

沸騰水型原子炉用制御棒の制御及び監視装置

Reactor Manual Control and Status Monitoring System for BWR Nuclear Power Plant

沸騰水型原子炉で制御棒の制御及び監視装置は、従来、電磁リレーを中心とした並列信号伝送方式を採用しており、プラント・ユニット容量の大型化に伴い、ケーブル本数の増加による建設費の増大が問題となり、また、信頼性のより高い装置が要求されるようになってきた。

この要求に応ずるため、最近、信号をパルスコード化し、各制御棒の水圧制御ユニットに設けた電子式端末器へ直列伝送する全半導体化装置を開発し、大幅なケーブル本数の低減とモジュール化による信頼性の向上とを実現し、かつ運転中の自動テスト機能を設けて稼働率の向上を図ったので、本稿ではその概要と特徴について紹介する。

甲斐孝明* Kai Takaaki
 工藤 満* Kudô Mitsuru
 佐藤隆雄** Satô Takao
 上下利男*** Jôge Toshio

1 緒 言

最近の原子力発電所は、単機容量の大型化に伴い建設費の低減と稼働率の向上が強く望まれるようになってきており、標準化が強力に推進されている。これに伴い装置の高信頼化と小型化のため、制御装置は大幅な半導体化が進められてきた。しかし、従来の沸騰水型原子力発電所(以下BWRと略す)の制御棒制御及び監視システムは、各制御棒ごとに専用の信号線を必要とする並列伝送方式を採用しており、膨大なケーブル本数を要し、製作及び工事費が大きなウェイトを占め、また、よりいっそうの高信頼化が要望されるようになってきた。

そこで、装置を全半導体化し、信号伝送を直列方式としてケーブル本数を低減させ、かつ運転中の自動テスト機能を設けて信頼性及び稼働率の向上を図った装置を開発したのでその概要について説明する。

2 従来システムの概要

BWRの制御棒制御及び監視システムの機能は、炉心内の複数本の制御棒(1,100MWeプラントで185本)を動作させて、原子炉出力と炉内出力分布を調整し、その制御棒の位置とプラント状態の監視を行なうことである。複数本の制御棒は炉心X-Y座標によるアドレスが与えられており、各制御棒は水圧駆動機構により、制御棒ごとに設けた水圧制御ユニット上の4個の電磁弁を制御して、ステップ状に炉心内へ挿入、引抜きが行なわれる。また、操作された制御棒の位置は、プラント状態とともに原子炉制御盤に表示される。制御棒の操作は、プラント状態情報により異常がないときだけ許可されるようにインターロックされている。更に、原子炉起動時には計算機を利用した制御棒引抜きシーケンス監視用の制御棒値ミナマイザ(RWM)が作動し、また、出力運転中には中性子計装系による制御棒引抜き阻止モニタ(RBM)がバックアップ保護の役割を果たしている。また、原子炉緊急停止(スクラム)系は本システムとは別システムで、独立して設けられている。

このように、原子炉の制御系は安全性を保つため、幾重にも機能が設けられているため、制御系は複雑となっている。本システムでは中央制御室から現場の水圧制御ユニットまでの約150mの間に、制御用の4心ケーブルが各制御棒と同一

本数必要であり、更に、各制御棒から中央制御室まで、各制御棒の位置と水圧制御ユニットの状態の表示のために、多数の信号ケーブルが並列に布線されている。したがって、単機容量の大型化に伴って建設費が増大し、かつ電磁リレーを中心としたシステム構成であるため、保守性と部品の信頼度のある程度の低下が予想された。そこで、これらを改善し、かつ制御室スペースを減らすために制御盤の小型化が必要となった。

3 新システムの構成と動作

以上の改良のため、装置を全面的に半導体化し、直列伝送時分割方式の多重システムで構成し、並列ケーブルの大部分を削減して自動テスト機能を設けることにより、保守性と信頼性の大幅な改良を図った新しい制御棒制御、及び監視システムを開発した。本システムは図1に示すように、原子炉制御盤に設けた制御棒選択モジュールの押しボタンスイッチ群、制御棒駆動制御盤、水圧制御ユニット近傍に設置する信号分配モジュール、及び水圧制御ユニットに1台ずつ設けられる制御棒操作命令解読用の電子装置の端末器から構成される「制御棒駆動制御系」、並びに制御棒に設置した位置検出プローブ(リードスイッチ)、制御棒位置情報処理盤、原子炉制御盤上に設けた制御棒位置及び状態の表示器群から構成される制御棒位置情報とプラント状態情報とを提供する「監視系」の二つのシステムで構成されている。

3.1 制御棒駆動制御装置

図2に、制御棒駆動制御装置の回路構成を示す。本システムは図3に示すように、時分割の操作制御モード、スキャン・モード及び自動テスト・モードの三つの基本的モードで動作する。

(1) 操作制御モード

このモードでは、制御棒の操作制御を行なう。運転員が制御棒選択及び動作要求の手動スイッチを操作すると、直列信号として二重化された制御棒操作要求ワード(選択制御棒の座標信号と電磁弁制御信号を含む)が動作制御回路へ与えられ、アナライザ(中央演算部)で比較される。比較信号が一致していれば、一方の信号がゲート回路より制御棒アドレスと

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所日立研究所 *** 日立製作所電力事業本部

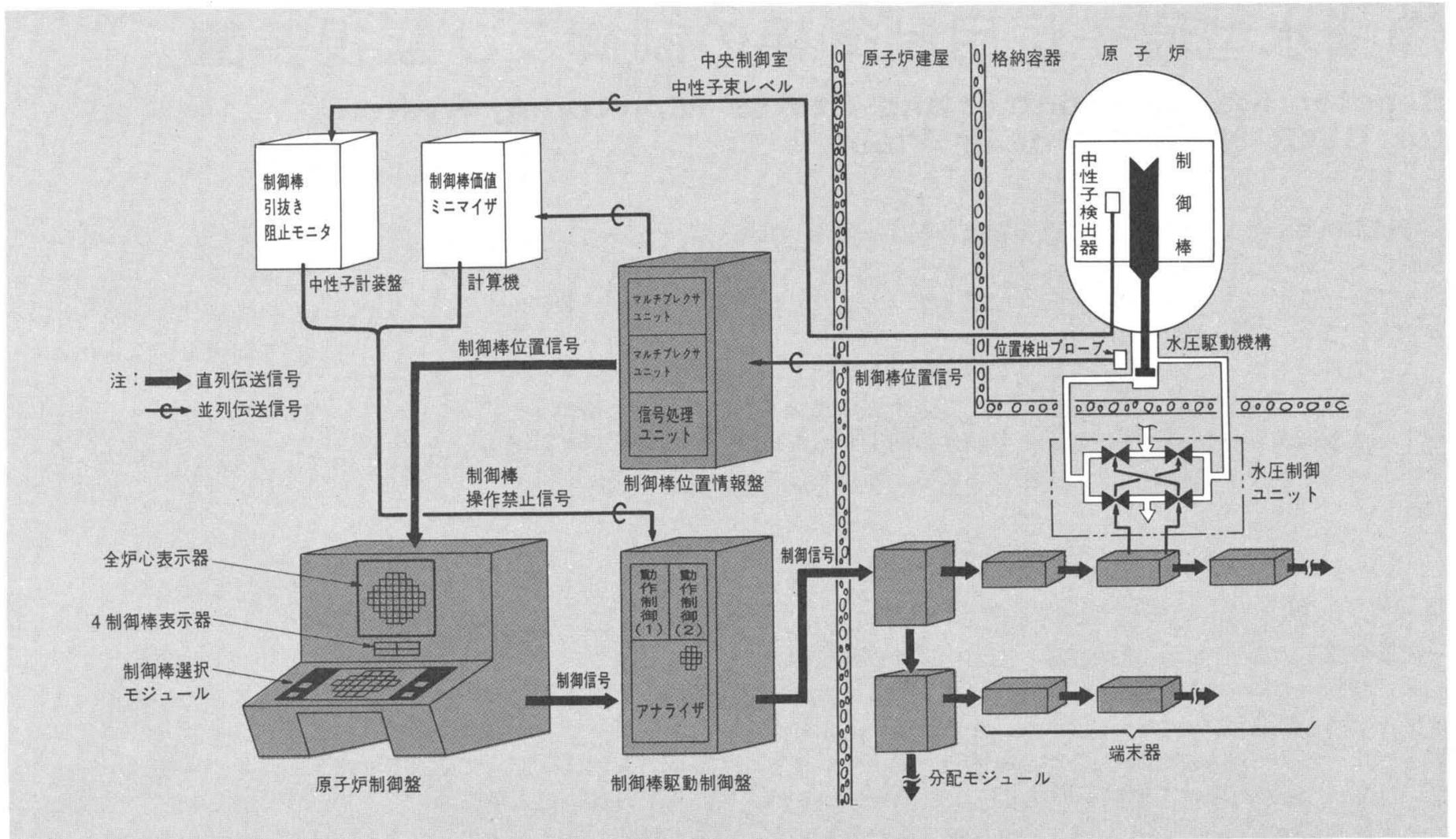


図1 制御棒制御及び監視装置の構成 本システムは、原子炉制御盤を中心として計算機、中性子計装系と関連して構成される。

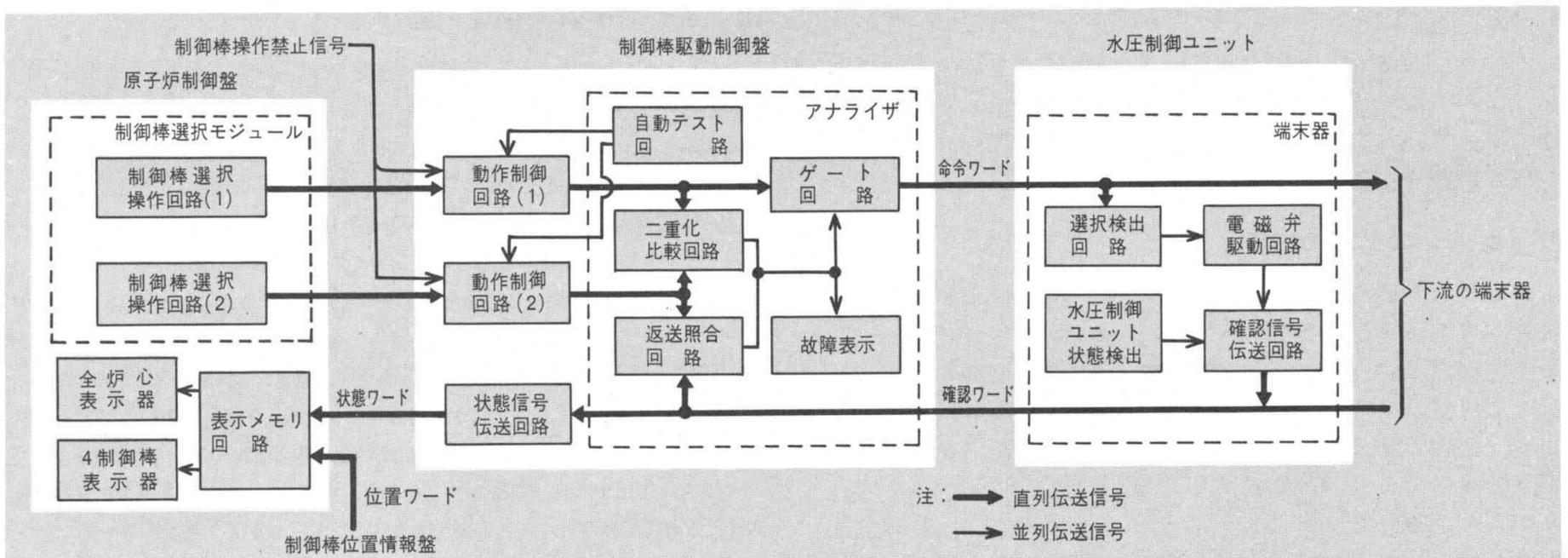


図2 制御棒駆動制御装置ブロック図 各装置間の信号は、二重化された直列信号で伝送される。

電磁弁制御データとから構成される命令ワードとして、全端末器へ伝送される。各端末器は命令ワードを解釈し、自分のアドレスと一致していれば電磁弁駆動回路を動作させる。同時に、命令信号と一致していることの確認のため電磁弁駆動回路及び水圧制御ユニットの状態を確認ワードとしてアナライザへ返送し、ここで比較命令ワードと返送照合を行なう。一定回数以上誤りが継続すると電磁弁電源をしゃ断し、制御棒操作を停止させて故障を表示する。

(2) スキャン・モード

スキャン・モードは、データの集積を行なう。アナライザから制御棒選択信号を出し、動作制御回路から動作制御モードと同じ伝送路を通して命令ワードを端末器へ送る。選択さ

れた端末器からは、水圧制御ユニットの状態データを確認ワードとしてアナライザへ返送する。アナライザでは、これにシステム状態データを加えて表示メモリ回路へ状態ワードとして伝送し、メモリへ記憶させる。

(3) 自動テスト・モード

自動テスト・モードでは、端末器の自動テストと評価をオンラインで行なう。アナライザからの命令ワードにより、各水圧制御ユニットの電磁弁駆動回路を短時間励磁し、電氣的動作の確認を行なう。電磁弁駆動回路へは命令ワードが伝送され、指定した端末器が正常に動作するか否かの確認が行なわれるが、短時間であるため弁の機械的な動作には至らない。自動テストで故障が発見されると、図4に示すようにシ

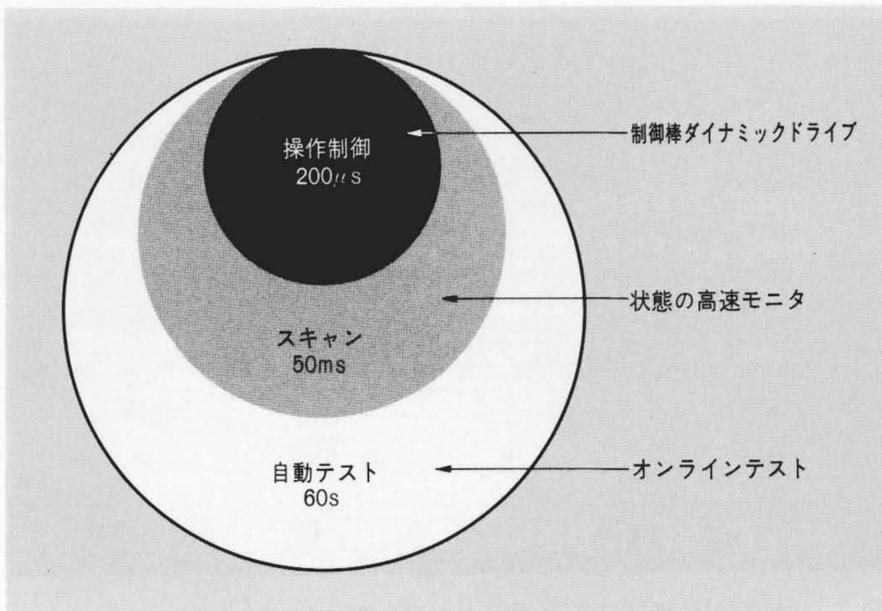


図3 制御棒駆動制御装置動作モード 制御棒のダイナミックドライブ、状態の高速モニタ及びオンラインテストがサイクリックに行なわれる。

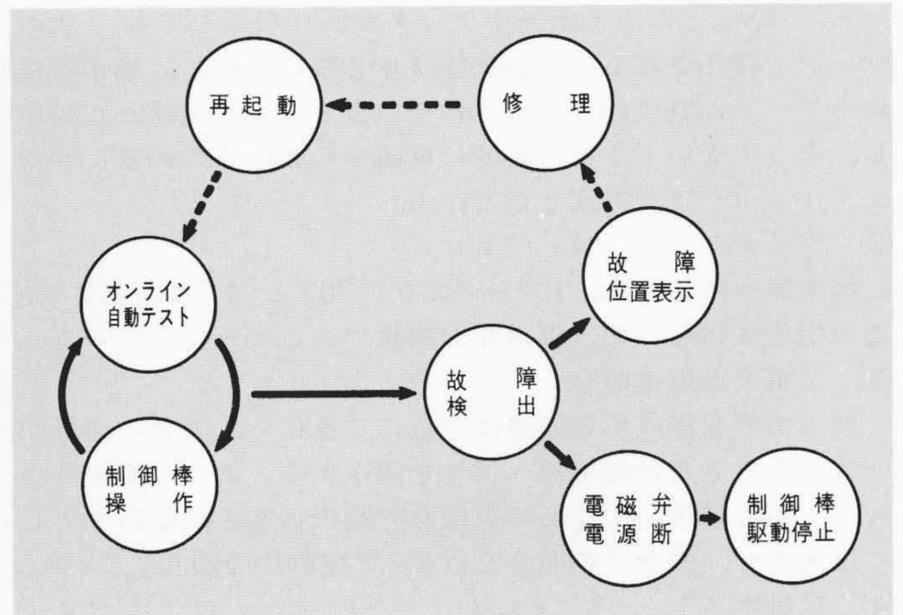


図4 故障検出と処理フロー オンライン自動テストで故障位置が早期検出できるので、システムの稼働率が極めて高くなっている。

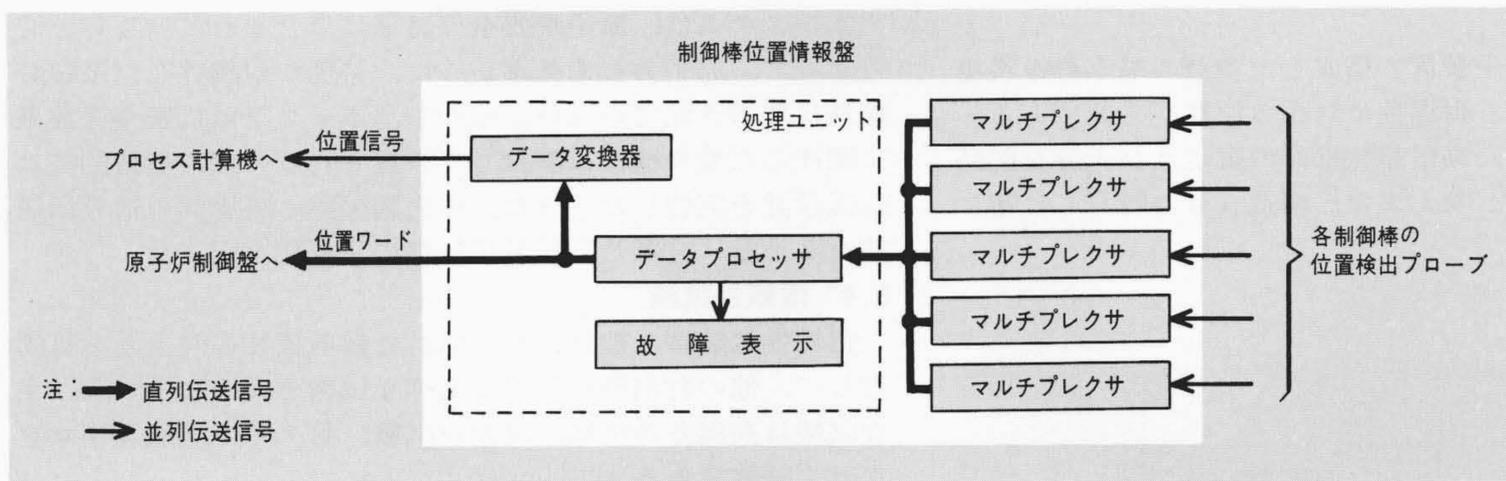


図5 制御棒位置情報装置ブロック図 信号は、位置検出プローブ～マルチプレクサ間は並列伝送、マルチプレクサ～原子炉制御盤上表示器間は直列伝送で処理される。

システムは自動停止し(制御棒動作はロックされる)、発光ダイオードによる表示と警報表示を行なう。これによって、運転員は迅速に修理作業を行なうことができる。

3.2 制御棒位置情報装置

図5に、本システムの回路構成を示す。各制御棒に設置した制御棒1本当たり垂直方向53個のリードスイッチから位置情報接点信号がマルチプレクサへ送られ、データプロセッサで処理されて原子炉制御盤への位置ワード及びプロセス

表1 制御棒制御及び位置情報装置主要仕様 電気出力1,100Mwe, 制御棒本数185本の例を示す。

No.	項目	制御棒制御装置		制御棒位置情報装置	
		新型	従来型	新型	従来型
1	主要構成部品	デジタルIC	電磁リレー	デジタルIC(高速型)	デジタルIC(低速型)
2	プラグイン(リレー)(枚)	280	1,060個	66	213
3	信号伝送方式	直列	並列	直列	並列
4	ケーブル心数(本) (中央制御室-現場)	35	1,130	11×185	19×185
5	自動テスト機能	あり(周期60秒)	なし	あり	なし
6	シーケンスタイマ(個)	2(二重化)	1	—	—
7	制御盤(中央制御室) 寸法(mm)	幅 800	幅4,000	幅1,500	幅3,600

注：IC=集積回路

計算機への位置信号を与える。また、システムが故障したときは、故障要因や取り扱ったデータ内容を発光ダイオードで表示する故障表示機能をもっている。

4 主要仕様

表1に、新システムの仕様を従来システムと比較して示す。従来システムに対する主な改良点は次のとおりである。

- (1) 従来の電磁リレーと半導体の併用から、全集積回路化と直列信号伝送方式の採用により、中央制御室と現場間のケーブル本数を従来の約45%に削減させた。
- (2) 回路の二重化とオンライン自動テスト機能により、システム稼働率を向上させた。
- (3) 全半導体化回路直列信号伝送方式の採用により、装置のコンパクト化を図り、制御盤寸法を従来の約30%に縮小した。

5 信頼性設計

5.1 回路方式

本システムは原子炉出力の調整にかかわる重要なシステムであり、高度の信頼性が要求される。したがって、信号の多重化設計に対しては、部品及びシステムの故障の早期検出とノイズによる誤動作を防止するため、次に述べるような種々の高信頼化設計を行なっている。

(1) サイクリック方式

すべての直列信号を繰り返し伝送し、常にシステムを動作状態においておき、信号喪失を直ちに検出できるようにして

いる。また、たとえ伝送中データが誤ったとしても、次のワードで修正されるので誤動作は生じない。特に、端末器は命令ワードが継続的に受信されているときだけ電磁弁が動作し、そうでないときは自動的に電磁弁の動作をやめるようフェイル・セーフな方式としている。

(2) ダイナミック・コーディング

端末器への信号は、1ワードごとに“0”と“1”を反転させ、この信号に対してだけ電磁弁が励磁できるようにしている。

(3) 二重系と返送照合

要求信号を作成する回路は完全に二重化し、両者の信号が一致したときだけ端末器へ信号を伝送する。また、端末器からその実行結果、すなわち電磁弁の励磁状態を確認信号として返送させ、命令との照合を行なって誤動作を防止している。

(4) 自動テスト

運転員の操作とは独立に、時分割で全制御棒を短時間の周期で繰り返し自動テストを行ない、システム稼働率を向上させている。故障した位置は、発光ダイオードにより図6に示すように表示し保守性の向上を図っている。

5.2 耐環境設計

本システムでは、電子装置で構成した多数の端末器を現場に設置するため、耐温、耐湿性に対する注意が必要である。そこで、防湿剤の適用、高信頼化部品の選定及び十分な部品余裕率をもった設計とした。また、構造設計に対しては特に放熱性に考慮した。

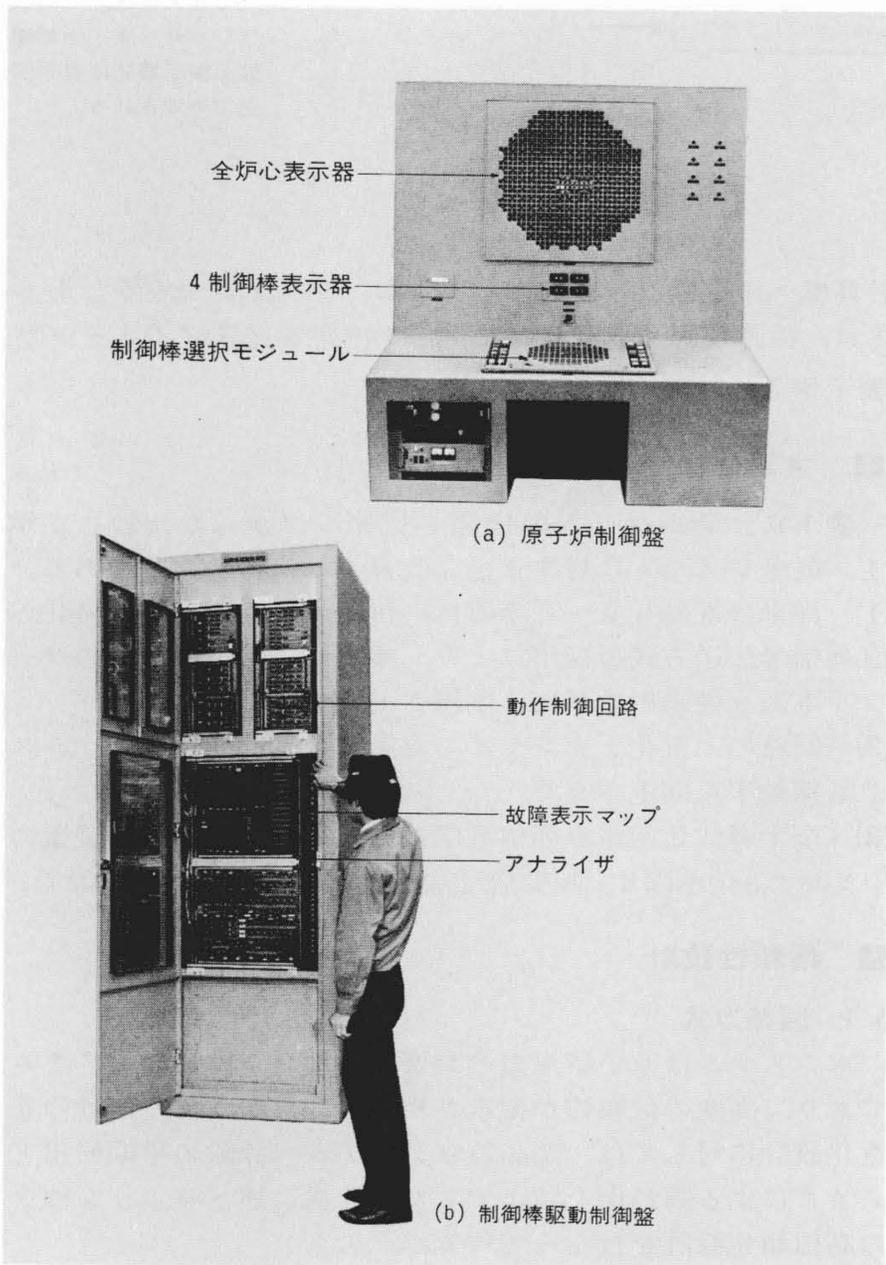


図6 原子炉制御盤及び制御棒駆動制御盤正面図 故障した制御棒位置は、アナライザモジュール上の故障表示マップに発光ダイオード表示される。



図7 故障診断装置の表示例 故障位置のプラズマ文字表示により、故障除去処理を短時間に行なうことができる。

5.3 耐震設計と系統分離

本システムは、原子炉安全保護系には含まれていない。したがって、原子力技術基準からは、特別な耐震性及び系統分離性は要求されていない。しかし、本システムは安全保護系に関連した盤や機器に隣接して設置されるので、構造的には耐震設計を実施した。また、中央制御室と現場間の信号伝送路を2系統に分離し、信号伝送路の冗長化を図った。

5.4 信頼性試験

信頼性試験は、初期不良の低減と耐環境性の向上とを目的として、他の計測制御装置と同様な試験を実施している。主な試験は高温寿命試験、耐衝撃試験、耐ノイズ試験及びロングラン試験である¹⁾。

6 故障診断装置

故障発生位置の検出を最終単位まで収束させて、保全性の向上を図る目的で、本システムにはオプションとして故障位置をプラグイン・カード単位に標定して表示する故障診断装置を設けている。本装置はマイクロコンピュータを用いたもので、診断結果はプラズマ文字表示器に表示する。制御棒操作装置の動作は、常時故障診断装置によって監視しており、エラーが発生すると制御棒誤動作禁止の処置をとったあと、直ちに診断動作を開始する。故障診断は、制御棒操作装置を幾つかのブロックに分け、各ブロックごとにあるパターンに基づいたテスト信号を繰返し印加して行なう。故障発生位置が最終単位にまで収束できたとき、その結果をプラズマ文字表示器に表示する。図7に診断結果の一例を示す。この間の最大所要時間は約3秒程度であり、複雑な装置内部の故障位置を探索する必要はほとんどなくなる。

7 結 言

以上、BWR用制御棒制御及び監視装置の開発に当たり、その概要と特徴について述べた。原子力プラントでは、取り扱う情報量が膨大であるにもかかわらず、原子炉の安全、保護系から要求される信号の独立性や分離性など、種々の制約条件があるために、多重化を図る上で困難性がある。しかし、今後は本稿で述べた技術を活用し、原子力発電設備の稼働率の向上と建設費の低減化に努力してゆきたい。

参考文献

1) 甲斐ほか：沸騰水型原子力発電所用中性子計測演算装置、日立評論、58、819～824(昭51-10)