

「超スマート社会」の実現に向けて ～ICTを活用したサイバー空間とフィジカル空間との融合～



林 泰弘*
Yasuhiro Hayashi

21世紀に入り、情報通信技術（ICT）の急激な進化により、グローバルな環境において、情報、人、組織、物流、金融など、ありとあらゆる「もの」が瞬時に結び付き、相互に影響を及ぼし合う新たな社会環境が生まれつつある。

従来は個別に機能していた個々のシステムが、サイバー空間を活用して高度化され、分野や地域を越えて結びつくことで、「もの・サービス」を、必要な人に、必要なときに、必要な分だけきめ細やかに、効率よく供給できるようになってきた。

電力の分野に関しても同様のことが言える。従来、電気は、火力、水力、原子力など大規模集中電源で発電し、送配電系統網を経由して需要家に安定的に供給する一方向のシステムであった。現在はさまざまな形態の電源と負荷がサイバー空間を介して有機的に結びつく構造に変化している。

日本においては、再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）による太陽光発電が急速に拡がり、昼間の日照時間帯に大量の余剰電力の発生や天候急変に伴う電力バックアップ不足など想定外の電力供給の過不足が発生するリスクが高まっている。

また、今後電気自動車（EV）の普及が進めば、EVへの充電のために夜間時間帯に電力消費が増大することも考えられ、従来とはまったく異なる電力需給形態へのシフトが現実味を帯びてきた。

これらを解決するためには、ICTを活用して太陽光発電、風力発電、定置型蓄電池、EV蓄電池などの分散するパワーリソースを束ねて（アグリゲーション）、生産・消費・流通をネットワーク化し、電力需給を把握・予測するとともに総合的に監視・制御するエネルギーバリューチェーンの最適化を図るシステムが不可欠となる。それは、電気にとどまらずガスや熱、水道の分野にも拡がり、総合的なエネルギーインフラマネジメントシステムへと進展していくことになるであろう。

こうした取り組みは、ICTを最大限に活用し、サイバー空間とフィジカル空間（現実世界）とを融合させた取り組みにより、人々に豊かさをもたらす「超スマート社会」の実現に結び付くと考えられる。

このような環境の中で、東光高岳には、これまでの電力システムの運用・制御に関する豊富な実績や、国などが主導する各種の実証事業に参画した経験を活かし、どんな技術が次世代に求められるかを考え、「新しいことにチャレンジするワクワクする企業として」新技術の実用化に向けた取り組みを推進することを期待している。

* 早稲田大学理工学術院 教授

DR shifTer (シフター) の開発

論文

■ 細谷 雅樹 Masaki Hosoya ■ 原 正典 Masanori Hara ■ 田中 晃司 Koji Tanaka

1 はじめに

これまで、電力システムは電力需要のピークに対応するため、需要量に応じて大規模発電所（集中電源）の整備を行い供給量を確保してきた。しかし、東日本大震災以降、原子力発電所の停止に伴い、電力需給逼迫（ひっばく）の解消や、災害に強い電源が求められてきた。そこで、太陽光発電や蓄電池、電気自動車など、需要家側に導入される分散化された小規模エネルギーリソースの普及が進んできた。それに伴い、集中電源に依存した従来型のエネルギー供給システムが見直されるとともに、需要家側のエネルギーリソースを電力システムに活用する仕組みの構築が進められている。

需要家が有するエネルギーリソースのひとつひとつは小規模であるが、IoTを活用したエネルギーマネジメント技術によりこれらを束ね、遠隔・統合制御すること（デマンドレスポンス（DR））で、電力の需給バランスを調整することができる。この仕組みは、あたかも一つの発電所のように機能することから、「仮想発電所：バーチャルパワープラント（VPP）」と呼ばれる。

各需要家が持つリソースの中でも、蓄電池、特にナトリウム硫黄（NaS）電池は充電容量も大きく、VPPでの調整力としての期待が大きい。しかし、既存の蓄電池システムを遠隔DRに対応させるためには、蓄電池システムの改造が必要となり、メーカーや機種ごとに改造対応をするため、多くの費用や労力を必要とする。

そこで、東京電力エナジーパートナー株式会社では、メーカーや機種に依存せず、蓄電池などのリソースを遠隔DR制御する仕組みを開発した。東光高岳ではこの技術を実現するための機器、DR制御装置（DR shifTer）を開発した。本稿ではこのDR shifTerの詳細と、これを使用したVPP実証試験の結果について述べる。

2 DR shifTer とは

DR shifTerは、蓄電池のメーカーや電池種別を問わずに簡単に導入すべく設計された遠隔DR制御を実現する装置である。この制御方式には特長があり、電力のshifT技術（smart harmony information from TEPCO）と称する技術にもとづくものである。以下、DR shifTerの遠隔DRを実現するための機能を説明する。

2.1 リソース放電制御機能

DR shifTerは、蓄電池システムの負荷追従機能を利用し、遠隔からのDR指令発動時に蓄電池を放電させる。

蓄電池システムの負荷追従機能とは、受電側電力計で計測した負荷（受電電力）をアナログ信号などに変換し（図1）、受電電力値があらかじめ設定された負荷追従閾値を超えた分、蓄電池を放電させる機能である。放電をすることにより、受電電力を負荷追従閾値に追従させ、一定に保つことができるため、需要家設備の契約電力の超過を防ぐことができる（図2）。

蓄電池システムの負荷追従機能を利用するため、図3のように、受電側電力計と蓄電池システムを接続しているアナログ信号線間にDR shifTerを追加する。

通常状態では、受電側電力計から取得した受電電力値

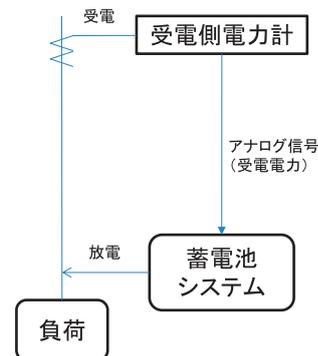


図1 蓄電池システム構成図

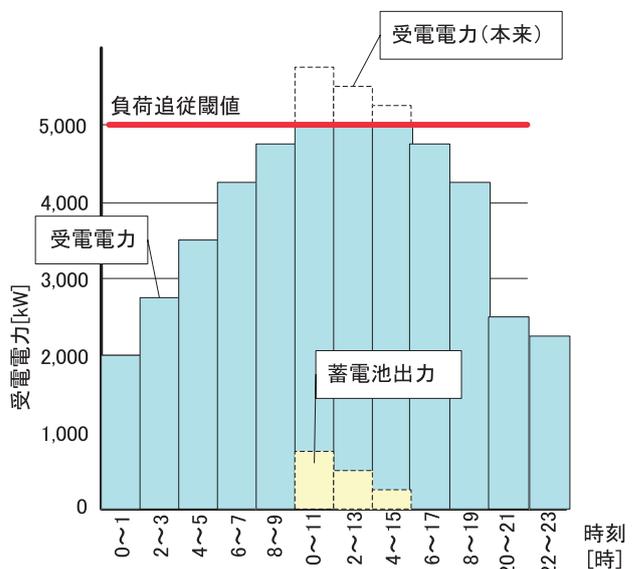


図2 蓄電池システム 負荷追従機能

をそのまま蓄電池システムへ通知するため、通常の蓄電池システムの運用と同等となる。しかし、DR 指令受信時には、**図 4** のように DR shifTer が受電電力値にオフセットを加えて、蓄電池システムへ通知することにより、負荷追従閾値を強制的に超過した状態を作り出して、放電を行うように働く。放電量については、遠隔より受信した DR 指令値および、DR shifTer で計算している受電電力のベースライン値 (DR 制御をしなかった場合に、本来使用していたと想定される受電電力値) を用いて計算される。

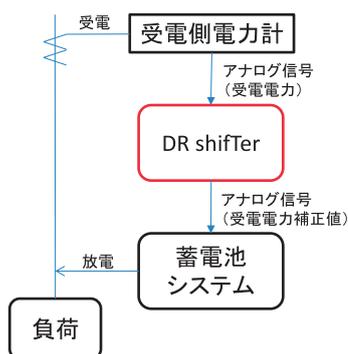


図 3 蓄電池システム構成図 (DR shifTer 設置)

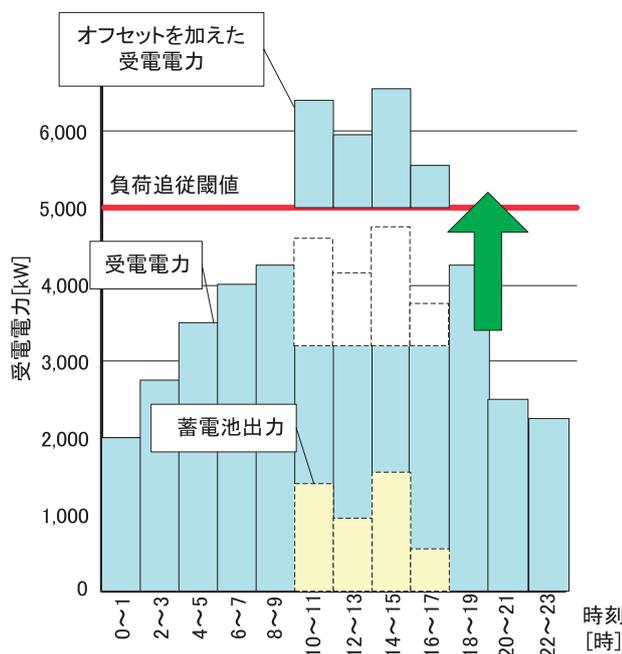


図 4 DR shifTer による受電電力調整

2.2 OpenADR 通信機能

DR shifTer は遠隔からの DR 指令に対応するため、OpenADR プロトコルに対応している。仕様を**表 1**に示す。通信は Simple HTTP PULL 型に対応しており、DR shifTer から一定周期で上位アグリゲータのシステムに対しポーリングを行う。ポーリングにより DR 指令の発令を認識することができる。

また、OpenADR のレポート機能で、上位アグリゲータのシステムに対し、1 分周期で受電電力量や蓄電池残量、蓄電池充放電電力を通知する。上位アグリゲータのシステムは、受電電力量や蓄電池充放電電力から、DR 制御の状況の確認や、蓄電池残量から DR 指令量の調整をすることができる。

表 1 OpenADR 仕様

	仕様
データモデル	OpenADR2.0b
通信プロトコル	Simple HTTP PULL
ノード	VEN ^{注1)}

2.3 ベースライン演算機能

DR で取引される需要制御量は DR の要請がなかった場合に想定される電力需要量 (ベースライン) と実際の電力需要量 (実績値) との差分として算出される (**図 5**)⁽¹⁾。DR が円滑に行われるためには、ベースラインの算出が必要となる。

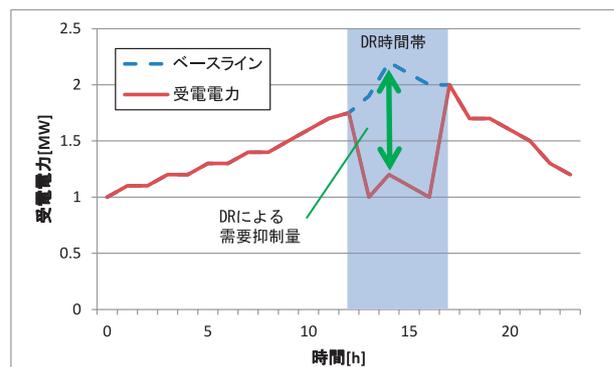


図 5 ベースラインイメージ

そこで、DR shifTer では、ベースラインを演算する機能を実装している。ベースラインは、High4of5 (当日調整あり) で算出をする。High4of5 は、過去の受電電力データを参照し、DR 当日のベースラインを算出する手法である。本手法に対応するため、DR shifTer では過去 30 日分の 30 分ごとの受電電力データを保持する機能を有している。

3 VPP 実証試験

3.1 VPP 実証試験について

(1) VPP 実証試験概要

2017 年度の VPP 実証試験は、VPP 構築実証事業の中で、2018 年 1 月 9 日～2 月 2 日の期間に実施された。

東京電力エナジーパートナー株式会社では、2016 年度の実証試験で、既設 NaS 電池システムを改造して

DR 対応することにより DR 制御に成功している。2017 年度は、既設 NaS 電池以外にリチウムイオン電池や発電機の制御を含む大規模 DR を電源 Ib 相当メニューで実施することを目的に参画した。多様な電源リソースを DR 対応させるため、各システムの改造の必要のない DR shifTer を適用した。

開発した DR shifTer の外観を 図 6 に示す。DR shifTer は、リソースの放電制御を行う PLC (プログラマブルロジックコントローラ) と、OpenADR 通信を行う東光高岳製品であるエコ・Web5LiteG の二つのコントローラを実装している⁽²⁾。

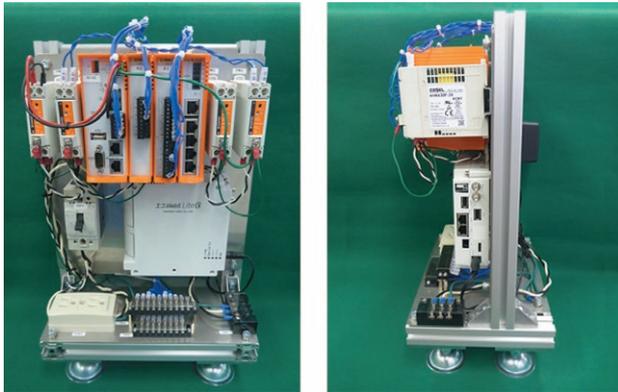


図 6 DR shifTer 外観

本実証では、DR shifTer を需要家設備 4 箇所 (NaS 電池：1 箇所、リチウムイオン電池：2 箇所、発電機 + リチウムイオン電池：1 箇所) に設置した。図 7 に、NaS 電池盤に設置した DR shifTer を示す。

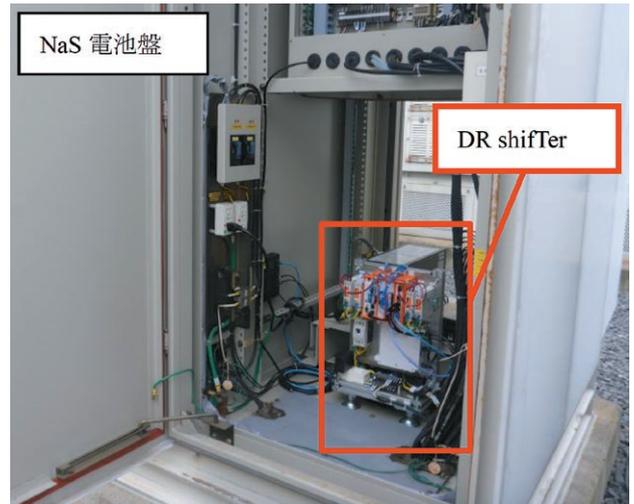


図 7 NaS 電池盤に設置した DR shifTer

(2) 実証試験構成

VPP 実証試験でのシステム構成を 図 8 に示す。DR shifTer は、子アグリゲータである東京電力エネルギーパートナー株式会社の直下に位置する。

(3) 試験方法

図 8 より、試験方法について説明する。まず、VPP 基盤事業者から DR 指令が発令される。DR 指令を受信した親アグリゲータは、直下に存在する子アグリゲータに対し DR 指令を通知し、子アグリゲータは接続している各サイトに対し DR 指令を通知する。DR shifTer を含む各サイトは、DR 指令の指令値 (削減量 kW) および DR 実施期間に従い、DR 制御を実施する。各サイトは、定周期で子アグリゲータへ OpenADR のレポートを送信し続ける。子アグリゲータは、各サイトから収集

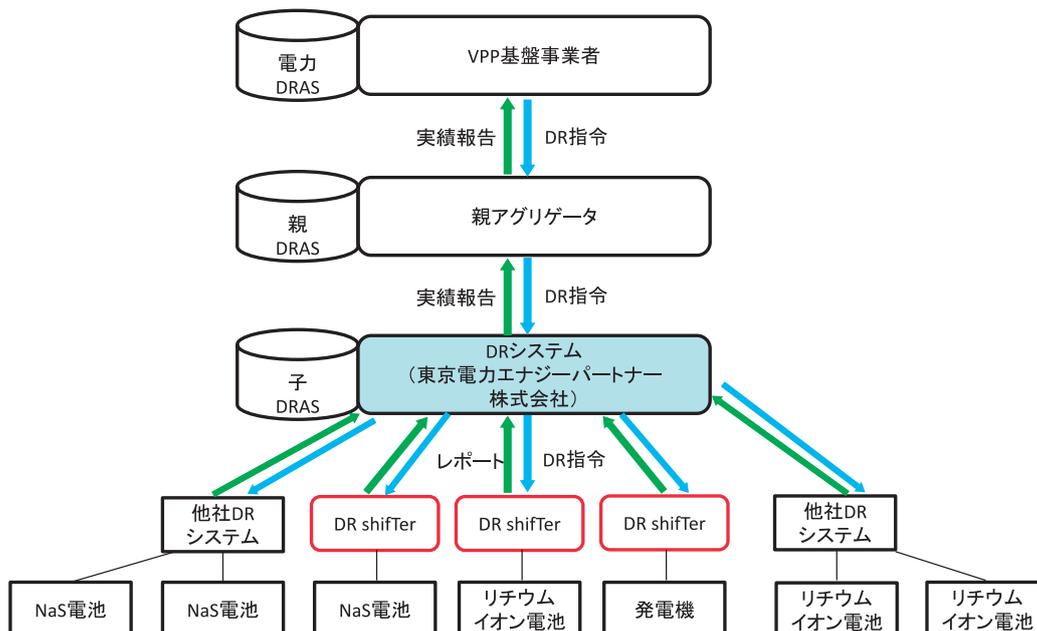


図 8 VPP 実証試験構成

した情報をもとに DR の実績報告を親アグリゲータへ行う。そして最終的に親アグリゲータから、VPP 基盤事業者へ DR 実績報告が通知される。

2.4 VPP 実証試験結果

VPP 実証試験での DR shifTer の動作確認結果の一例として、NaS 電池へ接続された DR shifTer の DR 制御の結果を図 9 に示す。試験時の DR 実施条件は、期間が 10:00~11:00 で、指令値（削減量）は 3,000 kW である。図 9 の 10:00~11:00 の時間帯を確認すると、ベースライン計算値が約 20,000 kW であるのに対し、受電電力が約 17,000 kW になっている。これは、DR 実施時間帯に、NaS 電池が削減量である 3,000 kW 放電をしたため、受電電力がベースラインよりその分低い値になったことを示すものである。

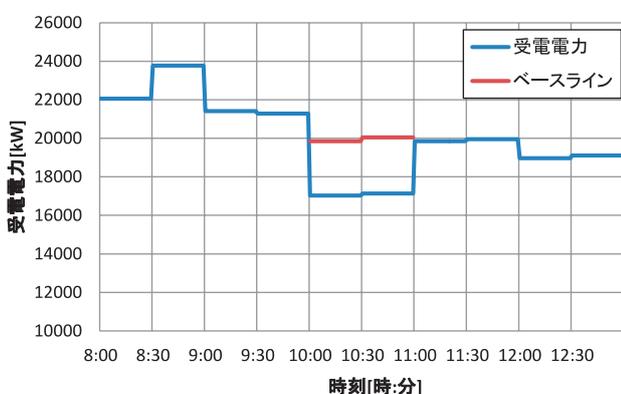


図 9 DR 時間帯の受電電力とベースラインの比較

ここで、DR 実施時間帯の受電電力値と受電電力補正値を図 10 に示す。受電電力補正値とは、図 3 のとおり、DR shifTer から蓄電池システムに対して出力する受電電力値である。

DR 開始時刻（10:00）になると、受電電力補正値が約 25,000 kW にシフトして一定に保たれている。これは、NaS 電池システムの負荷追従閾値が 24,900 kW であるため、DR shifTer により受電電力値にオフセット

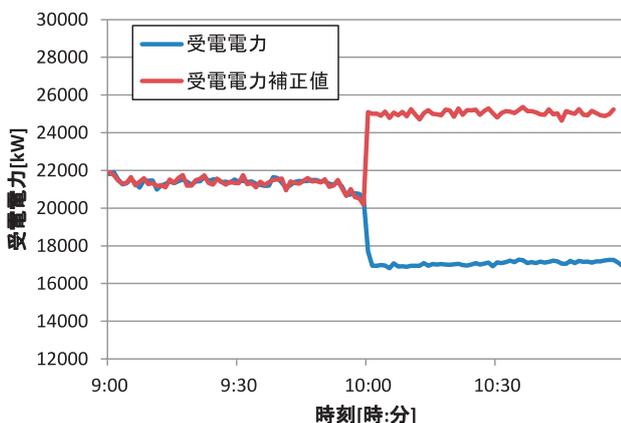


図 10 DR 時間帯の受電電力と受電電力補正値の比較

が加えられて負荷追従閾値を超過した分を放電した結果を示している。一方、受電電力（負荷）は DR 開始前と比較して低下している。

以上のように、DR shifTer は、DR 指令を受けて NaS 電池を適切に制御することによって、削減指令値に相当するネガワット^{注2)}を抽出することに成功した。

4 おわりに

2017 年度 VPP 実証試験を通じて、開発した DR shifTer を使用して分散化した需要家のエネルギーリソースを、遠隔で制御することができた。

リソースシステムのメーカ、機種に関係なく DR 制御できる DR shifTer は、今後の VPP 市場においてキーアイテムになると考えられる。今後も、DR shifTer の機能アップを図り市場へ展開していく所存である。

参考文献

- (1) 資源エネルギー庁：「エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネスに関するガイドライン」(2017) <http://www.meti.go.jp/press/2017/11/20171129001/20171129001-1.pdf>
- (2) 岡井正雄, 今井直樹, 赤下尚司, 加藤貴大：「エコ、Web5Lite」, 東光高岳技報, No.4 (2017)

■ 語句説明

注 1) VEN : VEN (Virtual End Node) は OpenADR の下位側のノードを示す。アグリゲータが VTN (Virtual Top Node), 需要家が VEN に相当する。

注 2) ネガワット : 需要家の節約により余剰となった電力を、発電したことに同等にみなす考え方。本件では、蓄電池などのリソースを放電させることにより実現している。



細谷 雅樹

技術開発本部
技術研究所 ICT 技術グループ 所属
通信機器の開発に従事



原 正典

スマートグリッド事業推進部
事業開発グループ 所属



田中 晃司

東京電力エナジーパートナー株式会社
E & G 事業本部 所属

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

■ 栗原 二三夫 ■ 大橋 優一 ■ 小川 賢治
Fumio Kurihara Yuichi Ohashi Kenji Ogawa

1 はじめに

近年、IoT、AIなどの技術活用が急速に進行している。電力システムにおいても、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、Utility3.0^{注1)}などで描かれるような新たな電力ネットワークへの変革・技術開発が各所で検討されている⁽¹⁾。

受変電設備においては高経年設備の安定かつ効率的な運用が課題となっており、機器メンテナンスの重要性や高度化へのニーズがますます高まっている。変圧器においては、CIGRE（国際大電力システム会議）ではTransformer Intelligent Condition Monitoring (TICM) Systemsといった考え方が検討・報告されており⁽²⁾、また機器メーカーにおいても変電所監視・診断システムなどが検討、実現されている^{(3),(4)}。このようなトレンドの中で、東光高岳においても変圧器とそのメンテナンスのスマート化は重要なテーマである。

変圧器メンテナンスにおける内部異常状態の監視・診断方法として、変圧器から採取した絶縁油中のガス成分を測定し評価する方法が実施されているが、近年では油中ガスモニタリング用のオンラインセンサも活用されており、海外では多くの適用実績がある⁽⁵⁾。また変圧器余寿命を想定する目的で実施する劣化診断は、油中に溶存する絶縁紙劣化生成物（一酸化炭素、二酸化炭素、フラン化合物など）の測定による絶縁紙劣化評価が行われているが、これをオンサイトで状態監視しようとした場合、絶縁紙の劣化生成物である一酸化炭素や二酸化炭素を検出するために大型で高価な設備が必要である。

変圧器内部で異常が発生した際は、水素をはじめとした各種の絶縁油分解ガスが生成する。異常発生時の水素生成挙動（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把握ができる可能性がある。また巻線絶縁紙が劣化した場合は、絶縁紙平均重合度の変化に応じて絶縁紙-絶縁油間の水分平衡関係^{注2)}が変化することが知られており⁽⁶⁾、絶縁紙劣化に応じた油温と油中水分量を連続で感度よく測定できれば、絶縁紙劣化を精度よく推定し、変圧器の劣化診断に寄与できる可能性がある。

近年、油中ガス（水素）、油温、油中水分を感度よく測定可能な小型で安価なセンサが販売されており、このようなセンサを用いることで大型で高価な設備を用いず常時監視による変圧器状態診断システムを構築できる可

能性がある。東光高岳ではこのようなセンサを活用したスマート変圧器やスマートメンテナンスに関する研究を実施しており⁽⁸⁾、今回、検証装置内で異常状態や巻線絶縁紙劣化状態を模擬し、油中ガス（水素）、油温、油中水分を連続で測定することにより、変圧器異常診断および劣化診断を同時に実施する方法を検証したので報告する。

2 検証方法

2.1 検証装置

図1に検証装置の構成と外観を示す。本装置内部には、過熱や放電などの変圧器内部異常を模擬するための異常模擬部、または絶縁紙劣化時の絶縁紙-絶縁油間の水分の移動を検証するための絶縁紙を設置した。油中ガスセンサには、VAISALA製MHT410オイル内水分水素温度変換器（以下、非循環式モニタと略す）、および絶縁油循環機能を有しMHT410の水素検出機能を内蔵したVAISALA製Optimus DGAモニタ（以下循環式モニタと略す）を選定し、下部フランジに取り付けた。後者は多成分検出が可能であるが、今回は水素ガス検出のみに用いた。過熱異常模擬では油中での局部過熱を再現するための発熱体を、放電異常模擬では放電のための電極を設置した。

2.2 検証方法

絶縁油はJIS C 2320「電気絶縁油」1種2号油を使用し、検証時の初期油温は40℃とした。異常模擬検証においては、センサによる水素ガス量の連続測定に加え、正確に油中水素量を把握するための油中ガス分析^{注3)}も実施した。過熱異常模擬では、装置内異常模擬部に発熱体を設置し、設定した過熱レベルに応じた電流を通電し局部過熱異常を模擬した。また放電異常模擬では、装置内異常模擬部に放電レベルに応じた電極を設置

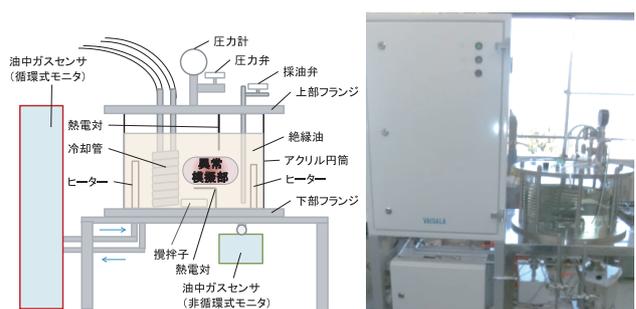


図1 検証装置の構成と外観写真

し、油中放電を発生させることにより放電異常を模擬した。表 1 に異常模擬時の設定条件を示す。

表 1 異常模擬時の条件設定

過熱レベル	使用電極	通電電流	設定温度	計算エネルギー量
高温過熱	ニッケルクロム合金発熱体	24 A	787°C	29.0 MJ
中温過熱		20 A	562°C	20.2 MJ
低温過熱		17 A	420°C	14.6 MJ

放電レベル	使用電極	電極間隔	放電条件	計算電荷量
高エネルギー	ステンレス製 円錐 - 平板 (先端角 27° R0.4 mm)	0.5 mm	10 s 継続	3.4×10^6 pC
中エネルギー	ステンレス製 球 - 平板 (φ 12.5 mm)	0.08 mm (紙介在)	4 回破壊	2.6×10^6 pC
低エネルギー			1 回破壊	0.6×10^6 pC

絶縁紙劣化検証においては、新品から寿命レベルの劣化度に調整した絶縁紙 (平均重合度 (DP) 1250, 550, 350^{注4)}) を異常模擬部に配置し、一般的な工場における変圧器負荷や季節から想定した複数の油温変動と、操業に応じた高温時 / 低温時の保持時間を油温変動パターンとして設定し、油温と、油温変動によって絶縁紙から油中へ移動する水分を油中水分量として連続測定した。図 2 に油温保持時間と油温変動パターンを示す。

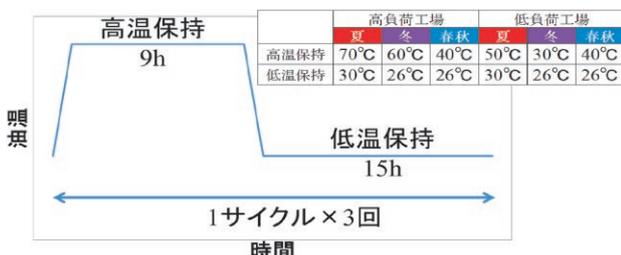


図 2 油温保持時間と油温変動パターン

3 検証結果と考察

3.1 変圧器内部異常模擬時の水素生成挙動

図 3 に過熱異常模擬を例にとり、経過時間に対する水素増加傾向を示す。循環式モニタで測定した水素挙動は、過熱開始後 1 時間程度で検出し増加傾向を示し、最大値は油中ガス分析結果と同程度であった。絶縁油循環の効果により若干の検出遅れはあるものの水素の生成傾向をよくモニタできていると考えられる。非循環モニタでは過熱開始後、約 5 時間遅れて水素を検出し 3 時間程度の増加の後、飽和する傾向を示した。また飽和時の水素量は油中ガス分析結果と比較して大幅に少なかった。絶縁油循環機能がない場合、油中ガスの拡散、センサ取付位置や応答などの影響と思われる検出遅れや油中ガス分析結果に対する検出量の差異が生じるが、一定の遅れの後、異常による水素増加がモ

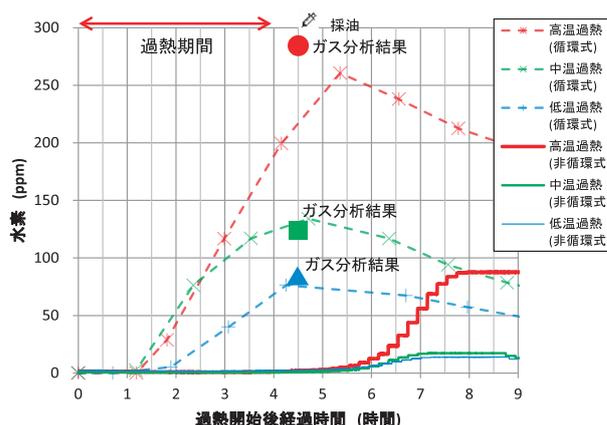


図 3 過熱時の経過時間に対する水素増加傾向

ニタできることがわかった。なお放電異常模擬における水素生成挙動も、高・中エネルギー放電では過熱異常同様の傾向を示したが、低エネルギー放電では水素発生量が少なく非循環モニタでは検出できなかった。非循環モニタの検出感度や油中ガスの拡散の影響などの要因により水素生成量が微量の場合は、水素検出が困難な場合があると考えられる。

図 4 に過熱を例にとり、発生エネルギー量に対する非循環式モニタで検出した水素生成量、水素生成速度の相関を示す。

水素生成量、水素生成速度とも過熱による発生エネルギー量の増加に対し、一定の増加傾向を示すことがわかった。これは異常の規模を水素生成傾向によって推定できる可能性があることを示している。なお放電異常模擬においても発生電荷量に対し水素生成量、水素生成速度とも過熱同様、一定の増加傾向を示した。

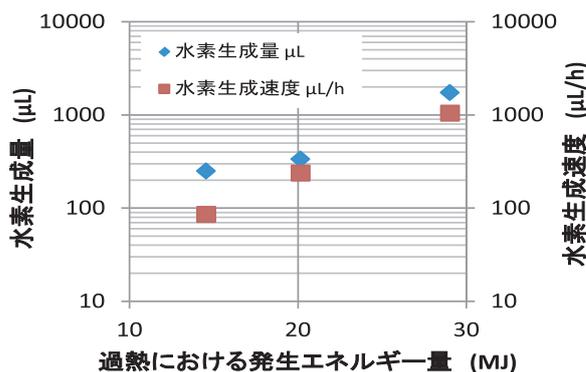


図 4 過熱における発生エネルギー量と水素生成量、水素生成速度の相関

3.2 異常様相判別に関する考察

変圧器内での過熱や放電といった異常現象は、温度レベルやエネルギー密度が異なるため水素生成量や生成速度に差が生じると想定される。そこで、非循環式モニタで測定した水素生成量に対する水素生成速度の相関により、過熱異常と放電異常の判別の可能性を検討した。図

5 に非循環式モニタで測定した水素生成量と水素生成速度の相関を示す。

過熱異常におけるプロットは水素生成量・生成速度が小さい領域（左下）に、放電異常におけるプロットは水素生成量・生成速度が大きい領域（右上）に分布した。前述のように、温度レベルやエネルギー密度の関係で、過熱と放電プロット位置の差が大きく表れていると考えられる。実器適用においては異常の規模や継続時間によって生成量は変動するが、このような関係性は保持されると考えられる。非循環式モニタのように小型で安価な油中ガスセンサによる油中水素量検出に加え、連続で測定することにより得られる水素生成速度をモニタし診断指標とすることで、過熱異常と放電異常の様相判別の可能性が示唆される。

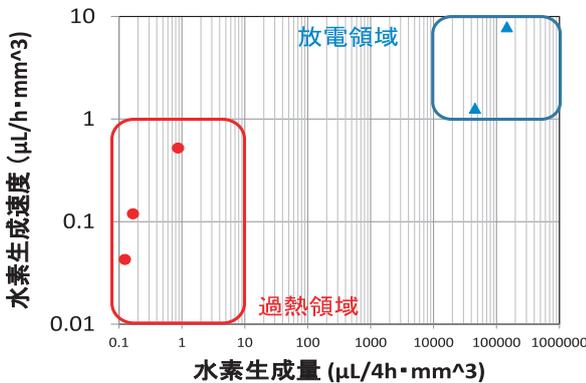


図5 水素生成量と水素生成速度の相関

3.3 絶縁紙劣化模擬における油温変動時の油中水分量の変化挙動

図6に、センサで連続測定した各種劣化レベルの絶縁紙における油温変化に対する油中水分量の変化傾向を示す。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。これは油温変化に対し、絶縁紙に吸着している水分が油温上昇時には油中へ拡散し（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

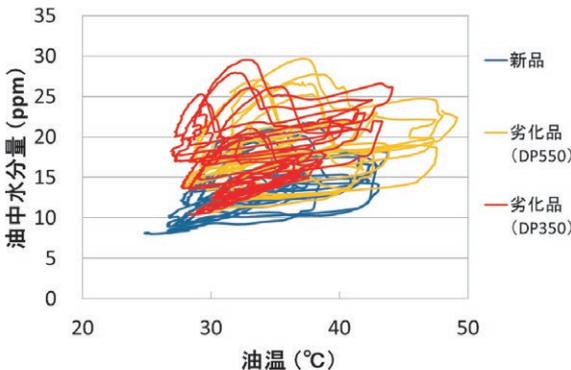


図6 各種劣化レベルの絶縁紙における油温変化に対する油中水分量の変化傾向

くとらえていると言える。

また巻線絶縁紙寿命レベル (DP450)⁽⁸⁾ に近い劣化品2種 (DP550, DP350) における油温変化に対する油中水分量の変化傾向も新品と同様であるが、絶縁紙劣化が進行することにより変化傾向（図中のヒステリシスループ状のトレンド）の面積や位置などが変化し、おおむねグラフ上方（油中水分が高くなる方向）へ移動する傾向があることがわかった。これは絶縁紙劣化により絶縁紙と絶縁油間の水分平衡関係が、絶縁紙劣化にともなう分子構造変化や水分の吸着熱変化によって絶縁油側へシフトする（絶縁紙が水分を吸着しにくくなる）という知見⁽⁶⁾ 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とらえられていると考えられる。

3.4 絶縁紙劣化診断に関する考察

得られた変化傾向（図6）から絶縁紙劣化度（平均重合度）を定量化する方法を検討したところ、図7に示すように絶縁紙劣化度が大きい（平均重合度が小さい）ほど単位温度あたりの油中水分量を1サイクル分積算した値（積算水分量と略す）が大きいという相関が見られた。

変圧器負荷や季節から想定した複数の油温変動パターンによって積算水分量にばらつきがあるものの、以上のような変化傾向の特徴を利用することで既設変圧器においても巻線絶縁紙劣化評価が実施できる可能性が示唆される。また新設変圧器においては運転初期からの変化傾向を経年にわたって連続で測定・蓄積し、経年による巻線絶縁紙の劣化に応じた変化傾向を機械学習やディープラーニングなどのAI技術によって解析することにより、より正確な絶縁紙劣化の診断が可能と思われる。

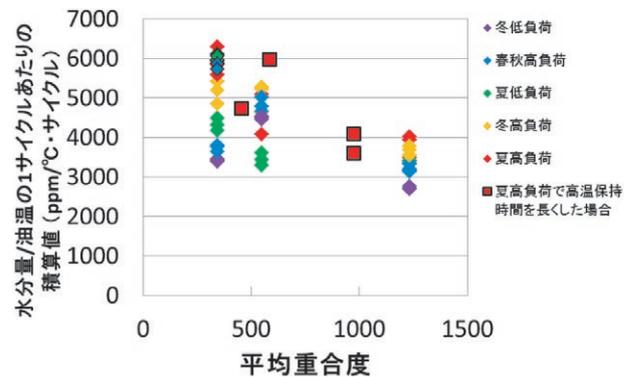


図7 絶縁紙劣化度（平均重合度）に対する積算水分量

4 油中ガスセンサを用いた変圧器状態診断システム

上記結果から、小型で安価なセンサを用いて油中ガス（水素）、油温、油中水分を感度良く連続で測定することにより、変圧器内部異常診断、巻線絶縁紙劣化診断の可能性

が示唆された。このようなセンサを使用したスマート変圧器によるスマートメンテナンスのイメージを図8に示す。

小型で安価な油中ガスセンサは、取付も容易で既設/新設の変圧器を問わずに対応でき、異常・経年劣化を含めた変圧器内部状態の常時監視・診断といったメンテナンスサービスを提供できる。センサで取得した機器状態のデータを、クラウド上のIoTプラットフォーム^{注5)}へ伝送し、データ蓄積すると同時にデータ解析や診断機能を備えた監視制御システムの活用によって、次世代のスマートメンテナンスサービスが実現可能となると考えられる。

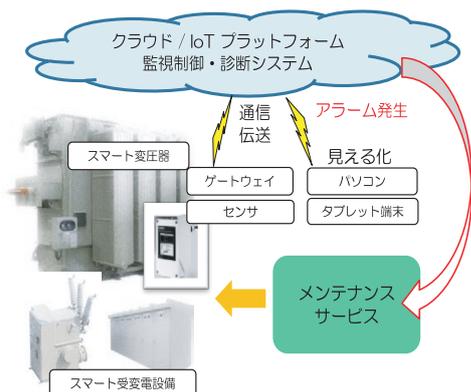


図8 スマート変圧器によるスマートメンテナンスのイメージ

5 まとめ

高経年受変電設備の安定かつ効率的な運用のためのメンテナンスの重要性・高度化への要求が高まる中で、スマート変圧器によるスマートメンテナンスを目指し、小型で安価な油中ガスセンサを活用した変圧器状態診断技術について検討した。その結果、センサで検出した水素の生成傾向が異常様相に応じ一定の変化傾向を示すこと、水素生成量と水素生成速度の相関によって異常様相判別ができる可能性があること、油温、油中水分量の変化傾向から絶縁紙劣化評価(変圧器劣化診断)ができる可能性があることがわかった。本手法の活用により変圧器異常時の早期発見に加え、異常様相判別、劣化診断が同時に実施できるトータルな変圧器状態診断の可能性が示唆された。本要素技術は、変圧器のスマート化、次世代のスマートメンテナンスサービスを実現し受変電設備の安定かつ効率的な運用に寄与できると考える。

今後の技術課題として、油中ガス検出にかかわる課題解決や異常様相の判定値の検討、実器規模での実用性検証、システム化、AI技術活用による診断精度向上などがあり、鋭意研究を進め次世代のスマートメンテナンス構築に向け尽力する予定である。

参考文献

(1) 竹内純子, 伊藤剛, 岡本浩, 戸田直樹「エネルギー産

業の2050年Utility3.0へのゲームチェンジ」日本経済新聞出版社(2017)

(2) CIGRE WG A2.44: Technical Brochure 630, GUIDE ON TRANSFORMER INTELLIGENT CONDITION MONITORING (TICM) SYSTEMS (2015)

(3) 平馬他, 「IoTによる設備管理(変圧器リモート診断)」, 明電時報, 通巻353号(2016)

(4) 荒川他, 「スマート電力供給システム(SPSS)と実規模検証計画の概要」, 日新電機技報, 59(1)(2014)

(5) CIGRE D1.01 (TF15): Technical Brochure 409, Report on Gas Monitors for Oil-Filled Electrical Equipment, (2010)

(6) 石油学会絶縁油分科会技術資料No.07034「絶縁油と絶縁物の水分平衡関係専門委員会活動報告」(2007)

(7) 小川他, 「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.5-138(2018)

(8) 日本電機工業会規格JEM 1463, 「変圧器用絶縁紙の平均重合度評価基準」(1993)

■ 語句説明

注1) Utility3.0: エネルギー分野を中心とした公益事業の担い手"Utility"が、「Decarbonization(脱炭素化)」「Decentralization(分散化)」「Digitalization(デジタル化)」を目指し社会インフラを総合的に担うエネルギー供給の形態。

注2) 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3) 油中ガス分析: 変圧器内部異常のエネルギーによって絶縁油が熱分解・ガス化し、油中へ溶存する。その溶存ガスを抽出・定量分析する方法。

注4) 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5) IoTプラットフォーム: 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。



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



大橋 優一

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



小川 賢治

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最適設計に向けた残留応力解析の検証

■ 滝澤 明広
Akihiro Takizawa

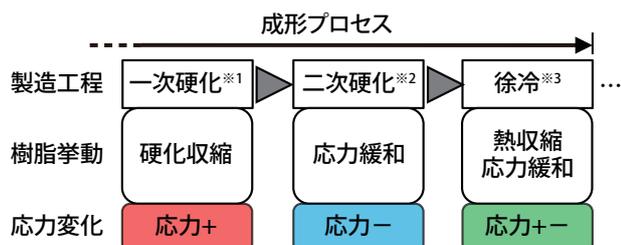
■ 森 佑介
Yusuke Mori

1 はじめに

エポキシ樹脂は電気絶縁特性や機械強度に優れており、電力機器の固体絶縁材料として広く用いられている。近年、防災や環境負荷低減のため、油やSF₆ガスといった絶縁方式に代わり、エポキシモールドによる固体絶縁に対するニーズが高まっている。そのニーズに迅速に応じて開発品を早期に市場投入するには、開発初期段階の試作前に最適な形状設計や成形プロセス条件を求め、開発の手戻りを抑制することが必要となる。最適な成形プロセス条件とは、ボイドなどの欠陥を防止するだけでなく、樹脂の硬化収縮に起因する残留応力・ひずみの抑制、モールド表面のヒケ^{注1)}などの外観不良の抑制も含まれる。

これまで筆者らは、試作前に最適な成形プロセス条件を導出できるよう、製造時における樹脂流動、硬化収縮および残留応力・ひずみの解析技術の研究開発に取り組んできた。はじめに、樹脂ボリュームが大きい製品に対して、自己発熱を考慮した硬化収縮挙動の解析に取り組み、ヒケなどの外観不良を抑制できるようになってきた^{(1)~(6)}。さらに近年、応力緩和現象を解析できるようになり、**図1**に示す成形プロセス完了時の残留応力を把握することができるようになってきている⁽⁷⁾。これにより、成形プロセス完了時の残留応力を設計段階で把握でき、成形プロセスを踏まえた適切な形状設計や金型設計に活かすことができる。しかし、解析で得られる残留応力は、実測との比較が十分ではなく、解析結果の妥当性の検証が十分ではなかった。

今回、成形プロセスでの応力の振る舞いおよび成形完了時の残留応力を測定し、解析結果と比較することで解析の妥当性を確認したので報告する。



※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 モールド製造工程と応力変化の関係

2 残留応力の検証実験

2.1 測定方法

残留応力の検証実験の目的は、「成形プロセスの時間経過とともに変化する樹脂の応力を把握すること」である。そのため、解析で得られる時刻歴の応力変化と比較して妥当性を確認するには、下記の測定要件が必須と考えた。

- 1) 樹脂の応力変化を測定
- 2) 成形プロセス全体のデータを時系列に測定
- 3) 成形プロセス全体をカバーする温度範囲での測定
- 4) 樹脂注型～硬化～徐冷まで一貫測定
- 5) 樹脂周囲に金型があっても測定可能

残留応力の測定方法としては、ひずみ検出法、X線回折法、分光法、センサー包埋法などが挙げられる⁽⁸⁾。これらの方法の中で要件を満たさないものを除外すると、ひずみ検出法、もしくはセンサー包埋法が残る。この検証実験では、すべての要件を満たす具体的な方法として文献⁽⁹⁾のひずみ検出法を選定した(**図2**)。この方法は、樹脂の応力変化を直接測定するのではなく、金属パイプのひずみを測定し、樹脂の応力変化を間接的に把握するものである。

ここで、樹脂の応力を間接的に測定することについて

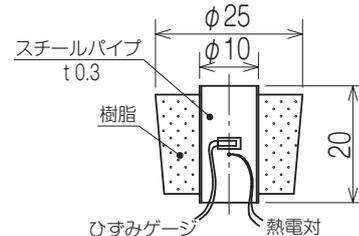


図2 文献(9)モデル

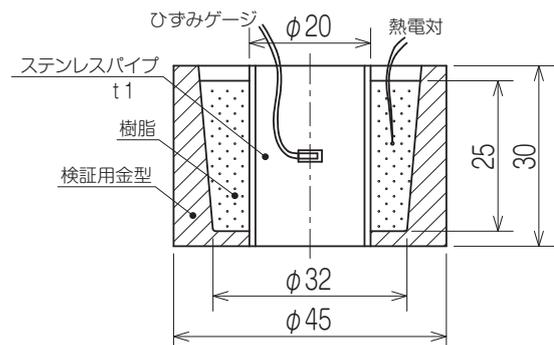


図3 アレンジした検証モデル

考える。応力緩和の定義において、樹脂のひずみが一定で緩和弾性率が低下することで表現される。ここから、ひずみ検出法を用いる場合、樹脂のひずみを直接測定するのではなく、パイプを測定することの方が適している。

ここで文献のモデルを見ると、パイプ内径がφ10以下である。ひずみゲージの貼付作業での取り扱いやすさや貼付面の曲率の影響などを考慮すると太い方が扱いやすい。そこで、パイプの太さや樹脂厚などを変えて事前に解析を行い、パイプのひずみ量を把握し、さらに測定系の測定レンジを勘案して図3に示す検証モデルとした。

この検証実験ではパイプ内径面の円周方向に一軸のひずみゲージを貼り付けて計測している。樹脂による硬化収縮、熱収縮を受けると、パイプは圧縮されて圧縮方向(負)のひずみが生じる。検出されるひずみから、パイプの熱ひずみ分を差し引くことで、計測したい樹脂の応力挙動によるひずみが得られることになる。

2.2 測定結果

注型～二次硬化までのパイプのひずみの測定結果(熱ひずみ補正後)を図4に示す。注型後にパイプのひずみに上下の変動が見られるが、樹脂が硬化する前の液体状態であり、ひずみは生じないはずである。これは熱ひずみの補正の際、同時計測での補正ではなく、温度とパイプひずみとの関係式による事後補正であるために注型樹脂温度、金型温度の急激な温度変化に追従できなかった

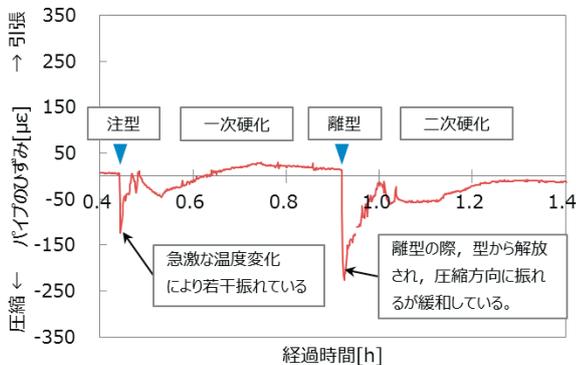


図4 ひずみ測定結果(注型～二次硬化)

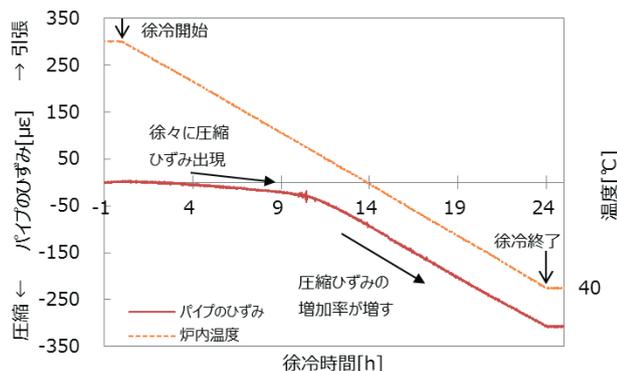


図5 ひずみ測定結果(徐冷)

た影響であると考えられる。一次硬化では、若干引張方向(正)にひずみが増えている。これは硬化発熱による樹脂の熱膨張と推察できる。反対に樹脂の収縮として硬化収縮による影響もあるが、樹脂は金型とパイプに拘束され、収縮の影響が小さくなっているものと推察できる。また離型では、圧縮ひずみが生じている。これは樹脂が金型の拘束から開放されて収縮することでパイプを圧縮している様相と考えることができる。二次硬化では離型時に生じた圧縮ひずみが時間経過とともにひずみ0に向かっていく様相を示している。

この結果は、過去に実施した解析⁽⁷⁾や文献⁽⁸⁾の報告と一致する。以上のことから、二次硬化プロセスを適切な条件(温度、時間)で取り扱えば、応力緩和効果により樹脂の応力はほぼ0となる。その場合、徐冷で生じる応力が残留応力ということになる。徐冷におけるパイプのひずみの測定結果を図5に示す。徐冷開始の温度の高い状態ではひずみはほぼ0であり、温度が下がるにつれ、徐々に圧縮ひずみが生じ、ある時点から圧縮ひずみの増加率が増し、徐冷終了にて約300 μεの圧縮ひずみとなることを確認した。これが、樹脂の残留応力によってパイプが変形した量となる。このようにパイプのひずみを測定することで樹脂の応力変化を的確に把握できているものとする。

3 残留応力解析の妥当性

3.1 解析モデル

前出の検証実験と同様の図6に示す解析モデルにて、注型～一次硬化～二次硬化～徐冷の全成形プロセスを網羅した一連の解析を実施した。これらの解析における主な計算式を式(1)～式(7)に示す。式を見ると分かるように、樹脂温度が密接に関係しており、これらの解析では、経過時間に対する樹脂温度の再現性が解析上重要となる。

この樹脂温度と経過時間の関係を確認するために、一次硬化における経過時間に対する樹脂の温度変化を図7に示す。なお、実験での樹脂の初期温度を基準として正

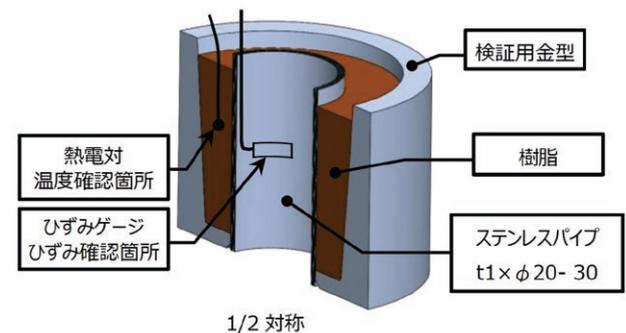


図6 解析モデル

【樹脂硬化反応】

●硬化反応速度式 (Kamal モデル)

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

α : 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

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) T + \rho Q_{tot} \frac{\partial \alpha}{\partial t} \dots (2)$$

ρ : 樹脂質量密度, C_p : 樹脂定圧比熱, T : 樹脂温度

t : 経過時間, k : 樹脂熱伝導率, x, y, z : 三次元座標

Q_{tot} : 樹脂の総発熱量, α : 硬化反応率

【硬化ひずみ】

●硬化ひずみ計算式

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

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

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

$$S_v(p, T_E, \alpha) = \frac{v_2(p, T_E, \alpha) - v_1(p, T_{gel}, \alpha_{gel})}{v_1(p, T_{gel}, \alpha_{gel})} \dots (6)$$

ε_{Total} : 硬化ひずみ, ε_c : 硬化収縮ひずみ, ε_T : 熱ひずみ

β : 線膨張係数, S_v : 体積変化率, T_E : 離型時樹脂温度

p : 圧力, α : 硬化反応率, 添え字 $_{gel}$ はゲル化時

【応力緩和】

●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_i : 各項の弾性率

τ_i : 各項の緩和時間, a_T : シフトファクター

T : 樹脂温度, n : Maxwell モデルの項数

規化した。一次硬化において、樹脂温度は硬化炉による加熱だけではなく、樹脂の化学的な硬化反応による発熱の組み合わせによって決定される。この複雑な温度変化にて、実験と解析がよく一致している。

次に、前章での実験結果を踏まえ、残留応力が顕著に生ずる徐冷における実験結果と解析結果を図8に示す。実験結果と同様、解析においても徐冷開始後に圧縮ひずみが徐々に現れ、途中から増加率が増す様相を示している。また、徐冷終了時点でのパイプのひずみは、同等の約 300 $\mu\epsilon$ となっている。

ここで、徐冷開始温度～徐冷終了温度での単純な熱応力計算をした場合と比較すると、徐冷終了時点のパイプのひずみは約 750 $\mu\epsilon$ となり、その差は大きい。この単純な熱応力計算では、応力緩和効果をいっさい考慮していない結果であることから考えると、徐冷中の応力緩和効果の大きさがよく分かる。本件の残留応力解析は、効果の大きい応力緩和を的確に表現し、実際の樹脂の挙動を解析できていると言える。

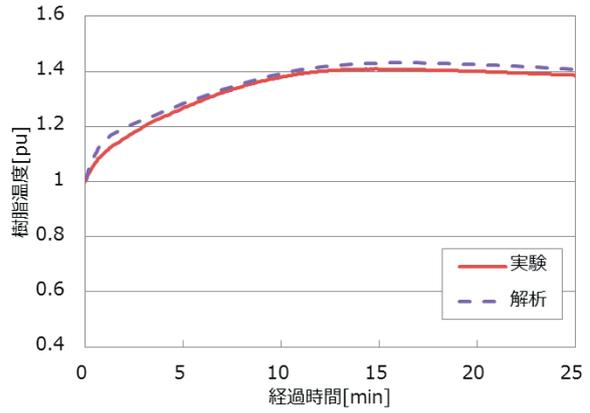


図7 一次硬化における樹脂温度の変化

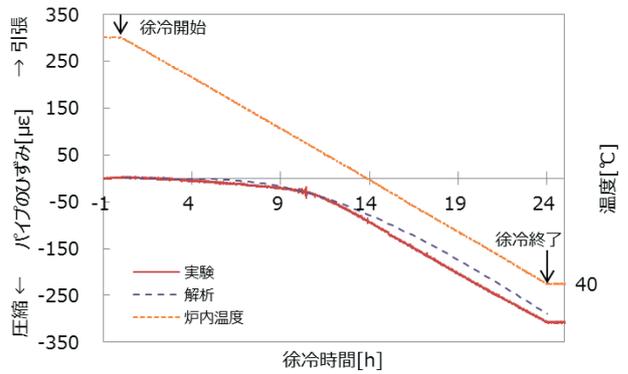


図8 徐冷におけるパイプのひずみの変化

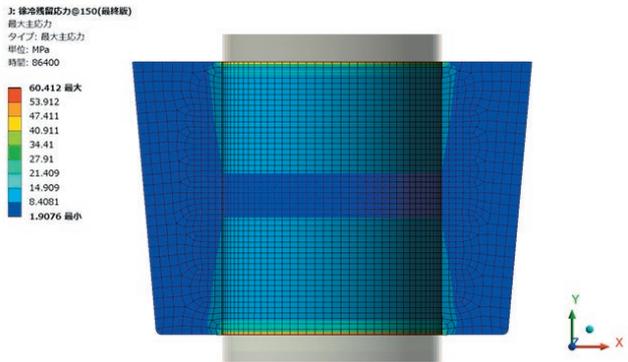


図9 樹脂の応力分布 (徐冷後)

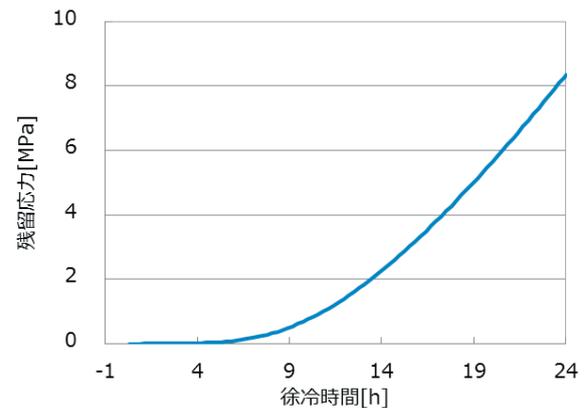


図10 徐冷における樹脂の応力変化 (解析結果)

ここまで、残留応力によって生ずるパイプのひずみに注目して、実験と解析を比較して確認してきた。この実験では樹脂の残留応力を直接測定できないが、図9に示すように解析では任意の箇所でもひずみ、応力に拘らず確認できる利点がある。ここで、ひずみゲージを貼り付けた箇所の近傍の樹脂（パイプ上下中央の外径面に接触している樹脂）の応力を確認した結果を図10に示す。パイプのひずみと同様に、徐冷開始からしばらくは応力が現れず、中盤付近から徐々に現れ、増加率が増していることが確認できる。時間経過の最終点である徐冷終了時点の応力が成形プロセスで生じる残留応力となる。

ここで得られた残留応力分布に対して、既報の樹脂の機械的強度の評価方法⁽¹⁰⁾を適用することで、残留応力の影響評価が可能となる。

4 おわりに

本稿では、これまで取り組んできたモールド製品の製造プロセスを考慮した解析技術に対して、実験結果との整合確認により、解析の妥当性を確認した。実験と解析を比較すると、時間経過に対する温度変化および応力変化ともによく合っていることが確認できた。この解析技術によって、成形プロセスにおける樹脂の温度や応力の挙動を的確に表現することができ、プロセス終了時に生じる残留応力を正確に把握できるようになった。

この解析技術は製品開発の初期段階で運用できるものであり、試作前に解析することで、適切な形状設計や金型設計に活かすとともに適切な成形プロセス条件の導出にも活かすことができる。その結果、モールド製品の開発における手戻りを抑制でき、開発期間を短縮しつつ、信頼性の高い安定した品質を実現できるものとする。

■参考文献

(1) 滝澤明広, 山下太郎:「エポキシ樹脂モールド製造プロセスにおける硬化反応時の発熱挙動の解析」, 東光電気技報, No.14 (2009)

(2) 滝澤明広, 山下太郎:「エポキシ樹脂モールド製造プロセスにおける温度依存物性を用いた発熱挙動解析と製品への適用」, 東光電気技報, No.15 (2010)

(3) 滝澤明広, 森佑介, 山下太郎:「エポキシモールド変成器の硬化発熱挙動の解析」, 東光電気技報, No.17 (2012)

(4) 滝澤明広, 大竹美佳, 森佑介, 山下太郎, 吉谷彰倫:「エポキシ樹脂の硬化解析によるモールド機器の成形プロセス条件の最適化」, 東光電気技報, No.18 (2013)

(5) 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)

(6) 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)

(7) 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)

(8) 西野孝:「残留応力の測定法」, 日本接着学会誌, Vol.39, No.1 (2003)

(9) 尾形正次, 宝蔵寺裕之, 沼田俊一, 金城徳幸, 堀江修:「低線膨張性エポキシ樹脂系成形材料」, 高分子論文集, Vol.46, No.2 (1989)

(10) 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)

■語句説明

注1) ヒケ:樹脂の硬化収縮によって主に樹脂表面に生ずるへこみ。



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



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

362 kV 気中断路器の製品化と 海外認証機関でのタイプテスト

■ 平野 智宏
Tomohiro Hirano

1 はじめに

海外向け 362 kV 4,000 A 63 kA/3 秒の引き合いに対応するために、接地装置付水平中心一点切断断路器（以降、接地装置付断路器）および電動操作装置を製品化した。また、お客さまからの要求により海外認証機関における ANSI 規格でのタイプテストレポートを取得した。

2 仕様

今回製品化した接地装置付断路器の主な仕様を表 1、電動操作装置の仕様を表 2 に示す。

表 1 接地装置付断路器の仕様

名称		接地装置付水平中心一点切断断路器	
形式		断路器：THB8T 形 LGP 式 接地装置：EB3 形 AB 式	
定格	電圧 (kV)	362	
	電流 (A)	4,000	
	周波数 (Hz)	60	
	短時間耐電流	63 kA / 通電時間：3 秒	
絶縁強度		対地	同相主回路間
	雷インパルス (kV)	1,425	1,430
	商用周波 (kV)	乾燥：610 (1 分) 注水：525 (10 秒)	乾燥：610 (1 分) 注水：525 (10 秒)
がいし	C10-1550-classB (IEC60273)		
強風中開閉性能 (断路器)	60 m/s 三相一括操作		
耐震	IEEE693 中レベル (ZPA: 水平 0.5 G, 垂直 0.3 G, 2% damping)		
連続開閉性能 (断路器)	10,000 回 (無保守無点検)		
準拠規格	ANSI C37		

表 2 電動操作装置の仕様

名称		電動操作装置	
形式		断路器用：MCAA 形 DB2ME 式 接地装置用：MCAA 形 DB1ME 式	
定格	操作電圧 (V) 制御電圧 (V)	AC220	
	制御電流 (A)	約 0.5	
	動作時間 (秒)	断路器用：5 接地装置用：8	
	操作出力 (N・m)	断路器用：1,775 接地装置用：900	

3 コンセプト

今回製品化した接地装置付断路器を図 1、電動操作装置を図 2 に示す。製品化にあたり、接地装置付断路器および電動操作装置をそれぞれ現行標準機種（電動操作装置は海外専用品）をベースに、引き合いのあったお客さまの厳しい個別仕様にあわせて強度や通電容量の強化等の設計変更を行った。接地装置付断路器は東光高岳のグループ会社である撫順高岳開閉器有限公司での OEM 生産品を適用、がいしは市場性のある IEC がいしとして中国製がいしを採用し、性能とコストのバランスを目指した。

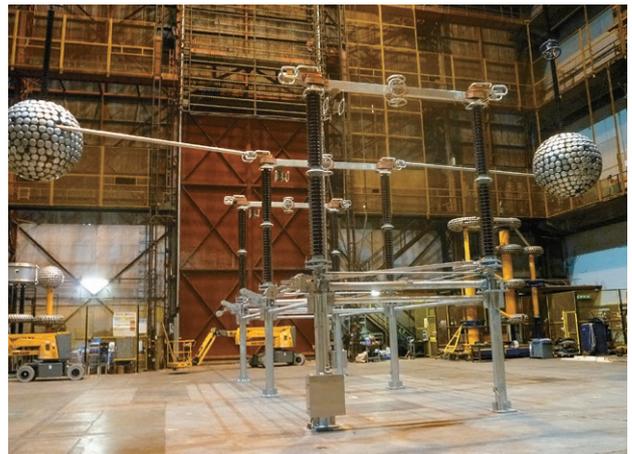


図 1 製品化した接地装置付断路器



図 2 製品化した電動操作装置

4 性能と試験結果

4.1 試験場の選定

今回のタイプテストは、CESI S.p.A（イタリア電気部品・システム研究認証研究所）で実施した。選定には① ANSI 規格での試験実績があること、② 超高電圧の電気機器を試験可能であること、③ ANSI 規格の要求項目すべてを試験可能であること の条件を満たし、海外認証機関として評価されている CESI S.p.A とした。また、ANSI 要求のタイプテスト項目とは別に、お客様の個別要求による試験項目を社内で実施した。社内での試験は第三者機関として、日本国内の検査機関立会のもと実施した。耐震試験をお客さま指定の試験機関である NCREE（台湾国家地震工程研究センター）、がいし試験を日本国内の大手がいしメーカーで実施した。

4.2 タイプテスト項目および結果（ANSI C37）

今回実施した ANSI C37 に基づくタイプテスト項目および結果を表 3 に示す。個別仕様試験項目および結果を表 4 に示す。なお、規格はお客さまより指定の版

表 3 タイプテスト項目および試験結果（ANSI C37）

項目 No.	試験名		結果		
	名称		断路器	接地装置	操作装置
4.1	絶縁耐力試験	商用周波耐電圧試験*	○	○	—
4.2		雷インパルス耐電圧試験*	○	○	—
4.4		開閉インパルス耐電圧試験	○	○	—
5.2	ラジオ障害電圧試験*		○	○	—
6	温度上昇試験		○	—	—
8	短時間耐電流試験 / 波高値耐電流試験*		○	○	—
11	操作試験（1,000 回）		○	○	○

○：試験合格を示す。—：試験対象外を示す。

*：お客さま要求項目を示す。

表 4 個別仕様試験項目および試験結果

試験名	結果		
	断路器	接地装置	操作装置
インパルスフラッシュオーバー電圧試験*（CESI で実施）	○	○	—
温度上昇試験（オプション付）*	○	—	—
操作試験（無保守無点検 10,000 回）*	○	—	○
強風中開閉性能試験（風速 60 m/s）*	○	—	—
耐震試験（IEEE693 中レベル 2% damping）*	○	○	○
がいし試験*	○	—	—

○：試験合格を示す。—：試験対象外を示す。

*：お客さま要求項目を示す。

数としている。

(1) 絶縁耐力（ANSI C37.34-1994）

商用周波耐電圧、開閉インパルス耐電圧については ANSI 規格値を満足する性能を有している。雷インパルス耐電圧対地については、個別要求により 1,425 kV（ANSI:1,300 kV）を印加し、合格した。これについては ANSI 要求より高い性能を有している。開閉インパルス耐電圧はバイアス試験 [825 + (295) kV] も実施し、ANSI 規格を満足している。

(2) ラジオ障害電圧（ANSI C37.34-1994）

ラジオ障害電圧は、定格電圧の $1.1/\sqrt{3}$ 倍の 230 kV を印加し、ラジオ障害レベルが最大で 398.1 μ V であり、ANSI 基準値 500 μ V を満足している。

(3) 温度上昇値（ANSI C37.34-1994, ANSI C37.30-1997）

温度上昇値は、定格電流 4,000 A を通電し、温度上昇値は最大で接触部 35.6 K（基準値 53 K）、ヒンジ 58.7 K（基準値 67 K）、端子台 33.1 K（基準値 43 K）であり、ANSI 規格を満足している。

(4) 短時間耐電流 / 波高値耐電流（ANSI C37.34-1994）

短時間耐電流 / 波高値耐電流は、63 kA（波高値 2.6 倍）、通電時間は仕様どおり 3 秒間（ANSI 標準値）での試験を実施した。断路器・接地装置ともに、試験後には溶着も無く接触部の状態や ANSI 要求の通電後 15 回の開閉操作も良好であり、要求の性能を有している。図 3 に試験後の断路器接触部状態を示す。図 4 に試験後の接地装置接触部状態を示す。なお、JEC-2310：2014 では接地装置接触部の溶着が許容されるが、ANSI 規格では許容されないため、今回、JEC 規格よ

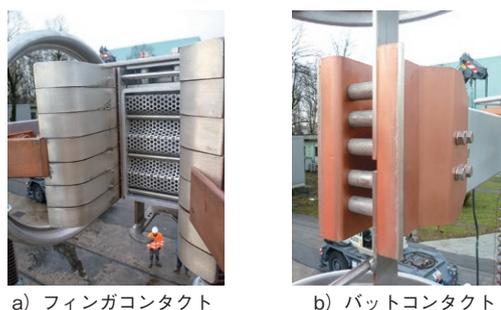


図 3 短時間耐電流試験後の断路器接触部

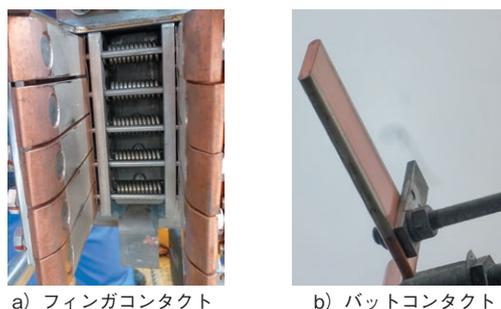


図 4 短時間耐電流試験後の接地装置接触部

り厳しい要求仕様を満足している。

(5) 連続開閉性能 (1,000 回) (ANSI C37.34-1994)

連続開閉性能は ANSI 規格で推奨されている 1,000 回、機械端子荷重 $F_1/F_2 : 1,020 \text{ N}$, $F_3 : 330 \text{ N}$, $F_4 : 1,824 \text{ N}$ にて試験を実施した。試験後の接触部の状態も良好であり、要求の性能を有している。図 5 に端子荷重試験負荷条件、図 6 に端子荷重試験設置状況を示す。

(6) インパルスフラッシュオーバー電圧

インパルスフラッシュオーバー電圧は、昇降法によりインパルス電圧を 30 回印加し、50% フラッシュオーバー電圧を測定した。その結果、対地: $+1,821.1/-1,937.0 \text{ kV}$, 同相主回路間: (バット側印加) $+1,857.0/-1,860.7 \text{ kV}$, (フィンガ側印加) $+1,760.4/1,869.3 \text{ kV}$ であった。

(7) 温度上昇値 (オプション付)

温度上昇値は、お客さまの個別仕様により、端子台は ANSI 規格より厳しい基準値 30 K の要求があった。この仕様を満足させるため、お客さま指定で標準装備となる端子アダプタや LCS (Loop Current Switch) およびシールドリングなどのオプションを装備し、放熱面積を増やした状態で試験を実施した。その結果、端子台の温度上昇値は最大で 27.9 K となり ANSI 規格より厳しい要求仕様を満足している。断路器本体の基本構造を変えないようにすることで、コスト抑制を行った。

(8) 連続開閉性能 (10,000 回)

連続開閉性能は、無保守無点検で 10,000 回の断路器開閉試験を実施した。試験後の接触部の状態も良好であった。接点部には国内で十分な実績があり性能が確認

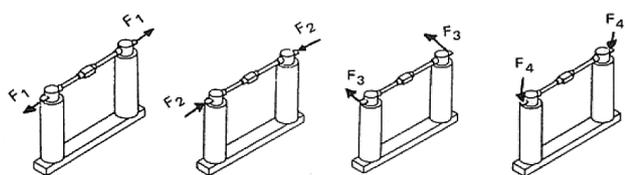


図 5 端子荷重試験負荷条件



図 6 端子荷重試験設置状況

されている銀グラファイト接点を採用し、耐摩耗構造としている。これにより、無保守無点検 10,000 回という厳しい要求仕様を満足している。

(9) 強風中開閉性能

強風中開閉性能は、要求の風速 60 m/s 相当の模擬荷重をそれぞれのブレードに取り付け、電動操作での動作試験を実施した。開放・投入ともに断路器が動作することを確認した。JEC2310:2014 では強風中開閉性能の要求は無く、操作時の衝撃荷重および短絡時の電磁力に加えて 40 m/s の風圧荷重の重量で倒壊しないことが要求されている。今回、JEC 規格と比較して非常に厳しい要求を満足している。図 7 に強風中開閉性能試験イメージを示す。

(10) 耐震性能

耐震性能は、お客さまの指定により高さ 4.3 m の架台に断路器 1 相分を設置し、IEEE693 中レベル (ZPA: 水平 0.5 G, 垂直 0.3 G, 2% damping) を断路器開放状態、投入状態で各 1 回の加振試験を実施した。図 8 に IEEE693 中レベルの入力波形と応答スペクトルを示す。耐震試験にあたっては、事前に三次元モデルを作成して動的解析で強度検証を実施した。図 9 に三次元モデルを示す。事前解析により IEEE693 の 3 軸同時加振という厳しい要求に耐える強度を有していること、およびがいし基部に最大応力が発生することが確認できた。図 10 に耐震試験供試器設置状況を示す。実加振試験後は、機器の変形・損傷もなく、開閉動作も良好であった。また、加振前後の共振周波数の変化は X 軸: 6.33%, Y 軸: 3.82%, Z 軸: 2.59% (基準値: 20%) となった。また、最大応力が発生するがいし基部について、事前解析結果と実加振試験結果と比較したところ、実加振試験結果の安全率が高くなる結果となった。これは、事前解析で設定している減衰定数は、過酷評価の 2% に設定しているのに対し、実器の減衰定数は 5% くらいであったためと推測される。表 5 に事前解析結果と実加振試験結果

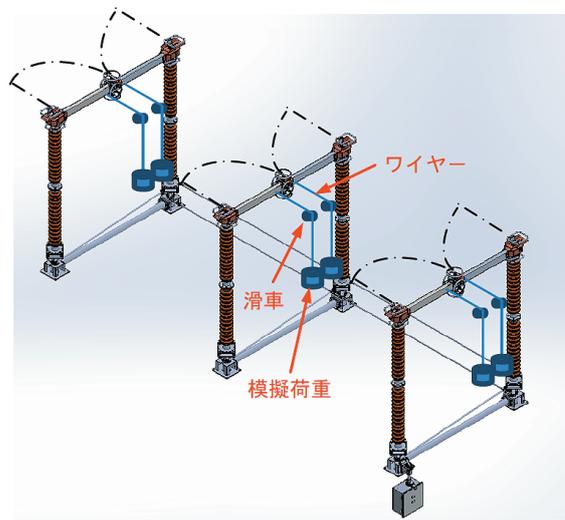


図 7 強風中開閉性能試験イメージ

表 5 事前解析結果と実加振試験結果の安全率比較

	事前解析結果		実加振試験結果	
	固有振動数	安全率	固有振動数	安全率
支持がいし	2.7 Hz	1.4	2.2 Hz	1.7

の安全率比較を示す。JEC2310:2014 では入力波形は 0.3 G 共振正弦 3 波の水平 1 軸加振の要求である。

(11) がいし (ANSI C29.1-1998, ANSI C29.9-1983 (R2012))

がいしは、ANSI C29.1 および ANSI C29.9 に準じた項目について試験を実施した。その結果、すべての要求を満足しており、初採用となる中国製がいしの実力を示す貴重なデータとなった。表 6 にがいし試験実施項目と結果を示す。今回、日本製がいしの性能試験をあわせて実施し、比較評価を行った。その結果、機械的強度について、日本製がいしと同等の性能を有していることが確認できた。

5 おわりに

今回、強風中開閉性能試験および短時間耐電流試験ならびに耐震試験は、東光高岳断路器製造の歴史の中でも最高レベルの要求となった。これらすべてをクリアする断路器を製品化できたことで、今後同様の要求に対して、構造検討の基礎となるデータが取得できた。また、取得実績のなかった海外認証機関における ANSI 規格でのタイプテストレポートを取得したことで、ANSI 規格の地域への入札に参入することができ、売上拡大に寄与

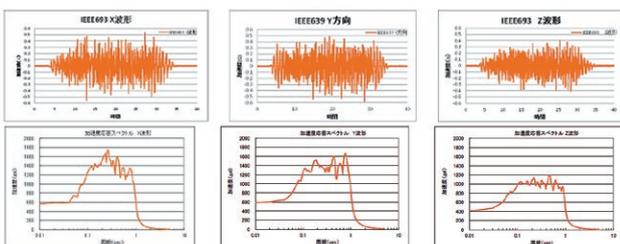


図 8 IEEE693 中レベルの入力波形と応答スペクトル

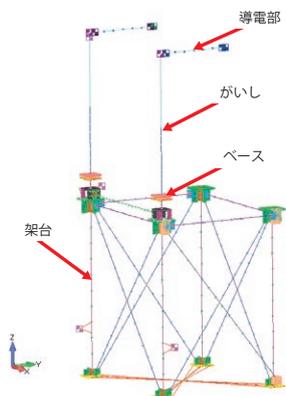


図 9 三次元モデル

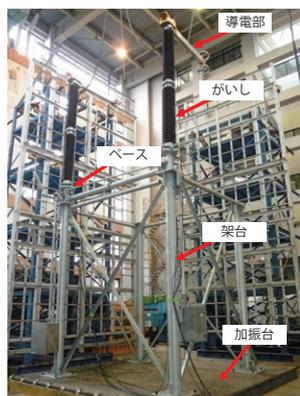


図 10 耐震試験供試器設置状況

表 6 がいし試験実施項目と結果

No.	試験項目	仕様	結果
1	商用周波乾燥フラッシュオーバー電圧試験	AC745 kV	良
2	商用周波注水フラッシュオーバー電圧試験	AC660 kV	良
3	商用周波乾燥耐電圧試験	AC610 kV 1 分間	良
4	商用周波注水耐電圧試験	AC525 kV 10 秒間	良
5	雷インパルスフラッシュオーバー電圧試験	+1,410 kV -1,650 kV	良
6	雷インパルス耐電圧試験	± 1,300 kV	良
7	ラジオ障害電圧試験	AC230 kV 500 μV 以下 (1,000 kHz)	良
8	曲げ試験	4,559 N 以上	良
9	捻り試験	10,152 N・m 以上	良
10	引張試験	111,151 N 以上	良
11	圧縮試験	333,396 N 以上	良
12	吸湿試験	4,000 psi (27.6 MPa) 5 時間加圧浸漬し、染色液が滲まない	良
13	熱衝撃試験 ^{注1}	湯槽: 66°C 水槽: 4°C 各 10 分間、10 サイクル各槽への浸漬を行い、破壊のないこと。また、浸漬試験後、電気チェックを行い、異常がないこと。	良
14	めっき試験	フランジ [mil] 個々: 3.1 以上 平均: 3.4 以上 ボルト類 [mil] 個々: 1.7 以上 平均: 2.1 以上	良

注 1) 設備能力の関係で湯槽 74~76°C、水槽 9~11°C とし、温度差 62°C 以上を確保した。

することができる。要求の厳しい ANSI 規格で合格したことで、IEC 規格および JEC 規格の地域への適用も可能である。さらに国際入札では海外認証機関におけるタイプテストレポートの提出が入札条件に組み込まれることが通例となっており、362 kV 4,000 A 63 kA/3 秒とおよそ最大クラスの断路器でのタイプテストレポートを取得したことから、今後の海外展開における営業活動に大いに活用できるものとなる。

■ 語句説明

注 1) 減衰定数: 機器の振動がしだいに減衰していくとき、その減少の速さを表す数値。

注 2) 応答スペクトル: 機器には、その高さや大きさ、材質などから、揺れやすい固有の周期がある。地震の揺れが、さまざまな固有周期を持つ機器に対してどれだけの揺れ(応答)を生じさせるかを示したグラフ。

平野 智宏

電力プラント事業本部
断路器製造部 設計グループ 所属

断路器地震被害メカニズムの解明と耐震性向上策

■ 大山 友幸

Tomoyuki Oyama

■ 神田 一彦

Kazuhiko Kanda

■ 永田 清志

Kiyoshi Nagata

1 はじめに

近年わが国で観測した最大規模の地震として、東北地方太平洋沖地震および熊本地震がある。これらの地震により変電所の設備が損壊する事象がみられ、その中には断路器の損壊も含まれた。いずれも設計基準を大幅に上回る地震動での損傷であるが、本稿では2016年の熊本地震で被害のあった、240 kVパンタグラフ形断路器損壊の原因究明および対策を実施した取り組みを紹介する。

2 被害状況

2016年の熊本地震において、10台の240 kVパンタグラフ形断路器が被害を受け、30相のうちの25相分が損壊した。その被害様相は25相分の導電部の損壊と3相分のがいし装置（ひだ欠けのみは除く）の損壊であった。損壊した機器はいずれもブレードが上部アルミパイプ母線（以下、上母線という。）に接続された投入状態であり、開放状態での損壊はなかった。当該器の開閉状態および部位名称を図1に示す。導電部は、主にブレードヒン

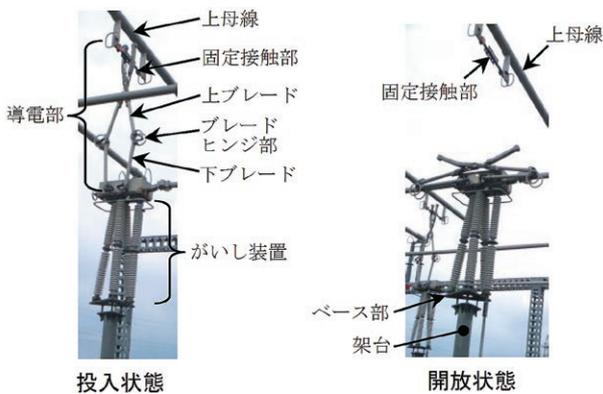


図1 開閉状態および部位名称

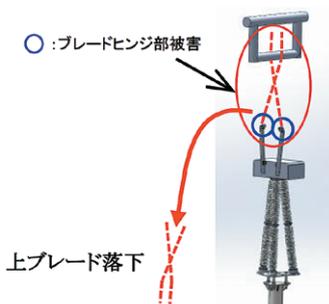


図2 ブレードヒンジ部の被害

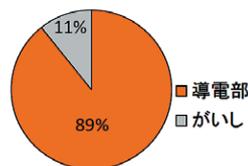


図3 損壊部位の割合

ジ部が破損し上ブレード部が脱落する事象がほとんどであった（図2参照）。機器損壊部位の割合を図3に示す。

3 破損部の構造および検証方法

3.1 破損部の構造

パンタグラフ形断路器の導電部は、図4(a)のとおり長身であるため、一般的に弱点部位は下ブレードの下部と考えられる。しかし、今回の破損部の状況は、導電部の中腹となるブレードヒンジ部の破損が多かった。同部は、上継手と下継手をピン接合する構造である。

そこで今回の導電部破損は、ピン拘束方向に大きな地震動が入り継手部が破損したものと仮説を立て検証を進めた。ブレードヒンジ部の構造および部位名称を図4(b)に示す。

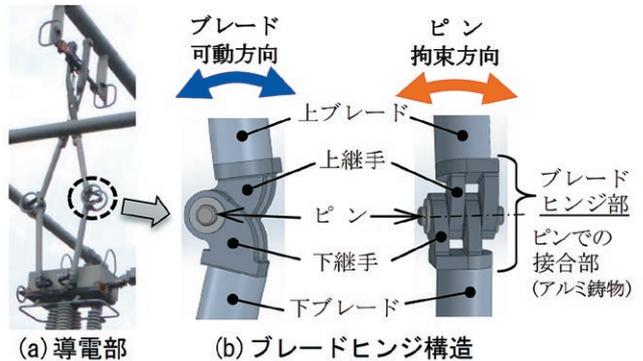


図4 パンタグラフ形導電部構造

3.2 過去の開発試験および今回の特性データ採取実験

当該器について過去の開発試験では、実加振試験による耐震性評価を実施している。当時はデータ記録装置の都合上、測定点数に上限があったため、弱点部と考えられる上位数個所の耐震強度評価を設計基準 3 m/s^2 共振正弦3波で実施し、その結果ががいし部が最弱点部となった。

なお、過去の開発試験ではブレードヒンジ部の上継手・下継手個所の強度は確認していなかった。さらに、耐震設計基準に対する検証にとどめ、設計基準を超えた機器破壊までの過酷加振を実施しなかったこともあり、真の最弱点部の把握ができていなかったことが分かった。

そこで今回、熊本地震での被害状況を踏まえた解析による耐震強度検証を行うため、まず、当該器の特性データ採取実験を行った。振動するブレードの挙動を詳細に把握するために測定点数は開発試験時の2倍以上とし

た。なお、同実験は供試器のがいし頂部をワイヤで引っ張り切断することで強制振幅させる方法とした。過去の開発試験および今回の特性データ採取実験データ測定点を図5に示す。

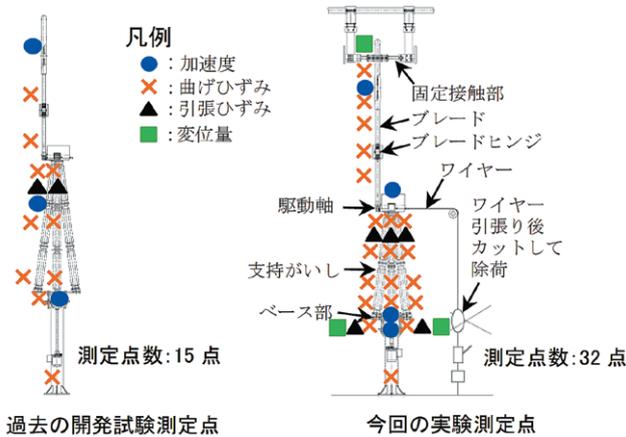


図5 開発試験および機器特性データ採取実験の測定点

3.3 解析による破損事象の検証

解析モデル作成においては、実器の剛性に合うよう必要に応じシェル要素を用い、ばね設置箇所・各所ばねの回転設定・ばね定数を調整し細部まで合わせ込み、実験の機器挙動をより詳細に模擬した。この精緻化解析モデルに熊本地震推定波を入力して、解析による各部位ごとの応答結果から当該器の発生応力分布を調査し損壊事象の検証を行った。解析は、熊本地震での被害状況を踏まえ断路器投入状態で実施し、ブレードが上母線部固定接触部と“接触状態あり”および地震により接触部が離脱した“接触状態なし”の二つの条件で行った。波形入力方向は、現地条件に合わせて熊本地震推定波のNS波/X, EW波/Y, UD波/Z波形を同時に入力し検証を行った。解析モデル条件を図6に示す。

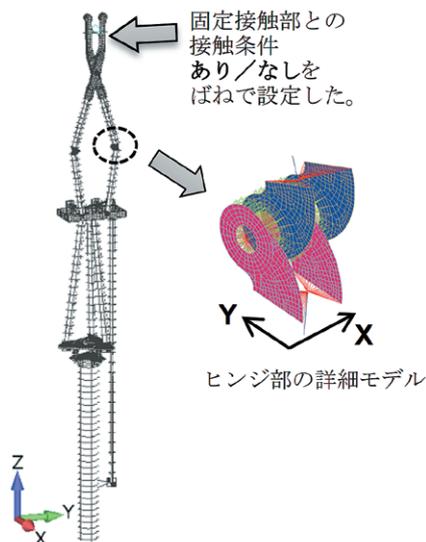


図6 精緻化解析モデル

4 損壊メカニズムの解明

精緻化解析モデルで実施した地震応答解析の結果を表1に、ブレード部発生応力分布を図7に示し、熊本地震推定波の加速度応答スペクトルグラフを図8に示す。

表1 地震応答解析の結果

入力波形		熊本地震想定波	
入力方向		X + Y + Z	
固定接触部との接触状態		あり	なし
上ブレード	SF / f	25/3.3 Hz	3.3/2.0 Hz
ブレードヒンジ	SF / f	80/3.3 Hz	0.85/2.0 Hz
下ブレード	SF / f	21/3.3 Hz	1.5/2.0 Hz
支持がいし	SF / f	6.1/3.3 Hz	1.4/3.2 Hz

凡例 SF : 安全率の意, f : 固有振動数の意

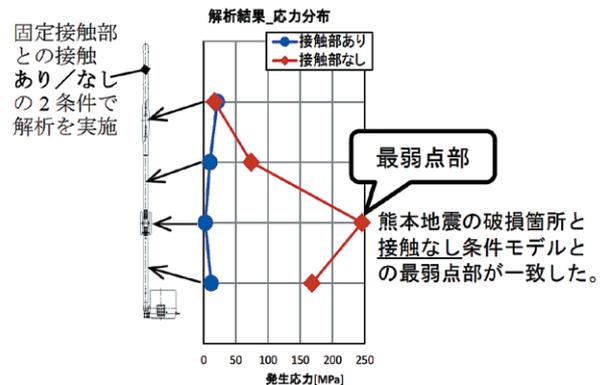


図7 ブレード部の発生応力分布

熊本地震推定波を入力した解析結果からブレードと固定接触部との接触状態がなし条件では、ブレードヒンジ部の継手部が最小安全率0.85となり安全率1.0を切る結果となった。この結果は、熊本地震による破損事例のブレードヒンジ部が破損した例と一致した。ここで、図8に示す加速度応答スペクトルを確認すると、ブレードヒンジ部のX方向(図6参照)に入力したNS波は、接

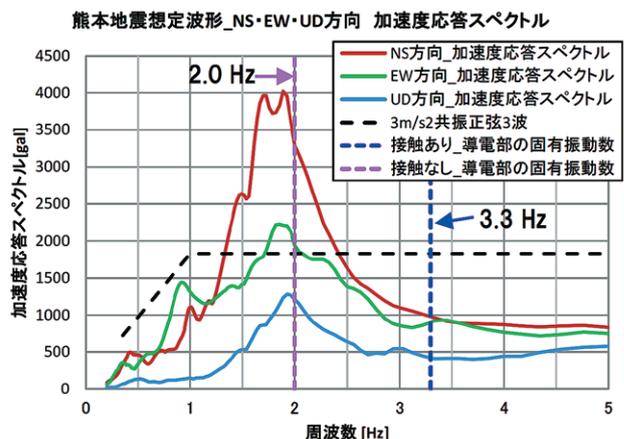
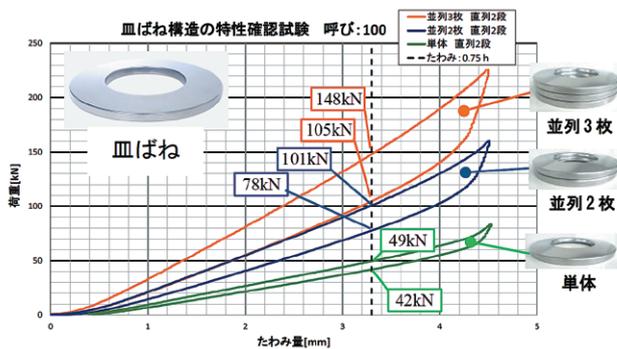


図8 熊本地震推定波の加速度応答スペクトル

触状態なしでのブレード部固有振動数に相当する 2.0 Hz 近辺に大きな応答を示しており、その応答は設計基準 1,830 Gal の約 1.8 倍に相当する。このことから、地震によって接触部離脱が起こり、ブレード頂部の制約がなくなることでブレード固有振動数が 3.3 Hz から 2.0 Hz に変化し、2.0 Hz 近辺の NS 波の地震波と共振して、ブレードヒンジ部が破損に至ったものと推定できる。

5 耐震性向上策

耐震性向上策としてパンタグラフ形断路器の振動を抑制するため、高い減衰性を持つ皿ばね装置を断路器ベース下部に搭載することを検討した。皿ばね単体実験にてばねの並列枚数を多くするほど、ヒステリシスループが大きくなる傾向が確認できた。ヒステリシスループの加荷値と減荷値を図 9 に示す。並列枚数を多くすることで減衰性の増加が期待できるが、今回のパンタグラフ形断路器の耐震性向上策は、既設に適用するという条件があったため装置取付けスペースに制約があり、その制約の下、皿ばねの寸法および枚数を定めることとなった。精緻化解析モデルに皿ばね枚数別ごとでそれぞれのばね条件を設定し、おのおの熊本地震推定波での解析で耐震強度を検証した結果、皿ばね並列枚数は 3 枚に決定した。なお、同条件での耐震解析結果は、ブレードヒンジ部の安全率が 1.0 となり、皿ばね装置の減衰効果によって、耐震性が向上することが確認できた。今回の損壊メカニズムの解明および耐震性向上策のプロセスを図 10 に示す。



たわみ量 0.75h : 設計の目安値(使用値)を示す。

図 9 皿ばねのヒステリシスグラフ

6 今後の展開

断路器は、がいし装置が機器の最弱点部となるよう製作しており、パンタグラフ形断路器についても同様に、開発試験でもそのことを確認していた。しかし今回、熊本地震損壊実例および地震応答解析を用いた詳細な耐震性評価の結果、同断路器の最弱点部はがいし装置ではなくブレード部であることが確認され、これは新たな知見

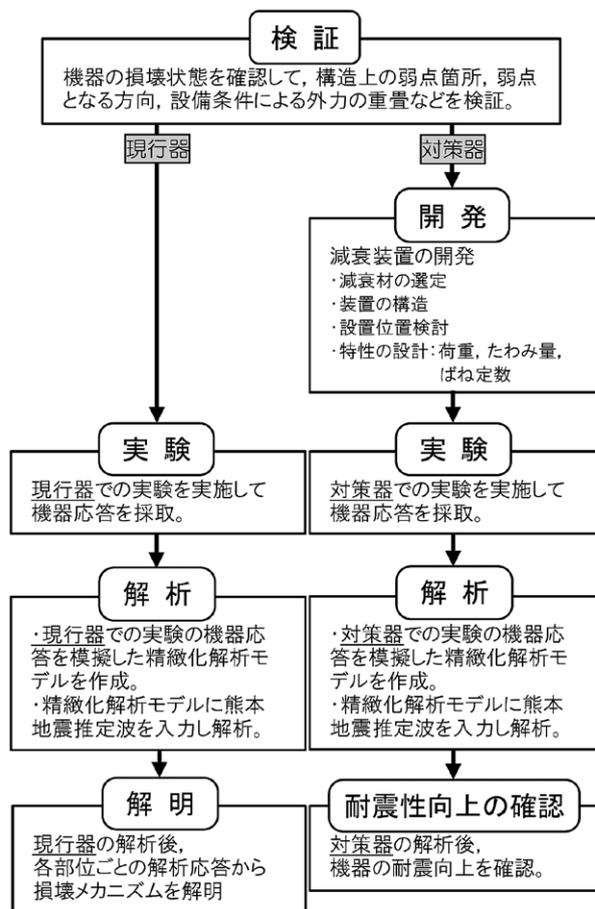


図 10 損壊メカニズムの解明・耐震向上策のプロセス

となった。今後は、さらに振動抑制効果の高い装置の検討を進め、既設器に適用可能かつ取付け作業を容易に行える構造も考慮した製品化に向けて研究を進めていく。

謝辞

本稿は、九州電力株式会社との委託研究の成果をまとめたものである。その中の熊本地震推定波は、一般財団法人電力中央研究所よりご提供いただいた。本研究にあたり多大なご協力を頂き心より感謝の意を表する。

参考文献

- 一般社団法人電気学会平成 30 年電気学会全国大会：永田清志他「パンタグラフ形断路器損壊メカニズムの解明および耐震性向上策」
- 一般社団法人日本電気協会日本電気技術規格委員会：「変電所等における電気設備の耐震設計指針」, JEAG5003-2010

大山 友幸

電力プラント事業本部 断路器製造部 設計グループ 所属

神田 一彦

技術開発本部 技術研究所 解析・試験技術グループ 所属

永田 清志

電力プラント事業本部 断路器製造部 設計グループ 所属

発送電分離に対応する 変成器事業の取り組み

■ 村上 政倫

Masamichi Murakami

1 はじめに

2016年の電力小売全面自由化に続き2020年4月から発送電分離（法的分離）が決定され、電気事業者間の電力取引に売買電力量の計測が義務付けられたことから発電設備の送電端に計量法に基づいて検定した計量器の設置がさまざまな場所や用途に応じて必要になる。電力自由化での電力売買のイメージを図1に示す。

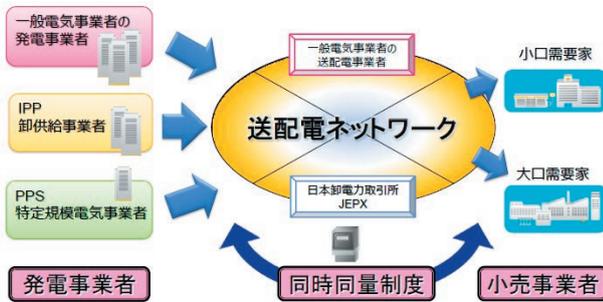


図1 電力自由化での電力売買のイメージ

電力の安定供給と発電電力売買の自由競争を両立するために、同時同量制度が導入された。同時同量とは、電力量の需給を30分間の合計で一致させることであり、発電量と消費電力量がアンバランスになった場合、停電や電圧低下を招くことがある。つまり、安定的な需給バランスを保ちつつ、発電電力の売買をするために、発電所での電力量の計測が必要となった。変成器とともに使用される電力量計（変成器付計器）は、CT（変流器）またはVT（計器用変圧器）/EVT（接地形計器用変圧器）とCTあるいはVCT（電力取引用計器用変圧変流器）と組み合わせる方式がある。

2020年4月から一般電気事業者（主に既存の電力会社）が発送電分離を実現するために既設の発電設備に新たにVCTを据え付ける場合、VCTの設置スペースの問題や、GIS（ガス絶縁開閉装置）の改造が必要となる場合がある。また、発電所に設置される電力取引用のCTは、一般的に大電流の計測が要求され、一般需要家用のVCTでは電流仕様を満足できない場合がある。このように発電所での電力量の計測には多くの課題があるため、対応期限が2025年まで延長される激変緩和措置も存在し、発送電分離のスムーズな移行が求められている。

上記の電力市場の課題を解決し、発送電分離のスムーズな移行に貢献するために東光高岳で取り組んでいる内容を紹介する。

2 変成器の製品ラインアップ

東光高岳では、モールド樹脂・絶縁油・SF₆ガスを絶縁媒体とした変成器を製作しており、表1に示すように低電圧から超高圧の製品をラインアップしている。

表1 変成器の製品ラインアップ

絶縁媒体	形状	種類	適用電圧クラス	電流範囲	備考	
モールド	巻線形	EVT	低圧～33 kV			
		VT	低圧～33 kV			
		CT	低圧～33 kV	20 A～2,000 A		
		VCT	低圧～22 kV	20 A～2,000 A		
	分割形 (φ125)	CT	低圧～66 kV (主回路：絶縁ケーブル)	400 A～	1,000 A～2,000 A	新規開発品
				600 A～3,000 A		
	分割形 (φ190)	CT	110 kV～275 kV (主回路：絶縁ケーブル)	600 A～	3,000 A	新規開発品
				8,000 A～25,000 A		
貫通形	BCT	低圧～66 kV	600 A～	8,000 A	新規開発品	
			8,000 A～25,000 A			
油	自立形 (据置形)	EVT	22 kV～77 kV			
		VT	22 kV～77 kV			
		CT	22 kV～154 kV	50 A～2,000 A		
		VCT	22 kV～77 kV	50 A～2,000 A		
	薄形 VCT	66～77 kV	50 A～1,000 A	新規開発品		
GIS 直結形	VCT	22 kV～77 kV	50 A～1,000 A			
SF ₆ ガス	自立形 (据置形)	EVT	110 kV～275 kV		新規開発品	
		CT	110 kV～275 kV	50 A～2,000 A	新規開発品	
	GIS 直結形	VCT	33 kV～77 kV	50 A～800 A		
		EVT	66 kV～550 kV			
		CT	110 kV～275 kV	50 A～2,000 A		

3 東光高岳の取り組み

東光高岳グループでは、図2に示すようにVCTおよびスマートメータの開発・生産から、検定代弁^{注1)}、輸送、据付まで一貫したサービスを提供している。

変成器事業においては、保護および計測用途の変成器を取引用途に転用することや、発電設備の機器構成に合わせて自立形EVTと分割形CTを組み合わせるなど、さまざまな場所や用途に応じた利用を可能にする技術の提案に取り組んでいる。

以下に、発電所への設置を想定した提案製品を記す。

3.1 大電流貫通形CTの開発

発電機と変圧器の間にVCTを設置する場合、10,000 Aを超える非常に大きな電流の計測が要求される。そこで、発電所の発電端計量用として、大電流貫通

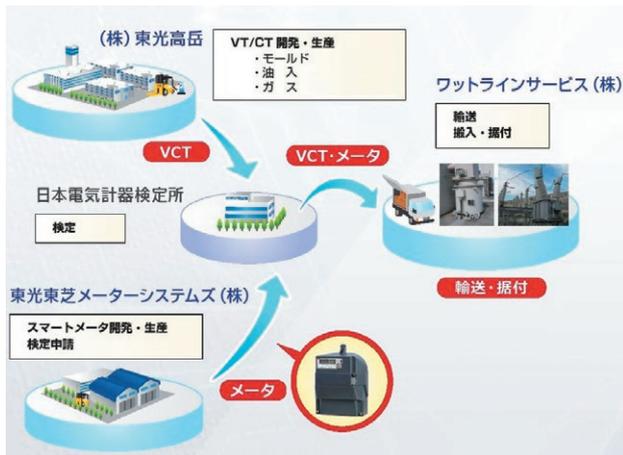


図2 東光高岳グループの役割

形 CT を開発し、大電流計測ニーズに応える。

3.2 分割形モールド CT の適用範囲拡張

ケーブル敷設の発電所では、既設ケーブルに対して分割形 CT を設置することで取引用 CT として使用できる (図 3)。また、適用可能な電圧・電流範囲を拡張し、66 kV 油入 VT や自立形 110 kV~275 kV ガス EVT と組み合わせることで、発電所用 VCT として低コストで提供することができる。さらに、既設ケーブルを取り外すことなく設置可能であり、工事費用の抑制を図ることができる。



図3 分割形モールド CT 設置例

3.3 自立形 110~275 kV ガス EVT, CT の開発

東光高岳では、GIS 直結形 110 kV~275 kV のガス EVT と CT をすでに製作、販売している。

新たに開放形変電設備に設置可能なガス変成器として、110 kV~275 kV の自立形ガス EVT と CT を開発し、ラインアップの拡充を図る (図 4)。

また、110 kV~154 kV 油入 CT や分割形モールド CT と組み合わせることで、設置スペースや要求仕様に応じて最適な VCT の設置形態を選択していただくことができる。

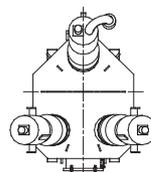
3.4 66/77 kV 薄形油入 VCT の開発

発電所での送電端計量用として、CB (しゃ断器) と LS (断路器) 間などの狭いスペースに VCT を設置する

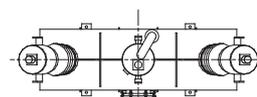


図4 154 kV 自立形ガス EVT

ニーズがある。そこで、現行のがいしを三角に配置した VCT の構造をアレンジして、発電所用にがいしを一直列配置とすることで、奥行き寸法を最小とした薄形油入 VCT を開発し、設置スペースの問題解決に貢献する (図 5, 図 6)。



(a) 現行油入 VCT



(b) 薄形油入 VCT

図5 油入 VCT 外形比較

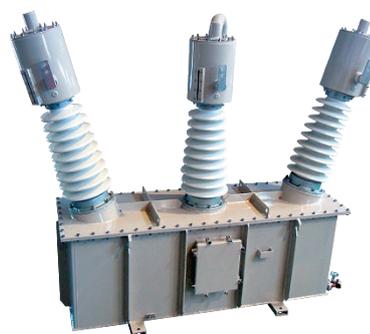


図6 薄形油入 VCT

4 おわりに

今後は、変成器の総合メーカーとして技術提案力を強化するとともに、高い信頼性と経済性のニーズに応えられるように技術向上と製品への反映に取り組む所存である。

■ 語句説明

注 1) 検定代弁：取引・証明用電気計器に必要な計量法に基づく検定申請の代行業務。

村上 政倫

計量事業本部
油・ガス変成器製造部 設計グループ 所属

縮小形 220 kV ガス絶縁計器用変圧器

製品紹介

■ 片岡 靖志

Yasushi Kataoka

1 経緯

ガス絶縁計器用変圧器（以下、ガス VT と記す）は、ガス絶縁開閉装置（以下、GIS と記す）に直結して電圧を變成し、計器や継電器とともに使用するものである。

最近の GIS は発電所や変電所の省スペース化および低コスト化のニーズに応じて技術が著しく進歩し、縮小形の開発も盛んに行われている。

ここに紹介するガス VT は、GIS を構成する機器として、同じく縮小化のニーズに応じて開発した新製品である。

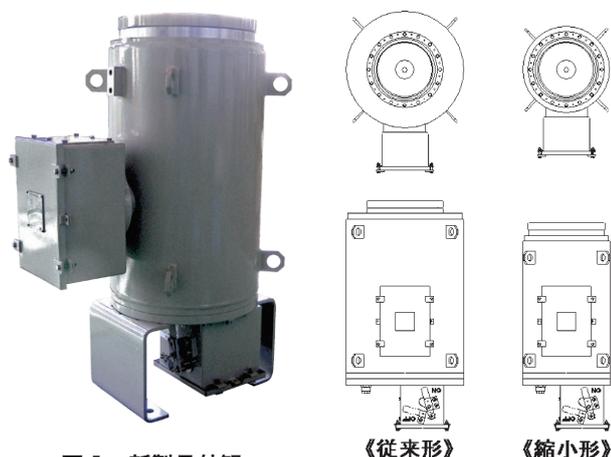


図1 新製品外観
(縮小形 220 kV ガス VT)

図2 新旧外形比較

2 仕様

規格	: IEC61869-1& IEC61869-3
形式	: VGX2-XD
一次電圧	: 220,000 / $\sqrt{3}$ V
二次電圧	: 100 / $\sqrt{3}$ / 100 / $\sqrt{3}$ / 100 / $\sqrt{3}$ V
負担	: 50 / 50 / 50 VA (TOTAL 150 VA)
確度階級	: 0.2 / 0.2 / 3P
雷インパルス耐電圧	: 1,050 kV
定格ガス圧力	: 0.5 MPa (20°C)

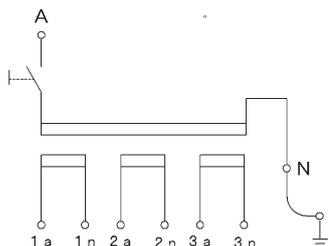


図3 結線図

3 特長

3.1 小形・軽量化

最適な絶縁設計と部品の加工精度向上、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、東光高岳従来品と比較して大幅な小形・軽量化を実現した。

- ・容積は従来品の 1/2 以下に縮小化（外径約 75%）
- ・質量は従来品の 1/2 以下に軽量化

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。

3.3 回路切り離し機能（オプション）

無電圧時において、ワンタッチで回路から切り離すことができ、受電設備の運転開始時や定期点検時に、ガス VT を取り外すことなく、そのまま耐電圧試験が可能である。

操作ハンドル

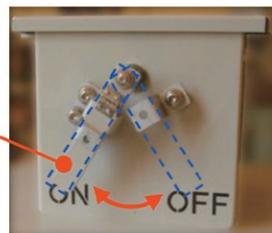


図4 手動操作式 断路操作箱

4 ガス VT の今後

電力設備の省スペース化に寄与するため、東光高岳では全電圧クラスを対象に、輸出向け製品の縮小形開発に注力している。

220 kV クラスの縮小形開発により、これまでニーズの高かった 132 kV, 220 kV, 400 kV クラスの縮小形ガス VT のラインアップを完成することができた。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、ガス VT の製作範囲を広げるために、765 kV~1,000 kV クラスの製品開発を行っている。

配電用変電所用遠方監視制御装置 (多機能形)

■ 早坂 秀一
Shuichi Hayasaka

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遠方監視制御装置の後継機種として、従来の遠方監視制御装置と直接操作盤を一体化させ、多彩なユーザー支援機能を新たに追加した遠方監視制御装置（多機能形）の開発を進めてきた。

このたび、遠方監視制御装置（多機能形）の開発が完了し、2017年12月から納入を開始したので概要を紹介する。



図1 遠方監視制御装置（多機能形）

2 特長

2.1 直接操作盤との一体化

現地直接操作機能と受電保護機能を実装したことで、直接操作盤が不要となり、装置の一体化を実現した。

2.2 変電所個別設定がお客さまで可能

従来、メーカーで実施していた変電所の各種個別設定について、変電所形態に応じた設定変更がお客さまでできるようにユーザー設定機能を搭載した。

2.3 コストダウンと信頼性の向上

高性能CPUの採用と、ハードウェア基本構成の見直しによる部品点数の削減、使用部品の共用化、ソフトウェアの標準化を実施したことで、大幅なコストダウンと更なる信頼性向上を図った。

2.4 装置の高さを統一

従来は、高さ2,300mm、1,910mmと変電所の設置場所に応じた装置を製作し納入していた。

遠方監視制御装置（多機能形）は、高さを統一（1,910mm）することで、一般変電所・地下式変電所など設置場所にかかわらず同一装置を納入可能とした。

3 機能・仕様

3.1 機能概要

- (1) 上位システムからの遠方操作、表示・計測（テレコン子局機能）
- (2) HMI^{注1}による変電所全体の監視・制御・表示
- (3) 変電所設備ごとの制御電源分割
- (4) 受電保護（2回線受電のみ）
- (5) 自動切替機能（逆潮流対応自切を実装）
- (6) 配電線事故区間・ロック区間の算出
- (7) 搬送結合装置とのインターフェース機能（搬送変復調部）
- (8) 変電用伝送ルート切替（回線切替部：LSW）
- (9) 主変二次ケーブル地絡検出機能
- (10) 逆潮流時の単独運転防止機能
- (11) ソフトインターロック機能

3.2 選択制御機能

遠方監視制御装置（多機能形）は、上位システムからの遠方制御および変電所構内からの直接制御（HMIスケルトン操作）が可能である。

両制御は個別ユニットに実装しているため、いずれかの機能が不能となった場合においても、同時に機能が喪失しない構成となっている。

3.3 計測機能

分散電源からの逆潮流運転を考慮し、必要な計測項目には極性表示を行っている。また、オプションにより、上位システムに変圧器のタップ位置を23タップまで伝送することが可能である。

3.4 保護機能

正面扉にデジタル形受電保護リレーを2台実装し、2回線受電変電所の受電保護を行っている。

遠方監視制御装置（多機能形）と受電保護リレーは、

ユニット間通信を行うことで、51 L・51 G ロックの遠方制御も可能としている。

3.5 主変二次ケーブル地絡検出機能

別盤として設置していた、主変二次ケーブル地絡検出機能を実装した。変圧器二次側のケーブル地絡事故を検出し、検出情報を自動切替機能部に受け渡すとともに、上位システムにも伝送する。

3.6 単独運転防止機能

送電線事故や変電所構内事故時に分散電源からの逆潮流により、事故が継続しつづけることを防止するため、受電遮断器ならびに変圧器二次開閉器を遮断する単独運転防止機能（オプション機能）の実装が可能である。

3.7 ソフトインターロック機能

従来より採用している機器接点によるハードインターロックだけでなく、各機器の条件を取り込むことで、ソフトウェアで処理を行うソフトインターロック機能を新たに実装した。

ソフトインターロックは、各条件の使用／不使用および変更、追加など HMI よりインターロック条件の構築が可能となっている。

また、構築したソフトインターロックの正当性を確認するためのシミュレーション機能も実装している。

3.8 HMI 機能

汎用パソコンのブラウザを使用（Java^{注2)} は未使用としたため、基本的にブラウザに依存しないし、監視制御に

関する各種設定・表示および機器直接操作を可能とした。

また、機器直接操作を行う HMI スケルトン画面は、スケルトン画面作成ツールを使用することで、変電所形態に合わせたカスタマイズが、お客さまにより実施可能としている。

3.9 付帯機能

運用・保守面で有用となる計測・記録機能を実装した。以下は HMI 機能で確認が可能である。

(1) データセーブ機能

事故時のオシロ記録など各種データを記録・保存する。

(2) 遮断器のモニタリング機能

66 kV 受電遮断器、6 kV 遮断器・開閉器の操作時に開閉時間を測定する。

(3) 高調波測定機能

66 kV 電流、6 kV 電圧、電流の高調波の計測を行う。測定次数は 25 次まで可能である。

(4) 自動点検タイマー機能

静止形保護リレーに自動点検起動信号を出力する点検タイマー機能を実装する。

(5) LS 動作確認機能

受電機器側開閉器の入／切動作確認を実施する。

(6) 選択制御指令による入／切動作記録機能

各機器操作時の動作日時を記録する。

(7) 遠隔設定機能

上位システムからのリレー整定変更や詳細情報の取得が可能である。

4 おわりに

新しい遠方監視制御装置（多機能形）は、運用・保守面で有用となる多彩な機能を新たに実装するとともに、高性能 CPU の採用、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、多端子ユニット変電所用の遠方監視制御装置（多機能形）をリリースする予定である。

末尾ながら、今回の開発に多大なるご指導・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) 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 2) Java : Sun Microsystems (現 : Oracle) によって開発されたオブジェクト指向をサポートする汎用のプログラミング言語。

早坂 秀一

電力プラント事業本部
システム製造部 保護制御装置設計グループ 所属

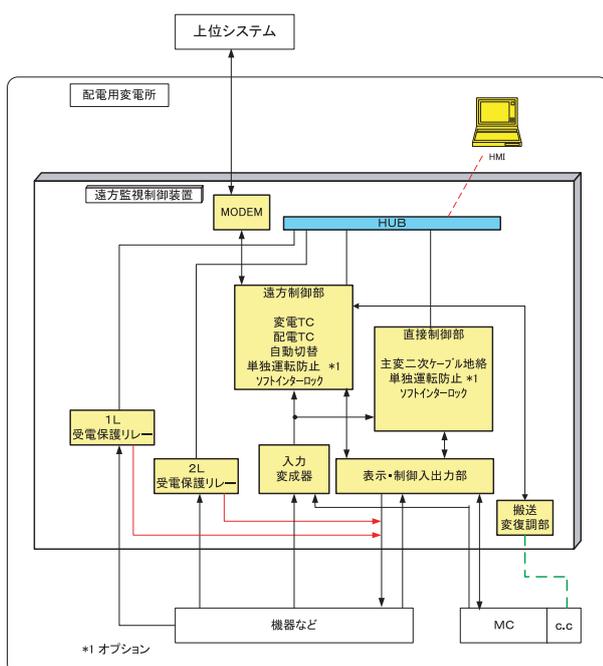


図 2 システム構成

送電線用超高速保護リレー SEL-T400L

■ 五十嵐 諒
Ryo Igarashi

1 はじめに

SEL 社^{注1)} が 2017 年 3 月にリリースした SEL-T400L は、進行波^{注2)} やタイムドメイン^{注3)} によって、数 ms オーダの超高速動作を可能にした画期的な送電線保護装置であり、事故除去の迅速化に有効である。

その外観を図 1 に、機能概要を以下に紹介する。



図 1 SEL-T400L の外観

2 機能紹介

2.1 超高速送電線保護リレー

(1) 進行波差動保護要素

電流の進行波を利用した史上初の進行波差動保護要素（以降 TW87）は、送電線長さに応じて 1~5 ms の動作時間で故障を検出する。TW87 は従来形 CT から進行波電流を取り込み、相手端装置と光ファイバー通信することにより動作するが、電流データ同期のための外部時刻源は不要である。図 2 に送電線長さと TW87 の動作時間の関係を示す。

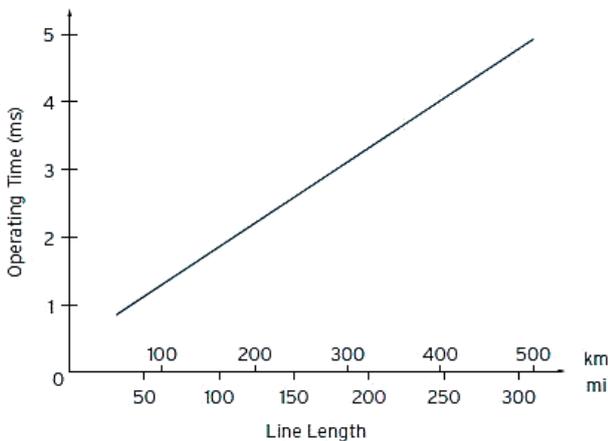


図 2 送電線長さと TW87 動作時間の関係

(2) 距離保護要素

距離保護要素（以降 TD21）は、電圧や電流の変化量を用いることによって相手端装置との通信の影響を受け

ずにトリップ判定を行う。この要素は、送電線長さの 80% に設定することが可能で、過渡オーバーリーチは 10% 未満である。また、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 で動作する。図 3 に各 SIR^{注4)} での故障点および TD21 の動作時間の関係を示す。

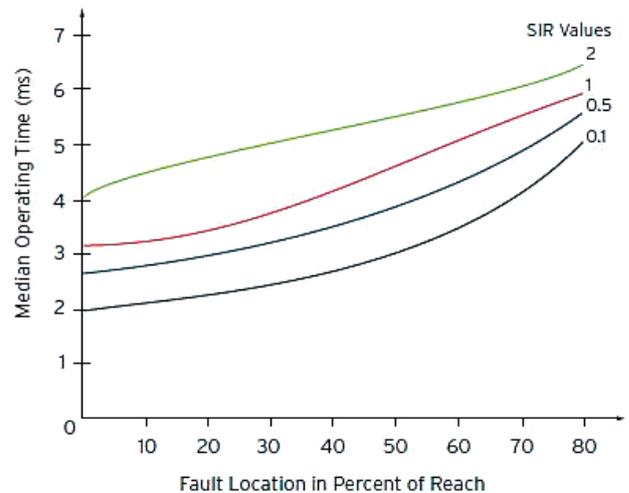


図 3 故障位置と TD21 動作時間の関係

(3) 転送トリップ要素

光ファイバー通信による転送トリップ要素（以降 POTT）は、超高速・高感度な方向要素によって故障方向を判別する。図 4 に送電線長と POTT の動作時間（TD32 の動作時間を含む）の関係を示す。進行波方

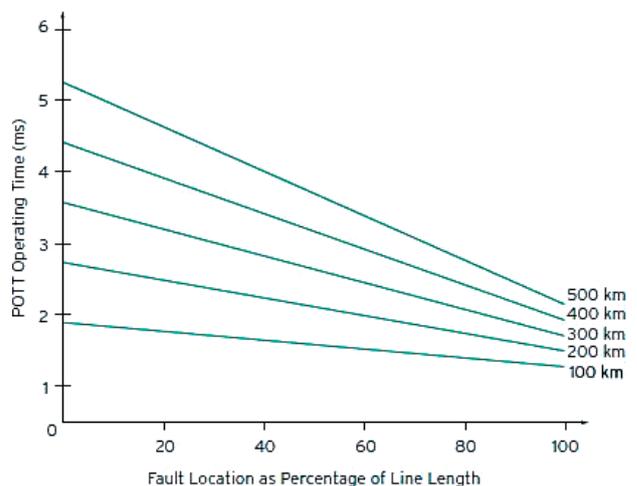


図 4 故障位置と POTT 動作時間の関係

向要素 (TW32) は 0.1 ms で動作し、増分量方向要素 (TD32) はシステム条件に応じて 1~3 ms で動作する。POTT はトリップ信号を相分離して送信するため、進展する相間故障に対して優れた性能を発揮する。

2.2 故障点標定

シングルエンド型の故障標定要素は通信を必要とせず、自端電流の進行波のみを解析するだけで故障位置を標定する。ダブルエンド型は差動保護用光ファイバー通信を使用して送電線両端に到達する第一進行波により標定する。SEL-T400L は故障発生後数十 ms 以内に標定計算を行い、架空・地中複合送電線では地中部分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。SEL-T400L の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。

2.3 高解像度波形記録

SEL-T400L は 1 MHz のサンプリングレートで電流や電圧を記録可能である。連続記録機能は 50 のイベントを記録し、1 イベント当たり 1.2 秒の記録長を有する。また、10 kHz の COMTRADE ファイル^{注5)}には、10 kHz でサンプリングした電流や電圧、選択された保護動作量、リレーワードビット、設定、故障位置、およびイベント要約データが含まれている。

図 5 に高解像度波形記録による記録波形の例を示す。また、図 6 に 1 MHz サンプリングの進行波波形表示の例を示す。

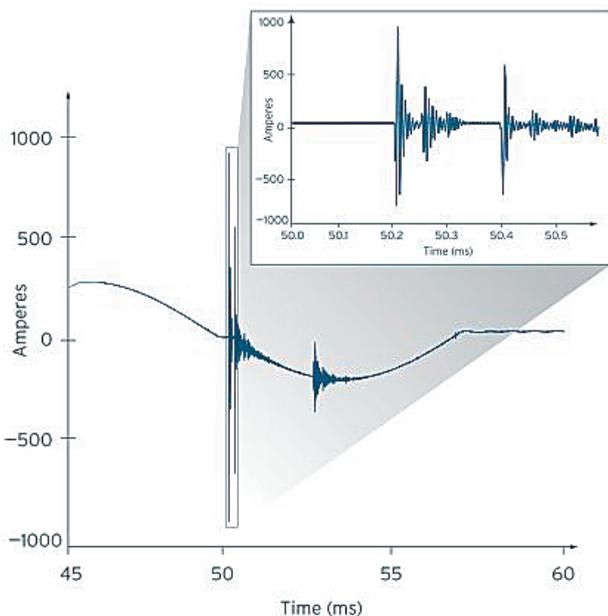


図 5 遮断器再点弧時の高解像度波形の例

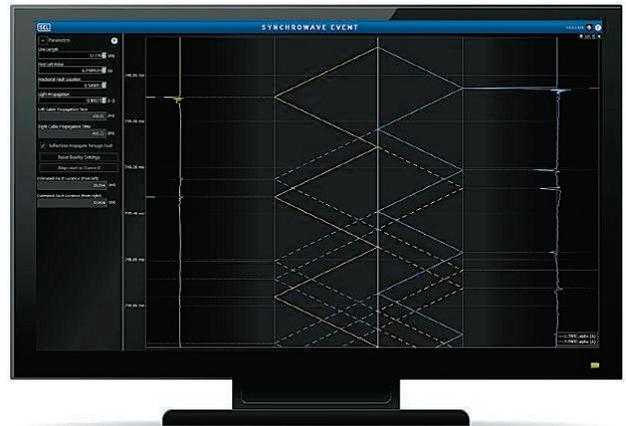


図 6 進行波波形表示の例

3 おわりに

現在、東光高岳は国内電力会社の送電線に SEL-T400L を設置して性能検証を行う計画を進めている。

なお、本稿は著作権者である SEL 社の許可を得て引用文献から内容の一部を翻訳して転載している。

■引用文献

(1) Schweitzer Engineering Laboratories, Inc : 「Flyer『SEL-T400L Time-Domain Line Protection』, SEL Home

■語句説明

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

注 2) 進行波 : 送電線路を伝搬する μs 単位の立上り時間を有するサージ。

注 3) タイムドメイン : 一つの波を時間的変化と見なすこと。

注 4) SIR : 『source-to-line-impedance ratio』の略。リレー設置点における電源インピーダンスと送電線インピーダンスの比。

注 5) COMTRADE ファイル : 電力系統の過渡現象を記録する IEEE 標準の COMTRADE (Common Format for Transient Data Exchange) 形式のファイル。

五十嵐 諒

電力プラント事業本部 システム製造部
IED システム設計グループ 所属 (執筆時)

新型 6 kV モールド形計器用 変圧変流器 (20 A, 50 A)

■ 寺田 修
Osamu Terada

1 はじめに

エポキシ樹脂モールド形の計器用変圧器および変流器を外箱に収納した計器用変圧変流器 (VCT^{注1)}) は取引用計器と組み合わせ三相3線式高圧需要家の電力需給用として使用するものである。

従来のVCTに対して、軽量化、容積の低減を行った新型製品について紹介する。

2 定格仕様

仕様は、表1のとおり従来と同一である。

表1 VCTの定格仕様

項目	仕様	
定格周波数	50 Hz または 60 Hz	
耐電圧	22 / 60 kV	
最高電圧	6,900 V	
定格一次電圧	6,600 V	
定格二次電圧	110 V	
定格一次電流	20 A	50 A
定格二次電流	5 A	
確度階級	0.5 W	
定格負担	計器用変圧器	2 × 15 VA
	変流器	2 × 15 VA
過電流強度	150 倍	75 倍
質量	56 kg	55 kg

3 特長

3.1 小型・軽量化

VCTの構成部材すべてを見直し、機能の複合化等により部品点数を削減することで旧型に対して質量15%、容積10%の低減を実現した。

3.2 作業性向上

軽量化による重量物運搬の負担軽減だけでなく、外箱形状の見直しにより手で行なえる箇所を増やし運搬作業時の「持ちやすさ」を向上した。



図1 新型 (MC-12型)

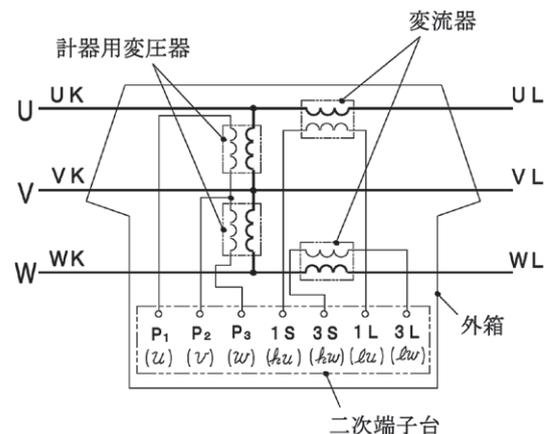


図2 結線図

また、二次端子箱の取付ねじを従来の4箇所から2箇所とすることで蓋の締付作業が容易となった。

4 まとめ

すでに、東京電力パワーグリッド株式会社の形式認定を取得しており、今年度より全国の電力会社に展開していく予定である。

■ 語句説明

注1) VCT: Voltage and Current Transformer の略。

寺田 修

計量事業本部
モールド変成器製造部 設計グループ 所属 (執筆時)

新モデル急速充電器の開発

製品紹介

■ 吉富 匡秀

Masahide Yoshitomi

1 はじめに

昨今、ゼロエミッション、カーボンニュートラルなどに代表されるような二酸化炭素排出量の低減に対して関心が高まっている。

これらの動きに合わせて2016～2017年、欧州各国やインド、インドネシアが「2025年～2040年（※国により期限は異なる）までにガソリン車、ディーゼル車の販売禁止」の方針を宣言した。また中国は、電気自動車（Electric Vehicle：以下EV）、ハイブリッド車（Hybrid Vehicle：以下HV）の製造・販売を義務付ける規制導入を発表している。世界は急速にEVへシフトしており、日本国内においても各自動車メーカーがEVの開発を加速している。

EVの普及拡大に伴い、EVに対するインフラ設備の需要も拡大すると見込まれる。また、既設のEV用急速充電器の老朽化も進んでおり、置換え需要も高まってきている。

この需要に対応するため、新モデルのEV用急速充電器を開発したので以下に紹介する。

2 装置の特長

新モデルの急速充電器は以下の特長を有している。

(1) CHAdeMO ver.1.1 準拠^{注1)}

CHAdeMO Ver.1.0以降ではEMC性能（エミッション）の規定が新たに追加されている。新モデルはCHAdeMO Ver.1.1に準拠しており、低ノイズで環境に優しい製品となっている。なお、現在CHAdeMO Ver.1.1に準拠している唯一の急速充電器となる。

(2) IP保護等級（対異物侵入・防水性能）の向上

従来モデルの急速充電器ではIP保護等級^{注2)}がIP33であったが、新モデルの急速充電器ではIP44に向上している。

(3) 小型、軽量

本器は、背面側の保守スペースが不要、正面からのアクセスが可能など、メンテナンスに配慮した構造を従来モデルより踏襲しつつも、容積で26%の小型化、質量は300kgと50kg減の軽量化を実現している。

また、小型化により、地下駐車場等の設置スペースに制約があるような場所にも容易に設置することが可能である。

従来モデルとの比較を図1に示す。



図1 従来モデルとの比較

(4) 施工が容易

新モデルは設置に必要なとする面積が、従来モデルより減少（面積比27%）しており、リプレース時には従来モデルの既設基礎、敷設ケーブルなどを流用することができ、施工工程を減らせる。

従来モデルとの設置面積の比較を図2に示す。

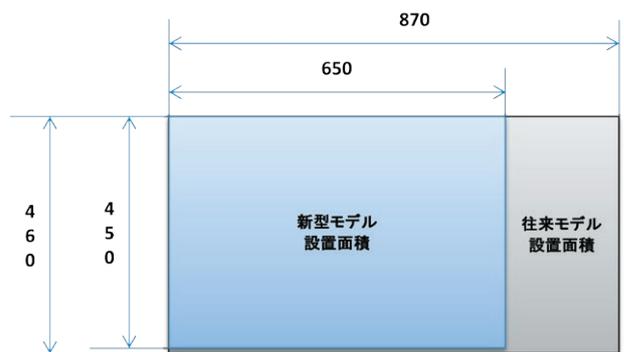


図2 従来モデルとの設置面積比較

(5) 多様な決済機能（オプション）

カード認証やネットワーク認証による決済機能を搭載したモデルも近日リリースに向けて準備している。

(6) 遠隔監視機能

ネットワークによる遠方監視機能により障害が発生した際に早期に障害内容を確認して、対応することができるため、急速充電器が使用できない期間を短縮できる。

遠隔監視機能を搭載したモデルも近日リリースに向けて準備している。

3 装置仕様

新モデルの急速充電器の装置仕様を表 1 に、外観図を図 3 に示す。

表 1 新モデル急速充電器装置仕様

装置仕様	30 kW	50 kW
入力	AC200 V 50 / 60 Hz	
出力電圧	DC 50~450 V	
出力電流	75 A	125 A
効率	90%以上	
IP 保護等級	IP44	
寸法	650 W × 1730 H × 450 D ※突起部を除く	
質量	300 kg	
周囲環境	温度 -10°C~40°C 湿度 30~90%	

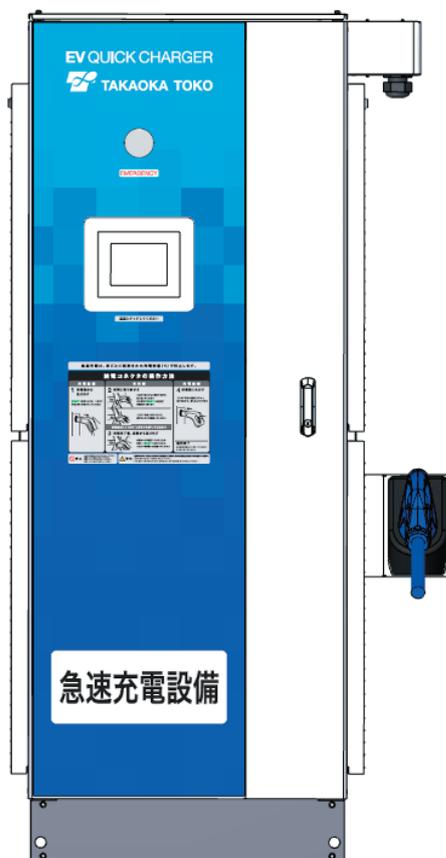


図 3 新モデル急速充電器 外観図

4 おわりに

今回開発した新モデルの急速充電器は、従来モデルより小型、軽量、施工も容易であり、今後の需要に応えるものであると考える。

今後も、EV 用急速充電器国内シェア No.1^{注3)} 企業として、拡大していく EV 用インフラ設備市場を牽引していきたいと考える。

■ 語句説明

注 1) CHAdeMO：電気自動車用急速充電規格の国際標準「CHArge de MOve = 動く、進むためのチャージ」、「de = 電気」、また「(クルマの充電中に) お茶でも」の三つの意味を含んでいる。

注 2) IP 保護等級：電気機械器具の外郭による保護等級 (JIS C 0920) のこと。

注 3) 国内シェア No.1：2017.12 末現在の国内販売実績 2700 台以上。

吉富 匡秀

技術開発本部
技術研究所
次世代系統技術グループ 所属

監視機能付きギガビットレピータ MSTEI-KS

■ 小宮 英明
Hideaki Komiya

■ 細谷 雅樹
Masaki Hosoya

■ 鈴木 剛志
Takeshi Suzuki

■ 佐藤 祥輝
Yoshiki Sato

1 はじめに

東光高岳では、インフラ産業を中心に事業所間ネットワークにおけるイーサネット回線の中継装置として監視機能付きギガビットレピータ (GREP) を納入してきた。今後、さらに利便性を高めるために保守・管理機能が求められている。そのため、インバンド通信機能を搭載した後継機 (MSTEI-KS) を開発したので紹介する。

2 製品概要と主な仕様

2.1 製品概要

本製品は、イーサネットの信号 (1000BASE-SX または 1000BASE-T, 100BASE-TX, 10BASE-T) を光信号 (1000BASE-LX 相当) に変換することにより、長距離伝送 (約 60 km) を可能にするものである。また、回線監視機能を内蔵しており、障害発生時には LED 出力、接点出力および SNMP (Simple Network Management Protocol) による警報出力を行う。加えて、本製品 (MSTEI-KS) の屋内インタフェース (IF) や電源種別は選択可能となっており、お客さまのニーズに合わせた装置構成を提供することが可能である。

2.2 主な仕様

本製品の主な仕様を表 1 に、外観とシステム構成イメージを図 1、図 2 に示す。

表 1 装置仕様

項目		仕様
電源	供給電源	AC100/200 V or DC-48 V or DC110 V
	消費電力	10 W 以下
構造	外形寸法	200 mm (W) × 215 mm (D) × 42.5 mm (H)
	質量	2 kg 以下
機能	中継方式	ストア & フォワード or 3R (屋内 IF 種別による)
回線部	屋内 IF	UTP (RJ45) or 光 (2心 LC コネクタ)



図 1 本製品の外観

2.3 インバンド通信機能

イーサネットのフレーム間には、通信機器がフレームを受信するための準備時間として IFG (Inter Frame Gap) と呼ばれる隙間がある。今回追加したインバンド通信機能は、この隙間に保守情報を埋め込むことで、ユーザフレームには影響を与えずに、対向局の GREP と通信を可

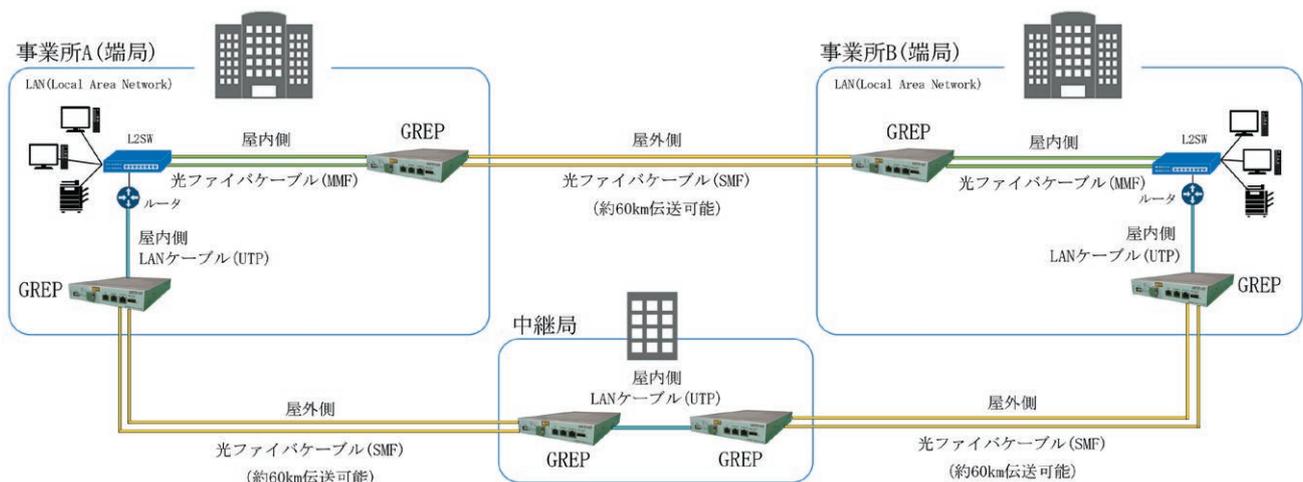


図 2 システム構成イメージ

能にする機能である。なお、この機能によって本製品の
特長である警報転送機能や遠方監視機能を実現している
(図3)。

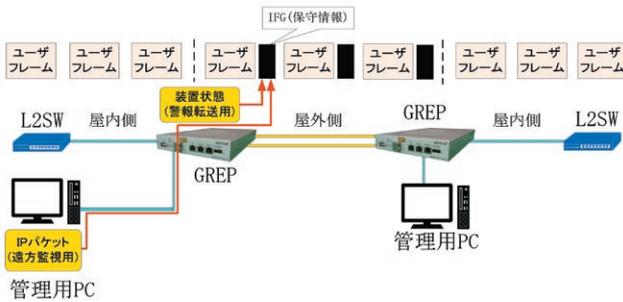


図3 インバンド通信機能のイメージ

3 製品特長

本製品は、回線監視機能として多くの機能を有している。
その中でも代表的な五つの機能について紹介する。

(1) 警報転送機能

ネットワークトラブルが発生した際、障害箇所を素早く
特定することは保守の観点からきわめて重要である。警報転送機能は、
障害発生時にその情報を対向局のGREPに転送する機能で、
ネットワーク障害のすばやい切り分けを可能としている。そのため、
GREPはネットワークの責任分界点や、信頼性の求められるシステムに
活用することができる(図4)。

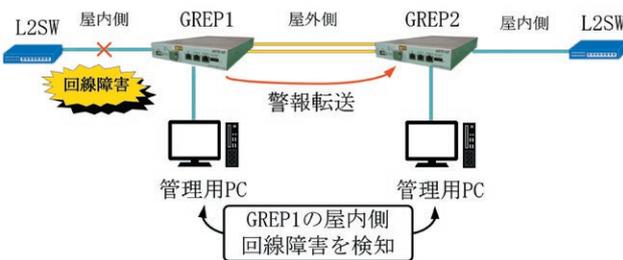


図4 警報転送のイメージ

(2) リンクパススルー機能 (LPT 機能)

LPT 機能は、回線障害が発生した際、屋内の回線を強制的に
切断する機能である。STP (Spanning Tree Protocol) による冗長
ネットワークを構築していても、L2SW が経路障害を検知する機能
がないと、すばやい

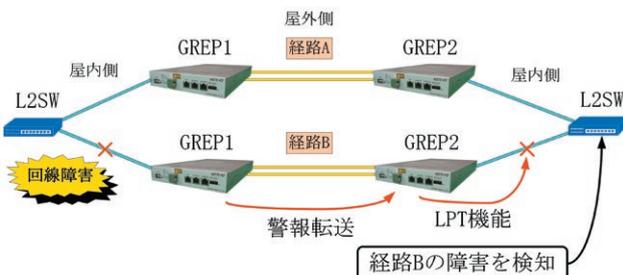


図5 LPT機能のイメージ

経路の切り替えを行うことができない。GREPは、LPT
機能を有効にすることですばやいネットワーク切り替え
を可能としている(図5)。

(3) リモート折り返し機能 (LOOP 試験)

リモート折り返し機能は、屋外回線のエラーレート試験
(回線品質確認)を行う機能である。この機能により、
屋外回線の健全性確認を行うことができる(図6)。

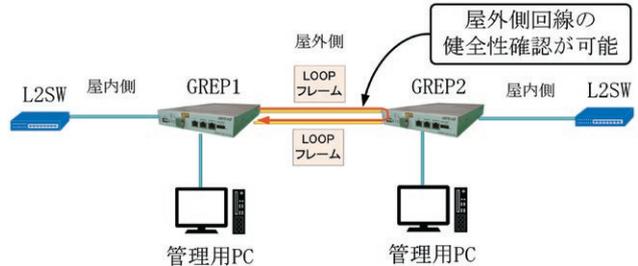


図6 LOOP試験のイメージ

(4) 管理機能

管理機能は、管理用PCよりGREPの各種設定変更、
状態確認、SNMPによる警報出力を行う機能である。

(5) 遠方監視機能

遠方監視機能は、管理用PCから遠隔のGREPにアクセスし、
各種管理機能を実行できる機能である。本機能を活用することで、
山間部など人が常駐していない場所の装置監視を可能としている
(図7)。

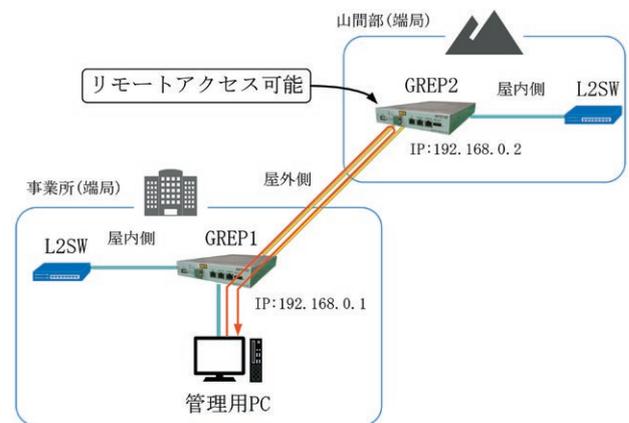


図7 遠方監視機能のイメージ

4 おわりに

本製品は、イーサネット信号をより速く、より遠くへ
伝送可能な中継装置として開発した。汎用性が高く、信
頼性の高いネットワークを構築できることから、多くの
システムで活用されることを期待している。

小宮 英明, 細谷 雅樹, 鈴木 剛志, 佐藤 祥輝

技術開発本部
技術研究所 ICT技術グループ所属

■ 大澤 岳士
Takeshi Osawa

■ 今井 直樹
Naoki Imai

■ 赤下 尚司
Shoji Akashita

■ 加藤 貴大
Takahiro Kato

1 はじめに

2016年の電力自由化に伴う電力各社でのBルートサービス^{注1)}開始など、EMS市場は広がり続けており、さまざまなセンサ情報を基にしたビッグデータの活用や、デマンドレスポンス・VPP^{注2)}を代表とした高度な制御による、高い付加価値が求められている。

従来のエコ.Web IVに、Bルート計測機能やLTE通信機能を追加し、多種多様な計測・監視・制御を実現するためのインターフェースを組み合わせることにより、高度なEMSに対応した第5世代のエコ.Webを製品化したので、概要を紹介する(図1 製品外観)。



図1 製品外観

2 特長

(1) 多様な計測

高圧スマートメーターの電力量計測や、温湿度・CO₂・パルスなどのさまざまなセンサによる計測に対応している。さらに、それらの計測を有線通信や無線通信で組み合わせることができるため、ユーザー環境に合わせたシステムを構築できる。

(2) 用途に合わせた柔軟性

LTE通信によるクラウド送信機能を有するため、遠隔からのデータ利用が可能である。また、本体のみでもデマンド監視・グラフなどのWeb表示機能を持つため、イントラネットなどのLAN利用にも柔軟に対応できる。

(3) 幅広いニーズに応える拡張性

遠方から機能アップできるソフトウェア構造となっている。そして、多様なセンサの同時利用を可能とするインターフェースを備えているため、センサの追加や機能の拡張に幅広く対応できる。

3 システム概要

図2にエコ.Web5のシステム構成を、表1に仕様を

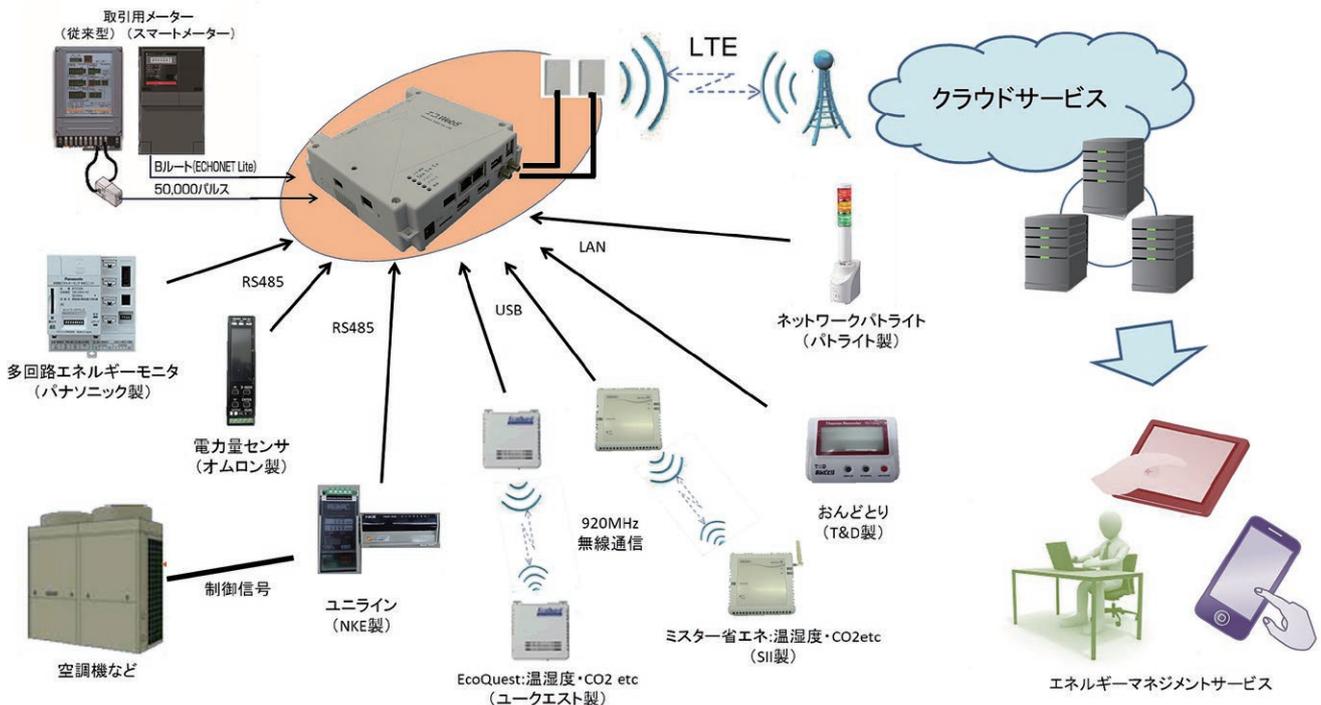


図2 システム構成

表 1 基本仕様

項目	仕様	
インターフェース	Ethernet	1ポート ・10/100 Mbps, 100Base-TX ・オートネゴシエーション対応
	Ethernet (Bルート用)	1ポート ・ECHONET Lite AIF 認証取得済み (QZ-000031) ・高圧スマートメーター対応
	LTE 通信モジュール	Docomo 製モジュール (UM04-KO)
	USBポート	3ポート ・USB2.0 (High/Full/Low Speed)
	RS485	2ポート
	パルス入力	専用パルスセンサを接続可能
	デジタル入力	4入力電流駆動方式 (要外部電源) フォトカプラ DC24 V/10 mA
	デジタル出力	4出力無電圧 A 接点 フォトリレー出力最大 500 mA
	サイズ	横 139 mm × 縦 139 mm × 高 45 mm (突起物を除く)
使用条件	動作温度	-20°C~60°C
	相対湿度	30~85% RH (結露しないこと)
電源	電圧	AC100 V
	消費電力	20 W 以下

示す。

エコ.Web5は、センサと接続することで、電力量や温度などを含めてトータル48ポイントのデータを計測できる。

(1) 電力量

Bルートサービスを利用したメーター検針値の計測ができるほか、従来のサービスパルス計測にも対応している。また、電力メーター以外の電力量センサによる計測も可能であり、用途別の細かい電力量計測も実現できる。

(2) 温湿度・CO₂・パルス

温湿度やCO₂などの環境情報を計測するセンサやパルスセンサにも対応している。接続できるセンサには、有線LANや920MHz帯無線通信に対応している。

(3) その他

エコ.Web5本体にデジタル入力端子を備えているほか、外付けのアナログ入力も可能である。そのため、デジタルやアナログの信号を利用した機器の状態確認や計測ができる。

計測したデータは、Webブラウザを使用してデータ閲覧画面やグラフ画面で確認できる(図3 データ閲覧画面)。

また、データは日報形式の帳票として内部に最大2年分記録しており、閲覧も可能である。さらに、ダウン

ロード機能を使用してネットワーク経由でデータの取り出しもできる。



図 3 データ閲覧画面

4 監視・制御機能

計測したデータは閲覧する以外に、監視や制御に利用できる。

代表的な監視機能としてデマンド監視を行うことができ、電力の利用状況に応じて3段階(危険・緊急・限界)の警報を出力する。

警報段階に合わせてキャラクタ(省太郎^{注3)}アイコン)が動作するユーザーフレンドリーな画面による視覚的な監視ができるほか、表示器やブザーとの連動、メール送信を行うこともできる(図4 デマンド監視画面)。

また、デマンド以外にも温度・CO₂といった環境情報を対象にした警報メールの送信もできる。



図 4 デマンド監視画面

制御機能については、本体の端子や外付けユニットを使用することで、デジタル出力をデマンド監視の警報と連動して動作させることができる。この機能により、ピークオーバーしそうなときに空調などを停止状態にすることができるほか、複数の機器を順番に停止する(輪番制御)などの幅広い運用を実現する。

5 ユーザーインターフェース

これまで紹介した機能を、ユーザーが操作したり管理するためのインターフェースも操作性が向上している。

デマンド監視状態の確認に加えて、センサの登録や監視条件の入力などの保守・メンテナンス機能が Web 画面で使用できる。

画面は、さまざまな Web ブラウザに対応した言語 (HTML5) を採用しているほか、スマートフォンやタブレット PC にも対応したレスポンスデザインを採用によりデバイスに関係なく幅広く扱うことができる。さらに、ボタンなどレイアウトをわかりやすく整理したことで、操作し易くなっている (図5 レスポンス画面表示)。



図5 レスポンス画面表示

6 クラウド連携機能

エコ.Web5 は、インターネット上のクラウドサーバにデータを送信できる。店舗など分散した拠点から送信されたデータを集約することで、クラウドでのトータル管理ができる。

クラウドサーバとの連携は、内蔵の株式会社 NTT ドコモ製 LTE 通信モジュールにより同社の閉域網を介することで、簡単・安全なシステムを実現している。

さらに、エコ.Web5 の自動再送機能により、送信するデータ量に応じて通信量や通信回数を調整することで、データ連携の信頼性を向上している。

7 おわりに

エコ.Web5 は、東光高岳が EMS サービスのゲートウェイ装置としてこれまで培ってきたエコ.Web シリーズの後継機であるとともに、多様なセンシングと堅牢なクラウド連携機能を兼ね備えたスマートなゲートウェイである。

クラウドと連携することでインターネットを経由した複数のエコ.Web5 のデータを集約し、その膨大なデータを利用した多角的・多面的な視点によるエネルギー管理を行うことができる。

今後は、高い拡張性を利用し、機械学習などの高度な演算をリアルタイムに活用するエッジコンピューティング化も視野に入れている。そして、IoT による大容量のデータ活用とローカルでの即応性のあるサービスを両立し、高い付加価値を有するサービスを提供していく計画である。

■ 語句説明

注1) B ルートサービス：スマートメーターで計測したデータを、家庭やビルの建物内に送信するサービスのこと。

注2) VPP = Virtual Power Plant (バーチャルパワープラント)：太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの導入拡大と省エネルギー・電力負荷平準化による系統安定化コストの低減を目指し、地域に分散して存在するエネルギーリソースを遠隔制御するとともにリソースアグリゲーターが統合制御し、ひとつの発電設備のように機能させる仮想発電所のこと。

注3) 省太郎は、株式会社東光高岳の登録商標。

大澤 岳士

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

今井 直樹

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

赤下 尚司

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

加藤 貴大

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

テナント検針システム

製品紹介

■ 渋沢 真弘

Masahiro Shibusawa

■ 久保田 卓

Masaru Kubota

■ 澁谷 啓之

Hiroyuki Shibuya

1 はじめに

商業施設やオフィスビルなどテナント貸しのビルでは、各テナントに対して、電気や水道などの使用料を請求するため、テナントごとに取引用のメーターが設置されている。取引用のメーターは検定が必要で、検定の有効期間を満了すると、新たに検定付きのメーターに交換が必要である。

電力の自由化に伴い、誘導型電力量計はほぼ生産が終息しており、電力量計が従来の誘導型から通信機能を持ったスマートメーター^{注1)}に置き換わりつつある。そこで、電力量計の交換に合わせてスマートメーターに移行するとともに、自動検針を導入することで、テナントオーナーの検針業務の効率化が図れる。

これまで東光高岳では、一括受電マンション向けに電力線搬送 (PLC)^{注2)}を用いた自動検針システムを販売している。PLCを用いることで、既存のビルに対して、新規の通信線が不要であり、自動検針システムを容易に導入できる。また、電気とガス・水道を合わせた共同検針が可能になっている。さらに、テナントビルでは熱供給を行っているビルもあり、熱量の検針を行えるように開発した。

2 システム概要と主な仕様

2.1 システムの構成例

テナント検針システムの構成を、図1に示す。

検針データを収集するデータ収集装置から、PLC親機およびPLCモデムを介して、スマートメーターの検針値を収集する。なお、RS485通信によりスマートメーターから収集することも可能で、新築のビルなど新規に通信線が敷設可能な場合は、PLCに加えてRS485通信による自動検針も可能である。

水道やガス、熱量については、それぞれの通信機能付きメーターをPLCモデムに接続する。PLCモデムはメーターと通信することで検針値の取得を行う。さらに、パルス出力機能付きのメーターを接続し、メーターが出力するパルスをカウントすることで、パルスの積算値による検針も可能である。取得した検針値やパルスの積算値はPLC通信によりデータ収集装置に集められる。

データ収集装置は、検針値や計量値を内部に記録し、インターネットを介してクラウドサーバなどにデータを送信することで、テナントオーナーなどに、検針サービスを提供する。

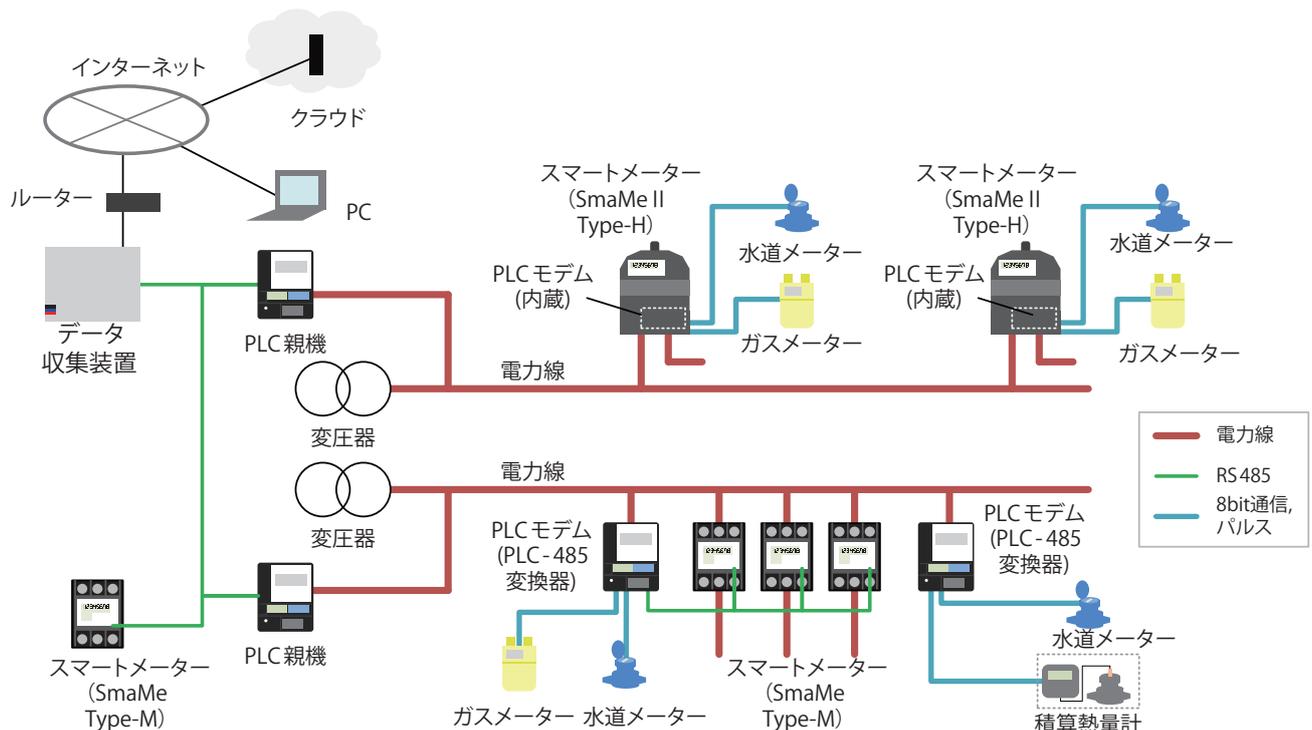


図1 システム構成例

2.2 システムの主な仕様

テナント検針システムの仕様について、表 1 に示す。

表 1 テナント検針システム仕様概要

項目		仕様
機能	定時検針	毎 30 分検針 電気：指針値 ガス・水道・熱量：パルス積算値
		月 1 回指定日検針 ガス・水道・熱量：指針値
		自動再検針機能（毎 30 分に実施）
設定	メーター設定	時刻設定 負荷制限設定（電気・対応 SmaMe ^{注3)} 開閉器操作（電気・対応 SmaMe） 検針日設定（ガス・水道・熱量）
	通信設定	PLC リピータ設定（手動・自動）
	システム設定	ネットワーク設定 Web ログインパスワード
	時刻修正	NTP による自動修正
データ	ファイル形式	CSV ファイル（カンマ区切り）
	保存期間	30 分検針データ：最大 45 日分 月 1 回検針データ：最大 30 か月分
	表示	Web ブラウザ
	取得	USB メモリ Web ダウンロード LAN 通信（FTP 通信）
上位通信	LAN	Web, FTP 通信, 上位専用通信
	USB	USB メモリ（データ取得） スマートメーター接続
下位通信	RS485	PLC 親機, スマートメーター専用
	PLC	専用（PLC 親機, PLC モデム）
	8 bit 通信, パルス	ガス・水道・熱量

3 特長

3.1 システムの特長

- テナント検針システムの特長について、以下に示す。
- ・電気と合わせて、ガス、水道、熱量もまとめて自動検針が可能である。
 - ・スマートメーターの指針値、および、水道、ガス、熱量のメーターのパルスのカウント値を、30 分ごとに検針することで、検針業務を簡略化するだけでなく、使用量の見える化もできる。
 - ・水道、ガス、熱量のメーターから、毎月 1 回、指針値を通信で取得することができ、パルスの取りこぼしやパルス合わせがなく、メンテナンスや検針業務を簡略化することが可能である。
 - ・電力線を使って通信を行うことで、新たに通信線を敷設することなく、システムの導入が容易である。
 - ・PLC モデムのリピータ機能^{注4)}により、新たに中継装置を追加することなく、広範囲に通信が可能。
 - ・住戸とテナントが混在するビルでも導入可能。
 - ・データ収集装置の持つ Web 画面により、30 分ごとの積算値と毎月 1 回の課金情報を表示することが可能。**図 2**)
 - ・Web 画面で表示する際に、個々のメーターに、個別の管理番号（部屋番号）とテナント名（備考）を登録できる。
 - ・Web 画面は最新ブラウザの Microsoft Edge や Google Chrome に対応。
 - ・検針データは LAN や USB メモリなどで取得可能。データ処理のしやすい CSV 形式のファイルで保存。

物件名：模擬環境 Version 1.00.00
現在時刻：2018/05/17 14:54:41

定時検針確認 毎月検針 管理メニュー Top画面 ログアウト

メータ絞り込み条件

メータID トランス系統

部屋番号 メータ種別 1:PLC通信メータ

検針値表示

種別

日付指定

一連番号	メータID	部屋番号	メータ種別	トランス系統	備考	00:00	00:30	01:00	01:30	02:00	02:30	03:00	03:30
0000	S150043032	000001	1:PLC通信メータ	1	000001	14030.00	51805.10	00360.00	14460.00	14490.00	14600.00	14030.00	51805.10
0007	S160104025	000701	1:PLC通信メータ	1	000701	14030.00	51805.10	00360.00	14460.00	14490.00	14600.00	14030.00	51805.10
0008	S150043830	000801	1:PLC通信メータ	1	000801	14030.00	51805.10	00360.00	14460.00	14490.00	14600.00	14030.00	51805.10
0009	S160104020	000901	1:PLC通信メータ	1	000901	14030.00	51805.10	00360.00	14460.00	14490.00	14600.00	14030.00	51805.10
0010	S150043840	001001	1:PLC通信メータ	1	001001	14030.00	51805.10	00360.00	14460.00	14490.00	14600.00	14030.00	51805.10
0011	S150044183	001101	1:PLC通信メータ	1	001101	14030.00	51805.10	00360.00	14460.00	14490.00	14600.00	14030.00	51805.10
0012	S150043833	001201	1:PLC通信メータ	1	001201	14030.00	51805.10	00360.00	14460.00	14490.00	14600.00	14030.00	51805.10
0013	S150043903	001301	1:PLC通信メータ	1	001301	14030.00	51805.10	00360.00	14460.00	14490.00	14600.00	14030.00	51805.10
0042	1150043832	0W0601	9:水道メータ	1	0W0601	065584.0	065614.0	065644.0	065653.0	065690.0	065723.0	065584.0	065614.0
0043	4150043832	0W0602	9:水道メータ	1	0W0602	065584.0	065614.0	065644.0	065653.0	065690.0	065723.0	065584.0	065614.0
0044	SBC0003117	KS0001	5:RS485/PLC 変換器メータ	1	共用電気	00001.00	00001.00	00001.00	00001.00	00001.00	00001.00	00001.00	00001.00
0045	1000000001	KW0001	A:変換器接続ガス	1	共用ガス	000000.0	000000.0	000000.0	000000.0	000000.0	000000.0	000000.0	000000.0
0046	2000000001	KC0001	C:変換器接続熱量	1	共用熱量	000000.0	000000.0	000000.0	000000.0	000000.0	000000.0	000000.0	000000.0

図 2 検針データ（Web 画面）表示例

3.2 主な装置の概要と特長

主な装置について以下に示す。

- ・スマートメーター (SmaMe)：東光東芝メーターシステムズが販売する一括受電マンションやテナントビル用の電力量を計測するスマートメーター。PLCモデムを内蔵したタイプ (II Type-H) や、コンパクトタイプ (SmaMe Type-M)、誘導型電力量計との同等の施工で交換できる表面取付型 (SmaMe Type-S) などがある。
- ・PLC 親機：トランス系統に1台設置し、PLCモデムと電力線搬送により通信を行う装置。单相3線式に設置する場合は、申請不要で設置可能。(三相など動力系統への設置は個別の申請が必要となる。)
- ・PLCモデム：SmaMeより電気の指針値を取得し、通信機能付きの水道メーター、ガスメーター、積算熱量計からパルスおよび指針値を取得し、電力線搬送により通信する装置。SmaMeに内蔵したPLCモデムと、外付けで複数のSmaMeが接続可能なPLCモデム (PLC-485変換器) がある。PLC-485変換器は、コンパクトタイプのSmaMeと同等サイズで、IECルールに取り付けることが可能。
- ・データ収集装置：各メーターから検針データを収集し、集約する装置。Webサーバを内蔵しており、データの表示やダウンロード、メーターの設定等がWebブラウザから可能。

4 おわりに

テナント検針システムは、テナントビルなどで、取引用メーターの検定有効期間満了に伴うメーターの交換に合わせて、PLCを活用することで設置工事を容易にし、システムを導入しやすくしている。スマートメーターへの移行のメリットを活用し、自動検針により検針業務を

効率化させるほか、30分検針による見える化も行うことが可能になる。

今後、一括受電マンション向けのみならず、テナントビルや商業施設などに向けても、自動検針システムを提案することが可能となり、さらに、多様なニーズに対応していくことができる。

また、スマートメーターやキュービクル、クラウドサービスなどの製品と合わせて提案することで、東光高岳グループとしてトータルでのサービス提供を展開していくことで、他社との差別化を図っていく。

■ 語句説明

注1) スマートメーター：通信機能などを有する高性能な計量機器 (メーター)。電子回路で計測を行う。電気だけでなく、ガスや水道のスマートメーターもあるが、本稿では、電気のスマートメーターを単にスマートメーターと表記している。

注2) 電力線搬送：電力線に、通信用の信号を重畳させることで通信を行う方式。電力線を通信に利用するので、新規に通信線の敷設が必要ない。

注3) SmaMe：東光高岳メーターシステムズ株式会社の登録商標。

注4) リピータ機能：PLC通信を中継してさらに遠方のPLCモデムへ到達させる機能。

渋沢 真弘

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

久保田 卓

技術開発本部
技術研究所 ICT技術グループ 所属

澁谷 啓之

技術開発本部
技術研究所 ICT技術グループ 所属

UMsQuest-920GW (IoT ゲートウェイ装置)

■ 永岡 英明
Hideaki Nagaoka

■ 長谷川 滋郎
Shigeo Hasegawa

1 はじめに

これまでユークエスト株式会社では、920 MHz 帯特定小電力無線通信によりエネルギー監視ソリューションを容易に実現可能な通信モジュール EcoQuest^{注1)} および、株式会社 NTT ドコモ製 LTE 通信モジュールを内蔵したモバイルルータ製品である UMsQuest-LTE^{注2)} を開発・販売してきた。

今回、EcoQuest と UMsQuest-LTE の両機能を併せ持つ、IoT ゲートウェイ装置 UMsQuest-920GW (以後、本製品と記載) を新たに開発した。

本稿では、本製品について紹介する。

2 製品概要

本製品の外観を図 1 に示す。

本製品は、株式会社 NTT ドコモ製 LTE ユビキタスモジュール：UM04-KO と、920 MHz 帯特小無線通信モジュール：EcoQuest を内蔵したゲートウェイ装置である。EcoQuest 対応無線通信子機により、各種センサの計測値や、制御機器から取得したデータを、920 MHz 帯の特定小電力無線通信で本製品に収集する。収集したデータは LTE 網を介してセンターサーバまたはクラウドへ逐次送信することが可能である。また、センターサーバ側から LTE 網および特定小電力無線通信を介して制御機器をコントロールすることも可能である。

本製品で収集したデータは、CSV ファイル化して一時的に蓄積しておくことも可能なため、LTE 網を介して外部メールサーバへ定期的に送信することも可能である。

本製品には外部拡張インターフェース (EXT-IF) と



図 1 UMsQuest-920GW の外観

して、RS-485 通信 IF と DI/DO ポートを備えている。このため本製品単体でも、電力量計やスマートメータおよび、その他制御機器と接続することで、電力量の定期的な取得や、制御機器の状態取得や制御が可能となる。

本製品を使用したシステム構成例を図 2 に示す。

3 製品仕様

本製品の主な仕様を表 1 (次ページ) に示す。また、本製品で利用可能な EcoQuest 対応子機を表 2 (次ページ) に示す。

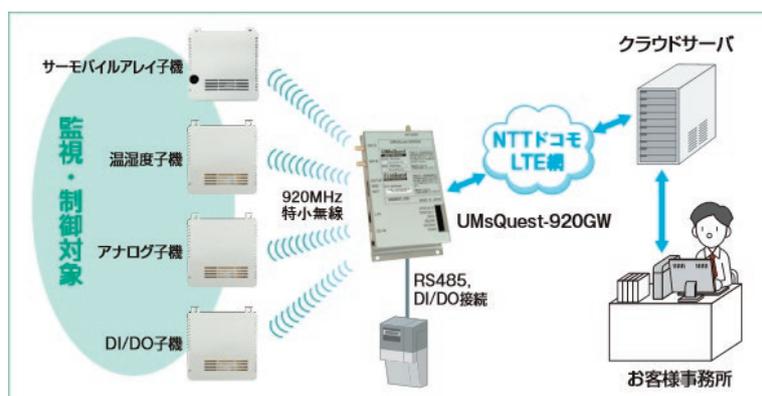


図 2 システム構成例

表 1 UMsQuest-920GW 製品仕様

基本仕様	
外部 I / F 機能	Ethernet (RJ45) 1 ポート 10 / 100BASE-T Auto MDI / MDIX 対応 RS485 9,600 bps~115,200 bps DI × 2 無電圧接点入力 最大定格: 12 V / 1.2 mA, 24 V / 2.4 mA DO × 2 PhotoMOS リレー出力 最大定格: DC24 V / 300 mA
LED 表示	電源, 回線状態 (接続 / 切断), 電波強度 (アンテナ本数), LTE 網データ送受信状態, 920 MHz データ送受信状態, その他状態を表示
筐体寸法 (mm)	88 (D) × 142 (W) × 32 (H) (アンテナ, スタンドなどの突起物を除く)
本体重量	約 400 g (アンテナ, AC アダプタを除く)
環境条件	動作温度: -20°C~60°C (本体), 0°C~40°C (AC アダプタ) AC アダプタの温度拡張品については別オプションにて対応可能 動作湿度: 20%~90% RH (結露なきこと)
電源	DC5 V (AC アダプタ別売オプション)
消費電力	無通信時: 2.0 W LTE 通信中 (Typ): 3.0 W (Max): 4.5 W
LTE モバイル通信関連仕様	
対応プロトコル	IPv4・TCP・UDP・ICMP・PPP に対応
ネットワーク機能	動的 NAPT 機能 / IP マスカレード (2,000 エントリ) 静的 NAPT 機能 / スタティック NAPT (32 エントリ) FTP-NAPT 機能による FTP プロトコル対応 (16 エントリ) IP フィルタリング機能によるアクセス制限 (WAN → LAN, LAN → WAN 各 20 エントリ)
クラウド対応	AWS (署名バージョン 4) 対応 Toami for DOCOMO 対応
モバイル回線通信	LTE UM04-KO 通信モジュール データ通信速度: 上り最大 37.5 Mbps, 下り最大 112.5 Mbps ※通信環境や混雑状況により通信速度が変化するベストエフォート エリアメール機能・ソフトウェア更新機能
EcoQuest 関連仕様	
920 MHz 帯特定小電力無線通信	送信出力: 20 mW 通信速度: 上り / 下り最大 100 kbps
利用可能 CH 数	14 CH (ch33~ch59 の奇数 CH が利用可能)
中心周波数 (帯域幅)	922.5 MHz~927.7 MHz (400 kHz)
対応トポロジー	スター, クラスターツリー最大 50 台までの子機の接続が可能

表 2 UMsQuest-920GW で利用可能な EcoQuest 対応子機

計測対象	子機種別	センサ I/F
温度・湿度を計測	温湿度子機	I2C
	熱電対子機	アナログ
	サーモパイルアレイ子機	I2C
電力を計測	パルス子機	パルス
	電力量子機	RS485
その他	アナログ子機	アナログ
	CO ₂ 濃度計測子機	RS232C
	DI/DO 子機	DI/DO
	I2C 子機	I2C
	扉開閉監視子機	パルス
	シャッター開閉監視子機	パルス

4 製品用途

本製品は以下のような用途での利用を想定している。

(1) 工場での温湿度・設備稼働状況の監視

EcoQuest 温湿度子機による温湿度計測, EcoQuest DI/DO 子機による設備稼働状況の監視(電流検知)を行い, 温湿度計測値や稼働状況の変化を LTE 回線経由にてセンターサーバ/クラウドへ逐次送信する。

図 3 に本製品を摘要した場合の例を示す。

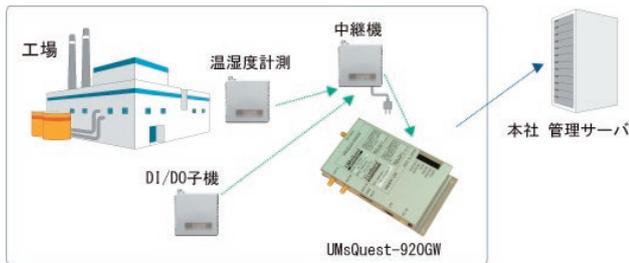


図 3 工場への適用例

(2) 店舗内の温湿度・電力使用量の見える化

本製品の RS-485 通信 IF によるスマートメータからの電力量および, EcoQuest 温湿度子機による温湿度計測値を, LTE 回線経由にてセンターサーバ/クラウドへ送信する。

図 4 に本製品を適用した場合の例を示す。



図 4 店舗への適用例

(3) 道路灯監視・保守システム

道路灯に本製品および EcoQuest 子機を内蔵し, 無線通信によりサーバ側での遠隔設備監視および, 保守対応を行う。

図 5 に本製品を適用した場合の例を示す。



図 5 道路灯への適用例

(4) 制御盤の発熱異常の遠隔監視

制御盤の面温度分布をサーモパイルアレイ子機で計測し, 温度分布情報をセンターサーバ/クラウドに逐次送信して遠隔監視を行う。

本製品を適用した場合の監視イメージを図 6 に, クラウド上でのデータ表示例を図 7 に示す。

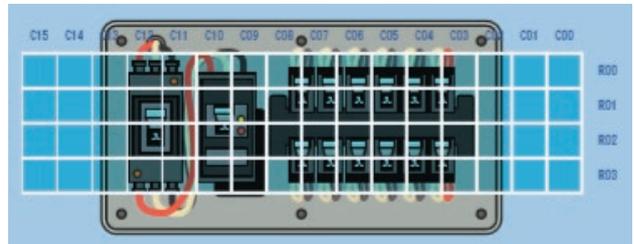


図 6 制御盤の遠隔監視イメージ



図 7 クラウドでの監視画像表示例

■ 語句説明

注 1) EcoQuest: ユークエスト株式会社の 920 MHz 帯特定小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。

注 2) UMsQuest-LTE: 株式会社 NTT ドコモ製 LTE ユビキタスマジュールを搭載したユークエスト株式会社のモバイルルータ製品の商品名。

永岡 英明

ユークエスト株式会社
技術本部 神戸システム部 所属

長谷川 滋郎

ユークエスト株式会社
技術本部 神戸システム部 所属

ハンディ無線検針システム

製品紹介

■ 田井 貴久
takahisa tai

1 はじめに

電気、ガス、水道等の公共料金は月に一度（水道の場合は2か月に一度）の検針により請求金額の算出を行っている。電気においてはスマートメータの普及により遠隔検針が進んできているが、ガス、水道等の公共料金の多くは検針員が目視により検針を行っている。

ガスメータや水道メータは飲食店の店舗内や立ち入りが必要な危険な悪条件箇所に設置されている場合があり、このような場所では検針ができず、再訪問や推定による請求金額の調停が行われている。

ハンディ無線検針システムは、検針員が持つハンディターミナルから特定小電力無線^{注1)}を利用してガスメータや水道メータと遠隔で通信するシステムであり、検針業務の効率化に寄与している。

2 システム概要と主な特徴

2.1 システム構成

ハンディ無線検針システムは、ハンディターミナル、ハンディ無線親機、無線子機、都市ガスメータまたは電子式水道メータにより構成される（図1）。



図1 システム構成

2.2 低消費電力化

ガスメータや水道メータの取引に使われる計量器は検定有効期間（ガスメータ：10年、水道メータ：8年）が定められ、検定有効期間ごとにメータ交換が行われる。

また、ガスメータ、水道メータに接続する無線子機は電源供給を受けることが困難なことから、電池駆動でメータの検定有効期間と同じ長期間稼働が求められており、無線通信において『非同期間欠受信待受け方式』（図2）という方式を採用することで、低消費電力化お

よび長期間稼働を実現している。

『非同期間欠受信待受け方式』は、受信待機の消費電力を低減するために、受信側が間欠周期でキャリアセンス^{注2)}を行う方式である。

送信側は受信側のキャリアセンス間欠周期より長い時間リンク確立送信を行うことでリンクが確立される。

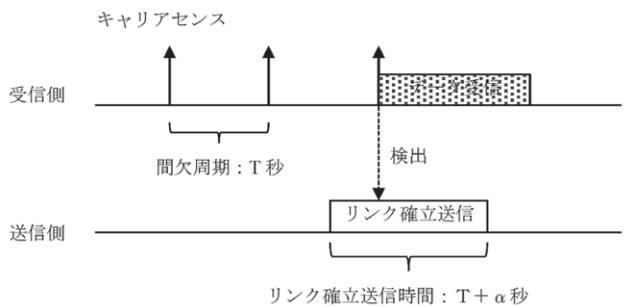


図2 非同期間欠受信待受け方式

2.3 ハンディ無線親機

一般的にハンディターミナルにはBluetoothが標準搭載されているが、Bluetooth（Class2の場合）は近距離通信を想定した規格であり、なおかつ消費電力が高くなる課題がある。

そこで、東光東芝メーターシステムズ（以下、東光東芝）はハンディターミナルとはBluetoothで接続し、メータ側に設置される無線子機とは特定小電力無線で通信する「ハンディ無線親機」をラインナップしている。

ハンディ無線親機は小型化・軽量化を実現しており、

表1 ハンディ無線親機仕様

項目	内容	
外観		
無線仕様	下位側	特定小電力無線（ARIB STD-T67）
	上位側	Bluetooth3.0 準拠（ARIB STD-T66）
電源	電池駆動：単4形電池	
防水性	IPX4（防沫形）	
外形寸法	83 × 60 × 24 mm	
質量	約 85 g（電池含まず）	

ポケットにも入る大きさのため、検針員がハンディターミナルといっしょに持ち運ぶにも容易である。

2.4 無線子機

メータ側に設置する無線子機には都市ガス用、水道用がある。

都市ガス用はメータのレジスタ部に取付が可能なツノ付構造となっており、水道用においてはメータ升内に設置されることから、保護等級 IPX7 の防水性を備えている。

表 2 無線子機仕様

項目	内容	
	都市ガス用	水道用
外観		
無線仕様	特定小電力無線 (ARIB STD-T67)	
有線仕様	A ライン (300 bps) <small>注3)</small>	
電源	内蔵電池 (リチウム電池)	
防水性	IPX4 (防沫形)	IPX7 (防浸形)
外形寸法	80 × 149 × 39 mm	116.4 × 128.4 × 39 mm
質量	約 150 g	約 330 g

3 ハンディターミナル側アプリケーション

3.1 標準パッケージ

東光東芝はハンディターミナル側のアプリケーションとして標準パッケージを用意している (図 3)。

本アプリケーションは、最大 1,000 件の顧客情報を登録し、ガス、水道メータに無線を通じて検針ができる。検針したデータは CSV 形式にて外部出力が可能である。

これによりガス事業者、水道事業者でアプリケーション開発をしなくてもハンディ無線検針システムを導入することができる。



図 3 標準パッケージ画面

3.2 無線検針ライブラリソフトの提供

多くのガス事業者、水道事業者では検針したデータをお客さまの顧客料金管理システム (CIS) に取り込み、顧客への料金請求が行われている。検針員が持ち歩くハンディターミナルには顧客料金管理システムと連携するアプリケーションがインストールされている。

ハンディ無線検針システムを導入し、顧客料金管理システムと連携させる場合には、個別にハンディターミナル側のアプリケーション開発を行う必要がある。

東光東芝ではお客さまのアプリケーション開発の支援ツールとして無線検針ライブラリソフトを用意している。

無線検針ライブラリソフトではハンディターミナルからメータへの無線通信の通信手順を関数で提供している。

これにより、事業者は無線通信のプロトコルやタイミング制御を意識することなく、アプリケーション開発をすることができる (図 4)。

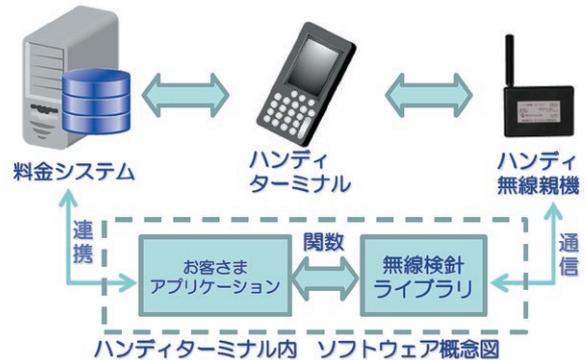


図 4 顧客料金管理システムとの連携イメージ

4 おわりに

東光東芝は電力スマートメータだけでなく、ガス・水道事業においてもスマート化に寄与するべく、高付加価値の提供に努力していく次第である。

■ 語句説明

注 1) 特定小電力無線：特定小電力無線は免許を要しない無線方式である。本稿では、そのうちのテレメータ、テレコントロールおよびデータ伝送用途のものをいう。

注 2) キャリアセンス：無線通信において、あらかじめ電波を送信する周波数が空いているか調べる技術。

注 3) A ライン：日本ガス協会や高圧ガス保安協会にて標準化され、ガス、水道メータの通信インターフェースとして広く使われている通信仕様である。

田井 貴久

東光東芝メーターシステムズ株式会社
技術部 技術グループ 所属

マイクロバンプ計測用 3D センサ SCS-7500R2

■ 石原 満宏
Mitsuhiro Ishihara

■ 水野 佑樹
Yuki Mizuno

1 はじめに

IC (Integrated Circuit) の線幅は物理的な限界に近づいてきていることから、その微細化の速度が鈍化してきており、新たな集積度向上の担い手として TSV (Through-Silicon Via) 技術を用いて IC チップを垂直に積層する 3D スタッキングの技術が注目されている。

特にメモリの分野では 3D スタッキングが大容量化・低消費電力化・高速化に非常に有効であることから、早くから技術開発が進められ実用化はすでに始まっている。DRAM 分野では、メモリ帯域幅の不足が明らかになってきたハイエンド市場において、3D スタッキングメモリである HBM (High Bandwidth Memory) の採用がすでに既定路線となっており、フラッシュメモリの分野においても 3D NAND チップをさらに多段に積層し 1T バイトにもおよぶ大容量を実現した製品も開発されている⁽¹⁾。いずれ 3D スタッキングのメモリが一般的なものとなることはこれまでの半導体製品の進歩を考えれば明らかである。

3D スタッキングにおける IC チップの積層には、バンプと呼ばれる微小な電極を利用して接続するフリップチップの技術が用いられる。東光高岳は 20 年を超えるフリップチップバンプ検査の経験を有しており、IC パッケージ用樹脂基板のバンプ検査においては 200 セットを超える納入実績がある。そしてこの経験・技術は、3D スタッキング用のバンプ検査においても活かすことが可能である。

しかし表 1 に示すように、IC パッケージ用樹脂基板バンプと 3D スタッキング用のバンプは径・ピッチ・高さ・要求精度の点で大きく微細化しており、同じ計測器 (3D センサ) で対応できる範疇を超えている。そこで、上記メモリ分野を主なターゲットとして 3D スタッキングバンプ専用の 3D センサ SCS-7500R2 を今回開発した。

SCS-7500R2 は、微小径のバンプ計測のために開発

表 1 要求仕様

	バンプ径	バンプピッチ	バンプ高さ	要求精度
IC パッケージ用樹脂基板バンプ	50~70 μm	90~130 μm	> 30 μm	1 μm レベル
3D スタッキング用バンプ	< 20 μm	< 40 μm	< 20 μm	< 0.3 μm

を進めてきた技術であるリニア走査型共焦点 SCS を採用し^{(2),(3)}、さらに計測の精度・信頼性の向上を図って対物レンズの開口数 NA (Numerical Aperture) を増大した 3D センサである。東光高岳 3D センサとして、その最大の特長である高速性は維持しながら、現時点での最高精度を実現している。

2 仕様および構造

図 1 に、SCS-7500R2 の外観を示す。また、主な仕様を表 2 に、構造の模式図を図 2 に示す。

本 3D センサは SCS-7000 シリーズ中の一製品として開発されており、既報⁽³⁾の SCS-7040R2 をベースモデルとしている。参考のために SCS-7040R2 の仕様・模式図も合わせて示している。

SCS-7500R2 は、SCS-7040R2 と基本的に同じ計測原理・センサ構造に基づいており、違いは対物レンズの NA (それに伴う結像倍率) および光学的焦点移動



図 1 SCS-7500R2 外観

表 2 SCS-7500R2 の主な仕様

項目	SCS-7040R2	SCS-7550R2	SCS-7560R2	SCS-7570R2
特長	—	速度重視	精度重視	3Dスタッキング グバンプ専用
計測手法	リニア走査共焦点法 (SCS)			
視野サイズ (mm)	13.0 × 13.0	10 × 7.5	9.0 × 9.0	12 × 1.5
相対 NA	1 (基準)	1.5		
画素分解能 (μm)	3.0	2.4	2.0	
Z 計測レンジ (μm)	180	90	60	
画像入力時間 (s/ 視野)	0.38	0.22	0.38	0.18
12" ウェーハ 計測速度 (WPH)	13	8	6	20 (スタッキングバ ンプエリアが上 記視野サイズ以 下の時)
対応最小 バンプ径 (μm)	25	15	10	

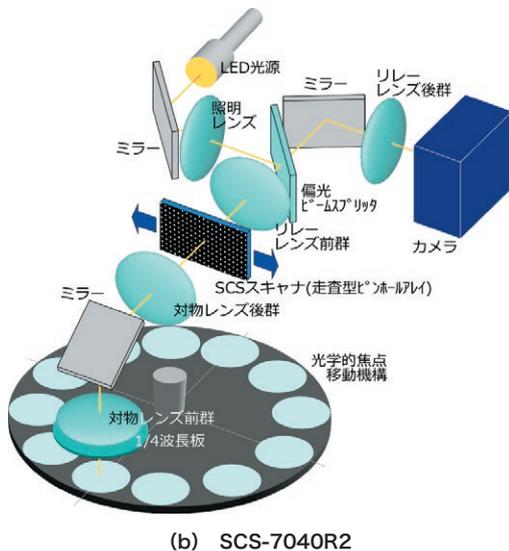
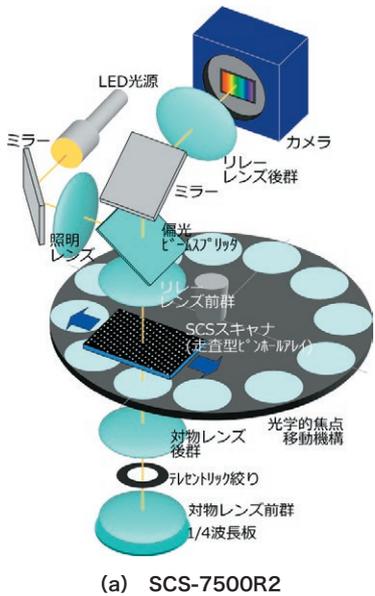


図 2 構造模式図

機構の位置のみである。そのため計測原理・SCS 方式等の説明については割愛する。既報⁽³⁾を参照されたい。PHA (Pin-Hole Array) およびその走査機構 (SCS 機構) およびリレーレンズ・照明レンズ・カメラ等は SCS-7040R2 と共通である。

精度・信頼性を向上させる鍵となるのは対物レンズの NA である。SCS-7040R2 対物レンズの像側 (PHA 側) の性能条件を維持しつつ、結像倍率を 1.5 倍 (= 視野を 1/1.5 倍) にすることで NA を 1.5 倍に増大しながらも、対物レンズ以外の部品の共通化を実現した。また、光学的焦点移動機構が高速で回転するのに伴い発生する旋風による精度への影響および試料コンタミネーションをなくすために、対物レンズを折り曲げることなく直筒構造にして光学的焦点移動機構を対物レンズの像側に持ってきている。

仕様を示すように、現時点で SCS-7550, 7560, 7570R2 の 3 モデルが存在するが、それぞれの違いは使用する検出器 (二次元 CMOS カメラ) のみである。SCS-7550R2, 7560R2 は標準タイプと言えるもので速度重視か精度重視かの違いとなっている。特筆すべきは SCS-7570R2 で、3D スタッキングにおける各層の接続がチップ中心部分の細長領域でのみなされることに着目して、対物レンズの有効領域限界までの長方形の視野を備えることで桁違いのスループットを実現したモデルとなっている。

3 検証結果

SCS-7060R2 を用いて性能検証した結果を以下に示す。

3.1 繰り返し計測精度

20 μm 径のバンプが 40 μm ピッチで 40,401 個配列された TEG (テスト用) サンプルを用いて、バンプ高さ計測の繰り返し精度を確認した。図 3 にその結果を示す。横軸はバンプの番号であり、縦軸は 30 回計測値の各バンプのばらつき (3σ) を表している。目標である 0.3 μm 以下の繰り返し精度が得られていることがわかる。

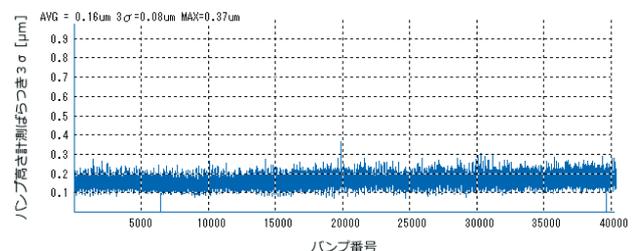


図 3 繰り返し精度 (20 μm 径ラウンドバンプ高さ計測, 30 回繰り返し)

3.2 10 μm 径バンプ計測

現状 3D スタッキングに用いられるバンプの径は 20 μm 程度であるが、将来的には 10 μm 径となることが予想されている。TEG サンプルを用いて 10 μm 径のバンプを計測した結果の鳥瞰図表示を図 4 に示す。9.0 \times 9.0 mm 視野のうちの 1.0 \times 1.0 mm 程度の領域のみを表示している。この部分のみでも 2,500 個程度のバンプが計測されている。視野全体では 20 万バンプを超える。

2.0 μm 画素分解能の SCS-7560R2 では図 4 のように正しく安定して計測が可能であるが、2.4 μm 画素分解能の SCS-7550R2 においては、10 μm 径のバンプの計測は難しいことがわかっている。マイクロバンプの計測は、対物レンズの NA だけでなく画素分解能も重要な要素となってくる。

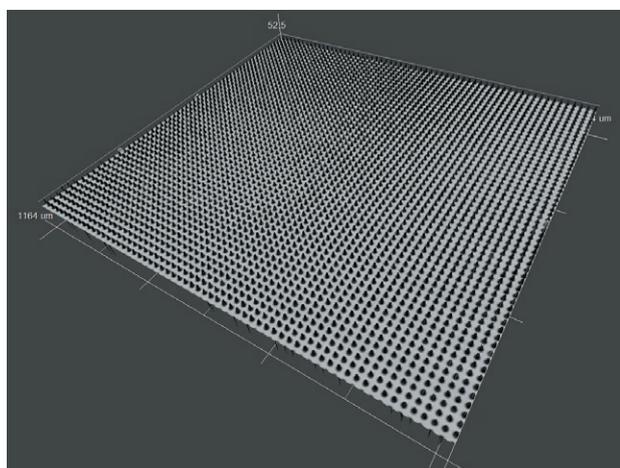
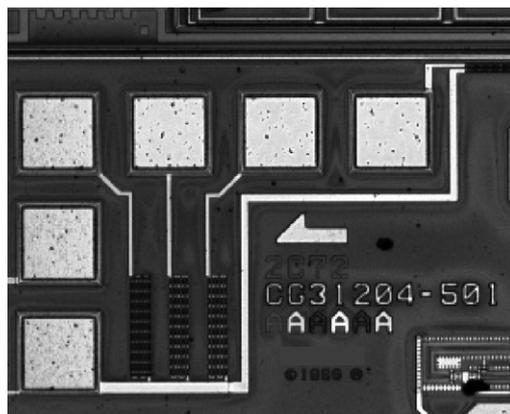


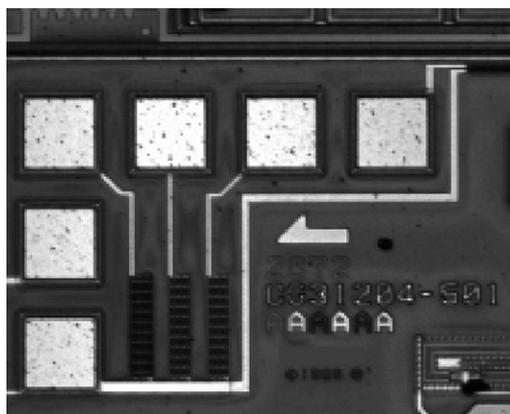
図 4 10 μm 径バンプ計測結果
(輝度データマッピング)

3.3 画質比較

図 5 に、SCS-7560R2 と SCS-7040R2 とで撮像した IC チップ表面の画像を示す。画質の差を確認するために視野の一部を拡大して表示している。画素分解能がそれぞれ 2.0 μm 、3.0 μm であるという違いがあるがそれ以上に NA によってシャープネスに明確な差が表れている。



(a) SCS-7560R2



(b) SCS-7040R2

図 5 画質比較

るよう、さらなる開発を進めていきたい。

■参考文献

- (1) 松寺, 河崎:「TSV 技術を用いた世界初の 16 段積層 NAND 型フラッシュメモリパッケージ」, 東芝レビュー, Vol.71, No.6, pp.20-23 (2016)
- (2) 日名子:「走査型共焦点方式三次元計測」, 東光高岳技報, Vol.2, No.1, pp.20-23 (2015)
- (3) 水野, 石原:「高分解能三次元センサ SCS-7040R2」, 東光高岳技報, Vol.3, No.1, pp.22-25 (2016)

4 おわりに

3D スタッキングされたメモリを主なターゲットとして、20 μm 以下のマイクロバンプ計測専用の 3D センサ SCS-7500R2 を開発した。SCS-7500R2 は、10 μm 径レベルのバンプにも対応でき高速かつ高い計測精度を得ることが可能である。

3D スタッキング技術を用いた半導体製品は今後確実に普及していくと考えられる。東光高岳のバンプ検査装置が 3D スタッキングの領域でも十分に業界に貢献でき

石原 満宏

光応用検査機器事業本部
検査機器製造部 所属

水野 佑樹

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

「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」 バランシンググループモデル紹介

1 はじめに

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年の再生可能エネルギー大量導入を見据え、東京都新島村の実系統を実証フィールドとした再生可能エネルギー設備の「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行っている。本稿では、実証システムの機能の一つで今後検証試験を計画している「バランシンググループモデル」について紹介する。

2 実証モデル

2.1 概要

実証試験は二つのモデルで実施している。一つ目のモデルは、統合制御システムがディーゼル発電機 (DG)、太陽光発電 (PV)、風力発電 (WT)、蓄電池、需要家設備を集中制御し最適化運転する基本モデルで、需要家制御システムは需要家設備のエネルギーを束ねる (アグリゲートする) 役目を担う。二つ目のモデルは複数の発電事業者がグループを組み、各発電事業者の発電インバランスをグループ全体で低減するというバランシンググループモデルである。本実証システムでは統合制御システムと独立した需要家制御システムがバランシンググループの調整役となる。

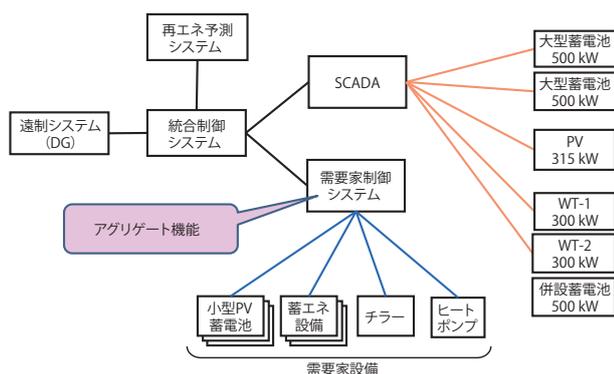


図1 基本モデルのシステム構成

2.2 システム構成

バランシンググループモデルでは図2に示すとおり、再エネ・蓄エネ設備を統合制御システムと需要家制御シ

ステムで柔軟に分担分けすることができる。例えば、統合制御システムが需給調整や周波数調整のためにPV、大型蓄電池1台を制御対象に、需要家制御システムがインバランス回避のためWT (蓄電池含む)、大型蓄電池1台、需要家設備を制御対象にすることができる。

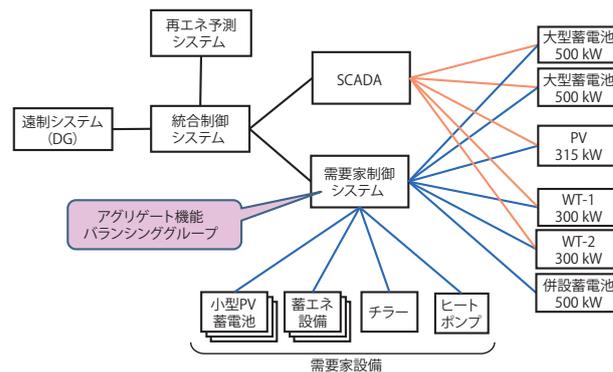


図2 バランシンググループモデルのシステム構成

2.3 バランシンググループの詳細モデル

バランシンググループモデルには、発電バランシンググループモデルと需給バランシンググループモデルがあり、本実証システムでは次に示す機能として実装した。

(1) 発電バランシンググループモデル

需要家制御システムが、再エネ予測システムが提供する再エネ予測にもとづき発電計画を立て、蓄電池の充放電、PV・WTの制御により発電計画の同時同量を行うモデルである。これにより統合制御システムは、不確実性の高い再エネを確実性が高い発電とみなして需給計画・運用を行う。なお、本実証システムでは需要家設備も制御対象にすることができる。

(2) 需給バランシンググループモデル

既設電力系統への再エネ導入拡大を目的とし、統合制御システムとの連系を強化したモデルである。統合制御システムが計画した需給計画に対して、需要家制御システムが統合制御システムの再エネ予測および需要予測を参照し、需要や再エネが予測に反し急に増減した場合でも蓄電池の充放電、PV・WTの制御、需要家設備の抑制・需要増を行い、統合制御システムが計画した需給計画 (DG 起動停止計画など) に収まるよう需給調整を行う。

「エネルギー消費の効率化等に資する我が国技術の国際実証/風力発電システムを含むエネルギーインフラ実証事業」開始

1 はじめに

東光高岳は、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）委託事業において、三井物産株式会社、株式会社駒井ハルテックと協働で、極寒仕様の風力発電機を導入し、系統安定化かつエネルギー効率化が実現可能なシステム：「ポーラーマイクログリッドシステム（Polar Microgrid System）」を構築する実証を、2018年2月からロシア連邦サハ共和国のティクシ市で開始した。本実証事業では、これまでに取り組みがなされてこなかった極寒冷地という過酷環境下において、風力発電および系統安定化システムを含めたエネルギーインフラの普及展開に向けて、サハ共和国内の独立系統地域であるティクシ市を対象に、風力発電システムを含むエネルギーインフラを構築し、高効率なエネルギー供給システムの実証を行う。

2 実証事業について

2.1 概要

ロシア極東地域^{注1)}は、大規模な電力系統と接続しておらず、電力供給を小規模なディーゼル発電機に依存している独立系統地域が多数存在している。これらの地域では、発電用燃料の輸送コストにより発電単価がきわめて高い状況となっている。また、ディーゼル発電機の老朽化が進んでおり、エネルギー安定供給に支障を来しか

ねない状況となっている。

このような背景のもと、本実証事業で構築するポーラーマイクログリッドシステムは既設ディーゼル発電機に加え、300 kW 風力発電機3機、1 MW ディーゼル発電機3機、再エネ平滑化用の蓄電池1機、それらの出力制御を担う再エネ制御協調システムから構成されており（図1）、極寒冷地における低コストかつ安定的なエネルギー供給技術に関する実証を行う。本実証では、風力発電機とディーゼル発電機の効率的な運用により、年間約16%ものディーゼル燃料の焼き減らしが可能になると見込んでいる。

なお本件は、日露首脳会談で提示された8項目の「協力プラン」のうち「4. 石油、ガス等のエネルギー開発協力、生産能力拡充」に含まれている。

2.2 実施内容

ロシア全土では、2030年までに総発電電力に占める再生可能エネルギーの発電量シェアを4.5%まで増加させる目標⁽¹⁾が示されている。上記を踏まえ、本実証事業では、ロシア側からの要望を考慮しティクシ市で最大需要電力の20%程度を再エネ電力として、300 kWの風力発電機3機を導入する。また、変動する風力発電の電力に対して、調整可能な必要最低限の構成要素（設備等）として、1 MWのディーゼル発電機3機、再エネ平滑化用として最小容量のリチウムイオン電池とそれらを統合制御する再エネ制御協調システムを導入する。

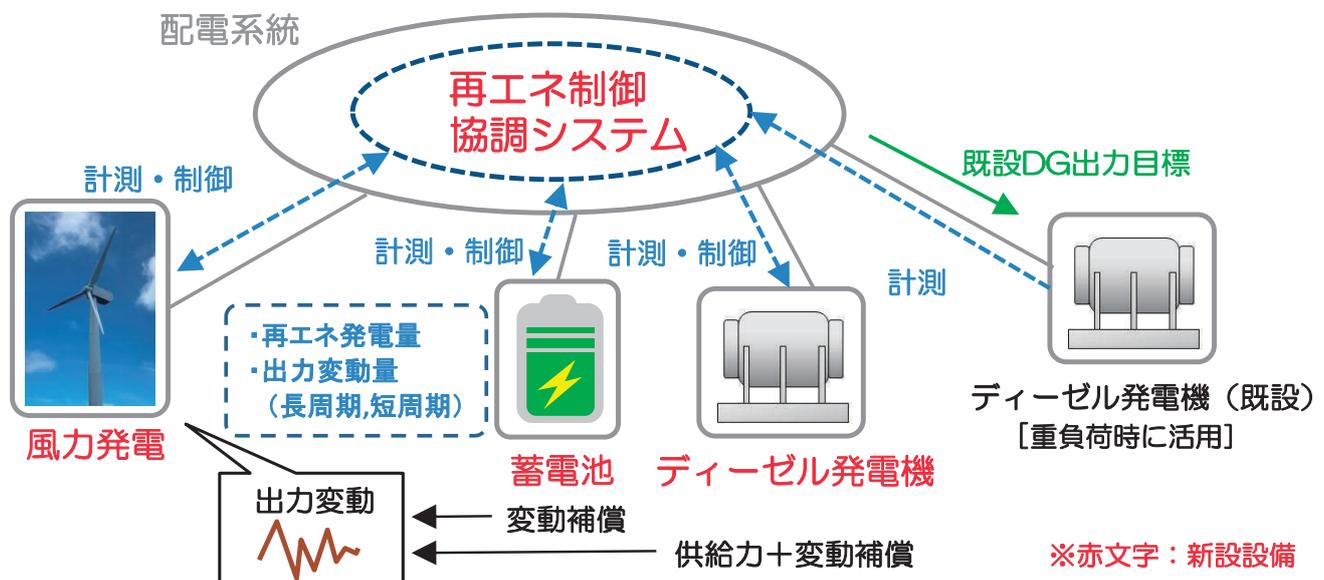


図1 ポーラーマイクログリッドシステム全体像

事業項目	平成30年度				平成31年度				平成32年度			
	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
① 基本設計, 詳細設計	■	■	■	■								
② 機器調達, 製作	■	■	■	■								
③ 土木建築・組立工事・調整		▽風車、データ収録装置			▽EMS, DG, BATT	■	■	■				
④ 実証運転									■	■	■	■
⑤ 実証データの評価, 報告											委託期間平成32年度2月まで	▽

図2 実証スケジュール

具体的な実証内容としては、極寒冷地での中型風力発電機の運用検証、およびディーゼル発電機（既設，新設）、蓄電池システムと組み合わせた再エネ制御協調システムを構築し、風力発電出力変動緩和対策ならびにエネルギー効率化効果の実証を行い、風力発電電力の最大活用による発電コスト（ディーゼル燃料費）の低減、ディーゼル発電機の更新による効率化（適正な運転台数，運転員の省力化：保守・メンテ費用軽減，極寒冷地で運用するポーラーマイクログリッドシステム全体の消費エネルギーの効率化を目指した保護対策）などの評価を行う。

実証事業後の普及については、ロシア極東地域においてティクシ市と同規模の需要1 MW～5 MW規模の本システム適用候補地域が100～200箇所あり、サハ共和国政府地域電力開発計画⁽²⁾から、本システムの導入が期待されている。

2.3 東光高岳の役割

本事業では三井物産株式会社は幹事企業として、ロシア側との窓口のほか、規制、市場調査、日本企業のロシア市場への参入アドバイス等を行い、株式会社駒井ハルテックは風力発電システムを構築する。

東光高岳は本実証の技術総括として、風力発電機の短

周期・長周期変動に対して、新しく導入するディーゼル発電機と蓄電池で系統安定化を図る再エネ制御協調システムの開発とその効果検証およびシステム面・電力供給信頼度の評価を行う（図2）。

そのため、従来から保有する計測・制御技術に加え、これまでの他実証成果を活かし、再生可能エネルギー導入時の電力品質を確保するための再エネ制御協調システムにより、極東地域における最適なエネルギー効率化システムの確立に貢献する。

■参考文献

- (1) “Energy Strategy of Russia, For the Period up to 2030 (2030年までのロシアのエネルギー政策)” ([http://www.energystrategy.ru/projects/docs/ES-2030_\(Eng\).pdf](http://www.energystrategy.ru/projects/docs/ES-2030_(Eng).pdf))
- (2) “НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ «АУЧНО-ТЕХ ОПТИМИЗАЦИИ локальной энергетики Республики Саха (Якутия) на 2016-2025 годы» (サハ共和国政府が策定した地域電力開発計画)”

■語句説明

注1) ロシア極東地域：ロシア極東連邦管区に属する地域であり、沿海地方、ハバロフスク地方、サハ共和国、アムール州、サハリン州、カムチャツカ地方、ユダヤ自治州、マガダン州、チュコト自治管区から構成。

過電流トリップ機構付センサ内蔵自動真空開閉器 【6 kV柱上用センサ内蔵自動真空開閉器】

1 開発経緯

現在、設備形成上、配電用変電所による OCR 検出不能線路の保護用開閉器には、既設の自動真空開閉器を改造修理した過電流トリップ機構付自動真空開閉器が使用されている。

改造修理した開閉器は、投入状態を維持するために電力を常時消費する「常時励磁方式」が採用されている。

これに対し、本開発品は、柱上用センサ内蔵自動開閉器で実績のある、投入・開放マグネットの動作にのみ電力を消費する「瞬時励磁方式」を採用した『低電力ロスを指向した構造』とした。

停電区間を最小限にするため、事故時に幹線開閉器にて開放するが、その開放時の過電流遮断を考慮し、遮断性能が優れている真空バルブを採用することとした。

さらに、今後は通信線の光化が進むため、センサ情報の活用を目的とし、センサ内蔵型を指向することとした。

2 開閉器の特長

本開発品は、高圧架空配電線路の電圧・電流を検出する機能を有し、自動区分および自動切替に使用でき、また、長亘長の配電線路では、末端側での短絡事故時は短絡地点までの線路インピーダンスが大きく、配電用変電所の保護リレーで事故を検出できないため、配電線途中の柱上に設置して自動遮断を行う。

3 開閉器の定格仕様

〈機器定格〉

- ・ 定格電圧：7,200 V
- ・ 定格電流：600 A
- ・ 定格短時間耐電流：12.5 kA 1 秒 1 回
- ・ 定格短絡投入電流：31.5 kA 3 回
- ・ 定格遮断電流：1,200 A
- ・ 定格負荷電流開閉回数：200 回
- ・ 種類：強化耐候型（汚損性能 0.35 mg/cm²）

〈センサ性能〉

- ・ 相電圧センサ精度 ±0.5%
- ・ 相電流および零相電流センサ精度 ±0.5%



図1 本開発品の外観

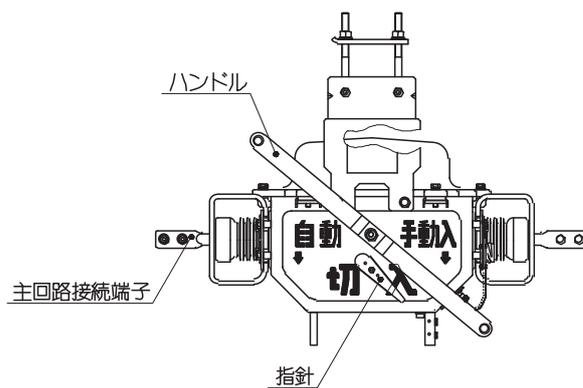


図2 正面図

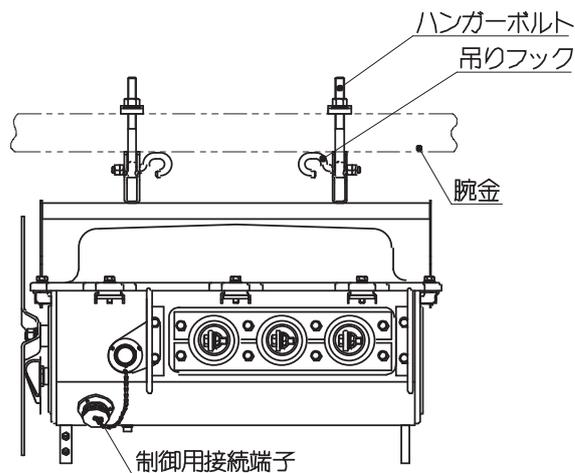


図3 側面図

過電流トリップ機構付センサ内蔵自動真空開閉器 【6 kV柱上用センサ内蔵自動真空開閉器用遠方制御器】

1 制御器の特長

本品は、高圧架空配電線の柱上に設置された、センサ内蔵自動真空開閉器（ITVS）の遠方監視制御および配電線系統情報の取得に使用する。また、配電線路において短絡事故時に変電所 CB にて保護不能となる箇所の電源側柱上に設置して自動遮断を行う。

従来は、配電線搬送方式の遠方制御器と組み合わせて使用することで状態監視、制御を行っていたが、現場運用の簡素化を目的として、光 / 搬送両方式対応センサ内蔵自動開閉器用遠方制御器（SC-D^{注1)}）を改良することとした。

2 過電流トリップ制御仕様

動作設定以上の過電流が順方向に、事故検出時限設定以上継続した場合、待機時間設定後、ITVS を開放する。

開放後、過電流が動作設定値以下であれば、X 時限カウントを開始し、X 時限カウント後、再投入（再閉路）する。



図 1 外観

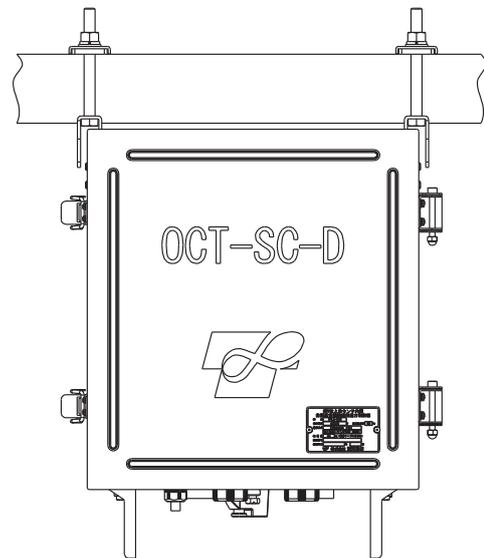


図 2 正面図

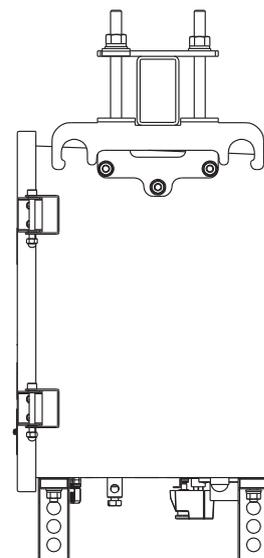


図 3 側面図

■ 語句説明

注 1) SC-D : (Automatic Switch Remote Controller with Dual Communication method)

光／搬送両方式対応 配電用自動電圧調整器用遠方制御器

1 概要

近年、配電用自動電圧調整器用遠方制御器 (SVRC^{注1)}) の需要が高まっていることに対し、東光高岳では使用部品の製造中止により生産が困難になっていた。そこで現在の配電用主力制御器である光／搬送両方式対応センサ内蔵自動開閉器用遠方制御器 (SC-D^{注2)}) をベースとした新規開発を行った。

また、今後の配電システムの光運用化を踏まえ、通信方式を従来の配電線搬送に加え、光通信との両方式に対応した。



図1 制御器外観

2 機能

開発した制御器の主な機能は表1のとおりである。

表1 制御器の主な機能

機能	概要
信号送受信機能	設定された通信方式により配電システムとの信号送受信を行う。
SVR 監視制御機能	SVR の状態把握、および SVR の素通し／自動操作を行う。
設定機能	SVR アドレスや制御器通信方式の設定が外部設定器により簡単確実に行える。
表示機能	装置異常や通信受信中の表示を外部より確認できる。

3 特長

- (1) SC-D と製造部品を共通化したことによる生産性の向上。
- (2) 装置異常を検出したとき、発呼により配電システムに即時通知を行う^{※1}。
- (3) 制御器動作の履歴を保存し、配電システムより取得することが可能。
- (4) 光通信ユニットおよび配電線搬送ユニットは SC-D との間で流用が可能^{※2}。

※1：光通信方式の設定時のみ対応。

※2：配電線搬送ユニットは東光高岳製のみ流用可能。

■ 語句説明

注1) SVRC：(Step Voltage Regulator Remote Controller)

注2) SC-D：(Automatic Switch Remote Controller with Dual Communication method)

北海道電力株式会社向けMT用複合変圧器

1 概要

本製品は、北海道電力株式会社管内の路上に設置される、気中多回路変圧器（通称：MT）内に収納する変圧器（MT用複合変圧器）である。

気中多回路変圧器は、収納箱の中に開閉器、変圧器が収納された機器で、今回は変圧器部分の開発を行った。

2018年度からの採用に向け、最終組み合わせ試験を実施している。

2 仕様

変圧器の定格を表1に示す。

表1 定格

定格容量		50+30 kVA	75+50 kVA
外形寸法	高さ	1,466 mm	1,606 mm
	幅	571 mm	571 mm
	奥行	567 mm	583 mm
定格電圧	一次	6,600 V	
	二次	210/105 V	
タップ電圧		F 6,750 V R 6,600 V	
結線		異容量V結線	
高圧保護装置		高圧カットアウト (限流ヒューズ内蔵)	

3 特長

主な特長は以下のとおりである（図1）。

- ・タンクの形状を従来の円筒形から角形へ変更し、変圧器を箱内に収納した際のデッドスペースを削減した。
- ・高圧ケーブルの末端をストレート端末からデッドエルボ端末へ変更し、変圧器を箱内にコンパクトに収納することが可能となった。
- ・低圧ブッシングの導体は2回路接続することが可能。



図1 機器外観

設備監視制御システム(MUDIC500V)

1 概要

東光高岳は、監視、制御、記録、伝送などにおける豊富な技術を活かし、一般電力需要家の電力設備をはじめ、工場付帯設備や下水処理などの設備分野に適用することのできる設備監視制御システム—MUDIC^{注1)}—を提供している。

この度、下水処理設備監視向けに最新のFAコンピュータを採用するとともに、機能強化を図ったのでここに紹介する。

2 機能

表1に主要監視制御機能一覧を示す。

今回、グラフィック設定機能および、帳票フォーマット作成機能を新規開発し、機能強化した。

3 特長

- (1) ハードウェアとして最新のFAコンピュータを採用し、基本OS^{注2)}にWindows Server 2016^{注3)}を採用した。
- (2) 監視制御機能を実現するためのデータは、従来、エンジニアリング機能で設備運用に必要なデータのみ、運用中も変更可能としていたが、グラフィック表示や帳票記録のフォーマットデータは、システムとは別のデータ設定ツールにより、メーカーにて変更していた。

この度、新たにグラフィック設定機能(図1)および帳票フォーマット作成機能(図2)を開発し、フィールド名称などの軽微な変更は、お客さま自身でシステム運用中に変更可能とした。

表1 主要監視制御機能一覧

機能項目	機能項目
警報監視機能	印字機能
故障監視	メッセージ記録
機器状態監視	帳票記録
上下限監視	ハードコピー
監視ロック	エンジニアリング機能
画面表示機能	名称関連設定
グラフィック表示	ポジション関連設定
メッセージ表示	表示関連設定
継続故障表示	帳票関連設定
状態/計測一覧表示	自動制御関連設定
トレンドグラフ表示	システム関連設定
帳票表示	グラフィック設定(新規)
統計グラフ表示	帳票フォーマット作成(新規)
制御機能	
手動操作	
デマンド監視制御	
力率監視制御	
スケジュール制御	

4 今後の予定

今後の予定として、付箋、札掛け機能など設備運転支援機能を中心に、さらなる機能拡充をはかる予定である。

■ 語句説明

注1) MUDIC : Multi Use Distributed Integration Computer control system

注2) OS : Operating System

注3) Windows Server 2016 は、Microsoft の商標。



図1 グラフィック設定機能画面

図2 帳票フォーマット作成機能画面

モールド生産ライン

1 背景

東光高岳では、高性能、高品質なエポキシ樹脂モールド変成器を40年以上も継続して生産しており、お客さまの信頼を得ている。

その生産を蓮田地区（埼玉県）にて行っているが、モールド生産ラインは、工場建屋の耐震性や注型設備の老朽化といった問題により、2015年度から生産ラインの再構築を進めてきた。

現在は、新たな生産ラインに移行し、モールド変成器の生産を行っている。

2 生産ライン概要

新しい生産ラインは、生産性向上を目的とした工場内レイアウトとし、さまざまなエポキシモールド変成器、成形品に対応する注型・生産ラインを導入している。

●コンパクトライン

部材搬入→巻線→注型→組立→検査→梱包までの工程を品種別に効率よく、かつコンパクトに配置

【一般向けモールド変成器】

- ・固形樹脂注型ライン
 - ・自動搬送、自動樹脂混合
- ・液状樹脂注型ライン
 - ・自動樹脂混合
 - ・バッチ式樹脂混合

【電力需用用 6 kV 計器用変圧変流器】

- ・自動加圧ゲル化法注型ライン
- ・VCT組立ライン

●作業環境改善

工場内室温の上昇を抑える対策

- ・注型炉、硬化炉などの熱源から各工程作業場を区分けするレイアウト
- ・誘引ファンの設置により工場内の熱気を排気

●スマート工場化

IoTツールを活用し、検査データを伝送・集積して情報の共有と活用を実施。FEMS（Factory Energy Management system）の導入により、生産設備、空調、照明の電力量を見える化により省エネを指向。

3 生産ラインの稼働状況



図1 固形樹脂注型ライン



図2 自動加圧ゲル化法注型ライン



図3 IoTツール活用事例

ネプコンジャパン2018

第19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 2018年1月17日～1月19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 E27-48

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。

同時に、自動車／産業用ロボット／ウェアラブル端末／IoT関連の展示会も併設されており、会場全体で3日間の来場者数は114,380名となり、前年より4,146名増と大盛況となった。

東光高岳ブースでは、商品の認知度アップと受注機会拡大を目的に、温度可変反り検査装置 HVI-8000-EC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き、50社以上からお問い合わせがあり、新しい市場の開拓と新規受注獲得に向けてフォロー活動を実施している。



図1 東光高岳ブース

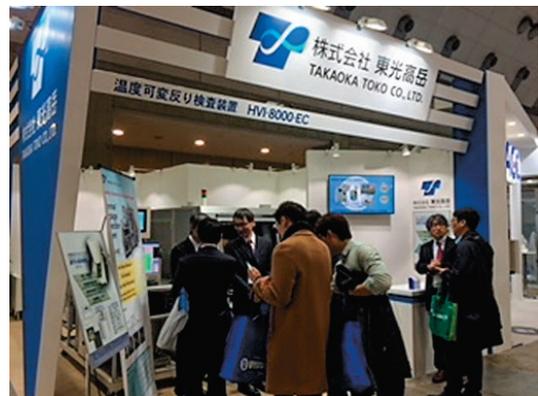


図2 来訪者対応

【出展品】



図3 温度可変反り検査装置 HVI-8000-EC

温度可変反り検査装置 HVI-8000-EC とは……

温度制御プロファイル(−55℃～220℃)を作成し、専用のトレイに載せられた基板を、多様な温度環境下で、高速・高精度に基板反り検査が可能。基板反り検査とともに、バンプ／ボール／LGAの高さや、その平坦度も同時に測定が可能。バンプ形状は、ラウンド／フラッタニングどちらも計測可能。

LGA : Land Grid Array