

診断問題への適用例

Diagnostic Applications

辻野 克彦*1 小山 徹*2 仲谷 美江*1
Katsuhiko Tsujino Tohru Koyama Mie Nakatani

- * 1 三菱電機 (株) 先端技術総合研究所
Advanced Technology R&D Center, MITSUBISHI Electric Corp.
- * 2 三菱電機 (株) ULSI 研究所
ULSI Laboratory, MITSUBISHI Electric Corp.

1998 年 3 月 30 日 受理

Keywords: knowledge engineering, diagnosis, AI applications.

1. ま え が き

診断問題と言えば、エキスパートシステムの考え方が提案された当所からの代表的な対象問題である。これまでに様々な手法が提案されており、学会レベルでは基本的に片が付いた単純な問題と考えられがちである。また、具体的な診断システムの報告も多くなされているが、実現手法や理論的検討などの技術的な検討が中心であるため、知識工学的手法を採用しようと思いついたそもそもの経緯や、それが役にたった点、期待外れであった点などについて、技術のユーザ側からの率直な意見を聞きたいとの研究者からの要望も聞く。逆に技術のユーザ側からは、手法が手法で留まっており、それが自分達の問題のどこにどのように役に立つのか良く分からないという不満が聞かれる。今回、連載企画を承わるにあたって、このような点について少しでも御紹介することができたらと考える。まず 2 章において、これまでに提案されているさまざまな知識工学技術の中で、診断問題と関連が高いと思われる帰納学習関連の幾つかについて、具体的な適用領域との関連性の観点から著者らの考えを述べる。次に 3 章および 4 章においては、それぞれ、LSI の異常診断、介護プラン作成支援の問題を例にあげ、技術的な説明よりもそれぞれのドメインにおける問題意識や知識工学技術を採用した動機、システムの目的、出来上がったシステムの評価を中心としてまとめる。また 5 章においては、その他の適用(検討)問題の概要とそこでの問

題意識(何のためにどのような技術を求めたか)について簡単にまとめた。最後に 6 章では上記のアプリケーションの開発に携わった技術者が AI/KE 研究者に求めるものについてのコメントなどとあわせて本稿をまとめる。

2. 診断と知識工学の関連技術

診断問題と一言に言っても、具体的には、機器の異常診断や医療診断のように対象物の状態をあらゆる状態ベクトルから何らかの結果(異常の有無、異常の種類など)に対応付けを行うもの、品質管理や作業量、費用などの見積もりシステムのように対象物に何らかの評価点を対応付けるもの、保守支援や作業案内(ヘルプデスクシステム)のように与えられた状況に最も相応しい対応策を対応付けるもの、画像やビットパターン、音、臭いなどの物理センサ値を入力として何らかの概念センサ出力に対応付けるインテリジェントセンサなど、一見、診断とは関係がなさそうなものが多く存在する。そこでここでは診断=対応付けと考えてみる。このような対応付け問題を解く上で役に立つ AI 技術として、本稿では知識獲得・機械学習関連のもの、特に帰納学習関係の技術について検討を行う。このような観点から見た場合、診断問題は以下の 3 種のタイプの対応付け作業にわけることができる。

- (1) ラベルへの対応付け: あらかじめ与えられた幾つかのラベルのいずれかに対象を対応付けるタイプ。関連する AI 技術としては決定木の帰納学習

などが挙げられる。

- (2) 近似例への対応付け：対象と最も良く似た事例に対応付けるタイプ。事例に基づく学習などの技術との相性が良い。
- (3) 評価点への対応付け：対象を得点（品質や寿命、故障確率など）に対応付けるタイプ。ニューラルネットなどの技術との相性が良い。

AI技術に限らないが、現実的なシステムの構築に際しては、求められている問題の構造を見極め、それに応じた手法を取ることが最も重要である。システム構築の初期の段階で、ドメインエキスパートがイメージするタスクを、知識工学的観点から具体的なAI技術と対応付けながら、システムの完成イメージ（何が入力で何が出力か？ それを実現するために何を提供できるか？ なぜそのような診断が必要か？ それが達成できればなぜ嬉しいか？ など）について十分にシミュレーションすることが大切である。これにより、単純な診断と思われていた問題が、実は診断に加えて合成的な側面を持っていたり、同じ診断の中でも、上記の複数のクラスが混在しているなどの状態が明らかになり、それに基づき必要とされるAI技術も複数組み合わせる方が、単一の技術のみで仕上げようとするより、構築時の効率面、メンテナンス容易性、ひいては最終性能の面で優れているように感じられる。3章で述べるLSIの異常診断の問題においては「ラベルへの対応付け」タスクが中心となるが、それぞれのラベルの適応度に得点付けをする手法により「評価点への対応付け」的な側面も持っている。4章で述べる在宅介護支援の問題においては「得点付きのラベル対応付け」、「近似例への対応付け」および「組み合わせ最適化的合成」の3つのタスクを使い分けることにより問題を解いている。

3. LSI 異常診断への適用

3・1 背景

LSIの生産においては、歩留まりの向上が収益を決定するといっても過言ではない。歩留まりを向上させるためには、一旦発生した不良または故障箇所を実際に解析し、この原因を解明することによって、二度と同じ不良や故障が発生しないように対策をとることが重要である。またこれは、実使用時に故障になる可能性のある要因を取り除き、製品の信頼性を高めることにつながる。これまでの故障解析は専らそれを専門とする熟練技術者に頼ってきた。これら故障解析を行う技術者には、何世代ものデバイスの解析によって培わ

れ蓄積されてきた技術と経験および解析に関する知識のみならず、その都度、解析の対象となるデバイスの構造、設計およびプロセスに関する十分な情報も必要となる。本稿で紹介するFLEXS [小山 96, Mukogawa 96] は、このような解析を専門とする熟練技術者の知識とデバイスの情報に基づき、自動的にデバイスの不良原因の解析を行うことを目的とするエキスパートシステムである。

3・2 問題意識—これまでのやり方

メモリー系デバイスの解析手順について概説する。まず最初に、メモリーテスターを用いて動作テストを行い不良セルを検出する。これらは通常、不良ビット（1素子で1ビットの記憶を担う）のマップとしてドット表示される。図1に不良ビットマップ（以下“FBM”と呼ぶ）の例を示す。FBM上には、1ビットのみの孤立ビット不良や、多数の不良ビットが線状に発生するライン不良、Xビット×Yビットの領域を持つブロック不良などの不良パターンが現れる。これらの不良パターンは、異常箇所の3次元的な位置を反映したものであり、不良原因を推測する上で大きな手掛かりとなる。

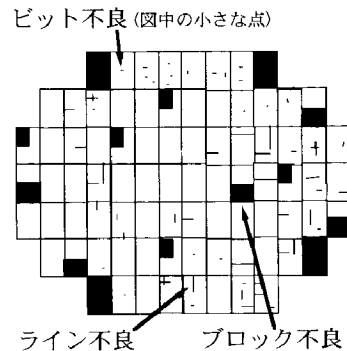


図1 不良ビットマップの例

従来は、この不良パターンを人が見て不良の種類を表す不良モードを分類・集計し、不良の発生状況を把握していた。しかし、この作業にはかなりの時間を要すると共に、精度の上で問題があった。FBMにウエハ上の全チップを表示した場合には、表示上の分解能の制約から、適当にデータが圧縮されて表現されてしまう。従って、1ドットで表示されていた場合、それが1ビットの不良であるのか、複数ビット不良であるのかといった区別はつかない。この圧縮率は、デバイスの集積度の増加とウエハの大口径化によるチップ数の増加により増大し、FBMからの不良分類・集計の精度を低下させている。次にこのようにして不良モードを分類後、注目したモードの中から適当な不良箇所を

抽出し座標 (X, Y アドレス) を確認後解析を行う。これには、主に、SEM(走査型電子顕微鏡) や FIB(集束イオンビーム装置) などの物理的解析手法が用いられる。こうして得られた解析データとこれまでの知識を活用することで、不良原因および発生機構が確定される。不良モードの内容によっては、複雑で長期にわたる解析を必要とする場合もある。このように従来の解析手法では、多くの不良箇所を短時間で解析することは困難であり、抽出され、限定された不良箇所のみが解析されていた。そのため解析の母数が少なく、特定された原因が不良の主原因でない可能性もあり、多大なパワーを要する改善活動が十分な効果を生まない危険性があった。

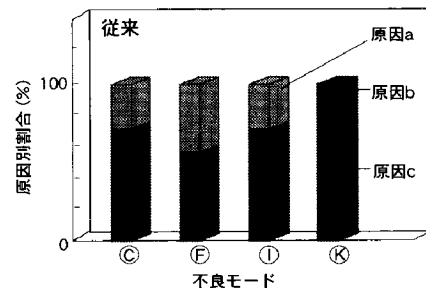
3・3 システムの概要と関連する知識工学技術

FLEXS はテストと連動しサンプルデータを蓄える部分から、診断を行う部分、蓄えられたデータを欠陥検査装置、走査電子顕微鏡 (SEM)、集束イオンビーム (FIB) などの解析装置と他の検査装置と連係させることにより、不良に直結する異物、欠陥を的確に抽出し集中的に改善活動を行ったり、不良箇所の平面的位置座標や推定不良要因で指摘されるデバイス内部の不良発生層の情報から異常箇所の 3 次元的な位置情報を算定することにより、解析箇所を正確かつ迅速なナビゲーションを可能にし、効率的な物理解析を実現させるといった統合機能を持っているが、以下では、AI との関連が深い不良原因の推定部分について述べる。先にも述べたが不良原因の推定は、基本的には図 1 に示したような不良ビットマップを不良原因に対応付ける問題である。まず最初に、FBM に現れる不良パターンはモードと呼ばれる不良の種類に特徴付けられる。モード数やその処理内容、不良原因の内容などは、品種や検出したい不良原因の種類によっても異なることに加え、各製造メーカーの業務ノウハウに当たる部分であるので、本稿でも明言できないが、FLEXS においては数十程度モードを想定し、モードの定義に基づいて人間が記述したモード認識ルールにより FBM から自動的に検出を行っている。次に、検出されたモードから 10 種類程度の不良原因を推定する。この部分のロジック生成には、決定木の帰納学習手法 [辻野 92, 辻野 94] を適用している。これにより、標準的な不良パターンとその不良原因の事例に加えて、試作段階や量産運用中に新たに確認された事例も逐次加えていくことによって不良原因の推定能力が向上していくことが期待される。

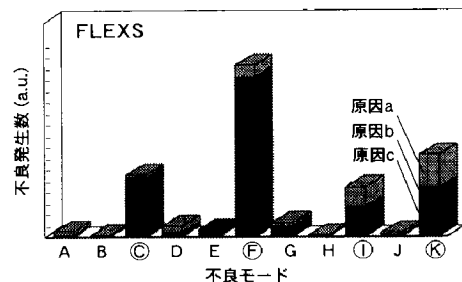
3・4 システムの評価

図 2 に同一シリコンウエハ上のデバイスに対し、不良原因別に分類した結果を、従来手法の場合と FLEXS の場合とで比較表示している。従来手法の場合 (a) は、不良モードの中から発生数の多い 4 つのモードを選び、さらに個々のモードから無作為に抽出した n 個の不良の解析結果による不良原因の割合を示している。FLEXS 使用の場合 (b) は、ウエハ上に存在する全不良を対象にモード分類後、推論処理を行った結果得られた各不良モードにおける不良原因の絶対数を示す。

図 2 より、限られた不良数しか扱えない従来手法では、全不良を扱える FLEXS の結果とはかなり異なっており、正確な原因割合を反映していないことがわかる。たとえば不良モード “K” において、従来手法では、原因 b, c の 2 モードしか検出されず、原因 c がこの不良モードの主原因として認識されるが、全不良を対象とした FLEXS では、原因 a を加え 3 モード存在し、モード c が主原因ではないことがわかる。このように、FLEXS を用いることで、より精度の高い不良モード別の発生状況や個々の不良原因の統計的把握が可能となった。このことにより、不良の主原因を正確に把握できるようになり、製造プロセスに対して効果的な対策が打てるようになる。通常、高歩留りの状況下では、さまざまな不良原因によるさまざまな不良モードが低



(a) 従来の方法による診断結果



(b) FLEXS を用いた診断結果

図 2 不良原因分類結果の比較

頻度で発生し、歩留り改善活動が困難になる傾向が強いが、そうした状況においても対策の優先度が明確化されることにより、十分な対策を効果的に行うことができる。また、不良原因が推定されることにより、効率的な物理解析が可能になる。FLEXSで出力されるのは、推定原因でありそれを確定するためには物理解析が必要である。ただしこの場合、不良原因と関係する情報が全くない状態で適当にサンプリングする従来のやり方とは異なり、あらかじめ分類された個々の推定原因の中から解析対象を抽出するため、少数のサンプリングで良く、非常に効率的でむだのない解析が行える。

3・5 知識工学的手法の効果と問題点

推論プロセス(決定木)をチェックすると、明らかにおかしい結論が導出されている場合がある。これは、知識として入力した事例に論理的に矛盾があるためである。このチェック作業には時間を要するが、その結果として、エンジニアの持つ経験を含めた知識の重複や論理的な矛盾を顕在化させることができる。

一方、知識ベースには曖昧な事象や、各々の事象に対する重み付けなど、それを構築したエンジニアの感覚、意図が含まれる。そのため、本人以外の人メンテナンスすることは困難である。知識ベースは、実態を見て追加・修正が必要であり、担当エンジニアにとってはかなりの負荷になる。設定の自由度が高いことが逆に知識ベースを閉鎖的なものにしてている。また、出力される原因はあくまでも推定結果であり誤り(実際との相違)が含まれる。LSIはデジタル回路であるが、故障はアナログ的な電氣的異常に起因するため、全ての不良に対して完璧な推論は不可能である。利用者にとっては推論プロセスはブラックボックスであり、誤りが発覚すればそれは不信感につながる。利用者に対して推論プロセスの中味、限界を十分理解させた上で使用させる必要がある。一方、デバイスの開発過程や、信頼性試験で発生する不具合などは、量産過程で発生するプロセス異常だけではなく、デバイスの構造、プロセスの本質的な不具合に起因するものが含まれる。このような不良に対しては、詳細かつ高度な物理解析が必要となる。そのため、原因推論にあたっては効率よりも、様々なテストパターンを駆使したり、電氣的テスト以外の故障診断技術やエンジニアの経験を盛り込むことによって事象を積み上げ、推論の確度を上げていくといったアプローチが必要となる。このような解析計画の支援はAI技術の本来の特徴を活かせる適用問題といえるかもしれない。

4. 在宅介護サービス計画支援への適用

4・1 背景

介護保険の導入に伴い、在宅での介護を支援する様々な介護サービスの充実が進むことが予想される。一方で介護に追われる家族の立場に立つと、どこにどのようなサービスがあるのか? 自分はどのようなサービスを利用すれば良いのか? それらはどうすれば利用できるのか? 保険との関係はどうなっているのか? など分からないことが多々存在する。また、援助を受ける側(要介護者)が望むサービスが必ずしもその人たちにとって良いサービスではない(望むサービスが対症療法的であり、本質的に有効でないばかりか、長期的には逆に状況を悪化させる場合もある)などの問題があり、有効で効率的な介護を行うためには専門的なアドバイスが必要となる。このため、本人にかわって必要なサービスを決定し、その運用を支援するケアマネージャと呼ばれる福祉の専門家の整備がすすめられている。ケアマネージャは、要介護者から見れば生活を支援してくれる人であり、行政から見ればサービスを公平に効率良く運用してくれる人である。しかし、このような職種自体が介護保険の導入に向けて急激制度化されたばかりであり、その技能に対する絶対的基準や必要とされる技能の整理が十分に整備されていないため、ケアマネージャの質的・量的整備が進むには、まだ時間がかかることが予想される。このため、重症の要介護者に対してはケアマネージャが対応するにしても、軽症の方々については、計算機による支援である程度対応できる点、その結果、ケアマネージャは重点的に重症者に対応できる点、軽症者が安価で手軽な相談サービスを利用できる点などから、主として軽症者向けの計算機によるケアマネジメント支援の市場が見込まれる。

4・2 問題意識—これまでのやり方

ケアマネージャの行っている仕事は、大きく分けて以下に示したような5つに整理できる[白澤92]。

[1] 問題の同定—アセスメント

先にも述べたように、要介護者の症状・クレームに基づき、要介護者の本質的問題点を分析・診断する。また、その問題への対応法についても本人の心身状況だけでなく、家族の状況、住居、経済環境から総合的に判断する必要がある。たとえば、本人の排泄機能の低下という身体的問題に対して、本人への支援が重要であれば、対処法は機能回復訓練と診断されるが、介護

者への支援が重要であれば、おもむつの支給や洗濯サービスなど介護負担軽減が対処法となる。このように診断に必要なチェック項目は多岐にわたり、家族の価値観や人間関係など主観的な内容も多く、どこまで検討すれば十分かという理論的裏付けもないため診断方法を整理することは容易ではない。このようなアセスメントの手法として現在提案されているものは幾つかあるが、その一つの流れは医療現場から出てきたもの、もう一つは社会福祉の現場から出てきたものである。同じ介護でも、医療のウェイトが高い場合は医療系の手法が適しているが、こちらのほうは質問項目が専門的で、300~400項目と比較的多くのチェックを必要とする。また生活面での問題が明確にならないなどの問題も指摘される。逆に治療の必要性が低く、生活面のサポートを必要とする在宅介護の場合は社会福祉系の手法が望ましい。しかし診断の方法論の開発はまだ始まったばかりで、人材育成も手法の標準化も追いついていない。このように基本的には正解・評価基準が明確でない問題であり、それゆえにシステマティックな方法論に裏付けられた基準を整理して世間に提示することが求められている。

[2] ケアプランの策定

前ステップで診断された問題や対応法に基づき、必要とされる介護項目とそのおおよその回数を決定するとともに、週間の介護プランを策定する。この際には要介護者の生活スタイルや週間予定も考慮して、介護項目の組み合わせや配置を決定する必要がある。要介護者の介護度に応じた数種類の基本パッケージを提案するだけでも最低限の策定は可能であるが、介護資源や保険費用の有効利用と介護効果の向上のためには、個々の要件に応じたカスタマイズが必要であり、この部分にはケアマネージャの専門知識の差のみならず、経験量や生活関連知識などの総合的な調整能力の差が出てくるものと思われる。

[3] サービスプランの策定

前ステップで策定されたケアプランは達成すべき介護項目の表であり、それを達成する具体的なサービスとの関連付けが必要である。この際には、要介護者の居住区に存在するサービスに関する情報や希望総予算の管理、サービスの要望度や必要性に関する優先度を考慮して、具体的なサービス提供者の選定を行わなければならない。この部分は経験を積んだ専門家でも時間のかかる作業とされ、計算機によるデータベース化や施設の公平な評価格付けなどを求める声がある。

[4] サービスの遂行支援

要介護認定の審査申請と保険料申請など、行政や介

護サービス業者との間の様々な手配事項や書類作成などを代行することに加えて、前ステップで策定したプランの実行をフォローし、スケジュールの変更やリソースの変更などの修正を行う。様々な要因により、手配事項の変更（すなわち電話連絡など）が必要な手間のかかる作業である。

[5] フォローアップ

介護サービスの運用が軌道に乗った後も、定期的に再アセスメントし、生活や心身状態の変化にあわせてプランを変更する。介護が不要になるまで [1]~[5] のサイクルを続ける。

4・3 システムの概要と関連する知識工学技術

在宅介護サービス設計支援システム「佐々衛門」[永野 98, 仲谷 98] は以下のような思想に基づき、前述のタスクの [1]~[3] を支援すべく設計された。

- (1) 痴呆がなく医師の指導も必要がない軽症の介護を行う家庭に対して、本人や家族あるいはボランティアやサービス提供者などの非専門家によるセルフ・ケアマネジメントを安価あるいは無料で支援する。
- (2) このため、アセスメント項目は誰にでも答えられる簡単なものに留めながらも、必要な情報を得られるように工夫している。アセスメント結果としては、要介護者の問題点（現状 7 種類）とその解決方針（現状 5 種類）であり、それぞれについて、それらの成立度を度数 (0~100) で出力する。
- (3) 独自アセスメント法としたことにより、ロジックは新規開発する必要があった。アセスメントの問題そのものは質問に対する選択肢のベクトルから問題領域や問題解決方針への対応付けであること、その構築には計算機への馴染みがうすい介護の専門家のノウハウが必要であること、そもそもそのノウハウが十分に整理されていない可能性が高いこと、今後も状況の変化や利用者の環境に応じてロジックの変更が必要であることなどの理由により事例からの帰納学習に基づく知識獲得ツールである MELKAISER [辻野 94] を採用。学習事例としては、東京都内の在宅介護支援センターの職員から介護が必要とされる 200 事例程度の事例を入手し、これに、明らかに介護の要求が少ない（負の）事例を 50 事例程追加した。
- (4) ケアプラン（ケア内容とその量）を決定するための方法論は未だ整備されていない。現状では専門家も経験に基づき過去の事例の再利用と修正を行っている。またこの結果、提案されるプランは

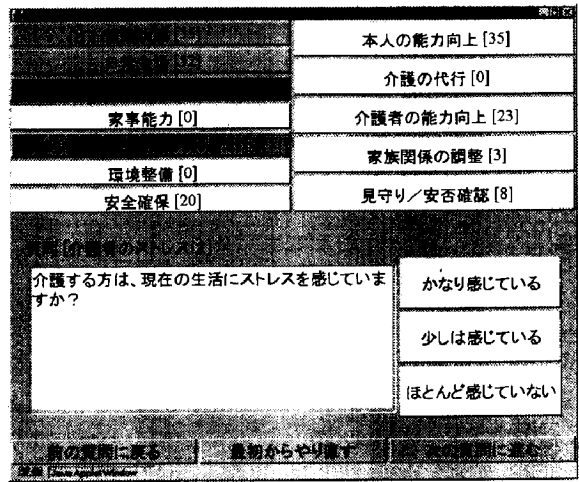
専門家毎，サービス地区毎に異なり，状況に応じて簡単に修正できることが望まれる．このような分析に基づき，この作業を実現する部分には CBR を採用した．

(5) サービスプランを策定する際には，多くの等価なケアサービス（業者やサービス内容）の中から，ユーザの多岐にわたる要望（予算，品質，地域性，利便性など）を総合的に考慮して，具体的なサービスを選定しなければならない．また，その際に参照するサービスのデータベースも日々刻々と変化する．このような多項目の組み合わせ最適化問題に対応すべく GA を採用した．

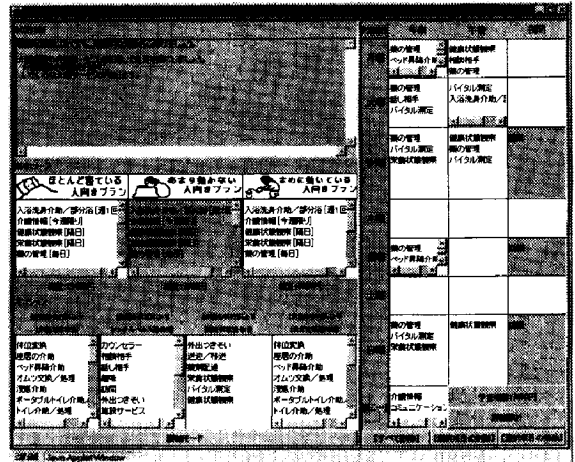
(6) 本システムのように主観的観点がある程度の重みを占めるアプリケーションにおいては，間違いを犯さないという信頼性に加えて，解に対する納得性・満足感を高めることが大切である．このためシステム全体を通して自動化よりも半自動化，すなわち，中間的な結論部分での途中結果を提示・説明するとともに，最適案に加えて複数の他候補を提示し，結果への介入を許すことにより，利用者の主体性すなわち自分で決めたのだという気をも高めるよう配慮した．

(7) システムは Java を用いて実現されているため，プラットフォームに依存することなく，Web ブラウザを使えば，ネットワークから読み込み実行させることができる．

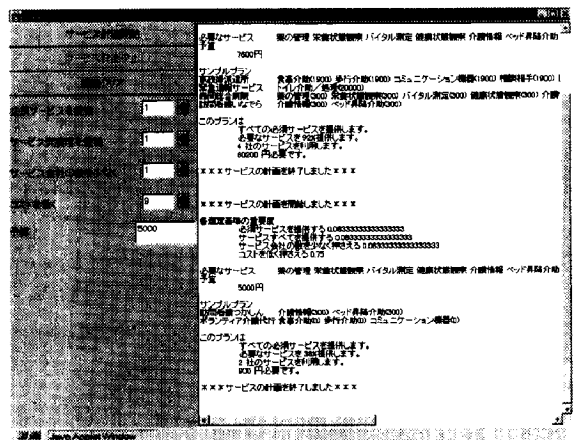
図 3 に本システムの実行例を示す．(a) はアセスメントフェーズを支援する画面であり，上部の左側に 7 種類の問題領域が，右側に 5 種類の解決手法が示されている．下半分に現れる質問に順次答えていくに従い，上半分の答えのパネルの色の濃さが変化していく．色が濃いほど，そのパネルに記述してある問題なり解決方針なりが重要であることを表している．(b) はケアプラン策定フェーズを支援する画面である．左上には前段のアセスメントの結果が日本語で説明されている．その下の 3 つの箱には，診断結果に基づき提案された 3 つのケアプランが提示されている．現状の実装においては，3 つのプランは要介護者の活動性の観点から 3 つのバリエーションが用意されている．このうちの 1 つを選択すると右側に示されている 1 週間のスケジュール案が生成される．この際には，個々のケア項目の回数や間隔を調節して展開するとともに，同一の介護人から受けられるケア項目を 1 箇所にとめたり，同時に受けることが困難なケア項目は別のところに配置するなどの制約が考慮される．この表はユーザが自分の 1 週間の生活の状況をイメージするために用意されてお



(a) アセスメント画面



(b) ケアプラン策定画面



(c) サービスプラン策定画面

図 3 佐々衛門の実行例

り、必ずしも曜日毎の実際のスケジュールにこだわる必要はない。ユーザは必要とあらば希望するケア項目を左下のオプションサービスの箱から自由に追加したり、デフォルトの項目を削除したりできる。このオプションも診断結果から必要と考えられるものが上位4種ほど選ばれている。(c)はサービスプラン策定フェーズを支援する画面である。前段階で設定されたケア項目を実現する実際のサービスをデータベースから検索し、その組み合わせを考えることにより、経費やサービス充足度、サービスの質、サービス利用の利便性などの観点から総合的に最適化する。これらの観点を組み付けは画面の左側の設定ボックスで変更できる。右側には、このようにして検索された具体的サービスのリストと、その利用代金の見積もりが表示される。

4・4 システムの評価

診断結果を判定する明確な評価基準はない。そこで、問題領域、支援の方向性の重要度の判定結果を在宅介護支援センターのケアマネージャの判定と比較した結果、判定結果の約6割が合致した。自動アセスメントシステムを作るといって専門家からは「計算機にはできない」とかなりの抵抗を受けるが、実際に開発されたシステムの診断結果に文句をつける人は少ない。その直接的な理由としては、そもそも解の許容度の大きい問題であることが挙げられるが、もう1つの理由として、診断の途中経過が見えることが納得性の向上につながっているのではないと思われる。普通、診断という質問に全部答えるとしばらくして診断結果が唐突に言い渡されるという印象が強く、結果の信頼性に疑問を持ってしまう場合が多く、反感さえおほえるかも知れない。しかし同じ結果であっても、質問に1つ答えるたびに診断結果が瞬時に変わるように構成すると、1つ1つの質問を計算機が吟味しているように感じられる。また質問をやりなおすことにより何を答えたらどこがどのように変わるのかが見える。診断の根拠やアルゴリズムはわからなくても、よく考えているように見える。これがユーザの納得性に結びついているのではないかと考える。ケアプラン策定のフェーズについては、現在実装されているケアプラン事例が、システム開発者の作成による動作試験のための暫定的なものであるため、提案されるケアプランの有効性面での評価はできない。現在、専門家による事例の整備に向けて準備を進めているが、当面、10事例～数十事例のケアプラン（ケアパターン）で、一般的な状況には、ほぼ対応できると考えている。システム面からは、事例の近似度の計算の基準として使っているベクトル（先

述のアセスメント結果の問題領域と対処方針）以外に、ユーザの意向や要望に応じて、より適切なプランを選択させるための追加属性についても検討を要することが挙げられる。サービスプラン策定の部分については、ケアプランと同様、現在実装されているサービス事例が、動作試験のための暫定的なものであるため、提案されるサービスプランの有効性についての評価はできないが、システム面からは、サービスプランの評価に際して、予算枠やサービス品質、サービス充足度、サービスの利便性などの複数の観点をGAの評価関数に反映させることにより、利用者の好みに応じてプランの設計方針を設定変更できることを確認した。

4・5 知識工学的手法の効果と問題点

今回、診断部分のロジック生成には帰納学習に基づく分類知識の自動生成手法を採用した。これによりロジックを手書きにするより遥かに構築が容易になったとシステム担当者は考えているが、ロジックを実際手書きにした経験がないドメインエキスパートの観点からは、事例の入力・ロジック作成に関する作業が依然難しい、属性値の入れ方などが固定的で周辺情報をかなり振り落としているように感じるといった意見が聞かれた。前節でも指摘したが、一度システム化してしまうと、その結果が信頼されすぎて困るという点も指摘された。システムの限界についてシステム開発者はある程度理解できるが、ユーザにはわからないため、一般の人々が広く利用する場合には注意が必要である。システムが自らの答えの信頼性や対応できる状況を何らかの方法で説明できる機能を求める声が聞かれた。これらは知識工学に限らず、あることを計算機化しようとしたときに必ず感じられる困難な問題であるが、それゆえに、AIの観点からも再度熟考すべき課題であるとも考えられる。

5. その他の適用（検討）事例

上記の事例以外にも、異なった問題意識や技術への期待に基づく適用事例が検討されてきた。以下にその概要について述べる。

5・1 モータの絶縁寿命診断への適用例

モータコイルの絶縁劣化は経過進行は遅いものの、万一これが原因の異常が生じた場合にはモータの停止につながる大きな問題となるため、定期点検などの際の重要な検査項目となっている。また、機器のリプレイス時期の予測やその妥当性の判断、信頼性維持などの

観点からも絶縁劣化を正確に捉えた余寿命の判定が求められている。これまでは、絶縁技術の専門家がモータの電気的特性や経過年数、運転時間などの運用データに基づき総合的に判断しレポートを作成していたが、この部分の作業効率向上、コスト削減、客観性の向上のためシステム化を求める声が社内外より高まっていた。この問題は、基本的にはモータの状態を表す数値データのベクトルから数値データである破壊電圧を求める関係式を実データに基づき定義する問題と形式化できるので、BP型のニューラルネット[ラメルハート89]で構成できると考えた。ただし、実際の破壊にまで至った事例数が比較的少数(試験破壊を含めても数百程度)であるため学習の収束性を高めたいこと、知識の可読性と信頼性を高めるため、この分野での事前知識をある程度反映したネットワーク構造としたいことなどの理由により、入力ベクトルと出力値との定性的関係を記述した記号事例より、ネットの構造の基本となる論理構造を決定木の帰納技術によりあらかじめ構成・確認し、それをネットワークに展開して実データで調整するハイブリッド学習手法[辻野93]を採用した。これにより、全結合のネットと同程度の性能を持った可読性の高い部分結合ネットが構成できることを確認した。

5・2 電力系統の異常点判定への適用

万一、電力系統において何らかの異常や落雷などの事故が発生した場合、事故箇所を系統から切り離し、その影響を局所的に抑えるために、変電所などに設置された保護リレーや遮断器などと呼ばれる保護設備が瞬時に動作する。このような設備が正常に動作した場合は、比較的容易に事故状況を判断できるが、一部に誤動作があった場合などには、予備装置が遅れて動作するが、系統から切り離される範囲が拡大するため事故状況の把握は複雑になる。従来、電力系統で事故が発生した際には、動作した保護装置の情報の組み合わせから、事故状況を判定するテーブルを参照しながら、状態が一致するものを逐次検索し、これに基づき、可能性のある事故状況を特定していたが、停電などの障害から早急に復旧するためにもこの作業の効率化が望まれる。また、このテーブルは、系統状態や設備構成に基づき、専門家があらかじめ構成する必要がある。我々はこのテーブルを事例表と考え、これに帰納学習[辻野94]を適用することにより、決定木として生成されたロジックにより一致状態の検出を高速化するとともに、この作業を通して、テーブルに不足している事故状況の発見や、事故状況の判定のために必要とさ

れる必要最小限の保護装置の特定、ならびに、現状の保護装置の情報では、事故状況を1つに絞り込むことができない可能性の検出などを通してテーブルの構築支援が可能であることを確認した[合田95]。

5・3 変圧器タップチェンジャの異常診断への適用

変圧器の二次側の電圧の大きな変動をさけるため、一次側の電圧や負荷電力が大きく変化した場合に、一次側に用意されているコイル巻数が異なるタップを切り替える作業が行われる。このような切替えは通常は頻繁に行われるものではないが、それゆえ接点の劣化や駆動系・電気系の異常については、少ない切替えの機会に自動診断できれば、分解点検やそれに伴う機器の停止を避けられるため効果が大きい。一方で、そのようなオンライン診断に用いるパラメータについては、タップチェンジャの構造から、駆動トルクや駆動電動機の駆動電力などが役に立つであろうことは予測されるが、新規に開発する必要のあるセンサの感度や特性およびこれに依存する具体的な特徴抽出法、および、それらを組み合わせて診断につなげるロジックは理論的には構成できない。そのため、上記のような構造的検討から得られたセンサ類とその特徴量の検出器を装着した試験機で異常を発生させ、そこから得られたデータに帰納学習を適用することにより、必要とされるセンサや特徴量の決定およびそのロジック化を行った。その結果、駆動軸に挟み込んだ振れトルクセンサと駆動用の電動機の駆動電流の時間変化グラフのピーク値や特定の区間の面積、特定の形状の持続時間などで、当初想定した異常の診断がほぼ可能であることが確認された。

5・4 修理作業支援への適用検討

VDTなどの修理ラインにおいては、異常の原因を特定し、交換すべきモジュールを決定するため、作業員には作業マニュアルが配付され、各作業員はそれに従って不良品の修理を行う。このマニュアルは、チェックすべき項目がノードに、交換すべきモジュールがリーフに書かれている決定木と見ることができる。このような作業マニュアルは装置の設計者が用意する必要があるが、そのチェック手順が固定であるため、特定の(少し熟練を要する)チェック作業を行うことのできる作業員が休業した場合など、そのチェック項目を行わないで修理箇所が同定できる次善の作業手順や、そのチェックを行わないことによって特定できなくなる故障モジュールへの対応法(多くは複数モジュールの交換による修理)について、その都度、作業マニュアル

を見直す必要がある。そこで、チェック項目と故障モジュールの事例を整備し、作業手順そのものは帰納学習ツールに生成させることにより、万一、特定のチェックができない場合には、その項目を外して再度ロジックの生成を行うだけで、次善の作業手順の生成およびその際に分離できなくなる複数の不良モジュールの組み合わせの特定を、修理ラインの班長の判断で行うことができると考えられる。これまでに述べた他の適用事例は、主として完成されたロジックの利用およびその構築支援に重点があったが、この適用例においては、ロジックの再生成作業が重要な要素となっており、その点で興味深い適用事例であると考えている。

6. ま と め

研究し尽くされた感のある診断問題への AI 適用であるが、診断そのものへの AI 技術の適用よりも、その構築の際の構築者支援や、利用時のユーザ支援など、診断というタスク全体を通したレンジでの検討が必要とされていると感じる。今回紹介した事例に携わる中で、ドメインの専門家から出てきた意見の中でも、そのような観点から興味深いものとして、以下のようなものが挙げられる。

- (1) AI/KE だからといって特に難しいことがしたいとかこれまでできないことができるとは思っていない。単に自分のやりたいことの役に立てば良い。
- (2) 曖昧な状況など、もっと簡単に自分が思っていることを表現したり、それを自由に記述できるような方法がほしい。
- (3) 最初はここまで作り込めるとは思っていなかった。でも、作り込めた理由は、AI の技術そのものの威力というより、そういう考え方で、自分自身の頭を整理する努力をした部分が大きい。ただ、そういう方法や機会が与えられなければ出来なかったことも確かなので、結果としては役にたっていると思う。
- (4) 推論プロセスの中身、限界を十分理解させた上で使用させる必要がある。何ができるのかできないのかははっきりして欲しい。
- (5) 研究者に対しては、新しい原理や手法をソラで考えるだけでなく、他の技術分野や具体的な問題についてちゃんと勉強・理解して、その弱いところを埋めるようなものを考えてほしい。

いずれも計算機化すること一般に関わる指摘であると考えられるが、(2)~(4)については、当学会の研究

者にとっても AI 的な観点からの研究課題としてチャレンジなものとも言えるのではなからうか。

謝 辞

本稿の 5 章をまとめるにあたり御協力頂いた、三菱電機(株)電力・産業システム事業所 回転機製造第二部 保全技術課 岩永英樹氏、同社 系統変電・交通システム事業所 電力系統部 系統システム技術第二課 酒井恵里氏、同社 同事業所 外鉄形変圧器製造部 変圧器システム課 篠原秀雄氏に感謝する。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [船木 96] 船木 繁, 山崎 晴明: 介護プラン策定支援システム, 電子情報通信学会 技術研究報告 人工知能と知識処理, Vol.96, No.207, pp.15-22 (1996).
- [合田 95] 合田 忠弘, 飯島 健滋, 酒井 恵里, 辻野 克彦: 事例に基づく変電所事故診断における判定知識の獲得と木構造表現, 電気学会全国大会, 1561, Vol.6, pp.525-526 (1995).
- [亀井 97] 亀井 智子, 島内 節, 内田 恵美子, 友安 直子, 細谷 たき子, 佐々木 明子, 篠田 道子: 在宅ケア成人・高齢者用アシメントおよび問題・ニーズ領域の開発と実践への応用, 第 1 回日本在宅ケア学会講演集, pp.82-85 (1997).
- [小山 96] 小山 徹, 小山 浩: 故障解析エキスパートシステム FLEXS の開発, 信頼性学会誌, Vol.1996/2 (1996).
- [Mukogawa 96] Y. Mukogawa, T. Koyama, M. Ikeno, Y. Mashiko and H. Koyama: Failure Analysis Expert System in ULSI Fabrication, Proc. of Intern. Symposium on Semiconductor Manufacturing, pp.231-234 (1996).
- [永野 98] 永野 隆文, 仲谷 美江, 辻野 克彦: 在宅介護サービス計画支援システムの開発, 1998 年度人工知能学会全国大会, 26-05, (1998).
- [仲谷 98] 仲谷 美江, 平島 保彦, 大坪 道夫: 在宅介護サービス計画支援システムの開発, 日本在宅ケア学会誌, Vol.1, No.1, pp.79-88 (1998).
- [ラメルハート 89] D.E. Rumelhart, G.E. Hinton and R.J. Williams, 麻生 英樹 (訳): 誤差伝搬による内部表現の学習, D.E. ラメルハート, J.L. マクレランド, PDP リサーチグループ (編), 甘利 俊 (監), PDP モデル — 認知科学とニューロン回路網の探索 —, pp.321-365, 産業図書 (1989).
- [白澤 92] 白澤 政和: ケースマネジメントの理論と実際, 中央法規出版 (1992).
- [辻野 92] 辻野 克彦, 西田 正吾: 帰納的学習と演繹的説明づけに駆動された知識獲得システム: KAISER, 人工知能学会誌, Vol.7, No.1, pp.149-159 (1992).
- [辻野 93] 辻野 克彦, 西田 正吾: 決定木に基づくニューラルネットの構成と洗練 — ニューラルネットの分析・解釈に基づく知識獲得 —, 1993 年度人工知能学会全国大会, 7-4, pp.195-198 (1993).
- [辻野 94] 辻野 克彦, 西田 正吾: 事例と相関表からの分類知識の帰納的生成, 1994 年度人工知能学会全国大会, 5-2, pp.115-118 (1994).

 著 者 紹 介



辻野 克彦(正会員)

1984年大阪大学工学部電子工学科卒業。1989年同大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。同年三菱電機(株)に入社。現在先端総研情報科学部意識情報研究チームリーダー。工学博士。音声認識、エキスパートシステム、機械学習、知識獲得の研究に従事。1987年度電子情報通信学会論文賞受賞。電子情報通信学会、情報処理学会各会員。
 <tsujino@sys.crl.melco.co.jp>



小山 徹

1984年京都工芸繊維大学物質工学科卒業。同年三菱電機(株)に入社。現在ULSI開発研究所評価・解析センター主事。ULSI故障診断、解析技術の開発に従事。応用物理学会会員。
 <tkoyama@lsi.melco.co.jp>



仲谷 美江

1983年大阪大学人間科学部卒業。同年、三菱電機(株)に入社。現在先端総研情報科学部意識情報研究チーム。工学博士。CSCW、マンマシンインタフェース、社会心理、高齢者問題の研究に従事。1989年度情報処理学会研究賞受賞。電子情報通信学会、情報処理学会、日本認知科学会、日本在宅ケア学会、リハビリテーション工学会各会員。
 <nakatani@sys.crl.melco.co.jp>