



巻頭言：持続可能な社会とウェルビーイングのための統合アプローチ ～多様な視点と先端技術の役割～	岩尾 徹	1
----------------------------------------------------	------	---



論文

電力の安定供給を支える解析技術 PowerFactory における瞬時値解析機能の妥当性検証	森 佑介	2
製品の開発期間短縮と品質向上を目指した 開発設計のフロントローディング化を促進するための取り組み	片柳 厚志	6
エポキシモールド機器の低炭素化に向けた 植物油由来エポキシ樹脂の配合改良と長期信頼性評価	大竹 美佳	12



技術紹介

電力設備の保守・保全に貢献する 72/84 kV 新形水平二点切気中断路器の開発	鈴木 翔平・大山 友幸・清水 俊博・高橋 徹夫	16
データ活用技術の更なる高度化を目的とした クラウドでのデータ収集・蓄積を汎用化する基盤システムの開発	冨井 良平・梅澤 敦史・中山 匡	20
最適なバス運行と充電計画を支援する電気バス充電インフラシステムへの OCPP 適用	小関 俊英	22
直流給電システムや EV 充電インフラの 従量課金に向けた直流電力量計	黒木 雄太・千田 智行・長谷川 敏夫・迫山 光弘	26
エネルギー計測データ活用による高付加価値サービス提供に向けた パブリッククラウドによる開発環境の構築	吉田 耕作・菅原 梨沙	31



製品紹介

EV 充電インフラの拡充と保守・運用の効率化に貢献する 充電ステーション管理システムの開発	廣田 和之・近藤 大介・吉田 耕作	34
多様化する充電インフラの利用シーンに対応する出力容量の異なる EV 用充電器を設置した 蓮田充電ステーション	鈴木 健司・古家 成正・山本 脩斗・藤本 千紘	36
ユーザに優しい充電インフラを実現した EV 用急速充電器ユニバーサルデザイン化	山本 脩斗・鈴木 剛志	40
安定した電力供給を支える 新形故障区間検出装置の開発	早坂 秀一・檜木 陽一・梶田 聡・清水 俊博・松本 崇志	42
JEC 規格に準拠した海外メーカー製ステーションポストがいしの開発と それを適用した断路器	大山 友幸・松本 崇志・清水 俊博・梶田 聡・永田 清志	46
既設設備の保守負荷を軽減するための日本ガイシ株式会社製 72/84 kV 気中断路器 および接地装置に適用可能な新形電動操作装置	清田 裕康・蛭沼 伸行	50
製品の安定供給とリプレイスの容易さに配慮した 66 kV 据置形油入 VCT	松田 隆真・寶田 憲央・大塚 貴裕	52
大幅な機能集約と省スペース化を実現した沖縄電力向け 22 kV デジタル配電塔用保護制御装置	阿部 健・前澤 格・篠崎 宏司	54
デジタル変電所の高度化へ寄与する送電用変電所向け 監視制御装置の開発	菅原 淳・篠崎 宏司・川俣 陽輝・平山 賢人	56



トピックス

EV 用急速充電器を「SERA」シリーズとして展開		61
EV 導入をスムーズにする『EVOっとサービス』みずほリース株式会社・株式会社ミントウェーブと提供開始		62
EV 充電インフラ導入を後押しする『EV 用急速充電器レンタルサービス』 淀川変圧器株式会社・株式会社ミントウェーブと提供開始		63
ウガンダ共和国の電力安定供給に貢献—送電系統停電事故解析システム案件の完工— タカオカエンジニアリング株式会社		64
マラウイでの日本政府 ODA 事業に貢献—電力インフラ整備事業の完工— タカオカエンジニアリング株式会社		66
フィリピン共和国向け配電系統運用システム実証事業への参画		68
系統安定化装置の開発・納入開始		70
第 61 回技能五輪全国大会に出場		71

持続可能な社会とウェルビーイング のための統合アプローチ ～多様な視点と先端技術の役割～



岩尾 徹*
Toru Iwao

21世紀の現代社会は急速な技術革新と世界的な社会変化に直面しています。エネルギー、生活経済、環境のトリレンマを解決するためには、単一の視点や分野だけでは不十分であり、統合アプローチが不可欠です。統合アプローチは、様々な分野や視点を組み合わせ、包括的かつ効果的な解決策を見出す方法論であり、公正としての正義、総合知、ウェルビーイング、Society 5.0、CPS（サイバーフィジカルシステム）、DX、LCA（ライフサイクルアセスメント）、エネルギー保存、EBPM（証拠に基づく政策立案）などの多様な要素を組み合わせます。

公正としての正義は、すべての個人が平等に機会を享受し、資源や利益が公平に配分されることを意味します。この概念は社会全体の幸福と調和を促進し、個々の幸福を最大化するために重要です。そのためにはEBPMが必要であり、公正な社会を実現するために科学的根拠と実証データを活用し、政策の効果を測定・評価・修正することで、より効果的で公正な政策を実現します。

図1では、探究科学力を構成する要素である、個人の内的側面、社会的・対人的スキル、学術的・技術的能力に関わる相関関係が示されています。これらは思考力、判断力、表現力、行動力、知識、技術などの能力を基に、公正、総合知、DX、ウェルビーイング、探究科学力といった新しいアプローチや先端技術と融合しています。このような多様な視点と価値観を尊重し、深い理解を促進することで、ウェルビーイングかつ持続可能な社会の基盤が築かれ、最終的には自己実現につながります。

持続可能なエネルギー利用を目指すプロジェクトを例にすると、地域の住民、企業、政府が協力し、エネルギー効率の高いインフラを構築する必要があります。リアルタイムで、人流、エネルギー、経済、教育、医療、社会保障、環境、交通などのデータを基に政策提言を行い、その政策が実際にどのような影響を与えるかを定期的にフィードバックし、必要に応じて政策の修正や改善をすることが重要です。このようにしながら、個別最適解と全体最適解のバランスを図ることで、個人が幸せで豊かであれば、社会全体も元気になっていきます。

このような統合アプローチを実践するためには、教育現場や地域社会、政策立案など多岐にわたる分野での取り組みが必要です。特に教育現場では、異なる学問分野

やスキルを統合したカリキュラムを導入し、学生が複雑で正解のない問題に対処できる能力を養うことが重要です。地域社会では、市民や企業が協力し、地域の課題に対する解決策を協働で開発し、実践することが求められます。政府や地方自治体は、Society 5.0やCPS、DXなどの先端技術とEBPMや市民参加型のプロセスを導入し、効果的な政策を策定、社会課題に対する新たな解決策やサービスの開発を通して、持続可能な社会の構築を支援します。また、LCAを通じて製品やサービスの環境影響を評価し、持続可能な選択を可能にすることが重要です。

教育、地域社会、政策立案、技術革新など各分野での取り組みを通じて、個人の幸せと社会の活性化を同時に促進し、持続可能な未来を築くことができます。特に探究活動やリスクリング、生涯学習の推奨によって、個人が自己成長し、幸せと豊かさを実感し、社会に貢献する能力を継続的に向上させることが重要です。知識集約型社会を目指し、幅広い教養と深い専門性を組み合わせることで、より良い解決策が生まれ、ウェルビーイングかつ持続可能な社会の実現に寄与します。このような統合アプローチを推進する中で、東光高岳の技術力と先進的な取り組みと成果が、私たちのウェルビーイングかつ持続可能な社会の構築に貢献することを期待します。

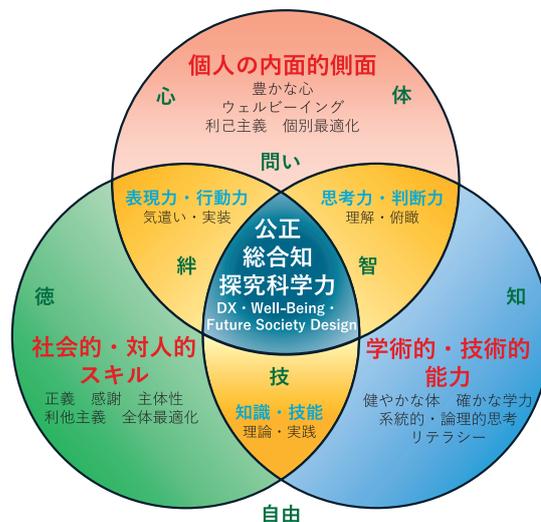


図1 探究科学力を構成する要素の相関関係

* 東京都市大学 理工学部 電気電子通信工学科 教授

電力の安定供給を支える解析技術 PowerFactory における瞬時値解析 機能の妥当性検証

■ 森 佑介
Yusuke Mori

系統解析においては、時間のスケールによって実効値解析と瞬時値解析に分類され、それぞれ解析対象となる現象が異なるため、適切な使い分けが必要となる。東光高岳では、ドイツの DIgSILENT 社が開発した統合電力系統解析ソフトウェア「PowerFactory」を取り扱っているが、オプション機能を付けることで実効値解析だけでなく、瞬時値解析も可能である。本稿では、PowerFactory の瞬時値解析機能について、これまで瞬時値解析ソフトとして広く利用されている ATP と比較・検証し、その妥当性を確認した。

1 はじめに

系統解析技術は、電力系統の構築、安定的な運用から電力機器の開発に至るまで、電力の安定供給を様々な側面から支える重要な技術である。系統解析の対象となる現象は様々であり、時間のレンジやモデルの規模など多岐にわたる。時間のレンジについては、サージのような μsec オーダーの非常に短時間のものから、電力動揺のような秒オーダーのもの、潮流制御などの分・時オーダーのものまで非常に幅広い。また、系統解析は時間のスケールに応じて、実効値解析と瞬時値解析に大きく分類される。実効値解析は系統内の電圧・電流の実効値の変化を解析するものであり、瞬時値解析は電圧・電流波形を詳細に解析するものである。一般的に、潮流変化や電力動揺などの時間のスケールが秒オーダー以上のものは実効値解析を利用し、サージなどの高速な現象に対しては瞬時値解析を利用する。解析ソフトについても、実効値解析をベースとしたもの、瞬時値解析をベースにしたものがあり、解析対象に応じて解析の可否や向き不向きがある。したがって、解析対象に応じてツールを使い分けるのが一般的である。このように電力系統の各種現象を解析するために、実効値解析ベースの解析ソフト、瞬時値解析ベースの解析ソフト双方の開発が進められ、系統運用や電力機器の開発を支えてきた。

東光高岳においては、ドイツの DIgSILENT 社が開発・提供している統合電力系統解析ソフト PowerFactory の国内総代理店として、国内展開に向けた活動を行っている。PowerFactory は、豊富な解析機能を有しており、基本パッケージの他、オプション機能を付けることでユーザーのニーズに合わせた解析環境を構築することができる⁽¹⁾⁽²⁾。基本パッケージでは、静的な潮流解析や短絡電流解析などが可能である。また、瞬時値解析はオプション機能を付けることで対応可能である。PowerFactory では、各種解析に必要な定数が設定されていれば、各種実効値解析と瞬時値解析をシームレスに実行可能といった特長がある。そのため、解析の種類に

応じた解析ソフトの変更が不要となるだけでなく、解析規模にもよるが、モデルの作り直しも不要といったメリットがある。その他にも、豊富なサンプルや各種機器、制御系等のライブラリが用意されていること、API^(注1)により外部システムとの連携が可能といった特長もある。

これら各種解析機能を系統運用や機器開発に活用するためには、実現象によく合う適切な解析が必要である。この適切な解析の実現には、解析ソフトの妥当性とユーザーが作成した解析モデルの妥当性の双方が必要となる。適切な解析ができていない場合の多くは、ユーザーが作成したモデルや設定の誤りに起因するものと思われる。解析ソフトの妥当性については、新規に解析ソフトの導入を検討する際、ユーザーの解析したい現象を対象としてベンチマーク等で確認することが多い。そこで本稿では、PowerFactory の瞬時値解析機能について、これまで瞬時値解析ソフトとして広く利用され、評価も高い ATP^(注2) と比較・検証し、その妥当性を確認した。

2 瞬時値解析の必要性

前述のとおり、瞬時値解析は非常に短時間な現象や詳細な電圧波形・電流波形を把握するために必要である。瞬時値解析が必要となる解析対象として、下記のような例があげられる。

- ・雷サージや開閉サージ現象
- ・事故発生時の電流零ミス現象
- ・変圧器の励磁突入電流
- ・鉄共振などの異常共振現象
- ・パワエレ機器の検討

ここで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り、この期間は電流が遮断できないリスクが生じる。電流零ミス現象は、**図 1**、**図 2** に示すように、ケーブルの充電電流リアクトルの過渡直流分を含む遅れ電流が重畳することで生じる。風力発電などの発変電設備が系統連系点まで遠く、長距離ケーブルで接続される場合、充電電流の補

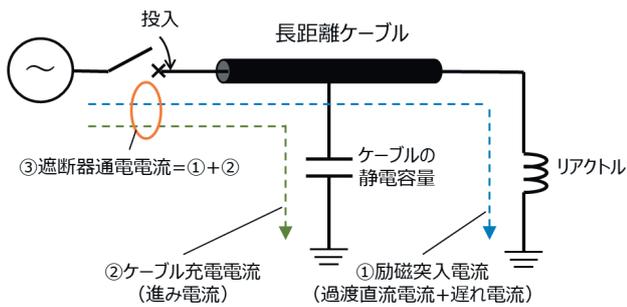


図1 電流零ミス現象の回路概略図

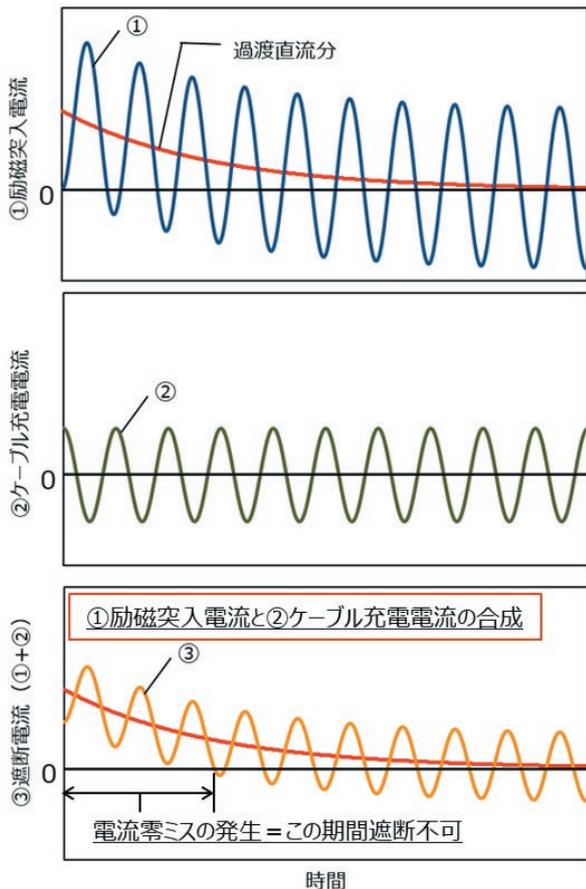


図2 電流零ミス現象波形イメージ

償やフェランチ対策のためのリアクトルが接続されることがあり、電流零ミス現象の解析が必要となる。また、図2に示した波形はイメージ図であり、実際は後述の解析例のように複雑な波形となることも多く、詳細な電流零ミス現象の検討には瞬時値解析が必要となる。本稿では、瞬時値解析の適用例として、投入サージ、電流零ミス現象について、PowerFactory および ATP で解析を行い、その結果を比較・検証する。

3 瞬時値解析結果の比較

3.1 解析モデル概要

投入サージおよび電流零ミス解析を実施した

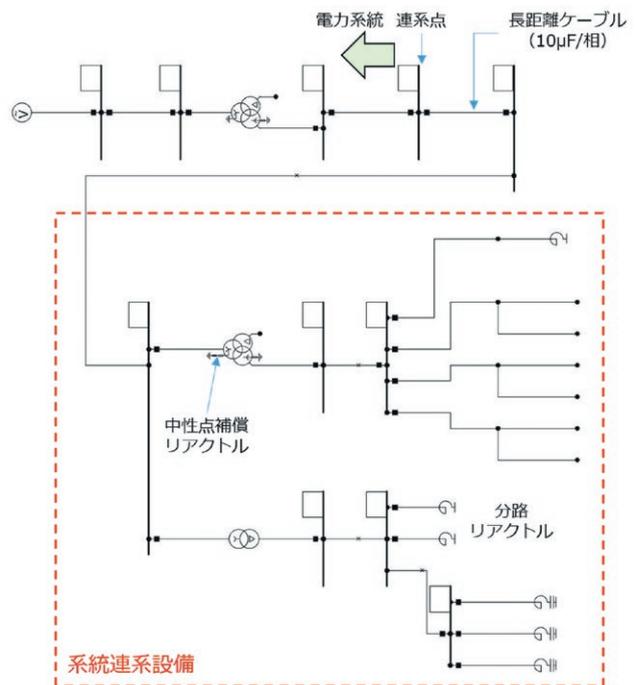


図3 解析モデル

PowerFactory のモデルを図3に示す。変電設備を長距離ケーブルで系統連系したものである。風力発電設備などは、このような長距離ケーブル連系になることが多いと考えられる。連系する系統は抵抗接地系である。系統連系設備は、変圧器を介して各種設備や負荷、構内ケーブルの静電容量を模擬している。なお、長距離ケーブルのみ分布定数回路としてモデル化した。また、長距離ケーブルの静電容量によるフェランチ現象対策や充電電流抑制対策として、分路リアクトルや中性点補償リアクトルを接続している。これにより図1, 2のように、事故電流に直流分が重畳し、電流零ミス現象が生じる可能性がある。

3.2 投入サージの解析結果

連系点の遮断器を投入した際に、長距離ケーブル末端に発生する相電圧を解析した。なお、このとき系統連系設備の変圧器等は非接続状態である。PowerFactory および ATP の解析結果を図4に示す。同図は、定格対地電圧波高値を1 p.u. として記載している。b相, c相は高周波成分が多く、細かい時間刻みの瞬時値解析が必要となる。また、このような高周波成分も含めて、PowerFactory と ATP の解析結果はよく一致している。

3.3 電流零ミス現象の解析結果

長距離ケーブル末端 a 相で地絡発生中に、連系用遮断器を投入した場合の当該遮断器に流れる電流を解析した。ここでは投入位相を変化させて、2つの条件で解析を実施した。それぞれの解析結果を図5, 図6に示す。なお、地絡した a 相は、中性点抵抗による交流成分が

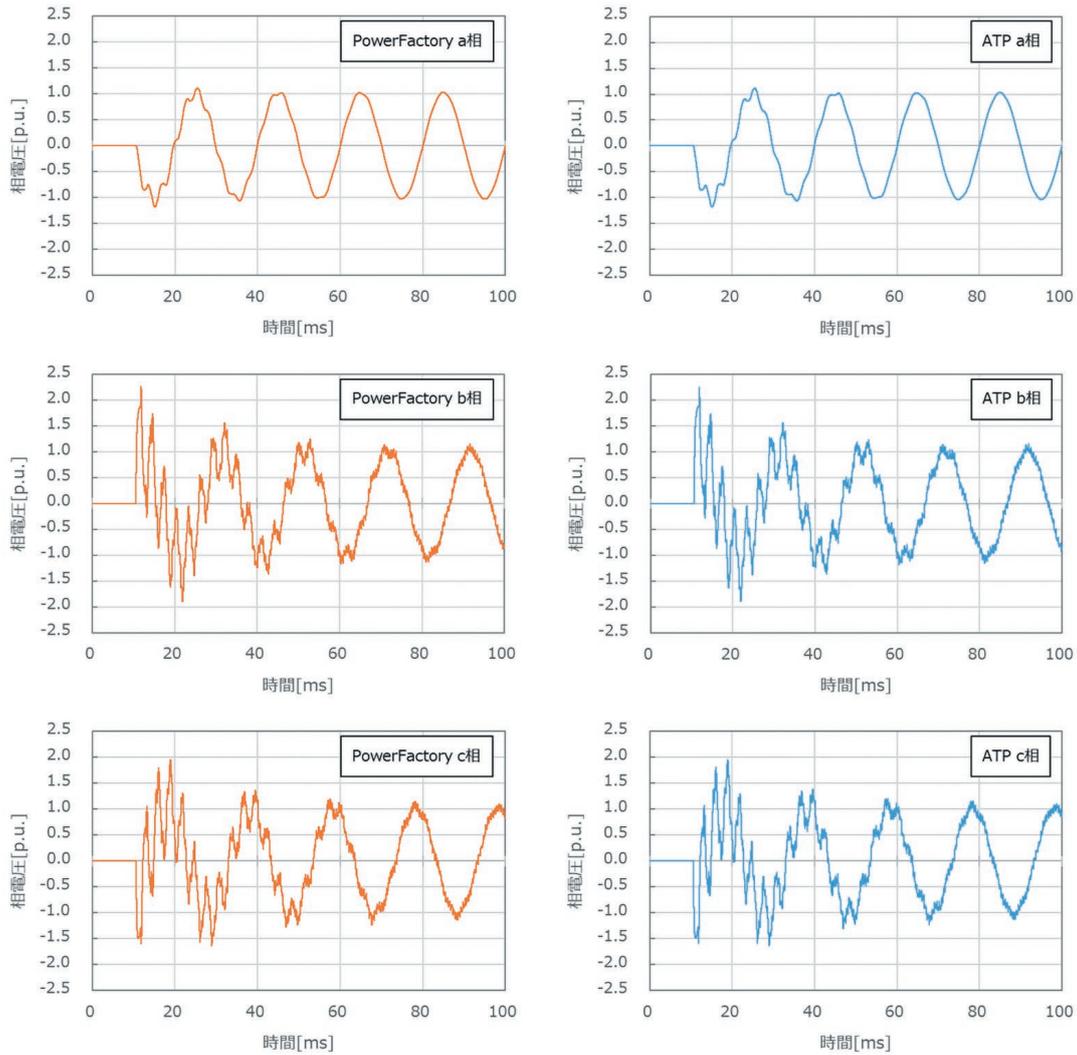


図4 投入サージ解析結果 (左: PowerFactory, 右: ATP)

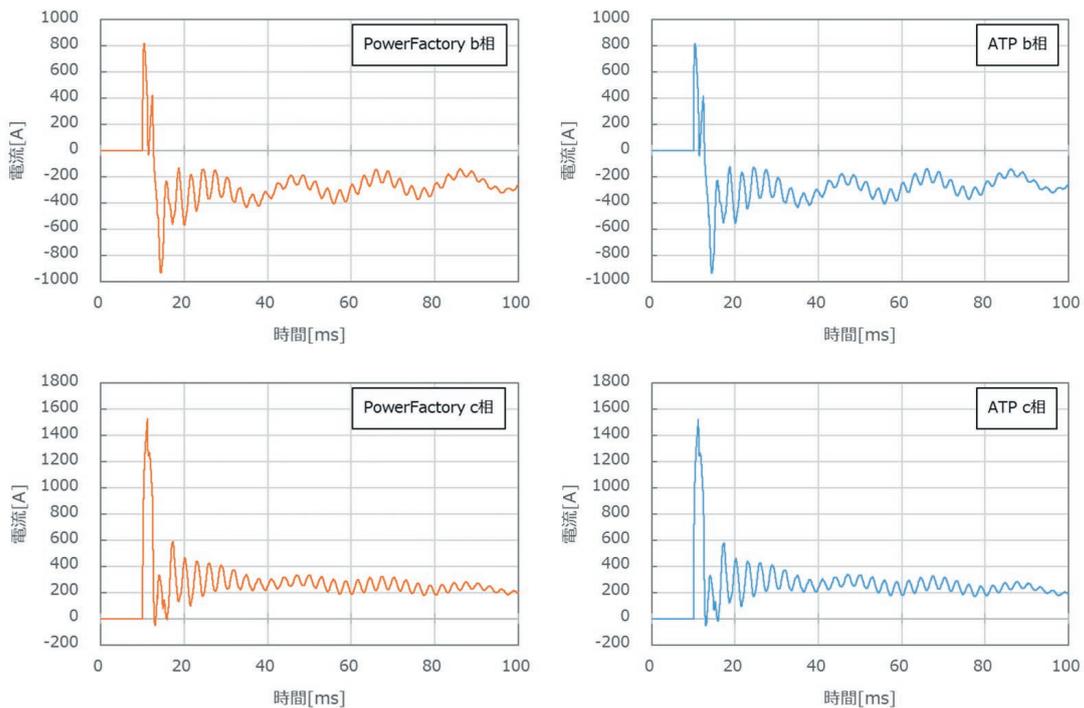


図5 電流零ミス解析結果 位相パターン1 (左: PowerFactory, 右: ATP)

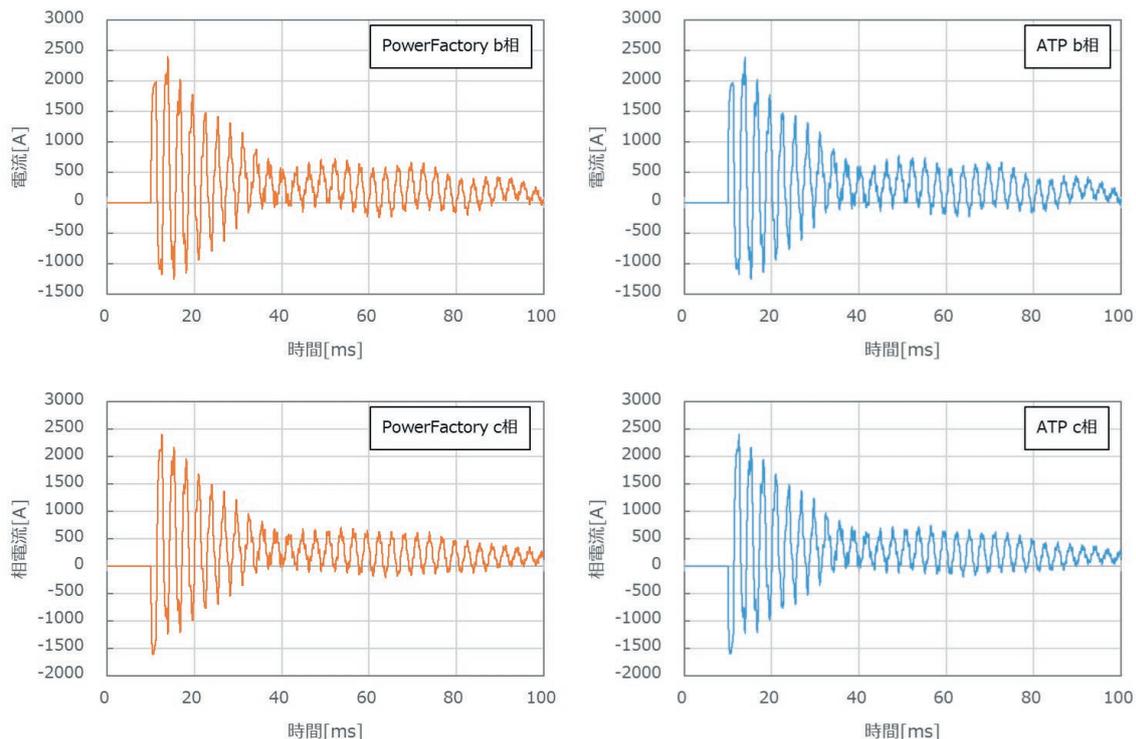


図6 電流零ミス解析結果 位相パターン2 (左: PowerFactory, 右: ATP)

過渡直流成分より大きく、電流零ミス現象が生じなかったため割愛し、電流零ミス現象の可能性がある健全相 (b相, c相) の解析結果のみを示す。図5をみると、過渡直流分の減衰が遅く、電流零ミス現象が生じていることがわかる。また、投入位相を変化させたパターン (図6) においては、過渡直流分の現象が緩やかなのは同一であるが、振動波形が大きく異なることがわかる。同図からは、40ms付近や90ms付近で、電流零ミス現象のリスクが高いことが見て取れる。これら解析結果と保護リレーおよび遮断器の動作時間から、電流零ミス現象による遮断失敗のリスクを評価することができる。また、図5、図6ともに、PowerFactoryとATPの解析結果はよく一致していることがわかる。

以上のように、簡易的なモデルではあるが、投入サージおよび電流零ミス現象、いずれの解析についてもPowerFactoryとATPは同一の結果となることを確認できた。本稿で紹介した解析以外にも、変圧器の励磁突入電流解析、高調波解析などの各種解析で比較検証を実施し、同一の結果が得られており、PowerFactoryの瞬時値解析機能の妥当性を確認している。

4 おわりに

本稿では、系統解析のなかでも瞬時値解析に焦点を当て、その必要性について述べた。また、PowerFactoryとこれまで瞬時値解析として広く利用されてきたATPを用いて、投入サージと電流零ミス現象を解析・比較し

た。いずれの解析結果もPowerFactoryとATPでよく一致しており、PowerFactoryの瞬時値解析機能の妥当性を確認できた。ただし、はじめに記載したとおり、実現象と合う適切な解析を実施するためには、本稿で検討した解析ソフトの妥当性だけでなく、解析モデルの妥当性も必要である。これからは再生可能エネルギーの導入拡大、これに伴う諸問題に対応する次世代電力系統の実現に向けて、より高度な系統解析技術およびモデル化技術が要求されると思われる。今後もPowerFactoryが有する豊富な解析機能と各種機器や制御系等のモデリング機能を活用することで、高度な系統解析技術の構築に取り組み、再生可能エネルギーの有効活用や電力の安定供給に貢献できるように取り組んでいきたい。

■参考文献

- (1) 「系統解析ソフトウェア 独国 DigSILENT 社製 PowerFactory」, 東光高岳技報 Vol.9 (2022)
- (2) 東光高岳 HP 「PowerFactory 電力系統解析ソフトウェア」, <https://www.ttk.co.jp/product/other/powerfactory/>

■語句説明

- 注1) API: Application Programming Interface の略称で、ソフトウェア間をつなぐインターフェースのこと。
 注2) ATP: Alternative Transients Program の略称で、電気・電子回路の汎用解析ソフト。

森 佑介

戦略技術研究所 技術開発センター
 解析・試験技術グループ 所属

製品の開発期間短縮と品質向上を目指した 開発設計のフロントローディング化を促進 するための取り組み

■ 片柳 厚志

Atsushi Katayanagi

近年 3DCAD にシミュレーション機能が追加されるケースも増え、設計者自身が CAE に触れる機会が増えている。そのような事情もあり、設計業務に CAE が活用され広く普及している。形状ではなく機能でモデル化する 1DCAE は、開発設計工程のフロントローディング化に有用である。設計工程におけるフロントローディングとは、可能な限り上流の工程で設計検討を多く重ねることで設計品質を高め、全体の工数を削減するという考え方である。東光高岳においても 1DCAE の設計工程への適用を進めており、本稿では 1DCAE の適用事例を 3 件紹介する。

1 はじめに

開発試験により性能の良否を判定する際、以前は複数回の試作・試験を繰り返した。現在では試作・試験前に CAE^{注1)} を適用することで、試験回数を減らしている。これにより工数が低減されることに加え、試作・試験に必要なエネルギーや材料などの資源も減り、環境にも配慮することになる。

さらに開発設計工程の手戻りを減らすため、フロントローディングの必要性が求められている。

図 1 にフロントローディングの概念を示す。横軸は製品開発工程を示し、右へ行くほど下流の工程となる。縦軸は工程の負荷を示す。図 1 の 2 つの両矢印は、上流の工程ほど設計変更が容易で、それにかかるコストも少なくすむが、逆に下流の工程になるほど設計変更が困難になり、コストも増大することを示す。

フロントローディングは、後工程で最大となっている負荷 (図 1 中 (A)) を、企画や基本設計などの設計工程の初期段階にシフトすることで (図 1 中 (B))、全体の作業量を減らすことができるとしている⁽¹⁾。

設計工程におけるフロントローディングとは、可能な

限り上流の工程で設計検討を多く重ねることで設計品質を高め、下流の工程からの手戻りを減らすことにより、全体の工数を削減するという考え方である。

製品開発設計のフロントローディング化においても、それを実践するための有用なツールとなるのが CAE である。近年、設計業務で使用される 3DCAD に CAE 機能がオプションで追加されることもあり、設計者自身で 3DCAE を実施する環境が整っている。3DCAE は 3DCAD で作成した形状データから、空間と時間で離散化した偏微分方程式を解く。そのため、3DCAE はまず形状を準備することから始める。

製品の形状や部品配置が詳細には決まっていない設計の初期段階では、3DCAE はパーツ単体の検討に適用できる場合があるが、製品全体の検討には不向きである。一方、1DCAE は製品全体を等価的な集中定数を持つ素子の集まりとして模擬し、時間で離散化した常微分方程式を解く。すなわち、1DCAE は形状ではなく機能でモデル化する。そのため、図 2 に示すように、1DCAE は設計の初期段階に適用しやすく、設計業務のフロントローディング化が可能となる⁽²⁾。

3DCAE が形状でモデル化することに対し、1DCAE は機能でモデル化するが、他にも 1DCAE と 3DCAE には表 1 に示すような相違点があり、1DCAE は 3DCAE に比べて設計工程のフロントローディング化のツールとして適している。

東光高岳では設計工程のフロントローディング化のた

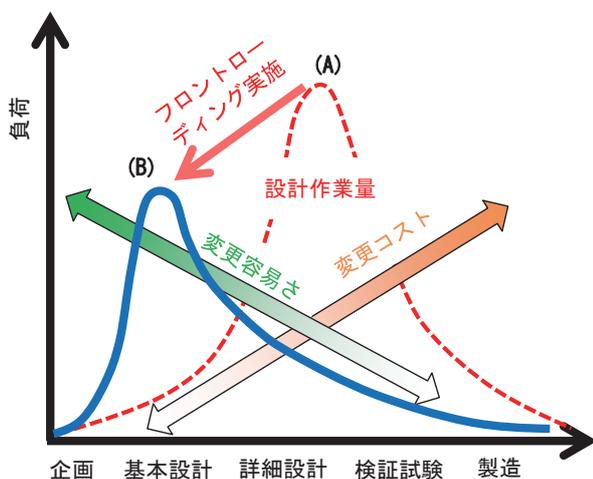


図 1 フロントローディング概念図

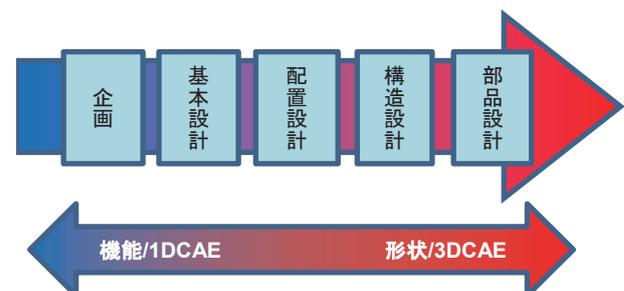


図 2 設計段階と CAE との関係

表 1 1DCAE と 3DCAE の相違点

CAE 種類	形状モデル	扱う物理領域	計算時間	適用工程
1DCAE	不要	複数	短い	上～中流
3DCAE	必要	単体	長い	中～下流

め、1DCAE による設計検討を進めている。1DCAE の適用検討の過程において実施したもののうち、下記に示すような事例を以降で紹介する。

- 事例 1：SIS の電磁操作機構
1DCAE の適用検証のため、3つの物理領域を含む既存製品を検討した事例
- 事例 2：単体 VCB 操作機構
上記事例 1 に類する新規開発品へ適用した事例
- 事例 3：筐体の冷却設計
上記事例 1, 2 とは異なる物理領域の新規開発品に適用した事例

2 1DCAE の適用事例

2.1 SIS^{注2)} の電磁操作機構【事例 1】

1DCAE の特長が SIS の電磁操作機構の設計に適していると判断し、実際に適用してみた。本装置は、電磁力により接点を開閉する機能を有し、機構、磁場、電気回路のように異なる種類の物理領域がお互いに影響しながら動作する。

(1) 3DCAE を統合したモデル

1DCAE との比較として、3DCAE の概要を説明する。通常、CAE ソフトはそれぞれ専門とする物理領域のみを計算する。本例では、機構は機構解析ソフト、磁場と電気回路は磁場解析ソフトで個別に計算する。電磁操作機構のように複数の物理領域がお互いに影響を及ぼしあう場合、CAE ソフトが連携せず個別に計算するのでは、設計検討に必要な計算結果が得られない場合がある。

東光高岳では、それぞれのソフトで解いた計算結果を加工し連携することで、電磁操作機構の動作を計算していた。この手法では、各 3DCAE に必要なデータ加工作業による手間が運用上の課題であった。

この課題を解消したのが、ソフトを使って 3DCAE を統合することであった。3DCAE を統合した SIS の電磁操作機構のモデルを図 3 に示す。

ソレノイドアクチュエータ^{注3)}のコイルに電流が流れることにより電磁力が発生し、ソレノイドアクチュエータのプランジャ^{注4)}が引き寄せられ、機構に接続した接点が開閉する。これは、SIS の電磁操作機構の各構成要素の働きを電気回路-磁場-機構の順に説明したもののだが、逆方向にもそれぞれに対応する相互作用の影響を受

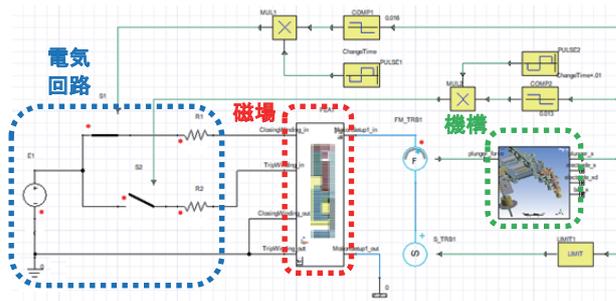


図 3 3DCAE を統合した SIS の電磁操作機構モデル

けている。3DCAE を統合することにより、相互に影響しあう物理領域を自動で計算できるようになったが、図 3 のモデル図からは磁場と機構のモデルの中身がわからないため、上記のような物理領域の相互影響の関係性は把握しづらい。

3DCAE の統合によりデータ加工作業による運用上の課題は解消したが、これはただ単に作業を自動化しただけであり、フロントローディング化の効果としてはあまり大きくはない。

(2) 1Dモデル

1DCAE は複数の異なる種類の物理領域をまとめてモデル化し、形状ではなく機能でモデル化する。SIS の電磁操作機構は電気、磁場、運動の物理領域が関係しており、これらの支配方程式は以下になる。

$$V = L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C_c} \int i dt + V_e \dots \dots \dots (1) \text{式}$$

$$V_m = (R_m + R_{mg}) \Phi \dots \dots \dots (2) \text{式}$$

$$f = m \frac{dv}{dt} + c_d v + k \int v dt \dots \dots \dots (3) \text{式}$$

ここで、V：電圧、i：電流、L：インダクタンス、R：抵抗、C_c：キャパシタンス、V_e：逆起電力、V_m：起磁力、R_m、R_{mg}：磁気抵抗、Φ：磁束、f：力、v：速度、m：質量、c_d：減衰係数、k：ばね定数である。

(1)式は電気回路のキルヒホッフの法則であるが、(2)、(3)式には(1)式と類似性があり、(2)、(3)式も(1)式と同様に回路図で表すことができる(図 4)。

各物理領域は相互に関係しており、図 4 中のコイルとギャップは異なる物理領域をつなぐ変換器の役割を

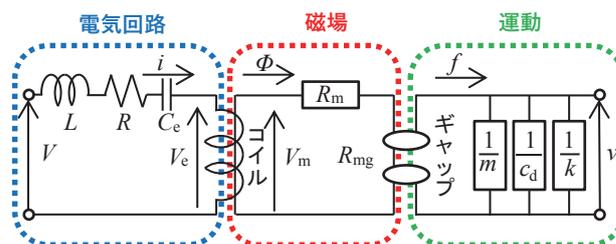


図 4 電磁操作機構の回路モデル

担っている。それらの関係式は以下となる。

$$V_m = ni \dots \dots \dots (4) \text{式}$$

$$V_e = -n \frac{d\phi}{dt} \dots \dots \dots (5) \text{式}$$

$$f = \frac{\phi^2}{2\mu_0 S} \dots \dots \dots (6) \text{式}$$

$$R_{mg} = \frac{\int v dt}{\mu_0 S} \dots \dots \dots (7) \text{式}$$

ここで、 n ：巻き数、 μ_0 ：真空の透磁率、 S ：断面積である。これらの方程式を連立させて図4のモデルを解くのであるが、IDCAEソフトを使えば、素子同士を接続してモデルを作成することで解を得ることができる。

図5に示すのは、SISの電磁操作機構を構造と部品の構成を基にIDCAEソフトでモデル化したものである。

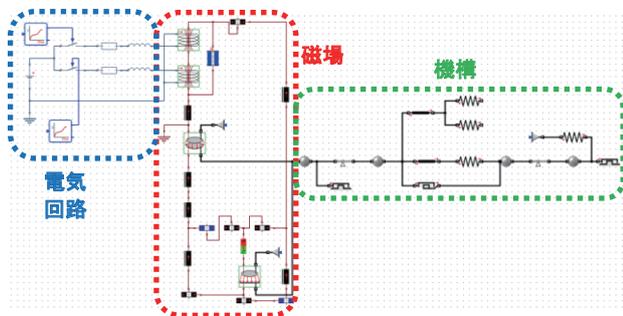


図5 SIS電磁操作機構の1Dモデル

図3、図5を見比べると、両者とも全体の構成は電気回路-磁場-機構と同様になっている。各物理領域の構成を見ると、電気回路はほぼ変わらないものの、磁場、機構に関しては詳細な形状情報がなくなっている。代わりに、IDCAEの磁場モデルは、ソレノイドアクチュエータの部品の仕様や形状などから、「磁気抵抗」、「コイル」、「磁気ギャップ」、「永久磁石」などの素子に置き換えて、磁束の流れを磁気回路で表している。機構モデルは各部品の仕様や質量などから、「レバー」、「ばね」、「ストッパー」、「マス（質点）」などの素子に置き換え、力の伝わり方を表している。このように1Dモデルは、形状はわからないが機能がわかるようになっている。

IDCAEは形状ではなく機能でモデル化するが、磁気抵抗などの素子に断面積や長さなどの寸法を設定している。図面と同様の精度は必要ないが、ある程度の寸法情報は必要であり、それらの情報は企画・基本設計時の大まかな仕様を基にする。設計工程が進み、寸法情報の詳細が決まれば、その情報を1Dモデルにフィードバックし、モデルの忠実度を向上させる。それにより計算の妥当性をより確かなものにすることができる。

計算結果は素子の種類ごとに異なる。電気抵抗の素子

なら電圧や電流が、マスなら距離や速度の時間変化がグラフで出力される。図6に接点とプランジャのストロークカーブを示す。投入・遮断時の接点とプランジャの運動の様子がわかる。接点のストロークカーブで立ち上がり部分が投入動作を示しており、中間の接点位置が動かない部分が接点の閉状態を示している。立ち下り部分は接点の遮断動作を示している。VI^{注5)}の仕様の一つに接点の速度があり、速度を解析結果、試験結果、設計仕様とで比較したものを表2に示す。

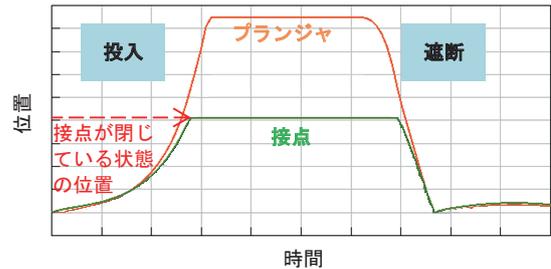


図6 SIS電磁操作機構各部のストロークカーブ

表2 接点速度の比較

状態	解析結果	試験結果	設計仕様
投入	1.03 Vc	Vc	0.67~1.33 Vc
遮断	0.94 Vo	Vo	0.53~1.14 Vo

*Vc, Voは試験結果で規格化した速度

表2より、解析結果は試験結果と数%の違いであり、設計仕様範囲にも納まっている。よって、妥当性のあるモデリングが行われたものと考えられる。本例では実際の製品の構造と部品形状から製品をモデル化したが、詳細な形状をモデル化せずとも機能でモデル化できたことより、IDCAEの適用が適切であったことが確認できた。

(3) 1DCAEによる全体最適化

前出の検証の際にあわせてIDCAEの全体最適化に関して検討した。図5の1Dモデルを見ると、個々の機能がわかり、それぞれのつながりも把握しやすいため、全体を俯瞰して把握することができる。これより、部分最適化になりやすい3DCAEに対して、1DCAEでは全体最適化しやすいという特長がある。

その特長を確認するため、パラメータによる製品性能の変化の様子を求めた。パラメータとしてプランジャの寸法を変更し、接点が閉状態を保てるかどうかを確認した。図7に寸法パラメータを変化させた場合の接点とプランジャのストロークカーブと、プランジャのギャップと永久磁石のギャップの吸引力を示す。

図7から、プランジャの寸法パラメータをある程度大きな値にすると、接点が閉状態を保てなくなり、解析条件によりモデルが遮断指示(図7中の赤色の点線)を送る前に接点が開き始めてしまっていることがわか

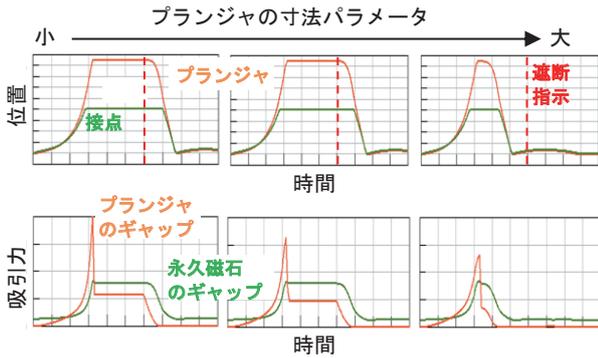


図7 プランジャの寸法パラメータを変化させた場合の各部のストロークカーブと吸引力

る。ソレノイドアクチュエータにはプランジャと永久磁石の2カ所に磁気ギャップがある。プランジャの寸法パラメータを大きくしていくと、プランジャの磁気ギャップの吸引力が減少することがわかる。これより、部品寸法の見当をつけることができる。

ここでは、磁場に関するパラメータを変化させたが、電気回路や機構側の素子のパラメータを変化させることで、磁場の場合と同様にパラメータが製品全体の動作に与える影響の程度を把握することができる。1DCAEの計算時間は、3DCAEのものに比べて非常に短い。多数の設計パラメータを検証する設計の初期段階において、計算時間は短いほど有利である。よって、1DCAEを使えば、製品全体の設計パラメータが扱え、計算時間も短いため、設計の初期段階で全体最適化が図りやすい。

2.2 単体 VCB^{注6)} 操作機構【事例2】

前節で SIS の電磁操作機構を題材に、1DCAE でモデル化することの有効性を確認した。本節では、1DCAE を新規開発品の初期設計段階に適用した単体 VCB の操作機構の検討事例について述べる。

(1) C-GIS^{注7)} 用 VCB の 1D モデル

まず、モデルの妥当性を確認するため、開発品と同容量の既存の機器である C-GIS 用 VCB をモデル化した。図8に C-GIS 用 VCB の 1D モデルを示す。この機器については開発試験時に摺動摩擦力を測定しており、摩擦力をモデルに反映している。

表3に接点の速度を解析結果と試験の測定結果とで比較したものを示す。投入速度の解析結果が試験結果よりも2割近く速めになっている。操作力のモデルを簡略化したことが影響している可能性が考えられたが、ここでは、設計の見当をつけることを優先したため、操作力の忠実度はこのままとした。

(2) 単体 VCB の 1D モデル

次に、新規開発品である単体 VCB の 1D モデルを作成した。その際、次のような設計上の制約があった。

1. 使用する VI の詳細な仕様が不明である。

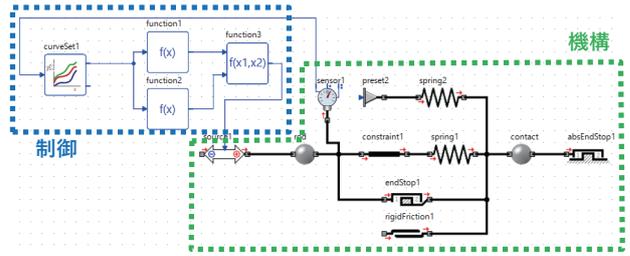


図8 C-GIS用 VCBの 1Dモデル

表3 接点速度の比較

状態	解析結果	試験結果
投入	1.18 Vc	Vc
遮断	1.02 Vo	Vo

*Vc, Vo は試験結果で規格化した速度

2. 操作力発生装置は既存のものを流用する。
 3. 新たに、スコットラッセル機構^{注8)}を追加採用する。
- VIについては、仕様を入手次第モデルに反映するものとし、同容量のVIを参考に仮仕様で模擬した。操作力発生装置は、既存のものを流用するため、図8のモデルから素子を流用した。スコットラッセル機構については、設計案があったため設計情報を利用した。

単体 VCB の 1D モデルを図9に示し、表4に接点の速度を解析結果と目標値とで比較したものを示す。表4より投入速度の解析結果が目標値を4割近く下回っていることがわかる。前項にて投入速度の解析結果が実際より2割近く速くなっていたことを考慮すると、投入速度がかなり遅くなることが予測された。この結果より、操作力発生装置の出力不足やスコットラッセル機構の見直しなどの課題が見つかり、それらの対策が必要であることが判明した。

上記の課題が下流の工程まで判明しなかった場合、設計変更などで多くの工数を要し、予算、納期ともに圧迫される。今回は、設計の初期段階において対策が打てた

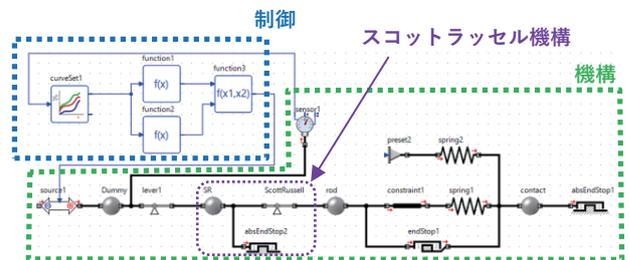


図9 単体 VCB の 1Dモデル

表4 接点速度の比較

状態	解析結果	目標値
投入	0.62 Vc	Vc
遮断	1.23 Vo	Vo

*Vc, Vo は目標値で規格化した速度

ことにより、それらのリスクを回避することができた。

2.3 筐体の冷却設計【事例3】

本節では筐体の冷却設計の初期検討に IDCAE を適用した事例について説明する。ここで扱う物理領域は、流体と伝熱である。

筐体内の部品が発熱する場合、筐体内部の温度を許容温度以下にするため、ファンで換気することにより筐体内部を冷却する。その際、必要な換気風量を見積もるために (8) 式を用いる。

$$W = \rho C Q \Delta T \dots\dots\dots (8) \text{式}$$

ここで、 W ：換気による放熱量、 ρ ：空気密度、 C ：空気の比熱、 Q ：換気風量、 ΔT ：空気の温度上昇である⁽³⁾。

(8) 式で得られた換気風量から、ファンの型番と台数を選定する。電卓などによる概算では、ファンの最大風量で検討を行う。最大風量は、ファンの周りに何も流れの抵抗となるものがない場合の風量である。ファンは最大風量の 1/2 の風量で動作すると見積もる。

しかし、完成した製品が概算の見積もり通りの換気風量であれば良いが、それを下回っていた場合、筐体内部の温度が許容値を超え、機器が故障する危険性がある。逆に、製品が概算の見積もりよりも大きな風量を得ていた場合、オーバースペックとなってしまう。

そこで、適切な設計をするために、より実際の製品に近い風量を見積もる際には、一般的には風量を P-Q 特性により求める。ファンには P-Q 特性と呼ばれるファン前後の圧力差と風量に関する特性がある。ファンの P-Q 特性の例を図 10 に示す。縦軸はファン前後の圧力差を静圧 (P) としたものであり、横軸はファンの風量 (Q) である。何も抵抗となるものがない場合、ファンの風量は最大となり、そのときの静圧はゼロとなる。逆に、ファンの出口を塞いで風量をゼロにすると静圧は最大となる (最大静圧)。

実際の冷却システムには抵抗があり、冷却システムの流速と圧力差 (圧力損失) には (9) 式に示す関係がある。

$$\Delta P = \frac{1}{2} \zeta \rho U^2 \dots\dots\dots (9) \text{式}$$

ここで、 ΔP ：圧力損失、 ζ ：圧力損失係数、 U ：流速である。ファンの P-Q 特性と冷却システムの圧力損失 - 流速特性がバランスしたとき (図 10 の交点) がファンの動作風量となる。

概算検討する場合に、冷却に必要な風量をファンの最大風量の 1/2 と見積もったが、実際には冷却システムの圧力損失により風量に変化する。筐体の冷却システムにおいて主に流れの抵抗となるのは、吸・排気口のガラリ^{注9)} やフィルタなどである。これらの仕様には圧力損失係数もしくは圧力損失 - 流速特性が記されている。圧力損失係数はそのまま (9) 式に適用することができるが、圧力損失 - 流速特性が記載されている場合は、その特性を (9) 式で近似して圧力損失係数を求める。そのどちらでもない場合は、3D データなどを入力し、CFD^{注10)} でパラメトリックスタディを行い、圧力損失係数を求める (図 11)。

ファンの P-Q 特性と冷却システムの圧力損失特性がわかれば、ファンの動作風量を求めることができる。一般的な手法としては、表計算ソフトを用いることがあげられる。しかし、ファンや吸・排気口の数を増やすと、表計算ソフトのシートの改造が必要であり、他に機能を追加したい場合なども、シートの作成者以外の者による対応は困難である。一方、IDCAE ソフトであればファンやガラリ、フィルタに相当する素子を画面上で自由にコピーして配置し、冷却の風の流れを考慮してそれぞれの素子を接続すれば良い。モデルの扱いやすさや見やすさでは IDCAE ソフトの方が優れている。

筐体の冷却設計の初期段階に IDCAE を適用したモデルを図 12 に示す。吸・排気口はそれぞれ 2 カ所とし、ファンは排気口それぞれに 1 台としている。

吸・排気口にはパイプ要素を使用し、ガラリとフィルタの圧力損失係数と、ガラリの有効面積を設定している。ファンは流量源要素を使用し、ファンの最大静圧と最大風量から 1 次式で近似した P-Q 特性を設定している。

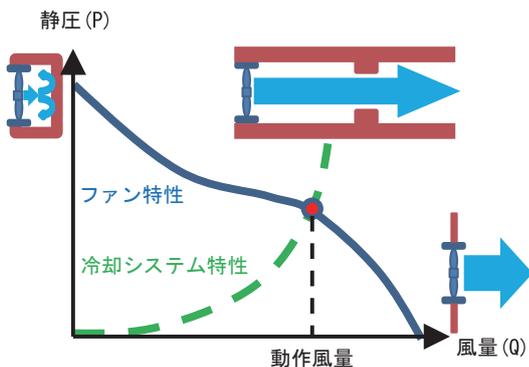


図 10 ファンの P-Q 特性

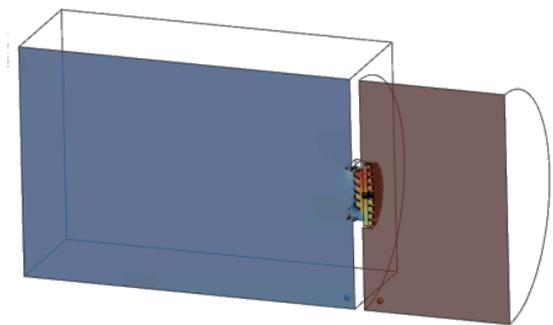


図 11 ガラリの圧力損失を求めるための CFD の例 (圧力分布図)

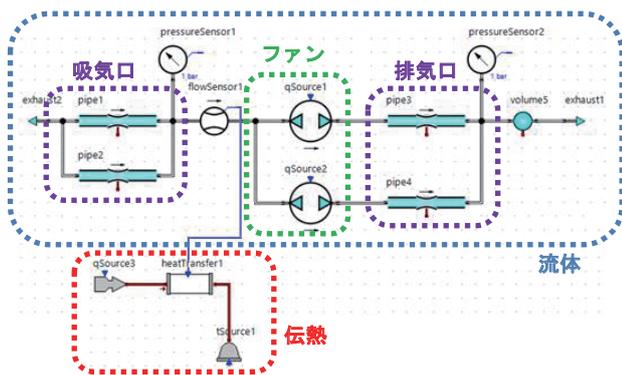


図 12 筐体冷却設計の 1D モデル

以上が流体部分のモデルの概要であるが、冷却設計であるから伝熱部分もモデル化する必要がある。(8)式を変形すると、(10)式ようになる。

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{1}{\rho C Q} W \\ &= R_{th} W \dots\dots\dots (10)式 \end{aligned}$$

ここで、 R_{th} は熱抵抗である。換気空気による熱の伝わり方を熱抵抗で表し、換気による伝熱をモデル化している。発熱体は熱源素子、周囲温度は温度源素子を用いている。熱抵抗のパラメータである換気空気の風量 (Q) は、流体部分の流量センサの出力を参照している。

以上、簡単なモデルではあるが、筐体の冷却設計の初期段階において、内部の部品がある発熱量のとき許容温度を超えないように、ガラリ、フィルタ、ファンの組み合わせを検討することができる。

3 おわりに

本稿では、設計の初期段階に 1DCAE を適用した取り組みについて紹介した。1DCAE の特長を以下に示す。

1. 1DCAE は異なる物理領域を連携し、製品全体をモデル化することができる。
2. 1DCAE は形状ではなく機能でモデル化することができる。
3. 1DCAE の 1 回の計算時間は短いため、パラメータを変え多くの回数計算することができる。

以上の点より、1DCAE を設計の初期段階に適用することで、設計工程のフロントローディング化を促進することができる。加えて、製品を機能の集まりとして考えるため、全体の見通しが良くシンプルな表現になり、より本質的な検討も深まる。

本稿では 1DCAE の設計ツールとしての側面を述べた

が、1DCAE を扱うには物理現象や工学の理解が必要となるため、設計者教育にも有用であると考えている。

今後も、1DCAE による設計工程のフロントローディング化を推し進めていきたいと考えている。フロントローディングによってできた時間の余裕を使ってお客さまが満足するアイデアを検討し、付加価値の高い製品づくりを心がけていきたい。

■参考文献

- (1) MONOist : 「設計者がフロントローディングという怪物に立ち向かうための“3つの武器”」, MONOist ホームページ (2020 公開), <https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/2003/11/news002.html>
- (2) 1DCAE : 「1DCAE とは」, 1DCAE ホームページ, <https://1dcae.jp/about/>
- (3) 国峰尚樹 : 「エレクトロニクスのための熱設計完全入門」, 日刊工業新聞社 (1997)

■語句説明

- 注 1) CAE : Computer Aided Engineering の略。コンピュータ上で技術的な支援を行うシステムのこと。
- 注 2) SIS : Solid Insulated Switchgear の略。固体絶縁開閉装置のこと。充電部をエポキシモールドなどの固体絶縁物で絶縁した開閉装置。
- 注 3) ソレノイドアクチュエータ : 電磁力を利用して、電気エネルギーを運動エネルギーに変換する部品のこと。
- 注 4) プランジャ : ソレノイドアクチュエータ内の部品の一つである。鉄などの磁性体でできており、ソレノイドアクチュエータ内部で発生させた電磁力により運動する。
- 注 5) VI : Vacuum Interrupter の略。真空バルブのこと。真空を利用し電流を遮断する部品。VCB の主要部品である。
- 注 6) VCB : Vacuum Circuit Breaker の略。真空遮断器のこと。開閉装置の一種。
- 注 7) C-GIS : Cubicle-type Gas Insulated Switchgear の略。キュービクルに収容されたガス絶縁開閉装置のこと。
- 注 8) スコットラッセル機構 : 機構の一種。直線運動の方向を変える機能を持つ。
- 注 9) ガラリ : 空気の出入り口に設置する装置のこと。雨水の侵入を防ぐため、羽板とよばれる板状の部品を複数枚平行に配置した構造をしている。
- 注 10) CFD : Computational Fluid Dynamics の略。コンピュータを使い、流体の速度や圧力などを解く。

片柳 厚志

戦略技術研究所 技術開発センター 解析・試験技術グループ 所属

エポキシモールド機器の低炭素化に向けた植物油由来エポキシ樹脂の配合改良と長期信頼性評価

■大竹 美佳
Mika Ohtake

東光高岳では持続可能な社会を構築するため、電力機器であるエポキシモールド機器の原料から、製造、使用、再資源化までのライフサイクル全体にわたる環境負荷低減を目指した取り組みを行っている。これまで、エポキシモールド機器の高性能化や成形プロセスの最適化などの面から低炭素化を推進してきた。本稿では、バイオマス資源である植物油をベースとしたエポキシ樹脂について、電力用モールド機器に適用する際の課題解決に向けた配合改良と、その長期信頼性評価の結果について紹介する。

1 はじめに

持続可能な社会を構築するため、資源・エネルギーの効率的利用や低炭素化への取り組みがこれまで以上に重要になっている。企業に求められる社会的責務も一層大きくなり、持続可能な開発目標 (SDGs)^{注1)} への取り組みが広がっている。

東光高岳では、環境負荷低減に繋がる開発を念頭に置き、固体絶縁材料であるエポキシ樹脂の耐クラック性^{注2)} 向上などの高性能化に取り組み、エポキシモールド機器への適用範囲拡大を推進してきた⁽¹⁾。また、電力機器の環境負荷低減をライフサイクル全体で捉えると、①原料、②製造、③使用、④再資源化の各フェーズが挙げられる。エポキシモールド機器の場合、②は製造時の熱硬化プロセスの最適化による省エネルギー化、③は適宜修理によるリユースや省メンテナンスによって、すでに低炭素化が進められている。そのため、さらなる低炭素化には、①原料と④再資源化の面での取り組みが必要である。①の原料面では、電力機器として必要な材料特性を有しつつ、環境にやさしいバイオマス資源の適用が望まれる。④の再資源化面では、エポキシモールド機器が耐久性に優れる反面、リサイクル性に乏しいことから、有効なリサイクル技術の確立が望まれる。これら①と④は技術的なハードルが高い課題ではあるものの、ライフサイクル全体にわたり環境にやさしいエポキシモールド機器の実現において必要かつ有効な取り組みである。

ライフサイクル全体にわたり環境にやさしいエポキシモールド機器の実現を目指した取り組みとして、①の原料の低炭素化に着目する。本稿では、バイオマス資源である植物油をベースとしたエポキシ樹脂について、電力用モールド機器に適用する際の課題解決に向けた配合改良とその長期信頼性評価の結果について報告する。

2 バイオマス資源による環境負荷低減

バイオマス資源とは一般に「再生可能な生物由来の有

機性資源で化石資源を除いたもの」と定義されている。バイオマス資源の利用によるカーボンニュートラルの概念を図1に示す。バイオマス資源はその成長過程において光合成を通じて大気中のCO₂を吸収する特性を持っている。そのため、バイオマス資源を利用することは、CO₂排出量の増加を抑制する効果が期待される。また、石油や鉱物等の枯渇資源とは異なり、繰り返し生産可能な再生資源であり、生産地域も限定されないという特長を有する。バイオマス資源を活用した燃料や熱可塑性樹脂の研究開発やその実用化が積極的に展開されている⁽²⁾。

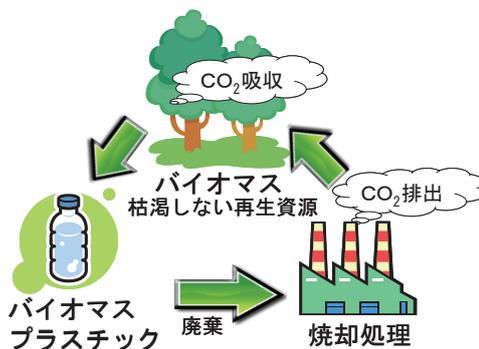


図1 カーボンニュートラルの概念

一方、電力機器用エポキシ樹脂を含む熱硬化性樹脂は、熱可塑性樹脂に比べて機械強度や耐熱性などにおいて、高い性能が求められる用途に使用されることが多い。このため、特性面における代替のハードルが高く、活発な取り組みがなされていない。しかし、石油由来の原料を使用することは、化石資源の消費とそれに伴うCO₂排出を意味する。植物由来の原料へのシフトは、再生可能なリソースの利用促進と持続可能な生産プロセスへの移行を意味し、環境負荷低減に貢献する。

電力機器用エポキシ樹脂は、主にエポキシ主剤、硬化剤、石英等の充填材から構成される。石油由来原料のエポキシ主剤をバイオマス素材へ代替することに主眼を置き、植物油由来原料であるエポキシ化植物油をターゲットとした。エポキシ化植物油は、主に可塑剤や安定化剤

などの用途に用いられる工業材料である。一般にはポリ塩化ビニル樹脂などの添加剤として使われる材料だが、石油由来エポキシ樹脂と同様に、分子構造内にエポキシ基を持つことから、石油由来のエポキシ樹脂主剤の代替の可能性が研究されてきた⁽³⁾。

3 植物油由来エポキシ樹脂の製品適用における技術的課題

筆者らは、バイオマス資源である植物油をベースとしたエポキシ化亜麻仁油をエポキシ主剤の代替とし、植物油由来エポキシ樹脂を開発した。これまでの検証で、植物油由来エポキシ樹脂は、電力用エポキシ樹脂に必要な電気特性、機械特性、熱特性について一定の性能を有していることを試験片レベルの評価で明らかにした⁽⁴⁾。しかし、製品適用においては、熱的性質が異なる金属やセラミックなどの内蔵物と一体成形するため、樹脂単体の特性に加え、異種材料との適合性、特に他の部材をモールドした際の耐クラック性が重要となる。開発中の植物油由来エポキシ樹脂は石油由来のエポキシ樹脂よりも耐クラック性に劣ることが分かっており、性能向上が課題であった。

耐クラック性を向上する手法として、充填材などの配合見直しや硬化プロセスの見直しを実施してきた。しかし、これらの対策は樹脂流動性の低下や硬化時間の増加など成形プロセス性^(注3)が低下する傾向があり、耐クラック性と成形プロセス性の両立が新たな課題となった。

4 配合による耐クラック性と成形プロセス性の改良

4.1 樹脂の配合および試験条件

耐クラック性の向上を目的に、有機・無機ハイブリッド材料であるポリシルセスキオキサン（以下、PSQ）の配合を検討した。PSQは三官能性オルガノシラン化合物^(注4)から合成されたシリコン樹脂であり、主鎖のシロキサン（Si-O-Si）結合による無機の特性と、側鎖の有機性官能基による有機の特性を兼ね備えた材料である。筆者らの過去の検証では、PSQをエポキシ樹脂中に配合することで、樹脂の機械強度の低下を抑えつつ弾性率を低減する効果⁽⁵⁾が確認され、耐クラック性の向上に寄与することが期待される。一方、成形プロセス性の指標の一つである樹脂流動性は、一般に耐クラック性と相反関係にある。そのため、PSQ配合により樹脂流動性の低下が想定され、最適な添加量の把握が必要である。

エポキシ化亜麻仁油を主剤とし、硬化剤に酸無水物、充填材に熔融石英、促進剤に三級アミンを配合し、添加剤としてPSQを樹脂成分（主剤および硬化剤）に対し

それぞれ0%、5%、10%、20%の重量比で配合した。なお、植物油由来エポキシ樹脂の硬化プロセス条件は、徐冷を含めた成形時間が石油由来のエポキシ樹脂と同等になるように調整した。

耐クラック性は「JIS C 2105：2019 電気絶縁用無溶剤液状レジン試験方法」における熱衝撃の試験方法を基に、より厳しい条件となるよう独自に確立した液槽冷熱衝撃試験法⁽⁶⁾で評価した。本試験は鉄製のスプリングワッシャーを内蔵する樹脂試験片に熱衝撃を与え、クラックの発生有無により耐クラック性能を評価するものである。なお、この冷熱衝撃試験は大型の電力用モールド機器での冷熱衝撃試験結果と良好な相関関係を有していることが明らかになっている⁽⁶⁾。

樹脂流動性はB型粘度計を用いて、材料混合初期の粘度を測定した。曲げ強度および弾性率は「JIS K 7171：2022 プラスチック—曲げ特性の求め方」に基づき、常温で測定した。

4.2 結果および考察

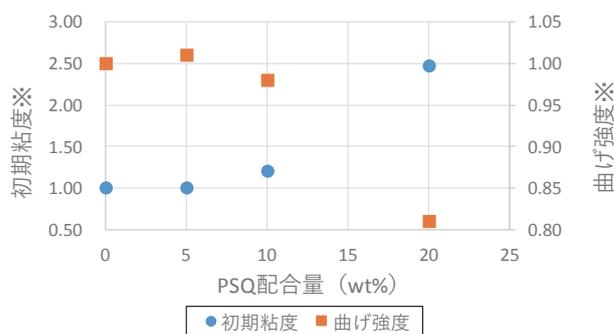
各試験結果を表1に、初期粘度および曲げ強度とPSQ配合量の関係を図2に示す。なお、表中の耐クラック性は、現行の石油由来エポキシ樹脂と同等を「○」、劣る場合を「×」と表記する。また、他の特性はPSQ 0 wt%の値を「1」と基準化して表記する。

耐クラック性はPSQを10 wt%以上配合することで、現行の石油由来エポキシ樹脂と同等の性能が得られた。一方、樹脂流動性の指標である初期粘度は、PSQ配合量の増加に伴い高くなる（樹脂流動性が悪化する）傾向

表1 PSQ配合植物油由来エポキシ樹脂の特徴

	PSQ 0 wt%	PSQ 5 wt%	PSQ 10 wt%	PSQ 20 wt%
耐クラック性	×	×	○	○
初期粘度※	1	1.00	1.20	2.47
曲げ強度※	1	1.01	0.98	0.81
曲げ弾性率※	1	1.01	1.03	1.05

※ PSQ 0 wt%の値を「1」と基準化して表記



※ PSQ 0 wt%の値を「1」と基準化して表記

図2 初期粘度および曲げ強度とPSQ配合量の関係

があり、20 wt%配合では0 wt%に対して約2.5倍と顕著に増加した。曲げ強度もPSQ配合量増加に伴い低下する傾向があり、初期粘度と同様に、20 wt%配合では0 wt%に対し曲げ強度の低下率が約20%と顕著であった。曲げ弾性率はPSQ配合量増加に伴い、僅かに高くなる傾向が認められた。

今回、植物油由来エポキシ樹脂にPSQを10 wt%以上配合することで、現行の石油由来エポキシ樹脂と同等レベルまで耐クラック性が向上することを確認した。ただし、曲げ弾性率はPSQ配合量増加に伴い、僅かに高くなる傾向があり、過去の検証とは異なる結果となった。そのため、PSQ配合による耐クラック性向上のメカニズムは解明されていないが、有機・無機ハイブリッド材料であるPSQの配合により樹脂が改質され、硬化収縮の低減や破壊靱性の向上に寄与したのではないかと考えられる。

4.3 電力用モールド機器の試作検証

試験の結果、PSQを10 wt%配合した植物油由来エポキシ樹脂は、良好な耐クラック性や機械強度低下の影響が少ない特徴を有していることが確認できた。この樹脂を使用して、6 kVクラスの接地形計器用変圧器を試作した。試作品の写真を図3に示す。



図3 植物油由来エポキシ樹脂による実器試作品

耐クラック性が不十分な樹脂配合では、内蔵物のコイル端部からクラックが発生したが、PSQを10 wt%配合した植物油由来エポキシ樹脂の試作品にはクラックの発生がなく、良好な外観であった。また、初期性能として耐電圧試験、部分放電試験、絶縁抵抗試験を実施し、いずれも判定基準を満足する結果が得られた。耐クラック性に関しては、気相の冷熱衝撃試験を試作品に対して実施し、電力用モールド機器として良好な耐クラック性を有していることも確認した。

5 長期信頼性評価

電力用モールド機器には長期的な安定性が求められ、エポキシ樹脂自体にも長期的な安定性が必要とされる。

植物油由来エポキシ樹脂の長期信頼性を把握するため、長期的な機械特性と吸水特性について、現行の石油由来エポキシ樹脂のデータと比較し、長期適用の可否を判断することとした。なお、長期的な電気特性も重要な評価項目であるが、製品においては樹脂単体の絶縁性能よりも異種材料との界面が放電のきっかけである弱点部と想定されるため、実器もしくは実器を模擬した供試器による評価が適していると判断した。したがって、今回の樹脂単体の長期信頼性検証では省略した。

5.1 長期的な機械特性

植物油由来エポキシ樹脂の長期的な機械特性を把握するため、クリープ試験^{注5)}を実施し、石油由来エポキシ樹脂と比較した。クリープ試験では、静的破壊強度に対して50%~75%の範囲内で一定荷重を与え、破断までの時間を取得した。クリープ試験結果を平均値で整理した特性比較を図4に示す。

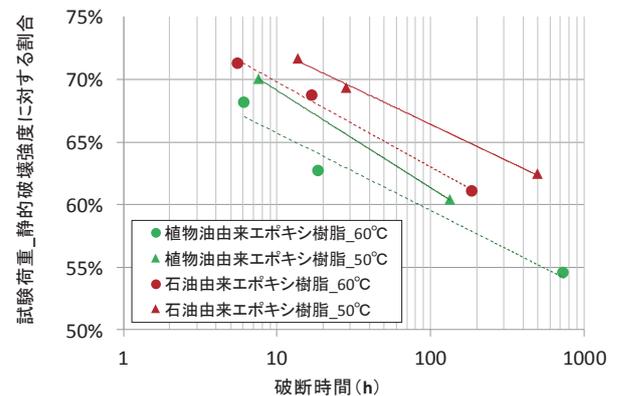


図4 クリープ特性比較 (平均値)

図4より、植物油由来エポキシ樹脂のクリープ特性の傾きは、石油由来エポキシ樹脂と同程度であり、極端な特性低下の傾向は見られなかった。しかし、破断までの時間を比較すると短い傾向であり、石油由来エポキシ樹脂よりも劣ることが分かった。したがって、植物油由来エポキシ樹脂は、初期性能として機械強度が石油由来のエポキシ樹脂よりも劣る点に加え、クリープ特性も劣る傾向であることを考慮した安全率の設定が必要といえる。

5.2 長期的な吸水特性

植物油由来エポキシ樹脂の吸水のしやすさと吸水時の機械強度への影響を、東光高岳のモールド機器に適用している石油由来エポキシ樹脂3種と比較した。吸水条件は40°C/85%環境下とし、各試験片を最長1ヶ月間静置し、重量変化から吸水率を測定した。吸水時の機械特性への影響については、初期、吸水1週間、1ヶ月のタイミングおよび1ヶ月吸水後に乾燥した試験片をそれぞれ用意し、曲げ強度残存率を評価した。各樹脂の吸

水時間と吸水率の関係を図5に、初期の曲げ強度に対する吸水時の曲げ強度残存率を図6に示す。

図5より、植物油由来エポキシ樹脂は比較的吸水しやすい傾向があるが、比較対象としている石油由来エポキシ樹脂の中で、最も吸水しやすい樹脂Bよりは吸水しにくいことが分かった。また、図6より、吸水時の曲げ強度の低下率は比較的小さいことも明らかとなった。さらに、一度吸水した後でも、乾燥後は曲げ強度が初期値まで回復することが分かり、石油由来エポキシ樹脂と遜色のない吸水特性を有し、長期運用面で問題なく適用可能と判断した。

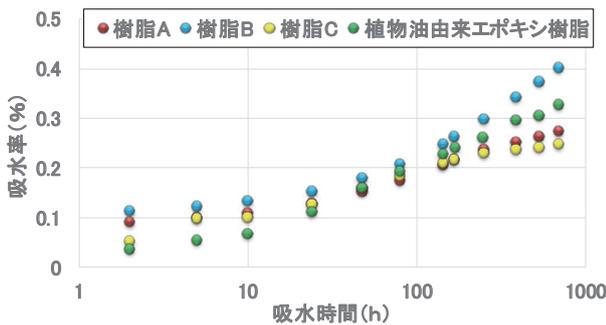


図5 各樹脂の吸水時間と吸水率の関係

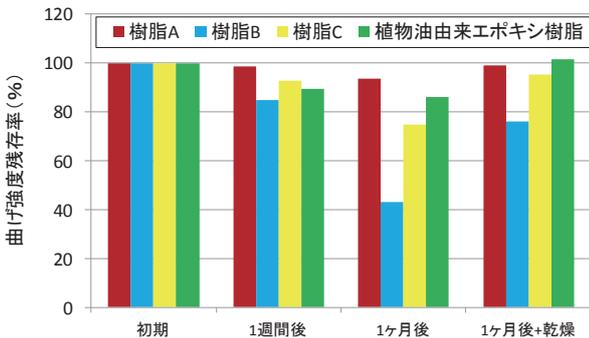


図6 各樹脂の吸水時の曲げ強度残存率

以上より、植物油由来エポキシ樹脂は長期的な機械特性の面では石油由来エポキシ樹脂よりも劣るため、留意しなければならない。吸水性は石油由来エポキシ樹脂と同等の性能を持つことから、従来と同環境での適用が可能といえる。

6 おわりに

環境にやさしい電力用モールド機器を目指した研究として、植物由来材料の選定、各種配合と硬化物特性の関係把握、電力用モールド機器への適用に向けた課題解決、バイオマス資源である植物油をベースとしたエポキシ樹脂の実器試作・評価、さらに長期信頼性評価まで実施し、電力用モールド機器への適用の見込みを得た。

技術的なハードルを一つ一つクリアにしてきたが、製品適用に向けてはコスト低減も課題の一つであり、さら

なる改良が求められている。今後も、植物油由来エポキシ樹脂の改良を重ね、高品質な電力機器の環境負荷低減、安定供給、低コスト化を推進する。電力用モールド機器のリサイクル技術による資源循環も取り入れ、電力用モールド機器のライフサイクル全体にわたる環境負荷低減を追求することで、カーボンニュートラルなモノづくりに貢献していく。

参考文献

- (1) 山下太郎, 熊谷美佳, 渡邊滋, 大塚尊裕, 浦辺修一:「電力機器用エポキシ樹脂の耐サーマルショック性向上」, マテリアルライフ学会誌, Vol.23, No.1, pp.33-40 (2011)
- (2) 松岡克守, 古郡弘:「カーボンニュートラル実現に向けた材料技術の現在」工業材料, 第71巻第3号, pp.2-41 (2023)
- (3) 宇山浩:「植物油脂を用いるバイオプラスチックの開発動向」, オレオサイエンス, 第14巻第3号, pp.117-122 (2014)
- (4) 大竹美佳, 山下太郎, 平野一美:「環境負荷低減を目的とした植物油由来エポキシ樹脂の電力用モールド機器への適用性検討」, 東光電気技報, No.18, pp.38-41 (2013)
- (5) 「電力用エポキシ樹脂のナノコンポジット化による特性向上の取り組み」, 東光高岳技報, No.4, p.59 (2017)
- (6) 山下太郎, 大竹美佳, 大塚尊裕:「高分子における劣化・破壊現象の写真・データ事例集」, 技術情報協会 (2014)

■ 語句説明

- 注1) 持続可能な開発目標 (SDGs): 2015年9月の国連サミットで採択され、国連加盟193ヶ国が2016年から2030年の15年間で達成するために掲げた開発目標。17の大きな目標と、それらを達成するための具体的な169のターゲットで構成されている。SDGsは「Sustainable Development Goals」の略称。
- 注2) 耐クラック性: 成形品に生じる割れへの耐性のこと。耐クラック性が悪いと、樹脂の硬化や温度変化に伴う収縮により、成形品に割れが生じる恐れがある。
- 注3) 成形プロセス性: 製造工程上のものの作りやすさのこと。本稿では、樹脂の流動性低下による成形不良を問題としている。
- 注4) 三官能性オルガノシラン化合物: ケイ素 (Si) と有機基が結びついた「シラン」と呼ばれる化学物質の一種で、三つの反応可能な部分を有する特徴的な化合物のこと。様々な素材を強力に結びつける効果があり、接着剤やシーリング材などに使われている。
- 注5) クリープ試験: 材料の耐久性や寿命を把握するために実施する試験。樹脂材料は、一定の負荷をかけ続けると徐々に変形し、最終的には破壊に至る。この現象をクリープと呼び、クリープ試験では試験片に長時間一定の負荷をかけ、変形挙動や破壊までの時間を測定する。

大竹 美佳

戦略技術研究所 技術開発センター
材料技術グループ 所属

電力設備の保守・保全に貢献する 72/84 kV 新形水平二点切気中断路器の開発

■ 鈴木 翔平
Shohei Suzuki

■ 大山 友幸
Tomoyuki Oyama

■ 清水 俊博
Toshihiro Shimizu

■ 高橋 徹夫
Tetsuo Takahashi

電力設備において断路器は、設備の保守点検等で作業者の安全を守るために欠かせないものである。東光高岳の主力製品である水平二点切断路器は、約 35 年間にわたりお使いいただいているが、物価高や材料費等の高騰を背景に、当社断路器を安定して提供し続けるためのモデルチェンジに取り組んだ。モデルチェンジでは、現行器性能を維持したまま構造を簡素化しコストダウンを図った。本稿では、開発製品の概要や、規格に基づいた開発試験の取り組みについて紹介する。

1 はじめに

電力設備において、安全に系統や機器を切り離す断路器は、設備の保守点検等で作業者の安全を守るために欠かせないものである。

当社主力製品である水平二点切断路器は、1986 年に開発された THR6 以降約 35 年間にわたりお使いいただいている。今回、物価高や材料費・燃料費の高騰を背景に、当社断路器を安定して提供し続けるためにモデルチェンジに取り組んだ。モデルチェンジでは、現行器性能を維持したまま構造を簡素化しコストダウンを図った。また、当社グループ会社の蘇州東光優技電気有限公司（以下、蘇州東光）で部品の調達を行い、日本国内で装置の総合組立を実施する。本稿では新形水平二点切気中断路器 72/84 kV THS5 形（以下、本器）の開発内容について紹介する。

2 機器諸元

今回開発した本器の諸元を表 1 に示す。

表 1 開発した本器の諸元

定格	形式	THS5-LG	
	電圧 (kV)	72 / 84	
	電流 (A)	2,000	
	周波数 (Hz)	50 / 60	
	短時間耐電流	31.5 kA / 通電時間：2 秒	
絶縁強度		対地	同相主回路間
	雷インパルス耐電圧 (kV)	400	460
	商用周波耐電圧 (kV)	乾燥：160 (60 秒) 注水：185 (10 秒)	乾燥：160 (60 秒) 注水：185 (10 秒)
	耐震性能	2 倍レベルの加速度応答スペクトル※	
耐用性能	10,000 回連続開閉検証済み		
適用規格	JEC-2390：2013 JEC-2310：2014		

※ 2 倍レベルの加速度応答スペクトルは JEAG5003-2019 に規定されている耐震設計の基準となる地震力である。4.3 に詳細を記載する。

3 開発概要

開発した本器を図 1 に示す。今回の開発は、当社の協力会社である中国江蘇省にある蘇州東光で部品の調達および導電部・ベース部・駆動装置などの部位組立（ユニット組立）を行い日本に輸送する。当社小山事業所断路器工場では総合組立およびルーチン試験を実施する。

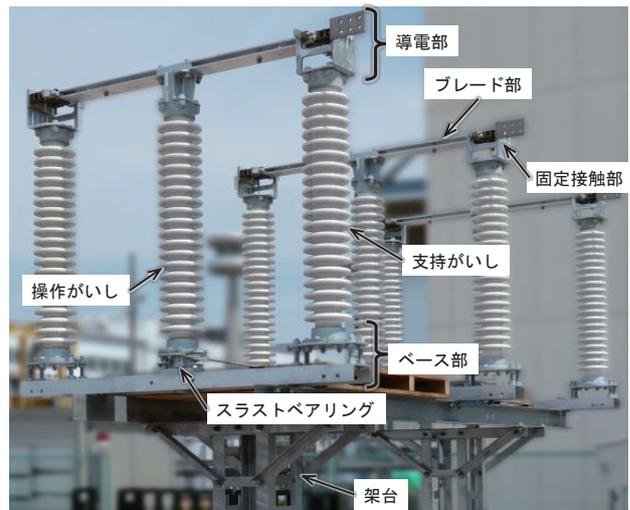


図 1 開発した本器

3.1 本器の導電部の構造および特徴

本器の導電部の構造および特徴を以下に示す。

3.1.1 導電部の構造

当社現行の 72 kV 水平二点切断路器の導電部は捻回方式を採用しているが、今回の本器導電部は投入方式を直投方式に変更した。なお、直投方式は 24/36 kV THS2/3 形の導電部で実績がある。図 2 に本器の構造、図 3 に捻回方式と直投方式の違いを示す。

今回採用した直投方式は、捻回方式と比較すると断路器投入時に接触部で発生する摩擦力が大きくなり接触部が摩耗してしまうという懸念があった。接触部で発生する衝撃力や摩擦力を軽減するため、ガイドが先行して接触部に入る構造を採用した。図 4 に直投方式の構造を

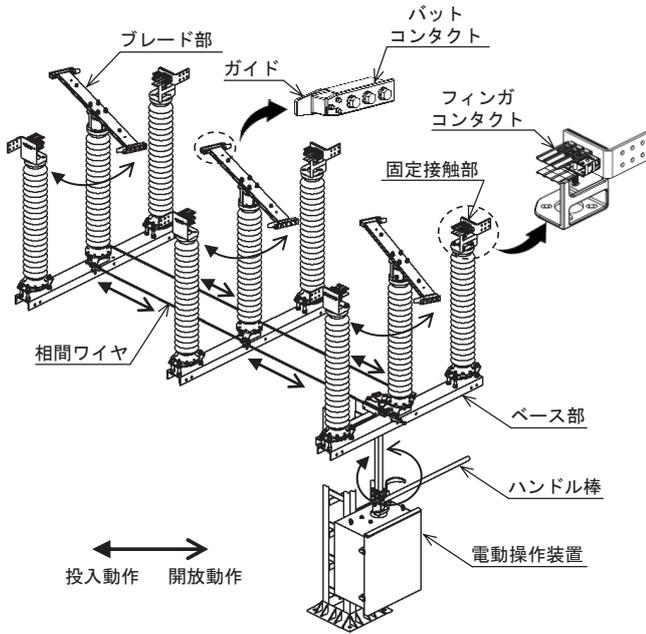


図2 本器の構造

	投入直前	完全投入
現行器 THR5 形 検回方式		
本器 THS5 形 直投方式		

図3 投入方式の違い

示す。可動側接触部（以下、バットコンタクト）の先にガイド部品を取り付けることで、固定側コンタクト（以下、フィンガコンタクト）にバットコンタクトが入る際に発生する衝撃力と摩擦力を軽減させることができる。また、バットコンタクトに銀グラファイト接点^{注1)}を採用し、耐摩耗構造としている。

3.1.2 特徴

本器は導電部を 3.1.1 記載のとおり簡素化を行い、下記の特徴を有している。

(1) 投入方式変更による信頼性向上

現行器 THR5 形は、ブレード部の検回装置部が複雑な構造をしており多くの部品を使用している。今回の開発器では導電部を検回方式から直投方式に変更することで検回装置がなくなり、部品数を減らすことでシンプルな構造となり信頼性を向上することができた。

(2) 部品点数削減

投入方式を変更することでブレード部の部品点数を 45%削減することができた。部品点数削減により、組立作業性の向上および組立工数削減にもつなげることができた。

(3) 材料の軽量化

導電部簡素化により銅使用量を削減することができた。ブレード部の材質を銅からアルミニウムに変更、フィンガ形状の改良およびフィンガの対数を変更したことで1台当たりの銅使用量を約 60%削減した。また、検回部をなくしたことで鉄の使用重量も1台当たり約 45%削減することができた。

3.2 POINSA 製がいしの採用と性能評価

スペインのがいしメーカーである POINSA 製 JEC 規格 SP がいしを採用し、性能評価として、連続開閉試験・端

	①開放状態	②投入開始	③投入途中	④完全投入
3D図				
平面図				
説明	ガイドが先行して入りフィンガコンタクトを持ち上げ、バットコンタクトがスライドして入る。	ガイドが上下のフィンガコンタクトを持ち上げてバットコンタクトの通り道を作る。	・ガイドが作った通り道にバットコンタクトが入る。 ・ガイドが次のフィンガコンタクトを持ち上げる。	②と③を完全投入までフィンガコンタクト3対分繰り返す。

図4 直投方式の構造

子荷重試験・短時間耐電流試験・実加振による耐震試験を実施した。POINSA 製がいしの詳細は、本誌別稿の製品紹介「JEC 規格に準拠した海外メーカ製ステーションポストがいしの開発とそれを適用した断路器」参照のこと。

4 開発試験

JEC-2310：2014 に基づいて表 2 に示す試験を実施し、結果は規格を満足する良好な結果であった。本章では実施した試験のなかで重要な試験について述べる。また、3.2 で述べている開閉試験状況および端子荷重試験状況を図 5 および図 6 に示す。

表 2 形式試験および参考試験内容

試験項目		図解 No.
形式試験	構造検査	—
	商用周波耐電圧試験（乾燥）	—
	商用周波耐電圧試験（注水）	—
	雷インパルス耐電圧試験	—
	主回路抵抗測定	—
	開閉試験	図 5
	端子荷重試験	図 6
	短時間耐電流試験	図 7, 8
	温度上昇試験	図 9
参考試験	耐用性能検証連続開閉試験	図 5
	氷結試験	図 10
	耐震試験	図 11, 12



図 5 連続開閉試験状況 開放状態



図 6 端子荷重試験状況

4.1 短時間耐電流試験

短時間耐電流試験値は JEC-2310：2014 に基づき、実効値は 31.5 kA の通電時間 2.0 s、波高値は 85.1 kA（実効値の 2.7 倍）の通電時間 0.3 s で試験を実施した。試験状況を図 7 に示す。THS5 形では通電性能を左右するパラメータのひとつであるフィンガの接触圧力を見直したが、短時間耐電流試験において問題ないことを確認した。図 8 に試験後の接触部の表面状態を示す。



図 7 短時間耐電流試験状況（2相で実施）
（試験場所：一般財団法人 電力中央研究所）



図 8 短時間耐電流試験結果 コンタクト表面状態

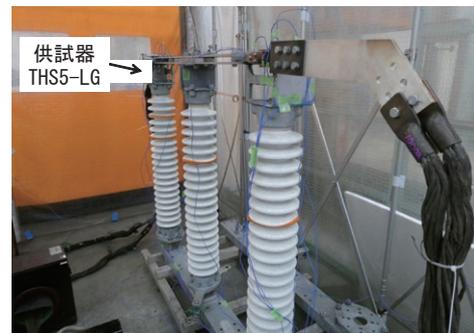


図 9 温度上昇試験状況

4.2 氷結試験

氷結試験について JEC 規格に具体的な試験方法の記載がなかったため、IEC 62271-102：2018 の 7.103 を実施した。供試器に規格で決められた厚さの水を着氷させ開→閉、閉→開の投入開放動作を電動でできるか確認する。図 10 に氷結試験風景（開放状態）を示す。

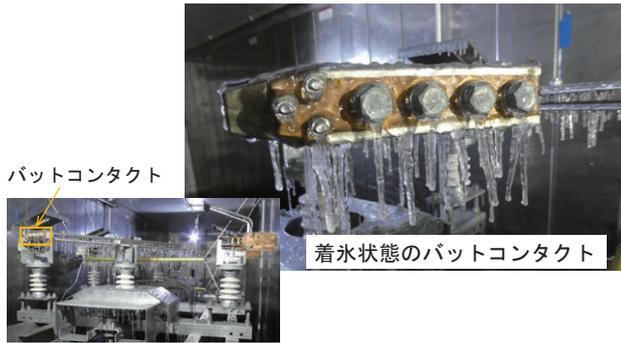
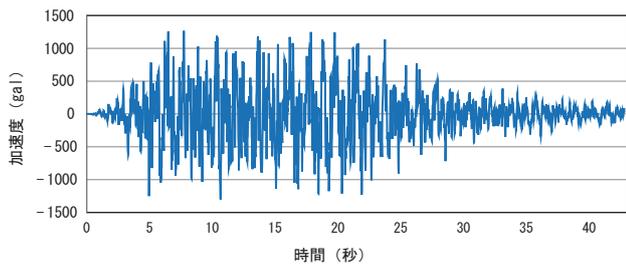
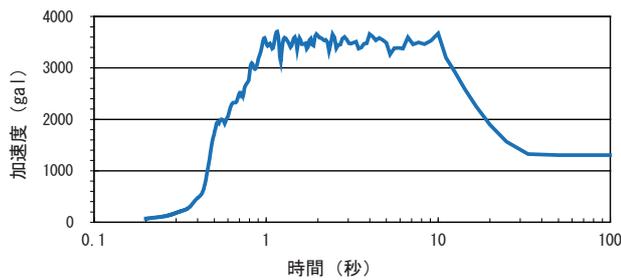


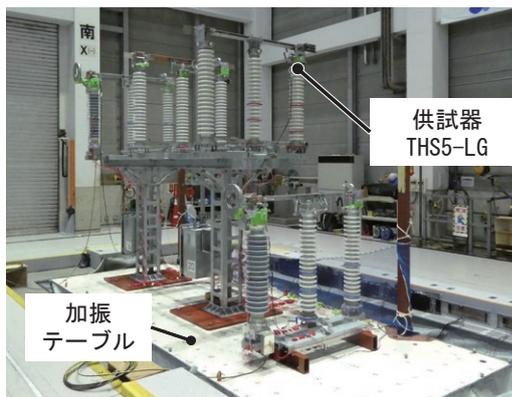
図 10 氷結試験状況



(a) 模擬地震動波形



(b) 加速度応答スペクトル波形

図 11 加振テーブル入力波形
(参考文献 (1) 80 頁第 3-2-5 図より引用)図 12 耐震試験状況
(試験場所：株式会社日本海洋科学)

4.3 実加振による耐震試験

実加振による耐震試験で、JEA 5003-2019^{注2)} 設計地震力波形 2 倍レベルの加速度応答スペクトル (ZPA : 水平 10 m/s², 鉛直 7 m/s²) を供試器に入力しての耐震性能評価を実施した。なお、当社断路器において同波形を用いた実加振試験は初めてであった。図 11⁽¹⁾ に加振テーブルに入力した波形、図 12 に耐震試験状況を示す。

5 おわりに

当社主力製品である水平二点切断路器について、現行器性能を維持したままで構造を簡素化した 72/84 kV 断路器のモデルチェンジに取り組んだ。その結果、昨今の物価高、材料費・燃料費の高騰の中でも安定して提供し続けることができる機器となった。

今後は、今回のモデルチェンジで得た知見を他機種の開発に生かしていきたいと考えている。

■参考文献

- (1) JEA 5003-2019 「変電所等における電気設備の耐震設計指針」一般社団法人日本電気協会発変電専門部会 (令和 2 年 1 月 20 日第 4 版発行)

■語句説明

- 注 1) 銀グラファイト接点：銀 (Ag) の粉末とグラファイト (Gr) の粉末を混合焼結した接点材料を摺動接触面に銀ロウ付したもの。銀めっき接点に比べて摺動時の摩擦抵抗が低く摺動特性に優れている。
- 注 2) JEA : 電気技術指針 (Japan Electric Association Guide) の略。JEA 5003-2019 は「変電所等における電気設備の耐震設計」指針であり、変電所等において地震被害により電力の供給に重大な支障をきたさないようにまとめられた設計指針である。

鈴木 翔平

電力プラント事業本部
第一設計部 断路器設計グループ 所属

大山 友幸

電力プラント事業本部
第一設計部 断路器設計グループ 所属

清水 俊博

電力プラント事業本部
第一設計部 断路器設計グループ 所属

高橋 徹夫

電力プラント事業本部
第二製造部 断路器製造グループ 所属

データ活用技術の更なる高度化を目的としたクラウドでのデータ収集・蓄積を汎用化する基盤システムの開発

■ 富井 良平
Ryohei Tomii

■ 梅澤 敦史
Atsushi Umezawa

■ 中山 匡
Tadashi Nakayama

1 はじめに

現代のビジネス環境において、クラウド、IoT、5G/6G、データ解析、さらにはAIなどの先端技術を活用したビジネスインテリジェンスは企業の競争力強化および市場における優位性確保に不可欠である。

東光高岳は、ビジネスインテリジェンスの要素技術として状態診断技術およびAIを用いたデータ活用技術の高度化を目指した研究開発を推進しており、『受変電設備の予知保全を実現するスマートメンテナンスシステムの開発』⁽¹⁾、『太陽光発電の最適運用を実現するAIによる太陽光発電量予測システムの開発』⁽²⁾といったデータ分析ソリューションの開発を行っている。これらのソリューションを支えるインフラ技術として、センサ技術の高度化、次世代通信技術、クラウド基盤の活用技術の習得に注力してきた。

現在、その取り組みの一環として、研究開発成果の見える化を進めており、デモ環境を兼ねた社内検証環境の構築を進行中である(図1)。2023年度は、ローカル5GおよびWi-SUN^{注1)}ネットワークの構築を行い、クラウド基盤を利用したシステムを実現した。2024年度

はシステムの運用を開始し、小山事業所および蓮田事業所の設備に設置したセンサからデータを収集している。

このようなシステムはデータ活用機能、データ収集機能で構成されており、新規にシステムを導入する際に両方の機能を開発する必要があった。

今回、データ収集機能の汎用化を行うことにより、これまで案件ごとに開発が必要であったデータ収集システムの開発が不要となり、各種ニーズに応える様々なデータ分析ソリューションをよりタイムリーに提供することが可能となった。

2 データ収集・蓄積を汎用化する基盤システム

データ収集・蓄積基盤について紹介する(図2)。

2.1 概要

IoT機器はセンサよりデータを収集し、クラウドに送信する。クラウドはこれらのデータを蓄積する。クラウドに蓄積したデータを利用者に提供し、他のシステムで活用することが可能となる。

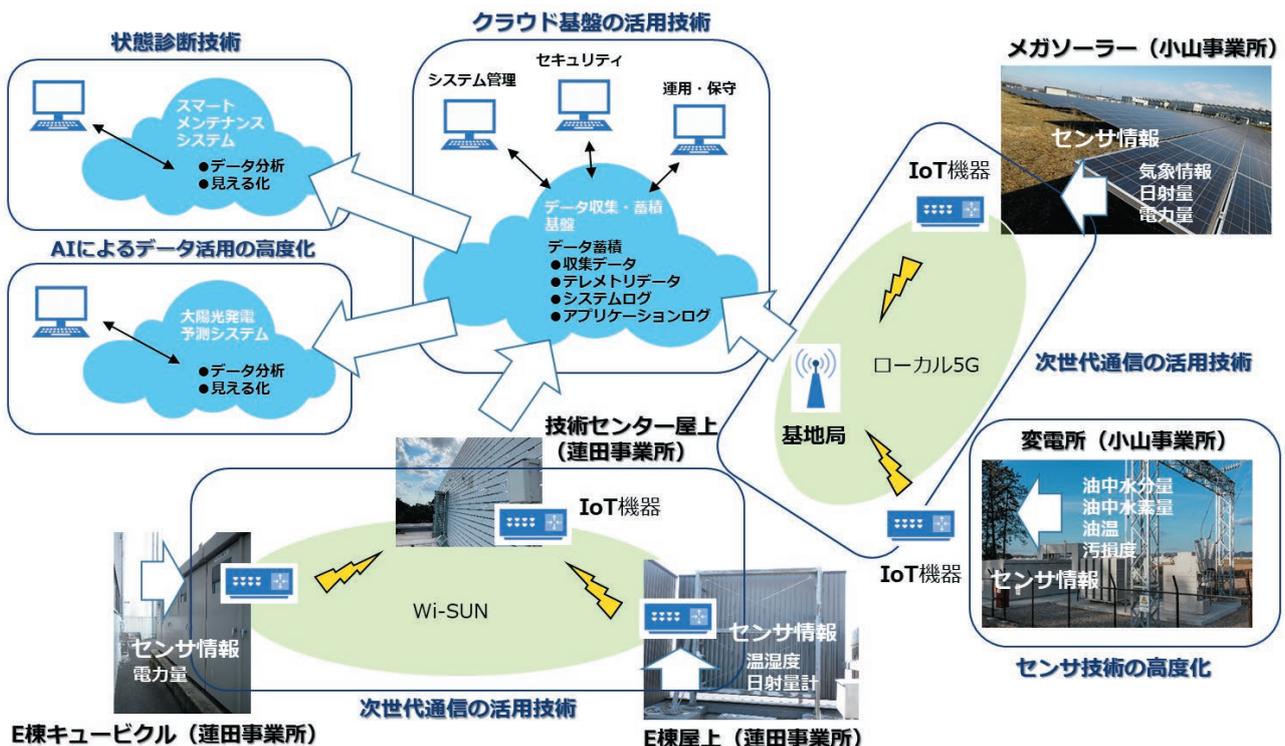


図1 社内検証環境

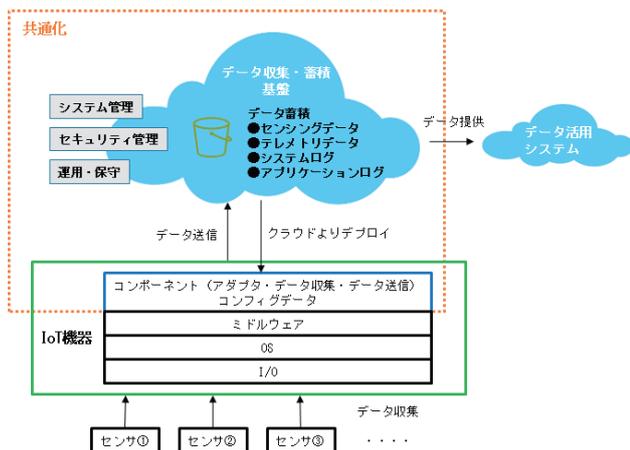


図2 データ収集・蓄積基盤

2.2 特長

特長を以下に示す。

(1) 特定のハードウェアには依存しない

IoT 機器は、搭載される OS の種類などの条件を満たす必要があるが、特定のハードウェアには依存しない。

(2) 端末自動登録の導入

IoT 機器がクラウドに接続するとき、認証・登録・必要なソフトウェアのダウンロード、初期設定が自動的に行われる。

(3) クラウドにデータを蓄積

データは、クラウドに蓄積される。また、システムの異常検知、障害予知、不正アクセスおよびセキュリティ侵害に活用するアプリケーションログ・システムログ・テレメトリデータも同様に蓄積される。

(4) OTA^{注2)}

遠隔から IoT 機器のファームウェア (OS も含む) を配信し、アップデートする仕組みを今後実装予定である。

2.3 実装

実装に際しては、生成 AI によるコーディング支援サービスである GitHub Copilot^{注3)} の活用および、CI/CD^{注4)} 環境を構築することにより、ビルド・検証・デプロイの自動化が可能となり開発の効率・品質が向上した。また、複数のシステムを一元的に運用管理する仕組みを構築するとともに、セキュリティ、ガバナンス、およびコンプライアンスを統制する環境を整備した。

3 おわりに

2023 年度は、ローカル 5G および Wi-SUN ネットワー

クを使用し、データ収集・蓄積基盤の構築を行った。

2024 年度は、システムの運用に重点的に取り組むことにより継続的に既存技術の高度化および新たな技術の習得と適用を行っていく。また、データ収集・蓄積基盤を活用し、状態監視システム等の新たなシステム構築も検討している。

更に、課題解決に貢献できるソリューションの提案および紹介活動をお客様に行っていく。あわせて、東光高岳の強みである電力技術および電力インフラを支える製品群との連携を深化し、新たなソリューションの開発や自社製品の付加価値を一層高めることを目指していく。

■参考文献

- (1) 岡井由香利, 富井良平, 梅澤敦史:「受変電設備の予知保全を実現するスマートメンテナンスシステムの開発」, 東光高岳技報, Vol.10, pp.12-14 (2023)
- (2) 高田晃平, 北治夫, 中山匡:「太陽光発電の最適運用を実現する AI による太陽光発電量予測システムの開発」, 東光高岳技報, Vol.10, pp.15-17 (2023)

■語句説明

- 注1) Wi-SUN: Wireless Smart Utility Network とは、無線通信規格の一つで、免許不要の 2.4 GHz 帯やサブギガヘルツ帯と呼ばれる 900 MHz 前後の周波数帯の電波を利用して少ない消費電力で長距離の通信を行うことができるもの。IoT 機器を接続する LPWA (Low Power Wide Area) の有力方式の一つ。
- 注2) OTA:「Over-The-Air」の略称。無線通信を通じてデバイスにソフトウェアやファームウェアの更新、設定変更を行う技術。
- 注3) GitHub Copilot: AI ペアプログラマー。プログラミングの際にコードを自動で提案・補完する機能を持っており、開発者の生産性向上を期待できる。
- 注4) CI/CD:「Continuous Integration (継続的インテグレーション)」および「Continuous Deployment/Delivery (継続的デプロイ/デリバリー)」の略称。ソフトウェア開発プロセスの自動化と効率化を目指した手法。

富井 良平

戦略技術研究所
技術開発センター ICT 技術グループ 所属

梅澤 敦史

戦略技術研究所
技術開発センター ICT 技術グループ 所属

中山 匡

戦略技術研究所
技術開発センター ICT 技術グループ 所属

最適なバス運行と充電計画を支援する 電気バス充電インフラシステムへの OCPP 適用

■ 小関 俊英
Shunei Ozeki

カーボンニュートラル実現に向け EV 利用を促進するため、日本政府は EV 用充電器とそれを管理・運用するシステム間の通信を標準化する OCPP (通信プロトコル) の搭載を推進している。OCPP により充電事業者は、充電管理システムを容易に構築でき、遠隔での管理や充電制御等が可能となる。また、システム構築におけるマルチベンダ化も可能となる。東光高岳では、これまで培ってきた OCPP の技術を活用して、グリーンイノベーション基金事業「スマートモビリティ社会の構築」プロジェクトの実施テーマの一つである電気バス充電器の管理システムに最新の OCPP2.0 を適用したので紹介する。

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を実現することを宣言し、電気自動車 (以下、EV) の利用促進に向けて、「充電インフラ整備促進に向けた指針」を策定した。その中で、2025 年度以降に設置する公共用充電器への OCPP (Open Charge Point Protocol) による通信機能の搭載を推進している⁽¹⁾。

OCPP は、EV 用充電器 (以下、充電器) とそれを管理・運用するシステム間の通信を標準化するプロトコルである。OCPP を搭載すれば、充電事業者は、充電管理システムを容易に構築でき、遠隔での管理や充電制御等が可能となる。また、システム構築におけるマルチベンダ化も可能となる。

東光高岳では、国内トップシェアを誇る急速充電器メーカーとしてこれまでも OCPP を搭載した充電器を世の中に送り出してきた。今回は、グリーンイノベーショ

ン (Green Innovation : GI) 基金事業のプロジェクトの実施テーマの一つである電気バス充電器の管理システムに最新の OCPP2.0 を適用したので紹介する。

2 GI 基金事業への参画

経済と環境の好循環につなげるための日本の新たな成長戦略として「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。その取り組みを後押しすべく「GI 基金事業」が造成され、NEDO (国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) が支援する。

GI 基金事業によって支援される実施テーマの一つに、「路線バス EV 化および交通・地域のカーボンニュートラル化を実現する運行管理 / 需給調整一体型エネマネシステムの開発・実証」(以下、本実証)がある。本実証は、電気バスの運行マネジメントシステムと需給管理マネジメントシステムにより運行管理と一体化したエネルギーマネジメントを行い、電気バスの大規模導入を実現

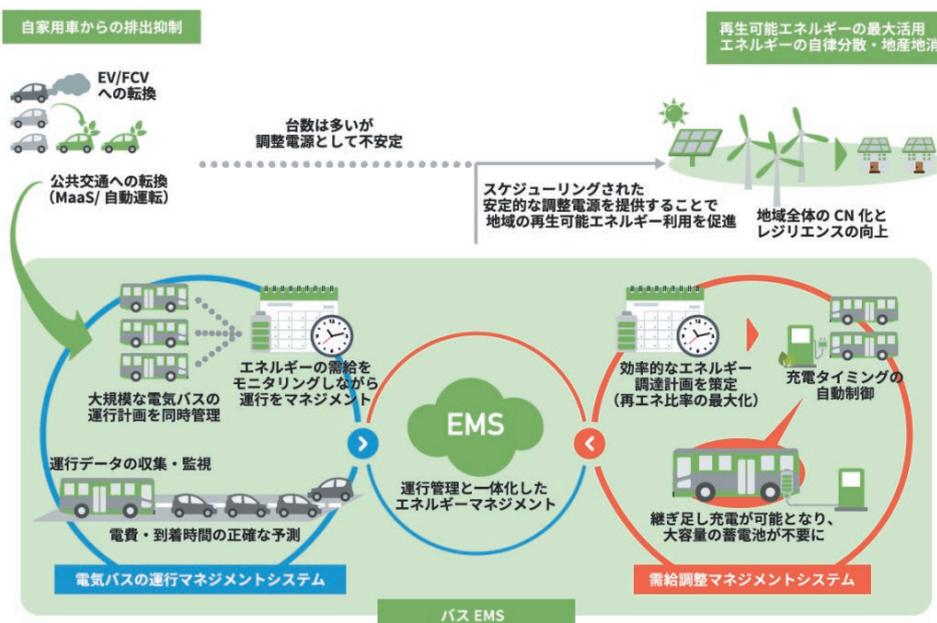


図 1 運行管理と一体化した EMS⁽²⁾

することで、CO₂ 排出量の削減とエネルギー効率の向上を図ることを目的とする (図 1)。

当社は、EV を広く普及させるための充電インフラ整備の一環として、(株) みちのりホールディングス (以下、みちのり HD) が幹事会社の本実証に、東京電力ホールディングス (株) の委託先として参画した。これまで東光高岳が培ってきた OCPP 技術を活用して、電気バス充電器の遠隔制御ならびに充電管理システムを構築した。

3 電気バス充電管理システム

バス運行マネジメントシステムと需給調整マネジメントシステムの一体化を目指すため、本実証の事業戦略ビジョンの研究開発目標⁽²⁾を実現するために開発したシステム概要構成を図 2 に示す。

充電器の遠隔操作や遅滞なく充電を実行するための通信プロトコルには OCPP を採用し、OCPP サーバを設けた。また、複数の電気バスを同時充電する場合にバス会社の電気料金増加幅を抑制するよう、個別に充電を指示するための充電計画の作成や充電器の遠隔制御を実現する。

なおエネルギー管理を行う EMS サーバは、バス営業所建屋内に設置し、駐車場に設置した複数台の充電器とは有線または無線で接続する。

EMS (Energy Management System) の主な機能を以下に示す。

(1) 充電器との通信

充電器との通信は、サーバと OCPP を用いて通信し、充電器からのデータ収集や状態監視および遠隔制御を行い、当システムにおける充電器の効率的な運用管理を中心的に担う。

(2) 充電タイミングの自動制御

電気バスの入出庫時刻や前日走行距離から作成した充電計画をもとに充電器を自動的に制御して充電を行う。

また、EV 充電で広く普及している規格である CHAdeMO^{注1)} 標準仕様の最大充電時間 (255 分) を超える時間にも対応し、大容量バッテリーを搭載する電気バスを満充電まで充電できる機能を備える。

(3) 充電実績管理

充電器制御ならびに充電器から取得した各種データは、EMS 内のデータベースに格納する。WEB ブラウザでデータを可視化し、充電器毎の充電電力量や電気バス毎の充電状態 (SOC) の推移を“見える化”する。

また、電気バス毎の充電実績は、CSV 形式のテキストファイルで保存することが可能で、帳票作成などを支援する機能を備える。

(4) 遠隔制御

充電器の運用管理を目的として、遠隔から制御する以下の機能を備える。

- 充電の手動制御 (開始と停止)
- 充電器の運用休止と休止解除
- 充電器の再起動

4 本実証における OCPP2.0 の機能

OCPP のバージョンには 1.6 と 2.0 がある。しかし、1.6 と 2.0 に互換性はないため、充電器とサーバの OCPP のバージョンが一致している必要がある。現在広く普及している充電器は OCPP1.6 であり、当然ながらサーバも OCPP1.6 が主流となっている。

今回の電気バス充電の実証では、一般に普及している OCPP1.6 ではなく最新の OCPP2.0 を採用した。これは、本実証が長期にわたるプロジェクトであり、将来の機能拡張への対応等の観点から採用された。

OCPP2.0 で規定する機能の概要を表 1 に示す。これらの機能を用いることで、遠隔での充電器の運用・管理が可能となる。また、充電器だけでなく車両ごとの充電実績なども合わせて確認ができる (図 3)。本報告では、充電器の遠隔制御や運用管理等に関わる以下の五つの機能について紹介する。

- ・プロビジョニング (充電器の設定管理)
- ・トランザクション (充電情報の取得)
- ・充電器の遠隔制御
- ・可用性制御 (充電器の運用管理)
- ・スマート充電 (充電器の出力制御)

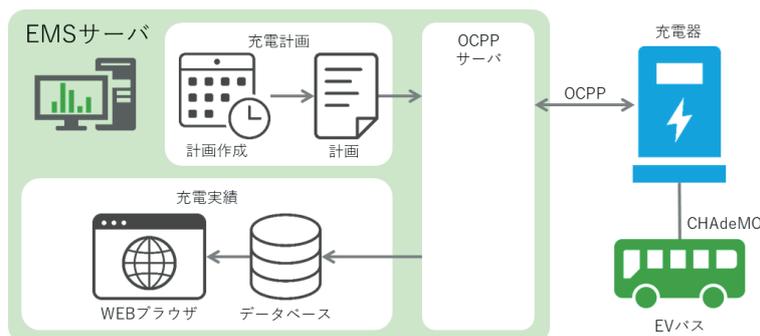


図 2 システム概要構成図

表 1 OCPP 機能概要

機能		概要
A	セキュリティ	セキュリティ要件
B	プロビジョニング	充電設備の構成管理
C	認証	ユーザ認証
D	ローカル認証	充電設備で保持するユーザ認証情報管理
E	トランザクション	充電セッション管理
F	遠隔制御	遠隔からの充電制御など
G	可用性制御	充電設備の運用管理
H	予約	充電設備の利用予約
I	計測	電力量などの各種計測データ通知
J	スマート充電	時間帯ごとの出力制御など
K	ファームウェア管理	充電設備を構成するファームウェア管理
L	診断	充電設備の監視やログの取得など
M	ディスプレイメッセージ	充電設備ディスプレイへのメッセージ表示
N	データ転送	ベンダ固有の拡張機能



図 3 車両ごとの充電実績 EMS 画面例

4.1 プロビジョニング (充電器の設定管理)

プロビジョニングは、充電器に必要な設定を施し、システムが利用可能な状態にする機能である。主に以下の設定が可能である。

- ・ 充電情報収集の開始 / 停止タイミングの設定
- ・ 充電情報として収集する項目の設定 (充電量, バッテリー残量など)
- ・ 充電情報収集周期の設定

4.2 トランザクション (充電情報の取得)

充電器の充電情報を EMS サーバへ通知するための機能である。充電器はプロビジョニングの設定値に合わせて充電情報を EMS サーバへ通知する。EMS サーバが各充電器から取得する計測項目を以下に示す。

- ・ 出力電流 / 電圧 / 電力
- ・ 積算充電電力量
- ・ 充電電力量

- ・ 充電状態 (SOC)

4.3 遠隔制御

電気バス会社が EMS サーバから充電器を遠隔制御する機能である。以下のような制御が可能となる。

- ・ 充電の開始 / 停止
- ・ 充電計画に基づく充電指示

4.4 可用性制御 (充電器の運用管理)

充電器の状態監視や保守等の運用管理を行うため、以下の機能を備える。

(1) ステータス通知

充電器は運用状態 (利用可能, 休止中, 故障など) をその状態が変化した場合に EMS サーバに通知する。

(2) 稼働状態監視

充電器の稼働状態を定期的に EMS サーバへ通知する機能である。今回の実証では、1 時間周期での通知設定

としている。

(3) 運用の休止設定 / 解除

充電器を保守するため、遠隔から充電器本体の操作を制限することができる。例えば、運用休止および休止解除の制御を行う。

(4) 充電器の再起動

充電器に一時的なエラーが発生した場合、問題解決とサービス中断時間の最小化を目的として、遠隔から再起動できる。

4.5 スマート充電（充電器の出力制御）

複数の電気バスを同時充電する場合に電気料金の増加幅を抑制するよう、適切な運行計画と合わせて個別に充電を指示する等の充電計画に基づく充電制御が自動でできる。

5 電気バス営業所における実証

2023 年度は、最新の OCPP2.0 を搭載した電気バス用 EMS を 10 営業所に導入し実証を開始した。現状は、15 台の充電器のデータ収集、遠隔制御を行っているが、今後、みちのりグループ 3 社では、200 台規模の電気バス導入を予定している（図 4）。



図 4 みちのりグループ 3 社 2029 年までの電気バス導入予定⁽²⁾

6 おわりに

EV 充電インフラ整備を促進するための一環として、「路線バス EV 化および交通・地域のカーボンニュート

ラル化を実現する運行管理 / 需給調整一体型エネマネシステムの開発・実証」へ参画した。

OCPP による通信規格の標準化と相互運用性を確保した充電インフラは、EV ユーザの利便性を高め、国が持続可能な社会の実現に向けての EV 普及を促進するための基盤づくりに重要な役割を果たす。

本実証は、日本がカーボンニュートラルを目指し、EV 普及を加速させる中での挑戦と、充電インフラ整備への取り組みを通じて、直面する環境問題解決への道筋を提示する。

OCPP をはじめとして、当社の技術が、エネルギー利用の高度化・多様化に対応し、今後のさまざまなエネルギー利用シーンに活用できるものと考えている。

7 謝辞

この成果は、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の助成事業（JPNP21028）の結果得られたものです。東京電力ホールディングス（株）をはじめとしてプロジェクト関係者の皆様に、この場を借りて謝意を表します。

■参考文献

- (1) 経済産業省：「充電インフラ整備促進に向けた指針」、p.21（2023）
- (2) 株式会社みちのりホールディングス他：「事業戦略ビジョン 実施テーマ名：路線バス EV 化および交通・地域のカーボンニュートラル化を実現する運行管理 / 需給調整一体型エネマネシステムの開発・実証」、pp.7, 17, 23（2023）

■語句説明

注 1) CHAdeMO：電気自動車用急速充電規格 CHAdeMO（チャデモ）は、2010 年に日本が主導して規格化を実現した EV の急速充電方式である。2014 年には IEC（国際電気標準会議）にて国際標準として承認された。「CHArge de MOve = 動く、進むためのチャージ」、「de = 電気」、「充電中にお茶でも」の三つの意味を含んでいる。

小関 俊英

戦略技術研究所
技術開発センター ICT 技術グループ 所属

直流給電システムやEV充電インフラの従量課金に向けた直流電力量計

■黒木 雄太
Yuta Kuroki

■千田 智行
Tomoyuki Chida

■長谷川 敏夫
Toshio Hasegawa

■迫山 光弘
Mitsuhiro Sakoyama

2050年のカーボンニュートラル実現に向け、世界的な再生可能エネルギーの主力電源化への取組みと共に直流給電システムの実証が進められており、直流機器間の電力量取引に用いる直流電力量計の必要性が高まっている。こうした中、世界的に直流電力量計に関する規格標準化が進められており、日本においても同様な状況である。今後、直流電力量計のニーズが顕在化すると見込まれるため、東光東芝メーターシステムズ（株）では国内規格のみならず、国際規格も視野に入れた直流電力量計の開発に取り組んでいる。

1 はじめに

2050年のカーボンニュートラル実現に向け、世界的に太陽光発電などの再生可能エネルギーが普及拡大している⁽¹⁾。それと共に、直流である太陽光発電を極力ロスなく、安定的に運用するため、直流機器である蓄電池や電気自動車（以下、EV）等と組み合わせた直流給電システムの実証が世界的に進められている⁽²⁾。

直流給電システムにおいては、交流を介さずに直流にて機器間の電力授受が行われるため、この従量課金には直流電力量計が求められる。

こうした中、国際電気標準会議（IEC）は、直流給電システムやEV充電インフラなどを対象とした直流電力量計の規格であるIEC 62053-41⁽³⁾を2021年に発行した。また、国際法定計量機関（OIML）はEV用充電器向けの電力量計に特化したガイド文書であるOIML Guide 22⁽⁴⁾を2022年に発行するなど、直流電力量計に関わる標準化の動きが活発化している。

国内においては、JIS C 1216-2⁽⁵⁾に直流電力量計の規格が定められ、これに準じた計量器が取引証明に用いられてきた。一方で、家庭の太陽光発電やEVなどの分散リソースの普及とともに現れたりソースごとの電力の取引やネガワット取引^(注1)など、新たな取引ニーズに対応し、令和4年4月1日より電気計量制度の合理化を図る措置（特定計量制度）が規定された⁽⁶⁾。これに伴い、2024年3月には一般社団法人日本電機工業会（JEMA）から発電設備等の直流電力量計測の検査規定JEM1518が発行されるなど、国内においても直流電力量計が徐々に注目されはじめている。

こうした世界的な直流電力量計の標準化の流れを受け、東光東芝メーターシステムズ（株）では国内規格はもとより、国際規格も視野に入れた直流電力量計の開発に取り組んでいる。

本稿では、開発中の試作器について、その仕様検討、設計検証の概要について紹介する。

2 直流電力量計の概要

2.1 概略仕様

試作器の定格を表1に示す。定格は、50 kW級のEV用急速充電器に搭載可能な仕様とした。

試作器の基本仕様を表2に示す。準拠規格のIEC 62053-41、JIS C 1216-2及び参考規格のOIML Guide 22を満足することで、DC 1,500 V以下の直流給電システムの直流電力量を高精度に計量できる。

表1 定格

相線式	定格電圧	定格電流	計器定数 ^(注2)
直流2線式	400 V	125 A	20 pulse/kWs

表2 試作器の基本仕様

項目	基本仕様
準拠規格	IEC 62053-41
	JIS C 1216-2
参考規格	OIML Guide 22
精度階級	1.0級（目標0.5級）
電流測定範囲	始動電流 $I_{st} = 0.5$ A
	最小電流 $I_{min} = 6.25$ A
	最大電流 $I_{max} = 125$ A
電圧測定範囲	DC 150 V～450 V
補助電源	DC 24 V ± 10%
動作保証温度範囲	-25°C～+70°C
使用相対湿度	≤ 95% RH
消費電流	≤ 0.21 A（補助電源DC 24 V時）
通信インターフェイス	RS485, 9,600 or 19,200 bps
質量	約0.7 kg
寸法	W 120 mm × H 120 mm × D 67 mm

2.2 構造及び各部の機能

試作器の各部の構造及び機能を図1に示す。

(1) DC 400 V入力

直流給電システムの電源ユニット（AC/DC-Link）を接続する。



図 1 各部の構造及び機能

- (2) DC 400 V 出力
測定対象の負荷 (EV 等) を接続する。
- (3) 補助電源入力
DC 24 V を供給して、回路駆動用電源として使用する。
- (4) 絶縁電圧入力
図 2 に標準回路と試験回路の端子配線図を示す。JIS C 1216-2 では、電圧回路と電流回路間の絶縁が規定されているため、標準回路の緑線部を切断する機構を備えている。試験回路では、直流電圧源と直流電流源の供給装置をそれぞれ分離して接続できるため、疑似的な電力供給が可能となる。

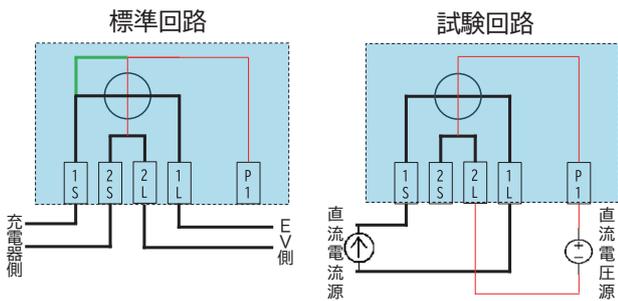


図 2 端子配線図

- (5) 液晶パネル
測定対象負荷の取引電力量を表示する。kWh 単位の小数点第 3 位まで測定可能なため、1 Wh ずつの計量進捗が可能である。
- (6) 赤外線 LED
電力量に比例した計量パルス^{注3)}を赤外線 LED で出力する。主に器差校正用で使用され、50 kW 印加時に 1,000 Hz の高速パルス (20 pulse/kWs) が出力されるため、短時間で器差校正ができる。
- (7) 発信パルス
電力量に比例した需要家サービスパルス^{注4)}を出力する。10 Wh ごとに 1 パルス^{注4)}を出力する。このパルスを利用することにより遠隔で電力量を管理できる。
- (8) 通信インターフェイス
RS485 方式を採用し、計器 ID (製造番号) で要求すると現在の電力量指針値を返送する。
- (9) 封印^{注4)}ねじ
電力量計の計量機能改ざん等を防止するために、封印等の措置が必要となる。

3 試作器の設計

今回試作器を設計した上で主要な設計ポイントを 3 点紹介する。

3.1 回路ブロックの絶縁構成

通信インターフェイス (RS485, USB) と EV 用充電器の充電回路 (電圧入力, 電流入力) 及び補助電源入力の絶縁を保持するため、絶縁素子を採用して基礎絶縁の AC 2 kV 以上を確保した。各回路ブロック間の絶縁構成を図 3 に示す。

- ①通信インターフェイス (USB) - 電圧・電流入力間: AC 5 kV
- ②通信インターフェイス (RS485) - 電圧・電流入力間: AC 5 kV
- ③通信インターフェイス (USB, RS485) - 補助電源入力間: AC 2 kV
- ④電流入力 (1S-1L) - 電圧入力 (P1-2L) 間: AC 4.25 kV

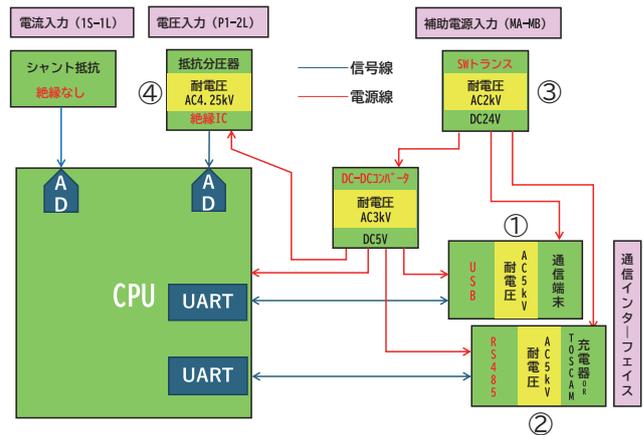


図 3 回路ブロック絶縁構成

3.2 温度特性の補償方法

AD 変換部 (PGA^{注5)} 等) 及び AFE^{注6)} 部品 (抵抗・コンデンサ等) の温度特性のばらつきに応じた補正が必要である。補正においては、電圧オフセット、電流オフセット、電圧ゲイン、電流ゲインの 4 点を考慮する必要があるが、特にダイナミックレンジが広い直流電流の検出処理は、HPF^{注7)} により DC 成分を除去できないため、電流側のオフセットの温度ばらつきがそのまま特性に表れてしまう。そのため、温度補正値を設定する必要がある。

温度補償は、以下の通りに実施し、試験方法や判定基準は IEC 62053-41 に準拠する。

①温度補正前の器差^{注8)}を取得する

温度補正が 0 の状態で器差を取得する。表 3 に温度補正前の温度係数を示す。

表3 温度補正前の温度係数

負荷電流 [A]	低温側 [°C]	高温側 [°C]	温度係数 [%/K]	判定基準 [%/K]
125	-25	-5	0.02	0.03
	-5	15	0.03	0.03
	15	35	0.03	0.03
	35	55	0.02	0.03
	55	70	0.03	0.03
6.25	-25	-5	0.02	0.03
	-5	15	0.01	0.03
	15	35	0.01	0.03
	35	55	0.02	0.03
	55	70	0.02	0.03

負荷電流は、電流測定範囲から最大電流 125 A と最小電流 6.25 A を抜粋した。また、動作保証温度範囲から 20°C刻みで測定し温度係数を求めた。温度係数は最大 +0.03%/K と規格に対してマージンがないため、温度補償が必要である。

②温度補正前の結果を元に温度補正係数を求める

常温を境に高温側と低温側に分けて調整箇所 8 点の温度補正係数を求める。はじめに、無負荷状態 (0 V, 0 A) でオフセットを補正する。続いて、定格電圧及び定格電流を印加しゲインを補正する。表 4 に温度補正の各調整箇所を示す。

表4 温度補正項目調整箇所

温度補正項目	
電圧オフセット	低温側
	高温側
電流オフセット	低温側
	高温側
電圧ゲイン	低温側
	高温側
電流ゲイン	低温側
	高温側

表 5 に温度補正後の温度係数を示す。温度係数は最大 ±0.01%/K と判定基準を十分に満足しており良好な結果である。ただし、使用部品のばらつき等により、共通の温度補正值を設定すると判定基準を満足させることは困難である。そのため、個別に測定を行い、個別に温度補正值を設定する必要がある。

3.3 電流センサの設計

DC 125 A の電流センサはシャント抵抗方式を採用した。電流導体は、抵抗合金 (CuMn43) と無酸素銅をレーザ溶接して、直接ケーブルラグ端子穴に電線を接続できる構造である。また、抵抗合金は通電時の発熱抑制

表5 温度補正後の温度係数

負荷電流 [A]	低温側 [°C]	高温側 [°C]	温度係数 [%/K]	判定基準 [%/K]
125	-25	-5	0.00	0.03
	-5	15	0.00	0.03
	15	35	-0.01	0.03
	35	55	0.01	0.03
	55	70	0.00	0.03
6.25	-25	-5	0.00	0.03
	-5	15	0.01	0.03
	15	35	0.00	0.03
	35	55	-0.01	0.03
	55	70	0.00	0.03

のため、十分に低い抵抗を選定した。シャント抵抗器付き電流導体の外観を図 4 に示す。

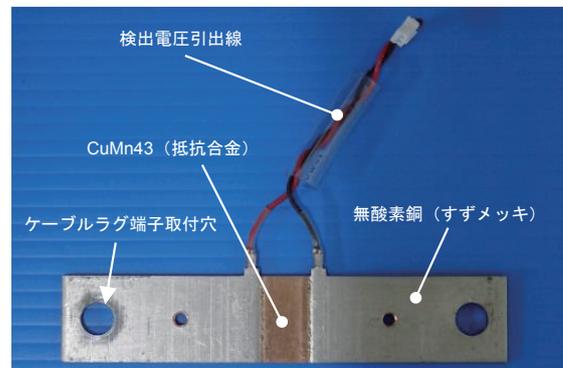


図4 シャント抵抗付き電流導体

4 試作器の試験

4.1 試験項目及び試験結果

試作器は第三者機関で試験した。これは、社内環境と第三者機関の試験環境で試験結果に差がなく正しく評価できていることを確認するためである。ただし、負荷電流導体及び端子の温度上昇試験は社内環境でのみ実施した。試験項目は、計量精度に関わる基本特性や耐ノイズ性能、放熱性能を確認するために選定した。IEC 62053-41 の試験項目及び試験結果を表 6 に示しており、判定基準を満足している。また、JIS C 1216-2 の試験項目及び試験結果を表 7 に示しており判定基準を満足している。

表6 試作器の試験結果 (IEC 62053-41)

試験項目	試験結果	判定基準	判定
電流変動による誤差限度	MAX : -0.13%	6.25 A ≤ I < 12.5 A : ± 1.0%, 12.5 A ≤ I ≤ 125 A : ± 0.5%	良
放射無線電磁界イミュニティ	MAX : +0.5%	誤差変動の許容限度 : ± 2.0%	良

表 7 試作器の試験結果 (JIS C 1216-2)

試験項目	試験結果	判定基準	判定
負荷電流導体及び端子の温度上昇	温度上昇：30.5℃	温度上昇の限度：65℃	良
衝撃性雑音	MAX：+0.05%	器差の差：±2.0%	良

4.2 器差の測定方法

器差の測定方法について、概略図を図 5 に示す。電流は、直流電流源から電流センサを介して取得した出力を標準パワーメーター^{注9)}に入力する。電圧は、直流電圧源から標準パワーメーターに直接入力する。このとき、標準パワーメーターで算出された電力値を真値とする。この真値と周波数カウンタで取得した計量パルスから計算して器差を求める。

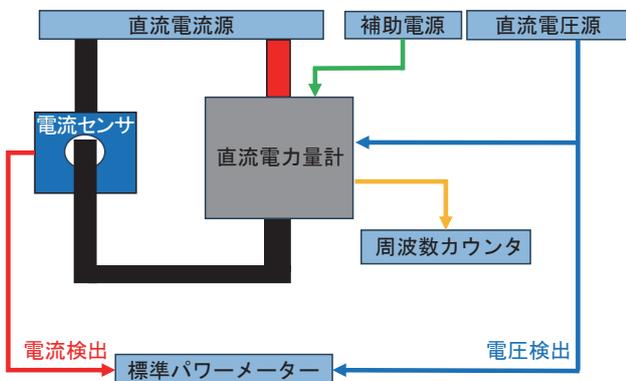


図 5 器差測定の概略図

4.3 試験結果 (IEC 62053-41)

(1) 電流変動による誤差限度

本試験は、定格電圧を印加した状態で、試験電流 (6.25 A, 12.5 A, 125 A) を印加して器差を測定した。

図 6 に電流変動による誤差限度の試験結果を示す。器差は 12.5 A のときが最大で -0.13% と判定基準を十分に満足しており良好な結果である。

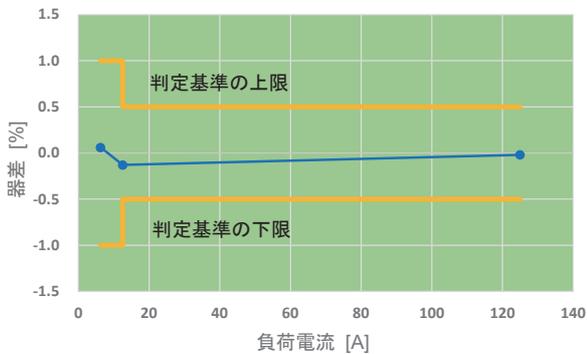


図 6 電流変動による誤差限度の試験結果

(2) 放射無線電磁界イミュニティ

本試験は、規格に定められている通り、補助電源に定格の 1.1 倍の 26.4 V で通電し、測定上限電圧 450 V 及

び 25 A の負荷電流を印加した状態で実施した。表 8 に規定されている試験条件で、電磁波を照射する前と照射中の器差をそれぞれ測定し、照射したことによって生じる器差の差を求める。

表 8 放射無線電磁界イミュニティの試験条件

項目	条件
周波数範囲	80 MHz から 6,000 MHz で掃引
周波数ステップ	前の周波数の 1%
滞留時間	1 周波数当たり 3 秒以上
電界強度	10 V/m
振幅変調	1 kHz の正弦波で 80%
偏波面	水平, 垂直
照射面	正面, 左側面, 背面, 右側面

図 7 に水平偏波時の放射無線電磁界イミュニティの結果を示す。器差の差は最大で -0.45% と判定基準を十分に満足しており良好な結果である。また、図 8 に垂直偏波時の放射無線電磁界イミュニティの結果を示す。器差の差は最大で +0.14% と判定基準を十分に満足しており良好な結果である。

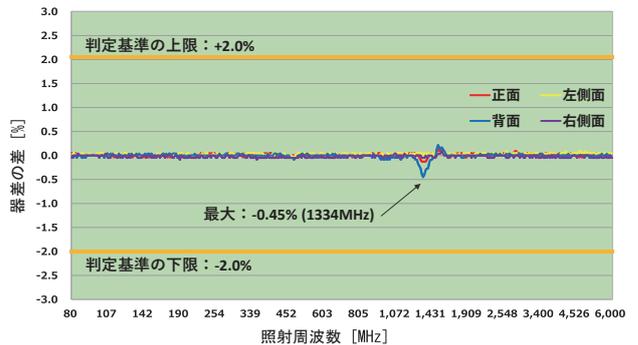


図 7 放射無線電磁界イミュニティの試験結果 (水平偏波)

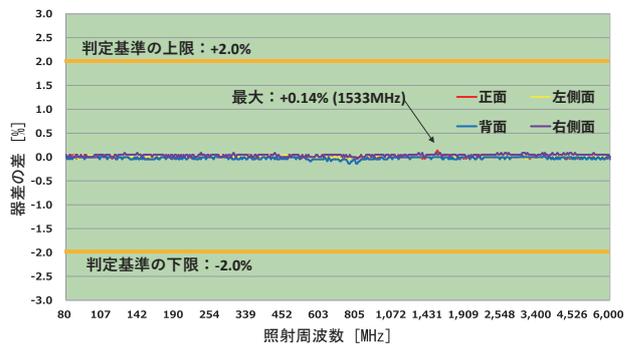


図 8 放射無線電磁界イミュニティの試験結果 (垂直偏波)

4.4 試験結果 (JIS C 1216-2)

(1) 負荷電流導体及び端子の温度上昇

本試験は、温度上昇値の最も高いと想定されるシャント抵抗部で測定した。定格電圧の印加と同時に、規格に定められている通り、定格電流の 1.1 倍である 137.5 A の負荷電流を印加する。そして、2 時間後のシャント抵

抗部の温度上昇値を測定する。温度の測定は、シャント抵抗部に熱電対をはんだ付けして実施した。表9にシャント抵抗部の温度上昇の結果を示す。温度上昇値は30.5°Cであった。これは、判定基準の65°Cを超えておらず良好な結果である。

表9 シャント抵抗の温度上昇

開始直後温度 [°C]	2時間後温度 [°C]	温度上昇値 [°C]	判定基準 [°C]
23.1	53.6	30.5	65

(2) 衝撃性雑音

試験は、定格電圧及び20Aの負荷電流を印加して実施した。表10に規定する条件で衝撃性雑音を電圧回路とベースとの間及び電流回路とベースとの間に印加して器差を測定し、衝撃性雑音を印加したことによって生じる器差の差をそれぞれ求める。

表11に衝撃性雑音の試験結果を示す。器差の差は最大で+0.05%と判定基準を十分に満足しており良好な結果である。

表10 衝撃性雑音の試験条件

項目	条件
パルスの高さ	1.5 kV
パルス幅	200 ns 及び 500 ns
パルスの立ち上がり時間	1 ns
パルスの繰り返し周波数	商用周波数と同一
パルスの極性	正及び負
パルスの位相	0°~360°

表11 衝撃性雑音の試験結果

試験電圧 [V]	負荷電流 [A]	印加箇所	パルス幅 [ns]	極性	器差の差 [%]	判定基準 [%]
400	20	電圧回路とベース間	200	+	0.03	2.0
				-	0.00	2.0
			500	+	0.02	2.0
				-	0.02	2.0
		電流回路とベース間	200	+	0.05	2.0
				-	0.01	2.0
500	+	0.05	2.0			
	-	0.03	2.0			

5 おわりに

今後も拡大が想定される再生可能エネルギーの導入と共に直流電力量による従量課金への要請を想定し、直流電力量計の試作評価を行った。これにより、直流計測技術の知見を深めることができた。

世の中では直流給電システム、EV充電インフラの高

電圧・大電流化が進んでおり、さらに標準化も進んでいくと考えられる。こうした社会動向を見極め、事業化に向けた製品開発を念頭に取組みを推進していく。

■参考文献

- (1) 経済産業省資源エネルギー庁：令和4年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書2023）
- (2) NEDO：超分散エネルギーシステム分野（直流技術）の技術戦略策定に向けて
- (3) IEC 62053-41：2021, Electricity metering equipment-Particular requirements-Part 41: Static meters for DCenergy (classes 0, 5 and 1)
- (4) OIML G 22：2022, Electric Vehicle Supply Equipment(EVSE)-Metrological and technical requirements-Metrological controls and performance tests
- (5) JIS C 1216-2：2017, 電力量計（変成器付計器）—第2部：取引又は証明用
- (6) 経済産業省資源エネルギー庁：特定計量制度に基づく電気の計量について

■語句説明

- 注1) ネガワット取引：需要家が節電して余剰となった電力で取引すること。
- 注2) 計器定数：1kWh当たりの計量パルスのパルス数を表す値。
- 注3) 計量パルス：計器で計量する電力量に比例するパルスで、計器の試験に使用するもの。
- 注4) 封印：ベースとカバーの開封を防ぐため、封印ねじ及び封印キャップで物理的に保護するもの。
- 注5) PGA「Programmable Gain Amplifier」：SPI通信等でオペアンプのゲインを1~数十倍まで可変設定できるもの。
- 注6) AFE「Analog Front End」：センサの信号検出とマイコン等のデジタル信号処理デバイスを結ぶアナログ回路。
- 注7) HPF「High Pass Filter」：特定の周波数以下の信号を減衰するフィルタ。AC信号のオフセット除去に有効。
- 注8) 器差：計量値から標準器が示す真実の値を減じた値のその真実の値に対する割合。
- 注9) 標準パワーメーター：電圧と電流を入力して計算で電力を求める。本評価では、この電力値を真値として使用した。

黒木 雄太

東光東芝メーターシステムズ株式会社
事業企画部 事業戦略グループ 所属

千田 智行

東光東芝メーターシステムズ株式会社
開発部 スマートメーター開発グループ 所属

長谷川 敏夫

東光東芝メーターシステムズ株式会社
開発部 スマートメーター開発グループ 所属

迫山 光弘

東光東芝メーターシステムズ株式会社
開発部 スマートメーター開発グループ 所属

エネルギー計測データ活用による 高付加価値サービス提供に向けた パブリッククラウドによる開発環境の構築

■ 吉田 耕作
Kosaku Yoshida

■ 菅原 梨沙
Risa Sugawara

東光高岳ではエネルギー計測データを収集するサービスを提供している。近年、ビッグデータの活用により、より価値のあるサービスを提供するため、機械学習やデータの検索・分析・監視や可視化まで、各種の最新機能がすぐに利用できる特徴を持つパブリッククラウドの需要が増えている。東光高岳でもより価値の高いサービスを提供するため、パブリッククラウドのベースとなる開発環境を構築したので紹介する。

1 はじめに

東光高岳では、電力量メータの自動検針システム等、データ収集や他社クラウドとデータ連携をするシステムを開発してきた。システムは、これまでオンプレミスサーバ^{注1)}（以下、オンプレサーバ）やプライベートクラウド^{注2)}で構築してきた。

近年、ビッグデータの活用により、より価値のあるサービスを提供するため、機械学習やデータの検索・分析・監視や可視化まで、各種の最新機能がすぐに利用できる特徴を持つパブリッククラウド^{注3)}の需要が増えている。

そこで、東光高岳が、データを収集するシステムを活用して、より価値の高いサービスを展開していく第一歩として、今回スマートメータ用無線通信ユニットにてデータ収集する検針サービスにパブリッククラウドを適用したため紹介する。

2 検針サーバ

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ーシステムズ（株）製スマートメータ（以下、SmaMe II）にて計測した電力量を自動検針するシステムである。その製品群で SmaMe II に接続できる無線通信ユニットを開発した⁽¹⁾。

この無線通信ユニットは IoT 装置として SmaMe II のデータを直接クラウドに送信できる機能を有する。これを利用して、個人宅の太陽光発電量の計測や、計測点の少ないアパート、計測点の離れた複数点の電力量を計測するお客さまを対象に提供している。システム構成を図 1 に示す。

無線通信ユニットは、シリアル通信により SmaMe II から電力量データを取得する。無線通信ユニットから送信されたデータを受ける検針サーバは、以下の機能を有する。

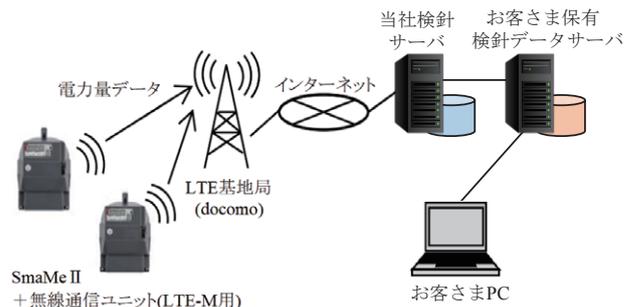


図 1 SmaMe II 用無線通信ユニット用検針サーバのシステム構成

(1) データ収集機能

無線通信ユニット最大 1 万台からのデータを取得して 30 分毎の電力量データを集計した CSV ファイルを作成し、45 日分保持する。

(2) データ送信機能

CSV ファイルは、VPN 接続されたお客さま保有検針データサーバ（以下、お客さまサーバ）により、FTP 通信で取得される。取得されたデータはお客さまサーバ側で電力量計測ビジネスに活用される。

このように、当社検針サーバは、電力量データを自動的に集計するサービスを提供する製品である。既存の検針サーバはプライベートクラウドで構築されており、新しいシステムとしてパブリッククラウドへの置き換え開発を今回行った。

3 パブリッククラウドの採用

クラウドシステムの設計には高可用性が求められる。「可用性」(availability)とは利用者から見て機能が利用可能な状態を維持し続ける能力を表す。「高可用性」とは可用性が高いことを指すわけではなく、構成要素の冗長化や複製などの措置を施し、一部が停止しても全体が停止しないシステムを指す。高可用性の実現には、機器やシステムの冗長化・多重化（二重化）、データ複製や自動切り替えなどが必要で、同じシステムを二系統用意するホットスタンバイ・コールドスタンバイ構成^{注4)}

による部品のホットスワップ化^{注5)}、データベースのレプリケーション^{注6)}などを組み合わせて使用する。可用性の指標としてはシステムの稼働率がよく用いられる。また、パブリッククラウドでは、システムやデータが全てパブリック環境に接続されるため、セキュリティ対策が必須となる。

3.1 高可用性対応におけるパブリッククラウドの利点

パブリッククラウドにはマイクロサービスという個々の独立した機能（ストレージやデータベースなど）が提供されており、機能だけでなくデプロイ^{注7)}やスケールの拡大・縮小、障害対応まで事前に必要な機能が稼働率99.9%を超える高可用性な状態で用意されており、開発期間も短縮することができる。

パブリッククラウドのコストについては基本的に2種類のコストが発生し、インフラストラクチャなどのクラウド運用のために24時間稼働するシステムのコストと、データの読み書き・保存・通信にかかるコストがある。スモールスタートの場合、後者が少なく済むが、プライベートクラウドの場合はデータの読み書き保存の量に応じてコストが増減せず、接続するIoT機器が1台でも1万台でもコストが大きく変わらない場合がある。

これより、プライベートクラウドよりパブリッククラウドの方がコストの面でスモールスタートに向いていること、高いサービスの稼働率が保証されていることなどから判断し、開発をパブリッククラウドで実施することとした。本開発のパブリッククラウドには、多様な機能が用意され、拡張性やセキュリティが高いAWS (Amazon Web Service) を採用した。

3.2 パブリッククラウドのセキュリティ対策

AWSのセキュリティはセキュリティのベストプラクティスが用意されており、それらを利用することによって、各種セキュリティ対応が可能となる。各サービスの障害やセキュリティの監視から、ログ・チェック機能まで用意されている。プライベートクラウドのセキュリティは入口・出口のみ押さえておけばよいが、パブリッククラウドはどのサービスでもパブリック空間に属するため、ストレージの暗号化やアクセス権限設定は必須となる。また開発者のクラウドへのアクセスもセキュリティ対応が必要である。多要素認証を行い、かつ各開発者の作業に応じたアクセス権も制限する必要がある。セキュリティ監視機能を用いたチェックと組織管理によるアクセス制限を用いた。これらによりセキュリティの高い開発環境を構築した。

セキュリティからシステムまで全てCDK (Cloud Development Kit)^{注8)}を用いてコード化することによ

り、検証環境、本番環境の構築をすぐにできるようになった。また、このベストプラクティスを適用した開発環境は本件のみならず、全てのクラウド開発に適用できるため、これをベースに今後の開発を行える。

4 クラウド上のシステムの開発について

パブリッククラウド開発環境をベースにマイクロサービスを用いサーバレスなシステムとして開発を行った。システムを図2に示す。

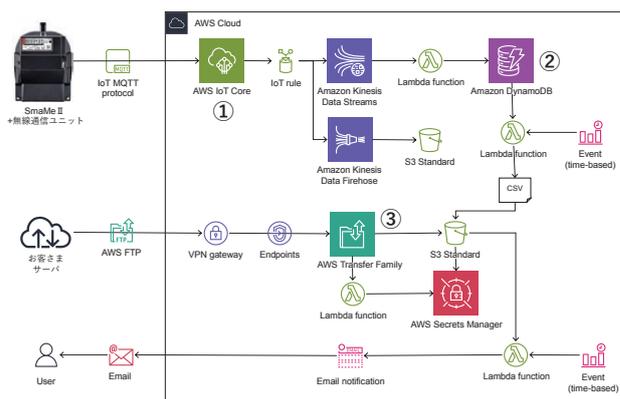


図2 AWSクラウド上でのシステム構成

システムの基本的な機能は変わらないが、これまでのプライベートクラウドシステムから、サービス監視機能などの新機能を追加したパブリッククラウドでのシステムに再構築することができた。

無線通信ユニットからMQTTsで送信されたデータはIoT Core (1)で受信され、一旦Dynamo DB (2)に保存・集計される。Dynamo DBのデータからお客さまサーバ用のCSVファイルを定期的に作成し、Transfer Family (3)を用いてお客さまサーバとFTP接続され、検針データであるCSVファイルを提供している。可用性が99.9%以上のマイクロサービスを用いてシステムを構築した。

また、システムの監視機能として、AWSが提供するサービスの監視機能を持つCloud Watchとセキュリティの監視機能を持つSecurity Hubを用い、システムのログや異常監視、セキュリティ違反の監視を実現した。各違反はメールとSlack^{注9)}に通知されるように設計した。また、システムだけでなく個々のサービスの異常監視（電力量の欠測や異常値データ）も行い、1日1度監視要員にメール通知する機能を追加した。

5 おわりに

本開発により、パブリッククラウドでの開発方針の定義と開発環境の構築を行い、この開発環境上に高可用

性で監視機能を持った SmaMe II 用無線ユニット用検針サーバの開発ができた。

より価値のあるサービスをお客さまに提供していくため、本システムは、計量データの管理に限らず、収集したデータから接続機器の管理やメンテナンス、異常を事前に検知する予兆診断等、提供するサービスの幅を広げていく予定である。

また、今回の知見を活かして電気自動車の充電管理システム等にもパブリッククラウドを適用済みである。今後、他のシステムに関してもパブリッククラウドの適用を推進していく。

■参考文献

- (1) 赤下尚司, 今井直樹:「SmaMe II 用無線通信ユニット (LTE-M 用)」, 東光高岳技報, No.8, pp.46,47 (2021)

■語句説明

- 注 1) オンプレミスサーバ: システム運用に必要となるソフトウェア・ハードウェアを自社に保有してサービスを利用するシステム形態。
- 注 2) プライベートクラウド: 自社のために専用のクラウド環境を構築してサービスを利用するサービス形態。
- 注 3) パブリッククラウド: クラウドサービス提供者 (Amazon, Microsoft 等) が提供するクラウド環境を他ユーザーと共有して利用するサービス形態。
- 注 4) ホットスタンバイ・コールドスタンバイ構成: システムの予備機を用意して障害対策を行う手法である。

ホットスタンバイ方式は、予備機の電源を ON にした状態で稼働し、動作機器に障害が発生したときに即時に切り替えを行う。コールドスタンバイ方式は、予備機の電源を OFF 状態で待機させ、動作機器に障害が発生したときに起動する。

- 注 5) ホットスワップ化: 動作機器の電源を ON にした状態で、部品の交換や撤去作業を行える仕組みにすることである。
- 注 6) レプリケーション: データを複製し、全く同じデータを別のシステム上に作成することである。これにより、動作機器が停止しても複製したシステムに切り替えることでサービスの停止を防ぐ。
- 注 7) デプロイ: 実行ファイルをサーバ上に配置し、システムをユーザーが利用できる状態にすること。
- 注 8) CDK (Cloud Development Kit): プログラミング言語を使用して AWS 上のリソースを定義できる開発用のフレームワーク。
- 注 9) Slack: Slack Technology 社が提供するビジネス向けのチャットツール。社内でコミュニケーションを図るために用いられる。

吉田 耕作

GX ソリューション事業本部
システムソリューション開発部 開発グループ 所属

菅原 梨沙

GX ソリューション事業本部
システムソリューション開発部 開発グループ 所属

EV 充電インフラの拡充と 保守・運用の効率化に貢献する 充電ステーション管理システムの開発

■ 廣田 和之

Kazuyuki Hirota

■ 近藤 大介

Daisuke Kondo

■ 吉田 耕作

Kosaku Yoshida

1 はじめに

日本政府は2050年までにカーボンニュートラルの実現を目指すことを発表し、多くの企業や自治体が行き組みを実施している。また、温室効果ガス排出量削減に向けて電気自動車（以下、EV）の普及を推進し、2035年までに、乗用自動車の新車販売を電動車のみにすることを推進している⁽¹⁾が、EVインフラの整備が遅れており、EVの普及を妨げる要因となっている。EVインフラにおける、充電ステーション管理システム（Charging Station Management System：以下、CSMS）とEV用充電器（以下、充電器）間の通信は、世界標準規格としてOCPP（Open Charge Point Protocol）が採用されている。OCPPを採用することで、遠隔での充電器制御や監視、ファームウェアのアップデート、スマート充電、課金対応が可能となる。その結果、ユーザの利便性の向上が図られると同時に機器の監視が効率的かつ容易となる。しかし、日本においてはOCPP非対応の充電器、ネットワークが主流である。こうした状況に対し、充電器メーカーである東光高岳が率先し、業界全体でOCPP標準化を進めるべく、OCPP対応のCSMS（以下、本システム）を開発したので紹介する。

2 東光高岳グループのEV充電インフラソリューション

東光高岳は急速充電器で国内トップシェアを誇るパイオニア的存在である。メンテナンス・サポート業務においても確かな技術を背景に設置事業者より厚い信頼を得ている。急速充電器のメンテナンス業務においては、東光高岳のグループ会社である株式会社ミントウェブにて実施している。

これまで東光高岳グループは、急速充電器の販売、メンテナンス業務を中心としていた。今回、本システムを開発したことにより、急速充電器の導入から運用および保守・メンテナンスまでEV充電インフラソリューションとして提供を行う（図1）。

EV充電インフラソリューションの提供！！



図1 EV充電インフラソリューション

3 システム概要と主な機能

3.1 システム概要

本システムは、本誌別稿の技術紹介にある「エネルギー計測データ活用による高付加価値サービス提供に向けたパブリッククラウドによる開発環境の構築」で記載したパブリッククラウド用の開発環境をベースに開発を行った。これにより、クラウドのシステム監視、セキュリティ監視等が最初から実装された環境でシステム開発を進めることができた。

本システムでは、接続するすべての急速充電器の利用状況・異常発生状況について、一覧画面により、効率的な運用と管理、障害時の状況把握が可能である。

本システムの主要な構成と役割を図2に示す。

(1) Web サービス

急速充電器の管理者・保守担当が、WebサーバにWebブラウザを介して接続し、情報を閲覧および操作することが可能である。

(2) AP サービス（アプリケーションサービス）

急速充電器とOCPP1.6にて通信し、設定変更や充電状態、異常有無の通知を行う。

(3) DB サービス（データベースサービス）

本システムとEV用充電器間との通信内容をすべて保存する。

3.2 機能

Webサービスにアクセスすると、Web管理画面が表示される（図3）。管理者・保守担当は、この画面を利用

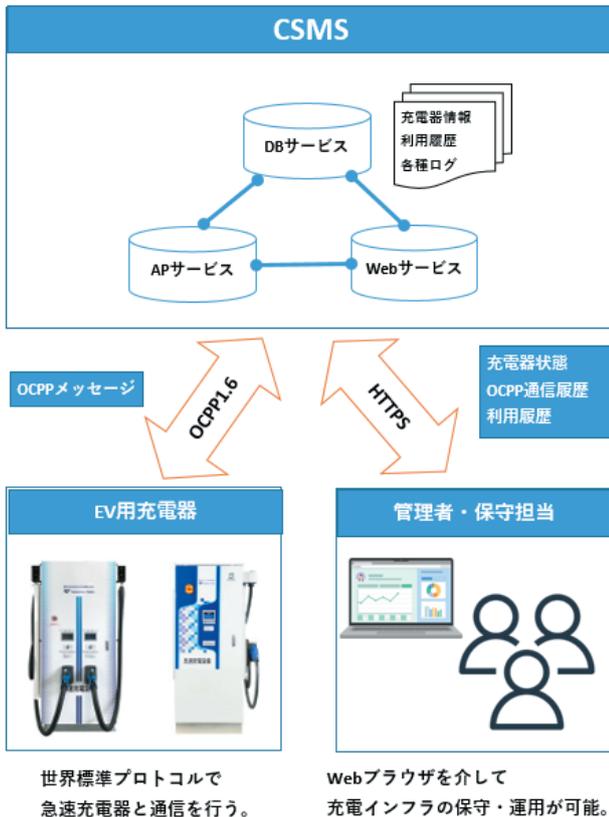


図2 システム構成

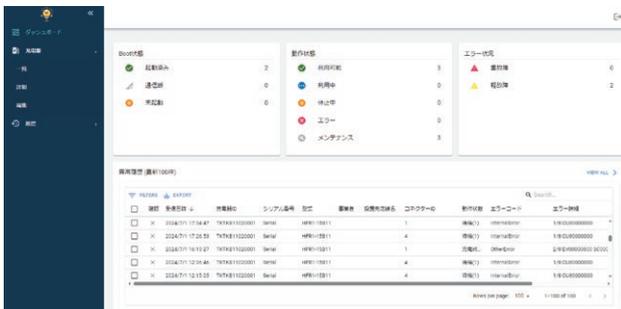


図3 Web管理画面(充電器管理)

して運用および保守を行う。以下に主な機能を紹介する。

(1) 充電器管理

急速充電器の利用状況や故障状態を可視化する。各充電器の稼働状態や利用状況を一目で確認できるため、トラブルシューティングやサポートに活用する。

(2) 故障通知

急速充電器が故障した際、管理者・保守担当へメールおよび Slack^{注1)} で自動通知を行う。これにより、故障発生の際の即時把握ができ、迅速な障害対応が可能となる。

(3) 遠隔メンテナンス

本システムに登録されている急速充電器の設定変更、ファームウェアのアップデート機能を実装した。セキュリティ対策を施すことにより、新たな脅威が発見された場合でも、最新のファームウェアを迅速に適用可能である。常に最新の状態に保つことで、安全性と機能性を維持し、信頼性の高いサービスを提供できる。

4 おわりに

今回、世界標準の OCPP1.6 に対応した CSMS をクラウド上に構築した。これにより、スマートグリッド社会の実現を支える先進的な EV 充電インフラソリューションを提供し、温室効果ガスの削減とエネルギー利用の効率化の双方の観点から持続可能な社会の実現に寄与できると考えている。将来的には、現在主流の OCPP1.6 だけでなく、さらなる機能アップが図られている OCPP2.0 にも対応していく所存である。

また、世の中のニーズに合わせて、充電電力量に応じた従量制課金への対応や、デマンド監視装置との連携による電力需要に応じた充電出力制御などを CSMS に実装していきたい。

■参考文献

- (1) 菅義偉：第二百四回国会における菅内閣総理大臣施政方針演説 (2021)

■語句説明

注1) Slack：チャンネルでプロジェクトやトピックを管理し、メッセージング、ファイル共有、ビデオ会議、アプリ統合が可能なチームコミュニケーションツールである。これにより、効率的なコミュニケーションとプロジェクト管理が可能となる。

廣田 和之

GX ソリューション事業本部
システムソリューション開発部 開発グループ 所属

近藤 大介

GX ソリューション事業本部
システムソリューション開発部 開発グループ 所属

吉田 耕作

GX ソリューション事業本部
システムソリューション開発部 開発グループ 所属

多様化する充電インフラの利用シーンに対応する出力容量の異なる EV 用充電器を設置した 蓮田充電ステーション

■ 鈴木 健司

Takeshi Suzuki

■ 古家 成正

Shigemasa Furuie

■ 山本 脩斗

Shuto Yamamoto

■ 藤本 千紘

Chihiro Fujimoto

1 はじめに

カーボンニュートラルの実現に向け、日本政府は「2035年までに、乗用車新車販売で電動車（燃料電池自動車、ハイブリット含む）100%」という目標⁽¹⁾を掲げた。国内でも電気自動車（以下、EV）の導入が進んでいる。EVの普及に伴って、充電インフラの整備はその重要性を増している。充電インフラ整備促進のため、経済産業省より「充電インフラ整備促進に向けた指針」⁽²⁾が発表された。指針の中で2030年までに、急速充電器を含む30万口の電動車用充電インフラ整備という目標が示されている。不足している充電インフラ拡充のため、各所で充電インフラの整備が実施されている。

そこで、東光高岳では充電インフラのさらなる普及へ貢献することを目的として、現在EVユーザが使うことができる普通充電から急速充電までの、各種充電器を設置した充電ステーションを東光高岳蓮田事業所（以下、蓮田事業所）内に構築することで、多様化する充電インフラの利用シーンでの使い勝手などを検証する試みを開始した。本稿では、その取り組みについて紹介する。

2 概要

充電インフラの利用シーンは表1に示す「基礎充電」「経路充電」「目的地充電」の3つに分けられる。それぞれの特性に合わせて普通充電器、出力容量の異なる急速充電器が設置されることが望まれる。

従来、急速充電器においては1箇所の施設に1台もしくは2台程度の設置が多かった。しかし、EVの普及拡大に伴って施設内でEVの充電待ちが発生するという

課題が見えてきた。そのため、1台で複数台のEVを充電できる急速充電器の設置や、急速充電器の台数を増やすなどの対策が進んでいる。また、施設によっては異なる目的にも対応できるなどの理由から、普通充電器と急速充電器を併設するところも増えつつある。

蓮田事業所では既にフィールド検証も兼ねて50kW出力モデルと120kW出力モデルの急速充電器を設置している。120kW出力モデルの急速充電器はEVを2台同時に充電することが可能なマルチ出力に対応したモデルとなっており、一般の方々も利用できるようにしている。蓮田事業所で一般開放している急速充電器は、出力容量が120kWと大きく、経路充電において普及している機種であり、充電ステーションにおける利用状況や故障の有無などのデータ収集を実施している。充電ステーションで取得している検証データの例を図1に示す。上段のグラフは利用されている時間帯、下段のグラフは1充電当たりの利用時間の傾向を示している。

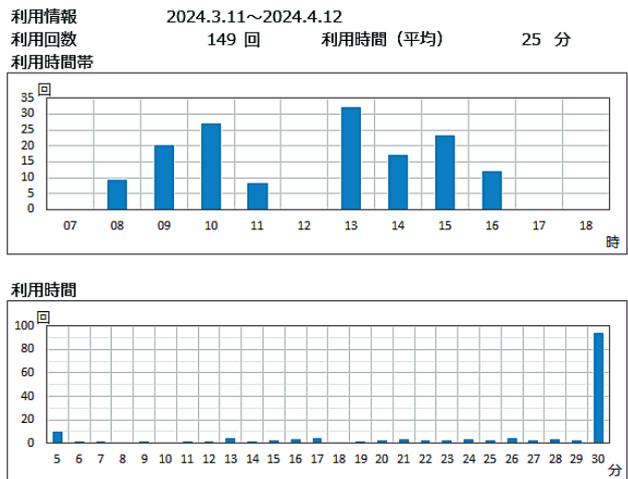


図1 フィールド検証取得データ例

表1 充電インフラの利用シーン

基礎充電	車を使用しない夜間などに充電 充電時間：8～12時間 場所：事業所駐車場、住宅 充電器：普通充電器、充電コンセント
経路充電	移動途中での充電 充電時間：30分程度 場所：高速道路SA/PA、コンビニ 充電器：急速充電器（高出力）
目的地充電	一時的な滞在先での充電 充電時間：1～12時間 場所：商業施設、宿泊・レジャー施設 充電器：急速充電器、普通充電器

充電ステーションの構成機器を表2に示す。蓮田事業所には2020年に50kWタイプの急速充電器を設置し、続いて2022年に120kWタイプを設置して社用車の充電に用いていたが、充電ステーション化するために今回新たに15kW出力の中容量急速充電器4台と普通充電器^{注1)}2台、普通充電コンセント^{注2)}2基を設置した(表2 橙色部)。これらは出力容量が小さく、基礎充電および目的地充電に適している。表1に示した各利用シーンで使用される充電器を網羅し検証が可能な構成としている。

表 2 充電ステーション構成

種別	充電出力	台数	備考
急速充電器	50 kW	1	
急速充電器 (マルチ出力)	120 kW (合計) 1 口最大 90 kW	1	EV2 台 同時充電
中容量急速充電器	15 kW	4	
普通充電器	6 kW	2	社外品
普通充電コンセント	3 kW	2	社外品

図 2 に充電ステーションの各充電器の配置を示す。全ての充電器が蓮田事業所内に設置されている。図 3 に示す入口付近と来客玄関横の急速充電器 (120 kW, 50 kW モデル) は経路充電の検証を目的として設置した。図 4 に示す社有車駐車スペースの中容量急速充電器, 普通充電器, 普通充電コンセントについては基礎充電および目的地充電の検証用として新設した。中容量急速充電器については自立設置 (図 5) と, 壁掛け設置 (図 6) を併設し施工方法の違いも検証した。



図 2 充電ステーション配置



図 3 120 kW モデル急速充電器 (左) と 50 kW モデル急速充電器 (右)



図 4 新たに設置した 15 kW モデル中容量急速充電器 (手前) と普通充電器, 普通充電コンセント (奥)



図 5 15 kW モデル中容量急速充電器 自立設置の例



図 6 15 kW モデル中容量急速充電器 壁掛け設置の例

3 充電ステーション取組事項

3.1 充電サービスの提供

新設箇所のシステム構成を図 7 に示す。充電ステーションを構成する各機器を全てネットワークで接続することで充電サービス事業者様への対応は勿論, 自社開発の保守・管理システムにて 24 時間体制の監視も行う。

中容量急速充電器に関しては本体を小型化し駐車場などに複数台をまとめて設置することを想定している⁽³⁾。なぜなら, 時間貸駐車場や商業施設など一定時間 EV を駐車している間の充電では, 利用時間が長くなるため, 1 箇所に設置される充電設備の口数を確保する必要があるからである。一方で設置場所の受電容量増加による設置者負担も考慮し, 最大 4 台の充電器に対して 1 つのコントローラで充電電力の負荷制御をする方式とした。また, 普通充電器に関しては最大 60 台接続可能 (急速

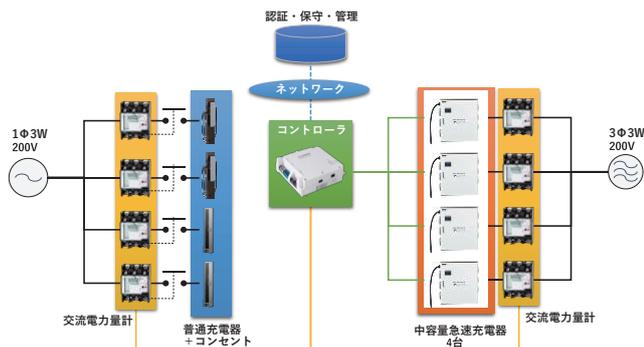


図7 新設箇所のシステム構成

充電器を併設する場合は最大30台)で従量課金にも対応した充電管理システムを開発中である⁽⁴⁾。

3.2 OCPP への対応

充電インフラのネットワーク化にはOCPP^{注3)}という通信プロトコルが世界的デファクトスタンダード⁽⁵⁾と言われており、今回開設した充電ステーションでは今後適用する予定である。各充電器にOCPPを搭載することを標準として、各社のサービスとの連携を強化していく。また、OCPPを搭載した充電設備導入の際、経済産業省から補助金事業において、補助の対象とする指針が示されており、普及促進への後押しがされている。

3.3 従量課金サービスへの対応

現在の充電インフラにおける課金サービスの主流は充電した時間に対して課金する時間課金である。充電出力の異なる充電器から構成される充電ステーションでは同じ時間の利用でも充電される電力量に差が出てしまう。そのため充電時間ではなく充電した電力量に対して課金する従量課金サービスが検討されている。充電器の交流側または直流側の充電電力を監視し、従量課金のサービスへも対応していく。

3.4 今後の展開

今回設置した充電ステーションを利用し、今後構築していく充電システムのイメージを図8に示す。

出力容量などが異なる充電器の充電電力量、稼働時間などの実績データを自社サービスサーバからネットワーク経由で収集・分析し、充電ステーションでサービスを提供していく上での課題抽出を実施していく。

さらに、自社による充電サービス事業も検討を始めた。専用のスマートフォンアプリでQRコードを読み取りユーザ認証をする仕組みを採用し、課金方式は3.3に示した従量課金に対応する。社外での実証試験として2024年度中に10箇所程度の設置を予定している。充電器メーカー直営の利点を生かし、各充電器の特性に合わせたシステム制御・運用方法を検証していく。

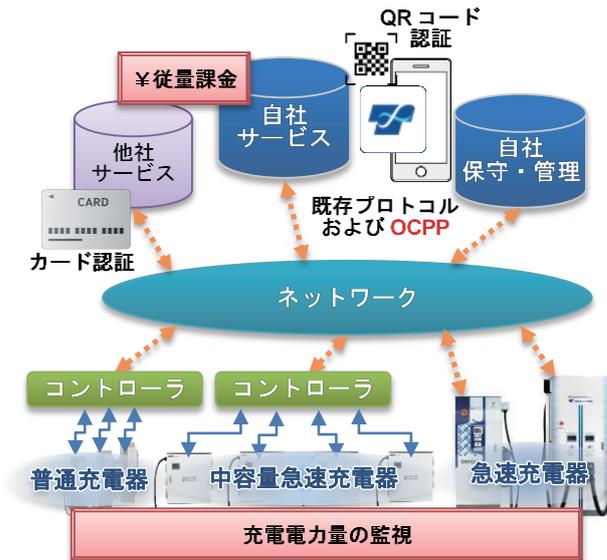


図8 充電システムイメージ

保守・管理に関しても自社のシステムに各充電器を接続することで、より詳細な情報を収集することができるようになる。図9に自社システムによる管理情報のイメージを示す。システムに接続されている充電器の型式や動作状態、エラーの発生有無などを把握することができる。また、充電器の内部設定変更など遠隔制御対応できる内容も拡充していく。

充電ステーションにおいて充電器の故障が発生すると設置者設備の稼働率が低下し、利用者にも迷惑がかかる。自社システムの情報により、充電器の故障や障害発生を予測し、最適なメンテナンスサービスを提供するとともに、迅速な復旧対応を実現し、充電ステーションの稼働率向上に貢献していく。

また、設備管理上で必要な稼働実績、電気使用量などの情報については、ネットワークを介して設置者や利用者へ提供することも検討している。

充電ステーションの品質を高め、設置者と利用者双方の満足度を向上するため今後も確認・検証を進めていく。

動作状態		エラー情報	
● 利用可能	9	▲ 重故障	0
● 利用中	6	▲ 軽故障	1
● 休止中	0		
● エラー	0		
● メンテナンス	2		

シリアル番号	型式	事業者	設置先	コネクタ-ID	エラーコード
24H0000001	HFR1-50B9-A8	東光高岳	蓮田	1	OtherError
24H0000002	HFR1-120B10	東光高岳	蓮田	2	NoError
24H0000002	HFR1-120B10	東光高岳	蓮田	1	NoError

図9 自社システム管理情報イメージ

4 おわりに

東光高岳はこれからも急速充電器を中心とした充電システムを提供することで、政府が掲げる目標達成に貢献できるよう充電インフラの整備促進に努めていく。

また、EV 急速充電器国内 No.1 の累計販売台数を誇るメーカーとして培ってきた知見を活かし、充電サービス事業者や EV 充電器を利用するユーザ達に満足していただける充電サービスを提供していく。

■参考文献

- (1) 「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」経済産業省 (2021)
- (2) 「充電インフラ整備促進に向けた指針」経済産業省 (2023)
- (3) 山本脩斗, 鈴木剛志, 鈴木健司:「充電インフラの普及拡大に貢献する EV 利用シーンの多様化に対応した 15 kW 中容量急速充電器」東光高岳技報, No.10, pp.30-31 (2023)
- (4) 藤本千紘, 吉田耕作, 福井琢也, 小杉康高, 池田仁司:「充電量に応じて従量課金が可能な大規模駐車場対応 EV 充電管理システム WeCharge」, 東光高岳技報, No.10, pp.27-29 (2023)
- (5) 小関俊英:「充電インフラプロトコル OCPP への対応」, 東光高岳技報, No.9, pp.16-18 (2022)

■語句説明

- 注 1) 普通充電器: 設備に充電ケーブルとコネクタが付いており, それを車両にさし込んで充電する。
- 注 2) 普通充電コンセント: 設備に充電ケーブルとコネクタが付いておらず車両に付属あるいはオプションで購入する車載充電ケーブルを使って充電する。
- 注 3) OCPP: Open Charge Point Protocol の略で, 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。充電などの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。

鈴木 健司

GX ソリューション事業本部
システムソリューション開発部 開発グループ 所属

古家 成正

GX ソリューション事業本部
システムソリューション開発部 開発グループ 所属

山本 脩斗

GX ソリューション事業本部
システムソリューション開発部 開発グループ 所属

藤本 千紘

戦略技術研究所
技術開発センター ICT 技術グループ 所属

ユーザに優しい充電インフラを実現したEV用急速充電器ユニバーサルデザイン化

■ 山本 脩斗
Shuto Yamamoto

■ 鈴木 剛志
Takeshi Suzuki

1 はじめに

経済産業省は電気自動車（以下、EV）の充電インフラについて、2030年までに「公共用の急速充電器3万口を含む充電インフラを30万口設置する」との目標を掲げ、これまで急速充電器としては約9千口の整備を進めてきた。また、EV等の普及、充電インフラの整備に向けた動きが具体化している中で、更なる取組を促進するため、「充電インフラ整備促進に向けた指針」⁽¹⁾を策定した。

一方、道の駅や高速道路SA・PAに設置されているEV向け充電設備のうち、操作性の面（液晶高さ・操作ボタンなど）で車椅子利用者に対応していないものは最大72%に上るという調査結果があり、ユニバーサルデザイン^{注1)}（以下、UD）・バリアフリー化が望まれる⁽²⁾。

そのような充電インフラの課題を解決すべく、東光高岳の急速充電器のうち、UD未対応であった50kW出力モデル（型式：HFR1-50B9）と、同シリーズである30kW出力モデル（HFR1-30B9）をUD化したので紹介する。

2 ユニバーサルデザイン検討

2.1 充電インフラの方針

国土交通省および経済産業省が合同で実施したEV設備バリアフリーに関する調査⁽²⁾を受け、CHAdeMO協議会^{注2)}では、ユーザの利便性向上を具体化するために、急速充電器の操作部の高さは1,400mmを限界値と『電気自動車用急速充電器の設置・運用に関する手引書』⁽³⁾に示している。経済産業省においては、令和3年度から充電設備導入の際の補助金事業において、補助の対象として、UDの採用を推奨することを追加し、不特定多数が利用する公共用充電施設については、UDの急速充電器を整備する取組を進めている。

2.2 現行機種の課題と対策結果

UD化前後の機器操作部の高さを表1、車椅子利用者による操作検証の様子を図1に示す。UD化にあたっては、CHAdeMO協議会の手引書を参考に、操作部の高さを1,400mm以下とすることを目標とした。表1よりUDへの変更前は、非常停止ボタンの高さが目標値である1,400mmを超過していた。また急速充電器

表1 目標に対するUD化前後の操作高さ

部 位		変更前 操作高さ (mm)	変更後 操作高さ (mm)	目標 (mm)
非常停止ボタン	基礎なし	1,495	1,150	1,400以下
	基礎あり	1,695	1,350	
タッチパネル ディスプレイ	基礎なし	1,280	1,150	
	基礎あり	1,480	1,350	
ICカードリーダ ※	基礎なし	1,060	1,000	
	基礎あり	1,260	1,200	

※対応カードはFeliCa^{注3)}



図1 UD化前の機器の車椅子利用者による操作検証

設置の際は本体とは別に100~200mmの基礎（台座）を設ける必要がある。200mmの基礎を設けた場合を考慮すると、UDへの変更前はタッチパネルディスプレイの高さも目標値である1,400mmを超過してしまう。

上記課題を解決するため、表1のように操作部高さ

の変更を実施した。UD 化前後の操作高さを図 2、実機写真を図 3 に示す。最大 200 mm の基礎を設けた場合であっても、全ての操作部が 1,400 mm 以下に位置するようになり、UD 化することができた。

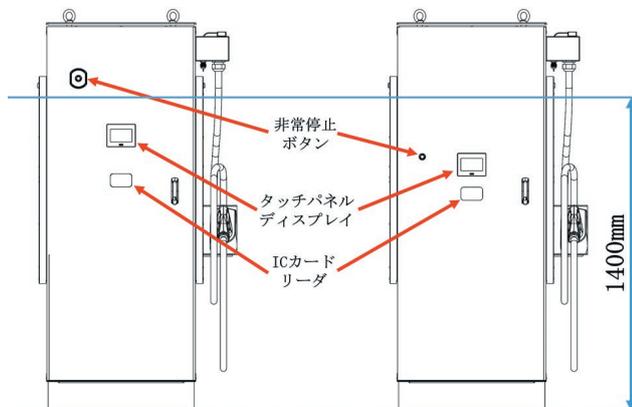


図 2 UD 化前後の操作部高さ比較 (左：変更前, 右：変更後)



図 3 UD 化前後の実機写真 (左：変更前, 右：変更後)

3 おわりに

本稿は充電インフラの課題解決に向けた急速充電器 50 kW および 30 kW モデルの UD 化について紹介した。東光高岳は今後も、日本政府や CHAdeMO 協議会等が目指す充電インフラの普及促進のため、製品ラインナップの強化に引き続き取り組んでいく。

■参考文献

- (1) 「充電インフラ整備促進に向けた指針」経済産業省 (2023)
- (2) 「EV 設備バリアフリー調査」経済産業省 (2023)
(<https://www.meti.go.jp/policy/automobile/CEV/ev-charger-research.html>)
- (3) 「電気自動車用急速充電器の設置・運用に関する手引書」CHAdeMO 協議会 (2023)

■語句説明

- 注 1) ユニバーサルデザイン：すべての人にとって使いやすく、できるだけ多くの人々が利用可能であるデザイン。一般的には年齢や性別、障がいの有無や言語の違いにかかわらず、はじめから幅広い利用者を対象に製品や機器、サービス、環境をデザインすることを指す。
- 注 2) CHAdeMO (チャデモ) 協議会：技術開発と充電インフラの普及の活動を行う団体の名称である。自動車会社、充電器メーカ、部品メーカ、エンジニアリング、充電サービス、電力会社、自治体など EV 普及を支援する関係者が参加している。CHAdeMO は、2010 年に日本が主導して規格化を実現した EV の急速充電方式であり、2014 年には IEC (国際電気標準会議) にて国際標準として承認された。「CHArge de MOve = 動く、進むためのチャージ」、「de = 電気」、「充電中にお茶でも」の 3 つの意味を含んでいる。
- 注 3) FeliCa：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ある。「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ある。

山本 脩斗

GX ソリューション事業本部
システムソリューション開発部 開発グループ 所属

鈴木 剛志

GX ソリューション事業本部
システムソリューション開発部 開発グループ 所属

安定した電力供給を支える 新形故障区間検出装置の開発

■ 早坂 秀一

Shuichi Hayasaka

■ 檜木 陽一

Yoichi Naraki

■ 梶田 聡

Satoshi Kajita

■ 清水 俊博

Toshihiro Shimizu

■ 松本 崇志

Takashi Matsumoto

1 はじめに

東京電力パワーグリッド株式会社（以下、東電 PG）における気中絶縁方式の変電所にて使用されている故障区間検出装置は、1990 年に実運用を開始し、現在 154 kV・66 kV 合わせて約 400 台が稼働中である。配電用変電所においては、母線事故時に遠方監視制御装置（以下、テレコン）が持つ自動切替機能に故障区間検出装置の判定結果を取り込み、健全区間を自動復旧させているため、配電用変電所の構内事故時の早期復旧に必要な装置である。

今回、光 CT をがい管に取り付けた場合でも超重汚損地区にも対応できるように、汚損性能が高いポリマーがい管を選定し、光 CT と組み合わせた新形光 CT 付気中断路器（以下、新形断路器）を開発した。本稿では、その断路器と従来型から大幅に小型化した検出盤にて構成される故障区間検出装置について紹介する。

2 故障区間検出装置概要

母線事故時に故障区間を判定する当装置は、光ファイバ内蔵ポリマーがい管および光電流センサを組み合わせた気中断路器・検出盤・信号伝送用光ファイバケーブルから構成される（図 1）。

同装置は母線事故発生時、光電流センサで検出した事故電流は光ファイバケーブルを介して検出盤まで伝送され、検出盤で信号処理およびリレー判定を行い、故障区間が判定される。母線事故の判別区間の一例を図 1 に示す。

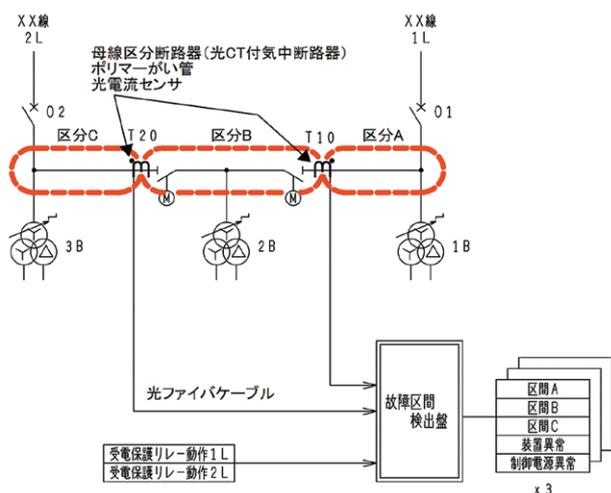


図 1 装置構成および母線事故の判別区間の一例

3 新形光 CT 付気中断路器

3.1 新形断路器の概要

従来形およびポリマーがい管を用いた新形断路器の諸元を表 1 に示す。新形断路器には光 CT とがい管を組み合わせる技術を有する RPC GmbH^{注1)} 製のポリマーがい管を採用した。このポリマーがい管を光 CT ユニットに組み込んだ THR5CT2-LGP を図 2 に示す。

表 1 新形断路器の諸元

	従来形	新形
形式	THR5CT-LGP	THR5CT2-LGP
定格電圧	72 kV	
定格電流	800, 1,200, 2,000 A	
定格短時間耐電流	20, 25, 31.5 kA (2 秒)	
汚損区分	重汚損地区 (0.12 mg/cm ² 以下)	超重汚損地区 (0.35 mg/cm ² 以下)

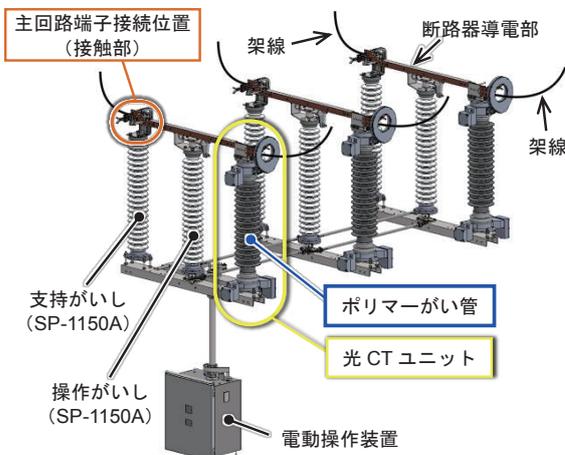


図 2 新形断路器

3.2 新形断路器のコンセプト

(1) 既設機器との互換性

新形光 CT ユニットは既設機器に合わせて、支持がいし・操作がいしが SP-1150 A となる場合の高さにし、主回路端子接続位置が既設機器と同じになるようにした。

(2) 頂部変位の抑制

地震により導電部の接触部が離脱しないよう、がいし・がい管の頂部変位の抑制が必要となる。新形光 CT ユニットでは、ポリマーがい管の胴径を大きくするなど、内部 FRP（繊維化樹脂）部の強度を上げることで、頂部変位を抑制した。

4 検出盤

4.1 検出盤概要

(1) 構造

当社で製作しているデジタル処理ユニットを使用した故障区間検出装置（以下、従来型装置）をベースとして、狭い制御室内に設置可能なように東電 PG からの指定寸法以下まで従来型装置（幅 350 × 高さ 2,460 × 奥行 450 mm）を小型化（幅 500 × 高さ 1,150 × 奥行 250 mm）した（図 5）。

今回開発した装置はキャビネット形とし、各ユニットは内部に扉式の固定板を設けて実装する構造を採用した。

検出盤の小型化にあたっては、判定ユニット・光電変換ユニットは従来型装置のものをそのまま流用し、電源ユニットは盤の寸法に合わせて小型にしたものを新規に製作している。

また、部品配置の最適化やユニットの実装方法を水平置きから縦置きにするなどの工夫により、目標の大きさの筐体に各ユニット・部品を内蔵させることができた。

(2) 扉部の LED 表示灯

検出盤は制御電源開閉器と故障表示部を内部に実装している。運用・保守を考慮した際、正面扉を開けずに運転状態を把握できる利点があることから、現地で確認が必要となる装置異常 LED（赤色）と、制御電源の投入状態を示す制御電源 LED（緑色）を正面扉に実装した。

(3) 判定機能

故障区間判定機能の中で、母線故障を検出するリレー方式および故障区間を決定する判定ロジックは既設品と同

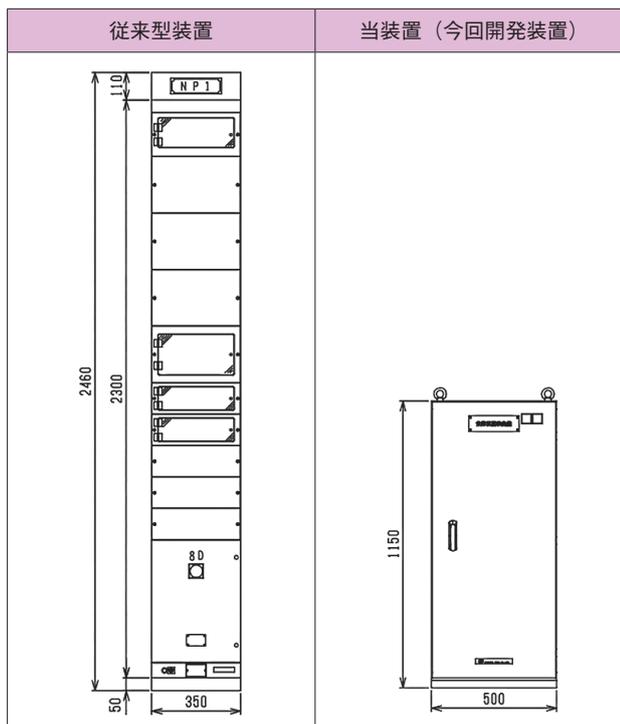


図 5 従来型装置と当装置の外観比較

様としている。故障区間を検出した際の判定結果はテレコンを経由し上位システムに通知されるようになっている。

図 5 に従来型装置と当装置（今回開発装置）の外形比較、図 6 に検出盤の外観を示す。

4.2 検出盤性能の検証試験

(1) 検証試験

検出盤の性能を確認するための検証試験を実施した。

検出盤における装置性能の準拠規格は、電力用規格 B-402、関連する JEC 規格および東電 PG の保護・制御盤規格を参照している。また、光 CT に関連した規格は公的規格にないため、従来型装置からの踏襲、または性能を考慮して決定した値を基準としている。

図 7 に振動試験風景、図 8 にイミュニティ試験風景を示す。



(a) 正面扉を閉めた状態



(b) 正面扉を開けた状態

図 6 検出盤の外観



図7 振動試験風景

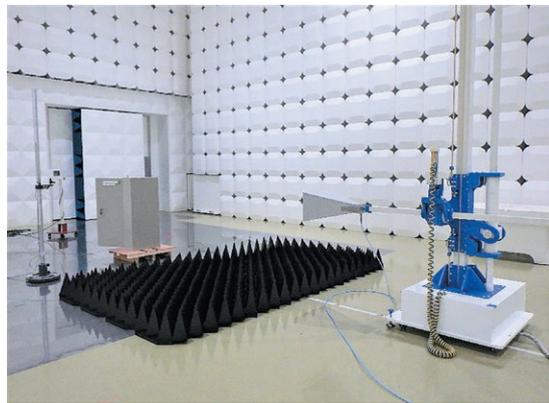


図8 イミュニティ試験風景

(2) 試験結果

一連の試験の結果は良好であり、すべての項目で判定基準を満たすことを確認した。

表7に検出盤試験項目一覧を示す。

表7 検出盤試験項目一覧

形式試験	1	構造点検	12	制御電源入力異常試験
	2	絶縁抵抗測定	13	負担測定
	3	商用周波耐電圧試験	14	故障検出特性試験
	4	雷インパルス耐電圧試験	15	A/D変換部試験
	5	温度上昇試験	16	機能試験
	6	温度性能試験	17	総合動作試験
	7	過負荷耐量試験	18	極性試験
	8	耐久性試験	19	誤差試験
	9	イミュニティ試験	20	温度試験
	10	接点容量試験	21	耐電流試験
	11	振動衝撃試験		

※項目18~21は光CTに対する試験

5 おわりに

本製品の初号機は東電PGの木有戸変電所（茨城県筑西市）にて運用を開始されており、今後電力の安定供給に寄与できることを期待している。

今回の開発により、光CTがついたポリマーがい管を用いた断路器でも従来形と遜色なく使用できる技術を確立した。その過程において、断路器をはじめ、他のがいしを使った電力機器へポリマーがい管を適用するための知見を高めることができた。この知見を活かした他製品への展開も検討していきたい。

■ 語句説明

注1) RPC GmbH: Reinhausen Power Composites GmbHの略。ドイツのレーゲンスブルクにある、高電圧用複合絶縁体のメーカー。Reinhausenグループ^(*)に属しており、FRP巻線技術を用いた電力工学、医療工学向けの製品を得意としている。

※ Reinhausenグループ: Maschinenfabrik Reinhausen GmbHを中心としたグループ。ドイツのレーゲンスブルクを拠点に、37支社および関連会社6社を持つ機器メーカーで構成される。高電圧設備を中心に、センサや通信技術など、幅広い分野の製品・技術を扱っている。

注2) JEAG: 電気技術指針 (Japan Electric Association Guide) の略。JEAG 5003-2019は「変電所等における電気設備の耐震設計指針」であり、変電所等において地震被害により電力の供給に重大な支障をきたさないようにまとめられた設計指針である。

■ 参考文献

(1) JEAG 5003-2019「変電所等における電気設備の耐震設計指針」一般社団法人日本電気協会発変電専門部会 (令和2年1月20日第4版発行)

早坂 秀一

電力プラント事業本部
第二設計部 保護制御装置設計グループ 所属

檜木 陽一

電力プラント事業本部
第二設計部 保護制御装置設計グループ 所属

梶田 聡

電力プラント事業本部
第二製造部 断路器製造グループ 所属

清水 俊博

電力プラント事業本部
第一設計部 断路器設計グループ 所属

松本 崇志

電力プラント事業本部
第一設計部 断路器設計グループ 所属

JEC 規格に準拠した海外メーカー製ステーションポストがいしの開発とそれを適用した断路器

■ 大山 友幸

Tomoyuki Ooyama

■ 松本 崇志

Takashi Matsumoto

■ 清水 俊博

Toshihiro Shimizu

■ 梶田 聡

Satoshi Kajita

■ 永田 清志

Kiyoshi Nagata

1 はじめに

東光高岳は断路器メーカーとして数多くの製品をお客さまに納入してきている。その断路器に用いるがいしは、主に国内がいしメーカーから調達していたが、大手がいしメーカーの縮小や価格高騰という環境変化が進んでいる。そのような状況においても安定して断路器をお客さまへお届けするために、日本で初めてとなる海外メーカー製 JEC-5208：2022 準拠の中実ステーションポストがいし（以下、SP がいし）を適用した気中断路器の製品化を目指している。

この取り組みは、スペイン・バレンシアにあるがいしメーカー PORCELANAS INDUSTRIALES S.A.（以下、POINSA）との共同で 2021 年 4 月から開始したものである。現在は、POINSA と東光高岳とが共に協力しながら、POINSA の工場にて、断路器ユーザーからの需要が高い種類の JEC 規格 SP がいしの開発を行い、順次試作と規格に基づく形式検査を進めている。

東光高岳は、この SP がいしを適用した気中断路器で JEC-2390：2013 / JEC-2310：2014 形式試験を実施し、2025 年夏頃を目標に、日本初となる同製品の販売開始を目指している。本稿では、POINSA 製 SP がいしの概要と、JEC 規格に基づく形式検査の実施状況について紹介する。

2 POINSA 製 SP がいし

2.1 POINSA との JEC 規格 SP がいし開発の取り組み

POINSA は主に IEC・ANSI 規格のがいし・がい管をスペイン国内外に向けて生産・販売しているが、JEC 規格の SP がいし製作は今回が初めての取り組みである。POINSA 製 JEC 規格 SP がいしの一例を図 1 に示す。



図 1 POINSA 製 JEC 規格 SP がいし：SP-1150A

磁器の色は規定のとおり、指定がないときは白もしくはライトグレー（高強度タイプ）とする。

2.2 POINSA 製 SP がいしの JEC 規格形式検査

POINSA は JEC 規格適合の各種 SP がいしの開発に当たって、JEC-5208：2022 規定の形式検査を実施している。検査項目は表 1 に示すとおりで、SP がいし 1 種類につき 3 個の供試品で検査を実施しており、これまでの開発品において製品として問題のないことを確認している。なお当社は、書類審査および現地工場での実地審査・立会検査（2024 年 3 月実施）を通じて、同社の社内規格・品質管理状況などを審査し、同社の品質水準が適正であることも確認している。SP がいし形式検査における試験方法および状況を以下に示す。

表 1 JEC-5208：2022 検査項目

検査項目	図解 No.
外 観	図 2
構 造	
表面漏れ距離	図 3
商用周波注水耐電圧	図 4
雷インパルス耐電圧	
引張破壊荷重	図 5
曲げ破壊荷重	
ねじり破壊荷重	
冷 熱	図 6
吸 湿	図 7
亜鉛めっき	図 8

(1) 外観試験

供試品磁器部のボロ・色ボツ・ハゲ・クツツキ・カケおよび小穴が規格許容限度を超えないこと、また、磁器部以外については、ひび・割れ、その他使用上有害な欠点がないことを確認する。

(2) 構造試験

供試品の構造・寸法が規定に適合していることを確認する。試験状況を図 2 に示す。

(3) 表面漏れ距離試験

SP がいしの絶縁部である磁器部の外表面に沿った最短距離を測定し、その沿面距離が規定に適合していることを確認する。測定方法は図 3 に示すように、供試品の磁器部沿面に採寸用のテープを貼り付け、同テープの

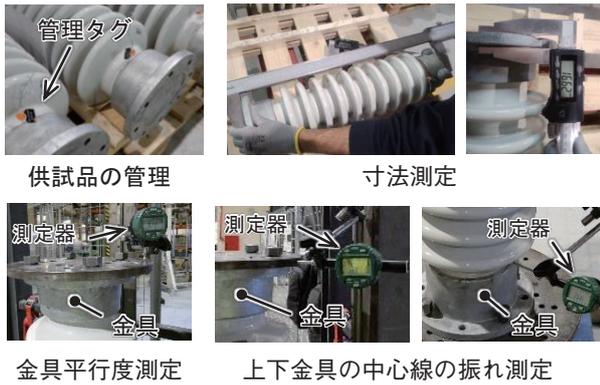


図2 構造試験



図3 表面漏れ距離試験

長さを測定する。

(4) 商用周波注水耐電圧・雷インパルス耐電圧試験

商用周波注水耐電圧試験は、規定の注水条件に従って供試品全体に注水しながら、規定の電圧を1分間印加し、フラッシュオーバー発生の有無を確認する。

雷インパルス耐電圧試験は、50%フラッシュオーバー電圧による方法で正極・負極それぞれを実施し耐電圧性能を確認する。なお、同電圧値は昇降法により決定している。試験状況を図4に示す。

(5) 破壊荷重試験

それぞれの供試器に引張・曲げ・ねじり荷重をかけ、供試品を破壊に至らせ、SPがいしの強度を確認する。曲げおよび引張破壊荷重試験の状況を図5に示す。供試器の頭頂部にかけた曲げ荷重に対して、すべての供試品において、破壊箇所およびその起点は磁器部の最下端・フランジ端面であった。このことからPOINSA製SPがいし、その磁器部は良質であることが分かる。

(6) 冷熱試験

供試品の全身を規定の方法・水温・時間で熱湯・冷水それぞれの水槽に浸す。浸漬後、供試品に損傷がないことを確認する。冷熱試験の状況を図6に示す。

(7) 吸湿試験

供試品の磁器部を破壊し採取した破片を試料とし、規定の試験液・方法によって試料を試験液中に浸す。その後試料を破碎し、その破碎面について試験液染み込みの有無を確認する。吸湿試験の状況を図7に示す。なお、試料は(5)破壊荷重試験後の供試品から採取している。

(8) 亜鉛めっき試験

供試品の金属(キャップ・フランジ)の亜鉛めっきに対して行う。試験状況を図8に示す。

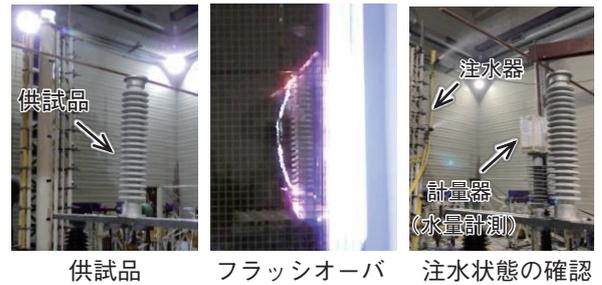


図4 商用周波注水耐電圧・雷インパルス耐電圧試験



(a) 曲げ破壊荷重試験



(b) 引張破壊荷重試験

図5 破壊荷重試験



図6 冷熱試験

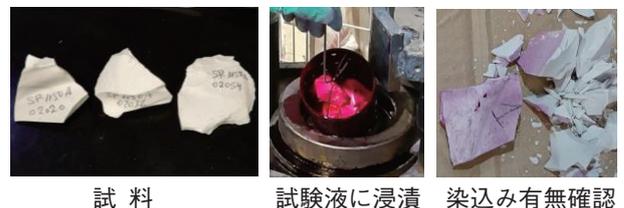


図7 吸湿試験



図8 亜鉛めっき試験

3 POINSA 製 SP がいし適用断路器

3.1 断路器の形式試験

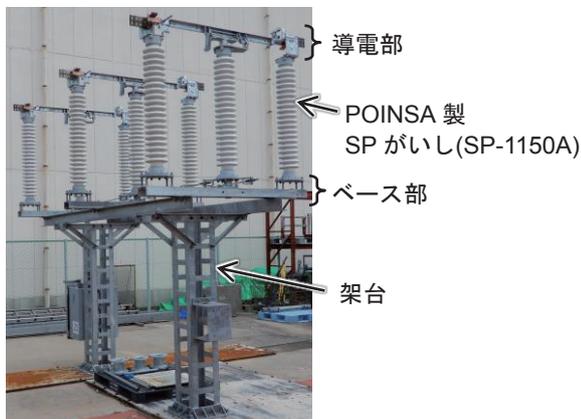
POINSA で実施の形式検査に合格した SP がいしを適用した断路器について、当社小山事業所にて JEC 規格の JEC-2390：2013 開閉装置一般要求事項，JEC-2310：2014 交流断路器および接地開閉器の形式試験を実施した。現行標準器 72/84 kV THR5 形水平二点切断断路器および THB7 形水平中心一点切断断路器ならびに新形器 72/84 kV THS5 形水平二点切断断路器を供試器として用いて試験を実施し，規格を満足することを確認した。供試器を図 9 に示す。

なお，新形器 THS5 形水平二点切断断路器の詳細は，本誌別稿の技術紹介「電力設備の保守・保全に貢献する 72/84 kV 新形水平二点切断断路器の開発」をご参照いただきたい。

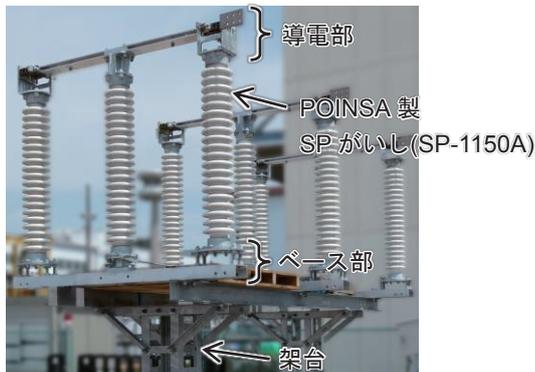
3.2 断路器の参考試験

上記 JEC 規格の参考試験のうち，上記供試器にて耐用性能検証連続開閉試験および耐震性能の試験を実施した。

耐用性能検証連続開閉試験では，電動操作で 10,000 回の連続開閉試験を実施し，断路器および SP がいしともに破損がないことを確認した。



(a) 現行標準 72/84kV THR5 形水平二点切断断路器

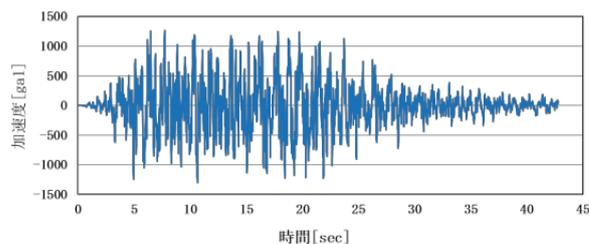


(b) 新形 72/84kV THS5 形水平二点切断断路器

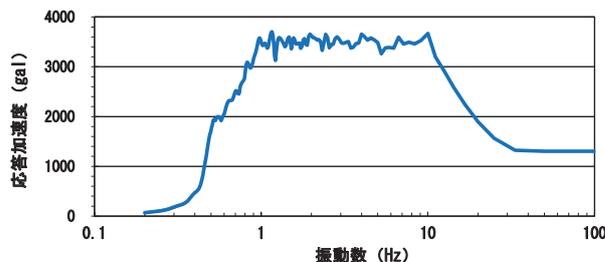
図 9 開閉試験

耐震性能の試験では耐震強度の確認を実加振試験にて行った。JEC 5003-2019^{注1)} 設計地震力波形“2 倍レベル” (ZPA：水平 10 m/s²，鉛直 7 m/s²) を供試器に入力し，断路器および SP がいしともに破損がないことを確認した。図 10⁽¹⁾ に実加振試験で用いた入力波形を示す。

なお，供試器は現行標準器 72/84 kV THR5 形水平二点切断断路器および新形器 72/84 kV THS5 形水平二点切断断路器を用いた。図 11 に耐震試験状況を示す。



(a) 模擬地震動波形



(b) 加速度応答スペクトル波形

図 10 加振テーブル入力波形
(参考文献 (1) 80 頁第 3-2-5 図より引用)

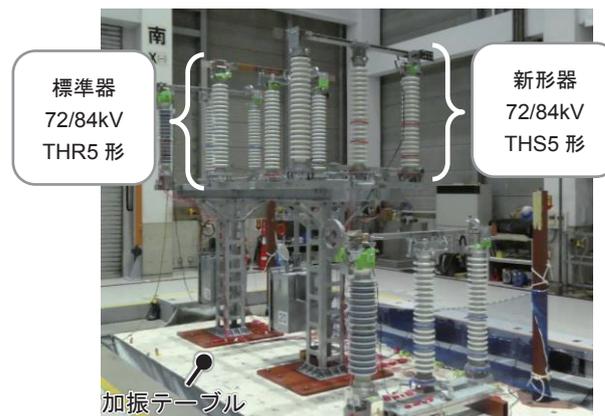


図 11 実加振試験 (試験場所：(株) 日本海洋科学)

4 今後の予定

断路器で使用される JEC 規格 SP がいしについて，多種ある中から特に需要の高いものを優先して POINSA と共同開発，製品化を進めており，2024 年度上半期時点で開発完了したものは，SP-650A・SP-850A・SP-950A・SP-1150A・SPS-1150A・SPY-850B・SPY-

950B・SPSY-1150B・SPSY-1150C の 9 種類である。今後は、お客さまニーズを踏まえた上で、合理的に開発する SP がいしの種類を選定し、製品化を推進していく。また、合わせて POINSA 製 SP がいしを適用した断路器のラインナップ拡大にも取り組んでいく。

■参考文献

- (1) JEAG 5003-2019「変電所等における電気設備の耐震設計指針」一般社団法人日本電気協会発変電専門部会（令和 2 年 1 月 20 日第 4 版発行）

■語句説明

注 1) JEAG：電気技術指針（Japan Electric Association Guide）の略。JEAG 5003-2019 は「変電所等における電気設備の耐震設計」指針であり、変電所等において地震被害により電力の供給に重大な支障をきたさないようにまとめられた設計指針である。

■ POINSA の紹介

設立：1978 年

所在地：スペイン／バレンシア州

主要製品：磁器がいし・磁器がい管、
ポリマーがいし・ポリマーがい管

主な取引先：スペインを中心とした欧州諸国企業の ABB やアルストムなどに生産品の 75% を輸出している。

ホームページ：<https://poinsa.com/>



2024 年 3 月、現地工場での実地審査・立会試験で訪問

大山 友幸

電力プラント事業本部
第一設計部 断路器設計グループ 所属

松本 崇志

電力プラント事業本部
第一設計部 断路器設計グループ 所属

清水 俊博

電力プラント事業本部
第一設計部 断路器設計グループ 所属

梶田 聡

電力プラント事業本部
第二製造部 断路器製造グループ 所属

永田 清志

電力プラント事業本部
第二製造部 所属

既設設備の保守負荷を軽減するための 日本ガイシ株式会社製 72/84 kV 気中断路器 および接地装置に適用可能な新形電動操作装置

■ 清田 裕康
Hiroyasu Seida

■ 蛭沼 伸行
Nobuyuki Hirunuma

1 はじめに

日本ガイシ株式会社（以下、NGK）が電力事業の再構築により断路器事業から撤退した。そこで、NGKと同様に多くの断路器をお客さまへ提供してきた東光高岳は既設の NGK 製断路器および接地装置（以下、既設断路器、既設接地装置）の開閉操作を行う新形電動操作装置（以下、本装置）を開発した。本装置をお客さまへ提供できることにより、既設断路器および接地装置を交換することなく、引き続きご使用いただけることになり、お客さまの設備投資と保守へのご負担を軽減させることに寄与できると考えている。本稿では、開発した本装置の適用イメージを図 1 に示し、その概要を紹介する。

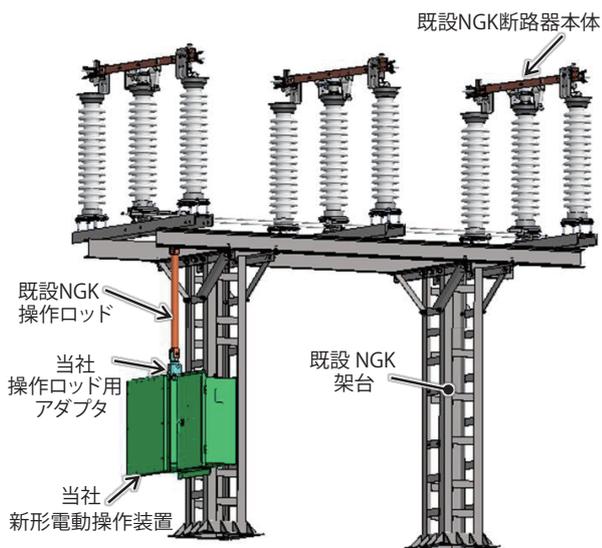


図 1 新形電動操作装置の適用イメージ

2 新形電動操作装置

2.1 製品概要

本装置を既設断路器および接地装置に適用する際の改修方を表 1 に示す。

表 1 新規部品と流用部品の方策

機器部品	改修方策
断路器および接地装置本体	既設流用
架台	既設流用
操作ロッド	既設流用
操作ロッド用アダプタ	新規適用
電動操作装置	新規適用

本装置および操作ロッド用アダプタを図 2 に示し、装置諸元を表 2 に示す。本装置は遠方指示により断路器および接地装置の開閉操作が可能となる。形式は閉鎖形および密閉形があり、密閉形は機構部と主要な電装品を密閉箱に格納しており保守の省力化を図っている。なお図は密閉形電動操作装置を示す。

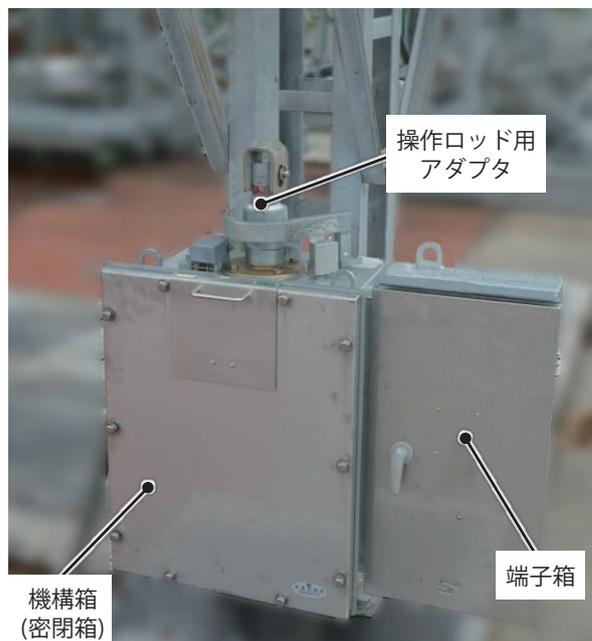


図 2 新形電動操作装置

表 2 新形電動操作装置の諸元

項目		諸元	
形式	閉鎖形操作装置	MCDA-DB5M	
	密閉形操作装置	MTDA-DB5M	
定格	操作電圧 (V)	DC 100	
	制御電圧 (V)	DC 100	
性能	公称動作時間 (s)	断路器用	1.7
		接地装置用	2.5
	公称操作出力 (N・m)		450

2.2 新形電動操作装置の特徴

(1) 現地作業の簡素化

既設操作装置を本装置に交換する際、操作ロッド用アダプタの適用により、既設操作ロッドの流用が可能となり、現地作業の簡素化ができる。

表 3 既設 NGK 断路器および接地装置と当社新形電動操作装置の組み合わせラインナップ

適用パターン	適用機器	操作装置	公称 操作出力	公称 動作時間	製品化 対応状況
No.1	・ 水平二点切断路器 72/84 kV 2,000 A 以下 ・ 水平中心一点切断路器 72/84 kV 以下	新形電動操作装置	450 N・m	1.7 s	製品化完了 (受注可能)
No.2	・ 接地装置 84 kV 以下			2.5 s	
No.3	・ 水平二点切断路器 72/84 kV 3,000 A ・ 水平二点切断路器 120 kV~204 kV	当社現行標準 電動操作装置 (MCDA/MTDA-DB1M)	900 N・m	1.7 s	
No.4	・ 接地装置 120 kV~204 kV			2.5 s	
No.5	・ 水平中心一点切断路器 168 kV~300 kV ※ 6,000 A は除く			4.0 s	2024 年度 試験完了予定
No.6	・ 接地装置 240/300 kV			6.0 s	2024 年度 試験完了予定

(2) 互換性

操作ロッド用アダプタを図 3 に示す。操作ロッド用アダプタは、既設操作ロッドすべて（丸形、角形、ユニバーサル形）に対応可能となっている。このため既設操作ロッドの種類に関係なく本装置への交換が可能となる。



図 3 操作ロッド用アダプタ

3 組み合わせラインナップ

既設断路器および接地装置と当社電動操作装置の組み合わせラインナップを表 3 に示す。No.1, 2 に関して

は、本装置で対応可能であり、No.3~6 は、当社現行標準電動操作装置も組み合わせることができる。

現在新形電動操作装置の組み合わせラインナップは製品化を完了しており、2024 年度から受注可能となっている。

4 おわりに

表 3 に示す通り現状お客さまへ提供できるのは No.1~3 の組み合わせのみとなっている。表内で予定とした機種については順次評価を進め、お客さまに提供していく。

断路器のような電力設備は一度導入されると長期間にわたって使用されるものである。そのような設備をお使いのお客さまが導入後にお困りになるような事態をさけるための一助となるべく、今後も東光高岳が培った技術を活用すると共に、更なる技術革新に挑戦していく所存である。

謝辞

関西電力送配電株式会社様、東北電力ネットワーク株式会社様の供試器提供に感謝の意を表します。

清田 裕康

電力プラント事業本部
第一設計部 断路器設計グループ 所属

蛭沼 伸行

電力プラント事業本部
第一設計部 断路器設計グループ 所属

製品の安定供給とリプレイスの容易さに配慮した 66 kV 据置形油入 VCT

■ 松田 隆真

Ryuma Matsuda

■ 寶田 憲央

Norio Takarada

■ 大塚 貴裕

Takahiro Otsuka

1 はじめに

電力取引を行うためには、使用電力量や最大電力などを正確に測定することが必要である。東京電力パワーグリッド（株）向け 66 kV 据置形計器用変圧変流器（以下、油入 VCT）は、電力の使用量などを測定する際に、計量器が測定可能な電圧・電流に変換するために必要な機器であり、特別高圧受電する工場などの変電設備にて使用されている。

油入 VCT にて使用している磁器ブッシングは材料原価の高騰や、製造リードタイムの長期化が生じている。さらに、現行磁器ブッシングは 2027 年に生産中止が決定されている。そこで、継続的な油入 VCT の安定供給を図るため、SWCC（株）製ダイレクトモールドブッシング^{注1)}を採用した油入 VCT（OG-2A）の開発を行った。

変圧器などの機器用ブッシングとして適用実績がある SWCC（株）製ダイレクトモールドブッシングは、単一導体構造（電圧測定のため電流が一方通行となる構造）であるため、単一導体となる VT 用ブッシングに適用が可能である。一方で、CT 用ブッシングは VCT 特有の構造として、**図 1** に示すように、一次端子（K）から機器へ入った電流が一次端子（L）側へ戻る往復導体構造となるため、新型 VCT の開発に合わせて往復導体構造のダイレクトモールドブッシングを新規開発した。

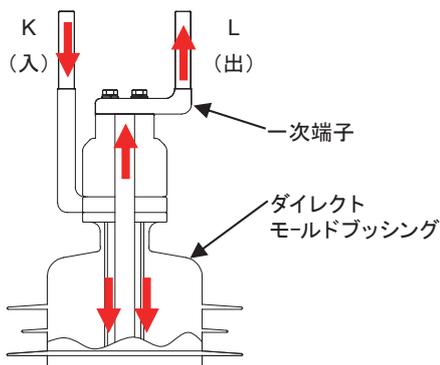


図 1 往復導体構造のイメージ

2 仕様

表 1 に新型 VCT の定格仕様、**図 2** に従来型と新型の形状（ブッシングの違い）を比較した様子、**図 3** に新形 VCT の外観写真を示す。磁器ブッシングをダイレクトモールドブッシングに変更し、その他の仕様は従来

表 1 定格仕様

ブッシング種別	耐塩害形ポリマーブッシング ^{注2)}
適用規格	JIS C 1736-1 : 2009 JIS C 1736-2 : 2009
周波数	50 Hz
確度階級	0.3 W
商用周波耐電圧	140 kV
雷インパルス耐電圧	350 kV
一次電圧	66 kV
二次電圧	110 V
一次電流	50 A, 200 A, 500 A
二次電流	5 A
負担	VT : 2 × 50 VA CT : 2 × 25 VA
過電流	20 kA 1s

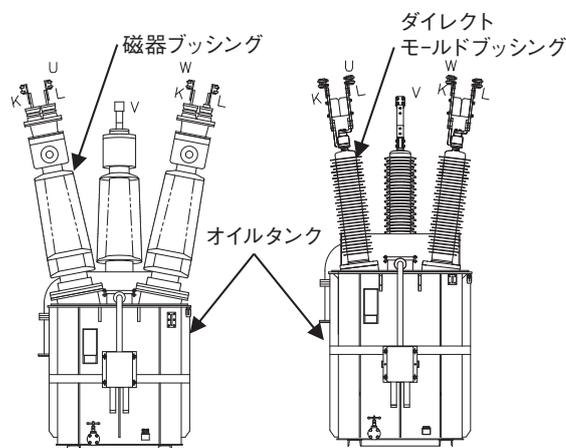


図 2 従来型 VCT（左）と新型 VCT（右）の比較

型の油入 VCT と同様とした。

3 特長

ダイレクトモールドブッシングを採用した新型 VCT の特長を下記に示す。

① 従来型 VCT との互換性

ダイレクトモールドブッシングは磁器ブッシングに比べてコンパクトである。そのため、オイルタンクの高さ延長と、一次端子の延長構造により一次端



図3 新型 VCT の外観

子の位置を同じとし、従来型 VCT との交換を容易にした。

② 軽量化

ダイレクトモールドブッシングは外被にシリコンゴムを使用したポリマーブッシングであるため、磁器ブッシングに比べて軽量である。そのため、オイルタンクが大型化したものの従来型 VCT に比べて軽量となっている。

③ 耐震性

ダイレクトモールドブッシングは軽量で一般的に

高い固有振動数を有することから、磁器ブッシングに比べて破損しにくい。また、耐震試験により、耐震上の問題もないことを確認している。

4 まとめ

今回の新型 VCT の開発により、ダイレクトモールドブッシングの油入 VCT への適用が可能となり、電力取引のために必要な油入 VCT を継続的に提供することが可能となった。ブッシングの調達安定化は、他の油入変成器でも共通の問題であるため、他機種についても現行ブッシングの代替品開発を進め、電力機器の安定供給へ貢献していく。

■ 語句説明

- 注 1) ダイレクトモールドブッシング：個体絶縁ブッシングやコンデンサーブッシングなどの表面にポリマー材料を直接モールドしたブッシング。
- 注 2) 耐塩害形ポリマーブッシング：塩害地域で使用可能な、外部絶縁がシリコンゴムなどポリマー材料で構成されたブッシング。

松田 隆真

計量事業本部
油・ガス変成器製造部 設計グループ 所属

寶田 憲央

計量事業本部
油・ガス変成器製造部 設計グループ 所属

大塚 貴裕

計量事業本部
油・ガス変成器製造部 設計グループ 所属

大幅な機能集約と省スペース化を実現した 沖縄電力向け 22 kV デジタル配電塔用 保護制御装置

■ 阿部 健 Ken Abe
 ■ 前澤 格 Itaru Maezawa
 ■ 篠崎 宏司 Koji Shinozaki

1 はじめに

沖縄電力（株）の 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）、遠方監視制御装置、遠制補助盤で構成されていた。

今回、上記複数の装置を 1 面／バンクに集約し、各機器との接続に国際標準規格 IEC 61850 に準拠したプロセスインタフェースユニット（以下、PIU）を適用することにより、配電塔のデジタル化を実現し、現場ケーブル削減、施工期間短縮、現地施工時のヒューマンエラーの抑制を図った装置を納入したためここに紹介する。図 1 に装置外観を示す。



図 1 装置外観

2 特長

図 2 にシステム構成図を示す。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。これらの機能を集約したことで、盤面数を減らし設置面積の省スペース化、コスト削減を実現した。また、送電線路盤、主幹盤などに PIU を設置し、制御ケーブルを IEC 61850 プロセスバス伝送に置き換えることで制御ケーブルを大幅に削減した。また、プロセスバスは、配電塔自体がコンパクトであることから、安価なメタル LAN での構成とした。

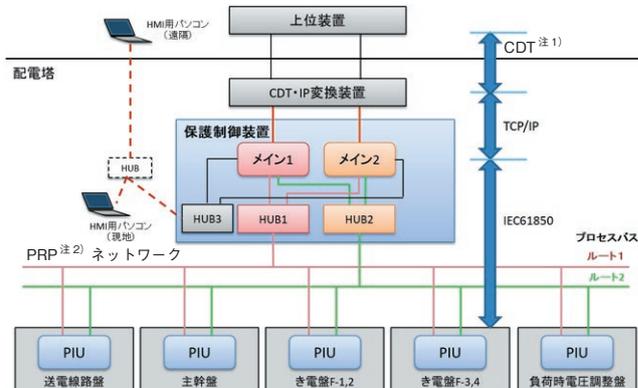


図 2 システム構成図

3 保護制御装置の機能概要

保護制御装置の主な機能と、特に HMI^{注3)} 機能の特長について述べる。

3.1 主な機能

(1) 遠方監視制御機能

監視制御サーバー（親局）からの監視制御を可能としている。

(2) HMI 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。詳細は 3.2 で紹介する。

(3) 保護機能

表 1 に本装置に搭載されている保護要素一覧を示す。

(4) 電圧調整機能

電圧が所定の値から逸脱した場合に、変圧器のタップを切換えて電圧を調整する。

(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。

表 1 保護要素一覧

保護対象	保護要素
一次母線	地絡過電圧要素 不足電圧要素
変圧器	比率差動要素 過電流要素 地絡過電流要素
二次母線	地絡過電圧要素 不足過電圧要素
配電線	過電流要素 地絡方向要素

(6) 計測機能

線路電流・母線電圧・有効電力・無効電力・電力量の計測をする。

(7) ソフトインタロック機能

機器の誤操作防止条件の判定をソフトウェアで行う。

(8) 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

HMI 機能では保護要素の動作値・動作時間などの整理、監視制御に関する設定が可能である。また、従来は各機器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 3 に HMI スケルトン画面を示す。

HMI はパソコンの汎用ブラウザを使用することで、専用ソフトをインストールすることを不要とした。

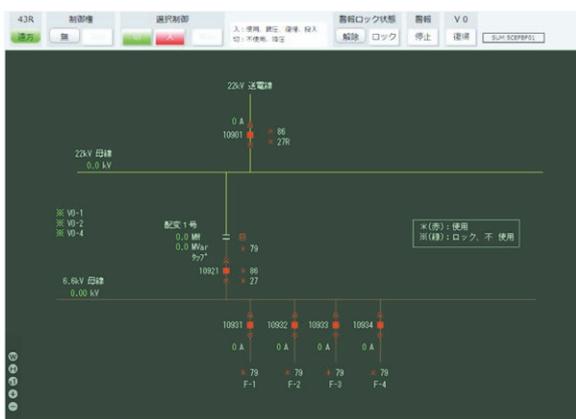


図 3 HMI スケルトン画面

4 プロセスインターフェースユニット (PIU)

PIU は配電盤に搭載され、保護制御装置からの制御指令を受信して機器の投入・遮断を実施し、取り込んだ機器の状態情報および故障情報を国際標準規格 IEC 61850 の GOOSE^{注4)} メッセージにて保護制御装置に送信する機能を有している。図 4 に PIU 外観を示す。

PIU の機能概要を表 2 に示す。配電盤機器操作のための選択制御機能や機器状態取り込みのための表示機能、保護制御盤と通信を行うための情報伝送機能を有している。さらに、セキュリティ対応を実施した。



図 4 PIU 外観

表 2 PIU 機能概要

機能	概要
情報伝送	・ IEC 61850 (GOOSE) 伝送
選択制御機能	・ 二挙動制御
表示機能	・ 接点状態取り込み
インタロック機能	・ インタロック状態出力
自動監視機能	・ 通信監視 ・ 接点二重化監視 ・ 入出力回路監視
HMI 機能	・ 状態表示 ・ 設定機能
セキュリティ	・ 脆弱性管理 ・ 不要サービス停止 ・ 未使用インタフェースの閉塞 ・ 権限管理・制限

5 おわりに

各機器との接続に国際標準規格 IEC 61850 に準拠した PIU を用いた保護制御装置を沖縄電力(株)に納入し運用を開始した。

本装置は、ハイエンド CPU を採用し汎用の LAN、HMI 機能などの ICT 技術を取り入れることで信頼性および経済性に優れたものとなった。また、国際規格 IEC 61850 を利用することで、マルチベンダー化を可能とした。さらに、ノイズ・イミュニティ試験も含め、すべて電力用規格 B-402-2016 に準拠した装置である。今後予測される変電所や配電塔等の電力設備のデジタル化に対応するため、関連する装置の開発に注力し重点的に取り組む方針である。

■ 語句説明

- 注 1) CDT : Cyclic Digital data Transmission の略称。データを周期的にサンプリングして伝送する方式
- 注 2) PRP : Parallel Redundancy Protocol の略称。複数経路でデータを送信することにより信頼性 / 耐障害性を高める通信プロトコル
- 注 3) HMI : Human Machine Interface の略。人と装置が情報をやり取りするための手段。
- 注 4) GOOSE : Generic Object Oriented Substation Event の略称、IED (Intelligent Electronic Device : 高性能電子装置の略称) 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。

阿部 健

電力プラント事業本部
第二設計部 保護制御装置設計グループ 所属

前澤 格

電力プラント事業本部
第二設計部 保護制御装置設計グループ 所属

篠崎 宏司

電力プラント事業本部
第二設計部 保護制御装置設計グループ 所属

デジタル変電所の高度化へ寄与する 送電用変電所向け監視制御装置の開発

■ 菅原 淳
Jun Sugawara

■ 篠崎 宏司
Koji Shinozaki

■ 川俣 陽輝
Haruki Kawamata

■ 平山 賢人
Kento Hirayama

1 はじめに

送電用変電所設備の運用効率化・高度化・制御ケーブル削減を目的に変電所のデジタル化が推進されている。その目的を達成するためには、デジタル変電所対応監視制御装置を活用することが有効である。そこで東光高岳は2023年に、監視制御機能を有するフィールドゲートウェイ（以下、FGW）と、変電所内機器の状態・計測情報を収集するバイコントロールユニット（以下、BCU）を開発した⁽¹⁾。今回、東京電力パワーグリッド株式会社千葉印西変電所（千葉県印西市）のデジタル化対応に合わせて、より多くの機器を監視できるよう装置の改良を行った。また、変電所内機器の状態を取り込み、制御および機器インタロックを出力する機能を有するプロセスインタフェースユニット（以下、PIU）、およびPIU盤を機器のデジタル化のため新規に開発し、当該変電所に納入したので紹介する。

2 システム全体構成

図1に今回適用したシステムの構成を示す。本システムでは、ステーションバスレベル、プロセスバスレベルの両方でマルチベンダ接続を実現している。BCUをはじめとした各IED^{注1)}にて取得した機器情報はステーションバスを通してFGWへ伝送される。情報を受けたFGWではIEC 61850-90-2（制御所-変電所間通信）に従ってプロトコル変換装置へデータの伝送を行う。

なお、FGW、BCUは全てA系/B系からなる完全2系列構成となっており、片方のユニットが停止した場合でも運用を継続することができる。

従来の装置では制御ケーブルにより変電所機器と接続していたが、国際規格IEC 61850のプロセスバスを適用した。PRP^{注2)}による2ルート構成とし、片側伝送ルートが故障した場合においても、ダウンタイムなしで監視機能を維持することが可能となっている。

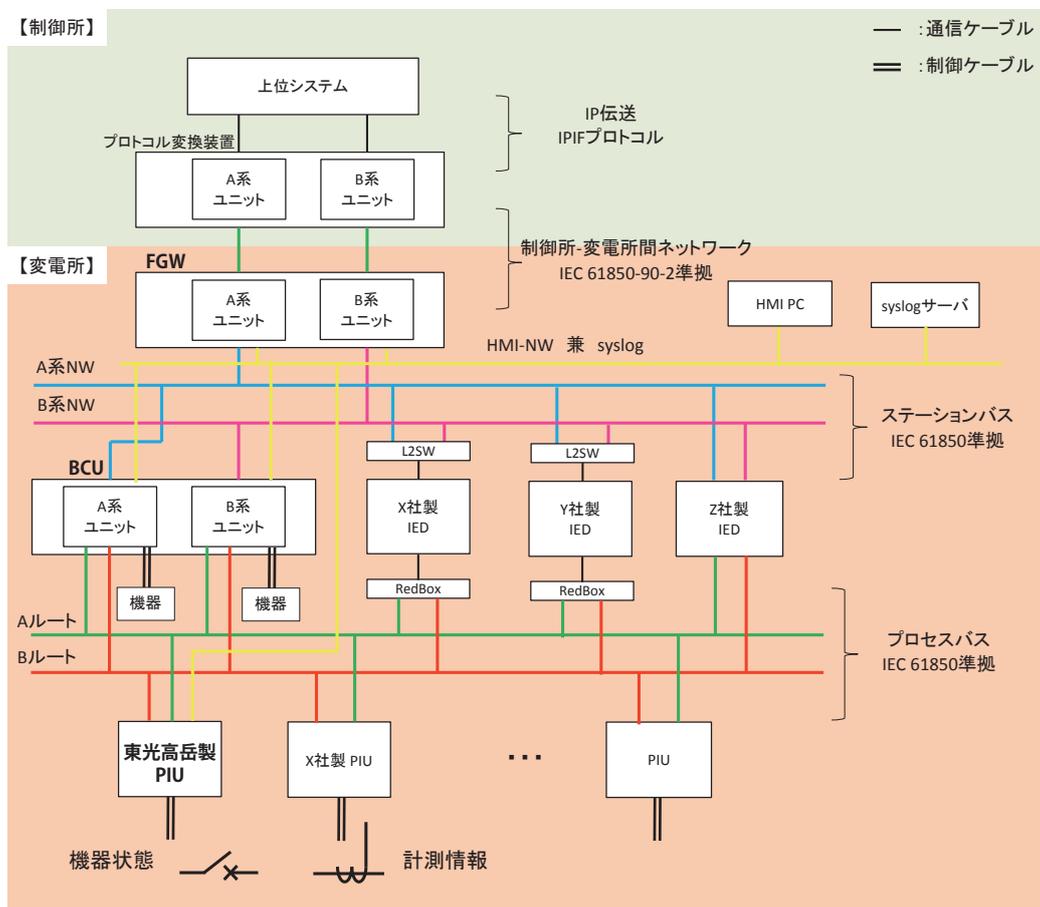


図1 システム全体構成

3 フィールドゲートウェイ (FGW)

FGWの外観を図2に示す。FGWは、IEC 61850サーバ、クライアント双方の機能を有している。クライアント機能により変電所構内の情報を収集し、サーバ機能によってプロトコル変換装置へデータの伝送を行う。FGWの主な機能概要を表1に示す。



図2 FGW 外観

表1 主な機能概要 (FGW)

機能	概要
プロキシ／ゲートウェイ機能	・代理（プロキシ／ゲートウェイ）機能
HMI ^{注3)} 機能	・機器状態、故障状態の表示 ・変電所全体監視／直接操作 ・設定機能
監視制御機能	・BCU等IED接続状態の監視 ・機器状態、故障状態の監視 ・機器（遮断器／断路器等）の制御
セキュリティ	・権限管理・制限 ・syslog ^{注4)}

この中の監視制御機能について紹介する。FGWに接続されている各BCU・保護リレーの接続状態や変電所機器の状態表示や故障表示および制御が可能となっている。制御では、変電所から離れた制御所からの遠方制御、変電所構内に設置されているHMIからの直接制御を可能としている。図3にBCU・IEDの一覧とその接続状態のHMI監視画面例を示す。



図3 HMI 対向BCU・IEDの監視画面

また、千葉印西変電所は従来変電所と比べBCUやIEDの数が多くことから、従来の装置をハイエンドCPU対応にすることで、処理の高速化・高性能化を実現した。その結果、対向BCU・IED数が従来の48台から150台以上の接続を可能とした。

4 ベイコントロールユニット (BCU)

BCUの外観を図4に示す。BCUは各機器の状態や情報を取り込み、FGWへ通知、各機器を制御するための装置である。従来装置は変電所機器との接続は制御ケーブルのみを用いた方法であったが、今回、プロセスバスのIEC 61850 (GOOSE^{注5)})伝送機能を搭載することで、PIUと光LANケーブルによる接続を可能とした。また、既存装置（デジタル化非対応装置）である保護リレーは制御ケーブルにより接続できる。



図4 BCU 外観

4.1 機能概要

BCUの主な機能概要を表2に示す。ここでは、代表として2つの機能を紹介する。

(1) ソフトインタロック機能

誤操作によって電力系統への支障を及ぼすことや変電所機器への損傷を与える可能性がある機器については、インタロック機能を実装している。

インタロック機能については、機器操作条件をソフトウェアで判定する。判定は、選択時および制御時に実施する。インタロック条件はHMIで確認ができ、インタロック条件の変更もユーザが行えるようにしている。

ソフトウェアでのインタロックの判定の仕組みについて図5で示す。インタロック判定を実施するBCUが変電所機器情報をGOOSEで受信し、機器ごとの判定条件からインタロックの判定を実施している。図6にソフトウェアでのインタロックの条件設定を行うHMIの画面例を示す。

表 2 主な機能概要 (BCU)

機能	概要
情報伝送	・ IEC 61850 (MMS ^{注6)} 伝送 ・ IEC 61850 (GOOSE) 伝送
選択制御機能	・ 強化型選択制御の採用 ・ 同期並列検定機能 ・ ソフトインタロック機能
表示機能	下記情報の取り込みと状態表示 ・ 現地機器 ・ 43SW 回路 ^(※1) ・ 故障・警報表示
計測機能	・ 変電所設備の計測情報 ・ 遮断器投入のための同期計測
同期検定機能	送電線, 母線区分, 主変のみ実装
43P 切替条件判定機能 ^(※2)	二重母線時の送電線, 主変のみ実装
VT 切替機能	二重母線時の送電線, 主変のみ実装
自動監視機能	・ BCU 監視 ・ 計測入力監視 ・ 電圧監視 ・ 故障監視 他
HMI 機能	・ 状態表示 ・ 設定・整定機能
セキュリティ	・ 脆弱性管理 ・ 不要サービス停止 ・ 未使用インタフェースの閉塞 ・ 権限管理・制限 ・ syslog

※1 使用/ロック, 自動/手動などの切替回路

※2 電圧要素自動切替機能

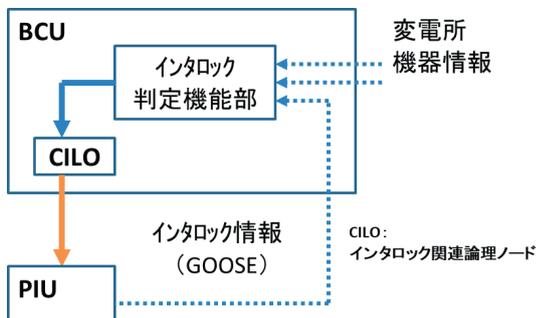


図 5 ソフトインタロック判定方法

図 6 HMI ソフトインタロック画面

(2) MMS/GOOSE 変換機能

プロセスバスレベルでは高速かつ信頼性の高い通信規格として 1000Base-LX の光 LAN ケーブルによる GOOSE 通信を適用している。PIU からの GOOSE 通信

により受信した情報は MMS 通信へ変換し FGW へ送信している。

4.2 適用可能な変電所設備

BCU が適用可能な変電所設備は下記の通りである。

- ・ 共通設備
- ・ 送電線設備 (最大 4 回線, 275 kV 回線にも対応)
- ・ 母線・母連・母線区分設備
- ・ 主変設備
- ・ 所内変圧器設備

千葉印西変電所では, 主変 BCU と所内 BCU の 2 面となるところを, 当社の提案により, 主変所内 BCU として 1 面に実装してコストダウンを図った。

5 プロセスインタフェースユニット (PIU)

PIU は変電所機器, または屋外盤に搭載され, BCU と IEC 61850 伝送 (GOOSE 通信) によって, 機器状態監視や制御を行う。図 7 に PIU 外観を示す。



図 7 PIU 外観

5.1 機器仕様

PIU の仕様を表 3 に, 試験項目一覧を表 4, 試験例を図 8 に示す。PIU 単体での変電所機器搭載を想定し, 電力用規格 B-402 (2016) や JEC-2500-2010, JEC-2501-2010 などの関連規格に準拠した試験を実施している。

表 3 PIU 仕様

項目	詳細
電源電圧	DC 100 V, DC 110 V (-20% ~ +30%)
入力回路	標準: 16 点 (拡張: 24 点)
出力回路	標準: 8 点 (拡張: 8 点)
インタロック出力	2 点 (無電圧接点)
LED 表示	動作 (RUN: 緑), 異常 (ERR: 赤), CPU 停止検出 (WDT: 赤)
通信ポート	上位通信: 2 ポート (PRP) HMI: 1 ポート

表 4 PIU 試験項目一覧

No.	試験項目
1	絶縁抵抗試験
2	商用周波耐電圧試験
3	雷インパルス耐電圧試験
4	過負荷耐量試験
5	温度上昇試験
6	温度性能試験
7	イミュニティ試験
8	振動・衝撃試験
9	電源電圧変動試験
10	機能試験
11	セキュリティ確認試験

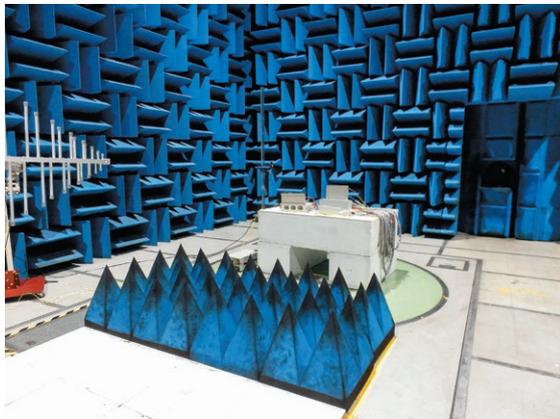


図 8 試験例 イミュニティ試験（放射電磁界試験）

5.2 機能

PIUの主な機能概要を表5に示す。変電所機器に搭載されることから、機器操作のための選択制御機能や機器状態取り込みのための表示機能、BCUと通信を行う

表 5 主な機能概要 (PIU)

機能	概要
情報伝送	・ IEC 61850 (GOOSE) 伝送
選択制御機能	・ 二拳動制御
表示機能	・ 接点状態取り込み
インタロック機能	・ インタロック状態出力
自動監視機能	・ 通信監視 ・ 接点二重化監視 ・ 入出力回路監視
HMI 機能	・ 状態表示 ・ 設定機能 ・ 履歴表示 (アクセス, 操作)
セキュリティ	・ 脆弱性管理 ・ 不要サービス停止 ・ 未使用インタフェースの閉塞 ・ 権限管理・制限 ・ syslog

ための情報伝送機能を具備している。さらに、サイバーテロの脅威に対するセキュリティ対策も施している。

HMI 画面例を図9に示す。各画面からはPIUの出力状態、異常履歴、各種設定値の閲覧、変更が可能となっている。



図 9 HMI 画面例

5.3 PIU 盤

既設機器にPIUを搭載するスペースが無い場合に別置盤として機器近傍に設置するためのPIU盤を製作した。PIU盤外観を図10に示す。



図 10 PIU 盤外観

PIU盤の仕様を表6に示す。屋外設置が可能であるため、既設機器の更新を待たずにデジタル化が可能となる。

表 6 PIU 盤仕様

項目	詳細
盤寸法 [mm]	W : 700, H : 2,300, D : 600
防水性能	IPX3 相当
PIU 搭載数	最大 6 台

6 おわりに

送電用変電所設備の運用効率化・高度化に貢献することを目的に、千葉印西変電所に当社の監視制御装置であ

る FGW, BCU, PIU を納めたことを紹介した。

今後は、配電用変電所向けの IEC 61850 に対応したデジタル監視制御装置の開発、変電所形態に合わせた FGW, BCU の開発に取り組んでいく。

末尾ながら、今回の開発に多大なるご指導・助言をいただいた東京電力パワーグリッド株式会社殿に対し、厚くお礼申し上げます。

■参考文献

- (1) 佐藤一男, 川俣陽輝, 池田栄二:「デジタル変電所の実現に向けた IEC 61850 対応 監視制御装置」, 東光高岳技報, No.10, pp.43-47 (2023)

■語句説明

- 注 1) 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。IEC 61850-2 で定義。
- 注 2) PRP : Parallel Redundancy Protocol の略称。複数経路でデータを送信することにより信頼性 / 耐障害性を高める通信プロトコル。
- 注 3) HMI : Human Machine Interface の略称。人間が装置などの状態確認や設定を行うための機能。

注 4) syslog : 装置 (システム) のログを IP ネットワーク上で伝送するための標準規格。

注 5) GOOSE : Generic Object Oriented Substation Event の略称。IEC 61850 規格に基づく通信機能の一つで, 変電所内で発生するイベント情報を高速かつ信頼性の高い方法で送受信するために使用される。

注 6) MMS : Manufacturing Message Specification (製造メッセージ仕様) の略称。

菅原 淳

電力プラント事業本部
第二設計部 保護制御装置設計グループ 所属

篠崎 宏司

電力プラント事業本部
第二設計部 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
第二設計部 保護制御装置設計グループ 所属

平山 賢人

電力プラント事業本部
第二設計部 保護制御装置設計グループ 所属

EV 用急速充電器を「SERA」シリーズとして展開

1 はじめに

東光高岳は、現在広くご採用いただいている電気自動車（以下、EV）用急速充電器シリーズ（HFR1-120B10 / HFR1-30B9, HFR1-50B9 / HFR1-15B11）を新たなブランド「SERA（セラ）」シリーズとして展開する。

2 誕生の背景

近年、経済社会システム全体のGX（グリーントランスフォーメーション）化に伴いEV普及率が上昇する中、日本政府は2035年までに乗用車新車販売におけるEVの比率を100%とする目標を掲げている。また、それに合わせ、EV用急速充電器をはじめとするEV充電インフラの設置目標数を2030年までに30万口にまで伸ばし、ガソリン車並みの利便性の実現を目指すとしている。

一方、東光高岳は「変わらぬ使命」と「新たな使命」の2つの使命を果たすことで、エネルギーの未来を切り拓いていくことを「サステナビリティ基本方針」で掲げている。

「変わらぬ使命」

電力の安定供給や効率的利用を支える機器・システムの提供を通して、豊かで快適な暮らしや社会経済活動の発展に貢献する

「新たな使命」

カーボンニュートラル、地域の防災・レジリエンス強化等の新たな社会的課題に対するソリューションを創造し、持続可能な社会の実現に貢献する

東光高岳の掲げる2つの使命のうち、「新たな使命」を果たすべく、来るべきEV社会を支える充電インフラ事業へこれまで以上に真摯かつ真剣に取り組んでいくことを宣言するため、開発・販売しているEV用急速充電器に、東光高岳の想いを込めた新たなブランド名を付与することとした。



SERA

Seamless Energy Relations & Activation

デザイン文字：東光高岳の登録商標第6821584号
ロゴマーク：東光高岳の登録商標第6824520号

図1 SERAのロゴデザイン

3 「SERA」に込めた東光高岳の想い

SERAという名称には、「未来の存在」という意味に加えて、Seamless, Energy, Relations, Activation「シームレスに（境界なく）エネルギーをつなげてイキイキ活性化させていく（エネルギーの未来を切り拓く）」ことで、未来のEVエネルギーネットワークをデザインする（持続可能な社会の実現に貢献する）存在でありたい。」という想いが込められている。

EV用急速充電器の国内累計販売台数ナンバーワンの実績をもとに、次代のEVエネルギーネットワークを支えるブランド「SERA」を掲げ、新たなエネルギー社会の実現をブランドミッションに、未来を照らし社会をワクワクさせるような「新しい時間・体験」を創出していきたいと考えている。



図2 SERAシリーズラインアップ

GXソリューション事業本部

EV 導入をスムーズにする『EVOっとサービス』 みずほリース株式会社・株式会社ミントウェーブと提供開始

1 はじめに

日本政府は、「2050年カーボンニュートラル」の実現に向けた取り組みの一つとして、電気自動車（以下、EV）の普及を積極的に推進している。EVの普及には充電インフラの整備が必要不可欠であり、EV充電器の導入提案・設置工事・メンテナンスまでをワンストップで提供するサービスの構築により、EV導入ニーズへの的確な対応ができると考えられる。

そこで、東光高岳と株式会社ミントウェーブ（以下、ミントウェーブ）は、みずほリース株式会社（以下、みずほリース）と共に、EVや充電インフラの導入提案から保守サービスまでを、初期費用無しで一体的に提供するEVワンストップサービス『EVOっとサービス』の提供を開始した。



みずほリースの登録商標第6828002号

図1 EVOっとサービスのロゴデザイン

2 三社の強みと役割

三社の強みとサービスにおける役割を以下に示す。

(1) 強み

東光高岳とミントウェーブは、「Charging on your side」を理念として、充電インフラをご利用いただくお客様、設置いただくお客様に寄り添い、常に身近に感じていただけるよう事業活動を進めている。

東光高岳のEV急速充電器は2009年の初号機販売開

始以降、これまでに国内累計出荷台数トップの約5,000台を出荷している（2024年3月時点自社調べ）。24時間365日受付可能な全国ネットワークのメンテナンス網を配備したミントウェーブと一体となり、製造・販売から保守・メンテナンスまでの一貫したサービスを展開している。

みずほリースは、「サステナブルな社会のクリエイター」をビジョンとして掲げ、お客さまを取り巻く社会的課題・事業課題に対し、金融の枠を超えた価値共創のパートナーとして解決に導く、マルチソリューション・プラットフォームへと進化することを目指している。

(2) サービスにおける役割

各社の強みを活かし『EVOっとサービス』を提供する。東光高岳は、お客さまニーズに合ったEV充電器の選定と製品を提供する。ミントウェーブは、EV充電器の導入工事や、運用開始後の保守メンテナンスを担当する。そして、みずほリースは、EV、蓄電池等の導入コンサルティングや、リース設備をお客さまのご要望に応じて提供する（図2）。

3 おわりに

『EVOっとサービス』第1号案件として、公益財団法人東京都道路整備保全公社に対して、都庁第一本庁舎駐車場地下1階に設置されるEV急速充電器に関し、三社協業によるEV充電器メンテナンスリースの提供を開始した。

カーボンニュートラル社会実現に向けたEVの普及を後押しするため、今後もアライアンスパートナーとの協業ビジネスを通じて、サステナブルな社会の実現に貢献していく。

GXソリューション事業本部



図2 EVOっとサービスの概要

EV 充電インフラ導入を後押しする 『EV 用急速充電器レンタルサービス』 淀川変圧器株式会社・株式会社ミントウェーブと提供開始

1 はじめに

経済社会システム全体のGX（グリーントランスフォーメーション）変革に伴い、日本政府は、2035年度までに乗用車新車販売における電気自動車（以下、EV）等電動車比率100%を目指し、充電インフラを2030年までに30万口設置する目標を掲げている。各法人においてもEVの導入が進み、充電インフラを自ら設置するなど、EV用充電器のニーズが高まりを見せている。

そこで、初期費用の負担を軽減するレンタルでEV用急速充電器を試験的に導入し、その利便性を見極めた上で本格的に導入できる選択肢を提供したいと考え、東光高岳と株式会社ミントウェーブ（以下、ミントウェーブ）は淀川変圧器株式会社（以下、淀川変圧器）と共に、「EV用急速充電器レンタルサービス」を開始した。

本サービスはEV用急速充電器本体を最短1ヶ月間からレンタルでき、多額の初期投資費用をかけることなくEVの充電環境を導入できる。また、お客様のニーズに応じて設置工事やアフターサポート、撤去までをセットにしたプランも用意し、円滑な導入を支援する。

2 三社の強みと役割

三社の強みとサービスにおける役割を以下に示す。

(1) 強み

東光高岳とミントウェーブは、「Charging on your side」を理念として、充電インフラをご利用いただくお客様、設置いただくお客様に寄り添い、常に身近に感じていただけるよう事業活動を進めている。

東光高岳のEV用急速充電器は2009年の初号機販売開始以降、これまでに国内累計出荷台数トップの約5,000台を出荷している（2024年3月時点自社調べ）。24時間365日受付可能な全国ネットワークのメンテナンス網を配備したミントウェーブと一体となり、製造・販売から保守・メンテナンスまでの一貫したサービスを展開している。

オリックス・レンテック株式会社のグループ会社である淀川変圧器は、受変電・発電設備の設計・製造・レンタル・販売を行う、受変電設備の総合エンジニアリングメーカーである。今後も豊富な在庫や全国での多彩な納入実績、技術提案力などにより、お客様の期待に応え社会の発展に貢献していく。

(2) サービスにおける役割

各社の強みを活かし「EV用急速充電器レンタルサービス」を提供する。東光高岳は、EV用急速充電器を製造し提供する。ミントウェーブは、EV用急速充電器の導入コンサルティングや設置工事、運用開始後の保守メンテナンスを担当する。そして、淀川変圧器は、レンタルサービスの提供や、契約や保守などのお客様窓口、レンタル設備の保有を行う（図1）。

3 今後の展望

カーボンニュートラル社会の実現に欠かせないEV用急速充電器の普及拡大を目指し、さまざまなアライアンスパートナーとの協業を通じて、サステナブルな社会の実現に貢献していく。

GXソリューション事業本部

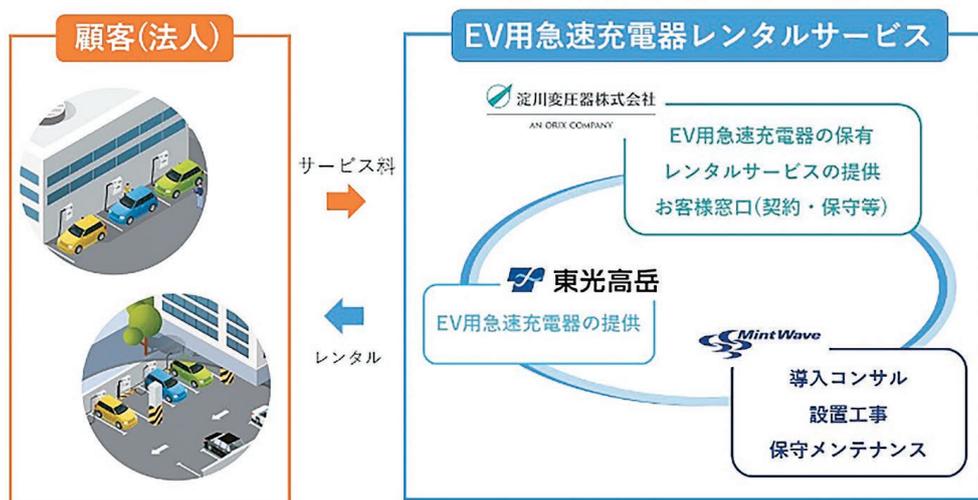


図1 EV用急速充電器レンタルサービスの概要

ウガンダ共和国の電力安定供給に貢献 —送電系統停電事故解析システム案件の完工— タカオカエンジニアリング株式会社

1 背景

ウガンダ共和国は産業発展に伴って電力需要が増大している。更なる発展のためには電力安定供給が不可欠である。特に、産業が集積し、電力需要の中心となっているカンパラ首都圏の電力システムの安定性の強化が課題となっている。

2020年12月から独立行政法人国際協力機構（以下、JICA）は、技術協力「ウガンダ国送電系統保護能力向上プロジェクト」を実施し、停電事故の原因分析を行うと共に、有効な事故対策の提案・実施に取り組んできた。

本プロジェクトは中部電力株式会社と中部電力パワーグリッド株式会社が共同受託し、タカオカエンジニアリング株式会社（以下、TEC）は、本プロジェクトで導入される送電系統停電事故解析システムの供給・据付をJICAより受託した。

2 TEC 担当案件の概要

- (1) 委託者：独立行政法人国際協力機構（JICA）
 - (2) 案件名：ウガンダ国送電系統保護能力向上プロジェクト向け機材
 - (3) 資金：独立行政法人国際協力機構（JICA）
 - (4) 契約期間：2022年4月～2023年11月
 - (5) 担当範囲：機材の設計・調達・輸送・据付・現地試験・現地スタッフ（ウガンダ送電公社（以下、UETCL））への技術指導
- 以下に詳細を示す。



図1 据付場所と位置図

(a) システム構成と納入機器

システム構成図を図2に示し、納入した機器について紹介する。

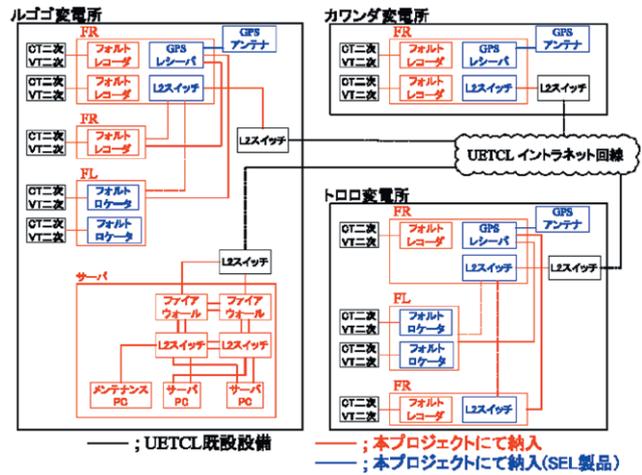


図2 システム構成図

- ・フォルトロケータ子局（以下、FL）
フォルトロケータを内蔵した設備。
系統事故発生時のサージ（進行波）を検出し、進行波波形や系統電圧・電流波形、当該系統の遮断器の開閉状態などを記録。
 - ・オシロ装置子局（以下、FR）
フォルトレコーダを内蔵した設備。
系統事故の発生中および発生前後一定時間の電圧・電流の波形、当該系統の遮断器の開閉状態・保護リレー動作などを記録。
 - ・統合型計測装置親局（以下、サーバ）
サーバPC、メンテナンスPC、ファイアウォール、L2スイッチ等の汎用品にて構成。子局から受信したデータの格納、およびソフトウェアにて故障点の標定、事故原因等を解析。
 - ・付帯設備（GPS時間同期システム、L2スイッチ）
主に各機器へ内蔵。各子局ー親局との通信、および事故データの時間同期に使用。
- (b) 据付場所と納入機器台数
- ・ルゴゴ変電所：FL×1, FR×2, サーバ×1
 - ・カワンダ変電所：FR×1
 - ・トロロ変電所：FL×1, FR×2
- (c) 納入機器の現地試験
- ・各変電所のFL, FRについて、電流・電圧の入力値と表示値の比較、各遮断器や保護リレーの状態信号の受信、および模擬入力による事故データの作成と保存について確認した（図3）。



図3 現地試験（トロ口変電所；FRへの電流・電圧入力）

- ・ルゴゴ変電所のサーバにおいて、各FL、FRとの通信確認および保存された事故データの自動抽出、事故データのサーバ内ソフトウェアによる解析を実施した。

(d) 現地での技術支援

ルゴゴ変電所において、使用者であるUETCLの担当技術者向けに、納入機器についてシステム概要を説明した上で、機能の解説と操作演習を行った（図4）。

- ・サーバ
PCの起動・操作・フェイルオーバー方法の説明
- ・各子局（FL、FR）
フォルトロケータとフォルトレコーダの操作・設定変更、および事故データのソフトによる解析方法の説明



図4 現地での技術支援状況
（フォルトレコーダの事故データを用いた解析の説明）

3 本プロジェクトにおける挑戦

- TECによる同国での初プロジェクトであり、電力事情全般や送電システムを理解することからスタートした。必要な情報の入手に難航する場面もあったが、UETCL担当者のご協力によりクリアすることが出来た。
- 送電系統停電事故解析システムに対応するのは、初めての経験であった。過去の案件の変電設備や保護回路の構成などの知識をフル活用し、かつ納入製品の詳細情報を新たに習得した。更に納入設備の各製造者と協議を重ねることにより、システム構築の完遂にこぎつけることが出来た。
- 前述のとおりTECが受託したのはプロジェクトのうち、送電系統停電事故解析システムの供給・据付部分である。そのためプロジェクトの全体スケジュールに影響を与えないよう配慮しながら、TECの作業を履行した。

以上のような困難な状況がありながらも、2023年7月に現地での工事を全て終え、東光高岳受託業務を完工した。同月、完工式典がUETCLの主導により開催され、同国のエネルギー・鉱物開発大臣をはじめとした方々が参列した。多くの方が本プロジェクトを高く評価し、感謝の意を述べられたのを聞き、苦勞が報われたと感じた次第である。

4 今後の展開

TECはこれまで、電力プラント（送変電・配電・発電など）の建設事業を通じて、発展途上国・新興国の経済発展と市民生活の向上に貢献してきた。今後は、課題特定と解決策提案を指向するJICAの技術協力プロジェクトにも協力し、発展途上国・新興国の電力事情の改善に包括的に取り組んでいきたい。

マラウイでの日本政府 ODA 事業に貢献 —電カインフラ整備事業の完工— タカオカエンジニアリング株式会社

1 背景

マラウイは、アフリカ大陸南東部に位置する内陸国で、人口は約2千万人。首都リロングウェ市の人口は全国の約15%を占め、主要産業が同市に集中している。

リロングウェ市に電力を供給しているカネンゴ変電所とオールドタウン変電所の設備の老朽化により、住民生活への影響や産業集積地域への電力供給制限に伴う経済損失等の問題が起きていた。

今回のプロジェクトは、前述した2変電所の改修・拡張を通じて産業集積地域及び市内中心部への電力供給力の向上を図り、各種産業の活性化や市民生活の改善、産業育成のための基盤整備に寄与するものである。

タカオカエンジニアリング（以下、TEC）は、2013年に首都リロングウェ市のカムズ国際空港敷地内に、日本政府無償資金協力により太陽光発電システム（発電容量：830kW）を建設した。これを機会に同国電力事情を調査し、今回のプロジェクトの重要性と期待される裨益効果を両国政府に提案した経緯がある。なお、2024年2月には、太陽光発電システムの改修工事を実施した。

2 プロジェクトの概要

- (1) 施主：マラウイ共和国・電力公社
- (2) 案件名：リロングウェ市における変電所改修計画
- (3) 資金：日本政府無償資金協力（ODA）
- (4) 工期：2022年3月（契約）～2024年5月（完工）
- (5) 契約範囲：

リロングウェ市内2か所の変電所（**図1**）改修・拡張工事に関する、エンジニアリング、土木・建築工事、資機材の調達・輸送・据え付け業務、機器の操作ならびにメンテナンスに関する現地スタッフへの技術指導を一括で担当すること。

(a) カネンゴ変電所の改修・拡張（**図2**）

- ・土木工事・制御室建屋の建設
- ・下記電力設備等の供給・据付
 - ① 132/66/11 kV 50 MVA 変圧器 2 台
 - ② 66/33 kV 25 MVA 変圧器 1 台
 - ③ 66/11 kV 25 MVA 変圧器 1 台
 - ④ 変電所自動監視制御保護装置
 - ⑤ 屋内 11 kV 配電盤
 - ⑥ 通信設備等

(b) オールドタウン変電所の改修・拡張（**図3**）

- ・土木工事・制御室建屋の建設



図1 変電所の位置図



図2 カネンゴ変電所（右下が新設した制御室）



図3 オールドタウン変電所（左上が既設変電所）

- ・下記電力設備等の供給・据付

- ① 66/33 kV 25 MVA 変圧器 1 台
- ② 66/11 kV 25 MVA 変圧器 1 台
- ③ 変電所自動監視制御保護装置
- ④ 屋内 33 kV 及び 11 kV 配電盤
- ⑤ 通信設備等

3 本プロジェクトにおける挑戦

今回のプロジェクトでは、イブラヒム・マトラ大臣

(エネルギー省) から、納期遵守とゼロ災害に加えて、施工管理、安全衛生管理、保守運転等、技術移転・情報共有の実行についても高く評価頂いた。今回特に挑戦した事項は以下の通りである。

- (1) 無償資金協力案件では、初めて TEC 単独名義で契約。幅広い商務事項を含めて、着実に対応した。
- (2) 現地施工会社を含め 10 か国を超えるパートナー企業と協働してプロジェクトを推進。契約工期を遵守した。長年協働してきたルワンダの工事会社との周辺国での協働を試み、また地元建設者との新たな協働関係を構築した。
- (3) 貨物の種類・重量等により輸送ルート工夫した(タンザニア・ダルエスサラーム港や南アフリカ・ダーバン港で荷揚げし、国境をまたいで内陸輸送)。フーシ派の船舶攻撃による物流混乱にも直面した。
- (4) 変電所自動監視制御保護装置(図4)に関し、協働メーカーと綿密に連携し、設計から据付、試運転・調整、技術指導まで一貫して取り組んだ。
- (5) ゼロ災害は、プロジェクト履行の最重点目標。特に、カネンゴ変電所では、既設変電設備の操業を継続しながら改修工事を実行する必要があったため、安全面に細心の注意を払った(図5)。
- (6) プロジェクト実施を通じて、施工管理、安全衛生管理、保守運転を含め、マラウイ関係者への技術移転と経験共有に配慮した。

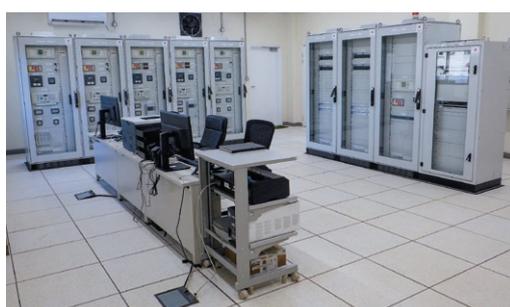


図4 変電所自動監視制御保護装置



図5 安全管理を促す掲示(カネンゴ変電所)

4 完工式典

- (1) オールドタウン変電所の引渡し式(2024年3月6日)
大矢洋一大使、田中理事長(国際協力機構)、サミュエル・カワレ大臣(農業省)の列席の下、盛大に開催された。TECからは社長の市川が出席した。
- (2) カネンゴ変電所の引渡し式(2024年5月7日)
大矢洋一大使、イブラヒム・マトラ大臣の列席の下、盛大に開催された(図6)。TECからは市川が出席した。マラウイ政府関係者の祝辞では、納期遵守、ゼロ災害、技術移転・経験共有について、感謝と評価の言葉が相次いだ。



図6 カネンゴ変電所の完工記念プレート
両国政府の友好関係のシンボル

5 今後の展望

今回紹介したマラウイを含め、これまで50か国、150か所を超えるプロジェクト現場で電力インフラ整備事業に取り組んできた。現在、ナイジェリア、レソトで契約履行中であり、アフリカ地域における契約実績は10か国となった(図7)。これまでの経験と協働企業とのネットワークを活かして、より多くの発展途上国・新興国の経済発展と市民生活の向上に貢献していきたい。



図7 アフリカ地域における契約実績国(執筆時)

フィリピン共和国向け 配電系統運用システム実証事業への参画

1 概要

フィリピン共和国では、近年の経済成長にあわせてエネルギー需要の増大が見込まれているため、経済成長に不可欠な信頼度の高い電力供給システムの整備が急務となっている。

東光高岳は、東京電力パワーグリッド株式会社（以下、東電PG）と協力して、日本の高い供給信頼度を実現した配電系統高度運用化システム技術を活用した「フィリピン共和国配電系統運用システム・管理技術普及促進事業」を、独立行政法人国際協力機構（JICA）⁽¹⁾に提案し、2017年2月に採択された（2023年11月に終了）。

本事業では、フィリピン共和国都市部の配電系統構成、運用方式、ニーズに合わせた配電系統運用システムを導入し、実証試験を行った。2018年1月に第1回目の現地活動を開始し、その後2023年7月までの間で計9回に亘り現地渡航を繰り返し実施して本事業の完遂に至った。

2 システム構成

本事業は、15 kV 級センサ内蔵自動真空開閉器（以下、自動開閉器）、自動開閉器用遠方制御器（以下、遠方制御器）を実系統に設置し、制御室に設置した配電系

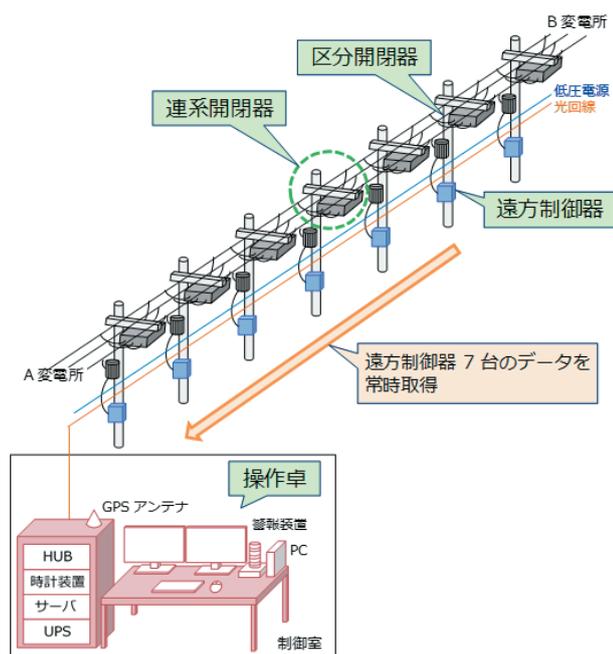


図1 DNMS 構成図



図2 開閉器外観



図3 制御器外観

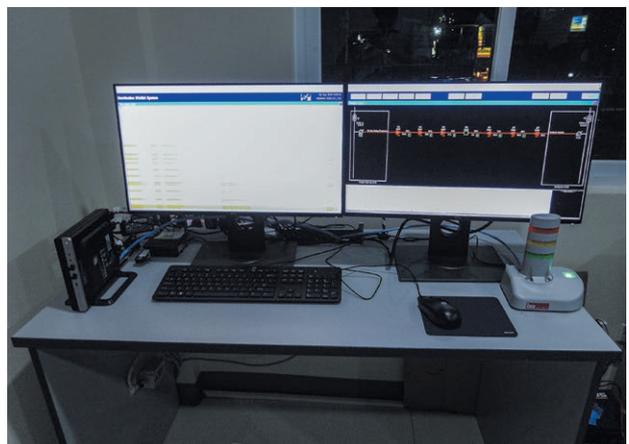


図4 DNMS 操作卓外観

統運用システム（以下、DNMS (Distribution Network Management System)）を活用して、実証データの取得・蓄積をし、評価を行った。

DNMS の構成図および機器外観写真を図1～図4に示す。

2変電所間の配電線2系統に対し、自動開閉器7台（内6台は区分別開器、1台は連系開閉器として使用）、遠方制御器7台を設置し、2系統を1つのシステムで管理する構成とした。

3 機能

DNMS の構成機器の機能を以下に示す。

- (1) 制御室内
 - ・配電線機器の計測情報の取得
 - ・配電線機器の状態変化検出
 - ・配電線機器の遠方制御
 - ・IEC61850^{注1)}に対応した通信機能
- (2) 遠方制御器・自動開閉器
 - ・時限式事故捜査機能^{注2)}

- ・ IEC61850 に対応した通信機能
- ・ 配電系統の監視、計測および配電線事故の検出
- ・ 操作卓からの信号による自動開閉器の制御

4 実証試験

DNMS は、平常時は配電系統の状態監視、計測情報の取得を行い、配電系統で事故が発生した際は、事故区間を自動で判別、分離し、健全区間に送電できるようにするものである。配電系統内に実際の需要家がいる環境で DNMS を動作させ、実証試験を行った。

実証試験の開始にあたり、東光高岳と東電 PG は現地事業者に対して機器の操作方法や系統の運用方法についてのトレーニングを行い、短期間で運用に支障が無いレベルまで操作方法を習熟させた。

運用開始後は、現地事業者の運用記録や日々の電流値、停電の発生状況等の情報を DNMS に記録した。さらに、日本から現地のログを取得できる環境を構築したことにより、現地から問い合わせが来た際は即時にログを取得し、問い合わせに対して速やかに対応することを可能とした。

配電線で事故が発生した時、遠方制御器は事故波形(図 5 参照)を記録しており、実証試験中も複数回の事故波形が記録された。現時点では、事故波形や事故電流は事故種別(短絡・地絡など)の判別に利用しているが、将来的には配電線の事故点標定への利用が期待される。

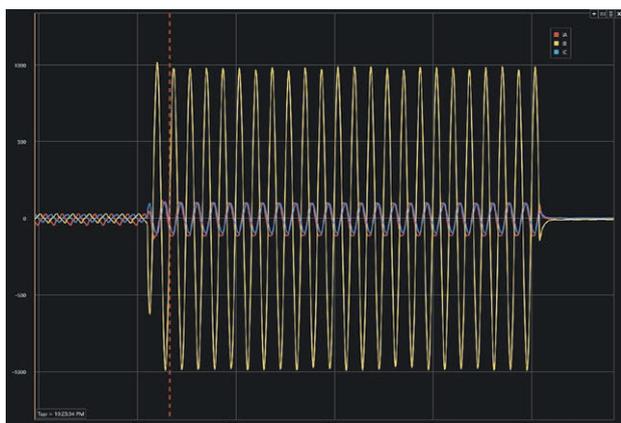


図 5 事故波形

試験期間中、区分開閉器が動作して事故区間を切り離したことで停電範囲を縮小させたことから、本事業の計画当初より期待されていた停電時間の低減について、有意な成果を得ることができた。運用中に得られたログおよび現地事業者へのヒアリング結果から、気温と電流値の相関や電圧変動による配電線の異常検知など、運用において有用な知見も得ることができた。

5 おわりに

約 7 カ月間にわたり実証を行った結果、上述した成果を得ることができ、本システム・技術がフィリピン共和国の電力システムにおいても適用可能で、その機能を有効に発揮できることが示された。

現地事業者へのヒアリングから、停電回数の低減や停電時間の短縮について、地元住民からも強い要望があることを確認しており、本事業で導入したシステム・技術はこの要望に応えられるものとなった。

本事業では配電線設備の計画段階から現地事業者とコミュニケーションを取り、連系開閉器の設置位置や配電線の系統など実証試験を考慮した設備構築を行った。今後他国も含め本システムを展開する際には、構築済みの系統に対して機器や連系点の追加を行うのはコストがかかるため、配電線系統の構築段階からの働きかけが重要となる。

今回の事業を通じて、DNMS の有効性が実証でき、海外展開に向けた基礎を築くことにつながった。

■参考文献

- (1) 独立行政法人国際協力機構：「JICA について」、独立行政法人国際協力機構ホームページ、<https://www.jica.go.jp/about/index.html>

■語句説明

- 注 1) IEC61850: 変電所構内の伝送に関する国際標準規格。
 注 2) 時限式事故捜査機能: 事故発生時に事故区間を分離し、健全区間に送電する制御方式。

電力プラント事業本部

系統安定化装置の開発・納入開始

1 はじめに

沖縄電力株式会社向けに系統安定化装置（図1）の納入を開始したので、概要を紹介する。



図1 装置外観

2 特長

2.1 低コスト化と信頼性の向上

高性能 CPU の採用とハードウェアの基本構成の見直しによる部品点数の削減、使用部品の共有化、ソフトウェアにおいては、従来装置の UFR^{注1)} 機能を実装したことにより、大幅なコストダウンと更なる信頼性向上を図った。

2.2 設備構成に対応したバリエーション

22 kV 配電塔および変電所の設備構成に対応可能とするため、配電線 8 回線用と 12 回線用の 2 種類を製作した。

2.3 リプレース用としての筐体寸法

筐体寸法はリプレースに対応するため、高さ 2,460 mm、幅 700 mm、奥行 480 mm とした。

3 機能概要

3.1 主な機能

(1) 保護機能

周波数低下を検出し、設定時間後に配電線遮断器のトリップ信号を出力する。また、周波数低下率が大きい場合は、瞬時にトリップ信号を出力する。

(2) 自動監視機能

装置の信頼性向上および保守機能の向上を図るため、自動監視機能を実装している。

(3) HMI^{注2)} 機能（図2）

HMI 機能では保護要素の動作値・動作時間などの整定変更や、装置の現在運用状態の確認が可能である。

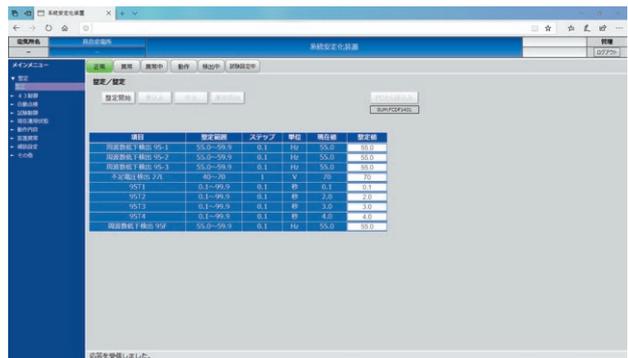


図2 HMI画面

(4) データセーブ機能（図3）

系統事故発生によるトリップ出力、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。



図3 データセーブ波形表示例

4 おわりに

本装置を沖縄電力株式会社向けに 2023 年 5 月から納入を開始した。

■ 語句説明

注 1) UFR : Under Frequency Relay の略。

周波数の低下を検出するリレー。

注 2) HMI : Human Machine Interface の略。

人と装置が情報をやり取りするための手段。

第61回技能五輪全国大会に出場

1 概要

2023年11月17日(金)～11月21日(火)に、愛知県国際展示場で第61回技能五輪全国大会が開催された。

技能五輪全国大会は国内の青年技能者(23歳以下)を対象に、競技を通じて努力目標を与えるとともに、広く国民一般に対して技能の重要性や必要性をアピールすることを目的として実施されている。競技種目は、全42職種あり、成績に応じ金賞、銀賞、銅賞および敢闘賞が授与される。なお、金賞受賞者には世界大会への参加権が与えられる。

東光高岳が技能五輪「工場電気設備」への参加を始めたのは統合前の高岳製作所時代で、第26回大会(1988年)から出場し、第34回大会(1997年)で、初めて敢闘賞を受賞した。

今大会では、電力プラント事業本部第二品質保証部制御装置品質保証グループ所属の村上琢朗さん(2023年度入社)が、当社としては4年ぶりに栃木県代表として全国大会に出場し、配電盤・制御盤組立課題(制限時間6時間)、電気設備異常診断課題(制限時間20分)に挑戦した。

2 大会を通じて得られたもの

入賞はできなかったが、他団体とも切磋琢磨しながら取り組むことができた。村上さんは、この大会を経験して次のような所感を述べている。

「今回、このような貴重な機会をいただき、たいへん感謝している。学生時代に2度全国大会に出場していたが、その時は配電盤・制御盤の組立完遂のみを目標としていた。今回は入賞を目標に、作業工程・治工具のカイゼンを何度も繰り返し、競技課題に取り組むことができた。結果として入賞できなかったが、技能五輪で学んだ配電盤・制御盤に関する知識・スキル、カイゼンの重要性を職場での実践で活かしたいと思う。

また、技能五輪に参加している他団体の選手との交流では、たいへん刺激を受けた。合同模擬訓練会、職種懇親会といった場で意見交換することで、自分自身への励みとなった。」

3 今後の展望

技能五輪への参加は、「トップレベルの技術者と競い合い、スキル向上を目指すことで、自職場での品質の向上や技術力の向上を促すこと」をねらいとしており、今後も同様の取り組みを続けていく予定である。



競技中の様子：配電盤・制御盤組立課題



競技課題完成写真：配電盤・制御盤組立



出場した村上琢朗さん
(電力プラント事業本部 第二品質保証部
制御装置品質保証グループ所属)