

	巻頭言：カーボンニュートラル社会への風..... 中田 俊彦	1
	東光高岳技報 第10号発刊にあたって ～東光高岳の目指すカーボンニュートラルと技術戦略～..... 東光高岳技報編集委員会	3
論文	カーボンニュートラルと循環型社会の実現に貢献する電気絶縁油の再生技術の構築..... 北村 英里子・栗原 二三夫	4
	スマート保安実現に向けたセンシングによる配電盤内の環境評価と絶縁物劣化診断技術..... 折戸 由貴	8
技術紹介	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..... 岡井 由香利・富井 良平・梅澤 敦史	12
	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..... 高田 晃平・北 治夫・中山 匡	15
	製品の開発期間短縮と性能向上のための最適化解析技術..... 赤松 新	18
	変電所設備のデジタル化に貢献する三相一括形 GIS 用電子式 VT・CT の開発..... 山口 達史・藤野 守也・小川 晃一・佐藤 祥輝・宮崎 未知果・布施 宏樹・足立 純一	22
製品紹介	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..... 藤本 千紘・吉田 耕作・福井 琢也・小杉 康高・池田 仁司	27
	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..... 山本 脩斗・鈴木 剛志・鈴木 健司	30
	半導体業界のニーズに応える高速・高精度インラインバンプ検査装置 TVI-S10210..... 荒浪 太一	32
	継続的な安定供給を実現する 66 kV 直結形油入 VCT..... 松田 隆真・寶田 憲央・三輪 昌進・大塚 貴裕	34
	高度な保守運用を実現するセンサインタフェース装置搭載ガス絶縁開閉装置..... 笹山 裕之・薄井 誠・篠崎 宏司・前澤 格	35
	6 kV 配電線の電力品質を維持する分散電源対応型 SVR..... 梅山 慶太・茂木 規行	40
	デジタル変電所の実現に向けた IEC 61850 対応 監視制御装置..... 佐藤 一男・川俣 陽輝・池田 栄二	43
	電力の東西連系強化に貢献する設備情報相互通信システムの構築..... 田沼 秀和・太田 祥貴	48
	USB ストレージの読み書きを高速化する組込み機器向け USB ホストドライバ用 UASP ドライバ..... 万永 淳之	50
トピックス	「2022 東光高岳 10th Anniversary ソリューションフェア ～総合エネルギー事業プロバイダーを目指して～」を開催.....	51
	脱炭素と BCP に対応する群馬県上野村マイクログリッドシステムの構築.....	52
	デジタル変電所実現に向けた IEC 61850 適用 異メーカ接続検証試験.....	53
	電力品質の向上に寄与する地上機器納入.....	54
	Ⅰ. 地下孔用センサ内蔵自動多回路開閉器	
	Ⅱ. 三回路配電塔	
	2 台の EV を同時充電可能な 120 kW 急速充電器ホテルニューオータニ（東京）でサービス提供開始.....	55
	EV 社会発展に向け積極的に貢献できる場の提供 東光高岳蓮田事業所への急速充電器設置.....	56
	運行管理のデジタル化に向けた急速充電器の管理ツール機能.....	57
	ルワンダ共和国での日本政府 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.....	58
	スポーツイベントを光で演出する 国内初・鉄塔型フルカラー演出照明で「照明優秀技術賞」を受賞.....	60

カーボンニュートラル社会への風



中田 俊彦*
Toshihiko Nakata

カーボンニュートラルの風が東西から同時に吹いてきて、2050年に向けてさらに強まる勢いを見せている。一過性の台風ではないので、雨風をしのぐ応急処置ではいずれ力尽きることは明らかだ。その風はサステナビリティから始まり、ローカーボン、ゼロカーボン、カーボンネガティブと少しずつパワーアップして、対象領域も技術、金融、社会システムへと着実に拡がっている。

私がこの変化にポジティブな理由のひとつは、失うモノよりも得ることが大きいと直感したからである。鈍感ながら、カーボンニュートラルにネガティブな人や本気で反対する業界があることに、最近になって気づいた。私とは逆に失うモノが大きいと判断したのだろうし、それはそれで、かれらの足下の事情がよくわかる。ポジティブになれるもう一つの理由は、30年以上前に、サステナビリティを発端とする世紀の変革の予兆に触れたからだ。いいかえれば、カーボンニュートラル社会への変化に耐えられるワクチンを先行して接種されたのだ。

サステナビリティを最初に耳にしたのは、1985年に電力中央研究所に就職して数年経った30歳の頃である。東京電力から迎えた依田直理事長が新たに招集した有識者会議に、若手職員として参加する機会が舞い込んだ。石炭火力発電の若手研究者が、技術系を越えた社会論の議論に突然交わることになったのだ。議論のなかには、理解を大幅に超える難解なキーワードも頻繁に飛び交っていて、テーブルの隅でひたすら大人しく、築地や日本橋から取り寄せた折り詰めに感動しただけの会もある。そのなかで強烈な印象が残っているのは、技術の覇権を意味する「テクノヘゲモニー」の議論で、日本での提唱者である葉師寺泰蔵先生（慶應義塾大学）から直に拝聴した。また、価値観の変化を表す「パラダイムシフト」では、尾島俊雄先生（早稲田大学）からの難解な問いかけが寄せられて、高尚でありながらも不思議な親近感を感じた。

「テクノヘゲモニー」については、当時は他人事だったが、今になって自戒を込めてその意味を噛みしめている。ジェットエンジン、家電、半導体、OS、PC、スマートフォン、風力発電機、これらは日本が国際社会の中で覇権を失ったものであろう。風力発電機は、技術開発競争に参画する前に欧米が技術の覇権を得て、事実上の不戦敗である。技術開発が始まったオイルショック直

後に、機械工学の学生として流体力学や材料力学の基礎を学んだだけに悔しい。また、すでに普及が始まっている電気自動車は、スタートが大幅に遅れて覇権に加わることができるかの難しい瀬戸際にある。科学技術立国という用語に浮かれていた1990年代を思い起こすと、現在の苦闘する姿は想像できなかった。皮肉にも、当時話題になったグローバル・スタンダードに、提案側ではなく、ユーザーとして容赦なく巻き込まれている。

ではむしろ、要素技術であるデバイスから離れて、日本の社会システムの先進性を築き上げて、それを優位性と考えてはいかがだろうか？ カーボンニュートラル社会は、サステナビリティを起源とする応用版と捉えれば勝算はある。「もったいない」節約精神を詰め込んだ日本は、その機能を進化させて社会実装すればスマートシティや脱炭素地域の原動力となる。MRJ（小型旅客機）の開発中止の原因となった技術開発者の弱点は、「プロジェクトマネジメント」と「システムオブシステムズ」であった。いずれも欧米のManagement Science（経営工学）で学ぶ基礎科目だが、日本の理系では修学の機会は稀である。前者は、品質、予算、人員を伴う時間管理であり、その気になれば実施できる。後者は、右脳を使う社会システムのデザインであり、単位や次元の異なるデバイスを連携させて、機能を最大化する仕組みづくりである。カーボンニュートラル社会とは、まさに二酸化炭素をゼロにしつつ新たな社会機能をつくり、その価値を最大化するシステム設計なのだ。

これを達成するには、産業革命以降、あるいは明治維新以降のフルカーボン時代の成功体験とは決別して、まったく異なる技術要素とそのネットワークを空想し、具現化する能力が問われる。もちろん、未来社会の試作実験はできないので、デジタルツインの機能を活用して、社会機能をバーチャルに再現するモデリングとシミュレーション技術が要となる。目に見えないデータ情報が行き交う社会を具現化する能力とそのリーダーシップが問われる。その勝者が次世代の覇権を得るだろう。

さらに、2050年のカーボンニュートラル社会の次の風は何だろうか。それは、カーボンニュートラル社会を達成した人のみが感じる風。ネガティブであれば、その風を感じることもなく、無風地帯の怖さを知らないで過ごすことになる。

東光高岳技報 第10号発刊にあたって

～東光高岳の目指すカーボンニュートラルと技術戦略～

東光高岳技報編集委員会

昨年の東光高岳ホールディングス設立10周年に続き、東光高岳技報も10号の節目を迎えました。

この10号に至るまで、多くの方々のご協力、ご支援を賜りましたことを深く感謝申し上げます。

東光高岳技報は、電力ネットワークの安定品質を支える予測診断技術から、エポキシモールド樹脂のリサイクル技術、AIを用いた電力需要の予測技術、電力ネットワークの高度化に資する産学協働・実証試験などの先進的な取り組みまで、将来の顧客価値に繋げるためのさまざまな技術・製品・サービスを紹介してまいりました。

一方、この10年を振り返ると、電力システム改革、電力小売自由化、発送電分離、FITによる再生可能エネルギーの普及拡大、レジリエンス強化など東光高岳を取り巻く環境は大きく変化し、近年では2050年カーボンニュートラル（以下、CN）に向けて地球規模で大きく動き出しました。

そうしたなか、国内では近年の世界情勢を背景に、エネルギーの安定供給確保と産業競争力の強化・脱炭素の同時実現を目指したグリーントランスフォーメーション（以下、GX）によるクリーンエネルギー中心の産業構

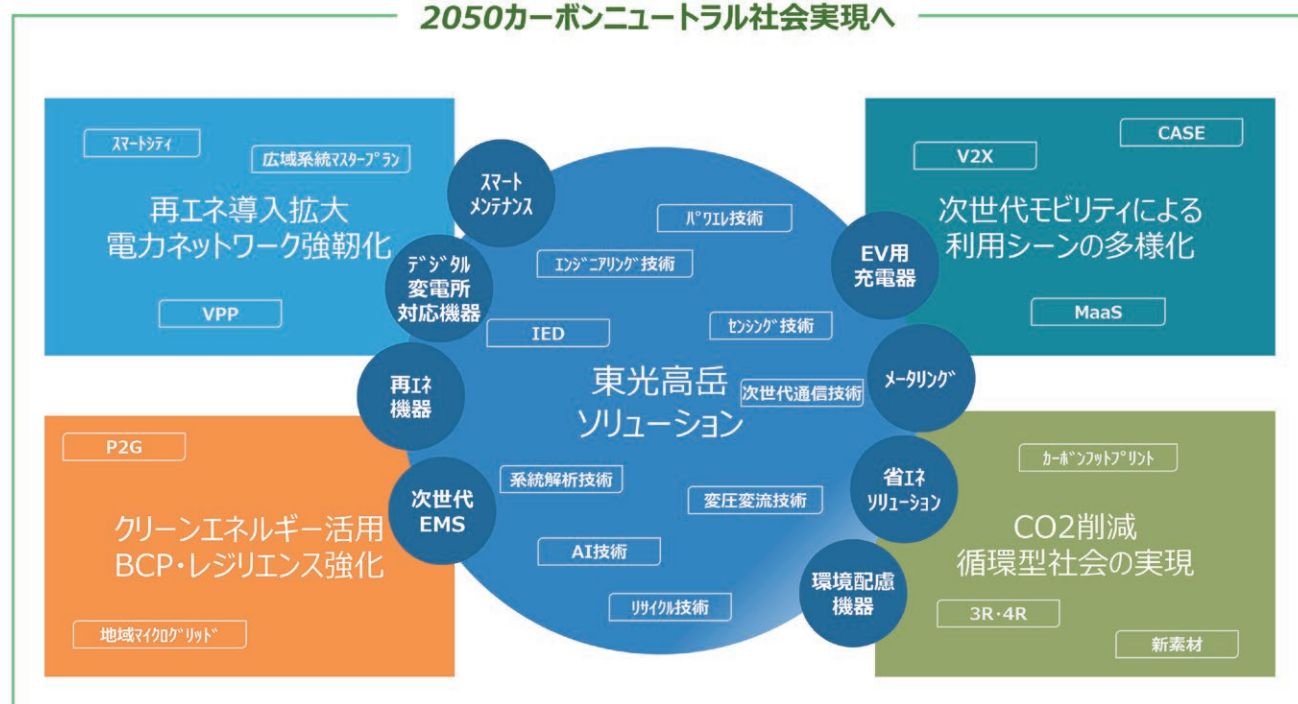
造・社会構造への転換が必要とされています。

東光高岳は、エネルギー供給の安定化と災害時のレジリエンスに資する次世代配電ネットワーク構築に向けて、デジタル技術を活用した既存技術とのハイブリッド、クリーンエネルギーの活用、IoTやAIを活用したスマート化による新たな製品・サービスの開発に挑戦します。

さらに、東光高岳の強みであるEV用充電器や計測技術を軸に、来たるべきモビリティ社会においてEVを単なる移動の手段と捉えるのではなく、エネルギー輸送媒体と考えた場合の活用方法など、新たな顧客価値を創造してまいります。

東光高岳は、2030ビジョンに掲げた「総合エネルギープロバイダー」実現に向けて、これまでの豊富な実績を通して培った幅広い技術をさらに深化・進化させることでCN・GX、BCP・レジリエンス強化、サーキュラーエコノミーなどの社会課題解決に貢献してまいります。今後も、東光高岳技報においてタイムリーに情報発信を行ってまいりますので、読者の皆様におかれましては、引き続きご愛読いただけますようお願い申し上げます。

2050カーボンニュートラル社会実現へ



カーボンニュートラルと循環型社会の実現に 貢献する電気絶縁油の再生技術の構築

■ 北村 英里子
Eriko Kitamura

■ 栗原 二三夫
Fumio Kurihara

近年、環境への対応に向けられる関心が大きくなっており、脱炭素社会やカーボンニュートラル、循環型社会の構築に向けた取り組みは必要不可欠である。この潮流は油入絶縁機器に使用する電気絶縁油の分野においても同様で、海外では電気絶縁油品質の国際規格が改正され、未使用絶縁油と再生絶縁油で品質上の区別はなく同等に扱われるようになった。一方、国内では再生絶縁油の適用はまだ盛んではないが、環境配慮への潮流、さらに国際規格への整合促進なども考慮すると、国内においても電気絶縁油再生と再生絶縁油の利用は広がっていく可能性がある。

そこで、使用済み絶縁油の再生処理と再生絶縁油の利用に関する研究に取り組み、知見を得たので紹介する。

1 はじめに

近年、環境への対応に向けられる関心が大きくなっており、カーボンニュートラルに向けた取り組みは必要不可欠である。このような流れは、油入電気機器の絶縁媒体として使用される電気絶縁油の分野においても同様である。電気絶縁油におけるカーボンニュートラルへの取り組みとして、生分解性電気絶縁油^{注1)}の適用、そして、電気絶縁油の再利用が挙げられる。これらは、電気絶縁油ライフサイクルの中での電気絶縁油に由来する二酸化炭素排出量の削減に大きく貢献できると考えられる。

生分解性電気絶縁油に関しては、海外では未使用の天然エステルに関する品質規格 (IEC 62770 : 2013)、改質・混合エステルに関する品質規格 (IEC 63012 : 2013) に加え、天然エステルが使用されている電気機器のメンテナンスと使用に関するガイドライン (IEC 62975 : 2021) が発行されている⁽¹⁾。また国内では、生分解性電気絶縁油が JIS 品質規格として制定 (JIS C2390 : 2019) され、電気絶縁油使用機器への適用が進んでいる。

電気絶縁油の再利用に関しては、海外では 2020 年に未使用の電気絶縁油品質の国際規格である IEC 60296 が改正され、未使用絶縁油と再生絶縁油で品質上の区別はなくなり、同等に扱われるようになった。また、再生絶縁油の適用状況としては、例えばアメリカ合衆国オハイオ州に再精製工場を持つ Hydrodec Group plc では、日本の電気絶縁油需要の半分以上に相当する年間 4 万トンもの再精製絶縁油を供給している。また、ヨーロッパでは使用済み絶縁油の輸入、そして、輸入した使用済み絶縁油を再精製した電気絶縁油を輸出する動きもある。さらに、変電所の変圧器に移動式の電気絶縁油再生システムを設置し、絶縁油をリフレッシュさせるサービスも普及しているため、ヨーロッパでの使用済み絶縁油の廃棄量は減少傾向にある⁽²⁾。

一方、国内では再生油から PCB^{注2)} が検出されたこ

とをきっかけに、1990 年以降は使用済み絶縁油を再利用しなくなったが、近年では電気絶縁油の再生と再生絶縁油の変圧器への適用に関する事例が出てきている⁽³⁾。カーボンニュートラルへの潮流、さらに国際規格への整合促進や、2027 年 3 月末をもって PCB 汚染機器の処理が完了することなどを考慮すると、国内においても電気絶縁油の再生と再生絶縁油の利用は広がっていく可能性がある。このため東光高岳では、電気絶縁油の再生に関する技術や、再生された電気絶縁油の長期安定性に関する研究に取り組んでいる。

使用済み絶縁油を再生する方法は、機械的方法（ろ過や遠心分離ほか）や、吸着法（酸化劣化による生成物を吸着剤へ吸着し除去する方法）、化学的方法（硫酸処理や水素化処理ほか）などが挙げられる⁽⁴⁾。その中でも、電気絶縁油特性への品質要求を満たすレベルで回復・改善でき、かつ、石油精製レベルのプラントを必要としない吸着法に着目して検証を行っている。今回、電気絶縁油の再生方法と、再生処理により得られる再生油の特性やその挙動について知見を得たので報告する。

2 再生処理条件の検討

2.1 試料とした電気絶縁油

再生処理の条件検討にあたり、模擬劣化油を使用した。模擬劣化油は、ステンレスタンク内に市販の電気絶縁油 (JIS C2320 : 2010 1 種 2 号油) を銅線や絶縁紙などの変圧器材料とともに、実変圧器内での使用比率で密封し、空気の加圧供給を実施しながら、120°C で加熱して加速劣化させたものである。

2.2 吸着剤の選定

電気絶縁油の再生処理に適した吸着剤を選定するため、模擬劣化油中の劣化成分の除去性能に関する検証を行った。吸着剤として活性白土^{注3)}、活性アルミナ、モレキュラーシーブ 4A、陰イオン交換樹脂の 4 種を使用

した。活性白土や活性アルミナはすでに石油の精製工程や変圧器油の劣化防止剤として使用実績がある。また、その他の吸着剤として活性白土や活性アルミナとは成分の異なる多孔質のゼオライトや高分子化合物を選定した。検証は、ビーカーの中へ模擬劣化油とともに一定量の吸着剤を入れて攪拌、ろ過して各特性を評価した。各吸着剤の検証結果を表 1 に示す。

表 1 各吸着剤で処理した再生油の特性

吸着剤	色相	酸価	電気特性	総合評価
活性白土	○	○	○	○
活性アルミナ	△	△	—	△
モレキュラーシーブ 4A	×	×	—	×
陰イオン交換樹脂	×	×	—	×

酸価はその値が低下するほど良好な特性として評価する項目であるが、モレキュラーシーブ 4A と陰イオン交換樹脂では酸価の低下がみられなかったことから、劣化生成物を除去できなかったと考えられる。一方で、活性白土と活性アルミナでは酸価が低下し、電気絶縁油の再生処理に効果があったが、活性白土の方が再生処理の効果が高かったことから、吸着剤として活性白土を選定した。

2.3 再生処理の条件検討

次に、活性白土を使用した再生処理条件を検討した。模擬劣化油に対し、再生処理において一般的に使用される吸着剤量である⁽⁴⁾ 5 wt%の活性白土を温調条件下で接触させると、電気絶縁油の特性が向上したことを確認した。さらに、再生処理前の電気絶縁油の色相は茶色であったのに対し、再生処理をすることで脱色され、新油と同様な色相となった。なお、1 段階の再生処理では電気絶縁油特性を十分に改善させるために再生処理時間を長くする必要があったが、2 段階以上の処理（吸着剤を途中で交換）を行うことで、短時間で十分な電気絶縁油特性が得られた。本検討をもとに、再生処理検証装置での処理条件は表 2 とした。

表 2 再生処理条件

項目	内容
吸着剤の使用量	劣化油に対して約 5 wt% (各段階で吸着剤は新しいものに取りかえる)
油温	60℃以上
処理の段数	2 段階以上

3 検証装置による模擬劣化油の再生処理効果の検証

3.1 再生処理に使用した検証装置

再生処理装置での再生処理工程における特性変化と再生油の電気絶縁油特性を検証するため、検証装置を用いた再生処理検証を実施した。

図 1 に検証装置の外観を示す。

本装置は真空脱気槽に貯留した電気絶縁油を昇温・保温しながら循環し、吸着剤槽へ通液し吸着剤と接触させるパーコレーション法^{注 4)}としている。検証にあたっては、真空脱気槽へ導入した劣化絶縁油を真空脱気しながら 60℃に昇温し、保温しながら吸着剤槽へ循環した。吸着剤槽の出口には、市販の導電率センサを設置し、再生処理中の電気絶縁油の導電率の変化を測定し、この挙動から再生処理の終点を判断した。



図 1 検証装置

3.2 検証装置による模擬劣化油の再生処理

表 2 で示した再生処理条件で検証装置を使用して再生処理を行い、その効果を確認した。各段階で再生処理を行った試料油を採取し、酸価・誘電正接・体積抵抗率を測定した。測定は JIS C2101:2010 電気絶縁油試験方法に準拠した。その結果を図 2 に示す。なお、各特性の測定結果は再生処理前の模擬劣化油の値を 1 としたときの変化率を記載した。

再生処理により各種特性は向上し、新油レベルに近い特性が得られた。さらに、再生油に対して JIS C2320

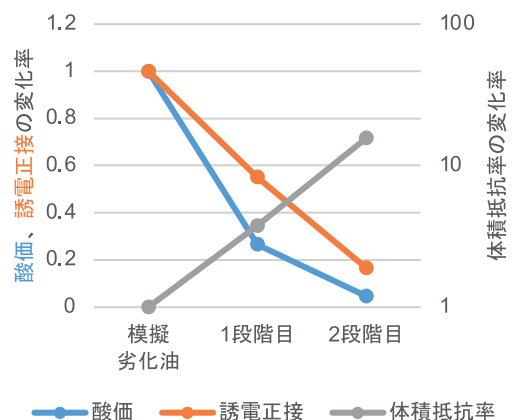


図 2 再生油の特性の変化傾向（吸着剤量：約 5 wt%）

の品質項目のすべてを試験し、規格値を満足することを確認した。しかしながら、今回の再生処理条件では十分な再生効果は得られたものの、処理時間は合計で24時間以上もの時間を要することがわかった。これは、再生処理温度や吸着剤量などの再生処理条件のほか、模擬劣化油と吸着剤の接触方法などの影響があると考えられる。本装置のようなパーコレーション法の場合は、装置や吸着剤による再生処理、装置運用が簡素化できるメリットがある一方で、コンタクト法^{注5)}に比べ、処理時間が長くなる傾向を示している。

3.3 吸着剤量を増やした場合の処理時間への影響検証

吸着剤量を増やした場合、油と吸着剤の接触面積の増加により油中の劣化成分の吸着が促進され、同装置での吸着再生処理をより短時間化できる可能性がある。そこで吸着剤量を模擬劣化油に対して約10 wt%とし、3.2と同様に検証を行った。その結果を図3に示す。なお、各特性の測定結果は再生処理前の模擬劣化油の値を1としたときの変化率を記載した。

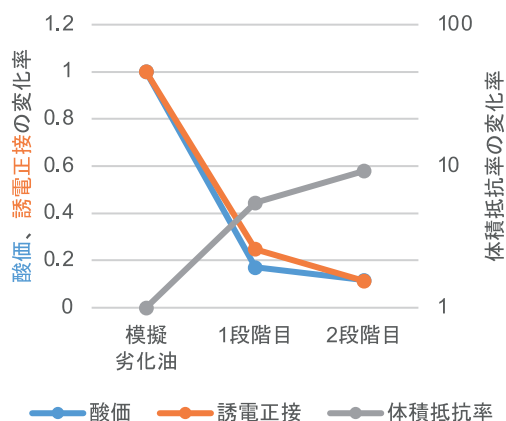


図3 再生油の特性の変化傾向（吸着剤量：約10 wt%）

吸着剤を模擬劣化油量に対して約5 wt%使用した場合と比べて酸価・誘電正接・体積抵抗率が向上するまでにかかる時間は大幅に短くなり、1/3以下までに短縮できることを確認している。また再生処理終了時の再生油特性は吸着剤量約5 wt%時と同等で、新油に近い特性が得られた。さらに、再生処理による各特性向上の変化傾向が急峻となり、吸着剤を増やした効果が表れたと考えられる。このことから本装置のような構造では、吸着剤量の使用量によって処理時間の調整（最適化）が可能であることがわかった。

3.4 再生処理における導電率センサの挙動

3.3で実施した再生処理における導電率センサの出力（導電率）を図4に示す。なお、再生処理開始時点での導電率の値を1としたときの値を示した。

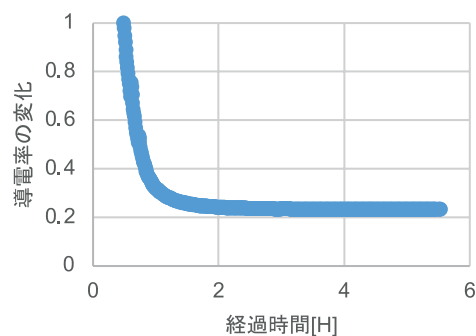


図4 導電率の経時変化

導電率センサの出力は、経時的に低下し、ある一定の値で安定化する挙動を示した。これは、電気特性を低下させる劣化油中の劣化成分が吸着剤によって除去される様子が、リアルタイムにモニタされていると推察できる。このことから、再生処理の終点判断は導電率センサで実施可能であり、また処理時間などの再生処理条件を固定することなく、確実な再生処理が可能になると考えられる。

3.5 繰り返し再生処理可否の検証

一度再生処理した模擬劣化油の再生油は新油とそん色ない特性を示したことから、複数回の繰り返し再生利用の可能性も期待される。そこで電気絶縁油の加速劣化と再生処理を繰り返し、酸価・誘電正接・体積抵抗率の変化傾向を確認した。再生処理は表2に示した条件で検証装置により行った。その再生油の特性測定結果を図5に示す。なお、各測定値は新油の値を1としたときの変化率を記載した。

その結果、複数回の再生処理を行った再生油でも、酸価や誘電正接、体積抵抗率は再生処理により改善してJIS規格を満足する特性が得られた。この結果から、電気絶縁油の複数回の繰り返し再生利用、ひいてはよりいっそうのカーボンニュートラルへの貢献の可能性がうかがえた。

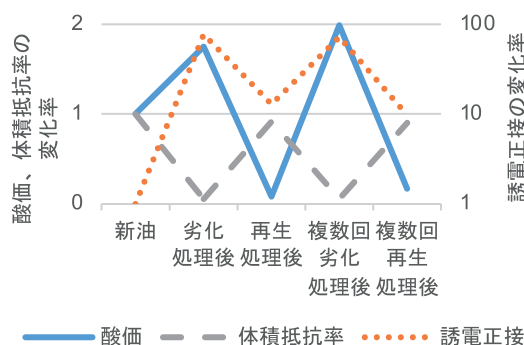


図5 繰り返し再生処理による各特性の変化傾向

4 実器使用油の再生可否

実器で使用された電気絶縁油でも同様に再生処理可能かを確認する目的で、実運用された変圧器から採取した実器使用油に対して、模擬劣化油と同様に表2の条件で再生処理を行った。その結果を図6に示す。なお、各測定結果は再生処理前（実器使用油）の値を1としたときの変化率を記載した。

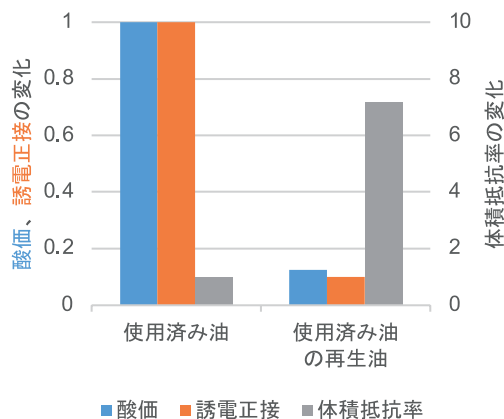


図6 実器使用油の再生処理結果

実器使用油に対しても再生処理は進行し、酸価・体積抵抗率・誘電正接などの項目で、新油とそん色ない特性を得ることができた。よって、今回検証した吸着剤による再生処理方法は実器使用油への適用が可能と判断される。

なお、実器使用油の再生油に対して JIS C2101 品質試験をすべて実施したが、JIS が要求する電気絶縁油品質をもつことを確認した。

5 おわりに

電気絶縁油に対して劣化と再生処理を繰り返し、得られた再生油の電気絶縁油特性について検証を行った。その結果、活性白土を使用したパーコレーション法で再生処理を行うことにより、電気絶縁油を繰り返し使用しても JIS 規格を満足し新油に近いレベルの電気絶縁油特性が得られることを確認した。また、導電率センサを使用することで再生処理の様子をモニタすることができ、センサの挙動から再生処理終了の判断が可能であることを確認した。

さらに、実器使用油を使用した場合でもその再生油は JIS 品質規格を満たすことを確認した。

しかしながら、実器使用油の劣化が大きい場合の再生油品質や、新油の状態では最適化されている微量成分の変化、長期安定性への影響などの課題があると考えている。今後、これらの課題解決をはじめ、設備化や運用方法などに関する検討を進め、本技術および本技術を適用した東光高岳の製品・サービスが、環境負荷低減の視点で社会に貢献できることを目指していく。

参考文献

- (1) 大野高志, 西川精一:「電気絶縁油概論」, 第6回絶縁油分科会後継者育成講習会要旨集, p.57 (2022)
- (2) 長谷川正明:「欧米における潤滑油(絶縁油含む)のサーキュラーエコノミーの現状について」, 第42回絶縁油分科会研究発表会要旨集, pp.51-59 (2022)
- (3) 尾迫修二, 井上暁史:「絶縁油リサイクル技術の開発と実用化」, 電気現場, pp.38-43 (2021.07)
- (4) 松島正蔵:「電気絶縁油および含浸材料」, 電気書院, pp.46-48 (1954)

■ 語句説明

- 注1) 生分解性電気絶縁油: 現在一般的に使用されている石油由来の絶縁油に比べて高い生分解性をもつ電気絶縁油。生分解性電気絶縁油はその分子内にエステル結合をもつことから、「エステル系絶縁油」や「エステル油」とも呼ばれる。JIS C2390:2019では生分解性電気絶縁油を合成エステル・天然エステル(植物油)・植物由来エステルの3部に分類している。
- 注2) PCB: ポリ塩化ビフェニルの略。以前はPCBの化学的安定性や電気特性の高さから、電気機器の絶縁油をはじめ幅広い用途に使用されていた。しかし、後に人体への毒性が判明したため、現在ではPCBを含む機器の製造・輸入ともに禁止されている。
- 注3) 活性白土: モンモリロナイトやハロサイトを主成分とする粘土を酸性処理し、吸着性能を向上させたもの。
- 注4) パーコレーション法: percolation (ろ過, 浸透) を由来とする名称で、吸着剤が格納されている吸着剤槽を電気絶縁油が浸透する様子を示す。電気絶縁油と吸着剤の接触・分離を同時に行うことができる方法。
- 注5) コンタクト法: 接触法とも呼ばれる、吸着剤と試料油を混合攪拌して直接接触させ、その後ろ過により吸着剤と試料油を分離する方法。

北村 英里子

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

栗原 二三夫

戦略技術研究所技術開発センター 所属

スマート保安実現に向けた センシングによる配電盤内の環境評価と 絶縁物劣化診断技術

■ 折戸 由貴
Yuki Orito

近年では設備管理の負担軽減や設備保安力の向上のため、デジタル技術を活用した「スマート保安」の動きが加速している。東光高岳では配電盤メンテナンスの負担軽減を目指し、スマート保安の考え方による配電盤内絶縁物の劣化診断技術を開発している。今回は盤内の環境診断法を確立すべく環境センサによるモニタリング検証を実施し、その結果センサ出力と容積絶対湿度の関係から盤内環境を数値で把握できることが明らかになった。さらに、センサ出力から樹脂絶縁物の表面抵抗も推定可能であり、これによってセンサを通して絶縁物の絶縁低下を定量的に把握可能となった。

1 はじめに

近年では、労働人口の減少やそれに伴う技術継承力の低下などにより、設備管理者側の負担が増加する傾向にある。また、昨今の自然災害の激甚化を受けてBCP（事業継続計画）対策にも注目が集まり、レジリエンスの強化が喫緊の課題となっている。この流れを受け、設備管理者の負担軽減や設備保安力の向上のため、官民の協力によるIoTやAIなどのデジタル技術を活用した「スマート保安^{注1)}」の動きが加速している。この動きは変電所の監視だけでなく、油入変圧器や配電盤の状態診断についても適用され、昨今活発に研究開発が進められている。

配電盤内（以下、盤内）には真空遮断器（VCB）などの機器が収められており、VCBの絶縁フレームには主に不飽和ポリエステル系繊維強化プラスチックなどの樹脂絶縁材料が用いられている。絶縁材料には高い絶縁性能が求められるが、経年に伴って塵埃や海塩粒子などの汚れが樹脂表面に堆積していき、これに降雨時などの高温状態が重なることで樹脂表面の絶縁性能が低下してしまうことが一般に知られている。多くの配電盤は半密閉筐体であるため堆積した汚損物質は風雨で除去されにくく、特に塩害地域や工業地帯では汚れによる絶縁破壊のリスクが大きい⁽¹⁾。よって、予防保全の観点において清掃などのメンテナンスは不可欠であり、個々の設置条件に合わせたメンテナンスの実施には盤内の汚損状態の把握が重要である。しかし、盤内に付着した汚損量の把握やその成分の分析には、専門の分析装置や分析技術が必要であった。このような課題に対し、東光高岳ではスマート保安の考え方による配電盤メンテナンスの負担軽減を目指し、センシング技術による盤内絶縁物の劣化診断技術の開発を進めている。

今回は環境センサとして選定した大気腐食モニタリングセンサ（以下、ACM^{注2)}センサ）での実器環境および暴露試験場環境でのモニタリング検証を実施したので

その検証結果と、検証結果より導出した盤内環境診断法について報告する。

2 検証方法

2.1 実器環境における検証

選定したACMセンサで盤内の汚損を定量^{注3)}的に表せるか確認するため、お客さまが実際に配電盤を使用している環境で検証を実施した。表1に各検証先の塩害区分と検証期間を示す。

表1 検証先諸元

検証先	塩害区分	検証期間	付近の状況
A	岩礁隣接地域	10 か月	海、工業地帯
B	塩害地域	10 か月	住宅街
C	非塩害地域	10 か月	住宅街、線路沿い
D	非塩害地域	4 か月	工業地帯、盤内塵埃少
E	非塩害地域	3 か月	工業地帯、盤内塵埃多
F	非塩害地域	3 か月	工業地帯、盤内塵埃少
G	非塩害地域	3 か月	暴露試験場
H	岩礁隣接地域	継続中	暴露試験場

※区分は東光高岳基準による

検証では汚損検知用センサとしてJIS Z 2384:2019に規定されたACMセンサを使用し、専用ロガーにて10分ごとに出力を取得した。ACMセンサは図1に示すとおり、異種金属接触腐食反応^{注4)}を利用して大気環境の腐食性をモニタリング可能な積層型ガルバニック対^{注4)}を有しており、主に鉄塔や橋梁の腐食監視に利用されているセンサである。

実器環境での検証では需要家変電所の盤内にこの

<ACMセンサの概略図>

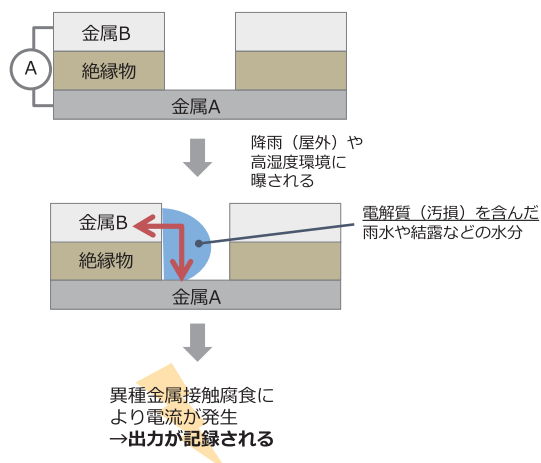


図1 ACM センサの反応原理

ACM センサと温湿度センサを設置し、一部の検証先へは絶縁物を模擬するため樹脂製の平板を併せて設置した。なお、使用した樹脂サンプルは遮断器に用いられているものと同質の素材である、不飽和ポリエステル系繊維強化プラスチックの円板（以下、FRP 板）を選定した。これらを設置から一定期間ののちに回収し、ACM センサ表面の付着物（以下、汚損）を回収してイオンクロマトグラフ^{注5)}による陰イオン分析を行った。樹脂サンプルに対しては同様に汚損分析を行ったほか、絶縁特性把握のため表面抵抗測定も行った。測定には同心円電極および超絶縁計を用い、印加電圧 100 V、室内高湿度条件（20～25℃、80%RH 以上）にて 1 分値を測定した。

2.2 暴露試験場での検証実器環境における検証

暴露試験場（表 1 参照）での検証では、図 2 に示す小型キャビネットの内部に ACM センサを設置してセンサ出力を取得した。キャビネット内には ACM センサおよび温湿度センサと FRP 板を設置し、ACM センサについては一定期間ののち回収して 2.1 節に示す分析を実施した。樹脂サンプルは設置から 1 か月ごとに回収し、2.1 節と同様の表面分析の実施、および表面抵抗を測定した。



図2 暴露試験場での試験のようす（試験場 H）

3 結果

図 3 に検証後の ACM センサ表面 1 cm² あたりの陰イオン性汚損付着量を、図 4 に試験場 G、H から 1 か月ごとに回収した樹脂サンプルの表面抵抗を示す。なお、試験場 H の汚損付着量については現在も検証継続中のため、比較用に検証 3 か月経過時点で回収した FRP 板表面の汚損付着量にて代替した。図 3 より検証期間 10 か月のグループでは検証先 A、B、C の順にセンサ表面の汚損付着量が多く、検証 3～4 か月のグループでは検証先 E の汚損付着量が特に多い結果となった。また、暴露試験場である試験場 G、H では検証先 E よりも汚損付着量が多い結果であった。

図 4 に示す表面抵抗については設置期間の経過に伴って表面抵抗が低下する FRP 板が多くなっていき、ばらつきも増大した。これは時間経過で FRP 板表面の汚損付着量が増加したことにより、表面抵抗が悪化したためと推測される。設置した FRP 板は設置後 3 か月で表面抵抗がおおよそ 10⁸Ω、5 か月で表面抵抗測定エラー（通電状態）になる試料が出始めた。エラーが出る手前のサンプルの表面抵抗は 10⁶Ω～10⁷Ωであったことから、不飽和ポリエステル系 FRP の場合は表面抵抗が

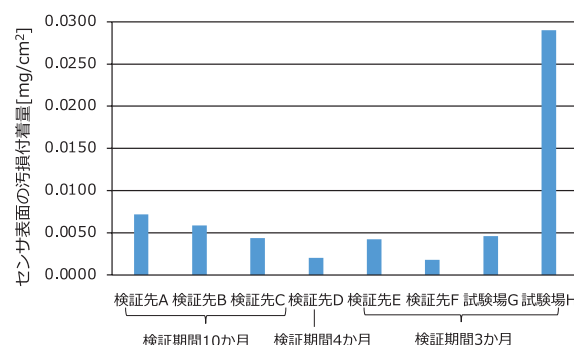


図3 各検証先より回収したセンサ表面の陰イオン性汚損付着量

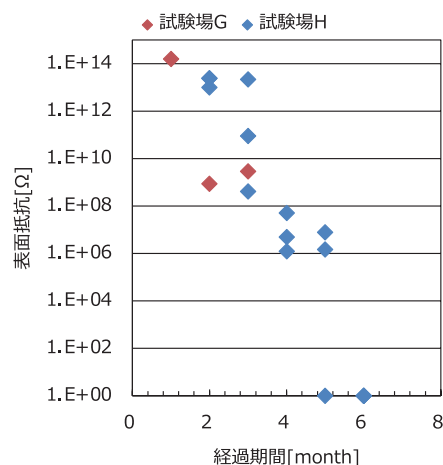


図4 暴露試験場より回収した FRP 板の表面抵抗

$10^6\Omega\sim 10^7\Omega$ まで低下するほど表面へ汚損が付着すると、以降は部分放電や絶縁破壊のおそれがあることがわかった。

図5に各検証先と暴露試験場で取得したACMセンサ出力と容積絶対湿度^{注6)}の関係を示す。また、図6は図5のうち、特徴的な結果を示した検証先を抜粋したものである。容積絶対湿度については、ACMセンサと合わせて設置していた温湿度センサの値より算出した。

検証先ごとのプロットの分布傾向を見ると、盤内の汚損が少なかった検証先DやFでは低出力域にプロットが集中し、一方で汚損の多かった検証先A、E、Gでは高出力域までプロットが広がった。また、両者の中間程度の汚損付着量であった検証先B、Cは中間程度の位置にとどまった。以上から、盤内に汚損の多い環境や塩害を受ける環境ではセンサ出力が増加するという想定とおおむね一致する結果が得られた。

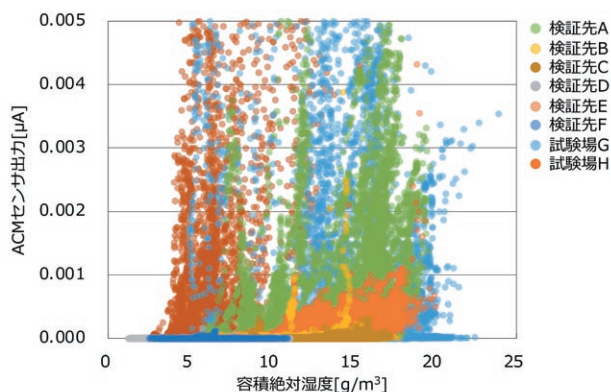


図5 ACM センサ出力と容積絶対湿度の関係

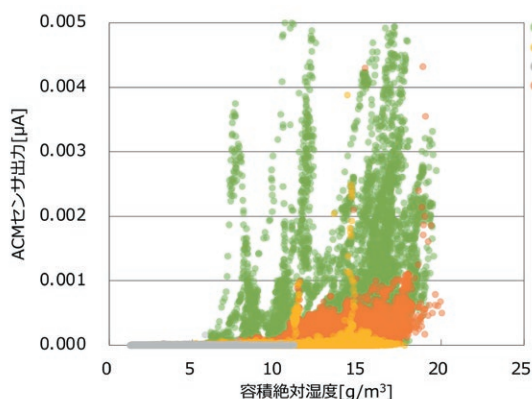


図6 ACM センサ出力と容積絶対湿度の関係（抜粋）

4 盤内の環境診断法および絶縁物表面抵抗推定法の検討

4.1 盤内環境診断法の検討

ACMセンサは腐食の原理を利用しており、センサ表面の反応部に陰イオン成分など腐食因子となる汚損が

堆積した状態で高湿度環境に曝されると表面に電池が形成され、微小電流を出力する。これに対し、不飽和ポリエステル系FRPの表面抵抗は図4および既報⁽²⁾のとおり、表面への汚損付着と高湿度環境が重なることで低下するため、ACMセンサの出力原理と不飽和ポリエステル系FRPの表面抵抗低下の条件は近いと推測される。よって、今回得られたようにACMセンサの出力を参照することで汚損による絶縁性能低下のリスクを把握できると考えられる。なお、試験場Hでの検証では盤内の湿度が低いにも関わらずセンサ出力が高い結果が得られているため、センサ表面により多くの汚損が付着している場合は低湿度でもセンサ出力が高くなると推測している。

上記から盤内環境の診断法として、図5の関係に対してまず縦軸のセンサ出力と横軸の容積絶対湿度のそれぞれに閾値を設け、図7のように低リスク領域と高リスク領域をエリア1～4までレベル分けした。

四つのエリアのうち、ACMセンサ出力の高いエリア3、4は分布が集中すると絶縁破壊のリスクが高い、高リスクエリアとしている。次に、このレベル分けしたグラフ上のプロット分布状況を算出することで、環境リスクが判定できるかについて検討した。プロット全体における高リスクエリアのプロット分布を表したものが図8である。図8のうち高リスクエリアに着目すると、10か月検証のグループでは検証先Aが、3～4か月検証のグループでは検証先Eが高くなっていた。この傾向は、表1にまとめた各検証先の環境および図3に示す汚損

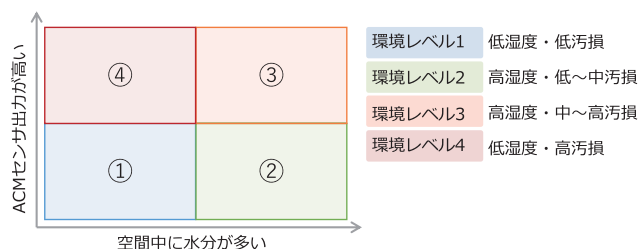


図7 エリア分けの考え方

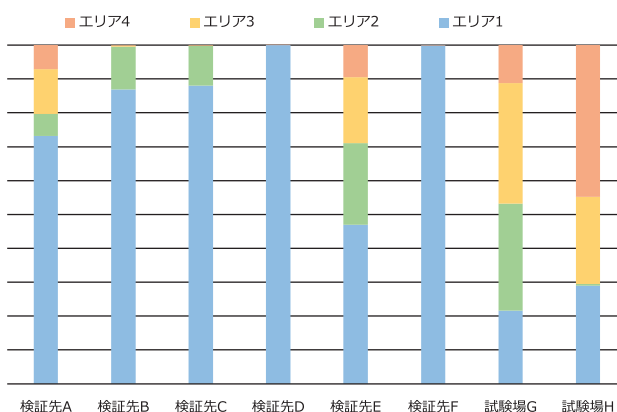


図8 検証先ごとのリスク評価結果

付着量とも相関性がみられた。よって、ACM センサ出力と容積絶対湿度との関係を見ることで、対象盤内の環境リスクを診断できる可能性が示唆された。

4.2 盤内絶縁物表面抵抗推定法の検討

ACM センサ出力と絶縁物表面の汚損付着量に相関性があることから、ACM センサ出力から間接的に絶縁物の表面抵抗を算出可能かについて検討した。

図9に実器検証終了後のACM センサ表面の汚損付着量から導出した、汚損堆積速度と高リスクエリアの関係を示す。なお、汚損堆積速度は汚れが少なく、ACM センサ出力も低い検証先Dを基準とした。

近似式の詳細は割愛するが、図9では汚損堆積速度と高リスクエリアの間に相関性があることが確認できた。これにこれまでの検証で取得した汚損付着量と表面抵抗の関係から得た近似式を用いることにより、ACM センサ設置近辺の不飽和ポリエステル系樹脂絶縁物の表面抵抗を推定できることがわかった。

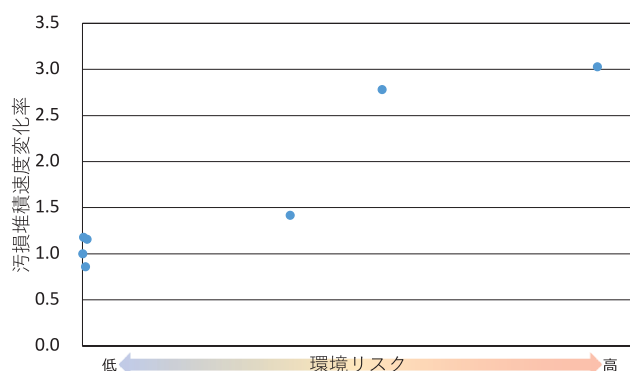


図9 汚損堆積速度と高リスクエリア比率の関係

5 まとめ

センシングによる配電盤内絶縁物の劣化診断技術開発のため、実器環境および屋外暴露試験場にてACM センサによるモニタリング検証を実施した。

検証結果より、取得したACM センサ出力と容積絶対湿度の関係から対象盤内の環境を数値で把握可能と判明した。また、ACM センサの出力と汚損の堆積速度、そして汚損付着量と表面抵抗の間には相関性があるため、ACM センサの出力を参照することで、設置近辺の不飽和ポリエステル系樹脂絶縁物の表面抵抗を推定できることもわかった。併せて、不飽和ポリエステル系樹脂絶縁物の絶縁性能的な寿命についても知見を得られた。これ

らを組み合わせることにより、センサを通して盤内の環境状態を確認しつつ、汚損付着による絶縁物の絶縁低下も定量的に把握できる可能性が示唆された。

配電盤内絶縁物の性能把握が容易になれば、個々の設置環境や機器の状態を鑑みて適切にメンテナンス時期や回数を決定することができ、設備保守にかかるお客さま負担の軽減に貢献できる。今後は当該技術を盛り込んだ配電盤メンテナンスのスマート化サービス構築に向け、絶縁物表面抵抗の推定精度向上に取り組んでいく。

■参考文献

- (1) 電気協同研究会編：「変電設備保安の高度化・効率化」、電気協同研究，第50巻2号，p.142（1994）
- (2) 折戸由貴，栗原二三夫：「配電盤スマートメンテナンス化へ向けた盤内絶縁物の絶縁性低下評価と劣化診断技術」，東光高岳技報，Vol.6，pp.4-7（2019）

■語句説明

- 注1) スマート保安：技術革新や少子高齢化に伴う労働人口の減少といった社会構造の変化に対応すべく、メンテナンスの省人化・効率化など保安力向上を目的として国と民間が協力して行っている取り組みのこと。
- 注2) ACM：Atmospheric Corrosion Monitorの略であり、ACM センサは大気環境の腐食性を評価するモニタリングセンサの一種である。本稿の検証に使用したACM センサはJIS Z 2384：2019に規定されたものである。
- 注3) 定量：対象物質の量を数値で求めることを示す。対象物質の種類を知ることは定性という。
- 注4) 異種金属接触腐食反応，積層型ガルバニック対：異なる種類の二つの金属が塩分などの電解質を含む液体、つまり電解液を通して接触した際に片方の金属の腐食が促進される現象を異種金属接触腐食，またはガルバニック腐食という。本稿の検証で使用したACM センサに用いられる積層型ガルバニック対は鉄鋼の上に絶縁層を挟んで銀が塗布された層状の構造をしており、この鉄と銀の対の間に水分を含んだ汚損が接触することでガルバニック腐食が発生し、同時に微小電流が発生する。
- 注5) イオンクロマトグラフ：イオンクロマトグラフィーという分析手法に用いる装置のこと。溶液中に含まれるイオンの定性分析および定量分析が可能であり、本稿では溶液中の陰イオンの定量分析に用いた。
- 注6) 容積絶対湿度：空間中に存在する水蒸気量を示す単位のこと。

折戸 由貴

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

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

■ 岡井 由香利
Yukari Okai

■ 富井 良平
Ryohei Tomii

■ 梅澤 敦史
Atsushi Umezawa

東光高岳は、センシングによる受変電設備（本稿では、変圧器と配電盤を指す）の状態診断について技術開発を進めてきた⁽¹⁾。当該技術を適用することで、受変電設備に求められる定期的な点検作業を状態に即した内容に最適化することができ、メンテナンス作業の効率化や省力化に大きく貢献できる。

そこで、受変電設備メンテナンスについて、スマート保安^{注1)}を見据えた当該技術⁽¹⁾を適用したスマートメンテナンスシステムの構築を検討した。受変電設備のうち、変圧器メンテナンスの予知保全を中心に構築し、変圧器の劣化度と設備状態を可視化した。このことにより、お客様の変圧器に応じた状態基準保全^{注2)}や、劣化に即した設備更新計画に寄与できる。

1 はじめに

近年、電力業界を取り巻く環境は変化しており、電力設備の高経年劣化、少子高齢化に伴う人材不足、さらには災害の激甚化など、さまざまな課題がある。こうした課題に対応するため、クラウドやIoTといった先進技術を活用したスマート保安^{注1)}が注目されている。スマート保安は、経済産業省主導のもと推進されており、より効率的でより安全な保安体制が求められている。

これまで東光高岳は、センシングによる受変電設備の状態診断について技術開発を進めてきた⁽¹⁾。当該技術を適用することで、受変電設備に求められる定期的な点検作業を状態に即した内容に最適化することができ、メンテナンス作業の効率化や省力化に大きく貢献することができる。

そこで、受変電設備のメンテナンスについて、スマート保安を見据えた当該技術を適用したシステム（以下、本システム）の構築を検討した。本稿では、その取り組みについて紹介する。

2 スマートメンテナンスシステムの構築

2.1 受変電設備メンテナンスの課題

システム化に際して、受変電設備の課題と変圧器メンテナンスの課題を考慮する必要がある。以下に各課題を記載する。

(1) 受変電設備の課題

受変電設備は各地に点在する。現場に赴く必要のある従来のメンテナンス方法では、少子高齢化に伴う人材不足などの観点から、きめ細やかなメンテナンス対応が難しくなることが予測される。

(2) 変圧器メンテナンスの課題

従来、変圧器のメンテナンスにおける内部状態の監視・診断方法は、定期的な点検の際に変圧器から採取し

た絶縁油中の成分を測定し評価する方法が採用されている。しかし、その方法は間欠的である。また、絶縁油中の評価に時間を要し、変圧器の劣化度と設備状態がすぐに分からない。

これらの課題は受変電設備の常時監視を行い、診断に必要なデータを収集・蓄積・解析することで解決が見込める。そこで、小型センサとIoT端末、クラウドを活用した本システムの構築を検討した。

2.2 システム概要

(1) 設計思想

本システムの構築にあたり、クラウドは他システムへの拡張性を考慮した。クラウド基盤を、システムに依存なく共通利用できるデータ蓄積基盤と、システムごとに構築可能なデータ活用基盤、二つの基盤に分ける設計とした。

(2) システム構成

本システムの構成イメージを図1に示す。

受変電設備のデータ収集機能とデータ蓄積機能、受変電設備のうち変圧器メンテナンスの予知保全についてデータ活用機能を構築した。

(3) 機能

以下に本システムの機能を記載する。

(a) データ収集機能

IoT端末は、水素センサやマルチガスセンサなど受変電設備に設置された複数種類の小型センサ（以下、複数センサ）からデータを収集する。収集したデータは、携帯電話（LTE）網^{注3)}を通じてクラウドに一定周期で送る。IoT端末とクラウド間の通信プロトコルは、MQTT^{注4)}を採用した。

MQTTはIoT端末の通信に適したプロトコルである。多数のIoT端末で短いメッセージを送受信する際に利用される。各地に点在する受変電設備の常時監視に適していると考えた。

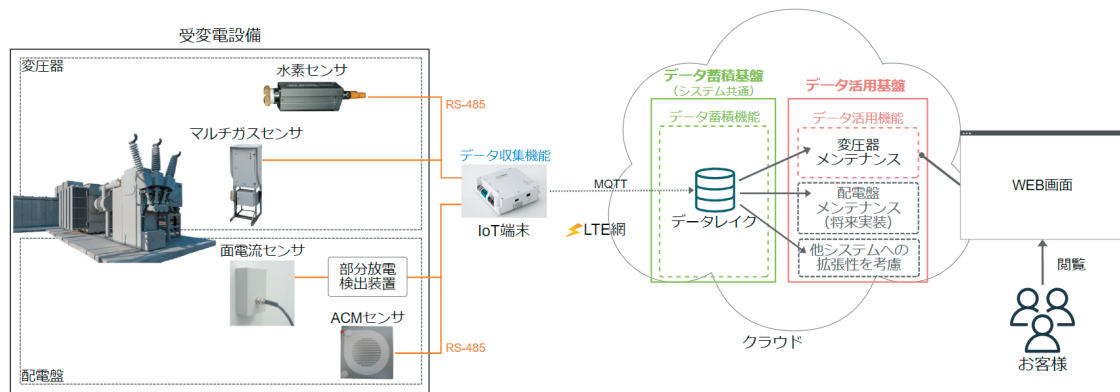


図1 スマートメンテナンスシステム構成イメージ



図2 変圧器の状態監視画面イメージ

MQTTで用いるデータフォーマットは、JSON^{注5)}を採用した。JSONはキーと値の組み合わせにより、複雑な内容を柔軟に表現できる。このことにより、出力値が異なる複数センサのデータ収集に対応する。

(b) データ蓄積機能

データ蓄積は、各地に点在する受変電設備のIoT端末から送られてくるデータを蓄積する。どこに設置されたIoT端末であるか、どのセンサから収集したデータであるかを区別するIDを付与することで、データを一元管理する。

(c) データ活用機能

データ活用は、蓄積したデータを分析し変圧器の劣化度の計算や、変圧器の設備状態について判定を行う。また、それらをお客様向けのWEB画面に表示（可視化）する。

2.3 システム化による効果

受変電設備のうち、変圧器メンテナンスの予知保全を中心にシステム化した。複数センサのデータを常時監視することで、メンテナンスの効率化や省力化が期待できる。

また、変圧器の劣化度と設備状態をWEB画面に表示（図2）し、現在の変圧器状態を分かるようにした。このことにより、お客様の変圧器に応じた状態基準保全

や、劣化に即した設備更新計画に寄与できる。

3 おわりに

センシングによる受電設備の状態診断により、メンテナンスの効率化や省力化に貢献する本システムは、お客様と連携したフィールド検証や自社工場設備への試験導入を現在進めている。今後も新たなデータ収集による診断精度の向上やお客様へのヒアリングを継続的に行い、本システムの完成度を高めていく。さらに、異常検知や変圧器以外の受変電設備メンテナンスへの対応、AI技術による診断アルゴリズムの適用など、よりスマート保安の考えに即した技術の適用を進めていく。また、本システムのクラウド構築で得た知見を活かし、さまざまなシステム間のデータ連携など、拡張性の高いお客様サービスの提供を目指していく。

■参考文献

- (1) 出井和弘, 折戸由貴, 栗原二三夫:「センシングによる受変電設備の状態診断技術」, 東光高岳技報, Vol.9, pp.34-37 (2022)

■語句説明

注1) スマート保安: クラウドやIoTといった新技術の活用により安全性と効率性を高め、産業保安における保安

力の強化と生産性の向上を目指す取り組みを指す。

- 注 2) 状態基準保全：現在の設備状態を基準に，劣化状況に応じてメンテナンスを行う考え方を指す。
- 注 3) 携帯電話（LTE）網：携帯電話会社が提供する通信網のこと。IoT 端末に SIM を挿すことで，通信機能を持たせている。本システムでは閉域網を使用している。閉域網は通常のインターネット回線とは分離され，外部からの不正アクセスを防ぐことが可能である。
- 注 4) MQTT（Message Queueing Telemetry Transport）：IoT に適した，TCP/IP 上で利用できる通信プロトコルの一つ。多数の端末で短いメッセージを送受信する用途に利用される。
- 注 5) JSON（JavaScript Object Notation）：軽量のデータ交換に用いられる代表的なフォーマット。人にもコンピュータにも容易に読み書きが行いやすい形式である。

岡井 由香利

戦略技術研究所 技術開発センター
ICT 技術グループ 所属

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

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

■ 高田 晃平 Kohei Takada ■ 北 治夫 Haruo Kita ■ 中山 匡 Tadashi Nakayama

太陽光発電の発電量は気象条件に大きく左右される。その発電量の予測は、太陽光発電の導入と安定した電力供給を両立し、さらには蓄電池等の関連設備を含め最適運用するために重要である。これに対して、東光高岳では AI を用いた太陽光発電予測手法⁽¹⁾を検討してきた。一方、発電量予測の実用化のためには、そのアルゴリズムだけではなく、予測処理を必要に応じて実行できるシステムが必要である。本稿では前述の太陽光発電予測手法の成果をより実用的なものとするために構築した、AI による太陽光発電量予測システムについて述べる。

1 はじめに

太陽光発電は、カーボンニュートラルを実現するために重要な再生可能エネルギーのひとつである。2021 年時点で日本国内の総発電量に対して 8.9%であった太陽光発電の比率を、2030 年に 14.9%、2050 年に 15.7%と高める目標を日本政府は掲げている⁽²⁾。

太陽光発電の持続的な導入と安定した電力供給を両立するためには、気象条件に大きく左右される太陽光発電の発電量予測が重要である。太陽光発電量予測をもとに一般送配電事業者は電力の需給予測を立て、必要に応じて太陽光発電事業者などの発電事業者に対して出力抑制^{注1)}を要請できる⁽³⁾。一方、太陽光発電事業者は太陽光発電量予測をもとに出力抑制時の余剰電力を活用することで、事業の採算性を向上できる。

東光高岳では、太陽光発電の供給計画および発電販売計画^{注2)}の作成や、蓄電池等の各種太陽光発電関連設備を含めた最適運用に貢献するため、AI を用いた太陽光発電予測手法⁽¹⁾を検討してきた。本稿では前記成果をより実用的なものとするために開発した、AI による太陽光発電量予測システム（以下、本システム）について述べる。

2 本システムの概要

2.1 本システムの構成概要

本システムの構成概要を図 1 に示す。利用者は太陽光発電設備から収集した実績データおよび予測要求を本システムに送信することで、予測データを取得できる。

本システムはクラウド上に構築した Web システムであり、利用者は API^{注3)}を介して本システムを利用できる。

2.2 本システムの機能

本システムは、社内で開発した 4 種類の太陽光発電量予測アルゴリズムを搭載しており、それらのアルゴリズムによる太陽光発電量の予測が可能である。図 1 にて示した本システムの各機能の詳細を以下に示す。

・予測要求送信

利用者が本システムに対して太陽光発電予測の実行を要求できる。予測が完了すると、利用者は太陽光発電予測データの取得が可能になる。

・予測データ取得 / 削除

利用者が本システムから太陽光発電予測データを取得および削除できる。

・実績データ送信 / 取得 / 削除

利用者が本システムに対して、太陽光発電設備から収集した発電実績データを送信、取得および削除できる。

・気象予測データ取得

本システムが気象会社の提供する気象予測サービスから定期的に気象予測データを取得する。この気象予測データは太陽光発電量予測のために必要。

3 本システムの設計と実装

3.1 本システムの設計

本システムではモダンな Web 技術を採用し、REST API^{注4)} および JSON^{注5)} に基づく外部インターフェース設計、マイクロサービスアーキテクチャ^{注6)} に基づく

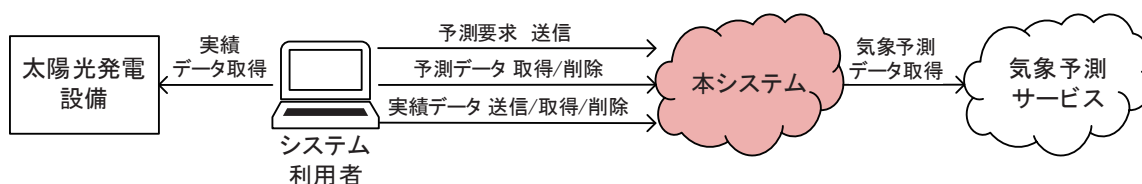


図 1 本システムの構成概要図

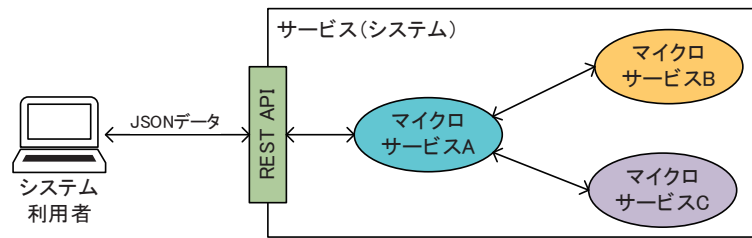


図2 モダンな Web システムの概念

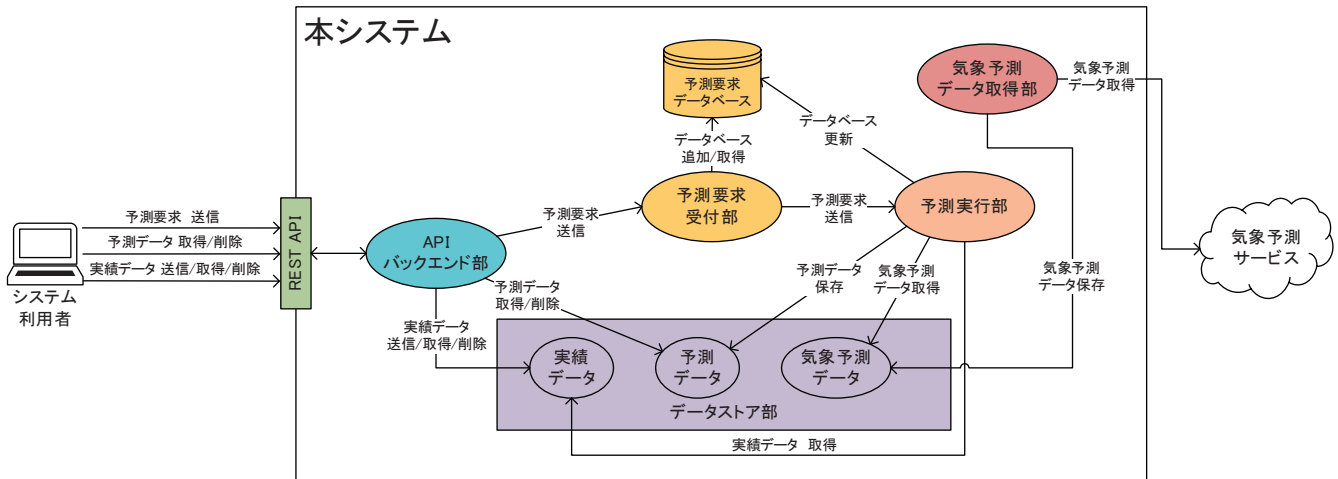


図3 AIによる太陽光発電量予測システムの概要

システムの内部設計を行った。これら技術を採用して設計したWebシステムの概念を図2に示す。これにより、外部システムとの齟齬が生じにくく、開発効率の高いシステムを構築できた。

3.2 本システムの実装

本システムの実装にあたっては、サーバレス^{注7)}および、IaC^{注8)}を活用した。これらにより、開発および運用・保守が容易なシステムを実現できた。

3.3 構築したシステム

REST API, JSON, マイクロサービスアーキテクチャ, サーバレスを組み合わせ、IaCにて構築した本システムの概要を図3に示す。機能ごとに分割したマイクロサービスアーキテクチャとし、各サービスはクラウド事業者が提供するサーバレス・サービスを活用して実装した。

4 おわりに

今回、東光高岳にて開発した4種類の太陽光発電量予測アルゴリズムを搭載したAIによる太陽光発電量予測システムを構築した。これにより、開発したアルゴリズムの実用性を高めることができた。今後はアルゴリズムの精度向上、システムの可用性向上などに努めると

もに、本システムを活用した、発電販売計画作成や蓄電池等の最適運用を実現するソリューションの開発を、社内部門と協力して進めていく。さらには、太陽光発電量予測にとどまらず、電力需要予測や電力機器の予知保全など、AIを活用したさまざまなシステムを構築し、これらのシステムを連携させることで、お客さまへの新たなサービスの提供による顧客価値を創出していく。また、東光高岳機器からのデータ収集の取組み⁽⁴⁾およびそのシステムとの連携により、AIによるIoTデータの活用への道筋を探っていく。

■参考文献

- (1) 北治夫, 佐藤祥輝:「AIを用いた太陽光発電予測手法の検討」, 東光高岳技報, Vol.9 (2022)
- (2) International Energy Agency:「World Energy Outlook 2022」, pp.455-456 (2022)
- (3) 再生可能エネルギー出力制御の低減に向けた取組について, 第45回経済産業省系統ワーキンググループ参考資料1, (2023)
- (4) 岡井由香利ほか:「予知保全に貢献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 (2023)
- (5) 電力広域的運営推進機構: 広域機関システム (各種手続き)・計画提出>計画提出, <https://www.occto.or.jp/occtosystem2/keikakuteishutsu>, (2023/6/22 閲覧)

■ 語句説明

- 注 1) 出力抑制：発電所から電力系統に対して供給する電力量を制限すること。
- 注 2) 供給計画および発電販売計画：FIT 制度や自己託送制度を利用し発電を行う事業者は、電気事業法に基づき供給計画を、託送供給等約款に基づき発電販売計画を作成し、電力広域的運営推進機関に提出しなければならない⁽⁵⁾。
- 注 3) API (Application Programming Interface)：複数のシステムやソフトウェアの間で情報をやり取りするためのインターフェースのこと。
- 注 4) REST API：REST (Representational State Transfer) という設計思想に基づいた API のこと。外部システムとの間で発生するインターフェースの齟齬を軽減できる。
- 注 5) JSON (JavaScript Object Notation)：Web システムでのデータ交換に用いられる代表的なデータフォーマット。REST API と組み合わせて使われることが多い。
- 注 6) マイクロサービスアーキテクチャ：一つのサービスを必要最小限の機能単位で複数の小さなサービス（マイクロサービス）に分割し、それらを連携させるこ

とで一つのサービスとして機能させるもの。マイクロサービスごとに動作検証が可能であり、開発効率を向上できる。

- 注 7) サーバレス：開発者がサーバの存在を意識せずにシステムを構築できる仕組み。サーバの運用はクラウド事業者が担うため、開発者はシステムの構築に注力できる。
- 注 8) IaC (Infrastructure as Code)：クラウド上でのシステム構成をコード（プログラム）で記述し管理すること。構築したシステムの保守性を高めることができる。

高田 晃平

戦略技術研究所 技術開発センター
ICT 技術グループ 所属

北 治夫

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

製品の開発期間短縮と性能向上のための最適化解析技術

■ 赤松 新

Arata Akamatsu

最適化解析技術は、製品に要求される強度や剛性、絶縁性能など、複数の設計条件を満たす最適な構造を自動的に導き出す技術である。これを設計検討の段階で取り入れることで、最適な設計案を得るまでの試行錯誤を大幅に削減できるようになり、設計期間の短縮が可能となる。

東光高岳では製品の開発期間の短縮を目指し、最適化解析を設計業務に適用する取り組みを行っている。本稿では最適化解析の概要を説明するとともに、実際の既存製品に対して最適化解析を適用した事例について紹介する。

1 はじめに

近年の電力機器は性能向上やコストダウンに加えて、省エネルギー化・環境負荷低減など多種多様なニーズに応える必要がある。そのため製品開発時の検討事項が増え、長期の開発期間を要することもある。新製品の市場投入が遅くなることで機会損失を招く可能性もあることから、製品開発期間の短縮は重要な取組み要素である。

製品開発では、性能の維持・向上と同時に、小型化・軽量化も求められる。これらはトレードオフの関係にあることが多く、バランスが取れた最適な設計を行うためには、設計変更と検証の繰り返しによる試行錯誤が必要となる。

近年では、試作前の段階で CAE を用いて設計案の検証を行うことで、手戻りの削減、製品開発期間の短縮が図れている。しかしながら、一般的には、機械的、熱的、電氣的などの各要素を個別に検証するため、複合的な設計条件を満たす最適な設計には多くの時間を要する。

東光高岳ではさらなる短縮を図ることを目指し、設計段階での試行錯誤の時間に着目した。その解決手段の一つとして、最適化解析という解析技術がある。これは強度や絶縁性能など、複数の設計条件を満たす最適な構造を、アルゴリズムに基づいて自動的に導き出すというものである。これを設計時の検討に取り入れることで、最適な設計案を得るまでの時間を大幅に削減でき、製品開発期間の短縮に繋がることが期待できる。

本稿ではまず最適化解析技術の概要を説明し、最適化解析による短縮効果の確認のため、開発済みの既存製品に対して適用してみた事例について紹介する。

2 最適化解析の概要

2.1 最適化解析とは

最適化解析とは、強度や剛性、絶縁性能などを満たす最適な構造を求める解析技術である。数理計画法や遺伝的アルゴリズムといった最適化アルゴリズムに基づい

て、構造変更と解析の繰り返しを自動化することで、最適な構造を求めている。

2.2 最適化解析の各手法について

最適化解析はトポロジー最適化、形状最適化、寸法最適化の三つに大別される。手法ごとに設計変更の自由度が異なり、トポロジー最適化、形状最適化、寸法最適化の順に自由度が高い。

それぞれの最適化手法と、設計において適用される段階を対応させた概念図を図 1 に示す。片持ち梁に対し各手法を適用した場合の設計変更のイメージを示している。設計変更の自由度が高い手法ほど設計の初期段階での活用に向いている。対象の製品や設計の段階に応じた最適化解析を選択することで、より適切な最適構造が得られる。

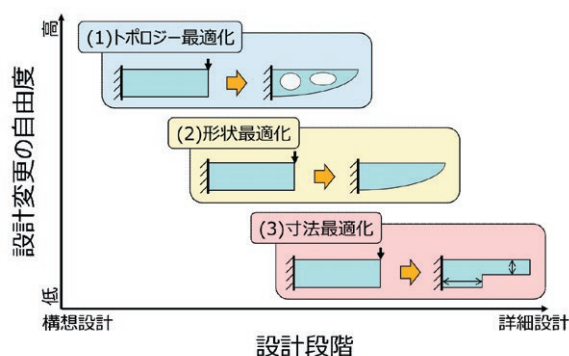


図 1 最適化解析の種類

(1) トポロジー最適化

トポロジー最適化は、指定した設計領域内を構造として残す領域と削減する領域に分けることで最適な構造を求める手法である。均質化法やレベルセット法といった方法があるが、代表的なものに密度法がある。これは FEM^{注1)} 解析における要素（または節点）ごとに、材料の充填度合いを示す密度を設定する手法である。密度が変化することで要素が持つ物性値と質量が変化するため、構造上意味のある要素ほど密度が大きくなる。図 2

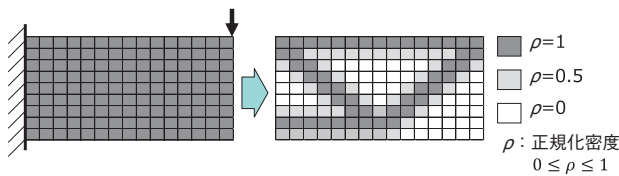


図2 密度法によるトポロジー最適化のイメージ

に密度法によるトポロジー最適化のイメージを示す。ここでの密度は正規化し、0 から 1 の範囲となるようにしている。密度が小さい要素は図中荷重に対する剛性への影響が小さいことを表している。当該要素を削減することで、剛性の維持と軽量化を両立する最適な構造が得られる。

トポロジー最適化は構造物に孔が開くような変化が可能となるなど、ほかの手法に比べて設計変更の自由度が最も大きい。そのため、構造の強度や剛性を大幅に向上できる。そのため設計全体の方針を決める構想設計での活用が効果的である。

(2) 形状最適化の概要

形状最適化は、構造の表面形状を設計変数とする手法である。具体的にはFEM解析における節点座標を設計変数とする場合や、表面形状を表現する関数内の係数を設計変数とする場合などがある。トポロジー最適化で得られる最適構造は凹凸が多くなりやすいが、形状最適化では連続した表面形状を扱うため凹凸が少なく、より実現しやすい構造が得られる。

(3) 寸法最適化

寸法最適化は、構造の寸法を設計変数とする手法である。最適解は具体的な寸法として得られるため、得られた結果を設計に反映させやすく、詳細設計の段階での活用が最も効果的な手法である。

3 社内製品への適用例

3.1 GIS 压力容器への最適化解析適用例

(1) 適用例の概要

一つ目の事例として、ガス絶縁開閉装置 (GIS) の压力容器の構造検討に最適化解析を適用した事例を紹介する。

対象となる压力容器の既存構造を図3に示す。既存構造の強度をさらに向上させるような補強配置を求めたいが、設計者による試行錯誤のみでは多くの工数を要する。最適化解析を活用することで工数を大幅に削減でき、なおかつ最も効果的な補強配置が得られると考えられる。

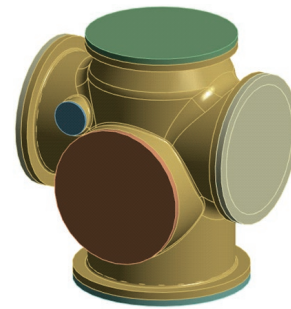


図3 GIS 压力容器の既存構造

(2) トポロジー最適化の適用

本事例は設計工程の初期段階に相当し、大まかな設計方針を求めたいというケースである。また鋳造品のため形状にある程度自由が利くことから、トポロジー最適化解析を適用した。

(3) 最適化解析の実施

本事例では質量の増加を許容値以内に抑えつつ、強度が最も高くなるような条件でトポロジー最適化を行った。

既存構造と最適化解析によって得られた構造（以下、最適化構造とよぶ）の強度を比較するため、それぞれの構造解析結果を図4に示す。発生する応力の大きさを色で示しており、赤色に近いほど大きな応力が発生している。この結果より、既存構造と比べて最適化構造は発生応力が全体的に小さくなっていることがわかる。また質量は指定した値以下に抑えられており、必要最小限の補強で強度が向上していると言える。

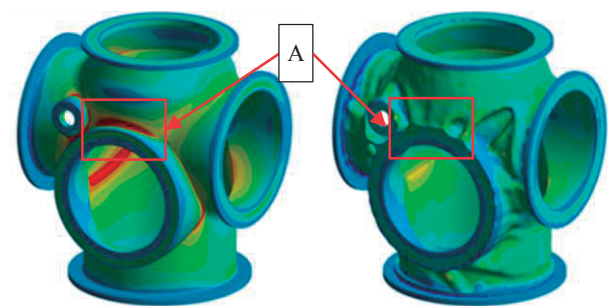


図4 構造解析結果

図4 構造解析結果

既存構造と最適化構造を比較することで、強度向上に必要な補強箇所と寸法を大まかに判断できる。例えば最適化構造ではタンク前面（図4のA）を覆うような構造が生じており、補強が必要な箇所であると判断できる。また寸法を測定することで必要な補強のサイズがおおよそ判断できる。このように結果を活用することで、設計変更のアイデアを得ることができる。

本事例において最適化結果を設計アイデアとして利用

する場合の工数削減効果を概算で見積もったところ、試行錯誤に要していた工数の約 70% が削減できる見込みとなった。これにより、最適化解析が設計期間短縮に十分効果的であるとわかる。

3.2 絶縁スペーサへの最適化解析適用例

(1) 適用例の概要

次の事例として、開閉装置に使用されている樹脂製の絶縁スペーサへ最適化解析を適用した事例について紹介する。

対象の絶縁スペーサの既存構造を図 5 に示す。絶縁性能を向上させたいが、材料使用量をできる限り抑制し、なおかつ型の抜き勾配を製造可能な値とする必要がある。これらを同時に満たす最適な構造を求めるためには多くの工数が必要となる。最適化解析を適用することで、より少ない工数でこれらの条件を満たす最適な構造が求まると考えられる。

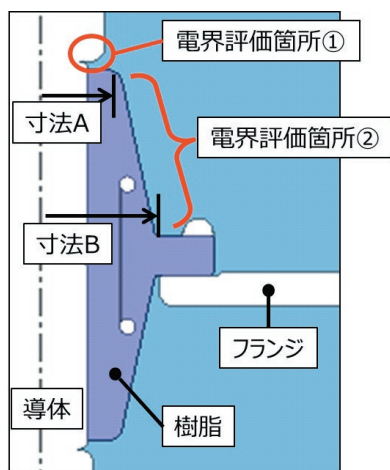


図 5 絶縁スペーサの既存構造

(2) 寸法最適化の適用

本事例は設計工程の詳細設計段階に相当し、具体的な寸法を求めたいというケースのため、寸法最適化を適用した。なかでも今回は応答曲面法を用いた寸法最適化を適用した。これは入力と出力の応答関係を近似的に求めてから最適解を探索するものである。直感的にわかりづらい応答関係を視覚的に捉えることが可能となるため、最適な構造を求めること以外に設計者への教育などの目的での活用も期待できる手法である。

(3) 最適化解析の実施

本事例では複数の寸法を変化させた。そのうち特長的な寸法 A と B を図 5 に示している。今回は指定箇所での発生電界（図 5 内の①、②参照）を指定値以下に抑制し、なおかつスペーサの体積増加を最小限とする条件で最適化を実施した。またその他の条件として、型の抜

き勾配が製造可能な値となるように指定した。

上記条件で寸法最適化を行う。実施手順は、実験計画法^{注2)}により寸法値を振り分けて解析を実施し、その結果から応答曲面を作成し、最適化を実施するという流れとなる。

まず実験計画法にしたがって解析を実行し、応答曲面を作成した。得られた応答曲面のうち、寸法 A、B と①、②部の電界値の応答関係を示したものを図 6 に示す。色が赤に近いほど電界が大きいことを示している。(a) では寸法 A の増加とともに①部の電界が大きくなる傾向であるのに対し、(b) では②部の電界が小さくなる傾向であり、電界値同士がトレードオフの関係となっていることが確認できる。

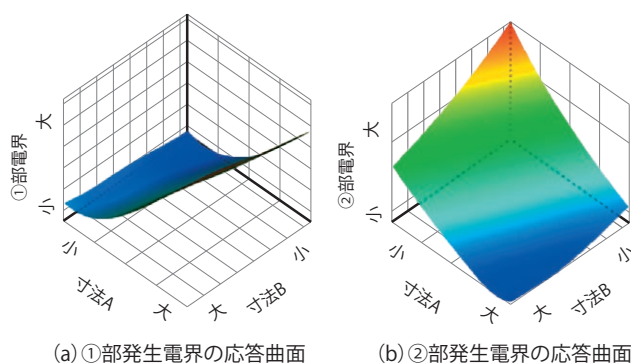


図 6 応答曲面図

続いて、作成した応答曲面から、最適化アルゴリズムに基づいて最適解を探索した。結果、条件を満たす最適な寸法が得られた。

既存構造と最適化構造の絶縁性能を比較するため、それぞれの電界解析結果を図 7 に示す。色が赤に近いほど強い電界が発生している。最適化解析を用いること

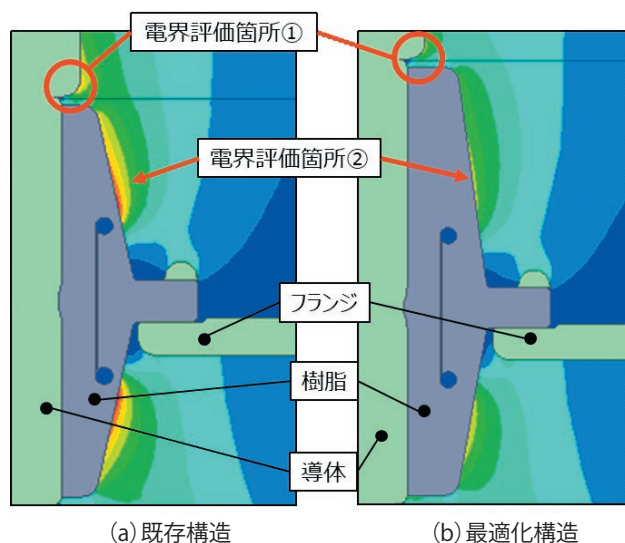


図 7 電界解析結果

で、指定した箇所における発生電界が抑制されており、絶縁性能が向上していることがわかる。また体積増加が最小限となるよう設定しており、絶縁性能の向上に最も効果的な構造と言える。

本事例において最適化解析を利用する場合の工数削減効果を概算で見積もったところ、試行錯誤に要していた工数の約50%が削減できる見込みとなった。これにより、設計期間短縮に十分効果的であるとわかる。

4 おわりに

今回は最適化解析技術を既存製品に適用した事例について紹介した。事例で示したとおり、最適化解析の導入によって設計期間を短縮できる。また従来の試行錯誤では求めることが困難であった最適な設計案が得られるため、よりいっそうの性能向上と小型化・軽量化が期待できる。

今後も、製品や設計工程に合わせた最適化解析の活用方法を提案、また適用可能な解析分野の拡充を検討する

ことで、本解析の活用機会を増やし、設計業務の効率化、製品開発期間の短縮につなげていきたい。

■参考文献

- (1) 西脇眞二，泉井一浩，菊池昇：「計算力学レクチャーコース トポロジー最適化」，丸善出版（2013）
- (2) 畔上秀幸：「形状最適化問題」，森北出版（2016）

■語句説明

- 注1) FEM：Finite Element Method（有限要素法）の略。構造物を有限個の要素に分割し、それらの要素に支配方程式をあてはめることで、全体の挙動を近似的に解析する手法。
- 注2) 実験計画法：最低限の実験回数で効果的に応答関係を把握できるよう、パラメータの組み合わせや実験の順序を決定する方法。

赤松 新

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

変電所設備のデジタル化に貢献する 三相一括形 GIS 用電子式 VT・CT の開発

■ 山口 達史
Tatsushi Yamaguchi

■ 藤野 守也
Moriya Fujino

■ 小川 晃一
Koichi Ogawa

■ 佐藤 祥輝
Yoshiki Sato

■ 宮崎 未知果
Michika Miyazaki

■ 布施 宏樹
Hiroki Fuse

■ 足立 純一
Junichi Adachi

近年、変電所設備の老朽化や高経年化が進み、施設運用時の保守メンテナンスに多大なコストを要するという課題がある。このため、デジタル技術によって設備構成の最適化を図り、LAN や光ファイバ化を指向したデジタル変電所が注目されている。東光高岳では、デジタル変電所向け製品の研究・開発を進めており、その一部である電子式 VT・CT は、MU と組み合わせて IEC 61850-9-2LE に準拠したデジタル出力を行う次世代の計器用変成器である。現在、実用化を目指して東光高岳製 168 kV 三相一括形 GIS に接続可能なプロトタイプ開発に取り組んでいる。本稿では、開発中のプロトタイプについて、仕様検討、設計・試作および試験・性能評価の概要を紹介する。

1 はじめに

近年、変電所設備の老朽化や高経年化が進み、施設運用時の保守メンテナンスに多大なコストを要するという課題がある。このため、デジタル技術によって設備構成の最適化を図り、LAN や光ファイバ化を指向したデジタル変電所が注目されている。デジタル変電所は、工事期間の短縮やコスト削減などさまざまな課題が解決可能であること、またスマートグリッドにおける国際標準規格（IEC 61850）の適用により、設備のマルチベンダ化と信頼性向上および監視制御の高度化が可能であること等の特長を有する。

東光高岳では、デジタル変電所向け製品の研究・開発を進めており、その一部である電子式 VT・CT（Voltage Transformer・Current Transformer）は、MU（Merging Unit）^{注1)} と組み合わせて IEC 61850-9-2LE に準拠したデジタル出力を行う次世代の計器用変成器である。構造的には、鉄心と巻線による従来形の VT・CT に替えて、VT 素子に容量分圧器、CT 素子にログウスキーコイル、信号伝送に光ファイバケーブルを適用することで、機器の大幅な小型・軽量化と設置面積の省スペース化が可能となる。現在、実用化を目指して東光高岳製 168 kV 三相一括形 GIS（Gas Insulated Switchgear）に接続可能なプロトタイプ開発に取り組んでいる。

本稿では、開発中のプロトタイプについて、仕様検討、設計・試作および試験・性能評価の概要を紹介する。

2 電子式 VT・CT の適用イメージ

図 1 に東光高岳製 168 kV 三相一括形 GIS（以下、東光高岳製 GIS）への電子式 VT・CT 適用イメージを示

す。従来形は VT ユニットと CT ユニットが独立して GIS に接続されている。一方、電子式は VT ユニットと CT ユニットが一体化され、かつ鉄心を用いないことから容積および質量が従来形の約 1/3 となる。その結果、GIS の小型・軽量化および省スペース化に貢献する。

- （従来形）
・VTユニット
・CTユニットが独立
- （電子式）
・VTユニット
・CTユニットを一体化

電子式 VT・CT の場合

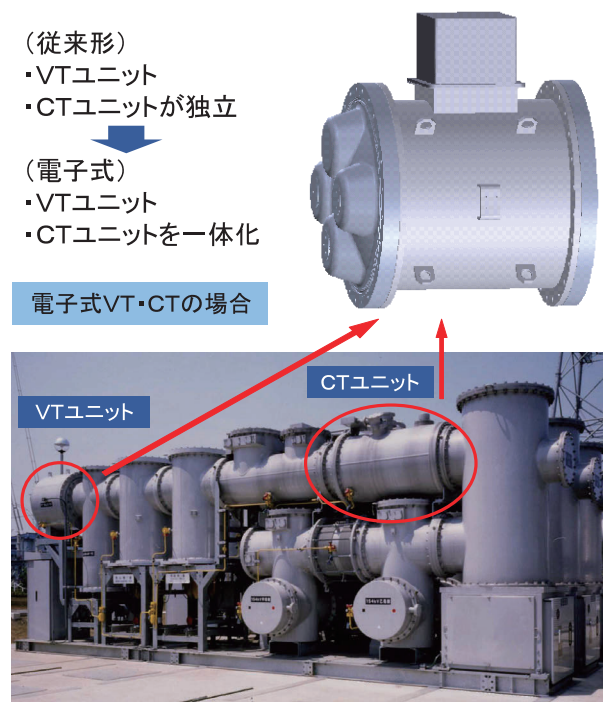


図 1 東光高岳製 GIS への電子式 VT・CT 適用イメージ

3 プロトタイプの仕様検討

プロトタイプの基本仕様を表 1 に示す。仕様検討においては、海外の主な重電機器メーカー製 LPIT（Low-Power Instrument Transformers）^{注2)} の標準的な仕様を踏襲するとともに、東光高岳製 GIS の仕様も合わせ

表 1 プロトタイプの基本仕様

項 目	仕 様	
	電子式 VT	電子式 CT
準拠規格	IEC 60044-7: 1999 ↓ IEC 61869-7	IEC 60044-8: 2002 ↓ IEC 61869-8
検出方式	容量分圧器	ロゴウスキーコイル
絶縁方式	SF ₆ ガス絶縁	
定格ガス圧力	0.4 MPa	
相数	三相	
最高電圧	161,000 V	
雷インパルス耐電圧	± 750 kV (全波)	
短時間商用周波耐電圧	325 kV, 50/60 Hz, 1 min	
定格一次電圧	154,000/ $\sqrt{3}$ V	—
定格一次電流	—	1,000 A
定格短時間電流	31.5 kA 2 sec	
定格周波数	50/60 Hz (切り替え式)	
確度階級	IEC 0.2/3P	IEC 0.2S/5TPE
使用温度範囲	-40~+40℃	
外形寸法	φ 824 × 850 mm	
質量	約 380 kg	
電源電圧	DC 110 V ± 20%	

で考慮した。

(1) 準拠規格

準拠規格は、現行規格である IEC 60044-7 : 1999⁽¹⁾ (VT), IEC 60044-8 : 2002⁽²⁾ (CT) としているが、2023 年度中に新規格として IEC 61869-7 (VT), IEC 61869-8 (CT) がリリースされる予定である。このため、上記リリース後は本規格を準拠規格とする。

(2) 検出方式

検出方式は、VT に容量分圧器、CT にロゴウスキーコイルを適用し、鉄心を用いないものとした。

(3) 絶縁方式および定格ガス圧力

絶縁方式は、東光高岳製 GIS と同様に SF₆ ガス絶縁とし、定格ガス圧力は、使用温度範囲の下限值 (-40℃) で SF₆ ガスが液化しないように 0.4 MPa とした。

(4) 定格一次電圧および定格一次電流

定格一次電圧は、東光高岳製 GIS の定格電圧：168 kV に対する計器用変圧器の定格一次電圧が

154 kV であること、また接地形であることからそれらの仕様に合わせて 154,000/ $\sqrt{3}$ V とし、定格一次電流は 1,000 A とした。

(5) 定格短時間電流

定格短時間電流は、東光高岳製 GIS の仕様に合わせて 31.5 kA, 2 sec とした。

(6) 確度階級および使用温度範囲

海外の主な重電機器メーカー製 LPIT の標準的な仕様から確度階級および使用温度範囲の下限値を設定した。なお、使用温度範囲の上限値は準拠規格の上限値 (40℃) に合わせた。

4 プロトタイプの設計・試作

4.1 外観

図 2 にプロトタイプの外観を示す。ガスタンクの両側に三相絶縁スパーサ、上部に SC (Secondary Converter) 基板箱を取り付けている。タンクの直径は東光高岳製 GIS の標準管路直径と同サイズであり、三相絶縁スパーサも GIS に接続可能なものとなっている。通常、GIS の絶縁スパーサは各ユニットに片側取り付けとしているが、今回はプロトタイプ単体で試験を行うため両側取り付けとしている。



図 2 プロトタイプの外観 (キャスター付き)

4.2 装置構成

図 3 にプロトタイプの装置構成図を示す。タンク本体に三相分の一次導体、容量分圧器およびロゴウスキーコイルを内蔵し、SC 基板箱は入力保護回路、電源基板および三相分の SC 基板 (信号処理基板) を内蔵している。電気配線は、密封端子を介してタンク本体から引き出し SC 基板に接続する。SC 基板の電源は、外部の MU から DC 110 V で供給され、入力保護回路および電源基板を介して各 SC 基板に供給する。また、SC 基板の出力は光ファイバにて MU に信号伝送する。

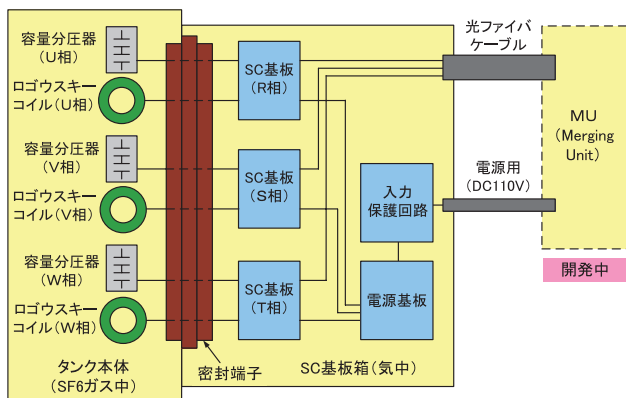


図3 プロトタイプの装置構成図

4.3 SC 基板の動作概要

図4にSC基板の回路ブロック図（1相分）を示す。動作内容は以下のとおりである。容量分圧器は一次電圧を100V以下の低電圧に分圧し、ログウスキーコイルは一次電流を電圧信号（一次電流の微分波形）に変換して、ともにSC基板に入力する。なお、容量分圧器の入力部は、固体コンデンサと抵抗分圧器が備わる。SC基板に入力した容量分圧器およびログウスキーコイルからの信号は、入力保護部を経由してアナログ信号処理部で増幅・フィルタリング後、A/D変換を行いデジタル信号処理部に入力する。デジタル信号処理部では、計測した電圧および電流（積分処理を実施）に見合ったデジタル値に演算処理後、温度補償を行う。ここで、演算処理にはFPGA（Field Programmable Gate Array）を用いて、高速なリアルタイム演算を行っている。また、MUから光通信I/F部に入力される同期パルス（1PPS）に同期して演算処理を行い、外部のMUにSV（Sampled Value）データ^{注3）}を光信号で出力する。なお、MUは開発中であるため、現行品はSC基板に実装したクロックにより同期パルスを生成し演算処理を行っている。また、SC基板は今後の製品化を見据え、アナログ信号処理部～デジタル信号処理部の故障等を常時監視するための自己診断機能部を搭載している。

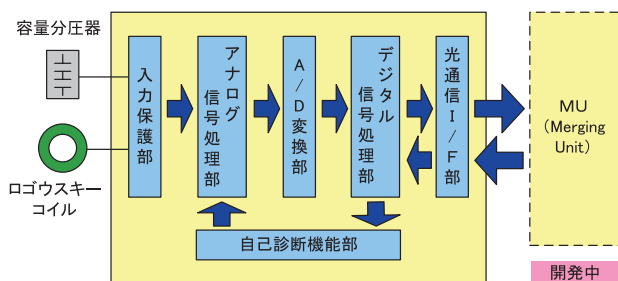


図4 SC基板の回路ブロック図（1相分）

5 プロトタイプの試験と性能評価

5.1 絶縁試験

表2に実施したすべての試験項目とその結果を示す。

また、図5に絶縁試験の試験状況を示す。プロトタイプは三相一括形であるため、絶縁試験では一次導体の1相に電圧を印加し、その他の相の一次導体および二次側をすべて接地して試験を行った。試験項目は、絶縁抵抗

表2 プロトタイプの試験結果

試験項目	試験結果	判定基準	結果
絶縁抵抗測定	DC 1,000 V メガーにて 2,000 MΩ以上	DC 1,000 V メガーにて 1,000 MΩ以上	良
雷インパルス 耐電圧試験	± 750 kV, 15 回閃絡なし	試験電圧に 耐えること	良
短時間商用周波 耐電圧試験	AC 325 kV, 50 Hz, 1 min 閃絡なし	試験電圧に 耐えること	良
部分放電試験 (国内向け) JEC 1201- 2007 準拠	1.1 Um/√3 : 外部雑音 5 pC 以下	外部雑音などの 影響を除き部分 放電のないこと	良
部分放電試験 (海外向け)	1.2 Um : 外部雑音 5 pC 以下	10 pC 以下	良
	1.0 Um : 同上	10 pC 以下	
	1.2 Um/√3 : 同上	5 pC 以下	
VT 基本誤差 試験 (計測)	0.8~1.2 Vn : ± 0.1% 以下	比誤差 : ± 0.2% 以下	良
CT 基本誤差 試験 (計測)	0.01 In : ± 0.1% 以下	比誤差 : ± 0.75% 以下	良
	0.05 In : ± 0.1% 以下	比誤差 : ± 0.35% 以下	
	0.2~1.2 In : ± 0.1% 以下	比誤差 : ± 0.2% 以下	
VT 温度特性 試験 (計測)	-40~+60℃ : ± 0.1% 以下	比誤差 : ± 0.2% 以下	良
CT 温度特性 試験 (計測)	-40~+60℃ : ± 0.1% 以下	比誤差 : ± 0.2% 以下	良

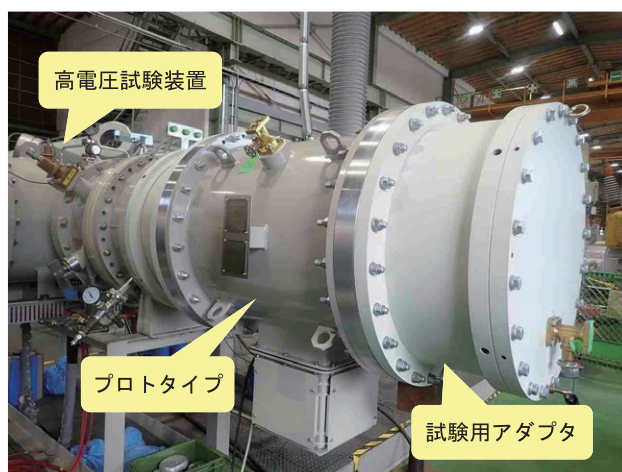


図5 絶縁試験状況

測定、雷インパルス耐電圧試験、短時間商用周波耐電圧試験および部分放電試験とし、IEC 60044-7:1999 および IEC 60044-8:2002 に準拠して試験を行った。部分放電試験では国内向けも考慮し、JEC 1201:2007 準拠の試験も合わせて行った。その結果、各相においてすべての判定基準を満足することができ、良好な絶縁特性が得られた。

5.2 基本誤差試験

基本誤差試験は、三相それぞれについて VT・CT の計測用、保護用の試験を行った。図 6 に試験構成を示す。現在は MU を開発中であるため、SC 基板の FPGA に JTAG 用デバッグを接続して USB 経由でパソコンにデータを取り込み、VT の計測電圧および CT の計測電流を算出した。次に試験電圧および試験電流の計測方法については、標準用 VT の二次電圧および標準用 CT の二次電流をデジタルマルチメータで計測した。なお、標準用 CT の二次電流は、直列接続した標準抵抗の端子電圧により計測した。以上の計測データから VT・CT の比誤差を算出した。

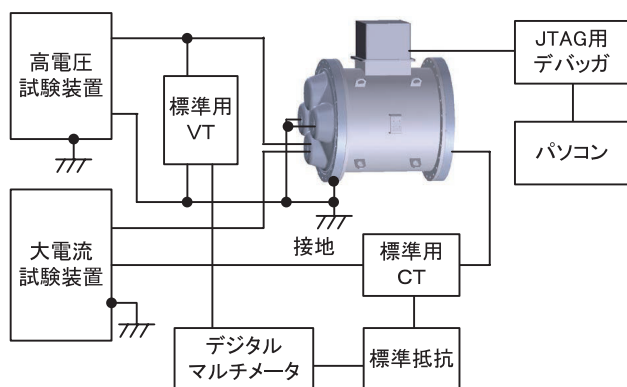


図 6 基本誤差試験構成図

図 7 に V 相の VT 基本誤差試験結果例（計測用）を示す。定格一次電圧 (V_n) の 80~120% の試験ポイントにおいて比誤差は $\pm 0.05\%$ 以下であり、確度階級を十分満足して良好な特性が得られた。

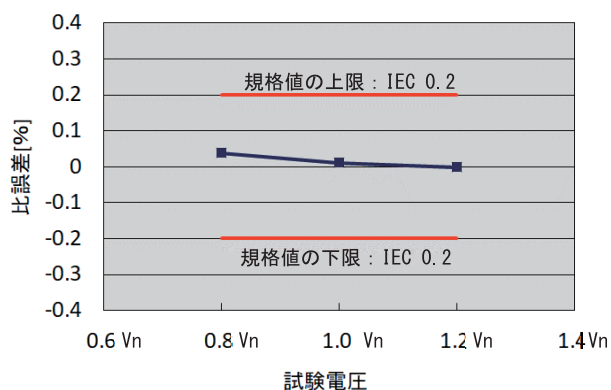


図 7 V 相の VT 基本誤差試験結果例（計測用）

図 8 に V 相の CT 基本誤差試験結果例（計測用）を示す。定格一次電流 (I_n) の 1~120% の試験ポイントにおいて比誤差は $\pm 0.1\%$ 以下であり、確度階級を十分満足して良好な特性が得られた。

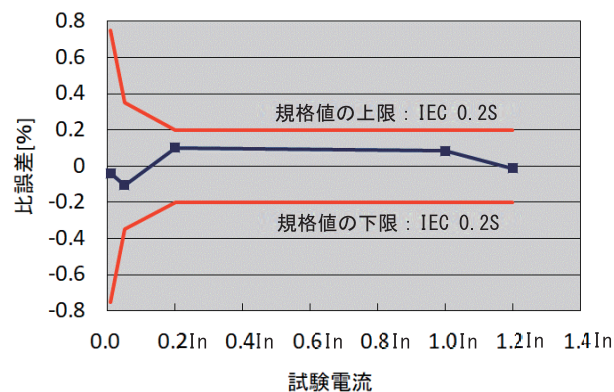


図 8 V 相の CT 基本誤差試験結果例（計測用）

5.3 温度特性試験

図 9 に VT の温度特性試験状況を示す。VT の温度特性試験は、大型恒温槽を用いてプロトタイプの周囲温度を変化させ、装置内部まで温度が安定してから行った。ここで、東光高岳では温度特性試験時に高電圧を印加する設備がないため、定格一次電圧の 1/200 の電圧を印加して試験を行った。CT の温度特性試験においても、温度特性試験時に大電流を通電する設備がないため、CT ユニット単体で試験を行うこととし、一次側に巻線を巻いて定格一次電流相当の電流を通電し試験を行った。温度範囲は、使用温度範囲の上限値 ($+40^{\circ}\text{C}$) に日射による温度上昇を考慮して、 $-40\sim+60^{\circ}\text{C}$ とした。なお、VT, CT の各温度における比誤差は、基本誤差試験と同様の方法で算出した。



図 9 VT 温度特性試験状況

図 10 に V 相の VT 温度特性試験結果例（計測用）を示す。試験結果は、温度補償を有、無の 2 通りで示している。 $-40\sim+60^{\circ}\text{C}$ の周囲温度における比誤差が温度補償無で $\pm 0.2\%$ 以下、温度補償有で $\pm 0.05\%$ 以下

下であり、温度補償を行うことにより確度階級を十分満足して良好な特性が得られた。

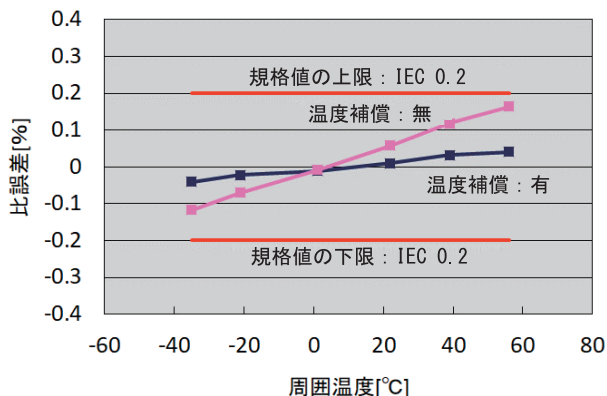


図 10 V 相の VT 温度特性試験結果例（計測用）

図 11 に CT ユニット単体の温度特性試験結果例（計測用）を示す。試験結果は、温度補償を有、無の 2 通りで示している。-40～+60℃の周囲温度における比誤差が温度補償無で±0.35%以下、温度補償有で±0.05%以下であり、温度補償を行うことにより確度階級を十分満足して良好な特性が得られた。

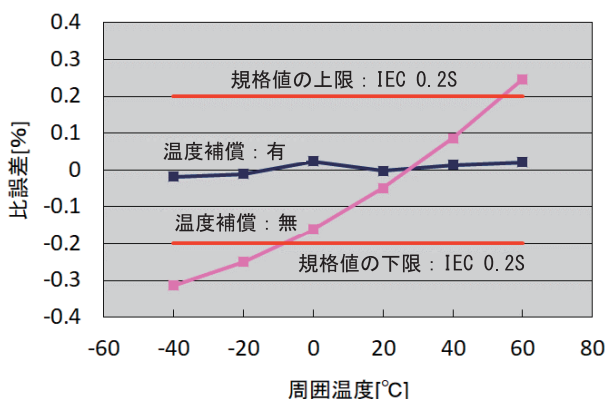


図 11 CT ユニット単体の温度特性試験結果例（計測用）

6 おわりに

変電所設備のデジタル化に貢献する電子式 VT・CT は、機器の大幅な小型・軽量化と設置面積の省スペース化が図れ、MU と組み合わせてデジタル変電所へ適用可能な次世代の計器用変成器である。現在は実用化を目指し、東光高岳製 GIS に接続可能なプロトタイプの試験を行っている。現時点では、絶縁試験、基本誤差試験および温度特性試験等の基本検証を行い、準拠規格を十分満足して良好な特性が得られている。引き続き、VT 他

相電界の影響試験、CT 他相磁界の影響試験や各種環境試験および絶縁に関する裕度確認試験等を行い、機器の実用性および妥当性の検証を行っていく。その後は、開発中の MU と組み合わせて位相角の評価と IEC 規格に準拠した形式試験を行い、早期の実用化を目指して推進していく。

■参考文献

- (1) IEC 60044-7:1999, Instrument transformers-Part 7: Electronic voltage transformers
- (2) IEC 60044-8:2002, Instrument transformers-Part 8: Electronic current transformers

■語句説明

- 注 1) MU (Merging Unit)：変電所内で計測した電圧・電流をデジタルデータに変換して IED (Intelligent Electronic Device) に出力する装置。ただし、電子式 VT・CT の出力はすでにデジタルデータである。また IED は、変電所内外で発生する各種故障を検出し、遮断器ヘトリップ指令を出力する保護演算装置。
- 注 2) LPIT (Low-Power Instrument Transformers)：低電力計器用変成器であり、光 VT・CT や容量分圧器、ログウスキーコイルなどの新しい計器用変成器。
- 注 3) SV (Sampled Value) データ：デジタル化された電圧・電流の瞬時値データ。

山口 達史

戦略技術研究所
技術開発センター ICT 技術グループ 所属

藤野 守也

戦略技術研究所
技術開発センター ICT 技術グループ 所属

小川 晃一

戦略技術研究所
技術開発センター ICT 技術グループ 所属

佐藤 祥輝

戦略技術研究所
技術開発センター ICT 技術グループ 所属

宮崎 未知果

戦略技術研究所
技術開発センター ICT 技術グループ 所属

布施 宏樹

戦略技術研究所
技術開発センター ICT 技術グループ 所属

足立 純一

戦略技術研究所
技術開発センター ICT 技術グループ 所属

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

■ 藤本 千紘
Chihiro Fujimoto

■ 吉田 耕作
Kosaku Yoshida

■ 福井 琢也
Takuya Fukui

■ 小杉 康高
Yasutaka Kosugi

■ 池田 仁司
Hitoshi Ikeda

1 はじめに

政府は2050年までにカーボンニュートラルを目指すことを宣言した。カーボンニュートラルの実現に向け、電気自動車（以下、EV）の利用が加速しているが、世界と比較すると日本のEV化へのシフトが遅れている。その要因の一つに充電インフラの不足が挙げられ、特に集合住宅で充電設備の普及が遅れている。

マンションなどの集合住宅の駐車場は共有資産となっており、個人の一存では充電設備の設置が難しい。また、EVとガソリン車が共存する社会において、非EVユーザは充電設備を使用せず、充電設備の導入に居住者の理解を得るのが困難な状況である。このような問題を解決するため、東光高岳ではユビ電（株）（以下、ユビ電）と共同で2021年に普通充電管理システム「WeCharge^{注1)}」をリリースした。

WeChargeを集合住宅や宿泊施設などに導入し、運用中であるが、現在は充電に使用した時間分が積算され

る時間課金システムとなっている。そこで、WeChargeにスマートメーターを組み込むことで、使用した電力量によって料金が決まる従量課金システムを実現した。

また、WeChargeに1システムで管理可能なEV充電用コンセント（以下、コンセント）の数を従来の8台から60台に拡張することで、大規模駐車場にも対応したシステムを新たに開発したので、紹介する。

2 WeChargeの概要

2.1 システム構成

本システムは、東光高岳製エコ.Web5 for WeCharge（以下、エコ.Web5）をコントローラとして使用している。WeChargeのシステム構成図を図1に示す。

スマートメーター（東光東芝メーターシステムズ（株）製：以下、SmaMe）によって計測した充電情報（積算電力量・電圧・電流）は、エコ.Web5で収集する。

エコ.Web5が収集した充電情報は、東光高岳サーバ

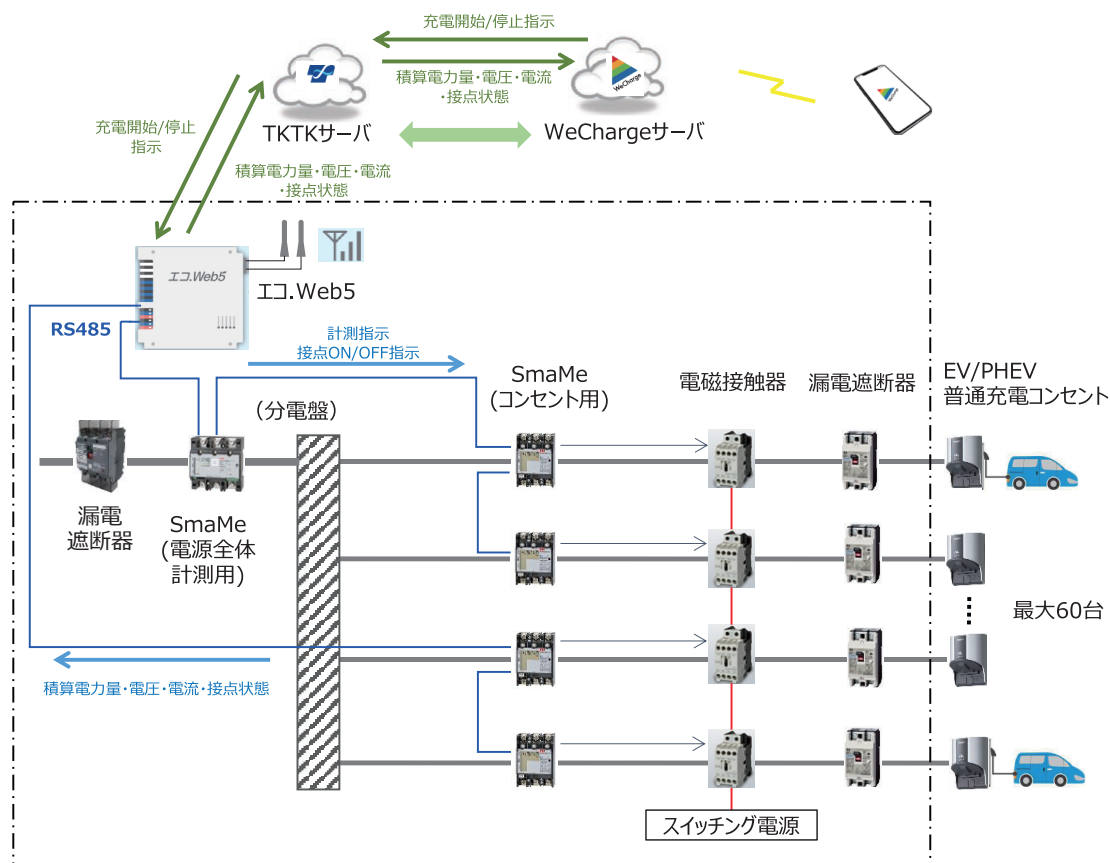


図1 システム構成図

(以下、TKTK サーバ) を介して WeCharge サーバ (ユビ電製) へ通知される。本システムでは、1 台のエコ・Web5 で最大 60 台のコンセントを管理することが可能である。

2.2 WeCharge の動作

WeCharge の動作イメージを図 2 に示す。

- (1) WeCharge に対応したコンセントは通常 OFF の状態
- (2) ユーザは事前にスマートフォンにダウンロードしたユビ電製 WeCharge アプリで WeCharge に対応したコンセントの QR コードを読み込み、充電開始を要求
- (3) WeCharge サーバでユーザ認証し、充電可能な場合はコンセントが ON になり、EV へ充電開始
- (4) 充電に使用した料金は WeCharge アプリに登録したクレジットカードで支払い

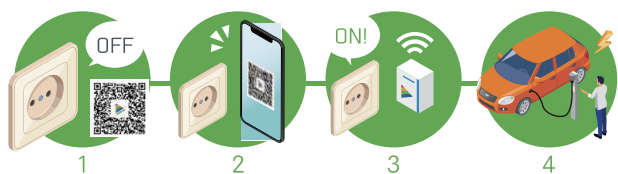


図 2 WeCharge 動作イメージ

3 新システムの特長

3.1 従量課金対応

EV 充電システムの課金方法は時間課金制と従量課金制があるが、現在は時間課金制が主流となっている。しかし、時間課金制では使用条件によっては、同じ充電時間でも充電できる電力量が異なる。一方、従量課金制の場合には、使用条件によらず、充電に使用した電力量に応じて料金が決定するので、ユーザにとっては公平な課金方式となる。しかし、従量課金制で料金を徴収する場合には、計量法の規定による検定に合格したメータを使用する必要があり、一定期間でメータを交換する必要があるなどの要因で充電設備のコストアップにつながるというデメリットがあった。

2022 年 4 月に特定計量制度がスタートし、従来の計量法に基づく検定を受けないメータであっても、事前申請することにより、電力量に応じた取引に使用可能となった。本システムでは、特定計量制度の型式を取得した SmaMe を組み込むことにより、充電電力量に応じた課金が可能となった。

3.2 大規模駐車場のコンセントを一括管理

従来のシステム⁽¹⁾ではコンセントの ON/OFF 制御に

インターフェースコンバータ^{注2)}を使用していた。インターフェースコンバータに搭載の接点は 8 点であることから、1 システムで管理可能なコンセントは最大で 8 台であった。将来的な EV の増加を見据えて、マンションの駐車場全区画に EV 用のコンセントを設置するなどコンセント数の増加が見込まれるため、1 システムで管理できるコンセント数を拡張することとした。

そこで、インターフェースコンバータの代わりに SmaMe の接点信号を用いて、コンセントの ON/OFF 制御と充電情報の計測を実施し、60 台のコンセントを管理可能なシステムとした。

4 導入事例

現在、WeCharge は日本全国のマンションやホテル、大学などに導入が進んでいる。スマートフォンと同じように EV も自宅や職場で充電することが基本になり、ショッピングモールやホテルでは、来たついで・駐車したついでに充電できる快適な EV ライフを WeCharge で提供可能である。これまでに導入されている WeCharge の一例を図 3 に示す。



図 3 充電コンセントの施工例

5 おわりに

本稿では、EV 用普通充電管理システムを紹介した。従来は充電時間によって料金が決まるシステムであったが、使用した電力量によって従量課金が可能で大規模充電管理システムを実現した。本システムにより、EV インフラの普及促進に貢献できる。東光高岳としては、EV の充電利用シーンに合わせてさらなる機能向上を図る予定である。

■参考文献

- (1) 加藤貴大、藤本千紘、池田仁司：「電気自動車用普通充電管理 WeCharge システム」、東光高岳技報、No.9, pp.50-52 (2022)

■語句説明

- 注 1) WeCharge：QR コードつきのコンセントを専用アプリで読み込むことで、EV の充電管理から利用料の支払いまで可能なユビ電（株）が提供する EV 充電管理サービス。
「WeCharge」およびロゴはユビ電（株）の登録商標。
「QR コード」は（株）デンソーウェーブの登録商標。
- 注 2) インターフェースコンバータ：エコ Web5 が出力したプレーカの ON/OFF 制御情報をプレーカ ON/OFF 動作に変換し、その動作結果をエコ Web5 に動作情報として返還・入力する装置。

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

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製造部 開発グループ 所属

福井 琢也

ユビ電株式会社 技術開発本部 所属

小杉 康高

ユビ電株式会社 技術開発本部 所属

池田 仁司

ユビ電株式会社 技術開発本部 所属

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

■ 山本 脩斗
Shuto Yamamoto

■ 鈴木 剛志
Takeshi Suzuki

■ 鈴木 健司
Takeshi Suzuki

1 はじめに

近年、ガソリン車から電気自動車（以下、EV）へのシフトが世界的に進んでいる。日本でも 2050 年カーボンニュートラル達成のため、「2035 年までに新車販売で電動車 100% を実現する」ことが表明された。しかし、充電インフラの整備が遅れていることもあり、充電インフラの普及拡大がより急務となっている。

EV の充電は、自宅などで行う『基礎充電』、移動途中に行う『経路充電』、滞在先で行う『目的地充電』に大別される。経路充電はなるべく短時間での充電が好ましく、一般的に 1 回の充電時間は 30 分であり、主に出力容量 50 kW 以上の急速充電器が設置されている。一方で、滞在時間が数時間の目的地充電においては、50 kW 以上の急速充電器の場合、30 分後には次の利用者のために EV を移動させる必要が生じる。移動の必要がないように 50 kW 以上の急速充電器を複数台設置するには、電源設備の増強や、設置場所の確保などの制約が生じる。

そのような充電インフラの普及拡大への課題に対応すべく、普通充電と急速充電の中間領域となる 15 kW 出力の中容量急速充電器を新たに製品ラインナップに加えたので紹介する。

2 製品仕様と主な特長

2.1 製品仕様

本器の標準仕様を表 1、外観写真を図 1 に示す。

表 1 標準仕様

型式	HFR1-15B11
入力	三相 3 線 AC 200 V, 50/60 Hz
出力	DC 150~450 V, 0~37.5 A, 15 kW
効率	92%以上（定格入出力にて）
充電ケーブル	22 mm ² タイプ、ケーブル長 5 m
保護等級	IP44
周囲温度	-10~+40℃
周囲湿度	30~90%（結露なきこと）
設置方法	壁掛け
CHAdemo ^{注1)}	Ver2.0



図 1 中容量急速充電器（HFR1-15B11）

2.2 小型・軽量化

本器は東光高岳の急速充電器において、最小サイズとなる。本体の厚さは業界最薄の 200 mm^{*}を実現し、事業所や工場、ビルなどにおける限られたスペースにも設置可能となる。現行機種（HFR1-50B9）との外形比較を表 2、比較写真を図 2 に示す。

※ 2023 年 5 月 9 日時点（東光高岳調べ）

表 2 外形比較（突起部含まず）

型式	HFR1-15B11	HFR1-50B9
W（幅）	700 mm	665 mm
H（高さ）	815 mm	1,734 mm
D（奥行）	200 mm	407 mm
質量	約 80 kg	約 270 kg



図 2 比較写真（左：HFR1-15B11、右：HFR1-50B9）

2.3 設置方法の自由度

本器は東光高岳で初めて壁掛け設置を標準採用した急速充電器である。オプションの専用金具へ交換すること

で従来同様の自立設置や半自立設置（壁寄せ自立）にも対応し、あらゆるシチュエーションにおいても設置可能な急速充電器を実現した。3 種類の設置形態を図 3~5、壁掛けや自立での利用シーンを図 6~7 にて示す。

2.4 操作部

現行機種で培った操作性を継承し、ディスプレイのガイダンスにしたがうことで簡単に充電操作が可能となる。ディスプレイ操作のイメージを図 8 に示す。

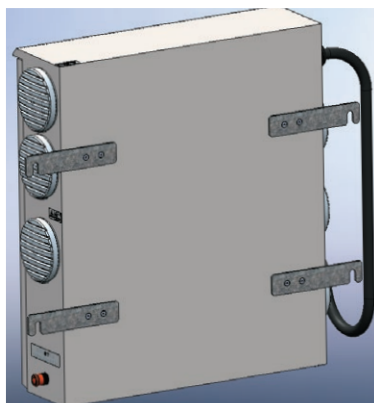


図 3 壁掛け設置形態

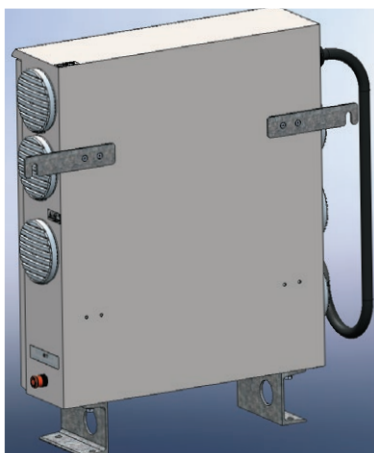


図 4 半自立設置形態

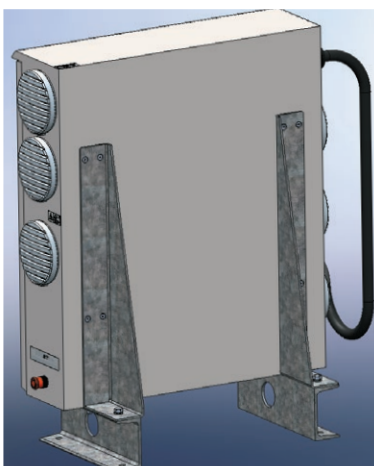


図 5 自立設置形態



図 6 壁掛け設置での利用シーン



図 7 自立設置での利用シーン



図 8 ディスプレイ操作のイメージ

3 おわりに

本稿では充電インフラ普及に向けて、限られたスペースにも設置可能な電気自動車用中容量急速充電器を紹介した。東光高岳は、今後も充電インフラの拡充を進めるため、製品ラインナップの強化や上位通信やクラウド連携の充実による充電サービス側ラインナップの整備に引き続き取り組んでいく。

なお、本器は JECA FAIR 2023 第 62 回製品コンクール（一社）日本電設工業協会 奨励賞を受賞した。

■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。

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製造部 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製造部 開発グループ 所属

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製造部 開発グループ 所属

半導体業界のニーズに応える高速・高精度 インラインバンプ検査装置 TVI-S10210

■ 荒浪 太一
Taichi Aranami

1 はじめに

半導体パッケージは、LSI チップとパッケージ基板を電氣的に接続するバンプの高さがそろっていないと、接触不良が発生し、半導体パッケージは不良品になる。不良の半導体パッケージを減らすため、特に近年の高密度にバンプが成形された高価なパッケージ基板では、全数バンプ検査が主流になっている（図 1、図 2）。

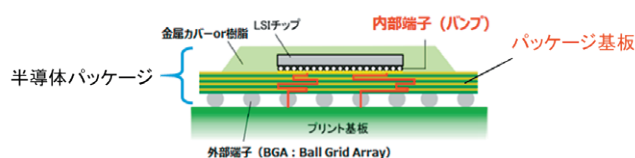


図 1 半導体パッケージの概略

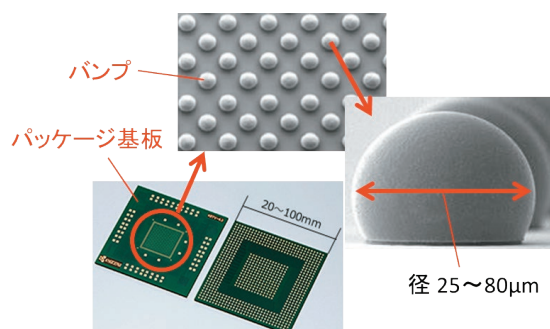


図 2 パッケージ基板とバンプ

東光高岳では、共焦点法と呼ばれる光計測の原理を応用した非接触で物体の表面形状を計測できる、独自の三次元計測技術を保有している。これまで、この技術を用いた三次元計測センサを搭載したバンプ検査装置を生産・販売してきており、お客様からは、競合他社のバンプ検査装置に比べ以下の点で優れていると評価されている。

- ・検査精度が高く、検査時間が短い
- ・故障が少なく安定して運用できる
- ・検査可能なパッケージ基板の種類が多い

また、近年の半導体需要の増加やパッケージ基板の微細化に伴う全数検査の要求などにより、バンプ検査装置のニーズが高まっており、多くの引合いを頂いている。このような市場ニーズの増大に応えるために、これまで生産・販売してきた三次元計測センサ SCS-7040 を搭載したバンプ検査装置（TVI-S7040）に加えて、昨年、生産性を向上させた三次元計測センサ SCS-10210⁽¹⁾ を搭載したバンプ検査装置 TVI-S10210 の開発を行った。

TVI-S10210 は、TVI-S7040（以下、従来機種）の検査精度と検査時間を維持しつつ、さらなる生産性向上による短納期化を商品コンセプトとして開発した。

2 バンプ検査装置のラインナップ

東光高岳のバンプ検査装置のラインナップとそれらの特徴を表 1 に示す。

表 1 バンプ検査装置のラインナップと特徴

ラインナップ	特 徴
TVI シリーズ	パッケージ基板を JEDEC トレイ ^{注1)} に収納した状態で検査する。 パッケージ基板を JEDEC トレイから取り出す必要がないので、高速に検査ができる。
EVI シリーズ	パッケージ基板を専用の検査台に移載し、エア吸着などの固定をしながら検査する。 TVI シリーズよりも計測繰返精度が良い。 検査時間は TVI シリーズよりも長い。
HVI シリーズ	パッケージ基板を加熱・冷却させながら反りなどを検査する。 バンプ高さだけでなく、温度変化によるパッケージ基板の反り量の変化を観察できる。 バンプ除去などの前処理が必要ない。

3 TVI-S10210 の特徴

TVI-S10210 の外観を図 3 に、仕様を表 2 に示す。仕様の対比として、従来機種の仕様も併記する。また、一例として同一のパッケージ基板を使用し、従来機種と TVI-S10210 にて検証を行った結果を表 3 に示す。表 2、表 3 より、TVI-S10210 は、前述した開発コンセプトを満足する高速・高精度なインラインバンプ検査装置である。



図 3 インラインバンプ検査装置 TVI-S10210

ることがわかる。

また、TVI-S10210 の装置供給能力は、従来機種と比較して最大約 9 倍となる。さらに、TVI-S10210 は、エアレス化を実現することができ、省エネ化への貢献も期待できる。

表 2 TVI シリーズの仕様比較

	TVI-S10210	TVI-S7040 (従来機種)
主な計測項目	バンパ高さ ^{注2)} コプラナリティ ^{注3)} 基板の反り ^{注4)}	同左
視野サイズ (mm)	13.0 × 13.0	同左
高さ計測範囲 (μm)	約 240	同左
XY 画像分解能 (μm)	3.0	同左
バンパ径 (最小) (μm)	φ25	同左
バンパピッチ (μm)	55 以上	同左
計測繰返精度 (バンパ高さ) (μm)	≤ 2	同左
装置サイズ (mm)	幅	1,120
	奥行	2,245
	高さ	1,800
装置重量 (kg)	約 1,900	約 2,300
製作納期 ※ 1	4 か月	12 か月
装置供給能力	最大 9	1 (基準)

※ 1 使用する部材の納期により変わる場合がある

表 3 TVI シリーズの検証結果比較

	TVI-S10210	TVI-S7040 (従来機種)
1 時間当たりの検査枚数 (枚) ※ 2	1,000	1,000
計測繰返精度 (バンパ高さ) (μm) ※ 2	1.22	1.88

※ 2 ある同一のパッケージ基板での検証結果であり保証値ではない

4 おわりに

東光高岳の新製品であるインラインバンパ検査装置 TVI-S10210 を紹介した。TVI-S10210 は、従来機種の検査時間と検査精度を維持したまま、課題であった供給量の確保と短納期対応を解決することができるインライ

ンバンパ検査装置である。

今後、検査ソフトウェアの最適化を行うことで、検査時間の短縮が見込めるため、検査時間でも従来機種より優れたインラインバンパ検査装置となる。本稿で紹介したインラインバンパ検査装置 TVI-S10210 は、新しい技術を取り込んでいるが、価格は従来機種と同程度となる。

今回、お客様にとって大きなメリットがあるバンパ検査装置を開発することができた。今後も、お客様の声に耳を傾け、お客様にご満足して頂けるようなバンパ検査装置の開発、生産を進めていく。

■参考文献

- (1) 水野佑樹，日名子達也：「共焦点三次元セ計測センサ SCS-10210R2-KN」，東光高岳技報，No.9，pp.42-43 (2022)

■語句説明

注 1) JEDEC トレイ：JEDEC 半導体技術協会 (JEDEC Solid State Technology Association) が半導体技術の標準化のために定めた“JEDEC 規格”にしたがって製作されたパッケージ基板を収納するトレイ (図 4)。

注 2) バンパ高さ：パッケージ基板の表面からバンパの最も高い位置までの距離 (図 5(a))。

注 3) コプラナリティ：パッケージ基板のバンパを含めた高さから基準平面を近似し、その基準平面から最も離れた二つのバンパの距離 (図 5(b))。

注 4) 基板の反り：バンパが存在する領域でのパッケージ基板の表面高さから基準平面を近似し、その基準平面からバンパが存在する領域内で最も離れた 2 個所のパッケージ基板の表面の距離 (図 5(c))。

荒浪 太一

光応用検査機器事業本部
検査機器製造部 設計グループ 所属

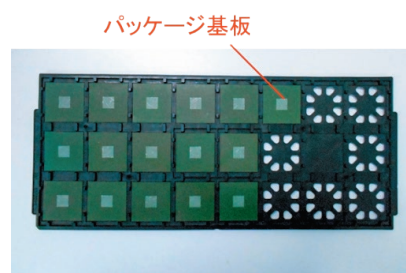


図 4 JEDEC トレイ

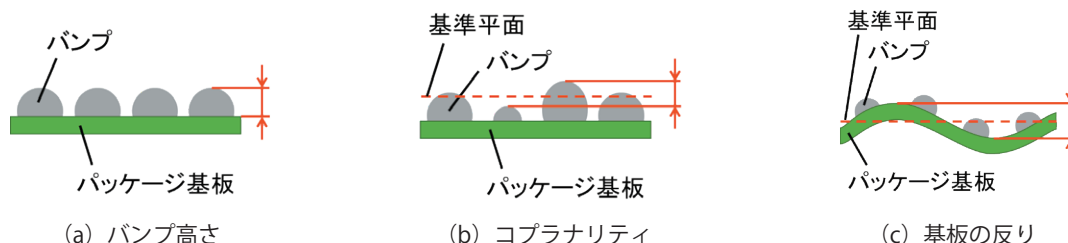


図 5 検査項目

継続的な安定供給を実現する 66 kV 直結形油入 VCT

■ 松田 隆真
Ryuma Matsuda

■ 寶田 憲央
Norio Takarada

■ 三輪 昌進
Masayuki Miwa

■ 大塚 貴裕
Takahiro Otsuka

1 はじめに

東京電力パワーグリッド（株）向け油入式特別高圧計器用変圧変流器（以下、油入 VCT）の GIS 直結形にて使用している 66 kV レジンプ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。これらが継続した場合、油入 VCT を安定的に提供し続けることが困難になる可能性がある。そこで、継続的な油入 VCT の安定供給を図るため、タカオカ化成工業（株）製モールド絶縁スペーサーを採用した油入 VCT（OG-3A）の開発を行った。

新型油入 VCT の開発にあたり、66 kV 直結形ガス VCT（以下、ガス VCT）と同構造の絶縁スペーサーを転用することで部品共有化によるリードタイムの短縮を図った。

また、ガス VCT にて使用実績のある絶縁スペーサーを採用するにあたり、絶縁材料が SF₆ ガスから絶縁油に変更となる。そのため、耐電圧、吸湿性および耐油性について検証を行い、性能上問題がないことを確認し、新製品として適用した。

2 仕様

表 1 に OG-3A の定格仕様、図 1 に外観を示す。ブッシングは絶縁スペーサーおよび導体によるブッシング構造に変更し、その他の仕様は従来型の油入 VCT と同様とした。

表 1 定格仕様

ブッシング種別	66 kV 油中貫通用（絶縁スペーサー）
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, 1,000 A
二次電流	5 A
負担	VT：2 × 50 VA CT：2 × 25 VA
過電流	20 kA 1 s

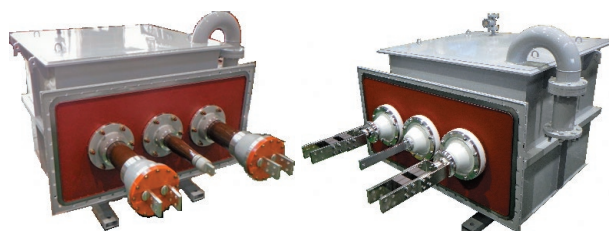


図 1 従来型 VCT（左）と新型油入 VCT（右）の比較

3 特長

変流器（以下、CT）の場合、電流が入る端子（図 2 K（入））と出る端子（図 2 L（出））が必要となる。そこで、CT の絶縁スペーサーをガス VCT と同様に往復導体構造とすることにより、CT 1 相分を単一絶縁スペーサーにて対応できる構造とした。これにより、使用する絶縁スペーサーの数を低減し、かつ電流仕様 1,000 A までのラインナップを可能とすることで、従来型 VCT との互換性を確保でき、置き換えが可能となった。

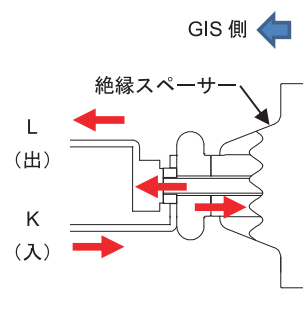


図 2 CT 用絶縁スペーサー（往復導体構造）

4 まとめ

ガス VCT で実績のある絶縁スペーサーを油入 VCT へ適用することで、安定的な供給が可能となった。また、今回の油入 VCT 開発により、絶縁スペーサーの油入 VCT への適用が可能となった。ブッシングの調達安定化は他の油入 VCT でも共通の問題であるため、絶縁スペーサーを適用した他機種の油入 VCT の開発を進め、電力機器の安定供給へ貢献していく。

松田 隆真 寶田 憲央
三輪 昌進 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

高度な保守運用を実現する センサインタフェース装置搭載 ガス絶縁開閉装置

■ 笹山 裕之
Hiroyuki Sasayama

■ 薄井 誠
Makoto Usui

■ 篠崎 宏司
Koji Shinozaki

■ 前澤 格
Itaru Maezawa

1 はじめに

電力業界において設備の高経年化、労働人口減少に伴う人材不足により、設備巡視業務の省力化が求められている。これらの課題を解決するためにIoT技術を用いたセンシングソリューションが近年注目を集めている。

センシングデータを活用することにより、設備不具合の予兆察知が可能になり、余寿命診断の高度化、巡視・点検の省人化など、高度な保守運用の実現が期待できる。

今回、センサインタフェース装置（Sensor Interface Unit：以下、SIU）を搭載したガス絶縁開閉装置（Gas Insulated Switchgear：以下、GIS）を開発したので紹介する。

2 SIU 搭載 GIS

2.1 特徴

GISの外観を図1に示す。GISは遮断器、断路器、接地開閉器などの機器本体がSF₆ガス中の安定した雰囲気中に収納され、塵埃や有害ガスなど外部環境による悪影響を受けず信頼性の高い機器となっている。

しかし、各機器が金属容器内に密封されているため、故障箇所の発見が難しく、万一内部故障が発生すると、復旧に時間を要する。また、集積密度が高いため改修が必要となった場合、広範囲の停止を伴うことがある。



図1 GIS 外観

2.2 システム構成

SIU 装置搭載 GIS のシステム構成イメージを図2に示す。GISに各種センサを搭載し、GIS 制御盤に搭載したSIUにてセンシングを行う。各SIUは母線連絡回線に設置した光終端箱と光ケーブルで結ばれ、変電所構内に設置されたエッジ端末と接続される。エッジ端末にてセンサ情報が集約され、データサーバへ伝送される。

2.3 センシング項目

表1にセンシング項目一覧を示す。取得するセンシング情報は、GISの中でも重要性の高い開閉器関連の情報とした。主要機器である遮断器の場合、主回路電流や開閉ストローク、補助接点動作、コイル電流、蓄勢モータ電流などが、異常の早期発見が必要となる箇所であ

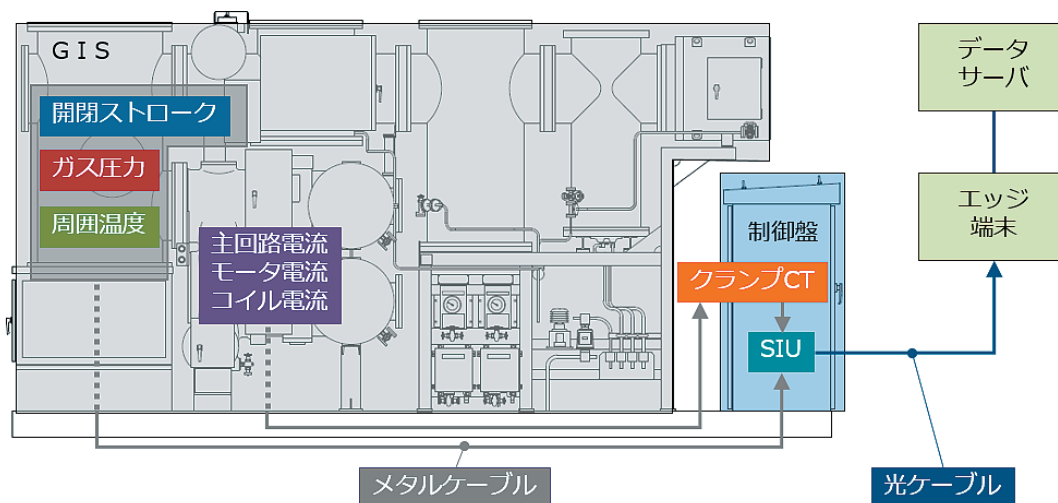


図2 GIS のシステム構成例

表 1 センシング項目一覧

対象機器	センシング項目	データ内容	適用センサ	監視目的
遮断器	主回路電流 (投入・遮断電流)	波形	クランプ CT (交流)	・ 機器の動作状況と合わせて接点損耗量を監視
	開閉ストローク	波形	ストロークセンサ	・ 各種開閉特性の監視 ・ 接点損耗量推定のためのアーク時間起点算出
	補助接点動作	波形	SIU にて直接取込	・ 開閉時間（パレット）の監視
	コイル電流	波形	クランプ CT (直流)	・ 機器操作指令の起点 ・ コイル電流値の監視
	蓄勢モータ電流	計測値	クランプ CT (直流)	・ 蓄勢モータ電流の監視 ・ 蓄勢モータ動作時間の監視
	制御電源電圧	計測値	SIU にて直接取込	・ 機器動作時の制御電圧監視
断路器・ 接地開閉器	モータ電流	波形	クランプ CT (直流)	・ 操作指令の起点 ・ モータ電流の監視
	補助接点動作	波形	SIU にて直接取込	・ 開閉時間（パレット）の監視
	制御電源電圧	計測値	SIU にて直接取込	・ 機器動作時の制御電圧監視
GIS 共通	周囲温度	計測値	温度センサ	・ 運転時周囲温度の取得
	ガス圧力	計測値	ガス圧力センサ	・ ガス圧力の監視

る。日常の巡視点検で確認するガス圧力の情報についても伝送を行い、遠隔からの状態監視を可能とした。また、周囲温度を取得することで、ガス圧力の温度補正も可能としている。

2.4 センサの実装

センサは機能や性能面に加え、入手性を考慮し市販品を適用することで、センシング対象設備が多数ある場合でも安価に構成することが可能となっている。

また、開閉器の主回路や制御回路などに影響を及ぼさない構成を基本とし、遮断器動作時の振動による影響を受けない構造、センサ類が故障した場合でも容易に部品交換が可能な構造とした。各種センサの配置イメージを図 3 に示す。

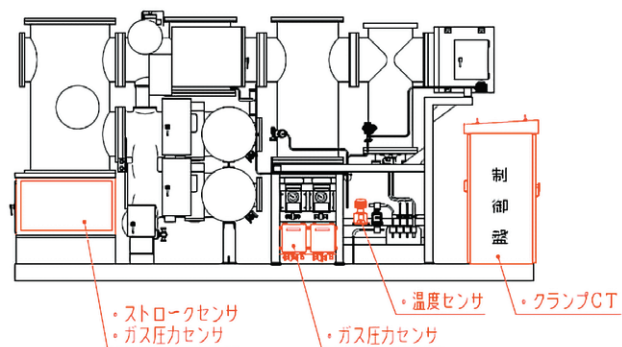


図 3 センサ配置

2.5 センサの外観と特長

各種センサの一例・外観と特長を以下に挙げる。センサ外観を図 4 に示す。



(1) ストロークセンサ



(2) クランプ CT



(3) 温度センサ



(4) ガス圧力センサ

図 4 各種センサ外観

(1) ストロークセンサ（遮断器）

各種開閉特性・開閉動作時間の監視、接点損耗量推定のためのアーク時間起点算出が可能である。

(2) クランプ型電流センサ（以下、クランプ CT）

投入・遮断電流（主回路電流）を監視し、機器の動作状況と合わせて接点損耗量を監視することができる。

クランプ CT を GIS 制御盤内に設置することで交換を容易にした。

(3) 温度センサ

運転時の GIS 周囲温度の監視、ガス圧力の温度補正

に用いる。東光高岳製スマート SIS^{注1)} で実績のある温度センサを適用した。I²C^{注2)} 通信方式によりノイズに強く、小型であるため、設備内のさまざまな場所へ取り付けが可能である。

(4) ガス圧力センサ

開閉器の機能を維持するために重要な SF₆ ガスの圧力監視を行う。複数あるガス区画すべてに設置しており、ガス圧力の常時監視が可能となっている。

2.6 センサ試験

センサ単体および SIU とセンサの組み合わせについて、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する条件で実施した。表 2 にセンサ試験項目一覧を示す。

表 2 試験項目一覧表

(凡例) ○：試験結果良，－：未実施

試験項目	試験条件	
	センサ単体	SIU- センサ組み合わせ
構造検査	○	－
絶縁抵抗測定	－	○
商用周波耐電圧試験	－	○
雷インパルス耐電圧試験	－	○
温度上昇試験	○	－
過負荷耐量試験	－	○
耐久性試験	○	－
イミュニティ試験	－	○
振動・衝撃試験	○	－
制御電源入力異常試験	－	○

GIS に搭載することを考慮し、雷インパルス耐電圧試験においては ± 4.0 kV (3 回) に耐えることを確認した。さらに、減衰振動波イミュニティ試験においても B-402 準拠となる 2.5 kV のサージに耐えることを確認した。その他試験においてもすべて良好な結果を得ている。

3 センサインタフェース装置 (SIU)

3.1 概要

SIU の外観を図 5 に、図 6 に SIU のシステム構成を示す。SIU は各種センサ値を測定するためのアナログ回路、センサ情報を処理するための演算部、上位装置への伝送を行うための通信処理部を一体構成としてユニット化している。SIU への配線をコネクタにすることで軽量化、およびコンパクト化を実現した。また、制御電源電圧の計測回路を SIU 内に設けることにより、外付けのセンサを必要とせずに計測が可能となっている。これに伴い、商用周波耐電圧試験の電気回路相互間において 3 kV まで耐えることができる。



図 5 SIU 外観

3.2 性能

SIU はセンサ情報を取り込むセンシング機能、センシング情報を伝送するための上位伝送機能、SIU の状態お

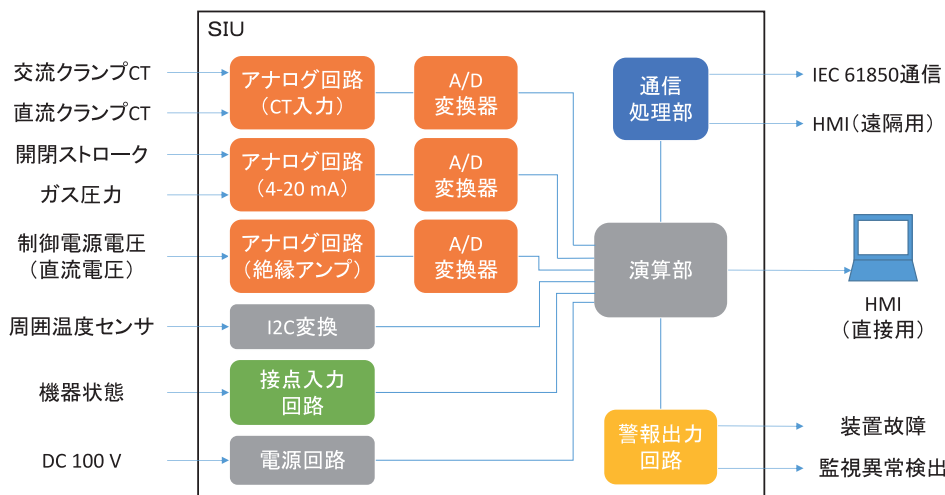


図 6 SIU システム構成

および各種設定を行う HMI^{注3)} 機能を搭載している。また、サイバーテロの脅威に対してセキュリティ対応を実施した。

(1) センシング

各種センシング情報は計測値、および波形情報として上位伝送を行う。波形情報のフォーマットには汎用ツールで波形解析が可能な COMTRADE^{注4)}形式を採用した。

遮断器のストローク波形から初開離速度を取得するには、10 kHz (100 μ s/ サンプル) 以上の高速サンプリングが必要のため、遮断器ストロークのサンプリングは、IEC 61869-9: 2016⁽¹⁾ (高速サンプリング) に準拠し 14.4 kHz 対応としている。遮断器の開閉ストロークをオシロスコープで記録した波形、および SIU で記録した波形を図 7 に示す。

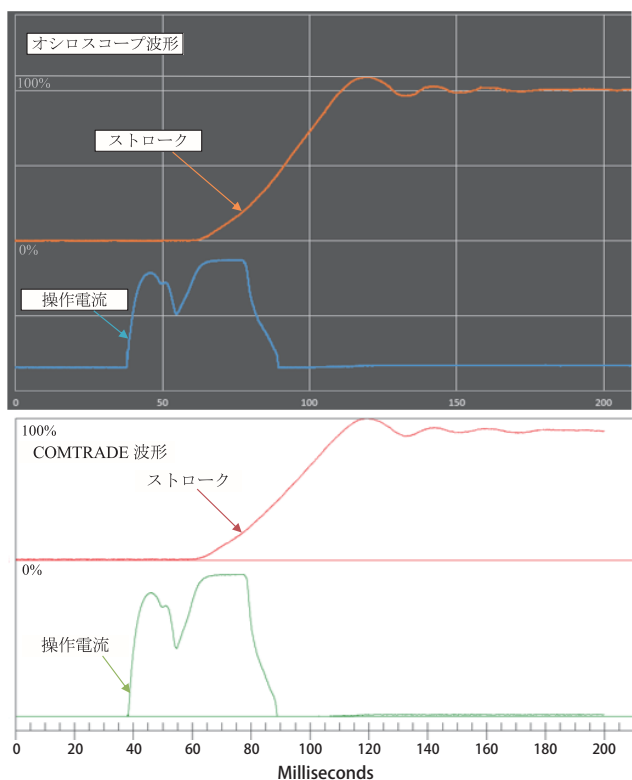


図 7 遮断器のストローク波形

(2) 上位伝送

波形情報の大容量データを送信することから、上位伝送には光伝送 (1000 BASE-LX) による通信方式を採用した。また、計測値の伝送に国際標準プロトコル IEC 61850: Ed2.0 規格を採用することで標準化を図った。

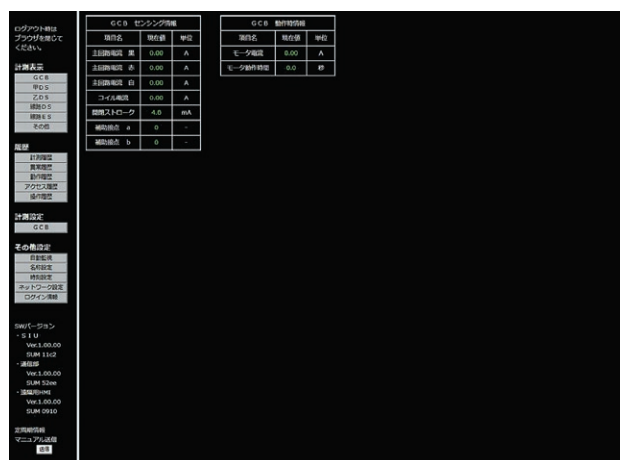
(3) セキュリティ対応

「JESZ0004 (2019) 電力制御システムセキュリティガイドライン」にもとづき、不正処理防止、アクセス制御、ログの取得などのセキュリティ事項の対応

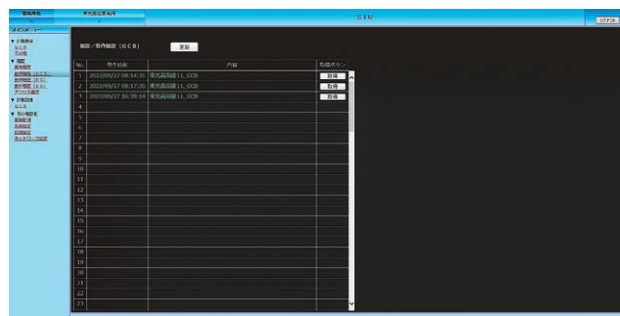
を実施している。

(4) HMI

SIU でのセンサ入力状態、計測履歴、および SIU のメンテナンスや設定情報を閲覧するための HMI 機能を備える。HMI の閲覧には専用ソフトは不要となっており、Microsoft Edge が動作するパソコンであれば閲覧が可能となっている。HMI 機能は情報の閲覧のみが可能な遠隔用、すべての情報の閲覧および設定変更が可能な現地用の 2 種類を用意した。図 8 に現地用、遠隔用の HMI 画面例を示す。また、図 9 に現地用 HMI の計測表示画面例を示す。



(a) 現地用 HMI



(b) 遠隔用 HMI

図 8 HMI 画面例

GCB センシング情報			GCB 動作時情報		
項目名	現在値	単位	項目名	現在値	単位
主回路電流 黒	0.00	A	モータ電流	0.00	A
主回路電流 赤	0.00	A	モータ動作時間	0.0	秒
主回路電流 白	0.00	A			
コイル電流	0.00	A			
開閉ストローク	4.0	mA			
補助接点 a	0	-			
補助接点 b	0	-			

図 9 計測表示画面例 (現地用)

4 おわりに

本稿では、SIU を適用した GIS について紹介した。今後は、既設の GIS にもセンサを追加・適用できるように検討を実施し、お客様へ最適なセンシングソリューションをご提案できるように努める。

また、SIU 装置搭載の変圧器についても開発を行っており、センシングソリューションのラインナップを拡充していく所存である。

■参考文献

- (1) IEC 61869-9 : Digital interface for instrument transformers (2016)

■語句説明

- 注 1) スマート SIS : 新型 6 kV 固体絶縁開閉装置の略称。従来の固体絶縁方式の開閉装置 (SIS : Solid Insulated Switchgear) に ICT 技術の適用、センシング機能を組み込んだ装置。
- 注 2) I²C : Inter-Integrated Circuit の略。通信インタフェースの一種で Philips Semiconductors 社 (現

NXP Semiconductors 社) が開発した通信規格。2本の信号線によりデータ転送を行う。

- 注 3) HMI : Human Machine Interface の略。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) COMTRADE : Common Format for Transient Data Exchange の略。電力システムにおける過渡現象のデータ交換を行うための IEEE 標準の共通フォーマット。

笹山 裕之

電力プラント事業本部 開閉装置製造部
開閉装置設計グループ 所属

薄井 誠

電力プラント事業本部 開閉装置製造部
開閉装置設計グループ 所属

篠崎 宏司

電力プラント事業本部 電力システム製造部
保護制御装置設計グループ 所属

前澤 格

電力プラント事業本部 電力システム製造部
保護制御装置設計グループ 所属

6 kV 配電線の電力品質を維持する 分散電源対応型 SVR

■ 梅山 慶太
Keita Umeyama

■ 茂木 規行
Noriyuki Motegi

1 はじめに

地球環境問題や省エネルギーに対する意識の高まりを背景に、国内外で太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの普及拡大に向けた取り組みが行われている。とりわけ日本では、再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT：Feed-in Tariff）の施行を契機として、太陽光発電をはじめとした分散電源の電力系統への導入が急速に進んでいる。

6 kV 配電線への分散電源の連系が増加すると、電力潮流が複雑化することに伴う電圧変動の増大により、適正電圧の維持が難しくなる場合がある⁽¹⁾。

電圧変動対策の一つとして電圧調整器の導入がある。その中で、ステップ式自動電圧調整器（Step Voltage Regulator：以下、SVR）は6 kV 配電線の電圧改善を目的に、現在、多くの電力会社で採用されている。

しかしながら、分散電源が多く連系され、逆潮流^{注1)}が発生する6 kV 配電線においては、現在広く普及しているSVR（以下、従来型SVR）では制御の仕様上、意図した制御動作とならない場合がある。そのため、近年、電力会社では逆潮流にも対応可能なSVRのニーズが高まっている。

東光高岳は、従来型SVRを製品化しており、これまでに電力会社へ多数納入してきた。今回、逆潮流が発生する6 kV 配電線においても適切な制御動作が可能である分散電源対応型SVR（以下、新型SVR）を、愛知電機（株）と共同で開発し、製品化したので紹介する。

2 従来型SVRの制御仕様と課題

2.1 従来型SVRの制御仕様

SVRは主に変圧器、負荷時タップ切換器および制御装置から構成される。6 kV 配電線の電圧を制御装置で監視し、設定範囲からの逸脱を検出すると負荷時タップ切換器にタップ切換指令を出力し、変圧器巻線を適切な変圧比に変更することで、電圧を設定範囲内に調整する仕組みである。

表1に、従来型SVRの制御対象とする6 kV 配電線の状態と、その制御内容を示す。従来型SVRは、電力潮流が変電所から線路末端の方向に流れる順潮流の状態を前提とし、送電方向が順送電である（a）の状態では二次側（負荷側）の電圧を調整し、6 kV 配電線の系統

表1 従来型SVRの制御動作（順潮流の状態）

配電線の状態および SVR の制御内容

(a) 順送電 順潮流

FCB：フィーダ用しゃ断器

潮流

SVR の認識と制御内容

送電方向	潮流方向	制御内容
順送電	順潮流	二次側（負荷側） 電圧調整

(b) 逆送電 順潮流

潮流

SVR の認識と制御内容

送電方向	潮流方向	制御内容
逆送電	順潮流	タップ固定 制御

【送電方向・潮流方向の説明】

項目	状態	備考
順送電	変電所はSVR一次側に接続	通常運転時
逆送電	変電所はSVR二次側に接続	暫定運用時（系統切替中）
順潮流	変電所→負荷側への電力潮流	負荷への供給
逆潮流	負荷側→変電所への電力潮流	負荷側の分散電源の発電量が大

表2 従来型SVRの制御動作（逆潮流の状態）

配電線の状態および SVR の制御内容

(c)
順送電
逆潮流

SVR の認識と制御内容

送電方向	潮流方向	制御内容	問題点
逆送電	順潮流	タップ固定制御	・制御仕様上、想定外の状態 ・二次側（負荷側）電圧調整とならない

(d)
逆送電
逆潮流

SVR の認識と制御内容

送電方向	潮流方向	制御内容	問題点
順送電	順潮流	二次側（変電所側）電圧調整	・制御仕様上、想定外の状態 ・タップ固定制御とならない

切替^{注2)}により SVR が逆送電となる (b) の状態では、二次側電圧調整を停止しタップ固定に移行する制御動作となる。

ここで、送電方向の判断は、順送電のときは SVR 一次側から二次側に向かう潮流となること、逆送電のときは二次側から一次側に向かう潮流となることを、SVR に実装した逆流継電器により検出することで行っている。

2.2 制御仕様の課題

近年では、分散電源の連系量の増加に伴い、逆潮流が発生する 6 kV 配電線が増えている。**表 2** に、従来型 SVR が逆潮流の状態となった場合の制御内容を示す。

従来型 SVR は、分散電源による逆潮流が発生することを想定していない制御仕様であり、前項のとおり、逆流継電器により検出する潮流の向きのみで送電方向を決定するため、(c) の状態を逆送電、(d) の状態を順送電と誤認識し、それぞれに応じた制御動作を行う。すなわち、(c) の場合はタップ固定制御に、(d) の場合は二次側電圧調整に移行することとなる。

このように、従来型 SVR は、逆潮流が発生する 6 kV 配電線においては、意図した制御動作が行われない場合がある。

3 新型 SVR の特長

開発した新型 SVR は、次の機能を付加することで、逆潮流が発生する 6 kV 配電線にも適用可能な制御仕様とした。

3.1 送電方向判定機能

前項で述べた従来型 SVR の制御上の課題の解決には、SVR の一次側と二次側に対し、どちらに変電所が接続されているかを自律的に判断する機能が必要となる。

新型 SVR は、電力潮流の方向を問わず変電所接続側を的確に判断可能な送電方向判定機能を備えた。判定の基本原則としては、SVR の変電所接続側は発電容量が大きいこと、電圧維持能力が高く、負荷側と比較してインピーダンス値が小さくなる性質を利用したものである (**図 1**)。SVR の計測電圧および電流から 6 kV 配電線のインピーダンス $Z1$ 、 $Z2$ を演算し、値の小さい方を変電所接続側と判断し、送電方向が順送電か逆送電かを決定する⁽²⁾。

3.2 双方向電圧制御機能

分散電源が多く連系された電圧変動の大きい 6 kV 配電線での使用を考慮すると、逆送電においても SVR は電圧調整を行えることが望ましい。このため、新型 SVR は双方向電圧制御方式を採用し、送電方向判定の

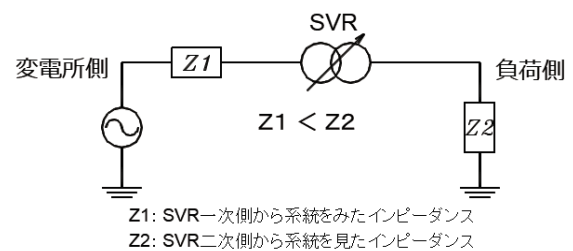


図 1 SVR から見た 6 kV 配電線のインピーダンス

結果、順送電の場合は SVR 二次側の電圧調整を、逆送電の場合は一次側の電圧調整を行う仕様とした。

また、送電方向に応じて最適な電圧調整が行えるよう、一次側と二次側とで個別の制御整定値（基準電圧、動作時限、電圧降下補償量など）の設定を可能とした。

4 新型 SVR の仕様および構造

4.1 仕様

新型 SVR の主な仕様を**表 3** に示す。

表 3 新型 SVR の主な仕様

項目	仕様
相数	3 相
定格周波数	50 Hz
線路容量	5,000 kVA
結線	単巻スター結線
タップ点数	9 タップ
一次タップ電圧	6,900 V, 6,800 V, 6,700 V, 6,600 V, 6,500 V, 6,400 V, 6,300 V, 6,200 V, 6,100 V
定格二次電圧	6,500 V
素通しタップ	タップ 5 (6,500 V)
タップ切替器	真空バルブ式負荷時タップ切替器
耐用切換回数	20 万回
制御装置	デジタル式
制御内容	自動制御 ・電圧調整リレー、電圧降下補償器の整定値に基づく双方向電圧制御 順送電：二次側電圧調整 逆送電：一次側電圧調整 ・送電方向判定機能を搭載
	手動制御 操作レバーによる昇圧・降圧タップ切換制御
	遠方制御 遠方制御器を介して素通しタップへの切換制御
耐汚損特性区分	等価塩分付着量 0.06 mg/cm ² 以下 (一般用)
外形寸法	幅 1,315 × 奥行 1,630 × 高さ 2,020 mm
質量	2,550 kg

4.2 構成

新型 SVR の主な構成（簡略図）を図 2 に示す。

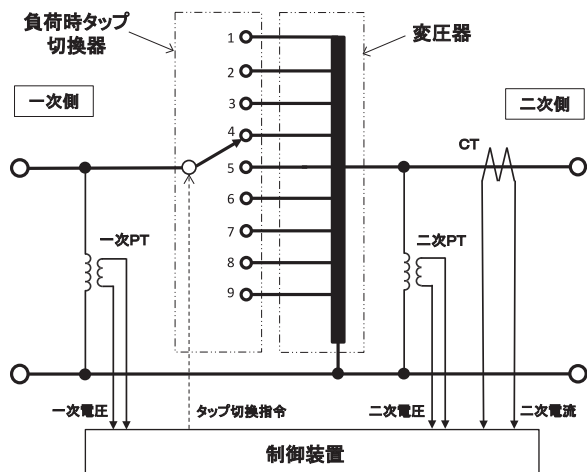


図 2 新型 SVR の主な構成（簡略図）

4.3 外観

新型 SVR の外観を図 3 に示す。



図 3 新型 SVR の外観

5 おわりに

2020 年 10 月に政府から宣言された「2050 年カーボンニュートラル」の実現に向け、太陽光発電や風力発電をはじめとした分散電源の導入量は今後も増加していく見通しである。このため、新型 SVR による 6 kV 配電線の電圧安定化の重要性がさらに増すものと考えられる。

これからも、お客さまのニーズに対応した電圧調整器を開発し、製品ラインナップの拡充に努める所存である。

■参考文献

- (1) 茂木他：「配電系統の電圧適正化に向けた取組み」，東光高岳技報，No.2（2015）
- (2) 「逆潮流対応型高圧自動電圧調整器」，愛知電機技報，No.35，p.225（2014）

■語句説明

- 注 1) 逆潮流：分散電源の発電量が設置箇所の電力需要を上回ること、通常の電力供給とは逆方向の電力の流れとなること。なお、通常の電力供給における電力の流れは、順潮流という。
- 注 2) 系統切替：配電線の工事や事故、負荷バランス調整等の理由により、通常の配電線の回路構成や供給ルートなどを変更すること。

梅山 慶太

電力機器事業本部
小型変圧器製造部 設計グループ 所属

茂木 規行

電力機器事業本部
小型変圧器製造部 設計グループ 所属

デジタル変電所の実現に向けた IEC 61850 対応 監視制御装置

■ 佐藤 一男
Kazuo Sato

■ 川俣 陽輝
Haruki Kawamata

■ 池田 栄二
Eiji Ikeda

1 はじめに

変電所設備の運用効率化・高度化を目的に監視制御装置を活用したデジタル化が推進されている。

デジタル化の実現には、さまざまなメーカーの装置と相互通信できることが必須となる。今回、東光高岳では、東京電力パワーグリッド（株）の多回線引込み配電用変電所（岬町変電所（千葉県いすみ市））に通信の国際規格である IEC 61850 に対応した監視制御装置（以下、本装置）を初めて導入した。当該変電所は、ステーションレベル^{注1)}で東京電設サービス（株）製の IEC 61850 に対応した装置と本装置を導入することでマルチベンダ構成を実現している。

今回導入した装置は、監視制御機能を有するフィールドゲートウェイ（以下、FGW）、各機器状態・計測情報を取り込むベイコントロールユニット（以下、BCU）、加えて、IEC 61850 に準拠していない現行の上位システムに接続するための IEC 61850 プロトコル変換装置（以下、変換装置）から構成される。

2 システム全体構成

今回適用したシステムの構成を図 1 に示す。

BCU をはじめとした各 IED^{注2)}にて取得した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（変電所 - 制御所間通信）に従って変換装置へデータの伝送を行う。これを変換装置にて IPIF プロトコルに変換を行うことで、現行の上位システムからの監視制御が可能な構成としている。

なお、FGW、BCU、変換装置はすべて 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。

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変換装置へデータの伝送を行う。

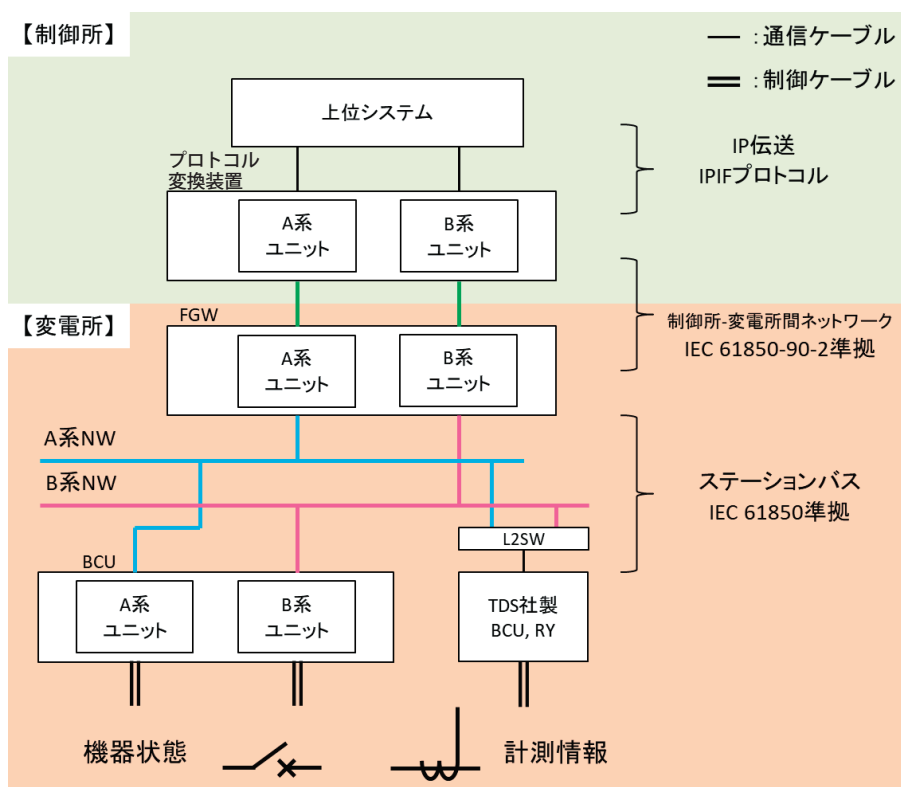


図 1 全体システム構成



図2 FGW 外観

3.1 機能

FGW の主な機能を表 1 に示す。

表 1 機能概要

機能	概要
プロキシ／ゲートウェイ	・代理アクセス（プロキシ）
HMI 注3)	・機器状態、故障状態の表示 ・変電所全体監視・直接操作 ・設定
自動監視	・BCU 他、IED 接続状態等の監視
セキュリティ	・権限管理・制限 ・syslog 送信

(1) プロキシ／ゲートウェイ機能

FGW ではサーバ機能とクライアント機能が内部通信により分離した indirect access 方式を採用している（図 3）。

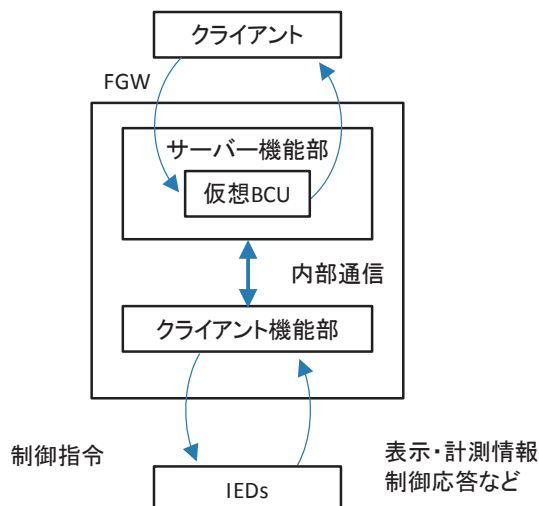


図3 indirect access 方式によるネットワークの分離

indirect access 方式採用により次の効果が見込まれる。

- ・伝送情報の選択・フィルタリングが可能
- ・変電所構外と構内のネットワーク分離によるセキュリティ向上
- ・クライアント～IED 間の通信オーバーヘッドの削減

変電所構外のクライアントからの要求には、FGW のクライアントが代理（プロキシ）で各 IED から取得、アクセスした結果が返送される。

(2) HMI 機能

設定画面より、BCU をはじめとした各 IED の実装 / 未実装設定、表示項目の実装設定など各種設定の変更が可能となっている。

加えて、HMI 機能には SAS 注4) の機能を統合した。BCU からの機器状態、故障表示を IED 単位に確認できる状態表示画面、当該変電所のスケルトンを表示する全体スケルトン画面（図 4）を具備している。なお、制御権が「直接」の場合、全体スケルトンのシンボルにアクセスすることで変電所機器の操作が可能である。

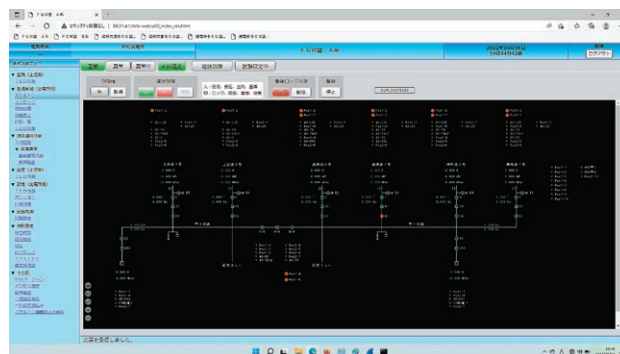


図4 スケルトン画面

(3) セキュリティ対応

セキュリティについては日本電気技術規格委員会の承認規格である「電力制御システムセキュリティガイドライン」に従い、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・制限およびシステムログ収集を実施している。また、外部サーバにログを出力する syslog 機能も実装している。

3.2 ネットワーク機器収納によるコスト低減

FGW 盤内の空きスペースを活用し、ネットワーク機器を収納した（図 5）。別途通信設備をまとめるラックを設置する必要がなくなり設置コスト低減を実現している。

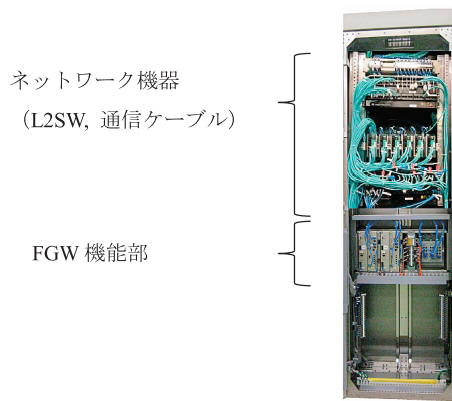


図5 ネットワーク機器収納状態

4 バイコントロールユニット (BCU)

BCUの外観を図6に示す。BCUは、遠隔地から変電所の監視制御を行うために変電所内に設置し、変電所の監視制御情報を遠隔地とLAN伝送する中継装置としての役割を担う。



図6 BCU 外観

BCUは既設機器との接続のため端子台を設けており、制御ケーブル渡しにて接続される。CT/VT入力、現地機器操作出力、機器状態や故障表示等の各種情報を取り込んでいる。取り込んだ各種情報は、IEC 61850 (MMS^{注5)})に変換してFGWへレポートを送信している。

また、FGWからの選択制御リクエストを伝送で受信し、現地機器または、既存装置（デジタル化非対応装置）である保護リレーへ制御ケーブルにより信号出力し制御を行っている。

BCUの主な機能の概要を表2に示す。そのうち、重要な機能を(1)～(4)で説明する。

表2 機能概要

機能	概要
情報伝送	・ IEC 61850 (MMS) 伝送
選択制御	・ 強化型選択制御の採用 (SBO control with enhanced security) ・ 同期並列検定機能 ・ ソフトインタロック
表示	下記情報の取り込みと状態表示 ・ 現地機器 ・ 43SW 回路 ・ 故障・警報表示
計測	・ 変電所設備の計測情報 ・ 遮断器投入のための同期計測
自動監視	・ BCU 監視 ・ 計測入力監視 ・ 電圧監視 ・ 故障監視 他
HMI	・ 状態表示 ・ 設定・整定
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

(1) 選択制御機能

主回路機器などの制御は、誤操作防止を図るため、二挙動方式（選択後制御）を採用、かつ、制御対象の不応動の場合にコマンド終了通知が必要となることから強化型選択制御とした。強化型選択制御は、従来の選択制御と異なり、選択時に制御値が必要となる。また、同期投入検定機能は、電力システムを安全に並列運転することを目的とし、各BCUに実装している。なお、同期遮断器の設定ならびに同期投入に関する各種整定については、HMI用PCを用いて変更できる。

(2) ソフトインタロック機能

誤操作によって電力システムへの支障または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、ソフトインタロック機能を実装している。

ソフトインタロック機能により、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で確認が行え、インタロック条件の変更もユーザが行える。

(3) 計測機能

各設備からVT二次値またはCT二次値を取り込み、デジタルサンプリング方式によって系統一次変換を行う。また、スケールオーバー処理、下限値カット等の各種処理機能を具備する。

変換した計測値は、0.5秒間隔の定周期でFGWに情報伝送できる。

(4) HMI 機能およびセキュリティ

HMI 用 PC 接続時の認証機能を設け、業務内容に合わせた 3 レベルの権限を設けた。

設定・整定画面より、設定・整定の読み出しおよび変更ができる。

また、各画面に誤り検定符号情報を表示し、設定・整定値の正当性を確認できる機能を具備している。

図 7 に設定機能の一例として前項でも述べたソフトインタロック設定画面を示す。



図 7 変電所機器のソフトインタロック設定画面

5 IEC 61850 プロトコル変換装置

変電所のデジタル化に伴い、装置（上位装置から変電所装置）は順次更新となることが予想される。本装置は、変電所側の更新が先行する場合を想定し、変電所装置が置き換えられても上位装置の設定変更を必要としないこと、また、上位システムを IEC 61850 伝送によるデジタル化対応とする際に、本装置を取り外すだけで切り替えを可能とするために開発したものである。

これらを実現するため、IEC 61850 プロトコルを IPIF プロトコルへ変換するとともに、上位システムからの指示（選択制御、状態要求）を逆方向に変換する機能を有している。図 8 に IEC 61850 プロトコル変換装



図 8 IEC 61850 プロトコル変換装置

置（以下、変換装置）の外観を示す。

5.1 変換を行う情報

表 3 に変換装置が変換を行う情報を示す。

表 3 変換を行う情報の概要

対象となる情報	主な処理
定周期計測情報	・ 数値変換 ・ quality 変換
表示情報	・ 状態変化変換
故障情報	・ 重大故障 / 軽故障通知
選択制御	・ 選択制御変換

(1) 定周期計測情報

定周期計測情報に含まれる数値と符号を変換するとともに、設定されている quality 値によって異常を検出し、通知する。

(2) 表示情報

変電所装置から通知される情報は複数の値を取る整数であるが、これをあらかじめ指定されているルールに従って 2 値に置き換え、上位システムへ通知する。

(3) 故障表示

変電所装置から通知される情報から、故障情報を生成し、上位システムへ通知する。

(4) 選択制御

選択制御においては、強化型選択制御を採用しており、従来とまったく同じ選択制御シーケンスを実現している。

5.2 変換性能

変換装置は最大で 96 台の論理デバイス（以下、LD）と接続することが可能で、通信経路ごとに定周期計測情報 22 ワード、表示情報 180 ポジションを変換する能力を有している。なお、接続可能な最大 LD 数は、変電所の規模に応じて引き上げることができる。

6 おわりに

多回線引込み配電用変電所向け監視制御装置において、制御所 - 変電所間およびステーションレベルのデジタル化対応を行った。

今後は、プロセスレベルや、さまざまな変電所の構成に適応した監視制御装置の検討・開発を進めていく。

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工務部様、東京電設サービス様に対し、厚くお礼申し上げます。

■参考文献

- (1) 小島・近藤・水野・鎌田・佐野ほか：「IEC 61850 を適用したデジタル変電所監視制御システムの実用化」電気学会保護リレーシステム研究会, PPR-23-007 (2023)
- (2) 「IEC 61850 の国内電気所適用に関する機能仕様 Edition 2.1.0」電力中央研究所 (2019)

■語句説明

- 注 1) ステーションレベル：変電所構外と構内のネットワークを中継する遠方監視制御装置や変電所機器の直接制御を行う集中監視制御装置，およびステーションバスを含めた範囲。
- 注 2) IED：Intelligent Electronic Device の略称。内蔵機能を組み合わせ幅広くユーザカスタマイズができる。汎用性が高い。
- 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) SAS：Substation Automation System の略称。変電所全体を監視制御するためのシステム。変電所に設置される機器の制御・状態表示・計測表示が可能。
- 注 5) MMS：Manufacturing Message Specification の略称。装置間のデータ通信をリアルタイムに処理することを目的とした通信規格。

佐藤 一男

電力プラント事業本部

電力システム製造部 保護制御装置設計グループ 所属

川俣 陽輝

電力プラント事業本部

電力システム製造部 保護制御装置設計グループ 所属

池田 栄二

電力プラント事業本部

電力システム製造部 監視制御システム設計グループ 所属

電力の東西連系強化に貢献する 設備情報相互通信システムの構築

■ 田沼 秀和
Hidekazu Tanuma

■ 太田 祥貴
Yoshitaka Ota

1 はじめに

日本では、静岡県富士川を境に東日本側 50 Hz、西日本側 60 Hz と二つの周波数による送電が存在する。50 Hz 系統と 60 Hz 系統間では、周波数変換装置（以下、FC）によって電力融通を可能にしている。FC は、電力融通の増加に伴い常時運転となる傾向にある。そのため、送電線やその他電力設備の異常により緊急停止すると故障のおそれがある。東光高岳は、異常信号を高速で検出、送受信し、FC を安全に停止させるシステム（以下、本システム）を開発した。

また今回、国際標準プロトコルの IEC 61850 GOOSE^{注1)} インタフェースを搭載する SEL 社製 IED^{注2)} を用いて異なる電力会社間の設備情報を相互通信する装置を開発し、システムを構築したのでその概要を紹介する。

2 システム構成

本システムは、東京電力パワーグリッド（株）（以下、東京電力 PG）駿河変電所の FC 転送盤と中部電力パワーグリッド（株）（以下、中部電力 PG）東清水変電所の FC 転送受信盤（以下、FC 受信盤）および各装置間の伝送路から構成される。FC 転送盤・FC 受信盤の

システム構成を図 1 に示す。

「各盤の運用状態」「送電線の過負荷・回線遮断状態」「変圧器の過負荷状態」などの情報を相互間で通信する。伝送方式は、IEC 61850 GOOSE を採用した。

3 特長

本システムは、従来の国内製保護・制御ユニットならびに情報伝送装置の置き換えで構築可能である。IED を採用し、装置間伝送方式に IEC 61850 GOOSE を用いるメリットは、以下のとおりである。

- (1) 高速通信処理
- (2) 国際標準プロトコル採用のため、他社製品でも設備更新が容易
- (3) 汎用 IED 採用による低コスト・短納期
- (4) 既設設備にあわせて IED のカスタマイズが可能
- (5) 国際規格（IEC、IEEE など）に準拠した耐環境性能

4 装置概要

(1) FC 転送盤

FC 転送盤は、「送電線の擾乱による不足電圧」「送電線開閉器の開閉状態」「変圧器の過負荷状態」を IEC 61850 GOOSE により FC 受信盤へ送信する装置である。

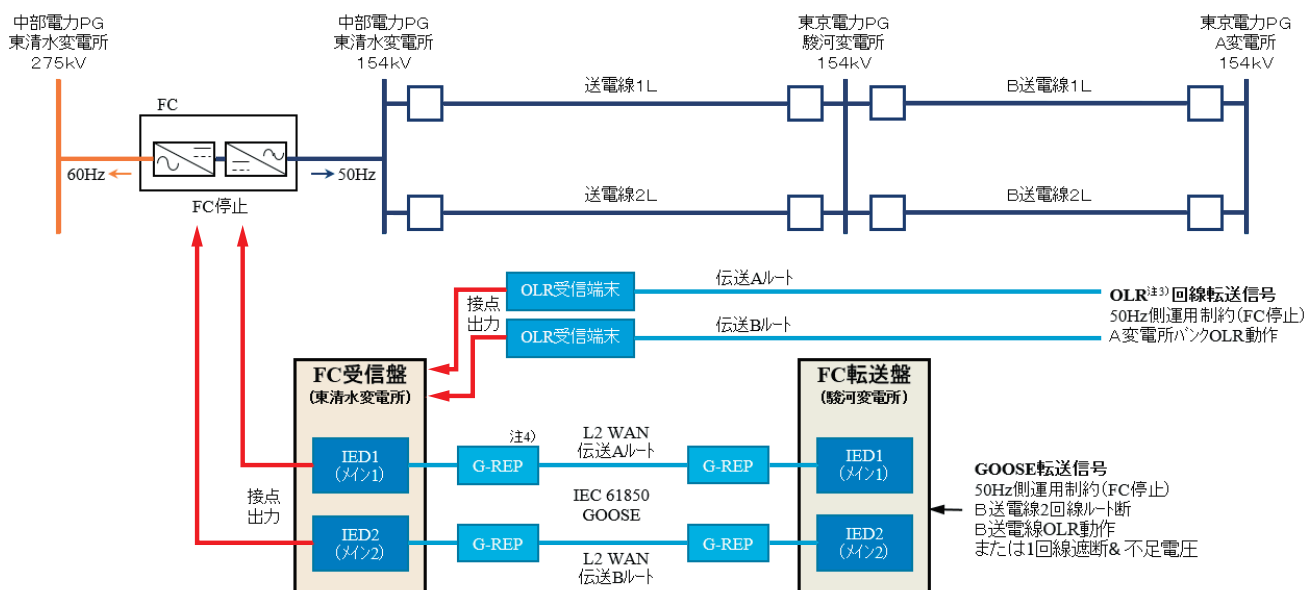


図 1 FC 転送盤・FC 受信盤のシステム構成

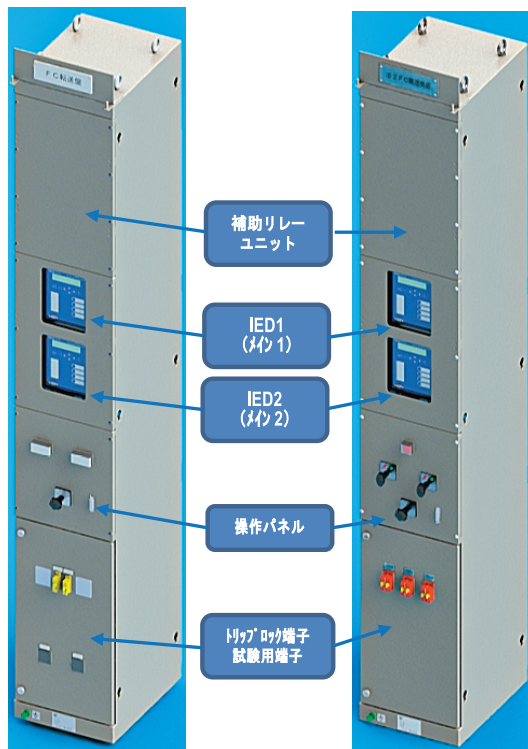


図2 FC 転送盤 (左)・FC 受信盤 (右)

当該装置の仕様を表1、機能を表2に示す。片側の IED 故障でも機能維持ができるように、IED を2重化構成とした。装置外観を図2に示す。

(2) FC 受信盤

FC 受信盤は、FC 転送盤からの状態信号を受信、また OLR^{注3)} 受信端末から接点入力された過負荷信号を IED でシーケンス処理し、FC へ停止信号を出力する装置である。

当該装置の仕様を表1、機能を表2に示す。FC 転送盤と同様に、IED を2重化構成とした。装置外観を図2に示す。

5 おわりに

電力の東西送電連系に貢献する本システムは、FC 送信盤、FC 受信盤および関連設備取り替え工事を経て、2023年7月から運用開始が予定されている。

今後も IED の汎用性を生かし、デジタル変電所向けの機器など他の用途にも展開していきたい。

表1 FC 転送盤・FC 受信盤の仕様

項目	仕様・機能
装置本体	W 350 mm × H 2,300 mm × D 450 mm 屋内形前後面保守構造
処理ユニット	SEL 社 IED SEL-751
操作パネル	電源スイッチ、切替スイッチ、 オシロ出力端子
開閉式扉	トリップロック端子、試験用端子

表2 FC 転送盤・FC 受信盤の機能

項目	FC 転送盤	FC 受信盤
不足電圧監視	○	—
状態・故障表示 LED・LCD	○	○
自動点検	○	○
常時監視	○	○
オシロ出力	○	○
強制制御	○	○
IEC 61850 伝送	○	○
通信インタフェース (現地・遠隔運用保守)	○	○

凡例 ○：機能実装，—：機能未実装

■ 語句説明

- 注1) GOOSE：Generic Object Oriented Substation Eventの略称、IEDが有するデータをイーサネットのマルチキャストで高速通信する方式。
- 注2) IED：Intelligent Electronic Device（高性能電子装置）の略称、内蔵機能を組み合わせ幅広くユーザカスタマイズができる。汎用性が高い。
- 注3) OLR：Over Load Relay（過負荷リレー）の略称、送電線などの過負荷を検出して遮断信号を出力する。
- 注4) G-REP：ギガビットレピータの略称、信号（LAN）を光信号に変換し、光ファイバを用いて伝送速度1ギガビット／秒で長距離伝送する装置。

田沼 秀和

電力プラント事業本部 電力システム製造部
保護制御装置設計グループ 所属

太田 祥貴

電力プラント事業本部 電力システム製造部
保護制御装置設計グループ 所属

USB ストレージの読み書きを高速化する 組込み機器向け USB ホストドライバ用 UASP ドライバ

■ 万永 淳之
Kiyoyuki Manei

1 はじめに

近年、USB3.x⁽¹⁾ 接続のストレージ（USB フラッシュメモリ、USB ハードディスク等）が広く普及してきた。

それに伴い、USB 接続の SSD（ソリッド・ステート・ドライブ）を中心に、データ転送効率を向上させる USB Attached SCSI protocol^{(2), (3)}（以下、UASP）仕様に準拠したストレージもしだいに多くなってきている。

一方、テレビやオーディオ機器等、USB 接続のストレージに映像や音声をファイルとして保存したりファイルから再生したりする組込み機器も増えており、映像や音声の高解像度化・多チャンネル化に伴って、より高速なファイルの読み書きが必要となってきた。

こういった市場動向やニーズに対応するべく、今回、組込み機器向けの USB ホストドライバ製品である MatrixQuestUSB3.0/host および MatrixQuestUSB/lite（USB2.0 対応）の UASP 対応を行った。

2 特長

UASP に対応するため、UASP ドライバの新規開発と MatrixQuestUSB3.0/host および MatrixQuestUSB/lite への機能追加を行い、ファイルシステムから UASP 対応ストレージを従来のストレージと同様に扱えるようにした。

その結果、お客様はアプリケーションを変更することなく、接続するストレージを UASP 対応のものに替えるだけでファイルの読み書きを高速化できるようになる。

UASP では、主に USB ホストから複数のコマンドを発行してストレージ側にキューイングできるようにしたことにより、データ転送効率の向上を実現している。

従来方式と UASP の転送を比較した例を図 1 に示す。

従来方式では、USB ホストからストレージにコマンドを発行すると、ストレージから実行結果が戻るまで次のコマンドを発行できないため、間に USB のバス利用効率の悪い時間がどうしても発生してしまう。

UASP では、コマンド実行中でも USB ホストから次のコマンドを発行してストレージ側にキューイングできる。ストレージ側では、実行中のコマンドによるデータ転送が完了した後すぐに次のコマンドのデータ転送準備に取り掛かれるため、USB のバス利用効率が向上する。

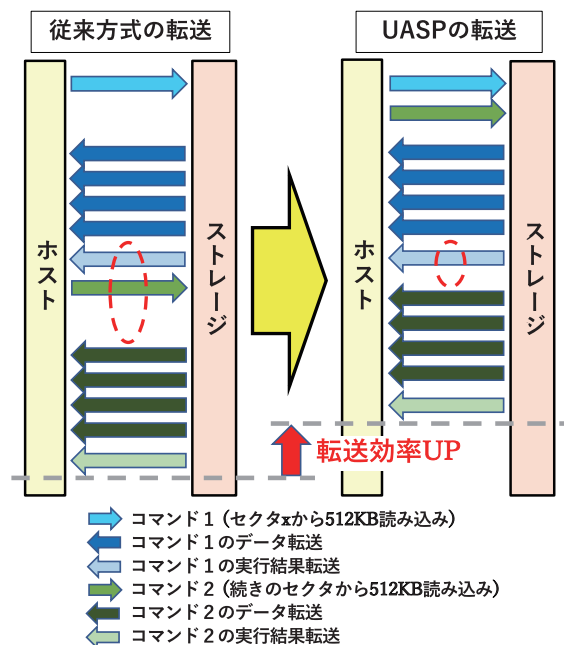


図1 UASP の転送と従来方式の転送との比較例

3 おわりに

UASP ドライバは、USB ホストドライバのバージョンアップと合わせて 2023 年度中に製品化する予定である。

本製品が USB 接続のストレージへのファイル読み書きを少しでも速くしたいとお考えのお客様の一助となれば幸いである。

■参考文献

- (1) USB 3.0 Promoter Group (Apple Inc., Hewlett-Packard Inc., Intel Corporation, Microsoft Corporation, Renesas Corporation, STMicroelectronics, and Texas Instruments) : Universal Serial Bus 3.2 Specification Revision 1.0, September 22, 2017, (refer to the USB Implementers Forum)
- (2) ISO/IEC14776-251:2014 USB attached SCSI (UAS)
- (3) USB Implementers Forum, Inc. : Universal Serial Bus Mass Storage Class USB Attached SCSI Protocol (UASP) Revision 1.0, June 24, 2009

万永 淳之

GX ソリューション事業本部
組込ソフトウェア部 ソフトウェア開発グループ 所属

「2022東光高岳10th Anniversaryソリューションフェア ～総合エネルギー事業プロバイダーを目指して～」を開催

1 期間・会場

2022年12月6日（火）～7日（水）に「2022 東光高岳 10th Anniversary ソリューションフェア ～総合エネルギー事業プロバイダー^{注1)}を目指して～」(以下、ソリューションフェア)を東京交通会館で開催した。2日間で約1,400名のお客さまにご来場いただき、たいへん盛況な開催となった。

2 概要

今回のソリューションフェアは、(株)高岳製作所と東光電気(株)（以下、「旧事業会社」）が2012年10月に共同持株会社（(株)東光高岳ホールディングス（以下、「HD」））を設立し、創立10周年を迎えた節目となるイベントとして開催した。

会場入り口付近には、東光高岳の歴史年表を設置し、HD設立からの10年の歩みだけでなく、統合前の旧事業会社時代から約100年続く長い歴史についてお客さまに知っていただく良い機会となった。展示ブースでは、70件を超える出展を行い、東光高岳の幅広い製品やサービス、技術開発の取り組みを多くのお客さまにご覧いただき、ご好評をいただいた。イベント会場では、エネルギー業界の将来のあり方に関する題材で、特別講演会とパネルディスカッションを開催した（表1）。いずれも著名な方々にご登壇いただき、質疑応答では、活発な意見交換がなされ、さまざまな企業様と交流を持つ良い機会となった。

今回のソリューションフェアは、東光高岳が2030VISION^{注2)}の実現へ向けて、「総合エネルギー事業プロバイダー」へ飛躍するにあたり、多くのきっかけが生まれるイベントとなった。



最後に、当日ご参加いただいたご来場者の皆様や、講演者の皆様にあらためて深く感謝申し上げます。

■語句説明

- 注1) 総合エネルギー事業プロバイダー：電気に限定しないガス、水道等、さまざまなエネルギーを含む分野で、社会インフラ全般・エネルギー多様化に対応する企業をイメージして東光高岳が定義したもの。
- 注2) 2030VISION：これまでの電力流通システムのモノ売りから、エネルギー利用の高度化・多様化に対応した事業で、サステナブル社会に貢献していくための、2030年へ向けた東光高岳のビジョン。

経営企画部

表1 特別講演会とパネルディスカッション

	テーマ	講演者
特別講演会	Society 6.0が奏でる Wellbeing 社会構築に向けた「ひと・もの・くらし・エネルギー」の全体最適化と個別最適化	・ 東京都市大学 岩尾徹様
	東京電力パワーグリッド配電部門における今後の取り組み	・ 東京電力パワーグリッド(株) 中村敦様
パネルディスカッション	サステナブルな"まちづくり"を支えるエネルギーインフラとは？	・ 早稲田大学 石井英雄様 ・ NTTアノードエナジー(株) 谷口裕昭様 ・ 東京電力ホールディングス(株) 平山学様
	エネルギー×モビリティで創出される新たなサービスとは？	・ (株)三菱総合研究所 志村雄一郎様 ・ ビーワイディージャパン(株) 花田晋作様 ・ 東京電力ホールディングス(株) 一般社団法人 CHAdeMO 協議会 (株) e-Mobility Power 姉川尚史様

脱炭素とBCPに対応する 群馬県上野村マイクログリッドシステムの構築

1 はじめに

国の方針である第6次エネルギー基本計画において「再生可能エネルギーの主力電源化」の実現が必要と示されている。この方針では、再エネを含めた地域活用電源の導入拡大やレジリエンスの強化が重要視されている。

この方針に従い群馬県上野村では、「Ueno 5つのゼロ宣言」を表明しており、宣言の一部として再エネを最大限活用することによる温室効果ガス排出量「ゼロ」や地域マイクログリッドを構築することによる災害時の停電「ゼロ」といったような目標を掲げている。東光高岳はそれらを実現するEMS (Energy Management System) を、「BCP 対応 EMS」(以下、本システム)として上野小学校(以下、小学校)に構築し、2023年3月から運用開始した。

2 BCP 対応 EMS

本システムは、令和2年度「地域の系統線を活用したエネルギー面的利用事業費補助金」(経済産業省)を活用したシステムで、小学校および隣接する給食センター、両需要場所を結ぶ一般送配電事業者が所有する配電線を活用して構築した。その概略構成図を図1に示す。小学校側には発電設備として太陽光発電機(以下、PV)合計50kW、非常用発電機(以下、非発)52kW(BCP時のみ使用)、給食センター側はPV合計130kW、蓄電池100kW/80kWhを設置した。本システムはPVおよび蓄電池を制御対象としており、平常時モードとBCPモードでそれぞれ異なる制御ロジックで動作する。

平常時モードは、設置したPV、蓄電池を用いて、PVで発電した電気をすべて地産地消することを実現するモードである。本システムが小学校側系統ならびに給食センター

側系統それぞれの受電点潮流を個別に管理し、受電点潮流が決められた目標値(逆潮流不可である場合は0kWを目標)となるように小学校側ではPV出力を、給食センター側ではPV出力および蓄電池充放電電力を協調制御することで再エネ最大活用による地産地消を実現する。

BCPモードは、災害などで主系統からの電力供給を受けられない状態において使用するモードである。復旧見込みが立たず、停電状態が長期化することが想定される場合に、系統電源と切り離し、配電線を活用して小学校、給食センターによるマイクログリッドを構築する。構築したマイクログリッドにおいて、非発を並列して電圧を確立させた後に、PVおよび蓄電池を並列して電力供給を行う。BCPモードでは、このマイクログリッドの電力供給を安定的に行うため、本システムが系統周波数を管理制御するとともに、非発が確保すべき最低出力を監視しながら再エネを最大限活用して非発の燃料焚き減らしを行い、BCP運転継続時間の最長化を実現する。なお、非発の燃料タンク容量は、悪天候時を想定し、救済負荷に対して非発単独で72時間電力供給可能としている。また、負荷ならびに再エネ変動により生じる周波数変動に対しては蓄電池を制御することにより安定した電力品質を確保する。

3 今後の展開

再エネを主力電源化するためには、地産地消・レジリエンス強化等が重要であり、再エネ電源を最大限活用する平常時・BCP時に対応するEMSを構築した。今後とも本システムで培ってきた技術を活用しつつ、マイクログリッド構築への取り組みを展開していく所存である。

GX ソリューション事業本部

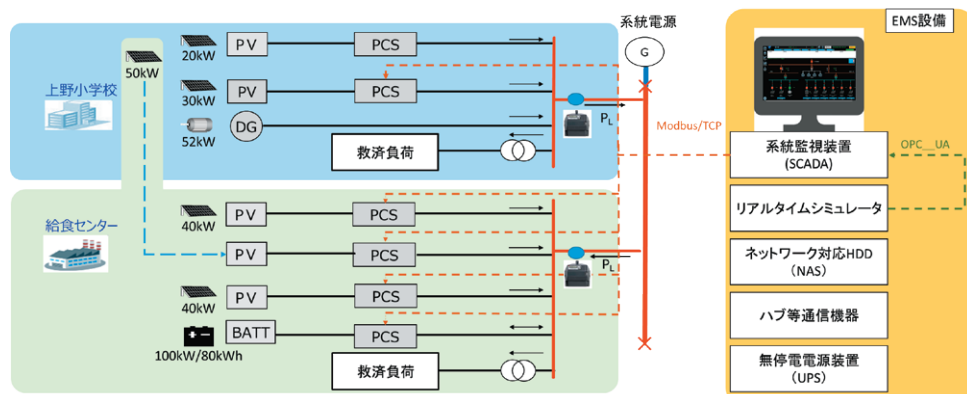


図1 BCP 対応 EMS システム構成

デジタル変電所実現に向けた IEC 61850 適用 異メーカー接続検証試験

1 はじめに

近年、変電所にある監視制御装置および保護制御装置の設備更新に合わせ国際標準規格に準拠した装置の適用を進めている。これらの装置にはさまざまなメーカーのものがあ、相互に通信できることが必須条件となる。

そこで、デジタル変電所の実現に向けて、2023年1月に東光高岳小山事業所にて通信の国際標準規格である IEC 61850 に対応した東光高岳製 FGW^{注1)}、BCU^{注2)}、PIU^{注3)}を含めた異メーカー装置間の接続検証試験（以下、本試験）を実施した。

本試験は、東光高岳のほか東京電力パワーグリッド（株）、東芝エネルギーシステムズ（株）、東京電設サービス（株）、（株）近計システムが参画した。

2 概要

デジタル変電所で使用する異メーカーの装置を用いて試験環境を構築（図1）し、以下の試験を実施した。

- (1) ステーションバスの MMS^{注4)} による接続検証
 - ・保護リレー、総合記録装置～FGW の表示試験
- (2) プロセスバスの GOOSE^{注5)} による接続検証
 - ・BCU～異メーカー PIU の制御試験、表示試験
 - ・保護リレー～異メーカー保護リレー、異メーカー PIU、総合記録装置の表示試験

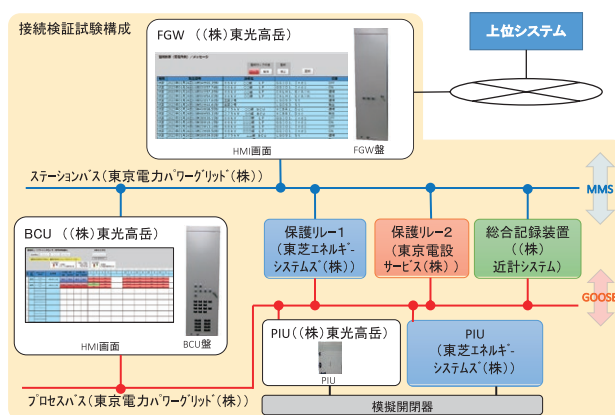


図1 接続検証試験構成

本試験で試験装置と接続されている模範開閉器の状態表示、制御ができる機器状態表示画面を図2に示す。

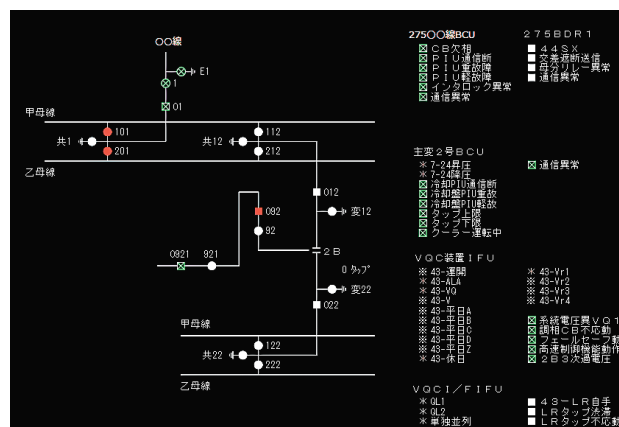


図2 機器状態表示画面

3 おわりに

今回の検証では、各メーカーの IEC 61850 に対応した装置を対象とした接続試験を実施し、IEC 61850 に準拠した装置であれば、異メーカー間でも相互通信できることを実証した。本結果から、デジタル変電所の構築に向けて大きく前進できたと考えている。

なお、2023年7月に東京電力パワーグリッド（株）の千葉印西変電所に FGW、BCU の納入、8月に PIU の納入が決定している。

■ 語句説明

- 注1) FGW (Field Gate Way)：変電所に設置され複数の BCU などと上位システムを中継する装置。
- 注2) BCU (Bay Control Unit)：変電所機器と PIU または制御ケーブルを介してデジタル接続する装置。
- 注3) PIU (Process Interface Unit)：変電所機器との接点情報をデジタル通信で BCU と情報交換する装置。
- 注4) MMS (Manufacturing Message Specification)：装置間のデータ通信をリアルタイムに処理することを目的とした通信規格。
- 注5) GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event)：複数の装置に同時に情報を配信し、高速で高信頼の通信方式。

電力品質の向上に寄与する地上機器納入

I. 地下孔用センサ内蔵自動多回路開閉器

1 概要

東京電力パワーグリッド株式会社向けに、地下孔用センサ内蔵自動多回路開閉器の型式を2021年度下期に取得し、2022年度上期より製品の納入を開始した。

本機器は、相電流、零相電流および相電圧センサを具備させ、配電線路の負荷状況をモニターできる。また、光通信方式を採用したことで、多くの情報をよりリアルタイムに監視可能となった。

2 仕様

本器の定格を表1に示す。

3 特長

本器の特長は以下のとおりである。

- ・開閉部内蔵のセンサにより、電流・電圧を高精度で測定し、制御器により開閉器の動作モードを含め親局と通信可能
- ・劣悪環境下となる地下孔内への設置が可能
- ・既設機器のリプレイス可能な構造を採用

- ・各ユニット（開閉部、電源変圧器、制御器）が分離可能な構造を採用

表1 地下孔用センサ内蔵自動多回路開閉器の定格

種類	定格
開閉部	回路数
	5 回路
	定格電圧
	7,200 V
	定格電流
電源変圧器	600 A
	定格周波数
	50 Hz
制御器	定格周波数
	50 Hz
制御器	定格負荷電流開閉容量
	600 A × 100 回
電源変圧器	相数
	単相 × 2
電源変圧器	定格電圧
	一次：6,600 V 二次：100 V
制御器	定格電圧
	AC100 V
制御器	通信方式
	Ethernet（光）

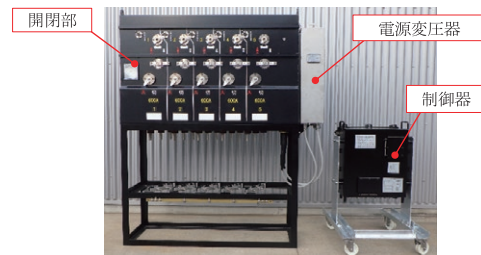


図1 製品外観

II. 三回路配電塔

1 概要

東京電力パワーグリッド株式会社向けに、高圧地中配電線路を分岐させ、停電区間の縮小化を目的とした、三回路配電塔の型式を2022年度上期に取得し、2022年8月より製品の納入を開始した。

開閉器部には東光高岳の既存開閉器ユニットを採用することで、低コストでの機器開発を実現し、三回路配電塔として新規参入を実現した。

2 仕様

本器の定格を表1に示す。

3 特長

本器の特長は以下のとおり。

- ・開閉部に気中開閉器を採用することで、開閉時のハンドル操作性が向上

- ・2枚扉構造を採用し、単独開放も可能とすることで扉開放時の歩行者の通行障害を可能な限り低減
- ・リプレイスを考慮し、現行基礎ブロックに据付可能なチャンネルベース構造を採用

表1 三回路配電塔の定格

種類	定格
回路数	3 回路
定格電圧	7,200 V
定格電流	400 A
定格周波数	50 Hz
定格負荷電流開閉容量	400 A × 100 回



図1 製品外観

2 台の EV を同時充電可能な 120 kW 急速充電器 ホテルニューオータニ（東京）でサービス提供開始

1 概要

1 台で 2 台の電気自動車（以下、EV）を同時に充電ができる、EV 用急速充電器「HFR1-120B10」シリーズを、ホテルニューオータニ（東京）（図 1）に、東光高岳として国内初導入し、2022 年 11 月 1 日（火）よりサービスの提供を開始した。

本サービスは、ホテルニューオータニ（東京）の駐車場をご利用のお客さま向けのサービスであり（図 2）、ホテル利用者の利便性向上に寄与する。



図 1 ホテルニューオータニ（東京）



図 2 利用シーン

2 製品の特長

「HFR1-120B10」は、1 台の充電器から 2 台の EV に充電可能なマルチアウトレットに対応している。2 台の EV の充電状況に応じて、充電パワー配分を充電器が自動判断・コントロールする東光高岳独自の「パワーシェアリング機能」や、定格温度の範囲内で熱容量が許容できる場合に、一定時間、定格電流を超える充電を実施で

きる「ブーストモード」を搭載した。

これらの機能により、急速充電器の利用効率を上げるとともに、EV 利用者の充電待ち時間の短縮を実現した。また、最大出力 90 kW の充電においてもケーブルサイズを、従来の 50 kW 出力急速充電器相当の 38 sq まで軽量化し操作性を向上した。

■代表的な特長

- ・マルチアウトレット対応で 1 台の充電器から 2 台の EV 充電が可能
- ・2 台同時最大出力 120 kW（1 口最大出力 90 kW）
- ・2 台同時出力時のパワーシェアリング機能を搭載
- ・ケーブルサイズを従来の 50 kW 出力急速充電器相当の 38 sq とし、柔軟性と軽量化を実現したことで操作性の高いケーブルを利用可能
- ・ケーブルをワイヤで吊ることで取り回し性が向上（ケーブルマネジメント）
- ・カラー表示ディスプレイのガイダンスにしたがって簡単に充電操作が可能
- ・遠方より急速充電器の状態監視が可能
- ・万が一の故障に対しても出力を低減して充電が可能
- ・充電方式は CHAdeMO 規格で国内外の EV、PHEV に対応
- ・充電の課金は、株式会社 e-Mobility Power などの主要なサービスを利用可能

3 おわりに

東光高岳の EV インフラソリューションは、「Charging on your side」（図 3）を理念として、充電インフラをご利用いただくお客さま、設置いただくお客さまに寄り添い、常に身近に感じていただけるよう、事業活動を進めていく。

また、充電インフラ関連事業の拡大を通じて、EV の普及を促進し、カーボンニュートラルの実現に向けた社会課題の解決に貢献していく。



図 3 Charging on your side

EV 社会発展に向け積極的に貢献できる場の提供 東光高岳蓮田事業所への急速充電器設置

1 はじめに

東光高岳では、EV 社会へ積極的に貢献できる場の提供として 2022 年 9 月に蓮田事業所（住所：埼玉県蓮田市黒浜 4008）のお客様駐車場に電気自動車（以下、EV）用大容量マルチアウトレット急速充電器（HFR1-120B10：以下、本器）を設置した。この急速充電器は、事前連絡にて予約した EV ユーザーが利用できる。

この一般公開は、EV ユーザーの利用状況を調査し、実運用上の課題を把握する目的を兼ねている。

2 特長

本器の主な特長は以下のとおりである。

- (1) 充電方式は CHAdeMO^{注1)} 規格（ver. 2.0）に準拠し国内外の EV、PHEV^{注2)} に対応
- (2) マルチアウトレット急速充電器^{注3)} のため、1 台の急速充電器で 2 台の EV に充電が可能
- (3) 2 台同時使用時は最大出力 120 kW、1 台充電時は最大出力 90 kW（EV 電池電圧 450 V 時に 200 A 出力）
- (4) パワーシェアリング^{注4)} 機能を搭載

3 充電パターンの一例

図 1 および図 2 に東光高岳の蓮田事業所に設置した本器と 2 台の EV に充電している例を示す。本器の特長の一つであるパワーシェアリング機能が動作した例を図 3 に示す。

- (1) 1 台目が出力電流の最大である 200 A（このときの EV 電池電圧は 360 V であった）で充電を開始する（図 3 ①）。
- (2) 2 台目が充電操作を実施するとパワーシェアリング機能が動作する。1 台目 EV の電池電圧が 360 V のため、60 kW 相当の 167 A に出力電流を制限する。その後、2 台目の充電を開始し、2 台分の出力



図 1 本器設置状況



図 2 EV 2 台充電利用例

電力の合計値が 120 kW を超えないように 2 台目の充電電流を制御する（図 3 ②）。

- (3) 1 台目の充電が停止したことにより、2 台目は出力電流の最大である 200 A で充電する。（図 3 ③）。
- (4) 2 台目の EV からの要求にしたがって充電電流を制御する（図 3 ④）。
- (5) 2 台目は充電時間である 30 分が経過したため、充電が停止する（図 3 ⑤）。

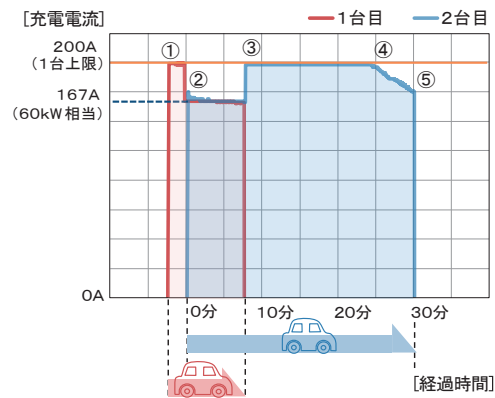


図 3 EV 2 台充電電流の特性例

4 おわりに

東光高岳では、EV 社会発展に向け積極的に貢献できる場の提供として、15 kW・50 kW クラスの急速充電器を増設した充電ステーションを構築することも計画している。地域の充電インフラとしての役割を果たすよう利用者ニーズを把握・検証し、利用者の増加やサービスの向上に努める。

■ 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。
- 注 2) PHEV：Plug-in Hybrid Electric Vehicle（プラグインハイブリッド車）。電気モーターとガソリンエンジンを搭載し、外部からバッテリーを充電することで電気自動車のように走行できる車である。
- 注 3) マルチアウトレット急速充電器：2 口以上の充電ケーブルを備える急速充電器。
- 注 4) パワーシェアリング：装置の最大出力電力を超えないように制御し 2 台の EV へ充電すること。

運行管理のデジタル化に向けた 急速充電器の管理ツール機能

1 はじめに

自動車運送事業者（バス、タクシー、トラックなど）にとって、安全運行や効率的で最適な運行のため、運行管理業務は重要である。運行管理業務における記録は多岐にわたるが、ガソリン給油時の記録一つをとっても、「いつ」「どの車両が」「どれだけ給油した」などの情報を手書きで記録することが多い状況であり、効率的な管理の面からもデジタル化が求められている。これら運行管理業務は、今後バスやタクシーの電動化が進んでも当然ながら必要となる。

東光高岳製の電気自動車（以下、EV）用急速充電器は、ディスプレイに充電データを表示できるが、今回、その充電データを CSV データとして出力する機能（以下、本機能）を追加した。これにより、電子化された充電データを扱うことができ、記入漏れや誤記入の防止、運行記録業務の作業効率の向上に貢献できる。

2 仕様

充電データを取得する際のシステム構成を図 1 に示す。

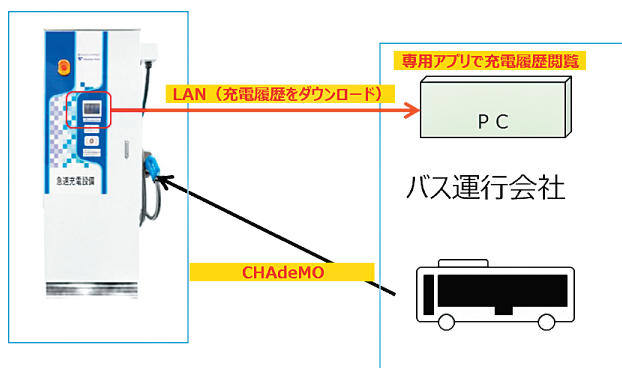


図 1 システム構成

充電データを外部に取得するための手順を以下に示す。

- (1) 東光高岳にて作成した専用アプリ（充電履歴管理ツールソフト）をインストールしたパソコンを用意する。
- (2) 専用アプリをインストールしたパソコンと急速充電器を LAN ケーブルで接続する。

- (3) 専用アプリを操作し、充電データをダウンロードする。
- (4) 急速充電器からダウンロードしたデータをパソコン画面上の運転履歴に表示する。運転履歴画面例を図 2 に示す。

取得できる充電データ項目一覧を表 1 に示す。

表 1 充電データ項目一覧

	項目名
1	車両識別番号
2	利用日
3	充電開始時刻
4	充電開始時 SOC (0~100%)
5	充電終了時刻
6	充電終了時 SOC (0~100%)
7	充電電力量 (充電終了時直流側充電電力量)
8	交流電力量 (概算)

※ SOC : State Of Charge の略。充電率または充電状態を表す指標。

3 特長

取得した充電データは専用アプリの機能により CSV 形式の保存に対応した。

保存した CSV データは、既存運行管理業務の電子データと比較が可能であり、例えば電動バスや電動トラックの導入後、CSV データの電力量を電気代に換算し、既存運行管理業務電子データの給油費用と比較することで、導入効果を目視でわかりやすく確認することが可能となった。

4 おわりに

本機能を搭載した急速充電器を使用することで、運行管理業務の電子化が可能となる。電子化データの活用は、運行管理業務の効率化にとどまらず、将来的にはカーボンニュートラルに向けて必要となる CO₂ 排出量の管理の面でも貢献できると思われるため、今回のアプリの改良や他のツールの開発を進めていきたい。

GX ソリューション事業本部

No.	車両識別番号	利用日	充電開始時刻	充電開始時 SOC	充電終了時刻	充電終了時 SOC	充電電力量	交流電力量 (概算)
1	NoData	2022/11/10	20:06:20	80%	20:07:28	80%	0.4kWh	0.4kWh
2	00000000000000000000	2022/11/11	12:17:55	64%	13:46:23	75%	70.4kWh	78.2kWh
3	00000000000000000000	2022/11/11	14:03:40	86%	15:08:38	100%	50.0kWh	55.6kWh
4	00000000000000000000	2022/11/11	15:15:50	99%	15:19:26	100%	1.6kWh	1.8kWh

図 2 充電データ例

ルワンダ共和国での日本政府 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

1 背景

- (1) 1975 年に高岳工事株式会社が設立され、1990 年にプラントの一括受注を指向し、タカオカエンジニアリング株式会社（以下、TEC）に社名を変更した。2012 年に海外事業に軸足を置く現在の体制となった。
- (2) 1986 年に高岳製作所から、東アフリカのタンザニアの最大都市ダルエスサラームの電力工事を請け負い、アフリカ事業の記念すべき第一歩を踏み出した。1990 年代に入ると総合商社と共同企業体を結成し、エンジニアリング、土木・建築工事、資機材の調達・輸送・据え付け業務を一括で担当する経験を積んだ。タンザニアでは、4 件の大型電力インフラ整備事業を完工している。
- (3) 2000 年代に入り、西アフリカのシエラレオネ、リベリアの内戦が終結した。内戦で破壊された電力インフラの復旧のため、日本政府は無償資金協力による支援を継続実施した。TEC は、両国合計で 4 件のインフラ整備事業に参画し、経済復興に貢献した。
- (4) タンザニアに隣接するルワンダでは、1990 年代半ば深刻な民族紛争（ジェノサイド）が発生し、混乱に陥った。その後、2000 年に就任したカガメ大統領の強力な指導の下で、「アフリカの奇跡」と呼ばれる目覚ましい経済発展を遂げた。(3) に記載の通り、日本政府は、電力インフラ整備事業を継続支援し、本プロジェクトは、3 件目の無償援助案件である。

2 プロジェクトの概要

- (1) 施主：ルワンダ共和国・エネルギー開発公社
- (2) 案件名：第三次変電・配電網整備計画
- (3) 資金：日本政府無償資金協力（ODA）
- (4) 工期：2020 年 12 月（契約）～2022 年 8 月（完工）
- (5) 契約スコープ：
 - エンジニアリング、土木・建築工事、資機材の調達・輸送・据え付け業務を一括で担当した。
 - (a) 新ガソギ変電所（首都キガリ市）の建設
 - ・土地造成
 - ・管理棟
 - ・110 kV/15 kV 15 MVA 変圧器 2 台、SCADA 等
 - (b) 110 kV 送電線（約 0.2 km）の建設
 - (c) 15 kV 配電線（約 20 km）の建設

(6) チャレンジ：

契約履行に際して、下記の課題にひとつひとつ真摯に取り組み、契約工期を遵守して完工した。

- (a) プロジェクトの質・コスト・工期など、お客様のメリットを最優先するために、日本、アフリカ、欧州、アジアなどの多国籍にわたるパートナー企業と協働する必要があった。
- (b) 新型コロナウイルス禍、資機材価格や輸送費の高騰、為替の変動、配電線用の土地収用の遅延など、様々な問題に直面した。
- (c) マウンテンゴリラでも有名なルワンダは「千の丘の国」と呼ばれるほど、平地に乏しい。既存の旧ガソギ変電所の隣接地に計画された新ガソギ変電所の用地は標高 1,640 m の山上で、6～7%の勾配があった。図 1 の通り、切り土・盛り土により急勾配の斜面を平地に造成したが、先進の建設機械がない発展途上国で大規模な土木工事を実行するのは、想像以上に難易度が高かった。

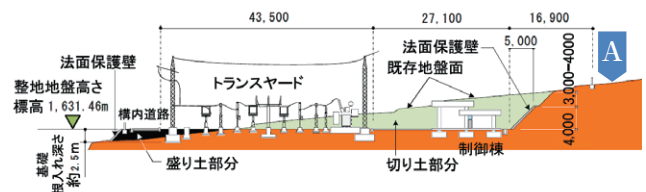


図 1 新ガソギ変電所の造成断面図



図 2 図 1 の A 点から撮影した新ガソギ変電所（敷地の急傾斜がうかがえる）



図 3 造成した敷地に設置された変電設備

3 記念式典

- (1) 2022 年 7 月 20 日、新ガソギ変電所の上空には、澄んだ青空が広がった。「日本・ルワンダ友好関係 60 周年の機会を捉えたエネルギー分野における協力の記念式典」が、今井大使、ンサビバナ・インフラ大臣の列席の下、盛大に開催された。
- (2) 日本政府は、過去 10 年間にわたり、3 件の電力分野の無償資金協力案件の実施を通じて、経済発展を積極的に支援した。TEC は、主契約者として 3 案件全ての変電・配電網工事を完工した。
 - (a) 変電・配電網整備計画 (2014 年完工)
 - (b) 第二次変電・配電網整備計画 (2018 年完工)
 - (c) 第三次変電・配電網整備計画 (2022 年完工)
- (3) 式典では、エネルギー分野における協力を振り返り、両国の友好関係の更なる発展が確認された。TEC は、ルワンダの経済成長に寄り添った日本政府の電力インフラ支援事業に長年携わり、市民生活の向上と経済発展に貢献することができた。



図 4 式典に参加した市川社長（右）と両国政府関係者（左から 3 人目が今井大使、4 人目がンサビバナ大臣）



図 5 式典当日の新ガソギ変電所の遠景



図 6 披露された伝統舞踊が国民の喜びを表現

4 今後の展望

- (1) TEC は、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。昨年以降マラウイ、ナイジェリア、レソト、ウガンダで新規案件を受注し、アフリカ地域における契約実績は 10 か国となった。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。
- (2) 最後に、発展途上国や新興国で積極的に事業を推進する上で大切にしていきたいことを挙げる。
 - (a) 電力インフラ整備の意義「モノ」「コト」：
発電・変電・送配電など、TEC は「モノ」の建設を担当しているが、電力の供給先は、家庭、官公庁、教育施設、医療施設、上下水道施設、通信施設、輸送機関、金融機関など多岐にわたる。言わば、様々な分野の「コト」に横断的に関連する事業である。
最近、日本でも停電や電力需要逼迫に直面し、電力の安定供給の重要性が再認識されている。電力インフラの整備が市民生活の向上と経済活動の活性化に直結する重要な社会課題だと十分認識し、緊張感を持って事業に取り組みたい。
 - (b) 国際協力の重要性：
国際情勢は激動し、国際協力の重要性は益々高まっている。国際協力の方向性を十分理解していきたい。
 - (c) 多国籍にわたる企業との協働・共創：
2022 年に IBRD 融資の変電所整備案件（ルワンダ・キガリ市 8 変電所建設計画）を完工した。TEC は、単独名義で契約し、協働パートナーは全て海外企業であった。この経験を活かし、日本企業の技術優位性を大切にしつつ、海外企業や現地企業とも連携し、質・コスト・工期の面で、競争力ある最適解を模索していきたい。
 - (d) 技術移転と経験共有：
施工管理、安全衛生管理、保守運転を含めて、技術移転と経験共有に十分配慮し、より充実した協働・共創関係を築いていきたい。



図 7 アフリカ地域における契約実績国（執筆時）

スポーツイベントを光で演出する 国内初・鉄塔型フルカラー演出照明で「照明優秀技術賞」を受賞

1 はじめに

東光高岳は、鉄塔型としては国内初となる「フルカラーによる光の演出」が可能なLED照明設備を八戸市のプライフーズスタジアムに納入・設置した。本設備は、東光高岳を代表企業とする「東光高岳・京谷電気・キャデック特定建設工事共同企業体」が2020年6月に青森県八戸市から受注し、9ヶ月の工事期間を経て完成、2021年7月より運用開始している。

本設備は、竣工当時から、鉄塔型として国内初のカラー演出可能な照明設備としてテレビなどの地元メディアに数多く取り上げられてきており、2022年6月、一般社団法人照明学会の「照明優秀技術賞」を受賞した。

スタジアムやアリーナの競技用照明を「光の演出」に利用することは、リピーターの獲得やファンエンゲージメントの向上に大きく貢献する可能性があるとして、サッカー、野球、バスケットボールなどプロスポーツ各界からも注目され始めており、現在、全国各地で徐々に導入が始まっている。東光高岳はその先駆けとして、映像・音響などと一体化したさらに高度な照明設備の提供を行っている。

2 概要

2.1 納入設備の概要

照明設備は、白色照明とフルカラー照明を組み合わせ、映像や音響とも連動可能な、今までにない多彩な光の演出を実現している（図1参照）。



図1 光の演出シーンイメージ

プライフーズスタジアムはJリーグのクラブチーム「ヴァンラーレ八戸」のホームグラウンドだが、サッカーの試合に限らず、さまざまなイベントの誘致にも貢献し、施設の収益性向上や周辺地域の活性化に寄与する設備となっている。本事業で納入した設備の内訳は表1のとおりである。

表1 納入設備の内訳

設備	内訳
競技用照明	シグニファイ製LED投光器 × 208 台
演出用照明	シグニファイ製カラー照明 × 196 台
照明分電盤	4 面
照明制御盤	4 面
受変電設備	1 式
照明用鉄塔	シリンダー型・耐候性機能強化鉄塔 (35m) × 4 基
自家発電設備	500 KVA 非常用発電機 × 1 台

2.2 「照明優秀技術賞」受賞理由

冒頭で述べたとおり、本設備は、鉄塔型として国内初のカラー演出可能な照明設備としての成果が認められ、（一社）照明学会東北支部より、「照明優秀技術賞」をいただいた（図2）。審査において評価された点は、以下の2点である。

- ① 技術の普及発達に大きく貢献したこと
- ② 照明施設として企画設計が卓越していること



図2 照明学会表彰状

3 おわりに

鉄塔型としては国内初となる「フルカラーによる光の演出」が可能なLED照明設備を八戸市のプライフーズスタジアムに納入した。光の演出に関する東光高岳の取り組みが評価され受賞に至ったと考えている。今後もこれを励みに、映像・音響などと一体化した高度な照明設備の提供を通じ、スポーツ施設のさらなる発展に貢献するよう努めていくとともに、ほかの施設への展開も視野に入れていきたい。