

原子カプラント用高信頼化制御装置の開発

Development of Controllers with High Reliability for BWR Plant

最近のエネルギー事情や原子力発電量の増大による系統運用上の問題などは、原子力発電所に対しなおいっそうの高信頼化、高稼働率運転を強く要求している。日立製作所では、これらのニーズに応ずるため、早くからBWRプラント制御装置の高信頼化に積極的に取り組んできた。

本論文では、その中から3件の代表例について紹介する。

デジタル式給水再循環流量制御装置“D-FRC”，及びデジタル形電子油圧式タービン制御装置“D-EHC”は、原子力発電所にとって最も重要な制御系に、高信頼化を目的として、最近進歩の著しいデジタル制御技術と多重化技術を応用し開発したもので、従来の制御装置に比べて一桁以上の高信頼度を実現している。また、「アナログトリップモジュール」は、予防保全性を向上させることにより、高信頼化と被曝低減を可能にしたものである。

浅見一夫* Kazuo Asami
 飯田 宏* Hiroshi Iida
 浴百合雄* Yurio Eki
 広瀬正雄** Masao Hirose
 伊藤哲男*** Tetsuo Itô

1 緒 言

近年のエネルギー情勢は、原子力に対する期待を急速に強めており、総発電設備容量に占める原子力の比率は、現在(昭和55年3月)の12.6%から、今後更に増えていくと予想されている。このような状況の下で、従来からの安全性確保に加えて、高稼働率運転確保という観点からの高信頼化のニーズがますます高まっている。

この要求に対し、ハードウェアだけでの高信頼化には限界があり、システム的な高信頼化が必要である。図1に、BWR(Boiling Water Reactor)型原子力発電所の主要制御系を示す。これら制御系の故障は、出力変動やプラント停止につながる可能性があり、一般の制御装置よりは1ランク高い信頼性が望まれる。

2 信頼度向上策

図2に、原子力発電所制御装置の信頼度向上の主要な着眼点と、主な具体策について示す。

2.1 ハードウェアの高信頼化

まず第一に、機器固有信頼度の向上対策が基本である。従来よりも特に厳選した高信頼度部品の採用をはじめとして、設計裕度(定格低減率)の確保、スクリーニング部品の使用、エージングによる初期不良の摘出など、設計及び製作の両面から徹底した信頼度向上策を実施している。

2.2 保守性の向上

定期的な予防保全を実施し、異常箇所の早期発見と迅速な修復を行なうことにより、常に高い信頼度を確保することができる。そのためには、運転中にも簡単に保守ができるよう

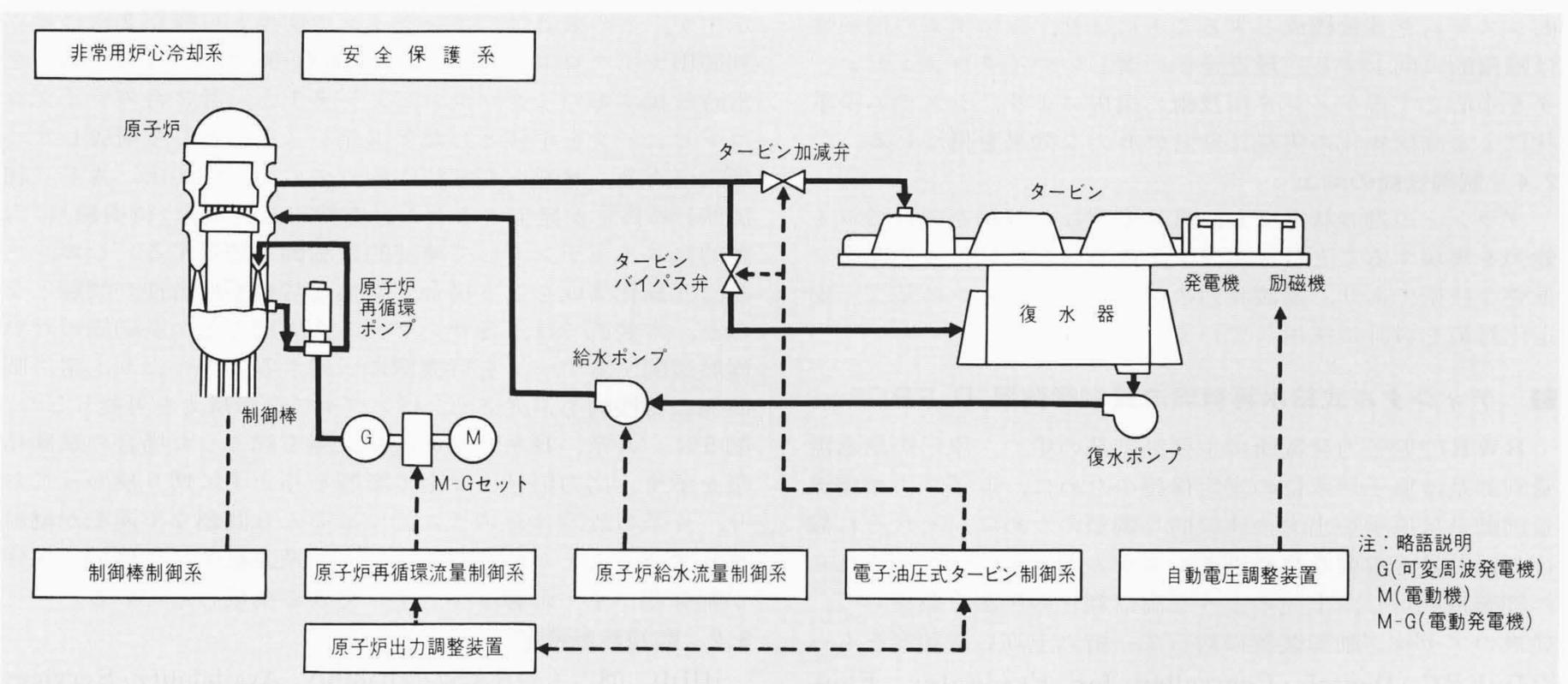


図1 BWR型原子力発電所の主要制御系 BWR型原子力発電所で、プラント制御を中心とする主要な制御系を示す。

* 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

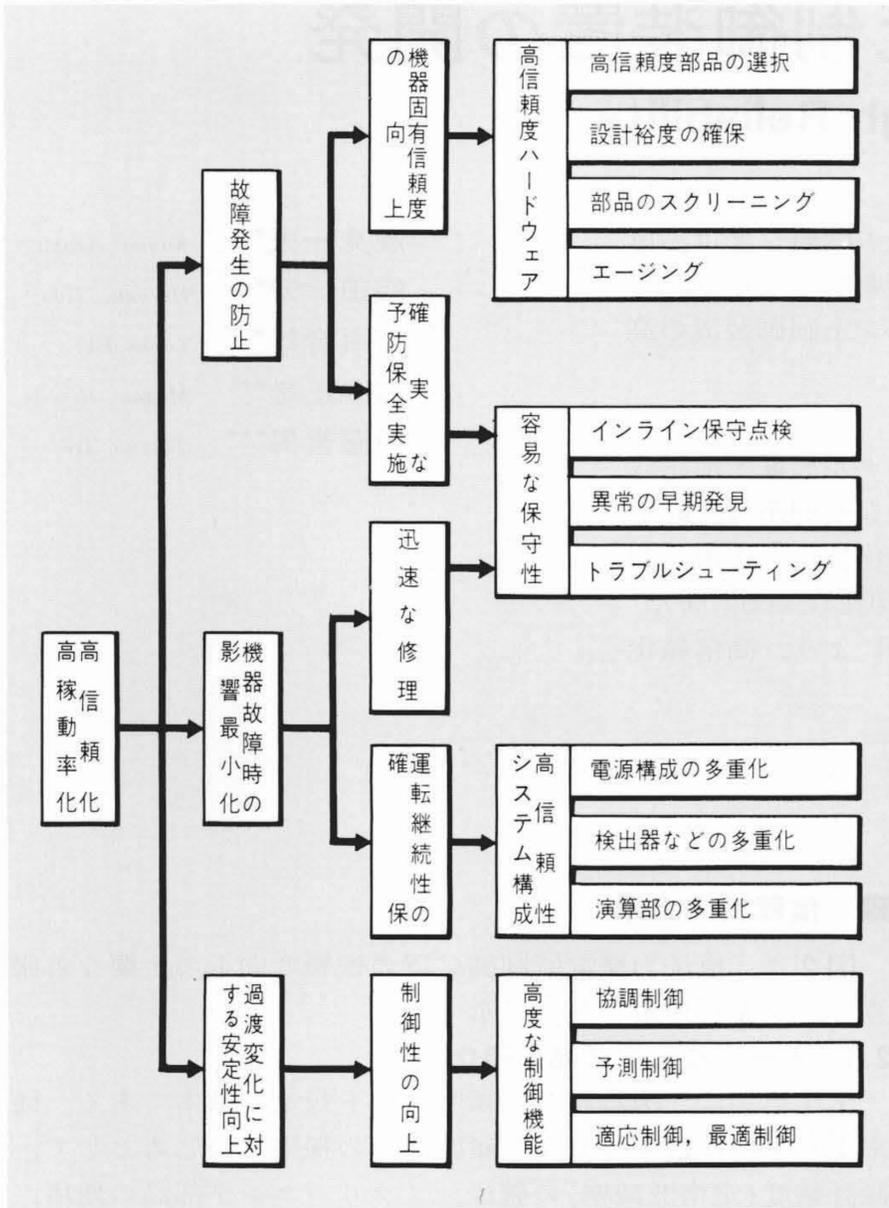


図2 信頼度向上の着眼点と主要な具体策 プラントの信頼度を向上させるためには、機器固有信頼度の向上を図るだけでなく、予防保全性、保守性、多重化、制御の高度化など、システムティックな対応が必要である。

設計に考慮を払っている。

2.3 高信頼性システム構成

万一機器に故障が発生したとしても、その故障機器を自動的に除外したり、自動バックアップなどができるように、制御システムを多重構成とすることにより、システムの信頼性は飛躍的に向上する。最近進歩の著しいマイクロコンピュータを中心とするデジタル技術の適用により、システム多重化による高信頼化の実現に非常に有力な効果を得ている。

2.4 制御性能の向上

プラントの過渡状態でも、常に安定した制御を続行できる能力を実現することは、プラントの高信頼化にとって非常に重要な技術であり、過渡状態のシミュレーションに基づく安定化対策を設計に採用している。

3 デジタル式給水再循環流量制御装置“D-FRC”

BWR型原子力発電所の主要制御系の中で、原子炉給水流量制御系は原子炉水位の安定保持のために、原子炉再循環流量制御系は原子炉出力の連続的な調整のために、それぞれ設けられた最も重要な自動制御システムである。今回、これらの制御系に対し、上述のような高信頼化の手法を駆使して、従来のアナログ制御装置に対して一桁以上高い信頼度をもったD-FRC (Digital Controller for Feedwater Flow Control System and Recirculation Flow Control System: デジタル式給水再循環流量制御装置)を開発した^{1)~3)}。各種シミュレーションテストに加えて、実規模の機器との組合せ試験も一部実施し、その性能を確認した。

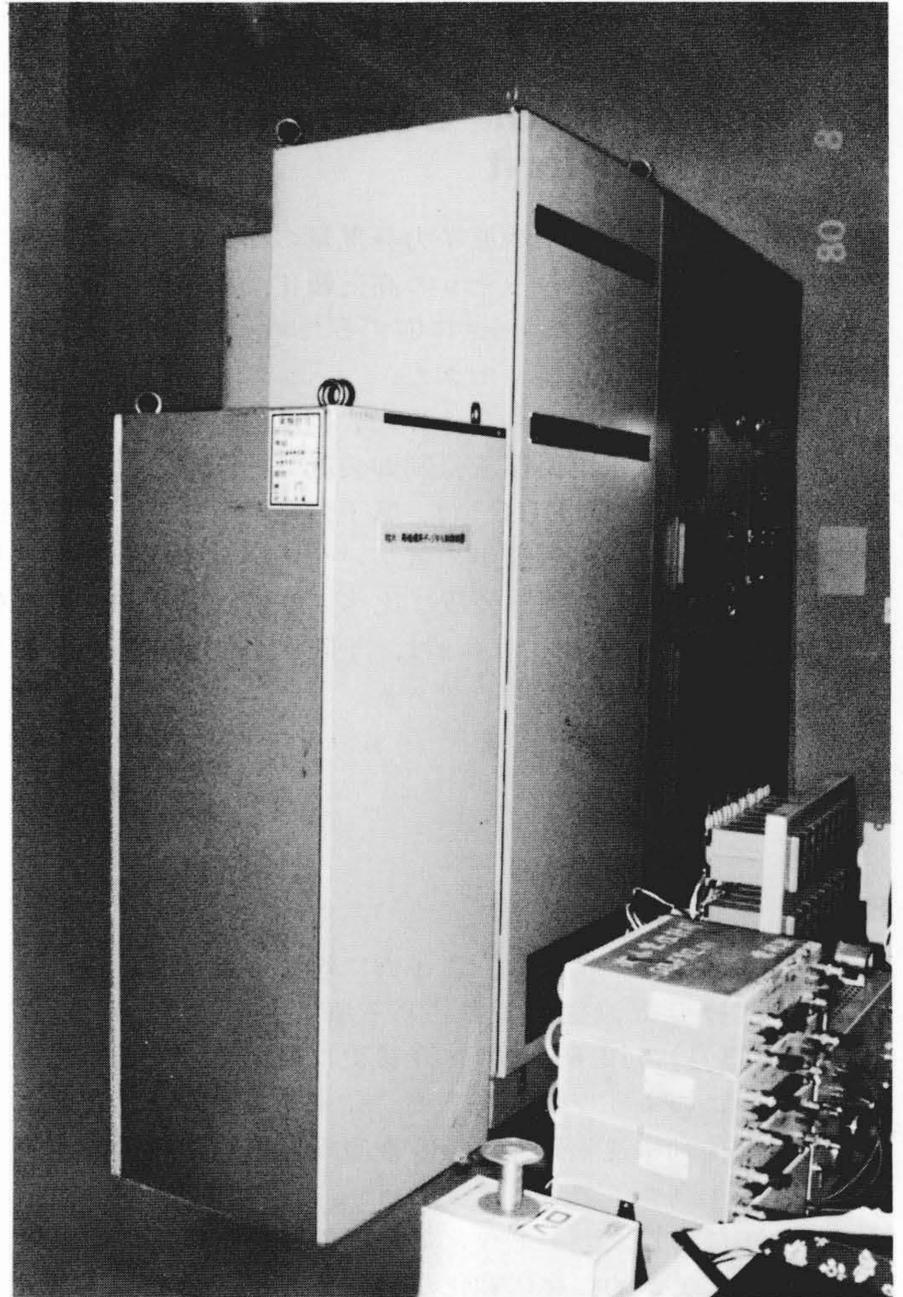


図3 D-FRCの外観 実規模の機器との組合せ試験中のD-FRC (Digital Controller for Feedwater Flow Control System and Recirculation Flow Control System: デジタル式給水再循環流量制御装置)の外観を示す。

3.1 D-FRCの構成

図3に今回開発したD-FRCの外観を、図4に基本構成を示すが、この装置は、オンラインで切換え可能な2台の日立制御用マイクロコンピュータHIDIC-08と、これらの出力を常時監視するマイクロコンピュータ1台、計3台のマイクロコンピュータを中核とした多重化システムとして構成した。通常はA系、B系とも常時作動していて、例えば、A系(制御側)に異常が発生するとこれを検出し、B系(待機側)に自動的にスイッチングして連続的に制御を続行する。なお、一般に冗長化構成をとる場合、切換え時の不連続性が問題となるが、本装置では、各サンプリング周期ごとに制御側の計算履歴に関するデータを待機側に伝送することにより、常に制御側に待機側を追従させ、バンプレスな切換えを可能にした。図5に、A系、B系交互に模擬故障を起こした場合の試験結果を示す。出力信号には全く影響を与えずに切り換わっており、片系の故障はシステム的にはなんら問題なく運転が継続されていることが分かる。更に、片系運転中に待機側の保守が制御側に全く影響を与えずにできる構成としている。

3.2 監視診断機能

HIDIC-08のもつRAS (Reliability, Availability, Serviceability)機能に加えて、ソフトウェア的な各種監視診断機能(上下限チェック、変化率チェック、ドリフトチェック、合理性チェックなど)も充実させ、更に、異常検出用マイクロコンピュータの採用により、著しく信頼性を向上させている。な

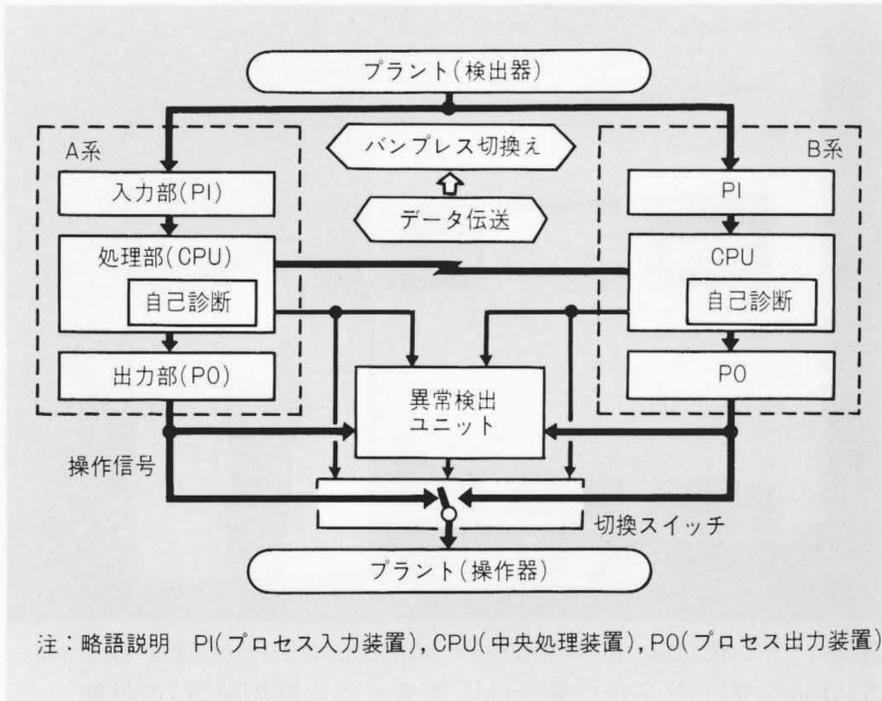


図4 D-FRCの基本構成 D-FRCは、2台の制御用計算機と1台の異常検出用計算機、信号切換スイッチなどから成り、例えば、A系に異常が発生するとB系に自動的にバンプレス切換えして制御を続行する。

お、万一異常が発生した場合には、正常な系に制御がスイッチングされるとともに、故障箇所をプリント板単位で表示し、修理時間の短縮を図った。

3.3 制御の高度化

図6に、D-FRCの制御ブロック図を示す。従来の給水流量制御方式、再循環流量制御方式と基本的には同一であるが、プラントでの各種の大きな過渡変化に対するプラント運転継続性の確保、あるいは将来の負荷調整運転、運転の自動化などに対するプラント安定性の確保を目的に、高度な制御機能を追加した。図7に協調制御機能のシミュレーション試験結果の一例を示す。その他、予測制御、適応制御機能などの導入により、従来の制御系に比べて、はるかにきめ細かな、プラントの過渡変化にも強い制御特性をもたせることができた。

4 デジタル形電子油圧式タービン制御装置“D-EHC”

電子油圧式タービン制御装置は、タービン出力を制御するとともに、原子炉圧力を一定に保つもので、上述の原子炉給

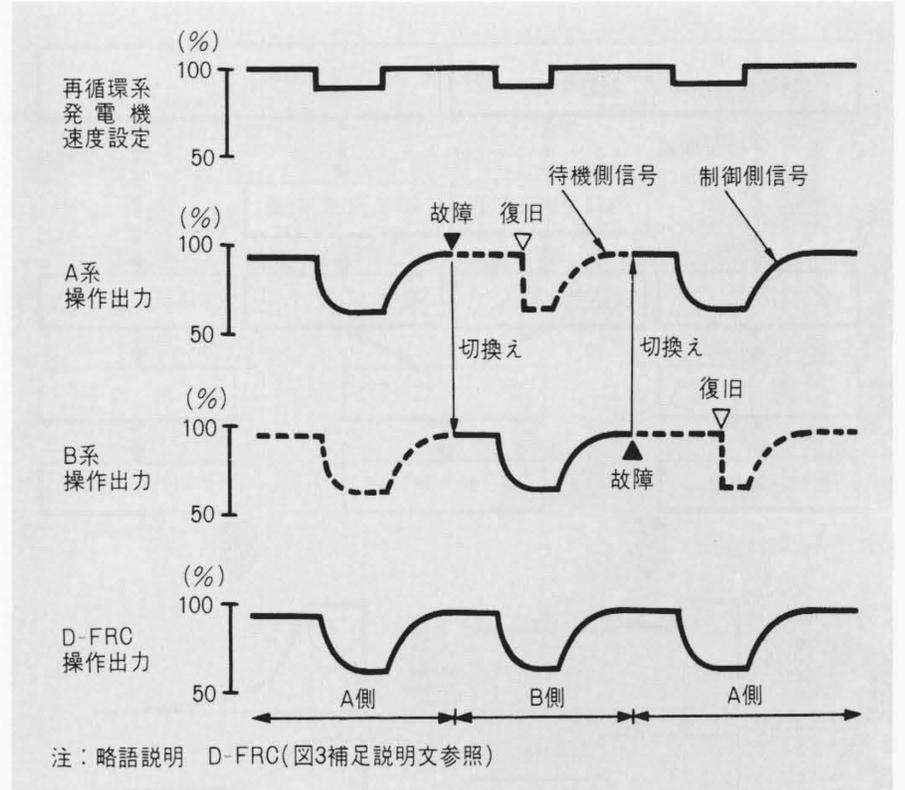


図5 D-FRCの多重系切換え試験結果 D-FRCで2台の制御用計算機に交互に模擬故障を発生した場合の試験結果を示す。故障を確実に検出し、制御側がA系→B系→A系へと正しく、しかもバンプレスに切り換えられていることが分かる。

水流量制御系、原子炉再循環流量制御系とともに、プラント運転信頼性から極めて重要なシステムである。

D-EHC(Digital Controller for Electro-Hydraulic Control System：デジタル形電子油圧式タービン制御装置)は、既に順調に運転中の火力発電用D-EHC⁴⁾の技術を基礎に、前記D-FRCと同様の手法により、原子力用として更に高信頼化を図ったものである。

図8に、D-EHCの外観を示す。

5 アナログトリップモジュール

原子力発電所で主に安全にかかわるシステムに対しては、信頼性確保のために定期的なサーベイランステストが要求されている。従来、これらのシステムに使用されていた検出信号は、現場設置の自力動作形のスイッチ信号であったが、設

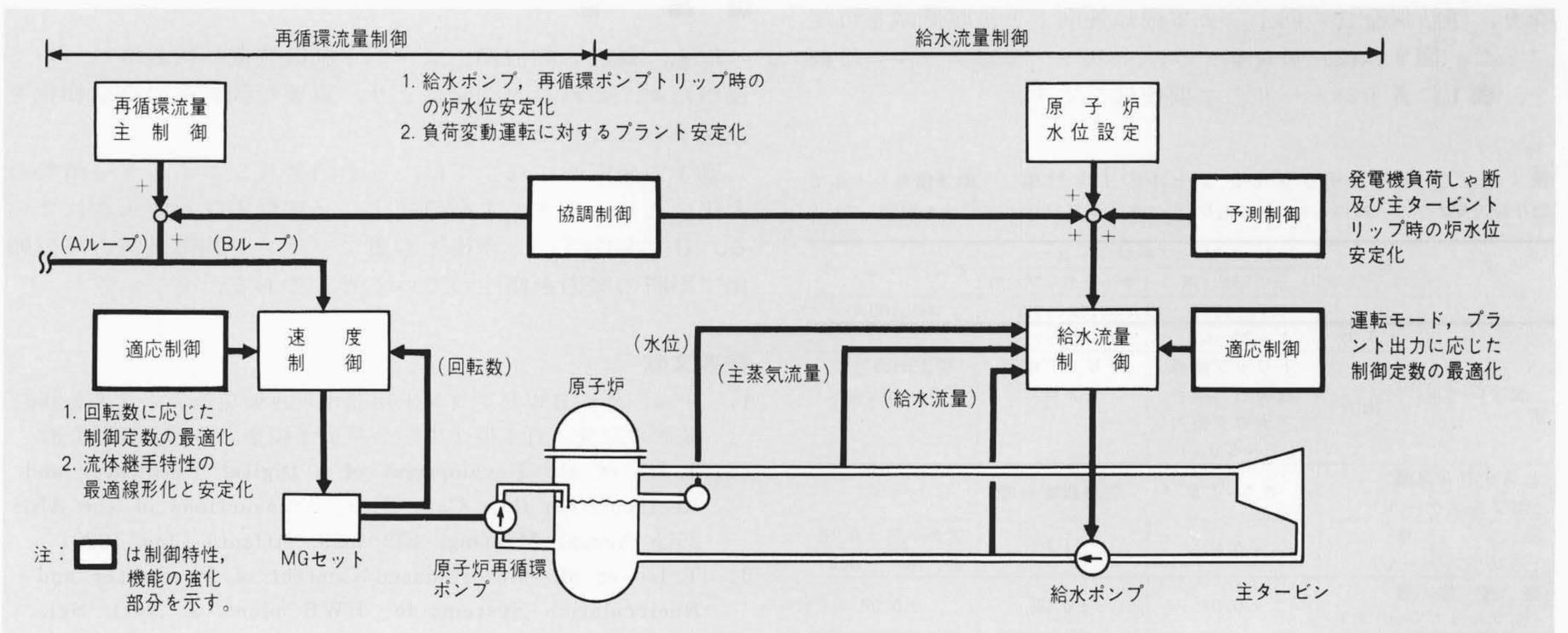


図6 D-FRCの制御ブロック図 D-FRCでは、従来の給水流量制御と再循環流量制御機能に、両者間の協調制御、予測制御、適応制御などの機能を追加し、プラントのトランジェントに対しても安定した制御を継続できる。

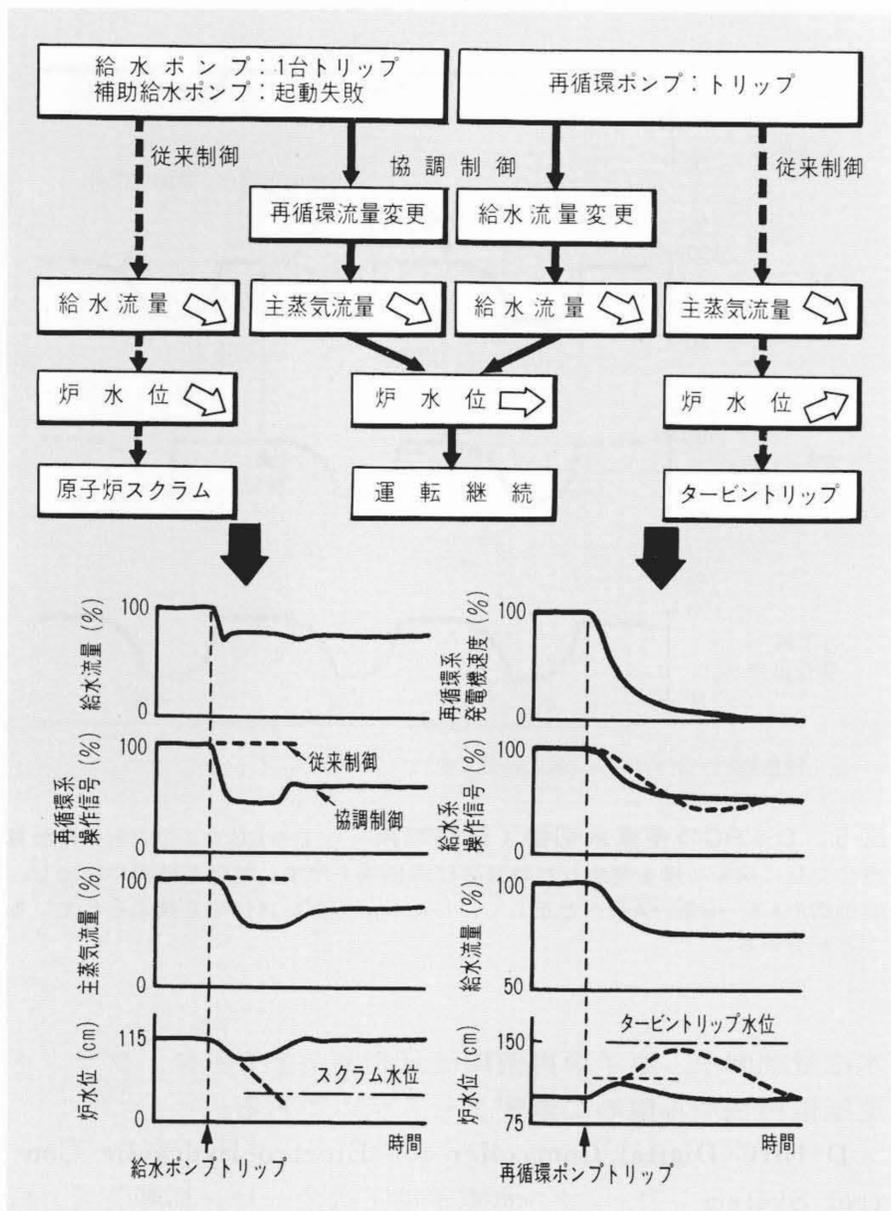


図7 D-FRCの協調制御機能シミュレーション試験結果 給水ポンプ、再循環ポンプトリップというプラントのトランジェントに対し、従来の制御装置では原子炉スクラム、タービントリップなどに至る可能性があったが、協調制御機能により運転継続が可能となる。

定値のドリフト、サーベイランステストの困難さなど、種々改善点があった。アナログトリップシステムは、これらの信号をアナログ伝送器と校正器付アナログトリップモジュールにより、オンラインでの動作確認試験と校正ができるようにしたものである。これにより、サーベイランステストが中央制御室で容易にできるばかりか、伝送器の異常検出も可能になり、予防保全性の向上による信頼性向上と被曝低減を可能にした。図9に校正モジュール、トリップモジュールの外観を、表1に各モジュールの主要仕様を示す。

表1 アナログトリップモジュールの主な仕様 標準信号レベルで取り合えるように一般性をもたせてあり、かつ高い演算精度と安定性を実現している。

名称	トリップモジュール		校正モジュール
	一般用	サーモカップル用	
形式	ATM000A	ATM010A	ACM00A
信号レベル	入力	4~20mA DC	0~20mV
	出力	トリップ接点 故障出力接点 アナログ出力 (1~5V DC)	トリップ接点 (2点)
ヒステリシス幅 (%フルスケール)	0.5~7.5	任意設定可能	
精度 (%フルスケール)	±0.2	±1.0	アナログ ±0.15 表示 ±0.2
温度影響 (%フルスケール/°C)	±0.02	±0.02	±0.02
電源電圧影響 (%フルスケール/ 15V±3%, 5V±3%)	±0.3	±1.0	±0.5

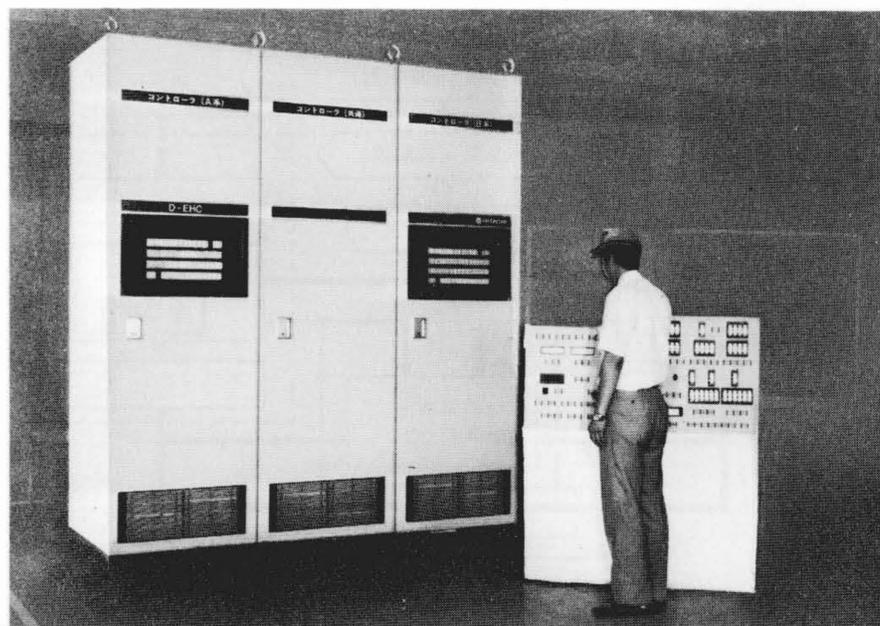


図8 D-EHC(Digital Controller for Electro-Hydraulic Control System: デジタル形電子油圧式タービン制御装置)の外観 多重構成により信頼性、保守性を飛躍的に高めた電子式タービン制御装置の外観を示す。

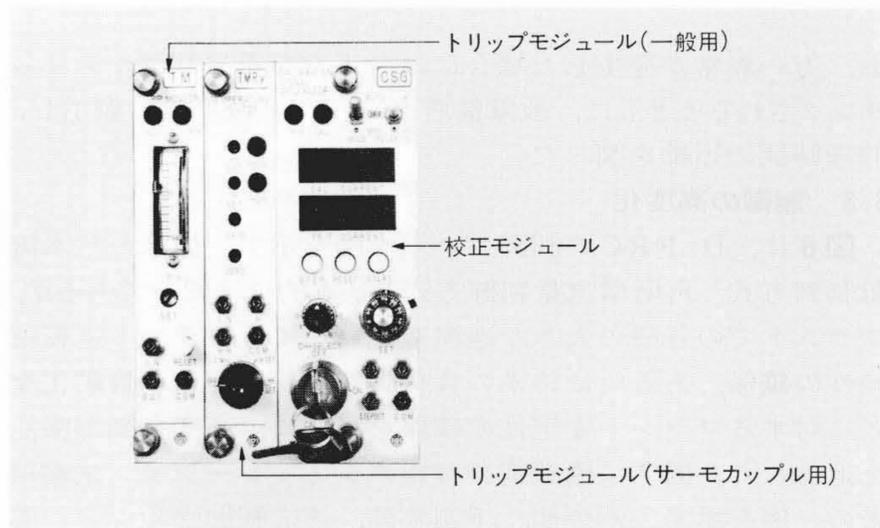


図9 アナログトリップモジュールの外観 アナログトリップモジュールは、伝送器あるいはサーモカップルなどからの信号から、トリップ信号を出力するもので、校正モジュールにより、オンラインでの動作確認と校正が中央制御室から簡単にできる。

6 結 言

以上、最近の高信頼化プラント制御装置の代表例について述べたが、これらの開発により、重要な制御系の高信頼化を実現することができた。

原子力発電所に対しては、社会情勢及びエネルギー情勢の変化により、ますます高信頼化、高稼働率化が要求されている。日立製作所は、今後とも更にプラント制御装置の高信頼化に不断の努力を傾注していく考えである。

参考文献

- 1) 伊藤, 外: BWRプラント用給水・再循環系デジタル制御装置の開発, 日本原子力学会年会予稿集, B15, (昭55-3)
- 2) T. Ito et al.: Development of a Digital Feedwater and Recirculation flow Controller, Transactions of the ANS 25th Annual Meeting, 622~623, Atlanta (Jun. 1979)
- 3) T. Ito et al.: Co-ordinated Control of Feedwater and Recirculation Systems for BWR plant, J. Nucl. Sci. Technol, 17, 80~82 (Jun. 1980)
- 4) 東, 外: 蒸気タービン用デジタル式電子油圧ガバナ, 日立評論, 59, 403~408 (昭52-5)