

総合ディジタル監視制御システム“NUCAMM-90”

Nuclear Power Plant Control Complex with Advanced Man-Machine Interfaces in '90s

発電電力量に占める原子力発電比率の増大に伴い、原子力発電所のよりいっそうの安全性・信頼性の向上、運転・保守性の向上、コストパフォーマンスの向上がますます重要な課題となってきた。

日立製作所では、原子力発電技術が我が国へ導入されて以来、計測制御分野も含めて、数多くの研究開発を進め、絶え間ない改善、改良の努力を続けてきた。

これらの研究開発技術をベースに、将来の原子力発電所用としての総合ディジタル監視制御システムNUCAMM-90の開発を進めている。

この総合化システムは設備の安全・安定運転の確保と、人と機械との融和を基本思想とし、マンマシン技術、高信頼化ディジタル制御技術、光情報伝送技術、知識工学などの最新技術を駆使してプラントの運転信頼性を飛躍的に高めようとするものである。

本稿では、日立製作所が開発している総合ディジタル監視制御システムNUCAMM-90について、基本技術、特徴を中心にその概要を述べる。

佐藤英之* Hideyuki Satō
工藤 満* Mitsuru Kudō
佐藤隆雄** Takao Satō
西村 章** Akira Nishimura
伊藤哲男*** Tetsuo Itō

1 緒 言

原子力発電所プラントは、システム規模の大きさに加え放射線被ばく防止の観点からも中央監視方式をとる典型的なプラントである。このため、多量の情報と操作機器が中央制御室に集中し、プラント運転監視性の改善・適正化が要求されるようになってきた。

日立製作所では、この要求にこたえるべく原子力発電所の運転監視システムとして、計算機化制御盤COCONUT (Computer Based Console for Nuclear Power Plant Trial)、新型中央監視制御システムNUCAMM-80 (Nuclear Power Plant Control Complex with Advanced Man-Machine Interfaces-80) など、早くから運転監視に対するマンマシンの重要性を強く認識して、運転信頼性を向上させる研究開発を進めるとともに、実機への適用を推進してきた¹⁾。

これらの経験を通して得たマンマシン技術と、高信頼化ディジタル技術、光情報伝送技術、知識工学などの最新技術を駆使した総合ディジタル監視制御システムNUCAMM-90 (Nuclear Power Plant Control Complex with Advanced Man-Machine Interfaces-90) を、将来の原子力プラント向けの計装制御システムとして位置づけている。本総合化システムにより、プラント信頼性・運転性の向上、運転・保守の省力化及びトータルコストミニマム化を実現することができると考える。

以下、本システムの開発思想、システム構成など、基本技

術、特徴を中心に述べる。

2 監視制御システムの開発動向

原子力発電プラントの監視制御システムは、図1に示すように著しく進歩するエレクトロニクスを積極的に取り込み改善を図ってきている²⁾。

原子力プラントは、初期の国産実用化時代から我が国での標準化プラントを目指した改良標準化時代へ移行し、そして今ABWR (Advanced Boiling Water Reactor: 改良型沸騰水型原子炉) プラントへと大きく変遷してきている。この大きな流れに対応して、監視制御システムは、運転監視、制御、情報伝送面それぞれについて技術開発が進められており、着実に進歩発展してきている³⁾。

運転監視面ではカラーCRT (Cathode Ray Tube) が、マンマシンインタフェースとしての有効性が早くから認識され、在来型制御盤に炉心性能計算表示として、更に運転監視情報表示として、その適用が拡大されてきた。

更に、最近ではCRT投射式、液晶投射式などの大型ディスプレイと音声応答などにより、よりいっそう運転監視性を向上させるべく研究が進められている。制御及び情報伝送面では合理的な計装制御システムを構築するために、ディジタル技術、光情報伝送技術によるネットワーク化が進められている。

将来の原子力発電所用監視制御システムとして位置づけら

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所日立工場 *** 日立製作所エネルギー研究所

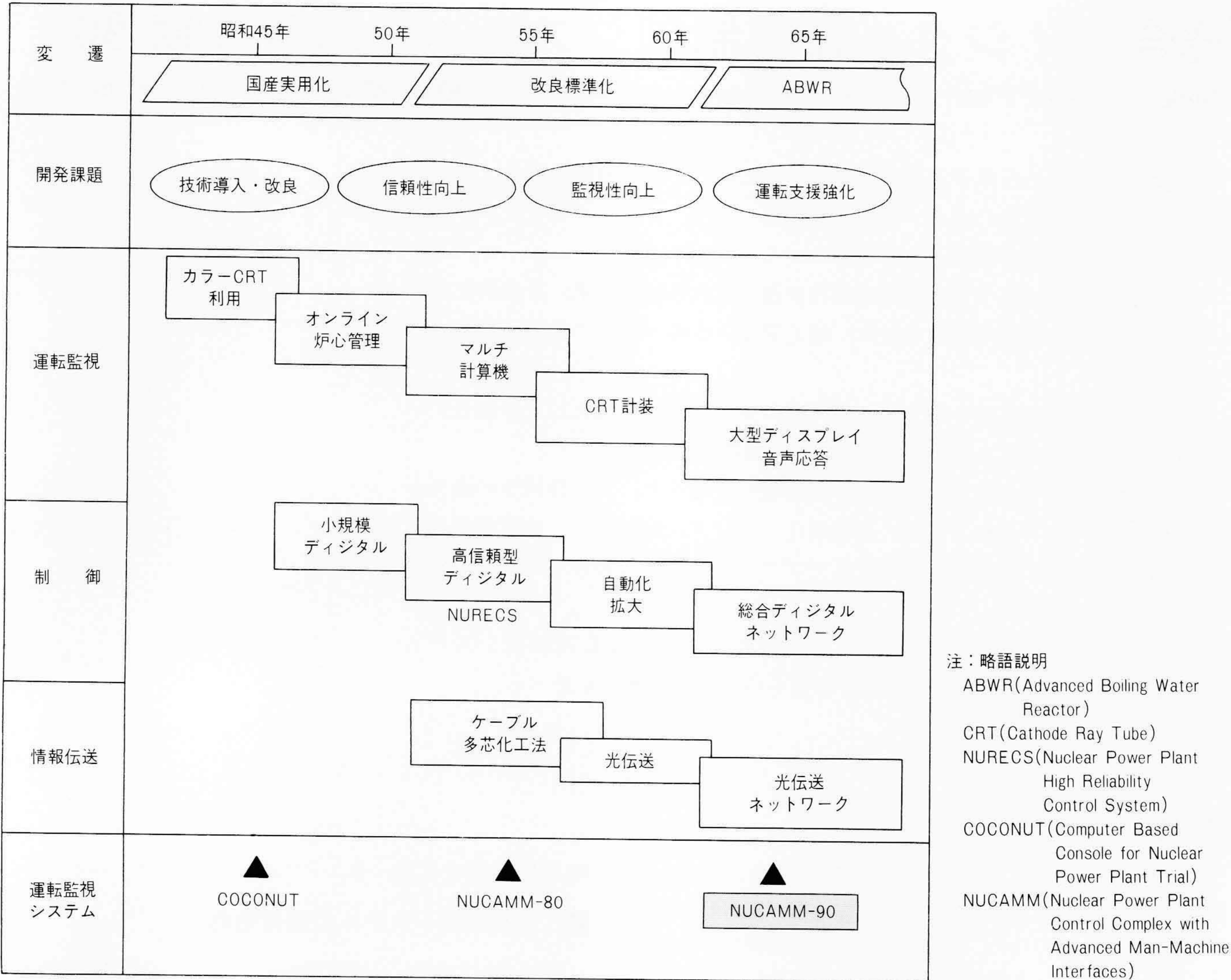


図1 原子力発電プラント監視制御システムの開発動向 監視制御システムは、運転監視、制御、情報伝送面について、総合ネットワーク化したシステムへ移りつつある。

れる総合デジタル監視制御システムNUCamm-90は、これらの運転監視、制御、情報伝送に関して培った技術をプラント全体へ総合的に展開し、合理的なネットワークを構成して高度マンマシン技術、知識工学などによって運転の信頼性を大幅に向上させようとするものである⁴⁾。

3 総合化システムの構築

3.1 基本方針

原子力発電所の監視制御システムに強く求められているものは、プラント運転信頼性の向上、コストパフォーマンスの向上である。これを達成するためには、設備の安全・安定運転の確保と、人と機械との融和(人間尊重)を基本思想として、高信頼化デジタル技術、光情報伝送技術、知識工学などの計算機応用技術によって合理的な高度化を実現することであると考えている。図2は、総合化システムの基本方針を示すものであり、監視性、操作性、判断支援の三軸に対してそれぞれ情報総合化、プラント自動化、知能化を拡大し、運転信頼性の向上、運転・保守の高効率化を目標としたことを示す

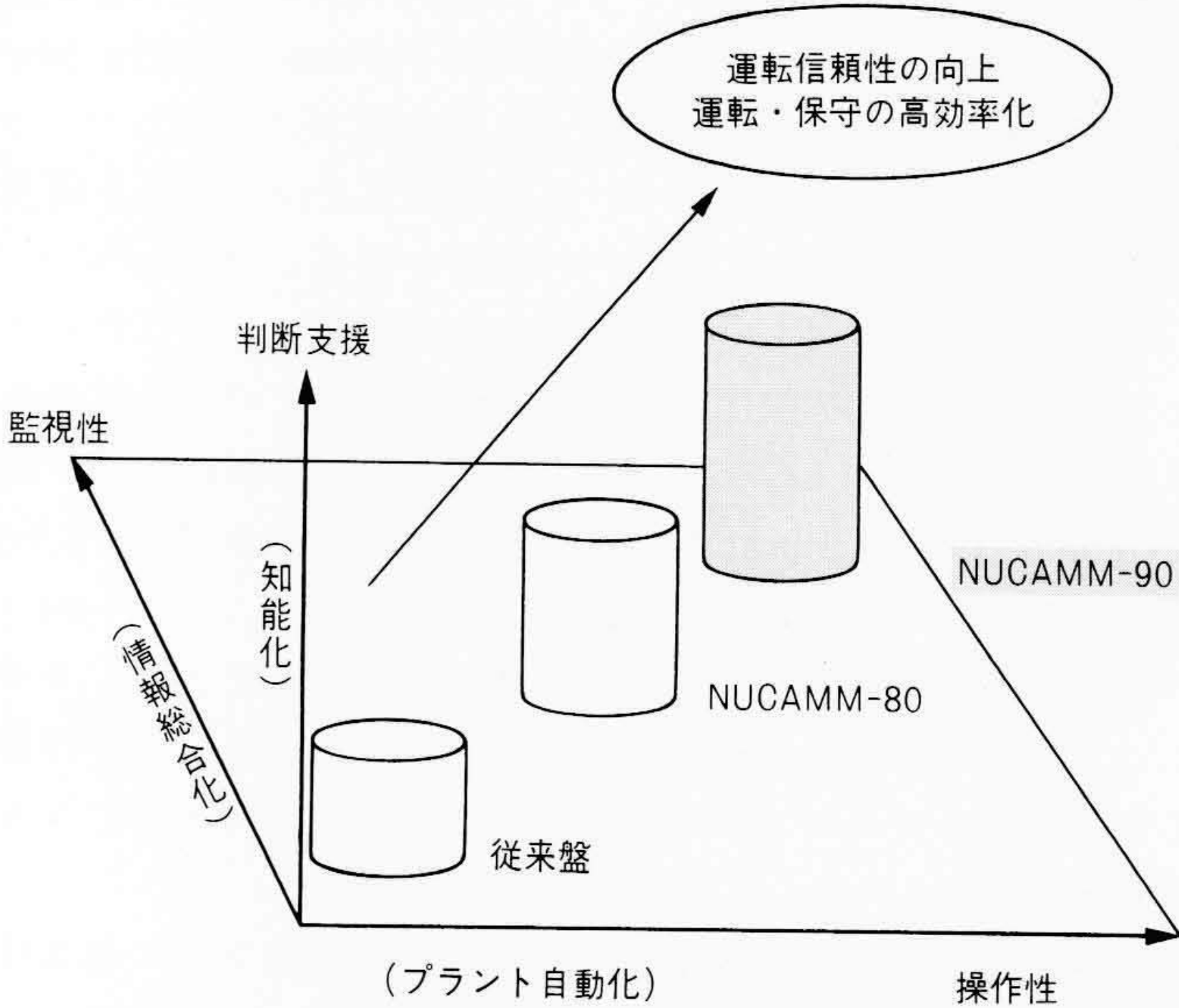


図2 総合化システムの基本方針 監視性、操作性、判断支援の三軸に対し、それぞれ情報総合化、プラント自動化、知能化を拡大し運転信頼性の向上、運転・保守の高効率化を目標としている。

ものである。

- (1) 監視性の面では、プラントの状態に応じて必要かつ十分な情報を運転・保守員へ適切に提供することが重要である。プラントの情報を総合化することによって、人間工学的に優れたマンマシンインタフェースを構築することができる。
- (2) 操作性の面では、自動化を拡大することによって、運転・保守員の操作ミスを防止し、機器へのストレス低減及び運転・保守員の負担軽減を図ることができる。
- (3) 判断支援の面では、運転・保守員がプラントの状況に応じて適切な判断を下せるように、知識工学などを応用した異常診断技術、予測技術などの知的支援を充実させることによって、運転・保守員の負担軽減とヒューマンエラーの低減を図ることができる。

3.2 NUCAMM-90の特徴

NUCAMM-80とNUCAMM-90の特徴を、システム構成及び運転保守性・経済性の面から比較して表1に示す。

システム構成面では、NUCAMM-90は高度マンマシンデバイスを使用した運転監視コンソール、デジタル技術を大幅に採用した総合デジタル化、ソフトロジックを適用した新型安全保護システム、情報伝送に光伝送を適用した高速光伝送ネットワークなどを採用している。

運転保守性・コストパフォーマンスの向上の面では、制御棒の操作を自動化し、起動時間の短縮を可能としている。更に、計装制御系の保守性を向上させる集中診断・保守システムの採用、制御盤の小型化による中央制御室のコンパクト化、光伝送によるケーブル工事の合理化などNUCAMM-90は数多くの優れた特徴を持っている。

4 システム構成

4.1 インテリジェントマンマシンシステム

図3にマンマシンインタフェースの変遷を示す。

原子力発電所の運転監視のあり方について考えると、運転

員はプラント制御ループの一要素として「監視」、「判断」、「操作」の三つの機能が要求されている。

このため、指示計、記録計などの従来計装だけを用いた従来盤では運転員の能力、技能が運転信頼性に影響を与えていた。NUCAMM-80は運転員の負担軽減に力点を置いて、情報の集約表示、主機の自動化などを導入して運転の信頼性を向上させてきた。

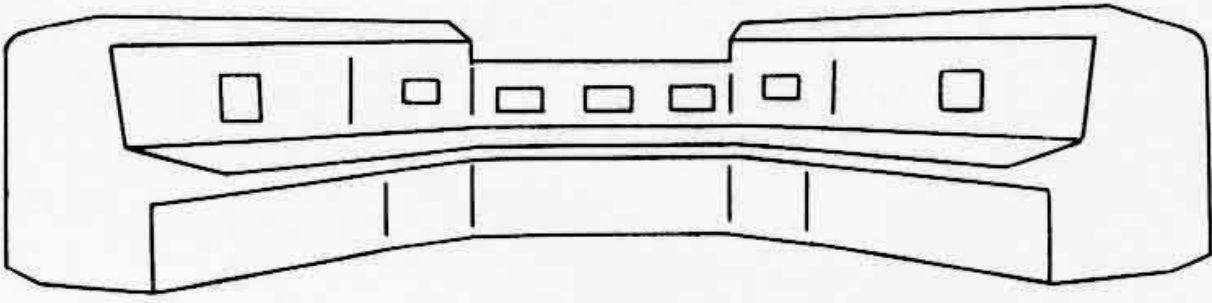
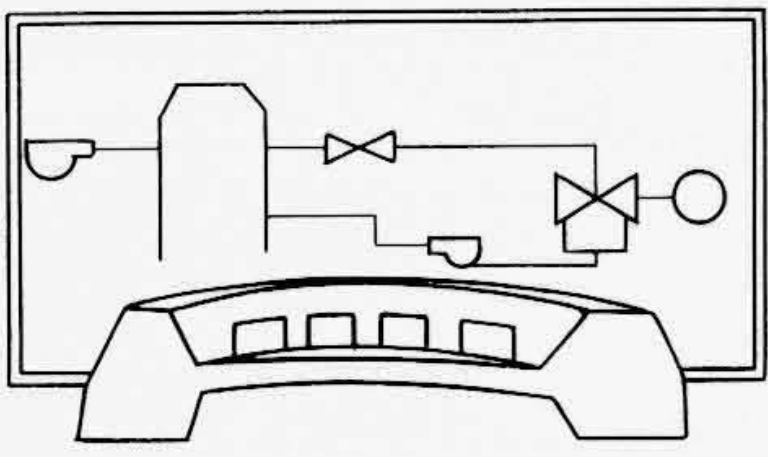
NUCAMM-90は、自動化の拡大、運転支援機能拡大などの計算機応用技術により、従来、運転員に要求されていた運転機能を計算機に代替しようとするものである。このとき、運転員(マン)と制御盤(マシン)の関係では、運転員は単にプラント制御ループの一要素としての役割ではなく、プラントの運転状態を迅速、的確に、そしてまた制御装置が所定の性能を発揮して安定に運転されているかどうかを監視・判断することが、運転員のより重要な業務になってくると考えられる。

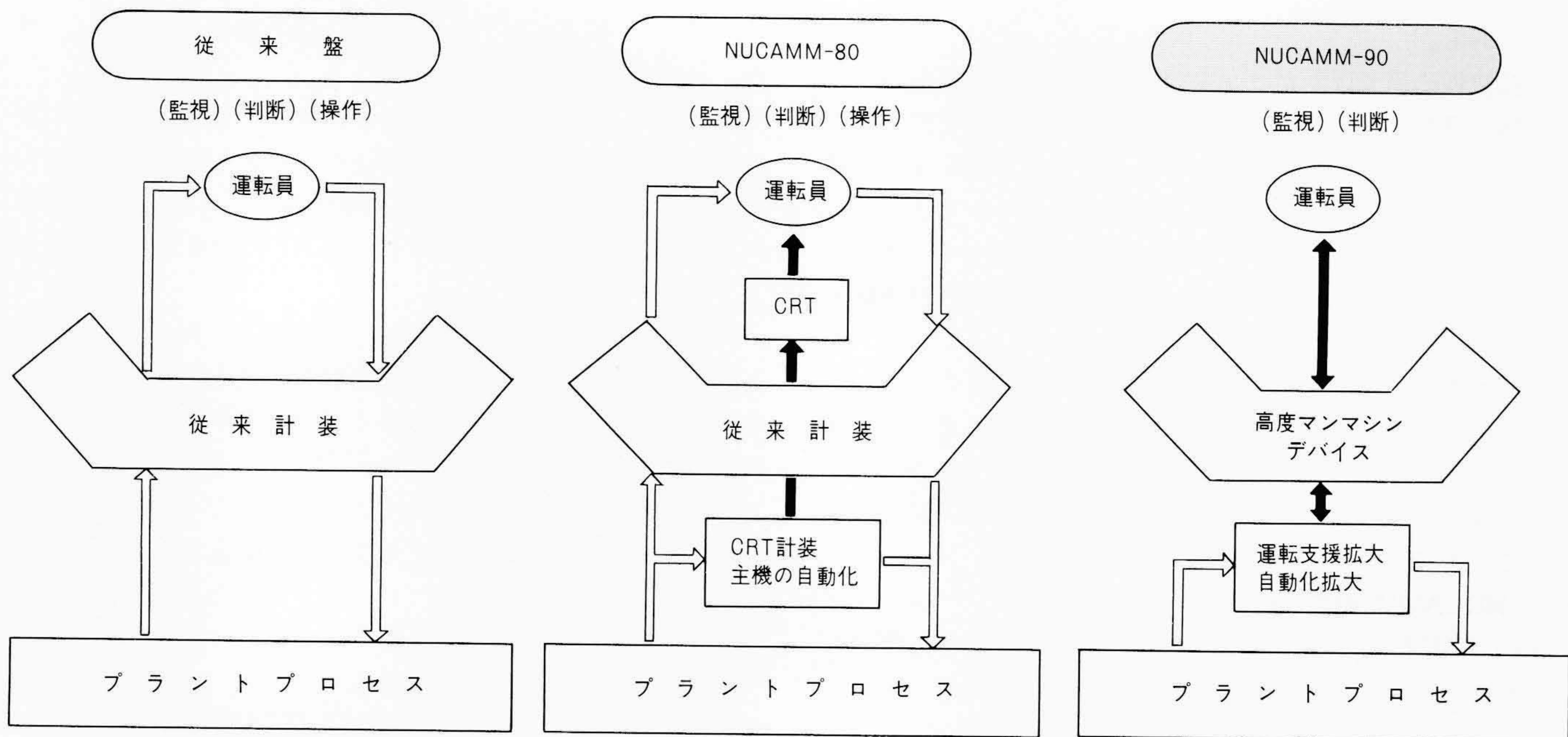
この迅速、的確な運転監視を実現するものがインテリジェントマンマシンシステムである。このインテリジェントマンマシンシステムを構成するものは、大型ディスプレイ、音声応答、CRTオペレーションなどの高度マンマシンデバイスと知識工学を応用した質問応答システムやプラント診断システムなどである。

これらのインテリジェントマンマシンシステムの一例としての質問応答システムの構成を図4に示す。本システムは運転員の質問に対応して、プラントの状況を的確に運転員へ応答するもので、運転員への知的支援を行うものである。

運転員の質問内容は、マイクロホンなどの入力機器によって入力文解析部に取り込まれる。入力文解析部では、自然言語解析用の辞書及び文法を参照して、質問内容に含まれる意味を解析し、応答作成部に用意された様々な処理関数と対応づける。応答作成部では、入力文解析部からの情報を基に、知識ベース及びプラントデータテーブルを参照して処理関数を実行する。出力制御部では、出力作成用データを参照して

表1 NUCAMM-80とNUCAMM-90の比較 NUCAMM-90は、システム構成、運転保守性・コストパフォーマンス向上の面から多くの優れた特徴を持っている。

項 目		NUCAMM-80	NUCAMM-90	NUCAMM-90 補 足 説 明
シ ス テ ム 構 成	運 転 監 視 コンソール	情報集約化 	運転支援強化 	—
	デジタル化	部分適用	全面適用	総合デジタル化
	安全保護系	ハードワイヤ	ソフトロジック	新形安全保護システム
	情 報 伝 送	メタルケーブル	光ケーブル	高速光伝送ネットワーク
運転保守性・ コストパフ ォーマンスの向 上	制 御 棒 操 作	手 動	自 動 化	—
	保 守	個別、部分診断	集中診断・保守	計装制御系診断ツール
	制御盤小型化	制御室面積100% (基準)	70%	総合デジタル化
	ケ ー ブ ル 長	100% (基準)	60%	光 伝 送



注：⇨ 従来計装による情報の流れ，⇨ 高度マンマシン計装による情報の流れ
 図3 マンマシンインタフェースの変遷 運転員とプラントとのインタフェースは、従来計装から高度マンマシンデバイスを使用することによって、運転信頼性を飛躍的に向上することができる。

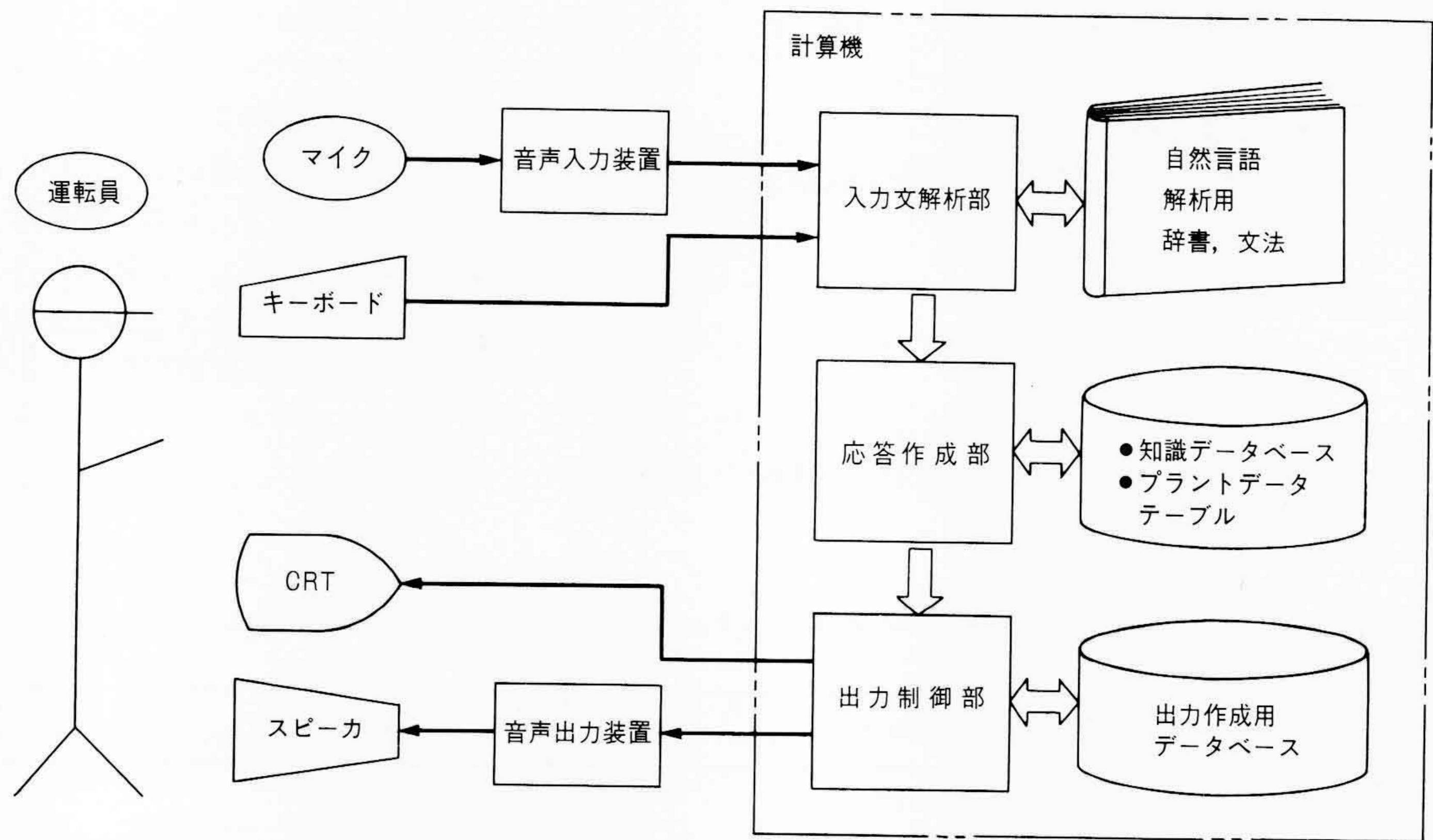


図4 質問応答システムの構成 質問応答システムは、運転員の質問に対応してプラントの状況を的確かつ迅速に回答し、運転員への知的支援を行うインテリジェントマンマシンシステムである。

処理関数の実行結果を出力機器により出力する。
 この質問応答システムとプラント診断システムにより運転及び保守に必要な情報を的確、迅速に運転員へ提供することができ、運転・保守の知的支援が可能となる。
 図5は、インテリジェントマンマシンシステムを応用した場合の中央制御室の概念図を示したものである。
4.2 総合デジタルネットワーク
 マンマシンインタフェースの高度化による運転信頼性の向

上とシステムの信頼性のいっそうの向上が求められており、それらを実現するためには、運転監視に必要な情報をプロセス計算機へ取り込むことと、制御装置による円滑な制御の遂行が実現できるように、プラント監視制御システム全体をデジタル化し、最適にネットワーク化することが必要である。
 図6にNUCAMM-90のシステム全体構成を示す。
 プラントの情報は、現場に配置された光伝送子局によって集められ、系統ごとに分散された中央のデジタル制御装置

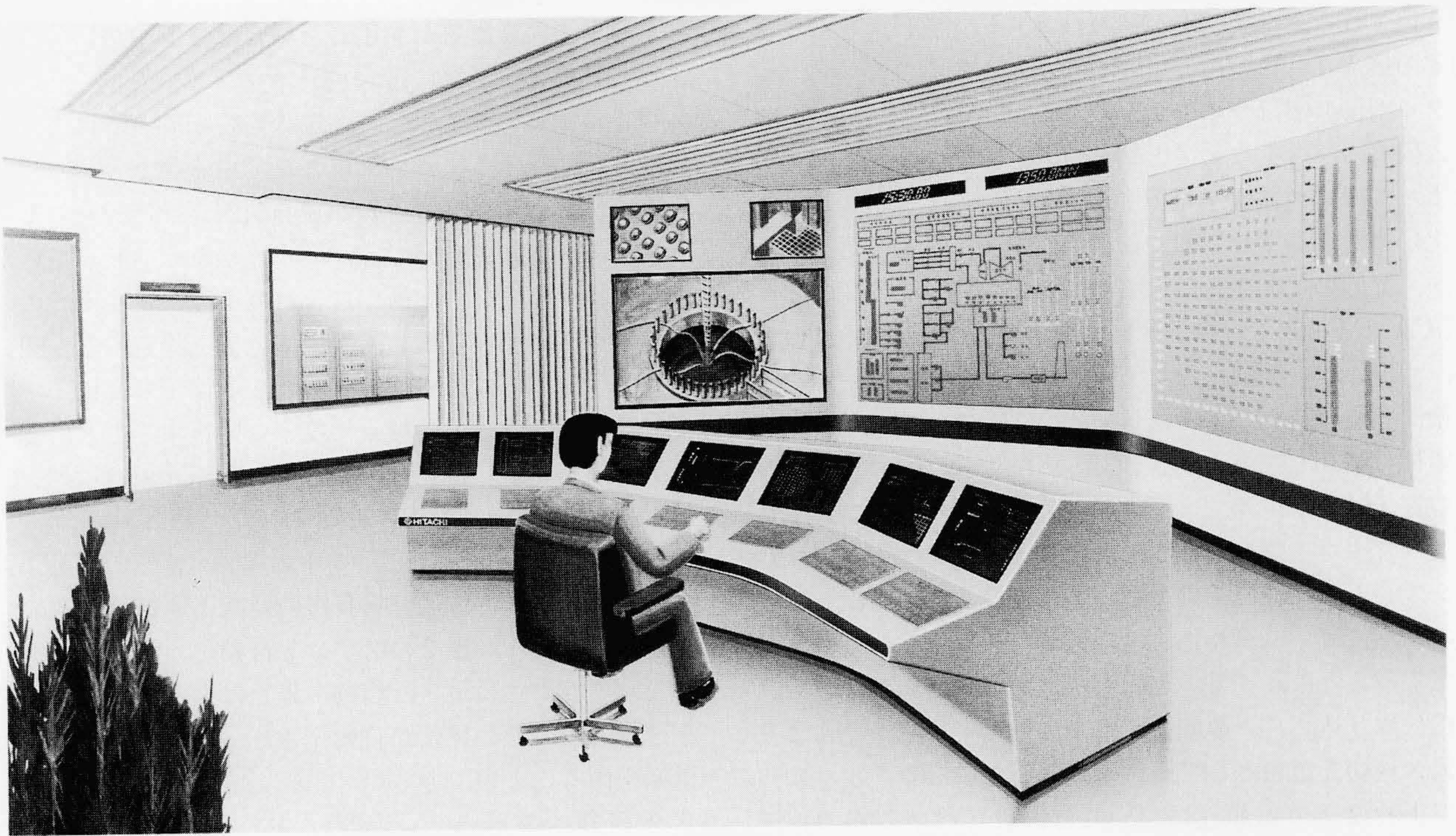


図5 将来の中央制御室の概念図 大型ディスプレイ，CRTオペレーションなどによって，運転監視性を大幅に向上させている。

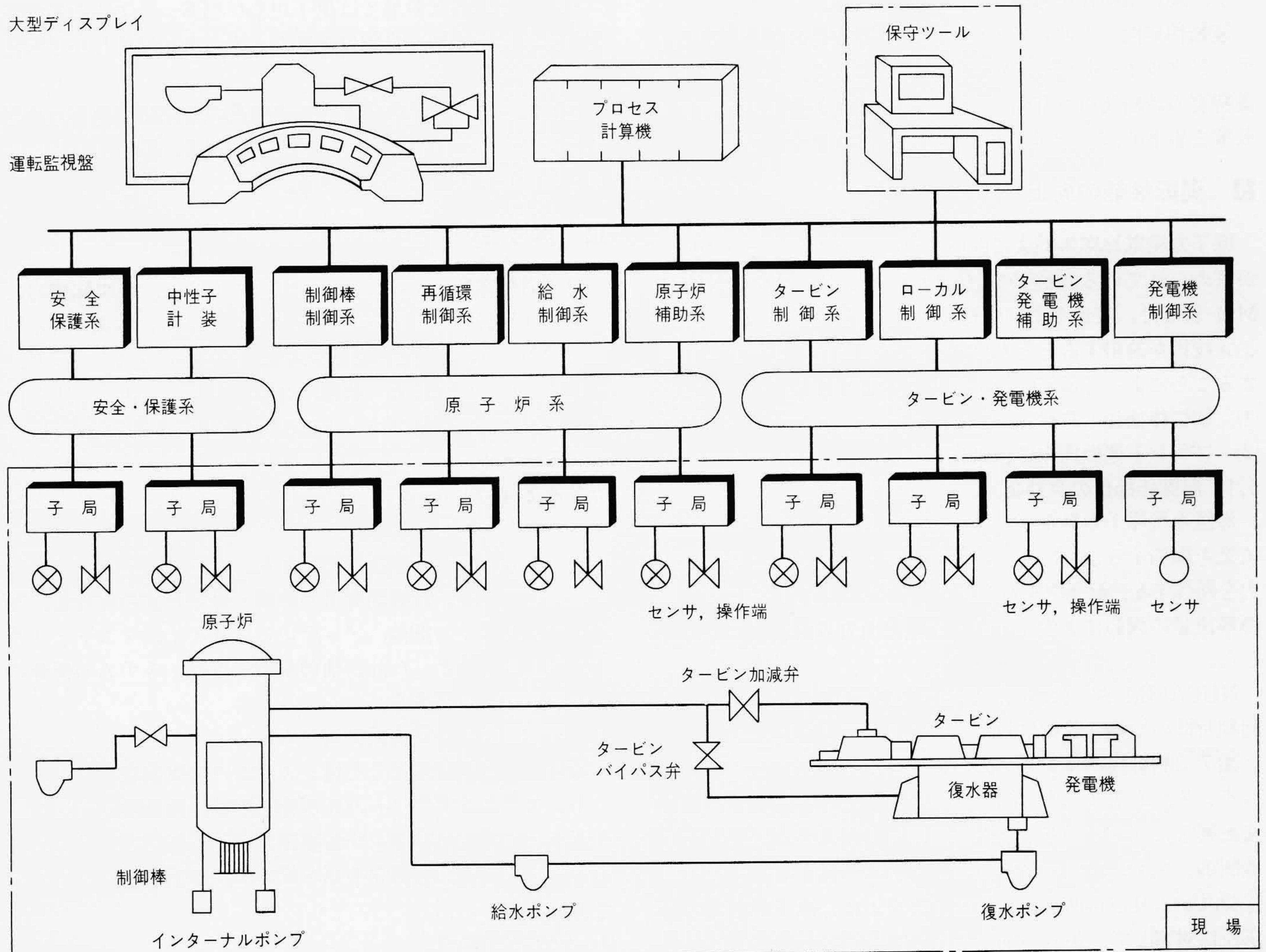


図6 NUCAMP-90システム全体構成 運転監視制御に必要な情報は，光伝送子局を介して中央へ伝送され，大型ディスプレイや運転監視盤によって運転員へ適切な情報を提供する。

へ取り込まれる。主要制御装置及び信号伝送路は、プラント稼働率の観点から重要度に応じて冗長化が図られている。デジタル制御装置はマイクロプロセッサにより構成され、システム固有のソフトウェアと制御ブロックを組み合わせることによって所定の性能を発揮することができる。このデジタル化により、高度な制御や診断機能を組み込むことができるほか、機能の追加変更にも柔軟に対応することができる。

NUCAMP-80では、原子炉再循環流量制御系、給水流量制御系、主タービン制御系などの主要制御系に対し、デジタル技術、多重化技術による高信頼化デジタルシステムを開発し実機に適用してきた。NUCAMP-90では更に安全保護系、中性子計装系、インターナルポンプ制御系、制御棒制御系なども含めたプラント全体の計測制御設備をデジタル化し、システムの信頼性を向上させることにしている。

このようにデジタル化した制御装置を総合的にネットワーク化することによって、運転監視に必要な情報はプロセス計算機へ取り込まれ、運転監視盤や大型ディスプレイにより運転員へ適切な情報として提供されることになる。

ソフトウェアの信頼性については、設計段階ごとの検査(Verification)とソフトとハードの統合試験(Validation)などのV&V手法の適用や、効率的ソフトウェア検証手法などによって、高い信頼性を確保することができる。

運転性能向上と並んで重要なものに保守性の向上がある。デジタルネットワーク化することによって、デジタル装置特有の診断技術を有効に活用し、プラント全体の計装制御装置を集中的に診断保守することができるようになる。

5 運転性能の向上

原子力発電比率の増大に伴い、運転性能のいっそうの向上が求められている。総合デジタル監視制御システムNUCAMP-90では、前述のような最新のデジタル技術及びマンマシン技術を適用するとともに、下記の自動化システムを採用することによって運転性能を向上させようとしている。

- (1) 制御棒操作の自動化
- (2) プラント運転操作の自動化拡大

5.1 制御棒操作の自動化

沸騰水型原子力発電所では、制御棒あるいは原子炉再循環流量を調節することによって、原子炉出力あるいは発電機出力を制御する。新型中央監視システムNUCAMP-80では、再循環流量の調節による原子炉・発電機出力の調整装置を採用した。

NUCAMP-90では、制御棒操作を自動化することによって起動時間の短縮に柔軟に対応することができる。

図7に制御棒操作システムの構成例を示す。

本システムでは、出力調整機能を最上位の機能とし、出力変更要求に基づく制御指令を制御棒操作システム、再循環流量制御システム、タービン制御システムへ伝える。制御棒操作システム及び再循環流量制御システムは、原子炉出力の要求値に対応して、炉心の制約条件など各種の条件を判断して制御棒の挿入位置又は再循環流量を変更する。制御棒の操作は複数の制御棒監視システムによって監視されている。万一、

プラントの異常事象が発生した場合は、原子炉緊急停止系によって制御棒を緊急に挿入し、プラントを停止させる。制御棒操作自動化システムは、多重の監視制御装置によって高い信頼性を確保するように構成されている。

原子炉出力調整システムからの制御棒操作指令に基づいて制御棒操作システム部では、従来運転員が判断していた制御棒の操作タイミングと操作量を自動的に決定する。この結果に基づき制御棒を駆動し、制御棒位置を調整する。制御棒監視システム部では、中性子束密度、中性子束変化率、燃料の熱的条件、プラント各種条件などを監視することによって、制御棒操作が正常に実行されているかどうかを判断している。

5.2 プラント運転操作の自動化

NUCAMP-90では、プラントの起動・停止の自動化を拡大することによって、運転員負担の軽減と運転信頼性の向上を図る計画である。表2にプラント自動化の主要項目を示す。これらの自動化により、起動・停止はもとより一定のプラント運転過渡状態の操作が自動化され、運転操作作業の大幅な低減を図ることができる。

タービン発電機・給・復水系などの主機主体の自動化から、グランドシール系など補機系運転操作へと自動化の範囲を拡大する。

一方、運転過渡状態では原子炉及び制御システムの高速度応答特性を利用して、自動化を拡大することが好ましいと考えられる。

なお、このほかに非常用炉心冷却系の定期試験操作の自動化なども含めた自動化範囲の拡大によって、運転員の負担軽減と省力化を図ることができる。

6 保守性の向上

原子力発電所のような大規模プラントでは、中央制御室に設置される制御盤は約100面にも及び、それらに内蔵される制御機器の数は多い。このためシステムの冗長化などを図り、これらの制御機器に万一故障、又は不具合が発生した場合にも、単一の故障ではプラント運転へ影響を与えないように構成することや、故障箇所を早期に発見し、迅速・的確に復旧できるようにすることによってシステム全体の信頼性を向上させることが必要である。

このため、保守性向上の観点から、各種保守支援システムを開発している。計装制御系の診断・保守作業の省力化、ヒューマンエラーの低減、メンテナビリティ、テストビリティの向上を目的とした計装制御系保守支援システムの概要について以下に説明する。

- (1) 計装制御系保守支援システム

図8に計装制御系保守支援システムの全体構成を示す。

本システムはプラントの異常警報情報、機器診断情報を取り込み、これらの情報を分類整理して故障原因を絞り込み、保守作業時に的確な保守手順を保守ツール上に表示するものである。

- (2) 集中診断機能

集中診断機能は、計装制御機器レベルでの診断データと保守支援端末による異常データ、更に保守員のノウハウなどの

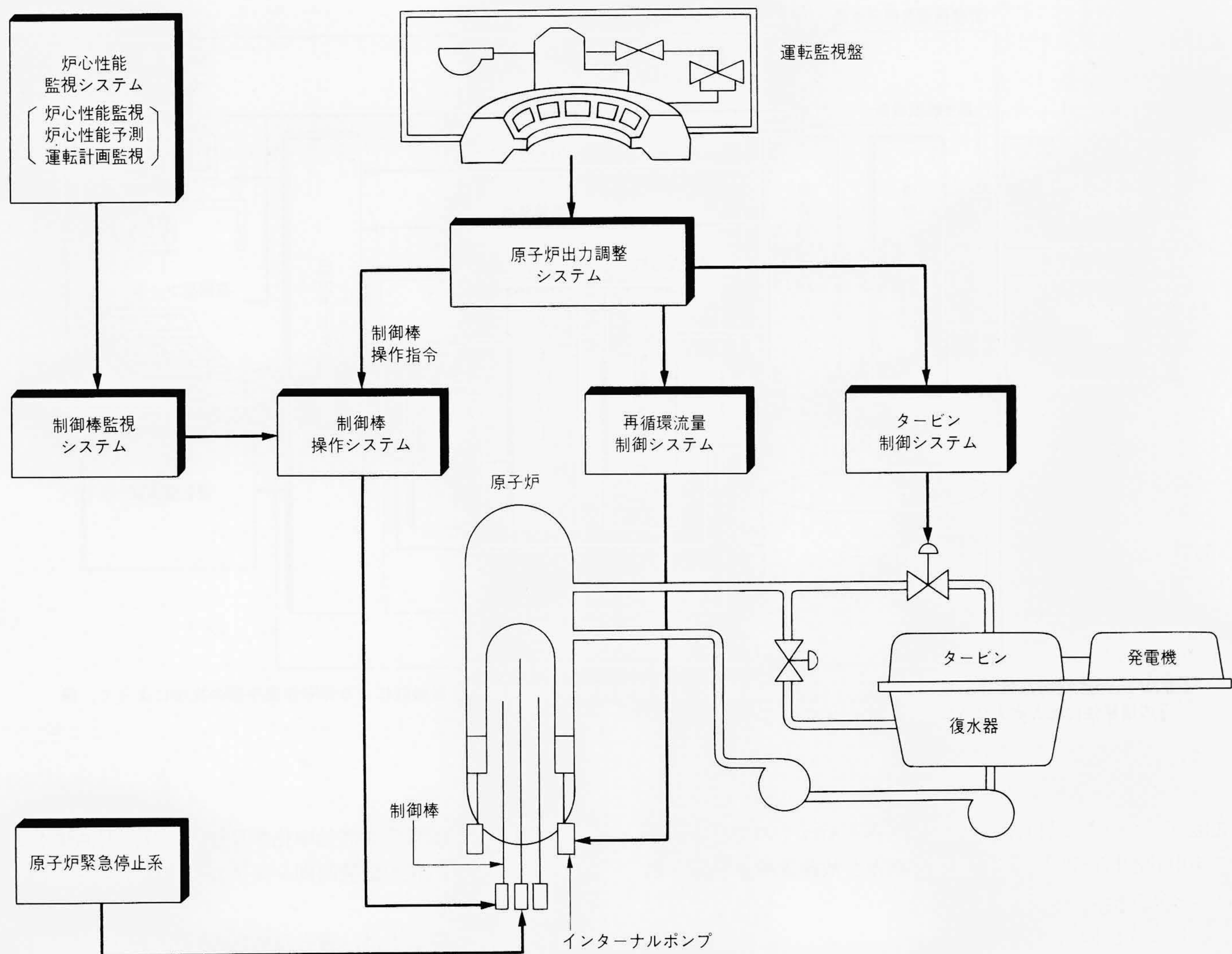


図 7 制御棒操作自動化システムの構成例 原子炉出力の要求値に対応して、炉心の制約条件など各種の条件を判定して制御棒を駆動する。

表 2 主要自動化項目一覧表 プラント起動・停止の自動化、定期試験の自動化などによって、運転操作作業を大幅に低減することができる。

区 分	No.	主な自動化項目	NUCAMP-80	NUCAMP-90
起動・停止時	1	起動時の炉水位制御	○	○
	2	制御棒の操作	OG	○
	3	タービン起動・昇速・停止	○	○
	4	給・復水ポンプの起動・停止・切替え	○	○
	5	タービングランドシール系操作	△	○
	6	真空上昇・破壊・オフガス系操作	△	○
	7	発電機併入・初負荷	○	○
プラント過渡事象時	8	給水系自動インタロック	—	○
	9	CUW再起動、主蒸気ドレン弁自動インタロック	—	○
定期試験時	10	主要補機の定期試験	—	○
	11	安全保護系のサーベイランス試験	OG	○

注：記号など説明 ○(自動化), △(部分自動化), OG(オペレーションガイド), —(手動運転), CUW(Clean up Water)

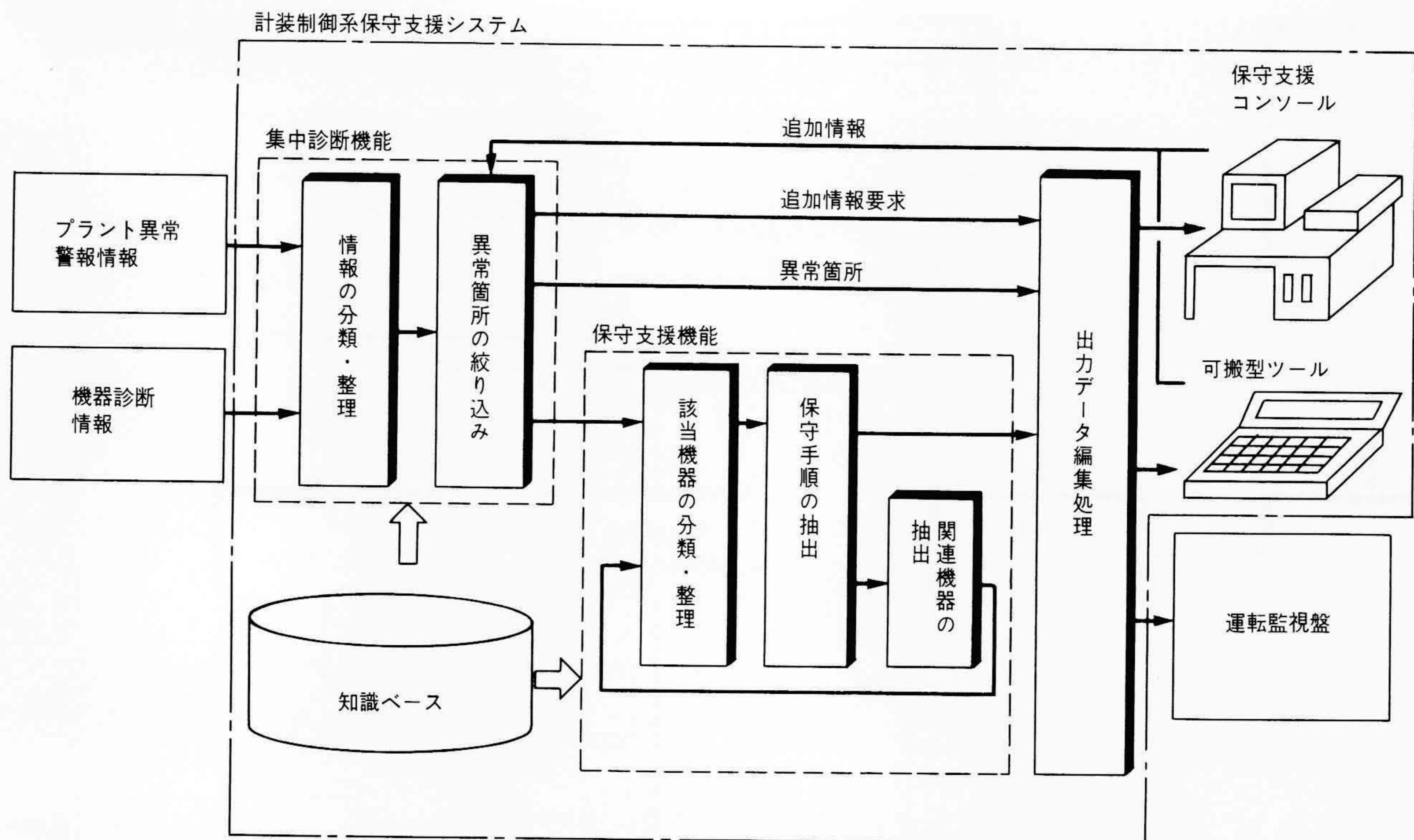


図8 計装制御系保守支援システム 集中診断機能による故障箇所の判定と保守支援機能による保守作業手順の支援によって、保守の信頼性向上と省力化を実現することができる。

知識ベースを基に異常箇所の絞り込みを行うものである。この集中診断機能によって、故障原因及び故障箇所を的確・迅速に判定することができる。

(3) 保守支援機能

保守支援機能は、プラント運転に支障を与えることなく、かつ効率的に保守作業を実施できるように故障箇所の復旧に必要な手順を保守員へ表示することによって、保守作業を支援するためのものである。故障復旧手順として必要な情報は、機器ごとの保守マニュアルや優れた保守員のノウハウ、更には過去の履歴データなどである。

このような集中診断機能による故障箇所の判定と保守支援機能による保守時の手順の表示によって保守員を支援することにより、保守作業の省力化、保守時のヒューマンエラーの防止を図ることができる。

7 結 言

以上、日立製作所が開発している原子力発電所用総合デジタル監視制御システムNUCamm-90について説明した。NUCamm-90は、マンマシン技術、高信頼化デジタル技術、光情報伝送技術、知識工学などの新技術を総合化し、運転信

頼性の向上、運転保守の高効率化を目指し、改良型沸騰水型原子力プラント以後の計装制御システムとして開発を進めているものである。

原子力発電プラントは、過去の貴重な建設及び運転経験をベースに数々の改良を加え、安全性・信頼性を着実に向上させてきた。これらの成果と高度マンマシン技術及び高度計算機応用技術によって、更によりいっそうの安全性・信頼性を確保していくよう努力を続けていく考えである。

参考文献

- 1) 佐藤, 外: BWR原子力発電用新型中央監視制御システム(NUCamm-80)の開発, 火力原子力発電, 32, 3, 245~254 (1981-3)
- 2) 野口, 外: 最近のBWR(沸騰水型原子炉)デジタル監視制御システム, 日立評論, 68, 4, 307~312(昭61-4)
- 3) 村田, 外: 原子力発電支援システムの開発, 日立評論, 67, 12, 1005~1010(昭60-12)
- 4) 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)