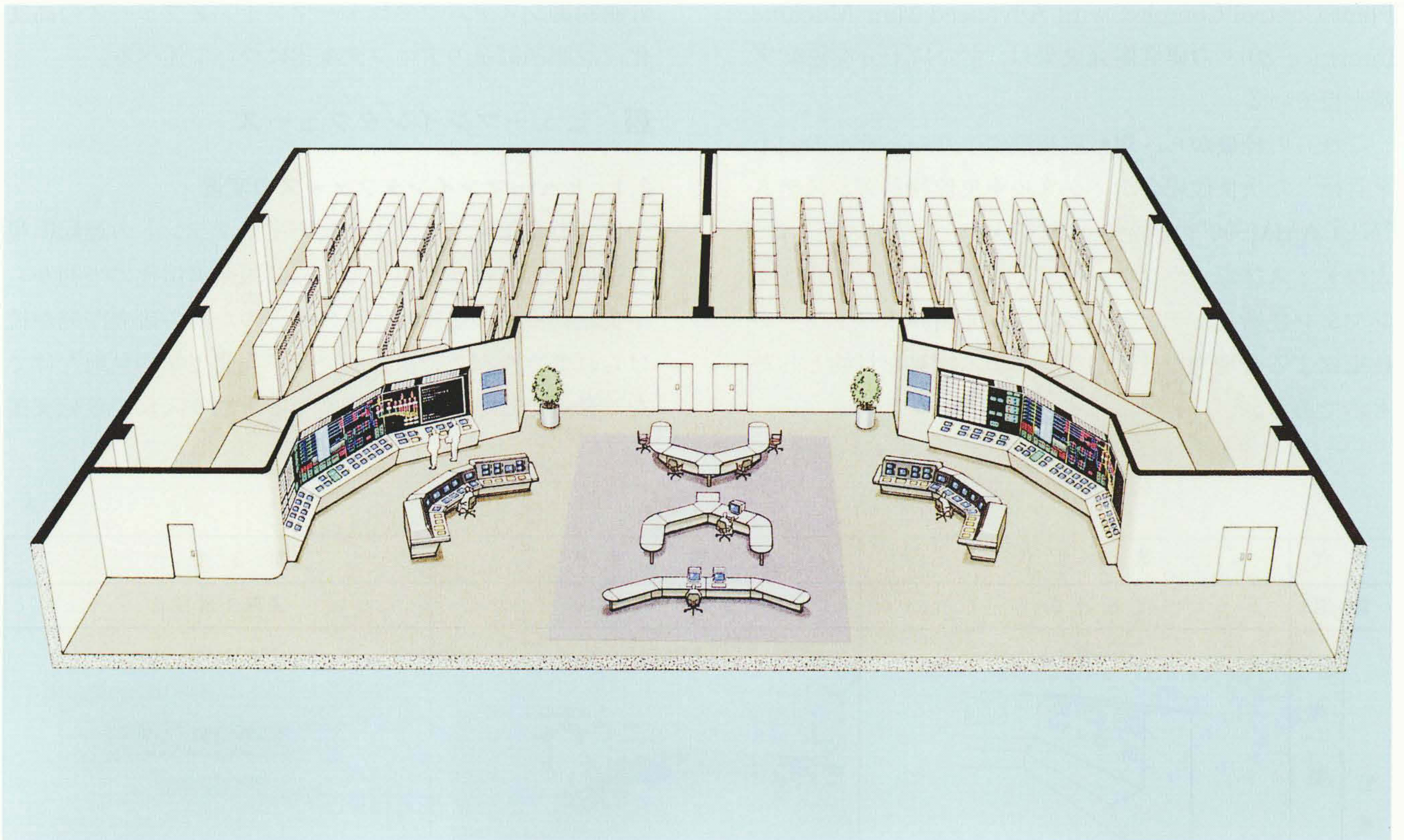


最近の計測制御技術

New Technologies for BWR Power Plant Control and Instrumentation

高野芳行* *Yoshiyuki Takano*
中村 慎* *Makoto Nakamura*
弓立忠弘** *Tadahiro Yudate*
東川裕一** *Yūichi Higashigawa*



次世代中央操作室 安全運転の確保と人に優しい環境を目指した次世代の中央操作室である。

原子力発電所の計測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およびコストパフォーマンスの向上である。このニーズにこたえるために、設備の安全・安定運転の確保と、人と機械の融和を基本思想として、高信頼化デジタル技術、光情報伝送技術などの計算機応用技術により、合理的な高度化を図った計測制御技術の開発を進めている。

運転支援強化のため、最新のエレクトロニクスデバイスを積極的に採用したヒューマンインタフェースの高機能化、自動化・連動化範囲の拡大などによって運転員負担の軽減を目指している。また、信頼性および保守性のよりいっそうの向上を目的に、安全系を含むプラント全体の計測制御システムの総合デジタル化を進めている。

* 日立製作所 大みか工場 ** 日立製作所 日立工場

1 はじめに

原子力プラントの安定運転の中核となる中央運転監視制御システムについては、エレクトロニクス技術、計算機応用技術を適用し、運転支援強化およびシステム信頼性・保守性の向上を図ってきた。先に開発した新型中央監視制御システム“NUCAMM-80”(Nuclear Power Plant Control Complex with Advanced Man-Machine Interface-80)¹⁾の研究開発成果は、すでに十分な運転実績を得ている。

これらの経験から、運転監視性のよりいっそうの向上を目指した次世代総合デジタル中央監視制御システム“NUCAMM-90”の開発を進めている。このシステムは、大型ディスプレイやフラットディスプレイなどの高度マンマシン技術と、デジタル技術・光情報ネットワーク技術による合理的な計測制御システム構築を目的としたものである。

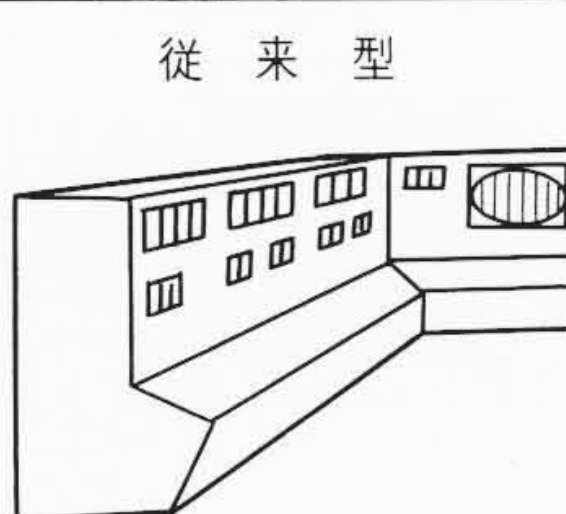
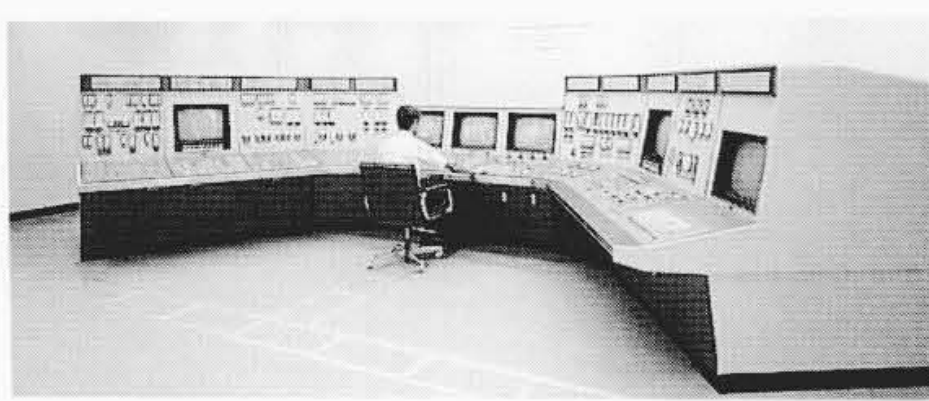
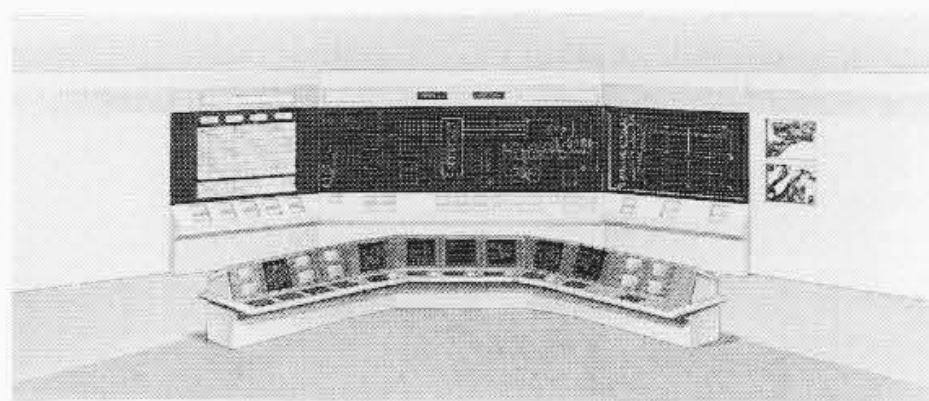
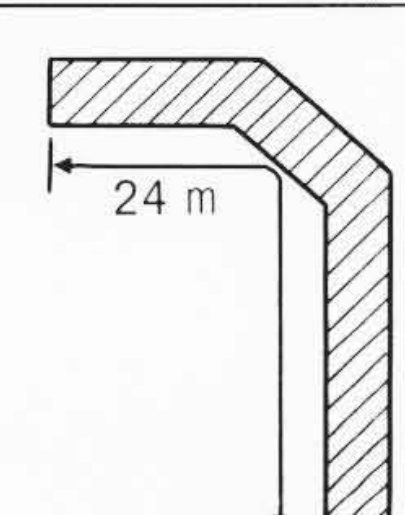
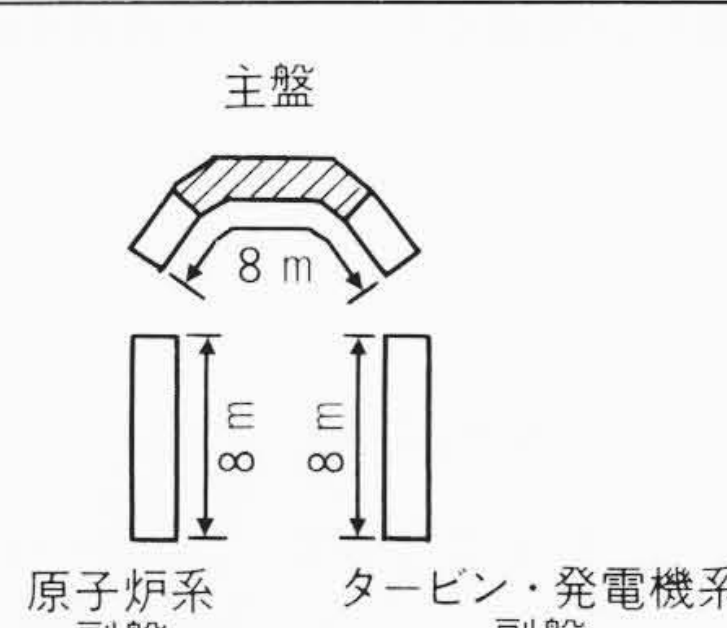
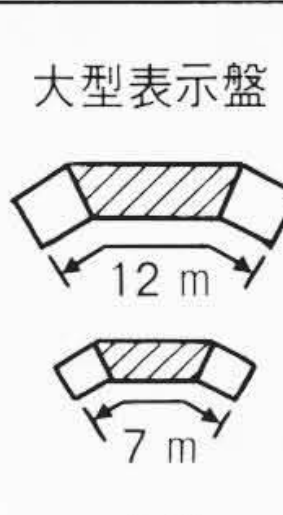
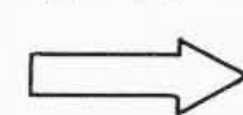
デジタル化については、高信頼化を目的に給水・再循環流量制御系、タービン制御系などの主要制御系から段階的に導入しており、廃棄物処理系、タービン・発電機系、原子炉常用系へと順次適用拡大してきた。現在、安全系をも含めたプラント全体の総合デジタル化を実現するために技術開発を推進している。

ここではBWR(沸騰水型原子炉)型原子力発電所向け計測制御システムでのヒューマンインタフェースの高度化、計測制御系のデジタル化について述べる。

2 ヒューマンインタフェース

2.1 ヒューマンインタフェースの変遷

原子力発電所では、中央制御室にプラントの運転監視を管理する情報が集中している。国産実用化の当初から中央制御室での監視操作性の改善のための研究開発が続けられてきた。この研究開発は、人間工学的見地だけでなく最近ではさらに知識工学などを取り入れて運転支援

世代	第 1 世代	第 2 世代	第 3 世代
課題	信頼性向上	ヒューマン性向上	運転支援強化
監視 操作 盤	概観 	NUCAMM-80 	NUCAMM-90 
	構成・寸法  ベンチ盤	 主盤 8 m 8 m 原子炉系副盤 タービン・発電機系副盤	 大型表示盤 12 m 7 m 主盤
プ 運 ラ ン ト 転	監視 個別計器	集約表示 (カラーCRT)	カラーCRT・カラーフラットディスプレイ 大型表示盤
	操作 手動	自動化・操作ガイド	自動化拡大・タッチオペレーション
計 算 機 の 利 用	運転信頼性向上, 高度化 		ネットワーク制御
	性能監視・計算(炉心, プラント)		


注:  は通常監視領域を示す。

図1 ヒューマンインタフェースの変遷 BWR(沸騰水型原子炉)プラント国産実用化時代と比べて、自動化や最新デバイスの活用など、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。

をいっそう強化する方向にある。

中央制御室ヒューマンインタフェースの変遷を図1に示す。第1世代での個別計器による運転監視と計算機の部分適用を経て、第2世代では国内外先行機の実績を十分踏まえて、人間工学的改善および計算機技術を用いた運転監視面での改善を積極的に行ってきた。すなわち、第2世代のマンマシンの代表システムである新型中央監視制御システム“NUCAMM-80”は、主盤プラス副盤構成として、使用頻度や緊急度の高い監視操作器具を主盤に集約するとともに、カラーCRTを適切に配置して、プラントの運転状態が容易に監視できるようにした。

第3世代総合デジタル中央監視制御システム“NUCAMM-90”では、デジタル化技術の発展を背景に、計算機のよりいっそうの高度化利用をベースに、ヒューマンインタフェースの高度化、自動化範囲拡大などを図っている。

例えば、監視主体の運転体系を目指し制御棒操作の自動化、スクラム後定型操作のインタロック強化などを行う計画である。このような自動化とタッチオペレーション技術の採用によって、監視操作盤のコンパクト化をも図っている。

2.2 総合デジタル中央監視制御システム“NUCAMM-90”

次世代総合デジタル中央監視制御システム“NUCAMM-90”のイメージ図を図2に示す。このシステムの設計方針は、(1) 監視操作のいっそうの容易化・確

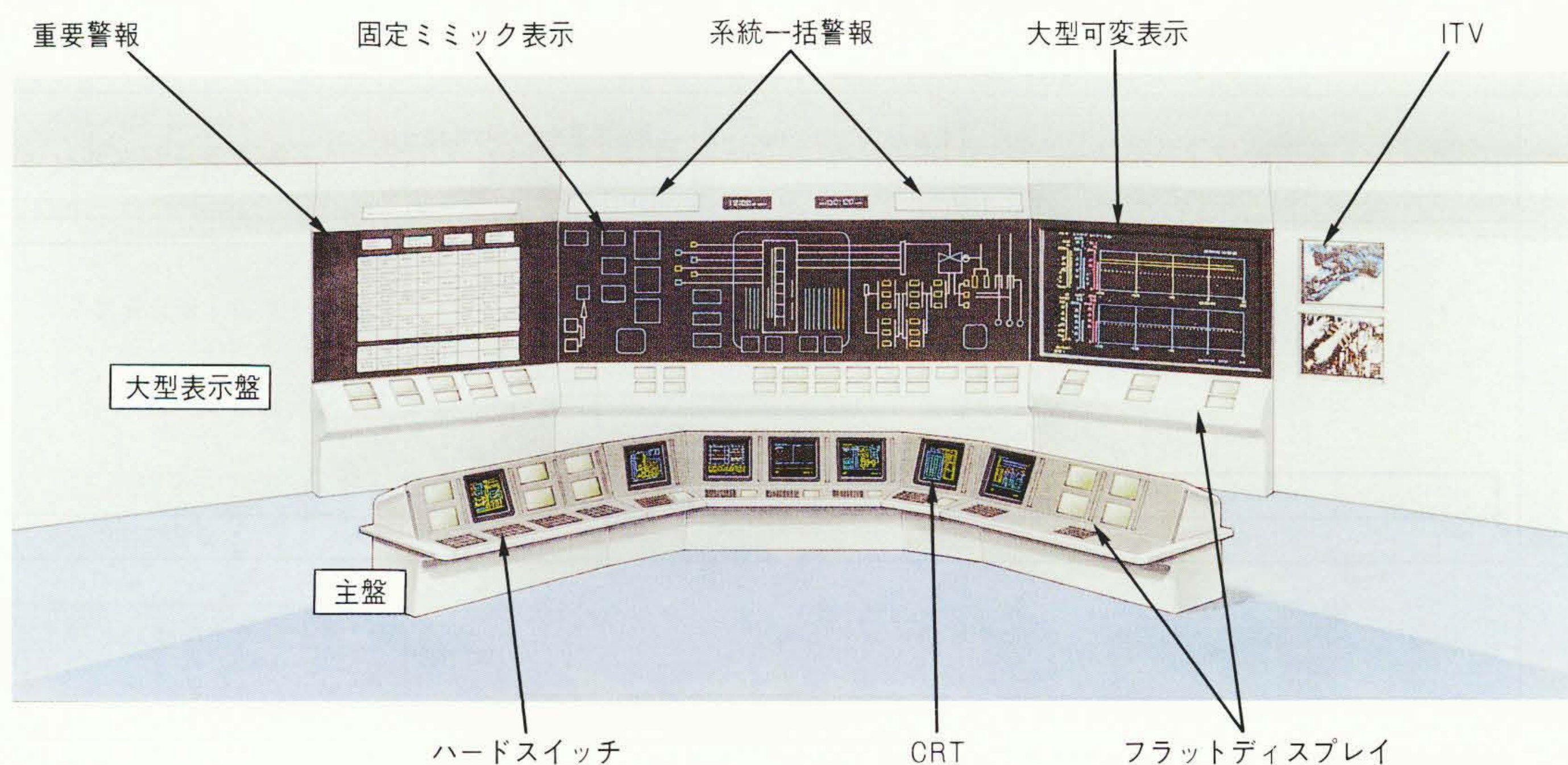
実化、(2) 運転形態の高度化・高効率化である。このため、制御盤を主盤と大型表示盤の構成とした。大型表示盤ではプラントの重要な情報を運転員全員に提供できるものとし、主盤では運転員の通常の監視操作インタフェースの集約化を目指した。

主盤にはタッチオペレーション機能付きのCRTおよびフラットディスプレイを採用して集約監視の中心とし、自動化をベースとした連動操作を主体とするプラント運転操作は原則的にハードスイッチで対応する設計としている。また、緊急時操作用にハードスイッチを厳選して設けている。

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配置し、さらに110インチ大型可変表示方式を採用して、主盤CRTの詳細情報を表示できるものとしている。従来、警報窓は1,300個前後あったものを、重要警報窓(約70個)と系統一括警報窓(約140個)に厳選して集約表示した。警報発生時にはこのハード警報窓点灯とCRTでの個別詳細表示とで、いっそう容易に状況把握ができ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、運転監視盤全体のコンパクト化を実現した。

2.3 フラットディスプレイの導入

タッチオペレーション付きフラットディスプレイの画面例を図3に示す。主盤コンソールおよび大型表示盤に



注：略語説明 ITV (工業用テレビジョン)

図2 新型中央制御室ヒューマンインタフェース“NUCAMM-90” 主盤プラス大型表示盤の構成により、監視操作のいっそうの容易化・確実化および運転の高効率化と高度化が実現できる。

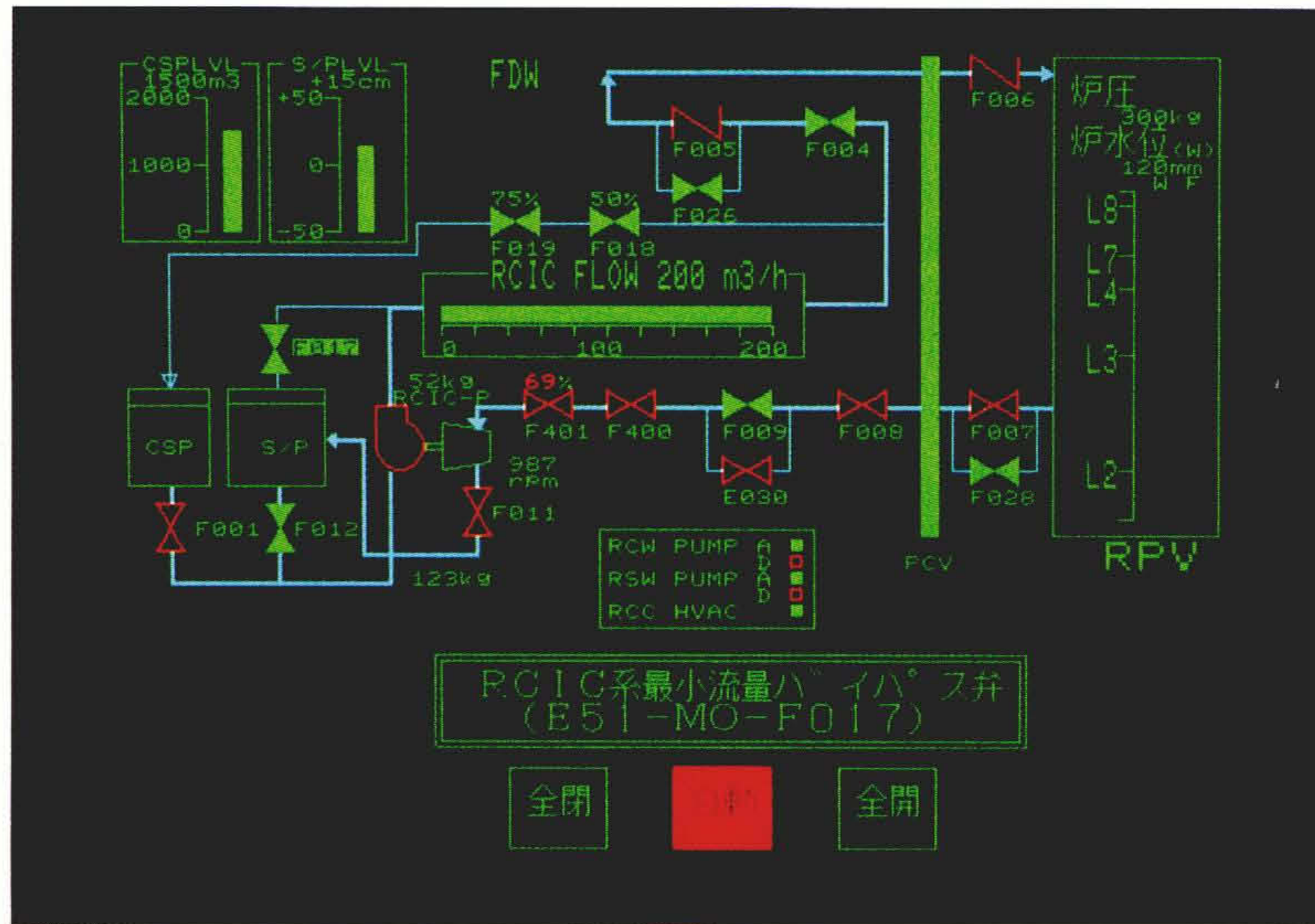


図3 カラーフラットディスプレイの画面例 従来のCRT同様にタッチオペレーション機能付きとし、親しみやすいインタフェースを目指している。

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・操作用として使用できる。ディスプレイ上の系統図ではデバイスタッチによって機器・動作モードの選択ができ、また指示パラメータ画面によってプロセス量

プラントフェーズ	第1世代 国産実用化	第2世代 改良標準化と新型制御盤	第3世代 A B W R
ヒューマンシステム	従来型 運転監視用CRT 2台	運転監視用CRT 5台 NUCAMM-80 ●運転監視用CRT 9台 ●主盤・副盤分離方式	NUCAMM-90 ●大型表示盤 ●フラットディスプレイ ●CRT・フラットディスプレイによるタッチオペレーション
	制御モジュール	高信頼性アナログモジュール(HIACS)の採用	主要制御系のデジタル化 常用系のデジタル化
制御システム	アナログ装置	主要制御系 (給水・再循環・タービン制御)	中性子計装・安全保護系 常用系 廃棄物処理系・放射線モニタ系
	アナログ信号伝送		非常用系光伝送 常用系光伝送 廃棄物処理系・放射線モニタ系光伝送

注：略語説明 ABWR(改良型沸騰水型原子炉)

図4 デジタル技術適用の変遷 マンマシン機能および制御演算・信号伝送に対し、信頼性・保守性向上の観点からデジタル技術の適用拡大を積極的に進めている。

の動きを確認できる。このマンマシン部はプロコン駆動による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。

3 デジタル技術

運転監視性向上のためのヒューマンインタフェースの高度化とシステム信頼性・保守性の向上を目的としたデジタル技術の適用拡大を行ってきた。

この章では、BWRでのデジタル技術適用の変遷と最近のデジタル計測制御システムの特徴について述べる。

3.1 デジタル技術のトレンド

デジタル技術適用の変遷について図4に示す。デジタル技術が本格的に採用されたのは、“NUCAMP-80”からである。プラントの主要制御系に対し、冗長化デジタルシステムを開発・適用し、その信頼性と制御性を飛躍的に高めることができた。また、デジタル式の放射線モニタや光情報伝送システムを取り入れたのもこの段階である。

光情報伝送システムは一般の電気伝送に比べて耐ノイズ性、伝送容量の大きさなど、優れた特徴を持つ。特に原子力発電プラントでは数万点に及ぶプラント情報が中央制御室に集中的に伝送されるため、このような特徴を持つ光情報伝送の適用が将来的に拡大されていくものと考えられる。まず、廃棄物処理系へこの伝送方式とデジタル演算処理技術が全面的に適用され、廃棄物処理系の総合デジタル化を実現した。

次に、システム信頼性および保守性向上を目的に同様の総合デジタル化をタービン・発電機系、そして原子炉常用系へ段階的に適用拡大してきた。ABWR(改良型沸騰水型原子炉)では、さらに中性子計装系、安全保護系、原子炉再循環インターナルポンプ制御系、制御棒制御系を含めたプラント全体の計測制御設備へデジタル化を拡大し、システム信頼性のよりいっそうの向上を図る計画である。

3.2 常用系の総合デジタル化

光情報伝送を適用した総合デジタル化は、廃棄物処理系への適用に始まり、給・復水系、タービングランド蒸気系、抽気系、気体廃棄物処理系、海水系、タービンローカル系などのタービン・発電機周りの制御系および原子炉常用系へ全面的に適用した。現場情報を光情報伝送によって中央制御室の演算処理装置とつなぎ、耐ノイズ性向上を図るなど合理的な構成をとることができた。演算処理は待機冗長二重系のマイクロコントローラで行

うことによってシステム信頼性の改善を図った。プログラム言語はPOL(Problem Oriented Language)を使用し、ドキュメントと同等の制御ブロック表現を用いることでプログラム設計や制御動作の監視などの容易化を図っている。

また、各種用途でフラットディスプレイの適用が進められている中で、タービンローカル制御用にもエレクトロルミネセンス表示器を適用し、マンマシン部の集約化・多機能化を図った。タービンローカル制御系は給水加熱器ドレンタンク水位制御、湿分分離器水位制御など約50の閉ループ制御を管理する。これらの制御対象に対する制御状態の監視、設定値の変更、個別警報表示の確認などの目的で8台のエレクトロルミネセンス表示器を設けている。

3.3 デジタル中性子計装システム

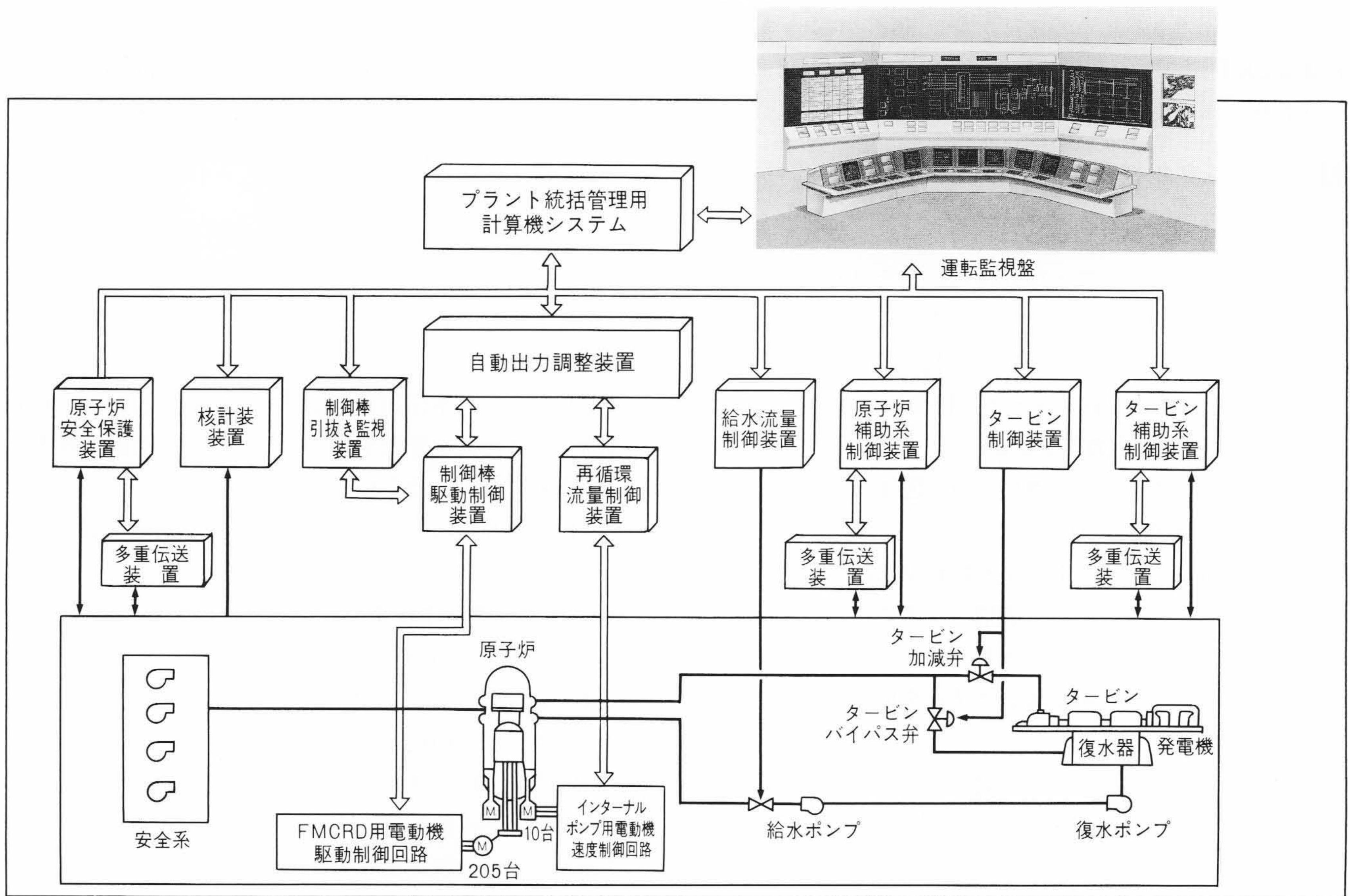
起動領域から出力領域まですべての原子炉出力領域を監視する目的で、原子炉核計装系(起動領域モニタ、出力領域モニタ)を設置し、中性子束レベルを計測している。ABWRでは原子炉核計装系に対し、装置の高機能化を目的にデジタル型システムを適用する計画である。これにより、デジタル化のメリットである信頼性・保守性の向上に加えてLPRM(Local Power Range Monitor: 局部出力領域モニタ)校正の一部自動化、自己診断機能の付加などの機能向上を図ることができる。

デジタル型出力領域モニタでは、高速かつ型特性のの良い特殊なデジタルフィルタを採用し、耐ノイズ性をも含めて信号処理性能の向上を図っている。マンマシン部にはフラットディスプレイを採用し、コンパクト化、高機能化を図っている。

3.4 デジタル型安全保護系

デジタル制御技術、光情報伝送技術を常用系制御システムへ全面的に適用してきた経験を生かし、次期プラントのABWRでは、デジタル化範囲を安全保護系まで拡大する計画である²⁾。安全保護系へデジタル制御装置を適用するにあたっての課題は、安全保護系に要求される指針との適合であり、高い信頼性と十分な実証性が要求される。そのため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の評価・検討結果を踏まえて実機適用計画を進めている。

安全保護系をデジタル化することにより、従来のリレー、アナログ計器に代わりマイクロプロセッサをベースとした構成となる。そのため、デジタル型安全保護系では、従来の論理(1 out of 2 twiceなど)に対し高信頼



注：略語説明など FMCRD (Fine Motion Control Rod Drive), \longleftrightarrow (光情報伝装)

図5 次期プラント向け監視制御システムの全体構成 高いシステム信頼性と保守性の実現を目指し、安全系をも含めたプラント全体の計測制御システムの総合デジタル化を進めている。

性論理 (2 out of 4) の適用が容易となることと合わせ、故障チャンネルの切り離しが可能となり、保守性向上およびプラント稼働率の向上に寄与することができる。

このシステムの現場との信号送受信にも光情報伝送方式を用い、マンマシン部にはシステムの状態表示および機器の手動操作などを目的に、タッチオペレーション機能付きフラットディスプレイを設ける。次期プラント監視制御システムの全体構成を図5に示す。安全保護系を含む計測制御系へ、デジタル演算処理技術と光情報伝送技術を全面的に適用することにより、高いシステム信頼性と保守性の向上を目指している。

4 おわりに

以上、ここではBWR型原子力発電所向け計測制御システムでのヒューマンインタフェースの高度化、計測制御系のデジタル化を中心に最近の状況について述べた。原子力発電所では、計測制御のいっそうの高度化とヒューマンフレンドリーなヒューマンインタフェースへの要求が高まっている。今後とも、より人に優しいヒューマンシステムと合理的かつ信頼性の高いシステムの開発を推進していく考えである。

参考文献

- 1) 藤井, 外: 最近のBWR計測制御新技術, 日立評論, 90, 10, 1027~1034(平2-10)
- 2) S. Utena, et al.: Development of the BWR Safety Protection System with a New Digital Control System, IAEA-CN Tokyo(1992-5)