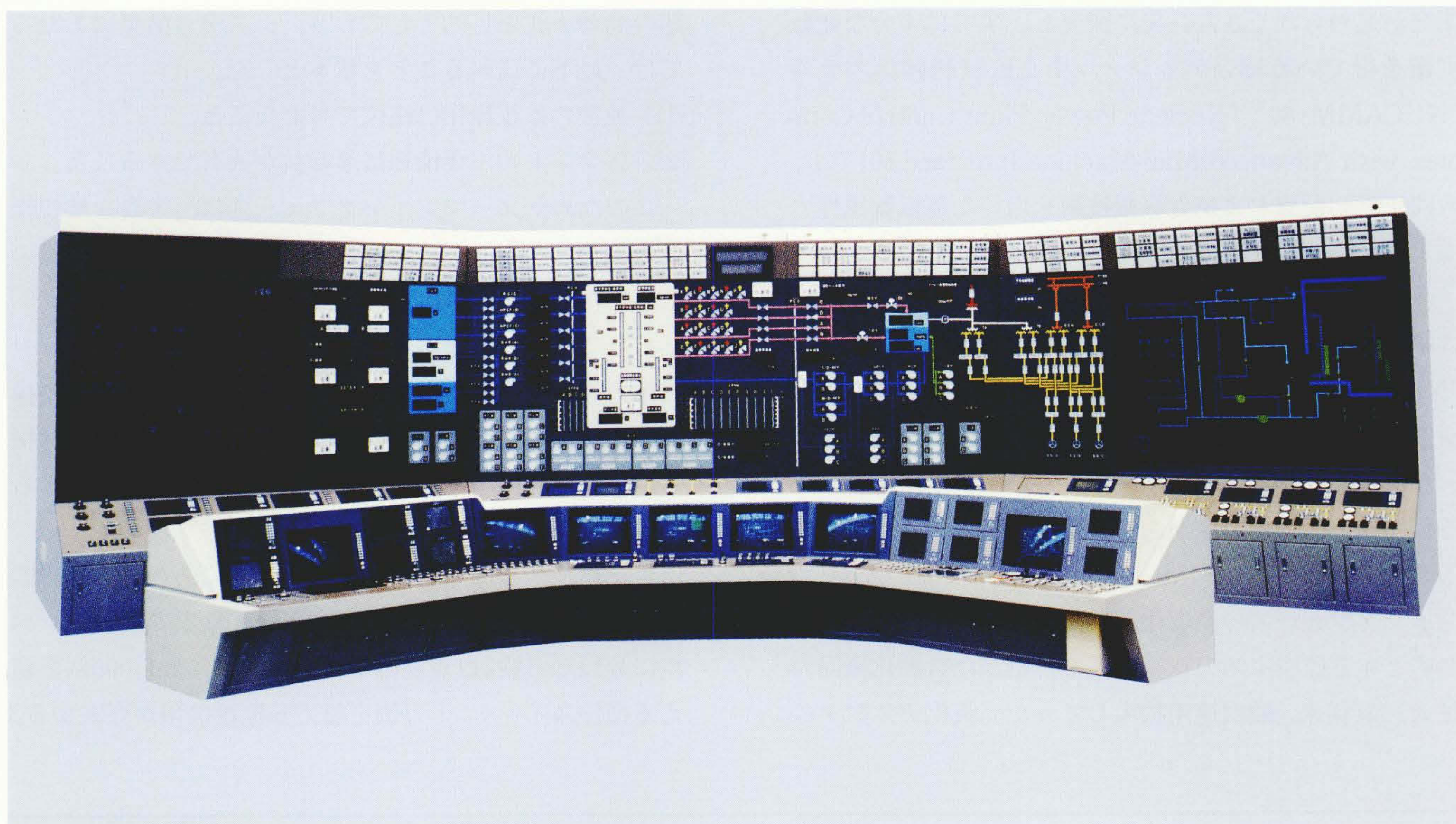


ABWR初号機の計測制御技術

Recent Trends of New Technologies for BWR Power Plant Instrumentation and Control

吉田洋一* *Yōichi Yoshida*
鈴木隆之* *Takayuki Suzuki*
水本文夫** *Fumio Mizuki*
有田節男*** *Setsuo Arita*



新型総合デジタル中央監視制御システム“NUCAMM-90”

このシステムは、安定運転の確保と人に優しい環境を目指した新型ヒューマンインタフェースであり、主要な監視操作を集約した主盤と、プラント全体状況を共有情報として提供する大型表示盤で構成する。

日立製作所は、原子力発電所の運転信頼性の向上とその合理的な実現のため、人と機械の融和を基本思想として、研究開発を進めている。このたび東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所7号機向け新型総合デジタル中央監視制御システムが完成し、現在サイトに据付け中である。

このシステムは、プラントの運転信頼性、保守性

のいっそうの向上を目的として、高度のマンマシン機能を積極的に採用するとともに、制御棒操作の自動化をはじめとする自動化範囲の拡大を図った、プラントワイドの総合デジタル化システムである。次世代の、よりヒューマンフレンドリーな計測制御システムへ至る一つの方向性を提示したものとする。

* 日立製作所 大みか工場 ** 日立製作所 日立工場 *** 日立製作所 電力・電機開発本部

1 はじめに

原子力プラントでは、常にプラント全体の状況を把握することが必須(す)であり、またその対応操作が容易に行えるように、中央制御室に監視および操作のための情報が集中している。このため国産実用化当初から、中央制御室での監視操作性のいっそうの向上を目指し、研究開発が進められてきた。先に開発し、すでに十分な運転実績を得ている総合デジタル中央監視制御システム“NUCAMM-80”(Nuclear Power Plant Control Complex with Advanced Man-Machine Interface-80)でも、人間工学的配慮および計算機技術を用いた運転監視性の向上を積極的に行ってきた。

今回、東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所7号機に納入した新型総合デジタル中央監視制御システム“NUCAMM-90”(以下、NUCAMM-90と略す。)は、デジタル化技術の発展を背景としてヒューマンフレンドリーなシステムを追求した一例であり、監視操作だけでなく信頼性・保守性の面からも改善を図っている。

ここでは、NUCAMM-90の特徴である、(1)ヒューマンインタフェースの高度化、(2)制御棒操作の自動化をはじめとする監視主体の運転体系を目指した自動化範囲の拡大、(3)従来、順次適用拡大してきた冗長化デジタル

システム技術の経験を生かした安全保護系のデジタル化を中心に述べる。

2 ヒューマンインタフェースの高度化

2.1 NUCAMM-90

NUCAMM-90の構成と特徴を図1に示す。このシステムは、監視操作のいっそうの容易化・確実化と運転形態の高効率化を目的としており、システム構築にあたっては、以下に述べることを基本とした。

- (1) 通常の監視操作は座位で可能なこと。
- (2) プラントの主要情報は運転員が共有できること。

このためヒューマンインタフェースは、主要な監視操作を集約した主盤と、プラント全体状況を運転員全員の共有情報として提供する大型表示盤で構成している。

そして、最新の表示デバイスやタッチオペレーション技術の採用、制御棒操作の自動化やスクラム後の定型操作のインタロック強化など、監視主体の運転体系を目指した自動化範囲の拡大により、常時監視操作に使用するエリアを縮小し、小型化も図っている。

コンパクトなインタフェースの実現にあたっては、監視機能と操作機能をプラント・系統・機器の三つのレベルに分類して検討した。原子力プラントには1,000個を超える操作スイッチ、1万個を超える監視情報が存在する。

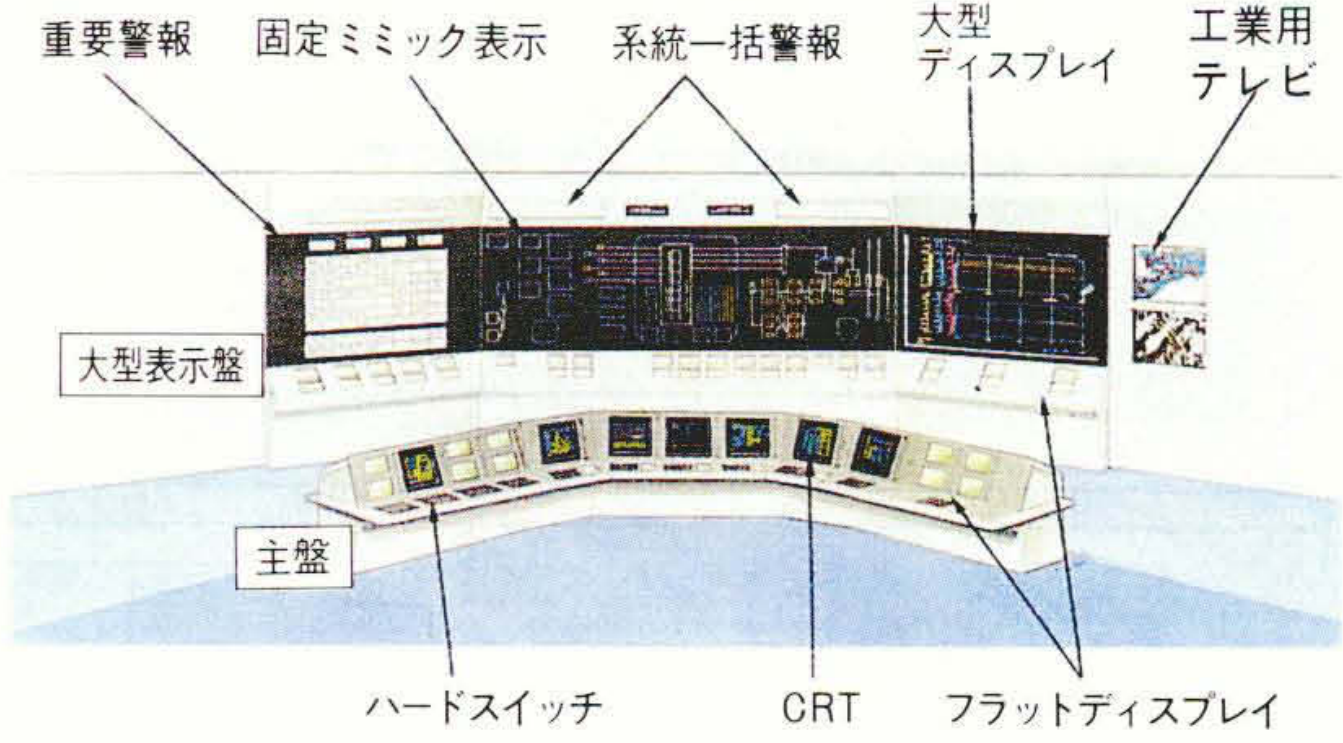
中央監視制御システム	NUCAMM-80	NUCAMM-90
構成・監視操作	 (1) 主盤・副盤構成 盤長27 m (2) カラーCRT集約表示	 (1) 主盤・大型表示盤構成 盤長19 m (2) タッチオペレーション機能付きカラーCRT・フラットディスプレイ
自動化	起動停止時の部分自動化	自動化範囲の拡大(制御棒操作, スクラム後定型操作など)
デジタル化	常用系総合デジタルシステム	プラント総合デジタルシステム

図1 ヒューマンインタフェースの変遷
最新デバイスの活用や自動化により、マンマシンの高度化および監視操作盤のコンパクト化を図っている。

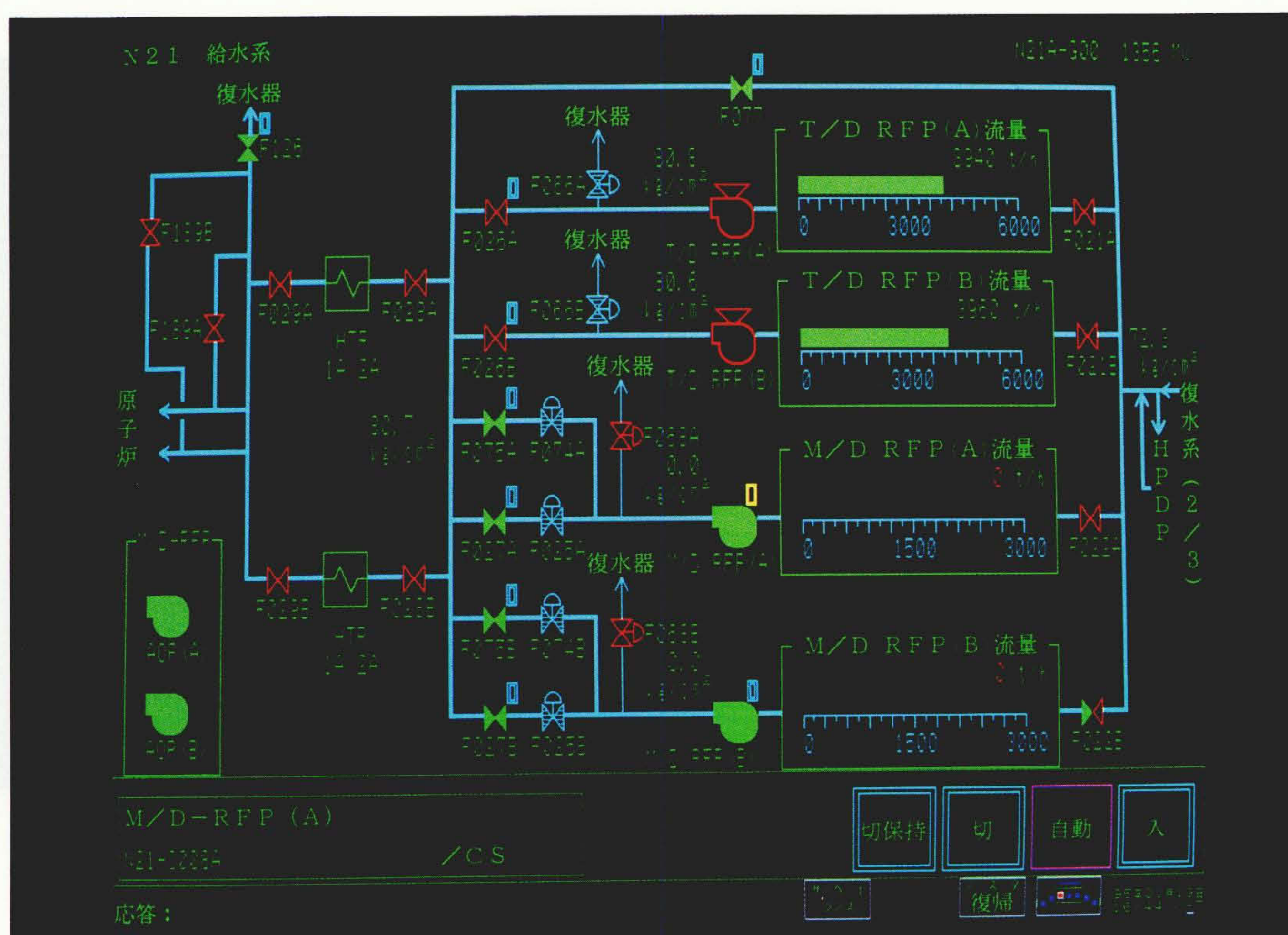


图2 CRT操作画面

操作対象をタッチ選択することによってウィンドウで操作スイッチが表示され、親しみやすいインタフェースをコンパクトに実現している。

しかし、自動化範囲を拡大することによって通常の操作対象が大幅に低減可能なことに着目し、マンマシンデバイスとの対応を図った。

すなわち、NUCamm-90ではプラントレベルの監視機能は大型表示盤の固定ミミック表示、プラントレベルの安全系手動起動スイッチや系統レベルの自動化マスタスイッチなどは専用のハードスイッチ、および自動化によって通常時は操作を特に必須としない機器レベルの項目には、タッチオペレーション機能付きCRT、またはフラットディスプレイを用いて実現し、コンパクト化を図っている。CRT操作画面を図2に示す。

主盤は、座位操作を基本として運転員の監視操作インタフェースを集約化した運転コンソールである。主盤上には、タッチオペレーション機能付きのCRT・カラーフラットディスプレイおよびハードスイッチを設置している。集中監視は、CRTまたはCRTバックアップ用としてのフラットディスプレイで行い、操作は原則として各系統の機器をシーケンシャルに動作・進行させる自動化用ハードスイッチで対応する。ただし、特定の機器を単独で操作する場合を考慮し、CRTまたはフラットディスプレイにタッチオペレーション機能を設けている。また、

緊急操作用にハードスイッチを厳選して設置している。

大型表示盤には、プラントの全体概要が容易に把握できるように配置をくふうした固定ミミックを中央に設け、さらに110インチ大型ディスプレイを採用して、主盤CRTの詳細情報を表示できる構成としている。

従来、警報は1,600個程度あり、事故時の運転員の負担は大きいものがあつた。このため、重要警報(約70個)と系統一括警報(約140個)に厳選して集約し表示した。これは、警報表示を階層的に行うことで可能となったものであり、詳細情報はCRTの個別表示を必要に応じて確認することにより、警報発生時の状況把握がいっそう容易になるように配慮している。

また、ベンチ部にはプラント定期検査時のように個別操作の必要な場合を考慮してフラットディスプレイを設け、監視操作部のコンパクト化を実現した。

フラットディスプレイは視認性が優れているTFT (Thin Film Transistor)型カラーデバイスを用いている。サイズは現在のデバイス技術で安定供給可能な10インチクラスとし、安全系をも含めた監視・操作用として設けている。

フラットディスプレイでの監視・操作機能は、プロセ

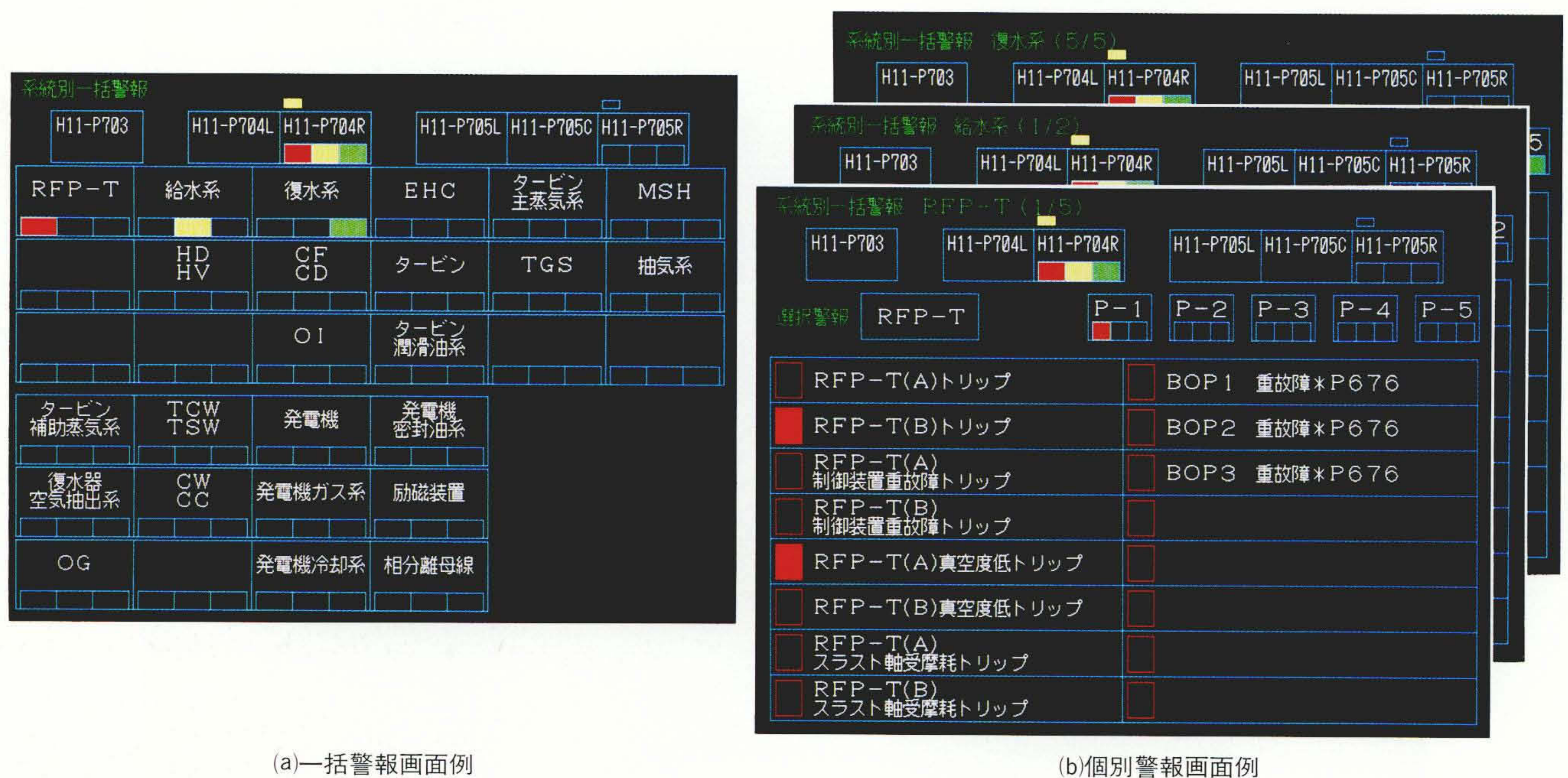


図3 フラットディスプレイ警報画面
階層表示と色替え表示によって状況把握を容易にしている。

ス計算機駆動によるCRTとは独立の構成をとっており、運転監視面での冗長化を図っている。

2.2 新型警報システム

中央制御室の警報システムは、運転員がプラントの運転状況を把握するための重要なものである。

今回新たに導入した新型警報システムは、運転員の認識プロセスを踏まえたうえで以下に述べる特徴を持たせ、警報発生時のプラント状況とその後の推移を的確に、そして速やかに認識できるように配慮している。

すなわち、大型表示盤のハード警報窓は、図1に示すようにスクラムやECCS(Emergency Core Cooling System：非常用炉心冷却系統)などに直接かかわる重要警報部と、個々の系統の運転状態の異常表示を行う系統一括警報部で構成し、発生した異常がプラントに及ぼす影響を容易に判断できるように配慮している。

また、これらの警報窓おのおのは、プラント状況の的確な把握がいつそう容易となるように、重要警報部では安全系多重化チャンネルの動作チャンネル数、系統一括警報部では系統機能の健全性のレベルなど、運転に与える影響の度合いに応じて3色の色替え表示を行うこととした。さらに、重要警報部の上部にはプラントトリップの発生要因を示すファーストヒット表示機能を設けている。

異常が発生した機器の特定やその内容の詳細表示は、

CRTとフラットディスプレイに階層的に詳細表示される。警報画面の構成例を図3に示す。ハード警報窓と同一の警報窓一覧の画面がメニュー画面として用意されており(同図(a))、運転員はメニュー画面の中でブリンクしている警報窓をタッチ選択することにより、該当警報の個別詳細表示画面(同図(b))へ容易に切り替えることができる。

ハード警報窓の点灯と同時に個別要因を110インチ大型ディスプレイにメッセージ形式で表示させる機能も設けており、これら詳細情報により、運転員は個別機器の操作や現場確認の指示などを行うことができる。

3 自動化範囲の拡大

3.1 プラント自動化

プラント自動化システムは、表1に示すように通常の起動停止操作だけでなく、プラント過渡変化時の定型操作やサーベイランステストなども含めその範囲を拡大し、運転員の負担軽減、監視主体の運転への移行による運転信頼性の向上を図っている。

また、プラント起動停止時の自動化には、プロセス計算機から専用のサブグループ制御装置へ操作要求指令を出力し、それぞれの制御は専用の制御装置で行うサブグループ自動化方式を採用しており、計算機を使用しなくてもプラント運転は継続可能となるように配慮したシステム

としている。

3.2 制御棒操作の自動化

プラント自動化の大きな特徴の一つに、制御棒操作の自動化があげられる。これは、従来運転員が行っていた制御棒操作の前提条件となる原子炉内出力分布の各種判断(臨界判定や制御棒引抜き判定など)を行い、制御棒駆動装置へ操作指令を出力するものである。

制御棒操作の自動化では、炉内出力分布の挙動を把握することが必要不可欠である。このため、制御アルゴリズムを図4に示す炉心動特性シミュレータとリンクさせて検証を行い、良好な制御特性が得られることを確認している。

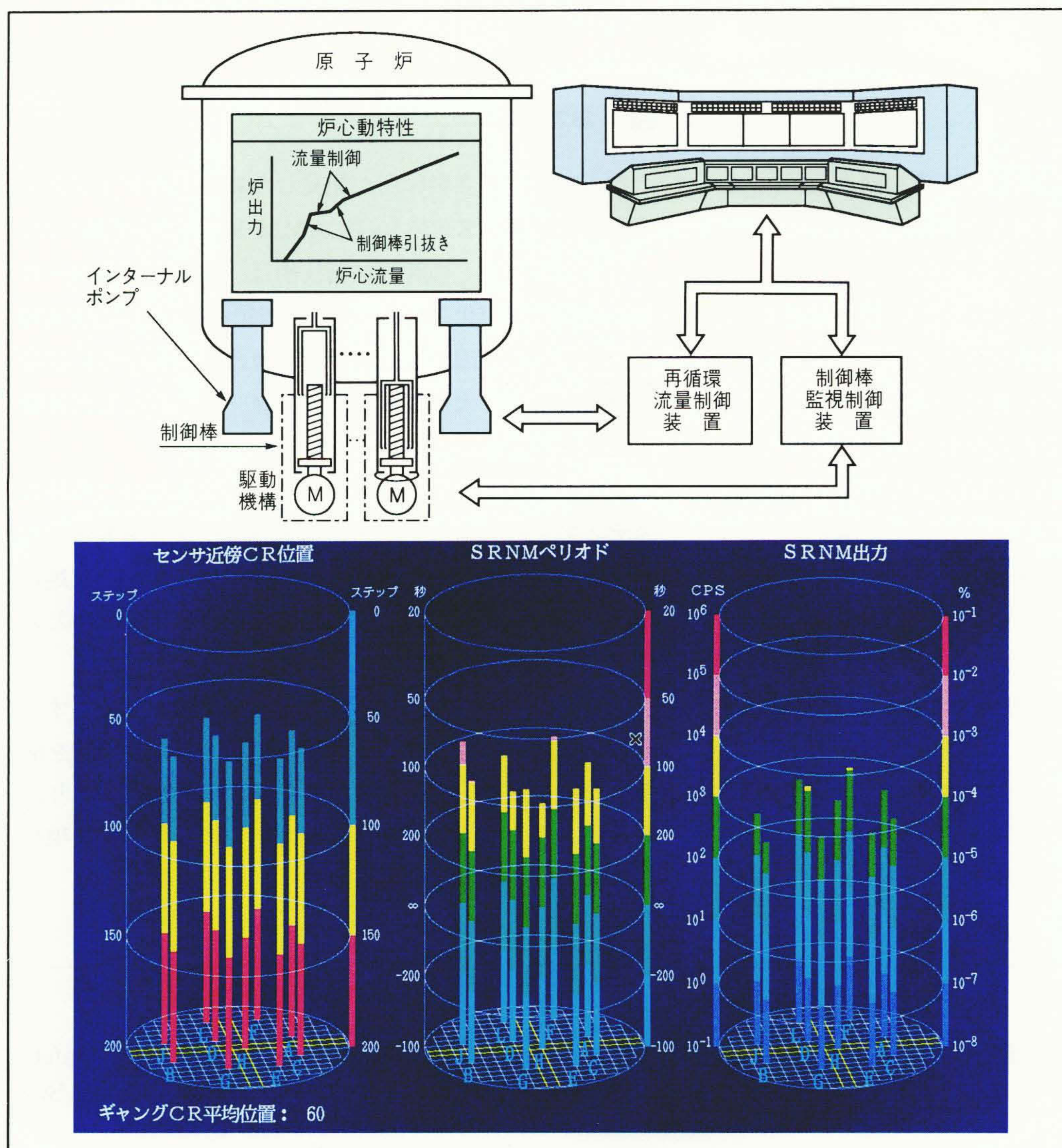
また制御棒操作については、原子炉起動時間の短縮を目的に、複数本の同時操作も可能としている。

表1 プラント自動化項目

通常の起動・停止操作だけでなく、サーベイランステスト時や非常時運転も対象に範囲を拡大している。

自 動 化 項 目		NUCAMP-80	NUCAMP-90
起動・停止 操作	原子炉昇圧・減圧操作	○	○
	タービン発電機操作	○	○
	給水ポンプ切替・追加操作	○	○
	出力上昇・下降(流量制御)	○	○
	出力上昇・下降(制御棒制御)	△	○
	タービン系補機操作	△	□
	原子炉系補機操作	△	□
	所内電気系切替操作	△	□
定常運転 操作	サーベイランステスト操作	△	△
	中性子計装系校正(半自動)	—	○
非常時運転 操作	スクラム後定型操作	—	○
	RHR系連動操作	—	□

注：略語説明ほか ○(プラント自動化採用), △(運転支援ガイド
ンス), □(シーケンシャル自動化), RHR(Residual Heat Removal
System; 残留熱除去系)



注：略語説明 M(モータ)

図4 制御棒操作自動化のシミュレーション

炉心動特性シミュレータを用いて良好な制御特性を確認している。

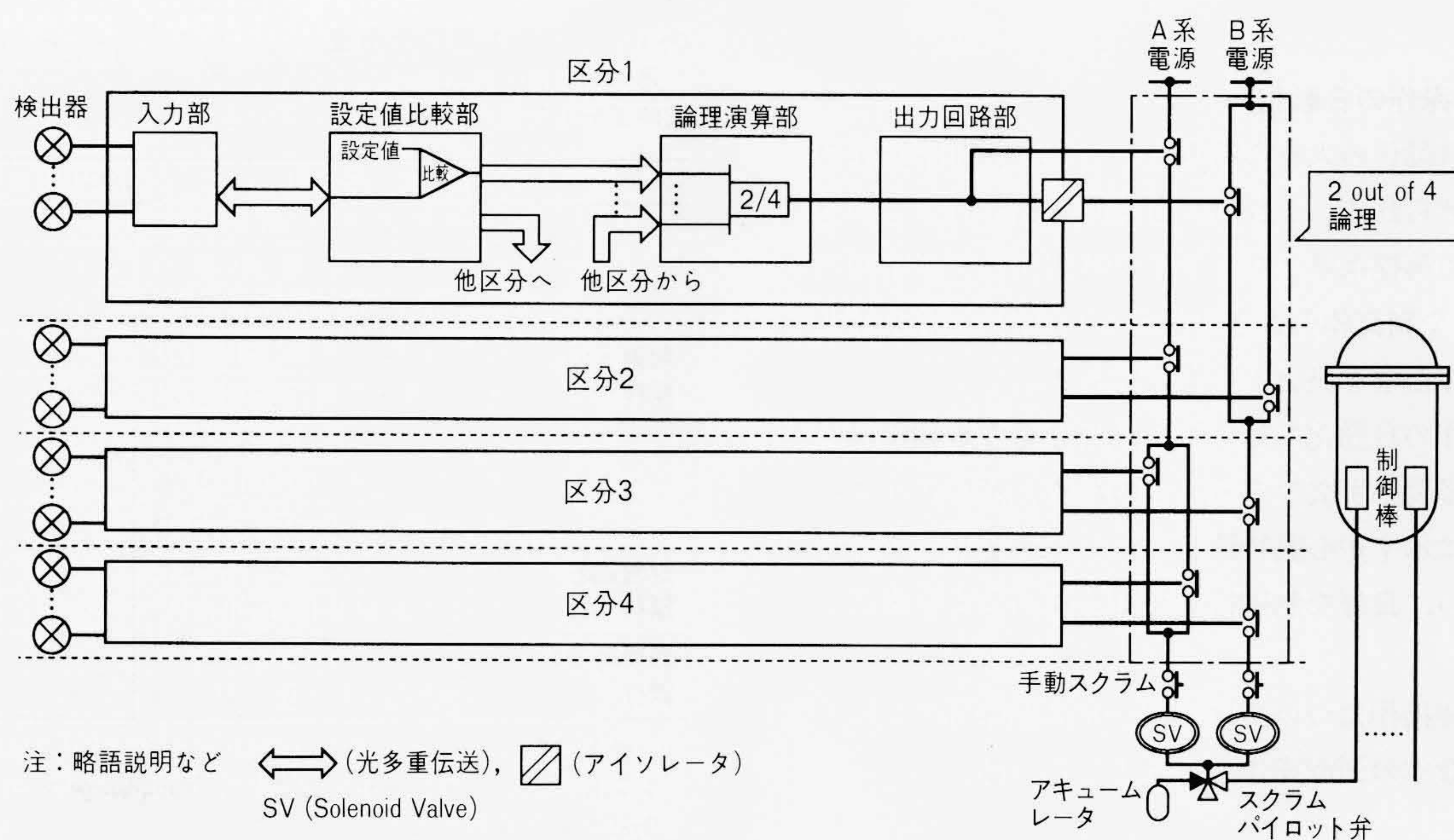


図5 原子炉緊急停止系システムの構成

「2 out of 4 論理」構成により、一つのチャンネルを切り離した場合でも「2 out of 3 論理」で動作可能な高信頼化システムとしている。

4 デジタルシステム

これまでのデジタル化技術の適用実績を踏まえ、信頼性・保守性向上の目的で、今回安全保護系を含めたプラントワイドの総合デジタル化を行った。

安全保護系をデジタル化するにあたり、電力会社との共同研究、原子力発電技術機構での実証試験などにより、システム評価およびハード信頼性の実証作業を実施し、さらに安全保護系に要求される指針への適合はもとより、V&V (Verification and Validation) と呼ばれる手法を通常の品質保証活動に追加する形で行ってきた。

東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所7号機のデジタル型安全保護系²⁾は、「2 out of 4 論理」を採用している。この方式により、1チャンネルをバイパスした場合でも信頼性の高い「2 out of 3 論理」で動作可能であり、従来と同等以上の信頼性を確保しつつ保守性も向上させている(図5参照)。一方、マンマシン面では、タッチオペレーション機能付きカラーフラットディスプレイを採用し、視認性の高い集約表示を実現している。

5 おわりに

ここでは、日立製作所が開発した新型総合デジタル中央監視制御システム“NUCamm-90”について述べた。

原子力プラントの計測制御技術は、輸入技術をベースとした国産実用化の時代、改良標準化を経てABWR実用化の段階へと、国や電力会社の指導のもとで着実に技術開発を展開し、次世代システムをターゲットとした各種要素技術の研究開発も行っている。

すなわち運転面では、臨場感を持たせるために各種のメディアを組み合わせたメディアフュージョン方式のマンマシンシステム、知識処理・ニューロなどの演算処理手法を用いた運転計画支援や異常時支援システムなどの研究開発に取り組んでいる。

一方、保守面でも、稼働率の向上を目的として、オンライン保守を可能とするシステムや、上述の各手法を活用した保守支援システムの技術開発に取り組んでおり、今後もより人に優しい次世代システムの合理的な実現に向けて努力する考えである。

参考文献

1) 高野, 外: 最近の計測制御技術, 日立評論, 74, 10, 739~744(平4-10)

2) S. Utena, et al.: Development of the BWR Safety Protection System with a New Digital Control System, IAEA-CN Tokyo(1992-5)