# 電力系統制御システムの最新技術



高橋　省（たかはし　さとる）　吉田　高（よしだ　たかし）　池内　一志（いけうち　かずし）

## 1　まえがき

近年，電力系統運用業務のさらなる効率化のため，運用拠点の最適配置が進み，制御所統合などによる横方向拡大，「発電・電力流通・配電システムの統合」や「運用・保守保全業務システムの統合」などによる縦方向拡大，および「監視制御システム」と「事務系システム」との連携など，統合・集約によって電力系統の運用・保守コストを低減させる方向にある。

また，IP（Internet Protocol）ネットワーク技術の発展により，従来は地域的に独立配置されていた監視制御システムの配置の制約も解消されつつある。

IP ネットワークはオープンシステムであり，これを使用するアプリケーションは統一されたインタフェースや通信プロトコルを用いて通信を行うことができる。

このため，IP ネットワークを適用したシステムでは，システム間連携，データ共用がきわめて容易となる。

システム間連携について一例をあげれば，給電システムが保持する電力系統情報・事故情報を，配電自動化システムに提供することにより，複数の部門が協調し，より効率的な電力系統の運用が可能になる。

こうしたニーズに対応する富士電機の広域分散コンポーネントとして，広域分散型システム対応ミドルウェア，IP ネットワーク対応遠方監視制御装置および保護制御機器を紹介する。

一方，電力系統制御システムに要求される業務は，従来の電力系統の安定運用にかかわるものだけではなく，市場取引の対応，託送業務への対応など多岐にわたるものとなっている。こうしたニーズに対応した総合ソリューション技術として，ニューラルネットワーク手法を用いた予測技術，設備運用の効率化を追求する設備保全技術を紹介する。

## 2　電力系統監視制御システムの最新技術

### 2.1　広域分散型システムの構築例

電力系統の監視制御システムにおいては，ネットワーク技術の進歩により，監視制御運用箇所とコンピュータサーバ設置箇所を意識しないシステム構築が可能となってきている。複数の監視制御システムを一つの関連した統合化システムとみなし，システムや人的資源を最適に配置し，バックアップ機能も備えたシステム「広域分散型システム」を紹介する。

#### 2.1.1　広域分散型システムのメリット

① 監視制御運転箇所（コントロールセンター）とコンピュータサーバ設置箇所（マシンセンター）を自由に配置できるようになるため，従来，各拠点に独立して設置し，個別に保守されていた監視制御システムの統合・集約が可能となる。このため，集約化による運転コスト，保守コストの削減が可能となる。

② 監視制御運転箇所がコンピュータサーバ設置箇所とくくり付けでなく全体システムの共有資源となっているため，夜間の運転箇所の切換など柔軟なシステム運用が可能となる。

**図1**に監視制御所から発変電所を含めた広域分散型システムのイメージを示す。

#### 2.1.2　構築にあたっての課題

(1)　機能の広域分散配置

広域に分散して配置されたコンピュータサーバ上のアプリケーション機能は，互いの配置場所を意識せずに動作可能なことが必要である。また，機能が配置される箇所は運用に応じて柔軟に変更できなければならない。

(2)　データベース方式と通信方式

広域分散型システムのデータベース方式では次の要件を具備することが必要である。

① 分散配置されたデータベースを高速にアクセス可能とする。

② 監視制御所間，異メーカー間で完全なオープン性を確保し，データベースの変更がアプリケーションプロ

**高橋　省**

電力系統制御システムの技術企画，開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社 e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部電力系統システム部次長。電気学会会員。

**吉田　高**

電力系統制御システムのエンジニアリング，企画業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社 e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部電力系統システム部課長。電気学会会員。

**池内　一志**

電力系統制御システムのエンジニアリング，企画業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社 e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部電力系統システム部担当課長。

図1　広域分散型システムのイメージ

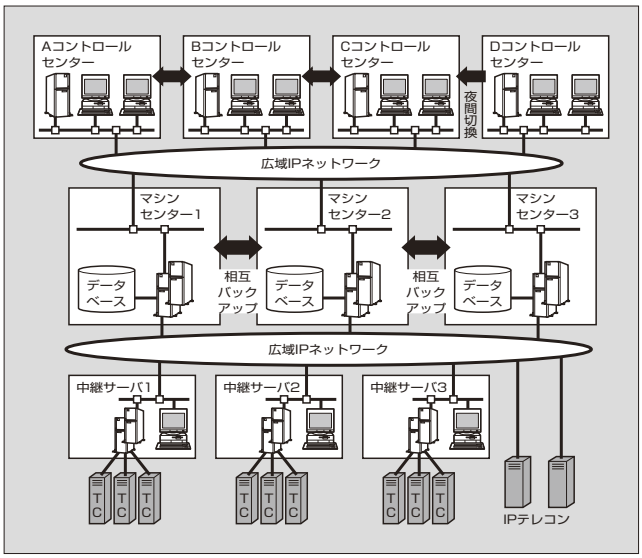
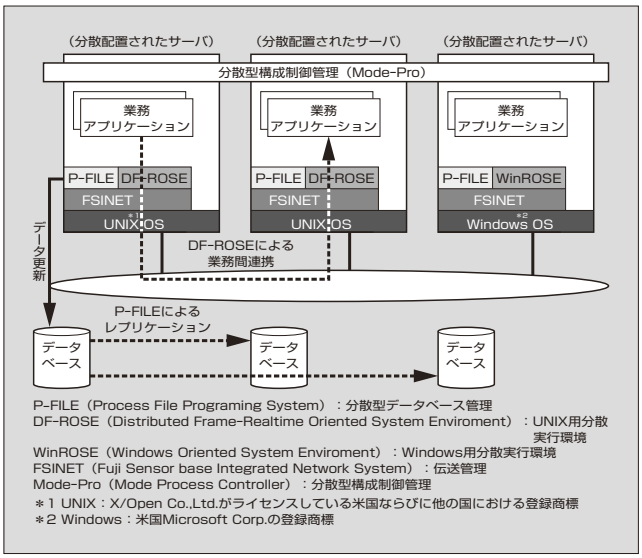



図2　広域分散型ミドルウェアの構成




グラムに直接影響を及ぼさない。

③　分散配置されたデータベースを等価にするためWAN（Wide Area Network）経由のデータ転送が必要になるが，必要以上の負荷を占有させない。

(3)　分散配置されたシステム構成装置の管理

広域分散型システムにおいては，従来のPIO装置を介したシステム構成装置の管理方式は不可能となる。そのため，ネットワーク上の通信手段により，ハードウェアやソフトウェアの状態監視を常に行い，分散配置されたシステムの構成制御管理を行う必要がある。

### 2.2　広域分散型ミドルウェア

広域分散型システムの構築にあたっての課題を解決するためには，アプリケーションから見て，分散されたハードウェア構成を極力意識させないシステムの構築手法が重要となる。そのためには，次に述べる広域分散型ミドルウェアの整備が必要となる。富士電機ではオープン分散型システムの構築で培ったシステム内の分散化システム構築技術と，進歩したIPネットワーク技術を利用した広域分散型ミドルウェアを提供する。**図2**に富士電機の広域分散型ミドルウェアの構成を示す。

(1)　分散プロセス管理

分散されたハードウェアの配置に関係なく論理的にアプリケーションの起動・応答確認ができるミドルウェア，DF-ROSE（Distributed Frame Real-time Oriented System Environment）を提供する。伝送，監視，制御，画面といった各業務をカプセルという殻で包み，各カプセル間の起動関係だけでシステム構築が可能となる。また，分散型システム構成をアプリケーションが意識する必要がないことから，アプリケーションの開発効率が向上する。

(2)　分散型データベース管理

分散配置されたコンピュータ上に，差分等価方式や随時等価方式，蓄積型等価方式などにより最新のデータベースマスタとレプリケーションを持ち，どのコンピュータからでも高速にアクセスできるミドルウェア，P-FILE（Process-File Programming System）を提供する。データベースの配置をアプリケーションから意識する必要がなく，また，分散配置されたデータベースにどこからアクセスしても，ネットワーク負荷を増大させることなく，高速アクセスが可能となる。

(3)　分散型構成制御管理

分散されたコンピュータシステム群の状態を常に監視し，必要に応じたコンピュータの切換処理やバックアップ処理を行うミドルウェア，Mode-Pro（Mode-Process Controller）を提供する。一つのコンピュータの異常が他のコンピュータに波及することを防ぎ，システム全体に与える影響を最小限に抑えることが可能となる。

(4)　伝送管理

ミッションクリティカルな監視制御システムにおいて信頼性とリアルタイム性を十分確保し，かつ，異メーカー間でも接続できる標準的なプロトコルを採用したミドルウェア，FSINET（Fuji Sensor base Integrated Network System）を提供する。二重化伝送路管理機能により，アプリケーションが意識することなく，二重化された伝送路の状態監視，主－従切換の実施が可能となる。

### 2.3　IPネットワーク対応プロトコルとIPネットワーク端末

電力系統制御システムにおける通信に要求される機能は，システム間連携，データ共用などが容易であること，データの信頼性を保証できることが必須の要件である。この要件はIPネットワークに適用した場合でも同様である。

具体的には，下記などである。

①　データの順序性・連続性

②　リアルタイム性（許容される時間内での通信完了）

③　二重帰属への対応（通信の2系列化）

④　1：$N$通信への対応（マルチキャスト通信）

富士電機は，各電気所に設置するIP方式遠方監視制御

装置，IP 変換装置として使用するコンパクト，高信頼度な IP ネットワーク端末を開発・製品化した。演算部，入出力インタフェース（I/F），モデム I/F，ネットワーク I/F などを 1 ユニットに収納しコンパクト化を図っている。また TCP/IP（Transmission Control Protocol/IP），UDP/IP（User Datagram Protocol/IP），ファイルシステムなどに汎用のミドルウェアを採用可能としシステムの拡張性を容易としている。

### 2. 4　保護制御機器のネットワーク結合

電力流通分野の，より合理的かつ経済的な監視・制御・保守を志向し，IP ネットワークの適用が進んでいる。ネットワークの末端は電気所配電盤室の機器にまで届き，今後さらに屋外現場機器にまで及びつつある（**図 3**）。保護制御機器については，従来の第二世代ディジタルリレーは Ethernet〈注〉インタフェースを有し遠隔保守・整定を実現していたが，専用プロトコル，専用ブラウザによるものであった。最近は経済性，互換性を目的に，汎用的な伝送プロトコル（HTTP：Hyper Text Transfer Protocol），汎用ブラウザとクライアント・サーバ構成のインタフェースを求められている。こうした状況下，富士電機においても保護制御機器のネットワーク結合端末（Web ボード）を開発しており，保護制御端末としてサーバ機能を有し，ネットワーク遠端の汎用ブラウザ画面からのリレー整定操作，監視情報表示を可能としている。さらに既設旧型ディジタルリレー用に，整定表示部と交換するだけでネットワーク結合を可能とするレトロフィット Web パネルを開発した（**図 4** 参照）。既設旧型リレーの遠隔整定・監視化を可能とするものであり，リレーの延命使用ニーズに対応しつつネットワーク結合ニーズにも応えようとするものである。

〈注〉Ethernet：米国 Xerox Corp. の登録商標

図 3　IP ネットワーク構成

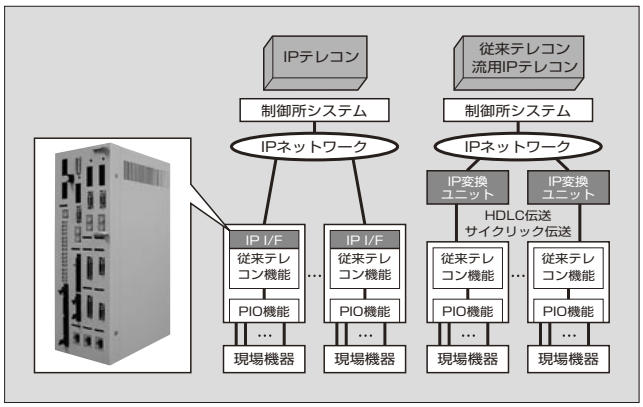
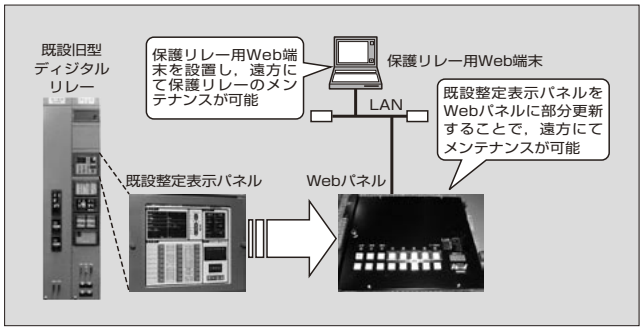



図 4　レトロフィット Web パネル



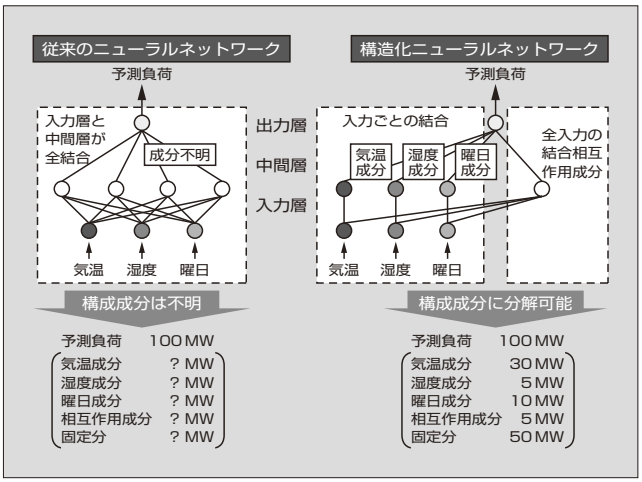

## 3　総合ソリューション技術

### 3. 1　予測技術

富士電機ではニューラルネットワークを用いた予測技術により電力会社や工場内の電力需要予測，水力発電所用のダムや下水処理施設における流量予測の分野で実績がある。この技術は，入力因子と予測対象の関係が非線形であっても高度な予測が可能であり，日々学習しているため，その関係が変化しても，変化に追従することができるという特徴を持っている。また，通常のニューラルネットワークの構造は複雑であり，予測理由が分からないという欠点があったが，富士電機は，その問題を解決できる構造化ニューラルネットワーク技術を所有している。構造化ニューラルネットワークは学習状態の良否判断が可能であり，予測結果に対し複数ある入力因子の中でどの入力因子の影響度合いが大きかったのかを把握することが可能であり，また，通常のニューラルネットワークよりも予測精度が高いという特徴を有する。**図 5** に構造化ニューラルネットワークのイメージを示す。この技術は予測対象に対する影響度合いが分かるため，影響度合いの小さい入力因子を削除し，入力因子を絞り込むことができる。これらに加えて，予測対象ごとに異なる学習傾向などを適切にチューニングするノウハウを有しており，予測精度の高い最適な予測システムを構築することが可能である。ここでいうチューニングとは，ある期間の入力データを強く学習させたり，特異なデータを学習対象データから自動的に排除したりすることを意味する。

この予測技術は，入力因子と出力間に関係が見られ，過去の実績データが残っていれば，どのようなものであって

図 5　構造化ニューラルネットワークのイメージ



も適用が可能であり，今後は予防保全などの分野への展開も期待できる技術である。

(1)　電力需要予測

電力需要予測は，発電計画立案時に必須の情報であり，発電コストのミニマム化に寄与する。予測対象は，当日や翌日の最大電力を予測するのが一般的であるが，毎正時もしくは30分ごとの電力を予測する場合や，午前中や夕方の点灯時間帯の最大電力，早朝の最低電力を予測することもできる。電力需要は，当日の気象条件との相関関係が大きいことが経験的に知られており，当日の最高気温・最低気温・湿度・天候などの気象情報を入力因子として選択するケースが多い。ただし，予測対象地域により相関関係のある気象情報が若干異なっており，画一的に入力因子を採用しても良い予測結果は得られない。また，ニューラルネットワークの学習についても，至近実績を強く学習させるなどの予測対象地域に合わせたチューニングを実施することが必要になる。富士電機では国内電力会社や製造業への適用実績により，この学習に対するチューニングの豊富なノウハウを有している。

(2)　ダム流入量予測

ダムへの水の流入量予測は，水力発電計画の最適化による発電コストのミニマム化やダム放流量制御による河川の安全に寄与する。予測対象は対象ダムにより異なるが，一般的には短時間先のダム流入量，翌日のダム流入量を予測する。入力因子は，地形，地域の天候特性，入手可能データの違いによりさまざまであるが，流域の降雨予報などの気象データと上流の雨量計データ，流量計データの計測データを入力するのが一般的である。これに地域特性，季節特性（通常期，融雪期など）を考慮してチューニングを実施して予測システムを構築している。**図6**に予測結果の例を示す。

### 3.2　設備保全技術

電力会社の設備投資は設備形成・安定供給中心から，設備維持・経済運用重視に軸足を移行し，電力の供給信頼度を維持しつつ，運用・保守コストを低減させることが望まれている。

以下にIT（Information Technology）を活用した設備保全業務の高度化について紹介する。

(1)　保全作業管理システム

富士電機は保全作業における信頼度を維持しつつ，運用保守の効率化を実現するものとして，**図7**に示すPOJ（Point Of Job）を商品化している。

保全現場ではインターネット技術と携帯情報端末（PDA：Personal Digital Assistance）の応用により，保全結果や作業実績のデータを巡視点検時点で電子データとして収集し，ペーパーレス化と定量的な管理を効率的に実現する。図中の作業プラン管理は，定型的な巡視点検や定期点検などの計画を標準化された作業形態の集合体として作成し，個々の保全作業に合わせた点検チェックシートを自動的に作成する。さらに日々の保全結果の報告承認をワークフロー化（保全業務手続きの自動化）することで，保全作業プロセスの情報管理を行い，短期的な作業進捗（しんちょく）管理から長期的な保全作業のコストダウンと保全品質向上を同時に実現する。

**図6**　ダム流入量予測例

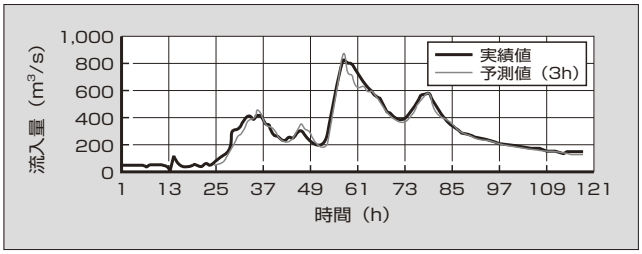
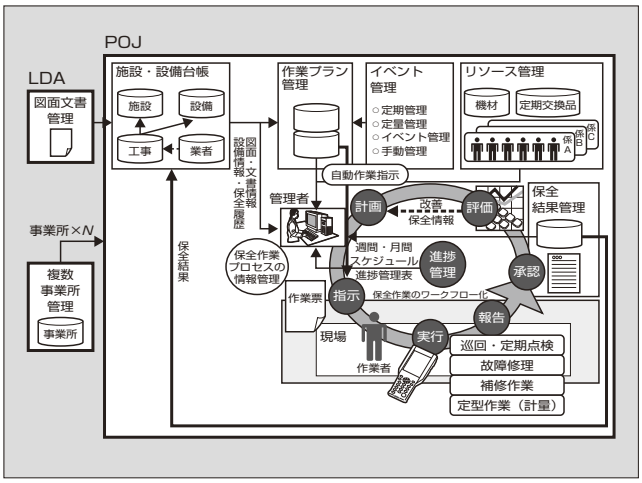



**図7**　設備保全システムの概要




設備管理としては，中核に設備の基本情報からライフサイクル情報，設備履歴などを備える施設・設備台帳を有し，ドキュメント管理データと作業管理の点検結果データを目的の設備にひも付け，保全結果（設備カルテ）に基づく評価，修繕や更新計画を提供する。

今後は現地保全業務にICタグ（RFID：Radio Frequency Identification）を導入し，保全対象設備に取り付けられたICタグと保全システムデータベース（DB）との連携により，現場での即時情報取得と設備状態のモニタリングを可能とすることで，安全性向上，作業省力化，ヒューマンエラー防止など，保全業務のさらなる高度化，作業プロセス改善を実現する。

(2)　設備図面管理システム

設備保全におけるさまざまな保守図面を，中核の設備台帳と相互に連携することによりドキュメントと直結した設備管理を実現している。

機器配置図，平面図，単線結線図などのCAD（Computer Aided Design）の図形位置をズーム表示することでロケーション情報を提供し，設備図形をクリックすると設備台帳を即座にポップアップ表示し，工事，設備，設備評価，作業結果，関連図面文書などの各種データを表示する。また，CAD上へのアラーム表示など監視機能との連携も可能である。これらの機能はLDA（Integrated Live

Drawings Archive System）として商品化している。

(3)　保全評価管理システム

従来の定期点検的保全から設備状態に応じた保全への見直しを支援する目的で，機種・機器ごとの保全コストとリスクの最適バランスを算出（シミュレート）し，保全業務サイクルの評価や見直しの判断材料を提供する機能を紹介する。

各設備の「設備状態（故障の起こりやすさ）」と「故障時，システムに与える影響度，被害の大きさ」からなる二次元グラフで設備ごとに保守の必要度を表現することでリスクを可視化する。また，グラフ上で保全方針を指定することにより指定保全方針の対象となる設備を全設備から抽出し，保全計画見直し結果に対する保守コストや必要となる検討項目を自動的にシミュレートする。

## 4　あとがき

電力系統制御分野に関する富士電機の取組みの概要を紹介した。今後検討が開始される電力完全自由化に向け，これら技術のニーズはますます高まっていくと考える。富士電機ではこれまではぐくんできた技術の維持向上に努めつつ，新たな技術の実用化に取り組み，電力会社などのニーズに応えていく所存である。

### 参考文献

(1)　電力系統制御システム技術検討会報告書．エネルギー総合工学研究所．2004-6.

(2)　電力設備の保守・運用におけるITの活用と将来動向．電気協同研究．vol.58, no.5, 2003.

(3)　飯坂達也ほか．構造化ニューラルネットワークの新しい学習方法と最大電力需要予測への適用．平成14年電気学会電力・エネルギー部門大会．vol.124, no.3, 2002.

(4)　松井哲郎ほか．構造化ニューラルネットワークを適用した支川流量予測の検討．平成15年電気学会全国大会．no.6-015, 2003.

(5)　松井哲郎ほか．想定機能をもつ電力需要想定システムの開発．平成15年電気学会電力・エネルギー部門大会．no.PE-03-62, 2003.

e-Front runners

＊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。