

# 配電線自動化プログラム制御親局システムの開発

Development of Computer Control System for Power Distribution

杉山 博<sup>※1</sup> 根本 敬<sup>※2</sup> 佐藤 徹<sup>※3</sup>  
Hiroshi Sugiyama Kei Nemoto Toru Satoh  
田中 頼彦<sup>※1</sup> 春山 清<sup>※2</sup> 増田 康夫<sup>※3</sup>  
Yorihiko Tanaka Kiyoshi Haruyama Yasuo Masuda

## 1 はじめに

当社が開発した新しいタイプの配電線自動化プログラム制御親局システムについて紹介する。

本システムは、地図情報表示機能と融通送電手順の自動計算・自動実行機能などを備えた、いわゆるフルグラフィック・プログラム制御親局である。その上で、分散型システムとしては業界初の広域運用機能(営業所間の配電線系統の完全連系)の実現や電力監視・制御システムとしては先進的なオブジェクト指向ソフトウェアを他社に先駆けて全面採用するなどの特長を持ったシステムである。

すでに本システムは、平成8年3月に中部電力(株)岡崎・西尾の両営業所に納入され、現在順調に稼働中である。

その概要については、他誌において一部紹介されているが<sup>1)2)</sup>、本稿では更に詳しい技術内容について述べる。

まずは、配電線自動化についての簡単な導入説明を行い、次に本システムの詳細説明を行う。

降圧して一般需要家に給電する低圧配電線(100/200V)とがある。ここで主に対象とするのは高圧配電線である。

電力会社においては配電用の設備は、広く面的に非常に多く施設されている。これらを運用・管理・維持するのに日夜大変な労力が必要となっている。

それらの省力化や設備稼働率の向上および配電用変電所と配電線の投資協調などの方策の一環として配電線自動化が位置づけられている。

各電力会社毎にその実施細目は異なっているが、自動化の基本的な流れは共通である。その根本目的は電力の安定供給にあり、その目的のために設けられた配電設備の操作や設備管理・運営をいかに自動化・省力化するかにある。

## (2) 自動化システムのアウトライン

図1に配電線系統と自動化機器の概念図を示す。一般に子局、TCM(テレコンマスター：通信制御装置)、親局卓(計算機システム)などの自動化機器全体を組み合わせる自動化システムという。自動化システムで実現できる機能は自動化機器の組合せにより異なる。その機能を階層化して表現したのが図2である。

本稿の主題は図2におけるプログラム制御(PG)親局の新しいタイプの開発についてであるが、その前に、図1、図2にしたがって自動化システムの機能について以下若干の説明を行う。

## 2 配電線自動化の概要

### 2.1 配電線自動化とは

#### (1) 自動化の目的

配電線には高圧配電線(6.6kV)と、それを柱上変圧器で

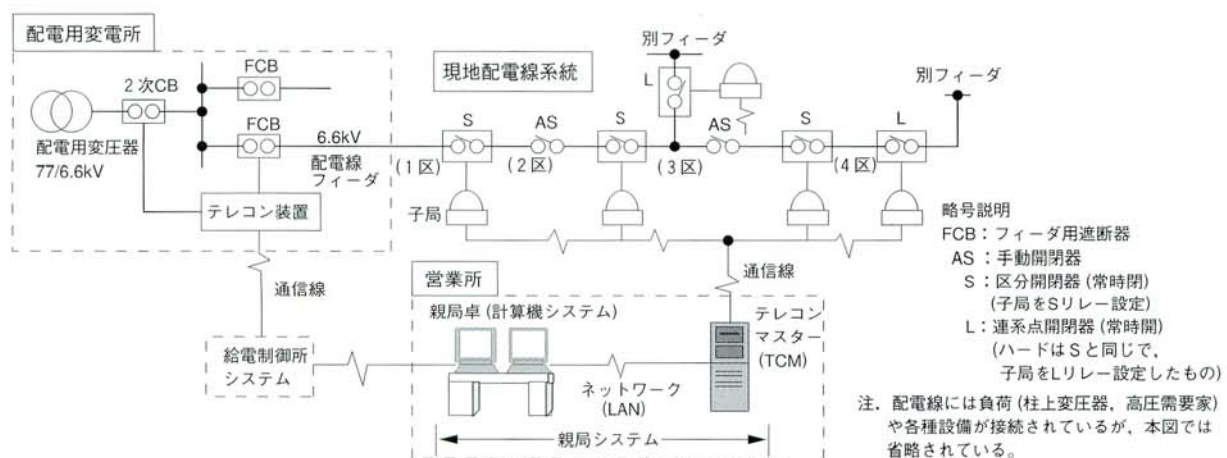


図1 配電線自動化システムのアウトライン

Fig.1/Outline of automation system for power distribution line

※1 中部電力(株) 配電部  
※2 横河デジタルコンピュータ(株)  
※3 電力事業本部 配電自動化開発室

## 2.2 自動化による実現機能

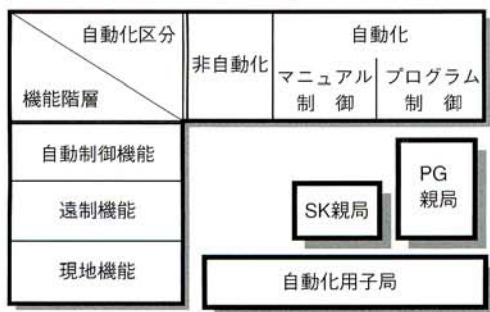
### (1) 現地機能

図2における現地機能は子局のみで実現できる機能であり、基本的には故障区間の切り離し機能のことである。

子局には、Sリレー機能(時限順送)とLリレー機能(連系点時限送電)と故障区間送電ロック(投入禁止)機能からなる自律機能がある。故障区間の切り離しと健全停電区間への再送電とが、子局の自律機能と変電所FCB(フィーダ用遮断器)の再閉路リレー機能とで実行される。

この機能を、図1の配電線系統で2区に故障が発生した場合の例を用いて説明する。この場合、下記の時系列で現地機能が働く。

- ① 2区故障発生。FCBトリップ(遮断)。  
全区間(1～4区)停電。  
S(開閉器)はすべて開放(常時励磁式のため)。
- ② FCB再閉路。1区のみ充電。
- ③ 2区の子局(Sリレー)の時限順送により9秒後に2区の子局S投入。2区まで充電。
- ④ 2区の故障はまだ継続しており、S投入直後にFCB再トリップ。これにより2区の子局はリレーロックされる(故障区間送電ロック)。
- ⑤ FCB再々閉路。1区充電。2区のSはロックされているので投入されず。故障区間切り離し完了。  
3区と4区は健全停電区間となる。
- ⑥ 4区の別フィーダ連系開閉器が子局のLリレー機能により所定時限後投入され4区充電。  
同様に3区も連系フィーダから所定時限後投入される。これで健全停電区間への送電が完了する。  
なお、故障がもしも3区であった場合には、Lリレーにも故障区間送電ロック機能があり、3区のLも投入ロックとなる。
- ⑦ 故障点除去。系統の切り戻し(切戻)。  
通常運用状態(標準系統)または故障前系統へ戻すため、開閉器の入切操作を現地で行う。この時は、停電や過負荷が発生しない手順で開閉器の操作を行う。



PG親局：プログラム制御親局システム  
(フルグラフィック表示)  
SK親局：マニュアル制御親局システム  
(スケルトン表示)

図2 / 自動化システムの機能階層

Fig.2/Function layer of distribution automation system

代表的な、動作および操作手順は上記の通りである。このように故障が発生しても、停電区間が最小となるように配電線系統は設計されている。

### (2) 遠制機能

図2における遠制機能は、子局の現地機能に加えて営業所からの遠方操作、遠方監視を実現する機能である。このためには親局システムが必要となる。

現在、中部電力で最も多く導入されているのはスケルトン表示マニュアル制御親局(スケルトン親局：SK親局)である。この親局は配電線系統をスケルトン単線図で表示しているので、系統の充停電状態、開閉器や子局の状態などが一目で分かり、系統操作(開閉器の入/切)が営業所からの遠方操作で可能となり、省力化に大いに寄与している。

特に、健全停電区間への送電や切り戻し操作が迅速に、かつ周辺の系統の運用状態を考慮しながらできるため、停電時間の最短化が図れる。例えば、前記の例では⑥の動作はLリレー機能で3区と4区とを充電していたが、もし3区の連系先フィーダの負荷が大きければ、4区から3区へSを遠制で投入して3区を充電するという操作が可能となる。また4区のLも時限を待たずに遠制で投入して、停電時間を最少にできる。更に、切り戻しは現地出向が不要となり大幅な省力化が図れる。

このマニュアル制御親局用の計算機には、EWS(エンジニアリング・ワークステーション)が採用され、コストパフォーマンスの高い親局システムが実現されている。

中部電力においては、この親局が配電線自動化の基本システムとして位置づけられ、当社がその1号機を納入以後、各社も製作・納入を開始し、現在広く普及している。

### (3) 自動制御機能

前項で説明したマニュアル遠方操作を、計算機により自動実行しようとするのが、図2に示した自動制御機能である。このためには、配電線系統状況の現在から将来にわたっての予想や最適手順作成など高度な計算処理性能を備えた親局計算機システムが必要になる。本稿では、これをプログラム制御親局という。

この親局システムは、配電用変電所(配変)についてはスケルトン表示により、一方、配電線系統については地形図の上に系統・設備を表示して監視・制御を行うなど、マニュアル制御親局には備わっていない多くの機能を持っている。

近年は、配電設備の信頼性が向上し、停電事故は非常に少なくなっており、配電部門としては、お客さま対応のための設備新設・設備変更工事や、それに伴う工事区間設定のための系統操作(切替/切戻)の方が主要業務となっている。これら工事件名やそれに伴う切替件名は恒常的に数多く発生している。

配電線自動化システムもこれらの業務支援の役割が重視され、工事計画の手順自動作成(将来系統上での事前作成)や工事手順自動実行機能が要求されている。

これらの工事計画，設備管理もプログラム制御親局の重要な機能であり，省力化・合理化への貢献度は，むしろ，これらの機能の方が高いといえる。

今回開発した親局システムは，上記の機能はもちろん，それに加えて隣接した営業所間（配電線は相互に乗り入れている）で，自営系統と全く同様にプログラム制御機能を可能とした広域機能を実現するとともに，広域連系した上で，オンライン機能（現在の運用系統上での処理）オフライン機能（将来系統上での処理）ともに性能の大幅向上を図ったものである。

### 3 計算機システム

#### 3.1 計算機システムの技術トレンド

電力設備の監視・制御システムは，現在では計算機なしでは構成できない。その計算機システム構成の技術トレンドを図3に示す。時代は，旧来の大型計算機によるホスト／端末システム（図3のNo.1）からオープン分散システム（図3のNo.3）に進んでいる。

従来は装置（ハードウェア）の機能を実現するためにソフトウェアを装置に組み込むという意識が一般的であったが，近年はソフトウェア（機能）を実現するためにプラットフォーム（計算機，オペレーションシステム：OS）を用意するというように，ハードとソフトに対する視点が逆転してきている。

オープン分散システムにおいては，標準ネットワークOS（UNIX<sup>\*1</sup>）や標準ネットワーク通信プロトコル（TCP/IP<sup>\*2</sup>）が用意され，ソフトウェアをクライアント／サーバ（C/S）型に構成すれば，業務・機能ソフト（アプリケーション）の分散配置は自由になり，システムとしての最適化を図ることが可能である。

最近の電力監視・制御システムの主流は図3のC/Sソフトを利用した機能分散システムとなっている。ただし，電力設備は高信頼性・安定運用実績が重視され，リプレイス間隔も長い場合，ホスト／端末型のシステムも現役として多く運転されている。

#### 3.2 機能分散から自律分散協調へ

最新の情報・ネットワーク分野では図3（No.4）の自律分散協調システムへの動向が注目されている。これは，システム規模（データ量，処理量）が大きくなり，かつ業務を行うサイトが広域（距離，サイト数に関して）になった場合，たとえ機能別に分割してあってもサーバの処理性能がシステムのネックとなってしまうことを解消するシステムである。

各サイト間のデータや業務処理の連係が疎である（関連性が少ない）場合は，自律分散システムの構成は容易である。インターネットの世界はまさに自律分散型といえる。

ところが，連係が密な場合には特別なソフトウェアシステムの仕組みが必要となる。

これを配電線系統の例で説明すると，個々の営業所を図

No.	1	2	3	4
方式	ホスト／端末（集中型）システム	集中型クライアント／サーバ（C/S）システム	機能分散型C/Sシステム（オープン分散）	自律分散協調システム（オープン分散）
システム構成				
概要	<p>端末は単に表示／入力機能（I/F）のみで，全処理をホストの大型計算機が実行。 メーカー独自のOS／通信プロトコル。</p>	<p>サーバ：各種処理のサービスを行うソフト（または，そのソフトを実行する計算機）。 クライアント：サーバからサービスを受けるソフト（または，そのソフトを実行する計算機）。 ソフトウェアを，サービスの提供側／受け側に分離することにより，クライアント側EWSで，ユーザ側の処理ソフト実行が可能となる（サーバ側の処理負担軽減）。</p>	<p>オープン：標準ネットワークOS（UNIX）。標準プロトコル（TCP/IP）。 分散：機能別プロセス（ソフト）の分散配置。 オープンシステムにより，ソフトウェアの独立性が高まり，ハード（計算機）とソフトの分散組合せが可能。 システムの最適化，ダウンサイジングの面で利点多い。</p>	<p>自律分散：サイト毎に処理を自律して行う（同一機能C/Sをサイト毎に分散）。 分散協調：サイト毎に分散されたC/Sの情報・処理の整合協調。 サーバ処理の分散化，拡張性高い。 サイト内処理性能が高い。 ダウンサイジングの面で最適。</p>

図3 / 計算機システムのオープン分散化へのトレンド  
Fig.3/Trend of open/distributed computer system

※1 UNIX：X/OPEN Co.Ltd.がライセンスしている米国および他の国における登録商標  
※2 TCP/IP：業界標準インターネットプロトコル

3のサイト1, サイト2とすれば, 通常の業務処理は各サイトで独立に行われる。しかし, 配電線は各営業所間で相互に連絡接続されており電氣的に営業所毎に切れているわけではない。このため一般的には, 全体を一括した一つのデータベースで扱わなければ, データ処理の整合性が取れなくなってしまう。これに対して, データベースを分割・分散し, しかも全体のデータ整合性を確保する仕組みを分散協調という。

今回開発した配電線自動化システムは, この自律分散協調システムの仕組みを多く取り入れることにより, 営業所間広域運用を可能とした親局・計算機システムである。このシステムを実現するために, 新たにオブジェクト指向ソフトウェア技術, 分散オブジェクトデータベースを採用した。次に, これらのソフトウェア技術を紹介する。

## 4 オブジェクト指向ソフトウェア

### 4.1 ソフトウェアと実世界

ソフトウェアと実世界の関係性を図4に示す。監視・制御対象物(実世界)が少数かつ固定的である場合は図4(a)に示すように, ソフトウェアは処理機能中心に作られ, 対象物のデータは補助的にデータ表等に記録される。このようなソフトウェアの作り方を処理指向設計という。

しかし, 対象物が多数かつ可変的(新設/削除/変更が常に行われる)となる場合には, 図4(b)に示すように実世界の対象物に一対一対応したデータを作り, そのデータに対する処理をソフトウェアで実現する手法がとられる。

このような手法をデータ指向設計(DOD: Data Oriented Design)といい, 現在のソフトウェア開発手法の主流となっている。この手法では, 処理は手続型のプログラム言語(Fortran, Cなど)で記述され, データの格納機構としてはリレーショナルデータベースが用いられている場合が多い。

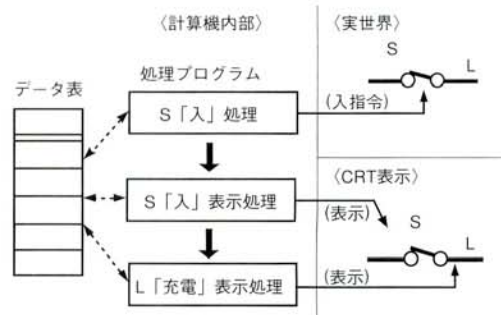
これより更に一歩進めて, 実世界そのものを計算機上に表現する手法が, 図4(c)に示すオブジェクト指向設計(OOD: Object Oriented Design)である。そのソフトウェア開発にはオブジェクト指向言語(C++, Smalltalkなど)が用いられている。本システムではC++を用いてソフトウェア開発を行った。

時代の流れとして, オブジェクト指向は情報分野では既に主流になりつつあり, 電力監視・制御分野にもその波は確実に押し寄せてきている。

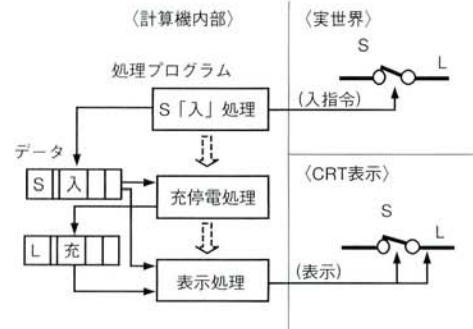
### 4.2 オブジェクト指向とは

#### (1) オブジェクト指向の特徴

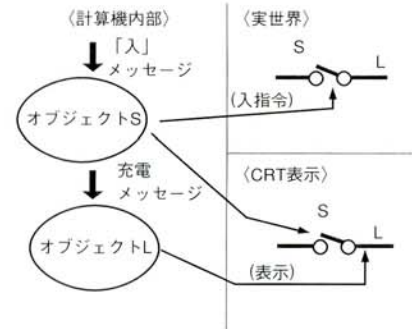
近年の複雑化・大規模化するソフトウェアを新規開発する場合に, プログラムを実世界に対応する物(オブジェクト)としてソフトウェア上に表現する(モデル化)ことによ



(a) 処理指向ソフトウェア



(b) データ指向ソフトウェア



(c) オブジェクト指向ソフトウェア

遠制御開閉器(S)を入操作した結果, 線路(L)が充電されるという処理プロセスの概念図

図4 / ソフトウェアと実世界

Fig.4/ Software data and real things

り, ソフトが直感的で分かりやすくなる。これにより, ソフトウェアの生産性・信頼性・再利用性・可搬性が向上する。このソフトウェアの開発手法がオブジェクト指向である。オブジェクト指向では, カプセル化, 抽象化, 継承, 関連, 多態性といった新しい概念が用いられる。

#### (2) カプセル化と情報隠蔽

データ指向ソフトウェア(DOD)といえども, 図4(b)のような手続型プログラムではデータと処理とが分離されており, データには自由にアクセスが可能となり, データの信頼性が低下してしまう。また, 対象物の変更やデータ構

成の変更が処理フロー全体に影響するため、大規模ソフトでは生産性の面で大きな問題となる。

オブジェクト指向では、図4(c)に示すようにデータ(属性)と処理(振舞・メソッド)を一体化してしまう。これをカプセル化と呼ぶ。すなわち、実世界の物と同じ物を計算機上にオブジェクトとして生み出すわけである。そして、そのオブジェクトに指示を与えるアクセス手段をメッセージとして定式化(公開)し、オブジェクト内部の処理は隠蔽する(図5参照)。

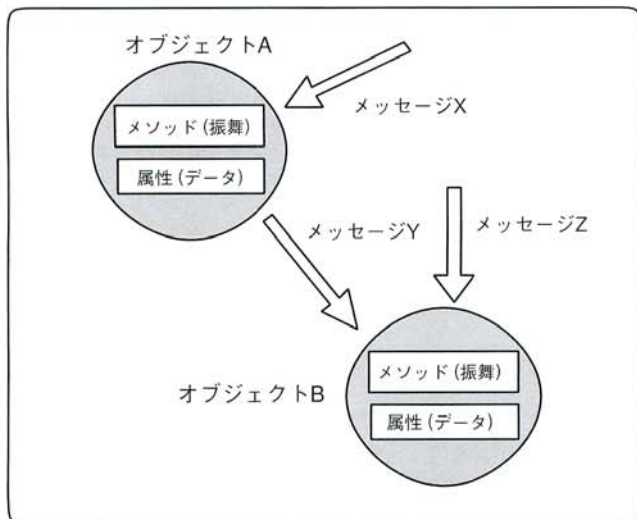
これは、別の言葉でいえば、ソフトウェアのIC化(部品化)ともいえる。実世界の対象物をIC化してしまえば、ICの利用者は内部までを深く知る必要はなく、外部とのやりとり(I/F)のみを知ればシステム設計が可能となる。

### (3) クラスとインスタンス

オブジェクト指向では、実世界の対象物やそれに準ずる概念的なもの(リスト、図形、計算、特定処理など)をカプセル化するわけであるが、実世界の属性(データ)や振舞(メソッド)をやみくもにピックアップするわけではなく、計算機上で表現するために必要・十分な本質的な性質を分析してオブジェクト化する。これを抽象化と呼ぶ。

抽象化の過程で共通の性質概念を分類・階層化して、計算機上で表現される個別の対象物(インスタンス)を生成するための鋳型・ひな形(クラス)を作成する。このクラスとインスタンスの関係の例を図6に示す。

図6のように、実世界の物を抽象化(本質抽出・分類・階層化)してクラス設計するのをオブジェクト指向におけるモデリングという。



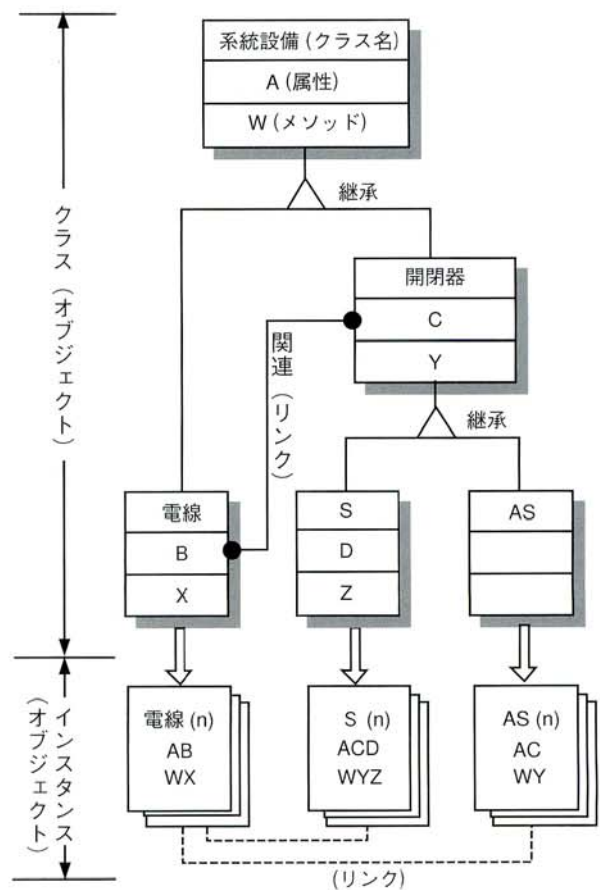
カプセル化：データ(属性)とそれに対する処理(振舞・メソッド)を一体化する。それをオブジェクトと呼ぶ。  
 メッセージ：オブジェクトにメソッドの実行を依頼する。オブジェクトに指示を与える唯一の手段。  
 情報隠蔽：データへのアクセスはオブジェクト内部でしかできない。外部からはメッセージによる手段しか許さない。

図5 / カプセル化と情報隠蔽  
 Fig.5/Encapsulation and information hiding

### (4) 継承と関連

図6に示すようにオブジェクトの共通性質を上位クラス(スーパークラス)に置けば、下位クラス(サブクラス)には、その性質(属性、メソッド)が自動的に引き継がれる。これを継承という。この仕組みにより、対象物の変更や種類の追加があっても、下位クラスのみの変更・追加で済む。これは、ソフトウェア開発において、開発期間の短縮や変更に伴うバグの低減に威力を発揮する強力なソフトウェア機構である。

また、図6における関連(リンク)も重要かつ強力な機構であり、異種のオブジェクト同士で直接的な関係性を持つことができる。これは、図6でいえばオブジェクト自身が自分の接続先を知っており、オブジェクトが自分の仕事をすると同時に関連先オブジェクトへ自発的に仕事を依頼することができるということである。



属性(例)  
 A: 所属フィーダ  
 B: 開閉器リンク、充電電、区間No.、電流値  
 C: 電線リンク、開閉器No.、入/切状態  
 D: リレー種別、X時限  
 メソッド(例)  
 W: 属性返答  
 X: 属性返答、充電電判定、電流許容判定  
 Y: 属性返答、入/切操作  
 Z: 属性返答、リレー変更

図6 / オブジェクトモデリング  
 Fig.6/Object modeling

配電線系統のように恒常的に設備同士の接続が変化(新設・撤去・系統変更)する対象物の監視・制御や管理を行うシステムでは、このリンク機構は、次に述べるオブジェクト指向データベースと組み合わされて、拡張性や性能面(高速性)で絶大な強みとなる。

## (5) 多態性

オブジェクト指向のもう一つの重要な概念に、多態性(多相性)がある。これは、送られたメッセージが同じでも、受け手(オブジェクト)が異なれば、それに応じた適切な処理(メソッド)が実行される仕組みである。

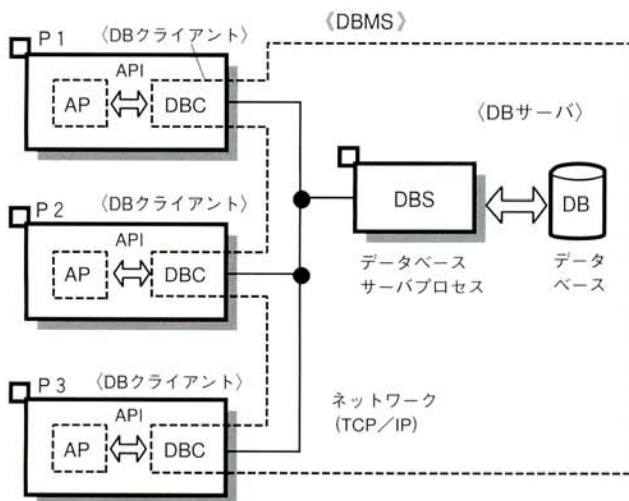
図6の例では、オブジェクト(開閉器)に「切」というメッセージを送れば、対象オブジェクトは自分に合った「切」処理を実行する。送る側は対象の種類(SかASか)を知る必要もないし、種類に応じて条件判定をしてメッセージを変える必要もない。同じ命令で、オブジェクトが自分に課せられた任務を自分の判断で遂行する。

このことは、人間社会の組織運用にあてはめて見ればその効果が良く分かる。大組織の効率的運用すなわち大規模ソフトウェアの組織化とその信頼性は、オブジェクト指向の諸概念(カプセル化、クラス、継承、多態性)をいかに有効に適用するかにかかっている。

## 4.3 オブジェクト指向データベースシステム

### (1) データベースマネージメントシステム

複数の人(プロセス)がアクセスして参照/更新するデータの集合体をデータベースと一般に呼んでいる。このデータベースを効率的に速くかつ安全に管理・更新するシステム



- P1~3: アプリケーションプロセス  
 API: アプリケーション・インターフェイス  
 ・各プロセスはDBクライアント(DBC)に対してのみ決められた手続き(API)で指示・問合せを行う。  
 ・DBCとDBSの手続きは隠蔽されている。  
 ・各プロセスは、共通ネットワーク上であれば、どの計算機上に置かれても良い。

図7 / データベース・マネージメントシステム(DBMS)  
 Fig.7/ Database management system

ムがデータベースマネージメントシステム(以下DBMS)である。

近年の計算機システムではDBMSが必須条件となっている。旧来はプリミティブなファイルDBを利用してDBMSを自製する例が多く見られたが、最近では製品化された汎用DBMSを用いるのが一般的である。

現在の汎用DBMSは、一般にネットワーク上に、DBを利用するプロセスを自由に配置できるようにクライアント/サーバ型に構成されている。

その関係を図7に示す。複数クライアントからのアクセスに対して、サーバプロセスがDBを一元管理することにより、データの安全性・整合性を確保する仕組みである。

このC/Sの仕組みは、表タイプのデータを扱うリレーショナルDBMSでもオブジェクトタイプのオブジェクト指向DBMSでも同様な構成となっている。

### (2) オブジェクト指向データベースシステム

リレーショナルDBMS(以下RDB)は、階層構造を持たないプレーンな表形式のデータを扱い、表相互の演算も数学的に定義されており取扱いが容易である。このため、現在広く普及している。

RDBはデータ同士の関係性が単純かつ固定的なデータを扱う場合には適している。しかし、データ間の関係性が多様でかつ常に変化するようなデータを扱うのは困難である。データ間に関連性を持たすには、そのための別表を用意し、データ更新に付随して、その関連表も同時に修正したり再構成する仕組みを、DBMSのユーザー側が別に用意しなければならない。このため、システムの性能低下は免れない。もちろん、継承・メソッド・属性・リンクをカプセル化したオブジェクトを扱うこともできない。

オブジェクト指向DBMS(以下ODB)は、当初はオブジェクトに永続性を持たすためにオブジェクトをそのままデータとして格納する機能しか持たなかった。しかし、最近では汎用DBMSとしてのC/S機構やデータ管理・調整機能も備えた新しいDBMSとして登場してきている。

ODBでは、前出図6に示すオブジェクトモデルが単に1命令(インスタンス毎)でDB化される。この時、インスタンスにはメソッドも組み込まれるが、組み込まれるのはそのメソッドのプログラム本体ではなく、ポインタ(そのプログラムのアドレス)のみであるためデータ量が大きくなることはない。

したがって、RDBのようにデータを作成して表に移し変えるといった処理ソフトは一切必要とされない。このため、データの生成やアクセスの処理に誤りの入り込む余地が極端に小さくなる。

また、オブジェクト指向モデリング(ODD)がそのままDB設計にもなり、特別なDB設計という作業が不要になる。

更に、配電線自動化システムのように電氣的接続を辿りデータを集める処理を行う場合は、前述のリンクをオブジェクトが持っているため、オブジェクト自身が勝手にリン

クを辿るということが可能となり、RDBでの同種の処理に比べ格段の高速処理が可能となる。

### (3) 分散データベースシステム

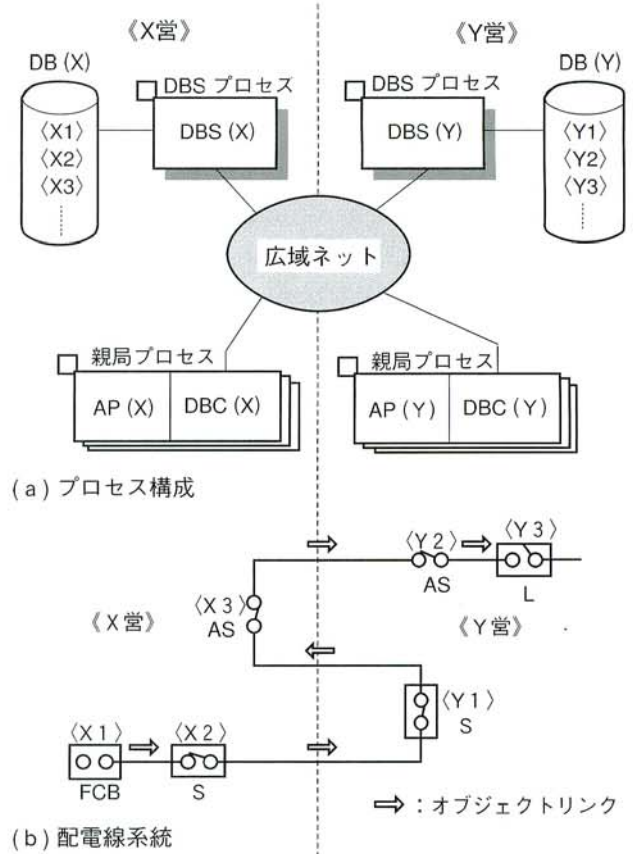
今回の開発の主な目的である、広域で連系した配電線系統を対象としたシステムを、前出図3 (No.4)の分散システムで構成するためにはDBそのもののネットワーク上での分散が必要となる。

前出図7のシングルサーバシステムでは、クライアント側は分散可能であるが、DB側は広域一括の集中型DBシステムとならざるを得ず、性能低下は免れない。

これを解決するのが、マルチサーバ/マルチクライアント機能を提供する分散オブジェクトDBMSである。図8に広域連系配電線系統に適用した分散DBとオブジェクトリンクの概念図を示す。

この広域分散協調システムに適応する汎用DBMSとして当社はVERSANT<sup>※1</sup>を選定した。VERSANTは広域DBにおいて、個別オブジェクト毎に唯一のオブジェクト番号でリンクを構成することにより、分散DBを実現している。

それ以外にも、VERSANTはオブジェクト単位のロック機構や計算機メモリ上へのデータ展開(サーバ側、クライアント側への2重キャッシュ)による処理高速化など優れた特長を持ち、当社での他のODBとの比較テストでも高速性が確認されている。



- ・図のように自営設備(自DB)、他営設備(別DB)を意識することなく、オブジェクトリンクを辿ることができる。
- ・分散DB上の各オブジェクト(X, Y)は、全DB上でユニークな番号(ロジカルID)を持つため、広域リンクが可能となる。

## 5 プログラム制御親局システム

### 5.1 システム構成

新開発のプログラム制御親局システムのシステム構成図を図9に示す。オープン分散を実現し、計算機はすべてEWSで構成した。広域のネットワークは光ネット(FDDI<sup>※2</sup>/100Mbps)で構成し、各営業所内はEthernet<sup>※3</sup>(10Mbps)を用いた。

図8 / 分散DBとオブジェクトリンク

Fig.8/Distributed DB and object link

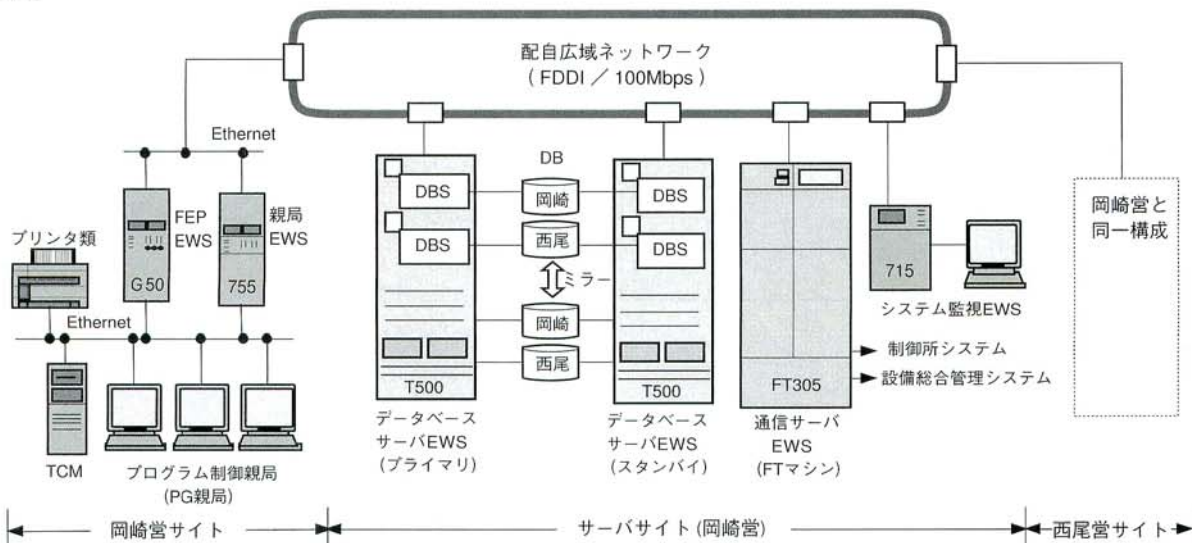


図9 / システム構成

Fig.9/Configuration of system

※1 VERSANT : 米国Versant Object Technology社の商標  
 ※2 FDDI : Fiber Distributed Data Interface  
 ※3 Ethernet : 米国Xerox Corp.の商標

本システムは、ソフトウェア的には自律分散協調システムを構成しているが、サーバサイトを設けたため、ハードウェア面では一見C/Sシステム的な構成になっている。

これはDBの信頼性向上のためのハードディスクのミラー2重化、DBサーバ用EWS(サーバタイプ)の2重化(スタンバイ待機)や他システムとの通信サーバにフォルトトレラント型EWSを設置するなど、サーバ機能を受け持つ計算機の信頼性向上を図ったためである。

広域システム全体のネットワーク機器や計算機内のプロセスの稼動/停止状態を監視するシステム監視EWSはサーバサイトに設けている。

また、電源システムの停電対策として、すべての計算機にUPS(無停電電源)を装備した。

本システムの親局操作卓を図10に示す。



図10/親局操作卓  
Fig.10/Operation console

## 5.2 仕様および機能

### (1) 仕様・機能概要

表1に本システムの仕様および機能の概要を示す。本システムは非常に多くの機能を持ち、自動化(遠隔)設備はもちろん、多くの手動設備にも対応し、中部電力の配電線運用業務のほとんどを網羅しているといえる。

配電線システムのフルグラフィック表示(図11)や配電線故障時の完全自動処理をはじめとする現在システムに対するオンライン機能はもちろん、将来システム上での工事計画作成と計画実施日時での自動実行などの日常配電線運用業務の支援機能は省力化・合理化に多に貢献している。



図11/配電線システム表示  
Fig.11/Display of power distribution circuit

表1/仕様・機能の概要

Tab.1/Summary of specification and function

項目	仕様・内容説明	項目	仕様・内容説明			
計算機システム	システム方式	オープン分散/自律分散協調システム	プログラム制御(広域対応)	配電線故障	多重(連続)故障対応。遠隔手順自動作成/実行(自動開始)。多段切替/切戻手順自動作成/実行。	
	計算機OS,開発言語	UNIX (HP-UX <sup>※1</sup> :全般, FT-UX <sup>※2</sup> :FT305), C++		バンク故障	3バンク同時故障対応。遠隔手順自動作成/実行。多段切替/切戻手順自動作成/実行。	
	主幹ネットワーク	TCP/IP (FDDI:広域,Ethernet:営業所内)		オンライン切替/切戻(現在系統)	過負荷解消/緊急操作/工事変更等の切替/切戻手順自動作成/実行。工事予定日時での自動実行。	
	DBサーバ耐障害性	待機方式EWS2重化(型式:HP-T500 2台) ミラーディスク2重化(RAID方式)		工事計画	件名設定	将来13ヶ月,1万件の件名設定。停電/活線工事,仮送電,バンク作業停電,設備メンテナンス件名等の件名対応。
	通信サーバ耐障害性	フォルト・トレラント計算機(型式:FT-305)			系統展開	工事件名を積み上げた将来系統の高速展開(数秒;運用平均)
監視(広域対応)機能	外部システム連係	対配自用子局:中電標準モデム通信(600/1200bps)	広域運用	手順作成	将来当該系統上で,融通計算上により手順を自動作成する。切替/切戻手順自動作成。メンテ件名との自動連携。	
		対制御所システム:中電標準制御所ネットワーク(RCN)			他システム	配変設備メンテ自動立件。総管設備メンテ自動立件。
		対設備総合管理システム:総管メールシステム(EFM)		通常運用	広域配電線系統の切れ目なしの連続表示。全機能広域対応。	
	配変系統 変電所設備	表示		変電所系統・設備の状態を単線図(スケルトン)表示	代行運用	他當代行運用,夜間代行運用,障害時代行運用。
		制御		FCB個別制御・一括復旧,変電所リレー設定	メンテナンス	データ更新時期
計測	配変設備の定時/任意計測	オペレーション	GUIによりCAD 感覚オペレーション			
プログラム制御(広域対応)機能	配電線系統 配電設備	表示	系統・設備の状態を地形図上にフルグラフィック表示	配変設備	制御所DLLにより,メンテ自動立件,自動作図	
		制御	子局(開閉器)個別/一括制御,リレー設定	配電設備	総管データにより,メンテ自動立件,図形シンボル自動配置	
	計測	定時/任意計測(電圧,電流位相角)	管理業務	帳票作成支援	切替(戻)操作票/実施票。切替電流内訳表。工事月間計画表。他多数。	
	監視	系統監視,ループ監視,故障情報(センサ子局)		記録	配電線故障処理票/操作票。バンク/フィード電流内訳表。停電お客様一覧表。変電/配電設備情報一覧。他多数。	
	対象系統	現在/標準/故障前/将来の配変/配電線各系統		対象設備	全開閉器,全リレー種別,FCB,SVR	
融通計算 手順確認	対象設備	全開閉器,全リレー種別,FCB,SVR	負荷想定	対象期間の負荷計算(低圧,高圧,業種,月,曜日,時間帯)		
	条件判定	バンク/フィード/配電設備電流,電圧降下許容値,他多数	手順作成	切替/切戻手順。リレー,使用/除外,手動/自動化手順。		

※1 HP-UX:米国Hewlett-Packard Co.のOSの名称  
 ※2 FT-UX:日本電気株のOSの名称

次に、これらのうちの代表的な機能について述べる。

## (2) 融通計算

融通計算は手順確認と並んで各種の業務機能に共通して使われるプロセスである。基本的には切替/切戻手順を自動作成する機能である。不要な停電や過負荷、電圧低下が起きないように、関連する系統情報(バンク、フィーダ、配電設備)と配電線負荷情報を収集して最適手順を計算・作成する。

負荷電流は将来を予想する必要があるため、各高圧需要家や変圧器毎の負荷情報(契約、種別)を基にして、時間帯による係数(負荷種別、月・曜日別にそれぞれ異なる)を考慮して負荷積算して想定電流を求めている。その係数は中部電力のロードサーベイデータを基準にしている。

なお、区間を一括して負荷電流を持つという考え方もあるが、切替等で変化する区間に応じて負荷配分を再構築する必要がある。また、区間を分割する工事や分岐線の電圧降下計算には対応が不可能となってしまう。

本システムでは、情報収集はオブジェクトリンクにより自動的にかつ高速で行われるため、個別負荷収集により精度の高い計算が可能となっている。

## (3) 故障時復旧操作

これは、配電線故障や変電所のバンク故障時に、健全停電区間に自動的に送電する機能である。配電線故障の場合は全自動で行われる。バンク故障の場合には対象が広範囲になるため、手順の自動作成後に人間系でそれをチェックできるように確認タイミングを入れている。開始指示で手順の自動実行が行われる。

故障時は、その時点から4時間後までの負荷想定を行い、バンク電流をはじめ末端の電圧降下までの多くのチェック項目を融通計算プロセスが確認して最適手順を作成する。また、実行一手順毎に手順確認プロセスが再チェックを行う。

故障復旧後は故障前の系統への切戻手順を自動作成する。本システムでは故障の前と後の系統を比較して、故障区間/健全停電区間を特定している。このため、故障が発生すると、まず故障前系統の保存が行われる。これは、故障状態が発生した時点でDBへの書き込みをロックして当該フィーダや関連フィーダの系統データを収集・保存する仕組みで実現している。その後、次々に発生する状態をDBにリアルタイムに反映していく。

画面表示もリアルタイム反映であるので、再/再々閉路によりFCBが投入され、その後、子局(開閉器)が次々に時限順送して系統の充停電が変化していく様子が手に取るように分かる。

故障前系統の収集は、もちろんオブジェクトリンクで収集するため高速で行われ、状態の表示反映などの処理も高速で実行される。

本システムは非常に複雑な処理を行っているにもかかわらず、高速性を確保しており、配電線の多重・連続故障

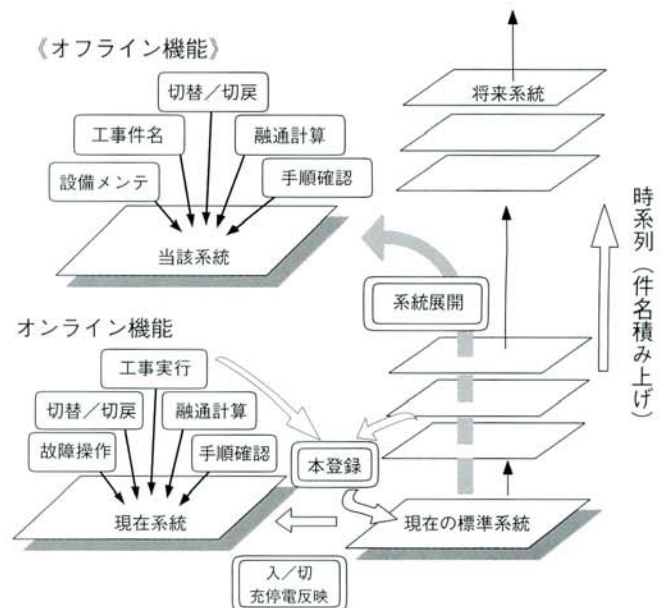


図12. 系統展開処理の仕組み  
Fig.12/Mechanism of circuit expansion

や3バンク同時故障など想定されるほとんどの故障ケースに対応が可能である。

## (4) 工事計画と系統展開

親局計算機内部には、現在の配電線系統が表現されている。この現在系統に対して各種の業務が行われる。したがって、実系統と計算機内部の系統とが異なっていると、業務処理に矛盾が発生してしまう。このため、常に実系統の変化を計算機がリアルタイムで追いかける必要がある。

本システムでは、親局上で工事計画一式を実行(遠制/非遠制設備すべて)することにより系統整合を実現している。将来の工事計画は、当然将来の予想系統上で作成しなければならない。それ以前の日時で計画された工事件名で変更された結果をすべて反映させた系統を計算機上で組み上げる必要がある。これを系統展開といい、その仕組みの概念図を図12に示す。これにより、任意の将来系統の上で融通計算を走らせて切替/切戻手順の自動作成および手順確認をすることが可能となる。

本システムでは1万件以上の計画件名を登録可能である。もし件数分の系統そのものを用意すれば大変なデータ量となってしまう処理困難となってしまう。このため、オブジェクトリンクにより変更分のみを辿って系統を展開するという特別な仕組みを設けた。これにより高速に系統展開することが可能となった。また、件名の割り込みや、変更も自由に行え、それ以降の将来系統に自動反映される。

従来処理で分/時間オーダーを要した系統展開が本システムでは数秒程度で実行され、また人間系では設計困難な大規模切替手順も高速で自動作成(例えば、バンク作業での全バンク外切で5分程度)できるため、工事計画業務の大幅な効率化が図られている。

### (5) 他システムとの連携機能

配電線自動化システムは、その上位系統である配電用変電所を監視制御する支店給電制御所システム(以下、制御所システム)との連携を密にする必要がある。本システムでは、中部電力標準の給電制御所システムネットワーク(RCN)で連携を行っている。それも単にFCB操作だけでなく、配変系統全体をスケルトン表示(図13)し、各設備の監視・計測・制御、作業設定、配変情報取得など広範囲の業務が可能となっている。もちろん、配変系統設備も融通計算、手順確認の対象となっており、上位系統も含めた最適手順が作成されている。

運用モードについては制御所システム側の制御モード/試験モードの2運用方式に対応して、制御所との連携を確かなものとしている。

また、次に述べる設備総合管理システムとも本システムは連携運用を実現している。

### (6) 設備データメンテナンス

配変設備のデータメンテナンスは、制御所システムから営業所毎の一括データ(DLL)で更新される。配変データはデータ量が少なく、しかも配変系統が日常的に更新されることはないので、この方式でも特に問題はない。

制御所システムから設備データを受け取ると、本システムでは配変系統の種別に応じて単結図が自動作図されるため、オペレータの手を煩わすことはない。

一方、配電設備は設備総合管理システム(総管)にて一括管理が行われている。本システムは、総管からの情報で自動的にメンテナンス件名が立件されるように連動している。

総管からの設備は、配電線路図の所定の位置に電線や開閉器などの図形シンボルとして自動生成(挿入または削除)される。微調整などのために、マウスで簡単に移動・変更できるCAD感覚のGUIを備えてオペレータの負担を軽減している。そのメンテナンスの様子を図14に示す。

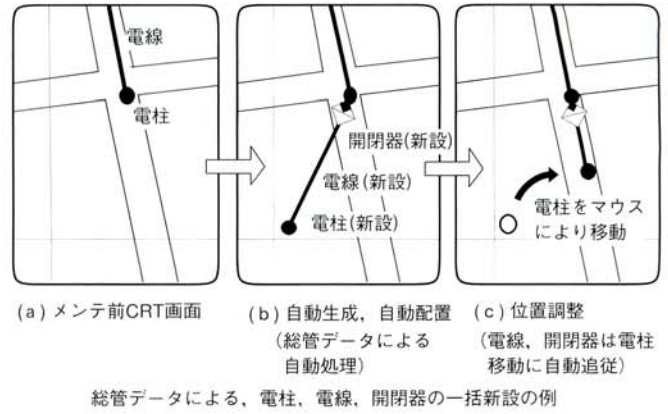


図14/設備データメンテナンス例  
Fig.14/Example of facilities data maintenance

これら設備データのメンテナンスについては、オブジェクト指向の特長が十分活かされ、ストレスなく高速かつ柔軟にメンテ処理(新設・削除・変更)が実行できる。

### (7) 広域機能

本システムは、前述の分散ODBを利用して配電線広域連系機能を実現している。

従来であれば、営業所間の電話連絡で処理をしていた他営またがり配電線故障に対して、本システムは完全に自動処理を実行する。他営のバンク/フィーダ/個別負荷も考慮した送電手順が自動実行されるため、安心してシステムに処理をまかすことができる。

また本広域システム以外の営業所との配電線連系に対しては仮想設備(電源・負荷)を設けることにより手順の自動作成が可能となっている。

広域配電線表示は自営・他営の境界なくシームレスに行い、監視・制御もシステムとしてはすべて可能であるが、管理・保守責任の面で、操作権や融通送電許可などの設定により運用上の制限を設けてある。

本システムは自律分散協調システムであるため、自営内で閉じた処理は自営のみで行い性能向上を図っている。将来工事計画なども基本的には自営のみ系統展開し、他営との関連件名のみ他営系統展開を行い協調を図っている。

通常運用モードで広域の監視・制御は可能であるが、他営業所を一括代行する代行運用モードも設けられている。これは操作権の授受なしで他営を代行する場合に必要とされるモードである。

また夜間代行運用モードも設けられている。これは、夜間宿直の省力化を考慮しており、代行営業所に警報・印字関係を出力するモードである。故障時の融通送電は自動実行されるため、夜間代行では一括代行は必要とされない。

親局EWSの障害時においても、故障時自動融通送電は実行され、また他営による代行も可能である。

以上のように、本システムは、広域機能として要求される範囲をほとんどをカバーしている。これら多機能・高性

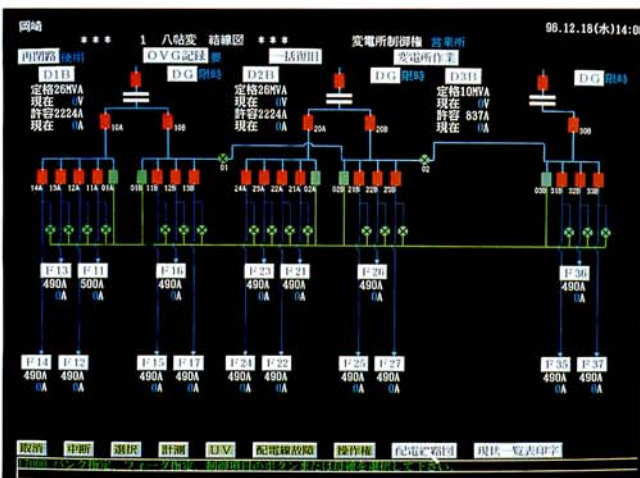


図13./配変単線結線図表示  
Fig.13/Display of skeleton-drawing of power station

能の広域機能はオブジェクト指向ソフトと分散ODBの性能に負うところが大きく、これらの技術なしには実現が困難であったと考えられる。

## 6 あとがき

本システムは我が国で初の、オブジェクト指向による配電線の完全広域連系を実現した自動化システムである。中部電力が他の電力会社に先がけて先進の技術を導入したことは、今後の電力監視制御用の計算機システムの進歩・発展に大きな意味を持つものと期待される。

本システムは、すでに2年間の運用実績を持ち、開発着手から数年間を経過している。この間、計算機(EWS)は急速な発展・進歩を続けており、性能は飛躍的に向上し、かつ経済的にもなっている。また、オブジェクト指向の開発環境も、ANSI規格C++の標準化などに伴って整備されてきており、本システムで開発されたオブジェクト指向ソフトウェアの充実とともに、今後は更に高性能、小型化、経済的なシステム構築が可能となる。

最後に、本システムを完成させるにあたり、中部電力(株)岡崎支店/岡崎営業所、西尾営業所の各位をはじめとして、実に多くの方々に多大な御指導・御協力をいただいた。いちいち謝辞を申し上げるべきところ、紙面の都合上、ここですべての関係各位に厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- (1) 内田：「中部電力における技術革新のあゆみ」  
電気評論 (1997.1) 121
- (2) 渡邊：「中部電力における配電自動化システム」  
OHM (1997.6)

## 筆者紹介



**杉山 博**  
中部電力(株) 配電部 課長  
配電線自動化システム・機器の開発  
に従事



**田中 頼彦**  
中部電力(株) 配電部 課長  
配電線自動化システム・機器の開発  
に従事



**根本 敬**  
横河デジタルコンピュータ(株)  
オブジェクト指向ソフトウェアの設  
計・開発に従事



**春山 清**  
横河デジタルコンピュータ(株)  
UNIX系計算機オープンシステム・  
インテグレーションに従事



**佐藤 徹**  
電力事業本部  
配電自動化開発室 次長  
配電線自動化システム・機器の研究  
開発に従事



**増田 康夫**  
電力事業本部  
配電自動化開発室  
配電線自動化システム・機器の研究  
開発に従事