

給電システムの高度化と今後の展開

Advanced Energy Management Systems for Electric Power Systems

藤本 裕仁 市川 忠 浅野 俊明

■ FUJIMOTO Yuji ■ ICHIKAWA Tadashi ■ ASANO Toshiaki

中央給電指令所や系統給電所に設置される給電システムでは、供給信頼度の確保や最適経済運用などを目的として、数々の自動給電機能の開発・導入が図られてきた。

東芝は、これら給電システムに求められる諸技術と新たなサービスの創造に向けて、研究開発に取り組んでいる。また、昨今のネットワーク導入の拡大によって、中央給電指令所と系統給電所間、及び各系統給電所間の合同訓練や協調運用、中央給電指令所のバックアップなど広域給電運用システムの高度化が図れるようになってきている。更に、運用者の負荷低減と最適運用を目指して、種々の運用制約や分散型電源の導入に伴う不確実性及び運用者の熟練ノウハウの不確実性に柔軟に対応できる、自動需給制御機能などの開発に取り組んでいる。

In the field of energy management systems (EMS) for load dispatching centers of electric power utilities, a number of automatic load dispatching functions have been developed and introduced to ensure stable power supplies and optimally economic operation.

Toshiba has been engaged in the research and development of various technologies and the creation of new services for EMS. With the progress made in introducing network technologies to EMS in recent years, it has become possible to improve the system of wide-area dispatching operations, such as joint training and cooperative operation between load dispatching centers and backup of a central load dispatching center. Furthermore, to reduce the burden on operators and facilitate optimal operation, we have developed an automatic supply and demand control technology that can respond flexibly to various operational restrictions, uncertainties with regard to distributed generators, and operator skills.

1 まえがき

電力系統（以下、系統と略記）をもっとも合理的かつ経済的に総合運用し、需要家に良質な電力を安定して供給することが給電運用業務であり、その指令塔が中央給電指令所（以下、中給と略記）の自動給電システムである。現在東芝は、わが国の10電力会社及び電源開発（株）のうち、7社に自動給電システムを納入している。

これまで、電力流通の安定化と供給信頼度の向上を目的とした数々の世界に誇る先進的な給電運用機能を、電力会社などの支援の下で開発し、納入してきた。その代表例として以下のシステムが挙げられる。

- (1) 世界初^(注1)の訓練シミュレータシステム⁽¹⁾
- (2) 世界初^(注2)のオンライン電圧安定性監視システム⁽²⁾
- (3) 世界初^(注3)のオンライン演算型過渡安定度維持システム⁽³⁾

近年では、各給電所間の合同訓練や各業務の協調運用、中給自動給電システムのバックアップ対応といった、広域ネットワークを介した高度な系統運用を実現している。

また、電力品質の維持と系統運用の高度化を更に目指して、

(注1) 1981年1月に中部電力（株）へ納入、当社調べ。
(注2) 1990年2月に東京電力（株）へ納入、当社調べ。
(注3) 1995年6月に中部電力（株）へ納入、当社調べ。

これまでの技術成果を土台に、新しい業務形態や運用組織形態に柔軟に対応するための、給電システムのアーキテクチャ並びに機能の研究開発を進めている。

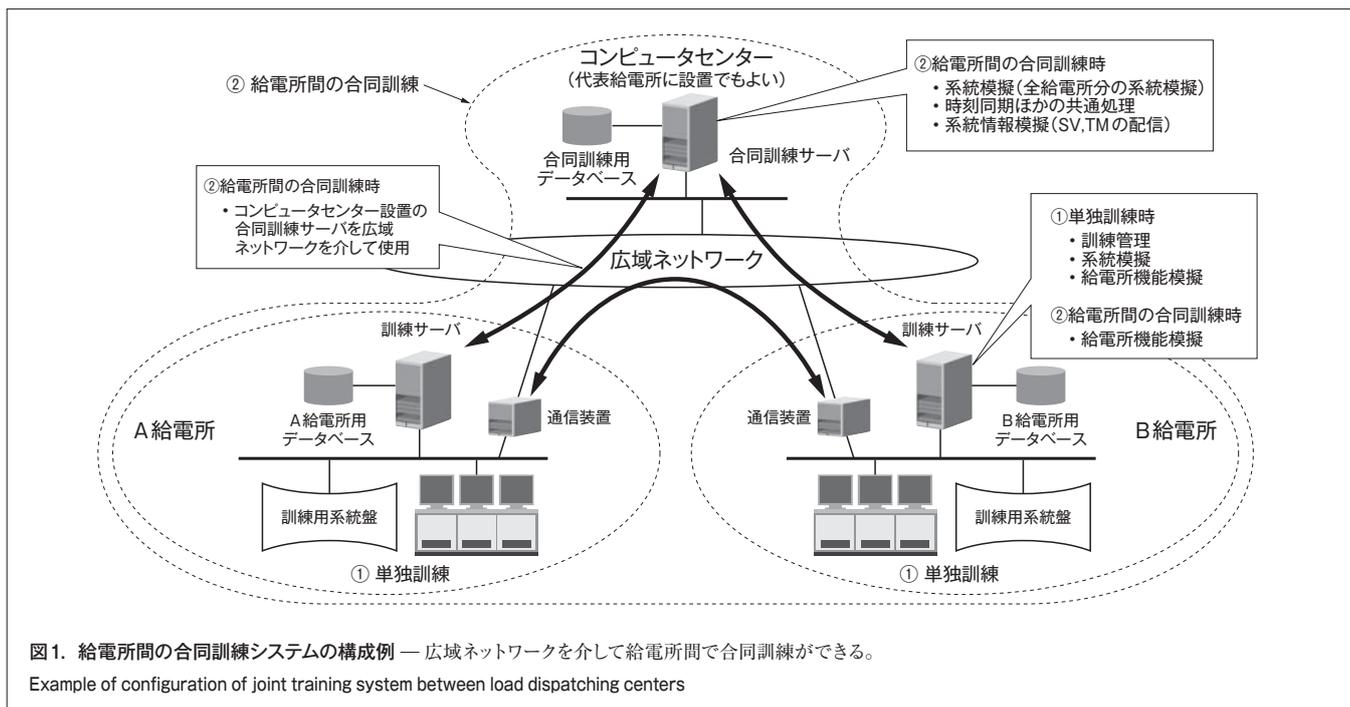
ここでは、給電システムの最近の技術開発成果とともに、今後のあり方とそのための機能について述べる。

2 広域分散形態の給電運用の高度化と効率化

ネットワーク化が進むことによって、給電運用の変化に柔軟に対応できる効率的な広域給電運用の実現を目的とした、新しいシステムが導入されつつある。従来から行われている電力自由化関連システム、気象システム、事務用計算機、及びWebを用いた情報提供システムなどとの関係に加え、給電運用の拠点間を結ぶネットワークを利用して、次に示すような給電運用の高度化及び効率化が進められている。

- (1) 拠点間の合同訓練システム
- (2) 給電運用バックアップシステム

広域分散対応ミドルウェア（TREND論文（p.2-5）参照）を適用し、必要なシステムリソースを経済的に導入することによって、これらの広域給電運用の形態が可能になったと言える。また、これまでの監視制御システムの性能要件と信頼性要件を堅持しながら、システム間の相互運用性を向上させることが



できるようになった。

2.1 給電所間の協調運用と合同訓練

給電階層の大規模・統合化をはじめ、電力自由化にも対応した更に効率的な給電組織への移行に伴い、操作・指令業務の効率化や訓練環境の充実が従来に増して必要とされている。こうした背景の下、広域的な停電などの不測の事態に的確に即応するため、給電所間の情報連絡及び系統事故復旧などの協調運用や合同訓練が重要視されるようになってきた。

2.1.1 給電所間の協調運用 給電所間で協調して運用される代表的な業務として、設備停止作業の調整や系統事故時の復旧操作が挙げられる。隣接する給電所間の協調運用だけでなく、中給を含む給電所間の協調運用は、全系統の需給バランスの確保と供給信頼度の維持に配慮して、設備の停止計画や事故時の復旧操作を検討する必要がある。設備は、各種の運用制約を逸脱しない範囲で停止調整を図るため、主に給電所間での効率的な調整が必要になる。一方、系統事故時の復旧操作でも、需給バランス、潮流分布、及び系統安定度をチェックしながら、系統切替操作を含む最適な系統復旧操作の方針を調整することが給電所間で必要となる。

このような給電所間の協調運用を行うために、従来は、データ伝送とシステム機能を処理する業務アプリケーションソフトウェアを給電所ごとに構築していた。これに代わって、広域分散型システムの要素技術を応用することで、給電所間のシステムを一つの広域運用システムとして、統一されたアーキテクチャで構築することが可能になった。その結果、柔軟な協調運用をサポートすることができるようになった。

2.1.2 給電所間の合同訓練

各給電所共通に、入り

切り状態を示す二値情報 (SV) と電圧や周波数などの計測情報 (TM) から成る系統情報を模擬して、同時に訓練を行う。具体的には図1に示すように、コンピュータセンター (又は代表給電所) に設置した合同訓練サーバによって各給電所の系統模擬計算を実行し、算出されたSV及びTMを系統情報として広域ネットワーク経由で各給電所の通信装置に送信する。

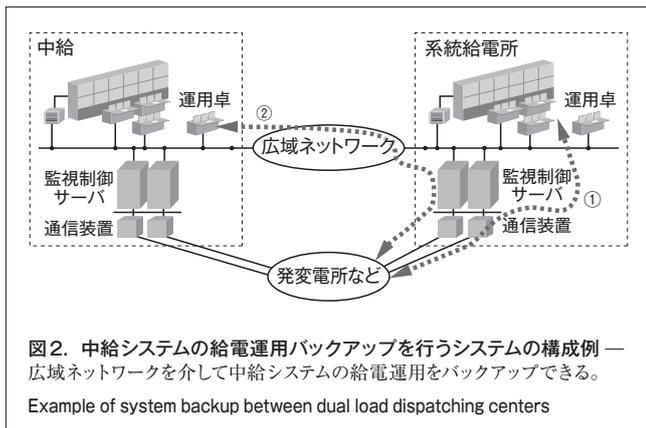
給電所の単独訓練を実施する場合と比較すると、対象系統模擬と系統情報の送受信先が異なるだけで、給電所システムの業務アプリケーションソフトウェアの構成や作用に相違がないのが特長である。このように、業務アプリケーションソフトウェアの実装箇所を意識せずに、広域ネットワークによる合同訓練機能が構築できる。

2.2 中給と給電所間の合同訓練の特殊性

中給と給電所といった階層の異なる箇所間でも、統合ミドルウェア (TREND論文 (P.2-5) 参照) を適用して仮想的にデータベースを統合することで、管轄系統の違いや系統のデータベース種別の違いを意識することなく、容易に訓練できるようになる。これは、大規模で広範囲な停電復旧操作のための合同訓練に有効であり、電力会社のニーズは高いと考えられる。訓練用の系統模擬データベースには中給及び各給電所から高速でアクセスすることができ、リアルタイムな合同訓練を実現できる。

2.3 中給システムの給電運用バックアップ

系統運用の信頼度の維持・向上を目的に、近年、システムをバックアップするための設備導入が進められている。その例として、給電所での中給システムの給電運用バックアップ機能や、給電所間の相互バックアップ機能が挙げられる。中給シ



システムの給電運用バックアップを行うシステムの構成例を図2に示す。中給システムが大規模災害などで給電運用機能を喪失したとき、地理的に離れた系統給電所の監視制御サーバで広域ネットワークを介してその機能を継続する(図の①)。あるいは、中給システムの監視制御サーバが停止したとき、系統給電所の監視制御サーバでバックアップし、このサーバに中給の運用卓を接続して中給の給電運用を継続する(図の②)ことなどが想定される。いずれの場合も、広域ネットワークを介した運転バックアップを行うには以下の要件が挙げられるが、広域分散対応ミドルウェアでこれら機能をサポートすることにより、給電運用バックアップの導入が容易になっている。

- (1) 給電運用に必須のデータを、広域ネットワーク経由で自動的に引き継ぐこと
- (2) 運用卓からの要求に回答するサーバ機能を、広域ネットワーク経由で自動的に引き継ぐこと
- (3) 監視制御などの重要機能を、広域ネットワーク経由で自動的に健全なサーバで引き継ぐこと

3 今後の自動給電システムのあり方

3.1 将来の自動給電システムの課題

電源の多様化と社会情勢の変化に伴い、燃料供給リスクの低減や環境調和型社会に向けた貢献などを目的に、ますます高度な給電運用が必要になるであろう。特に、需要家のふるまいや再生可能なエネルギーを利用した分散型電源の配置など、電力の自由化以降増加している不確実性を伴う要因に対応するための情報処理や、人間系の運用スタイルによる不確実性を配慮した柔軟な情報処理がこれまで以上に求められる。このような背景の下、自動給電システムでは、不確実性と不確実性に配慮しながら、時々刻々と変化する運用条件を勘案した需給の計画と制御が必要になるであろう。また、電力潮流の変化に対して、系統安定度や電圧安定度を精度良く迅速に予測し監視する信頼度監視を、更に充実させることが必要になるであろう。

従来、系統運用の高度化を進めてきた最適化理論やAI(知識工学手法)などでは、与えられた条件下での最適解(制御指令や操作手順)が得られるが、得られた解と運用者の判断には不整合があり、その本質的な解決にはいまだ至っていない。

こうした課題を解決するための、給電運用機能の新たな高度化について、以下にその方向性を述べる。

3.2 不確実性と不確実性を扱う需給計画・制御

一般に不確実性と不確実性を扱うために各種手法が提案されているが、ここでは需給計画・制御における2例を以下に述べる。

3.2.1 不確実性を考慮した時系列予測 (AR-GARCH手法の適用)

需給計画・制御の精度を上げるためには、需要と分散型電源の出力変動の適正なモデル化が必要である。気象などの自然現象に伴う変動は、予測モデルがある程度確立されており、確定変動分とみなされる。一方、需要家のふるまいは、電力自由化以降は、経済活動の変動要因により左右される部分があり、確率変動分とみなす必要がある。経済活動にかかわる確率変動を含む時系列予測では、分散が不均一であり、分布の正規性が保障されないため、変動分を白色ノイズとして扱えない。したがって、単純な自己回帰モデルでは、刻々と変化する信頼度区間を正しく求めることは難しく、このような変動分を扱えるモデルが必要になる。時系列で分散が不均一になる事象を扱う一般的な自己回帰モデルとして、AR-GARCHモデル (Autoregressive-Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity: 自己回帰-分散変動モデル) が注目されている。当社はこれまで、このモデルを電力スポット価格の時系列予測などへ適用してきた^{(4), (5)}。

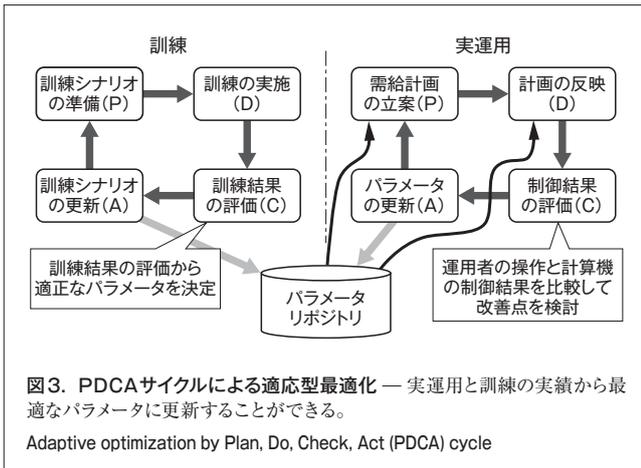
需給計画・制御の需要と分散型電源出力の時系列予測でも、その適用評価の研究開発を進めている。予測の基本スキーマとして、少なくとも以下の条件を考慮すべきであろう。

- (1) 確定変動と確率変動に分けて分析
- (2) 確定変動は気象や季節から予測
- (3) 確率変動は予測誤差を分散(確からしさ)で提示

3.2.2 人間系の不確実性を考慮した最適化

給電システムの業務アプリケーションソフトウェアによる給電運用操作は、考慮すべき運用条件やルールがあらかじめ決められた範囲になるため、運用者が状況に応じて柔軟かつ的確に対応するのに比べて、適用可能な範囲が狭くなる傾向にある。給電運用の業務効率改善を更に進めるためには、現用のソフトウェア処理による運用の限界を超えて自動化適用範囲を拡大する必要がある。運用状況の変化に柔軟に対応しながら、ソフトウェア処理を人間系の判断に近づける有望な手法の一つとして、以下に述べるPDCA (Plan, Do, Check, Act) サイクルによる適応型最適化のアプローチが挙げられる。

PDCAサイクルによる適応型最適化は、一口に言えば、運用



ポリシーや想定シナリオに応じて、各種の制約や目的関数の重み付けをつど更新し、状況の変化に柔軟に対応できるようにすることである。先に述べたように、従来、重み付けのようなパラメータの更新は、1回決めると固定となるが、AI手法やヒューリスティック手法に基づく状況の学習と適応により、更新が限られた範囲で順次実行されていた。PDCAサイクルによる適応型最適化は、実運用時と訓練時の実績からパラメータを逐次更新することで、実運用に合う最適な解に近づける方法である。そのようすを図3に示す。

3.3 信頼度監視の高度化と信頼度自動制御の実現

これまで、超高压基幹システムを含む系統信頼度の把握は、給電運用業務とともに管轄する給電所で実施されていた。今後、電力流通設備の更なる経済運用が求められ、運用制約の厳しい局面が増えていくことは既に述べたが、これまで信頼度は監視主体であり、自動制御は一部の安定化制御だけで行われていた。

今後の運用制約の厳しい局面のなかでは、人間系に頼らずに計算機システムによる自動制御を取り入れて、運用者の負担を軽減することがシステム要件になると予想される。迅速かつ高精度な信頼度自動制御の実現に向けて、信頼度監視の高精度化とリアルタイム化が必要とされ、これまでより1けた以上広い帯域を備えた広域ネットワークと高速処理系が必要になろう。ネットワーク帯域については、既にギガビットを1けた以上超えた伝送方式の実用化が開始されているため、技術的な課題は少なく、数年で実用の域まで達すると予想される。また、高速処理系については、CPUの早期のマルチコア化とマルチスレッド化及びグリッドコンピューティング技術の応用により、急速に立ち上がると予想している。

3.4 設備管理との連携

電力流通設備の保全管理を担う設備管理システムと給電システムが連携することで、設備停止計画の業務効率化とデータ管理の一元化が今後更に進むことが予想される。当社は、給電システムと系統制御システムだけでなく、電力流通設備の

計画から運用・保守までを管理する設備管理システムも対象にした、統合ミドルウェアを開発中である。この統合ミドルウェアは、グリッドコンピューティング技術の応用も視野に入れているため、従来の監視制御アプリケーションから最新のSOA (Service Oriented Architecture) によるサービスアプリケーションまで、保守性を損なうことなく幅広く融合させることを狙っている。

4 あとがき

電力取引や分散型電源の導入増加など、電力事業環境が大きく変化しつつあり、将来の運用形態や組織面の変化が予想される。給電システムには、こうした情勢に柔軟に対応していくことが必要になると同時に、給電運用における供給信頼度の維持・向上や、系統運用機能の更なる効率化と高度化が求められる。

当社は、監視・制御技術、系統解析技術、及び各種の支援技術などあらゆる面で、給電システムに求められる新たなサービスの創造と事業化に向けて、研究開発に取り組んでいく。

文献

- (1) Sato, K., et al. Dynamic Simulation of a Power System Network for Dispatcher Training. IEEE Trans. Power Appar. & Syst. RAS-101, 10, 1982, p.3742 - 3750.
- (2) Suzuki, M., et al. Newly developed voltage security monitoring system. IEEE Trans. Power Syst. 7, 3, 1992, p.965 - 973.
- (3) Kumano, S., et al. "Evaluation of Transient Stability Controller System Model". Proceeding of the 35th Session, International Conference on Large High Voltage Electric Systems, Paris, 1994-08, CIGRE. SC-38, 2, 1994, C-303.
- (4) 伊藤保之. 電力取引リスク管理のための市場価格データ分析技術. 東芝レビュー. 60, 11, 2005, p.58 - 61.
- (5) 伊藤保之, ほか. AR-GARCHモデルを用いた電力スポット価格の時系列分析とその応用. 電気学会論文誌B部門. 127, 1, 2007, p.61 - 68.



藤本 裕仁 FUJIMOTO Yuji

電力流通・産業システム社 電力流通システム事業部 電力系統技術部主務。電力系統監視制御システムのエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。

Transmission & Distribution Systems Div.



市川 忠 ICHIKAWA Tadashi

電力流通・産業システム社 府中事業所 電力系統システム部 参事。給電用計算機システムの設計・開発に従事。

Fuchu Complex



浅野 俊明 ASANO Toshiaki

電力流通・産業システム社 府中事業所 電力系統システム部 主幹。電力系統監視制御用計算機システムの設計・開発に従事。電気学会、IEEE会員。

Fuchu Complex