

TR-272

知識獲得の為の専門家モデル
ー知識獲得支援システムEPSILON/EMについてー

滝 寛和, 椿 和弘, 藤井裕一

June, 1987

©1987, 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

滝 寛和、椿 和弘、藤井 裕一

(財)新世代コンピュータ技術開発機構

This paper describes an expert task representation model (EXPERT MODEL) and a knowledge acquisition method (Pre/Post Method) based on the EXPERT MODEL. There are two major phases in the knowledge acquisition process. The first phase is the modeling phase which builds an expert task representation model. The second phase is the EXPERT MODEL instantiation and refinement phase. The EXPERT MODEL is a task-oriented representation to extract the expert knowledge. The Pre/Post Method stimulates the human expert to remember his expert tasks and associative knowledge.

1. はじめに

種々の産業分野でエキスパートシステムが開発されるようになってきたが、エキスパートシステムの構築はナレッジエンジニア（以下、KEと略す）の手作業による知識獲得に頼っている。この知識獲得は方法論も確立されていない為、非常に困難な作業となっている。筆者らは、KEによる知識ベースの構築を一種の知識表現モデルの構築と見なして、知識獲得の方法を知識表現モデルの構築とモデルの詳細化作業として実現した。KEは知識獲得過程において、まず、目的とするエキスパートシステムのイメージを形成し、次にそのイメージを具体化し知識ベースを構築している。このイメージが知識獲得に於ける専門家モデルである。専門家モデルは広い意味でユーザモデルと専門家の知識を表現する概念構造や知識表現を含む。従来、KEに供給されてきた知識表現と言えば、ルール表現・フレーム表現・意味ネットワーク表現であり、モデル構造と言えば黒板モデルやオブジェクト指向モデルであ

る。しかしながら、このような表現やモデルはあまりにも一般的であり、知識獲得結果が一位に定まらない為、専門家の知識をその知識表現にマップする方法が確立しにくい。知識獲得から見た専門家モデルには専門家の知識を極力一位に表現できる知識表現が望ましい。また、その専門家モデルを構築する知識獲得方法も合わせて必要である。現在、開発されている知識獲得の方法はシステムが用意した専門家モデル（知識表現モデル）の具体化として実現されているが、筆者らは専門家モデルの構築に主眼を置いた知識獲得支援システムを研究している。それでは、知識獲得の為の知識表現を既存の知識獲得支援ツールではどのように表現・利用しているかを見ることにする。ETSは分類作業のための単純な概念構造を持っている[Boss 84]、その概念構造には「結果項目」と「コンストラクト（特徴とその反対の特徴）」が含まれる。MORE[Kahn 85]はETSより複雑な診断問題向きの概念構造を利用しているが、それには「仮説」、

「微候」、「テスト」、「仮説の条件」、「微候の条件」、「テストの条件」、「微候の属性」、「リンク」と「パス」が含まれる。ROGET [Bennett 85] で扱う概念構造は実際のエキスパートシステムから抽出しており、タスク・オリエンテッドな概念構造となっている。ETSやMOREの概念構造には診断問題に内在する基本的概念構造を含んでいる。一般に専門家のタスクには基本知識（対象知識）とメタ知識（戦略的知識）がある。メタ知識には問題解決における基本知識の利用方法が含まれている。上記で説明したツールには、メタ知識が概念構造に入っていない。ユニークなエキスパートシステム構築方法はジェネリックタスク [Chandrasekaran 85] に見られる。ジェネリックタスク (Generic Tasks) のプリミティブは知識獲得の際に専門家の知識を表現するのに役立つ。ジェネリックタスクとしては、6種類が発見されているが、エキスパートシステムの構築に必要とされるジェネリックタスクがすべて発見されているとは言えない。また、ジェネリックタスクの表現レベルはまちまちであり、まだ十分に整理されているわけではない。筆者らは、効率的な知識獲得には基本的知識とメタ知識が明確に定まっている知識表現（専門家モデル）が必要であると考えている。ヒューリスティックの分類におけるジェネリックオペレーション [Clancey 85] も専門家のタスクをモデル化するのに役立つが、知識獲得に使用するにはオペレーションの単位が大きい。そこで、筆者らは専門家モデルを知識獲得の為に概念構造とメタ知識を表現するモデルとして設計した。それには3つのレベルの知識表現が含まれている。専門家モデルの中心概念は構造ジェネリックオペレーションである。この構造ジェネリックオペレーションは7種類のオペレーションから成っている。それらは、「選択」、「分類」、「ソート」、「組み合わせ」、「変換」、「入力」と「出力」である。これらの基本オペレーションはプロダクションルールで書かれた診断エキスパート [諏訪 86] [ICOT 87] [国藤 87] を分析することで得られた。専門家モデルの具体化作業においては、これらオペレーションに意味付けが行われる。意味付けされたオペレーションを意味ジェネリックオペレーションと呼ぶ。たとえば、「テスト装置の選択」は「選択」オペレーションに意味付けしたものである。ひとつのジェネリックオペレーションは「オペレーション属性」、「エバリュエータ（評価機構）」と「要素グループ（評価対象、評価結果）」から構成されている。エバリュエータは、ジェネリックオペレーションの実行部である。選択オペレーションのエバリュエータは、選択基準を評価する。ソートオ

ペレーションのエバリュエータは、要素グループの要素の属性を比較して、比較結果の順に要素を整理する。ジェネリックオペレーションは、モデル化と具体化作業を通じて、知識ベースの一部となる。ジェネリックオペレーションを管理する機構が必要であるが、その表現として、オブジェクト指向アーキテクチャを採用した。これは、オブジェクト指向のメッセージパッシングモデルが人間の上層知識表現に適していると言われているからである。専門家モデルでは、ジェネリックオペレーションが1つのオブジェクトとなる。次章において、専門家モデルと効率的知識獲得方法（プリ・ポスト法）及び知識獲得支援システムEPILON/EMについて説明する。

2. 専門家モデル

専門家モデルのオリジナルアイデアと、専門家モデルの構造・機能表現について詳しく説明する。

2.1 専門家モデルの基本アイデア

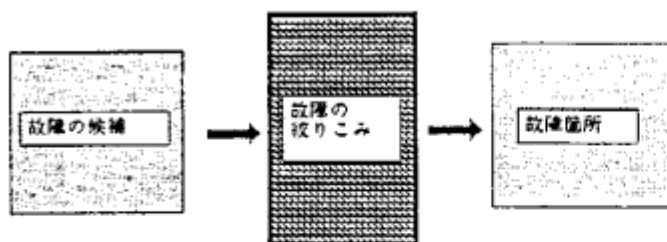
専門家モデルは、2つのアイデアに基づいて考案された。それは、「単純化した専門家タスクモデル」と「プロダクション記述の診断エキスパート知識の分析とグループ化」である。

(1) 単純化専門家タスクモデル

エキスパートシステムは、いくつかのタスクタイプに分けることができる。「Building Expert Systems」[Hayes-Roth 83]によれば、知識工学の応用には10の類型カテゴリーがある。それは「解釈」、「予測」、「診断」、「設計」、「計画立案」、「モニタリング」、「デバッキング」、「修理」、「教育」と「制御」である。著者らは、これらのカテゴリーをいくつかの簡単なモデルで表現することを試みた。なぜなら、単純化専門家タスクモデルは専門家に自分の知識を表現するための専門家作業イメージを提供することが出来るからである。ここでは、1例を示す。

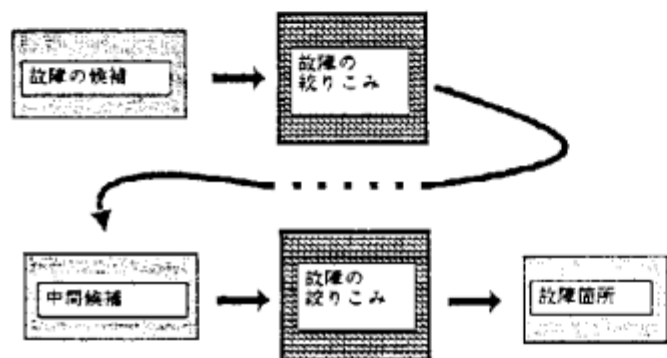
〈単純化診断タスクモデル〉

第1図は診断タスクを示している。一般に、診断タスクは「診断木」と「探索アルゴリズム」で表現できる。しかし、その構造はあまりに一般的であり、専門家タスクをユニークに表現できない。より単純化したモデルが筆者らによって発見された。それはフィルターモデルである。



第1図 単純化診断タスクモデル

第2図も診断タスクを示している。このモデルでは第1図のタスクをサブ・タスクに持っている。



第2図 単純化診断タスクモデル

著者らは単純化専門家タスクモデルを検討し、これらのモデル（オペレーション）は「ソース要素グループ（評価対象グループ）」、「エバリュエータ（評価機構）」と「デスティネーション要素グループ（評価結果グループ）」から構成出来ることを発見した。

（2）診断エキスパートシステムのルールの分析

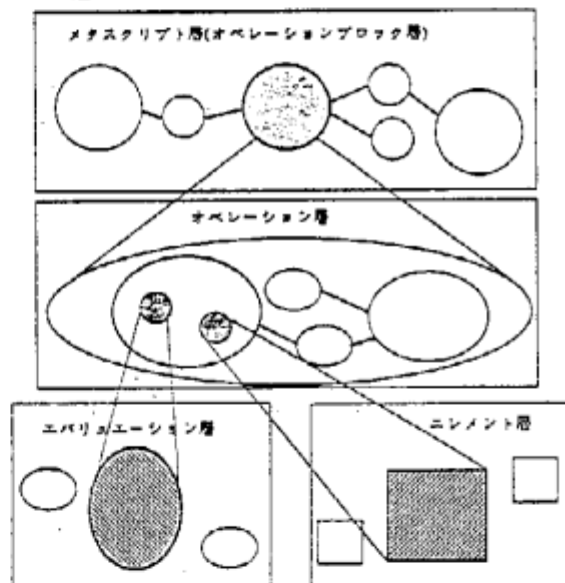
プロダクションルールはエキスパートシステムの為の一般的な知識表現である。それゆえに、KEは種々の知識を表す為にルール記述テクニックを持っているなければならない。著者らはルールの記述形式にそのテクニックが表われているはずであるという仮説を立てた。プロダクションルールセットの中から次の7つの記述形式が見出された。それらは、「選択」、「分類」、「ソート」、「組み合わせ」、「変換」、「入力」と「出力」である。上記2つのアイデアの組み合わせ結果が「構造ジェネリックオペレーション」である。

2. 2 専門家モデルの構造

専門家モデルは専門家からスムーズに専門家タスクを収集するために特殊化された知識表現である。知識獲得のためにはプロダクションルールのように一般化された知識表現は必ずしも必要ではない。むしろ、知識獲得に特化した表現が必要である。この節では専門家モデルの構成要素について説明する。

2. 2. 1 専門家モデル構造の概要

専門家モデルは第3図のように4つの層から構成されている。この構造において中心を成すのがオペレーション層であり、エキスパートシステムの基本タスクであるジェネリックオペレーションから構成されている。同一の作業を目的としたオペレーションの集りをオペレーションブロックと呼ぶ、このオペレーションブロックとオペレーションの（処理順序）関係を表す層がメタスクリプト層である。オペレーションでの処理対象と処理結果を含む層がエレメント（要素）層である。オペレーションの処理内容を示すのがエバリュエータ層である。



第3図 専門家モデルの構造

2. 2. 2 ジェネリックオペレーション

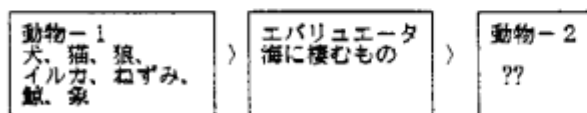
ジェネリックオペレーションは専門家モデルの中心の知識表現である。ジェネリックオペレーションは単純化専門家タスクモデルと診断型エキスパートシステムのプロダクションルールの分析から生れた。このジェネリックオペレーションには2つのタイプがある。それらは、基本的な専門家作業の構造を表す「構造ジェネリックオペレーション」と作業の詳細を表す「意味ジェネリックオペレーション」である。どちらも、知識獲得に役立つ枠組みである。その利点については第3章の知識獲得の方法の内容で説明する。

（１）構造ジェネリックオペレーション

構造ジェネリックオペレーションには上述のように「選択」、「分類」、「ソート」、「組み合わせ」、「変換」、「入力」と「出力」の７つオペレーションがある。各オペレーションは「ソース要素グループ」、「エバリュエータ」と「デスティネーション要素グループ」を持つ。各オペレーションについて説明する。

＜選択オペレーション＞

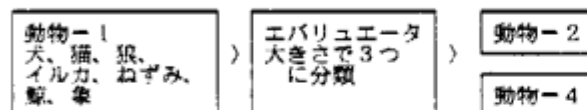
選択オペレーションはエバリュエータの選択条件に従ってソース要素グループから要素を選び、デスティネーション要素グループを作る。（第４図参照）



第４図 選択オペレーションの例

＜分類オペレーション＞

分類オペレーションは、分類条件（エバリュエータ）に従って、ソース要素グループの要素をいくつかのグループ（デスティネーション要素グループ）に分ける。選択オペレーションはこのオペレーションの一種である。（第５図参照）



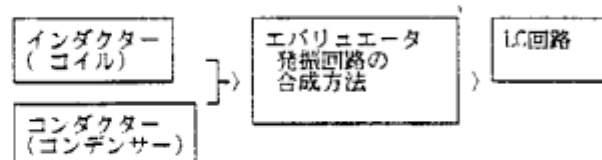
第５図 分類オペレーションの例

＜ソートオペレーション＞

グループ内では各要素は評価順序を持っている。ソートオペレーションは並べ換え条件（エバリュエータ）に従って、ソース要素グループを並べ換えてデスティネーション要素グループを作る。

＜組み合わせオペレーション＞

組み合わせオペレーションは組み合わせ方法（エバリュエータ）に従って、ソース要素グループの要素を組み合わせ、新しい要素を作り、デスティネーション要素グループを組み上げる。（第６図参照）



第６図 組み合わせオペレーションの例

＜変換オペレーション＞

変換オペレーションはデータ・アブストラクションやデータの解釈などに使用される。このオペレーションでは要素の属性が変更／追加される場合と新しい要素が生成される場合がある。

＜入力と出力オペレーション＞

エキスパートシステムとシステム利用者（または、観測機など）との対話オペレーションである。入力オペレーションはソース要素グループなしにデスティネーション要素グループを生成する。出力オペレーションはデスティネーション要素グループを生成しないで、利用者にソース要素グループの情報を出力する。

（２）意味ジェネリックオペレーション

意味ジェネリックオペレーションは構造ジェネリックオペレーションに意味と制御を付加したものである。意味ジェネリックオペレーションは意味と制御情報を表現するために、次の付加属性を持つ。

意味ジェネリックオペレーション：

オペレーション名：XXX

オペレーションブロック名：BBB

ソース要素グループ：YYY

デスティネーション要素グループ：ZZZ

エバリュエータグループ：AAA

(M) プリオペレーション：[O1. . . | On]

(M) ポストオペレーション：[P o1. . . | P o n]

(M) 推論制御：[シーケンシャル | パラレルなど]

(M) 処理開始条件：[. . . .]

(M) 生成メッセージ：[. . . .]

＜注：(M) はメタスクリプトに属す。＞

2. 2. 3 要素 (エレメント)

要素は項目と属性から構成されている。要素はフレームベースの知識表現で、属性スロットとインヘリタンスを持つ。デモンなどの付加手続は持たない。各要素はいくつかの要素グループに属し、ひとつ以上のジェネリックオペレーションからアクセスされる。

2. 2. 4 エバリュエータ

エバリュエータは条件と実行部 (ときには、手続) から構成されている。エバリュエータはジェネリックオペレーションの7つのタイプのいずれかを実行する。選択処理であれば、「選択基準がエバリュエータ」になる。

2. 2. 5 メタ・スクリプト

専門家タスクは問題解決のためのシナリオを持っている。それゆえ、専門家モデルではこのメタレベルのオペレーション管理知識をメタスクリプトと呼んでいる。つまり、メタスクリプトはオペレーションのプリポスト情報とオペレーションブロック情報を有するメタ知識を表す。別の見方をすれば、オブジェクトの管理知識と言える。この場合、オペレーションとオペレーションブロックがオブジェクトとなる。

2. 2. 6 推論制御の情報

専門家モデルにおける推論制御の情報 (推論エンジンに与える情報) は3つのレベルがある。つまり、オペレーションブロック間制御、オペレーション間 (ブロック内) 制御とオペレーション内制御である。各推論制御とも「解は全部必要か幾つかでよいか」「得られた解が不適当な場合別の解を求めるか否か」「求解は逐次か並列か」の種類を持っている。

- ・「全解探索」-----「逐次処理」
 \--「並列処理」
- ・「部分解探索」--+-「逐次処理」+-「別解あり」
 | \--「別解無し」
 \--「並列処理」+-「別解あり」
 \--「別解無し」

第7図 推論制御情報

注: 「逐次処理・別解あり」はバックトラックを意味する。「並列処理・別解あり」はサスペンドプロセスのリジュームを意味する。

3. 専門家モデルに基づく知識獲得

この章では、専門家モデルに基づく知識獲得方法、プリ・ポスト法について紹介する。専門家から知識を獲得する作業には2つある。それは、専門家の知識の構造をイメージとしてまとめるモデリングフェイズ (専門家モデルの構築) とそのモデルを詳細化する具体化フェイズ (専門家モデルの具体化) である。

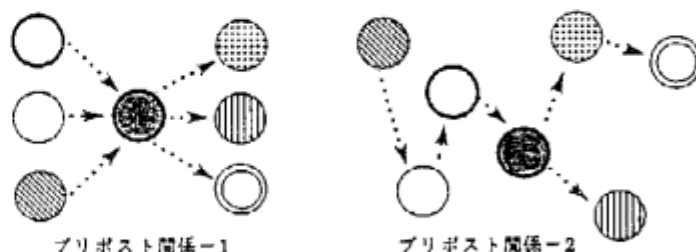
3. 1 プリ・ポスト法

プリ・ポスト法の主たる戦略は、あるオペレーションに関係する前後 (プリ・ポスト) オペレーションの連想を専門家に促す。専門家にとって、あるオペレーションの前後にどのようなオペレーションが必要であるかを述べることは比較的易しい。たとえば、車が動かないときに、「エンジン検査のまえに何を行うか?」の質問に対して、人間は、「ガソリンの残量を調べる。」や「バッテリーを調べる。」などを容易に答えることができる。また、プリ・ポスト法ではオペレーションの詳細化とオペレーションの管理構造 (メタスクリプト) の構成も行う。プリ・ポスト法に従った知識獲得過程を次に示す。

〔1〕知識獲得の出発点となるオペレーションの収集
専門家作業のオペレーションを幾つか収集する。各オペレーション間には関係がなくてもよい。オペレーションはランダムに収集してよい。

〔2〕プリポストオペレーションの抽出
収集したオペレーションについてその前後 (プリ・ポスト) オペレーションを質問する。このステップは専門家から新しいオペレーションが出なくなるまで続けられる。(新しく収集したオペレーションについてもその前後オペレーションを収集する。)

〔3〕プリポスト関係のチェック
プリポスト関係をチェックする方法のひとつに専門家にグラフ的にこの関係を表示する方法がある。第8図はプリポスト関係がより詳しくなる様子を示している。



第8図 オペレーションのプリポスト関係

〔4〕オペレーションタイプの決定

各オペレーションは専門家によって構造ジェネリックオペレーションの何れかと対応付けされなければならない。ときには、専門家の示したオペレーションが大きなタスクであり、いくつかのサブタスクを含んでいることがある。これらの大きなタスクを、小さなタスクに分解するには、サブタスクのいくつかを専門家に述べてもらい、そのサブタスクについて、ステップ2以下の作業を行う。

〔5〕オペレーションの融合

プリポスト関係とジェネリックオペレーションのタイプ（7つのタイプ）から、おなじオペレーションをひとつにマージする。

〔6〕エバリュエータの決定

各オペレーションはエバリュエータを持つが、このエバリュエータの内容を明確にするステップである。オペレーションの役割を明確にするのは易しい、なぜなら、オペレーションの位置は前後関係より分かり、機能はジェネリックオペレーションのタイプで示されているからである。

〔7〕ソース要素グループの決定

このステップではソース要素グループの要素を決めなければならない。ときには、オペレーションのソース要素グループやその要素を決めるのが難しい場合がある。ソース要素グループはそのプリオペレーションの実行後に定まることが多いからである。そのような場合、プリオペレーションのデスティネーション要素グループの中からソース要素グループの候補を見付けるようにするのがよい。

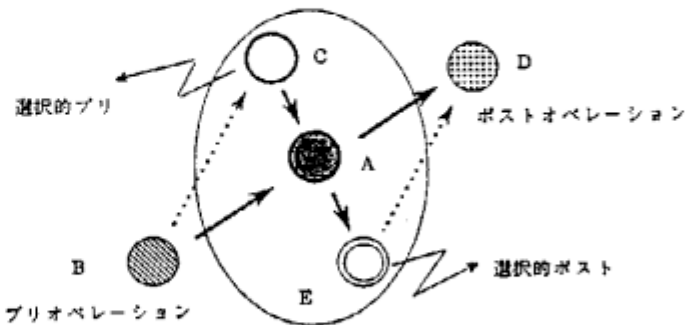
〔8〕要素の属性と値の決定

各要素はエバリュエータで評価されるべき属性を持たなければならない。一般に各要素は幾つかのジェネリックオペレーションを通過する。そのジェネリックオペレーションのエバリュエータが評価する属性を持つ必要がある。

〔9〕オペレーションのブロック化

同一の目的のオペレーションをブロック化する。プリポスト関係には4つの意味がある。つまり、オペレーションAのプリオペレーションとして、オペレーションBが成功してオペレーションAを行う場合とオペレーションCが失敗してオペレーションAを行う場合がある。同様にオペレーションAが成功したとき（オペ

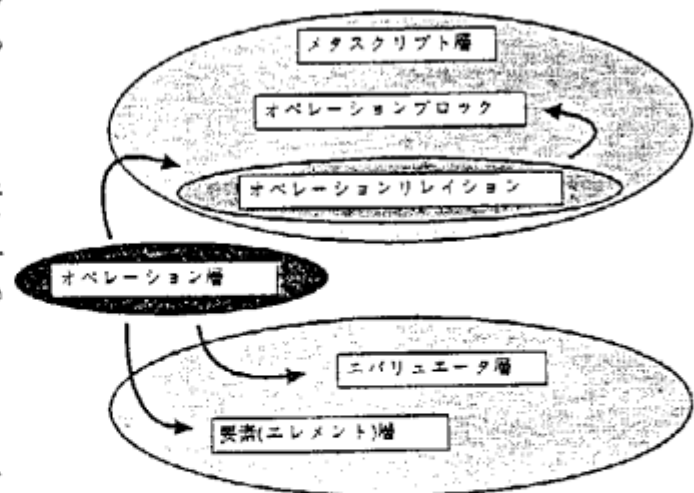
レーションD）と失敗したとき（オペレーションE）に行うポストオペレーションがある。オペレーションCやオペレーションEはオペレーションAの別戦略と言えるところからそれぞれを選択的プリオペレーションと選択的ポストオペレーションと呼ぶ。このC、A、Eのオペレーションは同一のブロックに属する。（第9図参照）



第9図 オペレーションのブロック化

〔10〕※推論方法の決定

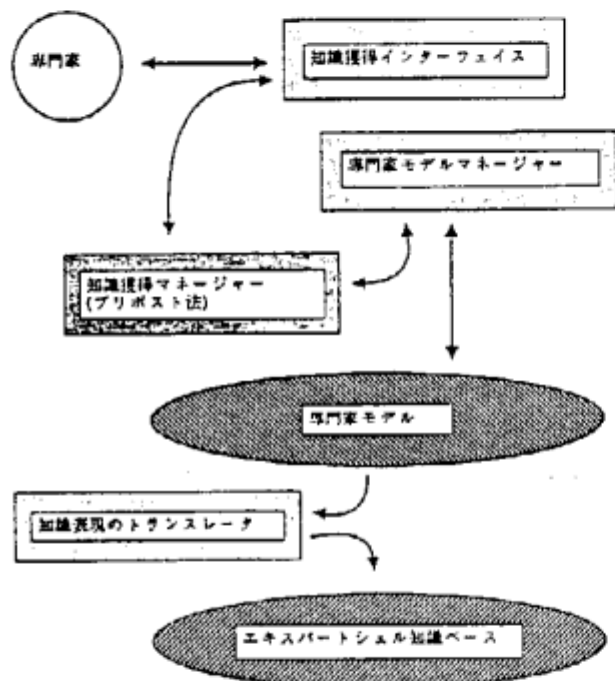
デフォルトとして「逐次処理」「部分解探索（解の数は1つ）」「別解あり（バックトラック可能）」としているが、専門家が臨に推論方法を述べられる場合はそれを獲得する。



第10図 専門家モデルの構築

3. 2 プリ・ポスト法のインプリメント

プリ・ポスト法のインプリメントにはオペレーションの前後関係を表示し、専門家がその関係をリファイン出来る環境でなければならない。マルチ・ウィンドウ表示機能を持ったワークステーションはその関係を表示するのに適した装置である。また、獲得した知識ベースは、専門家タスクを十分に満足するかを、実際に推論機構により、動的に処理して評価されなければならない。専門家モデルはエバリュエータにルール形式を、要素にフレーム形式を、メタ・レベル制御にオブジェクト指向アーキテクチャを採用している。そのため、EPSILON/EMと呼ぶプリ・ポスト法を使った知識獲得支援システム[滝 87]をPSI[滝 84]上に開発中である(第11図)。



第11図 EPSILON/EMシステム構成図

4. 糸言 論

診断エキスパートシステムのプロダクションルールの分析と単純化専門家タスクモデルから考案した専門家モデルについて紹介した。また、専門家モデルに基づく、知識獲得方法として、プリ・ポスト法について説明した。知識獲得過程には、専門家モデルを構築するフェイズとそのモデルを具体化し、リファインするフェイズがある。プリ・ポスト法は専門家タスクとそれに関係する知識の連想を専門家に促すことにより、上記の知識獲得過程を支援する。専門家モデルはメタレベル知識（オペレーションレベル知識）を中心とした知識表現である。対象知識レベルの構造は要素の属性表現としてサポートされているが、その属性の決定は専門家の示す情報に依存している。対象知識につい

てもオペレーション同様に類型 (generic) 構造のサポートが必要である。また、オペレーションの階層構造の表現やオペレーション間のコンストレイント表現とその効率的獲得方法も今後の研究課題である。

5. 謝 辞

本研究はICOT-KAS（知識獲得システム）ワーキンググループの資料に基づいている。ワーキングの諏訪博士（電総研）、小林助教授（東工大）ならびに各委員に深く感謝します。また、知識獲得の研究に御助力いただいたNTTの岩下安男氏に感謝します。最後に、第5世代コンピュータシステムプロジェクトにおいて本研究の機会を与えていただいたICOT淵所長に深く感謝致します。

〔参考文献〕

- [Bennett 85] Bennett, J.: ROGET: A Knowledge-Based System for Acquiring the Conceptual Structure of a Diagnostic Expert System., Journal of Automated Reasoning 1, 49-74, 1985.
- [Boose 84] Boose, J.: Personal construct theory and the transfer of human expertise., In Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence, Austin, Texas, 1984.
- [Butler 86] Butler, K.A. and Corter, J.E.: Use of Psychometric Tools for Knowledge Acquisition: A Case Study, Gale ed., Artificial Intelligence & Statistics, pp.295-319, 1986.
- [Chandrasekaran 86] Chandrasekaran, B.: Generic Tasks in Knowledge-Based Reasoning: High-Level Building Blocks for Expert System Design., IEEE Expert, Fall 1986.
- [Chikayama 84] Chikayama, T.: Unique Features of ESP, International Conference on Fifth Generation Computer Systems, November 1984.
- [Glancey 85] Glancey, W.: Heuristic classification., Artificial Intelligence 27, 1985.

[Eshelman 86] Eshelman, L. and J. McDermott.:
MOLE: A Knowledge Acquisition Tool That Uses
its Head., In Proceedings of the National
Conference on Artificial Intelligence., 1986.

[Hays-Roth 83]

Hays-Roth, F., Waterman, D.A., Lenat, D.B.: Building
Expert Systems, Addison-Wesley Publishing
comp., 1983

[ICOT 87] ICOT Technical Report, "Knowledge
Bases for Expert Shell Evaluation", 1987 (to
appear).

[Kahn 85] Kahn, G., S. Nowlan, and
J. McDermott.: Strategies for knowledge
acquisition., IEEE transactions on Pattern
Analysis and Machine Intelligence 7(5), 1985.

[国藤 87] 国藤 進, 滝 寛和, 他: 解析問題向き知識
獲得支援システムの研究開発動向, 情報処理学会第5
回情報学基礎研究会 1987年6月

[Miki 87] Miki, M. and Taki, H.: The Knowledge
Acquisition System with Fault Tree and
Diagnostic Flow Interface., Proceedings
International Workshop on Industrial
applications of machine vision and machine
intelligence, Tokyo, 1987.

[Sowa 83] Sowa, J.F.: Conceptual Structures,
Addison-Wesley, 1983.

[諏訪 86] 諏訪 基, 他: エキスパートシステム開発
事例にみる知識獲得の諸相, 計測と制御,
Vol. 25, No. 9, 1986.

[瀧 84] Taki, K., Yokota, M., Yamamoto, A.,
Nishikawa, H., Uchida, S., Nakasjima, H. and
Mitsuishi, A., Hardware Design and Implementation
of The Personal Sequential Inference
Machine(PSI), International Conference on Fifth
Generation Computer Systems, November 1984.

[滝 87] 滝 寛和, 他: 知識獲得支援システム
(EPSILON/EM)における専門家モデル, 情報処理学会知
識工学と人工知能研究会52-4, 25/31, 1987年5月