

# WANを用いた大規模監視制御装置の開発

## DEVELOPMENT OF THE WIDE AREA MONITORING SCADA SYSTEM USED WAN

石田哲史\*・曽根教博\*・高橋智史\*・岡本賢治\*\*

Tetsushi ISHIDA , Norihiro SONE , Satoshi TAKAHASHI and Kenji OKAMOTO

Because of added functions and an increase of data by the extended field of observation, earlier performance is not provided on SCADA system in case of accidents are need of immediate restoration in electric facility

Therefore, high efficiency SCADA system using new information processing technology is developed as redevelopment of the SCADA system has been demanded.

The following are technical presentations for development of the high efficiency SCADA system installed in Tokyo Electric Power Co., Inc.

- Development technology utilized WAN for distributed system
- The promotion for efficient development technology by prototype technique
- Development of control systems utilized ROM based UNIX system

*Key Words*: SCADA system, distributed system, WAN, ROM based UNIX system

### 1. はじめに

電力系統監視システムは、監視規模の拡大に伴いデータ量の増加と機能の追加がなされてきた。これにより、電力設備事故の発生時など迅速な復旧操作が必要な場面において、所期のシステム性能が得られなくなってきている。

さらに、給電所より操作を行う場合、様々なシステムが階層的に連携することで機器の監視・制御を実施しているが、システム連携が大規模になるにつれスループットが低下し、給電所からの操作応答性能を悪化させている。

そのため、高性能な監視制御システム（SCADA）の構築が求められ、新たな監視制御システムの開発を実施した。

開発は、東京電力(株)将来構想の一環として東京東給電所をモデルに実施した。

東京東給電所は、その名の示す通り、東京の東側地域7区（荒川区、墨田区、江東区、葛飾区、足立区、江戸川区、台東区）の電力系統コントロールを実施し、近年の臨海副都心を中心とした開発などで、その需要量は今なお増加傾

向にある。

開発に際しては、電力需給監視の要である給電所の運用状況調査も踏まえ、次世代に向けた監視・制御システム開発のモデルとなるべく、新技術の導入による短工期、低コスト、高信頼性を確保したシステム開発を実施した。

ここではこれら開発時に導入した技術についての紹介を行う。

### 2. システム開発の概要

#### (1) 要求仕様

東京東給電所管内をシステム化のモデル地域として、監視・制御に必要な要求仕様の立案を実施した。

#### 1) 監視・制御範囲から想定される監視・制御規模の最大値

モデル事業所となった東京東給電所は、5ヶ所の総合制御所管内の変電所の監視と、操作に関する指令を実施している。そのため、仕様上想定される監視・制御規模を、総合制御所に設置される変電所集中監視制御システム（以下変電システムと記載）の監視・制御仕様の5倍とし、以下にその仕様を示す。

\* (株)日本工営横浜事業所 第二制御システム部

\*\* 生産事業部 第一営業技術部

最大監視変電所数

60変電所 × 5 = 300変電所  
(送電用変電所・配電用変電所)

最大監視TC子局数

75TC × 5 = 375 TC (CDT TC・HDLC TC)

最大監視機器数

48000機器 × 5 = 240000機器

2) 監視・制御に必要な性能指標

前記仕様より、膨大な情報量を監視対象とするが、事故時の早期復旧操作対応を目的とするため、監視や操作に関して、処理性能を厳密に規定する必要があった。そこで、事故状況把握・事故復旧操作に最低限必要な時間を表 - 1 に示す通り設定した。

また、災害を前提とした瞬時広域事故時の対応を考慮し、同時状変発生時のシステム動作仕様を限界性能として設定した。限界性能は、事故の想定上、事故状況把握を優先して、厳密に時間を規定するのではなく、システムの動作を保証する仕様として、“全変電所、全状変(240000状変)同時発生時における処理継続の確保”および、“著しい処理の遅れがないこと”とした。

(2) 短工期、低コスト、信頼性確保を念頭に置いたシステム開発

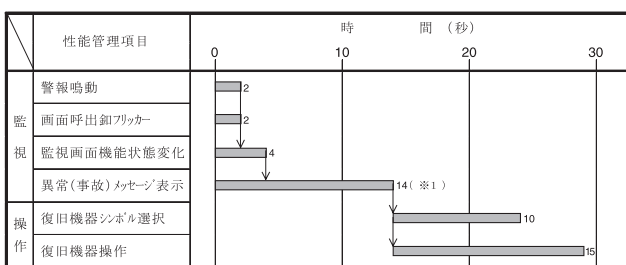
1) 既設設備を活用したシステム構築

実質開発工期が6ヶ月程度であることから、システム開発による他装置・他システムへの影響を防ぐことを考慮した。すなわち連係インターフェイスの改修を伴わないシステム構築を実施することにより短納期とシステム全体でのコストダウンを図り、TC親局装置を利用したTC子局連係方式とした。

2) 変電システムと給電所直接操作装置との並行監視制御

TC親局装置は変電システム異常時のバックアップ装置として設置され、変電システム異常時に制御が実施できるよう設計されていた。

表 - 1 事故状況把握・事故復旧操作の性能管理時間



→ は手順を示す。□ は管理値を示す。  
(※1) 状態メッセージは、状態蓄積時間10秒を含む。

そのため、変電システム正常時にも制御が行える並行監視を念頭においた監視制御方式を新たに策定した。

3) 最新情報処理技術とネットワーク技術を利用したシステム開発

電力システムを監視・制御するシステムは、リアルタイム処理を行う情報量が多く、さらにシステム動作に高い信頼性が求められる厳しい仕様条件で製作されていた。このような条件により新しい技術の導入がし難い環境にあった。しかしながら、近年は様々な情報処理技術が普及するに従い、低コストで信頼性の高い情報処理が可能となった。そのため、これら新技術を利用した次世代に向けた監視・制御装置開発のモデルとして、以下の技術導入を実施した。

- ・WAN網を利用したクライアント・サーバー(以下C/Sと記載)方式による監視制御
- ・インターネット技術を用いたWAN網の構築
- ・プロトタイプ開発技術の導入
- ・情報フォーマットの標準化

4) 運用効率の向上を目指したメンテナンス方式

監視・制御システムは、情報処理の高度化により、多量のデータを必要とし、様々な監視・制御システムが異なるデータを使用していた。このため、機器の増設や改修の都度、それぞれのシステムでデータ変更を実施する必要があり、データ作成作業、データ入れ替え作業が頻発し、システム運用コストを押し上げる原因となっていた。

給電所直接操作装置は、変電システムで使用するデータにて動作を可能とし、TC親局装置を含め、TC子局連係に関係する装置間においてデータの共有化が可能な方式とした。

3. システム構成

図 - 1 にシステム構成を示す。

4. WAN網の設計

WAN網は給電所と各総合制御所間のデータ伝送の要であることから、使用系WAN回線と回線ダウン時のためにバックアップ系WAN回線を具備することとした。それに併せてルータおよびリピータも2重化し信頼性の高いWAN網を構築した。WAN回線の伝送速度はルータ等の製品選定に幅を持たせ、安価なWAN網構築を行うため、一般公衆回線(ISDN等)で使用されている伝送速度を基本とした。

(1) C/S間の送受信データ量確認によるWAN回線の伝送速度設定

一般公衆回線(ISDN等)で使用されている伝送速度を基本とするため1.5Mbps~64Kpbsを前提とした。前提とし

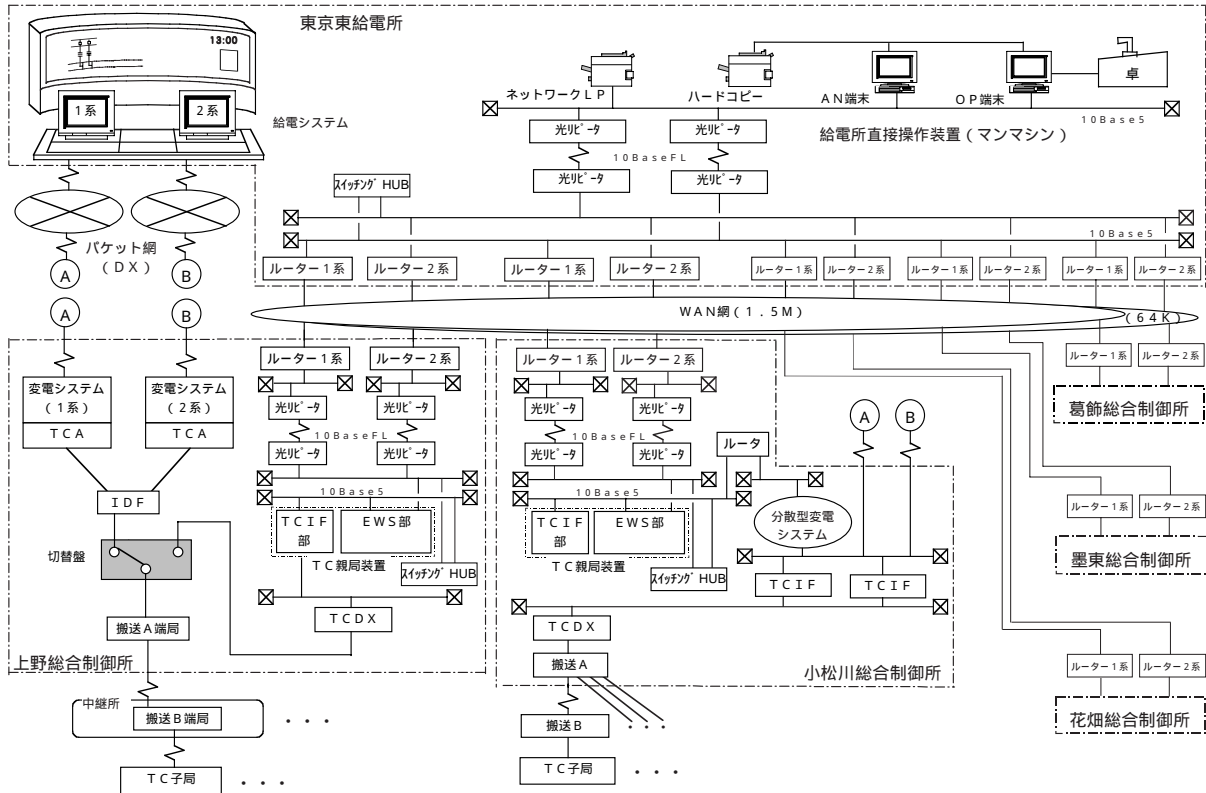


図 - 1 給電所直接操作装置システム構成図

た伝送速度で、表 - 1 で設定した仕様を満足するかの確認を行った。

警報および操作パネル釦情報、スケルトン画面情報にて1.5Mbpsおよび64Kbpsの伝送速度で理論的に想定される伝送時間を表 - 2 に示す。

上記で求めた伝送時間を評価するため、EWS2台をETHERNETに接続し、LANアナライザにより警報および操作パネル釦情報、スケルトン画面情報の伝送時間を実測した。表 - 3 に測定結果を示す。

表 - 2 警報および操作パネル釦情報、スケルトン画面情報の伝送時間

情報名	データ長(Byte)	伝送時間	
		伝送速度 (1.5Mbps)	伝送速度 (64Kbps)
警報および 操作パネル釦情報	64	0.3 msec	7.8 msec
スケルトン画面情報	27,000	137 msec	3,300 msec

表 - 3 警報および操作パネル釦情報、スケルトン画面情報の伝送に伴う伝送実測値

情報名	データ長(Byte)	パケット 分割による 伝送時間	64Kbps 伝送時間を 加味した処理時間
警報および 操作パネル釦情報	64	0 msec	7.8 msec
スケルトン画面情報	27,000	420 msec	3,720 msec

表 - 3 より表 - 1 で設定した警報および操作パネル釦フリッカー：2秒、および監視画面機器状態変化：4秒の性能指標を64Kbpsでも充分満足することを確認した。しかしながら多量の印字データ伝送および広域事故時における多量のデータ伝送を考慮し、使用系WAN回線は余裕度を設け、伝送速度は1.5Mbpsに設定した。

## (2) WAN網の信頼性設計

WAN網の2重化を中心とした信頼性設計については以下を考慮した。

### 1) 2重化光リピータ

リピータはEWS設置場所とルータ設置場所が別建屋（距離にして約1km）、別電源となったため信号絶縁の必要があった。そのため、伝送路に光ファイバーを使用した10BaseFL（光ETHERNET）を使用し、リピータも10BaseFL用リピータを採用した。

### 2) 2重化ルータ

ルータで使用しているRIP（Routing Information Protocol）方式による切替えを利用した場合、使用/待機切替えに数分かかるが、今回のシステム構築では、監視の連続性を保つため、異常時は数秒で使用/待機切替えを行う必要があった。そのため、専用のUDP（User Datagram Protocol）データにより、互いに他ルータを監視する機能と、WAN

経由のルータ間でも同様の監視機能を具備するホットスタンバイ型ルータを採用した。また、同ルータは使用/待機の2台で同一MACアドレスを使用してEWSと通信するため、論理回線1回線、物理回線2回線となり、WANの2重化を意識しないプログラムの構築が可能となった。

### 3) スイッチングHUB

光リピータ故障時にルータ監視用のDUP情報が伝送不能となる。そのため、使用/待機系ルータのETHERNET間にスイッチングHUBを接続し、スイッチングHUBポート間のSTP (Spanning Tree Protocol) 機能を使用する。STP機能はスイッチングHUBポート間でBPDU (Bridge Protocol Data Units) データ監視により伝送路の異常監視を行い、異常時にはポート間でデータを通過させる。この機能により光リピータ異常時 (BPDU異常) に、スイッチングHUBを経由した情報伝送を可能とした。

### 4) ネットワーク監視機能

ルータの使用/待機状態およびスイッチングHUBポート状態はSNMP (Simple Network Management Protocol) 機能により確認を可能とした。

## 5. システム開発

### (1) プロトタイプ開発の採用

従来、制御系ソフトウェアの開発手法としては、信頼性向上を目的としてウォータフォール型の開発手法が多く用いられてきた。しかしながら、ウォータフォール型の開発は、前工程が終了しないと次工程に入れられないため、大規模開発においては工期が長くなってしまいう問題があった。そのため、短工期、開発工数削減、信頼性向上に適した、プロトタイプ開発手法を採用することとした。プロトタイプ開発手法は、パソコン系のソフト開発で、Windowsをはじめとするオブジェクト指向技術により一般的な開発手法として定着している。

今回のようなUNIXを複数接続する大規模システムにおいては、プログラムコードが膨大となるため、プログラム流用率が低下し、プロトタイプ作成のための作業工数が大きく、プロトタイプ開発の効果が現れにくいという問題があった。

このため、以下によるプロトタイプ開発を実施した。

- ・仕様検討初期時にプロトタイプ開発のベースとなるモデルシステムを決定した。
- ・仕様検討において、モデルシステムのプログラムアルゴリズムに影響を与える仕様を排除した。

#### 1) プロトタイプのモデルシステムの決定

プロトタイプのモデルシステムは具備すべき機能により、本開発実施以前の既設TC親局装置 (以下旧TC親局装

置と記載) と変電システムの2つのシステムが対象となった。この2つのシステムは開発時の経緯により、具備する機能は類似しているものの、動作するプログラム群は全く異なっていた。そのため、次の点に着目し比較検討を実施した。

#### 比較検討項目

- ・仕様具備のためのプログラム改修量
- ・メンテナンス性
- ・機能拡張性

比較検討の結果、表 - 4 に示す通りプログラム改修量、メンテナンス性、機能拡張性に関して変電システムから必要機能のみを抽出したプログラム構成をプロトタイプのモデルとし、図 - 2 に示す手順にて開発を実施した。

### (2) 変電システムとの並行監視制御方式

現状の監視制御においては、TC子局が1つの上位局 (変電システムまたは、TC親局装置) との連係しか考慮されておらず、切替スイッチの状態によって、どちらの上位局がTC子局との連係を行うかを決定していた。

給電所直接操作装置は、TC親局装置を利用し、変電所の監視・制御を可能としないため、変電システムとTC親局装置の並行運転が可能な方式とする必要があった。このため、TC親局装置の給電所直接操作装置化に伴い、2つの上位局からTC子局に対して連係が行える監視制御方式を検討した。

#### 1) 現状の監視制御方式によるTC子局連係上の問題点

- ・切替スイッチの設定状態で、変電システムとTC親局装置の制御権を切り替えており、現状の方式で給電所からの操作を実施する場合、操作毎に手で切替スイッチの設定状態を変更する必要がある。
- ・給電所直接操作装置化TC親局装置と変電システム双方で制御を実施した場合、自装置以外の装置からの操作が、操作状態か事故状態かの判断ができない。

#### 2) 並行監視制御方式

上述 1) の問題点に対応するために以下の方式を策定した。

表 - 4 プロトタイプのモデルシステム比較

	(数値は Kstep)	
	旧親局装置	変電システム
総ステップ数	122	2400
モデル対象ステップ数	122	260
改造予想ステップ数	25	10
現状の機能数比較	小	大
メンテナンス性比較	やや良	良



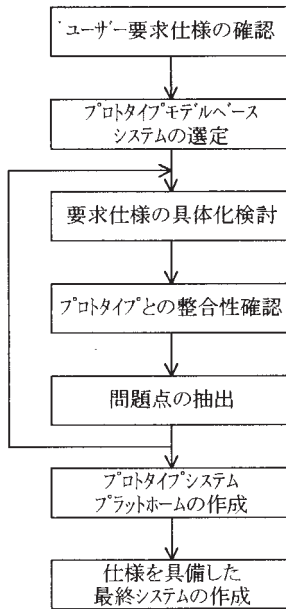


図 - 2 システム開発手順

- ・ TC子局からTC親局装置と変電システムへ送られる監視情報については、同報情報が多く、現状の通信手順においても全ての上位局で情報取得が可能である。このため、切替スイッチの状態に関係なく、監視情報の検出を全ての上位局で実施するようにした。
- ・ TC親局装置と変電システムからTC子局へ送られる制御情報については、先に制御情報を出力した装置が制御権を取得し、自動的に切替スイッチの設定状態を変更する方式とした。
- ・ TC親局装置が変電システムからの操作を判別するため、自装置以外の装置の操作情報を検出するようにし、自装置以外の装置からの操作も、操作状態として判断できるようにした。

### (3) クライアント・サーバー方式による監視・制御

仕様より監視・制御情報が膨大なため、1台のHOSTコンピュータで情報を処理する方式であると、HOSTコンピュータを非常に高性能な装置とする必要がある。このため、給電所直接操作装置は、複数の制御所のTC親局装置とWAN網で接続し、TC親局装置をサーバー、給電所直接操作装置をクライアントとしたクライアント・サーバー方式による分散システム構成とした。

分散システムには、大きく分けて機能分散方式と負荷分散方式があるが、処理性能の向上を目的として、複数のTC親局装置で異なる監視範囲(変電所)を管理する負荷分散の方式を採用した。さらに客先ニーズにより、クライアントとサーバーを提供するメーカーが異メーカーでも連

係可能なように連携手順の標準化を行った。

### 1) オープン分散を可能とした標準化技術

次に市販流通ソフトを利用した標準化技術について述べる。

- ・ 給電所直接操作装置とTC親局装置をXプロトコルにて連携し、マンマシン表示処理はTC親局装置から給電所直接操作装置へのXプロトコルデータの伝送にて実現した。
- ・ マンマシン表示用の警報および操作パネル釦情報は、送受信規約を制定してデータ構造の標準化を図り、TCP/IPプロトコルにて標準的な送受信を実施する方式とした。
- ・ 給電所直接操作装置に出力する帳票は、Postscript言語を使用し、印字レイアウトがプリンター機種に依存しない方式とした。さらに、印字データの送受信には、lprプロトコルを用いた。

### (4) TC親局装置の処理性能の改善

従来のTC親局装置は、変電システムのバックアップ装置としてHDLC TC子局の情報のみを処理する目的で製作されていた。これに対して今回開発した給電所直接操作装置は、HDLC・CDT TC型式に関係なく全ての機器情報の監視・制御を実施する必要があり、TC親局装置に連携するTC子局が従来の倍以上の規模となることが想定された。そのため、給電所直接操作装置対応に合わせ処理性能の改善を実施した。

性能改善においては、扱う情報量から、倍以上の性能改善を実施する必要があった。性能改善は、ハードウェアとソフトウェアの両面にて実施した。ハードウェアの性能改善は倍以上の処理性能を持つCPUを適用した。そして、ソフトウェアの性能改善はTC親局装置を構成するEWS部とTC Interface部(以下TCIF部と記載)との処理を見直し、処理負荷の適正配分を実施することで性能改善を実現した。また、画面表示・帳票編集などの主処理を実施するマンマシン用EWS部については、従来の32bit型のCPUから64bit型のCPUへ変更し、主メモリの大幅増設を含めI/O処理の高速化を実施した。

### (5) TC親局装置TCIF部の改良

上記(4)でも述べたように従来以上のTC子局と連携するため、TC親局装置TCIF部の改良が必要であった。そのため、TCIF部は以下の改良および性能向上を行った。

- ・ 高性能ボードコンピュータの採用
- ・ リアルタイムUNIXの採用
- ・ 汎用Flash ROM Card利用によるシステム構築

### 1) 高性能ボードコンピュータの採用

TCIF部のコンピュータの選定条件。

- ・TCIF部は旧TCIF部の改良であり、実装スペースも旧TCIF部（ボードコンピュータ）の実装スペースの流用となるため、ボードコンピュータを選定した。
- ・CDT TC子局連係による性能向上が必要であったため、CISC CPUボードより低コストで高性能なRISC CPUボード（CPU：PowerPC）を採用し性能改善を行った。

### 2) リアルタイムUNIXの採用

TCIF1台あたり最大25台のTC子局と連係するため、リアルタイム処理を具備したOSが必要となる。さらに、プロトタイプモデルとなるプログラムがUNIXシステムベースのプログラムであったため、UNIXベースのOSが必要であった。以上よりOSはリアルタイムUNIX OS（Lynx OS）を採用することとした。

### 3) 汎用FLASH ROM CARDを利用したシステム構築

本来UNIX OSはディスクシステムとして構成されるものである。しかしながら、実装および現地運用を考慮して本装置はディスクレスにする必要があり、以下の改造を実施した。

- ・ハードウェア  
ROMは現地および社内での扱い易さを考慮して、汎用PCMCIA準拠のFlash ROM Cardを使用することとした。これにより、ソフトウェア改修があった場合、社内でダウンロードしたカードを現地で差替える作業にて対応が可能になり、現地でのソフトウェア入換え作業の簡素化および短時間化が可能となった。
- ・ソフトウェア  
Flash ROM Cardはメモリイメージとなるため、メモリをハードディスクイメージで使用可能（Memory File System）とするようOSの改造を行った。

この改造により、オンボードメモリもハードディスクイメージで使用可能となった。

また、Flash ROM Cardは、write回数に制限があるため、起動時はreadのみで使用し、オンライン処理時はオンボード上メモリの一部をハードディスクイメージとして扱い、read/writeが必要なFileはこのメモリ領域を使用することとした。

## 6. システム構築評価

### (1) 性能評価

要求仕様に対して、システム構築後の性能評価結果を表-5に示す。

表-5 事故状況把握・事故復旧操作の実測性能

		(秒)		
	性能管理項目	管理値	1.5Mbps時	64Kbps時
監視	警報鳴動	2	1.80	1.96
	画面呼出釦フlick	2	1.80	1.96
	監視画面機器状態変化	4	2.73	3.23
	異常(事故)メッセージ表示	14	12.33	11.61
操作	復旧機器シンボル選択	10	4.67	6.99
	復旧機器操作(選択・制御)	15	12.02	11.65

測定値は、5回測定の平均値

### (2) 総合評価

表-5に示す通り、処理性能については、仕様を十分に満足することができた。さらに以下の効果が得られた。

#### 1) プロトタイプ開発における効果

- ・プログラムデバッグ時、プラットホームとなるモデルシステムが既に完成しているため、実機上でのデバックが可能となった。また、従来のデバックでは、他の連係プログラムの完成を待ってから結合試験を実施するため、連係プログラム間の工程調整が煩雑であった。しかし、プロトタイプ開発では、連係プログラムの骨格が既に完成しているため、煩雑な工程調整や、工程待ちを最小限にすることができた。
- ・機能試験において、プロトタイプモデルに組み込まれている機能については、詳細試験を実施する必要がなく、試験工数の削減が図れた。
- ・動作確認が完了したプログラムをベースとして改造を行ったため、改造部を中心とした動作確認試験が実施できた。

#### 2) オープン分散方式による効果

- ・Xプロトコルの利用により、給電所直接操作装置に監視・制御用プログラムとデータを実装する必要がなくなったため、機器増設による装置停止がなく、運用コストを大幅に削減できた。
- ・デファクトスタンダードを採用することにより、市販流通プログラムによるシステム構築が可能となり、プログラム製作工数の削減ができた。
- ・監視情報表示処理をTC親局装置側で実施し、Xプロトコルによって画面表示のみを給電所直接操作装置で実施した。したがって、画面表示時は、画面表示に必要な1画面分のデータのみ伝送し、全ての監視・制御用情報をWAN網に流す必要がない。このため、大規模な広域災害によって大量の状変が発生しても、WAN網のネットワーク負荷が著しく増加せず、伝送遅延による処理遅滞を防止できた。

- ・従来異メーカー間通信においては、プロトコル試験を実施するのが通例であった。今回の開発では、標準プロトコルを採用することで、各メーカーが市販流通プログラムを搭載でき、市販流通プログラムのマルチベンダ間の接続実績により、プロトコル試験を省略することができた。

## 7. 今後の課題と展望

### (1) 今後の課題

監視・制御情報量に対し、給電所直接操作装置が1台しか存在しないため、情報出力装置が少なく複数名による並行監視・制御が実施できない。

ネットワークを2重化することで信頼性確保を図ったが、TC親局装置および給電所直接操作装置ともに1系列装置となっているため、万一の際のシステム停止は避けることができない。また、ネットワーク負荷やシステム負荷を予測した設計を行ったことにより、設計性能確保はできたが、システムを構成する装置やデータ量が大规模であることにより、システム最大規模での動作検証が難しいなどの課題が残る。

### (2) 展 望

オープン分散は、企業内の情報インフラを構築する上では一般的に採用されているが、監視・制御システムのような大規模オンラインシステムにて異メーカー混在のシステ

ムを構成した実績は少ない。しかしながら、インターネットの普及により、ネットワークを軸とした情報交換に対するニーズが広がりつつあり、今後のシステム開発において避けられない課題であることを考えると、今回の開発事例は技術蓄積として非常に貴重な情報となった。

さらに、サーバーおよびクライアントの異メーカー間接続を可能としたことにより、自由に監視・制御対象地域を変更することができる。このため、監視・制御用WAN網の拡大により、非常に広範囲にわたる監視・制御も可能となり、大規模な地域災害などに対してWAN網の動作が保証される限り、健全な地域からのバックアップ監視が可能になるなど、システムに新たな付加価値が発生すると思われる。

また、分散型の電力系統監視制御用システム構築事例において、通常10Mbps～100Mbpsの高速なローカルLANを使用する例が多いが、ネットワーク負荷を予測可能な一定レベルに保つ方式ことで、通常の1/100程度の1.5Mbpsで、かつWAN網を利用した分散システムの構築が可能となった。WAN網は、伝送帯域幅によって構築コストが大幅に異なるため、伝送帯域幅の狭いネットワークでもシステム構築が可能な前例となった。

### 参考文献

- 1) 片岡雅憲 著：ソフトウェアモデリング、日科技連
- 2) 電気協同研究 第54巻 第4号：集中制御所システム機能検証試験の効率化と品質管理、社団法人電気協同研究会