最近のBWR(沸騰水型原子炉)用計測制御システム

New Control and Instrumentation Systems for BWR Nuclear Power **Plants**

原子力プラントの計装制御設備では、より高い信頼性と運転制御性を追求しプラ ント稼動率の向上を図るとともに、併せて経済性を求めてゆくことが重要な技術課 題である。

日立製作所はこの課題を解決するために,近年長足の進歩を遂げているエレクト ロニクス技術を積極的に導入し、着実に実績を挙げてきた。

稼動率を向上させるためにプラント内の情報量はますます増加し、ケーブル量が 増大する傾向にある。そこで、これを大幅に削減し経済性を追求する原子力用光多 重伝送システムを開発した。

本稿は、本システムを中心に最近の代表的な新技術、新製品の動向について記述 する。

野口跡見* Atomi Noguchi 伊藤哲男** Tetsuo Itô 城市久徳*** Hisanori Joichi

言

近年,原子力発電所のユニット容量の増大,運転監視制御 の高度化、診断機能の強化などに伴い、図1に示すようにプ ラント現場と中央制御室間の情報量は他の発電設備に比較し て増加の傾向を強めている。そこで、増加する情報の流れを 整理し優れた運転性を実現するとともに, 信号量の増加に柔 軟に対応しながらケーブル量を大幅に削減し、経済性を追求 することが肝要である。情報量の増加に対しては計算機の機 能を拡充し、従来の状態記録や警報表示のほかCRT(Cathode Ray Tube)を多数用いてプラント情報を整理し運転員に提供 するとともに、プラント運転の部分的な自動化を行ない運転 信頼性を飛躍的に向上させた。今後は自動化範囲を更に拡充 し、より高い運転信頼性と省力化を実現しなければならない と考える。

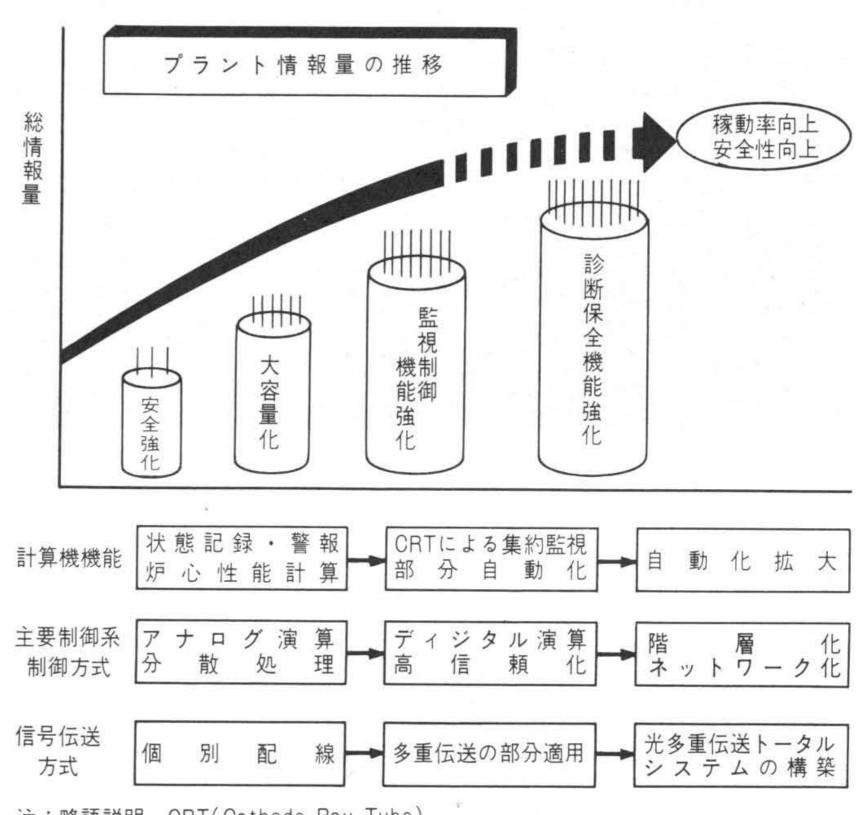
また稼動率を向上させるために, 主要制御系を中心に従来 主に単一系のアナログ演算方式であったものから高信頼化さ れたディジタル演算方式へと改善を進めてきた。今後は更に 階層化と統合化を行ない, 自動化を指向したトータルシステ ムへと進展し運転信頼性の向上に貢献するものと考える。

一方,ケーブル量の増加に対しては、1本の光ケーブルで 多量の情報を伝送する光多重伝送システムを適用するのが合 理的である。今後経済的なシステムを作りあげ、 適用範囲を 拡充し情報伝送路としてトータルシステムを構築してゆく必 要がある。

本論文は,これら最近の技術動向について述べる。

新型中央監視制御システム(NUCAMM-80)

本システムでは在来型の監視制御盤を人間工学の面から全 面的に見直すとともに, 近年進歩が著しい計算制御技術, 原 子力プラント自動化技術を積極的に導入した。図2に示すよ うに特に運転監視性を向上させるために主盤と副盤に分離し, 監視情報の集約化を図り, 主盤で通常の起動, 停止, 負荷運 転はもとより緊急時にも運転員が迅速に対応できるように配 慮した。中央制御室に11台のCRTを配置して図形、棒グラフ、 トレンド,数値,メッセージなどを適切に組み合わせて高速



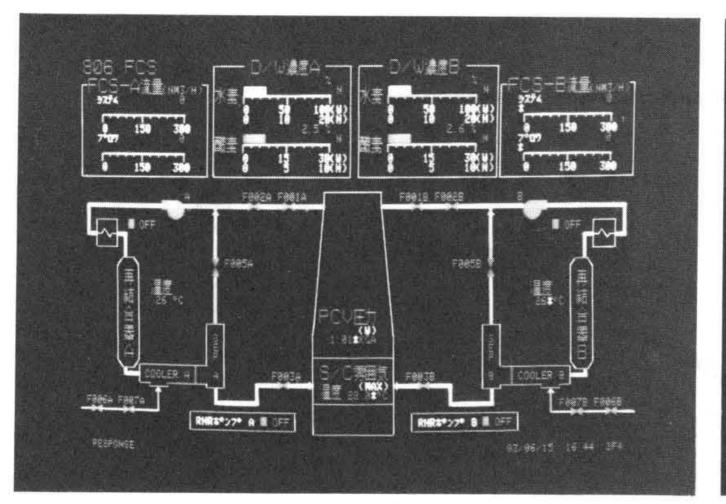
注:略語説明 CRT(Cathode Ray Tube)

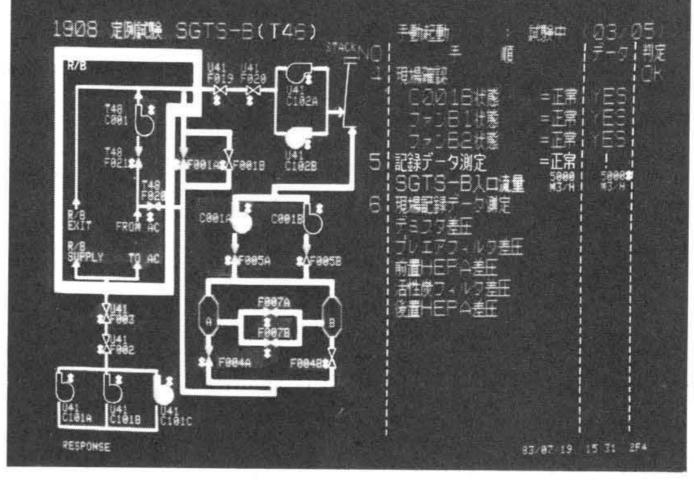
プラント情報量と計測制御方式の推移 ユニット容量の増大 とともに稼動率の向上を図るために、プラント内の情報量が増大している。こ れに対応し計測制御方式の合理的改善が図られる。

でプラント情報を集約表示し、プラント通常時、異常時の監視 性向上を図っている。また、表1に示すように、プラント運 転を統括監視制御する機能ももっており、運転員からの指令 あるいはプラント状態により各種制御装置への制御出力や状 態変化の表示を行なう。このほか, 工学安全系のサーベラン ステストガイド, 炉心性能予測などの機能も含まれ, 運転 監視操作性が飛躍的に向上されているとともに, 計算機シス テム自身も負荷分散形マルチシステムとし、計算機故障時の 自動システム再構成などにより大幅に信頼性向上が図られて いる。



(a) 総括運転監視盤





(b) CRT画面表示例

図 2 新形中央監視制御システム(NUCAMM-80) 総括運転監視盤にはカラーCRTを7台設置し、通常運転、緊急時対応が円滑に行なえるように、人間工学的に配慮されている。

表 | プラント計算機システム自動化機能 計算機による総括監視のもと、各制御方式の特徴を生かしてプラント自動化を実現している。

| 系 統 | No. | 自動化項目 | 制御方式 |
|-----|-----|-------------------|---------|
| 原子 | 1 | 原子炉昇圧・減圧操作 | DDC/SCC |
| | 2 | 出力上昇・下降(流量制御による。) | SCC |
| 炉 | 3 | 圧力制御切替操作 | SCC |
| 2,7 | 4 | 出力運転中負荷設定・更新操作 | KAW |
| | 5 | タービン加減弁室ウォーミング | DDC |
| _ | 6 | 原子炉給水ポンプ切替・追加操作 | DDC/SCC |
| 9 | 7 | タービン起動・昇速操作 | SCC |
| 1 | 8 | グランドシール系操作 | OG |
| ビ | 9 | 真空上昇操作 | OG |
| > | 10 | タービン油温制御 | OG |
| > | 11 | タービンドレン弁操作 | OG |
| | 12 | タービン油ポンプ制御 | OG |
| 発 | 13 | 発電機系統併列・初負荷操作 | SCC |
| 電 | 14 | 発電機解列準備 | SCC |
| 機 | 15 | 発電機励磁調整操作 | KAW |

注:略語説明 DDC(Direct Digital Control), SCC(計算機監視制御), KAW(Kick Action Work), OG(オペレーションガイド)

3 主要制御系用高信頼化制御装置

原子力プラントの稼動率を向上させるためには、主給水、原子炉再循環、主タービン制御系など重要な制御系の高信頼化を図ることが必要である。このため、長年にわたる研究成果と経験を集約し、診断機能を充実したマイクロコントローラを冗長化かつ分散形構成とし、高信頼化制御装置"NUR ECS-3000"(Nuclear Power Plant High Reliability Control System-3000)を開発した(図3)。本装置は以下に述べるような特長をもち、従来に比べ一けた以上の信頼性の向上を実現している。

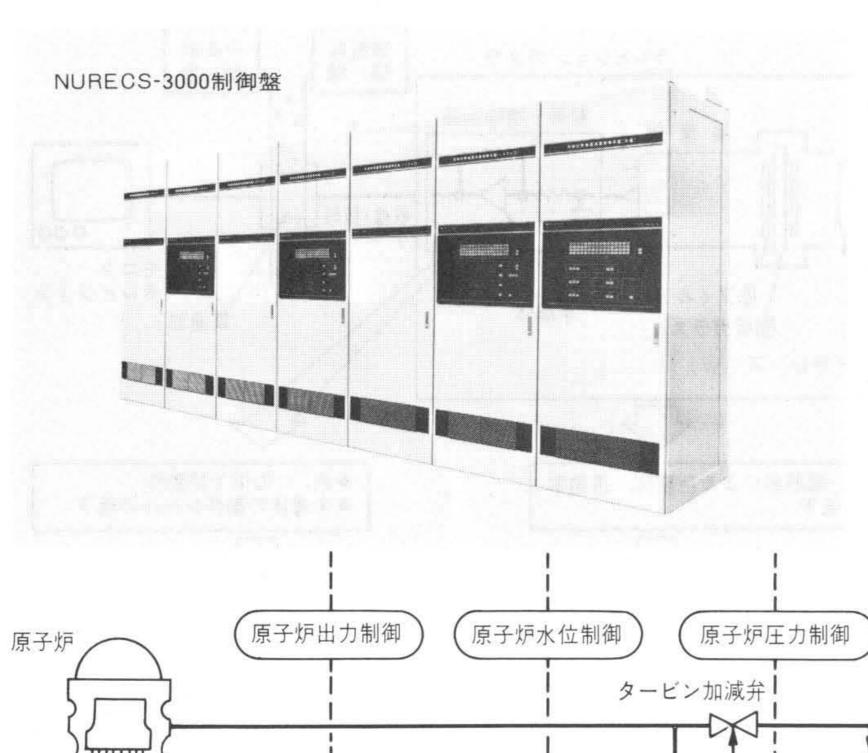
(1) 多重分散形システム構成

制御系の各構成要素をそれぞれ三重化した完全分離の分散 形構成としたほか、交流と直流による二重化電源供給システムを採用するなどにより、単一のトラブルでは制御機能は喪失 しないように、あらゆる点で高信頼化への考慮を払っている。 (2) 階層化縮退運転と容易な保守

万一の単一故障時には、異常な部分を切り離し冗長な機能を縮退してシステムの継続運転を遂行するとともに、切り離された異常部分の保守を運転中の制御機能に影響を与えずに行なえる構成としている。

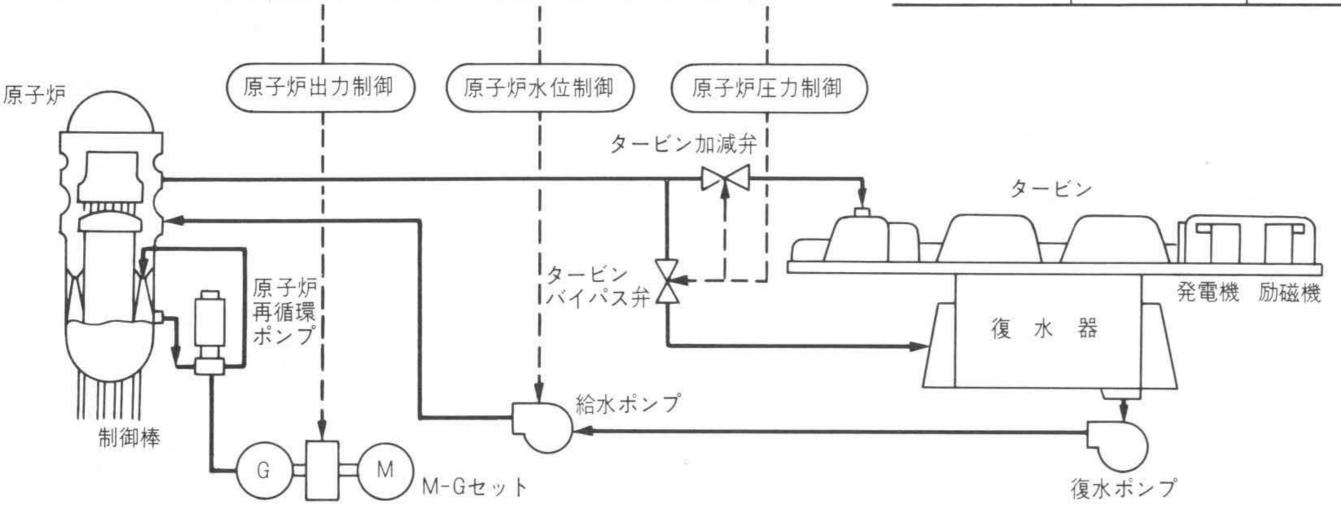
(3) 適応制御機能

運転状態に対応した非線形特性補償機能をもち,運転領域 全域にわたって制御性を向上させている。

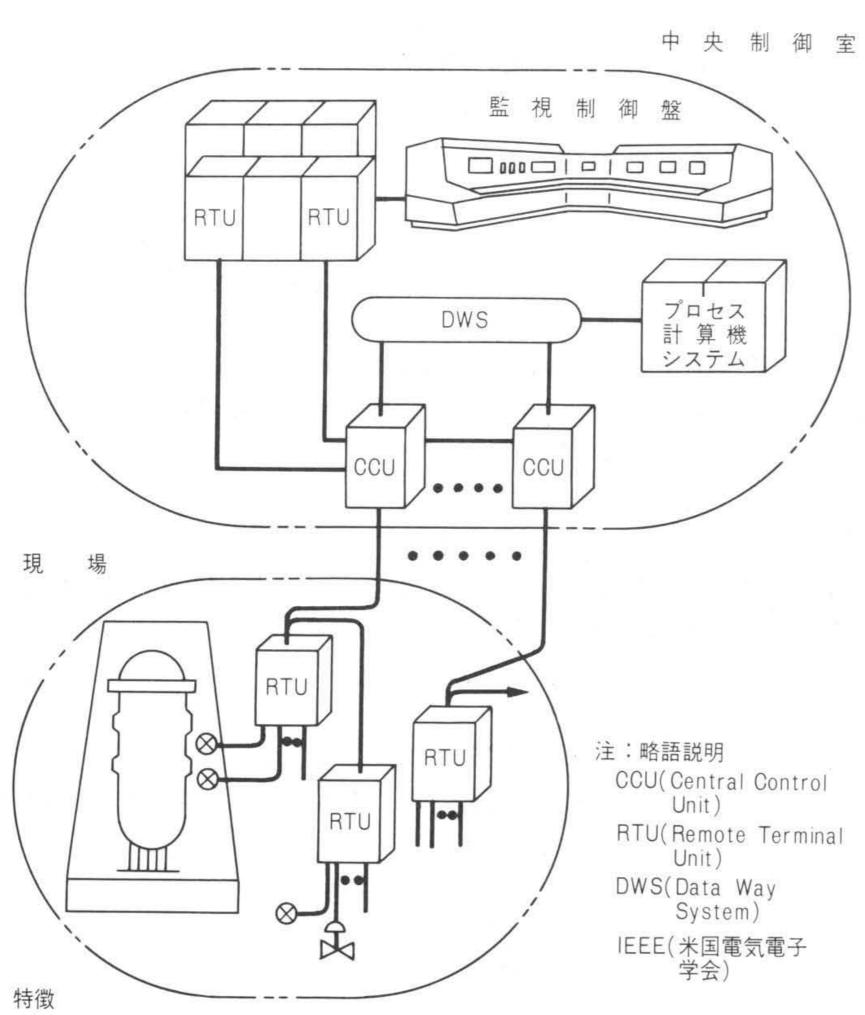


特徵

| 構 | 成 | 保全性 | 制御方式 |
|------|-----|------------------|---------------|
| 二重化, | 三重化 | オンライン 保 守 点 検 | ディジタル 演算 適応制御 |



主制御用高信頼化制 御装置 "NURECS-3000" シ ステム 多重系を基本とした 分散形システム構成とし、単一 故障では制御機能を喪失せず, 運転継続が可能である。



環 高信頼性 耐震性 耐 放 射 線 故障診断構 燃性 Aクラス **IEEE 383** (1) RTU及びCCU 保守性向上 単一系, 積算線量10³R以下 (VTFT) 多重系 (2) 光ケーブル 積算線量10⁵R以下

図 4 原子力用光多重伝送システムの全体構成 プラント現場に散 在する各系統,各種の信号を光ケーブルを介して時分割多重伝送し,中央制御 室の監視制御盤やプロセス計算機システムなどと結合する。

原子力用光多重伝送システム

4.1 システムの機能と特徴

プラント内の情報量の増加は、従来の個別配線方式では必 然的に信号ケーブル量を増加させ、その結果作業工数を増大 し、建設工程へのインパクトを与える。そこで、ケーブル及び 付帯設備を合理化し,布設工数及び建設工程の縮減と平準化 を目的とした新しい原子力用光多重伝送システム"HIPLEX-N"(Hitachi Multiplexing System for Nuclear Power Plant) を開発した。

本システムは電磁誘導障害に対して強いばかりでなく、設 備の追加変更に伴う信号量の増減に対しても柔軟に対応する ことができる。

全体システム構成を図4に示す。プラント現場に散在する 各種の信号を取り込み, 光ケーブルを介して多重伝送し, 中 央操作室で各系統の制御盤や監視盤あるいはプロセス計算機 システムと結合する。

今回開発した原子力用光多重伝送システムの特長は下記で ある。

- (1) 冗長系を柔軟に構成することにより、本システムを適用 する各々の系統に適合した信頼性を確保できる。
- (2) システムの異常状態を中央制御室に集中表示し、保守性 を向上している。
- (3) 光伝送路は電磁無誘導性のほか耐放射線性と難燃性をも っているので、系統間の分離独立性を確実なものにする。
- (4) 所定の地震に対しても正常に機能を維持する。

4.2 高信頼化と保守性向上

伝送システムを高信頼化するために冗長化構成とするが, 冗長化された各サブシステム間の共通部を最少限にすること が重要である。また、保守性を向上するためには診断機能を 強化する必要がある。以下にこれらについて具体的に述べる。

(1) CCUとRTUの構成

プロセス信号を入出力するRTU(Remote Terminal Unit) とこれらを互いに結合し制御するCCU(Central Control Unit) の主要部分は、各系間で独立構造とし冗長化している。また、保守性を向上させるために各演算部の診断機能を強化し、各プリント板モジュール単位に故障を検出し、故障部分を切り離し、縮退運転を可能としている。更に、現場に設置されるRTUのすべての異常情報は光伝送路を介して中央制御室に設置されたCCUに集中表示されるトランスペアラント構造とすることにより保全性を向上させている。

(2) プロセス信号の入出力方式

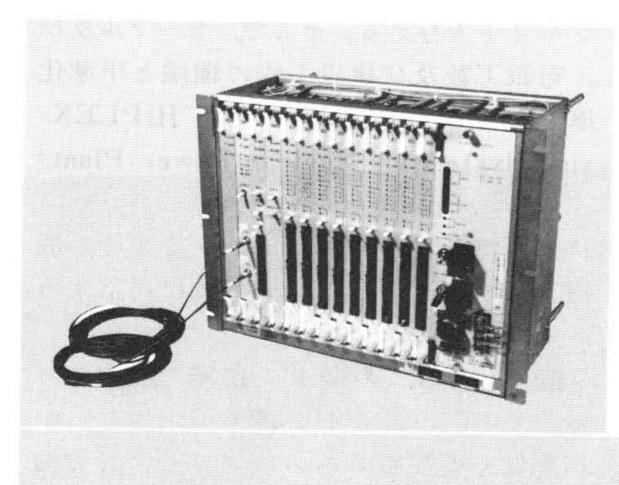
入力信号に対しては接点増幅などにより各系間の絶縁をとることができる。しかし、出力信号に対しては容易でなく、ディジタル信号はリレー接点の組合せで2 out of 3 などの多数決論理で出力することが多い。しかし、本システムのように多数の信号を扱う場合には出力部が大形化し、信頼性の上からも問題となる。そこで、LSI技術を駆使して大幅に小形化し、信頼性を向上させた。同様にアナログ信号に対しては三つの信号の中間値を出力する方式とした。

図5に外観を示す。ユニットをモジュール化し、組合せ方により柔軟に冗長化が構成できる。

4.3 監視性の強化 – 耐放射線形カラーテレビジョンカメラ の開発

より高い運転監視性を確保するためには、きめ細かい予防保全が必要であり、テレビジョンカメラによる画像情報伝送は重要な手段の一つである。日立製作所はその際必要な要素となる高放射線環境下監視用の耐放射線形カラーテレビジョンカメラを開発した。

図6に技術課題と改良内容を示す。



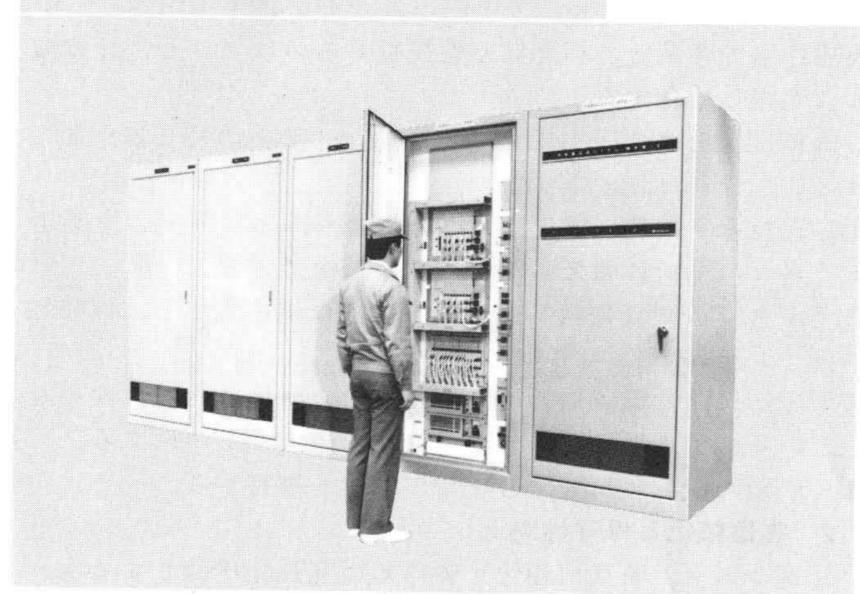


図 5 原子力用光多重伝送システムの外観(一例) 盤単位だけでなく,ユニット単位でモジュール化し、単一系、二重系、三重系を容易に構成できる。

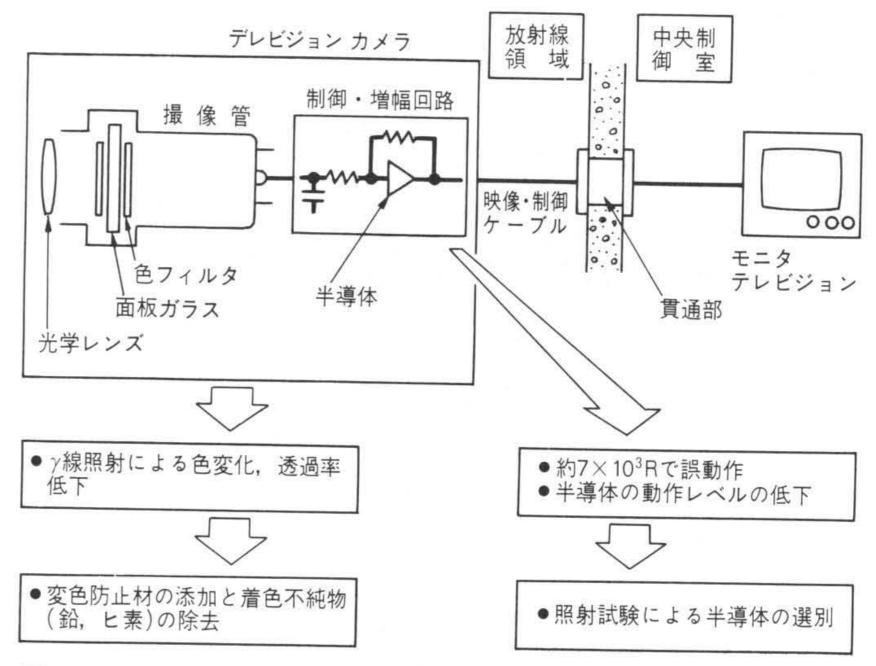


図 6 耐放射線形カラーテレビジョンカメラの技術課題と改良 光学系の着色現象を防止するとともに、電子回路は放射線に比較的強い部品を 選別して改良した。

レンズなどのガラスにγ線が当たると電荷を発生し、不純物である鉛やヒ素がこれを捕獲し、光の吸収帯が可視領域に変化し着色現象を呈する。そこで、この電荷を捕え変色を防止する酸化セリウムを添加し、着色不純物である鉛やヒ素を除去した素材を用い光学系を改良した。また、撮像管を制御し信号を増幅する電子回路の耐放射線性を上げるために、放射線に強いタイプの電子部品を選定し、集積線量10⁶Rでも十分使用できるカラーテレビジョンカメラとした。

今後、保守・点検での被ばく低減と省力化を図るためには、 ロボットなどを導入し適用範囲を拡大してゆく必要があるが、 このカメラをロボットの目として効果的に使用することがで きる。

運転信頼性を更に向上するために、各サブシステムの高信頼化を図るとともに、個々の部分での自動化を拡充して有機的に結合し、ネットワーク化してゆく必要がある。また、ケーブル量の削減だけでなく、監視機能を強化するために画像、音声など多次元の情報伝送を合理的に行なう総合的なシステムを構築することが望まれる。

5 結 言

以上,最新のBWR計測制御設備の中から,増加する情報量とケーブル布設関連工事量に対する合理化手法,運転監視性を向上する人間工学設計,高信頼化技術などについて代表的なものを紹介した。

稼動率向上と経済性の追求という技術課題に対して、今後ともエレクトロニクス、知識工学、人間工学などの新しい分野の面から技術を積極的に取り入れ解決してゆかねばならない。経験者や識者の知見を集約し、ニーズに合致したシステムの開発にいっそうの努力を継続してゆきたい。

最後に、上記システムの開発に当たり、御指導、御協力をいただいた電力会社殿をはじめ関係各位に対し、深く感謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 矢内,外:最近の沸騰水型原子力発電所計測制御システム, 日立評論,**64**,8,585~590(昭和57-8)
- 2) 若林,外:原子力発電所ディジタル制御システム,日立評論, 65,9,619~624(昭和58-9)