

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

Integrated Control System Using Industrial Controller for Hydroelectric Power Plants

藪田 圭二郎 近内 忠 野口 哲哉

■ YABUTA Keijiro

■ KONNAI Tadashi

■ NOGUCHI Tetsuya

水力発電所の制御装置は、これまで信頼性向上及び高機能化を図るためにデジタル化が行われ、また経済性向上及び省スペース化のために各種装置を一体化した一体形制御装置が中小容量の発電所で採用されている。

しかし、近年の電力市場の国際化などによりいっそうのコスト低減が求められているなかで、特に小容量の発電所ではプラントコストに占める制御装置のコスト割合が相対的に高くなっている。

そこで、電力用コントローラに替わり、一般産業用コントローラを用いて更なる経済性向上を達成した一体形制御装置を開発し、2005年3月からこの制御装置の初号機が東京電力(株)室田発電所で運転を開始した。

Microprocessor-based digital control systems have been generally applied in various fields, and integrated control systems with a variety of functions such as sequence control, automatic voltage regulation, governor control, and protective relays have also been applied to hydroelectric power plants.

Toshiba has developed an integrated control system using an industrial controller to achieve improved economy, and supplied this system to the Murota Hydroelectric Power Station of The Tokyo Electric Power Co., Inc.

1 まえがき

水力発電所では、経済性の向上や省スペース化のために制御装置の一体化が図られ、東芝は1989年に制御機能を一体化した制御装置を開発し、複数の発電所に適用している。更に、2000年には制御機能に加えて保護機能まで一体化した制御装置を開発して多数のプラントに適用し、中小容量の水力発電所において一体形制御装置の採用が一般化してきた。このような状況のなかで、近年の水力発電所を取り巻く環境が更に厳しくなっており、建設コストや維持管理コストのいっそうの低減が求められてきている。この結果、2002年3月に電気協同研究(以下、電協研と略記)第57巻第5号“一般水力発電所の制御・保護システム合理化”が発行された。そこでは、一般産業用コントローラの採用やY'級ガバナなど、仕様・性能の限定をはじめとする合理化策が提示されている。

当社は、これらの合理化策を取り込んで一般産業用コントローラを採用した一体形制御装置を開発し、今回、初号機を東京電力(株)室田発電所へ納入した。盤2面構成の一体形制御装置の例を図1に示す。図1(a)のように監視・操作を行う液晶表示器(LCD)を扉に設けており、図1(b)はその扉内部へ収納しているコントローラ、制御・保護用品である。

以下に、今回開発した一体形制御装置の概要について述べる。

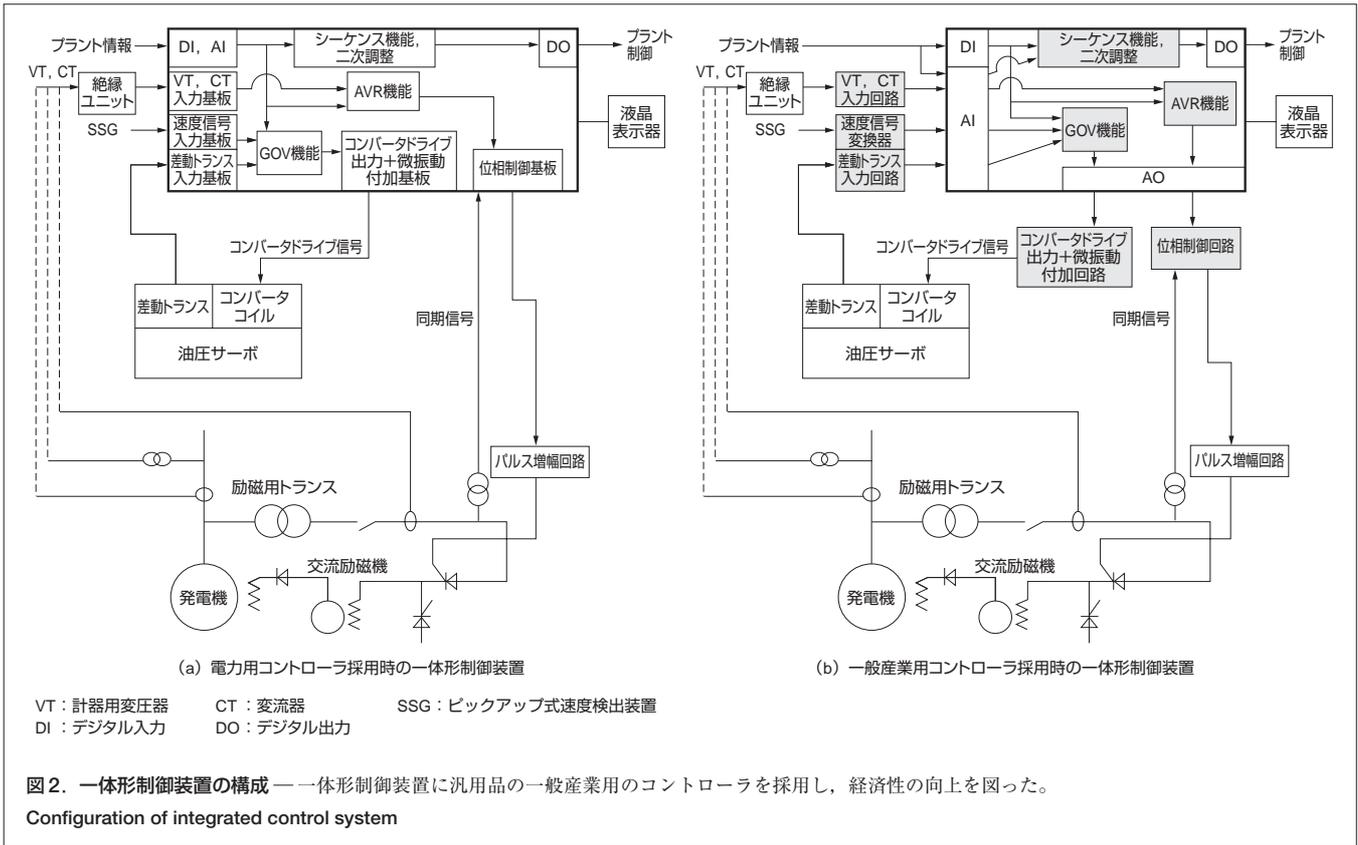


図1. 一般産業用コントローラを採用した一体形制御装置 — 従来の電力用コントローラに替わって、一般産業用コントローラを採用した。

Integrated control system using industrial controller for hydroelectric power plants

2 一般産業用コントローラ採用に際しての検討項目

従来の電力用コントローラを採用した一体形制御装置は、図2(a)に示す構成であり、AVR(励磁制御)やGOV(調速制御)の一次調整制御機能の性能保証を行うために、CPUユニット内に収納可能な専用の入出力基板を用いている。これによりAVRの応答性確保、ガバナのX級・Y級の不動帯・不動時間対応などの性能確保を行っている。これに対して



一般産業用コントローラを採用する場合は、通常のAI(アナログ入力)基板, AO(アナログ出力)基板を用いて制御に必要な測定データを取り込むため、図2(b)に示すようにアナログ信号取合のための入出力変換回路を適用する必要がある。速度信号やレターン信号を入力変換回路経由で入力すると、変換回路の遅れ特性や変換誤差が重畳するため、ガバナの電協研Y級(不動時間:0.3秒以下, 不動帯:0.1%以下)を確実に実現することは困難である。そのため、専用基板を用いて直接信号を取り込む電力用コントローラ採用の一体形制御装置と比べて、応答性や性能保証の点で不利であることを考慮したシステム設計が必要である。

一般産業用コントローラを採用した一体形制御装置の場合、小容量の発電所への適用については、前記の特性上の不利な点を考慮しても運用上支障のないシステム設計が可能である。

以下に、効果的な通用についての留意点を示す。

2.1 AVR 応答性への留意点

AQR(自動無効電力調整)制御などを行わず、APFR(自動力率調整)制御を行う場合は、var(無効電力)制御上の即応性は不要である。また、励磁がブラシレス方式の場合は、サイリスタ方式より緩やかな応答性でも支障ない場合が多い。これらの場合は、並列中は励磁制御の応答性についての問題が少なく、負荷遮断時の電圧上昇 $\Delta V \leq 30\%$ をキ

ずできれば、運用上支障のない運転が可能である。

2.2 ガバナ応答性と性能保証への留意点

ガバナフリー運転を行っていない発電所(水位調整制御, ALR(自動負荷調整)制御を行っているが77駆動, 流量制御で77駆動など)では、周波数変化に対する即応性は不要である。これらの場合は、並列中の応答性についての問題がなく、負荷遮断時の回転数上昇 $\Delta N \leq$ 規定値をキープできれば、運用上支障のない運転が可能である。

上記の2.1節及び2.2節の内容をともに満足する一般的な発電所の条件は、次に示すものである。

- (1) 流れ込み式発電所, 維持放流責務なし
- (2) 応水制御による始動・停止
- (3) 水位調整制御, APFR制御
- (4) 河川法の制約なし

3 一般産業用コントローラを用いた特徴

一般産業用コントローラを採用した一体形制御装置を適用する際の特徴を以下に述べる。

3.1 経済性の向上

小容量の発電所向け制御装置の価格低減を実現するために、電力用コントローラより安価な一般産業用コントローラの

採用と合わせ、仕様の簡素化を検討する必要がある。

2章で述べた4条件に適合する発電所への最小限の要求は、次のようなものである。

- (1) 確実な始動・並列ができること
- (2) 事故発生時に確実にトリップ停止すること
- (3) 並列運転中に確実な制御ができること
- (4) 通常運用で使用しないものは極力省く

上記の要求に基づき、以下の仕様について簡素化を実施した。

- (1) 急停止用ロックアウトリレー(#86-2)の省略
- (2) 詳細ステップのシーケンスモニタ省略
- (3) 保護リレー要素への絞込みと広帯域特性の省略(定格周波数±5%以内)
- (4) 一般仕様の見直し(耐電圧AC1,500Vなど)

これらにより、使用する用品の共通化、費用の削減、工場及び現地での試験期間の短縮などを含めたトータルコストの低減が可能となった。

3.2 保守性の向上

電力用コントローラを採用する場合は、不適合発生初期段階からメーカーが現地調査を実施し、不良部位の特定や復旧処置を行うとともに、不良発生原因を究明して水平展開の可否などを判断している。また、不良部位によってはそのつど基板製作する場合もあり、復旧処理の完結までに時間がかかる場合が多い。

これに対して一般産業用コントローラは、自動監視機能により故障基板の特定も容易なため、基板の交換で復旧を完了させることが可能である。このため、ユーザーが容易に復旧させることができ、基板の入手も電力用コントローラより早くできるため、早期復旧が可能である。

3.3 伝送接続が容易

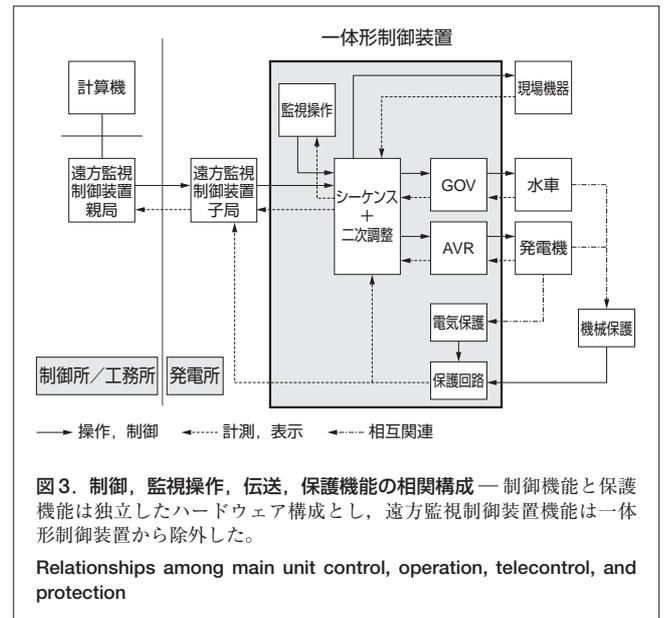
一般産業用コントローラは、複数メーカーのものが同じLAN上に接続されてシステムを構成する例が多いため、汎用プロトコルを用いた伝送接続がオプション基板で対応可能な場合が多い。将来的に遠方監視制御装置がIP(Internet Protocol)化された場合、基板追加及びソフトウェア追加・変更で対応できる可能性が高い。

4 基本仕様

一般産業用コントローラを採用した一体形制御装置の基本機能と周辺装置を含めた構成例を図3に示し、各々の機能の基本仕様を以下に述べる。

4.1 始動・停止シーケンス

主機の始動・停止を行うシーケンス制御は、電協研第27巻第9号の遠隔常時監視一人制御に準じた監視制御を標準とする。また、流れ込み式の発電所に対しては、応水制御に



よる主機の始動・停止を標準とする。各制御ステップは標準化し、発電所固有部分だけを変更することで設計費や試験費の低減を図った。

また、制御渋滞の発生頻度が少ないにもかかわらずソフトウェアの作成と検証に多大な時間を要していた、従来のシーケンスステップごとのシーケンスモニタを簡素化して、始動渋滞と停止渋滞を一括監視するようにした。

更に、従来の非常停止用ロックアウトリレー(#86-1)と#86-2の区分を一つにして、事故停止は#86-1とした。これは、事故発生頻度やこの制御装置の適用対象である流れ込み式発電所などでの#86-2の必要性を考慮したものである。

これらのシーケンスモニタや#86-2などはオプション対応が可能であるが、標準仕様では簡素化の対象とした。

4.2 二次調整

流れ込み式の発電所としては、標準の調整制御機能を次のようにした。

- (1) 有効電力制御：水位調整制御 貯水池式の発電所へ適用する場合はALRを採用する。また、流量制御についてはオプション対応が可能である。
- (2) 無効電力制御：APFR制御 内部設定値の固定力率値を標準とするが、複数の力率値を選択する場合や無効電力指令値入力のAQR制御などはオプション対応が可能である^(注1)。

4.3 監視操作

従来のメータ、表示器、操作スイッチなどを削減してタッチパネル式カラーLCDを用いることとした。通常は無入で

(注1) AQR制御を採用する場合は、その応答性を確認したうえで実機適用する必要がある。

るため、このLCDは一定時間以上不使用であれば自動的に消灯させる。ただし、LCDが異常となり画面による監視・操作ができない場合でも対応が必要な次の要素については、従来どおりの操作スイッチや表示器を設けた。

- (1) 遠方／直接切替スイッチ(#43R)
- (2) 非常停止スイッチ(#5E)
- (3) 並列遮断器操作スイッチ(#3-52)
- (4) 制御電源入／切スイッチ(#8)
- (5) 警報復帰スイッチ(#3-28R)
- (6) #86復帰スイッチ(#3-86R)
- (7) 重故障一括表示

監視・操作を行う画面は、次の三つで構成し、シーケンスのどのステップにあるかなど通常の状態表示(#30S)は、どの場合でも画面左に表示した(図4)。

- (1) プラント状態表示画面(図4(a)) 現在の運転状態や計測値を表示する。
- (2) 主機操作画面(図4(b)) #43R直接の場合に主機始動／停止、運転モード使用／除外選択、調整制御増／減などの各種操作を2挙動操作で実施可能である。
- (3) 故障表示画面(図4(c)) 一度発生した故障・異常は表示復帰の操作を行うまでホールド表示する。なお故障表示中は、ほかの画面でも確認が可能なように画面左下に集約表示を行う。

4.4 AVR

小容量の発電所は、多くがブラシレス励磁方式である。このため、標準仕様を次のようにした。

- (1) 励磁方式 ブラシレス励磁方式。なお、サイリスタ励磁方式はオプション対応が可能(盤数増)
- (2) 性能
 - (a) 最大電圧変動率 30%以下
 - (b) 電圧調整範囲 80~110%
- (3) 制御方式 AVR + MEC(界磁電流一定制御)
- (4) 制限機能 UEL(不足励磁制限), OQL(無効電力制限), OCL(過電流制限)。なお, CCC(横流補償), OEL(過励磁制限)はオプション対応が可能

4.5 ガバナ

制御方式はPID(比例・積分・微分)方式とし、次のような仕様とした。

- (1) 水車タイプ
 - (a) 標準 フランシス水車
 - (b) オプション 可動翼水車
 - (c) 上記以外の水車は適用可否をそのつど確認が必要
- (2) サーボタイプ
 - (a) 標準 油圧
 - (b) オプション 電動
 - (c) 電動はサーボアンプ収納盤の追加が必要



(a) プラント状態表示



(b) 主機操作



(c) 故障表示

図4. LCDの画面例 — 主機の監視・操作を画面で実施し、省スペース化を図った。

Examples of displays of integrated control system using industrial controller

- (3) 性能 電協研第57巻第5号のY'級相当
- (4) 速度検出
 - (a) 標準 SSG (ピックアップ式速度検出装置) 方式
 - (b) オプション PMG (永久磁石発電機) 方式
- (5) 開度検出 差動トランス

4.6 保護

小容量の発電機保護として、次の要素を最小構成とした。

- (1) 過電流保護(#51) 三相, 当社V型保護リレー採用
- (2) 地絡過電流保護(#51N) 当社N型保護リレー採用, 非接地方式の場合は, 地絡過電圧保護(#64)を適用
- (3) 過電圧保護(#59)及び不足電圧保護(#27) 個別用品を取り付けず, CPUソフトウェア処理で実現

このほかの保護要素も適用する場合は, デジタル保護リレー(当社DⅢ-S型)を用いて, 可能なかぎり盤2面構成とする。

4.7 遠方監視制御装置との取合い

遠方制御のための選択制御項目及び遠方監視のための表示・計測情報は, 遠方監視制御装置とPIO(プロセス入出力)接続での取合いを行うこととした。

5 あとがき

経済性の向上を図るため, 電協研第57巻第5号の合理化策を取り込んで, 一般産業用コントローラを採用した一体形制御装置を開発し, 初号機を東京電力(株)室田発電所へ納入して運転を開始した。現地試験の結果, AVR: $\Delta V \leq 30\%$, ガバナ: $\Delta N \leq$ 規定値を確認し, ガバナの不動時間も実力

的にはY級相当であることが確認できた。

今後, 小容量の発電所を中心にこの一体形制御装置を適用することで, 既設装置更新費用の低減などに寄与できる。また, 将来の遠方監視制御装置のIP化などへの対応も容易に可能となる。



藪田 圭二郎 YABUTA Keijiro

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



近内 忠 KONNAI Tadashi

電力システム社 府中事業所 発電制御システム部主務。水力発電プラントの制御設計・開発に従事。Fuchu Complex



野口 哲哉 NOGUCHI Tetsuya

東芝システムテクノロジー(株) 技術サービス部シニアスペシャリスト。水力発電プラントの制御設計・開発に従事。電子情報通信学会会員。Toshiba System Technology Corp.