

# 電力の安定供給と最適化に貢献する エネルギーソリューションの現状と展望

Energy Solutions Contributing to Stable and Optimal Power Supply

森本 正博 MORIMOTO, Masahiro

松本 康 MATSUMOTO, Yasushi

## 1 まえがき

エネルギー需給環境の変化および社会インフラや産業システムの高度化に伴い、電力の安定供給や工場・施設における設備の安定稼働と省エネルギー（省エネ）のニーズが高まっている。また、設備管理の人材不足を背景として、設備メンテナンスなどのアフターサービスにIoT（Internet of Things）を活用した見える化や最適化が求められている。経済成長が著しい東南アジアでは、社会インフラや工場への投資が増大する中、電力供給の安定化と高効率化が課題となっている。

富士電機は、変圧器、配電盤、無停電電源装置（UPS：Uninterruptible Power System）などの強いコンポーネントとエネルギーマネジメントなどのシステムを組み合わせ、据え付け工事、保守サービスなどを含め、一括で提案する電気設備まるごとソリューションを提供している。

図1に、富士電機のパワーエレクトロニクス（パワエレ）システム エネルギー事業の概要を示す。変圧器、配電盤、UPSなどのコンポーネントに、計測機器や制御機器、受配電・開閉・制御機器、パワエレ機器を用いた制御システムを組み合わせ、システム事業の強化

を推進している。本稿では、電力の安定供給と最適化に貢献するエネルギーソリューションの現状と展望について述べる。

## 2 強いコンポーネントを支える技術

### 2.1 変電技術

変圧器や開閉装置などの変電機器は、電力系統において中核となる機器である。世界的には、今後も東南アジア、中東、アフリカ諸国において、新規の電力系統整備が進められることによる旺盛な新設需要が期待される。国内においては、東日本大震災以降、企業や個人の節電への取組みにより、電力需要の伸びは鈍化傾向にある。一方、変圧器は経年40年以上、開閉装置では経年30年以上の機器が約半数を占めるまでになっているため、更新需要が見込まれている。

図2に変電技術を適用した製品を示す。富士電機は、枯渇の恐れがある石油由来の鉱油の代わりに、植物由来のパームヤシ脂肪酸エステルを絶縁・冷却媒体として使用したパームヤシ脂肪酸エステル変圧器や、万が一漏れた場合に、地球温暖化の要因となるSF<sub>6</sub>ガスの代わりに乾燥空気を絶縁媒体に使ったキュービクル形

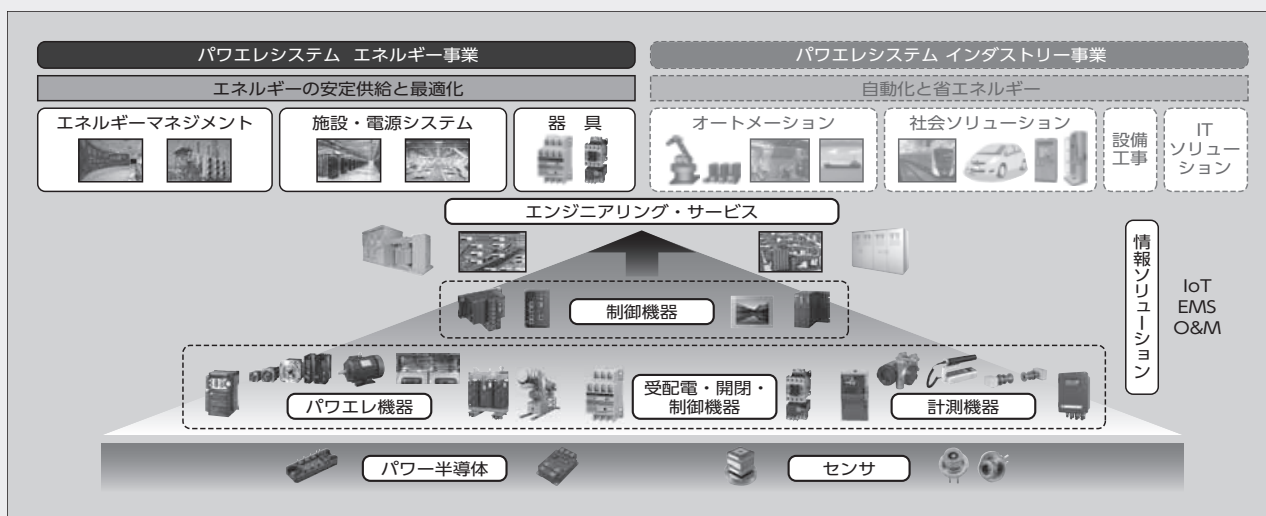


図1 富士電機のパワーエレクトロニクス エネルギー事業の概要

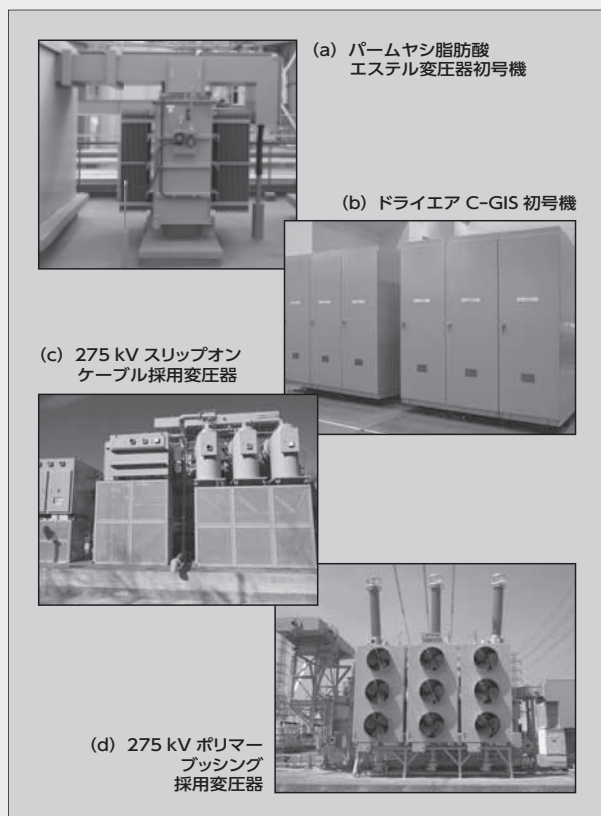


図2 変電技術を適用した製品

空気絶縁開閉装置（C-GIS）などの環境対応製品を開発し、おのおの10年以上の納入実績がある。また、従来の磁器ブッシングに比べて耐震性能を大幅に向上した変圧器用の275 kVポリマーブッシングや、現地組立工期を削減した変圧器用275 kVケーブルのスリップオン接続などの新技術を積極的に採用している。

国内外では、機器の信頼性向上、小型化などのニーズが高く、それに対応するために解析技術の向上に取り組んでいる。

## 2.2 施設電源技術

金融における仮想通貨やスマートペイメント、自動車の自動運転・電装化、あらゆるものがインターネットにつながるIoT、人工知能（AI）を活用したビッグデータ解析などデジタルデータは膨大に膨れ上がっている。これに合わせ、メガクラウドベンダをはじめとしたデータセンター（DC）事業者の投資が盛んである。DCの新規建設では、設備の超大型化が世界的に急激

に進んでいる。

DCの可用性を支える重要な設備の一つとしてUPSがある。DCの大型化に伴い、消費する電力量が膨大となっている。そのため、UPSは、高効率であることが求められる。富士電機は、UPSの高効率化を実現するために、“低損失SiC（炭化けい素）デバイス”<sup>(\*)2</sup>、“A-NPC（Advanced Neutral-Point-Clamped）3レベル変換回路”<sup>(\*)3</sup>、“常時商用給電方式”<sup>(\*)4</sup>を適用してきた。さらに、複数台から成るUPSが最適な効率で運転できるように、自動運転制御を行う台数制御機能を最新のUPSに搭載した（147ページ“ハイパースケールデータセンター向けUPS”参照）。

設備の大容量化、可用性への対応としてモジュール型UPS「UPS7400WXシリーズ」を製品化した（図3）。従来の最大単機容量500 kVAに対し、単機容量1,000 kVAに大容量化した。モジュール構造なので、一部のモジュールが故障しても継続運転ができ、可用性を高めた。

UPSのバックアップ電源には、従来の鉛蓄電池よりも小型化できるリチウムイオン電池の採用も進めている。電気設備を省スペース化し、サーバ設置スペースを確保したいDCユーザに導入されている。

DC分野では、今後もサーバの高密度化、設備の大型化に対し、さらなる大容量化に対応する製品を投入する計画である（151ページ“常時商用給電方式と台数制御機能を付加した高効率UPS「UPS7000HX-T4」”参照）。

配電盤の国内市場は成熟しているものの、年率1.5%



図3 「UPS7400WXシリーズ」

### (\*)1 データセンター（DC）

インターネット用のサーバやデータ通信、固定・携帯・IP電話などの装置を設置・運用することに特化した建物の総称である。

### (\*)2 SiC デバイス

SiC デバイスは、Si（けい素）と炭素の化合物からな

るワイドバンドギャップ半導体である。絶縁破壊電圧や熱伝導率が高いなどパワーデバイスとして優れた特性を持つため、高耐圧、低損失、高温動作が実現できる。

### (\*)3 3レベル変換回路

電源やインバータをはじめとする電力変換装置の電力損失を大幅に低減する、マルチレベル変換回路の一つ

である。

### (\*)4 常時商用給電方式

商用電源が正常な通常時は、商用電源を接続している機器へそのまま給電し、停電時は、バッテリー電力をインバータで直流から交流に変換し、接続している機器へ給電する方式である。

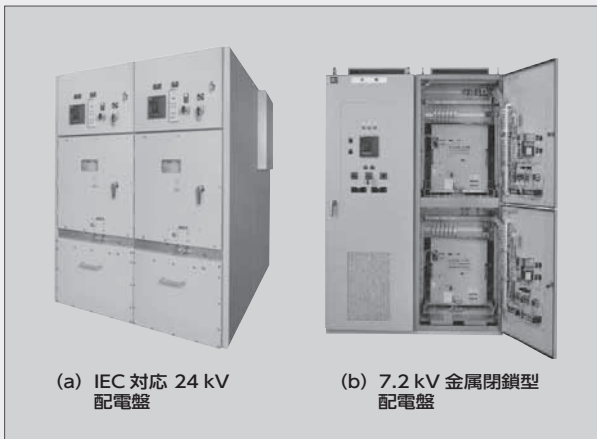


図4 IEC対応配電盤と小型化した配電盤

で確実に成長している<sup>(1)</sup>。CO<sub>2</sub>排出量を削減するため、風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーに移行しており、この分野では低圧盤の需要が多い。さらに、IoTのインフラの一つであるDCの市場が依然として成長すると予測されており、高圧盤の需要も増加している。

配電盤は、東南アジアでは4.7%と高い成長率を維持している<sup>(1)</sup>。配電盤では、以前から保守する人の安全が重要視され、正面扉を閉じた状態で扉外部から真空遮断器（VCB：Vacuum Circuit-Breaker）の運転位置への移動を可能とする外部操作機能を具備するメタルクラッド型スイッチギヤの採用などの要求がある。

最近では、さらに設備運転や人の安全に対する要求が高くなってきており、断路部の充電部保護に金属製シャッタの採用の要求や設備の運転継続性に関するクラス分けの指定などがある。また、盤内部短絡時のアークによって発生するホットガスは、従来の技術ではダクトにて外部に放出することが一般的であった。しかし、最近ではホットガスを安全な温度まで冷却してから排出する要求がある。このような要求に対して、図4(a)に示すようなIEC規格を認証取得した製品の提供を開始している。

DCなどでは、スペース確保が困難な都市部への設置が一般的であるため、トータルで設置面積の縮小化が要求される。このような要求に対して、図4(b)に示すような前面保守型で小型化した高圧盤を開発し、据付面積を従来比で約70%に縮小した（143ページ“データセンター向け高圧盤の小型化”参照）。

今後も、国内外向けの高圧盤の縮小化だけでなく溶接レス化やメッキレス化を進め、3R（リデュース、リユース、リサイクル）を追求した環境負荷が低い配電盤を提供していく。

### 2.3 設備保全技術

IoTの進展により、これまで収集できなかったデー

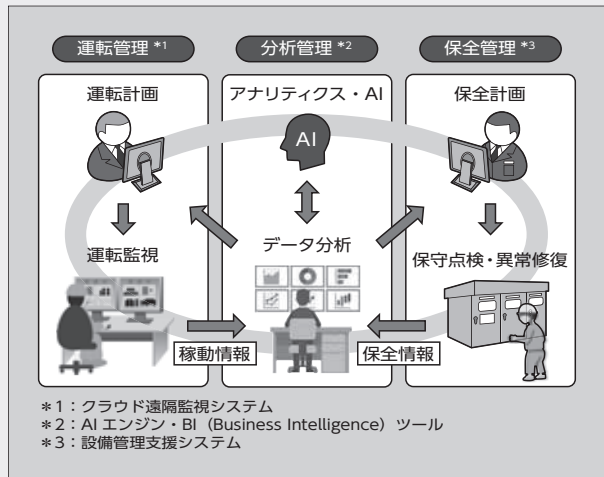


図5 O&M サービスプラットフォームの機能構成

タが収集できるようになってきている。さらに、収集したデータのアナリティクス・AIによる新たな分析を使ったスマートメンテナンスが始まりつつある<sup>(2)</sup>。

富士電機は、メーカーとして納入した製品のメンテナンスを、フィールドサービスとして顧客から委託を受けてきた。以前のような機器のメンテナンスやトラブル対応だけでなく、設備管理全般に対する支援サービスが重要になっている。

設備管理業務は、保全戦略・計画の立案から始まり、保全の実行、保全データ管理、設備管理、さらには、保全要員の教育・訓練など多岐にわたる。このような設備管理業務に関わるサービスを「設備管理まるとサービス」として提供している。

設備管理まるとサービスは、図5に示すO&M（Operation & Maintenance）サービスプラットフォーム上に構築している。O&Mサービスプラットフォームは、ISO 18435（O&M統合モデル）で定義された運転管理業務、安全管理業務、分析管理業務を支援する機能がある。運転管理で収集した稼働情報と、安全管理で収集した保全情報を統合し、分析する。その結果を運転計画や保全計画に反映することで、設備の安定稼働や設備保全費の低減に貢献する（161ページ“設備保全の最適化を支援する「設備管理まるとサービス」”参照）。

また、遠隔監視システムを導入することにより、導入前と比較して異常を検知してから復旧完了までに要する時間を短縮できる。

## 3 エネルギーシステムソリューション

### 3.1 電源設備のワンストップソリューション

富士電機は、表1に示す電源機器を取り巻くメガトレンドを捉え、顧客に最適なソリューションを提案している。この中で重要なのは電力供給を安定的に行う



表1 受配電機器を取り巻くメガトレンドとニーズ

市場背景	メガトレンド	受配電機器のニーズ
グローバル化の加速	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 東南アジアの経済発展</li> <li>○ 貿易摩擦</li> <li>○ eコマースの普及</li> <li>○ M&amp;Aによる事業拡大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ タイムリーな設備投資</li> <li>○ 柔軟な設備拡張性</li> </ul>
国内労働人口の減少	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 少子高齢化</li> <li>○ 労働時間の短縮</li> <li>○ 技術者不足</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 一括設備発注</li> <li>○ 自動点検</li> <li>○ 効率化</li> <li>○ メンテナンスフリー</li> <li>○ 長寿命製品</li> </ul>
生産技術の革新	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ スマートファクトリー</li> <li>○ ロボットの活用</li> <li>○ フレキシブル生産</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 柔軟な設備拡張性</li> <li>○ 見える化</li> <li>○ 自動化</li> </ul>
IoTの普及 通信速度の高速化	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 故障予知</li> <li>○ 学習機能</li> <li>○ AI</li> <li>○ ビッグデータの活用</li> <li>○ スマートデバイス普及</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 自動診断</li> <li>○ 寿命診断</li> <li>○ 故障解析</li> <li>○ 最適化制御</li> </ul>
環境性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 高効率</li> <li>○ 環境負荷低減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 耐環境性製品</li> </ul>
安心・安全性 性能の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 異常気象</li> <li>○ BCP</li> <li>○ レジリエンス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 冗長化</li> <li>○ コージェネレーション</li> <li>○ 非常用発電設備</li> <li>○ 瞬低対策</li> </ul>

ための冗長化はもちろんのこと、世界的な経済の加速により、全産業で隆盛・後退のビジネスサイクルが短くなり、景気動向に合わせた柔軟でタイムリーな設備拡張性が求められていることである。また、予算管理、設計調整、施工調整、納期管理などの建設マネジメントの省人化と保守点検までをワンストップ化し、設備投資から運用までを効率化するために、一括設備発注が行われるようになってきている。

大型化が進むDCでは、高品質・高信頼性に加え

て、竣工（しゅんこう）当初は装置を全て実装せず、需要増に応じて装置を増設している。半導体工場では、運用中に拡張やメンテナンスが可能なが求められ、高品質と安全性が重要である。また、組立工場においては、経済性と事業継続計画（BCP：Business Continuity Plan）の両立が課題となっている。

とりまとめ技術者の不足などもあり、顧客は従来のように設備ごとに細分化して発注せず、受電設備から低圧設備までを一括設備発注するケースが増えている。このような中、富士電機は電源設備のワンストップソリューションで対応している（166ページ“大規模施設向け電源設備のワンストップソリューション”参照）。

### 3.2 エネルギーマネジメントシステム

日本のエネルギー政策の基本となる“3E+S”<sup>(\*)6)</sup>の下、2030年を想定したエネルギー基本計画が示された。また、“電力システム改革”<sup>(3),(4),(5)</sup>が2015年から進められている。この変革の中、さまざまな課題がAIやIoTなどの技術革新によって、解決されることが期待されている。

#### (1) 電力業界の変化

国が示したエネルギーミックスと電力システム改革のロードマップを整理したものを、図6に示す。この二つの動きによる具体的な変化は次に示すとおりである。

#### (a) 再生可能エネルギーの導入拡大による系統運用の変化

再生可能エネルギーの最大限の活用と安定供給を両立するためには、系統制約への対応や電力品質、

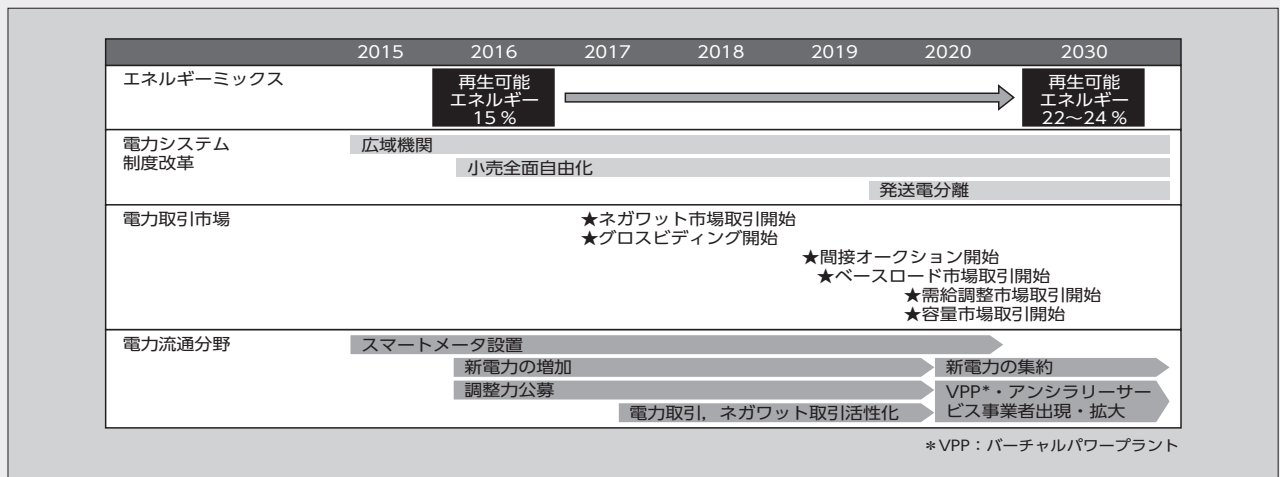


図6 エネルギーミックスと電力システム改革のロードマップ

#### (\*)5 事業継続計画（BCP）

企業が自然災害、大火災、テロ攻撃などの緊急事態に遭遇した場合において、事業資産の損害を最小限にとどめつつ、中核となる事業の継続あるいは早期復旧を可能とするために、平常時に行うべき活動や緊急時に

おける事業継続のための方法、手段などを取り決めておく計画のことである。

#### (\*)6 3E+S

日本のエネルギー政策を検討する上で基本となる視点

である。エネルギーの安定供給（Energy Security）、経済効率性（Economic Efficiency）、環境への適合（Environment）、安全性（Safety）から成る。

調整力を確保する次世代電力ネットワークの構築が必須である。系統制約に関しては、新しい系統利用ルールが検討されている。電力品質に関しては、配電系の電圧問題を解決するための設備増強が進められている。環境問題からCO<sub>2</sub>の排出を増やせないで火力発電所の新設が困難な中、蓄電システムなどの他の調整力への期待が高まっており、さまざまな実証事業が行われている。また、需要家設備（発電機、蓄電池、EVなど）の活用も検討されている。

(b) 新規事業者の参入拡大

2016年4月から電力小売りが全面的に自由化された。2019年2月時点で、全販売電力量に占める新電力（PPS）<sup>(\*)7</sup>のシェアは約14.6%まで拡大してきている<sup>(4)</sup>。ただし、全ての事業者が順調に業績を伸ばしているわけではなく、撤退する事業者も出始めている。

① 電力取引市場

競争によって効率化・電力料金を抑制するため、電力取引市場の変革も始まっている。卸電力取引所の取引量は2016年の約2%から大きく進展し、現在、約30%の水準に達している<sup>(4)</sup>。電力広域的運営推進機関によって容量メカニズムや需給調整市場の整備が進められている。

② 発送電分離

送配電部門の中立性を高めて、さまざまな事業者が送配電網を公平に利用できるようにするため、

2020年以降に法的分離や料金規制完全撤廃が進められている。送配電部門では、経営の効率化が強く求められており、不安定な再生可能エネルギー電源が増加する中、安定供給を確保できるシステムを導入・維持しながら運用コストの低減に取り組んでいる。

(2) 富士電機の取組み

近年の状況から、今後の電力流通分野の変化（電力系統運用・設備構成など）を次に示すように想定した。

(a) 電力安定化設備の整備

電力品質（周波数・電圧）を維持するための設備として、蓄電システムの導入や需要家設備の活用が拡大する。

(b) 新規サービスの出現・拡大

新しく創出される新市場をターゲットに、バーチャルパワープラント（VPP）<sup>(\*)8</sup>やアンシラリーサービ<sup>(\*)9</sup>スなどの新しいサービスを展開する事業者が出現する。

(c) 既存システムの高度化

電力の安定供給とコスト低減を両立するため、既存の運用システムや現場設備の高度化に応える電圧管理機能が必要になる。

富士電機は、このような想定に基づいた電力安定化のニーズに応えるため、図7に示すエネルギーマネジメントシステムにおける商材を準備している。蓄電システムや需給管理やVPPシステム、高度な電圧管理

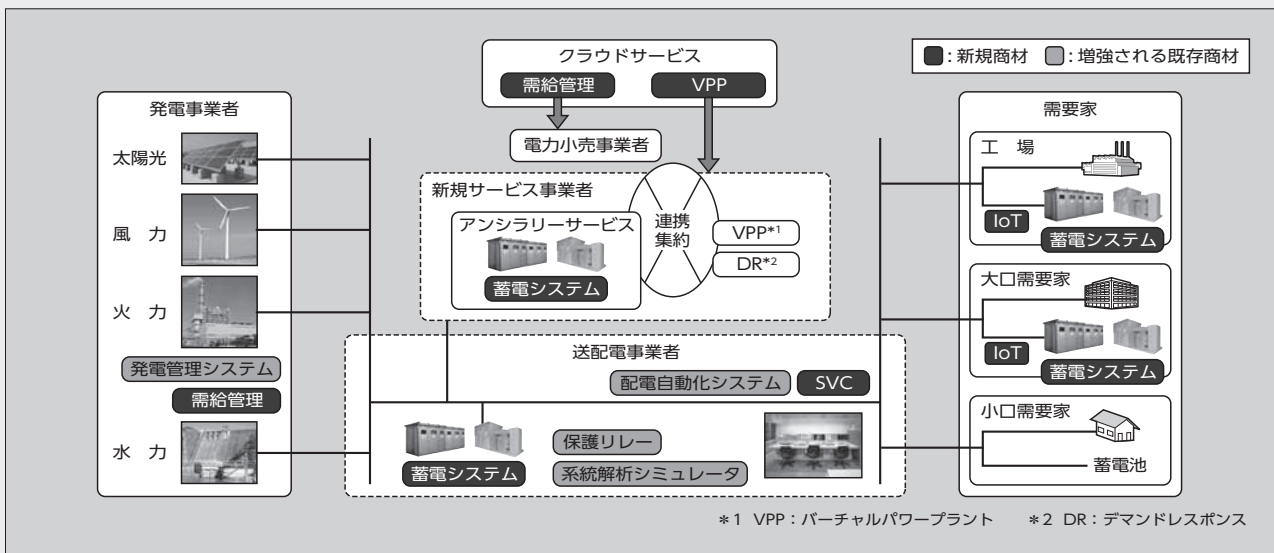


図7 エネルギーマネジメントシステムの商材

(\*)7 新電力 (PPS)

家庭に届けるための電線の設備を保有していないため、地域の電力会社（一般電気事業者）に使用料を支払い、契約者に電気を届ける特定規模電気事業者（PPS: Power Producer and Supplier）のことである。

(\*)8 バーチャルパワープラント (VPP)

Virtual Power Plantの略である。多数の小規模な発電所や、電力の需要抑制システムを一つの発電所のようにまとめて制御することである。負荷平準化や再生可能エネルギーの供給過剰の吸収、電力不足時の供給などが期待されている。

(\*)9 アンシラリーサービス

供給される電力の品質を維持するために行う運用サービスをいう。需給バランスの監視、系統運用、電圧・周波数の調整などがある。発電と送電などの電力事業が別々の会社に分離されると、ビジネスとしてアンシラリーサービスを行う事業者が現れる。

機能を持つ配電自動化システムを開発している。さらに、変電所をデジタル化する製品、分散型電源や蓄電池の導入を想定したシステムを模擬してシステムの信頼度や運用の安全性を確認するためのシステム解析シミュレータなどを開発し、整備してきた。

(3) EMSを支える商材の概要

(a) 電力安定化用蓄電システム・VPP

電力システムの周波数安定化や需給バランスの確保、需要家の負荷平準化やBCPなどの課題を解決するため、蓄電池を活用した制御システムを開発してきた。経済産業省の“需要家側エネルギーリソースを活用したバーチャルパワープラント構築実証事業”に参画し、点在する需要家蓄電池を統括管理する蓄電サーバや、蓄電サーバと需要家の蓄電池のインタフェース、蓄電池を有効活用する蓄電IoTを開発し、効果を検証している（182ページ“需給管理システムとVPPソリューション”参照）。

(b) 需給管理システム

2016年4月の電力小売り全面自由化と同時に新電力の運用を支援するクラウドサービスを開始した。AIなどを駆使して電力需要を予測し、電気の調達、計画作成、需給監視までの全てをクラウドサービスで提供している。また、オンプレミスでの提供や発電事業者向けの機能を追加し、展開を図っている。

図8に、需給管理システムとVPPソリューション

事例を示す（182ページ“需給管理システムとVPPソリューション”参照）。

(c) 他励式配電システム用SVCと配電自動化システム

再生可能エネルギーの拡大により、配電系統内の電圧が上昇する問題が顕在化している。この問題に対応するためには、再生可能エネルギーの拡大に対応した配電系統の電圧を管理するシステムが必要である。そこで、富士電機は東北電力株式会社と共同研究を行い、新型の他励式配電システム用のSVC（Static Var Compensator）を開発した。さらに、配電系統の電圧調整機器の最適制御・整定や、系統計画支援の機能開発を行った。今後、配電系統を監視制御する配電自動化システムへの展開を図る。そのほか、BCP対応として、災害時も安定供給を継続するため、サーバの分散配置による広域バックアップシステムを開発し、納入を開始した。図9に、広域バックアップ型配電自動化システムの構成を示す（176ページ“配電分野における再生可能エネルギー大量導入の対策とBCPへの対応”参照）。

(d) 変電所のデジタル化

変電所の設備更新の効率化やコストダウン、さらには変電所情報に容易にアクセスできるようにするため、変電所のデジタル化を検討している。例えば、開閉器などの現場機器と保護制御装置の間を接続する大量の制御ケーブルの代わりに、プロセスバスを

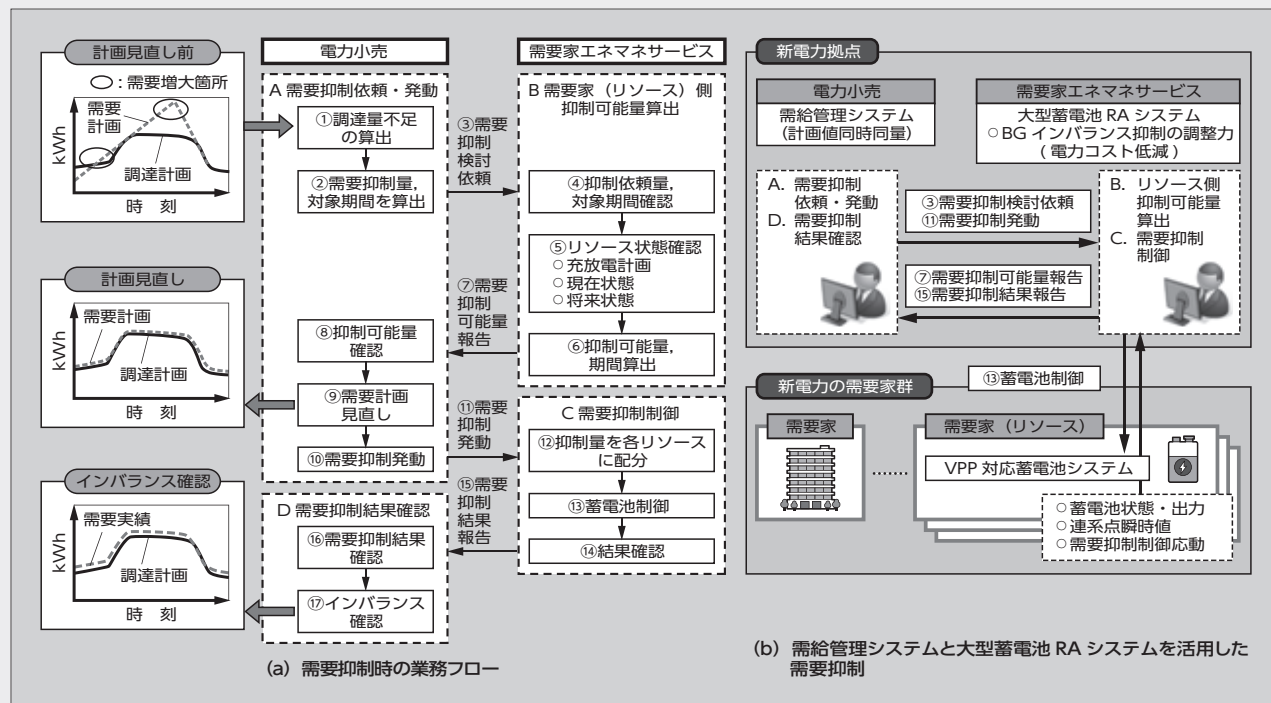


図8 需給管理システムとVPPソリューション

(\*10) オンプレミス (on-premises) (通常は企業)が管理する設備内に設置・導入し、サーバやソフトウェアなどの情報システムを使用者 用することである。

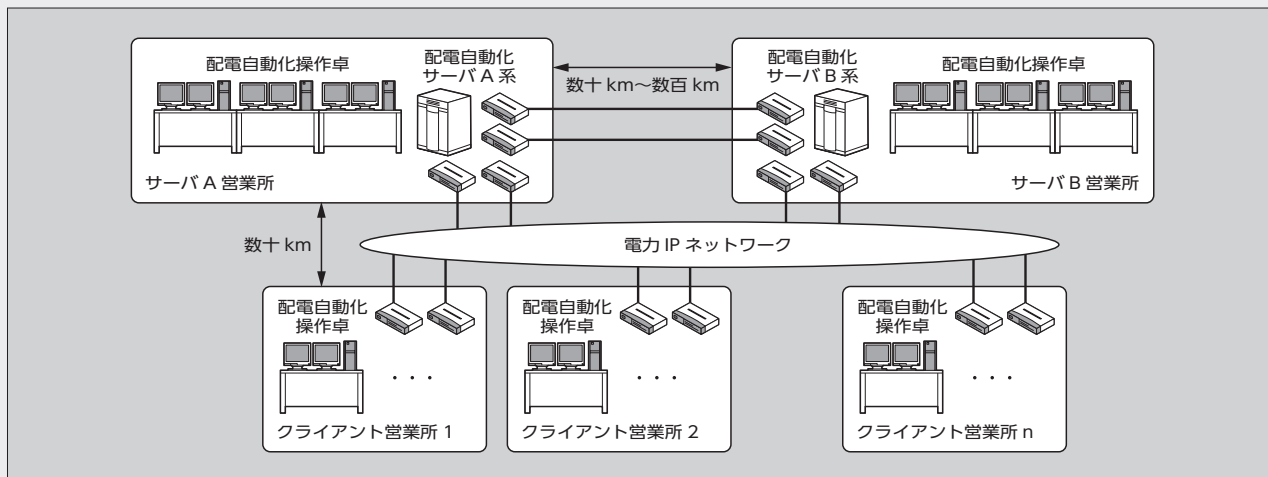


図9 広域バックアップ型配電自動化システム

採用して変電所情報のデジタル化した変電所監視制御システムの研究を進めている（170ページ“高度な保守・運用を実現するデジタル変電所技術”参照）。

(e) 電力システムシミュレータ

再生可能エネルギー発電など分散型電源や蓄電池を含んだシステムを電力機器モデルとケーブルで構成し、縮約した電流を流すことで模擬し、さまざまな系統構成や負荷・発電状況で電力系統の現象を模擬するアナログシミュレータを開発した。デジタルシミュレータでは解析できない現象が再現できる。再生可能エネルギーの大量導入に対する設備強化や運用見直しの効果の検証、系統事故の解析などが可能である。各変電機器などの情報は国際標準に準拠したデジタルネットワークで通信しているの、電力系統制御システムの模擬も可能である。この技術は、上述の変電所デジタル化の研究に生かされている。

- (3) 資源エネルギー庁. “2030年エネルギーミックス実現に向けた対応について～全体整理～”. 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会（第25回会合）（平成30年3月26日）. [https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/025/](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/025/), (参照 2019-07-10).
- (4) 資源エネルギー庁. “電力・ガス小売全面自由化の進捗状況について. 2019年5月28日資源エネルギー庁”. [https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/denryoku\\_gas/pdf/018\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/pdf/018_03_00.pdf), (参照 2019-07-10).
- (5) 國松亮一. “我が国における電力卸取引の現状と今後の役割”. 一般社団法人 日本卸電力取引所. [http://www.econ.kyoto-u.ac.jp/renewable\\_energy/wp-content/uploads/2018/11/20181113-2-doc.pdf](http://www.econ.kyoto-u.ac.jp/renewable_energy/wp-content/uploads/2018/11/20181113-2-doc.pdf), (参照 2019-07-10).

4 あとがき

富士電機が取り組んでいるエネルギーソリューションから代表的なものを取り上げ、現状と展望を述べた。

富士電機はこれからも、電力の安定供給と最適化を推進することで社会に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) Asia-Pacific Switchgear Market, Forecast to 2025 PA08-14Frost & Sullivan March 2019.
- (2) 山田隆雄, 福住光記. 富士電機IoTプラットフォームの全体像. 富士電機技報. 2018, vol.91, no.3, p.157-160.



森本 正博

富士電機株式会社執行役員、パワエレシステム エネルギー事業本部長。



松本 康

パワエレシステムの研究開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレシステム エネルギー事業本部開発統括部長。IEEE 会員。電気学会会員。



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。