

## 電力・エネルギー環境のパラダイムシフトに対する スマートグリッド, EMS, IoT技術



岩本 伸一\*  
Shinichi Iwamoto

スマートグリッドと言う言葉が出現してから、既に数年が経過した。当初は、何をするのか曖昧なイメージが強かった。その後、わが国においては、東日本大震災での電力不足の影響を受け、需要家側も含めた電力運用が重要になり、スマートメーターの導入加速やデマンドレスポンスの検討が進められるようになってきた。電力不足解消や CO<sub>2</sub> 排出削減のために再生可能エネルギーの導入などが進められたが、太陽光発電の急増により発電量の制御や配電線の電圧制御も重要な課題となっている。

一方で、電力事業のあり方も大きく変わろうとしている。震災以降一気に電力の自由化の方向に舵が切れ、2015年4月には電力システム改革の第一弾である「広域的運用推進機関」が設立され、電力会社間の電力融通を推進する体制が整ってきた。さらに2016年には電力の小売自由化が始まる見通しであり、これまでとは全く違った新しいビジネスも立ち上がる可能性を秘めている。

電力・エネルギー業界はもとより、通信事業者、ICT事業者、さらには家電、住宅、自動車などに至る、広範囲にわたって様々なプレーヤーが競うように参画し、新たなビジネス・サービスが展開される一方、再生可能エネルギーの大量導入や新電力の台頭により、電力・エネルギーが双方向に運用されるようになり、安定供給・持続可能性の観点では、情報通信との融合、IoT (Internet of Things) の活用などが重要になり、それらの研究開発や運用上の課題抽出・解決が今後ますます求められるであろう。

スマートグリッドで重要なのは、これまで長年扱われてきた電力の系統制御に、情報通信、IoTと言ったデジタルによる新しい制御をいかに組合せるか、融合させるか、リアルタイム性を持たせるかである。

このような電力・エネルギー環境のパラダイムシフトに対して、発電や送配電、スマートメーターに至るまでのサプライサイドにおけるトータルの電力流通インフラ製品や、デマンドサイドにおけるEMS関連製品、それらをつなぐ通信技術・M2M (Machine to Machine) と言った製品・技術をトータルのサポートするとともに、進化を続けるべく取り組んでおられる、会社統合から2年目に突入した株式会社東光高岳が、スマートグリッドそのものを支え、継続的な安定供給、持続的かつ経済効率性に果たす社会的役割は大きい。また、株式会社東光高岳が得意とする「計測」、「伝送」、「制御」技術は、まさにこれからの電力・エネルギーを支える要であり、それらへの永続的な貢献に大いに期待したい。

\*早稲田大学 先進理工学部 教授

# 電力系統出力変動対応技術研究開発事業への参画

## 1 はじめに

東日本大震災以降、我が国のエネルギー政策は根本から見直されることとなり、再生可能エネルギーに対する国民の期待はこれまでにないほどに高まっている。

天候の変化に伴い出力が変動する風力発電や太陽光発電等の再生可能エネルギー電源を大量に電力系統に連系すると、電力品質等、需給運用上の技術的な問題が発生することが予想される。再生可能エネルギーを最大限に活用するためには、天候の変化による出力変動を予測、制御するなどによって電力系統への影響を低減する必要がある。そのため、シミュレーションによる電力系統の安定運用に資する技術開発を行うとともに、実際の電力系統における実証を行い、需給運用面の課題を解決していくことが重要である。

東光高岳は、これらの研究開発事業を行うた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（以下、NEDO）が公募した「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」<sup>(1)(2)</sup>の委託事業者として、NEDOより業務委託契約を締結した7法人（再委託事業者を含めて14法人）とともに参画し、図1に示す体制で2014年6月から2019年3月までの5年間で研究開発を推進する。

本事業においては、電力の需給運用に影響を与える風力発電の急激な出力変動（以下、ランプ）に着目し、ランプ予測技術、風力制御技術や蓄エネルギー制御技術（以下、出力変動制御技術）を確立する。また、再生可能エネルギーが電力系統に大量導入された2030年頃を見据え、余剰電力の発生、周波数調整力不足などの技術的課題とその課題解決策を明らかにするために、ランプ予測技術や出力変動制御技術を考慮した需給シミュレーションシステムを開発し、実際の電力系統にて課題解決策の実証を行う。

本稿では、本事業の概要と東光高岳としての取組みについて紹介する。

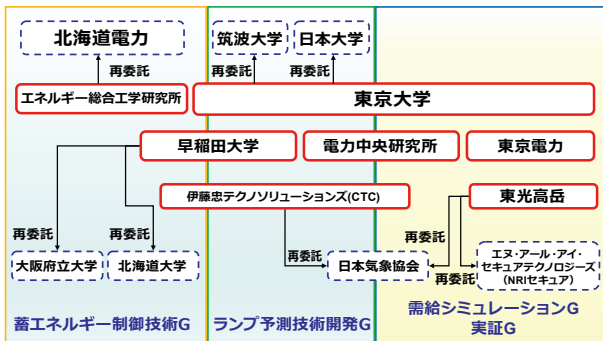


図1 研究開発体制

## 2 研究項目

### 2.1 ランプ予測技術／出力制御技術

現行の予測モデルにおけるランプ予測の問題点を明確にするため、風力発電と気象のモニタリングを行うとともに、各種予測手法のアプローチにおけるベンチマークテストを実施し、ランプ現象の発生要因をパターン化し、それぞれの精度を解析する。また海外では、複数の予測モデルを使用することで予測精度を向上させていることから、気象や風況、統計などさまざまなアプローチからランプ予測モデルを開発する。開発した複数のランプ予測モデルの実証試験を行い、予測の信頼性評価・モデル改良を行うことで、実際の需給運用においても利用可能な予測精度を達成する。

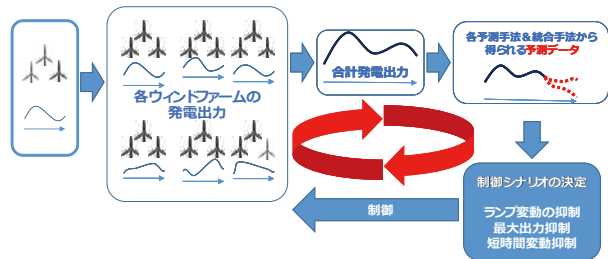


図2 ランプ予測技術の開発とウィンドファーム制御の高度化

### 2.2 風力制御技術／蓄エネルギー制御技術開発

再生可能エネルギーの大量導入を実現するためには、系統側の出力変動対策だけでなく、発電側も出力変動対策に取り組む必要がある。予測情報を活用した蓄エネルギー制御技術や風車ピッチ角の先行制御、複数ウィンドファームの協調制御など、実用化コストを踏まえた風力制御技術と蓄エネルギー風車制御技術と制御技術蓄エネルギー制御技術を開発する。出力変動の緩和によって電力系統への影響を低減させるとともに、予測誤差を補正することで再生可能エネルギーの計画発電を目指す。

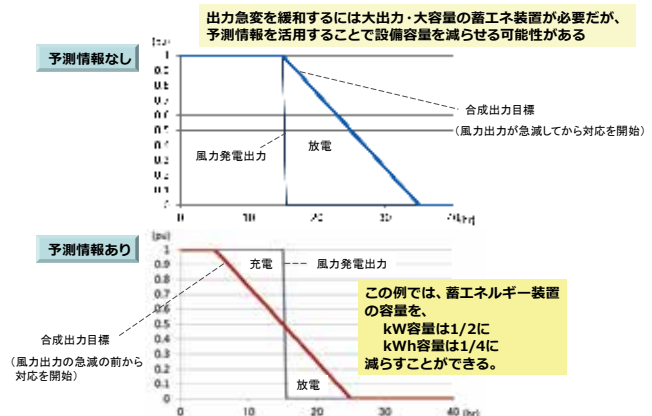


図3 予測情報を利用した制御の概念例

### 2.3 需給シミュレーションシステム開発

大量の再生可能エネルギーの系統連系の可能性を検討するために、風力発電のランプ予測技術と出力変動制御技術に加え、先行のプロジェクトの成果である太陽光発電出力予測や蓄電池等を活用した系統安定化技術、調整電源・蓄エネルギーの最適な運用手法等によって、連系制約の改善や複雑な多地域連系系統での評価が可能となる需給シミュレーションシステムを開発する。

解析技術、実証試験の推進における風力発電設備、太陽光発電設備、蓄電池設備、蓄熱設備等を監視制御する統合制御システムと情報通信ネットワークシステム等の研究開発を行うとともに、各設備の制御技術・運用技術・保守技術を活用し、安定的な電力システムを構築する。

今後は、再生可能エネルギーを最大限に活用できるシステムの設計・運用・保守に関するコンサルティング、需給運用制御システムサービスなどの提供を目指す。

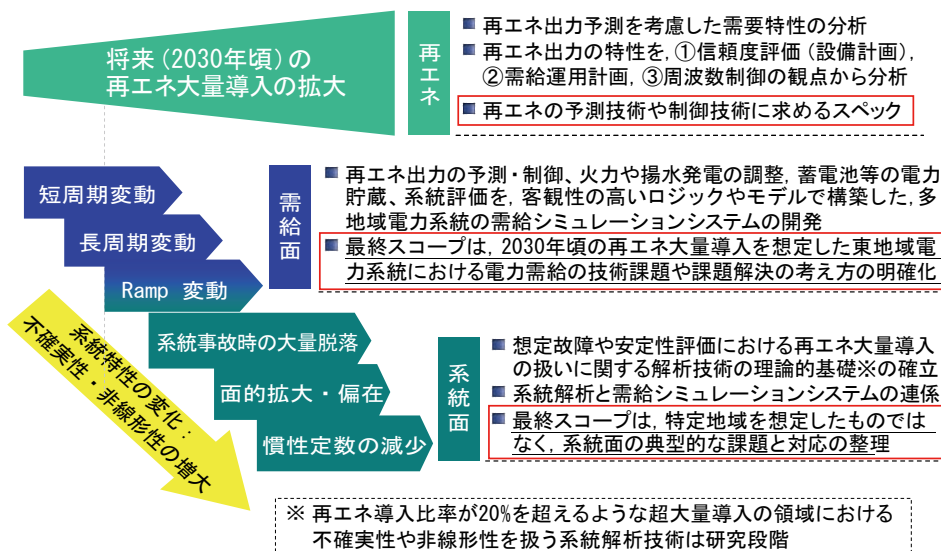


図4 需給シミュレーションシステム開発スコープ

### 2.4 実証試験

東京都新島村の電力系統を実証フィールドとして、系統運用者による、風力発電および太陽光発電の出力予測、出力制御・抑制、既存電源および蓄電池等の蓄エネルギーとの協調運用制御等により、再生可能エネルギーを最大限受け入れ可能な系統システムを構築し、実証する。

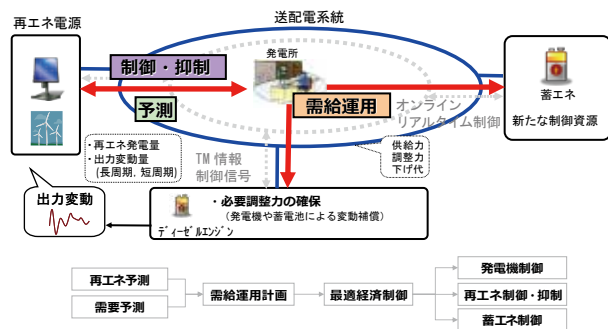


図5 実証の概要



図6 設備設置イメージ図

## 3 東光高岳としての取組

東光高岳は、前述のランプ予測技術および蓄エネルギー制御技術を活用するとともに、需給シミュレーションシステム開発と実証試験の推進を担うことで、政府が掲げる再生可能エネルギー導入目標の達成に寄与する。

更には、シミュレーションシステム開発により得られた

### ■参考文献

- (1) NEDO「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」基本計画および26年度実施方針  
[http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100069.html](http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100069.html)
- (2) 「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」の実施について  
<http://www.tktk.co.jp/uploads/2014/06/nr20140612.pdf>

# 配電システムの電圧適正化に向けた取組み

■ 茂木 規行  
Noriyuki Motegi

■ 村下 直久  
Naohisa Murashita

■ 宮本 卓也  
Takuya Miyamoto

## 1 はじめに

地球環境問題や省エネルギーに対する意識の高まりを背景に、国内外で太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの普及拡大に向けた取り組みがなされている。とりわけ日本では、再生可能エネルギー固定価格買取制度 (FIT: Feed In Tariff) の施行を契機として、配電システムへの太陽光発電の大量分散導入が進んでいる。

配電システムへの分散型電源の大量導入により、さまざまな系統安定上の問題が発生することが、多くの研究会などで報告されている。中でも電圧上昇は、比較的早期に顕在化する課題であると考えられている<sup>(1)</sup>。

例えば、太陽光発電の配電線への逆潮流<sup>(注1)</sup>により、配電線の電圧が適正範囲の上限管理値を逸脱する場合がある。この対策として、電圧調整機器の設置などが考えられているが<sup>(2)</sup>、後述するように制御上の課題もあることから、配電システムの電圧調整の高度化が必要となる。

東光高岳では、配電システムの電圧調整機器 (負荷時タップ切換変圧器 (以下、LRT)、ステップ式電圧調整器 (以下、SVR) など)、各種制御技術を駆使したシステムなどを製品化しており、電圧調整面での多岐にわたる技術を蓄積している。また、小山事業所に「配電ネットワーク実証試験場」を開設し、電圧調整問題に取り組んでいる<sup>(3)</sup>。

本稿では、配電システムの電圧適正化手法の一つである「集中電圧制御」について、東光高岳の取組みの概要と、配電ネットワーク実証試験場を活用した検証例を紹介する。

## 2 従来の電圧制御の課題と対策

### 2.1 従来の電圧調整機器の電圧制御方法

現在の配電システムの電圧制御方法として、電圧調整機器を設置した箇所の電圧・電流情報を用いて、電圧を管理したい目標地点 (負荷中心点) の電圧を推定し、その地点の電圧が適正範囲となるようにLRTやSVRのタップを制御する「自端電圧制御」が広く普及している。この負荷中心点の電圧は、配電システムに太陽光発電などの分散型電源が無く、負荷のみが接続されたものとして推定している。

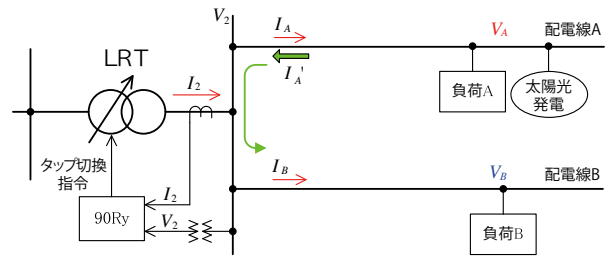
### 2.2 従来の電圧制御方法における課題

図1 (a) は、配電線Aに負荷および太陽光発電が、配電線Bに負荷のみが接続され、LRTによりこれらの配電線の電圧調整を行う状況を示している。LRTは、負荷中心点に

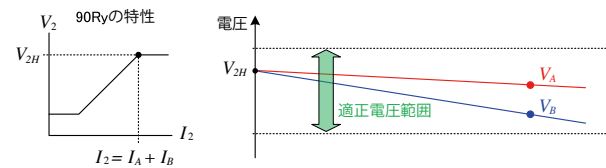
相当する地点までの電圧降下を補償するため、電圧調整リレー (以下、90Ry) の特性に従い、LRT設置点の電流 $I_2$ の大きさに応じて設置点の電圧 $V_2$ を調整している。

いま、配電線Aの太陽光発電の発電量がゼロの場合 (従来の配電線)、図1 (b) のように、90Ry特性に従いLRT設置点の電圧 $V_2$ を $V_{2H}$ に調整することで、配電線Aおよび配電線Bの電圧 $V_A$ 、 $V_B$ を適正範囲に維持している。

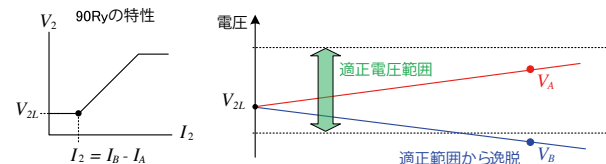
しかし、配電線Aの太陽光発電の発電量が多く、配電線Aから配電線Bへ電力が供給される場合、LRTからの供給電力は減少し、設置点の電流 $I_2$ は小さくなる。そのため、図1 (c) のように、90Ryの特性に従いLRT設置点の電圧 $V_2$ を $V_{2L}$ に下げることとなり、配電線Bの電圧 $V_B$ が適正範囲を下回る可能性がある<sup>(4)</sup>。



(a) 配電系統の例



(b) 負荷A=大, 太陽光発電量=0 の場合



(c) 負荷A=0, 太陽光発電量=大 の場合

図1 LRTの電圧制御方法

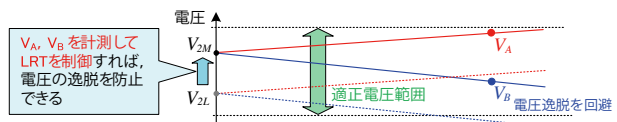


図2 配電線の計測電圧に基づく電圧制御のイメージ

この対策として、図2に示すように、配電線の電圧 $V_A$ 、 $V_B$ を直接計測して、両者の電圧が適正範囲となるようにLRTを制御するなどの方法が必要となる。

なお、SVRについても、LRTと同様に、設置点の電流と電圧から負荷中心点の電圧を推定している。SVR二次側の配電線に負荷および太陽光発電が接続された場合、SVR設置点の電流の変化が、負荷変動か太陽光発電によるものかを判断できず、負荷中心点の推定電圧と実際の電圧とで相違が生じてしまう課題があり、対策が必要となる<sup>(4)</sup>。

### 2.3 集中電圧制御による対策

上記は配電線の回線数が少ない場合であるが、実際には7~8回線程度ある。それらに太陽光発電や負荷が混在することになると、電圧調整機器による電圧推定はさらに難しくなり、自端電圧制御だけでは、すべての配電線の電圧を適正範囲に維持することは困難となることが想定される。

また、LRTと複数のSVRが設置される場合には、ハンチング<sup>(注2)</sup>の防止等の観点から、これらの電圧調整機器間の制御の協調を図る必要があるなどの課題がある。

これらの対策として、集中電圧制御による電圧調整の高度化が提案されている<sup>(5)</sup>。本方式は、前述したように、管理したい地点の電圧情報を直接計測し、それをを用いて電圧調整機器の制御を行うことを基本とした手法である。

配電システム内に設置されたセンサ付開閉器から、通信ネットワークを経由して電圧、電流などの計測情報を中央の親局にリアルタイムで取り込む「集中電圧制御システム」を構築することで、最新の系統構成や状態を把握することが可能となる。もし、電圧調整の必要な地点があると判断した場合、系統内に配置された電圧調整機器に対して、親局から遠方タップ制御指令を出力することで、配電システム全体の電圧管理を一括して行うことができる。

## 3 集中電圧制御システムの開発

東光高岳は、集中電圧制御に関する知見の取得および性能評価を目的として、集中電圧制御システムの検討、試作器の開発を進めている。

検討した集中電圧制御システムの概要を以下に示す。

### 3.1 システム構成

集中電圧制御システムの基本構成を図3に示す。

LRT、SVRおよびセンサ付開閉器の各機器と、それらの制御子局、ならびに電圧制御処理フローを備えた集中電圧制御装置（親局）から構成される。

### 3.2 処理フロー

集中電圧制御システムの処理のフローを図4に示す<sup>(4)</sup>。

### 3.3 機能および処理

代表的な機能および処理の概要を以下に示す。

#### (1) 収集データ

集中電圧制御システムの収集データの主な項目を表1

表1 主な収集データ

種類	項目
機器状態データ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LRT二次側母線回路状態、配電線遮断器状態</li> <li>・センサ付開閉器状態</li> <li>・LRT、SVR制御権（遠方／直接）</li> <li>・LRT、SVRタップ位置</li> <li>・装置異常の有無</li> <li>・保護リレー状態</li> </ul>
計測データ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LRT二次側母線電圧</li> <li>・センサ付開閉器一次、二次電圧</li> <li>・SVR一次、二次電圧</li> </ul>

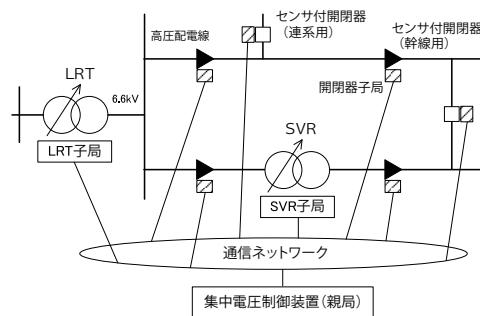


図3 集中電圧制御システムの基本構成

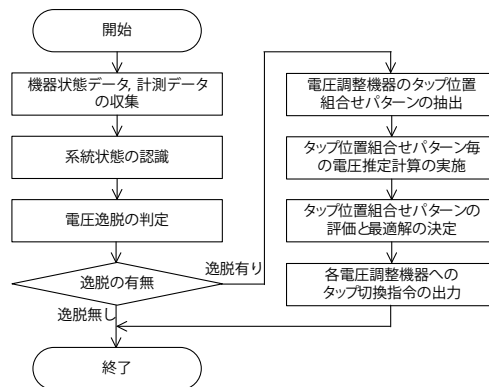


図4 集中電圧制御システムの電圧制御処理のフロー

に示す。データの収集周期は任意に設定可能である。

#### (2) 電圧逸脱の判定

計測点毎に基準電圧値と電圧管理値（上限電圧、下限電圧）を設定し、電圧逸脱の判定を行う。

電圧逸脱判定は、収集した各計測点の電圧と当該計測点の電圧管理値を比較し、上限電圧または下限電圧からの逸脱量を積分し、所定値を超えた場合に電圧逸脱「有」とする方式とする。

#### (3) タップ位置組合せパターンの抽出

電圧逸脱「有」の判定後、電圧調整機器のタップ位置組合せパターンを抽出する。各機器の現在タップ位置を基準として、可変するタップ数を与え、可変範囲の全ての組合せを抽出する。

#### (4) 電圧推定計算の実施

電圧調整機器のタップ位置組合せパターン毎に、各計測点の電圧推定計算を実行する。計算は、機器のタップ位置の

変更によって生じる各計測点の電圧変化分を求め、その変化分を電圧逸脱判定時の計測電圧値に加算して行う。

(5) 評価と最適解の決定

電圧調整機器のタップ位置組合せパターン毎に計算した各計測点の推定電圧に対し、電圧適正化の観点から各パターンの評価を行い、機器に指令するタップ位置(最適解)を決定する。評価方法は、電圧管理値からの逸脱量、および基準値との偏差が最小となるパターンを選択することとし、(1)式により評価値Fを計算し、Fが最小となるパターンを最適解とする。

$$F = \sum_{x=1}^n (a\varepsilon_x + \eta_x) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、

$$\varepsilon_x = \begin{cases} (V_x - V_{x\max})^2 & : V_x > V_{x\max} \text{ の場合} \\ 0 & : V_{x\min} \leq V_x \leq V_{x\max} \text{ の場合} \\ (V_x - V_{x\min})^2 & : V_x < V_{x\min} \text{ の場合} \end{cases}$$

$$\eta_x = (V_x - V_{xs})^2$$

- $V_x$  : 計測点xの電圧
- $V_{x\max}$  : 計測点xの電圧管理値上限
- $V_{x\min}$  : 計測点xの電圧管理値下限
- $n$  : 計測点の総数
- $V_{xs}$  : 計測点xの基準電圧値
- $a$  : 重みの係数

4 実証試験場での機能検証

前項で検討した集中電圧制御システムを、小山事業所の配電ネットワーク実証試験場内に構築し、機能検証を進めている。集中電圧制御システム検証時の構成を図5に示す。

実証試験場は、1バンク2配電線の回路構成であり、LRT(模擬)1台、SVR 2台、センサ付開閉器 14 台を備え、各機器は子局を介して通信ネットワークに接続されている。

また、最大約 10km の線路こう長を模擬できる線路模擬装置を配備しており、負荷(工場実負荷、模擬負荷)、太陽光発電、コンデンサ、蓄電池などの装置を活用することにより、配電線の電圧変動を模擬することが可能である。

集中電圧制御装置(親局)は試験場内の監視制御室に設置し、センサ付開閉器の計測電圧値などを一定周期で収集するとともに、制御設定に応じてLRTとSVRにタップ制御指令を出力する。

電圧調整機器のタップ位置最適化処理の妥当性確認を目的として、コンデンサ(200kvar×2台)を投入し、線路上に電圧上昇を発生させたときの制御の様相を、図6に示す。

コンデンサの投入で電圧が上昇し、計測点の電圧は管理値上限から逸脱する。集中電圧制御システムは、一定周期(本試験では1分)で計測点の電圧を監視し、電圧逸脱「有」と判定すると、3章で述べた各種最適化処理を行い、適正電圧となるようにLRTとSVRのタップを制御する。

図6のタップ位置の組合せパターンに示した、評価値Fが最小となるタップ位置組合せが最適パターンであるが、機器の実器においても、LRTが降圧方向に2段(タップ3→1)、SVR\_Aが降圧方向に1段(タップ3→2)、SVR\_Bが昇圧方向に1段(タップ4→5)のタップ切り換えが発生しており、最適解のとおり動作していることが分かる。

ここで、SVR\_Aが降圧するのは、LRTの降圧のみでは、試験線Aの線路末端の計測点電圧(IT25)が、電圧管理値の上限を逸脱するためである。また、SVR\_Bが昇圧するのは、LRTの降圧により試験線Bの計測点電圧(IT22、IT24)が、電圧管理値の下限に近いため、電圧偏差を最小化するためである。

また、集中電圧制御システムによる電圧調整の例を図7に示す。これは、電圧管理値を全ての計測点で6.5～6.7kVに設定したケースである。

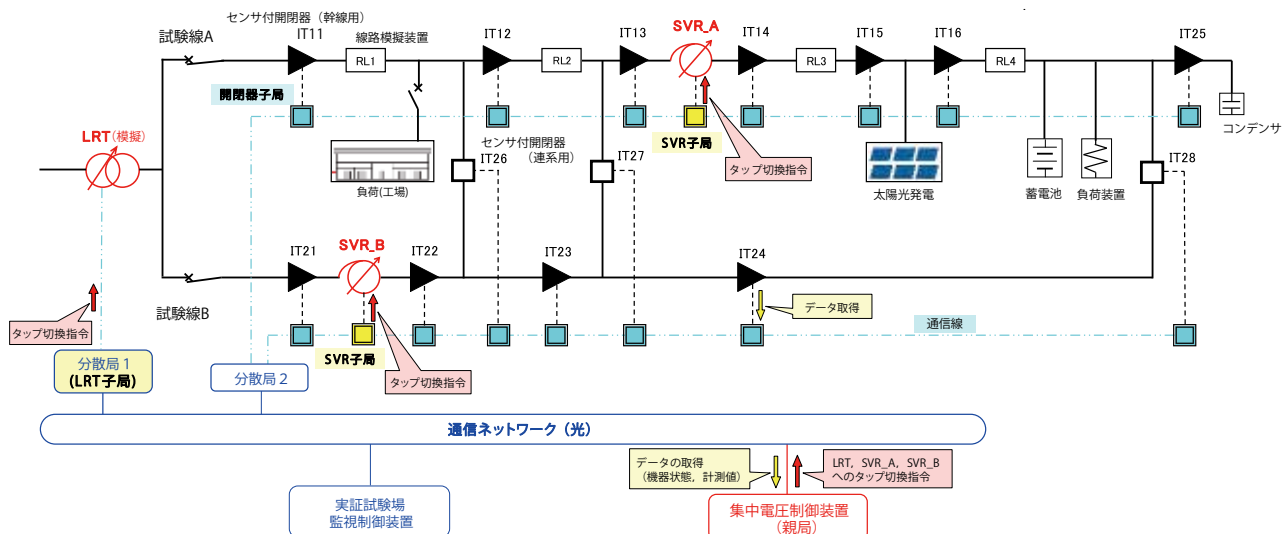


図5 集中電圧制御システムの検証時の構成

線路には、太陽光発電や蓄電池の出力による逆潮流が生じているが、電圧管理値上限または下限に対して計測点の電圧が逸脱すると、これを回避する方向に電圧が適正に調整されていることが分かる。

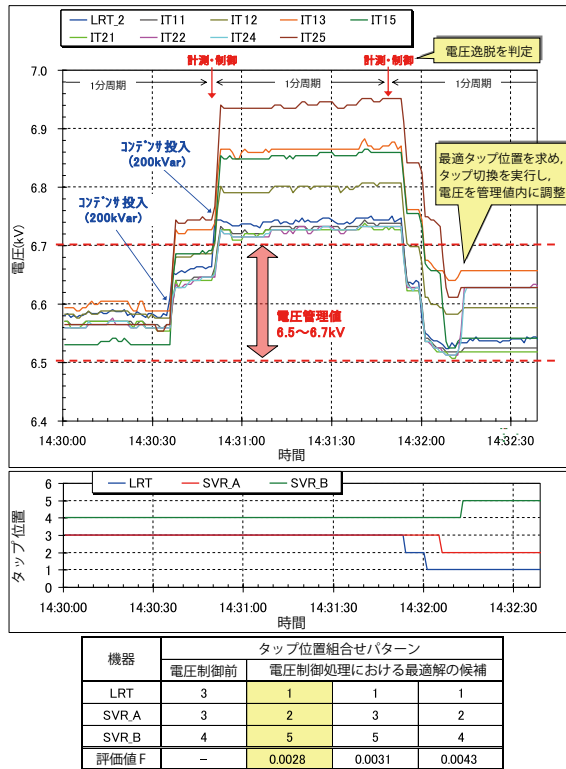


図6 集中電圧制御の様相とタップ位置組合せ評価例

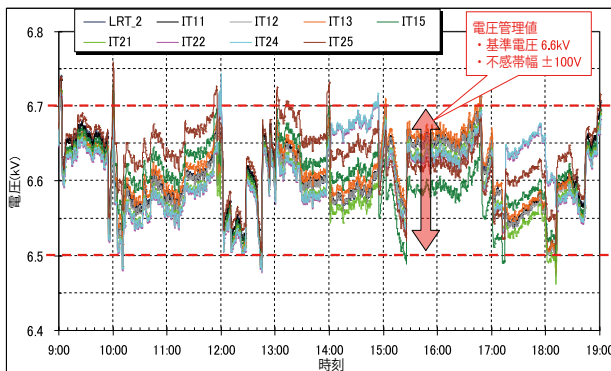


図7 集中電圧制御システムによる電圧調整の例

## 5 おわりに

本稿では、将来の分散型電源の大量導入時に活用が期待される集中電圧制御について、東光高岳における開発の取り組みと、配電ネットワーク実証試験場を使用した検証例を紹介した。

今後は、タップ切戻回数と電圧管理値からの余裕量を考慮した制御手法の検討や、工場実負荷と太陽光発電な

どを活用した性能検証を行い、集中電圧制御システムの確立と、それらに対応した電圧調整機器などの開発につなげる所存である。

## 参考文献

- (1) 経済産業省次世代送配電ネットワーク研究会：「低炭素社会実現のための次世代配電ネットワークの構築に向けて」(2010)
- (2) 草川他：「配電システムの電圧適正化に向けたソリューション」, 高岳レビュー, Vol.56, No.175, p.6-11 (2011)
- (3) 茂木：「配電ネットワーク実証試験場」, 高岳レビュー, Vol.56, No.175, p.19-23 (2011)
- (4) 電気協同研究会：「低炭素社会の実現に向けた配電システムの高度化」, 電気協同研究, 第66巻, 第2号 (2011)
- (5) 吉永他：「配電システムにおける集中型電圧制御方式の開発」, 平成16年電気学会電力・エネルギー部門大会予稿集, 30 (2004)

## 語句説明

注1) 逆潮流：分散型電源の発電量が設置箇所の需要を上回ることで、上位の電力システムにその余剰となる電力が流れ込み、通常の負荷への電力供給（順潮流）とは逆方向の電力の流れになること。

注2) ハンチング：制御対象が目標値の上下を往復し、制御が安定しない現象。SVRの場合、上位のLRTやSVRの電圧制御の影響で、当該SVRに本来不要であるタップ切戻が繰り返し発生することを言う。



### 茂木 規行

技術開発本部 技術研究所  
プロジェクト推進グループ 所属  
次世代配電ネットワークに関する研究・開発に従事



### 村下 直久

技術開発本部 技術研究所  
プロジェクト推進グループ  
兼 スマートグリッド事業推進部  
スマートグリッドシステム設計グループ 所属  
次世代配電ネットワークおよびスマートグリッドに関する研究・開発に従事



### 宮本 卓也

技術開発本部 技術研究所  
プロジェクト推進グループ 所属  
次世代配電ネットワークに関する研究・開発に従事

# 30kW 共振形交直双方向変換器

土井 佑太  
Yuta Doi

鈴木 健司  
Takeshi Suzuki

## 1 はじめに

近年、地球温暖化問題や省エネルギーへの関心が高まっており、太陽光発電に代表される再生可能エネルギーが普及してきている。中でも、太陽光発電の急速な普及拡大に伴い、太陽電池により発電された直流電力を交流電力に変換し配電系統に供給するPCS (Power Conditioning System) には、小型化、低騒音化、高効率化、軽量化等が要求される。これらの要求に対して、絶縁変圧器及び、フィルタリアクトルを高周波駆動する方法が各種提案されており、高周波駆動のためにはPCS内のスイッチング素子の高周波化が必要となる。しかし、スイッチング時に電圧電流が同時にステップ状に変化する従来のスイッチング方式 (ハードスイッチング方式) では、スイッチングに伴う損失が大きいため、高周波化に限界がある。このことから、電圧または電流がゼロの状態ですwitchingさせ、損失を低減する新たなスイッチング方式 (ソフトスイッチング方式) が採用されつつある<sup>(1)</sup>。しかしながら、ソフトスイッチング方式の中容量器 (10kW~100kW) 以上への適用例はまだ少ない。

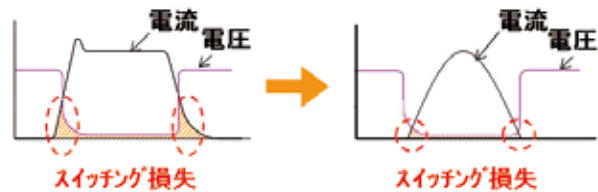
東光高岳では、このソフトスイッチング方式を中容量のPCSで採用することを狙って、交流⇒直流及び直流⇒交流の双方向で利用可能な交直双方向変換器の30kW評価器を製作し、性能を確認した。この評価器では、交直双方向変換器の高周波リンク部に直列LC回路を付加した電流共振回路を採用してソフトスイッチングとした。また、高効率化のため、スイッチング素子の一部にSiC-MOSFET<sup>(2)</sup>を採用した。本評価器の最大効率は、従来の交直双方向変換器では最大効率88%程度、すなわち損失12%であるため、この損失を30%低減し、92%を超えることを目標とした。以下に概要を説明する。

## 2 高効率化技術

### 2.1 ソフトスイッチング方式

ハードスイッチング方式では、図1(a)に示すようにスイッチング時の電圧及び電流の波形が重なる部分がスイッチング損失となる。一方、ソフトスイッチング方式では、図1(b)のように電流を正弦波として、電圧と電流の波形が重なる時間を最小にすることにより、スイッチング損失を低減する (図例はZCS: Zero Current Switching)。

スイッチング損失はスイッチング周波数に比例するため、高周波化にはソフトスイッチングが適している。



(a)ハードスイッチング (b)ソフトスイッチング

図1 スwitching損失比較

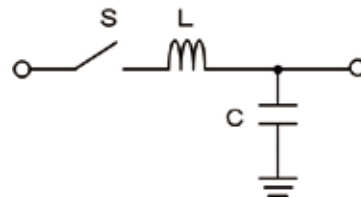


図2 電流共振スイッチ構成

評価器に適用するソフトスイッチング方式の共振形には、電圧共振を用いるZVS (Zero Voltage Switching) と電流共振を用いるZCSがある。電流共振スイッチの構成を図2に示す<sup>(2)</sup>。スイッチSと直列にリアクトルLとコンデンサCを接続して共振回路を構成する。スイッチSに流れる電流を正弦波電流にし、電流が0になる点でスイッチングすることにより、ゼロ電流スイッチングを行う。

### 2.2 SiC素子

SiC (シリコンカーバイド) はSi (シリコン) を用いたスイッチング素子と比較して、理論的には、絶縁破壊電界が10倍であるため耐圧絶縁領域厚さを1/10にでき、オン抵抗、定常損失が小さいといった特長をもつSi-MOSFETとSiC-MOSFETの構造比較を図3に示す<sup>(3)</sup>。

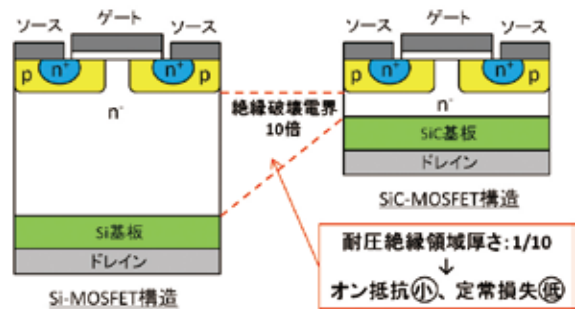


図3 SiとSiCの構造比較



### 3 30kW共振形交直双方向変換器

#### 3.1 評価器構成

評価器である30kW共振形交直双方向変換器の構成を図4に示す。この装置は、直流⇒交流の変換（回生運転）<sup>注2)</sup>と、交流⇒直流の変換（力行運転）<sup>注3)</sup>が可能な双方向変換器である。交直変換を行う主回路、スイッチなどの入出力信号を制御する制御回路、運転状態を計測する計測回路及び操作、計測表示を行うPCで構成される。操作は、ボタンスイッチにより装置の運転/停止を行い、タッチパネル式モニターで出力電流及び電圧の設定を行う。主回路は、昇降圧チョップ回路、双方向共振形高周波リンク回路、双方向交直変換回路の三回路で構成する。

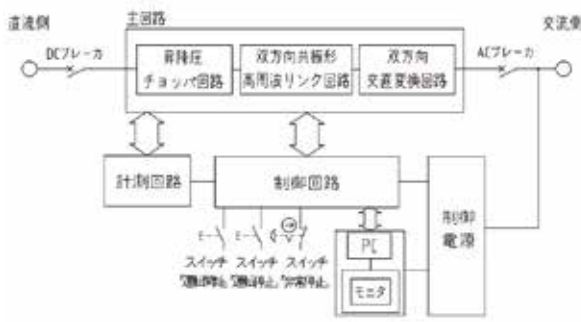


図4 評価器構成図



図5 評価器外形写真

各運転動作の流れを次に示す。

○回生運転：

- 直流入力→昇圧チョップ回路にて電圧上昇
- 共振形高周波リンク回路にて変圧，絶縁
- インバータにて直流を交流に変換→交流出力

○力行運転：

- 交流入力→整流回路にて交流を直流に変換
- 共振形高周波リンクにて変圧，絶縁
- 降圧チョップ回路にて電圧下降→直流出力

今回の評価器の外形写真 (W800mm×D700mm×H1730mm) を図5に、制御モニタの一面面を図6に示す。制御モニタは、出力電流制御、出力電圧制御、動作モード切替え及び、各部電圧電流の計測表示を実施する。評価器の主な仕様を表1に示す。

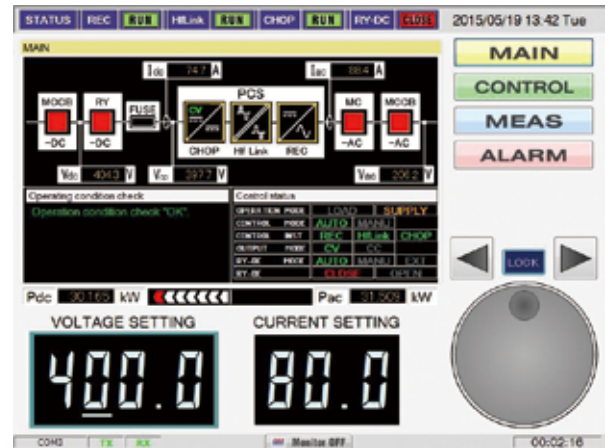


図6 制御モニタ

表1 評価器仕様

仕様項目	直流側	交流側
定格電力	30kW	33kW
定格電圧	50～600V	3相 200V (180～220V)
定格電流	0～90A	0～95.3A
高周波リンク部電圧	750V	400V
周波数	-	50/60Hz
スイッチング周波数：16.2 kHz		

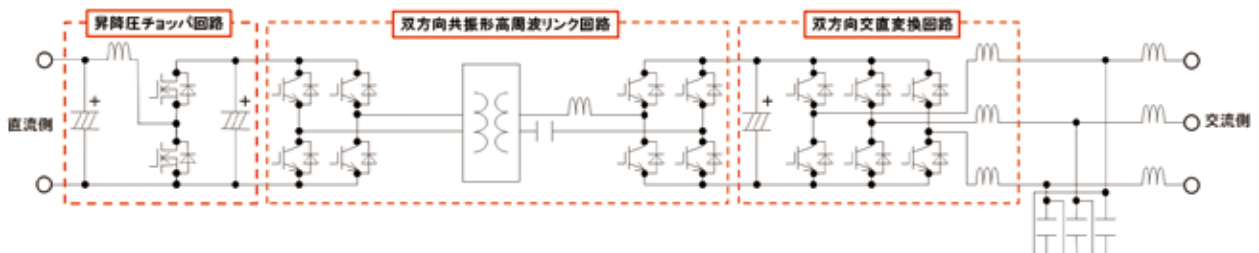


図7 主回路図

### 3.2 主回路の特長

主回路を図7に示す。主回路の各回路について説明する。

#### (1)昇降圧チョッパ回路

チョッパ回路は、直流電圧の変換を行う直流/直流変換回路であり、太陽光発電用PCSの入力段には昇圧チョッパが広く利用されている。

評価器では、双方向のチョッパ回路により、回生運転時は昇圧チョッパ、力行運転時は降圧チョッパとして動作する。スイッチングデバイスにはSiC-MOSFETを使用した1200V-180A-2in1のフルSiCパワーモジュールを採用し、スナバレス構造とした。このスナバレス構造は、損失低減の利点をもつ。

#### (2)双方向共振形高周波リンク回路

高周波リンク回路は、直流電力を高周波電力に変換し、変圧器で絶縁する回路である。電力変換回路の直列数は増加するが、高周波化により絶縁用の変圧器やフィルタ回路の小型化・軽量化が可能であるという利点をもつ。

評価器では、この電力変換の部分に共振形(ZCS方式)を適用した。絶縁トランスと直列LC回路により共振回路を構成してスイッチング電流を正弦波にし、電流ゼロ点でスイッチングさせることでスイッチング損失を低減する。本回路においてもスナバレス構造である。スイッチングデバイスは1200V-200A-2in1のIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) を使用した。

#### (3)双方向交直変換回路 (インバータ/整流回路)

双方向交直変換回路は、インバータと整流回路の両方の機能を持った回路である。

評価器では従来回路を使用し、回生運転ではインバータ、力行運転では整流回路として動作する。本回路もスナバレス構造である。スイッチングデバイスは3相600V-300A-6in1のIPM<sup>注4)</sup>を使用した。

## 4 動作結果

### 4.1 共振形によるスイッチング特性

30kW共振形双方向交直変換器において、力行運転、回生運転ともに定格での運転を確認できた。共振形によるスイッチング特性の評価では、定格運転時の高周波リンク回路の電圧・電流波形を測定し、スイッチング時の特性が最適となるように回路定数、スイッチングのタイミングを調整した。

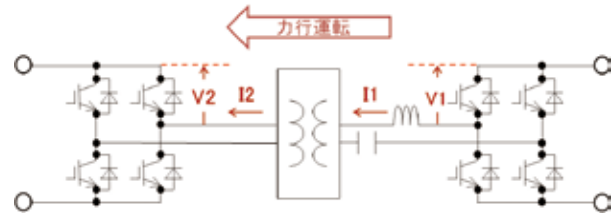


図8 波形測定箇所

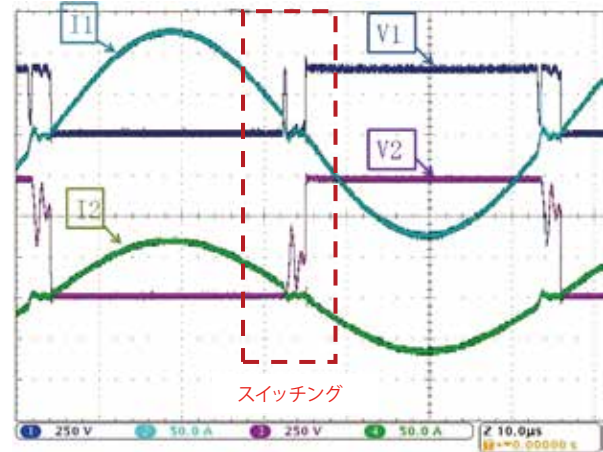


図9 高周波リンク回路電流・電圧波形

電圧・電流波形測定箇所を図8に示す(力行運転時)。高周波リンク回路の低圧側の電圧をV1、電流をI1、高圧側の電圧をV2、電流をI2とした。

高周波リンク回路の電圧・電流波形を図9に示す。共振形により電流が正弦波となり、電流がゼロ付近まで十分に小さくなったところでスイッチングが行われている。このスイッチング特性の最適化により高周波リンク回路のスイッチング損失が低減され、装置全体の変換効率が向上した。力行運転におけるハードスイッチングとソフトスイッチングの効率比較を図10に示す。

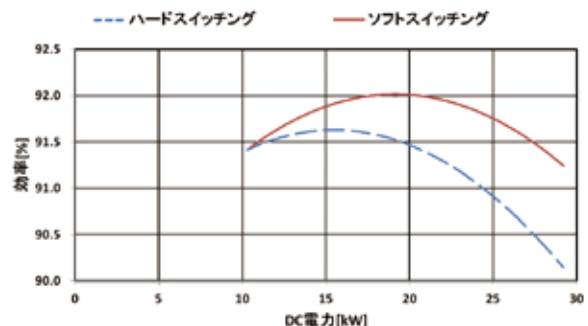


図10 効率比較 (力行運転)

## 4.2 変換効率

力行運転、回生運転の変換効率を図11に示す。制御方式に変更を加えたこともあり、最終的には力行運転では最大効率92.5%、回生運転では最大効率93%の結果を得た。Siデバイスをを用いた東光高岳の従来品では最大効率88%程度であったが、SiCデバイスや共振形を用いたことで最大効率は5%程度向上した。

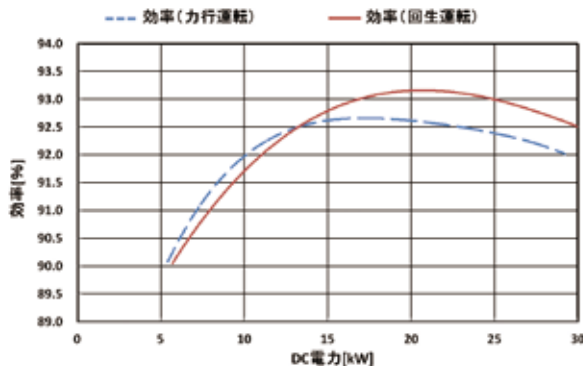
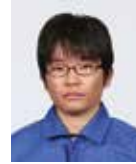


図11 変換効率

注3) 力行(りっこう, りきこう) : 電源から負荷へ電力を供給すること。

注4) IPM: Intelligent Power Module, パワー-MOSFETやIGBTに加え, それらの駆動回路や保護回路も内蔵したもの。



### 土井 佑太

技術開発本部 技術研究所  
プロジェクト推進グループ 所属  
PCSに関する開発・研究に従事



### 鈴木 健司

技術開発本部 技術研究所  
プロジェクト推進グループ 所属  
PCSに関する開発・研究に従事

## 5 おわりに

30kW共振形双方向交直変換器を開発し, 目標である最大効率92%超過を達成し, 力行運転では最大効率92.5%, 回生運転では最大効率93%の結果を得た。また, 今回の評価器では, フルSiC-MOSFETによる昇降圧チョッパ回路の効果およびスナバレス構造の効果も確認できた。この評価器を, 急速充電器等の直流電源装置の試験電源に適用し, 連続運転による性能評価を引き続き実施する。

今回の開発成果により中容量のPCSへの適用の目途がたったため, 今後の開発品に適用し, 機器の小型化, 高効率化へ展開する。

### ■参考文献

- (1) 金: 「パワースイッチング工学 [改訂版]」, p.243, (2014), 一般社団法人 電気学会
- (2) 一般社団法人 電気学会半導体電力変換システム調査専門委員会編: 「パワーエレクトロニクス回路」, p.291, (2000), オーム社
- (3) トランジスタ技術編集部編: 「高周波デバイス実践活用法」, p.197, (2004.12), CQ出版社

### ■語句説明

注1) MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, MOS形電界効果トランジスタ

注2) 回生: 負荷から電源へ電力を供給すること。

# 耐震強化型 550kV 気中断路器

■ 高橋 徹夫  
Tetsuo Takahashi

■ 永田 清志  
Kiyoshi Nagata

■ 大山 友幸  
Tomoyuki Oyama

■ 神田 一彦  
Kazuhiko Kanda

## 1 はじめに

550kV 2000A・4000A・8000A 水平中心一点切 THB 形気中断路器の耐震性能向上を目的として、同断路器用の軽量化型導電部および衝撃緩衝装置付き中間ピンジョイントを製品化した(形式 THB5-L)。

2011 年東北地方太平洋沖地震では、550kV THB 形断路器において、操作がいし、支持がいしが破損するといった、これまでに経験のない甚大な被害を経験した。今後同規模の地震が発生した場合でも機器性能が維持できるように、550kV THB 形断路器の耐震強化改良を行った。製品化にあたっては、耐震強度の検証のため実加振試験を行うとともに、耐震解析モデルを構築し、断路器の耐震性能向上メカニズムの確認、FEM(Finite Element Method) による地震応答解析を実施した。

## 2 仕様

今回耐震強化した550kV 2000A・4000A・8000A 水平中心一点切 THB5 形断路器の主な仕様を表1に示す。

表1 550kV 2k/4k/8kA 水平中心一点切 THB5 形断路器の仕様

名称	水平中心一点切断路器		
構成	単柱操作 三角すい支持		
形式	THB5 形 L 式		
定格	電圧(kV)	550	
	電流(A)	2000・4000・8000	
	短時間耐電流	63 kA / 通電時間: 2 s	
絶縁強度		対地	同相主回路間
	雷インパルス(kV)	1800	$1800+550\sqrt{2/\sqrt{3}}$
	開閉インパルス(kV)	1175	1175
	商用周波(kV)	475-635-475	840
準拠規格	交流断路器 JEC-2310		

## 3 550kV 断路器の構造と耐震強化策

今回耐震強化した単柱操作三角すい支持型の550kV 8000A THB5 形断路器を図1に示す。導電部は三角すい構成の支持がいしで支えられ、鉛直の単柱構成である操作がいしによって導電部を開閉操作する。操作がいしの上端・中間・下端部はピンジョイント構造で、導電部の支持はしていない。

今回、中間ピンジョイント機構の改良および導電部の軽

量化による耐震強化を実現し、既設がいし装置・架台・操作装置は流用することで、既設 THB 形断路器との互換性や対策費の低減にも配慮した。

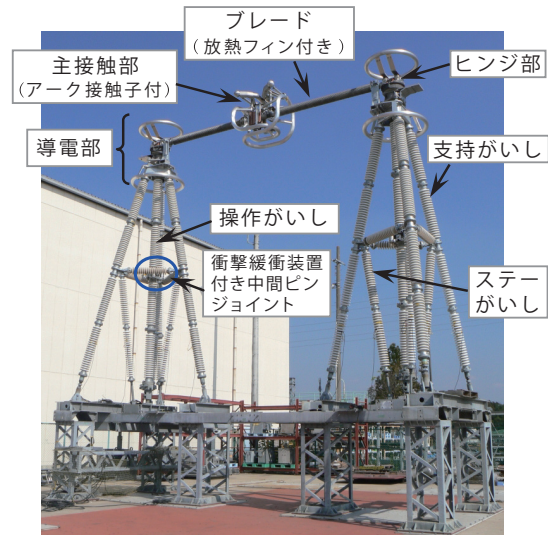


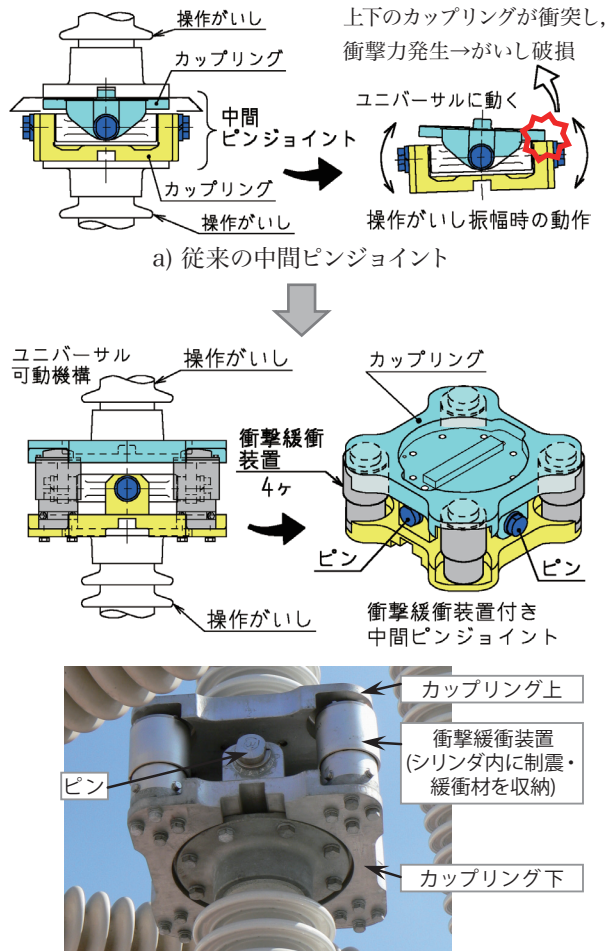
図1 550kV 8000A THB5形断路器 (1相分)

### 3.1 中間ピンジョイントの改良

従来形の550kV THB 形断路器は、過去の地震(1987年福島県沖地震)において、操作がいしが破損したことを踏まえて、地震動による応力が集中する操作がいしの中間部にピンジョイント機構を設け、操作がいしの曲げ応力を緩和する免震構造としていた。しかし、2011年東北地方太平洋沖地震は、日本の耐震設計基準(JEAG5003)<sup>(1)</sup>を大きく上回る地震動レベルであったことから、中間ピンジョイントは、振幅限界を超える変位量で振られ、構成部品同士が激しく衝突した。これにより発生した設計値を上回る応力によりがいしが破損に至った。この被害原因を踏まえ今回、制震・緩衝材を用いた衝撃緩衝装置付き中間ピンジョイント(図2)を開発し、当該の550kV 断路器に搭載した。

この開発にあたっては、従来形の THB 形断路器との互換性を持たせるという制約条件の下、地震動による操作がいしの応答性、動作特性や、がいしに発生する応力を突き詰め、制震能力が最適となる衝撃緩衝装置を開発した。同装置は効果的に機能が発揮されるよう、操作がいしの振幅量および衝撃緩衝装置の構成・カップリング形状等が好適に考慮された構造となっている。また、設計にあたっては、3次元解析モデルによる構造解析を用い、振動時にカップリングに発生する応力について評価しながら最適な構造設

計を行った。一例を図3に示す。衝撃緩衝装置付き中間ピンジョイントを搭載することで、前述の衝撃力は同装置により吸収され、がいし破損を防ぐことができ、制震・緩衝材の高い減衰性により、過大な地震動による操作がいしの振幅増幅を抑えることができる。



b) 開発品の衝撃緩衝装置付き中間ピンジョイント  
図2 操作がいしおよび中間連結機構部

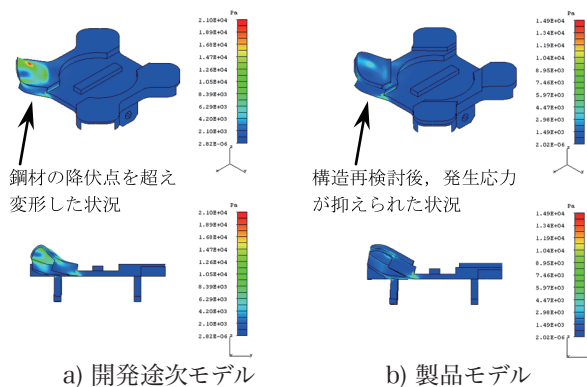


図3 カップリングの3次元モデルによる構造解析

### 3.2 導電部の軽量化

気中断路器のようながいし形機器は、頭頂部の重量を抑えることで耐震性能が向上するため、衝撃緩衝装置付き中間ピンジョイントの開発と併せ、頭頂部に位置する導電

部を軽量化し、更なる耐震強化を図った。軽量化にあたり、ブレード・シールドリング・アーク接触子は、運転実績のある550kV THB2形・TVCB2形をベースに開発を行い、ヒンジ部は、大幅な部材サイズの低減を行った。8000A用導電部の構造を図4に示す。また、軽量化方策の主な内容を以下に示す。

なお、主接触部については、従来器と同等の通電性能の確保、また、従来器の長年の運転実績および保守対応性を考慮して、接点部品をTHB形と同構造とした。

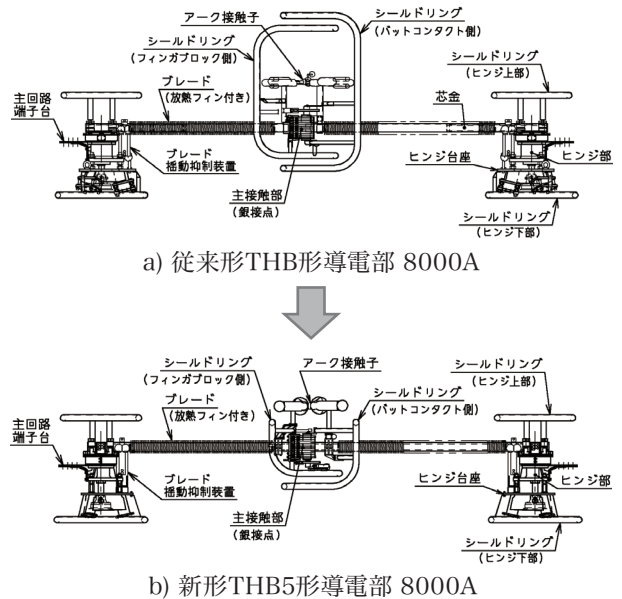


図4 THB形およびTHB5形導電部構造比較

(1) ブレードの材質・構造変更 ブレードの材質を銅からアルミニウムに変更した。従来の銅管のブレードには、自重によるたわみ防止として鋼管の芯金を挿入していたが、管の厚さを上げることで芯金を省いた。また、2000/4000A用ブレードについては、管のサイズアップによりブレードの放熱性を上げ、放熱フィン省いた。8000A用ブレードについては、従来器THB形の放熱フィン付き構造を踏襲したが、フィンの材質をブレードと同様に銅からアルミニウムに変更し軽量化を図った。

(2) ヒンジ部の構造変更 ヒンジ部重量の大半を占めるヒンジ台座およびヒンジ胴体(軸受け座)を強度低下することなく軽量化した。構造を最適設計に見直すことにより、ヒンジ台座の板厚を低減し、ヒンジ胴体のサイズを縮小化した。

なお、ヒンジ部接点のローラコンタクトは、550kV THB2形と同一とし、部品を共通化した。

(3) シールドリングの材質・構造変更 ヒンジ部用シールドは、部材を鋼管からアルミニウム管に変更した。また、アーク接触子付き主接触部用シールドは、可視コロナの発生を効果的に抑制する構造に改良したアーク接触子を併用することで、シンプルな形状に改良した。

(4) 導電部重量の低減率 軽量化モデルチェンジによる導電部重量の低減率は、2000/4000A 用は約 34% 減、8000A 用は約 39% 減である。なお、軽量化設計を進めるにあたり、機器頂頭部重量の低減度合いと耐震強度向上度合いとのメカニズムを地震応答解析により確認し、重量低減量の目標を定めた。

## 4 耐震性能の確認試験

### 4.1 実加振試験による耐震強度検証

THB5形断路器の耐震強度が適用先ユーザの要求仕様を満たすことを確認するため実加振試験を実施した。

#### 4.1.1 供試器

供試器を図5、諸元を表1に示す。

なお、供試器の加振対象単位は、加振台サイズの都合上、片側極分とした。

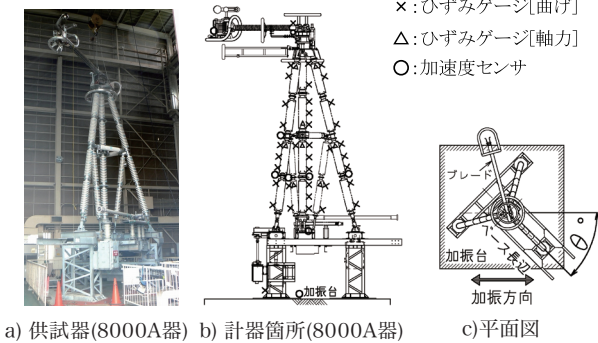


図5 供試器

#### 4.1.2 加振試験の内容および試験項目

供試器の耐震強度および衝撃緩衝装置付き中間ピンジョイントの性能・諸特性を確認するため、共振振動数探索試験および耐震強度確認試験を実施した。試験の内容を表2に示す。

加振方向は、機器の長辺方向および短辺方向の加振が一般的だが、今回、操作がいしについては、衝撃緩衝装置の配置と加振方向による耐震性能への影響を見極めるため、表2の条件にて試験を実施した。また、支持がいしについては、当該550kV断路器は三角すい構成であることから、振動方向によって耐震性能に相違があるため、過去の知見から判明している耐震性能最苛酷方向にて加振試験を行い、適確に耐震性能を見極めた。

耐震強度確認試験においては、JEAG5003に基づく3 m/s<sup>2</sup> 共振正弦3波に加えて、適用先ユーザが要求する耐震性能を直接試験にて確認するため、6 m/s<sup>2</sup> 共振正弦3波や、国内外の高レベル実地震動波を印加した。

#### 4.1.3 耐震性能

表3、表4に主な試験結果を示す。2000/4000A器および8000A器ともにJEAG5003に対する安全率は2以上であり、基準を十分に満足する。また、操作がいしの減衰定数は15%以上で十分に大きい。これは衝撃緩衝装置の高い

減衰性によるものであり、これにより加速度の大きな地震や、継続時間の長い地震に対して十分に耐震性を保つことができる。(ボルト締結が主体構造物の減衰定数の目安:5~12%<sup>(1)</sup>)

表1 供試器諸元

項目	仕様		
機種	水平中心一点切断器/4段積器		
定格	電圧 550kV / 電流 2000/4000A および 8000A		
がいし装置 (中実がいし)		2000/4000A	8000A
	操作	高強度	高強度
	支持	高強度	普通強度
	ステー	なし	あり(普通強度)
操作がいし 中間可動部	衝撃緩衝装置(4ヶ)付き中間ピンジョイント構造		

表2 加振試験条件

	内容
加振方向	(1) 操作がいし装置: 2種方向(下図参照) a) 加振方向に装置一つずつ b) 加振方向に装置二つずつ 
	(2) 支持がいし装置: 機器の耐震性最苛酷方向 a) 2000/4000A 器: ベース長辺方向に対し 60° b) 8000A 器: ベース長辺方向に対し 45° 注記 角度は図5のθ°となる。
試験項目(主要地震波)	(1) 共振振動数探索試験 周波数 0.5~10Hz を持つランダム波にて加振
	(2) 耐震強度確認試験 a) 共振正弦3波試験: 水平 3 m/s <sup>2</sup> ・6 m/s <sup>2</sup> b) 実地震動波試験: ① 東北地方太平洋沖地震波(被害のあった変電所の地表面最大加速度の地震波) ② ノースリッジ地震波 <sup>(2)</sup> (海外地震)

表3 がいし部安全率 2000/4000A器 実加振試験結果

	操作がいし	支持がいし
3 m/s <sup>2</sup> 共振正弦3波	2.8 (1.9) <sup>b)</sup>	3.6
固有振動数	1.9 Hz	5.0 Hz
減衰定数	15 %	13 %
6 m/s <sup>2</sup> 共振正弦3波	1.3 (0.9) <sup>b)</sup>	1.6
東北地方太平洋沖地震波 <sup>a)</sup>	2.1 (1.4) <sup>b)</sup>	1.5
ノースリッジ地震波	2.9 (1.9) <sup>b)</sup>	3.9
注 <sup>a)</sup> 被害のあった変電所の地表面最大加速度の地震波		
注 <sup>b)</sup> ( )内の値は、高強度を普通強度にした場合の換算値		

表4 がいし部安全率 8000A器 実加振試験結果

	操作がいし	支持がいし
3 m/s <sup>2</sup> 共振正弦3波	2.7 (1.8) <sup>b)</sup>	2.5
固有振動数	2.8 Hz	5.2 Hz
減衰定数	17 %	4.9 %
6 m/s <sup>2</sup> 共振正弦3波	1.3 (0.9) <sup>b)</sup>	1.4
東北地方太平洋沖地震波 <sup>a)</sup>	1.8 (1.2) <sup>b)</sup>	1.0
ノースリッジ地震波	2.2 (1.5) <sup>b)</sup>	2.3
注 a) および注 b) は、表3に同じ。		

## 4.2 地震応答解析による耐震強度の確認

実加振試験と併せて、実加振試験で採取した地震応答特性データを利用し、550kV THB形断路器についてFEM(Finite Element Method)による地震応答解析を行った。

### 4.2.1 解析モデル

供試器 8000A 器(4 段器)の解析モデルを図6に示す。

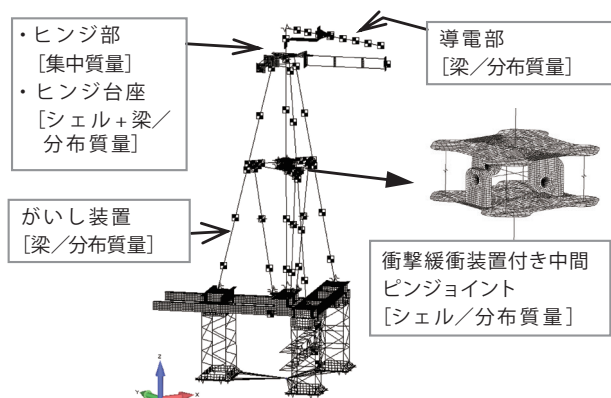


図6 供試器8000A器(4段器)の解析モデル

### 4.2.2 解析の高度化

表5、表6に主な解析結果を示す。入力波は、水平加速度 $3\text{m/s}^2$ および $6\text{m/s}^2$ 共振正弦3波とし、加振方向は実加振試験の条件に合わせた。

本断路器は三角すい構成の複雑ながいし装置を備えたものであるが、精緻な解析により解析結果は実加振試験結果と近似した。今回構築した解析モデルは、想定地震波や実加振試験では入力不可能な高レベル地震波に対する耐震解析に活用でき、地震被害想定評価に資するものである。今後起こりうる高レベル地震動について実加振試験を実施することなく耐震性能評価が可能となった。

表5 がいし部安全率 2000/4000A器 解析結果

	操作がいし	支持がいし
$3\text{m/s}^2$ 共振正弦3波	2.6	3.5
固有振動数	2.0 Hz	5.0 Hz
$6\text{m/s}^2$ 共振正弦3波	1.3	1.8

表6 がいし部安全率 8000A器 解析結果

	操作がいし	支持がいし
$3\text{m/s}^2$ 共振正弦3波	2.8	2.9
固有振動数	2.8 Hz	5.1 Hz
$6\text{m/s}^2$ 共振正弦3波	1.4	1.4

## 5 従来器との互換性可他機種への展開

今回開発した衝撃緩衝装置付き中間ピンジョイントおよびTHB5形導電部は、従来器THB形と互換性があり、容易

に既設器への取り付けが可能である。したがって機器全体を取り替えることなく、大幅な耐震強化が可能である。また、衝撃緩衝装置を応用することで他機種(550kV THB2/3形・TVCB2形・TPD2形)の耐震性能向上も可能である。

## 6 おわりに

今回、耐震強化を目的とした550kV 2000/4000A・8000A THB5形断路器の衝撃緩衝装置付き中間ピンジョイントおよび軽量化型導電部を開発した。衝撃緩衝装置および導電部軽量化の効果により、THB5形断路器は耐震設計基準の2倍以上の安全率を有し、高レベル地震動に対しても十分な耐震性能を有する。また、本耐震強化対策品は従来器と互換性があり、容易にTHB形へ取り付けが可能な構造となっており、2000/4000A器は、2012年12月に既設器へ初適用し運転を開始し、また、8000A器は、2015年10月に初号器納入予定である。今後は今回得た知見を活かし、他機器への耐震強化施策の展開および更なる耐震性能向上を目指していく所存である。

### ■参考文献

- (1) 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 (2010)
- (2) 一般社団法人 電気協同研究会：「変電設備仕様の国際化」, Vol.63, No.4 pp.37-49 (2008)



高橋 徹夫

電力プラント事業本部  
断路器製造部 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  
気中断路器の設計および開発業務に従事



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  
気中断路器の設計および開発業務に従事



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  
製品の解析技術開発に従事

# エポキシ樹脂モールド機器における硬化条件の最適化

～伝熱計算の適正化による硬化解析の適用範囲拡大～

森 佑介  
Yusuke Mori

滝澤 明広  
Akihiro Takizawa

吉谷 彰倫  
Akinori Yoshitani

## 1 はじめに

熱硬化性樹脂であるエポキシ樹脂は電気絶縁性や機械強度が優れる固体絶縁材料として、以前から広く電力機器に用いられている。防災や環境負荷低減のため、絶縁油やSF6ガスに代わり、エポキシ樹脂モールドによる固体絶縁のニーズが高まっている。そのニーズに応じて迅速に製品開発を行うには、設計段階において最適な樹脂の硬化条件を求めることが有効となる。最適な硬化条件とは、ポ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・ひずみのほか、後述するヒケなどの外観不良の抑制も含まれる。これまで東光高岳は、樹脂硬化プロセスにおける樹脂流動、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。特に、樹脂の硬化発熱の影響を考慮した硬化収縮挙動の解析に精力的に取り組んできた<sup>(1)~(3)</sup>。これにより、ヒケなどの発生様相を予測することが可能になり、試作開発を効率的に進めることができるようになってきた。

樹脂の残留応力やヒケなどの要因となる硬化収縮を定量的に把握するためには、樹脂のPVT特性<sup>(註1)</sup>が必要となる。しかし、熱硬化性樹脂はPVT特性を測定中に硬化が進行するため、PVT特性の測定は容易ではない。そこで筆者らは、PVT特性がなくても簡易的にヒケを予測できる方法を提案してきた<sup>(4)</sup>。ヒケの予測においては、樹脂の硬化が進行する順番を把握することが重要である。硬化順序を把握するためには、金型の温度分布が適切に計算されている必要がある。そのため、金型と雰囲気間の伝熱条件を見直し、現在では、金型の加熱箇所や温度だけでなく、硬化炉の種類や硬化炉外(常温環境下)での硬化についても考慮でき、より適切な硬化条件の導出が可能となっている。本稿では、硬化炉内で硬化させた場合、硬化炉外で硬化させた場合、ともに妥当な伝熱計算、硬化反応計算が可能であることを示し、これを製品に適用した活用事例について紹介する。

## 2 ヒケのメカニズムと予測方法

### 2.1 ヒケ発生のメカニズム

外観品質は試作結果の基本的な評価項目である。外観品質を低下させる主な要因の一つとしてヒケがある。ヒケは樹脂の硬化時の収縮によって製品表面に発生するへ

こみである。一般に樹脂は熱硬化性樹脂、熱可塑性樹脂に関わらず、硬化(固化)の際には収縮を伴う。熱硬化性樹脂であるエポキシ樹脂は、熱可塑性樹脂に比べて硬化時の収縮が小さい。しかし、電力用エポキシ樹脂モールド機器の樹脂肉厚は、熱可塑性樹脂の成型品に比べて厚く、偏肉(部位毎の樹脂厚の偏り)も大きい傾向にあり、結果的に硬化時の収縮が製品形状に影響を及ぼす。

熱硬化性樹脂における硬化時の収縮量は、図1に示すように硬化反応の分子結合による硬化収縮と温度変化による熱収縮の和である。また、注型時点では樹脂は液状で流動性があるため、このときの硬化反応や温度による体積変化は硬化後の形状に影響しない。温度上昇に伴い樹脂の硬化反応が進むと、樹脂の粘度も上昇する。硬化反応が進みゲル化すると、急激に粘度が上がり、樹脂の流動性がなくなる。ゲル化した箇所は硬化後の製品形状に影響する収縮が始まる。この収縮分を補填するように未硬化樹脂が供給されればヒケは抑制できる。しかし、硬化順序の遅い箇所に収縮分の未硬化樹脂が供給されなければヒケが生じる。図2はヒケ発生のメカニズムを示したものである。この場合、樹脂厚の厚い中央部は硬化発熱に伴って硬化が促進され、最初にゲル化する。これにより、注型口側からの未硬化樹脂の供給経路が遮断され、収縮分を補えなくなってしまう。したがって、硬化順序の遅い角付近にヒケが発生する。

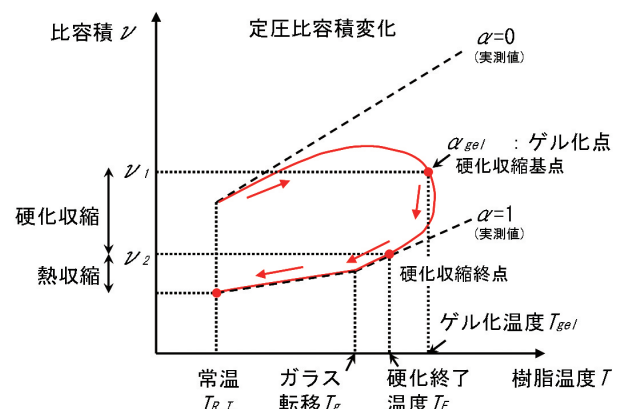


図1 硬化収縮と熱収縮の模式図



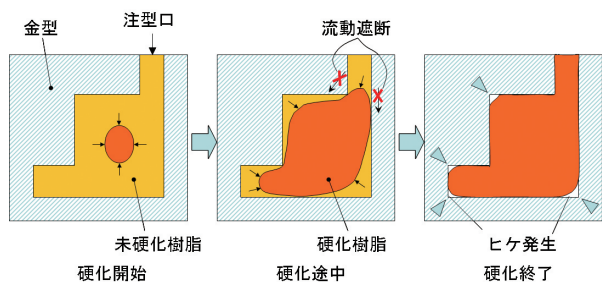


図2 ヒケ発生メカニズム

2.2 硬化解析によるヒケの予測方法

ヒケの可能性を予測し、事前に対策を講じることができれば、試作回数の低減に繋がる。そのためには、硬化順序を把握する必要がある。硬化順序は、ゲル化した樹脂の分布を見ることで把握する。硬化順序を見て、ゲル化した樹脂が未硬化樹脂の流動を遮断、樹脂収縮分の補填を阻害することがないか検討する。

エポキシ樹脂は、硬化時の化学反応により発熱を生じる。つまり、周囲からの伝熱と樹脂の硬化発熱があいまって硬化反応が進行する。したがって、複雑な製品形状の場合、硬化順序を把握するために硬化解析が必要となる。これまで東光高岳は、図3に示すような偏肉の大きいエポキシ樹脂モールド変成器に対して、硬化解析を実施して硬化順序を把握することで、ヒケの予測および対策案の検討が可能であることを示した<sup>(4)</sup>。図3に示した機器の場合、金型上下に温度分布をつけることでヒケを改善した。以上のように、硬化解析を用いることで、最適な硬化条件を試作前に求めることができる。

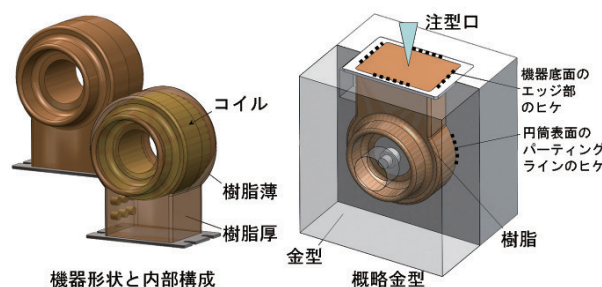


図3 硬化解析によりヒケ対策を実施した機器

3 伝熱計算適正化と硬化解析の適用拡大

3.1 硬化解析における伝熱計算の重要性

エポキシ樹脂の硬化条件を決めるにあたり、以下について検討する必要がある。

- (1) 加熱方法 (硬化炉で加熱, 硬化炉の外 (常温環境) でヒーターを用いて加熱など)
- (2) 雰囲気温度
- (3) ヒーターの有無

- (4) ヒーターの温度 (ヒーターを使用する場合)
- (5) 金型の加熱箇所 (ヒーターを使用する場合)

これら (1) ~ (5) の条件によって、エポキシ樹脂の硬化順序は異なる。これは条件の違いによって、金型の温度分布が変化し、樹脂の硬化反応に影響するためである。したがって、硬化解析を用いて硬化順序を把握するためには、各条件下において、金型の温度分布を正しく得ることが重要である。そのためには、金型と雰囲気間の伝熱が正しく計算されている必要がある。特に、(1) 加熱方法によって金型と雰囲気間の伝熱が大きく異なることが想定される。この伝熱の違いを硬化解析では考慮する必要がある。

3.2 加熱方法による伝熱条件の違い

金型と雰囲気間の伝熱については、雰囲気温度および空気の流れ、対象物の温度、形状および寸法に依存する。流れについては、金型と雰囲気間の伝熱を考慮するにあたり、以下の項目を知っておく必要がある。

- (1) 自然対流, 強制対流の区別
- (2) 層流, 乱流の区別
- (3) 流速

硬化炉で硬化させた場合 (以下, 炉内硬化) と硬化炉の外でヒーターを用いて硬化させた場合 (以下, 炉外硬化) では、雰囲気温度や流れの状態が異なる。したがって、金型と雰囲気間の伝熱も異なることが想定される。金型と雰囲気間の伝熱量  $q$  [W/m<sup>2</sup>] は次式で表される。

$$q = h\Delta T \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $h$  [W/(m<sup>2</sup>・K)] は熱伝達係数であり、硬化解析時の境界条件として使用する。 $\Delta T$  [K] は金型と雰囲気との温度差である。炉内硬化と炉外硬化では、 $\Delta T$  が大きく異なるだけでなく、 $h$  も異なる。これは  $h$  が雰囲気の流れにも依存するためである。 $h$  は式 (2) で示すようにヌセルト数  $Nu$ 、流体の熱伝導率  $k$  [W/(m・K)]、対象の代表長さ  $L$  [m] で表される。

$$h = Nu \frac{k}{L} \dots\dots\dots (2)$$

$Nu$  は対象物の形状や流れの状態によって決まる値である。上記の (1) ~ (3) を把握するため、東光高岳で使用している硬化炉内外における金型周囲の流速を測定し、 $Nu$  および  $h$  を計算した。炉内硬化の場合は流速が大きく、強制対流として取り扱った。炉外硬化の場合は、金型周囲の空気の流れは小さく、自然対流として取り扱った。図3に示した機器の場合、炉内硬化は炉外硬化に比べて、熱伝達係数  $h$  が6倍程度大きくなる。

3.3 炉内・炉外硬化を模擬した硬化解析の妥当性検証

炉内硬化させる製品と炉外硬化させる製品、それぞれ

に対して雰囲気温度と熱伝達係数 $h$ の違いを考慮して硬化解析を実施した。また、それぞれの製品に対して硬化実験を行った。両製品ともヒーターを使用し、金型に温度勾配をつけている。硬化実験の際に金型の温度分布を熱電対で測定し、併せて硬化時間も測定した。硬化時間は一定の間隔で確認し、硬化完了を確認した時間と、その前に確認した時間の間で硬化が完了したと判定した。表1は解析結果と実測データを比較し、解析と実測の比でまとめたものである。複数箇所の金型温度を測定しており、解析／実測比の最小値と最大値を示した。同表より、解析と実測は概ね一致しており、炉内硬化・炉外硬化ともに、適切な伝熱計算により、金型の温度分布を把握可能なことがわかる。また、硬化時間も一致しており、金型の温度分布を適切に計算することによって、金型内部の樹脂の硬化も適切に把握できていることがわかる。

表1 金型温度、硬化時間の比較（解析／実測）

	炉内硬化製品	炉外硬化製品
金型下部温度	0.99~1.00	1.00~1.04
金型上部温度	1.00~1.01	1.03
注型口温度	1.00	1.03
硬化時間	0.93~1.04	0.88~1.00

#### 4 硬化条件の最適化実施例

これまで図3に示した製品については、ヒケを抑制するため、金型をヒーターで加熱しながら炉内硬化させてきた。しかし、品質および硬化時間を維持しながら、炉外硬化が可能であれば作業性の改善や生産効率の向上などに繋げることができる。そこで、炉内硬化と同様のヒーター条件で炉外硬化させた場合の硬化解析を実施し、炉外硬化にすることで硬化条件の最適化が可能であるか検証した。解析結果を図4に示す。図中の色が付いているところは樹脂がゲル化し、流動性がない箇所である。未硬化樹脂の供給が遮らないように、下部からゲル化することが望ましい。同図 (a) はヒーターを使わずに炉内硬化した場合であり、ヒケが生じる条件である。注型口に近い樹脂量が多い箇所から硬化が進行しており、注型口から遠い部分への未硬化樹脂の供給経路を遮断している。同図 (b) および (c) は加熱炉とヒーターを併用した場合であり、ヒケの抑制に効果的な条件である。(b) については、過去に報告<sup>(4)</sup>した結果であるが、(c) は硬化炉内の流速等を考慮して伝熱条件を見直した結果である。伝熱条件の見直しにより、樹脂量が多い箇所の硬化が速くなっており、(b) よりも未硬化樹脂の供給経路が狭い結果となっている。(d) はヒーターを使用し、炉外硬化（常温環境下）で硬化した条件である。(c) に比べて、注型口に近い箇所の樹

脂の硬化が抑制され、下部から硬化が進行している。したがって、より確実にヒケを抑制できると考えられる。

表2 硬化解析条件

	ヒーター有無	硬化炉内・外	解析モデル
(a)	無	炉内	ヒケが発生する硬化条件
(b)	有	炉内	ヒケを抑制する硬化条件
(c)	有	炉内	(b) の伝熱条件を見直し
(d)	有	炉外	炉外硬化の適用可否を検証



図4 硬化解析による硬化順序の把握

硬化時間についても、(c) ヒーター有り、炉内硬化のときと同等であり、生産性に影響しないことがわかる。

これは炉外硬化の場合、雰囲気温度は低いものの、自然対流下での伝熱となるためである。これにより、金型と雰囲気間の熱伝達係数は小さくなるため、温度が下がらずに、同等な硬化時間になったと考えられる。

以上のことから、本解析対象の場合、ヒケの防止効果、作業性等の観点から、炉外硬化が最適であることを見出した。

当然のことながら、偏肉の大きい製品全てに対して、ヒーターを使用した炉外硬化が最適であるとは限らない。しかし、今後、エポキシ樹脂モールド機器の開発において、金型の温度分布の制御に際し、金型の加熱箇所、加熱温度だけでなく、炉内硬化・炉外硬化を含めて事前検討が可能になったことで、これまで以上に適切な硬化条件の選択が可能になったと考えている。

## 5 おわりに

偏肉の大きいエポキシ樹脂モールド機器の最適な硬化条件を試作前に求めることができれば、開発工数・コストを削減し、お客さまのニーズにも迅速に応えることができる。硬化解析はそのための有用なツールであるが、樹脂の硬化順序を精度よく解析し、可視化することが重要である。3章にて、硬化順序を決定づける金型の温度分布を正しく把握するためには、金型と雰囲気間の伝熱計算が重要であることを示した。特に、炉内硬化と炉外硬化では、金型と雰囲気間の伝熱条件が大きく異なり、この違いを考慮する必要がある。本検討により、この伝熱条件の違いを考慮し、炉内硬化、炉外硬化ともに金型の温度分布を適切に計算可能となった。したがって、どちらの硬化条件においても、硬化順序を把握し、ヒケの発生を予測可能になった。これにより、これまで以上に適切な硬化条件を求められるようになった。本稿では、すでに製品形状、金型構造が決まったものに対して、硬化条件の最適化を図った事例を述べたが、新たに開発する機器に対して硬化プロセスを考慮した製品形状や金型構造の検討に役立てることができる。

エポキシ樹脂モールド機器の製造においては、ヒケの防止だけでなく、従来以上の残留応力低減などの要求もある。今後、それらの要求に応えられるよう解析技術基盤を構築し、活用していきたい。

### ■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)

### ■語句説明

注1) PVT特性: 材料の体積収縮の計算に必要なとなり, P (圧力), V (体積), T (温度) の関係を表す特性である。熱硬化性樹脂の場合, 未硬化物と硬化物のPVT特性が必要となる。



森 佑介

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



滝澤 明広

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



吉谷 彰倫

電力機器事業本部 モールド変成器製造部  
設計グループ 所属  
モールド変成器の設計・開発に従事

# 走査型共焦点方式三次元計測

日名子 達也  
Tatsuya Hinago

## 1 はじめに

昨今、スマートフォンやタブレットPCなどに代表されるような小型・高性能なモバイル端末を所有することは一般的となり、メガネや腕時計など身に付けて持ち歩くウェアラブルコンピュータなども大きな話題となっている。これら製品を含む多機能電子機器には必ず半導体部品が組み込まれており、需要も年々増加している。

東光高岳では、半導体製造における検査工程向けの装置として、特にインラインに対応可能な高速性を有した三次元計測装置の開発・販売をしており、半導体業界検査工程の自動検査（例えばバンプ<sup>®</sup>高さ検査）を実現してきた。三次元計測の代表的な手法として格子パターン投影法、光切断法、三角測量法、光の干渉の性質を利用した光干渉法、光の伝搬時間を利用したタイムオブフライト法など様々な提案がなされているが、東光高岳の三次元計測装置の計測原理には共焦点法を採用している。これは他の計測手法と比較して、精度面や速度面、環境の違いに対する頑強性などが、半導体検査工程のニーズに適していると考えたためである。

共焦点による三次元計測技術の中でも、東光高岳独自技術として非走査型共焦点方式三次元計測が大きな特長として挙げられる<sup>(1)(2)</sup>。本稿では、東光高岳独自技術の“非走査型共焦点方式三次元計測”について説明し、それをベースとして開発した“走査型共焦点方式三次元計測”の原理、及び三次元センサについて述べる。

## 2 非走査型共焦点方式三次元計測

図1に共焦点光学系の基本構造を示す。

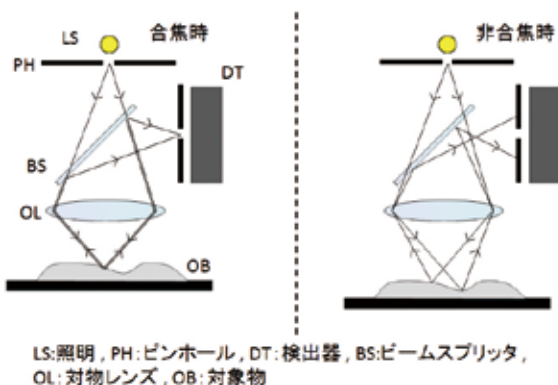


図1 共焦点光学系

共焦点光学系では、ピンホールから照射された照明光が、対象物上で結像した場合にのみ高い強度の光が検出器まで届くようになっており、検出された輝度値から深さ方向の情報を取得することができる。

図2は、東光高岳の独自技術である非走査型共焦点方式三次元計測の光学系（以下、非走査型共焦点撮像系）の構造である。共焦点光学系は原理としてピンホールによる点の情報を取得することから、二次元情報を得るためには光軸に直交する方向への走査機構が必要となる。一般にこの走査機構はレーザーXY走査やNipkowディスクの回転による走査によって実現されている。一方で、非走査型共焦点撮像系は、ピンホールを二次元的に配列した光学素子（以下、ピンホールアレイ）を用い、かつ、検出器として二次元エリアカメラを採用することで走査機構を設けることなく高解像度の共焦点画像を取得できる構成となっている。

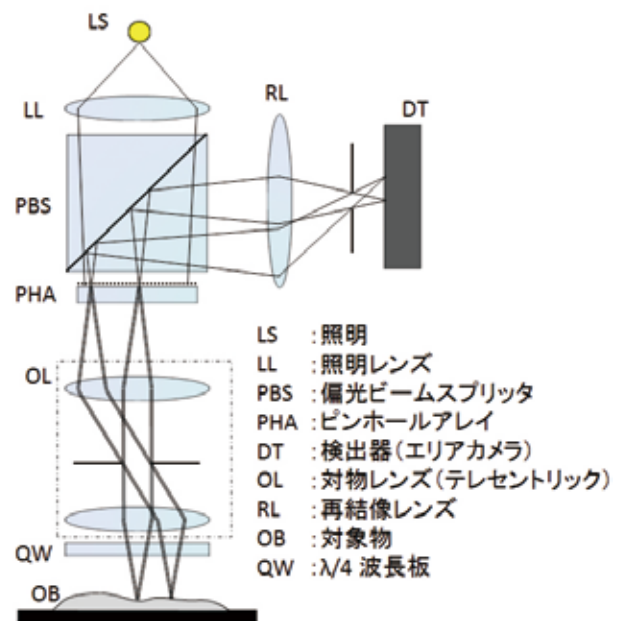


図2 非走査型共焦点撮像系

図3は、1セントコインを非走査型共焦点撮像系にて撮像した共焦点画像の例である。それぞれの画像は焦点位置を変えて撮像している。各画像では、共焦点光学系のOptical Sectioning特性により、合焦位置のみが強い輝度値として記録され、等高線のように表われている。

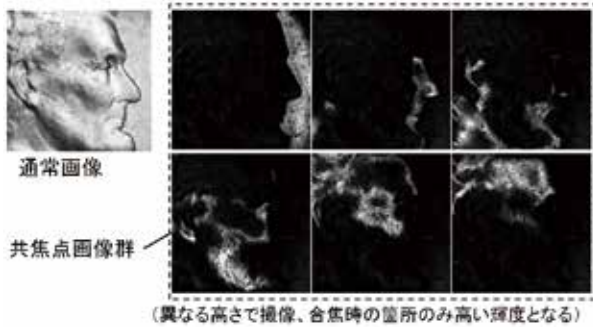


図3 1セントコイン画像

この時、物体または光学系の光軸方向へのステージ移動により焦点位置を変化させ、最大輝度値となった時のステージ位置を画素毎に記録すれば物体表面の形状を求めることができる。しかし、計測分解能ピッチでステージを移動させると、必要な共焦点画像は膨大な数になり、計測時間が著しく長大になってしまう。そこで、ステージの移動ピッチを計測分解能より大きい間隔にすることで必要な共焦点画像の枚数を減らし、補間法を用いることにより計測分解能を向上させる手法としている。このようにすることで画像入力と演算時間を大きく削減ことができ、大幅な高速化が達成できる。補間法としては、例えば、定ピッチ $\Delta z$ でサンプリングされた値の大きい三点 $(I_{k-1}, I_k, I_{k+1})$ を対象としたガウス関数へのフィッティングによりピーク位置 $Z_{focus}$ を高精度に推定する手法(式1)などが考えられる。

$$Z_{focus} = Z_k + \frac{(I_{k+1} - I_{k-1})}{(2I_k - I_{k+1} - I_{k-1})} \Delta z \quad \dots \text{式1}$$

ガウス関数へのフィッティングの他にも、N次曲線へのフィッティングや、サンプリング間隔が標本化定理を満たしていると仮定した畳み込みによる復元法なども考えられる。またステージ移動自体の高速化として、撮像毎に光路中へ厚みの異なる平行平面ガラスを挿入することで光学的に移動させることも考えられる。

### 3 非走査型共焦点方式三次元計測の限界

非走査型共焦点方式三次元計測によって、高解像度の共焦点画像を取得できることを前章にて説明したが、そのためには二次元エリアカメラの画素配列に対して、ピンホール配列が十分に高い空間周波数で配置されていることが前提条件となっている。図4の右側にはその前提条件が崩れた状況(つまり、二次元エリアカメラの画素配列がピンホール配列以上に高い場合)を示した。この状況下では、図に示す通り、ピンホールスポットが当たらずに情報を有さない受光素子が生じていることが分かる。

つまり、画素配列が非常に高い空間周波数で配置されていたとしても、ピンホール配列を超えるような高い周波数成分の情報は取得できないということである。

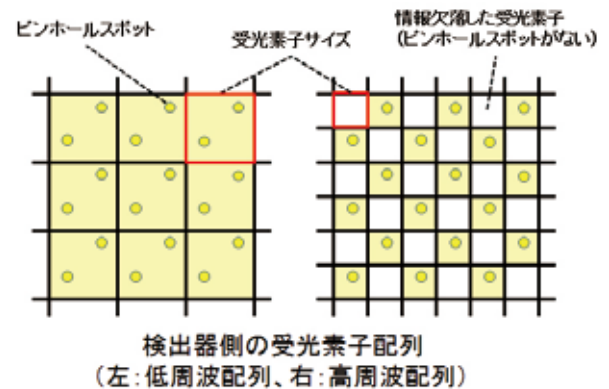


図4 共焦点スポット周期と受光素子配列周期

この問題を解決するためには、ピンホールを高い空間周波数で配置し、より多くのピンホールスポットを確保すれば良いが、共焦点の効果を確認するためにはピンホール同士の間隔を一定以上必要とするため、ピンホール配列の空間周波数を高くすることが容易ではない。ここに非走査型共焦点方式三次元計測の限界がある。それでも、非走査型共焦点方式三次元計測を採用した三次元計測装置が実現できたのは、これまで市場に流通してきた半導体パッケージの集積度合に対して、非走査型共焦点方式三次元計測で取得できる共焦点画像が十分に高解像度であったためである。

しかし、半導体の集積度合はムーアの法則に従って年々と高密度化・微細化が進んでおり、非走査型共焦点方式三次元計測の限界を超える解像度を求められるようになってきた。また、同様に受光素子の多画素化・高速化も発展してきたことで、高分解能な二次元エリアカメラを選択することが可能になっている。そこで、解像度のボトルネックになっているピンホールアレイによる解像度劣化のブレイクスルーを求めて、東光高岳独自の走査型共焦点方式三次元計測を開発することとした。

### 4 走査型共焦点方式三次元計測

走査型共焦点方式三次元計測の光学系(以後、走査型共焦点撮像系と称する)の基本構造を図5に示す。図2の非走査型共焦点撮像系と対比すると、基本構成はほぼ同じであるがピンホールアレイ部に一軸ステージが追加されていることが分かる。元々XY走査を不要とするためにピンホールを平面に配列していたが、前章で述べたとおり更に解像度を上げる必要があるため、一軸方向へピンホールアレイを走査する機構を用意した。

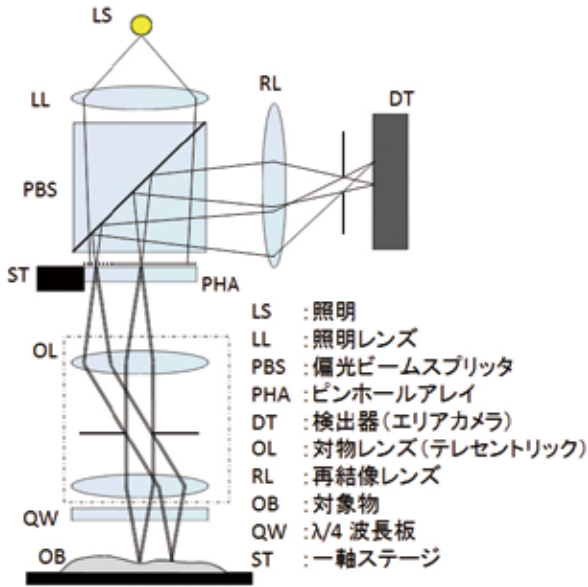


図5 走査型共焦点撮像系

図6にピンホールアレイと一軸ステージ機構のイメージを示す。ピンホールは、XY平面上へ周期的に配列され、特にステージの移動軸方向へピンホール配列が一定距離の間隔で再現性を持たせるように配列されている。この一定距離を二次元エアアカメラの一露光時間中に走査することで、非走査型共焦点方式三次元計測では取得できなかったピンホール間領域の情報も含めた共焦点画像を取得することが可能となった。

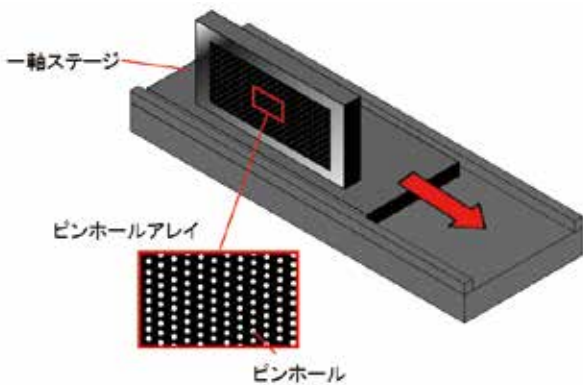
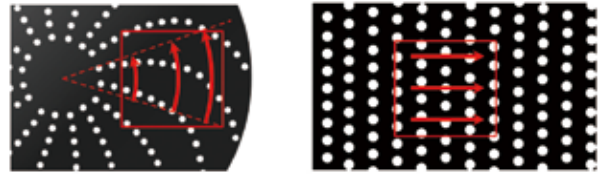


図6 ピンホールアレイユニットイメージ

ピンホールを走査する手法としては、2章にて説明したNipkowディスクの回転による走査も同様の技術ではあるが、東光高岳の走査型共焦点方式と大きく違う点は、走査ベクトルである。図7は両手法の、視野内の異なる座標において一定時間に走査した距離を示したものである。図から分かる通り、Nipkowディスクによる走査では回転軸を用いるために、回転中心からの距離に応じた走

査ムラが生じてしまう。走査ムラを軽減させるため、ピンホールの大きさや配列に特長を持たせた提案はこれまでも多くされてきたが、視野内全てを同じ条件で走査することは原理的に不可能である。視野の座標によって計測条件が異なっていることは計測装置として好ましくない。東光高岳の走査型共焦点方式では、回転による走査ではなく一軸ステージによる走査であるため、視野内全ての座標で同条件の走査が可能であり、計測装置としてより優れている。

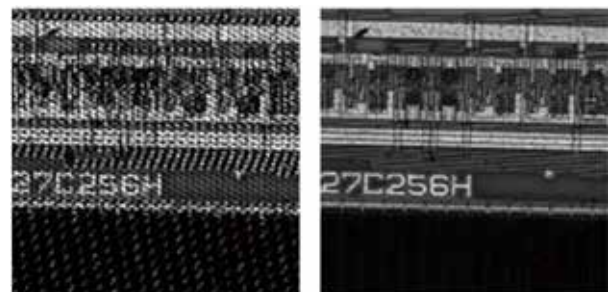


ピンホール走査イメージ(左:Nipkowディスク,右:一軸ステージ)

図7 ピンホール走査イメージ(走査ムラの違い)

一方、デメリットも存在する。一軸ステージの場合は、回転軸とは異なり無限の走査ができない、また、静止状態から設計速度になるまでの加速時間が必要となってしまう。この二つがデメリットといえる。しかし、無限走査に関しては、計測において必ずしも必要ではない。顕微鏡のような観察を目的とした場合とは異なり、計測では一回毎の区切りが必ず存在するからである。また、加速時間についても、応答性の高いステージを選定することで、数十ms程度の待ち時間で済むことが確認できている。この待ち時間についても、計測時に必要となる他の時間(他軸移動の振動待ち時間など)に包括することができ、実質与えられる影響は殆どないことも分かっている。つまり、計測専用の走査方法と考えれば、デメリットはほぼなくなり、より良い走査方法といえる。

次に、IC表面パターンの一部を非走査型・走査型共焦点撮像系の双方により取得した画像を図8に示す。



非走査型による画像 走査型による画像

図8 IC表面パターン画像の比較

3章で述べたとおり、非走査型共焦点撮像系で取得した画像では高い周波数成分の情報を十分に取得すること

ができないために、刻印されている文字や細かな配線パターンなどの微細な情報が欠落しているのが分かる。また、画像中に検出素子配列とピンホールアレイ配列の干渉によって生じる折り返しノイズも確認できる。この影響で、二次元計測（対象物の大きさ、位置などの計測）への影響は大きく、また三次元計測においても、特に微小な対象物を安定して計測できない原因となってしまう。一方、走査型共焦点撮像系で取得した画像には、非走査型共焦点方式三次元計測では起きていたピンホールアレイによる情報欠落がないため、高解像度の画像を取得できており、文字や配線のパターンをはっきりと確認することができる。この高解像度の共焦点画像を取得する方式を手に入れたことで、高い精度での二次元計測が可能となり、今までは不可能であったレベルの微小な対象物の三次元計測もできるようになった。

## 5 三次元計測センサ仕様

最後に、これまでに非走査型・走査型共焦点方式三次元計測を原理として開発した三次元計測センサの仕様を表1に示す。また、視野サイズと計測対象サイズを軸としたグラフと非走査型共焦点方式三次元計測における計測限界を破線で表現した図9を示す。今後、より微細化が進む半導体業界の検査工程においては、破線を超える計測能力が必要であり、走査型共焦点方式がそのブレイクスルーの役目を果たした。今後は新規の三次元計測センサの開発と並行して、既存の非走査型共焦点方式三次元計測センサを走査型共焦点方式に対応させることで計測能力向上を図っていく。

表1 三次元計測センサ仕様 一覧表（シリーズ別）

センサ型式	視野サイズ (mm)	計測対象サイズ (μm)	高さ計測繰返精度 (μm)
NCS-5000 ser.	6.0 × 6.0	> 60	< 0.12 (C2)
NCS-5200 ser.	9.0 × 9.0	> 90	< 0.25 (C3)
NCS-6000 ser.	18.0 × 18.0	> 60	< 0.12 (C2)
NCS-7000 ser.	13.3 × 13.3	> 60	< 0.12 (C2)
NCS-8000 ser.	13.3 × 13.3	> 90	< 0.25 (C3)
SCS-5000 ser.	6.0 × 6.0	> 30	< 0.12 (C2)
SCS-5200 ser.	9.0 × 9.0	> 45	< 0.25 (C3)
SCS-6000 ser.	18.0 × 18.0	> 30	< 0.12 (C2)
SCS-8000 ser.	13.3 × 13.3	> 45	< 0.25 (C3)
SCS-8500 ser.	6.0 × 6.0	> 20	< 0.06 (C1)
SCS-9000 ser.	6.0 × 6.0	> 20	< 0.06 (C1)

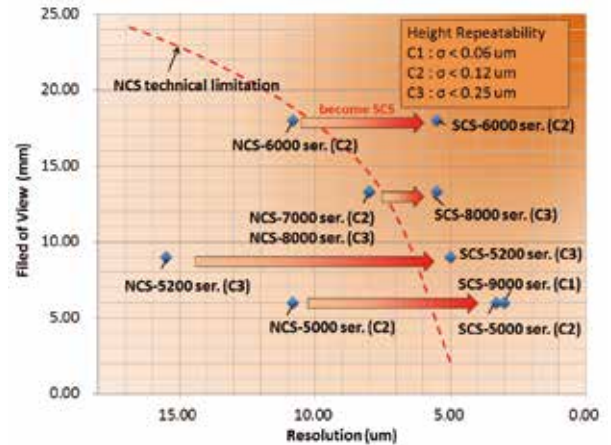


図9 三次元計測センサ仕様

## 6 おわりに

本稿では走査型共焦点方式三次元計測の原理と三次元計測センサについて説明した。走査型共焦点方式三次元計測技術による東光高岳の三次元計測センサは高速・高精度・汎用的な三次元計測・二次元計測が可能であり、半導体業界のみならず、各種産業に今後幅広く利用できると考えている。

### 参考文献

- (1) 日名子：「非走査型共焦点方式表面形状計測装置」、光アライアンス，2012.11，pp.39-45 (2012)
- (2) M.Ishihara：“A Confocal Surface Measurement System Having Improved Measurement Accuracy for Rough Surfaces and Measurement Speed”，Journal of Robotics and Mechatronics，Vol.15 No.3，pp-331-440 (2003)

### 語句説明

注1) バンプ：ICチップ表面部に搭載された数十μm程度の微小突起電極。高さが不均一であると、接触不良による不具合が起きてしまうため、高さ検査が必要。



日名子 達也

光応用検査機器事業本部  
技術開発部開発グループ 所属  
三次元計測センサの開発に従事

# 次世代型双方向通信出力制御 実証事業への取り組み

■ 村下 直久

Naohisa Murashita

■ 森口 益巳

Masumi Moriguchi

## 1 はじめに

2010年6月に閣議決定された「エネルギー基本計画」において、我が国が低炭素社会を実現していくための電力供給システムとして、再生可能エネルギーや原子力の利用が中長期的に大幅に拡大する中、電力の安定供給を維持しつつ、社会的コストが最小となるような需給管理を可能とすることが提言された。このため2020年代を目途に原則全ての電源や需要家と双方向通信が可能な次世代送配電ネットワークの構築を目指すこととなった。

太陽光発電の大量導入に伴う電力系統安定化対策の一つとして、余剰電力対策コストの削減の観点からゴールデンウィーク等の特異日における出力抑制が想定される。現在のところ、再生可能エネルギー電源の双方向通信制御は、世界的に見てもほとんど行われておらず、今後の日本のスマートグリッドの国際展開においても非常に有効なツールとなると考えられる。

太陽光発電の設置者等の機会損失（出力抑制）を最小限に抑えるために、将来的にきめ細やかな出力抑制を行うことが可能な、双方向通信機能を用いた太陽光発電等の出力制御に関し、経済産業省の補助事業として2011年度～2013年度の3年間で実証を行うこととなった。

実証事業の概略スケジュールを図1に示す。

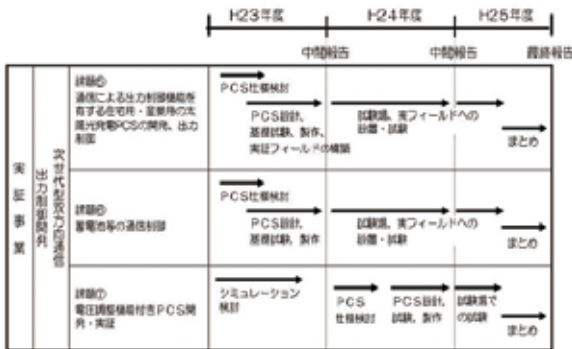


図1 実証事業の概略スケジュール

東光高岳はこの実証事業に参画し、2011年10月に開所した配電ネットワーク実証試験場<sup>(1)</sup>を活用して、太陽光PCSおよび蓄電池用PCS<sup>(注1)</sup>への双方向通信による出力制御検証試験を実施した。その概要について報告する。

## 2 実証の内容

### 2.1 実証事業の全体概要

本実証事業はおおまかに以下の五つに区分される。

#### (1)通信による出力制御が可能な太陽光用PCS（住宅用、事業用）ならびに蓄電池用PCSの開発【課題⑤-1、課題⑥】

現行の太陽光発電用PCSならびに蓄電池用PCSに、データ通信によって制御信号などの授受を行う機能を付加するための開発を行う。

太陽光発電用PCS開発では、国内の主要なPCSメーカーが8社参画し、本実証の中で要求する共通の仕様に対し、それぞれが自社製品をベースに通信制御機能を付加開発し、蓄電池用PCS開発では、本実証試験で蓄電池システムを提供する事業者が通信制御機能を付加開発する。

開発品について、通信手段を用いて信号授受、動作などの確認試験を実施する。

#### (2)電圧調整機能付きPCSの開発【課題⑦】

太陽光発電用PCSに具備される電圧調整機能は、様々な制御方式が考えられるため、シミュレーション等の検討で望ましい制御方式を絞り込み、家庭用（3～5kW級）、産業用（10～50kW級）の開発を行い、東光高岳・小山事業所内の配電ネットワーク実証試験場を用いて、動作・効果の実証試験を実施する。

#### (3)双方向通信に用いる通信手段の検討と基礎試験【課題⑤-2】

本実証試験では、電力系統と需要家を結ぶ種々の双方向通信の手段に対し、住宅地・商業地・農村などの様々な地域環境や、通信先の第一義の対象である太陽光発電用PCSの設置環境（宅内、宅外など）を模擬した通信環境を構築し、動作・機能の評価を行う。

#### (4)フィールド試験【課題⑤-3】

フィールド試験としては、配電ネットワーク試験場の模擬配電線系統および関連設備を活用した試験、関電工・技術研究所を活用した業務ビルを想定した試験、青森県むつ小川原地域の六ヶ所村（以下、青森県六ヶ所村、という）において、実際の住環境を使った総合的な実証試験を実施する。図2に、フィールド試験イメージ図を示す。

このフィールド試験では、複数の通信手段あるいは異なる通信手段を同時に使うなど、より実適用に近い環境において実施し、通信インフラの課題や複合したネットワーク構成がPCSコントロールに及ぼす影響などについてとりまとめを行う。また、これらのフィールド試験は同期をとつ



て同時に実施し、地理的に離隔した場所での一斉通信についても実証する。

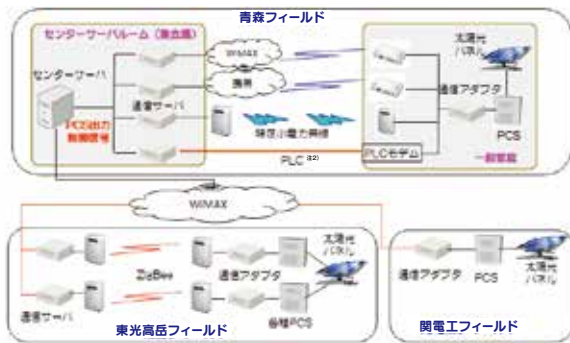


図2 フィールド試験イメージ図

#### (5) 双方向通信に関連するその他検討

双方向通信によって、太陽光発電や蓄電池を含む機器・システムを制御する状況では、相応のセキュリティ確保が必要となることから、想定される通信ネットワークに内在する危機や脆弱性の検討を行い、防護システムの試作・評価を実施する。

## 2.2 東光高岳が実施した実証事業項目

本実証事業の中で、東光高岳は以下に示す(1)～(4)の項目について担当し、実証試験を行った。

### (1) 通信による出力制御が可能な事業所向け太陽光発電用PCSの開発【課題⑤-1】

事業所向け双方向通信機能付50kW級太陽光発電用PCSを開発した。

### (2) 家庭および事業所向け太陽光発電用PCSの双方向通信出力制御フィールド実証試験【課題⑤-3】

- ・双方向通信機能を搭載した家庭用3～5kW級PCS(他社製5台)を配電ネットワーク試験場に持ち込み、太陽光(東光高岳保有の2台)もしくは模擬電源装置と接続、低圧系統に連系させ実証試験を実施した。
- ・事業所用50kW級PCSは、東光高岳製と他社製の2台を使用し、それぞれ50kW太陽光(東光高岳保有)と接続、配電ネットワーク試験場の6kV系統に連系させ、実証試験を実施した。
- ・各PCSへの出力制御は、青森県六ヶ所村に設置されるセンターサーバから実施。公衆回線、特小無線、有線LANなどの通信経路を介して、双方向通信方式にて出力制御指令の送信とその結果を受信し、評価を行った。

### (3) NAS電池<sup>注3)</sup>用PCSの通信制御の実証【課題⑥】

200kWNAS電池用双方向通信機能付きPCSを開発し、試験場内に設置した模擬蓄電池SCADA<sup>注4)</sup>から、有線LANを介して充放電出力制御試験を実施し、評価した。

### (4) 電圧調整機能付きPCSの検証試験【課題⑦】

上記(2)項で、試験場の系統に連系させた3kW級、

50kW級PCSそれぞれ1台(他社製)を使用し、無効電力制御<sup>注5)</sup>による電圧変動対策の試験を実施した。

## 3 実証試験の方法および結果

### 3.1 双方向通信機能付50kW級太陽光発電用PCSおよび200kWNAS電池用PCSの開発

#### (1) 50kW級太陽光発電用PCS

本実証では、双方向通信出力制御に対応した太陽光発電用PCSとして、当時開発中であったPWM<sup>注6)</sup>によるインバータ制御による50kW級PCS(並列運転機能と無効電力制御機能、最大電力追従機能、FRT機能搭載)に、外部との通信機能をシーケンス部に追加実装することで実現した。

センターサーバから送信される双方向通信出力制御指令は、通信アダプタを経由してPCS内部のシーケンス部で処理され、交流/直流変換部にて発電電力の制御を行う。シーケンス部はリアルタイムで制御結果を交流/直流変換部から収集し、通信アダプタに返送する。

開発したPCSの外観を図3に示す。

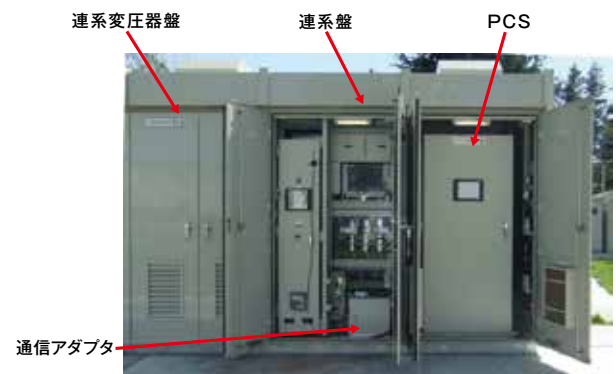


図3 50kW級太陽光発電用PCS外観図

なお、双方向通信出力制御の方式の詳細に関しては3.2項で示す。

#### (2) 200kWNAS電池用PCS

本実証事業では、太陽光発電大量導入時の余剰電力対策および周波数調整力不足対策を想定して、蓄電池用PCSを開発した。蓄電池は、配電ネットワーク試験場に設置された200kWNAS電池を使用する。200kWNAS電池用PCSは、(1)項で開発した50kW級PCSを4台並列運転する構成とした。なお双方向通信制御機能は、内部の監視ユニットに実装した。装置構成を図4に、外観図を図5に示す。なお通信インターフェイスは、PCS内部ユニット間通信としてCAN、外部通信としてRS-485、cc-link、LAN、RS-232Cを実装した。

模擬蓄電池SCADAから指令を行うNAS電池用PCSの双方向通信制御に用いる通信インターフェイスは、LANとした(詳細は3.3項参照)。

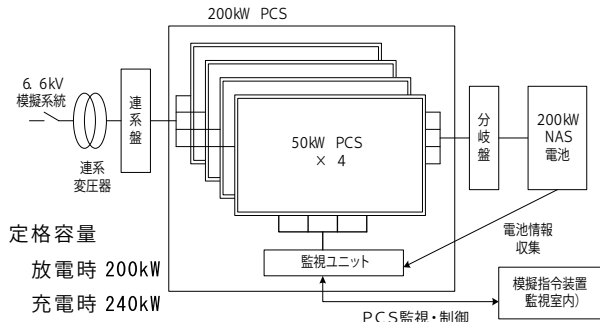


図4 200kWNAS電池用PCS 装置構成図



200kWNAS電池用PCS 200kWNAS電池  
図5 200kWNAS電池用PCSおよび200kWNAS電池

### 3.2 家庭および事業所向け太陽光発電用PCSの双方向通信出力制御フィールド実証試験

#### (1)フィールド実証試験構成

本実証の双方向通信出力制御フィールド試験は、以下に示すシステム構成にて実施した。

双方向通信システムとは、系統側と需要家側を接続するための伝送システムのことで、通信サーバ、DCE<sup>注8)</sup>および通信サーバとDCEを接続する通信メディアで構成する。

センターサーバは、需要予測に基づき太陽光発電による余剰電力などの影響により系統に悪影響が発生しないようPCSの出力制御情報の設定を行い、双方通信システムを通じ通信サーバに指示する。

通信サーバとDCEはフィールド内の通信を行い、センターサーバからの制御情報を通信アダプタに伝送する。

通信アダプタはセンターサーバからの情報を蓄積しPCSの出力制御を実施する。

双方向通信出力制御システム構成を、図6に示す。

センターサーバから通信サーバまでの伝送には、公衆回線網 (FOMA, CDMA, WiMAX) を使用した。また試験場内の通信には、通信サーバ～DCE間はZigBee<sup>注9)</sup>、DCE～通信アダプタ間はUDP/IPとした。

センターサーバから通信アダプタまでの上位層の通信フォーマットはECHONET Lite<sup>注10)</sup>形式に準拠し、基本的に機器オブジェクト「住宅用太陽光発電クラス規定」を使用し

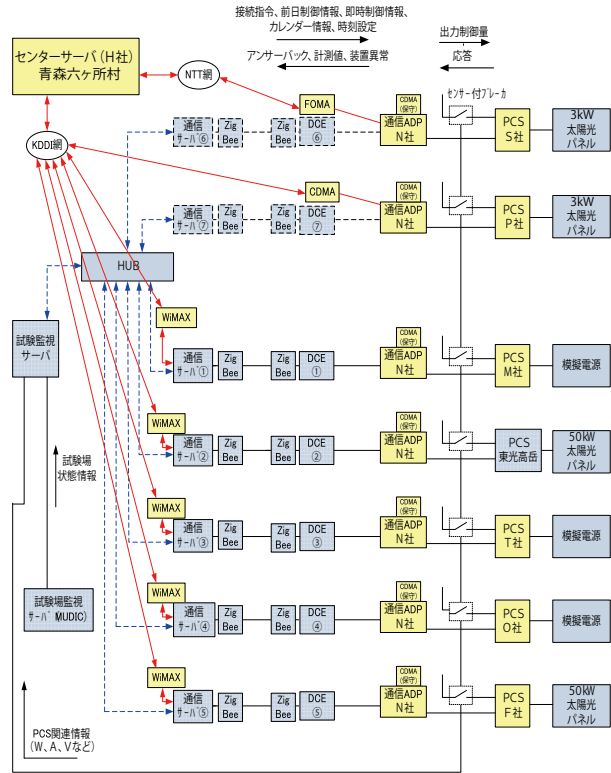


図6 双方向通信出力制御システム構成

た。ただし、カレンダー情報など本実証に必要ながECHONET Liteに規定されていない制御情報に関しては、当該規定を拡張した。

また、PCS～通信アダプタ間は、一般的にPCS装置が標準的に実装しているRS-485方式とし、通信フォーマットはECHONET Lite形式をベースに本試験用に新規に作成した。

上記通信システムを使用して、センターサーバから以下に示す実証シナリオに基づいて双方向通信制御を行い、当該出力制御指令の到達率、各PCSでの出力制御状況などを検証した。

- ・シナリオ①：カレンダー制御方式

当年と翌年の出力制御カレンダー (年間の特異日 (30日程度) の出力制御情報) を必要に応じて設定する。

- ・シナリオ②：翌日 (当日) 制御方式

毎日、翌日の出力制御の要否を判定し、必要であれば翌日の出力制御情報を設定する。また、同じ情報にて当日の出力制御を可能とする。

#### (2)試験結果

##### a. 太陽光用PCSの出力制御

センターサーバからの双方向通信出力制御指令により、実証試験場内各PCSの出力制御試験を行った。

代表例として図7に、東光高岳の50kW級PCSの出力波形例を示す。

図中の赤線で示したグラフの左側が出力制御あり時 (定格出力の30%に出力制御)、右側が出力制御なし時 (100%出

力)の波形である。

30%出力制御のため左側の波形では、15kW (50kW  $\times 0.3=15\text{kW}$ ) で出力が抑制されていることがわかる。

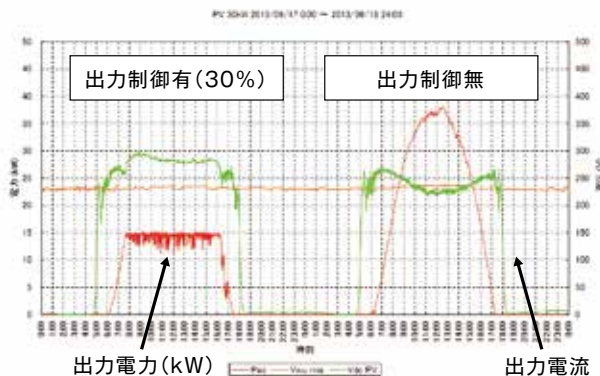


図7 東光高岳の50kW級PCSの出力波形例

### b. 指令電文到達率

東光高岳試験フィールドでは、2013年の9月～12月において、家庭用3台および産業用2台の太陽光PCSに対する双方向出力制御試験を、センターサーバとフィールド間の通信でWiMAX方式、フィールド内通信でZigBee方式を用いて実施し、出力制御の正否を、電文到達率で評価した。

WiMAX通信方式に関しては、配電ネットワーク試験場は電波状況が最良とはいえない地域であるため、10月にレピータを追加するなどの電波強化対策を実施し、最終的に97%の到達率を確保した。

また、ZigBee通信方式に関しては、4ヶ月間で平均して97～98%程度の電文到達率が確保できた。

なお上記2通りの通信方式とも、今後再送機能を盛り込むことで電文到達率の向上が見込まれる。

## 3.3 200kW NAS電池用PCSの双方向通信出力制御フィールド実証試験

### (1) フィールド実証試験構成

本実証において、NAS電池用PCSの双方向通信出力制御のフィールド実証試験を、図8に示す構成で実施した。

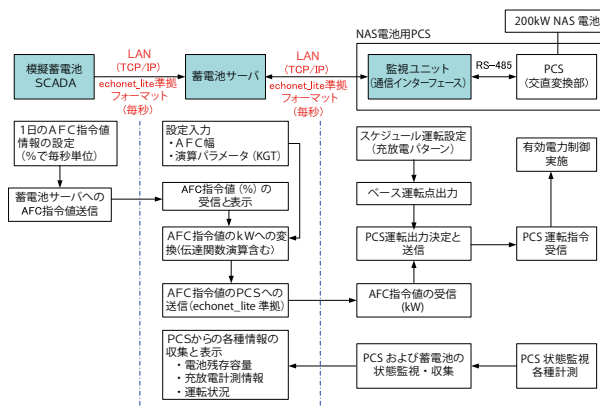


図8 NAS電池用PCSの双方向通信出力制御試験構成

周波数制御に関連した機能を蓄電池サーバに組み込み、模擬蓄電池SCADAから送信されるAFC注<sup>注10</sup>信号(%値)を構内LAN経由で蓄電池サーバが受信して、AFC信号(%値)を蓄電池出力指令値(kW値)に変換し、さらに構内LAN経由で蓄電池用PCSを制御する構成とした。

伝送プロトコルはTCP/IP通信方式とし、情報伝送を行うフォーマットは太陽光PCS制御と同様にECHONET Lite形式に準拠し、基本的に機器オブジェクト「蓄電池クラス規定」を使用した。ただし、太陽光と同様ECHONET Liteに規定されていない制御情報に関しては、当該規定を拡張した。

### (2) フィールド試験結果

模擬蓄電池SCADAから1秒周期で送信されたAFC模擬信号どおりに蓄電池用PCSが出力制御でき、その制御応答(AFC指令受領確認および瞬時充放電電力計測)を通信可能であることを確認した。

## 4 今後の予定

現在、東光高岳の配電ネットワーク実証試験場では、本次世代型双方向通信出力制御実証のフォロー研究が、太陽光発電用PCSと蓄電池用PCSに関して、引き続き実施されている(2014年度～2016年度の3年間)。

太陽光発電用PCSに関しては、現在、経済産業省等で検討されている30分間隔の太陽光発電出力制御情報に対応した新たなシナリオ3による試験および、双方向通信に再送機能を追加した試験を実施する。

また、蓄電池用PCSに関しては、実運用に即した充放電電力の変化に対してもAFC指令が正確に追従できるかなどを確認する予定である。

## 5 おわりに

本実証において、家庭および事業向けの太陽光用PCSおよび蓄電池用PCSに対する双方向通信による出力制御方式は、良好な結果が得られている。

電文到達率に関しても、通常の通信から考えれば十分に高いと考えられるが、本情報はPCSの出力制御に使われるもので、制御情報の欠落はユーザーのインセンティブや出力抑制に対する不公平感にも関わるため、今後さらなる品質向上を検討する必要がある。

また最近、2013年7月の固定価格買い取り制度の開始以降、太陽光発電を中心に再生可能エネルギー発電設備の接続申し込みが急速に増加した結果、電力会社は一定規模以上の系統への接続申し込みへの回答を保留することを発表しており、その対策として遠隔から出力制御を行える通信システムと、出力制御機能付きPCSを設置する条件で、申し込みを再開した。

今後これらの機器の開発が急務となっている。

東光高岳は、本実証で得られた知見を基に、再生可能エネルギーの出力制御のシステム提案と出力制御に対応したPCSの開発を推進していく。

#### ■参考文献

(1)茂木：「配電ネットワーク実証試験場」, 高岳レビュー, Vol.56, No.175, p.19-23 (2011)

#### ■語句の説明

注1) PCS:Power Conditioning System パワーコンディショナー 直流, 交流間の電力変換を実施するシステム。

注2) PLC:Power Line Communication 電力線を通信用として利用する通信技術

注3) NAS電池:ナトリウム・硫黄電池 負極にナトリウムを, 正極に硫黄を, 電解質にβ-アルミナを利用した高温動作型二次電池。

注4) SCADA:Supervisory Control And Data Acquisition 産業制御システムの一つで, コンピュータによるシステム監視とプロセス制御を行う

注5) 無効電力制御:PCSが無効電力を出力することで, 系統の電圧上昇を抑制する制御。Q制御ともいう。

注6) PWM:Pulse Width Modulation パルス幅変調スイッチングの比率を変化させて, インバータの出力電圧を制御する手法

注7) CAN:Controller Area Network 耐ノイズ制の効果を考慮して設計され, 相互接続された機器間のデータ転送に使用される規格

注8) DCE:Data Circuit-terminating Equipment 通信回線網の終端部に設置され, 通信回線と家庭や事業所などのLAN回線との接続点となる装置

注9) ZigBee:センサーネットワークを主目的とする近距離無線通信規格の一つ。基礎部分の電氣的仕様は, IEEE802.15.4として規格化されている。IEEE 802.15.4の総称としてZigBee(ジグビー)と呼ばれることが多い。

注10) ECHONET Lite: エコネットコンソーシアムが策定した通信プロトコルである。スマートハウス向け制御プロトコルおよびセンサーネットプロトコルであり, ISO規格およびIEC規格として国際標準化されている。

注11) AFC:Automatic Frequency Control 自動周波数制御方式



#### 村下 直久

技術開発本部 技術研究所  
プロジェクト推進グループ 兼 スマートグリッド事業推進部  
スマートグリッドシステム設計グループ 所属  
次世代配電ネットワークおよびスマートグリッドに関する研究・開発に従事



#### 森口 益巳

技術開発本部 技術研究所  
プロジェクト推進グループ 所属  
次世代配電ネットワークに関する研究・開発に従事

# 高電圧直流給電用ブレーカ

山田 敏晴  
Toshiharu Yamada

## 1 概要

太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの適用拡大や蓄電池設備の普及により、直流給電の適用が増えている。また、ICT装置の高度化や通信ネットワークの拡大による消費電力の急増が課題となっているデータセンターでは、その抑制策として直流給電が注目され、導入が始まっている。

直流給電の回路保護を担う直流電流の遮断技術面では、交流とは異なり、電流零点が無いために開極時に継続発生するアークが接点の劣化や熔着、火災発生の要因になる。このため、開極アークの抑制を主眼にした遮断技術が開発されており、従来から永久磁石によるアーク伸長や複数接点の直列接続化等の遮断技術が活用されてきた。

今回、半導体素子を用いた独自の消弧回路により開極アークが全く発生しないアークレス遮断技術を開発し、この技術を適用して高電圧直流給電用ブレーカ (DC400V, 30A) の製品化を進めている。

## 2 特長

高電圧直流給電用ブレーカの特長は以下の通り。

### 2.1 高電圧直流給電回路をアークレス遮断

半導体素子を用いた独自の消弧回路により高電圧直流給電回路をアークレスで遮断することができる。

本ブレーカの直流電流遮断波形を従来ブレーカと比較して示す(図2, 図3)。

### 2.2 コンパクトな2極式

本ブレーカは、次の機能を備えたコンパクトな2極式構造を採用した。

- (1) 過電流保護 (電磁・ヒューズ内蔵)
- (2) 外部信号によるオフ制御
- (3) 状態表示用接点出力

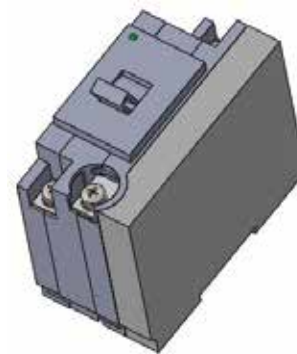


図1 本ブレーカの外觀イメージ

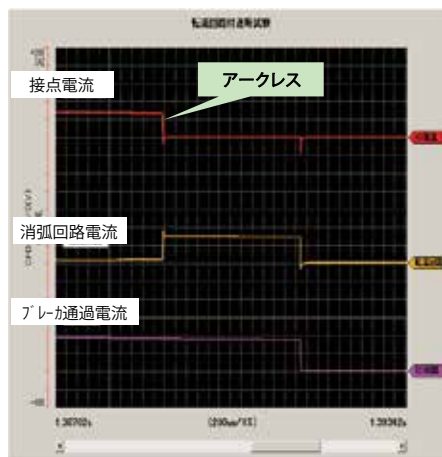


図2 本ブレーカの直流電流遮断波形

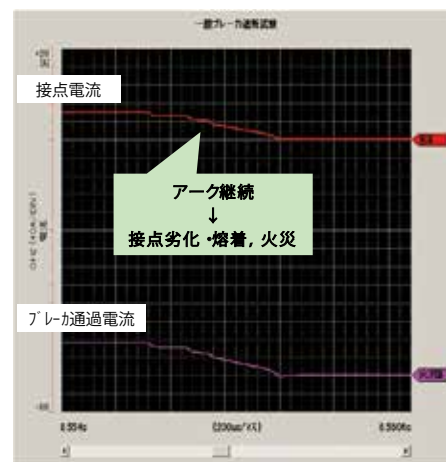


図3 従来ブレーカ(接点直列接続)の直流電流遮断波形



山田 敏晴

エネルギーソリューション事業本部  
パワーエレクトロニクス営業部  
パワーエレクトロニクスグループ 所属  
パワーエレクトロニクス製品の企画・販売に従事

# OpenADR による DR 発動システム

■ 澁谷 啓之  
Hiroyuki Shibuya

■ 唐澤 典行  
Noriyuki Karasawa

■ 小澤 信行  
Nobuyuki Ozawa

## 1 はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災以降、我が国の電力需給状況は依然として厳しく、再生可能エネルギーの導入などの供給側の対策だけでなく、需要家側でも電力の需給調整を行う「デマンドレスポンス」(以下、DR: Demand Response) が近年注目を浴びている。

DRとは、時間帯別料金などにより電力価格を変化させて電力使用を抑制したり、削減した電力量に応じてインセンティブを支払うことで、電力需要ピーク時や需給逼迫時において、需要家側で需給調整を行うものである。

従来のDRにおいては、需給逼迫が予測される前日等に電話や電子メールを利用し人手で需要家に抑制の連絡を行っていた。その人手によるやり取りを自動化し、相互接続性を確保するためのOpenADR(Open Automated Demand Response)という規格が米国で策定された。日本においても、スマートハウス・ビル標準・事業促進検討会の策定した「デマンドレスポンス・インタフェース仕様書」<sup>(1)</sup>ではOpenADRに基づいて仕様が定められるなど、今後普及が期待されている。

現在日本では、OpenADRを活用したDRについては実証試験段階であるが、東光高岳ではこの実証試験段階から参画し、OpenADR関連技術の研究・開発及びビジネスモデルの創出に取り組んでおり、本稿ではOpenADR技術とそれら東光高岳での取組みについて紹介する。

## 2 OpenADR とは

### 2.1 OpenADR概要

OpenADRはDRの自動化・標準化を目的に米国のOpenADR Allianceにより策定された規格で、現在OpenADR2.0bというバージョンが最新の仕様として公開されている。OpenADRでは電力会社と需要家との間の通信モデル・通信プロトコルを規定している。

### 2.2 VTN(サーバ)・VEN(クライアント)通信

OpenADRでは電力会社のサーバと需要家のクライアント(EMSなど)との間をXML形式のメッセージ交換を行うことによりDR要請・応答を行う。OpenADRでは特にこのサーバをVTN(Virtual Top Node)と呼び、クライアントをVEN(Virtual End Node)として通信モデル化されている。

図1に示すように、このVTNとVENの通信モデルでは、最初に自身がVENとしてVTNより受信した情報を、更に下位のVENに対して送る際は自身がVTNとなる。このようにVTNやVENの機能を持つサーバのことをDRAS (Demand Response Automation Server) とも呼ぶ。

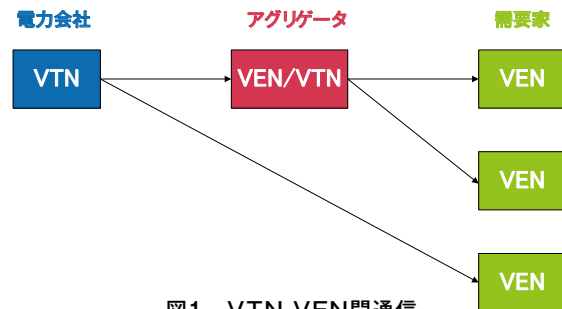


図1 VTN-VEN間通信

電力会社と需要家との間に入り、需要家を束ね節電容量を集めるアグリゲータと呼ばれる事業者を介して需要家へDR発動を行う場合を例にこのモデルを見る。図1に示すように、まず電力会社(VTN)からアグリゲータ(VEN)へDR情報が送信され、その後アグリゲータがVTNとなり需要家(VEN)へと伝えられる。このようにVTNとVENとの1対1の通信モデルで階層構造も表現できる。

### 2.3 OpenADRでのDR実施フロー

OpenADRでやりとりされるメッセージでは、DR抑制量・時間だけでなく、電力価格やメーター情報など様々な情報がサポートされているが、その全てが必要な訳ではなく、ユースケースによって使い分ける。図2にアグリゲータを介したDR発動のスキームを示す。

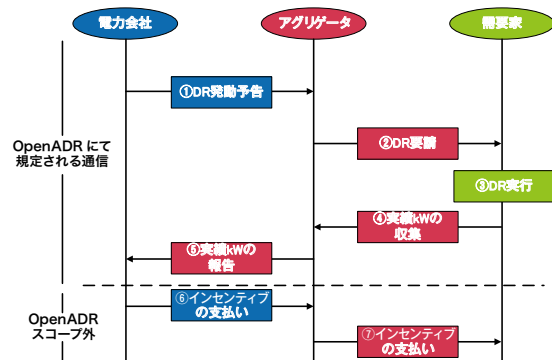


図2 アグリゲータDRシーケンス

図2において、まず電力会社よりアグリゲータに対し

DR発動の予告が送信される(①)。この際に送られるのはDR開始日時、DR継続時間、抑制容量、逼迫レベルなどである。次にアグリゲータが抑制容量に応じて需要家を選択し、DR要請を行う(②)。需要家にてEMSシステムなどと連携していれば自動で、そうでない場合手動でDRを実施する(③)。実施したDRによる抑制容量をアグリゲータが収集し(④)、電力会社に報告を行う(⑤)。ここまでがOpenADRにて規定される通信の流れになる。一般に需要家がDRを実施すると対価として契約に応じて、電力会社からアグリゲータへ(⑥)、アグリゲータから需要家へのインセンティブが支払われる(⑦)。ただし、インセンティブの支払いについてはOpenADRが規定するところではない。

以上がOpenADRを活用したDR発動の一例である。DRの実施において個々の需要家では、必ずしもいつでもDRが実施できるわけではないため、DRを発動する際にその時々状況に応じて最適な需要家を選択する必要がある。それを電力会社の代わりに行うのがアグリゲータであり、現在DRにおいて注目されているビジネスモデルである。この他にもCPP(Critical Peak Pricing)<sup>注1)</sup>や直接負荷制御<sup>注2)</sup>などの様々なDR関連サービスがOpenADRでは実現可能である。

### 3 東光高岳の取組み

#### 3.1 次世代エネルギー・社会システム実証事業

OpenADRに関連する東光高岳の取組みとしては、2013年度に技術検証としてOpenADRサーバの相互接続

検証を行い、同年11月には、一般社団法人新エネルギー導入促進協議会が公募した平成25年度次世代エネルギー・社会システム実証事業費補助金に東京電力株式会社、株式会社グローバルエンジニアリングと共同申請した「実効性の観点から見た短時間かつフレキシブルなDRシステム構築と分析・評価」の事業が採択され<sup>注2)</sup>、平成26年度も継続事業として採択された<sup>注3)</sup>。

本実証事業では、OpenADRを用いて実際に電力会社からアグリゲータに対してDRを発動し、アグリゲータから需要家に対してDR要請を行い、需要家のDR実績に応じてインセンティブを支払うという一連の流れを実フィールドにて実施し、その効果の分析・評価を行った。

#### 3.2 システム構成

電力会社からDRが発動されると、電力会社の電力DRASからアグリゲータDRASへとDR情報が送信される。受信したDR情報は需要家管理を行うサーバ(図3のコンテンツサーバ)へと送信される。コンテンツサーバにて需要家の選択を行い、選択した需要家に対してDR要請が行われる。需要家にはSTiNC(東光高岳のインテリジェントネットワークコントローラ)を設置し、使用した電力量を計測し、計測したデータをデータ収集用のサーバ(図3のパーソナルサーバ)へと送る。このデータの計測・収集は1分値単位で行うことで、需要家の節電行動の応答性の詳細な評価に役立てた。パーソナルサーバで収集したデータはコンテンツサーバに送られ、収集したデータを元に需要家へ支払うインセンティブの算出を行った。

このようにOpenADRの機能、需要家管理の機能、デー

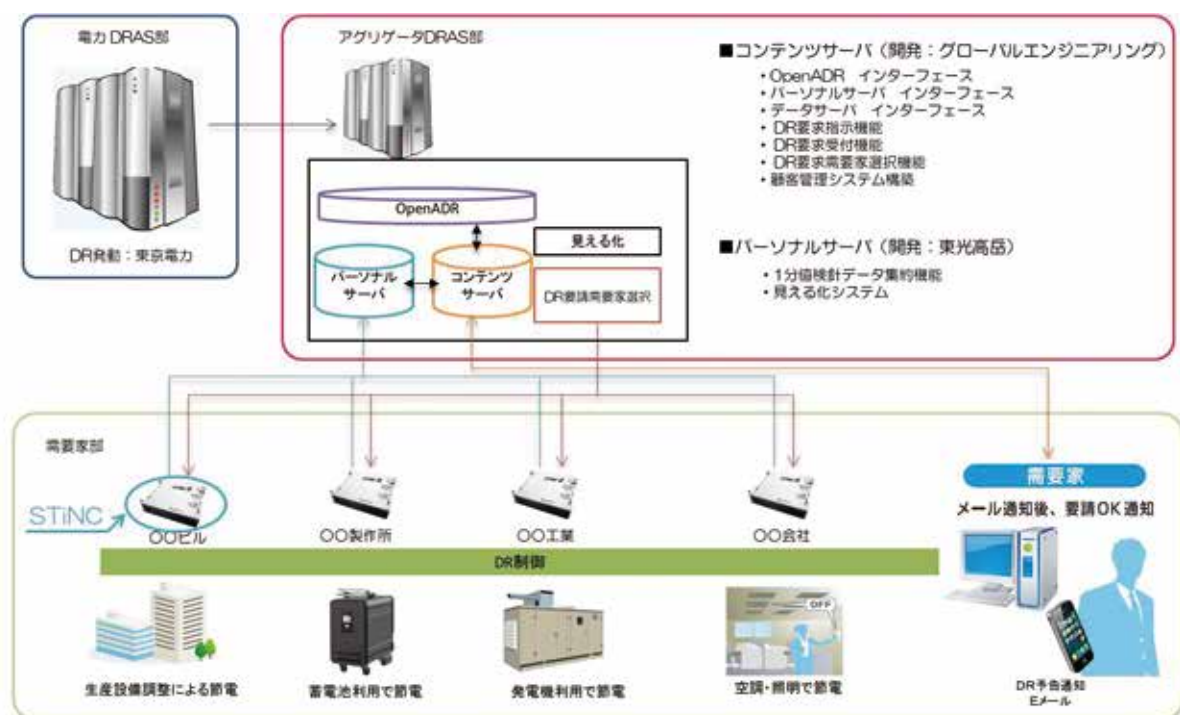


図3 システム構成図

タ収集の機能と、それぞれ機能別にサーバを分けた。これにより、需要家管理システムは持っているアグリゲータに対してOpenADR機能とデータ収集機能を提供するなど柔軟なサービス提供を行うことを可能とした。

開発したパーソナルサーバでは、各需要家のリアルタイムの1分値データの検索及びグラフ表示機能、通信状況の監視、新規需要家の登録などアグリゲータ向けの管理機能などを実装した見える化システムを搭載し、アグリゲータ業務の効率化や、需要家データの分析などに役立てた。

DR実施に協力いただいた需要家での節電方法は、自家発電機の起動、空調・照明制御、蓄電池の放電、蓄熱設備の制御、生産設備の制御などである。アグリゲータから需要家へのDR要請はコンテンツサーバよりメール経由で行われ、メールを受け取った需要家は指定時間に上記の方法で節電行動を実施する。また、コンテンツサーバからSTiNCにDR情報を送信し、DR開始時刻にSTiNCから需要家設備に制御指令を出すことで、一部の需要家設備においては自動制御を行った。

### 3.3 ベースライン

需要家の行った節電努力により得られた削減効果を定量的に評価するために、DR実施時間帯に節電をしなければ、本来使用したであろう電力量の予測値(ベースラインと呼ぶ)と実際に使用した電力量との差分値の算出を行った。図4にベースラインとDR実施日の電力量との関係の例を示す。

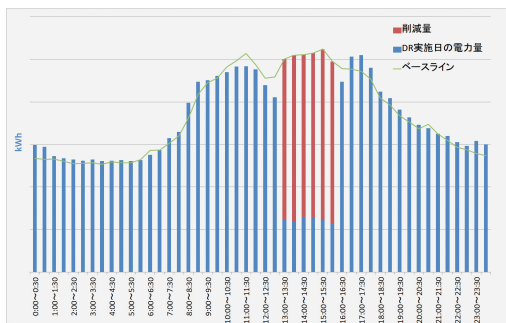


図4 ベースラインの例

図4の例では、13:00～16:00にDRを実施し、ベースラインに対して赤色の棒グラフ分の電力量を削減できたことを示している。

削減量を算出するのに用いるベースラインの計算方法は種々あり、DR実施日の至近の営業日何日間かの平均使用量をベースラインとする方法や、至近Y日間の内、電力使用量の高かったX日分の平均をベースラインとする「High X of Y」などが用いられている。今回の実証では至近の営業日5日間の平均値をベースラインとした。

### 3.4 DR発動パターン

2013年度には、全12の需要家に協力いただき計3回のDR発動を行い、2014年度には全13の需要家に協力いただき、計23回のDR発動を行った。DRを実施する時間帯

は朝(8:00～11:00)、昼(13:00～16:00)、夕(17:00～20:00)の3パターンとした。DRの実施を需要家に要請する事前予告をDR実施時間の前日、1時間前、30分前、10分前の4パターンにて実施した。

### 3.5 DR実施結果

DR実施結果の一例として、2014年11月28日に発動されたDR(時間帯:夕, 事前予告:1時間前)において、アグリゲータDRASで受信したOpenADRによるDR発動予告の内容を表1に示す。

表1 発動予告内容

OpenADR 情報	値
日付	2014/11/28
開始時間	17:00
継続時間	3時間
緊急レベル	1

表1で送られた情報は図2で示した①DR発動予告において送られる情報である。表1中の緊急レベルは低い方から0,1,2,3の4段階あり、1は中程度の緊急度を想定している。

図2で示した①DR発動予告をアグリゲータが受信した日時を表2に示す。それに基づき需要家がDR情報を受信した日時(図2の②DR要請)、及び自動制御の需要家のSTiNCにてDR信号を受信した日時を同様に表2中に示す。

表2 アグリゲータ及び需要家へのDR情報通知日時

DR 情報通知	日時
アグリゲータDRAS DR 信号 受信日時	2014/11/28 16:00
需要家通知日時(メール)	2014/11/28 16:01
STiNC DR 信号受信日時	2014/11/28 16:01

アグリゲータはDR実施時間の1時間前にDR情報を受信し、受信したDR情報は1分後にはメールにて需要家に通知されている。同様に自動制御の場合も1分後にはSTiNCにDR情報が届いている。この結果よりOpenADRを用いてDR発動を行うことで電力会社から需要家まで速やかにDR情報の伝達を行うことができていると言える。

次に、需要家にて実施したDRの実施結果を図5に示す。

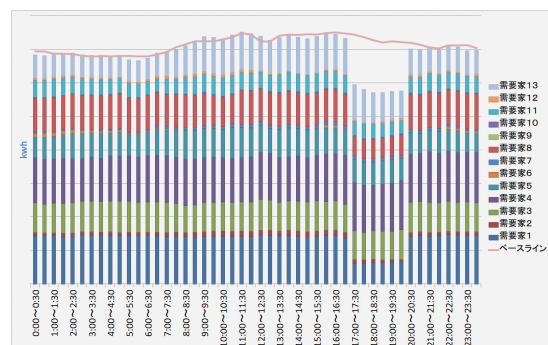


図5 電力使用量の実績とベースライン(2014/11/28)

図5の棒グラフはDR実施日の各需要家の電力使用量を積算した値を示し、折れ線グラフはそのときのベースラインを示す。図5より、DR実施時間の17:00～20:00の間にお



いてベースラインと比べ電力使用量が削減できたことが分かる。

以上より、OpenADRによるDR発動システムによりDRを発動し、需要家にてDRを実施し削減効果が得られることを実フィールドにて確認できた。

### 3.6 自動制御の効果

発動したDRの中で特に10分前に需要家に要請を行う場合には、需要家において事前に十分な準備が行えないため、対応が遅れる、あるいは実施できなかったというケースが見られた。図6に10分前発動でDRを行った場合のDR開始時刻から節電効果が得られるまでの立ち上がりの例を示す。

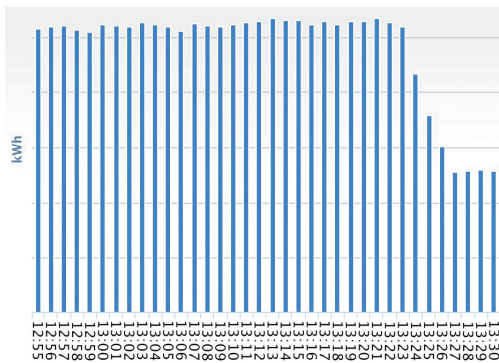


図6 10分前発動での立ち上がりの例（手動制御）

図6では、13:00からのDRを10分前に通知した場合の例で、需要家は通知を受けてから手動で節電行動を実施する。13:00からの開始に対して実際に節電行動が見られ始めたのが13:24からで、十分な節電効果が得られるまでは27分もの時間がかかっている。

10分前発動の場合、発動の通知のメールに気づくのが遅れるだけでも上記の例のように対応が遅れてしまう。事前に設備側での準備が必要な場合には、更に節電効果が得られるまでに時間がかかる。そのため、10分前発動などのDR通知からDR開始時間までのスパンが短いDR (Fast DR)において、手動制御でDRを行うのは難しいと言える。

次に同様に10分前発動の場合に、自動制御を行った例を図7に示す。

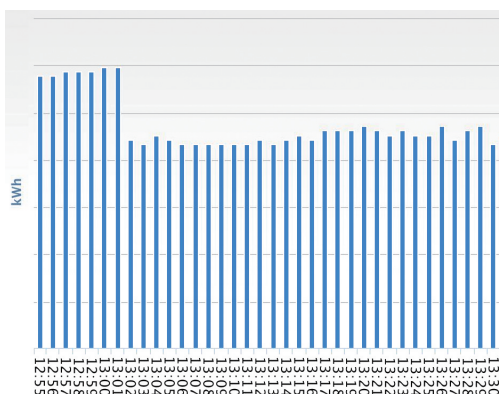


図7 10分前発動での立ち上がりの例（自動制御）

図7より、自動制御を行った場合は開始時間の約2分後には十分な削減効果が得られているのが分かる。STiNCから制御命令が出され、実際に設備の制御によって節電効果が現れるまでに約2分かかっているが、DR実施担当者がメールに気づかずとも時間になれば確実にDRが実施できる。よって、10分前発動のようなFastDRには自動制御が有効であると言える。

## 4 おわりに

OpenADR技術とそれを活用した東光高岳での取り組みとして実証事業について紹介した。実証事業を通して、OpenADRでのDR発動システムの検証、自動制御の有効性の検証などを行った。今後も更に検証を重ね、実証フィールドから実際のビジネス展開へとつなげていく所存である。

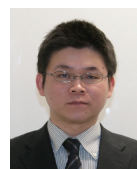
### ■参考文献

- (1) スマートハウス・ビル標準・事業促進検討会「デマンドレスポンス・インタフェース仕様書 第1.1α版」(2014.05.28)
- (2) 平成25年度 次世代エネルギー・社会システム実証事業費補助金(次世代エネルギー・社会システム実証事業)(第三次公募)の採択結果について(2013.11.22)  
<http://www.nepc.or.jp/topics/2013/1122.html>
- (3) 平成26年度 次世代エネルギー・社会システム実証事業費補助金(次世代エネルギー・社会システム実証事業)の採択審査結果について(2014.6.27)  
[http://www.nepc.or.jp/topics/2014/0627\\_1.html](http://www.nepc.or.jp/topics/2014/0627_1.html)

### ■語句説明

注1) CPP (Critical Peak Pricing) :緊急ピーク時に特に高い電気料金を課す方式

注2) 直接負荷制御 :電力会社が直接需要家の機器を制御する方式



澁谷 啓之

技術開発本部  
技術研究所 ICT技術グループ 所属  
通信技術の研究開発に従事



唐澤 典行

技術開発本部  
技術研究所 ICT技術グループ 所属  
自動検針システムなどのソフトウェア開発に従事



小澤 信行

エネルギーソリューション事業本部  
ソリューション製造部 開発グループ 所属  
エネルギーマネジメントシステムの開発に従事

# 中国武漢試験場での 自立型光CTの性能確認試験

山口 達史

Tatsushi Yamaguchi

川崎 博文

Hirofumi Kawasaki

## 1 はじめに

変電所内の自動化に関わる通信プロトコルとしてIEC 61850<sup>①</sup>が制定されて以来、海外では、光変流器（以下、光CT）の実用化が進められてきた。東光高岳では、光CTを次世代の変成器として位置づけ、海外市場をターゲットに2008年より研究開発を行っている。光CTの技術開発では、電流センサの各要素技術、MU (Merging Unit) 技術および高精度化技術等を確立し、プロトタイプとして220kV自立型光CTを開発した。

現在、光CTが最も普及している中国市場を視野に入れ、中国電力科学研究院 電力工業電気設備質量検査測定センター（以下、武漢試験場）が実施する電子式変成器性能確認試験（以下、性能確認試験）に合格し、長期性能検証を除くすべての試験で良判定を得たので、その概要を報告する。

## 2 自立型光CTの性能確認試験

### 2.1 220kV自立型光CTの概要<sup>②</sup>

本装置の概略仕様を表1に示す。本装置は、電流を検出する光CT本体と、変調された光信号を電気変換して信号処理演算および通信を行うMUにより構成されている。光CT本体は、ポリマーがい管の上部に電流検出部を取付けた構造であり、周囲に電界緩和シールドを設けている（図1(a)）。MUは、電源、光源、信号処理および通信の各ユニットが独立しており、出力はIEC61850-9-2LEに準拠しオールデジタル変電所に対応できる（図1(b), (c)）。

表1 200kV自立型光CTの概略仕様

項目	仕様値
準拠規格	GB/T 20840.8-2007 IEC 60044-8 IEC 61850-9-2LE
最高使用電圧	252kV
定格一次電圧	220/√3kV
定格一次電流	1,200A
定格耐電圧	AC 460kV / LI 1,050kVpeak
定格周波数	50Hz
確度階級	計測用: Class0.2, 保護用: Class5P
定格短時間電流	50kA 3sec
電源電圧	DC220V±20%
周囲温度	光CT: -40~+70°C MU: -10~+55°C
外形寸法	光CT: 480(W)×480(D)×3349(H)mm MU: 480(W)×361(D)×222(H)mm

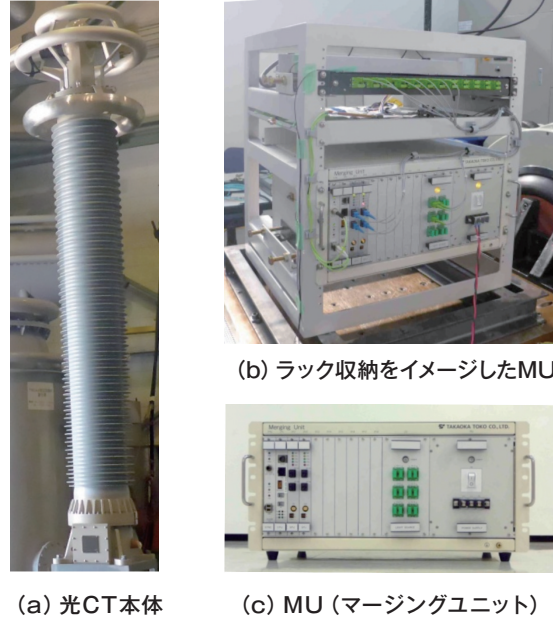


図1 220kV自立型光CTの装置構成

### 2.2 自立型光CTの性能確認試験

性能確認試験とは、中国国家電網会社が独自に規定する試験で、IEC規格やGB規格より厳しい試験条件や判定値となっている（表2）。武漢試験場ではこれらの試験を通して、外部環境に左右され難く長期的に安定した性能を有する光CTであるとの認定を行っている。

今回の試験では、長期性能検証を除くすべての試験を行い、良判定を得て合格することができた。以下に性能確認試験の主な試験結果を示す。

表2 自立型光CTの性能確認試験項目一覧

No.	試験項目	No.	試験項目
1	誤差試験	9	RIV 試験
2	温度サイクル誤差試験	10	断路器開閉サージ影響試験
3	光CT絶縁試験	11	機械的強度試験
4	MU絶縁試験	12	MU 振動試験
5	短時間電流試験	13	MU 保護等級検証
6	複合誤差試験	14	誤差試験(同相電流)
7	EMC試験	15	誤差試験(再現性)
8	温度上昇試験	16	長期性能検証(未実施)

#### (1) 温度サイクル誤差試験

温度サイクル誤差試験は、光CT本体の温度範囲：-40~+70°C、MUの温度範囲：-10~+55°Cの条件の

もと高温側試験，低温側試験に分けて実施した。その結果，計測用，保護用とも規定値を満足した。また特殊試験として，低温側試験時に一度MUの電源を切り2.5時間放置後にコールドスタートを実施した結果，良好な精度が得られた。図2～3に計測用の比誤差特性結果を示す。

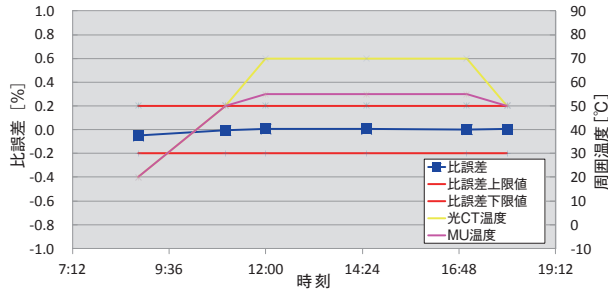


図2 温度サイクル誤差試験結果(高温側比誤差特性)

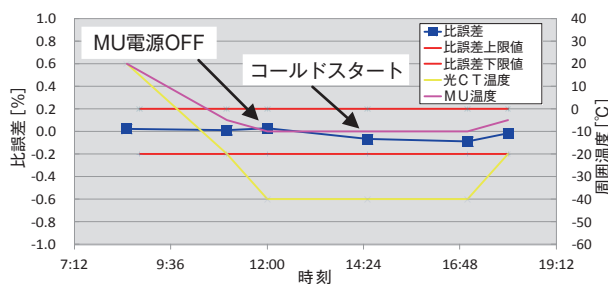


図3 温度サイクル誤差試験結果(低温側比誤差特性)

### (2) 断路器開閉サージ影響試験

断路器開閉サージ影響試験は，断路器の充電部に光CTの一次端子を電気的に接続した状態で開閉動作を行う試験である。接点の開閉に伴いアークが発生するが，MU出力の波形異常やパケットエラーが発生することなく良好な結果が得られた。図4に試験状況を示す。

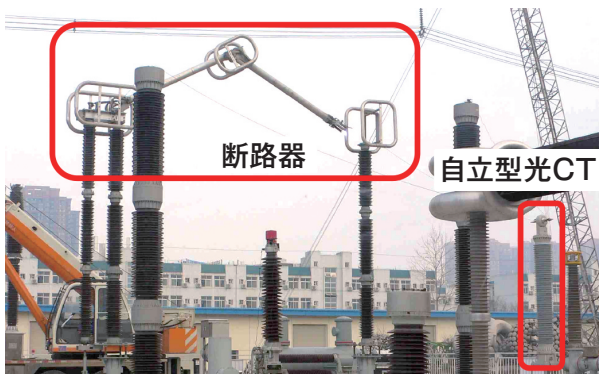


図4 断路器開閉サージ影響試験状況

### (3) 誤差試験(再現性)

誤差試験(再現性)は，性能確認試験の最初に行う誤差試験結果に対して，最後に行う誤差試験(再現性)結果の変化が，計測用，保護用とも確度階級の1/2以下に規定されている。本試験の目的は，全体の試験を通して温度変化や振動および電磁界等の外部ストレスを受けても，安定した精度を維持しているか確認することである。

計測用，保護用とも比誤差変化，位相角変化が規定値を満足しており，良好な結果が得られた。図5～6に計測用の試験結果を示す。

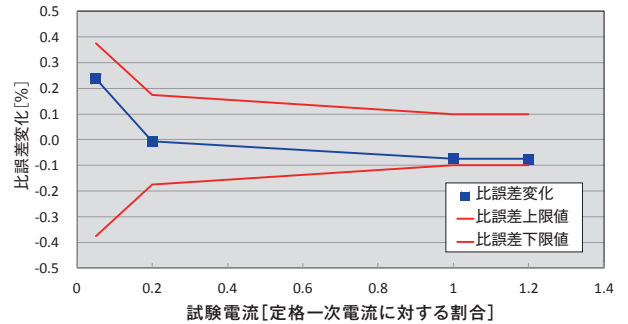


図5 誤差試験(再現性)結果(比誤差変化特性)

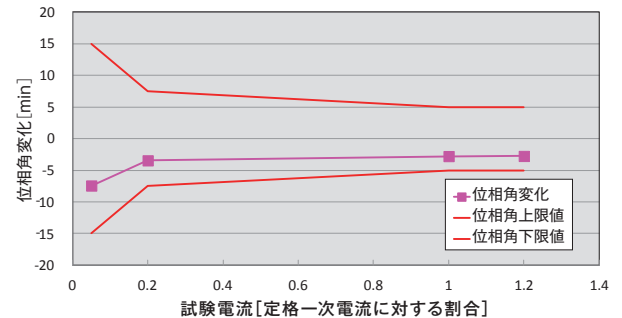


図6 誤差試験(再現性)結果(位相角変化特性)

## 3 おわりに

本稿では，武漢試験場による自立型光CTの性能確認試験を行った結果およびその状況について述べた。試験結果から自立型光CTは実用レベルの性能を有していることを確認した。今後は中国市場への参入を中心に，市場性を見極め，製品化を進める方向で各種検討を行っていききたい。

### ■参考文献

- (1)大谷，今井，天雨，牛尾他：「変電所デジタル監視制御システムに対する IEC61850 適用の基礎検討(その1)」，電気学会研究会資料，PPR-10-22，pp.113-118
- (2)山口，板倉：「光ファイバ電流センサ適用装置の実用化と光CT開発の取組」，東光高岳技報，No.1，pp.44-48(2014)



山口 達史

技術開発本部  
技術研究所  
ICT 技術グループ 所属  
光 CT・光 VT 他光変成器の開発・設計に従事



川崎 博文

技術開発本部  
技術研究所  
ICT 技術グループ 所属  
光 CT・光 VT 他光変成器の開発・設計に従事

# 電力用モールド機器向け 植物油由来エポキシ樹脂の開発

■ 大竹 美佳  
Mika Ohtake

■ 山下 太郎  
Taro Yamashita

■ 小川 賢治  
Kenji Ogawa

■ 平野 一美  
Kazumi Hirano

## 1 はじめに

低炭素社会の実現に向け、CO<sub>2</sub>の排出抑制や石油資源の使用量節減につながる技術開発が、様々な分野において積極的に進められている。例えば、電力分野では、多くの電力機器に絶縁媒体として用いられているSF<sub>6</sub>ガスに温室効果があるため、その使用量の節減が責務となっている。東光高岳においても、SF<sub>6</sub>ガスの代替を実現すべく、電力用モールド機器の絶縁材料であるエポキシ樹脂の適用拡大を目的とした高性能化に取り組んできた<sup>(1)</sup>。また、電力用モールド機器の更なるグリーン化の実現を目指し、材料そのものが環境負荷低減に貢献する、バイオマス資源をベースとした植物油由来エポキシ樹脂の開発を推進している。本稿では、植物油由来エポキシ樹脂の課題であった成形プロセス性と耐サーマルショック性の両立を試みたので報告する。

## 2 バイオマス資源による環境負荷低減

バイオマスとは一般に「再生可能な生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」と定義されている。バイオマス資源の利用によるカーボンニュートラルの概念を図1に示す。バイオマス資源はその成長過程でCO<sub>2</sub>を吸収することから、CO<sub>2</sub>の増加を抑制できる。また、石油や鉱物等の枯渇資源と異なり、繰り返し生産可能な再生資源であり、生産地域も限定されない等の特長を有する。そのため、バイオマス資源を活用した燃料や熱可塑性樹脂の研究開発やその実用化が積極的に展開されている<sup>(2)</sup>。

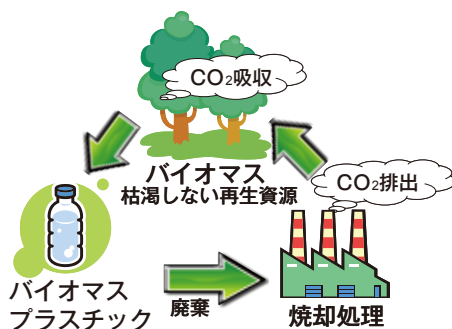


図1 カarbonニュートラルの概念

一方、電力機器用エポキシ樹脂を含む熱硬化性樹脂には熱可塑性樹脂に比べて要求される機械強度や耐熱性等の特性レベルが高く、バイオマス資源への代替のハードルが高いためか、活発な取組みがなされていない。しかし、電力用モールド機器は比較的大型で樹脂ボリュームを有するため、バイオマス資源を適用することができれば環境負荷低減への効果は大きい。一般に電力機器用エポキシ樹脂はエポキシ主剤、硬化剤、石英等のフィラーで主に構成されており、石油由来原料であるエポキシ主剤や硬化剤をバイオマス資源に代替することで、CO<sub>2</sub>の排出抑制が期待できる。

## 3 電力用モールド機器適用への鍵

エポキシ樹脂主剤の代替として、東光高岳はこれまでに植物油の脂肪酸の不飽和部位をエポキシ化した数種類のエポキシ化植物油<sup>(3)</sup>を対象としてその有用性を検討してきた。その結果、エポキシ化亜麻仁油を主剤、酸無水物を硬化剤としたエポキシ樹脂（以下、酸無水物系亜麻仁油樹脂）は、長年実績のある電力機器用エポキシ樹脂（以下、現行樹脂）と比較して、機械強度および耐熱性がやや劣るものの、電気絶縁性は同等レベルであり、実用可能な材料特性を有していることを明らかにした<sup>(4)</sup>。また、熱的特性が異なる金属やセラミック等の内蔵物と一体成形する電力用モールド機器への適用においては、異種材料との適合性、特に耐サーマルショック性が重要となるため、その性能向上を図った<sup>(5)</sup>。しかし、耐サーマルショック性の向上化アプローチとして、線膨張係数の低いフィラーを高充填することに加え、低温で長時間の硬化プロセスが必要となり、成形プロセスの改善が適用を図る上で鍵となっていた。

## 4 ノボラック型フェノール樹脂の適用

ノボラック型フェノール樹脂は半導体封止分野でエポキシ樹脂の硬化剤として多く適用されており、硬化時間を短くコントロールできる。また、他のエポキシ樹脂硬化剤と比較して、硬化物の架橋密度が高まり、耐熱性に優れ

る。そこで、硬化剤にノボラック型フェノール樹脂の適用を試みた。

フェノール系硬化剤の配合量は、エポキシ化亜麻仁油のエポキシ当量に対する水酸基当量から決定した。フィラーは注型可能な樹脂粘度を基準とし、球状溶融石英を最大限配合した（以下、本配合硬化物をフェノール系亜麻仁油樹脂と表記）。フェノール系亜麻仁油樹脂と比較対象である酸無水物系亜麻仁油樹脂および現行樹脂の組成と成形プロセス条件を表1に示す。成形プロセス条件は徐冷を含めた硬化時間が現行樹脂と同等レベルになることを目標に、ゲル化までの反応性を事前に検証して決定した。

表1 各樹脂の組成と成形プロセス条件

		フェノール系 亜麻仁油樹脂	酸無水物系 亜麻仁油樹脂	現行樹脂 (石油由来)
材料	主剤	エポキシ化 亜麻仁油	エポキシ化 亜麻仁油	ビスフェノールA型 エポキシ樹脂
	硬化剤	ノボラック型 フェノール樹脂	酸無水物	酸無水物
	フィラー	溶融石英	溶融石英	結晶性石英
バイオマス比率 (樹脂成分)		62wt%	53wt%	0wt%
成形 プロセス 条件	硬化温度	120℃	80℃~100℃	80℃~130℃
	硬化時間 (徐冷を含む)	62h	121h	58h

耐サーマルショック性、曲げ強度、ガラス転移温度、線膨張係数および絶縁破壊強さを表2に示す。耐サーマルショック性と絶縁破壊強さを除く表中の値は、酸無水物系亜麻仁油樹脂の値で基準化して表記した。

表2 植物油由来エポキシ樹脂の材料特性

	フェノール系 亜麻仁油樹脂	酸無水物系 亜麻仁油樹脂	現行樹脂 (石油由来)
耐サーマルショック性	0℃⇔100℃で クラック発生	-10℃⇔100℃で クラック発生	0℃⇔100℃で クラック発生
曲げ強度	1.1	1	1.3
ガラス転移温度	1.1	1	1.5
線膨張係数	1.0	1	1.0
絶縁破壊強さ (kV/mm)	20以上	-	20以上

耐サーマルショック性はJIS法をベースとした社内標準の液相冷熱試験法<sup>1)</sup>で評価を行った。耐サーマルショック性に優れた樹脂を簡便かつ短時間で評価するため、過酷な試験条件を採用している。フェノール系亜麻仁油樹脂は耐サーマルショック性を維持しながら、現行樹脂と同レベルの硬化温度に引き上げることができ、酸無水物系亜麻仁油樹脂に対し、硬化時間を50%程度に短縮することができる。また、曲げ強度やガラス転移温度は酸無水物系亜麻仁油樹脂と同等レベルであり、絶縁破壊強さも現行樹脂と同等レベルであることから、電力機器用エポキシ樹脂として有望であることがわかる。

## 5 まとめ

植物油由来エポキシ樹脂の硬化剤としてノボラック型フェノール樹脂を適用することで、従来の植物油由来エポキシ樹脂と同等の性能を維持しながら、課題であった硬化時間を現行の電力用エポキシ樹脂と同等レベルまで短縮することができた。すなわち、ノボラック型フェノール樹脂を適用することによって成形プロセス性と耐サーマルショック性の両立が達成され、植物油由来エポキシ樹脂の電力用モールド機器への適用可能性が確認できた。

今後は硬化剤についてもバイオマス資源に由来する材料を選定し、樹脂成分中の再生可能資源由来比率をより高める材料開発を推進していきたい。

### ■参考文献

- (1) 山下太郎 他：「電力機器用エポキシ樹脂の耐サーマルショック性向上」, マテリアルライフ学会誌, Vol.23, No.1, PP.33-40 (2011)
- (2) 八百健二 他：「バイオマス樹脂材料技術」富士ゼロックステクニカルレポートNo.17 pp.38-47(2007)
- (3) 宇山浩：「植物油脂を基礎とするバイオベース高分子材料の開発」, エポキシ樹脂技術協会第38期第3回特別講演会(2010)
- (4) 大竹美佳 他：「環境負荷低減を目的とした植物油由来エポキシ樹脂の電力用モールド機器への適用性検討」, 東光電気技報No.18(2013)
- (5) 大竹美佳 他：「植物油由来エポキシ樹脂の電力用モールド機器への適用に向けた耐サーマルショック性向上」, 東光高岳技報No.1(2014)



### 大竹 美佳

技術開発本部  
技術研究所  
材料技術グループ 所属  
エポキシモールド樹脂の研究に従事



### 山下 太郎

技術開発本部  
技術研究所  
材料技術グループ 所属  
エポキシモールド樹脂の研究に従事



### 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  
エポキシモールド樹脂の研究に従事



### 平野 一美

東京理科大学大学院非常勤講師  
一般社団法人 日本機械学会フェロー  
専門：先端材料工学 破壊力学, 材料強度学, 構造・機能融合設計, 構造健全評価  
工学博士

# 風力発電設備用雷電流計測装置

■ 酒井 繁美  
Shigemi Sakai

■ 細谷 雅樹  
Masaki Hosoya

■ 藤岡 博文  
Hirofumi Fujioka

## 1 はじめに

地球温暖化対策として、再生可能エネルギーの導入促進が加速しており、二酸化炭素の排出が極めて少ない風力発電設備の導入が世界的に推進されている。<sup>(1)</sup>

一方、発電容量の増加に伴い、風車の大型化が進んでおり、その地上高の高さから受雷頻度が増加し、特に、世界的にも特異に「エネルギー」が大きい、日本海沿岸の冬季雷によって、風車のブレードの損傷、飛散等の雷被害が多発している。

これを受けて、経済産業省では、新エネルギー発電設備事故対応・構造強度ワーキングを発足させ、下記の内容を含めた、風力発電設備の雷被害再発防止対策を掲げた。<sup>(2)</sup>

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

このような状況の中、東光高岳では、他社に先駆け、これまでに蓄積した雷計測技術を活用して、上記の雷被害再発防止対策に必要な機能を有する風力発電設備用の雷電流計測装置を開発し<sup>(3)(4)</sup>、2005年度より全国に納入している。

- ・落雷の検知と外部への通知  
⇒風力発電設備と連携して、運転を停止
- ・電荷量（エネルギー）の計測  
⇒耐雷設計の妥当性を把握

## 2 雷電流計測装置の概要

### 2.1 構成

雷電流計測装置は、雷電流を計測するログウスキーコイル（電流センサ）、落雷発生時刻を計測するためのGPSアンテナ、風車タワー内部に設置した計測装置本体から構成される。雷電流計測装置のシステム構成を図1、設置例を図2に示す。

### 2.2 機能

#### (1) 雷電流計測機能

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

#### (2) 落雷時刻取得機能

GPS衛星を利用した高精度な時計により、正確な落雷発生時刻を取得する。

#### (3) データ保存機能

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

#### (4) 接点出力機能

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

出力の有無は、落雷のレベル（電流波高値、電荷量）を判定条件として、計測値とお客さまが任意に設定可能な判定値とを比較することにより制御可能である。

#### (5) 遠隔データ収集機能

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

### 2.3 仕様

雷電流計測装置のおもな仕様を表1に示す。

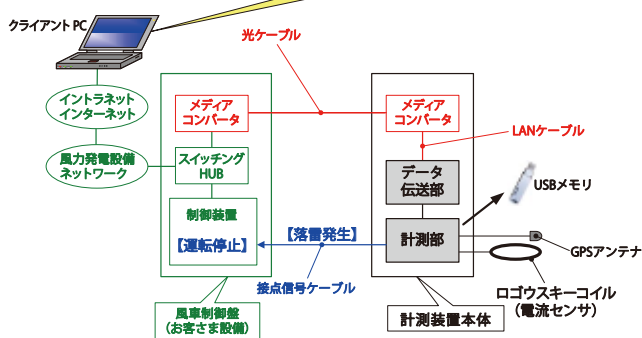


図1 雷電流計測装置のシステム構成



タワー脚部の設置例

タワー内部の設置例  
(計測装置本体を設置)

図2 雷電流計測装置の設置例

表1 雷電流計測装置の主な仕様

項目	仕様
電流計測範囲	2kA~100kA(トリガレベル 2kA)
低周波域 カットオフ周波数	2Hz
立ち上がり応答時間	1.5 $\mu$ sec
波高値計測精度	$\pm 10\%$ (フルスケール)
計測データ	波高値(正負), 電荷量
計測時間	1sec
トリガ時刻精度	$\pm 1$ msec(GPS 時計)
最大記録数	100 データ
データ収集用記録媒体	USB メモリ
落雷発生接点出力	波高値(正負)の絶対値と 電荷量の「OR」条件判定, 判定レベル可変
電源	AC100V
外形寸法	計測装置本体: W300×H400×D200(mm) ロゴウスキーコイル: タワー脚部外径に合せて製作

### 3 適用 (導入の効果)

風力発電設備の稼働率向上をサポートする。

#### (1) 雷被害の原因究明

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

#### (2) 落雷時の風車自動停止が可能

落雷時の接点信号出力を利用して風車を自動停止。

- ・二次被害防止のために、落雷後の点検や補修を実施。
- ・落雷していない風車は運転継続して稼働率低下抑制。
- ・落雷レベル(波高値, 電荷量)により、風車停止の有無を制御可能。

#### (3) 設備故障発生時の落雷証明

正確な落雷時刻を取得するので、故障原因の特定が容易。

#### (4) 保守・メンテナンスへの活用

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

## 4 おわりに

東光高岳の雷電流計測装置は、2014年度までに、国内の風車総設置基数の10%以上に相当する、約250台が導入されている。

風力発電設備の導入量は2010年を起点として、2040年には15倍以上になるとの見込みもあり<sup>(1)</sup>、今後もさらなる導入が期待される。

#### ■参考文献

(1) 認定NPO法人 環境エネルギー政策研究所:「自然エネルギー白書2014」, p118(2014)

(2) 経済産業省:発電用風力設備の技術基準の解釈についての一部を改正する規程, 20150204商局第3号(2015)

(3) 雨宮, 関, 前崎, 境野:「風力発電設備用雷電流計測装置」, 東光電気 技報2006 No.11, p.62 (2006)

(4) 前崎, 藤岡, 雨宮, 関, 小野田, 梅沢:「風力発電設備用雷電流計測装置(遠隔データ収集タイプ)」, 東光電気 技報2008 No.13, p.57 (2008)



#### 酒井 繁美

電力プラント事業本部  
制御装置製造部 保護制御装置設計グループ 所属  
各種監視制御装置, 雷電流計測装置の開発に従事



#### 細谷 雅樹

技術開発本部  
技術研究所 ICT技術グループ 所属  
各種通信機器, 雷電流計測装置の開発に従事



#### 藤岡 博文

技術開発本部  
技術研究所 ICT技術グループ 所属  
雷観測, 雷予測に関する研究に従事

# スマート蓄電池システム

■ 小松 重徳  
Shigenori Komatsu

## 1 はじめに

東日本大震災では3月の地震発生から6月の停電復旧まで3ヵ月間も停電が継続した地域があった。道路・鉄道が被災した状態で停電が発生すると物理的にも情報的にも地域が孤立してしまう。情報孤立化対策として非常時の電源確保が大切である。

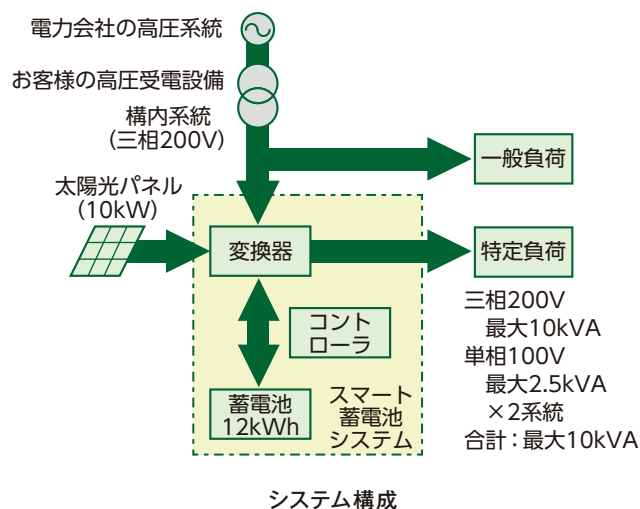
非常時の電源として非常用エンジン発電機は優れた装置であるが、長期間の停電には燃料の補給が課題となる。また、有資格者による半年毎の機能点検が必要であるなど手間がかかる。学校、公民館などの小規模で箇所数が多い施設には手間のかからない装置が望まれる。このような用途には、太陽光パネルと蓄電池を用いた蓄電システムが考えられ、この対応に最適なスマート蓄電池システムを紹介する。

## 2 装置概要

本装置は10kWの太陽光パネルの接続が可能で発電した電力を特定負荷へ給電することが出来る。

また、装置内部に蓄電池を装備しており、停電時には太陽光パネルで発電した電力を蓄電池へ蓄えることができ、その電力を特定負荷へ給電する事が可能で、停電が長期化した場合でも安定した電力供給が可能である。

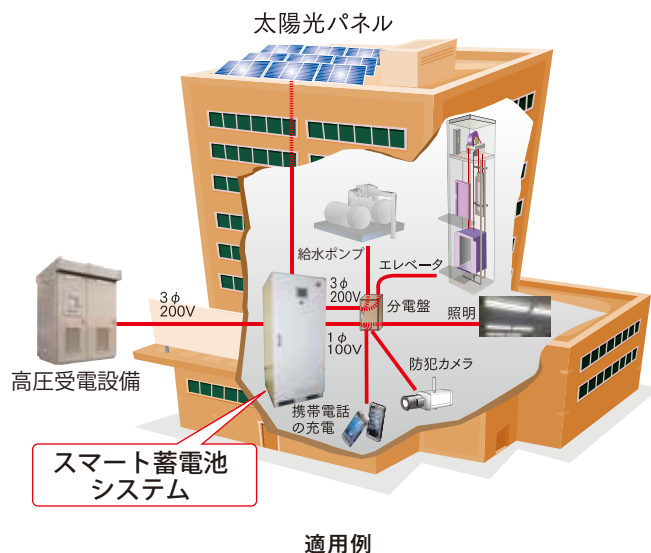
下記にシステム構成と適用例を示す。



なお、特定負荷としては三相200Vと単相100Vの負荷を接続することができる。

## 3 装置の特長

- (1) 従来、ほとんどの蓄電システムは、電灯負荷（単相）専用で、給水ポンプなどの動力負荷（三相）には対応していない。今回開発した蓄電システムは、動力負荷（三相）にも電灯負荷（単相）にも電力を供給できる。
- (2) 停電時の昼間は太陽光パネルから蓄電池に充電できる。燃料給しなくても電源を確保できるので、停電が長期化した場合にも安心である。
- (3) 蓄電池は寿命が長い 8000 サイクル。
- (4) 電力会社からの受電電力を低減するピークシフト機能を有する。平常時であっても蓄電池を有効活用できる。





## 4 装置仕様

スマート蓄電池システムの仕様と外観を以下に示す。屋外に設置する際は専用の屋外盤に収納して用いる。

品名		スマート蓄電池システム (公共・産業用リチウムイオン蓄電池システム)	
型式		STD1-10B-12H	
蓄電システム	蓄電池	種類	リチウムイオン蓄電池
		容量	12kWh
	充放電回数	8000サイクル	
	出力電力	動力+電灯	10kW
		内、電灯	2.5kW×2系統
	寸法	幅770mm×奥行770mm×高さ1750mm	
	質量	約750kg	
	保護等級	IP32	
	ピークシフト機能	デマンド監視装置からの接点入力での放電 または設定時刻での放電	
	系統連系	逆潮流なし	
屋外盤	寸法	幅1770mm×奥行1900mm×高さ2850mm	
	質量	約1300kg	
	材質	鋼またはステンレスの2種類	
	保護等級	IP45	
	太陽光パネル	10kW	



屋内仕様 (本体のみ)



屋外仕様 (本体を内蔵)

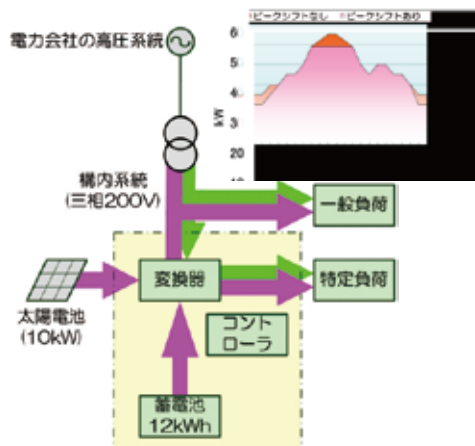
## 5 運転方法

スマート蓄電池システムの代表的な運転方法を下記に示す。

### (1) 連系運転(通常時)

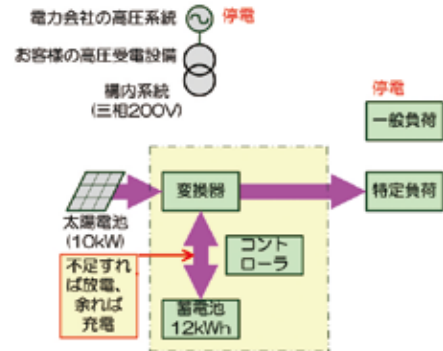
通常時は構内系統を経由して電力会社の高圧系統と連系している。太陽光パネルと高圧系統からの電力が一般負荷と特定負荷に供給される。

昼間の電力ピーク時に蓄電池に蓄えられた電力を放電することにより高圧系統から受電する電力を低減するピークシフト機能を備えている。



### (2) 自立運転(停電時)

停電時に太陽光パネルで発電された電力と蓄電池に蓄えられた電力を放電し、特定負荷へ電力供給ができる機能。太陽光で発電した電力が、特定負荷の使用電力量より多い場合は余剰電力を蓄電池へ充電することにより太陽光の発電電力を有効に使用することができる。



## 6 外部モニタ

本装置には外部通信機能を準備しており、各機能の情報を外部へ出力することが可能である。

- (1) 系統側情報 (交流電圧・交流電流・周波数)
- (2) 太陽パネル情報 (PV 電力・PV 電圧・PV 電流)
- (3) 蓄電池情報 (充放電電力・蓄電池残容量)
- (4) 特定負荷情報 (交流電力・三相特定負荷電力・単相特定負荷電力)
- (5) 装置情報 (単機積算発電電力・蓄電池電圧・蓄電池直流電流)

## 7 おわりに

市場では特定負荷への使用用途として10kW以上のニーズが増えてきている。今後の対応として装置定格の大容量化と蓄電池の大容量化、装置運転状態の監視や遠隔操作を目的とした遠隔監視システムの開発を進めていく。

本製品はグループ会社である日本リライアンス株式会社の協力を得て開発したものである。



小松 重徳

エネルギーソリューション事業本部  
パワーエレクトロニクス製造部  
パワーエレクトロニクスグループ 所属  
パワーエレクトロニクス製品の開発・設計に従事

# 配電自動化・ 自動検針用光伝送装置

～SST，光通信ユニット，光コンセントレーター～

■ 藤野 守也  
Moriya Fujino

■ 小川 晃一  
Koichi Ogawa

■ 鈴木 剛志  
Takeshi Suzuki

## 1 はじめに

スマートグリッド時代に向け、配電自動化で扱う情報量の増大や、スマートメーターの検針データを伝送するインフラとして、効率的な光伝送装置が求められている。東光高岳ではこれらニーズに対応すべく、技術開発を重ねており今回、ネットワークセキュリティ及びデータ欠損を考慮した光伝送方式を採用し、機器開発を行った。

## 2 システム概要

今回開発したSST<sup>注1)</sup>(スマートメーター/スマートグリッド用情報伝送装置)、光CR(光コンセントレーター)及び、SC-D<sup>注2)</sup>(センサ内蔵自動開閉器用遠方制御器)、ITHS<sup>注3)</sup>(センサ内蔵自動気中多回路開閉器)内に実装される光通信ユニットは、ループトポロジーでイーサネットを介して、**図1**に示すシステム構成で使用される。

SSTは、光CR及び、SC-D/ITHS用光通信ユニット(以下、この3つをまとめて光端末装置)で構成されるループ(以下、光ループ)を、1ユニットで最大12ループまで収容可能である。光ループは、1ループあたり光端末装置を最大30台まで接続できる。システムとして最大12ループ×30台=360台

の光端末装置が、SST配下に接続される。

SSTと光端末装置間は光ファイバで接続され、高速デジタル通信方式であるSDH/ATM<sup>注4)</sup>を用いて伝送される。

波長多重による1心光ファイバでの双方向通信を行うことで、伝送路の効率化と2重化を図っている。伝送路の断線や光端末装置の故障が発生するとループバック処理を行い、障害箇所以外の光ループのデータ伝送を維持する。

主信号伝送用イーサネットポートは、SSTが2ポート(LAN1:スマートグリッド<配電自動化>用, LAN2:スマートメーター<自動検針>用)、光端末装置が1ポートずつ持ち、SSTのイーサネットポートと光端末装置のイーサネットポートは1対Nで接続される。

本システムの最大の特長は、スマートグリッド(SC-D, ITHS)とスマートメーター(光CR)の2つの異なる光ループをSSTのLAN盤(LAN1, LAN2)にて別々に集約し、上位サーバにデータ伝送することである。

### スマートグリッド(配電自動化)

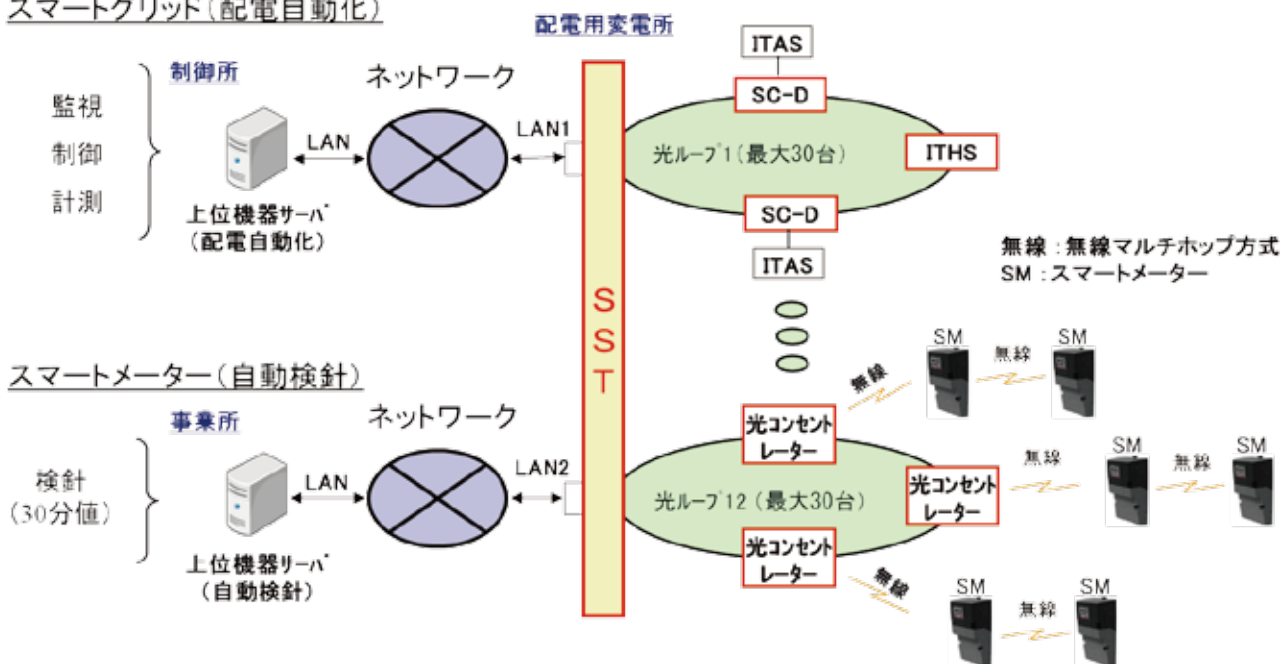


図1 システム構成図

### 3 開発製品

#### 3.1 SST

SST は、光端末装置を集約する集線型の情報伝送装置である。外観を図2に示す。

用途に応じた光インタフェースボードを選択することで、スマートグリッド(配電自動化)及びスマートメーター(自動検針)の両システムに対応可能で、その割合は自由に設定することができる。

SST、光端末装置の各設定、制御及び監視は、SSTの管理用イーサネットポートに接続されるPCから行うことができる。

また、集線装置として信頼性を確保するため、電源の2重化を図っており、2次電池によるバックアップ機能を有する製品もラインナップしている。



図2 SST外観図

#### 3.2 光通信ユニット

光通信ユニットは、SC-D に実装される光端末装置である。SC-D 及び光通信ユニットの外観を図3に示す。

SC-D と接続されるセンサ内蔵自動開閉器の制御指令のほか、電圧・電流値などの情報を光ループを介して SST に伝送する。

また、今後想定される都心部の配電線の地中化に対応するため、同等の機能に防水性能を追加した ITHS 用光通信ユニットもラインナップしている。図4にその外観を示す。

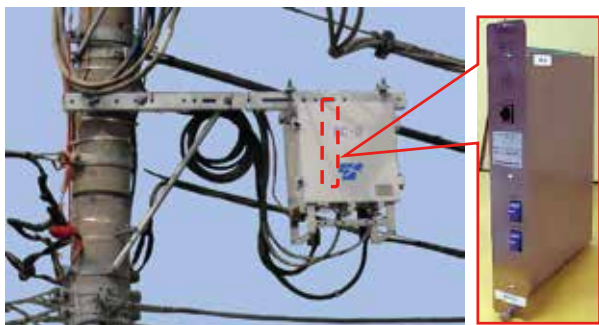


図3 SC-D (柱上設置)/光通信ユニット外観図



図4 ITHS/光通信ユニット外観図

#### 3.3 光コンセントレーター

光コンセントレーターは、需要家に設置されるスマートメーターから無線(特小920MHz帯)により検針値データを集約し、光伝送路へ接続するゲートウェイとなる装置であり、通常電柱上に設置される。図5にその外観を示す。



図5 光コンセントレーター外観図

### 4 おわりに

光通信ユニットについては2013年度より、SSTについては2014年度よりそれぞれの納入を開始した。残る光コンセントレーターについても精密試験を完了し量産ライン構築を開始したところである。今後は配電自動化システム・自動検針システムの健全な運用が継続できるよう製品の品質維持に努めていきたい。

#### ■語句説明

注1)SST: Smartmeter and Smartgrid data Transmission equipment

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

注3)ITHS: Information Technology High voltage Switch

注4)SDH: Synchronous Digital Hierarchy, ATM: Asynchronous Transfer Mode

# スマートメーター “SmaMe II-TypeH”

## 1 まえがき

近年、マンション高圧一括受電サービス（以下、高圧一括受電サービス）<sup>注1)</sup>を導入するマンションの普及が進んでいる。2016年度には一般家庭を含む電力小売全面自由化が予定されているが、高圧一括受電サービスでは共用部や専有部で電気料金を大幅に削減できる点から、小売全面自由化後も高圧一括受電サービスを導入するマンションは増加し、2020年度には、既築、新築あわせて100万戸を超えることが予測される（経済産業省の平成26年度委託調査報告書「マンション高圧一括受電サービスに係わる実態調査(富士経済)」より）。また、経済産業省は、マンション全体でエネルギー管理、節電及びピークカットを行い、エネルギーの効率的な使用や無理のない節電を実現するスマートマンションを推進しており、高圧一括受電サービスにおけるスマートメーターの設置台数も増加している。特に専有部の電力使用量の見える化サービスにおいては、HEMS (Home Energy Management System)導入に比べ、比較的安価に導入できるスマートメーターを活用した簡易型の自動検針システムを構築し、居住者のパソコン、スマートフォン等への見える化サービスも始まっている。

東光東芝メーターシステムズ株式会社では、高圧一括受電サービス用に2012年度にスマートメーター“SmaMe-TypeH”<sup>注2)</sup>の販売を開始しており、これをモデルチェンジし、2015年6月にスマートメーター“SmaMe II-TypeH”の単相3線式60Aを市場投入したので、以下にその概要を紹介する。

## 2 製品の概要と主な仕様

スマートメーター“SmaMe II-TypeH”単相3線式60A（以下、本製品）の概要と仕様について説明する。

### 2.1 概要

本製品は、高圧一括受電マンション専有部用のスマートメーターである。先進のスマートマンション・住宅をサポートするための機能を追求し、デザインも一新した。

本製品の外観を図1、通信ユニット（RS-485用）の外観を図2に示す。



図1 スマートメーター“SmaMe II-TypeH”外観<sup>注3)</sup>



図2 通信ユニット(RS-485用)外観<sup>注3)</sup>

- (1) 電力見える化サービスや各種料金メニューに対応  
電力量（正方向・逆方向）、30分値（正方向・逆方向）、瞬時電流値等のデータが取得できる。
- (2) 先進のスマートマンションにマッチするデザイン  
コンパクト化、従来機種に比べ40%軽量化し、施工性向上を図った。
- (3) 双方向計量タイプをラインアップ  
太陽光発電や燃料電池、蓄電池等に対応する双方向計量タイプを追加した。
- (4) 高圧一括受電サービス事業者の運用効率化をサポート  
開閉機能と最大電流（アンペア）の設定機能を標準搭載し、居住者の異動や、各住戸の電流制限における効率化・省力化が図れる。また、電流制限の動作記録など、イベント情報の収集機能を追加した。
- (5) 軽負荷まで高精度、高調波電流計測にも対応  
ダイナミックレンジが広く高精度で、高調波電流計測にも対応した独自の電流センサT2MACS<sup>注4)</sup>を全機種に採用し、省エネ家電機器やインバータ機器の計測にも対応をした。

- (6) スマートマンションに適した通信ユニットをラインアップ  
有線方式(RS-485準拠)と専用線通信が不要なPLC方式(Power Line Communication方式, 株式会社東光高岳製)の通信ユニットをラインアップしており, 新築/既築マンションでスマートメーターの設置環境に合わせた通信方式を選択できる。また, 通信ユニットをコンパクト化したため, 施工の効率化・省力化が図れる。

## 2.2 仕様

本製品の仕様を表1, 通信ユニットの仕様を表2, 表3に示す。

表1 スマートメーター “SmaMeII-TypeH” の仕様

製品名称	スマートメーター “SmaMeII-TypeH”		
モデル名	単方向計量モデル	双方向計量モデル	
形名	S43S-TALr	S43S-TAL	
耐候性能	普通耐候形		
相線式	単相 3 線式		
型式承認番号	第 3929 号		
定格電圧(V)	100		
定格電流(A)	60		
定格周波数(Hz)	50 または 60		
精度階級	普通電力量計		
表示	計量値	正方向電力量 6桁(整数部5桁、 小数部1桁)	正/逆方向電力量 各6桁(整数部5桁、 小数部1桁) ※逆方向電力量表示中は逆潮流マークが点灯
	動作	動作表示、正/逆方向表示、無計量表示、開閉器状態表示	
出力データ	現在値	電力量、電圧、電流、電力	
	30分値	30分毎の計量値(正方向、逆方向)を当日含む45日分記録	
時計機能	通電時:電源同期 停電時:水晶		
開閉器	内蔵(通信または電流制限機能で制御)		
停電補償	内蔵(時計のみバックアップ)		
電力損失(W)	1S-2S間:1.0以下、3S-2S間:0.1以下		
絶縁性能(MΩ)	電気回路一括~ケース間 20以上(DC500V印加)		
外形寸法(mm)	W153 × D97 × H212		
質量(kg)	約 1.1(通信ユニット含まず)		
取付・接続方法	表面取付前面接続		
準拠規格	JIS C 1211-2、JIS C 1271-1		

表2 通信ユニット(RS-485用)の仕様

製品名称	通信ユニット(RS-485用)	
形名	RD-80B	
上位側通信	適合規格	RS-485 シリアル通信規格準拠
	伝送速度(bps)	9600
	伝送距離(m)	最大 500
	インタフェース端子	TRA1, TRB1, TRA2, TRB2, SG
通計器側	インタフェース端子	専用モジュラープラグ
その他	電源	SmaMeII-TypeH から供給
	環境仕様	-10~60°C、85%RH 以下、結露なきこと
	外形寸法(mm)	約 W75 × D41 × H54 ※突起部、モジュラケーブルを除く
	質量(g)	約 57

表3 通信ユニット(PLC用)の仕様(東光高岳製)

製品名称	通信ユニット(PLC用)	
形名	LF-PLC-SB2	
上位側通信	適合規格	ARIB STD-T84
	物理的接続	圧着端子部と SmaMeII-TypeH の専用接続端子部接続
通計器側	インタフェース端子	専用モジュラープラグ
その他	電源	SmaMeII-TypeH から供給
	環境仕様	-10~60°C、85%RH 以下、結露なきこと
	外形寸法(mm)	約 W75 × D41 × H54 ※突起部、モジュラケーブルを除く
	質量(g)	約 65
取得規格 法規制	電波法、総務省型式指定取得 (第 AH-15001 号)	

### 3 東光高岳グループによる 高圧一括受電サービスのソリューション

#### 3.1 東光高岳グループの高圧一括受電サービス用製品

前述のスマートメーターの他、検針システム用のコンセントレーターや共用部用メーターなど、高圧一括受電サービス用の製品をラインアップしている。

##### (1) コンセントレーター：ST-iNCII (東光高岳製)

1台当たり最大600台 (PLC方式の場合) のスマートメーターを接続でき、それぞれの30分値データを46日分保存する。

図3にコンセントレーターの外観を示す。

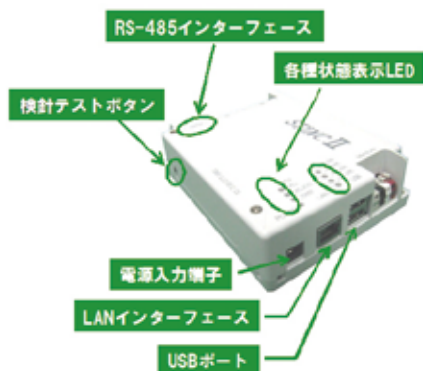


図3 コンセントレーター：ST-iNCII外観

##### (2) 共用部用メーター SmaMe-TypeM, SmaMe-TypeS

幅広い相線式・定格をラインアップし、本製品と共通の電文も搭載しているため、共用部用のメーターとしてST-iNCIIとシステム構築できる。図4に共用部用メーターの外観を示す。



SmaMe-TypeM



SmaMe-TypeS

図4 共用部用メーター外観

#### 3.2 高圧一括受電サービス用の自動検針システム

東光高岳グループの自動検針システムは、これらの機器で構成し、データベース機能を有したST-iNCIIがスマートメーターに対して定期的に検針を実行しデータを蓄積する。上位検針サーバはST-iNCIIに対して、蓄積した検針値データを取得要求する。これにより、検針に要する通信時間を短縮し、検針作業のスムーズ化と検針データのバックアップを実現する。

##### (1) 新築マンション向けソリューション

新築マンション向けには、通信ユニット (RS-485用) と専用の通信線を使ったデータ伝送を提案する。

この方式は、配線施工が容易な新築マンションにおいては、安価に信頼性の高いシステム構築できるメリットがある。

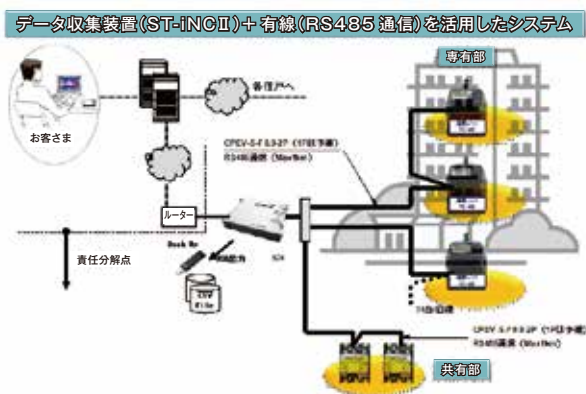


図5 機器構成図 (RS-485方式)

##### (2) 既築マンション向けソリューション

既築マンション向けには、PLC (Power Line Communication) を提案する。PLCは電力線を通信線として利用する技術で、既存の電力線を利用して各戸に設置されたスマートメーターのデータを収集する。図6にその機器構成を示す。この方式は、新たに専用通信線の施工が不要なことが大きな特長で、専用通信線の施工が困難な既築マンションにおいて、通信線施工にかかる作業やコストの軽減が見込める。

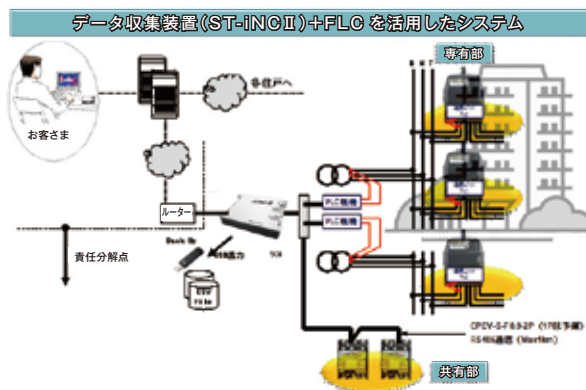


図6 機器構成図 (PLC方式)

## 4 あとがき

2016年に予定されている電力の小売全面自由化に伴い、新電力が参入し、電力小売事業者間の競争が激しくなることが予想される。

各事業者はお客さま獲得を目的に、電力供給に加え様々なサービス展開が予想され、既に実施されているマンション高圧一括受電サービスや地域レベルでの効率的な電力利用を目指したサービスについても、同様に今後発展・変化していくことが予想される。

東光東芝メーターシステムズ株式会社は、これらのサービス実現に向けた製品としてスマートメーター SmaMe シリーズをラインアップし、東光高岳グループとして、市場ニーズにマッチしたスマートメーターを含むシステムのワンストップソリューションを実現し、社会に貢献していく所存である。

### ■ 語句説明

- 注1) 高圧一括受電サービス：マンション一棟での高圧契約切替えを行うことで共用部や専有部の電気料金の削減等を行うサービス。
- 注2) SmaMe：東光東芝メーターシステムズ株式会社の登録商標。(第5542012号)。
- 注3) SmaMeII-TypeH及び通信ユニット(RS-485用、PLC用)：意匠登録出願中。
- 注4) T2MACS：東光東芝メーターシステムズ株式会社の登録商標。(第5518577号)

# 大成建設 ZEB 実証棟へのシステム導入事例

## 1 はじめに

昨今、地球温暖化をはじめとする環境問題への対策として、CO<sub>2</sub>排出量の削減が求められている。オフィスビルでは様々な施策により省エネが進められており、最近では、ビル全体のエネルギー収支をゼロにするZEB<sup>(注1)</sup>化が叫ばれている。

東光高岳では大成建設株式会社とコラボレーションし、オフィスの快適性を維持しつつ、省エネを実現するシステムの開発・提供を行ってきた。

今般、大成建設株式会社が年間の一次エネルギー収支をゼロにする「ZEB実証棟」<sup>(1)</sup>を完成させるにあたり、東光高岳のシステムを導入しZEB化の一助とした。

## 2 ZEB 実証棟の概要

ZEB実証棟は省エネと創エネにより、年間の一次エネルギー収支をゼロにすることを目標としている建物である。建物の外観を図1に示す。



図1 ZEB実証棟外観

さらに単にエネルギー収支をゼロにするZEB化だけでなく、働きやすく快適な空間の両立を可能としている。

ZEB実証棟では、新しいシステムの開発や、従来技術の効率的な組み合わせにより、徹底的な省エネルギーを図る。年間のエネルギー消費量を一般的なオフィスビルと比べ75%削減し、残り約25%は、太陽光パネルによる創エネにより賄い、消費エネルギーと生成エネルギーの収支がゼロとなることを目標とし、検証を進めている。<sup>(1)</sup>

このように一つの施設内におけるエネルギーの消費・生成のサイクルはスマートグリッドの概念に通ずるものが

■ 渋沢 真弘  
Masahiro Shibusawa

■ 中澤 伸浩  
Nobuhiro Nakazawa

あり、エネルギーのゼロ化が難しい都市部でのゼロエネルギービルが期待されている。

## 3 導入システム紹介

### 3.1 T-Green BEMS

T-Green BEMSとは、大成建設株式会社と共同開発した、わかりやすい見える化、不快感を伴わない最適な制御を実現するBEMS<sup>(注2)</sup>である。

利用者の視点に立った、分かり易さ・使いやすさに重点を置いたデザインを採用することで、エネルギー管理の業務効率をサポートする。さらに施設内のPCから電力状況を把握することができる「エネルギー見える化画面」によって、省エネ意識の啓蒙を図り、施設の執務者へ節電行動を促す計画となっている。

ZEB実証棟では、さらにエネルギー収支を分かり易く見える化したZEB naviを開発し、ゼロエネルギーに向けた管理や分析、制御までをオールインワンで提供している。ZEB naviの画面イメージを図2に示す。



図2 ZEB navi画面イメージ

### 3.2 T-Zone Saver

T-Zone Saverとは大成建設株式会社と共同開発した、人の滞在/不在をリアルタイムに検知し、オフィスの照明・空調を最適制御するシステムである。

本システムにおいて、人を検知する「次世代人検知センサ」は、従来式のセンサでは行えなかった静止した人体を検知し、オフィスにおける人の滞在/不在を適切に捉えることができる。さらに、単に照明の制御だけでなく空調の吹き出し口の制御や、次項で紹介する無線制御システム（照明）と組み合わせたタスクライトの制御などに活用されている。これら機能により、オフィス内環境の最



適化を可能としている。

また、三階オフィス空間では知的生産性の向上を目指し調色・調光照明制御を行っている。調色・調光照明制御では自然の光のリズムに合わせて、照明の照度および色温度を時間帯別で最適に制御する。これにより、日中と夜間の生活リズムを整え、執務者の作業効率や集中力の向上が期待される。

### 3.3 T-Green Wireless (無線制御システム(照明))

T-Green Wirelessとは大成建設株式会社と共同開発した、920MHz帯の無線を利用した照明制御システムである。照明メーカーを問わず様々な照明器具を調光制御することができ、さらに照明の電源をON/OFFすることで、消灯時の待機電力も削減し、さらなる省エネの実現を果たしている。本システムの概要イメージを図3に示す。

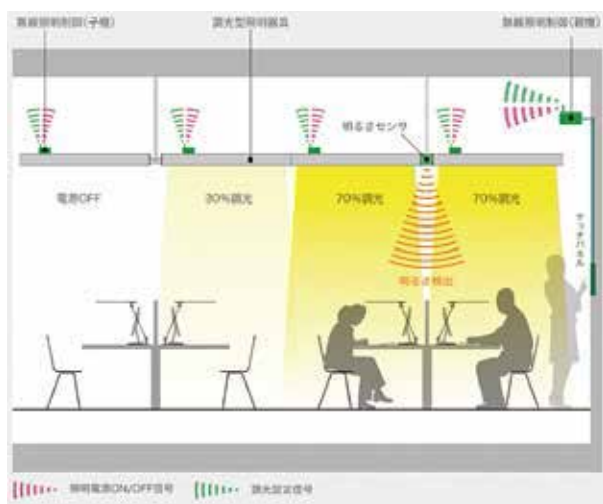


図3 T-Green Wirelessシステム概要

ZEB実証棟では一階レセプションルームでの照明制御に導入されており、タッチパネルを用いて照明の制御を行っている。また、一階レセプションルームでは照明の明るさだけでなく、大成建設株式会社オリジナルのLED照明器具の導入により、色温度(色味)を変えられる制御も行っており、タッチパネルをカスタマイズして容易に色温度や明るさを変えられるようになっている。

さらに、三階オフィス空間ではT-Zone Saverと連携し、タスクライトを制御している。人が滞在している場合にだけタスクライトを点灯し、無駄を省いたエネルギーの効率化を図っている。

## 4 おわりに

最後に、本システムの導入にあたり多大なるご指導、ご協力いただいた大成建設株式会社のみなさまに深謝の意を表する。

本稿では、ZEB実証棟において省エネを実現するために導入したシステムについて紹介した。これらシステムの相乗効果によりZEB化実現の一端を担うことができている。

今後も、ZEB実証棟の運用状況から得られたデータをもとに、更なる省エネの実現に貢献する機能の開発・改善を推進していく所存である。

### ■参考文献

(1) 大成建設：「ZEB実証棟」(2014)

<http://www.taisei.co.jp/giken/topics/1353301853006.html>

### ■語句説明

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

注2) BEMS: ビルエネルギーマネジメントシステム

(Building Energy Management System) の略。ビル内の機器設備を管理・制御しエネルギー消費の削減を図るシステムを指す



渋沢 真弘

エネルギーソリューション事業本部  
ソリューション製造部開発グループ 所属  
ハードウェア設計に従事



中澤 伸浩

エネルギーソリューション事業本部  
ソリューション製造部設計グループ 所属  
BEMSシステムの開発設計に従事

# 6kVセンサ内蔵自動気中多回路開閉器

## 1 背景

電力供給に対する信頼度は年々高まってきており、自動化システムの高機能化、不安定な分散電源の増加、設備の効率的運用を考慮すると架空線と同様に地中配電系統の高度運用化に対応する必要がある。そこで、高精度のセンサを内蔵し、系統の状況を細かく監視して制御する自動気中多回路開閉器を開発した。

## 2 特長

1. 地球環境にやさしい気中開閉器  
エポキシ樹脂ケースの採用により、開閉器をコンパクト化し既存のSF<sub>6</sub>ガス機器と同一サイズで高機能化を実現した。
2. 瞬時励磁方式機構採用による省エネ化を実現  
主接点投入状態維持のため常時電力を消費する常時励磁方式とは異なり、投入・開放動作の瞬時のみ電力を消費する機構を採用した。
3. 既存機器からのリプレイスを実現  
ケーブル接続部は従来と同じ多回路用機器直結終端とすることで、既設機器からのリプレイスを可能とした。
4. 電源回路の選択を実現  
電源変圧器を2台搭載することで、幹線回路が任意に選べる等、多様な運用形態への適応を可能とした。
5. 高精度センサにより地中配電線路の見える化を実現  
相電圧・相電流・零相電流センサを搭載し、光通信方式を採用することで、配電線路の状態をリアルタイムで監視することを可能とした。

## 3 仕様

本製品の主な仕様を表1に示す。

表1 本製品の主な仕様

項目	仕様
定格電圧	7200V
定格電流	600A
定格短時間耐電流	12.5kA (1秒間 1回)
定格短絡投入電流	31.5kA (0.3秒間 10回)
負荷開閉回数	100回

## 4 回路図

本製品の回路を図1に示す。

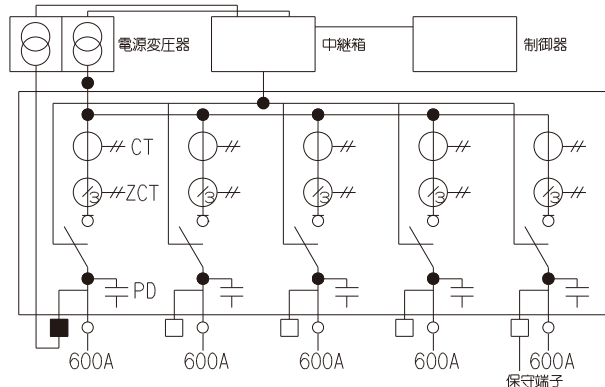


図1 本製品の回路

## 5 外観

本製品の外観を図2に示す。

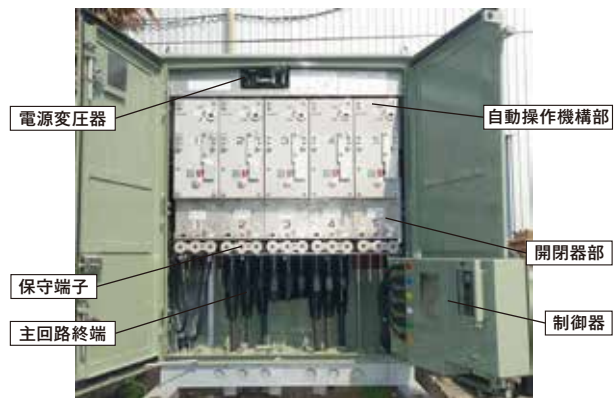


図2 6kVセンサ内蔵自動気中多回路用開閉器の外観

# 励磁突入電流抑制変圧器

## 1 背景

近年、メガソーラークラスの太陽光発電の増加や、省エネルギー意識の高まりから、休日・夜間に変圧器運転を停止することが多くなってきている。変圧器を再投入する際、励磁突入電流による電圧降下が系統に与える影響を無視できないため、電力系統と連系する変圧器には、電力会社からの要請もあり、別途励磁突入電流抑制機器による対策が必要となっていた。

## 2 概要

励磁突入電流抑制変圧器は、電力系統との連系点に設置される太陽光発電用昇圧変圧器等において、電源投入時の励磁突入電流を抑制できる変圧器である。

変圧器自体で励磁突入電流を抑制するため、従来励磁突入電流対策として設置していた追加の抑制機器を必要とせず、設置スペースの縮小やコスト低減に寄与できる。

図1に本変圧器の外観を、表1に主な仕様を示す。



図1 励磁突入電流抑制変圧器 外観

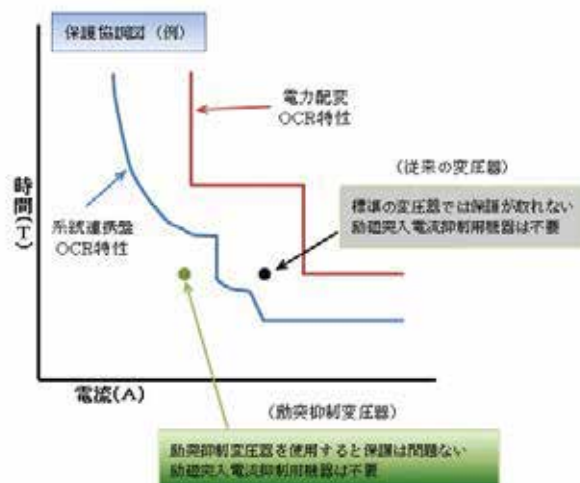
表1 主な仕様

種別	油入自冷式
適用規格	JEM1500-2012 JEC-2200-1995
相数	三相
定格容量	300~2000 kVA
定格周波数	50 Hz/60 Hz
定格一次電圧	200~440 V
定格二次電圧	6600 V
タップ電圧	F6.75/R6.6/F6.45 /F6.3/6.15 kV

## 3 特長

励磁突入電流の抑制は、常規磁束密度を低く設計する手法を採用している。励磁突入電流波高値は、必要以上に低減するのではなく、上位OCR特性との保護強調が取れるレベルとし、常規磁束密度の低減による機器の大型化を最小限に抑えている。

- ・励磁突入電流波高値：約40%低減
- ・機器外形体積比：約8%増  
(いずれも当社標準品との比較)



## 4 導入効果

東光高岳の励磁突入電流抑制変圧器は、2013年9月から販売を開始し、以下の導入効果が得られる。

- ・電力品質の安定  
上位機器との保護協調を考慮し、励磁突入電流を低く抑えることにより、保護リレーの誤動作や接続された系統上の影響を軽減し、電力品質が安定。
- ・トップランナー第二次判断基準に適合  
エネルギー消費効率が優れるため省エネルギーに貢献。
- ・導入費用の削減  
抑制機器の追加設置が不要となるため、設置スペース縮小や導入費用削減に寄与。

# DC 絶縁エポキシモールド変圧器

■ 岡田 重紀  
Shigenori Okada

## 1 はじめに

タカオカ化成工業株式会社のモールド変圧器は、長年にわたる独自の樹脂配合技術により開発した電氣的・機械的・耐クラック性等に優れた特性のエポキシモールド樹脂を主絶縁材料とし、またコイル部分を真空注型法で成形した固体絶縁方式を採用している。そのため難燃・自己消火性に富み、防災上の安全性が高く保守点検が容易、短絡強度・短時間過負荷耐量が大いなど優れた特性を有する。

またタカオカ化成工業株式会社は、電力設備におけるオイルレス・不燃化の志向とともに多様なニーズに応じて、大容量化・高電圧化・外層接地化・屋外適用等の製品化を進め数多くのモールド変圧器を製作・納入してきた。

近年、モールド変圧器はこれらの優れた特性をもとに、省エネルギー、地球環境保護・温暖化防止等の要求に応えるため種々多様な用途で使われている。

本稿では新たな用途として開発し商品化した半導体製造装置に使用されるDC絶縁エポキシモールド変圧器について紹介する。

## 2 開発の背景

ウェーハ処理工程の半導体製造装置は、イオン注入用のイオンを発生させるイオン源、必要なイオンを取り出すための質量分析器、イオンを必要なエネルギーまで加速を行う加速器等から構成されている<sup>(1)</sup>。このイオン源や加速器等は、直流（以下、DC）電圧を必要とする機器のため超高圧DC発生電源に接続され、接地側と絶縁されたDC課電室内に設置されている。

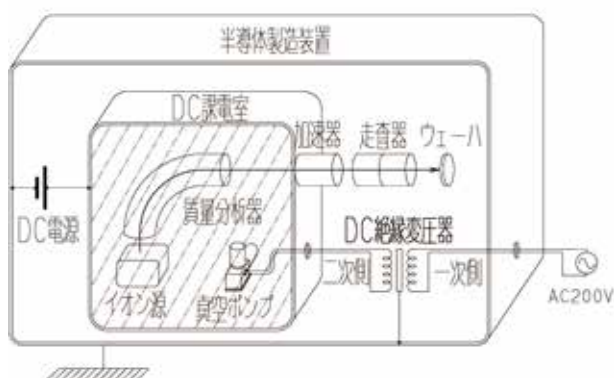


図1 DC絶縁変圧器の構成模式図

このDC課電室内には真空ポンプ等が配置されており、これらの動力電源として交流（以下、AC）200Vが必要となる。このAC200V電源を接地側より供給するためのDC課電室側（変圧器二次側）との絶縁が必要で、更に変圧器二次側端子がDC課電された機器に接続されるため、二次側コイルには超高圧DC電圧が常時重畳した状態となる。図1に半導体製造装置におけるDC絶縁変圧器の構成模式図を示す。

従来はDC100kV以上の課電室に適用されるDC絶縁変圧器はすべて油入変圧器であった。このため装置が設置されるクリーンルーム内の防災上の安全性、および保守点検の容易性のためにオイルレス化の要望があった。そこでDC200kV～DC300kVの定格電圧仕様のDC絶縁エポキシモールド変圧器を開発し商品化した。

## 3 特長

### 3.1 耐DC絶縁設計

主絶縁材料であるエポキシモールド樹脂に対して、試験片によるDC絶縁破壊試験、モデルコイルやプロトタイプコイルによるDC部分放電試験、DC長時間課電試験、およびDC絶縁破壊試験等によりDC絶縁特性を評価している。

またDC絶縁に対する電界シミュレーション解析も行っている。コイル部のエポキシモールド樹脂表面を接地層とし、ブッシング部の周囲を空気層とした状態でエポキシモールド樹脂と空気の抵抗率をもとに導体部にDCを印加した時の電界について解析した単相変圧器モデルおよびその結果を図2および図3を示す。

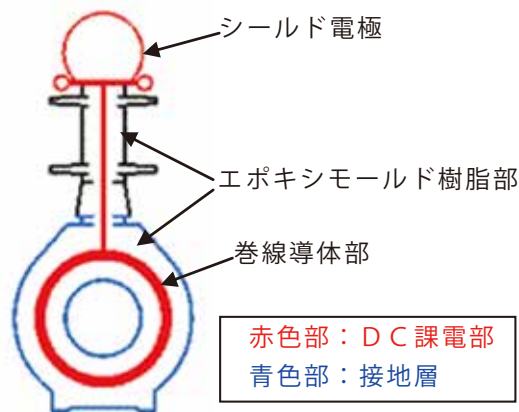
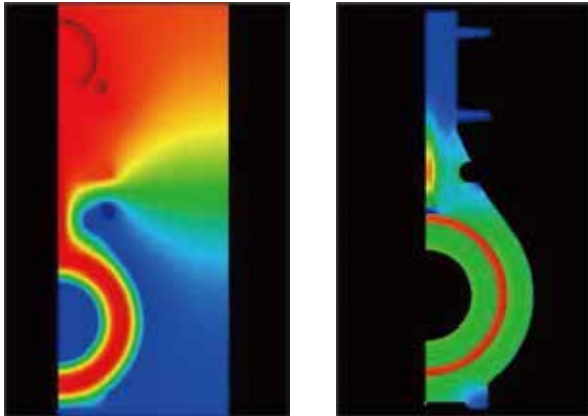


図2 シミュレーション解析変圧器モデル



(a) 等電位線図 (b) 電界分布図

図3 DC印加時のシミュレーション解析例

これらの検証結果とともに、これまで長年にわたり蓄積されたエポキシモールド樹脂配合技術、電界緩和処理技術、および真空注型による成形技術の成果を融合させ長期信頼性に優れた最適な絶縁設計としている。

### 3.2 コンパクト化

DC絶縁変圧器のDC印加側の二次コイル端子は、変圧器の接地部位との沿面距離を確保するためブッシング構造となる。DC200kV～300kVの電圧が重畳される二次側コイルはU相、V相、W相の3相コイルとともにブッシング部もエポキシモールド樹脂で一体に成形することによってコンパクトとなり絶縁信頼性の高いコイル構造とした。

### 3.3 コイル表面の接地化

ブッシング部以外のエポキシモールド樹脂のコイル表面には半導電性処理を施しその部位を接地することによってDC印加に対する樹脂表面の帯電や放電を防止した。このためメンテナンス時の帯電に対する安全性や装置稼働時の放電に対する品質が向上し、また変圧器保護用の金属ケースとの離隔距離も小さくすることが可能となった。

表1 DC絶縁モールド変圧器の定格・仕様

項目	定格・仕様	
適用規格	JEC-2200-1995	
設置場所	屋内用	
冷却方式	モールド乾式自冷式	
定格周波数	50/60Hz	
定格容量	15kVA	
一次定格	相数・線数	三相・3線式(三角結線)
	定格電圧	F220-F208-R200V
	定格電流	43.3A
二次定格	相数・線数	三相・4線式(星形結線)
	定格電圧	200V(線間電圧), 115V(相電圧)
	定格電流	43.3A
	絶縁耐圧	DC260kV
時間定格	連続	
耐熱クラス	F種	
絶縁耐力	二次～一次, 接地間	DC 325kV × 10分間
	一次～二次, 接地間	AC 2kV × 1分間
	二次～一次, 接地間	AC 2kV × 1分間

## 4 製品仕様例

各半導体装置メーカー殿より要求される定格・仕様に基づきDC300kVまでの定格電圧仕様として10種類以上の製品化を行った。その中には100台以上の納入実績がある変圧器もある。表1に一例として定格・仕様を示す。また図4にその変圧器外観を示す。



図4 DC絶縁エポキシモールド変圧器

## 5 おわりに

本稿では、タカオカ化成工業株式会社にて商品化したDC200kV～300kV定格のDC絶縁エポキシモールド変圧器を紹介した。

今後とも半導体製造装置に使用されるDC絶縁変圧器は、設置されるクリーンルーム内の防災上の安全性、および保守点検の容易性のためにオイルレス化の需要が増加していくと想定される。このためモールド変圧器の優れた特性を活かして、環境に優しいDC絶縁エポキシモールド変圧器が幅広く活用されることを期待し、またお客さまのご要求に応じた新たなDC絶縁変圧器仕様に対する商品開発を推進していく所存である。

### 参考文献

(1) 日本半導体製造装置協会編：「半導体製造装置用語辞典」, 日刊工業新聞社, p.208(2000)



### 岡田 重紀

タカオカ化成工業株式会社

開発本部 所属

モールド変圧器, エポキシモールド樹脂の開発に従事  
一般社団法人 電気学会, 一般社団法人 電気設備学会,  
公益社団法人 日本化学会会員

## 1 概要

従来、各仕様によって形状・サイズが不統一であった車両搭載用の変流器をシリーズ化し、コンパクトかつ軽量化を実現したモールド変流器を開発した。現在、フリーゲージトレイン（軌間可変電車）新試験車両に搭載されている。



搭載車両（新試験車両）



変流器外観

## 2 特長

・鉄道車両搭載用として、振動や衝撃に対する機械特性と電気特性に優れたエポキシ樹脂を適用した。

- ・全3仕様を同一の寸法形状とし、構造を簡素化することにより、運搬、据付作業などの取扱いを容易にした。
- ・200 / 5A 3000 / 5A 品は、従来品との比較で約 65% の軽量化を図った。
- ・二次端子箱を一体成型し、端子接続部を隠蔽することにより安全性向上を図った。

## 3 性能

形式	CTR-0200	CTR-0350	CTR-3000
定格電流	200/5A	350/5A	3000/5A
定格負担	25VA	25VA	40VA
確度階級	3.0	3.0	1P
過電流定数	—	—	n>10
定格周波数	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz
過電流強度	40倍	40倍	40倍
適用規格	JISC1731-1	JISC1731-1	JEC-1201
質量	12kg	12kg	10kg

## 1 概要

従来、需要家毎にEMSコントローラを設置し運用していたエネルギー計測を集約してトータル的に管理出来る統合型クラウドシステム「T-Step EMS Service」を2015年7月から提供開始。全国多拠点の消費電力量を一元化することにより総合的なエネルギー管理を実現する。インターネット環境があればどこからでも閲覧可能。



## 2 特長

- ・デマンド監視機能  
デマンドを監視し警報メールを送信。オプション契約により多拠点の「トータルデマンド監視」も提供可能。
- ・多彩なエネルギー分析  
換算値や原単位での比較分析が可能。
- ・LTE/3G網により導入が容易  
有線によるネットワーク環境の構築や個別にサーバーをたてる必要がなくなり導入が容易になった。



# 教育機関向けクライアント機器

## ～学校法人松蔭学園 松蔭大学さま向けパソコンシステム～

### 1 概要

端末が多い教育現場では、セキュリティパッチの更新などが、教員やスタッフにとって煩雑な作業になっている。

また、実習用にクライアントOSをWindowsとLinuxで切替えて使いたい、という要望がある。

生徒がシステム環境を変える、電源を突然切るなどして、PCの環境やハードディスクが壊れることがある。

このような背景から株式会社ミントウェーブでは、導入メリットの大きい教育機関向けのクライアント機器を開発した。

#### 導入のメリット

生徒の誤操作で環境が変わっても再起動ですぐ元に戻る

ディスクレスのため故障率がきわめて低い。

OSのパッチ等の更新もPC1台分の作業で済むため、ラク。

運用管理や授業でも活用できる機能のある管理ツールが便利。

安心して情報教育に専念できる環境が実現！

### 2 納品事例

学校法人松蔭学園 松蔭大学さまには2011年3月にパソコン教育システムとして、シンクライアントシステムを納品した。その当時、ノートシンクライアントを端末とした教育システムは全国的にも初めての事例である。

松蔭大学さまは2015年4月から看護学部の新設が決定しており、パソコン教育をより高度化するため、シンクライアントを使った教室とは別にパソコンを使った教室を新設する計画であった。

株式会社ミントウェーブは本パソコンシステムを松蔭大学さまと打合せの上で2015年3月納品をしたので、ここに報告をする。

### 3 仕様

パソコンは日本ヒューレット・パカード株式会社のHP ProDesk 600で構成をした。

オペレーティングシステムはマイクロソフト社Windows 7 Professional を採用し、Office Professional Plus 2013と松蔭大学様のご使用になるフリーソフトウェアで構築をした。

今回、学生のログイン時に工夫を凝らし、

- 1) すべての学生のアカウントでログインができること
- 2) 学生がログイン時に学生個人のデータのみ参照できること
- 3) 市販の有償ツールを活用せず、プロファイルなどで構成することを実現した。また、今後の拡張性についても考慮をしたシステムとなっている。

本システムの外観図を図1に示す。



図1 外観図

## 溶存水素計の開発

■ 原田 義一  
Yoshikazu Harata

■ 竹原 公  
Kô Takehara

## 1 はじめに

近年、水素の抗酸化機能が注目され、医学分野を中心に詳細な研究が進められている。

また、市場では豊富な水素を水に溶解させる水素水生成器をはじめ、ボトルやアルミパウチに封入した水素水飲料など、数多くの水素水商品が販売されている。なお、これら水素水商品は、水に含まれる水素量（溶存水素濃度）が商品価値を定める大きなファクターとなっている。

溶存水素濃度は隔膜形ポーラグラフ電極を採用した高精度な測定器が実用化されており、研究開発や工業用途に利用されているが、価格や取扱い上の課題で汎用性に乏しい。一方、溶存水素濃度にもなう酸化還元電位の変化を利用した測定器や判定試薬も商品化されているが、溶存酸素や pH の影響が大きく、測定できるサンプルの水質が限定されており、新たな測定技術の開発が待たれていた。

以上の背景から、タカオカ化成工業株式会社では酵素反応を利用した専用試薬を採用し、酸化還元電位で溶存水素濃度を測定するポータブルタイプの溶存水素計 THD-100 を開発した。

図 1 に開発品の外観を示す。



図1 溶存水素計THD-100の外観

## 2 測定原理

## 2.1 酸化還元電位法

専門知識を必要とせず、幅広いユーザーに場所を選ばず、手軽にご利用いただける酸化還元電位法を採用した。



$$E_{\text{H}} = E_{\text{H}}^0 - (RT/nF) \cdot \ln([\text{H}_2]/[\text{H}^+]^2) \quad \dots\dots (1b)$$

$$= E_{\text{H}}^0 - (RT/nF) \cdot \ln([\text{H}_2]) - 0.059\text{pH}$$



$$E_{\text{O}} = E_{\text{O}}^0 - (RT/nF) \cdot \ln([\text{O}^{2-}]^2/[\text{O}_2]) \quad \dots\dots (2b)$$

$E_{\text{H}}$ 、 $E_{\text{O}}$ ：水素、酸素の酸化還元電位

$E_{\text{H}}^0$ 、 $E_{\text{O}}^0$ ：標準酸化還元電位

$R$ ：ガス定数  $T$ ：絶対温度  $F$ ：ファラデー定数

$n$ ：酸化還元反応で受け渡しされる電子数

酸化還元電位法は酸化還元反応系での電子の受け渡しによって発生する電位を測定する手法で、白金製の作用極と電解液に浸漬された銀-塩化銀で構成される比較電極を備えた ORP 電極を利用する。

作用極ではサンプルに含まれる水素分子 ( $\text{H}_2$ ) と水素イオン ( $\text{H}^+$ ) の濃度差によって電位が発生し、比較電極の電位との電位差が酸化還元電位として検出される。水素分子をはじめとする還元作用を示す物質を多く含むサンプルでは低い電位を、酸素分子をはじめとする酸化作用を示す物質を多く含むサンプルでは高い電位を示す。

飲用の水素水を対象とした場合、酸化還元電位は溶存水素および溶存酸素の酸化還元反応にもなう混合電位として検出される。

水素および酸素の酸化還元反応を式 1a, 2a に示す。(なお、酸素の反応は複数存在するため、一例として表す。) また、これらの反応にもなう発生する電位は Nernst 式によって式 1b, 2b で与えられる。

式 1b および式 2b に示すように、水素水の酸化還元電位は溶存水素濃度  $[\text{H}_2]$  に加え、pH、溶存酸素濃度  $[\text{O}_2]$  の影響を受けることになる。

大気中の場合、水の溶存酸素濃度は 8 ppm 程度で平衡するが、電気分解で生成した水素水では 10 ppm を超過するケースもある。また、水道水源を例にとると、水質基準 pH5.8 ~ 8.6 の変動を見込む必要があり、溶存酸素、pH のいずれも酸化還元電位法を採用した溶存水素濃度の測定に大きな影響を及ぼす要因となっていた。

これらの課題を一掃するため、溶存水素計 THD-100 では溶存酸素の除去機能と pH 調整機能を備えた専用試薬を採用している。



## 2.2 専用試薬

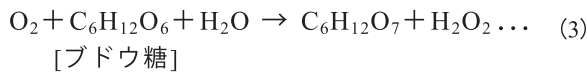
### (1) 溶存酸素の除去

前述した溶存酸素の影響を取り除くため、酵素による脱酸素反応を適用した。式 3 ~ 5 に反応式を示す。

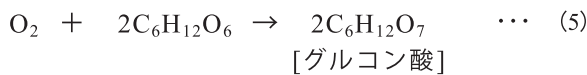
Glucose oxidase, catalase の 2 種の酵素を利用している。式 3 に示す glucose oxidase の触媒作用によりブドウ糖と酸素の反応を進行させる。また、反応生成物である過酸化水素 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) は酸化還元電位に影響を与える成分であるため、catalase の触媒作用で過酸化水素を水 (H<sub>2</sub>O) と酸素 (O<sub>2</sub>) に分解する。式 3, 4 に示す反応の取支として式 5 に示す溶存酸素の分解反応が進行する。

なお、最終生成物のグルコン酸は弱酸性を示すが、この影響は次項の pH 調整機能により補完している。

(触媒：Glucose oxidase)



(触媒：Catalase)



### (2) pH 調整機能

pH 変動にともなう影響の解消に併せ、酵素活性への影響を配慮して pH 調整剤にはリン酸緩衝液を採用し、サンプルの pH を中性域 (pH 7 近傍) に調整する。

以上の機能を備える専用試薬は酵素活性を維持するため、2種の酵素を配合した液体試薬 (I 液)、ブドウ糖およびリン酸緩衝液を配合した液体試薬 (II 液) で構成し、それぞれサンプルに適量を添加して使用する。

## 2.3 酸化還元電位と溶存水素濃度の相関

専用試薬で調整した電解水素水および高い pH 値を示すアルカリイオン整水器の生成水をサンプルとし、ORP 電極で測定した結果を図 2 に示す。

飽和溶存水素濃度 1.6 ppm (20°C) <sup>(1)</sup> までの酸化還元電位の変化量は約 30 mV であり、溶存酸素濃度や pH の影響を受けず、精度の高い測定を実現できる。

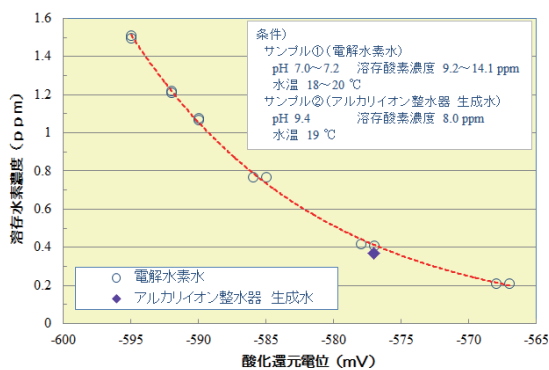


図2 酸化還元電位と 溶存水素濃度の関係

## 3 特長・仕様

### 3.1 特長

溶存水素計 THD-100 の特長を以下に示す。

- 高精度の測定を実現(溶存酸素, pH に影響されない)
- 測定操作, 保守が容易
- 軽量でコンパクト (キャリングケース付)
- 安全な試薬を採用
- リーズナブルな測定器

### 3.2 仕様

表 1 に仕様を示す。

表1 仕様

項目	仕様
型式	THD-100
測定対象	電解水素水, アルカリイオン水, 容器詰め水素水飲料
測定方式	酸化還元電位法
測定レンジ	ppm/ppb 切替機能付
測定精度	±0.1 ppm
測定時間	3~10 分
保守	測定前に付属の研磨シートで電極を研磨
専用試薬	水素濃度測定用補助剤 (RDH-20) 測定回数: 20 回分 保管条件: 冷蔵

## 4 おわりに

溶存水素計 THD-100 の概要を紹介した。

水質に影響を受けず、手軽に利用いただける利便性から、水素水商品の研究開発、品質管理から販促用途に至るまで、様々な場面での活用が期待される。

### ■参考文献

- (1) 社団法人 日本化学会: 化学便覧基礎編改訂2版, p.770(1975)



原田 義一

タカオカ化成工業株式会社  
環境機器部 所属  
環境製品の開発業務に従事



竹原 公

九州大学大学院 理学研究院化学部門  
准教授

# SEL社代理店事業

～標準通信規格に対応した次世代汎用機器“IED”～

## 製品紹介

### 1 はじめに

東光高岳は、米国のIEDメーカーSEL社<sup>注1)</sup>と2013年に代理店契約を結び、国内正規代理店としてSEL社製品の日本国内販売を開始した。現在、電力プラント事業本部電力インフラ営業部 システムグループにて代理店事業を展開している。

### 2 SEL社について

#### 2.1 概要

SEL社は、1982年に米国ワシントン州プルマンに設立、1984年に電気事業に世界で初めてデジタル保護継電器を導入した。より安全で信頼性があり経済的な電力を供給するため、電力システムにおける保護・制御・計測・モニタリングのための製品を開発・製造している。開発・製造ラインを本社(米国 ワシントン州 プルマン)に集約することにより、より厳しい品質管理を可能にしている。

また、SEL社は、世界21か国にオフィス(販売&技術サービス)を構え、140か国以上の国々へSELソリューションを展開している。

本社(米国)のほか、オーストラリア、中国、韓国、シンガポールなど、アジア圏にあるSEL支社のサポートにより、時差の問題が解消され、より迅速に日本国内のお客さまの声を届けることができる体制となっている。

#### 2.2 製品

発電機、変圧器、母線、送電線、配電線などの電力向け保護継電器および産業向けオートメーション機器ならびに通信機器など、SEL社は幅広い製品を製造している。近年、エネルギー需要の増大により、東南アジアをはじめとする新興国の電力市場において、SEL社製品は急速に普及している。とりわけ、変電所自動化の発展の背景には、変電所監視制御システムに関する国際規格であるIEC61850の普及があげられる。SEL社の製品は、IEC61850に準拠したIED<sup>注2)</sup>を多数ラインナップしている。



図2 SEL社のIEC61850製品



図1 SEL社製品ガイド

### 3 システムについて

#### 3.1 IEDの特長

IEDは図3の通り多様な機能を有しており、汎用性が高く、低価格であるためグローバル市場で展開している。また、SEL社が提供するソフトウェアにより、ユーザーシステムに応じて機能設定（機能ロック、制御ロジックなど）をカスタマイズすることができる。



図3 IEDの特徴

#### 3.2 システム構築

IEDを情報処理装置（ネットワークスイッチやインテリジェントゲートウェイなど）と組み合わせることにより、IEC規格に準拠した変電所自動化システムの構築が容易にできる。また、SCADAシステムなどで多く採用されている汎用通信プロトコル<sup>注3)</sup>により、他社製ベンダー機器との協調性の高い監視制御システムを構築することが可能になる。SEL社は監視制御画面をカスタマイズするためのソフトウェアも用意している。

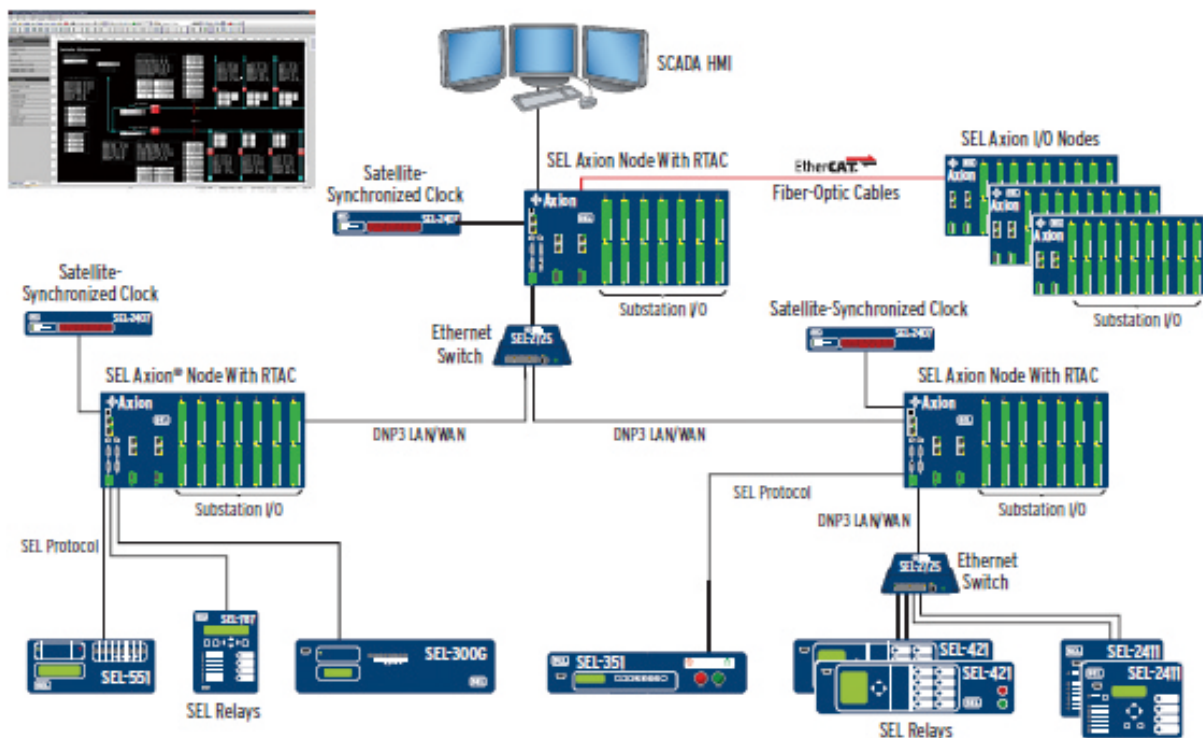


図4 IEDシステム構成例

### 4 おわりに

現在、電力システム改革をきっかけに、新電力の増加、業界再編（異業種メーカー参入）など、電力分野の産業構造は大きく変化している。また、国内電力システムの国際標準導入の動きと、電力小売り自由化が重なり、より廉価な電力システムが求められることが予想される。

東光高岳が展開するSEL社代理店事業は、SEL社のソリューションを通し、みなさまのビジネスをサポートするサービスの提供が可能である。

#### ■語句説明

注1) 「SEL」は、「Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.」の略称

[HP] <https://www.selinc.com/> 参照。

注2) 「IED」は、「Intelligent Electronic Device」の略称。

国際規格IEC61850-2に定義。

注3) Modbus, DNP3, IEC61850, IEC60870 など。ただし、機種により対応プロトコルが異なる。

# eCarTec 2014展示会 デュアルタイプ急速充電器出展

## 1 期間・場所

開催期間 2014年10月21日～10月23日(3日間)  
場所(会場) ドイツ ミュンヘンメッセ

## 2 概要

デュアルタイプ急速充電器とは、1台の急速充電器でCHAdeMO方式(日本)とCCS方式(ドイツ)双方の充電が可能となる新しいタイプの急速充電器である。

eCarTec(International Trade Fair for Electric & Hybrid Mobility)は、ドイツのミュンヘンメッセで2009年より毎年開催されるEV、充電器などのe-mobilityに関する

国際的な展示会であり、昨年が6回目の開催であった。

2014年は28か国から463社の出展社があり、12,000名以上が来場した。(主催者発表)

東光高岳出展スペースに訪された方々の業種は、EVビジネスオペレータ、コンサルタント、充電器メーカー、車両メーカーなどで、名刺を交換した来訪者は22か国と多くの国から来訪頂いた。

日本の急速充電器メーカーとして出展したのは東光高岳のみで、日本の充電インフラの普及状況、販売実績、欧州メーカーとの違いなどの多くの質問を頂き、また、欧州での充電インフラ普及状況なども直に聞くことができた。

この展示会で得た知見や各種情報を今後の営業活動、製品開発に繋げていく。



出店スペース



来訪者対応



会場スタッフ

# 第59回 澁澤賞受賞

～ WDM 型光 C87 の開発～

## 1 概要

関西電力株式会社殿，東京電力株式会社殿，および東光高岳からなる共同開発グループは，「WDM型光C87」の開発業績が認められ，2014年11月27日に一般社団法人 日本電気協会より第59回澁澤賞を受賞した。

澁澤賞は，故澁澤元治博士が1955年に文化功労者として表彰を受けられた栄誉を記念するため，1956年に設けられたものである。

本賞は，電気保安に傾注された博士の意を体して，広く電気保安に優れた業績を上げた個人またはグループに毎年贈られる権威ある賞で，民間で唯一の電気保安関係表彰として各界より認められている。

## 2 特長

WDM型光C87（ケーブル故障検出装置）は，架空-地中混在系統における地中ケーブルの各相に光電流センサを取り付けることにより，地中ケーブルで発生した短絡および地絡事故を検出し，再閉路ロック信号を出力する装置である（図1）。本装置により，系統の再閉路によるOFケーブルの



賞状

火災発生や電気設備の損傷拡大を防止することができる。光電流センサ信号の伝送に波長分割多重（WDM）技術を適用し，従来装置（零相電流検出タイプ）と同じ光ファイバ伝送路心数（2心）で各相電流検出を可能とすることで，地中ケーブルの短絡事故検出並びに光ファイバ伝送路の効率化利用を実現している。

2007年から適用を開始しており，今後も設置対象系統への計画的な導入が見込まれている。

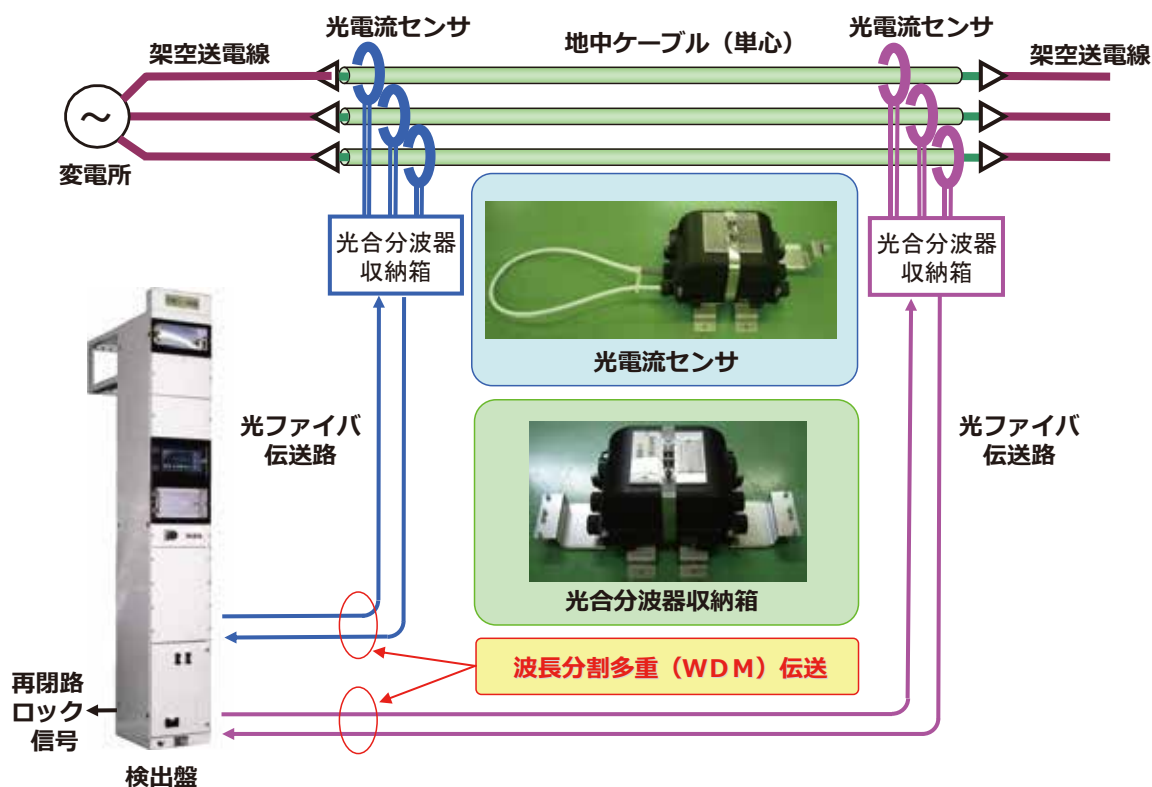


図1 WDM型光C87（ケーブル故障検出装置）の構成

# 2014年度 TPM優秀賞 カテゴリーAを受賞 (タカオカ化成工業株式会社)

## 1 期間・場所

公益社団法人日本プラントメンテナンス協会（以下、JIPM）が制定した審査表彰制度において、2014年度 TPM<sup>注1</sup> 優秀賞カテゴリーAに合格した。

2011年9月にキックオフし、約3年でカテゴリーAに合格できたのは、JIPM 村瀬由堯先生のご指導のもと全員参加で粛々と活動に取り組んだ成果である。

## 2 TPM 活動の特長

タカオカ化成工業株式会社の活動の特長は次の通りである。

- ① 「お客さまに感動していただける職場にしよう」を合言葉に全員参加。
- ② 当初から8本の柱で活動を開始。
- ③ TPMをベースにTPSの考え方を導入して、新工場建設時に生産ラインを構築。
- ④ 災害ゼロ、不良ゼロ、設備故障ゼロをめざしてゼロラインを定義し、分科会を連携させた仕組みを構築。



## 3 活動の結果と今後の進め方

2014年度、経営指標である売上高、経常利益は過去最高となり、その他の管理指標や分科会の指標も良い傾向を示している。

2015年度は、新たに第2工場を建設して工場全体のラインを整備し、ゼロラインを増やすために新たな改善手法も導入して改善を継続し、活動の進化と深化をめざす。

### ■ 語句説明

注1) TPM

Total Productive Maintenance の略で、「生産効率を極限まで高めるための全社的生産改革活動」。