

一般論文

関連するSDGs



# 持続的な成長を支える スマート電力供給システム (SPSS)

Smart Power Supply Systems (SPSS) to Support Sustainable Growth

藤原 基 伸      田 中 康 博  
Fujiwara Motonobu      Tanaka Yasuhiro  
栗 尾 信 広  
Kurio Nobuhiro

## 概要

カーボンニュートラル、持続可能な社会の実現に向けた取組みが世界規模で加速する中、当社は、新中長期計画「VISION2025」の6つの成長戦略で「持続可能な地球環境とあらゆる人々が活躍する社会の実現」に貢献することを目指している。その中で「SPSS<sup>(\*)</sup> (Smart Power Supply Systems: スマート電力供給システム)」は、環境・エネルギー分野の成長戦略を支えるソリューションビジネスとなる。本稿では、近年のSPSSの取組みを紹介する。

## Synopsis

As efforts to realize a carbon-neutral and sustainable society are accelerating on a global scale, we have started new medium- to long-term plan, VISION2025, and are aiming to contribute to "The realization of a sustainable global environment and a society in which all people can play an active role" through six growth strategies. Among them, SPSS (Smart Power Supply Systems) are solution business that support our growth strategies in the environment and energy fields. This paper will introduce the recent efforts of SPSS.

## 1. はじめに

地球環境に配慮した新たなエネルギー社会への転換が求められる中、太陽光発電 (PV発電)、風力発電などの再生可能エネルギー (再エネ) の主力電源化や、再エネの大量導入を持続可能なものとしていくための次世代電力ネットワーク構築などの検討が進んでいる。需要家においても、企業経営の新たな課題として、脱炭素化に取り組むことが要求されており、エネルギー消費効率の高い設備の採用や運用改善、エネルギーマネジメントなどの対策が求められている。

このような環境下において、当社では従来の機器販売のみならず、これまで培ってきた受変電システム技術、電力系統技術にソフトウェアやネットワーク技術を融合し、「コンポーネント+センサ+システム+ノ

ウハウ」を組み合わせ、電力の安定的な確保、省エネ、省コスト、CO<sub>2</sub>排出量削減といったお客様のさまざまなニーズにソリューションを提供する事業「スマート電力供給システム (SPSS)」を展開してきた (表1)。

表1 SPSSシリーズ

対象市場	該当するSPSSシリーズ
工場・オフィスビル	SPSS-F (Factory)
水処理場	SPSS-W (Water)
発電所・変電所	SPSS-G (Grid)
離島	SPSS-I (Island)
住宅街・家庭	SPSS-H (Home)

この事業は、当社の新中長期計画「VISION2025」の6つの成長戦略のうち「デジタルトランスフォーメーション (DX) の製品・事業への適用」、「環境配慮製品の拡大」、「再生可能エネルギー対応」、「分散型エネルギー対応」をカバーするものである (図1)。

本稿では、SPSSの実規模実証の現状とSPSSにて注力するソリューションとして、エネルギー管理システム (EMS)、環境指向受変電システム、および、風力発電連系システム、直流配電システムへの取組みを紹介する。

## 2. SPSS実規模実証の概要

SPSSの実規模実証としては、2011年から当社本社工場における110kW PV発電システムの導入や、工場・事務棟の消費電力の見える化に取組んだ。その後は規模を拡大して、前橋製作所における実証に取り組んでいる<sup>(1)</sup>。

前橋製作所では、分散型エネルギー社会を見据えて、多様な分散型電源を安定的、効率的、経済的に利活用することを目指し、66kV 特高受変電設備に550kWのPV発電システム、700kWのコージェネレーションシステム (CGS)、96kWhの電池電力貯蔵システム (BESS) とEMSを組み合わせた実規模レベルのシステムを構築し、2014年3月から実証を開始した。さらに、これらの分散型電源を最適に制御するEMSとなるENERGYMATE<sup>(\*)2)</sup>-Factory (ENERGYMATE-F) を開発<sup>(2)</sup>し、実規模実証に導入した。このENERGYMATE-Fの最適化演算には、住友電気

工業株式会社の エネルギー管理システムsEMSA<sup>(\*)3)</sup> を活用している。2016年4月より実運用を開始し、5年以上問題なく運用継続している。

また、実規模実証で得た技術を活かしてSPSSとしてのソリューションビジネス事業を開始した。

さらにSPSSは、非常用発電機に蓄電池を組み合わせ、ピークカットとBCP (瞬低・停電対策) の両方を実現するシステムUPS<sup>(\*)4)</sup> の開発や、バーチャルパワープラント (VPP) 実証へ展開するなど常に進歩を続けている。

そして、2019年6月から当社研修施設「日新アカデミー研修センター (研修センター)」において、再エネのさらなる利用拡大に向けたSPSSの新たなソリューション創出のための「自家消費PVシステム」と「直流配電システム」実証を開始した。図2はSPSS実規模実証の全体イメージを示しており、次章に研修センターの実証内容を紹介する。

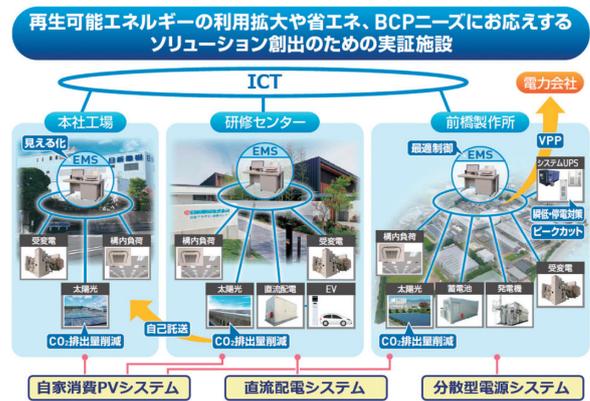


図2 SPSS実規模実証 全体イメージ

## 持続的に成長を続けるための6つの成長戦略

SPSSでカバー

**環境配慮製品の拡大**

- SF6ガスフリー
- 電力損失の低減
- 絶縁油の生分解性油採用の推進

**再生可能エネルギー対応**

- 大規模風力・太陽光発電需要の捕捉
- 広域連系プロジェクトへの取り組み強化

**分散型エネルギー対応**

- 自家消費市場におけるSPSSの受注拡大
- 直流配電システム製品の早期市場投入

**DXの製品・事業への適用**

- EMSによる分散型電源・需給調整・系統安定化システムの展開
- AI、IoTを活用した診断技術とリモートメンテナンスの導入によるリカーリング(循環)モデルの構築
- 地域コミュニケーションサービスの展開、省人化ソリューション推進

**新興国環境対応需要の捕捉**

- 各拠点のモノづくりの特徴を活かしたグローバル競争力強化
- 顧客ニーズを的確に捉えたソリューション提案
- ASEAN地域の新需要を迅速に捉えたマーケットインビジネスの事業化

**EV拡大に伴う事業拡大**

- EV搭載用パワーデバイス向け製造装置の開発・拡販
- DLC(ダイヤモンドライクカーボン)コーティングのさらなる普及拡大
- EV向け電力インフラビジネスの事業化検討

図1 6つの成長戦略

### 3. 研修センターにおける新たなSPSS実規模実証

当社では、2019年2月に新設した研修センターを利用して、ますます重要になる再エネの利用拡大、省エネに向けた実規模実証を実施できる設備を導入した。この導入した設備を広く活用することで、SPSSの新たなソリューションとして「自家消費PVシステム」と「直流配電システム」の実証に取り組んでいる。研修センターにおけるシステム構成イメージを図3に示す。

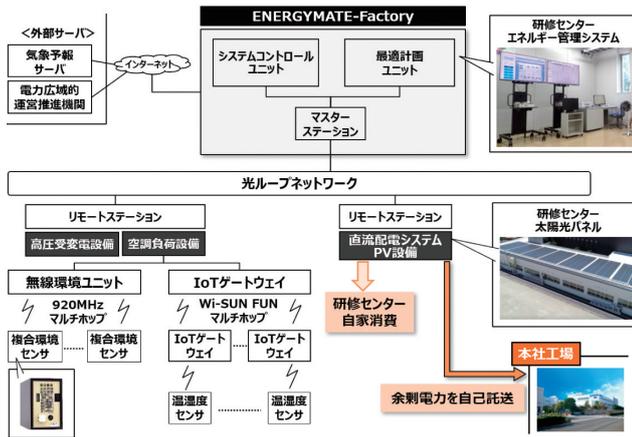


図3 研修センターにおけるシステム構成イメージ

#### 3.1 自家消費PVシステム

研修センターにおいては、自家消費PVと自己託送を利用して、PVの余剰電力を活用するシステムを実現している。自己託送とは、自家発電した電力を電力会社の送配電網を使って、離れた自社拠点で使用できる制度である。

研修センターには、約100kWのPVを導入しており、平日はPV発電電力を自家消費するが、休日などの軽負荷時にはPVの余剰電力が生じる。この余剰電力を本社工場に自己託送することによりPV発電電力を無駄なく活用できる。これによって、CO<sub>2</sub>排出削減量は、自家消費のみの場合の27.1ton-CO<sub>2</sub>/年（試算値）から38.7ton-CO<sub>2</sub>/年（試算値）となり、自己託送をしない場合と比較して約1.4倍の環境負荷軽減に繋がる。

#### 3.2 PV自己託送を実現するEMS

PVの余剰電力を自己託送制度で使用するためには、あらかじめ自己託送する発電量を計画して、計画と同時同量の電力を送電する必要がある。

この実証では、これを実現すべく、PV発電量を制御するEMSをENERGYMATE-Fの追加機能として開発し、システムに実装した。このEMSの詳細については、4章で述べる。この開発により、多様な分散

型電源の最適制御、VPP対応に加え、自己託送にも対応可能となり、ENERGYMATE-Fを中心に、さまざまなソリューションを提供することが可能となった（図4）。

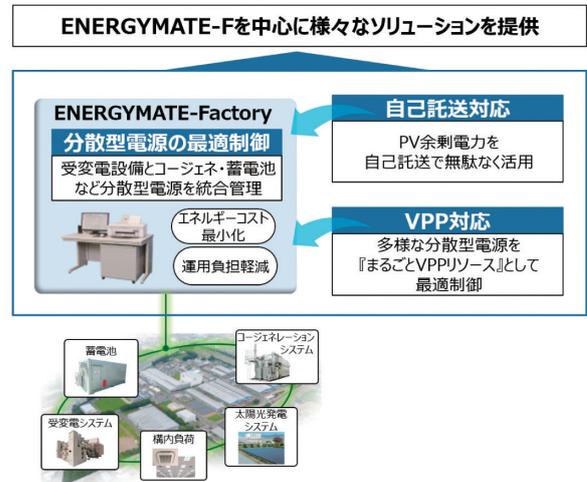


図4 ENERGYMATE-Fによる多様なソリューションの実現

#### 3.3 EMSによる空調の省エネ制御と無線技術活用

研修センターでは、エネルギー消費の省エネへのアプローチにも取り組んでいる。EMSであるENERGYMATE-Fに空調の省エネ制御機能を実装して、電力需要や、室温、不快指数などを考慮した省エネ制御を実現している。

また、ENERGYMATE-Fで実装した省エネ制御機能では、システム構築コスト低減やフレキシビリティを高めるため、無線技術を積極的に活用している。ENERGYMATE-Fのシステム基幹部分には、ネットワークとして信頼性の高い光ループを採用する一方、省エネ制御機能で、空調制御に利用する温度、湿度の環境計測用センサなどの部分には積極的に無線を活用し、用途によりネットワークを使い分けることで、合理的なシステム構築を実現している。

研修センターのEMSでは、当社のIoT技術を活用したシステムとしており、環境計測には当社製品の「複合環境センサ」を用い、情報収集端末には、当社の関係会社である株式会社日新システムズの製品で、国際無線通信規格「Wi-SUN<sup>(\*)</sup> FAN」に対応した「IoTゲートウェイ」を採用している。

#### 3.4 直流配電システム

直流で発電する分散型電源や直流で動作する負荷の増加により直流での配電は、交流・直流変換ロスが低減し、消費エネルギーの削減に貢献すると考え

られる。さらに、再エネの電力変動抑制や余剰電力対策として、低価格化された蓄電池を組み合わせることで、交流系統側の瞬低・停電時には、自立運転によるBCP対応といった直流配電のメリットを生かすことが可能になる。また、需要家間の直流電力融通によるエネルギーの有効活用が可能になると期待される。

当社では、次世代の直流配電システムの実現を目指し、技術・安全面での検証や、課題解決を目的として、研修センターに再エネと蓄電池を組み合わせた直流配電システムを構築して、実規模での検証試験を進めている。

直流配電システムは、商用交流電源を直流に変換する整流器（交直変換器）、半導体直流遮断器（半導体DCCB）、直流変圧器（DC/DCコンバータ）、配電線（フィーダ）で構成され、PV、蓄電池および直流で動作する負荷を接続している。また、大容量直流負荷として、直流で充電する電気自動車（EV）用急速充電器を導入している。実証システムとその外観を図5に示す。また、直流配電システムの詳細は7章で解説する。

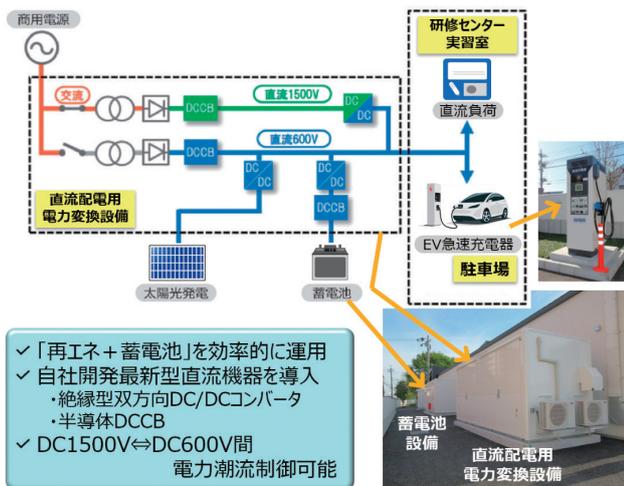


図5 直流配電実証システムとその外観

#### 4. PV自己託送に対応したEMS

前述の通り、自家消費型のPVを導入した場合、休日などの軽負荷時に生じる余剰電力や、既設工場に対して太陽光パネルを設置する場合の設置スペースの確保、屋根耐荷重などの課題がある。余剰電力については、休日にPVを停止することや、出力を抑制する対策が可能であるが、この場合、効率的なPVの運用とならない。また、余剰電力を売電する場合には、自社のCO<sub>2</sub>排出量削減にならず、企業の環境価値の向上には繋がらない。および、余剰電力を貯える蓄電池を活用する

手段も考えられるが、現時点では経済的に見合わない場合がある。これらの対策として、別拠点に太陽光パネルを設置して、その拠点からPV電力を既設工場へ自己託送し、電力を利用する制度がある。

敷地が狭く、発電設備を設置できないケースでは、土地の広い離れた場所に発電設備を設置して自己託送を行うことが可能である。自己託送の活用イメージを図6に示す。

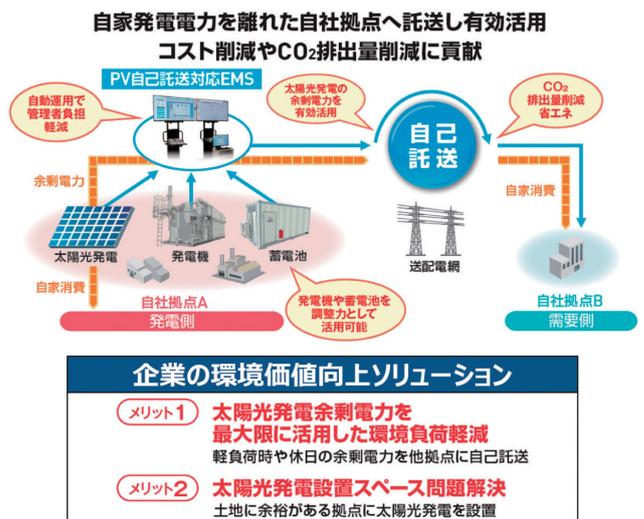


図6 PV自己託送の活用イメージ

しかし、自己託送を活用するには、毎日30分単位の託送電力を事前に計画・通知が必要であり、託送計画順守のための調整など、さまざまな作業が要求され、作業員が直接行うには多大な労力がかかる。そこで当社は、ENERGYMATE-FにPV電力の自己託送に関する運用を全て自動化する機能を実装した<sup>(3)(4)</sup>。

#### 4.1 EMSシステム概要

PV発電量の自己託送に対応したEMSのシステム概要を図7に示す。システムの機能は、大きく「予測」「託送計画」「同時同量制御」で構成される。

「予測」は、発電拠点のPV発電量の予測と需要電力量の予測を行い、ここから余剰電力を導き出す機能である。「託送計画」は、余剰電力から託送計画を立案する機能である。さらに立案した託送計画を電力広域的運営推進機関に通知する。「同時同量制御」は、計画値に対して、同時同量になるように制御を行うプロセスである。託送実績が託送計画を超えることが予測される場合は、PV発電や発電機の出力抑制、蓄電池への充電といった託送抑制制御を行う。これに反して、託送実績が託送計画まで到達しない場合には、発電機の出力増加や蓄電池からの放電などの託送促進制御を行う。

開発したENERGYMATE-Fは、自己託送に関する前述の運用を全て自動化できる。

不安定なPV発電量を自動運用で自己託送するには、託送計画と計画値に対する同時同量が技術のポイントになる。ENERGYMATE-Fの機能である「託送計画立案機能」と「計画値同時同量制御機能」について、以降に解説する。

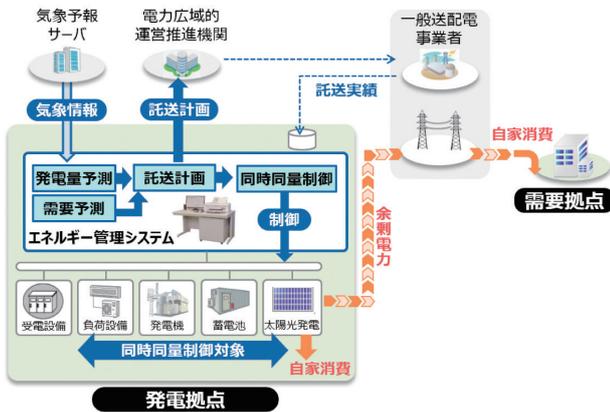


図7 システム概要

#### 4.2 託送計画立案機能

託送計画立案に際しては、PV発電量予測と需要電力量予測をもとに、PV発電の余剰電力量を導く。PV発電の自己託送を行う場合には、発電量が天候に大きく左右されるために、インバランスが発生し易い。このため、インバランスの発生量を考慮した託送計画を立案している。インバランスとは、託送計画と実績値の過不足であり、不足インバランスと余剰インバランスがある。

ENERGYMATE-Fでは、PV発電のみで自己託送を行うことが可能である。この時、託送計画アルゴリズムは、事前の余剰電力量予測に対して計画の託送量を抑えることで実現している。PV発電の場合は、出力を抑制することはできるが出力を上げることはできない。この対策として、事前に計画した直近30分の託送デマンド内で、天候などにより急にPV発電量が低下することをリスクとして想定した当社独自のアルゴリズムを使用している。

託送計画の立案は、計画単位である30分毎に行う。さらに、託送計画を提出する期限直近のPV発電量予測と需要予測により、計画を補正することで、予測精度を高めてインバランスの発生量を抑制している。

#### 4.3 計画値同時同量制御機能

提出した託送計画に対して、託送電力実績が同時同量となるように、分散型電源や負荷を調整力とし

て制御を行う。制御は、託送実績が託送計画を超えることが予測される場合の「託送抑制制御」と、託送実績が託送計画まで到達しない場合の「託送促進制御」を備えている。ENERGYMATE-Fでは、分散型電源の最適制御機能を有しており、お客様のさまざまな設備構成に対応することが可能である。同時同量制御の調整力として制御可能な設備は表2のとおりである。また、「託送抑制制御」機能と「託送促進制御」機能の詳細を以降に記載する。

表2 同時同量制御の対象設備

制御対象設備	調整の方向
PV発電設備	出力抑制
CGSなどの自家発電設備	出力抑制／出力増加
蓄電池	充電／放電
空調など負荷設備	投入（負荷増加）／解放（負荷減少）

#### 4.3.1 託送抑制制御

計画を提出した30分単位内で、早期に託送実績が託送計画を超えると判断した場合に、託送抑制制御を行う。託送抑制制御では、蓄電池の充電制御、CGSの出力抑制制御、PVの出力抑制制御、自家消費の負荷の投入制御を行う。これら制御の優先順位は設定変更可能であり、設定した優先順位に従い制御を行う。

#### 4.3.2 託送促進制御

計画を提出した30分単位内の実績からの残り時間に対する託送量予測値が、しきい値である託送促進ラインを下回ると計画に到達しないと判断して託送促進制御を行う。託送促進制御では、蓄電池の放電制御、CGSの出力増加制御、負荷の解放制御をあらかじめ設定した優先順位に従い、制御出力する。

また、託送促進制御中に託送抑制制御の条件になった場合は、託送抑制制御に移行し、残りの時間は、託送実績が託送計画を超えないように制御を行うことができる。託送抑制制御と託送促進制御のイメージを図8に示す。

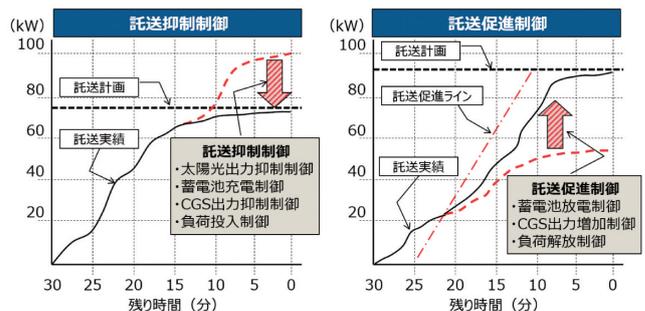


図8 託送抑制制御と託送促進制御

#### 4. 4 研修センターにおける実規模運用評価

当社では、研修センターの定格92.4kWの自家消費PVから、その余剰電力を隣接する本社工場への自己託送運用を2019年11月より実施している。この自己託送運用には、本章で紹介したENERGYMATE-Fを活用しており、管理者が介在することなく無人での自動運用を実現している。

運用評価の一例を図9に示す。ここでは1日のPV発電量と託送計画・実績を示しているが、同時同量をほぼ実現できている<sup>(5)(6)</sup>。

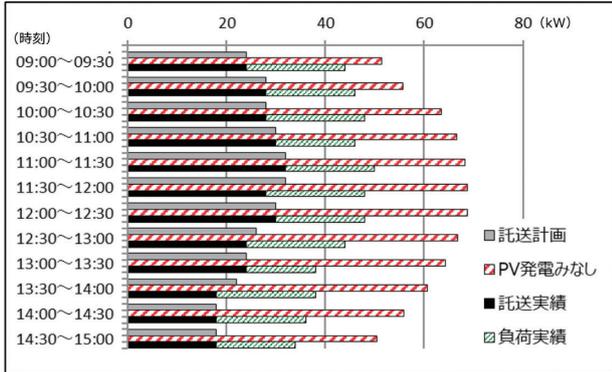


図9 1日のPV発電量と託送計画・託送実績

#### 4. 5 今後の取組み

本章では、PV自己託送を自動運用できるEMSについて紹介した。現在の運用では、インバランスを回避するために、PV出力制御により抑制している余剰電力があるため、今後は抑制量を削減できるよう取組んでいく。

脱炭素社会の実現に向けて、再エネのさらなる導入拡大が欠かせないが、その実現には本章で紹介した自己託送のような固定価格買取制度 (FIT) 以外でのあらたな取組みが重要になる。

当社は、引き続き脱炭素化に貢献する製品、サービス、ビジネスモデルの創出に取組む所存である。

### 5. 環境配慮受変電システムA-XAE変電所

#### 5. 1 開発の背景

当社は、超縮小形ガス絶縁開閉装置「XAE7<sup>(\*6)</sup>」を中心とした民需向け66/77kV変電所 (XAE変電所) を2003年に市場投入し、これまでに国内各所へ800セット弱の納入実績を積み重ねてきた (図10)。

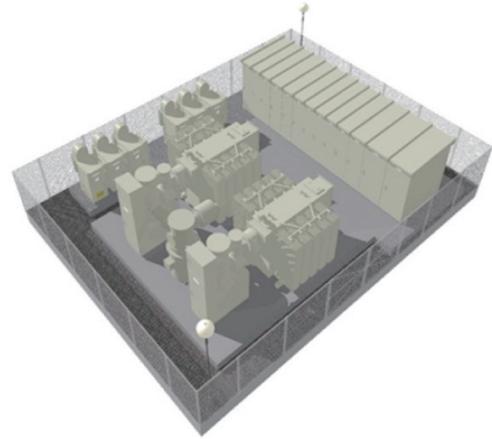


図10 XAE変電所

昨今の受変電設備は、更なるコンパクト化、エネルギーコストミニマム、高機能化、インテリジェント化とともに、電気工事労働人口の減少に伴う現地工事の簡素化、機器製造時、運転時のCO<sub>2</sub>削減など、ニーズが多様化しつつある。

当社では、時代のニーズにあわせ、XAE変電所を構成する各機器に様々な改良を加えるとともに、タッチパネル式監視盤やマルチ構成のコンデンサなどを採用した次世代変電所A (Advanced) -XAE変電所を開発し、市場投入を開始した (図11)。

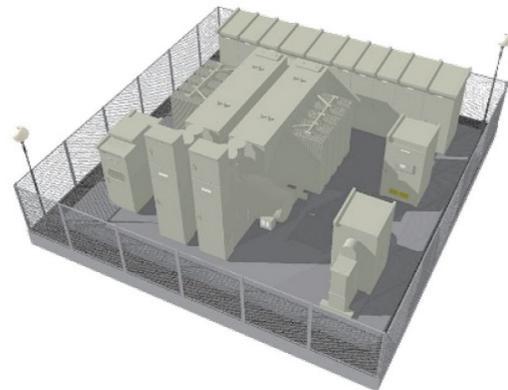


図11 A-XAE変電所

#### 5. 2 A-XAE変電所の特長<sup>(7)</sup>

以下にA-XAE変電所の特長を紹介する。

### 5. 2. 1 縮小化と工期短縮

A-XAE変電所は、変電所を構成する機器に、様々な改良を加えることで、変電所設置面積を大幅に削減できた。66kV受電設備のモデルケースで、従来のXAE変電所と比較して25%の設置面積の縮小化を実現している。

また、小型軽量機器を適用した機器一括輸送の採用、現地施工方法の改善などで、同モデルケースで変電所建設時の現地工事日数を27%の削減を実現した(図12)。

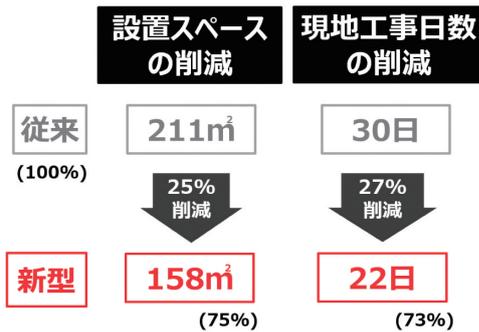


図12 縮小化と工期短縮

### 5. 2. 2 環境負荷低減

A-XAE変電所は、製造～輸送～据付～運転～廃却までの製品ライフサイクル全体で環境負荷 (CO<sub>2</sub>の排出) の低減を実現している。モデルケースでの、機器製作時と運転時のCO<sub>2</sub>排出量の比較を図13に示す。

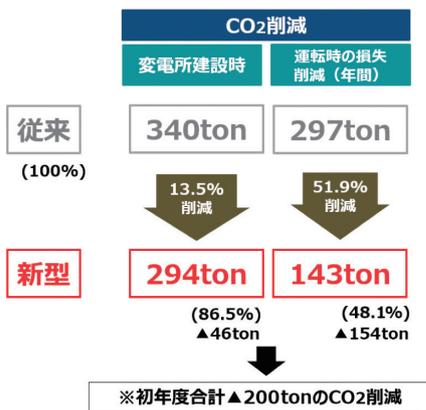


図13 CO<sub>2</sub>排出量の削減

### 5. 3 各機器への適用技術

A-XAE変電所を構成する各機器への適用技術を以下に紹介する。

#### 5. 3. 1 ガス絶縁開閉装置 (GIS)

世界最小クラスのGIS「XAE7」の構成を見直し、計器用変成器 (VCT) を外配置とすることにより、

設置面積を縮小と、さらにケーブルピットの範囲も縮小することができた (図14)。

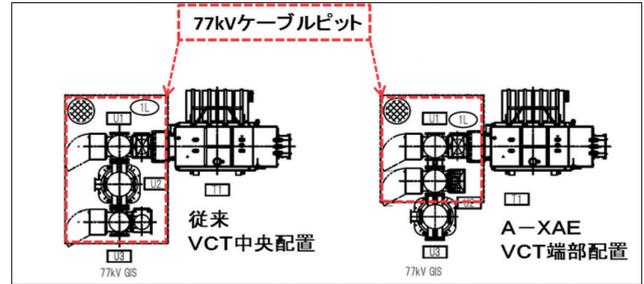


図14 VCT外配置の例

また、開閉所等では、電源用ガス絶縁PVT (Power Voltage Transformer) を採用することにより、所内変圧器の省略が可能となり、省スペース化に貢献している (図15)。

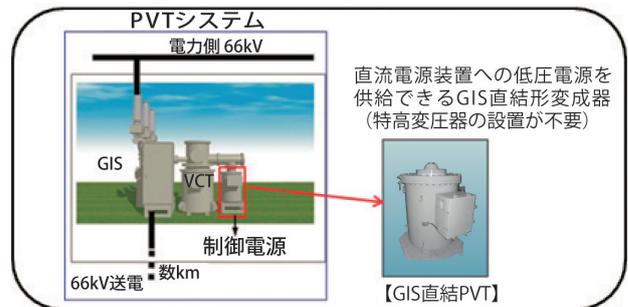


図15 PVTシステム

#### 5. 3. 2 特別高圧変圧器 (TR)

TRは、損失を抑えた超高効率TRを標準とし、運転時の損失を大幅に低減している。また、容量10MVA以下のTRには、片側ラジエーター (図16) を適用することで、背中合わせでの配置を可能とし、変電所面積の縮小化を図っている。

TRに使用する絶縁油は、鉱油を標準としているが、特に環境負荷の低減を重視されるお客様へは、オプションで生分解性絶縁油もラインアップしている。

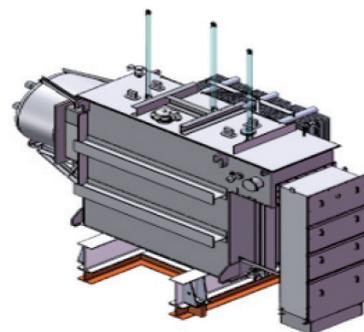


図16 超高効率変圧器 (片側ラジエーター)

### 5. 3. 3 縮小形スイッチギヤ

TR2次設備には、気中絶縁で縮小化を実現した縮小形スイッチギヤ「S-PAC<sup>(\*)7)</sup>」を採用する。本スイッチギヤは、配電線回線をひと箱に2段積みと、3段積みとを選択可能な製品構成となっており、他機能盤との組み合わせも可能とした。そして、真空遮断器 (VCB) の高さを抑えることで、3段積の場合でも、メンテナンス性を向上している (図17)。

また、複合環境センサを標準装備し、ヒータの自動運転や、盤内環境の監視も可能としている。

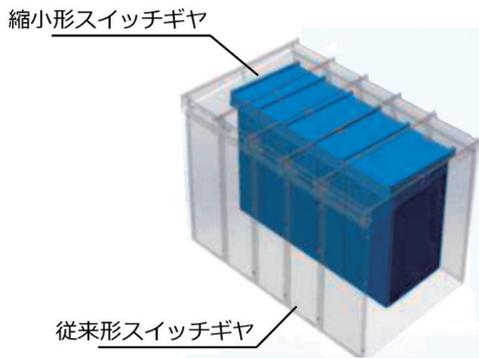


図17 縮小形スイッチギヤ

### 5. 3. 4 特高監視盤

特高監視盤には、タッチパネルを採用し、状態監視、操作、計測、故障表示の機能をタッチパネルに集約して、盤面をシンプルに仕上げた。さらに、タッチパネルには、音声ガイダンス機能を実装し、運転操作をサポートすることで、省人化、省力化に寄与している (図18)。

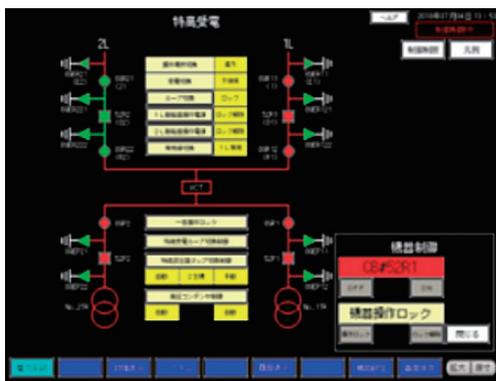
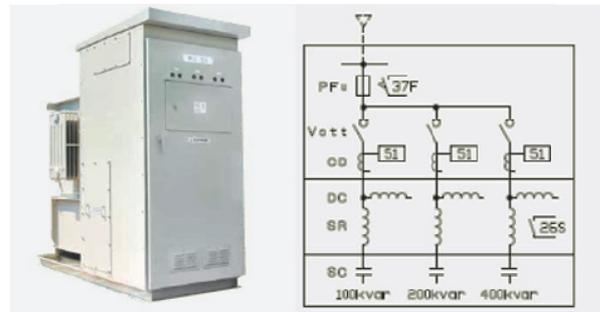


図18 タッチパネル系統図

### 5. 3. 5 コンデンサ設備

コンデンサ設備では、一つの容器に3種類の異なる容量のコンデンサを収納した「スーパーユニバーサルマルチ (図19)」を開発、適用した。これは、1台で7通りの容量切換えが可能であり、細かな力率制御を実現した。また、設置面積の削減も可能である。



PFu : 電力ヒューズ	SR : 直列リアクトル
Vctt : 真空接触器	SC : コンデンサ
CD : 電流検出コイル	37F : PF断
DC : 放電コイル	51 : 過電流
	26S : SR温度上昇

図19 スーパーユニバーサルマルチ

### 5. 3. 6 変電所監視システム (EMS)

変電所監視システムにはEMSである「FACTMATE-s1」を標準適用している。本システムは拡張機能が充実しており、自家消費および、分散電源の最適制御や自己託送といったエネルギーの有効活用と、VPPやマイクログリッドに代表される電力レジリエンス強化など様々な用途に適用可能なシステムとなっている (図20)。

- PLC一体化、配線簡略化
- 拡張機能を充実 (オプション)  
最適制御、自己託送、  
マイクログリッド対応 他



図20 変電所監視システム (EMS)

### 5. 4 現地施工期間の短縮

本節では、現地施工期間の短縮を実現させた、機器一括搬入、露出ベース、コネクタケーブルについて紹介する。

#### 5. 4. 1 機器一括搬入

現地組立時間の短縮のため、GISと、電力会社資産のVCTを当社工場で接続し、この状態で一括搬入した(図21)。



図21 VCTを接続したGIS一括搬入

#### 5. 4. 2 露出ベース

従来、GISやTRは、埋込ベースを採用しており、埋込ベースの設置のために、事前の埋込工事が必要であった。A-XAE変電所では、露出ベースを採用することにより、事前の工事を不要とし、現地工期の短縮を図っている(図22)。



図22 露出ベースの例

#### 5. 4. 3 コネクタケーブル

現地での機器間の制御配線には、コネクタケーブルを採用して、接続時間の短縮を図った。さらには、現地での配線作業を行わないため、接続間違いがなく、信頼性の向上も実現している(図23)。



図23 コネクタケーブル

#### 5. 5 今後の取組み

A-XAE変電所は、現行のXAE変電所をさらに進化させた次世代変電所であり、お客様や施工業者、そして、地球環境にやさしい電気設備として、電力の安定供給に貢献していく。

また、A-XAE変電所は、これが完成形ではなく、常に時代のニーズの変化を見据えて、改良、開発の手を止めることなく、より良い製品として常に変化させていきたい。

### 6. 風力発電連系システム

#### 6. 1 SPSS風力発電パッケージシステム

風力発電は、近年導入が急速に拡大しているが、風況の良い地域は、電力会社の既存電力供給設備(変電所)から離れていることが多く、送電線の長距離化により「自営線方式」を採用する例が増加している。

また、洋上風力の計画も増えており、発電事業者による長距離自営線の設置を行うケースが増えてくることが予想される。

自営線に関して、架空送電では、鉄塔用地の確保、鉄塔・送電線の保守、積雪・雷撃リスクなどの問題があり、保守が容易で景観上の問題も少ない長距離地中ケーブル送電を採用するケースが増えてきている。

一方で、高電圧・長距離交流ケーブル送電は、その静電容量に起因する系統特異現象が発生することがあるため、その適用には十分な事前検討が必要である。

また、電源短絡容量が小さい電力系統に大型の変圧器を接続する場合は、励磁突入電流による電圧降下対策や発電出力変動対策を行う必要がある。

当社では、これまで培ってきた数百メガワットを超える連系設備の豊富な実績と系統解析技術を基に、

- ・連系用変電機器の提供
- ・系統現象の解析と対策立案
- ・対策機器の提供

を一体化した「SPSS風力発電パッケージシステム(図24)」を提供することで、大規模風力発電システムの拡大を支えるとともに、CO<sub>2</sub>削減に貢献していく。

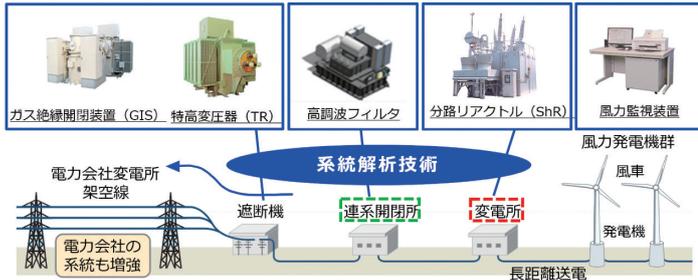


図24 SPSS風力発電パッケージシステム

## 6. 2 系統連系上の技術課題と対策<sup>(8)</sup>

系統連系上の技術課題として、長距離交流ケーブル送電におけるケーブルの対地静電容量に起因する特異現象と対策検討の一例を以下に示す。

### 6. 2. 1 電圧変動対策

送電電圧が高くなるに従い、長距離送電ケーブルでは充電容量 (Qc) が大きくなり、ケーブルの送電可能な有効電力は減少する。この対策として、分路リアクトル (図25) を設置し、無効電力を消費することでケーブルから発生する無効電力を補償することが一般的である。



図25 分路リアクトル

また、常時電圧変動は、電力会社により概ね $\pm 1 \sim 2\%$ 以下と規定されている。長距離ケーブル系統を開閉すると、ケーブル充電容量 (進み電流) により電圧変動が発生し、規定値を超過することがある。この対策として、前述の分路リアクトルや静止型無効電力補償装置 (SVC) を設置し、ケーブル充電容量を相殺することが有効である (図26)。

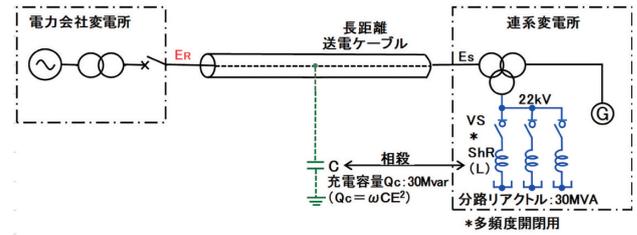


図26 分路リアクトルによる電圧変動対策

### 6. 2. 2 ケーブル残留電荷放電対策

長距離ケーブル系統で遮断器を開放すると、ケーブルの静電容量 (C) にピーク電圧が残留することがある。この状態で遮断器を投入すると、過電圧が発生し、機器を損傷する可能性がある。そこで、対策として計器用変圧器 (VT) の巻線を通して残留電荷を対地へ放電する方法が、採用されている。

ただし、ケーブル残留電荷放電責務は、規格に規定されておらず、VTの放電耐量が不足し、加熱焼損により地絡事故等が発生させることがある。このため、VTの放電耐量の確認が重要で、熱的・機械的性能を検証する必要がある (図27)。

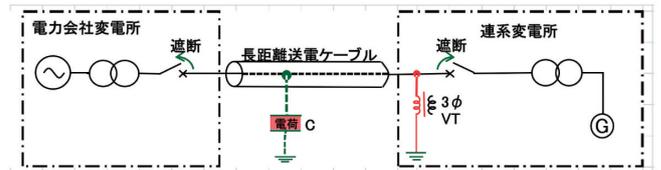


図27 ケーブル残留電荷放電対策

### 6. 2. 3 電流零ミス現象の対策

電源投入や地絡発生により、中性点リアクトル等に電圧が印加されると、突入電流 (遅れ電流 + 直流分電流) が流れる。このうち、遅れ電流分は、ケーブル充電電流 (進み電流) により打ち消され、電流零点のない期間が発生し、系統故障時に遮断器が遮断出来ない恐れがある (図28、図29)。

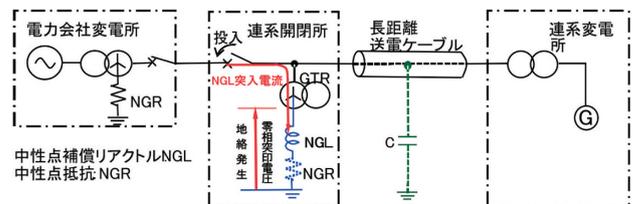


図28 電流零ミス現象の対策

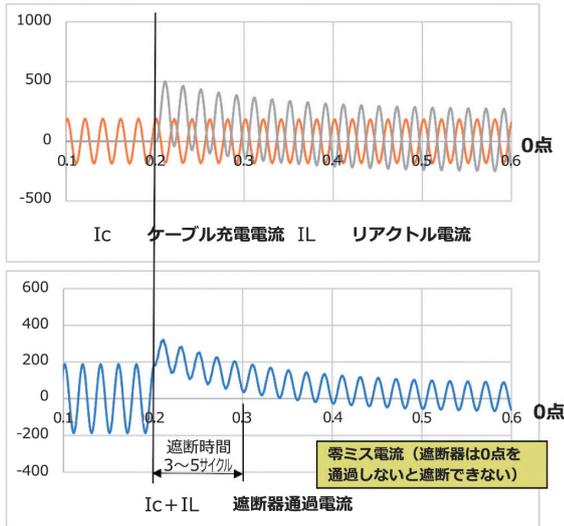


図29 電流零ミス現象

この対策として、リアクトル等の突入電流を抑制することや、中性点抵抗を設置する等、系統構成に適した運用を図ることが必要である。

#### 6. 2. 4 大容量変圧器投入時の突入電流抑制対策

大容量変圧器を系統に接続する際、変圧器の過大な励磁突入電流により、系統電圧を著しく低下させることがある。以下のような抑制対策があるが、設備構成に応じて、対策を検討する必要がある。

- ① 遮断器の投入位相角制御の採用……変圧器の残留磁束を測定し遮断器の投入位相（タイミング）を制御する。
- ② 抵抗投入方式の採用……抵抗回路と直列に接続された遮断器を先行投入して突入電流を抑制し、その後に主遮断器を投入する。
- ③ 逆励磁方式の採用……非常用発電機で、変圧器の低圧側から印加電圧を徐々に増加させ、励磁が完了した時点で、系統電圧位相に合わせて高圧側遮断器を同期投入後、発電機を切り離す。

#### 6. 2. 5 高調波共振現象の対策

長距離送電ケーブル設置により、静電容量 (C) が大きくなると、系統のインダクタンス (L) との共振周波数が低下し、特定の高調波が拡大する。

$$\text{共振周波数} = 1 / (2\pi\sqrt{LC})$$

共振周波数が低下すると、例えば第5次や第7次高調波にて共振することがあり、系統の電圧歪が拡大し、高調波ガイドラインの規定値を超過させてしまうことがある。対策としては、第5次や第7次の高

調波フィルタを設置して共振を回避する方法がある (図30、図31)。

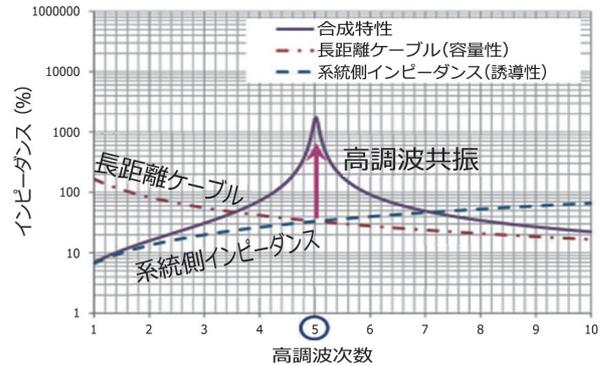


図30 周波数-インピーダンス特性  
長距離交流ケーブル系での高調波共振例

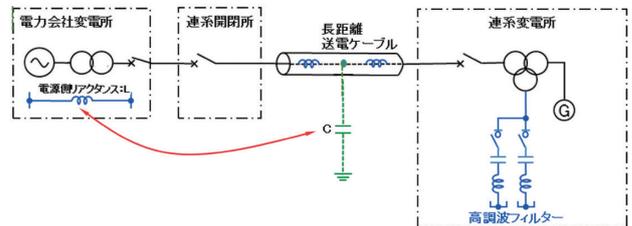


図31 長距離交流ケーブル送電の高調波共振対策例

#### 6. 3 今後の取組み

長距離交流ケーブルでの系統連系時には、特異な回路現象が発生することがあり、ここで挙げた対策は、あくまでも一例である。

当社では、電力品質対策に関して保有する知見と技術を基に、「SPSS風力発電パッケージシステム」として、発電事業者・電力会社の双方が納得できるシステムの提案活動を進めている。

今後拡大となる洋上風力の連系設備に関しても、長年培ってきた系統技術で、再生可能エネルギーの普及拡大に貢献していきたい。

### 7. 直流配電実証システム

2019年6月より開始した直流配電実証システムでの実証試験について、試験結果の事例とともに解説する。

#### 7. 1 実証システムの構成と特徴<sup>(9)</sup>

直流配電実証システムは、以下に示す直流機器と、システム状態の監視ならびに運転管理を担う統合制御装置で構成している (図32)。

【構成機器】

- ・半導体DCCB：定格DC1500V/135A、DC750V/135A
- ・絶縁型双方向DC/DCコンバータ：
  - 定格DC1500/600V、167kW（液冷）
  - 定格DC600/600V、100kW（強制空冷）
- ・PV発電：定格92.4kW
- ・電力調整用Li-ion電池：定格27.4kWh
- ・EV急速充電器（DC充電仕様）：定格44kW

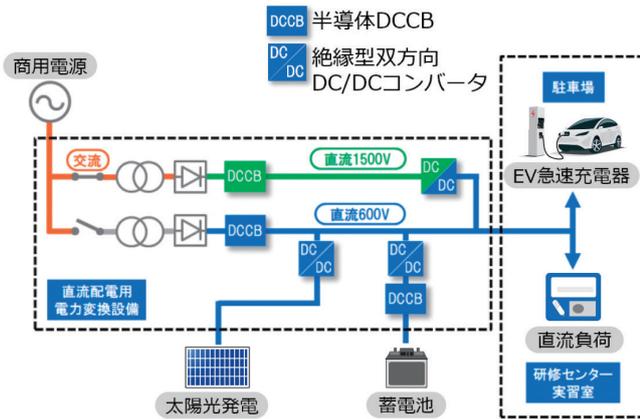


図32 直流配電実証システム構成

7. 1. 1 実証システムの特長

国内外の直流配電システム実証試験では、データセンターで用いられるDC380Vか、それ以下の電圧での事例が多い。当社の実証システムでは、顧客ニーズに合致する様々な電圧クラスのソリューションを提供するため、国際規格IECの直流低圧（LVDC）区分の最大値DC1500Vと、国内基準（電気設備技術基準）の直流低圧区分と機器の入手性の観点からDC600Vの2クラスを採用した。DC600V以上、特にDC1500Vの実証事例は数少なく、配電時の損失が少ないことから大電力用途に適したシステムとなっている。

なお、PV電力を自家消費する需要家を想定して、商用電源との接続にはダイオード整流器を用い、双方向インバータ連系と比べて制御の簡素化と設備コストの低減を図った。このシステム構成は、電力の逆潮流がないためFRT（Fault Ride Through）要件による制約はなく、系統連系申請が不要となることから設備導入にあたっての制約が少なくなる。

また、蓄電池には当社で新たに開発した劣化診断ツール「蓄電池健全性モニタ」を設置した。蓄電池の運転を停止させることなくオンタイムかつリアルタイムで診断し、高効率／長寿命な運用を支援するための実証試験を並行して進めている。

7. 1. 2 主要構成機器の特長

直流配電システムでは、電流ゼロ点のない事故電流を高速に遮断する直流遮断器<sup>(10)</sup>が必要となる。当社では、事故電流を高速（0.02msec以内）に検出し、アークレスで電流を遮断（2msec以内）する「半導体DCCB」を新たに開発した。この高速遮断技術により、直流配電システムの安全性・信頼性の向上と設備のコンパクト化を図っている。

また、直流電力を変圧（昇圧・降圧）および絶縁する役割を持つDual Active Bridge（DAB）方式「絶縁型双方向DC/DCコンバータ<sup>(11)</sup>」を開発した。167kW品ではSiCデバイスを適用した高周波化（20kHz）により、DC/DCコンバータに内蔵する大容量高周波変圧器（200kVA）を含めた小型・軽量化を実現している。

7. 2 実証システム運用制御

7. 2. 1 基本コンセプト

実証システムの運用制御では、システムの統合制御の下で、蓄電池用／PV用の各DC/DCコンバータが直流フィーダのDC電圧の状態を常時監視して、自律的に動作を決定する方式を採用した。

①蓄電池用DC/DCコンバータ

商用電源側のAC電圧や直流フィーダのDC電圧、蓄電池のSOC（充電状態／充電率）によりシステムの運転モード（計画運転や自立運転）を判定して自律的に動作する。

②PV用DC/DCコンバータ

直流フィーダのDC電圧を検出してPVの動作モードを判定し、自律的に制御する。PV電力余剰時には、蓄電池用DC/DCコンバータが直流フィーダの電圧上昇を検出して蓄電池に充電し、満充電になるとPV用DC/DCコンバータが直流フィーダの電圧上昇を所定の範囲内に制御するように出力抑制を行う。

7. 2. 2 実証試験

直流実証システムでは、上述の基本コンセプトの下でシステムの運用制御を行う。表3に実証試験の検証項目を示す。

表3 検証項目

再エネ最大活用	PVの余剰電力を蓄電池に充電して利用することで、商用電源からの買電量を最小限に抑えた再エネの有効活用の確認
BCP対策	商用電源側降圧・停電時の自立運転による安定運用 (BCP対策) と、電圧回復後の速やかな系統再連系の確認
ピークカット	EV急速充電器のような突発性の負荷に対して、蓄電池によるピークカットを適用した契約電力閾値に対する使用電力の抑制効果の確認
安全性	直流回路側短絡故障時の半導体DCCBによる高速遮断 (波及事故の防止) の確認
電力融通	DC1500VとDC600Vから成る複数フィーダの直流配電システムにおける相互の電力融通の確認

7. 3 実証試験の事例紹介

本節では、実証試験の一例として商用電源停電時の自立運転試験の結果を紹介する。

以下に示す事例では、災害発生により商用電源の停電が発生した場合を想定し、PVと蓄電池により負荷へ安定した電力供給ができることを確認した。図33に実測結果を示す。

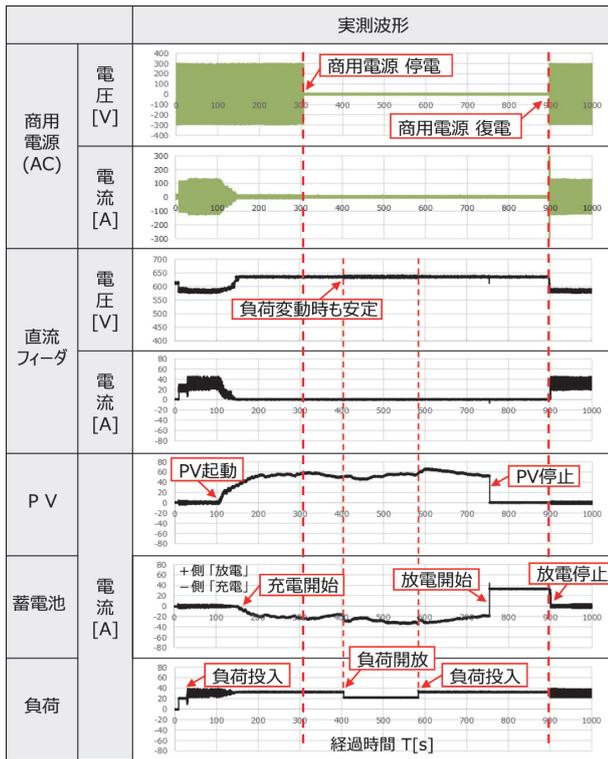


図33 PVと蓄電池による自立運転の実測結果

まず、商用電源からダイオード整流器を通して、直流フィーダの電圧が定格電圧DC600V近傍に保たれた状態で、最初に直流負荷として抵抗負荷13kWと定電力負荷6kWを順次投入している。

経過時間 T=100秒時点でPV用DC/DCコンバータが

起動し、直流フィーダの電圧をダイオード整流器による直流出力電圧よりも高めに制御することで直流フィーダの電流は減少し、PVから負荷への給電に移行している。これにより商用電源からの買電量を抑え、PV電力が優先的に有効活用されていることが確認できる。

T=310秒時点にて、交流遮断器開放による商用電源の模擬停電を発生させている。直流配電システムは、PVと蓄電池の組み合わせによる自立運転モードへ自動的に移行する。日射変化によるPV発電の出力変動があっても、直流フィーダ電圧が安定に制御されていることが確認できる。また、負荷変動を模擬するため、T=400秒時点にて定電力負荷を開放、T=580秒時点にて再投入しているが、直流フィーダの電圧は常に安定している。

さらに、T=750秒時点にて急激な日射変動によるPV発電の出力低下を模擬し、PV用DC/DCコンバータを停止させているが、直流フィーダの電圧低下は10V程度に抑えられている。

その後、T=900秒時点で交流遮断器を投入して商用電源を復電させると、商用電源からの給電へスムーズに移行していることが確認できる。

なお、本試験は商用電源側での開放停電を模擬したが、短絡事故等による停電が発生した場合であってもダイオード整流器により商用電源側の事故点への逆潮流は無く、安定的に自立運転へ移行することを確認している。

7. 4 エネルギー・ゼロエミッションへの取組み

実証試験だけでなく、日常的な直流配電システムの活用として、2021年3月よりPVの余剰電力を活用した研修センターのエネルギー・ゼロエミッションへの取組みを開始した。

昼間にPVの余剰電力を蓄電池に蓄え、夜間に有効利用することで商用電源からの買電量を削減し、自家消費率を向上させている。現在、蓄えた電力は、夜間に研修センターや隣接する当社厚生施設 (日新倶楽部嵯峨野荘) の入口・前庭のLED照明へ給電している。

7. 5 今後の取組み

再エネ電源主力化や激甚化する自然災害を背景に、系統安定化、電力レジリエンスの強化が重要になっている。これに対応すべく、既存の交流システムと共存する形で、再エネ電源や蓄電池の利活用に適した直流配電システムの導入が進むと考えている。今後も、先進の半導体デバイス適用による機器の小型化・軽量化など、様々な顧客ニーズに対応し

た最適なソリューションの提供を進めていく所存である。

## 8. おわりに

2020年10月に「2050年カーボンニュートラル」が宣言され、12月にはこれを踏まえた「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、その後、成長戦略実行計画案が示された。地球温暖化への対応を、経済成長の制約やコストとする時代は終わり、従来の発想を転換して、積極的に温暖化対策を行うことが、産業構造や社会経済の変革をもたらし、次なる大きな成長に繋がっていくとされており<sup>(12)</sup>、まさに脱炭素化は、産業政策の観点からも重要なテーマとされている。

本稿で紹介したSPSSは、グリーン成長戦略によって、ますます加速する電力エネルギー関連市場の大きな変化に対応して、また自ら変化を創造して、持続的に成長し続けるための重要な成長戦略製品である。

当社では、環境配慮製品の開発、PV発電・風力発電などの再エネ主力電源化へのソリューション提供はもとより、多様化するニーズに対して、AI・IoT・エネルギーマネジメントなどのDX関連技術や、PV発電・蓄電池といった分散型電源を交流・直流機器で柔軟に組み合わせ最新・最適なソリューションを提供することで、「持続可能なエネルギー社会の実現」に貢献すべく取り組んでいる。今後もたゆまぬ研究開発を行い、新製品・新サービスの創出に挑戦し続ける所存である。

### 参考文献

(1) 藤原 他:「スマート電力供給システム (SPSS) 前橋実規模検証から5つのソリューション提案へ」、日新電機技報Vol.63No.1,pp.47-57(2018.4)

(2) 藤原 他:「分散型電源を統合管理するエネルギー管理システム「ENERGYMATE-Factory」の開発」、日新電機技報Vol.62No.3,pp.76-81(2017.10)

(3) 貞利 他:「太陽光発電の自己託送に対応したエネルギー管理システム「ENERGYMATE-Factory」の開発」、日新電機技報Vol.65No.2,pp.82-86(2020.12)

(4) 藤原:「太陽光発電の自己託送に対応したエネルギー管理システムの開発」、スマートグリッド2021年4月号,pp45-48(2021.4)

(5) 竹内 他:「太陽光発電自己託送システムの開発」、令和2年電気学会全国大会,7-040,p63(2020.3)

(6) 竹内 他:「太陽光発電自己託送システムの開発」、2020年電気設備学会全国大会,G-2,p278(2020.8)

(7) 田中 他:「環境指向の電力供給システム」、日新電機技報Vol.63No.2,pp.24-36(2018.10)

(8) 安達 他:「再生可能エネルギーの多様化に応える電力供給システム」、日新電機技報Vol.63No.2,pp.8-14(2018.10)

(9) 黒田 他:「直流配電システムの開発」、日新電機技報Vol.65No.1,pp.33-41(2020.4)

(10) 麻植 他:「半導体直流遮断器の開発」、日新電機技報Vol.65No.1,pp.42-46(2020.4)

(11) 小倉 他:「絶縁型双方向DC-DCコンバータの開発」、日新電機技報Vol.65No.1,pp.47-51(2020.4)

(12) 経済産業省 成長戦略会議資料:「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」(2020.12)

(\*1) 「SPSS」は、日新電機株式会社の登録商標です。  
 (\*2) 「ENERGYMATE」は、日新電機株式会社の登録商標です。  
 (\*3) 「sEMSA」は、住友電気工業株式会社の登録商標です。  
 (\*4) 「システムUPS」は、日新電機株式会社の登録商標です。  
 (\*5) 「Wi-SUN」は、Wi-SUN Allianceの登録商標です。  
 (\*6) 「XAE7」は、日新電機株式会社の登録商標です。  
 (\*7) 「S-PAC」は日新電機株式会社の登録商標です。

### 執筆者紹介



**藤原 基伸** Fujiwara Motonobu  
 電力・環境システム事業本部  
 システムエンジニアリング部  
 ソリューション技術部長



**田中 康博** Tanaka Yasuhiro  
 電力・環境システム事業本部  
 システムエンジニアリング部  
 風力プロジェクト推進室長



**栗尾 信広** Kurio Nobuhiro  
 研究開発本部  
 電力技術開発研究所  
 主幹