

TM-0483

知識獲得支援システムの技術動向

瀧 寛和, 椿 和弘

March, 1988

©1988, 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

1. 知識獲得支援システムの技術動向

エキスパートシステムなどの知識システムの為の知識獲得の概要と技術動向について報告する。

1. 1. 知識獲得の概要

近年、エキスパートシステムなどの知識利用システムの開発が盛んになっている。しかし、知識を収集し、知識ベースを構築する方法論は確立されていない。その上、知識獲得は、すべて人手に頼っているのが、現状である。その為、知識ベースの構築には、非常に多くの時間と人手がかかっている。これを知識獲得のボトルネックと言う。このボトルネックの解消を目的に研究開発が進められているのが知識獲得支援システムである。知識獲得の方法論の確立には、認知心理学的方法（人間の記憶や学習過程の研究）、計算機システム上のシーズ（論理的な推論方法・種々の知識表現）からのアプローチなどが考えられる。現在の知識獲得の研究は、帰納推論などを用いた学習と実際のナレッジエンジニアの行っている知識獲得の過程の分析が中心である。ここでは、後者の研究について検討する。ナレッジエンジニアの行っている知識獲得の過程を見ると次の様になる。

(1) 問題の分析フェーズ

どの様なシステムを開発するのか、その実現性や開発意義を検討する。

(2) 構築しようとする知識モデルのイメージを作るフェーズ

専門家の使用する専門語、専門作業手順（問題解決の方法）や概念構造を明らかにしたり、知識システム・エキスパートシステムの利用形態・利用方法を決める。

(3) 知識モデルのイメージを具体化するフェーズ

知識モデルに従って、専門知識の収集・整理を行い、知識ベースを構築する作業を行う。

(4) 知識ベースの評価・管理フェーズ

獲得した知識ベースが使用目的に合っているかを実際のエキスパートシェルで評価する。また、知識ベースの内容変更時の矛盾などを除く処理を行う。

さて、知識獲得支援と言っても色々なレベルでの支援方法が考えられる。「知識の整理」を支援するツールならカード型データベースなどのツールがポストイット（糊の付いた紙片）+検索機能として利用できる。「知識ベースの編集」には、ルールやフレームエディタなども支援ツールとして利用できる。しかしながら、これらのツールは、それ自身はなんら知的な処理を行わない、知的な処理はすべて利用者に委せられている。エキスパートシステムの知識源となる専門家が皆、知識ベースの構築の方法を知っているとは限らない。そこで、知識獲得支援システムには、その支援レベル・支援内容に応じた知的な知識獲得方法が要求される。次に、その支援内容と知識獲得方法を示す。

(1) 知識の抽出（知識源は人間の専門家）：心理学的な連想方法

人間の認知モデルに合った連想理論

- (2) 知識の整理：整理の枠組みとしての知識表現と知識間の不整合部分の検出
整理結果の表示（図的な表示も有効）
知識の整理体系化・体系付けの為の知識表現
- (3) 知識の変換：色々な型で表現された知識をエキスパートシェルの知識表現に変換
する方法（アルゴリズム、変換規則など）
- (4) 知識ベースの評価：エキスパートシステム実行時の知識ベースの有効性確認の支
援。
- (5) 知識ベースの管理：エキスパートシステムの知識ベースはオープンシステムであ
り、知識の追加・削除・修正時などに知識ベースの矛盾・不足・
冗長性の検出。

ここで、(4)の方法は、エキスパートシェルではトレースや説明機能として実現されて
いる。(5)の方法は、知識の追加・削除・修正時に知識ベースの不備をメンテナ
ンスする方法とエキスパートシステムの実行時に動的に管理する方法(TMS [Doyle
79]、ATMS [de Kleer 86])がある。

1. 2 知識獲得支援システムの研究例

知識獲得支援システムのワークショップとして、AAAI (American Association
for Artificial Intelligence) がスポンサーとなって過去2回(1986年、1987年)に
"Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop"が開催された。こ
こでは、その研究例を紹介する。

1. 2. 1 ETS

ETS [Boose 85] は知識獲得プロセスの短縮(ラビッドプロトタイプリング)を目的とし
て開発された知識獲得支援システムである。ETSは心理学者のGeorge KellyのPersonal
Construct Theoryに基づく格子(grid)方法論を用いて専門家に自動的にインタビューを
行い、専門家が問題解決に用いる特徴とヒューリスティック(特徴と項目の関係度)から
成る初期知識ベースの抽出をナレッジエンジニアが介入すること無く支援する。このた
めETSは特別の訓練を必要としない簡単な内容のインタビューと値付け格子表(Rating
Grid)と呼ばれる表、及び特徴関係導出図(Entailment Graph)を用いて専門家の支援を
行う。ETSのコンサルテーションは3つの段階からなる。最初に専門家から項目と特徴、
関係度の入力が行われる。ETSはまず専門家に分類したい項目(conclusion item)の入力
を求める。もし専門家が項目についての整理ができていない場合には段階的にインタ
ビューを専門家に対して繰り返すことにより項目の入力が行われることになる。項目の
入力後獲得された項目を3個ずつ表示して、この三つ組みのなかの二つの項目と他の一
つの項目を分類する特徴とその反対の特徴(trait and opposite、constructと呼ばれる)
の入力が行われる。この入力される特徴が専門家が問題解決に用いるパラメータである。
その後項目と特徴がどれくらいの関係あるか示す関係度(1~5、N、?)の入力が求められ
る。関係度の入力によりパラメータを用いない因数解析が実行されて、値付け格子表と
特徴関係導出図が作成・表示される。値付け格子表の例を図X.1-1に、特徴関係導出図の
例を図X.1-2に示す。次に表示された表と図を基に専門家は値付け格子表内の関係度の修
正、項目の追加、特徴の追加を行うことにより獲得された知識ベースの洗練を行う。特
徴関係導出図は項目と特徴、特徴間の因果関係を表したものである。特徴関係導出図中

のアークの厚さは特徴間の関係度の濃さを表しており、アークをマウスでクリックすると対応する値付け格子表中の関係度の輝度が増すことになる。表示された図中における曖昧な関係、及び専門家が納得できない関係は専門家自身意識に無かった問題解決における重要な矛盾 (conflict) であり、専門家はこれらに気づいて検討することができる。最後に2種類の確信度付プロダクションルール、即ち結果ルール (conclusion rule) と中間ルール (intermediate rule) が作成される。結果ルールは項目と特徴の関係をルール化したものであり、個々の格子 (grid) の関係度から作られる。結果ルール作成のさいに特徴の名前の入力と各特徴の相対的な重要度の入力が必要とされる。中間ルールは特徴関係導出図の因果関係を基に特徴間の関係をルール化したものである。こうして作成されたルールはETSによりエキスパートツールKS-300とOPS5で使用可能な形式に変換される。またETSでは獲得された知識ベースをETSの推論エンジンでテストするためのための評価処理 (consultation) も用意されている。ETSの特長は専門家自身が項目、特徴、関係度等を単語単位で入力するだけで簡単に短時間で分類問題用の初期知識ベースの構築ができることである。しかもそのために予め対象領域の初期知識ベースを作っておく必要はない。そして獲得された初期知識ベースを基に専門家は自分自身の知識の整理を行うことができる。またナレッジエンジニアはETSと専門家との対話記録も併せて専門家と詳細に検討することにより専門家の用いる用語、概念、推論規則、矛盾点等がインタビュー無しに把握できる。この結果知識獲得プロセスにおいて最も困難で時間のロスに伴う初期のインタビューの短縮が行えることになる。しかしながらETSは合成問題や解析と合成が結合された問題をうまく扱えない、あまりにも不定な知識・手続き的な知識・戦略的な知識の獲得には向いていない、項目の概念のレベルを統一できない、特徴は2つの値しか持たない、最終的に作成されたルール群の部分的修正はできない、確信度はルール単独では意味をもたない等の欠点がある。

1. 2. 2 MORE

MORE [Kahn 86] は掘削泥水診断システムMUDの開発の経験から考案された知識獲得システムであり、診断知識を表現することと診断結果を獲得するのに必要な種類の情報を抽出すること、及びルールに確信度を割り振る専門家を支援することを目的として開発された。MOREはMUDの解析と専門家との討論を考慮して得られた8つのインタビュー戦略が知識ベースの獲得とリファインに有効であることを利用している。このためMOREはドメインモデルを用いて対象領域を大まかに構造化し診断ルールから成る初期知識ベースの獲得を行い、8つのインタビュー戦略をこの不完全な初期知識ベースに適用することにより掘削泥水診断用の知識ベースの構築を行う。MOREのコンサルテーションは3つの段階からなる。まずドメインモデルの作成と診断ルールの作成が専門家とのインタビューを通して行われる。インタビューの過程とドメインモデルの作成過程は不明であるが、専門家により入力された仮説、兆候、背景条件からドメインモデルが作られる。ドメインモデルは仮説(診断結果)、兆候(仮説の発生により生ずる出来事や状態)、条件(直接的には仮説の前兆とはならないが他の兆候の診断の際に影響を及ぼす状況内の出来事や状態)、リンク(実体間の因果関係の表現に使用)、パス(仮説と兆候を結合するリンクの特別のタイプ)の5つの実体からなり、専門家が診断で使用する概念とその概念間の因果関係をこれらの実体を用いて構造的に表現するものである。図X.1-3にドメインモデルの例を示す。そしてこのドメインモデルから3種類の診断ルールが作成され、その後専門家とのインタビューにより各ルールに確信度が付けられる。次に作成された診断ルールのリファインが8つのインタビュー戦略に基づき行われる。ここで8つの戦略とは、di

fferentiation(仮説群を区別する兆候の決定)、frequency conditionalization(仮説の発生に関する条件の決定)、symptom distinction(共通の兆候を持つ仮説群を区別に関する特徴の決定)、symptom conditionalization(兆候の発生に関する条件の決定)、path division(ある仮説からある兆候へのパス間への新しい兆候の決定)、path differentiation(共通の兆候を持つ仮説群の区別に関する新たな兆候の決定)、test differentiation(より正確に兆候を発見する検査方法の決定)、test conditionalization(検査の精度に関する条件の決定)である。MOREはルールの不備な部分の検索を行い、より正確なルールを生成するための情報を専門家に求める。専門家は新たな実体の入力を行う。これにより新たなルールの生成、ルールのリファインが行われることになる。最後に各ルールの確信度のチェックが行われる。MOREは適切な確信度が割り当てられていないルールの検索とその理由の説明を行い、専門家は確信度の修正を行う。そして完成したルールベースをMOREの推論エンジンにより検査することができる。MOREの特長は不定構造である専門家の専門知識をドメインモデルを用いることにより構造化してルールベースとして抽出し、そのルールベースをインタビュー戦略と専門家の力を借りて実用レベルにリファインすることである。よってMOREを用いることで専門家は短期間に自分自身で対象領域の知識の整理、及び効率の良い信頼性の高い知識ベースの構築ができる。

1. 2. 3 AQUINAS

AQUINAS[Boose 86]は心理学と知識ベースシステムのアイデアを組み合わせた分類型問題用の知識ベース獲得作業支援のためのワークベンチである。AQUINASは先に開発されたETS[Boose 84]システムの問題点を改善するためのサブシステム群とETSから構成される。知識獲得ワークベンチとしてのAQUINASのシステム構成を図X.1-4に示す。ETSは分類型問題を解(Solution、問題の解)、特徴(Trait、解を分類するための要素)、関係度(Rating Value、解と特徴の因果関係の強さ、1～5の値を取る)の3つの概念で単純にモデル化し、Personal Construct Theoryに基づく手法を用いて専門家から値付け格子表(Rating Grid)の形式で知識獲得を行い、初期知識ベース(特徴と解を構成要素とするCF値付プロダクションルール)を構築するシステムであった。ETSの大きな問題点は、値付け格子表の構造がフラットなために簡単に専門家からの知識獲得が行えるものの、詳細に専門知識を表現することができない。そのためこの問題点を改善するために知識ベースの階層化支援機能、値付け支援機能(Multiple Rating Valueの利用)、知識ベースの階層構造を用いた評価支援機能、及びAQUINASの操作方法支援機能等が拡張された。階層化支援によって解、特徴、専門家、事例の4個の視点から値付け格子表の階層化が行われる。図X.1-5に値付け格子表の階層化のイメージを示す。値付け支援によって関係度の値のタイプを1～5の順序的な値だけでなく、他のタイプへ変更することが行われる。例えば、関係度を順序の無い値(例えば、赤色、黄色、青色)への変更、或いは関係度の値の範囲の変更、及び関係度の比率尺度の変更が行われる。表X.1-6はAQUINASの提供するタイプの例を示す。知識ベースの評価支援によって問題の解の候補の指定、特徴の値として不等式の入力、複数の専門家の構築した知識ベースの同時評価や各知識ベース毎の重み付け等が行われる。また操作方法支援では、コマンドの使用が分からない場合に対話管理システム(Dialogue Manager)によって適切なコマンド使用の支援が行われる。AQUINASのコンサルテーションは大きく2つに分けられる。一つは初期値付け格子表の作成であり、もう一つは初期値付け格子表の階層化と関係度の変更である。初期値付け格子表の作成は、従来のETSと同じプロセス(抽出、リファイン、テスト)によって作成が行われる。次に、作成された初期値付け格子表に対して階層化と関係度の変更が行われる。値付け

格子表の階層化支援は解(Solution)と特徴(Trait)に対してクラスター解析とラダーリング(Laddering: WHYとHOWの質問による知識連想法)と呼ばれる手法を適用することにより為される。図X.1-7にクラスター解析を用いた解と特徴の階層化支援のイメージを示す。関係度の変更は値の尺度のタイプ(1~5)をAQUINASの提供する値のタイプの中から専門家が使用しやすいタイプへ変更することによって行われる。そして関係度の変更の行われた値付け格子表のテストが行われる。AQUINASの特徴としては複数関係度(Multiple Rating Value)の導入によって従来より知識表現能力が向上したこと、階層構造を導入することにより問題を分割して知識を獲得でき、値付け格子表は最終的に確信度付のプロダクションルールに変換される。また異なったレベルの知識抽出、推論が行えることが挙げられる。しかしながら、これらの導入によりシステムの操作性がETSに比べて複雑になり操作支援システムが必要になっている。また適切な関係度の選択が難しいことや異なる値タイプから作成されたプロダクションルールの一貫性を保持が難しいという問題がある。

1. 2. 4 OPAL

OPAL[Musen 86]は癌治療計画を選定するエキスパートシステムであるONCOCIN用の知識ベース構築とメンテナンスを行うための知識エディタである。従来のエキスパートシェルはフレームやルールといったインプリメントレベルの知識表現しか提供していない。このため知識ベース開発・メンテナンスは、専門家自身が直接知識ベースの構築・修正を行うことができないために、ナレッジエンジニアの手によるしかなく、多大な労力と時間がかかった。そこでナレッジエンジニアにできるだけ依存せず専門家自身がONCOCIN用の知識ベースの構築ができることを目的としてOPALが開発された訳である。OPALのアプローチとしては知識ベースの中味を専門家が直接入力する作業を支援する知識エディタを開発するというものである。そのためOPALは問題に特殊化したドメインモデルを使用している。このドメインモデルを使用することによって専門医師の理解に近い表形式の表現や視覚的な表現を用いて知識獲得を行う。OPALのドメインモデルは対象問題のタスク(癌患者に対する治療計画)の解析に基づいて作られており、宣言的知識、手続き的知識、制御知識を表現する枠組みが用意されている。宣言的知識は存在項目(entity)と関係(relation)と呼ばれる表現を用いてフレームとして表現される。手続き的知識は領域アクション(domain action)と呼ばれる表現を用いてプロダクションルールとして表現される。そしてメタ知識の表現は領域述語(domain predicate)と手続き知識と呼ばれる表現を用いて、それぞれプロダクションルールと生成器(generator: 時間と共に変化する治療計画を表現するための特殊なオブジェクト)として表現される。そしてドメインモデルの構成要素は表・ダイアグラムによって抽出・表現されることになる。OPALのコンサルテーションではまずOPALの提供する表によって存在項目の抽出が行われる。抽出された存在項目は階層構造を作り、各存在項目に対してその内部に含まれるパラメータの値を決定する知識が表によって抽出され、プロダクションルールが作成される。図X.1-8に存在項目の抽出例を、図X.1-9にプロダクションルールの抽出例を示す。そして個々の治療時間の順序を決定する知識がグラフィックエディタによってダイアグラム形式で抽出される。獲得された知識はOPALの提供する中間表現に自動的に変換され、中間表現をONCOCINの知識表現形式に変換し、既存知識ベースとのマージが行われることによって知識獲得が終了する。OPALによる知識獲得イメージを図X.1-10に示す。OPALの特徴としては対象問題に特殊化したドメインモデルとグラフィックエディタを用いることによって、専門家自身による知識構築を容易にしたことである。このためONCOCIN用の

新しい知識を獲得するに要する時間が大幅に短縮された。OPALは従来の知識獲得支援システム (TEIRESIAS、INKA、ROGET、ETS等) と比較して対象問題に関する膨大な知識を持っており、対象問題の知識獲得が収集しやすいようにモデルが作られている点が異なる。その反面、ドメインに特殊化しすぎているため他の問題への応用は難しいと考えられる。

1.2.5 MOLE

MOLE[Eshelman 87]は診断型エキスパートシステムを専門家との対話により構築する知識獲得支援システムである。MOLEは知識獲得支援システムMORE[Kahn 85]の専門家からのCF値獲得問題点を改善するために開発された。MOREの支援対象とするエキスパートシステムMUDは不確実性を含む推論を行うシステムであり、MOREは適切なCF値を専門家から抽出するためのシステムである。ところが、ある範囲の値(例えば、-1.0~1.0)でCF値を専門家からインタビューによって抽出しようとする、専門家は値の範囲の中央付近(例えば、0付近)の値しか言えないという問題が生じた。この問題を改善するためにMOLEは計数論的な表現が順序的な表現で置き換えられるという仮定の基に、対象ドメインの構成要素間(仮説、徴候、条件)の支持関係を表現した信念ネット (belief network) と、支持関係を順序的に表現する優先性 (preferences) [Doyle 85]を使用して専門家から間接的にCF値を獲得する。MOLEが知識ベース構築のために使用する中心的な手法は網羅的完全 (exhaustivity) と排他性 (exclusivity) である。網羅的完全とは各々の異常な観察事項(徴候)は一個の原因(仮説)を持つ、即ち、ある一個の仮説は一個の徴候を説明するという意味である。排他性とは仮説は必要以上に組み合わせるべきではない、即ち、一個の仮説が採用されれば他の仮説は採用しないという意味である。この手法の基で

- (i) 徴候と択一的な仮説のネットワーク
- (ii) 各々の徴候と支持関係にある択一的な仮説を識別するための情報
- (iii) 局所的に採用された仮説をコヒーレントな仮説へと組み合わせる手法に関する知識

の3つから成る知識ベースが構築される。

MOLEのコンサルテーションでは、最初に専門家に問題や苦情(これらが徴候)を挙げるように質問する。その後それらの苦情の原因である仮説を抽出する。その際、その仮説の原因となる仮説の抽出も行う。この最初のコンサルテーションにより信念ネットの徴候と仮説が抽出されることになる。そしてMOLEによってネットワークにCF値のデフォルト値が割り振られる。識別するための知識の抽出とリファインが、知識ベースの推論を行いながら、3つの原理に基づいて行われる。識別するための知識の抽出は、優先性を抽出することにより行われる。そして専門家への質問の数を減らすことと、知識ベースの推論結果を要求される動作を持つようにリファインが行われる。リファインは優先性のいくつかをイベント同定条件 (event-qualifying condition) と関係同定条件 (connection-qualifying condition) へ変換したり、局所的な優先性を一般的な優先性へ変換することによって行われる。ここで、イベント同定条件は、ある徴候の原因としての仮説を除外する条件であり、関係同定条件は仮説の発生そのものを除外する条件である。図X.1-11は、仮説、徴候、イベント同定条件、関係同定条件を図形的なネットワークで表現したものである。診断型エキスパートシステムでは不確実性(例えば、CF値等)を含む推論にしばしば頼らざるを得ないが、不幸にも、この情報は専門家から獲得するのは難しい。MOLEは問題解決手法を、徴候 (evidence) がどんなふうに関係しているかについて、いくつかのヒューリスティックを用いている。またその知識獲得プロセスのなかに専門家の優先性の一般化の方法を含むことによって、ドメインの専門家から直接

CF値を抽出することなしに、また、知識ベースのパフォーマンスを損なうことなしに、不確実性情報を獲得する。

1.2.6 KNACK

KNACK[Klinker 86][Klinker 87]は異なるクラスのシステムデザインの評価用エキスパートシステムを作成するための知識獲得支援システムである。KNACKは作成される知識システムの処理するタスク(デザイン評価)の問題解決方法と評価タスクに基づく詳細なドメインモデルを使用することによってデザイン評価の専門家から知識獲得を行う。KNACKによって作成されるエキスパートシステムはWRINGERと呼ばれる。WRINGERの処理するタスクは、システムデザイナーからシステムのデザイン情報と使用される環境の情報を収集すること、その情報を基に評価すること、及びデザイナーに対してデザインの訂正と改善の提案を行うことである。そして評価タスクの主要な問題解決方法は、

(i)有効なデザイン記述を作成するためにデザイナーから必要な情報を収集する方法

(ii)構成的な手法で一貫性、完全性、デザインフローの点からデザインを評価する方法である。

ドメインモデルは、システムデザインが未知の環境(システムが使用される状況)を考慮して評価されなければならないため、一般的な評価タスクの解析結果から、評価ドメインに共通の概念で構成されている。KNACKにはこの問題解決方法とドメインモデルに関する知識が組み込まれている。図X.1-13にドメインモデルの雛型を示す。KNACKのコサルテーションは初期ドメインモデルの獲得とドメインモデルのリファインの2つの段階からなる。まず初期ドメインモデルの獲得では、KNACKは専門家との初期インタビューとレポート形式(サンプルレポート)での入力が行われる。この初期対話により入力された知識をカスタマイズしてドメインの初期ドメインモデルを構築する。そのドメインモデルはある評価タスクにおいて専門家が使用する概念と語彙を表現したものである。またサンプルレポートによってデザインの記述、与えられる環境、その環境に関しての詳細なデザインの評価、及びデザインフローが発見された時にそのデザインを改善する提案に関する知識がレポート形式で獲得される。図X.1-13にソフトウェア仕様固めドメインにおける初期ドメインモデルを示す。ドメインモデルが定義されると、KNACKはヒューリスティックを使用して専門家とのインタビューにより初期ドメインモデルで使用される概念・語彙の詳細化と機能的な知識の獲得を行う。ここで機能的な知識とは、ある特定のアプリケーションについて評価タスクを処理するために必要な情報を獲得するための知識である。具体的には、専門家が評価の際に用いるデザインと環境のパラメータの獲得方法・伝播方法・比較方法に関する知識のことである。KNACKは専門家が提供する必要のある情報の量を最小にするためのヒューリスティックと、先に獲得した知識から獲得すべき知識や付随的な知識を推論するヒューリスティックを使用することによって効率的に知識獲得を行う。図X.1-14にリファインの行われたソフトウェア仕様固めドメインにおけるドメインモデルを示す。KNACKの特徴はナレッジエンジアが介在すること無しに専門家からインタビューとレポートによる対話によって、ドメインモデルの獲得、あるアプリケーション用のドメインモデルの詳細化を行うことである。KNACKのパフォーマンスの限界はKNACKの持つ評価問題における一般的なドメインモデルと、そのドメインモデルをある特定のアプリケーション用のドメインモデルへとリファインする能力に依存する。

1. 3 知識獲得支援システムの研究動向

ここで紹介した知識獲得支援システムには、いずれも、知識獲得の為の知識（先行知識）として、獲得する知識のモデルを持っている。OPALは、専用のモデルを持つが、他は、ドメインモデルや値付け格子表(Raiting Grid)（これも一種のモデルである）が知識のモデルとなっている。インタビューシステムでは、このような「知識モデルに基づく知識獲得支援システム」が研究の主流である。知識のモデルとしては、色々なレベルが考えられる。インプリメンテーション・レベル（例：プロダクションルールやPr olog のHorn節）、タスク・レベル（例：分類タスク、設計タスクなど）、アプリケーション・レベル（例：OPAL の癌の治療計画）などがある。現在のエキスパートシェルが提供しているのは、インプリメンテーション・レベルの知識表現に限られている。このことが、専門家の知識とシェルの知識の表現ギャップを生みだし、知識獲得を困難なものにしている。そこで、知識獲得システムの知識表現には、タスク・レベルやアプリケーション・レベルの知識表現が専門家との表現ギャップを埋める点から、有利である。類型タスク [Chandrasekaran 86] はタスクレベルの知識表現であり、これも知識獲得の知識表現として利用できるであろう。タスクレベルより多少低いレベルとして、オペレーション・レベルの知識表現である専門家モデル (Expert Model) [Taki 87] も知識獲得に利用されている。知識獲得システムとしては、インタビューシステムの他に、プロトコル解析による知識獲得や学習による知識獲得の方法の研究の今後盛んになるだろう。特に、学習では、EBL（説明に基づく学習）の研究が盛んであり、色々な分野でその可能性・有効性・限界を探る研究が行われている。

[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.

[Boose 85] Boose, J.: Personal construct theory and the transfer of human expertise., Advances in Artificial Intelligence., North-Holland, 1985.

[Boose 86a] Boose, J., Gaines, B. edited: Proceedings of the KNOWLEDGE ACQUISITION FOR KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS WORKSHOP, 1986.

[Boose 86b] Boose, J., Bradshaw, J.: Expertise Transfer and Complex Problems: Using AQUINAS as a Knowledge-Acquisition Workbench for Expert Systems, Proceedings of KNOWLEDGE ACQUISITION FOR KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS WORKSHOP, 5-0, 1986.

[Boose 87] Boose, J., Gaines, B. edited: Proceedings of the 2ND KNOWLEDGE ACQUISITION FOR KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS WORKSHOP, 1987.

[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.

[Clancey 85] Clancey, W.: Heuristic classification., Artificial Intelligence 27, 1985.

[de Kleer 86] de Kleer, J.: An assumption-based TMS, Artificial Intelligence 28, 1986.

[Doyle 79] Doyle, J.: A truth maintenance system. Artificial Intelligence 12, 1979.

[Doyle 85] Doyle, J.: Reasoned assumptions and Pareto optimality. Proceedings of IJCAI'85 pp87-90, 1985

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

[Eshelman 87] Eshelman, L. : MOLE:A Knowledge Acquisition Tool
That Buries Certainty Factors. Proceedings
of the 2ND KNOWLEDGE ACQUISITION FOR KNOWLEDGE-BASED
SYSTEMS WORKSHOP. 6-0. 1987.

[Hays-Roth 83] Hays-Roth, F., Waterman, D. A., Lenat, D. B. :
Building Expert Systems, Addison-Wesley Publishing
comp., 1983

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

[Klinker 86] Klinker, G., Bentolia, J., Genetet, S., Grimes, M.,
and McDermott, J. : KNACK-Report-Driven Knowledge Acquisition .
Proceedings of the KNOWLEDGE ACQUISITION FOR KNOWLEDGE-BASED
SYSTEMS WORKSHOP, 23-0, 1986.

[Klinker 87] Klinker, G., Genetet, S., and McDermott, J. :
Knowledge Acquisition for Evaluation Systems,
Proceedings
of the 2ND KNOWLEDGE ACQUISITION FOR KNOWLEDGE-BASED
SYSTEMS WORKSHOP, 13-0, 1987.

[Musen 86] Musen, M., Fagan, L., Combs, D., and
Shortliffe, E. : Using A Domain Model to Drive an Interactive
Knowledge Editing Tool. Proceedings
of KNOWLEDGE ACQUISITION FOR KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS
WORKSHOP, 33-0, 1986.

[Taki 87] Taki, H. et al. : EXPERT MODEL for Knowledge Acquisition,
Proceedings of 3rd Annual Expert Systems in Government Conference, 1987.

1	2	3	4	5	6	
5	1	5	4	4	5	1: MULTI-FONTS / SINGULAR FONTS
5	1	5	5	5	5	2: NO MENU GENERATION / MENU GENERATION
1	4	5	3	4	2	3: MAPPING / NO MAPPING
5	1	1	5	1	5	4: NON-FORTRAN / FORTRAN

Bus-graphics-tool 1: TELL-A-GRAF
 Bus-graphics-tool 2: BIGS
 Bus-graphics-tool 3: DISSPLA
 Bus-graphics-tool 4: GRAFMAKER
 Bus-graphics-tool 5: DI-3000
 Bus-graphics-tool 6: CUECHART

図 X.1-1 値付け格子表 (Rating Grid) の例

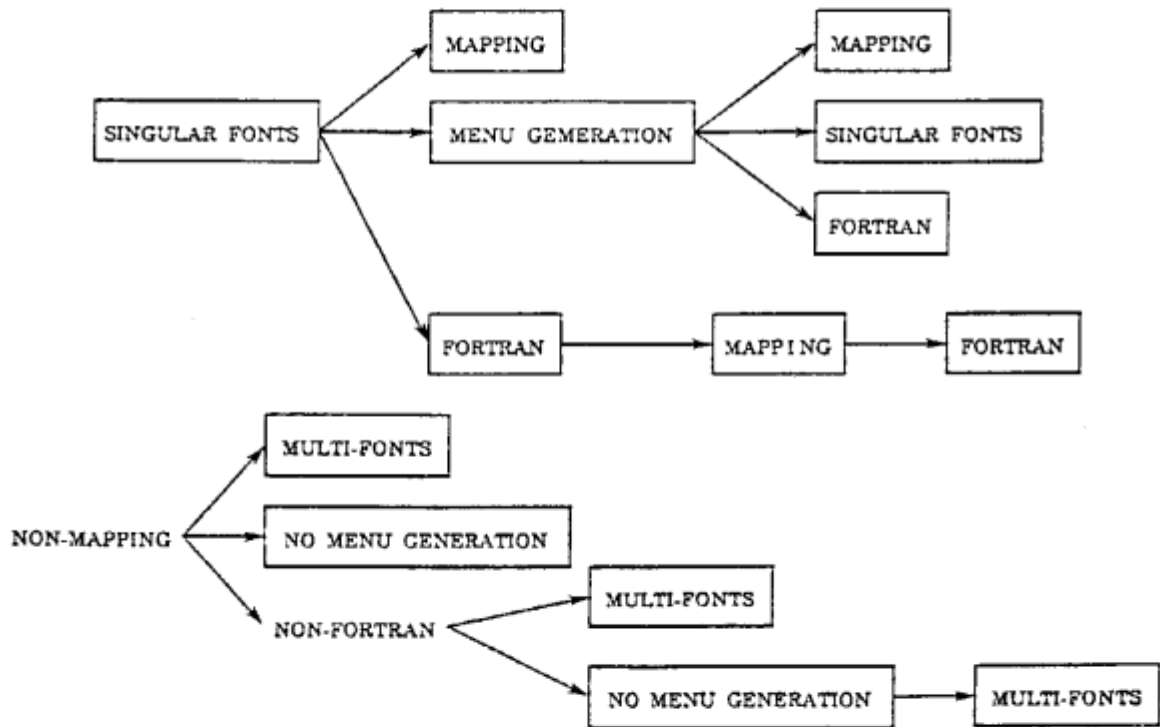


図 X.1-2 特徴関係導出図 (Entailment Graph) の例

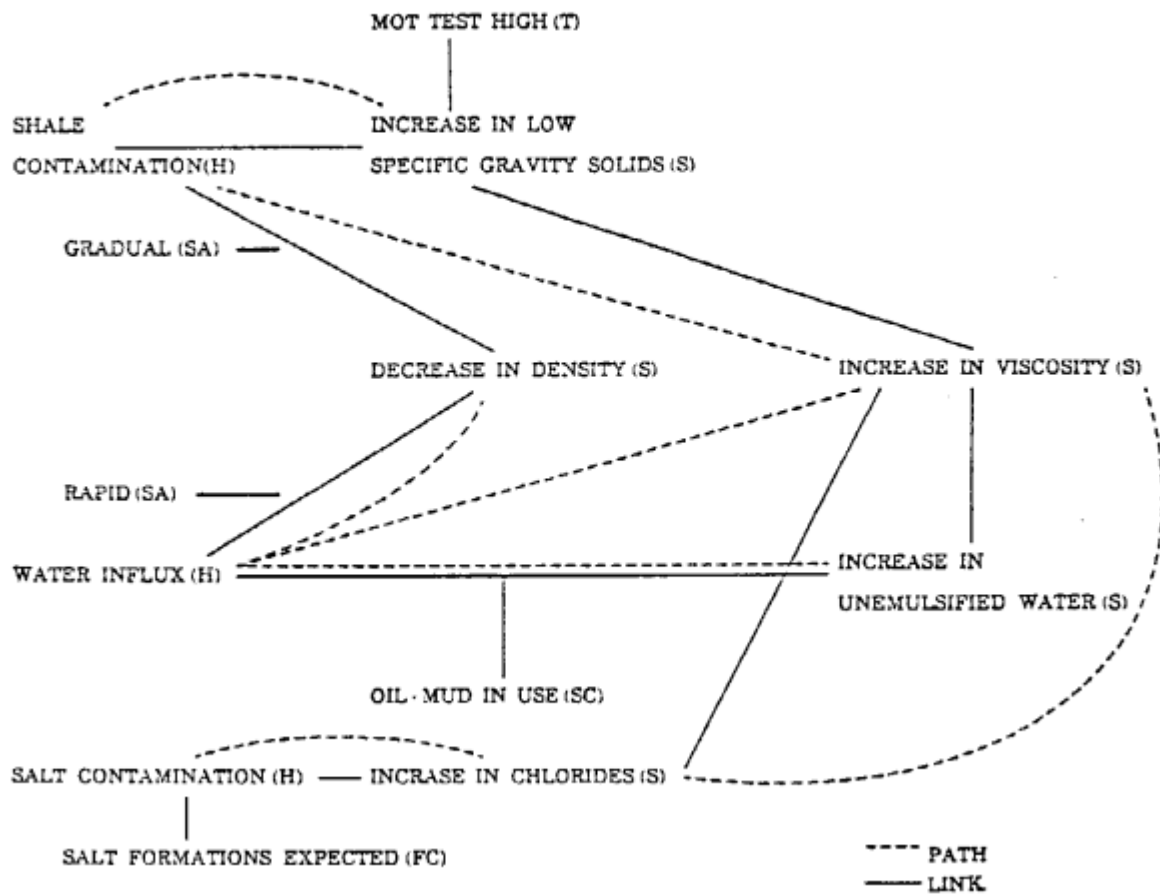


図 X.1-3 ドメインモデルの例

Dialog manager						
ETS Repertory grid tools	Hierarchical structure tools	Uncertainty tools	Internal reasoning engine	Multiple scale type tools	Induction tools	Multiple expert tools
Object-oriented DBMS						
CommonLoops/CommonLisp						

図 X.1-4 AQUINAS のシステム構成図

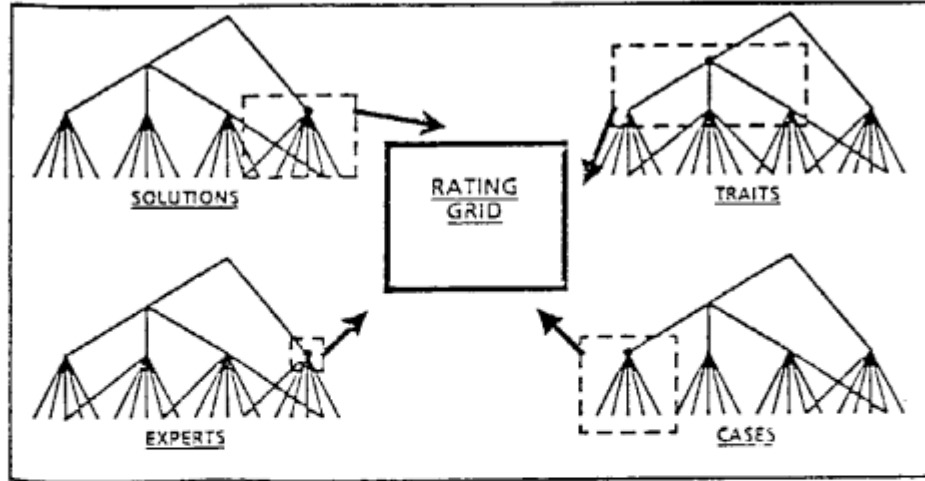


図 X.1-5 値付け格子表 (Rating Grid) の階層化イメージ

RATING SCALE	DESCRIPTION	EXAMPLES
Nominal	Unordered set	LANGUAGE: {ADA COBOL LISP}
Ordinal	Ordered set	COLD/HOT: {1 2 3 4 5}
Interval	Ordered set with measurable intervals	SIZE: {SMALL MEDIUM LARGE}
Ratio	Ordered set with measurable intervals and an absolute origin	SMALL-INTEGERS: {1 2 3 4 5 6 7}
		F-TEMP: {32...112}
		HEIGHT: {0.0'1.0'...}

表 X.1-6 AQUINAS の関係度のタイプ

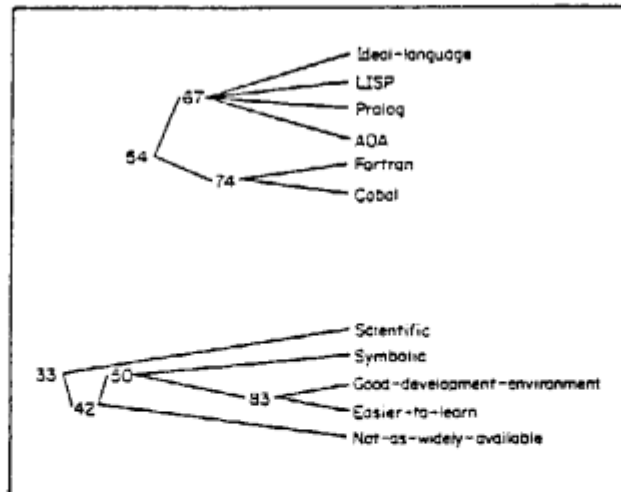


図 X.1-7 クラスター解析を用いた解と特徴の階層化支援

Specification of Dose Information

Chemotherapy: VM

Subcycle: _____

Drug: METHOTREXATE

Drug Mode: NORMAL

Dose	Route	Dose Interval and/or Number of Doses	Starting on which days of (sub)cycle?
39 MG/M2	IVPUSH	1 dose	1

Round each dose to	Maximum Single Dose	Maximum Cumulative Dosage	Acceptable Dose Modification Range
5 MG			

図 X.1-8 存在項目 (entity) の抽出例

Alterations for Blood Counts

Drug Combination: VM Subcycle: _____

Drug: METHOTREXATE

WBC (x 1000)	Platelets (x 1000)	
= 150	100 - 150	75
= 3.5	100% of STD	
3.0 - 3.5		
2.5 - 3.0		
< 2.5		

- Attenuate Dose
- Withhold Drug
- Substitute Drug
- Consult
- Delay**
- Report
- View protocol
- Off protocol
- Display
- File cycle
- Order Test
- CLEAR

図 X.1-9 プログクショナルールの抽出例

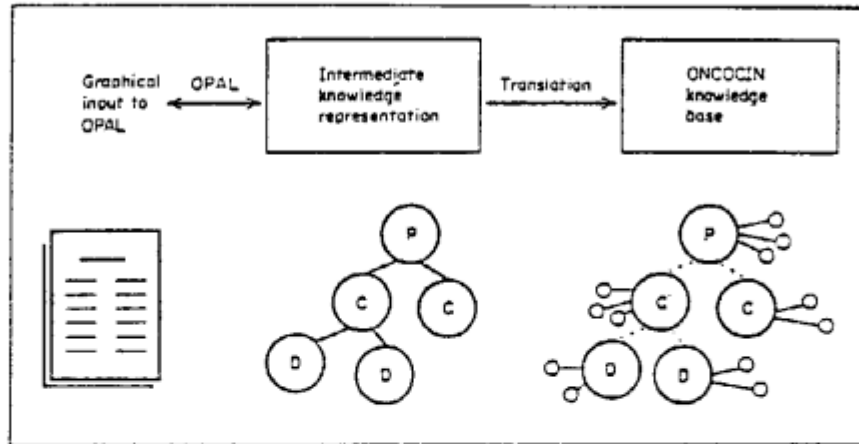
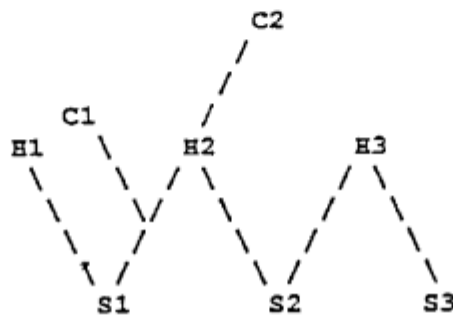


図 X.1-10 OPAL による知識獲得イメージ



(H : 仮説、S : 徴候、C 1 : 関係同定条件、C 2 : イベント同定条件)

図 X.1-11 仮説・徴候・条件のネットワーク

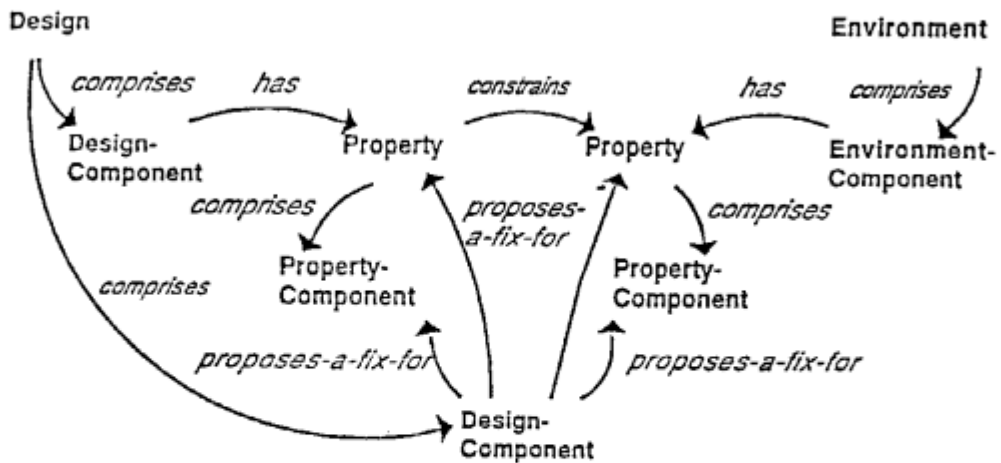


図 X.1-12 ドメインモデルの雛形

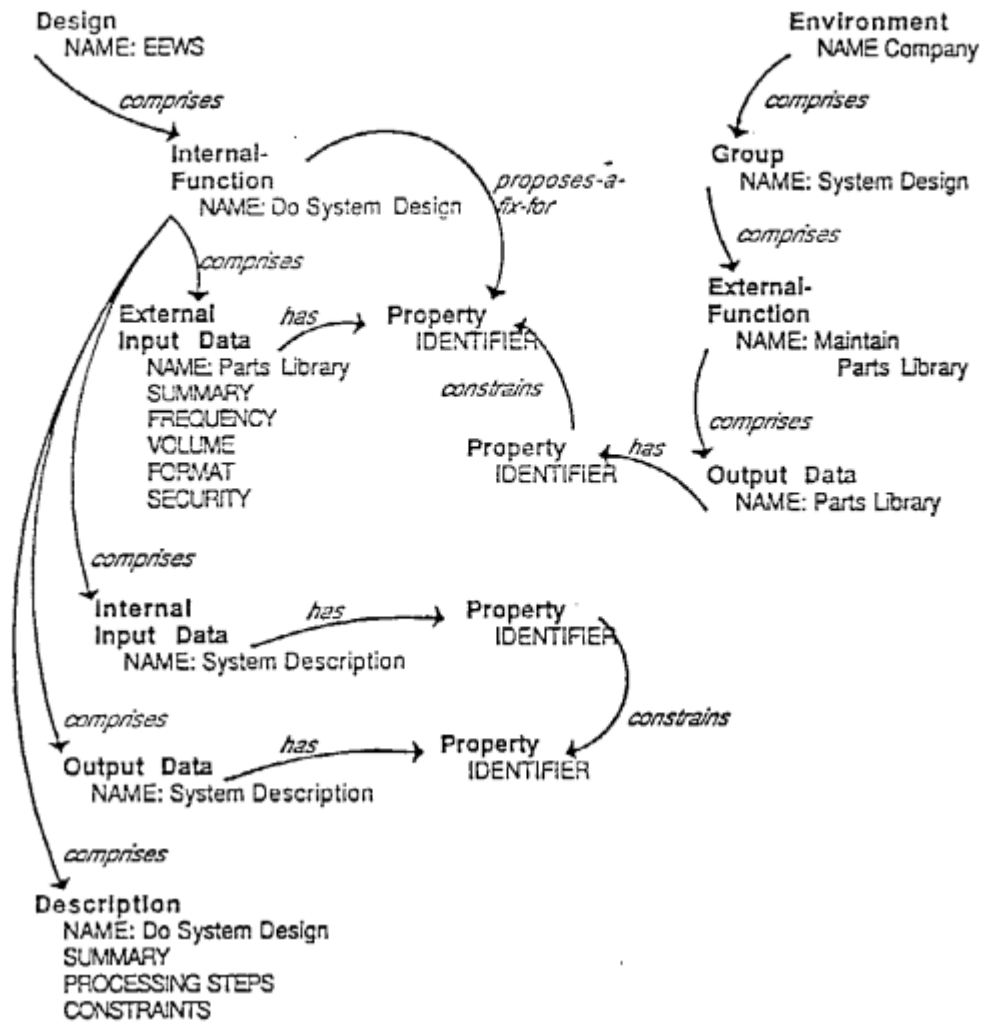


図 X.1-13 仕様固めドメインにおける初期ドメインモデル

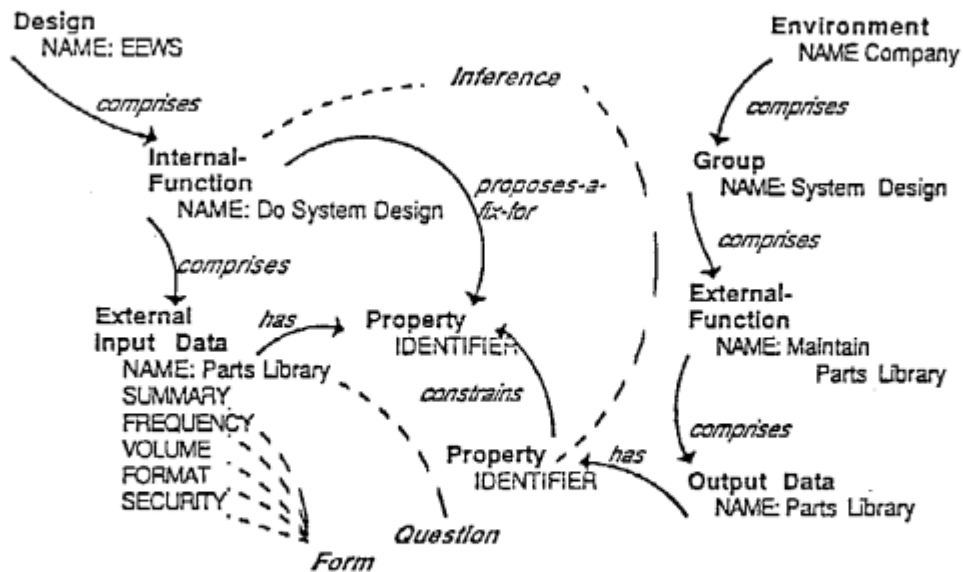


図 X.1-14 リファイン後のドメインモデル