

配電自動化副拠点システムの開発

Development of Distribution Automation Backup System

藤井 章※
Akira Fujii
重野 弘喜※
Hiroki Shigeno

河村 繁忠※
Shigetada Kawamura

1. はじめに

配電自動化システムは、配電系統運転業務の省力化・効率化や供給信頼度向上を目的としたシステムである。配電自動化システムの基本機能は、配電系統の区分開閉器を遠隔監視制御することである。本機能を利用して配電系統の計画的な切替や、配電線故障等の突発的な停電発生時に故障区間以外の区間に自動的に送電することができる。

当社は、1990年度から中部電力(現：中部電力パワーグリッド)殿に配電自動化システムを納入し、その後、技術的進歩と業務運用計画に合わせ、配電自動化システムを機能向上させてきた。また、2018年度から2023年度にかけて、セキュリティの向上と保守メンテナンスの効率化を目的に、各事業場に分散配置していた配電自動化システムのサーバを1拠点に集約した(以降、正拠点システムと呼ぶ)。

今度、大規模災害時などの正拠点システムのバックアップ用として、副拠点システムを開発した。

本稿では、まず、配電自動化システムの概要、正拠点システムの概要を述べる。次に、副拠点システムの詳細について述べる。

2. 配電自動化システムの概要

2.1 システム構成の概要

配電自動化システムは、配電系統、配変系統の監視・制御等の運転業務を支援するシステムであり、多数のシステム、装置と連係している(図1)。情報系システムである配電業務総合支援システムとの連係は、設備データや系統データ、配電線故障時の系統切替手順を受信し、開閉器の入切状態や電圧・電流等の計測値を送信する。給電制御システムとの連係は、配電用変電所内の機器状態を受信し、配電線用遮断器(FCB)の入切制御要求や計測要求を送信する。スマートメータ制御管理システムとの連係は、変圧器単位の停電および欠相情報を受信する。

当社は、配電自動化システムの内、親局装置、広域連係サーバ、および子局装置の開発を担当している。子局装置は、開閉器を入/切制御するもので、再閉路動作リレー機能と遠方監視制御機能がある。次節にて、今回開発した副拠点システムの構成機器である親局装置と広域連係サーバの詳細を記述する。

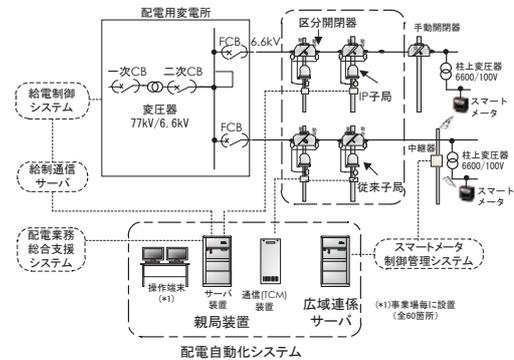


図1 システム構成の概要

2.2 親局装置

親局装置の基本機能は、配電系統の区分開閉器や配電用変電所のFCBの監視制御、および配電系統の手動開閉器や配電用変電所の一次CBや二次CBなどの状態表示することである。これにより、配電線の切替工事、故障時の停電復旧切替などを操作できる。親局装置の画面の例として、配電系統の状態を表す配電線路図画面を図2、配電用変電所の状態を表す配電線路図画面を図3に示す。

親局装置は、基本機能に加え、公衆保安や電圧管理の向上などを目的とした拡張機能がある。親局装置の主な機能は表1に示す。拡張機能には、地震発生時の配電用変電所の再閉路除外制御、子局の地絡検出情報を活用したFCBの再閉路トリップ抑制、スマートメータ制御管理システムから受信した変圧器単位の停電/欠相情報を利用した断線検出などがある。

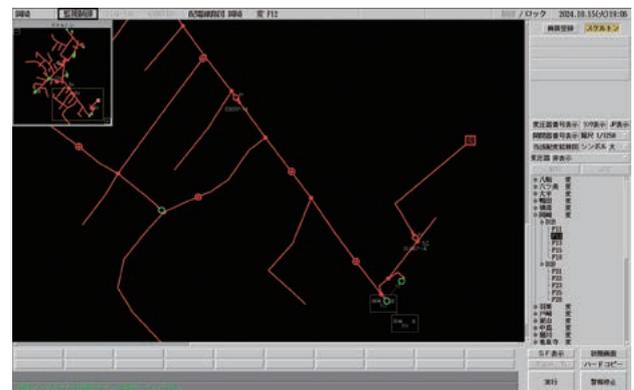


図2 配電線路図画面

※電力カンパニー 制御機器部 配電システムグループ

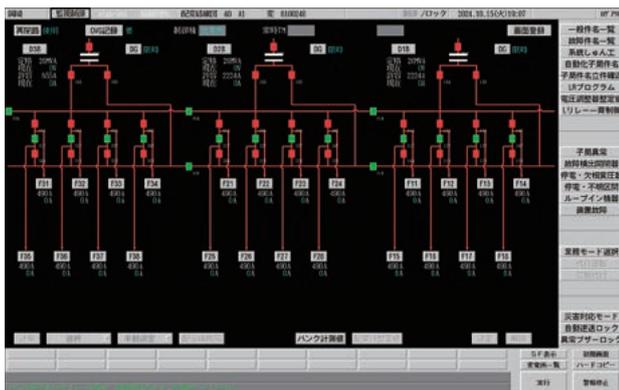


図3 配変結線図画面

表1 親局装置の主な機能

項目	機能概要
基本機能	<ul style="list-style-type: none"> 開閉器、配電線用遮断器 (FCB) の監視制御 配電線路図表示、配変結線図表示 配電線故障時処理
広域連係	<ul style="list-style-type: none"> 事業場またがり配電線表示 代行運転機能 (閉店事業場の代行) 代行事業場と閉店事業場の組み合わせ変更
公衆保安の向上	<ul style="list-style-type: none"> 地震発生時の配電用変電所の再閉路除外制御 子局の断線情報を利用した配電線の断線検出 子局の地絡情報を利用したFCBの再閉路トリップ抑制 スマートメータ停電/欠相情報を利用した高圧配電線の断線検出
電圧管理の向上	<ul style="list-style-type: none"> 配電用変電所 LRT の整定スケジュールの遠隔制御 配電用変電所 LRT および SVR の整定値の遠隔設定
シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> 配電線故障模擬
メンテナンス機能	<ul style="list-style-type: none"> 親局装置のソフトウェア更新 子局のソフトウェア配信、更新

2.3 広域連係サーバ

広域連係サーバは、事業場毎に稼働する親局装置と連携し、事業場境界に関係なく配電線の監視制御を可能とする装置である。

配電系統は事業場単位で管理・運営されているが、現地の実系統は事業場単位に分離はされていない。このため、事業場管轄範囲をまたがる配電系統に境界柱と呼ばれる仮想の設備を設定し、境界柱を広域連係サーバで連係することで、事業場管轄範囲をまたいだ配電線の充停電を把握できる (図4)。境界柱を連係することより、複数の事業場管轄範囲をまたいだ配電線の切替工事、配電線故障時の切替操作などが可能である。

また、広域連係サーバは、スマートメータ制御管理システムから受信した変圧器単位の停電/欠相情報を親局装置へ転送する処理も行っている。変圧器単位の停電/欠相情報を受信した親局装置は、高圧配電線の断線検出を行う。

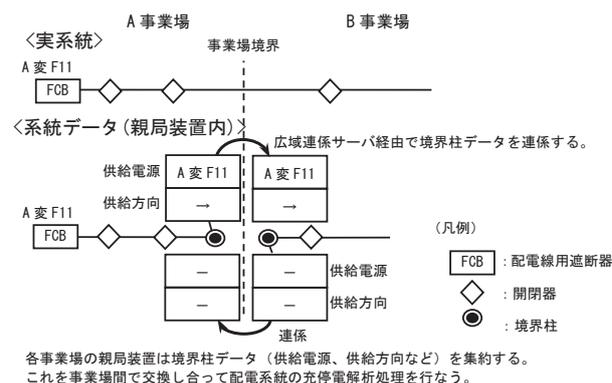


図4 境界柱データ連係

3. 正拠点システムの概要

当初の配電自動化システムは、全60事業場に親局装置を設置し、代表事業場に広域連係サーバを設置する分散型システムであった。2020年度にセキュリティの向上と保守メンテナンスの効率化を目的に、各事業場に分散配置していた配電自動化システムの各サーバ装置をデータセンタの1拠点に集約した (正拠点システム)。従来のシステムと正拠点システムとの比較を表2に、正拠点システムの概要を以下に示す。

表2 従来のシステムと正拠点システムの比較

項目	従来のシステム	正拠点システム	
システム構成	分散型システム	集約型システム	
サーバ装置のOS	HP-UX	RHEL	
セキュリティ	認証機能 (ログイン時)	なし	ID・パスワード認証
	認証機能 (制御時)	制御キー操作	ICカード認証
	マルウェア対策	未導入	導入
	暗号化通信	なし	あり

(1) システム構成

親局装置および広域連係サーバのサーバ装置をデータセンタに設置し、系統運転業務を行う際に使用する操作端末を事業場に設置した (図7を参照)。

(2) 仮想化機能

仮想化機能を利用して、サーバ装置1台に複数OS (仮想マシン) を稼働させる。親局装置は、各仮想マシンが1事業場の親局機能を処理する構成とし、1台のサーバ装置で最大20事業場分を処理することを可能とした。広域連係サーバは、各仮想マシンが代表事業場の広域連係機能を受け持つことで、1台のサーバ装置で処理することを可能とした。サーバ装置のOSは、Linuxを採用し、仮想化機能には、Linuxに最適化されたKVM (Kernel-based Virtual

Machine：カーネルベースの仮想マシン)を使用している(図5を参照)。

(3) システム二重化

配電自動化システムを構成する各装置および通信経路は、耐障害性を高めるため二重化構成としている。サーバ装置については、HAクラスタシステム(High Availability クラスタシステム：高可用性クラスタシステム)を構築し、可用性向上を図っている。

HAクラスタシステムは、仮想マシン単位で、常時業務を行う制御系と、制御系障害時のバックアップとして待機している待機系の二重構成になっている。制御系で障害が発生時すると、仮想マシン単位で、待機系が制御系に切り替わり、運転継続を可能とする(図5)。

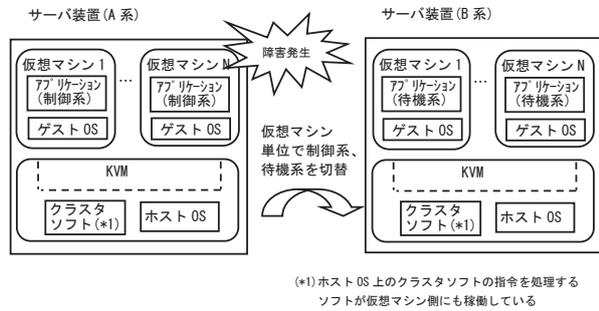


図5 サーバ装置の仮想化機能(KVM)および制御系/待機系の切替動作

(4) セキュリティの強化

セキュリティの強化策として、ID・パスワード認証、ICカード認証、マルウェア対策、暗号化通信等を導入した。

ID・パスワード認証では、操作卓で画面を操作する際にIDおよびパスワードを入力し、第三者による不正操作を防ぐ仕組みとした。ICカード認証では、操作端末から開閉器の入/切などの制御や操作をICカードによる認証を必要とし、操作者権限を強化した。マルウェア対策は、サイバー攻撃等による情報漏えいやシステム破壊を防止する。また、暗号化通信を採用し、第三者による通信データの閲覧による情報漏えいや改ざんを防止した。

4. 副拠点システムの詳細

正拠点システムは、二重構成とし、システムの信頼性や耐障害性を高めている。しかし、正拠点システムの設置拠点が大規模災害等により被災し、運転継続不可となると、配電システムの運転業務に与える影響が極めて大きい。そのため、今回、正拠点システムのバックアップ用として、副拠点システムを開発した。副拠点システムの詳細を以下に示す。

4.1 システム構成

配電自動化システムが他システム(給電制御システム、スマートメータ制御管理システム、配電業務総合支援システム)と連係した全体システム構成とネットワーク構成を図6に示す。配電自動化システムのサーバ装置は、2拠点(正拠点、副拠点)に設置され、事業場の操作卓と接続する。副拠点システムのサーバ装置および通信機器等のハード構成は、正拠点システムと同様とした(図7)。

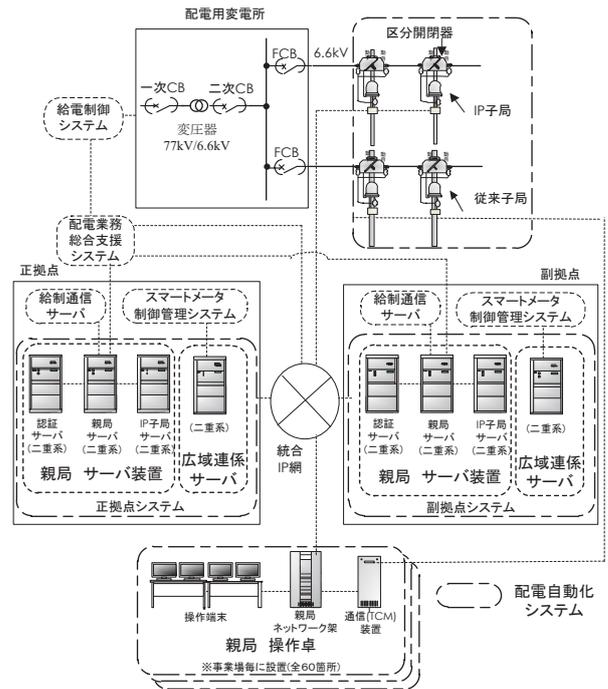


図6 全体システム構成



図7 広域関係サーバ、親局装置の外観

4.2 正/副拠点システムの運転モード

正/副拠点システムの運転モードは表3に、運転状態は表4に示す。配電系統運転業務の監視制御を行うのが運用モードである。運用モードのシステムから定期的に系統情報、ログ等を受信するのが転送モードである。転送モード

では、構成機器の異常検出を行うシステム監視処理も常時稼働している。

通常時は、正拠点システムが運用モード、副拠点システムが転送モードである(図8)。正拠点被災時では、正拠点システムを運用モードから停止モードに切り替え、副拠点システムを転送モードから運用モードへ切り替える(図9)。今回、運用モード、または転送モードへの切替用プログラムを制作し、実装した。

表3 運転モード

運転モード	状態
運用モード	親局処理または広域連係サーバ処理が稼働する。仮想マシン単位で、片方が制御系、もう片方が待機系。
転送モード	副拠点システムのみ当該のモードになる。構成機器の異常検出を行うシステム監視処理が稼働している。
停止モード	サーバ装置または仮想マシンが重大故障などにより、停止。

表4 正／副拠点システムの運転状態

	正拠点システム	副拠点システム
通常時	運用モード	転送モード
大規模災害時	停止モード	運用モード

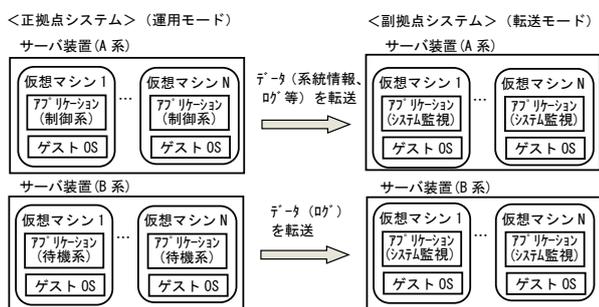


図8 通常時の運転状態

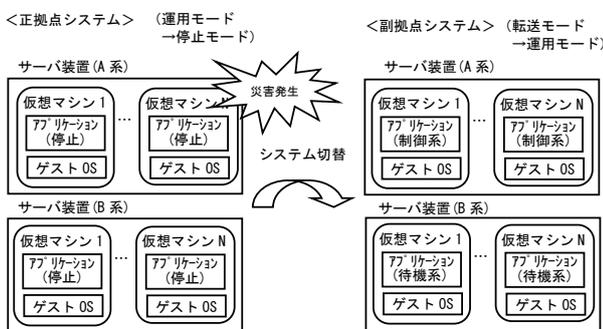


図9 拠点間のシステム切替時の運転状態

4.3 正／副拠点システム間のデータ転送処理

大規模災害等による正拠点システム停止時に、副拠点システムを運用モードとして業務の引継ぎを可能とするため、正拠点システムから副拠点システムへ系統情報など必要なデータを定期的に転送する。転送が必要なデータを表5に示す。データの転送は、親局装置および広域連係サーバの仮想マシン毎に行う必要がある。通常時の性能への影響と切替時の系統情報の継続性を考慮し、転送周期を決定した。

表5 転送データ

装置	転送データ	内容
親局装置	系統情報	配電系統情報、配変系統情報、子局情報等
	SF記録	業務イベントの記録
広域連係サーバ	変圧器情報	変圧器の停電分析情報
親局装置／広域連係サーバ	ログ(システム、アプリケーション)	システムログ、セキュリティに関するログ

データ転送の仕組みを図10に、手順を以下に示す。

- ① 正拠点側仮想マシンのデータ転送プログラムが副拠点側ホストOSへ転送要求を送信する。
- ② 副拠点側ホストOSの転送要求受付プログラムが応答(OK:他の仮想マシンが転送中でない、NG:他の仮想マシンがデータ転送中)を返す。
- ③ 正拠点側仮想マシンのデータ転送プログラムは、応答(OK)の場合にデータ転送を行う。応答(NG)の場合は、一定時間待ち、再度、転送要求を送信する。

上述手順により、同一サーバ装置上の仮想マシンが同時にデータ転送を行わないように制御した。これにより、正拠点側から副拠点側へデータ転送するのに必要な通信帯域を削減した。また、データ転送は、セキュリティ確保のため、暗号化通信で行うようにした。

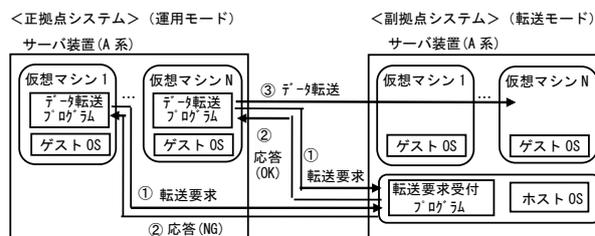


図10 データ転送の仕組み

4.4 正／副拠点システムの切替

正／副拠点システムの切替は、状況確認や業務継続可否に人間系の判断を要することから手動切替とした。正拠点被災時を想定し、副拠点からシステム切替可能とした。切替は、副拠点に常駐している操作者が行う。60事業場分の切替が必要なため、切替用プログラムを用意し、操作者の負担軽減を図った。

正／副拠点システムの切替手順概要を以下に示す。

- ① 正拠点システムのサーバ装置をシャットダウンし、停止モードにする。
- ② 副拠点システムを転送モードから運用モードへ切り替える。
- ③ 副拠点システムの親局装置および広域連係サーバは、他システム、子局装置、操作卓と自動で接続する。

4.5 正／副拠点システムの切戻

正拠点の復旧後、正／副拠点システムを切戻す。この手順概要を以下に示す。切戻は、正拠点システムの動作確認が必要となる。そこで、切戻作業は、メーカ作業員が行うこととした。切戻用プログラムを用意し、作業性の向上を図った。

- ① 正拠点システムのサーバ装置を起動する(OSのみ稼働した状態の停止モード)。
- ② 副拠点システムを運用モードから停止モードにし、副拠点システムから正拠点システムへ系統情報など必要なデータを送る。
- ③ 正拠点システムを運用モードにする。
- ④ 副拠点システムを転送モードにする。

4.6 保守試験環境

従来、機能追加により、親局装置や広域連係サーバと他システムとの連係試験を実施する場合、メーカ保有のサーバ装置を試験場所へ持ち込む必要があり、試験環境準備に時間を要していた。

今回、開発した副拠点システムに試験環境に特化した保守試験環境用の仮想マシンを追加した。これを利用することで、連係試験時のサーバの持ち込みが不要となった。

5. あとがき

副拠点システムは、2024年9月に運開し、稼働している。拠点二重化の実現により、大規模災害時の配電自動化システムの運転継続がより強固なものとなった。

最後に、システム開発をするにあたり、多大なご指導・ご協力をいただいた中部電力パワーグリッド(株)配電部殿をはじめ関係各位の方々に厚くお礼申し上げる次第である。

参考文献

- (1) 水野、河村他：「配電自動化システムサーバ集約型親局の開発」愛知電機技報No.43(2022)
- (2) 増田、伊藤他：「配電自動化システム新型親局の開発」愛知電機技報No.39(2018)