

1 **ごあいさつ**  
統合から5年 ―さらなる発展を目指して―  
武部 俊郎

3 **巻頭言**  
電力システムの質的な変化の中で  
荻本 和彦

## 論文

4 **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**  
折戸 由貴・栗原 二三夫

12 **変圧器巻線の油浸要素モデルによる  
雷インパルス絶縁特性の評価方法の検討**  
酒井 崇行・吉村 智萌・岩井 良

8 **エポキシモールド機器の構造および成形  
プロセスの最適化に向けた解析評価技術**  
森 佑介・滝澤 明広

## 技術紹介

16 **AIを活用した画像認識技術への取り組み  
～機器情報の読み取り手法について～**  
高田 晃平・高野 裕基

## 製品紹介

21 **発電所用大電流変流器**  
小林 晃一

32 **振動解析装置**  
木村 聡行・吉田 耕作

22 **送電用変電所用 IP 対応インタフェース盤**  
大蜘蛛 昭孝

34 **シンククライアント新製品と管理ツール Sient の紹介**  
小倉 公貴・前川 拓哉・石井 竜登

24 **風力発電設備用雷電流計測装置**  
酒井 繁美

38 **一般産業用スマートメーター専用データ収集装置  
TOSCAM-M1**  
竹内 聡

26 **距離継電器 (SEL-421)**  
杉山 将悟

40 **自動開閉器用遠方制御器【光通信用】(CD5SC)**  
小池 要

28 **人検知センサを利用した照明個別制御システム**  
園本 良裕・渋沢 真弘・上妻 寛治・関 智行

30 **小型温度可変反り検査装置 HVI-8000C**  
井上 征利

## トピックス

42 **自動開閉器用遠方制御器【光通信用】(CD5SC)  
の試験装置**

46 **Integrated Electronics Engineering Center  
(IEEC) at Binghamton University**

43 **電力会社向け油入全装輸送型  
20 MVA 配電用変圧器**

44 **中部電力株式会社管内設置  
T400L を活用した故障点標定機能実証開始**

45 **ネブコンジャパン2019  
第20回半導体・センサパッケージング技術展出展**

ごあいさつ

## 統合から5年 —さらなる発展を目指して—



代表取締役社長  
武部 俊郎

高岳製作所と東光電気が統合してから5年が経ちました。毎年発行してきた技報も本号で第6巻になります。

東光高岳グループは、電力分野を中心に変圧器、遮断器、断路器などの電力機器、変電所などの監視制御システムならびにスマートメーターなどの計量機器を製造・販売してまいりました。また国が主導するスマートグリッド実証事業に参画し、新島において風力・太陽光発電を単独系統に連系して制御するなどの技術開発は、本技報においてもその一端を紹介してきております。

社会に目を転じますと、この5年間で電力システムを取り巻く環境は大きく変化し、変化の度合いはさらに加速する様相を呈しております。FIT（固定価格買取制度）に由来する再生可能エネルギーのような自然変動分散電源の拡大に対する需給・系統制御、世界的なEV（電気自動車）普及にかかわる充電インフラ、異常気象や巨大地震に対するレジリエンスなどの課題は、国際的にも議論が重ねられてきております。

東光高岳グループとしましては、このような環境変化の中で以下の3つの視点で技術開発を進めております。

まず「電力分野での競争力向上」です。自由化で厳しい経営環境にある電力各社にとって、設備の維持更新においてより一層の効率化は必須です。既存の設備更新において今までとはレベルの異なる原価低減やサプライチェーン全体の改革を追求するとともに、設備のコンパクト化、設備データの遠方監視によるクラウド上での故障予知診断など、新たなサービス提供を目指してまいります。

次に「新たな電化時代への提案」です。社会の脱炭素化が進む中で、EVに代表されるように社会システム全体として電化は進展していきます。そしてその普及拡大には、賢い電化をサポートする最先端のデジタル技術が物をいいます。東光高岳グループはEV急速充電器における国内トップシェアの強みを活かし、ハード面の技術開発のみならず充電データ活用などのサービス領域に事業を拡大していきたいと考えています。

最後に「海外展開」です。電力の送配電システムは各国各様であり、現地のニーズに整合した送配電ネットワーク高度化の提案が必要です。わが国にない技術開発には現地企業とのアライアンスによるオープンイノベーションも図ってまいります。

以上3つの視点で、常に進取の気鋭をもって電力利用の高度化をリードする技術開発を進めてまいりますので、今後ともご支援ご鞭撻のほどよろしくお願い申し上げます。

# 電力システムの質的な変化の中で



荻本 和彦\*  
Kazuhiko Ogimoto

国内外でスマートな社会を目指した取り組みが行われている。スマートな社会で重要な役割を果たす電力システムでは、「分散化」と「価値のシフト」という、19世紀末のナイアガラからの交流送電開始以来の大きな技術的な質的な変化が起こりつつある。

分散化とは、需要家側が従来の全国で数千のオーダーの大・中規模の発電所より受動的に電力供給を受ける形態から、太陽光発電などの電源に加え、バッテリーなどの電力貯蔵機器の導入を進め、能動的に電気を使用する時間あるいは量を調整できる形態へ変容することによって、数千万の機器が電力システムに統合されることである。

価値のシフトとは、太陽光発電や風力発電など、天気や時間により出力が不確実に変動し、変動費がほぼゼロの再生可能エネルギー発電の大量導入により、電力の価値が、従来のkWhで測るいわゆるエネルギーから、必要な電気の供給を保障するkW、および需給変動に対応して出力を調整できるΔkWなどへシフトすることである。

従来の電力システムでは、数千の発電所と送配電網を対象に設備投資を行い、維持運用し、事業が行われてきた。しかし、分散化では、数千万の電源、需要、貯蔵の設備管理と運用を行うことが必要になる。そして、価値のシフトでは、従来の一日中一定あるいは昼高く夜安い電気料金が、例えば太陽光発電が大量に発電する時間帯は安く日没後の時間帯は高くなる。現在進行中の電力システム改革の中では、電力価格に応じて需要を管理、調整することで、さまざまなプレーヤーが新たな価値を実現し、事業を進めることができる。

低炭素排出という目標に向けて現在世界的に起きつつある、電気自動車に代表されるもう一段の電化の進展の中、電力貯蔵の多様化とともに「分散化」と「価値のシフト」は進む。スマートな社会を目指す電力分野の技術開発、事業企画・設備投資、毎日の事業運営においては、今後の「分散化」と「価値のシフト」による制度を含めた環境の変化に対応した取り組みが求められるのではないかと。

\* 東京大学 生産技術研究所 エネルギーシステムインテグレーション社会連携研究部門 特任教授

# 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

■ 折戸 由貴  
Yuki Orito■ 栗原 二三夫  
Fumio Kurihara

配電盤内に収納する機器には、絶縁物として樹脂材料が多く用いられている。これらには高い絶縁特性が求められる一方、高湿度状態や表面の汚損堆積によっては絶縁性能が低下すると知られている。このようなリスクを軽減するには絶縁物表面の清掃が不可欠であるが、清掃は停電作業となるため需要家側の負担が大きいという課題がある。東光高岳では、より効率的な配電盤絶縁物の保全技術確立とメンテナンスサービスの事業化を目指し、樹脂絶縁物表面汚損時の絶縁性能低下評価と劣化診断技術に関する検討を実施している。

今回の検証結果より、高湿度条件において絶縁物表面の汚損付着量と表面抵抗は相関性を持ち、汚損付着量の増加に伴って表面抵抗は低下することが確認された。また、汚損に含まれるイオン種によって表面抵抗低下に及ぼす影響は異なり、特に、硝酸イオンの付着は表面抵抗低下に対する影響が大きいとわかった。

以上の知見より、絶縁物表面の汚損度を定量することで、汚損付着量から間接的に絶縁物の沿面絶縁破壊リスクを評価できる可能性があると考えた。今後は、本検証の結果を基に配電盤絶縁物に対するオンライン診断モデルを構築し、汚損検知センサによる監視によって、より個々の設置環境に即したメンテナンス内容を提案可能とすべく、研究開発を進める予定である。

## 1 はじめに

電力システムを取り巻く環境は、2016年の電力市場自由化から2020年の発送電分離といった大きな構造変革の中で、IoTやAIなどの技術を活用した新たな価値を提供しうる電力ネットワークへの変革に向け、技術開発が各所で進められている。このような新しい潮流に対する動きがある一方で、受変電設備においては電力の安定供給のため、機器メンテナンスの重要性や監視・予測保全の高度化へのニーズがますます高まっている。その中で、配電盤は電力を安定的に供給する上で不可欠な設備として、効率的なメンテナンスへのニーズが高い。

配電盤内に収納する機器には、絶縁物としてポリエステルやエポキシなど樹脂材料が多く用いられている。これらの絶縁物には高い絶縁特性が求められる一方、高湿度状態や表面の汚損堆積によって絶縁性能が低下することが知られている。遮断器に用いられている絶縁支持物に関しても、絶縁不良を引き起こす要因として絶縁物表面の汚損・吸湿からの絶縁耐力低下が挙げられており、実際に事故に至ったとの報告もある<sup>(1)</sup>。

配電盤の保守の要点として塵埃や湿潤対策が挙げられている<sup>(2)</sup>が、配電盤は半密閉筐体であるため、定期点検時の清掃を除くと内部の絶縁物に堆積した汚損が除去されにくい環境にあり、塩害地域や工業地帯に設置された配電盤内機器については、汚損リスクが大きくなる傾向にある<sup>(3)</sup>。そのため絶縁物表面の清掃が不可欠であるが、清掃は停電作業となるため需要家側の負担が大きくなってしまいう課題がある。

併せて、近年では機器の保全に関して、これまでの

ような定周期で実施する時間基準保全 (Time Based Maintenance, TBM) の考え方から状態基準保全<sup>(注1)</sup> (Condition Based Maintenance, CBM) へのシフトが進んでおり、機器の状態に合わせたより効率的なメンテナンス手法が求められている。よって、配電盤に対しても既存の定周期的な保守点検に加え、設置環境に則したより効率の良いメンテナンス手法の確立が必要である。

近年、状態基準保全への応用が期待されている技術として、前述したIoTやAI技術、センサ活用技術などがあり、東光高岳でもこれらを活用した油中ガスセンサによる変圧器状態診断技術<sup>(4)</sup>の開発に取り組んでいる。しかし、センサによって得た機器の状態データを保守へ活用するには、前提として対象機器の劣化メカニズムの把握が必須となる。

以上より、東光高岳では2018年度からセンサを用いた配電盤絶縁物の保全技術確立を目指し、基礎検証を開始した。本報告では配電盤内絶縁物に関する劣化メカニズム把握の一環として実施した、樹脂表面の汚損と表面抵抗の相関性についての報告と、センサを用いた配電盤絶縁物の劣化診断モデルについて述べる。

## 2 実験方法

### 2.1 汚損サンプルの作製

#### (1) 使用樹脂材料の概要

サンプルとして、直径100 mm、厚さ2 mmの不飽和ポリエステル製FRP (繊維強化プラスチック) 板を用意した。

不飽和ポリエステルは配電盤内に収納する遮断器の絶

縁材や母線支持材として使用されており、絶縁不良の際のリスクが致命的なものになりやすい。よって、今回の検証材料として選定した。

## (2) 模擬汚損液の概要および汚損サンプルの作製

模擬汚損液として、塩化物イオン ( $\text{Cl}^-$ )、硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ )、硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ ) を含む化合物を用いた水溶液を用意した。これらのイオンは、主に塩害地域や工業地帯で検出される汚損成分であることが知られている<sup>(3)</sup>。

この汚損液を、樹脂板表面のイオン付着量がおおよそ  $0.01 \text{ mg/cm}^2$  から  $1.5 \text{ mg/cm}^2$  となるよう均一に吹き付けた。また、比較のため溶液吹付無し of ブランク (健全品) を用意した。併せて、イオン種の違いが表面抵抗におよぼす影響を把握するため、上記の模擬汚損液をイオン種ごとに分けて調製し、樹脂板に吹き付けることで単一成分による汚損サンプルを作製した。

## 2.2 絶縁物表面の絶縁特性の測定

2.1 節にて作製した汚損サンプルに対し、表面抵抗の測定を実施した。測定方法は JISC 2139-3-2「直流電流印加による抵抗特性の測定」に準拠し、同心円電極および超絶縁計を用いて測定した。印加電圧は  $100 \text{ V}$ 、測定環境は室温とし、低湿度条件 ( $20 \sim 30\% \text{ RH}$ ) と高湿度条件 ( $80\% \text{ RH}$ ) の2条件とした。このうち、イオン付着量  $0.3 \text{ mg/cm}^2$  以上のサンプルのみ、印加電圧  $500 \text{ V}$  での測定も実施した。なお、表面抵抗測定は各条件下にサンプルを1時間静置した後に行った。測定後のサンプルは外観観察のち表面汚損成分を回収し、イオンクロマトグラフ<sup>注2)</sup>にて各イオンの付着量を測定した。

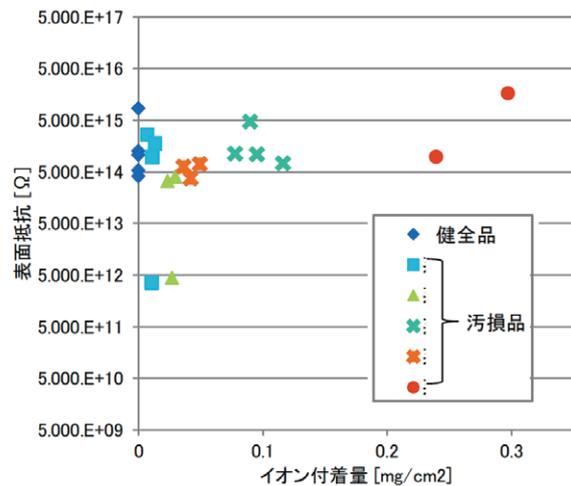
さらに、汚損サンプル表面に、先端角を鋭角としたアルミ薄膜製の電極を対向して貼りつけ、連続昇圧による AC 沿面絶縁破壊試験を実施した。電極間のギャップは  $6 \text{ mm}$  とし、測定環境は室温、低湿度条件 ( $30\% \text{ RH}$  程度) で行った。

## 3 結果および考察

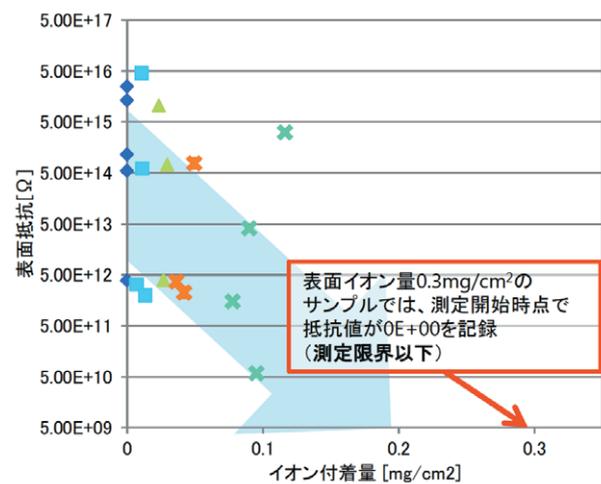
### 3.1 表面抵抗測定結果

表面抵抗測定の結果を図1に示す。図1より、低湿度条件では、表面イオン付着量の多いサンプルでも高い表面抵抗を示すことが確認された。一方で、高湿度条件では、イオン付着量の増加にしたがって表面抵抗が低下する結果となったほか、イオン付着量が  $0.3 \text{ mg/cm}^2$  以上のサンプルでは、表面抵抗が測定限界値以下となった。双方に共通する点として、健全品と比較すると、汚損サンプルは表面抵抗値のばらつきがより大きくなる傾向にあることが示された。

測定後のサンプルの表面観察では、汚損付着量が増加



(a) 低湿度条件 ( $20 \sim 30\% \text{ RH}$ )



(b) 高湿度条件 ( $80\% \text{ RH}$ )

図1 不飽和ポリエステルサンプルにおける汚損時の表面抵抗



図2 測定後のサンプル表面

するにしたがって表面に付着した水滴量が多くなっているのが視認できた。加えて、表面汚損付着量がおおよそ  $0.3 \text{ mg/cm}^2$  のサンプル (印加電圧  $500 \text{ V}$  にて測定したもの) では、図2に示すように、表面に部分放電起因とみられる変色が確認された。

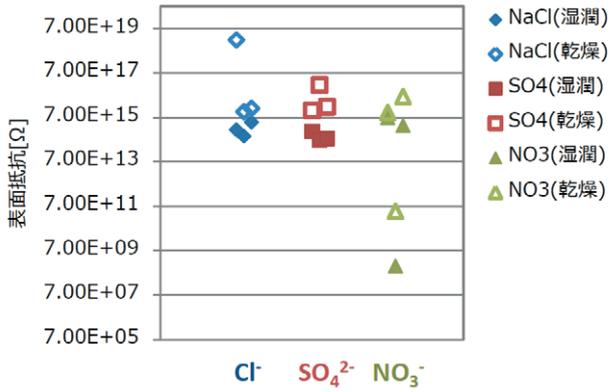


図3 不飽和ポリエステルサンプルにおける汚損成分ごとの表面抵抗

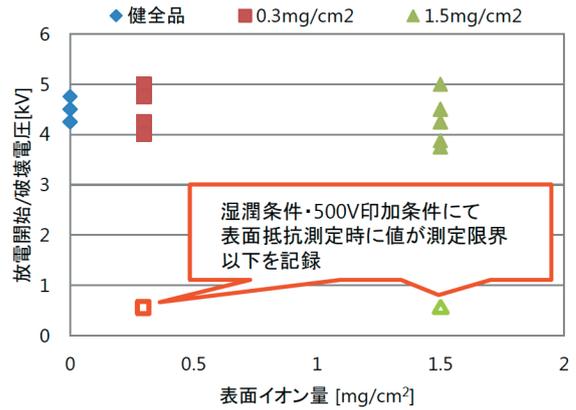


図4 不飽和ポリエステルサンプルにおける沿面破壊電圧 (低湿度条件)

### 3.2 汚損成分中のイオン種の影響

今回の検証に使用した汚損成分の中で特に表面抵抗低下に影響をおよぼすイオン種について調査すべく、汚損成分ごとの表面抵抗を測定した結果を図3に示す。

結果より、表面抵抗低下への影響が大きいイオン種は硝酸イオン (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) である可能性が高いと判断した。

電解質の異なる溶液の電気伝導性を比べる場合、イオンによって固有の値である、モル伝導率<sup>注3)</sup>による比較が用いられる<sup>(5)</sup>。今回使用した化合物中では、モル伝導率の値が大きい順から、硝酸イオン溶液>硫酸イオン溶液>塩化物イオン溶液となった。これは図3に示す結果と近いことから、付着する汚損成分によっても表面抵抗率への影響は大きく変化するものと考えられる。

また、長期的に汚損成分が付着する場合、充填剤にカルシウム系の材料を用いている樹脂表面に硝酸イオンが硝酸の形で付着すると、化学反応により高い潮解性を持つ硝酸カルシウムになる可能性がある<sup>(6)</sup>と報告されている。一方で、硫酸イオンはイオン単体では硝酸イオン、塩化物イオンよりも高いモル伝導率 (およそ2倍) を示すが、かりに硫酸カルシウム (石膏の主成分) を生成した場合は、同物質は潮解性を示さず、水に対して難溶性である。そのため、硫酸カルシウムが表面抵抗の低下に及ぼす影響は小さいと考えられる。

以上のことから、硝酸イオンの付着は、表面抵抗低下に対する影響が大きいと考えられる。

### 3.3 表面汚損時の沿面絶縁破壊電圧

沿面絶縁破壊電圧試験の結果を図4に示す。

傾向として、表面抵抗と同様に、汚損付着量が増加するにつれて表面抵抗値のばらつきが大きくなるようすがみられた。

湿度30%前後の低湿度環境であっても、表面に多量の汚損が存在する場合は、沿面破壊電圧低下のリスクが増加すると考えられる。また、湿潤環境では表面抵抗測

定時に電圧を印加した程度 (500 V) で破壊したのものもあり、絶縁破壊に関しては汚損だけでなく湿度の影響も顕著であると確認された。

### 3.4 絶縁物表面の絶縁特性低下の要因

以上の結果より、絶縁物表面の汚損付着量と絶縁特性に関しては、以下のことがわかった。

- ・絶縁物表面の汚損付着量と表面抵抗は、特に高湿度条件において相関性があり、汚損付着量の増加に伴い表面抵抗は低下する。
- ・汚損に含まれるイオン種によって、表面抵抗低下に及ぼす影響は異なる。特に、硝酸イオンの付着は表面抵抗低下に対する影響が大きい。
- ・汚損付着量が高い場合には沿面破壊電圧のばらつきが大きくなり、沿面破壊電圧低下のリスクが増加する。特に、湿潤状態ではこの傾向が顕著になる。

以上から、絶縁物表面の絶縁特性低下の主な要因は、絶縁物表面の汚損度とその汚損成分であり、これに湿度が加わると顕著な影響が現れ、絶縁物表面の絶縁特性が低下すると言える。

## 4 絶縁物の劣化診断への応用

3章にて得た知見より、絶縁物表面の汚損度を定量することで、汚損付着量から間接的に絶縁物の表面抵抗を推察し、沿面絶縁破壊のリスクを評価できる可能性があると考えた。これを基に、汚損検知センサを適用した配電盤内絶縁物に対するオンライン診断モデルについて図5に示す。

上記のモデルでは、まず事前に対象機器の初期状態の把握として、オフラインでの絶縁物表面の抵抗測定による絶縁性能評価、および汚損の採取・成分分析を実施する。配電盤の設置環境は、汚損の比較的小さい内陸地域から汚損の多い沿岸部まで多岐に渡るため、汚損の化学

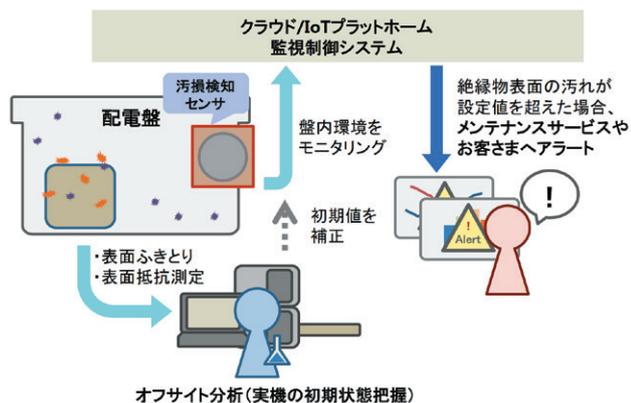


図5 配電盤内絶縁物のオンライン簡易診断モデル

組成は設置場所に大きく影響される。そのため、オフライン分析による設置場所の汚損成分の把握は、より確度の高い状態診断において非常に重要となる。

続いて、オフライン分析後は汚損検知センサによって汚損堆積状況を監視する。分析で得た初期データを基に、絶縁物表面の汚損堆積状況をクラウドを通じてオンライン監視し、並行して絶縁物の絶縁性能低下に関する解析を実施する。

これにより、設定した閾値を超過した際にはアラートを配信し、お客さまへ適切な点検や清掃をご提案できる。

センサの適用によりリアルタイムで汚損量が可視化できるため、このモデルによって個々の設置環境にあったメンテナンス頻度・内容の見直しが可能である。配電盤の定期点検は停電を伴うため、お客さま側の負担が大きくなるものであるが、このようなオンラインサービスでは無停電かつ無人での診断が可能であるため、お客さまの負担を低減できる。また、海岸からの距離が同程度の地域であっても、地形や台風被害の有無によって、汚損の総堆積量や堆積速度には大きく差が出ることが考えられる。そのため、センサ情報を活用することで、これまで一律であったメンテナンス内容を、より現状に即した形へ最適化できるメリットがある。

## 5 まとめ

配電盤内絶縁物の劣化メカニズム把握の一環として、樹脂表面汚損時の絶縁性能について検討した。

その結果、高湿度条件において絶縁物表面の汚損付着量と表面抵抗は相関性を持ち、汚損付着量の増加に伴って表面抵抗は低下することが確認された。また、汚損に含まれるイオン種によって表面抵抗低下に及ぼす影響は異なり、硝酸イオンの付着は表面抵抗低下に対する影響が特に大きいとわかった。

今後は、以上の結果を基に配電盤絶縁物に対するオンライン診断モデルを構築し、汚損検知センサによるリア

ルタイム監視によってより個々の設置環境に即したメンテナンス内容を提案可能とすべく、研究開発を進める予定である。

### ■参考文献

- (1) 電気共同研究会編：「電気共同研究 第50巻2号 変電設備保全の高度化・効率化」、電気共同研究会、p.142 (1994)
- (2) 電気共同研究会編：「電気共同研究 第47巻5号 特別高圧需要家受電設備」、電気共同研究会、p.140 (1992)
- (3) 電気共同研究会編：「電気共同研究 第69巻3号 配電機材に対する劣化環境の定量評価」、電気共同研究会、p.56 (2013)
- (4) 栗原二三夫ら：「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、Vol.5、p.6 (2018)
- (5) 米山宏著：「新化学ライブラリー/電気化学」、大日本図書、pp.31-35 (1990)
- (6) 三木伸介ら：「科学的分析とMT法の適用による遮断器用絶縁物の劣化評価」、電学論B、Vol.127、No.9 (2007)

### ■語句説明

注1) 状態基準保全：保全対象の状態に応じて必要な保守点検を実施する方法。時間基準保全と比較して、無駄を抑えられる利点がある。

注2) イオンクロマトグラフ：イオン交換体などを用いた分離カラムにより試料中のイオン種成分を展開・溶離させ、電気伝導度検出器で測定する分析装置 (JIS K 0127-1992)。

注3) モル伝導率：溶液の比伝導率をモル濃度で割った値を指す。溶液を無限希釈し、「多数の水分子の中に陽イオンと陰イオンが1組のみ存在する」と仮定したものを極限モル伝導率といい、イオンの特性を示す値となる<sup>(5)</sup>。

### 折戸 由貴

技術開発本部 技術研究所  
材料技術グループ 所属  
材料技術の開発に従事

### 栗原 二三夫

技術開発本部 技術研究所  
材料技術グループ 所属  
材料技術の開発に従事



# エポキシモールド機器の構造および成形プロセスの最適化に向けた解析評価技術

■ 森 佑介  
Yusuke Mori

■ 滝澤 明広  
Akihiro Takizawa

エポキシモールド機器は導体やコイル、ボルト座などさまざまな部品がモールドされている。通常、内部にモールドされた部品付近には残留応力が発生し、弱点部となることが多い。そのため、内部部品付近に発生する残留応力の把握とその残留応力を考慮した機械的強度の評価が必要となる。本稿では、ボルト座をモールドしたモデルを作成し、一連の成形プロセスを加味した残留応力の解析を実施した。さらに、残留応力を考慮した状態で、外力を加えた際に発生する応力分布を解析し、対象の機械的強度を評価した。

## 1 はじめに

エポキシ樹脂は電気絶縁特性や機械的強度が優れており、電力機器の固体絶縁材料として広く用いられている。東光高岳においても、モールド変成器などの電力機器の絶縁媒体にエポキシ樹脂を適用している。エポキシ樹脂のような固体絶縁材料を使用する場合、電気絶縁特性だけでなく、大電流通電時の電磁力や温度変化による熱応力、そのほかの外力に対して十分な機械的強度を有することを確認する必要がある。したがって、品質の確保と効率的な製品開発を実現するためには、電気絶縁特性や機械的強度などを解析できるようにする必要がある。しかし、エポキシ樹脂を使用した成形品の機械的強度に関しては、以下のような課題から解析による把握が容易ではない。

- (1) エポキシ樹脂の成形プロセスにおいて、残留応力が発生する。しかし、一般的に利用される線形応力解析では、残留応力を正しく把握することはできない。
- (2) 解析結果の評価に利用される引張強度や曲げ強度などは材料固有の値ではなく、実際には寸法効果<sup>注1)</sup>の影響等がある。

これらの課題がエポキシモールド機器の機械的強度の予測を難しいものにしてしまうと考えられる。これまで筆者らは、課題(1)に対して、成形プロセスにおける残留応力の変化を解析できるようにしてきた<sup>(1)~(4)</sup>。また、課題(2)に対して、エポキシ樹脂に発生する応力分布を考慮し、精度良く機械的強度を評価する方法を検討してきた<sup>(5)</sup>。

本稿では、上記二つの技術を統合し、エポキシ樹脂を使用した成形品に発生する残留応力を考慮し、機械的強度を予測した事例について紹介する。(以降、「機械的強度」を「強度」と記載する。)

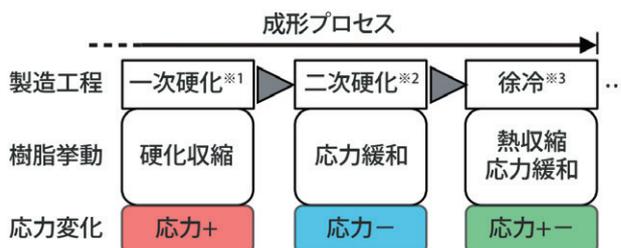
## 2 解析方法

### 2.1 成形プロセスにおける樹脂の挙動と応力の変化

残留応力を解析するためには、成形プロセスにおける樹脂の挙動を考慮する必要がある。図1は一般的なエポキシモールド機器の成形プロセスと各プロセスでの残留応力の変動要因を示したものである。一次硬化から徐冷のプロセスにおいて、硬化収縮や応力緩和、熱収縮といった現象が生じ、時々刻々と残留応力が変化する。硬化収縮はエポキシ樹脂の硬化反応に伴い発生するため、樹脂の硬化反応と体積変化の関係を把握しておく必要がある。応力緩和は樹脂の粘弾性特性に起因するが、本特性はさきわめて強い温度依存性を示す。したがって、各成形プロセスの温度変化を考慮した粘弾性特性が必要となる。熱収縮を決定するエポキシ樹脂の線膨張係数についても温度依存性がある。本解析では、これらの非線形性を考慮した解析を実施することで、残留応力を正しく把握することができる。

### 2.2 解析モデルおよび強度評価手順

残留応力はエポキシ樹脂の硬化収縮や内部にモールドされた部品との熱膨張収縮の差によって発生するため、内部部品の微小な曲面部分に集中することが多い。そのような状況を模擬するため、図2のように、ボルト座をエポキシ樹脂でモールドした解析モデルを作成した。同モデルを用いて、図3に示す手順で強度評価を実施



※1 一次硬化：離型できる程度まで硬化を進める工程。  
 ※2 二次硬化：残りの硬化を進めつつ、内部応力を緩和する工程。  
 ※3 徐冷：内部応力を緩和しつつ、温度を下げる工程。

図1 エポキシモールド機器の成形プロセスと応力変化

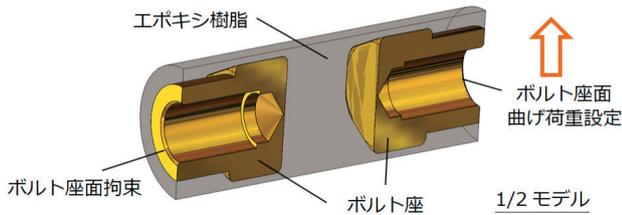


図2 解析モデルおよび境界条件

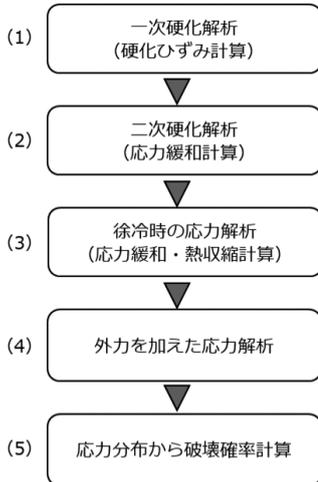


図3 解析モデルの強度評価手順

した。なお、一次硬化解析においては、樹脂への熱の伝わり方が特に重要となるため、一次硬化における伝熱を適切に解析できるように金型もモデリングしている。

### 2.3 各項目の解析内容

図3に示した各項目の具体的な解析方法について記載する。なお、解析方法のさらに詳しい内容については、文献<sup>(1)~(5)</sup>を参照されたい。

#### (1) 一次硬化解析

一次硬化解析では、樹脂の硬化反応を計算する式(1)と温度分布を計算する式(2)を連成して解析しており、樹脂の硬化反応に伴う発熱と温度分布は双方に影響を及ぼしあう。硬化ひずみは、硬化反応率と硬化収縮特性から式(3)~(6)で計算する。

#### ●硬化反応速度式 (Kamal モデル)

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} = \left[ A_1 \exp\left(-\frac{E_1}{T(t)}\right) + A_2 \exp\left(-\frac{E_2}{T(t)}\right) \alpha^m \right] (1 - \alpha)^n \dots (1)$$

$\alpha$ : 硬化反応率,  $t$ : 経過時間,  $T$ : 樹脂温度,  $A_1, A_2, E_1, E_2, m, n$ : 硬化反応速度定数

#### ●エネルギー保存式

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \Delta T + \rho Q_{tot} \frac{\partial \alpha}{\partial t} \dots (2)$$

$\rho$ : 質量密度,  $C_p$ : 定圧比熱,  $T$ : 温度,  $t$ : 経過時間,  $k$ : 熱伝導率,  $Q_{tot}$ : 樹脂の総発熱量,  $\alpha$ : 硬化反応率

#### ●硬化ひずみ計算式

$$\varepsilon_{Total} = \varepsilon_c + \varepsilon_T \dots (3)$$

$$\varepsilon_c = 1 - \sqrt[3]{1 - S_v} \dots (4)$$

$$\varepsilon_T = \beta(T_E - T_{R.T.}) \dots (5)$$

$$S_v(p, T_E, \alpha) = \frac{\nu_2(p, T_E, \alpha) - \nu_1(p, T_{gel}, \alpha_{gel})}{\nu_1(p, T_{gel}, \alpha_{gel})} \dots (6)$$

$\varepsilon_{Total}$ : 硬化ひずみ,  $\varepsilon_c$ : 硬化収縮ひずみ,  $\varepsilon_T$ : 熱ひずみ,  $\beta$ : 線膨張係数,  $S_v$ : 体積変化率,  $T_E$ : 離型時樹脂温度,  $T_{R.T.}$ : 室温,  $\nu_1$ : ゲル化時の体積,  $\nu_2$ : 離型時の体積,  $p$ : 圧力,  $\alpha$ : 硬化反応率, 添え字  $_{gel}$  はゲル化時

#### (2) 二次硬化解析

二次硬化プロセスで生じる応力緩和は、一般化 Maxwell モデルとよばれる式(7)で計算する<sup>(6), (7)</sup>。一般化 Maxwell モデルは粘弾性を表すモデルであり、時間の経過とともに緩和弾性率  $G(t)$  が低下することで応力緩和を生じる。緩和弾性率の変化は、 $G_\infty, G_i, \tau_i, a_T(T)$  の各係数によって決まる。本解析では、動的粘弾性測定<sup>注2)</sup>より得られた結果から各係数を求めている。

#### ●一般化 Maxwell モデル

$$G(t) = G_\infty + \sum_{i=1}^n G_i \exp\left(-\frac{t}{a_T(T)\tau_i}\right) \dots (7)$$

$G(t)$ : 緩和弾性率,  $t$ : 緩和時間,  $G_\infty$ :  $t = \infty$ における弾性率,  $G_i$ : 各項の弾性率,  $\tau_i$ : 各項の緩和時間,  $a_T$ : シフトファクタ,  $T$ : 樹脂温度,  $n$ : Maxwell モデルの項数

#### (3) 徐冷時の応力解析

成形品の温度低下による収縮と応力の変化を計算する。その際、樹脂の線膨張係数の温度依存性も考慮している。また、徐冷時においても式(7)により応力緩和を計算している。ここで得られた応力が成形品の残留応力となる。

#### (4) 外力を加えた応力解析

(1)~(3)項で求めた残留応力を考慮した状態で、任意の荷重を設定した応力解析を実施する。境界条件は図2に示したとおり、一方のボルト座面を拘束し、もう一方のボルト座面に上方向の荷重を設定した。ここで得られた応力分布から、任意の荷重に対する破壊確率を計算し、強度を評価することとなる。

#### (5) 応力分布から破壊確率計算

解析結果として得られた最大主応力分布から、最弱リンクモデル<sup>(8)~(10)</sup>にもとづき破壊確率を計算し、強度を評価する。最弱リンクモデルとは、複数の輪で構成される鎖の強度は、最も強度の低い輪が決定づけるという考え方であり、輪の数が多いほど鎖の破壊確率は高くなる。脆性材料の破壊を表現するモデルとして知られており、ワイブル分布にしたがう。本稿では、輪の数を対象の体積に置き換え、寸法効果を考慮した強度評価を行っている。具体的な強度評価手順を以下に示す。

- (i) 最大主応力分布から、各要素を代表する応力値  $\sigma_i$  を求める。下添え字の  $i$  は要素番号を表す。
- (ii) 各要素の信頼度  $R_i$  を次式より求める。

$$R_i(\sigma_i, V_i) = \begin{cases} \exp\left\{\frac{V_i}{V_0}\left(\frac{\sigma_i - \sigma_u}{\sigma_0}\right)^m\right\}, & (\sigma_i - \sigma_u > 0) \\ 1, & (\sigma_i - \sigma_u \leq 0) \end{cases} \dots\dots(8)$$

ここで、 $V_i$  は各要素の体積、 $V_0$  は基準体積、 $m$ 、 $\sigma_u$ 、 $\sigma_0$  はワイブルパラメータとよばれ、それぞれ形状パラメータ、位置パラメータ、尺度パラメータである。

- (iii) すべての要素が健全である確率  $R_{tot}$  から、解析対象の累積破壊確率  $F$  を求める。

$$F = 1 - R_{tot} = 1 - \prod_i^n R_i \dots\dots\dots(9)$$

前記 (1)～(5) の手順を実施することで、成形プロセスで生じる残留応力を把握し、残留応力を考慮した状態で成形品の強度を評価することができる。

### 3 解析結果

#### 3.1 成形品の残留応力

図4に徐冷後における残留応力分布（最大主応力表示）を示す。樹脂の応力がわかるように、ボルト座は非表示にしている。同図より、ボルト座の微小な曲面に残留応力が発生していることがわかる。この段階で過大な応力が発生している場合、周囲の温度変化や外力により破壊する可能性が高く、構造や成形プロセス条件を見直す必要がある。

2.1節に記載したとおり、残留応力は各成形プロセスで時々刻々と変化するが、適切な二次硬化プロセスを経た直後の残留応力は非常に小さくなる。また、徐冷速度によっても残留応力は変化する。さらに残留応力の発生様相は、製品構造や樹脂の種類によっても異なるため、残留応力を抑制する適切な成形プロセスも製品ごとに異なってくる。そのため、従来は適切な成形プロセスを把握するために多くの試作が必要であったが、本解析を利用することで試作回数を削減し、開発期間を短縮できる。

#### 3.2 成形品の強度評価結果

成形品に外力を加えたときの応力分布を図5に示す。得られた応力分布から、2.3節(5)に記載した方法で破壊確率を計算することで、成形品の強度を評価する。図6は、荷重をパラメータとして、応力と破壊確率の変化を解析した結果である。なお、同図の縦軸は対象材料の引張強度（JIS K7161による）で基準化している。荷重が大きくなるにしたがって、応力値も高くなり、破壊する確率も高くなる。ただし、応力値と異なり、破壊確率はある荷重から急激に上昇する。同図より、本モデ

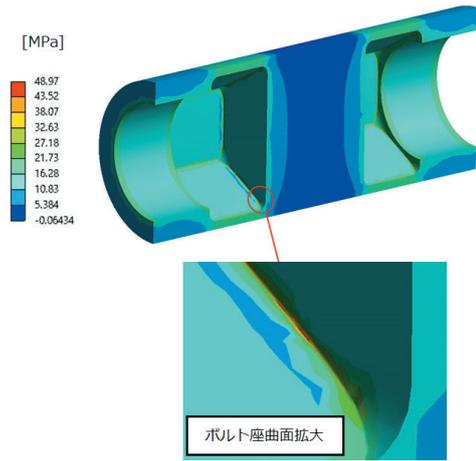


図4 残留応力分布（最大主応力表示）

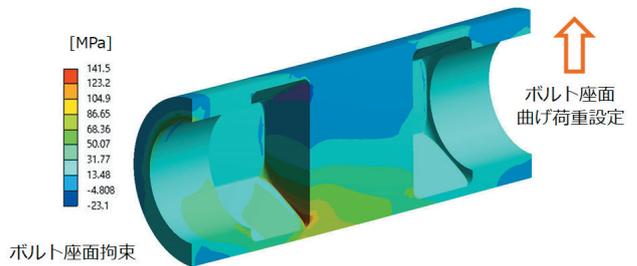


図5 残留応力と外力による最大主応力分布

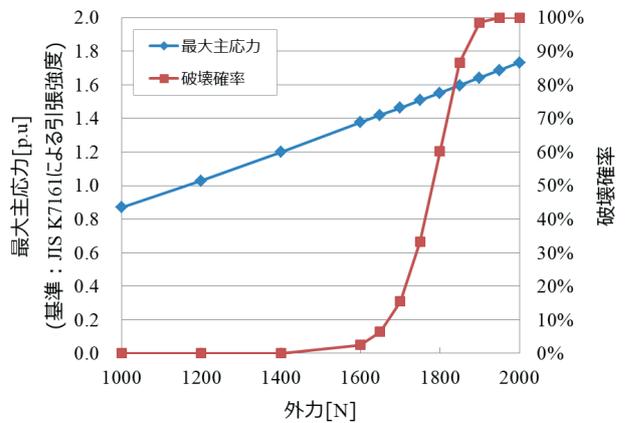


図6 成形品の強度評価結果

ルの場合、1,400～2,000 N の間で破壊する可能性が高いことがわかる。また、非常に狭い範囲でのみ強い応力が発生するため、材料の引張強度と同等の応力が発生する荷重で破壊する確率はきわめて低く、さらに大きな荷重まで高確率で耐えることが示されている。

### 4 おわりに

本稿では、エポキシモールド製品の成形プロセスで生じるさまざまな現象を考慮して、成形品に生じる残留応力を解析した。さらに、残留応力のある成形品の強度を解析・評価した。本稿に記載した残留応力解析と強度の

評価方法については、それぞれ文献<sup>(4)</sup>、<sup>(5)</sup>にて実測との比較により検証し、その妥当性を確認している。本稿ではそれぞれの技術を組み合わせた解析を行うことで、成形品の使用環境における強度を精度良く把握することができ、強度分布も予測することができる。以上のことから、本解析技術を製品開発の初期段階から利用することで、適切な構造設計や金型設計、成形プロセス条件の導出などに活かすことができる。これにより、開発期間の短縮や試作回数の低減などに繋がると考えている。

#### ■参考文献

- (1) 滝澤明広, 森佑介, 大竹美佳:「エポキシモールド機器の最適設計に向けた硬化ひずみ解析」, 東光高岳技報 No.1 (2014)
- (2) 森佑介, 滝澤明広, 吉谷彰倫:「エポキシモールド機器における硬化条件の最適化」, 東光高岳技報 No.2 (2015)
- (3) 滝澤明広, 森佑介:「エポキシモールド機器の最適設計に向けた応力緩和解析」, 東光高岳技報 No.3 (2016)
- (4) 滝澤明広, 森佑介:「エポキシモールド機器の最適設計に向けた残留応力解析の検証」, 東光高岳技報 No.5 (2018)
- (5) 森佑介, 滝澤明広:「エポキシモールド機器の構造最適設計に向けた機械的強度の評価方法」, 東光高岳技報 No.4 (2017)
- (6) 株式会社メカニカルデザイン:「粘弾性解析における諸問題 その1 Maxwell モデルの基本的な性質」, Mech D&A News vol.2005-2 (2005)

(7) 株式会社メカニカルデザイン:「粘弾性解析における諸問題 その3 一般化 Maxwell モデルの同定」, Mech D&A News vol.2005-4 (2005)

(8) W. Weibull:「A Statistical Distribution Function of Wide Applicability」J. Appl. Mech. Vol.18 (1951)

(9) 坂田勝:「ぜい性材料の破壊の統計的扱い」, 精機学会誌, Vol.39, No.11 (1973)

(10) 泉聡志, 酒井信介:「実践有限要素法シミュレーション」, 森北出版 (2010)

#### ■語句説明

注1) 寸法効果: 材料の大きさにより、その機械的強度などが変わってしまう現象。

注2) 動的粘弾性測定: 試料に正弦波を与えた際の応答の遅れを測定するもの。



#### 森 佑介

技術開発本部 技術研究所  
解析・試験技術グループ 所属  
解析技術の研究に従事



#### 滝澤 明広

技術開発本部 技術研究所  
解析・試験技術グループ 所属  
電力機器の開発・設計、および解析技術の研究に従事

# 変圧器巻線の油浸要素モデルによる雷インパルス絶縁特性の評価方法の検討

■ 酒井 崇行  
Takayuki Sakai

■ 吉村 智萌  
Tomoaki Yoshimura

■ 岩井 良  
Ryo Iwai

油入変圧器の絶縁特性は、これまでモデルによる絶縁破壊試験を実施し、その結果で評価してきた。しかし、よりいっそうの絶縁の合理化を図るためには電界ストレスも加味した評価が必要といえる。今回、変圧器巻線の主要構成要素であるターン間、セクション間の要素モデルによる雷インパルス試験を実施し、理論式および電界解析による絶縁特性を考察した。その結果、放電特性はくさび状の油ギャップが支配的であり、くさび状ギャップの最弱点部の電界に着目することで評価できることを確認した。

## 1 はじめに

油入変圧器の絶縁特性は、これまでモデルによる絶縁破壊試験を実施し、その結果から評価してきた。しかし、よりいっそうの絶縁の合理化を図るためには電界ストレスも加味した評価が必要といえる。

今回、改めて変圧器巻線の主要構成要素であるターン間、セクション間の要素モデルによる雷インパルス試験を実施した。その結果を用いて、理論式および電界解析による絶縁特性を考察する<sup>(1)</sup>。

本稿では、変圧器巻線の要素モデルによる試験の結果を用いて、ターン間、セクション間の絶縁特性を電界によって評価した方法を報告する。

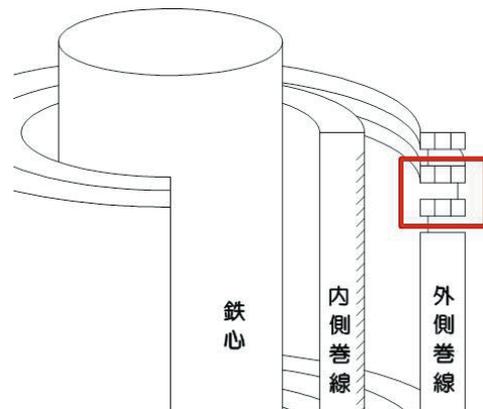


図1 変圧器巻線

## 2 要素モデルを用いた絶縁試験

### 2.1 要素モデル

変圧器の巻線のイメージを図1に示す。図中の赤枠のように主要構成要素あるターン間およびセクション間を模擬した要素モデルを図2、図3に示す。要素モデルの断面は図4に示すように、ターン間は電線を突き合わせて模擬し、セクション間は電線間にプレスボード (PB) スペーサを挟み込んで模擬した。電線は平角電線を使用し、被覆はクラフト紙を3~18枚巻き回した。セクション間モデルのPB スペーサは厚さ4 mmとした。モデルの片側は高電圧 (HV) を印加、反対側を接地 (GND) とした。

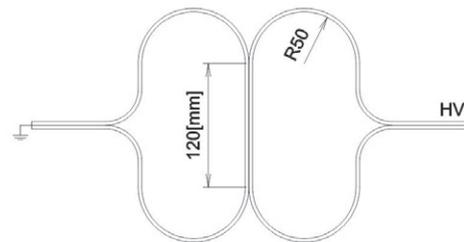


図2 要素モデル (ターン間)

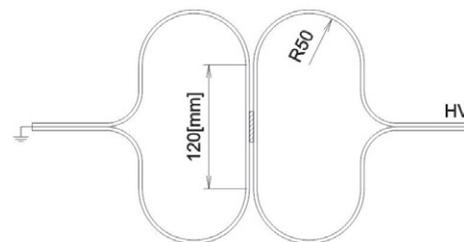


図3 要素モデル (セクション間)

### 2.2 試験方法

試験回路を図5に示す。雷インパルス発生器を用いて、負極性標準雷インパルス波形 (-1.2/50  $\mu$ s) にて試験を実施した。試験は絶縁破壊電圧 (BDV) 予想値の50%から5 kVステップで電圧を印加し、BDVと部分放電開始電圧 (PDIV) を求めた。部分放電 (PD) は、接地線に高周波 CT を取り付けて測定した。絶縁破壊 (BD) 後は、印加線と接地線を次のモデルに付け替えて

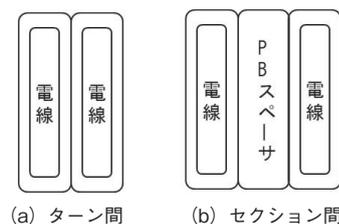


図4 要素モデル断面

繰り返し試験をした。その際に、BD時に発生した気泡やカーボンなどが他のモデルに影響を与えないように絶縁物で区画した。試験に使用した絶縁油は鉱油で、試験前に浄油機を通し真空注油した。各パターンモデル数は10個とした。

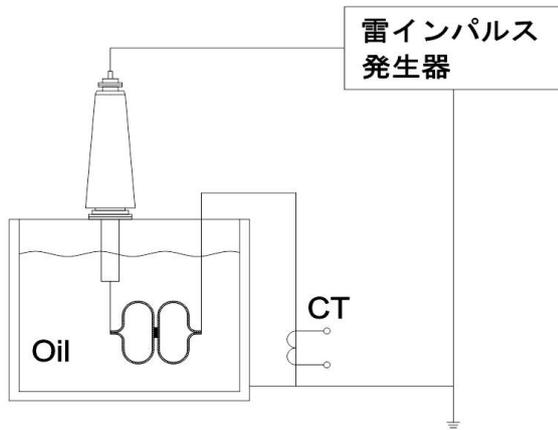


図5 試験回路

### 2.3 試験結果

ターン間とセクション間のBDVおよびPDIVを図6に示す。ターン間ではBDVより低い電圧でPDを観測したが、セクション間においてはPDが観測されずBDに至った。図6からわかるように、ターン間とセクション間ともに被覆枚数に対して線形関係を示した。また、ターン間とセクション間のBDVの傾きが異なることもわかった。これらのことから、ターン間はPDが発生しても被覆の破壊強度を超えるまで耐えると考えられる。それに対してセクション間では、PDが発生したときに油が橋絡し、被覆にかかる電圧がターン間よりはるかに大きくなることから、PDの発生と同時にBDしたと考えられる。

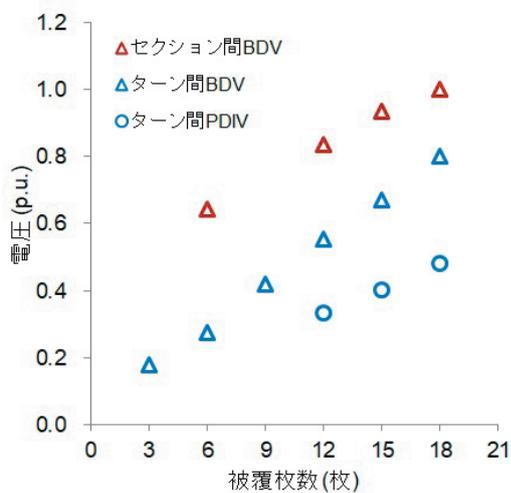


図6 試験結果

## 3 電界解析による評価方法

### 3.1 理論式との比較

セクション間の要素モデルのくさび状ギャップ<sup>注1)</sup>を図7に示す。くさび状ギャップの放電開始電界は、式(1)で表される界面の電束一定の条件から求められる。

$$\epsilon_t E_t \cong \epsilon_g E_g \cong \epsilon_d E_d \dots\dots\dots(1)$$

$$E_g \cong \frac{V}{(2g + 2\frac{\epsilon_g}{\epsilon_t}t + \frac{\epsilon_g}{\epsilon_d}d)} \dots\dots\dots(2)$$

$$E_g = k \cdot g^{-\alpha} \dots\dots\dots(3)$$

式(2)および(3)から、最弱点部のくさび状ギャップのギャップ長 $g$ と、ギャップが放電する印加電圧 $V$ の関係は式(4)で近似できる<sup>(2)</sup>。

$$V \cong k \cdot g^{-\alpha} \left( 2g + 2\frac{\epsilon_g}{\epsilon_t}t + \frac{\epsilon_g}{\epsilon_d}d \right) \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 $t$ : 被覆厚さ、 $d$ : PBスペーサ厚さ

$\epsilon_g, \epsilon_t, \epsilon_d$ : 油, 被覆, PBスペーサの比誘電率

くさび状ギャップの放電特性を示す式(3)の $\alpha$ は一般に1/3程度であり、 $\alpha = 1/3$ と仮定し、式(4)で最も放電が発生しやすい条件は $dV/dg = 0$ から、表1に示すような最小値(最弱点部)が求まる。また、各被

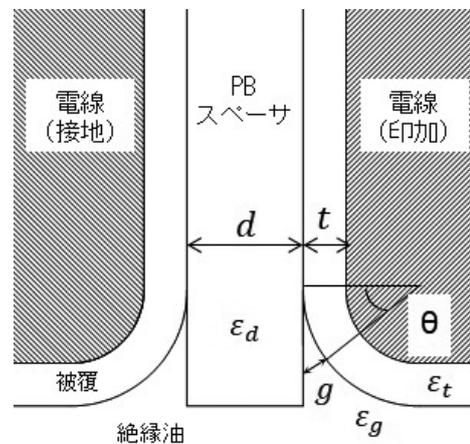


図7 要素モデルのくさび状ギャップ (セクション間)

表1 最弱点部の角度

被覆枚数	$dV/dg = 0$ となる角度 ( $\theta$ )	
	ターン間	セクション間
3	22°	54°
6	27°	53°
9	30°	51°
12	32°	50°
15	34°	49°
18	35°	48°

覆における理論式から求めた PDIV と試験結果を図 8 に示す。この図から、ターン間では理論式から求めた PDIV と試験における PDIV、セクション間では理論式から求めた PDIV と試験における BDV の傾向が良く一致した。このことは、セクション間では PDIV = BDV であるといえ、セクション間の試験において PD が観測されなかったこととも一致する。

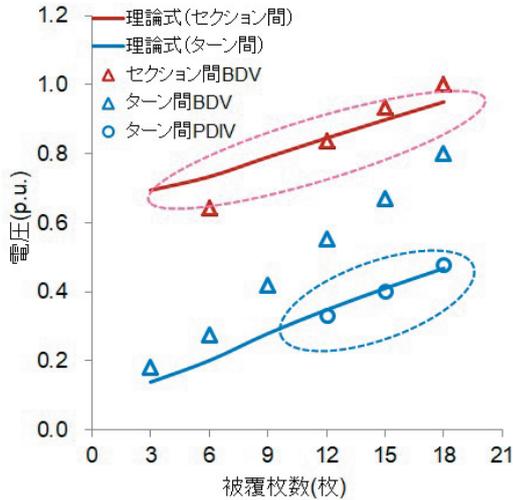


図 8 試験結果と理論式の比較

### 3.2 電界による評価

試験結果にもとづき、電界解析を用いてくさび状ギャップの評価を実施した。

要素モデル断面を模擬し、二次元の電界解析を実施した結果の一例を図 9 に示す。印加条件は試験で得られた 50% BDV および PDIV とした。くさび状ギャップにおいて、電線と電線および電線と絶縁物の接触部で最も電界が高くなり、そこから離れるほど電界は低くなる分布となった。

図 10 は図 9 の点 A → 点 B の被覆表面電界を示す。この結果から、ターン間では、電線と電線および電線と

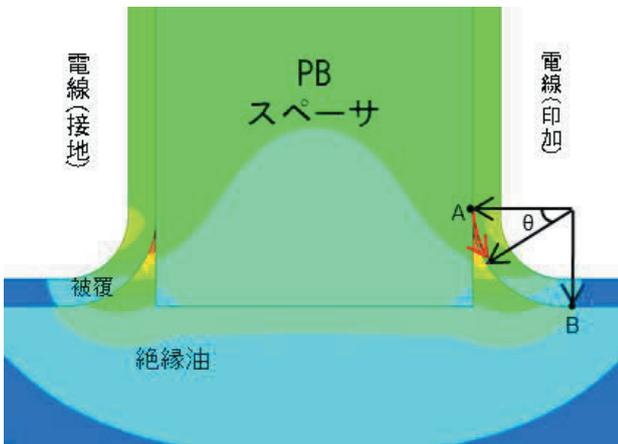


図 9 くさび状ギャップの解析例 (セクション間)

絶縁物の接触部からの角度が小さいほど被覆枚数による電界値の差が大きく、接触部から離れるほど、電界値は収束する傾向を示している。一方セクション間では、被覆枚数が変化しても同等な値を示している。これは、前節の式 (2) から PB スペース厚さ  $d$  が影響していることがわかり、電界解析の妥当性が確認できた。これらのことから、セクション間よりターン間の方が被覆表面電界に対する被覆の影響が大きいといえる。

次に、前節の表 1 で示したくさび状ギャップの最弱点部の電界を図 11 に示す。セクション間 BDV 時の電界値とターン間 PDIV 時の電界値がほぼ同じ値であることを確認した。

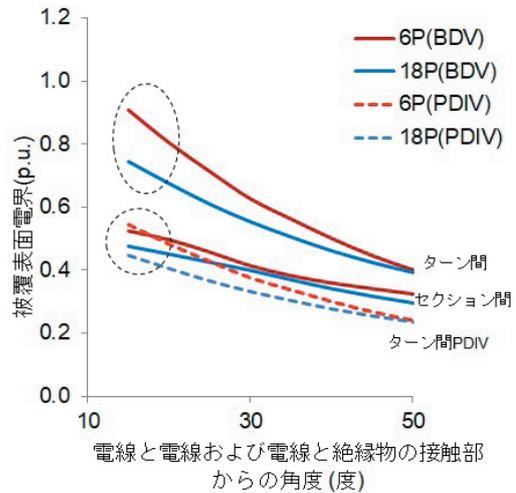


図 10 被覆表面に沿った電界値

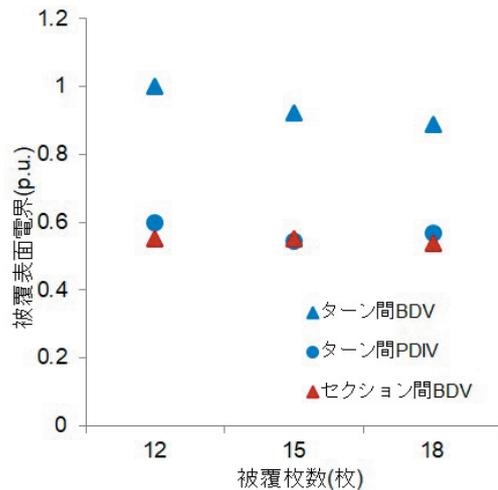


図 11 最弱点部の被覆表面電界

### 3.3 まとめ

ターン間、セクション間の要素モデルによる試験結果を理論式および電界解析を用いて評価することで、次のことがわかった。セクション間の BDV と PDIV は同等であること。また、ターン間とセクション間のくさび状

ギャップの最弱点部になる角度の PDIV の電界は同等であること。これらのことから、ターン間、セクション間ともに電界で絶縁特性が評価可能であると考ええる。

## 4 おわりに

本稿では、ターン間、セクション間の要素モデルによる試験結果を理論および電界解析を用いて絶縁特性を考察し、絶縁特性の電界での評価方法について検討した。その結果、ターン間、セクション間ともにくさび状ギャップの最弱点部になる角度を見ることで、電界で絶縁特性が評価可能であることが確認できた。電界による評価を絶縁評価に組み込むことで、より精度のよい体系的な絶縁評価ができるようになり、試験回数の削減などの検証の効率化や絶縁の信頼性向上にも貢献できると考える。今後は、さらなる検討を進め、より信頼性の高い製品開発に繋げていきたい。

### ■参考文献

- (1) 酒井崇行, 吉村智萌, 岩井良:「変圧器巻線の要素モデルにおける絶縁特性」, 平成 31 年電気学会全国大会, 5-143 (2019)
- (2) 井関昇, 倉橋晟, 松浦清:「油中沿面放電」, 富士電機

技報, 第 9 号 (1964)

### ■語句説明

注 1) くさび状ギャップ: 本稿では、電線と電線または電線と絶縁物間に形成される V 字または三角形の形状をした微小ギャップのこと。その部分では、一般的に放電しやすいとされている。



### 酒井 崇行

技術開発本部 技術研究所  
解析・試験技術グループ 所属  
大型変圧器の研究・開発に従事



### 吉村 智萌

技術開発本部 技術研究所  
解析・試験技術グループ 所属  
大型変圧器の研究・開発に従事



### 岩井 良

電力プラント事業本部 大型変圧器製造部  
大型変圧器設計グループ 所属  
大型変圧器の設計・開発に従事

# AI を活用した 画像認識技術への取り組み ～機器情報の読み取り手法について～

■ 高田 晃平  
Kohei Takada

■ 高野 裕基  
Hiroki Takano

東光高岳では、AI の手法である機械学習、およびその発展形である深層学習を活用した画像認識技術の適用に関し、各種機器の管理に用いられている銘板や、管理用シールに記載された内容を読み取るための検討を進めている。本稿では、電力量計および管理シールの写真を対象として、その撮影条件にかかわらず、電力量計の銘板上にある電力量や、管理用シールの内容が記載された領域を検出できたことを報告する。

## 1 はじめに

近年、AI（人工知能）に関する研究が各所で盛んに進められており、製造・医療・金融など、さまざまな分野での活用も始まっている。東光高岳においても、業務効率化や、製品・システムへの適用に向け、AI に関する調査・研究を積極的に実施している。

AI の発展により、大きく進展している分野の代表例が、画像認識である。従来の画像認識の場合、見本となる写真との比較などによって認識を行う。そのため、工場の生産ライン上で使われる画像検査装置のように、照明や認識対象に対するカメラの位置関係といった撮影条件を整える必要があった。それに対し、AI による高度な画像認識では、撮影条件の異なる複数の画像から、共通する特徴をコンピュータが学習し、認識を行う。これにより、照明やカメラの位置、撮影場所や撮影者などのさまざまな撮影条件に左右されにくい画像認識が可能となった。

製品や部品を管理するために、銘板やシールを用いる方法がある。銘板や管理用シールの、さまざまな撮影条

件の写真から、必要な情報を読み取ることができれば、製品や部品の製造工程や在庫管理、保守にかかわる管理の効率化に応用できる。

東光高岳では、かかわりの深い機器である電力量計（図 1）や、その管理用シール（図 2）の写真から、電力量（指針値）を含む諸元や管理用シールの内容を読み取ることを目的とした検討を進めている。

本稿では、それらの写真に対して AI を活用した画像認識技術を適用することで、その諸元やシールの内容が記載された領域（以下項目領域）を検出する手法について報告する。

## 2 AI について

### 2.1 AI と機械学習と深層学習

「AI」は、認識・推論・創造などの知的活動をコンピュータに行わせるための情報科学の分野を指す。その中に「機械学習」があり、機械学習の一部に「深層学習（ディープ・ラーニング）」がある（図 3）。



図 3 AI と機械学習と深層学習の関係

### 2.2 機械学習について

機械学習は、入力されたデータに対してコンピュータが「学習」をすることで、コンピュータによる知的活動を実現する。その学習方式は、「教師あり学習」と「教師なし学習」に大別される。

教師あり学習では、データとそれに対する答えをセットで用い、これを教師データとよぶ。教師データをもとに、データと答えとの関係性を機械学習のアルゴリズム



図 1 電力量計の写真



図 2 管理用シールの写真

が学習する。それにより、新たなデータが与えられた際に、コンピュータはそのデータがどの答えと紐づいているかを予測できる。

一方、教師なし学習では、教師データを用意しない。答えのないデータから、その中にひそむ法則性を機械学習のアルゴリズムが抽出する。このため、コンピュータによるデータの分析手法として用いられることが多い。

以降、本稿で扱う画像認識は、教師あり学習である。

### 2.3 深層学習の特徴

本来、深層学習を含めて機械学習とよぶが、以降、深層学習を除いた機械学習を指して「機械学習」と記述する。本節では機械学習と深層学習の違いについて述べる。

機械学習では、特徴量<sup>注1)</sup>計算のアルゴリズムと予測のアルゴリズムが独立しており、予測に適した特徴量計算のアルゴリズムを人間が設計する必要があった。

一方、深層学習は、特徴量計算のアルゴリズムと予測のアルゴリズムを内部に有しており、その双方を相互に最適化するように学習することができる。

教師あり学習において、機械学習と深層学習の性能を比較すると、一般に、予測精度は深層学習のほうが高い。ただし、深層学習は、機械学習と比べて多くのデータを必要とし、学習および予測に高性能なコンピュータを要するなど、欠点も存在する。よって、条件に合わせて、機械学習と深層学習を選択する必要がある。

## 3 物体検出アルゴリズム

図1に示した電力量計の諸元を読み取るために、文字認識ソフトウェアによる文字読み取りを行った場合、諸元の記載された銘板以外の背景や、銘板内の模様を文字として誤認識する可能性が高くなり、文字読み取りの精度が著しく低下する。

これに対して、物体検出アルゴリズムを用いて、画像中から諸元の記載された領域のみを検出し、その領域に対して文字読み取りを行う。これにより、背景や模様を文字として誤認識しなくなるため、諸元の読み取り精度が向上する。

### 3.1 物体検出と画像分類

「物体検出」は、画像中のどこの位置に、どの大きさで、何の物体が写っているかを予測する教師あり学習のアルゴリズムである。図4に例を示す。この例では、猫と犬が、画像中でそれぞれどこの位置に、どの大きさで存在するかを予測する。

一方、画像に写っている物体が何であるかを予測する教師あり学習のアルゴリズムが「画像分類」である。図5に例を示す。この例では、画像に犬と猫のどちらが

写っているかを予測する。画像分類は物体検出の処理の一部としても用いられる。

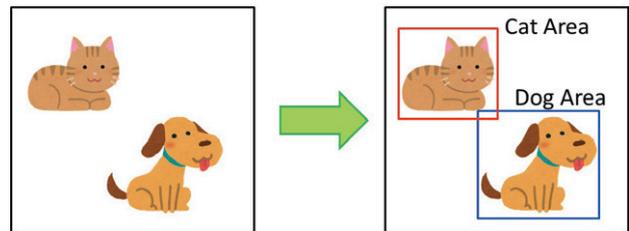


図4 物体検出の例

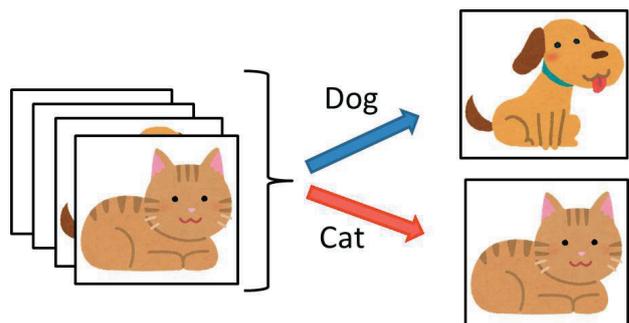


図5 画像分類の例

### 3.2 物体検出アルゴリズムの仕組み

本節では、機械学習を用いた物体検出アルゴリズムについて述べる。その概要を図6に示す。なお、深層学習を用いた物体検出アルゴリズムの詳細については、参考文献<sup>(1)</sup>を参照されたい。

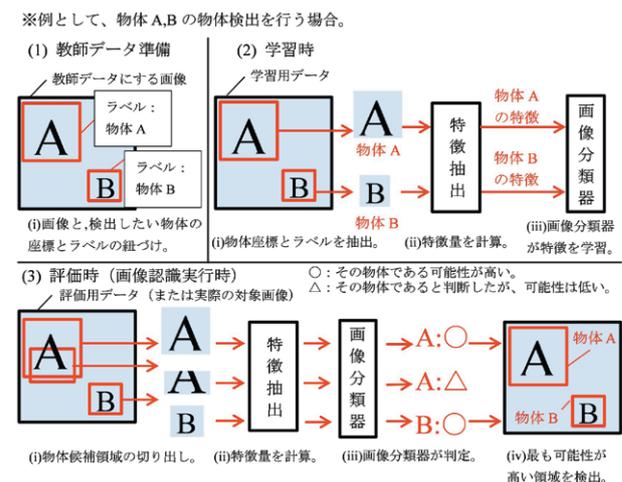


図6 機械学習による物体検出アルゴリズムの概要

#### (1) 教師データ準備

物体検出では、学習用に検出対象が写った画像と、その画像内の検出対象の座標(位置および大きさ)とラベル(検出対象の分類先)を紐づけたデータ(教師データ)が必要であり、これを作成する。作成した教師データは学習データと、評価データに分割する。

(2) 学習時

- (i) 学習データから検出対象の座標とラベルの情報を抽出し、座標をもとに画像から領域を切り出す。
- (ii) 切り出した領域の特徴量を計算する。
- (iii) 最後に、特徴量とラベルを紐づけて画像分類器に学習させる。ここで、画像分類器とは、3.1節の画像分類を行うものである。よって、検出対象の座標については学習の対象外となる。

(3) 評価時

- (i) 評価データの画像から、検出対象の物体が存在する可能性がある座標を切り出す。
- (ii) 切り出した物体候補領域の特徴量を計算する。
- (iii) 学習済みの画像分類器に、(ii) で計算した特徴量を入力し、ラベルを予測させる。
- (iv) (iii) の予測結果のうち、そのラベルである可能性が最も高いと予測された座標を予測結果とする。

評価データの画像から予測された物体の座標およびラベルと、評価データの座標およびラベルを比較することで、物体検出アルゴリズムの性能を評価する。

## 4 マーカ検出アルゴリズム

物体検出をしたい対象と一定の位置関係があるマーカがあれば、それをもとに物体検出の対象とする範囲を限定できる。限定した範囲以外に対する物体検出を行わないことで、誤検出の可能性を低下させることができ、処理の高速化も期待できる。

マーカを用いた補助手法について、**図 7** に例を示す。文字領域の検出アルゴリズムを用いて、**図 7** から青枠(あいうえお)の文字領域を検出したいとする。このとき、文字に類似した模様がある赤枠内の部分も文字領域として検出されてしまう可能性がある。これに対し、青枠と一定の位置関係があるマーカ(星印)を用いて、文字領域の検出対象とする範囲を、緑枠内に限定する。これにより、文字領域の検出対象とする範囲から、赤枠内の部分を除外することができる。

**図 2** に示した管理シールに対して項目領域の検出を行う場合、QRコード<sup>注2)</sup>をマーカとして、項目領域の検出対象とする範囲を限定できる。



図 7 マーカ検出による物体検出の補助

## 4.1 QRコードの位置検出アルゴリズム

機械学習の手法をもとにした、QRコードの位置検出アルゴリズムについて説明する。

一般的に、QRコード読み取りソフトウェアは、QRコードの3個所の角に存在するファインダパターンを画像処理の手法で検出することで、QRコードを認識している。具体的には、ファインダパターンをどの方向に走査しても、黒1:白1:黒3:白1:黒1の白黒比を満たすことを利用している(**図 8**)。

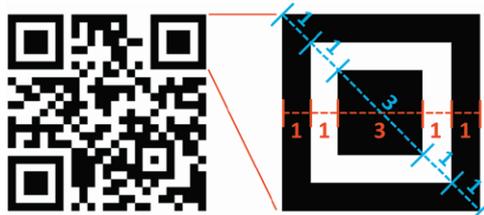


図 8 QRコードとファインダパターン

このようなソフトウェアは、通常、カメラを有する機器にて使用する。よって、ピントなどを調整しながら繰り返しQRコードを認識することが可能である。

一方、既存の写真に対して検出を行う場合を考えると、ブレやピントのズレによって前述の白黒比の条件が満たされなくなり、この手法ではQRコードの認識に失敗する可能性が高い。これに対し、ファインダパターンを機械学習により検出し、さらに、ファインダパターン間の位置関係が直角二等辺三角形をなしているという条件をもとに、QRコードの位置を検出する手法がある<sup>(2)</sup>。

**図 9** にQRコードの検出例を示す。このように、機械学習を用いることで、写真が多少不鮮明であっても、QRコードの位置が検出可能である。ここで、赤丸が検出されたファインダパターン、黄線がファインダパターン間を結んだ直角二等辺三角形を示している。

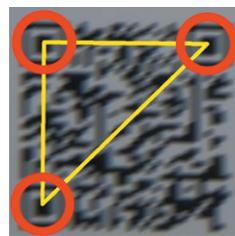


図 9 QRコードの検出例

## 5 項目領域の検出

今回適用した手法および、その結果を以下に示す。

### 5.1 手法

電力量計の写真(**図 1**)から、物体検出アルゴリズムを用いて、項目領域を検出した。また、管理用シールの

写真(図2)から、マーカによる補助手法を用いて、項目領域を検出した。

#### (1) 銘板の項目領域検出手法

3.2節の物体検出アルゴリズムを適用し、項目領域を検出した。

まず、機械学習を用いる際の手法について説明する。機械学習による物体検出では、物体候補領域の切り出しにスライディング・ウィンドウ法<sup>注3)</sup>を使用し、特徴量の計算にHOG<sup>注4)</sup>、画像分類器にSVM<sup>注5)</sup>を用いる手法がある。しかし、スライディング・ウィンドウ法では、画像全体を走査するため、処理に時間を要する。そこで、項目領域が四角形で囲われていることに着目し、画像から四角形の輪郭を持つ領域を切り出し、認識を行った。四角形検出には、画像処理のオープンソース・ソフトウェアであるOpenCV<sup>(3)</sup>を使用した。

次に、深層学習を用いる際の手法について説明する。深層学習を用いた比較的処理が高速な物体検出の代表例として、SSD<sup>(4)</sup>やYOLO<sup>(5)</sup>がある。YOLOとSSDを比較すると、YOLOのほうが処理は高速ではあるが、SSDのほうが検出したい物体の大きさの大小の差に影響を受けにくいと、今回はSSDを用いた。また、始めに写真全体(図1)から銘板のみを切り出し、次の中から各項目領域の検出を行った。これは、SSDやYOLOが、画像全体に対して小さすぎる領域の検出を苦手とするためである。

#### (2) QRコードをマーカとした項目領域検出手法

4.1節の機械学習によるQRコードの位置検出アルゴリズムを用いて、管理シールの写真(図2)から、QRコードの位置を検出する。次に、その位置をもとに、項目領域の検出を行った。処理のステップを(i)～(iii)に示す。なお、項目領域を検出するために、文字の領域を検出する深層学習のアルゴリズム<sup>(6)</sup>を別途用いた。

- (i) QRコードの位置検出を行う。
- (ii) (i)をもとに項目領域の検出を行う領域を定める。
- (iii) (ii)の領域に対して項目領域の検出を行う。

## 5.2 結果

#### (1) 銘板の項目領域検出結果

機械学習を用いた結果、検出された項目領域の誤分類が生じた。この原因としては、画像処理による四角形検出が、写真の撮影条件の変化に対応できなかったことや、特徴量計算のアルゴリズムおよび画像分類器の性能の限界が考えられる。

次に、深層学習を用いた結果を図10に示す。各枠の付近にあるパーセンテージが検出の根拠となる信頼度(その項目領域である可能性)で、90%以上の高い信頼

度で検出できた。このように、項目領域ごとに検出を行い、それに対して文字認識を行うことで、銘板の両脇に3本ずつある線や、銘板の下部にある矢の形のマークなどを文字として誤認識をすることがなくなった。

深層学習では、画像の特徴量計算をするアルゴリズムおよび、その特徴量を用いた認識アルゴリズムが相互に最適化するように学習されるため、良い結果が得られたと考えられる。



図10 深層学習による項目領域の検出例

#### (2) QRコードをマーカとした項目領域検出結果

図11に、検出したQRコードの位置、および、それをもとにした項目領域の検出例を示す。赤丸がファインダパターン、黄線がファインダパターンを結んだ三角形を示す。また、青枠がQRコードの位置をもとに項目領域の検出対象とした領域、赤枠内が項目領域として検出された部分である。機械学習によるQRコードの位置検出(赤丸および黄色三角形)は、十分な精度で行うことができた。

一方、深層学習による項目領域の検出(赤枠)に関しては、一連の文字列で意味を持つ領域が分かれて検出されるなどの課題が生じた。この課題については、教師データをさらに作成して学習を行うことで、検出精度を高められると考えられる。



図11 QRコードおよび項目領域の検出例

## 6 おわりに

### 6.1 まとめ

電力量計の銘板内の項目領域を90%以上の高い信頼

度で検出すること（図 10），および，QR コードの位置検出をもとに項目領域を検出することができた（図 11）。

銘板内の項目領域の検出では機械学習による手法は良い結果を得られなかったが，深層学習では良い結果が得られた。一方で，QR コードの位置検出では機械学習による手法で十分な精度が得られた。

このように，AI を適用する際には，適用したい対象と認識の難易度，目標とする認識精度，および入手可能なデータ量などによって機械学習と深層学習を適宜使い分けの必要がある。

## 6.2 今後の取り組み

検出した項目領域の内容を認識する上で，文字認識が必要となる。電力量計などの銘板の場合，光の反射や，項目領域を囲んでいる四角形の枠，特殊な記号などが存在する。これに対し，一般的な文字認識アルゴリズムは，紙の上に印刷・手書きされた通常の文字を対象としており，銘板の内容をすべて文字認識できるわけではない。よって今後は，銘板の内容を認識するための，専用の文字認識アルゴリズムの構築を含めた検討を進めていく。

今回は，一例として電力量計および管理シールに対して物体検出アルゴリズムによる項目領域の検出を行った。十分な量の教師データを確保する必要があるが，画像認識における物体検出アルゴリズム自体は，ほぼ任意の物体の検出が可能であり，さまざまな応用が考えられる。また，QR コードなどのマーカを検出しその位置を得ることは，AR マーカ<sup>注6)</sup>などの検出にも応用できる。

今後とも，画像認識に限らず，AI 技術全般への理解をさらに深めていくとともに，AI を活用した課題解決に積極的に取り組んでいく。

### ■参考文献

(1) Li Liu, *et al.* : “Deep Learning for Generic Object

Detection: A Survey”, IJCV (2018)

(2) L. F. F. Belussi and N. S. T. Hirata : “Fast component-based QR code detection in arbitrarily acquired images”, Journal of Mathematical Imaging and Vision (2012)

(3) <https://opencv.org>

(4) Wei Liu, *et al.* : “SSD: Single Shot MultiBox Detector”, ECCV (2016)

(5) Joseph Redmon, *et al.* : “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection”, CVPR (2016)

(6) Xinyu Zhou, *et al.* : “EAST: An Efficient and Accurate Scene Text Detector”, CVPR (2017)

### ■語句説明

注1) 特徴量：データがどのような特徴を有しているかを抽出し数値化したもの。例えば，画像を特徴量に変換することで，写真の手ぶれやボケ，物体への光の当たり方などの影響を軽減することができる。

注2) QR コードは（株）デンソーウェーブの登録商標。

注3) スライディング・ウィンドウ法：入力画像の全体から，さまざまな大ききで，総当たりでいくつもの画像を切り出していく手法。

注4) HOG (Histograms of Oriented Gradients)：隣接画素間の輝度の差（輝度勾配）をもとにした特徴量。

注5) SVM (Support Vector Machine)：データの特徴量をもとに，そのデータがどの答えに属するかをサポート・ベクトルとよばれる数理的手法を用いて決定する。

注6) AR マーカ：AR（拡張現実）の実装のために用いられる。QR コードに類似したマーカであり，これをコンピュータに認識させ，現実の映像に仮想の物体を重ねて描画したり，情報を表示したりする。

---

### 高田 晃平

技術研究所 ICT技術グループ 所属

### 高野 裕基

技術研究所 ICT技術グループ 所属

# 発電所用大電流変流器

## 製品紹介

■小林 晃一  
Koichi Kobayashi

### 1 はじめに

2020年から始まる電力の発送電分離に伴い、電力会社の送配電部門の中立性がより明確に求められることから、電力取引用の計量器の設置が義務付けられる。大容量火力発電所では発電機と主変圧器および所内変圧器を接続する母線として、相間短絡を起こさない相分離母線 (IPB<sup>注1)</sup>) が用いられる。

東光高岳では、既設のIPBに収納できる大電流変流器 (CT<sup>注2)</sup>) の製品化を行い、さらに当該製品の試験設備を導入したので紹介する。

### 2 製品の定格仕様

製品の仕様は、表1のとおり。

表1 大電流CTの定格仕様

項目	仕様
設置場所	IPB 内収納
準拠規格	JIS C 1736-1,-2 (2009)
定格周波数	50 Hz または 60 Hz
定格一次電流	5,000 A~25,000 A
定格二次電流	5 A
定格二次負担	15 VA または 25 VA
確度階級	0.3 W
外形寸法・形状	お客様の設備に合わせてフレキシブルに対応



図1 大電流CT

### 3 試験設備の概要

大電流CTの製品化に伴い、25,000 Aまでの電流が発生可能な設備を導入した。設備導入により社内でも25,000 Aまでの誤差試験が可能となった。

また、発電機を使用しないで、系統電源を変圧して発生させる変圧器タイプの回路構成のため、電流値の微調整が容易な特長をもっている。仕様・試験回路の構成は表2、図2に記載のとおり。

表2 大電流試験設備の仕様

項目	仕様
定格周波数	50 Hz
通電可能電流	~25,000 A

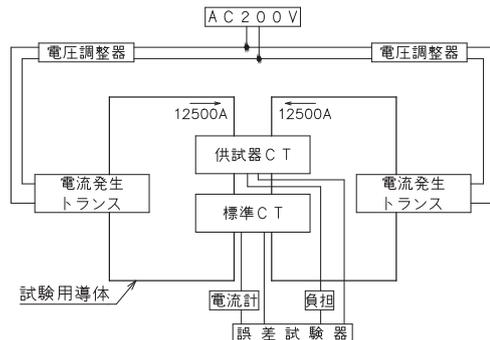


図2 大電流試験回路構成 (誤差試験)

### 4 まとめ

発送電分離に伴う電力需給管理へ対応できるように、既設のIPBに収納できる大電流CTを製品化した。また、国内有数の変圧器タイプの大電流試験設備が構築できたことで、日本電気計器検定所による出張検定や特殊試験などの受託業務を東光高岳工場に対応する可能性をもたらした。

#### ■語句説明

- 注1) IPB: Isolated Phase Bus の略。
- 注2) CT: Current Transformer の略。

小林 晃一

計量事業本部  
モールド変成器製造部 設計グループ 所属

# 送電用変電所用 IP 対応インタフェース盤

■ 大蜘蛛 昭孝  
Akitaka Okumo

## 1 はじめに

東光高岳では東京電力パワーグリッド株式会社へ納入してきた送電用変電所遠方監視制御装置（光対応）子局・監視制御盤・インタフェース盤（以下 IF 盤）（納入年：1998～2011）の後継機種として、新形 IF 盤の開発を進めてきたが、このたび新しいコンセプトにもとづいた IP<sup>注1)</sup> 対応 IF 盤の開発が完了し、2018 年 8 月から納入を開始した。

IP 対応 IF 盤は、現行機の機能に加えて多彩なユーザー支援機能を加えたうえで、現行機器からのコストダウンも同時に実現したので、その概要を紹介する。



送電線 IF 盤 内部

共通 IF 盤 正面

図 1 IP 対応 IF 盤

## 2 特長

### 2.1 装置構成の変更

従来の送電用変電所遠方監視制御装置（光対応）は子局と監視制御盤、各設備に対応した IF 盤の 3 種類で構成されていた。しかし IP 対応 IF 盤は、IF 盤に上位局との伝送機能を実装することで子局が不要となった。また監視制御盤は、市販のパソコンで実現した。

### 2.2 装置の集約

従来の IF 盤は、送電線などの設備単位で 1 面用意していた。しかし IP 対応 IF 盤は、送電線であれば 1 面で最大 4 回線、主変であれば一次・二次に加え三次調相

まで実装可能な構成とした。

盤幅は従来 350 mm と 700 mm であったが、前面保守盤も対応可能とし 700 mm に統一した。

### 2.3 お客さまで変電所形態の設定が可能

送電用変電所の多様な変電所形態に対応できる装置として開発した。変電所の形態や各種個別設定について、従来はメーカーで対応していた設定をお客さまで設定ができるようにした。

### 2.4 完全独立した 2 系列ユニット

CPU、電源、入出力回路などユニットを完全 2 系列化することにより、片系運用を可能とするなど可用性の向上を図った。

## 3 機能・仕様

### 3.1 機能概要

- (1) 上位局からの遠方操作、計測・表示（遠方監視制御装置子局機能）
- (2) 受電機器、変電所共通項目の直接操作、計測・表示
- (3) 変電所全体の HMI<sup>注2)</sup> 機能からの監視・表示
- (4) ソフトインタロック機能
- (5) 同期並列検定機能
- (6) 共通条件の組み合わせと伝送機能（共通 IF 盤）
- (7) 入力条件を組み合わせた接点出力
- (8) ユーザーで変更可能な整定、設定ならびにスケルトン作成ツール

### 3.2 IF 盤の種類

送電用変電所の多様な変電所形態に対応するため、IP 対応 IF 盤は下記をラインナップしている。

- ・ 共通 IF 盤
- ・ 送電線 IF 盤（最大 4 回線、275 kV 回線にも対応）
- ・ 母線・母連・母線区分 IF 盤（7 ブスタイまで対応）
- ・ 主変一次・二次・三次調相 IF 盤
- ・ MC IF 盤（A 母線、B 母線）
- ・ 所内 IF 盤（4 バンクまで対応）
- ・ 母線調相 IF 盤

### 3.3 選択制御機能

IP 対応 IF 盤は上位システムからの遠方監視制御およ

び直接制御（現地にて HMI スケルトン画面から操作）が可能である。

### 3.4 計測機能

分散電源からの逆潮流を考慮し、必要な計測項目には極性表示を標準的に行う。また、上位システムに変圧器のタップ位置を 23 タップまで伝送可能である。

### 3.5 同期並列指令機能

同期並列指令機能をソフトウェアで実現し、各 IF 盤の完全に独立した 2 系列のユニットに実装することで、しゃ断器ごとの使用・不使用を設定により可能とした。

これにより、共通 IF 盤と各 IF 盤の盤間で同期検定用や共通母線用の制御ケーブルを不要とした。また、同期並列指令の条件である電圧差や位相差などが機器単位で設定可能となり、系統運用の自由度も向上した。

### 3.6 装置構造

従来の IF 盤と同様に前面保守構造（集中配置）を採用した。材質にはステンレスを採用することで塗装面を扉に限定し、VOC<sup>注3)</sup>削減にも寄与した。

また地下変電所（分散配置）に対応した構造や前後前面保守に対応した構造も順次ラインナップに追加していく。

### 3.7 HMI 機能

汎用パソコンのブラウザを使用し、保護整定、監視制御に関する設定および機器直接操作も可能とし、これにより使用するパソコンにはプラグインソフトを不要とした。

送電用変電所は、変電所ごとに設備構成が異なるためスケルトン画面はメーカーで作成していた。今回 HMI にスケルトン作成ツールを追加し、お客さままで変電所形態にあわせたスケルトンの作成を可能とした。作成したスケルトンから変電所の直接操作が可能である。

また共通 IF 盤では、当該変電所のスケルトンを一括で表示できる機能を搭載した。このスケルトン画面を

使用することで他の機器状態を確認しながら操作が可能となる。

### 3.8 付帯機能

運用・保守面で有用となる多彩な計測・記録機能を実装した。

- (1) 入力波形の記録機能
- (2) LTC（タップチェンジャー）動作回数管理
- (3) 選択制御指令による入／切動作記録機能
- (4) しゃ断器のモニタリング機能
- (5) トリップ回路断線監視機能
- (6) 各相電圧／電流計測（方向付）、高調波計測
- (7) 遠隔運用機能
- (8) ポジション（メッセージ・警報など含む）設定機能

### 3.9 ソフトインタロック

IP 対応 IF 盤は、従来から採用しているしゃ断器、断路器接点による直接インタロックだけでなく、盤内に情報として取り込まれているしゃ断器や断路器の条件をソフトウェアで処理するソフトインタロックも標準で実装している。

HMI によりソフトインタロックの使用／ロックおよびインタロック条件の構築が可能である。

## 4 おわりに

IP 対応 IF 盤は、高機能 CPU を採用し、汎用の LAN、Web 機能などの IT 技術を取り入れた信頼性および経済性に優れた装置である。

今後は、2020 年度中に送電線と母線など異なる機能を 1 面に実装した IF 盤をリリースする予定である。

また現在は国内標準の設計であるが、基板交換による国際標準 IEC61850 対応を想定している。

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

#### ■ 語句説明

注 1) IP : Internet Protocol の略。  
インターネットを実現しているネットワーク・プロトコル。

注 2) HMI : Human Machine Interface の略。  
人と装置が情報をやり取りするための手段。

注 3) VOC : Volatile Organic Compounds の略。  
揮発性有機化合物。常温常圧で大気中に容易に揮発する有機化学物質の総称。

#### 大蜘蛛 昭孝

エネルギーソリューション事業本部  
電力システム製造部 保護制御装置設計グループ 所属

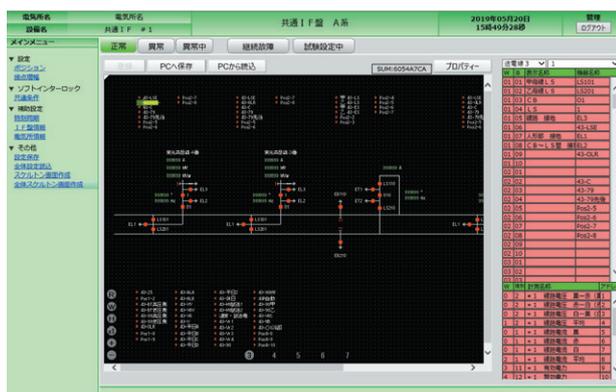


図 2 HMI スケルトン作成ツール

# 風力発電設備用雷電流計測装置

## 製品紹介

■ 酒井 繁美  
Shigemi Sakai

### 1 はじめに

地球温暖化対策として、再生可能エネルギーで、二酸化炭素の排出がきわめて少ない風力発電設備の導入が世界的に推進されている<sup>(1)</sup>。

発電容量の増加に伴い、風車の大型化が進み、その高さから受雷頻度が増加している。それに伴い、世界的にも特異に「エネルギー」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。

これを受け、経済産業省では2015年に下記の内容を含めた、風力発電設備の雷被害再発防止対策を掲げた<sup>(2)</sup>。

- ・雷撃検出装置の設置ならびに落雷時の運転停止および速やかな点検実施
- ・耐雷設計（設計時に想定する雷撃の電荷量）の見直しと適切な補強対策

東光高岳では、これまでも風力発電設備用の雷電流計測装置を全国に納入してきたが、お客さまのニーズの多様化や標準規格化<sup>(3)</sup>に向け機能アップを行っている。本稿では、2018年度よりリリースしている雷電流計測装置の従来品<sup>(4)</sup>からの主な機能アップについて紹介する。

### 2 雷電流計測装置の概要

#### 2.1 構成

雷電流計測装置は、雷電流を計測するログウスキーコイル（電流センサ）、落雷発生時刻を計測するための

GPS アンテナ、風車タワー内部に設置した計測装置本体から構成される。雷電流計測装置のシステム構成を図1、設置例を図2に示す。

#### 2.2 機能

##### (1) 雷電流計測機能

風車のタワー脚部を周回する大口径のログウスキーコイルにより、風車への落雷電流を計測して、正負の電流波高値および電荷量（エネルギー）を算出する。

##### (2) 落雷時刻取得機能

GPS 衛星を利用した高精度な時計により、正確な落雷発生時刻を取得する。

##### (3) データ保存機能

落雷データは、計測装置本体内部に保存され、記録媒体（USBメモリ）によって、容易に回収することができる。

##### (4) 接点出力機能

風車の制御への活用を目的として、落雷発生時に、接点信号を出力する機能を備えている。

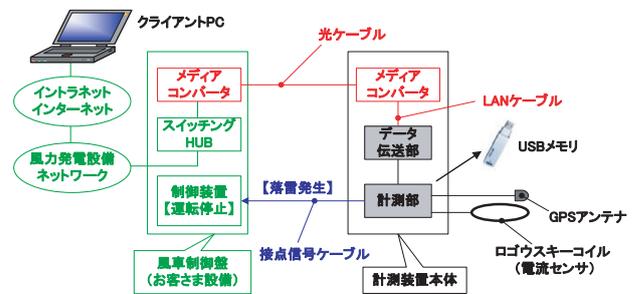


図1 雷電流計測装置のシステム図



タワー脚部の設置例

タワー内部の設置例  
(計測装置本体を設置)

図2 雷電流計測装置の設置例

出力の有無は、雷電流の値（電流波高値、電荷量）を判定条件として、お客さまが任意に設定可能である。

#### (5) 遠隔データ収集機能

Web サーバ機能を標準搭載しており、お客さまの LAN 環境に接続することで、遠隔のクライアント PC から落雷データを収集することも可能である。

#### (6) メール送信機能

以下に示すイベントの発生を、お客さまのメールアドレス（最大 5 件）に通知する機能を備えている。

- ・落雷発生
- ・装置異常発生

注) メール通知機能を使用する場合は、ネットワークへの接続およびメールサーバが必要になる。

### 3 従来品からの機能アップ

2018 年度に、従来の雷電流計測装置の見直しを行い、下記内容の改善、機能アップを図った（表 1）。

- ・周波数帯域の下限値を 0.1 Hz にすることで、継続時間が長く大きなエネルギーを有する、日本海沿岸地域の冬季雷電流も正確に計測が可能<sup>(5)</sup>。
- ・最大計測電流 200 kA 品をラインナップし、100 kA を超過する大電流の計測に対応<sup>(6)</sup>。
- ・トリガレベルを最大計測電流の 2% から 1% に下げ、より小さな雷電流も検出可能（最大計測電流 100 kA の場合<sup>(6)</sup>）。
- ・電源電圧 AC230 V 品をラインナップし、風力発電設備の国際標準に対応。
- ・落雷発生接点出力の判定条件（波高値／電荷量）に「and 条件」を追加することで、より多彩な運用が可能。

表 1 従来品からの主な機能アップ項目

項目	仕様
最大計測電流（選択）	100 kA, 200 kA
トリガレベル	最大計測電流 × 1%
周波数帯域（-3 dB）	0.1 Hz～300 kHz
最大記録数	1,000 データ
落雷発生接点出力の判定条件	波高値正負の絶対値と電荷量の「or 条件」もしくは「and 条件」（判定レベル可変）
電源（選択）	AC100 V, AC230 V

### 4 適用（導入の効果）

#### (1) 雷被害の原因究明

雷電流の値（電流波高値・電荷量）と設備損傷の規模の照合により、風車故障の早期原因究明および耐雷設計の妥当性確認が可能。

#### (2) 落雷時の風車自動停止が可能

落雷時の接点信号出力を利用して風車を自動停止。

落雷していない風車は運転継続して稼働率低下抑制。

#### (3) 設備故障発生時の落雷証明

正確な落雷時刻を取得するので、故障原因が落雷であることの証明が容易。

#### (4) 保守・メンテナンスへの活用

落雷回数・レベルと被害状況の照合により、保守計画へ活用するなど、20 年運用の保守対応が可能（保守マニュアルへの活用等）。

### 5 おわりに

東光高岳の雷電流計測装置は、2018 年度までに、国内の風車総設置基数の約 20% に相当する、約 500 台が導入されている。

風力発電設備の導入量は 2010 年を起点として、2040 年には 15 倍以上になるとの見込みもあり<sup>(1)</sup>、雷電流計測装置によって、さらなる風力発電設備の安定・安全稼働に寄与していきたい。

#### ■参考文献

- (1) 認定 NPO 法人環境エネルギー政策研究所：「自然エネルギー白書 2014」, p.118 (2014)
- (2) 経済産業省：発電用風力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程，20150204 商局第 3 号（2015）
- (3) 山本，他：「JIS C 1400-24 の改定と落雷検出装置の要求性能」，電気学会研究会資料，HV-19-081（2019）
- (4) 酒井，細谷，藤岡：「風力発電設備用雷電流計測装置」，東光高岳 技報 Vol.2 2015, p.38（2015）
- (5) 藤岡，小川，山口：「風車用ロゴウスキーコイルの低周波数対応」，東光高岳 技報 Vol.3 2016, p.38（2016）
- (6) 藤岡：「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）

#### 酒井 繁美

エネルギーソリューション事業本部  
電力システム製造部 保護制御装置設計グループ 所属

# 距離継電器 (SEL-421)

## 製品紹介

■ 杉山 将悟  
Shogo Sugiyama

### 1 はじめに

距離リレーは、継電器設置端の電圧および電流入力のみで至近端～遠端までの事故検出が可能なりレーであり、系統保護における主保護または後備保護として幅広く使用されている。

主な特長として、

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

今回、SEL<sup>注1)</sup>社のIED<sup>注2)</sup>に収納されている多様な要素を組み合わせ、日本の電力系統に整合したリレー特性を構成した。特性検証ならびに従来の国内向距離リレーと比較検証を行い、十分な性能を保有することを確認し、製品化に至ったので紹介する。

### 2 装置概要

#### (1) 概要

保護リレーに加えて、制御・計測・記録・通信などの機能を保有し、従来は分離・分散設置していた各機器を本機1台で実現するなど、システムの合理化を図ることができる。主な機能は次のとおり。

##### ○保護

過電流、過不足電圧、周波数、方向、再閉路など（上述の複数継電器で構成している装置を、本機1台で実現することが可能）

##### ○制御

DI/DO、AI<sup>注3)</sup>の制御用信号などの入出力や論理回路演算の組み込みによる独自仕様追加が可能

##### ○計測

電圧、電流、電力、周波数、温度、位相など

##### ○記録

オシログラフ、イベントログなど

##### ○通信プロトコル（シリアル、イーサネット）

各国際規格（Modbus、DNP3、IEC61850/60870など）

#### (2) 規格準拠

本装置の仕様・耐環境性能や通信機能は、国際規格（IEC60255、IEC61850など）に準拠していることを検

証した。国内の電力用規格B-402にも準拠（入出力回路に専用素子追加を要する場合あり）可能である。

#### (3) 外形

SEL-421は搭載I/O点数に応じて3種類のラインナップがある。表1に寸法・重量・標準接点数、図1に装置外観を示す。

表1 寸法・重量

	3U	4U	5U	
幅	482 mm			
高さ	133 mm	177 mm	222 mm	
奥行	216 mm			
重量	8.0 kg	9.4 kg	11.3 kg	
標準接点数	DI	7	15	23
	DO(Aコン)	5	18	31
	DO(Cコン)	3	5	7
	AI	V3×2組, I3×2組		



図1 装置外観（4Uタイプ）

#### (4) 保護要素

本装置の主リレーは距離要素であるが、他に標準的な保護要素（過電流、過不足電圧等）を実装している。表2に本装置に実装している保護要素を示す。

表2 保護要素

Dev (ANSI)	Dev (JIS)	方式
21	44	短絡距離
		地絡距離
25	25	位相同期
27	27	不足電圧
32	67	電力方向
50	51	過電流（瞬時式）
50BF	51	二重遮断器の故障過電流
51	51	過電流（タイムズ）
59	59	過電圧
67	67	方向過電流
68	56	脱調
79	79	再閉路（単相／3相）
81	95	周波数

### 3 特長

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

負荷侵入機能は、負荷の要因による距離リレーの不要動作を防止する。図2に距離リレー特性図を示す。

特性図の網掛け部分はリレー動作範囲と負荷インピーダンスが重なる領域であり、事故がなくても重負荷時など、この領域に動作量であるインピーダンス演算値が侵入して事故として検出する可能性がある。本装置は負荷侵入機能にて正相対称分電圧方向要素をブロックすることにより、3相平衡状態の系統様相において事故として検出する動作を抑制することができる。

図3に負荷侵入機能特性図を示す。

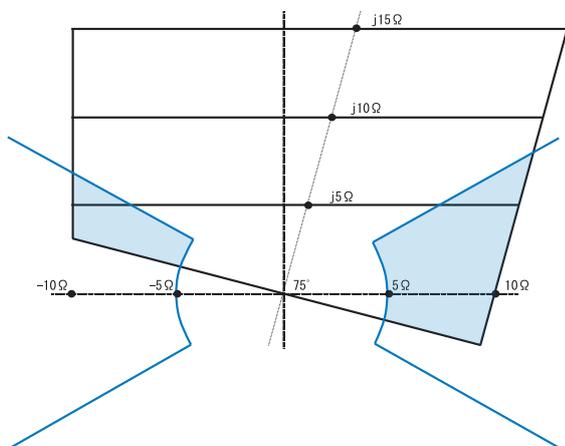


図2 距離リレー特性図 (四辺形特性)

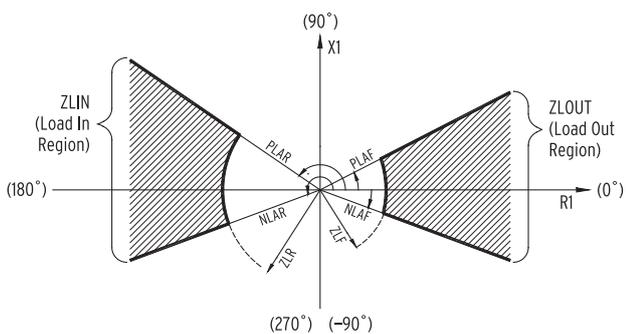


図3 負荷侵入機能特性図

#### (2) カスタマイズ機能 (論理演算回路)

カスタマイズ機能は、Graphical Logic を用いて、任意の保護要素や点検機能等を構築することができる機能である。Graphical Logic は、ブーリアン論理 (アンド, オア, ノット) の他、数学関数 (加算, 減算, 乗算, 除算, 否定), 数学論理 (同等, 以上, 以下, 超過, 未滿) やタイマー等を組み合わせて論理回路を構築することが

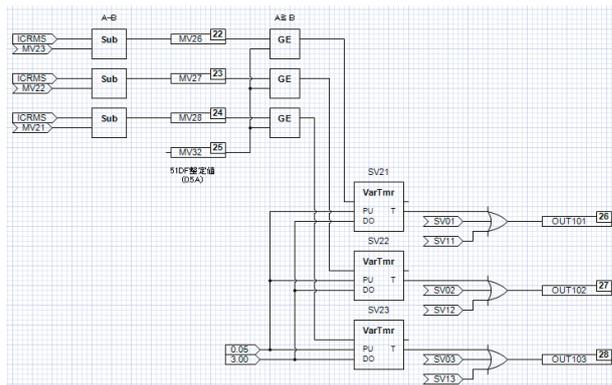


図4 Graphical Logic による構築例



図5 動作検証結果

可能である。

図4に Graphical Logic による構築例 (整定値以上の電流急変を検出させ3秒間保持させる変化幅過電流リレーの構築), 図5にその動作検証結果を示す。

### 4 おわりに

本装置は、2019年3月に検証が完了し、今後、IEDを採用した日本国内向け距離継電器として広く拡販していく予定である。

#### ■ 語句説明

注1) SEL : (Schweitzer Engineering Laboratories)

注2) IED : (Intelligent Electronic Device) 高機能電子装置

注3) DI : (Digital Input), DO : (Digital Output), AI : (Analog Input)

#### 杉山 将悟

エネルギーソリューション事業本部  
電力システム製造部監視制御システム設計グループ 所属

# 人検知センサを利用した照明個別制御システム

■ 園本 良裕

Yoshihiro Sonomoto

■ 渋沢 真弘

Masahiro Shibusawa

■ 上妻 寛治

Hiroharu Kamizuma

■ 関 智行

Tomoyuki Seki

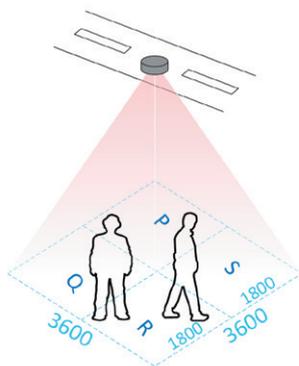
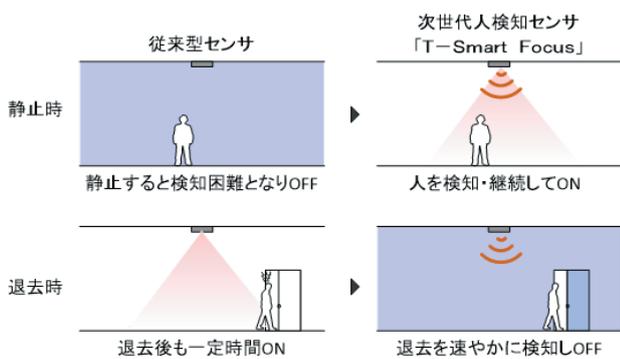
## 1 はじめに

大成建設株式会社と共同開発したシステム「T-Zone Saver」を提供後、多くのお客さまに納入してきた。近年、国のエネルギー政策による新築ビルのZEB化推進<sup>注1)</sup>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も対応可能な新型 T-Zone Saver を新たにリリースしたので、ここに紹介する。

## 2 システム概要

### 2.1 T-Zone Saver とは

本システムは、人の滞在／不在をリアルタイムに検知し、オフィス照明・空調の最適制御を行う。本システムにおいて、人を検知する「人検知センサ (T-Smart Focus)」は、従来式のセンサで行えなかった静止した人体を検知し、オフィスにおける人の滞在／不在を適切に捉えることで、必要なときに必要な場所に最適な環境を提供することが可能なシステムである。



※PQRS: 人検知エリア

図1 人検知センサ (T-Smart Focus)

### 2.2 新型 T-Zone Saver の改善点

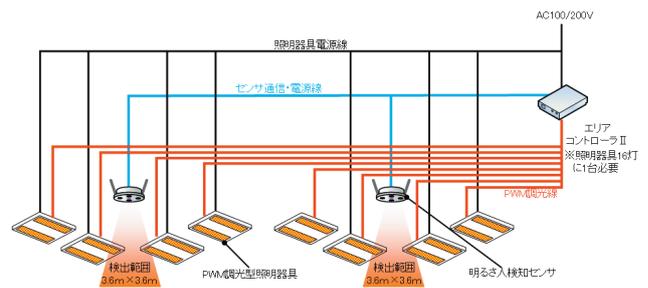
従来の T-Zone Saver は、数台の照明器具からなる調光エリアをエリアコントローラで調光制御を行い、最大 16 ch の調光エリアを制御可能である（多灯制御）。

従来の T-Zone Saver で照明の個別制御に置き換えた場合、エリアコントローラ 1 台あたりの調光制御数（調光エリア数）16 ch が制約となり、機器数量・配線量とともに増加するため、システムのコストダウンも図る必要があった。

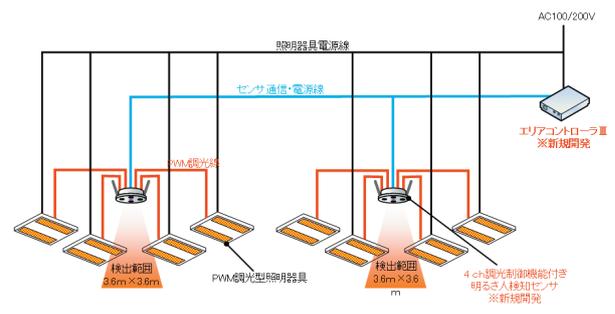
新型 T-Zone Saver では、人検知センサが照明器具に最も近いことに着目し、人検知センサに 4 ch の調光機能を付与した新型人検知センサと、人検知センサがもつ 4 つの検知エリア PQRS (図 1 参照) との連動により、照明の個別制御（一灯制御）を可能とした。

コスト面では、新型の調光機能付き人検知センサによりエリアコントローラの必要台数削減と、照明器具までの調光配線長が短くできることで、工事を含んだ導入コストの大幅な削減が可能となり、レイアウト変更工事でのレイアウトフリー（配線工事不要）実現も容易となった (図 2, 図 3)。

また、新型の調光機能付き人検知センサの開発で下記の機能改善を行った。



(a) 従来型



(b) 新型 T-Zone Saver

図2 従来型・新型システム構成比較

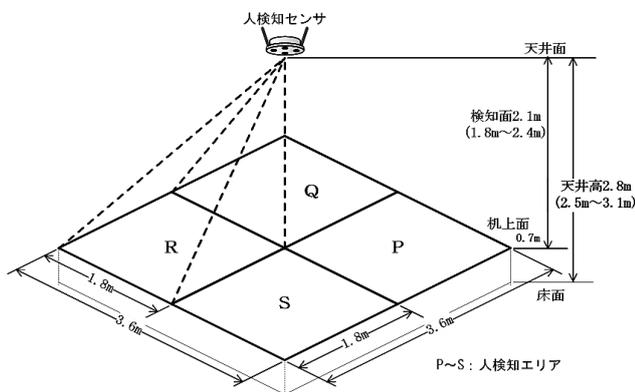
項目		従来型	新型
エリアコントローラ	4灯毎制御	2台	1台
	1灯毎制御	8台	1台
人検知センサ		32台	32台
人検知センサ機能		調光機能なし	調光機能付加
省エネ性	4灯毎制御	35%省エネ	
	1灯毎制御	40~50%省エネ(シミュレーションによる)	
コスト試算	4灯毎制御	—	30%コストダウン
	1灯毎制御	—	50%コストダウン

※約400m<sup>2</sup> (人検知センサ32台カバー面積、照明器具128台)に適用した場合の比較

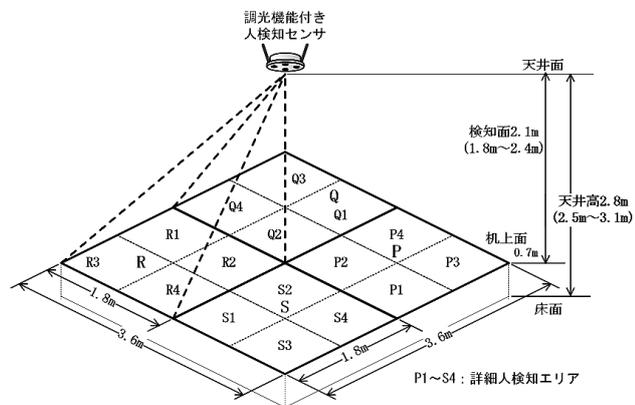
図3 従来型・新型コスト比較

・人の不在情報 (人検知情報) の細分化

調光機能付きセンサに実装したデバイス (サーモパイル) の改善により、□1.8mの検知エリアを□0.9mに細分化 (従来の検知エリアの4倍。1センサあたり16エリア) し、これにより人検知精度の向上、細かいマッピング、人数想定 (在所率算出) に活用が可能。 ※調光機能付人検知センサ、調光機能付明るさ・人検知センサのみ対応。



(a) 人検知センサ



(b) 調光機能付き人検知センサ

図4 センサ検知範囲

・システムメンテナンス性の向上

センサ状態表示用LEDにより、センサ動作や異常表示によるメンテナンスや自然換気有効表示、デマンド警報表示などに活用が可能。



動作状態	点灯色					
	青			赤		
	点灯	通常点滅	高速点滅	点灯	通常点滅	高速点滅
電源ON	—	—	○ 30周期後 消灯	—	—	○※1 30周期後 消灯
通常運転中	エリアコントローラからの指令による点灯					
メンテナンス時	モード移行状態	—	○	—	—	—
	人の在り状態	○	—	—	—	—
	人の不在	—	—	—	—	—
異常時	故障異常時	—	—	—	—	○
	PWM異常時※2	—	—	○	—	○
動作停止時	—	—	—	—	—	—

通常点灯: 約4秒周期 (2秒点灯/2秒消灯)      高速点灯: 約1秒周期 (0.5秒点灯/0.5秒消灯)

※1 センサ単体で動作する自立制御モード時に点灯

※2 PWM異常時は青/赤の同時点滅により混色 (紫) の表示

図5 センサ状態表示用LEDの利用例

3 おわりに

新型 T-Zone Saver で実現した個別照明制御によるきめ細かな照明制御と新型人検センサに付与したセンサLED表示や検知エリアの細分化といった新機能の活用例として、人検知情報とLED表示を使ったセキュリティ機能や人の流動性 (員数分析) 分析に活用している。

今後も T-Zone Saver 機能拡張を図りさらなる省エネの実現に貢献する機能の開発・改善を推進していく所存である。

■ 語句説明

注1) ZEB: ネット・ゼロ・エネルギー・ビル (Net Zero Energy Building) の略。建物内における一次エネルギー消費量を正味で0またはおおむね0となる建築物のことを指す。

国は2030年までに新築の建築物すべてをZEB化することを目指している。

園本 良裕

システムソリューション製造部設計グループ 所属

渋沢 真弘

システムソリューション製造部開発グループ 所属

上妻 寛治

システムソリューション営業部ソリューション営業グループ 所属

関 智行

システムソリューション製造部設計グループ 所属

# 小型温度可変反り検査装置 HVI-8000C

■ 井上 征利  
Masatoshi Inoue

## 1 はじめに

電子デバイスの実装ではリフロー<sup>注1)</sup>加熱による一括はんだ付け法が主流となっているが、部品の小型・薄型化、構造の複雑化により加熱反りが発生しやすい状況となっている。また、鉛フリーはんだ導入にともないリフロー温度が上昇していることも反りに影響し、加熱による実装不良が大きな問題となっている。

一方、電気自動車や自動運転といった技術革新に伴い、車載部品に占める電子デバイスの割合は年々増加している。車載部品の不具合は人命にかかわるケースも起こりうるため、ほかの分野よりも厳しく信頼性を要求され、車載向け電子デバイスには信頼性を評価するAEC<sup>注2)</sup>規格が設けられている。しかし、自動車が使われる環境は高温多湿な環境から氷点下の温度環境など多様であり、搭載箇所によっては100°Cを超えるようなエンジンルームで使われる部品もある。このような過酷な温度環境下では部品が形状変化を起こすことによって故障の原因に繋がることが想定され、その挙動を把握することが非常に重要となってきた。

このような背景から、さまざまな熱環境下で形状変化を計測できる温度可変反り検査装置の需要は年々高まっている。

本稿では、計測対象サイズを絞ることで、従来モデルより大幅な小型化を実現した温度可変反り検査装置を開発し、製品化したので紹介する。

## 2 装置仕様

本装置は、ユーザの用途に合わせて2種類の加熱タイプから装置選択することが可能となっている。主な仕様を表1に示す。

表1 装置仕様

	HVI-8000C-RC	HVI-8000C-EC
主な用途	リフロー模擬	環境試験
加熱方式	対流方式	
温度制御範囲	室温～300°C	-55～260°C
最大加熱速度	3°C / 秒以上	0.3°C / 秒以上
計測方式	非走査共焦点	
計測視野サイズ	13.0 × 13.0 mm	
計測範囲	100 × 100 mm	
計測速度	約2秒 / 視野 (Z計測範囲1mm時)	
高さ計測分解能	0.1 μm	

## 3 小型化実現のための技術要素

本装置は、幅広い業種・分野でご使用いただくために装置導入しやすいサイズおよびコストを実現している。従来モデルとの装置サイズの比較を図1に示す。また



図1 装置サイズ比較

以下に、小型化実現のための技術要素について述べる。

### (1) 加熱炉

新たに開発した加熱炉は120 mm 角の耐熱トレイにサンプルを搭載し、100 mm × 100 mm の範囲での加熱計測が可能である。図2に本装置のRCタイプ加熱炉と従来の大型のRCタイプ加熱炉とのサイズ比較を示す。加熱空間が削減されたことで、加熱速度が2°C/sから3°C/sに向上している点も本加熱炉の特長である。

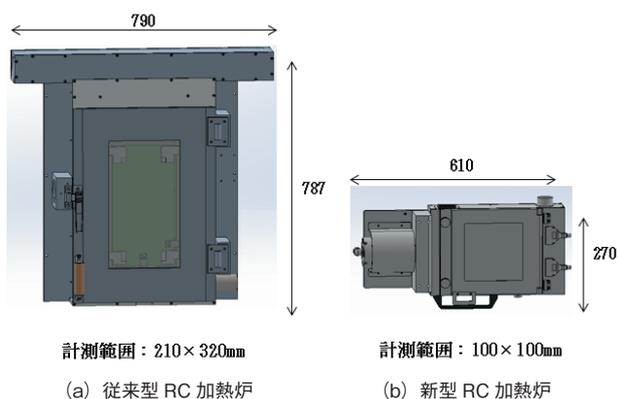


図2 加熱炉サイズ比較

### (2) 装置構造

従来装置は、大型加熱炉のもつ広い計測範囲に対応するために、図3(a)のようにXYステージ・3Dセンサの天吊り構造を採用していた。そのため、高剛性の大型フレームが必要であり装置全体の大型化を招いていた。

一方、本装置は計測範囲が狭いため、図3(b)に示すように、一般的な床置き型のステージ構造で3Dセンサを搭載できることから、装置の小型軽量化が実現できた。

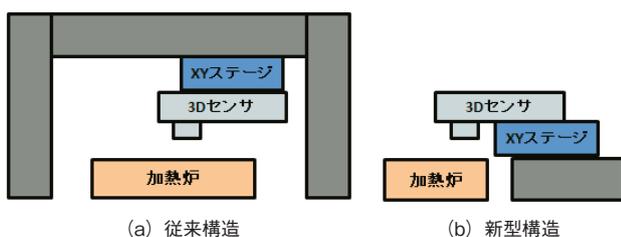


図3 ステージ構造

### (3) 制御盤

従来装置においては、装置本体と制御盤は分離されていた。しかし本装置では、構造の最適化や使用部品の見直しにより装置内部にスペースを確保することで装置と制御盤の一体化を実現した。また、モニタ類も従来装置

においては本体とは別置きとしていたが、本装置ではアーム式とすることで一体化し、使い勝手も向上している。

## 4 計測機能の強化

本装置には、最新の計測機能として多層の反りを一括で計測する機能を搭載した。この機能を使うことで、例えば図4(a)に示すイメージセンサのように、センサ素子上面に保護ガラスがある場合であっても、センサ素子面とガラス面の反りを一括して計測することが可能である。図4(b)は、イメージセンサを計測した結果の一例である。センサ素子・保護ガラスはもちろん、セラミックパッケージの表面も同時に計測している。各面の反りだけでなく面間の距離・平行度も評価することが可能である。

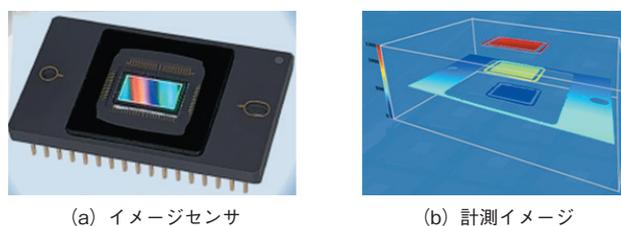


図4 多層計測機能

## 5 おわりに

東光高岳の可変反り検査装置は、加熱時でもミクロンレベルの反り計測が可能となっている。

今後、加熱計測の需要がさらに高まっていくことが予想される中で、さまざまな分野での問題解決に貢献できるよう、さらなる開発を進めていきたい。

### ■ 語句説明

注1) リフロー：あらかじめペースト状のはんだを基板に塗布し、部品を設置した後で加熱し接合する手法。

注2) AEC：Automotive Electronics Councilの略。大手自動車メーカーと米国の大手電子部品メーカーが集まり作られた車載用電子部品信頼性規格化のための団体。

### 井上 征利

光応用検査機器事業本部  
検査機器製造部 設計グループ 所属

# 振動解析装置

## 製品紹介

■ 木村 聡行  
Satoyuki Kimura

■ 吉田 耕作  
Kousaku Yoshida

### 1 はじめに

モータやポンプ等の機器が発する振動成分を解析することで、異常診断を行うことが可能であり、機器の予知保全に役立てることが可能である。予知保全を行うことにより突発性の機器停止を防止したり、適切な部品交換の見極めが可能となるなどの効果が期待できる。それらを可能にする振動解析装置の活用は、予知保全の有効な手段として注目されてきている。

現在市販されている振動解析装置は、故障原因の解析まで行える高機能だが高価な製品と、振動測定を行ってその結果データを示すだけの低機能だが安価な製品といった二極化した状況である。

今回、FFT<sup>注1)</sup> グラフを表示することで故障解析に寄与できる、高機能かつ安価な振動解析装置（以下「本装置」）を開発したので紹介する。なお、本装置は半導体デバイスメーカーである ANALOG DEVICES 社と共同で開発したものである。

### 2 製品の特長

#### 2.1 製品概要

本製品の特長は以下のとおりである。

- ・安価に FFT 結果が取得できる。
- ・FFT 解析後の加速度データを SD カードに保存して後日解析ができる。
- ・PC で設定した閾値を超えた場合に、警報が上げられセンサとして利用できる。
- ・シリアル通信にて PC を接続すると FFT 結果をグラフ表示できる。

#### 2.2 製品外観と FFT グラフ

本製品の的外観図を図1に、FFT グラフの例を図2示す。



図1 製品外観

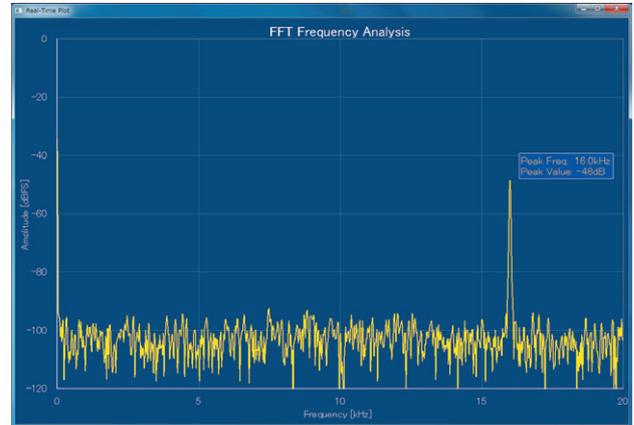


図2 FFT グラフ

正常時のグラフと定期的に比較することで、機器の異常判断をすることができる。

FFT グラフは、横軸が周波数 (Hz)、縦軸は大きさ (dBFS) になる。図2は 16 kHz の振動を入力したときのグラフである。

### 3 機能・仕様

#### 3.1 製品仕様

主な製品仕様について、表1に示す。

表1 製品仕様

項目	仕様	
サイズ	W96 × D145 × H35 [mm] (突起物除く)	
電源	AC100V または単三電池	
加速度センサ	ADXL356, ADXL1002	
動作温度範囲	-20°C ~ 60°C	
防水機能	なし	
外部 IF	DIDO	D11 点 (将来対応予定) D02 点 (警報出力) 電圧 3.3V
	LED	4 点
	UART	PC 接続用
	SD カード	miniSD

※上記仕様は予告なく変更する場合があります。



図3 システム構成案

対応センサの主な仕様を表2に示す。

表2 対応センサ

項目	ADXL356B (C)	ADXL1002
共振周波数帯域	5.5 kHz	21 kHz
-3 dB 周波数帯域	1.5 kHz	11 kHz
検知軸	X, Y, Z	X
測定範囲	± 20 g (± 40 g)	± 50 g
測定精度	40 mV ± 8% /g	40 mV ± 5% /g
動作温度範囲	-40°C ~ 125°C	-40°C ~ 125°C

※1 ADXL1002 は使用電力量が大きいため電池駆動不可

※2 ADXL356B (C) は X, Y, Z の 3 軸の内 1 軸を利用 (設定により可変)

### 3.2 機能仕様

装置の機能仕様を表3に示す。

表3 機能仕様

項目	仕様	
データ算出	時間軸解析	Peak/RMS/CrestFactor
	ADC サンプリングレート	102.4 kSPS
	FFT 点数	4096 点
	平均化	1~256 点を設定可能
ピーク検出	周波数帯を 8 箇所設定可能 閾値を 2 段階設定可能	
PC 接続	UART (9600-230400 bps)	
データ保存	SD カードに最大 60 日間保存	
SD カード	SDHC	

※上記仕様は予告なく変更する場合がある。

#### (1) ピーク検出機能

ピーク検出は、対象とする周波数帯と、閾値を 2 段階設定する。それぞれの閾値を超えた場合に、DO を介し警報装置や EcoQuest<sup>注2)</sup> でユーザーに通知することができる。周波数帯域は 8 点を設定可能である。システム構成案を図3に示す。

#### (2) PC 接続

アラームの閾値や範囲などの設定や、グラフ表示を行う PC 画面を図4に示す。

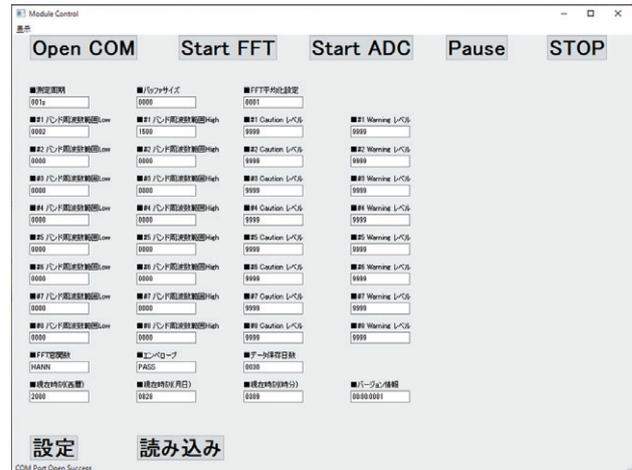


図4 設定画面

画面は python<sup>注3)</sup> で作成しているため、ユーザーの OS を問わず使用できるようにしている。

#### (3) データ保存

検出したピーク値やその周波数、FFT 結果を SD カードにファイル保存している。

#### ■ 語句説明

注1) FFT: Fast Fourier Transform の略。高速フーリエ変換。本装置では 1 秒間に 4,096 回センサからデータを取得しており、FFT を掛けることで周波数成分に分解された結果が得られる。

注2) EcoQuest: ユークエスト株式会社の 920 MHz 帯特定省電力無線通信を使用したセンサーネットワーク製品の登録商標 (登録番号: 5265564)。

注3) python: 汎用のプログラミング言語。シンプルで構文規則が少ないため、近年注目されている言語である。

#### 木村 聡行

ユークエスト株式会社  
技術本部 電力システム部 所属

#### 吉田 耕作

ユークエスト株式会社  
技術本部 電力システム部 所属

# シンククライアント新製品と 管理ツール Sient の紹介

■ 小倉 公貴  
Koki Ogura

■ 前川 拓哉  
Takuya Maekawa

■ 石井 竜登  
Tatsuto Ishii

## 1 はじめに

情報技術の利用拡大とそれによる利便性の向上に伴って、情報漏えいや不正アクセスから情報システムを保護するためのセキュリティが重要度を増してきた。また、「働き方改革」の推進により中央省庁や自治体、企業ではテレワークやモバイルワークへの取り組みが活発化している。

シンククライアント製品はこれまでもサーバ側にデータや処理を集約させられるその仕組みから、高いセキュリティを必要とする用途で利用されてきたが、働き方改革の解決策としてニーズが高まっている。

ミントウェアは、世の中の流れである柔軟な働き方、ワークスタイルの多様化に応えるべく新たに4機種種のシンククライアント端末を製品化した。

本稿では、製品化した MiNT-ACC BX500, MiNT-ACC Note B45J, MiNT-ACC Note R73J および MiNT-ACC Note G83 (以下、総称して「MiNT-ACC 端末」とする) の4機種と Linux ベースの独自開発 OS である Basilware64, MiNT-ACC 端末管理ツール Sient について紹介する。

## 2 シンククライアント端末

本稿で紹介するシンククライアント端末は、デスクトップ型が1機種と、ノート型が3機種である。対応 OS は、Linux ベースの独自開発 OS である「Basilware64」と「Windows 10 IoT Enterprise」から選択できる。表 1 に MiNT-ACC 端末仕様比較表、表 2 に MiNT-ACC 端末の外観と想定されるワークスタイルを示す。

### 2.1 デスクトップ型

大型モニタおよび二画面表示に対応する手のひらサイズのコンパクトな MiNT-ACC BX500 の特長はつぎのとおりである。

#### (1) 二画面表示対応

外部モニタ出力インターフェースとして、DVI-I<sup>※1)</sup> と DVI-D<sup>※1)</sup> の2ポートを備えており、同時に二画面表示が可能である。「DVI-I to VGA<sup>※1)</sup> 変換コネクタ」が標準で付属されるため、VGA ケーブルも接続可能である。最大解像度は2ポートとも「1,920 × 1,200 px」である。

表 1 MiNT-ACC 端末仕様比較表

ラインアップ	デスク トップ型	ノート型		
	BX500	B45J	R73J	G83
対応 OS				
Basilware64	○		○	
Windows 10 IoT Enterprise	○		○	
インターフェース				
DVI 出力ポート	DVI-I x1, DVI-D x1	—	—	—
HDMI 出力ポート	—	x1	x1	x1
VGA 出力ポート	—※1	x1	x1	—
USB 3.0	x2	x4	x3	x2
USB 2.0	x2	—	—	—
USB Type-C	—	—	—	x1
オーディオポート	マイク x1, ヘッドホン x1	マイク & ヘッドホン共用 x1		
内蔵マイク	—		○	
内蔵スピーカ	—		○	
メディアスロット 対応サイズ	—	SD メモリカード		microSD メモリカード
セキュリティ ロック	○		○	
LAN				
有線	○※2		○※2	
無線	○※3		○※3	
その他				
搭載画面サイズ	—	15.6	13.3	
解像度 [px]	—	1,366 × 768		1,920 × 1,080
内蔵 Web カメラ	—		○	—
筐体サイズ (幅) × (奥行) × (高さ) [mm]	39.5 × 103 × 151	379.0 × 257.9 × 23.9	316.0 × 229.0 × 22.4	308.8 × 211.6 × 17.9
重量 [kg]	約 0.46 ※4	約 2.40	約 1.27	約 0.78

※1. DVI-I to VGA 変換コネクタあり。

※2. 1000BASE-T / 100BASE-TX / 10BASE-T<sup>※2)</sup> に対応。

※3. IEEE 802.11a/b/g/n/ac に対応。BX500 は無線 LAN 内蔵モデルのみ。

※4. 無線 LAN 内蔵モデルの値。

#### (2) 静音 & 省電力設計

ファンレス設計により一般的なデスクトップ型 PC より静粛性能が高い。アイドル時には 7W という低消費電力でありオフィスの消費電力削減に貢献する。

#### (3) 無線 LAN 対応

無線 LAN 内蔵モデルを用意しているため、LAN ケー

表 2 MiNT-ACC 端末の外観と想定されるワークスタイル

外観	デスクトップ型	ノート型		
	BX500	B45J	R73J	G83
				
	※ 1	※ 2	※ 2	※ 2
ワークスタイル	1. オフィスワーク — 固定席 — フリーアドレス	1. オフィスワーク — 固定席 — フリーアドレス 2. 在宅勤務	1. オフィスワーク — フリーアドレス 2. 在宅勤務	1. オフィスワーク — フリーアドレス 2. モバイルワーク 3. 在宅勤務

※ 1. 写真は無線 LAN 内蔵モデルです。  
 ※ 2. 画面はハメ込み合成です。

ブルの配線が困難な環境にも推奨できる。Wi-Fi 規格は IEEE 802.11ac に対応する。

#### (4) VESA<sup>注3)</sup> マウント対応

モニタ裏に採用される VESA マウントに取り付けでき、省スペース化が可能である。VESA 規格は VESA75 と VESA100 に対応する。

## 2.2 ノート型

持ち運び可能な MiNT-ACC 端末としてノート型をラインナップする。大きく分けて 15.6 型と 13.3 型の画面サイズから選択できる。さらに 13.3 型からは超軽量かつ IGZO 液晶<sup>注4)</sup> 搭載機種が選択できる。上記のノート型 MiNT-ACC 端末はすべて外部モニタ出力インターフェースを搭載しており、外部モニタを使用しての二画面表示や、外出先での映像出力が可能である。

#### (1) MiNT-ACC Note B45J

15.6 型 HD (1,366 × 768 px) ノングレア液晶に、フルサイズテンキー付きキーボードを搭載するスタンダードなモデルである。

#### (2) MiNT-ACC Note R73J

13.3 型 HD (1,366 × 768 px) 軽量・高輝度ノングレア液晶を搭載しており、持ち運びにも便利な軽量薄型モデルである。USB3.0 ポートが一つ少ない以外は MiNT-ACC Note B45J と同等の機能を搭載する。

#### (3) MiNT-ACC Note G83

MiNT-ACC Note G83 は軽量でありながら堅牢性を求める声に応えるモデルとなっている。13.3 型 Full HD (1,920 × 1,080 px) の高輝度・広角 IGZO 液晶を搭載するため、映し出される映像は高精彩である。最新の USB Type-C コネクタを搭載しており、高速データ通信が可能である。厚さ約 17.9 mm の極薄ボディ、業

界最軽量の約 0.78 kg である。

## 3 Basilware64 の機能と特長

### 3.1 Basilware64 の主な機能

Basilware64 は Linux ベースの独自開発 OS である。Basilware64 は主な機能として、複数の接続方式への対応、システム設定機能を有している。主な機能はつぎのとおりである。

#### (1) 複数の接続方式への対応

Basilware64 が対応する接続方式はつぎのとおりである。

- ・ Remote Desktop Service (Microsoft Corporation)
- ・ Virtual Apps and Desktops (Citrix Systems, Inc.)
- ・ VMware Horizon (VMware, Inc.)

これらの接続設定は搭載する接続マネージャから行うことが可能である。図 1 に接続マネージャ画面を示す。



図 1 接続マネージャ画面



図2 システム設定機能の GUI

## (2) システム設定機能

Basilware64 はさまざまなシステム設定を行うための GUI 機能を持つ。接続先の設定はもとより、端末のディスプレイや音量設定等を行うことが可能である。図2 にシステム設定機能の GUI を示す。

## 3.2 Basilware64 の特長

シンククライアントのサーバ側にデータを集約可能なセキュリティ面の優位性に加えて Basilware64 はより強固なセキュリティ機能を多数有している。特長はつぎのとおりである。

### (1) ゼロコンフィグモード

ゼロコンフィグモードでは、後述する Sient および必要な機能を搭載した管理サーバから、起動時に設定情報を取得する。設定情報が MiNT-ACC 端末に保存されることがないため、情報漏えいのリスクが少ない。

### (2) 認証デバイス対応

IC カードデバイスに対応しており、確実な本人確認が行える。また、通常の認証に加えて IC カードデバイスを用いることで、二要素認証が必要とされる環境にも導入が可能である。

### (3) VPN<sup>注5)</sup> 対応

VPN により通信経路を保護することで、ネットワーク経由での情報漏えいや盗聴を防止する。また、テレワーク等で外部から社内ネットワークへ接続する際に安全に接続ができる。対応する VPN 方式はつぎのとおりである。

- ・ Layer 2 Tunneling Protocol (L2TP)
- ・ Cisco AnyConnect Compatible VPN(openconnect)
- ・ Juniper Network Connect (openconnect)
- ・ Point-to-Point Tunneling Protocol (PPTP)
- ・ Cisco 互換 VPN (vpnc)

### (4) 管理者モードによるアクセス制限

管理者モードの設定により一般ユーザが設定可能な項目を制限できる。これにより、一般ユーザによる不用意な設定変更や、悪意ある人物による不正な設定変更からシステムを保護する。

## 4 管理ツール Sient

### 4.1 概要

管理ツール Sient は MiNT-ACC 端末の監視・制御を遠隔から一括で行うことを可能にするソフトウェアである。遠隔から一元管理することで、直接一台ずつ設定する必要はなく、大量展開や管理にかかる時間的なコストを軽減できる。

図3 に管理サーバの構成例、図4 に Sient のメイン画面を示す。MiNT-ACC 端末が起動してからシンククライアントサーバに接続するまでの流れはつぎのとおりである。

- ① DHCP<sup>注6)</sup> サーバから、Sient サーバおよび FTP<sup>注7)</sup> /HTTPS<sup>注8)</sup> サーバのアドレス情報を取得する。
- ② Sient が MiNT-ACC 端末の情報を取得し、情報を登録・更新する。
- ③ FTP/HTTPS サーバから設定情報を取得する。
- ④ 設定情報をもとにシンククライアントサーバへ接続する。

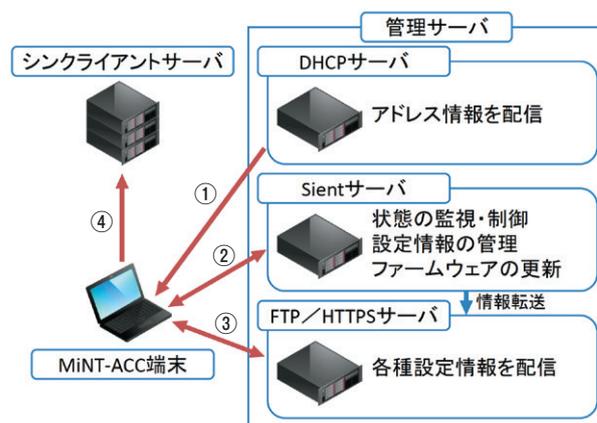


図3 管理サーバの構成例

### 4.2 特長

Sient の特長はつぎのとおりである。

#### (1) 登録とグループ分け

Sient への登録は、管理サーバ環境が整っていれば MiNT-ACC 端末を起動するだけで完了する。Sient に登録した MiNT-ACC 端末は、それ以降遠隔から監視・制御が可能になる。

登録してある MiNT-ACC 端末はツリー構造による、視覚的にわかりやすいグルーピングができる。また、ア

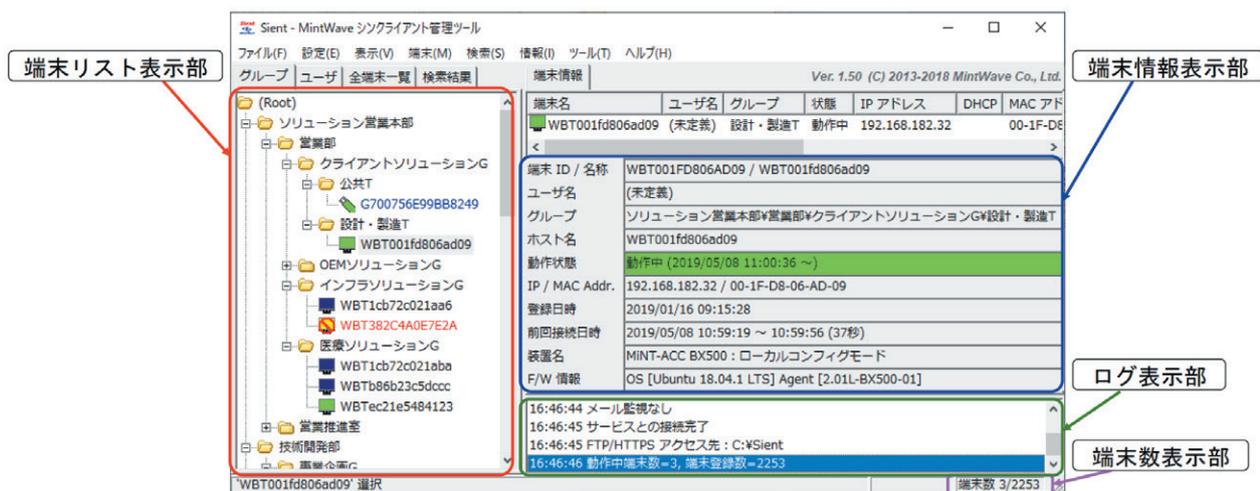


図 4 Sient のメイン画面

アイコンのドラッグ・アンド・ドロップで簡単にグループの変更ができる。

#### (2) 設定情報の管理

MiNT-ACC 端末における各接続方式の設定や各種設定情報を管理でき、個別だけでなくグループ単位等での一括変更ができる。また、Sient への登録時に自動的に設定値を適用させることができ、MiNT-ACC 端末設置時の初期設定として有効である。

#### (3) ファームウェアの更新

ネットワーク経由で MiNT-ACC 端末のファームウェアの更新ができる。個別での更新だけでなくグループ単位や機種単位等、任意の適用範囲が設定できる。

#### (4) 状態監視

MiNT-ACC 端末に対して WoL<sup>注9)</sup>、シャットダウン、再起動の制御が可能である。各 MiNT-ACC 端末の状態は、アイコンによって一目で確認できる。また、一定時間おきの死活監視ができる。

#### (5) MiNT-ACC 端末の使用禁止設定

紛失時の対応として、起動後すぐにシャットダウンするように特定の MiNT-ACC 端末を使用禁止に設定できる。使用禁止設定の方法は二とおりあり、一つ目は管理者が Sient の管理コンソールから手動で使用禁止にする方法である。二つ目はユーザが Sient に対してメールを送信し、そのユーザが所有している MiNT-ACC 端末を自動的に使用禁止にする方法である。

#### (6) ログの管理

Sient と MiNT-ACC 端末間で発生した通信や、MiNT-ACC 端末上で発生したエラーのログを収集できる。ログの調査として、ログレベルごとのフィルタリングや任意文字での検索ができる。

## 5 おわりに

シンクライアントの新製品について紹介した。ミントウェーブは、今後も技術を進化させ、さらなる機能向上、機種の拡充に努め、セキュアで管理しやすいシンクライアント環境を提供していく。

#### ■ 語句説明

注 1) DVI-I, DVI-D, VGA : 映像通信規格の種類。

注 2) 1000BASE-T / 100BASE-TX / 10BASE-T : ネットワーク通信規格の種類。

注 3) VESA : Video Electronics Standards Association (ビデオエレクトロニクス標準化協会)。VESA マウントは、モニタ等の映像機器を、壁掛け金具等に接続する際のネジ穴間隔を規定する国際標準規格。

注 4) IGZO 液晶 : Indium (インジウム), Gallium (ガリウム), Zinc (亜鉛), Oxygen (酸素) で構成された半導体を利用した液晶の呼称。

注 5) VPN : Virtual Private Network。公衆網であるインターネットにまたがって、プライベートネットワークを拡張する技術、およびそのネットワーク。

注 6) DHCP : Dynamic Host Configuration Protocol。ネットワーク設定を自動的に配信するプロトコル。

注 7) FTP : File Transfer Protocol。ネットワークを介してファイルを転送するためのプロトコル。

注 8) HTTPS : Hypertext Transfer Protocol Secure。ネットワークを介してデータやファイルを暗号化して転送するためのプロトコル。

注 9) WoL : Wake-on-LAN。ネットワーク内のコンピュータの電源を遠隔から投入する技術。有線 LAN のみ対応。

本稿に記載されている社名、製品名等は各社の商標または登録商標です。

小倉 公貴, 前川 拓哉, 石井 竜登

株式会社ミントウェーブ 技術開発部 所属

# 一般産業用スマートメーター専用 データ収集装置 TOSCAM-M1<sup>注1)</sup>

■ 竹内 聡  
Satoshi Takeuchi

## 1 はじめに

一般産業用スマートメーター“SmaMe<sup>注2)</sup>”シリーズ(以下、SmaMe)には上位装置から現在計量値、30分ごとの計量値を要求することができる。上位装置はお客さまで用意いただくが、オーナーが管理人をしているようなコンパクトなビルでは上位装置の導入まで至らず、結果的に SmaMe の導入が見送られるケースがあった。そこで、30分計量値収集と SmaMe TypeH の開閉機能のみに絞った機器をラインアップした。

## 2 特長

データ収集装置 TOSCAM-M1 (以下本装置) は SmaMe の 30分計量値を 7ヶ月分 SDHC カード<sup>注3)</sup> に保存する。

本装置と SmaMe を収集するための設定は Microsoft Edge<sup>注4)</sup> 等の Web ブラウザ上で設定を行うため、設定のための専用アプリケーションは不要。

保存したデータは Web ブラウザで CSV ファイルとして取得できる。その際のプロトコルは https 通信のため秘匿性に優れている。

Web ブラウザで SmaMe TypeH の開閉操作機能が利用できる。

東芝製 FlashAir<sup>注5)</sup> を SDHC カードとして使用する場合は無線 LAN にてスマートフォン、タブレットなどで 30分計量値を回収できる。

動作電源が AC100~200V のため、AC アダプタが不要。

停電時刻と復電時刻を記録しログに保持する。

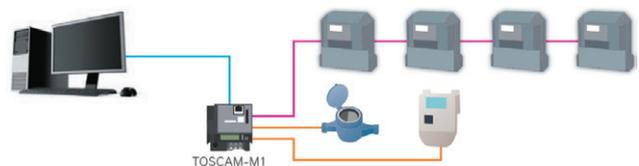
パルスカウント回路を 2 回路内蔵しており、SmaMe 以外にパルス発信装置付き計器(ガス、水道メーター等)の計量値を保持できる。

SmaMe 収集モード以外に SmaMe 用 RS-485<sup>注6)</sup> / LAN<sup>注7)</sup> 変換機としても使用できる。



## 3 使用例

PCがあれば、本装置と LAN 接続することにより、30分計量値を CSV ファイルとして収集できる。



## 4 応用例

本装置はコンパクトなビルのテナント検針向けに開発したが、ほかにも Cloud-TOSCAM での SmaMe データ収集装置としての利用もできる。



## 5 仕様

項目	仕様	
形式	RL-20A	
電源電圧	定格 AC100 V～240 V 50/60 Hz	
消費電流	10 VA 以下	
データ記録	記録媒体	SDHC メモリカード*
	記録日数	最大7ヶ月
	記録読出形式	1日単位のCSV ファイル形式
	記録データ	積算電力量(正方向, 逆方向), パルス数 ※30分ごとにSDHC カードに記録
各種設定内容	SDHC メモリカードおよび不揮発 メモリに記録	
SmaMe と通信	通信方式	RS-485
	伝送速度	9,600 bps (固定)
	終端抵抗	なし
	最大 伝送距離	500 m
上位 伝送 I/F	I/F	100BASE-TX/10BASE-T 対応
	伝送速度	100 Mbps/10 Mbps
	ポート	RJ-45 × 1 ポート
時計機能	日差 2 秒以内 (25℃)	
停電補償	連続停電補償時間: 48 時間, 補 償内容: RTC (現在時刻を保持)	
推奨 Web 動作環境	OS: Windows10, ブラウザ: Microsoft Edge	
動作温度範囲	-10～+50℃, 30%～85% RH 以下 (ただし, 氷結, 結露なきこと)	
外形寸法	80 (W) × 100 (H) × 56 (D) mm	
質量	約 220 g	
取付構造	IEC レール <sup>注8)</sup> 取付け, またはね じ止めによる壁面取付け	

## 6 おわりに

本装置は SmaMe のデータ収集に特化した製品であるが、今後はこの機能をコアとし、LTE モジュールの追加や、パルスをカウントする端末伝送装置からのデータを取り込めるようにする機能を追加し、SmaMe や水道メーターなどの各種計量器からのデータをより簡単に上位装置へ渡せるようにしていきたい。

## ■ 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。

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。

注3) SDHC は SD アソシエーションの商標。

注4) Microsoft Edge は米国 Microsoft Corp. の商品名称。

注5) FlashAir は東芝メモリ株式会社の商標。

注6) RS-485 は、電子機器間でデータ通信を行うためのシリアル通信規格の一つ。

注7) LAN はネットワークの種類の一つで、建物内やフロア内といった狭い範囲にあるコンピューターで構成されたネットワークのこと。

注8) IEC レールは、機器を制御盤内に取り付ける際、一般的によく利用されている金属製のレールのこと。ドイツ工業規格での略称である DIN レールと呼ばれることもある。

## 竹内 聡

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 技術担当 所属

# 自動開閉器用遠方制御器【光通信用】 (CD5SC)

■ 小池 要  
Kaname Koike

## 1 はじめに

コンパクト型自動開閉器用遠方制御器 (CD3SC, CD4SC) の更新計画に伴い、既設の自動開閉器にも対応可能な制御器の開発が必要となった。

そこで、現行の光／搬送両方式対応型センサ内蔵自動開閉器用遠方制御器 (SC-D) をベースに、機能を最小限に絞った、新たな制御器 (CD5SC) を製品化したので紹介する。

## 2 特長

(1) 小型、軽量化

表 1 に SC-D と CD5SC の比較を示す。

SC-D から約 50% の軽量化、約 60% の小型化を実現、筐体に使用環境、耐候性、機械的強度に優れた「PC/ABS 合成樹脂」を採用し、軽量・小型化を実現。

(2) 機能限定によるスリム化

自動開閉器制御機能に限定し、基板の小型化、部品点数の削減により、スリム化を実現。

表 1 SC-D との比較

		CD5SC	SC-D
外観		 <p>545mm 220mm 奥行:180mm 13kg (電源ケーブル5m含む)</p>	 <p>357mm 360mm 奥行:275mm 23kg (電源ケーブル5m含む)</p>
通信方式		光 (10 Mbps., TCP/IP)	配電線搬送, 光 (10 Mbps., TCP/IP)
開閉器		自動気中開閉器, 自動真空開閉器	センサ内蔵自動気中開閉器
開閉器接続		コンパクト型コネクタ付リード	SC-D 用コネクタ付リード
主な機能	制御器	<ul style="list-style-type: none"> <li>開閉器監視制御機能</li> <li>時限式事故捜査機能</li> <li>検相機能</li> </ul>	左記に加え、 <ul style="list-style-type: none"> <li>計測機能</li> <li>波形データ取得機能</li> <li>事故検出機能など</li> </ul>
	開閉器	常時励磁方式	瞬時励磁方式
筐体		樹脂	ステンレス筐体

## (3) 自動開閉器 (DCAS) 対応

高圧架空配電線の柱上に設置されたセンサ内蔵自動開閉器以外の「自動開閉器」の遠方制御に対応。レセプタクルは従来の仕様を踏襲し、CD3SC、CD4SCからの交換が可能。

## (4) 通信の信頼性向上

配電線搬送（通信速度：200 bps 専用プロトコル）から、光通信（通信速度：10 Mbps TCP/IP）となることで、通信速度と信頼性が向上。

### 3 機能・仕様

本製品の主な仕様を以下に示す。

## (1) 周囲温度

周囲温度を表2に示す。

表2 周囲温度範囲

項目	温度範囲	備考
特性保証温度	-10℃～+40℃	性能を満足する温度範囲
動作保証温度	-20℃～+50℃	正常に動作する温度範囲

## (2) 湿度

標準使用状態：45～85% RH

## (3) 定格電圧

AC100 V

## (4) 開閉器との受渡条件

コンパクト型コネクタ付きリード

## (5) 通信方式

Ethernet（光）、TCP/IP 10 Mbps

## (6) 動作条件

逆送電検出開始時間 1 秒以内

子局通信開始時間 2 秒以内

## (7) 電力制御

時限式事故捜査機能、遠方制御機能

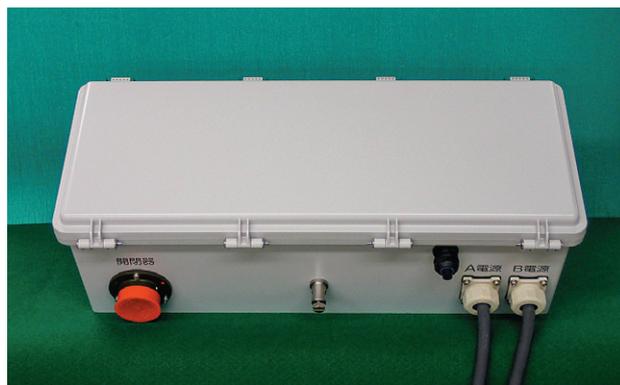


図1 CD5SC 製品外観（表）

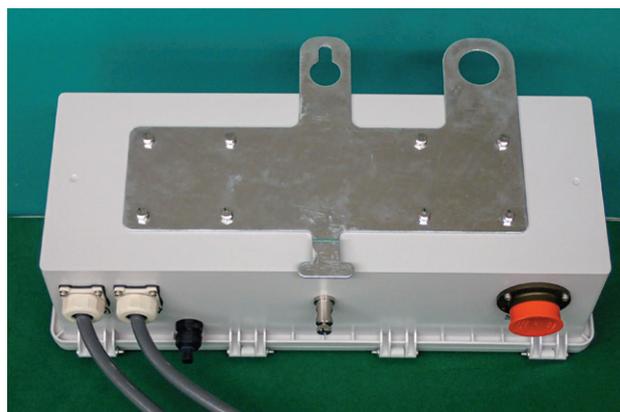


図2 CD5SC 製品外観（裏）

### 4 おわりに

本製品は、東京電力パワーグリッド株式会社の型式認定を取得しており、今年度より量産していく予定である。

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

#### 小池 要

エネルギーソリューション事業本部電力システム製造部  
配電ネットワーク機器設計グループ 所属

# 自動開閉器用遠方制御器【光通信用】 (CD5SC)の試験装置

## 1 概要

2019年度より出荷を開始する自動開閉器用遠方制御器（光通信用）（以下 CD5SC）に関し、東京電力パワーグリッド（株）からの委託にて CD5SC の特性試験を実施可能な試験装置を開発した。

今回はコストダウンのため、納入済みの「光/搬送両方式対応型センサ内蔵自動開閉器用遠方制御器特性試験装置」（以下 SC-D 特性試験装置）への機能追加により、CD5SC の試験機能を実装することとした。

## 2 実施内容

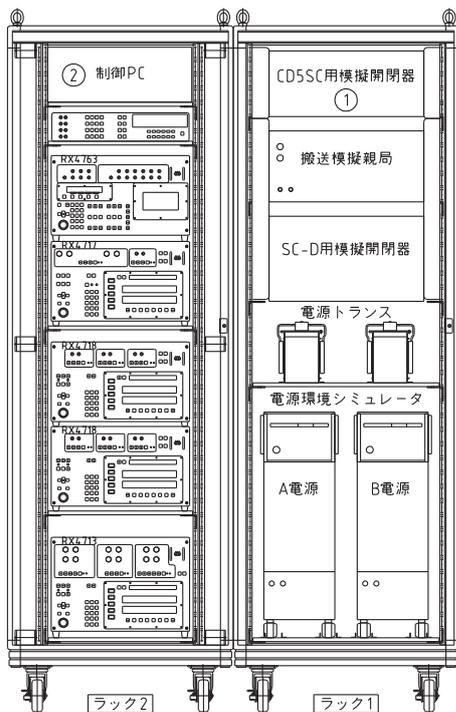


図1 試験装置構成図

既納品の SC-D 特性試験装置に対し、以下の変更を行った。

- ① CD5SC 用の模擬開閉器をラック 1 に追加
- ② 制御 PC への CD5SC 試験用ソフトのインストール

## 3 機能

開発した試験装置の機能は表 1 のとおりである。

表 1 試験装置機能

機能	概要
自動試験機能	CD5SC の論理部、検相部、電源部、表示機能、制御器履歴の記録機能の試験を、人手を介さず自動的に実施し、良否判定する。 ※一部の試験では人手による操作・確認が必要。
手動試験機能	模擬開閉器の入/切や充電/停電状態、異常状態を任意に設定し、CD5SC の動作を確認する。
模擬親局・外部設定器機能	CD5SC への開閉器制御や設定指令の送受信を任意に実施する。

## 4 特長

- (1) 試験を可能な限り自動化したことによる試験品質の向上。
- (2) 試験装置の配線や設定を変更することなく SC-D と CD5SC 両機種の試験を実施することが可能。



図2 試験装置写真

# 電力会社向け油入全装輸送型 20 MVA配電用変圧器

## 1 概要

従来、電力会社向け配電用変圧器は、10 MVA、15 MVA 器を油入全装輸送しており、20 MVA 器については輸送質量、寸法の制約から解体輸送を行っていた。しかしながら、近年、解析精度や設計技術の向上により、20 MVA 器においても油入全装輸送を実現し、工場試験後、部品を取り外すことなく現地への発送を可能とした。

初号器は東京電力パワーグリッド株式会社にて運用している。

## 2 仕様

開発した機器の基本仕様を表 1、外観を図 1 に示す。

表 1 配電用変圧器基本仕様

一次引出方法	気中形、ケーブルヘッド形
容量	20 MVA
電圧	64.5/6.9 kV
油劣化防止方式	無圧密封式
タップ切換方式	負荷時タップ切換
結線	Y-Y-( $\Delta$ )
%インピーダンス	15%
冷却方式	油入自冷式 (ONAN)
騒音	50 dB
寸法	長さ 6,000 mm 以下 (トレーラ接触面)
	幅 3,000 mm 以下
	高さ 3,700 mm 以下
総質量	37 トン以下

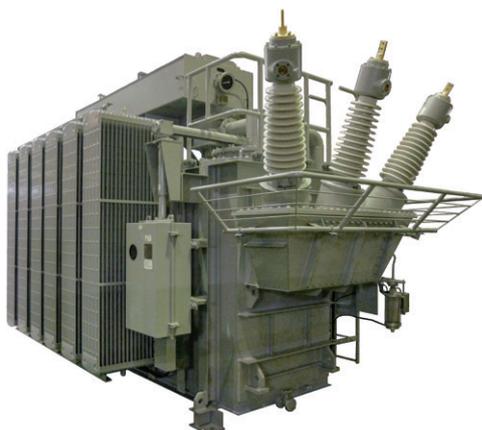


図 1 配電用変圧器外観

## 3 特長

主な特長は次のとおりである。

- ・解析による低騒音検討結果にもとづく高磁束密度化や電流密度の最適化、耐熱紙の採用に伴う温度上昇限度の格上げ、付属品レイアウトの合理化により、変圧器のコンパクト化を指向

- ・解析を用いたタンク板厚、補強の最適化 (図 2)、コンパクトブッシングなどの新技術の適用、タンク形状合理化による油量削減などの軽量化施策を実施

これらの施策を適用することで、20 MVA 器においても油入全装輸送を可能とし、現地での組立作業、試験を省略した (図 3)。それにより、工場での品質を維持したまま、大幅な工期短縮および工事費用の低減を実現した。

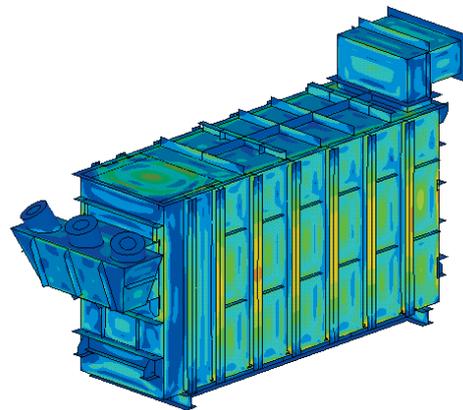


図 2 真空時に各鋼材にかかる応力解析結果



図 3 配電用変圧器油入全装輸送

# 中部電力株式会社管内設置 T400Lを活用した故障点標定機能実証開始

## 1 はじめに

架空送電線路における電線・碍子などの電気工作物の被害に繋がる事故は全体の約 1/3 程度であり、その大半は事故遮断による落雷等のアークの消滅により系統は復旧する。一方、送配電の保守保全業務において、送電線事故点が特定できない場合には、事故点探査に多くの労力と時間を要することになる。

SEL<sup>注1)</sup>が2017年にリリースしたSEL-T400Lは、進行波による故障点標定、送電線保護、1 MHz サンプリングなどの機能を有している。これらの機能を日本の実系統で検証するため、SEL-T400Lを中部電力株式会社管内の二箇所の変電所に設置し、故障点標定と事故波形取得および保護機能についてフィールド検証を行うこととした。

## 2 機能紹介

### (1) 故障点標定

本装置の故障点標定機能は主に、故障検出区間の片端あるいは両端の電流情報を用いて故障点を標定する機能を有する。故障発生後数十 ms 以内に標定計算を行い、架空・地中複合送電線では地中の故障点に対して自動再閉路キャンセル信号を発行する等に活用できる。

故障点標定は送電線長さに関係なく、鉄塔の1スパン単位で正確に故障位置を標定できることがフィールド実証されている。

#### ・シングルエンド方式

故障検出区間となる送電線の片端のみにSEL-T400Lを設置し、事故により発生した進行波と相手端からの反射波の到達時刻の差を用いて故障点を標定する。

#### ・ダブルエンド方式

故障検出区間となる送電線の両端にSEL-T400Lを設置し、事故により発生した進行波が両端に到達した時刻の差を用いて故障点を標定する。

### (2) 送電線保護

#### ・進行波差動保護要素

従来形 CT 取込みによる進行波電流を利用して、送電線長に応じて、1~5 ms の動作時間で送電線事故を検出することができる。

#### ・距離保護要素

電圧や電流の変化量を用いることにより、故障位置、短絡電流値、故障抵抗および故障発生位相に応じて2~

7 ms の時間で送電線事故を検出することができる。

#### (3) 1 MHz サンプリング

分解能 1  $\mu$ s にて、最大 50 波形（最大記録長 1.2 s）を記録する 1 MHz サンプリングレコーダを搭載している。

## 3 フィールド検証の内容

図1に設置したT400L盤を示す。

二箇所の変電所における各 77 kV 送電線に T400L 盤を設置し、フィールド検証を開始した。

2019年2月~2020年3月の期間（予定）、落雷応動や故障点標定結果、波形取得について検証を行う。計測条件として送電線 CB パレット、送電線 CT、母線 PT を検証盤に取り込んでいる。

### ■ 語句説明

注1) SEL : 『Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.』の略称。米国プルマンに本社。



図1 T400L 盤

# ネプコンジャパン2019

## 第20回半導体・センサパッケージング技術展出展

### 1 期間・会場

開催期間 2019年1月16日～1月18日(3日間)

会場 東京ビッグサイト

東光高岳ブース 東展示場 3ホール E27-22

### 2 概要

本展示会は、半導体／実装・検査機／LED・レーザ／電子部品・材料にかかわるあらゆる製品・技術・サービスの会社が一堂に出展するアジア最大級の「エレクトロニクス専門展」である。

3日間の来場者数は、会場全体で116,244名となり、前年より1,864名増と大盛況となった。

光応用検査機器事業本部では、会場へ向かう通路上に社名広告を出し、半導体業界での会社の認知度向上を図った。

東光高岳ブースでは、新規受注を目的に、小型温度可変反り検査装置 HVI-8000C の実機展示およびプレゼンテーション資料にて PR を行った。

東光高岳ブースにも多数のお客さまにお越しいただいた。50社以上のお客さまからお問合せをいただき、ご好評をいただいている。



図1 通路に社名広告



図2 東光高岳ブース



#### 製品特長

- 小型 & 低価格
- 共焦点光学系による高精度計測
- バンプ除去・塗装不要
- 冷却機能  $\sim -55^{\circ}\text{C}$
- 高速対流加熱  $3^{\circ}\text{C}/\text{sec}$

図3 小型温度可変反り検査装置 HVI-8000C



図4 製品説明

# Integrated Electronics Engineering Center (IEEC) at Binghamton University

2018年9月、米国ニューヨーク州ビンガムトン大学 Integrated Electronics Engineering Center (IEEC) Laboratory に当社の小型温度可変反り検査装置 HVI-8000C を設置し、米国におけるサンプル検証を行える拠点とした。これにより、米国のお客さまが、装置購入検討のためのサンプル検証を現地にて実施できる体制が整った。

また、2018年9月に行われた、米国企業を中心に

52社が参加した Electronics Packaging Symposium にも参加し、約350名の来場者があり、当社装置のPRを行った。

当社ブースには、IBM、GE Global Research、GE Healthcare など約10社の来場者があり、またラボ見学ツアーも開催され、数十名が当社装置を見学した。現在、ビンガムトン大学と連携して、お客さまのサンプル評価を行い、受注機会の拡大を目指し活動している。



図1 ラボ見学ツアーの様子

図2 ビンガムトン大学 IEEC ホームページにて紹介