

火力発電プラント設備診断・運転支援 エキスパートシステム

Equipment Diagnostic and Operational Support Expert System
for Thermal Power Plants

火力発電の分野でも、運転の高度化に伴い、知識工学の成果を取り入れたエキスパートシステムの導入が図られている。日立製作所では、高度な運転支援・設備診断システム構築のため、フォールトトリーに基づいた知識構築ツールを開発し、適用を計画中である。また、新しい技術である神経回路モデルに基づいたタービン発電機の異常診断エキスパートシステムを開発し、その有効性を評価した。

鍛治 明*
丸山武一*
松本 弘**
阿部倫夫***
松葉健司****

Akira Kaji
Takekazu Maruyama
Hiroshi Matsumoto
Norio Abe
Kenji Matsuba

1 緒 言

火力発電所の運転は、高効率運転の追求、大容量化、運用性能の向上の要求に対応して、ますます高度な技術を必要とするものとなってきている。また、最近の火力プラントは計算機技術の発展、制御装置のデジタル化によって、プラントの起動・停止の自動化は実現されているものの、設備異常時の対応には、豊富な運転ノウハウが必要である。

このような状況下にあって、最近の知識工学の成果を取り入れ、上記課題を解決する試みが行われている。すなわち、従来の固定的な論理に基づいた処理でなく、熟練者、経験者の知識を活用するエキスパートシステムの導入が計画されている。日立製作所では、火力の異常診断、警報解析用の知識構築ツールを開発し、これを利用してエキスパートシステムの構築を進めている。以下ではエキスパートシステムについて、その知識構築ツール、運転支援への適用および神経回路モデルを応用した新しい技術を紹介する。

2 運転支援システムと設備診断システム

2.1 運転支援システムの位置づけ

知識工学の発展を契機として、火力発電分野では、情報の高度加工によって、運転をより緻(ち)密に支援する運転支援システムの導入が図られている。運転支援システムの位置づけを設備診断システムとの関連で示したのが図1である。設備診断システムは、診断対象に適したセンサ、信号処理によって機器、装置レベルの異常監視・予知を行う。これに対して運転支援システムは、ユニット計算機、設備診断システムからの情報を基に、ユニット全体にかかわる支援を行うもの

である。本システムは、必ずしも知識ベースによる推論処理を行うだけでなく、プラント状態量の計算による推定、経年変化の監視といった従来の機能の高度化、拡張をも含んでいる。この中で、知識ベースによる処理を行うエキスパートシステムは、運転支援システムとして、または設備診断システムとして導入されつつある。日立製作所で取り組んでいるエキスパートシステムの例¹⁾を表1に示す。

2.2 設備診断システム

設備診断を目的としたエキスパートシステムの例として、

表1 エキスパートシステム例 日立製作所では、電力会社との共同研究により種々のエキスパートシステムの開発を行っている。

分類	対 象	概 要
ユ ニ ッ ト レ ベ ル	最適起動スケジュール計算	ファジィ推論を利用し、最適起動スケジュールを提示する。
	異常時原因推定および操作ガイダンス	警報発生時に原因を推定し、対応操作ガイドを行う(警報時支援エキスパートシステム)。
	異常予知および操作ガイダンス	プラント状態を監視し、異常の波及を推論して対応処置をガイドする。
	ボイラ制御装置異常時操作ガイダンス	ボイラ制御装置異常時、対応処置をガイドする。
機 器 レ ベ ル	タービン発電機振動診断	振動周波数分析の特徴などから、異常原因を診断する。
	タービン発電機ラビング診断	ラビングにより発生する高周波を検知し、ラビング発生個所を特定する。

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所日立研究所 *** 日立製作所日立工場 **** 日立製作所電力事業部

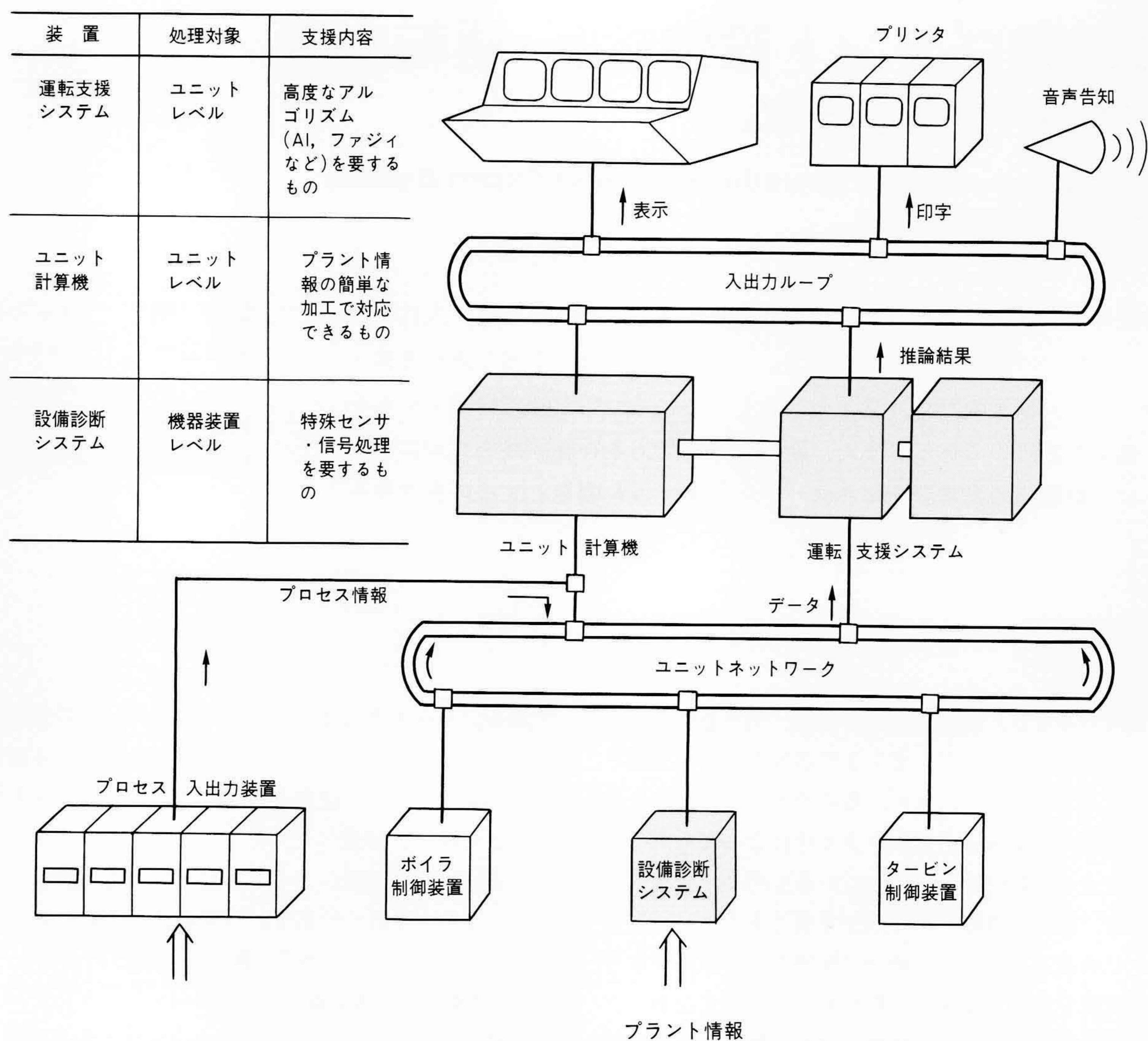
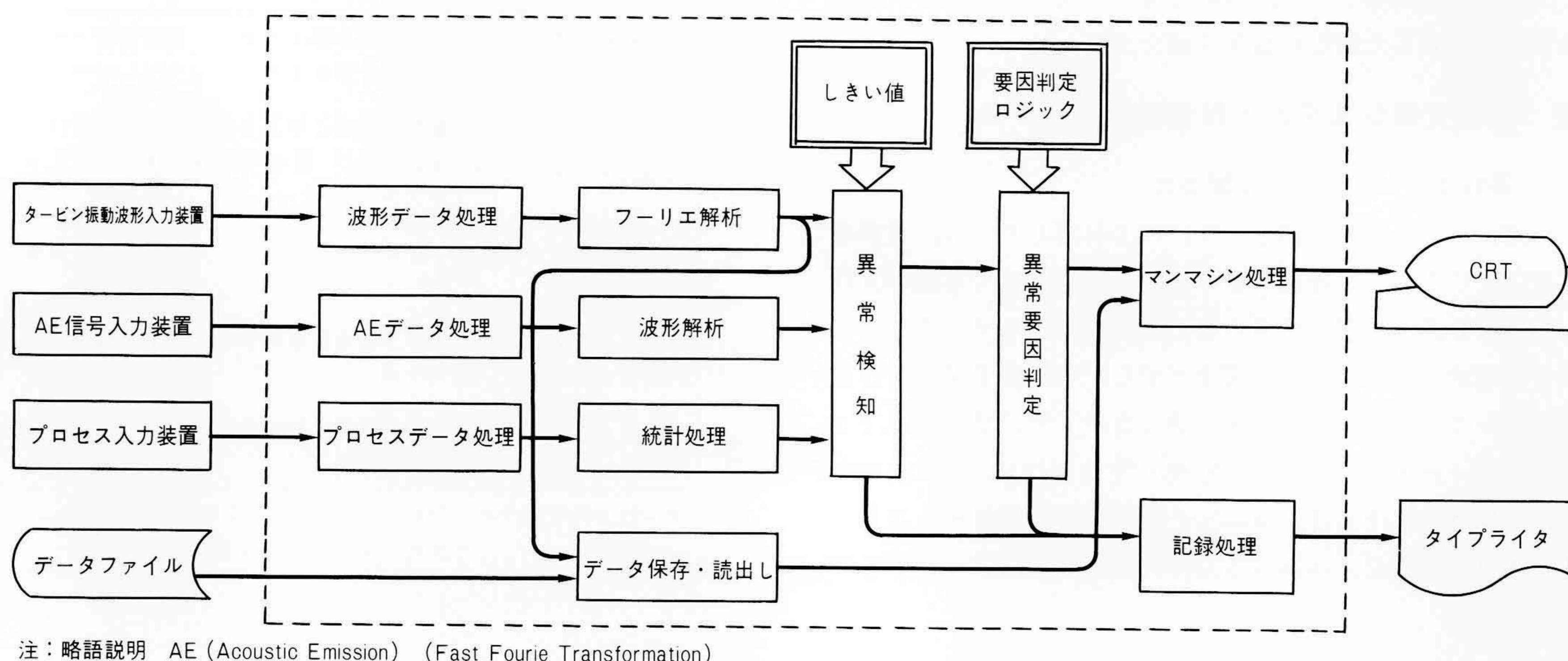


図1 運転支援システムの位置づけ 運転支援システムはユニットレベルの総合的な支援を行い、設備診断システムは機器を対象とした診断支援を行う。



注：略語説明 AE (Acoustic Emission) (Fast Fourie Transformation)

図2 タービン振動診断システム タービンの振動をFFT(Fast Fourie Transformation), AEによって信号処理し、タービンの診断を行う。

タービン発電機振動診断システム^{※1)}を紹介する。タービン発電機の異常は多くの場合、振動の変化、異常の発生、軸受部の温度上昇となって現れる。タービン発電機振動診断システムの構成を図2に示す。本システムはこれらの情報をオンラインで収集し、振動波形分析、AE(Acoustic Emission)信号分析を行い、得られた情報によって異常を早期に検知する。また、分析した信号の特徴および回転数や負荷などの付帯条件を総合的に評価し、異常要因をリアルタイムに判定する。さらに、運転員に対して対応処置を行うためのガイドメッセージ、判断支援情報を提供し、運転操作の支援を行う。運転監視情報は収録保存され、振動の経年変化の把握によって、異常の早期検出に役だてるとともに、試運転時のバランス調整も支援することができる。

3 警報時支援エキスパートシステム

3.1 知識構築ツール

エキスパートシステムを真に役だつものにするためには、知識工学の専門家だけでなく、プラントエンジニアまたは運転の専門家によっても容易に知識の追加、拡充を可能とする仕掛けが必要である。これを実現するため、フォールトトリーに基づいた知識構築ツールHITREX²⁾(Hitachi Tree Based Realtime Expert System)を開発し、診断、警報解析用エキスパートシステムへの適用を計画中である。HITREX開発の目標および実現策を図3に示す。HITREXは知識構築ツールとして機能するばかりでなく、前向き推論に基づいた異常波及の予知、後ろ向き推論に基づいた警報解析の基本的推論機構およびガイドメッセージ表示の機能を持っている。このHITREXの構成を図4に示す。フォールトトリーの形で表現されている知識を、そのままの形でCRT画面上に描けば、知識構築ツールによって知識ベースが計算機内に構築される。この知識ベースおよびプラントデータベースを使用して推論が実行され、ガイド機構によってガイドメッセージが表示される。したがって、フォールトトリーさえ構成できれば、エキスパートシステムは簡単に構築可能となる。知識構築時の画面例を図5に示す。CRT画面上でフォールトトリーを簡単に構成できる。また、トリーの各ブロックを定義する際は、該当ブロックをマウスでピックする。これによって画面下部に定義用のウィンドウが現れる。ここで、プラントデータ識別番号を用いて異常の定義をすれば、自動的に知識ベースが生成され、同時に知識ベースとプラントデータベースとを結合するマッピングテーブルが作成されることになる。

3.2 警報時支援エキスパートシステム

知識構築ツールHITREXの運転支援システムへの適用例と

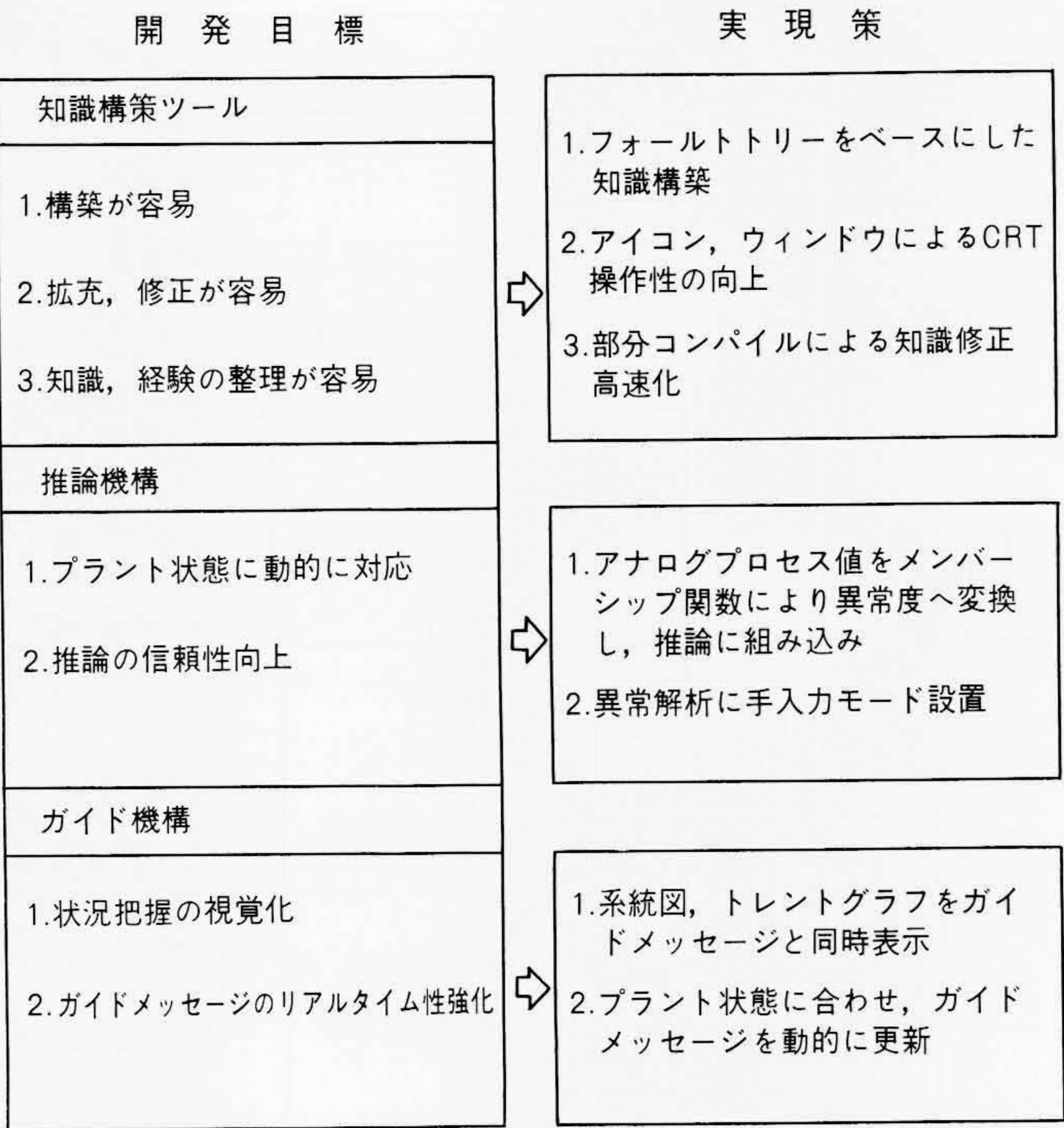


図3 HITREXの開発目標 容易な知識構築、オンライン推論を実現するためHITREXを開発した。

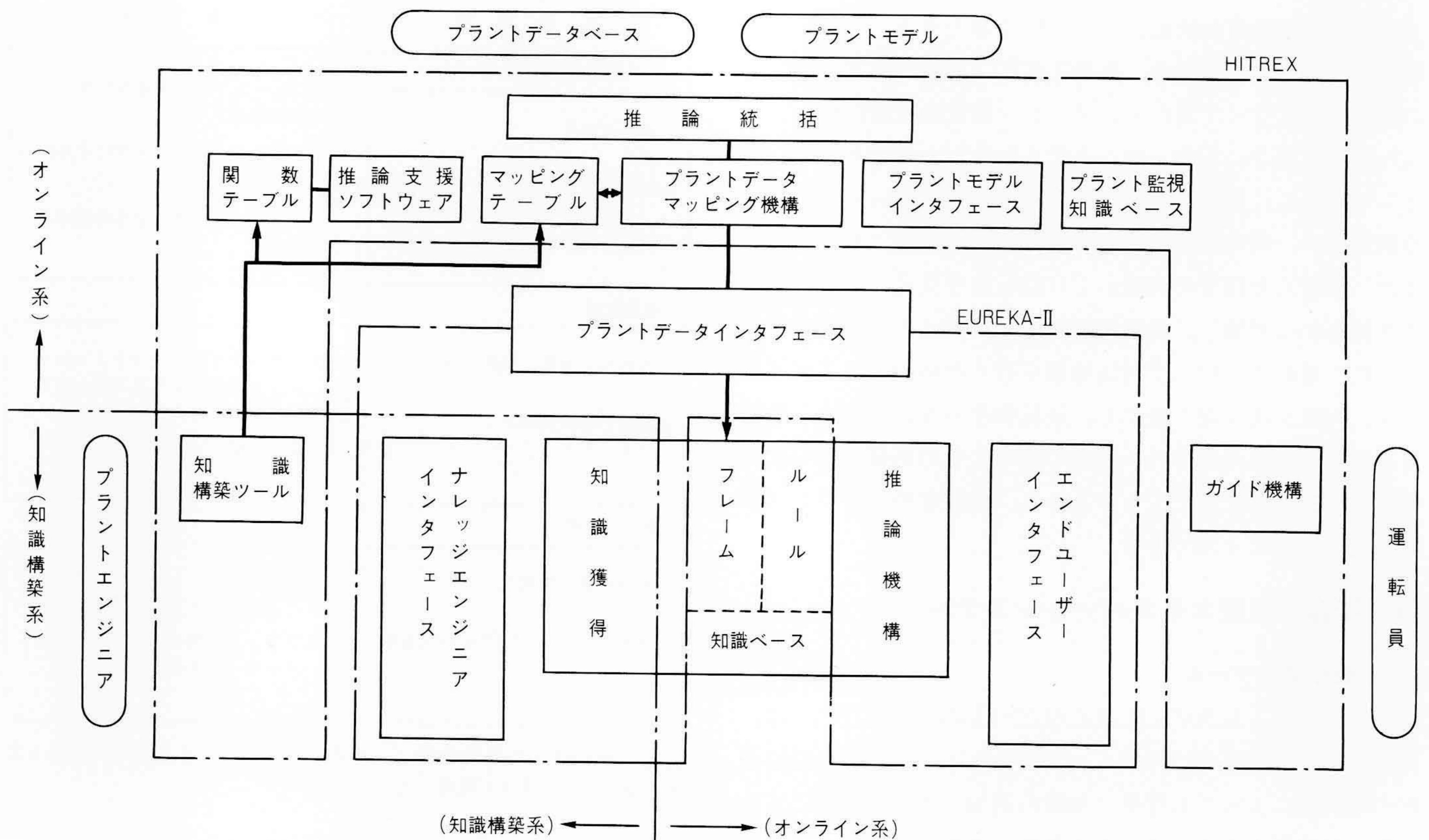
して警報時支援エキスパートシステム^{※2)}を紹介する。

プラントに異常が発生すると警報窓が鳴動するが、その対応処置、原因の同定および原因確認、修復のための処置は必ずしも自明ではなく、熟練運転員のノウハウ、経験が必要である。したがって、警報発生もしくは警報に近い状態時にフォールトトリーの知識によってその原因を見つけ出し、対応処置を表示するのが警報時支援システムである。警報時の本システムの処理フローを図6に示す。警報が発生すると、フォールトトリー上の異常度を算出し、もっとも確信度の高い異常波及経路の探索を行う。ここで計算機で計測していない事象があった場合は運転員に問い合わせを行い、手入力データを使用して原因を探索する。このようにして原因を推定し、その結果をガイドメッセージとしてCRT画面上に表示する。ガイドメッセージの画面例を図7に示す。ガイドメッセージ画面は、警報に対する対応操作ガイド、推定原因とその対応処置メッセージおよび警報に関する関連系統図から成る。また、画面下部にはソフトキーが割り付けられており、関連系統図の代わりにトレンドグラフを表示したり、関連のフォールトトリーを表示することができる。

4 エキスパートシステムへの新技術適用

火力発電プラントの高度自動化と信頼性向上を目ざすエキスパートシステムの将来像を描くとき、前章までに述べた数値処理や知識処理にみられる左脳形処理(定量的、論理的、分析的)に加え、右脳形処理(定性的、直感的、総合的)を特徴と

※1), ※2) 東京電力株式会社との共同研究により開発しているものである。



注：略語説明 EUREKA-II (Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-II)

図4 HITREXの構成 HITREXは知識構築ツール、推論統括部およびガイド機構から成る。

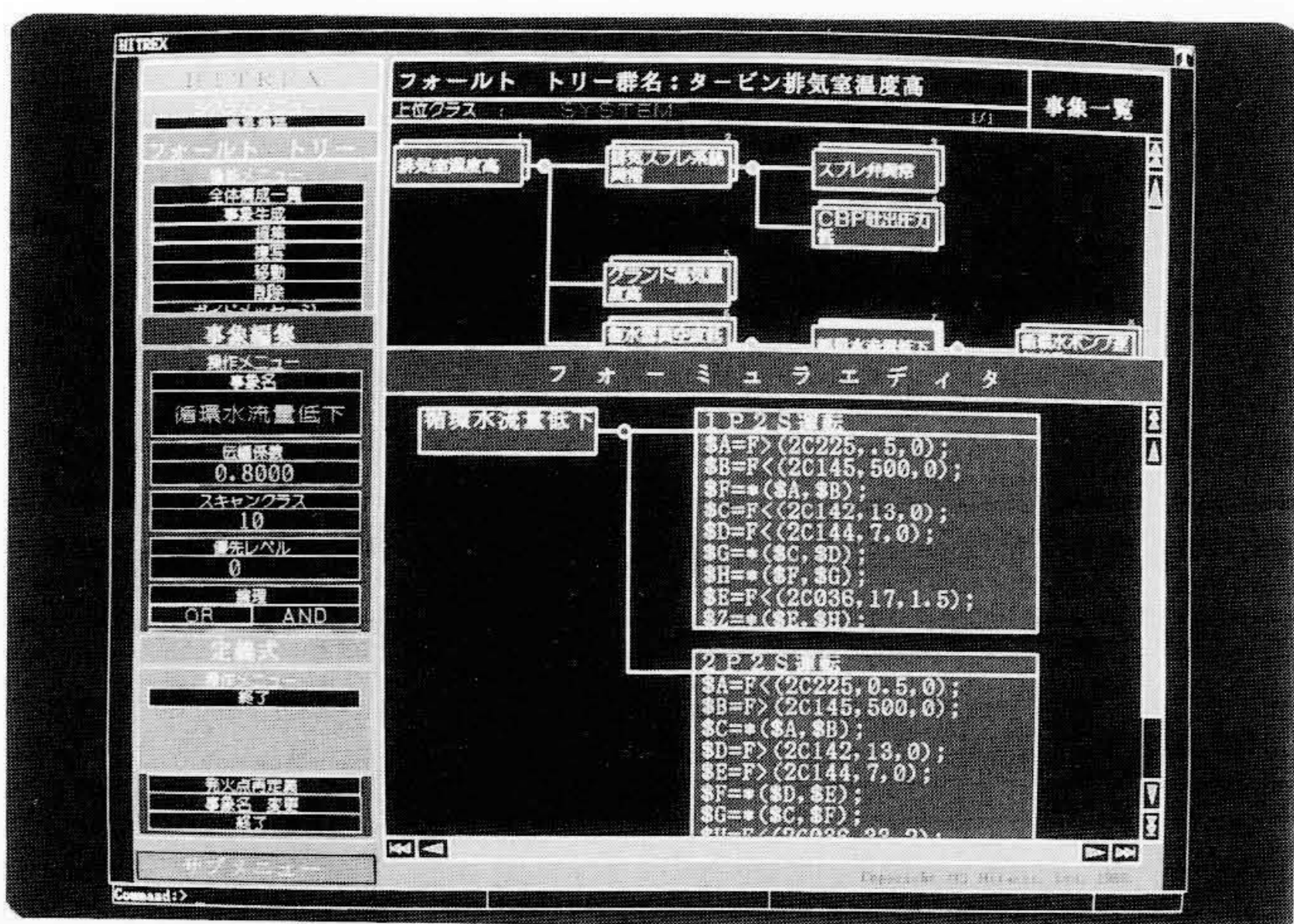


図5 知識構築画面例 CRT画面に故障ツリーを描くことにより、容易に知識の構築が可能である。

する神経回路モデルとその応用技術に対する期待は大きい。

ここでは、タービン発電機の早期異常検知・診断能力の高度化を目的として開発した多層形神経回路モデル応用異常診断システムについて紹介する。

4.1 システムの概要

本システムは、神経回路モデルのパターン判別能力に着目したもので、その機能構成を図8に示す。まず、過去に発生

した複数の異常振動波形(学習サンプル)を、3層構造を持つモデル内の接続状態(シナプス加重)としてバックプロパゲーション法³⁾(以下、BP法と略す。)を用いて学習させる。学習後、運転中の振動波形を周期的にモデルに入力し、異常発生時には出力信号の位置と大きさによって、診断結果とその確信度をリアルタイムで運転員に提示する。

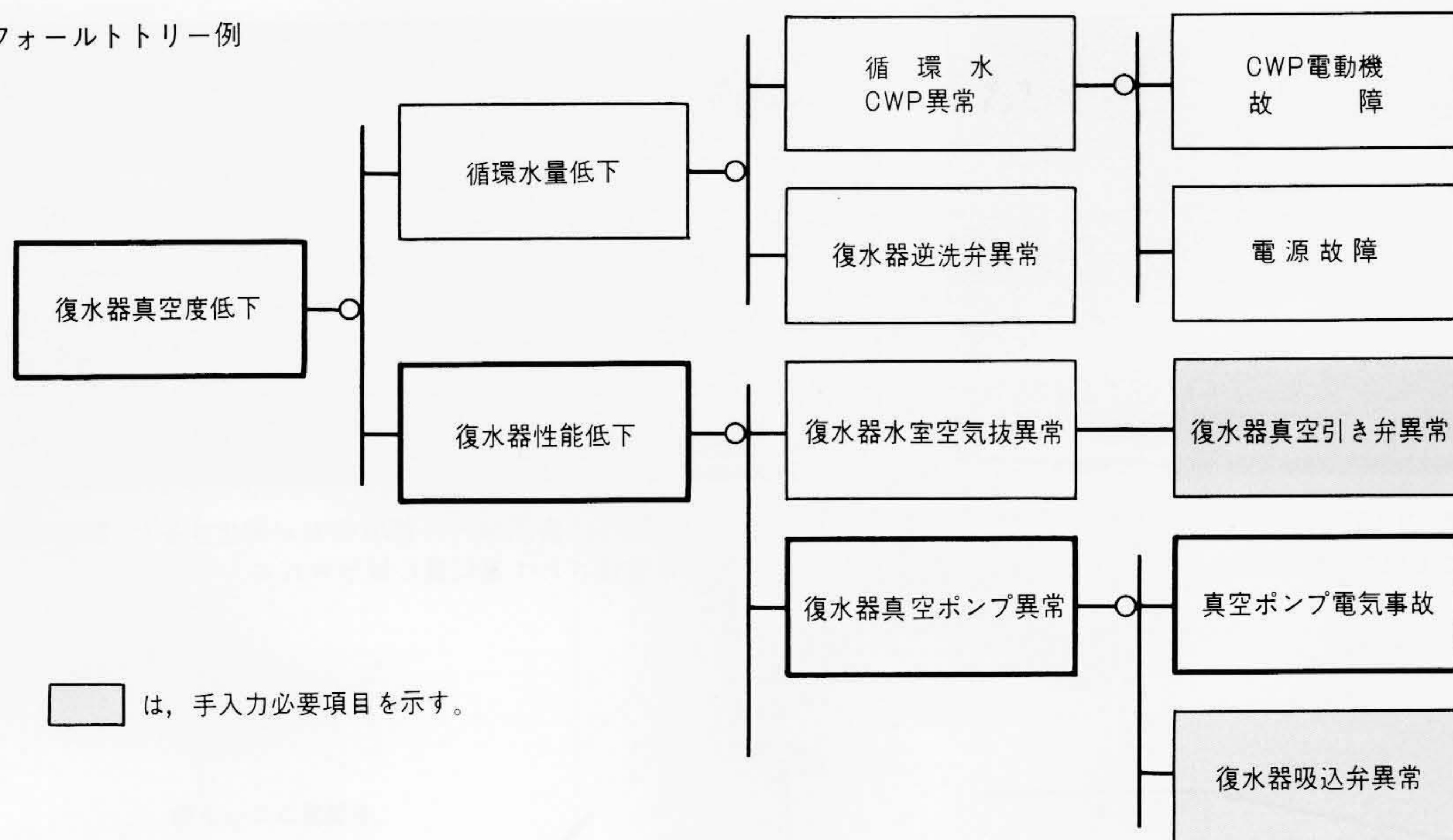
4.2 学習・診断方式

BP法による学習では、学習サンプルをモデルの入力層に提示したとき、出力が教師データに収束するようにシナプス加重の修正を m 回(以下、BP回数と呼ぶ。)だけ実行し、複数のサンプルを順に学習させ、これを n サイクル繰り返す方式とした。サンプルごとの全BP回数は $m \times n$ 回となる。良好な学習特性を得るための常とう手段として、入力層にはバイアスユニットを設け、初期シナプス加重は一様乱数を用いた。学習完了後の診断時には、出力部に向けて積和演算を実行すればよく、結果は瞬時に得られる。図9は診断時のモデル内想起状態のCRT表示例を示すもので、出力層の左から3番目のユニットが強く興奮している。このときの診断結果は図10のように表示され、既学習サンプルとの類似度に応じた確信度の高い順に列挙されている。

4.3 シミュレーションによる診断特性の解析

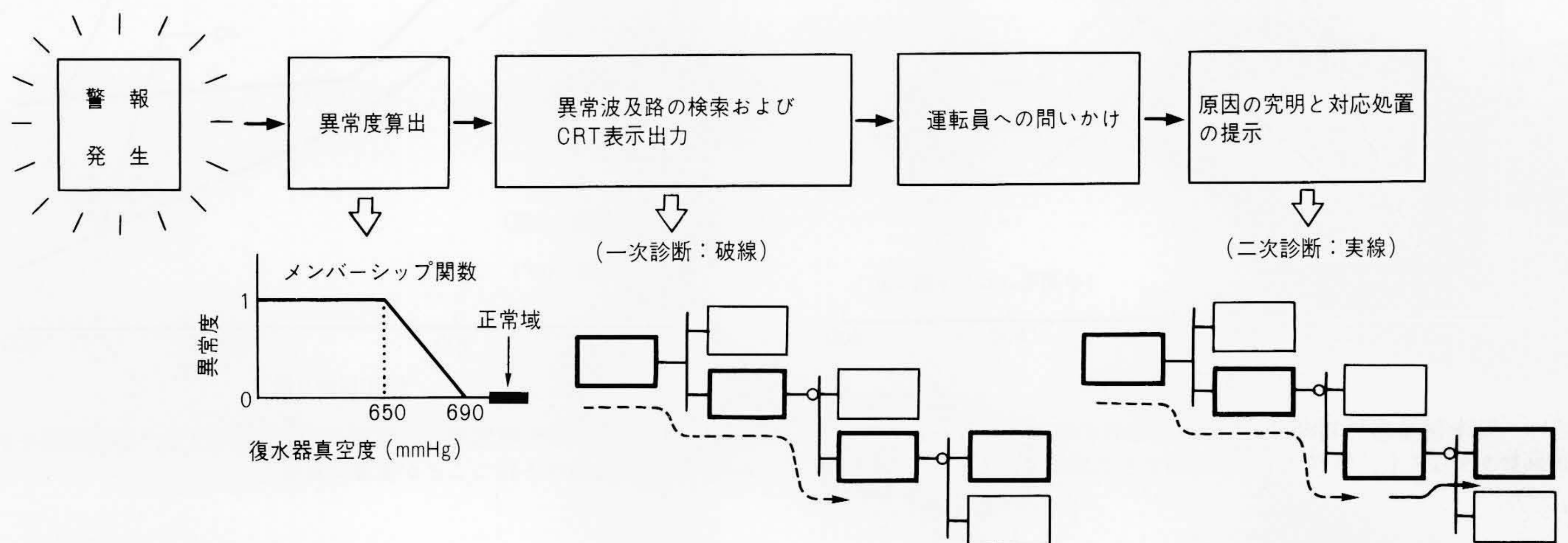
BP回数を変えたときの既学習波形の判別率を図11に示す。

フォールトトリー例



□ は、手入力必要項目を示す。

警報時処理フロー



注：略語説明 CWP (循環水ポンプ)

図6 警報時処理フロー 警報発生時、フォールトトリーに従って原因を探し、ガイドメッセージを表示する。

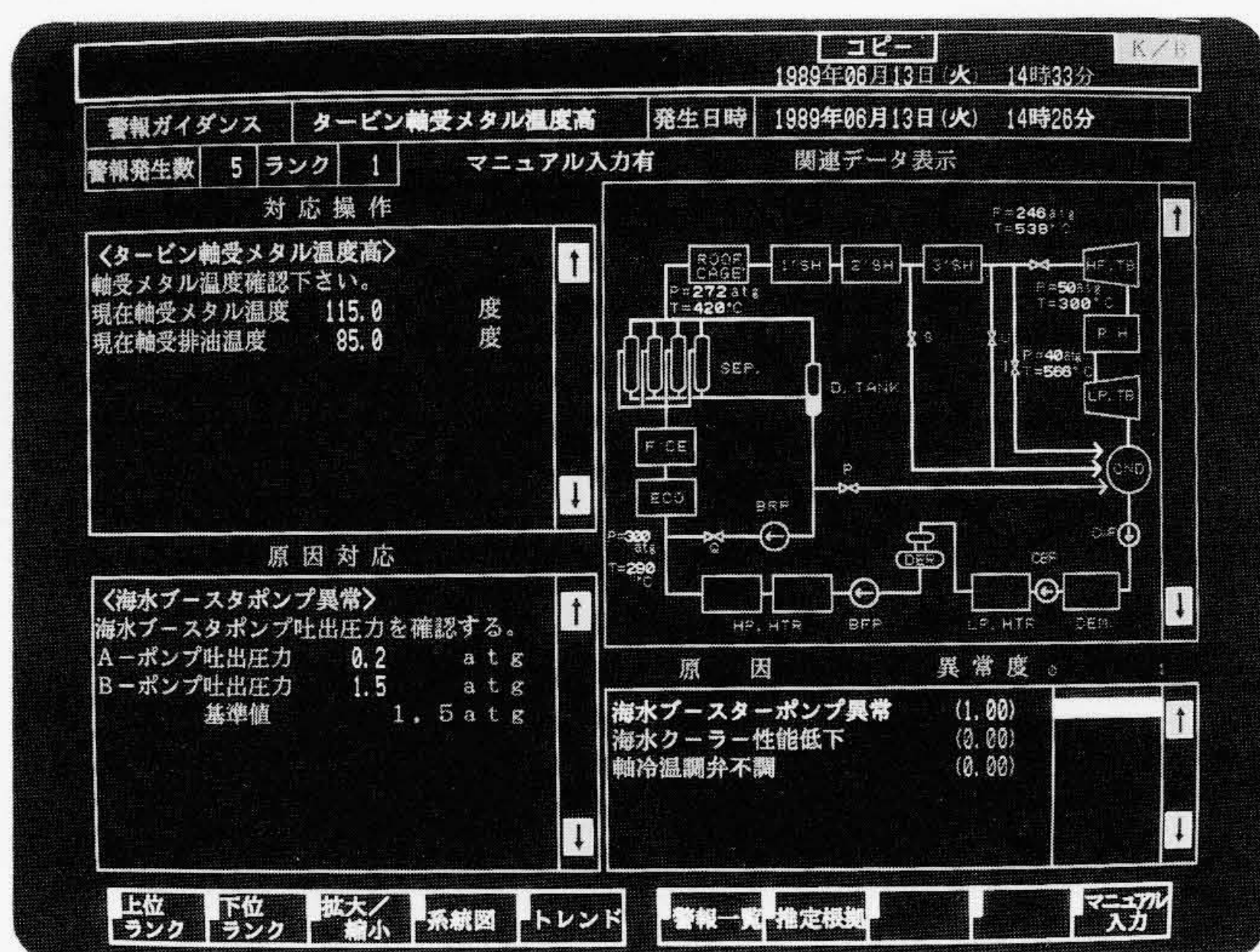


図7 ガイドメッセージ表示例 プラント情報といっしょにガイドメッセージを表示する。

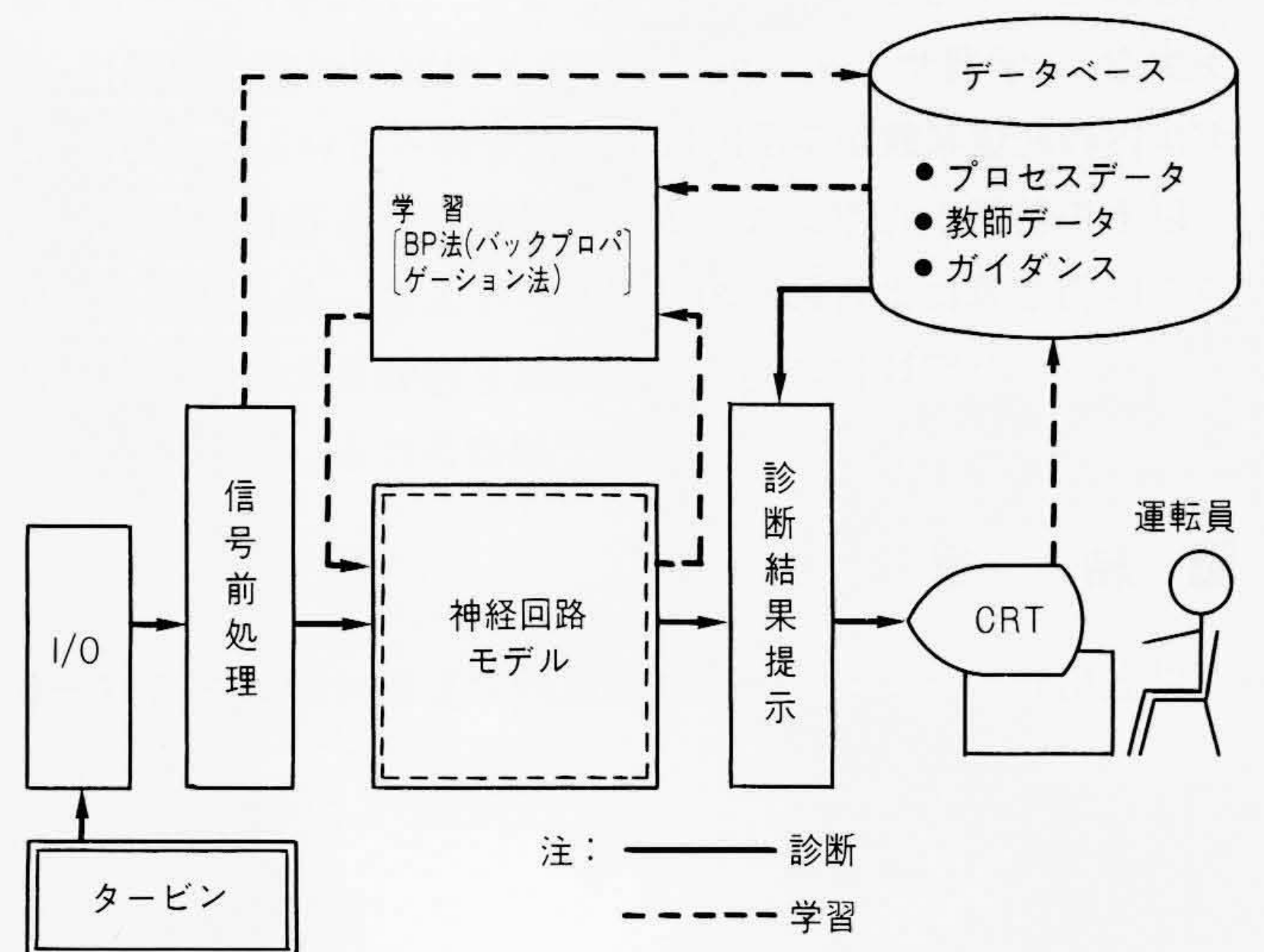


図8 システムの機能構成 多数の異常振動波形を学習させた神経回路モデルにより運転中の振動波形からリアルタイムで異常を診断する。

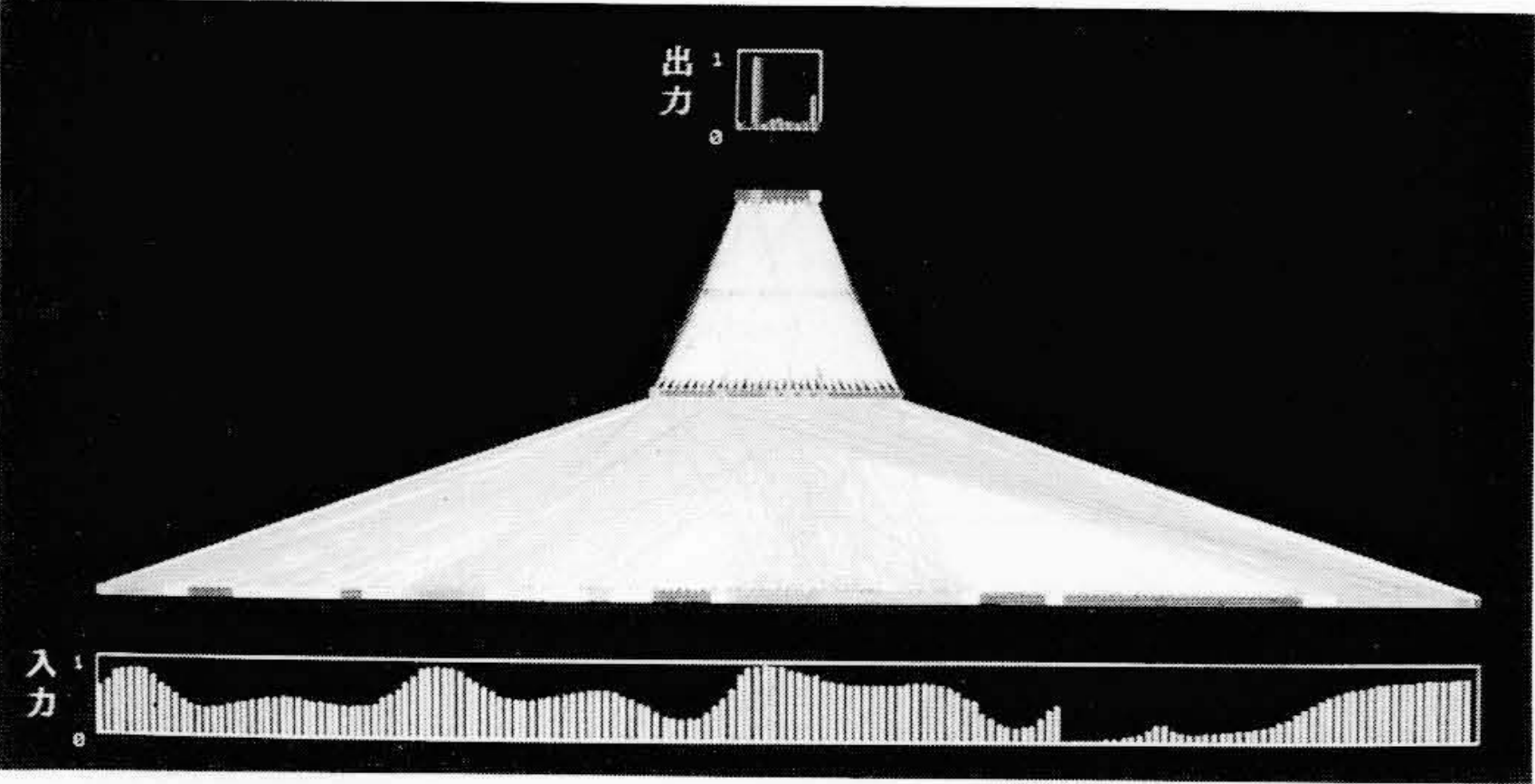


図9 診断時モデル内想起状態のCRT表示例 振動波形が入力されると、モデル内接続状態に応じて出力値が定まる。出力の位置と大きさが原因とその確信度を示す。

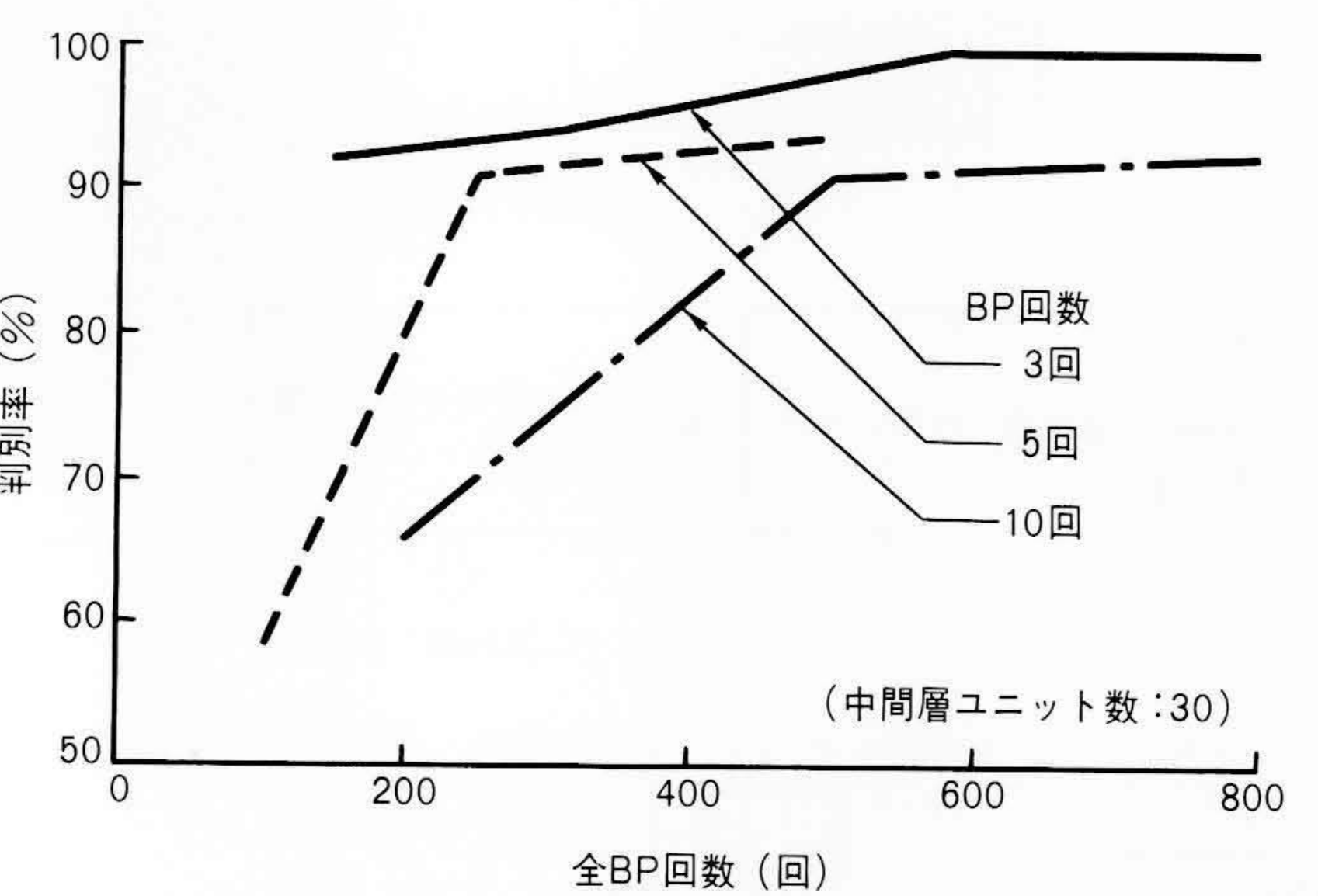


図11 既学習波形の判別率 既学習波形の判別率はきわめて高く、BP回数を少なくし、学習サイクルを増すと効果的である。

BP回数が3回の場合は、全BP回数が600回で判別率は100%となる。既学習波形に対して位相が異なる波形では、図12に示すように判別率は低下する。この問題は信号前処理段階で位相合わせをすることで解決する。また、中間層のユニット数が少なく、学習サイクルが少ないほど判別率が高い理由は、モデル内の記憶状態が空間的に柔軟性を持っているからである。

以上の結果から本システムは、学習による自己成長性、単純な積和演算による診断のリアルタイム性、および波形の類似度に応じた客観性の高い診断情報を運転員に提供できる新しいエキスパートシステムとして期待される。

5 結 言

以上紹介したように、火力発電所でも種々のエキスパート

タービン振動異常診断結果		
現 象	原 因	確 信 度 (%)
3 オイルまたは液体 ホイップ	a すべり軸受の油膜力不平衡 b 水封細隙部の流体力	100
10 正常時の振動	a 異常なし	39
6 スチームホワール	a 翼先端間隙の円周方向不均一 b ラビリンスシール通路寸法不適	2
5 乾性摩擦による ふれまわり	a 回転部と静止部との接触	2
9 クラックによる 振動	a 軸の一部にクラック発生	1

図10 診断結果のCRT表示例 異常振動が発生すると、診断結果は確信度の高い順に整理されて運転員に提示される。

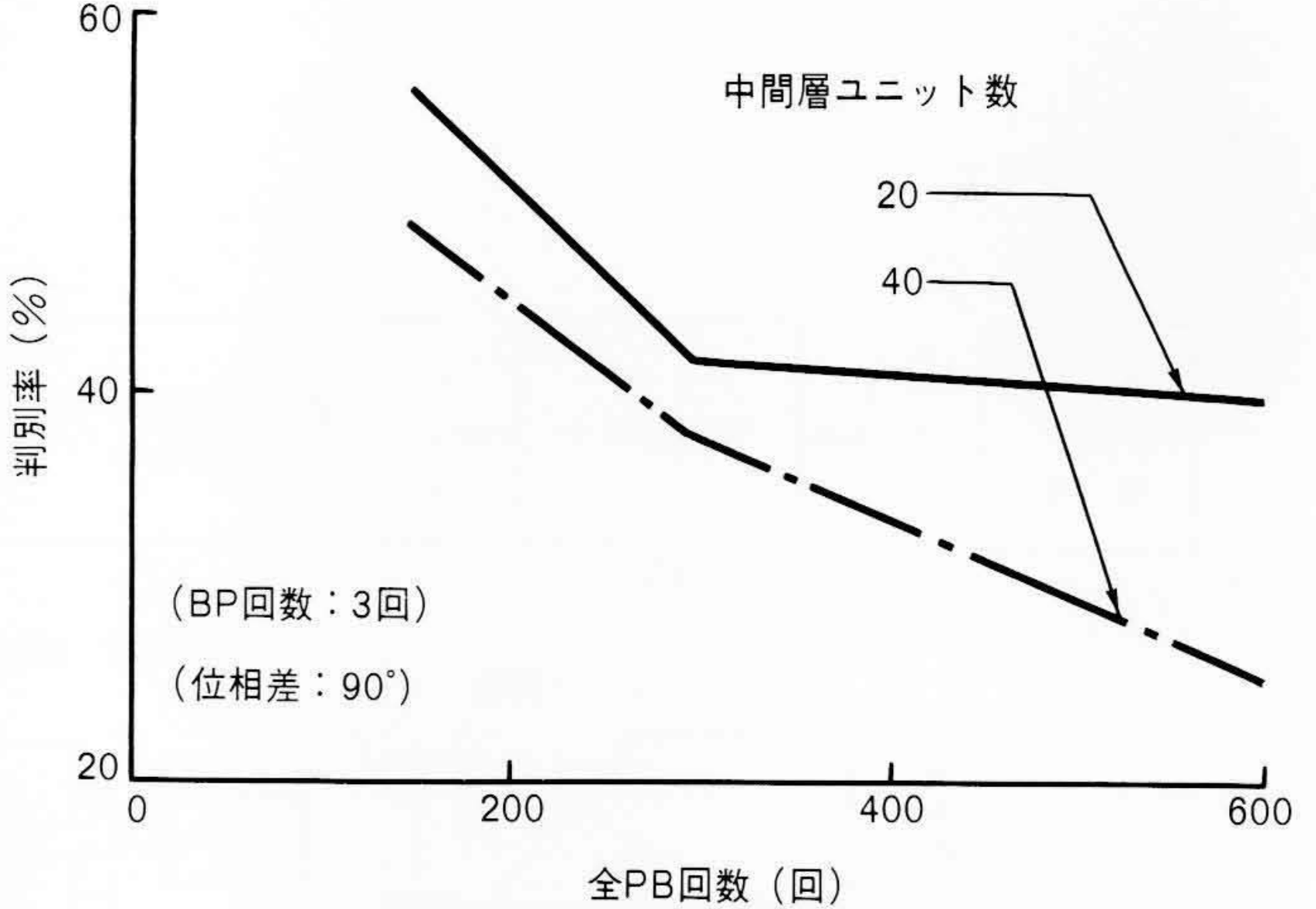


図12 未学習波形の判別率 未学習波形に対しては、神経回路モデル内に空間的柔軟性を持つことが重要である。

システム導入の計画が進められている。エキスパートシステムを真に役だつものとするためには、そこに構築された知識を新たに得られた知識、経験によって順次拡充していくことが肝要である。今後とも知識工学の最新の成果を取り入れ、知識の拡充が容易で真に役だつエキスパートシステムの実現を目ざし、開発を進めていく考えである。

参考文献

- 1) 二川原, 外: 火力発電設備の運転支援システム, 日立評論, 69, 10, 953~959(昭62-10)
- 2) 鍛冶, 外: 火力発電プラントにおける計算機制御システム, 日立評論, 70, 5, 461~466(昭63-5)
- 3) 麻生: ニューラルネットワーク情報処理, 産業図書(昭63-10)