

原子力発電プラント向け EHC 及び AVR 用高速コントローラ

High-Speed Controller for EHC and AVR Platforms in Nuclear Power Plants

栖関 浩平 宮沢 桂太郎 力石 健司

■ SUSEKI Kohei ■ MIYAZAWA Keitaro ■ CHIKARAISHI Kenji

東芝は、グローバル市場への適用を見据え、原子力発電プラント向けのタービン制御システム (EHC (Electro-Hydraulic Controller : 電気油圧式制御装置) システム) 及び発電機制御システム (AVR (Automatic Voltage Regulator : 自動電圧調整装置) システム) に適用する高速コントローラの後継機種を開発し製品化した。

このコントローラでは、バリティエラーとメモリ初期不良に対する耐性強化や基板発熱量の制御などにより高信頼性を実現するとともに、バッテリーレス、部品の見直しによる長期安定供給、及び保守ツールの操作性改善などによりメンテナンス性を向上させた。また、タービン過速度保護装置の電気式2重化方式による多様性を図り、海外原子力発電プラントに多い要求に対応できるようにした。

Toshiba has developed and released a high-speed controller, which can be applied to both an electrohydraulic controller (EHC) for turbine control systems and an automatic voltage regulator (AVR) controller for generator control systems, for nuclear power plants targeted at the global market. The newly developed high-speed controller achieves improved reliability and maintainability compared with conventional controllers, and has been comprehensively redesigned to correspond with the diversity required for nuclear power plants in various countries. We are planning to apply this controller to EHC and AVR platforms in both domestic and overseas nuclear power plants.

1 まえがき

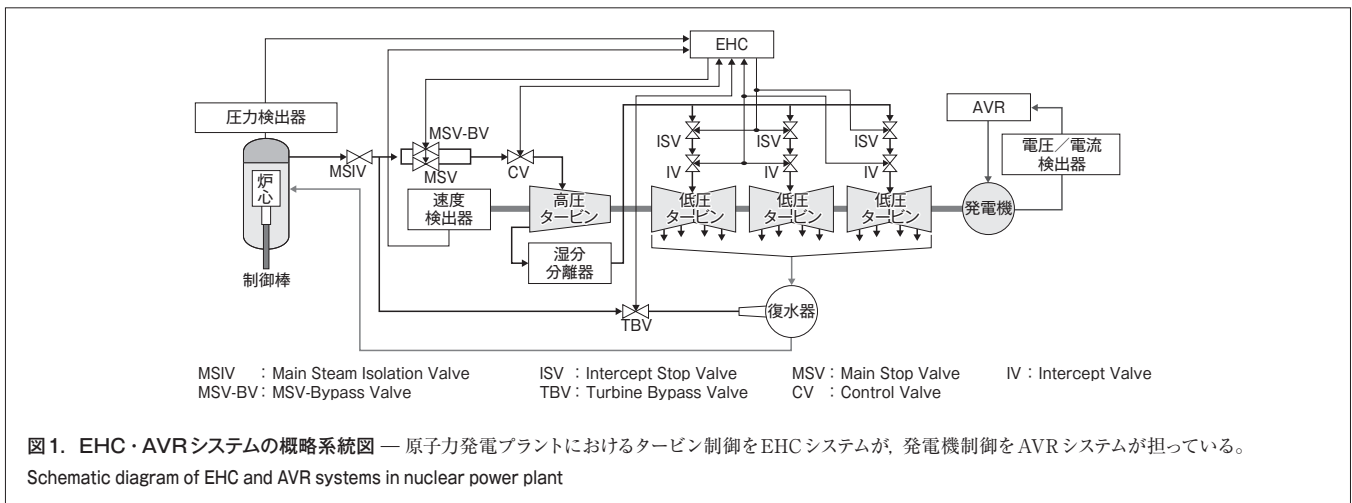
東芝はこれまでに、多数の国内原子力発電プラントに対してタービン制御システム (EHC (Electro-Hydraulic Controller : 電気油圧式制御装置) システム) 及び発電機制御システム (AVR (Automatic Voltage Regulator : 自動電圧調整装置) システム) を供給しており、安定した原子力発電に寄与してきた。

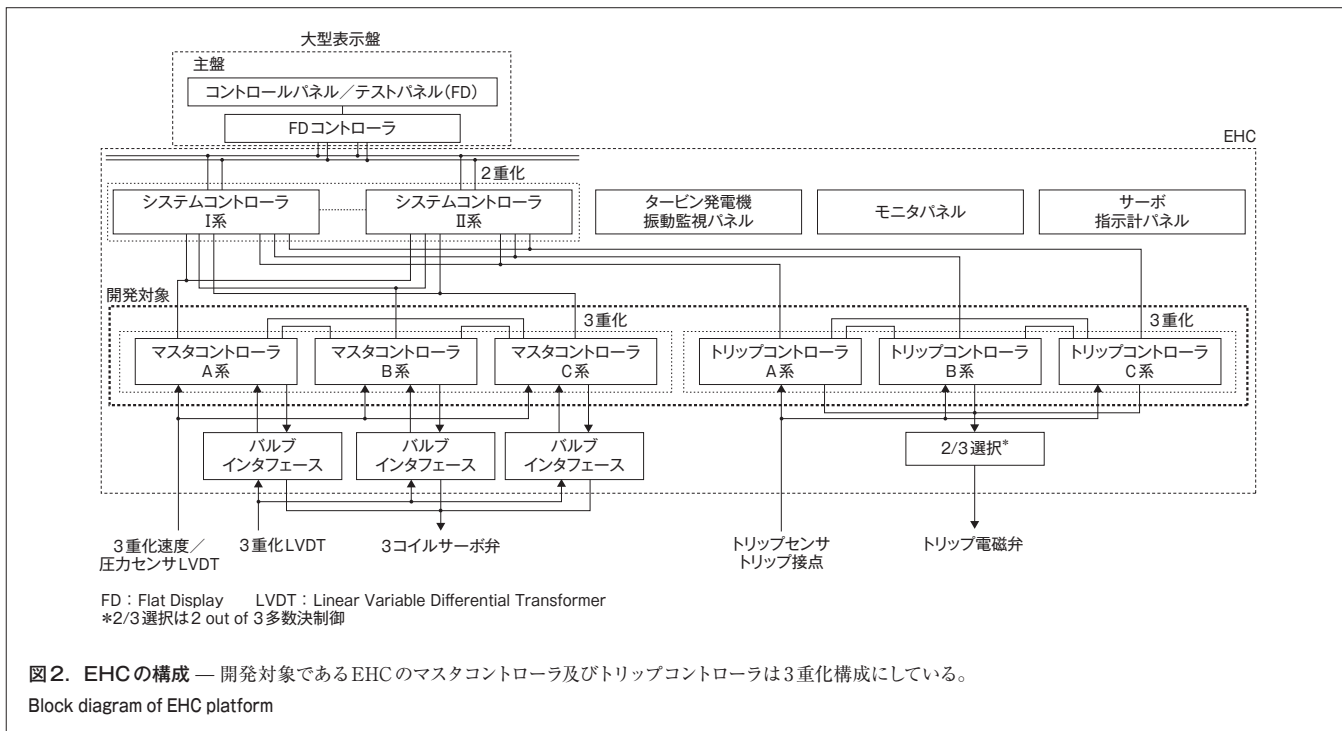
EHC・AVRシステムの主要部であるTOSMAPTM高速コントローラは、タービンの回転速度制御や発電機の電圧制御をはじめ各種の高速演算を行っている。現在の機種は2003年

ごろから国内原子力発電プラント向けの発電制御システムに適用され、実績を積み重ねてきた。今後の適用拡大を目指し、信頼性とメンテナンス性の更なる向上を図るとともに、海外原子力発電プラントでの多様性を持った方式への要求を満足させることを目的に後継機種を開発した。

2 EHC・AVRシステムの概要

原子力発電プラントのEHC・AVRシステムの概略系統図を図1に示す。





原子力発電プラントのEHCは、タービン起動前圧力制御や、タービン起動、系統揃速（せんそく）、負荷上昇などの制御及び、定常運転時の原子炉圧力一定制御、発電機負荷急減時のタービンの過速防止と速やかな定格タービン速度への復帰、タービン系統・機器などのプロセス異常時やEHC故障時のタービン停止を行う装置である。

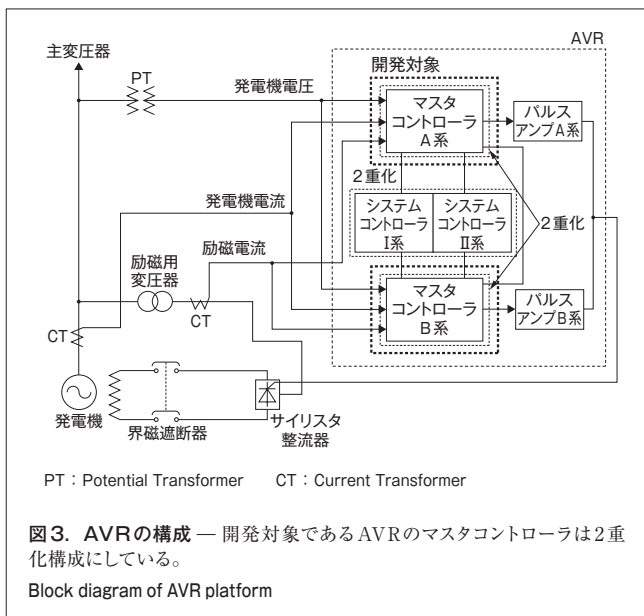
また、原子力発電プラントのAVRは、定常運転時の一定発電電圧の保持、及び電圧急変時の速やかな電圧回復を行う装置である。

国内原子力発電プラント向けのEHCの構成例を図2に示す。外部とのインタフェースや自動化を担うシステムコントローラはI系及びII系の2重化構成にしている。また、重要な機能として原子炉の圧力、負荷、及び速度の調節制御を行うマスタコントローラと、タービン停止による保護を行うトリップコントローラは、それぞれA～C系の3重化構成にしている。3重化による制御は、3重化されたセンサ入力信号の中間値を選択し、それを基に制御出力は“2 out of 3”の多数決制御を行うとともに、一つの系に異常があっても残り二つの系で正常に運転できるようにし、信頼性の高い構成としている。

AVRの構成例を図3に示す。コントローラの構成は、自動電圧調整や自動不足励磁制限など高速の1次制御機能を実行するマスタコントローラと、起動シーケンスや揃速制御などの2次側制御及び故障・状態表示を実行するシステムコントローラを待機冗長2重化構成にしている。

マスタコントローラは、A系を常用制御系とし、B系を非常時のバックアップとして用い、常用制御系に対して待機側の信号が同一となるよう電圧設定を自動的に追従させている。

今回は、これらEHCのマスタコントローラ及びトリップコントローラと、AVRのマスタコントローラを対象に新高速コントローラを開発した。



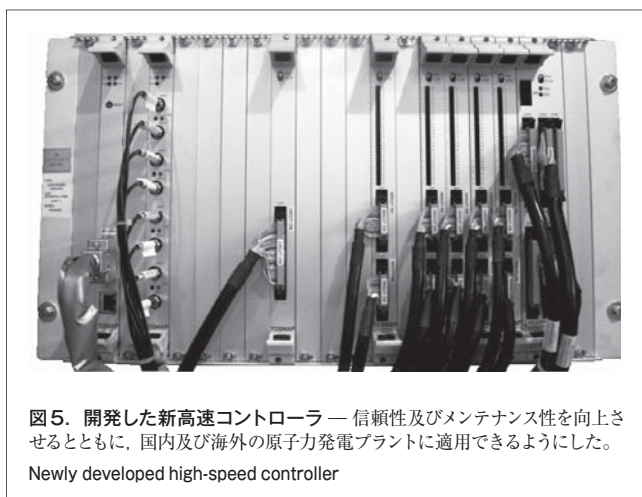
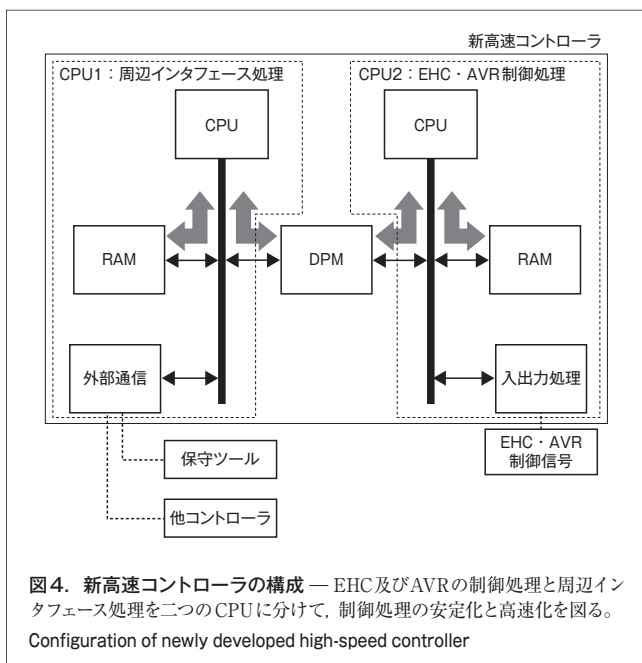
3 新高速コントローラ

原子力発電プラントの重要制御を担うEHC及びAVRに用いられるコントローラには高い信頼性が要求されるため、これ

までの技術を継承しつつ、信頼性及びメンテナンス性の更なる向上などを図るとともに、海外原子力発電プラントでの多様性を持った方式への要求を満足させるため、TOSMAP™新高速コントローラの開発を行った。

3.1 特徴

新高速コントローラの構成を図4に、外観を図5に示す。新高速コントローラは二つのCPUで構成し、各CPUはリアルタイムOS（オペレーティングシステム）で制御している。高速な入出力処理と高速演算を行うEHC・AVR制御処理系CPU2と、保守ツールや他系コントローラ及び上位コントローラなど外部通信を行う周辺インタフェース処理系CPU1を分離し、メモリ（DPM：Dual-Port Memory）をCPU間で共有する。DPMへのアクセスもCPU2からのアクセスを優先することで、EHC・AVR制御処理が外部通信などにより影響を受けずに安定か



つ高速に実行できるようにしている。他コントローラとの外部通信では、前述のシステムコントローラと同じ光通信基板の接続を可能にした。入出力処理は、当社専用バス仕様の制御用PIO（プロセス入出力）基板からEHC・AVR専用基板までをサポートしている。

また、設計の説明性と透明性確保のため、ハードウェア設計、リアルタイムOS、ファームウェア、及びEHC・AVR制御処理を行うアプリケーションの全てを内製で実現している。

3.2 信頼性の向上

信頼性向上対策として、メモリ診断へのECC（Error Correcting Code）方式の採用、バーンイン試験によるメモリの初期故障除去、及び基板内部の温度上昇抑制の3件の対策を行った。それぞれの対策について、以下に述べる。

- (1) ECC方式によるメモリ診断 従来のコントローラは十分な信頼性を持ち、多数の適用実績を積み重ねてきているが、まれに発生する可能性がある故障要因に、メモリで発生する一過性のパリティエラーが挙げられる。EHC及びAVRではコントローラは多重化されており、このパリティエラーがプラントの通常運転に直接影響を及ぼすことはないが、信頼性の更なる向上を図るために対策を行った。従来用いていたメモリ診断では、コントローラはパリティエラーを検出すると即座に異常検出としていたが、この開発ではパリティエラー対策としてECC方式を採用した。このECC方式でエラー訂正が可能な場合には、訂正データをメモリへ再書き込みすることでパリティエラーを解消し、コントローラを継続動作できるようにした。また、訂正が不可能な場合には、従来どおりコントローラは異常を検出するようにした。
 - (2) バーンイン試験による初期故障除去 基板製作時にメモリの初期故障を取り除く施策を行った。この開発では、素子に対して通常の使用温度よりも高い温度と通常の使用電圧よりも高い電圧を加えて素子の電気的特性を確認する、バーンインと呼ばれる試験を取り入れることで、メモリ素子の初期故障を従来コントローラに比べ1/10以下に低減させ、信頼性向上を実現した。
 - (3) 基板内部の温度上昇抑制 メモリを含む電子部品類は、周囲の温度により故障発生確率や寿命に大きな影響を受ける。高い信頼性を達成するには、電子部品を実装している盤筐体（きょうたい）内の温度を低く抑えることと、基板自体の発熱量を抑えることが重要である。この開発では、CPU基板設計の改良を行うことで、従来コントローラに比べて、発熱量を低減させ、基板内部のCPU周辺の上昇温度を抑えた結果、故障率を従来コントローラに比べ約4/5に低減させて信頼性向上を実現した。
- これらの3件の対策により故障率を低減させることで、MTBF（平均故障時間間隔）が従来コントローラに比べ2倍となり、信

頼性向上を実現した。

3.3 メンテナンス性の向上

従来コントローラは、制御演算プログラムと設定値をコントローラ内に保持しておくためにバッテリーを採用していた。バッテリーは消耗品のため定期的に交換する必要がある、発電所におけるメンテナンスの負担となっていた。そこでこの開発では不揮発性メモリを使用することでバッテリーを不要とし、メンテナンス性を向上させた。また、廃止予定又は廃止リスクの高い部品を見直すことで、コントローラの長期安定供給を可能にした。同時に使用部品の見直しを行うことで欧州RoHS指令（電気・電子機器中の特定有害物質の使用制限に関する指令）に適合させるとともに、小型化と部品点数の削減により従来コントローラに比べ基板幅を半分とした。これにより、1ラック当たりの実装密度を高めることが可能になり、メンテナンス性も向上した。

コントローラの運転状態の詳細を確認したりコントローラをメンテナンスしたりするために、専用に準備した保守ツールを用いる。この開発では、保守員の使い勝手を考慮し、より対話型のインタフェースを採用して保守ツールの操作メニューの表示方法を改善した。従来は、ユーザーの使用頻度に関わらず同じメニュー画面であったが、この開発では、ユーザーが必要とする使用頻度の高いメニューをあらかじめ割り当てたり解除したりする機能を加えることで、頻繁に使用する操作を容易にできるようにした。また、操作画面も設定変更することで日英2か国語を切り替えて使用できるようにした（図6）。

また、保守ツールとコントローラ間通信は従来RS-232Cを用いて個別に接続していたが、汎用性と通信速度を重視して新高

速コントローラではEthernet接続に変更した。Ethernet接続にすることで、ネットワークスイッチを介して保守ツールを複数台のコントローラと常時接続しておき、必要なときに表示を切り替えて使用することができるのでメンテナンス性が向上した。

3.4 海外原子力発電プラントにおける多様性を持った方式への要求実現

EHCの過速度保護装置は、一般的に多様性が要求される。多様化の方式としては、“機械式+電気式”の構成を採ることが多いが、近年の海外の原子力発電プラントでは機械式を用いず、異なる方式で多様性を持たせた“電気式2重化”方式を採用するプラントが増えてきている。これは従来の機械式の過速度検出装置に比べて保守点検が容易になる点や、タービンの前軸台の小型化が図れるなどのメリットがあるためである。

従来、当社のEHCでは電気式として1方式しか採用していなかった。この開発では電気式で多様性を持った過速度保護装置のシステム構築が行えるよう、従来の電源供給不要タイプ（パッシブ型）の速度検出器だけでなく、電源供給タイプ（アクティブ型）の速度検出器にも対応できる回路を開発した。

4 あとがき

当社のこれまでの技術と互換性を継承しつつ、信頼性とメンテナンス性を向上させ、海外原子力発電プラントでの多様性を持つ方式への要求を満足させたTOSMAPTM新高速コントローラを開発し製品化した。

このコントローラは、従来のコントローラの後継機種として、国内及び海外の原子力発電プラント向けEHC及びAVR用に全面的に適用していく計画である。

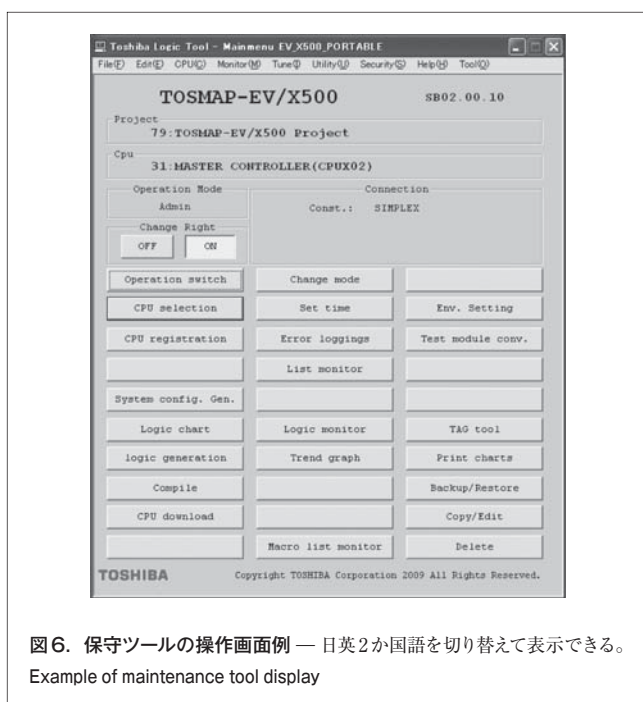


図6. 保守ツールの操作画面例 — 日英2か国語を切り替えて表示できる。
Example of maintenance tool display



栖関 浩平 SUSEKI Kohei

電力システム社 原子力事業部 原子力計装設計部。
原子力発電プラント向け監視制御システムの設計・開発に従事。
Nuclear Energy Systems & Services Div.



宮沢 桂太郎 MIYAZAWA Keitaro

電力システム社 府中事業所 発電システム制御部主査。
タービン制御システムの設計・開発に従事。電気学会会員。
Fuchu Complex



石 健司 CHIKARAISHI Kenji

電力システム社 府中事業所 電力プラットフォーム開発部主幹。
電力用監視・制御コントローラTOSMAPTMの設計・開発に従事。
Fuchu Complex