

水力発電所の監視制御システムでは1970年代からシーケンサ化が始まっているが、最近のシーケンサは導入当初に比べて性能、機能、信頼度が大幅に向上しており、揚水発電所のように大規模でかつ高い稼働率を要求される制御システムでも、従来に比べてシンプルな構成で一段と経済性が高まっている。中小水力発電所では経済性向上に対するニーズがより高く、ハードウェアの簡略化や一体化、ソフトウェアを含めた標準化などが行われつつある。また、運転制御に関する省力化がほぼ完成している現在では、保守の省力化が課題であり、そのニーズを満たすため巡視支援や総合監視などの新システムが登場してきている。

Early sequence controllers were introduced into supervisory control systems for hydroelectric power plants in the 1970s. Recent models obtain much higher performance and reliability and offer more functions than the former models. They have a simpler, more economical structure compared with the former models, even in pumped-storage plants where large-scale control systems and a high up-time rate are required.

Economy is more important in medium and small plants, where simplification and unification of hardware and standardization of software are being carried out. In the field of hydroelectric power generation, the minimization of operation labor has almost been completed but minimization of maintenance labor is still required.

This paper introduces new systems supporting maintenance and supervision in hydroelectric power plants.

## 1 まえがき

1970年代から、それまでのリレー式配電盤に代わってマイクロプロセッサを応用したシーケンサが水力発電所に導入され始めたが、最近のシーケンサは導入当初に比べて性能、機能、信頼度が大幅に向上している。一方、初期に製作されたシーケンサは導入後15~20年経過しており更新時期を迎えている。

ここでは、水力発電所として最大規模の制御システム構成である揚水発電所を中心に、現在の技術に基づいて従来のシステムを再評価し、今後の発電所建設や配電盤更新時に検討すべき項目について示す。

また、現在中小水力を中心に導入が進んでいる経済性を高めた制御システムや、保守の効率化・高度化を図るためのシステムについても紹介する。

## 2 揚水発電所の制御システム

シーケンサの導入当初と現在とでは、素子の性能や信頼度が大きく異なる。そこでシステム更新にあたっては、この技術的進歩や信頼性向上を考慮して次の内容について検討を行う必要がある。

### 2.1 システム構成の簡素化

#### 2.1.1 CPU多重化の見直し シーケンサが導入された

当初はマイクロプロセッサを応用したシーケンサの信頼性について評価実績がなく、誤動作防止のために多重化が構成の基本であった。しかし、最近では個々の素子の信頼性の向上、高性能化、高速演算化および現在までの運転実績などから用途に応じて多重化の見直しが行われている。

近年建設された複数の主機をもつ揚水発電所では、個々の主機を制御するシーケンサはCPUシングル構成、複数の主機にまたがる共通制御用のシーケンサはCPU二重化を採用している。

これは、シーケンサの信頼度向上と、万一1台の主機停止があっても許容できる運用などによるものである。素子などの高信頼度化、運用実績などにより多重化構成からシングル構成へと見直すことは経済的な制御システムを構築するために重要な要素である。

ただし、万一故障が発生した場合に運転継続可否への影響が大きい励磁制御装置(AVR)や調速制御装置(GOV)をデジタル化する際には、揚水発電所の重要度を考慮して、装置やセンサの二重化を検討すべきである。

2.1.2 多重化構成方式の見直し CPUを多重化する場合の構成については、デュアル(両系の論理積)、デュプレックス(片系故障で切換え)、変形デュアル(常時両系の論理積で、片系故障時はシングル)などさまざまな方式が各社で実施されてきており<sup>(1)</sup>、当社は構成が複雑だが信頼性に優れる変形デュアル方式を従来採用してきた。しかし、

最近では変形デュアル方式でなくとも信頼性を確保できるようになってきており、今後の多重化構成は従来の変形デュアル方式から構成が簡素なデュープレックス方式へと移行していく。

## 2.2 CPU 構成の簡素化

導入当初のシステムでは当時の CPU の性能、メモリ容量の制約などのため、下記のような専用 OS (オペレーティングシステム) を内蔵した CPU ユニットの組み合わせで制御システムを構成していた。

- (1) PLC (シーケンス制御ユニット) ロジック主体
- (2) MON (シーケンスモニタユニット) ロジック主体
- (3) PRC (調整制御ユニット) 数値演算主体

現在では CPU の演算能力が格段に向上し、一つの CPU にシーケンス処理、数値演算などすべての機能をもつ OS を内蔵しており、メモリ容量も大幅に増加している。このため、現在の CPU で製作すると、処理時間は従来の 1/2 以下になる場合がほとんどであり、シーケンス制御の即応性が高くなる。また、CPU を一つにすることにより、従来の CPU 間でのデータ授受の時間が削減されるので、調整制御の応答性の向上も図れる。さらに、基板枚数の削減による盤内スペースの有効活用、経済性の向上、故障率の低減などの効果もある。

今後のシーケンサの更新にあたっては、CPU の削減が一つの基本方針となる。

## 2.3 遠方監視制御の構成変更とネットワーク化

伝送に関しては、効率的なデータ授受とデータ共有化のために現在では次のことを考慮する必要がある。

**2.3.1 遠方監視制御装置 (テレコン) の構成変更** 従来のテレコンはサイクリック伝送方式のものがほとんどであった<sup>(2)</sup>。このテレコンを揚水発電所に適用した例を図 1(a) に示す。

伝送容量、伝送速度などの制限のため号機ごとおよび共通におのおのテレコンを設けている。発電所側の子局テレコン (TCR) と各シーケンサとの接続方法には次の 2 種類があった。

- (1) PIO (プロセス入出力) 渡し シーケンサの DI (デジタル入力) で取り込んだ信号や演算結果などを DO (デジタル出力) で出力し、TCR の DI で取り込む。構成は容易だが各装置の DI、DO 基板が項目数分必要であり、端子台の取付けスペースなどの確保が必要。データ量が少ない場合には有効。
- (2) EDT (編集ユニット) 設置 TCR とワードシリアルビットパラレルの専用インタフェースを行う EDT を設けて接続する。データ量にハードウェアが左右されないためデータ量が多い場合には有効。

一方、最近では保守の省力化、初動対応の迅速化 (一次診断の精度向上) などのために、電力所や制御所で各発電所

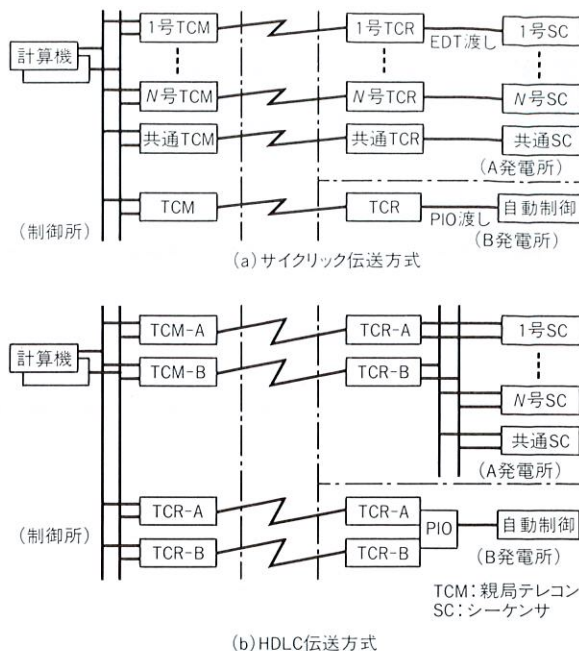


図 1. 遠方制御システムの構成例 (a)サイクリック伝送方式では号機ごとにテレコンを設けるが、(b) HDLC 方式では全号機に共通とし、2 系列化する。

Example of configuration of remote control system

内の情報をより詳細に確認する必要がでてきた。これに対応する大容量で高速な伝送方式として、HDLC (High Level Data Link Control procedure) 方式が採用されるようになってきている<sup>(3)</sup>。この方式では高速大容量の伝送が可能なので、テレコンのシステム構成は図 1(b) に示すように発電所全体に共通とし、伝送の信頼度向上のため 2 系列化する。この場合、ネットワークでテレコンと各シーケンサとのデータ授受を行う場合が多い。

**2.3.2 ネットワーク化** 最近では監視項目の増大などに伴ってシステム全体で取り扱うデータ量が増加し、またシステムを構成する装置が増えて複数の装置で同様なデータを必要としている。これらの装置をネットワークで結ぶことにより、装置間でのデータの共有化、ハードウェア・ケーブル量の削減ができる。ネットワークでは同一メーカーどうしの接続ばかりでなく複数メーカーの装置を接続する場合もあり、インタフェースは次の 3 種類に分類される。

- (1) メーカー専用インタフェース 同一メーカーだけの装置でシステムが構成される場合に採用する。専用のプロトコルを採用することにより伝送効率の良いシステムを構成することができる。
- (2) ユーザ専用インタフェース 特定のユーザがインタフェースの仕様を決定し、これを満たすインタフェースを実現したメーカーがネットワークに参加する装置を納入する。ネットワークへの接続は同一仕様なので異メーカーを意識しない接続が可能。ただし、新規メーカーが参入するためにはインタフェースの開発が必要。

例としては、ゲートウェイ (GW) を用いたもの、光スターカプラを用いたものなどがある。

(3) 汎 (はん)用インタフェース 公開された伝送方式を採用すれば、異メーカを意識しないで接続が可能になる。1:1の対向方式では、汎用インタフェースとして従来からRS-232C, GPIB (General Purpose Interface Bus) などがあるが伝送手順が無手順であり、信頼度の高い伝送をするためにはその都度インタフェース仕様を作成し相互に確認する必要がある。ネットワーク化のための伝送プロトコルとしては、同軸ケーブルを使用したEthernet<sup>(注1)</sup>などがある。また、光伝送のプロトコルもIEEEなどで定義されている。

今後はISOで国際標準とされたFDDI (Fiber Distributed Data Interface) 方式などが汎用インタフェースとして広く採用されるものと予想される。

今後のシステムのネットワーク化は上述の(1)~(3)のいずれを採用するか、用途に応じて決定することが望ましい。一般的には、システムのオープン化を行うために汎用インタフェースの採用が拡大していくと思われる。なお、上述の(2), (3)では伝送のプロトコルは定義しているが、伝送する内容、データの並びについては定義していないので、これらについてはその都度確認する必要がある。

### 3 一般水力発電所の制御システム

一般水力発電所では、経済性の向上が特に求められ、その方法として次のような項目が考えられる。

#### 3.1 監視盤レス

水力発電所の制御装置のコスト低減策として、常時は無人であることに着目して使用頻度の少ないものの整理・統合が考えられ、その一つに巡視や試験などのときにしか使用しない監視操作盤の削減があげられる。図2に示すように、(a)監視操作盤を省略して代わりにフラットディスプレイやタッチパネルを設けたり、あるいは(b)号機や用途ごとに設けられていた監視操作・記録計盤をCRT画面による集中監視方式に置き換えることができる。また、常時は取り外しておいて必要ときにコネクタ接続して使用する構成も可能である。

#### 3.2 一体形の適用拡大

AVR, GOV, シーケンス処理などを一括して処理する一体形制御装置は、設置スペースやケーブルの削減を含めた経済性向上に寄与するが、従来は性能や機能の制約から主に10MW程度以下の小水力を中心に採用されていた。CPUの高性能化に伴い、適用対象の主機容量が拡大し、またテレコンや監視盤レスなど、一体化する機能の範囲も今後拡大する傾向にある。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス株の商標。

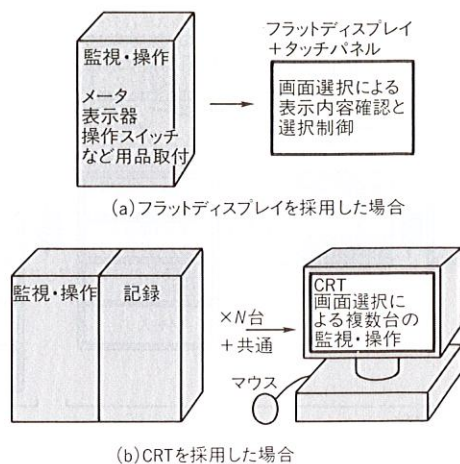


図2. 監視盤レスの構成例 フラットディスプレイの採用で盤1面を削減したり、CRT採用で複数号機の監視操作・記録盤を削減することができる。

Example of configuration of supervisory boardless system

### 3.3 標準化と汎用品採用

水力発電所は立地条件や機器の構成によりさまざまな制御方法やシステム構成をとっているため、従来は個々の発電所ごとに新しく設計する要素が多い。発電所ごとの新設計の要素を減らすために、制御装置を複数の標準的な仕様の組合せで構成できるようにし、また制御方法も極力標準化することにより、設計コストを削減することができる。

また、従来は耐電圧2,000Vなどの電力仕様に対応した制御器具を採用しているが、今後は汎用品をその制約条件を考慮しながら採用することも検討課題になる。

これらについては、メーカ単独で決定するのは困難なものもあり、ユーザ・メーカ相互の検討によって実現していくべきと考える。

## 4 保守の効率化と高度化を図る新システム

### 4.1 巡視支援システム

水力発電所の障害の発見は、巡視によるものが全体の約30%を占めるといわれており、巡視は保守上大きな役割を果たしている。一方、水力発電所は数が多いうえに運用方式、設備構成、規模、運転年数など発電所や号機ごとに多種多様であり、巡視を含めた設備管理業務を複雑なものにしている。巡視によるデータ収集と設備管理業務の合理化・効率化、保守管理強化による障害発生の未然防止、障害発生時の迅速な対応を目的として、水力発電所の巡視と設備管理を支援するシステムを開発した。

このシステムは、発電所での巡視データの収集と表示のためのマンマシンツールとして用いるペン入力ノートパソコン (ペン PC) と、事業所に設置しホスト計算機として用いるEWS (ワークステーションあるいはパソコン) とから

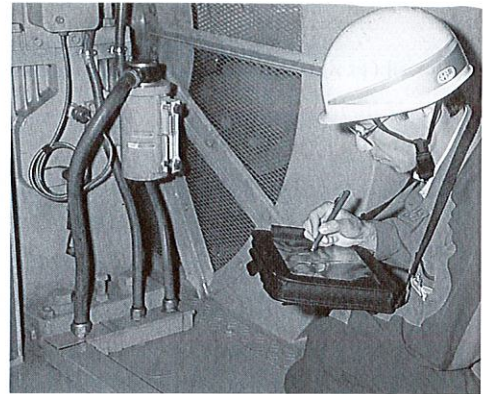
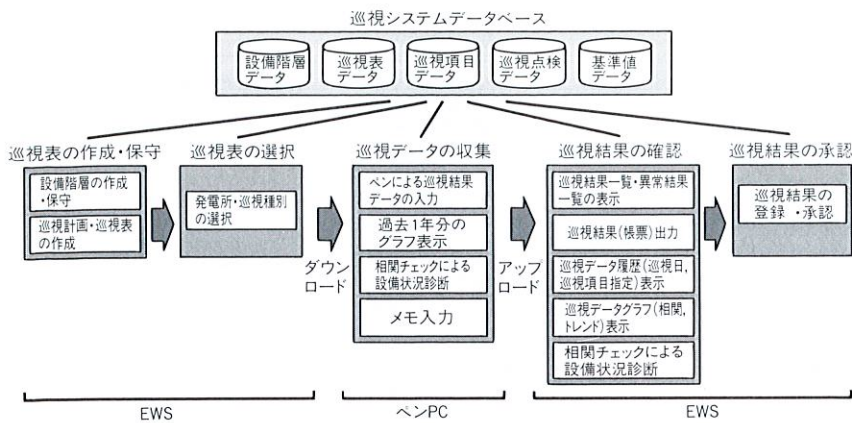


図3. 巡視支援システムによる業務フローとペンPCを用いた巡視結果データをEWSに吸い上げて管理する。

EWSから巡視項目や履歴データなどをペンPCに転送して巡視を行い、巡視結果データをEWSに吸い上げて管理する。

Work flow using patrol assistant system and patrol using pen PC

構成される。各発電所の巡視表、記録などのデータはすべてEWSに保有し、必要時に必要分のデータをペンPCに転送する。また、発電所(ペンPC)と事業所(EWS)間はモデムを介して電話回線でデータ伝送することもできる。主な特長は次のとおりである。

- (1) ペンPCによるペーパーレス巡視
- (2) 巡視項目ごとのチェックポイント表示による巡視の強化
- (3) 発電所でのグラフ表示による履歴データの活用と分析
- (4) 対話形式による簡単な操作
- (5) イメージ画、メモ情報による巡視情報の確実な伝達
- (6) 発電所でも可能な巡視データ診断による的確な判断
- (7) 設備に合せた巡視メニューのユーザによる簡易な設定
- (8) EWSに蓄積したデータの有効活用

図3にこのシステムによる業務のフローとペンPCを用いた巡視状況を示す。このシステムは、東京電力㈱の全水力発電所向けに展開を完了し、実運用に入っており、巡視業務の効率化と保守管理の省力化に寄与している。

#### 4.2 揚水発電機器総合監視システム

揚水発電所は電力の安定かつ効率的な供給のうえで重要な位置付けにある一方、高落差・高速・大容量化が進んで機械にとっては過酷な運転条件となっており、異常兆候を速やかに検出して対処することが重大事故を未然防止するうえで重要である。そこで、機器の運転状態を制御・管理箇所て把握し、機器の異常を初期の段階で検出するとともに、異常兆候原因の調査と究明を支援する、AI技術を応用した揚水発電機器総合監視システムを開発した。

従来から、振動・軸受温度などのセンサ出力が設定値を逸脱すると警報を出力する自動監視は行われていたが、複雑な機器の状態を把握して的確な原因究明を迅速に行うこ

とは難しかった。このシステムでは、異常兆候発生時に、エキスパートシステムによって原因究明のための調査ガイダンスと調査結果に基づく診断を行い、原因調査をベテラン並みに迅速かつ的確に行えるよう支援する。特に、ガイダンスに従って調査した結果も診断材料に加えることにより、徐々に原因を絞り込んでいくことを特長としている。

### 5 あとがき

水力発電所のほとんどが無人化、自動化されている現在、制御装置の信頼性向上、機能向上にデジタル機器の果たす役割は大きい。今後ますます高度化する制御機器の発展によって、さらにデジタル製品の導入が進み、運転制御だけでなく保守省力にも効果を発揮することを期待する。

### 文献

- (1) 電気協同研究 第48巻 第3号(1992)
- (2) 電気協同研究 第31巻 第6号(1975)
- (3) 電気協同研究 第47巻 第2号(1991)



野口 哲哉 Tetuya Noguchi

府中工場発電制御システム部主査。  
水力発電所の制御設計に従事。電子情報通信学会会員。  
Fuchu Works



加藤 真敏 Masatoshi Kato

電力事業部水力プラント技術部課長。  
水力発電所のエンジニアリング業務に従事。  
Power Systems Div.



戸田 一典 Kazunori Toda

電力事業部水力プラント技術部主務。  
水力発電所のエンジニアリング業務に従事。  
Power Systems Div.