

電鉄変電所電力管理システムの現状と将来展望

小林泰貴*
井上敬介*
米谷研二*

Present Condition and Future Outlook of Centralized Substation Control System for Railway

Yasuki Kobayashi, Keisuke Inoue, Kenji Yonetani

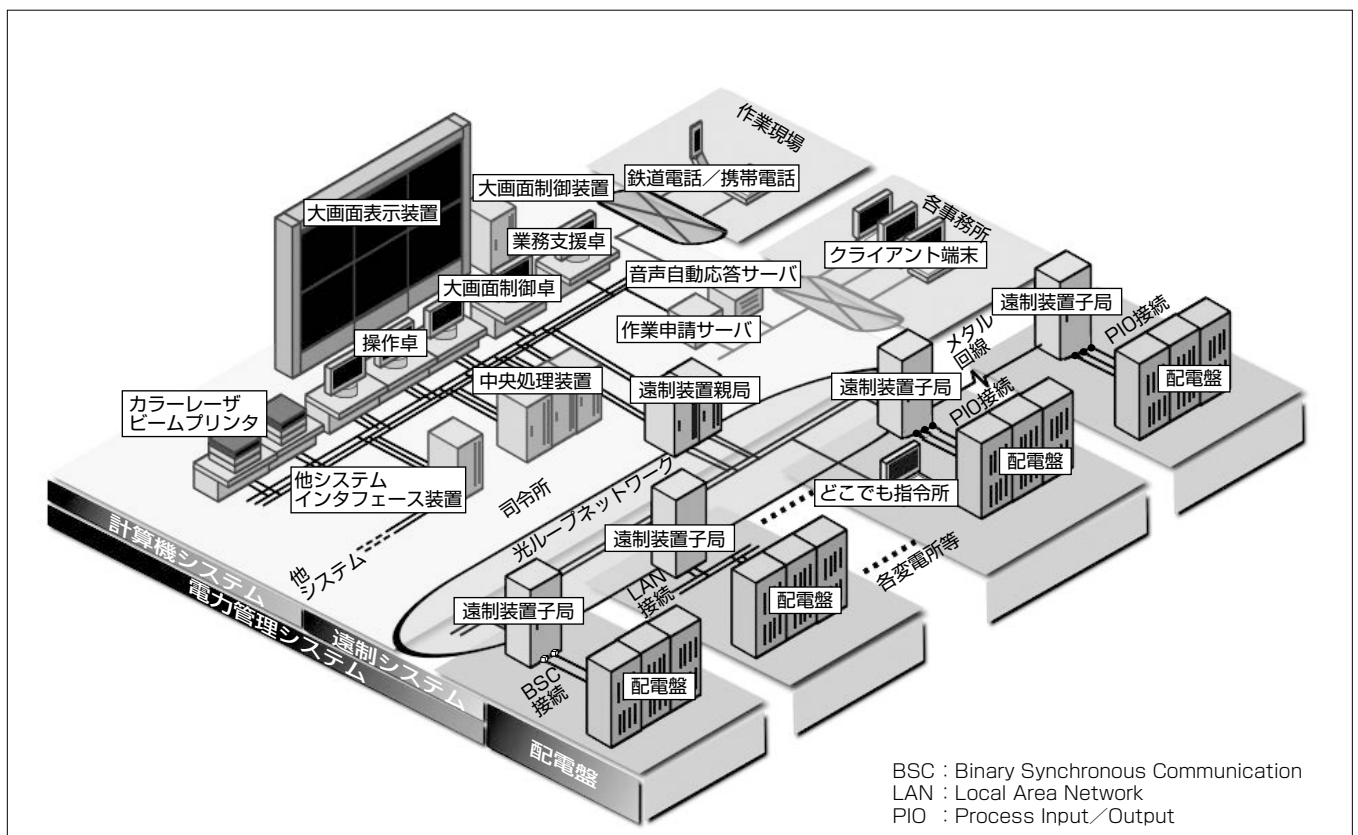
要 旨

電鉄変電所電力管理システム(以下“電力管理システム”という。)は、き電系統への電力供給状況や変電所等の電力供給設備を集中監視制御するシステムであり、列車の安定・安全運行と大量輸送を支える上で、電力の安定供給という重要な責務を果たしている。き電系統の状態監視と遠隔制御が基本的な役割であるが、通勤ラッシュ時の電力需要に合わせて整流器の運転・停止を自動的に行うスケジュール制御機能や、き電系統の故障が発生した場合に復旧制御を自動的に行う故障処理機能等、指令員の監視制御業務をサポートする機能を具備している。

このほかに、夜間停電作業における指令業務負荷を軽減する夜間作業申請機能や、現場作業者と指令員間の作業進捗連絡を自動化する電話自動応答機能等、様々な応用機能

を適用したシステムを数多く納入してきた。また、計算機システム多重化や光ループ伝送路の無瞬断切換え、大規模災害時におけるバックアップ端末の開発等、高信頼化技術も積極的に導入している。さらに最新技術として、メタル回線でもIP(Internet Protocol)化による長距離・高速・大容量伝送可能な自社製メタルIPモデムの採用やシステムのコンパクト化を実現する仮想化技術、ユーザー側でシステム変更できるユーザーメンテナンス機能の開発も行っている。

本稿では、電力管理システムの標準的な構成、従来の基本機能や指令業務効率化を目的とした応用機能の適用事例を述べるとともに、最新技術を駆使したシステムの将来展望について述べる。



電力管理システムの構成

電力管理システムは、計算機システムと遠方監視制御(遠制)システムで構成しており、各変電所等の電力供給設備を指令所で集中監視制御する。計算機システムは、中央処理装置、操作卓等で構成し、電力系統の状態監視と遠隔制御を行う。遠制システムは、指令所の親局と各変電所等の子局で構成し、指令所~各変電所間の電力系統情報の受渡しを行う。

1. ま え が き

電力管理システムは、路線全体のき電システムを指令所で集中監視制御するために設けられたシステムである。列車や信号設備、駅設備等への電力安定供給を行う上で、安全性、信頼性は必須であり、三菱電機ではシステム多重化や伝送路の無瞬断切換え、自動制御等の技術を適用して鉄道事業者の安全安定輸送に貢献してきた。また近年では、“指令業務負荷の軽減”“システム全体のコンパクト化”“ローコスト化”を目的とした最新の計算機技術や伝送技術を駆使し、更なるシステム高度化を実現している。

本稿では、現状の電力管理システムの標準的な構成や機能を述べるとともに、将来に向けたシステム高度化に対する当社の取組みについて述べる。

2. 電力管理システムの特徴と主要装置

電力管理システムは、一般的に計算機システムと遠方監視制御(遠制)システムで構成される。指令所のイメージを図1に示す。

計算機システムは、システムの頭脳としての役割を持つ中央処理装置や、指令員のユーザーインタフェース機能を担う操作卓等で構成される。き電システムの状態監視と電力設備の遠隔制御という基本機能をベースに、通勤ラッシュ時の電力需要に合わせて整流器の複数台運転・停止を行う機能や、き電システムの故障が発生した場合に復旧制御を自動的に行う機能等、指令員の監視制御業務をサポートする機能を数多く設けている。

遠制システムは、指令所の中央処理装置と各変電所の配電盤との間に位置し、遠制装置親局と各変電所の遠制装置子局から構成される。各変電所の状態や計算機システムからの制御を、鉄道事業者の所持する専用伝送路を介してリアルタイムかつ信頼性の高い通信で受渡しすることが主な役割である。

計算機システム、遠制システムともに列車の安定運行を支える重要なシステムであることから、高信頼性の自社製専用装置で構成し、特に重要な装置は冗長系を設けている。

電力管理システムの主要装置を表1に示す。

3. 電力管理システムの機能

3.1 基本機能

電力管理システムの基本機能を表2に示す。

3.2 支援機能

指令業務の高信頼化・効率化を目的に基本機能を応用した主な機能について次に述べる。

(1) 計画停送電機能

変電設備やトロッコ線等の保守作業計画を基に指令員が承認した機器制御手順を事前に登録し、作業区間の停送電制御を自動で行う。停電制御時には運行管理システムから終



図1. 電力管理システムの指令所

表1. 主要装置

装置名称	説明
中央処理装置	システムの中核装置であり、主要なシステム機能を実行する。2重系、又は3重系で構成する。
操作卓	システムのユーザーインタフェースをつかさどる装置であり、指令員の運用形態に合わせて、2画面や3画面を連動させて構成する。
大画面表示装置	広範囲に渡る路線全体のき電システムの状態を視覚的に把握するだけでなく、変電所のカメラ映像、気象情報等目的に応じて表示内容を切替できる。
遠制装置親局／子局	各変電所の配電盤及び中央処理装置との通信を行い、表示情報や制御情報の受渡しを行う。伝送路は、物理的又は論理的に多重化して信頼性の高い通信を実現する。
作業申請サーバ	オンラインで停電作業申請を受け付け、作業当日の停電区間等を中央処理装置に通知する。現場作業者が直接、作業申請を入力できる。
音声自動応答サーバ	指令員になりかわり停電作業当日の作業状況や停電状況の確認を音声ガイダンスと電話機トーン入力で自動化するための装置である。
他システムインタフェース装置	運行管理システム等の他システムと情報受渡しを行うことで、指令業務の効率化や確実化を行う。

表2. 基本機能

機能名称	説明
系統監視／制御機能	操作卓や大画面表示装置に系統図を表示し、停送電状況、変電所機器状態や故障状態を表示する。状態変化時には、警報鳴動や状態変化機器シンボルのフリッカ表示で告知する。系統図等からは機器の個別／複数操作や制御ロック等の設定操作が可能である。
記録統計機能	変電機器の操作や故障情報を記録し、時系列表示する。時刻や機器種別等の条件で絞り込んだ表示も可能である。
電力量管理機能	各変電所電力量を定期的に取得・集計し、日報や月報として表示する。デマンド監視機能も備えており、使用電力量が契約電力等を超過することが予測される場合は、警報鳴動等によって告知する。
スケジュール制御機能	あらかじめ変電所機器運転スケジュールを設定し、指定した時刻に整流器やき電遮断器等を自動で制御する。平日、休日、臨時など運行ダイヤに合わせた設定が可能である。
故障処理機能	故障発生時に変電所から取得した情報を基に故障種別を自動判定し、自動事故復旧制御(き電再開路制御等)や確認事項・復旧手順等のガイダンス表示を行い、復旧作業を支援する。
機器制御手順作成／実行機能	一連の変電機器制御手順を事前に登録し、指令員が任意のタイミングで登録した手順を実行する。制御手順は専用画面(系統図等)で機器の入／切を選択して登録する。

電情報を取得し、制御可否を自動判断させることもできる。この機能は後述の夜間作業申請機能、電話自動応答機能と連携し、指令員の作業を効率化する。

(2) 夜間作業申請機能

保守拠点等のクライアント端末から夜間作業を申請し、

指令所の作業申請サーバで一元管理する機能である。申請の流れを図2に示す。申請情報(作業指揮者、作業目的、作業区間等)を作業申請サーバに送信し、他の申請との競合等が自動判定され、指令員が承認すると指令所側の停送電状況を示す専用画面に情報が反映され、作業区間を明確に表示する。作業申込みが多数輻輳(ふくそう)するに従い高くなる指令員の業務負荷が著しく軽減される。

(3) 電話自動応答機能

夜間作業時、現場作業員の確認連絡の応答を、指令員になりかわり音声アナウンスによって自動化する機能である。現場からの電話報告時(作業進捗状況等)に社員番号、パスワード等を電話機からキー入力して現場作業者を認証する。その後、作業進捗状況に応じて再生される音声アナウンスを基に作業を行い、システム上の作業進捗状況画面を自動更新する(図2)。

(4) 変電所保守業務支援機能

変電所の保全系データ(電力量日報、月報、年報、直流総合電流値、機器動作回数、風速等)を取得して業務支援サーバに保存し、指令所及び現場側クライアント端末で閲覧可能とする。帳票やグラフ表示によって、指令員及び現場作業者が行う保守点検業務等、各種業務を支援する。

(5) 変電所シミュレーション機能

変電所機器改造時等の改修後の動作確認試験や指令員の操作訓練に活用する。各変電所機器の動作を模擬する変電所シミュレータ端末を接続することで、変電所の操作連動・保護連動等の挙動を模擬した機器操作の訓練ができる。また、あらかじめ機器動作・復旧手順を登録することで事故発生を模擬した訓練も可能である。

(6) 他システムとの連携機能

同一鉄道事業者でも管理区ごとにシステムが異なる場合や、他事業者から乗り入れがある場合、隣接する他区の変電所情報を取得して停送電状態を監視する。さらに、停電情報や列車在線情報等を運行管理システムと授受し、系統事故発生時の列車影響確認や停電区間への列車侵入抑止などシステム間連携を図り、健全な運行を支援する。

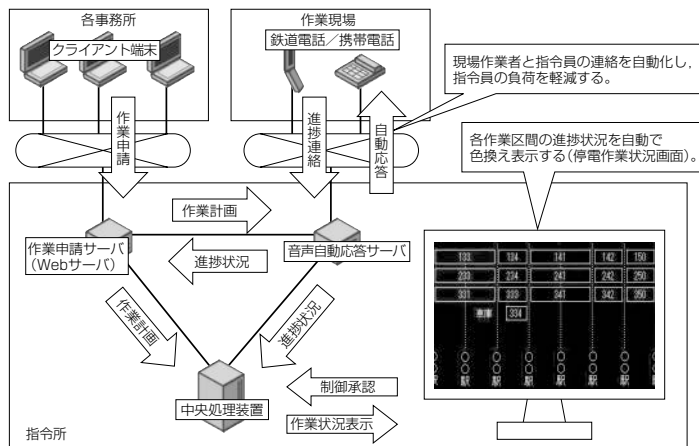


図2. 夜間作業申請機能と電話自動応答機能の流れ

4. 当社システムの特長

4.1 計算機システムの特長

従来は、計算機にはUNIX^(注1)搭載の汎用EWS(Engineering Work Station)を、大画面装置にはモザイクパネル等を適用していたが、近年はFAパソコンや大画面ディスプレイを導入し、性能・機能向上及び長期保守・長期安定稼働を実現している。次に当社計算機システムの特長を述べる。

(1) 自社製監視制御インフラによる保守性向上

計算機ハードウェアには自社製監視制御用パソコン“PEACE-Hシリーズ”を適用、ソフトウェアはオープンソースLinux^(注2)をベースに監視制御向けに独自に最適化したオペレーティングシステム(OS)とミドルウェアによって構築しており、システムの高信頼化、高機能化とともに保守性を向上させた。

(2) 大画面装置の高精細・長寿命化

複雑な系統図等を広範囲に表示する大画面装置は光源にLEDを採用したDLP^(注3)(Digital Light Processing)方式から大型液晶モニタまで規模や目的に応じラインアップの充実化を図った。特にLED-DLP方式の適用によって複数画面間の色調や輝度均一化によって高精細かつディスプレイ間を一層シームレスに表示可能とするとともに、従来のランプ方式に比べ6倍以上の長寿命化によって保守費の低減を実現した。

(注1) UNIXは、The Open Groupの登録商標である。

(注2) Linuxは、Linus Torvalds氏の登録商標である。

(注3) DLPは、Texas Instruments Corp.の登録商標である。

4.2 遠制システムの特長

従来の遠制システムは、CDT(Cyclic Data Transfer)やHDLC(High-level Data Link Control)方式等の伝送方式が適用されてきたが、最近ではリアルタイム性、汎用性の高いIP方式を適用した遠制システムが主流である。次に当社遠制システムの特長を述べる。

(1) 高信頼性

遠制装置親局と子局間は、物理的又は論理的にLANを多重化しており、冗長化を図っている。光ループ伝送路の場合は光伝送装置“MELNET-RPシリーズ”を適用し、RPR(Resilient Packet Ring)技術によってループ分断時に切換え時間50ms以内で高速迂回(うかい)できる。また、電源部、処理部には社会インフラシステム向け遠方監視制御装置“MELFLEXシリーズ”を採用して構成ユニットを全てファンレス・ディスクレスとする等、高信頼化を図っている。

(2) 汎用性

最近では、光通信による高速・大容量伝送が普及しているが、光ファイバの敷設は高コストであるため、既存のメタル回線を使用する鉄道事業者も多い。メタル回線でもIP方式を適用するために、マルチドロップ接続が可能な高速IP伝送モデム“MLCNETシリーズ”(図3)や、国内メーカ



図 3. MLCNET-G100

表 3. 当社メタルIPモデムの仕様

項目	MLCNET-G200	MLCNET-G100	音声帯域IPモデム
通信形態	1:1又は1:N(マルチドロップ, スター型)	1:1又は1:N(マルチドロップ, スター型)	1:1
通信方式	適用変調型OFDM ^(注4)	適用変調型OFDM	変調方式:ITU-T ^(注7) V.32bis 圧縮方式:ITU-T V.42bis
物理速度	最大50Mbps	最大8Mbps	最大14.4kbps
伝送距離	最大2.5km	最大10km	最大20km
LANインタフェース	10/100BASE-TX(全二重/半二重)×4ポート	10/100BASE-TX(全二重/半二重)×4ポート	10/100BASE-TX(全二重/半二重)×2ポート
電源電圧	DC48V, DC100V, AC100V	DC48V, DC100V, AC100V	DC5V(MELFLEXシリーズのカードタイプであるため、専用シャーシから入力)
環境仕様	温度: -10~60℃ 湿度: 30~90%	温度: -10~60℃ 湿度: 30~90%	温度: -10~55℃ 湿度: 30~90%
その他	VLAN ^(注5) , SNMP ^(注6) をサポート	VLAN, SNMPをサポート	VLAN, SNMP, ソフトウェア圧縮機能, フィルタリング機能をサポート

(注4) OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing): 直交波周波数分割多重
 (注5) VLAN(Virtual LAN): 仮想LAN
 (注6) SNMP(Simple Network Management Protocol): ネットワーク管理プロトコル
 (注7) ITU-T(International Telecommunications Union-Telecommunication standardization sector): 国際電気通信連合-電気通信標準化部門

一では唯一の音声帯域で長距離IP伝送が可能な音声帯域IPモデムといった自社製メタルIPモデムの開発によって、光・メタル・搬送を問わず最適なIPネットワーク構成を可能とした。表3に当社メタルIPモデムの仕様を示す。

4.3 どこでも指令所

“どこでも指令所”は大規模災害等による指令所計算機ダウン時や光ループ回線分断時等、指令所から変電所監視制御が不可能な場合に備えた、バックアップ監視制御システムである。

“どこでも指令所”は、3.1節で述べた基本機能と同等の機能を搭載し、指令所が正常に監視制御可能な場合は変電所のモニタリング端末として、指令所が監視制御不可能な場合は変電所の監視制御端末として使用できる。また、ハードウェアはノート型パソコンであるため可搬性に優れ、伝送路に接続できる場所であれば、指令所・変電所を問わず、その名の通り“どこでも”使用できる。

5. 将来展望

電力管理システムは、ほとんどの鉄道事業者に導入され、基本機能自体は成熟領域にあるものの、鉄道の社会インフラとしての重要性は更に高まっており、“災害等に強いシステムの実現”“指令業務の更なる技術向上”“システム全体のコンパクト化”“ランニングコスト低減”を目的としたユーザーニーズは今後も高まると考える。これらニーズの実現に向け導入している主な新技術を次に述べる。

5.1 仮想化技術

仮想化技術とは1つのハードウェア上に複数の仮想ハードウェア動作環境を提供するとともに、従来のOSやアプ

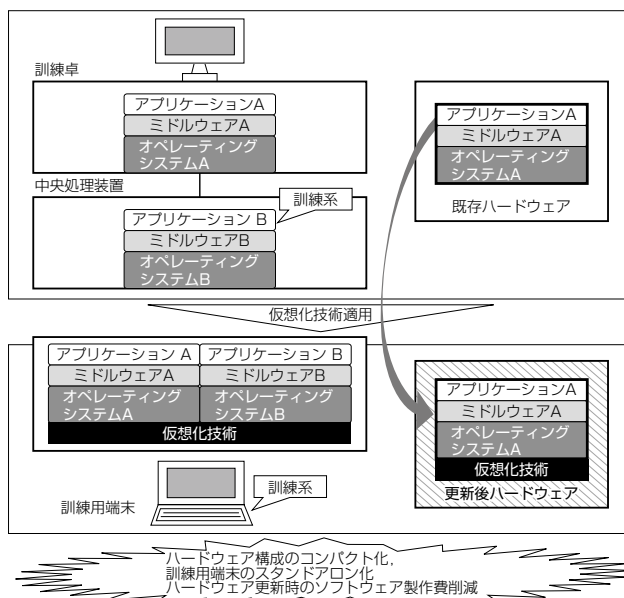


図 4. 仮想化技術適用イメージ

リケーションを最新のハードウェアやOS上で動作できる環境を提供する技術である。当社の仮想化技術は汎用技術をベースに独自にカスタマイズして監視制御システムに最適な動作環境を提供する。

電力管理システムでは、仮想化技術の適用によって、例えば図4のように操作卓と中央処理装置を一台のハードウェア上に構築することで、システムのコンパクト化を図り、設置スペース削減やシステム全体の消費電力削減を実現する。これをノートパソコン等のスタンドアロン環境で構築することで、現状は運用システムで実施しているシミュレータによる訓練を、運用制約や時間に拘束されことなく実施可能な環境を提供し、効率的な運用技術向上に役立てることができる。この環境は運用システムと同一機能を搭載しているので、万一の被災時に早期復旧用システムとしても活用可能であり、災害に強い指令システムを実現できる。

5.2 データベースメンテナンス

変電設備改造等に伴い、電力管理システムが持つ機器情報や系統画面情報等に変更があった場合、従来はメーカーでシステム改修を実施していたが、改修がデータベース変更の範囲であれば、当社独自のデータベースメンテナンス技術を適用することで、ユーザーによるデータベース改修や画面改修が可能となる。これによって改修コスト抑制等、ランニングコスト低減を実現する。

6. むすび

電鉄変電所を集中監視制御する電力管理システムの現状と最新技術について述べた。このシステムによって電力指令業務及び変電システム保守業務の高信頼化と効率化を実現するとともに、いかなる状況化でも運用継続可能なシステムを提供できる。今後は、本稿で述べた最新技術の適用を一層進め、引き続き鉄道の安全安定輸送に貢献する所存である。