

高信頼性と操作性を向上させた 水力発電所の監視制御システム

Advanced Monitoring and Control System Technologies for Hydroelectric Power Plants

木下 賢太郎 本橋 秀行 野中 一也
 ■ KINOSHITA Kentaro ■ MOTOHASHI Hideyuki ■ NONAKA Kazuya

東芝は、国内外の大容量水力発電所向け監視制御システムから小容量水力発電所向け一体形制御装置に至るまで、数多くの制御装置を供給してきた。

水力発電所監視制御システムの分野では、最新のSCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) システムを工場プラントシミュレータを用いて実運用に近い条件で検証し水力発電所へ納入している。また、小容量水力発電所向け制御装置分野では、一体形制御装置の海外水力発電所への適用を進めている。更に、大容量水力発電所向け一次制御装置分野でも、新開発のアドバンストガバナの有効性が実運用で実証され、今後、国内外の揚水発電所への適用拡大が期待されている。

Toshiba has been supplying advanced control equipment ranging from monitoring and control systems for large-scale hydroelectric power plants to all-in-one type control equipment for low-capacity hydroelectric power plants in the domestic and overseas markets.

In the field of monitoring and control systems we have developed the latest supervisory control and data acquisition (SCADA) system, which has been verified using a plant simulator similar to actual operating conditions. With regard to all-in-one type control equipment, we are aiming to apply such systems to overseas hydroelectric power projects. In the field of primary control equipment, we have confirmed the effectiveness of our advanced control governor through actual operation in a hydroelectric power plant in cooperation with users, and are working toward its application in domestic and overseas pumped-storage plants.

1 まえがき

東芝は、大容量水力発電所の監視制御システムから比較的小容量水力発電所の一体形制御装置まで、ユーザーニーズに合わせたデジタル制御システムを1970年代から開発し提供してきた。

特に、海外では、新興国を中心に新規プラントの需要が多く、水車及び水車発電機とともに制御装置を納入している。しかし、発電所の運転や保守の経験が浅い海外の発電所では、運用や保守面での充実と、操作や表示の方法についていっそうの工夫が要求されている。

近年、世界中でネットワークやソフトウェア (SW) の技術が進展しており、水力発電所制御装置にも汎用機器や汎用SWの採用が拡大してきている。発電所向け制御装置では、信頼性の維持だけでなく、操作性を十分保つことが必要となってきた。

ここでは、このようなニーズに応えた海外向けSCADAシステムと、一体形制御装置、アドバンストガバナの最新技術について述べる。

2 海外向けSCADAシステム

当社がプラント全体を統括して製作した海外水力発電所向けのSCADAシステムを表1に示す。図1は、インドのプルリ

表1. 東芝が納入した海外水力発電所向けのSCADAシステム
Reference list of SCADA systems for overseas projects

運用開始 (年)	発電所名 (国名)	発電機出力	備考
1986	チャイラ (ブルガリア)	235 MVA × 4	揚水発電
1992	サマナラウエワ (スリランカ)	70 MVA × 2	発電専用
2001	ハムツアン (ベトナム)	177 MVA × 2	発電専用
2008	ティースタV (インド)	208 MVA × 3	発電専用
	ブルリア (インド)	250 MVA × 4	揚水発電
	ソングミリウ (ケニア)	33.7 MVA × 2	発電専用
2010 予定	ナムグム2 (ラオス)	228 MVA × 3	発電専用

ア発電所の制御室内に設置されたSCADAシステムである。

2.1 SCADAシステムの構成と特長

最新の海外水力発電所向けSCADAシステムの構成を図2に示す。3台の主機の制御・保護装置、送電線の開閉機器制御装置及び発電所内制御装置に加え、系統制御所との通信装置や売電量測定装置、ダム取水口及び放水路のゲート制御装置とのインタフェース機器を各コントローラに分散したDCS (Distributed Control System) で構成している。

このシステムの主な特長は、次のとおりである。

- (1) 分散型プラント制御コントローラに統合コントローラを採用して、それぞれのCPUを二重化した待機切替システムとし、高信頼性を実現



図1. プルリア発電所のSCADAシステム — 3台のコンピュータを使用した冗長システムで、操作卓のデュアルモニタと大型スクリーンに画面を表示することにより、オペレーター間で情報の共有ができる。

SCADA system in control room of Purulia Pumped Storage Power Station, India

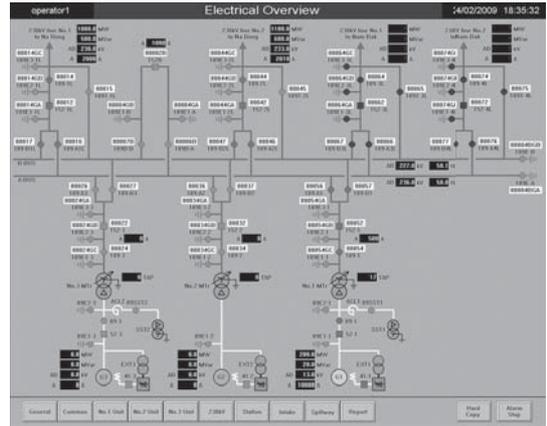


図3. GUI画面 — 汎用GUI SWが適用され、画面作成機能の利便性が向上している。

Example of graphical user interface (GUI) display

- (2) 上位系の監視制御装置と各コントローラの間は、二重化したツリー構造のReal-Time Ethernet 100 Mビット/s制御LANで構成し、信頼性の高い高速データ伝送を実現
- (3) 上位系の各監視制御装置を情報LANに接続し、情報やプリンタなどを共有化
- (4) IMS (Information Management System)で長期のデータを保存することで、長期間にわたるプラント運転履歴の参照が可能
- (5) 大型ディスプレイを適用し四つの画面を同時に投影することで、プラント全体の情報をオペレーターが共有
- (6) 統合コントローラのOS (基本SW) 及び実務処理プログ

ラムの適用により次の機能を実現

- (a) 汎用GUI (Graphical User Interface) SWの適用により、画面作成機能の利便性が向上 (図3)
- (b) デュアルモニタ化により、用途に合わせて左右の画面を選択表示することなどで、オペレーターとの対話や操作機能が充実 (図4)
- (c) 制御LANと系統制御所の装置とのインタフェース機能を汎用通信SWで実現
- (d) サーバクライアント化を適用したエンジニアリングツールによるデータのマス管理機能を実現

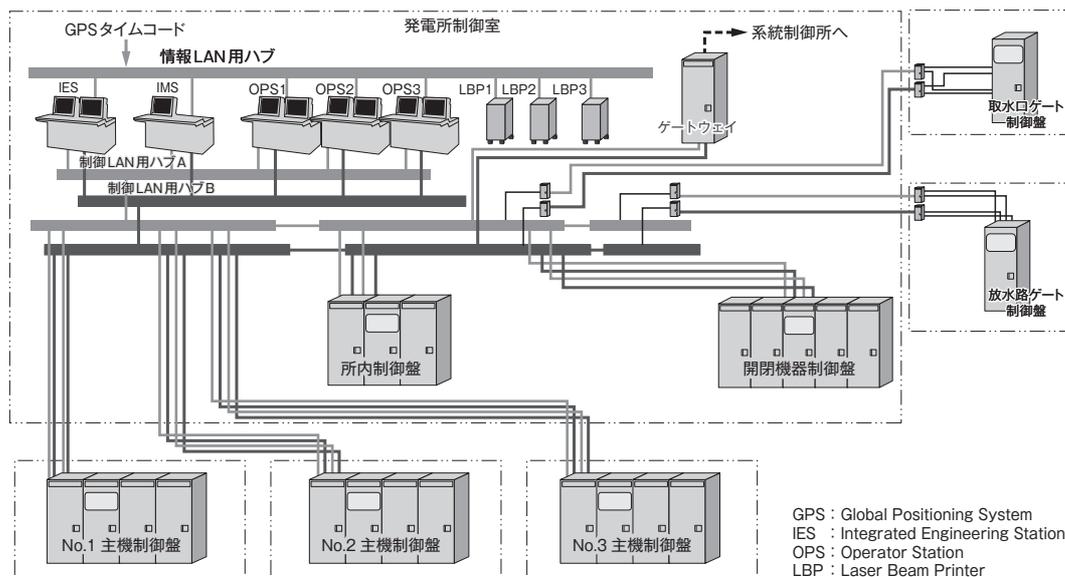
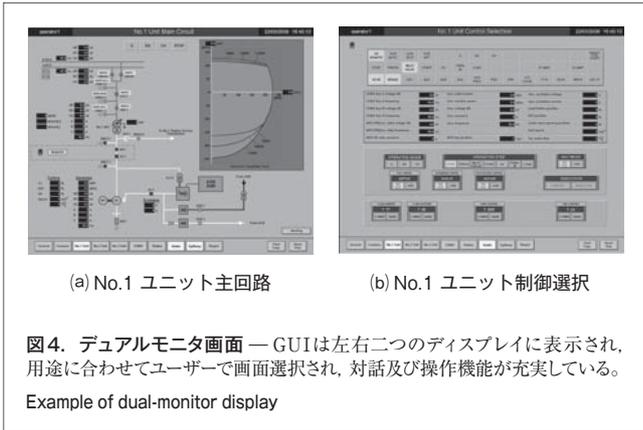


図2. SCADAシステムの構成 — 制御室設置の機器を中心に、現場機器の情報収集及び制御を行う装置、取水口ゲートや放水路ゲートの遠隔制御装置、及び系統制御所との通信装置を備える。

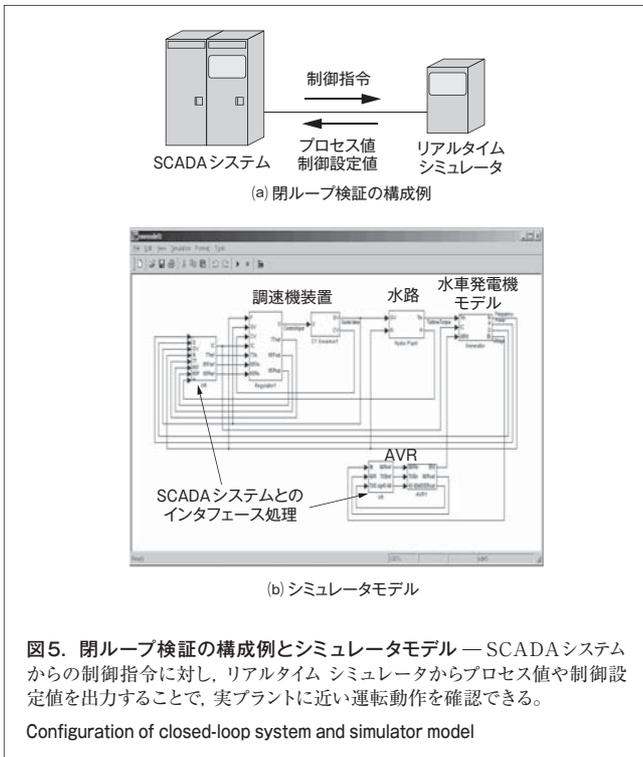
Configuration of SCADA system



2.2 プラントシミュレータでの機能検証

従来、SCADAシステムや一次制御装置を製作するにあたって、工場試験では、実際の水路や水車及び水車発電機など主機の動きを含めた機能検証が行えず、現地試験での調整に時間を要していた。そこで、主機の動きをリアルタイムに模擬できるモデルを開発し、制御装置の機能検証を行った。

シミュレータモデルを図5に示す。SCADAシステムとリアルタイムシミュレータをハードウェア(HW)で接続し、SCADAシステムから出力される、負荷指令ランバックや上げ下げ指令などの制御指令に対する制御結果を、ガイドベーンストローク^(注1)、水車回転速度、出力などのプロセス値や負荷指令設



(注1) ガイドベーン(水車への水の流入を調整するゲート)開度は、そこにつながっているサーボモータのストローク(距離)から検出する。

定値などの制御設定値としてリアルタイムシミュレータからSCADAシステムへ出力する。この実機を模擬した機能検証により、主機始動や主機停止、負荷遮断などのプラント運転動作を確認できるようになった。

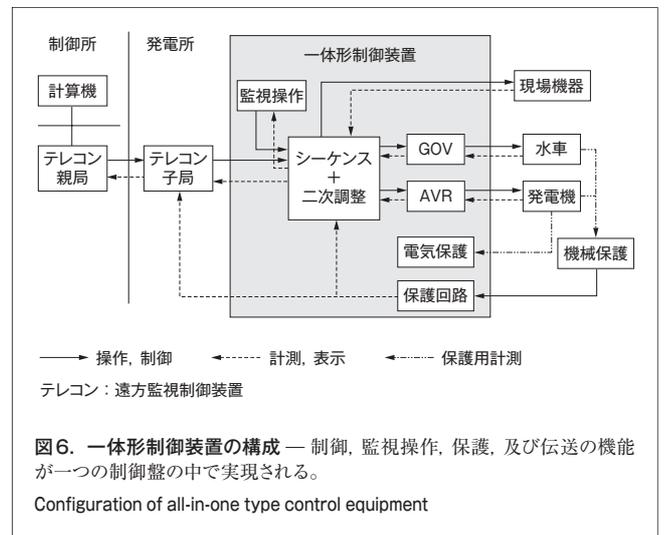
3 一体形制御装置

初期の一体形制御装置として、励磁制御(AVR)機能、調速制御(GOV)機能、自動制御(シーケンス+二次調整)機能を一つのCPUで処理する多機能一体形制御装置を1989年に開発した。その後発電機保護機能を含めて盤2面に収納するオールインワンタイプの一体形制御装置を1999年に開発した。このオールインワンタイプは現在までに50セット以上を納入し、最近では10 MW超のプラントへの適用も多くなっている。高信頼度の電力用コントローラを適用したものに比べて、一般産業用コントローラを適用した一体形制御装置⁽¹⁾も開発を完了しており信頼度優先、経済性優先のいずれにも対応できる。

一体形制御装置に組み込まれた各機能の相関関係を図6に示す。GOV、AVR、及び監視操作用ディスプレイをそれぞれ連携させた一人制御対応の、始動及び停止シーケンス制御、自動負荷調整制御、自動無効電力制御などの二次調整制御を一つのCPUで実現するとともに、発電機保護継電器を一体形制御装置に組み込んでいる。

GOV + AVRだけに機能限定した一体形制御装置の最小構成が盤1面で、自動制御 + GOV + AVR + 保護の全機能を備えた一体形制御装置の最小構成が盤2面で実現でき、省スペースの実現により既設装置更新時の配置見直しと合理化、新設時の配電盤設置スペースの削減に寄与している。

海外向けでは、インドのウミアムII水力発電所(12 MVA×2台)に次の内容を実現した一体形制御装置を初めて適用し、2011年初めに出荷する予定である。



- (1) 自動制御：始動・停止シーケンス、二次調整制御
- (2) 励磁制御：ブラシレス励磁方式
- (3) 調速制御：X級対応、油圧方式、SSG (Speed Signal Generator) 採用

4 アドバンストガバナ制御システム

従来、水車の回転速度を検出して水車の水量を調節するガバナへの要求機能は、負荷変動に対する出力調整（速応性）、及び並列前無負荷時の水車の定格速度での安定制御であった。アドバンストガバナは、更にサージタンクの水位変動（サージング）抑制機能を加えた最新のガバナシステムである。これによりサージタンク容量が低減でき、これを適用した東京電力（株）神流川発電所では建設コストの低減にも寄与した⁽²⁾。

アドバンストガバナの制御方式は、現代制御理論に基づいて設計したLQG (Linear Quadratic Gaussian) 制御とフィードフォワード制御からなり、従来は困難であった水位サージングの低減と負荷追従性の向上を両立させていることが特長である。

図7に示す水路系を構成する発電所では、導水路、上部及び下部のサージタンク、圧力鉄管各部の形状及び構造から動作状況を特定するパラメータを算出し状態推定を行う。これを用いてフィードバック信号からSWセンサで水位サージング挙動の状態を推定し、その状態推定に基づいて水位サージングの拡大を防止する仕組みである。

アドバンストガバナの概略の制御機能の構成を図8に示す。状態推定のために通常ガバナ制御で用いる回転速度だけで

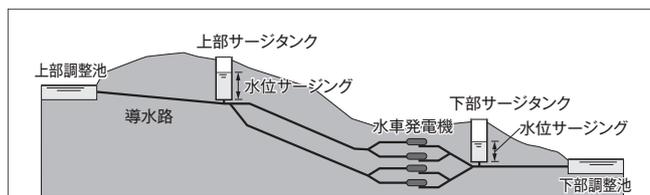


図7. アドバンストガバナ適用プラントの水路系の構成 — アドバンストガバナ適用により、サージタンクの水位変動が抑制され、タンク容量を低減できる。

Waterway configuration of power plant by application of advanced control governor

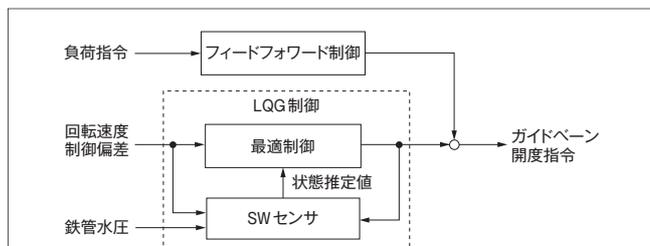


図8. アドバンストガバナの制御機能の構成 — 現代制御理論に基づいて設計されているLQG制御とフィードフォワード制御から成っている。

Functional block diagram of advanced control governor

なく鉄管水圧も取り込みSWで状態推定を行う。この状態推定情報を最適制御処理へ取り込み固有周期に近いサージタンク水位の変動が現れる兆候となった場合は、最適計算された制御出力により、固有周期の変動を抑制する。

神流川発電所への適用に際し、事前にシミュレーション解析を行い、有効性を検討した。その後に実機の実動作とこのシミュレーション結果を比較評価した結果、シミュレーションどおり再現性が確認され、アドバンストガバナの有効性を検証することができた。

このアドバンストガバナ制御システムは、主機制御の最適化を行うだけでなく、建設コストの低減にも寄与するため、今後の新設案件、特に海外の揚水案件への適用拡大が期待される。

5 あとがき

新興国を中心とした電力需要の増加や環境問題を考慮し、自然エネルギーを利用した水力発電所は、クリーンエネルギーとして、また電力需要の調整機能として、その重要性が高まっている。その中で、制御装置については、情報ネットワーク技術の発展に伴い、監視機能の向上を目的として処理する情報量が増大してきている。それらの監視制御システム機能検証のためのシミュレータ試験装置の機能充実を図っている。また、ユーザーの要望を製品技術へ取り込み、システムとして一体化することで制御システムの付加価値を向上させている。

当社は、今後も水車及び水車発電機の技術開発とともに、制御システムの信頼性、経済性、保守性、及び操作性向上のため、SW、HWの開発を進め国内外へ機器を供給していく。

文献

- (1) 藪田圭二郎, ほか. 一般産業用コントローラ採用の水力発電所用一体形制御装置. 東芝レビュー. 61, 7, 2006, p.53-57.
- (2) 戸田一典, ほか. 世界最大容量・高落差の揚水発電所用ポンプ水車—東京電力(株)神流川発電所納入. 東芝レビュー. 61, 5, 2006, p.58-61.



木下 賢太郎 KINOSHITA Kentaro

電力システム社 火力・水力事業部 水力プラント技術部。
水力発電プラントのシステムエンジニアリング業務に従事。
電気学会会員。
Thermal & Hydro Power Systems & Services Div.



本橋 秀行 MOTOHASHI Hideyuki

電力システム社 府中事業所 発電システム制御部主務。
水力発電プラントの設計・開発に従事。
Fuchu Complex



野中 一也 NONAKA Kazuya

電力システム社 府中事業所 発電システム制御部。
水力発電プラントの設計・開発に従事。
Fuchu Complex