

配電自動化システム サーバ集約型親局の開発

Distribution Automation System
Development of server centralized master station

水野 英夫[※]
Hideo Mizuno
宇佐美 友裕[※]
Tomohiro Usami

河村 繁忠[※]
Shigetada Kawamura
白井 慧太郎[※]
Keitaro Shirai

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。その基本機能は、配電系統の区分開閉器を親局より遠隔監視制御することである。このシステムにより、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健全停電区間へ自動的に送電することが可能となる。

1990年に当社は中部電力殿(現中部電力パワーグリッド殿)に第1世代親局を納入した。その後、技術的進歩と中部電力殿での業務運用上の拡張計画に合わせ、親局の機能を向上させてきた。

今回、親局の基幹部分であるサーバ装置を1拠点に集約し、サイバーセキュリティの向上や保守メンテナンスコストの低減などを実現した第6世代親局となるサーバ集約型親局を開発した。

本稿では、配電自動化システムの概要、親局の変遷、サーバ集約型親局の開発について紹介する。

2. 配電自動化システムの概要

(1) 自動化の目的

配電系統は、多数の配電設備で構成されており、運用・管理・維持業務には多くの労力を必要とする。これを解決するため、配電自動化システムが導入されている。

配電自動化の目的は、電力の供給信頼度向上や設備稼働率向上、配電系統の運転業務の省力化などである。

(2) 装置構成

配電自動化システムは、事業場毎に設置される親局や、柱上などに設置される子局等により構成される。

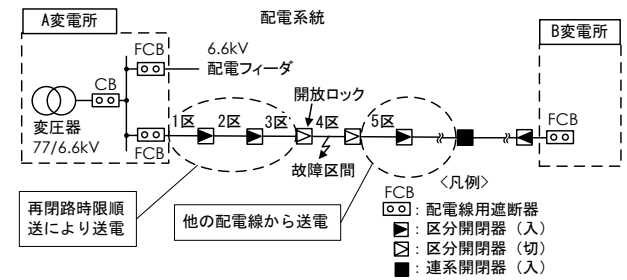
親局は計算機やモニタ等により構成され、配電系統の監視制御を司る装置である。

子局は親局との通信機能を有し、区分開閉器の監視制御を行う装置である。また、設定時間後に投入制御を行うなどのリレー機能を有している。

(3) 故障区間切離し制御

配電系統は、区分開閉器で区間分割されている。この区分開閉器は子局と組み合わせて使用される。配電系統で故

障が発生した際は、子局のリレー機能によって電源側から順次送電され、故障区間を自動的に検出して切り離すことができる。具体的な動作を図1に示す。



< 4区故障の例 >

- ① 配電系統の4区で故障発生。
A変電所で故障検出し、配電線用遮断器(FCB)を開放し、全区間が停電する。
無電圧となる区分開閉器は全て自動的に開放する。
- ② 一定時間経過後にFCBが投入され、1区が送電される。
- ③ 2区に接続する区分開閉器が設定時間後に投入され、2区が送電される(順送動作)。以降、この順送動作が負荷側の区間で動作する。
- ④ 故障区間(4区)に送電した際、A変電所で再度故障を検出し、FCBを再度開放する。このとき4区電源側の区分開閉器の子局は、投入直後の停電を検出し開放状態を保持(開放ロック)する。
- ⑤ FCBは一定時間経過後に再度投入される。③の動作により3区まで順に送電されるが、開放ロックにより4区へは送電されない。
- ⑥ その後、故障区間より負荷側区間(健全停電区間)は、連系開閉器のリレー機能により、他の配電線から送電され、停電区間の最小化が図られる。

図1 故障区間切り離し制御の概要

(4) 遠隔監視制御

配電自動化システムは、親局と配電系統に設置された子局を通信線で結び、遠隔監視による系統状態の早期把握や、遠隔制御による系統運転業務の省力化と業務効率化に寄与している。

遠隔監視・制御の対象には、配電系統に設置された子局に加え、配電用変電所機器の一部が含まれる(図2)。配電用変電所機器は、給電制御システムと連係した第3世代親局以降より遠隔監視・制御の対象となっている。

配電系統故障の際、初期のシステム(第1~2世代親局)では、オペレータ操作で子局を制御し、健全停電区間へ送電するマニュアル制御方式であった。技術の進化に伴い、

※ 電力カンパニー 制御機器部 配電システムG

現在ではシステムが自動で送電操作を実行するプログラム制御方式になっている。

(5) プログラム制御方式

プログラム制御方式は、系統切替操作手順をもとにシステムが自動的に子局を遠隔制御する方式である。系統切替操作手順は、当該手順が実施される期間の配電系統を考慮し最適化し作成される。

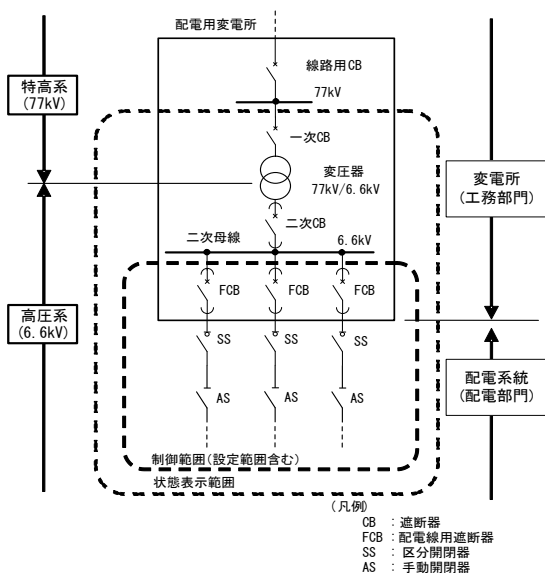


図2 配電自動化システムの状態表示・制御範囲

3. 配電自動化システム親局の変遷

親局は世代交代に伴い、操作性向上や他システムとの連携機能追加、マニュアル制御方式からプログラム制御方式などによる機能追加や、装置の信頼性向上などが図られた。

親局の変遷を以下に述べる。また、各世代の特徴を表1に示す。

3.1 第1世代親局

親局は、表示処理部や内部処理用の専用計算機で構成されている。親局のユーザインターフェースはCUI(Character User Interface: キャラクターユーザインターフェース)を採用している。

親局の監視制御範囲は、親局が設置された事業場管轄内であった。

対子局通信はモデムを使用し、親局が子局を順番に監視するポーリング方式を採用しており、この通信方式は現在のシステムにも一部で使用されている。

3.2 第2世代親局

親局は、汎用UNIXワークステーションを中心とした構成としている。

親局のユーザインターフェースはGUI(Graphical UserInterface: グラフィカルユーザインターフェース)を採用している。配電系統の充停電状態や開閉器の入切状態は簡易系統図上のシンボル表示色で表現しており、視認性や操作性の向上が図られている。

親局の監視制御範囲は、第1世代親局と同様に設置された事業場管轄内であり、各事業場の親局は独立していた。

3.3 第3世代親局

親局の基本的な構成は第2世代を踏襲し、構成機器を二重化して、耐障害性を向上させた。これにより、構成機器の単一故障が発生しても運用を継続できるようになった。

また、他システムとの関係による機能分担を実現している。他システムには情報系システム(配電業務総合支援システム)と給電制御所システムがある。情報系システムとの関係により、親局でのデータメンテナンスを不要としている。また、プログラム制御方式を実現している。給電制御所システムとの関係により、配電変電所内の状態把握を可能としている。

その他に、各事業場の親局間による広域連携機能を具備している。これにより、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を可能にしている。また、休日・夜間に閉店する事業場の代わりに代表事業場で、監視・制御する代行運転を可能にしている。

なお、この第3世代親局が現行親局のベースとなっている。充停電判定などの系統解析部や他システムとの関係部、画面表示部など多くのソフトウェア資産が、現在のシステムに引き継がれている。

3.4 第4世代親局

システム構成は、構成機器の二重化を踏襲し、クライアント-サーバ構成としている。これにより、片方のサーバ停止時であっても、運用継続ができるようになり、耐障害性がさらに向上した。また、クライアント-サーバ構成では複数クライアント化が容易なことを活かし、複数操作卓(標準2卓、最大4卓)での監視および制御操作を可能にした。

3.5 第5世代親局

システム構成や基本機能は、第4世代親局を踏襲している。

機能面では、従来子局との監視・制御に加え、新規開発のIP通信方式の子局(IP子局)との関係機能を追加した。従来子局との通信方式はモデム通信方式のため、通信速度は600 bpsまたは1200 bpsであったが、IP子局との間では高速大容量通信(100 Mbps)が可能となった。また、従来子局との監視はポーリング方式であったが、IP子局では自己発呼方式に変更している。これにより、IP子局の状態変化が即座に親局へ通知されるようになった。なお、親局とIP子局間の通信仕様は、日本の電力会社で初めて国際標準規格IEC61850に準拠した。

表1 親局各世代の特徴

世代	特徴・概要・前世代からの機能追加
第1世代	<ul style="list-style-type: none"> 開閉器の遠隔監視制御 子局からの情報を文字表示 操作部と監視制御部に処理分散
第2世代	<ul style="list-style-type: none"> 配電線の簡易系統表示 汎用計算機、TCP/IP通信の採用 オブジェクト指向設計
第3世代	<ul style="list-style-type: none"> 情報系システム連係 データメンテナンスフリー 件名操作手順の実行 給電制御所システム連係 配電線用遮断器(FCB)の監視制御 配電線故障時処理 親局間連係 営業所またがり配電線表示 代行運転機能(閉店営業所の代行) 構成機器の二重化 耐障害性向上
第4世代	<ul style="list-style-type: none"> クライアント-サーバ構成 耐障害性向上 複数操作卓での監視制御 ソフト更新機能 機能追加ソフトの反映作業期間短縮 公衆保安の向上 断線箇所への送電停止 地震発生時の配電用変電所の再開路除外 電圧管理の向上 配電用変電所LRTの整定スケジュールの遠隔変更 配電用変電所の逆潮流通知
第5世代	<ul style="list-style-type: none"> IP子局通信 子局のソフトウェア配信・更新 子局の動作ログ取得 国際標準規格IEC61850準拠 スマートメーター制御管理システム(SMCMS)連係 変圧器単位の停電/欠相情報 配電線故障模擬 配電線故障時の親局挙動を当直者に教育

4. サーバ集約型親局の概要

第5世代までの親局は、事業場毎に親局を設置する分散型システムであった。第6世代親局となるサーバ集約型親局では、親局の基幹部分であるサーバ装置をデータセンターに配置するサーバ集約型システムとした。データセンターは、外部からの侵入を防ぐための強固なセキュリティ

や優れた耐震性、強化された空調設備を具備している他、電源供給の安定化が図られている。また、専従のシステム保守要員が24時間体制で、親局を初めとする各種システムを監視している。これらにより、セキュリティの向上、被災時のシステム可用性の向上、保守メンテナンスコストの低減などを実現した。

また、操作時の認証機能の追加等によりサイバーセキュリティの強化を図った。

第5世代親局との比較を表2に示す。

表2 第5世代親局との比較

		第5世代親局	サーバ集約型親局 (第6世代親局)
システム構成		分散型システム	集約型システム
認証機能	ログイン時	なし	ID・パスワード入力
	制御時	オペコンキー切替	ICカード認証
セキュリティ 暗号化通信	ホワイトリスト	未導入	導入
	サーバ装置- 操作卓間	なし ※同一敷地内のため不要	あり
	親局-子局間	あり	あり
オペレータ コンソール		あり	なし ※画面上にボタンを配置

5. サーバ集約型親局の詳細

5.1 サーバ装置の拠点集約

(1) システム構成

親局の基幹部分であるサーバ装置を1拠点に集約した。オペレータが操作を行う操作卓については、事業場毎に設置した(今後の切り換えにより全60箇所への設置を予定している)。サーバ装置と操作卓は、これまでのクライアント-サーバ構成を踏襲した。

全体システム構成を図3に、装置の外観を図4に示す。

(2) 仮想化機能

従来は、事業場毎のサーバ装置(物理サーバ)1台にOSが1つ稼働し、1事業場の親局機能を処理していた。

サーバ集約型親局では、仮想化機能を利用して、物理サーバ1台に複数のOS(仮想マシン)を稼働させる。各仮想マシンが1事業場の親局機能を処理することで、1台のサーバ装置で最大20事業場の親局機能を処理することを可能とした(図5)。

今回、仮想化機能を利用した理由は、ソフトウェア資産の有効活用のためである。仮想化機能を利用することで、従来通り1つのOSで1事業場の親局機能を処理することが可能となる。そのため、従来のソフトウェア構成の大幅

な変更は不要となる。また、サーバ装置の性能が向上したことにより、20事業場の処理を性能低下することなく実現できることも理由の一つである。

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)を使用した。LinuxはUNIX系のOSである。従来親局ではOSにUNIXを採用しており、OS変更に伴う親局ソフトの移植作業を最小限とした。

なお、性能評価として画面展開時間の測定や配変30バンク同時故障処理等の試験を実施した。画面展開時間は0.2～0.3秒であり、要求仕様の1秒以下を満足した。配変30バンク同時故障処理は、要求仕様通り全ての故障を取りこぼすことなく処理することを確認した。

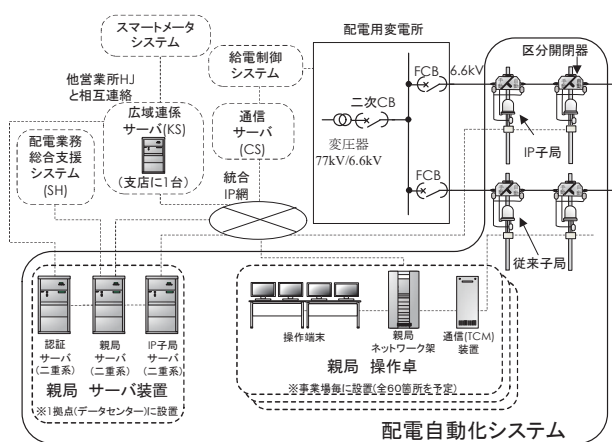


図3 全体システム構成



図4 親局装置の外観

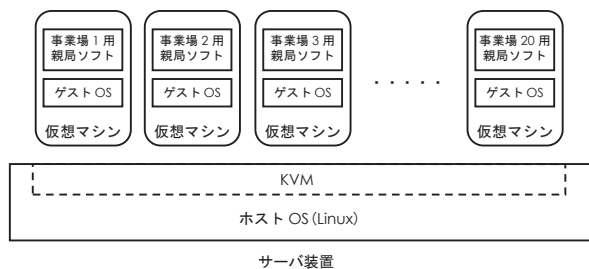


図5 仮想化機能(KVM)の活用

(3) フェールオーバー

集約するサーバ装置については、従来の構成機器の二重化の思想を踏襲した。また、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)を構築しシステム全体の可用性の向上を図った。

HAクラスタシステムは、二重化した一方を制御系、もう一方を待機系として起動する。制御系で障害が発生した場合は、待機系が制御系となり業務の引き継ぎを可能とするフェールオーバーが行われる。

親局では、このフェールオーバーを仮想マシン単位(事業場単位)で行うことで、事業場単位でのシステムの二重化を可能とした。

また、ディスクの冗長化は、共有ディスクを採用し実現した。従来、各サーバ間のデータのレプリケーションには独自に開発したソフトを使用し実現していた。しかし、フェールオーバーによる停止・起動時にデータ等価が必要であり、およそ1分の処理時間を要していた。一方、共有ディスクを利用することで停止・起動時のデータ等価は不要となる。共有ディスクは高価であるが、サーバ装置を1拠点に集約するため、共有ディスクの導入個数を最小限に抑えることができる。そのため、共有ディスクを採用することとした。

HAクラスタシステムの共有ディスクへのアクセスは、制御系からのみ許されており待機系からはアクセスできない。フェールオーバーにより制御系が切替ると、それまでの待機系から共有ディスクに接続することになる。この際、直前までの制御系データをそのまま使用し業務を継続することができる。

フェールオーバー時の動作を図6に示す。

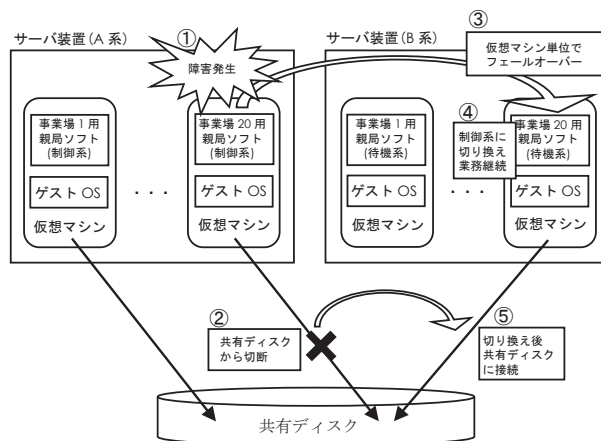


図6 フェールオーバー時の動作

5.2 セキュリティの強化

サーバ集約型親局では、セキュリティ強化策として、ID・パスワード認証、ICカード認証、ホワイトリスト、暗号化通信を導入した。

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する仕様とし、第三者による不正操作を防ぐ仕組みとした。また、ID・パスワード情報については、中部電力パワーグリッド殿の既設装置と情報連携し取得することで、親局側でのメンテナンスを不要とした。

ICカード認証では、操作卓からの開閉器入／切等の制御や操作をICカードによる認証を必要とする仕様とし、操作者による誤操作を防止する仕組みとした。

ホワイトリストは、親局を構成する全てのサーバ装置に導入した。ホワイトリストは、安全なアプリケーションやプログラムを定義したリストであり、定義外のアプリケーションやプログラムの動作をブロックする。これにより、サイバー攻撃等により未知のマルウェアが侵入しても、それをブロックすることでシステムを正常に継続稼働することを可能とした。

暗号化通信は、ロケーションの異なるサーバ装置と操作卓間の通信に採用した。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。

なお、システム全体のセキュリティ検証のため、外部機関によるペネトレーションテストを実施した。システムの脆弱性等を検証し、セキュリティの強固なシステムを構築した。

5.3 サーバ装置の機能分担

サーバ装置の集約にあわせ、親局機能を構成するサーバ装置を、親局サーバ、IP子局サーバ、認証サーバへ分割し処理の負荷分散を行った。

親局サーバは、系統解析や他システムとの関係など、親局の主要な機能全般を処理する。サーバ1台で20事業場分を処理することができる。

IP子局サーバは、IP子局との通信処理を行う。サーバ1台で最大2万4千台のIP子局との通信を想定している。

認証サーバは、IDおよびパスワードの認証情報を取り扱う。

各サーバ装置は二重化で冗長化されており、全60事業場に導入した場合、親局サーバは全6台(制御系3台、待機系3台)、IP子局サーバは全2台(制御系1台、待機系1台)、認証サーバは全2台(制御系1台、待機系1台)の計10台のサーバ装置を設置する構成となる。従来の分散システムでは、事業場毎にサーバ装置を設置しており、同様に二重化構成としていたことから、全60事業場のサーバ装置の合計数は120台であった。サーバ装置の集約により、

サーバ装置の総数を110台削減でき、保守メンテナンスコストの低減を可能とした。

5.4 操作卓設置の簡略化

従来のシステムでは、制御指令の最終実行に用いる操作釦や警報鳴動を停止する釦等を、オペレータコンソール上にハード釦で用意していた。これを全面的に変更し、全て画面上にソフトボタンで用意し、オペレータコンソールを不要とした。

これにより、操作卓に制御線の設置・配線が不要となり、操作卓設置の簡略化が図られた。また、制御指令の制御線を無くすことで、災害時の可用性の向上につなげた。

なお、ソフトボタンを新たに配置することに伴い、画面レイアウトを一部見直した(図7)。オペレータコンソールに変わるボタンを画面右下に配置した。また、ID・パスワード認証により操作者の特定が可能となったため、画面右上に操作者を表示する仕様とした。

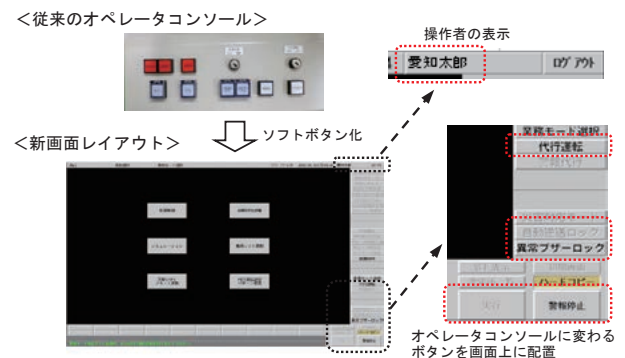


図7 画面レイアウトの見直し

6. あとがき

サーバ集約型親局は、2020年度に初号機を納入後、順次配備され順調に稼働している。2023年末までに全60事業場の親局を分散型からサーバ集約型へ切り換える計画である。また、さらなる機能向上も計画されている。現在検討中の代表的な機能を以下に述べる。

・副拠点の構築

大規模災害時のバックアップ拠点として、現在、集約システムの設置が進む正拠点の他に、副拠点を構築する計画である。

・統合監視卓の検討

システム保守の効率化・高度化のため、全事業場の系統運転状態やネットワーク等の装置異常状態が把握可能な統

合監視卓の仕様検討を開始した。

最後に、システムを開発するにあたり、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ます次第である。

参考文献

- (1) 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)
- (2) 横井、増田他：「配電線自動化システム 新型親局装置の構成技術」愛知電機技報 No.32 (2011)