

電力流通の変革を支えるデジタルサービス

Digital Services for Electricity Transmission and Distribution Utilities to Reform Overall Business Processes

庄野 貴也 SHONO Takaya 才田 敏之 SAIDA Toshiyuki

電力業界では、電力システムの安定運用や業務の効率化とともに、高経年設備の最適な更新や設備形成の合理化などが求められている。また、近年のIoT（Internet of Things）技術の高度化に伴い、送配電事業者のデジタル化による業務変革が急速に進んでいる。

東芝グループは、国内外向けに多数納入してきた電力流通設備の技術・ノウハウを活用し、フィジカル（現実）空間における電力流通設備とその運用状態をサイバー空間でモデル化したデジタルツインを構築し、系統設備の設計・製造情報及びフィールドにおける運用データを使って電力システムの設備形成とその運用を変革するデジタルサービスを開発している。ダッシュボードによる変電所運用状態の可視化や、状態基準保全（CBM：Condition Based Maintenance）サービスによる保全業務の省力化、デジタルライブラリーサービスによるドキュメント類の相互関係などで、送配電事業者の課題解決と新たな価値創出に貢献する。

The electric power industry in Japan is faced with the need to secure the stable operation of electric power systems and improve the efficiency of work processes while rationalizing system configurations through the optimal replacement of aged facilities. Electricity transmission and distribution utilities are therefore tackling the reform of their business processes through the application of advanced technologies for digital transformation including the Internet of Things (IoT).

Based on its long accumulation of technical know-how in the domestic and overseas markets, the Toshiba Group is promoting the development of digital services to optimize the configuration of power grids and reform overall business operations. This is achieved through the construction of a so-called digital twin, which is a model that replicates equipment and its operational conditions in cyberspace. Our approach is expected to contribute to the solution of customers' issues and the provision of new value through the following services: (1) visualization of the operational conditions of substations by means of a dashboard service, (2) labor saving in equipment maintenance by means of a condition-based maintenance (CBM) service, and (3) interoperability of documents by means of a digital library service.

1. まえがき

1990年代の半ばから進んだ通信技術の高度化は、変電所構内の機器・装置の遠隔保守や運用の自動化を進めるとともに、変電所の稼働状態の可視化や自動化範囲の拡大に貢献してきた。更に、2000年以降は海外を中心に、電力事業者自動化システム用通信規格である国際標準プロトコル IEC 61850（国際電気標準会議規格 61850）を適用し、従来のアナログ的構成から通信技術を主体としたデジタルの仕組みへ転換することが検討されてきた⁽¹⁾。

一方、近年、電力流通の分野でも、デジタル化による業務変革のニーズが急速に高まっている。この状況を踏まえ、東芝グループは、フィジカル（現実）空間における電力流通設備とその運用状態を、サイバー空間でモデル化した電力流通のデジタルツインを構築した。そして、デジタル化された情報を使って電力システムの設備形成とその運用を変革する

CPS（サイバーフィジカルシステム）を構築し、新たな価値の創出を目指している。

ここでは、CPS実現のために東芝グループが開発した、エネルギーシステム向けIoTプラットフォームが提供する各種の電力流通分野向けデジタルサービスについて述べる。

2. 送配電事業を取り巻く環境と課題

国家レベルで進行する電力システム改革に基づき、2000年3月に大口需要家を対象とする電力小売自由化が実施され、2016年4月には全ての需要家が自由に供給元を選択できる小売全面自由化に移行した⁽²⁾。更に、2020年4月には、送配電部門の中立性を一層明確にする観点から、法的分離（持ち株会社化、若しくは発電・小売親会社の下での子会社化）による発送電分離が実施された。その目的は、電気料金の抑制と電力安定供給の確保にある。発送電分離により、送配電網は多数の事業者が利用する公共インフ

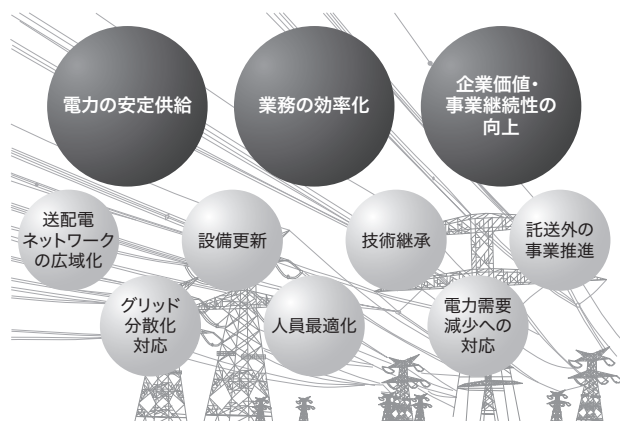


図1. 送配電事業を取り巻く環境

送配電事業者には、様々な課題を解決することで、業務の効率化や電力安定供給の確保などの実現とともに、企業価値・事業継続性の向上などが求められている。

Environment surrounding power transmission and distribution business

ラの性格が強くなるため、今後、より一層の公平性と透明性の確保が求められる。

また、最近では地球温暖化防止に向け、低炭素・脱炭素化の観点から再生可能エネルギーの導入が進んでいる。再生可能エネルギーや蓄電池などが分散して大量に系統へ接続されると、電力潮流が大きく変動するため、電力系統の運用が複雑化していく。更に、電力流通設備の高経年化も、送配電事業者が解決すべき喫緊の課題と言える。

このような事業環境の下、送配電事業者には、業務の効率化や電力の安定供給の確保などの実現とともに、企業価値・事業継続性の向上などが求められている（図1）。

3. 電力流通におけるDX

3.1 送配電事業者における業務のデジタル化

近年は、AIや、センサー、ドローン、MR（複合現実）、BIM（Building Information Modelling）といったICT（情報通信技術）、IoTの高度化とあいまって、送配電事業者のDXによる業務変革が急速に進んでいる。

例えば、電力流通の主要設備である変電所では、送配電事業者が“デジタル変電所構想”と呼ぶ、計画・工事・設計・運用・保守などの業務全般のデジタル化が検討されている。これにより、デジタル技術と、これまで蓄積した保全データや培ってきたノウハウを融合させ、変電所をより効率的に運用することで、系統運用・保守の高度なスキルを持った人財の減少や設備の高経年化といった業務に内在する課題を解決するだけでなく、新たな価値創出につなげるニーズも高まっている。

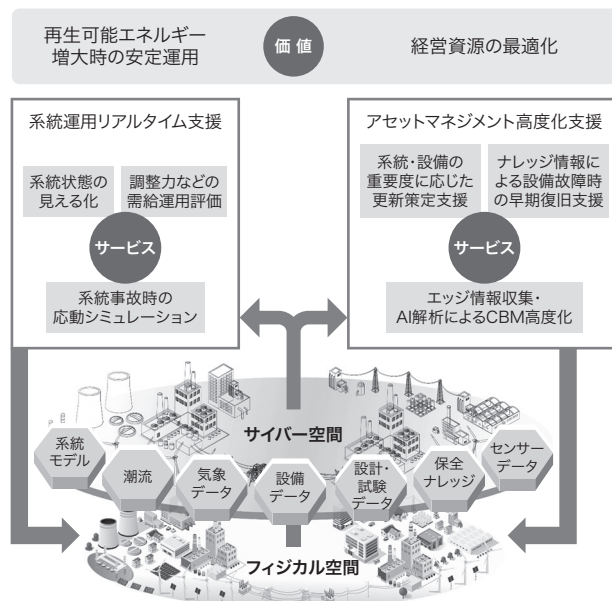


図2. 電力系統のデジタルツインの概念

電力流通設備の様々な情報をデジタル化してサイバー空間に写像したモデルであり、設備・資産の最適化、予防保全を目的とする制御、分析・解析、シミュレーションなどのサービスを提供する。

Conceptual diagram of digital twin of grid and equipment operation

3.2 電力系統のデジタルツイン

電力系統のデジタルツインでは、フィジカル空間における電力流通設備の、静的な企画・設計情報と動的な運用・保守情報をサイバー空間に写像したデジタルモデルを構築する。この企画・設計情報にはBIM思想も含まれ、3次元の系統設備のモデリング情報が、設計から施工、維持管理に至るまでの設備ライフサイクル全体で蓄積・共有・活用される。

このデジタルツインを用いて、設備・資産の最適化や、予防保全を目的とする制御、分析・解析、シミュレーションなどのサービスを提供する。例えば、再生可能エネルギー出力予測・系統状態シミュレーションの高度化（電力系統の各ノードの電気量に気象条件なども加味したシミュレーション）や、ダイナミックレーティング技術も電力系統のデジタルツインが生み出す新たな価値である。図2にデジタルツインの考え方を示す。

3.3 デジタルサービス用のアーキテクチャーモデル

電力系統は、現存する最大級のシステムであり、エネルギーを“つくる”、“おくる”、“ためる”、“かしこく使う”の個々の構成要素が相互に関連し合いながら、運用されている。

送配電事業者の課題解決と新たな価値創出に向け、この巨大かつ複雑なシステムを再認識するため、図3に示すような、アーキテクチャーモデルSGAM（Smart Grid Architec-

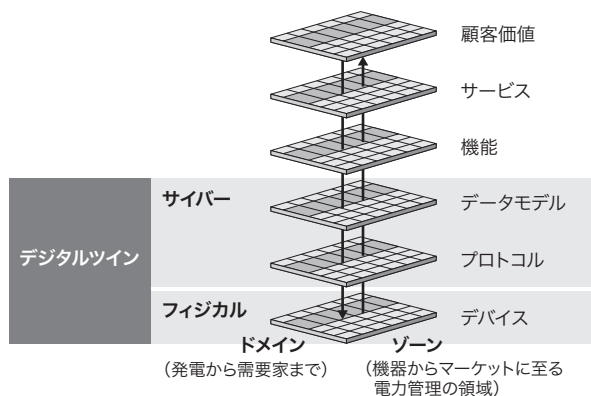


図3. SGAMの構造

送配電事業者の新たなビジネス価値の技術的実現性を、6階層モデルを俯瞰して整理，検討する。

Structure of Smart Grid Architecture Model (SGAM)

ture Model)⁽³⁾を応用した独自の6階層モデルを用いて、デジタルビジネスの価値創出に向けた技術的な実現性を、整理，検討した。最下層にあるフィジカル空間の電力流通設備から、第2層のプロトコルや、第3層のデータモデル、第4層の機能、第5層のサービスを介して、最上層にある社会や顧客事業における価値創出までを俯瞰（ふかん）して、データと技術やサービスの関係性を分析できる。

東芝グループは、電力系統のデジタルツインから生まれるデジタルサービスで、4章で述べるような、新たな価値創出を目指している。

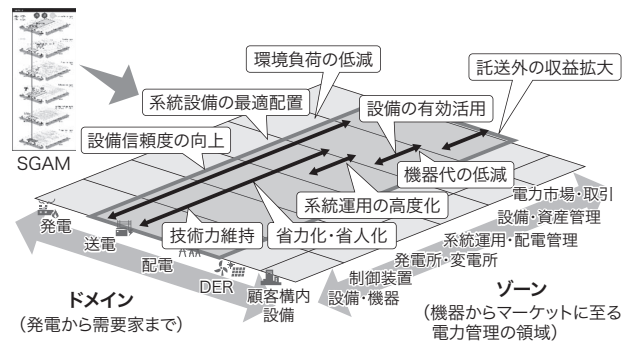
4. 送配電事業の課題を解決するデジタルサービス

エネルギーシステム向けIoTプラットフォームが提供するデジタルサービスにより実現される価値の例を図4に示す。また、具体的なデジタルサービスの例を、以下で説明する。

4.1 変電所向けダッシュボード

変電所向けダッシュボードは、変電所の運用状態の可視化や、設備の状態に応じた点検によるCBM、デジタルライブラリーなど個々のデジタルサービスを相互に連携するためのポータルとしてのUI（ユーザーインターフェース）に位置付けられる。エネルギーシステム向けIoTプラットフォームが提供するマイクロサービスアーキテクチャーの各種DB（データベース）を基に、変電所の設備（変電機器や、保護リレー、変電制御システムなど）のマクロな運用状態を必要最小限、かつ簡潔に運用者へ提供する。

図5には、実際に変電所向けダッシュボード上で可視化したGIS（ガス絶縁開閉装置）や、保護リレー、変電所制御システムなどの運用状態の例を示す。将来的には、変電所向けダッシュボードが各種DBやデジタルサービスなどと

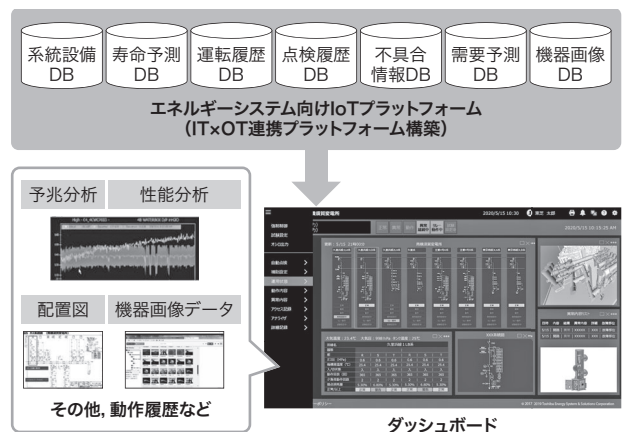


DER:分散型エネルギー源

図4. デジタルサービスによる課題解決と価値創出

SGAMを活用して得られたデジタルサービスによって実現される様々なビジネス価値を示している。

Overview of digital services to overcome issues and create new value



IT:情報技術 OT:制御・運用技術

図5. 変電所設備情報の相互連携とダッシュボードによる可視化

メーカーの保有する機器の設計情報や試験結果などの製品ノウハウとセンサーから得られる情報を融合させることで、機器保全に有用な高度な診断情報などが表示される。

Interoperability of equipment information in substation and visualization using dashboard

連携し、ポータルとしての機能が拡張できるように設計されている。

4.2 CBMサービス

変電所設備の保全業務を省力化するには、従来の定期的な点検による時間基準保全（TBM：Time Based Maintenance）からCBMへの移行や、設備異常をその兆候の段階で早期に検出する技術などが有効である。設備運用中にセンサーから得られるデータの蓄積が、保全業務の省力化を実現する一つの手段となる。主要な変電所設備であるGISにセンサーを実装した例を図6に示す。

設備運用中に現場から収集されたデータは、上位システム

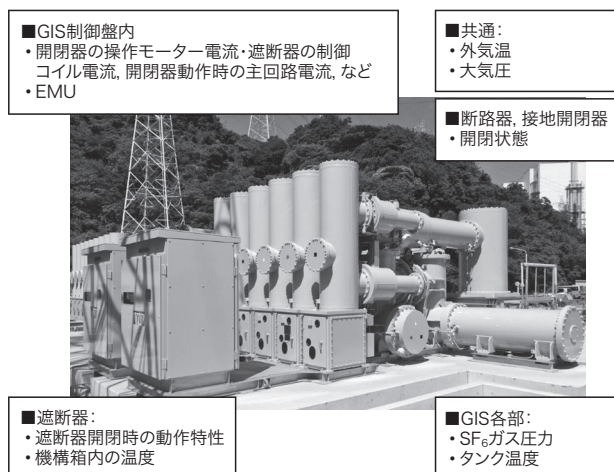
SF₆:六フッ化硫黄

図6. GISのモニター箇所及び診断項目

センサーから得られるデータを用いたデジタルサービスにより、保全業務の省力化を実現する。

Sensing points and diagnostic items for gas-insulated switchgears (GIS)

が容易に利活用できるように、情報集約・伝送端末(EMU: Equipment Monitoring Unit)を介してIEC 61850により伝送・蓄積される。上位システムに蓄積された設備情報に、メーカーが保有する設計情報や試験結果などの製品ノウハウと、ユーザーが保有する巡視・点検記録などの設備運用中の各種データを融合させ、相関関係などをサイバー空間で分析・理解する。そして、その結果をフィジカル空間にフィードバックし、設備の異常予測に加え、予防保全としての対応策の指示や更新時期の判断などを行うことで、これまで以上に保全業務の効率化や、計画的な予防保全、設備停止期間の短縮などに貢献できる。

また、このようにして得られた設備運用中のデータを、ユーザーだけでなくメーカーとも共有して利用することで、メーカーサービス部門による変電所設備の状態把握(見守り)や、異常兆候を捉えたアナウンス、交換部品の事前手配など、サポートサービスの強化も可能になる。

このような変電所向けCBMサービスは、既に国内の変電所設備に導入されてサービスを開始しており、顧客とともに効果を検証していく予定である。

4.3 デジタルライブラリーサービス

電力流通設備や、変電機器、制御システムなどの設計・製造図面から運用・点検データまで、従来は紙媒体などで管理されていたドキュメントを、デジタル化支援も含めて相互関係できるのが、以下に示すデジタルライブラリーサービスである。

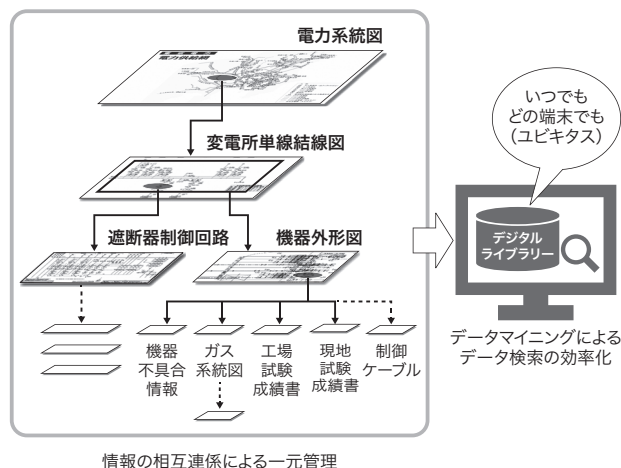


図7. デジタルライブラリーサービスの概要

設計・製造図面から運用・点検まで、紙で管理されていたドキュメントも含めて、活用できるデータをデジタル化し、DBとして構築する。

Overview of digital library service

4.3.1 図面連係・データマイニングサービス

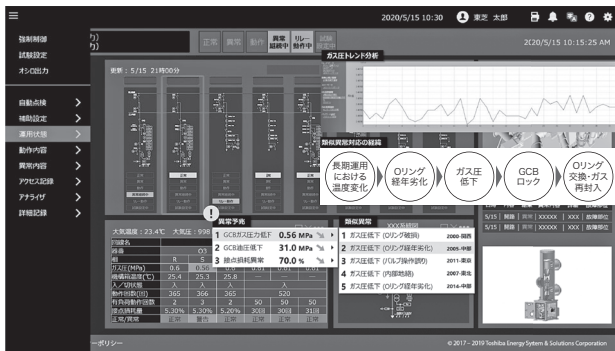
メーカーやユーザーの保有する様々な情報には、以下のようなものがある。

- (1) メーカーが保有する情報 変電所設備に関わる設計図面や各種試験成績、同一形式設備の予防保全情報や修理・原因究明に関するノウハウなど
- (2) ユーザーが保有する情報 巡視・点検記録や、設備の画像情報、設備運用中の各種データなど

これらをデジタル化して蓄積することで、情報の一元管理や、更新管理、現場・オフィスなどの場所に依存しない(ユビキタス)最新データの参照などができるライブラリーを提供する。

更に、メーカーとユーザー両者の保有するデータを多面的に評価することで、系統事故の原因究明の迅速化や、変電所設備の運用実態に即した製品開発へのフィードバックなどが図れる効果も期待できる(図7)。変電所向けダッシュボードをハブとした図面連係機能は、既にサービス提供が可能である。

また、従来は人間系で行っていた系統事故時の現象やシステム応動の解析、不具合事象・処置の記録などの各種業務において、機械分析、すなわちデータマイニング技術を活用することが考えられる。これにより、過去の類似事象を瞬時に見付け出し、運用者に原因究明や処置支援などのガイダンスを示すことで、業務の省力化や系統事故復旧の迅速化などの価値が提供できる(図8)。データマイニング技術自体は既に確立されているが、過去の記録は必ずしもデジタル化されているわけではない。したがって、概念実証



GCB:ガス遮断器

図8. 変電所全体の運用状態を表示するダッシュボード

変電所設備の個別の状態をマクロな集約情報として一覧できるようにして、変電機器や、保護リレー、変電制御装置など変電所全体の運用状態（故障や事故履歴など）を表示する。

Dashboard screen showing operational status of each piece of substation equipment

(PoC: Proof of Concept) などを通じて、紙などのアナログの媒体の記録を効率的にデジタル化する手法などについて現在検証中である。

4.3.2 制御ケーブル管理サービス

変電機器や、配電盤・端子台、ケーブルなどの位置・接続状態をデジタルデータとして利活用できる形に蓄積し、変電所業務の効率化をサポートする。また、配電盤や端子台間における、制御ケーブルの接続状態の妥当性チェック機能も加えることで、既設変電所の設備増設や更新における工事計画の策定支援などにも活用可能である。

今後は、データ入力や追加・変更をユーザーが簡易に行えるよう、使いやすいUIに改良していく。

5. あとがき

送配電事業者の設備形成と系統運用における課題を解決するために、フィジカル空間の電力流通設備と系統運用状態を、サイバー空間でモデル化したデジタルツインを構築した。これは、電力系統設備の異常兆候を把握した故障リスクの可視化や、気象情報などの周辺情報も加味した高度な系統状態シミュレーションなど、様々なデジタルサービスを提供する。また、これにより、電力系統運用の高度化を実現し、アセット全体の状況を鑑みた計画的な設備形成と電力の安定供給もサポートできる。

ここで述べたデジタルサービスは、エネルギーシステム向けIoTプラットフォームにより、複数メーカーや複数ユーザーが保有するサービスとも相互にリンクして活用可能な、オープンなものを目指している。

東芝グループは、電力流通業界で培ってきた設備技術・経験とDXを融合させ、ユーザーとの共創により経営課題の解決に貢献するとともに、新たな社会的価値を提供していく。

文 献

- (1) 浜松浩一，ほか，“電力事業者自動化システム用通信規格 IEC 61850”，平成25年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集，北見，2013-09，電気学会，2013，p.607-612.
- (2) 安全・安心社会の電気エネルギーセキュリティ特別調査専門委員会，安全・安心社会の電気エネルギーセキュリティ，電気学会，2018，p.5-28.
- (3) 田中立二，電力需給調整に関するステークホルダを連携させる情報モデルと国際標準，電気学会誌，2019，139，4，p.217-220.



庄野 貴也 SHONO Takaya
東芝エネルギーシステムズ(株)
グリッド・アグリゲーション事業部 電力系統システム技術部
IEEE・CIGRE・電気学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



才田 敏之 SAIDA Toshiyuki
東芝エネルギーシステムズ(株)
グリッド・アグリゲーション事業部 電力変電技術部
CIGRE・電気学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.