

事例ベース推論のオブジェクト指向アプローチと その故障診断への適用

木下 茂行

川崎製鉄(株)システム部システム研究室

事例ベース推論を使用した、実用エキスパートシステムを開発するための方法について論じる。エキスパートシステムの対象となる問題は、一般に悪構造(ill-structured)である。事例ベース推論を適用しようとする問題は、ルールベース推論ではうまく解けない問題であり、ルールベース推論で解ける問題に比べてさらに悪構造であるといえる。

悪構造問題に対して事例ベース推論を適用するために、事例ベース推論のオブジェクト指向モデルを採用し、プロトタイピングによる段階的詳細化を行いながらエキスパートシステムを開発する方法を提案する。また、故障診断エキスパートシステムへのこの手法の適用について述べ、本手法を検証する。

An Object Oriented Case-based Reasoning Approach and its Application to a Diagnostic Expert System

Shigeyuki KINOSHITA

Systems Laboratory, Kawasaki Steel Corporation

This paper proposes an approach to build practical expert systems using case-based reasoning. In the practical area of expert systems, case-based reasoning can be superior to rule-based reasoning to solve more ill-structured problems. However, it is difficult to define indices of cases or similarity among problems and cases, and also difficult to make rules of case adaptation or repair.

An object oriented model of case-based reasoning is proposed to facilitate prototyping or trial-and-error approaches to build practical case-based expert systems. This model is applied and evaluated in building an fault diagnosis expert system.

1. はじめに

現在すでに多くのエキスパートシステムが開発されており、またそのうちのかなりの部分は実用化されている。弊社においても、エキスパートシステムへの取り組みを開始してからすでにかなりの年が経過しており、この間多くのエキスパートシステムの開発を行ってきた。また、そのうちの多くのものが実用システムとして現在も使用されている。

これらのエキスパートシステムは、おもにルールによる知識表現と演繹推論（以下、これをルールベース推論と呼ぶ）に基づくものである。今までの経験を通して、ルールベース推論に基づくエキスパートシステムの構築のノウハウはかなり蓄積されてきており、社内のシステム化における基盤技術として広く使用されるようになってきている。

一方、現在のルールベース推論に基づくエキスパートシステムの能力の限界、あるいはその問題点も明らかになってきた。即ち、当初エキスパートシステムにより飛躍的な向上が期待されたもののうち、期待したほどの効果が得られないものが存在することである。これには、次の様なものがある。

(1) 知識獲得について

エキスパートシステムでは、専門家の知識をインタビューなどにより抽出し、それをルールとして表現するだけでシステムが構築できることを期待した。しかし、実際には知識を整理、体系化し、ルールとして記述するという形に代わってはいないが、システムの動きを制御するためのルールが必要となるなどのシステム設計が必要であり、本質的に従来のシステム開発と大きな差異はないと言える。

(2) 知識の増殖について

システム稼働後の知識の増殖（追加、修正）については、エキスパートシステムでは簡単に行なえることが期待された。しかし、実際には従来のシステムにおけるメンテナンスとほぼ同様の形態で知識の増殖が行なわれているのが現状である。

これらは、極論すれば、第4世代言語（4GL）と同様なルールベース型の記述に基づく新しいプログラミング言語を用いてシステムを構築しているだけであるとも言える。事例ベース推論は、これらの問題を解決できる可能性を持った技術として、最近注目されている。特に実用エキスパートシステムを目標とした場合、上記の（1）および（2）の両方の問題点を解決する手段として、事例ベース推論は非常に有力であると考えられる。

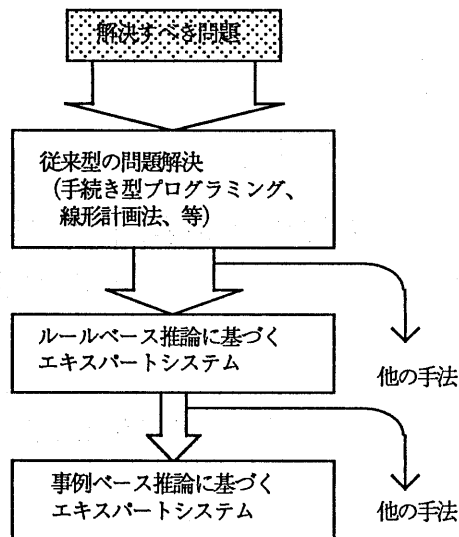


図1 問題解決の手順

本稿は、実用エキスパートシステムを開発するという観点から、事例ベース推論の適用方法を提案したものである。エキスパートシステムの対象となる問題は、一般に悪構造(ill-structured)である。事例ベース推論を適用しようとする問題は、ルールベース推論ではうまく解けない問題（図1）であり、ルールベース推論で解ける問題に比べてさらに悪構造であるといえる。即ち、本稿では、悪構造問題に対する事例ベース推論の適用方法を提案する。

悪構造問題に対して事例ベース推論を適用するために、オブジェクト指向アプローチを提案する。この概要は、事例ベース推論のオブジェクト指向モデルを採用し、プロトタイピングによる段階的詳細化を行いながらエキスパートシステムを開発するものである。

2. 事例ベース推論のオブジェクト指向モデル

2.1 一般的な事例ベース推論モデル

事例ベース推論については、現在のところ統一した見方がなされていないわけではない[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11]。以下では、本稿において採用する事例ベース推論の比較的一般的なモデルについて述べる。

文献[3]に従えば、事例ベース推論を次のように定義することができる。

「事例ベース推論は、過去に行なった推論結果を何らかの形でメモリに格納しておき、新たな問題が発生した場合に、メモリからその問題と関連性の強い

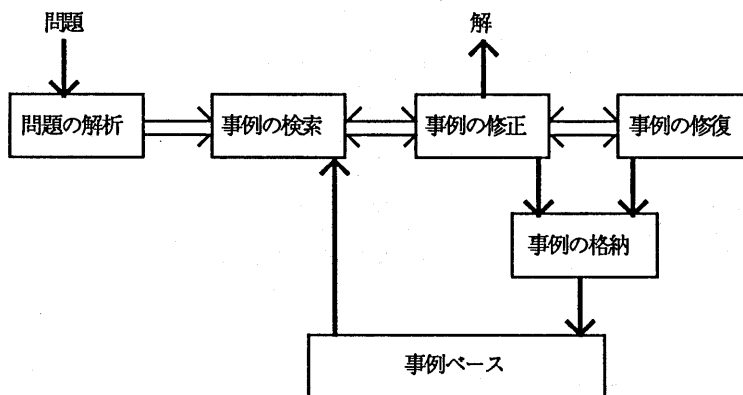


図2 事例ベースシステムの構成

適切な事例を取り出して、必要なら修正を加えて問題の解を得ようとするものである。ここで、メモリに格納された事例の集合を事例ベースと呼ぶ。事例ベースは、将来の使用のために新しい事例を組織的に統合できなくてはならない。」

事例ベース推論システムの構成を図2に示す。これは、文献[2]に基づいており、本稿でもこのモデルを採用する。以下では、図2の構成の各要素について簡単に説明する。

(1) 事例ベース

事例ベースは、適用領域における問題解決事例の集まりである。各事例は、検索を行ないやすくするために特徴付け（インデクシング）がなされる。また事例には、失敗事例も含まれる。この事例の特徴（インデックス）は、事例ベース推論における様々な処理において重要な役割を果たす。従って、事例を適切に特徴付けることができるかどうかは、事例ベース推論の性能に大きな影響を与える。

(2) 問題の解析

問題が与えられると、その問題を解析して、事例ベース中の各事例と同じ特徴付けがなされる。

(3) 事例の検索

与えられた問題に最も良く照合する事例を、事例ベースの中から検索する。問題の特徴と事例の特徴の間に、類似度を定義し、与えられた問題の特徴と最も類似度が高い特徴を持つ事例を抽出することで検索を行なう。この類似度の定義も重要である。事例の検索が適切に行なわれるかどうかは、事例（および問題）にどれだけ適切に特徴付けがなされているかと、類似度の定義が適切か否かに依存する。

(4) 事例の修正

検索された事例と与えられた問題の間で照合しない部分について修正し、推論結果（解）とする。事例と問題の間の差異の判定は、両者の特徴間の差異と見做す。即ち、事例の修正においても特徴が重要な役割を果たす。

(5) 事例の修復

推論の結果得られた解の、与えられた問題への適用に失敗した場合（即ち、得られた解を用いて問題解決ができなかった場合）、それを失敗事例として事例ベースに格納しておき、同じ過ちを回避する。この失敗事例には、その適用を回避するための特徴付けを行なう。

(6) 事例の格納

一つの問題に対して事例ベース推論システムが作成した解は、一つの新たな事例となる。この新しい事例に対して特徴付けを行ない、事例ベースに格納する。事例に対する特徴付けは、事例の修正および事例の修復の中で行なわれる。

2.2 実用システム作成での問題点

最初に述べたように、ルールベース推論に基づくエキスパートシステムには、知識獲得と知識の増殖という2つの点において問題を持っていた。また、前述のようにルールベース推論がプログラミング言語的側面を持っているため、その適用領域はどうしても従来のシステム化の延長となりがちである。これに対し、事例ベース推論に基づくエキスパートシステムには、次の様な効果があると期待できる。

(1) 定式化の困難な問題への適用

ルールベース推論に基づくエキスパートシステムでは、専門知識をルールとして記述する必要がある

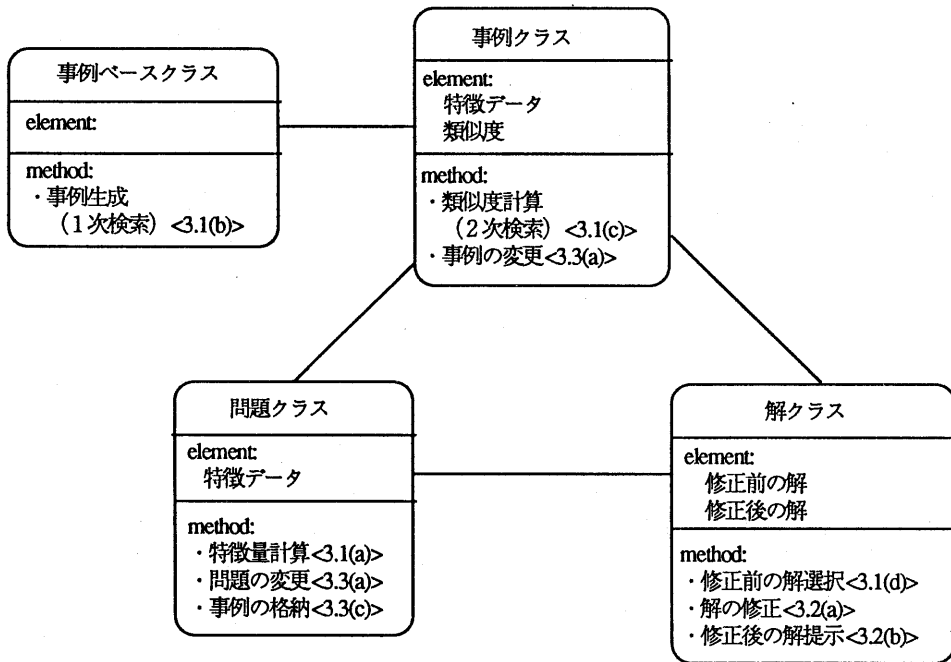


図3 事例ベース推論のオブジェクト指向モデル

が、このために知識の整理・体系化が必要である。また、推論を制御するためのルール（メタ・ルール）を使用するケースも多い。このため、エキスパートシステム化にはある程度の問題の定式化が必要である。これに対して事例ベース推論では、事例として知識を蓄えればよいので、定式化の困難な問題への適用が期待できる。

(2) 知識獲得の容易化

専門知識は事例の集まりとして表現すればよいので、知識獲得は容易になると考えられる。但し、事例の特徴付け（インデクシング）、および現在の問題と各事例との類似度の定義が必要となる。

(3) 自動的な知識の増殖（学習）

各問題に対する解は事例として蓄積される（失敗したものは失敗事例として）ため、知識は自己増殖して行く。

(4) 推論時間（探索空間）の削減

ルールベース推論においては、計画型のシステムのような組み合わせ問題を取り扱うケースでは、特定の条件においては組み合わせの爆発が発生し、探索空間が拡大し推論が長時間になる。これに対し、事例ベース推論では事例の数に比例した処理時間で推論が終了し、推論時間が短くなることが期待できる。

一方では、事例ベース推論を適用するエキスパートシステムは、前述のように悪構造の問題であるため、図2のようなモデルに基づくシステムを簡単には構築できない。この問題点は、次のようなところにある。

- (a)事例、及び問題の特徴付けは、完成後のシステムの性能に大きな影響を及ぼすため、特徴は慎重に決定する必要があるが、そのための指針が、システムの開発開始時点では必ずしも明確ではない。
- (b)事例を検索するための類似度の定義が困難である、あるいは定義した類似度が適切かどうかを判断することが困難である。
- (c)事例の修正のルール、あるいは手続きを事前に発見することが困難である。
- (d)事例の修復についても、ルールあるいは手続きの発見が困難である。更に、何を修復すべきか（即ち、問題を修復すべきか、事例を修復すべきか、どの事例を修復すべきか、あるいは類似度の定義を変更すべきか）の適切な判断ができない。

2.3 オブジェクト指向アプローチ

前節で述べた問題点を解決するためには、特徴・類似度の定義や事例の修正・修復のルール・手続き

をシステムの作成とテストを行いながら決めて行く方法、即ちプロトタイプング手法をとる必要があると考える。事例ベース推論に基づくエキスパートシステムのプロトタイプングによるシステム開発を容易にするために、事例ベース推論のオブジェクト指向モデルを提案する。事例ベース推論モデルをオブジェクト指向とする理由は次の通りである。

- (a) システムの中に現れるオブジェクトが、問題、事例、解、などの一般的なものとして表現できる。
- (b) 事例ベース推論の基本的な機能のみを予め実現しておき、それを稼働させながらオブジェクトの詳細化（サブクラスへの展開）を行いつつ類似度や事例の修正・修復の定義の段階的詳細化するという形態でのシステム開発を行うことができる。
- (c) オブジェクト指向プログラミングが持つ高度なモジュール化、情報隠ぺい機能が、プロトタイプングアプローチに適する。

事例ベース推論のオブジェクト指向モデルを図3に示す。このモデルに含まれるクラスは次のものである。

- ・事例ベースクラス：
 - 事例ベース全体に相当するオブジェクト。
- ・事例クラス：
 - 事例ベース中のそれぞれの事例に相当するオブジェクト。クラス中のエレメントとして、事例の特徴（インデックス）をもつ。
- ・問題クラス：
 - 解決すべき問題を記述したオブジェクト。クラス中のエレメントとして、問題の特徴（インデックス）をもつ。類似度は、事例クラス中の

インスタンスと問題クラス中のインスタンスの間で定義する。

- ・解クラス：
 - 問題に対する回答に相当するオブジェクト。
 - それぞれのクラスは、適用対象に応じてそれぞれサブクラスに展開される。また、プロトタイプングにおける段階的詳細化は、おもにサブクラスへの展開とそれに伴う手続き（メソッド）の変更という形をとると考える。このサブクラスへの展開は、システム開発・テストを通して行われる。
 - 類似度を定義している関数は、事例クラス中に格納される。事例クラスがサブクラスに展開された場合には、類似度関数は問題クラスと各事例サブクラスの間で定義する。この事例クラスの展開時に、類似度関数はサブクラス中で必要なものは上位クラスから継承しながら定義することができる（図4）。事例の修正・修復のための手続きも同じ形で詳細化できる。

3. オブジェクト指向モデルにおける推論過程

ここでは、オブジェクト指向モデルにおける、事例ベース推論の代表的な機能（事例の検索、修正、修復）の動作メカニズムについて述べる。

3.1 事例の検索

事例の検索は、問題と事例ベース中の各事例の類似度を計算し、最も類似度の大きい事例を抽出することで実現できる。事例の検索は、つぎのようにして実現する。

- (a) 与えられた問題に対して特徴量を計算し、問題オブジェクト（問題クラスのインスタンス）の中に

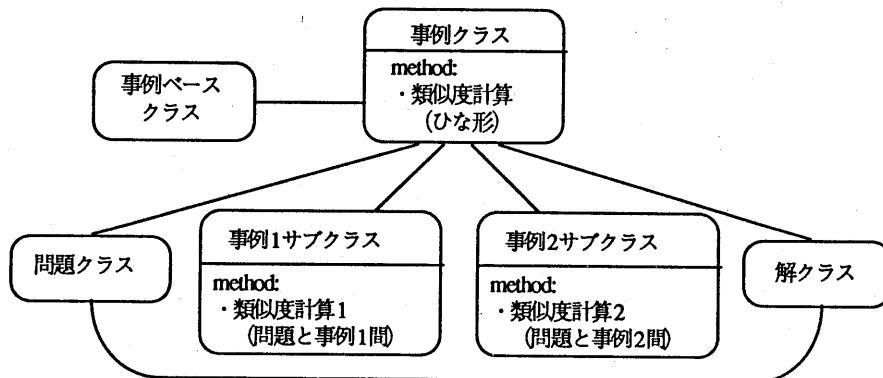


図4 事例クラスのサブクラスへの展開

格納する。

- (b)問題オブジェクトから事例ベースオブジェクトへ、対象事例を選別（1次検索）するためのメッセージを送信する。事例ベースオブジェクトは、対象事例を事例オブジェクトとして生成する。
- (c)問題オブジェクトから生成した各事例オブジェクトへ、その問題と事例との類似度を計算するためのメッセージを送信する。類似度の計算終了後、解オブジェクトへ、最も類似度の高い事例を選択する（2次検索）ためのメッセージを送信する。
- (d)解オブジェクトは、最も類似度の高い事例の解に相当する部分を修正前の解とする。

3. 2 事例の修正

事例の修正は、事例の検索で抽出した事例と問題の差異を計算し、差異に応じて修正前の解を変更するものである。事例の修正は、つぎのようにして実現する。

- (a)解オブジェクトは、問題と検索された事例の間の差異を計算し、その差異に応じて、修正前の解を修正する。
- (b)修正後の解を、システムの解としてユーザに提示する。

3. 3 事例の修復

事例の修復は、システムが適切な解を提示できなかったときに、検索された事例が適切ではなかったと考えて、この事例が検索されないように類似度の

定義やその事例の特徴付けを変更するものである。事例の修復は、つぎのようにして実現する。

- (a)問題オブジェクトから、修復すべきオブジェクト（事例の特徴値を変更する場合、および類似度の定義を変更する場合には事例オブジェクト、問題の特徴値を変更する場合は問題オブジェクト）へ、メッセージを送信し、修正を行なう。
- (b)修復が適切に行われたことを確認するために、事例の検索を再び実行する。
- (c)修復を終了した後、その問題を新たな事例として事例ベースに格納する。

4. 故障診断システムにおける適用例

ここでは、前述の事例ベースのオブジェクト指向モデルを使用して開発中の故障診断エキスパートシステムについて述べる。故障診断は、故障が単一の原因から引き起こされる場合には、症状と故障箇所・故障原因の間の因果関係が比較的容易にルール化でき、ルールベース推論に基づくエキスパートシステムとしての作成も容易である。しかしながら、現実には複数の原因で引き起こされる故障もあり、これについては原因の組合せも膨大になる等の理由により、ルールによる知識表現を前提とした知識獲得は困難となる。このため、事例ベース推論の適用が有効な分野でもある。

4. 1 問題の定義

ここで対象とする問題は、製鉄所の製造現場で使

振動データ (診断データ)	特徴 (インデックス) データ		解データ
V方向振動 (速度) データ	Voverall	スペクトル特徴値	設備名 診断結果 (異常箇所、 異常原因)
H方向振動 (速度) データ			
V方向振動 (加速度) データ	Voverall	スペクトル特徴値	
H方向振動 (加速度) データ			
V方向振動 (包絡線) データ	Voverall	スペクトル特徴値	
H方向振動 (包絡線) データ			
A方向振動 (速度) データ	Voverall	スペクトル特徴値	
A方向振動 (加速度) データ	Voverall	スペクトル特徴値	
A方向振動 (包絡線) データ	Voverall	スペクトル特徴値	

図6 診断事例の事例ベース中での表現形式

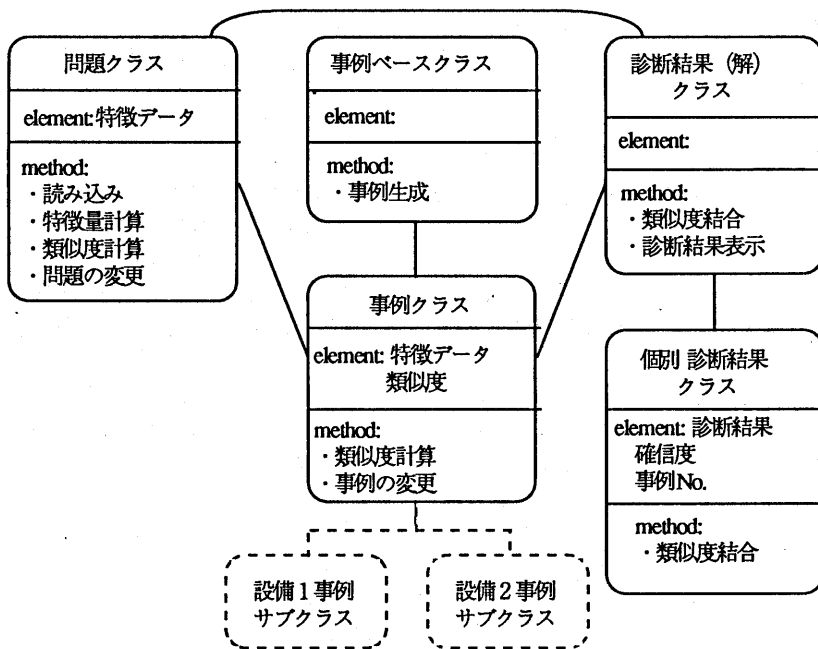


図7 回転機械診断エキスパートシステムにおける事例ベース推論モデル

用される回転機械（ファン、ローラー、ポンプ、など）の故障診断である。異常により発生する振動波形を測定し、それを基に異常箇所と異常原因を特定する[12]。

即ち、設備診断器などでえられる振動データ、即ち設備箇所、機械振動の波形、周波数スペクトル、振動方向（水平、垂直、軸方向）、モード（速度、加速度、包絡線）、などから、異常箇所と異常原因を決定する問題とする。

4. 2 問題と事例の特徴付け

それぞれの事例は、図5で示すような形で表現される。これを事例ベースとして表現するためには、各事例は、症状を表す診断データと診断結果（解データ）、およびそれらの特徴（インデックス）の組み合わせとなる。

特徴（インデックス）としては、設備診断に使用する次の様な特徴項目を使用する。

- * 設備名
- * 振幅のオーバーオール値 (Voverall)
- * 機械振動の周波数スペクトルデータの特徴値:
 回転機械の基本回転数 f_0 、 $n \times f_0$ 、 $(1/n) \times f_0$ 、などの特定の周波数帯域での振幅。これは、異常振動はある特定の周波数で発生することが知られていることによる。

振動値は、垂直 (V) 方向、水平 (H) 方向、半径 (R) 方向の3箇所測定するが、事例ベース中

では垂直方向と水平方向のデータは、軸 (A) 方向として統合して表現する (図6)。

特徴付けは、前述のように類似度の定義と並んで、事例ベース推論を使って実用化を目指す場合には非常に重要である。しかし、この回転機械の故障診断では、診断データとして得られるものが限定されており、またその特徴点として注目すべきものも知られている。従って、この場合にはその特徴点をどのように表現し、それに基づいて類似度をいかに定義するかということが重要となる。

4. 3 推論方法

(1) 事例の検索

事例の検索は、事例ベース中の診断事例と今回の振動データ（問題）の間の類似度を定義し、もっとも類似度が高い、即ち最も近い事例を抽出することである。類似度は、上記の特徴を用いて定義する。事例および問題の特徴データは、設備名を除くと、R方向およびA方向での速度データ、加速度データ、包絡線データの6つの多次元ベクトルから成ると考えることができ、1つの特徴データ種の2つのデータ間の類似度は、多次元空間上の2つのベクトルの距離の関数（距離が0の時に類似度=1、距離が無限大の時に類似度=0）と考えることができ。このシステムでは、次の式で類似度を計算している。

$$S_i = \exp \left\{ - \sum w_i (d_{pij} - d_{cij})^2 \right\}$$

ここで、

S_i : i 番目の種類のデータ間の類似度

w_i : 重み

d_{pij} : 問題の i 番目の種類のデータの j 番目の特徴値

d_{cij} : 事例の i 番目の種類のデータの j 番目の特徴値

これにより、問題と 1 つの事例の間に 6 通りの類似度が計算されることになるが、これらは、例えばそのうちの最大をとる等により、一つの類似度を求める。

事例には、同じ診断結果を与えるものがあるが、これらについても、そのうちの最大をとる、あるいは複数の類似度をより大きな類似度になるように結合する、などが考えられる。このシステムでは、複数の事例で裏打ちされた診断結果はより信頼度が高まると考え、次式で類似度の結合を行っている。

$$IS = S1 + (1 - S1) S2$$

ここで、

IS : 結合された類似度

$S1$: それまでに求められた (結合された) 類似度

$S2$: 新たに結合する事例の類似度

類似度は、振動波形の類似性だけでなく、設備としての類似性も考慮する必要がある。設備の類似性は、あらかじめ設備名を階層分類しておいて、それに基づいて判断する方法などが考えられるが、開発開始時点でこのような階層分類を作成することは容易ではない。また、振動波形の類似性についても、ベクトルの各次元の重みなどのパラメータ値は、試行錯誤的に決定するしか方法がない。

(2) 事例の修正

回転機械診断エキスパートシステムにおいては、事例の修正は必要ないと考えられる。即ち、システムは、検索した事例を類似度の高い順に診断結果として利用者に提示すればよいと考える。利用者は、事例に付与された類似度を、診断結果の確信度と考えればよい。

(3) 事例の修復

事例の修復を最初から自動的に行なうことはかなり困難であるので、利用者が事例の修復を行なう。システムは、利用者が行った事例の修復を記録しておき、これを解析して修復手続きを得、その後にシステムに組み込む。即ち、利用者が次の様な操作を行なう。

* 診断対象の問題の特徴付けが適切でない場合に

は、その特徴値を変更する。

* 誤った診断結果を与えた事例 (必要以上に高い類似度を与えた事例) に対しては、類似度を下げようように特徴値を変更する。

* 本来正しい診断結果を与える事例 (必要以上に低い類似度を与えた事例) に対しては、類似度を上げるように特徴値を変更する。

システムは、人手での変更に対して、特徴値の変更の結果で計算し直した問題との類似度を提示することで、この変更を支援するに留める。

このように、類似度の定義、および事例の修復手続きは、プロトタイピングを行いながら決定するという方法を採用している。

4. 4 オブジェクト指向モデルの評価

このシステムは、オブジェクト指向言語 C++ (GNU C++) を用いて、SUN3 上にインプリメント中である。最終的には実用化を目指しているが、現在のところプロトタイプ・システムとして開発している。今の段階では厳密なこのモデルの評価はできないが、現在のところ概ね次のような評価をしている。

(a) 問題と事例の間の類似度の定義には、機械の種類や、それが設置されている工場名なども影響すると思われるが、現在のところはこれを無視して定義している。プロトタイピングを行いながらこれが明確になった時点で、図 7 のように事例クラスをサブクラス分割することにより、簡単に実現できる。これは、実用システム作成上非常に有効な方法と考えられる。

(b) 診断システムでは、同じ診断結果をもたらす複数の事例が存在するが、そのような特定の問題に固有のものを、この場合には解クラスのサブクラス (個別診断結果クラス) を設けることにより、簡単に取り込むことができる。これ以外に、検索された事例をよい事例 (成功事例) のサブクラス、悪い事例 (失敗事例) のサブクラスに分けることなどが考えられる。

(c) このシステムでは、事例の修復の手続きが明確ではないために、人手で修復を行うようにしている。この場合でも機能のモジュール化 (事例の変更、問題の変更、など) が完全になされるので、手続きが明確になった時の組み込みが容易である。

(d) 事例の修復後に、事例の再検索を行っているが、

オブジェクト使用によるモジュールかが非常にうまくいっているため、事例の検索時のバッチ的な検索も、1つの事例を修復した後の検索も同じモジュールを使用して実現できる。

5. おわりに

実用エキスパートシステムを作成するためのオブジェクト指向事例ベース推論モデルの提案と、故障診断システムにこのモデルを適用した事例について述べた。オブジェクト指向事例ベース推論モデルは、事例ベース推論を適用して実用エキスパートシステムを作成するために問題となる特徴付けや類似度の定義、事例の修正・修復の手続きをプロトタイプング手法を用いて段階的に詳細化することを容易とするものである。

このモデルにしたがって、診断型のエキスパートシステムを作成することにより、モデルの検証を行っている。この検証は、現在システム開発中のために終了したわけではないが、類似度や事例修復手続きなど、開発開始前には明確にしにくい状況での開発を容易にしているという点で、ある程度の評価を下すことができる。また、本稿で述べた回転機械診断以外のエキスパートシステムについても、試作を開始している。

今後は、回転機械診断システムの開発を完了させると共に、その中から問題点を抽出し、このモデルをより完成度の高いものとして行きたい。また、診断型以外の業務についてもこのモデルを使用したエキスパートシステムを作成しながらモデルの改良を行い、より汎用性の高いものに行きたい。

謝辞

日頃、ご指導をいただく川崎製鉄(株)システム部、大杉部長、同システム研究室、守谷室長、新井主任研究員、システムの試作にご協力いただく川崎製鉄(株)千葉製鉄所保全部保全技術室、笠井主査、川鉄システム開発(株)請田氏に感謝します。

参考文献

- [1] Riesbeck, C. K. and Schank, R. C. : "Inside Case-Based Reasoning", Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1989.
- [2] 小林 : 「総論 : 知識獲得と学習の展望」、人工知能学会・第8回人工知能セミナー、1989
- [3] 奥田、山崎 : 「事例ベース形推論とその応用例」、情報処理 Vol.31 No.2、1990

- [4] Stanfill, C. and Waltz, D.L. : "Toward Memory-based Reasoning", Comm. of ACM Vol.29 No.12, 1986
- [5] Daube, F. and Hayes-Roth, B. : "A Case-Based Mechanical Redesign System", Proc. of IJCAI-89, 1989
- [6] Hammond, K.J. : "CHEF: A Model of Case-based Planning", Proc. of AAAI-86, 1986
- [7] Sycara, K. : "Using Case-Based Reasoning for Plan Adaptation and Repair", DARPA Workshop on Case-Based Reasoning, 1988
- [8] Bain, W. M. : "A Case-based Reasoning System for Subjective Assessment", Proc. of AAAI-86, 1986
- [9] 新田 : 「事例を用いた法的推論とその並列化」、情報処理学会知識工学と人工知能研究会 69-5、1990
- [10] 中村、小林 : 「事例ベース推論の対話型モデルとその機械調整支援への適用」、人工知能学会誌 Vol.4 No.6、1989
- [11] 佐藤、長尾 : 「実例に基づいた翻訳」、情報処理学会自然言語処理研究会 70-9、1989
- [12] 笠井、他 : 「回転機械振動診断技術の開発」、川崎製鉄技報 Vol. 22, No.2, 1990

精密診断事例

(機械略図)

測定日

Erg.No 6310

工場、ライン名

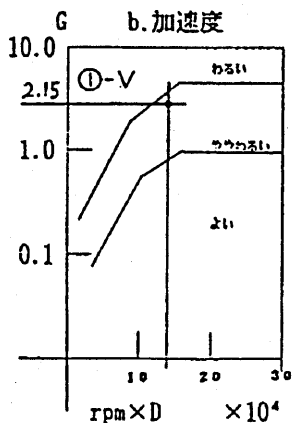
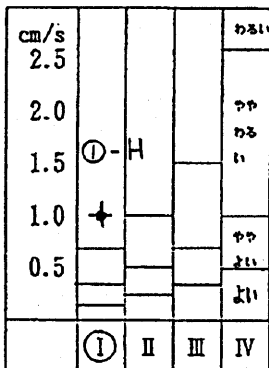
均鉦

15 KW
2550 RPM
50 φ

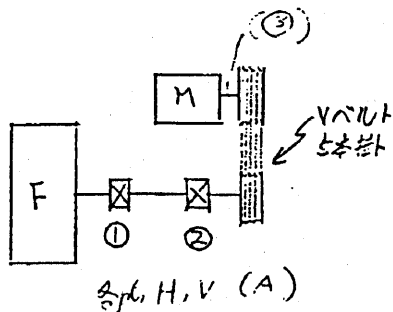
機械名

集塵ファン

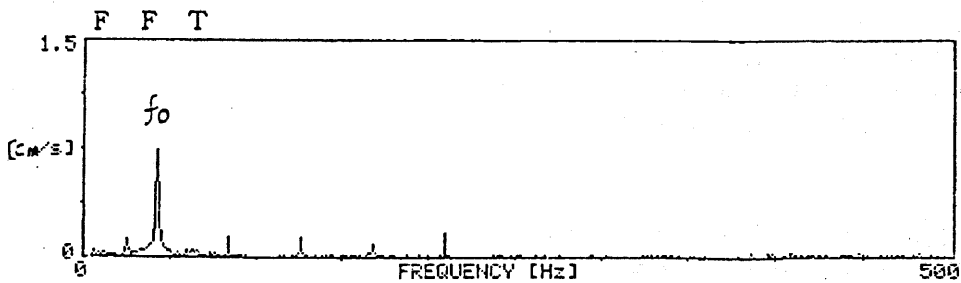
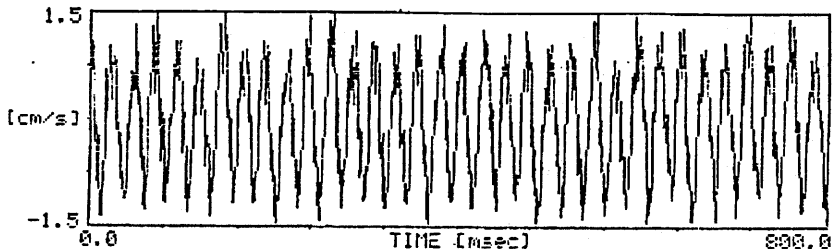
(測定値) a. 速度



$f_0 = 42.5 \text{ Hz}$



(解析) 生波形



(結果)

インペラアンバランス
修正量 45g

(状況)

図5 回転機械診断の事例