

	ごあいさつ：融合から飛躍へ !! .....一ノ瀬 貴士 1
	巻頭言：次世代パワーグリッドへの期待 .....熊田 亜紀子 3
10周年 記念	東光高岳技術開発 10年の振り返りと今後の展望 ..... 4
論 文	AIを用いた太陽光発電量予測手法の検討 .....北 治夫・佐藤 祥輝 8
論 文	計器用変圧器の電位振動解析 .....森 佑介・滝澤 明広 12
技術紹介	充電インフラプロトコル OCPPへの対応 .....小関 俊英 16
技術紹介	風力発電設備用雷電流計測装置の新 JIS/JEM 規格対応と電流計測性能 .....藤岡 博文・藤野 守也 19
技術紹介	電子式 VT・CT の要素開発によるモデル器の設計・試作と性能評価 ..... .....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 23
技術紹介	OneATS が提供するソリューション .....Le, Huu Thanh Binh・藤澤 光剛・中西 健介・堀内 有紗 28
技術紹介	アダプティブ全系 UFR システムの中央演算装置の基礎検討 .....菅原 雅寛・沼尻 稜平 30
技術紹介	部分放電発生時の故障リスク推定方法 .....野田 武司 32
技術紹介	センシングによる受変電設備の状態診断技術 .....出井 和弘・折戸 由貴・栗原 二三夫 34
技術紹介	電力システムの瞬時値データ収集システム (SV Subscriber) の紹介 .....荒井 俊成・島田 晃太郎 38
技術紹介	三次元検査装置製造工程のソフト技術による効率化 .....大塚 丈士 40
製品紹介	共焦点三次元計測センサ SCS-10210R2-KN .....水野 佑樹・日名子 達也 42
製品紹介	電力の遠隔検針用ソリューション Cloud TOSCAM 機能追加 .....篠崎 貴浩・矢野 直樹 44
製品紹介	変電所のデジタル化に向けたセンサソリューションの導入 .....篠崎 宏司・沼尻 稜平 46
製品紹介	電気自動車用普通充電管理 WeCharge システム .....加藤 貴大・藤本 千紘・池田 仁司 50
製品紹介	縮小形 161 kV ガス絶縁計器用変圧器 .....加茂 拓也 53
製品紹介	サージ受信形ケーブル事故点標定装置 .....檜木 陽一・椎野 有貴 54
製品紹介	地下孔用センサ内蔵多回路開閉器 .....齋藤 茂・栗原 崇光 56
製品紹介	乾式バランス .....吉谷 彰倫 58
トピックス	再エネ 100% 運転に関するミニチュアシステムモデルおよび EMS の実証環境構築 ..... 59
	山梨県米倉山 P2G システムに関する技術開発・実証の取組み ..... 60
	系統解析ソフトウェア 独国 DlgSILENT 社製 PowerFactory ..... 62
	EV タンカー給電ステーション ..... 63
	ポリマーブッシングのガス絶縁開閉装置への適用 ..... 64
	沖縄電力向け集中保護装置への距離リレー搭載 ..... 65
	地中線ガス開閉器用 VT (UGS 用 VT) 東光高岳・タカオカ化成工業による協同開発 ..... 66
	関西電力送配電株式会社への柱上変圧器納入 ..... 67
	DX 認定事業者を選定 ..... 67
	国立大学法人鳥取大学と医療従事者向け認証システムで共同特許取得 ..... .....寺本 圭・村田 貴弘・近藤 博史・上原 一剛・植木 賢・渡邊 史昭・水野 真吾 68

## 融合から飛躍へ!!



代表取締役社長  
一ノ瀬 貴士

東光高岳は、2012年10月の東光高岳ホールディングス設立から今年で10年の節目を迎えます。世界トップレベルの信頼度を誇る我が国の電力ネットワークを支えて約100年の歴史を持つ東光電気株式会社と株式会社高岳製作所が統合することによりシナジーを発揮し、超高圧～低圧に至る幅広い電力ネットワーク機器、スマートメーターや計器用変成器等の計量機器、パワーエレクトロニクス技術を活用したEV用急速充電器、エネルギーの効率的利用に資するエネルギーマネジメントシステムなど、電力の安定供給と効率的な利用に貢献する機器・システムを開発・提供してまいりました。

一方、この10年を振り返ると、電力エネルギー市場を取り巻く環境は大きく変化しました。FIT制度による再エネ電源の普及拡大、電力システム改革（小売の全面自由化、送配電部門の法的分離、各種電力取引市場の創設等）による競争環境の整備、2050年カーボンニュートラル実現に向けた2030年目標（温室効果ガス排出量2013年比46%削減）の設定、自然災害の多発・激甚化や新型コロナ禍を受けた電力レジリエンス強化への社会的要請、再エネによる供給力変動・石油火力の休廃止・燃料市況の悪化等の複合的要因によるkW・kWh両面での需給逼迫や市場価格高騰の問題顕在化など、枚挙に暇がない状況です。

これらの諸課題を一体的に解決するために、電源側の供給力確保と脱化石燃料・脱炭素化（ゼロエミッション火力、原子力、水力、風力、太陽光等）の取り組みの加速に加えて、需要側での“省エネ・創エネ（太陽光等）・蓄エネ（蓄電池・EV等）”の普及拡大と、それらを繋ぐ電力ネットワークにおける“再エネ地産地消やエリアBCPを目的とした自律分散型マイクログリッド”の導入がよりいっそう進んでいくものと考えられます。そして、この需要側の分散型リソースやマイクログリッドを最適運用するための頭脳・神経網として、センサー・IoT基盤の整備やAI等のデジタル技術を駆使した需給予測・制御システム（G-EMS）や分散型電源管理システム（DERMS）の高度化も進んでいくことでしょう。

このように、電力エネルギー市場の安定性とレジリエンスを確保しつつ、カーボンニュートラルへ向けた社会経済全体のGX（グリーントランスフォーメーション）の取り組みは避けて通れない変革潮流です。東光高岳は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・進化させるとともに、デジタル技術をはじめとする新たな技術との融合も進め、この変革潮流をリードする立場でありたいと考えています。このため本年6月に、GX関連事業の一体的運営を目的とした「GXソリューション事業本部」と、新技術・新ビジネスモデル創出のシンクタンク機能を強化した「戦略技術研究所」を組織化しました。

これまでの10年間の統合後の融合期と位置付けるならば、これからの10年間は昨年公表した「2030 VISION」を実現し、GXへの変革潮流をリードする「総合エネルギー事業プロバイダー」への飛躍期です。融合から飛躍へとモードチェンジし、さらなる挑戦を続けてまいりたいと思いますので、今後ともステークホルダーの皆さまのご指導ご鞭撻のほどよろしくお願い申し上げます。

# 次世代パワーグリッドへの期待



熊田 亜紀子\*  
Akiko Kumada

東京大学大学院工学系研究科では、魅力ある先端電力エネルギー・環境技術を教育・研究する産学連携の仕組みとして、電気系工学専攻主体に2008年6月に寄付講座を中核とする教育研究センター（先端電力エネルギー・環境技術教育研究センター：APET<sup>※</sup>）を設立し、世界のトップランナー技術を研究開発するとともに、将来の電力エネルギー・環境技術を支える優秀な人材育成を推進してきました。

近年、資源ナショナリズムの高揚、化石資源価格の高騰、規制緩和による多様なエネルギー事業の創出など、エネルギーを取り巻くさまざまな状況変化のもとで、電源から需要家まで含めた電気エネルギーの供給ネットワークシステムの効率的形成が喫緊の課題となっています。電力システム的环境は世界的にも大きく変化し、低炭素社会を実現するための「次世代ネットワーク」を構築することが求められています。海外に目を転じると、米国の「GRID VISION 2050」（2013, IEEE）および欧州の「e-Highway2050」（2015, ENTSO-E）では2050年の次世代ネットワークビジョンがすでに提言されています。

そのような状況下APETでは、システムとハードを融合した、APETならではの日本版2050年電力システムビジョンの提言を目的に、2018年6月より産学連携の検討会「2050年革新的超長期電力システムビジョン検討会」を立ち上げ、「未来のネットワーク・電気の使い方」「2050年に向けて考えられる日本のエネルギービジョン」などの調査・検討を行うとともに関連技術の開発動向を調査し、電力システムに関する将来ビジョンの検討を行い、2021年10月に報告書を一般公開しました。検討真つただ中の2020年10月には、政府から2050年カーボンニュートラル宣言が出されましたが、APETの提言する日本版2050年電力システムビジョンは、供給安定性と経済性とのバランスをとったカーボンニュートラル社会を具現化するうえで、具体的な方策の指針が出せたのではないかと自負しています。これまでの電力システムは、基本的には需要を所与のものとして、需要に合わせて供給する形態が採られてきましたが、再生可能エネルギーのさらなる大量導入や需要家側への蓄電池、電気自動車の接続など、将来的にも分散型エネルギーリソースの増加が予想される中、このような需要家側の新たなリソースを電力需給バランスの調整力として、IoTを活用した高度なエネルギーマネジメント（EMS）技術により積極的に活用する次世代ネットワーク構築の検討が行われています。

その中でも「EMS」は特に重要と考えられ、EMSの主な機能である「監視（計測）」、「制御」を利用した情報（電気、熱、ガスなど）の収集、そしてそれに基づく「予測」、および情報通信技術の活用は、さまざまな価値（省エネ、電力品質の向上など）を産み出すことが可能です。

将来の次世代ネットワークの構築に向けて、東光高岳のもつ電力設備の運用・制御に関する豊富な実績と、計測・計量、EMS、スマートグリッドなど、国プロ実証で培った技術を活かし、先に公表された「2030VISION」に掲げられた、「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」されることを期待します。

※ APET : Center for Advanced Power & Environmental Technology  
(2020年改名) Alliance for Advanced Power & Environmental Technology

\* 東京大学 大学院工学系研究科 電気系工学専攻 教授  
先端電力エネルギー・環境技術教育研究アライアンス代表

# 東光高岳技術開発 10 年の振り返りと今後の展望

## 1 はじめに

東光電気株式会社と株式会社高岳製作所の統合に向け、2012年10月にホールディングス（HD）が設立してから今年で10年を迎える。2014年4月には両社が完全統合し株式会社東光高岳が生まれ、その年より毎年東光高岳技報を発行してきた。HD設立から10年の節目を迎えるにあたり、技術開発の観点から10年を振り返るとともに、激動する社会環境の中で今後東光高岳が取り組む技術開発の方向性について概観する。

HD発足から10年とはいえ、統合前の2社は株式会社高岳製作所の創設が1918年3月、東光電気株式会社の創設が1928年9月であり、2社ともに電気事業黎明期よりおよそ100年にわたって電力製品を世に送り出してきた。

高岳製作所は創業時の地名の愛知県名古屋市長久寺町に由来し、東光電気は製造していた電球「トウランプ」に由来する。

電圧帯で大まかに分類すると高岳製作所は超高圧から高圧、東光電気は高圧から低圧分野の電力製品を製造しており、両社の統合により超高圧から低圧まで、急速充電器（QC）、スマートメーターの一般家庭までを含む、ワンストップのトータルソリューションが可能となった。

以下、HD発足から10年の技術開発を振り返る。

## 2 技術開発 10 年の振り返り

東光高岳は、電力会社や、工場、ビルおよび公共施設向けに受変電設備を納入し、機器選定、レイアウト検討などの計画段階から現地施工、運転開始後の保守業務までをワンストップで提供することで電力インフラを支えてきた。

また、需要家のさまざまなエネルギーの見える化を行い、蓄電池や新エネルギーを活用したエネルギーの最適利用により省エネルギーを可能とするEMS（エネルギー・マネジメント・システム）製品を開発し、エネルギーソリューションの柱として提供している。

以下、主に主要製品単位でこの10年を振り返る。

### (1) 変圧器

主に電力会社の変電所、需要家の受変電設備などに設置される大型変圧器では、絶縁油の熱膨張・収縮を窒素

膨張室の圧力変化で吸収することによりコンパクト化し、保守点検の省力化を実現した窒素密封式変圧器を開発し、多数の納入実績を得ている。

さらに、無圧密封式で油入全装輸送とすることで、工場試験後、部品を取り外すことなく現地へ発送することを可能にし、トータルコストの削減を実現してきた。

また、昨今、地球環境保全のニーズやBCP対策への関心が高まる中で、絶縁油を従来の鉱油に代えて植物由来のパーマヤシ脂肪酸エステル油を用いた環境配慮型のトッランナー変圧器やシリコンオイルを用いた防災型変圧器を開発（環境配慮型特高受変電設備として小山事業所に導入）している。

### (2) 開閉装置

特高需要家に納められているガス開閉装置では環境負荷低減のため、温暖化係数の高いSF<sub>6</sub>ガスによる絶縁方式から、真空により絶縁を図った遮断器（VCB）を適用したC-GISを開発し、SF<sub>6</sub>ガス使用量を約30%削減している。

今後は、さらなる温室効果ガス削減に向けて、SF<sub>6</sub>ガスを減らす機器の開発を進めている。

また、配電用変電所に納めている6kV開閉装置では、従来形SISの特長である固体絶縁方式を踏襲するとともにデジタル化や電磁操作機構の採用ならびにICT技術を適用し、信頼性向上と、保守省力化を実現した新形6kV固体絶縁開閉装置（スマートSIS）を開発している。

### (3) 断路器

断路器では電力ネットワークのレジリエンス強化の観点から、可動部に振動を抑制する衝撃緩衝装置を装備するとともに、導電部を軽量化して高重心構造を改善することで耐震性能向上を図った550kV気中断路器を開発しており、高レベル地震動に対しても十分な性能を有している。

また、国際入札に対応するため、245kV気中断路器でIEC62271-102（2013）にもとづく接地装置付断路器および電動操作装置のタイプテストに合格している。

### (4) 配電機器・監視制御装置

電力会社の配電自動化機器では、光、デジタル化により遠方制御器の機能を最小化することで小型化を図るなどに加え、地中化に対応するセンサ内蔵自動気中多回路開閉器などを開発している。

また、デジタル変電所の実現に向けてIP化・デジタル化のためのゲートウェイとしてIP化装置を開発する

とともに、国際標準規格である IEC61850 に対応した遠方監視制御装置を開発しており、光伝送化することによる制御ケーブルの大幅削減と、異メーカー同士の接続を実現している。

それ以外にも、内部構造の合理化とデジタル機器の機能向上により、コンパクトかつ高機能なエコ・スマート分電盤を開発している。

さらには、再生可能エネルギー（再エネ）の導入拡大を見越し、オートタップチェンジャー付柱上変圧器、分路リアクトルなど系統安定化に寄与するための機器を提供している。

#### (5) 変成器

主に受電盤等のキュービクルに収納され、電圧電流の計測に用いられる計器用の変圧器 (VT)・変流器 (CT) は、2020 年度から始まった発送電分離に伴い、発電所に電力取引用の計量器の設置が義務付けられるようになっていく。

東光高岳では設置スペースや要求仕様に応じて最適な計器用 VT, CT の組み合わせを提供できるように、自立形のガス EVT, 油 CT や高電圧、大電流のケーブルに直接設置が可能なモールド分割形 CT などのラインナップを開発している。

#### (6) 検針（メータリング）

2016 年の電力小売完全自由化、2020 年の発送電分離や、誘導形電力量計からスマートメーターへの切替え等の大きな変化があり、電気を受電形態が多様化していく中で、電気、ガス、水道などの共同検針のニーズも高まっている。

東光高岳ではこれまで高圧一括受電マンションを対象とした自動検針システムを販売してきた。

現在では、電気、ガス、水道の共同検針が可能となる通信ユニットを開発し、さらにテナント、オフィスビルなどに拡充している。

また、熱量の計測にも対応した自動検針システムも提供している。

グループ会社である東光東芝メーターシステムズではこれら一括検針用の一般産業用スマートメーターを提供しつつ、さまざまな利用シーンに対応するためのラインナップを進めている。

#### (7) EV（電気自動車）用充電インフラ

東光高岳の急速充電器は CHAdeMO の最新規格に対応するとともに、課金装置として利用されている個別の通信方式に対応するだけでなく、クラウド連携など、さまざまなサービスやシステムに柔軟に対応できる製品を提供してきた。

近年では 2050 年カーボンニュートラル実現を目指した取り組みが活発化し、EV 化への流れが加速している。

EV の普及拡大に伴って EV 用電池の容量が大きくな

り、現在の 50 kW までの急速充電器では満充電までの時間が長くなり充電待ち懸念が顕在化しつつある。

この課題に対応するため、東光高岳では 2 口同時に充電が可能で、合計出力が 120 kW を超えないように最適な制御（パワーシェアリング）を行うマルチアウトレット対応の新型機器をリリースしている。

また、FIT 終了による買取価格の大幅低下を受け、売電から自家消費への流れの中で、EV 用電池を活用した住宅内への給電可能な V2H を開発し、市場投入している。

#### (8) エネルギーマネジメントシステム

東光高岳ではこれまで省エネルギーに寄与するためのエネルギーマネジメントシステム (EMS) を提供してきたが、国のエネルギー政策による新築ビルの ZEB 化推進や省エネ意識の向上から、より細かな照明制御の要望が高まっており、これにマッチした照明の個別制御が可能な新型 T-Zone Saver を開発している。

さらに、複数拠点の一元管理とエネルギーの全体管理と最適化を実現する Web サービス、クラウド化にも対応している。

#### (9) 光応用検査装置

東光高岳では画像処理技術をもとに、微小な半導体チップの形状を光学的に高速・高精度に検査する三次元外観検査装置を製造しており、高性能 PC やサーバ向けプロセッサで使用される FC-BGA（フリップチップボールグリッドアレイ）基板バンパ向けの検査装置として、国内外の基板サプライヤに提供している。

進化するバンパの微小化、狭ピッチ化に対応するため、高速・高精度で広い領域の計測が可能なりニア走査共焦点技術を開発し、品質の安定化に貢献している。

#### (10) プロジェクト参画

東光高岳では国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託事業において、2030 年の再エネ大量導入を見据え、東京都新島村の実システムを実証フィールドとした再エネ設備の「出力予測」、「出力制御」、既設電源と蓄エネとの「協調運用制御」を目的とした実証試験を 2014 年から行ってきた。

また、社会に分散して存在する蓄電池、電気自動車、給湯設備、太陽光発電などの多種多様な電力設備をエネルギーリソースとしてメガワット級の調整力とすることを目的とした、「バーチャルパワープラント (VPP) 構築実証事業」に 2016 年度より参加し、小山事業所内の配電ネットワーク実証試験場を活用してリソースアグリゲーターの取り引きに不可欠な各種計量など課題抽出や対応方法の検討を行っている。

これらで培った知見を活用し、(一社) 低炭素投資促進機構支援による「郊外型スマートコミュニティ構築事業」として太陽光発電と自己託送を組み合わせ、発電し

た電力を全量消費する「地産地消システム」をリソル生命の森（株）から受注し、2020年に本格稼働を開始している。

また、カーボンニュートラル社会の実現に向け、山梨県甲府市米倉山の電力貯蔵技術研究サイトでのNEDO委託事業「グリーン水素へのエネルギー転換プロジェクト」においてP2G（パワー・ツー・ガス）システムの技術開発に参画している。

(11) 基盤技術

近年、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カーボンニュートラルに対する取り組みへの機運が高まっており、東光高岳として環境負荷低減につながるさまざまな研究開発を進めている。

①バイオマス樹脂

電力機器の固体絶縁材料であるエポキシ樹脂は石油由来のものが使われているが、主剤や硬化剤をバイオマス資源に代替することで、CO<sub>2</sub>の排出抑制が期待できる。

東光高岳では、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ており、電力機器への適用を目指し、長期信頼性評価に取り組んでいる。

②モールド機器リサイクル技術

エポキシモールド機器は主に金属類、エポキシ樹脂、充填材から構成されるが、それぞれを分離・回収するこ

とができれば、再資源化による有効活用が可能となる。

東光高岳では、繊維強化プラスチックの溶解で実績のある常圧溶解技術を適用したりサイクル技術について、試験的な検証を行っており、実運用を想定して効率的な溶解処理条件の決定や、溶解処理後の効率的な運用方法の検討を進めている。

③エポキシ樹脂ナノコンポジット化

東光高岳では、極微小なナノ材料をエポキシ樹脂に添加した複合材により、機械特性や電気特性を向上させる研究に取り組んでいる。

④部分放電診断技術

電力機器の事故が社会に及ぼす影響は重大であり、未然防止のための劣化診断が重要である。

一般的な劣化診断では、絶縁破壊の予兆となる部分放電を、超音波をとらえるAEセンサを用いて測定している。

東光高岳では、より安価な面電流センサを用いて油絶縁方式の変電設備の部分放電を常時監視する装置を、東京電力パワーグリッド（株）と共同開発している。今後は、より詳細な遠方監視が可能な機器の開発と他の電力機器への適用拡大するための研究を進めている。

⑤AI活用

東光高岳では発電量・需要予測の高精度化に向けてAIを活用した研究開発に取り組んでいる。

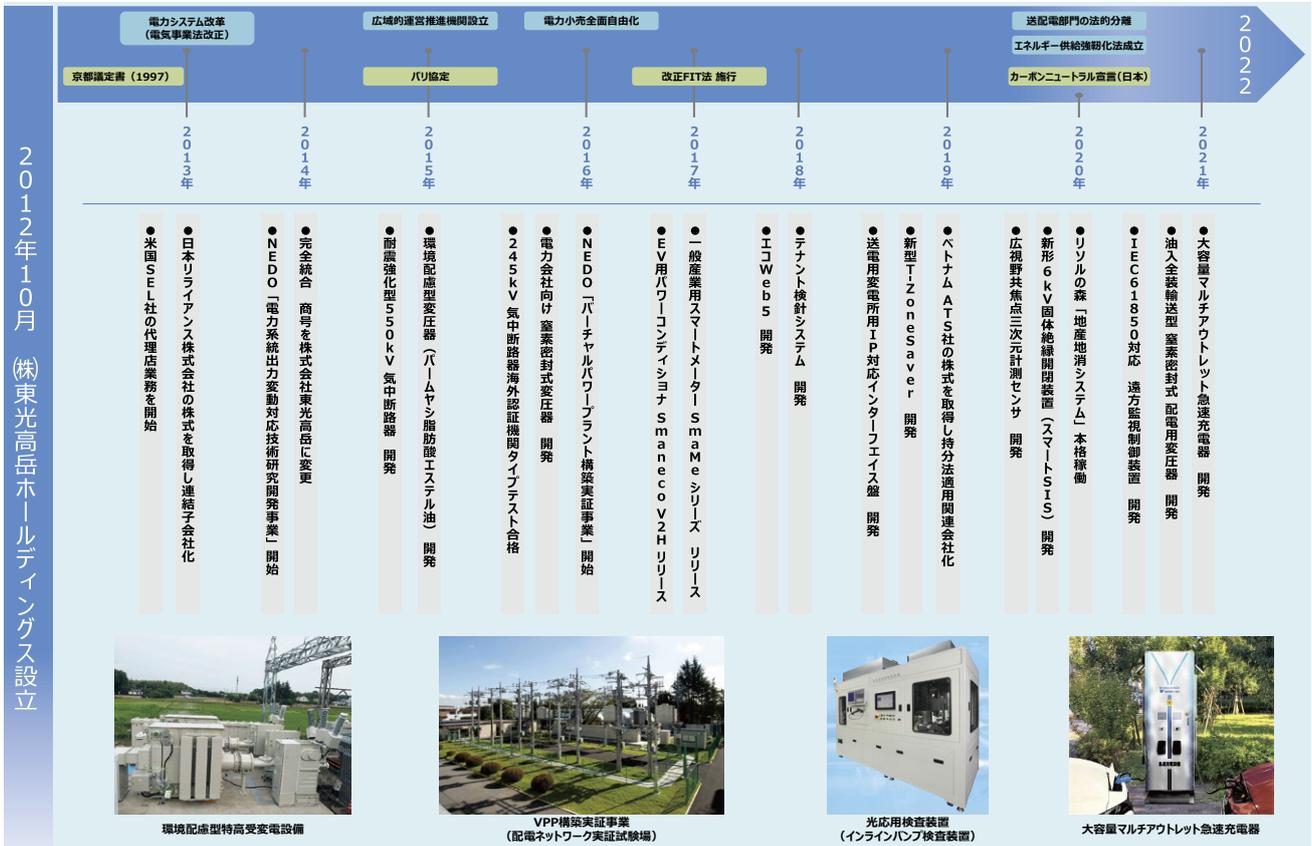


図1 技術開発 10年の振り返り

### 3 今後の展望

#### ～総合エネルギープロバイダーへの道～

エネルギーを取り巻く環境の中で、世界規模でカーボンニュートラル（CN）に向けた大きな潮流が生まれている。温室効果ガスの排出につながる化石燃料などの使用を、再エネや脱炭素ガスに転換することで、経済社会の変革を目指すGX（グリーントランスフォーメーション）の流れが今後さらに加速する。

このような社会では、再エネ電源が増大することにより、電力系統の電圧・電流制御の重要性がさらに増していく。電力安定化のためにはリアルタイム制御が必要であり、AIなどの最新技術の活用による発電量予測、需要予測の高精度化が求められる。

使い切れない余剰な再エネ電力は蓄電池に蓄えられ、定置式の蓄電池のみならず電気自動車に搭載されているバッテリーも大きな役割を果たすことになるであろう。

昨今の甚大な自然災害により、電力系統が分断され、電気を送り届けられない孤立した地域が出現するリスクも考えられ、エネルギーの地産地消、自律分散型社会形成への潮流も出てきた。

また、再エネで生まれたCO<sub>2</sub>フリー電気の価値が向上し、どこでどのように使われるかを正確に計量するニーズが発生し、そのデータに付加価値を付けたビジネスが浸透する社会に移行する可能性もある。

一方、電気だけではなく、ガスや水道も社会に欠くことのできない一次エネルギーであり、電気、ガス、水道全体として捉えた場合の新たな価値提供もなされるであろう。

これら社会環境変化の中でCO<sub>2</sub>排出量を如何にして削減するかは技術開発が必須であることはいうまでもなく、ひとつひとつの電力機器の省エネ対策だけでは事足りず、それらをまとめたシステム全体のCO<sub>2</sub>排出削減量が重要な指標となるであろう。

具体的には、自社A事業所の再エネの余剰分を自社B事業所に分配する電力の託送技術、再エネの出力予測の精度向上、来るべきEV社会においてEVを単なるモビリティ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（非常時のレジリエンス、BCP対応を含む）など個々の技術が繋がり新たな価値を提供する社会が到来する。

### 4 おわりに

東光高岳は、これまで電力機器・システムの技術を培ってきたが、今後は、DX（デジタルトランスフォーメーション）によってお客さまに有益な価値を提供しつつ、サステナブル社会の実現に貢献する「総合エネルギープロバイダー」を目指して技術開発を加速・推進する所存である。

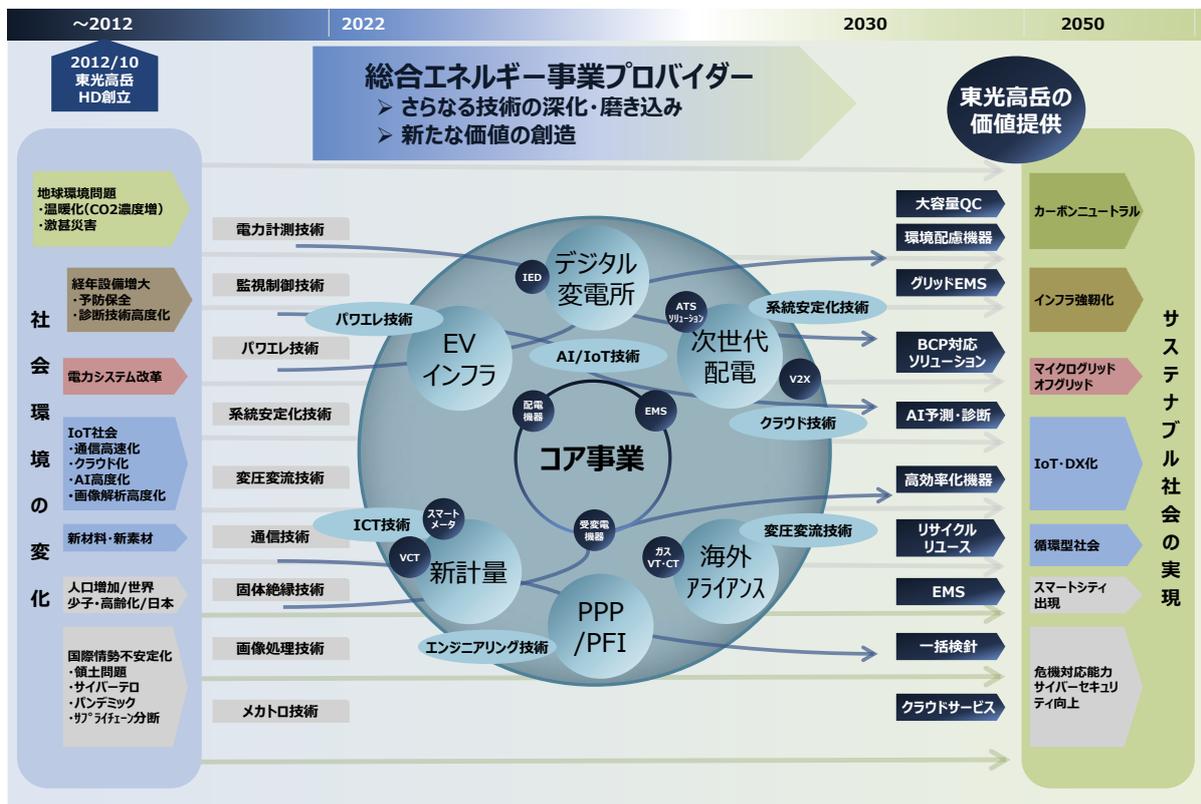


図2 総合エネルギー事業プロバイダーに向けた展望

# AIを用いた太陽光発電量予測手法の検討

論文

■ 北 治夫 ■ 佐藤 祥輝  
Haruo Kita Yoshiki Sato

カーボンニュートラルを推進するために、再生可能エネルギーの利用が拡大することが想定される。特に太陽光発電は重要なリソースであり、発電量の予測が不可欠である。太陽光発電量と日射量には強い相関関係を確認できるが、正確な日射量の予測が難しい。そこで、予測日射量に誤差が含まれていても、精度の高い発電量予測ができる手法を開発した。実績データの蓄積により精度の向上を目指すAIを用いた手法、少量の実績データで予測が可能な統計的手法、それぞれにおいて、日射量からの単純な発電量の予測よりも精度の高い予測が期待できる結果が得られた。

## 1 はじめに

カーボンニュートラルを推進するために、再生可能エネルギーの利用が拡大している。特に太陽光発電は重要なリソースと考えられている。

太陽光発電を利用するときには発電計画が必要になる場合がある。例えば、太陽光発電事業者や発電バランシンググループ<sup>注1)</sup>、アグリゲーター<sup>注2)</sup>などの発電販売計画や、小売電気事業者の電力調達計画などが考えられる。計画は前日に1日分を一般送配電事業者に提出をしなければならず、各事業者は提出した計画に乗っ取った発電をしなければならない。

太陽光発電量予測の精度が低く、計画通りの発電ができない場合には、発電販売計画では計画不整合によるインバランス料金<sup>注3)</sup>の精算、電力調達計画では市場価格での電力買取などの不利益が考えられる。このため、精度の高い太陽光発電予測は各事象者にとって、必要不可欠である。

東光高岳では、これらのニーズに対応するために各種予測手法や、システム化の検討を行っている。

本稿では、太陽光発電量予測を行うために、太陽光発電量の実績データをもとに発電量と日射量の間関係を確認した。それをもとに発電量予測手法を構築し、評価を実施した結果について述べる。

## 2 太陽光発電量と日射量の間関係

太陽光発電量は日射量だけでなく、太陽光パネル温度、設置場所、日射角度、PCS<sup>注4)</sup>の変換誤差などの影響により発電量が変化する。

しかし、すべての要因を予測に反映することは難しく、予測に使用する要因の取捨選択が必要となる。筆者らは発電量実績と日射量実績に強い相関関係があれば、日射量を予測することで発電量の予測が可能と考えた。

そこで実績データを用い、発電量と日射量の間関係を調査した。そのうえで、予測日射量の精度を確認した。

### 2.1 発電量実績と日射量実績の間関係

東光高岳では小山事業所に太陽光発電装置(500kW×3台)を設置しており、実績データの測定を行っている。本稿では3つのPCSから1つを選択し、2018年から2020年の期間に取得したデータを用いて関係性を確認した。

図1に発電量実績と日射量実績の間関係を示す。

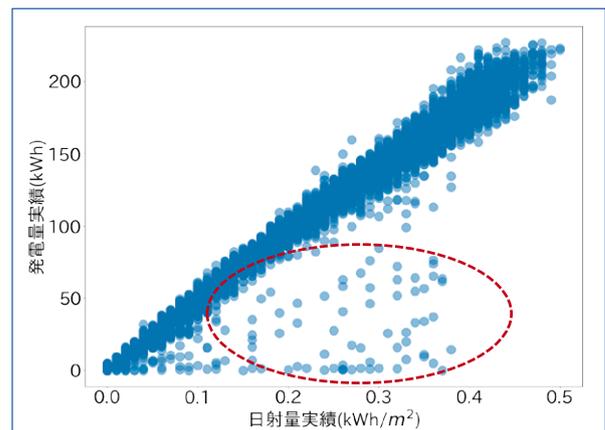


図1 発電量実績と日射量実績の間関係

図1はPCS故障時の異常な値を除外しているが、赤枠で囲った個所に特異値が記録されている。これは積雪により太陽光パネルが遮光されるなどして、日射量実績よりも太陽光パネルの受光量が減少したものと推測する。

相関関係を確認することが目的なので、赤枠で囲った特異値を無視すると発電量実績と日射量実績の値は収束している。発電量実績と日射量実績に比例関係が確認できるため、日射量を予測することで発電量の予測が可能といえる。

### 2.2 日射量実績と予測日射量の間関係

次に予測日射量の精度を確認した。図2に日射量実績と気象予測サービスを用いて取得した小山事業所付近の予測日射量の散布図を示す。

図2のプロットは全体に発散しており、日射量の予測がばらばらついていることがわかる。

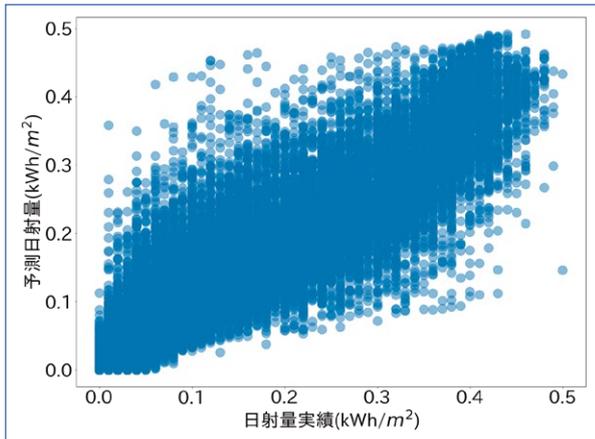


図2 日射量実績と予測日射量の関係

予測日射量の予測精度の指標として式(1)で平均誤差率を算出した。

平均誤差率

$$= \frac{1}{n} \sum \frac{|日射量実績 - 予測日射量|}{日射量実績の95パーセンタイル値} \dots\dots(1)$$

なお、算出対象を1日のすべての時間とした場合、日没後は日射量実績、予測日射量が共に0となる。このため、年間を通して日射量が0以上と考えられる日中の時間、8:00から17:00までの間に絞って値を算出した。以降、平均誤差率は8:00から17:00までの値で算出した結果である。表1に算出した平均誤差率を示す。

表1 予測日射量平均誤差率(8:00-17:00)

項目名	平均誤差率
予測日射量	14.70%

発電量と日射量は比例関係にあるので、予測日射量から単純に発電量を予測した場合の平均誤差率は、表1の値になると考えられるが、実際には予測日射量の誤差に加えて、太陽光パネル温度などの影響があり、予測発電量の平均誤差率は、表1の値より大きくなると推測する。

### 3 独自手法による発電量予測

筆者らは予測発電量の平均誤差率を低減するために、ディープラーニングと統計的手法を利用して、独自の予測手法を2つ開発した。ディープラーニングを利用した手法(以下、DL)は実績データの蓄積にともなって、予測の精度が向上することを期待した手法である。統計的手法を利用した手法(以下、統計的手法)は、短期間のデータ蓄積で精度の高い予測が行えることを期待した手法である。

本稿で紹介する手法は、発電計画の作成に利用することを想定して、翌日1日分の発電量を予測できるアル

ゴリズムとした。なお本稿では、自社開発したアルゴリズムの概要について紹介する。

#### 3.1 DL

筆者らは、複数のニューラルネットワークで構成されるモデルを用いた。モデルの学習は、説明変数<sup>注5)</sup>として過去の予測日射量と気温を用いた。また、目的変数<sup>注5)</sup>として、発電量実績を用いた。説明変数に気温を含めることで季節の特徴を学習させ、1年を通して同じモデルで発電量予測を行った。

#### 3.2 統計的手法

統計的手法は、予測を行う日の予測日射量に加え、直近の発電量実績と予測日射量を用いて、その関係性を利用した発電量予測を行った。

## 4 検証

全体的な予測傾向を確認するために予測発電量のグラフを生成した。また、数値で評価するために発電量実績と予測日射量の誤差率を算出して比較を行った。

表2にDL、統計的手法による検証条件を示す。

表2 検証条件

項目名	DL	統計的手法
学習期間	2018年1月から 2019年12月	直近1か月
予測期間	2020年1月から2020年12月	
データ粒度	30分単位	
入力データ	予測日射量 予測気温	予測日射量 発電量実績

#### 4.1 予測結果の図示

図3にDL、統計的手法を用いて算出した予測発電量

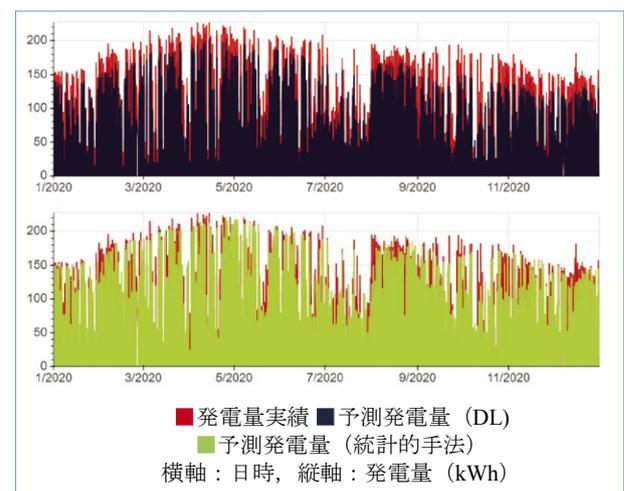


図3 予測発電量(DL, 統計的手法)

と発電量実績を時系列に並べたものを示す。

DL, 統計的手法ともに特定の期間で大きくはずすことなく、全期間で安定して予測できていることが見て取れる。

#### 4.2 予測発電量グラフ比較

発電量実績と DL, 統計的手法による予測発電量を比較し傾向の違いを確認した。

図 4 にある時点の発電量実績と各予測手法の予測値を示す。

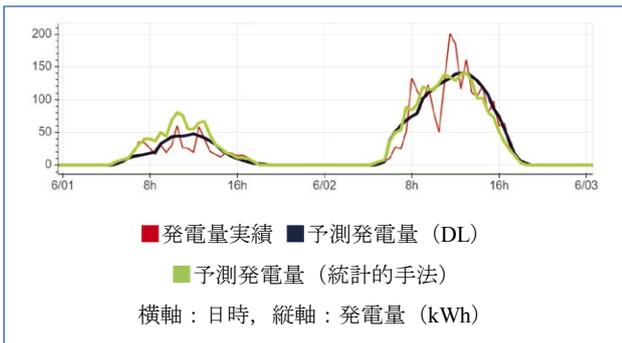


図 4 予測発電量 (拡大)

DL は平均して発電量実績に近い予測を行っているが、平滑な曲線の予測となっており発電量のぶれに追従していないことが確認できる。

一方、統計的手法では予測発電量の遷移が発電量実績と近いが発電量実績とずれがあることが確認された。

#### 4.3 誤差率の比較

DL, 統計的手法の予測精度の指標として式 (2) で予測発電量の平均誤差率を算出した。

平均誤差率

$$= \frac{1}{n} \sum \frac{| \text{発電量実績} - \text{予測発電量} |}{\text{発電量実績の 95 パーセンタイル値}} \dots\dots(2)$$

表 3 に算出した平均誤差率を示す。

表 3 予測発電量平均誤差率 (8:00-17:00)

項目名	平均誤差率	予測日射量の平均誤差率との差
DL	13.33%	-1.37%
統計的手法	13.93%	-0.77%

2.2 項のとおり、予測日射量の平均誤差率は、予測発電量の平均誤差率として扱えるので、比較対象として表 1 の値を用いた。表 3 より DL, 統計的手法ともに予測日射量よりも平均誤差率が低減できていることがわかる。

#### 4.4 ヒストグラムによる比較

誤差率の分布をヒストグラムにより確認した。図 5

に予測日射量の誤差率と DL, 統計的手法の予測発電量の誤差率をそれぞれ並べたヒストグラムを示す。

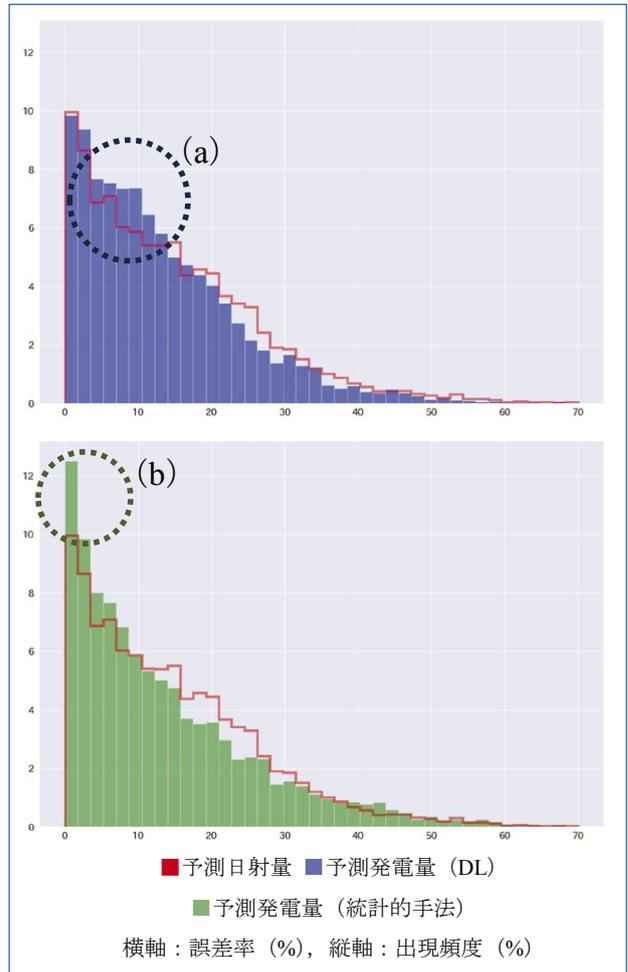


図 5 誤差率ヒストグラム (日射量, DL)

DL の誤差率は 5% から 15% 付近 (図 5 (a)) で予測日射量 (赤線) より誤差率の出現頻度が高い。予測日射量に比べて、DL の誤差率が小さい部分での出現頻度が高いため、DL の平均誤差率が予測日射量の平均誤差率より小さくなっていると考えられる。

統計的手法の誤差率は非常に小さい部分 (図 5 (b)) での出現頻度が高い。しかし、平均誤差率で見ると DL と大きな違いがない。そのため、通常は精度良く予測できるが、予測が外れるときは大きくずれると考えられる。

#### 4.5 月別の誤差率

日射量の傾向は季節により変化する。そこで季節による予測発電量への影響を月別の平均誤差率により確認した。表 4 に月別に予測発電量の平均誤差率を示す。

DL, 統計的手法ともに、11 月~1 月の冬場では、特に精度が向上していることがわかる。一方、それ以外の期間では平均誤差率の低減ができていない、あるいは精度向上幅が小さい点が見受けられる。

表 4 平均誤差率（月別）

月	1月	2月	3月	4月
予測日射量	14.47%	16.80%	12.15%	12.20%
DL	12.78%	13.93%	12.64%	13.81%
統計的手法	11.78%	15.04%	13.36%	13.38%
月	5月	6月	7月	8月
予測日射量	14.74%	15.60%	15.54%	16.81%
DL	13.44%	14.24%	14.44%	14.58%
統計的手法	14.62%	14.54%	15.63%	15.96%
月	9月	10月	11月	12月
予測日射量	16.11%	13.99%	13.12%	14.94%
DL	14.87%	13.07%	11.88%	10.47%
統計的手法	15.96%	14.79%	12.15%	10.23%

#### 4.6 天気別の誤差率

日射量の傾向は天気により変化する。そこで天気による予測発電量への影響を予測天気別の平均誤差率により確認した。表 5 に主な予測天気別の平均誤差率を示す。

表 5 平均誤差率（予測天気別）

予測天気	晴れ	曇り	雨
予測日射量	14.42%	16.26%	13.41%
DL	10.88%	15.26%	13.10%
統計的手法	10.61%	16.33%	15.56%

DL, 統計的手法ともに、予測天気が晴れのとき精度の高い予測を達成している。一方、悪天候のときに DL, 統計的手法ともに予測日射量の平均誤差率と大きな違いはない。

## 5 結論

DL, 統計的手法ともに予測発電量の誤差率を予測日射量の誤差率よりも小さくすることができた。4.2 項より、DL は平滑な曲線の予測により平均すると精度が高い予測を行っていることが確認できた。統計的手法は、予測発電量のぶれに追従しており、精度の高い予測を行うことが可能だが、予測が外れたときの誤差が大きいことが確認された。

DL, 統計的手法ともに冬場や晴れのときに精度の高い予測が行えるが、それ以外のときの予測精度に課題が残る。また、本稿の予測手法では 2.1 項で述べた特異値について考慮していないため、システム構築の際には検討が必要と考える。

## 6 おわりに

太陽光発電量予測手法として DL, 統計的手法について述べた。

今後は、実証実験を通じて課題を洗い出すとともに、より精度の高い予測手法の検討を進める。さらに、各手法の利点を生かした太陽光発電量予測および先年度行った需要予測を組み合わせたシステムの構築と運用を目指す所存である。

### ■ 語句説明

- 注 1) 発電バランシンググループ：複数の小売電気事業者が 1 つのグループを形成して、一般送配電気事業者と 1 つの託送供給契約を結ぶ制度のこと。
- 注 2) アグリゲーター：複数の需要家をまとめ需給バランスを調整する事業者のこと。
- 注 3) インバランス料金：計画電力量に対し、同時同量が達成できない場合に発生する差分に対する料金のこと。
- 注 4) PCS：Power Conditioning System パワーコンディショナー 直流、交流間の電力変換を実施するシステム。
- 注 5) 説明変数, 目的変数：機械学習におけるデータの呼称で、予測に使う値を説明変数、予測したい値を目的変数と称する。

### 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

### 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

# 計器用変圧器の電位振動解析

論文

■ 森 佑介  
Yusuke Mori

■ 滝澤 明広  
Akihiro Takizawa

変圧器巻線に雷サージが侵入した際、電位振動現象が発生し、定格運転のときよりも高い電圧分担を生じることが知られており、電力用変圧器を対象とした解析が行われてきた。一方、計器用変圧器については、巻数が非常に多いといった特長から、これまで電位振動現象が解析された事例は少ない。計器用変圧器に生じる電位振動現象が解析できれば、さまざまな周波数のサージに対する耐性を評価することができ、巻線絶縁設計の最適化および製品の信頼性向上に繋がる。本稿では計器用変圧器巻線の等価回路を作成し、電位振動解析を実施した。また、実測との比較検証を行い、本解析の妥当性を確認できたので紹介する。

## 1 はじめに

計器用変圧器は変電設備や受配電設備に設置され、電圧計や保護継電器で扱えるように、高電圧を低電圧に変換する機器である。東光高岳では、各種絶縁媒体を用いた計器用変圧器を開発・製造している。これら計器用変圧器は、十分な耐電圧となるように設計されており、サージのような急峻な高電圧にも耐えることをインパルス試験にて確認している。

サージは各種電力機器に定格以上の過電圧を発生させるが、変圧器巻線においては、巻線内の電圧分担が不均一となり、より大きな電位差が発生することが知られている。この現象は電位振動現象と呼ばれ、電力用変圧器を対象とした解析が行われてきた。このような電位振動現象の解析技術（以下、電位振動解析）により、サージ発生時における巻線内の電位分布を把握できるため、巻線絶縁設計の最適化につながる。また、電位振動解析では、標準インパルス電圧だけでなく、さまざまな波形、周波数に対する電圧分担を解析できる。そのため、より詳細に耐サージ性能を評価でき、巻線絶縁設計の最適化および製品の信頼性向上につながる。

一方、計器用変圧器については、電力用変圧器と比べて巻数が非常に多いといった特長から、電位振動現象を解析した事例は少ない。6.6 kV の計器用変圧器を対象とした解析事例が一部あるものの<sup>(1)</sup>、さらに巻数が多く、絶縁的に厳しい特別高圧クラスを対象とした解析事例は見受けられない。本稿では、特別高圧クラスの計器用変圧器を対象に、等価回路を作成し、電位振動解析を実施した。また、実測との比較検証により本解析の妥当性を確認した。

## 2 計器用変圧器の特長

### 2.1 計器用変圧器の巻線構造

計器用変圧器の巻線構造を図 1 に示す。低電圧側の

二次巻線や三次巻線は簡略化しており、高電圧となる一次巻線の断面イメージを記載した。一次巻線は、図中の破線矢印のように巻かれ、層間には絶縁紙が挿入される。電圧階級によって異なるが、巻数は数万ターンオーダーにも及ぶことがある。

一次巻線の絶縁設計においては、層間電圧や対地電圧などを考慮し、十分な絶縁耐力を確保できるように絶縁材料や寸法を決定する必要がある。

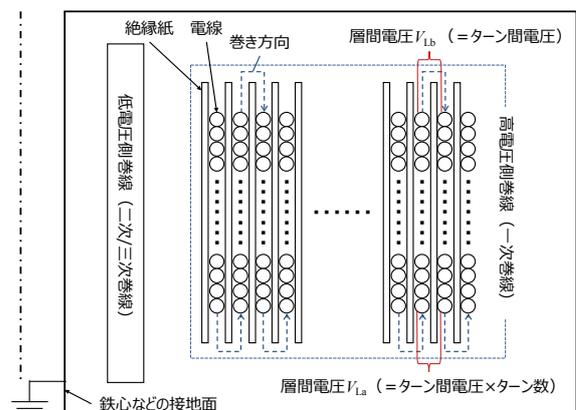


図 1 計器用変圧器の巻線構造 (断面イメージ図)

### 2.2 計器用変圧器巻線の層間電圧

計器用変圧器巻線は 1 ターンごとに電圧が変化（以後、ターン間電圧）するため、巻線内の位置に応じて層間電圧が異なる。巻線端部の層間電圧は大小を交互に繰り返す、図 1 に示す層間電圧  $V_{La}$  には、ターン間電圧  $\times 2$  層分のターンの電圧が発生する。層間電圧  $V_{Lb}$  にはターン間電圧しか生じない。通常定格運転において、層間電圧  $V_{La}$  は層間絶縁耐力に比べて非常に小さく、絶縁性能には大きな裕度がある。しかし、サージが侵入すると、前述のとおり、過電圧が発生するだけでなく、電位振動現象により各層の電圧分担が不均一になり、高い層間電圧が発生する可能性がある。

筆者らは、特別高圧クラスの計器用変圧器を対象に等

価回路の作成，電位振動解析を実施し，層間電圧の周波数特性を評価した。なお，ターン間電圧については，層間電圧に比べて非常に小さいため，本稿で紹介する解析（以下，本解析）では評価対象外としている。

### 3 電位振動解析モデル

#### 3.1 等価回路

サージは商用周波数よりも高周波数になるため，巻線内の電位分布を解析するには，インダクタンスだけでなく，静電容量を考慮する必要がある。図2(a)に計器用変圧器の等価回路を示す。ここで， $L$ および $R$ は1ターンごとの自己インダクタンスおよび巻線抵抗を表す。 $M$ は各ターン間の相互インダクタンスを表す。 $C_L$ ， $C_T$ ， $C_g$ は，それぞれ1ターンごとの層間静電容量，ターン間静電容量，対地間静電容量を表す。なお，低電圧側の二次巻線や三次巻線は，一次巻線に比べて電圧が低く，巻数も非常に少ないため接地として扱い，一次巻線との電磁的結合は無視している。

同図(a)の等価回路で解析する場合，計器用変圧器は巻数が非常に多いため，回路素子の数も多くなる。特に相互インダクタンス $M$ については，巻数 $N$ の一次巻線に対して， $N(N-1)/2$ 個必要であり， $N$ が数万にも及ぶと解析時間が膨大になるだけでなく，解析ソフトで模擬できる素子数の上限を超え，解析できない可能性がある。そこで本解析では，図2(b)のように等価回路を簡略化した。2層分をひとつのブロックとしており， $L'$ および $R'$ は2層分の自己インダクタンスおよび巻線抵抗を表す。 $M'$ は各ブロック間の相互インダクタンスを表す。 $C_s$ は2層分の静電容量を表す。ここに発生する電位差が層間電圧 $V_{La}$ に相当し，耐サージ性能の評価において重要となる。

#### 3.2 自己/相互インダクタンス

通常の電位振動解析では，1ターンごとに自己インダクタンスおよび相互インダクタンスを算出する。本解析では巻数の多い計器用変圧器に対応するため，巻線を有限長のソレノイドコイルと考えて，2層分の自己インダクタンスを次式より計算する。

$$L' = \frac{K_N \mu_0 N^2 S}{w} \dots \dots \dots (1)$$

ここで， $K_N$ は長岡係数<sup>註1)</sup>， $\mu_0$ は真空の透磁率， $N$ は2層分の巻数， $S$ は巻線の断面積， $w$ は巻幅を表す。なお，電位振動解析は高周波における評価が重要となるため，空心として計算した。

各ブロック間の相互インダクタンス $M'$ は，以下の手順で求めた。

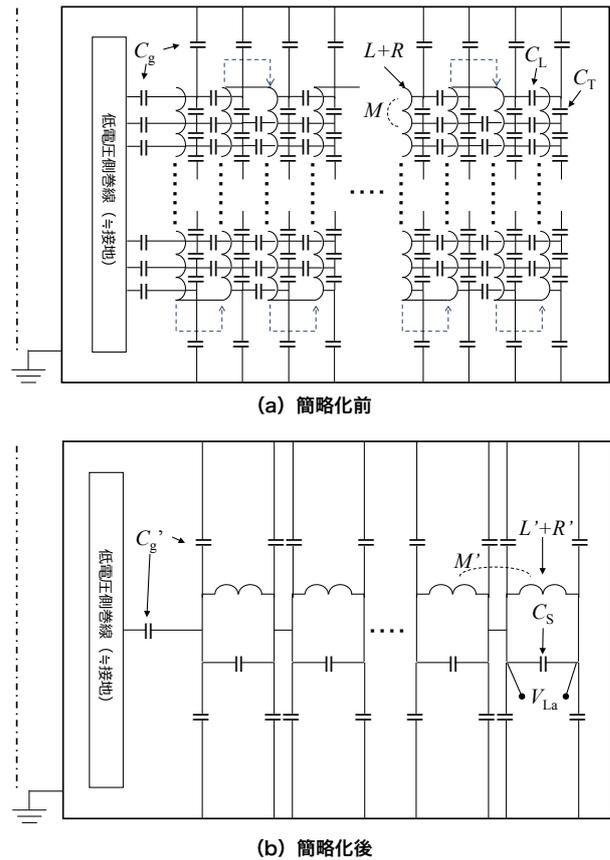


図2 等価回路イメージ

- (1) 巻線の有限要素解析モデルを作成する。その際，巻線を複数個に分割してモデル化する（以下，ここで作成した個々のモデル形状をボディとよぶ）。
- (2) 磁場解析を行い，各ボディ間の結合係数を求める。
- (3) 各ボディ間の位置と結合係数の関係について，近似式を求める。
- (4) 上記(3)で求めた近似式より，各ブロック間の結合係数を求める。

ここで，等価回路の1ブロックと有限要素解析の1ボディにおける層数は異なる。前述のとおり，等価回路の1ブロックは2層分を模擬するが，有限要素解析の1ボディは2層分以上を模擬する。これは計器用変圧器の層数が非常に多いため，有限要素解析上で2層分を1ボディで模擬すると多数の薄いボディが形成され，メッシュ数が過多になるためである。これを回避するため，上記のように結合係数の近似式を求める手順を行っている。

#### 3.3 静電容量

静電容量については，はじめに図2(a)に記載した1ターンごとの層間静電容量 $C_L$ ，ターン間静電容量 $C_T$ ，対地間静電容量 $C_g$ を，各種寸法および各種絶縁材料の誘電率より計算する。その後，蓄積エネルギー法<sup>(2)</sup>の考え方を適用し，図2(b)の $C_s$ を求める。蓄積エネルギー

ギー法とは、個々の静電容量に蓄積されるエネルギーの総和と等しくなるように、等価的な静電容量を求める方法であり、基本的な考え方は次式で表される。

$$\frac{1}{2}C_s V_{La}^2 = \sum \text{層間の静電エネルギー} + \sum \text{ターン間静電エネルギー} \dots\dots\dots(2)$$

簡略化後の対地間静電容量  $C_g'$  については、簡略化した分だけ各  $C_g$  を足し合わせた。

そのほか、巻線抵抗  $R'$  については、各層の巻線長に応じた抵抗値を使用した。厳密には、表皮効果の影響で高周波数になるほど抵抗値が増加する傾向にある。ただし、本解析で対象とした計器用変圧器は電線径が細く、表皮効果の影響は軽微と考え、一定の抵抗値とした。

以上のように求めた回路定数を用いて、ATP<sup>注2)</sup> で解析を実施し、その妥当性を評価した。

#### 4 電位振動解析の妥当性評価

本解析の妥当性を確認するため、実測との比較検証を実施した。検証には、各部の層間電圧を測定できるように加工した特別高圧モールド計器用変圧器を供試器とした。供試器のインピーダンスおよび層間電圧の周波数特性を測定し、解析結果との比較を行った。なお、空心として回路定数を求めた解析との比較のため、供試器も空心状態で測定を行った。

##### 4.1 インピーダンスの周波数特性

インピーダンスの周波数特性に関する解析結果および実測結果を図3に示す。実測と解析結果がよく一致していることから、回路全体のインダクタンス、各種静電容量、抵抗の値が妥当であることがわかる。

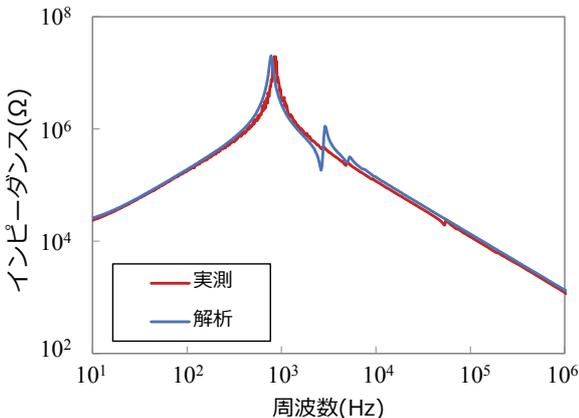
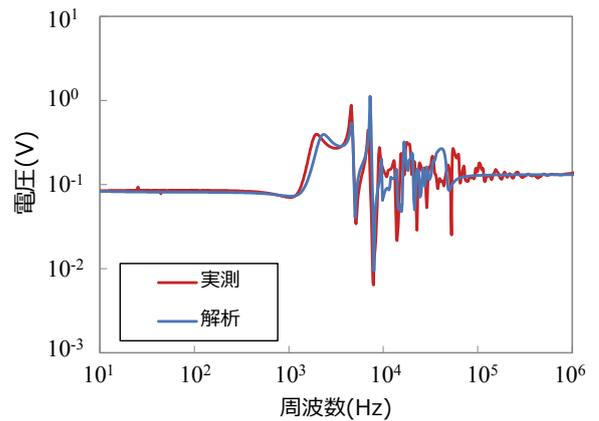


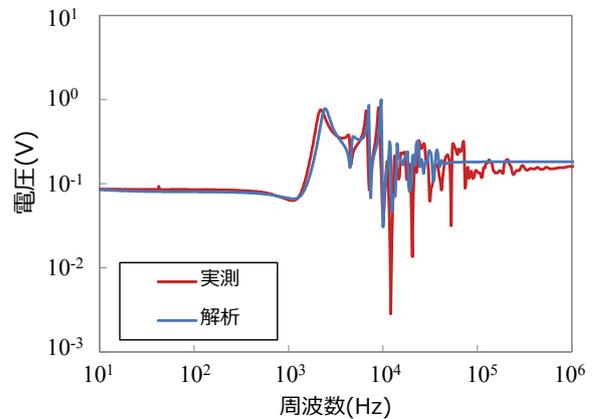
図3 インピーダンスの周波数特性

##### 4.2 層間電圧の周波数特性

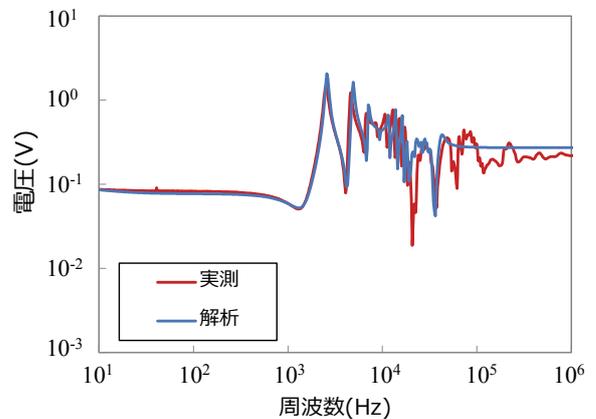
層間電圧の周波数特性に関する解析結果および実測結果を図4に示す。ここで示す電圧は、測定時に印加した電圧に対して層間に発生するものである。測定時は、定格よりも低電圧を印加しながら、周波数を変化させている。したがって、定量的な値ではなく、商用周波数における電圧に対する変化率が重要である。この変化率とサージの電圧値より、サージ侵入時の層間電圧を計算できる。また、層間電圧の周波数特性は測定箇所によって変化するため、図4には代表的な3箇所の層間電圧を



(a) 内周側



(b) 中央付近



(c) 外周側

図4 層間電圧の周波数特性

記載した。実測結果をみると、1 kHz 以下の領域においては、いずれも層間電圧は安定しているが、1 kHz 以上から層間電圧が大きく変動していることがわかる。解析結果も 1 kHz 以上から層間電圧が変動しており、実測と一致している。また、外周側のほうが層間電圧の最大値が高くなる傾向にあり、この傾向も実測と解析で一致している。一方で、実測では 100 kHz 以上の高周波数領域で若干の変動があるのに対して、解析ではその変動がない。この要因として、本解析では計器用変圧器を集中定数回路としてモデル化しているためと考えられる。前述のとおり、計器用変圧器巻線は巻数が多く、本検証で使用した供試器においても 1 層あたりの電線長は数十 m オーダーになる。サージの伝搬速度（ $\approx$ 光速）と電線長から考えると、100 kHz 付近から分布定数の考えが必要になると想定される。ただし、実測結果からわかるとおり、この層間電圧の変動は比較的小さく、最も層間電圧が高くなる周波数帯域の評価には、十分適用できるものと考えられる。

## 5 おわりに

電力システムのサージを完全に抑制することは難しく、また、ひとことにサージといっても、雷サージや開閉サージなどのさまざまな発生要因があり、その電圧や周波数もさまざまである。また、近年では再生可能エネルギーの導入拡大をはじめとして、電力系統も変化してきている。このようななかで、各種電力機器の耐サージ性能について、試験だけでなく、解析技術で評価できることの意義は大きく、電位振動が生じる周波数や巻線内の電圧分担を定量的に把握することができる。その結果、巻線絶縁設計の最適化および製品の信頼性向上につながる。

本稿では、巻数が非常に多い特別高圧クラスの計器用変圧器を対象とした電位振動解析技術について、等価回路および各種回路定数の計算概要、実測との比較結果について記載した。実測と比較した結果、インピーダンスおよび層間電圧の周波数特性がよく一致し、耐サージ性能の評価に有用であることがわかった。

今後は、本解析技術を活用し、計器用変圧器の信頼性向上および開発効率化につなげていきたい。

### ■参考文献

- (1) 渋谷義一, 和田耕太郎, 武藤浩隆:「計器用変圧器の高周波振動の解析」, 電気学会論文誌 B, Vol.126, No.12 (2006)
- (2) 岡部光成, 石川雅之, 向當政典, 小林恒夫, 寺西常治, 才田敏之:「ガス絶縁シャントリアクトルの高周波サージ解析用電気モデル」, 電気学会論文誌 B, Vol.117, No.5 (1997)

### ■語句説明

- 注 1) 長岡係数: 有限長ソレノイドコイルのインダクタンスを求めるための係数
- 注 2) ATP: Alternative Transient 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

### 滝澤 明広

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

# 充電インフラプロトコル OCPP への対応

## 技術紹介

■ 小関 俊英  
Shunei Ozeki

世界中が温暖化対策に取り組む中、日本政府は 2050 年までにカーボンニュートラル<sup>注1)</sup>を実現することを宣言し、2035 年までに新車販売台数を電動車 100% とすることを表明した。政府は、電動車普及をさらに加速させるため、充電設備を 2030 年までに 15 万基を設置することを政府目標として掲げた。東光高岳では旧来より急速充電器を販売してきたが、近年は充電器本体のみならず充電インフラの拡充に向けた事業を推進している。充電インフラをネットワーク化するうえで、世界的デファクトスタンダードとされる OCPP (Open Charge Point Protocol) について、東光高岳も EV の充電インフラ事業の推進に向けて注力しており、OCPP への対応も実施している。

## 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、2035 年までに新車販売台数を電動車 100% とすることを表明した。政府は、電動車普及をさらに加速させるため、充電設備を 2030 年までに 15 万基（普通充電器 12 万基、急速充電器 3 万基）を設置することを政府目標として掲げたことをうけ、東光高岳も EV の充電インフラ事業の推進に向けて注力しており、OCPP への対応も実施している。

EV の充電インフラを構成する通信プロトコルを図 1 に概観する。大別して、電動車 (EV) - 充電設備、充電設備 - 管理・運用システム (Charging Station Management System : CSMS), スマート充電, ローミングの 4 種類の通信プロトコルで構成される。「EV-充電設備」の通信プロトコルは、EV と充電設備の情報通信方式を規定する。「充電設備-CSMS」の通信プロトコルは、充電設備を操作・管理する役割を担う。「スマート充電」は、充電電力量や充電時間など制御し、EV を電力網全体に統合する機能を提供する。「ローミング」は、電気通信業界における「ローミング」と同様に、利用者が契約している事業者と異なる充電設備でもサービ

スを利用できる機能を提供する。

## 2 OCPP について

OCPP は、充電設備と CSMS 間の通信を標準化する通信プロトコルである。充電インフラを担う官民リーダーによるグローバルコンソーシアムである Open Charge Alliance<sup>(2)</sup> (OCA) にて開発・保守され、オープンで誰もが利用できる。この通信プロトコルは、充電に関連する情報を交換したり保守を含む充電設備を操作したりすることを目的とする。2015 年にリリースされた現在普及している OCPP1.6<sup>(3)</sup> と、2018 年にリリースされた OCPP2.0<sup>(4)</sup> (2020 年に改定版 OCPP2.0.1<sup>(5)</sup> をリリース) のバージョンが存在する。OCPP にかかる通信には物理層の規定はなく、「JSON over WebSocket」または「SOAP over HTTP」(OCPP2.0 ではサポート外) を採用し、仕様書で規定するメッセージを使用して情報交換を行う。

### 2.1 機能概要

表 1 に OCPP2.0 で規定する機能概要と OCPP1.6 の対応状況を示す。最新版の OCPP2.0 では、OCPP1.6 に対して、セキュリティの強化、スマート充電の機能追

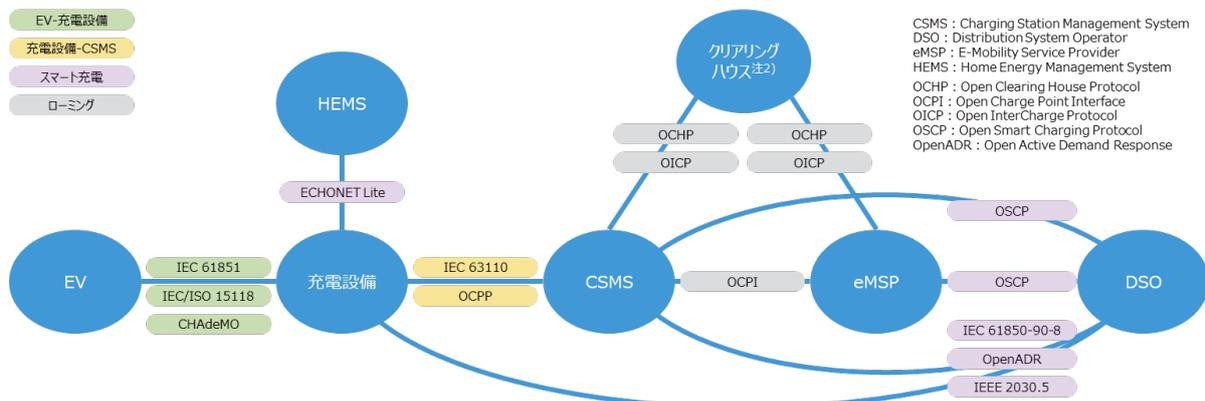


図 1 充電インフラを構成する通信プロトコル (1)

加, ISO/IEC 15118 のサポート, 情報モデルにもとづく充電設備管理などの機能が追加されている。各機能には, ユースケースが規定されており, 事業者が提供するサービスによって機能とユースケースを使い分ける。

### 2.2 メッセージ

メッセージは Request (要求) と Response (応答) のペアで構成され, OCPP1.6 では 28 種類, OCPP2.0 では 64 種類が規定されている。充電設備と CSMS は,

ユースケースに従う手順でメッセージを送受信してサービスを提供する。標準化されたメッセージによる情報交換により相互運用性が確保され, マルチベンダーによるシステム構築が可能となる。

例として, EV に充電する際の OCPP による情報交換のようすを図 2 に示す。

### 2.3 導入効果

日本国内における EV の充電インフラでは, 100 kW

表 1 OCPP 機能概要

機能	概要	OCPP2.0	OCPP1.6
A	セキュリティ	○	—
B	プロビジョニング	○	△
C	認証	○	△
D	ローカル認証	○	○
E	トランザクション	○	△
F	遠隔制御	○	△
G	可用性制御	○	△
H	予約	○	○
I	料金表示	○	—
J	計測	○	△
K	スマート充電	○	△
L	ファームウェア管理	○	△
M	ISO15118 認証管理	○	—
N	診断	○	△
O	ディスプレイメッセージ	○	—
P	データ転送	○	○

○ : サポート, △ : 一部サポート, — : 未サポート

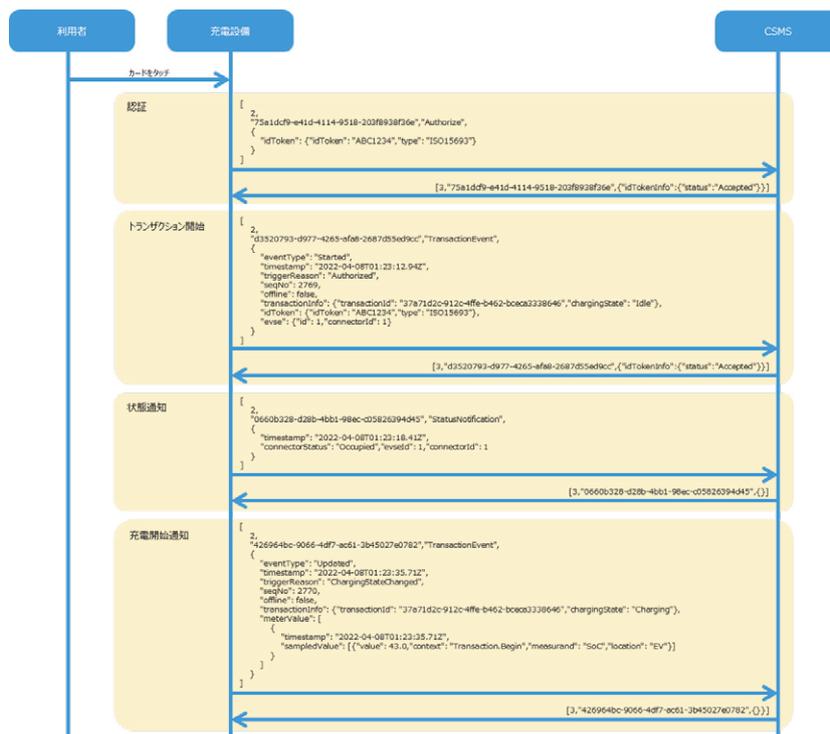


図 2 メッセージ送受信例

級の大出力急速充電器の整備も進められている。一方で、昨今の電力需給ひっ迫などの影響により、電力ネットワークにおけるレジリエンス強化も求められている。この点、OCPP では出力を必要に応じて制御するようなスマート充電機能がサポートされており、ピークシフトなどによる系統の混雑緩和も期待できる。

また、EV の普及に伴って、充電渋滞などユーザーの利便性を損なう課題も発生しているが、OCPP では予約機能などを備えることによってより便利なサービスを構築することが可能である。

OCPP によるネットワーク化により、電力系統の増強に伴う社会的コストを抑えながら、従来の「充電する」サービスに加え、デマンド管理やスマートグリッドおよび電力系統など電力ネットワークを構成する各システムと連携することでさまざまなソリューションサービスを提供することが可能となる。以上、OCPP の概要について紹介した。

### 3 関連規格動向

充電インフラ全体として今後発展する可能性のある V2X<sup>注3)</sup> 等へ対応するため、周辺の通信プロトコルとの整合性を確保することを目的とした関連団体との協議や、新たな通信プロトコルの提案も行われている。本章ではそれについて述べる。

#### 3.1 (一社) チャデモ協議会<sup>(6)</sup> との連携

OCA<sup>(2)</sup> とチャデモ協議会は、各通信プロトコルの関連性を明確にするためにワーキング<sup>(7)</sup> を設置して連携した協業を行っている。ワーキングでは、各仕様書における用語統一や通信シーケンスを明確化するダイアグラムを記載したガイドライン<sup>(8)</sup> をリリースしている。

今後は、欧米に対して CHAdeMO 規格が先行する V2X へ向けた議論を進めて行く方向のようである。

#### 3.2 IEC 63110

OCPP がデファクトスタンダードとして地位を確立している一方、デジュールスタンダードとして IEC では「IEC63110: EV 充放電インフラ管理」の審議が進められている。審議には、OCA も協調するために参画しているが、OCPP がどの程度 IEC63110 の一部となるかは不透明な状況のため、今後の動向について注視していく。

### 4 おわりに

日本においても OCPP が主流となることが予想されており、新たなサービスによるユーザーエクスペリエンスが、EV シフトさらにはカーボンニュートラル実現へ



図3 EV社会を支えるインフラ事業

向けた行動変容へとつながるものと考えている。

OCPP への対応は、エネルギー利用の高度化・多様化に対応し、サステナブル社会に貢献していくための必須アイテムであり、充電インフラを含めたさまざまなエネルギー利用シーンを実現できるものと考えている。

#### ■参考文献

- (1) ElaadNL EV related protocol study v1.1, pp.14 (2016)
- (2) <https://www.openchargealliance.org/>
- (3) Open Charge Point Protocol 1.6, <https://www.openchargealliance.org/protocols/ocpp-16/> (2022)
- (4) Open Charge Point Protocol 2.0, <https://www.openchargealliance.org/protocols/ocpp-201/> (2022)
- (5) Open Charge Point Protocol 2.0.1, <https://www.openchargealliance.org/protocols/ocpp-201/> (2022)
- (6) CHAdeMO <https://www.chademo.com/ja/>
- (7) White paper released: CHAdeMO in combination with OCPP <https://www.chademo.com/white-paper-chademo-ocpp>
- (8) Using OCPP with CHAdeMO <https://www.openchargealliance.org/about-us/info-en-whitepapers/> (2022)

#### ■語句説明

- 注1) カーボンニュートラル：何かを生産したり、一連の人為的活動を行った際に排出される二酸化炭素と吸収される二酸化炭素が同じ量である、という概念
- 注2) クリアリングハウス：(自動) 決済を容易にする機関またはシステム
- 注3) V2X：「Vehicle to X」の略であり、電力セクターではEVから電力ネットワークや需要家への電力供給を総称するもの

#### 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

# 風力発電設備用雷電流計測装置の新 JIS/JEM 規格対応と電流計測性能

■ 藤岡 博文  
Hirofumi Fujioka

■ 藤野 守也  
Moriya Fujino

風力発電の事業性向上のため、風車への落雷を正確に捕捉できる装置の普及が求められるようになり、改定中の JIS C 1400-24 : 2022 (近日発行予定) において、附属書として落雷検出装置の要求性能が規定されようとしている。同規格の要求性能を満たす新たな雷電流計測装置 (2022 年 3 月リリース) の仕様と、JEM (JIS で規定される性能の型式試験方法に関する規格) にもとづく電流計測性能の検証結果について紹介する。

## 1 はじめに

風力発電設備の導入に伴い、世界的にも特異に「エネルギー (電荷量<sup>注1)</sup>) が大きい」日本海沿岸の冬季雷による、風車のブレード損傷、飛散等の雷被害が多発している<sup>(1)</sup>。これを受け、経済産業省では 2015 年に、落雷検出装置の設置を含めた風力発電設備の雷被害再発防止対策を掲げた<sup>(2)</sup>。

東光高岳では、落雷の検知と外部への通知『風力発電設備と連携して運転を停止<sup>(2)</sup>』、電荷量の計測『耐雷設計の妥当性を把握<sup>(2)</sup>』といった、風力発電設備の雷被害再発防止対策に必要な機能を有する雷電流計測装置を開発・改良し<sup>(3), (4)</sup>、これまでに日本海沿岸の冬季雷地域を中心として全国に約 800 台納入している。

さらに、風力発電の安全性、保安性向上のため、風車への落雷を正確に捕捉できる装置の普及が求められるようになり、改定中の JIS C 1400-24 : 2022 (近日発行予定) において、附属書として落雷検出装置の要求性能が規定されようとしている<sup>(5), (6), (7), (8), (9)</sup>。

本稿では、本年 3 月に新製品としてリリースした雷電流計測装置 (以下、本装置) の仕様と、JEM (JIS で規定される性能の型式試験方法に関する規格) にもとづく電流計測性能の検証結果について紹介する。

## 2 新 JIS 要求性能と雷電流計測装置の仕様

### (1) 新 JIS 要求性能

JIS C 1400-24 : 2022 の附属書にて規定予定の要求性能のうち、電流計測性能に関する項目を表 1 に示す<sup>(7), (9)</sup>。

### (2) 雷電流計測装置の仕様

表 1 に対応する本装置の計測仕様を表 2 に示す。すべての項目において、表 1 に示す JIS C 1400-24 : 2022 にて規定予定の要求性能を満足している。なお、計測精度は表 1 にもとづき製造業者である東光高岳が設定した。

また、本装置において追加・向上した仕様を表 3 に赤字にて示す。

表 1 JIS C 1400-24 : 2022 要求性能 (電流計測性能)

項目	内容
1	電流検出周波数帯域 (-3 dB ~ +3 dB) クラス I (設置可能地域: 日本全国): 0.1 Hz ~ 100 kHz
2	最大測定電流値 100 kA 以上
3	最小検出電流値 (トリガ電流値) 最大測定電流値の 1% または 2 kA の小さい値以下
4	最大測定電荷量値 600 C 以上
5	最小検出電荷量値 1 C 以下
6	検出精度 製造業者が指定
7	観測時間 0.5 s 以上

表 2 雷電流計測装置の計測仕様

項目	内容
1	周波数帯域 (-3 dB) 0.1 Hz ~ 300 kHz
2	最大計測電流 100 kA, 200 kA (計測可能電流値 = 最大計測電流 × 1.2)
3	トリガレベル 最大計測電流 × 1%
4	電荷量演算範囲 0 C ~ 9,999 C (分解能: 1 C)
6	電流波高値計測精度 10 kA 以上: ± 10% 以内 10 kA 未満: ± 1 kA 以内
	電荷量計測精度 10 C 以上: ± 15% 以内 10 C 未満: ± 2 C 以内 (精度範囲: 1,000 C 以下)
7	計測時間 1 s

表 3 雷電流計測装置の新規仕様

項目	内容
計測データ	電流波高値 (正負), 電荷量, 比エネルギー <sup>注2)</sup> (0.0 MJ/Ω ~ 99.9 MJ/Ω), トリガ時刻
電荷量演算サンプリング	10 μs (比エネルギーも同様)
遠隔データ収集機能	Web サーバ, Modbus/TCP (スレーブ)

### 3 新 JEM 型式試験の条件

JEM で規定予定の型式試験のうち、電流計測性能に関する条件<sup>(8), (9)</sup>を以下に示す。

(1) 電流検出周波数帯域試験

- ・試験波形：正弦波または正弦波減衰振動波
- ・試験方法：試験電流を電流センサに鎖交  
落雷検出装置のセンサ出力信号を測定

(2) 電流値検出試験

- ・試験波形：10/350 電流インパルス（正極性、負極性）  
規約波頭長：10  $\mu$ s，規約波尾長：350  $\mu$ s  
（最大測定電流値以外：100  $\mu$ s 以上）

- ・試験電流値（許容差  $\pm 10\%$ ）：最大測定電流値，最大測定電流値  $\times 0.5$ ，最小検出電流値（トリガ電流値）

(3) 電荷量値検出試験

- ・試験波形：長時間雷撃電流波形，短時間電撃電流波形（出典：JIS Z 9290-1）
- ・試験電荷量値（許容差  $\pm 20\%$ ）：最大測定電荷量値，最大測定電荷量値  $\times 0.5$ ，最小検出電荷量値

### 4 電流計測性能試験方法

(1) 電流検出周波数帯域試験

図 1 に電流検出周波数帯域試験の回路を示す。

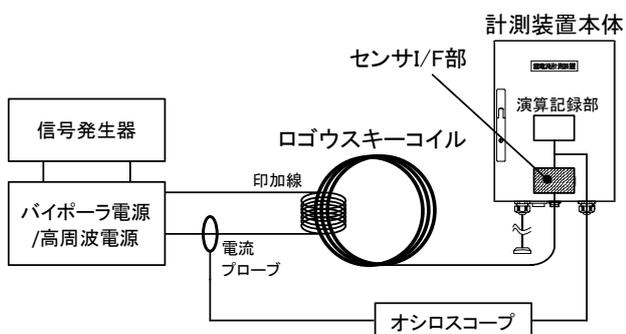


図 1 電流検出周波数帯域試験回路

信号源として交流電源（信号発生器＋バイポーラ電源：20 kHz 以下／高周波増幅器：20 kHz 以上）を使用し，印加線をログウスキーコイルに周回，ログウスキーコイルも印加線に周回することにより，正弦波（連続波，数百 Ap-p 相当）を印加し，印加線の電流波形とセンサ I/F 部の出力電圧波形の，おのおのから読取って換算した電流波高値を比較した。

(2) 電流値検出試験

図 2 に電流値検出試験の回路を示す。

信号源として 10/350  $\mu$ s インパルス電流発生器（（株）昭電のテクノセンタ（以下，テクノセンタ）内に配備）

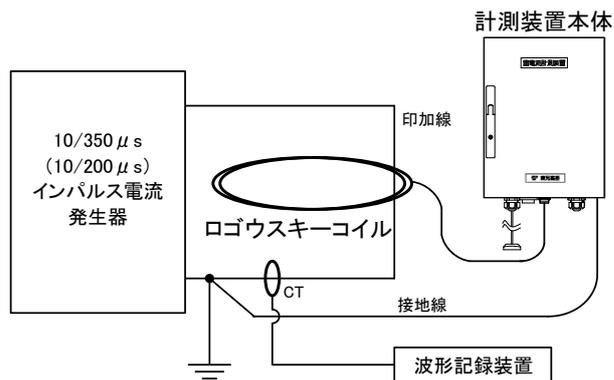


図 2 電流値検出試験回路

を使用し，ログウスキーコイルを印加線に 2 周回することにより，200 kA 相当までを印加して，印加線の電流波形から読取って換算した電流波高値と本装置の記録値を比較した。

なお，最小検出電流値（トリガ電流値＝トリガレベル）においては，10/200  $\mu$ s インパルス電流発生器（テクノセンタ内に配備）を使用した（ログウスキーコイルは印加線に 1 周回）。

(3) 電荷量値検出試験

図 3 に電荷量値検出試験の回路を示す。

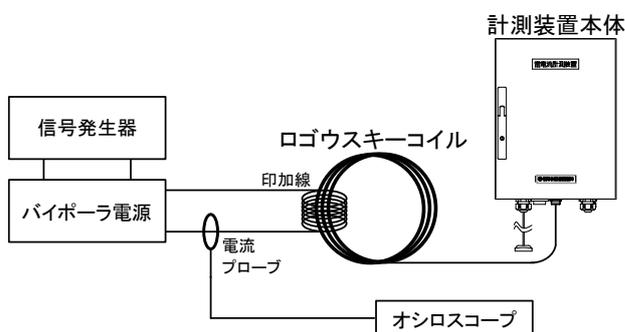


図 3 電荷量値検出試験回路

信号源として交流電源（信号発生器＋バイポーラ電源）を使用し，印加線をログウスキーコイルに 500 周回（最小検出電荷量値においては 10 周回），ログウスキーコイルも印加線に 10 周回することにより，試験電荷量値を有する長時間雷撃電流波形，短時間電撃電流波形を印加して，印加線の電流波形から換算して算出した電荷量と本装置の記録値を比較した。

(4) 雷電流計測装置の電流波高値計測性能試験

JEM 型式試験方法とは別に，本装置としての電流波高値計測性能試験（周波数特性，入出力特性）<sup>(3)</sup>も実施した。

100 Hz 以下（図 3：電荷量値検出試験回路と同一）では，信号源として交流電源（信号発生器＋バイポーラ電源）を使用し，印加線をログウスキーコイルに 500 周回，ログウスキーコイルも印加線に 10 周回することにより，電流波高値 10 kA 相当の正弦波（連続波）を

印加している。

100 Hz 以上 (図 4) では、信号源としてインパルス発生器を使用し、印加線をログウスキーコイルに 20 周回、ログウスキーコイルも印加線に 2 周回することにより 200 kA 相当までのインパルス波または減衰振動波を印加している。周波数は、印加電流波形の波頭長を 1/4 周期として換算している (例：波頭長 2 μs → 周波数 125 kHz)。

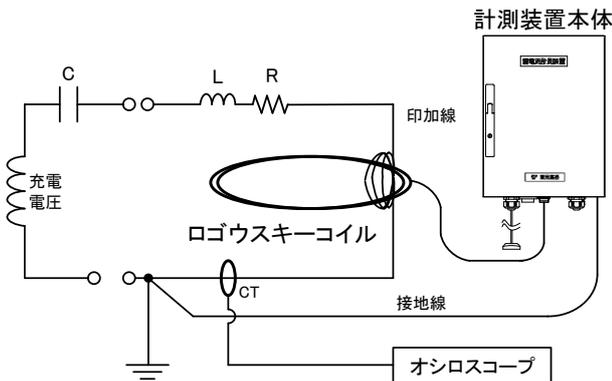


図 4 試験回路：インパルス発生器 (100 Hz～)

印加線の電流波形から読取って換算した電流波高値と本装置の記録値を比較した。

## 5 電流計測性能測定結果

電流計測性能の測定結果は、印加値に対する測定値の比誤差で評価した。

試験対象の本装置は、最大計測電流が 100 kA と 200 kA の 2 台で、ログウスキーコイルはコイル長 16 m (風車タワー外径：約 5 m 相当) である。

### (1) 電流検出周波数帯域試験

図 5 に、センサ I/F 部の計測性能としての周波数帯域の測定結果を示す。

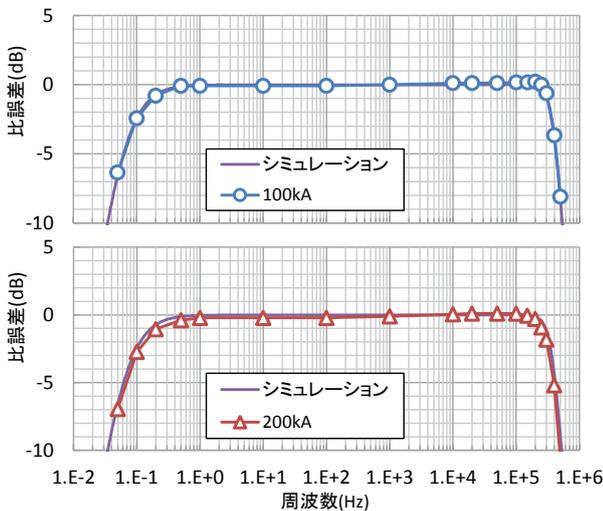


図 5 電流検出周波数帯域試験結果

本装置の周波数帯域における低周波数端 0.1 Hz と高周波数端 300 kHz は -3 dB 以上であり、1 Hz から 100 kHz まではほぼ平坦な特性になっている。

また、シミュレーション結果とも一致しており、設計どおりの動作となっていることも確認できる。

### (2) 電流値検出試験

表 4 に、電流波高値の測定結果を示す。

最小検出電流値 (トリガ電流値 = トリガレベル：1 kA, 2 kA) では ±10% を超過する場合もあるが、計測精度 ±1 kA 以内 (10 kA 未満) になっている。

表 4 電流値検出試験結果

最大計測電流	印加電流	正極性		負極性	
		比誤差	電流差	比誤差	電流差
100 kA	1 kA	7%	0.1 kA	3%	0.0 kA
	50 kA	3%	—	3%	—
	100 kA	6%	—	3%	—
200 kA	2 kA	-11%	-0.3 kA	-7%	-0.2 kA
	100 kA	-2%	—	-4%	—
	200 kA	-3%	—	-4%	—

### (3) 電荷量値検出試験

表 5 に、電荷量の測定結果を示す。

計測精度 ±15% 以内になっている。

試験電荷量値は、精度範囲「1,000 C 以下」にもとづき、以下のとおりとした。

- ・最大測定電荷量値：1,000 C
- ・最大測定電荷量値 × 0.5：500 C
- ・最小検出電荷量値：1 C

なお、(2) で 10/350 μs インパルス電流を印加した場合の電荷量も記載した。

表 5 電荷量値検出試験結果

最大計測電流	印加電荷量	比誤差	電荷量差
100 kA	1 C	-1%	0.0 C
	20 C	1%	—
	45 C	5%	—
	500 C	-6%	—
	1,000 C	-9%	—
200 kA	1 C	-7%	-0.1 C
	45 C	-4%	—
	90 C	-5%	—
	500 C	-9%	—
	1,000 C	-10%	—

(4) 雷電流計測装置の電流波高値計測性能試験

図 6 に、入出力特性の測定結果を示す。

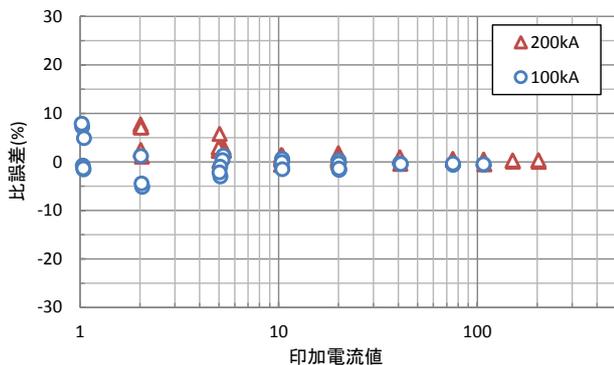


図 6 入出力特性測定結果

電流値に対して分解能 (0.1 kA) が粗くなる 5 kA 以下では比誤差が大きくなっているが、200 kA まで ±10% 以内であることが確認できる。

図 7 に、本装置としての周波数特性の測定結果を示す。

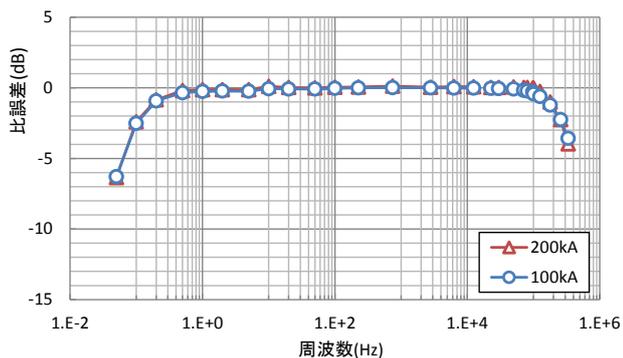


図 7 周波数特性測定結果

0.5 Hz から 100 kHz まで ±10% (約 ±0.9 dB) 以内であることが確認できる。また、JIS C 1400-24:2022 で規定予定の要求性能を満足する周波数帯域 0.1 Hz から 300 kHz において ±3 dB 以内であることも確認できる。

## 6 おわりに

本稿では、JIS C 1400-24:2022 で規定予定の要求性能を満たす新たな雷電流計測装置 (本装置) の仕様と、規定予定の JEM にもとづく電流計測性能の検証結果について報告した。

なお、今後は、JIS C 1400-24:2022 発行後の雷電流計測装置の自己適合宣言<sup>注3)</sup> (JEM 型式試験成績書) に向けて対応していく。

### ■参考文献

- (1) 経済産業省:「新エネルギー発電設備事故対応・構造強度ワーキンググループ」[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan\\_shohi/denryoku\\_anzen/newenergy\\_hatsuden\\_wg/index.html](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/newenergy_hatsuden_wg/index.html)
- (2) 経済産業省:「発電用風力発電設備の技術基準の解釈について (20140328 商局第 1 号) の一部を改正する規定」(2015)  
<https://search.e-gov.go.jp/servlet/PcmFileDownload?seqNo=0000120248>
- (3) 藤岡博文:「風力発電設備用雷電流計測装置の電流計測性能」, 東光高岳技報 Vol.4 2017, p.39 (2017)  
[https://www.ttkk.co.jp/research/report/pdf/2017/giho2017\\_17.pdf](https://www.ttkk.co.jp/research/report/pdf/2017/giho2017_17.pdf)
- (4) 酒井繁美:「風力発電設備用雷電流計測装置」, 東光高岳技報 Vol.6 2019, p.24 (2019)  
[https://www.ttkk.co.jp/research/report/pdf/2019/giho2019\\_10.pdf](https://www.ttkk.co.jp/research/report/pdf/2019/giho2019_10.pdf)
- (5) 風力発電設備の耐雷健全性維持技術と法規制・規格調査専門委員会:「風力発電設備の耐雷健全性維持と稼働率向上のための最新技術」, 電気学会技術報告書 1501 号 (2020)
- (6) NEDO 成果報告書:「風力発電等技術研究開発 / 風力発電高度実用化研究開発 / スマートメンテナンス技術研究開発 (雷検出装置等の性能・評価技術の開発)」(2018)  
[https://www.nedo.go.jp/library/seika/shosai\\_201808/20180000000588.html](https://www.nedo.go.jp/library/seika/shosai_201808/20180000000588.html)
- (7) 山本和男, 他「Upcoming Japanese Standard Relating to Lightning Protection for Wind Turbines: Lightning Detection Systems」, ICOLSE2019, No. 20 (2019)
- (8) 山本和男:「落雷検出装置の諸特性とその役割」, 令和 2 年電気学会全国大会, S6-3 p.S6 (7)- S6 (10) (2020)
- (9) 山本和男, 他:「風車用落雷検出装置が満たすべき性能とその試験方法」第 42 回風力エネルギー利用シンポジウム, p.253-256 (2020)

### ■語句説明

- 注 1) 電荷量: 雷放電の継続時間全域における雷電流の時間積分
- 注 2) 比エネルギー: 雷放電の継続時間全域における雷電流の二乗の時間積分
- 注 3) 自己適合宣言: 製造業者が JIS への適合を証明すること (第一者証明, 出典: JIS Q 1000)

### 藤岡 博文

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

# 電子式 VT・CT の要素開発による モデル器の設計・試作と性能評価

■ 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

従来の変電所は、施工時のケーブル敷設や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。一方、欧米や中国で建設が進められているデジタル変電所は、多芯の光ファイバケーブルによる集線化を行うことで上記課題を解決し、またスマートグリッドの国際標準規格である 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を図っている。国内の電力会社でも変電所デジタル化の取り組みを行っており、東光高岳においてもデジタル変電所向け製品の技術開発を行っている。その一つがデジタル化を図った次世代の計器用変成器となる電子式 VT・CT であり、今回要素開発としてモデル器を設計・試作し、その性能評価を行ったので紹介する。

## 1 はじめに

従来の変電所は、電気設備と保護制御装置間の信号伝送に制御ケーブルを使用しているため、施工時のケーブル敷設や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。中でも計器用変成器と保護制御装置間の制御ケーブルは、本数が膨大で敷設に難がある。一方、欧米や中国で建設が進められているデジタル変電所は、信号伝送を多芯の光ファイバケーブルで行うことにより集線化が図れ、施工時や運用時のコストダウンが可能である。また、スマートグリッドの国際標準規格である 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を図っている。

国内の電力会社でも変電所デジタル化の取り組みを行っており、東光高岳においてもデジタル変電所向け製品の技術開発を行っている。その一つである電子式 VT・CT は、次世代の計器用変成器であり、MU (Merging Unit)<sup>注1)</sup> と組み合わせて IEC 61850-9-2LE 準拠によるデジタル化を図った装置である。東光高岳では、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を目標に取り組んでいる。

本稿では、電子式 VT・CT の要素開発としてモデル器を設計・試作し、その性能評価を行ったので紹介する。

## 2 モデル器の仕様検討

モデル器の基本仕様を表 1 に示す。仕様検討に当たり、海外の主な重電機器メーカーの NCIT (Non-Conventional Instrument Transformer)<sup>注2)</sup> の調査を行い、具備すべ

き標準的な仕様を反映した。

### (1) 電圧・電流検出方式および絶縁構造

電圧検出は容量分圧器、電流検出はログウスキーコイル方式とする。容量分圧器は絶縁構造により高压側、低压側の静電容量が変化するため、モデル器は海外の 132 kV 三相一括形 GIS 適用を想定した構造とする。

### (2) 定格一次電圧および絶縁方式

大規模な高電圧の試験装置を用いず、交流標準電圧電流発生器により電子式 VT の誤差試験を実施可能とするため、定格一次電圧を従来の 1/100 とする。また、定格一次電圧が比較的低いことから、環境に配慮して絶縁方式を気中絶縁とする。

### (3) その他

海外の主な重電機器メーカーの NCIT を調査した結果、どのメーカーにもほぼ共通している仕様があり、それは計

表 1 モデル器の基本仕様

項目	仕様	
	電子式 VT	電子式 CT
参考規格	IEC 60044-7	IEC 60044-8
検出方式	容量分圧器	ログウスキーコイル
絶縁方式	気中絶縁	
相数	単相	
定格一次電圧	1.45/√3 kV	—
定格一次電流	—	1,000A
周波数	50 Hz	
計測用確度階級	IEC Class 0.2	IEC Class 0.2S
保護用確度階級	IEC Class 3P	IEC Class 5TPE
使用温度範囲	電子式 VT・CT : -40~+70℃ MU : -10~+55℃	
外形寸法	電子式 VT・CT : Φ420 × 480 mm MU:480 (W) × 221.5 (H) × 360.5 (D) mm	
電源電圧	DC 110V (MU)	

測用の確度階級が電子式 VT: Class 0.2, 電子式 CT: Class 0.2S, 使用温度範囲の下限値が $-40^{\circ}\text{C}$ , MU 出力が IEC 61850-9-2LE 準拠ということであった。モデル器ではそれらの仕様を踏襲しつつ, 電子式 VT は IEC 60044-7<sup>(1)</sup>, 電子式 CT は IEC 60044-8<sup>(2)</sup> を参考規格とする。

### 3 モデル器の設計

#### 3.1 装置構成と動作概要

モデル器の装置構成を図 1 に示す。モデル器は電子式 VT・CT と MU に分けられる。電子式 VT・CT は, 金属製の管路に容量分圧器およびログウスキーコイルを内蔵したものである。MU は金属製の筐体に電源ユニット, 信号処理基板, CPU 基板および光通信 I/F 基板を内蔵したものである。次にモデル器の動作内容を示す。容量分圧器は一次電圧を 100 V 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に変換して, とともに MU の信号処理基板に入力する。信号処理基板は, 入力信号を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。この信号処理部は, FPGA を用いて高速演算処理を実現している。なお, 容量分圧器の入力部はさらに固体コンデンサと抵抗分圧器が備わる。FPGA は, 外部から光通信 I/F 基板に入力される同期パルス (1PPS) に同期して演算処理を行い, CPU 基板に入力する。CPU 基板は, 入力信号を IEC 61850-9-2LE で規定された SV (Sample Value) パケット<sup>注3)</sup>に変換して光通信 I/F 基板に出力する。光通信 I/F 基板は, SV パケットを光信号に変換して MU から外部へ出力する。

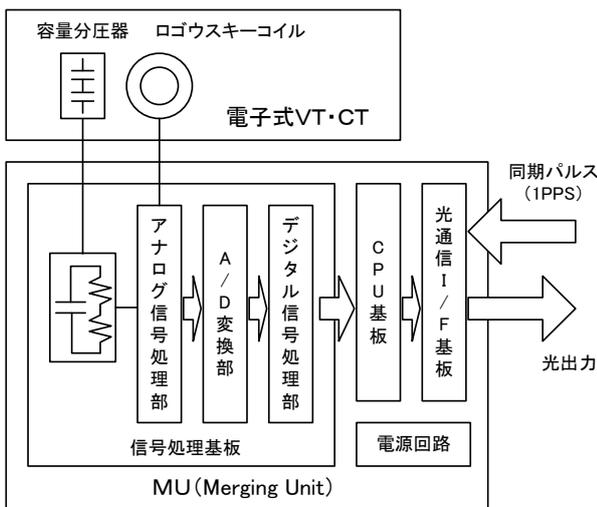


図 1 モデル器の装置構成

#### 3.2 容量分圧器の原理および設計方針

容量分圧器の原理図を図 2 に示す。容量分圧器は, 一次導体-空間電極間の静電容量 (C1) と空間電極-

接地間の静電容量 (C2) の分圧構造となっており, 外部に C2 と並列に固体コンデンサ (C3) を接続する。

設計上の課題は, 静電容量の温度特性による出力変動である。静電容量の温度特性は, 容量分圧器を構成する各 부품の線膨張による形状変化と固体コンデンサの温度特性から発生する。そこで, 容量分圧器を構成する各 부품の材質をすべて統一し, 温度変化による相対的な形状変化を抑制して出力変動を低減した。また, 固体コンデンサは誘電体の種類による温度特性を調査し, 容量分圧器の特性に合う最適なものを選定した。

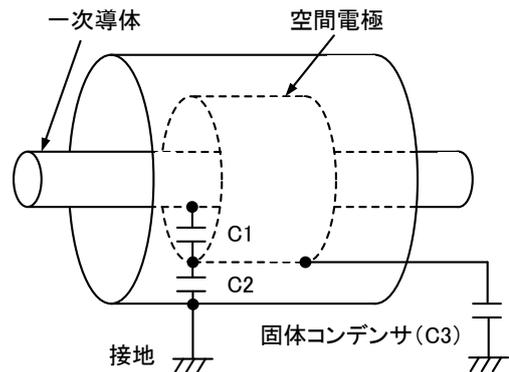


図 2 容量分圧器の原理図

#### 3.3 容量分圧器の温度特性シミュレーション

図 2 に示す静電容量 C1, C2 は, 一次導体, 空間電極および接地間の物理的距離と空間電極の長さでほぼ決定される。このため, モデル器の構造設計は海外の 132 kV 三相一括形 GIS 適用を想定して行った。なお, 絶縁設計および静電容量の温度特性シミュレーションは, 有限要素法による電界解析および熱応力解析により行った。

##### (1) 解析モデル

容量分圧器の解析モデルを図 3 に示す。タンク, 一次導体, 空間電極, 接地電極および電界シールドなどの

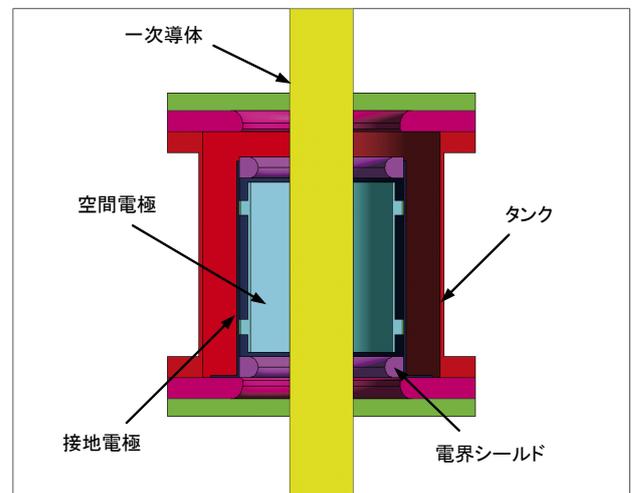


図 3 容量分圧器の解析モデル

材質はすべて同一とした。

## (2) 解析結果

静電容量  $C_1$ ,  $C_2$  の温度特性の解析結果を図 4 に示す。なお、電界解析結果について本稿では割愛する。周囲温度  $-40 \sim +80^\circ\text{C}$  の  $C_1$  の変化率は  $\pm 0.14\%$  ( $20^\circ\text{C}$  基準) であり、 $C_2$  の変化率は  $\pm 0.10\%$  ( $20^\circ\text{C}$  基準) であった。その結果、 $C_1$ ,  $C_2$  により分圧される  $C_2$  の分担電圧の変化率 ( $C_1 / (C_1 + C_2)$ ) は  $\pm 0.03\%$  ( $20^\circ\text{C}$  基準) であり、容量分圧器を構成する各 부품の材質をすべて統一することにより、温度特性を十分小さくできることが確認できた。

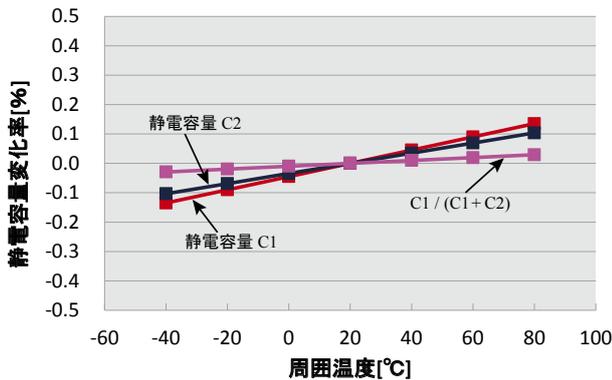


図 4 C1, C2 および  $C_1 / (C_1 + C_2)$  の温度特性解析結果

## 3.4 ログウスキーコイルの原理および設計方針

ログウスキーコイルの原理図を図 5 に示す。ログウスキーコイルは、一次電流 ( $I(t)$ ) を電圧信号に変換して計測するものである。コイルで誘起される電圧 ( $e(t)$ ) は、一次電流の微分波形となり、この誘起電圧を積分することで一次電流に比例した電圧信号 ( $v(t)$ ) を出力する。

設計上の課題は、コイルで誘起される電圧の温度特性と外部磁界の影響による出力変動である。まず温度特性は、温度変化によりコイル形状の変化が発生しインダクタンスが変化すること、およびコイル抵抗に温度依存性があることにより発生する。そこで、ログウスキーコイルをプリント基板で製作することで温度変化によるコイルの形状変化を抑え、インダクタンスの変化を低減した。また、パターン幅および巻数の最適化を行い、コイ

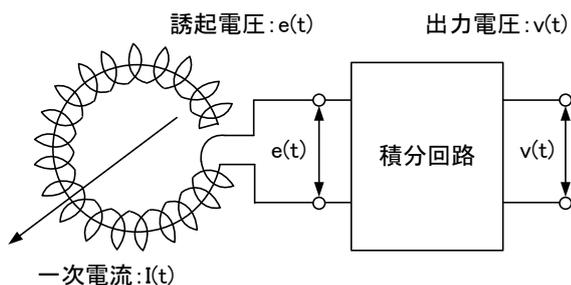


図 5 ログウスキーコイルの原理図

ル抵抗を低く抑えることで温度変化によるコイル抵抗の変化を低減した。次に外部磁界の影響については、4層のプリント基板を使用して表面および裏面で主コイルを形成し、内層に戻しコイルを形成することで外部磁界によるコイルの発生電圧をキャンセルした。

## 4 モデル器の試作

### 4.1 電子式 VT・CT

電子式 VT・CT の外観を図 6 に示す。金属製の管路の両端に絶縁板を取り付け、中心部に一次導体を貫通させた構造とした。また、内部に容量分圧器およびログウスキーコイルを取り付けている。



図 6 電子式 VT・CT の外観

### 4.2 MU

MU の外観を図 7 に示す。MU は、鉄製の筐体に電源ユニット、信号処理基板、CPU 基板、光通信 I/F 基板を内蔵したものである。過去に開発した光 CT 用の MU に容量分圧器およびログウスキーコイルの入力部を追加して適用した。

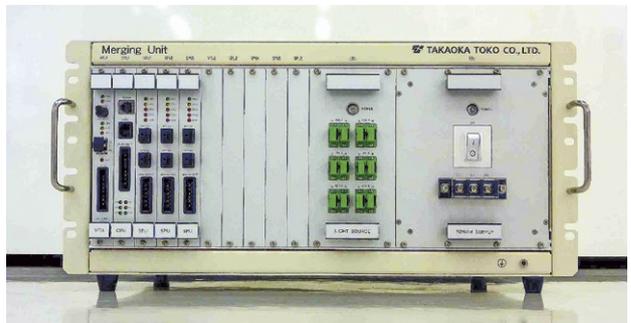


図 7 MU の外観

## 5 モデル器の試験と性能評価

### 5.1 基本誤差試験

基本誤差試験は、IEC 60044-7 および IEC 60044-8

の各規格に規定された測定ポイントにおいて試験を行った。試験構成を図 8 に示す。試験電圧は交流標準電圧電流発生器により印加し、試験電流は大電流発生装置により通電した。また、試験電流値は標準 CT の二次側に標準抵抗を接続して電圧に変換後、デジタルマルチメータで測定した。試験による比誤差の算出方法は次のとおりである。MU から出力された SV パッケージは、メディアコンバータにて電気信号に変換後イーサネット経由で PC (パソコン) に取り込んだ。PC では、SV データに DFT (Discrete Fourier Transform)<sup>注4)</sup> 処理を行い、50 Hz 成分を抽出して比誤差を算出した。なお、今回は比誤差のみの評価とし、位相角は別途試験環境を整備して評価することとした。

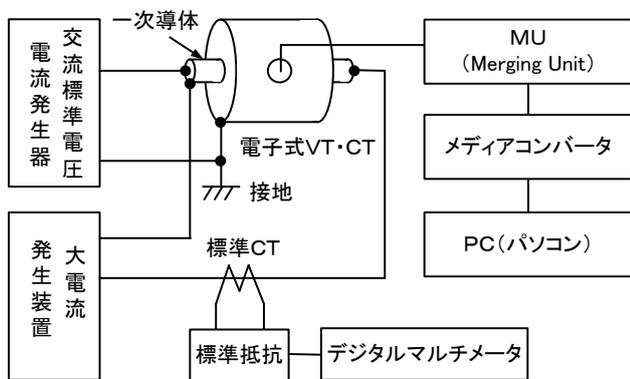


図 8 基本誤差試験構成

図 9 に電子式 VT の基本誤差特性 (比誤差) を示す。定格電圧の 80~120% の測定ポイントにおいて比誤差は  $\pm 0.02\%$  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。

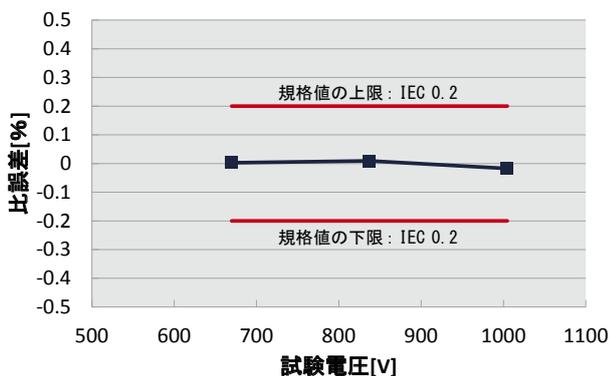


図 9 電子式 VT の基本誤差特性 (比誤差)

図 10 に電子式 CT の基本誤差特性 (比誤差) を示す。定格電流の 1~120% の測定ポイントにおいて比誤差は  $\pm 0.04\%$  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。

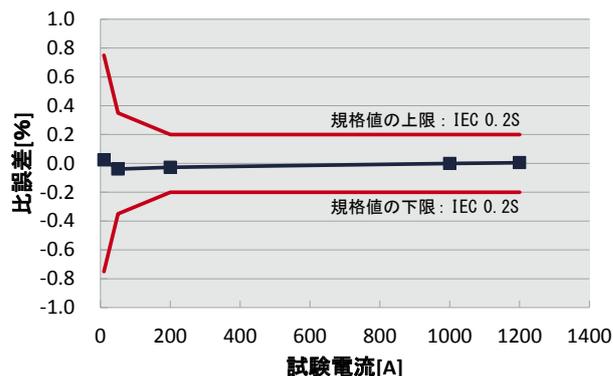


図 10 電子式 CT の基本誤差特性 (比誤差)

## 5.2 温度特性試験

温度特性試験は、恒温槽を用いて電子式 VT・CT と MU の周囲温度を変化させることとし、装置内部まで温度が安定する様、目標の温度に到達した後に 3 時間放置して試験を行った。また、試験は電子式 VT・CT のみ温度変化を与える単体試験 (周囲温度:  $-40 \sim +80^\circ\text{C}$ ) と、MU も含めて温度変化を与える組合せ試験 (周囲温度:  $-10 \sim +55^\circ\text{C}$ ) の 2 種類について行った。電子式 VT の試験電圧は定格一次電圧、電子式 CT の試験電流は定格一次電流として、各温度における比誤差を算出した。

図 11 に電子式 VT の温度特性 (比誤差) を示す。比誤差が単体試験では  $\pm 0.03\%$  以内、組合せ試験では  $\pm 0.05\%$  以内の変化であり、確度階級を十分満足して良好な特性が得られた。

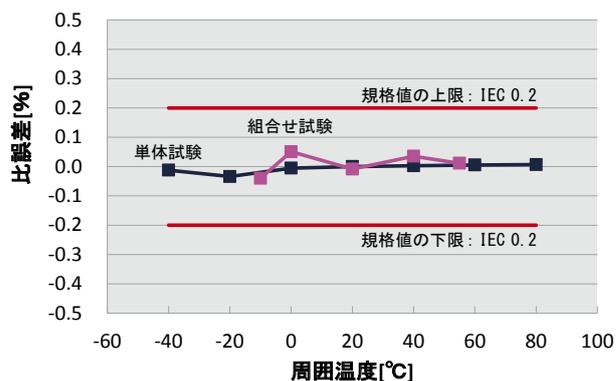


図 11 電子式 VT の温度特性 (比誤差)

図 12 に電子式 CT の温度特性 (比誤差) を示す。比誤差が単体試験では  $\pm 0.06\%$  以内、組合せ試験では  $\pm 0.05\%$  以内の変化であり、確度階級を十分満足して良好な特性が得られた。

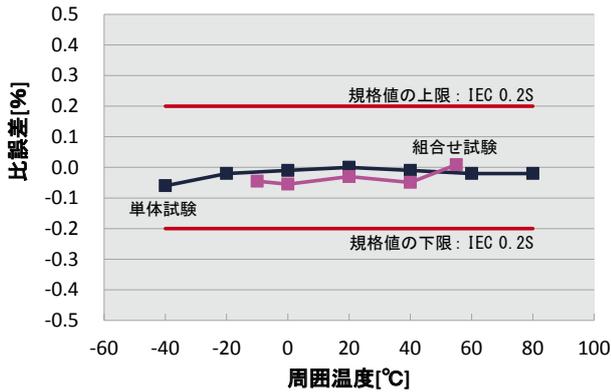


図 12 電子式 CT の温度特性 (比誤差)

### 5.3 外部磁界の影響試験

電子式 CT を三相一括形 GIS に適用した場合、他相磁界の影響を受けて測定精度に影響を与える可能性がある。本試験は、その影響度合いを調査するために行った。

三相一括形 GIS の相配置を模擬した試験器具に、一次導体および一相分のログウスキーコイルを取り付けた状況を図 13 に示す。一次導体の直径は  $\Phi 80$  mm、相間距離は約 280 mm で三相配置した。試験は、ログウスキーコイルに無通電の状態では他相の一次導体に電流を通電した時、ログウスキーコイルで検出される電流値を測定した。その結果、試験電流 2,000 A (定格一次電流の 2 倍) において、ログウスキーコイルで検出された電流値が 2 A 程度であった。これは他相に通電した試験電流の 0.1% 程度の影響度合いであり、基本誤差試験や温度特性試験の比誤差を加味した場合でも、精度階級を十分満足して良好な特性が得られた。したがって、3 章で述べた外部磁界の影響対策が有効に機能していることが確認できた。

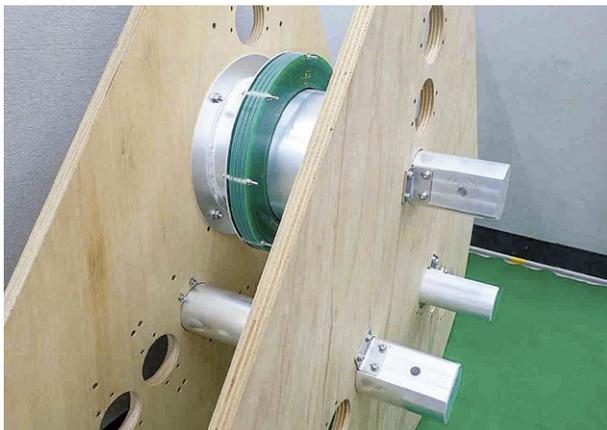


図 13 一次導体、ログウスキーコイル配置状況

## 6 おわりに

電子式 VT・CT の要素開発としてモデル器を設計・試作し性能評価を行った。その結果、基本仕様をほぼ満足し良好な特性が得られた。次のステップとして試験環

境を整備し、位相角の評価を行う必要がある。

電子式 VT・CT はデジタル変電所への適用を目的とし、MU と組み合わせて IEC 61850-9-2LE 準拠によるデジタル化を図った装置である。これにより、機器の大幅な小型・軽量化と設置面積の省スペース化が実現可能である。

今後は、三相一括形 GIS に直結可能な電子式 VT・CT のプロトタイプ器の開発を行い、社外に紹介していく予定である。

### ■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。また IED は、変電所内外で発生する各種故障を検出し、遮断器へトリップ指令を出力する保護演算装置。
- 注 2) NCIT (Non-Conventional Instrument Transformer) : 非従来型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 (Sample Value) パケット : デジタル化された電圧・電流の瞬時値データを IEC 61850-9-2LE に準拠して分割されたデータ。
- 注 4) DFT (Discrete Fourier Transform) : 離散フーリエ変換であり、主に信号処理などで離散化されたデジタル信号の周波数解析などに使われるもの。

### 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

# OneATS が提供するソリューション

## 技術紹介

■ Le, Huu Thanh Binh

■ 藤澤 光剛

Mitsuyoshi Fujisawa

■ 中西 健介

Kensuke Nakanishi

■ 堀内 有紗

Arisa Horiuchi

東光高岳が出資している ATS 社が開発・提供する統合ソフトウェアプラットフォーム「OneATS™」は、ベトナム社会主義共和国（以下、ベトナム）の Digital Grid 分野においてさまざまな IT<sup>注1)</sup>/OT<sup>注2)</sup> ソリューションを実現している。その適用範囲は、電力会社の変電所自動化システムをはじめ、太陽光発電や水力発電・風力発電および分散電源などの再生可能エネルギー分野における SCADA<sup>注3)</sup> システムに及ぶ。これは、OneATS™ が国際標準に準拠したアーキテクチャを持ち、汎用アプリケーションとの連携が可能となっていることによる。東光高岳でも、これらの特長を活かし日本国内市場への展開に着手した。本稿では、「OneATS™」の特長について紹介する。

## 1 はじめに

東光高岳が出資しているベトナムの Applied Technical Systems Joint Stock Company（以下、ATS 社）は、Digital Grid 分野での監視制御機能をコアとした統合パッケージソフトウェア「OneATS™」を市場展開している。



図1 統合ソフトウェアプラットフォーム「OneATS™」

## 2 ATS 社の紹介

ATS 社は、ベトナムにおける変電所自動化システムのトップシェア企業である。主な納入先はベトナムの電力会社であり、最近では、再生可能エネルギー分野に向けた新たな先進的なソリューションを展開している。

## 3 システム構成

OneATS™ は以下の Server 群で構成されている。

- FEP Server：変電所や発電所の IED<sup>注4)</sup> などの現地デバイスよりデータを収集
  - Data Server：リアルタイムデータを演算、管理し、ヒューマンマシンインターフェイス（HMI）などへ提供
  - Historical Server：過去の時系列データを蓄積
- システム構成例を図2に示す。システムは冗長化構成が可能であり、系統解析ソフトなど汎用アプリケーションへリアルタイム・時系列データの提供が可能である。

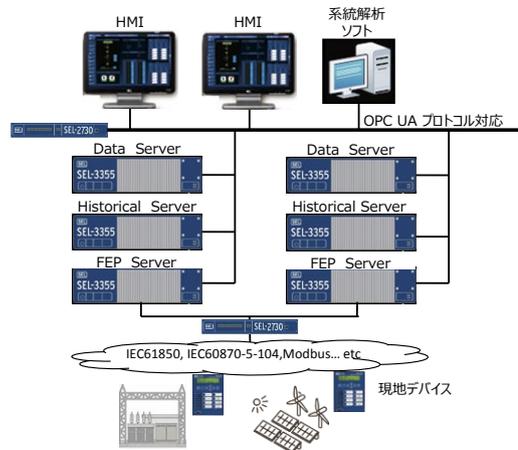


図2 システム構成例

## 4 特長

OneATS™ の特長はつぎのとおりである。

### 4.1 各種通信プロトコルへの対応

IEC61850、IEC60870-5-104、Modbus などの国際標準プロトコルに対応しており、IED などマルチベンダの現地デバイスと接続が可能である。

また FEP Server にユーザ独自のプロトコルを組み込むことで、既設現地デバイスとの接続にも対応できる。東光高岳では日本電機工業会制定の産業用プロトコル（PMCN：Protocol for Mission Critical industrial Network use）を OneATS™ に組み込み、接続できることが検証できた。

### 4.2 OPC UA によるシステム連携

OPC UA は、各種業界・ベンダの機器を接続し、相互運用を可能にする通信規格として IEC62541 で策定された。

FEP Server・Historical Server・Data Server は、OPC UA のサーバとして動作可能であり、OPC UA に準拠したアプリケーションやシステムとの接続・連携が可能である。

### 4.3 冗長化構成

中核サーバである FEP Server, Historical Server, Data Server はおのおのホットスタンバイによる 2 重化構成が可能であり、可用性の高いシステムを構築できる。

### 4.4 サーバ増設による負荷分散

中核サーバである FEP Server, Historical Server, Data Server は、負荷を分散するため複数台のサーバに分散して機能・データを配置することが可能である。

### 4.5 機能追加が容易な統合プラットフォーム

OneATS™ の論理的な接続イメージを図 3 に示す。

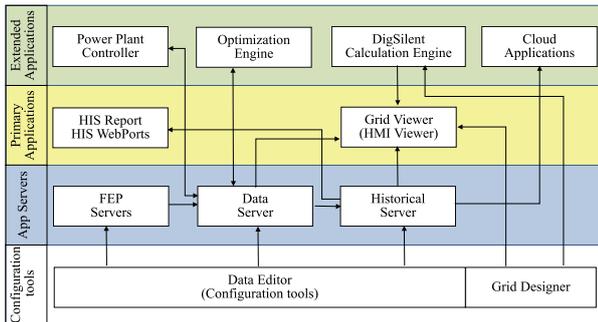


図 3 統合プラットフォーム

- ・ External Applications : ユーザーニーズに合わせた独自機能
- ・ Primary Applications : SCADA システムの基本機能
- ・ App Servers : 設備情報、機器状態・計測情報、過去の状態・計測を管理するシステムの統合プラットフォーム

App Servers へは、さまざまなアプリケーションから接続が可能であり、お客さまニーズに合わせた独自アプリケーションの追加が容易な構成となっている。

### 4.6 多彩な追加モジュール

OneATS™ では IT/OT ソリューション向けに多彩な追加モジュールを用意し、モジュールのカスタマイズを含め、ユーザーニーズに合わせた機能提供が可能である。

表 1 主な追加モジュール

解析機能	SmartDGA : 変圧器ガス分析 SmartFD : 故障診断 SmartAFL : 故障点標定
制御機能	SmartPPC : 再生可能エネルギープラント制御
監視機能	SmartPQFR : 電力品質監視、故障記録 SmartWPV : 屋上太陽光 WEB 表示
予測機能	SmartLF : 負荷予測 SmartRGF : 再エネ発電予測
表示機能	SmartGIS : 地理情報表示 SmartPortal : リアルタイム WEB ポータル

## 5 適用ソリューション紹介

ATS 社は OneATS™ のソリューションとして、ベトナム国内で変電所自動化システム (@Station) や、20 万点のタグを超える規模の監視制御システム (@SCADA +, @OCC) を多数納入しており、現在は分散型電源管理システム (@DERM) の展開を進めている。

東光高岳は日本国内で、IEC61850 のマルチベンダ接続性の検証や、再生可能エネルギーの発電予測・マイクログリッドにおける需要予測に、OneATS™ のソリューションを適用している。

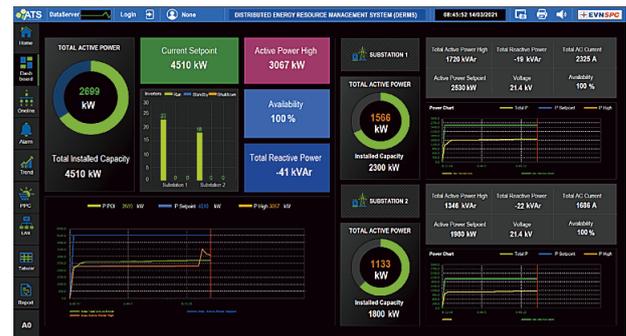


図 4 @DERM 画面サンプル

## 6 おわりに

ATS 社は、SDGs の目標に掲げられている再生可能エネルギーの拡大に対応したソリューションの提供など、持続可能な未来のために、ソリューションを創造し続ける。

東光高岳は ATS 社と連携し、OneATS™ を活用したソリューションを国内外に広く提案していく。

### ■ 語句説明

- 注 1) IT : Information Technology の略称。情報を取り扱うシステムや技術。
- 注 2) OT : Operational Technology の略称。制御機器を制御し運用するシステムや技術。
- 注 3) SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition の略称。監視制御システム。
- 注 4) IED : Intelligent Electronic Device の略称。

### Le, Huu Thanh Binh

ATS R&D department

### 藤澤 光剛

ATS アライアンス推進プロジェクト 所属

### 中西 健介

ATS アライアンス推進プロジェクト 所属

### 堀内 有紗

ATS アライアンス推進プロジェクト 所属

# アダプティブ全系 UFR システムの 中央演算装置の基礎検討

■ 菅原 雅寛  
Masahiro Sugawara

■ 沼尻 稜平  
Ryohei Numajiri

東京電力パワーグリッド株式会社で運用されている全系 UFR 装置は、系統周波数低下時に負荷を制限する装置として適用されている。再生可能エネルギー電源の増加により気象条件に応じて有効電力の方向が頻繁に入れ替わる送電線が増え、全系 UFR 装置の制御対象を適切に設定することが難しくなっている。

本稿では、時々刻々と変化する有効電力潮流状態や系統状況に応じて、全系 UFR 装置の制御対象の設定を組み替えるアダプティブ全系 UFR システムの中央演算装置に関する基礎検討を実施した結果を報告する。

## 1 はじめに

周波数低下リレー (Under Frequency Relay : UFR) は、大量の電源脱落に伴う周波数低下時に、周波数低下→発電機運転限界超過による脱落→周波数のさらなる低下の連鎖による系統全体のブラックアウトを回避するために、負荷を緊急制限する装置である。

UFR にはその役割から有効電力を消費している箇所を制御することが必要とされる。

一方、脱炭素化の社会的要請の高まりを背景とし、今後、再生可能エネルギー電源 (以下、再エネ) をよりいっそう導入拡大し主力電源化の実現のためには、緊急時周波数制御の高度化が求められる。わが国においては、将来の電力系統における UFR の高度化に向けた新しいアプローチの一つとして、情報通信技術を有効活用し、系統状態に応じて適宜整定変更を行う考えが提案されている<sup>(1)</sup>。

今後、本格適用が予定されているアダプティブ全系 UFR 装置に対して系統状態に応じた適切な制御を行うための中央演算装置に関する基礎検証を実施したので、報告する。

## 2 アダプティブ全系 UFR システム

### 2.1 システムの基本構成

#### (1) システム概要

図 1 にアダプティブ全系 UFR システムの概要を示す。本システムは、中央演算装置とアダプティブ全系 UFR 装置より構成される。

中央演算装置は、個々のアダプティブ全系 UFR 装置の制御対象送電線の有効電力潮流状態や機器状態をチェックし、消費電力よりも再エネによる発電電力が上回った送電線は逆潮流 (発電方向潮流) となるため制御対象からの除外や、需給状況に応じた制御量の確保演算を実施する。演算結果は、制御指令情報として各変電所に設置されたアダプティブ全系 UFR 装置に配信される。

アダプティブ全系 UFR 装置は、中央演算装置から配

信された制御指令情報にもとづき、系統周波数が低下した場合には負荷制限のため制御出力を実施する。

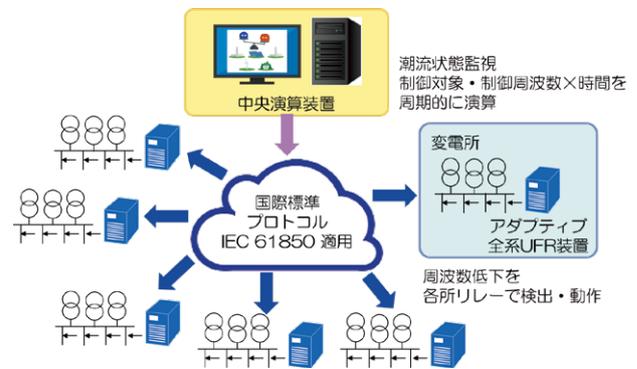


図 1 アダプティブ全系 UFR システムの概要

#### (2) システム構成

図 2 にアダプティブ全系 UFR システム構成図を示す。各地方給電所で収集された送電線の計測情報および機器情報は監視サーバに時系列データとして保管している。

なお、中央演算装置とアダプティブ全系 UFR 装置間通信には、国際標準プロトコル IEC 61850 の MMS<sup>注1)</sup> 通信を適用した。

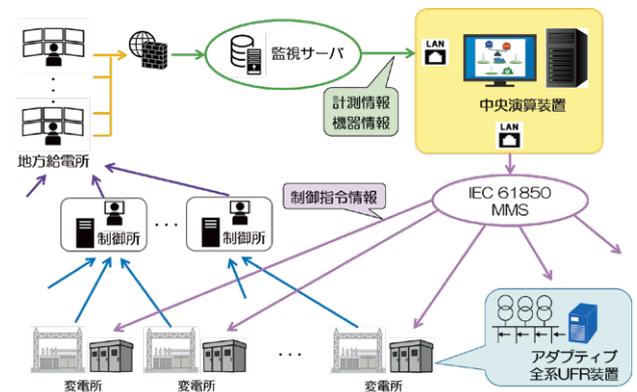


図 2 アダプティブ全系 UFR システム構成図

### 2.2 中央演算装置

#### (1) 基本性能

今回検証に用いた中央演算装置には、汎用 PC を適用した。開発プラットフォームには、海外における

SCADA に使用された実績があり、モジュール選択や組み合わせにより多様なプロトコル接続性を有して汎用性が高い OneATS<sup>注2)</sup>を採用した。

## (2) 実装機能

監視サーバから送電線の計測情報や機器情報のデータを取得し、制御指令情報に必要な制御量を演算するため、潮流方向や運用状態を適切に判別する必要がある。主な実装機能を以下に示す。

### ① 監視サーバからのデータ取得機能

計測情報や機器情報を定周期または状態時に取得する機能

### ② 順潮流／逆潮流の判別機能

制御対象送電線は、逆潮流時は制御対象から除外、順潮流時は制御対象へ設定する機能

### ③ HMI (Human Machine Interface) 機能

計測情報や機器情報の表示、制御対象回線の状況を確認する機能

## 3 システム検証

### (1) 検証内容

監視サーバから約 1,000 回線の計測情報および機器情報を取得し、一定時間ごとに制御指令情報を演算、アダプティブ全系 UFR 装置へ制御指令情報が伝送できることをシステムとして検証した。送電線の計測情報や機器情報は約 5 分間隔で取得し、制御情報演算および制御指令情報の伝送は 30 分間隔で実施した。図 3 に検証試験状況を示す。



図 3 検証試験状況

### (2) 検証結果

システム検証の結果、監視サーバからの情報取得、制御情報演算および制御指令情報のアダプティブ全系 UFR 装置への伝送まで、いずれの基本的な動作も問題なく実現できることを確認した。

図 4 に制御対象待機数の推移状況例を示す。制御対象待機数は、アダプティブ全系 UFR 装置の制御対象として確保可能な順潮流の送電線回線数を表す。日照時間帯における逆潮流送電線の増加に伴い、順潮流の制御対象送電線数が減少していることから、本システムの必要性が再認識された。さらに本検証において、制御対象送

電線の選択が適正に実施できていることが確認できた。

システム検証では、再エネによる逆潮流発生時における制御指令状況や需要変動が大きい時間帯の演算間隔の妥当性などの評価も実施している。

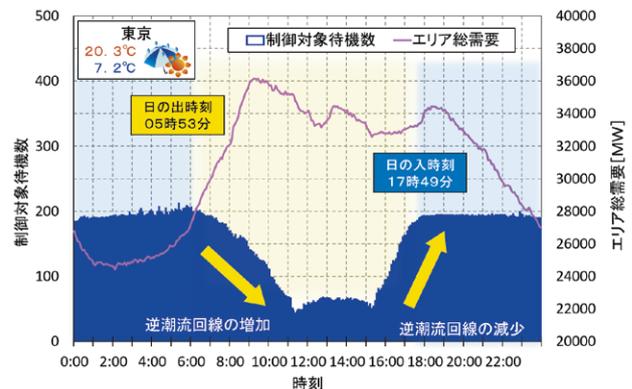


図 4 需要変化と制御対象待機数

## 4 今後の課題

複数のアダプティブ全系 UFR 装置が同一ネットワーク上に接続される構成が想定されることから、データ取得から演算処理までの内部演算遅延や伝送遅れの影響に対する検証および評価が必要となる。

さらには、気象条件や需要変動を考慮したシミュレーションによる課題抽出や演算処理間隔および潮流判定ロジックの仕様検討が必要であると考えている。

## 5 まとめ

本稿では、アダプティブ全系 UFR システムに適用する中央演算装置の基礎検証として、実装機能ならびに検証結果について報告した。今後は実適用を見据えて検証結果をもとに中央演算装置の仕様検討および開発を進める予定である。

### ■参考文献

- (1) 電力システムを取り巻く環境変化がもたらす系統安定化システムの課題と対応専門委員会：「電力システムを取り巻く環境変化がもたらす系統安定化システムの課題と対応」, 電気協同研究会, 第 77 巻第 1 号 (2022)

### ■語句説明

- 注 1) MMS: Manufacturing Message Specification (製造メッセージ仕様) の略称
- 注 2) OneATS: 東光高岳出資会社である ATS 社 (Applied Technical Systems Joint Stock Company) が開発した SCADA 向け統合アプリケーション

菅原 雅寛 沼尻 稜平

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

# 部分放電発生時の故障リスク推定方法

## 技術紹介

■ 野田 武司  
Takeshi Noda

電力機器において固体絶縁部で部分放電が発生している場合に、部分放電による振動・高周波電流の信号波形を分析することによって、その機器が故障にいたるリスクを推定する方法の研究を行っている。

このうち固体伝搬の信号であるという特徴から振動のデータからは部分放電の発生位置が推定可能である。また、電気的な高周波信号（面電流センサなどで取得したもの）を分析することによって、部分放電の発生原因の区分（剥離やボイドといった区分）や機器の故障リスクが推定可能となる技術を開発している。

## 1 はじめに

電力機器の故障は停電のリスクに直結し、またその故障が原因となってより深刻な波及事故を誘発する可能性がある。そのため電力機器では運転時や点検時にさまざまなセンサを用いてデータを取得し、故障をなるべく初期の段階で検知しようと努めている。

そういった電力機器の故障の中でも電気絶縁に起因する故障の際は、その初期状態で部分放電の発生を伴うものが多い。部分放電と故障の関連性については、一般的に放電電荷量が大きいほど故障にいたるリスクは高いが、放電電荷量が小さくても早期に絶縁破壊するものもあり、放電電荷量だけではリスクを推測できないことが多い。

東光高岳ではより精度の高いリスク評価を行うために、部分放電に関する異なった測定を組み合わせ、故障リスクの評価を行う方法を開発で本稿で紹介する。

## 2 部分放電測定項目とデータ分析

部分放電の発生時には、電流波形や放電電荷量などの電気的な諸量のほかにも、部分放電に起因する振動の測定や電流などの測定も行われている。それぞれの測定項目を整理すると以下ようになる。

### 2.1 AE<sup>※1</sup> センサによる振動測定と分析 (STEP1・2)

AEセンサによる振動測定では部分放電の発生個所を振動源として伝わる音波振動を計測する。図1にAEセンサによるモールドトランスの測定例を示す。

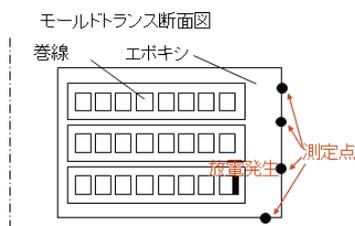


図1 モールドトランスでの測定

AEセンサによる振動波形データの大きな特徴は、その伝搬が伝搬媒質や伝搬経路の影響が大きいということ、および媒質中の音速は電気信号や電磁波に比べれば遅いということの2点である。これらの特徴によって複数個所のAEセンサ出力波形からは部分放電発生位置の推定が可能となる。そのためのステップは以下のようである。

・STEP1：媒質中の等価音速の推定

図2にAEセンサによる振動波形を周波数分析した結果を示す。

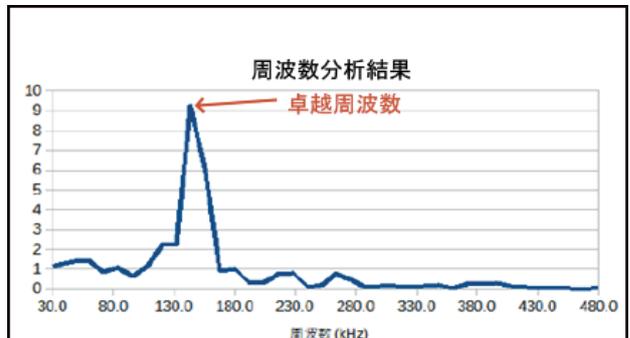


図2 AEセンサ波形の周波数分析結果

図2におけるピークとなる周波数（卓越周波数）は、媒質の等価弾性率と密度および取付（固定）条件で決定される。したがって取付け方法がわかればこのピーク周波数から等価弾性率（ $E$ ）と密度（ $\rho$ ）の比が算出され、その値から媒質中の音速（ $=\sqrt{E/\rho}$ ）が求められる。

・STEP2：部分放電発生位置の推定

次に図1でAEセンサを設置した各測定点で同一信号の立ち上がり時間の差を算出する。この立ち上がり時間の差をSTEP1で求めた音速とかけ合わせれば、部分放電発生位置と各測定点までの距離の差となる。

部分放電発生位置を求めるには、部分放電発生位置から各測定点までの距離の差をベクトル計算する。その際

未知数は座標値 X, Y, Z に加えてどこかの測定点までの絶対距離で 4 つとなり、最低 4 点での計測結果があれば部分放電の発生位置を推定可能ということになる。

このように AE センサの測定値を用いて部分放電発生位置の推定が可能となる。

## 2.2 電流 / 電磁波 / 放電電荷量計測とその分析 (STEP3・4)

電流や電磁波といった電気的な信号は振動の伝搬と異なり伝搬媒質の影響を受けにくい。また信号の伝搬速度が速いので、距離の短い各測定位置と発生個所の時間差は計測できない。したがってそれらから位置情報の検出は不可能である。しかし別の見方をすれば、経路による元信号の増幅や減衰が少なく部分放電の原因となった情報が抽出しやすいという特長がある。

### ・STEP3：部分放電の原因種別の推定

エポキシなどの固体絶縁物で部分放電発生がした場合、その原因となる 2 大要因は剥離とポイドである。これを識別するため、まずはウェーブレット変換<sup>注2)</sup>により周波数分布の時間変化に着目した信号処理を行う。

剥離が発生した場合には、剥離の先端が鋭利な亀裂状になり亀裂先端の応力拡大係数<sup>注3)</sup>はポイドの場合に比較して大きくなる。したがって部分放電が発生した場合には、放電時に発生する衝撃による加振力でその場所での応力が大きくなり亀裂形状が短時間に変化することで短時間にスペクトル変化を引き起こすことが多い。

それに対して、ポイドに関しては構造的には形状が比較的安定で、剥離の場合のほどの短時間でのスペクトルは変化が発生しにくいと予想される。

このような現象と、先述の位置推定技術の結果を組み合わせることで部分放電の原因種別が推定可能となった。

### ・STEP4：部分放電による故障リスクの推定

これまでの部分放電に関する測定の実験結果をもとに、発生した部分放電による故障リスクの予測を行う。

まず放電電荷量の測定値  $Q$  と今までのステップをもとに部分放電モデルを推定し、そこから算出される部分放電発生部位の電位差  $V$  から、 $C = Q / V$  によって部分放電発生部の静電容量を求める。

またここで求めた  $C$  に対し、ポイド / 剥離の原因種別特定結果をもとに、ポイドの場合は球形状、剥離の場合ならギャップ形状を仮定した理想形状パラメータを算出し、放電電荷量から想定される放電周波数  $f_0$  を算出する。

次に放電時の電流波形を周波数分析し、放電周波数  $f_1$  を算出して、これを先ほどの周波数  $f_0$  と比較する。

放電電荷量から求められた理想周波数  $f_0$  はポイドであれば球形状を、剥離であれば一様ギャップを仮定している。しかし、実際のポイドは球形状ではなく尖った部分や狭窄した部分を有し、剥離においても先端部が細く鋭利になっているため実測の放電周波数  $f_1$  と理想周波数  $f_0$  は異なったものとなる。その際  $f_0$  に対し  $f_1$  がかなり高い値となればより鋭利で、言い換えれば電界の高くなる部分を有していると考えられ、そういった部分では放電電荷量自体は同じでも放電周波数が低い場合に比べて絶縁破壊から故障にいたるリスクはかなり高くなる。逆に  $f_1$  が  $f_0$  と同程度に取まっていれば放電電荷量の増大は球半径や一様ギャップ幅が増えたことで発生したものと考えればよく、比較的风险管理が行いやすいものとなる。

## 3 故障リスクの推定

以上から放電電荷量と放電周波数（放電間隔）のマトリックスで部分放電による故障の危険度を推定できる。その関係を図 3 に示す。

		放電電荷量 / 周波数と危険度	
		放電電荷量 小	大
周波数 低 ↓ 高	高	故障リスクが低い	ある程度故障リスクがある
	低	ある程度故障リスクがある	故障リスクが高い

図 3 部分放電の危険度マトリックス

実際の閾値をどうとるかはデータの蓄積を重ねる必要があるが、この技術によって従来は個別に検討されていた各センサによる測定データを組み合わせることにより、従来よりも高精度な故障リスク推定が可能となった。

### ■参考文献

- (1) 日本機械学会編 「機械工学便覧」 日本機械学会
- (2) 電気学会編 「放電ハンドブック」 電気学会

### ■語句説明

- 注 1) AE : Acoustic Emission の略  
 注 2) ウェーブレット変換：フーリエ変換と類似したデータ波形分析方法の一種  
 注 3) 応力拡大係数：亀裂の先端で特異的に強くなる応力分布の強さを表す係数

### 野田 武司

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

# センシングによる 受変電設備の状態診断技術

■ 出井 和弘    ■ 折戸 由貴    ■ 栗原 二三夫  
Kazuhiro Idei    Yuki Orito    Fumio Kurihara

受変電設備メンテナンスのスマート化実現には、センシング技術を活用した状態診断や解析技術とシステム化が不可欠である。受変電設備の状態監視に活用可能なセンサを適用し、常時監視により蓄積したデータの解析技術を開発し活用することで、受変電設備の予期せぬ異常検知や劣化メカニズムに基づく診断システムが実現され、メンテナンスの省力化や効率化に大きく寄与することができる。東光高岳では、センサ技術を活用した受変電設備メンテナンスのスマート化へ向けた技術開発を進めており、その概要について紹介する。

## 1 はじめに

近年、急速に進む技術革新やデジタル化、少子高齢化や人口減少など経済社会構造の変化を的確に捉えながら、IoTやAIなど安全性と効率性を高める新技術の導入や産業保安における保安力の強化と生産性の向上を目指した「スマート保安」への取り組みが、経済産業省主導のもと官民連携によって進められている。

受変電設備メンテナンスのスマート化実現のためには、センシング技術による状態監視や状態変化のメカニズムに基づく診断や解析技術およびそのシステム化が不可欠である。最近では、状態監視に活用可能で精度よく測定できる水素センサや水分センサなどの小型センサが登場しており、このようなセンサを適用し常時監視により蓄積したデータの解析技術を開発し活用することで、受変電設備の予期せぬ異常検知や機器劣化の診断システムが実現され、メンテナンスの省力化や効率化に大きく寄与することができる。

東光高岳では、センサ技術を活用した受変電設備メンテナンスのスマート化へ向けた技術開発を進めており、本稿では状態監視に活用可能で各特性をセンシングし、その挙動を解析することによって受変電設備の状態診断を行う手法やシステムについて紹介する。

## 2 変圧器メンテナンスのスマート化へ向けた状態診断技術

### 2.1 変圧器の異常診断技術

#### (1) 異常診断の概要

変圧器内部で過熱および放電に伴う異常が発生した際は、絶縁油が熱エネルギーによって分解され、エネルギー量やエネルギー密度に応じて水素ガスをはじめ各種分解ガスが生成される。異常発生時の油中水素ガスの生成挙動（生成量、生成傾向、生成速度など）を連続で感度よく監視できれば、変圧器内部異常の早期発見や様相変化が把握可能である。内部過熱異常を模擬し、水素生

成挙動を油中ガス<sup>注1)</sup>センサでモニタした事例を紹介する<sup>(1)</sup>。

#### (2) 内部異常による水素生成挙動

過熱異常および放電異常時には、発生エネルギー量に対するセンサで測定した水素生成量と生成速度は、いずれも発生エネルギー量の増加に対して一定の増加傾向を示す。これらの知見は、異常の規模をセンサによる水素生成傾向監視によって推定できる可能性があることを示している。

#### (3) 異常様相判別

センサで測定した水素生成量に対する水素生成速度の相関関係から、過熱による異常か放電による異常かの判別の可能性について検討した結果を図1に示す。

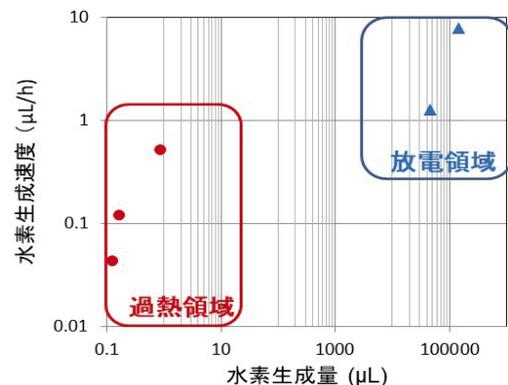


図1 油中ガス（水素）センサで測定した水素生成量と水素生成速度の相関

過熱時は水素生成量や生成速度が小さい領域に、放電時は大きい領域に分布した。過熱および放電に伴う異常現象は、それぞれの温度レベルやエネルギー密度が異なるため、過熱および放電領域の差として大きく表れていると考えられる。センサによる油中水素量測定に加え連続測定で得られる生成速度をモニタし診断指標とすることで、過熱に伴う異常と放電に伴う異常との様相判別が可能と思われる。

## 2.2 変圧器の劣化診断技術

### (1) 劣化診断の概要

変圧器に平常運転による負荷がかかった際には、巻線の温度が上昇し巻線絶縁紙がその温度によって劣化する。その場合は絶縁紙の平均重合度<sup>注2)</sup>が低下する。巻線絶縁紙の劣化によって平均重合度が低下すると、絶縁油と絶縁紙との間の水分平衡関係<sup>注3)</sup>が絶縁油側へシフトすることが知られている<sup>(2)</sup>。よって絶縁油の油温と油中水分量を連続で感度よく測定できれば、絶縁紙劣化を把握できる可能性があり、変圧器劣化診断技術の確立に繋がると考える。

### (2) 診断のためのメカニズム

新品から寿命レベルまでの劣化度に調整した絶縁紙を検証装置内へ配置し、変圧器の負荷や外気温から想定した変動パターンで油温を変化させ、油温変化によって絶縁紙と絶縁油との間で吸脱着する水分を油中水分量としてセンサで連続測定した結果、油温変化に対し、油中水分量はヒステリシスループ状の変化傾向を示すことを確認している<sup>(2)(3)</sup>。これは油温上昇時には絶縁紙に吸着している水分が離脱され油中へ拡散し（油中水分量が増加し）、温度低下時には絶縁紙へ再吸着される（油中水分量が低下する）水分の移行現象を感度よく捉えている。劣化した絶縁紙の油温に対する油中水分量の変化傾向も新品と同様である。しかし絶縁紙の劣化が進むとこの変化傾向は高水分側に移動することを確認している。これは絶縁紙の劣化により絶縁紙と絶縁油との間の水分平衡関係が絶縁油側へシフトする（絶縁紙の保水力が低下する）という知見<sup>(4)</sup>に合致しており、同現象をセンサによる連続測定によって感度よく捉えられていると考えられる。すなわち絶縁紙の劣化は、油温と油中水分量のセンシングによって診断可能と考えられる。

### (3) 実変圧器を用いた検討結果

油温と油中水分量が測定できるセンサを既設の劣化度の異なる一般産業向けの稼働中の変圧器に取り付けた設置例を図2に示す。絶縁油を循環させ連続的にデータを取得した一例を図3に示す。

油温に対する油中水分量は、変圧器ごとに一定の範囲で推移する挙動が見られ、変圧器の油温に対する油中水分量の関係は、変圧器の劣化度に応じて変化し、劣化が進むと高水分量側へシフトするという傾向が確認できている。これらのことから、変圧器の劣化度がこの変化の傾向から推定可能であると考えられる。

## 2.3 メンテナンス事業への展望

このようなセンシングによって得られる情報をAIなどの最新の解析技術を活用し評価することで、変圧器の予期せぬ異常の早期発見に加え、異常様相判別、余寿命の精度良い推定、ひいては適切な機器更新時期の予測や



図2 実器での検証風景

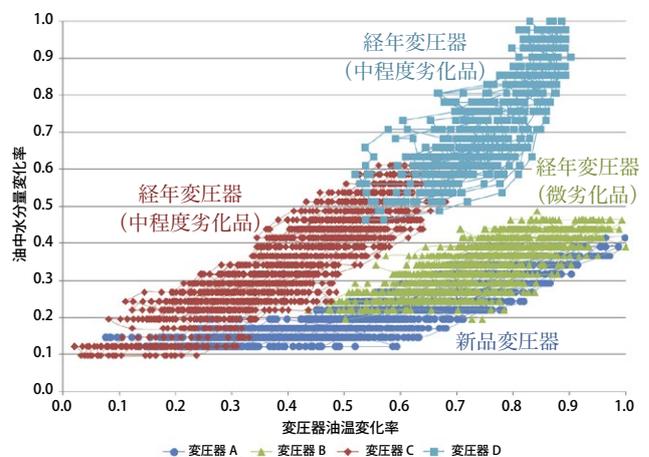


図3 実器での油温と油中水分量のトレンド

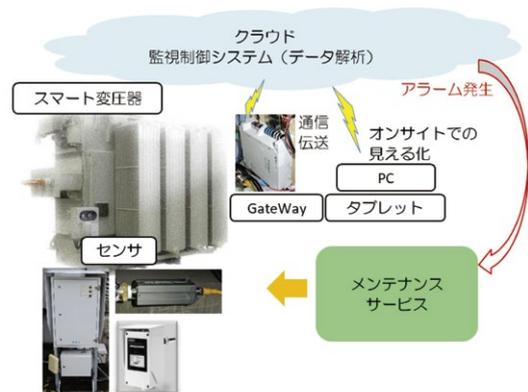


図4 スマート化した変圧器の状態診断システムのイメージ

過負荷時の寿命損失評価への応用など設備の安定的・効率的運用が期待できる。

図4にスマート化した変圧器の状態診断システムのイメージを示す。センシングした機器の情報を、クラウド<sup>注4)</sup>へ伝送・データ蓄積、情報の見える化を行うとともに、AI技術などを活用したデータ解析/診断機能を備えたクラウド上の監視制御システムを構築し活用することによって、次世代の変圧器メンテナンス事業が実現可能であると考えられる。

### 3 配電盤メンテナンスのスマート化へ向けた劣化診断技術の開発

#### 3.1 配電盤内絶縁物の絶縁性能低下リスクとは

受配電盤（以下、配電盤）内には、機器絶縁や導体支持のための絶縁物として不飽和ポリエステルやエポキシなどの樹脂材料が使用されている。これらの絶縁物には高い絶縁特性が必要であるが、塵埃や海塩粒子などの汚れが樹脂表面に積もり、さらに降雨時などの高湿度状態が重なることで絶縁性能が悪化することが知られている。

配電盤は扉下部に換気窓などを設けた半密閉状態であることが多く、内部の絶縁物に付着した汚れが風雨などで除去されにくい環境にある。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傾向にあるため、リスク軽減のためには絶縁物表面の清掃などのメンテナンスが不可欠である。

東光高岳では配電盤メンテナンスに関してセンサ技術を用いた効率的な劣化診断技術の開発を進めており、今回は樹脂絶縁物に対して実施した基礎検証内容のほか、検証中のメンテナンス効率化システムについて紹介する。

#### ●絶縁物表面の汚れと絶縁破壊リスク

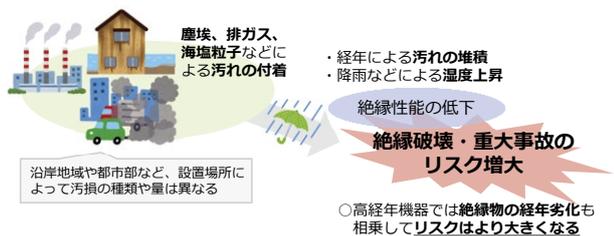


図5 絶縁物表面の汚れと絶縁破壊リスクのイメージ

#### 3.2 配電盤内絶縁物性能劣化のメカニズム

##### (1) 絶縁物表面の汚れが絶縁性能におよぼす影響と湿度の関係

配電盤内で用いられている不飽和ポリエステル繊維強化樹脂（以下、FRP板サンプル）の表面が汚れた状態を再現し、盤内絶縁物が汚損した際の表面抵抗低下メカニズムについて検証した。

図6に、汚れを再現したFRP板サンプル（汚損サンプル）が湿度80%RHの高湿度状態にさらされた場合の表面抵抗の経時変化を示す。表面に汚れのないサンプルでは時間が経過しても表面抵抗はほとんど変化しなかったが、汚損サンプルでは測定開始から約3分間で抵抗値が急激に悪化する結果となった。このことから、近年多発しているゲリラ豪雨などのごく短時間の降雨であっても、汚損した絶縁物が高湿度にさらされることで絶縁破壊のリスクは増大するおそれがあると考えられる。

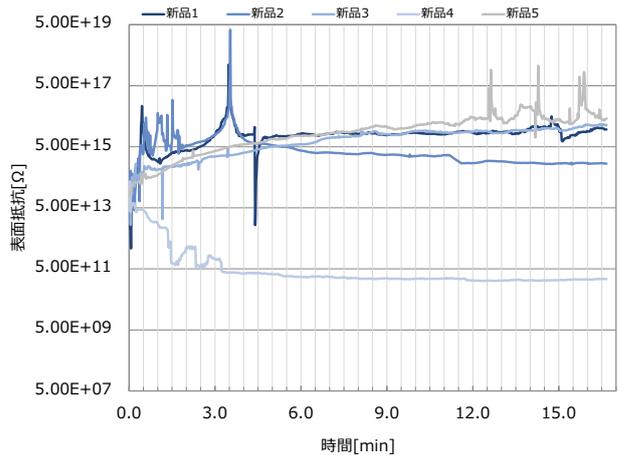


図6 (a) 未汚損 FRP 板サンプルでの経時変化 (湿度 80%)

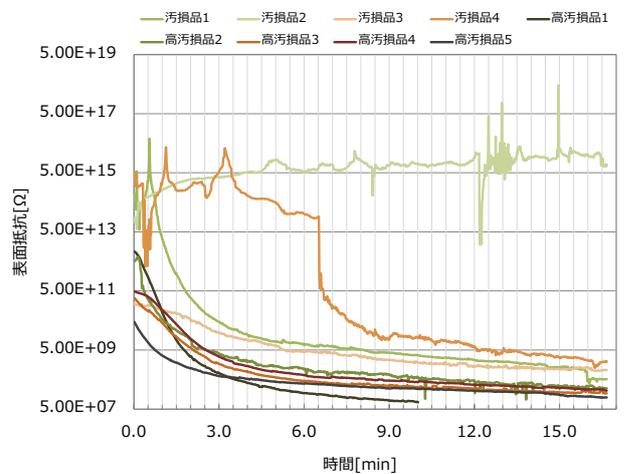


図6 (b) 汚損 FRP 板サンプルでの経時変化 (湿度 80%)

##### (2) 絶縁物表面を清掃した際の絶縁性能の変化

図7に、汚損処理したFRP板サンプルの清掃前後での表面抵抗の変化を示す。サンプルはあらかじめ劣化3年相当および30年相当となるように加速劣化を行い、汚損処理後は汚損をある程度定着させるために3年経過相当まで劣化処理したものである。清掃は、乾燥したろ紙を使ってFRP板表面全体を強く拭くことで模擬している。

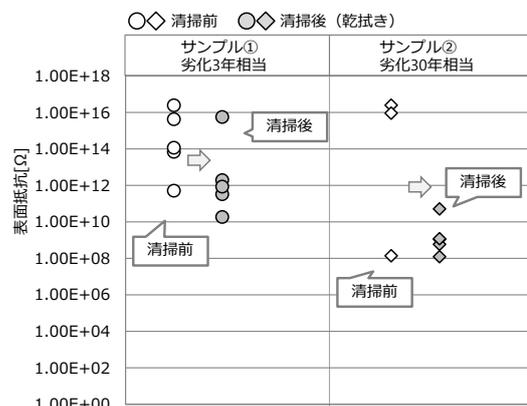


図7 FRP板サンプルにおける清掃前後の表面抵抗

清掃後のサンプルは清掃前よりも表面抵抗が低下したものが多く、値のばらつきが小さくなる結果となった。

そのため、絶縁物表面の汚れがひどい場合、または汚れ付着から時間が経過している場合には、十分な清掃が行われないと抵抗値が回復せず、かえって悪化する場合があることが判明した。

### 3.3 メンテナンス事業への展望

前述した表面抵抗低下のメカニズムおよび既報<sup>(5)</sup>によって汚損が絶縁物表面におよぼす影響が明らかになったが、現状では絶縁物表面の汚損を採取・分析するには機器の停電が必要であり、汚損状態の把握は設備管理者の負担が大きくなる。そこで、**図8**のようなセンサを用いた配電盤状態診断のシステムが有効であると考えられる。

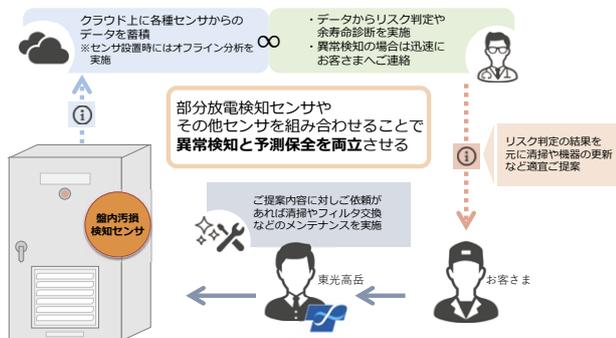


図8 配電盤状態診断サービスシステムのイメージ

上記システムでは、まず対象の配電盤の初期状態を把握するため、現地での絶縁性能評価と、汚損に対する成分分析を実施する。その後は盤内に設置した汚損検知センサ、およびその他センサの組み合わせによって配電盤内の汚損状態と異常の有無についてオンライン監視し、予測保全と異常検知を両立させるものである。

この状態診断システムには、以下のようなメリットがある。

- 一度配電盤の状態を調査した後は無停電かつ無人でオンライン監視が可能になり、メンテナンスの負担軽減や効率化に貢献できる。

- お客さまごとの設置環境・状態に合わせ、現状に即した形のメンテナンス内容へ最適化（予知保全化）できる。

- センサによる常時監視により、経年劣化の監視だけでなく台風など自然災害が生じた際にもいち早く状態を確認でき、災害時の電源安定化に貢献できる。

東光高岳ではこの状態診断システムの実現に向けて汚損検知センサを選定・基礎検証を実施し、センサを用いた盤内環境診断法の確立に向け検討を進めている。

## 4 おわりに

現在、検証装置で得た知見にもとづき、お客さま設備による実器検証を実施するとともに、診断・解析技術、状態診断システムの構築を行っている。

東光高岳では今後も受変電設備メンテナンスのスマート化の実現へ向けたアクションを加速していく。

### ■参考文献

- (1) 栗原二三夫他：「スマート変圧器によるスマートメンテナンスを実現する油中ガスセンサを用いた変圧器状態診断技術に関する検討」, 東光高岳技報, No.5, pp.6-9 (2018)
- (2) 小川賢治他：「油中ガスセンサの油温・水分測定機能を用いた巻線絶縁紙劣化診断実用化に関する検討」, 平成30年電気学会全国大会, pp.238 (5-138) (2018)
- (3) 栗原二三夫他：「変圧器メンテナンスのスマート化へ向けた状態診断技術の開発」, 電気現場, Vol.60, No.714, pp.26-30 (2021)
- (4) 「絶縁油と絶縁物の水分平衡関係専門委員会活動報告」, 石油学会絶縁油分科会技術資料, No.07034 (2007)
- (5) 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, No.6, pp.4-7 (2019)

### ■語句説明

- 注1) 油中ガス：変圧器内部の絶縁油や絶縁物の経年劣化に伴い発生した分解ガス、また変圧器内部の局所的な過熱や放電等に伴い絶縁油や絶縁物が熱分解する際に生じた分解ガスのことをいう。この分解ガスは絶縁油中に溶存する。
- 注2) 平均重合度：絶縁紙の化学構造は、セルロースを単位構造とし、それが数多く結合している。その結合数を重合度とよぶ。重合度には分布があるため、平均値とする。
- 注3) 水分平衡関係：油中において紙中水分が温度の影響により油中へ溶出し、紙中水分量と油中水分量の濃度平衡を保つ現象。これは温度によって変化する。
- 注4) クラウド：センサなどからデータを収集・蓄積し活用する基盤。IoT活用に必要なさまざまな機能を提供するサービス全体を指す場合もある。

### 出井 和弘

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

### 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

### 栗原 二三夫

戦略技術研究所  
技術開発センター 所属

# 電力システムの瞬時値データ 収集システム (SV Subscriber) の紹介

■ 荒井 俊成  
Toshinari Arai

■ 島田 晃太郎  
Kotaro Shimada

再生可能エネルギーの導入拡大や固定価格買取制度（改正 FIT 法）の終了に伴い、生産したエネルギーをその地域で消費する地産地消や災害時の電源供給によるレジリエンス強化を目的に「地域マイクログリッド」の導入が進められている。「地域マイクログリッド」では、再生可能エネルギーの出力変動が大きく、電圧の上昇や周波数の低下など、自営による電力系統の状態監視が必要である。そこで、ミントウェーブでは、電力システムの瞬時値を高精度で取得・蓄積を行い、系統監視や解析を目的とするデータ収集システムを開発しており、本稿では、この仕組みについて紹介する。

## 1 はじめに

近年、太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギーの導入拡大により、分散型電源を活用したエネルギーの地産地消や災害時の電源供給を目的に「地域マイクログリッド」の導入が進められている。

このような分散型電源によるマイクログリッドでは、再生可能エネルギーの出力変動が大きく、電圧の上昇や周波数の低下など、マイクログリッド運営事業者が電力系統の状態を高精度で把握する必要があるが、従来行ってきた秒周期の計測情報を基とする現行の SCADA<sup>注1)</sup>では、系統解析や安定化の予測が困難となっている。

そこでミントウェーブでは、マイクログリッドに SCADA を適用させるため、10 msec 周期以下で電力系統の瞬時値を取得・蓄積を行い、系統監視や解析を目的とするデータ収集システムを開発した。本稿では、この仕組みについて紹介する。

## 2 データ収集システムの概要

### 2.1 データ収集システムの概要

開発したデータ収集システム（以下、SV Subscriber）は、Intelligent Electronic Device（以下、IED）または、Merging Unit<sup>注2)</sup>（以下、MU）製品を用いて電力系統の電圧、電流などの瞬時値を収集、送信を行い、ネットワーク（以下、LAN）を介して SV Subscriber にデータを蓄積する。

IED または MU と SV Subscriber 間は、国際標準規格 IEC61850 に準拠したプロトコルで通信を行う。取得したデータの蓄積に、高速かつ膨大なデータを扱うことができる時系列データベースを採用した。

### 2.2 データ収集システムの構成

IED または MU は、電力系統から取り込んだ瞬時値を IEC61850 の Sampled Values プロトコル<sup>注3)</sup>（以下、SV）を用いて同一 LAN 内にマルチキャストで配信する。

同一 LAN 上に設置された SV Subscriber が、IEC61850 の SV を受信するとともに、時系列データベースに蓄積される。

SV Subscriber の OS は Linux<sup>注4)</sup> とし、時系列データベースに、influxData 社によって開発されたオープンソースのデータベースである influxDB を使用した。また、IEC61850 の SV を受信し、influxDB へ書き込みを行う為に自社開発したソフトウェアを組み合わせた。

SV Subscriber の構成を図 1 に示す。

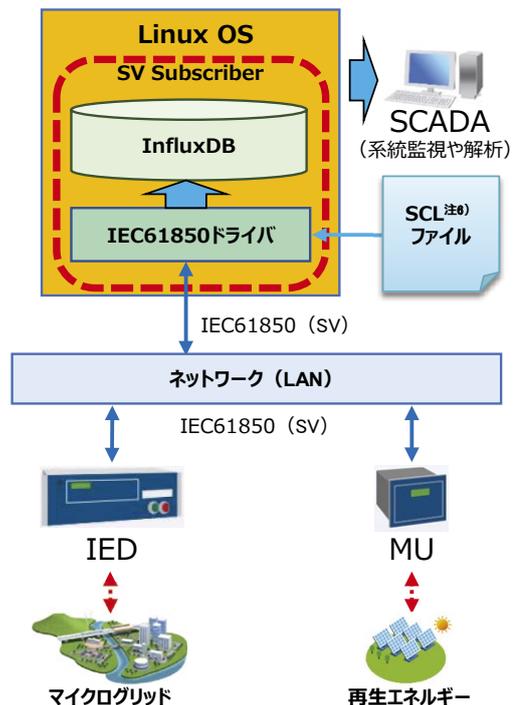


図 1 SV Subscriber 構成

### 2.3 SV の伝送仕様

IED または MU と SV Subscriber 間の伝送仕様は、IEC61850-9-2、計器用変成器のデジタル通信インターフェースで定める IEC61869-9 の規格にもとづき適用する。

SV の情報は、Pub/Sub メッセージングモデル<sup>注5)</sup>により伝送され、非同期的に 1 対 N 通信が行われる。SV のパ

ケット送信間隔は、Publish 側の IED または MU のサンプリングレートで設定され、マルチキャストで配信される。SV のサンプリングレートおよび送信間隔を表 1 に示す。

表 1 サンプリングレートおよび送信間隔

サンプリングレート [Hz]	ユニット数 [ASDU]	周波数 [Hz]	送信間隔 [frames/s]
4,000	1	50	4,000
4,800	1	60	4,000
4,800	2	60	2,400
5,760	1	60	5,760
12,800	8	50	1,600
14,400	6	50/60	2,400
15,360	8	60	1,920
96,000	1	50/60	96,000

また、SV の伝送フォーマットは、1 つのパケットが 1~8 個のユニット (ASDU) に分かれ、パラメータ情報と瞬時値で構成される。

SV の伝送フォーマットを表 2 に示す。

表 2 伝送フォーマット

属性名	属性タイプ	伝送内容
svID	VisString129	SV ID 名
SmpCnt	INT16U	SV カウント数
RefrTm	TimeStamp	更新時間
SmpSynch	INT8U	時刻同期信号
SmpRate	INT16U	サンプリングレート
Sample Value	INT32 or FLOAT32	VT 一次側電圧瞬時値
Sample Value	INT32 or FLOAT32	CT 一次側電流瞬時値

## 2.4 SV Subscriber の動作概要

SV Subscriber は、IEC61850 ドライバを起動させることにより、IED または MU の SCL<sup>注6)</sup> ファイルを読み込み、SV の取得を自動で開始する。受信した SV は、属性および要素ごとに分解され、InfluxDB に書き込まれる。各 IED または MU の SV は、IP アドレスと svID (SV ID 名) によって識別され蓄積される。

## 3 瞬時値データの取得・蓄積

本システムの性能評価として、1 台の IED に試験電圧および電流を印加し、サンプリングレート 4,000 Hz (0.25 ms 周期) の瞬時値データを SV Subscriber に蓄積した。

蓄積された瞬時値データから CSV ファイルを生成し、グラフ化した電圧波形を図 2 に示す。

検証の結果、influxDB に蓄積された SmpCnt が 1 秒間に 4,000 件記録されていることを確認した。これに

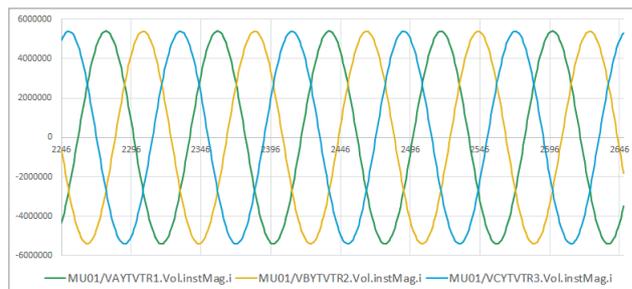


図 2 電圧波形 (VT 一次側電圧瞬時値)

より、時系列に取りこぼしなく保存していることが確認された。また、1 ヶ月間のデータを蓄積し、瞬時値の長期間データの保存が可能であることを確認した。

## 4 マイクログリッドへの適用

今回の開発により、電力システムの瞬時値を高精度で取得および蓄積することが可能であることを確認した。マイクログリッドでは、系統全体の変化を捉える必要があり、今後、複数台の IED または MU を接続した検証を必要とする。あわせて瞬時値の可視化や CSV ファイルの自動生成による系統解析を可能とし、マイクログリッドへの適用を実現していく。

## 5 おわりに

本稿では、IEC61850 に準拠した瞬時値データ収集システムを紹介した。今後、データを貯める仕組みから、見せる、動かす仕組みを開発し、加速する分散型エネルギー社会に向けて、エネルギーの地産地消、レジデンス強化に資するような製品を提供していきたい。

### ■ 語句説明

- 注 1) SCADA: 「Supervisory Control And Data Acquisition」の略称。コンピュータによる監視制御システム。
- 注 2) Merging Unit: 電力システムの電圧、電流波形信号をデジタル信号に変換する装置。
- 注 3) Sampled Values プロトコル: 高速で伝送を実現する為に使用されるプロトコル。
- 注 4) Linux: Linux は、Linus Torvalds 氏の日本およびその他の国における登録商標または商標。
- 注 5) Pub/Sub メッセージングモデル: データを送受信するためのモデル。publish (送信側)/Subscribe (受信側) を示す。
- 注 6) SCL: 「System Configuration description Language」の略称。システム構成記述言語。

荒井 俊成 島田 晃太郎  
(株) ミントウェーブ  
インフラソリューション事業部 所属

# 三次元検査装置 製造工程のソフト技術による効率化

■ 大塚 丈士  
Takeshi Otsuka

半導体は5G, AI, IoT, 自動運転などのデジタル社会を支える重要基盤となっており、近年急激に需要が増加している。それに伴い東光高岳製の半導体用パッケージ基板の検査装置である三次元検査装置に対する需要が見込まれており、生産体制の整備を進めている。三次元検査装置の出荷試験工程において、開発したソフトウェアを活用することで、従来の手作業の自動化、操作ガイダンスの導入などにより作業の効率化を実現することができた。本稿では、この取り組みの概要と効果について紹介する。

## 1 はじめに

近年の半導体需要の増加に伴い、三次元検査装置に対する需要は増加傾向が見込まれており、生産体制の整備を進めている。三次元検査装置制御ソフトウェアを活用することで効率化を実現した取り組みについて紹介する。

## 2 効率化の検討

製造工程のうち熟練者と初心者が行った場合に、工数差の大きい出荷試験を効率化のターゲットとした。出荷試験には50以上の項目があり、製品品質を確保するためにはすべての項目でお客様要求の規格値を満たす必要がある。また、試験時に計測したデータを試験結果として記録しておくことが必要である。この中から以下3試験をターゲットとした。

- ・ 検査位置ごとの傾き補正量計測
- ・ 機械精度試験
- ・ 視野内高さばらつき試験

これらの効率化機能を社内で開発している三次元検査装置制御ソフトウェアに組み込み、出荷試験で活用できるようにした。

### (1) 検査位置ごとの傾き補正量計測

検査対象物をステージに載せてカメラで画像の撮像を行うが、検査位置ごとにハードウェアの個体差により微妙な傾きが発生する。どの検査位置でもこの傾き量が同等であることが求められており傾き補正を行っている。

補正値の計測は従来、別のソフトウェアで計測を行い、三次元検査装置制御ソフトウェアへ転記をしていたが、操作が複雑である課題があった。

今回、補正計測機能を三次元検査装置制御ソフトウェアへ組み込むことで、補正量を自動フィードバックできるようにした。

### (2) 機械精度試験

検査対象物を載せるステージの水平度を試験する。ステージ上に図1のような計測治具を設定し、治具内9点でミラーを矢印の順に移動させて高さを計測する。

ミラーの移動は可動部付近に手を入れて移動させるため怪我をするおそれがあった。

そこで操作ガイダンスを操作画面上に表示する機能を導入し、安全な状態で計測物を移動させる改善を行った。また、試験結果を三次元検査装置ソフトウェアからお客様指定の書式で出力できるようにし、効率化を図った。

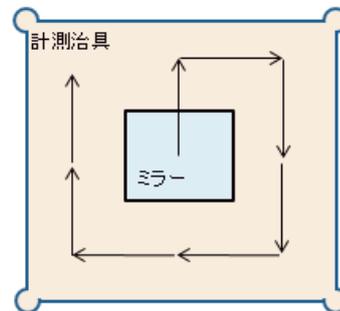


図1 機械精度試験イメージ

### (3) 視野内高さ計測

微小な検査対象物を視野のさまざまな位置で検査したときの出力値ばらつきを試験する。9箇所×30回×3対象物種×4品種×2回（出荷試験，据付後の確認試験）の計6,480回計測が必要となる。

作業によって試験結果に差異があることが、本工程の課題となっていた。

作業効率化と合わせて、自動化による試験の単純化も検討した。設定画面のイメージを図2に示す。作業者は検査対象物を設置し、ボタンをクリックするだけで検査結果が得られるようにした。

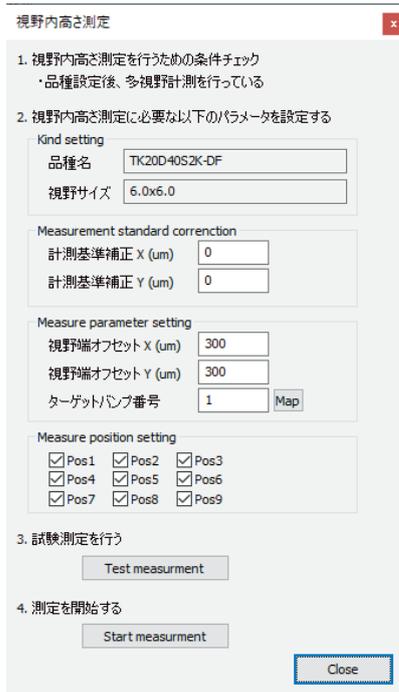


図2 視野内高さばらつき試験の設定画面

### 3 効果

ソフトウェアによる3機能の効率化と合わせて、それぞれの試験が抱えていた課題を解決することができた。また、試験に関する作業員教育の工数も大幅に削減できた。結果として、出荷試験に要する期間が短縮でき、リードタイムの改善が図れた。

#### (1) 出荷試験の工数削減

機能ごとの出荷試験工数削減の結果を図3に示す。視野内高さばらつき試験は、従来、手間がかかる作業であったことから改善効果がおおきいことがわかる。

#### (2) 教育時間の工数削減

機能ごとの教育時間削減の結果を図4に示す。機能ごとに教育時間の工数が削減できていることがわかる。

#### (3) 課題の改善効果

前章(1)~(3)を検討した結果以下のとおり改善効果が得られた。

- ・手順が複雑で操作ミスが多発していたが、減らすことができた
- ・ガイダンス導入により安全な状態で作業を行うことができるようになった
- ・誰が行っても同じ結果が得られるようになり試験精度が向上した

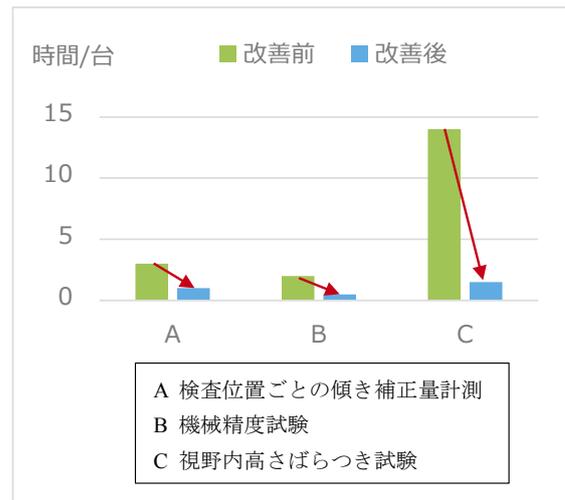


図3 出荷試験の工数削減効果

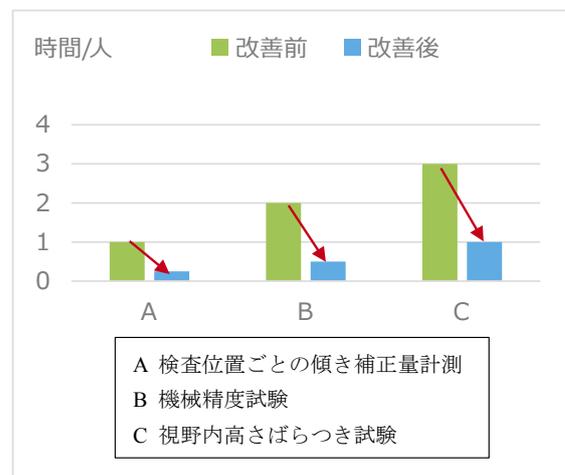


図4 教育時間の工数削減効果

### 4 おわりに

本稿では、ソフトウェアによる作業効率化の一例を紹介した。三次元検査装置に要求される検査精度が年々高まっており、そのため出荷試験の項目が増加し、内容が複雑化している。リードタイムの短縮および品質を確保するためには、継続的な効率化が必要である。執筆時点で次の効率化のためのソフトウェアを設計中である。

#### 大塚 丈士

光応用検査機器事業本部  
検査機器製造部 開発グループ 所属

# 共焦点三次元計測センサ SCS-10210R2-KN

■ 水野 佑樹  
Yuki Mizuno

■ 日名子 達也  
Tatsuya Hinago

## 1 はじめに

東光高岳の製品である三次元検査装置は、物体の表面形状を計測する機能を有し、用途の一例としては、半導体パッケージの bumps と呼ばれる電極の高さを検査している（図1）。bumps は、LSI チップと多層配線基板を高密度に接続する役割を担い、本検査装置では、LSI チップと接続する前の多層配線基板に形成された bumps の高さを検査する。

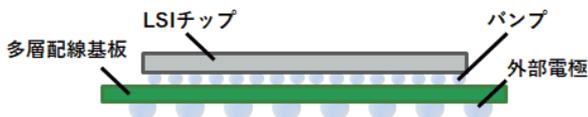


図1 LSIチップと多層配線基板との bumps による接合

三次元検査装置は、その内部に三次元計測センサを搭載しており、光学系や光学素子といった光学部品で構成されている。これまで、東光高岳ではさまざまな三次元計測センサを展開してきたが、その都度、当時の光学部品の性能や市場のニーズを加味して開発を行ってきた。そのような経緯から、取り扱っている三次元計測センサの種類も多く、使用する光学部品も多種多様になっている。製造工程では、加工するレンズの形状に合わせて、研磨する治具を製作する必要があり、光学系の種類に比例して治具の数が増えてしまうことから、管理や保守が複雑化し、多くの労力を必要としてきた。

そこで迅速な保守への対応をするため、既存三次元計測センサの 10000 シリーズを開発のベースとしたうえで、高性能な精度を有する SCS-10210R2-KN を開発した。本稿では、三次元計測センサの計測原理と前報に掲載した 10000 シリーズ SCS-10000R1-KN<sup>(1)</sup> を交えて紹介する。

## 2 計測原理

三次元計測センサの計測原理には、光計測の一つである共焦点方式を採用している。共焦点方式は、光源から出力された光が、レンズを通過して、対象物に焦点を結ぶとき、反射光がピンホールを抜けて、検出器上に焦点を結ぶ特徴を有している。一方、対象物に焦点を結ばないときは、検出器上でも焦点を結ばず、光はピンホールによって遮られる。つまり、対象物に焦点を結ぶ度合いで、検出器が検知する明るさが変化する（図2）。

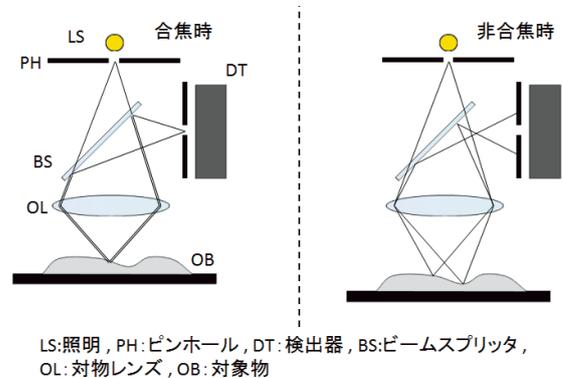


図2 共焦点方式

この特徴を利用することで、検出器が検知する輝度情報をもとに、三次元計測センサから対象物までの相対距離を把握することができる。

東光高岳の三次元計測センサは、複数個のピンホールを二次元に配列したピンホールアレイ（以下、PHA）を採用した共焦点方式である<sup>(2)</sup>。対象物の表面形状を計測するためには、従来法では光軸に直交する方向に走査する必要があったが、PHA を用いることで走査することなく高速に計測することができる（図3）。

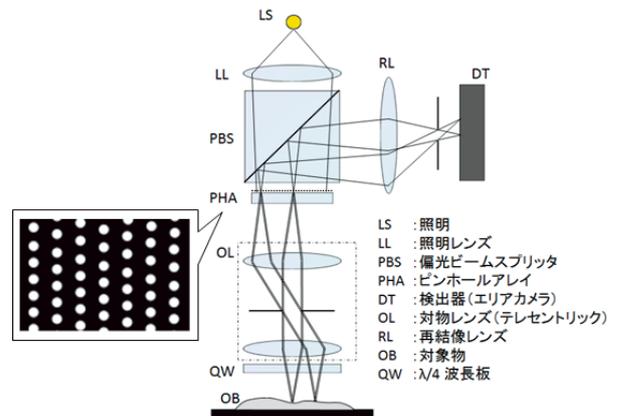


図3 PHAを用いた共焦点光学系

## 3 SCS-10210R2-KN について

SCS-10210R2-KN の外観を図4に示す。また、仕様を表1に示す。仕様の対比として、SCS-10000R1-KN の仕様も併記する。

SCS-10000R1-KN は、半導体パッケージの bumps を広い視野で高速に計測できる三次元計測センサである。一方で、SCS-10000R1 と比べて、SCS-10210R2 は視野が小さい（表1）。ただし、開口数を大きく、そして



図4 共焦点三次元計測センサ SCS-10210R2-KN

表1 10000シリーズのセンサ仕様比較

	SCS-10000R1-KN	SCS-10210R2-KN
Z走査手法	ステージ走査	ステージ走査
視野サイズ (mm)	41 × 33	15 × 15
XY画像分解能 (μm)	11	3.0
Z計測分解能 (μm)	0.3	0.1
Z計測ピッチ (μm)	15	6
Z標準計測範囲 (μm)	600 (可変)	300 (可変)
画像入力時間 (s) 条件: Z標準計測範囲	0.211	0.462
対物レンズの 開口数 <sup>注1)</sup> (相対)	1 (基準)	2
計測対象バンプ の目安	150 μm 径以上	20 μm 径以上

XY画像分解能も高くしており、微細なバンプを高精度に計測することに適した三次元計測センサである。

SCS-10210R2-KNでの半導体パッケージのバンプ高さの繰り返し精度を図5に示す。

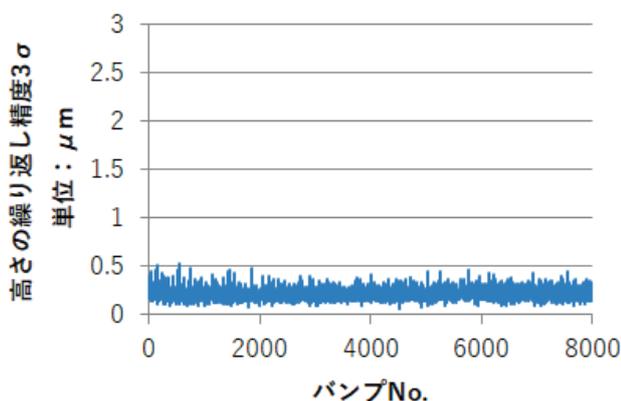


図5 SCS-10210R2-KNの繰り返し精度

計測対象は、直径40 μmのバンプである。横軸がバンプNo., 縦軸はバンプ高さの繰り返し精度のバラツキ(3σ<sup>注2)</sup>)である。図5に示した約8,000個の3σ平均値が0.23 μmであり、バンプ高さ検査として高精度に計測できていることがわかる。

#### 4 10000シリーズについて

10000シリーズでは、光学系の種類を増やさずに、組み合わせを変えることで、別の仕様にも対応できるようにしている。一例を紹介すると、先ほどのSCS-10210R2-KNの対物レンズと、SCS-10000R1-KNのR1再結像レンズを組み合わせた、SCS-10210R1-KNという三次元計測センサにも成り得る。性能は、SCS-10210R2-KNと視野サイズ、Z計測ピッチが同じであるが、XY分解能が4.5 μmと低くなる代わりに、画像入力速度が約二倍になる。

#### 5 おわりに

新製品であるSCS-10210R1-KNの紹介と、共焦点三次元計測の技術ならびに10000シリーズについて述べた。半導体業界において技術の高度化にともなって、バンプの極小化、高密度化は今後も進むと考えられる。東光高岳も、業界の進化に対応できるように、新規カメラの採用による高分解能化、ソフト補正機能の強化による高精度化を視野に入れている。今後も、お客さまに東光高岳の三次元検査装置をご利用いただけるよう開発を進めていく。

#### ■参考文献

- (1) 石原満宏, 水野佑樹: 「広視野共焦点三次元計測センサ SCS-10000R1-KN」, 東光高岳技報, No7, pp47-49 (2020)
- (2) M.Ishihara: “A Confocal Surface Measurement System Having Improved Measurement Accuracy for Rough Surfaces and Measurement Speed”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.15, No3, pp.331-440 (2003)

#### ■語句説明

注1) 開口数: 対物レンズの明るさや光学分解能, 焦点深度を決定する重要な値

注2) σ: 標準偏差。値のばらつきを示し, 品質管理に用いられる。ばらつきが正規分布に則る場合, 平均±3σの範囲に99.7%のデータが存在する。

水野 佑樹 日名子 達也

光応用検査機器事業本部  
検査機器製造部 開発グループ所属

# 電力の遠隔検針用ソリューション Cloud TOSCAM 機能追加

■ 篠崎 貴浩  
Takahiro Shinozaki

■ 矢野 直樹  
Naoki Yano

## 1 はじめに

クラウドを活用した技術の進化により、さまざまなサービスにおいてサブスクリプション化が進んでいる。東光東芝メーターシステムズでは、自動検針システムの「導入コストの低減」および「サービスメニューの拡張性」という市場ニーズに対応するため、2020年10月より、クラウドを活用したサブスクリプション型自動検針サービス『Cloud TOSCAM<sup>注1)</sup>』を立ち上げ、ビル管理会社を始めとするさまざまなお客さまへの提案・マーケティング活動を実施してきた。今後さらなるサービス利用の拡大につなげるため、それらの活動を通じて収集した市場ニーズや運用上の課題に対応した機能追加、およびコスト低減施策を実施したためその内容について紹介する。

## 2 サービス概要

Cloud TOSCAM（以下、本サービス）は、産業用スマートメーター（以下、SmaMe<sup>注2)</sup>）の指針値をデータ収集装置（以下、TOSCAM-M1）に収集し、ゲートウェイに東光高岳のMVNO-SIM<sup>注3)</sup>を装着し、共通プラットフォームであるクラウドにデータを配信する。この配信されたデータをクラウド上で編集し、お客さまのクライアントPCのWebブラウザ上で検針データのダウンロードや負荷曲線の表示や検針帳票の作成等のメニューを備えたクラウド型自動検針サービスである（図1）。

### ○システム概略図

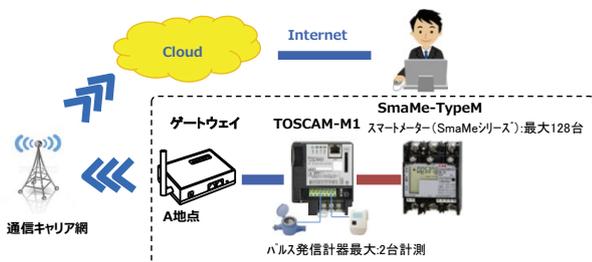


図1 システム概略図

### ○機器接続可能台数

- ゲートウェイの下位に接続できる TOSCAM-M1 は最大1台
- TOSCAM-M1 に接続できる SmaMe は最大128台とパルス発信計器2台

### ○帳票内容

帳票内容	契約
日報一覧：指定した日の使用量 (30分値または60分値)	標準
月報一覧：指定した月の使用量（日別）	
料金一覧（標準）：基本料金と単価で算出	オプション
料金一覧（従量）：従量料金に対応	
料金一覧（季特別）事業者向け：季特別料金に対応	

## 3 課題

本サービスのマーケティング活動を通して、主に下記4点の課題を抽出した。

### ①パルス発信計器の取り込み対応

TOSCAM-M1は、SmaMeの検針に加え、ガス・水道のパルス信号用の入力端子が2点であることから、パルス発信計器が多数設置されている建物では、TOSCAM-M1とゲートウェイが複数台必要となり、導入コストアップの要因となっている（図2）。

### ②データファイルを複数生成

TOSCAM-M1単位にデータファイルを生成していたことから、一需要家で複数台TOSCAM-M1を利用した場合にデータファイルをまとめるための作業が必要である。

### ③他システムとのデータ連携

API (Application Programming Interface) 等のデータ連携機能が非搭載のため、お客さまシステムと連携できない。

### ④通信キャリア網の通信量低減

安価なSIMの契約プランを適用するため、通信量の削減を検討する必要がある。

## 4 改善施策

前項で記載した課題①②③④の改善のため、下記のような施策を実施した。

### ①パルス発信計器の取り込み対応

TOSCAM-M1と端末伝送器（以下、RQ-TTEB）を組み合わせたシステムを構築し、本システムでもこの仕組みで収集したデータを取り込める機能を追加した（図2）。

## ②データファイルを複数生成

第一階層に検針グループを設け、そのグループごとに TOSCAM-M1 を割り付ける構造にしたことにより、複数の TOSCAM-M1 の計測値を一つのデータファイル内にまとめる機能を新たに実装した。

## ③他システムとのデータ連携

API 連携機能を実装したことにより、秘密保持契約締結の上、本サービスの API 仕様を公開することで、他社システムとの連携を可能とした。

## ④通信キャリア網の通信量低減

ゲートウェイとクラウド間の通信手順を変更することで通信量を約 80%削減し、月々発生する SIM 利用料金を約 50%削減した。

表 1 製品ごとの対応内容

課題	製品	ソフト対応内容
①	RQ-TTEB	TOSCAM-M1 との連携のため SmaMe 電文実装および 30 分値保存機能を追加
	TOSCAM-M1	RQ-TTEB と連携のため RQ-TTEB の ID 取得機能を実装
②	Cloud TOSCAM	複数の TOSCAM-M1 をグループ化する検針グループ機能を追加し、帳票作成を TOSCAM-M1 単位から検針グループ単位に変更
③		API により外部からのデータ取込・書込に対応
④		通信手順を端末発信方式からセンターポーリングに変更

## 5 お客さまのメリット

### a イニシャルコストの低減化

RQ-TTEB, TOSCAM-M1 およびクラウド間のシステム連携の実現により、多くのパルス発信計器が設置されているお客さまの建物においても、最低限の機器構成でシステムアップでき、導入コストの低減につながる事ができる (図 2)。

### b お客さまの利便性向上

グループ管理機能を追加したことにより、あらかじめ登録したグループごとにまとめてデータベースを出力することができるようになった。さらにユーザー (テナント等) ごとにアカウントを生成する機能を実装し、電力利用状況の確認や個別帳票の作成ができるようになった。

### c システム拡張

API 機能追加により、ほかのクラウド型システムと連携ができるようになりシステムの拡張性を広げた。

東光高岳の 1-N 検針システム<sup>注4)</sup> と本サービスのデータ連携や DX-EGA<sup>注5)</sup> へのデータ提供など、さまざまなシステムとの融和を図れるようになった。

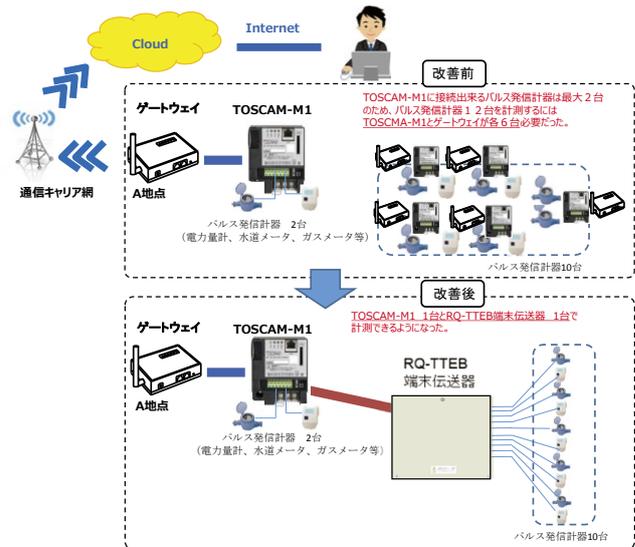


図 2 システム改善前・後

## 6 おわりに

Cloud TOSCAM のリリースより約 2 年間、マーケティング活動や改善施策等により、機能面・コスト面ともに、市場ニーズに応えるためのサービスメニューの充実に尽力してきた。エネルギービジネスの変革が進み、自動検針を取り巻く市場環境は変化している。今後もさらなる市場ニーズの進化に対応するため、市場動向を注視し、さらなるサービスメニューの充実を通して魅力ある検針サービスの実現を目指す所存である。

### ■ 語句説明

- 注 1) TOSCAM は東光東芝メーターシステムズ株式会社の登録商標 (第 1154888 号)
- 注 2) SmaMe は東光東芝メーターシステムズ株式会社の登録商標 (第 5542012 号)
- 注 3) MVNO とは仮想移動体通信事業者のことで東光高岳が契約している閉域網で使用できる SIM を装着している。
- 注 4) 1 台ごとに分散設置している SmaMe のデータを MDMS (Meter Data Management System) で収集するシステムのこと。
- 注 5) DX-EGA はアズビル株式会社の登録商標 (第 6471880 号) で、アズビル株式会社、アズビル金門株式会社、東光高岳、東光東芝メーターシステムズの 4 社で検討しているデータサービス事業のこと。

### 篠崎 貴浩

東光東芝メーターシステムズ株式会社  
営業部営業第三グループ 所属

### 矢野 直樹

東光東芝メーターシステムズ株式会社  
開発部通信システム開発グループ 所属

# 変電所のデジタル化に向けた センサソリューションの導入

■ 篠崎 宏司  
Koji Shinozaki

■ 沼尻 稜平  
Ryohei Numajiri

## 1 はじめに

電力システム改革が進展する中で、送変電分野を中心に高経年化設備の維持とさらなる効率的運用が求められている。

このような環境下でビッグデータやIoT、人工知能(AI)等の新しいデジタル技術は電力業界が直面する課題の解決や、競争力強化に向けた大きなポテンシャルを有している。受変電設備でもセンシング、データ整理と管理、データ分析による計測技術の進展に伴い、データにもとづくオペレーションの効率化と稼働率向上のサイクルが生まれており、データの経済的価値がますます高まっている。

変電所のデジタル化は、現在の受変電設備で使用されている制御ケーブルを省配線化、センシング技術の活用による設備の劣化兆候把握による設備トラブルの未然防止、デジタル情報の集積と分析による設備管理支援に寄与できると考えられている。

今回、東京電力パワーグリッド株式会社(以下、東電PG) 岬町変電所(千葉県いすみ市岬町)へ実設備での検証としてセンサソリューションを納入したので紹介する。

## 2 センサソリューション構成

図1に納入したセンサソリューションの構成図を示す。

センサソリューションは、各種センサ、センシング装置(Sensor Interface Unit 以下、SIU)、エッジ端末、データサーバ(東電PG 既設設備)、保守データ分析システムから構成される。

### 2.1 センサ

表1にセンシング対象設備、センシング項目、および適用センサの一覧を示す。センサには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、センサの入手性が良いことから、故障時の交換が容易となっている。各種センサの外観例を図2に示す。各種センサの特長を以下に挙げる。

#### (1) 電流・電圧センサ(図2-a)

電流センサや電圧センサに非接触タイプを適用することで、設備停止をすることなく施工を行うことができるようにした。

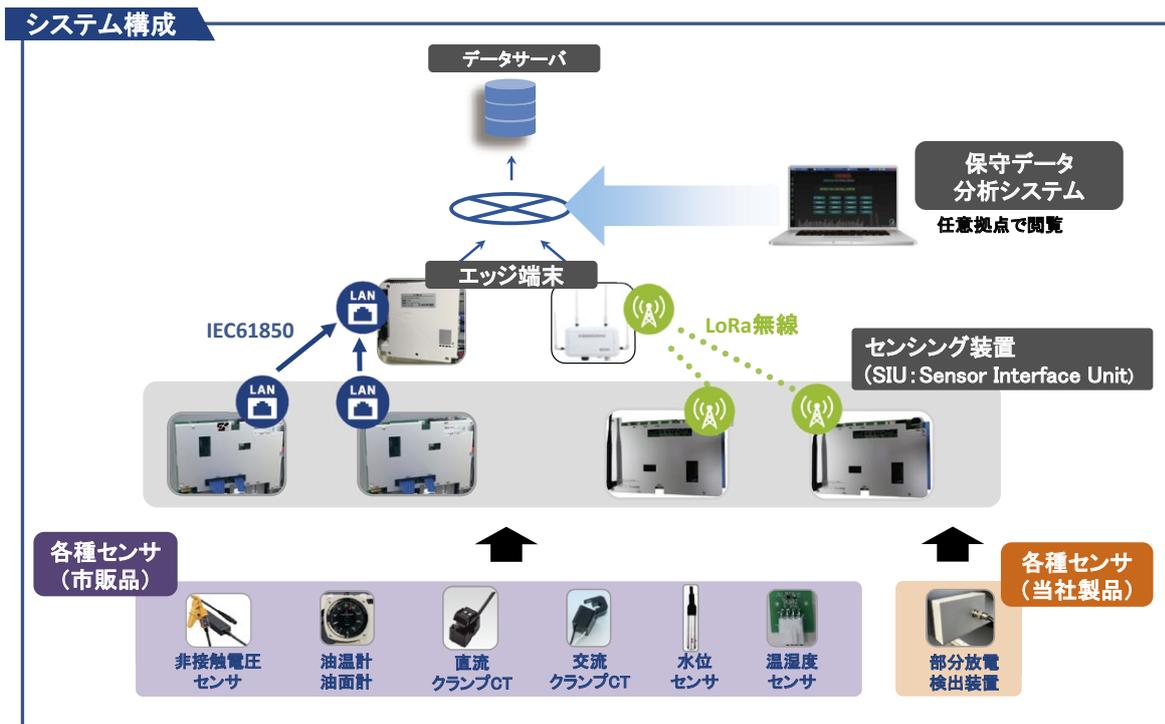


図1 センサソリューション構成図

表 1 センシング項目と適用センサ

対象設備	センシング項目	適用センサ	伝送周期	実装機能
変圧器	油温	油温計（测温抵抗体）	毎時	負荷補正による油面管理 過負荷運転時の運用支援
	油面位置	油面計（内蔵シンクロ）	毎時	高精度な油面位置監視による巡視の簡素化
	余寿命診断	交流クランプ CT 温湿度センサ	—	負荷電流、油温、外気温、タップ値データによる 余寿命診断（IEC 方式、JEC 方式）
	電動操作機構監視	交流クランプ CT	動作時	タップ値、LTC 動作回数、モータ電流の FFT 解析 による監視
	限流抵抗断線監視	交流クランプ CT	動作時	バンク二次電流計測による断線監視
	部分放電	部分放電検出装置	検出時	部分放電検出装置からの計測データの蓄積
	電圧計測	非接触電圧センサ 交流クランプ CT	毎秒	変圧器一次側電圧の推定 系統周波数の算出
遮断器	制御盤内温湿度	温湿度センサ	毎時	外気温湿度との比較による各種部品劣化の推定
	遮断時間	交流クランプ CT CB タイミングモニタ	動作時	温度補正した高精度な遮断時間監視 （CB タイミングモニタ計測データの補正）
	遮断電流	交流クランプ CT	動作時	累積遮断電流による接点交換の残回数推定
	ばね蓄勢電流	直流クランプ CT	動作時	劣化兆候、メンテナンス時期の推定
構内共通	制御盤内温湿度	温湿度センサ	毎時	外気温湿度との比較による各種部品劣化の推定
	外気温湿度	温湿度センサ	毎時	各制御盤内温湿度との比較による各種部品劣化の 推定、運用支援の実施
	構内水位	水位センサ	毎時	変電所水没前の運用支援

## (2) 水位センサ (図 2-b)

水位センサには圧力式を採用することにより、ゴミによる影響が少なくメンテナンスフリーでの運用が可能となっている。また、取り付け方向の制限がないため、適用場所の自由度が高い。

## (3) 温湿度センサ (図 2-c)

東光高岳製スマート SIS<sup>注1)</sup> で実績のある温湿度センサを適用した。RS485 による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) 部分放電検出装置 (図 2-d)

東光高岳の製品である部分放電検出装置をセンサとして活用した。USB 接続により、部分放電検出時、および定周期（毎時）の部分放電情報を取得できる。

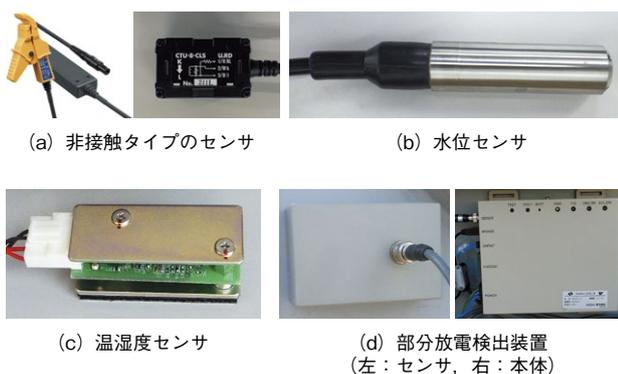


図 2 各種センサ外観

## 2.2 センシング装置 (SIU)

SIU の外観を図 3 に示す。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、エッジ端末への通信処理部を一体構成として小型化を図った。これにより他社を含む既設設備への取り付けが容易となっている。また、伝送するデータ量に応じて有線通信と無線通信に対応する 2 種類の SIU を用意した。

## (1) 有線用 SIU

通信方式に国際標準プロトコル IEC61850 規格を採用することで有線通信の標準化を図った。また、有線 LAN 接続を採用することで大容量、高頻度のセンシングデータの伝送に対応した。これにより、電圧や電流の毎秒データのセンシングが可能となっている。

## (2) 無線用 SIU

通信方式に省電力・長距離通信の特長を持つ LPWA

(Low Power Wide Area) の一種である LoRa 方式の無線通信を採用した。これにより、ケーブルの敷設作業が不要となり、工事期間の短縮やケーブル敷設コストの削減が可能である。

また、金属製の制御盤内に取り付けた場合でも無線通信が可能であることを確認している。



図3 無線用 SIU (左), 有線用 SIU (右)

### 2.3 エッジ端末

エッジ端末は SIU からセンシング情報を受信・集約し、データサーバへ情報を伝送する機能を有している。エッジ端末は、SIU と同様に通信方式に応じて有線用、無線用の二種類のエッジ端末を用意した。

#### (1) 有線用エッジ端末

有線用エッジ端末の外観を図4に示す。有線 LAN 接続により、有線用 SIU からセンシング情報を受信する。IEC61850 規格を採用したことにより、ベンダロックインの回避が可能となり、市販の計測ユニット増設が容易となっている。また、LAN コネクタを2ポート設けることで、データサーバ側とセンシング対象設備側のネットワークを分離することができ、不正アクセスに対するセキュリティ向上にも対応している。

#### (2) 無線用エッジ端末

無線用エッジ端末の外観を図5に示す。LoRa 無線によって無線用 SIU からセンシング情報を受信する。LoRa 無線は長距離伝送方式であるため、無線中継器が基本的に不要である。ただし、エッジ端末と SIU 間の設置距離が長いことにより無線受信レベルが不足する場合、無線用エッジ端末を無線中継器として動作することでさらなる長距離の通信が可能となる。



図4 有線用エッジ端末



図5 無線用エッジ端末

## 3 保守データ分析システム

SIU から取得した情報は、東電 PG のデータサーバに保存し、保守データ分析システムにより設備の異常検知や余寿命診断等について検証している。

保守データ分析システムは、海外で電力システムへの導入実績のある ATS 社製 OneATS<sup>注2)</sup> を適用することで短期間でのシステム構築を行った。保守データ分析システムのシステム構成図を図6に示す。OneATS では、履歴データベースを内蔵しており、データサーバが存在しない場合でも構築可能である。今回の実証検証では、東電 PG にてデータサーバを運用していたことから、既存のシステムとの相互運用性を考慮して既設データサーバを使用して構築した。

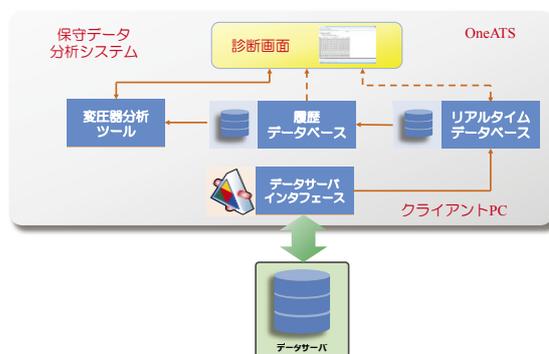


図6 保守データ分析システムのシステム構成図

保守データ分析システムでは、データサーバから取得したセンシング情報を機器ごとに一覧表示することができる。また、任意の時刻におけるデータを表示する機能を備えている。各設備の診断画面例を図7、図8に示す。



図7 変圧器設備診断画面



図8 遮断器設備診断画面

各設備の診断機能として、以下に示す補正値の算出や機器寿命を推定する機能を実装した。

#### (1) 変圧器設備診断機能

- ①油面位置補正機能
- ②油温負荷電流補正機能
- ③余寿命診断機能
- ④ LTC 限流抵抗断線検出機能

#### (2) 遮断器診断機能

- ①遮断器動作時間温度補正機能
- ②接点損耗量算出機能

変圧器余寿命診断機能については、詳細な分析が可能になっており、過去の運用データから余寿命の算出、表示が可能である。余寿命算出の方式には、IEC 方式に加えて JEC 方式を追加で実装し、両方式の比較や分析が可能である。変圧器余寿命診断画面例を図 9、図 10 に示す。

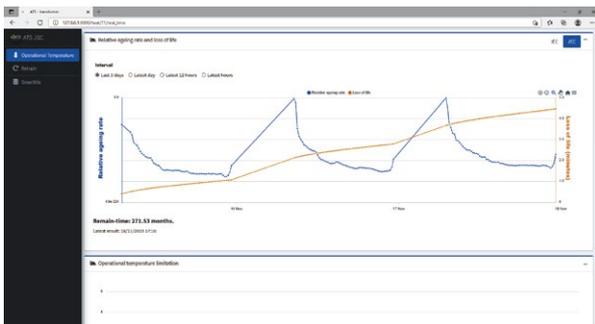


図 9 変圧器余寿命診断画面 (劣化損失)

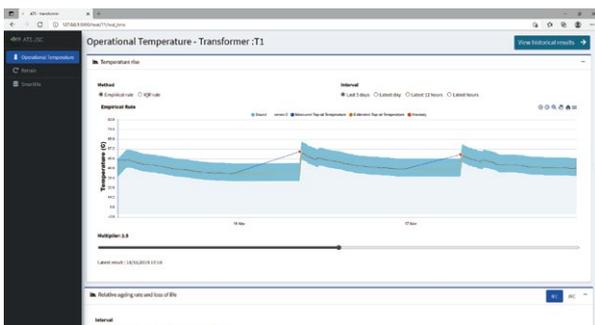


図 10 変圧器余寿命診断画面 (油温予想)

## 4 現地施工

実証検証として、岬町変電所にセンサを設置し、保守データ分析システムを東電 PG 本社、東電 PG 木更津制御所（千葉県木更津市）に導入した。

センサを設置する変圧器および遮断器は、東光高岳製以外の設備もあったことから、次に示す施策により効率的な施工を実施した。

#### (1) SIU の取り付け

留め具（ねじ、ボルト）を使用せず、穴あけ加工を必要としないデュアルロック™ ファスナー（スリーエム ジャパン（株）：3M™ の製品）を適用することにより取り付け工数を大幅に削減した。図 11 に取り付け例を示す。図中の板金間に使用している。

#### (2) センサの有効／無効機能の実装

センサの有効／無効の設定機能を SIU に実装し、センサの追加を容易にした。

#### (3) 交直両用電源の適用

SIU の電源を交直両用電源とし、既設設備に応じた電源選択ができるよう対応した。

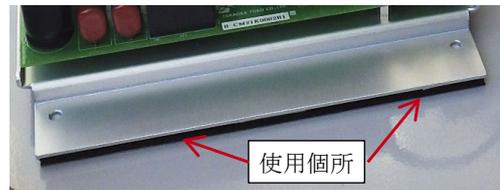


図 11 デュアルロック™ ファスナーによる取り付け

## 5 あとがき

本稿では、実証検証として納入した変電所のデジタル化に向けたセンサソリューションの概要について紹介した。今後は、検証の結果得られたセンシング情報を評価し、その情報の活用方法や有効性の検討を行う。また、センシング項目の追加検討、より高精度な劣化診断技術の開発、保守データ分析システムの機能追加を進めていく。また、東電 PG での実績をふまえ、今後は国内の電力会社ならびに一般産業向けにも適用拡大を目指す。

#### ■参考文献

- (1) 電気学会技術報告（I 部）第 143 号 油入変圧器運転指針

#### ■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) OneATS: 本誌「OneATS が提供するソリューション」参照。

#### 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

#### 沼尻 稜平

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

# 電気自動車用普通充電管理 WeCharge システム

■ 加藤 貴大 Takahiro Kato    ■ 藤本 千紘 Chihiro Fujimoto    ■ 池田 仁司 Hitoshi Ikeda

## 1 はじめに

2020年以降の温室効果ガス排出量削減などに向けて発行された「パリ協定」をはじめ、世界では省エネ・脱炭素化への流れが加速している。その中でも多大な影響力を持つのが自動車産業であり、日本国内においても「2035年までに新車販売で電動車100%を実現する」ことが日本政府より表明されたことで変革期を迎えている。

電気自動車（以下、EV）の増加に対応するため、社会インフラとして充電環境を整備する必要がある。東光高岳では、サービスエリアや道の駅などに向けて急速充電器を販売している。これらはいわゆる“経路充電”と呼ばれているが、ほかの充電環境として、自宅で充電する“基礎充電”と、旅先の宿泊施設やテーマパークなどで充電する“目的地充電”に対応した充電インフラの実現を図る必要がある。

日本においては、マンションなどの集合住宅居住者は全人口の4割であり、マンション駐車場に充電設備が導入されていないことが、EVの普及を妨げている要因の一つと言える。

東光高岳では、自宅から旅先までEVの充電インフラをすべてカバーした環境を構築するため、普通充電管理システム「WeCharge<sup>注1)</sup>」をユビ電株式会社と共同で開発したので紹介する。

## 2 システム構成

### (1) システム構成

WeChargeのシステム構成図を図1に、システム操作フローを表1に示す。本システムは、EV用普通充電コンセントのON/OFF遠隔制御を行うとともに、充電時の電力量を計測することができる。

ユーザは、あらかじめスマートフォンやタブレットにインストールされたユビ電株式会社製WeChargeアプリにて、WeChargeが導入した充電スポットのコンセントに表示されているQRコードを読み取る。その情報は、WeChargeサーバに伝送され、東光高岳サーバ（以下、TKTKサーバ）に通知する。TKTKサーバでは該当するエコ.Web5 for WeCharge（以下、エコ.Web5）に東光高岳閉域網を経由して利用したいコンセント情報を通知する。

エコ.Web5では、対象コンセントの電源側ブレーカをONとし、AC200Vを供給する。また、電力量モニタにより、充電に使用した電力量などを計測し、充電情報としてエコ.Web5、TKTKサーバを経由してWeChargeサーバへ伝送する。

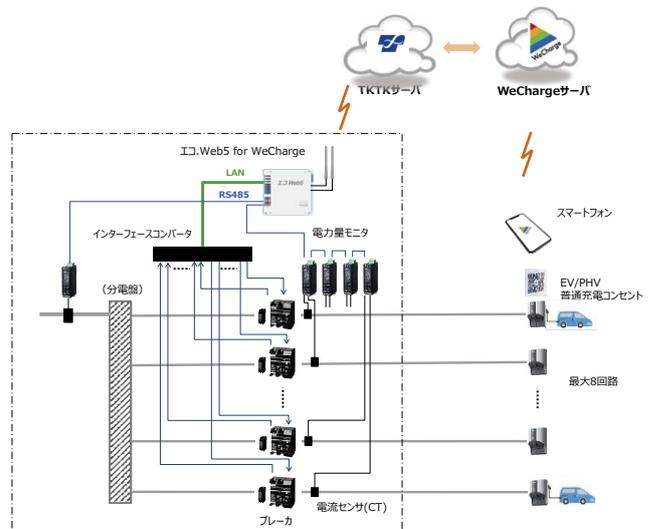


図1 システム構成図<sup>注1) 注2)</sup>

表1 システム操作フロー

No	動作
1	ユーザが利用したいコンセントのQRコードをアプリで読み取る
2	WeChargeサーバがTKTKサーバへ、どのコンセントで充電を開始するか通知
3	TKTKサーバは指定されたコンセントを管理するエコ.Web5へ充電開始指示を通知
4	エコ.Web5は指定されたコンセントをONにする
5	エコ.Web5は1分周期で積算電力量、電圧、電流、コンセントの状態を計測し、TKTKサーバへ通知する
6	TKTKサーバはエコ.Web5から受信したデータを基に、WeChargeサーバへ充電開始イベントを通知する
7	ユーザが指定した時間で充電した場合、WeChargeサーバはTKTKサーバへ充電停止指示を通知する
8	TKTKサーバはエコ.Web5に充電停止指示を通知
9	エコ.Web5はブレーカをOFFする
10	TKTKサーバはエコ.Web5から受信したデータを基に、WeChargeサーバへ充電停止イベントを通知する

### (2) 通信概要

イベント処理の流れを図2に、イベント処理の一覧

を表 2 に示す。

WeCharge サーバはユーザのスマートフォンとやり取りをして、使用したいコンセントの充電依頼を受ける。その依頼は WeCharge サーバから TKTK サーバで一旦指示を受け取り、さらに TKTK サーバからエコ.Web5 に対して送信する。エコ.Web5 と WeCharge サーバとのやり取りは、上記の充電イベント<sup>注3)</sup>や充電情報の送受信を行う。

WeCharge サーバと TKTK サーバ間の通信は WEB API (HTTPS)<sup>注4)</sup>で行い、認証に OAuth2<sup>注5)</sup>を利用している。

TKTK サーバは認証サーバとイベント処理サーバの二つのサーバで構成しており、WeCharge サーバは、はじめに認証サーバにアクセスして認証情報を取得し、その認証情報をもって、イベント処理サーバに充電などの依頼を通知する。イベント処理サーバは、認証情報が正規なものかを確認し、正規な場合はイベント処理を実施する。

エコ.Web5 は、定周期間隔で主幹電力量、各コンセントの電力量、電流、電圧とブレーカ状態を監視し、サーバ側へまとめて通知する。

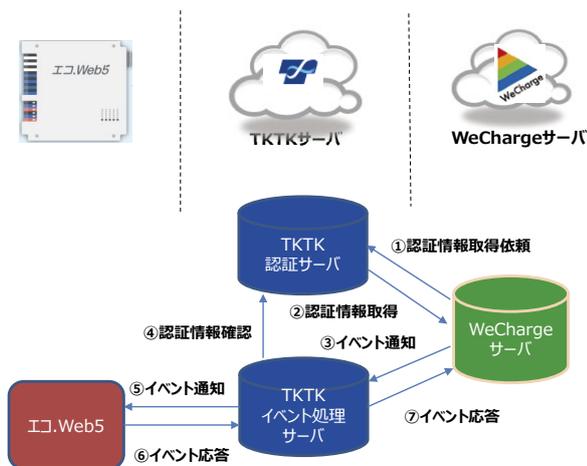


図 2 サーバ間のデータ伝送イメージ

表 2 イベント処理一覧

イベント	通知方向	イベントの内容
充電開始	WeCharge ⇒ TKTK	充電を開始する。終了時刻が明示されない場合 24 時間で終了する
充電停止	WeCharge ⇒ TKTK	充電を停止する
状態通知依頼	WeCharge ⇒ TKTK	状態を通知する
状態通知	TKTK ⇒ WeCharge	現在の状態（電力量、電流、ブレーカ状態）を通知する
電流上昇	TKTK ⇒ WeCharge	計測している電流が閾値を超えたら、通知する

### 3 機能と特長

#### 3.1 ブレーカの ON/OFF 制御

1 台のエコ.Web5 で最大 8 コンセントを管理し、コンセントの電源側に配置したブレーカを ON/OFF 制御することで充電の開始 / 停止を行う。

#### 3.2 充電電力量の計測

コンセントごとに充電時の電圧、電流および電力量を計測する。充電開始時は、電流の変化を監視し、その結果をもとにユーザに充電開始をアプリ上で通知する。充電終了時には、利用した際の電力量を WeCharge サーバに記録する。

#### 3.3 WeCharge アプリ

WeCharge アプリには図 3 に示すとおり、大きく三つの機能がある。

##### (1) 充電場所を探す

全国に設置されている充電スポットを検索することができる。

##### (2) 充電を開始

充電コンセントの QR コードを読み込み、充電開始をタップすることで、充電を開始することができる。

##### (3) 利用量・料金を見る

充電利用履歴を確認することができ、月ごとの利用量などを把握することができる。



図 3 WeCharge アプリの画面イメージ

### 4 導入事例

エコ.Web5 for WeCharge などを収納した制御盤と複数の充電コンセントを設置した施工例を図 4 に示す。

充電コンセントには、個々のコンセントを識別するための QR コードを表示し、充電利用したいコンセントだけに電気を供給する (図 5)。



図4 WeChargeの施工例

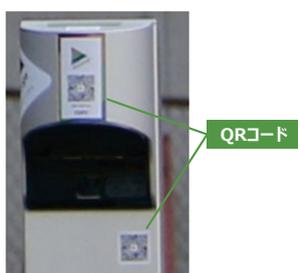


図5 コンセント識別用QRコード

## 5 おわりに

東光高岳のEVインフラ事業は、ご利用いただいているユーザの皆さまに寄り添い、いつも身近で使いやすいソリューションを提供する「Charging on your side<sup>注6)</sup>」という事業スローガンを掲げて展開している。

今後は急速充電器との連携や、レスポンス高速化などのユーザビリティ向上などの開発を計画している。

また、災害時にEVのバッテリーを家庭内で利用する仕組みの開発や、地域の太陽光パネルによる充電システムと連携して、使われていない余剰電力をEVの充電に活用して、効率化を図るようなシステムも実現したいと考えている。

### ■ 語句説明

- 注1) 「WeCharge」はユビ電株式会社の登録商標。商標登録第6446444号
- 注2) インターフェースコンバータ：エコ.Web5が出力したブレーカのON/OFF制御情報をブレーカのON/OFF動作に変換し、その動作結果をエコ.Web5に動作情報として変換・入力する装置。
- 注3) 充電イベント：充電開始/停止操作や運転情報の収集要求など、充電中に発生する操作や要求などの総称。
- 注4) Web上からAPIを呼び出す技術。通信プロトコルはHTTPSを使用している。
- 注5) ユーザ認証のアクセストークン要求/応答における標準化プロトコルで、異なるサービス間での認証としてはデファクトスタンダード。
- 注6) 「Charging on your side」は東光高岳の登録商標。商標登録第6515887号

### 加藤 貴大

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

### 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

### 池田 仁司

ユビ電株式会社

# 縮小形 161 kV ガス絶縁計器用変圧器

## 製品紹介

■ 加茂 拓也  
Takuya Kamo

### 1 はじめに

ガス絶縁 GIS 直結形計器用変圧器（以下、ガス VT）は、ガス絶縁開閉装置（以下、GIS）に直結し、計器や継電器とともに使用して電圧を変成するものである。

161 kV ガス VT は、20 年程前から大幅な変更を行わず継続販売してきたが、GIS の小形化による発電所、変電所の省スペース化に貢献するため、縮小化開発を行い、このたび製品化した。

### 2 定格仕様

定格仕様は、表 1 のとおりである。

表 1 縮小形 161 kV ガス VT の定格仕様

項目	仕様
形式	VDGW5-161
準拠規格	IEEE C57.13 (2016)
一次電圧	161000 / $\sqrt{3}$ V
二次電圧	115-66.4 / 115-66.4 / 115-66.4 V
二次負担	200 VA
確度階級	0.3 Z
絶縁階級	B.I.L 750 kV
定格 ガス圧力	0.5 MPa.G (20°C)

### 3 特長

#### 3.1 小形化・軽量化

縮小形では、ガス VT 内部の最適な絶縁設計や、鉄心と巻線の構成比率の最適化などによる寸法縮小化を行い、東光高岳従来形と比較して大幅な小形・軽量化を実現した。

- ・容積は従来形の約 40% に縮小化
- ・質量は従来形の約 50% に軽量化

#### 3.2 強固なコイル固定構造

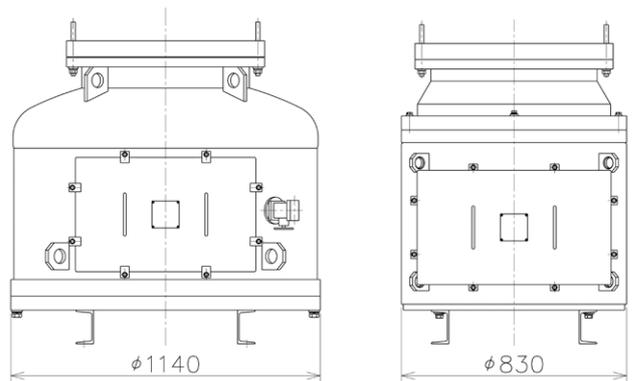
コイルの固定構造に種々の工夫を施し、悪路での運搬や地震等の衝撃に対する社内管理基準に、十分な裕度をもって耐えることを確認している。



《従来形》

《縮小形》

図 1 新旧外観比較



《従来形》

《縮小形》

図 2 新旧外径寸法比較

### 4 おわりに

縮小形 161 kV ガス VT の開発により、電力設備の省スペース化に寄与することができた。今後、さらに他の電圧クラスの縮小形開発も進めていく。

また東光高岳では、脱炭素化に向けた取り組みとして、温室効果係数の高い SF<sub>6</sub> ガスに代わる、代替ガスを用いた親環境ガス VT の開発に注力している。

加茂 拓也

計量事業本部  
油・ガス変成器製造部 設計グループ 所属

# サージ受信形ケーブル事故点標定装置

## 製品紹介

■ 榎木 陽一 ■ 椎野 有貴  
Yoichi Naraki Yuki Shiino

## 1 はじめに

地中送電線は、街の景観向上や、地震・台風など自然災害への対策のため、都市部を中心に導入が進められてきた。これに伴い、事故時の早期復旧を目的として、地中送電線の事故点を標定<sup>注1)</sup>する技術が重要視されている。

このたび、地絡事故時に発生するサージ電流を光電流センサで検出し、事故点の標定を行う装置として、サージ受信形ケーブル事故点標定装置（以下、本装置）を、関西電力送配電株式会社と共同開発したので紹介する。

## 2 装置構成と原理

### (1) 装置構成

地中送電線 1 回線用の装置構成を図 1 に示す。電流を検出する光電流センサは、地中送電線の両端に設置し、光ファイバ伝送路で検出盤と接続されている。また、地中送電線が複数回線や、Y 分岐回線の場合でも、光電流センサの数を増やすことで装置の適用が可能である。

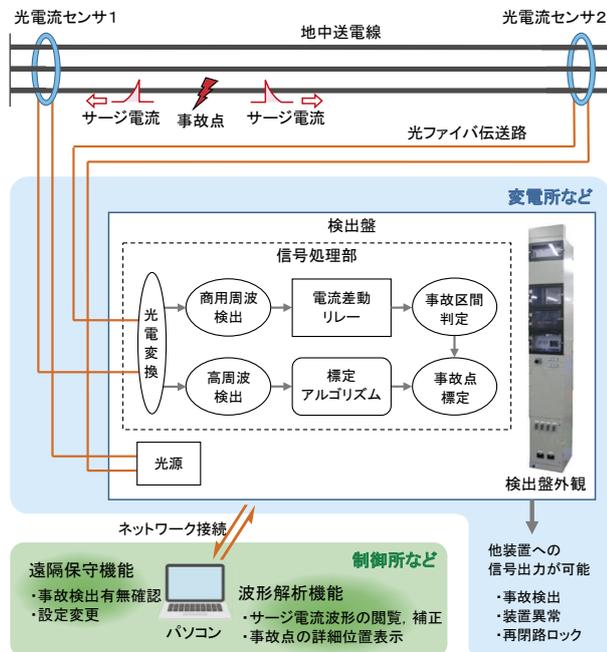


図 1 装置構成

### (2) 原理

事故点の標定は、事故時のサージ電流が地中送電線の両端に到達した時間差をもとに算出している。具体的な標定の流れを①～④の順に示す。

- ①地絡事故発生時、事故点で発生したサージ電流が地中送電線両端に向かって進行する。
- ②光電流センサでサージ電流を検出し、光ファイバ伝送路を介して検出盤へサージ電流の情報を伝送する。
- ③検出盤内にある信号処理部の標定アルゴリズムによりサージ電流波形から、到達時間を算出する。
- ④地中送電線の両端に到達したサージ電流の時間差、地中送電線の長さ、光ファイバ伝送路の長さ、およびサージ伝搬速度から事故点を標定する。

## 3 仕様

本装置の仕様を表 1 に示す。

表 1 仕様

項目		仕様
適用対象	送電線種別	275 kV, 154 kV 地中送電線
	送電線距離	20 km 以下
標定性能	標定精度	± 50 m 以内
光電流センサ	防水保護等級	IPX7（一次的な水没に耐える）
	寸法（接続部）	縦：126 × 横：244 × 厚さ：60 mm
	質量	約 1.5 kg
検出盤	寸法	幅：350 × 奥行：450 × 高さ：2,300 mm
光ファイバ伝送路（お客さま設備）	種別	シングルモードファイバ 2 心（光電流センサ 1 台あたり）
	伝送距離	20 km 以下

## 4 外観

光電流センサの外観を図 2 に示す。

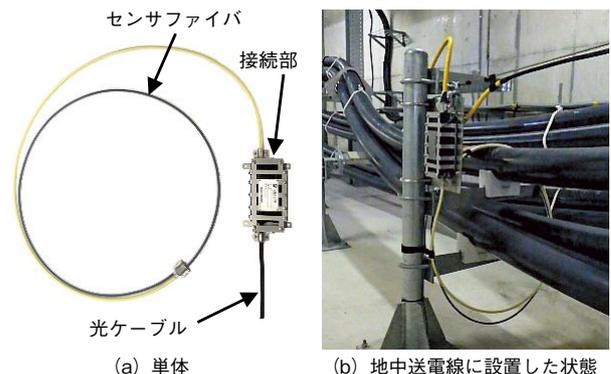


図 2 光電流センサ外観

## 5 特長

本装置の特長を項目ごとに以下に示す。

### (1) 光電流センサ

- ・小型・軽量であるため、設置スペースをとらず、壁面や架台などへ容易に設置が可能
- ・センサファイバの周回部は先端が開放可能なため、地中送電線を切り離すことなく設置が可能
- ・ファラデー効果<sup>注2)</sup>を利用して電流を検出するため、電磁ノイズの影響を受けない
- ・信号伝送には光ファイバ伝送路を使用しているため、地中送電線両端にある光電流センサ間の時刻同期用GPSを必要とせず、電源設備が不要

### (2) 検出盤

- ・電流差動リレーによる事故区間判定機能を搭載しており、地中送電線区間内の事故を検出することが可能
- ・上記により、サージ電流を検出した際、事故区間判定結果と照合することで、サージ電流が地中送電線区間の内部で発生したものか、開閉サージ<sup>注3)</sup>等の外部で発生したものかを区別することが可能
- ・サージ電流波形から到達時間を算出する処理には独自のアルゴリズムを採用しており、複雑な形状をしたサージ電流波形に対しても検出が可能
- ・サージ電流検出時、波形を自動保存することが可能

### (3) 遠隔保守機能

専用ネットワークに接続したパソコンから、事故検出の有無などの状態確認や設定の変更を実施することが可能である。

### (4) 波形解析機能

パソコン上で動作する専用アプリケーション「波形解析ツール」により、以下の解析が可能である。

#### ① 波形の閲覧・補正

サージ電流波形の拡大・縮小表示や、任意の設定値を使用した再標定が可能。画面表示例を図3に示す。

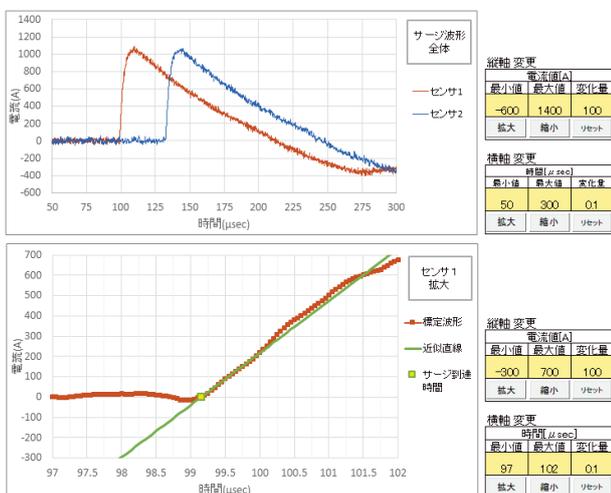


図3 サージ電流波形閲覧画面

### ② 事故点の詳細位置表示

地中送電線は地下の洞道や管路内に敷設されており、メンテナンス用として地中送電線区間の複数箇所に、マンホールが設けられている。

事故点の詳細表示機能では、事故点がどのマンホールに近いのかを視覚的に確認することが可能である。これにより、事故復旧時の初動対応の一つである、事故点位置の確認に要する時間を大幅に短縮することができる。

画面表示例を図4に示す。

ノット No.	名称	メソッド (m)	前測からの距離 (m)	事故点情報
1	A変電所	自測	0	
2	マンホール-01		295.0	
3	マンホール-02		277.0	
4	マンホール-03		465.0	
4	事故点		345.0	← 事故点距離 1234m
5	マンホール-04		1392.0	
6	分岐点		1798.0	
7	マンホール-05		287.0	
8	マンホール-06		481.0	
9	マンホール-07		2566.0	
10	マンホール-08		434.0	
11	B変電所	相手端	3000.0	

図4 事故点の詳細表示画面

## 6 おわりに

本装置は、2021年に関西電力送配電株式会社へ初号機を納入し、開閉サージの検出確認試験において、良好な結果を得ている。また、今後も他回線への適用が予定されている。

関係者各位の多大なるご指導ご鞭撻を賜りましたことに感謝いたします。

### ■ 語句説明

注1) 標定：位置を特定すること。

注2) ファラデー効果：磁場中に置かれた透明な物質に、磁場と平行な方向に直線偏光を透過させたとき、磁場の強さに応じて偏光面が回転する現象。磁場の強さは電流値に比例するため、偏光面の回転角を検知することで、電流値の測定ができる。

注3) 開閉サージ：送電線路へ遮断器などの開閉装置を投入・遮断する際に発生するサージ。

### 榎木 陽一

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

### 椎野 有貴

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

# 地下孔用センサ内蔵多回路開閉器

## 製品紹介

■ 齋藤 茂

Shigeru Saito

■ 栗原 崇光

Takamitsu Kurihara

## 1 はじめに

現在、6 kV 地下配電線路の地下孔内開閉器として、配電線搬送信号による通信方式の自動真空多回路開閉器が使用されている。今後、分散型電源の大量導入により、電力系統の需給バランスや電力品質の安全維持が必要となることが予想される。そのため、地中系統の電力状況をより細かく監視するための電流・電圧情報を高精度で取得できるセンサ搭載の機器が求められている。また、架空機器においては、配電線搬送信号による通信方式から光通信方式への変更が進められている。今回、電流・電圧情報を取得し、光通信方式に対応した地下孔用の開閉器「地下孔用センサ内蔵多回路開閉器」を開発したので紹介する。

## 2 機器の構成

地下孔用センサ内蔵多回路開閉器は、下記のユニットから構成された機器となっている。製品の外観を **図 1**、構成を **図 2** に示す。

- ①開閉器
- ②電源変圧器
- ③制御器（光通信ユニット含む）

開閉器本体・電源変圧器は地下孔床面に準備された基礎ボルトに固定する構造である。制御器は地下孔に準備された架台に取り付けて使用する構造としている。

（写真のキャスター付架台は組立用であり付属しない）

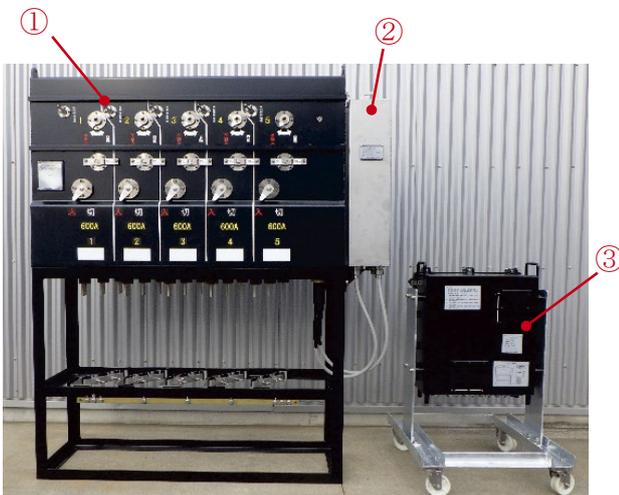


図 1 製品外観

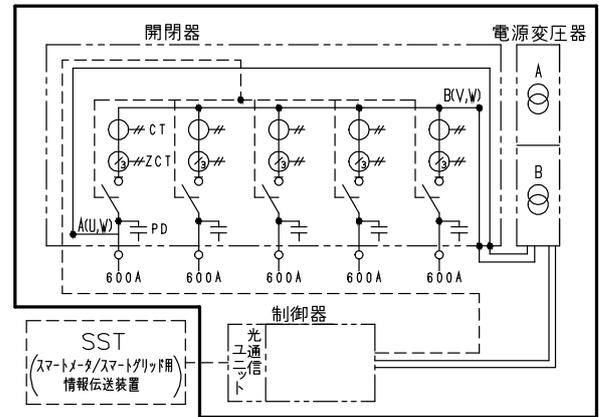


図 2 製品構成図

## 3 機器の特長

特長は次のとおりである。

### 【全体構造】

- (1) ユニット分離可能な構造

地下孔は搬入口が狭いため、各ユニット（開閉器、電源変圧器、制御器）を分離して搬入することができる構造とした。

- (2) 既設機器からのリプレイスを考慮

既設の自動真空多回路開閉器の基礎部を再利用して設置できるように、開閉器の基礎ボルトピッチを従来と同じとした。

### 【開閉器】

- (1) 既存機器の構造・仕様の共通化

- ・外箱：自動真空多回路開閉器と同じ塗装仕様、気密構造とした。
- ・内部：センサ内蔵自動気中多回路開閉器と同じ開閉機構を採用した。

- (2) 地下孔内環境への対応

地下孔内は高温・水没環境となることから高い気密性能と強力な防食性能が求められる。これに対応するため、パッキン材料にフッ素ゴム、塗装に重防食塗装を採用した。

- (3) センサ機能の追加

系統の状況を監視するため、電流・電圧を高精度で測定できるセンサを追加した。

- (4) 事故時の安全性

万一、短絡事故が開閉器内部で発生した場合でも、飛

散物による公衆災害、延焼を防止できる構造および材質とした。

#### 【電源変圧器】

##### (1) 地下孔内環境への対応

高い耐食性能を有するステンレス鋼板 (SUS304L) を採用し、ケーブル引出し部以外は気密溶接により、高温・水没等劣悪環境下である地下孔内への設置を可能とした。

#### 【制御器】

##### (1) 既存機器の構造・仕様の共通化

- ・内部基板、電気部品はセンサ内蔵自動気中多回路開閉器用制御器と同一とした。
- ・光通信ユニットは自動開閉器用遠方制御器 (CD5SC) と同一とした。

##### (2) 光通信ユニットを制御器に内蔵

CD5SC の光通信ユニットから、基板のみを制御器に内蔵し、部品点数の削減、構造の簡素化を図った。

##### (3) 高い耐食性能と堅牢な筐体構造

- ・筐体材料にステンレス鋼板 (SUS304L) を使用し、下塗り塗装にカチオン電着塗装を採用することで高い耐食性能を持たせた。
- ・高い気密性を確保するため、堅牢な筐体構造とした。

## 4 仕様

各ユニットの主な仕様は下表のとおりである。

#### 【開閉器】

表 1 開閉器の主な仕様

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

#### 【電源変圧器】

表 2 電源変圧器の主な仕様

項目	仕様
相数	単相
定格電圧	一次：6,600 V 二次：100 V
定格二次電流	5 A：連続 35 A：3 秒

#### 【制御器】

表 3 制御器の主な仕様

項目	仕様
定格電圧	AC100 V
定格周波数	50 Hz
通信方式	Ethernet (光)
特性保証温度	-10°C~+40°C
動作保証温度	-20°C~+50°C
電圧変動に対する性能保証：常時	定格電圧±10%
電圧変動に対する性能保証：瞬時	定格電圧-20% 25 サイクルの変動

## 5 おわりに

本製品は 2022 年度よりリリースとなる。今後、地下孔設備を使用した配電システムの監視が可能となり、電力品質向上に寄与できると考える。

#### 齋藤 茂

電力機器事業本部  
配電機器製造部 システム機器設計グループ 所属

#### 栗原 崇光

電力機器事業本部  
配電機器製造部 開閉器設計グループ 所属

## 1 背景

低圧バラサは、不平衡負荷による電圧の不平衡改善を目的として低圧単相三線式配電線路の末端に接続され(図1)、柱上に設置して使用される機器である。

既存機器は、絶縁油を使用した油入機器が主流であるが、東光高岳では燃性・耐環境性など安全性の高いオイルレス化の検討を進めてきた。

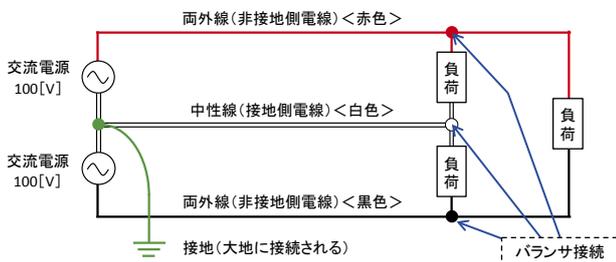


図1 単相三線式配電線路

## 2 概要

新たに開発したオイルレス構造採用の乾式バラサの外観を図2に示す。

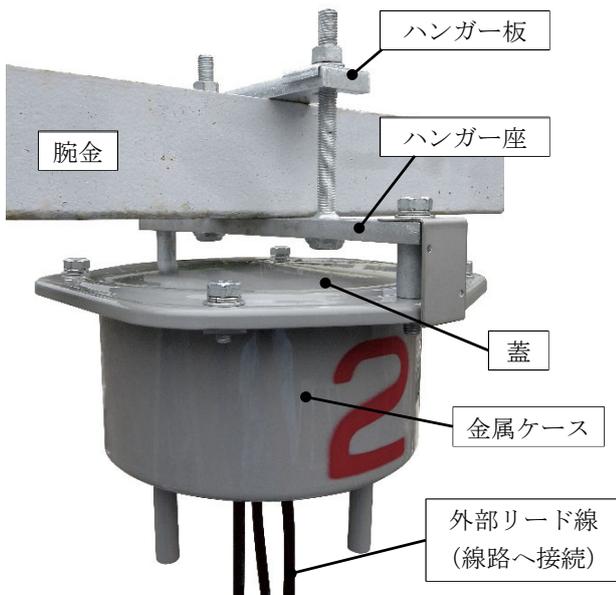


図2 乾式バラサ外観

## 3 仕様

本器の主な仕様を表1に示す。

表1 主な仕様

項目	仕様	
定格周波数	60 Hz	
定格容量	1 kVA	2 kVA
定格電圧	100/200 V	
定格電流	10 A	20 A
インピーダンス電圧	3 V	
質量	22 kg	23 kg

## 4 特長

### 4.1 構造

金属ケースでコイル全周を保護し、かつ金属ケース内に樹脂を充填してコイルを覆う構造とすることにより、高い安全性を有している。

また、金属ケースはカチオン電着塗装や、ステンレス製蓋の採用により、屋外での長期使用が可能となる。

### 4.2 性能

樹脂を充填しない乾式構造では、コイルが空気に断熱された状態になる。そのため、機器動作時の放熱性能が不足し、コイルが加熱され損傷を受けるおそれがある。

本器では、金属ケース内に樹脂を充填させたことにより、放熱性能を向上させてコイルの発熱を抑え、機器損傷のリスクを低減させている。

## 5 今後の予定

本器は、2022年度に製品リリース予定である。

吉谷 彰倫

計量事業本部  
モールド変成器製造部 設計グループ 所属

# 再エネ100%運転に関するミニチュアシステムモデル およびEMSの実証環境構築

## 1 はじめに

昨今の太陽光発電機（以下、PV）などのインバータ型電源の導入拡大により、同期発電機（以下、SG）の台数が減少することで系統全体の慣性が減少し、系統の安定度が低下するなどの課題がある。この課題に対して蓄電池用インバータに慣性力機能を持たせた仮想同期発電機機能付き蓄電池用インバータ（以下、VSG）が注目されている。VSGの導入により慣性力が確保できるため、再エネ100%運転も実現可能である。

東光高岳はこれまでに島嶼などのオフグリッド電源地域において電力の安定供給を図るエネルギーマネジメントシステム（以下、EMS）を開発・設置してきたが、SGやインバータ型電源が主な制御対象であった。今回、東京電力パワーグリッド株式会社がパワーコンディショナ（PCS）製造業者と共同で開発したVSGを加え、再エネ100%運転を行うEMSの制御技術の確立および開発のために東京都日野市の東京電力パワーグリッド株式会社総合研修センターにオフグリッドを模擬したミニチュアシステムモデルを構築した。

## 2 試験環境について

### 2.1 試験環境概要

構築したミニチュアシステムモデルを図1に示す。同図のとおり、交流200V母線に対して各種電源装置が接続されており、また、蓄電池、PV、負荷部は外部電源からコンバータ等を介して直流電源にて構築している。

PVや負荷は専用のシミュレータを介して模擬することができ、時系列データを入力することで任意の変動を再現することが可能である。また、故障模擬盤には盤内に抵抗接続用短絡バーが用意されており、系統故障（短絡）が模擬可能である。

EMSと各種発電設備はアナログ通信もしくはデータ通信（Ethernet）で計測情報および指令情報の送受信を行っている。また、EMSは機能別に複数のPLC<sup>注1)</sup>から構成されており、①需要や再エネの予測情報にもとづき発電機の起動停止計画を作成する機能、②個々の発電機の特性にもとづいて必要な有効電力の最適経済配分を行う機能、③安定した系統周波数および系統電圧の維持のためにリアルタイムで個々の発電機の有効電力や電圧の調整を行う機能をそれぞれ具備している。

### 2.2 今後の展開

2050年カーボンニュートラルの実現に向けて再エネが主力電源化する中で、慣性力確保の一方策であるVSGを含めたオフグリッドにおいて、開発したEMSを用いて、再エネ100%運転実現に向けた実証試験を行う。本試験設備を通して系統事故も含めたさまざまなケースを模擬し、経済最適かつ系統安定化を目指したEMSの実用化に向けた検証を行っていく。

#### ■ 語句説明

注1) PLC：Programmable Logic Controllerの略。シーケンス制御を得意とする制御装置。

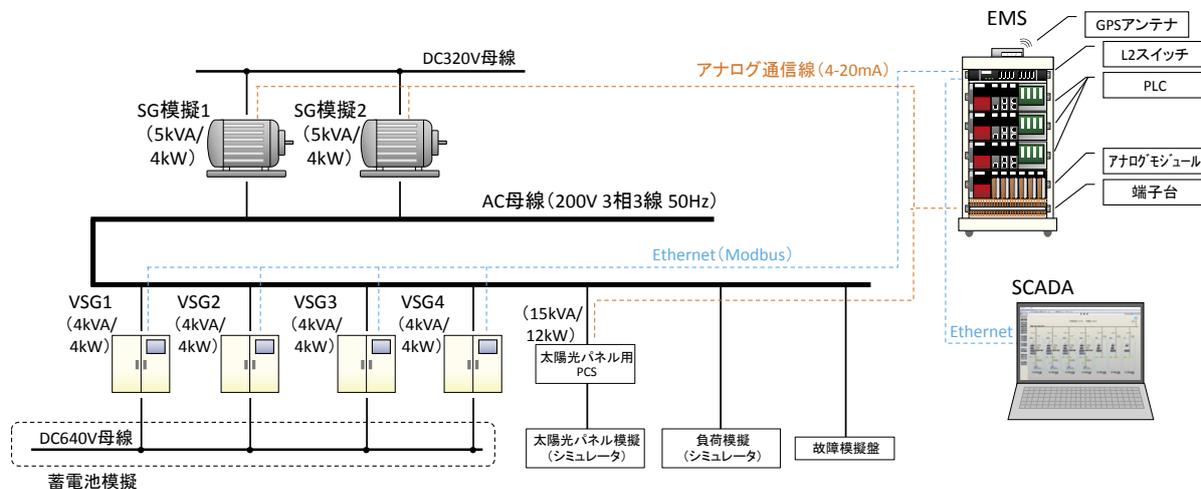


図1 ミニチュアシステムモデル概要図

# 山梨県米倉山P2Gシステムに関する 技術開発・実証の取組み

## 1 概要

2016年から国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託事業として実証を進めてきた、山梨県米倉山電力貯蔵技術研究サイトにおけるP2G（パワー・ツー・ガス）システム技術開発の取組みについて紹介する。本事業は再生可能エネルギーの電力でグリーン水素を製造し、化石燃料の利用を低減させることを目的としたプロジェクト「H2-YES」として、山梨県、東レ株式会社、東京電力ホールディングス株式会社と協同で実施してきたものである。

水素は、第6次エネルギー基本計画でも「熱需要等の脱炭素化に向けたエネルギー転換の選択肢」として期待されており、その役割は将来のカーボンニュートラル実現に向けて、よりいっそうの拡大が求められている。そのような中、本事業を通じて水素の製造から利用までを一貫して制御・管理する国内初の水素社会実証を2021年10月から開始している。

## 2 P2G システムの構築

P2Gシステムは、水の電気分解から水素を製造する技術であり、カーボンニュートラル実現に向け、再生可能エネルギーの導入拡大と温室効果ガスの削減において期待されているものである。そのような情勢のもと、本事業ではPV（太陽光発電）の変動する電力と1.5 MW PEM型（固体高分子型）水電解装置により水道水から水素を作り出し、水素吸蔵合金システムに水素を貯蔵するなど、安全にグリーン水素を利用できるシステムを構築した。



図1 山梨県米倉山電力貯蔵技術研究サイト



図2 H2-YES ロゴ（登録商標第 6324084 号：山梨県）

東光高岳は、P2Gシステムに適用するEMS開発、実証設備の受電設備構築を担当した。

### (1) EMS 開発

本事業における当初のEMS研究開発の目標は、PV出力変動を抑制して系統へ安定した電気を送ることを目的とした「電力系統の安定化」を実現するプラント制御の構築であった。開発にあたっては、本事業にて試作した設備である25 kW PEM型（固体高分子型）水電解装置において仕様・制御ロジック検討を行い、その検討結果を1.5 MW PEM型（固体高分子型）水電解装置に反

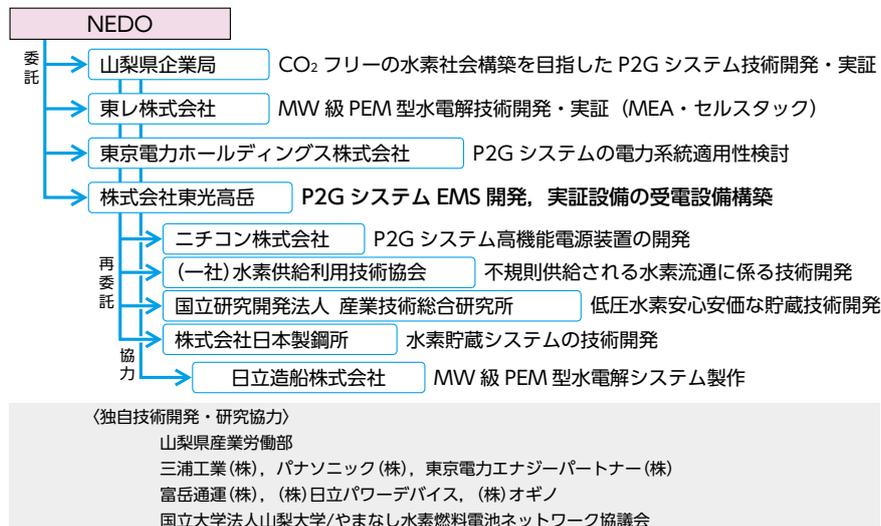


図3 技術開発実証体制

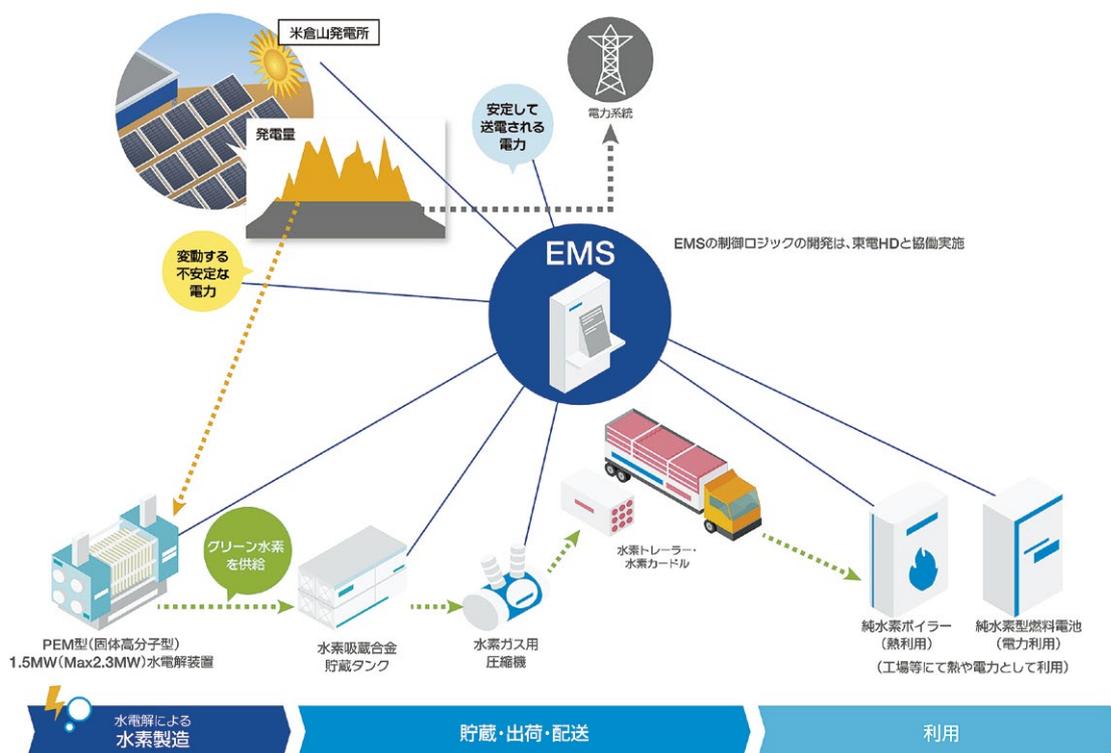


図4 山梨県米倉山 P2G システム概要図

映させたものである。

その後、当初目標の達成が見通せたところで、次のステップとして「水素ビジネス展開」を志向し、水素の製造量、出荷量、および製造と出荷のタイミングに着目したプラント制御構築の検討に着手している。

EMSは、P2Gシステム全体の「運行上の安全確保」「起動停止」等を司る運用監視・動作制御を担っており、「電力システムの安定化」を念頭に置いた以下①、②の運転モードと、「水素ビジネス展開」の基礎となる③の運転モードを有している。

- ①システム安定化モード（疑似蓄電池的な制御）  
太陽光発電の変動を水素製造により吸収する
- ②計画発電モード（インバランス調整的な制御）  
前日予測・計画した太陽光発電量に合わせるように水素製造により30分同時同量調整を行う
- ③固定出力モード（30分48コマごとの固定出力制御）  
予定されている出荷に合わせて設定した電力値にて水素製造を行う

## (2) 実証設備の受電設備構築

P2Gシステムへ電力を供給する設備として、既設の米倉山太陽光発電所（10 MW）に隣接した特高変電所と、電力貯蔵技術研究サイトの高圧キュービクルを構築した。



図5 山梨県米倉山変電所

## 3 今後の展望

第6次エネルギー基本計画でも謳われている通り、今後は2050年カーボンニュートラル実現に向けたエネルギー転換を目指して、国内資源を活用した水素の製造基盤の確立と多様な分野における需要創出が求められている。そのような情勢のもとで2022年度以降については、山梨県を中心に、水素の産業利用等のさらなる促進を目的とした水電解装置の大型化・モジュール化に向けた取り組みや、水電解装置を活用したデマンドレスポンスへの適用に向けた取り組みを実施していく予定である。

東光高岳としては、本事業で培ってきた開発成果を踏まえP2Gシステムの実用化に貢献すべく、引き続きEMS開発を中心に水素事業にかかわってまいりたい所存である。

# 系統解析ソフトウェア 独国DIGSILENT社製PowerFactory

## 1 PowerFactory について

PowerFactory は独国 DIGSILENT（ディグサイレント）社が提供している系統解析ソフトウェアである。PowerFactory は、欧州などの海外における多数の導入実績と充実した機能から、国内における太陽光や風力発電に代表される変動性の再生可能エネルギーの導入拡大と系統安定化を両立するための検討、最適な系統設備計画の検討などの技術的課題解決に貢献すると期待されている。東光高岳は、本ソフトウェアの販売代理だけではなく、配電事業者へのコンサルティング業務など配電事業者やマイクログリッド事業者による電力の安定供給や系統運用上の技術的課題に対するソリューションの提供にも取り組んでいる。

## 2 機能・特長

PowerFactory は、系統解析ツールとして電力分野にかかわる多くの企業が利用してきた経緯から、豊富な解析機能、充実したユーザーインターフェースなど、他社に類を見ない性能を有する解析ソフトウェアである。PowerFactory は、潮流解析（Load flow analysis）と短絡解析（Short circuit）を含むベース機能を具備した基本パッケージと、利用者の目的に合わせて解析項目を追加する追加機能で構成されており、解析によってソフトウェアを使い分ける必要がなくワンストップで解析を行うことができる。

以下に PowerFactory の機能・特長を説明する。

### 2.1 機能

PowerFactory は現時点で、基本パッケージに含まれる 11 個の機能と 25 個の追加機能があり、主な解析機能を以下に示す。なお、(a), (b) は基本パッケージに含まれる。

- (a) Load flow analysis：潮流解析
- (b) Short circuit analysis：短絡解析
- (c) Contingency analysis：事故時解析
- (d) Quasi-dynamic simulation：中長期潮流解析
- (e) Protection function：保護解析
- (f) Power quality and harmonic analysis：電力品質と高調波解析
- (g) State estimation：状態推定
- (h) Stability analysis functions (RMS)：実効値解析
- (i) Electromagnetic Transients (EMT)：瞬時値解析

### 2.2 特長：見える化

PowerFactory の解析結果は、**図 1** に示すように解析結果をビジュアルに表示することができる（**図 1** の右上の赤い部分は負荷率が高い状況、緑色は負荷率が低い状況であることを表している）ため、解析条件下において送配電網のどこにどのような状態が生じるのかを直感的に把握することができる。

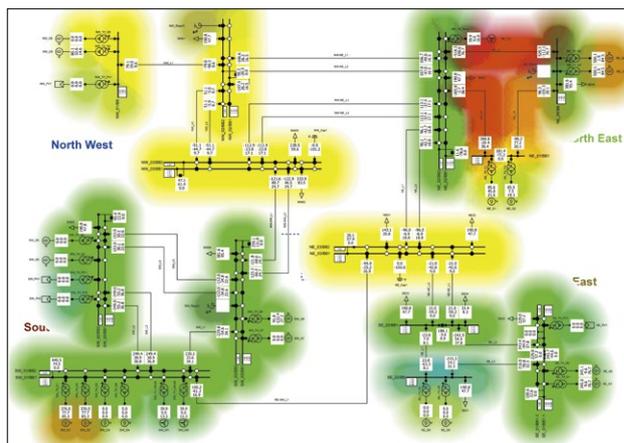


図 1 解析結果の見える化

### 2.3 特長：API 連携<sup>注1)</sup>

PowerFactory におけるもう一つの大きな特長は実機と API 連携できることである。例えば、配電用 SCADA システムと PowerFactory を API 連携して監視・制御対象の配電網を PowerFactory 上でモデル化する。さらにスマートメーターや開閉器などから得られる実際の取得データをモデルへ入力して配電網の状態推定を行うことで、配電網の過負荷状況などを詳細に把握し、高度な配電系統運用を可能としている。

## 3 おわりに

PowerFactory は、分散電源を大量に導入する場合における電力系統への影響を詳細に把握するために有効であるとともに、API 連携によって実系統を高度に運用するためにも活用することができるツールである。今後も DIGSILENT 社と密に連携をし、さらなる国内展開に向けてさまざまな活動をしていく所存である。

### ■ 語句説明

注 1) API 連携：API は Application Programming Interface の略で、ソフトウェアやプログラム、Web サービスの間をつなぐインターフェースのこと。API 連携は、API を活用したアプリケーション同士の連携のこと。

# EVタンカー給電ステーション

## 1 概要

神奈川県川崎港で建設を進めていたEVタンカー用の給電ステーションが2022年4月に完成した。このステーションは旭タンカー株式会社が建造した世界初となるピュアバッテリー電気推進タンカーに電気を供給する施設である。

給電ステーションは、引込電柱、受変電設備、給電制御装置、ケーブルマネジメントシステム、給電コネクタにより構成されており、東光高岳が独自に開発したものである。

## 2 仕様

受電電圧の高圧6.6kVを受変電設備により低圧440Vに変換してEVタンカーに給電を行うものである。

表1 主な仕様

受電電圧	6.6 kV (AC)
給電電圧	440 V (AC)
給電容量	375 kVA / 隻
同時給電可能隻数	2 隻

EVタンカーのタラップ先端に設置された船側コネクタとケーブルマネジメントシステムの陸側コネクタを接続し、船上の陸電操作盤にて給電操作を行うものである。

EVタンカーが日中（約12時間）に運航するために必要な電力を、夜間停泊中（約12時間）に充電可能な大容量給電システムである。

### ・ケーブルマネジメントシステム

潮位や波による船舶の揺れを吸収するとともに、重い給電ケーブルの重量を支え、作業者の負担を軽減するシステム

- ・陸電操作盤  
船と陸との給電を操作（制御）する盤
- ・給電制御装置  
非常時に給電を停止する装置



図2 EVタンカーへの給電風景

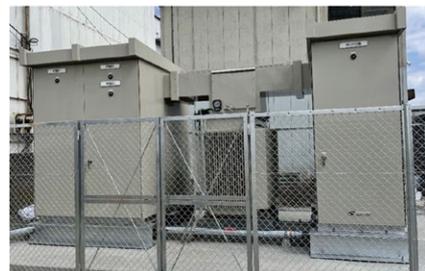


図3 受変電設備



図4 ケーブルマネジメントシステム

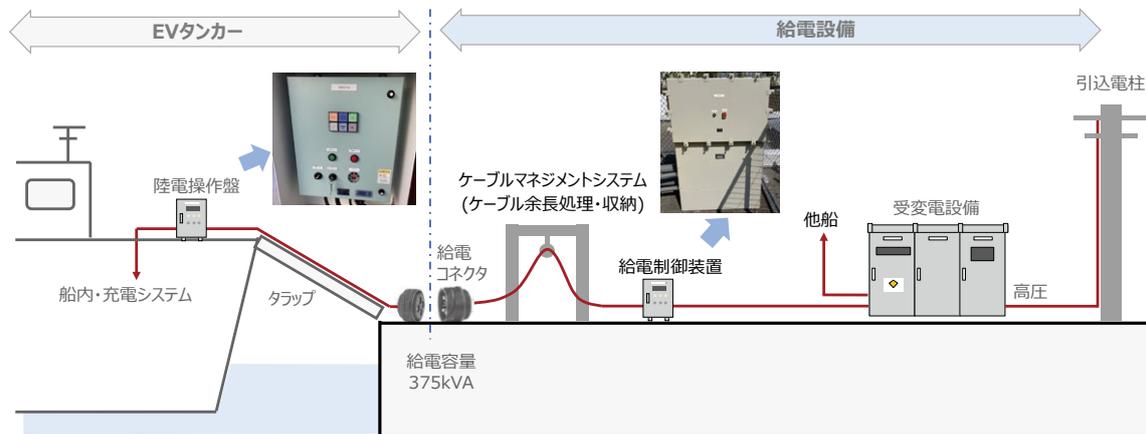


図1 給電ステーションの構成

# ポリマーブッシングの ガス絶縁開閉装置への適用

## 1 概要

ポリマーがい管<sup>注1)</sup>は、「電気協同研究 第72巻 第4号 ポリマーがい管の設計基準・試験法の標準化」により、設計基準・試験法が標準化され、これをもとに、ポリマーブッシングは、「電気学会電気規格調査会標準規格 ブッシング JEC-5202:2019（以下、JEC-5202）」にて規格化された。

東光高岳では、ポリマーブッシング<sup>注2)</sup>のガス絶縁開閉装置への適用に向けて、JEC-5202にもとづき、各種検証試験を実施し、良好な結果を得ることができたので紹介する。

## 2 検証試験内容

JEC-5202では、ブッシングの形式試験において、人工汚損交流耐電圧試験（以下、本試験）が規定されている。通常、本試験はがい管メーカーが実施する試験となるが、東光高岳が採用したポリマーがい管は国際規格IEC（以下、IEC）準拠品の海外製であり、IECでは規定されていない試験のため、第三者試験機関に試験委託し、本試験を実施した。

図1に161kVのポリマーがい管に対して本試験を実施した際に撮影した印加電圧を上昇しているときの状況写真とフラッシュオーバーしたときの状況写真を示す。本試験を実施したすべての電圧階級で良好な結果を得た。

## 3 ポリマーブッシング適用機器

磁器ブッシングを適用したガス絶縁開閉装置に比べて、ポリマーブッシングを適用したガス絶縁開閉装置（以下、本器）が性能面で優位となった点はつぎのとおりである。

### (1) 耐震性能の向上

ポリマーブッシングは磁器ブッシングに比べて、質量が小さいため、本器の重心位置が下方に移動する。これにより本器の耐震性能が向上する。

### (2) 優れた汚損耐電圧特性

ポリマーブッシングの外被ゴムは撥水性を有しているため、汚損耐電圧特性が良い。東光高岳が採用したポリマーがい管の外被ゴムはシリコンゴムであり、シリコンゴムの内部から低分子シリコンが滲みだし、撥水性が一旦失われても回復する。

これらの性能向上が期待できるため、今後、東光高岳磁器ブッシング採用機器に対しポリマーブッシングの適用を進めていく（表1にポリマーブッシングの定格事項、図2に本器の外観写真を示す）。

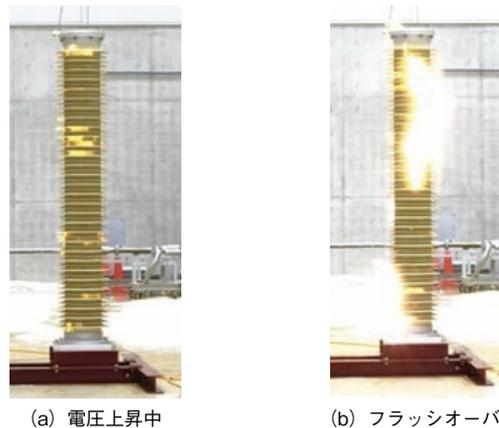


図1 人工汚損交流耐電圧試験

表1 ポリマーブッシングの定格事項

定格電圧 [kV]	69/80.5	115/161
定格電流 [A]	2,000 以下 /3,000	2,000 以下 /3,000/4,000
定格短時間耐電流 [kA]	31.5	31.5/40



図2 ポリマーブッシング適用 72 kV 単体ガス遮断器

### ■ 語句説明

注1) ポリマーがい管：ガラス繊維強化プラスチック（以下、FRP）をコア材に用い、FRP表面をポリマー材料（シリコンゴムなど）で被覆した中空絶縁体

注2) ポリマーブッシング：絶縁体がポリマーがい管で構成された、壁またはタンクなどの隔壁を貫通する導体または導体の通路を持ち、これらを隔壁から絶縁し、支持する装置

# 沖縄電力向け集中保護装置への距離リレー搭載

## 1 はじめに

沖縄電力（株）離島向け 22 kV 配電塔において複数の装置で構成されていた保護・監視制御を 1 面／バンクに集約したことで、効率運用・コストダウンを実現した集中形保護制御装置の 1 号機を 2020 年 7 月に納入した。

今回、保護機能に距離リレーを搭載し、機能向上を図った 2 号機を 2021 年 7 月に納入したので、その概要を紹介する。

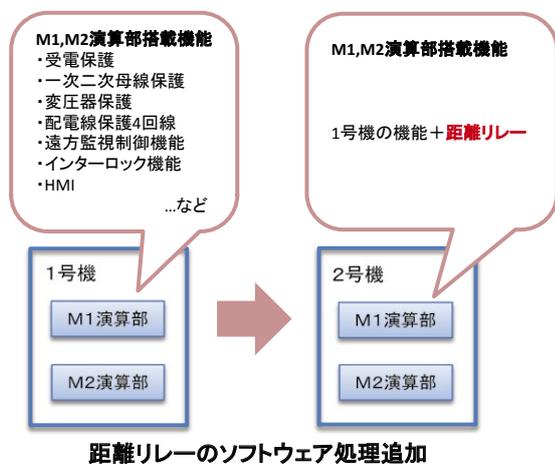


図 1 距離リレー搭載イメージ図

## 2 距離リレーの搭載

本装置では 1 号機にて集約・搭載した 1 バンク分の保護要素に加えて、距離リレー要素を搭載した。

距離リレーは回路や配線などのハードウェア変更をすることなく、ソフトウェア処理の追加のみで実現した。このことによりさらに設置面積の省スペース化、コスト削減を実現した。表 1 に本装置に搭載されている保護要素を示す。

## 3 距離リレー概要

本装置の距離リレーは、短絡距離要素（44S）と過電流要素として変化分電流（51DF- $\Delta I$ ）と過電流（51DF-HOC）を採用している。図 2 に特性図を示す。

短絡距離要素（44S）は電圧と電流から事故点までの距離演算（インピーダンス演算）と方向判別を実施する。過電流要素の変化分電流（51DF- $\Delta I$ ）と過電流（51DF-HOC）は、電流から事故判別を実施する。短絡

表 1 保護要素

保護対象	保護要素（制御機器番号）
受電	距離要素（44S, 51DF- $\Delta I$ , 51DF-HOC）※ 過電流要素（51L, 51H） 地絡過電流要素（51G） 地絡方向要素（67G）
一次母線	地絡過電圧要素（64B1, 64B2, 64BV） 不足電圧要素（27B）
変圧器	比率差動要素（87, 87 - 51H） 過電流要素（51P, 51PI, 51S） 地絡過電流要素（51GP）
二次母線	地絡過電圧要素（64B1, 64B2, 64V） 不足過電圧要素（27）
配電線	過電流要素（51） 地絡方向要素（67G） 再閉路（79）
電圧調整	電圧調整要素（90）
系統安定	周波数低下要素（95）

※本装置での追加要素

保護要素	特性
44S	<p>X 1: リアクタンス整定1段目 X 2: リアクタンス整定2段目 X 3: リアクタンス整定3段目</p>
51DF- $\Delta I$	
51DF-HOC	

図 2 距離リレー特性図

距離要素と過電流要素のいずれかとの AND 成立時にトリップ出力する構成としている。

また、本装置はメイン-メイン方式を採用し上記構成を 2 系列化している。

## 4 おわりに

距離リレーを搭載した沖縄電力集中保護装置について紹介した。

今後は、国際標準規格 IEC 61850 対応を予定している。

# 地中線ガス開閉器用VT(UGS用VT)

## 東光高岳・タカオカ化成工業による協同開発

### 1 概要

UGS用VT<sup>注1)</sup>は、地中線系統のSF<sub>6</sub>ガス負荷開閉器に内蔵される制御電源用変圧器である。開閉器には設置条件の制約による省スペース化と開閉性能の長期信頼性が求められ、UGSは高い絶縁性能を有するSF<sub>6</sub>ガスを用いることで安定した負荷開閉性能とコンパクト化を両立している。また、開閉器箱内に収納されるVTにはコンパクト化に加えて、電流開閉で生じるSF<sub>6</sub>分解ガスに対する耐久性が要求される。このため、アルミナ充填材を配合したエポキシ樹脂を適用したモールドVTが採用される。

タカオカ化成工業はアルミナ充填材配合樹脂を利用した超高压系統向け開閉器の絶縁部品を数多く生産しているため、UGS用VTの生産を担うことになった。今回開発したUGS用VTは東光高岳と協同開発を行い2022年から(株)戸上電機製作所に納入を開始した。

### 2 仕様

UGS用VTの定格仕様を表1に示す。

表1 定格仕様

項目	仕様	
使用環境	UGS 筐体内 (SF <sub>6</sub> 充填部位)	
準拠規格	JIS C 1731-2 JEC-1201 全関規格	
定格周波数	50 Hz または 60 Hz	
耐電圧 (商用周波/雷インパルス)	22/60 kV	
定格一次電圧	6,600 V	
定格二次電圧	105 V	
定格負担	10 VA	
外形寸法	高さ	102 mm
	幅	233 mm
	奥行	157 mm
質量	7.5 kg	

### 3 特長

- ・小型化を実現するため、細径電線適用を可能にする巻線機の改良、一次二次コイル間の絶縁構成の見直し、電界解析による部品形状、レイアウトの最適化を図った。
- ・一部の部品には東光高岳標準品を採用し部品の共通化を行った。
- ・JIS C 1731-2 と JEC-1201 で規定される形式試験に加えて冷熱試験、耐湿試験、低温試験などの特殊試験を行った。特殊試験は東光高岳と分担し、開発期間の短縮を図った。また、V-t試験で30年相当の耐久性評価を実施した。いずれの試験においても要求仕様を満足する良好な性能を確認した。
- ・(株)戸上電機製作所では本稿で紹介したVTを搭載したUGSで(公社)全関東電気工事協会による推奨品認定を取得された。

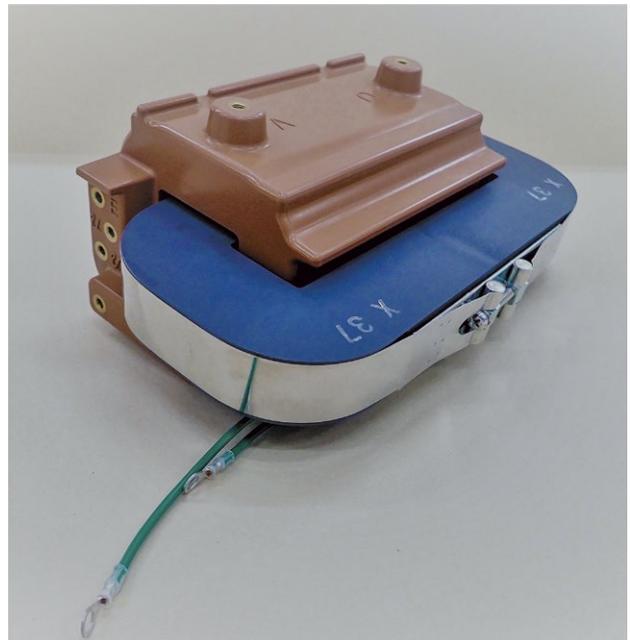


図1 UGS用VT外観

#### ■ 語句説明

注1) UGS用VT: Underground Gas Switch use Voltage Transformer 「地中線ガス開閉器用変圧器」

# 関西電力送配電株式会社への柱上変圧器納入

## 1 概要

関西電力送配電株式会社（以下、関西電力）への営業活動を続けてきた。その結果、今回新たに柱上変圧器（以下、本器）の型式を取得し、2022年度下期より納入を開始する。

関西電力への納入開始により、本器は全電力会社10社の内8社へ納入することとなった。

## 2 仕様

関西電力向け本器の定格を表1に示す。

表1 関西電力向け柱上変圧器の定格

種類	一般形
相	単相変圧器（単三専用）
定格周波数	60 Hz
定格容量	10, 20, 30 kVA
定格電圧	定格一次電圧：6,600V 定格二次電圧：210/105V
タップ電圧	タップレス

## 3 特長

本器の主な特長は以下のとおりである。

- ・一次ブッシングにはリードレススタッドブッシングを採用し、工事時に使用するバイパス工具が使用可能な構造とした。
- ・二次ブッシングにもリードレススタッドブッシングを採用し、絶縁カバーとの適合性を高め運転時に通電部が露出しない構造とした。
- ・一次ブッシング間の中央に高圧絶縁電線を支持するための金物を取り付ける座を設けた。
- ・使用する部品は他変圧器用部品と極力共通化を図った。



柱上変圧器の外観

# DX認定事業者を選定



## 1 DX認定について

株式会社東光高岳は、経済産業省が定めるDX認定制度にもとづき、2022年1月1日付で「DX認定事業者」に選定された。

DX認定事業者とは、デジタル技術による社会および競争環境の変化を踏まえ、ビジョンの策定や戦略・体制を整備し、DX推進の準備ができていない事業者である。

## 2 ビジョンと実現に向けた基本戦略

東光高岳は、2021年9月15日に「東光高岳デジタルトランスフォーメーション戦略（TKTK-DX）」を公開し、グループ一体となってDXを推進している。

TKTK-DXにおいては、「東光高岳グループ2030 VISION & 2023中期経営計画」にもとづき領域を三つに分け、それぞれに目標を設定しDXを推進している。

## 3 DX推進体制と今後

TKTK-DXは社長を最高カイゼン責任者（最高DX責任者に相当）とし、その直轄組織である「DXカイゼン推進本部」、新規事業分野は「GXソリューション事業本部」を中心に、「バリューチェーンのデジタル化」や「IoT共通基盤の拡張」などの取り組みを行い、DXを加速していく。



# 国立大学法人鳥取大学と医療従事者向け 認証システムで共同特許取得

## 1 はじめに

2021年5月に株式会社ミントウェーブは国立大学法人鳥取大学と共同で医療従事者向け認証システムの特許(第6886155号)を取得した。

発明の概要は看護師が使用するカート(以下、ナースカート)に設置された情報端末から電子カルテへアクセスするまでの認証時間短縮、電子カルテ画面表示までの時間短縮および患者情報のセキュリティ強化を実現した認証システムである。本認証システムはBluetooth<sup>®</sup>注1)ビーコン・測距センサ・生体認証およびシンクライアントシステムで構成される。2019年度より鳥取大学医学部付属病院で活用しており、ミントウェーブは情報端末および測距センサを提供している。

## 2 認証システムの特長

本認証システムの主な特長はBluetooth<sup>®</sup>ビーコン・測距センサ・生体認証の活用である。これらを用いて課題であった時間短縮(ストレス低減・コスト削減)・セキュリティ強化(医療安全)を実現している。

### 2.1 Bluetooth<sup>®</sup>ビーコンと生体認証

業務開始前に、シンクライアントシステムにログインし指定ソフトウェアの起動をしておくことにより、ナースカートに設置された情報端末のBluetooth<sup>®</sup>有効範囲内に利用者が持つBluetooth<sup>®</sup>ビーコンを検出することで利用者の絞り込みを行い、生体認証によって情報端末が使用可能となる。また情報端末のBluetooth<sup>®</sup>有効範囲外にBluetooth<sup>®</sup>ビーコンが移動すると自動的に切断処理を実施し、情報端末を開放する。

### 2.2 測距センサ

Bluetooth<sup>®</sup>ビーコンより検出範囲の狭い測距センサをナースカートに設置することで検出範囲内に医療従事者がいる場合は電子カルテを表示し、検出範囲外に移動した場合は電子カルテを隠す画面をすぐに表示し、患者情報の保護を可能としている。切断処理を実施せず、画面表示の制御のみ行うことで患者情報の保護と時間の短縮を両立している。

## 3 謝辞

国立大学法人鳥取大学および関係者の方々のご協力に感謝いたします。

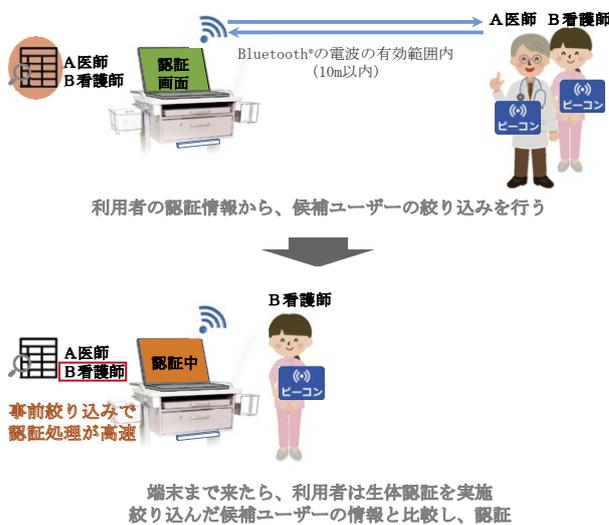


図1 Bluetooth<sup>®</sup>による先読み



図2 測距センサによる画面制御

### ■ 語句説明

注1) Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc.の登録商標です。

### 共同発明者

国立大学法人鳥取大学

寺本 圭 村田 貴弘 近藤 博史  
上原 一剛 植木 賢

株式会社ミントウェーブ

渡邊 史昭 水野 真吾