U.D.C. [621.311.25:621.039.524.44.034.4]
[621.039.56+621.311.176]:[654.93/.94:681.327.13]

原子力発電所中央監視制御システム“NUCAMM-80”の開発

Development of New Plant Monitoring and Control Systems for BWR Nuclear Power Stations

矢内勝也* *Katsuya Yanai*
中村輝義* *Teruyoshi Nakamura*
西沢和雄* *Kazuo Nishizawa*
中村日出雄** *Hideo Nakamura*
上下利男** *Toshio Jôge*
木口高志*** *Takashi Kiguchi*
伊藤哲男**** *Tetsuo Itô*

BWR型原子力発電所の中央監視制御は，原子炉ユニット容量の増大，各種システムの強化などにより，最近ますます大規模化かつ高度化し，それに伴って，多くの情報表示器と操作器具が中央制御盤に集中する傾向にある。これに対し，運転操作に対するマンマシン性向上の見地から，プラント運転上抜本的な改善の必要性が強く認識されてきた。

日立製作所では，プラント情報の集約化と操作の自動化とを合理的に調和させ，かつ各種のインテリジェント機能を装備した革新的な中央監視制御システム“NUCAMM-80”を開発した。本システムは，監視操作の内容に応じた制御盤の分割，カラーCRT表示や音声告知方式の採用など，特にマンマシン性の向上を図った。

この結果，常時監視範囲は従来の約$\frac{1}{8}$に縮減され平常時の一人制御も可能となり，運転監視性が著しく高められた。また，プラントの健全性監視と異常時対応機能を飛躍的に向上させ，高いプラント運転信頼性の確保が可能となった。

1 緒　言

BWR(Boiling Water Reactor)型原子力発電所は，システム規模の大きさに加え，放射線被曝防止の点からも，中央集中監視方式をとる典型的なプラントである。このため，多くの情報量と操作器具が中央に集中し，中央制御盤は必然的に長大なものとなってきた。

更に，近年のユニット容量の増大，安全強化に伴うシステムの拡大は，情報のいっそうの集中化とプラント運転の複雑さを強め，中央監視制御がますます大規模化・高度化し[1]，プラント運転監視上，よりいっそうのマンマシン性の向上が要求されるようになってきた。

これに対応して，日立製作所では，(1) プラント運転信頼性(安全性)と稼動率の飛躍的向上，(2) 運転員の負担軽減と大幅な省力化，を主目的とし，プラント情報の集約化，運転操作の自動化拡大，予測診断システム強化，パネル及びサブシステム配列の人間工学的再評価，制御用計算機やCRT(Cathode Ray Tube)などの機能的ハードウェアの有効適用拡大など関連基盤技術を結集させ，原子力発電所中央監視制御システム“NUCAMM-80”(Nuclear Power Plant Control Complex with Advanced Man-Machine Communication-80)を開発した。本稿は，その概要について述べる。

2 開発の基本方針

中央監視制御設備が，運転監視面でシステムとして要求される基本機能，本来の在り方について考えると，通常時は安定運転，効率的運転の維持であり，異常時は安全の確保(異常拡大阻止)と迅速な復旧である。これらいずれの要求に対しても適切な機能を発揮できるマンマシンインタフェースの形成が必要となる。

図1にプラント運転監視系でのマンマシン関係を示す。運転員は，プラントプロセス—監視制御盤—運転員という閉ループの中の一要素として，「監視」，「操作」，「確認」の機能を要求される。したがって，これら運転員に要求される三つの機能を調和のとれた形で同時に合理化し，更に，各種判断機能を強化することにより，プラント運転信頼性の向上と運転員の負担軽減が可能となる。このため，自動化，オペレーションガイド，診断，予測，情報集約などの実用技術を開発し，合理的に適用することとした。

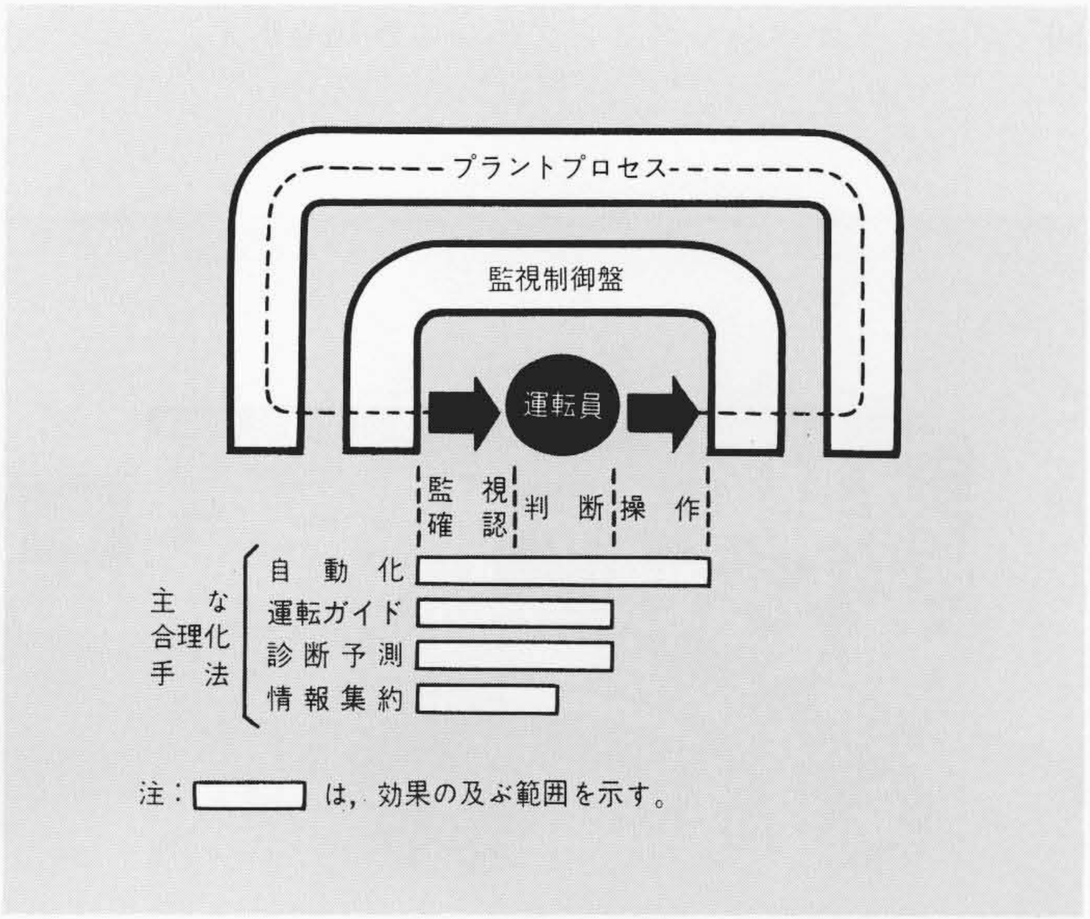


図1　プラント運転監視系におけるマンマシン関係　運転員はマンマシンシステムの中の一要素として，必要な機能を要求される。これを各種の合理化手法で支援し，軽減させることが必要である。

* 日立製作所大みか工場　** 日立製作所電力事業本部　*** 日立製作所エネルギー研究所 工学博士　**** 日立製作所エネルギー研究所

3 システム構成

“NUCAMM-80”システムは，大別して次の四つのサポーティングシステムから構成され，合理化されたマンマシン性を基に高いプラント運転信頼性を確保している。

3.1 運転監視制御盤

運転監視制御盤は，運転員とプラントプロセスとが直接的に対話する運転監視の中核となるところである。したがって，人間工学的見地から以下に示すような方法により，従来制御盤を抜本的に合理化改善した。

3.2 CRT表示制御システム

プラント運転情報の表示には，従来形計装と調和をとりながらカラーCRTを積極的かつ効果的に使用し，必要情報の集約化，自動選択表示，オペレーションガイドなどプラント運転監視機能の大幅な拡充を図った。

3.3 プラント運転自動化システム

実績をベースに，必要な各種の自動化システム及び装置を開発し，制御用計算機，専用制御装置を合理的に駆使して，プラントの主要な運転操作を積極的に自動化した。

3.4 計算機システム

プラント性能及び運転監視，ＣＲＴによる運転情報表示，プラント運転自動化，プログラム作成などの機能をもち，これら全機能を所定の信頼性，応答性，処理性で実行させる最適なシステム構成とした。

以下，具体的にその内容について説明する。

4 パネルレイアウトと情報の集約化

4.1 パネルレイアウト(主盤と副盤の分離)

プラントの起動・停止，負荷運転，出力変更，制御棒パターン交換，異常時操作，緊急停止，保安テストなど，全運転モードでの監視，操作頻度及び緊急操作性，重要度に応じて，主盤(プラントオペレータコンソール)と副盤〔原子炉冷却系制御盤及びBOP(Balance of Plant)制御盤〕に，情報及び制御器具を分離集約し，通常の運転はプラントオペレータコンソールで行なうことができる構成とした。**図2**に，“NUCAMM-80”プラントオペレータコンソールの外観を示す。

4.2 監視機能の拡充

(1) 高度な集約情報の表示

プラント運転状態に応じて，必要なプラント情報を合理的に集約表示するとともに，オペレーションガイド，プラント自動化，炉心性能予測監視，プラント異常監視，診断表示などの，各種のプラント監視制御技術を駆使した高度の運転情報表示を行なっている。**図3**にカラーCRT表示例を示す。

(2) CRTの合理的配置

カラーCRTは，プラントオペレータコンソールに基本形として6台組み込み，運転操作と情報表示の同時性を十分考慮して配置した。

中央の3台は，原子炉を含むプラントの総括監視情報を操作と関連して表示させ，両側の3台は，各々操作に対応した各サブシステム関連の情報表示用である。また，副盤にCRT2台を設置し，工学的安全系のサーベイランステストガイド及び待機状態モニタなどに利用することとした。

(3) 高度なCRT表示技術の採用

CRT表示画面の選択は，単一画面手動選択法のほか，プラント起動・停止過程に応じて，中央部3台のCRT画面を一括グループ更新するグループ画面同時選択法や，異常が検出されたとき監視すべき情報を自動表示する優先情報自動選択法などの新手法を採用した。

4.3 ヒューマンエンジニアリング

プラントオペレータコンソールは，前記のような合理化と同時に，器具のレイアウト，形状，寸法，色調及び照明，更に全体デザイン上に特に人間工学的配慮を十分行ない，運転員の肉体的，精神的負担を軽減し，プラントの運転に専念できるよう配慮した。なお，立位，座位いずれによる監視操作も無理なく行なえる寸法形状とした。

5 プラント自動化システムの開発

プラントの各種運転操作に対して，広い範囲にわたって自動化を行ない，操作ミスの防止，機器へのストレス低減及び運転員の負担軽減を図った。

5.1 制御方式

運転操作の自動化は計算機及び専用制御装置により行なう

図2 “NUCAMM-80”(Nuclear Power Plant Control Complex with Advanced Man-Machine Communication-80)プラントオペレータコンソール　運転監視頻度，緊急度，重要度の高いものを配置し，かつカラーCRTにより情報の集約表示が可能である。人間工学的に十分配慮された機能，形状，寸法としている。

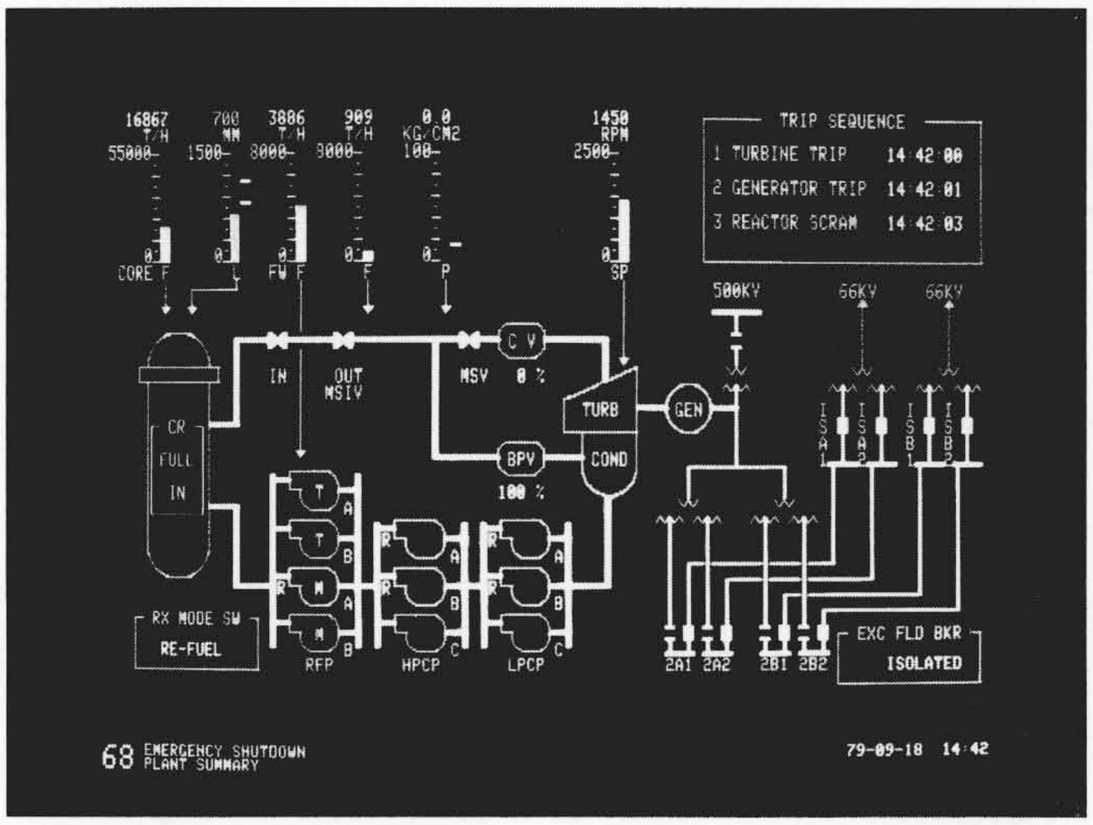


図3　カラーCRT表示例　　プラント運転状態，プロセスデータ及びイベントメッセージが合理的に集約表示され，運転員の的確かつ迅速な状況把握を可能とさせる。

が，その制御方式は次に述べる3種を基本とし，各制御項目に対しては，それぞれの特長を生かした最も適切な制御方式を選んで適用した。

(1)　DDC(計算機直接制御)

計算機内で操作量を計算し，直接操作端を駆動する方式

(2)　SCC(計算機監視制御)

計算機は設定値の設定や装置の使用除外の指令を出し，連続的なループ制御は，専用の制御装置が実行する方式

(3)　シーケンシャル制御

シーケンス制御装置に，計算機が起動信号を与える方式

表1　主要自動化項目一覧表　　プラント起動・停止及び負荷運転の広い範囲にわたる操作を自動化した。

系統	No.	主な自動化項目	制御方式
原子炉	1	プラント出力調整(再循環流量制御による)	SCC
	2	起動時炉水位制御	DDC
	3	昇温昇圧時圧力設定値制御	SCC
	4	原子炉減圧冷却操作	SCC
	5	TIPトラバース操作	SCC
タービン	1	タービン起動・昇速・停止	SCC
	2	タービングランドシール系操作	シーケンシャル
	3	真空上昇・破壊，オフガス系操作	シーケンシャル
	4	給・復水ポンプ起動停止／給水ポンプ切替操作	シーケンシャル/DDC
	5	給水ポンプタービン回りドレン弁操作	シーケンシャル
	6	タービン加減弁室ウォーミング	DDC
	7	タービン・主蒸気管回りドレン弁操作	シーケンシャル
発電機	1	発電機系統並列・初負荷	SCC
	2	発電機解列	シーケンシャル
	3	所内電源切換	シーケンシャル

注：略語説明
DDC(計算機直接制御)
SCC(計算機監視制御)
TIP（走行形中性子束較正装置）

5.2　自動化内容

主な自動化項目と制御方式を**表1**に，また，本自動化システムの装置構成を**図4**に示す。同図から分かるように，分散制御，階層化構成を基本としている。

6　診断，予防システムの開発

各種操作後の状態予測や異常の早期検出，診断による運転

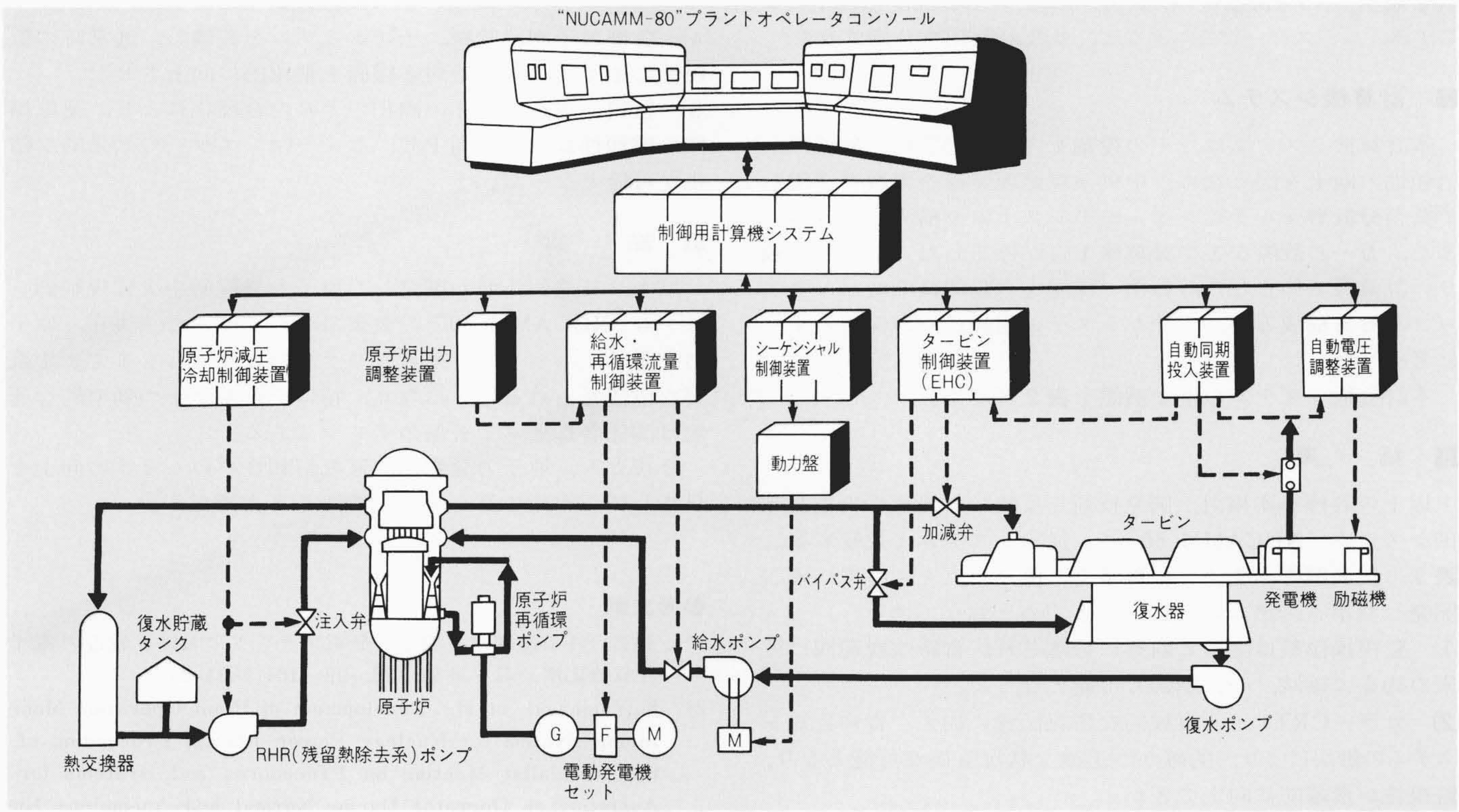


図4　プラント運転自動化システム制御装置構成　　各種の自動化システム及び装置を開発し，計算機による統括のもとに分散制御階層化構成を基本としている。

表2 計算機システム機能一覧表 計算機システムはマルチコンピュータシステムとし，処理性と信頼性を両立させ，各種の高度な機能を実施する“NUCAMM-80”システムの中枢である。

分類	主な機能
性能計算	(1) 炉心性能計算(PC-IOMR機能を含む。)
	(2) BOP性能計算
	(3) 炉心性能予測
監視診断	(1) 監視警報
	(2) プラント診断
CRT表示	(1) 警報表示
	(2) プラント運転状態表示
	(3) 炉心性能表示
	(4) 操作手順指示
制御	(1) RWM
	(2) プラント自動化
日誌作表	
オフライン処理	(1) CRTプログラム作成
	(2) フォーマット作成
計算機バックアップ	

注：略語説明
PC-IOMR(Pre-Conditioning Interim Operating Management Recommendations)
RWM(Rod Worth Minimizer)

対応は，異常の拡大，波及の阻止及び早期予防の観点から，プラントの安全運転，高信頼化上極めて重要な機能である。

“NUCAMM-80”システムでは，このような運転員に要求されていた，あるいは運転員単独では検知，予測できなかった高度な判断機能を，計算機とソフトウェア技術を駆使し，新しく開発装備した。これにより，運転員を強力に支援することとした。このようなインテリジェント機能として，プラント総括状態モニタ，システム状態モニタ，プラント診断システム，サーベイランスガイドシステム，待機系状態モニタ，異常時プラント状態モニタ，オンライン炉心性能監視予測システム，ルースパーツモニタなど，多数の機能を装備させた[2]。

7 計算機システム

本計算機システムは，その役割を考慮し応答性，処理性，信頼性の向上を図るため，中央演算処理装置を複数台使用して負荷分散形マルチコンピュータシステムを構成している。また，万一の故障などで計算機1台が停止したとしても，残りの計算機で停止した計算機の機能を自動的に即時バックアップさせる構成とし，十分なシステム信頼性を確保するように考慮した。

本計算機システムの主な機能を**表2**に示す。

8 結果

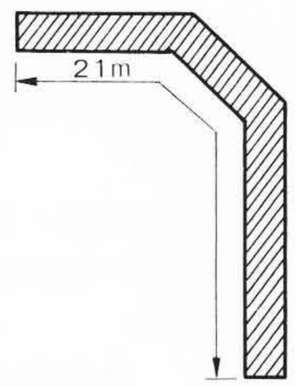
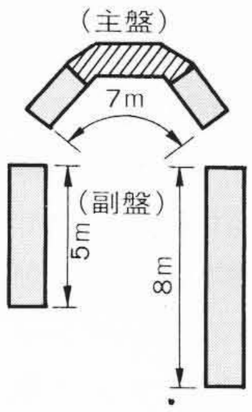
以上の各種基本検討，開発技術を反映した新形中央監視制御システム“NUCAMM-80”を，従来システムと比較すると，**表3**に代表例を示すように数多くの優れた点をもっている。開発した本システムの特長は，下記のとおりである。

(1) 監視操作盤は主盤と副盤に分離され，常時監視範囲は従来の約$\frac{1}{8}$に縮減，一人制御も可能となった。

(2) カラーCRTによる直観的な情報伝達に加え，音声告知システムの併用により，的確かつ迅速な状況監視が可能となり，監視性が飛躍的に向上できた。

(3) 各種自動化システム及び装置を開発し，運転操作の信頼性確保と運転員の負担軽減，省力化を可能とした。

表3 “NUCAMM-80”システムと従来方式の主要点比較 “NUCAMM-80”システムは多くの優れた点をもち，プラント運転監視機能を飛躍的に向上させた。

No.	項目		従来方式	“NUCAMM-80”
1	運転方式	監視制御方式	情報集中形	情報分離，集約形
		主要状態監視	指示計，記録計	カラーCRT主体 指示計，記録計
		運転人員 (当直長，補助員含まず。)	4～5名	1名 (起動・停止時2～3名)
2	プラント自動化	サプループ制御	○(あり)	○
		起動・停止 原子炉系(制御棒操作含まず。)	×(なし)	○
		起動・停止 タービン発電機系	×	○
		日間負荷調整	×	○
3	インテリジェント化	炉心性能監視	○	○
		炉心性能予測	×	○
		プラント監視・診断	×	○
		オペレーションガイド	×	○
4	拡張性(CRT画面など)		困難	容易
5	制御盤構成	主操作盤	ベンチ盤	コンソール
		計算機	1～2台	マルチシステム(数台)
		カラーCRT	1～2台	8～10台
		器具，情報の分離	非分離	主盤，副盤分離
		全長	21m	(7＋13)m
		常時監視面積比	8	(約)1
		配置 注：▨は，常時監視の範囲を示す。		

(4) 各種の予測，診断，予防システムを装備し，通常時の監視性に加えて，異常時対応機能を飛躍的に向上させた。

(5) 監視，判断，操作の調和のとれた合理化により，運転操作の信頼性は大幅に向上し，ヒューマンエラーの効果的な防止が可能となった。

9 結言

以上，日立製作所が開発した原子力発電所中央監視制御システム“NUCAMM-80”の概要について述べた。現在，原子力発電は，エネルギーセキュリティの観点からもますます重要な位置を占めるようになり，特にその安全かつ効率的な運用は関係者にとって普遍のテーマである。

今後とも，原子力発電所の運転信頼性のいっそうの向上を目指して，不断の努力を重ねてゆく考えである。

参考文献

1) 平賀，外：沸騰水型原子力発電プラントにおける最近の電子計算機応用，日立評論，**58**，99～104(昭51-2)

2) K. Yamazaki, et al.: Development of Plant Operation Monitoring System for Nuclear Power Plants, Proceeding of the Specialist Meeting on Procedures and Systems for Assisting an Operator During Normal and Anomalous Nuclear Power Operation Situations, Munich, Federal Republic of Germany (Dec. 1979)