

1 **ごあいさつ**  
2030 Vision 達成に向けて  
一ノ瀬 貴士

3 **巻頭言**  
バランスの良い発達でカーボンニュートラルと  
ともに本質的に発展した 2050 年の実現へ  
船渡 寛人

## 論文

4 **アグリゲーションシステムへの  
ブロックチェーン適用検討**  
岡井 由香利・高田 晃平・細谷 雅樹・中山 匡

## 技術紹介

9 **再生可能エネルギー導入拡大に向けた  
系統連系解析**  
森 佑介・滝澤 明広

12 **樹脂開発効率化に向けた  
クリープ破断時間予測の短時間化**  
松田 隆真・森 佑介・滝澤 明広

14 **短期間データによる電力需要予測技術の研究**  
佐藤 祥輝・中山 匡・瀧 彩七

16 **蓄電池用スマートインバータの実証試験を  
配電ネットワーク試験場で開始**  
吉井 誠

20 **PV 向けスマートインバータの  
遠方監視制御に対応した DERMS の開発**  
宮本 卓也

22 **最適な送電線過負荷制御に対応する  
多端子伝送型 OLR 装置の開発**  
田沼 秀和

## 製品紹介

26 **部分放電診断装置 (PD キャッチモニタ)**  
宮崎 未知果・藤野 守也・小宮 英明・高野 裕基

28 **電力会社向け油入全装輸送型  
窒素密封式 20 MVA 配電用変圧器**  
土屋 龍平・本庄 智也

30 **新形 72/84 kV タンク形ガス遮断器の開発**  
山下 浩司

33 **沖縄電力向け集中形保護制御装置**  
阿部 健・菅原 淳

36 **IEC 61850 対応遠方監視制御装置  
～多端子ユニット変電所適用とオプション機能～**  
前澤 格・川俣 陽輝

38 **SEL 社製距離リレーを適用した  
太陽光発電所向け距離リレー盤**  
成田 和彦

40 **気中多回路開閉器 (ADS 600A 形)**  
新井 敬明・金子 誠一

42 **6 kV モールド形計器用変圧変流器 (耐塩型) の  
モデルチェンジ**  
馬場 伸司

43 **高電圧試験装置**  
殖木 廣義

46 **SmaMe II 用無線通信ユニット (LTE-M 用)**  
赤下 尚司・今井 直樹

48 **急速充電器遠隔保守管理システム**  
本山 孝治・丸山 禎浩

51 **電気自動車用大容量  
マルチアウトレット急速充電器**  
金野 清博・鈴木 健司・鈴木 剛志・山本 脩斗

## トピックス

54 **ロシア・ポーラーマイクログリッドシステムの実証運転開始**

55 **東京電力パワーグリッド株式会社における  
LCM 事業のための試験用 EMS, データ収集装置の開発**

# 2030 Vision 達成に向けて



代表取締役社長  
一ノ瀬 貴士

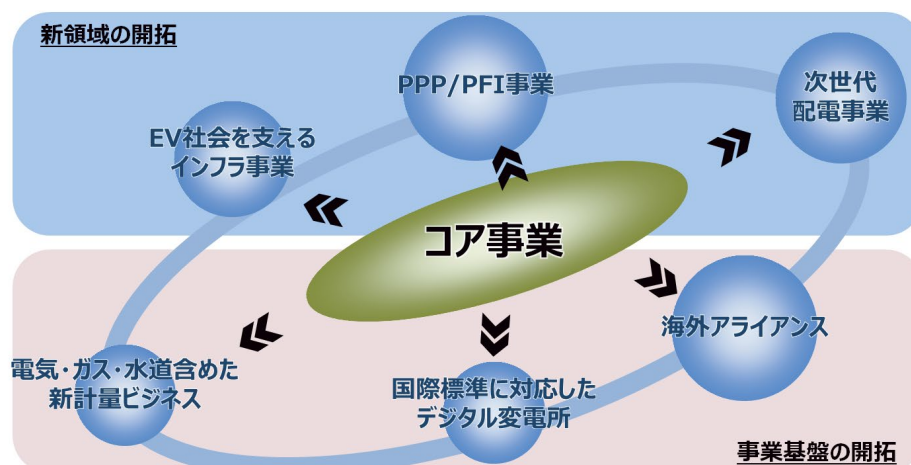
エネルギー市場を取巻く環境は急激に変化しています。特に至近では、昨年の「'50年カーボンニュートラル宣言」を踏まえ、'30年度にCO<sub>2</sub>排出量を13年度比▲46%削減を目指すこととし、太陽光や風力をはじめとする再生可能エネルギーの更なる大量導入、EVの本格的な普及拡大、蓄電池や水素技術の進展など、“脱炭素化”への取組みがいつそう加速するものと思われまます。また、昨今の自然災害の激甚化や新型コロナウイルス感染症の蔓延を受けて、地域社会や企業では“防災・レジリエンス”や“BCP”の取組みを強化しています。これらは電力の流通・使用の分野においても、ハイブリッド（地産地消やエリアBCPを目的とした自律分散ネットワークと従来型ネットワークの混在）、クリーン（LC-CO<sub>2</sub>のミニマム化、再エネ・EV・蓄電池の面的普及、ZEB/ZEHの進展）、スマート（デジタル化、スリム化、運用・保守合理化）をキーワードとした大きな変化をもたらすと考えられます。

東光高岳グループは、こうした環境変化を大きなビジネスチャンスととらえ、10年後に向けて目指す姿として「2030 Vision」を策定・公表しました。既存コア事業の変革と新たな成長事業の創造（特に下図の6領域）に注力し、総合エネルギー事業プロバイダーとしてサステナブル社会へ貢献しつつ、企業価値を高めることを目指します。

この2030 Visionを実現するには、技術開発が欠かせません。幸い東光高岳は、柱となる電力流通設備や一般産業向け受変電設備、計量関連の機器・システムはもとより、EV用急速充電器、EMS、自動検針、SCADA/DAS、スマートグリッド、海外エンジニアリング、光応用検査機器、情報システム等々、今後の潮流に対応していく幅広い技術と事業領域を有しており、ポテンシャルのある会社です。

おのおのの技術をさらに深化・発展・融合することにより、右手で「変革（既存コア事業の徹底的な磨きこみと構造改革）」を加速しつつ、左手で「開拓（新たな事業・市場・提供価値の創造）」を推進する、いわゆる“両利きの経営”へ積極的に挑戦して行きたいと思っておりますので、今後ともご支援ご鞭撻のほどよろしくお願い申し上げます。

2030 VISION 東光高岳グループの目指す姿



# バランスの良い発達でカーボンニュートラルとともに本質的に発展した 2050 年の実現へ



船渡 寛人\*  
Hirohito Funato

2020年10月に日本政府が2050年までにカーボンニュートラルを目指すことを表明した。その後、国際エネルギー機関(IEA)が2021年5月に“Net Zero by 2050”を公表してCO<sub>2</sub>排出ネットゼロを目指したロードマップを提案した。これらによると、2050年にはエネルギーの50%が電気で賄われて発電量は現在の2.5倍となる。そのうち、再生可能エネルギーが90%であり太陽光と風力で70%を占める。輸送に関しては、2035年までに内燃機関乗用車の発売終了が想定され、乗用車に占める電動車の割合が2030年には20%（発売される乗用車のうち60%がEV）、2040年には60%に達する。大胆な提言であり本当に実現可能かとも思う。実現性を考えるために30年前から今を振り返ってみたい。30年前は修士論文を5インチFD内蔵のPC-9801上のワープロで書いたが、手書きで書いていた学生もいた。携帯電話の1990年における普及率はわずか0.7%であり、私が携帯電話を持ったのも2000年近くになってからである。その後あっという間にスマートフォンの時代となり今に至っている。情報通信技術の進展はこの30年速かった。一方、パワーを扱う分野の進み方は遅いように感じるが、1990年には量産型ハイブリッド自動車は存在しなかった。プリウスの発売は1997年である。今では当たり前のように使っている先進運転支援システムの開発は1990年代から進められてきたが量産車への搭載は2000年以降である。自動車の運転インターフェイスはそう簡単には変えられないので変化が少ないように思えるが、中身は結構変化している。そう考えると30年後である2050年は予想以上の変化が起きていても不思議ではない。

今年は東京オリンピックの開催年でもある。スポーツは体を動かすというパワーの世界であるが、戦略も必要だし体を思いどおりに動かすためにはトレーニングが必要だ。体を無意識の領域で動かせるように、頭脳にアルゴリズムを刷り込むのだろう。電気電子工学を人体にたとえると頭脳はコンピュータであり、その中のノウハウや記憶はソフトウェアやデータであろう。神経系が情報通信網であり、目耳鼻や触覚がセンサー類となる。エネルギー系はどうだろうか？発電所は一次エネルギーから電力を得ているから消化器系に相当する。送配電系は心臓血管の循環器か。体を動かす筋肉は電気機器だろう。私が専門とするパワーエレクトロニクスはどこに相当するだろうか。電力変換は電力同士という同じ形態のエネルギー変換だ。体内の物質を変換・貯蔵する肝臓や老廃物を取り出す腎臓などの内臓が相当するのだと思う。地味ではあるが、内臓が正常に働いているから勉強もスポーツも上達する。スマート化が種々の分野で謳われているが、体全体のバランス良い成長が必要なように、電気電子工学も各分野のバランス良い成長が結果として社会の発展を実現するのだと思う。CO<sub>2</sub>削減を目標とした技術開発によって結果的に新たな豊かさが生まれるだろう。電力プラントから情報通信システムまでインフラに関する広い事業を展開している東光高岳には、バランス良い発展を支えて2050年には予想を超える社会を実現することを期待する。

# アグリゲーションシステムへの ブロックチェーン適用検討

■ 岡井 由香利  
Yukari Okai

■ 高田 晃平  
Kohei Takada

■ 細谷 雅樹  
Masaki Hosoya

■ 中山 匡  
Tadashi Nakayama

電力システム改革<sup>(1)</sup>により、各地域の電力会社が一括で管理していた事業が、発電・送配電・小売と分離化する体制へと移行した。また、需要家のリソースを集めて需給調整用の電力を市場などへ供出する事業者（アグリゲーター）も新たに登場した。このことにより、電力取引市場に多くの需要家とそれを束ねるリソースアグリゲーター（以下、RA<sup>注1)</sup>）、さらに上位のアグリゲーションコーディネーター（以下、AC<sup>注2)</sup>）が参入し、多くの事業者が関与するアグリゲーションシステムが構築された。本稿では、多くの事業者が関与するアグリゲーションシステムを一例に、ブロックチェーンの適用検討を行った結果を報告する。

## 1 はじめに

東北地方太平洋沖地震以降、原子力発電所の停止に伴い、電力需要逼迫下での電力安定供給への不安や、電気料金の上昇による経済への影響など、さまざまな課題が見えてきた。この状況を解決するため、政府は2015年4月より電力システム改革を進めてきた。

その結果、図1に示すとおり、各地域の電力会社が発電から小売までを一括で行う体制から、発電・送配電・小売を分離化した体制へと移行した。なお、送配電は安定供給などの観点から、引き続き各地域の電力会社（以下、送配電事業者）が担うことになっている。

電力システム改革により、電力業界に多くの事業者が新規参入してきた。各需要家からのデマンドレスポンス（以下、DR<sup>注3)</sup>）により確保した電力をまとめて取引するアグリゲーターも新たに登場し、多くの事業者によるアグリゲーションシステムが構成された。そこで、各

事業者の取引について、信頼性を担保しながら情報の共有ができる仕組みをもつ「ブロックチェーン」を活用できるのではと考えた。

東光高岳は、これまでDR制御装置（DR shifTer）の開発を行い、2021年4月に開設した需給調整市場に向けた実証試験を行ってきた。そのため、アグリゲーションシステムに関する知見がある。

そこで需給調整市場におけるアグリゲーションシステムを一例とし、ブロックチェーン技術を適用した検証システムの構築評価を行った。その結果について報告する。

## 2 需給調整市場

### 2.1 需給調整市場

需給調整市場では、送配電事業者が電力系統安定化のため、調整力を調達している。調整力とは、需要と供給を一致させるために使用する電力のことを指す。

調整力の調達は従来、送配電事業者が占有する地域でのみ行えたが、2021年4月より日本全域で行えるようになった。各事業者との取引が日本全域で行えることにより自由競争を促し、調整力を調達するためのコスト低減が期待されている。

### 2.2 アグリゲーションシステムの構成

図2は、需給調整市場での取引を想定したアグリゲーションシステムの構成例である。送配電事業者の配下には複数のACが、ACの配下には複数のRAが、RAの配下には複数の需要家がいる階層構造となっている。

アグリゲーションシステムにおける需給調整シーケンスを表1に示す。送配電事業者はAC・RAを介して、需要家にDR指令を発令する。需要家がDR制御した結果（以下、実績値）は送配電事業者と管理元のAC・RAにのみ共有される。また実績値は、AC・RAごとに集計されたうえで送配電事業者に報告され、送配電事業者から実績に応じた報酬が支払われる。

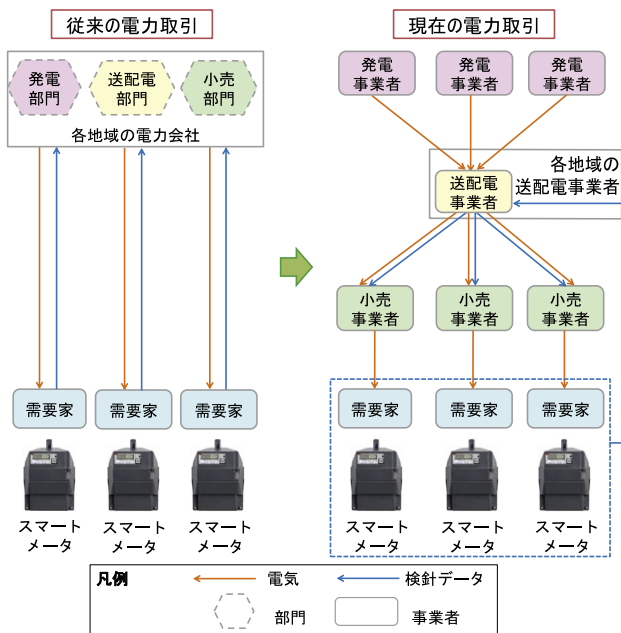


図1 従来と現在の電力取引



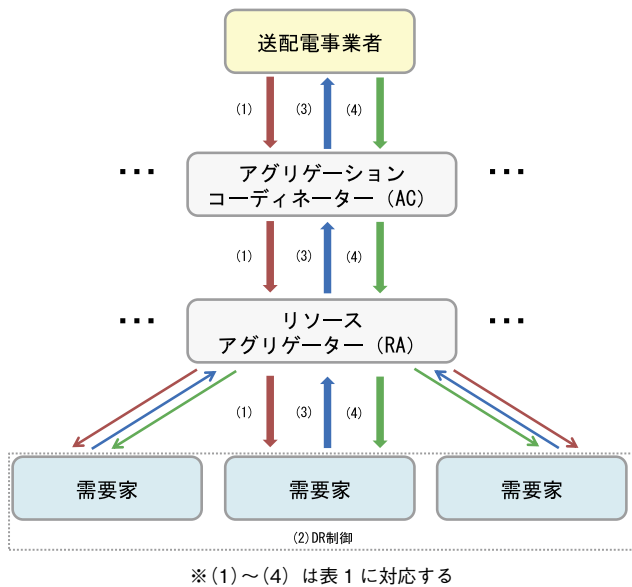


図2 需給調整市場におけるアグリゲーションシステム構成例

表1 アグリゲーションシステム シーケンス

(1)	DR 指令	送配電事業者が、DR 指令を発令する
(2)	DR 制御	DR 指令に従い、需要家が DR 制御を行う
(3)	実績報告	需要家からの DR 制御の結果（実績値）を集計したうえで報告する
(4)	報酬	送配電事業者が、DR 制御に応じた報酬を支払う

### 3 ブロックチェーン

本章では、ブロックチェーンの特徴と、アグリゲーションシステムへのブロックチェーン適用検討について記す。

#### 3.1 ブロックチェーンの特徴

図3に、現状よく使われるシステム（以下、現状のシステム）と、ブロックチェーンを適用した分散システムのイメージを示す。現状のシステムには、データの管理を担う中央のコンピュータが存在する。これは、データの整合性を保つために必要である。

一方、ブロックチェーンで構築されたシステムでは、複数のコンピュータ（以下、ノード）によるデータの分散管理が可能で、分散管理をしつつ整合性を保つことができる。

ブロックチェーンによる分散システムは、履歴ベースのデータ構造と、複数のノードを協調させる仕組みにより、以下の特徴を実現する。

高い耐障害性

各ノードが相互に通信して動作し、一部のノードが

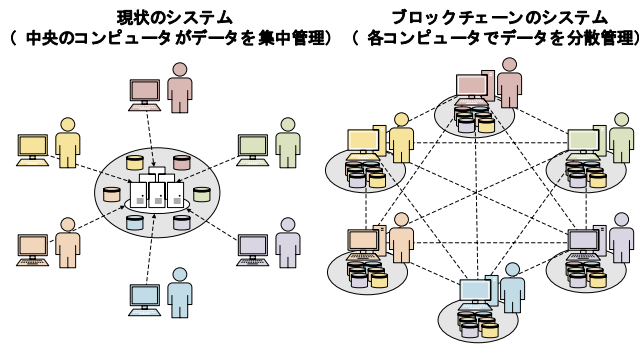


図3 現状のシステムとブロックチェーンを適用したシステム

故障してもシステムは停止しない。

高い透明性

データの変更履歴が必ず残る仕組みをもつため、特定のノードにデータや権限が偏らず、全体として中立性が高い。

高度な耐改ざん性

データの改ざんが困難な仕組みをもつ。

これらの特徴により、ブロックチェーンによる分散システムは、データの信頼性を担保しながら、データの共有が行える。

#### 3.2 アグリゲーションシステムへのブロックチェーン適用検討

アグリゲーションシステムへのブロックチェーン適用検討を行った。検討の結果、以下の項目を考慮すべきであることがわかった。

- ・契約に必要な情報を共有したうえで、実績値の集計処理を自動化する
- ・実績値は、共有範囲を限定する

今回は適用検討のため、アグリゲーションシステムとは分けて、ブロックチェーンを構築する。なおアグリゲーションシステムとブロックチェーンを併せたシステムを、検証システムとよぶ。

検証システムにおいて活用したブロックチェーン技術について以下に記す。

##### (1) スマートコントラクト

ブロックチェーンにおけるスマートコントラクトとは、ブロックチェーン上でプログラムを実行する仕組みである。

スマートコントラクトを検証システムに適用した場合、ブロックチェーンに参加するすべての事業者が契約内容を共有したうえで、自動実行することが可能となる。また、契約にともなう取引の履歴は残され、いずれの事業者とも透明性のある取引が行える。

(2) プライベートトランザクション

ブロックチェーンでは、ネットワークに参加するすべての事業者と取引処理（以下、トランザクション）を共有することで、データの透明性を高めている。しかし、ある事業者にはデータを共有したいが、ほかの事業者にはデータを共有したくない場合にデータの秘匿性が保てない。

このときに使用するのがプライベートトランザクションである。プライベートトランザクションとは、特定のグループ内でトランザクションを共有する仕組みである。スマートコントラクトの共有範囲を限定することで、データにアクセスできるユーザを制限できる。

プライベートトランザクションを検証システムに適用した場合、送配電事業者や AC・RA において管理下にある実績値のみを閲覧可能とし、データの秘匿性を保つことが可能となる。

4 検証システムの構築

検証システムの構成イメージを図 4 に示す。ブロックチェーン上には、各事業者のノードを配置する。

アグリゲーションシステムから、以下のデータをブロックチェーンに登録する。

- ・調整力を調達するための需要家情報（以下、DR 宣言）
- ・各需要家に設置されたスマートメータで計量した実績値

この二つのデータをブロックチェーンに登録することで、DR 宣言の内容に沿って自動的に実績値が AC・RA ごとに集計される。

このとき、ブロックチェーンに登録された実績値を BC 実績値、AC・RA ごとに集計された実績値を BC 集計値とする。また、アグリゲーションシステムで登録さ

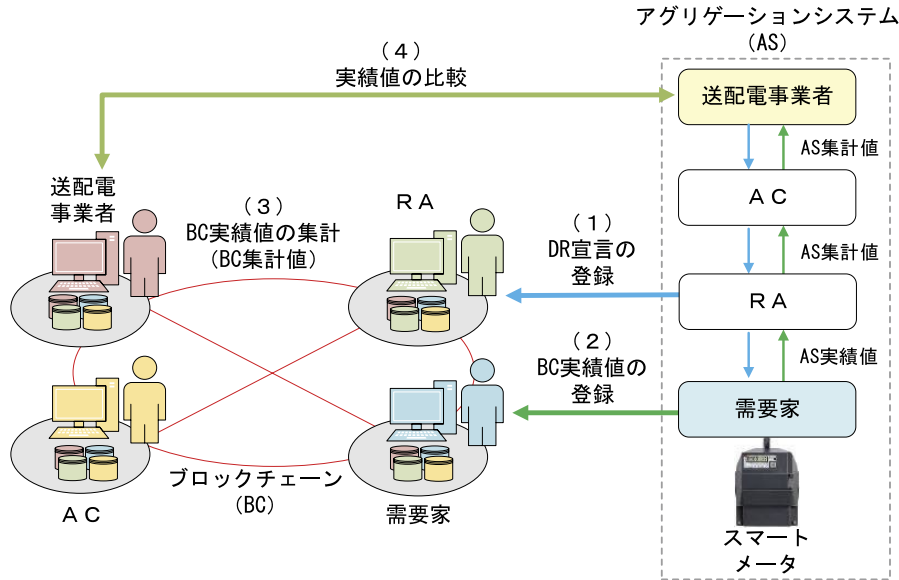


図 4 検証システムの構成イメージ

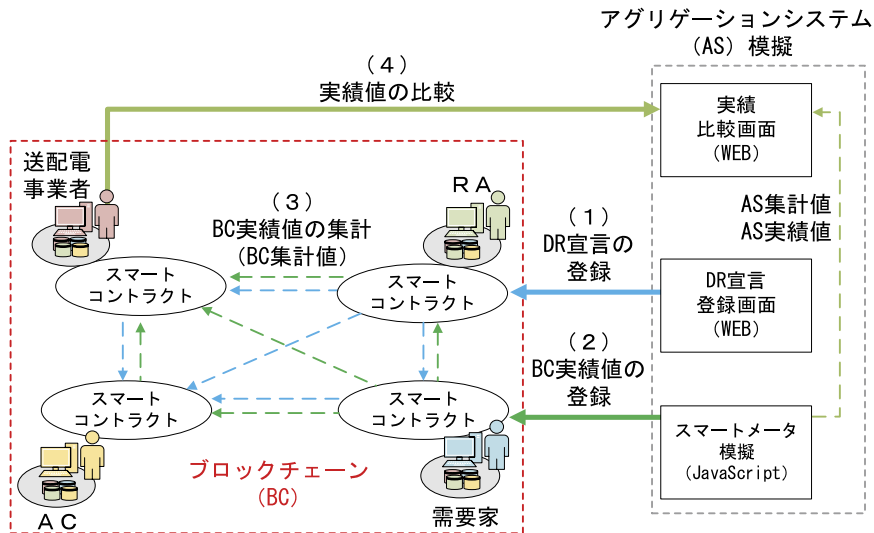


図 5 検証システムの構築

れた実績値を AS 実績値, AC・RA ごとに集計された実績値を AS 集計値とする。検証システムでは, それぞれの実績値を確認できる仕様とした。

今回は適用検討のため, 表 2 に示すアグリゲーションシステムの機能を模擬したうえで, 図 5 に示す検証システムの構築を行った。

表 2 アグリゲーションシステム機能の模擬

実績比較画面	送配電事業者が実績値を確認する WEB 画面
DR 宣言登録画面	DR 指令 (表 1 の (1)) を受け取った RA が, DR 宣言を登録する WEB 画面
スマートメータ模擬	需要家に設置されたスマートメータを模擬

※以下, アグリゲーションシステム模擬とする

また, DR 宣言の登録, BC 実績値の登録, BC 実績値の集計を定義したスマートコントラクトをブロックチェーン上に配置した。

検証システムのシーケンスは, 以下のとおりである。なお, 図 4, 図 5 中の (1)~(4) に対応している。

- (1) DR 宣言登録画面より, DR 宣言をブロックチェーンに登録する。
- (2) スマートメータ模擬機能により, BC 実績値をブロックチェーンに登録する。
- (3) (1) の DR 宣言に沿って, スマートコントラクトが BC 実績値を AC・RA ごとに集計する。
- (4) 実績比較画面に, ブロックチェーンに登録された BC 実績値と BC 集計値, アグリゲーションシステム模擬より登録された AS 実績値と AS 集計値を表示する。

DR 宣言や BC 実績値, BC 集計値は, 3.1 節で述べたブロックチェーンの特徴により, ブロックチェーン上に公開される。またデータの共有範囲は, プライベートトランザクションで定められた範囲に限定される。

## 5 検証システムの評価結果

検証システムについて評価を行った。スマートコントラクト機能により, 各事業者は契約内容を把握したうえで取引が自動実行され, データが共有されることを確認した。また, プライベートトランザクション機能により, BC 実績値の共有範囲を定め, データの秘匿性を保てることを確認した。

実績比較画面の一例を図 6 に示す。実績比較画面では, ブロックチェーンに登録された BC 実績値と BC 集計値, およびアグリゲーションシステム模擬で登録された AS 実績値と AS 集計値, すべての結果を表示する。

この結果が WEB 画面で可視化され, 値が一致することを確認した。

名称	指令ID	日時	時刻	BC集計値	AS集計値
AC (1)	1	2021/01/14	00:00	4kWh	4kWh
AC (1)	1	2021/01/14	00:03	3kWh	3kWh
AC (1)	1	2021/01/14	00:03	5kWh	5kWh
AC (1)	1	2021/01/14	00:03	10kWh	10kWh
AC (1)	1	2021/01/14	00:04	2kWh	2kWh

図 6 実績比較画面

また, プライベートトランザクション機能を適用し, 図 7 に示すとおり共有範囲をグループ分けした送配電事業者・AC・RA が, 管理下にある需要家の BC 実績値のみ閲覧でき, かつ管理下でない需要家の BC 実績値を見られないことを確認した。

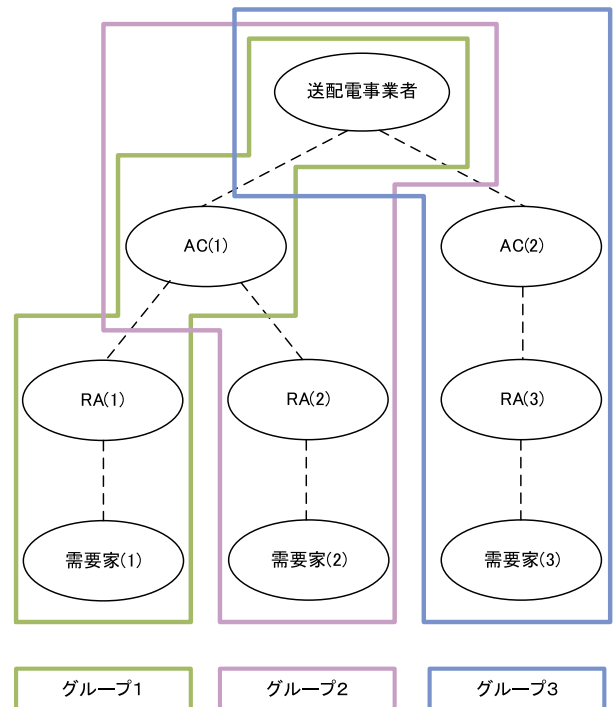


図 7 プライベートトランザクションの共有範囲

送配電事業者はすべてのグループに所属するため, 需要家 (1)~(3) すべての BC 実績値が閲覧可能となる。AC (1) はグループ 1 と 2 に所属するため, 需要家 (1) と需要家 (2) の BC 実績値が閲覧可能となる。RA (1) はグループ 1 に所属しているため, 需要家 (1) の BC 実績値が閲覧可能になることをそれぞれ確認した。

## 6 おわりに

需給調整市場でのアプリケーションシステムを一例に、ブロックチェーン技術の適用検討を行った。アプリケーションシステムにおける事業者間の取引について、信頼性を担保しながら情報の共有ができることを確認した。

今後は、電力取引へのブロックチェーン適用検討に留まらず、世の中の課題解決のためにブロックチェーンが活用できるか模索していく所存である。

### ■参考文献

(1) 電力システムに関する改革方針  
(平成 25 年 4 月 2 日閣議決定)  
[https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11445532/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/electric/system\\_reform002/pdf/20130515-2-2.pdf](https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11445532/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/system_reform002/pdf/20130515-2-2.pdf)

(2) 細谷雅樹, 中山匡, 田中晃司:「2019 年度 VPP 実証への取り組み (DR ShifTer の改良)」, 東光技報, Vol.7, pp.10-14 (2020)

### ■語句説明

注 1) AC : Aggregation Coordinator の略称。アグリ

ゲーションコーディネーター。RA が制御した電力量を束ね、送配電事業者などと直接電力取引を行う事業者

注 2) RA : Resource Aggregator の略称。リソースアグリゲーター。需要家とサービス契約を直接締結してリソース制御を行う事業者

注 3) DR : Demand Response の略称。デマンドリスポンス。需要家が有するエネルギーリソースを束ね、制御することで電力の需要パターンを変化させること

---

### 岡井 由香利

技術開発本部  
技術研究所 ICT 技術グループ 所属

### 高田 晃平

技術開発本部  
技術研究所 ICT 技術グループ 所属

### 細谷 雅樹

技術開発本部  
技術研究所 ICT 技術グループ 所属

### 中山 匡

技術開発本部  
技術研究所 ICT 技術グループ 所属



# 再生可能エネルギー導入拡大に向けた 系統連系解析

■ 森 佑介  
Yusuke Mori

■ 滝澤 明広  
Akihiro Takizawa

太陽光発電や風力発電のような再生可能エネルギーは、低炭素社会を実現するために重要なエネルギー源であり、今後も導入が加速すると想定される。再生可能エネルギーの導入にあたっては、電力系統に連系するうえでの技術的課題を事前に検討し、電力系統や受変電設備に悪影響を与えないシステムを構築する必要がある。そのためには、系統解析技術を活用し、系統連系上の技術的課題の評価や対応策を検討することが重要である。本稿ではその一例として、再生可能エネルギーが長距離ケーブルで連系された系統の残留電荷放電現象および電流零ミス現象を解析した事例について紹介する。

## 1 はじめに

太陽光発電や風力発電のような再生可能エネルギーは、低炭素社会を実現するために必要不可欠なエネルギー源である。日本では2020年10月に「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、これを踏まえて「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定された。このなかでは、電力部門の脱炭素化は大前提としており、再生可能エネルギーを最大限導入することが記載されている<sup>(1)</sup>。特に洋上風力は成長分野としてあげられており、今後は日本においても導入が進むと思われる。

このような変化が生じていくなかで、信頼性の高い電力供給を維持するためには、電力系統や受変電設備に悪影響をおよぼさないよう、技術的課題を事前に検討し、必要に応じた対策を講じることが重要である。例えば、洋上風力の導入が進むと長距離ケーブルで系統連系するケースの増加が想定されるが、その際は長距離ケーブルの静電容量に起因する残留電荷放電現象や電流零ミス現象などについて検討する必要がある。

残留電荷放電現象や電流零ミス現象など、系統連系上のさまざまな技術的課題に対して、系統解析技術を活用することで効果的な検討を行い、適切な対策を講じることができる。本稿では、ATP<sup>注1)</sup>を使用して、長距離ケーブルで連系された系統の残留電荷放電現象および電流零ミス現象を解析した事例を紹介する。

## 2 長距離ケーブル連系の検討事項

再生可能エネルギーの電力系統への連系においては、電力系統や受変電設備に影響がないことを事前に検討し、対策を講じる必要がある。検討事項の一例として、電圧上昇対策や発電出力変動に伴う電圧変動などがあげられる。そのほかにも、発電設備が電力会社の変電所から離れている場合、大きな静電容量を有する長距離ケー

ブルで連系するため、次の現象について事前の検討が必要となる。

### (1) 残留電荷放電現象

図1のように、長距離ケーブル系統で遮断器が開放されると、ケーブルの静電容量に電荷が残留する。電荷が残留した状態で再閉路を行うと、投入位相によっては過電圧が発生する。したがって、残留電荷は再閉路時間よりも短時間で速やかに放電されることが望ましい。また、残留電荷は計器用変圧器などの接地機器を通して放電されるが、その際に発生する熱や電磁力により機器が破損しないことも確認する必要がある。

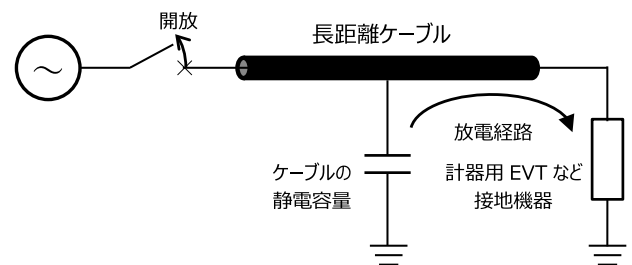


図1 残留電荷放電現象の回路概略図

### (2) 電流零ミス現象

電流零ミス現象とは、地絡などによる事故電流が電流零点とクロスしなくなる現象である。電流が零にならないため、この期間は事故電流を遮断できなくなる。電流零ミス現象の発生メカニズムを以下に記載する。

長距離ケーブル系統においては、リアクトルに流れる励磁突入電流とケーブルの充電電流の影響で電流零ミス現象を生じることがある。図2は電流零ミス現象が生じる回路の概略図である。同図のとおり、電源投入時に①励磁突入電流（過渡直流電流を含む遅れ電流）と②ケーブル充電電流（進み電流）の総和が③遮断器に通電する。このときの各部に流れる電流波形のイメージを図3に示す。遮断器に流れる電流は、励磁突入電流に逆位相の充電電流が重畳することで、過渡直流分を有する振

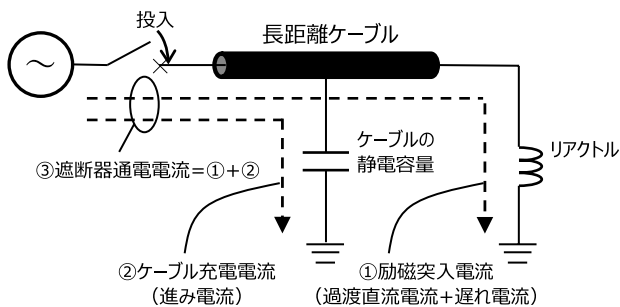


図2 電流零ミス現象の回路概略図

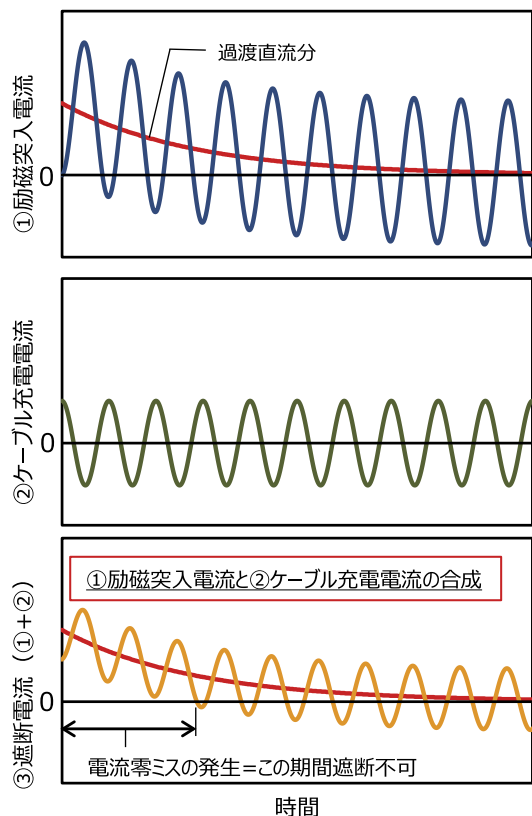


図3 電流零ミス現象における電流波形イメージ

幅の小さな電流波形となる。これにより、電流が零点を交差しない電流零ミス現象が生じ、この期間は電流を遮断できない。そのため、電流零ミス現象が長時間継続すると、定格遮断時間内に電流を遮断できないおそれがある。

(3) 高調波共振現象

長距離ケーブルにより静電容量が大きくなると、電力系統のインダクタンスとの共振周波数が低下する。共振周波数が第五次高調波 (250 Hz or 300 Hz) や第七次高調波 (350 Hz or 420 Hz) に等しくなると、電力系統に含まれる高調波が拡大し、高調波環境目標レベル<sup>注2)</sup>を超える可能性がある。

ここまで述べた各種現象のなかには、鉄心飽和や残留磁束などインダクタンスの非線形性が絡む複雑な現象もある。このような現象に対して、系統解析技術を活用す

ることで、効果的な検討を行い、適切な対策を講じることが可能となる。

3 解析事例

本章では、前述の残留電荷放電現象と電流零ミス現象の解析事例について紹介する。解析には ATP を用いた。

3.1 残留電荷放電現象の解析事例

図1のような系統を ATP でモデル化し、残留電荷放電現象を解析した。ここでは、一線地絡時の最大電圧に相当する電荷がチャージされた状態を想定し、残留電荷放電に伴う残留電圧の変化を解析している。図4の解析結果に示すとおり、対策前の解析では残留電圧の減衰が緩やかであった。そのため、中性点接地抵抗を調整し、残留電圧を速やかに減衰できる条件を解析により求めた。対策後は 0.3 秒程度で残留電圧がほぼ 0 になっている。この時間は自動再閉路時間よりも短いため、再閉路時に過電圧が発生するリスクは低いと判断できる。

なお、残留電荷の影響としては放電時間だけでなく、機器によっては放電電流による発熱や機械的強度への影響も検討する必要がある。発熱の影響については、ケーブルにチャージされるエネルギーから機器の温度上昇を見積もることができる。機械的強度への影響については、ATP で求めた残留電荷放電電流をもとに、磁場解析で電磁力を計算することで機器の破損や変形の有無を検討できる。

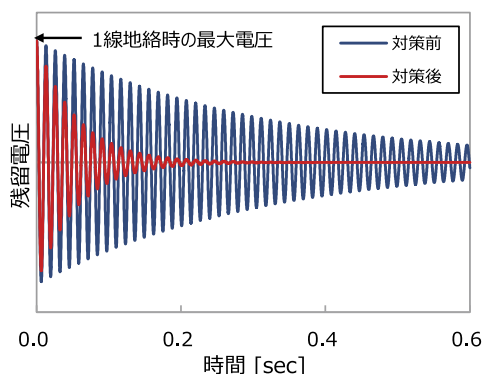


図4 残留電圧解析結果

3.2 電流零ミス現象の解析事例

図5は電流零ミス現象を解析した系統のイメージ図である。系統連系中に発電設備内で1線地絡が生じた際の電流を解析した。本解析では、変圧器の励磁特性が入力されており、非線形性を考慮している。また、同図に示すとおり、変圧器の中性点に補償リアクトルのみ接続した場合と、直流分を速やかに減衰させるため抵抗を直列に挿入した場合の解析を行った。

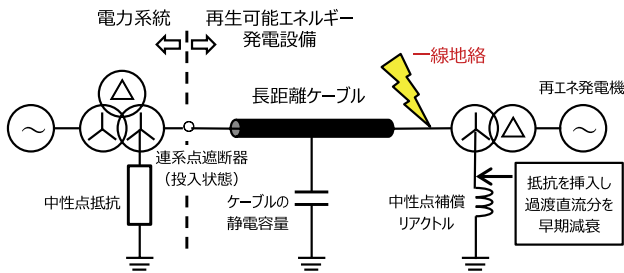
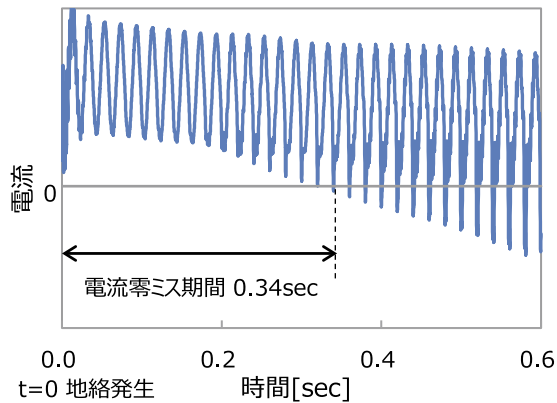
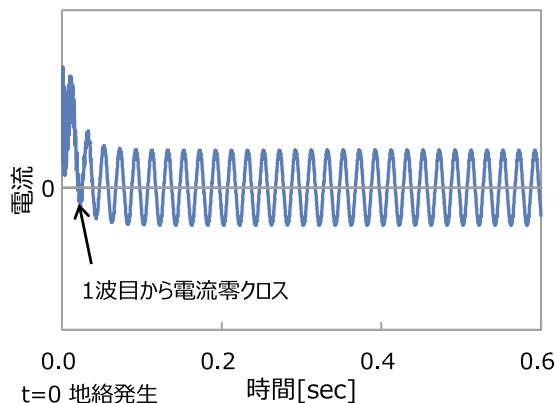


図5 電流零ミス現象を解析した系統のイメージ図



(a) 中性点補償リアクトルのみ (対策前)



(b) 中性点補償リアクトル+直列抵抗 (対策後)

図6 電流零ミス現象解析結果

図6(a)は、中性点に補償リアクトルのみ接続した場合の解析結果であり、健全相に流れる電流波形を表示している（事故相は大きな交流電流が流れるため、電流零ミス現象は生じづらい）。健全相のうち電流零ミス期間の長い相について表示している。直流分が重畳した電流波形となり、電流が零点を交差しない期間が0.34秒程度生じている。この電流零ミス期間と地絡保護リレーの動作時間から、遮断器が定格遮断時間内に電流を遮断可能か判断できる。例えば、リレーの動作時間を0.2秒だとすると、遮断器接点が動作し始めてから0.14秒程度（=50 Hzで7サイクル相当）も電流零ミス期間が生じることが解析結果からわかる。一方、解析対象となる系統においては、定格遮断時間は一般的に3もしくは5

サイクルである。したがって、定格遮断時間内に電流は零点を交差せず、事故電流の遮断に失敗する。この対策として、中性点補償リアクトルと直列に抵抗を接続した解析結果が図6(b)である。同図より、直流分が速やかに減衰し、電流零ミス現象が生じないことがわかる。

また、図6(a)は複雑な波形となっているが、これは変圧器励磁特性の非線形性によるものである。非線形性を考慮しないと、電流波形が変化し、電流零ミス期間も変化することになる。このような非線形性を考慮し、各種現象を詳細に把握できることも、系統解析技術を利用するメリットといえる。このように、再生可能エネルギー導入前の事前検討を適切に行うためには、検討したい項目に対して必要な非線形性を考慮し、正しいモデル化を行うことが重要である。

以上のように、系統解析技術を活用することで、事前に適切な対策を検討することができ、信頼性の高い電力供給の維持が可能となる。

## 4 おわりに

先に述べたように、今後は再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、電力系統をとりまく環境が変化していくと考えられる。本稿で紹介した長距離ケーブル連系時の残留電荷放電現象および電流零ミス現象の解析は、その変化にあわせて重要性が高まる解析技術のひとつと思われる。今後も電力供給に関する信頼性の維持・向上に貢献できるよう、電力系統の変化に応じて必要となる系統解析技術の構築と有効活用に取り組んでいきたい。

### 参考文献

- (1) 経済産業省：「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」,(2020)

### 語句説明

注1) ATP: Alternative Transients Programの略称で、電気・電子回路の汎用解析ソフト。

注2) 高調波環境目標レベル: 電力利用基盤懇談会において提示された高調波抑制の目標値。配電系統で5%以下、特高系統で3%以下を目標としている。

### 森 佑介

技術開発本部  
技術研究所 解析・試験技術グループ 所属

### 滝澤 明広

技術開発本部  
技術研究所 解析・試験技術グループ 所属



# 樹脂開発効率化に向けた クリープ破断時間予測の短時間化

■ 松田 隆真

Ryuma Matsuda

■ 森 佑介

Yusuke Mori

■ 滝澤 明広

Akihiro Takizawa

東光高岳では、さまざまな電力用モールド機器を製造しており、例えば、一般的な屋内用モールド機器だけでなく、屋外用や耐クラック性を向上させたモールド機器などがある。また、モールド機器に要求される特性に合わせた樹脂や環境への配慮など社会的なニーズに合わせた樹脂の開発も行っている。樹脂開発においては、電気絶縁性能や機械的強度などさまざまな特性を取得する必要がある。その中の一つであるクリープ破断時間の予測には、一般的に長い時間を要する。そこで、樹脂開発を効率的に行うために、クリープ破断時間の短時間予測に取り組んだ。その結果、一般的な予測方法の1/10～1/20程度の期間で予測可能となった。本稿では、この取り組みの概要と効果について紹介する。

## 1 はじめに

エポキシ樹脂は電気絶縁性や機械的強度が優れており、電力用モールド機器の絶縁材料として広く用いられている。東光高岳においても、モールド変成器をはじめ、さまざまな機器に使用しており、機器に要求される特性に合わせた樹脂や環境配慮などの社会的なニーズに合わせた樹脂の開発も行っている。例えば、モールド機器を小型化するために、樹脂厚を薄くできる耐クラック性を向上させた樹脂の開発<sup>(1)</sup>や、環境配慮の観点から材料そのものが環境負荷低減に貢献するバイオマス樹脂の開発<sup>(2)</sup>などを行っている。

樹脂開発過程では電気絶縁性や機械的強度などさまざまな特性を評価する。特性の評価においては、数十年使用されることもある電力用モールド機器に適用するため、長期的な機械的強度を示すクリープ特性が重要な評価項目の一つとなる。クリープ特性の取得には長い時間を要するため、樹脂開発が長期化する要因の一つである。

今後の樹脂開発の効率化に向けてクリープ特性の短時間予測に取り組んだ。本稿ではこの取り組みの概要とその効果について紹介する。

## 2 一般的なクリープ破断時間予測

クリープ特性には、一定の力がかかることでひずみが徐々に増大する現象（クリープ現象）の過程を示すクリープ変形や、ひずみが増大して破断に至るまでの時間を示すクリープ破断時間などがある。モールド機器に使用している樹脂は長時間破断しないことが求められるため、クリープ破断時間が重要となるが、直接取得する場合、非常に長い時間を要する。そこで、クリープ破断時間の取得に要する試験時間を短縮するため、一般的に、時間温度換算則によるクリープ破断時間予測が行われている。

時間温度換算則とは、ある温度で得られた特性を時間軸に平行移動することで、任意の温度の特性に換算でき

るものである。換算できる特性はさまざまあるが、ここではクリープ破断時間に時間温度換算則を用いたイメージを図1に示す。複数の応力条件や温度条件で測定したクリープ破断時間を時間軸方向に平行移動させ、1本の線を作ることで任意の温度におけるクリープ破断時間を得ることができる。図中 $T_3$ のように、高い温度の測定結果を換算することで長時間側の結果が得られ、長時間のクリープ破断時間を短時間で予測することができる。このように、実際のクリープ破断時間に比べて短時間で予測できるものの、モールド機器に使用している樹脂の場合、応力条件や温度条件次第では試験全体で6ヶ月～1年も要してしまうことが多い。ここで要する時間を短縮できれば、樹脂開発を効率的に進めることができる。

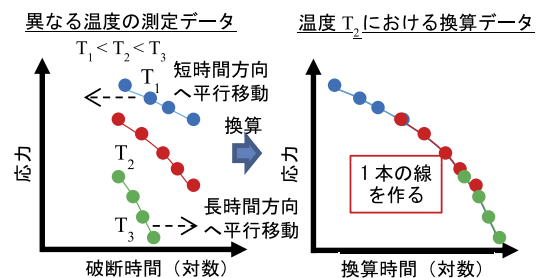


図1 時間温度換算則のイメージ

## 3 クリープ破断時間予測の短時間化

より短時間でクリープ破断時間を予測するために、樹脂の粘弾性からクリープ破断時間を予測する方法を採用した。本章では、その概要について説明する。

### 3.1 粘弾性とクリープ変形の関係

クリープ現象は、材料の粘弾性に起因して生じる。粘弾性は、弾性<sup>注1)</sup>と粘性<sup>注2)</sup>の二つを合わせた特性であり、弾性挙動を示すばねと粘性挙動を示すダッシュポットで構成された粘弾性モデルによって挙動が説明されている<sup>(3)</sup>。

図2にクリープ現象を表す粘弾性モデル（Voigtモデル）を示す。モデルの一端を固定し、もう一端に一定の



引張力をかける。このとき、単純なばねの場合は瞬時に伸びるが、**図2**に示すような粘弾性モデルではダッシュポットの影響により、時間経過で徐々に伸びが大きくなるクリープ現象を示す。そのため、クリープ現象によって生じたクリープ変形は、モデルを構成しているばねやダッシュポット自体の特性（粘弾性）から求めることができる。この粘弾性は動的粘弾性測定により取得できる。動的粘弾性測定は材料に繰り返し力を加え、そのときの応答を測定するものであり、短時間で実施できる。動的粘弾性測定においても、複数の温度条件にて粘弾性を取得することで時間温度換算則を用いることができ、任意の温度におけるクリープ変形を短時間で予測することができる。

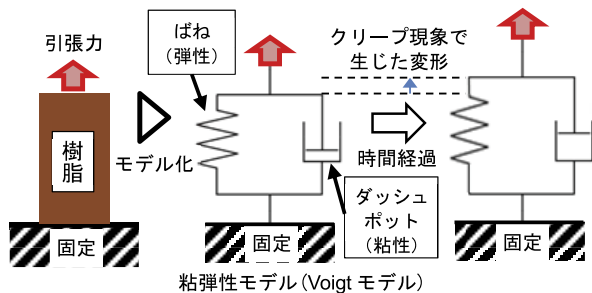


図2 粘弾性モデルによるクリープ現象のイメージ

### 3.2 クリープ変形とクリープ破断時間の関係

前節のクリープ変形をもとにクリープ破断時間を予測する。クリープ変形にともないひずみが増えると、材料内部には元の形状に戻ろうとするエネルギーが貯まる。ただし、貯められるエネルギーには限界がある。そのエネルギーが限界に達するまでの時間を求めることでクリープ破断時間を予測することができる。

この予測方法は幅広い樹脂に適用されており、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）のような樹脂を基材とした複合材料などにも適用が進んでいる<sup>(4)</sup>。しかし、電力用エポキシ樹脂に適用した例は見当たらない。そこで、本予測手法を電力用エポキシ樹脂に適用し、クリープ破断時間の予測精度と短時間化の検証を行った。

## 4 短時間予測の適用と効果

粘弾性を用いたクリープ破断時間の短時間予測の例として、耐クラック性を向上させた電力用エポキシ樹脂に適用したものを挙げる。**図3**にクリープ破断試験を行った実測結果と、粘弾性を用いてクリープ破断時間を予測した結果の比較を示す。実測と予測はよく合っており、実用上十分な予測精度が得られている。

次に、粘弾性を用いた短時間予測による効果を**表1**に示す。短時間化した予測方法を用いることで、一般的な予測方法に比べて1/10~1/20程度の期間でクリープ破断時間の予測が可能となった。

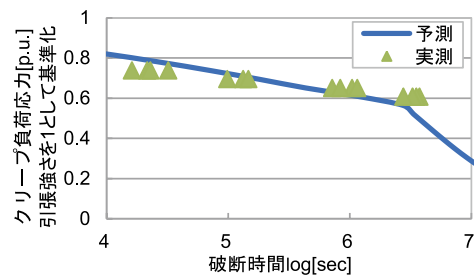


図3 クリープ破断試験（実測）と予測の比較

表1 短時間予測の効果

項目	一般的な時間温度換算則を用いた予測	粘弾性を用いた短時間予測
試験期間	6ヶ月~1年	2週間

## 5 おわりに

樹脂開発の効率化のために、電力用エポキシ樹脂を対象としてクリープ破断時間の短時間予測に取り組んだ。その結果、十分な精度で、一般的な予測方法の1/10~1/20程度の時間でクリープ破断時間を予測できるようになった。今後も、クリープ破断時間の短時間予測方法を活用し、樹脂開発の効率化に繋げていきたい。

### ■参考文献

- (1) 「新エポキシ樹脂を用いたコンパクト型モールド変成器」, 東光高岳技報, Vol.1, pp75 (2014)
- (2) 大竹美佳, 山下太郎:「エポキシモールド機器のライフサイクル全体にわたる環境配慮技術」, 東光高岳技報, Vol.7, pp19-20 (2020)
- (3) 只野雄一:「解析講座 粘弾性モデルの基礎 (前編)」, CAEのあるものづくり, VOL.21, pp20-24 (2014)
- (4) R.M.Guedes:「Time-dependent failure criteria for polymer matrix composites a review」, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 29 (20), pp3041-3047 (2010)

### ■語句説明

注1) 弾性: 固体に代表される特性で、力を加えると、力に比例して変形し、力を除くと元の形状に戻る。

注2) 粘性: 液体に代表される特性で、力を加えると、力に比例した速度で変形するが、力を除いても元の形状に戻らない。

### 松田 隆真

技術開発本部  
技術研究所 解析・試験技術グループ 所属

### 森 佑介

技術開発本部  
技術研究所 解析・試験技術グループ 所属

### 滝澤 明広

技術開発本部  
技術研究所 解析・試験技術グループ 所属

# 短期間データによる 電力需要予測技術の研究

■ 佐藤 祥輝  
Yoshiki Sato

■ 中山 匡  
Tadashi Nakayama

■ 瀧 彩七  
Ayana Taki

近年、太陽光発電や蓄電池など小規模エネルギーリソースの普及とともに、エネルギー運用の効率化が進んでいる。これらの取り組みは環境負荷の低減に貢献できるだけでなく、ピーク電力抑制により契約電力の契約容量を下げることができるため、直接的なメリットを需要家にもたらすことができる。しかし、需要家側では瞬間的に電力量が大きく変動した場合の制御が難しいため、あらかじめ一日の受電電力を予測し、それにしたがって計画的に制御を行うことが望ましい。東光高岳では蓄積している受電電力量の実績値をもとに分析・予測・評価を行っており、今回スーパーマーケットとオフィスビルの実データをお借りした検証試験において、状態空間モデルを用いることで、短期間のデータから電力需要の傾向を予測できた。本稿では、その取り組みについて紹介する。

## 1 はじめに

電力・ガス・水道などのさまざまなインフラ需要を予測し、それに応じた計画を立案することで、より効率的なエネルギー資源の活用が期待できる。しかし、新たにデータ収集を開始した直後や、災害などによる社会情勢の変化にともなう需要動向の急変など、さまざまな理由により利用できるデータが少ない状況が存在する。そのため、短期間のデータであっても予測可能であることが望ましい。予測にあたっては、従来から用いられているBox-Jenkins法<sup>注1)</sup>などの分析手法だけでなくAIを活用した手法などが提案されており、予測コンテストも開催されるなど研究開発が進んでいる<sup>(1)(2)</sup>。本稿では、短期間の時系列データによる受電電力量の予測に取り組む。受電電力量の分析を実施したのち、状態空間モデルで電力需要予測を行い、その結果と評価について述べる。

## 2 受電電力量の分析

予測に使用する受電電力量の特徴を把握するため、受電電力量の分析を行った。

### 2.1 予測対象の選定

東光高岳ではエネルギーの見える化・コンサルティングサービスを実施しており、そのなかでもスーパーマーケット（以下、スーパー）とオフィスビル（以下、ビル）を対象とした実績が多い。そこで我々は予測対象として、関東圏内のスーパーとビルを合わせて十数件を選定した。

### 2.2 受電電力量の見える化

2019年のスーパーとビルの受電電力量（抜粋）を図1に示す。スーパーでは毎日周期的な受電電力量となっている。一方ビルでは各曜日によって受電電力量が異なり、

かつ夜間の受電電力量が低いという特徴がある。今回、スーパーでは一日の周期、ビルでは平日のみの曜日と日中の時間帯を周期性として予測に活用することとした。

受電電力量と気温の散布図を図2に示す。スーパーとビルで異なる関係性をもつことがわかる。この特性を利

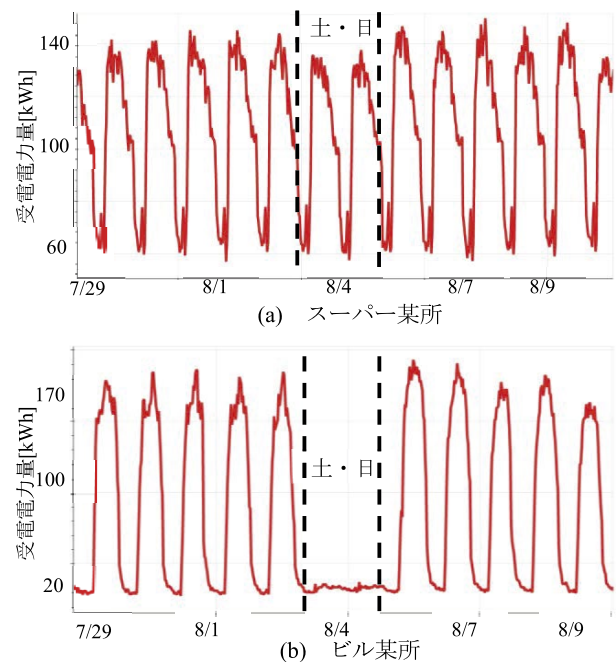


図1 受電電力量 抜粋 (2019年)

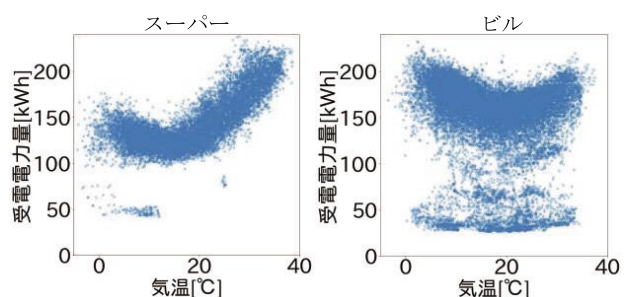


図2 受電電力量と気温の散布図

用して予測をすることで、予測精度の向上が期待できる。

### 3 電力需要予測の実施

#### 3.1 モデル構築

さまざまな利用ケースにあわせてカスタマイズがしやすいモデルとして、物理学や統計学で用いられる手法から状態空間モデルを選定した。さらに、2章で検討した周期性と気温を組み込み、24時間先まで予測できる形でモデルを構築した。学習期間は、状態空間モデルで複数モデルを構築して予測を実施し、それらの予測結果から精度が良好となる期間を選定した。状態空間モデルの学習期間を表1に示す。

表1 状態空間モデルの学習期間

対象	学習期間
スーパー	直近1週間
ビル	直近3週間

#### 3.2 精度指標

本稿ではスケールの異なる拠点間でも予測精度を比較できるようにするため、精度指標としてMAPE (Mean Absolute Percentage Error) を用いた。

### 4 予測結果の評価

評価にあたって妥当性を確認するため、参考として1年間のデータで学習させた機械学習 (XGBoost<sup>注2)</sup> による予測結果と比較を行った。受電電力量と各予測モデルの予測結果 (抜粋) を図3に示す。今回構築したモデルは全体として大まかな傾向を予測できている。

予測を実施したスーパーおよびビルの予測精度 (MAPE) の平均を表2に示す。

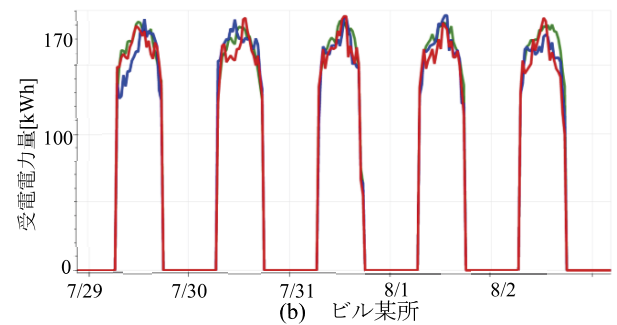
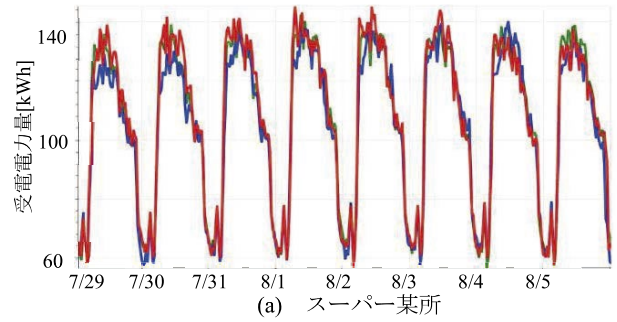
表2 予測精度 (MAPE) の平均 [%]

対象	状態空間モデル	XGBoost
スーパー	5.46	6.57
ビル	8.48	12.03

状態空間モデルはXGBoostによる予測と比較して、より高精度で予測できている。以上の結果より、スーパーおよびビルの予測において、状態空間モデルを用いることで短期間データから良好な精度で予測することができた。

### 5 おわりに

気温などの要因を考慮しつつ、スーパーやビルの受電



赤：受電電力量 緑：状態空間モデル 青：XGBoost

図3 受電電力量と各予測モデルの予測結果 抜粋

電力量の分析・予測・評価を実施し、短期間のデータで一定の傾向をつかんだ予測精度を得ることができた。今後はさらなる精度向上に向けた取り組みや、得られた知見を元にEMSへの適用、発電予測への応用を進めていく予定である。

#### ■参考文献

- (1) 東京電力ホールディングス：「電力需要予測値の正確さを競う「第1回電力需要予測コンテスト」の結果について」[https://www.tepco.co.jp/press/release/2017/1463817\\_8706.html](https://www.tepco.co.jp/press/release/2017/1463817_8706.html)
- (2) 東京電力ホールディングス：「太陽光発電量予測技術コンテスト『PV in HOKKAIDO』の結果について」[https://www.tepco.co.jp/press/release/2019/1515677\\_8709.html](https://www.tepco.co.jp/press/release/2019/1515677_8709.html)

#### ■語句説明

注1) Box-Jenkins法：時系列データを分析・モデル作成・予測・評価するためのフレームワークの一種。

注2) XGBoost：eXtreme Gradient Boostingの略。決定木を応用した機械学習の一手法。

#### 佐藤 祥輝

技術開発本部  
技術研究所 ICT技術グループ 所属

#### 中山 匡

技術開発本部  
技術研究所 ICT技術グループ 所属

#### 瀧 彩七

技術開発本部  
技術研究所 ICT技術グループ 所属



# 蓄電池用スマートインバータの実証試験を配電ネットワーク試験場で開始

■ 吉井 誠  
Makoto Yoshii

電力系統への再生可能エネルギーの導入量の増大により、電圧の変動が拡大する、周波数の変動が拡大するなど、電力系統が不安定化することが懸念されている。

これらに対し、パワーコンディショナ (PCS)<sup>注1)</sup> にスマートインバータ<sup>注2)</sup> 機能を組み込んで、電力系統の安定化を図ることが検討されている。

東光高岳では、小山事業所配電ネットワーク実証試験場 (FDN 試験場)<sup>(1)</sup> に既設置の NAS 電池<sup>注3)</sup> 用 200 kW PCS へ、スマートインバータ機能を組み込み、実規模システムでの実証試験を開始したので紹介する。

## 1 はじめに

近年の再生可能エネルギーの導入量の増大により配電線の電圧が上昇する、再生可能エネルギーの発電電力の変動により電力系統の電圧が変動するなど、電力系統の電圧が不安定化することが懸念されている。

一方、電力系統全体への再生可能エネルギーの導入量が増大していくと、電力系統の周波数を安定化する調整力を担う同期発電機の台数と総容量が減少して、周波数が不安定化することが懸念されている。

これらに対し、再生可能エネルギーを電力系統に連系する PCS にスマートインバータ機能を組み込んで、電力系統を安定化する能力を与えることが検討されている。

(本稿では、スマートインバータ機能を組み込んだ PCS を、スマート PCS とよぶ。)

東光高岳では、**図 1** に示す小山事業所内の FDN 試験場に設置した太陽光発電 (PV) 用 50 kW PCS へ、ス

mart インバータ機能を組み込み、昨年より性能検証試験を開始した<sup>(2)</sup>。

これとともに、FDN 試験場に設置した、電力貯蔵用蓄電池である 200 kW NAS 電池と、NAS 電池用 200 kW PCS を、電力貯蔵、負荷平準化などの試験に供してきた。

このほど、NAS 電池用 PCS にスマートインバータ機能を組み込み、蓄電池を用いた系統安定化の性能検証試験を、実規模の模擬配電線で開始したので紹介する。

## 2 スマートインバータ機能の変更

直流電力が発電方向 (直流から交流) のみの PV 用スマート PCS のスマートインバータ機能<sup>(2)</sup> と、直流電力が充電方向 (交流から直流) と放電方向 (直流から交流) の、双方向で使用可能な NAS 電池用スマート PCS のスマートインバータ機能 (**図 2**) には、次のような違

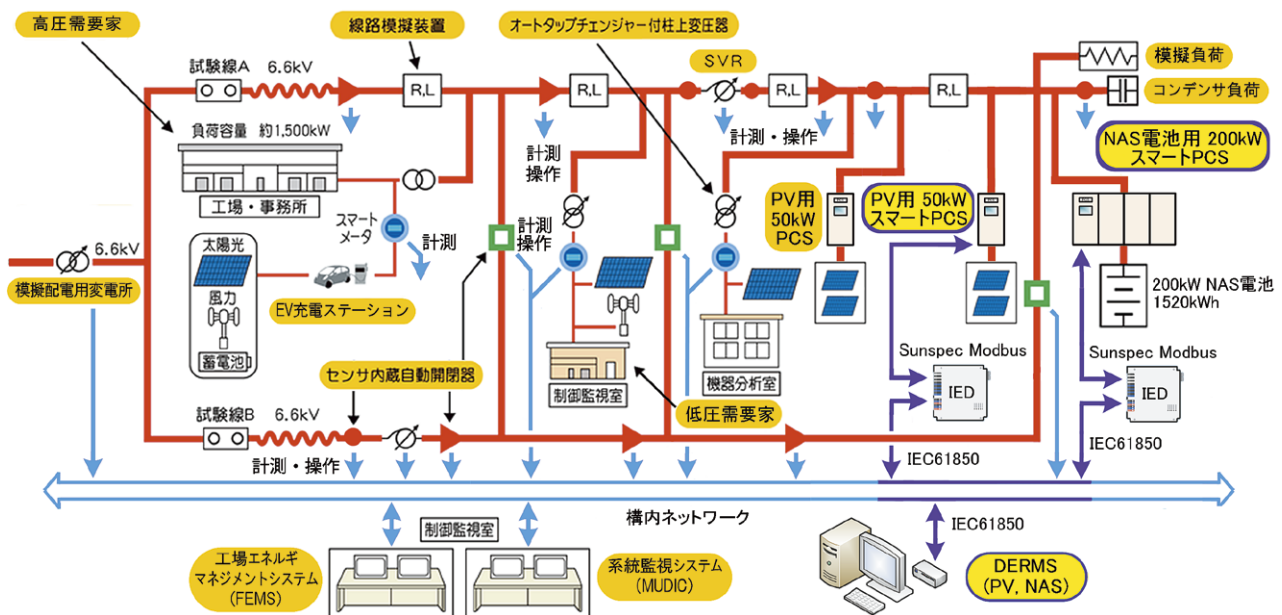


図 1 FDN 試験場の構成と、NAS 電池用 200 kW スマート PCS、PV 用 50 kW スマート PCS



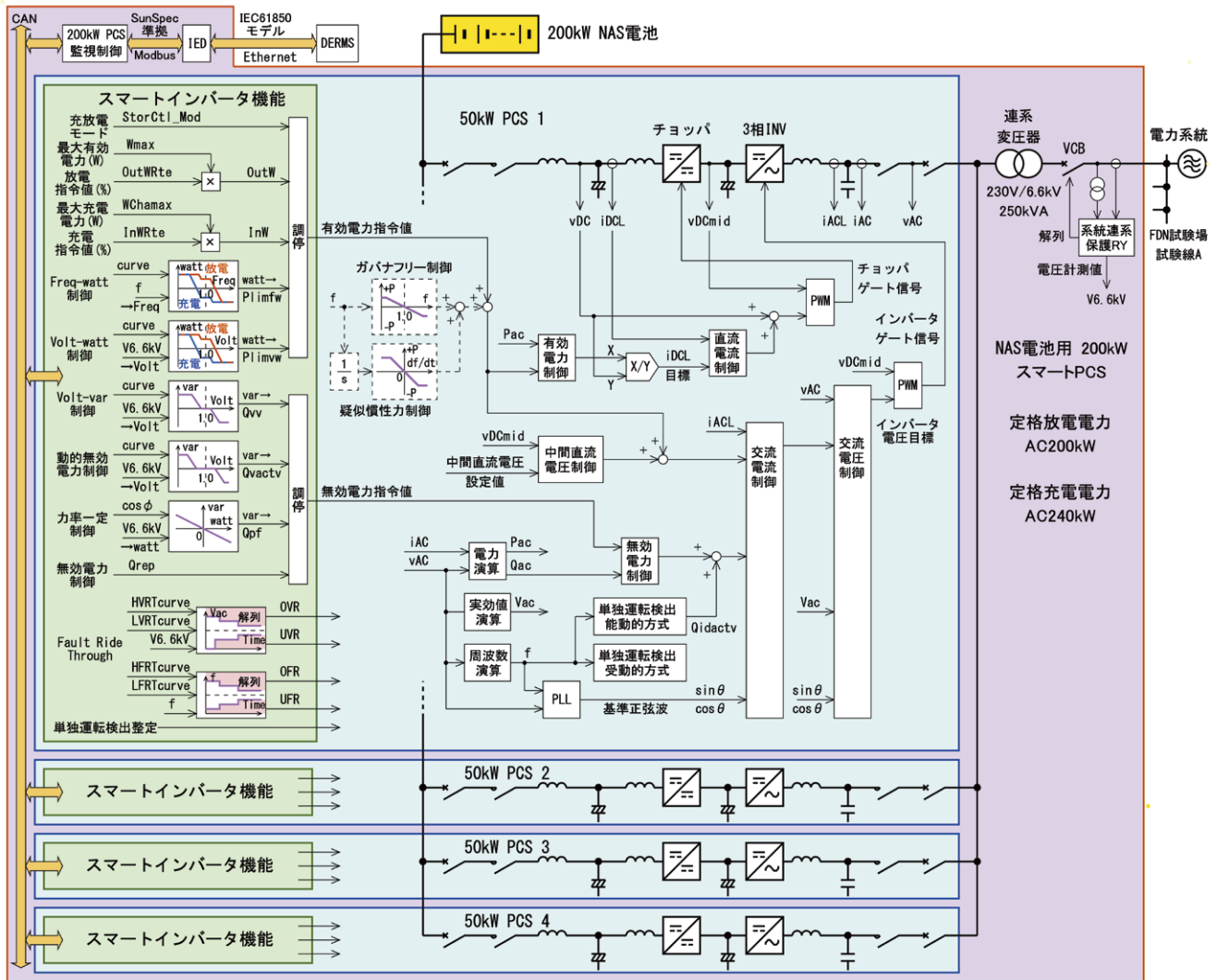


図2 NAS電池用200kWスマートPCSブロック図

いがある。

## 2.1 有効電力の制御範囲

PV用PCSでは発電方向かつPVパネルが発電可能な最大電力以下が、有効電力を制御可能な範囲である。

NAS電池用PCSでは充電と放電の双方向、定格充電電力～定格放電電力の間が、有効電力を制御可能な範囲である。

## 2.2 有効電力制御 (PV用)、充放電制御 (NAS電池用)

PV用PCSでは通常、最大無効電力制御 (MPPT) 制御がPVパネルの発電電力が最大になるように制御している。

PV用PCSのスマートインバータ機能の有効電力制御<sup>(2)</sup>は、PCS有効電力に発電方向の上限を設定し、PCS有効電力が上限を超えないよう、MPPT制御に制限をかける。

NAS電池用PCSの充放電制御は、図2左側に示す充放電モード、最大有効電力 (W)、放電指令値 (%)、最

大充電電力 (W)、充電指令値 (%) の設定に従い、充電電力指令値 (InW) または放電電力指令値 (OutW) を作成し、PCSの有効電力指令値とする。

## 2.3 Freq-watt 制御, Volt-watt 制御

PV用PCSでは、Freq-watt (周波数 - 電力) 制御<sup>(2)</sup>と Volt-watt (電圧 - 電力) 制御<sup>(2)</sup>の特性カーブ<sup>注4)</sup>の制御出力 watt の範囲を、発電方向で0から定格電力とする。

そして、PCS有効電力が制御出力 watt を超えないようMPPT制御に制限をかけるので、Freq-watt 制御, Volt-watt 制御ともに、制御入力である周波数、電圧が上昇したときのみ、PVパネルから出力可能な有効電力を下げる方向に働くことができる。

NAS電池用PCSでは制御出力 watt の範囲を、充電定格電力から放電定格電力までとし、さらに、放電運転時 (図2左側のグラフで赤) と充電運転時 (青) で、使用する特性カーブを切り替える。

NAS電池用PCSでは、Freq-watt 制御, Volt-watt 制御ともに、制御入力である周波数、電圧が上昇したとき、

図2に示すPCSの有効電力指令を下げる（充電方向に振る）だけでなく、周波数、電圧が下降したとき、有効電力指令を上げる（放電方向に振る）ことが可能である。

## 2.4 力率一定制御

力率一定制御<sup>(2)</sup>の特性カーブは、PV用PCSでは制御入力wattの範囲を、発電方向で0から定格電力とする。

NAS電池用PCSでは制御入力wattの範囲を、充電定格電力から放電定格電力までとする。

## 3 実証試験

### 3.1 実証試験の内容

FDN試験場では、図1にある線路模擬装置(R, L)を用いて、模擬配電線のインピーダンスを制御することができる。

さらに、分散型エネルギー資源管理システムDERMS（詳細は本号別稿で紹介する）から指令して、NAS電池用PCSの有効電力を、充電240kW～放電200kWの間で、制御することができる。

両者を組み合わせることで、配電線のインピーダンスと潮流を制御した試験条件で、配電線電圧の変動量、Volt-var制御、Volt-watt制御を用いた模擬配電線の電圧変動抑制効果、さらに、ステップ式電圧調整器(SVR)のタップ制御を組み合わせた場合の電圧変動抑制効果を、評価・検証中である<sup>(3)(4)</sup>。

### 3.2 今後の実証試験予定

#### (1) 蓄電池によるPV発電電力の模擬

これまで、PV用PCSの容量50kVAがFDN試験場の模擬配電線の短絡容量<sup>(5)</sup>に比べ小さく、PV発電電力の変動による配電線電圧の変動量、PV用PCSの無効電力の制御により配電線電圧を制御可能な量が、小さいことがあった。

DERMSによりNAS電池用PCSの有効電力を、PV用PCSの有効電力の4倍に制御して、PVパネルおよびPV用PCSの容量が250kWである状態を模擬させ、これまでより大規模なPV発電電力の実変動に対する、スマートPCSによる電圧変動抑制の効果と、SVRのタップ制御を組み合わせた効果を検証していく。

#### (2) 蓄電池による再生可能エネルギーの変動補償

東光高岳ではNAS電池を用いて、蓄電池により再生可能エネルギーの発電電力の変動を補償する試験を、2000年代初頭から行ってきた<sup>(5)</sup>。

今後、PVの発電電力の変動に対する補償量をDERMSにより計算し、NAS電池用PCSで変動を補償させる機能の検証を行っていく。

さらにPV発電電力の数分から日単位の長期変動の補

償とNAS電池の充放電制御を統合し、さらに監視システム(MUDIC)、工場エネルギーマネジメントシステム(FEMS)と連携して、高圧需要家と低圧需要家の負荷変動の補償を統合していく。

(3) ガバナフリー制御<sup>(6)</sup>、疑似慣性力<sup>(7)</sup>との組み合わせ

電力系統への再生可能エネルギーの導入量の増大にともない、電力系統に接続される発電設備全体に対する周波数の調整力を持たないPCSの容量が増し、同期発電機の台数と総容量が減少することで、周波数の調整力が減少していくことが予想される。

周波数の調整力が減少することにより、再生可能エネルギー発電電力が変動による周波数偏差<sup>(8)</sup>が拡大する、発電設備の脱落、系統事故時などに周波数変化率(RoCoF)<sup>(9)</sup>と周波数偏差の最大が拡大<sup>(10)</sup>するなど、電力系統の周波数が不安定化することが懸念される。

スマートインバータ機能には、周波数偏差を縮小する方向に有効電力を出力するFreq-watt機能があるが、一般的には基準周波数の前後に不感帯(Deadband)を持つ<sup>(11)</sup>設定にすることが多い。

これに対し、図2中に破線で示すように、周波数偏差に対し不感帯無しで有効電力を制御するガバナフリー制御と、周波数変化率RoCoFに対し有効電力を制御し同期発電機の慣性力を模擬する疑似慣性力をPV用PCSとNAS電池用PCSに組み込んで、周波数安定化の機能を検証していく。

さらに、スマートインバータ機能と仮想同期発電機<sup>(12)</sup>を組み合わせ、電系統を安定化させる検証を行っていく。

## 4 おわりに

FDN試験場のPV用50kW PCSと、NAS電池用200kW PCSにスマートインバータ機能を組み込み、再生可能エネルギー用と蓄電池用のスマートPCSを組み合わせた実証試験を開始した。

FDN試験場の、模擬配電線のインピーダンスを制御可能な特長と、外部の電力系統に影響を与えずに実系統規模での試験をできる利点を活かして、再生可能エネルギー用のスマートPCSと蓄電池用のスマートPCSを組み合わせ、配電線の電圧制御、マイクログリッド制御、さらに電力系統から切り離してNAS電池用PCSをCVCF運転させての自立系統制御などの、実証試験を進めていく所存である。

### ■参考文献

(1) 茂木規行：「配電ネットワーク実証試験場」, 高岳レビュー, No.175 (2011)

(2) 吉井誠：「スマートインバータの実証試験を配電ネットワーク試験場で開始」, 東光高岳技報, No.7 (2020)

(3) 山下裕輔, 宮崎輝, 芳澤信哉, 林泰弘, 村下直久：「SVR 設置配電系統への Volt-var 制御適用に関する基礎検討」, 令和元年電気学会電力・エネルギー部門大会, 論文 No.131 (2019)

(4) 尾崎卓也, 茂木規行, 宮本卓也：「配電系統の電圧制御シミュレーション」, 東光高岳技報, No.3 (2016)

(5) 吉井誠, 佐藤正幸：「電力系統への影響を低減した風力発電システム」, 高岳レビュー, Vol.48 No.1 (2001)

(6) 電気学会電気規格調査会：「2.用語の説明」, 自励変換装置の能動連系, JEC-2441-2012, p.8 (2012), 電気書院

(7) 一般社団法人日本電機工業会：「用語解説スマートインバータ (Smart inverter)」, <https://www.jema-net.or.jp/Japanese/res/dispersed/data/s09.pdf>

## ■語句説明

注1) パワーコンディショナ PCS (Power Conditioning System)：直流で発電された電力を交流に変換して電力系統に出力する機能を持ち, 制御監視装置, 系統連系変換装置, 直流変換装置, 付属装置などすべて備えた装置<sup>(6)</sup>。直流から交流, 交流から直流の双方向の電力変換が可能な場合も PCS とよぶ。PCS 全体を系統連系インバータとよぶことも多い。IEC 規格, CISPR 規格などの国際規格では, GPC (Grid Connected Power Converters) とよぶ。

注2) スマートインバータ：自律調整機能 (電圧安定化, 周波数安定化, 力率調整, 出力制御, ソフトスタートなどを実現するインバータ制御機能) と電力会社またはアグリゲータとの双方向通信機能を有し, 電力系統の安定化および電力品質の向上と同時に電力会社との協調を実現する次世代電力変換装置<sup>(7)</sup>。スマートインバータ機能を持たない PCS は, 系統電圧・周波数の変動に対して無効電力・有効電力が変化しないように制御するので, 電力系統を安定化する機能を持たない。

注3) NAS 電池：ナトリウム硫黄電池。正極に硫黄, 負極に金属ナトリウム, 電解質にβアルミナセラミックスを用い, 約 300°C で動作する。NAS 電池は, メーカーである日本ガイシ (株) の登録商標。

注4) 特性カーブ：制御入力と制御出力の関係, 制御特性。Freq-watt 制御を例にすると, 図2の左側に示すように制御入力の周波数 Freq を横軸, 制御出力の電力 watt を縦軸とする, グラフ上のカーブとして表すことができる。

注5) 短絡容量：電力系統で, 定格電圧と短絡電流の積から求まる皮相電力。配電線のある地点で定格電圧三相 6.6 kV, 三相短絡電流 2 kA であれば, 短絡容量は 23 MVA である。短絡容量を A, PCS の設備容量を B とすると,  $\pm$  定格電圧  $\times$  B/A が PCS により制御できる最大の電圧。例：短絡容量が 10 MVA の線路に接続した 200 kVA の PCS は, 線路電圧を最大  $\pm$ 2% 制御できる。

注6) ガバナフリー制御：同期発電機においては, タービンの入力流量を制御する弁, 水力発電機ではガイドベーン, 蒸気タービンでは蒸気加減弁の開度を, 発電機の回転速度が上昇すれば減少させ, 回転速度が下降したら増加させて, 回転速度を一定に保つ制御。周波数低下が原因でタービン回転速度が低下したときは, 弁の開度を増加させるとタービンを介して発電機への機械入力が増加し, 電気出力が増加

して電力系統の周波数を上昇させる方向に働く。PCS では, 周波数偏差に不感帯を持たせずに, 周波数上昇時に有効電力出力を減少させ, 周波数下降時に有効電力出力を増加させる制御を, 同期発電機にならないガバナフリー制御とよぶ。

注7) 疑似慣性力：PCS に周波数変化率に応じて有効電力を制御させ, 回転機の慣性力を模擬する機能。慣性エネルギーは回転の角速度の二乗に比例するので, 慣性エネルギー 600 kJ の同期発電機の場合, 角速度 (電力系統周波数と同期) が定格の 1% 低下する間に, (線形近似では) 慣性エネルギーの 2%, 12 kJ のエネルギーを電力系統に放出する。よって 200 kW PCS に 600 kJ の慣性エネルギーを持つ同期発電機を模擬させる場合, 系統周波数が 1% /s の RoCoF<sup>注9)</sup> で低下するとき, 疑似慣性力制御は PCS の電力を放電方向に 12 kW 増加させる。

注8) 周波数偏差：標準周波数 (50 Hz, 60 Hz) と実際の電力系統の周波数との差。国内の電力会社における平常時の周波数調整目標範囲は, 周波数偏差  $\pm$ 0.2 Hz 内 (本州, 四国, 九州) および  $\pm$ 0.3 Hz 内 (北海道, 沖縄) である。 $-5\% \sim +3\%$  の周波数偏差に対し PCS は連続して, 同期発電機は短時間, 運転を継続することが求められる。

注9) 周波数変化率 RoCoF (Rate of Change of Frequency)：周波数の変化速度  $\Delta f / \Delta t$ 。電力系統の発電電力と電力需要の差に対し, 電力系統に接続される同期発電機の慣性モーメントが大きいかほど RoCoF が小さくなる。電力系統に接続される同期発電機の台数と容量が減り慣性モーメントが減ることで, RoCoF が大きくなる懸念されている。

注10) 周波数偏差の最大が拡大：発電設備の脱落により周波数が低下する場合を例とすると, 連系を継続している同期発電機のガバナフリー制御 (一次調整力) により発電電力が増加し周波数が上昇に転じるまでの, 周波数の最大の低下量を周波数最大偏差 (Nadir) とよぶ。系統に接続している同期発電機が減少すると, 発電設備が大量に脱落したときの RoCoF と Nadir が大きくなり, UFR が動作して負荷遮断による広域停電, さらに同期発電機の連鎖的な解列による電力系統のブラックアウトにいたる可能性が高まる。

注11) 基準周波数の前後に不感帯を持つ：Freq-watt 制御の不感帯の設定として  $\pm$  数十 mHz  $\sim$   $\pm$  数 Hz の例が報告されているが, 国内の実証試験では不感帯を標準周波数の  $\pm$  1% (50 Hz 系統では  $\pm$ 0.5 Hz) くらいに設定する例が多い。この場合, 電力会社における平常時の周波数調整目標範囲を逸脱してから, Freq-watt 制御が働くことになる。

注12) 仮想同期発電機 VSG (Virtual Synchronous Generator)：周波数変化に対しては疑似慣性力により有効電力を制御し, 電圧変化に対しては無効電力を制御して, 電力系統から見ると, あたかも同期発電機が連系されているように見える PCS を, 広い意味で仮想同期発電機とよぶ。狭い意味では, 回転子の運動方程式 (動揺方程式) と電気的な等価回路を PCS の制御に組み込み, リアクタンスを介して電力系統と連系した電圧源として動作させる PCS を仮想同期発電機とよぶ。仮想同期発電機には, ガバナフリー制御, 電圧制御 (AVR) まで含める場合もある。

## 吉井 誠

イノベーション推進部

イノベーション企画部 次世代系統技術グループ 所属



# PV 向けスマートインバータの遠方監視制御に対応した DERMS の開発

■ 宮本 卓也  
Takuya Miyamoto

再生可能エネルギーの導入拡大を背景に、分散型エネルギー資源 (DER) に電力系統支援機能を具備したスマートインバータと、それらを遠隔から集約監視・制御する分散型エネルギー資源管理システム (DERMS) の導入に向けた標準化が検討されている。

東光高岳では、小山事業所配電ネットワーク実証試験場 (FDN 試験場)<sup>(1)</sup> のスマートインバータ機能を実装した太陽光発電 (PV) 用スマートパワーコンディショナ (スマート PCS)<sup>(2)</sup> を遠方監視制御する DERMS を国際標準規格 IEC61850 に準拠した通信仕様で開発し、実規模システムにて性能検証試験を実施しており、本稿でその状況を紹介する。

## 1 はじめに

太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギーの導入拡大を背景に、DER に電力系統安定支援機能を具備したスマートインバータと、それらを遠隔から集約監視・制御する DERMS の導入が米国で進められている。日本では、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) の実証事業にて、日本仕様に向けた標準化の検討および実証試験が進められている<sup>(3)</sup>。

東光高岳は、NEDO 実証事業にてスマートインバータ制御装置を納入したのちに、小山事業所 FDN 試験場の 50 kW PV 用 PCS へスマートインバータ機能を実装した<sup>(2)</sup>。さらに、スマート PCS を遠隔から監視制御する DERMS を国際標準規格 IEC61850 に準拠した通信仕様にて開発し、実規模システムでの性能検証試験を実施しており、本稿でその状況を紹介する。

## 2 DERMS の概要

### 2.1 DERMS の役割

DERMS は、PV や蓄電池などの DER を統合する管理システムである。通信接続された DER の計測情報を集約し、地域・季節・系統構成などの系統条件に応じたスマートインバータ機能の整定値変更および制御指令を遠隔から行うことで、再生可能エネルギーの導入拡大と電力系統の安定維持を両立することが目的である。

### 2.2 システム構成

図 1 に DERMS を接続した FDN 試験場のシステム構成を示す。DERMS は、国際標準規格 IEC61850 に準拠した通信機能部と、設定値変更や運転状況を監視する HMI 部で構成している。DERMS は、スマート PCS からの計測情報の記録および表示 (数値, テンドグラフ), 各スマートインバータ機能の整定値や特性カーブの設定変更および制御指令を可能とする。図 2 に

Volt-var 制御<sup>(2)</sup>の整定値画面を示す。

(1) 国際標準規格 IEC61850 の適用

DERMS とスマート PCS との通信は双方向制御可能な IEC61850 を適用する。スマート PCS はスマートインバータ機能を SunSpec 情報モデルにて実装しており、IEC61850 と SunSpec Modbus のプロトコル変換機能を実装した IED を中継することで IEC61850 通信を可能とする。スマートインバータ機能に関する情報モデルは、IEC61850-90-7 に示されるユースケースを元に、IEC61850-7-4 および IEC61850-7-420 に定義される論理ノードなどを用いて実装した。

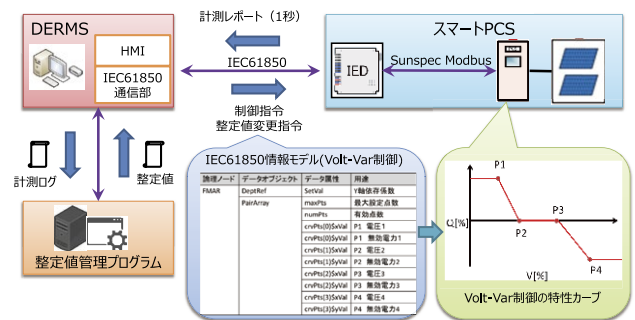


図 1 DERMS システム構成



図 2 DERMS 画面 (Volt-var 制御)



## (2) 整定値管理プログラムとの連携

東光高岳が取り組むスマートインバータ機能の運用方法に関する研究<sup>(4)</sup>で考案するアルゴリズムを実装した整定値管理プログラムを構築し、DERMS へ接続することで、FDN 試験場での検証を可能とした。

整定値管理プログラムは、DERMS が集約した計測ログと系統条件からスマートインバータ機能の整定値を決定し、DERMS へ送信する。その後、DERMS は受信した整定値をスマート PCS へ配信する。

## 3 試験場での検証試験

FDN 試験場にて、Volt-var 制御の検証一例を紹介する。

Volt-var 制御は、X 軸を系統電圧、Y 軸を無効電力とした特性カーブに従い無効電力を出力する制御である。

### 3.1 検証条件

図 3 に FDN 試験場での回路構成を示す。試験線 A で有効電力による系統電圧が変動しやすい条件 ( $R3 \gg R$ ) にて、Volt-var 制御の無効/有効による系統電圧の変動を検証した。

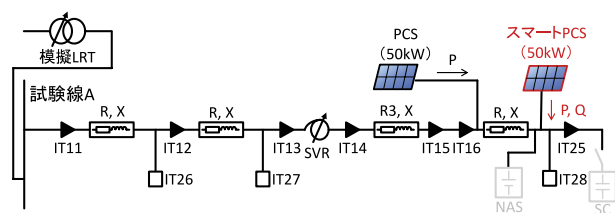


図 3 FDN 試験場の回路構成

### 3.2 検証結果

図 4 に検証時の DERMS のトレンドグラフ画面を示す。

Volt-var 制御を無効時、有効電力の変動に応じて系統電圧が変動している ( $\Delta 85V/\Delta 20kW$ )。一方、

Volt-var 制御を有効時には、系統電圧上昇の抑制 ( $\Delta 60V/\Delta 20kW$ ) を確認できる。

また、図 4 右側には Volt-var 制御の特性カーブと最新計測値 (赤点) を示し、設定した特性カーブにしたがって無効電力出力を制御していることが確認できる。

## 4 おわりに

本稿では、IEC61850 に準拠した DERMS システムとスマートインバータ機能の検証一例を紹介した。

今後は、50 kW PV 用スマート PCS と別稿で紹介する 200 kW NAS 電池用スマート PCS および SVR のタップ制御を組み合わせた協調制御について、FDN 試験場の実規模配電線を用いて効果を評価する予定である。また、DER 関係を規定する IEC61850-7-420 の改定が進められており、改定後は IEC61850-7-420 Ed2 に準拠して DERMS を改修する予定である。

### ■参考文献

- (1) 茂木規行：「配電ネットワーク実証試験場」, 高岳レビュー, No.175 (2011)
- (2) 吉井誠：「スマートインバータの実証試験を配電ネットワーク試験場で開始」, 東光高岳技報, No.7 (2020)
- (3) 前田亮, 福岡建志, 吉岡康哉, 原田慈：「電力系統課題に対するスマートインバータへの期待」, 電気学会論文誌 B, Vol.138, No.6 (2018)
- (4) 山下裕輔, 宮崎輝, 芳澤信哉, 林泰弘, 村下直久：「SVR 設置配電系統への Volt-var 制御適用に関する基礎検討」, 令和元年電気学会電力・エネルギー部門大会 (2019), 論文 No.131

### 宮本 卓也

イノベーション推進部  
イノベーション企画部 次世代系統技術グループ 所属

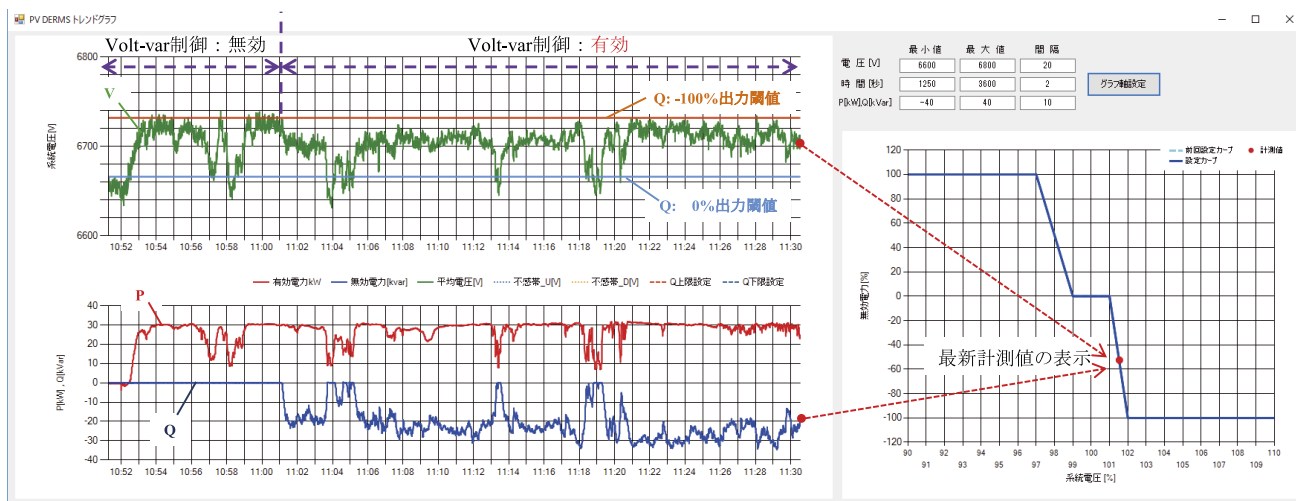


図 4 Volt-var 制御による系統電圧上昇抑制 (DERMS 画面)

# 最適な送電線過負荷制御に対応する 多端子伝送型 OLR 装置の開発

■ 田沼 秀和  
Hidekazu Tanuma

地球環境に対して負荷の少ない再生可能エネルギーの導入量が増大する一方、太陽光や風力など一部の再生可能エネルギーは電力出力の変動が大きい。このため、従来の送電線過負荷保護リレー装置では、過負荷制御の対応が難しい送電線が出てきている。

本稿では、国際規格に準拠した SEL 社製の汎用 IED を搭載し、最適な送電線過負荷制御に対応する装置を開発したので紹介する。

## 1 はじめに

近年 66 kV 送電線への新規電源系統連系増加に伴い、送電線 1 回線事故時に残回線が過負荷になる場合がある。送電線は区間ごとに送電容量が異なるとともに、接続される発電事業者が太陽光発電の場合、電力出力の変動が大きいことから、従来の送電線過負荷保護リレー装置（以下、OLR<sup>注1)</sup>）では、最適な過負荷制御への対応が難しい送電線が出てきている。各地点の電力潮流値を中央装置へ伝送することにより、送電線区間ごとの潮流値を演算し、過負荷区間に対応した最適な制御を実施する多端子伝送型 OLR 装置を開発し、現地運用を開始したので紹介する。

合は、異常検出端末のみあらかじめ設定した電圧・電流の固定値を使用。

- (3) 端末装置は、メインと FD ユニットおのおので計測およびデータ伝送を行い、片側ユニット故障や伝送路片系異常でも中央装置の負荷演算処理が可能。
- (4) 端末装置のバイパス処理（転送遮断信号 ON）により、伝送片系異常時でも転送遮断が可能。
- (5) 電源・IED ユニットなどの常時監視および制御出力回路の自動点検により、装置故障を早期に発見可能。
- (6) 端末装置は、最大 16 台の接続が可能。
- (7) 初回納入の装置構成から端末増設や区間増設される場合でも、整定変更により対応が可能。

## 2 装置構成

### 2.1 システム構成

多端子伝送型 OLR 装置は、中央装置と端末装置で構成される。システム構成を図 1 に示す。中央装置は、変電所や開閉所など過負荷検出対象の送電線端に設置する。端末装置は、送電線に接続する配電用変電所や特高需要家・発電事業所の構内に設置する。

中央装置と端末装置は、SEL 社<sup>注2)</sup> IED<sup>注3)</sup> を搭載し、ネットワークで接続される。装置間の通信プロトコルは、国際標準規格 IEC 61850<sup>注4)</sup> を採用する。

端末装置の計測データは、MMS<sup>注5)</sup> 伝送により中央装置へ送信される。中央装置で区間ごとに負荷演算処理した結果にもとづき、中央装置は、送電線の過負荷区間の端末装置へ GOOSE<sup>注6)</sup> 伝送により転送遮断信号を送信する。本システムの特長を以下に示す。

- (1) 1 点故障による誤動作防止策としてメイン<sup>注7)</sup> - FD<sup>注8)</sup> 方式を採用、伝送路異常に対する冗長化対策として伝送 2 ルート方式を採用。
- (2) 中央装置は、メインと FD ユニートを連携することで計測データやユニット状態などを共有し、伝送路の片系異常でも負荷演算処理が可能。両系伝送異常に伴い端末からの計測データが途絶えた場

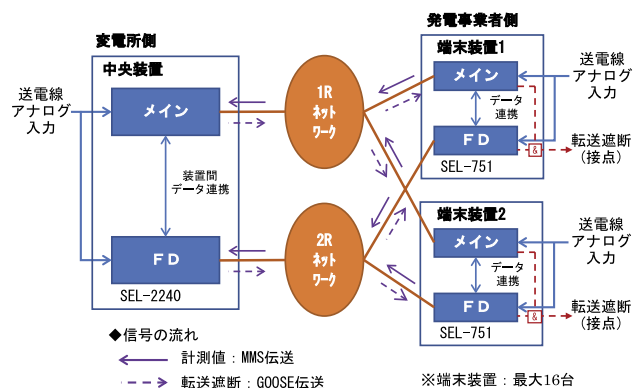


図 1 システム構成図

### 2.2 中央装置の役割と基本仕様

中央装置は、送電線区間ごとの潮流値を演算し、過負荷区間の端末装置へ遮断指令を出力する。基本仕様を以下に示す。また、処理概要を図 2、装置の外観を図 3 に示す。

- (1) 筐体構造は、屋内設置の前後面保守が可能。
- (2) 送電線区間を最大 10 区間まで設定が可能。
- (3) 区間ごとに 3 段階の過負荷動作値（100-8,000A）と各端末ごとにタイマ値（0-999.0 秒）を整定可能。
- (4) 夏季／冬季の 2 シーズン設定が可能。
- (5) 過負荷演算を送電回線ごとに実施し、端末装置の 1

回線受電にも対応が可能。

- (6) 中央装置および各端末装置から有効電力、無効電力、電圧値、電流値を MMS 伝送で受け取り負荷演算処理を実行。
- (7) 端末装置ごとに転送遮断/計測値のロックが可能（転送遮断の除外、計測値をゼロと認識する演算処理を実施）。
- (8) 潮流方向対応のため、皮相電流加算方式を採用。なお、皮相電流加算方式は、3.1 項を参照。
- (9) 伝送データおよび伝送路状態の監視が可能。
- (10) 端末装置の異常を中央装置で確認が可能。
- (11) 搭載 IED (SEL-2240) は、国際標準プログラミング言語 IEC 61131 に準拠。
- (12) 保護やタイマ要素の強制制御およびオシロスコープ（以下、オシロ）出力による現地試験の補助機能を搭載。

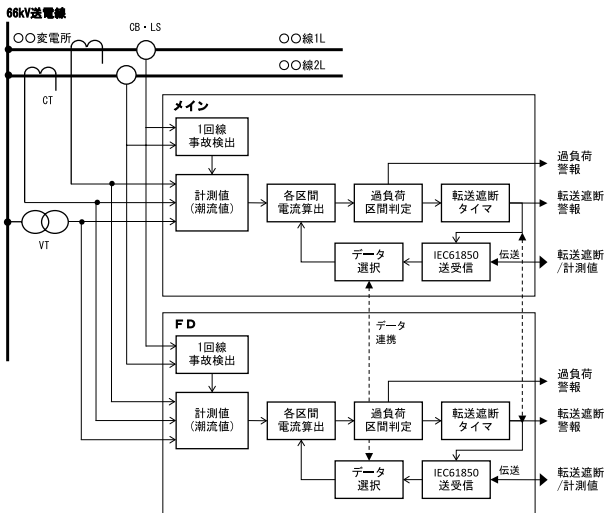


図2 中央装置の処理概要



図3 中央装置の外観

### 2.3 端末装置の役割と基本仕様

端末装置は、送電線の各区分に設置され、計測データを中央装置へ送信する。基本仕様を以下に示す。また、表1の端末タイプ④の処理概要を図4、装置の外観を図5に示す。

- (1) 筐体構造は、2タイプ（屋外または屋内設置の前後面保守が可能）。
- (2) 発電事業所設置の端末は、セキュリティ対策として、屋外扉ハンドルは、特殊な鍵番号を使用。また、屋内盤は正背面カバーの取付けに特殊ネジを使用。
- (3) 設置場所（電源設備）に応じて、電圧値・電流値の読み込み方式を5タイプ（表1参照）用意。
- (4) 既存のGOOSE-OLR処理盤から転送遮断信号を受信して制御が可能。
- (5) 保護やタイマ要素の強制制御およびオシロ出力による現地試験の補助機能を搭載。

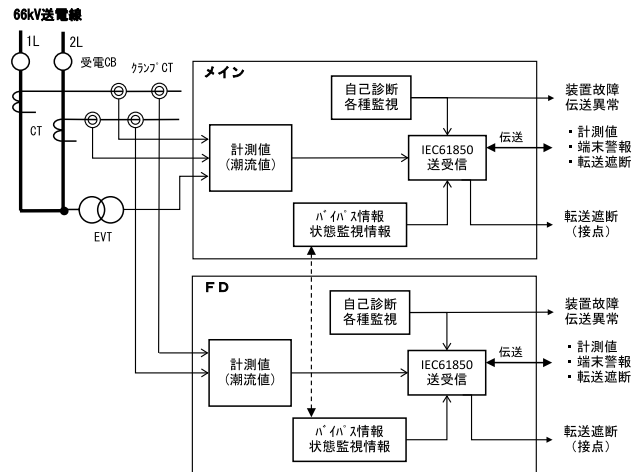


図4 端末装置の処理概要

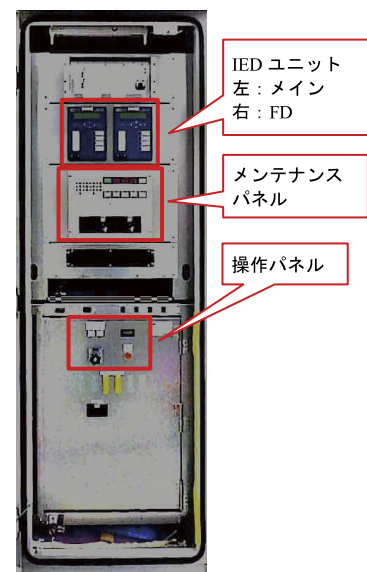


図5 端末装置の外観（扉開放状態）

表 1 端末装置の電流・電圧取り込みタイプ

設置場所	端末タイプ	電 流		電 圧	
		取り込み先	方法	取り込み先	方法
配電用変電所	①	各バンク二次 CT	直接引込	各バンク二次 EVT	直接引込
	②	1L, 2L 受電 CT	同上	受電 EVT	同上
特高需要家発電事業所	③	同上	同上	同上	同上
	④	同上	クランプ CT	同上	同上
	⑤	MOF <sup>注9)</sup>	同上	同上	同上

※電圧・電流の取り込みは、第3 (T または C) 相とする。  
 ※電圧取り込みが困難な場合、定格電圧値、力率 1.0 (固定) とする。  
 ※潮流は、送電線への流入方向を正とする。

### 2.4 各装置の機能

中央装置の運用・試験に関する設定・制御および表示は、パソコンのウェブブラウザが表示画面および盤面のメンテナンスパネルにより実施するが、遠隔にあるパソコンからのリモート接続にも対応する。

中央装置の機能一覧を表 2 に示す。これらの機能は、ユーザ種別により使用機能の制限が可能である。

表 2 中央装置の機能一覧およびユーザ種別

機 能	内 容	ユーザ種別
整定	整定値の読出し、変更	HMI_Operator
計測表示	中央装置、各端末装置の電流値、電圧値の表示および区間電流算出データの選択状況の表示	HMI_Operator
強制制御	選定した要素に対し、強制出力	HMI_Operator
オシロ出力	オシロ出力端子への動作信号出力	HMI_Operator
伝送遅延時間測定	伝送遅延時間の測定	HMI_Operator
自己診断結果確認	自己診断結果の確認	HMI_Operator
時刻設定	時刻設定 (ログ時刻、点検タイマ)	Administrator
ネットワーク設定	IEC61850-GOOSE HI-PC 用ネットワーク設定	Administrator
ログデータ確認	ログデータの確認	HMI_Operator
I/O 確認	各 I/O 動作状態の確認	HMI_Operator

※ユーザ種別 Administrator はすべての機能が使用できる。  
 ※ HMI\_Operator は使用できる機能が制限される。

端末装置の運用・試験に関する設定・制御および表示は、IED のアプリケーションをインストールしたパソコンおよび盤面のメンテナンスパネルにより実施するが、遠隔にある同様パソコンからのリモート接続にも対応する。

端末装置の機能一覧を表 3 に示す。これらの機能は、アクセス権限により、使用機能の制限が可能である。

表 3 端末装置の機能一覧およびアクセス権限

機 能	内 容	アクセス権限
整定	整定値の読出し、変更	アクセスレベル 2
強制制御	選定した要素に対し、強制出力	アクセスレベル 1
オシロ出力	オシロ出力端子への動作信号出力	アクセスレベル 1
自己診断結果確認	自己診断結果の確認	アクセスレベル 1
時刻設定	時刻設定 (ログ時刻、点検タイマ)	アクセスレベル 2
ネットワーク設定	IEC61850-GOOSE HI-PC 用ネットワーク設定	アクセスレベル 2
ログデータ確認	ログデータの確認	アクセスレベル 1

※アクセスレベル 2 は、すべての機能が使用できる。  
 ※アクセスレベル 1 は、使用できる機能が制限される。

## 3 過負荷区間トリップ設定

### 3.1 区間電流の算出方法

中央装置は、端末装置からの電流データを用いて区間電流を算出する。区間電流の算出は、区間電流設定によって選択された各端末装置からの有効電流 (IP)、無効電流 (IQ)、それぞれの総和を求め、皮相電流 (IS) を算出する。図 6 に示す送電線の装置設置例 (端末装置 4 台、5 区間) において、表 4 の区間電流設定を行った場合、各区間の皮相電流の算出方法を (3) 式に示す。また、皮相電流加算方式のイメージを図 7、区間電流の計算結果を表 5 に示す。

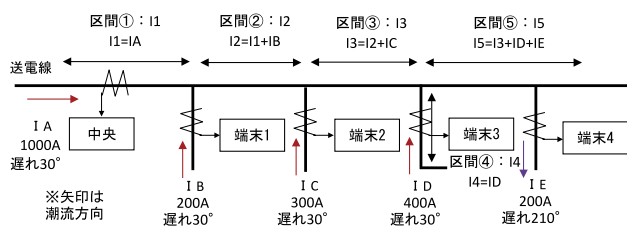


図 6 各装置の設置例

表 4 区間電流設定例

装置名称	装置記号	設置場所	区 間				
			①	②	③	④	⑤
中央	M	A 変電所	○	○	○		○
端末 1	R1	B 発電所		○	○		○
端末 2	R2	C 発電所			○		○
端末 3	R3	D 発電所				○	○
端末 4	R4	E 変電所					○

※○印は、区間ごとの装置電流値の使用 (加算) 選択を示す。



【有効電流算出】

$$\begin{aligned} \text{区間①IP} &= M_{IP} \\ \text{区間②IP} &= M_{IP} + R1_{IP} \\ \text{区間③IP} &= M_{IP} + R1_{IP} + R2_{IP} \\ \text{区間④IP} &= R3_{IP} \\ \text{区間⑤IP} &= M_{IP} + R1_{IP} + R2_{IP} + R3_{IP} + R4_{IP} \end{aligned}$$

(1)式

【無効電流算出】

$$\begin{aligned} \text{区間①IQ} &= M_{IQ} \\ \text{区間②IQ} &= M_{IQ} + R1_{IQ} \\ \text{区間③IQ} &= M_{IQ} + R1_{IQ} + R2_{IQ} \\ \text{区間④IQ} &= R3_{IQ} \\ \text{区間⑤IQ} &= M_{IQ} + R1_{IQ} + R2_{IQ} + R3_{IQ} + R4_{IQ} \end{aligned}$$

(2)式

【皮相電流算出】

$$\begin{aligned} \text{区間①IS} &= \sqrt{((\text{区間①IP})^2 + (\text{区間①IQ})^2)} \\ \text{区間②IS} &= \sqrt{((\text{区間②IP})^2 + (\text{区間②IQ})^2)} \\ \text{区間③IS} &= \sqrt{((\text{区間③IP})^2 + (\text{区間③IQ})^2)} \\ \text{区間④IS} &= \sqrt{((\text{区間④IP})^2 + (\text{区間④IQ})^2)} \\ \text{区間⑤IS} &= \sqrt{((\text{区間⑤IP})^2 + (\text{区間⑤IQ})^2)} \end{aligned}$$

(3)式

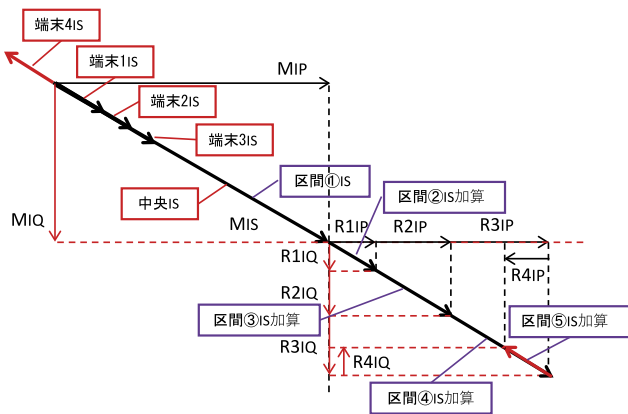


図7 皮相電流加算方式のイメージ

表5 区間電流の計算結果

装置	電流名	電流		各装置		区間電流設定				
		電流値(A)	遅れ角(度)	IP(A)	IQ(A)	①	②	③	④	⑤
中央	IA	1000	30	866	500	1	1	1	0	1
端末1	IB	200	30	173	100	0	1	1	0	1
端末2	IC	300	30	260	150	0	0	1	0	1
端末3	ID	400	30	346	200	0	0	0	1	1
端末4	IE	200	210	-173	-100	0	0	0	0	1
区間Σ IP(A)						866	1039	1299	346	1472
区間Σ IQ(A)						500	600	750	200	850
区間電流(A)						1000	1200	1500	400	1700

3.2 区間トリップの設定

3.1 項で算出した区間ごとの電流値がリレー整定値を

超過した場合に出力する転送遮断信号送信先の端末装置を、区間リレーごとに設定できる。区間トリップの設定例（端末装置4台、5区間）を表6に示す。

表6 区間トリップ設定例

トリップ出力対象	装置記号	処理タイム	処理タイム起動条件				
			①	②	③	④	⑤
送電線	-	T 自端	○	○	○		○
端末1	R1	T1		○	○		○
端末2	R2	T2			○		○
端末3	R3	T3				○	○
端末4	R4	T4					

※○印は、処理タイム起動条件を示す。

4 おわりに

多端子伝送型 OLR 装置や従来の OLR 装置は、送電線の電源連系増加に伴う 1 回線事故時の過負荷保護を IEC 61850 に準拠した汎用 IED を搭載した装置で構築し、運用中である。今後本システムへの他社製装置の接続評価を検討し、さらなる利便性向上を進めていきたい。

■ 語句説明

注1) OLR : Over Load Relay (過負荷リレー) の略称、従来型 OLR は、送電端の過負荷検出で発電設備を契約順に遮断するが、多端子伝送型は、送電線を区間分割して過負荷区間の発電設備を優先して遮断する。

注2) SEL 社 : Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. の略称、米国ワシントン州プルマンに本社工場。

注3) IED : Intelligent Electronic Device (高性能電子装置) の略称、システムの合理化、標準化を図ることができる。内蔵機能を組み合わせて幅広くユーザカスタマイズができ、汎用性が高い。IEC 61850-2 に定義。

注4) IEC 61850 : 変電所の統合 / オートメーションに使用される通信ネットワークとシステムの規格。

注5) MMS : Manufacturing Message Specification の略称、リアルタイムデータと監視制御情報を転送するための国際的に標準化されたメッセージングシステム。

注6) GOOSE : Generic Object Oriented Substation Event の略称、IED が有するデータをイーサネットのマルチキャストで高速通信する方式。

注7) メイン : Main Detecting Relay (主検出リレー) の略称。

注8) FD : Fault Detecting Relay (事故検出リレー) の略称。

注9) MOF : 計器用変圧器と変流器を1つの箱に組み込んだ機器、現在は VCT (Voltage and Current Transformer) と呼ぶ。

田沼 秀和

電力プラント事業本部 電力システム製造部  
保護制御装置設計グループ 所属



# 部分放電診断装置 (PD キャッチモニタ)

■ 宮崎 未知果  
Michika Miyazaki

■ 藤野 守也  
Moriya Fujino

■ 小宮 英明  
Hideaki Komiya

■ 高野 裕基  
Hiroki Takano

## 1 はじめに

電力機器の事故が社会に及ぼす影響は重大である。事故を未然に防ぐためには劣化診断を行い、異常を早期に発見することが有効である。このような劣化診断には、絶縁破壊の前駆現象で発生した部分放電を測定する検査手法がある。従来、この検査は現地に測定器を持参し人手で実施することが多い。一方で、近年はIoT技術を用いて機器のセンシングを自動化し、遠隔監視を行う取り組みが盛んであり、電力機器の設備保全業務のさらなる省力化・低コスト化が期待されている。

このような背景から今回、油絶縁方式の変電設備の部分放電を常時監視する部分放電診断装置「PD キャッチモニタ」を東京電力パワーグリッド(株)と共同開発した。

図1に製品外観、表1に基本仕様を示す。



図1 製品外観

## 2 システム構成

システム構成を図2に示す。被測定物の筐体表面に取り付けた面電流センサが、部分放電により筐体表面に生じる電磁波を電気信号に変換して本装置に伝達する。本装置は入力された電気信号を解析して部分放電の有無を診断し、部分放電を検出した際は接点によって既設の制御盤へ警報接点を出力する。制御盤が受信した接点情報は制御所の上位システムへ送信される。なお、警報の伝送方法は、将来的に無線伝送(IP伝送)への切り替えも検討している。

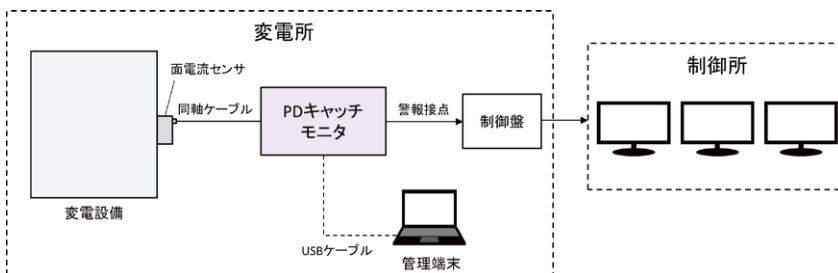


図2 システム構成

表1 基本仕様

項目	仕様
電源定格	DC110 V
消費電力	5 W 以下
寸法	幅 180 mm × 奥行 180 mm × 高さ 50 mm
質量	1.2 kg 以下 (センサ、ケーブル除く)
動作温度	-10°C ~ +60°C
動作湿度	30~80 % RH (結露なし)
外部 IF	同軸 (BNC) コネクタ
	警報接点 (b 接点)
	管理用 USB microB ポート

## 3 特長

(1) 高感度で安価な面電流センサを採用

従来の検査では、部分放電による超音波をとらえる AE センサを用いた部分放電測定が行われていることが多い。しかし、AE センサの場合はセンサ本体が高価であることに加え高性能なアンプが必要になる(図3(a))。一方、本装置で採用する面電流センサは AE センサ本体よりも安価であり、アンプのような外部機器も不要であるため(図3(b))、設備あたりの導入コスト減に寄与する。また、検出感度も AE センサと同等以上である。

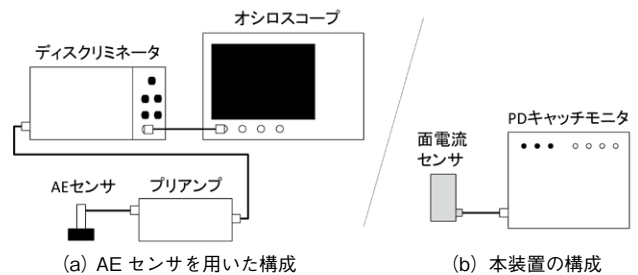


図3 装置構成の比較

さらに、面電流センサを用いた従来の診断方法では高速なオシロスコープを用いるが、本装置はアナログ回路を用いて信号処理を行うことによりコストを抑えている。

(2) 小型で容易に設置可能

本体は重量 1.2 kg 以下と軽量、形状は薄型であるため既存の盤の扉に特別な工事を必要とせずに設置できる。取り付けには強力な面ファスナを用い、メンテナンス時に脱着が可能である。

面ファスナが使用できない場合は、筐体の四隅に長穴を備えており、ボルトを使用した取り付けが可能である。

### (3) 常時監視で異常を早期発見

従来の検査では人的リソースの問題から検査頻度の向上に限度があり、最後の検査から次の検査までの間に劣化が進んでしまうおそれがある。本装置は常時監視を行うため、事故の予兆を早期に発見し事故の未然防止が可能である。

### (4) 部分放電測定のプロ人化・低コスト化

従来の AE センサによる検査の場合は専門スキルを有した作業者を現地に派遣する必要があったが、本装置は無人監視が可能で、かつ、専門的なスキルも必要ないため、人件費を大幅に削減できる。

## 4 機能概要

### (1) 部分放電診断機能

本装置は面電流センサからの信号を常に監視する。その信号波形を独自のアルゴリズムにて分析し、部分放電が発生していないかを診断する。

### (2) 警報機能

部分放電を検出した場合、警報接点によって上位システムへ伝えることができる。部分放電検出以外にセンサ断線、電源断、装置異常などの発生も警報接点で知らせる。各異常の発生状況は LED でも表示するため、現場で容易に目視確認ができる。

### (3) 自己診断機能

部分放電診断機能が正常に機能しているか、自動で 24 時間ごとに測定回路へ模擬信号を入力し自己診断を行う。装置の異常を検出した場合は警報接点により上位システムに知らせることができる。

### (4) ログ機能

部分放電を検出した時刻や測定データをログに記録している。本装置のログの種類と内容を表 2 に示す。

表 2 ログ仕様

項目	内容
測定ログ	部分放電検出時の測定データ (検出日時, 信号レベルなど)
運用ログ	起動や設定変更などの操作記録
定期ログ	30 分ごとの診断結果 (最大約 20 日分)

これらのログは後述の管理機能で管理端末の画面上に表示することができる。部分放電未検出の場合も 30 分ごとの測定データを定期ログに記録するため、部分放電を検出した場合に検出時刻の前後のトレンドを本機能から確認できる。

### (5) 管理機能

異常発生時や装置メンテナンスの際、現地にて USB ケーブルで本装置を管理端末と接続し、画面上でログの表示や診断に用いる各種設定値の設定変更が可能である。

## 5 性能評価

本装置の性能評価として、実際の設備から撤去した監視対象部品に課電試験を行って部分放電信号を測定した。図 4 のように、対象機器を模擬した金属タンクに監視対象部品を封入してタンク内を絶縁油で満たした。その後監視対象部品に電圧を印加し、徐々に昇圧させて部分放電を発生させ、面電流センサから信号を取得した。

このとき、本装置のアルゴリズムで部分放電の検出が可能であること、面電流センサが部分放電の検出に十分な感度を持つことが確認できた。また、この試験で得られた周波数特性などの知見を製品にフィードバックして完成度を高めた。

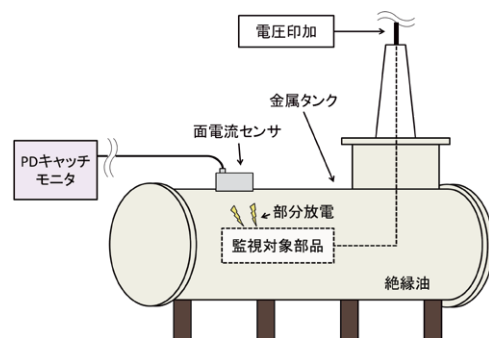


図 4 課電試験構成

## 6 おわりに

PD キャッチモニタは、低コストかつ変電設備を無人で常時監視できる装置である。そのため、人による低頻度の検査だけでは発見が難しかった劣化の早期発見が期待できる。本装置は 2021 年度中に東京電力パワーグリッド (株) へ販売され、同社管内の変電所へ順次設置される予定である。

今後の計画としては、より詳細な遠隔監視が可能なデジタル変電所向けの新製品を開発する。また、本装置は現段階では油絶縁方式の変電設備に特化しているが、そのほかの電力機器への適用拡大を検討していく。

### 宮崎 未知果

技術開発本部  
技術研究所 ICT 技術グループ 所属

### 藤野 守也

技術開発本部  
技術研究所 ICT 技術グループ 所属

### 小宮 英明

技術開発本部  
技術研究所 ICT 技術グループ 所属

### 高野 裕基

技術開発本部  
技術研究所 ICT 技術グループ 所属

# 電力会社向け油入全装輸送型 窒素密封式 20 MVA 配電用変圧器

■ 土屋 龍平  
Ryohei Tsuchiya

■ 本庄 智也  
Tomoya Honjo

## 1 はじめに

窒素密封式変圧器は、絶縁油の温度変化による膨張・収縮をタンク内部に設けた窒素空間にて吸収する変圧器である。無圧密封式と比較して低コストであることから、従来、無圧密封式が採用されてきた電力会社向け変圧器に対しても、10 MVA および 15 MVA 配電用変圧器を中心に窒素密封式の採用が進み、多数の納入実績を得てきている。

一方、電力会社向けの 20 MVA 配電用変圧器では、従来、輸送質量の制約から無圧密封式にて油入全装輸送とすることで、工場試験後、部品を取り外すことなく現地へ発送することにより、コスト削減を実現してきた。

このたび、10 MVA および 15 MVA 器の窒素密封化施策と、20 MVA 器の全装輸送化施策を組み合わせ、さらなる仕様・構造の合理化を進めた。これにより電力会社の仕様を満たしつつ、20 MVA 器に対しても油入全装輸送が可能な窒素密封式配電用変圧器（以下、N<sub>2</sub>LRT）を開発した。その初号器を東京電力パワーグリッド（株）に納入したので紹介する。

## 2 機器仕様

現行器と開発器の基本仕様を表 1、外観を図 1 に示す。

表 1 20 MVA 配電用変圧器基本仕様

		現行器	開発器
油劣化防止方式		無圧密封式	窒素密封式
一次引出方法		気中形、ケーブルヘッド形	
容量		20 MVA	
電圧		64.5/6.9 kV	
タップ切換方式		負荷時タップ切換	
結線		Y-Y- (Δ)	
インピーダンス		15 %	
騒音		50 dB	
輸送条件	寸法	長さ 6,000 mm 以下（トレーラ接触面） 幅 3,000 mm 以下 高さ 3,700 mm 以下	
	総質量	37 トン以下	

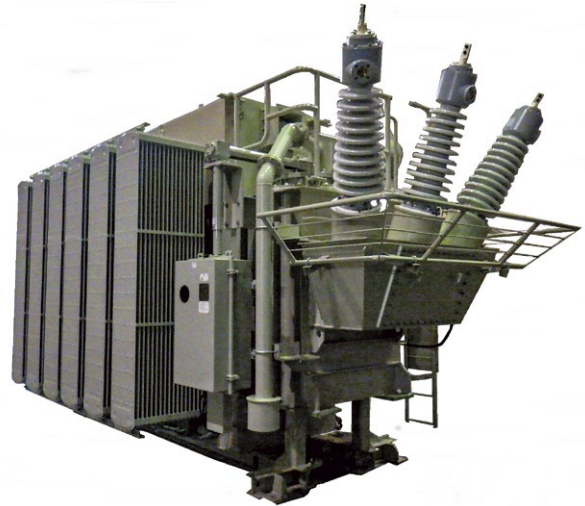


図 1 20 MVA 配電用変圧器外観（窒素密封式）

## 3 製品の特長

一般的に窒素密封式は無圧密封式と比べて絶縁油量が増加し、総質量が増大する。そこで中身構造、外装構造ともに軽量化を実施し、総質量 37 トン以下に抑えることで油入全装輸送を可能とした。図 2 に N<sub>2</sub>LRT のトレーラ積載状態の写真を示す。また、電力会社特有のニーズとして過負荷運転性能の要求があるが、過負荷仕様に応じた圧力設計とすることで、現行器と同等の性能を維持した。以降にそれらの施策を紹介する。

### 3.1 中身構造の合理化

軽量化を目的に、鉄心と巻線のバランスを見直すと



図 2 トレーラ積載状態



もに、電位振動計算を精緻化し、巻線内の電位分布をより正確に把握することで、巻線絶縁設計を合理化した。加えて、鉄心の締め付け構造見直しによる高磁束密度化および耐熱紙採用による高電流密度化によっても、中身構造のコンパクト化を実現した。

### 3.2 外装構造の合理化

解析により変圧器タンクの補強構造を最適化することで、タンクの板厚を25%削減した。さらに、負荷時タップ切替器下部の油空間にタンク切り欠き部を設け、絶縁油量を削減することでさらなる軽量化を実施した。切り欠き部部位については、搬入および据付工事時も含めた強度解析を実施し、最適な構造とした。図3にタンク切り欠き部の強度解析結果の一例を示す。そのほか、放圧装置の取り付け位置変更による排油タンクのコンパクト化、温度上昇限度の格上げによる放熱器の削減、コンパクトブッシングなどの新技術採用などの施策を適用することで、軽量化とコスト削減を両立させた。

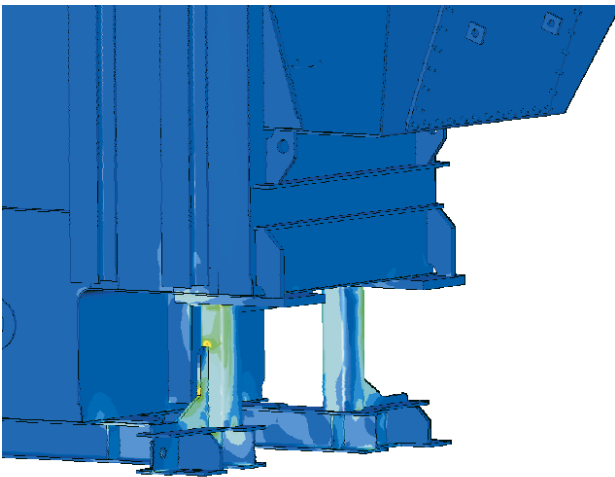


図3 タンク切り欠き部の強度解析結果

### 3.3 過負荷運転性能

油入変圧器の過負荷運転性能は、絶縁紙中の水分が気泡となり絶縁性能が低下する温度（バブル発生温度）に大きく影響される。窒素密封式は、窒素ガスが飽和した絶縁油を用いているためバブル発生温度が低下する一方で、過負荷運転に伴い変圧器内部の窒素空間圧力が高くなることでバブル発生温度が上昇する<sup>(1)</sup>。また、絶縁紙の紙中水分量によってもバブル発生温度が変化する<sup>(1)</sup>ため、これら各要素とバブル発生温度の複雑な関係について把握し設計する必要がある。上記に加え、窒素空間の圧力を内部事故時の圧力上昇と協調を図り最適化するとともに、乾燥管理を見直し、紙中水分量をより

適正にコントロールすることで、所要の過負荷運転性能を有した機器の製作が可能となった。

## 4 おわりに

これまで各電力会社に多数納入してきた10 MVA、15 MVAに加え、今回、油入全装輸送20 MVA器を開発し、新たに窒素密封式配電用変圧器のラインアップに加えた。表2にN<sub>2</sub>LRTの製品ラインアップを示す。

また、電力会社向け変圧器で培った技術を一般産業向け変圧器にフィードバックすることで、今後もさらに高品質かつ低廉な製品の開発を推進していく。

なお、本製品は2021年度に納入し、すでに運用を開始している。

表2 N<sub>2</sub>LRTの製品ラインアップ

容量	10 MVA	15 MVA	20 MVA
引出方式	一次側：気中形、ケーブルヘッド形 二次側：気中形		
周波数	50, 60 Hz		
公称電圧	一次側：66, 77 kV 二次側：6.6 kV		
切替方式	負荷時タップ切替		
結線	Y-Y- (Δ)		
インピーダンス	7.5 %	11.25 %	15 %
騒音	50 dB		
機器寸法	長さ 5,600 mm 幅 3,000 mm 高さ 3,500 mm	長さ 6,000 mm 幅 3,000 mm 高さ 3,500 mm	長さ 6,300 mm 幅 3,000 mm 高さ 3,600 mm
総質量	27 トン	33 トン	37 トン

※東光高岳標準レイアウトの場合

### ■参考文献

(1) 本庄智也・湯浅禎之・下麥光二郎・小林隆幸・岩井良・大山修司：「窒素密封式変圧器のバブル発生温度検証に基づく過負荷特性評価について」, 平成28年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.395 (2016)

### 土屋 龍平

電力プラント事業本部  
大型変圧器製造部 大型変圧器設計グループ 所属

### 本庄 智也

電力プラント事業本部  
大型変圧器製造部 大型変圧器設計グループ 所属



# 新形 72/84 kV タンク形ガス遮断器の開発

■ 山下 浩司  
Koji Yamashita

## 1 はじめに

1970年代以降、国内では高度経済成長期の電力需要の増加に対応するため、受変電設備の増大に伴い多くの電力用ガス絶縁開閉装置が導入された。気中絶縁変電所に適用されている遮断器もその一つである。現在はガス遮断器（GCB）が主流であるが、当時主流であった油遮断器（OCB）や空気遮断器（ABB）などの設備はすでに50年を超過する高経年機器となっており、更新需要が高まっている。

このような需要に対応するため、既設更新に柔軟に対応した高性能で長期信頼性を有する72/84 kV タンク形ガス遮断器を開発した。

## 2 基本仕様

開発した新形タンク形ガス遮断器の基本仕様を表1に、外観を図1に示す。

表1 基本仕様

定格電圧	72/84 kV
定格電流	800/1,200/2,000/3,000A
定格周波数	50/60 Hz
定格短時間耐電流	31.5 kA(2s)
定格遮断電流	31.5kA
定格遮断時間	3 サイクル
標準操作責務	A/R 号
操作方式	電動ばね
定格ガス圧力	0.5 MPa-G
準拠規格	JEC-2300-2010 JEC-5202-2019

## 3 特長

### 3.1 機器の軽量化・簡素化

既設機器を更新する場合、既設の基礎コンクリートやアンカーボルト（以下、基礎）を流用する機会が多い。したがって、本体の質量低減と、機器操作時に発生する基礎への衝撃荷重の抑制は必須である。

#### (1) アルミタンクの適用

タンク形ガス遮断器は、高圧の絶縁ガスを封入した接

地金属容器（以下、タンク）内に遮断部を設けた開閉装置である。従来器はタンクの材質に鉄鋼材またはステンレス鋼材を適用しているが、本器では軽量化のためアルミニウム鋳物タンク（以下、アルミタンク）を採用した。

アルミタンクを採用するにあたり、構造解析にて、タンク内に封入される絶縁ガスの圧力にて発生する応力や変形を評価し、最適なタンク形状を決定した。図2にタンクの強度解析例を示す。



図1 新形タンク形ガス遮断器  
(写真は磁器がい管・塗装レス仕様の屋内変電所適用器)

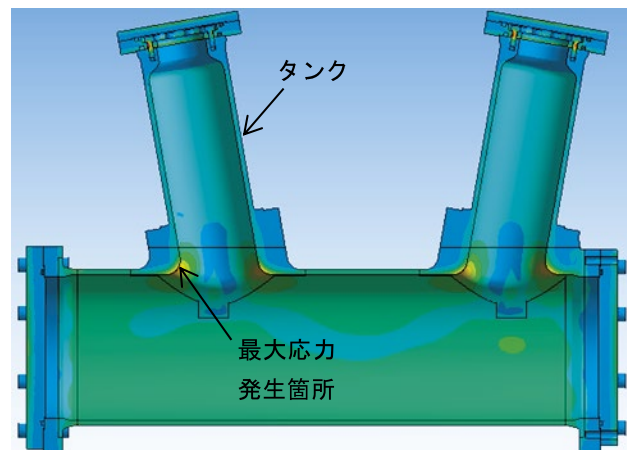


図2 タンクの内部圧力による強度解析例

(2) 操作力の低減

本器では開路操作時のばねエネルギーを、必要な遮断速度を確保した上で、従来器の55%に低減した。各部位の徹底した軽量化のみならず、消弧室や連結部の摺動部位に発生する摩擦抵抗を最適化することで動作時の負荷を低減した。

ガス遮断器は事故電流を遮断するために、圧縮したSF<sub>6</sub>ガスを電流アークに吹き付けて消滅させるパuffa方式（以下、パuffa）が一般的である。従来器では機械的なパuffa動作にて電流を遮断させる機械パuffa方式を採用していたが、この方式ではガスを圧縮するための空間が必要となり、大きな操作力が必要であった。

そこで、消弧室には機械パuffa・熱パuffa併用式（機械圧縮と熱膨張の両方でパuffa室内の圧力を高める方式）を採用した。採用にあたり、パuffa室圧力上昇解析を実施し、電流遮断時に発生するアークの熱エネルギーの取込量を適正化することで駆動エネルギーの低減を実現した。

以上のように、質量・摩擦・パuffa方式の3部位に改良を加えたことで、操作ばねエネルギーを低減させ、機器操作時に発生する基礎への衝撃荷重の抑制を実現した。

(3) 最新の耐震設計指針への準拠

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震の経験から、「変電所等における電気設備の耐震設計指針（JEAG 5003）」が見直しされ2019年度版（以下、JEAG 5003-2019）が発刊された。この設計指針では、幅広い振動数範囲を合理的に評価する加速度応答スペクトル法による耐震評価が要求されている。

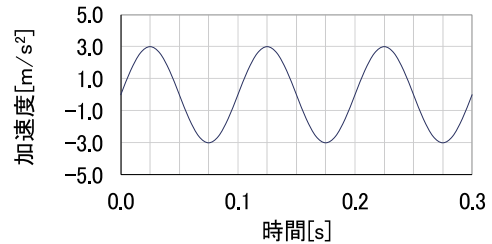
本器では、動的設計評価において、従来の擬共振法に加えて、JEAG 5003-2019に新たに規定された加速度応答スペクトル法に基づく評価を実施した。耐震評価に用いた設計地震力は、規定されている地震力のうち加速度レベルの厳しい「変電耐震設計スペクトル2」とした。

図3(a)に従来の入力波形を、図3(b)に今回新たに耐震評価に用いた設計地震力を示す。この設計地震力を図4に示す解析モデルに与え、本器に発生する応力を算出した。評価の結果、規定の設計地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

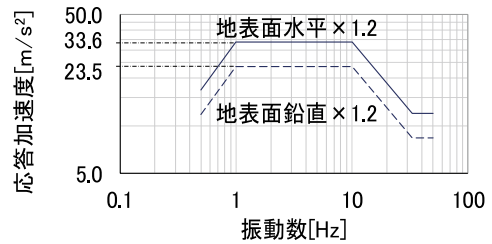
(4) ポリマーがい管の適用

本器では従来の磁器がい管だけでなく、ポリマーがい管の適用も可能とした。ポリマーがい管適用にあたり、JEC 5202-2019規格に規定されている条件にて試験を実施し、要求性能を満足した。

また、前項の施策によって、本器（磁器がい管適用器）の質量は従来器（磁器がい管適用器）に対して70%となったが、ポリマーがい管を適用することでさらに10%の低減となる。また、ポリマーがい管を適用



(a) 従来の擬共振法による入力加速度波形



(b) 新たに規定された加速度応答スペクトル波形

図3 耐震評価に用いた設計地震力

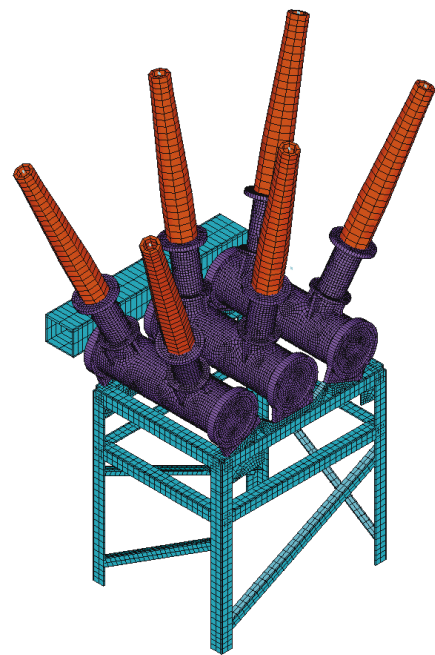


図4 耐震解析モデル

することで、装置上部の質量が低減され耐震性もさらに向上する。

3.2 分割搬入対応

地下や屋内の電気所の機器更新では、限られた入口と経路にて機器を搬入することが求められる場合がある。

本器では、例えば間口 W1,550 mm × H1,960 mm に対して機器を分割して搬入することが可能であり、搬入後、現地にて組立を実施することになる。この場合、絶縁ガスが封入されたタンク内部の部品の組み立ては不要であり、タンクを開放することなく高品質な状態での

組み立てができる構造となっている。

図5に1相分に分割した遮断器の組立状況を示す。



図5 新形タンク形ガス遮断器の分割例

(写真は屋内変電所での組立作業)

### 3.3 製品仕様の合理化

2019年度より72/84 kV ガス遮断器を対象に、一般送配電事業者による製品仕様統一の取り組みが実施されている。本器ではその取り組みの内容を反映した。

本体塗装色の基本仕様が「塗装レス」または「5Y7/1」に統一された。アルミタンクやアルミ素材の部品を適用することで「塗装レス」が可能となった。またアルミ部品の適用により、部品単位での塗装が不要となり、さらに組立後の補修塗装も不要となった。

### 3.4 機器センシング

近年変電所設備に対して、機器の保全合理化を目的としてリアルタイムでの機器状態の監視が求められている。

本器では、ガス圧力を常時監視するための圧力センサと機器の開閉動作ストロークを測定するためのレーザーストローク測定器を、運用後でも大幅な機器の改造を行うことなく取り付けが可能な構造となっている。

### 3.5 省メンテナンス

#### (1) 点検周期の見直し

消弧室摺動部の寸法や適用部材を最適化することで、連続開閉による摺動粉の発生を抑制することができた。そこで、従来器の保守基準として定めていた無負荷開閉2,000回での点検基準を見直しし、5,000回に延伸した。

#### (2) ばね操作機構の信頼性向上

操作機構のグリースを従来の鉱油系グリースから熱的・化学的に安定したフッ素系グリースに見直しすることで、経年による劣化性能を向上させた。

#### (3) 部品点数の削減

機器に構成される部品点数を従来器に比べて20%削減した。それに伴い、連結部品などの点検対象となる部品点数も削減しており、点検の省力化を図っている。

## 4 おわりに

機器の軽量化と省メンテナンス化などにより、既設機器更新にも適宜柔軟に対応できる新形72/84 kV タンク形ガス遮断器を開発した。

すでに分割搬入による既設変電所設備の更新案件の納入も開始しており、今後さらなる拡販を目指す。

### 山下 浩司

電力プラント事業本部

開閉装置製造部 開閉装置設計グループ 所属（執筆時）



# 沖縄電力向け集中形保護制御装置

## 製品紹介

■ 阿部 健  
Ken Abe

■ 菅原 淳  
Jun Sugawara

## 1 はじめに

沖縄電力（株）離島向け 22 kV 配電塔における保護・監視制御装置は、配電盤（保護リレー含む）、変圧器監視盤、負荷時電圧調整盤（電圧調整リレー含む）、系統安定化装置、遠方監視制御装置、遠制補助盤で構成されていた。

今回、複数の装置で構成していた保護・監視制御を 1 面/バンクに集約したことで、効率運用・コストダウンを実現した集中形保護制御装置（図 1）を 2020 年 7 月に納入したので、その概要を紹介する。



図 1 装置外観

表 1 機能の集約

従来装置構成		集中形保護制御装置	
装置名称	機能	1号バンク用	2号バンク用
22 kV 保護リレー ※ 1	過電流要素 (51) 比率差動要素 (87) 地絡過電圧要素 (64) 地絡過電流要素 (51G) 地絡方向要素 (67G) 不足電圧要素 (27)	○	○
6 kV 保護リレー ※ 1	過電流要素 (51) 地絡過電圧要素 (64) 不足過電圧要素 (27) 地絡方向要素 (67G) 再開路 (79)	○	○
変圧器監視盤	直接操作 故障表示	○	— ※ 2
電圧調整リレー ※ 3	電圧調整要素 (90)	○	○
系統安定化装置	周波数低下要素 (95)	○	○
遠方監視制御装置	遠方監視制御	○	—
遠制補助盤	計測入力部	○	○

※ 1 配電盤に実装  
※ 2 1号バンク用故障時のバックアップ用スケルトンを実装  
※ 3 負荷時電圧調整盤に実装

## 2 特長

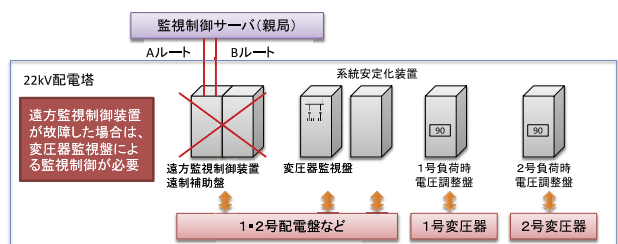
### 2.1 保護・監視制御機能

#### (1) 機能の集約

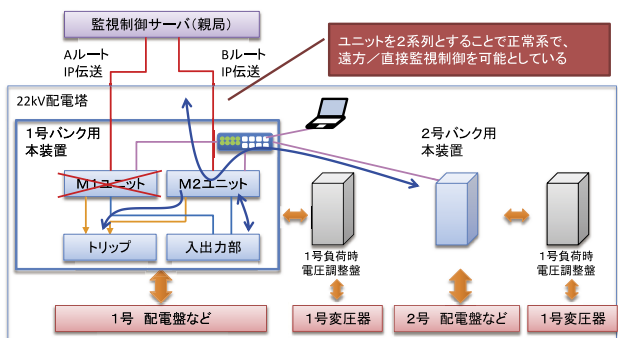
従来の保護・監視制御機能は、保護リレー・変圧器監視盤・遠方監視制御装置など複数の装置により構成されていた。1号バンク用と2号バンク用に機能を集約したことで、盤面数を減らしたことによる設置面積の省スペース化、コスト削減を実現することができた（表 1）。

#### (2) 保護・監視制御機能の一体化

本装置は、保護機能と監視制御機能を一体形とし、ユニットを2系列としている。これにより、従来の装置構成では遠方監視制御装置が故障した際に、変圧器監視盤による直接監視制御が必要であった。本装置では、電源や CPU 故障時でも正常系側で遠方/直接監視制御を継続することを可能としている。図 2 にシステム構成を示す。



(a) 従来装置構成



(b) 本装置挿入時の構成

図 2 システム構成



また保護機能は、異常系を故障リレー接点 (NGX) により自動的にバイパスさせることで、正常系側のメインリレーで保護を継続できる M1-M2 構成とした。故障が復帰すると NGX は自動で復帰する。図 3 に M1-M2 構成を示す。

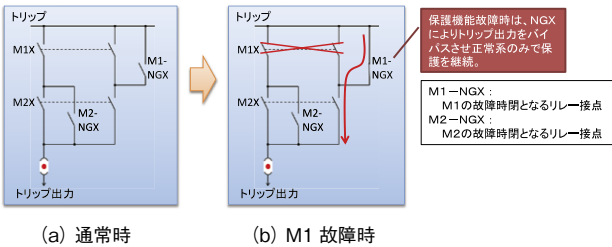


図 3 M1-M2 構成

## 2.2 装置間接続

### (1) 集中形保護制御装置間

1号バンクから2号バンク集中形保護制御装置間の伝送には、LANを適用し、市販品のHUBを使用することによる経済性向上、機能拡張の柔軟性を図った。

### (2) 他装置との接続

配電盤などの他装置から集中形保護制御装置間のケーブルは、端子台による接続ではなく、ワンタッチ式コネクタを採用することで、現地施工時間を削減することができた。

# 3 機能概要

## 3.1 主な機能

### (1) 遠方監視制御機能

監視制御サーバ (親局) からの監視制御を可能としている。

### (2) HMI<sup>注1)</sup> 機能

汎用パソコンで直接監視制御および整定・設定を可能とした。

### (3) 保護機能

保護要素は、過電流 (51)・比率差動 (87)・地絡過電圧 (64)・地絡過電流 (51G)・地絡方向 (67G)・不足電圧 (27)・周波数低下 (95) を実装する。

### (4) 電圧調整機能

電圧が不感帯から逸脱した場合に、変圧器のタップ切換を行い不感帯内に調整する。

### (5) 配電線再閉路機能

配電線の事故回線を保護機能により遮断した後、一定時間後に再投入する。

### (6) 計測、高調波測定

線路電流・母線電圧・有効電力・無効電力・電力量の計測。各電流・電圧の高調波含有率を測定する。

### (7) 日報自動作成機能

毎正時の計測値、1日の平均値・最大値・最小値、電力量の合計値を自動作成する。

### (8) ソフトインターロック機能

インターロック条件判定をソフトウェアで行う。

### (9) データセーブ機能

系統事故時の電流・電圧などを記録する。

## 3.2 HMI 機能

汎用パソコンにて汎用のブラウザを使用することで、パソコンに専用ソフトをインストールすることを不要とした。HMI機能では保護要素の動作値・動作時間などの整定、監視制御に関する設定および従来は変圧器監視盤で行っていた遮断器などの操作をHMIスケルトン画面から可能とした。図4にHMIスケルトン画面を示す。



機器制御は、①シンボルをクリックで選択、②入/切クリックで制御の2挙動方式としている。

図 4 HMI スケルトン画面

## 3.3 ソフトインターロック機能

従来装置では設備をまたがるインターロックは機器状態接点による直接インターロックとしていたが、本装置はソフトウェアで処理するソフトインターロックを採用した。インターロック条件の確認・条件変更はHMIで行えるようになっている。図5にHMIソフトインターロック画面を示す。

IL条件	IL対象	IL状態(+側)				IL状態(-側)			
		機器	閉路条件	機器	閉路条件	機器	閉路条件	機器	閉路条件
6-1	+側(CL)と-側		不成立		不成立	2401	2402	2410	2421
6-2	+側(CL)と-側		不成立		不成立				
7-1	+側(CL)と-側		不成立		不成立				
7-2	+側(CL)と-側		不成立		不成立				
7-3	+側(CL)と-側		成立	成立	成立				
7-4	+側(CL)と-側		成立	成立	成立				

インターロック (IL) 条件 (上段)、機器状態 (下段) を表示。条件と機器状態がすべて揃うと、IL 状態「成立」と表示する。試験時は機器ごとに IL を不使用にすることも可能としている。

図 5 HMI ソフトインターロック画面

### 3.4 データセーブ機能

系統事故発生などにより、トリップ出力、リレー動作および一部自動監視異常が発生した場合に「系統の電流・電圧様相」、「保護リレー動作状況」などを記録する。記録したデータは、HMI機能を使用してパソコンにダウンロードし、データ解析用専用ツールで読み込み、表示することができる（図6）。



図6 データ解析用専用ツール波形表示例

## 4 おわりに

集中形保護制御装置は、高性能CPUを採用し汎用のLAN、HMI機能などのIT技術を取り入れた信頼性および経済性に優れた装置である。

2021年度には、保護機能に距離リレーを搭載した2号機を納入予定である。

#### ■ 語句説明

注1) HMI：Human Machine Interface の略。  
人と装置が情報のやり取りをするための手段。

#### 阿部 健

電力プラント事業本部  
電力システム製造部 保護制御装置設計グループ 所属

#### 菅原 淳

電力プラント事業本部  
電力システム製造部 保護制御装置設計グループ 所属

# IEC 61850 対応遠方監視制御装置

## ～多端子ユニット変電所適用とオプション機能～

■ 前澤 格

Itaru Maezawa

■ 川俣 陽輝

Haruki Kawamata

### 1 はじめに

東京電力パワーグリッド(株)の配電用変電所向けにIEC 61850 対応配電用変電所遠方監視制御装置(以下、本装置)を2019年8月より納入している(図1)。本装置は、スマートSIS(以下、SIS)との接続に国際標準規格であるIEC 61850を利用しており、伝送をネットワーク化することにより制御ケーブルの大幅な削減、異メーカーのSISとの接続を実現している。

今回、新たに多端子ユニット変電所への適用に加え、オプション機能として変圧器保護、電圧調整機能を実装したのでここに紹介する。



図1 本装置外観

### 2 特長

本装置の特長を以下に記す。

#### (1) 国際標準規格 IEC 61850 の適用

既設の遠方監視制御装置(従来TC)では、SISと多くの制御ケーブルで接続されていたが、これを国際標準規格IEC 61850を採用し光伝送化することで制御ケーブルの大幅削減を実現した。

また、本装置ではSISからのIEC 61850伝送情報を上位システムへ伝送する際、従来方式のHDLC伝送情報へ変換を行っている。これにより上位システムからの監視・制御は従来どおり可能としたまま、マルチベンダ接続可能な装置として構築した。

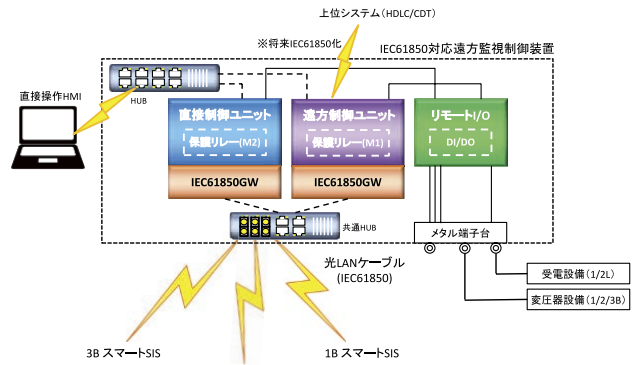


図2 システム構成図

図2にシステム構成図を示す。

#### (2) 多端子ユニット変電所への適用

都市部など電力需要が高く、一方で変電所スペースの確保が難しいエリアでは、変圧器一次側遮断器および一次母線を省略し、線路と変圧器を直接接続した構成となる。

図3に多端子ユニット変電所の構成を示す。

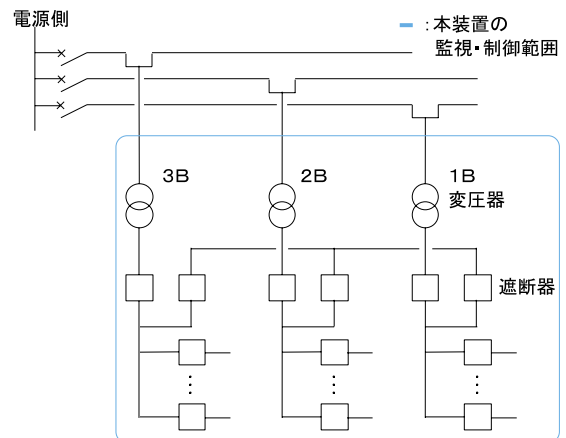


図3 多端子ユニット変電所の構成

本装置開発にあたり、製品として納入済みの2回線受電変電所へ適用した装置と共通化を指向した。構成による差異をソフトウェアの設定により吸収することで、ハードウェアは保護機能用の入力変換基板程度の差異に抑えつつ上記構成への適用を実現している。

#### (3) オプション機能

従来、本装置とは別置の盤で実現していた変圧器保護機能および電圧調整機能を、今回オプションとして、最大3バンク分実装可能とした。

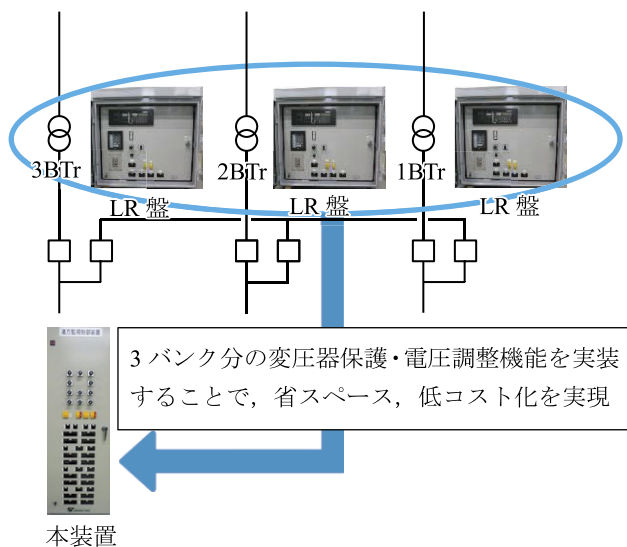


図4 オプション機能実装イメージ

図4にオプション機能の実装イメージを示す。

変圧器保護、電圧調整の各機能は、既設設備の更新時におけるお客さまニーズに応じて適宜実装選択ができる構成としている。

各機能を実装した場合に追加される保護要素を表1に示す。

表1 オプション機能の保護要素

オプション機能	保護要素 (制御器具番号)
変圧器保護	比率差動要素 (87,87-51H) 過電流要素 (51)
電圧調整	積分形電圧調整要素 (90) 不足電圧要素 (27A,27B) 過電圧要素 (59A,59B) 欠相要素 (47)

本装置は、遠方制御ユニットと直接制御ユニットにて構成している。各ユニットの単一部品故障による不良発生時に保護機能を喪失しないようメイン-メイン方式を採用している。各ユニットが正常な場合は、遠方・直接制御ユニットのAND条件でトリップ出力する。どちらかのユニットが故障などで異常となった場合は、異常ユニットのトリップ出力回路をバイパスし、正常なユニットのみで一時的な保護機能を維持できる回路構成としている。

オプション機能である変圧器保護、電圧調整機能もメイン-メイン方式を採用している。

2回線受電変電所において変圧器保護リレーが本装置の外部に設置されている場合、外部リレーのトリップ出

力を母線連絡の断路器のパレットを通して受電遮断器へ出力する回路を構成する必要がある。一方、変圧器保護機能を3バンク分実装とした場合、ソフトロジックにてトリップの出力先を決定することが可能になり、配線の大幅な削減が可能となる。

### 3 機能・仕様

本装置の機能概要を以下に示す。

- 上位システムからの遠方制御、表示・計測
- ヒューマンマシンインタフェース (HMI) 表示機能 (単線結線図画面) による変電所全体の監視・制御
- 変電所設備ごとの制御電源分割
- バイパス運用可能な保護機能 (受電保護リレー、変圧器保護、電圧調整機能)
- 自動切替機能
- 配電線事故区間・ロック区間の算出
- 搬送結合装置との I/F 機能 (搬送変復調部搭載)
- 変電用伝送ルート切替機能
- 高調波計測機能
- 主変二次ケーブル地絡検出機能
- 逆潮流時の単独運転防止機能
- ソフトインターロック機能
- TCシミュレータ機能

### 4 おわりに

IEC 61850 対応遠方監視制御装置の多端子ユニット変電所への適用と新たに搭載した変圧器保護、電圧調整機能の各オプション機能について紹介した。

今後、上位システム間との対向方式として従来伝送方式 (HDLC 伝送) に加え、IP 通信による伝送方式のラインナップを追加する予定である。

末尾ながら、今回の開発に多大なるご指導ご鞭撻を賜りました東京電力パワーグリッド様に対し、厚くお礼申し上げます。

#### 前澤 格

電力プラント事業本部  
電力システム製造部 保護制御装置設計グループ 所属

#### 川俣 陽輝

電力プラント事業本部  
電力システム製造部 保護制御装置設計グループ 所属



# SEL 社製距離リレーを適用した 太陽光発電所向け距離リレー盤

■ 成田 和彦  
Kazuhiko Narita

## 1 はじめに

SEL 社<sup>注1)</sup>の国内代理店である東光高岳は、このたび、太陽光発電所向け距離リレー盤の保護リレー部分に、SEL 社 IED<sup>注2)</sup>の距離リレー (SEL-421) を採用した。従来の国内生産品との比較検証を行い、必要十分な性能を保有することを確認し、製品化に至ったので紹介する。

距離リレーは、リレー設置端の電圧および電流入力のみで至近端から遠端までの事故検出が可能なりレーであり、系統保護における主保護または後備保護として幅広く使用されている。主な特長として、以下があげられる。

- 事故点までの距離を演算し、事故区間の想定が容易
- 保護区間に応じた各段の限時遮断により、事故区間・主保護との時限協調が図りやすい
- 幅広い設備に適用可 (送電線・変圧器・発電機など)

## 2 仕様比較

### 2.1 機能仕様

国内生産品と SEL-421 の主な仕様比較を以下に示す。

#### (1) リアクタンス要素

四辺形特性・モー特性におけるリアクタンス要素は、一般的に国内生産品の動作域が3ゾーンであるのに対し、SEL-421 は5ゾーンまで対応し、うち、3ゾーンは後方保護にも適用可能である。

#### (2) 通常負荷による誤検出抑制要素

通常負荷時などの設備健全状態の誤検出を抑制する要素は、一般的に国内生産品がブライダ要素 (送電線インピーダンス角に応じた動作域縮小) であるのに対し、SEL-421 は動作域縮小を極小とし、特に遠方測距における運用整定値の決定が容易である (負荷侵入機能)。

#### (3) 至近端事故時の測距電圧補償

距離リレー設置・至近端事故における測距電圧補償は、国内生産品・SEL-421 とともに、事故直前の電圧を記憶することで補償している (電圧メモリ機能)。

#### (4) 具備保護要素

SEL-421 の主リレーは距離要素であるが、標準的な保護要素 (過電流、不足電圧など) も具備している。

表 1 に国内生産品と SEL-421 の保護要素を示す。

### 2.2 外観および保証期間の比較

表 2 に国内生産品と SEL-421 の比較を示す。

表 1 国内生産品と SEL-421 の保護要素

制御器具番号		保護要素 (具備機能)	国内生産品	SEL-421
ANSI	JIS			
21	44	短絡距離	○	○
		地絡距離		○
25	25	位相同期		○
27	27	不足電圧		○
32	67	電力方向		○
50	51	過電流 (瞬時式)	○	○
50BF	51	二重遮断器の故障過電流		○
51	51	過電流 (タイマ式)	○	○
59	59	過電圧		○
67	67G	方向過電流		○
68	56	脱調		○
79	79	再開路 (单相 / 3 相)		○
81	95	周波数		○

表 2 国内生産品と SEL-421 の外観比較

仕様	国内生産品	SEL-421 (3U タイプ)
外寸 [mm]	幅 350 × 高さ 300 × 奥行 200	幅 482 × 高さ 133 × 奥行 216
質量 [kg]	10.0	8.0
保証期間	1~3 年	10 年

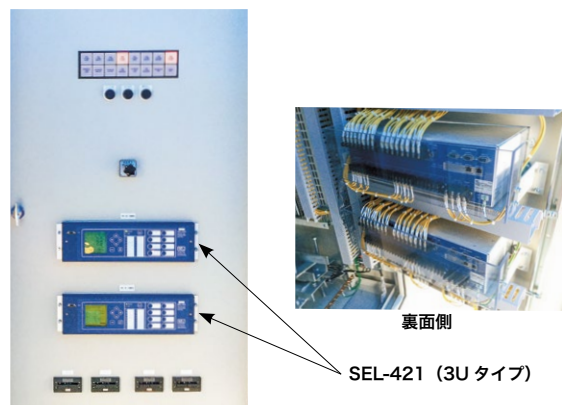


図 1 SEL-421 の実装状態

図 1 に SEL-421 の実装状態を示す。

## 3 SEL 製品の主な特長

### 3.1 負荷侵入機能 (Load-Encroachment Logic)

図 2 に四辺形特性 (距離リレーの動作域) と負荷インピーダンスが重なる部分を示す。国内生産品においては、負荷インピーダンスでの誤検出を抑制するためにブ

ラインダ機能を有している。図3にブライнда機能を用いた距離リレーの動作域を示す。

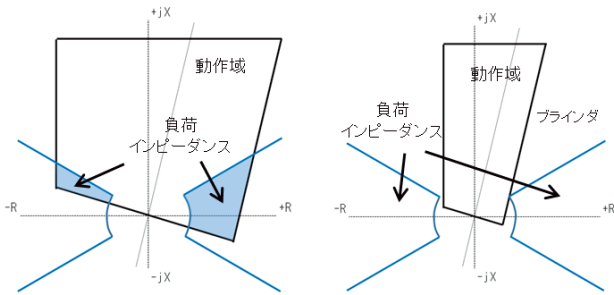


図2 負荷インピーダンス

図3 ブライнда動作域

主に国内生産品が適用しているブライнда機能では、図3に示すとおり、距離リレーの動作域が狭くなり、期待する動作域の確保ができない可能性がある。

SEL-421においては、図2に示す負荷インピーダンスの侵入域のみを距離リレーの動作を抑制する領域とする負荷侵入機能を有し、ニーズに適した保護リレー特性を実現している。

図4に負荷侵入機能特性図、表3に負荷侵入特性の整定パラメータを示す。

### 3.2 電圧メモリ機能

リレー設置の至近端事故において、測距電圧が減少して正確にインピーダンスを測定できなくなる事象を補償するため、健全時の電圧瞬時値を記憶する機能を有する。

測距に用いる電圧は、正相分を用いることで、過渡応答成分による精度低下を防止している。

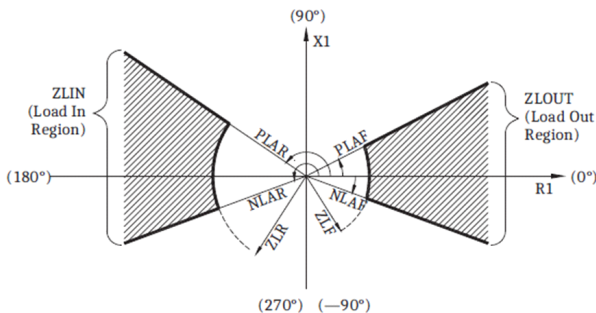


図4 負荷侵入機能特性図<sup>(1)</sup>

表3 整定パラメータ<sup>(1)</sup>

Setting	Prompt	Range
ELOAD	Load Encroachment	Y, N
ZLF	Forward Load Impedance ( $\Omega$ )	$(0.25-320)/I_{NOM}$
ZLR	Reverse Load Impedance ( $\Omega$ )	$(0.25-320)/I_{NOM}$
PLAF	Forward Load Positive angle ( $^{\circ}$ )	-90.0 to +90
NLAF	Forward Load Negative angle ( $^{\circ}$ )	-90.0 to +90
PLAR	Reverse Load Positive angle ( $^{\circ}$ )	90.0-270
NLAR	Reverse Load Negative angle ( $^{\circ}$ )	90.0-270

### 3.3 カスタマイズ機能

カスタマイズ機能は、SEL 標準機能である Graphical Logic を用いて、任意の保護要素や点検機能などを構築することができる。本製品では、パネル面のスイッチ押下により強制制御操作および状態確認ができる強制制御機能を構築した。

また、電流が急激に変化した場合の変化幅に応動する変化幅リレーを追加実装した。

### 3.4 SEL 製品の優位性

#### (1) システム合理化

既設設備（キュービクル）が複数のリレーや監視制御用装置で構成されている場合、装置数を減らし（可能な場合は1台構成）、省スペース化と更新費用縮小を図ることができる。

例えば、【保護リレー+情報収集 PLC +計測装置】を1台の IED で実現することが可能である。

また、既設の保護リレーが【距離リレー+過不足電圧リレー+周波数リレーなど】で構成されている場合は、1台の SEL-421 での更新が可能である。

#### (2) 国際標準通信プロトコル

IEC 61850, Modbus, DNP3, Telenet, FTP を標準採用。各種通信プロトコルを使用することで、遠方からの情報収集や専用ツールによる運用整定値変更など、設備データの活用と保守費用の抑制を図ることが可能である。

#### (3) デジタル変電所対応

IEC 61850 に対応しているため、マルチベンダによる設備更新、ほかのデジタル変電所との情報相互活用、信号のデジタル化によるメタル線の削減、部品絶対数削減による信頼性向上などを図ることが可能である。

## 4 おわりに

SEL-421 は、幅広い設備に適用可能であり、今回は太陽光発電所向け製品に適用した。今後は、太陽光発電所向けへの拡販および再生可能エネルギー電源向け製品への適用など、適用領域の拡充を図っていく所存である。

#### ■参考文献

- (1) SEL-421 Instruction Manual

#### ■語句説明

注1) SEL 社：Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. の略称

注2) IED：Intelligent Electronic Device の略称

#### 成田 和彦

電力プラント事業本部

電力システム製造部 保護制御装置設計グループ 所属

# 気中多回路開閉器 (ADS 600A 形)

## 製品紹介

■ 新井 敬明  
Takaaki Arai

■ 金子 誠一  
Seiichi Kaneko

## 1 はじめに

気中多回路開閉器 (ADS 600A 形：以下、本器) は、高圧地中配電線路に設置・使用される手動操作式の開閉器である。

本器は、気中多回路開閉器 (以下、従来器) のモデルチェンジ品として開発した。

## 2 本器の特長

- ・地上用変圧器に実装する気中断路器 (400A 仕様) の技術を応用し、600A 仕様に対応した機器を開発した。
- ・機器に接続するケーブルの末端を変更したことで、機器の設置にかかるトータルコストを削減することができた。
- ・外形と取り付け寸法を従来器と合わせることで、設置済みの従来器を本器に取り替えが可能な構造とした。

## 3 本器の仕様

本器の主な仕様を表 1 に、外観と内部構造をそれぞれ図 1, 2 に示す。

表 1 主な仕様

定格電圧	7,200V
定格電流	第 1 回路 : 600A 第 2~5 回路 : 400A
極 数	3 極
回路数	5 回路
定格短時間耐電流	12.5 kA (実効値), 1 秒, 1 回
定格短絡投入電流	31.5 kA (波高値), 3 回
絶縁種類	空気絶縁 (エポキシ樹脂ケースを使用)

※試験方法は JIS C 4605 による。



図 1 外観



図 2 内部構造

## 4 開閉器ユニット

開閉器ユニットの外形図を図 3 に示す。

エポキシ樹脂ケースを採用し、絶縁性能を向上させることで開閉器ユニットを小型化できた。

## 5 本器と従来器の比較

本器と従来器の比較表を表 2 に示す。開閉器ユニッ

トの小型化により総質量を約 50 kg 軽量化させ、省資源化を実現することができた。また、開閉器の入切運用方法を簡素化できた（従来器は、「ハンドル操作＋入用蓋 or 切用蓋を選択する」運用であるが、本器はハンドル操作のみで運用できる）。

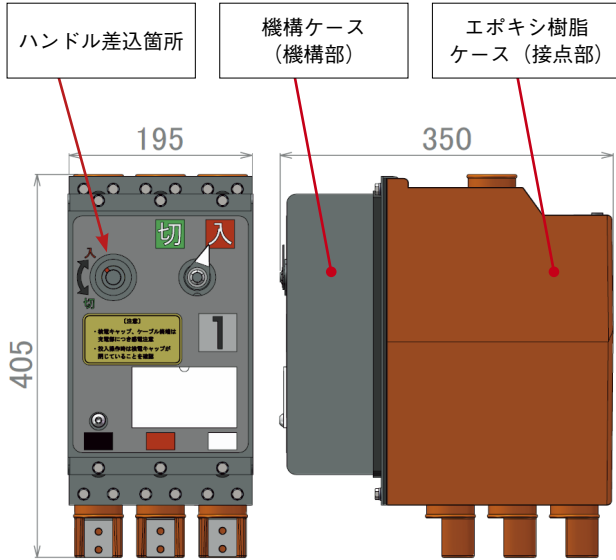


図 3 開閉器ユニットの外形図

## 6 おわりに

気中多回路開閉器 (ADS 600A 形) は、東京電力パワーグリッド (株) の型式認定を取得しており、今年度より量産していく予定である。

表 2 本器と従来器の比較表

		本器	従来器
定格電圧		7,200 V	(同左)
定格電流		第 1 回路 : 600A 第 2~5 回路 : 400A	(同左)
総質量		430 kg	480 kg
接点入切運用方法		ハンドル操作のみ	ハンドル操作＋入 or 切用蓋を選択
機器外形寸法	横	1,100 mm	(同左)
	奥行	435 mm	(同左)
	高さ	1,450 mm	(同左)

今回の開発に多大なるご指導・助言を頂いた関係各位に対し、厚くお礼申しあげる。

今後とも、無電柱化推進に貢献できる機器開発に取り組んでいく。

### 新井 敬明

電力機器事業本部  
配電機器製造部 開閉器設計グループ 所属

### 金子 誠一

電力機器事業本部  
配電機器製造部 開閉器設計グループ 所属



# 6 kV モールド形計器用変圧変流器 (耐塩型) のモデルチェンジ

■ 馬場 伸司  
Shinji Baba

## 1 はじめに

エポキシ樹脂モールド形の計器用変圧器および変流器を外箱に収納した計器用変圧変流器（以下 VCT）は、取引用計器と組み合わせ、三相 3 線式高圧需要家の電力需給用として使用するものである。

従来型の VCT に対して軽量化、容積の低減を行った MC-12 型（非塩害地域で使用）を 2017 年度に開発済だが、同構造を水平展開した、海岸近くなどの塩害地域の屋外で使用可能な耐塩型 VCT を開発したため、紹介する。

## 2 定格仕様

仕様は下表のとおりである。

項目		仕様
定格周波数		50 Hz または 60 Hz
耐電圧		22 / 60 kV
最高電圧		6,900 V
定格一次電圧		6,600 V
定格二次電圧		110 V
定格一次電流		20 A 50 A
定格二次電流		5 A
確度階級		0.5 W
定格負担	計器用変圧器	2 × 15 VA
	変流器	2 × 15 VA
過電流強度		150 倍
質量		63 kg
外箱材質		ステンレス鋼板
等価塩分付着量		0.35 mg/cm <sup>2</sup>

## 3 特長

MC-12 型と同一の計器用変圧器素子、変流器素子を使用し、従来型から 15% の重量減を実現した。

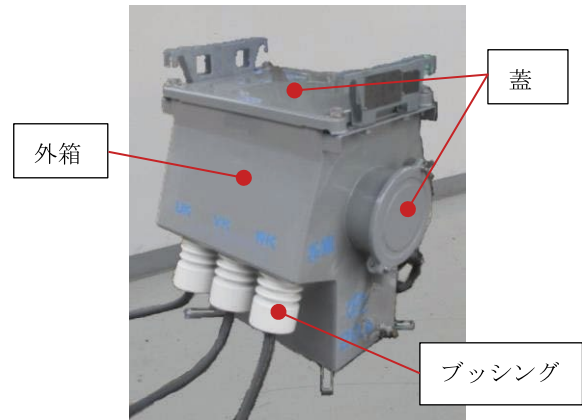


図 1 機器外観

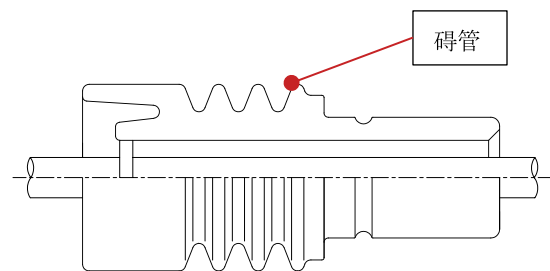


図 2 ブッシング構造

外箱は形状を MC-12 型と統一、材質をステンレス鋼板とし、防錆性能向上と、従来型から 10% の容積減を実現した。

ブッシング部は、使用実績のある耐塩型碍管の形状を適用するとともに、外箱取付部構造を MC-12 型と共通化し、生産性の向上を図った。

また上部および側面蓋のパッキン構造を改良して防水性を向上させ、安定した長期使用を可能とした。

## 4 まとめ

すでに電力会社 4 社の形式承認を得て、3 社に対して納入を開始している。

馬場 伸司

計量事業本部  
モールド変成器製造部 設計グループ 所属

■ 殖木 廣義  
Hiroyoshi Fuyuki

## 1 はじめに

東光器材(株) (以下、東光器材) は、2020年4月に80年もの歴史をもつ東京変圧器(株)から高電圧試験装置の製造販売事業を譲り受け、新たな事業としてスタートさせた。東京変圧器(株)は、教育機関(大学、高専、工業高校)を始め、電力会社、重電機器メーカー、電線メーカーなど、国内の電気にかかわるお客さまに高電圧試験装置を納入してきた。本稿をお借りして、事業承継した数々の試験装置の中から主要製品について紹介する。

## 2 高電圧試験装置

### 2.1 絶縁耐力試験装置

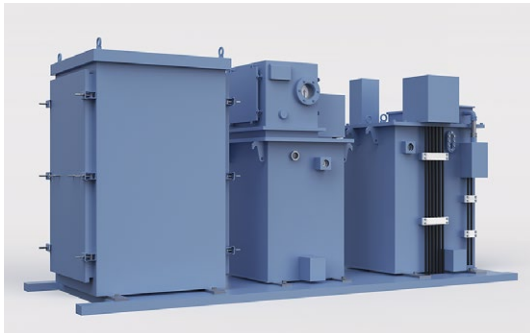


図1 絶縁耐力試験装置

電力事業における、送電電圧の超高電圧化と大容量化に伴い、試験装置の大型化や重量化が余儀なくされる状況である。しかし、試験装置は運搬や移動が避けて通れないものであるため、小型化軽量化も重要な課題の一つとなっている。

〈特長〉

- ・電源容量の大幅な軽減

供試器が進相負荷の場合、補償リアクトルを負荷と並列に挿入することで、負荷容量に対して電源容量を1/10程度に軽減できる。

- ・高精度の計測用巻線(三次巻線)を内蔵

試験用変圧器には計測用巻線が内蔵されており、高電圧を計測するための高価な計器用変圧器を用いずに、精度よく出力電圧を測定できる。

- ・出力波形改善フィルタ

変圧器の出力電圧は、一般に高調波を含み、歪んだ波

形になってしまうことがある。高調波の含有率が高いと、電圧波高値が正弦波に比べて歪んだ値になり、場合によっては必要以上の電圧が供試器に印加されることがある。試験用変圧器の低圧側に、出力波形改善フィルタを挿入することで、出力電圧の高調波の含有率を大幅に低減できる。

表1 主な装置構成

制御盤(摺動電圧調整器を含む)	試験電圧や入力電流の制御および、供試器の保護などを行う装置
試験用変圧器	試験電圧発生装置であり、部分放電試験用としてコロナフリータイプもある
可変補償リアクトル	インダクタンス値を可変し、容量性負荷時の電源容量を低減する装置
減衰抵抗器	供試器の破壊試験時の過負荷電流を抑制する装置



図2 試験用変圧器

### 2.2 車載型絶縁耐力試験装置

絶縁耐力試験装置を簡単に移動できるように、車両に搭載した屋外試験装置である(図3)。

近年の再生可能エネルギーの拡大に伴い、電気設備が遠隔地にある場合が多く、現地試験において運搬や設備の積み下ろしなどが必要となる。本装置は各種試験機器を車両から降ろすことなく試験を可能にしている。

〈特長〉

- ・トラックに載せたまま、機器間ケーブルの再配線や分解などが不要なく絶縁耐力試験ができる。
- ・装置ごとに受注生産しており、ニーズに合わせた製品を提供している。操作机や作業用椅子取り付けなど、作業性に配慮した装置を製造している。

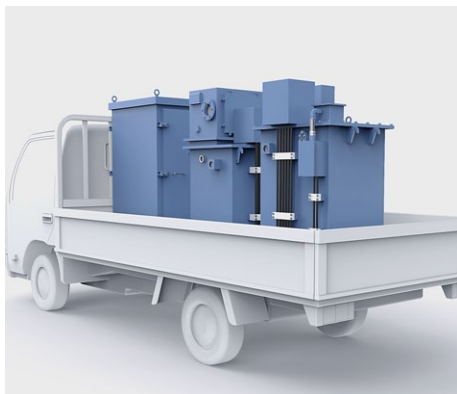


図3 車載型絶縁耐力試験装置

### 2.3 コロナフリー型絶縁耐力試験装置

電力ケーブルや電力機器の絶縁劣化評価は、最も信頼できる非破壊検査方法として部分放電測定法が採用されている。このとき使用される試験用変圧器は、コロナフリーである必要がある。

〈特長〉

- ・定格電圧におけるコロナ電荷量が10 pC以下。

表2 構成例

タイプ	構成機器	寸法 W × D × H	質量 [kg]
30 kV-3 kVA	制御盤	525 × 440 × 420	50
	試験用変圧器	370 × 400 × 820	90
50 kV-5 kVA	制御盤	590 × 450 × 730	95
	試験用変圧器	410 × 430 × 990	125
100 kV-10 kVA	制御盤	570 × 770 × 1,400	180
	試験用変圧器	505 × 770 × 1,800	380

### 2.4 高周波寿命加速試験装置

絶縁寿命試験を、周波数加速により、等価的に時間短縮させて試験を行う装置である。

本装置は、電気機器の周波数寿命加速特性が、2,000 Hz程度まで直線性を有するとされていることから、この性質を利用し50 Hz～2,000 Hzまで周波数を可変できる装置である。

本装置は、CVケーブル、発電機コイル、コンデンサ、絶縁材料、エポキシモールド品などの試験に多く用いられている。

〈特長〉

- ・50 Hz～2,000 Hzまで安定した正弦波出力。
- ・長期寿命試験の短縮(50 Hzの40年相当は、2,000 Hzで約1年となる)。

表3 高周波寿命加速試験装置製造範囲

周波数	電圧	容量
～2 kHz	50 kV	～100 kvar
	100 kV	～30 kvar

### 2.5 インパルス電圧発生装置

電気機器に定められている JEC-0202 (インパルス電圧・電流試験一般) に準ずる試験電圧発生装置。

〈特長〉

- ・JEC-0202-1994のインパルス電圧・電流を発生させることができる。

〈製造範囲〉

- ・公称出力電圧：720 kVまで製造可能。

表4 インパルス電圧発生装置

標準波形	公称出力電圧
$\pm 1.2 \times 50 \mu\text{F}$	～720 kV, ～130 kJ

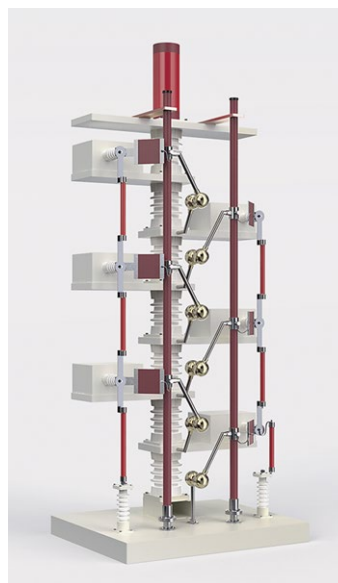


図4 インパルス電圧発生装置

### 2.6 活線作業用器具耐電圧試験装置

活線作業用器具耐電圧試験装置は、同時に五つの試料をセットすることができ、個別に試験する場合に比べ、大幅に試験時間を短縮できる装置である。また、劣化診断に必要な不可欠な絶縁抵抗測定と耐電圧試験に加えて、試料ごとの“漏れ電流”も測定が可能となっている。耐電圧試験に合格する器具の中でも劣化度合いには差があり、劣化の進んだものほど“漏れ電流”が多くなることから、この漏れ電流を個々に測定可能であり、正確な劣化診断を行うことができる装置である。



図5 活線作業用器具耐電圧試験装置

## 2.7 同軸分流器

インパルスなどの急峻な電流波形を計測する場合、分流器自体にインダクタンスがあると測定波形が歪むため、計測値が不確かなものになる。この同軸分流器は、インダクタンスが極力小さくなるよう特殊な設計になっており、一般的な分流器に比べ急峻波電流でもきわめて正確に測定できる特長がある。

表5 同軸分流器 主な仕様

項目	TYPE1	TYPE2	TYPE3
抵抗値 [mΩ]	1	5	10
許容熱容量 [kJ]	2.5	0.5	0.8
最大実効電流値 [A]	160	40	40
インパルス電流波高値 [kA]	200	40	40
寸法 [mm] W × D × H	210 × 375 × 175	82 × 255 × 77	82 × 410 × 77
質量 [kg]	7.5	1.5	2.1

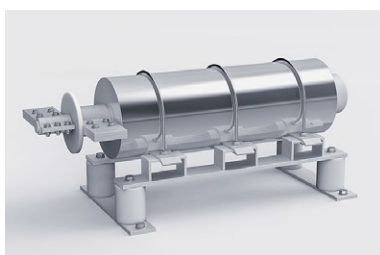


図6 同軸分流器

## 2.8 学校向け実験装置

本装置は、全国の大学・専門学校・工業高校用の実験設備に用いられている。経済産業省告示第七十一号にもとづいた、電気主任技術者免状にかかわる学校などの認定基準に関する必要実験設備であり、多くの学校に納められている。



図7 学校向け実験装置

## 3 おわりに

2020年4月より、東光器材にて本高電圧試験装置の製造・販売事業を開始したが現在の製造可能な試験用変圧器は、300 kV-300 kVA までとなっている。さらに高い電圧階級の高電圧試験装置を製造するため、設備増強を進めている。

国内無二の試験器メーカーとして事業を拡大していく。

### 殖木 廣義

東光器材株式会社  
営業部 所属



# SmaMe II用無線通信ユニット (LTE-M用)

■ 赤下 尚司  
Shoji Akashita

■ 今井 直樹  
Naoki Imai

## 1 はじめに

東光高岳は、商業施設やオフィスなどの貸店舗ビル、マンションの管理事業者向けに、検針システムを販売している。これは、東光東芝メータシステムズ（株）製のスマートメータ“SmaMe II”<sup>注1)</sup>が取得した電力量検針データを自動的に収集するシステムである。電力量検針データに加えて、ガス・水道メータの検針データも収集するオプションも用意している。検針システムは、データ集約装置が機能の中心となっており、多数のテナントのデータを集約した後、LAN上、もしくは、インターネット上のサーバに検針データを送信する仕組みで成り立っている。これは、マンションやテナントなどメータが多数集中した顧客には、効率的で有効なシステムとなる。しかし、分散配置されたメータのデータを集約するには、集約装置は適していない。

昨今、デジタルトランスフォーメーション（DX）の潮流に追従し、すべてのデータをインターネット上で集中管理する方向に進んでいる。IoT エッジデバイス（複数メータのデータを集約することなく、センサごとやメータごとにデータを直接インターネット上のサーバに送信する）のニーズが増加している。これは、設置やメンテナンスが簡単で、デバイスの追加や構成変更が柔軟に対応可能であり、容易にデータ収集できるためである。

そこで、前述のニーズに応える SmaMe II用無線通信ユニット（LTE-M用）を開発した。

## 2 主な機能と特長

### 2.1 主な機能

SmaMe IIからの電力量データのアップロード

無線通信ユニットは、SmaMe IIが取得した電力量データを直接シリアル通信により取得する。その後、（株）NTTドコモ（以下、docomo）のLTE網に接続し、定期的にインターネット上の検針サーバへデータ送信を行う（図1）。

### 2.2 主な特長

#### (1) 通信方式としてLTE-Mを採用

今回開発した基板にはLPWA<sup>注2)</sup>通信の一つであるLTE-Mの通信方式に対応した無線モジュールを採用した。通信キャリアはdocomoを採用しており、LTE基

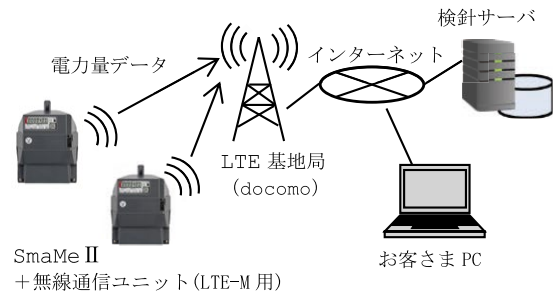


図1 無線通信ユニットを使用した検針

地局経由で携帯電話と同じく全国どこからでもデータをサーバへ直接送信できる。

#### (2) 小型・低消費電力

無線通信ユニット自体は、SmaMe II -TypeH<sup>注3)</sup>内に内蔵できるサイズとした。SmaMe IIとの接続ケーブルを除いた筐体は、横75mm、縦54.5mm、高さ41mmである。また、筐体内に小型アンテナも内蔵している（図2）。

無線通信ユニットは消費電力が少なく、SmaMe IIから供給される5V電源で動作できる。

これにより、メータ設置以外の工事を現場で不要とした。また、設置済みのSmaMe IIにも無線通信ユニットを装着することでIoTエッジデバイスとして動作可能になる。

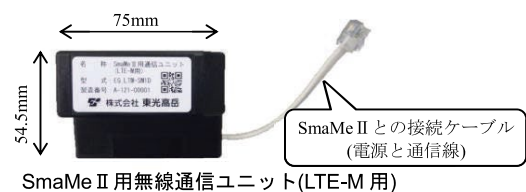


図2 SmaMe II無線通信ユニット外観

#### (3) IoTセキュリティ対策

直接インターネットに接続するIoTエッジデバイスは、セキュリティ対策が必須である。デバイスと検針サーバ間で、通信相手先の相互認証と、ネットワーク上でのデータ暗号化を行った。

#### (4) 遠隔からのソフトウェア更新

無線通信ユニット上にあるマイコンのプログラムを、インターネット上のサーバから最新のソフトウェアに更新できる OTA アップデート機能<sup>注4)</sup>を搭載している。これにより、設置現場に行かなくとも、機能アップや設定変更などが可能である。

#### (5) クラウド (AWS への接続) 対応

DX の移行の中で、企業のサーバがクラウド上にあることが増えつつある。特に、サーバを Amazon Web Services (AWS) や、Microsoft Azure などのパブリッククラウド上に構築をされる企業が増加している。

今回は AWS に接続することを前提に設計を行った<sup>(1)</sup>。

AWS IoT Core<sup>注5)</sup>で採用されている認証方式に対応している。

収集データは、IoT デバイスの標準通信プロトコルの一つである MQTT<sup>注6)</sup>を採用した (図 3)。

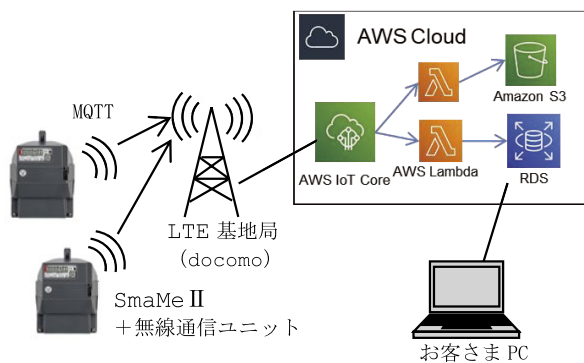


図 3 無線通信ユニットによる AWS での電力量取得

#### (6) 瞬時停電対策

瞬時停電により、通信モジュールやマイコンのメモリデータを破壊する可能性がある。これは、メモリに書き込みや消去など行っている最中に、停電による回路基板内の電圧低下が起こると、メモリデータ破壊の確率が高くなる。

上記対策として、マイコンで SmaMe II から供給されている電源電圧を監視し、電圧低下時には、メモリアクセスを終了させて、通信モジュールなどの終了処理を行い、安全にマイコンを動作停止させている。

また、停電後マイコンで安全停止するまでの必要な電源を、回路基板上に搭載した電気二重層コンデンサに

よってバックアップしている。

これらにより、瞬時停電発生時のメモリデータ破壊の可能性を回避している。

## 3 おわりに

今回、紹介した無線通信ユニットは SmaMe II の機種のみ対応している。今後、対応するメータの拡充 (ガス・水道メータなど) や、サーバ接続の機能拡張を行う予定である。

### ■参考文献

(1) AWS IoT Core Developer Guides :  
<https://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/iot-dg.pdf>

### ■語句説明

注 1) SmaMe II : “SmaMe” は東光東芝メーターシステムズ (株) 製の一般市販向けスマートメータであり “SmaMe II” は SmaMe の新機種である。なお、“SmaMe” は同社の登録商標である。

注 2) LPWA : Low Power Wireless Area の略で IoT (Internet of things) に適した低消費電力、広域無線通信技術

注 3) SmaMe II -TypeH : SmeMe はシリーズ化され幾つかのタイプがあり、その内の一タイプ。TypeH は「High-Grade」の意味である。

注 4) OTA アップデート : Over-The-Air アップデートの略で、ファームウェアやアプリなどの更新を無線通信で行うこと。

注 5) AWS IoT Core : AWS が用意しているサービスで IoT デバイスと AWS のサービスを接続する入り口の役割を担う。デバイスの認証、デバイス管理、メッセージなどの送受信処理を行う。

注 6) MQTT : IoT に適した、TCP/IP 上で利用できる通信プロトコルの一つで、多数の端末で短いメッセージを送受信する用途に利用される。

### 赤下 尚司

エネルギーソリューション事業本部  
 システムソリューション製造部 開発グループ 所属

### 今井 直樹

エネルギーソリューション事業本部  
 システムソリューション製造部 開発グループ 所属

# 急速充電器遠隔保守管理システム

## 製品紹介

■ 本山 孝治

Koji Motoyama

■ 丸山 禎浩

Yoshihiro Maruyama

## 1 はじめに

世界中が温暖化対策に取り組む中、日本政府は2050年までにカーボンニュートラル<sup>注1)</sup>を実現することを宣言し、2035年までに新車販売で電動車<sup>注2)</sup>100%とすることを表明した。これにより、電気自動車の普及が進むことが考えられ、充電用インフラ設備の整備も重要視されている。また昨今の電気自動車はバッテリーの大容量化が進んでおり、充電時間の短縮のため急速充電器の普及がよりいっそう期待されている。従来、東光高岳が自動車販売店や高速道路のサービスエリアなどに供給してきた急速充電器には、遠隔で保守管理するためのネットワーク接続機能がなかった。このため、急速充電器が故障した場合には、詳細な情報を事前に把握することができず、現場にて診断した結果で対応するため、保守作業には時間と労力を要していた。

そこで、急速充電器の遠隔管理および保守作業の省力化を実現するための急速充電器遠隔保守管理システム（以下、遠隔保守管理システム）を日東工業（株）と共同開発したので、ここで紹介する。

## 2 遠隔保守管理システムの特長

遠隔保守管理システムの特長について以下に示す。

### 2.1 遠隔保守管理

本システムでは、充電器の遠隔監視のほか、遠隔操作による充電器のログ情報取得および充電器のファームウェアのアップデートがパソコンのWEBブラウザ画面から可能である。

充電器故障時に遠隔から充電器状態の事前調査が実施可能なため、メンテナンス作業を大幅に省力化することができる。

本システムに対応する急速充電器を以下に示す。

- ・急速充電器 B9 シリーズ
- ・大容量マルチアウトレット急速充電器B10シリーズ（新製品：本誌、製品紹介に記載）

### 2.2 ゲートウェイ機能

本システムは、急速充電器がデマンドレスポンス<sup>注3)</sup>への対応のほか、さまざまなシステムと連携できるように、プロトコル変換機能を有しており、代表的なプロト

コルとして OCPP1.6<sup>注4)</sup> に対応している。今後、プロトコルの仕様がバージョンアップなどで変更となった場合でも急速充電器のソフト変更をすることなく、ゲートウェイの仕様変更のみで対応可能となるため、システム更新時間を大幅に削減できるメリットがある。

## 3 遠隔保守管理システム構成

遠隔保守管理システム構成（図1）について以下に示す。

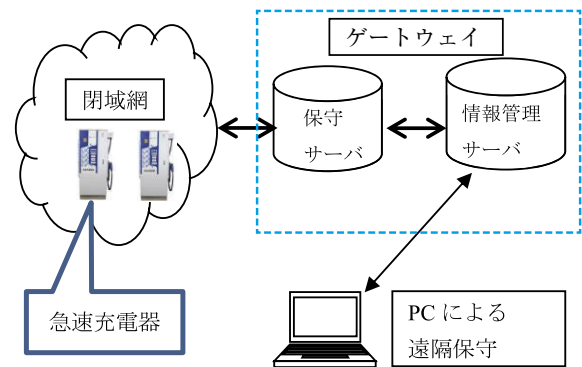


図1 遠隔保守管理システムの構成

### 3.1 閉域網

本システムでは、携帯電話会社が提供する閉域網を使用している。閉域網は通常のインターネット回線と異なり、特定のSIMを使用しないとアクセスができないため、外部からの不正アクセスを防ぐことが可能である。

### 3.2 保守サーバ

急速充電器と情報管理サーバとの通信を中継する役割を持つ。急速充電器と情報管理サーバ間の通信ログ情報を保管する。

### 3.3 情報管理サーバ

急速充電器から情報を取得し、パソコンによる急速充電器の状態監視および保守機能を提供する。

## 4 遠隔保守管理システム機能

遠隔保守管理システム機能について以下に示す。

### 4.1 状態表示

本システムに登録された充電器の現在状態（充電状

態、異常状態など)を一覧表示(図2)することが可能である。

充電器種別や充電器状態により検索結果を表示することが可能である。



図2 状態一覧画面

また、充電器ごとに状態履歴および異常履歴情報の表示が可能である(図3)。



図3 状態履歴画面

### 4.2 充電器状態表示および設定値変更

充電器の詳細状態表示および設定値の表示・変更が可能である(図4)。



図4 詳細表示画面

表1に主な設定可能項目を示す。

表1 主な設定可能項目

	設定可能項目	説明
1	出力電力	供給可能な最大電力
2	サービス開始・終了時刻	充電器が利用可能な時間帯(24時間指定可)
3	最大充電時間	充電可能最大時間 [設定単位:分]

### 4.3 充電履歴および実績表示

各充電器の充電情報(充電開始・終了日時, 充電電力量ほか)を表示する。月単位で充電器の利用回数表示や利用時間帯別の充電回数のグラフ表示など稼働実績の表示が可能である(図5)。

本画面の累計稼働情報の累計稼働時間から、充電器設置ユーザに対して機器メンテナンス時期をお知らせするサービスが提供できる。

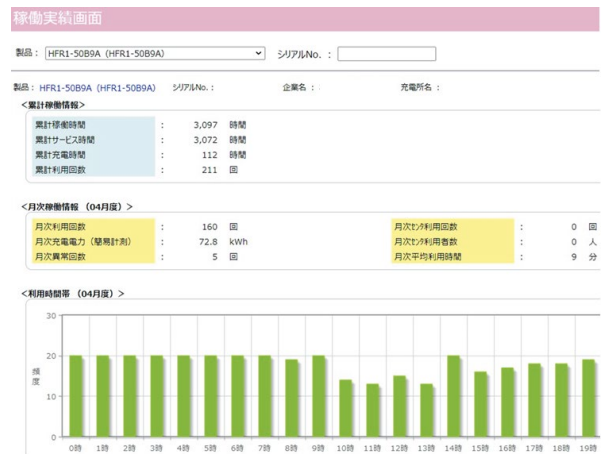


図5 稼働実績画面

### 4.4 充電器ログ取得

充電器から充電電力量などの計測値ログと異常ログについて開始・終了日を指定した取得が可能である。

取得したログから充電器状態を遠隔から調査し、充電器の不具合発生時に迅速な対応が可能な保守サービスを提供できる。

### 4.5 ファームウェアアップデート

複数の充電器を指定してファームウェアアップデートを実行することが可能である。アップデートの実行タイミングは、即時または日時指定が可能であるため充電利用実績の傾向から利用頻度の少ない時間帯を選ぶことも可能となる。



## 5 おわりに

本稿で紹介した遠隔保守管理システムの機能は、充電器の保守に特化したものとなっている。今後は、契約電力を超過しないための充電出力自動抑制のほか、設置者にも利用できるサービスを提供するための機能開発に取り組んでいきたいと考えている。

### ■ 語句説明

注1) カーボンニュートラル：何かを生産したり、一連の人為的活動を行った際に排出される二酸化炭素と吸収される二酸化炭素が同じ量である、という概念。

注2) 電動車：ハイブリッド車（HV）をはじめ、電気自動車（EV）、プラグインハイブリッド車（PHV）、燃料電池車（FCV）が対象。

注3) デマンドレスポンス：需要家側エネルギーリソースの所有者もしくは第三者が、そのエネルギーリソースを制御することで、電力需要パターンを変化させること。

注4) OCPP1.6：Open Charge Point Protocol 電気自動車の急速充電器を管理する国際標準通信プロトコル。課金や充電器の保守・運用などを、専用の端末や特別なネットワークを介さず行うことができる。

---

### 本山 孝治

エネルギーソリューション事業本部  
システムソリューション製造部 開発グループ 所属

### 丸山 禎浩

日東工業株式会社  
EV インフラ事業室 開発二課 所属

# 電気自動車用大容量 マルチアウトレット急速充電器

■ 金野 清博  
Kiyohiro Konno

■ 鈴木 健司  
Takeshi Suzuki

■ 鈴木 剛志  
Takeshi Suzuki

■ 山本 脩斗  
Shuto Yamamoto

## 1 はじめに

全世界規模で地球温暖化対策が進められており、国内においても脱炭素化として2050年カーボンニュートラルの実現を目指した取り組みが活発化している。また、東京都においてはガソリンエンジンのみの新車販売を2030年までに禁止する取り組みが発表されている。このような情勢の中で大手車両メーカーが続々と電気自動車（以下、EV）市場に参入してきている。

これにより、今後ガソリン車からEVやハイブリット車など、CO<sub>2</sub>排出を考慮した車両に乗りかえるユーザーが増えてくると考えられる。また、最近では満充電一回分での走行距離を伸ばすべくEVの電池容量が大きくなり、現在多く設置されている50kWまでの急速充電器では満充電までの時間が長くなり充電待ちの渋滞が発生している。

これらの課題を解決するため、海外でも普及しつつある複数の充電コネクタを有した大容量急速充電器の導入が日本国内でも期待されている。東光高岳も世の中のニーズに応えられる急速充電器を開発すべく、大容量化とマルチアウトレット<sup>注1)</sup>に対応をした新製品を開発したので、ここに紹介する。

## 2 製品仕様と主な特長

### 2.1 基本製品仕様

本器の基本仕様を表1、外観写真を図1に示す。

表1 基本仕様

型 式	HFR1-120B10
入 力	三相3線 AC400V, 50Hz / 60Hz
出 力	DC150V~450V, 0A~200A マルチアウトレット対応（充電ケーブル2口） 1口：最大90kW / 2口合計最大120kW
効 率	94%以上
サイズ	幅750mm × 奥行642mm × 高さ1,994mm（突起含まず）
充電ケーブル	38mm <sup>2</sup> タイプ、70mm <sup>2</sup> タイプ （標準：5m / オプション：7.5m）
質 量	約600kg
保護等級	IP44
周囲温度	-10℃~40℃
周囲湿度	30%~90%（結露なきこと）



図1 外観写真

### 2.2 マルチアウトレット対応

本器は、東光高岳で初めて一台の筐体に2口の充電ケーブルを実装したマルチアウトレット対応の急速充電器である。なお、充電ケーブルはお客様の使用環境・運用方法に適した二種類（38mm<sup>2</sup>または70mm<sup>2</sup>）から選択可能とした。

【38mm<sup>2</sup>タイプ】最大電流（200A）約15分

※ハイカレントコントロール<sup>注2)</sup>によるブースト制御<sup>注3)</sup>にてケーブル軽量化を実現。

【70mm<sup>2</sup>タイプ】最大電流（200A）連続使用可能

### 2.3 出力容量

本器は、2.2項で述べたように2口の充電ケーブルを実装しており、その1口の充電ケーブルだけで充電する場合はEVがダイナミックコントロール<sup>注4)</sup>に対応していれば最大90kW、対応していないEVの場合は最大50kWまでの出力が可能。また、2口同時に充電する場合は2口の合計出力が装置全体の出力上限である120kWを超えないように制御している。この機能をパワーシェアリング<sup>注5)</sup>という。なお、ユーザーが充電口Aと充電口Bのどちらを利用するかは制約はなく空いているほうを自由に選択できる。1口での最大出力電力例

を表 2 に、2 口での出力電力組み合わせ例を表 3 に、ダイナミックコントロール対応 EV 充電時のパワーシェアリングイメージ図を図 2 に示す。

表 2 1 口での最大出力電力例

最大出力電力例	充電口 A	充電口 B	備考
1	90 kW	停止	ダイナミックコントロール対応 EV を充電する時は 1 口の最大出力電力は 90 kW までとする
2	停止	90 kW	
3	50 kW	停止	ダイナミックコントロール非対応 EV を充電する時は 1 口の最大出力電力は 50 kW までとする
4	停止	50 kW	

表 3 2 口での出力電力組み合わせ例

組み合わせ例	充電口 A	充電口 B	備考
1	90 kW	30 kW	ダイナミックコントロール対応 EV 2 台を同時に充電する時は 2 口の最大出力電力の合計を 120 kW までとする
2	60 kW	60 kW	
3	30 kW	90 kW	
4	50 kW	50 kW	ダイナミックコントロール非対応 EV 2 台を同時に充電する時は 2 口の最大出力電力の合計を 100 kW までとする
5	60 kW	50 kW	ダイナミックコントロール対応と非対応の組み合わせで同時に充電する時は 2 口の最大出力電力の合計を 110 kW までとする。(例：A は対応で B は非対応の場合)

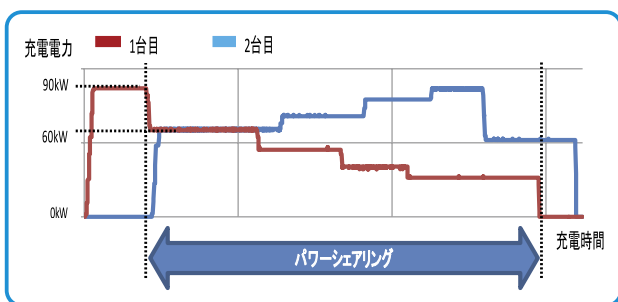


図 2 パワーシェアリングイメージ図

図 2 において、まず 1 台目が 90 kW で充電を実施している。次に、2 台目が充電操作を実施すると 1 台目の充電を 60 kW に下げた後から 2 台目の充電を 60 kW で開始する。その後は、2 口の合計出力電力が 120 kW を超えないように EV と情報交換しながら出力を制御している。

## 2.4 通信機能

東光高岳製の通信端末を接続することにより、クラウド連携が可能となりネットワーク経由での監視や制御が可能となった。今後はネットワーク保守管理サービスなどに利用していく。以下に主な通信機能を記載する。

- ・各種ソフトウェアのアップデート (急速充電器制御部, 通信端末, 操作パネル)
- ・IC カードによる利用者認証 (FeliCa カード<sup>注6)</sup> 対応)
- ・充電器の状態監視および制御など

## 2.5 操作部

操作性向上のため操作パネルとフェリカカード認証部は 2 口それぞれに用意しており 2 人のユーザが相手を気にすることなく同時に操作することができる。パネル操作中の写真を図 3 に示す。



図 3 パネル操作中の写真

## 2.6 ケーブルマネジメント

現在設置されている多くの急速充電器の充電ケーブルは、EV により充電口の場所が異なることへ対応すべく長さを有するため、本体の腕金アングルなどに巻き付け



図 4 ケーブルマネジメントが取り付けられている本器の写真

収納している。EV 接続する際には地面を引きずるので、充電終了後に汚れたケーブルを手を持ち収納することになる。充電ケーブルをワイヤで吊るケーブルマネジメントを採用することで、ケーブルの取り回しと収納の作業性向上、さらには地面接触による汚れや傷を防ぐことができる。本器を斜めから見た外観を図 4 に示す。

### 3 おわりに

本稿は EV2 台同時充電に対応した電気自動車用大容量マルチアウトレット急速充電器を紹介した。東光高岳は、今後も充電インフラの構築を促進する方策を東光高岳自ら作り出し、インフラ拡充に努め製品ラインナップ強化と他システムと連携できる製品開発を進めていく予定である。

#### ■ 語句説明

注 1) マルチアウトレット急速充電器：2 口以上の充電ケーブルを備える急速充電器

注 2) ハイカレントコントロール：充電ケーブル内の温度を監視し安全な範囲の電流を流す制御方式

注 3) ブースト：通常定格以上の電流を流す制御

注 4) ダイナミックコントロール：充電器の要求によりリアルタイムで充電量の調整ができる制御方式

注 5) パワーシェアリング：装置の最大出力電力を超えないように制御し 2 台の EV へ充電すること

注 6) FeliCa カード：FeliCa は、ソニー株式会社が開発した非接触 IC カードの技術方式です。FeliCa は、ソニーグループ株式会社またはその関連会社の登録商標または商標です。

---

#### 金野 清博

エネルギーソリューション事業本部  
システムソリューション製造部 開発グループ 所属

#### 鈴木 健司

エネルギーソリューション事業本部  
システムソリューション製造部 開発グループ 所属

#### 鈴木 剛志

エネルギーソリューション事業本部  
システムソリューション製造部 開発グループ 所属

#### 山本 脩斗

エネルギーソリューション事業本部  
システムソリューション製造部 開発グループ 所属



# ロシア・ポーラーマイクログリッドシステムの実証運転開始

## 1 概要

2018年2月からロシア連邦サハ共和国のティクシ市にて導入を進めてきた「ポーラーマイクログリッドシステム (Polar Microgrid System)」の構築が完了し、72時間の連続運転試験を問題なく終え、日露の合意をもって2020年12月より実証運転が開始された。なお、本実証事業は(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)委託事業において、三井物産(株)、(株)駒井ハルテックと協働で実施しているものである。

## 2 システムの構築

ティクシ市は独立電力システムのため、既設発電所のディーゼル発電機(既設DG)により電力供給を行っていた。本実証では新たに中型の300kW寒冷地仕様風力発電機を3基建設した。また、新たに発電所を建設し、発電所内に1MWディーゼル発電機(新設DG)を3機、リチウムイオン蓄電池を2機(合計900kW-300kWh)、さらに各種発電リソースを自動制御し安定した需給運用を行う「再エネ制御協調システム」を導入した。

ティクシ市は北極海に面した極寒冷地であり、冬季は $-30^{\circ}\text{C}$ を下回る日がある。このような過酷環境下での風力発電機の安定運転ならびに、再エネ制御協調システムによる安定した自動需給運用を実証している。また、現地ではディーゼル発電機の燃料として原油使用のニーズが高いことから、新設DG1機で軽油と原油の混焼焚きを行っている。

## 3 再エネ制御協調運転

電力システムは常に発電と需要のバランスを取る必要があり、このバランスが大きく崩れると系統周波数が乱れ、最悪の場合大規模停電に繋がる。そのため、再エネ制御協調システムは秒単位で周波数や各種発電機出力を監視しており、需要や風力発電機の変動に応じて新設DGや蓄電池を自動制御することで周波数変動を抑え、電力品質の向上を図っている。

今回導入した再エネ制御協調システムは、オペレータによる手動運転を行っている旧式の既設DGと協調を取って運転するという特長がある。EMSは現在の需要をもとにオンラインで新設DGに運転台数を考慮した発電量を、風力発電機には抑制量を指令し、既設DG

には発電量を表示器に表示させオペレータがその値を目安に既設DGの運転を行う。

## 4 今後の展望

今後は実証運転のデータを分析し、風力発電機による再エネ比率の向上やディーゼル発電機の原油比率向上など経済性を高めるとともに、さまざまな条件下でも安定した再エネ協調制御ができるよう調整を進めていく。ポーラーマイクログリッドで得られた技術は国内外に向けた新たなシステムのベースとなるべく展開していく計画である。



図1 風力発電機



図2 新設発電所



図3 実証設備の記念式典

# 東京電力パワーグリッド株式会社における LCM事業のための試験用EMS, データ収集装置の開発

## 1 概要

東京電力パワーグリッド(株) (以下、東電PG) では、再生可能エネルギーによる発電力確保に不可欠なリチウムイオンバッテリーが高価であること、一方でEVの普及などにより今後中古のリチウムイオンバッテリーが市場に流通することを想定して、新品バッテリーだけでなくリユースバッテリーの活用も想定したライフ・サイクル・マネジメント (LCM) 事業を展開しようとしている。東光高岳では、この LCM 事業に際しリユースバッテリーの性能評価を目的とした試験設備用 EMS ならびに、EMS と PCS 間のデータを収集する装置の開発を受注した。

## 2 システムの構築

EMS については、図 1 に示すように、4 組のリユースバッテリーを二つのグループに分け、グループごとに充電、放電を指令し、バッテリーは、そのグループ内に分けられたバッテリーとの間で充・放電を行う仕組みとなっている。図 1 では、四つのリユースバッテリーが A、B の二つに分けられ、A グループに所属したリユースバッテリーは A グループ内のみで、B グループのリユースバッテリーは B グループ内のみで充・放電を繰り返すこととし、A グループから B グループ、B グループから A グループのようなたすき掛けとなる充・放電は行わないという条件で、指定した試験回数内で連続充・放電を継続するという EMS を開発した。東電 PG は、この試験により、導入したリユースバッテリー内の個々の性能のバラツキ (劣化の進行ぐあい) や、そのバラツキを考慮した充・放電電力の配分などを行う BESS (バッテリー制御装置) の評価を実施し、事業化の検討を行った。

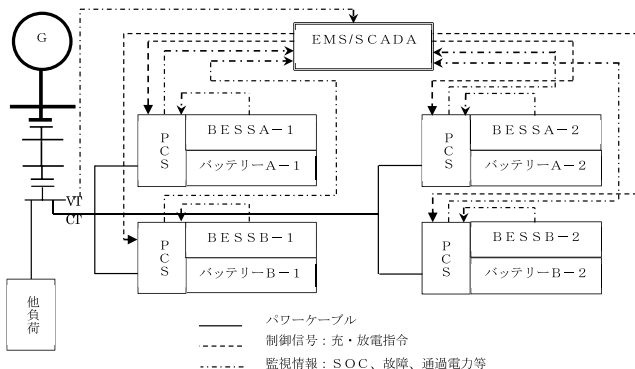


図 1 全体システム構成概念図

LCM 事業では、リユースバッテリーを望むお客さまへのサービスとして、リユースバッテリーの監視業務も実施する。このとき、バッテリーの状態変化を把握するために PCS がどのような運転を行っていたかに関するデータを適宜確認する必要がある。このため、当社は、EMS 以外に図 2 に示すようなデータ収集機能についても開発を行い、東電 PG が用意するデータ収集装置に実装した。

## 3 LCM 事業の展開

現在、東電 PG における LCM 事業では、本試験の結果を踏まえ、実際の複数箇所のお客さまに納入されている。これらのお客さまについては、今回開発したデータ収集機能を実装している。東電 PG では、今後配電ライセンス事業を睨んだマイクログリッド構築にも、再エネ由来の発電設備と蓄電池は必須リソースと考えている。そこで LCM の活躍が大いに期待できるところである。

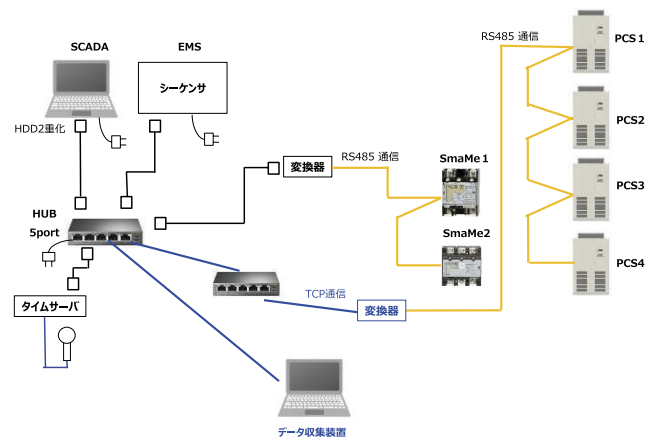


図 2 EMS - PCS 間データ収集概要

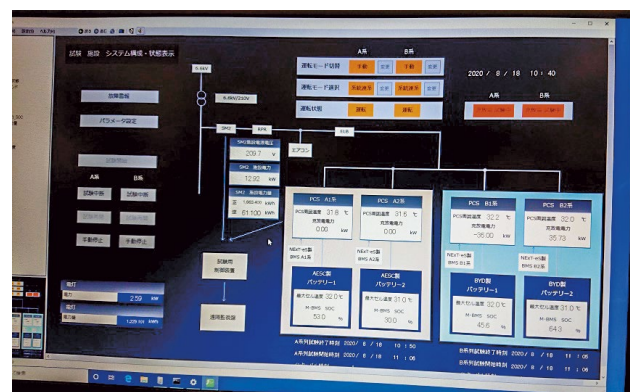


図 3 EMS画面