

富士電機技報

FUJI ELECTRIC JOURNAL

2019
Vol.92 No.

3

特集 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



特集 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

富士電機は、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貢献するために、確かな技術で電力インフラを支え、電力の安定供給、最適化に取り組んでいます。また、エネルギー・環境技術の革新を追及し、付加価値の高い、環境にやさしい、国内外で使われる製品・システムづくりにも取り組んでいます。

本特集では、電力の安定供給と最適化に貢献する変圧器、配電盤、無停電電源装置（UPS）などの強いコンポーネントを支える最新技術をはじめ、電源設備のワンストップソリューションやエネルギーマネジメントシステム（EMS）などのエネルギーシステムソリューションを紹介します。

表紙写真

①植物油変圧器（パームヤシ脂肪酸エステル使用）、②
145 kV 縮小型ガス絶縁開閉装置（GIS）、③モジュール型
UPS「UPS7400WX-T3U」



目次

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	
〔特集に寄せて〕 将来の電力の安定供給と最適化を目指して 中西 要祐	125 (3)
〔現状と展望〕 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 森本 正博 ・ 松本 康	126 (4)
変電機器を小型化する最新の設計・解析技術 彦坂 知行 ・ 林田 広和 ・ 榎並 義晶	133 (11)
省エネルギー性・耐震性が向上した新世代モルトラ 宮田 智一	138 (16)
データセンター向け高圧盤の小型化 岩本 啓 ・ 藤本 義雄 ・ 大田 博	143 (21)
ハイパースケールデータセンター向け UPS 佐藤 篤司 ・ 山方 義彦 ・ 濱田 一平	147 (25)
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」 安本 浩二 ・ 濱田 一平 ・ 反町 直弘	151 (29)
大容量パワーエレクトロニクス機器の品質向上と 環境負荷軽減に寄与する試験装置 梅沢 一喜 ・ 山田 歳也 ・ 千田 幸弘	156 (34)
設備保全の最適化を支援する「設備管理まるとサービス」 福島 宗次	161 (39)
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 村岸 拓郎 ・ 高橋 淳	166 (44)
高度な保守・運用を実現するデジタル変電所技術 石上 雄太 ・ 杉田 浩平 ・ 野川 方生	170 (48)
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 松枝 剣 ・ 望月 正希 ・ 神通川 亨	176 (54)
需給管理システムと VPP ソリューション 岡林 弘樹 ・ 寺田 岳生 ・ 藤尾 昂弘	182 (60)
新製品紹介論文	
船舶スクラバ向けレーザ方式ガス分析計	188 (66)
第7世代「X シリーズ」IGBT モジュール 1,700 V 系列	191 (69)
EV リユース蓄電池システム	194 (72)
小容量 UPS 「GX シリーズ」用ネットワークカード 「Web/SNMP カード II」	197 (75)
第7世代「X シリーズ」1,200 V/2,400 A RC-IGBT モジュール	200 (78)
略語・商標	203 (81)

Energy Solutions Contributing to Stable and Optimal Power Supply

[Preface] In Pursuit of Stable and Optimal Power Supply in the Future NAKANISHI, Yosuke	125 (3)
Energy Solutions Contributing to Stable and Optimal Power Supply MORIMOTO, Masahiro MATSUMOTO, Yasushi	126 (4)
Latest Design & Analysis Technologies for Miniaturizing Substation Equipment HIKOSAKA, Tomoyuki HAYASHIDA, Hirokazu ENAMI, Yoshiaki	133 (11)
New Generation MOLTRA with Improved Energy Savings and Earthquake Resistance MIYATA, Tomokazu	138 (16)
Compact Medium-Voltage Switchgear for Data Centers IWAMOTO, Satoshi FUJIMOTO, Yoshio OTA, Hiroshi	143 (21)
UPSs for Hyper Scale Data Centers SATO, Atsushi YAMAGATA, Yoshihiko HAMADA, Ippei	147 (25)
“UPS7000HX-T4” High-Efficiency UPS with Continuous Commercial Power Feeding and Quantity Control Function YASUMOTO, Koji HAMADA, Ippei SORIMACHI, Naohiro	151 (29)
Testing Equipment Contributing to Quality Improvement and Environmental Impact Reduction of High-Capacity Power Electronics Equipment UMEZAWA, Kazuyoshi YAMADA, Toshiya CHIDA, Yukihiro	156 (34)
“Comprehensive Equipment Management Service” Supporting Optimization of Equipment Maintenance FUKUSHIMA, Soji	161 (39)
One-Stop Solution for Power Supplies of Large-Scale Facilities MURAGISHI, Takuro TAKAHASHI, Jun	166 (44)
Technology of Digital Substation for Advanced Maintenance and Operation ISHIGAMI, Yuta SUGITA, Kohei NOGAWA, Michio	170 (48)
Countermeasures Against the Introduction of Large Amounts of Renewable Energy in the Distribution Field and Support for BCP MATSUEDA, Tsurugi MOCHIZUKI, Masaki JINTSUGAWA, Toru	176 (54)
Power Demand-Supply Management System and VPP Solution OKABAYASHI, Hiroki TERADA, Takeo FUJIO, Takahiro	182 (60)
New Products	
Laser Gas Analyzers for EGCS	188 (66)
1,700-V Line-Ups of 7th-Generation “X Series” IGBT Modules	191 (69)
Storage Battery Systems That Reuse EV Batteries	194 (72)
“Web/SNMP Card II” Network Cards for “GX Series” Small Capacity UPSs	197 (75)
7th-Generation “X series” 1,200 V/2,400 A RC-IGBT modules	200 (78)
Abbreviations and Trademarks	203 (81)

特集に寄せて

将来の電力の安定供給と最適化を目指して

In Pursuit of Stable and Optimal Power Supply in the Future

中西 要祐 NAKANISHI, Yosuke

早稲田大学理工学術院大学院教授 工学博士



特集に際して、これまでの日本の電力システムの歩みを概観し、将来の電力の安定供給と最適化を目指した電力システムについて考えてみたい。

日本の電力システムの黎明（れいめい）期では、電力システムは小規模で単純なシステムであり、需要の変動に応じて手動で発電出力の調整を実施していた。その後、電力系統の巨大化・複雑化に伴い、手動による系統全体の掌握と効率的な運用が困難となり、1950年代中頃には、アナログのテレメータを活用した通信技術が導入され、1960年代には、デジタル計算機を用いた自動給電システムのオンライン実運用が始まっている。その頃までには、民営10電力会社体制の中、それぞれの電力会社において、中央給電指令所と各地域給電連絡指令所による階層的な垂直統合型のシステムが確立してきた。さらに1970年代後半には、計算機技術や情報通信技術の進展に伴い、複数の変電所をまとめて一つの制御所から監視制御する遠方監視制御装置（テレコン）や、6.6kV電圧階級の配電システムにも配電自動化システムが導入され、計算機による遠隔操作方式やその後の自動制御方式が確立され、経済成長を支えるべく、高い信頼性のある電力システムが運用されてきた。これらの電力システムがたどった道として、大規模電源の開発、大規模需要地への電力輸送とそのための大規模送電網の構築などを主軸に、信頼性のある電力の安定供給を達成してきたといえる。また、それらの信頼性のある電力システムが確立したのは、システム運用者の下、電力設備に関する適切なシステム仕様を介して、それを提供するメーカーからの設計・製造で成立されるシステムとコンポーネントとの両者の相互の協力関係によるものである。また、そのシステムの機能確立には、両者および学術のたゆまぬ研究開発が後押しをしてきた。

次に、近年の電力システムの動向について述べる。2005年の「京都議定書」発効以前からも幾度となく地球温暖化防止会議で環境問題が議論されてきたが、日本では、2011年の東日本大震災による電力設備の被害や福島原発事故を契機に、災害を踏まえた電力レジリエンスの強化や脱炭素社会に向けて、電源のあり方や、さらには電力システム改革の加速を受けて、複数の事業者間にまたがる電力システムの運用のあり方が大きく変化してきている。つまり、

再生可能エネルギーを含む分散型電源や、揚水発電を含むさまざまな電力貯蔵装置の運用やそのための供給事業・アグリゲート事業などの新たな事業出現により、電力システムにおける電源の役割分担や不確定性を考慮したシステム運用などの新たなソリューションが望まれ、そのシステムの実現が必要となってきた。具体的には、風力発電や太陽光発電の変動電源の不確定性もさることながら、そのための蓄電池や変動電源などで採用されるパワエレ機器は高速な制御となるが故に、他の電源の協調分担や不確定なダイナミクスを考慮した運用制御が求められる。

さらに、複数の事業者の出現により、電源・送電線を含む設備計画、運用計画、市場取引などの多くの不確定性を考慮した最適計画・運用が求められる。これらの不確定性の扱いにおいて、統計データなどを用いて不確定性を表すことができるKnownな課題、集合や幅でしか表現できないUnknownな課題、相反するシナリオや予見不可能な事象に対するUnknowableな課題など、不確定性の異なる構造分類に応じて効率的な最適性のある運用制御とそのコンポーネントとしての設備・機能の提供が必要となる。

このような課題や不確定性の解決に向けて、将来の電力の安定供給と最適化について考えてみたい。元来、電力システムは、理想的な計画に従った運用は難しく、需要の挙動やさまざまな偶発事故などの不確定性を多く含んでいる。このため、当初の電力システムへの計算機導入時点でも、電力システム運用に関して次のような三つの状態とその遷移を前提としてシステム設計がなされてきた。つまり、予防制御を含む安定した定常運用状態、事故などの発生とその対応制御による緊急状態、緊急制御や幅輾（ふくそう）した事象の結果として形成されつつ定常制御へ向かうための復旧状態の三つの状態を定義し、それに伴う機能をシステムに具備させてきた。このような統合的なシステムの設計は、需要家を含む複数のまたがる事業者で構成される新たな電力システムにおいても、システム全体および個別のクラスターレベルで求められるものである。これからの新たな制度設計下においても、三つの状態とその遷移に基づくシステム設計上の合意形成の下、その電力設備の設計と機能開発が推進されることで、電力システムの信頼性が維持され、電力の安定供給が達成されることを期待したい。

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SF₆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

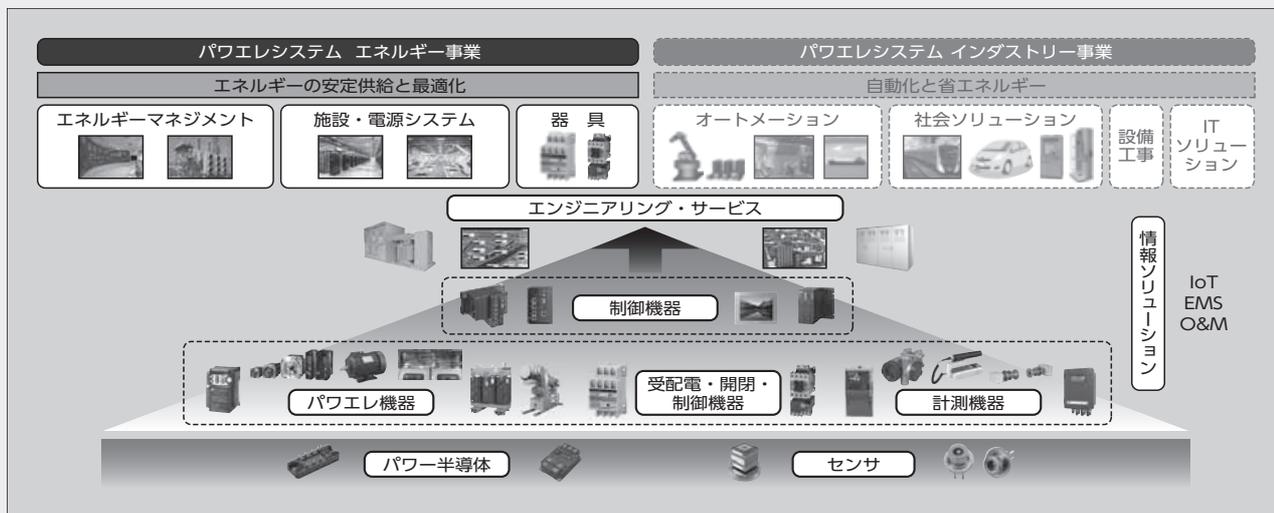


図1 富士電機のパワーエレクトロニクス エネルギー事業の概要

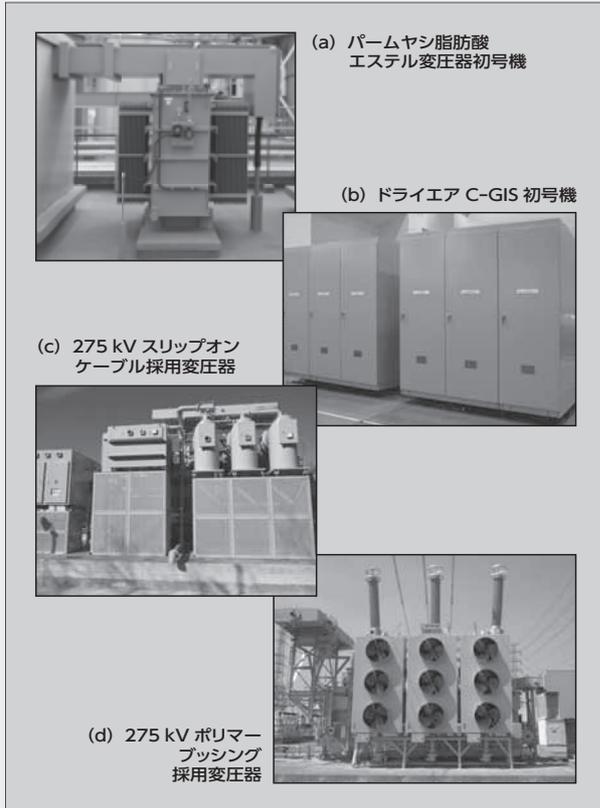


図2 変電技術を活用した製品

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”^{(*)2}、“A-NPC（Advanced Neutral-Point-Clamped）3レベル変換回路”^{(*)3}、“常時商用給電方式”^{(*)4}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。

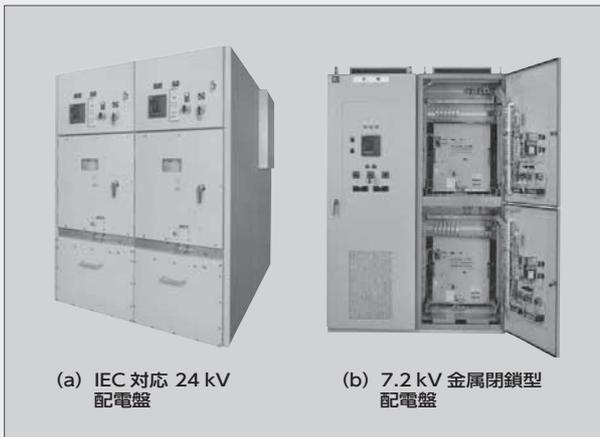


図4 IEC対応配電盤と小型化した配電盤

で確実に成長している⁽¹⁾。CO₂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⁽¹⁾。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

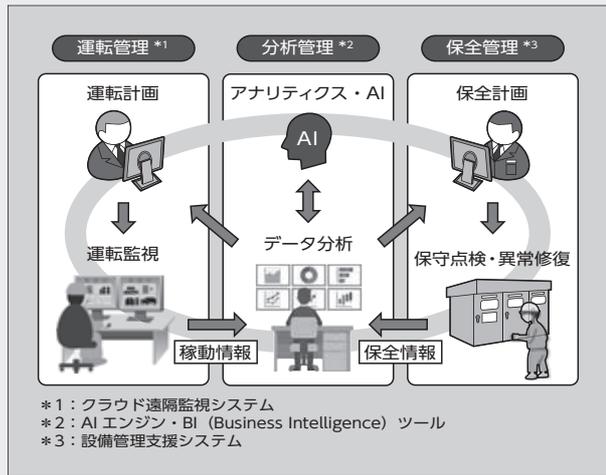


図5 O&M サービスプラットフォームの機能構成

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⁽²⁾。

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

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”^(*)6)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”^{(3),(4),(5)}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、

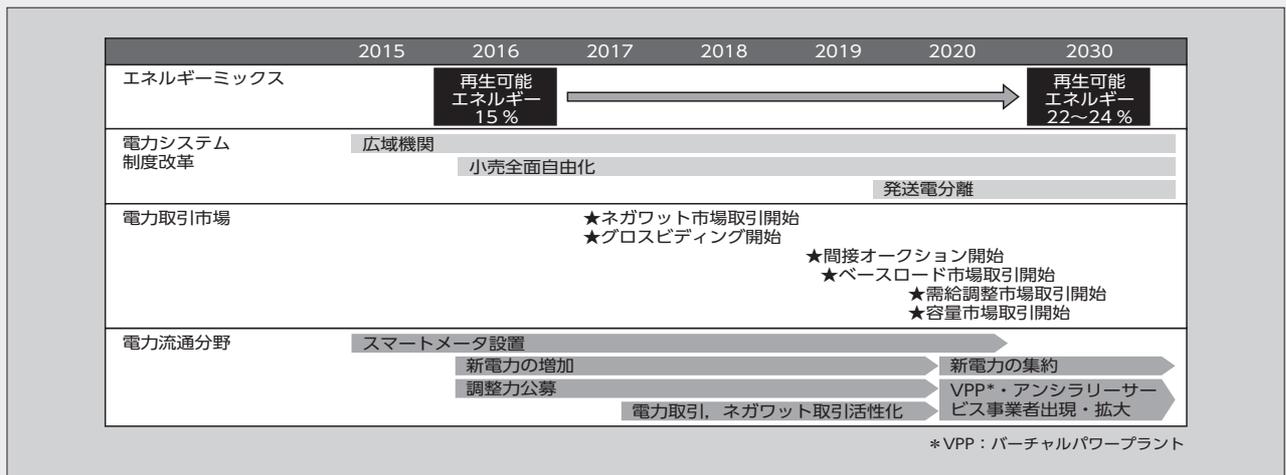


図6 エネルギーミックスと電力システム改革のロードマップ

(*)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CO₂の排出を増やせないため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）^{(*)7}のシェアは約14.6%まで拡大してきている⁽⁴⁾。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⁽⁴⁾。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）^{(*)8}やアンシラリーサービ^{(*)9}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

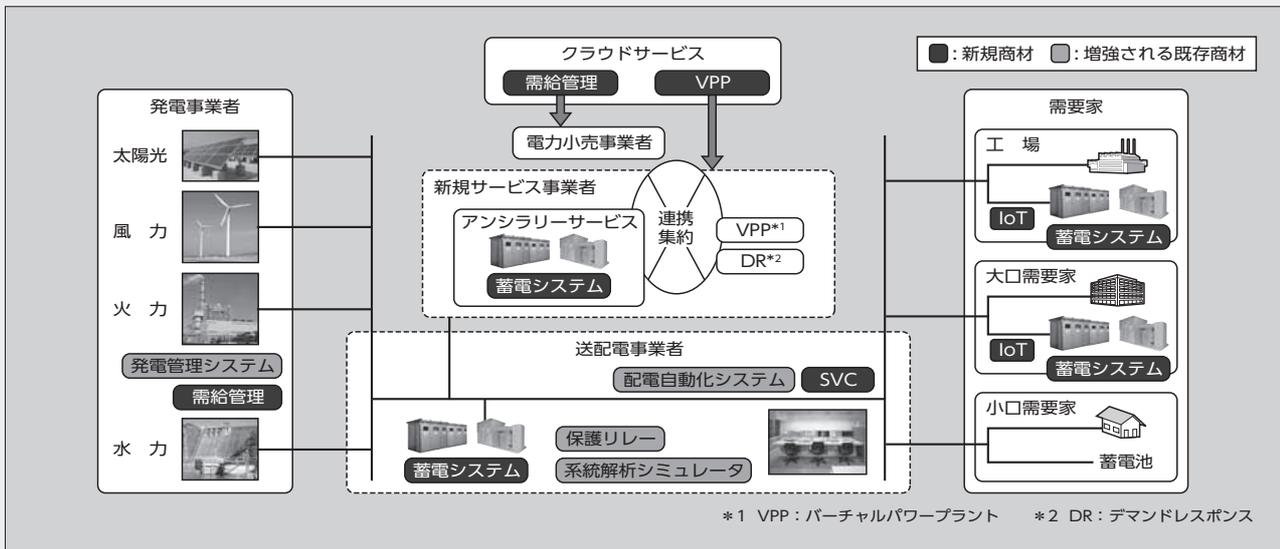


図7 エネルギーマネジメントシステムの商材

(*)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 パ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⁽⁴⁾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

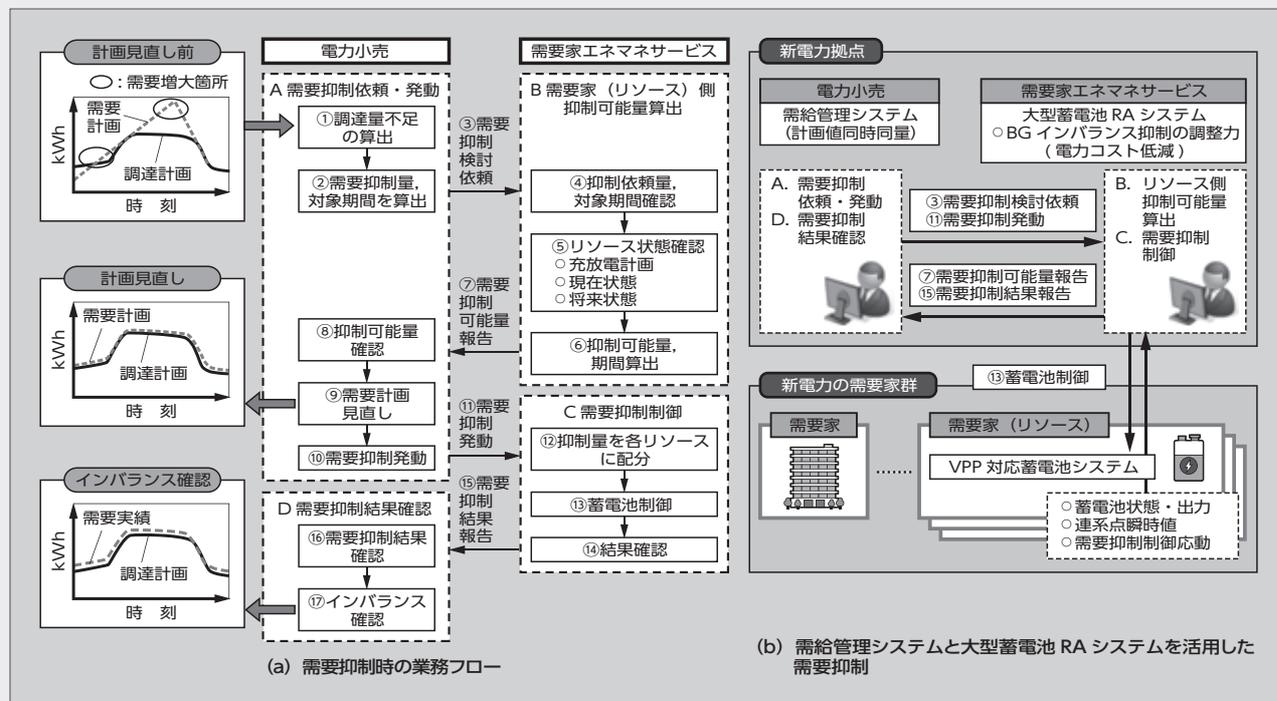


図8 需給管理システムとVPPソリューション

(*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。

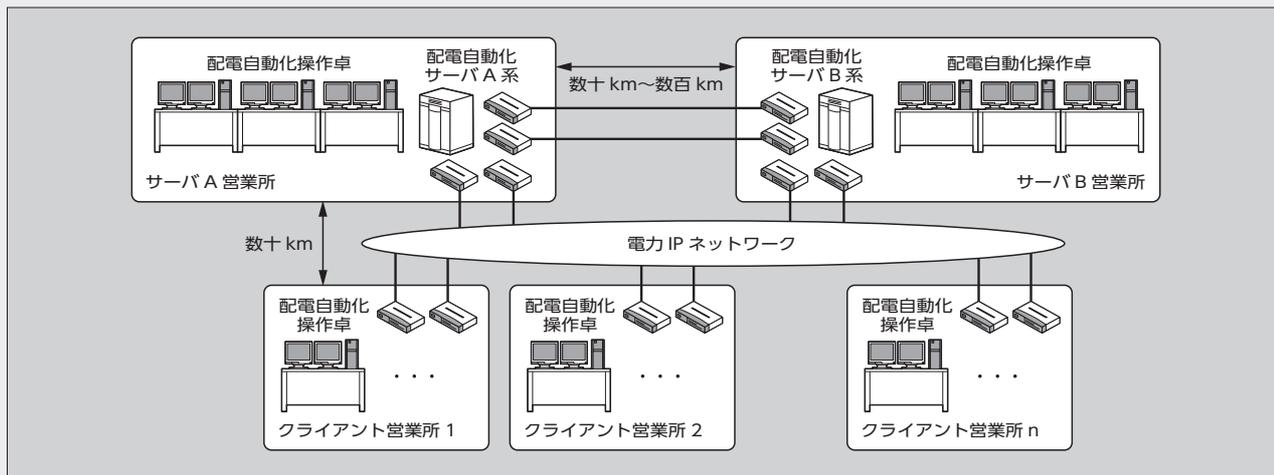


図9 広域バックアップ型配電自動化システム

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で、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/, (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, (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, (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。

変電機器を小型化する最新の設計・解析技術

Latest Design & Analysis Technologies for Miniaturizing Substation Equipment

彦坂 知行 HIKOSAKA, Tomoyuki

林田 広和 HAYASHIDA, Hirokazu

榎並 義晶 ENAMI, Yoshiaki

変圧器や開閉装置などの変電機器の小型化のニーズに応えるため、従来の変電機器に対して 30% 以上の小型化を実現できる設計・解析技術を確立した。変圧器では、三次元の電界解析技術、磁界解析技術、熱流体解析技術を確立し、各検証モデルでの実測結果との照合により、容積を 30% 低減した海外向け 50 MVA 変圧器を開発した。開閉装置では、電気回路・電磁場・熱流体の連成解析技術、電界・熱流体の連成解析技術などを駆使し、品質改善を図った。これにより、据付面積を 30%、質量を 35% 低減した 145 kV 新型 GIS を開発した。

To meet the need of miniaturization for substation equipment, including transformers and switchgear, Fuji Electric has developed design and analysis technologies capable of miniaturizing conventional substation equipment by 30% or more. We have developed a 50-MVA transformer for overseas markets that achieves a 30% reduction in volume. This downsizing was achieved by collating the measurement results from verification models created with three-dimensional electric field analysis, magnetic field analysis, and thermal fluid analysis technologies that we have established. We have also developed a new 145-kV GIS that achieves installation space savings of 30% and mass reduction of 35% by utilizing coupled analysis technologies for electric circuits, electromagnetic fields and thermal fluids, as well as coupled analysis technologies for electric fields and thermal fluids.

1 まえがき

変圧器や開閉装置などの変電機器は、電力インフラ整備の中核を成す変電所を構成する主要な機器である。故障が生じると社会的影響度が大きいため、その品質・信頼性には高い水準が要求される。一方、特に都市部の変電所用地は取得が難しく、狭くなる傾向にある。そのため、変電機器の小型化のニーズが高まっている。

富士電機は、半世紀以上の実績を持つ変圧器および開閉装置とともに、グローバルに展開している。今までの実績に立脚した装置の信頼性を維持しつつ、従来の変電機器よりも 30% 以上の小型化が実現できる設計・解析技術を確立した。本稿では、この最新の設計・解析技術について述べる。

2 変圧器の最新の設計・解析技術

変圧器は、顧客の仕様要求に合わせて、一品ごとに設計・製作している。

高電圧化、小型化、低損失化を図るため、開発時には、現象と原理の解明、諸元変化による現象の変化、解析と実績の整合などを重視して時間をかけて大規模な解析を行ってきた。一方、設計時には、納期と品質の両立が重要であるため、大規模な解析を行うためには時間的な制約があった。そこで、以前は開発時に用いた解析技術を基に作成した簡易計算プログラムや、二次元解析などにより計算時間を短縮する工夫で対応してきた。

近年の三次元 CAD とコンピュータのハードウェアやソフトウェアの発達により、設計時に精度の高い三次元解析を行うことができるようになってきた。このことから、富士電機でも三次元解析を積極的に設計に適用して、電力用

変圧器の小型化や信頼性向上を図っている。その中から、最新の三次元解析技術として、電界解析技術、磁界解析技術、熱流体解析技術を紹介し、その技術成果の製品への適用結果について述べる。

2.1 電界解析技術

変圧器の巻線とブッシングを接続するリードは、三次元的な配置となる。そのため、リードとタンク間の絶縁距離を決める上で、三次元電界解析が有効である。

そこで、図 1 に示すリード絶縁検証モデルを作成した。絶縁距離、リード導体の直径と絶縁紙の厚さをパラメータとして、正弦波電圧印加条件とインパルス電圧印加条件に対する絶縁破壊電圧を測定した。さらに、その測定値から、図 2 に示すような三次元電界解析によって、絶縁破壊電界が求められることを確認した。次に、従来、二次元電界解析結果と実測結果を照合して決定していたリードとタンク間の絶縁距離の設計基準の妥当性を検証した。その結果、リードとタンク間の絶縁距離を従来比で約 15% 縮小でき

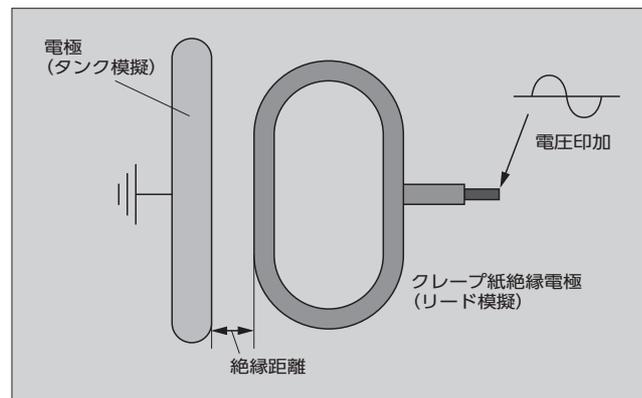


図 1 リード絶縁検証モデル

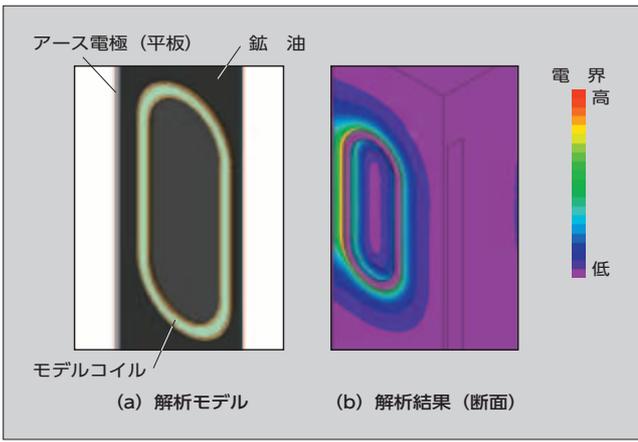


図2 リード絶縁検証モデルの電界解析結果例

ることが明らかになった。

2.2 磁界解析技術

変圧器のタンクやフレームに使用される普通鋼や高張力鋼などの構造材の磁気特性を正しく把握することは、変圧器内の磁束による漂遊負荷損^(注1)を評価する上で重要である。一般構造用圧延鋼材 SS400 の渦電流による漂遊負荷損を把握するため、外径φ60 mm、内径φ48 mm のリング状に切り取ったサンプルを作成し、磁束が構造材の板面内を流れる場合の損失を測定した。さらに、図3に示す30 mm 角の測定モデルを作成し、磁束が板面の垂直方向(積方向)に流れる場合の損失を測定した。図4に、図3の板面垂直磁束測定モデルの三次元磁界解析結果例を示す。図5に、従来法の解析結果、新規に等価導電率^(注2)を導入した解析結果と実測値との比較を示す。等価導電率^(注2)の導入により、特に磁束密度が大きい領域での計算精度が向上している。

2.3 熱流体解析技術

以前は、熱流体の三次元解析は、計算規模が大きくなる

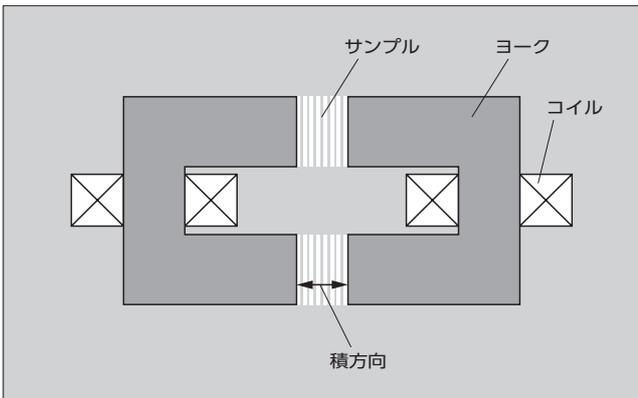


図3 板面垂直磁束測定モデル

〈注1〉漂遊負荷損：巻線からの漏れ磁束が構造材に鎖交して渦電流が発生し、その渦電流によって発生する損失

〈注2〉等価導電率：漂遊負荷損を正確に評価するために導入した表皮効果を考慮した導電率

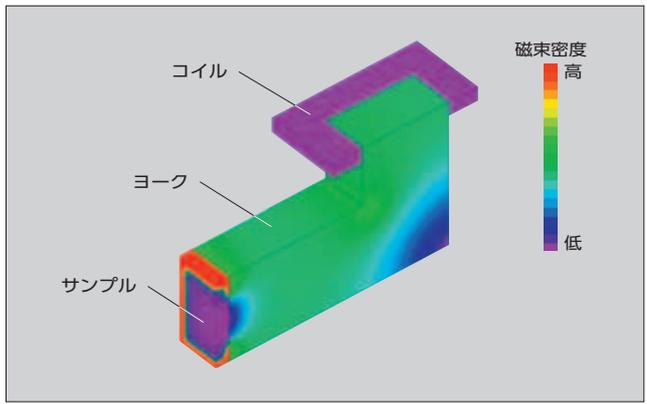


図4 三次元磁界解析例

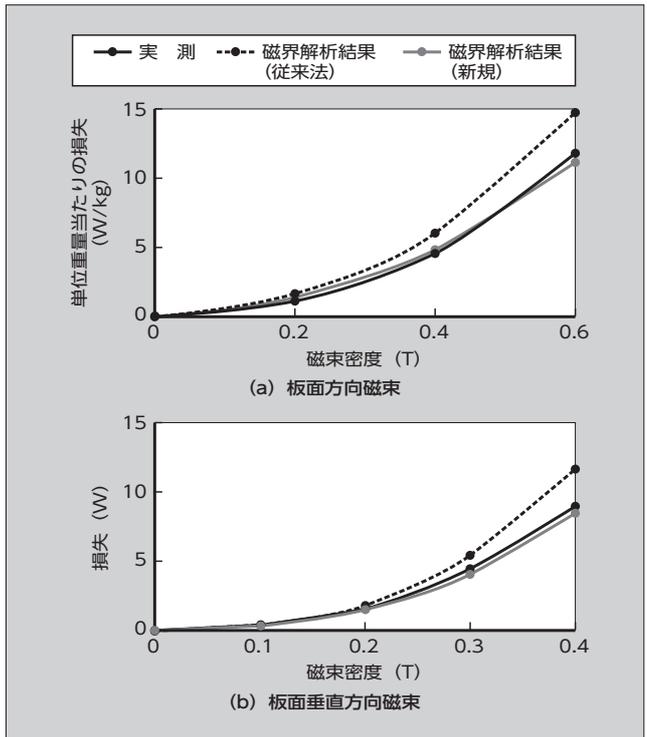


図5 従来法と等価導電率を考慮した新規手法の比較

ため長時間を要することが課題であった。しかし近年は計算技術の発達により、図6に示すような計算規模の大きい全体系のモデルの計算も可能になってきた。

巻線内の冷却効率の向上を図るため、内部構造の異なる次に示す3種類の巻線を実寸大で製作し、巻線内部の温度上昇を測定した。

- ケース1：ダクトフロー巻線
- ケース2：ジグザグフロー巻線(改良型)
- ケース3：ジグザグフロー巻線(従来型)

図7に、三次元熱流体解析により計算した巻線内の温度分布と絶縁油の速度分布を示す。また、図8に示すように、巻線内の5か所で実測した温度と図7の解析値はほぼ一致することが分かった。

この三次元熱流体解析を活用して、巻線構造の最適化を図り、変圧器の小型化を進めた。

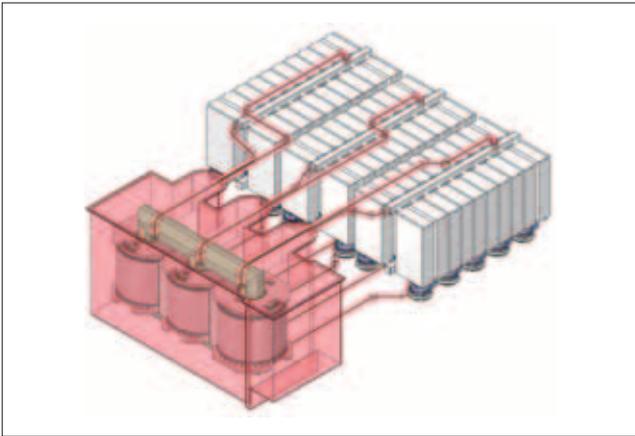


図6 全体系（巻線・鉄心・冷却器）熱流体解析モデル

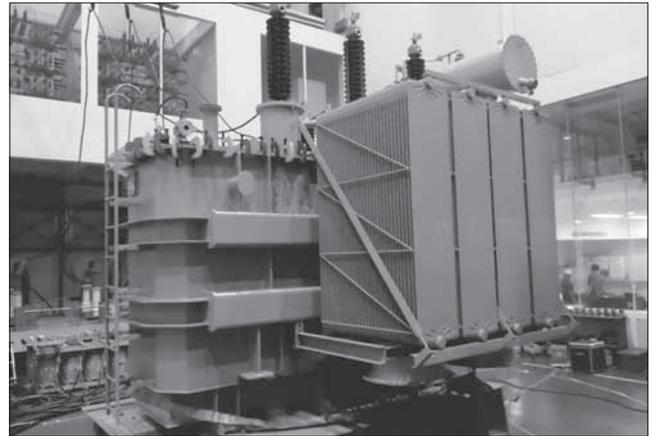


図9 縮小型変圧器

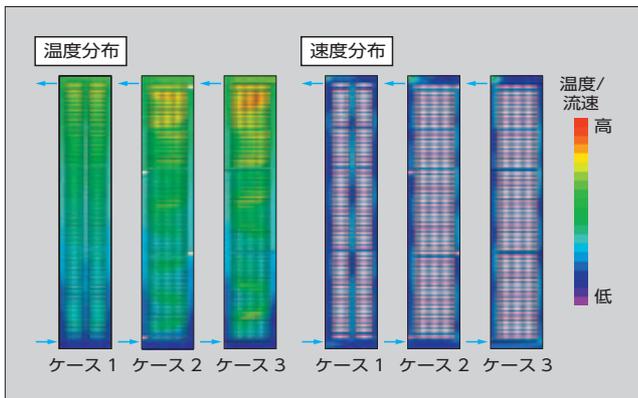


図7 巻線温度分布と絶縁油速度分布の解析結果

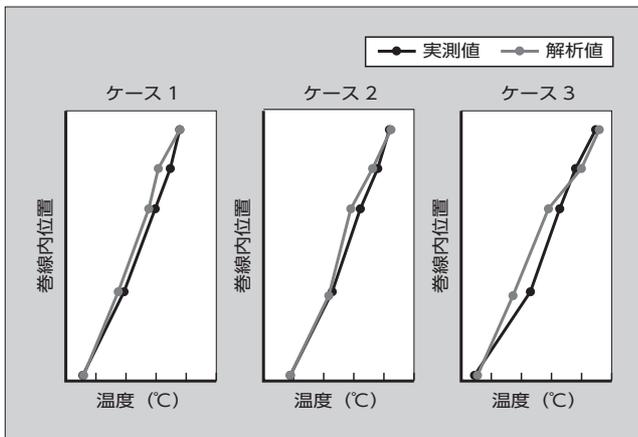


図8 巻線温度分布の実測と解析結果の比較

2.4 成果の適用

このようにして確立した三次元電界，磁界，熱流体の各解析技術を，図9に示す海外向け50 MVAクラスの変圧器の開発に適用し，従来に比べ容積比で30%小型化した。

③ 開閉装置の最新の設計・解析技術

3.1 連成解析技術

富士電機では，ガス絶縁開閉装置（GIS）の小型・軽量化を進めるため，図10に示す連成解析フローに従って，ガス遮断器（GCB）の電流遮断性能を評価している。

電気回路解析部は，GCBの接点間アーク電流の計算結果を電磁界・熱流体解析部に引き渡す。一方，アーク電圧の計算結果を，流体解析ソフトウェアのユーザコードに自作の電磁場解析プログラムを組み込んだ電磁場・熱流体解析部から受け取る。電磁界・熱流体解析部は，アークの温度や導電率を計算する。

3.2 電流遮断解析技術

電流遮断後の絶縁性能を求めるためには，図11に示す手順で解析を実施している。電流遮断時に発生した高温で膨張したホットガスは，消弧室から三相導体の相間およびタンク側へ流出する。熱流体解析を使って求めたホットガスの密度分布の時間変化を電界解析へ引き渡す。電界解析では，ホットガスによる電界強度への影響を求め絶縁回復性能を評価する。

電流遮断解析では，消弧室が軸対称であるため，可動接

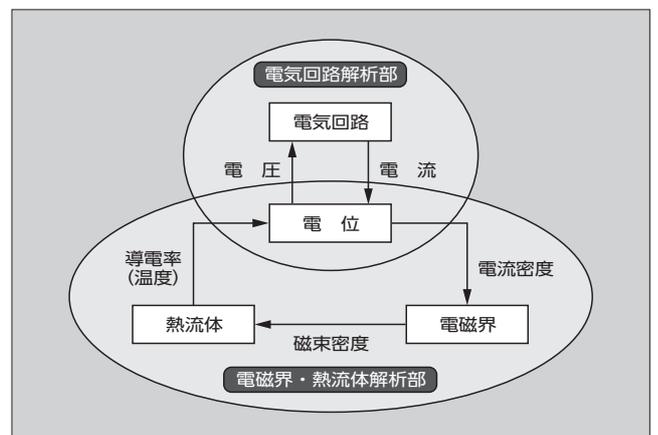


図10 連成解析フロー

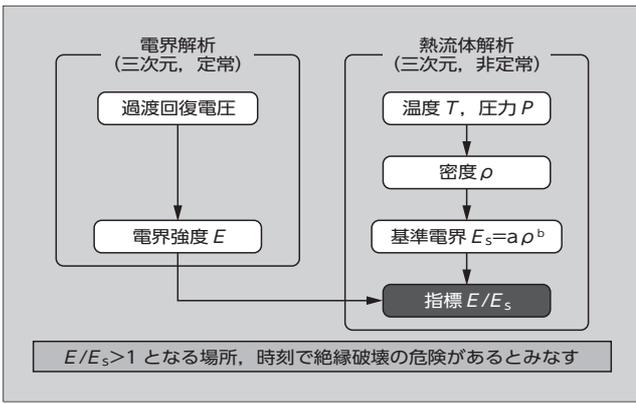


図 11 絶縁回復解析フロー

触子の移動、ノズルからのアブレーションによるガス発生、放射伝熱を考慮した二次元軸対称解析モデルとし、解析時間の短縮を図っている。また、計算速度と精度を両立させるため、メッシュサイズや計算時間を自動的に調整し、遮断の直前では時間刻みを短くするとともに、アークが存在する部分のメッシュ分割を細かくしてアーク形状の変化を捉える工夫をしている。

定格電圧 145 kV の GIS において、電流 36 kA、周波数 50 Hz、90%SLF (Short Line Fault: 近距離線路故障) の条件で、アーク発生後 12.0 ms と 19.4 ms 経過時点の電流零点時 (電流遮断時にアークが発生してから電流零点になるまでの時間) の温度分布の解析結果を図 12 に示す。

3.3 絶縁回復解析技術

一般に、SF₆ ガスの絶縁破壊電界 E_s は、密度のべき乗に比例することから、熱流体解析で求めたガス密度を利用することにより絶縁破壊電界を算出している。

最初に、図 13 (a) に示す形状にて電界解析を行い、各部の電界強度 E を求める。次に、熱流体解析で計算した各相の消弧室から流出するホットガスの流量と温度を図 13 (b) のホットガス流出面に与え、絶縁性能を評価する導体表面でのガス密度分布の時間変化を求めて、絶縁破壊電界強度 E_s と電流遮断時に時間変化するガス密度による電界強度 E とを比較する。図 11 に示すように、実際の評価指標としては全ての時刻と場所で両者の比である E/E_s を使う。

この手法を適用して、 E/E_s の時間変化を計算した結果

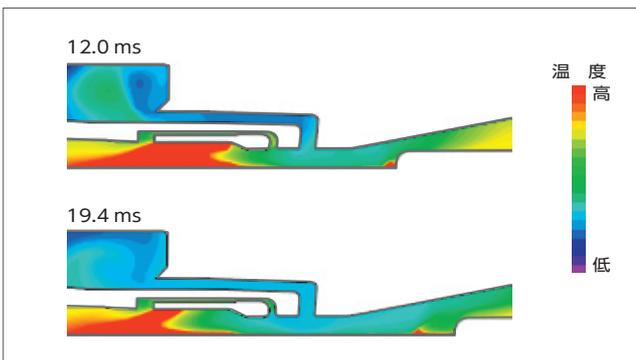


図 12 消弧室の温度分布解析例

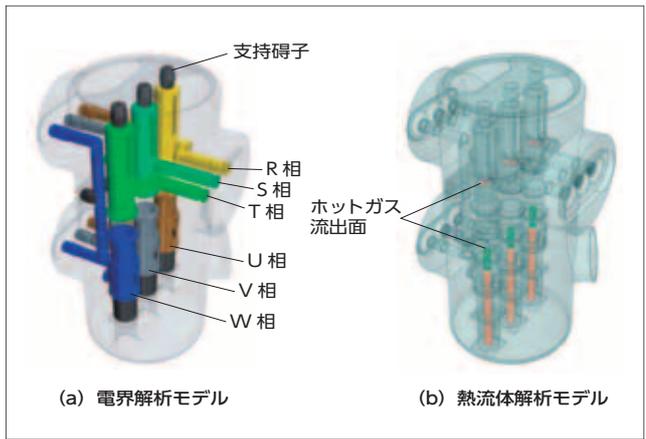


図 13 絶縁性能解析モデル

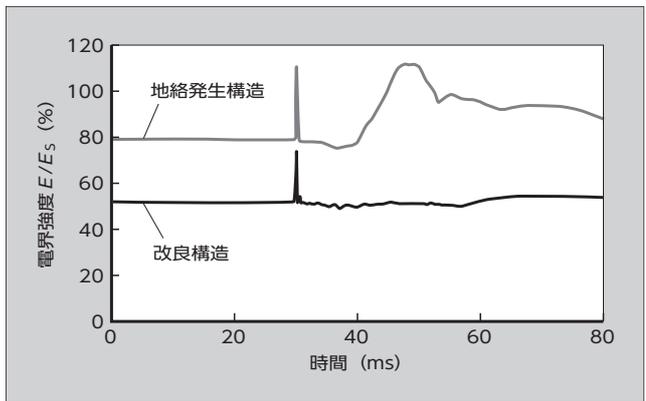


図 14 形状改良による絶縁性能向上例

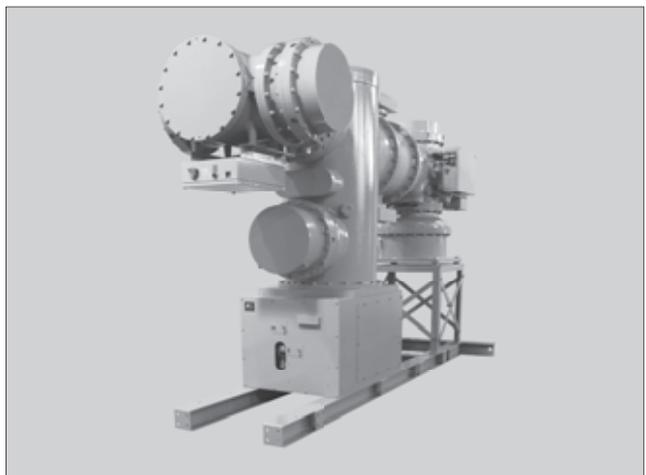


図 15 145 kV 縮小型 GIS 外観

を図 14 に示す。地絡が発生した構造では、 E/E_s が 100% を超えているのに対して、改良した構造では 80% 以下に低減され、地絡の発生を防ぐことができることを確認した⁽³⁾。

3.4 成果の適用

以上の連成解析技術などを駆使して、品質改善を図り、据付面積を 30%、質量を 35% 低減した図 15 に示す縮小型 GIS を開発した。

4 あとがき

変電機器を小型化する最新の設計・解析技術について述べた。

今後も世界的に見て、電力インフラ整備の旺盛な需要が見込まれている。変電機器の小型化ニーズも引き続き高まり続けるものと予想される。

富士電機は、今後も変電機器のリーディングメーカーとして、環境面にも配慮しつつ、変圧器および開閉装置の小型化、品質の向上に努めていく。今後とも、顧客ニーズに合致した変電機器を供給できるよう、着実に設計・解析技術を向上させていく所存である。

参考文献

- (1) 今盛聡ほか. 変圧器用構造材の渦電流損特性. 平成31年電気学会全国大会. 2019, no.5-154, p.266-267.
- (2) 榎並義晶ほか. ガス遮断器の回路-電磁場-熱流体連成解析. 平成30年電気学会全国大会. 2018, no.6-048, p.61-62.
- (3) 榎並義晶ほか. ガス絶縁開閉装置の電流遮断時の絶縁性能解析. 平成31年電気学会全国大会. 2019, no.6-010, p.12-13.



彦坂 知行

高電圧機器の開発、新事業開発、変圧器開発・エンジニアリング業務に従事。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エネルギーマネジメント事業部電力変電技術部主査。電気学会会員。CIGRE 会員。IEEE 会員。



林田 広和

油入変圧器の開発・設計に従事。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千葉工場設計第一部。電気学会会員。



榎並 義晶

固体高分子形燃料電池の開発、熱流体シミュレーションの研究業務に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部デジタルイノベーション研究所デジタルプラットフォームセンターデジタルエンジニアリング部主査。電気学会会員。



省エネルギー性・耐震性が向上した新世代モルトラ

New Generation MOLTRA with Improved Energy Savings and Earthquake Resistance

宮田 智一 MIYATA, Tomokazu

近年、環境配慮の取組みが進む中、モルトラを含む高圧配電用変圧器においては、省エネルギー（省エネ）性能の高い製品の需要が高まっている。また、東日本大震災を経て、変圧器にはより高い耐震性能が求められている。富士電機は省エネ技術を用いることにより、基準エネルギー消費効率に対して130%の省エネ性能を実現した「アモルファスモルトラ」「スーパーエコモルトラII」をラインアップした。さらに、盤内収納変圧器に対して変圧器単体での耐震性能の向上に加えて、盤と一体での最適な耐震設計を実施し、さらなる耐震性能の向上を図った。

In recent years, initiatives to protect the environment have created greater demand for enhanced energy-saving performance in transformers used in high-voltage distribution applications including MOLTRA. Moreover, those transformers have also been required to have higher earthquake resistance since the Great East Japan Earthquake. Fuji Electric has utilized its energy-saving technologies in the development of its “Amorphous MOLTRA” and “Super-Eco MOLTRA II,” a line-up that achieves an energy-saving performance of 130% relative to standard energy consumption efficiency. Furthermore, in addition to improving the transformer body itself, we have optimally designed it being integrated into the panel to further enhance earthquake resistance.

1 まえがき

第21回気候変動枠組条約締約国会議（COP21）で採択された「パリ協定」を踏まえたエネルギー政策や、環境配慮の取組みが進んでいる。モルトラを含む高圧配電用変圧器においては、トッランナー変圧器の第二次判断基準（トッランナー変圧器2014）を満たす変圧器よりも高い省エネルギー（省エネ）性能を持つ製品の需要が高まっている。また、図1に示すように各国で省エネ化に向けた効率規格の整備が進められてきている。GB規格のように、JISで制定されたトッランナー変圧器2014より厳しい規格もある。

また、2011年に発生した東日本大震災以降、BCP（Business Continuity Plan：事業継続計画）の観点からも耐震性が重要視されてきている。

富士電機は、トッランナー変圧器2014より省エネ性能の高い製品として、2015年にアモルファス合金を採用した「アモルファスモルトラ」、2017年の「トッランナーモルトラ2014」と比べて、設置スペースを同等のまま全負荷率で効率が向上した「スーパーエコモルトラII」（図2）を発売し、いずれもトッランナー変圧器2014のエネルギー消費効率に対して、130%を達成している。各シリーズは設計用標準震度1.0に対応しており、設置環境に合わせて設計用標準震度1.5および2.0でのオプション対応も行っている。

本稿では、省エネルギー性・耐震性が向上した新世代モルトラ（「アモルファスモルトラ」「スーパーエコモルトラII」）について述べる。

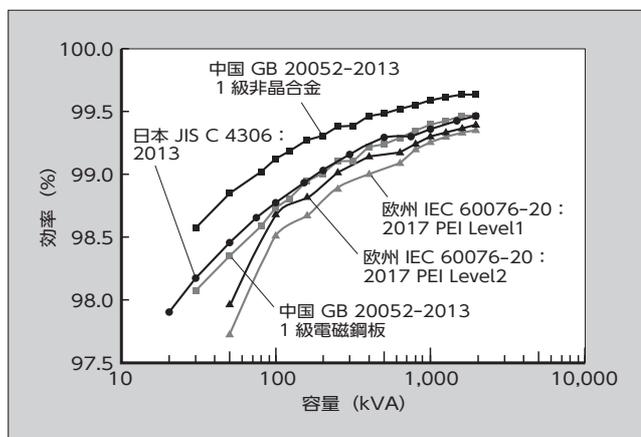


図1 各国におけるモールド変圧器の最高効率比較



図2 「スーパーエコモルトラII」

〈注〉モルトラ：富士モールド変圧器（富士電機株式会社の登録商標）

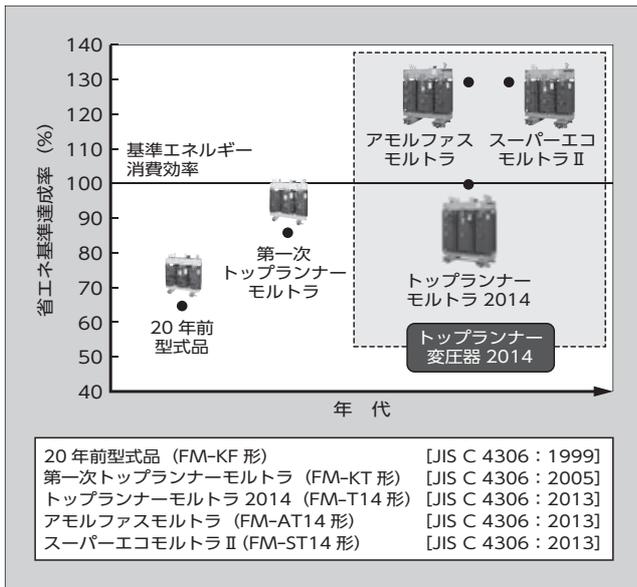


図3 製品ラインアップ

2 製品ラインアップ

モルトラの製品ラインアップを図3に示す。トップランナー変圧器 2014 に対応したモルトラは、トップランナーモルトラ 2014、アモルファスモルトラ、スーパーエコモルトラ II であり、省エネ基準達成率が高いほど省エネ性能に優れている。

3 省エネルギー性能の向上

3.1 変圧器の損失特性

JIS では、エネルギー消費効率を、定められた基準負荷率における全損失としている。全損失は、負荷率に関わらず発生する無負荷損と、負荷率によって変化する負荷損に負荷率の二乗をかけた値の和で表される (式(1))。

$$\text{エネルギー消費効率 (W)} = \text{無負荷損 (W)} + \left[\frac{m}{100}\right]^2 \times \text{負荷損 (W)} \dots\dots\dots(1)$$

m : 基準負荷率 (%)
 容量 500 kVA 以下の変圧器 : 40 %
 容量 500 kVA 超の変圧器 : 50 %

式(1)から分かるように、低負荷率域では、全損失に占める無負荷損の割合が大きい。そのため、無負荷損を低減して低負荷率域で効率を向上する必要がある。一方、高負荷率域では、全損失は無負荷損と負荷損の両方に依存する。そのため、無負荷損と負荷損の両方を低減して高負荷率域で効率を向上する必要がある。

3.2 「アモルファスモルトラ」

鉄心材料にアモルファス合金を採用することで、無負荷損を構成するヒステリシス損と渦電流損を小さく抑え、

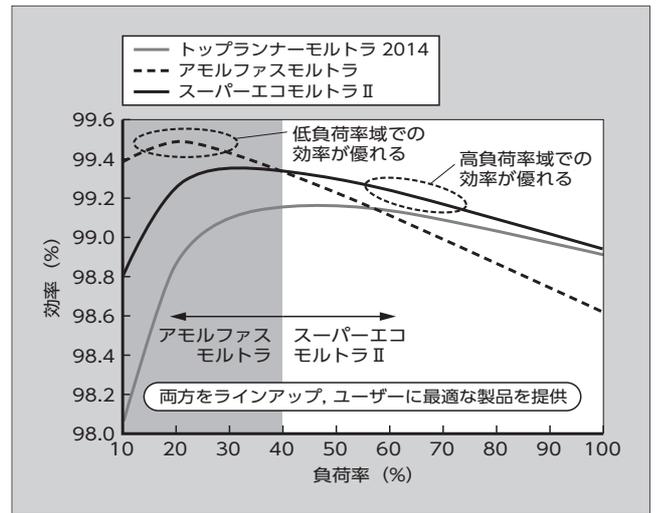


図4 三相 300 kVA 効率曲線

トップランナーモルトラ 2014 に対し無負荷損を 1/3 に低減している。これにより、図4に示すように低負荷率域での効率に優れている。夜間に電気の使用量が減るため、一日当たりの平均負荷率が低いビルや病院などにおいて、高い省エネ性能を発揮する。

3.3 「スーパーエコモルトラ II」

鉄心材料に薄板でかつ磁区制御を施した高磁束密度鋼板を採用し、設計磁束密度の最適化により無負荷損の低減と鉄心の小型化を実現した。加えて、巻線の導体に従来使用していたアルミニウムに替わり銅を採用した。これにより、トップランナーモルトラ 2014 に比べて負荷損は低減し、さらに巻線を小型化することで設置スペースを同等にした。

図4に示すように、全負荷率域においてスーパーエコモルトラ II はトップランナーモルトラ 2014 よりも高い効率を示し、特に高負荷率域での効率に優れている。一日当たりの平均負荷率が高いデータセンターや水処理施設などにおいて、高い省エネ性能を発揮する。

図5に、各製品の三相 300 kVA の代表特性をレーダーチャートで比較した結果を示す。寸法、質量と各特性は、

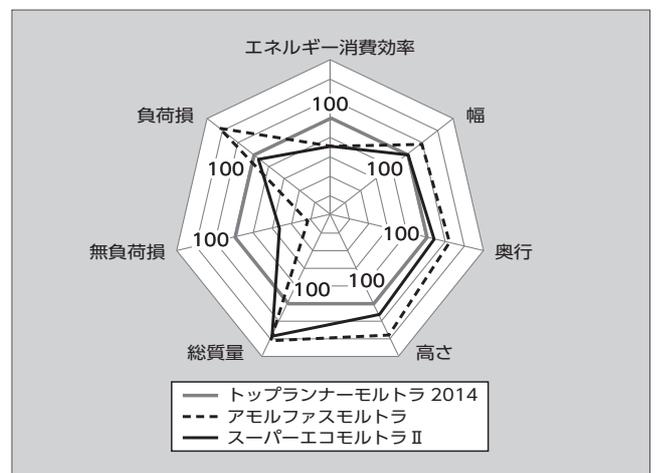


図5 三相 300 kVA 代表特性

特集 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

トップランナーモルトラ 2014 を 100 とし、数値が小さいほど優れている。アモルファスモルトラは、無負荷損を大幅に低減し、エネルギー消費効率を向上させている。スーパーエコモルトラ II は、無負荷損、負荷損ともに低減し、設置スペースを同等としつつエネルギー消費効率を向上させている。

④ 既設のリプレース

JEMA（一般社団法人 日本電機工業会）の調査⁽¹⁾を基にして、日本国内で更新推奨時期である 20 年を超過して稼働している高圧配電用変圧器は、約 120 万台と推計できる。老朽化した変圧器をトップランナー変圧器 2014 に対応した最新のモルトラにリプレースすることで、省エネ性能を向上させるだけでなく、耐震性能を含めた運転時の信頼性も向上させることが可能となる。特に、省エネ性能の高いアモルファスモルトラやスーパーエコモルトラ II を適用すると、発生する損失を抑えることにより年間の電力料金を低減し、10 年程度で初期導入費用を上回ることが可能となる（図 6）。また、地球温暖化対策の環境問題に取り組む上でも、発生する損失を抑えることで CO₂ 排出量の削減が可能となる。図 6(a)は、負荷率 20% 時の運転期間に

対する発生コストを示している。単位電力料金を 16 円/kWh とし、トップランナーモルトラ 2014 を適用した場合に対して、アモルファスモルトラは 9.5 年、スーパーエコモルトラ II は 14 年で初期導入費用を回収できる。それ以降は、電力料金を削減することが可能となる。

同様に、図 6(b)は負荷率 60% 時の発生コストを示している。トップランナーモルトラ 2014 に対して、スーパーエコモルトラ II は、11.5 年でメリットの創出が可能となる。一方、アモルファスモルトラは、図 4 に示すように負荷率 60% 時の効率がトップランナーモルトラ 2014 より劣るため、リプレースによるコストメリットがない。このように負荷率によっては効率が低下し、期待した省エネ効果を得られない可能性がある。このため、負荷の実態に合わせた変圧器の選定が重要となる。

⑤ 耐震性能の向上

5.1 耐震設計指針

2011 年の東日本大震災での変圧器の被害状況から、変圧器、配電盤、工事の施工管理の要因が認められ、以降変圧器の耐震仕様を明確にすることで、盤設計と工事に配慮を促している。据付け時の主な留意点を次に示す。

- (a) 接続する配線の余長の確保
- (b) 配線の可撓（かとう）性の確保
- (c) 耐震ストッパの隙間管理
- (d) 低圧導体の絶縁性確保
- (e) 防振ゴムの不使用（防振架台の設置時）

防振架台に防振ゴム付きの変圧器を設置すると、変圧器単体より剛性が低くなり、耐震性が低下するため注意が必要である。また、これらの内容に加えて、地震時における変圧器の変位量（図 7(a)）と盤の筐体（きょうたい）との相対変位量の指針として、耐震区分ごとの変圧器に求められる変位量や変位量の評価方法、抑制手法（例：図 7(b)）について JEM-TR252（配電用変圧器の変位量抑制指針⁽²⁾）が制定された。通常の変圧器では、端子部が最も大きく変位すると考えられるため、端子部の変位量を変圧器の変位量としている。

5.2 変圧器の変位量

変圧器の設計用標準震度は、設置される建物の耐震安全性、設備機器の重要度で分類される耐震クラスと設置階を考慮して、建築主や建築・構造・設備設計者が設定する（表 1）。トップランナー変圧器 2014 に対応したモルトラは、構造部材の板厚や形状を見直すことで設計用標準震度 1.0 に対応しており、1,000 kVA 以下の仕様については、防振ゴムが付属した状態でも JEM-TR252 に規定された変圧器の変位量 50 mm 以下を満足している（表 2）。なお、1,000 kVA 超過の仕様、防振架台を設ける場合または耐震強化で防振ゴム付きの場合の変位量は、顧客との合議により決定する。

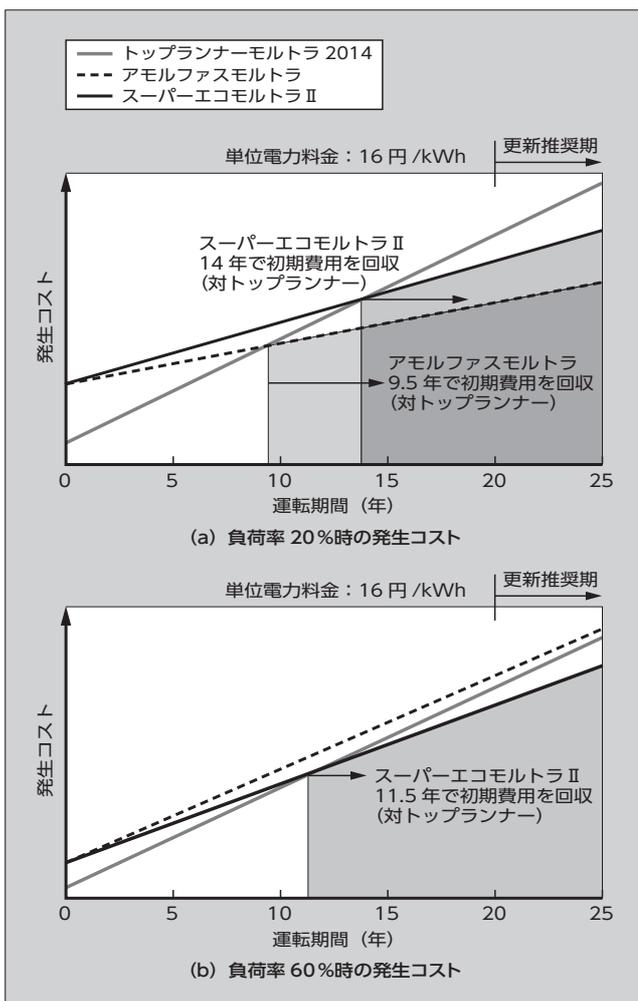


図 6 既設のリプレースによるメリット

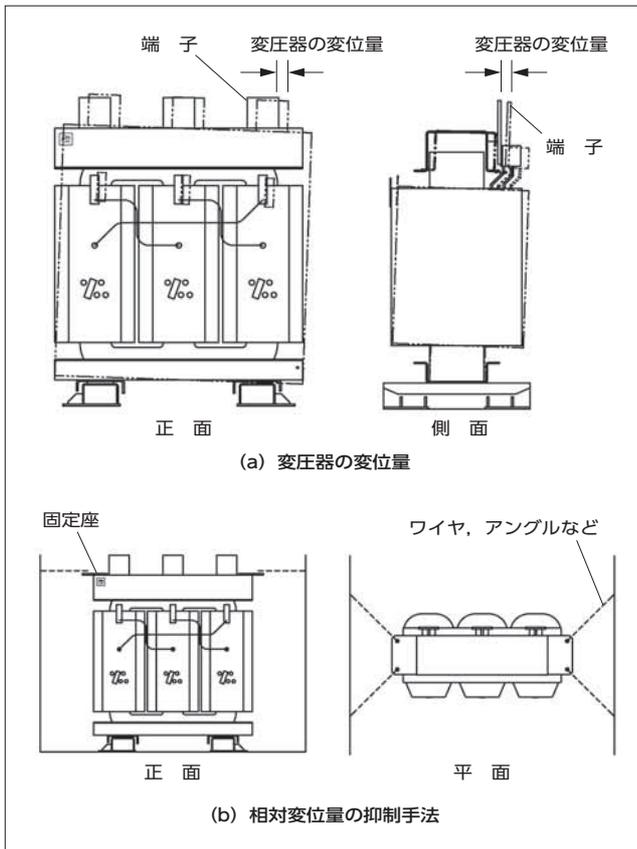


図7 変圧器の変位量と相対変位量の抑制手法

表1 局部震度法による建築設備機器の設計用標準震度

適用階	耐震クラス		
	S	A	B
上層階、屋上および塔屋	2.0	1.5	1.0
中間階	1.5	1.0	0.6
地階および1階	1.0	0.6	0.4

(建築設備耐震設計・施工指針より)

表2 変圧器の変位量

設計用標準震度	耐震区分	変圧器の変位量* (mm)	
		防振ゴム無し	防振ゴム付き
0.4, 0.6, 1.0	耐震標準	50以下	50以下
1.5, 2.0	耐震強化	50以下	JEM-TR252 規定外

*変位量 (1,000 kVA以下)

5.3 盤筐体との相対変位量の抑制手法

防振架台の場合または耐震強化で防振ゴム付きの場合、変圧器上部の振れ幅が増大する恐れがある。そこで、盤筐体との相対的な変位量を抑制する手段として、図7に示すように変圧器上部に固定座を取り付け、ワイヤ、アングルなどで盤筐体と固定する方法や変圧器に取り付けたストップゴムを盤筐体で受ける方法などがある。

このように、変圧器と盤筐体と同じ方向に揺れるように同期を取ることで、相対変位量が抑制できる。ただし、盤

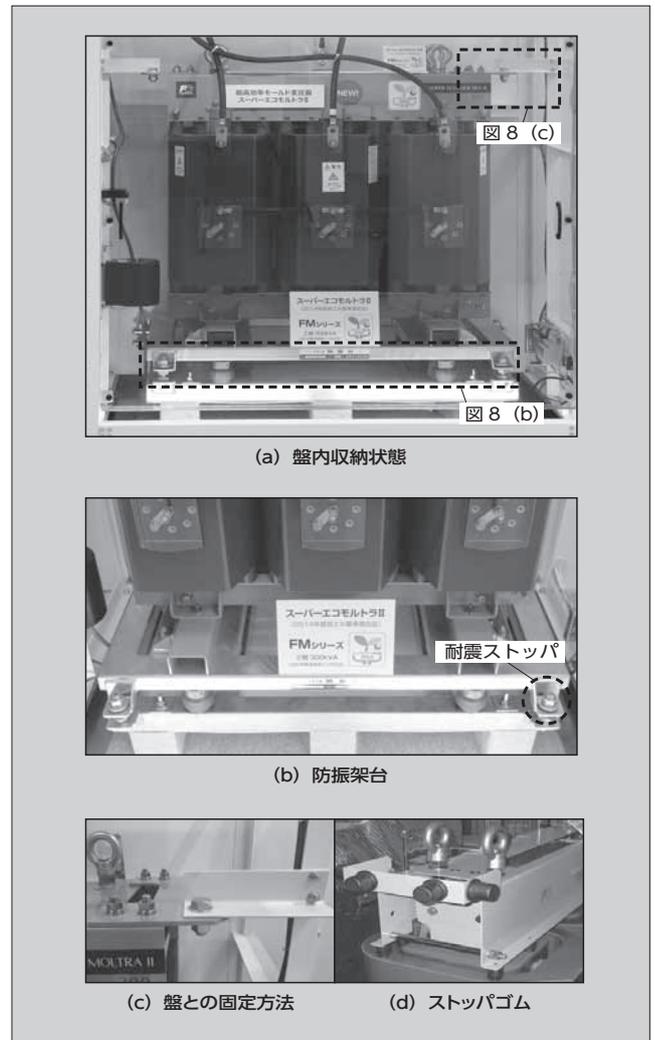


図8 盤への据付けモデル

筐体の強度不足により事故に至る恐れもあるため、変圧器と盤と一体で最適な耐震設計を行う必要がある。

図8に、盤への据付けモデルを示す。モルトラに標準装備されている防振ゴムの代わりに耐震ストップ付き防振架台(図8(b))を設置し、建物への振動伝達をさらに抑えた。地震時には変圧器本体の揺れを抑える耐震ストップと、変圧器上部に固定座を取り付け、盤筐体と固定し耐震性を向上させている(図8(c))。上部の固定座は図9(d)のようなストップゴムに置き換えることも可能で、据付け時に盤筐体と隙間を設けることで、運転時の振動を伝えず、地震時に揺れを抑えることができる。

6 あとがき

環境配慮への取組みと東日本大震災以降の不具合事例を踏まえ、省エネルギー性・耐震性が向上した新世代モルトラについて述べた。

今後もお客さまのニーズを捉え、使用環境に応じた最適なモルトラの製品開発に努めていく所存である。

参考文献

- (1) 省エネルギー法特定機器変圧器の第二次判断基準「電機」
2012年2月号, 一般社団法人日本電機工業会.
- (2) JEM-TR252:2014.配電用変圧器の変位量抑制指針, 一般社団法人日本電機工業会.
- (3) 建築設備耐震設計・施工指針 2014年版, 一般財団法人日本建築センター.



宮田 智一

モールド変圧器の設計・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千葉工場設計第一部課長。



データセンター向け高圧盤の小型化

Compact Medium-Voltage Switchgear for Data Centers

岩本 啓 IWAMOTO, Satoshi

藤本 義雄 FUJIMOTO, Yoshio

大田 博 OTA, Hiroshi

2005年頃から増加してきたデータセンターは、都心近郊に建設されることが多いため、設置する電気機器の小型化や省スペース化が求められている。このような背景から、データセンター向けに、幅900mm、奥行900mmに小型化しつつ、前面保守型で背面側の保守スペースが不要な高圧盤を製品化した。小型化に当たり、真空遮断器（VCB）固定枠（クレードル）の機能を、盤側に組み込んで一体化した。また、最適な仕様の変流器（CT）を採用し、CTの小型化を実施した。これにより、UPSなどを含めた設備全体の据付面積を従来比で約70%に縮小した。

Data centers that have been flourishing since around 2005 are often built near urban areas, there is therefore a need to be compact and space saving of electrical equipment installed. From above background, we have released a compact medium-voltage Switchgear for data centers that is 900 mm wide and 900 mm deep while maintaining the front maintenance type and does not require maintenance space on the back side. For downsizing, the function of the vacuum circuit-breaker (VCB) fixed frame (Cradle) was integrated into the Switchgear side. In addition, a current transformer (CT) with optimal specifications was adopted and performed down size of the CT. As a result, the installation area of total equipment including UPS has been reduced to about 70% compared to the previous model.

1 まえがき

2005年頃から急激に増加してきたデータセンターは、“障害時でも迅速に復旧対応が可能であること”“インターネットエクステンジに近く、高速通信が可能であること”が理由で、都心近郊で建設が盛んに進められてきた。しかしながら、十分な設置面積が確保できない状況が続いている。

そのため、データセンター内に設置される電気機器は小型化や据付面積の省スペース化が求められている。

この中で、配電盤はコンパクトに配置が可能な前面保守型が主流となってきている。

富士電機は、このような背景からデータセンター向けに小型かつ前面保守型の高圧盤を開発し、製品化した。

2 システム構成と製品概要

データセンターの高圧受配電システムにはさまざまな方式がある。例えば、図1に真空遮断器（VCB：Vacuum Circuit-Breaker）のみで構成した方式（ここではシステムAと呼ぶ）と、電源切替え部分のみを断路器（DS：Disconnect Switch）にし、それ以外をVCBの構成とした方式（ここではシステムBと呼ぶ）の二つを示す。システムAでは、DSの代わりに、開閉操作が容易で、配電盤から引出しが可能なVCBを用いる。VCBは盤から引き出して点検できるので、保守性や事故時の復旧が容易である。

図2に示す構成例では、高圧系統回路、無停電電源切替系統回路、低圧系統回路からなる。その中で、高圧系統回路はシステムAを採用し、一般的には高圧受電盤、高圧フィーダ盤、入力変圧器盤の構成となる。

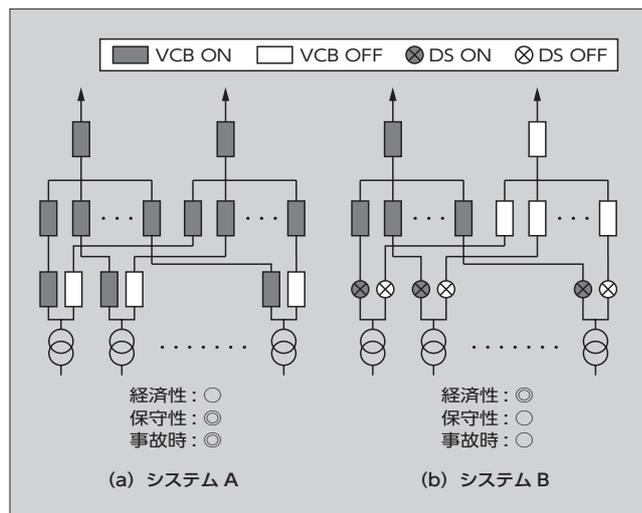


図1 データセンター受配電システム比較

データセンター向けに製品化した高圧フィーダ盤の外観を図3に、内部正面図を図4に、主な仕様を表1に示す。

図3および図4に示している高圧フィーダ盤はVCBを2段積みしている。また、制御回路に必要な機器は扉に集約して配置している。

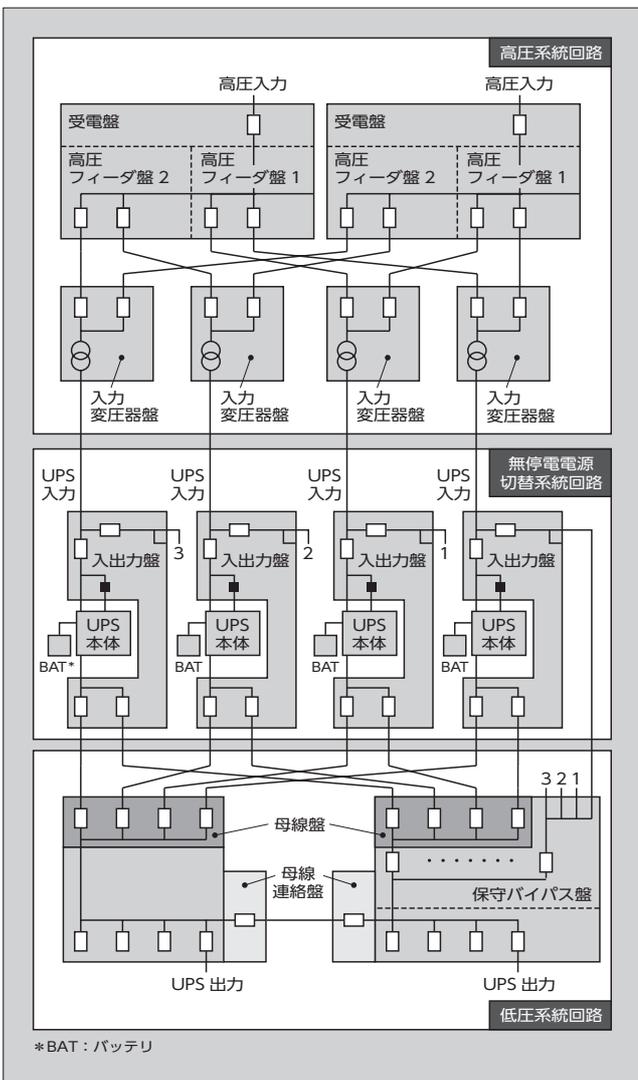


図2 データセンター向けシステムの一例

表1 高圧フィーダ盤定格仕様

項目	仕様	
適用規格	JEM 1425-CW	
設置環境	屋内	
定格電圧	3.6/7.2 kV	
定格周波数	50/60 Hz	
定格母線電流	600 A	
定格短時間耐電流	20 kA/1秒	
定格耐電圧値	商用周波	22 kV
	雷インパルス	60 kV
保護等級	IP2X*	
外形寸法 W×D×H (mm)	900×900×2,300	
真空遮断器 (VCB)	電動バネ操作方式	
変流器 (CT)	変流比	100-150-300/1 A (3タップ)
	定格負担	5 VA

*IP2X: “防じん等級2, 防水等級なし”を示す。“フィンガープロテクション”とも呼ばれ、人の指が入らない程度の保護等級である。

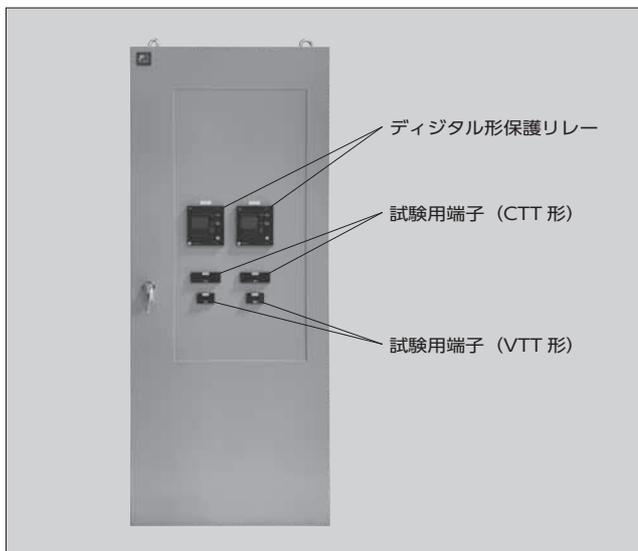


図3 高圧フィーダ盤の外観

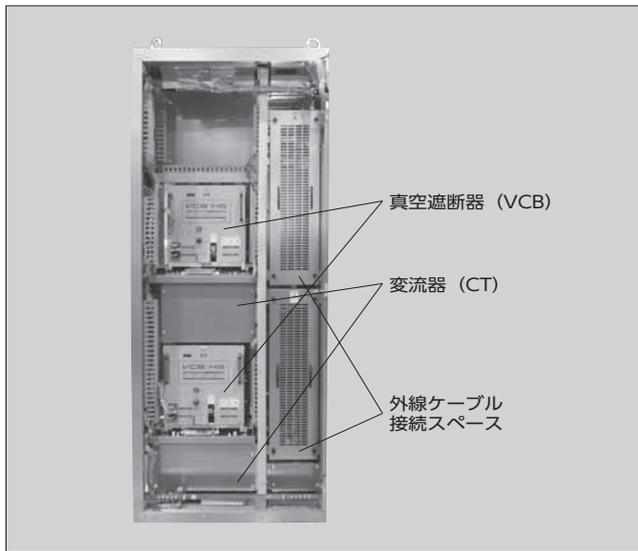


図4 高圧フィーダ盤の内部正面図

③ 小型化

高圧盤を小型化することで、設備全体の据付け面積を省スペース化した。前面保守型構造を採用し、列盤となる無停電電源装置 (UPS: Uninterruptible Power System) と同一の奥行寸法に収めるため、次の対策を行った。

- (a) VCB 固定枠 (クレードル) の機能を盤側に組み込んで一体化したことによる内部構成部材 (VCB 収納部) の小型化
- (b) データセンター向けに最適な仕様の変流器 (CT: Current Transformer) を製品化し、採用したことによる小型化

3.1 設備全体の据付け面積の省スペース化

製品化した高圧盤は、前面で保守作業ができる構造を採用している。従来は、高圧盤の背面側にも作業スペースが

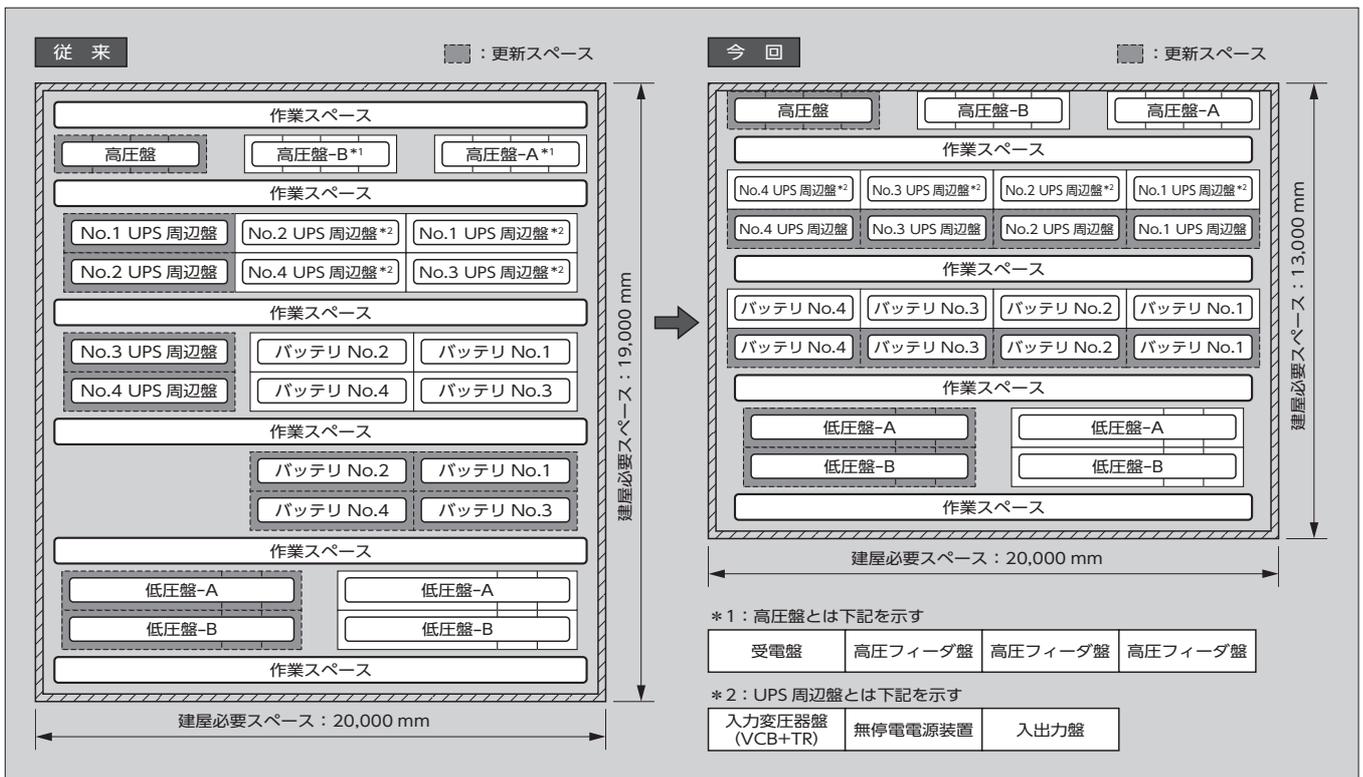


図5 電気室の盤据付例

必要で、電気室内での据付面積を多く必要としていた。開発した高圧盤は、従来のような背面側の作業スペースを不要とし、壁面に配置できるようにした。また、UPSと列盤になる入力変圧器盤も幅900mm、奥行900mmと小型化した。UPSと同じ奥行寸法にしたことで、並べて配置できるようにした。また、背面からの作業を不要としたことで、背中合わせに配置することができる。これにより、配電盤を集約して配置できるなど、レイアウトの制約が少なくなり、配電盤に接続する外部からのケーブルを集約できるようになった。なお、データセンター向けでは、電源供給を停止することなく、配電盤を更新するためのスペースも考慮する必要がある。このような考慮を行った上で、従来との据付け面積を比較すると、図5の電気室の盤据付例に示すように、UPSを含む設備全体の据付面積は当社従来比で約70%に縮小する。

3.2 高圧盤の小型化

(1) VCB 収納部の小型化

一般的に引出しタイプの VCB は本体とクレードルを組み合わせている。

図6に示すようにクレードルが持つ VCB を引き出す機能と断路する機能を盤側に組み込んで一体化したことにより、盤寸法を幅 1,100 mm × 奥行 1,500 mm から幅 900 mm × 奥行 900 mm に小型化した。

(2) 変流器 (CT) の小型化

今までは、分野を限定せず大規模な設備容量にも対応出来る CT が使用できるようにしていた。そのため、さまざまな変流比に対応するため、一次電流が 2,000 A の CT が

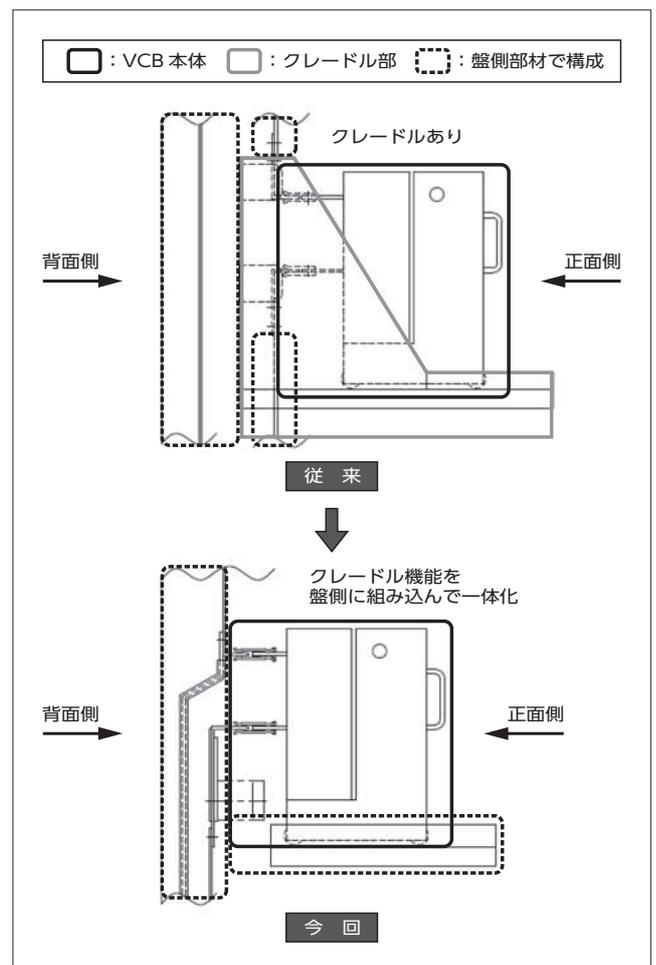


図6 真空遮断器収納部構造の比較 (側面図)

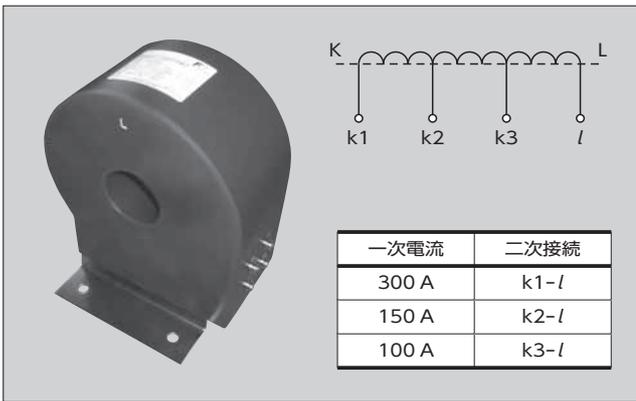


図7 変流器

設置できるように外形寸法を確保していた。そのため、小型化ができなかった。

そこで、納入実績を整理するとデータセンターの受配電システムでは、550 kVA、1,000 kVA、2,000 kVA のトランスが多いことが分かり、一次電流を UPS の容量に適した 100 A、150 A、300 A の 3 種類とした。また、CT の二次側に接続される機器の性能が飛躍的に向上したことで CT への負担が減っている。このことから、二次電流を 1 A で定格負担を 5 VA の仕様にする事で CT を小型化した。また、図7に示すように複数の一次電流定格に対応できるようにタップ切替構造とした。

CT のオプション仕様として二次電流が 5 A、かつ定格負担 10 VA で一次電流は仕様に合わせた電流値が選択可能な CT も準備することで、顧客の仕様に柔軟に対応できるようにした。

(3) 外部ケーブル接続の容易性対応

小型化すると、盤内における外線ケーブルの接続作業がしにくくなる。

ケーブルを接続するためのスペースと VCB の搭載スペースは、盤幅方向の中央に設けられた支柱により分割されている。支柱の配置を変更し、腕を入れて作業ができるようにしたことで、外線ケーブルの接続作業を容易に行うことができるようにした。

3.3 耐震性能

2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震以降、電気品に高い耐震性能が要求されるようになってきている。

一方で、小型化、特に奥行寸法を縮小すると、水平地震力に対する剛性が弱くなる恐れがあった。

そこで、図8に示すような筐体（きょうたい）の構成とすることで、強度および盤内スペースの確保を両立した。従来型構造では、フレームに板状のカバーを水平方向からボルト固定していたためボルトに応力が集中していた。今回の構造ではカバーを箱状にして剛性を高めた。さらに、カバーと梁が面接触するように固定することで、応力集中

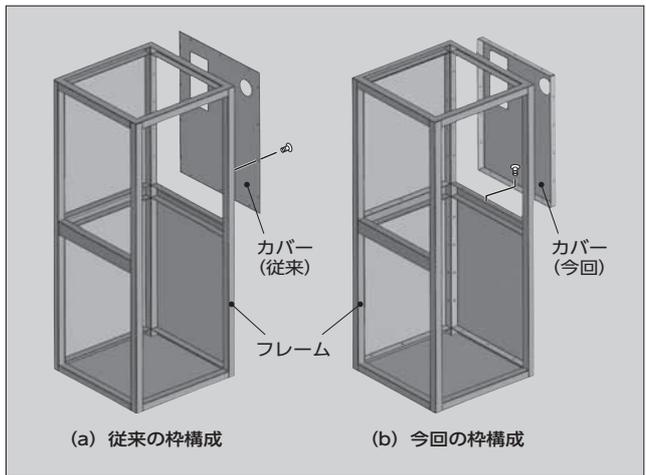


図8 枠体構造比較

を避けるようにした。

配電盤・制御盤の耐震設計指針（JEM-TR144：2017）に準じた正弦 3 波加振試験を、実機を使って行った。さらには、過去に発生した地震“エルセントロ地震波：最大 0.3 G、3 軸同時”“兵庫県南部地震波：最大 0.6 G、3 軸同時”“東北地方太平洋沖地震波：最大 1.5 G、3 軸同時”を再現した振動試験も行った。その結果、設計用標準震度 2.0 を満たした耐震性能、および過去に発生した地震に対して十分な性能を持つことを確認した。

4 あとがき

データセンター向け高圧盤の小型化について述べた。

今後も顧客の要望に応え、信頼性・安全性をよりいっそう高めた製品開発を進めていく所存である。



岩本 啓

配電盤の開発企画に従事。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エンジニアリング統括部プラントシステムセンター盤システム技術部。



藤本 義雄

配電盤の設計に従事。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神戸工場電気電源装置部課長補佐。



大田 博

配電盤の設計に従事。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神戸工場電気電源装置部課長補佐。

ハイパースケールデータセンター向け UPS

UPSs for Hyper Scale Data Centers

佐藤 篤司 SATO, Atsushi

山方 義彦 YAMAGATA, Yoshihiko

濱田 一平 HAMADA, Ippei

膨大なデータを集積するデータセンター（DC）は年々大規模化している。DCの安定運用に必要不可欠なUPSに対しては、大容量化とともに高効率化が求められる。富士電機は、DC向けUPSに新たな方式として、システム効率が最大に近づくように運転台数を制御する機能や、商用給電の安定時に電力損失を少なくできる常時商用給電方式を搭載した。さらに、複数の盤を組み合わせて1台のUPSを構成するモジュール型UPSや、リチウムイオン電池を採用した小型・軽量のバッテリー盤により、DCの効率的な運用を可能にした。

Data centers (DCs) for storing big data are increasing in size year by year. Uninterruptible power systems (UPSs) are indispensable in stabilizing the operation of DCs and are required to have a large capacity and high efficiency. Fuji Electric has added new functions to UPSs for DCs, including control of the number of operating units to pursue the maximum system efficiency and a continuous commercial power feeding to reduce power loss during stable commercial power supply. We have also developed a module UPS, one unit of which consists of several panels, and a compact, lightweight battery panel equipped with lithium-ion batteries, allowing DCs to improve operational efficiency.

1 まえがき

内閣府の科学技術基本計画では、クロステック(X-Tech)と呼ばれる仮想空間と現実空間を融合させたシステムにより経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会“Society(ソサエティ)5.0”を提唱している。

Society 5.0を実現する上で、IoT(Internet of Things)によってインターネットに接続された膨大な数の多種多様なセンサからのデータを送受信する通信インフラ、データを集積する高い可用性(Availability)を持ったデータセンター(DC)が必要である。

DCの可用性を支える重要機器の一つとして、万が一電源に障害が生じても安定した電力を供給する無停電電源装置(UPS: Uninterruptible Power System)がある。また、近年その数を増やしているハイパースケール(超大型)DCの電力使用量は膨大である。そこで使われるUPSにも大容量化と高効率化による省エネルギーが求められている。本稿では、超大型DCの大容量電力インフラを支えるためのハイパースケールデータセンター向けUPSについて述べる。

2 DC市場の状況

DC事業者にとってDC運用における電力料金は大きな負担となっている。DCの電力使用効率(PUE: Power Usage Effectiveness)は、式(1)で示すことができる。

$$PUE = \text{DC全体の消費電力} / \text{IT機器の消費電力} \dots\dots(1)$$

この指標の改善には、IT機器以外の消費電力の削減が必要不可欠である。

またDCの運用に当たって重視されるものの一つに、システムが使用できる状態をどの程度継続できるかを意味する可用性(稼働率)があり、式(2)で表すことができる。

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \dots\dots(2)$$

A : 稼働率

MTBF : 平均故障間隔 (Mean Time Between Failure)

MTTR : 平均復旧時間 (Mean Time To Recovery)

Uptime Instituteは、DCのクオリティをTier I ~ Tier IV(最高レベル)に分類している。Tier IVの場合、稼働率Aは99.99%にもなる⁽¹⁾。これは4時間の停止が5年に1回だけ起こりうるシステムに相当する。機器自体の信頼性の向上に加え、システムの冗長化、保守の改善など可用性の向上はDC事業者にとって重要な課題である。

サーバなどのIT機器以外の設備スペースが狭小であるほど、より多くのIT機器が設置できる。設備スペースの狭小化は、可用性を保つための設備の冗長化とトレードオフの関係にある。DC事業者は可用性を維持しつつ設備スペースを狭小化できるように、システム構成を検討している。

3 UPSの高効率化

3.1 非絶縁型UPS

受電から負荷までの給電経路の各所に電圧変更や絶縁のために変圧器を設置する必要がある。しかし、変圧器が多くなると損失が増加してしまうので、近年は、UPS内部の変圧器を取り除いた非絶縁方式のUPSが多く採用され

ている。この非絶縁型 UPS を採用することで、給電経路における変圧器の数の最適化を図ることができる。

3.2 三相 4 線 400 V 給電方式⁽²⁾

UPS の三相 4 線 400 V 給電の場合、出力の中性相に対して各相の電圧は約 230 V となる。この電圧は、一般的な 200 V の負荷機器の動作可能な範囲にあるので、400 V から 200 V に降圧する必要がなくなり、変圧器による損失分を削減できる。

一方で、負荷側での 1 線地絡（相間短絡）が発生した場合、地絡電流が絶縁されずに UPS の出力側まで到達するため、この状態が継続すると UPS が停止する恐れがある。これを防止するため、適切な負荷分岐ブレーカを設置し、1 か所での地絡が他系統の給電に影響しないように給電回路を設計する必要がある。

3.3 低損失デバイスの採用

UPS の AC/DC 変換を行う PWM（Pulse Width Modulation）コンバータや、DC/AC 変換を行うインバータを、3 レベル変換回路とし、富士電機独自の RB-IGBT（Reverse Blocking-Insulated Gate Bipolar Transistor）および 3 レベル変換専用パワーモジュールを採用した。これにより、デバイスがオンとオフに切り替わる際に発生するスイッチング損失を低減し、さらにリップル電流を低減してフィルタ回路の損失も低減した。また富士電機は、PWM コンバータの還流ダイオード（FWD：Free Wheeling Diode）に SiC（炭化けい素）デバイスを採用した。SiC デバイスは、従来の Si（シリコン）デバイスに比べて、スイッチング損失や導通損失が少ないため、UPS の損失を低減できる。

3.4 台数制御

一般的に UPS の効率、軽負荷領域では低く、特定の重負荷領域において最大となる。UPS を複数台並列接続するシステムでは、負荷電流は各 UPS に均等に流れる。そのため、負荷が小さい場合には 1 台当たりの負荷がさらに小さくなり、システム全体の効率が著しく低下してしまう。

そこで、全ての UPS を常に運転するのではなく、システム全体の負荷を監視しながら、運転する UPS 1 台の負荷が最大効率に近づくように運転台数を変更することで、システム全体の効率が向上できる。

3.5 常時商用給電方式

一般的に大型の DC で採用される大容量 UPS は、高信頼な常時インバータ給電方式が採用されている。この方式が高信頼とされる理由は、定電圧、定周波数の出力電圧を常に供給することに加え、停電が発生した瞬間もインバータの連続動作により無瞬断で給電が継続するところにある。

DC における UPS の給電対象には、IT 機器のほかにも空調設備などがあり、負荷によっては電圧変動や瞬断が許

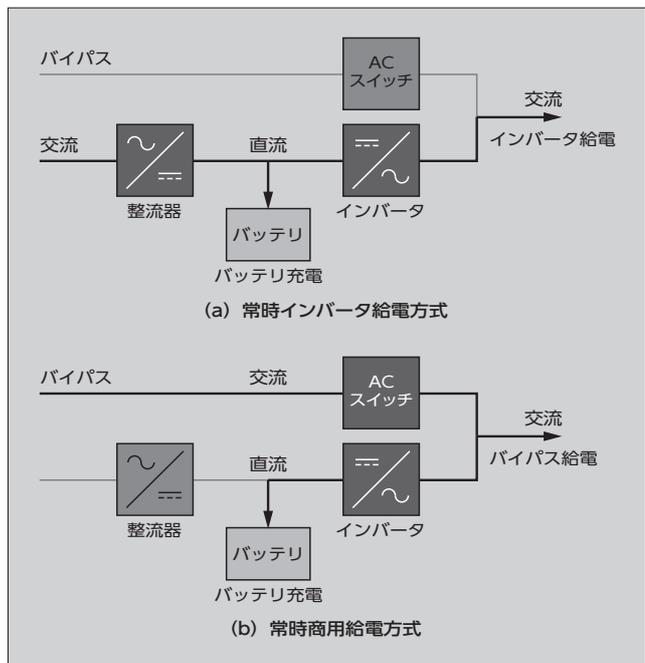


図1 常時インバータ給電方式と常時商用給電方式

容される場合もある。富士電機の UPS には、バイパス給電回路を利用して、電力損失が少ない常時商用給電方式が可能な機種を用意している。

常時商用給電方式は、給電の効率を重視した方式である。商用電源が正常な時は商用電源から直接負荷に給電し、停電の時は蓄電池に蓄えた電力をインバータで交流に変換して給電する。この機能を富士電機では HE モード（High Efficiency Mode）と呼び、最新の機種に搭載している。図1に、常時インバータ給電方式と常時商用給電方式の比較を示す。

この方式では、通常運転時は交流電源の変動が直接負荷に影響し、停電発生時は検出遅れ時間のため出力電圧波形に 1/4 サイクル程度の瞬断が生じる。変換器を介さずに負荷に給電するため、常時インバータ給電方式と比べると電力損失が少ないという利点がある。

4 UPS システム構成の最適化

DC における UPS システムに要求されることは、3章で述べた高効率のほか、設備保守が容易であること、ならびに故障時の早期復旧につながるメンテナンス性が良いことや、段階的な設備投資が可能な拡張性があること、設置スペースを節約して建物コストを抑制するため小型であること、ランニングコストを低減するための部品が長寿命であることなどがある。

4.1 モジュール型 UPS

機能ごとに盤を分割し、複数の盤を組み合わせて 1 台の UPS を構成したものを、モジュール型 UPS と呼ぶ。例として、富士電機のモジュール型 UPS である「UPS7400WX-T3U」を図2に示す。当該 UPS は図2の



図2 モジュール型 UPS 「UPS7400WX-T3U」

ように、左から入出力盤、制御盤、UPS モジュール盤が 3～4 面で構成される。

モジュール型 UPS では次のような特徴がある。

(1) 高信頼性

変換器が冗長化されるので、一部のモジュールが故障してもインバータ給電が継続可能である。

(2) 高保守性

インバータ給電のまま、点検や故障復旧をモジュール単位で実施可能である。

(3) 高拡張性

モジュールを追加して容量アップが可能である。

富士電機では上述のようなモジュール型 UPS である「UPS7400WX シリーズ」を製品化している。

4.2 リチウムイオン電池 (LIB) の使用

これまでの UPS の蓄電池は鉛蓄電池が採用されてきたが、主にコストの観点から、重くて大きいという欠点がある。これに対してリチウムイオン電池 (LIB: Lithium Ion Battery) は、小型、軽量である。近年、電気自動車や電力貯蔵装置などの用途が急速に拡大しているが、大容量 UPS システムでの使用はあまり進んでいない。その理由は、UPS が電気室に設置されることに対し、LIB は石油類と同等の引火性のある電解液が使用されたため、「消防法」に従って一定の対策が求められるからである。

富士電機では、このような課題を解決し、大容量 UPS 「UPS7000HX シリーズ」と「UPS6000DX シリーズ」に、サムスン SDI 製 LIB を採用した⁽⁴⁾。

LIB を使用するメリットを次に示す。

- (1) 期待寿命が 15 年で UPS 使用期間 (15 年) 中の交換が不要である (鉛蓄電池は 7～9 年)。
- (2) 鉛蓄電池と比較して接地面積は約半分、質量は約 20% に軽量化する。
- (3) 鉛蓄電池に比べて、温度が上がってもバックアップ時間が長い。

4.3 システム構成の最適化

近年では、DC に採用されるサーバラックの大容量化

に伴い、UPS の容量も大容量化している。また、DC 向け UPS システムでは並列冗長方式の採用が一般的であり、必要となる周辺設備も大容量化する。その結果、周辺盤を含めた UPS システム全体が大容量化しても、コストの増加を抑制したいという要望が強い。

この要望に対する富士電機の取組みを次に述べる。

(1) UPS 単体容量の大容量化

UPS 単体容量を増大させることで、次の効果が期待できる。

- (a) バッテリ盤、周辺盤などの設備点数が減り、コストダウンを図ることができる。
- (b) 設備点数の削減により、故障率の低減にも結び付き、可用性も向上する。

(2) UPS の給電システム

UPS システムの信頼性を高めるため並列冗長システムが採用されている。この場合、各 UPS の出力電流は出力母線に集約されるため、大きな出力電流に耐えられる母線や開閉器が必要となる。開閉器などの容量にも限界があるため、UPS の大型化にも限界がある。

一方で、Uptime Institute が定める Tier IV クラスの外国の DC では STS (Static Transfer Switch) による切り替えを利用した 2N システムが多く採用されている。図 3 に並列冗長システムと 2N システムの構成例を示す。

このシステムも並列冗長システムと同様に、高い可用性が実現できる。さらに、DC の負荷設備ごとに UPS を割り当てることができれば、出力母線容量を削減できる。よって、DC 事業者と密に連携し、富士電機が納入する設備の最適化だけでなく、DC 全体を見据えた UPS システ

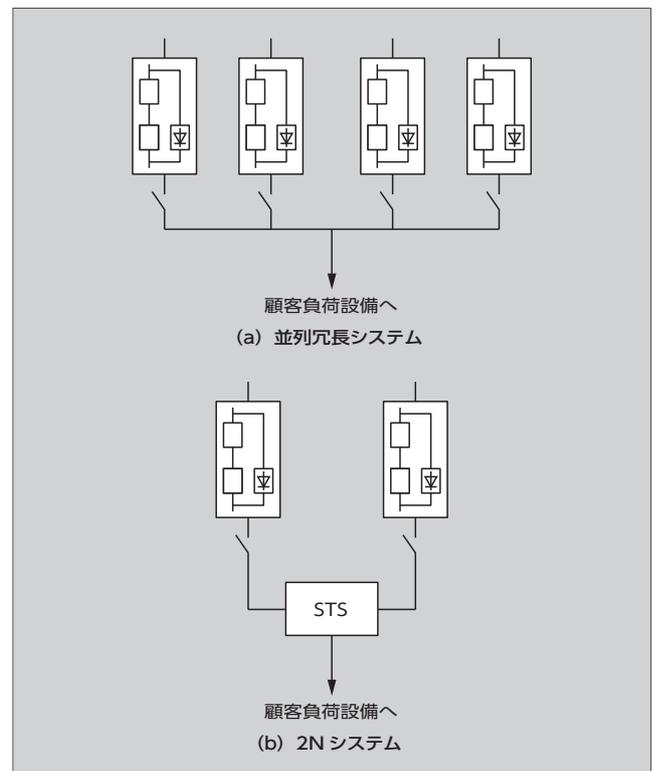


図3 並列冗長システムと 2N システムの構成例

ムの構築が、今後はより一層重要となる。

なお、2N システムにおいて二つの UPS の出力を同期するように制御できる機能を富士電機は提供している。

5 あとがき

ハイパースケールデータセンター向け UPS について述べた。

データセンターにおける電力の効率的な運用、システム全体として可用性を高めるための技術は、データセンターの運用を支える必須事項である。UPS はデータセンターに欠かせない装置ではあるが、装置単体の最適化にとどまらず、電力インフラ全体の可用性と総所有コストの観点から、周辺設備全体を含めた運用を見据えた製品開発とソリューションの提案が必要である。

クロステックによってもたらされる新たな価値を人間が享受する Society 5.0, その要となるデータセンターに貢献するものとして、さらなる技術研鑽（さん）を積む所存である。

参考文献

- (1) “Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance”. [http://www.mm4m.net/library/\(TUI3026E\)TierClassificationsDefineSiteInfrastructure.pdf](http://www.mm4m.net/library/(TUI3026E)TierClassificationsDefineSiteInfrastructure.pdf), (accessed 2019-08-26).
- (2) 安本浩二ほか. 三相4線式無停電電源装置を活用した高効率

電源システム. 富士電機技報. 2019, vol.92, no.1, p.54-59.

- (3) 佐藤篤司ほか. SiCハイブリッドモジュールを適用した北米向け大容量UPS「UPS7300WX-T3U」. 富士電機技報. 2017, vol.90, no.1, p.55-57.
- (4) 安本浩二ほか. リチウムイオン電池採用の「UPS7000HXシリーズ」「UPS6000DXシリーズ」. 富士電機技報. 2018, vol.91, no.4, p.246-251.



佐藤 篤司

中大容量 UPS の企画業務に従事。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施設・電源システム事業部施設電源技術部。



山方 義彦

UPS の開発・設計に従事。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電源機器開発部部付。技術士（電気電子部門）。電気学会会員。



濱田 一平

中大容量 UPS の開発・設計に従事。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電源機器開発部主任。電気学会会員。無停電電源システム標準化委員兼 IEC SC22H エキスパート。



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」

“UPS7000HX-T4” High-Efficiency UPS with Continuous Commercial Power Feeding and Quantity Control Function

安本 浩二 YASUMOTO, Koji

濱田 一平 HAMADA, Ippei

反町 直弘 SORIMACHI, Naohiro

近年、データセンターの無停電電源装置（UPS）システムの効率向上が求められている。これに対応するため、常時インバータ給電方式の三相 4 線式「UPS7000HX-T4」に、常時商用給電機能を付加した。バイパス回路のサイリスタを連続点弧して商用電源から負荷に給電し、インバータを介してバッテリーを充電する。装置最大効率は、整流器を停止させることで 99% を達成した。また、常時インバータ給電時に高効率運用できる台数制御機能を付加した。待機 UPS の整流器とインバータを停止させることで、軽負荷時の効率を向上させた。

In recent years, there has been increasing demand for uninterruptible power systems (UPSs) with increased efficiency used in data centers. To meet the demand, Fuji Electric has added the continuous commercial power feeding function to its “UPS7000HX-T4” three-phase four-wire UPS with normal inverter feeding. Continuously turning on the thyristors of the bypass circuit, the UPS receives power from commercial power source and feeds it to loads and charge the battery through the inverter. The maximum efficiency of the equipment reached 99% when turning off the rectifier. Furthermore, the quantity control function has been provided to operate with high efficiency during normal inverter feeding. Turning off the rectifier and inverter of the standby UPS increases the efficiency during light load operation.

① まえがき

近年、データセンターの無停電電源装置（UPS）システムの効率向上が求められている。これまでデータセンター用 UPS のスイッチング電圧を 2 レベルから 3 レベルにしてスイッチング損失や LC フィルタの損失を抑制し、高効率を達成してきた⁽¹⁾。また、整流器の逆並列ダイオードをシリコン（Si）から炭化けい素（SiC）にした機種もラインアップしている⁽²⁾。さらに、UPS からサーバに直接電源供給可能な三相 4 線式の「UPS7000HX-T4」を活用した高効率な電源システムを構築してきた⁽³⁾。

さらに効率向上するためには、運転モードを常時インバータから常時商用給電方式にする方法がある。しかし、常時商用給電方式 UPS の採用はあまり進んでいない。これまで、常時インバータ給電方式により安定した電源供給を実現しており、常時商用電源供給だけの方式では電源品質の低下が懸念される。

常時インバータ給電方式に常時商用給電方式の機能を併せ持った UPS であれば、安定した電源供給と高効率な運用が両立できると考えられる。富士電機は、給電システムとして高効率な三相 4 線式 UPS7000HX-T4 に常時インバータ給電機能に加え常時商用給電機能を追加した。さらには、常時インバータ給電時でも高効率運用ができる台数制御機能も付加した。

これらの機能により、常時商用給電時と常時インバータ給電時の両方の運転方式において、これまで以上に高効率な運用ができる。商用電源の需要や負荷への配電の電力品質に合わせて運転方法を選択することができる。この機種で、三相 4 線式、三相 3 線式、サーバ用、空調用負荷に対応できるため、企画設計から納品までが短納期になる。また、保守も容易となるだけでなく、UPS 盤と入出力盤

を盤間にて導体接続することで、現地での据付・配線工事を簡易化した。本稿では、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」について述べる。

② 装置の特徴

常時商用給電などを付加した UPS7000HX-T4 と入出力盤の外観を図 1 に、装置仕様を表 1 に示す。また、常時インバータ給電のダブルコンバージョン方式を採用した「UPS7000HX シリーズ」の主回路に、常時商用給電機能を付加した回路を図 2 に示す。バイパス回路は、サイリスタスイッチと電磁接触器（MC）が並列接続されている。バイパス切換時は、サイリスタスイッチ、MC の順に投入し、その後サイリスタスイッチがオフする。そのため、定格出力 800% で 1 サイクルという短時間定格仕様としていた。今回は、連続してサイリスタスイッチから給電する



図 1 UPS 盤と入出力盤外観（左 UPS 盤、右 入出力盤）

表1 「UPS7000HX-T4」の仕様

項目	仕様	
交流入力	相数	三相4線
	電圧	400V±10%
	周波数	50/60Hz
	力率	0.99 (遅れ) 以上
バイパス入力	相数	三相4線
	電圧	400V±10%
	周波数	50/60Hz
	バイパス過負荷耐量	800% 1サイクル (サイリスタ短時間)
交流出力	定格容量	500kVA
	相数	三相4線
	電圧	400V
	電圧精度	<±1%
	周波数	50/60Hz
	周波数精度	±0.01 Hz (自己発振時)
	負荷力率	定格1.0 (遅れ0.7~1.0)
	過渡電圧変動	<±5%
	電圧波形ひずみ率	2%以下 (線形負荷), 5%以下 (非線形負荷)
	過負荷耐量	125%×10分 150%×1分
バッテリー	定格電圧	480~528V
	浮動充電電圧	540~594V
その他	外形寸法	W1,600×D1,000×H1,950 (mm)
	通信インタフェース	MODBUS*

*MODBUS : Schneider Automation, Inc.の商標または登録商標

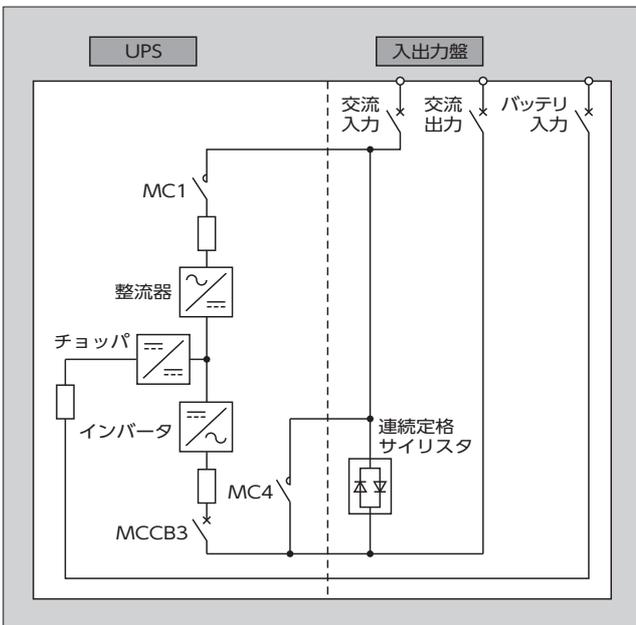


図2 「UPS7000HX-T4」の主回路構成

ため連続定格とした。入出力盤には、サイリスタスイッチと交流入力、交流出力、バッテリーの配線用遮断器 (MCCB) を配置している。

常時商用給電時はサイリスタスイッチを連続点弧して商用電源を負荷に送る。その間、整流器を停止させて、イン

バータはバッテリーを充電するとともに入力力率を改善するようにアクティブ動作する。

これまで UPS 盤と入出力盤とは外線ケーブルで接続していたが、盤間導体接続を採用した。UPS 盤と入出力盤を一体化することで現地施工が簡略化できる。さらに、外線ケーブルの接続がないため、景観的にも優れている。

③ 常時商用給電方式

常時商用給電では、商用電源から直接負荷に給電し、インバータはバッテリー充電と入力力率を改善するためにだけ動作している。そのため、常時商用給電におけるインバータは常時インバータ給電に比べ負荷率は非常に低い。さらに、整流器は完全に停止しているため、常時商用給電時の効率は、定格容量において 99% を超える。

3.1 切換制御

常時商用給電中の停電、重故障、過電流発生時には安定した電源品質が維持できるインバータ給電に切り換える。

常時商用給電状態からの切換制御を図3に示す。

(1) 停電切換

停電時はバッテリー運転に切り換わるが、復電時はバッテ

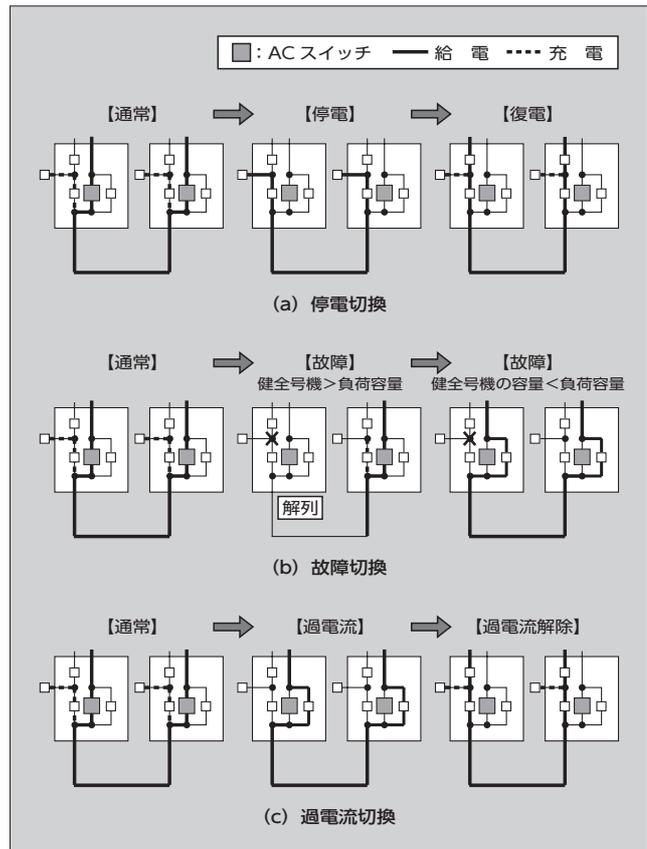


図3 常時商用給電状態からの切換制御

〈注1〉アクティブ動作：負荷電流のうち無効電流および高調波電流に対して逆相の電流を供給することでサイリスタには有効電流を流す

り運転から自動的に常時インバータ給電状態に切り換わる。常時商用給電に自動で戻らない。したがって、停電後の常時商用給電は、手動で切り換える。停電の発生は、継続して発生することを考慮して頻繁な切換えとならないように常時インバータ給電に戻すことを原則としている。常時インバータ給電では停電による切換えはなく、安定した電源を供給できる。

(2) 故障切換

重故障した UPS は、解列して残った健全な UPS で常時商用給電を継続する。このとき過負荷となる場合はバイパス給電に移行する。

(3) 過電流切換

過電流時はバイパス給電に移行し、その後、過電流が解消されると常時インバータ給電となる。再度、常時商用給電する場合は、手動で切り換える。

常時商用給電中に停電が発生した時の切換波形を、図 4 (a)に示す。インバータがアクティブ動作しているため、無瞬断切換となる。通常は、各 UPS のインバータは単独

でアクティブ動作している。停電後は、バッテリー電源によるインバータの並列運転に移行する。

常時商用給電中に重故障が発生した時の切換波形を、図 4 (b)に示す。インバータに重故障が発生すると、インバータはオフしバイパスの MC4 がオンした後、サイリスタをオフさせる。商用電源をサイリスタと MC に分流させた後、サイリスタをオフさせるため波形の乱れはない。

3.2 常時商用給電時の周辺機器の設計

並列システムの常時商用給電時は、各 UPS のインピーダンスに応じて負荷分担される。並列システムの UPS への入力、個別変圧器または共通変圧器から行う 2 種類がある。

共通変圧器とした場合、並列点まではケーブルの長さでインピーダンスが決定される。すべてのケーブルを同じ長さにしてそろえて施工することは困難で、一般的には 6 ~ 20 m の長さの違いがあり、ケーブル長に応じた負荷分担となってしまふ。そのため、負荷分担をそろえるため、UPS のバイパス回路にバランスリアクトルが必要となる。また、個別変圧器の場合、変圧器とケーブルのインピーダンスの合成インピーダンスによる負荷分担となる。

富士電機製モールド変圧器の % インピーダンスのばらつきは、平均値に対して +1.5% ~ -1.0% と小さい。また、ケーブルの変圧器に対するインピーダンスの割合は、一桁程度小さくなる。

最悪のケースとして、変圧器とケーブルのインピーダンスを低い順に組み合わせて接続したときの負荷分担は ±5% となった。これに対応するため、変圧器、ケーブル、遮断機などの機器の定格は、5% 程度の裕度をみている。

4 常時インバータ給電方式の台数制御

4.1 待機 UPS の損失低減と台数制御の効率特性

通常運転時の無負荷損失に比べて、台数制御時の待機運転している UPS の無負荷損失が小さくできれば、効率の高い運転が可能である。また、UPS は、待機運転中は継続してバッテリーを充電する必要がある。常時インバータ給電では、整流器は力率 1.0 になるように制御している。一方、バッテリーは通常、満充電状態であり充電電流は非常に小さいので、待機運転中の UPS の力率を 1.0 に制御する必要はない。また、PWM 制御に比べてダイオードによる三相全波整流の損失は非常に小さいので、整流器の主回路素子である IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) のスイッチングは停止させて、IGBT に逆並列接続している帰還ダイオードを使って三相全波整流する。

チョッパ回路を使ってバッテリーを充電する。インバータの IGBT はオフの状態、並列運転に備えてパルス制御回路を運転しておく。これにより、整流器とチョッパ、インバータの主回路スタックにある冷却ファンをすべて停止することができる。この結果、待機している UPS の損失は、200 W 程度に低減できる。図 5 に示すように 8 台並列運

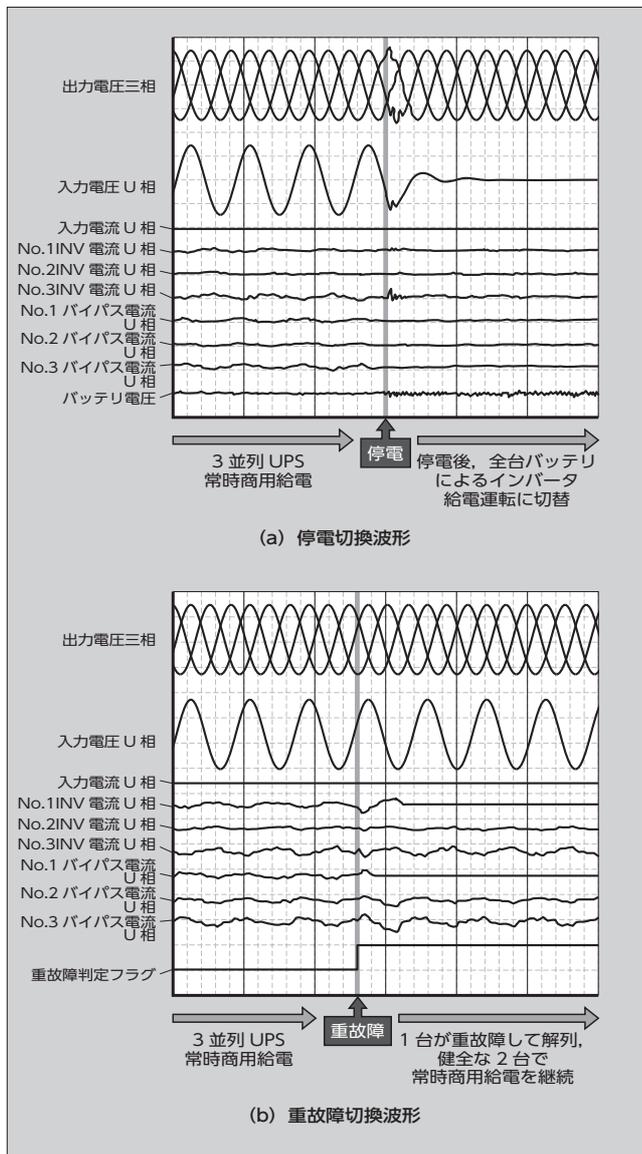


図 4 常時商用給電時の切換波形 (3 台並列時)

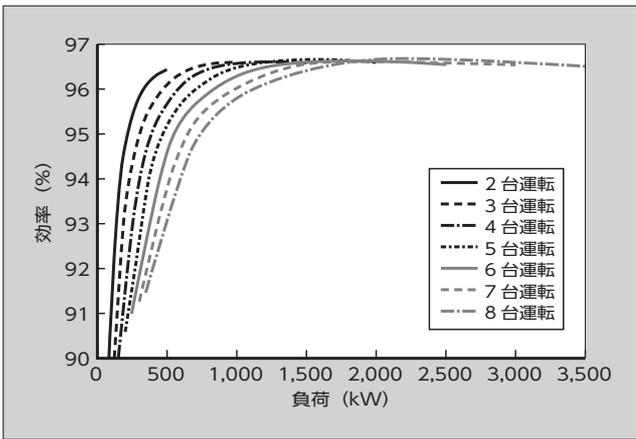


図5 運転台数に対する効率特性 (2～8台)

転では、軽負荷において台数制御による効率向上が発揮できる。

4.2 台数制御方法

負荷が急激に上昇してもUPSが過負荷耐量を超えてバイパス給電に移行しないように運転台数を設定できるようにする必要がある。UPSの過負荷耐量は125%10分、150%1分であり、負荷急上昇時に各UPSの負荷率を150%以下にする必要がある。システム容量3,500kWとして8台×500kVAの並列冗長システムの場合、3,500/(1.5×500)=4.7であり最低限必要な運転台数は5台となる。

最低限必要な運転台数を基準に、台数変更の前後の効率が高くなる負荷率を決定する。具体的には、負荷上昇時に負荷率70%、負荷減少時に負荷率45%程度になるようにした。

各UPSの運転積算時間を平準化する機能を備えており、運転積算時間の最も短いUPSを次回の運転対象とし、最も長いUPSは次回の停止対象とする。

4.3 台数制御中の切換制御

入力電源の停電、過負荷、重大故障時には基本的に台数制御から全台運転に自動で切り換わる。健全性を確認した後、オペレータの判断で台数制御に手動で切り換える。

例えば、5台で運転中に停電が発生すると、5台は瞬時にバッテリー運転に切り換わる。待機運転の3台は約3秒後に並列運転に投入される。また、5台で運転中に1台に重大故障が発生して4台の運転になった場合は、約13秒後には待機していた全てのUPSが並列運転に投入される。

5 常時インバータと常時商用給電方式の信頼性

(1) 単機運転時のFIT (Failure In Time) の比較

常時インバータ給電方式と常時商用給電方式のFIT(注2)(常時インバータ給電方式を100とする)と切換制御の比較を表2に示す。

整流器の部品点数は多く、常時商用給電時は、部品点数

表2 常時インバータと常時商用の給電方式の比較

項目	常時インバータ給電方式	常時商用給電方式
単機運転のFIT ^{注2)} の比較	○ 100% 整流器運転、インバータ運転、サイリスタスイッチ停止	◎ 90% 整流器停止、インバータ運転、サイリスタスイッチ運転
故障時の切換制御	○ 4ステップ インバータ停止⇒サイリスタスイッチ点弧⇒MC投入⇒サイリスタスイッチ消弧	◎ 3ステップ インバータ停止⇒サイリスタスイッチ消弧⇒MC投入
停電時の切換制御	◎ 1制御 整流器運転→停止 (インバータ運転継続)	○ 2制御 サイリスタスイッチ運転→停止 インバータアクティブ動作→インバータ給電

*冷却ファンは冗長化されているため除外

の多い整流器は動作しないので常時インバータ給電時に比べFIT数は小さくなり、信頼性の高い運転となる。

(2) 故障時の信頼性の比較

故障時、常時インバータ給電方式は、インバータ停止、サイリスタスイッチ点弧、MC投入、サイリスタスイッチ消弧と4ステップにて切換制御を行う。それに対して、常時商用給電方式は、インバータ停止、サイリスタスイッチ消弧、MC投入で3ステップの切換となり、常時インバータ給電方式よりも切換回数が少なく切換失敗のリスクは低い。

(3) 停電時の切換制御の信頼性の比較

停電時、常時インバータ給電方式は、整流器を停止させるだけで、インバータ給電に変化はない。一方、常時商用給電方式はサイリスタスイッチを停止させて、インバータをアクティブ動作から通常のインバータ給電に切り換える必要がある。したがって、インバータ運転の切換とサイリスタスイッチの切換失敗のリスクがある。また、停電の発生頻度は、年に数回あり、常時商用給電では切換失敗のリスクが高いことを認識しておく必要がある。

故障と停電頻度を比較すると、圧倒的に停電の頻度の方が高く、停電における切換失敗のリスクが高い常時商用給電方式で運用する場合は、二重化などの信頼性の高い冗長化システムとすることを推奨する。

6 あとがき

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」について述べた。データセンター向けに高効率の電源システムが実現できる三相4線式UPS7000HX-T4に、常時商用給電機能と常時インバータ給電の台数制御機能を追加し、さらに高効率運転を実現した。今後も、高効率、省スペースにより社会に貢献していく所存である。

〈注2〉FIT (Failure In Time) : 製品の故障率を表す指標の一つで、稼働10億(10⁹)時間当たりの平均故障回数である。1/10⁹(故障件数/時間)は1FITを示す。

参考文献

- (1) 山方義彦ほか. データセンター向けA-NPC 3レベル適用大容量高効率UPS「UPS7000HXシリーズ」. 富士時報. 2012, vol.85, no.3, p.250-254.
- (2) 佐藤篤司ほか. SiCハイブリッドモジュールを適用した北米向け大容量UPS「UPS7300WX-T3U」. 富士電機技報. 2017, vol.90, no.1, p.55-57.
- (3) 安本浩二ほか. 三相4線式無停電電源装置を活用した高効率電源システム. 富士電機技報. 2019, vol.92, no.1, p.54-59.



安本 浩二

道路用電気集じん装置, 液晶ガラス基板恒温装置, 無停電電源装置の開発・設計に従事。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施設・電源システム事業部D プロジェクト部。博士(工学)。技術士(電気電子部門)。



濱田 一平

中大容量無停電電源装置の開発・設計に従事。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電源機器開発部主任。電気学会会員。無停電電源システム標準化委員兼 IEC SC22H エキスパート。



反町 直弘

中大容量無停電電源装置の開発・設計, 無停電電源装置のエンジニアリング業務に従事。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施設・電源システム事業部D プロジェクト部。



大容量パワーエレクトロニクス機器の品質向上と 環境負荷軽減に寄与する試験装置

Testing Equipment Contributing to Quality Improvement and Environmental Impact Reduction of High-Capacity Power Electronics Equipment

梅沢 一喜 UMEZAWA, Kazuyoshi

山田 歳也 YAMADA, Toshiya

千田 幸弘 CHIDA, Yukihiro

昨今の電力変換装置の大容量化に伴い、要求性能や国内外の規格などの電源品質に準拠した適合試験を行う必要がある。さまざまな条件で効率的に試験するためには、1.5 MW の電力が必要になる場合もあるため、消費電力の低減が重要である。また、電力変動が発生する試験による電気設備への影響をなくす必要もある。これらの課題を解決するため、電力回生機能を持つ試験装置を開発し、導入した。これにより、適合試験の効率化と、試験時の消費電力低減を両立し、製品試験の期間短縮、品質向上および環境負荷軽減に寄与する。

The recent increase in capacity of power conversion systems has made it necessary to conduct conformity tests to meet the power supply quality stipulated by international and Japanese standards or required by customers. Efficiently performing testing under a variety of conditions can require a power as high as 1.5 MW, and power saving is needed. It is also necessary to completely protect electrical equipment from the impact of power fluctuations. To overcome these challenges, we have developed and deployed testing equipment capable of power regeneration to efficiently perform conformity testing and reduce power consumption during testing. The testing equipment helps shorten product testing periods, improve quality, and reduce environmental load.

1 まえがき

データセンターや半導体製造工場など、一瞬の停電も許容しない高い電源品質が要求される施設では、無停電電源装置（UPS：Uninterruptible Power System）などの電力変換装置が活用されている。また、メガソーラーシステムなどの再生可能エネルギーを安定した電力として電力系統に接続する際にも、パワーコンディショナ（PCS：Power Conditioning System）などの電力変換装置が活用されている。これらの電力変換装置は、データセンターサーバや太陽光発電の大容量化などに伴い、1 MW 級の装置容量が要求される。

このような大容量の電力変換装置の実用化を進める上で、国内外の無停電電源システム規格などの電源品質に準拠した適合試験を行う必要がある。そこで、大容量のパワーエレクトロニクス（パワエレ）機器の規格適合試験に対応した試験装置を開発した^{(1),(2)}。これにより、1 MW 級の製品でも、さまざまな条件（交流入力、蓄電池入力、負荷）での試験が可能となり、製品の品質向上に大きく貢献する。

本稿では、試験対象に UPS を例にとり、大容量パワエレ試験装置について述べる。

2 試験装置の特徴

規格に準拠した試験条件（交流入力、蓄電池入力、負荷）で大容量の電力変換装置を効率的に試験するためには、被試験装置ごとに異なるさまざまな試験項目や電気仕様（電圧レベル、三相結線、周波数）に対応する必要がある。また、電気特性試験時には、一般家庭 400 軒分に相当するおよそ 1.5 MW の電力が必要である。地球温暖化対策および「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」（省

エネ法）に対応するため、試験時の消費電力を削減できるようにした。さらに、試験時に大電力が急変しても、受電系統へ影響を与えて他の電気設備の電源を擾乱（じょうらん）しない試験装置とする必要がある。

2.1 全体構成

図 1 に大容量パワエレ試験装置の外観を、図 2 に全体構成を示す。交流の受電系統から、交流直流変換装置（系統連系盤）にて直流電圧に変換し、その直流電圧を次に示す三つの模擬機能を持った盤に供給する。

- (a) 系統電圧を模擬した電圧を発生する模擬系統盤
- (b) 電力を制御して負荷特性を模擬する模擬負荷盤
- (c) 蓄電池特性を模擬する模擬蓄電池盤

また、試験装置にはさまざまな試験モードの設定や、具体的な各試験状態を実現するために、電力変換装置に指令を出すなどの処理を行う統括制御盤がある。タッチパネルにて試験モードを選択し、その試験に必要な電圧、電



図 1 大容量パワエレ試験装置

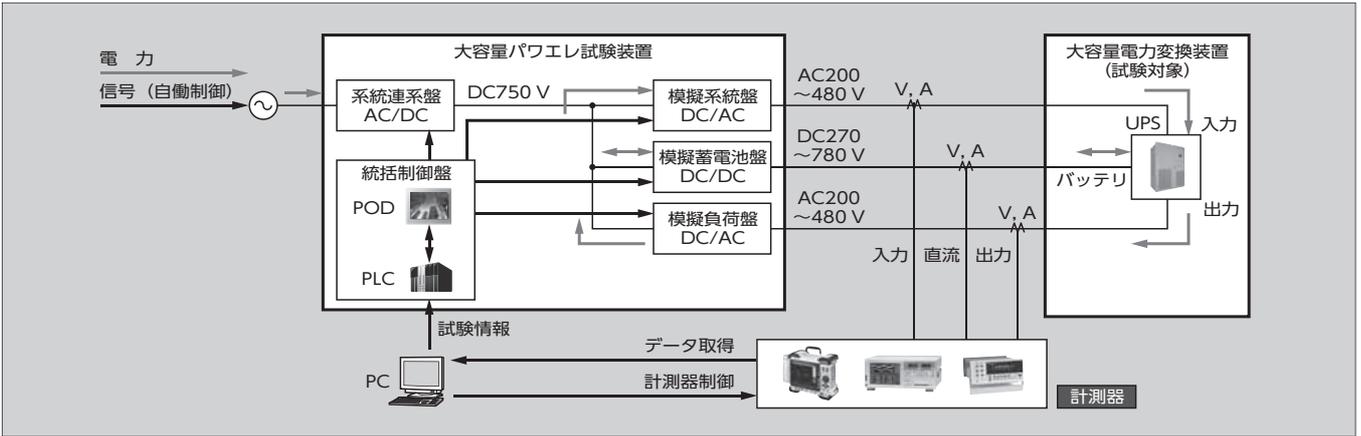


図2 全体構成

表1 大容量パワエレ試験装置の仕様

盤名称	仕様	
模擬系統盤/ 模擬負荷盤	容量	750kVA×2並列
	電圧範囲	AC200～480V
	結線方式	三相3線/三相4線, デルタ/スター
	電圧精度	±0.1%以内
	電圧歪み率	1%以内
	周波数範囲	50Hz/60Hz±10%
	負荷調整単位	0.5kW/0.5kVar
負荷機能	遅れ負荷, 進み負荷, 能動負荷, 整流器負荷, 不平衡負荷	
模擬蓄電池盤	容量	500kW×3並列
	電圧範囲	DC270～780V
	電圧リップル	1%以内
	電流応答時間	20ms以下
蓄電池機能	蓄電池の充放電	

流, 電力, 周波数などの変動レベルや変動時間の設定を詳細に行うことができる。この統括制御盤に搭載したプロ

グラマブルコントローラ (PLC: Programmable Logic Controller) は, その他の系統連系盤, 模擬系統盤, 模擬負荷盤, 模擬蓄電池盤と連携した操作を行うことができる。

2.2 電気仕様

本試験装置の仕様を表1に示す。最大1.5MWの容量に対応でき, 電圧は交流200～480V, 50/60Hzを三相3線, 三相4線の電源結線および負荷結線が構成できる。模擬蓄電池は, 直流270～780Vで最大容量1.5MWまで対応できる。交流電圧のレベル変更, 三相3線, 三相4線の結線変更は統括制御盤で行う。また, 被試験装置の電気仕様に合わせてトランスのタップ選択切替えと, 三相結線であるデルタ結線, スター結線の選択切替えもタッチパネルにおける操作だけで完了する。

2.3 小容量受電での大容量試験実現

一般に, 1MWのUPSを試験するためには過負荷試験を含めると, 1.5MWの受電電力が必要になってしまう。しかし, 本試験装置では, 図3に示す電力変換装置を駆使

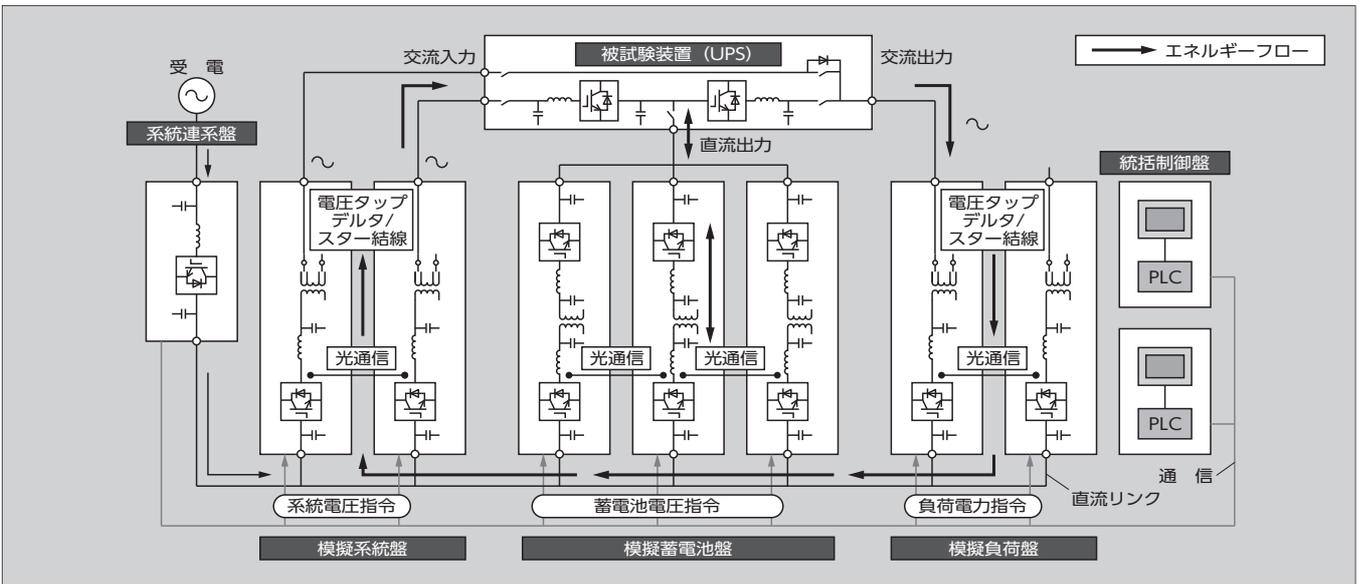


図3 大容量パワエレ試験装置の構成

特集 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

した電力変換フローにより、負荷消費の 1/6 に削減した 0.25 MW の受電電力に抑制して試験ができるようにした。

この電力変換フローは、受電した交流電圧を系統連系盤にて直流に変換し、その直流電源に試験機能を搭載した模擬系統盤、模擬蓄電池盤、模擬負荷盤を直流リンクすることで直流電力を循環するようにして、大幅な省エネルギー化を実現した。なお、各盤は次のような動作をする。

- (a) 模擬系統盤では、直流リンクから DC/AC 変換装置によって交流に変換し、被試験装置の電気仕様に適合する電圧になるようにトランスの電圧タップを切り替える。
- (b) 模擬蓄電池盤では、直流リンクから DC/AC 変換装置によって交流に変換し、トランスで変圧した後に AC/DC 変換装置で蓄電池を模擬した直流電圧を発生する。
- (c) 模擬負荷盤では、直流リンクから DC/AC 変換装置にて、被試験装置の出力電圧に追従し連結するため交流電圧を発生する。
- (d) 統括制御盤では、(a)から(c)の各変換装置を統括して各種試験モードに制御し、負荷電力指令によって UPS から出力される電力を設定する。

2.4 大電力変動時の系統安定化

1 MW 級の大電力試験において、電力変動が発生する負荷急変試験や停電復電試験などでは、電力回生装置がないと受電電力の変動により系統電圧が変動し、同じ受電側に接続されている他の電気設備や試験ラインに影響を与えるという問題がある。一方、交流配電での電力回生装置があると、受電電力の変動は誘発しないが、交流電流の位相が変動する影響で回生ルートを構成している交流配電系統で電圧変動が発生し、その回路系統にある電気設備に影響を与えるという問題がある。

そこで、電力回生ルートを本試験装置内の直流リンク回路にて循環させることにより他設備に影響を与える系統を電力が通過しないようにし、これらの問題を解決した。これにより、負荷急変や停電復電などの過渡特性試験を行っても受電および周辺電気設備への影響が出ないようにした。

2.5 フレキシブルな試験構成

試験モードを制御する統括制御盤には 2 台の PLC を搭載し、電力変換装置 (0.75 MW) の単独動作で 0.75 MW の試験システムや、PLC の連携動作によって 2 台の電力変換装置 0.75 MW を並列運転させて 1.5 MW での試験システムが構成できる。なお、0.75 MW の試験システムでは、個別の 2 種類の被試験装置を対象にした試験を同時に行うことができ、効率化を図ることができる。

③ 大容量電源シミュレータ技術

3.1 模擬系統シミュレータ機能

模擬系統盤は、DC/AC 変換装置にて系統を模擬する電

圧を生成するため、単相インバータと単相トランスからなる組合せを 3 組持っている。電磁接触器を使ってトランス出力の二次側の接続方式を三相 3 線によるデルタ結線、または三相 4 線によるスター結線に切替えることができる。また、タップ切替えて、200 ~ 480 V までの各種電圧が出力できる。これにより国内外のさまざまな電圧や結線に適した試験を行うことができる。

大容量パワエレ試験装置は、規格試験だけでなく、現地で発生した地絡や短絡のトラブルの再現試験においても、再現性の高い試験が可能である。例えば、雷害による 1 線地絡や 2 線短絡などの瞬時電圧低下を再現するためには、電圧急変動時に不要な電流を発生させないことが必要である。このため、励磁突入電流が流れないトランスを採用し、試験特性に影響が出ない設計とした。再現する波形の電圧レベル、位相を試験設定パラメータとする。模擬系統盤の制御装置内のソフトウェアにて、系統回路モデルを用いて線路インピーダンス、各相の電圧低下特性を計算する。そこで決められた系統電圧指令によって、模擬系統盤の電力変換装置が電圧制御を行うことで、瞬時電圧低下の波形を再現することができる。

3.2 模擬負荷シミュレータ機能

模擬負荷盤の回路構成は模擬系統盤と全く同じであるが、制御対象が模擬系統盤は電圧であったのに対して、制御対象が模擬負荷盤は電力である点が異なる。

負荷特性には、受動負荷モードと能動負荷モードの 2 種類がある。受動負荷モードは、抵抗、リアクトル、コンデンサなどの受動負荷を再現する。受動負荷は電圧に比例した電力動作なので、被試験装置である UPS の出力電圧に比例した電流とする。能動負荷モードは、昨今のサーバ電源に採用されている高力率コンバータのスイッチング電源などの能動負荷を再現する。能動負荷は電力が一定となる電力動作なので、被試験装置である UPS の出力電圧が低下すると電力を一定に保つため、電流を増加させる。IEC 規格にある両負荷の混在モードも試験が可能である。

試験設定パラメータとして、負荷特性のモード、変動レベル、変動時間を設定することで、模擬負荷盤の制御装置内のソフトウェアにて、負荷回路モデルを用いて負荷特性を計算する。そこで決められた負荷電力指令によって、模擬負荷盤の電力変換装置が電力制御を行うことで、任意の負荷波形を再現する。

3.3 模擬蓄電池シミュレータ機能

模擬蓄電池盤は、DC/AC 変換装置にて交流電圧を生成する。トランスによって電圧を変換したのち、AC/DC 変換装置にて蓄電池を模擬した直流電圧を生成する。トランスのタップ切替えて、直流 270 ~ 780 V までの各種電圧が出力できる。これによりさまざまなセル数の蓄電池に対応した試験を行うことができる。

蓄電池の充放電特性は、電池残容量が多い場合は電池電圧が高く、電池残容量が少ない場合は電池電圧が低くなる。

UPS の試験では、充電動作にて蓄電池が満充電状態に到達した場合の動作や、蓄電池容量が低下してUPS の動作限界点に到達した場合の動作を確認する必要がある。実際の蓄電池を使った場合は、蓄電池容量が大きいため、この状態を準備するのに何時間も連続で充放電し続ける必要がある。一方、大容量パワエレ試験装置は、蓄電池電圧の初期値を設定するだけで、即座に電池状態を満充電付近や電圧低下状態から試験を開始することができる。

4 具体的試験例

4.1 適用可能な試験項目

本試験装置で実施可能な試験例を表2に示す。

被試験装置の電圧、容量などの基本情報を設定した上で、試験モードを選択するだけで、JEC や IEC 規格などの電力変換装置の電気試験が3章で説明したシミュレータ機能を使って行うことができる。

4.2 二線短絡の再現例

UPS の試験はJEC-2433 や IEC 規格を基に行う。現実には、現地に設置した後に規格には定義されていない外乱現象が発生することがある。例えば、UPS の全相電圧をすべて停電する試験が規格には定義されているが、実際には全相が落ちるパターンだけでなく、落雷などにより、線間で短絡するような現象がある。富士電機のUPSには、故障発生時の電圧や電流波形を保存する機能がある。この

表2 試験項目の例

対象シミュレータ	試験項目
模擬系統	○電圧：緩変，急変，瞬低 ○周波数：緩変，急変，追従 ○逆潮流，逆相
模擬負荷	能動負荷，受動負荷，整流負荷， 不平衡負荷，負荷変動，過負荷
模擬蓄電池	○バッテリー放電，充電 ○バッテリーテスト機能 ○バッテリー異常

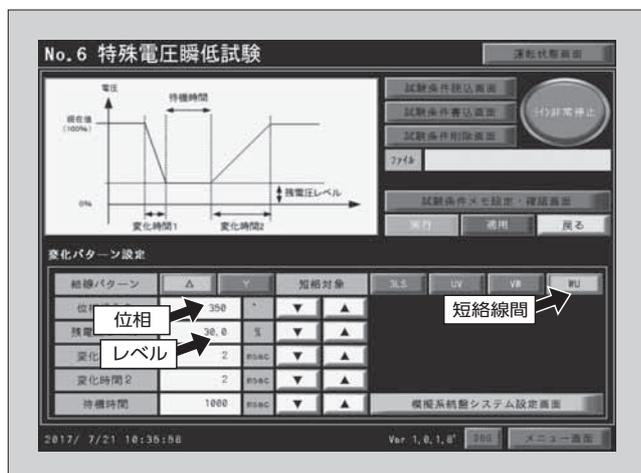


図4 タッチパネル設定画面

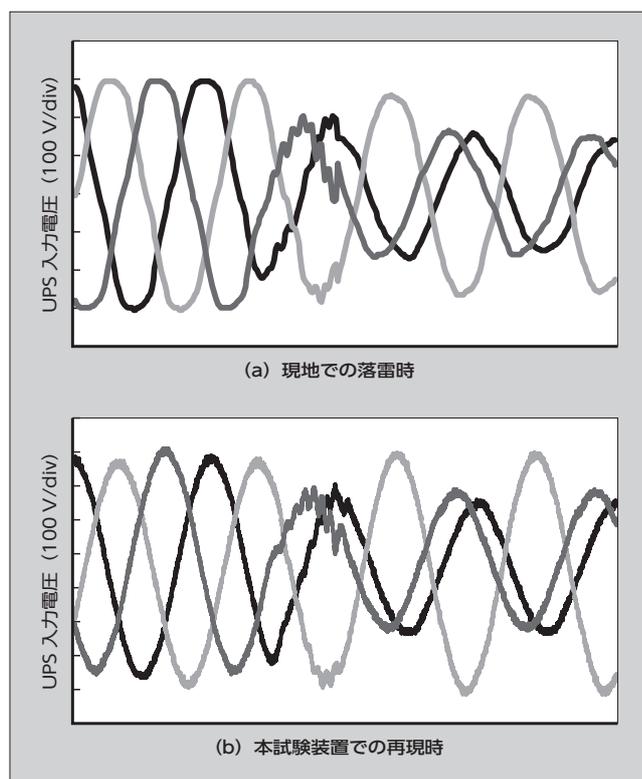


図5 二線短絡波形

保存した波形から系統モデルシミュレーションにて、どの線間電圧で短絡が発生し、そのレベルはどの程度か、どのタイミング（位相）で発生しているのか、負荷量はどの程度だったかを解析する。この解析結果を基に、本試験装置の試験モード設定画面にて短絡線間の選択、レベルの選定、位相の選定の3項目を設定することで、実際に起きた短絡現象を再現することができる（図4）。

本試験装置では、従来の遮断器で抵抗を投入する方式のように、抵抗の準備や組換え作業が必要ない。さらに、従来の方式では、短絡発生時の位相を精度よく再現できないのに対し、本試験装置は高精度に同じ位相で再現できる。このため、従来では再現および原因解析に2週間程度の時間を要する試験が、本試験装置を使うとUPSを接続し、タッチパネルにて条件を設定するだけなので、わずか1日で現象を再現した試験ができる。図5に、実際に発生した短絡事故時の波形と本試験装置で再現した波形の比較を示す。各相の残電圧レベル、発生位相および短絡時の電圧の振動事象も再現できた。

5 あとがき

本稿では、大容量パワーエレクトロニクス機器の品質向上と環境負荷軽減に寄与する試験装置について述べた。本試験装置は、省エネルギーを図りながら、1MW級の大容量製品に対して高精度な再現試験と規格適合試験を行うことができる。また、試験期間短縮と品質向上に貢献する装置である。今後もパワエレ製品の技術発展および品質向上にまい進していく所存である。

参考文献

- (1) 富士電機株式会社. 試験装置. 特許第5999281号. 2016-05-31 (出願日).
- (2) 富士電機株式会社. 試験装置. 特開2018-48948. 2016-09-23 (出願日).



千田 幸弘

中大容量 UPS, PCS の品質保証業務に従事。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神戸工場品質保証部課長。



梅沢 一喜

パワーエレクトロニクス技術応用製品の開発に従事。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電源機器開発部マネージャー。技術士（電気電子部門）。電気学会会員。



山田 歳也

パワーエレクトロニクス技術応用製品の開発に従事。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電源機器開発部主任。



設備保全の最適化を支援する「設備管理まるごとサービス」

“Comprehensive Equipment Management Service” Supporting Optimization of Equipment Maintenance

福島 宗次 FUKUSHIMA, Soji

生産設備の安定操業・効率化を目指す上で、設備保全は必要不可欠である。設備オーナーは、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を求めている。富士電機は、日常点検から費用管理までの設備運用・管理の最適化により、設備保全費を低減し、故障未然防止、故障修復時間短縮など、設備の安定稼働を目指す「設備管理まるごとサービス」を提供している。これにより、管理対象設備と顧客の業務面において、課題の特定、課題の解決策、継続的な改善など、設備保全の最適化を支援し、安全・安心な設備運用・管理に貢献することができる。

Equipment maintenance is essential for stable operation and efficiency of production equipment. Equipment owners are seeking support services that cover not only equipment maintenance and troubleshooting, but also comprehensive management of the equipment. Fuji Electric provides Comprehensive Equipment Management Services, aimed at stabilizing equipment operation by preventing malfunction and shortening repair times, as well as reducing equipment maintenance costs by optimizing the operation and management of equipment, covering from a daily check to cost management. Our services contribute to the safe and secure operation and management of equipment by delivering support for optimal equipment maintenance, involving identifying issues, providing their solutions, and conducting continuous improvement, in terms of customers' business and equipment management.

① まえがき

生産設備の安定操業・効率化を目指す上で、設備保全は必要不可欠である。設備事故は企業イメージの低下・社会的責任の不履行・経営責任など経営リスクにも直結する。そのため、安全・安心のために設備オーナーとメーカーは共に設備保全技術の向上に取り組んでいる。

近年のIoT（Internet of Things）の進展により、これまで収集できなかったデータが収集できるようになってきている。これらのデータを使ったアナリティクス・AIなどの新たな分析によるスマートメンテナンスが始まりつつある。

本稿では、プラント・工場の電気設備の管理課題に対して設備保全の最適化を支援する「設備管理まるごとサービス」を例に、電力の安定供給に不可欠な電気設備の品質向上とメンテナンスの高度化を実現する設備保全技術について述べる。

② 電気設備の設備管理課題

公益社団法人日本プラントメンテナンス協会のメンテナンス実態調査報告⁽¹⁾によれば、設備管理上の重要課題の上位は次のとおりである。

(1) 故障の再発・未然防止技術

トラブル原因からの再発防止対策、劣化による故障を監視・診断により未然にトラブルを防止する技術の開発が課題である。

(2) 人材の育成・確保の方法

プラント建設を経験してきた高度な知識・保全技術を持つ人材は高齢化してきている。熟練者のノウハウ継承と、高度な知識・保全技術を持つ次世代の人材をどのように育

成・確保していくかが課題である。

(3) 高経年設備対応

生産高を優先し長期間設備を稼働させているため、設備の老朽化が進んでいる。事故がなく設備の稼働を続けるための保全コストの適正化が課題である。

(4) 生産性向上・効率化

製品を製造し販売する本来事業として、製品の生産性向上・効率化は経営上、高い優先度で取り組むべき課題である。

(5) 保全のマネジメントサイクル

上位方針から設備保全方針を策定し、中長期保全計画・年度保全計画を作成し、管理していくことが課題である。

③ 「設備管理まるごとサービス」の概要

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顧客から委託を受ける形態でサービスを提供してきた。しかし、設備オーナーである顧客は、機器のメンテナンス・トラブル対応だけでなく、設備管理業務全般に対する支援サービスを求めている。

設備管理まるごとサービスを提供するためには、長年の実績で培った顧客からの信頼の上に、次の技術要素・人的対応などの実現が重要である。

- (a) 現場ニーズ（顧客・サービス）をくみ取ったサービス商材
- (b) 機器のオンサイト診断と遠隔監視を融合する技術
- (c) 顧客業務を分析し、課題の抽出とソリューションの提案を行う設備保全コンサルティング
- (d) 富士電機のサービス技術者の専門技術向上やサービス技術者の多能化
- (e) サービス技術者のモノからコトへの意識改革

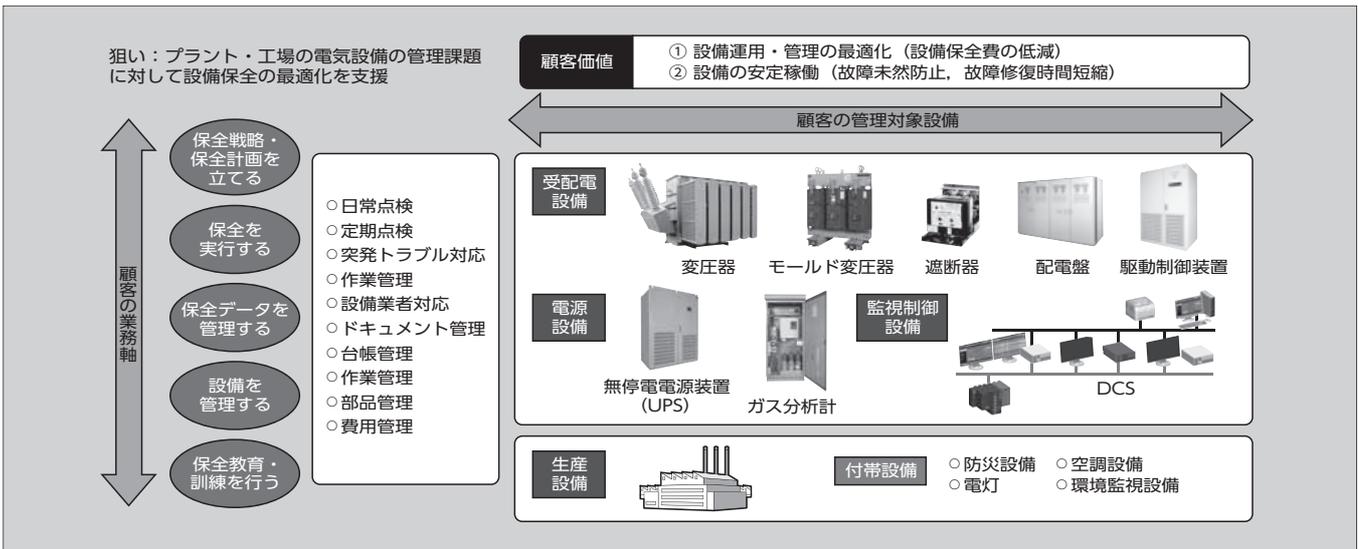


図1 「設備管理まるとサービス」の狙い

(f) 富士電機の機種ごとの相談窓口であるコンタクトセンターの集約による顧客情報と遠隔監視情報などの一元的管理と活用

3.1 「設備管理まるとサービス」の狙い

図1に示すように、設備管理の業務は、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。また、日常点検から費用管理までの日常業務において、設備運用・管理の最適化により、設備保全費を低減し、故障未然防止、故障修復時間短縮により設備の安定稼働を目指している。

3.2 「設備管理まるとサービス」の提供の流れ

富士電機が提供する設備管理まるとサービスは、管理対象設備と顧客の業務面において、課題の特定、課題の解決、継続的改善の流れに従って提供する。表1に設備管理上の課題と解決策を示す。

(1) 課題の特定

設備保全計画の立案時の課題（顧客側）、その保全計画の実施上の課題、実績管理の課題、保全要員・保守部品・保全費用管理の課題など、リスク評価を含めた総合設備診断により顧客と相談しながら課題を特定する。

(2) 課題の解決

特定した課題に応じて、表1に示した①保全計画、②設備更新、③設備監視、④保管理案の解決策を提案する。

(3) 継続的改善

導入した解決策の効果を、収集したデータから評価・分析し、保全計画を見直す。点検周期の見直しや、管理方法の改善、機器の更新などを含め、さらなる改善を図る。

表1 設備管理上の課題と解決策

課題	解決策
設備全般 ○ 設置設備の全体像を見たい ○ 設備保全を見直したい ○ 設備投資計画を立てたい ○ 社会的責任と安全を確保したい	総合設備診断 ○ 総合設備診断サービス
保全方針 ○ 設備の重要度に応じたメンテナンスを実施したい ○ 故障の再発・未然防止を図りたい ○ 高経年設備を安定稼働させたい	保全計画 ○ メンテナンス計画 ○ 設備のストレス状況、品質状況に応じたメンテナンスの実施 ○ 個別機器の設備診断
高経年稼働設備 ○ 老朽化した機器を更新したい ○ 更新時に最新技術を導入したい ○ 設備品質を高めたい ○ 設備稼働率を上げたい	設備更新 ○ 機器更新 ○ 品質向上機器の導入 ・ 電源安定化 ・ 省エネルギー化など
設備異常 ○ 停止時間と再稼働時間を縮小したい ○ 良好なメンテナンスにしたい ○ 社会的責任と安全を確保したい	設備監視 ○ 遠隔監視装置の導入 ・ 稼働監視 ・ 遠隔保守 ・ 劣化診断など
保管理業務 ○ 保全要員の管理を効率化したい ○ 保守部品の管理を効率化したい ○ 保全データを有効に活用したい ○ 保全要員を確保・育成したい	保管理案 ○ 設備管理支援ツール導入 ・ O&M支援 ・ ウェアラブル遠隔支援など ○ 教育・育成支援

4 サービスを実現するシステム

設備管理まるとサービスのシステム構成を図2に示す。設備管理まるとサービスは、フィールドデバイス、IoTプラットフォーム、O&M（O&M：Operation and Maintenance）サービスプラットフォーム^{(2),(3)}、O&Mサービスアプリケーションで構成される。IoTプラットフォームは、フィールドデバイスから送られてくる現場データを収集するエッジコントローラ、サービスアプリケーションの実行環境を提供するサーバシステム、それらをつなぐ通信機能、ならびに収集したデータを分析・解析するアナリティクス・AIで構成されている。

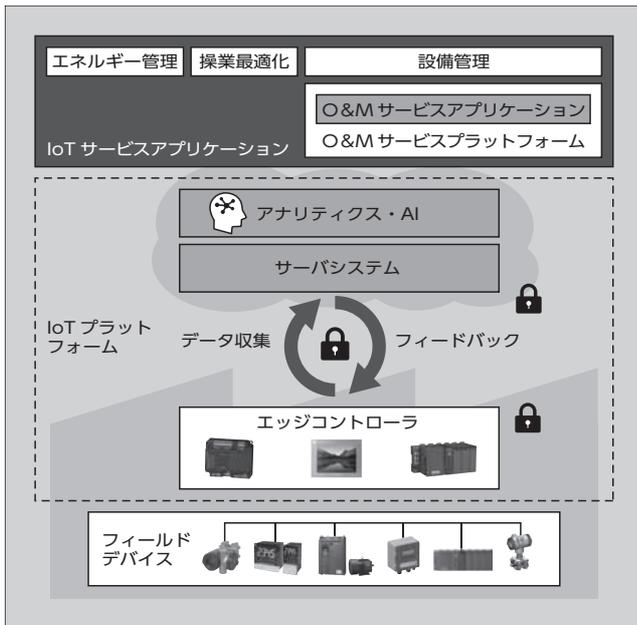


図2 システム構成

O&M サービスプラットフォームは、5章に記載する運転管理、保全管理、分析管理機能を備えている。設備管理対象となる機器の共通監視ユーザインタフェース (UI) をテンプレートとしてそろえている。

O&M サービスアプリケーションは次の四つがある。

- (a) VCB 一括遠隔監視
- (b) 高圧機器部分放電監視 (オンサイト)
- (c) データセンター遠隔監視 (開発中含む)
- (d) 蓄電池遠隔監視

これにより、設備管理対象機器の稼働情報・アラーム情報などを中心に、異常兆候を判断する機器固有情報を選定し、その情報を監視・診断する UI をテンプレートで定義・設定できる。

5 稼働情報と保全情報の統合と分析

図3 に示すように 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、保全管理業務、分析管理業務を支援する機能がある。対象機種から収集した稼働情報と、人の作業に関わる点検情報や故障情報などの保全情報を統合し分析する。

5.1 運転管理機能

運転管理機能は、設備管理の場面では対象機器の稼働情報などを収集・蓄積する。対象機器の情報は、エッジコントローラからインターネットを経由してクラウドのサーバシステムに蓄積し、O&M サービスアプリケーションで遠隔監視する。

5.2 保全管理機能

保全管理機能は、設備管理支援システムで入力された点検情報や故障情報などの保全情報を管理する。具体的には、

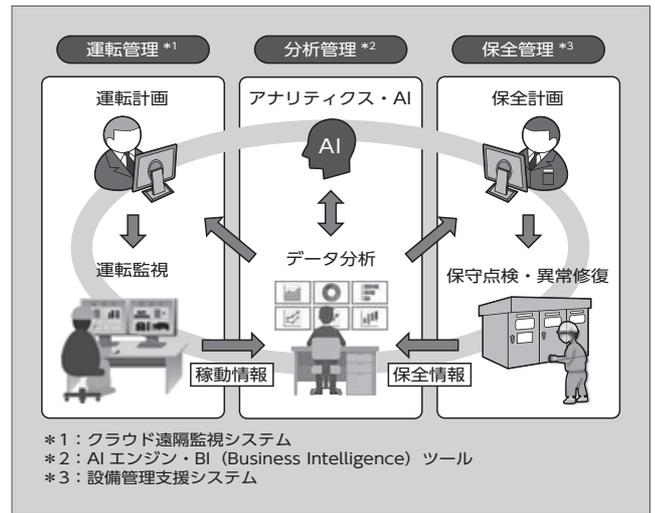


図3 O&M サービスプラットフォームの機能構成図

設備台帳 (設置年、メーカー情報、保守連絡先、消耗品リストなど) を基にした設置場所、点検計画・実績、故障履歴・対応記録、交換部品の在庫状況、保全実績などの情報である。

5.3 分析管理機能

分析管理機能は、稼働情報と保全情報を統合する。その上で、稼働・状態・傾向監視や、認識・診断・予測・最適化、リスク・影響度・環境負荷などの分析・評価を行う。

この分析・評価の結果を基に、運転計画への反映、保全計画の修正・見直しなどに反映する。これにより、設備運用・管理の最適化による設備保全費の低減、設備の安定稼働による故障未然防止、故障修復時間短縮を行うことができる。

6 導入事例

6.1 稼働率改善

図4 に O&M サービスプラットフォームを用いた稼働情報と保全情報の統合による稼働率改善事例を示す。

稼働情報の一つである生産実績 (図4 (a)) を、運転管理機能から取得する。例えば、生産計画よりも著しく生産実績が低下した(1)~(4)と、故障発生状況からなる保全情報 (図4 (b)) を比較して、故障が発生した設備を特定できる。

図4 (c)は、保全管理機能から取得した、保全情報の一つである設備 A の点検情報を示している。設備 A の点検情報と故障発生状況の傾向を分析すると、設備 A の故障発生前に点検項目 1 のデータが小さくなり、点検項目 2 のデータが大きくなる傾向があることが分かる。この分析結果から点検項目 1 のデータ、点検項目 2 のデータの点検周期を短くすることを点検計画に反映することで、故障発生検知精度が上がり、事前に故障の発生を予測できる。また、故障前に計画的に保全作業を実施することで、故障を未然に防止して設備の稼働率を改善できる。

図4 (d)は、設備 A の故障前後の稼働情報を示しており、

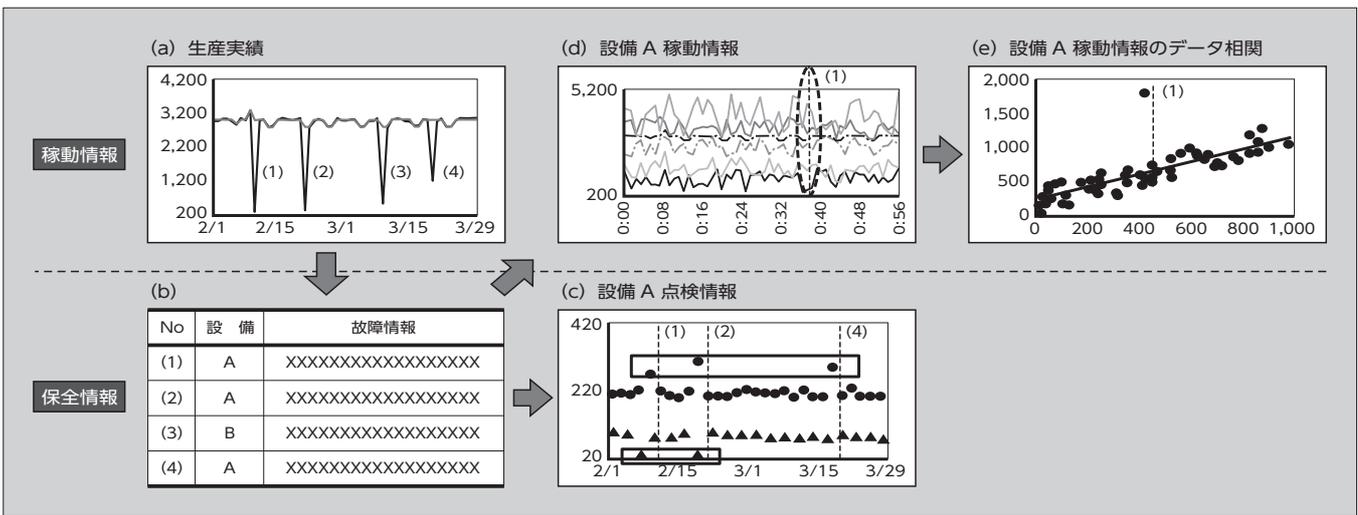


図4 稼働率改善事例

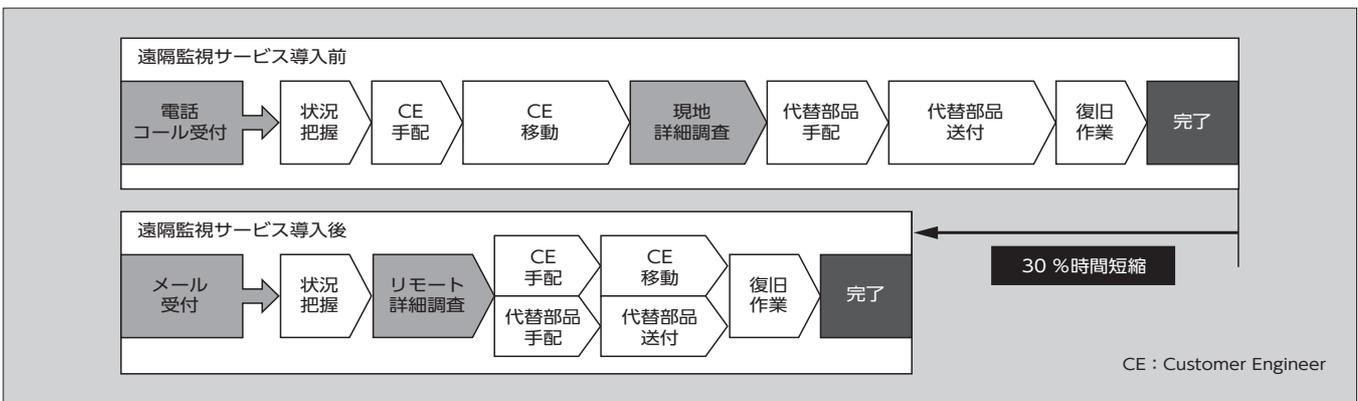


図5 遠隔監視サービス導入前後の障害修復時間の比較

これを統計解析することで、新たな稼働データ間の相関関係を発見することができる。図4(e)に統計解析した設備Aの各稼働情報のデータ相関を示す。この事例では、故障が発生する前に、データが正常時の相関から大きく離れた値を示すことが分かる。

したがって、データ相関から判明した設備Aの稼働情報にしきい値を設定して重点的に監視することで、異常を事前に検知して設備異常停止を回避し、稼働率を改善することができる。

6.2 障害修復時間の短縮

図5は、遠隔監視システムを導入した場合の障害発生から対応完了までの障害修復時間の比較である。障害や異常兆候などを検知すると、O&Mサービスアプリケーションは異常通知メールを発信する。富士電機のサービス技術者は、メールを受け取ると即座にO&Mサービスアプリケーションに接続して状況を詳細に把握し、原因を特定して対応を手配する。これにより、ある事例では、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、約30%短縮できるようになった。

7 あとがき

設備保全の最適化を支援する「設備管理まるとサービス」について述べた。

富士電機のIoTソリューションは、“Small, Quick Start & Spiral-up”をコンセプトに、“フィールドデバイスと解析・最適化技術を生かし、お客さまにとっての新たな価値を創出します”をキャッチフレーズとして進めている。その中で、IoTサービスアプリケーションとしての設備管理ソリューションは、運転管理と保全管理からその情報を分析管理することで設備保全の最適化を目指すサービスとして取り組んでいる。

アナリティクス・AIの適用は、限定的領域ではあるが成果を上げている。現在、エッジ側での適用が主流であるが、今後は、稼働情報と保全情報の統合加速や長期間データの活用など幅広い情報を評価・活用するため、クラウドでの適用を進めているところである。

設備保全分野では設備保全コンサルティングのニーズが高く、そのノウハウを生かし、さまざまな設備保全商材を提供し継続的にお客さまに寄り添う設備管理まるとサービスで、設備保全費の低減、故障未然防止・故障修復時間

短縮により、安全・安心な設備運用・管理に貢献する所存である。

参考文献

- (1) 公益社団法人 日本プラントメンテナンス協会. “2018年度メンテナンス実態調査報告書概要”. 2019-04.
- (2) 保川幸雄ほか. IoTから始まる新しい価値創出ソリューションの現状と展望. 富士電機技報. 2018, vol.91, no.3, p.124-129.

- (3) 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.



福島 宗次

電機・計装システムのフィールドサービス業務、技術管理業務、ビジネス企画業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレシステム インダストリー事業本部フィールドサービス統括部事業企画部主席。電気学会会員。



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

One-Stop Solution for Power Supplies of Large-Scale Facilities

村岸 拓郎 MURAGISHI, Takuro

高橋 淳 TAKAHASHI, Jun

世界的な経済の加速により、景気動向に合わせた柔軟でタイムリーな設備の拡張性が求められている。富士電機は、半導体の新工場建設工事において、配電盤などの設備をEPC案件として一括受注した。柔軟な拡張性・仕様変更への追従性に対するアイテムとしてモータコントロールセンター「M-Qube」を提案し、採用された。また、組立工場の建設工事においてもコージェネレーション設備をEPCとして電源設備を一括受注した。このコージェネレーション設備は、コンテナパッケージを採用してコンパクト化するなど、トータルコストの削減やBCPへの対応も可能にした。

The accelerating worldwide economy has required flexible and timely facility expansion in accordance with economic trends. Fuji Electric received an order of equipment such as switchboards for a newly constructed semiconductor plant as an engineering, procurement and construction (EPC) project. In the project, we proposed the "M-Qube" motor control center, and it was adopted owing to the flexible scalability and adaptability to specification changes. Furthermore, we also received an order for the power supply facilities, including cogeneration facilities as an EPC project, of a newly constructed assembly plant. We utilized a container package to reduce the size of the cogeneration facilities, while also decreasing total costs and supporting BCP.

1 まえがき

富士電機の電源設備は、主要な設備として、工場やビル、データセンター（DC：Data Center）における日々の操作を支えている。

近年では、異常気象による商用電源の変動や事故、さらには事業継続計画（BCP：Business Continuity Plan）に対応するため、発電設備や無停電電源装置（UPS：Uninterruptible Power System）の導入が増えている。また、従来は受変電設備、発電設備、UPSを個別に発注せず一括発注するケースが増え、ワンストップでの対応が求められている。

本稿では、近年の市場ニーズに対して提案した、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について述べる。

2 電源設備に求められること

図1に電源設備における主要な電源機器の構成を示す。電源設備は構内の受電所にて特別高圧または高圧で受電する。電圧を降圧して各建屋や階層へ振り分けた後、さらに各設備向けに降圧した電圧を配電し、各設備が稼動している。電源設備の機器や装置を適切に選定し、密接に連動させて稼動することが必要である。

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・

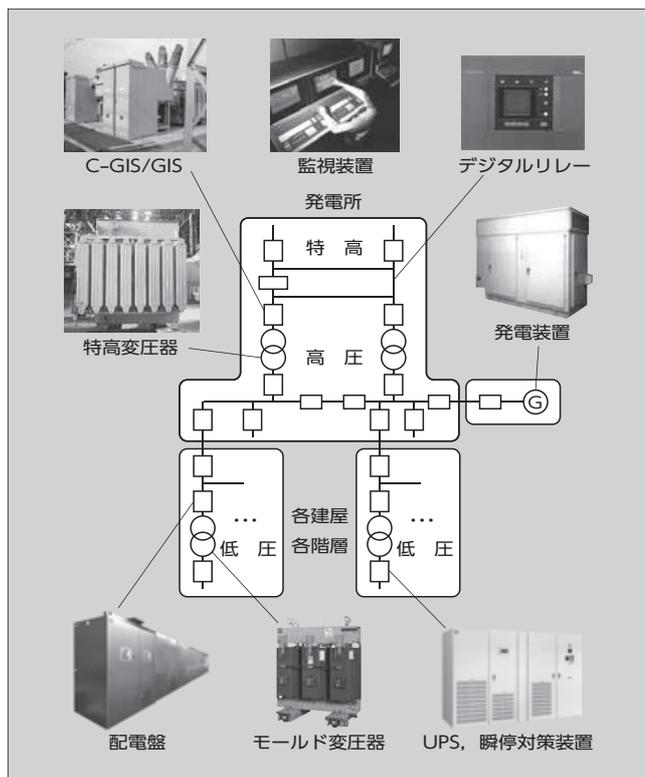


図1 富士電機の提供する電源機器

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一括設備発注が行われるようになってきている。

〈注1〉冗長化：機器やシステムの構成要素について、同じ機能や役割の要素をあらかじめ複数用意しておき、異常が発生した時に代替できるよう待機させておくことである。

表1 電源設備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"> ○東南アジアの経済発展 ○貿易摩擦 ○eコマースの普及 ○M&Aによる事業拡大 	<ul style="list-style-type: none"> ○タイムリーな設備投資 ○柔軟な設備拡張性
国内労働人口の減少	<ul style="list-style-type: none"> ○少子高齢化 ○労働時間の短縮 ○技術者不足 	<ul style="list-style-type: none"> ○一括設備発注 ○自動点検 ○効率化 ○メンテナンスフリー ○長寿命製品
生産技術の革新	<ul style="list-style-type: none"> ○スマートファクトリー ○ロボットの活用 ○フレキシブル生産 	<ul style="list-style-type: none"> ○柔軟な設備拡張性 ○見える化 ○自動化
IoTの普及 通信速度の高速化	<ul style="list-style-type: none"> ○故障予知 ○学習機能 ○AI ○ビッグデータの活用 ○スマートデバイス普及 	<ul style="list-style-type: none"> ○自動診断 ○寿命診断 ○故障解析 ○最適化制御
環境性能	<ul style="list-style-type: none"> ○高効率 ○環境負荷低減 	<ul style="list-style-type: none"> ○耐環境性製品
安心・安全性 能の向上	<ul style="list-style-type: none"> ○異常気象 ○BCP ○レジリエンス 	<ul style="list-style-type: none"> ○冗長化 ○コージェネレーション ○非常用発電設備 ○瞬低対策

例えば、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、需要増に応じて増設するようになっている。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、高品質と保守業者への安全性が重要である。また、組立工場においては、経済性と BCP の両立が必要である。

また、顧客はとりまとめ技術者の不足などもあり、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。

③ データセンター（DC）の事例

近年、DC の大規模利用が進み、一棟貸しやフロア区画ごとに貸し出す業態も増えている。DC は設備投資に対する費用対効果を最大限にすることが求められ、設備の拡張性と可用性が重要である。

DC の使用形態は、主にハウジング（コロケーション）、ホスティング、クラウドの三つに大きく分類される。特に、ユーザのサーバ管理を受託するハウジングの場合、テナントの多寡と機能要求により設備投資計画が大きく左右され、設置する機器やその工事計画、いわゆる段階施工計画を DC 事業者ときめ細かく詰める必要がある。

富士電機は、某所 DC の電源設備として 77 kV 電源設備、ガスタービン発電設備、UPS、現場監視設備を EPC として一括受注した。設備概要を図 2 に示す。これまでの EPC の実績や経験に基づき、要件の整理、設計、機器の生産計画、関係官庁・役所への届け出、現地工事や調整試

〈注 2〉 EPC : Engineering, Procurement and Construction の略で、工場やプラントなどの建設において設計、資機材調達、製作、建設工事を含む一連の工程を請け負うことである。

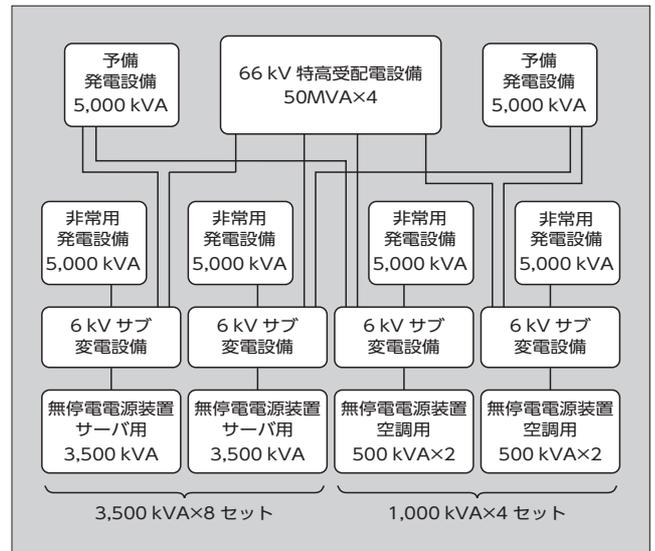


図 2 某所 DC 電源設備概要

験、各種検査を綿密に計画して実行し、滞りなく完納した。富士電機は効率が最高レベルの UPS を持っており、標準化した周辺盤とともにランニングコストが低く、拡張性の高い電源設備で DC の運用を支えている。

④ 半導体工場の事例

富士電機は、ある顧客の半導体の新工場建設工事において、22/6.6 kV 配電盤、22 kV モールド変圧器、低圧コントロールセンター、中央監視装置、UPS などの設備を EPC 案件として一括受注した。この案件において、柔軟な拡張性・仕様変更への追従性に対するソリューションのアイテムとして、図 3 に示す富士 SMBE 社製のモータコ

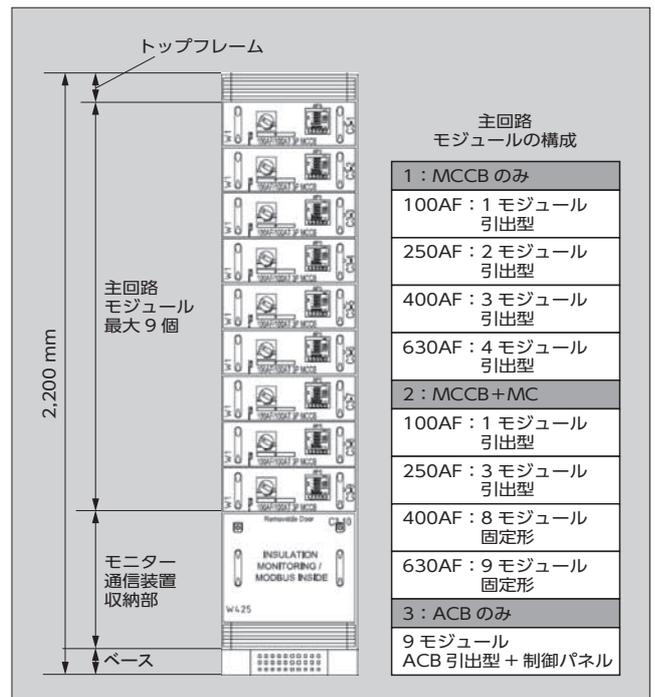


図 3 モータコントロールセンター「M-Qube」の構成

特集 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

ントロールセンター「M-Qube」を提案し、採用された。

一般に、半導体生産のユーティリティには、空調設備、給水設備、排水処理設備、圧空設備、排気設備、ガス設備などがある。これらの設備における電源の容量、電圧、非常用電源による停電時の給電の有無は、電源種別ごとに異なっている。さらに、半導体の製造技術の革新は速い上、世界経済の影響を受けて生産ラインの増設や統廃合が頻繁に行われる。そのため、設計から竣工までの間に仕様が大幅に変更となることが多い。従来は、盤の筐体（きょうたい）に固定式の配線用遮断器（MCCB）を取り付けていたため、設計や製作を柔軟に仕様変更に対応することが難しかった。

そこで、柔軟な拡張性・仕様変更への追従が容易にできる M-Qube をシステムの設定に採用してもらった。この製品は、国際規格である IEC 61439 の Form4b に準拠しているため、万が一内部事故が発生した場合でも周囲の作業員への安全性が向上している。さらに、筐体の接合は溶接ではなくボルトとナットを採用しているため、メンテナンス性の向上だけでなく、製作納期の短縮と廃棄時の容易性を実現している。図3に示すとおり、MCCB および電磁接触器（MC）で構成される引出型モジュールとなっている。容量によってモジュールの高さは変わるが、幅は一定である。モジュールを引き出した状態でも IP2X を保つことができ、仕様変更や拡張に対してモジュールの組替えで安全かつ柔軟に対応することができる。また、列盤での最大定格電流が 5,000 A となっており、大容量の電源送電と、柔軟な回路数・容量変更・拡張性の両立を実現している。

5 組立工場の事例

富士電機は、組立工場の新工場建設工事において、66 kV 受配電設備、6.6 kV 配電設備、6.6 kV モールド変圧器、中央監視装置、コージェネレーション設備を EPC として電源設備を一括して受注した。図4、図5に示すコージェネレーション設備は、電力とエンジン運転の排熱から温水や蒸気などの熱を利用して、工場のいっそうの省エネルギー（省エネ）を実現する。

コージェネレーション設備で発生した温水を、夏季は冷温水発生機で冷水に変換して、冬季は温水をそのまま外気空調機へ供給することで、冷暖房として活用していた。また、高温のエンジン排ガスは排熱回収ボイラで蒸気にすることで、工場の塗装ラインの乾燥工程に使用していた。このよう排熱を捨てることなく高効率に稼働させ、工場の省エネに大きく貢献している。

〈注3〉 Form4b：入力機器，母線，出力機器，出力ケーブル端子の収納部が個別に区画された構造をいう。

〈注4〉 IP2X：“防じん等級2，防水等級なし”を示す。“フィンガープロテクション”とも呼ばれ，人の指が入らない程度の保護等級である。

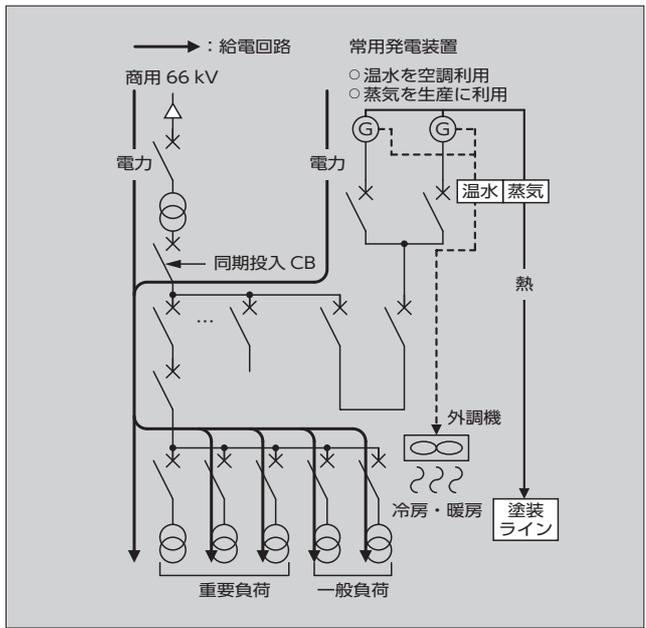


図4 コージェネレーションの通常運用（温水・蒸気利用）

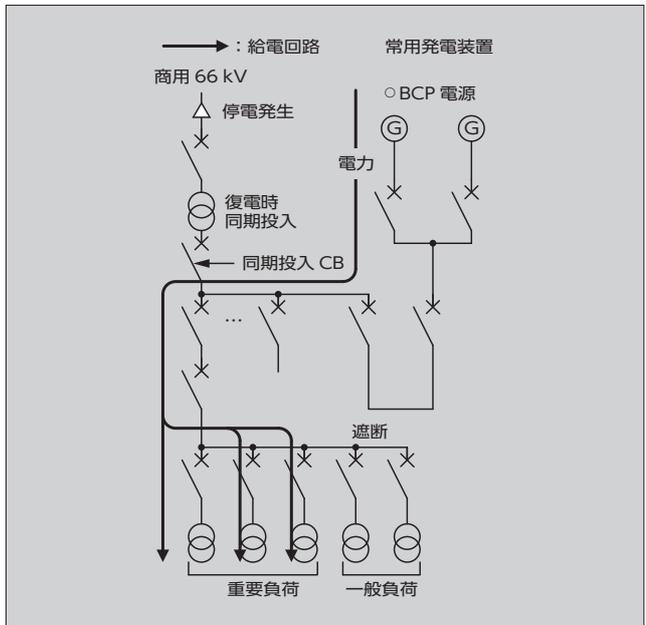


図5 コージェネレーションのBCP対応時運用（重要電源確保）

一方、66 kV 受配電設備が商用停電を検出すると、中央監視装置経由で、工場内の 6.6 kV 配電設備へ信号を送り、全停時の縮退運転状態へと移行する。その後、BCP に従って、コージェネレーション設備を制御して重要負荷へ送電する。

復電後は、66 kV 受配電設備の同期検定装置で商用給電との同期運転も無瞬断で行うことができる。

コージェネレーション設備は、補機も組み込んだコンテナパッケージを採用して、コンパクト化している。機器を据え付けた状態のコンテナを現地に輸送するため、建築コストおよび現地据付工数を大幅に減らすことができ、トータルコストが削減できた。

上述のように、富士電機が一括で電源設備を受注し、ワ

ンストップでエンジニアリングを行った。さらに、コージェネレーション設備を工場の省エネ運用に活用するだけでなく、BCP 対応として重要な機能も併せて提供した。

⑥ あとがき

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について述べた。

今後は、電源設備分野においても IoT (Internet of Things) 技術を活用した、設備の効率運用化・保守の省力化が進むものと予想される。今後とも富士電機はお客様の声に耳を傾け、電源設備システムに新たな価値を付加し、お客様の満足度を高めていく所存である。



村岸 拓郎

電気設備のエンジニアリング業務に従事。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施設・電源システム事業部施設電機技術部長。技術士（電気電子部門）。



高橋 淳

電気設備のエンジニアリング業務に従事。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施設・電源システム事業部施設電機技術部課長。



高度な保守・運用を実現するデジタル変電所技術

Technology of Digital Substation for Advanced Maintenance and Operation

石上 雄太 ISHIGAMI, Yuta

杉田 浩平 SUGITA, Kohei

野川 方生 NOGAWA, Michio

電力業界の変電所設備は高経年化が進み、多くの設備が更新時期を迎えている。変電所設備の更新では、更新工事の効率化やコスト抑制と、更新設備の高い信頼性や保守・運用の高度化が求められている。富士電機は、このようなニーズに応えるため、デジタル化された変電所を構成する国際標準規格である IEC 61850 に準拠した IED と MU を開発した。複数の IED と MU を Ethernet 通信ケーブルで接続し、IEC 61850 に対応したデジタル変電所システムの実用化に向けて開発を進め、オーバーサンプリング手法の採用や、保護性能（3 サイクル遮断）の検証を実施している。

The aged substation facilities in Japanese electric power industry has created the growing need to replace many of them. When replacing substation facilities, it is required to improve construction work efficiency, save costs, increase equipment reliability, and enhance maintenance and operation. To meet these needs, Fuji Electric developed IEDs and MUs in accordance with IEC 61850, an international standard that stipulates the configuration of digitalized substations. Connecting IEDs and MUs via Ethernet, we have been developing an IEC 61850 fully digitalized substation by using oversampling techniques and examining protection performance (3-cycle breaking).

1 まえがき

電力システム改革が進み、地域を越えた広域系統運用が拡大している。このような中、電力会社間の接続のシームレス化、分散型電源が大量に連系された状態での系統安定度の維持、設備の高経年化、人材不足による保守などの課題や問題が顕在化してきている。このような背景の中、各電力事業者は、電力の安定供給および設備更新のさらなる効率化、コスト低減が求められている。

特に、電力業界の変電所設備は高経年化が進み、多くの設備が更新時期を迎えている。これらの設備の更新に当たっては、更新工事の効率化やコスト抑制に加え、更新設備の高い信頼性や保守・運用の高度化が求められている。このようなニーズに応えるため、変電所設備の新設や更新の際に、デジタル化技術を活用したデジタル変電所の実現が期待されている。デジタル変電所は、現在の変電所設備の中で数百本も敷設されている制御ケーブルを省線化して、変電所の設備をスリム化し、施工を効率化できると考えられている。

本稿では、高度な保守・運用を実現するデジタル変電所技術について述べる。

2 変電所デジタル化技術の動向

図1にデジタル変電所の情報系の構成例を示す。これまででは、ステーションバスの実用化研究が先行して進められてきた。近年では、プロセスバスの実用化研究が盛んになりつつある。

海外においては、デジタル変電所を実現するために、国際標準規格 IEC 61850 で定められた監視制御情報の共通情報モデルおよび通信サービスインタフェースを採用する

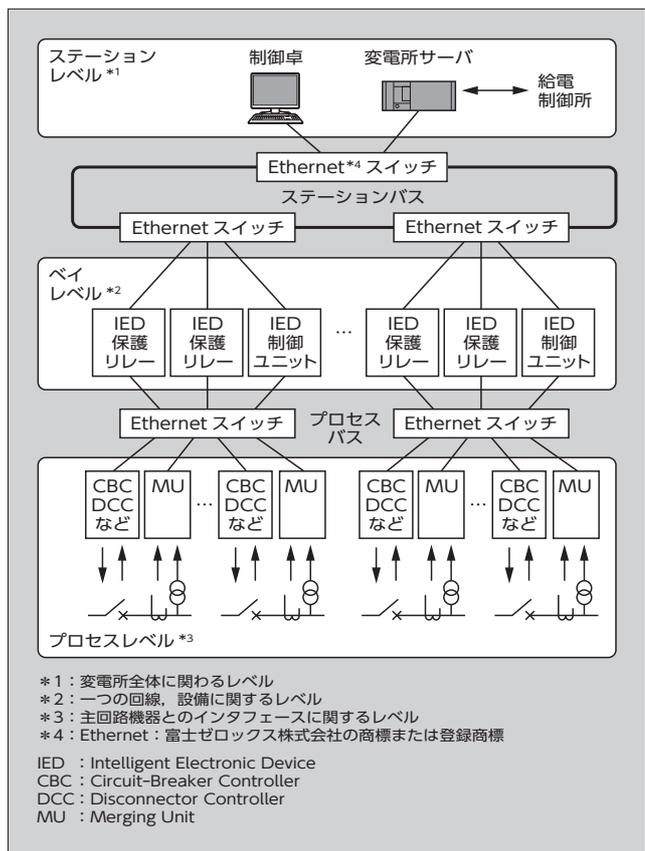


図1 デジタル変電所の情報系構成例

傾向にある。国内においても IEC 61850 による変電所のデジタル化が検討されている。

現行の変電所システムでは、制御信号などのアナログ信号ケーブルが数百本も布設されている。これらのアナログ信号ケーブルを光ファイバケーブルなどに置き換えたプロセスバスにより、変電所内の全情報がデジタルデータ化で

きる。プロセスバス通信は、IEC 61850 で規定された通信サービスインタフェースによって、各メーカーの機器も容易に接続できる。

アナログ信号ケーブルは、屋外にあるプロセスレベルの現場機器と、屋内にあるベイレベルの機器間の長距離を接続している。プロセスバス化は、このアナログ信号ケーブルの省線化と、省線化による現場機器の小型化・施工の省力化を実現する。また、プロセスバス化は、施工期間の短縮、施工時およびメンテナンス時の安全性の向上に効果がある。

また、変電所内情報のデジタルデータ化による情報共有により、監視・自動制御などの機能が高度化し、変電所システムの安定稼働、故障の未然防止が期待できる。さらに、複数の変電所内で計測された各種電気量や機器情報を長期間蓄積し、再利用することにより、変電所機器のアセットマネジメントの高度化が期待される。

③ 富士電機の変電所デジタル化技術

富士電機は、変電所内情報のオールデジタル化、つまりデジタル変電所を実用化するための研究開発を 2011 年から進めている。次にデジタル変電所を構成する機器の開発状況について述べる。

3.1 IEC 規格準拠の IED, MU

デジタル変電所を構成する主な機器には、IED (Intelligent Electronic Device) と MU (Merging Unit) がある。IED は、変電所内外で発生する各種故障を検出し、遮断器ヘトリップ指令を出力する保護演算装置である。MU は、変電所内で計測した電圧・電流と遮断器開閉情報を入力し、デジタルデータに変換して IED に出力する入出力変換装置である。IED と MU 間の通信には国際標準規格である IEC 61850 の採用が主流である。

従来の保護リレー装置で計測した変電所内の電圧・電流と遮断器開閉情報の入力、アナログデータであるのに対して、MU から IED への入力は、デジタルデータである。そのため、すべての MU は共通の時刻を使い時刻同期したデジタルデータを出力する必要がある。

上述の内容を踏まえて、富士電機では、新たに IEC 61850 対応の IED と MU を開発した。開発した IED の外観を図 2 に示す。本 IED と MU 間の通信には、IEC 61850 の通信サービスインタフェースを用いた。電圧と電流の瞬時値データの通信には SV (Sampled Values) を、遮断器の開閉情報などの通信には状態通知用通信である GOOSE (Generic Object-Oriented Substation Events) を使用した。

富士電機は、3.2 節に記載する国際標準規格である IEC 61588 に対応した時刻同期のシステムの実用化に取り組んでいる。さらに、3.3 節に記載する時刻非同期のシステムの実用化にも取り組んでいる。

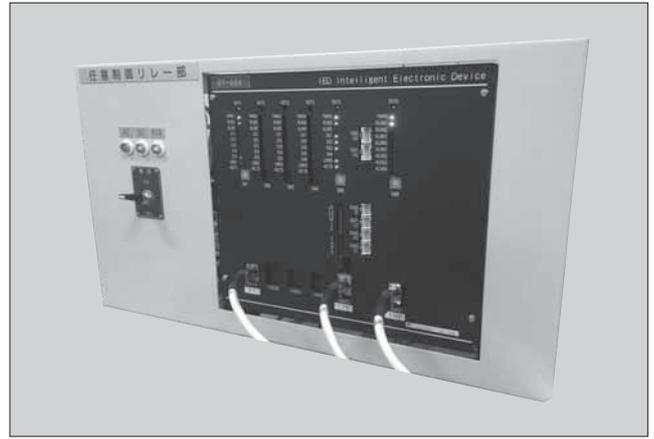


図 2 IED 外観

3.2 電力システムシミュレータを用いたモデル検証

富士電機は、デジタル変電所を実フィールドに構築する前段階として、IEC 61850 と IEC 61588 に対応した電力システムを模擬した電力システムシミュレータを開発した。デジタル変電所モデルは、この電力システムシミュレータの中で構築した。デジタル変電所で必要となる機能について、社内試験を通して確認し、中部電力株式会社に納入した。この電力システムシミュレータについて次に述べる。⁽⁴⁾

(1) 電力システムシミュレータのシステム構成

図 3 に電力システムシミュレータのシステム構成を示す。

運転支援システムは、電力システムシミュレータの中に構築したデジタル変電所モデル内の遮断器モデルなどに対して、制御・状態監視を行う。

電力システムシミュレータは、電力流通設備を模擬した機器モデルを系統構成に合わせて複数接続し、等価的に縮約された系統(縮約系統)を構成する。これらの機器モデルは、アナログ型モデルとハイブリッド型モデルから構成される。アナログ型モデルは、変圧器や送電線などの電力流通設備を R, L, C 素子を使って等価縮約している。一方、ハイブリッド型モデルは、同期発電機、太陽光発電システム、需要家負荷などの特性をデジタル演算し、演算結果に応じた電流をアナログ量として出力する。

デジタル変電所を電力システムシミュレータの中に構築するために、情報通信機器は次の 3 要素で構成した。

- (a) 系統の電圧と電流の瞬時値をサンプリングする MU
- (b) 遮断器を制御する計測制御用 IED
- (c) 保護制御演算を実行する保護制御演算用 IED

(2) 通信概要

通信ネットワークは Ethernet ^(注 1) ベースで構築した。運転支援システムは、運転支援システム用ネットワークを介してデジタル変電所モデル内の遮断器モデルなどと接続した。各機器モデルへの制御指令は、変電所を管理する上位サーバに相当する FEP (Front End Processor) で

〈注 1〉 Ethernet：富士ゼロックス株式会社の商標または登録商標

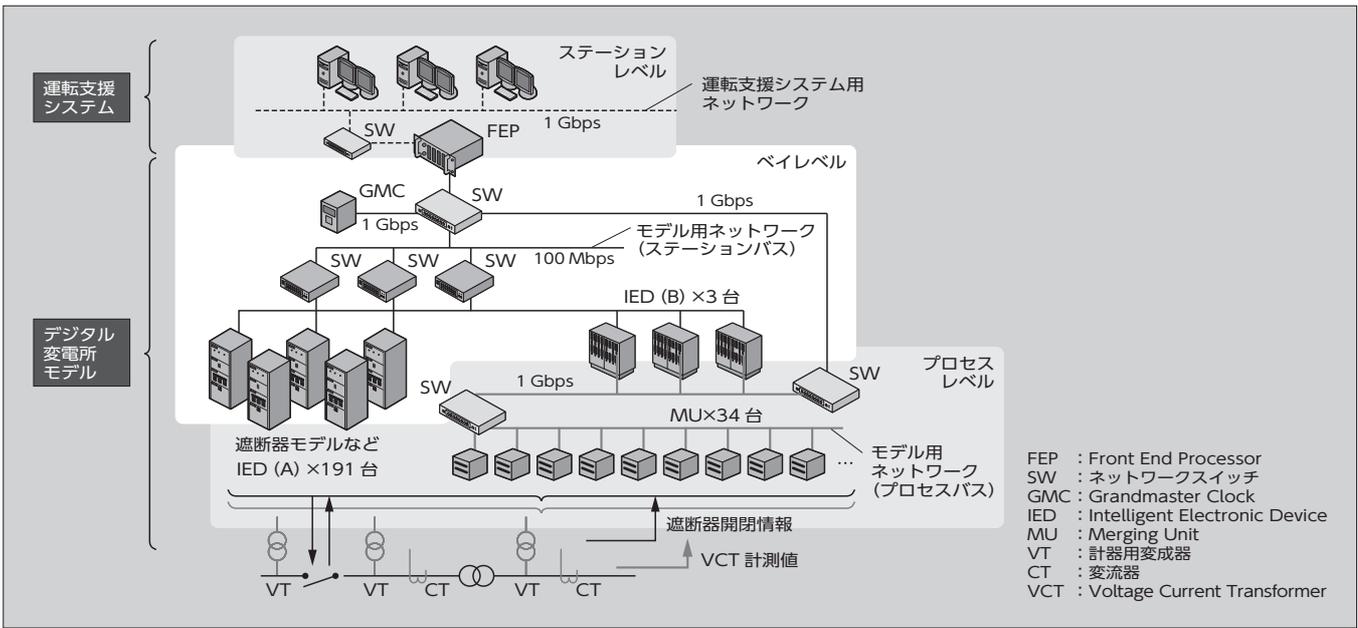


図3 電力システムシミュレータのシステム構成

IEC 61850 プロトコルに従って変換され、機器モデル内のIEDに送信される。一方、各機器モデル内のIEDが送信するリアルタイム監視データは、FEPで集約され運転支援用ネットワークのクライアントにリアルタイムにグラフ表示される。

(3) IEDとMUの種別

IEDとMUの種別を表1に示す。デジタル変電所モデル内のネットワーク（モデル用ネットワーク）には、IEDとMUが計228台接続されている。計測制御用の191台のIED(A)をステーションバスに接続した。保護制御演算用の3台のIED(B)を、ステーションバスとプロセスバスの両方に接続した。加えて、瞬時値計測用の34台のMUをプロセスバスに接続した。各IEDとMUは、IEC 61850およびIEC 61588対応のEthernetスイッチを使って相互に接続した。

(4) 時刻同期とサンプリング同期

電力システムシミュレータにおいて、デジタル変電所のシミュレーション結果を高精度に解析・評価するためには、縮約系統に分散配置されたIED(A)とIED(B)が計測するデータを、サンプリング時刻どおりに遅延することなく統合する、すなわちサンプリング同期を行う必要がある。また、保護制御演算用IED(B)では、高精度に時刻同期された複数のMUでサンプリングした電圧と電流の瞬時値を使って、常に保護制御の演算を行う。そのた

表1 IEDとMUの種別

種別	呼称	台数
IED	IED(A)：計測制御用	191台
	IED(B)：保護制御演算用	3台
MU	MU	34台
合計		228台

め、一般的な電力波形記録計のようにあらかじめ設定したトリガーにより、ある時間区間のみ計測データを取得する方式と異なり、IED(B)では、高精度で時刻同期された計測データが常時必要となる。このため、縮約系統内の全てのIEDとMUが、一つの基準時刻に同期して常に計測・制御を行う必要がある。システム全体の基準時刻には、GMC(Grandmaster Clock)を使用した。

運転支援システム用ネットワークでは、NTP(Network Time Protocol)により時刻同期を行った。一方、モデル用ネットワークでは、高精度な時刻同期に対応するため、IEC 61588のPTP(Precision Time Protocol)を使って時刻同期を行った。これにより、モデル用ネットワーク内のIEDおよびMUは、GMCの基準時刻に対して±1μs以内の時刻同期精度を実現した。

これまでに述べた時刻同期技術により、縮約系統内の全IEDは、20μs以下の時刻同期精度でデータが取得できた。これは、電力システムシミュレータとして十分な時刻同期精度である。

(5) 任意制御リレーモデル

デジタル変電所における保護リレーシステムを模擬する任意制御リレーモデル(Ryモデル)は、図4に示すようにIED(B)とMUを組み合わせて構成した。

RyモデルのMUは、計器用変成器(VT: Voltage Transformer)と変流器(CT: Current Transformer)の各入力部から、縮約系統の電圧と電流を5,760 Hzのサンプリング周波数で計測する。また、このMUは、遮断器モデルの接点から出力される遮断器の開閉情報もリアルタイムに取得する。このMUは、これらの系統情報をIEC 61850の通信サービスであるSVとGOOSEを使用して、プロセスバスに送信する。

IED(B)は、MUからプロセスバス経由でSVとGOOSEにより受信したデータを使って保護制御演算を行

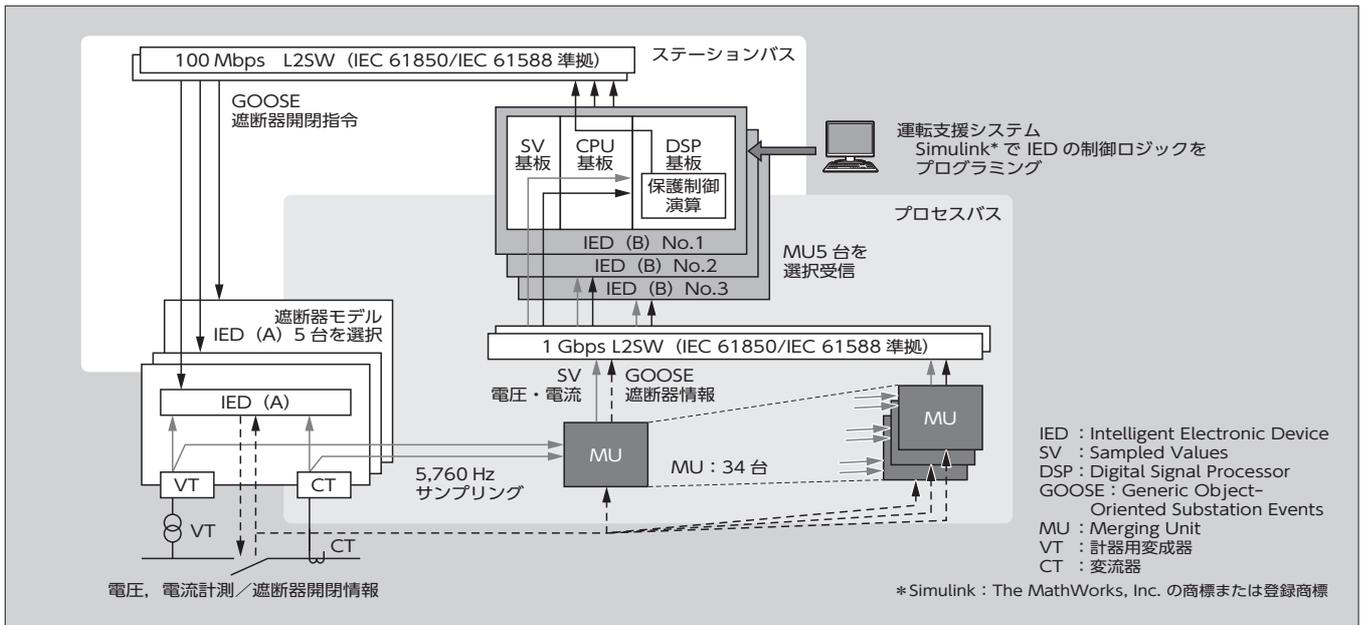


図4 Ryモデルのシステム構成

う。この演算によって生成した遮断指令や投入指令を、ステーションバス経由で IED (A) に送信する。また、IED (B) の保護制御演算は、ユーザが任意の制御ロジックを作成することができる。

IED (A) は、ステーションバスに接続された IED (B) から GOOSE による遮断器の開閉指令を受信し、受信した指令に従って遮断器の開閉を制御する。

(6) プログラマブル機能

IED (B) は、IED メーカーではなく購入者やユーザによりソフトウェアの実装が可能なプログラマブル機能を備えた IED とした。ユーザは、電力システムシミュレータの運転支援システムにインストールされた市販ソフトの Simulink^(注2) を使用して、瞬時値などを入力要素とした任意の制御ロジックをプログラミングすることができる。Simulink の画面上にあらかじめ用意した制御用の各種ブ

ロック (表 2) を組み合わせて、目的とする制御ロジックが構成できるようにした。

本機能により、ユーザはシステム運用結果や系統挙動の解析評価に加えて、新しい保護リレー制御ロジックの開発や、新たな系統安定化システムの制御ロジック検証などの大規模システムの導入効果が検証できる。

3.3 デジタル変電所実用化の取組み

電力システムシミュレータで開発した IED, MU の基本技術と実績を基にして、富士電機は中部電力株式会社などと、時刻同期が不要な技術を用いた新たな手法の研究・実証を行っている。

(1) デジタル変電所実用化に向けた課題

一般的なデジタル変電所の通信ネットワークは、レイヤー 2 通信スイッチ (L2SW) などの通信機器および各機器の時刻同期を行うために高精度時刻情報を提供する GMC などから構築されている。しかし、GMC が停止するとサンプリングの同時性を前提とする差動リレーなどが不要に動作する恐れがある。また、L2SW の接続作業や設定作業には一定の知識が必要であるため、運用保守時のヒューマンエラーの防止や作業時間短縮などに課題がある。

また、変電所の監視装置と保護・制御装置のデジタル化に当たり、広く適用されている PCM 電流差動リレーのサンプリング時刻同期方法や、超高压変電所における事故除去時間の制約の下で検討する必要がある。

(2) オーバーサンプリング手法の採用

オーバーサンプリング手法は、MU などの機器のサンプリング周波数を、現在の変電所システムで用いられるサンプリング周波数 5,760 Hz (60 Hz 系) より十分に高くする手法である。

仮に、現在の変電所システムのサンプリング周波数で各機器が時刻非同期でサンプリングすると、タイミングがず

表 2 保護リレー要素ブロック

保護対象	保護方式	保護リレー要素ブロック
送電線	PCM電流差動リレー (直接接地)	87P, 27S/G, 51G
	PCM電流差動リレー (抵抗接地)	87S/G, 64, 27B
	回線選択	50S/SA/G2/G3, 67GS, 64, 27
	過電流	51, 51G, 64
	短絡・地絡距離 (直接接地)	44S/G, 27Gφ, 51G
	短絡・地絡距離 (抵抗接地)	44S, 51φ, 67G/GA, 64
変圧器	Y-Y-Δ用	87, 51, 87G, 67G, 51G, 64
	Y-Δ用	87, 51, 87G, 67G, 51G, 64
	Y-Y用	87, 51, 87G, 51G, 64

〈注 2〉 Simulink : The MathWorks, Inc. の商標または登録商標

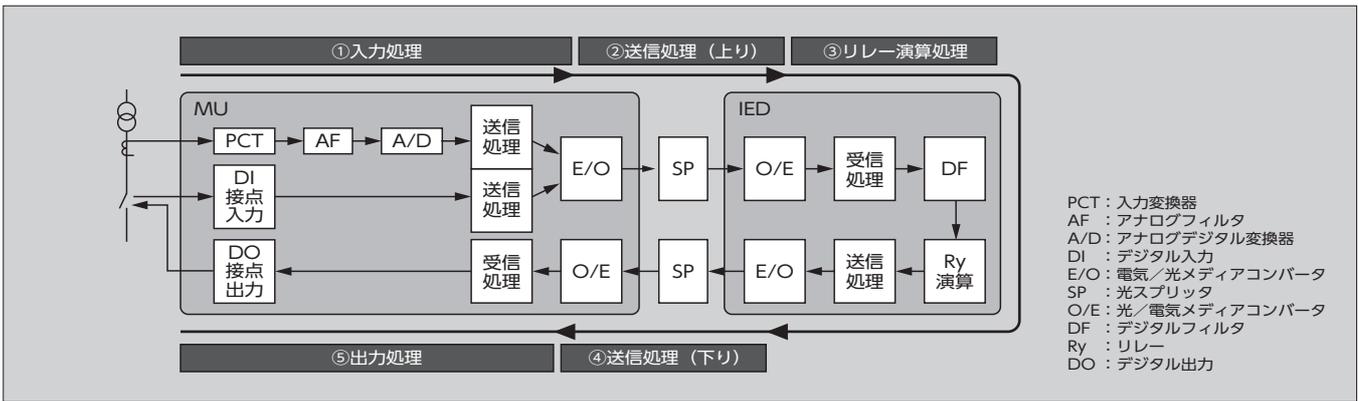


図5 各機能の処理分担

れてしまう。そのため、時刻同期を前提としている保護リレーの事故を検出する性能が低下してしまうなどの恐れがある。この時刻非同期によるサンプリングのタイミングのずれは、サンプリング周波数を高くするほど減少する。そこで、保護リレーの事故検出精度の許容範囲に収まるようにサンプリング周波数を高めると、時刻同期を不要にできる。

一方、オーバーサンプリング手法で改善できない時刻差には、MUなどの各機器内のアナログフィルタ（AF）ごとの遅延特性によるばらつきがある。このばらつきによる影響を抑制するために、各機器において、図5に示す各機能の処理分担においてIED受信までの①～②の処理の遅延時間を一定範囲内にそろえることで、複数のMUからのサンプリング値を同一時刻情報として扱えるようにした。

(3) 保護性能（3サイクル遮断）の確保

保護リレー装置には、精度・信頼性に加え、事故除去の即応性が求められる。変電所では、デジタル化後も従来の保護システムと同様に3サイクル以内に遮断、すなわち60 Hz系では50 ms以内の事故除去時間が要求される。それを満足するためのデジタル変電所における保護システムの各機能の処理分担を図5に示す。

3サイクル以内の遮断を実現するためには、図5に示した①入力処理、②送信処理（上り）、③リレー演算処理、④送信処理（下り）、⑤出力処理の各機能の処理にかかる遅延時間および処理時間のばらつきの圧縮が必要であり、次の施策を行った。

- (a) リレー演算およびデジタルフィルタ（DF）の最適化
- (b) アナログフィルタ（AF）簡素化（高速化と特性均一化）
- (c) 即応性およびL2SWに比較して信頼性に優れる光スプリッタ（SP）の採用による伝送遅延・揺らぎの抑制

現在、これらの施策を行った保護リレーシステムを試作し、性能を検証中である。また、電力系統設備に対するオーバーサンプリング手法を適用したデジタル変電所を実現するために各種開発を進めている。図6に実用化を目指すデジタル変電所の構成例を示す。

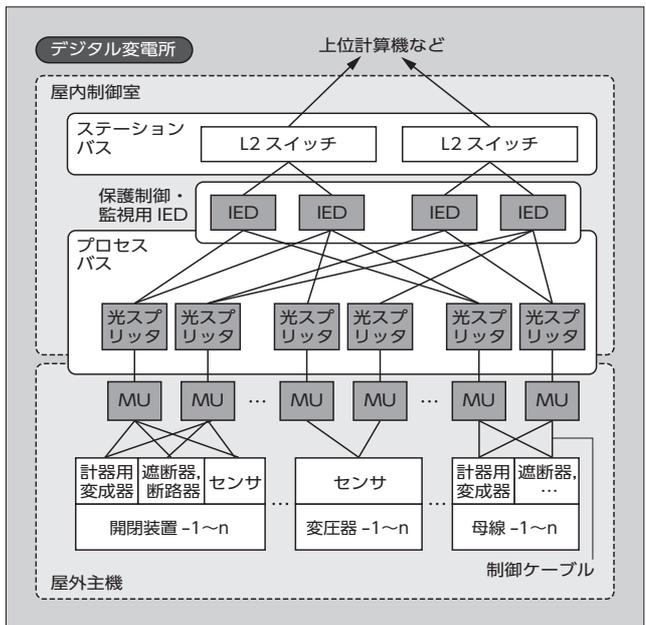


図6 実用化を目指すデジタル変電所の構成例

4 あとがき

高度な保守・運用を実現するデジタル変電所技術について述べた。

各取組みとその成果は、デジタル変電所の実用化、および実用化による新たな価値・利益の創造に貢献するものと考えている。

デジタル変電所で用いられるIED、MUなどの機器およびIEC 61850などの通信技術は、分散型電源、スマートグリッド、蓄電池、風力発電、水力発電、火力発電、EVの各領域にも適用が拡大してきており、これら領域に向けた製品開発にも取り組んでいく予定である。

参考文献

- (1) “IEC 61850-5 Edition 2.0 Communication requirements for functions and device models”. 2013.
- (2) “IEC 61850-9-2 Edition 2.0 Specific communication service mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/

IEC 8802-3”. 2011.

- (3) 一般社団法人 電気協同研究会. “新しい通信技術による保護リレーシステムの設計合理化”. 電気協同研究. 2015, 第71巻, 第1号.
- (4) 池田進矢ほか. “系統解析シミュレータにおけるIEC 61850 適応のIED, MU開発”. 保護リレーシステム研究会. 2019, PPR-19-008.
- (5) 伊藤拓也ほか. “オーバーサンプリング原理によるプロセスバスシステムの新たなサンプリング同時性の確保手法”. 保護リレーシステム研究会. 2019, PPR-19-007.
- (6) 小島一浩ほか. “新しい高信頼性プロセスバスを適用した保護リレーシステムの検証”. 平成30年電気学会電力・エネルギー部門大会. 2018, 214.



石上 雄太

エネルギーマネジメント事業の開発に従事。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エネルギーマネジメント事業部電力流通総合技術部課長補佐。博士（工学）。電気学会会員。



杉田 浩平

保護制御システムの開発およびエンジニアリング業務に従事。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エネルギーマネジメント事業部電力流通総合技術部課長補佐。



野川 方生

電力流通分野の保護制御システムのエンジニアリング業務に従事。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エネルギーマネジメント事業部電力流通総合技術部課長。電気学会会員。



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

Countermeasures Against the Introduction of Large Amounts of Renewable Energy in the Distribution Field and Support for BCP

松枝 剣 MATSUEDA, Tsurugi

望月 正希 MOCHIZUKI, Masaki

神通川 亨 JINTSUGAWA, Toru

「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」の導入以降、太陽光発電などの再生可能エネルギーが配電系統に大量に導入され、配電系統の電圧管理が複雑化している。これに対応するため、電圧調整機器とそれらを集中的に制御する集中電圧制御システムを開発した。また、東日本大震災以降、強く求められるようになったBCPに対応するため、仮想化技術や独自開発の構成制御ミドルウェアを適用した広域バックアップ型配電自動化システムを開発した。NEDOプロジェクトに参加してインドにおいて、これらの技術を使った総合配電管理システムの構築と、実証試験を行った。

Since the enactment of the Feed-in Tariff Scheme for Renewable Energy (FIT), large amounts of renewable energy such as solar power generation have been introduced into distribution systems, thereby complicating the voltage management of the distribution systems. To deal with that difficult situation, Fuji Electric has developed voltage regulators and centralized voltage control systems for centrally controlling the regulators. We have also developed a wide-area backup type distribution automation system that meets the requirements of business continuity plans (BCPs), which have been strongly required since the Great East Japan Earthquake, by using virtualization technologies and our proprietary configuration control middleware. Furthermore, participating in a New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) project, we have built a comprehensive distribution management system using these technologies and performed demonstration tests for it in India.

1 まえがき

2009年の「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」(FIT)の運用開始以降、太陽光発電などの再生可能エネルギーが配電系統に大量に導入され、配電系統の電圧管理が複雑化している。そこで、富士電機は配電系統用の電圧調整機器である無効電力補償装置(SVC: Static Var Compensator)を開発した。また、SVCを含む電圧調整機器を中央のシステムから制御する集中電圧制御システムも開発した。

また、東日本大震災以降、配電自動化システムは被災時にも継続的に業務を継続できるように事業継続計画(BCP: Business Continuity Plan)を策定し、事前対策を実施することが求められている。その対応のために、仮想化技術やVNC(Virtual Network Computing)などの技術、および独自の構成制御ミドルウェアを開発した。

また、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)とインド・北ハリヤナ配電公社(UHBVN)のスマートグリッド実証事業においてハリヤナ州パニパットに総合配電管理システムを構築し、インドの配電会社が抱える電力品質の課題に対するシステムの有用性を検証した。

2 配電系統用SVC

従来の配電系統では、主に配電用変電所の負荷時タップ切替変圧器(LRT: Load Ratio Control Transformer)や線路途中の自動電圧調整器(SVR: Step Voltage Regulator)のタップ切替えによって電圧調整が行われている。しかし、これらの機器は制御応答が遅く、また離散

的な電圧調整しかできないため、再生可能エネルギーの出力が急変した場合などに電圧を適正範囲に維持することが困難となる。これを解決するために、電圧を高速かつ連続的に調整可能なFACTS(Flexible AC Transmission System)機器の導入が進みつつある。

富士電機は、東北電力株式会社と共同研究を行い、磁束制御技術を適用した可変インダクタを用いて新型の他励式配電系統用SVCを開発した。

この新型の他励式配電系統用SVCの基本原理を図1に示す。直流電流によってリアクトルに流れる電流を制御できることから高調波フィルタが不要となり、従来に比べて

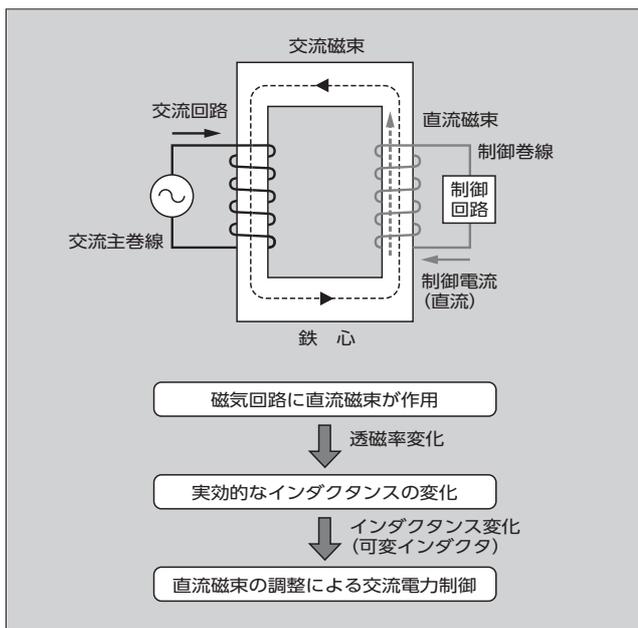


図1 他励式配電系統用SVCの基本原理



図2 他励式配電系統用 SVC の外観

表1 他励式配電系統用 SVC の仕様

項目	仕様
定格容量	300 kVA
可変容量	0 ~ 300 kvar (遅れ)
定格電圧	6,600 V
周波数	50/60 Hz
冷却方式	自然空冷
質量	4,000 kg以下
外形寸法	W2,500×D1,500×H2,000 (mm)
主回路	可変インダクタ (高調波フィルタレス)

簡素な構成となっている。磁心に交流巻線と制御巻線を巻いている。制御巻線に直流電流を流すと磁気飽和が生じ、実効的な透磁率が減少する。この原理により、磁束密度を制御し、実効的な透磁率を変化させることでインダクタンスを制御して系統に流入する無効電力を調整する。主回路が鉄心や巻線だけで構成できるため、サージなどに対する耐性が強く信頼性を確保できる。また、無効電力を調整する制御電流が直流であるため、制御回路およびソフトウェアのアルゴリズムも簡素になる。

この新型の他励式配電系統用 SVC の外観を図2に、仕様を表1に示す。この SVC による電圧調整の動作を確認するため、東北電力株式会社の協力を得て、東北電力株式会社管内の実配電線においてフィールド試験を行っている。

3 集中電圧制御システム

従来の電圧調整機器は、接続点における計測情報を用いてそれぞれが制御量を決定している（ローカル制御）。しかし、再生可能エネルギーの大量導入により配電系統の電圧管理が複雑化する中で、既存の電圧制御方式では、機器間の協調ができず、的確な電圧制御が困難となる恐れがある。そのため、中央のシステムにセンサ付開閉器および電圧調整機器からの計測データを収集し、配電系統全体の電圧を適正範囲内に維持するように、各電圧調整機器をリア

ルタイムに制御する集中電圧制御システムが検討されている。

富士電機は、NEDO プロジェクトである“分散型エネルギー次世代電力網構築実証事業”において、図3に示す集中電圧制御システムを開発した。なお、図中で集中電圧制御システムを一つの独立したシステムとして示しているが、配電自動化システムの一機能として将来は導入されるものと想定している。集中電圧制御システムには、次の特徴がある。

- (a) 配電系統の各点に設置されたセンサ付開閉器および電圧調整機器から計測データを定周期で収集する。
- (b) 配電系統全体の状態を把握した上で、各電圧調整機器に対する最適な指令値を演算する。
- (c) 各電圧調整機器に対して指令値をリアルタイムに配信し、これらを制御する。

開発した集中電圧制御システムでは、LRT、SVRといった従来の電圧調整機器のほか、新たに SVC や静止型同期直列補償装置（SSSC：Static Synchronous Series Compensator）などの次世代電圧調整機器を制御対象に加えた。SVC と SSSC には目標電圧を指令値として配信することで、機器内部の高速な電圧制御を生かし、高い電圧維持性能を実現した。

また、最適な指令値の演算に当たっては、配電系統全体の電圧適正化のほか、次の2点も考慮した。1点目は LRT や SVR のタップ切替回数の低減である。これにより、LRT や SVR の寿命の延伸が期待できる。2点目は複数の SVC の出力分担最適化である。これにより、急峻（きゅうしゅん）な電圧変動に対する SVC の補償性能の維持、および無効電流による電力ロスの削減を図った。

図4に示す構成で、開発した集中電圧制御システムのリアルタイム総合動作試験を行った。電力系統と電圧調整機器はデジタルシミュレータ上に模擬し、IED（Intelligent

特集 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

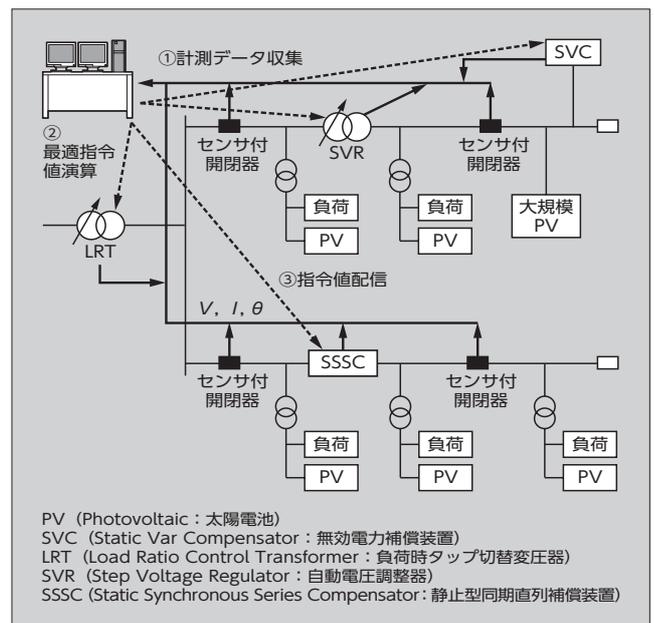


図3 集中電圧制御システムの概念図

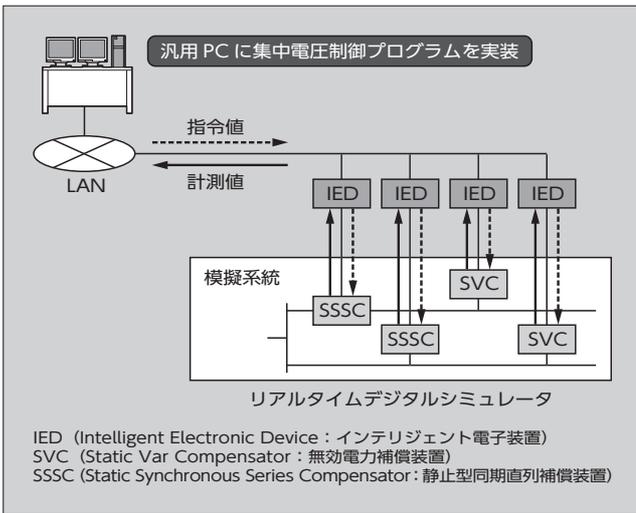


図4 リアルタイム総合動作試験の構成図

Electronic Device) を介して、汎用 PC 上に実装した集中電圧制御プログラムと連携させた。なお、高度な配電網管理を実現するためには、複数ベンダの相互運用性を確保する必要があることから、IED および汎用 PC には、電力向け通信規格である IEC 61850 に準拠した通信システムを実装した。

図5に示すように、SVC2台とSSSC2台で模擬系統を構成し、計測と制御の周期を1分を通して24時間の総合動作試験を行った。その結果、システムが問題なく動作することを確認した。また、図5に示したように、ローカル制御では電圧が適正範囲を逸脱してしまうが、集中電圧制御では電圧が適正範囲内に維持されており、その効果が確認できた。

さらに、オフラインシミュレーションにより、集中電圧制御システムの導入効果をさまざまな条件で検証した。長い配電線に複数の電圧調整機器が設置されている場合などにおいて導入効果が大きいことが分かった。特に、次世代機器を含む複数台の電圧調整機器で構成された系統では、集中電圧制御システムの導入により太陽光発電の導入可能

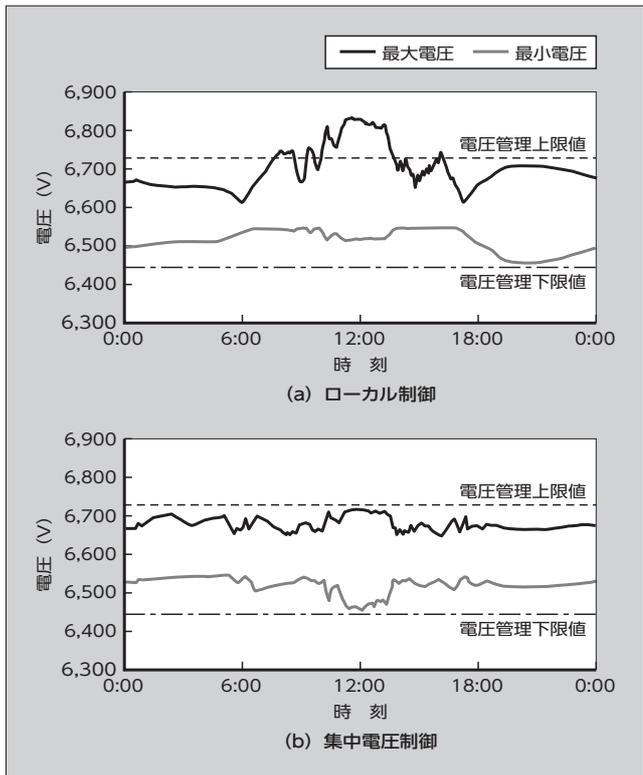


図5 リアルタイム総合動作試験の結果

性が10~20%向上する効果が期待できる。

4 広域災害時のBCP対応

①章で述べたように、BCPの観点から近年、配電自動化システムは、大規模災害によるサーバ設置箇所や運用拠点の被災に対しても、配電システム運用業務を継続することが求められる。そのため、富士電機はBCPに対応した広域バックアップ型配電自動化システムを開発した。

4.1 システム構成

広域バックアップ型配電自動化システムのシステム構成

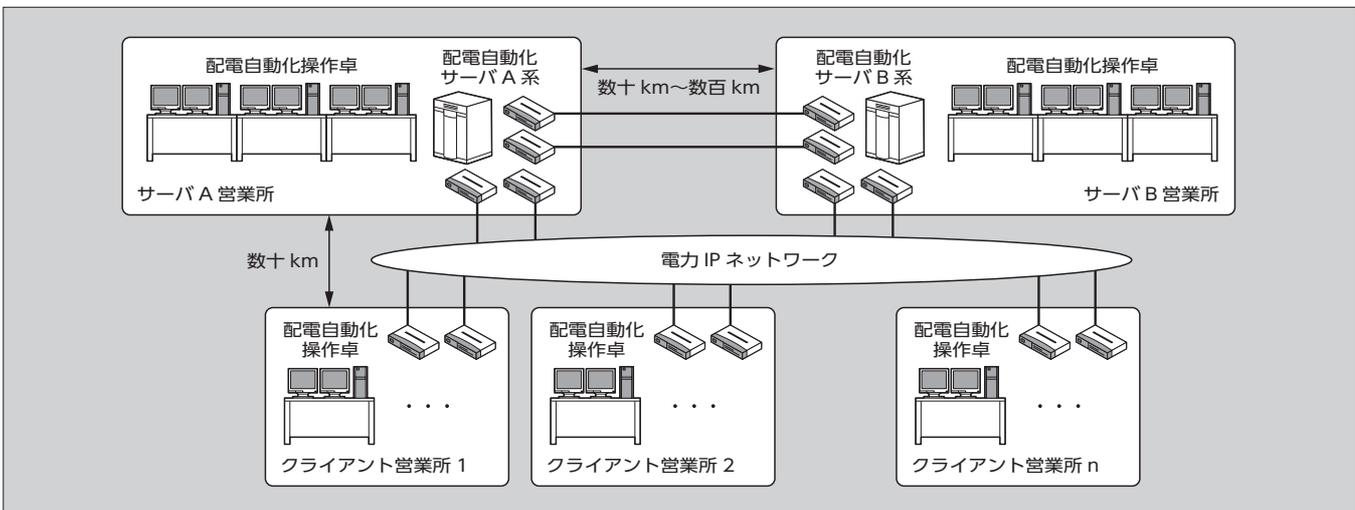


図6 広域バックアップ型配電自動化システム

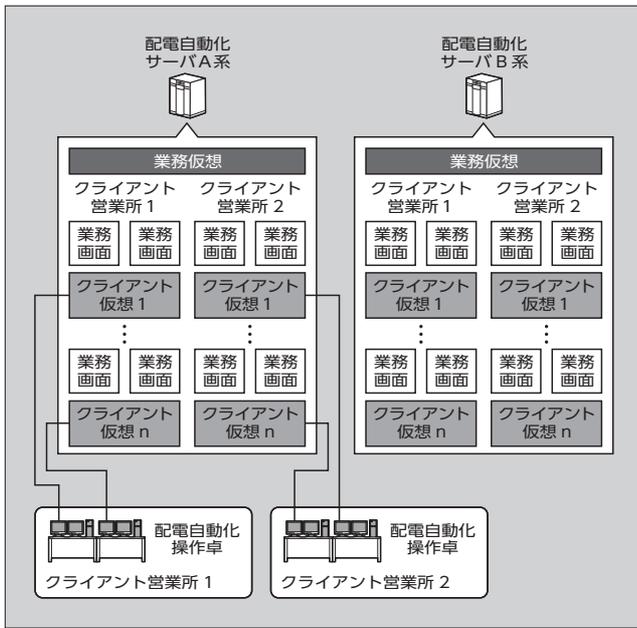


図7 BCP 対応配電自動化システムの仮想環境

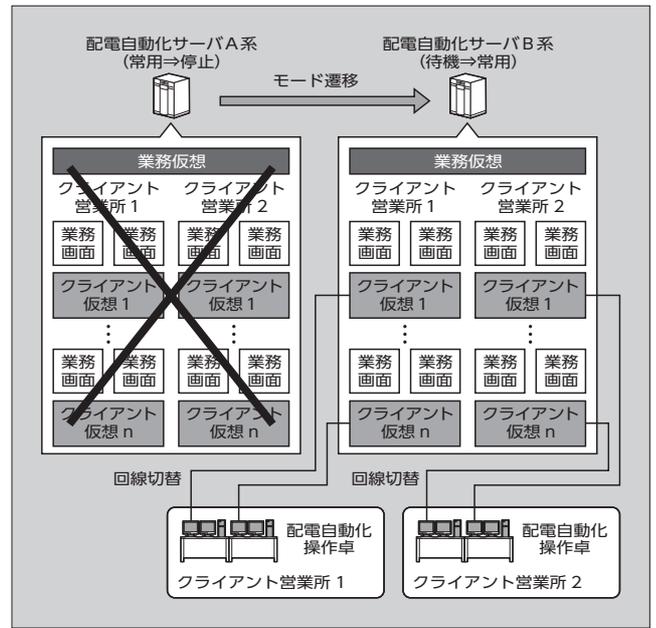


図8 サーバA 停止時の動作について

を、図6に示す。本システムは、サーバを設置している営業所が被災しても運転が継続できるように、数十 km ～ 数百 km 離れた営業所2か所にサーバを分散して設置して二重化した。各営業所には複数台の操作卓用の PC を配置するプライベートクラウド型のシステム構成としている。操作卓用の PC はファンレス、ディスクレスのシンクライアント^(注)を採用し、各装置やネットワークを二重化することにより、単体故障、片回線異常でも運用が継続できるようになっている。

広域バックアップ型配電自動化システムでは、業務アプリケーションを動作させる“業務仮想”と画面を表示する“クライアント仮想”を各サーバ内に構築している。クライアント仮想は操作卓の数だけ配置する。図7に、広域バックアップ型配電自動化システムの仮想環境を示す。

操作卓用の PC は、常用モードのサーバ A 系内にあるそれぞれのクライアント仮想に VNC で接続し、画面表示を行う。VNC とは、サーバ内のクライアント仮想上の画面をネットワークにより、遠隔の操作卓用の PC に表示するためのリモートデスクトップソフトウェアである。仮想化技術と VNC を採用することにより、アプリケーションソフトウェアを含むすべての情報は、サーバ内に保管される。各操作卓用の PC では、サーバ内にある画面を表示し操作するだけであり、PC には情報が一切保存されないため、セキュリティが確保できるとともに保守も容易となる。

4.2 災害対応運用

サーバの点検やサーバを設置している営業所の被災などにより、あるサーバ（例えばサーバ A）が運用できなく

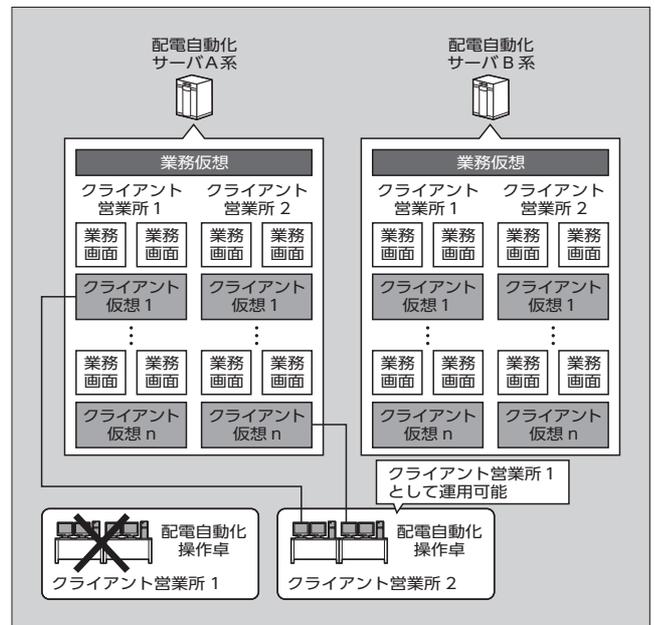


図9 クライアント営業所停止時の代行運用

なった場合に、運用の停止を最小限にとどめる必要がある。そこで富士電機は、異常を検出後サーバの運転モードを1秒以内で切り替える独自の構成制御ミドルウェアを開発した。

また、サーバ A 系、B 系両方のクライアント仮想は常に画面表示が可能な状態にしておき、サーバ A 系が停止した際には、操作卓用の PC はサーバ B 系のクライアント仮想に自動で接続を切り替える。図8に、災害などでサーバ A が停止した際の動作について記載する。

また、図9に示すようにクライアント営業所が被災した場合、他のクライアント営業所が被災営業所のクライアント仮想へアクセスすることで、被災営業所の監視制御が可能である。

〈注〉シンクライアント：ユーザが使用する端末に情報をほとんど持たず、サーバ側で処理を行う仕組みのこと

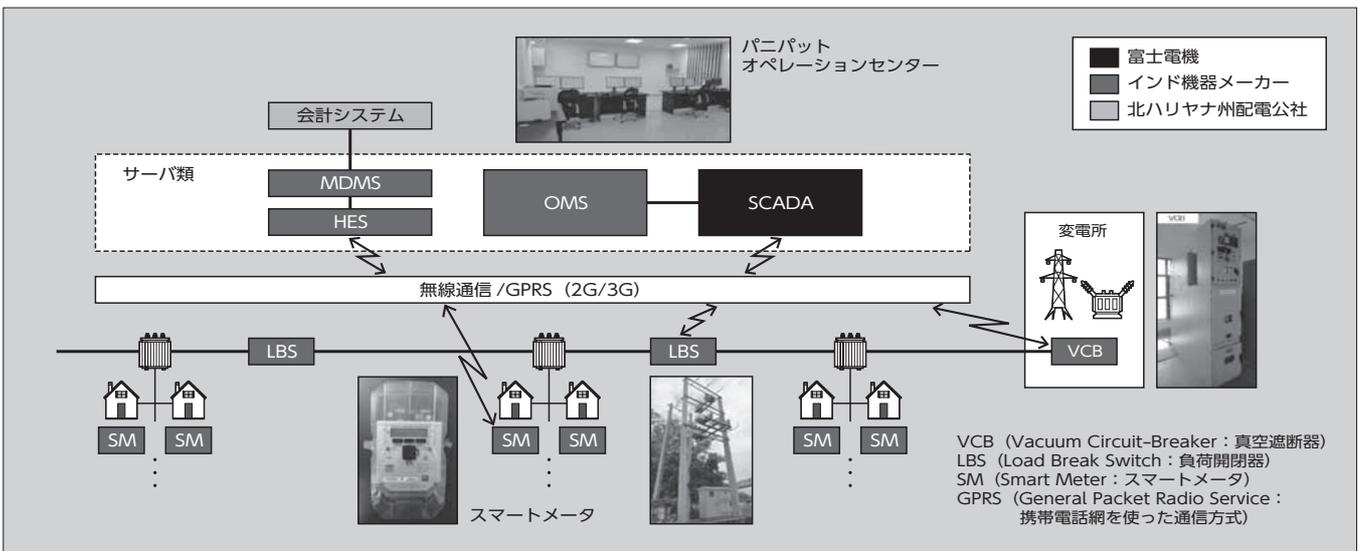


図 10 実証システム構成の概略図

5 総合配電管理システム実証 (NEDO インド実証)

インドでは、経済成長に伴う電力需要の増大に対し、インフラ整備の遅れから慢性的に電力が不足している。そのため、インドの多くの配電会社では、事故停電時間の短縮、負荷ピークの低減、配電ロスの低減などの電力品質に関する課題を抱えている。

基礎調査および実証前調査の結果、UHBVN のパニパット地区では、特にこれらの課題解決に対するニーズが高いことが判明した。そこで、NEDO の実証事業として、2015 年 10 月～2019 年 3 月の間、パニパットにてスマートグリッド関連技術を用いた総合配電管理システムを構築し、課題解決に対する実証および評価を行った。

5.1 実証システム構成

本実証では、パニパットの三つの変電所と 4 本のフィーダを対象に、図 10 に示す配電システムを構築し、配電機器およびスマートメータ関連機器を設置した。さらに、SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) を中心とする総合配電管理システムを構築し、課題解決における有効性を検証した。システムの各構成要素は、大きく次のように分類される。

(1) 上位系システム (SCADA など)

配電機器の監視制御を行う SCADA や、SCADA からの停電情報を基に停電管理を行う OMS (Outage Management System)、ならびにスマートメータデータを顧客単位に管理して UHBVN の既設の料金徴収システムと連携する MDMS (Meter Data Management System) を構築した。これらの上位系システムのサーバを UHBVN のデータセンターに設置し、操作卓 4 台を、新設したオペレーションセンターに設置した。

(2) 配電機器

3 か所の変電所に真空遮断器 (VCB: Vacuum Circuit-

Breaker) を 4 台、4 フィーダに負荷開閉器 (LBS: Load Break Switch) を 22 台設置した。また、各 VCB と LBS にはそれぞれ、通信機器 RTU (Remote Terminal Unit) と FTU (Feeder Terminal Unit) を設置し、SCADA から各 VCB と LBS への監視制御ができるようにした。

(3) スマートメータ関連機器

単相および三相のスマートメータ 11,000 台と、メータからのデータ収集や制御を行う DCU (Data Concentrator Unit) 67 台を設置した。DCU で収集したメータデータは、HES (Head End System) を介し、MDMS に伝送される。

5.2 実証システムの有効性検証

パニパットに構築した総合配電管理システムを使って UHBVN が抱える事故停電時間の短縮、負荷ピークの低減、配電ロスの低減という三つの課題の解決における有効性を検証した。

(1) 停電時間短縮効果の検証

実証を行ったパニパットにおいて、SCADA システム導入前後の SAIDI (System Average Interruption Duration Index) および SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) を比較することにより、停電時間・回数の改善効果を検証した。SCADA システム運用開始前の 2017 年と運用開始後の 2018 年を比較したところ、SAIDI では 66%、SAIFI では 26% 改善していることが確認できた。また、実証期間にて収集した事故停電事例において、SCADA システムによる迅速な事故点の特定や他フィーダからの融通により、実証対象フィーダにおける停電時間を平均で約 62% 短縮できることが確認できた。これらの結果より、SCADA システムによる実証対象フィーダの電力供給信頼性の向上が確認できた。ただし、この改善効果には、インドにおける近年の電力品質自体の改善も一部含まれている。また、本システムは、実証事業終了後に NEDO からインド電力省経由で UHBVN に譲渡され

た。今後は、精度の高い比較分析が継続される予定である。

(2) 負荷ピーク低減効果の検証

スマートメータから収集した電力量データを用いて、実証システムによる負荷ピーク低減の有効性を検証した。まず、需要家を電力使用量別にグループ分けし、各グループに対して、疑似的なデマンドレスポンスを行った。具体的には、スマートメータの電力制限機能を用いて、グループごとに輪番で電力使用量を制限し、需要削減効果をシミュレーションにより検証した。その結果、スマートメータの電力制限機能を用いることで、全体需要のピークを削減できることを確認した。

(3) 配電ロス低減効果の検証

実証フィード配下の DT (Distribution Transformer) と、DT 配下のスマートメータの合計電力量を比較し、該当フィードにおける配電ロスの測定と分析を行った。その結果、実証地域における 1 日当たりの平均配電ロス率は約 38.0% となり、かなり大きいことが確認できた。また、配電ロスの 1 日当たりの時間変化を分析したところ、需要家の電力使用量の時間変化とほぼ同じ推移となっていることが確認できた。この結果から、配電ロスの主な原因は、盗電などによる人為的ロスが大きな割合を占めていると考えられる。通信インフラを整備した上で、区間単位の DT とスマートメータの電力量を比較することにより、配電ロスの大きな区間を特定し、その区間について集中的に現地調査を行うことで盗電箇所を把握できると考えられる。

6 あとがき

富士電機は、今回述べた配電自動化システムや SVC により、再生可能エネルギーの大量導入による配電システムの不安定化問題への対策、被災時の系統運用業務の継続に貢献

している。今後も、より複雑となる系統運用に対応し、安心して配電システムの運用ができるように、システムおよび機器の開発を続けていく所存である。

この成果の一部は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合研究開発機構 (NEDO) のプロジェクトである“分散型エネルギー次世代電力網構築実証事業”の結果から得られたものである。関係各位に謝意を表する。

参考文献

- (1) 小島武彦ほか. 電圧変動問題の解決に貢献する配電系統用静止型無効電力補償装置. 富士電機技報. 2017, vol.90, no.1, p.31-35.



松枝 剣

電力会社向け配電自動化システムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワーエレクトロニクス エネルギー事業本部エネルギーマネジメント事業部電力流通総合技術部長補佐。



望月 正希

電力会社向け配電自動化システムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワーエレクトロニクス エネルギー事業本部エネルギーマネジメント事業部電力流通総合技術部。



神通川 亨

電力システムのシミュレーション・制御・解析に関する研究・開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部デジタルイノベーション研究所デジタルプラットフォームセンターシステム制御研究部マネージャー。電気学会会員。



需給管理システムと VPP ソリューション

Power Demand-Supply Management System and VPP Solution

岡林 弘樹 OKABAYASHI, Hiroki

寺田 岳生 TERADA, Takeo

藤尾 昂弘 FUJIO, Takahiro

2016年4月の電力小売全面自由化により、電気事業へ参入する新電力が増加している。このような電気事業者向けに富士電機は、業務フローに沿って運用が可能で、外部機関とデータを連携し、複数の会社（新電力）をまとめて代表契約者が計画値同時同量を行うbalancingグループ運用に対応して、高精度な予測機能などを組み込んだ、効率化運用を支援する需給管理システムを提供している。また、VPPの実証事業にも参加しており、需給管理システムと大型蓄電池システムが提供するサービスや、これら二つのシステムを組み合わせた新電力向けのVPPソリューションが提供できる。

The number of power producers and suppliers that enter the power business has been increasing since the full deregulation of retail electricity in April 2016. For these power utilities, Fuji Electric provides a power supply and demand management system that allows users to operate according to the process flow diagram and to achieve high-precision and efficient operation using a high-precision prediction and other support functions. This system supports a balancing group operation, in which the delegate of contractors coordinates power companies (power producers and suppliers) by sharing data with external agencies to perform planned-value balancing. We have also been participating in virtual power plant (VPP) demonstration projects and can offer VPP solutions for power producers and suppliers, including the services using our demand-supply management systems and large storage battery systems.

1 まえがき

富士電機は、2016年4月の電力小売全面自由化に合わせて新電力に向けて需給管理システムの提供を開始した。この需給管理システムは、新しい運用ルールである計画値同時同量に対応している。さらに、一般送配電事業者から需要実績を取得する機能、予測と実績の乖離（かいり）（インバランス）の増大を抑制する需要予測機能、電力広域的運営推進機関への計画提出機能および一般社団法人日本卸電力取引所を介しての電力取引機能など、需給管理運用の高精度化、効率化を支援するさまざまな工夫を組み込んでいる。

また、国は東日本大震災以来、電力システムを安定化する手段として、需要家側のエネルギーリソースを活用する仕組みの構築を進めている。富士電機はその一つであるバーチャルパワープラント（VPP：Virtual Power Plant）の実証にも取り組んでおり、VPP実証事業に継続的に参画している。本稿では、需給管理システムとVPPソリューションについて述べる。

2 富士電機の需給管理システム

需給管理システムの提供形態と特徴を表1に示す。新電

表1 需給管理システムの提供形態と特徴

提供形態	特徴
クラウドサービス	<ul style="list-style-type: none"> ○クラウド上の需給管理システムにアクセスし、需給運用を行う ○需要家数に応じた月額従量課金制である
オンプレミス	<ul style="list-style-type: none"> ○需給管理システムを納入し、新電力は自社の資産としてシステム運用を行う ○個別事由によるアドオンに対応可能である

力の事業規模は、小規模から大規模までさまざまである。そこで、中小規模の新電力には、新電力が管理する需要家数に応じた月額従量課金制のクラウドサービスとして手ごろな価格で需給管理システムを提供している。大規模な新電力は固有の機能を要求することが多く、発電計画最適化技術などをアドオンしたオンプレミス^(注1)で提供している。

2.1 富士電機の需給管理システムの特徴

(1) 業務フローに沿った需給管理システム

需給管理システムは、図1に示すように需要予測から計画提出までの業務ステップごとに運用者が結果を確認し、日ごとの計画を作成・提出するという業務支援を行うことができる。

実需給日の前々日にはFIT発電計画を作成する。前日になると翌日計画を作成する。当日には、当日監視を行い、インバランスの増大が見込まれれば変更計画を作成する。

本システムの主な機能を表2に示す。電気の需要と調達を合致させる需給計画を将来の実需給日ごとに立案できるよう、計画管理機能を設けた。さらに、運用者が過去の計画を振り返れるよう、実績だけでなく計画とコストのデータをシステム内に蓄積し、参照できるようにしている。

(2) ワンストップサービスを実現する外部機関連携

日々の需給管理運用は電力広域的運営推進機関（OCCTO：Organization for Cross-regional Coordination of Transmission Operators）、一般送配電事業者、日本卸電力取引所（JEPX：Japan Electric Power Exchange）など三つの外部機関とデータ連携が必

〈注1〉オンプレミス：サーバやソフトウェアなどの情報システムを使用者（通常は企業）が管理する設備内に設置・導入し、運用すること

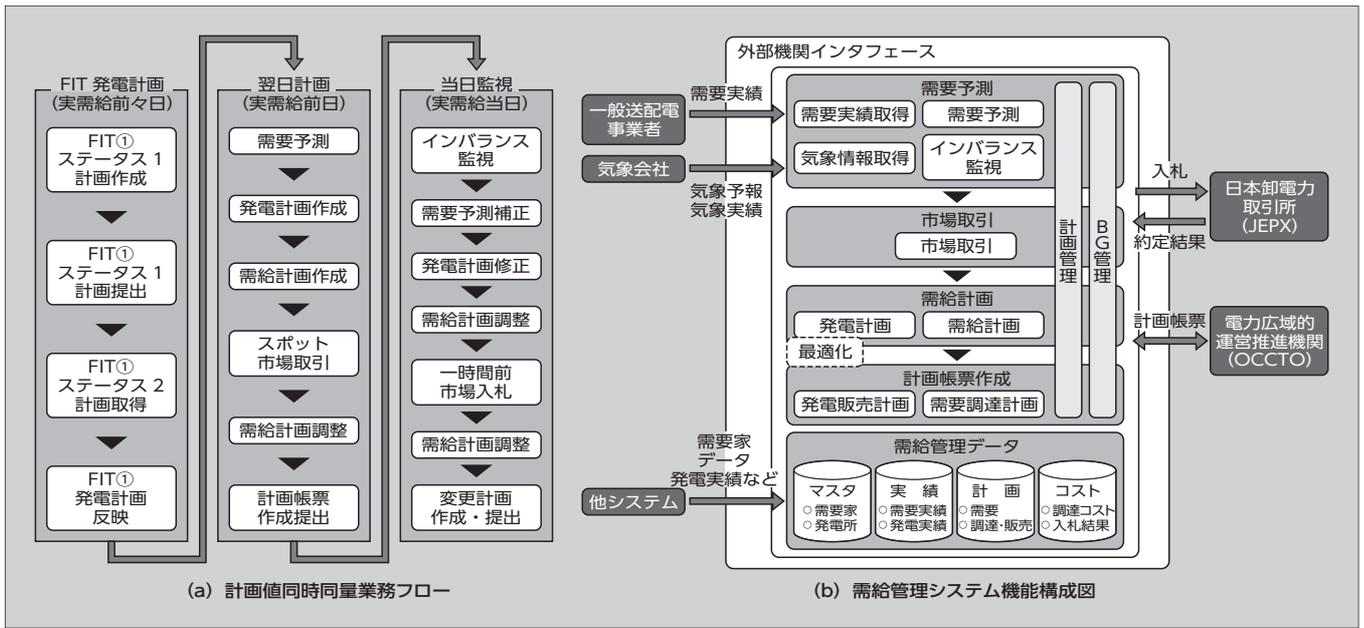


図1 業務フローと需給管理システム機能構成図

表2 需給管理システム機能一覧

○：各業務の使用機能

機能	内容	業務フローとの対応		
		FIT	翌日	当日
需要実績取得	一般送配電事業者から30分ごとの電力需要実績値を取得する	—	○	○
気象情報取得	気象会社から気象予報・実績データを取得する	—	○	○
需要予測	予測グループ単位に30分ごとの電力量の需要予測を行う	—	○	○
インバランス監視	需要実績値と予測値の乖離を算出する	—	—	○
市場取引	スポット市場・一時間前市場の入札実行・約定結果の取得管理を行う	—	○	○
発電計画	発電所ごとに30分単位の発電量の発電計画を立案する	○	○	○
需給計画	需要予測（計画）に対して、自社電源含む調達電源を割り当てる	—	○	○
計画帳票作成	需給計画の結果に基づいた計画帳票（需要調達計画、発電販売計画）を作成する	○	○	○
計画管理	需要計画、発電計画、需給計画を日ごと・30分ごとに管理する	○	○	○
BG管理	個社ごとの需要計画、発電計画、需給計画を管理する	○	○	○

表3 外部機関との関係データと通信方式

関係先	関係データ	関係先との通信方式
OCCTO	計画帳票データ	発電計画等受領業務EDI共通規格 (OCCTO)
一般送配電事業者	電力需要実績値	小売電気事業者・一般送配電事業者間EDI共通規格 (OCCTO)
JEPX	入札・約定情報	市場参加者API (JEPX)

要である。表3に示す関係先とのアプリケーションインタフェースを開発し、標準機能として需給管理システムに実装した。本機能と表2に示す業務機能によって、需給管理のワンストップサービス運用を実現している。

(3) バランシンググループへの対応

複数の個社（新電力）をまとめて代表契約者（新電力）が計画値同時同量を行うバランシンググループ（BG：Balancing Group）運用^{（注2）}に対応している。図2に示すように、需要BG、個社、需要家・電源の三階層のマスター構造としている。おのおののマスターデータは上階層にひも付

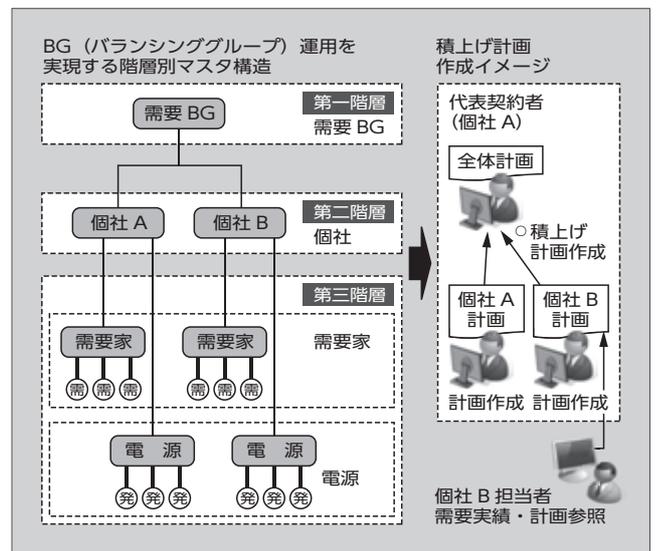


図2 階層別マスター構造が実現するBG運用

いている。この構造を利用して、運用者は個社単体に独立して計画が作成できる。その上で、個社単体の計画を積み

〈注2〉バランシンググループ（BG：Balancing Group）運用：自社を含む複数の個社（新電力）を束ねて、代表契約者（自社新電力）が計画値同時同量を行うこと

上げて需要 BG 全体の計画とする。さらに、需要 BG 全体の計画を運用者が修正することも可能である。

なお、BG 管理の権限設定機能を使うと、当該個社の計画・需要実績をその個社の担当者に限定して公開できる。

2.2 需要予測技術

電力需要曲線が類似した業態の需要家群を予測グループとして設定し、そのグループごとに需要を予測する。図3に示すように予測グループごとの予測結果を集計し、一般送配電事業者のエリアごとに需要予測値を作成する。さらに、エリア全体の予測値を運用者の知見やノウハウで修正ができる余地を残し、運用者の意図を予測結果に反映できるようにしている。

需要予測は二つの方法を選択できる。一つは、需給管理システムの画面で過去の需要実績値と気象実績、予測対象日の気象予報を参照して、運用者自身が予測値を作成する方法である。もう一つは、システム予測機能によって自動的に予測値を算出する方法である。システム予測機能は当日、翌日、翌々日の需要予測を出力する。なお、当日予測機能は30分ごとに取得する最新の需要実績値と、最新の気象予報の取得により逐次補正している。

システム予測機能として四つのシステム予測手法を標準実装している。同操業日予測、同曜日予測、気象類似日予測という暦や気象条件に基づく三つの簡易的予測手法と、自動要因分析機能を持つ JIT (Just-In-Time) 予測手法からなる。これら四つの手法から、予測グループごとの需要特性に適した予測手法を運用者が自身の知見に基づいて選択することで、エリア全体として高精度な予測ができる。

ここでは富士電機の最新需要予測技術である“JIT 予測”について説明する。

JIT 予測は、次の三つのステップにより、過去の条件類似日の需要実績値を基に需要予測値を算出する(図4)。

(a) 相関要因分析

需要実績値と相関の強い要因を日々自動的に分析する。

(b) 類似日抽出

(a)で分析した相関の高い要因を使用し、予測対象日

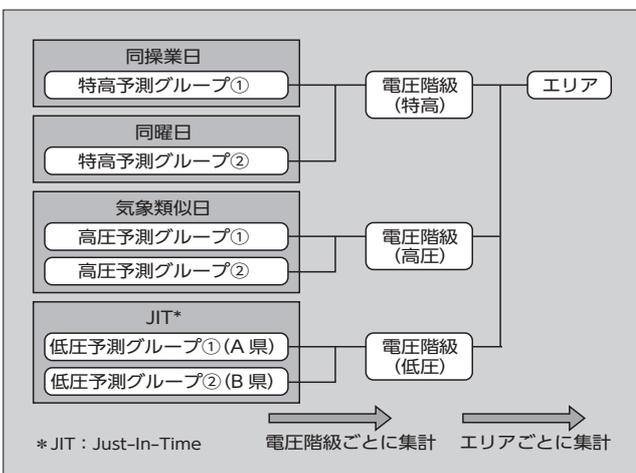


図3 エリア電力需要予測値の作成

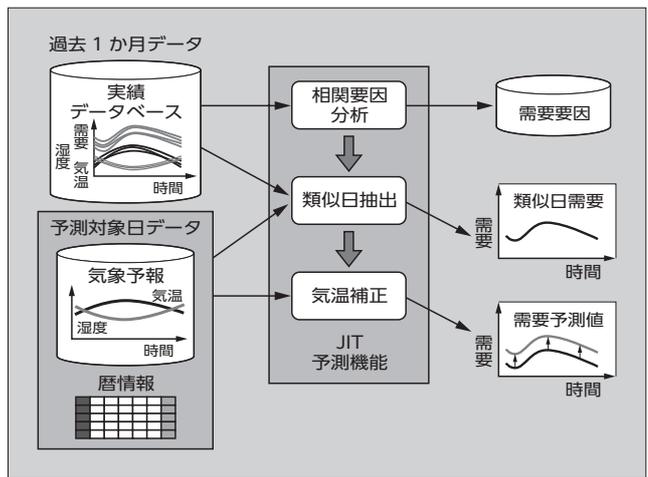


図4 JIT (Just-In-Time) 予測の構造

近の類似日を抽出する。

(c) 気温補正

(b)で抽出した類似日の気温実績値と予測対象日の気温予報値の差異から需要予測値を補正する。

この JIT 予測により需要変動と要因の相関が把握しづらい需要家群に対して、高速で予測結果が得られる。

2.3 発電計画最適化技術

さまざまな発電機や限定された地域に電力を供給する電気事業者は、燃料コストや CO₂ 排出量を削減するための発電計画を検討する。富士電機の発電計画最適化技術は、線形計画法を用いて高速に当日、翌日および週間の計画を作成する。需要予測や太陽光発電・風力発電などの再生可能エネルギー出力予測に加え、発電機の運転使用条件である連続運転制約や連続停止制約などを考慮し、発電機・蓄電池の起動停止計画ならびに制御量を最適化した結果を出力する。

3 VPP ソリューション

3.1 VPP ソリューションの全体像

VPP とは分散設置された需要家設備 (リソース) を、ICT (Information and Communication Technology) を活用してあたかも一つの発電所のように制御する技術である。富士電機は大型蓄電池が今後最も重要な VPP のエネルギーリソースと位置付け、上位となるリソースアグリゲータ (RA) システムとリソース側システムを開発し、プラットフォームとして提供することを狙っている。この技術を使って、系統運用者などに表4に示す5種類のサービスを提供するビジネスを検討している。

3.2 需要家側大型蓄電池活用への取組み

富士電機は、2016年度に開始された経済産業省“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”において、関西電力が統括する“関西 VPP プロジェクト”に参加し、機能開発と実証を続けて

表 4 VPP を活用したサービス

サービス項目	ピークカット 省エネルギー	再生可能エネルギー 出力抑制回避	デマンドレスポンス	計画値同時同量	電力系統調整力
目的	電力コスト低減	再生可能エネルギー 抑制回避の調整力	BG供給力ひっ迫時の 調整力	BGインバランス抑制の 調整力	電力系統需給ひっ迫時の 調整力
サービス提供先	需要家	再生可能エネルギー事業者	小売電気事業者	小売電気事業者	系統運用者
制御内容	需要増・減	需要増	需要減	需要増・減	需要増・減
制御周期	30分	30分	30分	30分	1～30分

いる。

(1) 大型蓄電池 RA システムの構成

システム構成を図5、各構成機器の役割を表5に示す。富士電機は、大型蓄電池 RA サーバ、OpenADR – MODBUS 変換ゲートウェイ (GW)^(注3)、VPP 対応蓄電池システムおよび VPP 対応コントローラを開発している。

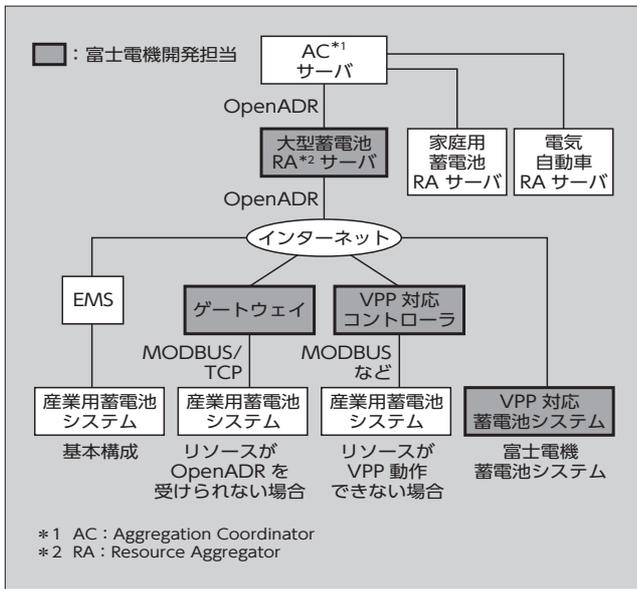


図 5 大型蓄電池 RA システムのシステム構成

表 5 大型蓄電池 RA システムの機能分担表

構成機器	役割
アグリゲーション コーディネータ (AC)	○ サービス提供者との接続とDRの受信 (需給調整) ○ DR発動とRAへのDR配分 ○ 全RAの実績集計
大型蓄電池 RAサーバ	○ 需要予測、太陽光発電予測 ○ DR協力可能容量計算 ○ 各リソースへのDR配分 ○ 配下リソースの実績集計
ゲートウェイ (GW)	○ OpenADR-MODBUS/TCP変換
VPP対応 蓄電池システム	○ ピークカットなどローカル制御 ○ DRに沿った充放電制御 ○ 運転計画策定・通知 ○ RAサーバ連携機能
VPP対応コントローラ	○ VPP対応蓄電池システムと同等な機能 ○ 従来の蓄電池システムとのインターフェース

〈注3〉 MODBUS : Schneider Automation, Inc. の商標または登録商標

(a) 大型蓄電池 RA サーバ

RA サーバは、上位アグリゲーションコーディネータ (AC サーバ) から受信するデマンドレスポンス (DR) を複数需要家に設置された大型蓄電池へ最適配分する処理と、各リソースを一つに束ねて AC サーバに見せる実績集計とを行う。蓄電池は充電と放電の双方向に瞬時に制御できる利便性がある反面、蓄電池容量と充電状態に応じて充放電時間が制限される。そのため DR の配分は各リソースの状態を監視して時間帯ごとの DR への協力可能容量を推定することが重要である。これを正確に行うために RA サーバでは各需要家の時間帯ごとの消費電力量を予測し、DR の基準値を決め、蓄電池の SOC (State Of Charge) 推移を計画し、協力可能容量を推定している。ここで使用する需要予測は、富士電機がスマートコミュニティ実証⁽³⁾や需給管理システムなどフィールドで改良した JIT 予測を使用している。

さらに、制御精度を向上するために、需要家設置の太陽光発電予測機能⁽⁴⁾を実装した。通常、需要家の需要は受電電力量で管理される。需要家が設置した太陽光発電は需要側に含まれるため、需要予測の誤差を増大させる原因になる。本システムでは、需要家が設置した太陽光発電の発電電力量を予測し、需要予測精度および制御精度を向上させている。

(b) OpenADR-MODBUS 変換ゲートウェイ

RA サーバとリソースの間は経済産業省のガイドラインに準拠して OpenADR プロトコルで接続している。しかし、OpenADR では暗号化および電子証明による相互認証などが必要である。そのため、リソース側に制御コントローラしかない場合、OpenADR を直接受けることが難しい。そこで、容易に RA サーバと接続できるように OpenADR を MODBUS/TCP に変換する GW を開発した。本ゲートウェイにより、蓄電池リソースを VPP に参加させるハードルを大幅に下げ、VPP に参加するリソース群の増加が望めるようになった。

(c) VPP 対応蓄電池システム

VPP に対応するために、平常時はピークカットなどの目的に沿って運転し、充放電可能量を管理する。DR 発動時は各種制約を考慮しながら、予測機能などにより高度な充放電制御を行い、電力系統との連系点を DR 値に合わせる精度の高い監視制御を行う。これらは、一般的には EMS (エネルギー管理システム : Energy Management System) とコントローラが必要

特集 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

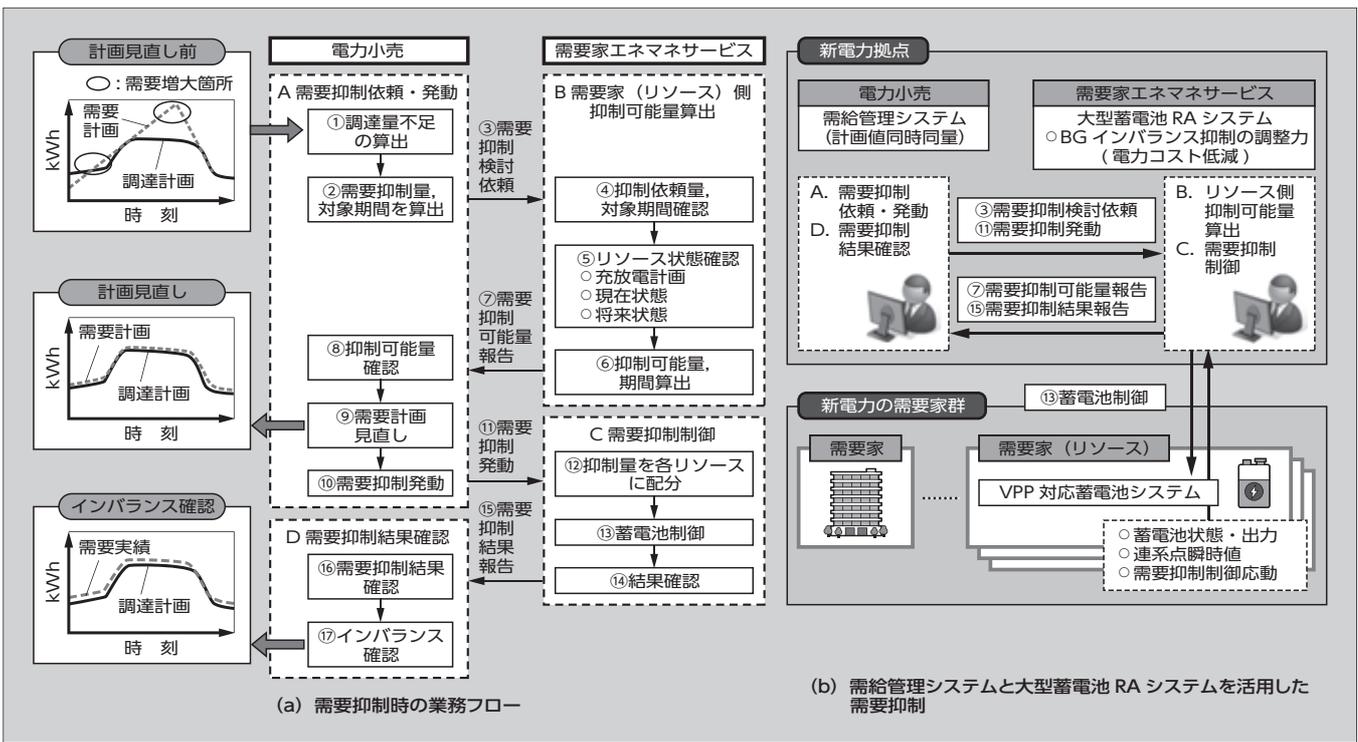


図6 需給管理システムと組み合わせた新電力向け VPP ソリューション

である。富士電機は EMS 機能を持ったコントローラを開発し、RA サーバと機能分担して通信することでこれらの機能を実現した。これを標準パッケージ化し、VPP 対応蓄電池システムとして商品化した。

(d) VPP 対応コントローラ

VPP で要求される高度な機能を持たない蓄電池システムに対しては、富士電機の VPP 対応蓄電池システムと同等の機能を実現できる VPP 対応ロジックおよび従来の蓄電池システムとのインターフェースなどを実装したコントローラを開発した。

(2) VPP の課題と対応

需要変動が大きいリソースが多い、あるいは需要予測精度が悪化した場合、電力を目標値内に制御することが難しくなる。これに対し、予測精度向上とともにリソース群全体でフィードバック制御を行えるように改善を進める。

また、各リソースの需給調整への貢献度の評価指標を、今後開設される需給調整市場などを参考にして VPP 実証事業の中で検討していく。

3.3 需給管理システムと組み合わせた新電力向け VPP ソリューション

新電力向け VPP ソリューションを図6に示す。このソリューションは、新電力の小売部門がインバランス費用を極小化するために、需要家エネルギーマネジメントサービスを通じて蓄電池を活用して自社の需要家の需要抑制を行うものである。なお、需要家側は貢献度に応じて貢献費用を享受する。需要予測より需要実績が大きくなる不足インバランスの増大が見込まれる際、大型蓄電池 RA システムは需給管理システムからの需要抑制依頼を受信し、需要家

側に設置された蓄電池を制御してインバランスを抑制する。なお、平常時は需要家向けサービスであるピークカットや省エネルギーサービスとして使用し、マルチサービスを実現することにより蓄電池導入効果の向上を図る。

4 あとがき

需給管理システムと VPP ソリューションについて述べた。

電力システム改革は、ベースロード市場、需給調整市場、容量市場などの新しい電力市場の開設を計画している。また、環境負荷の軽減を要求する「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律」（エネルギー供給構造高度化法）も電気事業者の事業方針に影響を与えており、外部環境は絶え間なく変化していく。

この変化に対して、電気事業者の利益を最大化するサービスの検討と創出を継続していく所存である。

参考文献

(1) 新谷祐樹ほか. “Just-In-Timeモデリングを用いた翌日需要曲線予測手法の検討”. 平成28年電気学会全国大会論文集. 2016, p.6-121.

(2) 勝野徹ほか. 分散電源系統における需給制御システム技術. 富士電機技報. 2013, vol.86, no.3, p.202-206.

(3) 石橋直人ほか. “データマイニング手法を適用した需要予測手法の提案”. 平成26年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集. 2014, TC3-3, p.109-114.

(4) 石橋直人ほか. 太陽光発電の発電量予測技術. 富士電機技報. 2013, vol.86, no.3, p.207-210.



岡林 弘樹

電力流通分野の開発およびエンジニアリング業務に従事。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エネルギーマネジメント事業部電力流通総合技術部課長補佐。



藤尾 昂弘

需給管理システムの開発およびエンジニアリング業務に従事。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エネルギーマネジメント事業部電力流通総合技術部。



寺田 岳生

エネルギーマネジメントシステムの開発に従事。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エネルギーマネジメント事業部電力流通総合技術部課長補佐。情報処理学会会員。



船舶スクラバ向けレーザ方式ガス分析計

Laser Gas Analyzers for EGCS

田原 雅哉* TABARU, Masaya

東 亮一* HIGASHI, Ryoichi

赤尾 幸造* AKAO, Kozo

船舶からの排ガスに含まれる硫黄酸化物(SO_x)などによる人体や環境への影響を低減するため、海洋汚染防止条約により燃料油中の硫黄分濃度が国際的に規制されている⁽¹⁾。2020年1月からこの規制が強化される。高硫黄燃料油の使用は、排ガス浄化システム(EGCS: Exhaust Gas Cleaning Systems)を搭載し、適切な運用をした場合に限られている。EGCSの要件を定めた国際海事機関のガイドライン⁽²⁾において、排ガス浄化性能の指標として二酸化硫黄(SO₂)と二酸化炭素(CO₂)のガス濃度比を定め、この指標が規制値以下であることを連続監視することを義務付けている。

富士電機は、EGCSにおいてSO_xを低減するスクラバに不可欠な排ガス監視装置として、小型でメンテナンス頻度が少ない船舶スクラバ向けレーザ方式ガス分析計を開発した。

1 概要

図1にEGCSの全体構成および本製品の外観を、表1に主な仕様を示す。本製品は、次の三つのユニットとそれらを接続する配線、配管から構成されている。

- (a) 煙突から排ガスを吸引し、ダストや水分を除去する採取部
- (b) 採取部から流入する測定ガス中のSO₂とCO₂のガス濃度をレーザで測定する検出部
- (c) 採取部と検出部への電源供給、通信ならびに外部インタフェースとの通信を行う中継ボックス

2 特徴

2.1 小型・軽量

設置や交換を容易に行うために、船舶の機関室や煙突部の扉から持ち込むことができる寸法、質量とした。また、狭小な場所にも設置可能である。

2.2 年1回の校正

レーザ方式を採用したので、長期的な測定の安定性を

* 富士電機株式会社パワエレシステムインダストリー事業本部オートメーション事業部FAシステム技術第三部

* 富士電機株式会社パワエレシステムインダストリー事業本部開発統括部計測機器開発部

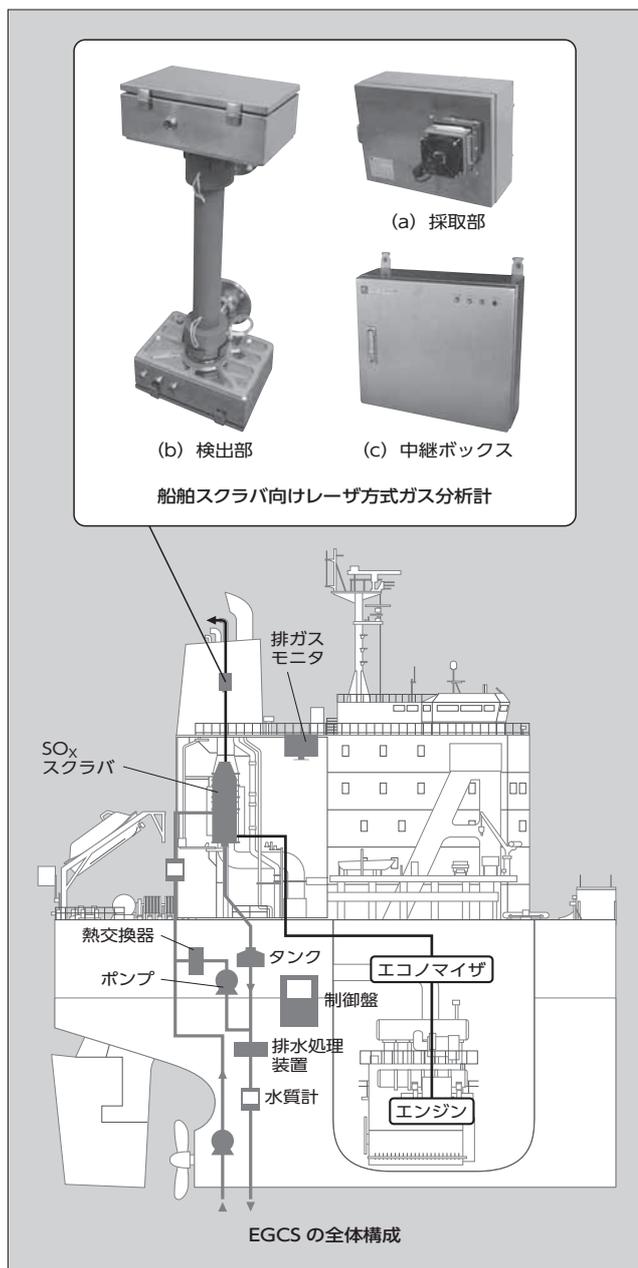


図1 EGCSの全体構成および船舶スクラバ向けレーザ方式ガス分析計

実現でき、校正は年1回でよい。そのため校正用の高圧ガスの常時設置は不要となった。

2.3 月1回のメンテナンス

フィルタの手前でガスとそれ以外の成分を分離するこ

表1 船舶スクラバ向けレーザ方式ガス分析計の仕様

項目	仕様
測定原理	波長非分散式レーザ式
測定方式	サンプリング方式
測定成分および測定範囲	SO ₂ : 0 ~ 300 ppm CO ₂ : 0 ~ 10 vol%
外形	採取部: W400×D323.4×H300 (mm) 検出部: W330×D255×H880 (mm) 中継ボックス: W500×D166×H400 (mm)
質量	検出部: 約30 kg 採取部: 約18 kg 中継ボックス: 約20 kg
性能	正確さ: 読み値の±2%または0.3%FSのいずれか大きい方の値以下 精度: 10回繰り返し応答の2.5倍標準偏差±1%FS以下 ノイズ: 2%FSp-p未満 ゼロドリフト: ±2.0%FS未満/6か月 スパンドリフト: ±2.0%FS未満/6か月 応答時間 (90%FS応答): 180秒以下 暖機時間: 120分以内 校正周期: 1年に1回
適合指針	IMO Resolution MEPC 259 (68), 2015 guidelines for exhaust gas cleaning systems
取得船級	ClassNK (取得済), DNV・GL (予定)

とによりフィルタを汚れにくくし、1か月に1回の低頻度のフィルタ交換周期を実現した。また、その他の部分の日常のメンテナンスは不要である。

3 背景となる技術

3.1 安定した測定を実現するレーザ方式

従来のフィラメント方式の光源を使った非分散赤外線ガス分析計では、光学系の汚れによる信号の低下とガスによる吸収の区別が難しいため、週に1回程度の頻繁な校正が必要であった。一方、この製品では、波長可変半導体レーザを用いているので、測定ガスによる吸収がある波長とない波長を測定することにより、光学系の汚れを補正しながらガスの吸収が検出できる。このため、年1回の校正による長期的に安定な測定が可能である。

3.2 SO₂ ガスを検出する新型レーザ素子と受光素子

SO₂ ガスを ppm レベルで検出するためには、高い検出感度が必要である。本製品では、SO₂ ガスの吸収強度が最も大きい波長 7μm 帯で発光可能な量子カスケードレーザを新たに採用している。また、波長 7μm 帯の受光素子には環境に配慮した高感度光起電力素子を適用している。

3.3 SO₂ ガスと CO₂ ガスを同時に検出する光学系

SO₂ と CO₂ のガス濃度比を正確に測定するためには、同一のガスサンプルに対して同時に分析することが必要である。一方、各ガスの吸収波長が異なるため、それぞれのガス専用のレーザ素子や受光素子が必要となる。そこで、検出部には2個のレーザ素子と2個の受光素子を内蔵しつつ、レーザの光軸を重ねる光学系により、これ

を実現している。

3.4 SO₂ ガスの損失を防ぐ温度管理と除湿

EGCS ガイドライン⁽²⁾では、結露によって排ガスサンプル中の SO₂ ガスの損失（溶解損失）を防ぐよう定められている。排ガス浄化装置は水を用いて洗浄するため、装置を通過した排ガスは湿っており、結露しやすい状態である。そこで本製品では、採取部全体を排ガス温度より高い温度に保温し、結露を防止している。また、膜式のドライヤを採用し、水分をガス状態のまま除湿している。そのため、採取部内でガスを乾燥した状態にでき、検出部へのガスの輸送は加熱導管を必要としない。

4 適用事例

船上試験として、ばら積み船にレーザ方式ガス分析計を含む EGCS を搭載し、本製品の試験を実施中である。船舶の情報および設置の様子を図2に示す。本試験では、長期の動作安定性の評価、濃度指示値の精度評価を行っている。

なお、船上試験は、今治造船株式会社および一般財団法人 日本海事協会との共同研究体制の下、日本海事協会の“業界要望による共同研究”のスキームにより研究支援を受けて実施された。富士電機は、今治造船株式会社から業務委託され、本研究開発において、EGCS 設備一式の設計、製作および試験遂行を実施した。レーザ方式ガス分析計はこの設備一式に含まれるものである。関係各位に謝意を表する。

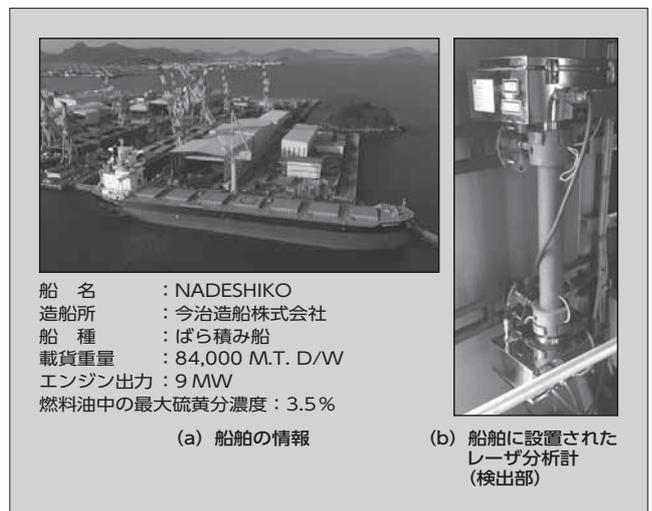


図2 船舶の情報および設置の様子

参考文献

- (1) MARPOL条約附属書VI（船舶からの大気汚染の防止のための規則）.
- (2) IMO Resolution MEPC 259（68）, 2015 guidelines for exhaust gas cleaning systems.
- (3) 青木幸男ほか. 世界最小の船舶用サイクロン式SO_xスクラバ. 富士電機技報. 2018, vol.91, no.1, p.35-39.

発売時期

2019年6月

お問い合わせ先

富士電機株式会社
パワエレシステム インダストリー事業本部オートメーション事業部業務第一部機種業務第二課
電話（03）5435-7021



第7世代「Xシリーズ」IGBT モジュール 1,700V 系列

1,700-V Line-Ups of 7th-Generation “X Series” IGBT Modules

永井 大嗣* NAGAI, Daishi

増田 晋一* MASUDA, Shinichi

吉田 健一* YOSHIDA, Kenichi

近年、地球温暖化対策の観点から、CO₂ 排出量の削減が求められている。エネルギー変換効率の改善や、風力発電や太陽光発電などといった再生可能エネルギーの利用が拡大している。これに伴い、電力変換装置 1 台当たりの出力電流が拡大する傾向にあり、キーデバイスである大容量 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールの需要が拡大している。同時に、上述の装置は社会インフラの一部を構成するため高信頼性であることも求められている。

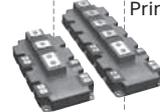
このような電力変換装置における出力電流の拡大、低消費電力化および高信頼性化の要求に応えるため、富士電機では第7世代「Xシリーズ」IGBT モジュールの1,700V 製品を開発した。

1 特徴

表1に、Xシリーズ IGBT モジュール 1,700V 系列のラインアップを示す。従来製品である「Vシリーズ」と比較して、特徴は次のとおりである。

- (1) 出力電流の拡大
- (2) 連続動作時接合温度 T_{vjop} の拡大

表1 Xシリーズ IGBT モジュール 1,700V 系列のラインアップ

パッケージ	定格電流 (A)																
	15	25	35	50	75	100	150	200/225	300	400/450	600	650	1,000/1,200	1,400	1,800	2,000	
Std. 2 in 1					34 mm		62 mm			80 mm							
Dual XT							Dual XT										
PrimePACK™*												PrimePACK™2		PrimePACK™3			

*PrimePACK™: Infineon Technologies AG の商標または登録商標

2 電気的特性

Xシリーズ 1,700V IGBT モジュールでは、Xシリーズのチップ技術を適用することで、従来製品 (Vシリーズ) に対して発生損失を大幅に低減した。次に Dual XT (M254) パッケージを使い、電流定格 450A、電圧定格 1,700V のモジュールを比較した結果を示す。

図1に IGBT の飽和電圧とターンオフエネルギーのトレードオフ特性を、図2に FWD (Free Wheeling Diode) の順方向電圧と逆回復エネルギーのトレードオフ特性をそれぞれ示す。いずれも Xシリーズ IGBT では、最新の微細化技術および薄ウェーハ化技術を適用することにより、Vシリーズ IGBT と比較して、飽和電圧を約 0.4V 低減、ターンオフエネルギーを約 12% 低減し、大幅に改善した。Xシリーズ FWD では、最新の薄ウェーハ化技術を適用することにより、順方向電圧を約 0.2V 低減した。また、ライフタイム制御の最適化により、滑らかな逆回復波形を実現するとともに逆回復エネルギーを約 17% 低減した。

図3に消費電力の計算結果を示す。Xシリーズは、Vシリーズと比較して、キャリア周波数 1kHz の条件で消費電力を約 13% 低減した。

* 富士電機株式会社電子デバイス事業本部産業事業部産業モジュール部

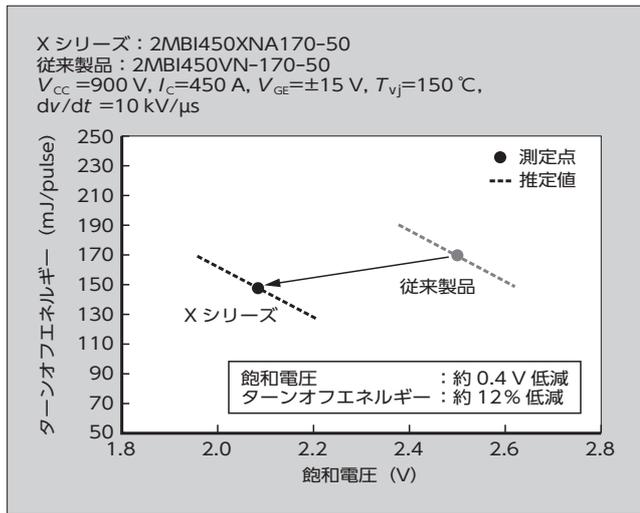


図1 トレードオフ特性 (IGBT)

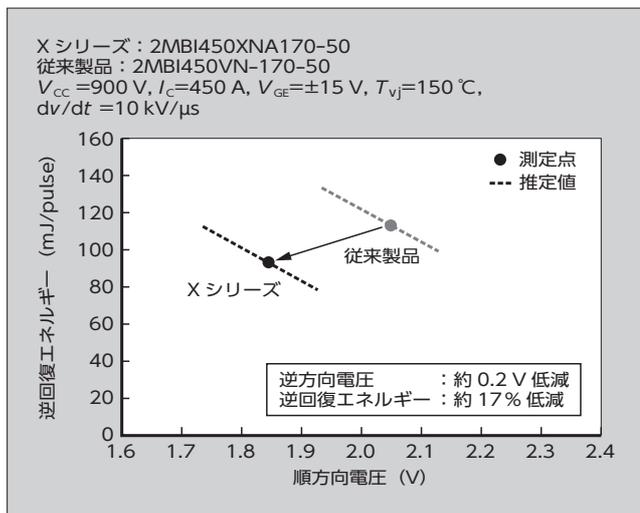


図2 トレードオフ特性 (FWD)

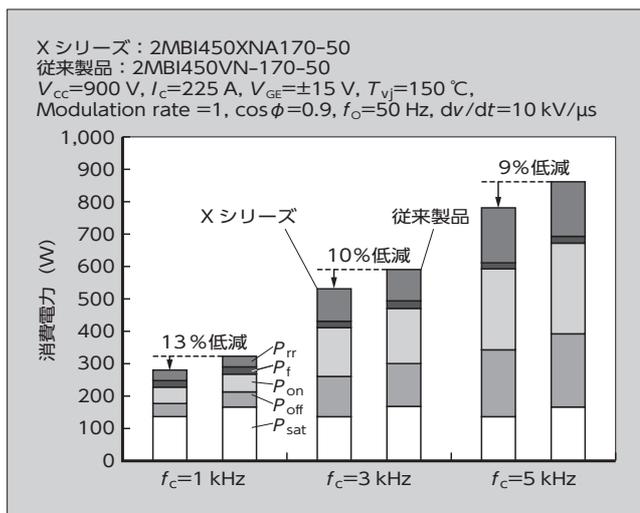


図3 消費電力

③ パッケージ技術

Xシリーズでは、さらなる出力電流を向上するため、連続動作時接合温度 T_{vjop} を従来製品の $150\text{ }^\circ\text{C}$ から $175\text{ }^\circ\text{C}$ に拡大した。 T_{vjop} を拡大するためには、温度変化に対する耐量である ΔT_{vj} パワーサイクル耐量の向上や、高温での長期信頼性に影響する絶縁用シリコンゲルの耐熱性の改善が必要である。Xシリーズでは、はんだ材の新規開発と半導体チップ上の新配線接合技術の適用により、 $T_{vjmax}=175\text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta T_{vj}=50\text{ }^\circ\text{C}$ の条件で従来製品に比べて約2倍の耐量向上を実現した。また、高耐熱性の新規シリコンゲルの採用により、 $175\text{ }^\circ\text{C}$ 環境下でのゲル硬化を抑制し、長期的な絶縁性能を確保した。

さらに、半導体チップのジュール熱を効率よく放熱するため、熱伝導率の高い AlN を用いた高放熱絶縁基板を適用した。図4に過渡熱抵抗特性を示す。 Al_2O_3 絶縁基板を使った従来製品と比較して、同一チップサイズにおいて接合部とケース間の熱抵抗を約45%低減した。

図5に、Dual XT パッケージの Xシリーズの最大定格 600 A モジュールと Vシリーズの最大定格 450 A モ

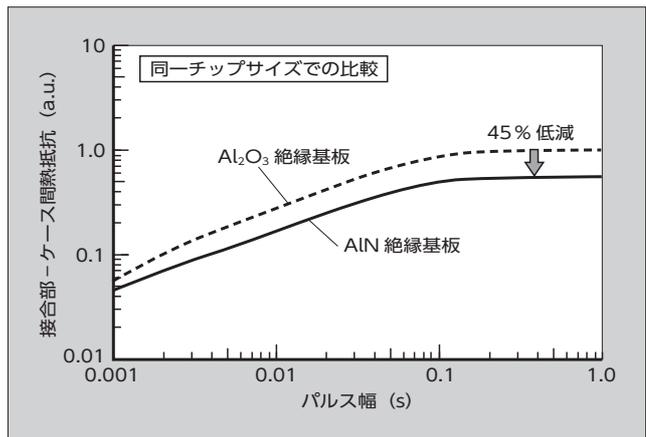


図4 過渡熱抵抗特性

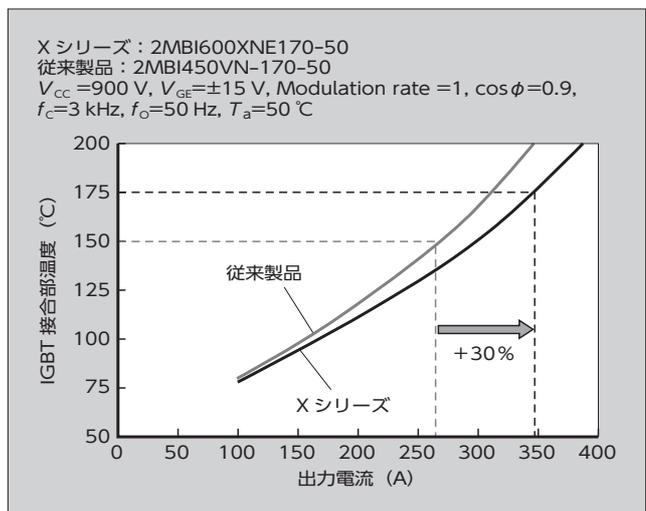


図5 インバータ出力電流と IGBT 接合部温度

ジュールにおける、インバータ出力電流とIGBT接合部温度の計算結果を示す。前述のような最新のXシリーズチップ技術およびパッケージ技術を適用することによって、従来製品と比較してXシリーズ1,700V系列製品では、出力電流を約30%向上した。本製品は、電力変換装置の小型化、低消費電力化および高信頼性化の要求に応えることができる。

発売時期

2019年6月から順次

お問い合わせ先

富士電機株式会社
電子デバイス事業本部事業企画部
電話 (0263) 27-2943



EV リユース蓄電池システム

Storage Battery Systems That Reuse EV Batteries

山野 博之* YAMANO, Hiroyuki

宮村 尚孝* MIYAMURA, Naotaka

松井 裕志* MATSUI, Hiroshi

昨今の電気自動車（EV）の普及に伴い、EV で使い終わった中古電池を安全に有効活用する体制が整ってきている。

一方、需要家に設置する蓄電池システムは、従来、ピークカットによる契約電力低減に伴うエネルギー費用の削減が目的であった。2016 年度から 2020 年度までの予定で実施されている経済産業省のバーチャルパワープラント（VPP）実証事業の成果が制度化すれば、ピークカット以外の収入が得られるようになり、投資回収効果が高くなる。

本システムは、EV リユース蓄電池を採用し、ピークカット、VPP 対応機能、さらに事業継続計画（BCP）に対応可能な需要家向け蓄電池システムである。外観を図 1 に示す。

1 システム構成

本システムは、富士電機のパワーコンディショナ（PCS）、制御装置とフォーアールエナジー株式会社が提供するリユース蓄電池を、従来の 2 倍の積載効率で格納した 20 フィートコンテナと組み合わせたものである。システム構成と主要構成機器の仕様を図 2 に示す。

従来は顧客の要求ごとに蓄電池システムを提案していた。住友商事株式会社、株式会社日本ベネックスと 3 社

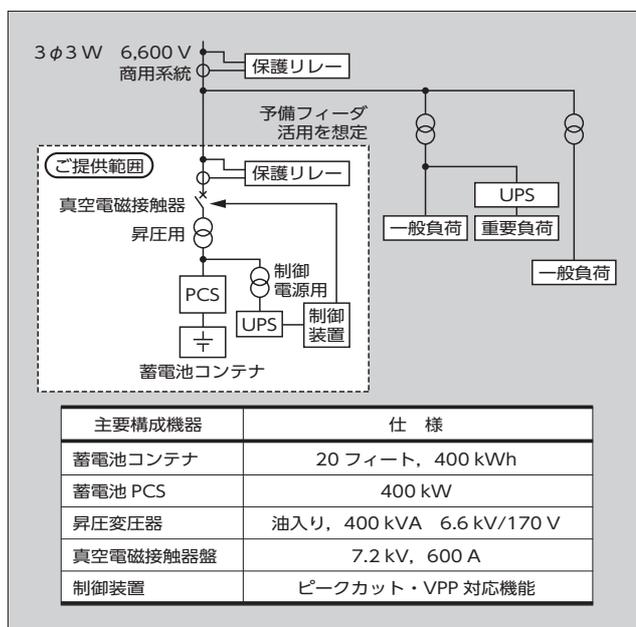


図 2 システム構成と主要構成機器の仕様

共同で標準パッケージを開発し、コストダウンを図った。必要に応じて顧客の要求に合わせたカスタマイズも可能である。

2 省スペース設計

蓄電池パックは、自動車用部品の安全技術を生かし、EV に実装した状態のまま利用することとした。コンテナへの高積載技術を駆使し、安全性と実装密度に優れた蓄電池コンテナを共同で開発している。図 3 に示すように、従来は 20 フィートコンテナに 12 パック、約 200 kWh の実装であったのに対し、新型は 24 パック、約 400 kWh を実装している。



図 1 EV リユース蓄電池システム

* 富士電機株式会社パワーエレクトロニクスエネルギー事業本部エネルギーマネジメント事業部電力流通総合技術部

* 富士電機株式会社営業本部エネルギーソリューション統括部営業第一部

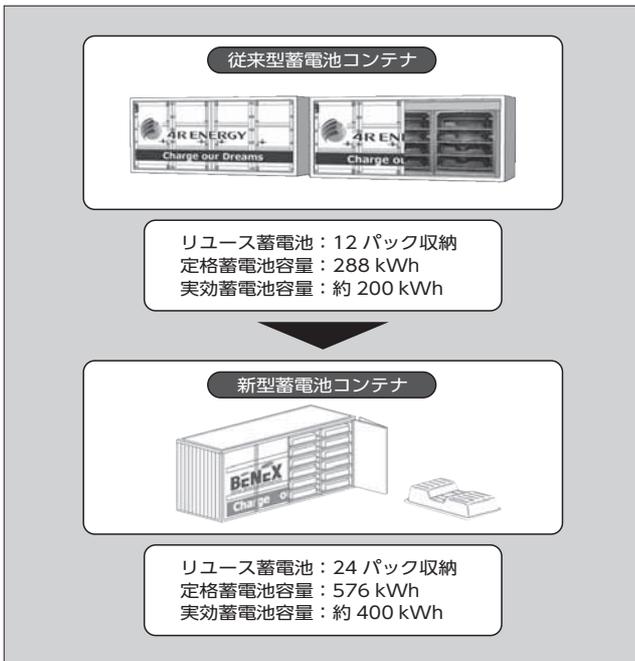


図3 蓄電池コンテナ実装設計

③ 機能

システムの機能の概要を次に示す。

(1) ピークカット・ピークシフト

蓄電制御システムを活用してピークカットとピークシフトを行い、契約電力を下げ、基本料金、電気代を低減する。顧客の電力の使用状況にもよるが、一定の経費削減効果が期待できる。図4にピークカットの事例を示す。

(2) BCP

安定した事業運営や継続に必要なバックアップ電源として活用できる。具体的には、商用電源が停電したとき、商用電源の連系開閉器を解放し、蓄電池 PCS を自立運転

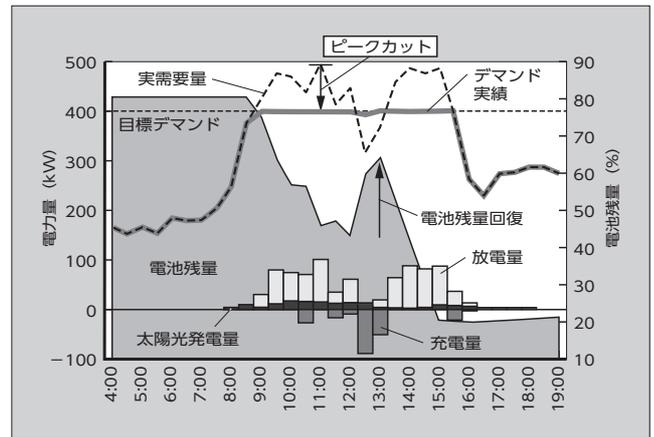


図4 ピークカットの事例

に切り替えて立上げ、電源供給する。

(3) VPP 対応機能

図5にVPP基本構成図を示す。このようにVPPは、需要家のリソース（ESSなどの設備）を束ねてあたかも一つの発電所のように制御することで、電力システムの調整力として活用する技術である。この技術により、上位システムからの信号で、蓄電池の充放電を行う。VPPによって将来的には対価を得ることが期待できる。

富士電機が参加している関西電力グループのVPP実証事業に対応できる機能を本システムは標準で組み込んでいる。そのため、本システムを購入する需要家は、このVPP実証事業への参加および補助金申請が可能となり初期費用低減が期待できる。

(4) 再生可能エネルギーの有効利用

図6に示すように自家消費の太陽光発電は、土日の需要が低い時間帯に余剰となる場合がある。これを蓄電池に充電し、需要が高い時間帯で放電することで再生可能エネルギーを有効活用することができる。

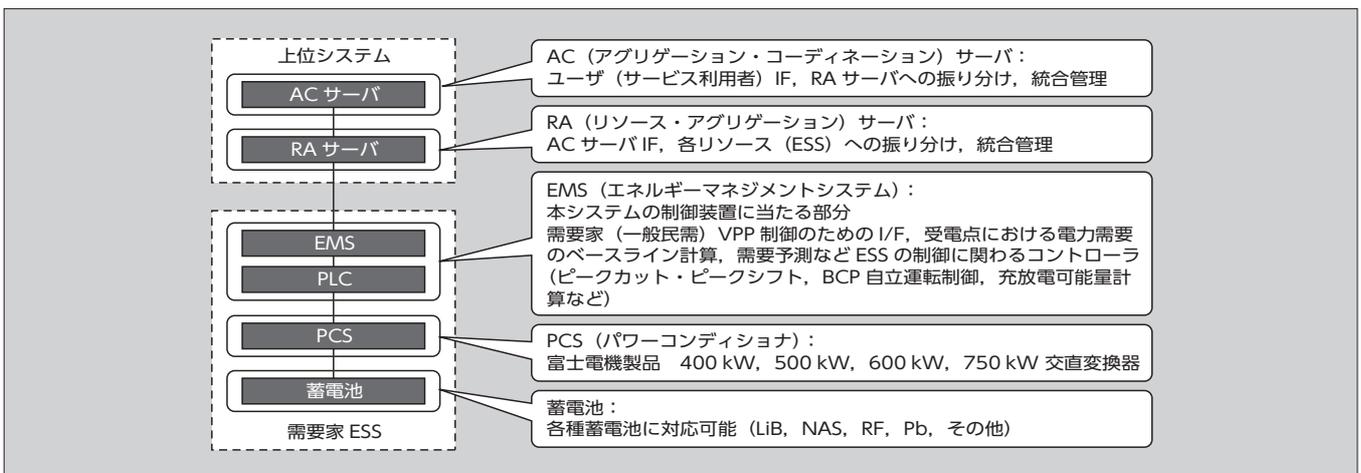


図5 VPP基本構成図

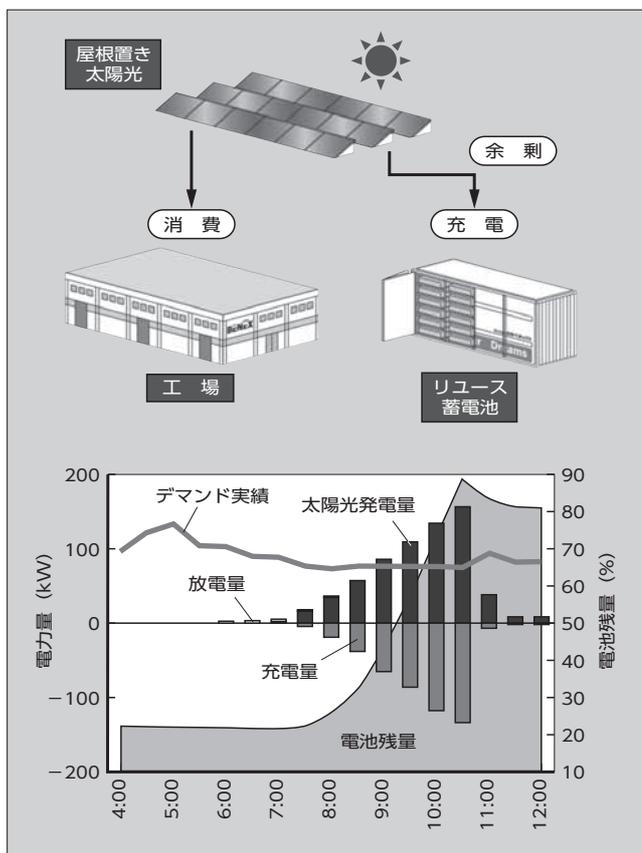


図6 再生可能エネルギーの有効利用の事例

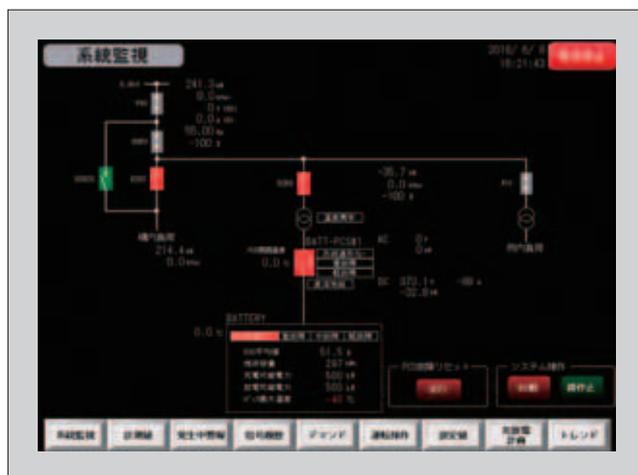


図7 系統監視画面の例

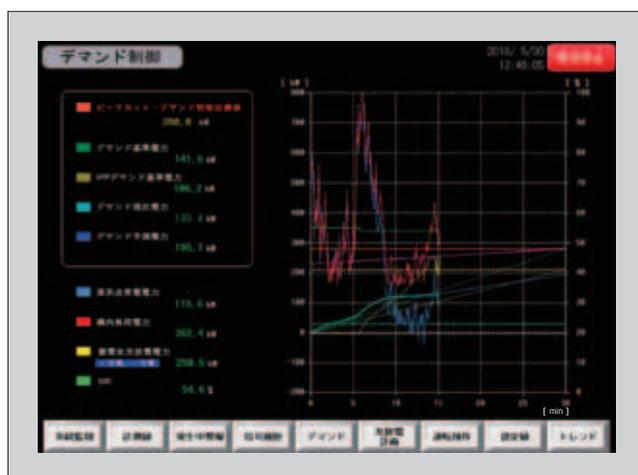


図8 デマンド監視画面の例

4 ヒューマンマシンインタフェース

蓄電池システムの運用・保守に必要となる各種画面を制御装置前面に表示し、操作可能なタッチパネルを設けている。これにより、視認性と操作性が大幅に向上するとともに、取扱説明書に頼らない直観的な操作を可能にした。電力系統状態監視、高圧開閉器の遠隔開閉指令ができる系統監視画面の事例を図7に、30分デマンドごとの実負荷および蓄電池の充放電監視ができるデマンド監視画面の事例を図8に示す。

発売時期

2018年6月

お問い合わせ先

富士電機株式会社
 営業本部エネルギーソリューション統括部営業第四部
 電話 (03) 5435-7028

小容量 UPS 「GX シリーズ」用ネットワークカード 「Web/SNMP カード II」

“Web/SNMP Card II” Network Cards for “GX Series” Small Capacity UPSs

森藤 裕治郎* MORITO, Yujiro

初見 博‡ HATSUMI, Hiroshi

畠中 伸治‡ HATAKENAKA, Shinji

近年、突発的な落雷や豪雨による電源異常（停電や瞬低）が増加してきている^{(1),(2)}。こうした電源異常に備えるために、無停電電源装置（UPS：Uninterruptible Power System）の導入が必要不可欠である。UPS は、停電が発生すると UPS に接続されているバッテリーを供給源に切り替えて、負荷機器に安定した電力を供給する。

UPS は産業分野では半導体製造装置やデジタルプリンタなどの電源保護として利用され、IT 分野ではデータセンターなどのサーバ機器やネットワーク機器などの電算機器を電源保護として利用される。特に IT 分野では、電源が遮断される前にデータを退避したり、基本ソフト（OS：Operating System）を適切な処理で安全に停止する OS シャットダウン処理を行ったりすることが必要である。UPS に UPS 管理システムを連携させることで、バッテリーの電力が残っている間に OS シャットダウン処理を自動で実行させることができ、無人化されたサーバールームなどの IT 機器を電源異常から守ることができる（図1）。

UPS 管理システムには、サーバや PC などのコンピュー

タにインストールして動作させるアプリケーションソフトウェアと、UPS に直接実装してネットワーク経由で管理が可能なネットワークカードによるものがある。前者では UPS 管理用として専用のコンピュータが必要になるのに対し、後者では UPS に組み込むので専用コンピュータは不要となる。データセンターなどの IT 分野では限られたスペースに多くのサーバを配置するため、後者の省スペースタイプのニーズが高い。また、昨今の IT 分野では、ネットワークの暗号化や仮想化技術を取り込んだ技術への対応が重要視されるようになってきている。

本稿では、これらの機能に対応した小容量 UPS 「GX シリーズ」用ネットワークカード「Web/SNMP カード II」について述べる。

1 特徴

今回開発した Web/SNMP カード II を図2に、Web/SNMP カード II と既存品（Web/SNMP カード）の機能比較を表1に示す。

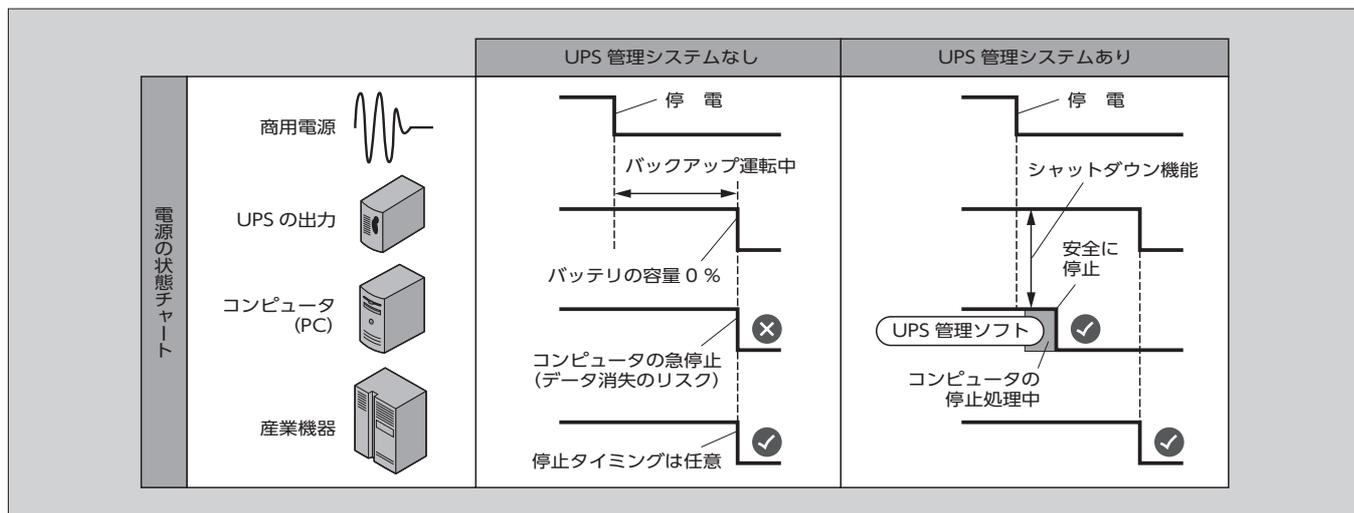


図1 UPS 管理システムの役割

* 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電源機器開発部

‡ 富士電機株式会社営業本部ファクトリーオートメーション統括部営業第四部

‡ 富士電機株式会社パワエレシステムインダストリー事業本部オートメーション事業部業務第一部

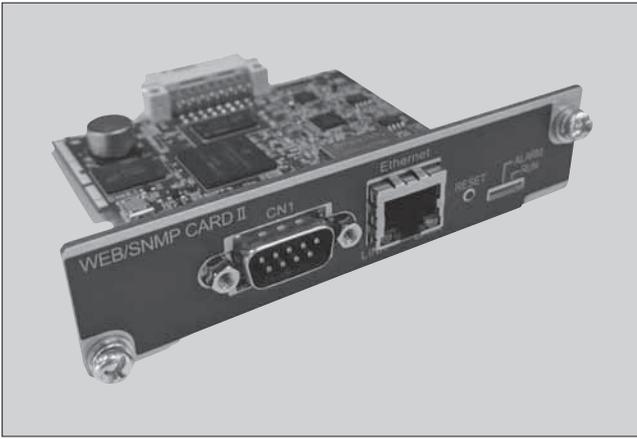


図2 「Web/SNMP カードⅡ」

表1 新旧機能比較表

項目		開発品	既存品
呼称		Web/SNMPカードⅡ	Web/SNMPカード
ハードウェア仕様		Cortex-A9/M4 マルチコアCPU	V850 シングルCPU
Ethernet*通信		10M/100M/1,000M (ギガビット対応)	10M/100M
IPアドレス		IPv4, IPv6, IP自動設定	IPv4
Web接続		HTTP, HTTPS	HTTP
セキュリティ接続		SSH2.0 (制約なし)	SSH (制約あり)
SNMP		v1, v2c, v3 (暗号化対応)	v1, v2c
メール通知	認証	PLAIN, LOGIN, MD5	なし
	暗号化	SMTPS	なし
ログ	イベント	1,000件	800件
	計測	30日間	2日間
瞬停通知		メール&ログ	なし
マルチ言語		リアルタイム切替 (日英)	言語ファイルで切替

*Ethernet : 富士ゼロックス株式会社の商標または登録商標

1.1 セキュリティ

従来、データセンターなどで管理用に使用される閉域ネットワークは、インターネットのような広域ネットワークほどのセキュリティは必要なかった。しかし、近年では、ワイヤレス通信やUSB (Universal Serial Bus) 通信などの一時的な利用を目的とした接続や、仮想ネットワーク (VPN : Virtual Private Network) などの物理的に接続された状態でソフトウェアによって回線を分離する仕組みが普及してきている。そのため、従来のように独立して構成することは困難になってきているため、閉域ネットワークにおいてもセキュリティを確保することが課題になっている。

暗号化による通信データの盗聴防止や改ざん防止、接続元のデジタル証明書などを使ったなりすまし防止などのセキュリティの実装には、暗号化処理で高速演算が必要である。

本開発品では、既存品ではできなかった高速演算

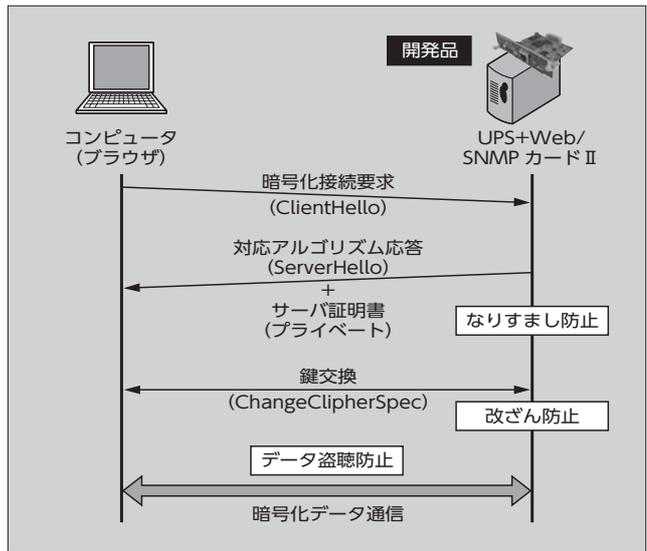


図3 TLS 接続のしくみ

を可能としたプロセッサ (ARM : Advanced RISC Machines) を搭載し、暗号化通信 (TLS1.2 : Transport Layer Security) で標準化されているハッシュアルゴリズム SHA-256 (Secure Hash Algorithm) を実装しており、高度な暗号化によってセキュリティを実装することで、安全なネットワーク通信に対応している (図3)。

1.2 Internet Protocol Version6 (IPv6)

2001年1月施行の「高度情報通信ネットワーク社会形成基本法」による“e-Japan 重点計画”に明記されたことで、わが国においてもIPv6の利用は拡大している。OSやスマートフォンなどのネットワーク接続機器にはIPv6が実装されていてユーザが意識することなく使える環境が整備されてきた。

産業分野では、IPv6はこれまでニーズとしては少なかったため実装は遅れていた。しかし、IT分野のネットワークインフラにおいてIPv6は一般的となっているため、従来のIPv4とIPv6が混在した環境が産業分野で増加している。

本開発品では、IPv4とIPv6が混在した環境にも対応できるように、IPv4とIPv6の両方を搭載したデュアル

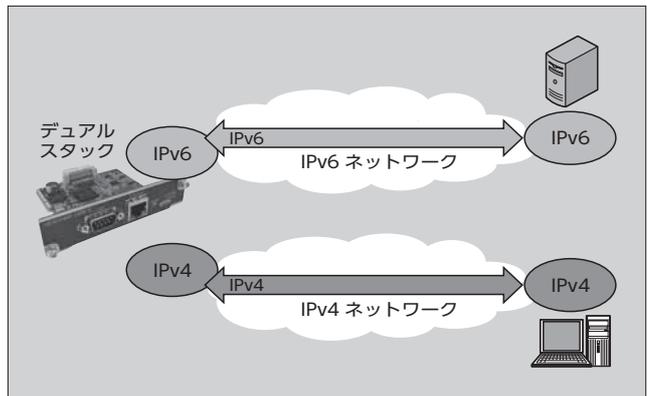


図4 IPv4とIPv6のデュアルスタックの構成

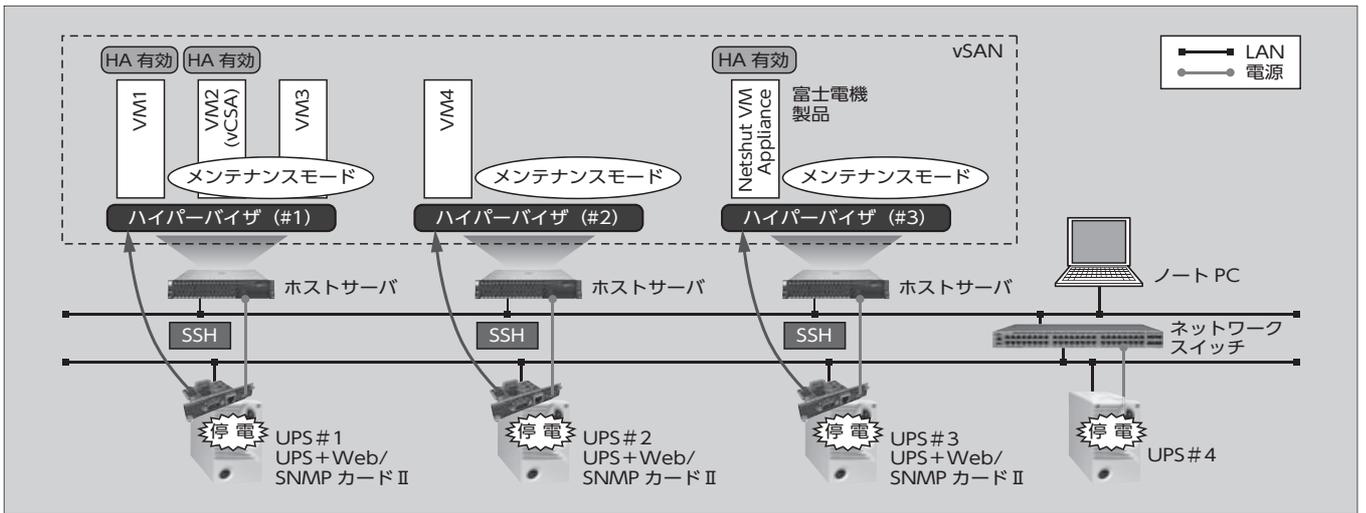


図5 SSH通信を使った仮想化システムとの連携

スタック (図4) を備えている。IPv6 ではアドレス長が 128 bit に拡張されているため、手動でアドレスを設定することが困難である。そこで、ホスト名で置き換えるシステム (DNS : Domain Name System) や自動でアドレスを設定するシステム (DHCPv6 : Dynamic Host Configuration Protocol version 6) も備えている。

1.3 仮想化システムへの対応

コンピュータの高度化が進むにつれて、1台の高性能なサーバ上で、複数の仮想的なサーバを運用する仮想化システムが普及している。仮想化システムは、仮想サーバを管理する物理サーバ (ハイパーバイザ) とストレージで分散構成され、故障などの異常が発生してもクラスタ構成のような冗長化により高可用性 (HA : High Availability) を持っている。こうしたシステムに UPS を導入した場合、電源異常時の動作やシステム停止のタイミングを判断することが難しい。

本開発品が実装しているハイパーバイザと直接通信が行える機能 (SSH2.0 : Secure Shell) によって、最大 8 台までのハイパーバイザをシャットダウンさせることができる。これにより、これまで難しかった大規模な仮想

化システム (HCI : Hyper-Converged Infrastructure) にも対応できる (図5)。

参考文献

- (1) 国土交通省. “最近の自然災害と防災・減災の取り組みについて”. 2018. http://www.zenkokubousai.or.jp/download/reiwa_nittei01.pdf, (参照 2019-06-13).
- (2) 電気事業連合会. IEEJ. 2018-10-15. <https://eneken.ieej.or.jp/data/8119.pdf>, (参照 2019-06-13).

発売時期

2019年9月

お問い合わせ先

富士電機株式会社
 パワエレシステム インダストリー事業本部オートメーション事業部業務第一部
 電話 (03) 5435-7091

第7世代「Xシリーズ」1,200 V/2,400 A RC-IGBT モジュール

7th-Generation “X series” 1,200 V/2,400 A RC-IGBT modules

高崎 愛子* TAKASAKI, Aiko

掛布 光泰* KAKEFU, Mitsuhiro

山野 彰生* YAMANO, Akio

人口増加や経済成長により、エネルギー需要は世界的に拡大の一途をたどっている。CO₂ 排出抑制による地球温暖化対策や、安全・安心で持続可能な社会を実現するために、電気エネルギーを効率的に変換するパワーエレクトロニクス技術への期待が高まっている。中でも、産業、民生、自動車、再生可能エネルギーといった幅広い分野で用いられる電力変換装置のキーデバイスとして、パワー半導体である IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールの需要が拡大している。

電力変換装置の小型化や低コスト化、高性能化に伴い、IGBT モジュールのパワー出力拡大や高信頼性が求められる。富士電機は、チップおよびパッケージの技術革新により、高いパワー出力および信頼性を実現した第7世代「Xシリーズ」IGBT モジュールを製品化した。

図1に示す IGBT と FWD (Free Wheeling Diode) の機能を1チップ化した RC-IGBT (Reverse-Conducting

IGBT: 逆導通 IGBT) を開発した。この RC-IGBT 技術と前述の X シリーズ技術を組み合わせることで、IGBT モジュール内に搭載する定格電流当たりの半導体チップの総面積を低減した。これにより、同一サイズの製品において定格電流の拡大を実現し、従来技術では困難であったさらなる高パワー出力を達成できる新製品を開発した。

本稿では、開発した第7世代「Xシリーズ」RC-IGBT モジュール“PrimePACKTM 3+” 1,200 V/2,400 A について述べる。

1 特徴

表1に、開発品と従来品の外観およびラインアップを示す。RC-IGBT やパッケージの技術革新によって、耐圧1,200 V の製品において従来 1,800 A が最大であった定格電流を 2,400 A まで拡大した。

2 適用技術

2.1 チップ技術

図2に、Xシリーズ RC-IGBT の断面構造および等価回路を示す。従来品では IGBT と逆並列で接続していた FWD の2チップを必要としたが、RC-IGBT は IGBT と FWD の機能を1チップ化しているため、1チップで従来品と同じように順方向と逆方向の両方に通電することができる。

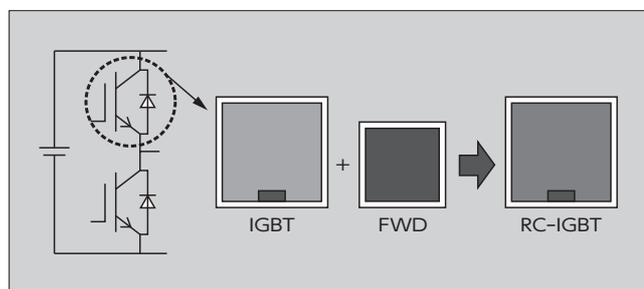


図1 RC-IGBT のチップ概略図

表1 製品の的外観およびラインアップ

		定格電流 (A)		
		1,400	1,800	2,400
1,200 V	Vシリーズ	V-IGBT + V-FWD		
	Xシリーズ	X-IGBT + X-FWD		X-RC-IGBT
製品外観	従来品	(単位: mm) PrimePACK TM *3		開発品 (単位: mm) PrimePACK TM *3+

*PrimePACKTM: Infineon Technologies AG の商標または登録商標

* 富士電機株式会社電子デバイス事業本部産業事業部産業モジュール部

〈注〉 PrimePACKTM: Infineon Technologies AG の商標または登録商標

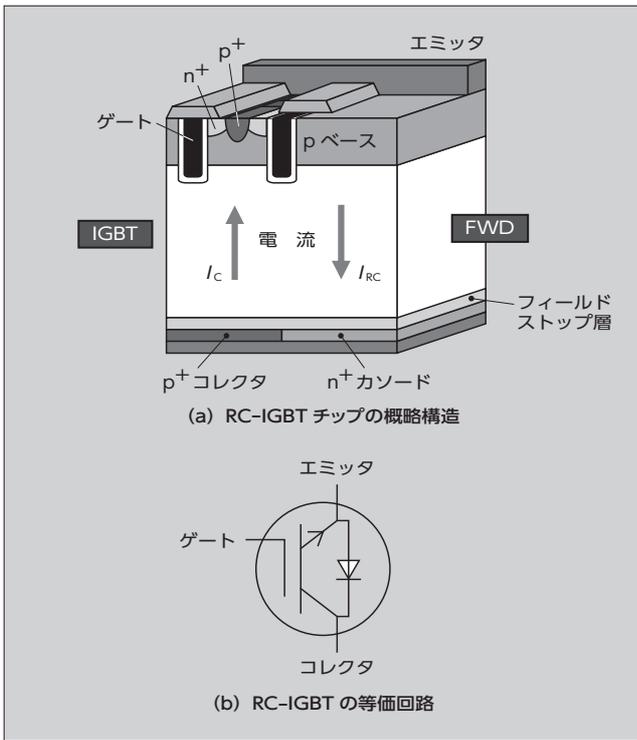


図2 第7世代「Xシリーズ」RC-IGBTの断面構造および等価回路

また、Xシリーズの表面構造をさらに微細化するチップ技術と薄ウエーハ化技術を適用することで、同一スイッチングエネルギー E_{off} の場合、Xシリーズ IGBT モジュールは従来の「Vシリーズ」と比較してコレクタ・エミッタ飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ を約0.6V低減した。一般的に、薄ウエーハ化技術の適用は、耐圧低下やターンオフ時の電流・電圧発振が懸念される。この課題に対し、Xシリーズのチップ技術である裏面に設けたフィールドストップ (FS) 層の最適化によって、耐圧低下や発振を抑制した。

2.2 パッケージ技術

Xシリーズ IGBT モジュールではさらなるパワー出力拡大のために、従来のVシリーズと比較して、動作時のチップ接合温度 T_{vjop} を150℃から175℃に拡大した。しかしながら、この動作保証温度の拡大に伴って熱による材料の強度が落ちるだけでなく、熱応力も拡大するため、チップ上のアルミニウムワイヤ接合部やんだ接合部の劣化が加速し、製品寿命が低下する懸念がある。また、一般的にシリコンゲルは高温環境下において、ゲルが裂けて絶縁性能が低下する懸念がある。Xシリーズでは、ワイヤボンディングの最適化、んだ材料およびシリコンゲル材料を開発し、これらの課題を解決した。

さらに、高放熱 AlN 絶縁基板を採用することで、チップ接合部-ケース間の熱抵抗を低減し、放熱性を向上させている。

Xシリーズではこれらの技術革新により、パワー出力の拡大と高信頼性の両立を実現した。

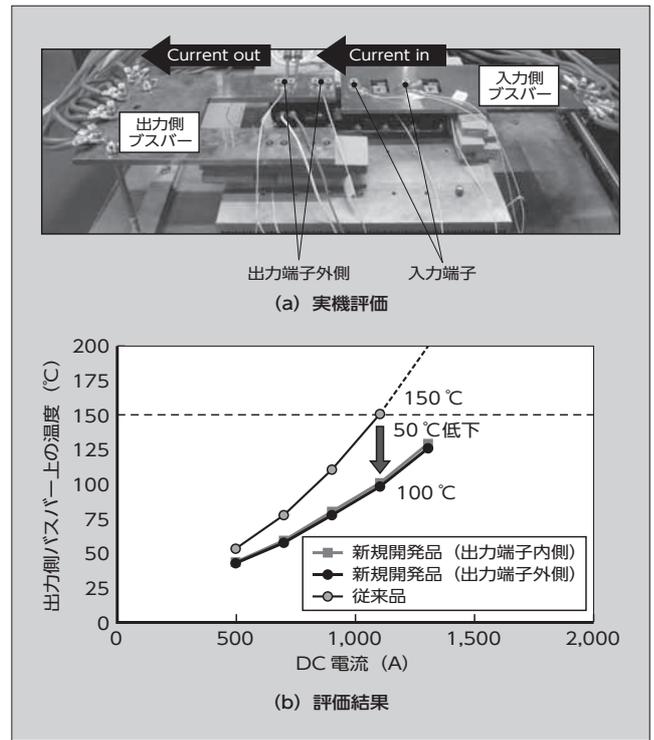


図3 通電評価と端子温度評価結果

③ 端子温度低減によるパワー出力拡大

高いパワー出力の実現のためには、半導体チップの特性改善だけでなく、パッケージの通電能力の拡大も必要である。これは大きな出力電流を流すと、端子温度が過剰に上昇する懸念があるためである。

開発品では、この端子温度の上昇を抑えるため、表1の製品外観の白枠箇所に示すように、出力端子の数を従来品の1端子から2端子に増やしている。

図3に、従来品と開発品の端子温度を評価した結果を示す。開発品では出力端子数が増えたことで、通電時の電流を分流させることができる。これにより、従来品と比較して端子温度が50℃低くなった。

この高い通電能力によって、従来品に比べて端子を流れる電流による発熱を大幅に下げたことで、より高い出力に対応することのできる。

④ “1,200V/2,400A” IGBT モジュールの特性

前述のとおり RC-IGBT では、従来方式である IGBT と FWD の組合せに対して、半導体チップ総面積は減少する。ただし、従来方式の IGBT チップと FWD チップと個別に比較すると、チップ面積は RC-IGBT の方が大きい。そのため、RC-IGBT は IGBT や FWD に比べてチップ接合部-ケース間の熱抵抗が低減し、高い放熱能力を持つという長所がある。

図4に、インバータ動作時の消費電力計算結果を示す。開発品は従来品に対してほぼ同等のインバータ消費電

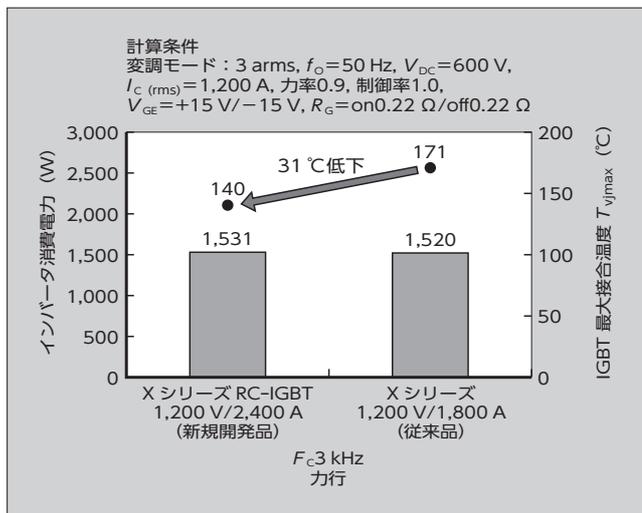


図4 インバータ動作時の消費電力計算結果

力を示している。この同等の消費電力と RC-IGBT の特徴である高い放熱能力により、開発品は従来品に比べて T_{vjmax} が 31°C も低下する。

次に、図5 にインバータ出力電流と IGBT 最大接合温度 T_{vjmax} の計算結果を示す。開発品を採用した電力変換装置の出力電流を、従来品に比べて 23% 拡大できる。

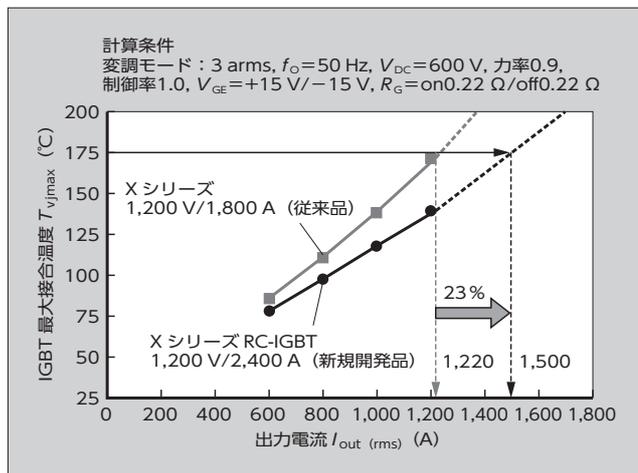


図5 出力電流と IGBT 最大接合温度の関係

発売時期

2020年1月

お問い合わせ先

富士電機株式会社
 電子デバイス事業本部営業統括部営業第一部
 電話 (03) 5435-7152



略語（本号で使った主な略語）

ACB	Air Circuit-Breaker	気中遮断器
AI	Artificial Intelligence	人工知能
BCP	Business Continuity Plan	事業継続計画
BG	Balancing Group	バランスンググループ
BI	Business Intelligence	
CBC	Circuit-Breaker Controller	
CT	Current Transformer	変流器
DC	Data Center	データセンター
DCC	Disconnect Controller	
DCU	Data Concentrator Unit	
DS	Disconnect Switch	断路器
DSP	Digital Signal Processor	
DT	Distribution Transformer	
EGCS	Exhaust Gas Cleaning Systems	排ガス浄化システム
EMS	Energy Management System	エネルギー管理システム
EPC	Engineering Procurement and Construction	
EV	Electric Vehicle	電気自動車
FACTS	Flexible AC Transmission System	
FEP	Front End Processor	
FIT	Failure In Time	
FTU	Feeder Terminal Unit	
FWD	Free Wheeling Diode	
GCB	Gas Circuit-Breaker	ガス遮断器
GIS	Gas-Insulated Switchgear	ガス絶縁開閉装置
GMC	Grandmaster Clock	
GOOSE	Generic Object-Oriented Substation Events	
GPRS	General Packet Radio Service	携帯電話網を使った通信方式
HES	Head End System	
HMI	Human Machine Interface	
ICT	Information and Communication Technology	
IED	Intelligent Electronic Device	
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	
IoT	Internet of Things	
JEPX	Japan Electric Power Exchange	日本卸電力取引所
JIT	Just-In-Time	
LBS	Load Break Switch	高圧負荷開閉器
LIB	Lithium Ion Battery	リチウムイオン電池
LRT	Load Ratio Control Transformer	負荷時タップ切替変圧器
MC	Electromagnetic Contactor	電磁接触器
MCCB	Molded-Case Circuit-Breaker	配線用遮断器
MDMS	Meter Data Management System	
MTBF	Mean Time Between Failure	平均故障間隔
MTTR	Mean Time To Recovery	平均復旧時間
MU	Merging Unit	
NTP	Network Time Protocol	
O&M	Operation and Maintenance	
OCCTO	Organization for Cross-regional Coordination of Transmission Operators	電力広域的運営推進機関
OMS	Outage Management System	
PCS	Power Conditioning System	パワーコンディショナ
PLC	Programmable Logic Controller	プログラマブルコントローラ
PPS	Power Producer and Supplier	特定規模電気事業者
PTP	Precision Time Protocol	
PUE	Power Usage Effectiveness	電力使用効率
PV	Photovoltaic	太陽電池
PWM	Pulse Width Modulation	
RB-IGBT	Reverse-Blocking IGBT	逆阻止 IGBT

RC-IGBT	Reverse-Conducting IGBT	逆導通 IGBT
RTU	Remote Terminal Unit	
SAIDI	System Average Interruption Duration Index	
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index	
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	
SLF	Short Line Fault	近距離線路故障
SM	Smart Meter	スマートメータ
SOC	State Of Charge	
SSSC	Static Synchronous Series Compensator	静止型同期直列補償装置
STS	Static Transfer Switch	
SV	Sampled Values	
SVC	Static Var Compensator	
SVR	Step Voltage Regulator	自動電圧調整器
UPS	Uninterruptible Power System	無停電電源装置
USB	Universal Serial Bus	
VCB	Vacuum Circuit-Breaker	真空遮断器
VCT	Voltage Current Transformer	
VNC	Virtual Network Computing	
VPN	Virtual Private Network	
VPP	Virtual Power Plant	バーチャルパワープラント
VT	Voltage Transformer	計器用変成器

商標（本号に記載した主な商標または登録商標）

Ethernet	富士ゼロックス株式会社の商標または登録商標
MODBUS	Schneider Automation, Inc. の商標または登録商標
PrimePACK™	Infineon Technologies AG の商標または登録商標
Simulink	The MathWorks, Inc. の商標または登録商標

その他の会社名、製品名は、それぞれの会社の商標または登録商標である。



Innovating Energy Technology

エネルギー技術を、究める。

電気、熱エネルギー技術の革新の追求により、
エネルギーを最も効率的に利用できる製品を創り出し、
安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献します。

F **富士電機**



主要事業内容

パワーエレクトロニクス エネルギー

確かな技術で電力インフラを支え、エネルギーの安定供給、最適化、安定化に貢献します。

エネルギーマネジメント

エネルギーマネジメントシステム (EMS), 電力流通, スマートメータ, 変電

施設・電源システム

データセンター, 無停電電源装置 (UPS), 配電盤

器具

受配電・制御機器

パワーエレクトロニクス インダストリー

パワーエレクトロニクス応用製品に計測機器, IoT を組み合わせ、工場の自動化や見える化により生産性の向上と省エネを実現します。

オートメーション

インバータ, モータ, FA コンポーネント, 計測機器, FA システム, 物流システム, 駆動制御システム, 計測制御システム, 工業電熱

社会ソリューション

鉄道車両電機品, EV システム, 放射線管理システム, 船舶用排ガス浄化システム

情報ソリューション

情報制御システム

電子デバイス

高い品質, 変換効率を実現, 小型化・省エネ化に貢献します。

半導体

産業分野 (第7世代 IGBT モジュール, All-SiC モジュール, 小容量 IPM, パワー MOSFET)
自動車分野 (車載用直接水冷型パワーモジュール, 圧力センサ)

ディスク媒体

発電プラント

高度なプラントエンジニアリング力で、設計・製作から現地据付・試運転・アフターサービスまで一貫して提供します。

再生可能・新エネルギー

地熱発電, 水力発電, 太陽光発電, 風力発電, 燃料電池

発電プラント

火力発電, 原子力関連設備

食品流通

自動化・省エネを食の安全・安心とともに提供します。

自販機

飲料・食品自動販売機

店舗流通

店舗設備機器, 金銭機器, エネルギー管理システム

*本誌に掲載されている論文を含め、創刊からのアーカイブスは下記 URL で利用できます。

富士電機技報 (和文)

https://www.fujielectric.co.jp/about/company/contents_02_03.html

FUJI ELECTRIC REVIEW (英文)

<https://www.fujielectric.com/company/tech/contents3.html>

富士電機技術期刊 (中文)

<http://www.fujielectric.com.cn/jtkw.html>



次号予定

富士電機技報 第92巻 第4号

特集 エネルギーマネジメントに貢献するパワー半導体

富士電機技報企画委員会

企画委員長 近藤 史郎

企画委員幹事 吉田 隆

企画委員 荻野 慎次 斎藤 哲哉 片桐 源一 渡部 雅教

熊谷 明恭 益田 真次 吉田 隆 桑山 仁平

眞下 真弓 大山 和則

特集委員 渡部 雅教 富永 保隆 中野 雅仁

事務局 木村 基 小野寺拓也 小野 直樹 高橋 徹

富士電機技報 第92巻 第3号

令和元年9月20日 印刷 令和元年9月30日 発行

編集兼発行人 近藤 史郎

発行所 富士電機株式会社 技術開発本部
〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目11番2号
(ゲートシティ大崎イーストタワー)

編集・印刷 富士オフィス&ライフサービス株式会社内
「富士電機技報」編集室
〒191-8502 東京都日野市富士町1番地
電話 (042) 585-6965
FAX (042) 585-6539

発売元 株式会社オーム社
〒101-8460 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地
電話 (03) 3233-0641
振替口座 東京 6-20018

定価 本体700円+税

*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。

© 2019 Fuji Electric Co., Ltd., Printed in Japan (禁無断転載)

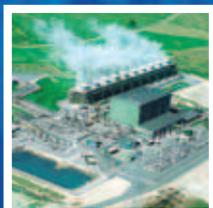
エネルギー・環境事業で、
持続可能な社会の実現に貢献します。



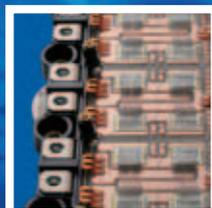
Innovating Energy Technology

エネルギー技術を、究める。

電気、熱エネルギー技術の革新の追求により、
エネルギーを最も効率的に利用できる製品を創り出し、
安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献します。



耐食・材料・熱水利用技術
地熱発電プラント



デバイス技術
IGBTパワー半導体



パワーエレクトロニクス技術
メガソーラー向けPCS
(パワーコンディショナ)



パワーエレクトロニクス技術
インバータ



パワーエレクトロニクス技術
UPS(無停電電源装置)



熱交換・冷媒制御技術
ハイブリッドヒートポンプ式
自動販売機

F 富士電機

本誌は、環境に配慮した FSC® 認証紙および
植物油インキを使用しています。また、ユニ
バーサルデザイン(UD)の考えに基づいた
見やすいデザインの文字を採用しています。

