大規模浄水場受配電系統切換支援システム

奥田　昇(おくだ　のぼる)　　稲垣　裕二(いながき　ゆうじ)　　紅林　達也(くればやし　たつや)

1　まえがき

浄水場監視制御の分野では，早くから制御用コンピュータの導入が図られてきた。近年，制御用コンピュータは知的情報処理，データベースなどソフトウェア，ハードウェアの発達により，分散形制御システム（DCS：Distributed Control System）の監視制御装置では実現できない統括的な制御支援機能を提供してきた。特に大規模浄水場では，設備グループごとに構築されたDCSを総合管理する制御支援機能が必要とされ，その顕著な例として，受配電系統切換制御があげられる。受配電系統切換は，運転員のための多くの情報量とともに高い信頼性と即応性を必要とする制御である。

富士電機は産業用コンピュータ（A-60）を用いたデータベースとプラントモデルから構成される知的制御支援情報システムと，DCS（MICREX）を融合した「受配電系統切換支援システム」を開発し，大規模浄水場監視制御システムに納入，実運用に至った。本稿では，この受配電系統切換支援システムについて述べる。

2　受配電における支援システム

受配電系統切換支援システムは運転員と制御用コンピュータの長所を生かしたマンマシンシステムである。受配電における支援システムでは，受配電系統切換の特徴に基づいたガイダンスにより，運転員と制御用コンピュータの連携による総合的な制御を実現できた。

本システムは二重化された産業用コンピュータ（A-60）とDCS（DBS，OCS，PCS）を工業用LANにより結合した構成をとり，DBSはデータベース装置，OCSはオペレータコンソール装置，PCSはプロセスコントロール装置である（**図1**）。

2.1　受配電系統切換の特長

浄水場は公共性の高い施設であり，受配電設備は受配電形態，制御機器などに関して，高度の安全性・信頼性が要求される。一般的に，受配電設備は2系統の受配電系統と各配電系統から構成され，複雑な操作インタロックをとっている（**図2**）。

受配電系統切換制御は，浄水場の運転を継続しながら，受配電設備の多くの情報（遮断器の入・切，遠隔・現場，受電負荷など）に基づく運転員の判断（遷移すべき受配電形態），操作（遮断器などの入・切），確認の積み重ねによ

図1　システム構成

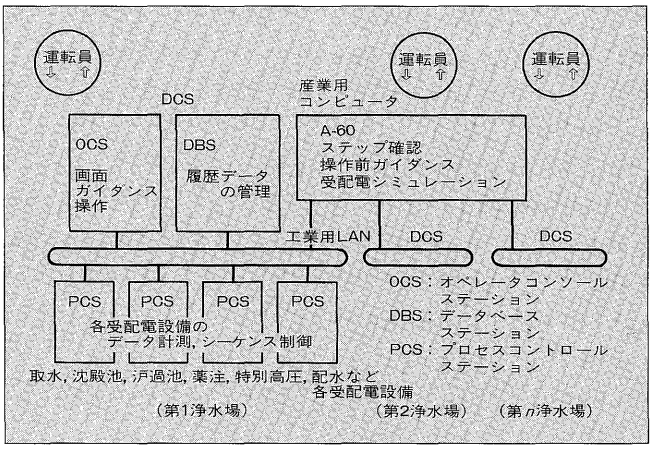
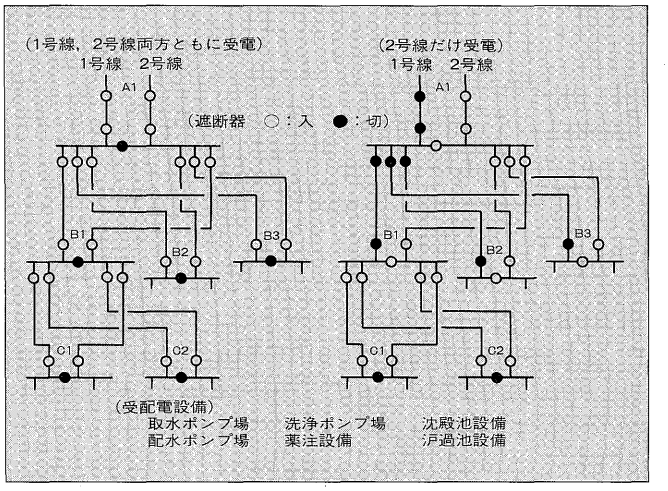


図2　大規模浄水場の受配電系統の例

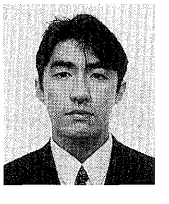


奥田　昇

昭和57年入社。水処理分野の電気・計装・コンピュータシステムの設計・計画に従事。現在，制御システム事業本部公共システム事業部水処理技術第一部課長補佐。

稲垣　裕二

昭和60年入社。水処理監視制御システムの設計，製作に従事。現在，富士ファコム制御(株)システム本部第七システム部。



紅林　達也

平成2年入社。水処理監視制御システムの設計，製作に従事。現在，富士ファコム制御(株)システム本部第七システム部。

リ行われてきた。ここで運転員は，最終目標となる受配電形態をどのようにすべきかという点と，その操作手順をどうするかという点の判断に多くの知識と経験を必要とした。また，受配電系統切換が突発的な事故に起因する操作か，設備の保守による操作かによって，運転員の判断は異なったものとなる。

簡単な例として，ある設備の受配電形態を「2系統受電から1号線停電」とする場合を示す。関連する下位側設備から操作〔1号線側の遮断器の切→母線連絡（母連）断路器の入〕をはじめ，対象範囲（2号線受電：両系通電）が該当設備に達するまで上位側設備へ同じ操作を繰り返す。最終的に，該当設備の受配電形態は1号線停電となり，系統切換が終了する。

受配電系統切換の特徴を次に記す。

(1) 受配電系統は非常に複雑である。1号線，2号線，母線からなる受配電形態を1設備とし，他設備も同様の形態をとる。これらの設備は多段階の構造（並列，直列）で接続されている。基本的に停電操作は下位設備から，復電操作は上位設備から行われる。

(2) 浄水処理設備，配水処理設備など，浄水場の運転に支障なく切り換える必要がある。

(3) 複数の監視室から多くの操作がある。

(4) 受配電設備の操作に失敗した場合，他設備への影響が大きい。

2.2 マンマシンシステム

受配電系統切換に限らず，運転員の知識を制御用コンピュータに組み込むことは非常に難しい。そこで，プラントと運転員特有の情報を整理し，運転員と制御用コンピュータの役割を明確にすることで，互いの長所を生かすマンマシンシステムとして，受配電系統切換支援システムは構築された。基本的な考え方を次に記す（**図3**）。

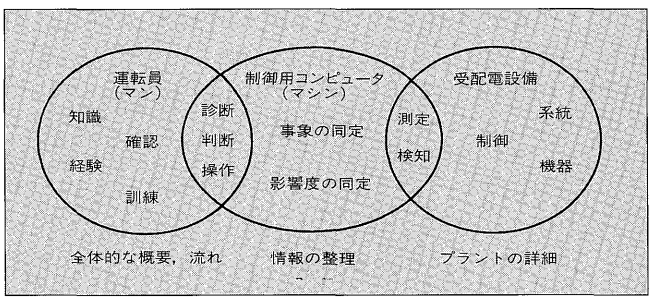
(1) 運転員が受配電系統の全体的な概要と流れを把握し，必要最小限の情報から素早く系統を判断できる支援システムとする。

(2) 運転員の判断の正誤性は支援システムも判断するが，運転員と支援システムの答えが異なった場合には，再度運転員の確認があれば，運転員の判断を優先するシステムとする。

(3) 系統切換の手順を確認する目的で，実際に制御を行わない場合も，系統切換制御時と同じガイダンスを可能とする支援システムとする。

(4) 運転員が受配電設備の操作訓練を行える支援システムとする。

図3 マンマシンシステム



2.3 ガイダンス

制御用コンピュータから運転員への情報通知，すなわちタイムリーかつ適切なガイダンスが受配電系統切換支援システムにとって重要である。運転員に正確に伝わり瞬時に判断できるために，メッセージ内容の区分と画面パターンの組合せにより簡略化したガイダンスを採用している（**図4**）。

ガイダンスの区分は次のパターンとし，1メッセージ最大16文字とした。

(1) 事前通知ガイダンス：受配電系統切換前に必要な操作（浄水処理，配水処理）のガイダンス

(2) 操作要求ガイダンス：受配電系統切換中に制御モードの変更などを要求するガイダンス

(3) 操作確認ガイダンス：支援システムからの操作内容に対する運転員の確認を求めるガイダンス

(4) 制御渋滞ガイダンス：受配電系統切換中の操作（シーケンス制御）の渋滞監視のガイダンス

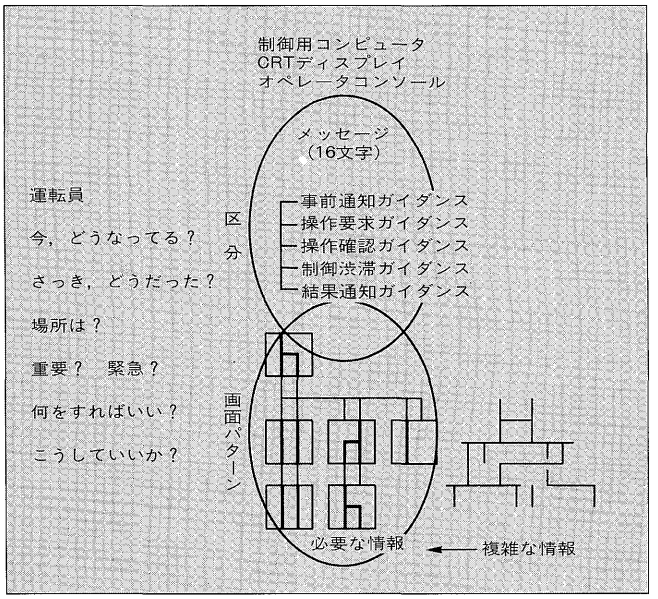
(5) 結果通知ガイダンス：受配電系統切換の結果を通知するガイダンス

メッセージと同時に，受配電形態（2系統受電，片系統受電）と設備の場所が画面上のパターンで認識できるものとした。

3 支援システムの機能

受配電系統切換支援システムはステップ確認，操作前ガイダンス，および受配電シミュレーションから構成される（**図5**）。

図4 支援システムのガイダンス



3.1 ステップ確認

ステップ確認は受配電系統切換制御を行う機能であり，制御用コンピュータ，オペレータコンソール装置，プロセスコントロール装置にて実現される。

運転員は最終の受配電形態を入力後，制御用コンピュータが検索する手順に従って，１ステップごとに「確認」という単一オペレーションを繰り返すことにより，受配電系統の切換を行う。

具体的には，ある設備の受配電形態を「２系統受電から１号線停電」とする場合，オペレータコンソール装置の画面から該当設備に対し１号線停電と設定する。これが最終の受配電形態の指示となり，制御用コンピュータは上位，下位設備の関連からの判断と運転員の確認操作により，受配電系統切換操作を繰り返す。最終的に該当設備が１号線停電となり，ステップ確認は終了する。

制御用コンピュータは現状の受配電形態から運転員設定の最終受配電形態へ移行可能か否かを判断し，実行可能，条件付き（操作を伴うこと）で実行可能，実行不可能の三つの答えを事前通知ガイダンスとして通知する。次に，多段階的に接続される２系統の受配電形態から，適切な操作手順を操作確認ガイダンスとして運転員へ通知する。運転員確認の情報が制御用コンピュータに通知された後，操作指令をプロセスコントロール装置へ出力する。オペレータコンソール装置には，どこの設備を切換中か示す受配電形態をパターンで表示する。制御用コンピュータは，受配電系統の操作が最後まで正常に行われたかについて渋滞監視を行う。

運転員が設定した最終受配電形態に進むまで，受配電設備の情報収集，判断，検索，ガイダンス，指令，および渋滞監視を繰り返す。

設備ごとに設置されているプロセスコントロール装置には系統切換の１操作指令ごとにシーケンス制御が組まれている。また，インタロック条件として，上位と下位の設備の状態を他プロセスコントロール装置から収集している。

１操作指令の単位（設備ごと）は次の内容である。

(1)　１号線遮断器　入・切
(2)　２号線遮断器　入・切
(3)　母連断路器　　入・切
(4)　負荷移行　　１号線→２号線，２号線→１号線
(5)　負荷バランス

負荷移行は一時的な片系停電・復電による配水ポンプの他系統受電側への切換などにより発生する。

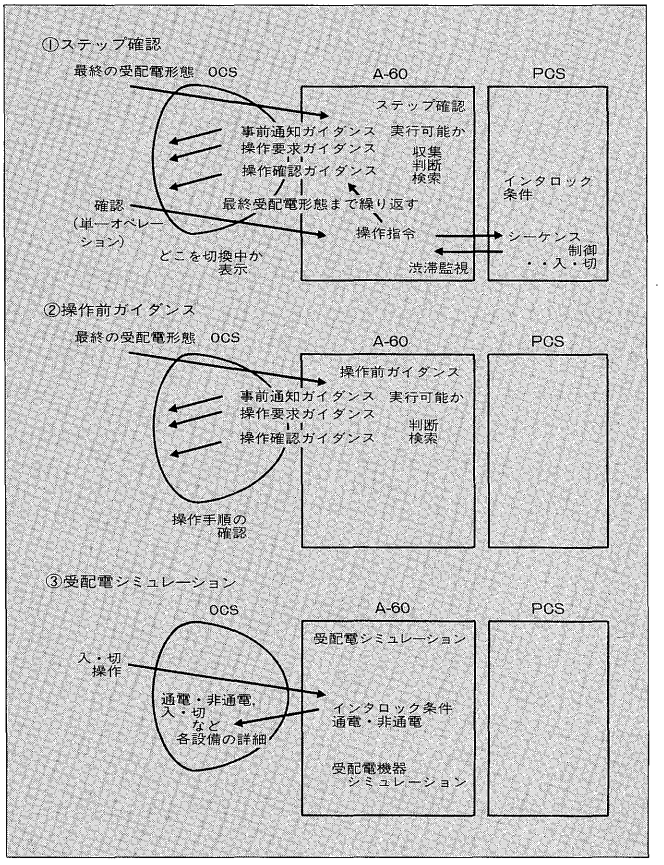
各監視室に設置されているオペレータコンソール装置は受配電設備，受配電切換支援の情報を表示または操作する制御画面・監視画面と，ガイダンス履歴画面などをもつ。

ステップ確認は受配電系統切換支援システムの中核をなす機能である。

3.2 操作前ガイダンス

操作前ガイダンスは，制御用コンピュータやオペレータコンソール装置にて実現される，制御を伴わない機能であり，受配電系統切換前に操作手順の確認を行うことを目的としている。最終受配電形態の運転員設定後，事前通知ガイダンスと操作確認ガイダンスが，操作前ガイダンスとして，運転員に通知される。

図５　機能概要



3.3 受配電シミュレーション

受配電シミュレーションは受配電系統の各設備の詳細情報を模擬できる機能であり，制御用コンピュータで実現される。運転員の操作による影響を把握することを目的とし１機器ごとの操作により，インタロック条件，操作後の状態（入・切，通電・非通電）を模擬できる。

ステップ確認，操作前ガイダンスともに，プラントを簡略化，ブロック化した情報で目的を実行するのに対し，受配電シミュレーションは，多くの情報をすべて通知することで目的（運転員の訓練）を実行している。

4 ソフトウェア構成

ステップ確認，操作前ガイダンス，受配電シミュレーションは，知的制御支援情報としての受配電データベースとプラントモデルにより，機能が実現されている（**図６**）。

4.1 受配電データベース

プラントの状態と運転員の意思に基づいてガイダンス，操作指令を演算するための基礎情報となるのが受配電デー

タベースである。受配電データベースは構造情報と詳細情報の2段に構造化されている。プラントの形態と設備に帰属する情報が構造情報，設備内の細部の情報（遮断器，ポンプ設備）が詳細情報である。

構造情報は2系統（1号線，2号線，母連）の受配電系統における上位設備，下位設備の関連情報であり，次の操作単位（操作確認ガイダンス）を検索，選択する目的に利用される。

詳細情報は操作確認ガイダンス，操作指令を検索する目的のものである。各受配電状態の収集情報，操作場所，操作指令，各ガイダンス，浄水処理，切換時間などの情報が含まれている。

ステップ確認，操作前ガイダンス，受配電シミュレーションのすべてについて同一データベースを用いることにより，支援システムの信頼性を高めている。

4.2 プラントモデル

ステップ確認，操作前ガイダンス，受配電シミュレーションは，おのおのプラントモデルをもつことで機能を実現している。プラントモデルは入力情報と受配電データベースにより受配電系統状態を推定し，出力情報を演算する。

ステップ確認での入力情報は運転員の意思（最終受配電形態）と受配電設備の状態（入・切，遠隔・現場，関連の状態）であり，出力情報はガイダンスである。系統切換モデルにより推定された受配電系統状態が最終受配電形態になるまで，再び入力情報を収集し，演算を繰り返す。

操作前ガイダンスは，ステップ確認のガイダンスのうち操作確認ガイダンスを模擬的に操作したと仮定し，受配電系統状態（模擬）を変化することによって，系統切換モデルの演算を繰り返す。

受配電シミュレーションでの入力情報は受配電設備の初期状態と模擬操作情報（入・切）であり，出力情報は受配電設備状態（通電・非通電）とインタロック状態（操作可）である。

4.3 DCSとのインタフェース

制御用コンピュータは運転員の窓口である各オペレータコンソール装置と，受配電設備との窓口である各プロセスコントロール装置との間に，高性能・高信頼度のインタフェースソフトウェアをもっている。

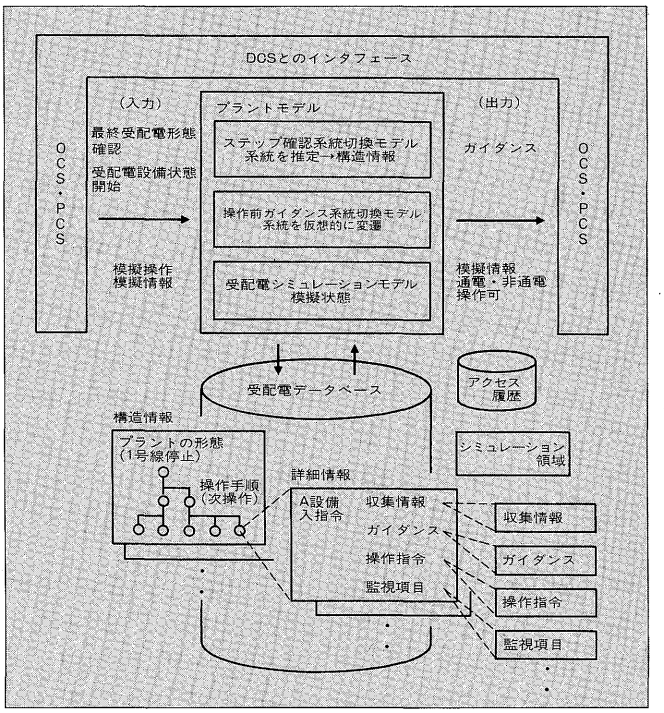
DCSと制御用コンピュータのインタフェースの特長を記す。

(1) 制御用コンピュータからの収集・指令などは，DCSと共有のデータ定義（名称，スケール）を用いる。

(2) 同一工業用LANに接続し，高速・多量の伝送が可能である。

(3) 複数のオペレータコンソール装置から制御用コンピュータの情報を一元的に表示し，操作が可能である。

図6 ソフトウェア構成



5 あとがき

運用の結果，本システムが以下の要件を満たしていることが確認できた。

(1) 受配電系統切換がより安全に，確実に操作できるようになった。また，受配電設備状態にかかわらず容易に切換が可能になった。

(2) 一元的データベース管理により，増改造時の修正量が少なく，信頼性の高いシステムとなった。

受配電系統切換支援システムはプラントモデルとデータベースを一元管理し，制御・支援・シミュレーションの広範囲に及ぶ機能であり，大規模浄水場に実用化されたことで，非常に有効であることが確認された。

今後とも，制御用コンピュータの知的情報処理機能の充実と，DCSとの融合化により，より運転員の役に立つ浄水場監視制御システムをめざして技術力の向上に努力する所存である。

最後に本システムの開発と実用化にあたって，ご指導とご協力をいただいた関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

(1) 黒谷憲一ほか：水道のシミュレーション技術，富士時報，Vol.66，No.4，p.232-236（1993）

(2) 柳下修ほか：上下水道における知的情報システム，富士時報，Vol.66，No.5，p.297-300（1993）

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。