

汎用技術と高信頼性制御技術を融合させたタービン制御システム TOSMAP-DS™/LX EHC

TOSMAP-DS™/LX EHC Next-Generation Electrohydraulic Control System for Thermal Power Plants Integrating General-Purpose and High-Reliability Control Technologies

添島 康徳

深町 有佑

石川 鉄郎

■ SOEJIMA Yasunori

■ FUKAMACHI Yusuke

■ ISHIKAWA Tetsuro

近年の電力市場の自由化などにより、火力発電プラントの監視制御システムでは経済性とユーザーによる自力メンテナンスが重要視され、ユーザーニーズが高度化かつ多様化している。この傾向は、高い信頼性と高速応答性が求められ、重要な制御を担うタービン制御システムであるEHC (Electrohydraulic Control: 電気油圧式制御) システムにも波及しつつある。

東芝は、これらの状況下での適用拡大を目指し、新たに次世代火力発電プラント向けタービン制御システムTOSMAP-DS™/LX EHCを開発、製品化した。当社の豊富な経験で培った信頼性に優れた制御技術と、高度化かつ多様化するユーザーニーズへの対応及び経済性やメンテナンス性向上の観点から採用した汎用技術を融合させて、海外の火力発電プラントに対応できるようにした。

Accompanying the liberalization of electricity markets, attention has been increasingly focused in recent years on economic efficiency and self-maintenance in the field of monitoring and control systems for thermal power plants. As a result, the requirements for such systems have become sophisticated and diversified. This has led to the electrohydraulic control (EHC) system playing a crucial role in turbine control systems requiring high reliability and high-speed response.

To meet these market requirements, Toshiba has developed and released the TOSMAP-DS™/LX EHC next-generation EHC system for thermal power plants. This system was realized by integrating our high-reliability control technologies acquired through the development of EHC systems and general-purpose technologies that respond to the increasingly sophisticated and diversified needs of users while contributing to the further improvement of economic efficiency and maintainability. We are planning to promote its application in overseas thermal power plants.

1 まえがき

近年の電力市場の自由化などにより、火力発電プラントの監視制御システムでは経済性とユーザーによる自力メンテナンスが重要視されている。このため、一般産業分野での汎用技術の採用が主流となり、プラントメーカーだけでなく多くの専門メーカーも参入してきていることから、ユーザー側の選択肢が広がり、監視制御システムへのユーザーニーズが高度化かつ多様化している。この傾向は、高い信頼性と高速応答性が必須で、タービン速度制御をはじめとした重要な制御を担うタービン制御システムであるEHC (Electrohydraulic Control: 電気油圧式制御) システムにも波及しつつあり、高度化かつ多様化するユーザーニーズへの対応が必要となっている。

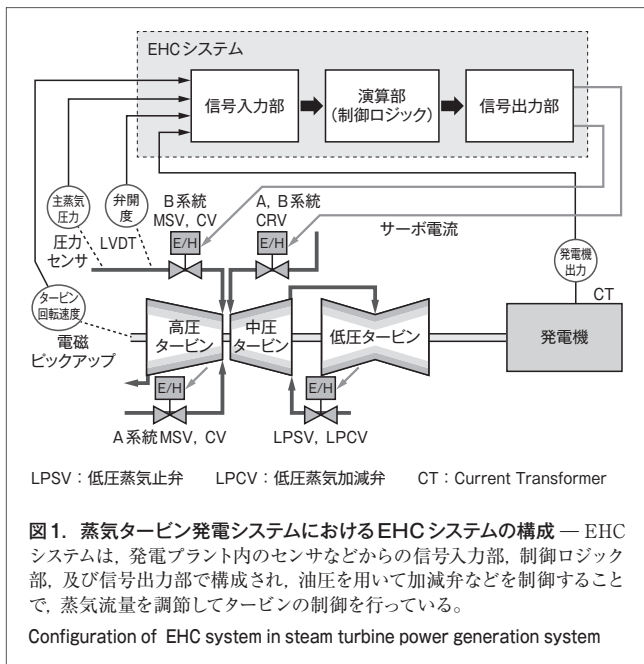
東芝は、このような状況の下で、今後の適用拡大を目指し、次世代火力発電向けタービン制御システム“TOSMAP-DS™/LX EHC”を開発した。このシステムは、高度化かつ多様化するユーザーニーズに対応するため、経済性、拡張性、及びメンテナンス性向上の観点から汎用技術を取り込んで、EHCシステムを多数納入した経験から培った信頼性に優れた制御技術と融合させたものである。

2 TOSMAP-DS™/LX EHCの概要

火力発電プラントのEHCシステムは、タービン速度制御及び負荷制御を基本機能とし、タービン起動や、系統揃速(せんそく)、負荷上昇などの制御とともに、定常運転中の発電機負荷急減時のタービン過速抑制と速やかな定格タービン速度への復帰を行うシステムである。また、タービン系統や機器などのプロセス異常時やEHCシステム故障時のタービン停止なども行う。

蒸気タービン発電システムにおけるEHCシステムの構成を図1に示す。EHCシステムは、蒸気タービン発電システム内のタービン回転速度センサ(電磁ピックアップ)や弁開度センサ(LVDT)などと接続される信号入力部、演算部(制御ロジック)、及び信号出力部から構成されている。信号出力部は、油圧で動作するサーボ弁(E/H)の主蒸気止弁(MSV)や、主蒸気加減弁(CV)、複合再熱弁(CRV)などの操作部に接続されており、機械系に対する操作信号を出力する。EHCシステムは、蒸気タービン発電システムの重要機器の制御及び保護の機能を担うため、特に高い信頼性と高速応答性が要求される。

一方、火力発電プラントには、インテリジェント化された現場機器や、高機能化が進むプログラマブルロジックコントローラ(PLC)をはじめとする外部装置が導入されており、今後、



火力発電プラントにおける多様な要求を満足させる必要がある。このため、ProfibusやModbusなどの汎用プロトコルをサポートするTOSMAP-DS™/LX⁽¹⁾のコントローラを採用したEHCシステムを開発した。

開発にあたり課題になったのが、応答性と信頼性の確保であった。EHCシステムのタービン制御機能では、特にタービン速度検出機能、バルブ開度制御機能、発電機負荷急減時のタービン過速抑制機能、及びEHCシステム故障時のタービン停止機能において、応答性と信頼性を十分に配慮しなければならない。

これらの課題を解決するため、機能ごとに分類を行い、3種

のEHC専用モジュールを開発した。EHC専用モジュールには、制御信号の入出力回路とCPUが搭載されており、それぞれが制御機能を備えている。これにより、タービン制御に必要な応答性を確保した。

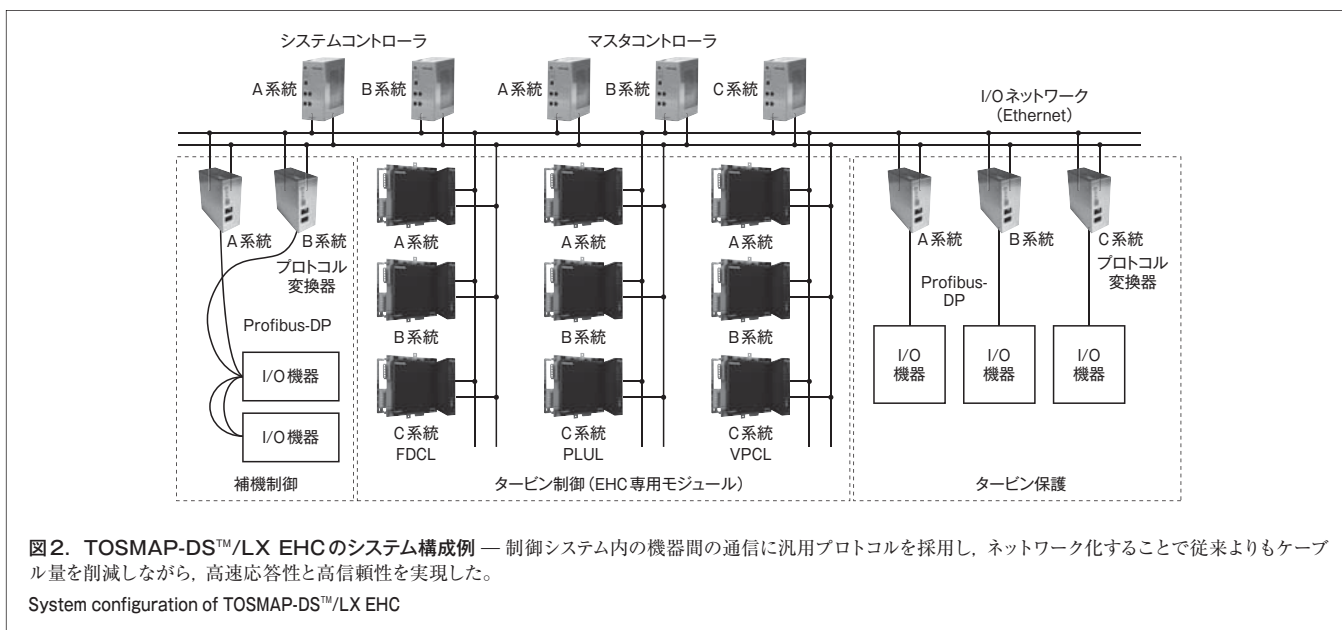
また、求められている信頼性の水準に合わせて多重化が可能になっており、多重化されたうちの 하나가故障した場合は、他の機器だけで制御を継続できる。これにより、従来と同等の信頼性を確保した。

各EHC専用モジュールの詳細は3章で述べる。

2.1 システム構成

TOSMAP-DS™/LX EHCのシステム構成例を図2に示す。ここでのI/O (Input/Output) 機器は、Profibus-DP (Decentralized Peripherals) 経由で、現場機器や外部システムと入出力信号を取り合うための機器である。

多重化構成として、外部インタフェース、補機制御、自動化を担うシステムコントローラ、及びシステムコントローラと補機制御用I/O機器とを接続するプロトコル変換器はAシステムとBシステムの2重化構成にしている。また、タービン速度の調整制御、発電機負荷制御、タービン停止によるタービン保護を行うマスタコントローラ、マスタコントローラとタービン保護用I/O機器とを接続するプロトコル変換器、タービン速度検出とEHC重故障検出を行う周波数検出モジュール (FDCL)、発電機負荷急減時にタービン過速を抑制するパワーロードアンバランス検出モジュール (PLUL)、及び弁開度を制御するバルブ制御モジュール (VPCL) はA～Cシステムの3重化構成にしている。PLULとVPCLは求められる信頼性に応じて、A～Cシステムの多重化構成を選択することができる。このように、EHCシステムを構成する機器では、多重化して一つの機器に故障が発生しても運転を継続できるようにすることで、信頼性を向上させている。



2.2 システム拡張性及び利便性の向上

TOSMAP-DS™/LX EHCの機器間の通信には、汎用プロトコルを採用している。接続方式をEthernetにしているModbus/TCP (Transmission Control Protocol) などでは、外部システムとI/Oネットワークを直接Ethernetに接続することで、制御信号をTOSMAP-DS™/LX EHCに取り込むことができる。

EHC専用モジュールも、同様にEthernetの接続方式を採用しており、I/Oネットワークに接続することで制御信号を取り込むことができる。

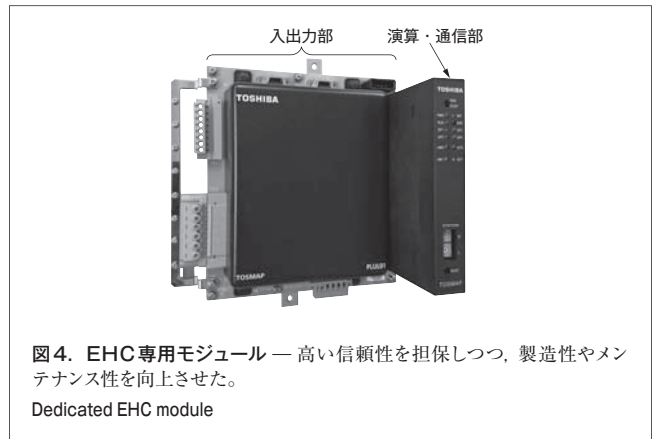
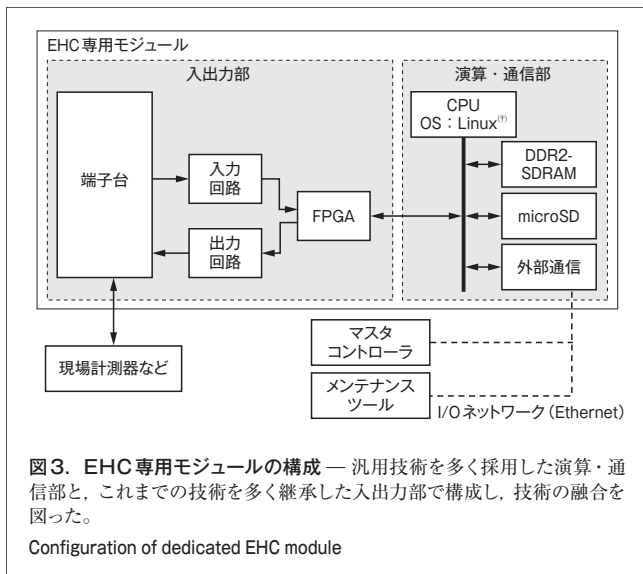
また、接続方式がEthernetではないProfibus-DPやDeviceNetでは、Ethernetへのプロトコル変換器を通すことで、制御信号をTOSMAP-DS™/LX EHCに取り込むことができる。

このように機器間の接続方式を統一することで、EHC専用モジュールを含め、制御用I/O機器の追設や多重化などを行う際の作業量を大幅に削減し、システム拡張性の向上を実現している。

3 EHC専用モジュール

今回開発したEHC専用モジュールの構成を図3に、外観を図4に示す。EHC専用モジュールは、演算・通信部と入出力部により構成され、汎用技術と当社独自の制御技術を融合することで、高い信頼性を担保しつつ、価格競争力や製造性、メンテナンス性を向上させた製品である。

演算・通信部には汎用OS (基本ソフトウェア) のLinux[®]や汎用のEthernet, 汎用メモリであるDDR2 (Double Data Rate 2) -SDRAM (Synchronous DRAM), microSDなどを採用した。更に、演算部と入出力部とのインタフェースを含め、内部



のインタフェースには、汎用のシリアルインタフェースであるSPI (Serial Peripheral Interface) やI²C (Inter-Integrated Circuit) を採用し、入出力部にはこれまでに培ってきた技術を継承したEHC専用のインタフェース回路を採用している。

3.1 機能別のモジュール化

EHC専用モジュールは、EHCシステムのタービン制御において、特に高速応答性と信頼性が要求される機能で外部との専用インタフェースが必要なものについて、機能別に三つに分類してモジュール化したものである。EHC専用モジュールの概要を表1に示す。

各々のモジュールは、別々の専用演算及び専用入出力が必要になるが、専用インタフェース回路を入出力部に搭載し、3モジュール全ての制御ロジックを一つの演算・通信部に格納することで、演算・通信部を共通化した。この共通化により、演算・通信部の生産ロットサイズを大きくしてモジュール単価を下げ、価格競争力を大幅に向上させた。

応答性を確保することと負荷分散の観点から、演算・通信部

表1. EHC専用モジュールの概要

Outline of dedicated EHC module

項目	モジュール			
	FDCL	PLUL	VPCL	
機能	<ul style="list-style-type: none"> タービン速度入力 過速度検出 発電機遮断器閉閉信号入力 EHC 重故障検出 	<ul style="list-style-type: none"> 発電機負荷急減時のタービン過速抑制 	<ul style="list-style-type: none"> 弁開度検出 弁開度制御 サーボ電流出力 	
外部入出力	入力	<ul style="list-style-type: none"> タービン速度 	<ul style="list-style-type: none"> 発電機電流 再熱ボウル圧力 	<ul style="list-style-type: none"> 弁開度
	接続センサ	<ul style="list-style-type: none"> 電磁ピックアップ 	<ul style="list-style-type: none"> 発電機CT 圧力センサ 	<ul style="list-style-type: none"> LVDT
	出力	<ul style="list-style-type: none"> 過速度検出 	<ul style="list-style-type: none"> PLU 動作検出 	<ul style="list-style-type: none"> サーボ電流 (開度調整)
	アクチュエータ	—	—	<ul style="list-style-type: none"> サーボコイル
I/O ネットワーク送受信情報	送信情報	<ul style="list-style-type: none"> タービン速度 過速度検出信号 発電機遮断器閉閉信号 	<ul style="list-style-type: none"> 発電機電流 再熱ボウル圧力 PLU 動作検出信号 	<ul style="list-style-type: none"> 弁開度 弁開度信号異常
	受信情報	<ul style="list-style-type: none"> EHC 重故障 過速度テスト指令 	—	<ul style="list-style-type: none"> 弁開度指令 弁急閉指令
演算周期	5 ms 以下	3 ms 以下	5 ms 以下	

で実行する演算は高速応答が必要な演算だけにし、運用性改善のために必要となる複雑な制御で負荷の高い演算は、EHC専用モジュールとI/Oネットワークで接続されるマスタコントローラで実行することで、EHCシステム内の機能分担を明確にした。

技術を継承した専用インタフェース回路が搭載される入出力部についても、新しい技術を取り込み、信頼性及び製造性の改善やモジュールサイズの削減を図った。各モジュールの開発ポイントを以下に示す。

- (1) FDCL タービン前軸台に設置された電磁ピックアップからのパルス信号をタービン速度信号に変換する速度信号変換機能、過速度検出機能、発電機遮断器開閉信号入力機能及びEHC重故障検出機能を搭載している。速度信号変換機能と過速度検出機能は、従来どおり全てFPGA (Field Programmable Gate Array) で実現することで、高い信頼性と高速応答を実現した。

更に、FPGAを含む能動部品は、技術進歩に合わせ、従来品より集積度の高いものを採用することで素子数を従来比1/3以下に低減するとともに、故障率を約20%改善し、信頼性を向上させた。

- (2) PLUL 発電機CT (Current Transformer) からの発電機電流信号 (ロード側) と圧力センサからの再熱ボウル圧力信号 (パワー側) を入力し、系統事故などによる発電機負荷急減に起因するPLU (Power Load Unbalance) 動作を検出する機能を搭載している。信号入力から演算、PLU動作検出までを一つのモジュールで実施するとともに、演算周期を最速3msまで速めることで高速応答を実現した。これにより、系統事故などが発生した際のタービン過速を抑制する。発電機電流信号用の補助CTを搭載したうえで、アナログ回路の精度に影響が出ないよう考慮しながら部品の実装密度及び実装効率を上げ、モジュールサイズを従来比1/2以下に低減した。

- (3) VPCL 蒸気弁近傍に設置されたLVDTからの信号を復調して弁開度信号に変換する機能、及びマスタコントローラで演算された弁開度指令信号を入力して弁開度制御マイナーループを演算し、蒸気弁駆動アクチュエータにサーボ電流を出力する機能を搭載している。

特に、弁開度信号の検出回路については、従来の技術を継承したうえで、アナログ回路で実現していたLVDTのインタフェース回路の一部をFPGAに取り込んだ。更に、インタフェース回路の構成を見直し、単価が高く、リードタイムが掛かっていた特注品をなくすことで、高い信頼性を担保しつつ、モジュールの製造性を向上させた。

3.2 メンテナンス性の向上

EHC専用モジュールの冗長度は、信頼性要求に合わせて1~3重化をモジュールの設定なしで切替え可能とし、必要な

冗長度に応じてEHCの構成を容易に変更できるようにするとともに、制御盤の製造性を向上させた。

外部からのEHC専用モジュールへの配線は、モジュールに実装された端子台に直接配線できる。また、配線部分だけ取外しできる構造とした。これにより、モジュール交換時の配線つなぎ替えを不要とし、作業時間を大幅に削減した。

複数プラントの制御ロジックの中から共通仕様と共通制御を定め、EHC専用モジュール内の制御ロジックを標準化した。火力発電プラント固有の設定や機器の接続状態によって調整が必要な設定については、設定変更・調整可能な設計とし、汎用性を確保した。

制御ロジック内の設定値の変更には、専用に準備したメンテナンスツールを用いる。従来、特に重要な設定値は、信頼性を確保する観点から基板上のスイッチで設定していたが、メンテナンスツール及びモジュール間であらかじめ定められた専用の手続きだけで変更可能にし、信頼性を確保したうえで、メンテナンス性を向上させた。

4 あとがき

これまでの技術と汎用技術を融合させ、経済性やメンテナンス性を向上させたEHC専用モジュールを開発した。また、これらを組み込むことで、高度化かつ多様化するユーザーニーズに対応するとともに、価格競争力を高めたTOSMAP-DS™/LX EHCを製品化した。

今後、海外の火力発電プラントを中心に適用を図っていく。

文 献

- (1) 石川鉄郎 他. 運用性と環境の改善を実現する次世代コントローラ TOSMAP-DS™/LX. 東芝レビュー. 68, 11, 2013, p.29-31.

• Linuxは、Linus Torvalds氏の日本及びその他の国における登録商標又は商標。



添島 康徳 SOEJIMA Yasunori

電力システム社 府中電力システム工場 電力プラットフォーム開発部。発電プラント向け監視制御コントローラTOSMAP™シリーズの設計・開発に従事。

Fuchu Operations - Power Systems



深町 有佑 FUKAMACHI Yusuke

電力システム社 府中電力システム工場 発電システム制御部。タービン制御システムの設計・開発に従事。

Fuchu Operations - Power Systems



石川 鉄郎 ISHIKAWA Tetsuro

電力システム社 府中電力システム工場 発電情報制御システム部主務。分散制御システムの設計・開発に従事。

Fuchu Operations - Power Systems