

イントラネット応用電力系統監視制御システム

Intranet-Based Supervisory Control System for Power Systems

長谷川 義朗
HASEGAWA Yoshiaki

江幡 良雄
EBATA Yoshio

林 秀樹
HAYASHI Hideki

次世代の電力系統監視制御システムとして、基本アーキテクチャにインターネット技術を採用したシステムを開発した。汎(はん)用技術であるインターネット技術を中心にシステムを構築することで、汎用技術のもつ取扱いの容易さおよび技術革新の速さを電力系統監視制御システムへ取り込むのがねらいである。しかし、インターネット技術の応用だけでは、従来からもっとも重要であるリアルタイム性および高信頼性を実現することができない。そこで、汎用技術のもつ優位性を継承しながらリアルタイム性および高信頼性という監視制御の必須(す)要件を実現する仕組みとしてミドルウェア(以下、MWと略記)群を開発した。ここで開発したMW群は電力系統システムだけでなくリアルタイム性および高信頼性を望むイントラネットシステムへ適用することができる。

We have developed an intranet-based supervisory control and data acquisition(SCADA) system for power systems. Its basic architecture consists of Internet technology and it has the same advantages, such as ever-growing use for fully interoperable information interchange, that Internet technology has.

In the process of realizing the intranet-based SCADA, middleware was developed in order to resolve concerns about real-time performance and availability of the system. This middleware enables a system to replicate the real-time distributed databases of operators, the Web browser to display with sufficient rapidity, and the system to automatically recover from a failure between geographically separated servers on the intranet.

1 まえがき

「次世代の電力系統監視制御システムとは？」という問いかけに答えるコンセプトは以下に示すものである。

- (1) オープンなシステム システムアーキテクチャにオープンな汎用技術を用いて、オープン技術のもつ取扱いが容易であること、技術革新の進歩が速いなどの利点を継承するシステムである。
- (2) リアルタイム／高信頼なシステム オープンな汎用技術を適用しただけのシステムでは達成し得ない、電力系統監視制御システムに求められるリアルタイム性／高信頼性を実現するシステムである。

上記のコンセプトの実現手段としてオープン技術のなかからインターネット技術を選択した。インターネットの普及は爆発的であり、インターネットを取り巻く技術も、その広まりと相互に影響を及ぼし合い急速な発展を遂げている。現状、インターネット技術が最先端のコンピュータ技術の一翼を担っていると言っても過言ではない。

また、インターネットのもつ計算機や端末の配置に制約がないという仕組みは広い地域をカバーする電力系統監視制御システムにとって魅力的な特長となる。インターネット技術をシステムアーキテクチャの中核に置くことにより最先端のコンピュータ技術をキャッチアップし、さらに継続的な進化が可能であるということがオープン技術のなか

からインターネット技術を選択した所以(ゆえん)である。

2 インターネット技術応用のコンセプト

インターネット技術を適用した電力系統監視制御システムのイメージモデルを図1に示す。電力系統監視制御システムに要求されるリアルタイム性および高信頼性を保持しつつ、インターネット技術のもつ優位性を継承するこのモ

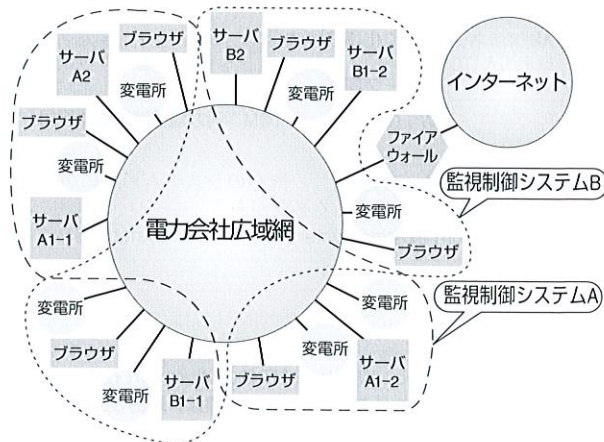


図1. 電力イントラネットのイメージ 電力イントラネットは電力会社の広域網と、それにつながるサーバ、ブラウザならびに発電所および変電所の機器類によって構成される。

Conceptual diagram of intranet for power system

デルは、先端技術を駆使したMWの開発によって実現することができた。

図1に示す電力イントラネットの考えかたは以下のとおりである。

- (1) 電力系統監視制御システムを構成するサーバおよびブラウザなどのハードウェアは、それぞれが直接に電力会社広域網に接続している。
- (2) 従来の電力系統監視制御システムはシステム全体が一つのネットワーク終端端末であったが、電力イントラネットでは接続するすべてのサーバおよびブラウザがネットワーク終端端末となる。
- (3) 電力系統監視制御システムは物理的な構築形態から定義し呼ぶものではなく、電力ネットワークに広く分散するサーバおよびブラウザの運用形態(論理的集合)から定義して呼ぶことになる。
- (4) 高信頼な稼働を期待されるサーバはクラスタによる冗長化を行うが、クラスタを構成するサーバ群が単一ネットワークセグメントに属する必要はなく広域網にまたがってクラスタ構成とすることができる。
- (5) 電力系統の現在状態を示すデータは、電力イントラネットに直接接続することのできる装置によって電力会社広域網の中に送り出される。この送り出しはIP(Internet Protocol) マルチキャストを基本としたプロトコルによって行われ、そのデータを必要とするすべての終端端末が受け取ることができる。
- (6) 電力イントラネットは、インターネットとはファイアウォールを介して接続されている。

3 システムアーキテクチャ

システムアーキテクチャとして汎用オープン技術のなかからインターネット技術を選び、電力系統監視制御システムを構築した。インターネット技術によるシステムアーキテクチャの特長は3層モデルである。図2は3層モデルによって電力系統監視制御システムを構築したモデルを示す。

電力系統監視制御システムのオンラインの監視、制御および記録の機能群は第2層のアプリケーションサーバ層に実装される。刻々と変化する電力系統の状態を表すオンラインデータは第3層のデータベースサーバ層に格納される。人間系への電力系統の状態の通知は第1層のクライアント層であるブラウザが行う。

このアーキテクチャとすることで、イントラネットシステムの中に監視制御システムを組み込むこととなりイントラネットシステムがもつ優位な特長を電力系統監視制御システムも継承することができる。イントラネットのもっとも重要な優位性はサーバの物理的位置がクライアントから隠蔽(ぺい)されることである。これよりサーバの物理的な

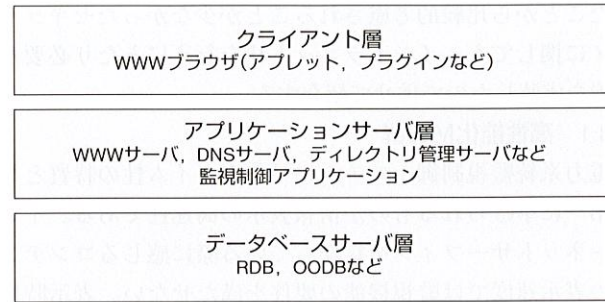


図2. 電力系統監視制御システムの3層モデル 電力系統監視制御システムをインターネットの3層モデルに当てはめて構築すると、監視制御機能はアプリケーションサーバ層に実装することになる。
Supervisory control system based on Internet 3-tier model

設置場所に自由度が生まれ、それが電力系統運用の観点からも重要なメリットをもたらす。

3層モデルによる電力系統監視制御システムにおいて、人間系は見たい電力系統の情報をクライアント層のブラウザに表示する。ブラウザから遮断器などの電力系統機器の制御を行うときには、CGI(Common Gateway Interface)などのインターネットに用いられるプロトコルによってブラウザとアプリケーションサーバ層の監視制御アプリケーションを結びつける。電力系統の時系列の膨大なデータは、第3層のデータベースサーバ層においてリレーショナル型データベース(RDB)、オブジェクト指向データベース(OODB)などを利用してコンテンツとして蓄える。

インターネット技術によりシステムを構築することで、インターネットにおいて有効なソフトウェアパッケージをそのまま電力系統監視制御システムにもち込むことができるのも大きな利点である。例えば、システムが自身の動作状態を決定するために用いるリソース情報を一元管理する仕組みとしてLDAP(Lightweight Directory Access Protocol)を使用するディレクトリ管理の仕組みや、ネットワークに広く点在する監視制御システムを構成する機器の動作状況を管理するネットワーク管理の仕組みは、監視制御システムを構築するための重要な機能となる。

インターネット技術を用いて電力系統監視制御システムを構築することにより大きなメリットを得ることができるが、電力系統監視制御システムが従来から備えているもっとも重要な特長であるリアルタイム性および高信頼性はインターネット技術を適用しただけのシステムでは実現できない。インターネット技術の有利な特長を継承しつつ従来の電力系統監視制御システムが備えていたリアルタイム性および高信頼性を併せもつシステムを実現するのが電力イントラネットシステム開発のねらいである。

これらを実現するために開発したMW群を以下に紹介する。また、従来監視制御システムが独立したシステムであ

ったことから比較的考慮されることが少なかったセキュリティに関しても、イントラネット化を行うにあたり必要な機能を実装したので併せて紹介する。

3.1 高性能化MW群

電力系統監視制御システムのリアルタイム性の特質として第一に挙げられるものが情報表示の高速性である。インターネットサーフィンを行なっている際に感じるコンテンツの表示速度では監視機能の要件を満たせない。表示時間はサーバからブラウザへのコンテンツの転送時間に支配されるが、ネットワークの帯域を非現実的に拡大するわけにもいかず、ネットワーク帯域の高帯域化によらない高速表示の仕組みが必要となる。

図3は、コンテンツの表示をネットワークの高帯域化によらず実現するための高性能化MW群（主記憶データ管理MWおよび高信頼放送通信MW）を示す。オンラインの監視制御機能は第2層のアプリケーションサーバ層に実装されている。電力系統の状態が変化するとそのデータを外部から取り込んだ監視制御機能は、そのデータをオンラインデータとして第3層のデータベースサーバ層に格納する。高速なコンテンツ表示を担う第3層のデータベースサーバ層は高速化のために開発されたMW群により構成する。

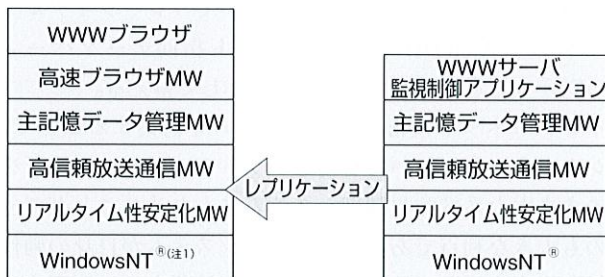


図3. 高性能化MW群の構成 コンテンツ表示スピードの高速化は、プッシュ型コンテンツ配信によりブラウザ側にサーバ側コンテンツのレプリカをおくことにより実現する。

Configuration of high-performance middleware group

第2層のアプリケーションサーバ層が更新したデータは、高性能化MW群によって更新と同時に更新部分だけがブラウザへプッシュされる。このプッシュ型コンテンツ配信はIPマルチキャストに基づくプロトコルによって行われ、一回のプッシュで複数のブラウザサイトのデータを更新することができる。この仕組みによってブラウザもサーバと同じオンラインコンテンツのレプリカをもつことになり、ブラウザがコンテンツ表示をする際にネットワークを介したコンテンツへのアクセスは不要となる。

(注1) WindowsNTは、Microsoft社の商標。

ブラウザからのコンテンツ表示要求をローカルに扱うかサーバへ転送要求を行うかの判定を行う仕組みが高速ブラウザMWである。また、アプリケーションサーバ群をリアルタイムクラスで安定的に動作させる仕組みを担うリアルタイム性安定化MWも実装している。アプリケーションサーバをリアルタイムクラスで動作させることによりスムーズなコンテンツ更新を実現する。

3.2 高信頼化MW群

高信頼化の基本的な考えかたは従来と同様な冗長構成による連続運転の実現である。従来の方法と異なる点はサーバの冗長構成を汎用技術であるクラスタによって実現することである。電力系統監視制御システムの高信頼化の観点からクラスタ化の対象となるサーバはアプリケーションサーバ群およびデータベースサーバ群となる。ここでクラスタ構成とするサーバ群を単一ネットワークセグメントによらず構成できる広域クラスタMWを開発した。このMWによりクラスタを広域網にまたがって構成することができるようになり、電力系統監視制御システムにとっては重要な優位性を実現できることとなった。

図4に、広域網対応クラスタMWによって構成する電力系統監視制御システムの構成例を示す。監視制御対象の電力系統を例えば東西に分割しそれぞれ東システムおよび西システムでカバーしているとする。広域網対応クラスタMWによって東システムおよび西システムのサーバをそれぞれ独自に冗長構成とすることなく高信頼化を図ることが可能となる。東システムおよび西システムのサーバの中にそれぞれ相互にバックアップできるようなリソースを実装しておく。そこで、例えば東システムのサーバが停止した際には広域網対応クラスタMWによって西システムのサーバにおいて東システム用のリソースを立ち上げる。これにより東システムのブラウザと西システムのサーバによるサーバクライアントモデルができ、東システムとしての連続運転を実現することができる。

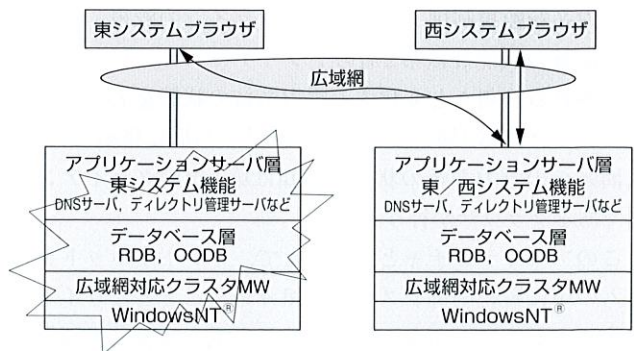


図4. 高信頼化MW群の構成 アプリケーションサーバ層およびデータベースサーバ層を広域クラスタ構成で稼働させる。

Configuration of high-reliability middleware group

アプリケーションサーバまたはデータベースサーバが広域網対応クラスタMWによって切り替えられる場合にはサーバのネットワーク上の位置はDNS (Domain Name System) ならびにディレクトリ管理MWによって物理的な位置の隠蔽化が図られ、ブラウザから見た場合の見えかたに変化はない。

3.3 セキュリティ MW 群

従来の電力系統監視制御システムは一つの独立したシステムであり、電力系統監視制御システム間相互の連携も疎で比較的少量のデータを必要時に交換する程度であった。このような独立したシステムにおけるセキュリティは考慮されることが比較的少ない傾向にあった。電力イントラネットシステムではイントラネットの環境下とはいえ監視制御システムに直接関連のない部門もシームレスに接続されるので、必要なセキュリティを確保しそれを運用していくためのMWを開発した。

ブラウザとWWWサーバ間において監視制御システムの運転に必要なコンテンツのやり取りはSSL (Secure Sockets Layer) によって暗号化して行う。また、SSLを用いることにより、コンテンツのアクセスコントロールを実現する。図5にSSLを用いたアクセスコントロールの仕組みを示す。電力系統監視制御システムを使用する人間系にはシステムの使用許可証としてのICカードを所持させる。ICカードには個人の証明書が書き込まれており、この証明書情報によって、電力系統監視制御システムにおける権限が特定される仕組みを実現している。

ICカードの証明書はブラウザのカード読取り装置からブラウザに読み込まれ証明書確認サーバに送られ、そこで証明書の照合が行われる。証明書が妥当であることが判断されると証明書によって特定されるアクセス権限がブラウザに返却され、ブラウザでは返却されたアクセス権限によ

て実行できるオペレーションが制限される。この仕組みによれば、ICカードを差し替えるだけで柔軟にアクセス権限を切り替えることができ、さらに電力系統監視制御システムにおいてセキュリティの確保が実現できる。

電力系統監視制御システムにおいて夜間無人運転を行うシステムが出始めているが、夜間代行運転用のICカードをあらかじめ用意することで1か所の夜間有人監視制御システムから複数の夜間無人監視制御システムの運転代行を容易に行うことができる。昼間はそれぞれのシステムにおいて監視制御に必要なコンテンツのアクセスが許可されるICカードを運転員が所持し電力系統の監視制御を行う。夜間に代行運転を行う運転員は、代行運転をする電力系統のコンテンツのアクセス権限をもつICカードを用いて電力系統の監視制御を行う。

なお、コンテンツごとにアクセスコントロールリストを設定することは膨大なコンテンツ数を扱うシステムでは大変な労力となるので、アクセスコントロールリストを簡単に設定するためにセキュリティ管理MWを開発した。

4 あとがき

取扱いが容易であること、技術革新が速いことなどの優位性に着目し次世代の電力系統監視制御システムの中心にインターネット技術を据えた。また、インターネット技術の適応だけでは実現できないリアルタイム性および高信頼性はMWを開発することにより達成した。

今後、インターネット技術の進歩と同調して電力系統監視制御システムの技術革新が進むよう努力を続けるとともに、電力系統監視制御システムのもつリアルタイム性および高信頼性の技術が広く制御系または情報系のシステムにも広がるように研究開発を続けていく計画である。

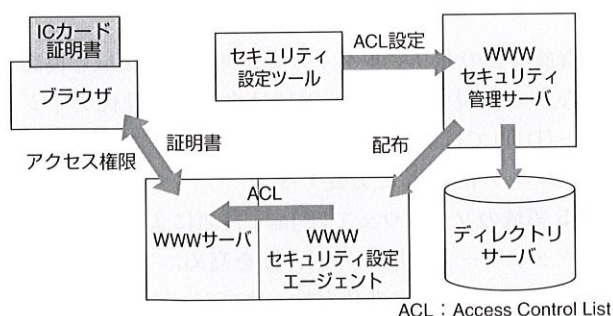


図5. セキュリティ管理MW群 セキュリティ設定ツールおよびセキュリティ管理サーバによって設定されたアクセスリストは、WWWセキュリティ設定エージェントによってコンテンツに設定される。

Security management middleware group



長谷川 義朗 HASEGAWA Yoshiaki

電力システム社 府中電力システム工場 電力計算機システム部主査。電力イントラネットシステムの開発業務に従事。情報処理学会会員。

Fuchu Operations-Power Systems



江幡 良雄 EBATA Yoshio

電力システム社 府中電力システム工場 電力計算機システム部主幹。電力系統用監視制御システムの開発業務に従事。電気学会会員。

Fuchu Operations-Power Systems



林 秀樹 HAYASHI Hideki, D.Ing

電力システム社 府中電力システム工場 電力計算機システム部部長、工博。電力系統用電力計算機システムの開発業務に従事。電気学会会員。

Fuchu Operations-Power Systems