

鉄道の安全・安定輸送に貢献する電力管理システム

Electric Power Management System Contributing to Safe and Stable Railway Transportation

植草 秀明 UEKUSA, Hideaki

山地 智文 YAMACHI, Toshifumi

白倉 善積 SHIRAKURA, Yoshizumi

変電所やき電区分所から電車・駅に電力を供給するために、電力系統を集中管理する電力管理システムには、安定した電力を継続的に供給するという役割に加え、変電所などの系統運用や保守運用を効率化する機能が求められている。

富士電機は、こうした顧客ニーズに対応した電力管理システムを提供することにより、故障復旧機能などを充実させるとともに画面表示の視認性の向上やシステムのコンパクト化を実現し、鉄道の安全・安定輸送に貢献している。

The electric power management system centrally manages the power system to feed power from railway substations and sectioning posts to trains and railroad stations. In addition to stable, continuous power supply, it is required to deliver the functions to improve the efficiency of the operation and maintenance of the power system including railway substations. Fuji Electric offers the electric power management system that meets these needs to enhance functionality such as failure recovery, improve screen visibility, and streamline the system configuration, contributing to safe and stable railway transportation.

1 まえがき

鉄道は公共性が高い交通機関であるため、電車の遅延や運休などによる社会的影響は非常に大きい。このため鉄道向けの変電所やき電区分所などは、安定した電力を継続的に供給しなければならないという重要な役目を担っている。最近ではそれに加え、変電所などの効率的な系統運用や保守運用の必要性が高まっている。電力管理システムはこうした役割を持つ極めて重要なシステムである。

本稿では、このシステムの稼働安定性向上と変電所の復旧処理を効率化するための機能拡充に対応した、鉄道の安全・安定輸送に貢献する電力管理システムについて述べる。

2 電力管理システムの概要と課題

電気鉄道では、一般に変電所が電力会社から電力を受電し、降圧や整流を行い、電車および駅などに電力を供給している。電車線路への電力供給のために、鉄道沿線に変電所やき電区分所などの被制御所が設置され、事故時や保守作業時に電源区分を行う電力系統構成としている。そのため、「鉄道に関する技術上の基準を定める省令（第49条第4項）」で“被監視変電所（自動変電所、被遠隔制御監視変電所及び取扱者が常駐しない移動変電所をいう。）及び開閉所は、監視及び制御することができる機器を備えた監視所を有し、かつ、事故、災害及び故障の発生時に対処することができるものでなければならない。”と記されている。

電気鉄道向け電力管理システムは、この電力指令（司令）業務を集中した箇所（指令所など）で総合的に行うものである。

2.1 従来のシステム構成

本システムは、制御所（指令室、機器室）に設置された卓処理装置、中央処理装置、遠制親局装置と、被制御所（変電所、き電区分所など）に設置された遠制子局装置から成る。図1にIP（Internet Protocol）ネットワークを使用したシステム構成例を示す。

遠制子局装置は変電所などの機器や運転状況の情報を収集し、遠制回線を経てこれを遠制親局装置に送信する。中央処理装置および卓処理装置の計算機は、相互に連携してこれらの情報を処理、記録したのち、操作卓に表示する。

指令室のオペレーターは、表示された情報を基に、電力系統を監視し、必要に応じて操作卓を用いて変電所に対する運転や機器の開閉制御などの指令を出す。遠制回線を通じて遠制子局装置に伝えられたこれらの指令に基づき、変電所機器が作動する。

遠制回線は、メタル回線によるHDLC（High-Level Data Link Control）手順通信などが主流であったが、IPネットワークの普及に伴い、TCP/IP通信とPMCN通信^{（注1）}も利用できるようになっている。

冗長性を持たせるために複数の中央処理装置で構成する場合は、主系・従系・待機（停止）としてそれぞれ運用し、主系装置に異常が発生した時は、従系装置を主系に自動で切替え、運用を継続する。

＜注1＞PMCN：Protocol for Mission Critical industrial Network useの略であり、一般社団法人日本電機工業会（JEMA）規格（2005年10月制定）の産業用ミッションクリティカルネットワークプロトコルである。

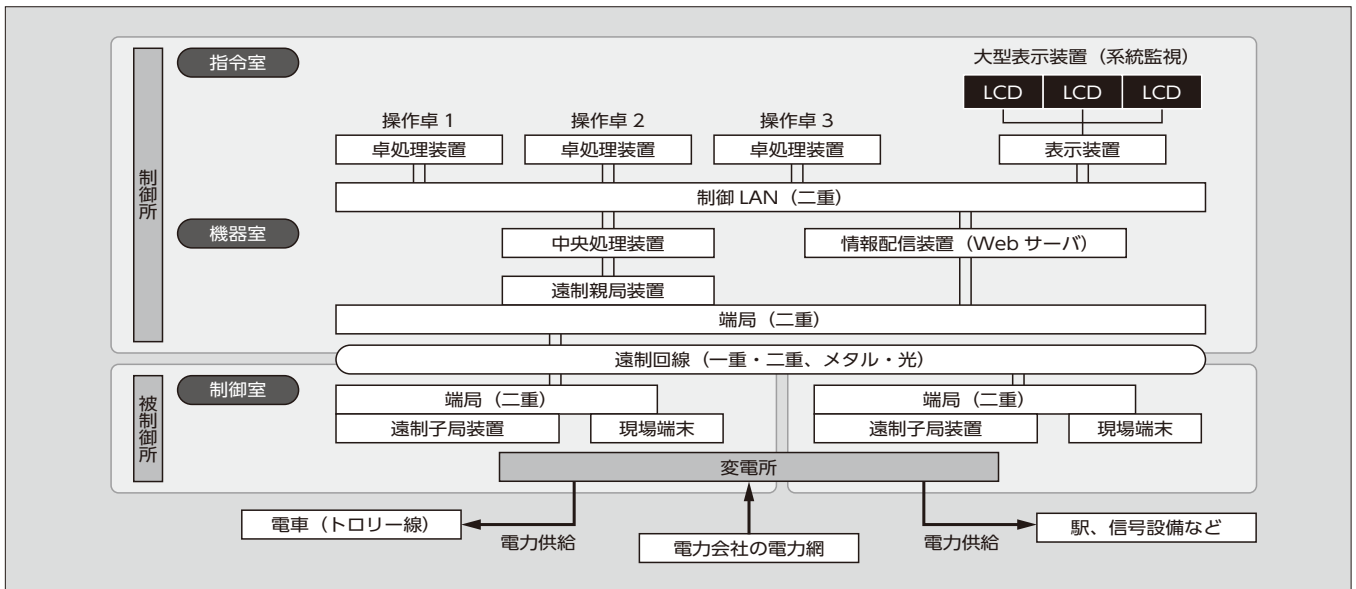


図 1 IP ネットワークを使用したシステム構成例

2.2 従来システムの機能概要

電力管理システムは、必須の基本機能と、顧客要望に応じて選択できる拡張機能で構成されている。

(1) 基本機能

(a) 系統監視機能

- ① 操作卓の系統画面（電力系統を図示した画面）上に、変電所の運用状況・計測情報を表示する。
- ② 故障発生時は、警報を鳴動し、該当変電所の系統画面などの情報を操作卓に自動表示する。
- ③ 変電所の電力量を 30 分スケールでグラフ表示する（デマンド監視）。実績値が警戒値または、契約値を超えた時はデマンド警報を鳴動する。
- ④ 系統画面に付箋（ふせん）式メモを表示する。交代勤務のオペレーター間での監視業務引継などに活用できる。

(b) 系統制御機能

- ① 操作卓上の系統画面を操作することで、変電所機器の入り、切り、モード切替を行い、電力を制御する。
- ② 通常運転では、あらかじめ設定（登録）した機器の開閉パターンを実現する自動運転が可能である。
- ③ 変電所や路線に緊急事態が発生した際は、操作卓から変電所に非常停止指令・き電停止指令を出力する。

(c) 記録機能

- ① 変電所機器の状態変化や故障の有無、操作情報、自動制御動作状況などを記録・保存する。
- ② 各変電所の電力量、電圧、電流を収集し、日報、月報、年報などの帳票としてこれらデータを管理、保存する。
- ③ 計測データは、操作卓上にトレンドグラフとして表示されるだけでなく、このグラフデータを取り出して活用できる。

(d) システム管理機能

- ① 電力管理システムの構成装置の状態を定期的にチェックし、故障などの異常検出時にはオペレーターに報知する。
- ② 中央処理装置に異常が発生した場合は、主系・従系切替を自動で行う。

(2) 拡張機能

拡張機能は、故障時対応の自動化や、保守管理の効率化など、顧客要望に応じて選択できる機能である。要望に応じて設備追加や、卓処理装置と中央処理装置のプログラム変更を行い、機能拡張を図る。

(a) 大画面表示機能

電力系統全体の情報を指令室の大型表示装置に表示し、情報の見える化、共有化を図る。

(b) 連絡遮断バックアップ制御機能

直流き電線の事故などの発生時には、変電所内に設置された保護リレーおよび連絡遮断装置が瞬時に作動し、事故発生と同一き電区間のき電を停止する。これに加えて、連絡遮断装置の故障に備え、中央処理装置が同一き電遮断器に開放指令を出力し、より確実にき電を停止する。

(c) 故障復旧機能

変電所で発生した保護リレー動作や遮断器トリップなどの状態変化の情報から故障判定を行い、故障に応じた復旧処理として、次に示す自動制御を中央処理装置で行う。

- 受電系統切替制御（2 回線受電の変電所）
- 高配自動切替制御
- き電再開路制御
- 整流器再開路制御
- 整流器振替制御

(d) 情報配信機能

電力系統情報などを、ネットワークに接続された変電

所や保守部門の現場端末に配信し、表示する。

(e) 作業計画・管理・制御機能

受電・高配系統の系統切替や、保守などの作業スケジュールを計画する際、作業が停電を伴う場合は、手順（制御内容）をあらかじめ登録しておくことで、その内容に沿った機器の自動制御を行うことができる。操作ミスによる停電や事故を回避できる。

また、保守作業員が現場から電話機のプッシュボタンを操作することで、現場到着、作業開始・終了などの作業進捗状況を操作卓上に表示できる。作業の進捗状況を現場と指令室が共有し、操作タイミングのミスによる作業員の事故の防止に有効である。

(f) シミュレーション機能

実際に事故が起きた際の対応や復旧操作の記録を基に、運転員の異常対応訓練のシナリオが作成できる。また、システムの操作訓練や計画制御の事前確認を目的としたシミュレーションを行うことができる。

2.3 従来システムの課題

(1) ソフトウェア管理と更新作業の簡易化

従来のシステムは、卓処理装置と中央処理装置の関係がクライアント・サーバ形式であり、それぞれに監視制御システムパッケージ群^{（注2）}および電力管理機能ソフトウェア^{（注3）}が分散配置されている。安定したシステムを構築できる一方で、両者の機能分担が不明確なため、機能アップを目的としたシステム改造の際は、クライアントとサーバの双方への対応が必要である。こうした作業に時間を要するだけでなく、ソフトウェアの管理や更新作業が煩雑であるという課題があった。

(2) データ表示と管理レベルの高度化

近年、画像、動画、音声情報などを組み合わせたデータ表示へのニーズが高まっている。このため、系統状態や異常の有無などを視聴覚的に正確に把握できるような、データ表示の高度化への対応が求められている。

また、OA化の普及に伴い、帳票（変電所の稼働情報）を電子化して長期保管し、必要に応じて電子化された帳票を印刷、参照するといった運用のニーズが高まっており、データをExcel^{（注4）}などの汎用ソフトウェアと連携させるなど、データ管理レベルの高度化が求められている。

(3) システムのコンパクト化

従来のシステムは、現場の電力系統情報を配信するための情報配信装置や、緊急時に警報を発するための警報装置が必要であった。一方で、顧客ニーズが多様化し、シンプルなシステムやリモート対応が求められるようになった。

こうした背景から、付帯設備を含めたシステム全体のコンパクト化が求められている。

3 新システムの特徴

(1) ソフトウェア管理と更新作業の簡易化

新システムの電力管理機能ソフトウェアは、モデル・ビュー・コントローラ（MVC）モデルを適用している。MVCモデルは、ソフトウェアをモデル、ビューおよびコントローラに役割を分けて開発するもので、機能分担が明確なため、ソフトウェアの新規開発やカスタマイズが容易であるという特徴がある。図2に従来と新システムのソフトウェアモデルを示す。

このMVCモデルを採用した新システムでは、機能アップを目的としたシステム改造は、アプリケーションサーバだけで行われる。このため、クライアントのソフトウェアの管理を行う必要がなくなり、更新作業も容易となった。

(2) データ表示と管理レベルの高度化

新システムのソフトウェアは、どのOSでも使用できるようにJavaプラットフォームに改めた。また、データをデータベース（DB）に集約して管理し、分散配置したDBをレプリケーションにより同期させ、データの操作性を向上した。

図3に従来方式と新方式のソフトウェア構成を示す。

新システムは、Windows環境でもLinux環境でも動作可能である。信頼性重視のサーバはLinux、オペレーターへの表示や操作などを重視する操作卓はWindowsといっ

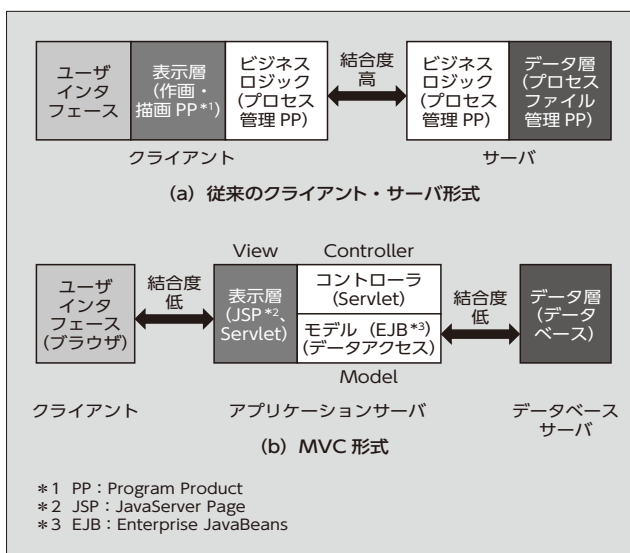


図2 従来と新システムのソフトウェアモデル

〈注2〉監視制御システムパッケージ群：富士電機製、PFILE・FSINET・ROSE・fensterを指す。

〈注3〉電力管理機能ソフトウェア：電力管理システムの各機能を実現するアプリケーションソフトウェアである。

〈注4〉Excel：Microsoft Corporationの商標または登録商標

〈注5〉Java：Oracle Corporation およびその子会社、関連会社の米国およびその他の国における商標または登録商標

〈注6〉Windows：Microsoft Corporationの商標または登録商標

〈注7〉Linux：Linus Torvalds氏の日本およびその他の国における商標または登録商標

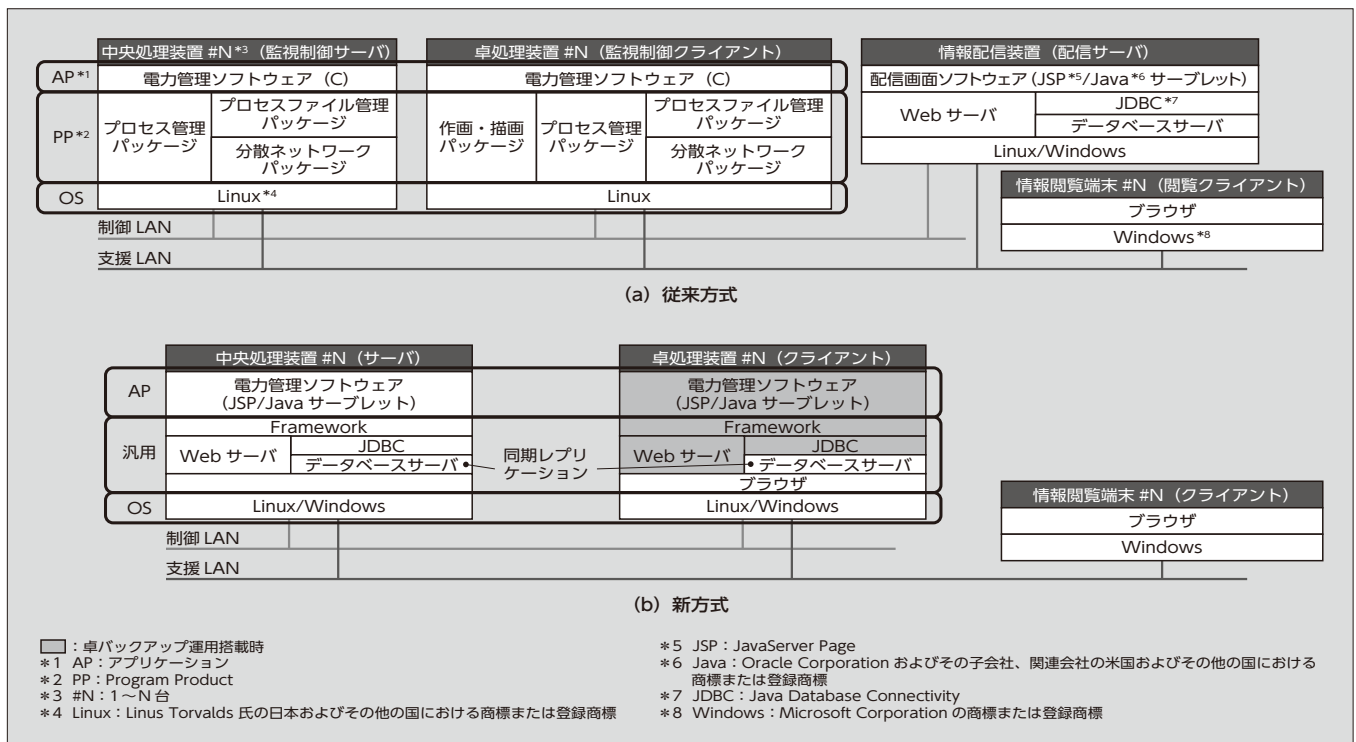


図3 従来方式と新方式のソフトウェア構成

た組合せも可能となった。

操作卓で表示する画面 (Web 画面) では、部品単位に情報が更新され、リアルタイム (1~2 秒ごと) の表示を行う。また、異常状態を色替えやフリッカ表示で示すだけでなく、アニメーション表示や変電所の故障箇所のカメラ映像をポップアップで系統画面に映し出すことも可能である。系統画面の背景色、シンボルのサイズや色などの制限がなくなり、視認性が向上した。

日報、週報、月報といった帳票は、PDF ファイルとしたことでプレビュー表示が可能となり、また Excel との連携によりデータ活用の汎用性が広がった。

(3) システムのコンパクト化

新システムは、Web サービスによる中央集中管理としたことで、系統状況などを配信する専用の情報配信装置が不要となった。配信画面は、権限による閲覧制限が可能であり、情報セキュリティにも配慮がされている。

卓処理装置と中央処理装置を 1 台のハードウェアで構築することもできる。また、警報音に WAV ファイルが利用できるため、警報装置の外付けが不要となった。このようにシステム全体のコンパクト化が進んでいる。

富士電機は、こうした新システムの特徴を基本とし、さらに個々の電力管理システムの要求に即した機能を具現化している。4章では、これらの電力管理システムの導入事例として、東武鉄道株式会社の“東武東上線”“東武越生線”、および横浜高速鉄道株式会社の“みなとみらい線”の電力管理システムについて述べる。

4 電力管理システムの導入事例と特徴

4.1 東武鉄道東上線電力管理システム⁽¹⁾

東上線電力管理システムは、東武東上線池袋駅から寄居駅間および東武越生線坂戸駅から越生駅間において 15 か所の変電所と 2 か所のき電区分所の計 17 か所の遠方集中監視制御を行っている。

図 4 に東上線電気指令室の外観を、図 5 に東上線電力管理システムの構成を示す。

このシステムは、2.2 節で述べた基本機能および拡張機能を備えているとともに、次の特徴を持っている。

(1) 異常事態対策の強化、システム強度の向上

操作卓は 3 台構成とした。また、メイン計算機 (制御サーバ) も 3 台構成とし、2 台の制御サーバに加え、東武



図4 東上線電気指令室

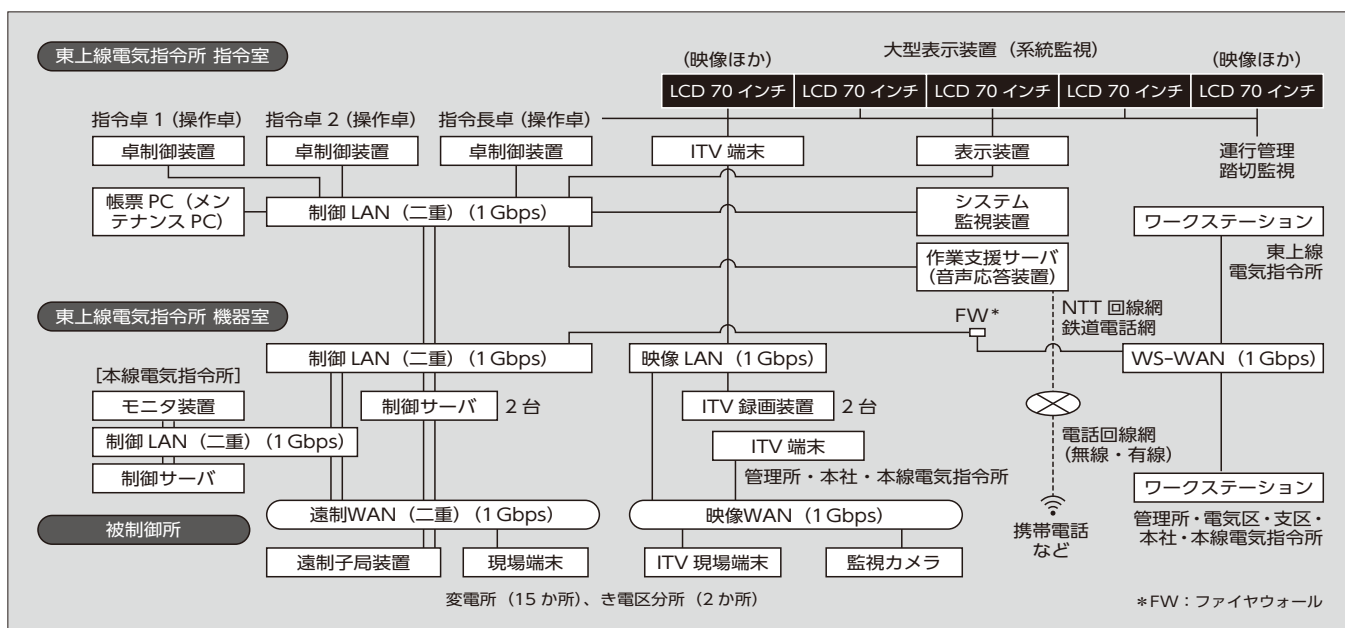


図5 東上線電力管理システムの構成

東上線・東武越生線沿線外に制御サーバ1台とモニタ装置を配置した。制御サーバは、それぞれが主系・従系・待機（停止）のいずれの役割も担えるようにすることで、東上線電気指令所が災害などに機能しない場合でも、東上線変電所の運転状況などの監視を行えるようにしている。

(2) 高速伝送と信頼性の向上

遠制御線は1ループ二重化構成の光回線であり、TCP/IP通信方式とすることで遠方監視制御装置親局（TCM：Telemeter Control Master）を削減した。リング状に接続した伝送端末装置は異常時のループバック機能（迂回機能）を備えるため、単なる回線の二重化以上の高信頼な遠制御回線としている。

(3) 映像モニタリング

変電所内外の状況をカメラ映像により、東上線電気指令所指令室および保守部門の端末でモニタできる。映像は常に録画しており、1週間前まで遡（さかのぼ）り確認できる。東上線電気指令所指令室では映像を大型表示装置に表

示可能で、火災や部外者侵入を検知した際は、自動で当該変電所の映像を表示する。カメラの旋回やズーム操作および指令卓のマイクから注意喚起放送を行うことも可能である。

(4) 事故電流波形表示

き電電流事故発生時の電流波形データを、被制御所のき電線故障選択装置から収集して操作卓に表示を可能としている。

4.2 横浜高速鉄道みなとみらい線電力管理システム

横浜高速鉄道みなとみらい線の電力管理システムは、横浜駅から元町・中華街駅間の変電所2か所、開閉所1か所、配電所6か所の監視制御を行っている。横浜高速鉄道みなとみらい線電力管理システムの構成を図6に示す。システムは、2.2節で述べた基本機能、故障復旧機能、情報配信機能およびシミュレーション機能を備えている。また、次に示す特徴を持っている。

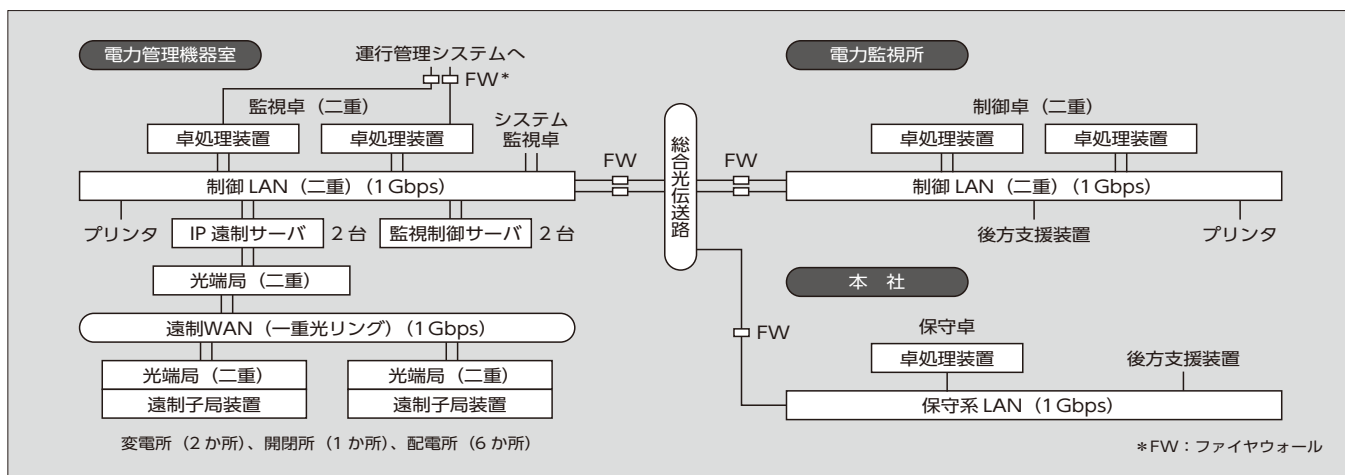


図6 横浜高速鉄道みなとみらい線電力管理システムの構成

(1) 設備冗長化による障害時運用継続性の確保

電力監視所に設置する制御卓は、同一構成の機器を2台設置し、1台故障時には他方の制御卓で運用継続を可能とする。また、電力監視所以外にも電力管理機器室に監視卓2台と本社に保守卓1台を設置している。

(2) 受電停電時の非常配電機能

2か所ある変電所において受電停電が発生したときに備えて、発電機設備を持っている。電力管理システムは、発電機設備の制御、および配下の配電所への負荷制限を行う非常配電機能を備えており、停電状況に応じて自動で配電所に負荷制限を行い、発電設備からの配電を制御する。

(3) 配電状況の認識性の向上

電力管理システムでは、運行管理システムからの列車走行位置情報を受信して、全体系統図の中に列車位置を重ねて表示している。全体系統図の画面例を図7に示す。

(4) 遠制子局装置と切替盤の省スペース化

遠制子局装置を設置する機器室のスペース上の制約から、遠制子局装置は、新旧システム切替に必要な切替盤に積み

上げて設置する構造とした。その外形を図8に示す。切替盤を先に現地に設置すると、現地作業を前倒して進めることができる。また、切替盤は次のシステム切替作業での活用も可能なように、遠制子局装置と分離している構造とした。

5 あとがき

鉄道の安全・安定輸送に貢献する電力管理システムについて述べた。

これからの電力管理システムは、効率的な運用に加え、点検業務の省力化、帳票管理の電子化をはじめとする管理レベルの高機能化、変電所機器の故障の兆候検知、重要インフラのセキュリティ対策などの機能拡張が必要である。

富士電機は、多変量解析技術を用いた劣化診断機能の開発、国土交通省のガイドライン⁽²⁾に準拠したセキュリティ対策を進めて、鉄道の安全・安定輸送に貢献していく所存である。

最後に、更新システムの納入に当たり、ご指導いただいた関係各位に心から謝意を表する。

参考文献

- (1) 小熊恒大. “東上線電力管理システム更新工事について”. 鉄道と電気技術. 2021, vol.32, no.8, p.39-43.
- (2) 鉄道分野における情報セキュリティ確保に係る安全ガイドライン第4版. 国土交通省. 2019.

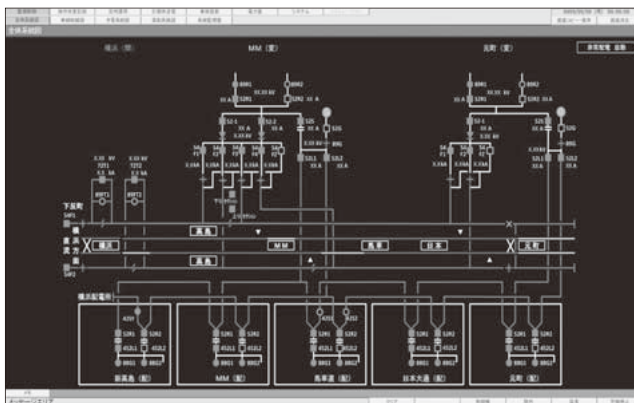


図7 全体系統図の画面例

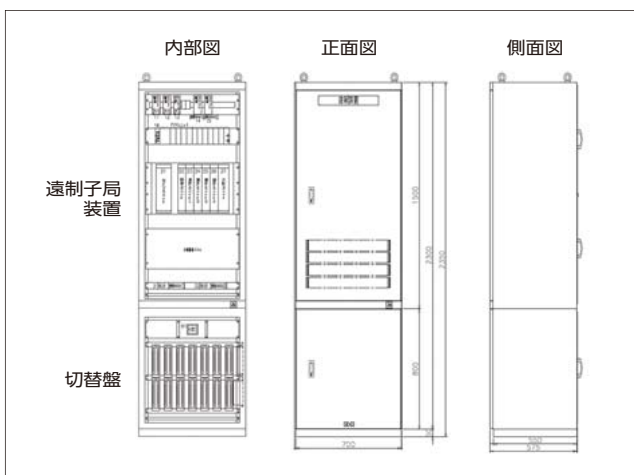


図8 遠制子局装置と切替盤（外形図）



植草 秀明

電気鉄道情報制御システムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ エネルギー事業本部変電システム事業部交通技術第一部グループマネージャー。



山地 智文

電気鉄道情報制御システムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ エネルギー事業本部変電システム事業部交通技術第一部主任。



白倉 善積

電気鉄道情報制御システムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ エネルギー事業本部変電システム事業部交通技術第一部主任。



*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。