

火力発電設備の運転支援システム

Operation Support Expert System for Thermal Power Plant

火力発電プラントの運転操作は、計算機やデジタル制御システムによって自動化されてきたが、最近のAI技術の進歩発展に伴い、プラント運用の高度化をねらいとした運転支援システム(エキスパートシステムの応用など)も実用化段階に入ってきた。

運転支援システムは、プラントの高効率運転やプラント異常時の対応操作、あるいはプラントの最適運用といったより高度な運転技術を支援する幅広い機能を持つ必要があるが、ここではそのいくつかの実施例について紹介する。なお、システムに、経験に基づく断片的かつ広範な知識をアルゴリズムとして組み込むことによって、専門家の知識やノウハウを即座に活用することが可能になり、より高度なプラント運転も容易に行うことができるようになる。

二川原誠逸* *Seiitsu Nigawara*
 阿部倫夫* *Norio Abe*
 浴百合雄** *Yurio Eki*
 小河内俊雄*** *Toshio Kogouchi*
 松本 弘**** *Hiroshi Matsumoto*

1 緒 言

火力発電プラントは、エネルギー源のセキュリティ確保政策に基づく燃料の多様化といった燃料事情、また原子力発電プラントの建設増加に伴う中間負荷運用としての最低負荷の切下げ、起動時間の短縮及び負荷応答性の改善といった発電運用事情、更にはプラントの性能向上、稼働率向上及び信頼性向上の要求にこたえるため、プラント運転制御にはより高度な技術が求められている。特に火力発電プラントのような複雑かつ大規模なシステムでは、プラントに異常が発生した場合に多くのプロセス測定量や警報発生状況から異常原因を確実に把握し、その状態に対応した適切な処置、操作を行うために、豊富な知識と経験を持って柔軟に思考し判断する機能が必要とされる。

一方、人工知能の研究から発展した知識工学は、知識処理ツールの開発と並行して、多くの産業分野でその応用技術の実用化が進められており^{1),2)}、固定したアルゴリズムと数値計算を基盤とした従来技術では解決困難な問題も、記号処理と推論機能を持ったこの知識工学の応用により解決が図られようとしている。

このような状況下において、日立製作所は火力発電プラント運用の高度化を目的に、知識工学の一部であるエキスパートシステムを応用するなど運転支援システムの技術確立、及び製品化を推進しており、一部にその成果も現れ始めている。

2 火力発電所の運転支援システム

(1) 運転支援システムの内容

火力発電所での日常業務は広範囲かつ多岐にわたっているが、大別すると、プラント運転、現場パトロール及び運転日

誌作成などの運転業務と図書管理や予実算管理などの管理業務に分けられる。

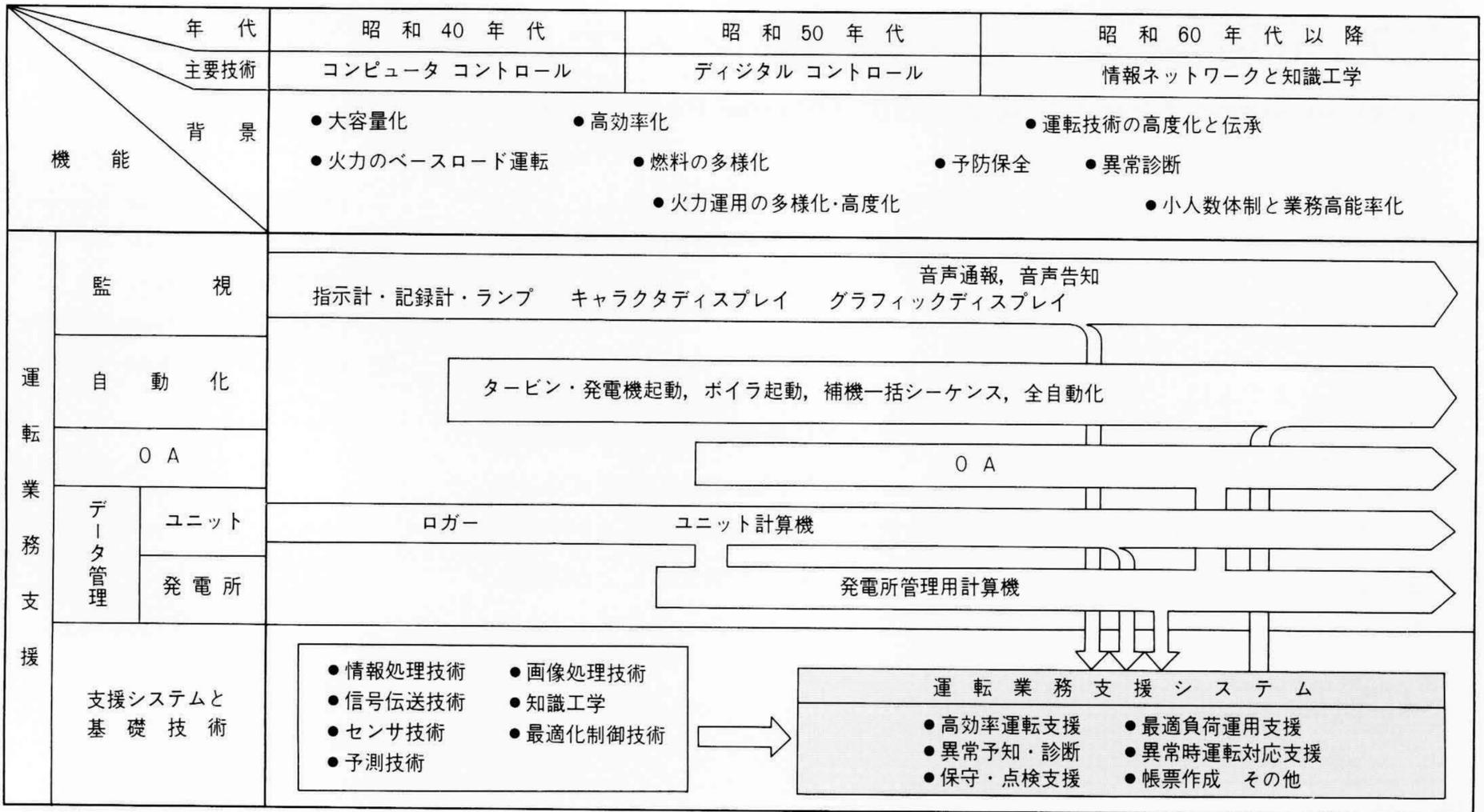
昭和40年代、350MW 1軸機や600MW 2軸機の営業運転開始によって大容量機時代を迎えた火力発電プラントは、その後、我が国の主要な発電方式として現在に至っているが、近年、その運用柔軟性により電力需給ギャップの調整役としてますます重要性を増しつつある。また、40年代後半のオイルショック以降、ユニットの高効率運転や燃料の多様化対応は火力発電運転に高度な技術を要求するものとなった。更に、高度運転技術の伝承や小人数運転体制、迅速な異常診断の必要性などを背景として、運転支援システムに対するニーズが高まってきた³⁾。

運転支援の定義は、現状では必ずしも明確にしにくい面もあるが、知識工学を応用した推論・知識データベースシステムをはじめとして、当面、従来の監視・自動化及びデータ管理機能を改善したシステムや個々の機器異常診断装置も支援システムとして挙げることができよう。図1に運転支援機能と技術の推移を示す。

(2) 日立運転支援システム

日立グループは、ボイラ・タービン・発電機・制御装置などの総合発電機器メーカーとして、火力発電運転支援のニーズにこたえるため支援システムの開発及び実用化に取り組んできている。ユニット全体、又はボイラ、タービンなどのサブシステムの運転や異常を診断する機能例を表1に示すが、これら機能のうちの幾つかは最新ユニットのユニット計算機機能として採用されたり、又は個別装置として既に実用に供されている。また、紹介した例以外に、発電所各種OA(Office

* 日立製作所日立工場 ** 日立製作所大みか工場 *** バブコック日立株式会社呉工場 **** 日立製作所日立研究所



注：略語説明 OA(Office Automation)

図1 運転業務支援機能の推移 運転業務の支援機能は、その時代の最新技術によって継続的に改善されてきた。近年の多様なニーズに対して高度な支援システムが必要となってきた。

Automation)システムも開発中であり、火力発電運転業務支援機能のトータルシステム化を行っている。

次に、これらの中から知識工学を応用した高機能システムと、コンパクトかつ実用的なシステムの幾つかについて紹介したい。

3 ボイラプラントの運転支援システム

ボイラプラント運転支援システムでの実施例を以下に紹介する。

3.1 ボイラ伝熱面汚れ診断システム

石炭燃焼ボイラでは、多品種の石炭が使用されるようになり、このため炭種による伝熱面への石炭灰の付着量が異なり、スートブロワをあらかじめ決められたサイクルで起動させる従来のシーケンス制御では、最適な運転ができなくなっている。このため、伝熱面の汚れ状態、注水量、再循環ガス量の変化などを考慮した総合的判断により、最適スートブロワ箇所を自動的に決定するボイラ伝熱面汚れ診断システムを開発した。

本システムは、ボイラ各部の状態量をもとに火炉部の汚れ度、バンク部汚れ度から成る伝熱面汚れ度を診断し、ボイラ状態指数により最もスートブロワ起動緊急度の高い箇所を決定して、CRT(Cathode Ray Tube)に伝熱面汚れ状態、最適スートブロワ起動位置などをガイダンスするもので、その表示例を図2、3に示す。

現在使用されているスートブロワ制御装置に、本システムの診断情報を送り最適自動運転を行うことができる。なお、

本システムによりボイラ効率維持、ボイラ運転の安定化、信頼性の向上、スートブロワ運転コストの低減、省力化などが期待できる。

3.2 ボイラ起動管理システム

従来、ボイラ厚肉部の内外壁温度差、流体温度、圧力などからボイラの寿命消費量を演算し、余寿命管理情報をCRTに表示しているが、本システムはボイラ起動、停止時の熱応力を考慮してボイラの各種プロセス操作量の最適化を行うとともに、タービンバイパスなどの起動バイパス系統からの損失を最小にする機能を持ち、そのシステム構成は図4のようになっている。これによって、炭種に応じたミルの最適投入やボイラ入熱量の安定を図るなど、ボイラの最適起動制御が可能になる。

3.3 バルブリーク モニタリングシステム

ボイラ運転支援システムのセンサ技術として、バルブの流体漏れ検出を目的としたAVMS(Acoustic Valve Monitoring System:バルブリーク モニタリングシステム)を開発した。

図5にそのシステム構成を示すが、音響センサによりバルブからの漏れ蒸気量を高い精度で検出することができ、異常の早期発見、保守管理の充実、熱損失の防止などに効果が期待される。

以上述べた支援システムは、早期実用化を第一に考えていずれも知識処理機能を搭載しないで実現したものであるが、ボイラ起動管理システムは知識処理機能の導入によって機能の拡張が図られる。

表1 日立運転支援システムの機能 日立グループは、総合発電機器メーカーとして運転業務支援システムのトータル化に取り組んでいる。

機器区分	項目	概要	機器区分	項目	概要	
ユ ニ ッ ト	最適起動スケジュール計算	プラントの状況にマッチした適切な運転スケジュールの立案を行うとともに、スケジュールのずれを監視し異常発生時に要因推定、対応策提示を行う。	タ ー ビ ン	タービン性能診断	抽気点間の段落の内部効率を計算し、出力する。また、異常の有無とその原因の判定を行う。	
	ユニット効率計算	発電端効率、送電端効率、タービン室効率、所内率及び負荷率を計算し、プラント性能の良否、プラント性能の経年変化を評価する。		復水器性能診断	復水器清浄度を算出し表示するとともに、ボール洗浄装置の自動起動・停止を行う。	
	制御の進行及び渋滞監視	計算機自動化ロジックやシーケンスマスタの進行及び渋滞監視を行う。		復水器最適真空度運転	復水器真空度、海水温度、復水器出入口海水温度などを考慮し、最適CWP台数又は翼角度の制御を行う。	
	異常時原因推定及び操作ガイダンス	警報発生時にその原因を推定し表示するとともに、警報原因に対する対応操作ガイドを行う。		タービン熱応力監視	高圧ロータ、中圧ロータの熱応力値の計算及び寿命消費量の積算を行う。	
	異常予知及び操作ガイダンス	各種状態値の変化を常時監視することによって異常の発生を予知するとともに、異常発生を防止するための操作ガイドを行う。		タービン発電機振動診断	振動周波数分析の特徴、時間的傾向及び回転数、負荷などの付帯条件の三つの要素に基づく総合的な判定により、異常要因を診断する。	
	現場異常監視	蒸気や油の漏れや火災などの異常検出を音響信号処理、画像処理などにより行う。 (東京電力株式会社と共同研究を実施)		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、ラビング発生箇所を特定する。	
ボ イ ラ	ボイラ性能診断	ボイラ性能及びボイラ付属補機の性能を評価し、プラント性能の劣化原因となっている機器を判定する。	発 電 機	主弁振動・スティック診断	加速度センサにより運転中の弁棒振動異常を検知するとともに、弁開閉時間、ストローク特性及び油圧特性からスティックの初期兆候を検知する。	
	燃焼状態監視 ・炉内火災監視 ・多視野形フレームデテクタ	燃焼調整に関するデータを定量的に計算集積して、表示、記録を行うとともに最適燃焼指標を表示する。		補機最適運転	大形補機の起動・停止回数及び運転時間を積算し、起動回数制限及び運転時間均等化を考慮した複数補機の起動・停止選択に関するガイドを行う。	
		ボイラ炉内のバーナ火災を監視、解析し、燃焼状態を定量的に表示する。		集電環火花診断	スリップリングの火花放電をアンテナにより常時監視し、火花を早期に検知する。	
		多視野形多元的論理判断ロジックを用い、火災の有無を判定する。			過熱検出用微粒子モニター	冷却ガスの微粒子濃度の監視により、発電機内部の過熱を検出する。
	ミル状態監視	ミル状態を総合的に表示する。また、ミルの経時的、経年的状態変化を表示する。		固定子冷却水監視	固定子冷却水中の水素濃度を測定し、固定子冷却水系統のピンホールなどの異常を監視する。	
	ボイラ伝熱面汚れ診断	ボイラ伝熱面の汚れを監視し、スートブロワの自動運転を行う。		発電機水素消費量監視	水素消費量の監視により、水素ガス漏れの有無を判定する。	
イ ラ	ボイラ熱応力監視 ・ボイラ起動管理	ボイラ起動時及び負荷変化時、ボイラ厚肉部に発生する熱応力とそれに伴う寿命消費率を計算し、ボイラの寿命管理を行う。 熱応力値を規定値内に抑え、しかも最短で起動するための燃料量、バイパス弁開度を求め予想カーブ、予想燃料消費量などをガイドする。	機	回転子巻線層間絶縁監視	巻線電流と巻線回数との積に比例する漏れ磁束をサーチコイルで検出し、その減少により層間絶縁異常を検知する。	
	補機最適運転	大形補機の起動・停止回数及び運転時間を積算し、起動・停止回数制限及び運転時間均等化を考慮した複数補機の起動・停止指標を表示する。		変 圧 器	変圧器過負荷監視	変圧器の電流、巻線温度の異常及び巻線温度の規定値超過時間積算により、変圧器の過負荷を監視する。
	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発生時、プラント状態の変化を予測し、更に運転員がとるべき対応策を表示する。				
	現場異常監視 ・バルブリークモニタ ・チューブリークモニタ	流体が弁座を通過するときに発生する音響を加速度センサを用いて検出し、弁リークと概略リーク量を推定する。				
チューブリーク時に発生する音響を検出し、リーク発生位置の特定と概略リーク量の推定を行う。						

注：略語説明 CWP(Circulating Water Pump)

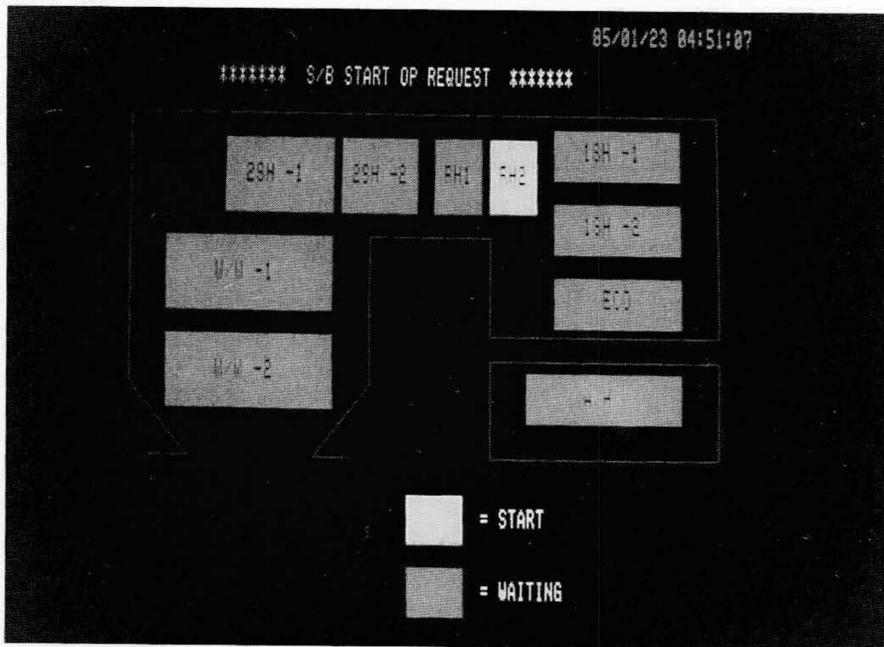


図2 スートブロワ箇所表示例 スートブロワを作動させる位置の色を変えて表示する。

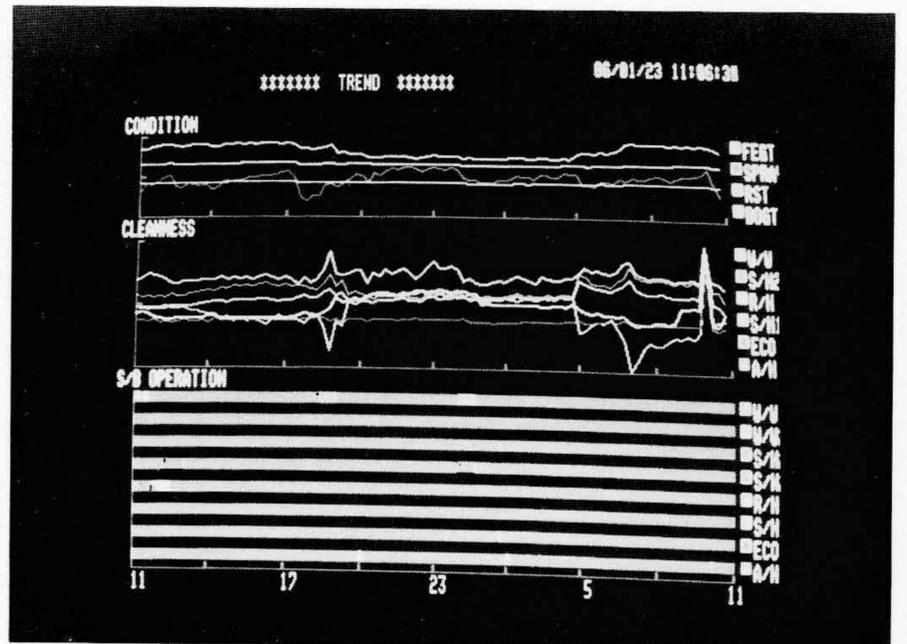
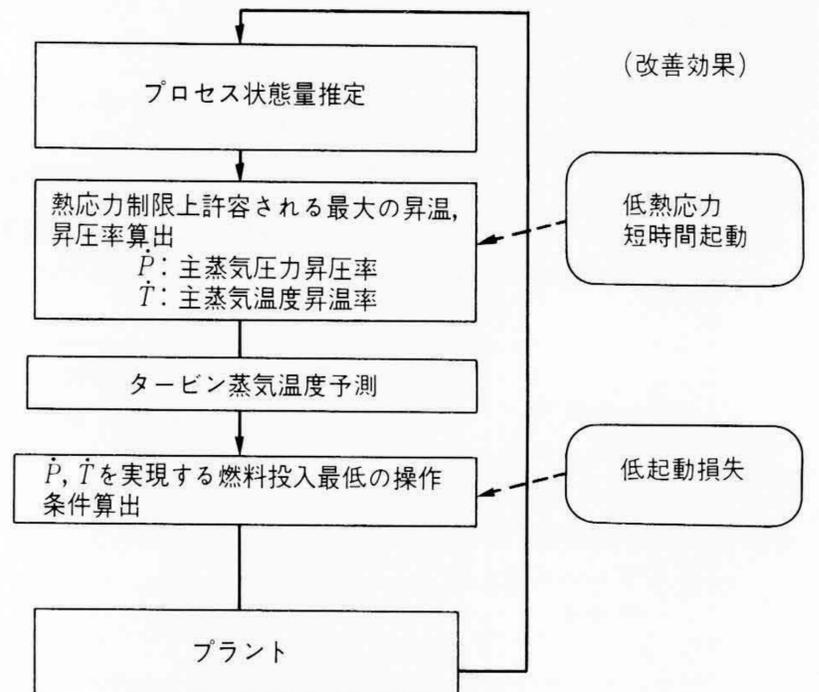
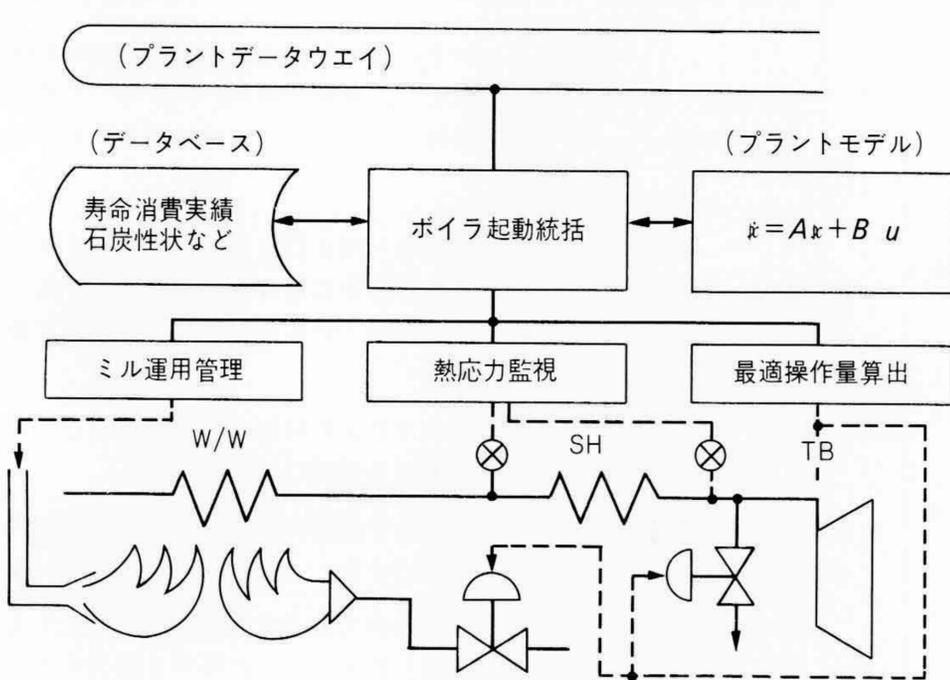
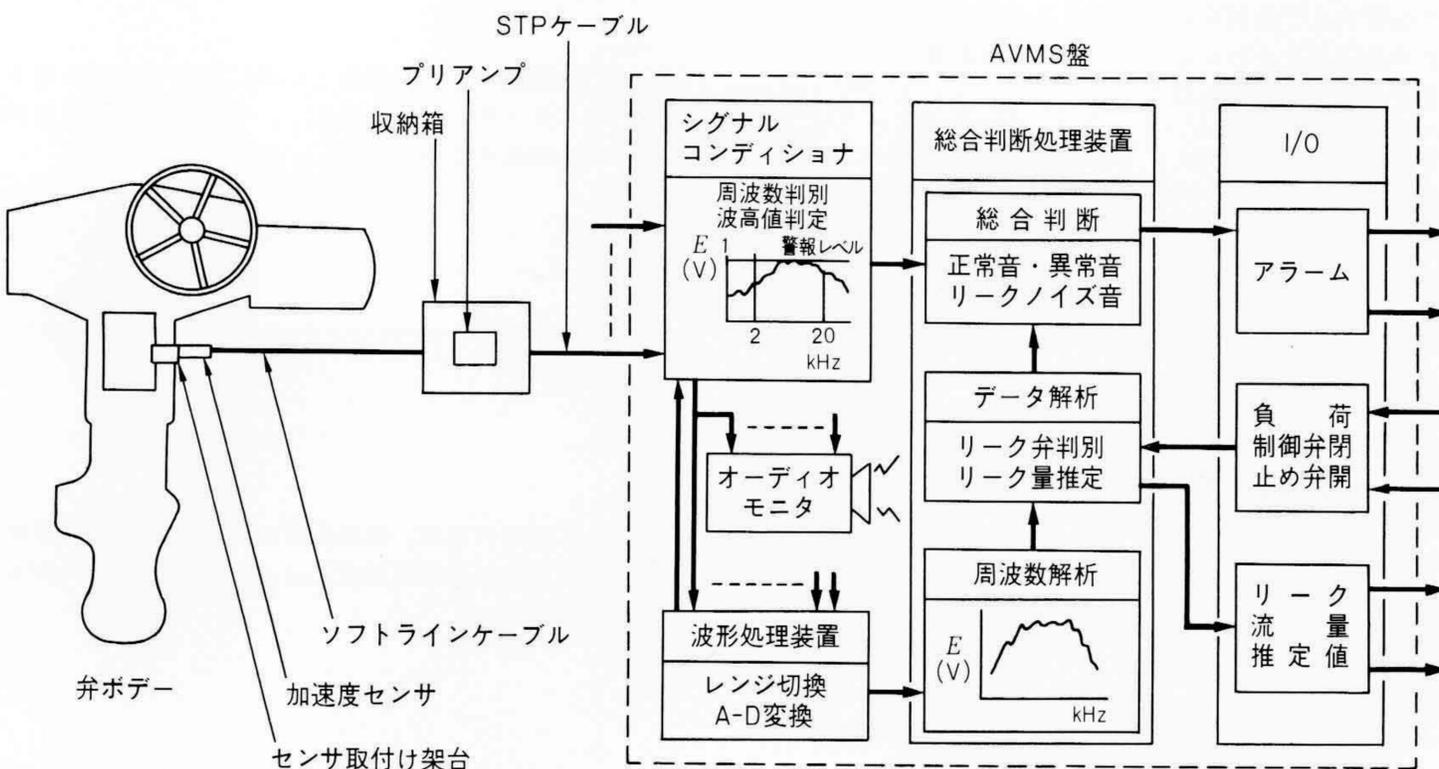


図3 ボイラ汚れ度トレンド表示例 各伝熱面の汚れ度を24時間分曲線で示すもので、下半分にスートブロワの作動記録が表示される。



注：略語説明 \dot{x} (状態変数変化率), x (状態変数), A (遷移行列), B (駆動行列), u (入力変数), TB (タービン), SH (過熱器), W/W (水壁)

図4 ボイラ起動管理システム構成図 ボイラ熱応力を許容値以内に維持しながら、タービンバイパスなどからの熱損失を最小にする最適燃料量、ミル運用を判断し、起動時間を短縮する。



注：略語説明
AVMS(Acoustic Valve Monitoring System)
STP(Shield Twist Pair)

図5 AVMSシステム構成図 弁に取り付けた加速度センサの信号を周波数解析して、弁のリークを判別するとともに、リーク量の信号を出力する。

4 タービンプラントの運転支援システム

タービンプラントの運転支援システムでの実施例を以下に紹介する。

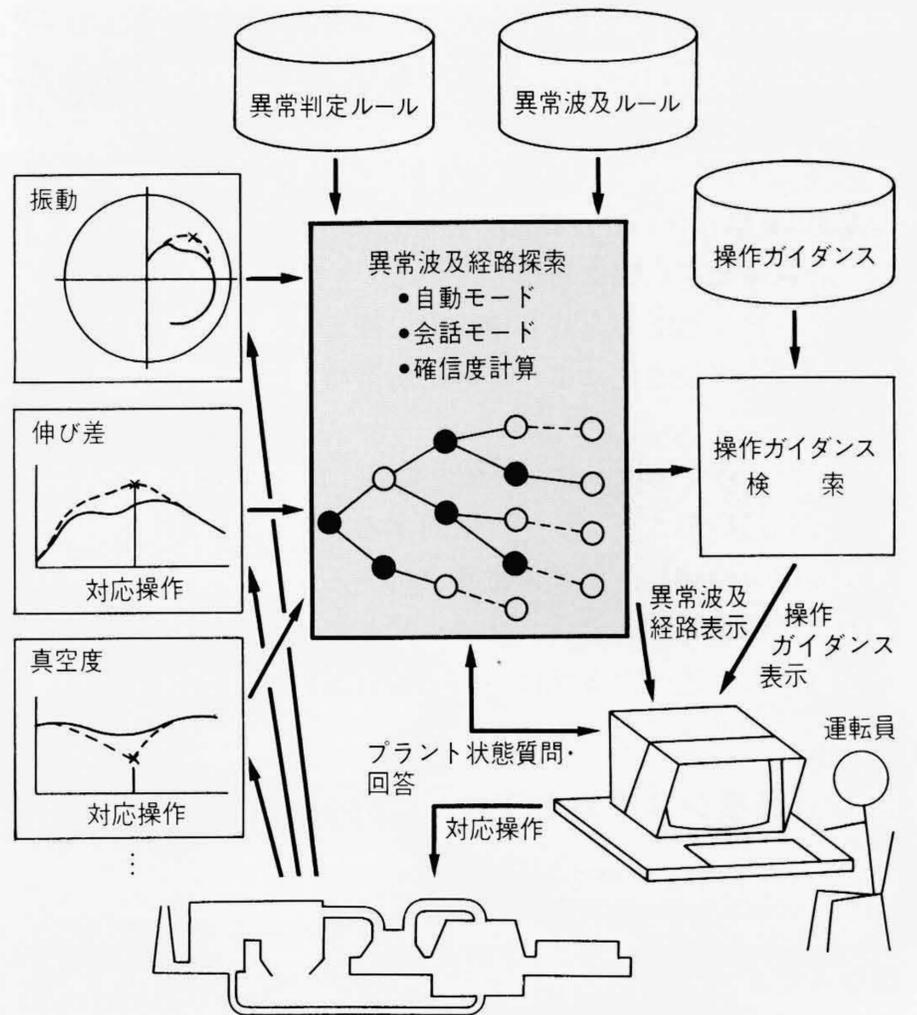
4.1 タービン発電機振動診断システム

タービン発電機の異常は多くの場合、振動の変化、異常音の発生、軸受部の温度上昇となって現れる。図6に示すタービン発電機振動診断システムは、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)信号分析により異常を早期に検知し、また分析した信号の特徴及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。更に、運転員に対して対応策に結びつく判断情報を提供し、運転操作を支援するものである。また、運転監視情報を収録保存し、振動の経年変化の把握により、異常の早期検出に役立てるとともに、試運転時のバランス調整も支援することができる。なお、本システムは将来、知識処理機能の導入が予定されている。

4.2 異常時運転支援システム

タービンプラントの異常発生時での安全性と、運転の柔軟性向上を目的として開発した知識工学応用の異常時運転支援システムは、早期異常検知、要因推定、対応操作について運転員を支援する。図7に示す本システムは下記の特徴を持っている。

- (1) 正常値と実行値の比較及び複数の異常検知レベルを設けた異常監視により、異常予知及び早期異常検知が可能である。
- (2) 計算機入力情報を用いた自動モードによる診断と、運転員からの入力情報を用いた会話モードによる診断の併用により、即答性が高く、精度の高い異常要因の推定が可能である。
- (3) 異常判定ルールと異常波及ルールの分離により、モジュール性の高い知識表現となり、知識ベースの構築が容易である。
- (4) 確信度の高い順に異常波及経路の提示が可能である。
- (5) 異常検知レベル及び異常判定状況に応じた対応操作ガイ



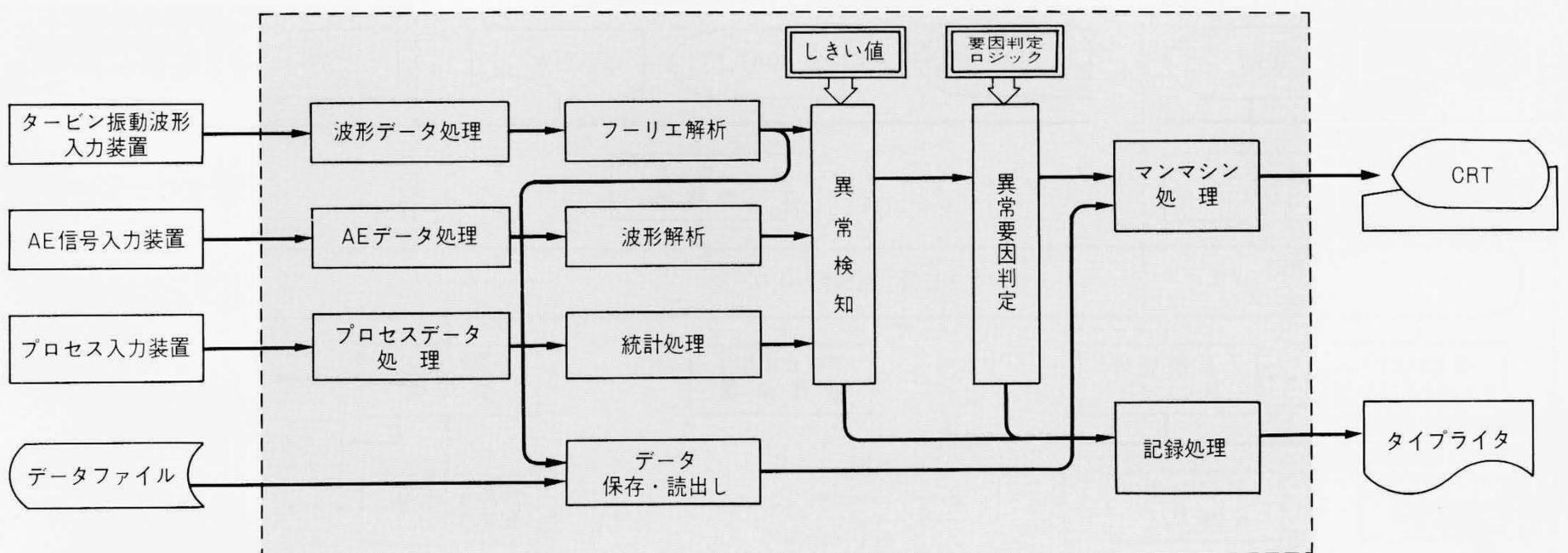
注：——正常値，-----実行値

図7 異常時運転支援システム 豊富な推論機能とマンマシンインタフェースにより、運転員との親和性の高いシステムを実現する。

ダンスの検索と運転員への提示が可能である。

4.3 起動時運転支援システム⁵⁾

プラントの起動時間の短縮、起動完了時刻の高精度化、運転の安全性・柔軟性の向上を目的とした起動時運転支援システムは、起動スケジュールの作成と実行管理について運転員を支援する。本システムでは、運転員が持つ定性的かつ主観的な知識を活用するために、ファジィ推論⁶⁾を随所に適用した。図8に本システムの主要機能である起動スケジュール最適化



注：略語説明 AE(Acoustic Emission), CRT(Cathode Ray Tube)

図6 タービン発電機振動診断システム 振動波形、AE信号のオンライン分析により異常の有無を検知し、その特徴やプロセスデータを基に異常要因を判定する。

の基本アルゴリズムを示す。なお、本システムはシミュレーションにより有効性が確認されており、下記の特徴を持っている。

- (1) プラント動特性モデル(定量的演算)とファジィ推論(定性的演算)を組み合わせた繰返し計算により、スケジュール最適化の計算時間を大幅に短縮している。
- (2) タービン熱応力を許容値以内に抑え、速度及び出力の上昇パターンの最適化により、起動所要時間を大幅に短縮している。
- (3) 起動途中でのスケジュールの変更、再計算が容易である。
- (4) 起動過程でスケジュールに対する誤差が発生した場合、誤差要因を推定し、誤差を最小に抑えるためのスケジュール修正支援が可能である。

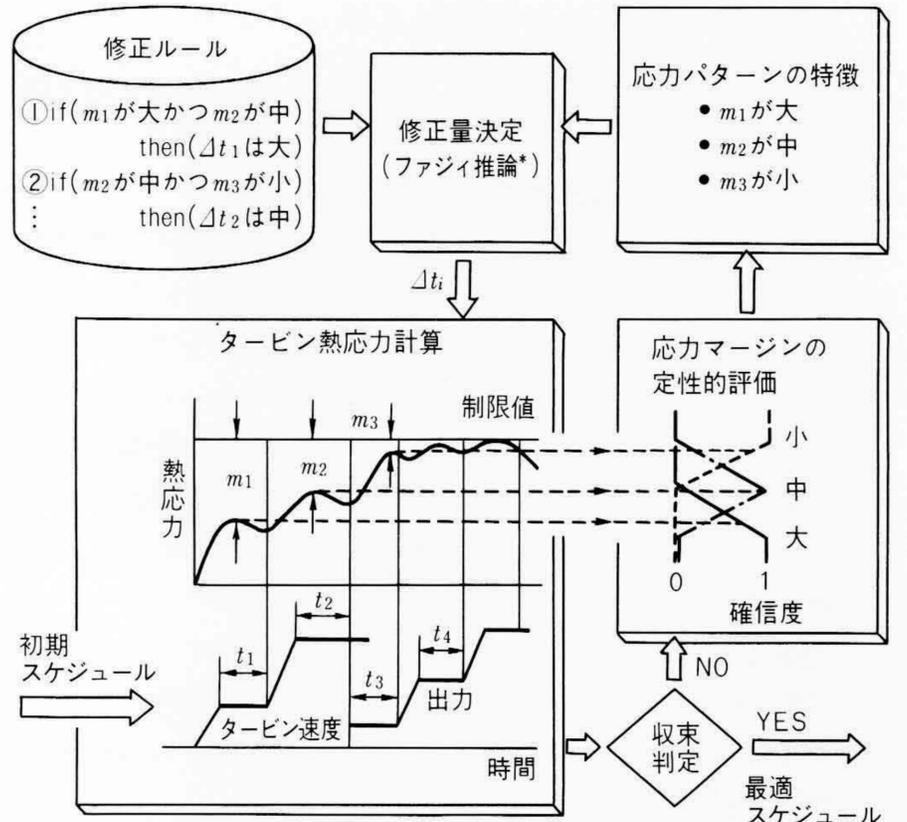
なお、以上述べた3例はいずれも東京電力株式会社との共同研究で推進してきたものである。

5 計算機システムと支援ツール

5.1 ハードウェア構成

運転支援システムは、その機能によりハードウェア構成も異なってくるが、次のような基本的考え方によって構築すべきものと考えている。

- (1) 別に設置されるプラント監視制御装置とはプロセスデータが重複するので、データネットワークを介してデータの共有化を図る。
- (2) 運転支援は推論、シミュレーションなどで演算処理装置を専有することが多く、またその核となる知識データベースは将来にわたって知識の追加、変更がしばしば行われ、しかも運転支援システムのいかなる不具合もプラント監視制御機能に支障を与えるべきでなく、このためユニット計算機と独立な構成とする。
- (3) 運転支援システムの持つ機能によって異なるが、システム構成をボイラ系とタービン系に分離したほうがまとまりが



注：* ファジィ推論(2値論理に基づく推論と異なり、あいまいさを定義できるファジィ集合に基づく推論で、エキスパートの主観的・定性的知識を活用するのに適している。)

図8 起動スケジュール最適化アルゴリズム ファジィ推論では、応力パターンの定性的特徴からスケジュールパラメータ t_i をどのように修正すべきかを推論し、最適値求解の収束性を高めている。

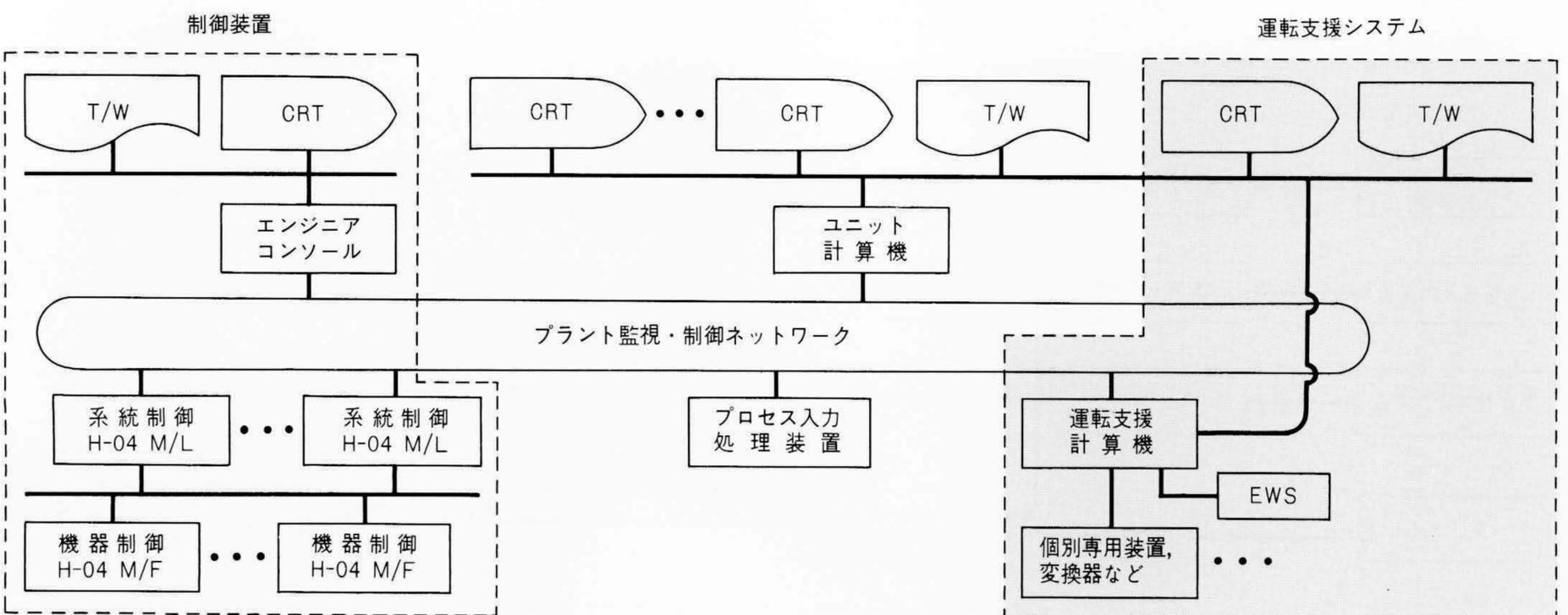
よい場合がある。

- (4) 情報表示などのマンマシン機能は、ユニット計算機のそれと共有させることによって、システム構成がシンプルになる。

以上のような考えに基づき、システム構成例を検討したのが図9である。

5.2 ソフトウェア

今後の火力発電プラントの運転支援システムでは、従来の



注：略語説明 T/W(Typewriter), CRT(Cathode Ray Tube), EWS(Engineering Work Station), H-04M/L(HISEC-04M/L(コントローラの形式)) H-04M/F(HISEC-04M/F(コントローラの形式))

図9 火力運転支援システムのハードウェア構成例 運転支援システムは、プラント監視・制御ネットワークを介して構成されている。

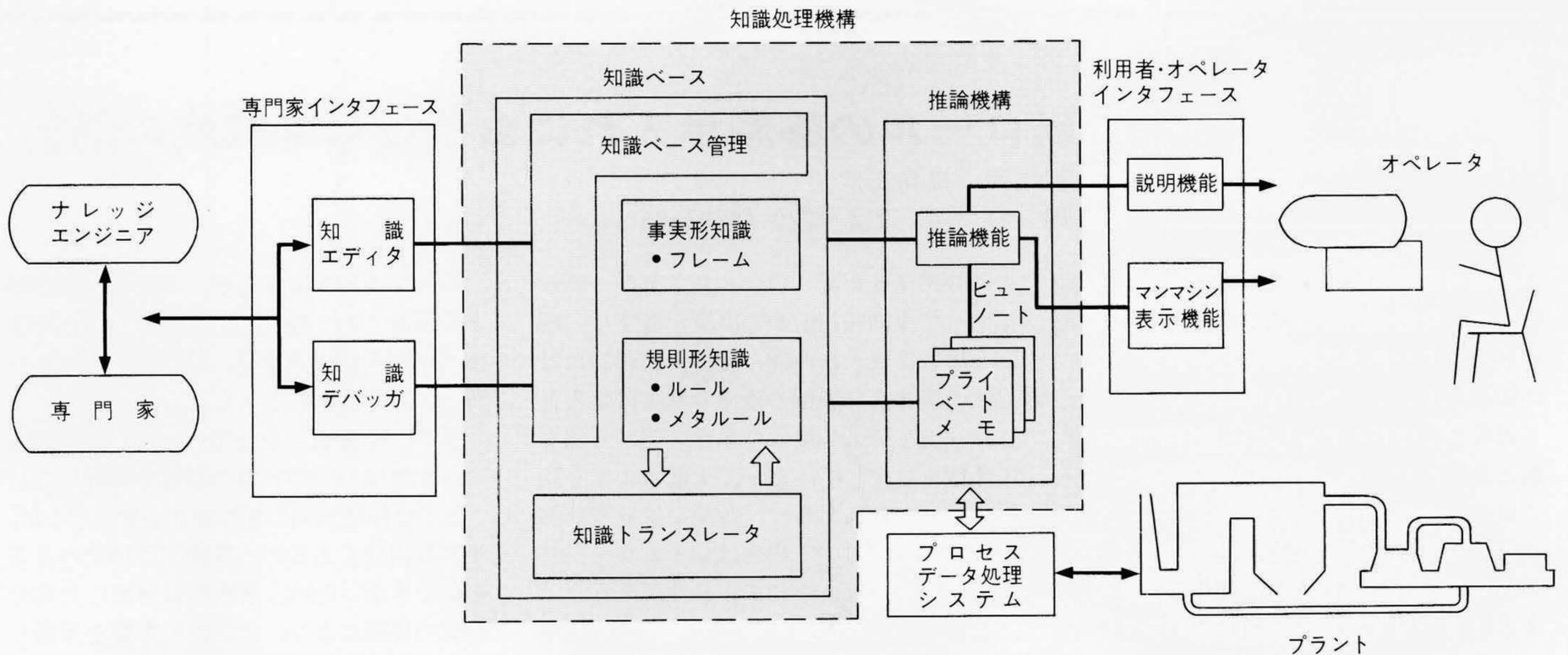


図10 エキスパートシステム構築ツールの構成 EUREKA-IIは、推論機構、知識ベースを中心として専門家インタフェース、オペレータインタフェースで構成された知識処理支援ツールである。

ユニット計算機やその他の制御装置が行っていた自動化機能にみられるような定形化されたアルゴリズムと異なり、実運転によって得られるデータによってアルゴリズムを改訂・拡張する必要が出てくる。また、断片的で非体系的ではあるが高度な運転に必ず(須)な専門家の知識を手続形言語では表現が難しいことがソフトウェア製作上の特徴として挙げられる。したがって、従来の計算制御技術の単なる延長では今後の運転支援システムの実現は困難であり、計算機の高度利用を目的として発展した知識工学(エキスパートシステム)を応用する必要が出てきた。エキスパートシステムを容易に構築するには、推論部、知識獲得部、マンマシンインタフェース部を標準化し、知識データベースを変えるだけで種々のアプリケーションに対応できるエキスパートシステム構築ツールが必要になってくる。このようなニーズにこたえるため、日立製作所は運転支援を目的としたソフトウェアツールとして、オンライン処理系との結合性及びリアルタイム処理性に優れた日立制御用コンピュータHIDICエキスパートシステム構築ツール・EUREKA-II⁷⁾を開発した。

EUREKA-IIの機能構成を図10に示すが、このシステムは次のような特徴を持ったツールであり、産業分野で広く使われ始めている。

- (1) 知識を日本語ふう記述でき、読みやすい知識の記述が可能である。
- (2) 推論機構として前向き、後ろ向き両方の推論機構を持ち、システムに適した推論機構の選択が可能である。更に、確信度によるあいまい推論も可能である。
- (3) 推論実行時、事実形知識としてプロセスの現状データや演算処理結果のデータを扱うことができる。
- (4) 知識の入力、デバッグ用としてマンマシン性の高い知識エディタ、デバッガが準備されている。

6 結 言

火力発電プラントの運転を技術支援する運転支援システムとして、高効率運転のためのボイラ伝熱面汚れ診断、異常診断としてのバルブリークモニタ、振動診断、更には異常時運転ガイド、また最適運用のための起動時運転支援の実施例について述べた。ここに紹介したシステムは既に実用に供し成果の出ているものもあるが、運転支援システムとしては非定形情報の知識とノウハウをいかに知識データベースとして確立していくかにまだ多くの課題が残されている。

なお、運転支援システムはユーザー、メーカー双方の知識情報の集合体であり、ユーザーのなおいっそうの協力が必要になってくる。

終わりに、これらシステムの開発に当たっては、東京電力株式会社殿をはじめ電力会社各位から並々ならぬ御指導、御助言をいただいている。ここに深謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 川上, 外: 知識工学の電力, 鉄鋼システムへの応用, 日立評論, 67, 12, 945~950(昭60-12)
- 2) 木口, 外: 知識工学の原子炉への応用, 日立評論, 67, 12, 951~956(昭60-12)
- 3) C.H.Meijer, et al.: On-Line Power Plant Alarm and Disturbance Analysis System, EPRI Interim Report (NP-613)
- 4) 吉田: 大形回転機自動故障診断システムとその適用, 電気計算, 48, 16, p.70~77(昭55-12)
- 5) 青柳: 火力発電プラントにおけるエキスパートシステムの開発動向, OHM, p.29~36('86-12)
- 6) 山崎, 外: ファジィ制御, システムと制御, 28, 7, p.18~22(昭59-7)
- 7) 中野, 外: オンラインリアルタイム用知識処理システム構築支援ツール—EUREKA-II, 計装, 30, 3, p.35~39(昭62-3)



圧延ロールの移動焼入れにおける冷却速度の解析

日立製作所 福島正武

熱処理 27-4, 214~220 (昭62-8)

軸類の誘導加熱移動焼入れ法による表面硬化は、局部加熱が可能で熱処理ひずみが小さく、また内部の残留応力が小さいなどの特長があり広く用いられている。

近年この特長を生かして、直径500mmを超える圧延ロール、特に冷間圧延機用ワークロールの焼入れに応用されるようになったが、圧延技術の高度化が進み、またロール寿命延長の目的から表面硬化深さを深くする要求が強まり、熱処理技術の改善が急務となった。

移動焼入れ法は、従来の方法である定置式の加熱・冷却と比較すると、物理的に熱の移動の状態が異なっている。すなわち定置式の加熱冷却は、ロールなど円柱の表面を介して内部との熱の出入りであるのに対して、移動焼入れ法では長さ方向にも移動する加熱・冷却の境界が存在し、内部への熱の伝導と相互に影響し合う移動境界値問題として取り扱われる。軸類の移動焼入れでは、加熱部と冷却部が境を接しているた

めに移動速度が遅い場合、長さ方向へ熱が拡散して冷却開始前から温度が低下し、極端な場合は焼入れ不能となる。実用的には温度の実測及び各種の条件で実際に焼入れたロールにより焼入れ深さを調べて個々に条件を設定していたが、上記のような品質の改良を行うために、新規な材質及び熱処理条件を検討する場合はシミュレーションによって正確に予測する必要がある。

しかし、この問題を詳しく解析した例は公表されていないため、本論文では円柱の2次元移動境界値問題の数値解法により、冷却速度に及ぼす材料の熱的性質、焼入れ性と移動速度、境界の冷却条件、初温度分布などの諸因子の影響を解析し、最適な冷却条件の予測を行った。

最初に移動境界の定常状態(Quasi-Stationary)の熱伝導方程式の理論解により、材料定数、初期条件及び境界条件を同一として、移動焼入れの基本的な特徴を明らかにした。移動焼入れによると、定置焼入れ

に比べて冷却が遅れるが、材料の熱伝導率との関連である移動速度以上にすると冷却は定置焼入れに近づき、極限ではこれに一致することを明らかにした。

次に、理論式を差分化して実用面で問題になる境界の冷却状態の影響を解析した。ここでは移動方向の境界値が必要となるが、半無限円柱であるため理論的には定めることができないため、解析的に導出した差分公式の係数により、熱拡散の影響を考慮しながら仮の境界を定めた後、正規の2次元境界値問題として正確な数値解を得る方法を考案した。本手法により、実機寸法のロールを例にとり、各種の冷却条件でのロール内部の温度変化を求め、ロール材の焼入れ性と対比して解析した。これにより材料の熱処理特性、冷却開始前の温度分布及び外部境界の冷却条件との関連で移動速度の影響を明らかにすることができ、移動焼入れ条件設定の指針を得た。

赤外発光ダイオードの発光パターン 外観検査アルゴリズム

日立製作所 酒匂 裕・依田晴夫・他2名

電気学会論文誌C 107-8, 737~744 (昭62-8)

赤外発光ダイオードなどの光素子の最終製品検査では、検査員の目視によって発光パターンの外観検査が実施されてきた。しかし、製品の生産性や判定の客観性の面で問題があるため、自動化が強く望まれていた。

本論文は、このような発光パターンの外観検査を自動化することを目的とした画像処理による外観検査アルゴリズムに関するものである。既に画像処理技術を用いた自動外観検査として、プリント基板やフォトマスクの欠陥検査、農作物、機械部品や錠剤の形状検査などが挙げられる。ところが本論文で扱う発光パターンの検査は、これらのものとは幾分趣きを異にしている。それは、検査対象物自身が2値のパターンではなく、不明りょうかつ不定形な濃淡模様

を持つ多値のパターンであることに起因している。そのため、良否判定は、長さや面積などによる判定基準が明確な上記検査とは異なり、検査員の経験的なしかも官能的な判断に委ねられている。したがって、従来の2値画像を扱う手法では対処できず、濃淡の発光パターンからある適切な尺度(特徴量)を抽出し、それを用いて最終的には検査員の判断と一致した判定のできる手法を開発する必要がある。

そのため本論文では、処理の高速性をも考慮しながら濃淡画像処理による新しい外観検査アルゴリズムを提案した。そのアルゴリズムは、2値投影分布から発光パターンの位置を検出する手法とパターン内部の濃淡模様を判定する手法から構成されている。判定手法では、発光パターンの濃淡投

影分布のフーリエ変換係数から成る空間上での、入力パターンと正常パターンとのマハラノビス距離を計算し、それを判定の尺度とした。この手法は、(1)あらかじめ検査員が選んだ良品の分布で正規化された判定尺度を用いているので、判定基準の変更にも柔軟に対処できる、(2)2次元画像データを1次元データに情報圧縮しているため、高速処理に向く、という特徴を持っている。この手法を基本として、更に、発光パターンの明るさや径の異常検出と、濃淡分散値による発光むらの判定も加味して、外観検査アルゴリズムとして完成させた。

最後に、実際の発光パターンを用いた計算機でのシミュレーション実験と試作装置での大量実験の結果についても述べ、本アルゴリズムの有効性を実証した。