

# 水力発電所向け新一体形制御装置

Integrated Control, Telecontrol, and Protection System for Hydroelectric Power Plants

近内 忠  
KONNAI Tadashi

野口 哲哉  
NOGUCHI Tetsuya

わが国の水力発電所のほとんどは無人工化されており、その運転は、遠方監視制御装置(テレコントロール、以下、テレコンと略記)を使用して遠方制御によって行われている。そして、水力発電所の各制御装置は、その制御を高機能化でき、また、高信頼性を得られるためデジタル化が行われてきた。更に、経済性の向上や設置スペースを省略化するために、従来分散配置していた各種装置を一体化することが進められてきた。この結果、主機の制御を決められた手順に従って行うシーケンサ、調速制御を行うGOV、励磁制御を行うAVRについては一体形制御装置が開発され、既に複数の水力発電所に適用されている。

今回、この一体形制御装置に、更にテレコンと保護の機能を組み込んだ新一体形制御装置を開発した。

Most hydroelectric power plants in Japan are operated over the telecommunications system as unmanned power plants. To achieve this operation, a fast and reliable process must be realized with the aid of microprocessors. On the other hand, the need for economy and space saving is pushing the industry toward integration of various components of the distributed control system.

A control system for hydroelectric power plants with integration of the sequence controller, automatic voltage regulator (AVR), and governor (GOV) has already been realized. Recently, however, we have developed a new integrated control system in which further integration of the telecommunication function and protective relay function has been achieved.

This paper introduces the newly developed integrated control system.

## 1 まえがき

水力発電所では、1975年ころから制御装置のデジタル化が推進され、現在では主機の始動、停止を行う自動制御装置へのシーケンサ導入だけでなく、高速演算が必要な一次制御装置(励磁制御装置(AVR)、調速制御装置(GOV))も既にデジタル化が完了している。これらのデジタル制御装置は、従来、単独設置であったが、経済性の向上、省スペース化を図るために制御装置の一体化が図られ、89年には多機能一体形制御装置が開発され、既に複数のプラントに適用されている。

今回、これらの制御機能に、更に、発電機保護、テレコン機能も付加した水力発電所向けの新一体形制御装置を開発した。以下に、新一体形制御装置の概要について述べる。

## 2 新一体形制御装置の特長

従来の装置構成に比べて、一体形制御装置には、以下の特長がある。

- (1) 省スペース 従来の単独機能、又は分散構成では、自動制御盤2面、監視操作盤1面、発電機保護盤1面、テレコン盤1面、励磁制御盤1面、調速制御盤1面の計7面が必要であった。

また、開発済みの多機能一体形を適用しても盤5面

を要したが、よりいっそうの省スペース化を図るため、図1(a)に示す盤2面構成で同一機能を実現した。監視操作は扉に設けた液晶表示器で実施する。制御機能とテレコン処理は一つのCPUで行う。また、用品はコンパクト化を図り、図1(b)に示す収納状態としている。



(a) 盤正面(2面構成及び画面操作)

(b) 用品収納状況

図1. 新一体形制御装置 従来の7面構成の機能を一体化することにより、2面に収納した。盤正面の液晶表示器のタッチパネル操作により主機の監視操作が可能となった。また、盤内収納用品は省スペース化を図った。

New integrated control and protection system for hydroelectric power plants

- (2) 経済性の向上 従来に比べて盤面数を大幅に削減し、用品、ハードウェア数量の大幅な削減を実現した。また、ソフトウェアについては、標準化の促進によりプラント個別の設計対応を減少させた。このほかにも、組立て配線などの工数削減、試験期間の削減などを図り、システムトータルとして30%～50%のコスト低減を実現した。
- (3) 現地の工事・試験期間短縮 従来は、現地で盤間ケーブルを接続し、その後、接続状況を確認する必要があった。しかし、新一体形制御装置では、主機の制御、保護機能をすべて盤に収納しており、現地でのこれらの接続、確認作業が不要となった。このため、現地の工事・試験期間の短縮が図れる。

### 3 新一体形制御装置の基本思想

今回の制御、保護、伝送の各機能を一体化するにあたっては、図2に示す伝送、制御、保護、監視操作の各機能の相互関係を考慮したハードウェア構成とする必要がある。

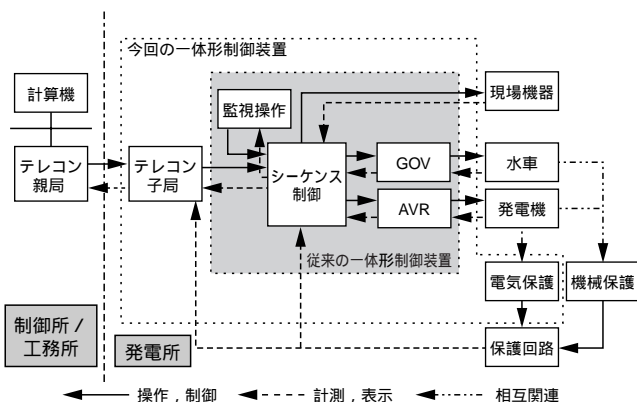


図2. 水力発電所の伝送、制御、保護、監視操作の機能相関関係  
テレコン、シーケンス制御、AVR、及びGOVは直列構成としている。  
保護装置は各制御装置とは独立している。  
Relationships between main unit control, operation, telecontrol, and protection

#### 3.1 伝送、制御機能の一体化

テレコンからの操作指令はシーケンス制御に入力され、シーケンス制御から現場機器やAVR、GOVなどへ出力される。これらは直列接続のため、いずれかに異常があると遠方からの操作はできない。遠方制御については、従来の構成でも、一体化しても装置故障時の応動はほとんど変わらない。そこで、主機ごとにテレコンを設置している場合は一体化することを原則とする。しかし、主機制御以外のプラント共通情報もテレコンに入力する場合は、装置故障時に主機情報だけでなくプラント共通情報も伝送できなくなるため、

プラント運用により一体化の可否を検討する必要がある。

#### 3.2 制御、保護の分離

従来から、制御が異常となった場合でも安全に主機を停止することが保護に求められている。このため、図2に示すように保護は制御とは独立した構成になっている。これは一体化の要求の有無にかかわらず可能な限り堅持すべきである。しかし、保護のすべてが制御と独立している必要はない。以下に、それぞれの必要性について示す。

3.2.1 機械保護 水車発電機の過速度リレー(#12)は、GOVの制御の異常、不良などGOVの制御異常発生時に最終的な保護を実施しており、制御と独立した構成とする。

3.2.2 電気保護 AVRの制御が異常となった場合に検出する要素として、過電圧リレー(#59)、不足電圧リレー(#27)、過電流リレー(#51)、界磁喪失リレー(#40)などは制御とは独立した構成とすべきである。一方、制御の異常発生を検出ではない発電機差動リレー(#87)、発電機地絡差動リレー(#87G)、発電機中性点過電流リレー(#51N)、母線用地絡過電圧リレー(#64B)などは制御と保護の独立性を確保する必然性はない。しかし、保護を検出する保護装置を分割すると、保守などの場合に混乱をきたす。そこで、発電機保護については一括して制御と独立した構成を行うものとする。

#### 3.3 監視操作一体化

通常運転では、遠方制御のため発電所での監視操作は行わない。このため、専用の監視操作盤を省略し液晶表示器により監視、タッチパネルによる操作とし監視盤レス化を行う。また、テレコン、保護機能の監視操作機能は、次の理由により専用には設けず一体化する。

- (1) テレコンの監視操作機能は、常時は使用しないで、制御所との対向試験など特定の場合にだけ使用する。
- (2) 保護の整定値は、一度整定すると変更をほとんどしない。また、通常は電気事故が発生しないため保護用のヒューマンインタフェース(HI)は、ほとんど使用しない。

#### 3.4 シングル構成

経済性の向上、省スペース化のためにハードウェア構成は電源装置以外シングル構成とする。ハードウェア故障時は、非常停止用ロックアウトリレー(#86-1)により主機停止するものとし冗長化対応は考慮しない。

## 4 新一体形制御装置の基本仕様

新一体形制御装置を適用するプラントの基本仕様を表1に示す。個々の機能の内容については次ページ以降に記載する。

なお、各機能の一体化については表2に示すパターンがある。実際の適用にあたっては、このパターンを基に一体化の範囲を検討し、最適なシステムを供給できる。

表 1. 新一体形制御装置の基本仕様

Basic specifications of new integrated control and protection system

項目	標準	オプション
水車	フランスス、可動翼	ベルトン、 両掛水車、ほか
発電機	同期発電機	誘導発電機
監視制御方式	遠隔常時監視制御	随時監視制御、ほか
ハードウェア構成	シングル	—
システム電源	制御：AC、DC2入力 保護：DC入力(制御、保護は独立構成)	—
運転制御方式	一人制御	—
调速制御方式	Y級( PID方式 )	X級( PID方式 )
励磁制御方式	ブラシレス励磁方式	サイリスタ励磁方式
保護	発電機保護	主変圧器保護
テレコン	サイクリック伝送方式	—
二次調整制御	ALR / 水位調整器, APFR/AQR	流量制御、ほか
その他の個別仕様	—	個別対応

表 2. 一体化の機能組合せ一覽

Patterns of integrating function

組合せパターン	自動 制御	调速 制御	励磁 制御	二次 調整	保護	テレ コン
すべて一体化						
调速制御流用(別置き)						
励磁制御流用(別置き)						
二次調整流用(別置き)						
保護流用(別置き)						
テレコン流用(別置き)						
保護,テレコン流用(別置き)						
自動制御 + 调速制御						
自動制御 + 励磁制御						
自動制御 + 保護						
调速制御 + 励磁制御						

：機能採用                   ：一体化を推奨，別置き対応可

### 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、電気協同研究第27巻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して実施する。始動・停止シーケンスは各ステップを標準化し、プラント固有の部分が他のステップへ極力影響しない構成とする。なお、電動サーボ対応や入口弁省略などの対応についても標準ブロックの組合せにより対応が可能である。

### 4.2 二次調整

一体形制御装置を採用する発電所は、ほとんど次のいずれかを適用する場合が多い。このため、これを標準としプラント固有の他の仕様についてはつど対応とする。

- (1) 有効電力制御      自動負荷調整装置( ALR ), 又は  
                                 水位調整器
- (2) 無効電力制御      自動力率調整装置( APFR ), 又は  
                                 自動無効調整装置( AQR )

### 4.3 監視操作

発電所の監視操作機能は、遠方制御時は使用しない。そこで、専用の監視操作盤を設けず省スペースとなる画面による監視操作とする( 図 3 )。ただし、画面表示機能が喪失した場合でも主機停止、遮断器の解列<sup>(注1)</sup>など最小限の機能を行うための操作スイッチ、表示器などは設ける。

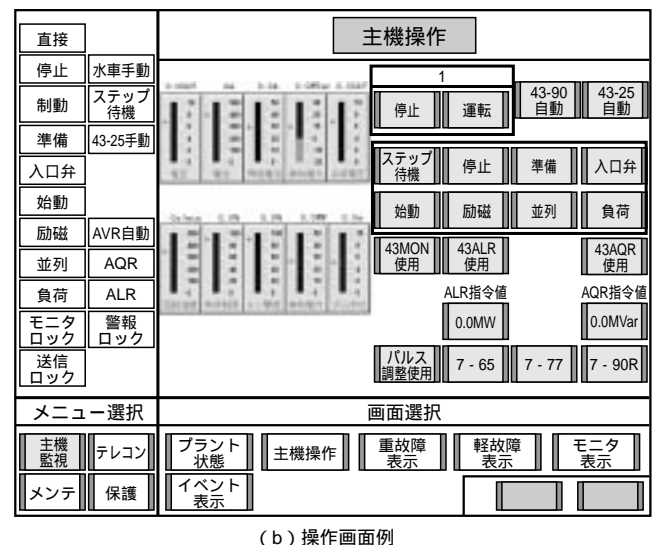
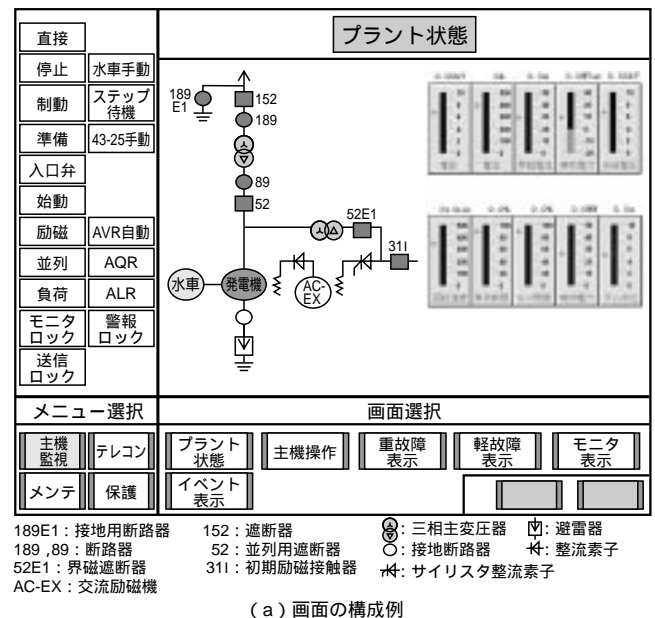


図 3. 液晶表示器の画面例      主機の監視を画面操作で実施する。監視機能のうち、状態表示は全画面で実施、操作にあたってはPOP-UP画面を使用し、実装効率を向上させている。43R 遠方時、主機操作はロックする。

Examples of displays of new integrated system

(注1) 水車発電機を停止操作し、系統から水車発電機を並列遮断器で切り離すこと。

#### 4.3.1 画面構成 下記のメニューがある。

- (1) 主機監視 プラント状態, 主機操作, 重故障表示, 軽故障表示, モニタ表示
- (2) メンテナンス 警報ロック, 設定変更
- (3) テレコン 送信モニタ, 受信モニタ, 対向試験
- (4) 保護 保護用 HI 画面

画面の例としてプラント状態の表示画面を図 3(a) に示す。

各画面の構成は以下のとおりである。

- (1) 状態表示エリア 画面左部は各画面に表示し, プラント運転状態を常に確認可能とする。
- (2) メニュー選択エリア 画面左下部はメニュー選択時にタッチする。
- (3) 画面選択エリア 画面下部は画面選択時にタッチする。
- (4) 個別画面 画面中央部に示し画面ごとの表示, 操作機能を持つ。

#### 4.3.2 画面での操作方法 画面からの操作は遠方 -

直接制御切換えスイッチ( #43R) が直接の場合に可能である。主機操作の画面を図 3(b) に示す。画面で該当エリアをタッチすると, 操作用画面が表示される。このタッチ操作で各種の操作が行える。これら, 2アクション操作とし誤操作防止を行う。

#### 4.4 AVR

この装置で対応する励磁制御機能は, 基本的に単独設置の装置と同等である。以下に, 基本仕様を示す。

- (1) 励磁方式 標準: ブラシレス励磁方式  
オプション: サイリスタ励磁方式
- (2) 性能 電圧調整範囲: 80 ~ 110 %  
最大電圧変動率: 30 % 以下  
総合電圧変動率:  $\pm 1$  % 以下
- (3) 制御方式 AVR + 定励磁制御( MEC ) 界磁一定制御)
- (4) 制限機能 不足励磁制限機能( UEL ), 無効電力制限機能( OQL ) / 過励磁制限機能( OEL ), 過電流制限機能( OCL ), 横流補償
- (5) 保護 励磁回路地絡リレー( #64E ), 交流励磁機整流素子検出器( #71ER ), 交流励磁機地絡検出器( #64ER )
- (6) 過渡記録 トリガ入力によるデータ自動保存
- (7) 電力系統安定化装置( PSS ) オプションで有効電力の変化分( P )方式

#### 4.5 GOV

この装置で対応する调速制御機能は, 基本的に単独設置の装置と同等である。以下に, 基本仕様を示す。

- (1) 適用水車 標準: フランシス水車, 可動翼水車  
オプション: ペルトン水車, 両掛水車, ほか
- (2) サーボ 油圧方式, 電動サーボ

- (3) 制御方式 PID( 比例, 積分, 微分 )
- (4) 性能 標準は Y 級, オプションで X 級の対応可能
- (5) 開度検出 差動トランス
- (6) 速度信号検出 速度検出用発電機( SSG ) 永久磁石発電機( PMG ) 対応可能)

#### 4.6 テレコン

テレコンの基本仕様を下記に示す。

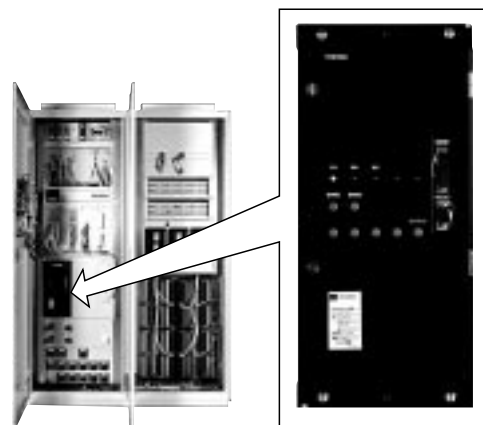
- (1) 適用回線 4 線式専用回線
- (2) 通信方式 全二重通信方式
- (3) 伝送方式 電協研サイクリック
- (4) 符号形式 非ゼロもどり法( NRZ )
- (5) 伝送速度 200, 600, 1,200 bps
- (6) 伝送容量
  - (a) 下り 2 挙動制御: 70 項目
  - (b) 下り数値制御: 2 量
  - (c) 上り表示: 110 項目
  - (d) 上り計測: 16 量

なお, ハイレベルデータリンク制御( HDLC: High-level Data Link Control ) 伝送方式の場合は, 原則的にプロセス入出力( PIO ) 接続とする。

#### 4.7 保護

保護装置はハードウェアが独立構成であり, シングル構成であること以外は, 基本仕様については, デジタル型保護リレー及び保護リレー装置の電力用規格 B-402 に準拠する最新のデジタル保護リレー( D-3 ) と同等である。保護対象としては発電機保護を標準とする。主変圧器保護もオプションで適用できるが, この場合は盤面数が 1 面増( 計 3 面 ) となる。

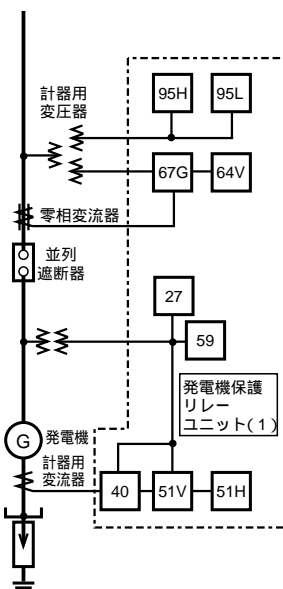
一体形制御装置専用の保護リレーユニットとして, 下記 3 ユニットの開発した。盤に実装した例を図 4 に示す。



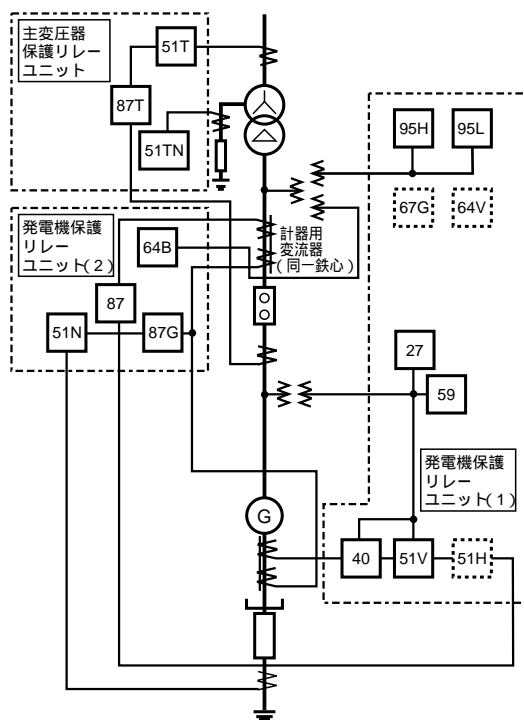
(A) 保護リレーユニット実装例 (B) 保護リレーユニット

図 4 . 一体形制御装置用保護リレー実装状況 一体形制御装置の省スペース化を図るために, 専用の保護リレーユニットを開発した。盤内の実装は発電機保護用の 2 ユニットの標準配置とする。

Digital protection relay unit of integrated system



(a) 単線結線図ブランク最小構成(非接地)例



(b) 単線結線図ブランク最大構成(発電機保護+主変圧器保護)例

図5. 保護要素の構成例 最小構成では、非接地の発電機に1ユニットで対応している。最大構成は、接地の発電機と主変圧器の保護を3ユニットで対応している。使用しない要素はロックする。

Examples of configuration of protection elements

各ユニットは、下記の要素で構成されている。

- (1) 発電機保護リレーユニット(1) 保護リレー( #40 #51V, #27, #59, #95H, #95L, #51H, #67G + #64V )
- (2) 発電機保護リレーユニット(2) 保護リレー( #87, #87G, #51N, #64B )
- (3) 主変圧器保護リレーユニット 保護リレー( #87T, #51T, #51TN )

今回開発した保護装置を適用した構成例を図5に示す。図5(a)は最小構成の非接地の発電機保護を実施する例である。この構成では、今回開発した発電機保護リレーユニット(1)のユニット1個で対応可能である。

また、図5(b)には、最大構成である中性点接地抵抗器(NGR)接地の発電機保護と主変圧器保護を実施した例を示す。この場合には、今回開発した三つのユニットすべてを用いる。なお、発電機保護リレーユニット(1)の保護リレーのうち、#51H、#67G + #64Vは非接地保護用の要素であり、これらの要素は不使用とする。保護リレーを組合せてそのつどプラントごとに保護装置を製作せず、標準の収納要素を活殺しプラントに適用することでコスト低減を実現した。

## 5 あとがき

今後の水力発電所の制御装置は、ますます経済性の改善及び省スペース化のニーズが増している。今回開発した新一体形制御装置は、これらのニーズを満たし制御装置の経済性を向上させるだけでなく、建設費低減、現地試験期間の短縮などプラントトータルの経済性向上にも寄与する。



近内 忠 KONNAI Tadashi

電力システム社 府中電力システム工場 発電制御システム部。水力発電所の制御設計に従事。  
Fuchu Operations - Power Systems



野口 哲哉 NOGUCHI Tetsuya

電力システム社 府中電力システム工場 発電制御システム部 参事。水力発電所の制御設計に従事。電子情報通信学会 会員。  
Fuchu Operations - Power Systems