

TR-195

エキスパートシステム開発事例における
知識獲得と学習

国藤 進(富士通)、小林重信(東工大)
諏訪 基(電総研)、岩下安男、岡 夏樹(ICOT)

August, 1986

©1986, ICOT

ICOT

Mita Kokusai Bldg. 21F
4-28 Mita 1-Chome
Minato-ku Tokyo 108 Japan

(03) 456-3191~5
Telex ICOT J32964

Institute for New Generation Computer Technology

国藤 進（富士通・国際研）、小林重信（東工大）

岩下安男、岡 夏樹（ICOT）、諏訪 基（電総研）

1. はじめに

本論文は、昭和60年度に（財）新世代コンピュータ技術開発機構（ICOT）が（社）日本機械工業連合会から受託した「新世代コンピュータに関する技術開発動向及び適用分野等の調査研究事業」として実施した“エキスパートシステムにおける知識獲得の様相”に関する調査結果をもとに、著者らの見解をまとめたものである。本調査においては、エキスパートシステム構築の最大の隘路となっている知識獲得問題に対して、解決のための知見を得ることを目途として、エキスパートシステム開発事例の知識獲得に関するヒアリングを行い、その調査結果をまとめた。そこで本論文では、まず上記調査結果の簡単な要約を紹介し、ついでそれに対する著者らの考察結果を述べ、最後に学習との関連について論じることとする。

エキスパートシステムの発展の中で、知識の表現・利用を支援するツールの整備が急速になされつつある。しかし、現実世界で人間が問題解決を行う際、人間の扱う知識は極めて多様かつあいまいである。そのような知識をAIツールの入力情報として利用するには、知識の表現や利用に関する問題の解決以前に、知識の獲得に関する基本問題が解決されなければならない。知識獲得問題の研究は、知識の表現・利用問題の研究に比べて遅れているが、最も重要な課題の一つであるといえよう。

文献^{1)・2)}で筆者が指摘したように、知識獲得問題は次の三局面からなる。

・知識獲得問題の第一局面：知識抽出問題

様々な応用分野の専門家の頭の中にあって具体的な問題解決に役立ってはいるものの、それをはっきりした記号（言語）で表現したことがないような知識をどのようにして収集し、整理・分析するかという局面

・知識獲得問題の第二局面：知識変換問題

第一局面を通して得られた専門的知識を、計算機システムで処理できるように、どのような知識表現形式に変換・加工し、格納するかという局面

・知識獲得問題の第三局面：知識ベース管理問題

第二局面を通して得られた抽象化された知識に対する新たな知識の追加・修正に対して、格納・蓄積されている知識体系全体を如何に矛盾なく、かつ系統的に管理していくかという局面

ここでの関心は、実用的見地からいって、主として第一および第二の局面にある。その理由は、第三局面については既に著者らの研究³⁾により、かなり系統的にその解決法が調べられ、その解決の方向と計算量からみでの困難さ^{4)・5)}が分かってきたからである。第一および第二の局面を攻略するにあたって、独断と偏見で枠組みを当てはめるのではなく、実際にエキスパートシステムを開発した当事者から知識獲得の方法をヒアリングによって聞き出すというやり方を採用した。ヒアリングにあたっては、可能な限り専門分野の異なる例を調査した。具体的には知識獲得に関する調査票に基づきヒアリングを行い、その結果をできるだけ客観的に分析するという方法を採用した。

2. 開発事例紹介

知識獲得に関するヒアリングを行い、そのうち次の9の事例についてまとめた。

- (1) 製造ラインにおけるエキスパートシステム・・・日立製作所⁶⁾
- (2) 電力系統解析支援エキスパートシステム・・・三菱電機⁷⁾
- (3) パーソナルファイナンスアドバイザー・・・富士通⁸⁾
- (4) 大型直流電動機故障診断システム・・・東芝⁹⁾
- (5) ダムゲートの余寿命診断エキスパートシステム・・・電力中央研究所¹⁰⁾
- (6) LSI 配線設計エキスパートシステム・・・日本電気¹¹⁾
- (7) レンズ設計エキスパートシステム・・・キヤノン¹²⁾
- (8) 計算機室機器レイアウトCAD・・・日立製作所¹³⁾
- (9) 特許法エキスパートシステム・・・電子技術総合研究所¹⁴⁾

本章では、まず各エキスパートシステムの簡単な紹介を行い、ついでそれらの特徴を分類・整理する。

- (1) 製造ラインにおけるエキスパートシステム⁶⁾

本システムは製品モデルチェンジ等に対応容易な物流ライン制御ソフトを知識処理のパラダイムによって実現したもので、制御規則を改変容易なルール型知識として記述するこ

とにより柔軟性のあるシステムを実現している。本システムはエキスパートシステムというよりも、ルール型制御の実用版として先駆的なものといえよう。改変性・保守性の向上、ソフトウェア開発工数の大幅削減にその特徴がある。

(2) 電力系統解析支援エキスパートシステム⁷⁾

本システムは電力系統の計画業務を省力化し、適切な計画案を効率良く作成するにはどのような支援環境が必要かという観点から検討されたもので、計画立案のための知識ベース、親しみやすいインタフェース、機器や解析データを管理するデータベース、高速なインタラクション機能の統合した知的支援環境を目指したものである。知識ベースの導入により、専門家が1時間近くかかった問題を2分で解けるようになったことから分かるように、解析時間の大幅な短縮にその特徴がある。

(3) パーソナルファイナンスアドバイザー⁸⁾

本システムはエキスパートシステム構築支援ツールESHELLの評価を目的として試作された個人財産相談エキスパートシステムのプロトタイプである。サラリーマンを対象とし、利用者の家族構成や現在の資産状況などをもとに家計の将来について予測し、住居取得などに対して実現可能性の評価・助言を行う。本システムはESHELLの評価（デモ）を目的として試作されたせい、リスク下での意志決定問題という問題のもっている本質からすれば、扱える問題の範囲が狭い。

(4) 大型直流電動機故障診断システム⁹⁾

本システムは知識ベースシステム構築ツールTDES2 上に開発された大型直流電動機（金屋圧延プラントにおける圧延主機）に異常状態が発生したとき等、オペレータと対話しながら原因の推定・保守の支援を行うシステムである。本システムは知識のモジュール化、不確かなデータの取り扱いの重視、テキストの重視にその特徴があるが、不確かなデータに対する確信度の割り当てや異常データ以外の観測データの獲得法に再考の余地があるようにみえる。

(5) ダムゲートの余寿命診断エキスパートシステム¹⁰⁾

本システムは、ダムゲートのデータベースから変位・応力などの定量的な観測データならびに外観状態などの定性的なデータを、また簡易解析システムから測定データに対応する解析値を取り込んで、個々のダムゲートの総合的な余寿命の診断・評価を行うシステムである。本システムは安全性評価、余寿命予測、補修の必要時期という三つの属性で、与えられた定量的・定性的データから結論しうる全ての解を表示するところにその特徴があ

る。多属性効用理論（多目的決定理論）の適用¹⁵⁾等、よりシステム工学的な方法論の適用を考慮すべきシステムのようにおもえる。

(6) LSI 配線設計エキスパートシステム¹¹⁾

本システムはLSIの自動配線プログラムでは結線できなかった端子間を配線するエキスパートシステムで、熟練者の配線のノウハウをルール形式で表現し、知識ベースに格納・利用しており、配線設計の非専門家でもこのシステムを用いれば、良質の設計を短時間に完成することができるシステムである。本システムの特徴は、既存のCADシステムとの結合をはかるため、Fortranとリンク可能なProlog処理系CADLOGを作成し、その上に開発したことである。ゲート数の増大という現実的問題にどのように対処していくのかに、今後の課題が潜んでいる。

(7) レンズ設計エキスパートシステム¹²⁾

本システムはレンズ設計の方式・機能設計という初期設計段階の設計作業を代行するシステムで、レンズシステムの仕様や骨組みのパラメータの値の変更が指示されると、システムの類型設計のプランやCADの知識等によって、新しいレンズシステムを自動生成する。本システムは初期状態生成、CADコマンド自動生成、設計プラン自動化等といった支援機能をもつが、知識獲得にさいして弟子入り方式を採用した点が注目される。

(8) 計算機室機器レイアウトCAD¹³⁾

本システムは計算機システムの技術サービスに従事するシステム・エンジニアの業務である計算機機器の室内レイアウト作業を、知識処理手法によって自動化したエキスパートシステムである。本システムは前向き推論によって意味的制約を守った計画を作成する。領域固有の知識を使用するため、計算速度は速いが、扱える問題領域は狭い。本システムで取り扱っている問題は、基本的に探索問題であるが、従来手法（混合型整数計画法）では、意味的制約の処理が困難なため、知識処理手法が活用された。

(9) 特許法エキスパートシステム¹⁴⁾

本システムは特許法の手続き法に関するコンサルテーション・システムで、手続き法記述上の諸問題を解決するために、KRIP/Lというオブジェクト指向と区間論理式という考え方を融合した手続き法記述論理プログラミング言語を提案し、その上に法律のエキスパートが法律知識を知識ベース化するのに用いるエキスパート支援系と素人ユーザが具体的な事例のデータベースを作成し事例効果の判定を行うユーザ支援系からなる。判例の利用や事実認定の問題等、今後解決すべき極めて興味深い問題を内在している。

さて以上9種類のエキスパートシステムの概要をまとめたのが表1である。表1においては、与えられた課題の複雑さの順に並べ、診断型、制御型、計画型、設計型のエキスパートシステムとして分類・整理した。表1を整理するとき、次のような諸点に留意した。

- ・“開発段階”欄は、プロトタイプ版と実用版の2分類とした。情報の得られたもののみ扱える問題範囲等を付記した。
- ・“開発環境”欄は、上からシェル、言語、マシンの順に示した。
- ・“知識ベースとその規模”欄は、主にルール数を示したが、与えられた問題の知識表現法や推論方式によりルールの意味は異なるので、ルール数の大小のみにとらわれてはいけない。
- ・“推論機構”欄は、前向き／後向き推論の区別、あいまいさの扱い等を示した。
- ・“外部とのインタフェース”欄は、外部リソース、外部プロセスとの入出力、グラフィックス等が記入されている。
- ・“その他”欄は、上記項目以外で各執筆者が強調していることを掲げた。

3. 知識獲得の諸相

2章で述べた9種類のエキスパートシステムの知識獲得の概要をまとめたのが表2である。表2を整理するとき、次のような諸点に留意した。

- ・“参加者とその知識、役割”欄は、専門家（略称DE）と知識工学者（略称KE）との区別を示した。ただし、両者の境界は定かでない。
- ・“知識源”欄は、専門家のノウハウや図形・パターンといった非定型情報からテキスト化された記号まで、種々のレンジの知識源（略称KS）がある。
- ・“補助ツール”欄は、既存AIツール上に構築したものか、専用ツールを開発したものか、既存資源（システム）を利用（結合）したものかの区別が重要である。
- ・“基本方針”欄は、与えられた課題の種類とその難しさの度合とのかねあいで基本方針が異なってくることに注意されたい。
- ・“基本的な流れ”欄は、与えられたAIツールで与えられた課題を解決するという意味で、種々のフィードバック・ループをもつ問題解決の方法論として統合すべきである。
- ・“詳細な経過、工数”欄は、プロトタイプ版か実用版かで異なり、後者は与えられた問題の難しさにも依存する。

- ・ “知識表現や量などの変化”欄は、バージョン・アップに伴い、いわゆるS字曲線の2段階発展のイメージを示している。
- ・ “最終的な知識の分類”欄は、与えられた開発環境のもとで処理可能な知識表現形式に、極めて強く依存している。
- ・ “知識獲得の方法の詳細”欄は、今回のヒアリングの中心であるが、今回の調査は不十分だったので、今後綿密な再調査が必要である。今回のヒアリングでは、インタビュー方式か弟子入り方式かの区別に注意されたい。
- ・ “検討事項”欄は、うまくいった点とうまくいかなかった点の代表的事項を明記した。
- ・ “コメント”欄は、既存エキスパートシステムではうまくいかない未解決問題を中心に指摘した。それらのあるものは、与えられたシステムの2次元図形を含む知識表現力の貧困さに起因している。

上述のエキスパートシステムにおける知識獲得の事例報告をもとに分析すると、一般に知識ベースへの知識獲得は次のような段階からなると考えられる。

- 1) 問題の設定： 現在のAI技術で実現可能なシステムを構築することができるか、開発するだけの価値があるかなどの評価を行い、問題を選択する。
- 2) 既存技術の評価： 設定された問題に対し、従来のシステム技術で取り扱いが可能な範囲と限界を明らかにし、AI技術導入の必要性を明らかにする。
- 3) 知識源の同定： 設定された問題の解決に必要なとされる知識とその利用可能性を評価するとともに、各知識源ごとに使われる知識の質と量を分析する。
- 4) 専門家モデルの同定： 主要な知識源が人間の専門家の場合、その専門家がどのような知識を、どのような問題解決戦略および推論方法に従って用いているのか、その基本的な枠組みを明らかにする。
- 5) ユーザモデルの同定： 構築しようとしているシステムの利用者は、システムに何を期待し、どのような使い方をするのか、その基本的な枠組みを明らかにする。
- 6) 知識表現の選択： 3)～5)の分析結果に基づき、適切な知識表現形式の選択または組み合わせを行う。
- 7) 知識の抽出： 6)で選択された知識表現の枠組みのもとで、各知識源に存在する知識を抽出する。
- 8) 知識の変換： 7)で抽出された知識を計算機で利用可能な形式に変換し、実際に計算機に移植する。

9) 知識ベースの管理： 知識ベースに追加される知識の整合性を検証したり、外から与えられる知識を説明する知識を知識ベース内に自動構築する。

以上から分かるように、広義の知識獲得は1)～9)の9の段階で構成されるが、システム工学の用語法でいえば、1)～6)の段階はシステム分析、7)～9)の段階はモデリングに相当する。ここにより本格的なエキスパートシステムが要請される対象ほど、モデリングよりもシステム分析の方法の適用が重要なウェイトを占めることに注意されたい。従って、与えられた問題に対して、AI技術を冷静に評価・選択し、システム分析とモデリングの方法論を有機的に結合したエキスパートシステム構築のための新しい方法論を開拓することが、当面最も重要な検討課題である。

4. 知識獲得の方法論^{(6),(7)}

エキスパートシステムの応用分野のうち、①データ解釈、②診断、③監視と制御、④計画と設計、の4分野における問題の基本的な性格と知識獲得上の問題について考察する。

① データ解釈における知識獲得

データ解釈とは、計測器やセンサを通じて観測されたデータを分析して、システムの状態を推定し、これに物理的な意味づけを与える解釈を行うことをいう。音声データ、画像データ、信号データ、スペクトルデータなどの解釈が対象とされる。

データ解釈における知識獲得は、連続的なアナログデータを意味のある単位でセグメントに分割し、各セグメントを記号的に特徴づけるとともに、セグメント間に存在する高次の相関を形式化する知識を抽出することが基本になる。従来の信号処理技術やデータ解析技術では、データ間の低次相関を把握することはできても、高次相関は計算量の面からみて事実上不可能である。ここに知識処理の必要が生じる。

データ解釈に利用される知識は、対象システムの構造や性質に関する知識と人間の専門家による経験的知識に分かれる。どちらの知識のウェイトが高いかにより、知識獲得の様相は異なる。前者のウェイトが高い場合、知識獲得は対象の構造をどう形式化するかに関心が向けられる。後者のウェイトが高い場合、知識獲得は人間のパターン認識的知識をどう記号化するかに力点が向けられる。

データ解釈では、データの欠落やノイズの存在を前提として、知識の表現と利用を考える必要がある。知識の表現においてはあいまい性の導入、知識の利用においては黒板

モデルに代表される協調型推論が要請される。あいまいな知識や協調型推論に関する知識獲得の基本データは人間の専門家から得るとしても、システム論的観点からこれらの知識を再構成し、最適化することが不可欠である。

② 診断における知識獲得

診断とは、システムに生じた異常の原因を同定するために、観測されたデータおよびシステムにおける因果関係の知識を利用することをいう。医学における診断、プラントにおける異常診断、機械設備における故障診断などが対象とされる。

診断における知識獲得は、診断の対象が自然システムか、人工システムかによって、その様相が異なる。

生体のような自然システムの場合、マクロな構造についての定性的な知識は知られていても、ミクロな構造についてはほとんどブラックボックス的であり、人間の専門家の経験に基づく表層的な因果関係知識に頼らざるを得ない。そのような知識はあいまい性が伴い、あいまいな知識の取り扱いが大きな課題とされる。特に推論が多段階に及ぶ場合、あいまいな知識の整合性と診断結果の信頼性を確保するために、システム論的観点から、あいまい知識統合化のための手法開拓が要請される。

一方、人工システムの場合、因果関係に関する知識は、システム設計レベルの知識から導出可能なはずであり、これらの知識を診断の過程で利用できるように形式化しておくことが必要である。しかし大規模システムの場合、システム構造だけの知識から原因を同定することは、それが可能であっても、計測器によるデータ取得やオペレータとの対話を必要とするときには、冗長になりがちである。ここに人間の専門家の経験的知識の利用が要請される。経験的知識は表層的であっても、推論の途中結果がカットされるため異常や故障の原因箇所近傍へのアクセスには効率的である。要するに、システム構造の知識のみに依存して診断を下すことは、完全ではあっても冗長になる恐れがあり、経験的知識のみに依存して診断を下すことは、効率的ではあっても不完全になる恐れがある。この両者のトレードオフのもとでの知識獲得を考慮すべきである。

③ 監視と制御における知識獲得

監視と制御とは、システムの状態を監視していて、あらかじめ設定してあった計画どおりにシステムの状態が推移するように、システムに制御を加えることである。プラントの制御、航空管制、ジョブショップ型生産システムの制御など制御問題は極めて普遍的である。

制御対象が連続系であるか、離散系であるかにより、知識獲得の様相は異なる。連続系の場合、従来の古典的フィードバック制御や現代制御理論での接近が困難なシステムが知識処理の対象となる。たとえば時間遅れが大きく、かつ非線形な系が対象となる。

制御系における知識獲得とは、状態空間を適当な数に分割し、分割された各副状態空間に対し適切と思われる制御則を抽出することである。状態空間の分割数を増せばそれだけきめ細かい制御が可能になるが、知識獲得のためのコストが増大する。この場合、ファジィ制御が有用である。ファジィ制御では、状態空間のいくつかの代表点に対し、人間の専門家から制御則を求め、状態空間の任意の点については、ファジィ推論によって近傍の制御則を組み合わせて統合化することにより、制御則を導出する。この方法で知識獲得の問題は大幅に緩和される。ただし代表点の選択方法は容易ならざる問題であり、また情報量的に適切な代表点の数を設定する必要がある、試行錯誤的側面が付随する。

システムの状態が過去の履歴に著しく依存し、適切な制御則を決定するうえで多段階の推論を必要とする場合には、ファジィ制御は困難となり、通常のルールベース制御に頼らざるを得ない。この場合、知識獲得に大きな負荷がかかる。ただしシステム自体がもともと自律性が高く、大局的な制御さえ施せば、あとは自動的に最適な状態に復帰する可能性が高い場合には、知識獲得の問題はある程度緩和される。生体の制御や高炉の制御がこのクラスに属する。

対象が離散系の場合、従来はシーケンス制御の問題とされてきたが、ルールベース制御は可読性が高く、保守が容易なことから、知識獲得の上からも有利である。ただしシステムの完全性を検証するための支援環境を必要とする。

制御システムは一般に厳しい実時間性を要求するために、獲得した知識をそのままの形式で保持するのではなく、コンパイルしたり、再組織化することにより、推論の高速化を達成することが要請される。

④ 計画と設計における知識獲得

計画と設計の問題では、最適なシステムを構成するために、膨大な探索が必要であり、組み合わせ問題を克服するために問題解決の基本制御ループを同定することが重要である。

これまでに開発されている計画・設計型エキスパートシステムの多くは、今回のヒアリング調査にみられるように、従来のシステム技術の上に知識処理の部分を付加するこ

とにより、自動化の範囲をさらに広げたものであり、知識獲得コストと自動化によるコスト削減がバランスする点が知識処理の対象とされている。

計画や設計は、問題の性質により程度の差はあっても、極めて創造的な行為であって、同一の問題であっても設計者によって異なったアプローチがなされる。しかし、基本的なアプローチは、問題分解法、階層的生成検査法、トップダウン精密化法などのいくつかの方法、またはその組み合わせからなっている。これらの基本的問題解決戦略を明らかにすることおよびその妥当性を評価することが、計画や設計における知識獲得上の重要な役割と考えられる。弟子入り方式による知識獲得は、このような戦略をシステム分析者が抽出する上で有用と思われる。

5. 知識獲得と学習¹⁸⁾

知識獲得過程に学習機能の導入を考える。著者らが従来から行ってきた研究は、第3章で述べた知識獲得の9段階説からすれば、残念ながらせいぜい7)~9)の自動化を意図してきた。一般に、エキスパートシステムと人間との接点には、次の2つの側面がある。

- a) 知識ベース構築の側面： 問題領域で通常行われているやりかたで、推論や問題解決に知識を知識ベースに登録する作業である。しかもコンピュータの専門家以外の人間がこの作業を容易に行えなくてはならない。
- b) 利用者支援の側面： 利用者対話しながら、利用者の必要としている情報や推論結果を提出しつつ、エキスパートシステムと人間が共同で問題解決を行うという側面である。利用者の思考レベルでの整合性が鍵となる。

学習機能の導入も、当然のことながらこの両側面からの接近が考えられる。ここでは現在までに試みられた知識獲得支援のための学習機能の導入について、代表的アプローチの位置づけを述べる。

- (A) 知識ベースエディタ： 利用者支援のために最もよく研究・開発されている。プログラミングにおける優れたエディタがプログラムを書く際に非常に役立つように、優れた知識ベースエディタが知識ベース構築には不可欠である。最近市販されているエキスパートシステム・シェルには、この部分の開発に多大のエネルギーを投入しており、利用者は今後、ますます優れた知的インタフェースを利用可能となろう。なお将来的には、この部分にEditing by Example¹⁹⁾のような帰納推論の導入が考えられる。

- (B) 知識ベース管理： 知識ベースの管理問題には、与えられた知識体系の論理系としての完全性／健全性維持問題、新しい知識の追加に対して知識ベース全体の無矛盾性管理問題、および外から与えられた知識を説明するように知識ベースを調節するモデル構築問題がある。これらはICOTにおいて、知識同化問題や知識調節問題として活発に基礎研究されているが、知識ベースが大規模化した場合、深刻な問題になることが予想される。なお知識調節問題の解決には、Shapiro のモデル推論システムという帰納推論が利用されている。
- (C) 問題の定式化支援： 現在のところ知識工学では、殆ど手が付けられてない領域である。ある具体的な問題領域を、特定の知識表現をもつツールで表現しようとした場合、非常に困難な作業を強いられることになる。この問題を解決するために問題の定式化の手順の確立と、その実行を支援するシステムの開発が大切である。このためにまず早急になすべきは業種別（応用分野別）の知識システム方法論の整備であるが、ソフトウェアの再利用システムの考え方に学び、問題の定式化支援システムを作るのが正攻法であろう。なおこの種のシステムには、類推機能の活用が考えられる。
- (D) 知識獲得の半自動化： 知識獲得の自動化は人工知能研究者の理想であるが、当面は人間を介在して知識獲得を行うのをコンピュータが支援する半自動的知識獲得システムの開発にかなりの努力が払われるものと考えられる。いずれにせよこの種のシステムは、(A) ～(C) に示されたように高度な学習機能を内在しているであろう。

6. おわりに

本論文は、ICOTが昭和60年度に行った“エキスパートシステムにおける知識獲得の様相”に関する調査内容をもとに、著者らのエキスパートシステム開発事例における知識獲得と学習に関する見解をまとめたものである。この調査において、著者らは、エキスパートシステム構築の最大の隘路となっている知識獲得問題に対して解決のための知見を得ることを目途として、エキスパートシステム開発事例の知識獲得に関するヒアリングを行った。本調査のヒアリング結果を分析するとともに、著者らのエキスパートシステム開発における知識獲得に関する考察結果を述べ、最後に学習との関連について論じた。時間と紙数の関係もあり、学習と知識獲得との関連については十分に論じきっていないが、知識獲得と学習について著者らが考えていることを今後の課題として掲げ、本論文の終わりとした。

い。

(1) 知識獲得の過程がインタビューやプロトコル解析といった直接的方法で、余りに経験的過ぎる。大規模かつ複雑な対象を分析するという意味で、知識工学とシステム工学とは共通部分が多いはずである。システム工学方法論に精通した知識工学者の養成が急務である。

(2) 対象から得られる知識と専門家から得られる知識とを明確に分離し、前者の高次利用を考え、後者への依存を極小化すべきである。得られた知識も問題の複雑さが多様に増大するにつれて、様々なタイプのものがある。どういう知識源から得られたどのようなタイプの知識かによって、その高次利用の方式が異なる。

(3) 知識の表現・利用方式が決まらなると、知識獲得方法を論じても無意味である。従って、得られた知識のタイプによって、柔軟に知識表現法と推論エンジンが選択できることが望ましい。

(4) 知識獲得過程への学習機構の導入法も、前章で述べたように知識ベースエディタへの適用、知識ベース管理への適用、問題定式化支援への適用、知識獲得の半自動化への適用などが考えられる。

(5) 上記以外の今後考慮すべき学習機構の導入法として、確信度の学習、部分計算によるコンパイルされた知識の学習、知識獲得に関する戦略の学習、確率論的な帰納推論モデルの導入、など多くの検討課題がある。

結論としては、「はじめにAIツールありき」ではなく、「はじめに問題ありき」という問題の原点からの接近を図るべきである。知識工学、認知科学とシステム工学の統合という幅広い見地のもとで、対象とする問題を冷静に正視し、適切なシステム分析方法論とモデリング方法論との融合を行い、各種応用分野ごとの知識システム方法論を確立することこそ、エキスパートシステムの知識ベース構築に関心のある人々に課せられた、当面最も重要な検討課題である。

〔謝辞〕 ICOTが実施した調査には、著者らの他、三菱重工業㈱市川雅也氏、㈱東芝河野毅氏、日本電気㈱後藤 敏氏、大阪大学真田英彦氏、東京大学田中 博氏、(財)電力中研寺野隆雄氏、石油資源開発㈱長田享一氏、三菱電機㈱房岡 璋氏、富士通㈱門前弘邦氏、㈱日立製作所渡辺俊典氏が参加し、有益なご意見をいただいた。これら各氏に感謝するとともに、ヒアリングに快く応じていただいた法人、企業のご協力に対し、厚くお礼申し

上げる次第である。

〔参考文献〕

- 1) 国藤 進、北上 始、宮地泰造、古川康一：知識工学の基礎と応用（第4回）－Prologにおける知識ベースの管理－、計測と制御、Vol.24 No.6, pp.539-548, 1985年6月.
- 2) 国藤 進、北上 始、宮地泰造、古川康一：論理型言語Prologによる知識ベースの管理、Proc. of Logic Programming Conference '85, pp.141-154, 1985年7月2日.
- 3) 北上 始、国藤 進、宮地泰造、古川康一：論理プログラミング言語Prologによる知識ベース管理システム、情報処理、Vol.26 No.11, pp.1283-1295, 1985年11月号.
- 4) 国藤 進、古川康一：学習システム研究の現状と課題、計測と制御、Vol.25 No.9, 1986年9月号.
- 5) 菅原俊治、外山芳人：帰納的推論の理論、同上.
- 6) 都島 功、田代 勤、薦田憲久、馬場和史、高倉修一：流れ作業ライン制御へのルール型制御方式の適用、計測自動制御学会論文集、Vol.21 NO.10, pp.1113-1120, 1985年10月号.
- 7) Fujiwara, R., Sakaguchi, T., Kohno, Y., Suzuki, H.: An Intelligent Load Flow Engine for Power System Planning, IEEE Proc. of Power Industry Computer Application Conference, pp.236-241, May 1985.
- 8) 門前弘邦、宇佐見仁英：黑板モデルを採用した商用AIツール「ESHELL」、日経コンピュータ、1986年6月10日号.
- 9) 川北 茂、森田 登、高良 理：大形直流電動機の故障診断知識の分析とその結果に基づく診断システムの開発、情報処理学会「知識情報処理シンポジウム」, pp.87-96, 1985年9月.
- 10) 寺野隆雄、篠原靖志、松井正一、中村秀治、松浦真一：発電所のダムゲート余寿命診断エキスパート・システム、情報処理学会第32回全国大会講演論文集2L-3、1986年3月.
- 11) 後藤 敏、森 啓、藤田友之、光本圭子：対話型配線設計の処理時間を短縮するLSI配線設計用エキスパート・システム、日経エレクトロニクス、1985年11月4日号.
- 12) 菊地一成、飛鳥井正道、加藤英二、佐々木貴幸、浅野俊昭：レンズ設計エキスパート

- システム、情報処理学会「知識工学と人工知能研究会」資料44-4、1986年1月.
- 13) 渡辺俊典、安信千津子、佐々木浩二、山中止志郎：知識処理の計算機室機器レイアウトCADへの応用、情報処理学会「記号処理研究会」資料33-1、1985年9月.
- 14) 新田克己、長尾順太郎：工業所有権法エキスパートシステムの事例問題解決機能、Proc. of Logic Programming Conference '85, pp.375-386, 1985年7月3日.
- 15) 市川倬信編：多目的決定の理論と方法、計測自動制御学会、1985.
- 16) 小林重信：知識工学の基礎と応用〔第5回〕－エキスパートシステム(1)－、計測と制御、Vol.24 No.8, pp.730-738, 1985年8月.
- 17) 小林重信：知識工学の基礎と応用〔第6回〕－エキスパートシステム(2)－、計測と制御、Vol.24 No.9, pp.838-840, 1985年9月.
- 18) 諏訪 基：知識工学と応用人工知能、システムと制御、Vol.30 No.5, pp.269-273, 1986.
- 19) Nix, R.: Editing by Example, Ph.D. Dissertation, Computer Science Dept., Yale Univ., New Haven, 1983.

システム名	項目	分	類	開発段階	開発環境 (システム)	知識ベースとその規模	出 産 品	外題とのインタフェイス	こ の 他
大規模業務用 最新型システム	設計	設計	設計	プロトタイプ開発完了 (専門家の経験を40% 50%) 実用型を開発中	TIDES 2 Lisp - 2 Testee 7/70 (制御用 (ニコン))	ルール (理直度付) 200 チキスト付 (モジュール化) 数 値 数 40 入力データ 1000	前向き/後向き 条 件 分 岐 後 進 計 算	外題とのインタフェイス オンライン・データ入力	
				プロトタイプ開発完了 程度は、実用で使える ようにする	KEB-2 ZETA-LISP SYMBOLICS 3670	フ レ ム 200 ル ー ル 40 ノ ッ プ 70	前向き/後向き 詳細なコアと後進機	大規模業務上の ・関数型プログラミング ・数値計算プログラム	
パーソナルファイナンス アドバイザー	設計	設計	設計	プロトタイプ開発完了 (数える問題解決は良い)	ESHELL UTLISP FACOM M380H	フ レ ム 92 ル ー ル 6 90 (知識基) 10	前向き 後進モード	パソコンにデータ表示	
				プロトタイプ開発完了 (計算法の一部) 将来は、PSI上で、特殊 企業文書の作成	なし KRIPPA, Prolog- KANA PC 9501	オブジェクト (クラス数50) 区別構文式 40 Prolog	原則として後向き ソフトウェア通信機能	なし	条文の読み合わせにより 簡便
製造ラインにおける エキスパートシステム	制御	制御	制御	実用段階完了	(不明) (不明) HIDEC-V90/50 (制御用 (ニコン))	ル ー ル (実数付) ユーザ定義手段 (ルール数)	前向き	マイクロコンピュータを 通して ・前プロセスからの番号 センス ・制御信号出力	・制御ソフト開発の効率化 ・品質は、保守性の向上 ・生産性向上でもわかる
				プロトタイプ開発完了 今後は知識ベースを充 実する	なし FORTRAN 77, C-Prolog VAX 11/180 (ホスト) Apollo DN-4201 ワウ ステーション	ル ー ル 150 プログラムベース データベース	後向き	制御計算ソフトウェア グラフィックインタフェ ース	・読みやすいマシンラン ・インタフェイス ・制御計算の高速化
LSI 応用設計用 エキスパートシステム	設計	設計	設計	実用段階完了 (製造の専門家育成)	CADLOG Prolog HEC MS/180	ル ー ル 300 ノ 知 数	後向き 手引き的制御	CADシステム (FORTRAN) CADデータベース	
				実用段階完了 テスト機	独自のシステム ZETA-LISP SYMBOLICS 3600	フ レ ム ル ー ル (Lisp 記述可) 500~ 600	前向き	CAD	
計算機業務用 レイアウトCAD	設計	設計	設計	実用段階完了 (数える問題解決は良い)	なし UTLISP M 200H	フ レ ム 400 ル ー ル 400 手 数 1000	前向き	FORTRANの グラフィックインター フェイス	・数値的計算を省いた レイアウト

表1 エキスパート・システムの概要

項目 システム名	知識獲得環境		知識獲得の経過			知識獲得の方法の経緯	検討事項	コメント
	参加者とその知識、役割	知識源	知識獲得環境	基本的な役割	知識表現や量などの変化	最終的な知識の分類		
大形直流電動機	DE 1 KE 2	専門家、学会誌、書籍、教科書、論文、社内資料、フィールド・データ、経験	知識ベース・エディタ、説明機能	PSによる専門家の知識、知識獲得方法の習得	問題設定から問題発見までのフェーズ	故障原因特定知識、故障原因知識、故障原因知識、故障原因知識、故障原因知識	DEがKEを一部兼ねていたのでもう多くあった。 故障原因知識の不整合な知識の調査に努	
故障診断システム	DE 2 KE 3	対象物の構造知識、DB & Fortranへの組込み知識、経験的知識	Lisp環境 + KE	既存システムから得られる知識、DB & Fortranの組込み知識	DB & Fortran部、ESプロダクト、ES化(KEE on Symbolics)	システムを動かしながらルールの追加・修正、エラーの追跡、エラーの追跡、エラーの追跡	経験のまとめ方がうまく、既存システムの高度利用方式を実現、既存システムとの連携でないとやがて十分さあり	因果情報の重複性、数値・図形情報の扱いやすさ、知識表現方式の重複性
ゲームの余用金、新ゲーム、スタートシステム	DE 2 KE 1	専門家、雑誌、教科書、統計データ	ESHELLのユーティリティ、型付け言語、説明機能	利用するモデル設定からデバッグ、修正まで6フェーズ	ルールとメソッドは徐々に修正、エラーの追跡、エラーの追跡	フレーム、B.B.、K.S.などに分類	インタグ・ゲーム法でうまくいった。 フレーム、B.B.、K.S.などの知識表現の長短がわかった。	
非特許エクスパートシステム	DE 2 KE 1	専門家、専門家、専門家	エディタ、トランスレータ、再編成エンジン、説明機能	問題分析から結論まで5フェーズ	KEIP/L-1からKEIP/L-2へのバージョンアップ	KBの知識はオブジェクト、区間、関係式、Feelingで記述	判例規定、時間表現などの記述はうまくいった。 知識表現形式の任意性、知識問題あり	事実認定の問題が未解決 判例DBの取り扱いは未解決
製造ラインにおけるエクスパートシステム	DE 7 KE 7	専門家	実験動作に条件やルールを付け、実行を入手で制御、ドキュメント	システム設計から統合テスト・デバッグまで4フェーズ	正常系の考慮、異常系の考慮、タイミング制御、関連の追加と変更	投入口制御ルール、ゾーン内制御ルールなど4種に分類	ソフトウェア開発工数が増えた1/3	

表2-1 知識獲得の概要(1)

システム名	知識獲得環境		知識獲得の経路					知識獲得の方法の詳細	検討事項	コメント
	参加者とその知識、役割	知識源	対話ツール	基本方針	基本的な流れ	詳細な経過と上 程	知識表現や記号などの変化			
電力系統解析支援システム	DE 3 KE 2	経験的知識中心	DBに対する解明ツール群の外観、説明機能、バリエーションプロトコル解明	専門家によるデモンストラシオンで転出	問題の明確化からアシスト・デスクまでのコンタクト	新たな(漸進的)知識抽出、バリエーションプロトコル解明、問題の追加というフィードバック・ループ	KB、プログラムムベース、DBに分類	専門家による問題解決過程からのシステム理解過程の明らかにした。	バリエーションプロトコル	
L-81 配線設計用 E4 スケッチペンシステム	DE 2 KE 1	専門家、ケース・スタディ、実験データ	特になし	問題の設定から知識表現法の整理・表現	2年間で400+ルール	単純ルールから出発し、複雑なメタルールは基本ルール編纂から着手	問題解決の手続き的知識、状況判断の知識、表示のための知識	従来のソフトウェア開発を体感するプログラマーが主体となるので、DEの構築的協力が有り。	従来のソフトウェア開発を体感するプログラマーが主体となるので、DEの構築的協力が有り。	2次元図形認識研究が主眼点となすは、自発者の図形操作から自動的に知識獲得すること(1)
レンズ設計 エキスパートシステム	DE 3 KE 3	主として専門家	特になし	設計全プロセスの段階と実務的一貫性ある設計知識獲得	インタビュー方式が弟子入り方式である	インタビュー方式ではDEから知識抽出が弟子入り方式ではKEがDEとCADの併立ちをし、DEの情報処理や評価的知識の抽出を行う	インタビュー方式と弟子入り方式の長短がわかった。	ルールの一部はMapプログラムの記述を許している。	インタビュー方式と弟子入り方式の長短がわかった。	
計算機電機設備 レイアウト CAD	DE 3 KE 4	専門家、情報処理専門家	型紙コミュニティ、知識ベース・エディタ	先ずプロトタイプを開発し、その後、拡張・改良の実	調査類型、プロトタイプ版、拡張型、現物の4バージョン	調査類型に3〜6ヶ月(2人)、プロトタイプ版に9〜12ヶ月(3人)、拡張版に6〜9ヶ月(3人)	プロトタイプ版から拡張版にバージョンアップする際、約倍増	ルール、フレーム型、手続き的知識それぞれに応じて手帳あり	機器グループ・レベルでルール記述することによって問題を顕在化、定型化する際、知識表現形式を熟達していただくこと	良い表現形式と良いエディタが重要