UDC 621.311.21: 681.3: 621.311.16

資料

49-B1

水力発電所群の制御用計算機を用いた 集中制御システムの開発

電源開発株式会社

桑 原

進

電源開発株式会社

山 口

顕

1. は し が き

水力発電所の集中制御化は、電力系統あるいは水系ごとに水力発電所群をグループ化し電力設備の制御・操作、施設の監視、さらに運転に必要な情報の記録などを集約して設備の総合的運用効果を図り、あわせて業務の効率化を行なおうとするものである。

したがって、集中制御化の対象個所が増大し、従来の遠方制御に比べかなり大きな規模となるので、

(i)記録、計算、報告など定形化された業務の機械化、
(ii)現段階にてオンライン化が困難な CB・LS 操作などの制御・操作の手順表示化、(iii)発電機出力の自動調整を主体として水力発電所の運転業務の効率化を行なうとともにダム運用業務についても水系の諸情報を収集することによって高信頼度の水系一貫運用を目的とした集中化を図った。

第 1 図 集中制御システム構成図

Fig. 1. Block diagram of supervisory control system.

2. 水力発電所集中制御システムの構成

〈2・1〉 設備構成 集中制御システムは遠隔監視制御装置と制御用計算機とを結合して、次のような装置で構成されている。

- (1) 監視制御装置 (①系統盤, ②制御卓)
- (2) 情報伝送装置
- (3) 情報処理装置 (①制御用計算機本体, ②周辺装置)

そのシステム構成図を第 1 図に示す。

第 1 表 集中制御化対象項目

Table 1. Items to be subjected to supervisory control.

項 目	監視制御装置	情報処理装置
制御・操作	①発電機・開閉器の操作 ②発電機別有効電力配分制御	①開閉器操作手順表示 ②母線断路器インターロック条件確認 ③独立送電条件確認
監視・確認	①電力系統監視 ②水系監視 ③機器の運転・故障監視	①制誤値チェック
記 録	—	①定時運転記録 (電力・河川) ②事故記録 ③動作リレー記録 ④操作記録 (電力・河川)
計 算	—	①使用水量計算 ②流入量計算 ③ダムゲート開度計算
情報の送受	(情報伝送装置) ①中給との情報 (指令値・テレメータ, スーパービジョン) ②現場機器との情報 (指令値・制御信号, テレメータ, スーパービジョン)	—

Development of Supervisory Control System for Hydro-Electric Power Plants by Process Computer. By S. KUWAHARA, Member & A. YAMAGUCHI, Member (Electric Power Development Co., Ltd.)

桑原 進: 正員, 電源開発株式会社, 山口 顕: 正員, 電源開発株式会社

第2図 制御信号伝送フォーマット例

Fig. 2. Example of control signal transmission Format.

〈2・2〉 設備の機能 集中制御化の対象項目は、第1表のとおりであり水力発電所運転業務のうち可能なものについては極力機械化を図っている。

3. 集中制御システムの特徴

〈3・1〉 1: N 制御方式 制御方式として、下りにについては CDT による 1: N 方式を採用し、装置の故障による制御不能を防ぐため制御所側設備（制御卓の選択電鍵盤から CDT まで）を完全な2重化とした。なお、制御はすべて制御卓より行ない、制御内容により選択制御、数値制御及び並列制御の3方式に分けている。

この制御信号の伝送フォーマット例を第2図に示しその概要について以下に述べる。

(1) 選択制御方式 制御卓上には局(電気所)、機能(機種)、個別(機器番号)別に分類した選択電鍵を設けてある。選択された電鍵の組合せは翻訳盤で翻訳して電力系統盤の該当シンボルランプをフリッカさせ選択内容の確認表示を行なうとともに、被制御所向情報伝送用として1ワードで局指定を sC_2 , sC_2 の定マーク符号に、また、もう1ワードで機能、個別及び入切信号を sC_2 , sC_2 , sC_2 の定マーク符号にコード化して合計2ワードを CDT に受渡し、全局の ON-OFF 制御を行なう。

また、自所などの直接制御を行なう個所及び既設テレコンにて制御する個所に対しては、翻訳盤のデコーダを通して制御している。

(2) 数値制御方式 発電機の出力調整などは、制御卓に発電機ごとのアナログの設定器を設け選択制御とは別個にそれぞれ制御する。CDT では設定値を3けたの2進10進符号に変換した後伝送し、被制御所側で自動負荷調整装置に結合している。

(3) 並列制御方式 ダム放流警報サイレンの制御など、選択制御とは無関係に伝送する必要があるものについては CDT の1ワードを用いてビットに単位自由に信号が渡せるようにしている。

〈3・2〉 制御用計算機と情報伝送装置との結合方式 制御用計算機を用いて多量のオンラ

イン情報を扱う集中制御システムにおいては、情報伝送装置と計算機との間の情報の授受が情報処理の重要な部分を占めることとなる。したがって、経済性及び信頼性を追求して計算機と情報伝送装置とを結合する入出力装置の実用化を図った。

(1) 計算機と入出力装置との接続 計算機と入出力装置との結合方式は、計算機の機種ごとに異なるのが実状であるが、現在一般に行なわれている方式は次のようなものである。

- (a) プログラムモード方式
 - 割込方式
 - スキャン方式
- (b) ダイレクトアクセスモード方式

このうち、読み込み速度が速く、プログラム起動を必要としないため計算機が占有される時間が最も短く、他の処理項目と並行して情報を読み込むことが可能なダイレクトアクセスモード方式を採用することが最も望ましく、次いでスキャン方式、外部割込みによる割込み方式の順となる。このためダイレクトアクセスモード方式が適用可能な機種については新しくダイレクトアクセスモード方式の入出力装置を開発した。第3図に示すように、このダイレクトアクセスモード用の入出力装置により CDT からデータは、優先順位に従って計算機コードに変換し計算機個々の入出力制御回路を経由せずコアメモリーに直接書き込まれ、計算機の負担を軽減することができた。

第3図 ダイレクトアクセスモード用入出力装置例

Fig. 3. Example of input-output device for direct access mode.

(2) 入出力装置と情報伝送装置との結合 入出力装置と情報伝送装置との情報の授受は一般に、次の2形態が考えられる。

- (a) 全ビット並列渡し
- (b) ワード直列ビット並列渡し

ここで、情報伝送装置の種類としては CDT とそれ以外の装置（既設テレコン及び自所のケーブル直送）の2種類がある。この内 CDT は1対向あたりの情報量が多く、サイクリックに入力されるために入出力装置との結合はワード直列ビット並列渡しを採用した。これにより CDT 側で1ワード分のメモリーを置くのみで良く、かつ入出力装置との受渡し点数が少ないためシステムの簡易化と経済化が図れる。

また、CDT 以外の情報伝送装置との結合については従来、プロセス入出力装置を使用する全ビット並列渡しの方法が一般的であったが該当情報が1制御所あたり約120ワード相当と多いため、上記方法では入出力装置の受渡し点数が多くなり不経済となる。さらに計算機への情報の読み込み方法が統一できずシステムが複雑になるので、CDT の場合と同様、ワード直列ビット並列渡しにして情報読み込みの統一化を図った。

このために入力情報を CDT と同様ワード単位でサイクリックに変換する必要があるが、一般的に実用化されていないので、今回スキャナと1ワード分の記憶回路で構成するデータ結合装置の開発を行ない実用化した。

なお、データ結合装置の構成例は第4図に示すとおりであり、次のような機能を有している。

(a) 装置あたりアナログ量、デジタル量あわせて32ワード分実装可能であり、伝送速度は CDT の600ビット/秒相当である。

(b) デジタル、SV 入力はスキャナによりワー

第4図 データ結合装置例

Fig. 4. Example of data reduction device.

ド単位に分割し、アナログ入力は A/D 変換器を通しサイクリックに計算機へ転送する。

(c) ダイレクトメモリーアクセス装置への結合はワード単位に変換されたデータにアドレスを付し、CDT のバッファレジスタ出力と同じインタフェースで行なう。

〈3・3〉 計算機の処理項目と処理プログラム 水力発電所の集中監視制御は適確、かつ迅速に発電所を運転制御する必要がある。この場合、情報処理装置に行なわせる処理項目のうち、制御・操作項目についてはオンライン制御することが望ましいが、当面信頼度チェックを目的として監視ならびに操作に必要なデータを運転員に表示し、それに基づいて監視、制御の集中化を行なうこととした。

情報処理装置に行なわせる処理項目は第1表のとおりであり、これに必要な処理プログラムとしては大別して

- ① 開閉器操作手順表示
- ② ダムゲート操作手順表示
- ③ 運用記録処理

の三つに分類される。

この処理プログラムの内、開閉器操作手順表示及びダムゲート操作手順表示について、その概要を下記に示す。

(1) 開閉器操作手順表示 水力発電所群を集中制御する場合、制御所における制御範囲は、従来の電気所で行っていた操作範囲に比べ非常に広範囲になり、複雑な系統操作も行なわねばならないので、開閉器の操作手順を情報処理装置を使用して表示せしめ、運転員の負担軽減、誤操作防止に役だたしめるものである。

(イ) 対象とする操作の内容 操作手順表示の対象としては平常時の操作と事故時の操作とがあるが、操作の頻度、操作の緊急性及び重要性に鑑み具体的には次の手順表示を行なう。

- (a) 平常時操作
 - (i) 線路の停止及び使用操作
 - (ii) 母線の停止及び使用操作
 - (iii) 発電機の起動、停止操作及び運転の各種モードの切換え操作
- (b) 事故時復旧操作
 - (i) 線路事故復旧操作
 - (ii) 母線事故復旧操作
 - (iii) 全停事故復旧操作

(ロ) 計算機処理の方法

操作手順表示を計算機のプログラムで処理する

方法として、次の2方法が考えられる。

(a) スライド方式 あらかじめ手順の全ケースについてケースごとに1:1の手順表を作成しておき、手順表示要求の種類に応じて系統状態をチェックし、その系統状態に該当する手順表を選びCRTに表示する方式。

(b) 組立方式 手順を標準化したアルゴリズムで記憶させ、手順表示の要求に応じて手順を1項目ずつ組立てて表示し、1操作終了ごとに逐次変化する系統情報をもとに再度最新の操作手順を組立てる方式であるが、(a)についてはプログラム作成の容易性、表示の迅速性などにおいてすぐれている反面、操作中の系統状態の変化に対する追従性、所要メモリの増大などにおいて劣っている。一方、(b)についてはフレキシビリティにすぐれており、時々刻々変化する系統状態に追従できること、ならびに将来のオンライン制御化移行が容易であることを考慮し、今回は(b)の組立方式を採用した。

なお、組立方式でプログラム化する場合の具体的手法として第5図の説明図に示すとおり

(i) シーケンシャル方式 各系統ごとにシーケンスのロジックに従って、それぞれ別々のプログラムを組立ててゆく方式で、その間に共通部を見つけて定形化しプログラムサイズの縮小を図る方式。

第5図 組立方式によるプログラム化説明図

Fig. 5. Explanation of programming by composite system.

(ii) テーブル方式 プログラムは全ての発電所あるいは系統ごとに共通に使用可能なものを作成し、個々のシーケンスで異なる部分はテーブル形式で与え、プログラムはテーブルにより指示された条件を解読しながら手順を組立てる方式

の2方式があるが、運用後のプログラム変更の難易、プログラムサイズの縮小などに有利であるテーブル方式を主体としてプログラムを作成した。

また、プログラムは最初から最後まで一連の操作手順を1度に表示する表示モードと、個々の動作状態を確認のうえ順次手順を進めるランモードにより構成し、運用の便と信頼度の向上を図った。

この方式の概念は第6図に示すとおりであるが、表示モードとは手順表示の指令により、その時点での系統状態と操作目的から組立てられたプログラムにより手順を表し表示するものであり、ランモードとはこの手順表に従って順次操作行なう際、一操作ごとにプログラムが操作内容、系統状態などを確認し、操作完了内容、次に操作すべき内容などを区別して表示し、運転員と対話しながら状況に応じた処理をするものである。

(2) ダムゲート操作手順表示 ダムゲート操作手順表示を行なう目的は、(i)ダムゲート操作時に必要な計算の迅速化、(ii)計算精度及び予測精度の向上

第6図 開閉器操作手順表示における組立方式概念

Fig. 6. Concept of composite system for display of operating sequence of switches.

第 7 図 ダムゲート操作手順表示構成概要

Fig. 7. Outline of composition of display for operational sequence of damgates.

(ⅱ)最適な放流量配分,を計算機に行なわせ,ゲート操作のオペレータガイドとして使用し,より安定したダム運用を図るものである。このゲート操作手順表示の構成概要は第 7 図に示すように

- (i) ダム流入量計算
- (ii) 雨量によるダム流入量予測計算
- (iii) 流量によるダム流入量予測計算
- (iv) ダムゲート開度計算

とから構成される。すなわち,「雨量によるダム流入量予測」,「流量によるダム流入量予測」により計算された予測流入量を随時 CRT に表示せしめ,運転員はこれを参考にして流量状況をはあくし,放流の時期,放流量などを判断する。その結果,必要により放流量をオペレータコンソールで設定すれば操作すべきゲート開度量が CRT に表示され,これを参考に運転員は制御卓より直接ダムゲートの制御を行なう。

(イ) ダム流入量計算

流入量は次式により求める。(第 8 図参照)

$$Q_I = Q_S + Q_P + Q_G \text{ (m}^3\text{/s)} \dots\dots\dots (1)$$

第 8 図 流入量計算説明図

Fig. 8. Explanation of calculation of inflow.

ただし, Q_S : 貯留量 (m^3/s), Q_P : 使用水量 (m^3/s), Q_G : ゲート放流量 (m^3/s)

Q_S, Q_P, Q_G についてはおのおの特性曲線を, 次のとおり二次式などにより近似して求める。

(a) 貯留量 貯留量は次式により求める。

$$Q_S(t) = [V(t) - V(t-1)] \times 86,400 / \Delta t \text{ (m}^3\text{/s)} \dots\dots\dots (2)$$

ただし, $V = aH^2 + bH + c$, $\Delta t = (t) - (t-1)$ (s)

H : ダム水位 (cm), V : 貯水容量 ($\text{m}^3/\text{s-day}$)

a, b, c : ダムより定まる定数

(b) 発電使用水量 発電使用水量は次式により求める。

$$Q_P = \frac{P - cH - d}{aH + b} \text{ (m}^3\text{/s)} \dots\dots\dots (3)$$

ただし, P : 発電機出力 (MW) または,

(MWH), H : ダム水位 (cm), a, b, c, d :

ダムにより定まる定数

(c) ゲート放流量 ゲート放流量の計算はゲートが全開時と部分開時と異なり次式により求める。

(i) ゲート部分開時

$$Q_G = \alpha B G_K^n H_a^m \text{ (m}^3\text{/s)} \dots\dots\dots (4)$$

ただし, B : ゲート越流幅 (m), G_K : ゲート

開度 (cm), H_a : 越流水深 (cm), $H_a = H - r$,

H : ダム水位 (cm), α, r, n, m : ダムにより定まる定数

(ii) ゲート全開時

$$Q_G = (aH_a - b) B H_a^{0.5} \text{ (m}^3\text{/s)} \dots\dots\dots (5)$$

ただし, a, b : ダムにより定まる定数

(ロ) 雨量によるダム流入量予測 ロボット雨量計など流域に設置した雨量観測地点より送られてくる雨量情報をもとに, ダムごとにタンクモデルを用いて現在時点より数時間後の流入量予測を行ない CRT に表示する。また, 実績との差が一定値以上になった場合は実流入量により前回に設定したタンクモデルの係数を修正し予測精度を高め, 計算の迅速化を図った。

(ハ) 流量によるダム流入量予測 ダム水位の一定量以上の変化を検出して, 水位変化量, 変化に要した時間間隔によりそれまでのダムへの流入量の実績を算出し, これをもとにして対象ダムの数分後のダム流入量の予測を行なう。流入量の予測値は運転員の要求時に任意に CRT 上に表示し, 次回のゲート操作のための放流量決定の参考にする。

流量予測は次式によって求める。

$$Q_{E(t+n)} = \frac{Q_{I(t)} - Q_{I(t-1)}}{\Delta t} f(t) + Q_{I(t)} \text{ (m}^3\text{/s)} \dots\dots\dots (6)$$

(注) t_n : 次回ゲート操作予定時刻, t_{n-1} : 前回ゲート操作時刻

第 9 図 流量による流入量予測模式図

Fig. 9. Schematic illustration of forecasting of inflow by discharge.

ただし, $Q_E(t+n)$ 時の予測流入量, Q_I : 水位変化時に算出した流入量, $\Delta t = (t) - (t-1)$ t : 現在時刻 (水位変化時刻), $t-1$: 前回の水位変化時刻, $f(t) = (t+n) - t$, $t+n$: 次回操作予定時刻 $+ I_t/2$, I_t : ダムゲート操作時間間隔

この予測式により第 9 図に示すように, 過去 3 回前までの水位変化時の流入量を使用して $t+n$ 時における 3 種の流入予測を行なってゲート操作量決定の参考とするものである。

(二) ダムゲート開度計算 ゲート開度計算は運転員が流量予測などを参考に放流量を決定した場合, その放流量を各ゲートに配分するための計算と配分された放流量に対するゲート開度の大きさを計算するもので, 運転員が放流量を設定すれば CRT にゲートの開閉状態と操作量がグラフと数値で表示される。

(a) 放流量配分方式 ダムに 2 門以上のゲートがある個所で, 各ゲートに放流量を配分する場合にはそのルールとして次の二つがある。

(i) 均等開方式 一定操作ごとに操作後の全てのゲート開度が均等となる方式

(ii) ピラミッド開方式 操作後のゲート開度がダム中央部のゲートほど大きくなる, すなわちピラミッド形状となる方式

この放流配分法については各ダムごとに上記いずれの方法でも制御できるようになっている。

(b) 処理条件 本計算処理を行なうにあたっては, 下記事項を考慮している。

(i) 操作ゲート数を最少にする。

(ii) 計算要求発生のつど実開度を読み込み, 実開度状態との矛盾をなくし, あらゆるゲートの状態に対応できる方式としている。

(iii) 最大開度ゲートから最少開度ゲートまでの順位表を作り, この差は下流の急激な水位変動防止のため

の制限値以内とする。

〈3.4〉 マン・マシンインターフェイス 運転員がシステムの機能を最大限に活用して運転を行なうためにはシステムと運転員がそれぞれ分担関係を持ち有機的に機能を果し得るようシステムを構成しなければならない。この運転員とシステムを結合するためその使用目的により機能的, 経済的に最も適切な入出力装置の導入が要求されるが, 本システムに適用するマン・マシンインターフェイス装置として, 特に留意したことは次のとおりである。

(1) システム・制御卓

(a) システム盤では状態監視のみを行ない, 全ての制御, 操作は制御卓で行なう。したがって, 事故発生時など緊急時も運転員がその場で直ちに復旧操作が行なえる。

(b) 制御卓で制御項目を選択することによりシステム盤の該当シンボルランプをフリッカさせ, 誤選択の防止に役だてる。

(c) 選択電鍵は押釦とし, また, 操作は順序制御方式を取り入れ, 定められた手順以外の制御及び重複選択時は装置をロックし, 誤操作を防止する。

(d) 発電機出力は制御卓上のアナログ設定器により自動調整できる方式を採用しており適確な制御が行なえる。

(2) CRT ディスプレイ

(a) 開閉器操作手順及びゲート操作手順の表示方法については, 運用の即時性と多様性を考慮し, また色調による判断効果を上げるためカラー CRT ディスプレイを採用した。

(b) 大規模な水系には, グラフ表示機能もある CRT を採用して, 即時的判断効果の向上を図った。

(3) ロギングタイプライタ

(a) 記録の作成については, 記録の作成要求のパターン, 時期, ひん度などを分析し, 整理統合することにより約 10 種類の印字様式があるにもかかわらず 3 台のタイプライタで処理することができた。

〈3.5〉 オンライン自動化について 開閉器操作手順表示については, 将来のオンライン化を考慮して下記の三つの制御モードを設けているが当面「手動」で運用することとし, 実績を踏まえ, さらに, システム全体としての信頼度を確認しつつ「半自動」, 「全自動」へとステップを進めてゆく予定である。

(1) 「手動」 CRT に表示された手順を参考に運転員自ら選択電鍵盤で制御する方式。

(2) 「半自動」 手順表示の 1 ステップごとに自動的に選択信号を出し, 運転員が確認の上「YES」指

第 2 表 集中制御化の設備規模
Table 2. Scale of equipment for supervisory control

集中制御系	制 御 所	被制御発電所 (箇所)	発電機台数 (台)	発 電 容 量 (MW)	送 電 線 (回線)	ダ ム 数 (箇所)	ゲ ー ト 数 (門)
十 勝 系	糠 平	6	8	172.5	187 kV 12	7	16
只 見 系	奥 只 見	5	11	965.0	275 kV 10	5	13
天 竜 系	佐 久 間	6	14	1,637.2	275 kV 11 154 kV 12	4	24
熊 野 系	池 原	5	10	595.0	275 kV 4 154 kV 6	6	29
四 国 系	伊 予	5	6	187.1	220 kV 2 187 kV 5	3	10

も集中制御システムの情報処理装置からオンライン制御が可能なシステムとしており、実用化にあたっては今後十分な試行と確認の上、逐次実施してゆく予定である。また、これらの考え方は電力界においても採用される機運にあり、今後の参考になれば幸いである。

本集中制御化計画の実施を促進し、各設備に適した

システムを開発するため、制御用計算機の適用について、東芝、日立、富士電機の各メーカと共同研究を行なったが、この研究に熱心に参加され貴重な助言を戴いた関係諸氏に深く謝意を表する次第である。

(昭和 48 年 5 月 2 日受付)