

計測エキスパートシステムと診断への適用

Sensing Expert System and Its Application to Diagnosis System

産業システムの大規模化、複雑化、機能の高度化に伴って、基盤となる計測技術は対象の正確な把握や理解の上で、その重要性がますます増大している。特に診断システムで対象の状態を知ることが必須(す)であり、計測の重要性が高い。

「対象を知る」ためには、対象の特性や計測技術に関する知識が要求され、そのための計測エキスパートシステムが必要となる。計測系をどのように構築し、計測対象といかに接触させるかという設計にかかわるオフライン的支援と、計測対象からの信号を処理し目的とする情報を抽出するオンライン的支援のエキスパートシステムが存在し、必要な知識も異なる。この知識を分類し、計測エキスパートシステムの構成を立案した。また、圧延機診断システムへの適用を試みた。

諸岡泰男* Yasuo Morooka
 中西邦夫* Kunio Nakanishi
 谷藤真也* Shinya Tanifuji
 片山恭紀* Yasunori Katayama

1 緒 言

産業システムの監視・制御システムで、計測機能は対象の状況を正確に把握し理解するための基盤となる機能である。「計測」が「対象を知る工学的行為である」と考えるとき¹⁾、対象に関する知識や計測行為そのものの知識を計測機能は備えていなければならない。対象に関する知識とは感知した信号をなんらかの物理的かかわり合いを利用して処理し、対象の状態を理解する知識である。計測行為に関する知識とは計測系の設計、すなわちどんなセンサを使って、どのようなセンシングメカニズムを組み立て、計測対象とどのように接触させるか、という知識である。このように、計測技術は設計段階から計測行為の段階まで種々の知識を利用し、対象の状態を新しい知識として取り出すシステムである。従来、計測機能は計測対象の単なる測定機能としてとらえていたが、前述したように、計測とは「対象の状況を定量的、定性的に知ること」で、高度な知識処理システムと言える。

ここでは計測エキスパートシステム^{2),3)}として、その知識の持ち方、システムの構成について提案し、計測がもっとも重要となる診断システムへの適用を試み、圧延機診断システムの例を示す。

2 計測システムと知識

計測の過程を機能的に分類すると、センサ、信号処理、認識・理解の三つのサブシステムに区分でき、各サブシステム

ごとに図1に示す知識が要求される。センサおよび信号処理の過程での主な知識は計測システムを構築する段階の知識で、

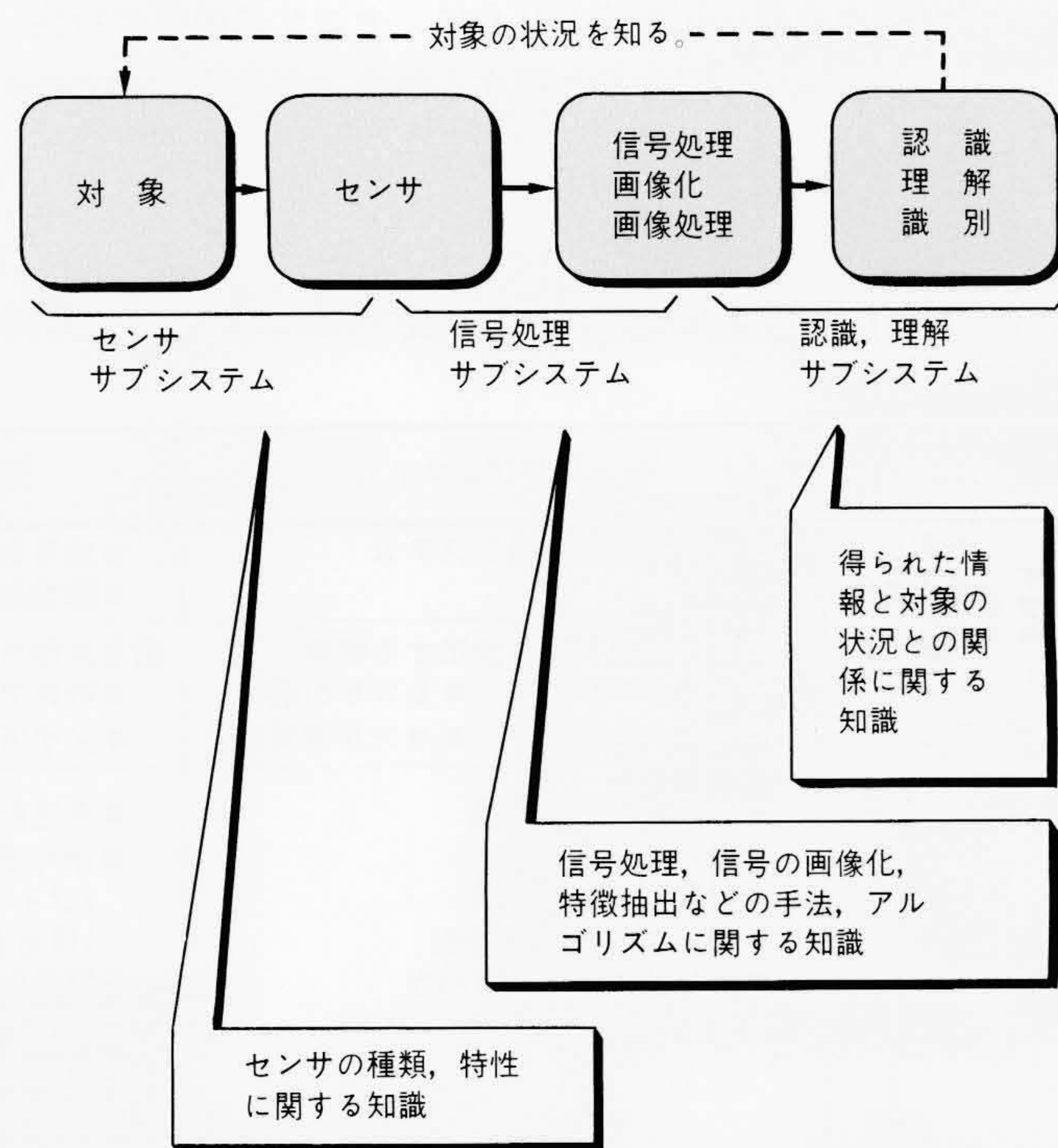


図1 計測システムと必要な知識 計測システムの階層構成と各レベルで必要な主要知識を示す。

* 日立製作所日立研究所

計測の目的、設置環境への適合性などを考慮し、どのようなセンサをどのように構成し設置するか、といった設計知識である。一部信号処理の段階では、対象の状況や特徴に関する知識も要求される。認識・理解の過程で要求される知識は、計測対象を正確に把握するための知識で、センサの特性を周囲環境に適合させることや、対象の構造や状況変化の特徴を把握し、認識・判断・理解するためのオンライン処理用知識と言える。

一般に、産業システムでの計測には表1に示すように3種の信号を計測目的、計測対象の特性に応じて使い分ける。これらの信号種に対するセンサや信号処理、認識・理解の各サブシステムでの処理機能として同表に示す項目があり、いずれの機能を選択し、構成するかがオフラインの知識である。また同表に示す各機能項目は、計測対象を知るためのアルゴリズムであり、オンラインの知識でもある。このオフライン、オンラインの計測システム例、機能および使用知識を整理した例を表2に示す。

3 計測エキスパートシステム

前章で計測システムの機能およびシステム構築のためのオフライン知識と計測実行のためのオンライン知識の例について示した。本章ではこれらの知識を基に、オフライン、オンラインでのエキスパートシステム例を示す。

3.1 計測系設計支援エキスパートシステム

計測対象を正確に把握するために、センサの種類や特性、センサと対象との作用などに関する知識、信号処理、信号の

表1 計測システムの機能マップ 計測システムの処理過程での機能を、信号種別にマップ化したものである。

項目 \ 信号種	ポイント信号	画像信号	音声信号
定義	瞬時値の大きさに意味がある信号	2次元の広がりという意味がある信号	時間波形に意味がある信号
センサ, センシング	熱伝対 放射温度計 ストレインゲージ 圧力計 X線厚さ計 など	ITVカメラ サーモカメラ ホログラム など	マイクロホン AEセンサ など
信号処理	フィルタ ピーク検出 信号合成 信号分離 2次元画像化 など	空間フィルタ 特徴抽出 画像処理 2次元画像化 など	フィルタ スペクトル分析 周波数分析 など
認識, 理解 (計測)	信号理解 物理量認識 状態認識 計測 など	図形認識, 理解 画像認識, 理解 形状認識 物体認識 分布把握 状態認識 など	音声認識 方向識別, 理解 音源識別, 理解 など
応用事例	プロセス制御 機器制御 地質探査 故障診断 医療診断 など	ロボット視覚 文字認識 選別 パターン検査 きず検査 火災計測 監視 プロセス診断 医療診断 など	自然語理解 非破壊検査 音声入力 プラント監視 機器診断 など

注：略語説明 ITVカメラ(工業用テレビジョンカメラ)
AEセンサ(Acoustic Emissionセンサ)

表2 計測段階で必要な機能と使用知識 計測システムの各段階での機能と使用される知識を、オフライン時(設計時)とオンライン時(計測時)に区分して示す。

分類		センササブシステム	信号処理サブシステム	認識サブシステム
オフライン	適用システムの例	●センサ設計支援システム	●信号処理設計支援システム ●画像処理エキスパートシステム	●質量分析システム
	知識を必要とする機能	使用すべきセンサを決定する機能 ●センシング方法 ●センサの選択 ●センサ設置条件 ●センサ使用条件	信号処理方法を決定する機能 ●計測アルゴリズム ●信号回路 ●ノイズ除去方法 ●画像信号処理	対象を知る機能 ●状態認識アルゴリズム ●複数信号の関連 ●信号識別 ●異常認識
使われる知識		深層 ↑ 物理, 化学的知識 ●センシング原理 ●対象に関する知識 ●センサの種類と特性 ●センサの使用ノウハウ ●センサの設計知識 ↓ 表層	●測定対象に対する物理的知識 ●信号理論, 画像処理方法に関する知識 (フィルタ, スペクトル分析 信号合成, 信号分離, 特徴抽出) ●信号処理回路 ●プログラム知識 ●対象の特性に関する知識 ●測定方法に関する知識	●対象に関する知識 ●得られる情報と対象との関係に関する知識
オンライン	知識を必要とする機能	センサ自体の特性を変更する機能 ●補償方式 ●ゲインチューニング	処理内容を変更する機能 ●非線形補償 ●センサ切替え	対象を知る機能 ●異常判断 ●複合信号による判断 ●イメージ認識
	適用システムの例	●オートチューニングシステム ●オートフォーカス	●信号補正	●診断システム ●認識システム ●検査システム

表3 計測系設計時の主な課題 計測系の計測過程での設計課題を示す。この課題を解決するための知識が必要となる。

計 測 過 程	設 計 時 の 課 題
センシング	●センシング方式の選択 ●センサの選択 ●センサ設置法
信号処理	●ノイズ除去法 ●特徴抽出アルゴリズム ●画像信号処理 ●周波数信号処理
認識・理解	●状態認識アルゴリズム ●形状・物体認識, 理解 ●信号識別, 理解 ●異常認識
計測システムの構築	●ハード・ソフト構成 ●性能確認 ●上位処理系との接続 ●システムの設置法

画像化および対象の状況判断モデルなどの手法に関する知識が計測系の設計段階で用いられる。計測系の設計では、表3に示すように、各計測機能段階での設計課題を一つ一つ解決しなければならない。この設計課題を解決するのが上述のオフライン知識であるが、従来は設計者のノウハウとして蓄えられていた。設計自動化を目的に構築した計測系設計支援システムの例を図2に示す。センサベースはセンサの種類、センシング原理、センシング条件などセンサ仕様に関する知識である。アルゴリズムベースは、信号処理過程や認識過程で使用する処理アルゴリズムに関する知識で、ノイズフィルタリング処理モデル、状態推定アルゴリズム、物理現象モデル、画像処理アルゴリズムなどを蓄積している。設計ルールベ

スは計測システムを構築していくためのハードウェア、ソフトウェアの構成法、センサや処理装置の設置条件、上位システムや周辺装置との接続法、マンマシンインタフェースの取り方などを知識として格納している。これらの知識ベースを利用し、センサ設計、信号処理系や認識処理系の設計およびシステム全体の設計を行う。さらに、設計結果を検証するためのシミュレーション機構を持つ。

3.2 オンライン計測システム

計測システム全体の構成は図1に示したが、オンライン計測時の計測エキスパートシステムの例を図3に示す。知識ベースとして計測処理の方法を選択するためのメソッドベースと処理方法を記憶するモデルベースとを持つ。メソッドベースは、対象から適切な信号が得られるように、自己調整する知識を持つセンササブシステム(例えば、画像入力時の照度調節や自動焦点機能)、一つのセンサ情報をほかのセンサ情報で補正する知識を持つ信号処理サブシステム(例えば、温度補正

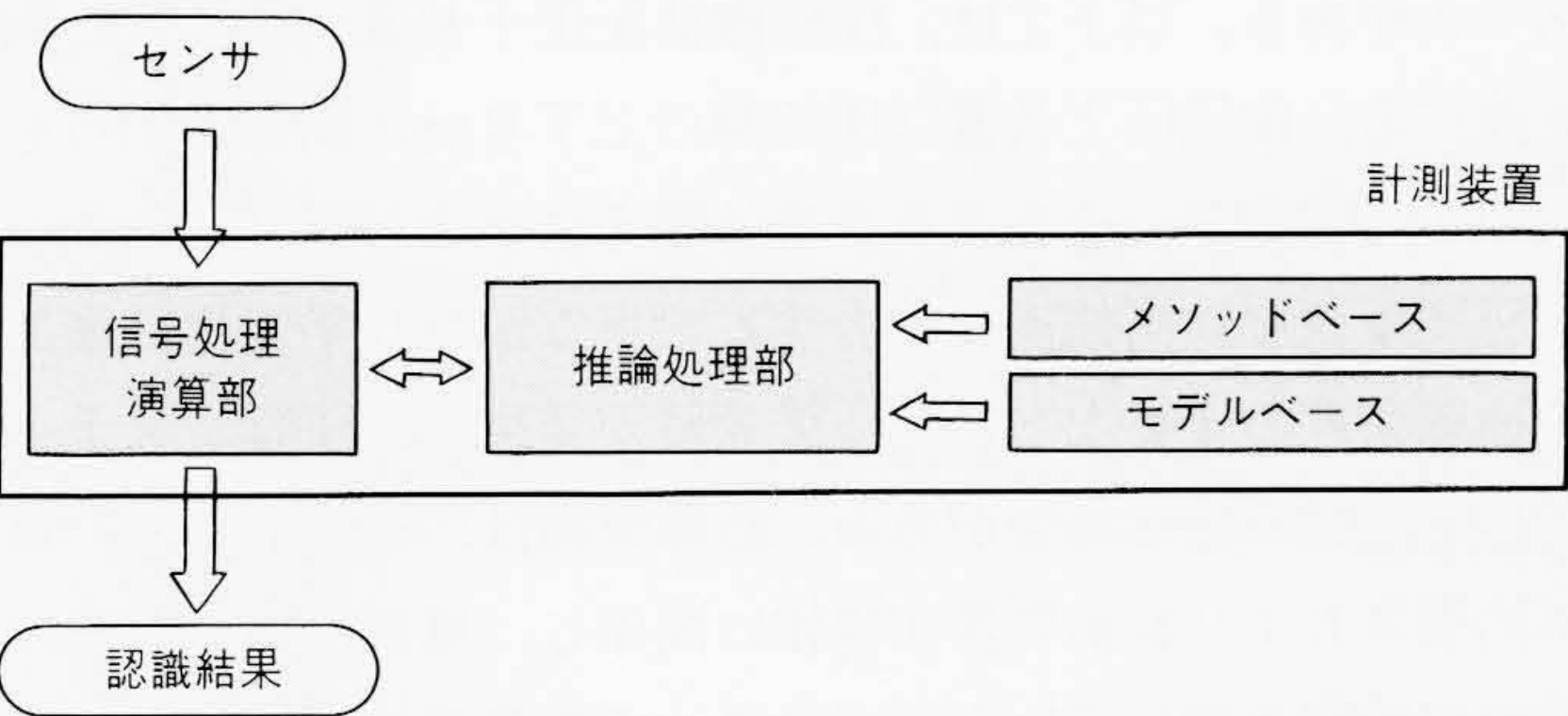


図3 オンライン計測エキスパートシステム 知識ベースとして処理方式を選定するメソッドベースと、処理方法を記憶するモデルベースを持つ。

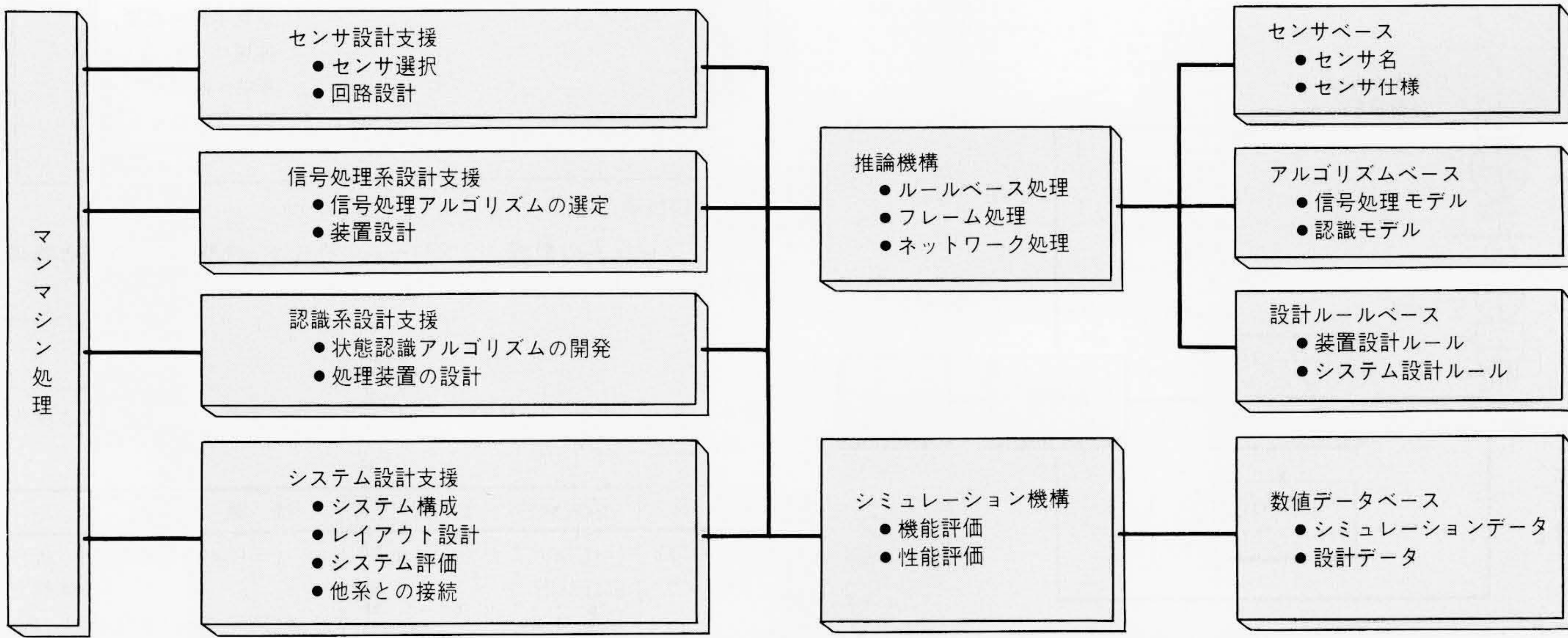


図2 計測系設計支援システムの構成例 計測系の各過程ごとの設計支援サブシステムと、使用する知識ベースおよびシミュレーション評価機構を備える。

や画像計測の特徴抽出など)、および計測対象の特質に関する知識を持つ認識サブシステム(非線形特性など)が格納される。モデルベースは各サブシステムで用いる数学モデルで、物理法則に基づくモデル、実験モデル、信号変換モデルなどのほか、認識・判断を行うためのモデルがある。

メソッドベースは、計測目的に対し何を入力し、どのような処理を行うかの方策を知識化したもので、設計者のノウハウや経験によるところが多く、通常、計測システムの対象ごとに異なる。一方、モデルベースは、センサからの入力信号を処理し計測対象を正確に把握、認識するための処理方法を知識化したもので、メソッドベースで決定された方策に基づき該当するモデルが選択され、推論部および演算部で用いる。したがって、推論処理部は、計測目的や状況に応じて計測処理方法を決定する機能と、モデルによる処理を実行する機能を備えている。

4 診断システムへの適用

上述した計測システムの典型的適用例として、設備診断システムがある。以下では、圧延機油圧圧下装置へ適用した例を述べる。油圧圧下装置は圧延機の上下ロール間隙(げき)を調節する装置で、その基本構成は図4に示すとおりである。油圧圧下装置は高性能なシステムであるが、経年変化、季節的運転条件の変更などによって故障が発生し、圧延システム全体の停止に至る場合がある。故障要因は、機械的要素、電気的要素および制御要素が複雑に関係し、原因解明や復旧に多大の時間を要している。ベテランの作業者は、対象としている装置の構成や動作状態の良否に関する知識と、ある点検結果から次に何を調べ、どのような診断が下せるか、という経験的ノウハウを活用し、効率よく故障診断を実施している。診断エキスパートシステムでは、上記2種の知識をフレーム

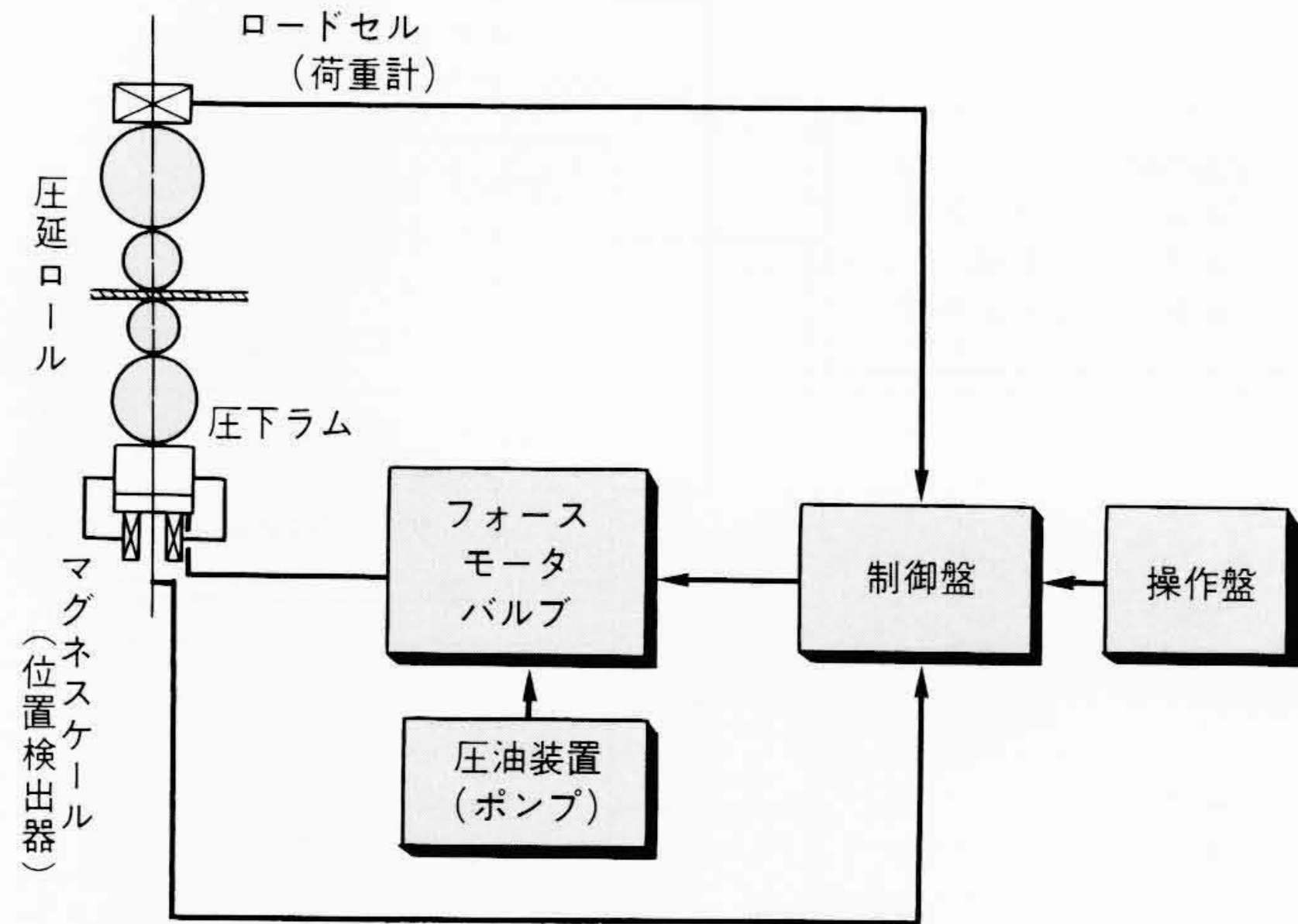


図4 油圧圧下装置の基本構成 油圧圧下装置は、制御盤からの位置偏差信号でフォースモータバルブを駆動し、ロール間隙(げき)を調整する。

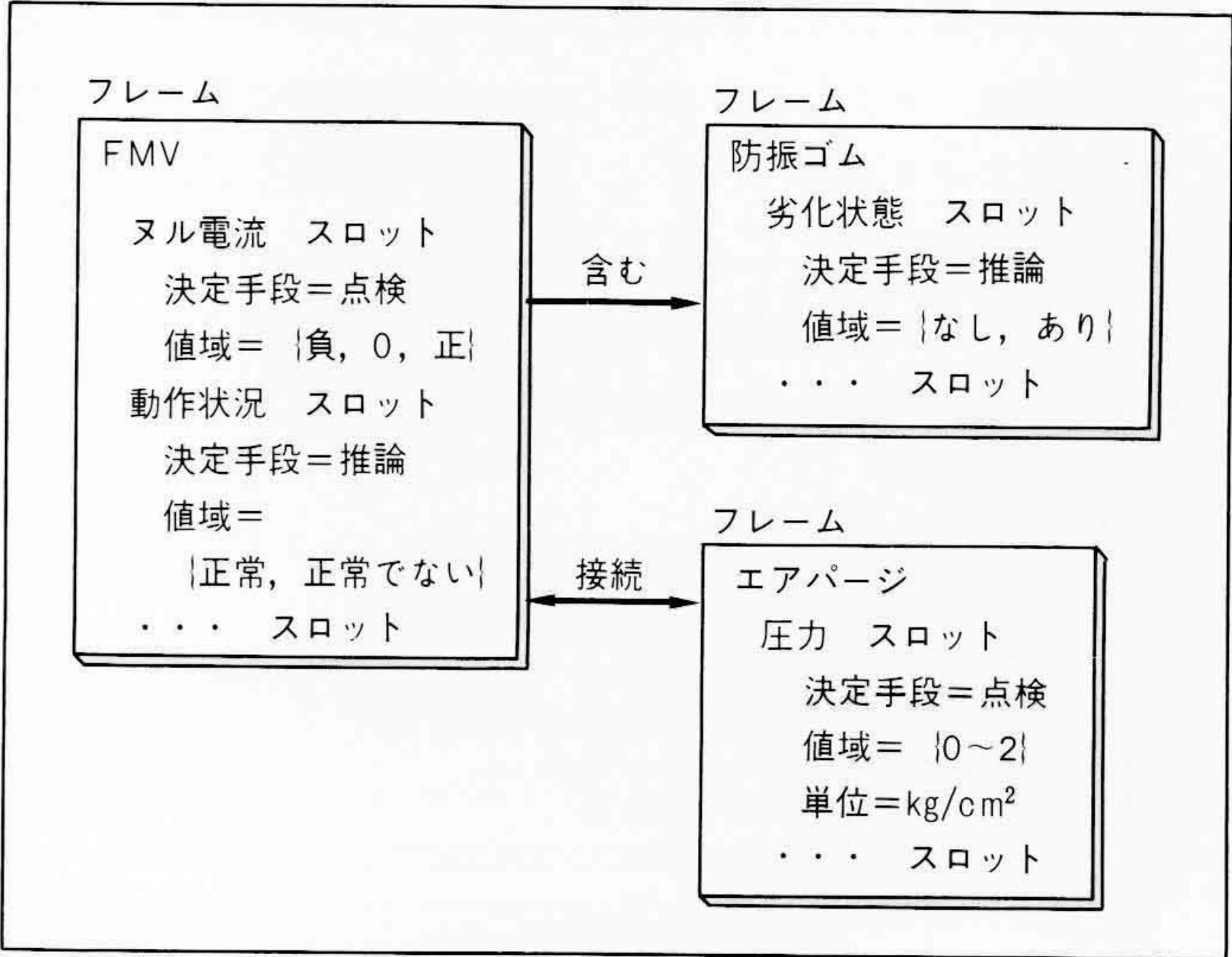
とルールで表現した。

フレームは図5に示す階層構造で、装置・機器に固有な特性、仕様を関連づけて、故障状況や点検項目に対応づけている。例えば、FMV(フォースモータバルブ)の「ヌル電流(圧下系の閉ループを構成したとき圧下装置の機械的中立点のずれにより発生するバルブ駆動電流)」は作業者の点検項目とし、点検結果をデータ入力することを示す。「動作状態」の判断は入力されたデータに基づき推論することを示す。また、防振ゴムはFMVの内部部品であることをフレームの包含関係で示し、ポンプとFMVは接続されていることを接続関係で示す。ルールは装置の開発者や保守員の経験的診断ノウハウを階層的に構成している。装置、機器およびその故障状況が共通するルールをグループ化し、表4に示す構成で知識ベース化している。すなわち、フレームがメソッドベースで、ルールがモデルベースに対応する。以上の知識ベースを基に、図6に示す手順で診断を行う。図7に診断時の表示例を示す。

5 今後の計測制御システム

以上、計測システムのエキスパートシステムと診断への応用について述べたが、知識ベースを基にしており、与えられ

フレームの集まり



注：略語説明 FMV(フォースモータバルブ)

図5 フレームの構成 フレームの集合は、機器の構造関係と接続関係を表すとともに、各フレームは点検方法を内蔵する。

表4 ルールベースの内容 ルールの適用条件、推論方法およびルールの記述について示す。

名 称	適用条件	推論タイプ	推 論 ル ー ル
FMV詳細 チェック	(=FMV 動作状況 正常でない)	前向き	もし (=FMV ヌル電流 負) [条件部] ならば(防振ゴム 劣化状況 あ り 80) [結論部]

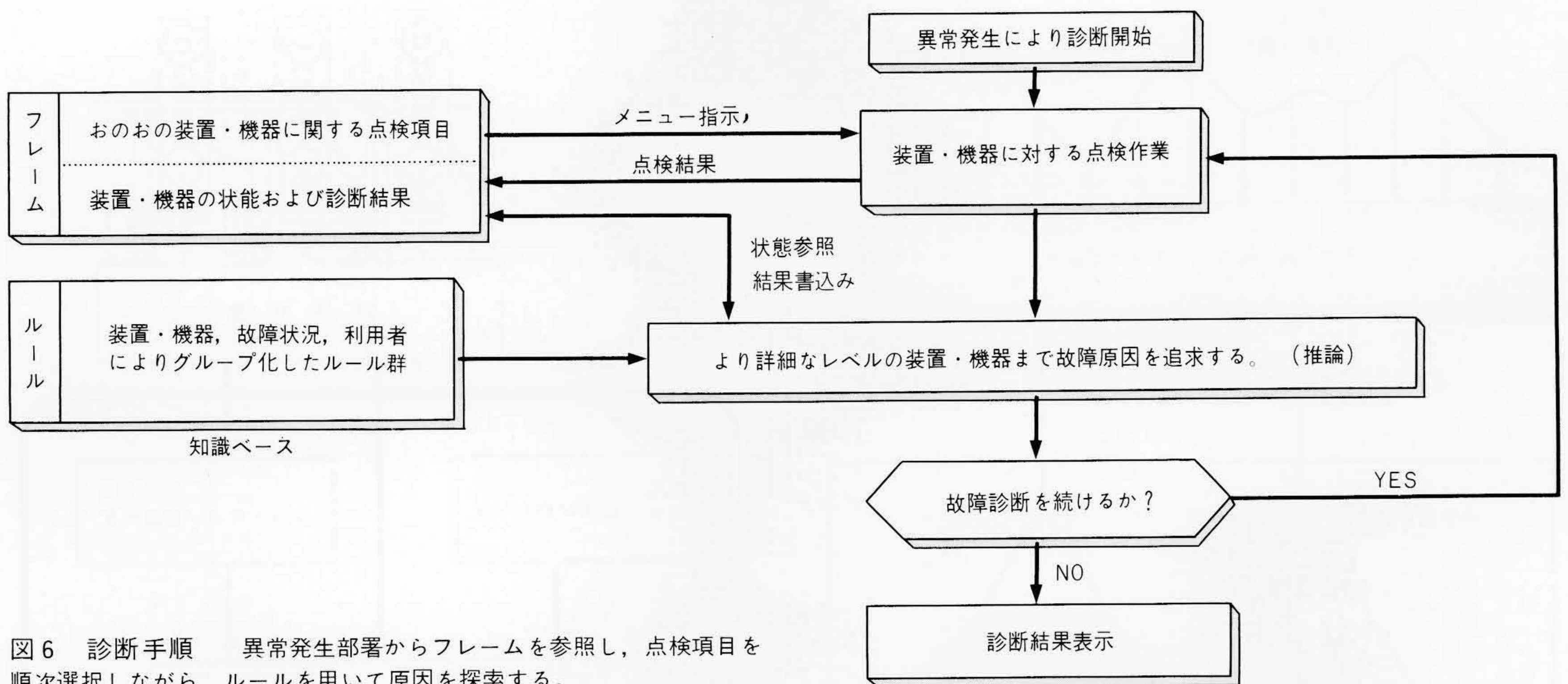


図6 診断手順 異常発生部署からフレームを参照し、点検項目を順次選択しながら、ルールを用いて原因を探索する。

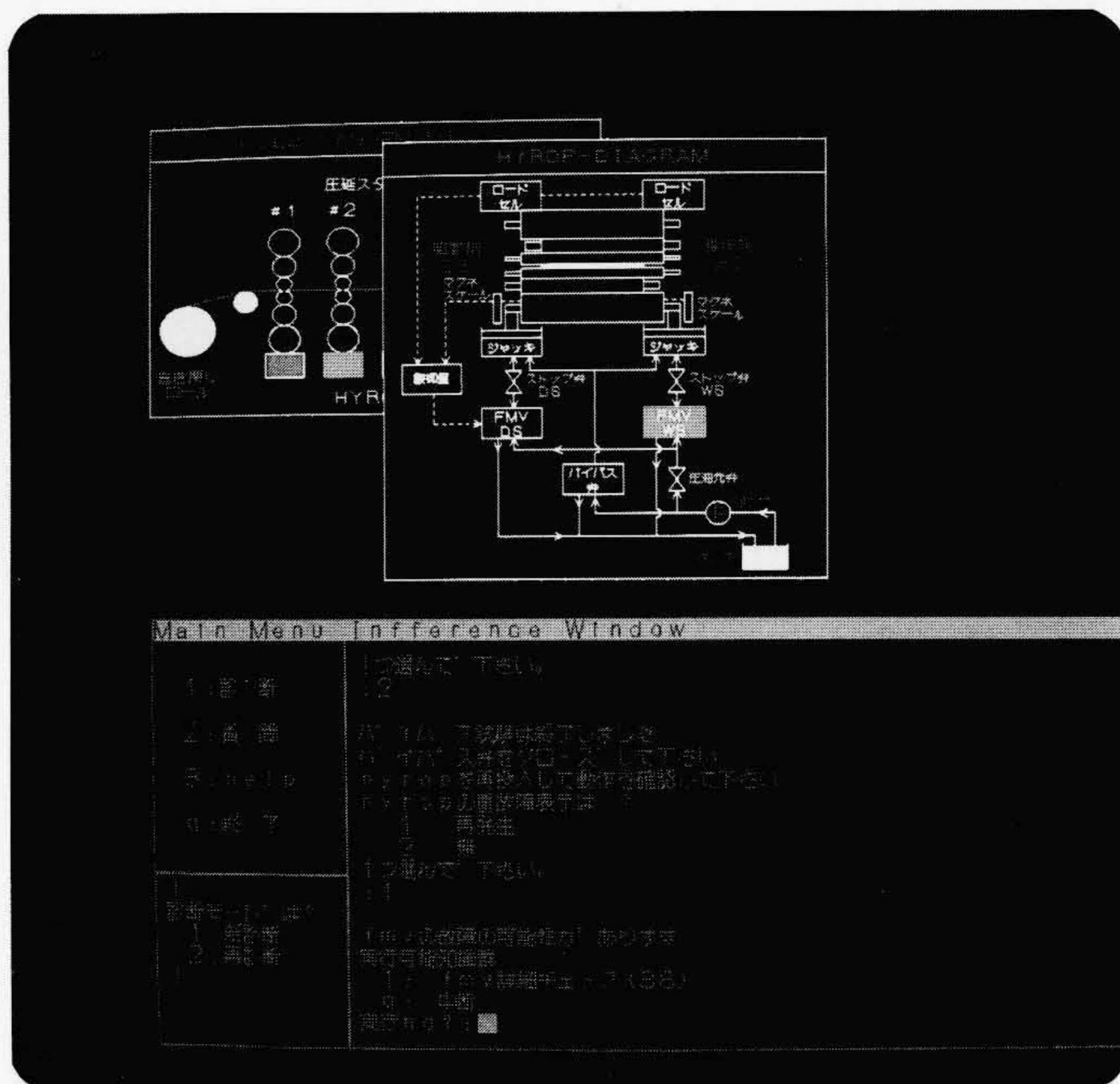


図 7 油圧圧下装置診断結果例 全体の状況から逐次判断しつつフォースモータバルブの異常を推論している。

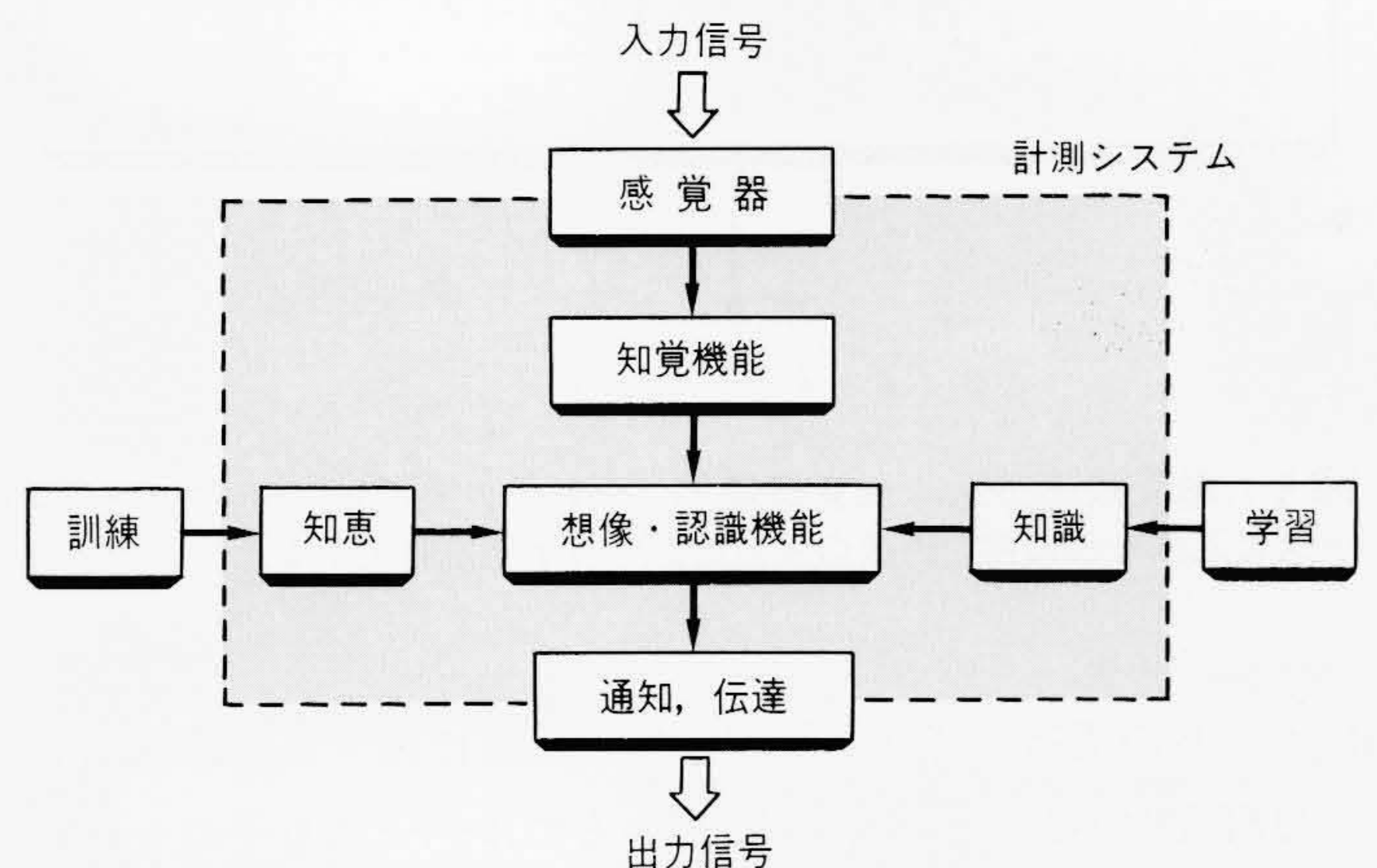


図8 知能システムの構成例 人間の五感と知能を添えた知能化計測システムの機能構成例を示す。

た知識の範囲内での動作となる。したがって、未知の現象や状態に対して推測、想像することは現状では困難である。また、計測対象を光、音、臭(におい)、振動、熱など人間の五感に訴える信号で知覚し、対象の特徴を直感的にとらえたり、不足情報を判断し収集することも今後要求される事項である。このような観点から今後の計測制御システムや診断システムを考察した場合、図8に示すような知能化システムが一つの方向と考えられる。同図で、感覚器は対象の状態を把握するセンサ類であるが、センサ特有のノイズ除去や工業値変換機

能を持つインテリジェントセンサである。知覚機能は人間の五官に相当し感覚器からの信号から対象の状態を意識する作用を持つ。人間の耳や目の機能と同様、時間的に変化する信号や2次元、3次元に広がった分布信号、また複数の信号を同時に処理することがあり、最近話題になっているニューロコンピュータが適用される。その機能は、多量の情報を整理し、抽象化して特徴的な情報を抽出することにある。特徴量は想像、認識機能に入力される。**図9**はベアリングの故障診断で軸受の擦音をニューロコンピュータに入力し、音声波形の周期性、過去の擦音との類似性などをファジィ推論部(認識機能部)に与えている例である。ファジィ推論部では回転機の色度を参照してベアリングの不良度を判定している。

図8の想像、認識機能は人間の脳に相当するが、このとき「組織づけられた判断の体系」を「知識」として、「適切に処理する実践的知識」を「知恵」として持たせている。「知識」

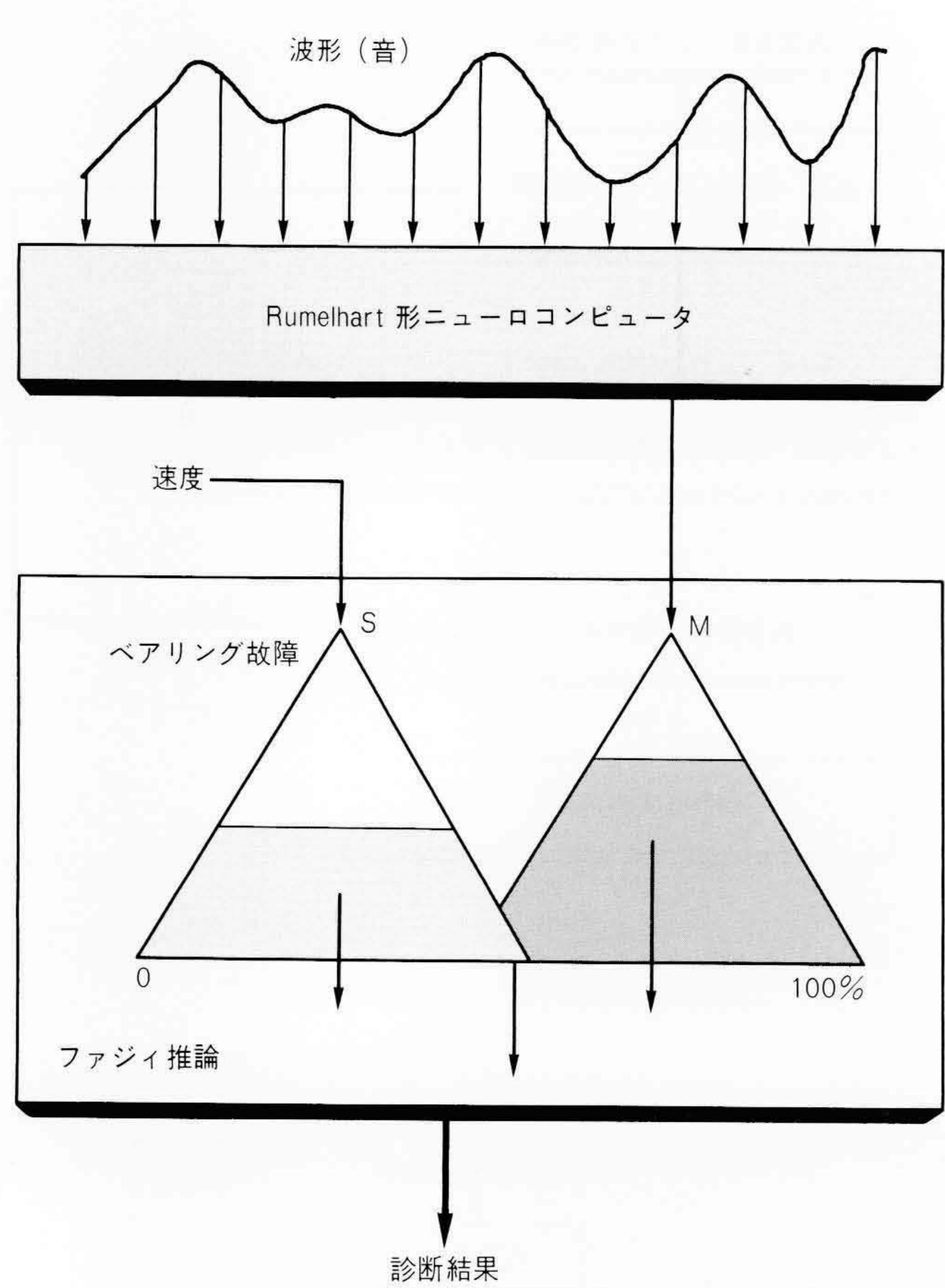


図9 軸受故障診断の知覚機能例 軸受の擦音をニューロコンピュータに入力し、周期、過去の波形の類似度などを判定する。

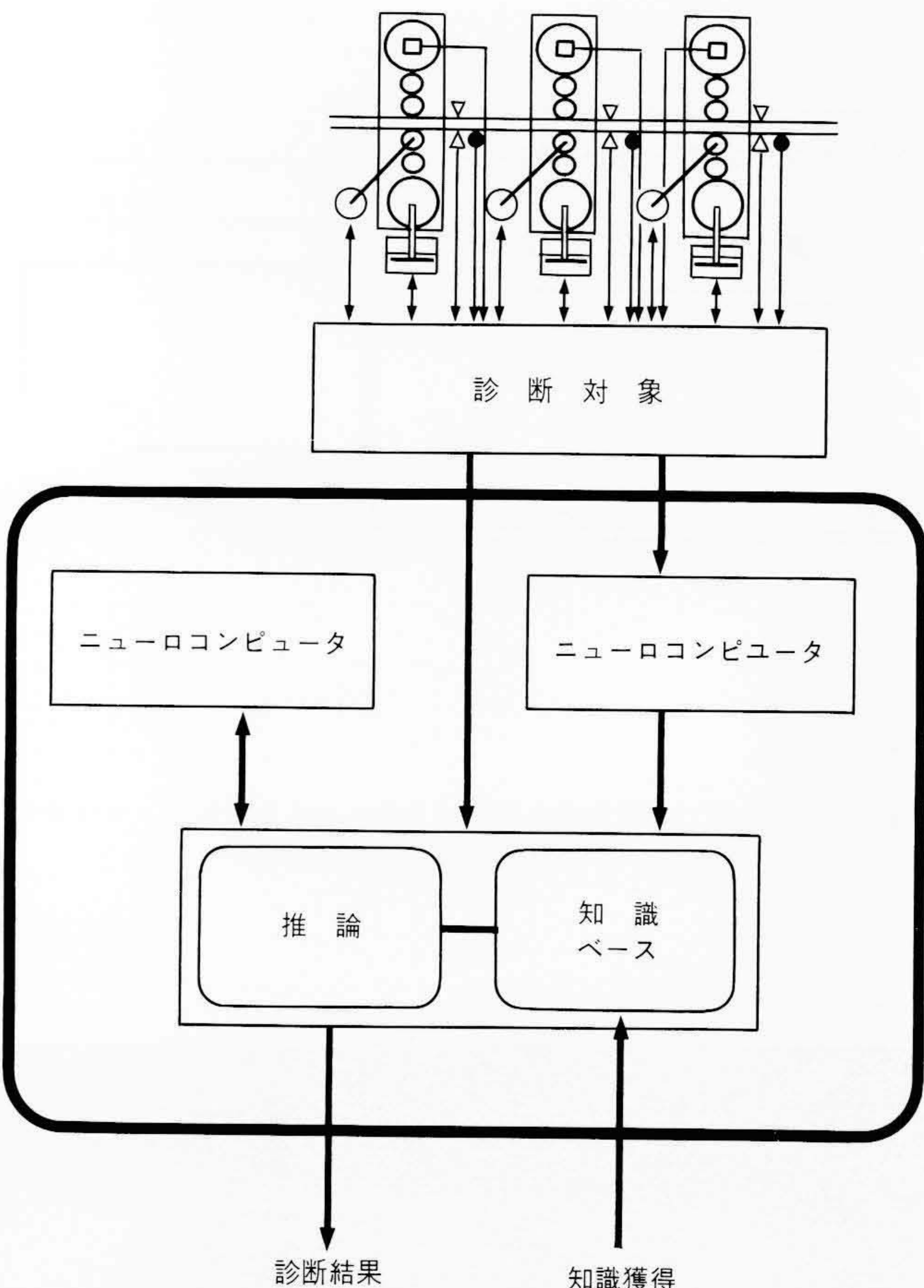


図10 知能形診断システムの構想 知覚処理と方法探索にニューロコンピュータを用い、ファジィ推論で診断するシステムの構想を示す。

はセンサの構造や特性、計測対象の現象に関する基本的特質や原理などの知識で、先の図3のモデルベースもその一つである。「知恵」は計測手法に関することや計測対象の計測経験から積み重ねられたノウハウなどを知識したもので、同図のメソッドベースが一つの例である。このような知識や知恵を用いて計測対象の状況を想像し認識・判断して理解するために、従来のルールベースやフレームベースによる処理方法だけでなく、ファジィ推論やニューロネットワークによる意思決定の機能が要求される。

図10はニューロコンピュータを用いた知能形診断システムの構想を示す。診断対象から信号を入力して知覚機能の処理するニューロコンピュータと、計測手法を経験に基づき決定するニューロコンピュータを持ち、これらニューロコンピュータと対話しながら知識ベースに基づくファジィ推論で診断を行う。

以上、計測制御システムの将来像として、人間の知覚、認識の過程をモデル化した知能化システムの構想を示した。

6 結 言

計測システムの構成と各計測過程で要求される知識について論じ、この知識を基に計測システムの設計支援システム、

およびオンライン計測システムの各エキスパートシステムを示した。設計支援システムはセンサの仕様、特性などを格納したセンサベース、計測過程で信号処理を行うためのアルゴリズムベース、およびシステムの構築ノウハウを蓄積した設計ルールベースを持ち、計測目的、システム仕様に基づき最適システムを提示する。また、設計結果を評価するシミュレータを備える。オンライン計測エキスパートシステムは計測方法を知識としたメソッドベースと、信号処理および対象理解のためのアルゴリズムを知識化したモデルベースを持ち、計測対象の状態を入力信号によって推論する。計測エキスパートシステムの代表例として診断システムを取り上げ、圧延機油圧压下装置の診断を試みた。

また、将来の計測システムとして知能化システムの構想を示した。

参考文献

- 1) 北森：電子工業月報，第28巻，第7号，p.10(昭61-7)
- 2) 諸岡，外：電気学会論文誌，Vol.108-D，No.10，p.876(昭63-10)
- 3) (社)日本電子工業振興協会：計測手法に関する調査研究報告書(Ⅲ)，63-M，305(昭63-3)