

送配電分野における 監視制御の取り組み

電力系統を取り巻く国内の最新の動向では、電力広域的運営推進機関の設立、小売全面自由化、さらには太陽光、風力などの再生可能エネルギーの大量導入、および高経年化が進んだ送変電機器の保守・更新への対応が重要となる。

これらに関連した送配電分野の技術対象として、日立は、わが国における広域連系に関するHVDCプロジェクトや自励式変換器に関する取り組み、先進的な広域系統の系統安定化のためのPMUデータを活用したソリューションの開発、送配電設備の延命化などを実現する系統給電・配電自動化システムへの取り組み、および運用技術（OT）と情報技術（IT）を活用した変電所のオールデジタル化の取り組みを進めている。

堀井 博夫 | Horii Hiroo

飯村 美起 | Iimura Miki

桐原 健太 | Kirihara Kenta

早坂 靖士 | Hayasaka Yasushi

山邊 和也 | Yamabe Kazuya

1. はじめに

わが国では東日本大震災を経て、電力システム改革が進展している。これは安定供給の確保、電気料金の最大限の抑制および需要家選択肢や事業者の事業機会の拡大という3つを目的として、第一段階の2015年度に広域系統運用の拡大のために電力広域的推進機関が設立され、第二段階の2016年度に電力小売全面自由化が実施された。さらに、第三段階には2020年度をめどに送配電部門の中立性の一層の確保のために発送電分離(法的分離)が実施される予定になっている。また、世界的な課題である地球温暖化対策のために、FIT (Feed-in Tariff) 制度(固定価格買取制度)により太陽光発電や風力発電の大量導入が加速している。これらの発電出力は天気によって左右されるため、その大きな出力の変動は系統の安定運用

に影響を及ぼす。

電気料金の抑制のためには、送配電部門の託送費用をより一層低減するための運用や保守などの業務効率の向上、全国大で効率の高い発電機を運転できるようにする連系線を通じた電力流通を拡大することが重要となる。また、電気は社会活動、生活に不可欠となっており、経済性ととも広域系統での安定供給を維持することが重要となっている。

以下では、これらの重要な課題に対応するために、日立がこれまで培ってきた運用技術OT (Operational Technology) や情報技術ITを組み合わせたソリューションとして取り組んでいる広域連系、電力系統の安定化、系統給電・配電自動化、および変電所オールデジタル化について紹介する。

2. 広域系統連系

2.1

広域連系の必要性と東京中部間HVDC

2011年3月11日の東日本大震災により、東北および東京の電力供給エリアにおいて多くの大規模電源が喪失した。また、他エリアとの連系線容量の制約や東西間の周波数変換設備容量の制約から系統間の電力融通量には限界があり、関東の多くの地域において計画停電が余儀なくされる事態となった。

これを受け、従来のように電力供給エリアごとに電力の需給を完結することを主とするのではなく、エリアを越えた供給体制をとり、広域的な系統運用を行うニーズが高まった。この実現のためには、異周波数間の連系を含む、エリア間の連系容量の増強が必須となる。

ただし、2つのエリアの電力系統を交流で連系する場合、迂（う）回電流の発生や、短絡電流の増加による周辺機器への影響の問題、一方の系統事故が他方の系統に波及する問題などが生じる。これらを回避する連系方法として有力なのが高電圧直流送電（HVDC：High Voltage Direct Current）である。また、HVDCでは、長距離送電における送電ロスの低減や、異なる周波数の系統間を直接連系することも可能である。

現在、国の審議会などによって、東京電力ホールディングス株式会社エリアと中部電力株式会社エリアの連系容量を、現在の120万kWから300万kWまで増強することが計画されている。これにより、50 Hzエリア・

60 Hzエリアそれぞれの大規模電源を最大限活用することができ、大規模災害などが生じた際にも、被災直後の供給力不足リスクに対応することが可能となる。東京中部間の連系では、新信濃－飛騨間において90万kWのHVDCプロジェクトが進行している。日立はこのうち60 Hz飛騨側を受注した。さらに、佐久間周波数変換所に30万kW、東清水変電所に60万kWの増強計画も進んでいる¹⁾。

2.2

自励式変換器の適用

HVDCには他励式と自励式の2つの方式がある。これまでの国内のプロジェクトは、すべて他励式が採用されてきた。しかし、2000年ごろから世界で自励式HVDCの研究が進んでおり、海外ではすでに多数の実績がある。

自励式HVDCは、連系する系統や運転上の制約が少なく、また有効電力と無効電力を別々に制御することが可能なため、系統安定化のメリットがある。変換器自体は他励式よりも高価であるが、他励式に比べ、フィルタや調相設備の小規模化、安価で軽量のケーブルの使用、系統対策費用の削減が可能であることから、総コストは他励式と同等かそれ以下に抑えることができる。また、設置面積の削減にも有効である（表1参照²⁾）。

これらのメリットから、佐久間周波数変換所30万kW、東清水変電所60万kW増強計画では、自励式を採用することが決定している。

こうした自励式HVDCのニーズの急速な高まりに対応するため、日立は国内向けHVDC事業において、ABB社との合弁会社である日立ABB HVDCテクノロ

表1 | 他励式HVDCと自励式HVDCの比較

自励式HVDCは運用面、経済面、系統安定化のメリットなどで優位性がある。

項目	他励式	自励式
素子	サイリスタ	IGBTなど
転流方式	交流側電圧により転流	自己転流
連系交流系統の制限	連系する交流系統の短絡容量は大きい必要がある	交流系統の影響を受けにくく、短絡容量が小さい系統でも連系可能
交流系統事故時の運転	交流系統事故時に転流失敗を起こし、運転継続が困難となるおそれがある	他励式に比べて交流系統事故時の運転継続性能が高い
ブラックスタート	不可	可能
最低潮流制約	素子の保護のため、定格の10%の最低潮流制約あり	最低潮流制約なし
フィルタ	転流時に高調波を多く発生するため、フィルタによる吸収が必要	他励式に比べて高調波の発生が少ないため、多量のフィルタは不要
調相設備	無効電力の供給が不可能なため、調相設備での補償が必要	有効電力と無効電力を独立して制御可能なため、調相設備は基本的に不要
ケーブル	電圧極性の反転により潮流方向を制御するため、重く高価なオイルペーパーケーブルが必要	電圧極性は固定のため、軽く安価なXLPEケーブルの適用が可能

注：略語説明

HVDC (High Voltage Direct Current), IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), XLPE (Cross-linked Polyethylene)

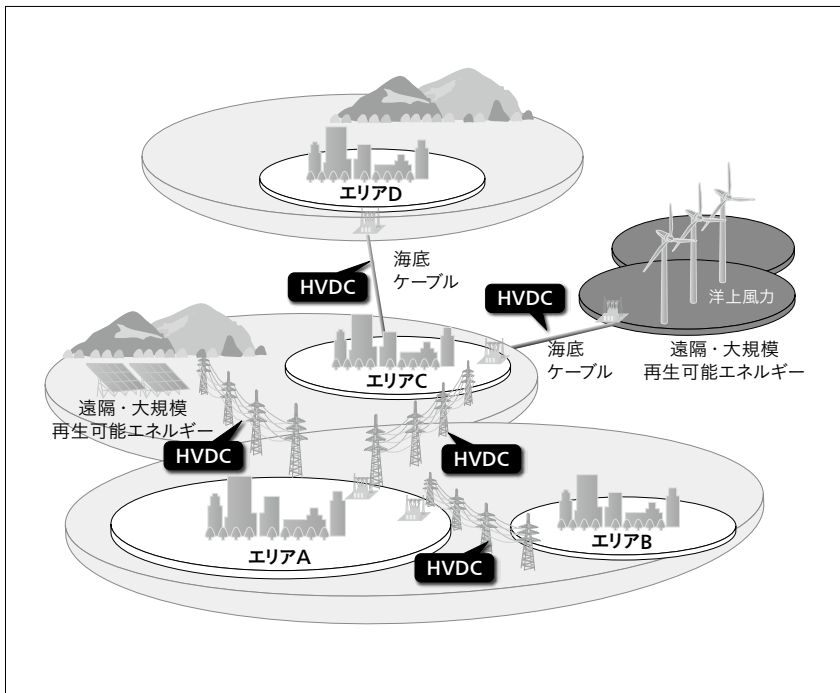


図1|HVDCの適用例

再生可能エネルギーの系統連系、長距離送電、系統間融通のため、自励式HVDCの需要がますます高まる。

ジーズ株式会社（以下、「HAB」と記す。）を設立し、2015年11月より営業を開始した³⁾。ABB社は約60年前にHVDC技術を開発し、常に時代の最先端技術をもって世界のHVDC事業をリードしてきた。自励式HVDCにおいても、世界での完工済みの15サイトのうち14サイトを手がけるという圧倒的な実績を誇る⁴⁾。

現在進行中の新信濃－飛騨間のHVDCプロジェクトは、HABと日立が手を組んで進めている。HABの設立により、日本の電力系統における日立の豊富な経験とHVDCにおける世界最高水準の技術を持つABB社の強みを生かし、日本の電力の広域的な安定供給確保に貢献できるものと考えている。

2.3

HVDCの今後の展望

今後、再生可能エネルギーの導入を拡大するにあたり、大規模再生可能エネルギーの系統連系や大需要地への長距離送電、電力のエリア間融通のため、HVDCの需要はさらに高まる。特に、系統安定化のメリットの大きい自励式への期待は大きい。

自励式HVDCの展開として、日立は今後、海底ケーブルによる洋上風力エネルギーの送電や、遠隔地の風力・メガソーラー発電、離島など飛び地系統との連系などへ適用することができると考えている（図1参照）。

3. 電力系統安定化ソリューション

本章では、電力系統安定化ソリューションの一環として取り組んでいる、位相計測装置PMU (Phasor Measurement Unit) を用いた電力系統運用者支援システムについて紹介する⁵⁾。

3.1

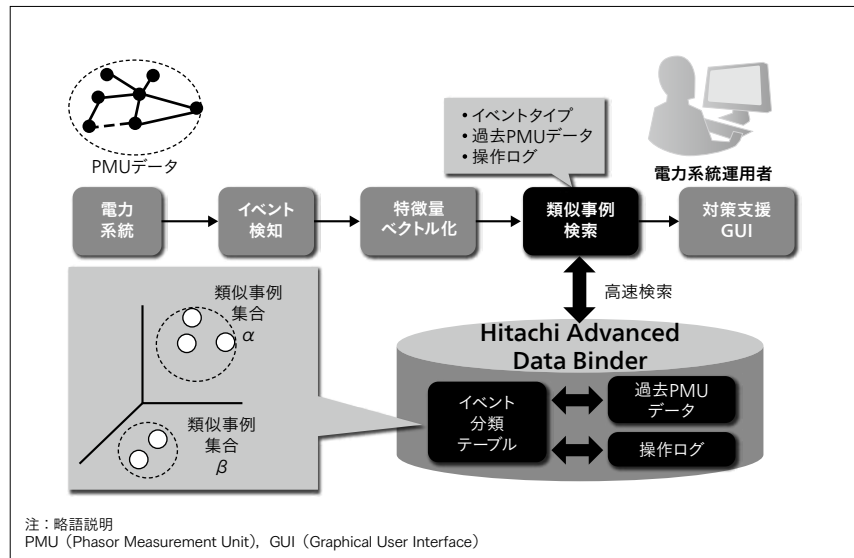
電力系統におけるPMUデータの活用

日本国内では、電力システム改革による広域系統運用の拡大や、再生可能エネルギーの導入量増大に伴い、より一層の電力系統の安定化が求められている。今後、大規模の集中型電源から分散型電源へと移行することで、従来の電力系統とは異なる潮流パターンが発生する可能性があり、安定状態を保つことが困難になると予想されるためである。

電力系統の安定化対策の一環として、海外では電力系統の状態監視をより詳細に行うべく、従来用いられてきたSCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) のデータ (2~4秒ごとに1系統断面)に加えて、PMUのデータ (1秒ごとに10~120系統断面)⁶⁾の活用が目まぐるしく行われている。PMUはGPS (Global Positioning System) による広域同期計測を可能とする計測装置であり、高速周期で電圧、電流、位相の各データを計測することで、より正確な系統状態監視を可能とする。北米では約

図2 | DSS4LAの機能構成

DSS4LA (Decision Support System for Look-Ahead) ではPMUデータからイベントを検知し、過去の類似事例を検索して電力系統運用者へ提示し、適切な操作を支援する。



2,000台のPMUが系統の各所に導入されており、実運用を視野に入れたデータの活用方法について活発な議論がなされている⁷⁾。

今後、広域系統監視システムが普及していくことを想定し、日立では、PMUデータを活用する電力系統運用者向け意思決定支援システムDSS4LA (Decision Support System for Look-Ahead)の開発を進めている。本章では、その取り組みの一端について紹介する。

3.2

電力系統運用者向け意思決定支援システムDSS4LA

電力系統における不安定事象の一例として、広域動揺について説明する。

広域動揺とは、落雷などに起因して、電力系統内の発電機が相互に影響して電圧や周波数などが変動し、最悪の場合には系統崩壊に至る可能性のある事象である。このような状況において系統運用者が誤った操作を行うと、大規模な停電を発生させる原因となる。例えば、2003年の北米大停電は広域動揺に対処するための適切な操作ができなかったことが一因と言われており⁸⁾、社会的な被害コストはおよそ60億ドルに達すると評価されている⁹⁾。そこで、広域動揺発生時の運用者の操作を支援すべく、PMUデータを大量に保存可能なIT基盤を用いて、過去の運用者の知見を活用することをDSS4LAの開発のねらいとしている。

DSS4LAの機能構成を図2に示す。電力系統から収集したPMUデータを用いて、電力系統の安定運用に影響を与える可能性のあるイベントを検知する。次に、波形回帰分析や動揺解析といった手法により、検知されたイベントに関連するPMUデータの特徴量を特徴量ベクトル

ルへと変換する。この特徴量ベクトルによって類似事例集合 (α , β , ...) を形成し、イベント分類テーブルを作成する。作成されたイベント分類テーブルは、イベントに関連する過去のPMUデータや操作ログと共に高速データベースHitachi Advanced Data Binder^{※)}に格納される。このような過去の系統運用に関する知見が含まれたデータが大量に蓄積されていくことにより、新たなイベントを検知した場合に、高速データベースから過去の類似事例を高速に検索し、運用者に提示することを可能としている。DSS4LAの対策支援GUI (Graphical User Interface) の一例を図3に示す。

本技術により、運用者は個人の知識・経験・技量だけでなく、高速データベース内に蓄積された過去の運用者知見を有効に活用することが可能となる。その結果、広域動揺など複雑かつ重大な事象に対し、運用者の適切な操作を支援して大規模停電を回避し、社会的損失の低減に貢献していく。

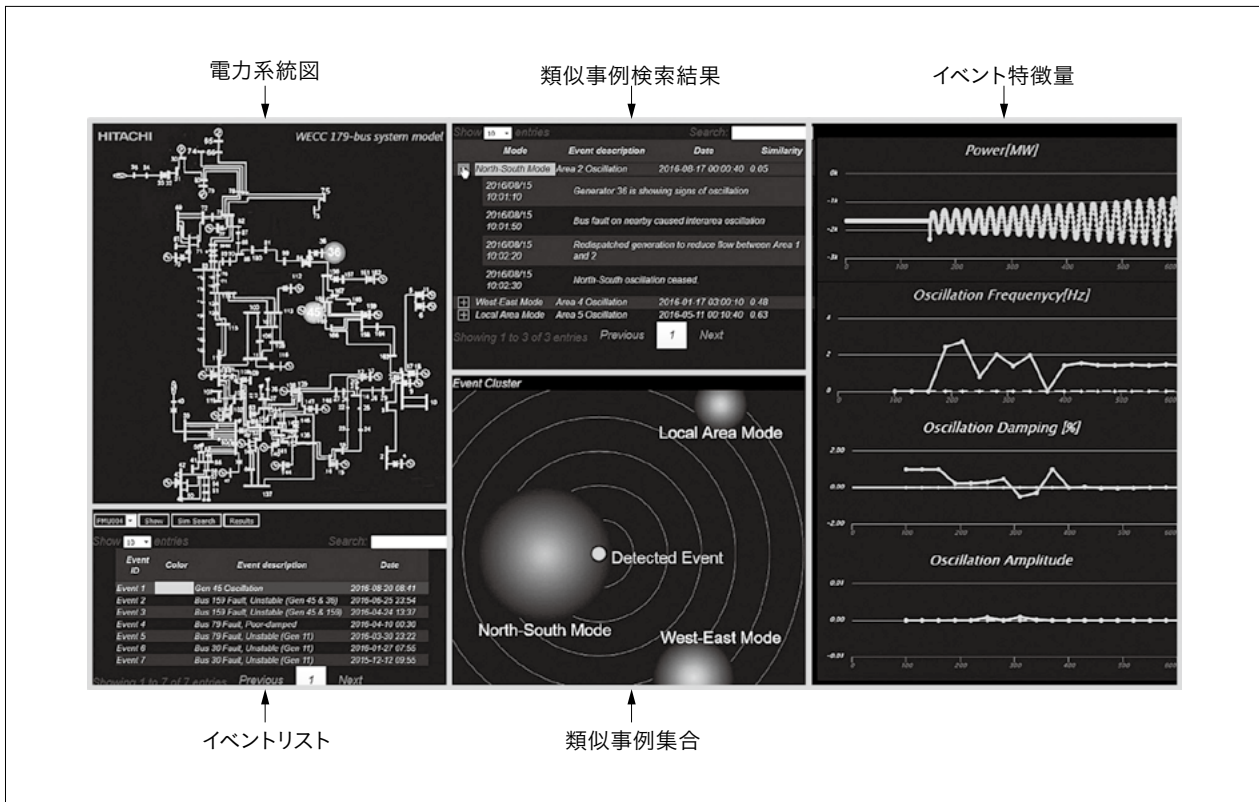
4. 系統給電・配電自動化システム

電力流通システムに対しては、BCP (Business Continuity Plan) 対応を含めた広域系統運用による安定供給や、さらなる業務効率化への対応から既存システム統合、業務変更などに柔軟に対応できるシステム構築の検討を実施している。

※) 内閣府最先端研究開発支援プログラム「超巨大データベース時代に向けた超高速データベースエンジンの開発と当該エンジンを核とする戦略的サービスの実証・評価」(中心研究者：喜連川 優 東京大学生産技術研究所教授/国立情報学研究所所長, 実施期間：2010年3月~2014年3月)の成果を利用。

図3|DSS4LAの対策支援GUIの一例

系統図を参照しながら、イベントタイプや過去の類似事例などを参照することができる。



また、既存の電力流通設備は、高度経済成長期からバブル期に建設した設備が多く、設備延命化を図りながら設備を更新するという課題に直面している。

このような背景を受け、系統給電システムや配電自動化システムに必要な機能の一部について紹介する。

4.1

系統給電システム

系統給電システムは電力上位システムの安定運用において

極めて重要なシステムである。

大規模震災時などにおいて、制御所の拠点が被災した場合にも継続的に安定な電力を供給する必要がある。このため、異なる2か所に監視・制御サーバを設置し、業務を継続実施する広域バックアップ構成のシステムの検討や導入が進んでいる(図4参照)。

また、系統給電システムでは業務効率化の観点からシステムの統合が進んでおり、運用者が監視・制御する設備の対象範囲がこれまで以上に拡大されるため、運用者

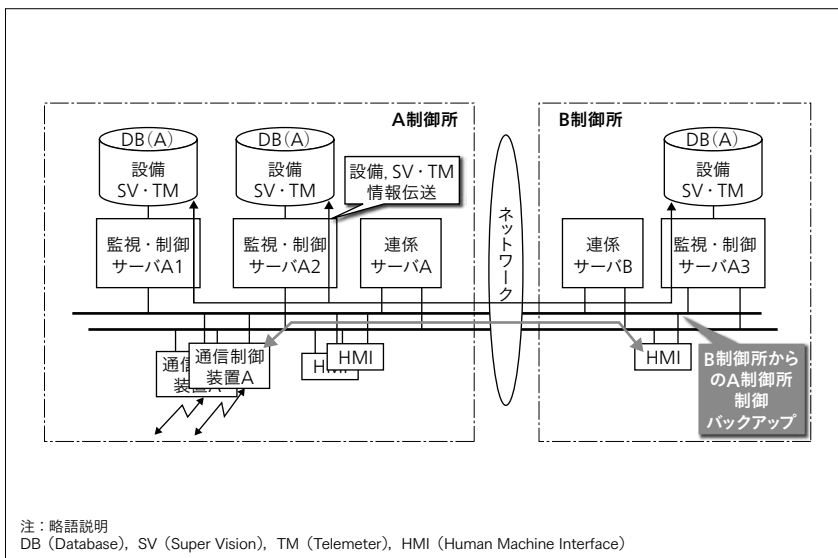


図4|隣接制御所間の広域バックアップ構成

隣接した2拠点の制御所にサーバを設置し、相互にバックアップを実施する。

注：略語説明
DB (Database), SV (Super Vision), TM (Telemeter), HMI (Human Machine Interface)

に対する業務支援機能が必要になる。変電所の2次側電圧の自動制御を実施する機能や、選択した系統に対して想定事故で効率的な対応を事前に把握するための想定事故計算機能が必要になると考える。

4.2

配電自動化システム

配電自動化システムは、配電業務効率化や停電の早期復旧を目的に、柱上に設置される遠隔制御自動開閉器の監視・制御を実施している。しかし、今後は配電線に多種多様な分散型電源が連系された状況で電圧管理を行いながら系統運用を実施する必要がある。

安全・安定供給に対する社会的要求も高く、供給信頼度の維持や配電業務の効率化への対応、さらには事故区間検出の高度化、BCP対応した営業所の統合・相互バックアップなど、システムに求められる機能要求は多いと想定される。

ここでは、次期配電自動化システムで収集される系統計測情報などを活用した、配電業務全体の効率化につながる配電自動化の将来の概略機能について紹介する(図5参照)。

配電自動化システムで計測している柱上センサー開閉器の計測情報を集約した配電系統負荷データベースを作成する。また、MDMS (Meter Data Management System) の計測情報も活用し、負荷情報の精度向上を図る。分散型電源の設備情報も管理することで、分散型電源も考慮した配電系統の負荷情報や電圧状況を把握する。

これらの情報を配電設備設計に配信することで負荷の実態に適合した設備を建設することが可能であり、老朽化に伴う設備更新に対しても過去の負荷状況から現在負荷、将来負荷を把握・推定し、設備のスリム化が可能になると考えられる。

また、系統の設置箇所と設備、負荷を管理することにより、稼働状況に応じた設備保全を実施することが可能である。

以上、系統給電・配電システムとして今後必要となる機能の一部について述べた。

5. 変電所オールデジタル化への今後の取り組み

2020年の発送電分離(法的分離)を控え、一般電気事業者である送配電部門は、より一層の託送料金の低減が求められている。一方、送配電部門の抱える課題の一つとして、高度経済成長期に拡充し、高経年化した送配電設備の維持・保守が挙げられる。

今後、電力会社の送配電部門は電力需要の鈍化も踏まえて、設備新設から保全や更新に軸足を移し、設備のスリム化、延命化および保全の高度化による一層の業務効率化を図っていく必要があり、経営に資する戦略的な設備計画・運用の実現を目的として、情報技術ITを活用した送配電網のオールデジタル化を推進していくものと考えられる。このようなニーズに応えるべく、日立は運用技術OTと情報技術ITの双方の強みを持つ会社として、

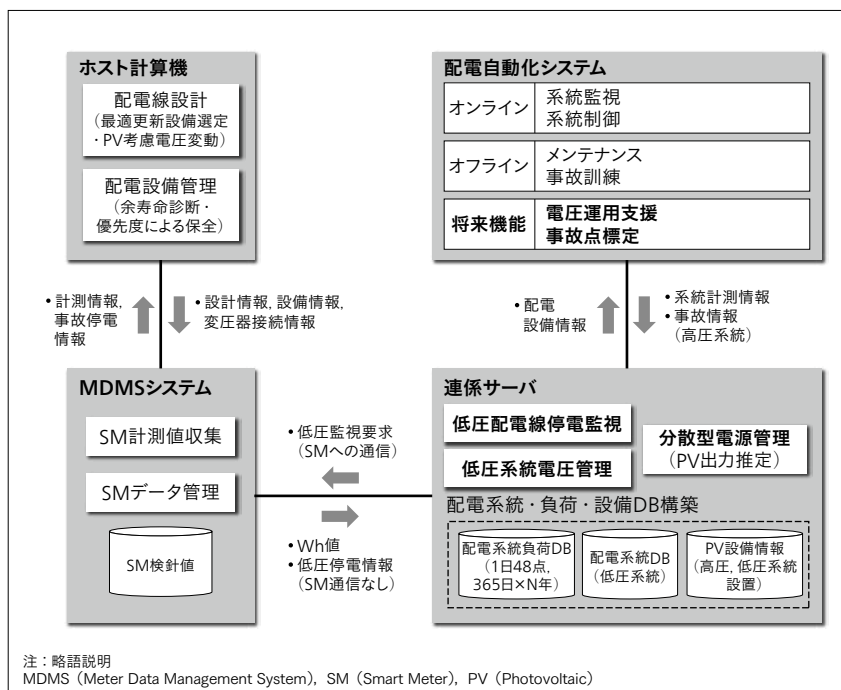
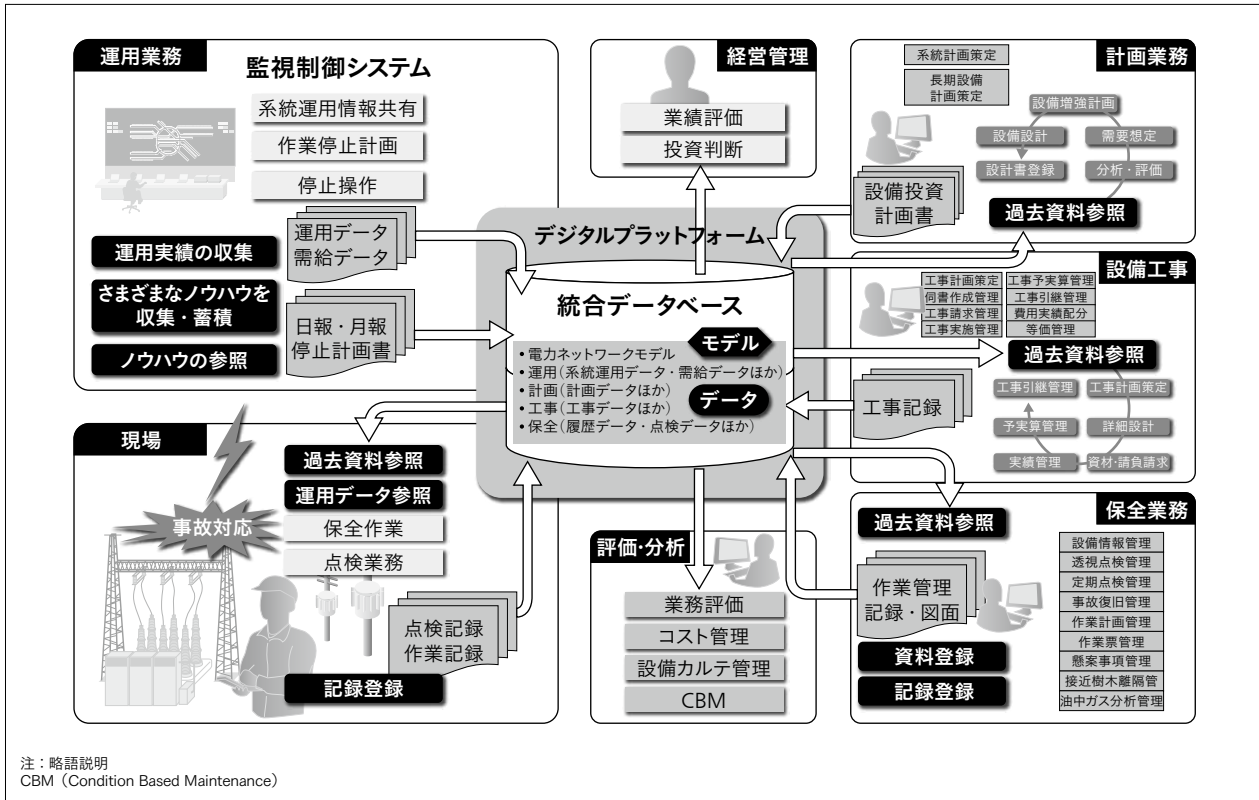


図5 配電連係サーバ追加による配電業務の業務効率化

次期配電自動化システムの系統計測情報とMDMSシステム計測情報から配電系統負荷データベースを構築し、配電業務の効率化に利用する。

図6| デジタルプラットフォームの概念

サイバー空間のデジタルプラットフォームを構築し、データの掛け合わせで新たな価値を創出する。

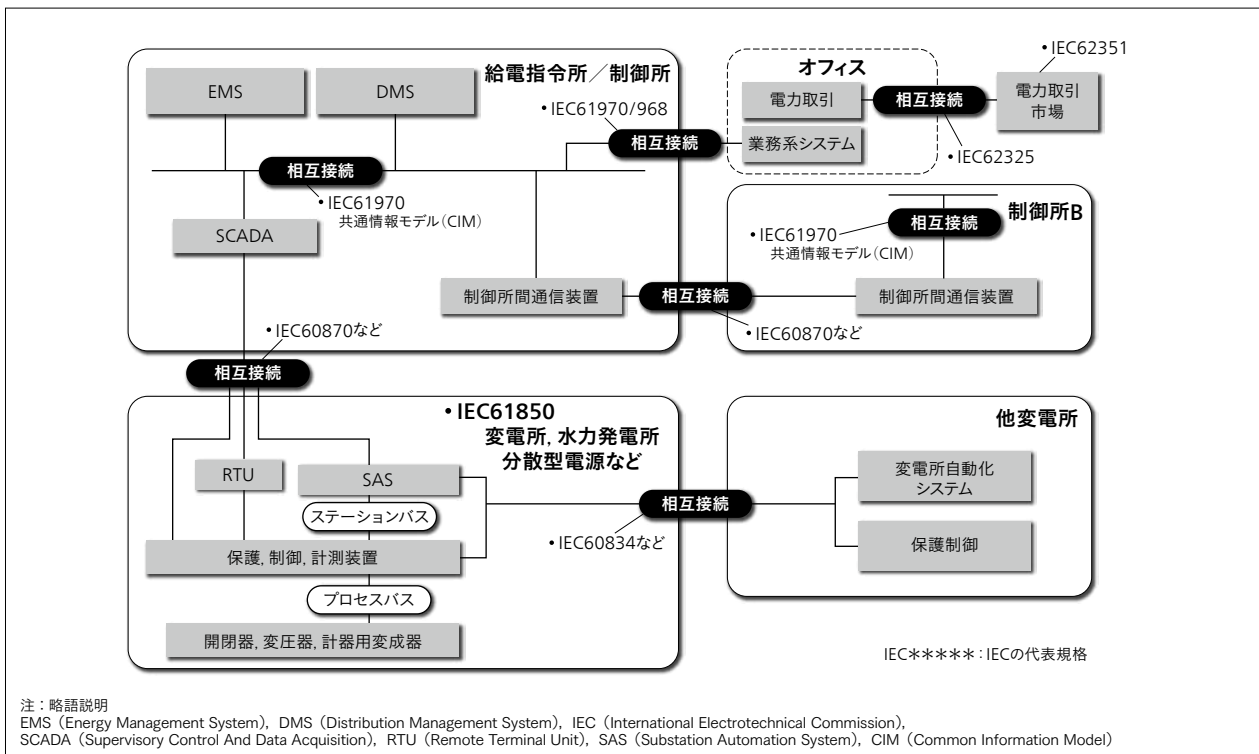


変電所構内に設置された各主要機器の保全情報と系統監視情報をITによって有機的に管理する総合的なソリューションを提供していく (図6参照)。

これらソリューション構築においては、今後の組織変更に伴う運用拠点の変更や統廃合、管轄範囲の広域化に柔軟に対応するために、電力システムを構成する送配電設備

図7| 国際標準規格のマッピング (IEC/TC57)

国際標準規格に則ったデジタルプラットフォームを構築する。



をシームレスに情報接続していく必要がある。この方策として、システム間の相互接続性に優れた国際標準規格の導入を考慮したアーキテクチャが必要となる（図7参照）。

変電所のオールデジタル化に向け、以下の3点を代表とした、国際標準に準拠した各システム間のモデル化、通信方式の実証などを計画中である。

- (1) 変電所構内の各設備情報のデジタル変換技術
- (2) 各設備の早期異常発見や最適な保守診断技術
- (3) 点検作業の効率化、劣化更新計画支援技術

6. おわりに

日立は、送配電分野における監視制御に対し、今まで培ってきた運用技術OT×情報技術ITの強みを生かして、送配電事業分野に対するデジタルライゼーションの推進により、IoT (Internet of Things) の時代に適合する新たな価値を提供していく。また、プロダクトだけではなくシステム化し、サービスの形でソリューションを提供していく。

参考文献など

- 1) 電力広域的運営推進機関：東京中部間連系設備に係る広域系統整備計画 (2016.6), https://www.occto.or.jp/pressrelease/2016/files/pressrelease_0629_fc_bessi.pdf
- 2) 市野澤，外：電力システム改革で変化する広域系統運用を支えるソリューション，日立評論，95，12，723～728 (2015.12)
- 3) 日立ニュースリリース，日立とABBの国内向け高圧直流送電事業に関する合弁会社日立ABB HVDCテクノロジーが営業開始 (2015.10), <http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2015/10/1015a.pdf>
- 4) ABB社プレスリリース，日立とABB社が日本の高圧直流送電事業で戦略的パートナーシップ関係を構築 (2014.12), [http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/8e06e34528b7e35dc1257db000097099/\\$file/PressReleaseJDec16.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/8e06e34528b7e35dc1257db000097099/$file/PressReleaseJDec16.pdf)
- 5) 加藤，外：再生可能エネルギー大量導入を考慮した次世代系統監視制御システムの動向，日立評論，95，12，807～810(2013.12)

- 6) IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems -- Amendment 1: Modification of Selected Performance Requirements, in IEEE Std C37.118.1a-2014 (Amendment to IEEE Std C37.118.1-2011), April 30 2014
- 7) 佐藤，外：エネルギーソリューションでのグローバル顧客協創，日立評論，98，7-8，464～467 (2016.7)
- 8) NYISO (New York Independent System Operator) : Blackout August 14, 2003 Final Report (2005.2)
- 9) P. L. Anderson, et al.: Northeast Blackout Likely to Reduce US Earnings by \$6.4 Billion, AEG Working Paper 2003-2 (2003.8)

執筆者紹介



堀井 博夫

日立製作所 エネルギーソリューションビジネスユニット
電力情報制御システム事業部 電力情報制御本部
電力情報制御部 所属
現在，北米における電力系統安定化システムの事業展開に従事
技術士（総合技術監理部門，情報工学部門）
電気学会会員



飯村 美起

日立製作所 エネルギーソリューションビジネスユニット
電力情報制御システム事業部 電力情報制御本部
電力変換システム部 所属
現在，国内における直流送電システムの事業展開に従事
電気学会会員，CIGRE会員



桐原 健太

日立製作所 研究開発グループ エネルギーイノベーションセンター
エネルギーマネジメント研究部 所属
現在，電力系統安定化システムの開発に従事
IEEE会員，CIGRE会員



早坂 靖士

日立製作所 サービス&プラットフォームビジネスユニット
制御プラットフォーム統括本部 電力システム本部
電力システム設計部 所属
現在，国内における電力系統監視制御システムの開発・設計
取りまとめ業務に従事



山邊 和也

日立製作所 エネルギーソリューションビジネスユニット
電力情報制御システム事業部 電力情報制御本部 所属
現在，国内における送配電全般のソリューション事業展開に従事
電気学会会員