCINシステムが有名である²⁵⁾。

半導体素子内の不純物分布の計測は、素子を破壊しながら計測していたが、アルゴリズムの知識ベースと素子に照射したレーザ光線のひずみデータによって強度非線形データフィッティングを行なうことにより、最適解探索を行ない、非破壊計測することが可能となった²⁶⁾。

LSIの製造歩留まりは、100工程以上もの複雑な作業、製造

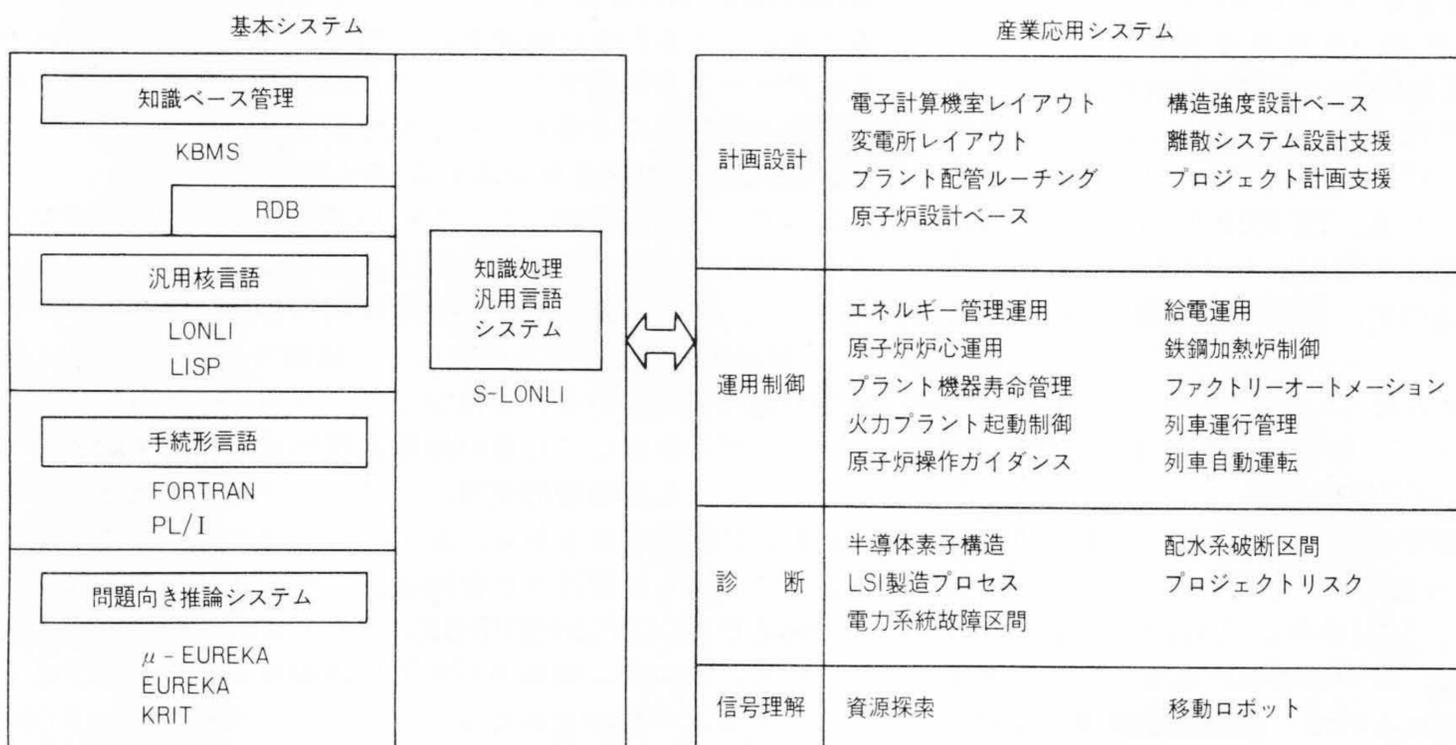


図4 知識ベース基本システムと産業用エキスパートシステム例 基本システムに専門知識を付加して、エキスパートシステムを構築する。エキスパートシステムは、産業用のものだけ掲げビジネス用は割愛してある。

注：略語説明 RDB(Relational Data Base), KBMS(Knowledge Base Management System), LONLI(Logic Oriented Language Inferencer) EUREKA(Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation), KRIT(Knowledge Represent Inference Tool)

中の検査が困難なこと、細心の作業であることなどのため、なかなか向上しない。製品の電気特性と作業上から得られたノウハウにより、歩留まり低下の原因を診断することにより、高歩留まり、高品質の生産が可能になると見られている²⁷⁾。

電力系統は階層性をもっており、しかも複雑に結合しているため故障発生区間の判定は、専門的な知識を必要とする。操作者の認識している系統と機器に関するデータを用いて、単純故障、誤動作の予想、多重故障を順次推論して故障区間の摘出を行なう²⁸⁾。配水系の破断箇所推定は圧力計算ルールをプロダクション形式で表わし、仮説検定を繰り返して短時間で結論を出すことができる²⁸⁾。

長期で大規模な海外向けのプロジェクトは、工期遅延、費用超過、性能不良など未知のリスクがプロジェクトリーダーを悩ませる。そこで過去に経験したリスクやトラブルに関するノウハウを集め、各工程、各段階ごとにリーダーの問合せに応じて適切な助言を与え、同種リスクの再発を防止するシステムを開発した²⁹⁾。

5.4 信号理解

与えられた信号を解釈し、そのもつ意味を理解する能力は、図1の第3象限の属するものと考えられる。音声理解、情景理解、自然言語理解、機械翻訳などが、より深い知的活動として研究されている。画像理解の応用として、人工衛星や航空機が撮った地表写真から目標を見付けたり部分的特徴づけをすることが可能になりつつある。移動するロボットは、実時間で取得した情景とあらかじめ学習している地図をもとに自らの位置を算出し、最適移動経路を探索することが必要で、原子力プラント内作業ロボット開発の重要な研究項目である³⁰⁾。

6 知識ベースシステム構築の課題

知識ベースシステムの課題として、知識の獲得、表現、推論結果の信頼性、既存ソフト財産との結合などがある。

6.1 知識の獲得

プロジェクトマネジメントシステムでは、専門家グループを編成し、エキスパートからの知識をグループで整理する方法で分散した知識を収集したが、知識は常識化してしまい推論結果に魅力の感じられぬものとなってしまった。またLSI製造プロセスの場合は、一人の専門家から知識を獲得して推論した。これは本人にとっては全く当然の推論結果であり、なんら魅力を感じなかったが、他の専門家にとっては大変な魅力を与えることができた。この2例は行動の失敗やシステムの異常に関する知識が主役のため、知識の獲得が心理的抵抗のため困難であることを示している。しかし他の例では、専門家の創造意識を刺激するためと、開発者が該当する知識をもっていたためか知識の収集は比較的容易であった。

エキスパートシステムの構築は、分野専門家と知識工学者との共同作業によるのがよいとされている²⁾。知識工学者の役目は分野専門家とのインタビューを通して、専門知識を意図的に引き出すことである。したがって、知識工学者は知識表現や推論の技術に精通しているとともに、対象分野についての専門用語やある程度の知識をもっているが、それを専門家に意識させず信頼を得る面接技術をもっていなければならない。米国で知識工学者として活躍している人々のうちに日本人女性が多いのは、彼女らの資質のもたらせたところであろう。従来からシステムエンジニアと呼ばれる人々がおり、システム構築のリーダーシップを取っているが、知識工学者は終始陰の存在でなければならないようである。

6.2 知識の表現と利用

知識表現法として各種の言語及び表現法が提案されており、知識の構造に適したそれを選択することで当面問題はなさそうであるが、処理装置アーキテクチャに大きな影響を与えよう。図5は知識表現と推論方式を変えて同一の問題を解かせた結果を示すものである。種々の実験結果をまとめてみると、図6のようになり、図1で指摘したような元来構造化の困難な知識を対象としているものを構造化しようとするれば、構造化のための努力は増大していくことになる²⁹⁾。すなわち、

(1) 知識の構造がうまく記述できない理解度の低い領域に関

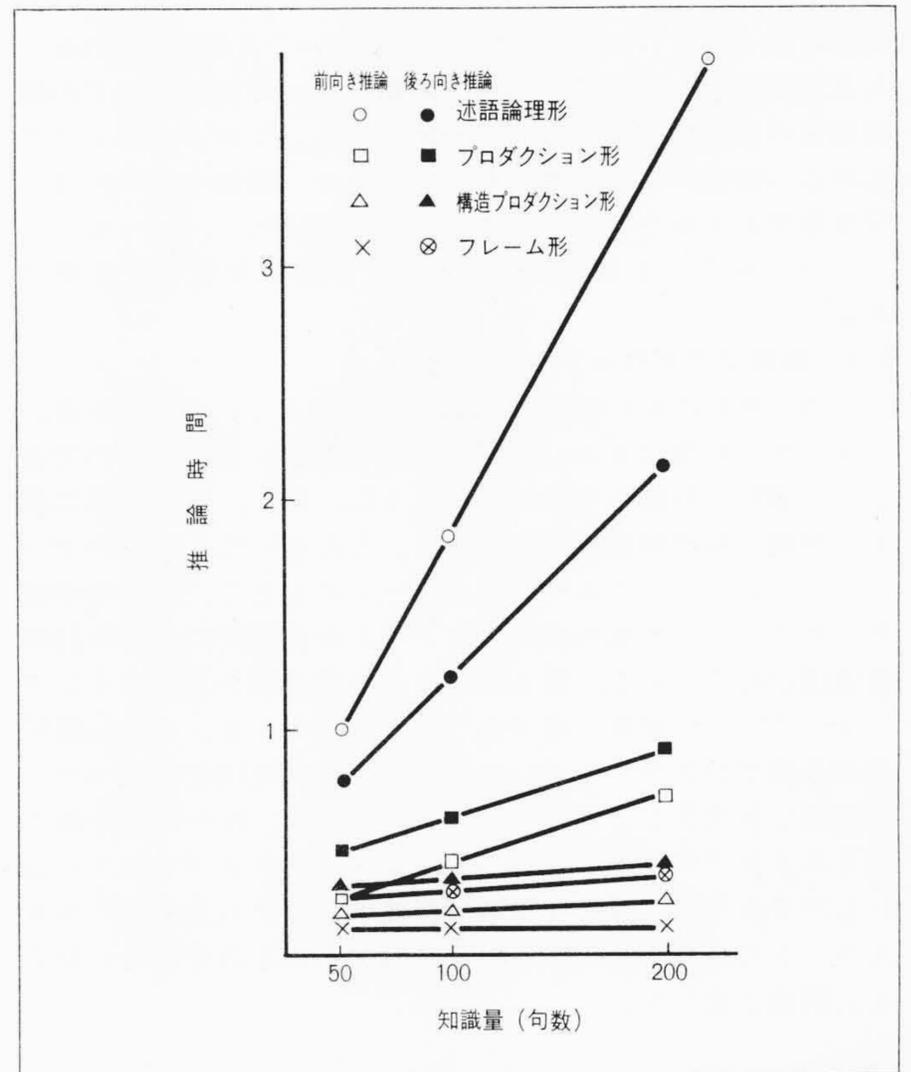


図5 知識表現、知識量、推論方法と推論時間の関係 知識表現を人間に分かりやすい方法をとると推論時間は長くなり、知識量に比例する。

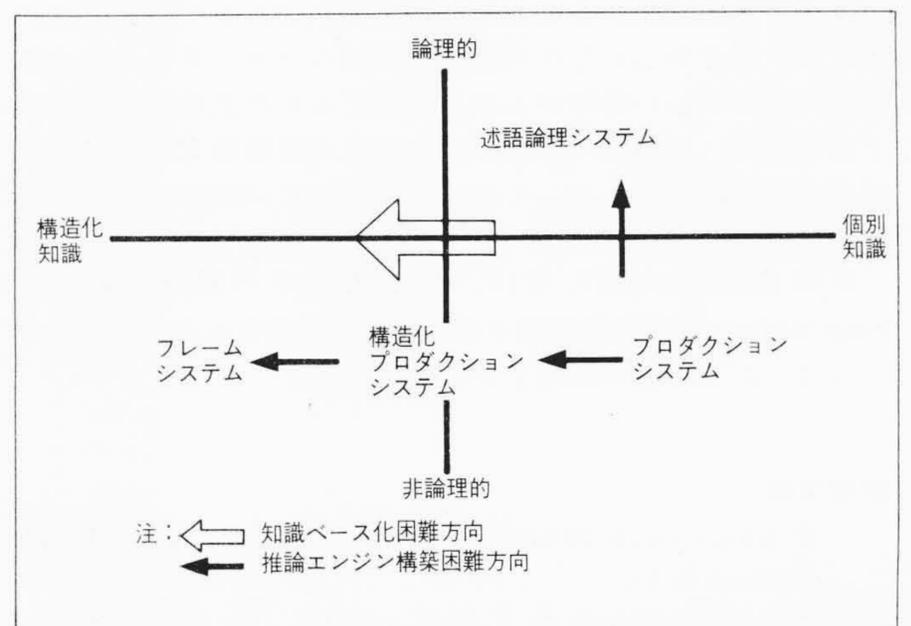


図6 知識ベースシステム構築の難易 構造化された知識ベースシステムの構築は、高速処理が可能であるが難しい。述語論理システムの推論エンジンは、プロダクション型に比べて構築が困難である。

しては、単純なプロダクション型か論理形のようなモジュラ型の知識表現が採用されるが、推論時間が長くなる。

(2) 構造化プロダクション型あるいはフレーム型のような構造化された知識表現を採用すると、推論時間は短くなるとともに知識の量による影響は減少する。

6.3 推論の信頼性

従来主流の計算機は手続型処理を得意とするものであった。すなわち、処理の手順を与えられたとおりに実行することが目的であった。しかし、知識ベースシステムは取り扱う情報のもつ意味を処理するのである。知能とは情報を解釈し、選択し、推論することであるが、この知能処理の結果が常に正しいとは言えない。それは、処理の手続が外部から与えられる知識情報に左右されるからである。医療診断の場合がこの例であり、名医でも誤診はかなりの割合であると言われる。人工知能の中心課題である意味解釈を伴った機械翻訳での翻訳結果の評価の困難さもこの一例である。このようにシステムのもつ知識が信頼に足るものであるか、結論を得るのに十分な量であるかを検証することが不可能に近く、メーカーとユーザー双方による信頼性概念及び水準の見直しが必要である。

6.4 既存ソフトウェアとの結合

知識と言われるものは、3.2節で述べたように多様である。知識工学の対象は主として図1の第3象限に属するものであるが、頭脳に右脳と左脳があるように、第1、第2象限に属する問題も知的処理の対象になる。したがって、既存のオペレーティングシステムやデータベースのもとで、既存の手続形プログラムと知識処理形プログラムが有機的に動ける計算機環境が必要である。日本語による知識表現が可能なインタフェースをもつ複数の端末やワークステーションから、既開発の各種プログラミングツールを用いて大規模な知識ベースを構築し利用することのできるシステムは、単一知識を取り扱うスタンドアロン形と比べて、コストパフォーマンスの良いものであり、大規模な知識情報処理システムを多数のエキスパートの協力で構築する場合には欠くことのできないシステム構成となろう。

7 結 言

人工知能の実現は常に計算機科学者・技術者にとってのフロンティアであったし、今後も盛んに研究開発が進められるであろう³¹⁾。この研究成果を知識工学としてとらえ、我が国及び欧米で実用試験が行なわれつつある。これまでのシンタクティックスを中心とした計算機利用からセマンティックス処理が可能な新しい分野が大きく展開するとの立場で知識工学を位置づけ、応用例の詳細については本特集論文及び参考文献を参照されたく、ここでは日立製作所での開発の現状を展望した。

本研究開発に際しては、折に触れてのStanford大学Feigenbaum御夫妻の貴重な示唆と励ましによるところが大きかった。ここに厚く御礼を申し上げる。

参考文献

- 1) P. McCorduck, *Machines Who Think*: 1979: W. H. Freeman & Co.
- 2) E. A. Feigenbaum & P. McCorduck: *The Fifth Generation*: 1983 Addison-Wesley Publishing Company
- 3) 井原: 知識工学の産業への応用, 電気学会誌, **103**, 3, 204~208(昭58-3)
- 4) 井原: 宇宙活動におけるAIの利用, 宇宙ステーション講演会講演集, 日本航空宇宙学会, 76~85(昭60-4)
- 5) F. Rose: *Into the Heart of the Mind*: 1984: Harper & Row
- 6) Rasmussen: *Outline of the Hybrid Model of the Process Plant Operators. Behavior and Supervisory Control*: 1981 Plenus
- 7) 石原, 外: 知識工学基本ソフトウェア, 日立評論, **67**, 12, 933~937(昭60-12)
- 8) 増位, 外: 知識処理のための推論ソフトウェア, 日立評論, **67**, 12, 939~944(昭60-12)
- 9) 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)
- 10) 渡辺, 外: 知識工学の計算機室機器レイアウトCADへの応用, 日立評論, **67**, 12, 967~970(昭60-12)
- 11) 小林, 外: 知識工学の配管ルーチングCADへの応用, 日立評論, **67**, 12, 975~978(昭60-12)
- 12) 早瀬, 外: 階層型大規模データ管理システム, 情報処理全国大会 711~712(昭58年後記)
- 13) 中沢, 外: シミュレーションとCAD/CAM/CAE, 機械学会, **87**, 782, 46-51(昭59)
- 14) 岩本, 外: プロダクションシステムを利用した離散システム計画設計シミュレータの開発, 電気学会全国大会, 1912~1913(昭58)
- 15) 増位, 外: プロダクションシステムによるエネルギー管理計画方式, 情報処理学会第27回全国大会, 6D-3 1181, 1182(昭58-後)
- 16) Y. Nishizawa, et al.: *Approach to Knowledge Based Man-Machine Communication for BWR Start-Up Guidance*. *J. Nuclear Science and Technology* **20**, 10, 877~879(1983-10)
- 17) 駒田, 外: 原子力発電所機器寿命予測システム, 原子力学会昭58分科会, 126(昭58-9)
- 18) 川上, 外: 知識工学の電力・鉄鋼システムへの応用, 日立評論, **67**, 12, 945~950(昭60-12)
- 19) 木口, 外: 知識工学の原子炉への応用, 日立評論, **67**, 12, 951~956(昭60-12)
- 20) 福井, 外: 状況に依存する知識に基づく電力系統故障区間の判定法, 電気学会電力技術研究会, PE-85-102(昭60-7)
- 21) T. Shiuya: *New Method Introducing Operation Know-How into Large Scale Production System*: IFAC Symposium on Large Scale Systems(1983-7)
- 22) 解良, 外: 知識工学応用ルール形制御のFAへの適用, 日立評論, **67**, 12, 957~962(昭60-12)
- 23) 鶴田, 外: オブジェクト指向型列車ダイヤ作成運転整理エキスパートシステムの開発, 情報処理30回全国大会 6L-7
- 24) 安信, 外: Fuzzy制御による列車定位置停止制御, 計測制御学会論文集, **19-11** 23, 30(昭58-11)
- 25) E. Shortliffe: *Computer-Based Medical Consultations MYCIN*: American Elsevier(1976)
- 26) T. Motooka, et al.: *Optical Measurement of Carrier Profiles in Silicon*. *J. Electrochem. Soc.* **131-1** 174, 179(1984-1)
- 27) 栗原, 外: 知識ベースに基づく半導体プロセス診断システム, 日立評論, **67**, 12, 963~966(昭60-12)
- 28) 和歌森, 外: 大規模ネットワーク系における異常過負荷点の探索法, 電気学会全国大会, 1362 1772(昭59)
- 29) K. Niwa, et al.: *An Experimental Comparison of Knowledge Representation Schemes*: *The AI Magazine* **5-2** 29, 36(1984)
- 30) 亀島, 外: 知識処理の移動ロボットへの応用, 日立評論, **67**, 12, 979~982(昭60-12)
- 31) 井原: 超高速演算技術の展望, 計測と制御 **24-8**, 5, 10(昭60-8)