

ビッグデータ時代の到来による 新たな情報社会における人間の役割



馬場 旬平*
Jumpei Baba

近年のデータ収集システムの発展には目を見張るものがある。特にデジタル化されたデータが非常に容易に、かつ、大量に収集が可能となっており、隔世の感がある。私事で申し訳ないが、まだ学生の頃は時系列実験データの収集にはアナログレコーダで記録を取り、その後、ディジタルイザでディジタルデータに変換をしたのだが、ポータブルな記憶デバイスがまだフロッピーディスクしかなく、紙に印刷したチャートや実験メモと睨めっこをしながら必要な箇所を厳選してディジタル化した記憶がある。また、計算機の補助記憶装置の単位情報量当たりの価格も高く、大きなデータを残して置けなかったこともデータを厳選した理由の一つであったと思う。現在の学生さんはデータアキュイジションシステムから直接、大量のディジタルデータを取得し、とにかく補助記憶装置にデータを格納し、計算機上で必要な箇所をいとも簡単に切り出して解析を行っており、改善された研究環境がうらやましい限りである。

一方で不必要なデータまで大量に取得し、補助記憶装置に保存しておき、何のメモもなく、重要なのかそうでないのか、はたまた何のデータなのか判断出来ない大きなファイルがいくつも溜まっている。定量的な情報がなく恐縮ではあるが、学生一人当たりが占有するデータ領域が、以前より増えている気がする。利用出来ないデータは単なる「ハードディスクの肥やし」でしかないが、完全に消去する訳にもいかず、バックアップを取りながら運用しているのが現実である。データを記憶し続けるのであれば再利用可能な形で保存する必要があるが、なかなか学生に定着させられていない。かく言う自分も過去に作成したグラフを改変しようとして元データを探すのに四苦八苦することがある。

現在、「ビッグデータ」という単語が世間を賑わせている。電力関連の分野でも多数のセンサーを配置し、高速通信網などを活用して大量のデータを取得し、運用に活用する機運が高まっている。「ビッグデータ」の活用は間違いなく有用で重要な技術になると確信している。しかし、単に情報を収集するだけでは、それこそ当研究室のハードディスクと同様、肥やしを増やすだけで、役に立たないどころか、コストが嵩むことになる。収集したデータをどう活用し、保管するのか、これから強く問われる時代になると思われる。

大量に存在するデータから意味のある有用な情報を見出すという行為は今も昔も変わりはないのかもしれない。それを現在はやりのAIで有用な情報を見出すことになるのかもしれないが、結局は人間が、何が有益なのかを判断し、その情報を基に、計算機がデータを探索・解析しているに過ぎないのではないか、と思っている。やはり最後はデータを扱う人間の能力が重要であろうが、あるタスクに対して一朝一夕では良い判断が出来るものではなく、経験の蓄積が重要ではないかと考えられる。EMSやVPPなどで大量のデータを扱うことになると思われるが、是非、経験を蓄積して頂きより良いシステムを生み出して頂ければと祈念している。

* 東京大学 新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻 准教授

配電系統の電圧制御シミュレーション ～蓄電池を活用した電圧適正化に関する検討～

■ 山下 裕輔
Yusuke Yamashita

■ 茂木 規行
Noriyuki Motegi

1 はじめに

地球温暖化の原因の一つとして挙げられている二酸化炭素 (CO₂) の排出量を削減するため、気候変動枠組条約第 22 回締約国会議 (COP22) にて世界各国が CO₂ 排出削減目標を掲げ、日本においても政府主導のもと温暖化対策の取り組みが進められている。その取り組みの一つとして、再生可能エネルギーの導入が促進されており、固定価格買取制度^{注1)} 導入以降、特に太陽光発電 (以下 PV) の導入が加速している。PV は発電時に CO₂ を排出しないメリットがある一方、発電量が天候に左右されるため、PV の導入拡大に伴い、電力系統での余剰電力発生や周波数変動増大、電圧変動増大といった、電力の安定供給・電力の品質に及ぼす影響が問題視されている。特に、電圧変動に関する課題は、配電系統において PV が局所的に接続された場合に顕在化しやすい。PV 導入の拡大途上である現段階でも、すでに法定の電圧維持範囲から逸脱のおそれがあり、電圧変動を抑制するための追加対策を実施しなければならない個所が増えつつある。

従来から実施されている電圧変動を抑制する対策として、変圧器のタップを変更することで変圧器二次側電圧を調整する負荷時タップ切換変圧器 (LRT: Load Ratio control Transformer)・ステップ式電圧調整器 (SVR: Step Voltage Regulator) や、無効電力を調整することで電圧を安定化させる静止型無効電力補償装置 (SVC: Static Voltage Compensator) といった、電圧調整機器の設置がなされている。これらの対策は通常、一般送配電事業者側で実施するものであり、将来、さらに多くの分散型電源導入が進むと、より高度な電圧制御のための方法が求められると考えられる。この高度化を実現するための手法の一つとして、PV とともに今後普及が見込まれる蓄電池システムの活用がある。蓄電池を有効活用することにより、需要家内のエネルギーマネジメント用途以外にも、電力系統の安定化への寄与が可能となる。最近では、分散配置されている需要家側機器を束ねて統合制御し、あたかも一つの発電所のように制御することで、系統制御の高度化に寄与できるバーチャルパワープラント (VPP) に関連する複数の実証事業が行われており、蓄電池をはじめとする需要家側機器の制御は、よりいっそう期待されている。

東光高岳では、分散型電源の大量導入を見据えた電圧

適正化のための技術開発・製品開発に取り組んでおり、筆者らは、配電系統のシミュレーション解析および配電ネットワーク実証試験場 (以下試験場) で行う試験の双方により、電圧適正化技術の研究開発を行っている。試験場には、PV や蓄電池、模擬負荷装置などを備えており、これらの設備を用いてさまざまな系統状況での検証を行うことができる。現在、PV ならびに蓄電池が普及した次世代の配電系統を想定し、蓄電池の活用による電圧適正化効果に関して検討を進めている。

本稿では、配電系統における蓄電池の運用を検討するための新たなモデル環境を構築して、動作検証のために行ったシミュレーションに関して紹介する。

2 蓄電池導入評価モデル構築

従来の試験場シミュレーションモデル⁽¹⁾ では、主に LRT や SVR, PV, 負荷などのモデルが構築されている。このモデルをベースに、蓄電池システムを活用した評価が可能な環境を構築するため、新たに蓄電池モデルを作成した。

2.1 蓄電池モデルの概要

蓄電池システムは、パワーコンディショナを介して指令に応じた電力の充放電を行う。SOC^{注2)} が上限または下限に達した場合、それ以上の充放電はできなくなる。このような SOC に応じた充放電電力管理のための蓄電池モデルを、図 1 に示す。構築したモデルは、蓄電池の SOC を計算し、容量を超える充放電指令を受け取った場合に充放電が制限される動作とした。

2.2 蓄電池モデルの動作

2.1 で示したモデルについて、簡単な充放電指令波形を与えたときの動作確認に関して述べる。蓄電池容量と最大入出力のそれぞれで充放電制限が現れることを確認

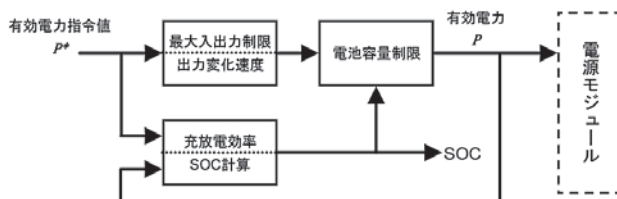


図1 蓄電池モデルの簡易ブロック図

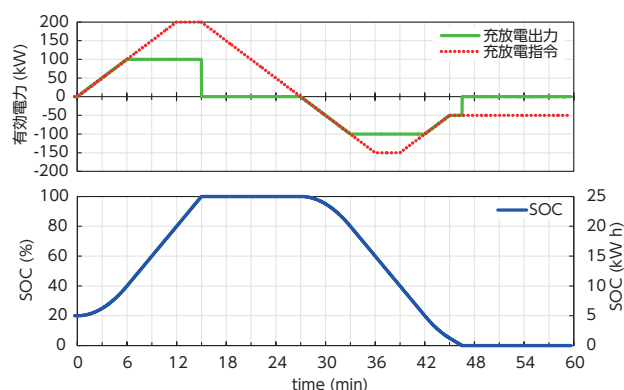


図2 蓄電池モデルの動作確認波形

するため、下記条件にて蓄電池モデルを動作させたときの入出力波形を図2に示す。

(条件) 最大入出力: ± 100 kW 初期 SOC: 20% (5 kWh)

蓄電池容量: 25 kWh 充放電損失: 0 kW

図2では、充電側と放電側の両方の挙動を示している。充放電出力は、最大入出力 ± 100 kW の範囲内で変化し、SOC が 0% に達すると放電停止、100% に達すると充電停止となる。

3 シミュレーションによる蓄電池制御効果の基礎検討

構築した蓄電池モデルを含めて、シミュレーションにより、蓄電池の制御が配電系統電圧適正化に及ぼす影響・効果を検討する。本稿では一検討として、蓄電池の充電が要請される時間帯を想定し、制御対象となる配電線内の蓄電池の分布が異なるときに電圧変動へ与える影響を比較する。

3.1 シミュレーションモデルおよび条件

(1) シミュレーションモデル

図3はシミュレーション評価用の配電系統モデルであり、1 配電線あたり 10 個所の需要家ノードと配電線インピーダンス ($r + jx$) から構成されている。このモデルは、シミュレーションと試験場との比較検証を考慮したものである。試験場設備においては、蓄電池および負荷がそれぞれ配電線上の異なる位置に接続切替が可能

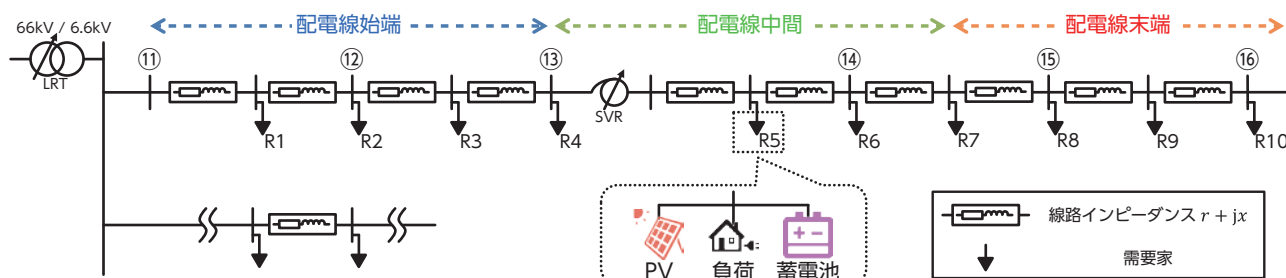


図3 シミュレーション評価用配電系統モデル

で、この構成を反映したシミュレーション評価モデルとした。需要家ノードを配電線上の位置に応じて、始端・中間・末端の3グループに分類し、後述する負荷・PV・蓄電池の接続分布条件により、各需要家ノードに負荷電力と発電電力を配分する。

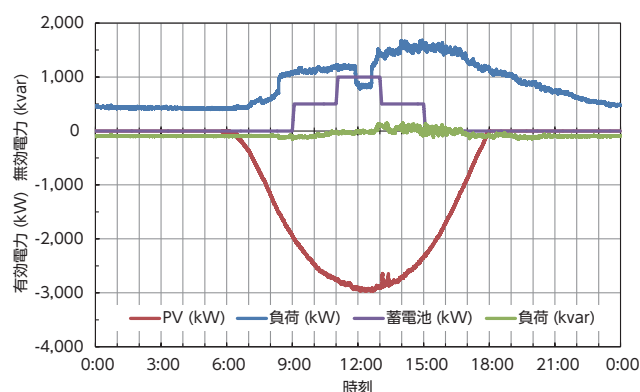
(2) 需要家の負荷電力およびPV出力データ

全需要家の受電端合計電力として、図4のデータを利用する。電力値は、有効電力の消費が正、遅れの無効電力が正である。この電力値を、負荷・PV・蓄電池それぞれについて設定する始端・中間・末端の分布条件に応じて、各需要家ノードに割り当てる形とした。

使用する負荷電力およびPV出力の時系列データには、東光高岳小山事業所内の設備にて測定した1秒間隔の実測値を換算して用いた。評価対象のPVデータとして電圧上昇が発生しやすい快晴日の出力曲線、負荷として軽負荷期の類似データ数日間分を平均化した負荷曲線を選んだ。配電線の軽負荷期平均負荷電力⁽²⁾のピーク約 1,500 kW に対して、その2倍である 3,000 kW 程度がPV出力のピークとなるデータに換算している。

(3) 条件

電力系統全体における需給バランス調整の面で、軽負荷時間帯かつPV出力が大きい期間に、PVの余剰出力を抑制するため蓄電池の充電が要請されるケースを想定する。このとき、配電系統内の複数蓄電池が充電を行う場合、各蓄電池の位置分布により、電圧変動の様相に差が生じる。需要家に対して蓄電池充電要請を与える管理

図4 PV出力と負荷電力および蓄電池充電電力波形
(全需要家の受電端電力総和)

者側の立場で考えると、蓄電池充電による逆潮流電力抑制と同時に、制御する蓄電池位置の選び方によっては電圧適正化が見込めると捉えることもできる。この電圧変動の違いを評価するため、表 1 に示す配電線上の蓄電池分布が異なるケースでシミュレーションを行った。表 1 では、全蓄電池を 100% としたときの、始端・中間・末端の分布条件を示している。蓄電池充電制御を行わない case 0 を基準ケースとして、制御対象蓄電池が始端に偏っている case 1、均等に位置する case 2、末端に偏っている case 3 を比較する。図 5 に、各需要家に配置されている PV・負荷・蓄電池の分布条件を、ケース別一覧で示す。ここで、各需要家の PV・負荷・蓄電池の最大電力を合計すると、それぞれ 3,000 kW・1,500 kW・1,000 kW である。例えば、case 1 の場合、需要家全体で 1,000 kW の充電を行うとき、それぞれの需要家が充電する電力の配分は、始端グループの範囲で 1,000 kW の 80% である 800 kW が充電されることになる。なお、10 個所の需要家を 3 グループに等分しているため、需要家 R4 の電力は始端と中間を按分、R7 は中間と末端を按分した値としている。

そのほか、各ケースで共通の条件を表 2 に示す。今回の評価では、蓄電池の充電運用に対して容量に不足はないものとし、蓄電池の充放電に伴う電圧変動分を検証するため、LRT および SVR のタップは固定としている。

表 1 評価パターン一覧

case No.	蓄電池の有無	制御実施蓄電池分布 (%)		
		始端	中間	末端
case 0	蓄電池なし (基準ケース)	—	—	—
case 1	蓄電池あり	80.0	10.0	10.0
case 2	蓄電池あり	33.3	33.3	33.3
case 3	蓄電池あり	10.0	10.0	80.0

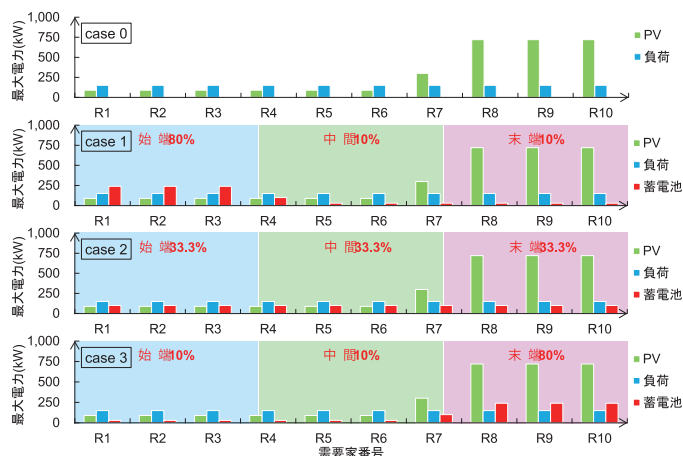


図 5 各需要家の PV・負荷・蓄電池分布内訳

3.2 結果

表 2 の各 case について電圧変動の違いを評価する。図 6 は、電圧上昇が最も大きい配電線末端地点（図 3 の⑯）の LRT 二次側を基準とした電圧変動である。case 0 の曲線が蓄電池制御のない基準ケースの電圧変動であり、それ以外の蓄電池制御を実施した 3 ケースでは、すべての場合において蓄電池の充電が行われている時間帯に電圧上昇が軽減されていることが確認できる。

配電線各地点間の電圧変動比較のため、電圧偏差を評価時間（15 h）すべてにわたって積算した結果を図 7 に示す。横軸の数字は、図 3 内に記す数字に対応した配電線地点を表しており数字が大きくなるほど配電線末端に近い。縦軸は、LRT 二次側電圧からの電圧上昇幅または降下幅の絶対値を積算した量で、この値が大きいほど電圧変動の発生頻度が高いことを表す。すべてのケースに共通して、配電線末端に近いほど電圧上昇が大きくなっているのは、末端付近に集中して接続されている PV によるものである。case 0（蓄電池制御なし）と case 1～3（蓄電池制御実施の 3 ケース）とを比較すると、配電

表 2 シミュレーション条件

シミュレーション時間	15 h (6:00 ~ 21:00)		
線路インピーダンス $r + jx$ (Ω)	0.12 + j0.31		
LRT 一次側電圧	66 kV 一定		
LRT 変圧比	66 kV : 6.6 kV 固定		
SVR 変圧比	1 : 1 固定		
負荷配電線分布 (%)	始端	中間	末端
	33.3	33.3	33.3
PV 配電線分布 (%) (電圧上昇が過酷な末端集中分布)	始端	中間	末端
	10.0	10.0	80.0
蓄電池合計充電指令	9:00~11:00	11:00~13:00	13:00~15:00
	500 kW	1,000 kW	500 kW

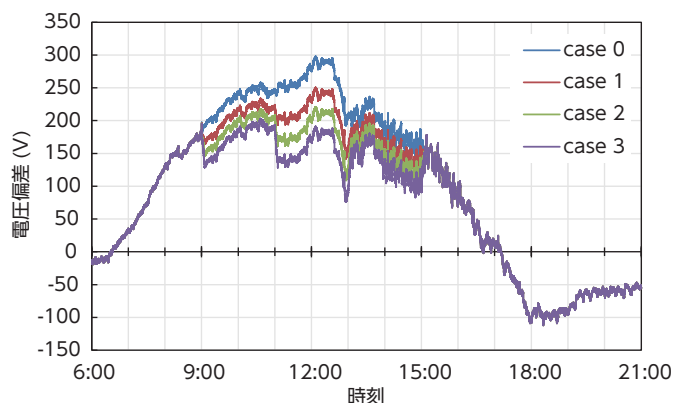


図 6 各 case の配電線末端電圧変動

線すべての個所で蓄電池制御実施により電圧上昇が軽減されている。蓄電池制御実施の case 1, case 2, case 3 を比べると、末端付近ではケース間で電圧偏差積算量に差があるが、始端付近では末端に比べて大きな違いが見られない。これは、電圧変動が線路インピーダンスと線路電流のベクトル積で決まるため、LRT からの距離が近い始端では電圧変動が小さくなることに関係している。

図 8 は、配電線の始端から末端まですべての個所の電圧変動を総合評価した結果で、ケース間で電圧上昇抑制効果を比較している。グラフの縦軸は、図 7 の電圧偏差積算量を各配電線地点で合計した値で、蓄電池制御なしの case 0 を 100% として表記した。この結果より、制御する蓄電池の配置が、始端→均等→末端の順に電圧上昇抑制効果が大きいことが確認できる。

3.3 考察・まとめ

case 0 から case 3 の各結果より、PV が配電線末端付近に集中して接続された配電線において、PV 出力を蓄電池に充電する場合、充電制御する蓄電池が末端に集中するほど電圧上昇を軽減する効果が高いことを確認した。また、系統管理者側の視点で考えると、配電線各所に点在する蓄電池をすべて均等に制御するよりも、個別に制御するほうが電圧適正化に貢献できることがわかった。PV 出力に伴う逆潮流が及ぼす配電システムの安定性に

与える影響を解消するためには、PV で発電された電力はすべてその場で消費もしくは PV 併設の蓄電池で吸収する地産地消の考えが理想である。今回の結果においても、末端に集中した PV 出力をその場所に近い蓄電池で吸収することが電圧適正化に効果的であると言える。

本稿では、蓄電池を単純な充電パターンに絞って一般傾向を整理したが、蓄電池運用計画の経済性や利便性など複数条件を考慮すると、それぞれに最適なケースが異なる可能性がある。さまざまな配電系統の状況を想定した検証や、実用的な課題を明らかとするためには、本稿で紹介したシミュレーション技術と合わせた試験場の活用が重要である。

4 おわりに

将来の PV ならびに蓄電池の普及が拡大した配電系統を想定して、蓄電池の活用を検討するためのシミュレーション環境の構築とともに、蓄電池の制御が配電系統の電圧適正化に寄与できることを確認した。

今後は、蓄電池容量の制限やばらつきを配慮した制御、電圧調整機器の制御との協調など、さらに詳細な条件を考慮したシミュレーションを行うとともに、試験場で実施する試験とを組み合わせた検証により、実証環境の高度化や電圧制御ロジックの開発を進める。

参考文献

- (1) 尾崎卓也他：「配電システムの電圧制御シミュレーション」，東光高岳技報，No.3，pp.2-5（2016）
- (2) 一般社団法人電気協同研究会：「配電系統における力率問題とその対応」，電気協同研究，Vol.66，No.1（2011.1）

語句説明

注 1) 固定価格買取制度：再生可能エネルギーで発電した電気を、国が定める固定価格で一定期間電気事業者が買い取ることを約束する制度。

注 2) SOC：State of Charge の略で、蓄電池が電池容量に対して充電されているレベルを示す。満充電状態で 100% となる。

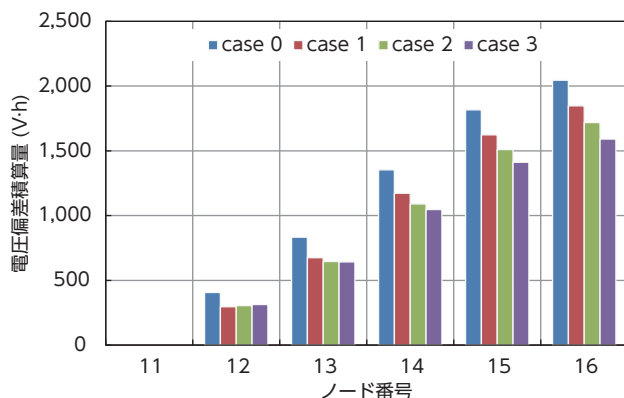


図 7 配電線各地点の電圧偏差積算量

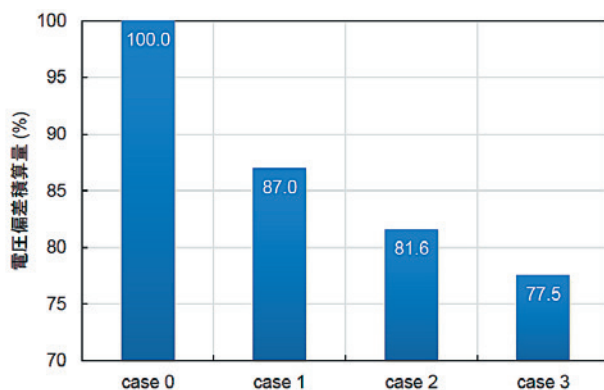


図 8 電圧偏差積算量の各 case 間比較



山下 裕輔

技術開発本部
技術研究所 次世代系統技術グループ 所属
次世代配電ネットワークに関する研究・開発に従事



茂木 規行

技術開発本部
技術研究所 次世代系統技術グループ 所属
次世代配電ネットワークに関する研究・開発に従事

半導体パッケージの熱変形検査技術

■ 石原 満宏
Mitsuhiro Ishihara

■ 井上 征利
Masatoshi Inoue

1 はじめに

これまで半導体製品の性能向上を牽引してきた LSI 製造プロセスの微細化は限界が近づいてきており、今後は複数の LSI チップを一つのパッケージにまとめる、MCM (Multi Chip Module) 技術がその役を担うことになる。TSV (Through Silicon Via) を用いて複数の LSI チップを垂直に積層する 3D 実装や、水平に統合する 2.5D 実装などの新しい MCM がすでに実用化されてきており、パッケージ構造の複雑化が進んでいる。

パッケージ構造が複雑になると構成材料それぞれの熱膨張率の違いから変形や残留応力が発生し、機械的信頼性不良の問題を引き起こす可能性が高くなっていく。このような背景から、半導体パッケージの熱に対する変形特性を正しく評価できる装置（以下、熱変形検査装置）の需要は年々高まっている。

このような需要に応じて JEDEC^{注1)} では、熱によるパッケージの変形評価のための規格 JESD22-B112A⁽¹⁾ をまとめている。そこには変形を評価するための四つの計測手法が列挙されている。図 1 に各手法の計測原理の模式図を示す。

共焦点法以外の手法はいわゆる三角法（三角測量法）とよばれる計測手法である。サンプル表面が拡散反射面である必要があり、さらに DIC 法においては表面に模様が必要となる。そのため拡散反射や模様が不十分であるパッケージ基板においては通常サンプルへの塗装を必要とする。また、これらの手法を用いた市販装置は 1 回の計測（1 視野計測）でサンプル全体を計測することを前提としているため分解能が低く、バンプ^{注2)} などの基板上の微小な部品を適切に処理できない。そのため通常これらの部品は物理的に取り除いておく必要がある。塗装

や部品の除去は手作業で行われ基板変形計測値に少なからぬ影響を与えることは必定である。

東光高岳は、共焦点法を用いたインラインバンプ高さ検査装置で多くの実績を重ねてきた⁽²⁾。バンプ高さ検査装置ではバンプの高さ・コプラナリティ検査に加え、基板の変形も同時に検査しており、塗装もバンプの除去も必要がない。この技術を用いることで他手法のもつ上記のような課題を免れた新しい熱変形検査装置を製品化⁽³⁾したので報告する。

以下では、装置全体の構造・動作について概説し、その後本装置の大きな特長である加熱炉と計測機構について詳説する。

2 装置概要

2.1 装置仕様・構造

図 2 に装置の外観を、表 1 に装置の主な仕様を示す。図 3 は装置の構造を示す模式図である。主要な構成要素は、サンプルの表面形状を計測する計測機構部分とサ



図 2 装置 (HVI-8000-RC) 外観

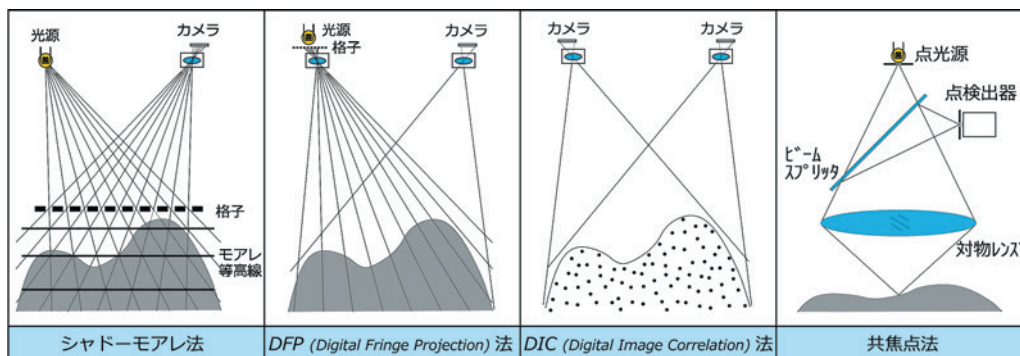


図 1 各種の変形計測法

ンプルを加熱する加熱炉であり、これらについては次章以降で詳述する。加熱中は、サンプルだけでなく加熱炉自体も高温になることから、安全に配慮して装置全体が

筐体で覆われており加熱中は扉がロックされている。それによる筐体内部の温度上昇を防ぐためにエアコンディショナを備えている。

表 1 HVI-8000-RC 仕様

装置型式	HVI-8000-RC
測定原理	非走査共焦点方式
視野サイズ	13 × 13 mm
XY 分解能	8 μm
Z 計測範囲	最大 4 mm
Z 軸計測分解能	0.1 μm
加熱方式	対流加熱
加熱温度	R.T. ～300℃
加熱速度	最大 2.0℃ / 秒
計測時間	< 約 1.0 秒 / 視野

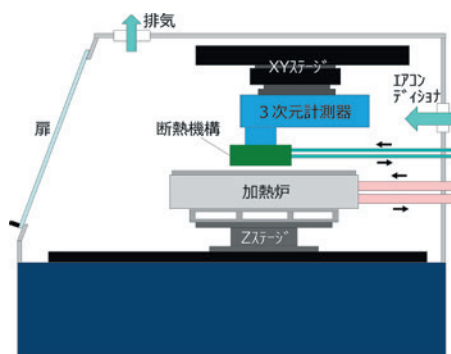


図 3 装置構造

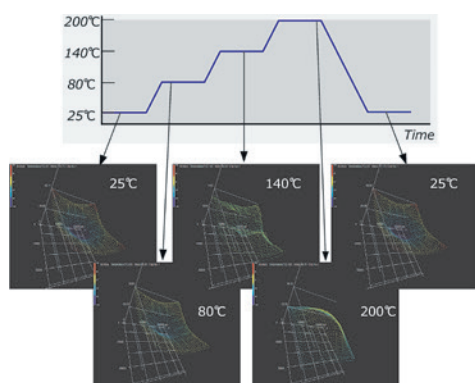


図 4 温度プロファイルと計測結果の例

2.2 動作概要

加熱炉にサンプルをセットしスタートボタンを押すと、事前に設定された温度プロファイルにもとづきサンプルが加熱される。温度プロファイルには最大 32 点の計測温度を設定できる。計測温度まで加熱されると、そこで温度が一定に維持され計測動作が開始される。計測が完了すると次の設定温度まで加熱され、また計測が実施される。後は同様にすべての設定温度で加熱・計測がなされ、最後に室温（安全温度）に戻って一回の計測シーケンスが完了する。温度プロファイルとその計測結果の例を図 4 に示す。

2.3 データ解析

データ解析として、三次元計測器で計測された表面形状点群データをサンプルの変形量（反り量）に変換する（特徴抽出する）作業が必要である。本装置では上記の計測シーケンス中にリアルタイムで解析が実施され、計測シーケンスが完了した時点で解析もすべて完了する。図 5 にデータ解析のようすを示す。2,000 万点を超える表面形状点群データから不要なバンプ部分を除去し、バンプ周辺の基板高さを抽出して変形を評価している。これを実現するためには、評価ウインドウ位置座標群を事前に設定しておく必要がある（図 5 ではバンプ座標に相当）。評価ウインドウ位置座標群は、サンプルの特徴的な形状（例えば基板姿勢認識用マーク）を基準にして設定され、計測時にはその形状をリアルタイムで画像探索し、その位置を基準に評価ウインドウ位置座標群がアライメントされ特徴抽出処理が実行される。

3 加熱炉

本装置は、JEDEC 規格サイズのトレイを収めること

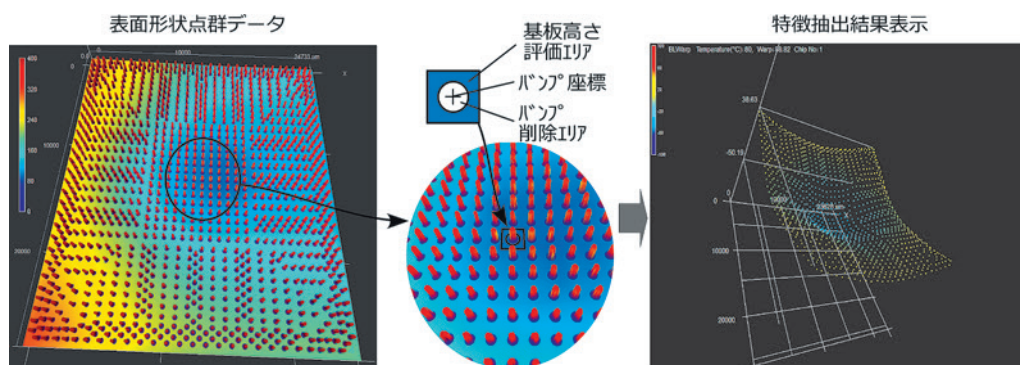


図 5 データ解析処理



図6 加熱炉構造

ができる大型の対流方式加熱炉を備えている。加熱炉の構造を図6に示す。伝熱工学によれば、熱が伝わる形態として以下の三態がある。

- ①熱伝導 (Conduction)
- ②対流熱伝達 (Convection)
- ③熱放射 (Radiation)

熱伝導による加熱は、ホットプレートの上にサンプルを載せる方式が代表的なものである。対流（熱伝達）方式による加熱はサンプルに熱風を吹き付けるもので、はんだのリフロー炉^{注3)}はこの方式である。熱放射による加熱は、赤外線ランプを使った電磁波（光線）加熱である。

市販の熱変形検査装置のほとんどは近赤外線ランプによる熱放射加熱であり、東光高岳においても従来は近赤外線ランプを使用していた。しかし光線は指向性が強く、さまざまな形状・サイズのサンプルを全周から均一に加熱することは困難で、表裏を含むサンプル内部の温度差あるいはトレイ上の場所による温度差の発生を避けることは難しかった。一方、対流方式の加熱は、サンプルの周囲温度を上げて全周から加熱することになるので高い均一性を実現できる。また半導体パッケージは、実装時に対流方式のリフロー炉で加熱されるので、リフロー炉と同一条件での加熱がユーザより強く望まれていた。そのほかにも対流加熱方式の実用上のメリットとして以下が挙げられる。

(1) 材料の違いによる影響が少ない

熱放射加熱は、サンプル表層材料の赤外線吸収率により加熱の容易さが大きく変わる。例えば金属は表層で光線を反射してしまうので表面処理なしでは加熱できない。対流加熱は空気分子を衝突させることによる直接的な加熱なので材料の違いによる影響が少ない。

(2) サンプル放出ガスによる汚損が少ない

半導体パッケージは高温になるとはんだフラックスの気化などによるガスが発生し、炉の窓ガラスが汚損され計測に影響する。対流加熱においては発生したガスが加熱の対流とともに外部に排出されることから汚損の発生はきわめて少ない。

(3) サンプルへの熱電対貼付が不要

サンプルの正確な温度制御のためにはサンプルの温度モニタリングが必要となるが、熱放射加熱においてはサンプルそのもの、もしくは同じ材質のものでサンプル温度をモニタリングしなければならない。そのためサンプル

への熱電対貼付は必須である。サンプルへの熱電対貼付は手間がかかり、ダミーサンプルが必要であり、小さいサンプルなどでは貼付が困難であったりする。対流加熱では、事前のテスト加熱により炉内の気温からサンプル温度を推測できるので制御のための熱電対貼付は不要である。

(4) 同一方式で冷却が可能

車載半導体においては信頼性試験のために氷点下の温度が必要とされる。対流方式においては加熱だけでなく冷却も同一方式で可能でありシームレスな制御が可能である。熱放射方式での冷却は不可能である。

4 計測機構

計測機構部分は、共焦点方式の三次元計測器およびそれを移動させるXYステージ、加えて加熱炉から三次元計測器への熱の伝達を遮る断熱機構より構成される。

4.1 三次元計測器

本装置の最大の特長は共焦点方式の三次元計測器にある。東光高岳の三次元計測器は、計測原理に共焦点方式を採用し共焦点方式の欠点である計測速度を独自の光学系により大幅に向上させている。以下に原理を解説する。

図7(a)は共焦点方式三次元計測の原理図である。ピンホールを照明し対物レンズによりピンホールの像を物体に投影する。物体上で反射した光を同じピンホールで受け、ピンホールを通過した光量を検出する光学系となっている。物体表面がピンホールの結像位置にある場合、対物レンズにより反射光は再びピンホール上で結像しほとんどの光がピンホールを通過して強い検出器出力が得られる。一方、物体表面がピンホール結像位置以外にある場合は反射光がピンホール上に結像することなく広がり、ピンホールを抜ける光は少なく弱い検出器出力しか得られない。物体を光軸方向(Z方向)に移動させて検出器出力が最大値となるZ位置を探索すれば物体表面のZ位置が同定される。光学系をXY方向に動かして同様の計測をすることで物体表面の三次元形状を得ることができる。これが共焦点方式の計測原理である。図7からわかるように共焦点方式は物体からの正反射光を利用しており、一般的な三角測量方式のように物体面上での散乱反射を前提としていないため平滑面であっても塗装をする必要がない。

共焦点方式の問題は計測速度である。XYZ三軸の走査が必要であり著しく時間を消費してしまう。そこで図7(b)に示すようにピンホールを二次元方向に多数配列しかつ二次元検出器(すなわちカメラ)を用いて、XY走査することなく計測が可能な非走査三次元計測方式を実現した。Z方向の走査はZ移動ステージにより

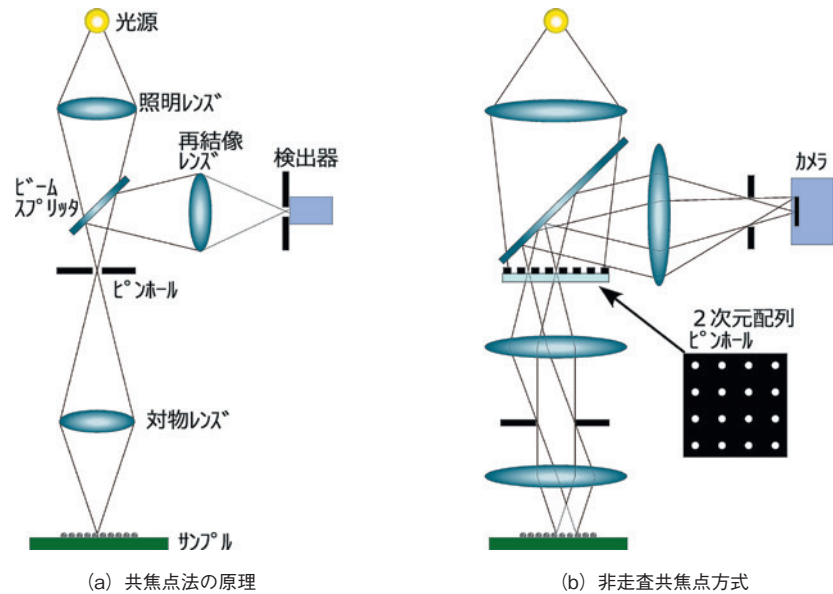


図7 三次元計測器の計測原理

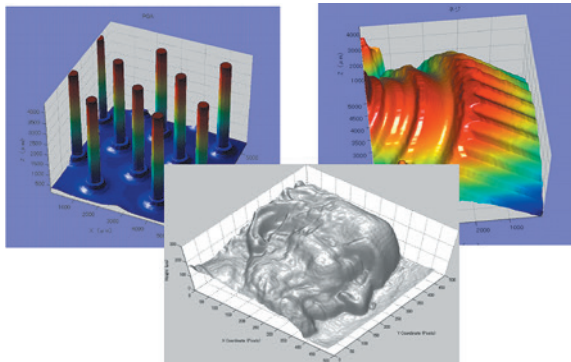


図8 計測例（左からピングリッドアレイ、1 セントコイン、スクリュー）

行う必要があるが、非走査共焦点方式では停止することなく連続的にZ移動をしながらカメラのシャッター機能を使ってデータ取得することができるため高速である。Zステージに設けられたナノ分解能のリニアスケールによりシャッターのタイミングが制御されるので高速でありながらも正確なZ位置でデータが取得される。

これにより共焦点計測の高い精度を維持しながらも、バンプの全数検査が可能なレベルの高速性が実現されている。

図8に非走査共焦点方式三次元計測器の計測例を示す。汎用性の高い計測が可能である。

4.2 XYステージによる複数視野計測

非走査共焦点方式では対物レンズの視野内（13×13 mm）のXY走査は不要である。しかし視野サイズを超える大きさのサンプル、あるいはトレイ上に多数のサンプルが並べられている場合にも対応するためにXY方向の移動手段が必要である。本三次元計測器は大型のXYステージに搭載されステップアンドリピートでの複数

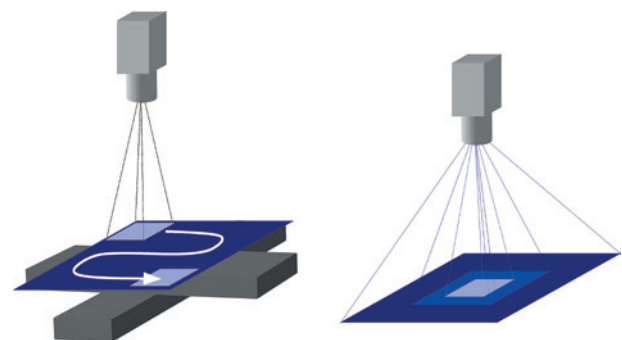


図9 視野サイズを超えるサンプルへの対応

視野計測ができるようになっている。一方、市販のほかの熱変形検査装置ではサンプルが視野サイズを超える場合にはレンズの倍率を変更して対応するのが一般的である。図9に模式図を示す。

レンズの倍率を変える方式は計測速度がサンプルのサイズに関わらず一定であるメリットはあるが、XY分解能が変化するため計測に影響を与える。例えば、バンプのような微細な凹凸をもつサンプルをトレイに並べて計測する場合、トレイ全体を1視野に収めようと解像度が落ちてバンプが認識できず、サンプルの変形とバンプによる凹凸の区別ができなくなってしまう。そのため事前にバンプの除去が必要とされる。しかし本装置では解像度が一定であるためサンプルサイズに関わりなく、本稿の2章「2.3 データ解析」で示したようにデジタル画像処理によりバンプ除去が可能であり、物理的な除去の必要がない。

XYステージを使った本装置の方式は、常に高解像度の計測ができるメリットがある、一方で、大きいサイズあるいは多数のサンプルの計測では点群データの量が膨

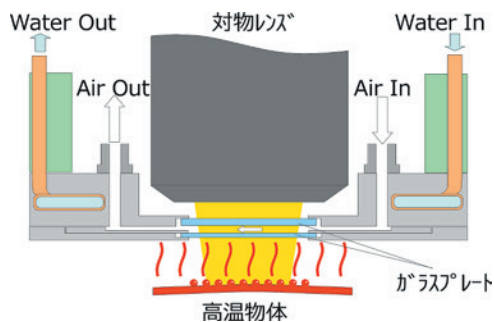


図10 断熱機構構造

大となり、データの保存容量、解析にかかる時間が問題となってくる。しかしこれも2章「2.3 データ解析」で示したように本装置では計測中にリアルタイムに解析・特長抽出を行い結果のみを残すことが可能であり、点群データを残す必要がない。そのため、例えば大量のサンプルを試験するような場合でも、データの保存容量を気にする必要もなく、大量の計測データを後で解析することも不要であり効率的である。バンプ高さ検査機で培った自動検査機能の応用である。

4.3 断熱機構

本装置の三次元計測器の光学系は顕微鏡レベルの分解能を有する精密光学系である。そのため大きなワーキングディスタンスをもつことができず、加熱炉と非常に近接した状態にならざるを得ない。300°Cレベルの高温加熱をする場合、加熱炉は内部だけでなく外部も100°Cレベルの高温になり得る。高精度計測器の光学系に熱が伝わると熱膨張により光学系の特性に変化が生じ計測に影響するため、断熱は必須である。

先に述べた伝熱の三態において、非接触計測である光計測では熱伝導を考慮する必要は通常なく、対流熱伝達と熱放射について検討が必要である。図10に開発した断熱機構の構造を示す。高温の加熱炉により加熱された空気は上昇し直接的に対物レンズを加熱する。それを防ぐために遮蔽物を設けている。遮蔽物は時間を経るといわずれ高温になることから、遮蔽物の内部に水路を設けチラーで水冷し、遮蔽物上部に伝導する熱を途中で奪い外部に排熱している。光路部分には不透明な遮蔽物を用いることができないため平行平面ガラスで熱対流を遮断する。ここでもガラスの上部に伝熱することを防ぐ必要があるため、ガラスを上下2枚に分け、ガラス間にエアを流して強制対流を作り熱が上部ガラスに届かないようにしている。図11に断熱性能試験結果の一例を示す。約250°Cに加熱されたサンプルに断熱機構付の対物レンズを15 mmまで接近させ対物レンズの温度を測定している。温度変化は1°C以下であり、十分な断熱性能を有していることがわかる。

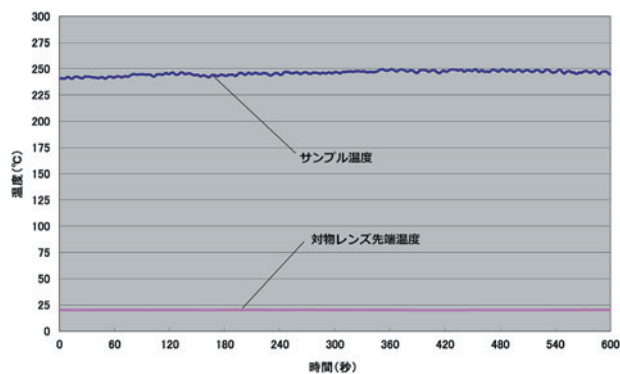


図11 断熱性能試験結果

5 おわりに

塗装やバンプ除去などのサンプル前処理が不要で、リフロー炉と同じ対流型の加熱炉を有する新しい熱変形検査装置を紹介した。われわれと同様に、サンプルの前処理や熱放射加熱に疑問をおもちの方にご検討いただきたいと考えている。

今回紹介した装置は加熱のみの対応であるが、現在開発中の加熱炉は氷点下への冷却も可能である。氷点下を含む幅広い温度範囲での信頼性試験が必要な車載半導体分野でご利用いただくことを想定している。ご興味がある方はご連絡いただければ幸いである。

今後も、業界の発展に貢献できるような装置の開発を鋭意進めていきたい。

■参考文献

- (1) JEDEC : High Temperature Package Warpage Measurement Methodology, JESD22-B112A (2009)
- (2) 石原 : 「バンプ高さ計測技術」, JIEP 官能検査システム化研究会 第6回公開研究会予稿集 (2016)
- (3) 井上, 石原, 日名子 : 「温度可変基板反り検査装置」, 東光高岳技報, No.1, pp.71-74 (2014)

■語句説明

注1) JEDEC : Joint Electron Device Engineering Councilの略称で、半導体技術の標準化を行う団体。

注2) バンプ : 基板上に形成された突起状の微小電極。

注3) リフロー : 対流加熱によりはんだを融解させ基板と部品とを接合する方法。



石原 満宏

光応用検査機器事業本部
検査機器製造部 所属
三次元計測センサの開発に従事
博士 (工学), 精密工学会会員



井上 征利

光応用検査機器事業本部
検査機器製造部 開発グループ 所属
三次元計測センサの開発に従事
エレクトロニクス実装学会会員

エポキシモールド機器の構造最適設計に向けた機械的強度の評価方法

■ 森 佑介
Yusuke Mori

■ 滝澤 明広
Akihiro Takizawa

1 はじめに

エポキシ樹脂は電気絶縁特性や機械的強度が優れており、電力機器の固体絶縁材料として広く用いられている。東光高岳においても、変成器などの電力機器の絶縁媒体にエポキシ樹脂を適用している。エポキシ樹脂のような固体絶縁においては、電気絶縁特性や部分放電特性だけでなく、大電流通電時の電磁力や温度変化による熱応力、その他の外力に対して十分な機械的強度を有する必要がある。したがって、品質を確保するとともに、効率的な製品開発を実現するには、電磁界解析だけでなく、応力解析などによる構造最適化が必要となる。しかし、応力解析を利用した構造最適化の実現には以下の課題がある。

- (1) エポキシ樹脂と金属部材の線膨張係数の差によって生じる熱応力だけでなく、硬化収縮に伴う応力も残留応力として発生する。このため通常の熱応力解析だけでは、正確な残留応力分布の把握は難しい。
- (2) 解析結果の評価に利用される引張強さや曲げ強さなどは材料固有の値と言いきく、実際には寸法効果や応力分布の影響がある。

これらの課題がエポキシモールド機器の機械的強度の予測を難しいものにしてしまうと考えられる。これまで筆者らは、課題(1)に対して、図1に示す一次硬化から徐冷までの製造工程を考慮して、樹脂内部に発生する残留応力の解析に取り組んできた⁽¹⁾。これにより、エポキシ樹脂に発生する応力分布を把握できるようになった。本稿では、エポキシモールド機器の構造最適設計の実現に向けて、もう一方の課題(2)を解決するため、応力解析の評価方法について検討した。

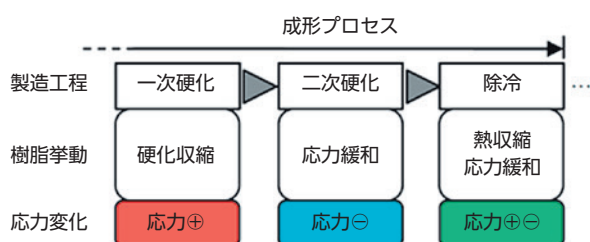


図1 エポキシモールド機器の製造工程と応力変化⁽¹⁾

2 応力分布を考慮した評価方法

2.1 従来の評価方法の課題

従来、応力解析の評価には、引張強さや破壊じん性値などが用いられるが、それぞれ以下のような課題がある。

エポキシ樹脂などの脆性破壊を伴う材料の静的な機械的強度は、最大主応力値と引張試験から得られた引張強さを比較して評価されることが多い（最大主応力説）。しかし、前述のとおり引張強さは材料固有の強度値と言いきく、例えば、図2に示すように、曲げ強さとは試験片破断時に試験片下部に生じていた引張応力（最大主応力）であるが、引張試験から得られる引張強さよりも大きくなる。すなわち、最大主応力値で比較すると、同一の材料であっても曲げ試験片のほうが見かけ上強い材料のようにみえる。この要因として寸法効果が考えられる。すなわち、引張試験は試験片平行部の全領域に一樣な応力が生じるのに対して、曲げ試験においては狭い範囲にのみ強い応力が発生するためである⁽²⁾。これに対して、最大主応力説はある一点の最大主応力値のみを評価するのが一般的であり、応力分布を考慮していない。そのため、複雑な応力分布をもつ解析対象の場合、機械的強度を正確に評価することが難しい場合がある。

一方、破壊じん性値は脆性材料固有の物性値である。破壊じん性値は、き裂の進展の有無を評価するしきい値として用いられる。しかし、これはき裂長さが既知の場合に適用できる考え方であり、破壊じん性値を強度評価に直接使うことは難しい⁽³⁾。もちろんエポキシモールド機器は、き裂のような形状がないように設計されている。

以上のように、エポキシ樹脂の機械的強度には、残留

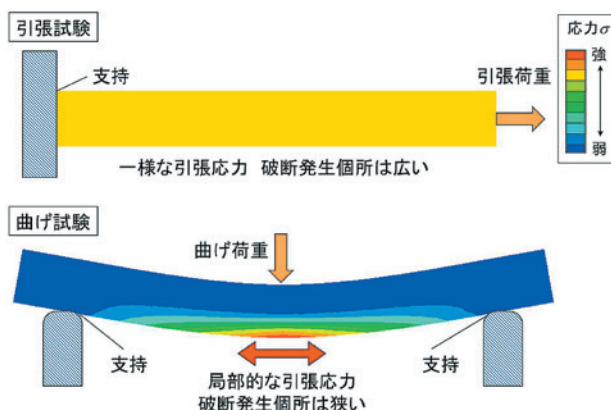


図2 引張／曲げ試験における応力分布の模式図

応力の把握に加えて、応力解析結果の評価に課題があるため、比較的大きめの安全率が設定されることが多い。したがって、製品の小型化などの妨げになることが想定される。応力解析を利用し、効率的な構造最適化を実現するためには、上記の課題を解決する機械的強度の評価方法が必要となる。

2.2 最弱リンクモデルに基づく寸法効果

脆性材料の機械的強度は、最弱リンクモデルにより解釈できることが知られている。最弱リンクモデルとは、**図3**のように複数の輪で構成される一本の鎖を考えたとき、最も強度の低い輪が鎖の強度を決定付けるという考え方である。すなわち、輪の数が多いほど、鎖の強度が低下しやすいことを意味する。この考え方はさまざまな材料に対して適用されている^{(4)~(6)}。また、寸法効果と同義であり、輪の数を体積に置き換えれば、最弱リンクモデルは、**式(1)**のようなワイブル分布で表すことができる。

$$F(\sigma) = \begin{cases} 1 - \exp\left\{-\frac{V}{V_0}\left(\frac{\sigma - \sigma_u}{\sigma_0}\right)^m\right\}, & (\sigma - \sigma_u \geq 0) \\ 0, & (\sigma - \sigma_u < 0) \end{cases} \dots\dots (1)$$

ここで F は累積破壊確率、 σ は応力値、 V は対象の体積、 V_0 は基準体積、 m 、 σ_0 、 σ_u はワイブルパラメータとよばれ、それぞれ形状パラメータ、尺度パラメータ、位置パラメータである。 σ には破壊のモードに応じた種類の応力が選択される。**式(1)**より、同じ材料で体積が異なる試験片に、一様な引張応力を発生させた場合、同じ破壊確率となる最大主応力値は以下のような比率となる。

$$\frac{(\sigma_1 - \sigma_u)}{(\sigma_2 - \sigma_u)} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{1}{m}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 σ_1 は体積 V_1 の試験片に発生する最大主応力、 σ_2 は体積 V_2 に発生する最大主応力である。**式(1)**、**(2)**より、体積が大きいほど強度が低下することがわかる。

以上のように、一様な応力が発生する条件であれば、寸法効果を考慮して破壊確率を計算することができる。しかし、実際の製品で一様な応力となることはきわめてまれであり、応力分布を考慮した評価方法が必要である。

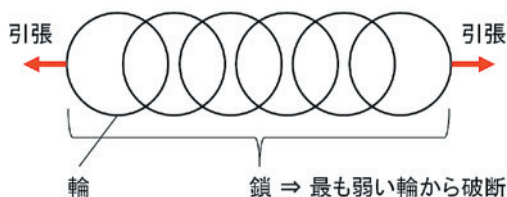


図3 最弱リンクモデルの概念図

2.3 応力分布を考慮した強度評価方法

本稿で紹介する強度評価方法は、最弱リンクモデルの概念を基にして、応力分布を考慮する。具体的な手順を以下に示す。また、**図4**に本評価方法の概念図を示す。

- (i) 有限要素法を用いて応力解析を実施し、最大主応力分布を得る。
- (ii) 最大主応力分布から、各要素を代表する応力値を求める。
- (iii) 各要素の信頼度 R_i （破壊しない確率）を次式より求める。

$$R_i(\sigma_i, V_i) = \begin{cases} \exp\left\{-\frac{V_i}{V_0}\left(\frac{\sigma_i - \sigma_u}{\sigma_0}\right)^m\right\}, & (\sigma_i - \sigma_u \geq 0) \\ 1, & (\sigma_i - \sigma_u < 0) \end{cases} \dots\dots (3)$$

ここで、下添え字の i は要素番号を表し、各要素ごとに手順(ii)で求めた応力値および要素の体積に応じた信頼度が計算される。

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

$$F = 1 - R_{total} = 1 - \prod_i R_i \dots\dots\dots (4)$$

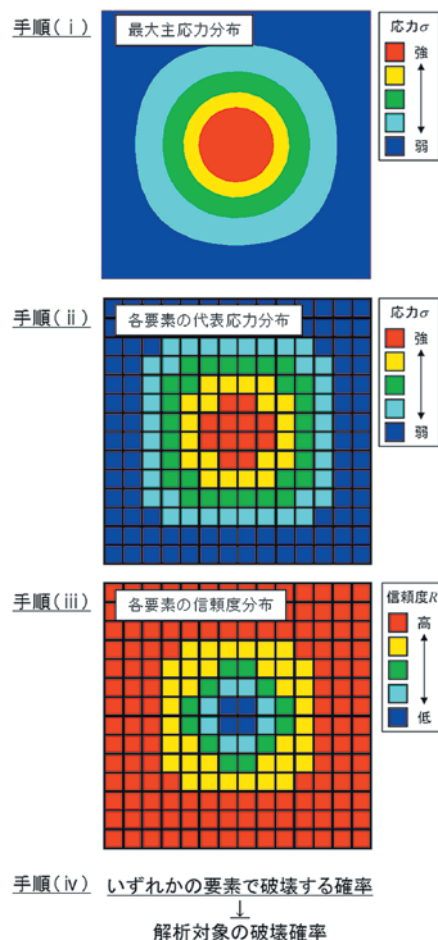


図4 応力分布を考慮した機械的強度評価方法

手順 (iv) は、解析対象のいずれかの個所 (要素) で破壊が生じる確率を求めており、その確率は解析対象の破壊確率でもある。図 3 に示した最弱リンクモデルに置き換えると、解析対象が鎖、要素が輪である。

本評価方法を用いることで、任意の製品形状においても、応力分布を考慮した破壊確率を計算することが可能となる。

3 本評価方法の検証結果

2.3 節に記載し評価方法を適用することで、これまで以上に機械的強度を正確に把握できることを確認した。以下に、簡易的な形状ではあるが、本評価方法を適用し、曲げ試験片の破壊荷重を予測した例を記載する。

3.1 ワイブルパラメータの導出方法

本評価方法を適用するにあたり、エポキシ樹脂の機械的強度に関するワイブルパラメータ (形状パラメータ m 、尺度パラメータ σ_0 、位置パラメータ σ_u) を求める必要がある。ここでは、JIS K 7161 に準拠した 1A 形の引張試験を実施した。引張試験の結果から最尤推定法⁽⁷⁾を用いてワイブルパラメータを求めた。

3.2 解析モデルおよび解析条件

図 5 に解析モデルおよび解析条件を示す。同一のモデルを使用し、機械的特性の異なる 2 種類の樹脂について検証を実施した。ここでは曲げ荷重をパラメータとして解析、評価し、累積破壊確率分布を得る。なお、図 5 に示した要素分割は一例であり、要素サイズや要素形状などの影響も検証した。解析には有限要素法解析ソフト ANSYS を使用した。

3.3 評価結果

本強度評価方法を適用して、曲げ試験片の破壊荷重を予測した結果を図 6 に示す。本評価方法の結果と併せて、従来の最大主応力説による評価結果と実測値も記載

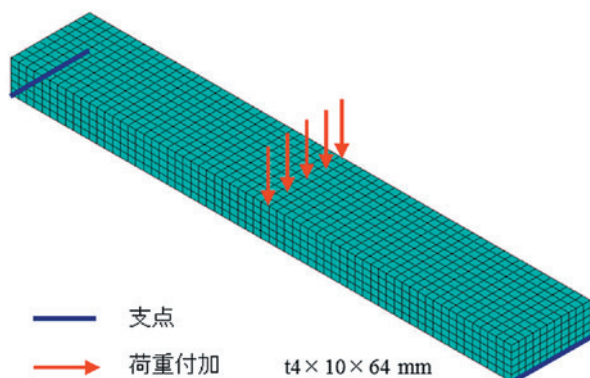


図 5 解析モデルと要素分割の一例

する。最大主応力説のしきい値は、引張試験における平均引張強さである。測定結果の累積破壊確率は、次式に示す平均ランク法で計算した。

$$F = \frac{j}{n+1} \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 j は曲げ破壊荷重を小さい順に並べたときの順序数、 n は標本サイズである。

図 6 に示すとおり、従来の最大主応力説による評価結果は、実測の平均曲げ破壊荷重値と 2~3 割程度の差異がある。これまで述べてきたように、最大主応力説では応力分布を考慮していないためと考えられる。これに対して、本評価方法を適用すると実測に近い累積破壊確率分布を予測することができる。平均曲げ破壊荷重値もきわめて良い一致を示し、いずれも実測値の $\pm 2\%$ 以内である。また、同図には、要素数が 10 倍異なる条件で解析した結果を併記しているが、累積破壊確率分布の変動はわずかである。なお、要素形状についても同様に、結果に影響しないことを確認している。

以上のように、従来の最大主応力説では、単純な形状でも破壊荷重を精度良く予測することが困難である。これに対して本評価方法を適用することで、曲げ破壊荷重を精度良く予測できた。また、最大主応力説では対象の

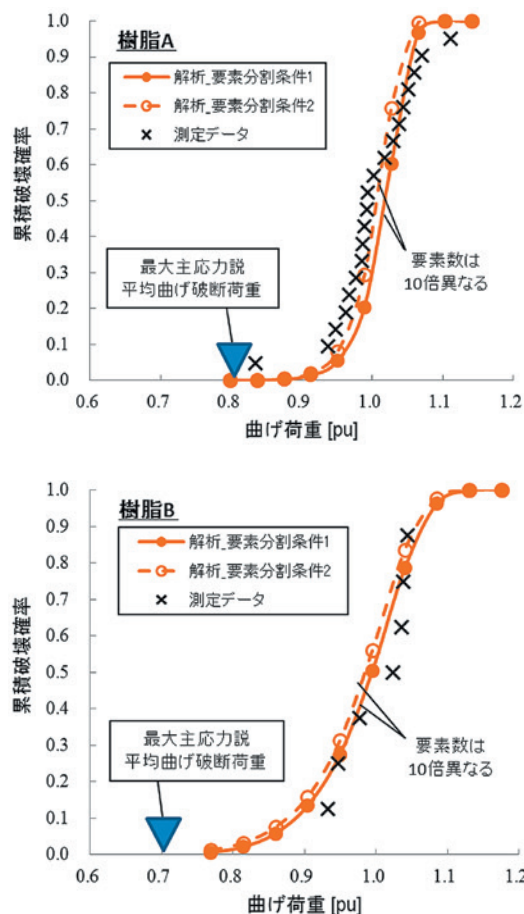


図 6 曲げ破壊荷重予測結果 (1 pu = 測定データ平均値)

形状や寸法、荷重の様相によって、応力解析結果から予測した強度と実際の強度との差異の程度は多様になることが想定される。これに対して本評価方法では、今回の例のように単純な形状だけでなく、応力分布が正しく計算されていれば、どのような形状にも対応し、精度良く機械的強度を予測できると考えられる。

4 おわりに

さまざまな製品に共通するが、特にエポキシモールド機器の開発においては、試作前に電気的特性の最適化、構造最適化、樹脂の硬化プロセスの最適化などを実施できれば、品質を確保するとともに、開発期間やコストの低減が見込まれる。本稿では、エポキシモールド機器の効率的な構造最適化を実現するために、解析対象の機械的強度を精度良く評価する方法について記載した。本評価方法は、一般的に利用される最大主応力説とは異なり、応力分布を考慮して機械的強度を評価する方法である。ここでは単純な曲げ試験片を対象としたが、どのような応力分布のものでも評価可能である。したがって、複雑な応力分布となるような製品にも適用できると考えている。本評価方法の特長として、解析対象の機械的強度を精度良く評価でき、さらに図4のように機械的強度の分布も事前に把握することができる。構造的に信頼性の高い製品を開発するためには、開発品が有する平均強度だけでなく、下限値も正確に把握したいが、そのためには多数の試作品が必要になると考えられる。しかし、エポキシモールド機器の試作においては、金型の製作やモールドされるコイルなどの各種部品の準備のほか、エポキシ樹脂の注型や硬化といったプロセスが含まれるため、試作台数の確保には時間を要する。それに対して、本評価方法を適用することで、平均強度だけでな

く、下限値も把握することができる。したがって、機械的強度の分布も考慮したうえで構造最適化を実現でき、信頼性の高い製品の開発を効率的に行えるようになる。

本稿では、エポキシモールド機器の機械的強度に焦点を当てたが、要求されるさまざまな性能を試作前に評価し、設計・製造プロセスの改善に貢献できるよう解析技術の構築を目指していく所存である。

■参考文献

- (1) 滝澤明広，森佑介：「エポキシモールド機器の最適設計に向けた応力緩和解析」，東光高岳技報 No. 3 (2016)
- (2) 坂田勝：「ぜい性材料の破壊の統計的扱い」，精機学会誌，Vol.39，No.11 (1973)
- (3) 泉聡志，酒井信介：「実践有限要素法シミュレーション」，森北出版 (2010)
- (4) W. Weibull：「A Statistical Distribution Function of Wide Applicability」，J. Appl. Mech.，Vol.18 (1951)
- (5) 吉田智：「入門：ガラスの破壊学」，NEW GLASS，Vol. 23，No. 3 (2008)
- (6) 南二三吉：「ワイブル応力を用いた破壊評価手法PART1」，溶接学会誌，Vol. 75，No. 5 (2006)
- (7) 野中保雄：「信頼性データのとり方，まとめ方」，日科技連出版 (1983)



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
電気学会会員



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

「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」 実証試験開始

■ スマートグリッド事業推進部

1 はじめに

東光高岳は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）事業において、東京電力ホールディングス株式会社（東電 HD）、東京電力パワーグリッド株式会社（東電 PG）と協働で、2030 年のエネルギーミックス（電源構成）を模擬した実証試験を、4 月より東京都新島村の新島と式根島で開始した。風力発電などから得た電力を安定的に活用するために、電力系統の予測・制御・運用技術を確認することが目的である。本実証を通じて、国内の再生可能エネルギー大量導入に向けた技術的課題とその解決策を明らかにする。

2 実証試験について

2.1 概要

政府が策定した「長期エネルギー需給見通し」においては、2030 年頃に向けて再生可能エネルギーの導入拡大を目指す。しかし、エネルギーミックス（電源構成）において天候による出力変動が大きい再生可能エネルギーの割合が増えると、電力の安定供給に悪影響を及ぼすことが懸念される。したがって、出力変動の予測など電力系統の安定運用を実現するための技術開発が必要で

ある。そこで、NEDO は、2030 年頃のエネルギーミックスにおいて想定される再生可能エネルギーの 22～24% 導入を模擬した電力系統の実証試験（電力系統出力変動対応技術研究開発事業（2014 年度～2018 年度））を、東京都新島村の新島と式根島の島内で行う。

2.2 実施内容

2030 年頃に想定される電力需要とそれに対する再生可能エネルギーの発電変動量の割合を模擬して、再生可能エネルギーの比率を高めた電力系統の実証設備を島内に構築した（図 1）。特に、風況に恵まれた東日本地域を想定し、風力発電の比率を高く設計し、天候による風速の急変や強風時の発電停止に対応するための予測技術を開発する。そして、風力発電および太陽光発電や蓄電池、既存設備を組み合わせた電力系統で、予測技術や出力制御技術の高度化と、需給運用技術の基本的な手法確立を目指した実証試験を進めていく。

実証試験では、風力発電をはじめとする再生可能エネルギーの出力予測・出力制御、ディーゼル発電機などの既存電源や蓄電池との協調運用制御を行い、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の構築・評価を行う。具体的には、再生可能エネルギーや蓄電設備の制御のユースケースを、余剰対策制御^{注1)}、変動緩

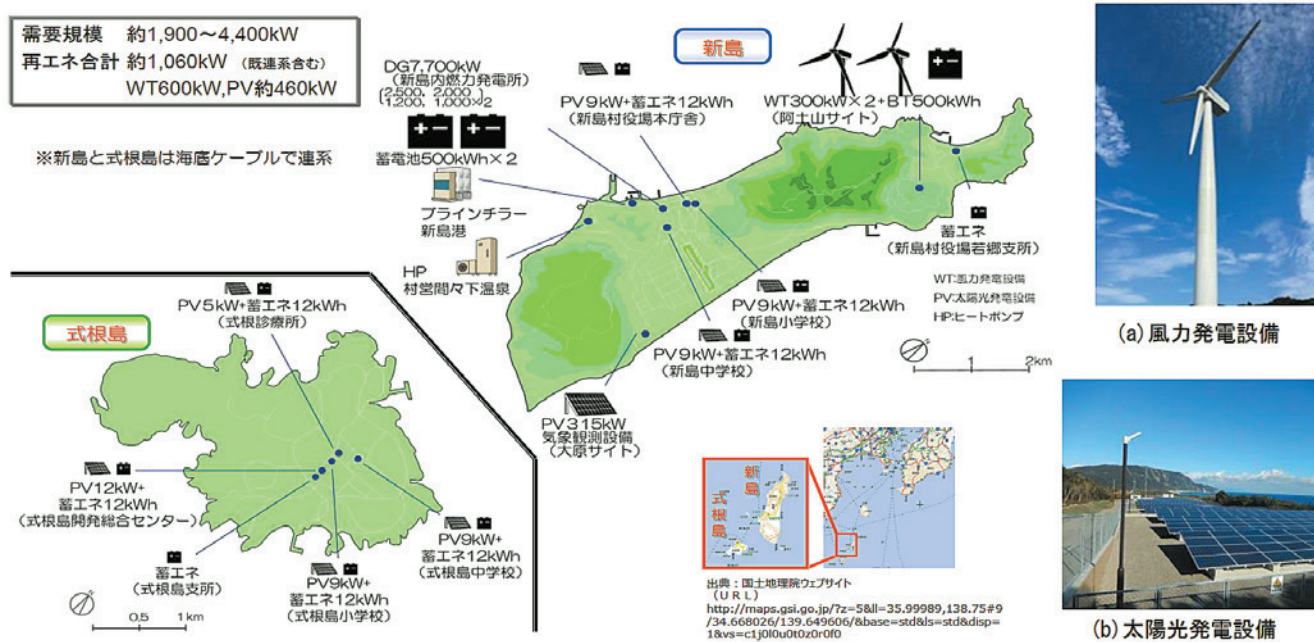


図 1 新島実証設備配置図

和制御^{注2)}、計画発電制御^{注3)}に分け、それらを最適に組み合わせた運用を試みる。さらに電力システム改革により将来想定されるリソースアグリゲーション^{注4)}やbalancingグループ^{注5)}を想定し、複数の分散型制御システムを互いに協調させる運用システムの実証を行う。

2.3 各社の役割分担

東電HDと東電PGは、再生可能エネルギーの出力予測と制御、需給運用を組み合わせ、島内の電力系統が再生可能エネルギーを最大限受け入れられるように検討・評価を行い、発電コストが最も経済的となるように各発電所を制御する最経済制御技術確立を。将来的には、これまでの電力系統運用の技術・ノウハウも活用し、再生可能エネルギー導入拡大のため、国内外への展開および技術支援を目指す。

東光高岳は、複数の発電設備や蓄電池設備、需要家設備のリソースアグリゲーションなど分散したさまざまな制御を協調させる分散型制御協調システム（図2）の開発とその効果検証およびシステム面・電力供給信頼度の評価を行い、電力系統の最経済制御技術の確立に貢献する。将来的には、電力ネットワーク設備のトータルサポートで培った知見も活用し、再生可能エネルギーの導入拡大と未来のスマートグリッド社会の構築を進めていく。

■参考文献

(1) 「電力系統出力変動対応技術研究開発事業 (II) 予測技術系統運用シミュレーション 電力系統における運用実証試験」, NEDO スマートコミュニティ部成果報告会資料 (<http://www.nedo.go.jp/content/100802279.pdf>)

(2) 馬場旬平, 今田博己, 青柳福雄, 横山明彦: 「将来の電力システム改革を見据えた離島系統における再エネ導入実証試験 (新島プロジェクト)」, 1-H7-4.2, 平成29年電気学会全国大会シンポジウム「H7 再生可能エネルギー大量導入に向けた研究開発の最新動向と今後の展望 (NEDO「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」)」

■語句説明

注1) 余剰対策制御: 電力需要より供給が上回る場合における電源や蓄エネルギー設備などに行う制御

注2) 変動緩和制御: 再生可能エネルギーなどの出力が変動する電源の変動速度や変動量などを、蓄エネルギー設備などを用いて緩和する制御

注3) 計画発電制御: 再生可能エネルギーなどの出力が変動する電源の出力について、あらかじめ立てた計画と実績を一致させるよう蓄エネルギー設備などを用いて行う制御

注4) リソースアグリゲーション: 系統安定化や再生可能エネルギーの出力抑制回避などのため、需要家等の分散エネルギー機器や需要を束ねて最適制御すること

注5) Balancingグループ: 複数の発電設備や需要設備を束ねて、発電や需要の計画と実績の差 (インバランス) を調整する事業者などのグループ

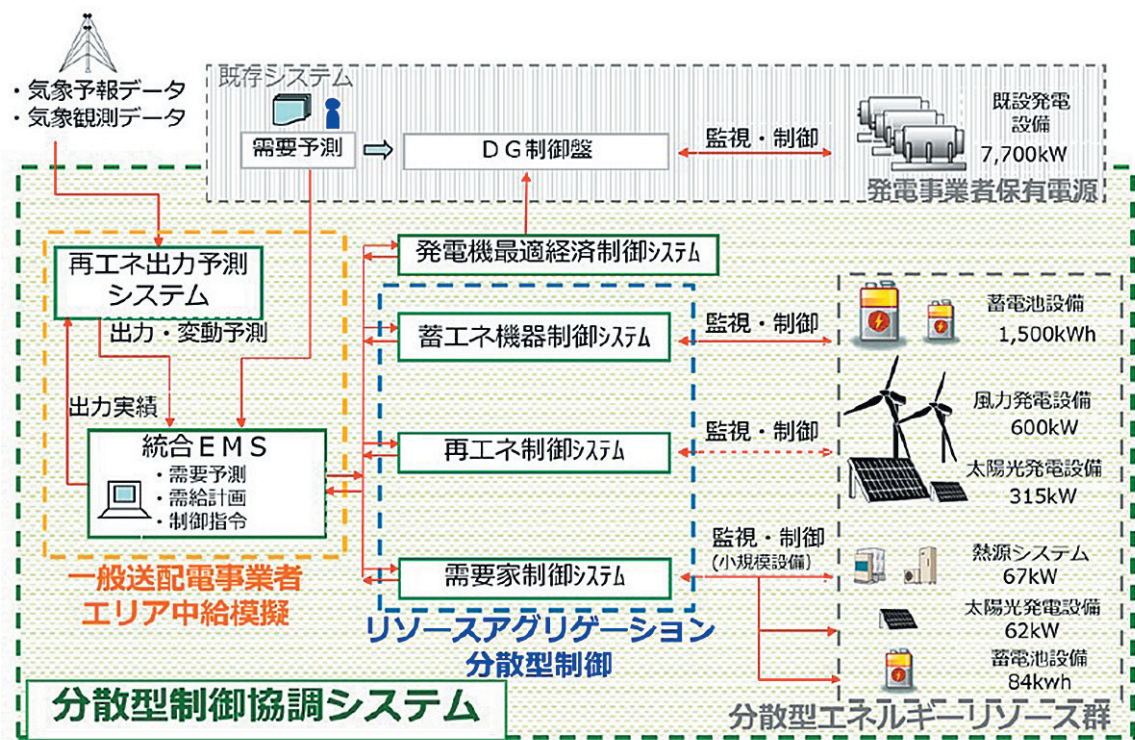


図2 分散型制御協調システムの概要

IED を活用した自動開閉器用遠方制御器の開発

■ 袴田 朝丈

Tomotake Hakamata

1 はじめに

国内では、高圧配電システムの供給信頼度向上や事故復旧の迅速化のため配電自動化システムが導入されており、高圧配電線は線路を区分する区間開閉器により適当な区間に分割されている。

自動開閉器用遠方制御器（以下、制御器）は、この区間開閉器を自動制御するための制御装置であり、国内では事故発生時に事故区間を分離し、健全区間に送電する自動制御方式として、時限式事故捜査方式が広く採用されている。

現在、海外市場をターゲットにした図1に示すIEDを使用した配電自動化システムの開発を進めており、今回、時限式事故捜査方式に対応した制御器をIED^{注1)}を活用して開発した。その概要を以下に紹介する。

なお、東光高岳はSEL社^{注2)}の国内代理店^{注3)}であり、IED適用の検討にあたってはSEL社の製品を採用した。

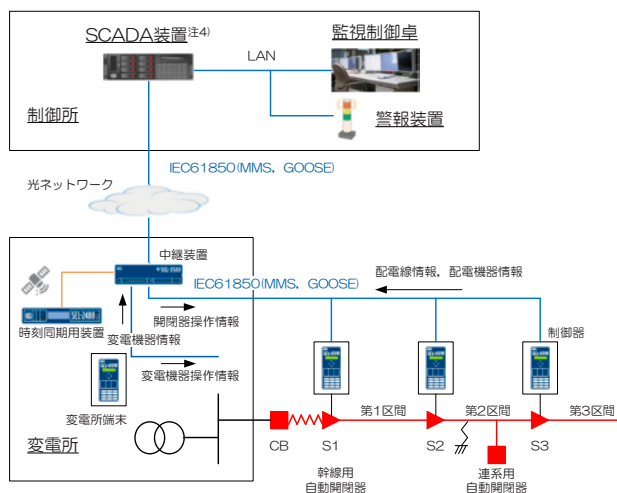


図1 IEDを使用した配電自動化システム構成例

2 時限式事故捜査方式

時限式事故捜査方式は、配電線事故発生時に変電所引出口の遮断器（CB）の再閉路動作と協調して事故区間を発見するための方式である。図2に時限式事故捜査方式の動作タイムチャート例（事故区間が2区間の場合）を示す。

配電線事故発生時は、配電用変電所の保護リレー動作によって遮断器（CB）を開放し、配電線全体の停電に

より事故を消滅させ、当該配電線のすべての区間開閉器（S1, S2, S3）を開放する。

遮断器（CB）の開放から一定時間経過後に遮断器（CB）の再閉路を行い、区間開閉器を変電所引出口から順次投入（S1 → S2 → S3）して停電区間の復旧を行う。

再閉路時に事故が継続している場合は、事故区間の区間開閉器（S2）の順次投入により、再び保護リレーが動作し再度停電が発生することになる。

制御器は区間開閉器を投入後、一定時間内に再度停電が発生した場合は自区間を事故区間と記憶し、順次投入機能のロックを行う。

自区間を事故区間と記憶した制御器は次回以降の送電時に順次投入しないため、遮断器（CB）の再々閉路により、事故区間の分離と事故区間より電源側の健全区間の復旧が完了する。

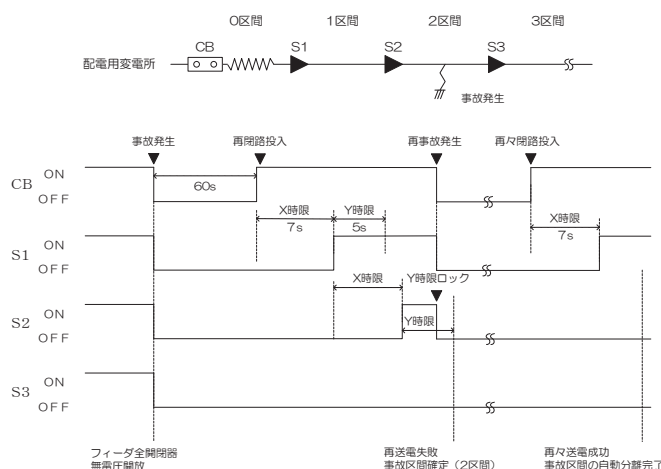


図2 時限式事故捜査動作タイムチャート

3 IEDを活用した制御器

SEL-651R-2（ADVANCED RECLOSER CONTROL）は、保護、通信、計測、記録機能のほか、リクローザ用の制御インタフェースを備えているのが特長のIEDである。

図3にSEL-651R-2の機能概要を示す。

今回の開発では、SEL-651R-2にSELLogic control Equation Programming機能（以降、「SELロジック」という）を用いて時限式事故捜査機能を組み込んだ。

SELロジックは、演算子とタイマー、カウンタ、リレー動作状態などを組み合わせて論理式で動作をプロ

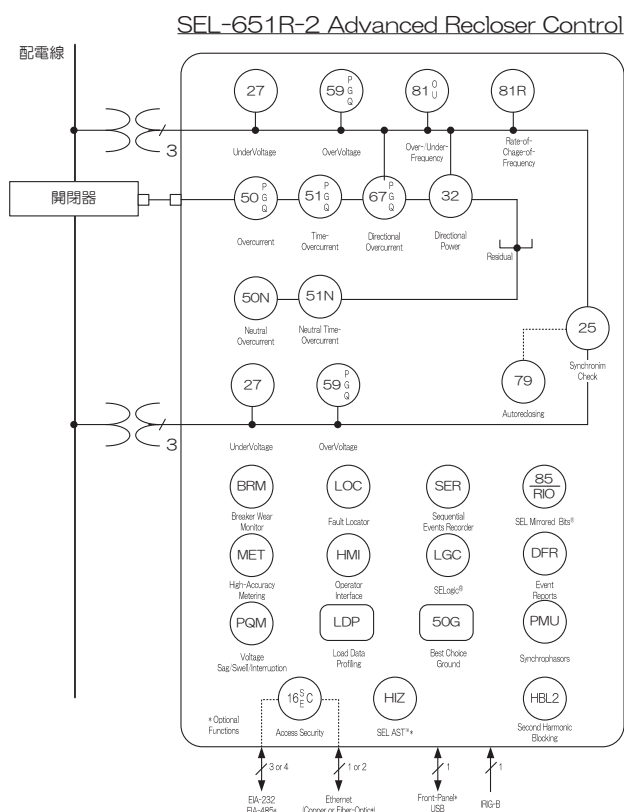


図3 SEL-651R-2機能概要

グラミングできる SEL 社 IED の機能である。

図 4 にプログラミングに使用した設計・設定ツール：AcSElerator QuickSet（以降、「クイックセット」という）の画面を示す。クイックセットは画面右のように論理記号で設計したロジックを論理式にコンパイルが可能な設計・設定ツールである。このように設計した個々のロジックを組み合わせて複雑な動作も容易に製作が可能となる。

時限式事故捜査機能では、自区間開閉器の電源側または負荷側配電線の停電、復電の状態検出が重要となる。今回の組み込みでは、SEL-651R-2 で使用可能な不足電

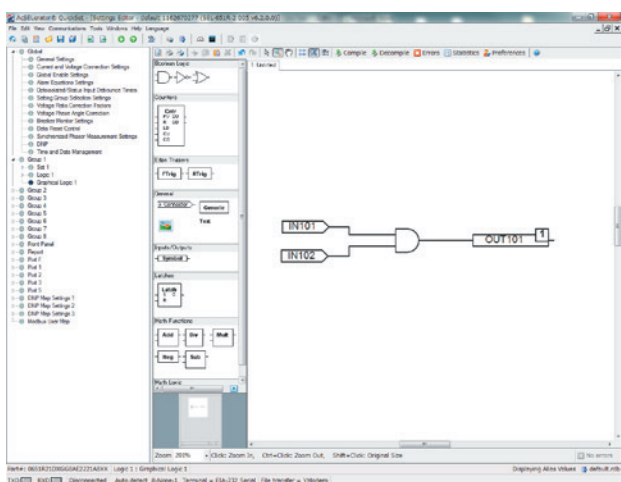


図4 クイックセット画面

圧りレー (27) 情報と供給電源情報を利用することにより、時限式のロジックを容易に実現することができた。

試作した制御器の外観を図 5 に示す。

本装置は 22 kV 自動開閉器との組み合わせ試験において良好な成果が得られた。



図5 IEDを活用した制御器の外観

4 おわりに

今回試作した制御器は、海外市場向けの配電自動化システムへの適用に向けて、屋外試験フィールドでの耐環境試験や 22 kV 配電線での事故時応動試験を実施していく予定である。

■ 語句說明

注 1) IED : 『Intelligent Electronic Device』 の略称。
IEC61850-2 に定義。

注 2) SEL : 『Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.』の略称。米国プルマンに本社。

注3) 2013年7月に国内代理店契約締結。

注 4) SCADA：『Supervisory Control and Data Acquisition』の略称。集中監視制御装置。

袴田 朝丈

電力プラント事業本部 システム製造部
IED システム設計グループ 所属

■ 岡井 正雄
Masao Okai

■ 今井 直樹
Naoki Imai

■ 赤下 尚司
Shoji Akashita

■ 加藤 貴大
Takahiro Kato

1 はじめに

2016 年 4 月に電力全面自由化がスタートし、電力会社各社は新たに B ルートサービス^{注1)}を開始した。

東光高岳は電力の見える化を推進すべく、クラウドサービスを展開中であり、B ルート情報の収集と、各種設備の負荷電流の無線計測および EMS のクラウドサービスを行い、ユーザーへの新たな付加価値を提供している。

上記サービスを実現する高圧需要家向けゲートウェイ装置として「エコ.Web5LiteG」を開発したので、その概要を紹介する。

2 特長

- (1) ECHONET Lite^{注2)}を認証取得し、全電力会社の高圧スマートメーター B ルートに対応したことにより、高精度な電力量データの利用を可能にした。
- (2) LTE 通信モジュールを内蔵し、計測データを直接クラウドサービスに送信することができる。通信網はセキュアな閉域網を利用している。
- (3) 各種設備の負荷電流計測には、配線レス、バッテリーレスの自己給電式無線電流センサー（以下、無線電流センサーとする）で対応し、工事費や保守費の削減を図ることができる。

3 システム概要

図 1 にシステム構成例を示す。



図 1 システム構成

エコ.Web5LiteG の LAN ポートに電力会社の B ルート端末を接続することで、特別な通信設定をすることなく、高圧スマートメーターから計測値を取得することができる。

電流値の計測は、無線電流センサーを使用しており、B ルートおよび無線電流センサーより収集したデータは、エコ.Web5LiteG に内蔵の LTE 通信モジュールから閉域網にてクラウドサーバへデータを送信し、Web ブラウザを使ってデータを閲覧することができるシステムとなっている。

4 機能概要

エコ.Web5LiteG は、高圧スマートメーターの B ルートを活用することで、電力情報データを正確に取得することが可能である。

電流計測には無線電流センサーを使用しており、送信器、受信器、中継器を組み合わせることで、無線センサーネットワークを構築することができる。

送信器は、クランプ式 CT からの給電（ケーブル通電電流から取得）により、電流計測と無線通信が可能であり、センサー電源の確保に伴う停電工事や通信線の敷設工事が不要である。

受信器と中継器は共通機器で、設定変更により使い分けが可能である。

さらに、エコ.Web5LiteG は、株式会社 NTT ドコモ社製の LTE 通信モジュールを内蔵しており、取得データは同社

表 1 エコ.Web5LiteG仕様

項目		仕様
計測部	パルス入力	パルスセンサ出力を直接接続が可能
	B ルート	ECHONET Lite 高圧スマートメーター対応
インターフェース	Ethernet	2 ポート ・RJ45 コネクタ ・10/100 Mbps, 100 Base-TX ・オートネゴシエーション対応
	LTE 通信モジュール	NTT ドコモ製モジュール (UM04-KO)
	USB ポート	3 ポート ・USB2.0 (HighSpeed)
	デジタル出力	1 出力 A 接点 フォトリレー出力 最大 500 mA
サイズ		横 139 mm × 縦 139 mm × 高 45 mm（突起物を除く）
動作温度		-20℃～60℃

の閉域網を介し、簡単・安全にクラウドまで届けることが可能である。表 1 にエコ.Web5LiteG の仕様を示す。

5 無線電流センサー

2012 年度から 2014 年度までの 3 年間を研究実施期間として、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 共同研究事業である『グリーンセンサ・ネットワークシステム技術開発プロジェクト』を東京電力エナジーパートナー株式会社と共同で遂行し、実用的な自己給電式の無線電流センサーを開発するとともに、それらを用いたセンサーネットワークシステムを構築した。

この無線電流センサーからの情報は、エコ.Web5LiteG の USB ポートに受信器を接続することで、送信器からの電流値データを無線通信 (920 MHz) にて、1 分間隔のデータとして収集することができる。表 2 に通信仕様を、図 2 に無線電流センサーの外観を示す。

また、このセンサーネットワークシステムは、マルチ

表 2 無線電流センサー通信仕様

項 目	仕 様
適用規格	ARIB STD-T108 準拠
通信周波数	920 MHz 帯 922.3~928.1 MHz (CH33~CH61)
トポロジー	マルチホップ通信
送信器 最大接続数	受信器 1 台につき 100 台
中継器 最大接続数	受信器 1 台に対して 10 台
中継段数	最大 6 段
通信帯域幅	200 kHz
送信出力	10 mW
変調方式	GFSK
通信速度	100 kbps
最低受信感度	-90 dBm (パケットエラー率 1% 未満)

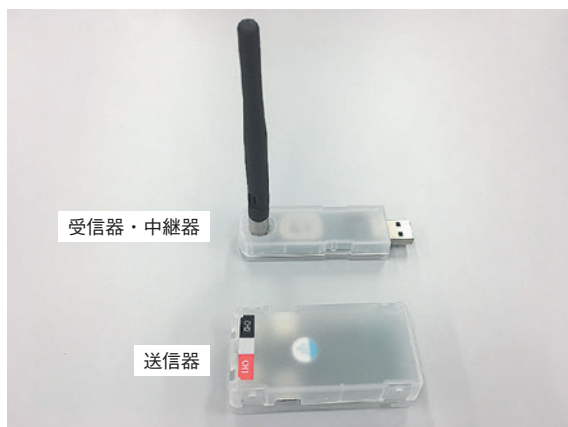


図 2 無線電流センサー 受信器・中継器 (上) / 送信器 (下)

ホップ機能を有する中継器を設置することで、送信器と受信器間の設置エリア (距離) の拡張や、電波状況の悪い環境での通信の信頼度の向上を可能とする。

無線電流センサーからの情報は、電流値データとともに各器通信間の電波強度をデータに含んでおり、エコ.Web5LiteG の Web 画面で、現場設置時に電波の受信状況を確認 (図 3) しながら設置を行い、最適なセンサーネットワークを構築することができる。図 4、図 5 にて現場取付状況を示す。



図 3 電波強度の見える化

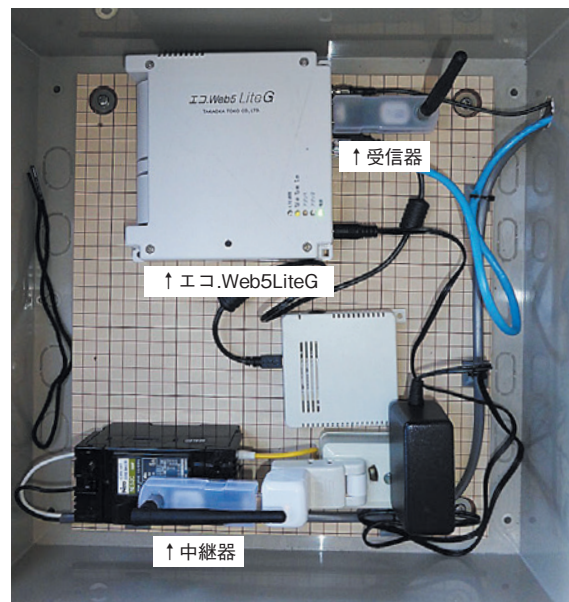


図 4 現場取付状況 エコ.Web5LiteG および受信器・中継器



図 5 現場取付状況 送信器

6 クラウドサービス

クラウドサービスは、『T-Step EMS Service』の名称で2015年4月より商用サービスを開始した。

エコ.Web5LiteG とのデータ連携は、IoTに適した通信プロトコルである MQTT^{注3)}を採用し、閉域網と合わせて、安全かつ正確なデータ転送を実現している。

B ルートの計測値データについては、クラウド上で、1分単位で演算したデマンド予測判定により、警報メールの送信が可能である。

そのほか、クラウド上に蓄積されたデータにより、デマンド制御効果の確認を行うためのデュレーショングラフ、多拠点のデータを一元管理するためのランキング表示等、さまざまな画面が用意されている（図6 デマンド画面、図7 データ分析画面）。

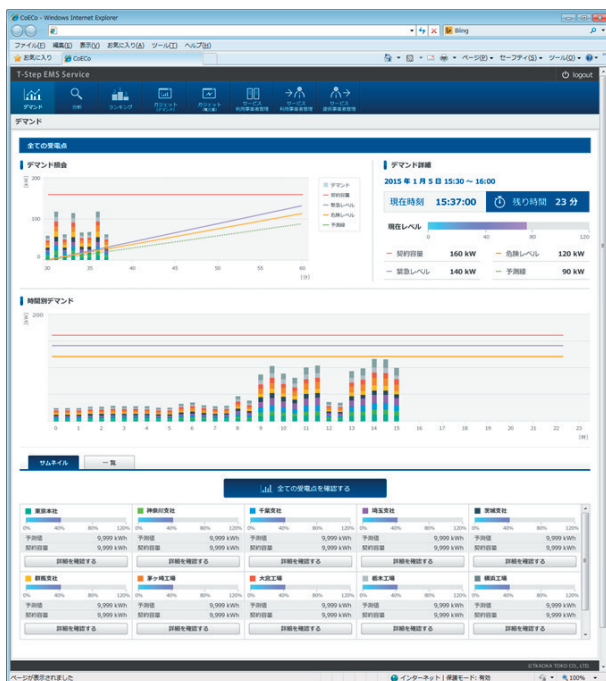


図6 すべての拠点におけるデマンド監視画面

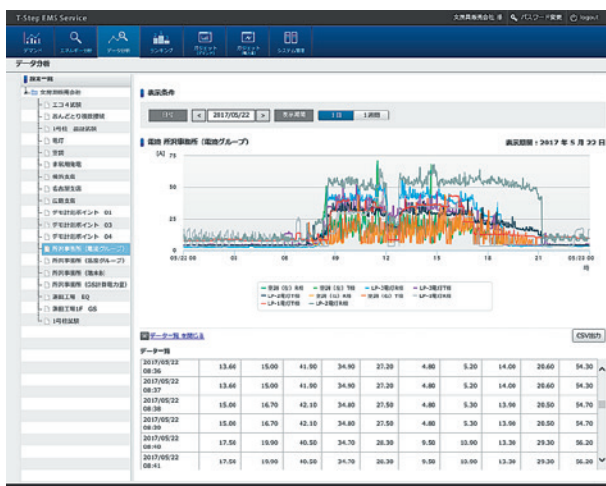


図7 データ分析画面

7 おわりに

エコ.Web5LiteG は、高圧スマートメーター対応の AIF 認証^{注4)}をいち早く取得し、全電力会社管内で、初めて、商用の B ルートサービスに適用した新製品である。

クラウドと連携することで PC やタブレットを介して容易にエネルギー消費推移を見える化でき、さらにクラウドの機能により継続的にデータを収集・管理・分析することで、省エネや電力負荷平準化に寄与するものと考えている。

エコ.Web5LiteG の CPU ボードは、東光高岳の標準プラットフォームになり、適用シーンに合わせて拡張ボードを追加することで多様なニーズに適用できるような設計である。

デマンドレスポンスや VPP^{注5)}を視野に入れた次世代コントローラにも採用する予定である。

■ 語句説明

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

注2) ECHONET Lite (エコーネットライト) は、家電機器、高圧スマートメーター、太陽光発電システムなどを含む機器の制御を規定した通信規格のこと。一般社団法人エコーネットコンソーシアムの登録商標。

注3) MQTT とは、TCP/IP ネットワークで利用できる通信プロトコルの一つで、多数の端末間で短いメッセージを頻繁に送受信する用途に向けた軽量なプロトコル。

注4) AIF 認証とは、ECHONET Lite で、エネルギー関連機器として選定された重点8機器間で互換性を保証する制度。

注5) VPP とは、Virtual Power Plant (バーチャルパワープラント) の略で、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの導入拡大と省エネルギー・電力負荷平準化による系統安定化コストの低減を目指し、地域に分散して存在するエネルギーリソースを遠隔制御 (IoT) 化するとともにリソースアグリゲーターが統合制御し、一つの発電設備のように機能させる仮想発電所のこと。

岡井 正雄

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

今井 直樹

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

赤下 尚司

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

加藤 貴大

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

CAE を活用した フロントローディング型設計指向の 結露対策検討例の紹介

■ 片柳 厚志

Atsushi Katayanagi

1 はじめに

冬の寒い時期、窓などに発生する結露に悩まされたことはないだろうか。そのまま放っておくとカビの温床となるため不衛生であり、場合によっては、建物を傷める原因にもなる。電力用機器においても温度変化が大きく、湿度の高い環境に機器を設置する場合、結露に気をつけなければならない。それは、結露により筐体に錆が発生したり、電気的な絶縁低下を引き起こし短絡事故につながる可能性があるからである。電力用機器でも変圧器本体やガス遮断器本体など密閉されている機器であれば、結露が問題になることはほとんど考えられない。しかし、制御盤や操作機構箱などの半密閉機器は湿気が内部に入り込むことが考えられるため、結露することがないように設計する。

東光高岳では結露対策の一つとして筐体内部にヒーターを設置している。筐体内部をヒーターで温めることにより筐体内部の温度を露点以上にし、結露を防止する考え方である。使用するヒーターの容量は、試験にもとづいた実験式などを用いて決定する。既存製品の類似設計であればその実験式を用いるだけで十分なこともあるが、筐体の形状や内部機器の配置などを大きく変更する場合は、実器試験等により設計条件を満たすことを確認する必要がある。試験において条件を満たさない場合、「設計変更」→「改造」→「試験」のサイクルを複数回繰り返すことになり、設計条件を満たすまでに多くの時間と費用を費やすことになる。

CAE^{注1)}を活用したフロントローディング^{注2)}型設計は、設計パターンが複数あり、どのパターンが有効か比較検討する場合に役立つ。上記の例のようなサイクルでも、「改造」、「試験」をCAEによる「モデル変更」、「計算と結果表示」に置き換えることにより、すべてが机上で検討可能となる。短期間で仮説と検証のサイクルを回すことができ、機器開発の期間短縮とともに部品配置の最適化による品質向上も期待できる。

本稿ではフロントローディング型設計の一例として、筐体の結露対策の構想段階にCAEを適用した例を紹介する。

2 結露解析による対策検討事例

結露解析の事例として紹介する筐体の解析モデルを

図1に示す。モデルは制御部品や操作機構などを収納している筐体を想定したものである。筐体寸法は幅約1,100 mm、奥行き約500 mm、高さ約800 mmである。筐体を下方から見るとL字型をしており、内部に複数の部品を有している。筐体の中央部に熱に弱い部品(図1中水色)が4本並んで配置されている。本稿ではレイアウトの制約条件として、ヒーター以外の部品の配置は変更できないものとする。熱に弱い部品の近くにヒーターを配置できないことを考慮し、A、B、Cのいずれかの位置にヒーター(図1中赤色)を配置することを検討する。

解析条件を以下に示す。

- ・外気温：20℃から0℃まで一定割合で変化
- ・外気相対湿度：90%一定
- ・初期条件：温度20℃、相対湿度90%
- ・ヒーター電源：時刻0秒でオン

ヒーター容量はどのパターンにおいても同値とした。単純に考えれば、筐体の容積と表面積が同一であり、ヒーター容量も同一であるため、ヒーターがいずれの位置にあっても結露しない結果になることが予想できる。

解析終了時点の結果を図2に示す。解析結果は結露量の分布を表している。結露量の多寡は、カラーバーに

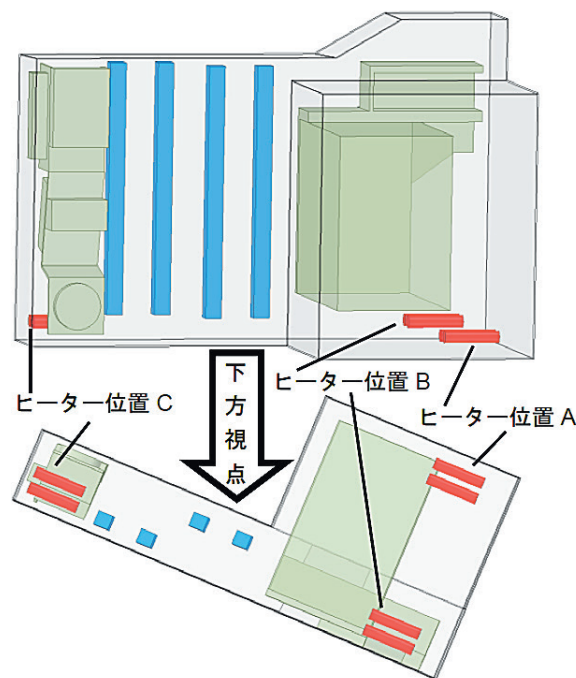


図1 筐体の解析モデル

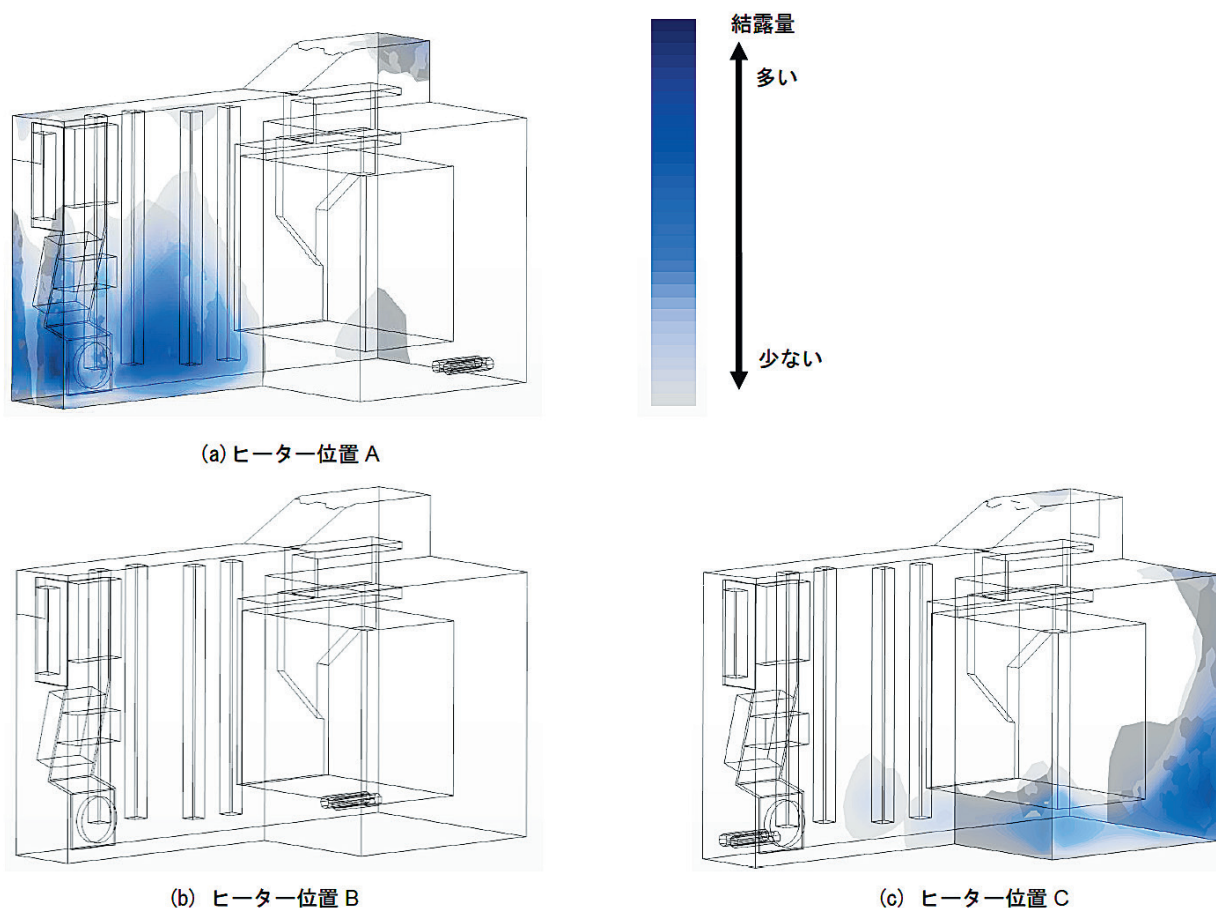


図2 結露解析結果

示す青色の濃淡にて表現した。結露量が増加するにしたがい青色が濃くなるよう表示した。

図2から、ヒーター位置Bは結露しないが、ヒーター位置A、Cは結露する結果となっている。解析の最終時刻だけでなく、ヒーター位置Bに対して途中時刻の結果も調べたが結露は見られなかった。これにより、実験式などから求めたヒーター容量が適切であっても、ヒーターを配置する場所により結露の結果が変化する可能性があることがわかる。この解析事例では結露だけでなく温度も同時に計算している。よって、筐体内の温度分布も評価が可能である。その結果、筐体内の部品の周囲温度が許容値以下であることも確認した。

3 おわりに

本稿で紹介した例は、構想設計段階にCAEを適用した例である。そのため、解析モデルは簡略化しており、解析条件には仮定が入っている。したがって、CAEで確認したから合格ということではなく、最終的な確認は実器試験をもつて行う必要がある。しかし、今まで設計者が実験式などから決定できない設計要素の効果を、CAEで確認できることの意義は大きい。少なくともCAEを適用することにより、実器試験において手戻

りが発生するリスクを軽減することができる。さらにCAEの活用を推し進めれば、設計者自身によりアイデアの仮説と検証を短い期間で繰り返すことができる。

このように、CAEが積極的に構想設計時に使われることにより東光高岳の設計品質が向上し、ひいてはお客さまの役に立てるよう、今後ともCAEの活用を推進していきたいと考えている。

■ 語句説明

注1) CAE: Computer Aided Engineering の略。計算機などを用いて、製品の設計・開発などの支援を行うこと。

注2) フロントローディング: 製品開発プロセスなどにおいて初期工程に負荷をかけ、今まで後工程で行われていた作業を前倒して進めること。

片柳 厚志

技術開発本部

技術研究所 解析・試験技術グループ 所属

1 はじめに

解析技術の進歩に伴い、解析専任者でなくとも設計者レベルで容易に扱える解析ソフトが増えてきた。また、3D-CADの普及により、CADデータを解析用モデルデータとして活用できることが一般的になり、解析を活用した開発設計の効率化が期待できる。

ここでは、従来、経験則や試作評価の繰り返しに頼ることが多かった電磁ソレノイドの設計について、過渡電磁界解析ソフトを導入し、設計の効率化を図った事例について紹介する。

2 電磁ソレノイドの解析手法

2.1 電磁ソレノイドとは

電磁ソレノイドは、電磁力を利用して電気エネルギーを直線運動の推力に変換するアクチュエータである。

その中でも直流電源で駆動するDCソレノイドは、シンプルな構造で大きな推力が容易に得られ、動作も高速であるので、さまざまな分野で広く利用されている。

コイルに通電することで磁界を生じさせ、可動鉄心・固定鉄心・ギャップ（空気）から構成される磁気回路に磁束を流し、ギャップに生じる吸引力により可動鉄心を動作させる。ソレノイド単体では通電を止めても吸引前の状態に復帰しないので、一般的には復帰ばねと合わせて用いられている（図1）。

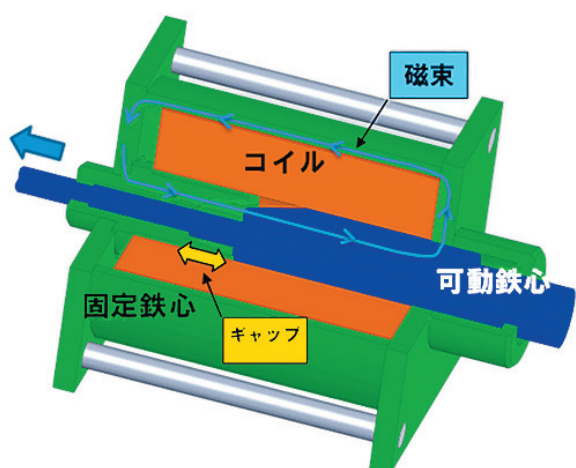


図1 電磁ソレノイドの構造

2.2 電磁界解析の必要性

ON-OFFの状態を制御する場合、市販品ではメーカーから定常状態（電流やギャップが一定）での吸引力のデータが提供されているので、負荷を上回る吸引力が得られる仕様を選定することができる。過渡応答解析と比較するため概要を説明する。もともと磁気回路は電気回路と以下に示すとおり類似性がある。

電気回路の電流 I を示すオームの法則

$$\text{電流 } I [\text{A}] = \text{電圧 } E [\text{V}] / \text{抵抗 } R [\Omega] \cdots \text{式 (1)}$$

磁気回路の磁束 ϕ を示す法則

$$\text{磁束 } \phi [\text{Wb}] =$$

$$\text{起磁力 } F [\text{A}] / \text{磁気抵抗 } R_m [\text{A/Wb}] \cdots \text{式 (2)}$$

ただし以下に示すように、磁気回路では定常状態でもその計算は容易ではない。

(a) 電気回路では、抵抗 R は一定として考えれば良いが、磁気回路における磁気抵抗 R_m は、全磁束 ϕ に依存する磁束密度により非線形に変化する。

(b) 電気回路では、導体と絶縁体の導電率には明確な格差があるが、磁気回路における磁性体と非磁性体の透磁率は、無視できない差であり、空気中に流れる漏れ磁束も考慮しなくてはならない。

具体的に、電磁ソレノイドの吸引力を求めるにはギャップに流れる全磁束 ϕ が必要である。全磁束 ϕ を求めるには、式 (2) に示すように起磁力 F を各部の磁気抵抗 R_m の合計で割る必要があるが、一方で、各部の磁気抵抗 R_m は、前項 (a) で記述したとおり、全磁束 ϕ に依存する磁束密度により決定される。磁気抵抗 R_m を決定するには、磁束 ϕ が分かっている必要はないが、逆に磁束 ϕ を求めるには、磁気抵抗 R_m が分かっている必要はないため、矛盾が生じる。このように、磁気回路の種々のパラメータは、電気回路のように代数式で解を得ることはできない。また、実際には漏れ磁束も磁束密度により変化するため、さらに複雑になる。

従来は、電磁ソレノイドを設計する場合、各部の磁束密度に仮定値を当て込み概略の吸引力を求めていたが、当然のことながら高い精度は得られず、試作を繰り返し修正していく必要があった。

電磁界解析ソフトでは、有限要素法などの数値解析で近似解を得る方法を用いて、実用的な設計が行えるようになっている。

2.3 過渡解析

電磁ソレノイドで動作時間や動作速度などの応答性が問題となる場合には過渡解析を行う。過渡解析では可動鉄心の運動を伴うため、磁気回路と電源回路だけでなく、機械的負荷の動条件と組み合わせて、以下のような刻々と変化するパラメータを算出しながら行う必要がある。各回路連携の概要を図2に示す。

- (a) コイルの自己誘導起電圧
- (b) コイルの電磁誘導起電圧
- (c) 渦電流
- (d) 電気回路
- (e) 負荷曲線・運動系の質量 可動部の運動方程式

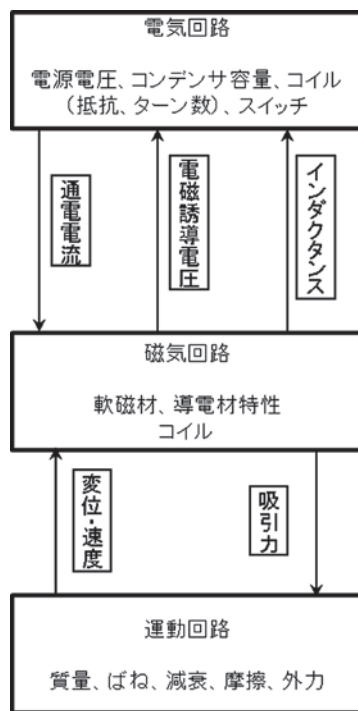


図2 電磁ソレノイドの構造

前述のとおり、磁気回路、電気回路、運動回路を同時に解くことはできないので、まず初期条件における磁気回路の定常解を求め、その結果から電気回路、運動回路の解を得て、次のステップでその結果を反映して磁気回路の計算を行うことを繰り返す。したがって、同時には解を得られないが、ステップを細かくすることで実用的な近似解を得ることを可能としている。

3 解析事例

3.1 電力用遮断器のトリップコイル動作時間予測

電力用遮断器は、回路短絡などの事故電流を速やかに遮断するため、事故検知から数十msでの遮断動作が求められる。この要求を実現する操作機構の一つとして、電動ばね操作方式がある。この方式では、駆動源となる

遮断ばねをあらかじめ電動機で蓄勢し、ラッチを掛けて保持しておく。遮断指令によってこの遮断ばねのラッチを引き外すことで、速やかな遮断動作を行うものである。

ラッチ引き外しには電磁ソレノイドが使用されるが、遮断時間にはこの動作時間も含まれるため重要な要素となる。また、駆動回路の電源容量との関連から、動作電流にも制限がある。

この解析では、コイルの連続作動定格電圧以上の電圧を印加し、動作時間を縮める手法の適用を検討したものである（ラッチ引き外しは数十ms以内に完了するため、コイルの過熱は問題とならない）。

ラッチは250Nで3mm押し込むと外れると想定した。電磁ソレノイドの押し込み量は裕度を考慮し5mmとし、ギャップ5mmでの吸引力が250N以上得られるサイズを選定した（図3）。

上記の負荷条件で、表1に示す5種類のコイル仕様についてDC 100Vを印加し動作させた場合のストロークとコイル電流を求めた。表1および図4、図5に解析結果を示す。

解析の結果、ピーク電流値が5A前後で最も動作時間が短くなるコイル仕様としてケース3のコイル仕様を選定した。その後、実器で検証した結果、図6、図7に示すように、実測値との比較でも十分な精度が得られることが確認できた。

この事例では、電磁ソレノイドの解析の経験者であれ

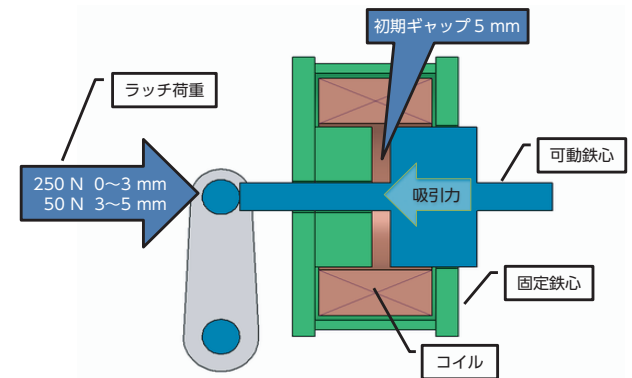


図3 引き外し荷重条件

表1 コイル仕様および結果

Case	コイル仕様			解析結果	
	連続作動定格電圧 (V)	コイル巻数 (回)	コイル抵抗 (Ω)	トリップ開始時間 (ms)	トリップ前ピーク電流 (A)
1	26	1,150	19	26.0	3.1
2	20	950	12	20.7	4.3
3	16	780	8	17.0	6.3
4	13	580	5	13.1	10.3
5	10	470	3	10.7	16

ば、モデル作成から解析結果を得るまで1日程度で行え、従来電磁ソレノイドの選定に必要であった実器での

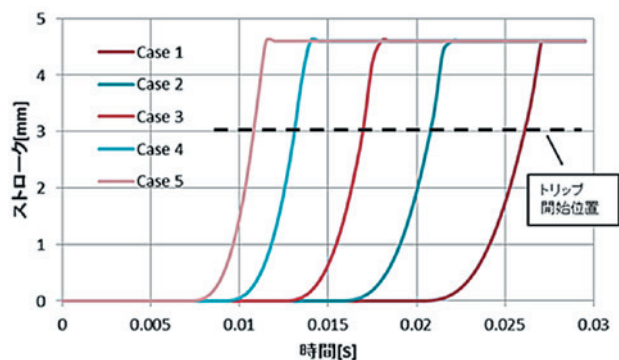


図4 ストローク

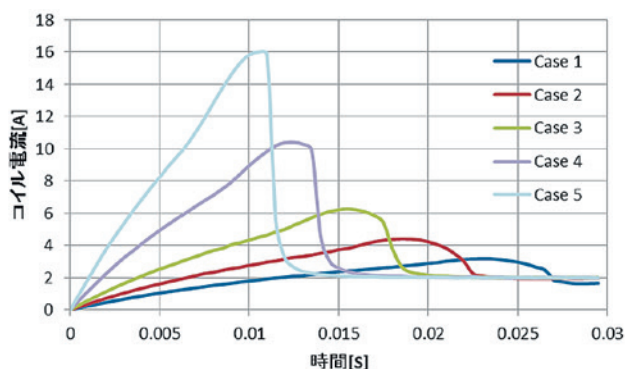


図5 コイル電流

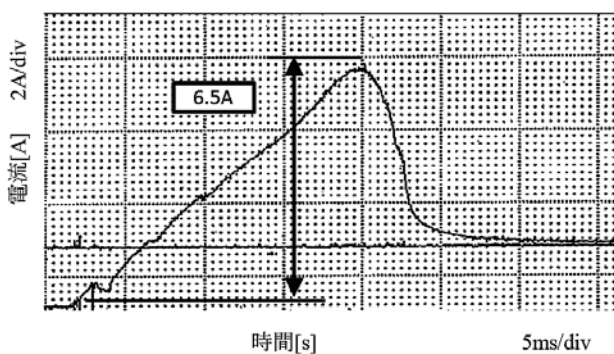


図6 コイル電流実測値

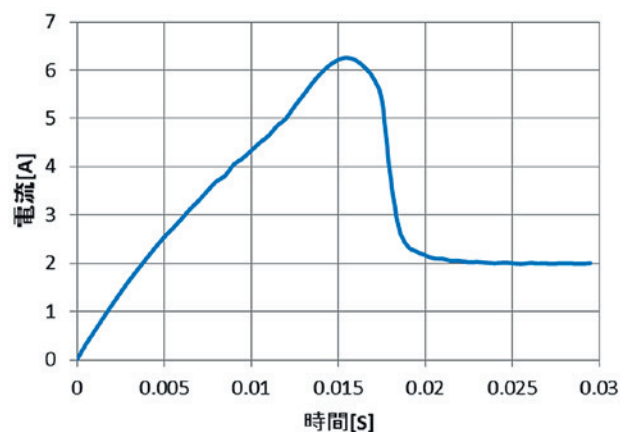


図7 コイル電流解析値

比較検証工数が削減できる。さらに周囲温度や電源電圧変動による影響も解析上で予測可能となり、開発の効率化、高度化が期待できる。

3.2 解析事例2 遮断器の電磁ばね操作機構

電力用真空遮断器の操作機構として、3.1で示した電動ばね操作方式に替わり、コイルと永久磁石を組み合わせた自己保持型電磁ソレノイドを使用した電磁ばね操作方式の採用事例が増えている。

電磁ばね操作機構の構造および動作原理の一例を図8に示す。

電磁ばね操作機構は、電動ばね操作方式で必須のばね巻き上げ用の歯車や機械的ラッチ機構が不要となり、注油などのメンテナンスが削減できる利点がある。一方、



図8 コイル電流

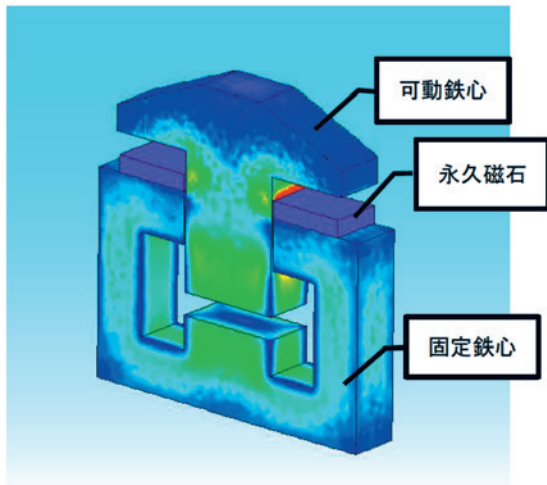


図9 渦電流の分布状況

従来電磁ばね操作機構には投入動作時のピーク電流が大きいとの課題があったが、電磁界解析技術の導入による高効率化や、遮断部となる真空バルブのコンパクト化による可動部の軽量化などから、ピーク電流の低減が進んで普及が広がっている。

真空遮断器用の電磁操作機構の設計において特徴的なのは、動作開始から完了までの時間や、遮断部接点の接触位置近傍での動作速度を要求されることである。真空バルブでは規定の電流を投入・遮断するため、接点部の動作速度の範囲が指定されており、これを満足する必要がある。

さらに、引き外し動作の挙動の検討も重要となる。確実に引き外し動作を行うためには、コイルや永久磁石磁力、ばね開放力などのバランスを適切に調整する必要がある、電磁界過渡解析が必須である。

以上のような条件を考慮し、製品化に向けてさまざまなモデルを検討中である。そのひとつとして、図9に示すモデルで渦電流の影響調査のため解析を行い比較した事例を示す。磁気回路内の磁束が変化すると、その磁束の変化を妨げるように渦電流を生じる。高速に動作する場合には影響が大きくなる。渦電流の影響で動作時間が長くなり、コイル電流も増加していることが確認できる(図10、図11)。

4 今後の展開

4.1 他分野の解析ソフトとの連携

今回紹介した事例でも、リンク機構のリンク比や回転モーメント、部品同士の衝突現象などは電磁界解析ソフト内での運動解析では直接反映できないため、別途その影響を考慮する必要が生じている。より解析の精度を高めるためには、機構解析ソフトや制御回路シミュレータなどとの連成解析が必要となる。他の解析ソフトにおい

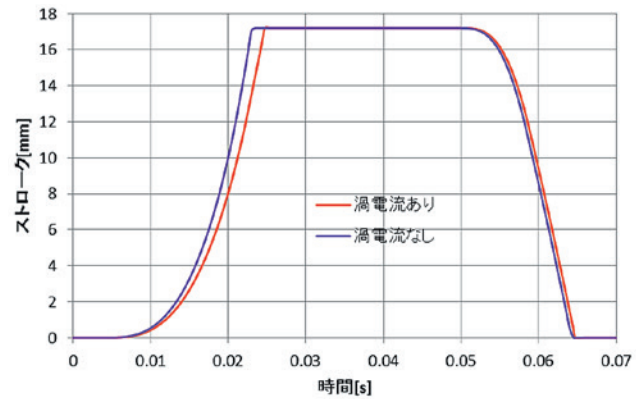


図10 過電流有無でのストロークの比較

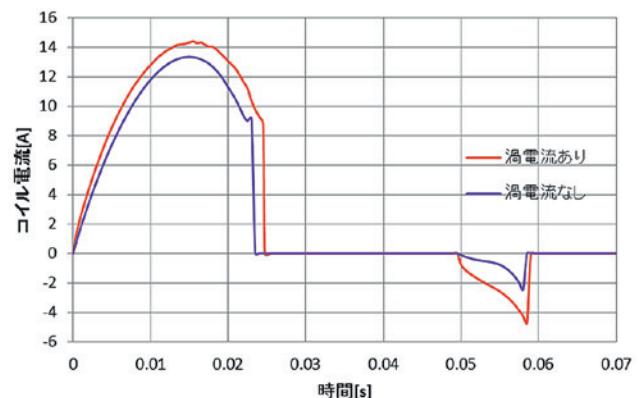


図11 過電流有無でのコイル電流の比較

ても、同一の3DCAD データを活用して解析が行いやすい環境に配慮したい。

4.2 最適化計算手法の導入

数値解析を活用した設計においても、直ちに最適設計が得られる訳ではなく、解析上での試行錯誤が必要である。現在の解析ソフトでは、性能に影響する複数のパラメータを自動的に変更しながら多数の解析を行い、最適解に収束させていく最適化手法が用意されている。

5 おわりに

電磁ソレノイドの設計では、従来設計手法では精度が得られないため、構想段階から電磁界解析ソフトを活用することが有用である。構想段階では、設計者自ら解析条件を変えながら、得られた結果からアイデアが得られることも多い。また試作の精度も高まることで、トータルで開発の効率化が期待できる。

今後も解析事例を増やし、多くの設計者が手軽に解析が行える環境を整え、お客さまへ品質の高い製品を短期間で提供できるよう進めていきたい。

佐藤 裕康

電力プラント事業本部

開閉装置製造部 開閉装置製造部ミニクラッドグループ 所属

真空遮断器（VCB）を適用した 環境負荷低減型の C-GIS の開発

■ 土屋 知大
Tomohiro Tsuchiya

■ 野澤 拓己
Takumi Nozawa

1 はじめに

近年、72/84 kV クラスの特高受変電設備では、ガス絶縁開閉装置（C-GIS；Cubicle-type Gas Insulated Switchgear）の遮断器について、環境面への配慮から真空遮断器（VCB）が要求される案件が増加している。また、これまで特高需要家に納められている C-GIS は、納入後 30 年程経過している設備が多く、更新時期を迎えることが予想される。

今回開発した C-GIS は、VCB の適用による環境負荷低減やタンクのアルミ鋳物化による軽量化、断路器（DS）、接地開閉器（ES）の一体化による合理的な機器配置による省スペース化を志向した。その結果、従来機器比でガス使用量約 30% 減、質量約 20% 減、据付面積約 15% 減を達成^{注1)}し、新規、更新案件双方のニーズに応えうる機器を実現した。

2 仕様と特長

2.1 仕様

表 1 に従来機器と今回開発した C-GIS の主な定格・仕様を示す。大きな変更点として、遮断器に VCB を適用したことと、最新の JEC 規格に対応したことが挙げられる。

表 1 C-GIS の仕様の比較

機 種	開発器	従来機器
定格電圧	72 / 84 kV	
定格電流	800 / 1,200 A	
定格短時間耐電流	25 / 31.5 kA	
耐電圧	商用周波	140 / 160 kV
	雷インパルス	350 / 400 kV
定格ガス圧力	0.07 MPa	0.05 MPa
遮断器	消弧媒体	真空
	定格遮断電流	25 / 31.5 kA
	定格ガス圧力	—
適用規格	ガス絶縁開閉装置	JEC-2350-2005
	交流しゃ断器	JEC-2300-2010
	交流断路器	JEC-2310-2014
	開閉装置一般要求事項	JEC-2390-2013
		—

2.2 特長

(1) VCB 適用・小型化による環境負荷低減

従来機器において、C-GIS 本体に対するガス遮断器（GCB）が占めるガス質量の割合は 15% 程度であるが、VCB を適用することで、遮断器のガスレスにつながる。また、C-GIS 本体と遮断器のガス区分が不要となるため、遮断器の体積も約 1/3 となる。

今回、C-GIS 本体の定格ガス圧力は、他機種で実績のある 0.07 MPa を採用した。離隔距離を縮めることで C-GIS 本体の盤幅は 800 mm とまり、C-GIS 本体の小型化を実現し、主要ユニット部のガス使用量約 30% 減を達成した。

(2) 省スペースリプレイス

従来機器では、計器用変圧変流器（VCT）の前後に配置する断路器（DS2、DS3）は C-GIS 本体に格納されていたため、片側の系統の更新や増設時は全停止する必要があった。

図 1 に示すように、今回の開発器では DS2、DS3 を一つのユニット（区分ユニット）としたことで、2L-1VCT-2B 構成における受電ユニットの更新や増設に対し、無停電での施工を可能とした^{注2)}。

(3) 常時監視システム

C-GIS の定期点検では、ガス圧力や動作回数を記録することを推奨している。また、開閉器の制御用コイルや操作用モータは、確実な開閉動作を行うためにも異常の

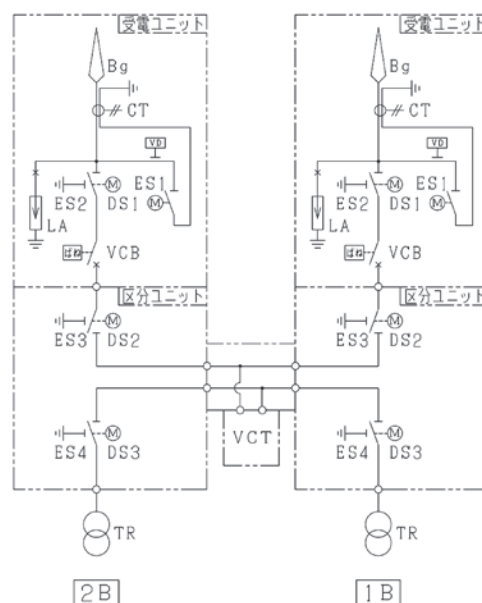


図 1 開発器の単線結線図とユニット

早期発見が必要不可欠となる。

これらの点検項目の常時監視を行うことで、現地に赴かず制御室内で C-GIS の状態確認を行うことができる。また、トレンドデータの蓄積により、機器の劣化を事前に察知でき、トラブルの未然防止につながる。

表 2 に、東光高岳の小山事業所設備向け C-GIS で導入する常時監視項目を示す。

表 2 常時監視項目（東光高岳小山事業所設備向け適用）

監視項目	目的
開閉極時間	操作機構、開閉器動作異常の検知
モータ電流	電動機、開閉器動作異常の検知
コイル電流	コイル、開閉器動作異常の検知
ガス圧力	状態監視によるガス漏れ予測保全
SF ₆ ガス温度	タンク内の異常の検知
開閉器動作回数	動作回数の遠方監視

3 各構成ユニットの特長

3.1 VCB の採用とぜんまいばね式電動ばね操作機構

今回採用した VI（真空バルブ）は大電流遮断に有利な縦磁界形電極構造を採用した。

操作装置については、VI の要求仕様を満たす電動ばね操作装置を新たに開発した。主操作ばねには、コイルばねに比べ、所要スペースあたりの蓄積エネルギーが高いぜんまいばねを採用し、操作装置の小型化とメカニズムの簡素化を実現した。ぜんまいばねを駆動エネルギーとした機構解析によるシミュレーションを行い、開閉特性の評価を行った（図 2）。

3.2 DS/ES の 3 位置化（1 ユニット化）

DS/ES の 3 位置化は、部品の共通化や部品点数削減、小型化につながる。DS および ES の構造の共通化を図り、各接触部をユニット化し、連結構造にしたことで 3 位置化を実現した。

3.3 タンクのアルミ鋳物化

タンクのアルミ鋳物化は、GIS や GCB などの高ガス圧力用タンクで採用してきた。今回、低ガス圧力向けの角形タンクは初めてであったが、丸形、楕円形のタンク

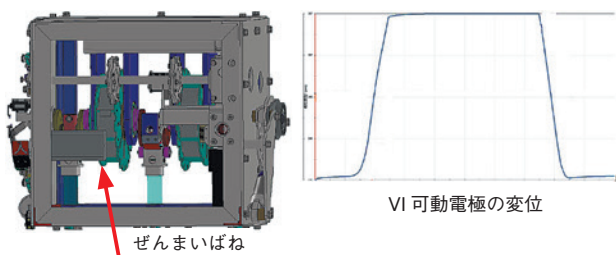


図 2 VCB 用操作機構の解析結果

での経験を生かし、図 3 に示す三次元モデルでの応力解析により強度、歪みを評価し、C-GIS 本体の小型化を実現する形状を導き出した。

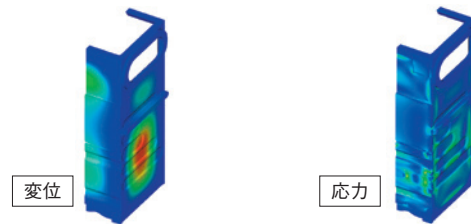


図 3 受電ユニットタンクの応力解析結果

4 おわりに

環境負荷低減を志向した新形 C-GIS について紹介した。特高受変電設備は、さらなる省スペース化や環境問題に対する取り組みが必要となっており、SF₆を使用しない AIS^{注3)}の要望も高まりつつある。これらの要望に対応すべく、今後も絶縁技術、電流遮断技術、電界・構造解析技術の高度化を推進し、高信頼性のガス絶縁開閉装置の開発を進めていく所存である。

最後に、2L-2CB-2B タイプ（架空受電、バンクユニット付）で製作した東光高岳の小山事業所設備向け C-GIS の写真を図 4 に示す。



図 4 小山事業所設備向け 新形 C-GIS の外観

■語句説明

注 1) 東光高岳従来比。ガス使用量、質量は、CH 受電時の主要ユニットの比較。据付面積は、2L-2CB-VCT CH 受電時の施工面積の比較。

注 2) 無停電更新、増設に関しては、施工時の変電所の充電区域の関係から、最終的には現地の状況により判断。

注 3) AIS : Air Insulated Switchgear の略

土屋 知大

電力プラント事業本部
開閉装置製造部 開閉装置設計グループ 所属

野澤 拓己

電力プラント事業本部
開閉装置製造部 開閉装置設計グループ 所属

7.2 kV 環境配慮型高機能スイッチギヤ (Eco-Friendly High Specification Switchgear : HSS)

■ 上田 宜史
Yoshifumi Ueda

1 はじめに

高圧受配電設備は、多様な社会ニーズや新技術の導入により長年にわたり進歩してきた。高度情報化社会のなかで、電気の果たす役割は大きく、さらなる高信頼度化が求められている。

高信頼度化のためにメンテナンスは重要であるが、労働力人口の減少にともない、省力化のニーズが高まっている。省力化することで人為的なミスによる事故の低減にも効果が期待できる。

さらに、地球温暖化が危惧されているなか、温室効果ガスを使用しない、環境に優しい製品が期待されている。

このようなニーズに応えるため、安全性・信頼性の向上、環境への配慮、メンテナンスの省力化などを目的とした 7.2 kV 環境配慮型高機能スイッチギヤ (HSS) を開発した。

2 定格・仕様

HSS の構成は、受電盤・配電線盤・母線連絡盤となる。その定格・仕様を表 1 に示す。

表 1 HSS の定格・仕様

		受電盤	配電線盤	母連盤
定格電圧		7.2 kV		
定格母線電流		600 A		
定格短時間電流		12.5 kA 1 秒		
適用規格		JEM1425		
スイッチギヤの形		MW 相当		
保護等級		IP2X		
サイズ (屋内)	幅 W (mm)	800	600	
	高さ H (mm)	2,300		
	奥行き D (mm)	1,800		
接続端子・ケーブルサイズ		IEEE386・22~150 mm ²		

3 特長

3.1 高圧充電部の保護

一般的なスイッチギヤは、母線およびケーブルコンパートメントに高圧充電部が存在する。適切な保護を行うことで安全に使用することは可能であるが、小動物の侵入による地絡・短絡などの事故はまれに発生する。このような事故の防止とともに、メンテナンス時のさらな



図 1 HSS

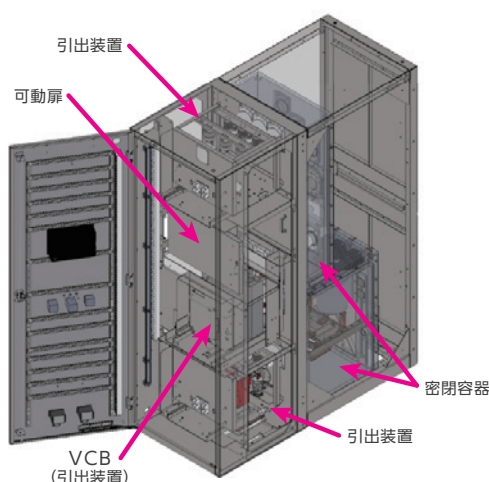


図 2 HSS の 3D モデル (受電盤)

る安全確保や据付作業の省力化のため、各コンパートメントの高圧充電部に気体絶縁と固体絶縁を複合した、ハイブリッド保護構造を採用した。

(1) 密封容器への収納 (気体絶縁)

母線から分岐した接続導体は、VCB 端子へ接続するなどさらなる分岐や接続が多い。また、受電部はお客さまのニーズに合わせた柔軟な対応も必要であり、自由度のある構造が求められる。そこで、これらを接地した密封容器内へ一括して収納した。

なお、容器内の気体には Dry N₂ を採用した。加圧と減圧の繰り返しにより容器内の Dry N₂ を高純度化することで、標準使用状態の最低温度 (屋内: -5°C, 屋外: -25°C) でも結露の発生がない。また、30 kPa-G (at 20°C) とすることで、外気の浸入もない。

さらに、万一の異常な内圧上昇があった場合に備えて、過大圧力を放出する放圧弁を設置した。

(2) 固体絶縁の採用

水平母線や VCB 二次接続導体は、構成に左右されることなくほぼ同一の構造となる。このような部位には、経済性を重視し、固体絶縁を採用した。なお、固体絶縁の表面は接地層で覆い、安全性を確保した。

また、スイッチギヤは設置場所での列盤作業を要するが、水平母線を固体絶縁化し、密封容器外へ配置することにより、作業の効率化にも効果がある。

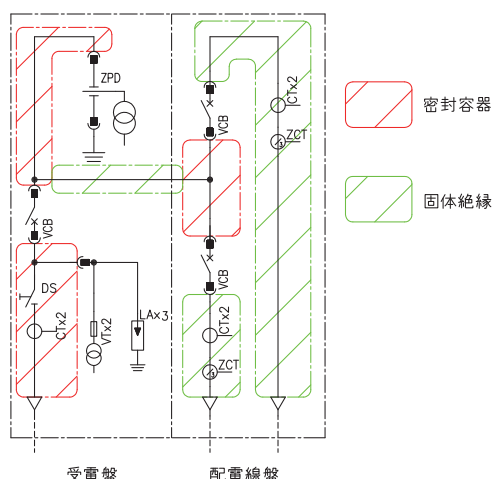


図3 HSSの単線接続図例

3.2 環境への配慮

密封容器内の気体は、SF₆のような温室効果ガスではなく、環境に優しいDry N₂を採用した。ただし、高い絶縁性はないため、容器内の絶縁は気中でも維持できる性能を確保した。

3.3 省メンテナンス

(1) 母線およびケーブルコンパートメント

高圧充電部は密封容器と固体絶縁の採用により、環境に左右されず絶縁性能を維持することができ、省メンテナンスを実現した。

(2) VCB

機構部をグリースレス化した電磁操作形 VCB を採用し、点検周期を従来の2倍となる、普通点検：6年、精密点検：12年として省メンテナンスを実現した。

3.4 コンパクト化

導体や構造の見直しによる最適配置を行い、コンパクト化を実現した。配電線盤では、従来の800 W × 2,300 H × 2,000 D に対して、据付面積を約33%低減した。

3.5 PACGEARe による高機能化

最新のデジタル形保護計測装置を採用した。

(1) 高信頼な自己監視機能を装備

アナログ入力回路の高調波重畳監視や、事故波形メモリ機能により、系統事故時の現象解析が容易であり迅速な対応が可能である。

(2) 中央監視システムと効率的な接続

汎用通信のCC-Linkに対応し、高速で安定した伝送システムが容易に構築可能である。

(3) 保守が容易

定期交換が必要な部品を使用していないため、保守の手間やメンテナンス費用を低減できる。

(4) 優れた操作性・視認性

PACGEAR8シリーズと同じグラフィック液晶を採用した。操作方法も統一しているため、容易な操作が可能である。

(5) 負荷変更への対応が容易

広範囲な電流計測が行える貫通型ワイドレンジ CT との組み合わせが可能であり、負荷容量を変更しても CT を変更する必要がない。



(外形寸法：302 W × 202 H × 128.5 D 質量：3.0 kg)

図4 PACGEARe

表2 PACGEAReの種類

用途	形式	保護要素	計測要素
受電用	PACE1H	OCx2, OCHx2, DG (OCG), OV, UV, OVG	Ax3, Vx3, W, Wh, var, varh, F, cosφ, Io, Mlo, Vo, MVo
母線用			
主変二次用			
配電線用	PACE1M	OCHx2, DG, OL, OP	
モータ配電線用			

4 おわりに

高圧スイッチギヤは、気中絶縁が主流である。しかし、今後の電力依存度の高まりにともない、社会のニーズはさらに高品質な製品を求めようになると考える。HSSはこのようなニーズに応えることができる製品である。

上田 宜史

電力プラント事業本部

制御装置製造部 設計グループ 所属

東京電力パワーグリッド株式会社納入 154 kV 200 MVA 送電用変圧器

■ 五月女 正樹
Masaki Sotome

1 はじめに

送電用変圧器は、高い信頼性はもとより、経済性、メンテナンス性の向上が求められており、東光高岳はこれらのニーズに応える製品化に取り組んでいる。

このたび、東京電力パワーグリッド株式会社（以後、東京電力 PG）武蔵野変電所に新形 154 kV 200 MVA 送電用変圧器を納入したのでここに紹介する。

2 仕様

154 kV 200 MVA 変圧器（東京電力 PG 武蔵野変電所納入）の仕様を表 1、本製品の外観を図 1 に示す。

表 1 仕様

項 目	仕 様
相数, 周波数	三相, 50 Hz
容量	200 MVA
一次電圧	154 ± 14 kV
二次電圧	66 kV
短絡インピーダンス	11% (容量ベース)
結線	一次/二次/安定: Y/Y/Δ
冷却方式	導油風冷式
温度上昇限度	巻線: 70 K 油: 60 K
騒音	55 dB (A) 以下
端子引出し構造	一次: 油中ケーブルヘッド 二次: 油中ケーブルヘッド 二次中性点: ケーブルヘッド※

※中性点避雷器接続は気中引出



図 1 154 kV 200 MVA 変圧器外観

3 特長

本製品の主な特長は次のとおりである。

3.1 冷却設計の合理化

(1) 温度上昇限度の引き上げ

JEC-2200-2014（変圧器）規格の改正に伴い、平均巻線温度および最高油温の上昇限度をそれぞれ 70 K、60 K とし、巻線被覆紙に耐熱絶縁紙（アミン添加紙）を採用することで、冷却設計を見直し、合理化を図った。

(2) 冷却器台数の最適化

冷却設計の見直しにより、冷却器 1 台当たりの冷却容量の最適化を図った。この結果、従来器と比較して冷却器の設置台数を 25% 削減し、冷却器コストの低減およびコンパクト化を図った。

3.2 軽量化

変圧器中身について、高磁束密度化を含めた設計の見直しにより 5% の軽量化を図った。高磁束密度化によって励磁騒音は増加するため、防音壁構造の最適化を行い防音性能を高めることで騒音仕様 55 dB (A) 以下を満たす構造とした。また、タンクなどの製缶部品に関しても大幅に設計を見直しし 20% の軽量化と 15% の油量削減を図った。

3.3 その他

(1) ポリマー碍子形避雷器の適用

一次および二次中性点に設ける避雷器を従来の油中タイプから気中タイプに変更し、ポリマー碍子形避雷器を適用することで避雷器コストの低減およびメンテナンス性の向上を図った。

(2) 三次巻線の安定巻線化

仕様合理化として、電力系統における三次巻線の安定巻線化を東京電力 PG でご検討いただき、三次巻線のコンパクト化および三次側端子引出し構造を削減した。

4 おわりに

今後も高い信頼性と経済性のニーズに応えられるよう技術の向上に努め、製品への反映に取り組む所存である。

五月女 正樹

電力プラント事業本部

大型変圧器製造部 大型変圧器設計グループ 所属

配電用変電所用デジタル保護 制御装置 (4 形)

■ 佐藤 一男
Kazuo Sato

1 はじめに

東光高岳では東京電力パワーグリッド株式会社へ納入してきた CDT^{注1)} タイプの中央制御盤・バンク制御盤（納入年：1986～1993）の後継機種として、新形の装置の開発を進めてきた。

このたび、新しいコンセプトにもとづいた 4 形中央制御盤・バンク制御盤の開発が完了し、2017 年 4 月から納入を開始した。

4 形中央制御盤・バンク制御盤は、コストダウンを図るとともに、現行機の機能に加えて、多彩なユーザー支援機能を新たに追加したので本稿でその概要を紹介する。



図 1 4 形装置

2 特長

開発品の特長は次のとおりである。

2.1 お客さまで変電所形態の設定が可能

4 形中央制御盤・バンク制御盤は、標準的な配電用変電所形態を対象として開発した。変電所の各種個別設定について、お客さまで変電所形態に応じた設定ができるよう、ユーザー設定機能を搭載した。

2.2 汎用ネットワークに対応可能

中央制御盤～バンク制御盤間の伝送には一般的な LAN を適用した。変電所構内の光 LAN ケーブル接続は 100Base-FX を採用した。また、イーサネット LAN、汎用プロトコルを適用し、経済性向上、機能拡張の柔軟性、自立性維持によるシステムの信頼性向上を図った。

2.3 盤の高さを統一

中央制御盤・バンク制御盤とも、屋外・屋内設置に関わらず高さを 1,910 mm に統一した。

2.4 部品点数の削減による信頼性の向上

高機能 CPU の採用と、ハードウェアの基本構成の見直しを行い、部品実装点数を大幅に削減し、更なる信頼性向上を図った。

3 機能・仕様

3.1 機能概要

(1) 4 形中央制御盤

- (a) 上位からの遠方操作、計測・表示（テレコン子局機能）
- (b) 受電機器、変電所共通項目の直接操作、計測・表示
- (c) 変電所全体の HMI^{注2)} からの監視・表示
- (d) 受電保護（2 回線受電のみ）
- (e) 逆潮流対応（構内転送しや断）
- (f) 自動切替機能
- (g) 配電線事故区間・ロック区間の算出
- (h) 搬送結合装置とのインターフェイス（搬送変復調部）
- (i) 変電／配電用伝送ルート切替（回線切替部：LSW）
- (j) 主変二次ケーブル地絡検出
- (k) バンク制御盤との構内伝送制御

(2) 4 形バンク制御盤

- (a) バンク・6 kV 側設備の操作、計測・表示
- (b) バンク保護（変圧器／母線／配電線保護）
- (c) 再閉路機能・地絡後備機能
- (d) 電圧調整
- (e) 逆潮流対応（バンクリレー動作時の構内転送しや断）
- (f) 中央制御盤との構内伝送制御

3.2 装置の組み合わせ

装置の組み合わせパターンは 2 種類である。

- ・中央制御盤～バンク制御盤
4 形装置のみの組み合わせとする。
- ・各種遠方監視制御装置（TC）～4 形バンク制御盤
各メーカー製の HDLC^{注3)}-TC、ユニット分割形 TC および多機能 TC と TC 接続用 I/O 基板（オプション）を介して 4 形バンク制御盤が接続できる。

3.3 選択制御機能

- ・中央制御盤では上位局からの遠方監視制御および直

接制御（現地にて HMI スケルトン操作）が可能。

- ・バンク制御盤は、中央制御盤からの指令にもとづき集中形保護制御リレーユニットにて機器制御を実施する。

3.4 保護機能

2 回線受電変電所の受電保護は中央制御盤で行う。また、各バンクの変圧器・母線・配電線の保護はバンク制御盤で行う。

4 形は従来からの「メインー事故検出」方式を見直し、片系ユニットが故障しても保護を健全系列側のメインリレーで継続できる「メイン (M1) = メイン (M2)」方式（図 2 参照）を採用した。

異常となったユニットのトリップ出力をバイパスさせ、保護は継続できるようになっている。異常が復帰すると NGX は自動で復帰する。

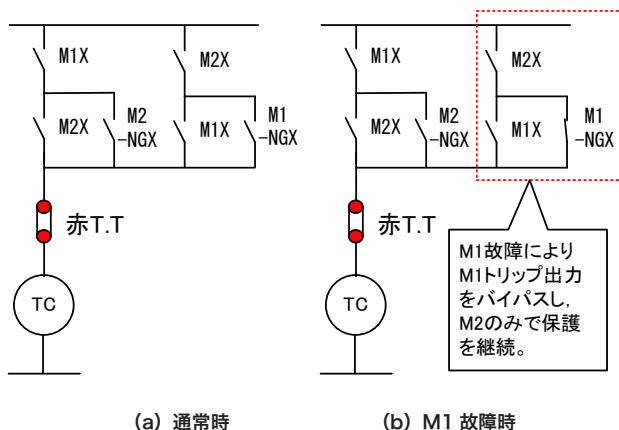


図 2 メインーメイン方式

注) M1X:M1 のリレー接点、M2X:M2 のリレー接点、M1-NGX:M1 の故障リレー接点、M2-NGX:M2 の故障リレー接点

3.5 計測機能

分散電源からの逆潮流を考慮し、必要な計測項目には極性表示を標準的に行う。また、上位に変圧器のタップ位置を伝送することも可能（オプション機能）。

3.6 主変二次ケーブル地絡検出機能

いままでは別盤に設置していた主変二次ケーブル事故検出機能を中央制御盤に実装した。

変圧器二次ケーブル地絡事故の検出を行い、検出情報は上位局表示を行うとともに、自動切替機能に情報を送信する。

3.7 HMI 機能

汎用パソコンのブラウザを使用（Java^{注4)} は未使用としたため、基本的にブラウザに依存しないし、保護整定、監視制御に関する設定および機器直接操作も可能とした。

これにより使用する汎用パソコンは専用ソフトを不用とした。

3.8 付帯機能

運用・保守面で有用となる多彩な計測・記録機能を実装した。以下は HMI で確認可能である。

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

3.9 単独運転防止機能

2 回線受電変電所において、送電線事故や変電所構内事故時に、分散電源からの逆潮流により事故が継続し続けることを防止するための単独運転防止機能（オプション機能）を実装することも可能である。

3.10 インターロック

4 形中央制御盤は、従来より採用しているしゃ断器、断路器接点による直接インターロックだけでなく、新たにしゃ断器、断路器条件を取り込み、ソフトウェアで処理するソフトインターロック（オプション機能）も用意した。

HMI にてソフトインターロックの使用／ロックおよびインターロック条件の構築が可能となっている。

4 おわりに

新しい 4 形中央・バンク制御盤は、高機能 CPU を採用し、汎用の LAN、Web 機能などの IT 技術を取り入れた信頼性および経済性に優れた装置である。

今後は、2017 年度中に多端子ユニット受電中央制御盤をリリースする予定である。

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

■ 語句説明

注 1) CDT : Cyclic Data Transmission の略。

1 対 1 のサイクリック伝送方式。

注 2) HMI : Human Machine Interface の略。

人と装置が情報をやり取りするための手段。

注 3) HDLC : High level Data Link Control の略。

1 対 1 のパケット伝送方式。

注 4) Java : Sun Microsystems（現 : Oracle 社）によって開発されたオブジェクト指向をサポートする汎用のプログラミング言語。

佐藤 一男

電力プラント事業本部

システム製造部 保護制御装置設計グループ 所属

デジタル形 分路リアクトル保護リレー

菅原 雅寛

Masahiro Sugawara

1 はじめに

送電線路の進相電流を補償する目的で使用するリアクトル設備の保護として、これまで静止形分路リアクトル保護リレーが適用されてきた。静止形分路リアクトル保護リレーは、製品開発から30年以上経過し、部品の枯渇や技術レベル維持のため、保守性や信頼性が確保できるデジタル形リレーへの切り替えが期待されていた。

今回、送電用変電所の主要変圧器三次母線ならびに主母線に接続される分路リアクトル設備の保護を目的としたデジタル形分路リアクトル保護リレーを開発した。

2 仕様

2.1 装置仕様

(1) システム構成

本装置は、電力用規格 B-402 に準拠しメイン、フェイルセーフの二重化構成により信頼性を向上させている。

(2) 外形

静止形リレーとの取付け互換性を考慮したうえで、既設サイズからのコンパクト化を行った。ケースサイズは、E15 ケース（幅 296 mm × 高さ 176 mm × 奥行 278.5 mm、カバー含む）を採用した。

図 1 に装置外観を示す。

なお、静止形リレーのリプレース時には、アタッチメント用鋼板を用い、既設盤の取付け穴を利用した取付けを可能とするなど、更新作業の効率化を図った。

(3) 保護機能

本装置は、分路リアクトルの保護要素として、適用系統に合わせ、主要変圧器三次母線に接続する場合には地

絡過電圧リレーを、主母線に接続する場合には地絡過電流リレーを地絡保護要素とする整定切り替え機能を有している。

また、従来の静止形リレーでクーラー電源監視用保護要素を実装していることから、機能互換性を考慮し、同様の機能を実装した。

表 1 に本装置の保護リレー方式の、表 2 にクーラー電源監視用リレー方式の、要素と保護方式の組み合わせを示す。

表 1 保護リレー方式

目的	要素	保護方式
内部短絡保護	過電流要素	過電流リレー方式 (瞬時・反限時)
地絡保護	過電圧要素	地絡過電圧リレー方式
	過電流要素	地絡過電流リレー方式

表 2 クーラー電源監視用リレー方式

目的	要素	保護方式
欠相検出	欠相要素	欠相リレー方式
電圧低下検出	不足電圧要素	不足電圧リレー方式

励磁突入電流およびタンク破壊強度の保護協調のため過電流リレーの反限時特性には、静止形リレーの特性を包含した JEC 規格推奨の 4 種類の反限時特性式から選択できる機能を実装した。

図 2 に過電流リレー方式に採用した反限時特性を示す。



図 1 装置外観

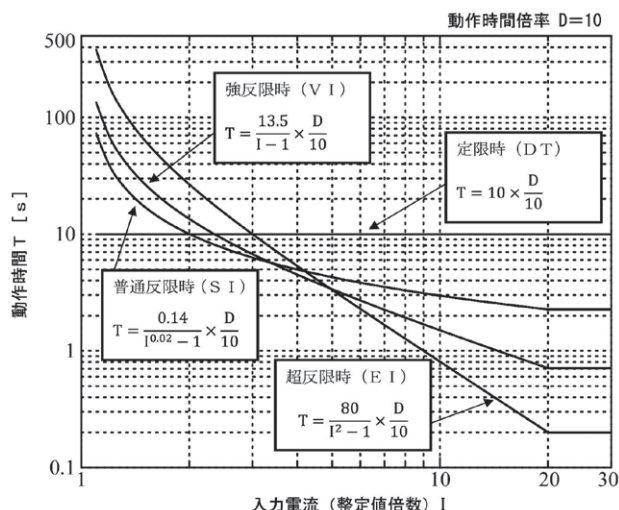


図 2 反限時特性

(4) 出力設定

(a) トリップ出力

トリップ回路設定として、保護盤などの外部回路に合わせて内蔵シールイン回路の使用／不使用を選択できるようにした。

(b) 警報表示出力

警報表示設定は、出力信号を選択式とし、パネル操作またはパソコンで設定可能とした。

2.2 運用・保守の機能向上

(1) データセーブ機能

系統事故発生前後の系統波形データ、リレー動作情報を自動で記録するデータセーブ機能を実装しており、パソコンを接続することによりデータ収集が可能である。

図3にデータセーブ画面の表示例を示す。

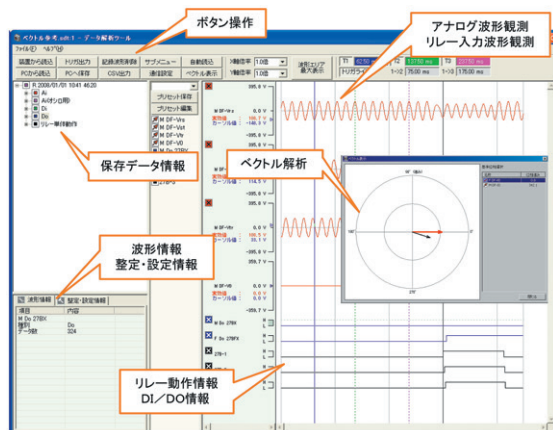


図3 データセーブ画面 表示例

(2) 点検機能

点検起動として、既設対応も考慮し、外部起動、自動起動、手動起動を実装した。時刻設定による自動起動の追加により、リレーで別置していた点検起動タイマが不要となる。点検では、補助リレー動作および復帰確認だけでなく、遮断器のトリップコイル断線監視も実施できる機能を実装した。

(3) HMI^{注1)}機能

装置運用状態や入力電気量の確認は、液晶表示画面とパソコンによる方法を実施可能とした。パソコンによる運用方法として、OSやブラウザに依存しないWebサーバを標準実装し、遠隔操作にも対応可能とした。

図4に液晶表示画面の表示例を示す。



図4 液晶表示画面 表示例

(4) CB 応動監視機能

遮断器状態をリレーへ取り込むことにより、応動時間の計測を可能とした。応動時間は、最大100件まで記録でき、トレンドグラフとしてHMIに表示可能である。

図5にCB 応動監視機能の表示例を示す。

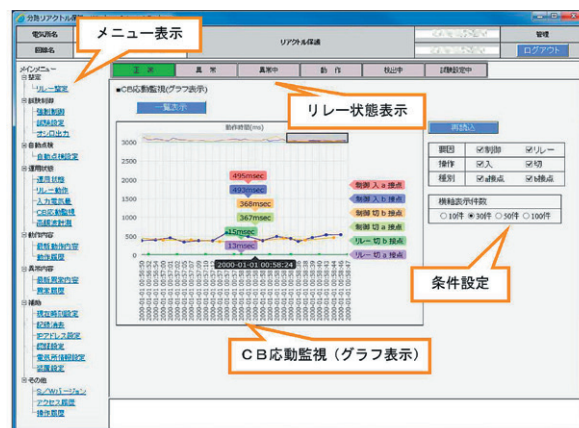


図5 CB 応動監視機能 表示例

(5) 高調波計測機能

入力電気量の基本波から25次調波までの歪率、含有率を計測できる機能を実装した。

図6に高調波計測の表示例を示す。

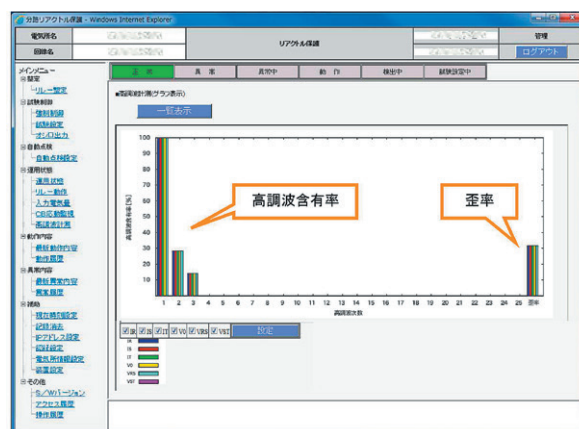


図6 高調波計測 表示例

3 おわりに

本装置は、2017年2月に開発が完了し、製品展開を開始した。静止形リレーの更新を含めた本装置の適用による電力系統設備の信頼性向上への貢献が期待される。

■ 語句説明

注1) HMI: Human Machine Interface 保護リレーの操作部および表示部。

菅原 雅寛

電力プラント事業本部

システム製造部 保護制御装置設計グループ 所属

国際標準プロトコルを用いた 送電線過負荷保護リレーシステム

■ 田沼 秀和
Hidekazu Tanuma

1 はじめに

送電線、変圧器の事故遮断や再生可能エネルギーの連系増加に伴い、健全設備が過負荷状態となり設備損壊に至ることがある。これを防止するため、過負荷電流を検出して、電源の抑制・増発または負荷の遮断を行う送電線過負荷保護リレー（以降 OLR^{注1)}）の設置が必要になる。

今回、国際標準プロトコルの（IEC61850 GOOSE^{注2)}）インタフェースを搭載する SEL 社製 IED を用いて 3 種類の OLR 関連装置を開発し、2017 年 3 月に東京電力パワーグリッド株式会社の 154 kV、66 kV 送電線設備保護用に納入したので、その概要を紹介する。

2 システム構成

本システムは、OLR 装置、OLR 処理装置（転送元）、OLR 受信装置（転送先）および各装置間の伝送路から構成される（図 1）。送電線が過負荷状態になった場合、OLR が動作して、OLR 装置から転送遮断信号を送信する。OLR 処理装置は、転送遮断信号を受信し、時限処理した後に接点信号を出力するとともに、転送遮断信号を接点変換装置へ伝送する。伝送方式は、IEC61850 GOOSE を採用した。

3 特長

本システムは、従来の国内製保護リレーならびに接点情報伝送装置の置き換えとして、海外製 IED を採用している。装置間伝送方式に IEC61850 GOOSE を用いるメリットは、以下のとおりである。

- (1) Ethernet ベースのマルチキャスト伝送により、従来の N : N から転送元装置が 1 台（1 : N）となり、大幅なコスト削減が可能となる。
- (2) マルチベンダによる効率の良いシステム構築ができる。
- (3) 転送元装置から転送先装置への伝送ルートにおけるケーブル心線数を低減できる。
- (4) 既設の伝送設備を有効に活用できる。

4 装置概要

(1) OLR 装置

本装置は、主に送電線の過負荷保護リレー機能のほか、自動点検、常時監視、リレーシーケンス、強制制御出力、オシロ出力、IEC61850 伝送などの機能を有する。また、単一故障モードで誤作動に至らぬよう、メインリレーとフェールセーフ（以降 FD）リレーの 2 重化構成とした（表 1、図 2）。

本装置は、2 回線分を収納する。

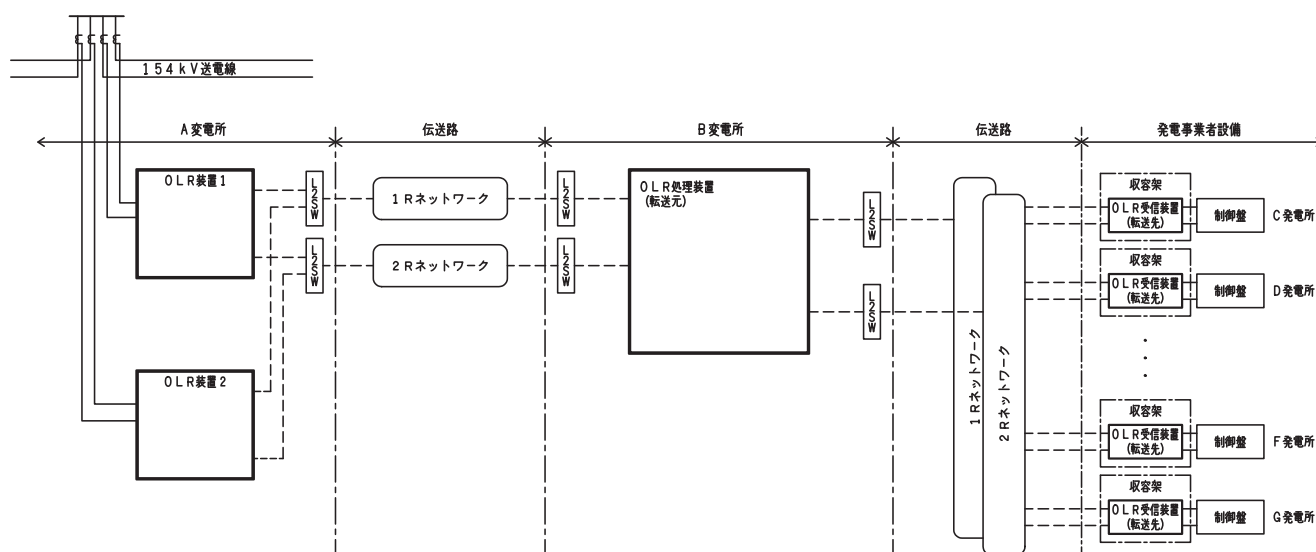


図 1 OLR システム構成

表 1 OLR 装置仕様 (2 回線対応)

項 目	仕様・機能
装置本体	W 350 mm × H 2,300 mm × D 450 mm 前後面保守構造
メインリレー ※ SEL-351 適用	過負荷検出, 自動点検, 常時監視, リレーシーケンス, 通信インタフェース (HMI / 保守用)
FD リレー ※ SEL-751 適用	過負荷検出, 自動点検, 常時監視, 強制制御, IEC61850 伝送, 通信インタフェース (HMI / 保守用)
メンテナンスパネル	集約表示, 操作, オシロ出力端子

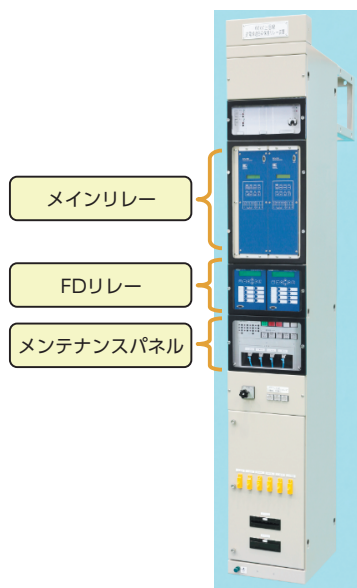


図 2 OLR 装置

(2) OLR 処理装置 (転送元)

本装置は、主に OLR 装置から受信した転送遮断信号を時限 (タイマー) 処理する機能のほか、自動点検、常時監視、強制制御出力、オシロ出力、IEC61850 伝送などの機能を有する。また、単一故障モードで誤作動に至らぬよう、メインと FD の 2 重化構成とした (表 2, 図 3)。

最大で OLR 装置 5 台と受信装置 13 個所を接続することができる。

表 2 OLR 処理装置仕様

項 目	仕様・機能
装置本体	W 700 mm × H 2,300 mm × D 450 mm 前後面保守構造
OLR 処理ユニット (メイン, FD) ※ SEL-2440 適用	OLR 時限処理, 自動点検, 常時監視, 強制制御, IEC61850 伝送, 通信インタフェース (HMI / 保守用)
伝送ユニット (メイン, FD) ※ SEL-2440 適用	IEC61850 伝送 (転送元), 通信インタフェース (HMI / 保守用)
メンテナンスパネル	集約表示, 操作, オシロ出力端子



図 3 OLR 処理装置

(3) OLR 受信装置 (転送先)

本装置は、主に OLR 処理装置から受信した転送遮断信号を接点情報に変換する機能のほか、強制バイパス処理、異常通知接点出力、監視警報、IEC61850 伝送などの機能を有している (表 3, 図 4)。

表 3 OLR 受信装置仕様

項 目	仕様・機能
装置本体 ※ SEL-2440 適用	W 447 mm × H 88 mm × D 171 mm
主な機能	接点情報変換, 強制バイパス処理, 異常通知出力, 監視警報, IEC61850 伝送, 通信インタフェース (HMI / 保守用)
実装接点構成	入力 16 点, 接点出力 32 点
警報接点	1 点 (c 接点)



図 4 OLR 受信装置 (転送先)

5 おわりに

本システムは、東京電力パワーグリッド管内において 2017 年 5 月から運用が開始されている。

■ 語句説明

注 1) OLR : 『Over Load Relay』の略称。

注 2) GOOSE : 『Generic Object Oriented Substation Event』の略称。

田沼 秀和

電力プラント事業本部

システム製造部 IED システム設計グループ 所属

風力発電設備用雷電流計測装置の 電流計測性能

■ 藤岡 博文
Hirofumi Fujioka

1 はじめに

東光高岳では、落雷の検知と外部への通知（風力発電設備と連携して運転を停止）、電荷量（エネルギー）の計測（耐雷設計の妥当性を把握）といった、風力発電設備の雷被害再発防止対策に必要な機能を有する雷電流計測装置を開発・改良し、これまでに日本海沿岸の冬季雷地域を中心として全国に納入している^{(1), (2), (3)}。

最近、風車の大型化等に伴い、100 kA を超過する大きな雷電流の頻度が増加傾向にある。このため、ログウスキーコイルを用いた雷電流計測装置のセンサ I/F（インターフェース）部において、200 kA までの計測への対応を行った。本稿では、その電流計測性能測定結果について紹介する。

2 電流計測構成

雷電流計測装置は、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直撃雷の落雷電流を検出し、タワー内部に設置した計測装置本体において、正負の電流波高値および電荷量を算出して記録する（図 1、表 1）。

ログウスキーコイルで誘起される電圧は、落雷電流の微分波形となり、センサ I/F 部において、この誘起電圧を積分することで落雷電流に比例した電圧信号を出力する。また、低域補償回路と組み合わせることで、低い周波数の電流も計測可能になる⁽²⁾。

演算記録部では、センサ I/F 部の出力に対して、計測時間 1 s における、正極性電流および負極性電流の波高値を算出し、電流の絶対値を積算することにより電荷量を算出する。

表 1 計測仕様

項 目	仕 様
計測データ	波高値（正負）、電荷量
最大計測電流	100 kA, 200 kA
トリガレベル	最大計測電流 × 1 %
低域カットオフ周波数	0.1 Hz（−3 dB）
立ち上がり応答時間	1.5 μ s（約 167 kHz 相当）
波高値計測精度	± 10 %（フルスケール）
波高値分解能	0.1 kA
電荷量演算範囲	0 C～9,999 C（分解能：1 C）
計測時間	1 s

3 電流計測性能試験方法

図 2、図 3 に電流計測性能試験の回路を示す。

信号源から印加線をログウスキーコイルに周回することにより、等価的に大きな電流を印加しており、印加線の電流波形から読取って換算した波高値と雷電流計測装置の記録値を比較した。

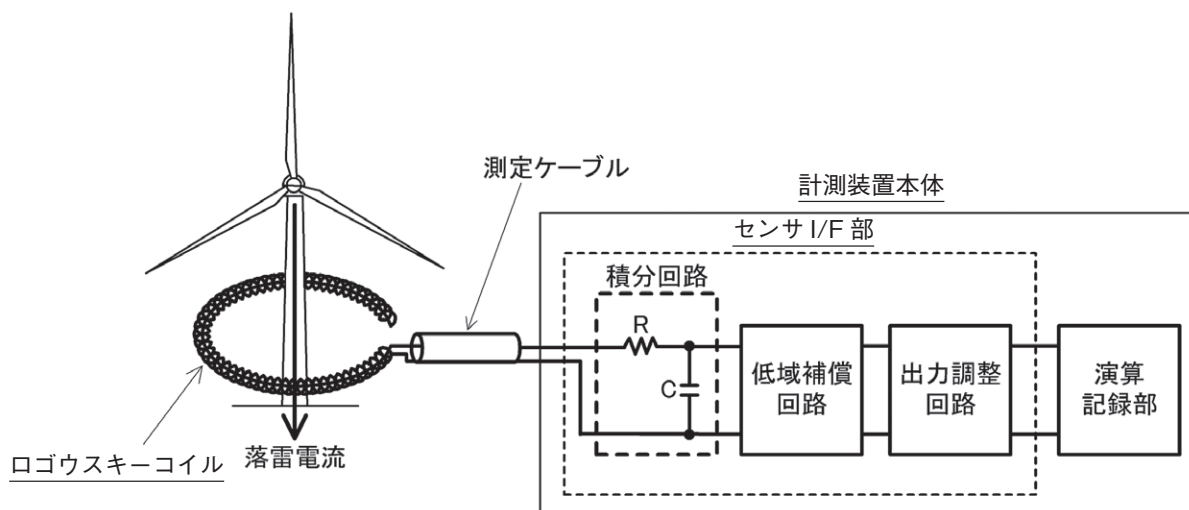


図 1 計測構成

低周波側（～100 Hz，図2）では，信号源として交流電源（信号発生器＋バイポーラ電源）を使用し，ログウスキーコイルも印加線に周回することにより，波高値10 kA相当の正弦波（連続波）を印加している。

高周波側（100 Hz～，図3）では，信号源としてインパルス発生器を使用し，波高値200 kAまでのインパルス波または減衰振動波を印加している。周波数は，印加電流波形の波頭長を1/4周期として換算している（例：波頭長2 μ s → 周波数125 kHz）。

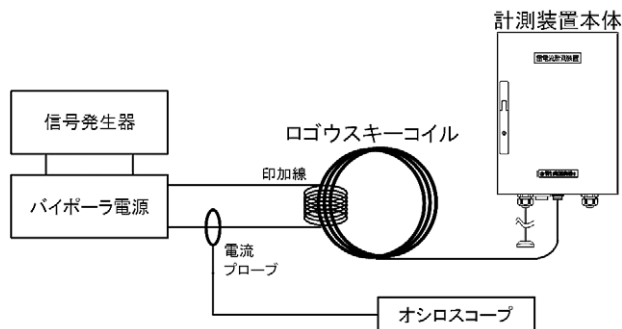


図2 試験回路：交流電源（～100 Hz）

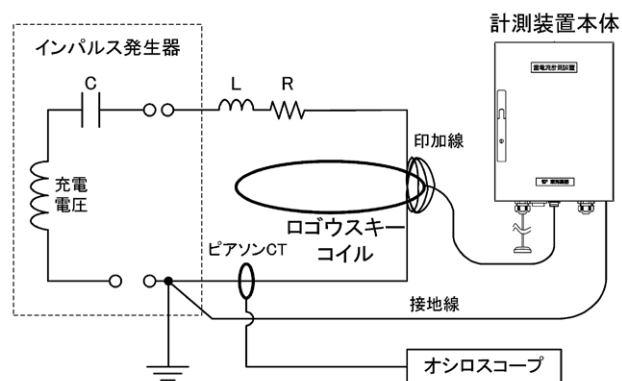


図3 試験回路：インパルス発生器（100 Hz～）

4 電流計測性能測定結果

電流計測性能の測定結果は，印加電流の波高値に対する雷電流計測装置の記録値の比誤差で評価した。

なお，試験対象のログウスキーコイルは，コイル長16 m（風車タワー外径：約5 m相当），測定ケーブル長15 mである。

図4に，入出力特性の測定結果を示す。電流値に対して分解能（0.1 kA）が粗くなる小電流では比誤差が大きくなっているが，200 kAまで $\pm 10\%$ 以内であることが確認できる。

図5に，周波数特性の測定結果を示す。0.5 Hzから立ち上がり応答時間1.5 μ sに相当する約167 kHzまで，比誤差は $\pm 10\%$ （約 ± 0.9 dB）以内であることが確認できる。また，シミュレーション結果とも一致しており，設計どおりの動作となっていることも確認できる。

なお，低域カットオフ周波数0.1 Hzに対応する高域の -3 dB（約 -30% ）点は約300 kHzとなっている。

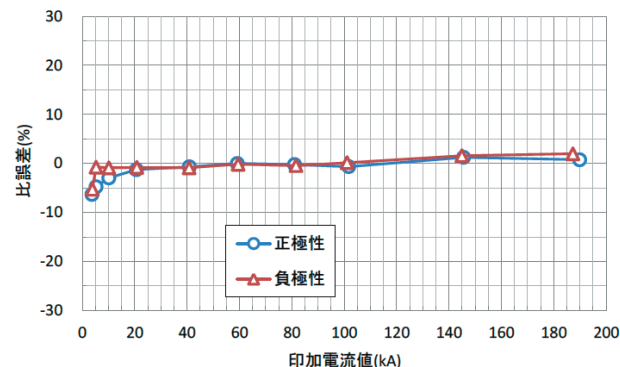


図4 入出力特性測定結果

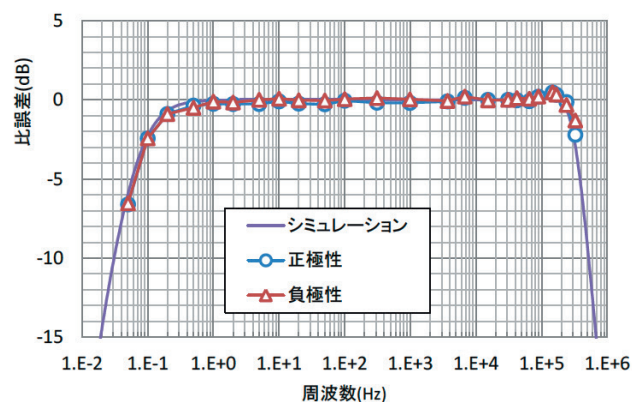


図5 周波数特性測定結果

5 おわりに

本稿では，最大計測電流200 kAへの対応を行った雷電流計測装置の電流計測性能測定結果について報告した。

なお，今後は，今冬から日本海沿岸冬季雷地域の風車において，実フィールド観測を実施した後，順次，新設のサイトに導入していく。

参考文献

- (1) 酒井，細谷，藤岡：「風力発電設備用雷電流計測装置」，東光高岳技報，No.2，p.38（2015）
- (2) 藤岡，大塚：「風力発電設備用雷電流計測装置の低周波数域特性」，電気学会研究会資料，HV-16-053（2016）
- (3) 酒井，藤岡，大塚：「風力発電設備用雷電流計測装置」，電気評論，第102巻第3号，p.58（2017）

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

モールドバランサ

■ 山崎 勇輝
Yuki Yamazaki

1 概要

現在、単相3線式の低圧配電線路において負荷の偏りによる電圧不平衡を解消するために低圧配電線の末端に油入バランサを接続しているが、経年による錆等に対するメンテナンスや、油漏れ等の事故が問題点として挙げられる。このため東光高岳ではオイルレス・タンクレスを目的に、屋外用エポキシ樹脂を使用したモールドバランサの開発を進めている。

2 仕様

仕様は下記のとおりである。

表1 モールドバランサの仕様

項 目	仕 様
定格電圧	100/200 V
定格容量	1 kVA
定格電流	10 A
定格周波数	50/60 Hz
寸法	W 220 × H 250 × D 180 mm
総質量	20 kg

3 特長

モールドバランサの主な特長は以下のとおりである。

- (1) コイルを屋外用エポキシ樹脂で一体モールド化することでタンクが不要となり、メンテナンスが容易。

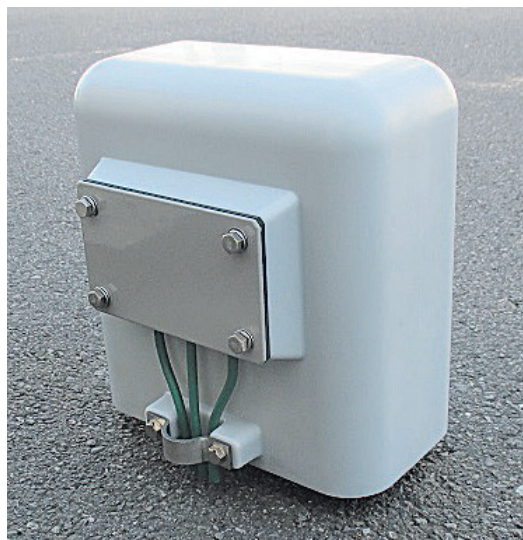


図1 モールドバランサの外観

- (2) オイルレスのため、漏油等の問題がない。
(3) 屋外用エポキシ樹脂は鉄道車両用の特高変成器で長年使用実績があり高信頼性がある。

山崎 勇輝

計量事業本部
モールド変成器製造部 設計グループ 所属

EV 用パワーコンディショナ (V2H) の開発

■ 古家 成正
Shigemasa Furuie

■ 鈴木 健司
Takeshi Suzuki

1 はじめに

石油資源に依存しない低炭素社会の実現に向けた再生エネルギーの導入促進策として、固定価格買い取り制度 (FIT) が導入された。この FIT により家庭の太陽光発電 (PV: Photovoltaic) の普及が拡大している。しかし 2019 年から住宅向け FIT の買い取り期間が終了し始めるため、PV の用途が売電から自家消費に移行すると予想されている。

自家消費のためにエネルギーを蓄える装置として定置型蓄電池があるが、そのほかに電気自動車 (EV: Electric Vehicle) や PHV (Plug-in Hybrid Vehicle) でも可能である。

そのため、PV から EV や PHV への充電も積極的に進むと考えられる。また、EV や PHV は自動車として普段活用する以外に電源としても有効活用できることから、非常用電源のニーズも高くなってきている。これらを受けて住宅内への電力供給が可能な V2H (Vehicle to Home) の利用が増加すると見込まれる。

そこで東光高岳では系統連系時に必要な機能を削減し、より小型化を図れる非連系方式の Smaneco V2H^{注1)}を開発したので紹介する。



Smaneco
(イメージキャラクター)

2 装置の特長

Smaneco V2H は以下の 4 点の特長を有している。

(1) 非連系方式

非連系方式のため、電力系統の影響を受けずに家電機器に給電ができる。電力会社からの給電と V2H からの給電の切り替えを高速で実施するため、停電時間が短い。

(2) 大部分の家電機器をカバー可能

EV から宅内への給電は 3 kW であるが、起動時の瞬間的な過負荷に対応している。

(3) 負荷のアンバランス対応

単相 3 線の負荷がアンバランスした場合でも家電機器に安定的に給電ができる。

(4) EV 充電の最適化

家電機器の使用と同時に EV を充電する場合には契約電力内での最適な充電ができる。

3 装置機能

Smaneco V2H は、EV の DC 充電および EV から家庭への AC 給電を行うシステムである。代表的な 4 点の機能を示す。

(1) EV への充電機能

電力会社からの電気を EV に充電する。手動操作とスケジュール運転が選択できる。

(2) EV から宅内への給電機能

EV からの電気を宅内に給電する。(1) と同様に手動操作とスケジュール運転が選択できる。

(3) スケジュール機能

充電と給電を 1 時間単位で設定できる。

(4) 操作機能

充電と給電の開始・停止を V2H 本体のパネルまたはグラフィックリモコンから行うことができる。

4 装置仕様

Smaneco V2H は屋外に設置する V2H 本体と、宅内に設置する V2H 接続箱からなる。装置仕様を表 1 に、外観図を図 1 に示す。

今回の V2H システム設置例の構成図を図 2 に示す。

表 1 Smaneco V2H 装置仕様

項 目	装置仕様	
方式	系統給電・自立給電切替タイプ	
機能	充電	・ DC 150 V ~ 450 V 最大 3 kW で EV に給電 (DC 400 V 7.5 A) ・ 家庭での電力使用ピークを超えないよう契約電流以下に電流を抑制
	給電	・ AC 100 V / 200 V 連続 3 kW (30 A) ・ 短時間 (2 分以内) 6 kW (60 A) ※ () の電流は AC 100 V 換算値を示す
	運転方法	液晶パネル・タイマー予約 グラフィックリモコン (オプション)
V2H 本体	寸法	幅 580 mm × 奥行 310 mm × 高さ 730 mm
	質量	約 70 kg (ケーブル含まず)
	保護等級	IP44
接続箱	寸法	幅 630 mm × 奥行 110 mm × 高さ 320 mm
	質量	約 9 kg
	保護等級	IP21

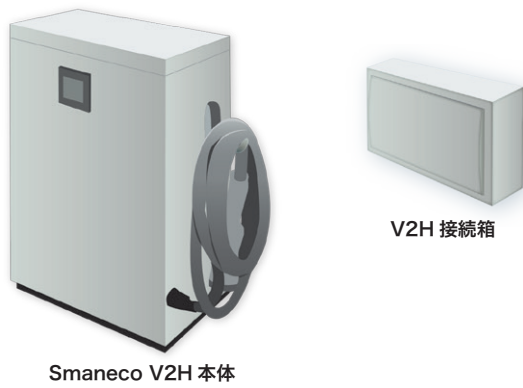
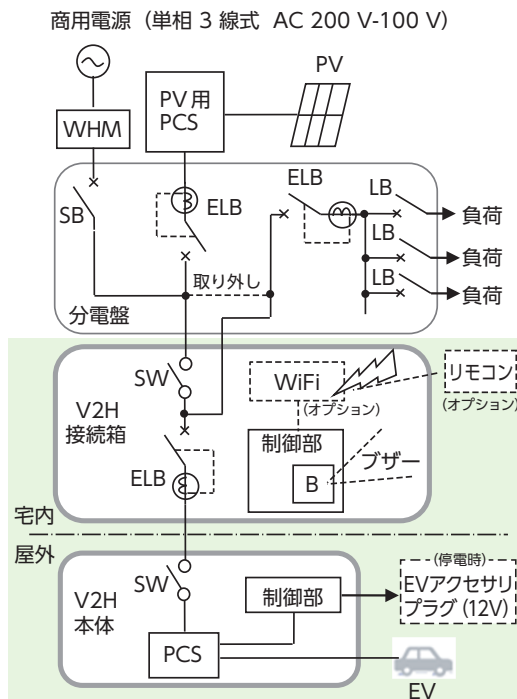


図 1 Smaneco V2H 外観図



WHM : 積算電力量計 SB : サービスブレーカ
 ELB : 漏電ブレーカ LB : 分岐ブレーカ
 PV : 太陽電池 PCS : パワーコンディショナ
 EV : 電気自動車 SW : 高速スイッチ
 B : ブザー (警報・異常発報用)

図 2 V2H システム設置例 構成図

V2H 接続箱と V2H 本体内の高速スイッチ (SW) により、電力会社からの給電と V2H からの給電の切り替えを行う。

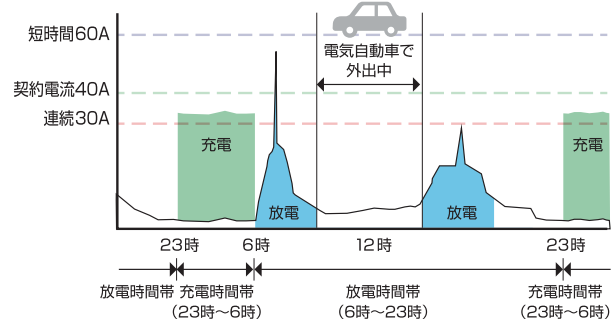
5 V2H 活用事例

Smaneco V2H の代表的な運転事例を 2 パターン紹介する。契約電力内での最適な給電が可能である。

(1) Smaneco V2H を PV と併用しない場合

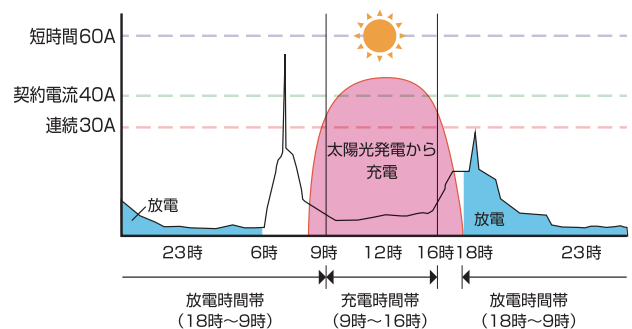
夜間は安価な深夜電力を EV に充電し、電気料金が低い日中は EV から給電する。給電時に家電機器 (エアコン、炊飯器、電子レンジなど) の使用が重なり 3 kW を

超えた場合には Smaneco V2H からブザーで過負荷をお知らせする (最大 6 kW, 2 分間未満の過負荷であれば給電を継続する)。



(2) Smaneco V2H を PV と併用する場合

PV が発電している日中 (9 時～16 時) は EV に充電し、夕方以降は EV から給電する。



※実線は電気製品の使用状況を示します

6 おわりに

Smaneco V2H はコンパクトであるため、EV を活用したい住宅や停電に備え非常電源として確保したい自治体の避難所向けの導入を想定している。今後新たな VPP の仕様にも応えられる、連系方式の V2H を開発していきたいと考えている。

■ 語句説明

注 1) Smaneco (スマネコ) : Smart (かしこく), Neo (新しく), Ecology (環境にやさしい) を組み合わせたパワーエレクトロニクス製品向けのイメージキャラクター (キャラクター) である (Smaneco (スマネコ) は東光高岳の登録商標です)。

古家 成正

エネルギーソリューション事業本部
 エネルギーソリューション製造部
 設計グループ 所属

鈴木 健司

技術開発本部
 技術研究所
 次世代系統技術グループ 所属

一般産業用スマートメーター SmaMe シリーズ^{注1)}

■ 小川 政雄
Masao Ogawa

■ 山本 宏治
Koji Yamamoto

1 はじめに

近年、電力量計を取り巻く環境には、2016年の電力小売完全自由化、2020年の発送電分離、ZEH^{注2)}やZEB^{注3)}の普及、誘導形電力量計からスマートメーターへの切替え等の大きな変化があり、電力量計に求められる機能も多様化している。

東光東芝メーターシステムズ（以下、東光東芝）では、これらの新たなニーズに対応する機能を備えた一般産業用スマートメーター“SmaMe”シリーズ（以下、本シリーズ）をラインアップした。

2 特長

本シリーズは、30分値の計測・記録機能と通信機能を標準搭載し、相線式・定格・精度階級・取付構造において、お客さまの用途に沿った幅広いラインアップを特長としている。各機種の特長と主な仕様を以下に記す（表1）。

2.1 SmaMe II-TypeH^{注4)}

スマートマンションの構築をサポートするための機能を搭載したハイグレードタイプ。

遠隔通信による電源の投入／遮断および契約電流値の設定・変更ができ、スマートマンションにおける住戸の異動時の開閉制御や電流制限値^{注5)}の変更等が遠隔で操作でき、業務の効率化・省力化に活用できる（図1）。



図1 SmaMe II-TypeH

(1) 構造

通信方式を選択できるユニット構造（図1）
（PLC^{注6)}、RS485）

(2) データ

電力量（正・逆方向）、30分値（正・逆方向）、瞬時電圧・電流値、最大電流値、など。

(3) 開閉器設定・電流制限機能搭載^{注5)}

(4) 機器分離推定技術^{注7)} 対応モデル “SmaMe II-TypeHP”

リリース予定 2017年10月

2.2 SmaMe-TypeM

低圧分電盤や家庭用分電盤向けのミニタイプ。BEMSやMEMSの構築に利用されている。また、各種電力関連データを収集するためのトランスデューサーとしても活用できる（図2）。



図2 SmaMe-TypeM

(1) 構造

幅75mmのコンパクトサイズ

(2) データ

電力量（正・逆方向）、30分値（正・逆方向）、1分値、瞬時電圧・電流値

(3) 東光東芝標準電文に加え、MODBUS RTU^{注8)}に対応

(4) パルス出力と電文出力を搭載

(5) 双方向計量計器型式承認（一部定格）^{注9)}

2017年6月取得

(6) 計測電圧値・電流値表示機能

2017年6月搭載

2.3 SmaMe-TypeS

既設誘導形電力量計（表面取付前面接続形）からの置換えが容易なスタンダードタイプ。テナントビルやショッピングモールなどの自動検針システムに適している（図3）。



図3 SmaMe-TypeS



図4 SmaMe-TypeV

(1) 構造

誘導形電力量計（表面取付前面接続）と同等の端子配列

(2) データ

電力量（正・逆方向）、30分値（正・逆方向）、1分値（正方向）、瞬時電圧・電流値

(3) 東光東芝標準電文に加え、MODBUS RTU^{※8)}に対応

2.4 SmaMe-TypeV

高圧配電盤に利用されている盤埋込取付タイプ。通信機能を搭載した精密電力量計や無効電力量計をラインアップしている（図4）。

(1) 構造

配電盤への設置に適した埋込取付背面接続型

(2) データ

電力量（正方向）、30分値（正方向）、瞬時電圧・電流値

(3) 停電時表示機能^{※10)}・逆電流判別機能搭載

2.5 SmaMe-TypeR

一級基準電力量計（東光東芝開発品）の計測方式を搭載した特別精密電力量計。高精度な電力量管理が必要とされる発電所および変電所での運用に適している（図5）。

表1 SmaMe シリーズ仕様

機種群		“SmaMe” シリーズ				
モデル名		TypeH	TypeM	TypeS	TypeV	TypeR
耐候性能		普通耐候形 ^{※11)}	屋内耐候形	屋内耐候形	屋内耐候形	屋内形
精度階級		普通級	普通級	普通級	精密級無効	特別精密級
取付方法		表面取付 前面接続	表面取付 前面接続	表面取付 前面接続	埋込取付 背面接続	埋込取付 背面接続
型式承認	単方向計量	○	○	○	○	○
	双方向計量	○	○ ^{※9)}	—	—	—
計器種別	単独計器	○	○	○	—	—
	変成器付計器	—	○	○	○	○
機能	電文	現在値収集	○	○	○	○
		30分値収集	○	○ ^{※12)}	○ ^{※12)}	○
		開閉設定／電流制限	○ ^{※5)}	—	—	—
		DR信号 ^{※13)}	—	○	—	—
	東光東芝標準電文		○	○	○	○
	MODBUS RTU		—	○ ^{※8)}	—	—
	パルス出力		—	○	○	○
	停電時表示		—	○ ^{※10)}	○ ^{※10)}	○ ^{※10)}
主な仕向け先		MEMS	MEMS, BEMS, 低圧分電盤	MEMS, BEMS, 市場、空港 (誘導形置換)	高圧分電盤	発電所 変電所



☒ 5 SmaMe-TypeR

(1) 構造

配電盤への設置に適した埋込取付背面接続型

(2) データ

電力量 (正方向), 30 分值 (正方向)

3 東光高岳グループとしてのソリューション

本シリーズの各機種と東光高岳製コンセントレータ ST-iNC II をシステム連携し、MEMS、BEMS、エネルギープラントなどの検針システムとしてご提案し、多くのお客さまにご採用いただいている（図 6、図 7）。

■採用例

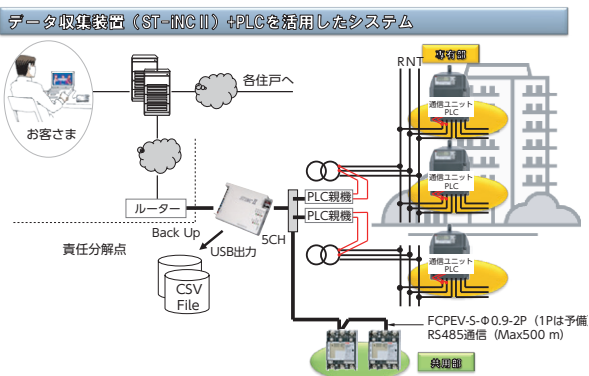


図6 MEMS 向け検針システム例

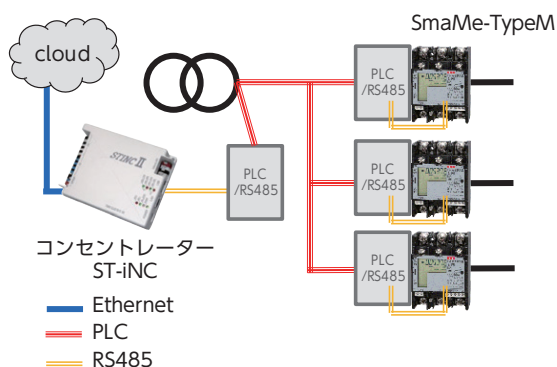


図7 BEMS 向け検針システム例

4 おわりに

本シリーズは、2013 年の SmaMe-TypeH リリースを皮切りに多彩な機能を持つ 5 機種をリリースした。今後も更なる機種・機能の拡充に努め、東光高岳と連携し、ソリューションを進化させていきたい。

■ 語句說明

注1) SmaMeは東光東芝メーターシステムズ株式会社の登録商標(商標登録第5542012号)。

注2) ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス

注3) ネット・ゼロ・エネルギー・ビル

注4) SmaMe II-TypeHは東光東芝メーターシステムズ株式会社の登録意匠（登録意匠第1530632号）。

注 5) 開閉器搭載品のみ (単相 2 線式 30 A, 単相 3 線式 60 A)

注6) PLC : Power Line Communication
PLC 通信ユニットは東光高岳の製品。

注7) インフォメティクス株式会社の機器分離推定技術に対応。同社の機器分離推定技術は、主幹の電流波形や電力値のみから、AI（人工知能）を用いて、家庭内の家電機器ごとの稼働状態を推定する技術。

注8) MODBUS はシュナイダー エレクトリック ユー
エスエーインコーポレーテッドの登録商標 (登録 3163343
号)。

注9) 双方向計量計器は、単相2線式100V、200V-30A、単相3線式 100V-60Aのみ。

注 10) 停電時表示機能の有効期間は下記。

累積停電時間：TypeM, S 4 か月間, TypeV, R 7 年間
(電池消費後も AC 電源で表示できる)

注 11) 単相 2 線式計器のみ強化耐候形。

注 12) 30 分値は MODBUS RTU では対象外。

注 13) デマンドレスポンス信号

小川 政雄

東光東芝メーターシステムズ株式会社
技術部 技術グループ 所属

山本 宏治

東光東芝メーターシステムズ株式会社
技術部 技術グループ 所属

共同検針に対応した通信ユニット

■ 久保田 卓
Masaru Kubota

■ 渋谷 真弘
Masahiro Shibusawa

■ 岡井 正雄
Masao Okai

■ 渋谷 啓之
Hiroyuki Shibuya

1 はじめに

電力の自由化に続いて、2017年4月からはガスの小売り自由化がスタートした。マンションなどの集合住宅では高圧一括受電による電気の供給と自動検針が行われており、ガス検針についても、中圧一括送りで住戸に供給し、子メーターで検針するスキームが増えることが想定される。また水道検針についても、一部ではすでに一括検針されている地域もあり、さらなる自動検針の要望や、電気・ガスと同様に自由化された場合に備える必要がある。

東光高岳では、マンション高圧一括受電事業者やテナントなどに向けて自動検針システムを導入しているが、各デベロッパおよび管理会社からは、電気に加えてガス・水道も検針に取り込みたいという要望もある。

そのような要望を受けて、一括受電自動検針システムにガス・水道の共同検針の機能追加を実現するための通信ユニットの開発を行った。

2 システム概要と主な仕様

共同検針に対応した一括受電自動検針システムの主な仕様を以下に示す。また、構成イメージを図1に、機能概要を表1に示す。

- 電力メーターに内蔵する通信ユニットに、ガス・水道メーターからのパルスを取り込んで積算値を記録し、コンセントレータ (STiNC II)^{注1)} からデータを取得する。

- データは30分ごとのパルスカウント計量値以外に、1か月ごとの指針値による課金データを取得できる。
- 電気の自動検針システムと同様に、メーターから検針値が取得できなかった場合には、コンセントレータ自動再取得が行われる。
- 定時検針以外に現在指針値や指定日時の30分指針値について、Web画面上からの操作にて取得が可能である。
- 電気のみ対応の通信ユニットと共同検針対応通信ユニットは同一システム内に設置することが可能であり、住戸とテナントが混在するようなマンションビルにも導入が可能である。
- 最大接続メーター数は、電気・ガス・水道合わせて600台まで可能である。

表1 共同検針システム 機能概要

項目	電気	ガス	水道	結果出力
定時検針	30分ごと指針値取得	メーター指針値	パルス積算値	Web CSV データ
	課金データ取得	—	メーター指針値	Web CSV データ
	自動再取得	○	○	Web CSV データ
個別操作	現在指針値取得	メーター指針値	パルス積算値 メーター指針値	Web 通信
	指定日時30分指針値取得	メーター指針値	パルス積算値	Web 通信

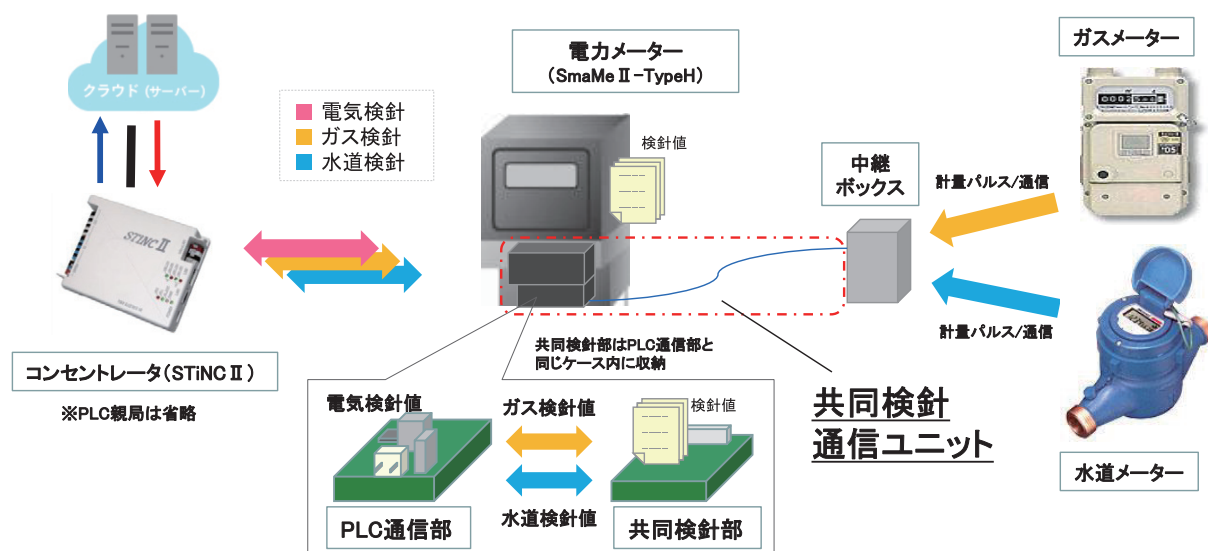


図1 共同検針システム 構成イメージ

3 特長

共同検針通信ユニットの特長を以下に示す。また、通信ユニット内部の機能ブロックを図2に、装置仕様を表2に示す。

- ・コンセントレータとの通信は、一括受電システムで採用している PLC^{注2)} 通信で行う。
- ・ガス・水道メーターの接続は、通信ユニットの中継ボックスにメーターからの通信線およびパルス線を接続するだけで対応可能である。
- ・パルス / 電文対応のガス・水道メーターを最大2台接続可能である。
- ・パルスは見える化のデータとして積算する。パルスの積算値は30分値ごとに内部メモリに記録し、最大45日分保持する。
- ・電文通信により、1か月に1回の課金用データとして指針値を取得する。
- ・共同検針対応の通信ユニットは電気のみ対応の通信ユニットと同一形状であるため、共同検針対応に切り替える場合、電力メーターは交換せずに通信ユニットのみの交換で済む。このため、停電が不要で、容易に電気のみ自動検針システムから共同検針システムへの機能拡張が可能である。

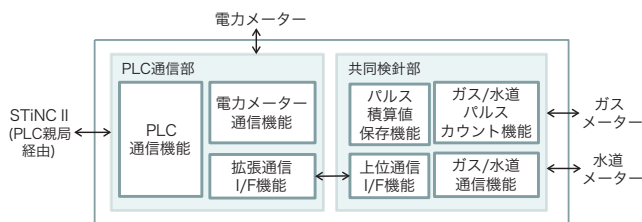


図2 共同検針通信ユニット 機能ブロック図

表2 共同検針通信ユニット 装置仕様

項 目		仕 様
共通	電源	供給電源 DC 5 V (電力メーターより供給)
		消費電力 2 W 以下
	環境	使用温度 -10~60℃
		相対湿度 20~85%RH 以下 (結露なきこと)
	構造	メーター端子カバー内に装着
PLC 通信部	通信 IF	通信方式 ARIB STD-T84 特別搬送式デジタル伝送装置
		外部接続 AC 100/200 V (50/60 Hz) メーター端子ブロックに接続
共同 検針部	ガス 通信 IF	通信方式 8 bit 電文
		パルス入力 無電圧接点 パルス ON/OFF 時間 100 ms 以上
	水道 通信 IF	通信方式 東京都水道局通信仕様準拠
		パルス入力 無電圧接点 パルス ON/OFF 時間 100 ms 以上

4 まとめ

高圧一括受電自動検針のビジネスは同業他社との競争も激しくなっており、価格面だけでなく新しいサービスに対応していくなど付加価値を高めていく必要がある。すでに実績のある PLC を活用した共同検針通信ユニットを提案することで、効率的かつ高品質な検針システムを実現することが可能となる。

マンション向けの SmaMe II -TypeH^{注3)} だけでなく、テナントビルや商業施設に適用される SmaMe-TypeM^{注4)} をターゲットにしたテナント向けでも共同検針の要望は多く、そのような要望に応える新たなシステム・製品の提案を行うことで他社との差別化を図っていく。

■語句説明

注1) STiNC^{※1} II：インターネットを通してさまざまなシステムを構築可能な汎用ゲートウェイ装置（東光高岳製）

注2) PLC：PowerLineCommunication の略で、電気エネルギーを供給する電力線に高周波の通信用信号を重畳して伝送させることにより、電力線を通信ケーブルとしても使用する技術

注3) SmaMe^{※2} II -TypeH：高圧一括受電マンション・スマートコミュニティ用のスマートメーター（東光東芝メーターシステムズ製）

注4) SmaMe^{※2}-TypeM：コンパクトタイプの一般産業用スマートメーター（東光東芝メーターシステムズ製）

※1 STiNC は株式会社東光高岳の登録商標

※2 SmaMe は東光東芝メーターシステムズ株式会社の登録商標

久保田 卓

技術開発本部
技術研究所 ICT 技術グループ 所属

渋谷 真弘

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

岡井 正雄

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

澁谷 啓之

技術開発本部
技術研究所 ICT 技術グループ 所属

EcoQuest (920 MHz 無線通信) の新製品 (サーモパイル子機) のご紹介品

■ 蓬萊 康行
Yasuyuki Hourai

■ 永岡 英明
Hideaki Nagaoka

1 はじめに

ユークエストは、無線によるエネルギー監視ソリューションを容易に実現できる通信システム EcoQuest^{注1)}を開発し、販売してきた。事務所あるいは店舗などの建屋内における温湿度の測定や、デマンド監視のための電力量計測等に採用していただいている。

EcoQuest の営業活動を進めていく中で、非接触での温度測定のニーズが設備監視の分野で多いことがわかり、非接触式温度センサを搭載した製品を開発した。

本稿では、EcoQuest の新製品となる、非接触式の温度センサを搭載したサーモパイル子機を紹介する。

2 製品概要

本製品は、省電力モードをサポートしているハイマン社製のサーモパイルアレィセンサを温度センサとして搭載し、被測定物が発する赤外線を測定することで、測定物の表面温度を測定する。また、給電方式として電池給電を採用しており、無線による温度測定データの送信と電池駆動の特長から、設置場所を選ばず、測定対象の温度変化を非接触で監視することができる。

図1に製品の外観を示す。本製品正面の黒い円形部が温度センサ部となる。

電池は、EcoQuest の温湿度子機で実績がある自己放電率の少ないリチウム一次電池を採用している。設計上の電池寿命は、毎分64点のデータを測定し、親機へ測定データを無線送信する動作環境（再送は発生しない想定）で、約1年間の動作が可能である。



温度センサ部

図1 製品外観（正面，斜左面）

温度センサは、エリアセンサ（横16×縦4セル）を採用しており、温度センサ部を測定対象の方向に向けることで測定を行うことができる。

なお、オプションで本機の向きを確認するためのレーザーポインタを用意する予定である。

本製品の取り付け方法の例として、監視カメラなどに用いられる雲台に固定したようすを図2に示す。

温度測定結果の表示画面例を図3に示す。エリアセンサで測定された横16×縦4の各セルの温度データは、同様に配置された測定結果の表示画面で確認することができる。図3のように、温度測定の結果は数値表示だけでなく、測定値を色分けして表示することも可能である。

3 製品仕様

本製品の主な仕様を表1に示す。



図2 本製品を雲台に取り付けた例

EcoQuest サーモパイルセンサ [HTPA_16×4R1] 子機(0015CC00100014DE)

C15	C14	C13	C12	C11	C10	C09	C08	C07	C06	C05	C04	C03	C02	C01	C00	/
25.3	26.7	26.2	26.1	25.6	26.6	27.7	30.0	29.5	28.6	29.0	29.0	28.7	27.0	26.0	25.0	R00
27.3	26.0	25.7	26.1	27.2	30.0	31.8	32.2	32.1	32.0	32.0	32.7	32.0	26.0	26.1	25.1	R01
25.5	27.2	26.5	26.2	26.3	30.3	32.3	31.6	32.6	31.6	32.1	31.6	31.2	26.0	25.2	25.5	R02
27.7	28.0	27.5	27.0	27.7	30.8	32.5	33.0	33.2	32.0	32.2	32.5	32.6	27.7	26.7	27.5	R03

図 3 温度測定結果の表示画面例

表 1 本製品の主な仕様

項 目	内 容	備 考
特定無線設備の種別	証明規則第 2 条第 1 項第 8 号の無線設備 特定小電力機器	
無線周波数	920 MHz 帯 (922.5 MHz～927.9 MHz)	
工事設計認証番号	001-A00427 または, 001-A03213	
サイズ	W 80 mm × H 80 mm × D 25.5 mm	突起を除く
電源	専用電池	
センサ	サーモパイルアレィセンサ 測定可能温度範囲： -50℃～+1,100℃	センサ単体での性能
動作温度範囲	0℃～+55℃	結露なきこと
質量	約 80 g	電池を除く
防水機能	なし	

4 用途

本製品は、以下のような監視・点検業務にご利用（ご活用）いただけます。

(1) 空調設備の点検業務

空調設備の吹き出し口温度を測定することによる設備の動作状況の確認、設備の健全性の確認。

(2) 制御盤の状態監視

高圧制御盤等接触式センサを配置することが難しい環境で温度計測を行い、盤の異常状態の有無の監視。

(3) 可動部を有する設備の状態監視

回転部等可動部を有する設備の可動部の温度を非接触で測定することにより、オイル切れ、偏芯等による温度上昇の監視。

■語句説明

注 1) EcoQuest：ユークエストの 920 MHz 特小無線センサネットワーク応用製品の製品名。

蓬萊 康行

ユークエスト株式会社
営業本部 営業部 所属

永岡 英明

ユークエスト株式会社
技術本部 神戸システム部 所属

フォトマスク欠陥検査装置 MIS-C1005

■ 西野 佳昭
Yoshiaki Nishino

1 はじめに

半導体部品の製造に使用されるフォトマスクはガラス基板にクロムを遮光膜として回路パターンが描画された原版である。フォトマスク欠陥検査装置は、フォトマスク上の微細な欠陥（欠け、突起、ホール、パーティクル等）の検出を行うことにより半導体の品質維持に重要な役割を担っている。

今回商品化した MIS-C1005 は 2.5 inch から 9 inch までの半導体用フォトマスクに対応している。

2 概要

本商品は透過照明、反射照明および透過と反射の同時照明の 3 種類の欠陥検査機能を有し、さらに 1 μ m のパーティクルを検出することができる。

欠陥検出結果は、高倍率のレビューカメラで観察することができ、また保存した検査結果および画像により遠隔レビュー可能なオフラインレビュー機能を有している。さらに、検出した欠陥情報は PC やサーバなど外部機器へ送信することもできる。

3 仕様

MIS-C1005 の仕様を表 1 に、外観を図 1 に示す。

表 1 フォトマスク検査装置の仕様

項 目	仕 様
検査対象	バイナリ（クロム）
最小検出感度	1 μ m
検査動作	スキャン方式 (TDI センサ使用)
検査方式	マスタマスク比較検査, マスタ DIE 比較検査, DIE-DIE ^{注1)} 比較検査, DIE-DB ^{注2)} 比較検査
検査タクト	11 分（6 inch マスク最大検査エリアの DIE-DB 検査時）
寸法	W 1,190 mm × D 1,165 mm × H 1,800 mm
質量	1,200 kg

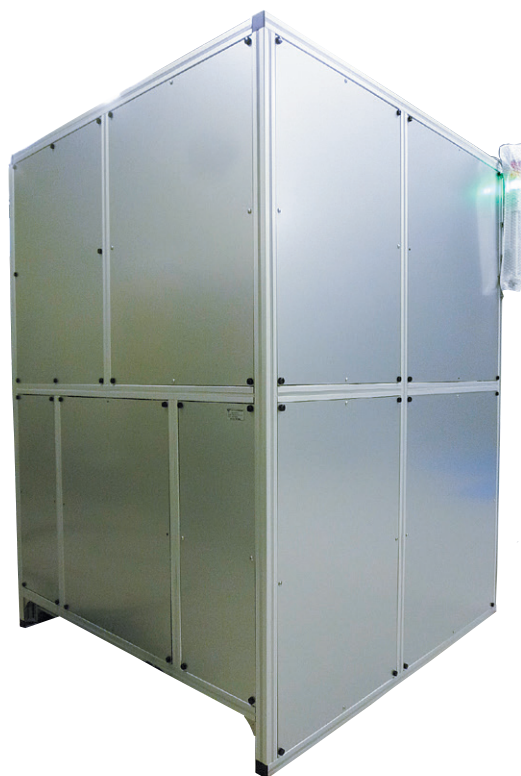


図 1 MIS-C1005 の装置外観

4 特長

本商品は、従来の東光高岳フォトマスク欠陥検査装置の機能を踏襲しつつ、これまでのラインナップではカバーしていなかった性能を低価格帯で実現した製品となる。従来機種との主な違いは、マスタマスク比較検査機能の追加、演算用クラスタマシンをなくすことにより低エネルギー消費化を実現したことである。

最小検出感度が 1 μ m とローレンジ性能帯としながらも、CAD 情報をもとに欠陥を検出する DIE-DB 検査機能を搭載している。

■ 語句説明

注 1) DIE-DIE：フォトマスク同士で比較検査を行う方式

注 2) DIE-DB：描画した CAD 情報と比較検査を行う方式

西野 佳昭

光応用検査機器事業本部
検査機器製造部 開発グループ 所属

小山地区特高変電所の設備更新 ～最新技術を駆使した「スマート変電所」へ～

1 はじめに

東光高岳では、小山地区特高変電所の受変電設備を全面的に更新する。

新設備には東光高岳の最新技術を取り入れた高効率・環境配慮型の機器を採用し、電力監視、劣化診断などの見える化機能を備えた「スマート変電所」仕様とした。また設置工事には、‘省スペース’、‘工期短縮’、‘低コスト’といった施工者の要望に最大限応えられる工法を採用した。

2 新設備の概要

- (1) 受電電圧：66 kV
- (2) 受電方式：2 回線受電 CB2 台（本・予備方式）
- (3) 引込方式：架空引込み
- (4) 契約電力：4,400 kW
- (5) 回路構成：2 バンク方式
(3 kV 配電用と 6 kV 配電用)
高圧母線を区分別閉器で区分
- (6) 受電用開閉装置：VCB 型 C-GIS



図 1 現設備の外観



図 2 新設備の外観

- (7) 主要変圧器：N₂ 密封形油入変圧器
定格容量 7,500 kVA
二次側電圧 3 kV/6 kV 切替

3 更新の基本方針

- (1) 高効率・環境配慮型変電所とする。
高効率機器や環境配慮型機器など社会ニーズに適合した機器を採用。
 - ・ VCB 型 C-GIS（新規開発機器）
 - ・ パーム油変圧器（環境配慮型機器）
 - ・ シリコン油変圧器（防災型機器）
 - ・ エコ・スマート配電盤（コンパクト機器）
 - ・ 監視・制御システム（MUDIC+FEMS）
(見える化機器)
- (2) スマート変電所とする。

【スマート化】

機器の状態監視のための各種センサーを設置し、データの収集・分析等により劣化診断を実施。

【見える化】

エネルギー監視システム（FEMS）を導入し、エネルギーの見える化により省エネ。

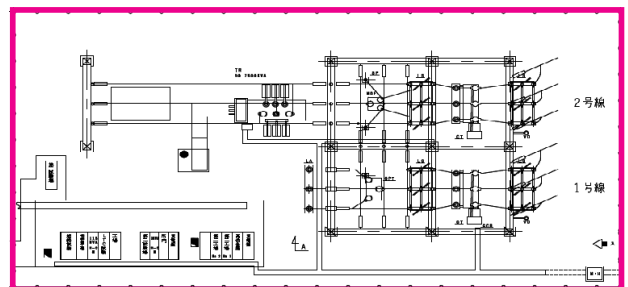
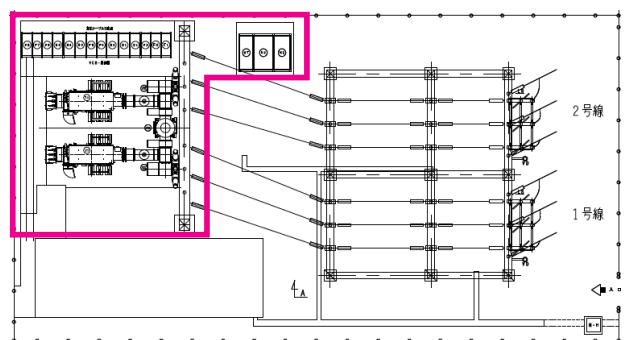


図 3 現設備の配置



設置面積が従来の約 1/4 に

図 4 新設備の配置



製品の特長

- ・引込ブッシングにポリマー碍管を採用し、重量を軽減することで耐震性能を向上。
- ・受電 CB と二次 DS ユニットを区分することで受電 CB の緊急メンテナンス・交換作業等も片側受電で構内停止することなく実施可能。

図 5 VCB 型 C-GIS の外観

(3) 最適な工法を採用する。

【省スペース】

- ・ C-GIS やエコ・スマート配電盤の採用により設置面積を従来の約 1/4 に圧縮。

【工期短縮】

- ・敷地の一角に新設備一式を完成させ、配電線のみ接続換えすることにより、わずか 2 日の停電で切換えを完了。

【低コスト】

- ・工期の短縮による工事費の低減。
- ・引き込み口等の使用可能な現有設備を継続使用する工法を採用し、設備費と工事費を低減。

(4) 将来の構内電圧変更など拡張性を備える。

東光高岳個別の将来的ニーズとして、順次 6 kV へ昇圧していけるよう以下の対応を実施。

- ・二次側電圧を 3/6 kV に手動でタップ切換できる変圧器を用意。
- ・ 3 kV 配電用と 6 kV 配電用の変圧器をそれぞれ用意。
- ・ 2 台の変圧器の二次側を共通母線で接続し、区分開閉器により系統を区分。

4 展示会への出展

2017 年 5 月 17 日～19 日に東京ビッグサイトで行われた「第 65 回電設工業展 JECA FAIR」には、パームヤシ脂肪酸エステルを使用した変圧器、シリコンオイルを使用した防災型変圧器、真空遮断器 (VCB) を採用したガス絶縁開閉装置 (C-GIS)、エコ・スマート配電盤など、小山地区特高変電所に設置予定の環境配慮型製品を出展し好評を博した。

1 はじめに

東日本大震災後、従来の大規模集中電源に依存したエネルギー供給システムからの脱却とともに、急速に普及している再生可能エネルギー（以下、再エネ）を安定的かつ有効に活用することを課題とし、電力システム改革を政策にかかげている。国はこうした対応の一つとして、需要家の蓄電池などのリソースを遠隔制御し、電力の需給調整に活用するバーチャルパワープラント^{注1)}構築実証事業（補助金）を2016年度より始めた。

2 VPP への取り組み

東光高岳は、電力流通機器やエネルギーソリューション事業などで培った技術や知見を活用し、バーチャルパワープラントの構築実証事業に参画している。

これまでは分散するエネルギーリソースが系統に与える影響のシミュレーションと、これを緩和するための出力制御方法や、リソースアグリゲーター（以下、RA）^{注2）}の取り引きに不可欠な各種計量など課題抽出や対応方法の検討を行ってきた。

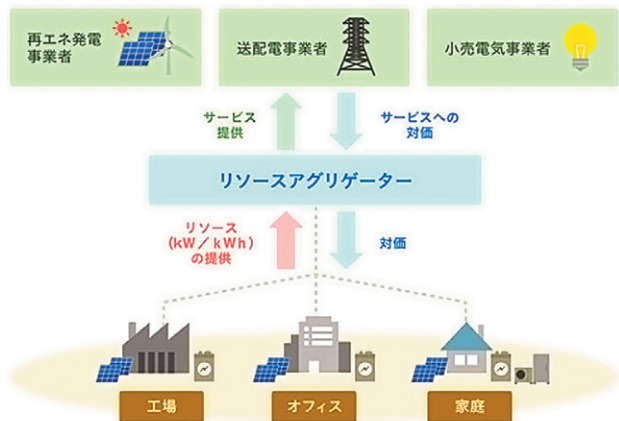


図1 バーチャルパワープラント (VPP)



図2 配電ネットワーク実証試験場

今後は、東光高岳の小山事業所の研究設備の一つである配電ネットワーク実証試験場（図2）を活用し、系統安定化やRAを核として展開される事業化にかかわる計量方法について制度的課題の解決とサービス提供などを目指した取り組みを行っていく。

■ 語句說明

注1) バーチャルパワープラント (VPP: Virtual Power Plant) とは、太陽光発電や風力発電などの再エネ導入拡大と省エネルギー・電力負荷平準化による系統安定化コストの低減を目指し、地域に分散して存在するエネルギーリソースを遠隔制御 (IoT) 化するとともにリソースアグリゲーターが統合制御し、一つの発電設備のように機能させる仮想発電所である。

注2) リソースアグリゲーター (RA : Resource Aggregator) とは、再エネ発電事業者、需要家の負荷、蓄電池などの分散エネルギーリソースを束ねて統合制御する事業者。例えば、再エネ発電事業者に対しては、電力会社から出力抑制指令を受けた際、需要家の蓄電池への充電などにより発電機会損失を回避し、需要家には蓄電池の提供への対価を提供するなど、電力にかかわる各種事業者や需要家それぞれがメリットを享受できるサービスを展開することでその対価を得る。

発電所用 VCT の納入 (11 kV および 66 kV)

1 概要

2020 年までに発送電分離が行われるのに伴い、発電所に電力取引用計量装置の設置が義務付けられた。

オープンタイプの変電所に計量用の VCT (計器用変圧変流器) を設置する場合、通常、しゃ断器と断路器の間に増設することになる。

従来の三相一括 VCT を増設するためには、しゃ断器を移設するなどして、VCT の設置スペースを確保する必要がある。

今回、既存の空きスペースに設置可能な VCT として屋外用分割形モールド変流器 (CT)、油入変流器 (CT)、油入計器用変圧器 (VT) などと組み合わせることで計量用の VCT として構成することができ、停電期間の短縮、改修費用の低減につながる提案活動を行ってきた。

その結果、東京電力ホールディングス株式会社の水力発電所 2 個所に納入することができた。

2 納入実績

1.1 川中発電所

(1) 納入仕様

- (a) VT : 11 kV/110 V 屋内用モールド VT
2 台 (東光高岳形式 PD-5)
- (b) CT : 1,000 A/5 A 屋外用分割形モールド CT
2 台 (東光高岳形式 OCA-11BZ)

(2) 納入日 : 2017 年 1 月

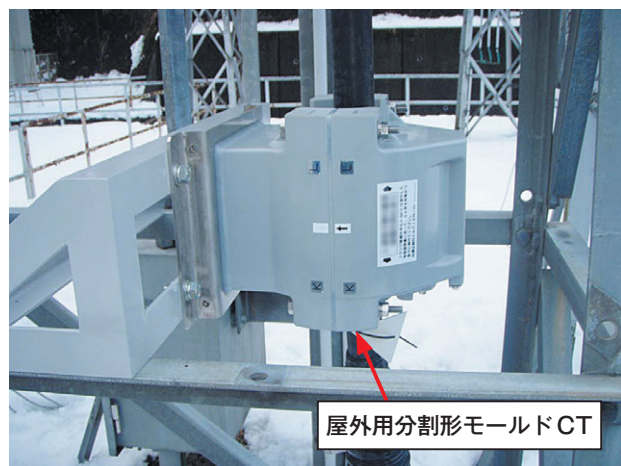


図 1 屋外用分割形モールド CT の設置状況

※分割形 CT にすることで、高圧側母線の引き直しをせずに据え付けが可能



図 2 封印用カバー取付状況

2.1 金井発電所

(1) 納入仕様

- (a) VT : 66 kV/110 V 屋外用三相油入 VT
1 台 (東光高岳形式 VDO1-66)
- (b) CT : 2,000 A/5 A 屋外用单相油入 CT
2 台 (東光高岳形式 APC-60)

(2) 納入日 : 2017 年 3 月

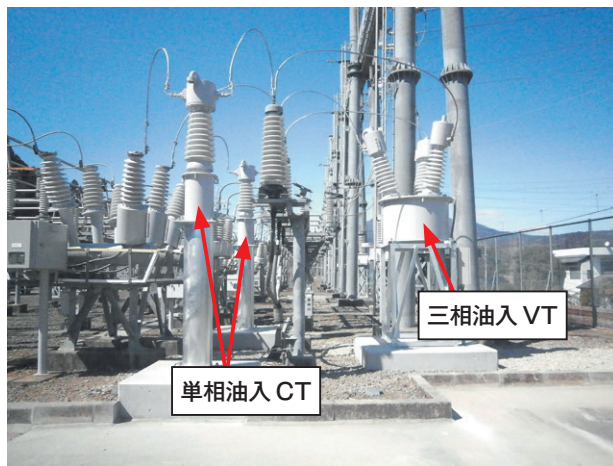


図 3 金井発電所の設置状況

3 今後の展開

今後、需要が増えていく発電所用 VCT に対して、発電所ごとのニーズに対応できる製品メニューの提案を行っていく。

太陽光発電所への 168 kV ガス絶縁開閉装置の適用

1 概要

ガス絶縁開閉装置 (GIS) は絶縁耐力の高い SF_6 ガスで満たされたタンク内に各種開閉器を配置したもので、気中設備と比較し、受電設備の据付け面積の最小化を可能とする。

今回、シャープエネルギーソリューション株式会社が受注した、株式会社クリーンエネルギー研究所のビッククリーンエネルギー潤井戸発電所（発電容量：14 MW）に 168 kV GIS を納入した。

2 仕様

納入した 168 kV GIS の機器仕様を表 1 に、受変電設備の全景を図 1 に示す。

表 1 168 kV GIS の機器仕様

定格電圧	168 kV
定格雷インパルス耐電圧	750 kV
定格短時間商用周波耐電圧	325 kV
定格電流	800 A
定格周波数	50 Hz
定格短時間耐電流	31.5 kA, 2 秒
定格ガス圧力	0.4 MPa
最低保証ガス圧力	0.35 MPa
適用規格	JEC-2350-1994

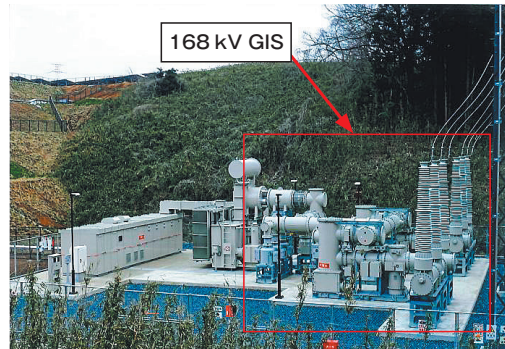


図 1 受変電設備の全景

3 特長

本製品の特長は次のとおりである。

- (1) 塩害の汚損区分（等価塩分付着密度：0.25 mg/cm² 以下）への対応として 275 kV クラスの磁器ブッシングを採用。ブッシングの荷重に耐えうるタンクを新規設計。
- (2) 電力システムの構成上、落雷時に非常に大きなエネルギーが設備に流れ込むため、従来よりエネルギー耐量の高い酸化亜鉛形避雷器を適用。
- (3) 従来器よりも操作機構配置の高さを低減し、機構操作時の操作性・安全性が向上。

デジタル形再閉路リレー

1 概要

本装置は、配電用変電所の配電線遮断器の投入制御を実施する静止形再閉路リレーの後継機として、新たに開発したデジタル形再閉路リレーである。

配電線遮断器が自動遮断した場合に、あらかじめ整定された再閉路時間および再閉路回数に応じて遮断器を投入することが可能である。

また、既設静止形再閉路リレーと互換性を持たせたことで、容易に取り替え可能とした。

2 特長

(1) 主な仕様

本装置の主な仕様を表 1 に、外観を図 1 に示す。

(2) 耐サージ性能向上

サージへの対応として、従来も電力規格 B-402 (1 kV)

表 1 主な仕様

項 目	仕 様
再閉路機能	再閉路時間：1～60 s (1 s ごとに設定可能)
	投入回数：1, 2 回
	区 間 数：1～25 区間 (1 区間ごとに設定可能)
外形寸法, 質量	W : 156 × D : 137 × H : 180 mm, 3.0 kg

の規格値を満足していたが、より耐サージ性能を向上させ、4 kV の耐量を実現した。

(3) 常時監視機能

部品故障発生時の早期の不良検出を目的とした常時監視により信頼性の向上を図っている。

(4) 強制制御機能

シーケンス確認試験が実施可能となるよう、パネル操作からの強制制御機能を実装した。

(5) 故障区間表示

故障区間表示機能を実装しており、早期復旧に役立てることが可能である。

(6) リプレース対応

盤取付け寸法、端子配列は既設設備と共通となっており、既設品との交換が容易に実施可能である。

さらに、内蔵されているリレーユニットとケースの分離が可能としており、故障取り替えの場合は裏面配線を外すことなく取り替えが可能である。



図 1 デジタル形再閉路リレー外観
(リレーユニットとケースの分離が可能)

ダイナミックレイティングシステム (DRS) 用 光式電流計測装置

1 概要

2016年10月に住友電気工業株式会社へ光式電流計測装置を納入した。本装置は、住友電気工業株式会社製の光式温度計測装置と組み合わせられ、光式電流温度計測装置として東京電力パワーグリッド株式会社の地中送電線用ダイナミックレイティングシステム (DRS: Dynamic Rating System) へ適用された。

DRSは地中送電線の温度・潮流(電流値)などの変動要素をリアルタイムに計測し、設備状態に応じた送電容量を算出するシステムである。

従来の送電容量は、最も過酷な条件を想定して算出された値であったため、DRSの適用により地中送電設備ならびに発電設備能力の有効活用が可能となる。

2 仕様

地中送電線用 DRS 用光式電流計測装置の概略構成を図1に示す。光式電流計測装置は光電流センサと電流計測盤から構成され、両者は光ファイバ伝送路で接続される。また、光式電流計測装置の仕様を表1に示す。

表1 光式電流計測装置の仕様

項目	仕様
光電流センサ	電流計測範囲
	150～3,000 A
	比誤差
	3,000 A: ±2%以内 600 A: ±3%以内 150 A: ±5%以内
	防水等級
	IPX7 (JIS C 0920)
電流計測盤	適用温度範囲
	－20～＋60℃
	最大計測点数
	16
光ファイバ伝送路 (お客さま設備)	寸法 (光ケーブル接続部)
	W: 100 × D: 244 × H: 59 mm
	通信仕様
	シリアル通信 (RS-422)
電流計測盤	電源
	DC 110 V
	寸法
	W: 350 × D: 450 × H: 2,300 mm
光ファイバ伝送路 (お客さま設備)	種別
	シングルモードファイバ (SMF)
	使用心数
	2本/光電流センサ1台
光ファイバ伝送路 (お客さま設備)	最大伝送路長
	10 km

3 特長

本装置は、光電流センサを適用することにより、以下の特長を有している。

- 遠隔地点(最大10 km)の電流値を計測可能なため、発電所から送り出す電流値だけでなく、主要な支線や場所の電流値を計測できる。
- 可とう性の高いセンサファイバを地中ケーブルに巻き付けるだけで電流計測が可能のため、既設送電設備への適用が容易である。
- 電流計測地点に電源設備が不要なこと、センサ部が高い防水性能を有していることから、水没の可能性があるマンホールや洞道内の電流計測が容易にできる。

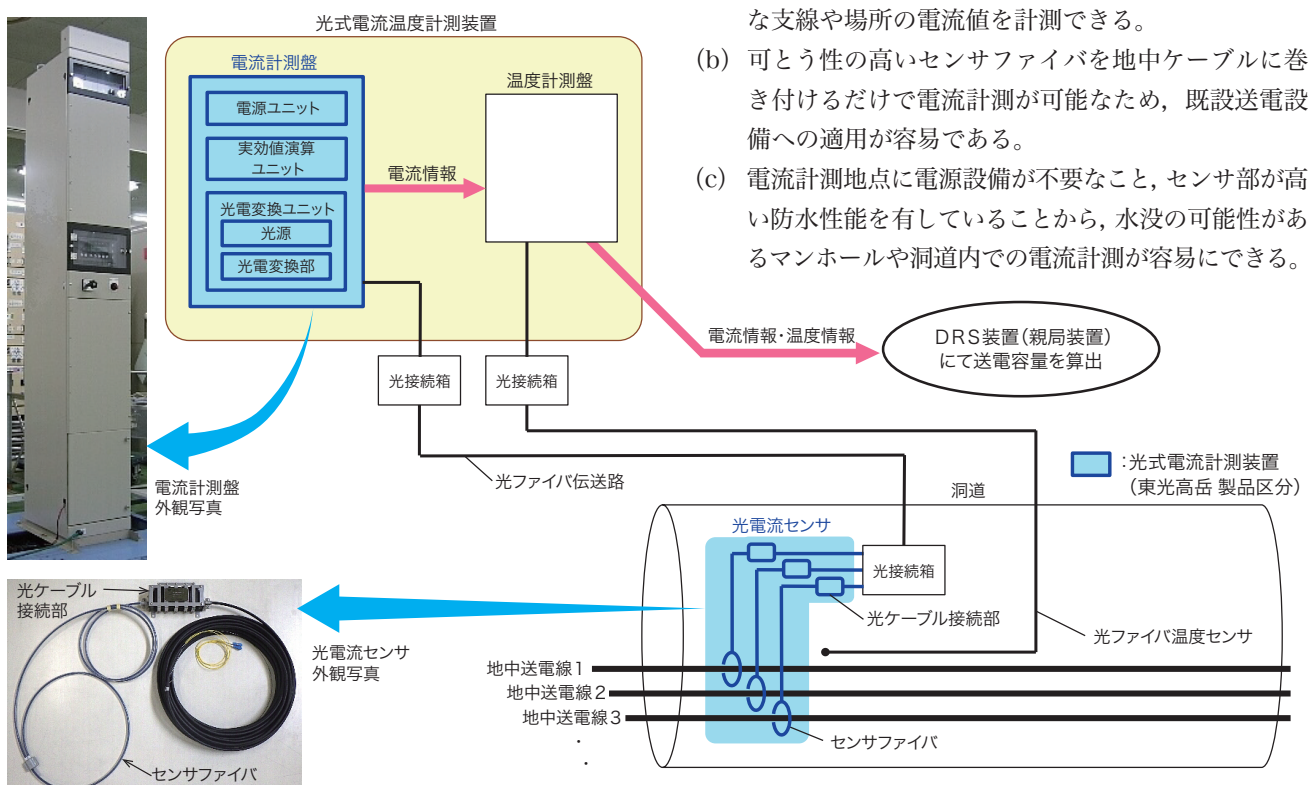


図1 DRS用光式電流計測装置の概略構成

沖縄電力株式会社向け 気中開閉器付の地上用変圧器

1 概要

地中配電線路に設置する、気中開閉器を内蔵した地上設置形変圧器である。

開閉器を内蔵することにより、回路工事ならびに保守作業の効率化が可能となる。2016 年度に沖縄電力株式会社に性能の評価をいただき、2017 年度から採用いただく予定となっている。

2 仕様

外形寸法：高さ 1,100 mm 幅 1,300 mm 奥行 600 mm

定格電圧：一次 6,600 V，二次 210/105 V

相数・定格容量：三相・50 + 30 kVA，100 + 75 kVA

高圧開閉装置：気中開閉器（T 型端末）

高圧保護装置：高圧カットアウト（限流ヒューズ内蔵）

低圧分岐回路：2 回路

3 特長

主な特長は以下のとおりである。

- ・地上高さ 1,100 mm にて開閉器を内蔵し、開閉器は地球環境にやさしい気中開閉器を採用した。
- ・高圧ケーブルの端末は、T 型終端接続部を採用し、高い保守作業性を確保した。
- ・充電部は非露出とし、高い安全性を確保した。
- ・外箱の表面処理は亜鉛溶射に防食塗装を施し、厳しい塩害環境に対応した。



図 1 製品外観

電力用エポキシ樹脂のナノコンポジット化による特性向上の取り組み

1 電力用エポキシ樹脂の高性能化の目的

電力用モールド機器（図1）は固体絶縁であるため、ガスや油による絶縁方式に比べて省スペースや省メンテナンスといったメリットがある。近年では環境負荷低減の観点からSF₆ガス削減の流れも後押しし、固体絶縁への代替ニーズはより高まっている。そのような背景から、固体絶縁材料にはその役割である機械特性や絶縁性能面等で従来よりも高い材料性能が求められており、東光高岳では電力用エポキシ樹脂の機械特性や電気特性の向上を目的として、ナノコンポジット化の研究開発に取り組んでいる。

2 ナノコンポジット化の取り組み

ナノコンポジットとは一般に100 nm以下の極微小なナノ材料を樹脂などに添加した複合材を指す。ナノ材料は少量でも膨大な比表面積を有するなどの性質から添加することで樹脂を改質し、各種特性を大幅に向上できる可能性を秘めている。そのため、さまざまな分野で活発な研究開発がなされており、近年では絶縁材料分野においても電気特性の向上などを目的とした取り組みがなされている。

東光高岳ではこれまでに、PSQ（ポリシルセスキオキサン：シリコンと石英の中間体のナノ材料）やナノMgO（酸化マグネシウム）を電力用エポキシ樹脂に添加することで、いずれも従来のミクロンサイズの方法配合技術では得られなかった特性の向上効果（他の特性は低下させずに弾性率や比誘電率を低減）を確認している（図2、図3）。

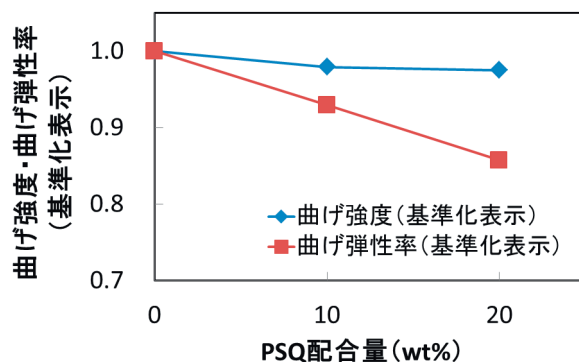
3 今後の取り組み

ナノコンポジット化による特性向上は、添加するナノ材料の材質、形状、サイズ、添加量、分散状態、表面処理によって大きく影響を受ける。一方で、ナノコンポジット化による各種特性向上のメカニズムはいまだ明らかになっていない部分も多い。しかし、ナノコンポジットの最適な配合技術により、これまでは困難であった各種特性の大幅な向上や相反する特性（耐熱性と耐クラック性等）の両立などが実現できる可能性がある。

今後も電力用エポキシ樹脂のナノコンポジット化技術の研究開発を加速し、固体絶縁材料としてのメリットをさらに高める機械特性や電気特性への効果を見極め、電力用モールド機器の適用範囲拡大に向け推進していく。

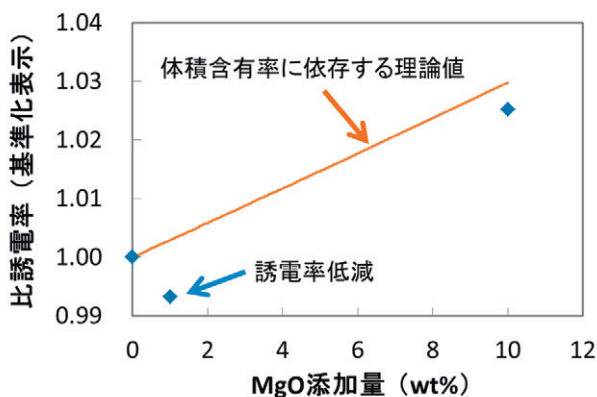


図1 電力用モールド機器



PSQ 配合により、機械強度や耐熱性を維持したまま、弾性率（硬さ）のみを低減できる効果（耐クラック性向上）を確認

図2 PSQ 配合量と曲げ強度・弾性率



ナノ MgO 添加により、構成する素材の体積含有率に依存しないナノ材料特有の誘電率低減効果を確認

図3 ナノ MgO 添加量と比誘電率

牟礼浄化苑 沈砂池電気設備改築工事 竣工

1 はじめに

東光高岳は、2015年1月、高松市上下水道事業管理者発注の「牟礼浄化苑沈砂池電気設備改築工事」を受注し、2016年1月に竣工した。

2 施設の概要

施設の概要は以下のとおりである（図1、図2）。

- (1) 処理方式：標準活性汚泥法
- (2) 処理能力：11,200m³/日
- (3) 下水排除方式：分流式

3 改築工事の概要

本工事の概要は、沈砂池設備、汚水ポンプ設備、自家発補機設備、計装設備の更新および、これらに伴う機能増設工事一式である。

本工事では、更新する機器の設置場所やケーブルルートが、既設設備とほぼ同じになるため、仮設の設備に振り替える必要があり、切り替え作業の回数が増える。さらに設備停止時間は2時間弱しか取ることができず、また一度に複数の負荷を切り替えることができないといった制約がある中での工事となるため、切り替えを連続して行わなければならないこともあった（図3）。

実施工程遵守のため、早期に綿密な工程調整ならびにお客さまとの調整を頻繁に行い、各部門が適切な時期に適切な対応をすることで、ほぼ計画どおりに現場施工が実現でき、問題なく竣工することができた（図4、図5）。

今後も東光高岳が長年にわたり培ってきた現場のノウハウと経験を活かしたエンジニアリング技術を駆使することで実現する、安全で効率的な管理・施工をととして資源の循環型社会に貢献していく所存である。

4 おわりに

竣工に当たり、高松市上下水道局下水道施設課の皆様に深く感謝する次第である。

■参考文献

- (1) 高松市上下水道局企業総務課：「平成26年度 上下水道事業年報」, p.73（平成27年10月）



図1 牟礼浄化苑（全景）⁽¹⁾



図2 牟礼浄化苑平面図（沈砂池）⁽¹⁾



図3 沈砂池仮設状況



図4 電気室完成状況



図5 汚水ポンプ室完成状況

第3回メディカルジャパン 2017 大阪 〈日本医療総合展〉 出展

1 期間・会場

開催期間：2017年2月15日～2月17日（3日間）

会場：インテックス大阪

東光高岳ブース：6号館Bゾーン

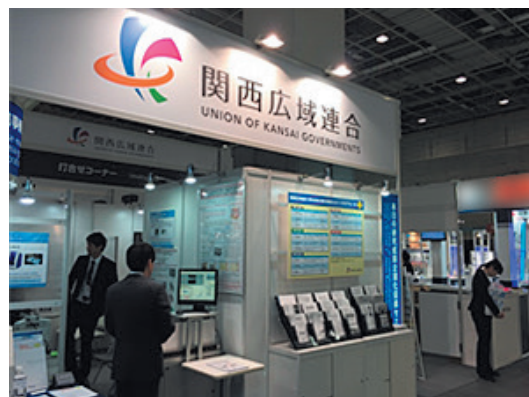
No.29-20（関西広域連合ブース内）

2 概要

本展示会は、医療IT／医療機器・設備／介護・看護製品／先端医療技術／製薬にかかわるあらゆる製品・技術・サービスが一堂に出展する日本最大の「医療の総合展」である。今年は総合展として3回目の開催で、出展社数は1,067社で、3日間の来場者数は29,311名となり、東光高岳ブースのある関西広域連合ブースにも3,250名が来場した。

東光高岳ブースでは、大阪市立大学と産学共同研究で進めているスマート Aging 皮膚診断装置の実機展示・デモを行い、10社以上のコスメ・製薬関連企業から新規問い合わせをいただいた。

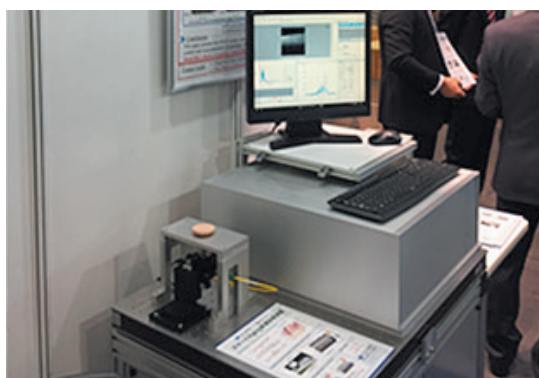
新しい市場の開拓と新規受注獲得に向けて、フォロー活動を実施している。



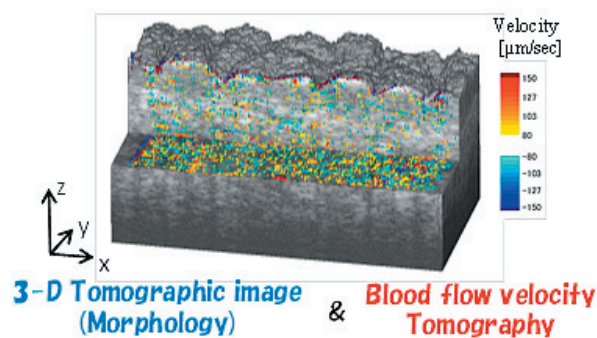
展示ブース



来訪者対応



展示物（スマート Aging 皮膚診断装置）



計測例

13th International Conference and Exhibition on DEVICE PACKAGING 出展

1 期間・会場

開催期間 2017年3月7日～3月8日(2日間)
 会場 Fountain Hills, Arizona USA
 WeKoPa Resort & Conference Casino

2 概要

iMAPS (International Microelectronics Assembly and Packaging Society) が主催する半導体の2.5D/3D実装技術に関する国際学会(13th International Conference and Exhibition on DEVICE PACKAGING)が米国アリゾナ州で開催され、東光高岳は、対流加熱式温度可変反り検査装置およびその技術に関してポスターセッション(学会発表)とブース展示を行った。

展示会には全世界から63社が出展し、約600名の来場者があった。今回、コーポレートスポンサーの登録を行い、会場の入り口や展示会プログラムに社名/ロゴマークを掲載することでも、業界における東光高岳の認知度向上を図った。

東光高岳ブースには約20社の来訪があり、東光高岳の技術や装置に高い関心をもっていただけた。

海外からの新規受注獲得に向け、継続フォローをしている。



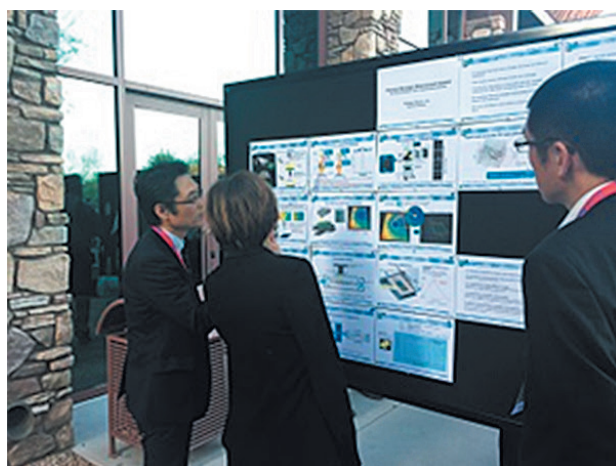
東光高岳ブース



会場入り口



Corporate Sponsor



ポスターセッション

注) 本稿に記載されているロゴ、社名は、それぞれ各社が商標または登録商標として使用している場合があります。

第 21 回ソウル国際総合電気機器展 2016 (Seoul International Electric Fair) への出展

1 期間・会場

展示会名：Seoul International Electric Fair 2016 (SIEF2016)

主 催 者：韓国電機産業振興会 (KOEMA)，韓国電力公社 (KEPCO)

出展期間：2016 年 10 月 5 日～10 月 7 日 (3 日間)

会 場：韓国 (ソウル) COEX ホール B (会場面積 8,010 m²)

出展者数：217 社 (430 ブース)，うち海外 6 か国 13 社

入場者数：約 10,000 人

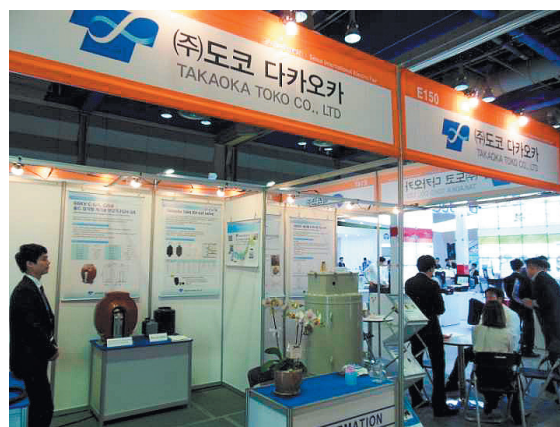


図 1 東光高岳ブース

2 概要

東光高岳は、2016 年 10 月 5 日 (水) から 10 月 7 日 (金) に開催された「ソウル国際総合電気機器展 2016 (SIEF2016)」に出展し、ガス絶縁形計器用変圧器 (ガス VT)、モールド形計器用変圧器、風力発電設備用雷電流計測装置^{注1)} などを中心に紹介した (図 1)。

韓国電力公社では、近年の電力需要の伸びに伴い、特に 345 kV 変電所の増強を進めている。

変電所に設置されるガス絶縁開閉装置 (GIS) に東光高岳ガス VT を採用していただくことを目的に韓国の GIS メーカーに製品の特長をアピールする機会として出展した。

今回、東光高岳が出展した 345 kV ガス VT は従来品と比較して小型化を図り、モデルチェンジした製品である (図 2)。

GIS メーカーからの反響も大きく、採用に向けたお問合せをいただけたことから今後の新規受注獲得に期待している。



図 2 345 kV ガス VT

■語句説明

注 1) 落雷の検知と外部への通知、電荷量 (エネルギー) の計測といった、風力発電設備の雷被害再発防止対策に必要な機能を有する雷電流を計測するシステム。