

電力流通システムマネージメントが 拓くスマート社会への道



大久保 仁*
Hitoshi Okubo

電気エネルギー供給は、発電所から需要家までの電力流通システムを通して現代社会における産業活動、社会活動を支える社会インフラである。また災害時のライフラインでもある。社会活動の電気依存度は上昇を続け、電気エネルギー供給は社会全体のセキュリティの根幹をなすものである。その結果として電気の品質や供給支障に対する感受性はより鋭敏になり、電気の安定供給・省エネルギーの要求はますます高まっている。また近年、頻に巨大化している台風・洪水などの自然災害の懸念や、3.11 東日本大震災で経験した広域電源・システムの長期脱落などの教訓から、従来とは違ったフェーズの大規模システムダウンなどの未然防止技術の確立が求められている。さらに、スマートグリッドや環境適合型の将来の安全・安心スマート社会を目指して、電気エネルギー供給技術すなわち電力流通システムの果たす役割への期待は大きい。

まず社会の持続的発展とセキュリティの確保には、電気エネルギーの①安定供給、②高効率・省エネルギー、③経済性の3点が最も重要となる。電気エネルギー供給の生命線は電力機器・設備を中心とした電力流通システムにあり、この実現のためには電力機器・設備と流通システムのマネージメントに期待がかかる。たとえば、定常時はもとより災害発生の非常時においても、個々の需要家、地域、公共施設、あるいは広域について、①電力流通インフラと他のインフラ相互間の協調、連携、支援システム、②バルクパワーシステムと分散電源との連携・協調、③直流システムの活用、④配電と変電を一貫した広域スマートネットワーク、などのマネージメントシステムが考えられる。

次に将来社会においては、分散電源の導入促進、エネルギー貯蔵技術の導入、電気自動車への移行などの社会形態の変化から、電気エネルギー供給が分散型双方向性を指向するであろう。これには電力機器・システムにおいて①直流・パワエレによる制御性の飛躍的向上、②機器センシング・診断性能の向上、③ICT 情報通信技術の活用などが考えられる。しかしこれに加えて、今後は電力マネージメントの視点がこれまでの電力供給側から需要家側にシフトしていくと予想される。電気エネルギーのステークホルダーすなわち、使用者、消費者、需要家、地域社会などに技術の受容性が委ねられるようになるであろう。すでに分散電源などで一般家庭や事業者を含めて、電気の供給者と需要者との共存が始まっている。一般社会の使用者、利用者への技術的説明責任や情報発信と、利用者側からみた、広い意味での魅力的な電気エネルギー供給技術・情報の提供が求められる。

このように社会が電気依存度を高めていくに合わせ、電気エネルギー供給技術は他のより多くの社会システムと積極的に連携・協調を図ったマネージメントシステム構築が必要である。

今回、電力機器と電力流通システムのトータルマネージメントを目指す(株)東光高岳の発足にあたり、将来社会に相応しい次世代電力機器・システム技術の社会への提供を待望する。将来にわたって電力流通技術、電気エネルギー供給技術が一般社会から受容され、信頼され、そして期待されることこそが次世代安全・安心スマート社会につながるものと信じている。

*愛知工業大学 工学部 教授

ごあいさつ

東光高岳技報の創刊に寄せて



代表取締役社長
高津 浩明

高岳製作所グループと東光電気グループがひとつになって初めての技報を発刊することとなりました。双方の技術の粋、とりわけ独自性のある技術論文や製品開発の話題をしっかりとこの小冊子に織り込んでいくつもりであります。みなさま方の叱咤激励を頂戴し、お役に立てる技報に育てて参りますのでご愛顧のほどお願い申し上げます。

さて、技術開発は極めて高い専門性を競いますので、その専門分野で基礎から始めて試行錯誤を重ね熟達する必要があります。日本古来の芸事では「守・破・離」の概念があります。何事もひとつの形から入りそれを繰り返すことでコツを掴み（守）、さらに習練すると独自の工夫ができることに気付き（破）、そしてついには個性的なモノづくりでひとつの一派を形成できるほどになる（離）。ひところ「セレンディピティ」（serendipity= 思わぬものを偶然に発見する能力）が話題になりましたが、限らない習練と失敗の中からも何かを掴もうとする意気込みがあってこそ新たな発見に出会うということなのでしょう。他人が生み出した設計理論を常識として鵜呑みにすると、背後に潜んでいる肝心のノウハウがわからず思わぬ落とし穴にはまってしまう危険があります。他人の技術を模倣することは効率的ですが、それに頼り切ってしまうはいけません。模倣を超えて自分なりの創造にたどり着いてこそ、その技術は身につく、お客さまに喜ばれる技術開発につながります。幸い、東光高岳は100年にならんとする社歴において、脈々と伝えられてきた愚直なモノづくり道があります。

もうひとつ、「知の揺らぎ」が必要であります。同じ仲間同士での議論ばかりではその分野の常識の陥穽にはまる恐れがあります。知の劣化です。それを避けるには他分野の異質の知を入れ込んで、揺らぎを起こすことが肝要です。学際的であれということが昔はよく言われました。多様な発想の意見が飛び交う「場」を設ければ、きっと将来の新しいコア技術が芽生えるはずです。高岳製作所と東光電気はお互い隣り合った分野の技術開発を手がけてきましたが、培ってきた暗黙知は異なります。この違いを上手に独創的な技術開発につなげていくつもりです。

科学と技術ではアプローチの仕方に違いはあるでしょうが、「守・破・離」と「知の揺らぎ」は共通項ではないでしょうか。

新生東光高岳の技術開発もこの視点を忘れずに邁進して参りますのでご支援を重ねてお願い申し上げます。

総論～新たな創業への取組～

1. はじめに

2014年4月に東光電気と高岳製作所は、経営を統合し(株)東光高岳として発足した。互いに80余年、90余年という長い歴史を有し、これまで変電・配電・計量器などの電力流通関連製品を主力として、様々な製品をお客さまに提供してきた。

また、今後、再生可能エネルギーの拡大に対応した送配電システムの高度化、需要家も含めた効率的なエネルギー利用を可能とするスマートグリッドなどへの対応がますます重要な位置付けとなっている。

効率的・安定的な次世代のスマートグリッドを構築し、省エネ・創エネ、蓄エネ等をサポートするために、東光高岳では図1のような事業本部制を敷き、それぞれのお客さまに対し、ワンストップで製品・サービスの提供を実現する体制をとっている。

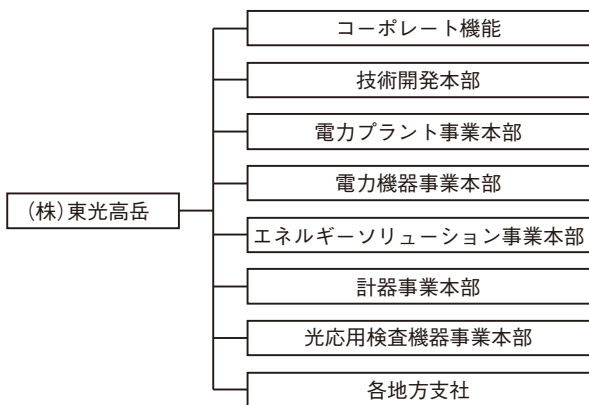


図1 (株)東光高岳 組織概要

2. 東光高岳の保有する技術と製品

東光高岳グループで保有する技術と製品を図2に示す。創業以来培ってきた高電圧・大電流技術、計測技術をもとに、絶縁材料技術、制御技術と並び、近年では欠かすことのできないIT・伝送技術を取り込み、これら5つの技術をコア技術として、スマートグリッドやEMSに進出している。製品展開としては、これらのコア技術をベースにその他の様々な技術を融合させることで、超高圧変電所から配電ネットワークまでの開閉装置・変圧器、監視制御システム、電力を計測するスマートメータ、電力・動力を制御するパワーエレクトロニクス

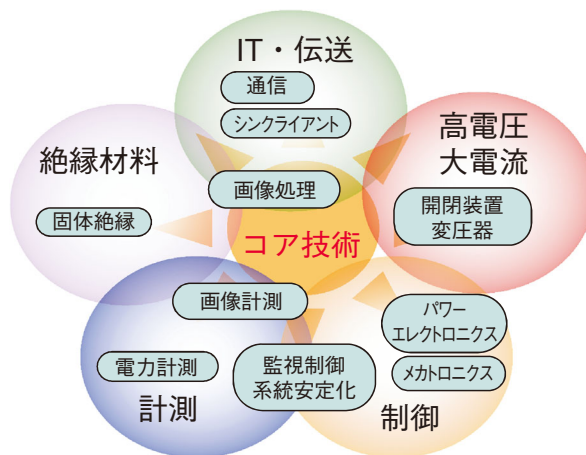


図2 東光高岳で保有する技術と製品

ス・メカトロニクス、画像処理技術から発展した光応用検査機器（三次元外観検査装置）などがある。

全社共通の基盤技術において、解析技術では、電力系統における諸現象と機器の動作を確認・検証する系統解析、機器の耐震性や压力容器内部の応力などを評価する構造解析、変圧器内部の絶縁油の挙動や遮断器のガスの流れを評価する（熱）流体解析などの技術を保有している。試験技術では、短絡発電機を保有し、遮断現象、大電流挙動の各種試験研究や高電圧下における絶縁協調の評価等の試験研究を実施している。材料技術では、絶縁材料、磁性材料を中心に各種材料の特性評価を行っている。また、走査電子顕微鏡付電子線マイクロアナライザ、X線回折装置など各種分析機器を用いて、異物・付着物などの未知試料の元素分析、金属材料などの破面・構造観察、材料の特性評価を行っている。

3. 各事業領域での保有する技術と製品

各製品・サービスの詳細については、各特集記事に記し、ここではその概要を紹介する。

(1) 電力プラント事業

電力プラント事業では、主に変電所などに設置される大型変圧器、ガス絶縁開閉装置（GIS）、GISに用いるガス変成器、断路器、配電盤、固体絶縁開閉装置、モールド変圧器、それらの制御装置として、保護制御リレー、監視制御システムを扱っている。これらは、電力会社の変電所、需要家の受変電設備で利用されている。

これらの機器の開発では、高電圧絶縁・大電流遮断技術はもちろん、解析技術・試験技術を駆使して高品質な

機器を実現している。

(2) 電力機器事業

電力機器事業では、主に配電系統に用いられる機器の事業展開を図っており、高圧変圧器、開閉器、モールド変成器などが対象となる。

変圧器では、民需向けのトッランナー変圧器と電力会社向けの柱上変圧器において、高効率・高品質な変圧器を開発・製造している。また、再生可能エネルギー普及に伴う電力系統の電圧上昇に対応させるため、配電系統電圧変動の抑制に有効な負荷時タップ切換装置付柱上変圧器もそろえている。

開閉器においては、高電圧下における投入・遮断現象、それらを実現するための機構、絶縁媒体として気中、真空、SF₆などの絶縁要素など多くの機能を結集して成り立っている。

配電自動化機器では、従来から取り組んできた配電線搬送による配電機器の制御に加えて、スマートグリッドに対応するため、計測・伝送・通信など最新の技術を導入して、配電線の電圧・電流情報を用いた配電ネットワークの制御において、新機能を発揮している。

モールド変成器においては、固体絶縁を実現するための絶縁材料、エポキシ樹脂硬化プロセスの解析・最適設計技術をはじめ、高い誤差階級を実現するための巻線技術などが凝集されている。

(3) エネルギーソリューション事業

エネルギーソリューション事業は、PCS（パワーコンディショニングシステム）、蓄電装置などに代表されるパワーエレクトロニクスと xEMS（xEMS：BEMS, FEMS, HEMS, CEMS などの総称）が大きな柱となる。

パワーエレクトロニクス分野では、スマートグリッドを実現するための交直双方向変換技術やパワースイッチング技術が主要となっている。また xEMS では、電力量、各種環境計測用のセンサ技術、分散処理や GW を司るフォグコンピューティング、それらや上位との伝送技術など様々なシステム・形態を構成している。

(4) 計器事業

これまで環境負荷低減を前提とし、主に東京電力で使われてきた誘導型電力量計のリユースとして、検定満了機器に対し、修理事業及び失効替工事をメインとして展開しているが、今後スマートメータの普及とともに、東光東芝メーターシステムズで展開されるメータ製造、及び従来の失効替工事がメインとなる。

これらにより、わが国の計量法に則った電力取引が実現される。

(5) 情報・エレクトロニクス装置事業

エレクトロニクス装置分野では、画像処理技術をもと

に光を用いて微小物の形状を高速・高精度に検査する三次元外観検査装置、画像処理機器など半導体検査装置を開発・製造・販売している。中でも三次元外観検査装置は、非走査型共焦点センサを搭載し、高性能 PC やサーバー向けプロセッサで使用される FC-BGA（フリップチップ ボールグリッドアレイ）基板バンパ向けの検査装置として、国内外の基板サプライヤに多数採用されている。進化するバンパの微小化、狭ピッチ化、さらに、基板バンパ以外の TSV バンパ／マイクロバンパ市場でも、お客さまの三次元計測ニーズに応える高性能センサを開発し、各種バンパの品質の安定化に貢献している。

情報分野ではシンククライアントシステムと組込みソフトウェアに取り組んでいる。シンククライアントシステムでは、1998 年の発売以来 50,000 台を超える納入実績を持ち、長年培った情報ネットワーク技術を基に、自社製の OS（Basilware）を搭載し、拡張性・セキュリティ性に優れた省エネ・省スペースの端末、ネットブート方式の仮想イメージの管理・運用を容易にする仮想デスクトップ、従来困難であった 2 次元 CAD や 3 次元 CAD を快適に使用できる CAD シンククライアントを保有している。組込みソフトウェアでは、組込み機器向けミドルウェア、無線方式によるエネルギー監視用の各種センサ、M2M 通信ルータ、無線ブロードバンドルータに取り組んでいる。

(6) 水素水生成器事業

水の電気分解を利用した水素水生成機能とともに、水道水に含まれる不純物を取り除く浄水機能を搭載している水素水生成器 H₂Oasis と Active BIO を製品化している。主に、活性炭を樹脂に混練して成型したフィルタや少ない電流で効率よく水素を発生させるチタン電極の採用などにより、諸機能を実現している。

4. おわりに

以上、東光高岳および各事業の技術概要を解説してきた。変電所から需要家・家庭に至る電力ネットワークで使用する機器・システム・サービスを提供する電力機器メーカーとして必要な高電圧・大電流、絶縁材料、計測、伝送、制御といった各種のコア要素技術をこれまでに確立してきている。

電力系統のスマートグリッド化へのタイムリーな対応や次世代 EMS での多様なニーズに応えていくために、これまでのコア技術のさらなる研鑽と、ICT、情報通信、パワーエレクトロニクスなどにおける新たな技術の取り込みを今後も実施していくことで、ものづくりを究め、お客さまのもとに新たな価値をもたらすことに挑んでいく所存である。

電力会社向け変電所用製品

1. はじめに

東光高岳の電力会社向け変電所製品は断路器や変圧器などの一部の製品を除き、配電用変電所向け製品を主体に、従来から数多くの製品を揃えている。本稿では現状における主な製品とその支えとなる基盤技術を紹介する。

2. 主な技術・製品

2.1 変圧器

2.1.1 変圧器の変遷

1961年に66 kV 45 MVA 変圧器を納入して以来、高電圧・大容量化を目指して研究開発を進めてきた。

大容量器への取り組みは1964年154 kV 100 MVA 変圧器に続き1968年154 kV 150 MVA、1973年154 kV 200 MVA、1998年275 kV 450 MVA を納入した。154 kV 級大容量変圧器の開発と同時に配電用変圧器の設計改良に取り組み、1968年10 MVA、1970年15 MVA、1973年20 MVA を開発し、納入している。

一方1980年頃から国内においてオールガス化受変電設備として適用が始まり、この流れに沿って1985年から66 kV ガス絶縁変圧器を納入、現在では電圧6～77 kV、容量75 kVA～30 MVA までの納入実績を有するに至っている。

1995年以降は低コスト、省スペース、高品質を指向した配電用変圧器の開発を継続し、モデルチェンジをしながら現行まで多数納入している。

2.1.2 最新動向

近年では屋外配電用20 MVA 変圧器の品質向上、輸送

の簡素化、現地組立工程の短縮を目的としたモデルチェンジを行った（図1）。

また、JEC 規格の改訂を視野に入れ、温度上昇格上げによる冷却設計の最適化や将来の保守・点検の省力化を考慮した材料の選定を行っている。

現在では20 MVA で培った技術を、設置・搬入に制限のある屋内配電用20 MVA 変圧器や10 MVA、15 MVA といった容量の異なる変圧器へ展開し、多種仕様に対応すべく開発に取り組んでいる。

さらに20 ton トラック積載型移動用変圧器も開発・製品化している。この機器は、トラックと変圧器一体で車検登録しているため、道路法の制限を受けない運行が可能となっている。そのため、緊急対応が必要な変電所へ素早く移動することができ、機動性に優れている。

2.1.3 解析技術

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震により、耐震に対する再評価が社会的ニーズとなり、耐震解析手法を見直した。その結果、現在ではより精度の高い解析が可能となっている。

具体的には、従来の耐震評価では部分的な簡易モデルでの評価が主流であったが、従来の評価基準をクリアし



図1 屋外配電用20 MVA 変圧器（最新器）

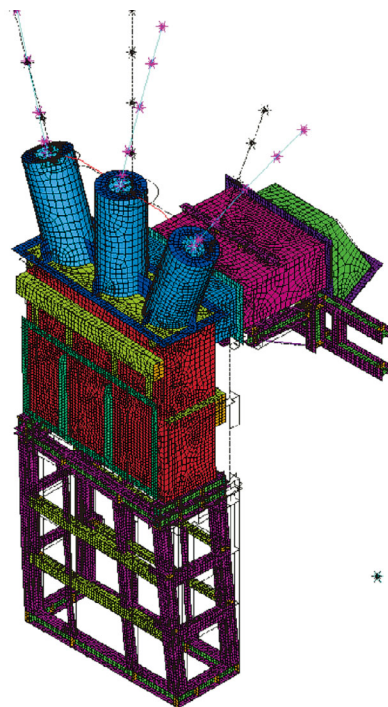


図2 耐震解析モデル図

た機器が破壊した事例もあり、三次元モデルで解析を行うことによって、より精度の高い解析を実施し、再評価を行った（図2）。

また、異常診断技術の向上としてFRA手法（周波数応答特性）を取り入れ、今までの診断方法と合わせ内部異常診断に活用している（図3）。

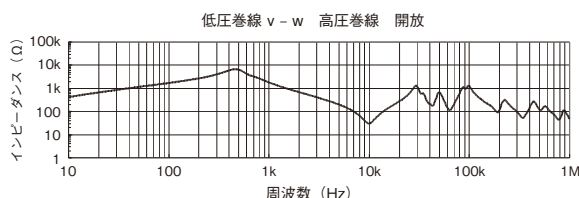


図3 FRA測定による診断結果（正常）

2.2 開閉装置

2.2.1 開閉装置の変遷

東光高岳の開閉装置製品には、絶縁媒体をSF₆ガスとしたガス絶縁機器とエポキシモールド樹脂を主体とした固体絶縁開閉装置がある。

東光高岳最初の高圧ガス絶縁機器は、1978年に開発したループ開閉用断路器であり、ガス絶縁の遮断部と気中断路器を直列に組み合わせた機器であった。その後1980年にガス遮断器（GCB）を製品化し、以降1981年にガス絶縁開閉装置（GIS）、1984年にキュービクル形ガス絶縁開閉装置（C-GIS）を製品化した。

また、固体絶縁技術開発の始まりは1950年代初頭にさかのぼり、1960年代後半からの開閉装置への適用に関する研究を経て、1971年に固体絶縁開閉装置の製品化に成功し納入を開始した。

開閉装置には、常にコンパクト化・高信頼度化などが継続的に要求されており、このニーズに応え続けるためには、基盤技術の高度化が必要不可欠である。

開閉装置を支える基盤技術には、絶縁・通電・電流遮断・構造・解析技術などがあり、以下に、主な製品の特長とこれらを支える基盤技術を紹介する。

2.2.2 ガス絶縁開閉装置（GIS）

GISは、SF₆ガスを封入した金属ケースの中に遮断器、断路器、接地開閉器、避雷器などの機器を収納したものをユニットとし、回路方式に応じて必要なユニットを組み合わせて全体を構成するものであり、東光高岳では定格電圧168kVクラスまで製品化している。

従来の気中絶縁機器と比較してコンパクト性、耐環境性、保守性の面で大きなメリットがあるため、受変電設備の標準機器として採用されており、東光高岳の納入実績も既に30年以上が経過している。

最新の72/84kV GISでは、各相間・大地間の絶縁性能に対する電界解析や絶縁スペーサの構造解析による形状の最適化を行い、従来、三角形配置だった導体の配置

を直線配置とし、機器の縮小化を実現している。

また、従来器では通電電流、短時間耐電流の仕様によって細分化していた内部の導体、接点部品等の材質・サイズを統一し、部品種別の削減を実現している。

2.2.3 キュービクル形ガス絶縁開閉装置（C-GIS）

C-GISは、遮断器、断路器、接地開閉器、避雷器など1回線分の構成機器を角形容器内に一括収納し、低ガス圧力のSF₆ガスを封入した開閉装置である。

低ガス圧力の絶縁特性を満足するために、電界解析を行い、合理的な機器配置を実現すると共に、容器設計では構造解析による形状の最適化を行い、縮小化を図っている。

電力会社向けとして、配電用変電所用C-GISやG-SPCを納入している。

2.2.4 単体ガス遮断器（GCB）

GCBは平常時の通電はもとより、電力系統に地絡・短絡故障が発生したときの過大電流を安全かつ速やかに遮断し、変圧器などへの危害を最小限に止めるための保護装置である。

現在、施工性・保守性の向上、最新規格への適合を目指した定格電圧72/84kV最新機器を開発中である。図4に開発品プロトタイプの外観を示す。



図4 開発品プロトタイプ外観

この製品開発では、三次元モデルによる耐震解析やタンク内圧力に対する強度評価を行い、構造の最適化を図っている。また、最新規格への適合を実現するため、電界解析による電極形状および配置の最適化を行い、消弧室の絶縁回復特性の向上を図っている。図5にGCBタンクの強度解析例を示す。

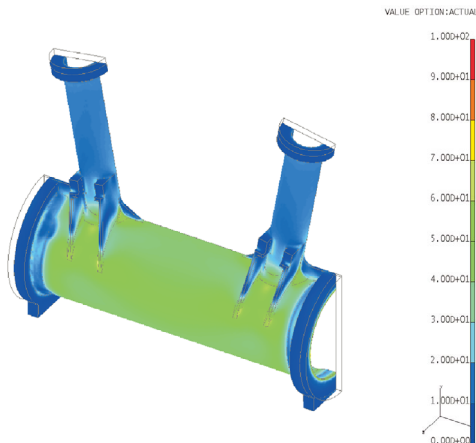


図5 タンクの強度解析事例

2.2.5 固体絶縁開閉装置

固体絶縁開閉装置は、7.2 kV クラスの開閉装置であり、遮断器、負荷開閉器、接地開閉器、変成器、避雷器やこれらの接続導体を含めて、エポキシモールド樹脂を主体とする固体絶縁を採用した装置である。

モールド注型後の冷却による内部残留応力について、これまでは、試作品での内部応力測定によりその妥当性を検証してきたが、現在では設計段階において熱応力解析による評価が可能となっている。

2.3 断路器

2.3.1 気中断路器の変遷

東光高岳の断路器の歴史は長く、1920 年に 30 kV 300 A 級垂直切断路器の生産を始めて以来、既に 90 年を経過している。その長い歴史の中で各時代のニーズに合わせた製品が開発され、1957 年に国内電力の大容量化に合わせ 300 kV 2,000 A 級断路器を納入、1971 年には 550 kV 断路器を納入した。

断路器は、それらの製品開発の中で培われた耐塩害設計技術、大電流通電設計技術、小電流開閉技術、耐環境性能技術、構造設計技術、耐震設計技術などに支えられており、現在では国内シェア 80% を誇る。水平中心一点切形、水平二点切形、パンタグラフ形など数多くの構成を有し、鉄道向け直流 1.5 kV から電力向け交流 550 kV、600 ～ 12,000 A まで国内規格に定められた定格電圧・電流のほぼすべてをラインナップした。

その後、断路器の高機能化と複合化のニーズの高まりを受け 1978 年にループ電流開閉用断路器、1981 年には避雷器内蔵型断路器を開発するなど多くの複合型機器も製品化を行った。

近年においては、断路器の接触部接点に自己潤滑性能を有する銀グラファイト含有接点を採用した高信頼度形断路器を開発（図 6）した。その性能が評価され、現在は国内出荷台数の約 70% に達した。操作装置においては筐体に気密技術を取り入れ、12 年間メンテナンスフリーを指向した密閉型電動操作装置を開発、それについても国内出荷台数の約 60% を占めるまでに至った。

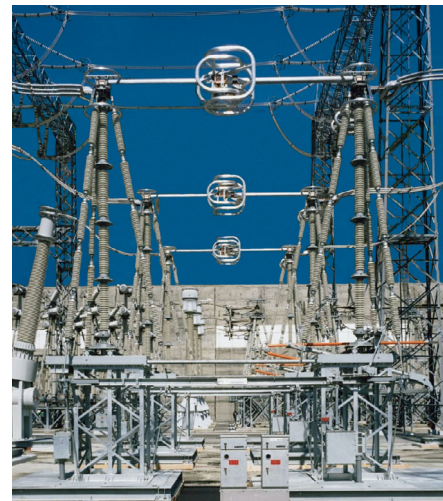


図6 550 kV 4,000 A 高信頼度形水平中心一点切断断路器

また、断路器動作メカニズムの解明とフィールド機器の劣化診断による効率的なメンテナンス方法の確立にも取り組んでいる。

一方で、屋外母線の故障点標定装置の開発にも取り組み、66 kV から 275 kV 変電所に数多く納入している。

2.3.2 最新動向

2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震によって、国内最大級である 550 kV 水平中心一点切断断路器が多くの被害を受けた。以降、重要回線に使用される断路器の高耐震性が要求されている。そこで被害の原因究明と対策案の検討に有限要素法によるシミュレーション解析を適用した（図 7）。その結果、同規模地震および国内耐震指針の 2 倍の水平加速度 6 m/s^2 共振正弦 3 波にも耐える構造を設計し、実器加振による大規模な実証試験を行い製品化に成功した。

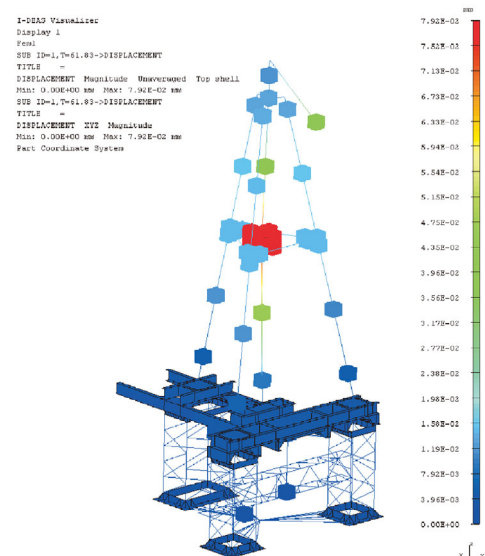


図7 シミュレーション解析における構造評価例

2.4 保護制御装置

2.4.1 保護制御装置の変遷

1950年代から電力系統の保護、監視制御用の各種継電器や遠方監視制御装置の開発に着手し、常に最新の技術を取り入れながら市場ニーズに対応した製品を開発・納入してきた。現在までエレクトロニクス技術、情報伝送技術などの保護制御装置の基盤となる製作技術は飛躍的な進歩を遂げ、当初、電磁機械式原理の継電器はトランジスタ・IC技術による静止型へ、さらにはマイクロプロセッサを応用したデジタル形へと変遷してきた。近年では、IT技術などの汎用技術も保護制御装置への適用が進んでいる。

一方、系統解析などの保護方式における基盤技術は、古くから間欠地絡などの配電系統の解析を中心に実証試験を含め取り組んできた。

以下に主な製品の特長と技術について述べる。

2.4.2 固体絶縁開閉装置デジタル形保護リレー

配電用変電所用固体絶縁開閉装置に実装する単体デジタル形保護リレーである（図8）。母線保護と配電線保護タイプがあり、配電線保護タイプには、再閉路機能も実装している。使用部品の生産中止等により保守が困難となった従来の静止形リレーとの互換性を確保し、デジタル演算の採用により、高精度な保護特性を実現している。また、系統事故発生時の波形データや、リレー動作情報を記録することが可能なデータセーブ機能を実装しており、系統故障解析が可能となっている。



図8 単体デジタル形保護リレー

2.4.3 配電用変電所デジタル保護制御装置

配電用変電所トータルでの保護制御装置であり、中央制御盤・バンク制御盤（図9）で構成される。中央制御盤は、受電回線保護・テレコン機能・自動切替機能を実

装し、バンク制御盤は、変圧器保護・母線保護・配電線保護機能を実装する。1986年、保護集中形の製品を開発・製品化した。現在は3世代目となるユニット分割形タイプの装置を納入している。本装置は、ユニット間はLAN（TCP/IP伝送）を適用し大容量データの送受信を可能としている。設備単位に集中処理するシングルCPU方式とし、さらに制御機能と保護リレーの一部（FD要素）機能を同一CPUで処理することにより、部品点数を大幅に削減している。なお、保護リレーのメイン要素は別CPUで処理する構成とし、メインとFDの2重化構成としている。また、本装置も固体絶縁開閉装置デジタル形保護リレーと同様にデータセーブ機能を実装している。



図9 配電用変電所デジタル保護制御装置（バンク制御盤）

3. 今後の展望

東光高岳が提供する変電所用製品の一例を紹介したが、その他にも多くの製品を取りそろえ、電力の安定供給にお役立ていただいている。

今後も、これまで培ってきた高電圧、大電流、解析などの技術を基に、製品品質やメンテナンス性のより一層の向上を行っていくと共に、経済性に優れた製品を開発していく所存である。

受変電設備

1. はじめに

受変電設備は需要家負荷設備へ安定した良質な電力を供給する役割を担った重要な設備である。原子力発電の停止以降、電気エネルギー源の多様化、電気料金の高騰が進む中、受変電設備に対するお客さまのニーズも多様化してきている。

東光高岳は、72/84 kV を中心に、工場・ビルおよび公共施設向けに 1,000 件を超える設備を納入し、機器選定、レイアウト検討などの計画段階から現地施工、運転開始後の保守業務までをワンストップで提供することで好評をいただいていた。

また、受変電設備を構成するそれぞれの機器における“エネルギー利用のムダ”の削減に加え、需要家のエネルギー利用の見える化を行って需要家によるムダなエネルギーの削減を支援するシステム、蓄電池や新エネルギーを活用してエネルギーの最適利用を可能にするシステムの提供を開始した。

2. 受変電設備の変遷

受変電設備に対する社会的な要請は、時代とともに変化し、安定性、信頼性に始まり、現在では、省スペース、保守性の向上など様々なニーズに対応することが求められている。

最近では特に、低コスト化、省エネルギー、環境性の向上などが望まれるようになってくるとともに老朽設備の部分更新など既設機器との親和性のニーズも多くなっており、様々な設備形態への対応力も求められている。

これらの多様化するニーズに応えるべく、東光高岳では最新の技術を取り入れた製品を開発している。

以下、各々機器の最新動向についての概要を紹介する。

3. 特高変圧器

大型変圧器に関しては、容量 1 MVA ～ 450 MVA、電圧 6 kV ～ 275 kV と様々な仕様の変圧器を設計製造、納入している。その中で一般需要家向けの特高変圧器について、66, 77 kV クラスの窒素密封式変圧器、ガス絶縁変圧器を紹介する。

3.1 窒素密封式変圧器

窒素密封式変圧器は、変圧器タンクに窒素膨張室を設け、絶縁油の熱膨張・収縮を窒素膨張室の圧力変化で吸収する。内部圧力の変化を伴うが、変圧器がコンパクト

で保守、点検の省力化が図られた変圧器である。

3.1.1 特長

(1) 高効率・低騒音

鉄心材料には方向性珪素鋼板を使用し、ステップラップ接合方式の採用により、発生騒音の低減を実現した高効率、省エネタイプである。

(2) コンパクト、短工期

容量 15 MVA までは、トレーラーによる全装輸送（絶縁油も含む）が可能なコンパクト設計であり、工場で確認した品質のまま据付が可能となるとともに、現地工事期間の大幅な短縮を実現している。

(3) 保守点検の容易化

計器類を一括収納した監視箱を設け、点検が安全かつ容易に行える。また、無電圧タップ切換器についてもタンク側面に操作ハンドルを配置し、安全かつ迅速に切換え可能である。

(4) 設計期間の短縮

コンパクト設計であるとともに、変圧器タンクの標準化、お客さまニーズに合わせた外装部品のモジュール化を実現し、多様な仕様に短期間で対応可能としている。

図 1 にモジュール化イメージを示す。

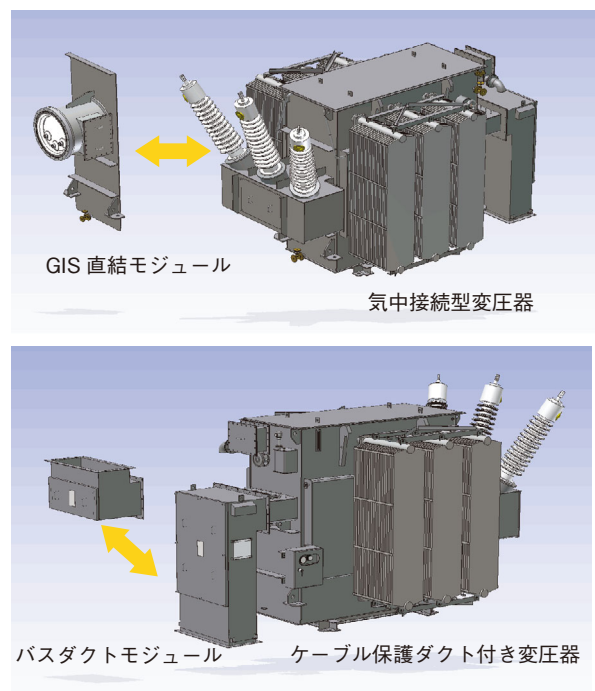


図 1 モジュール化のイメージ

3.2 ガス絶縁変圧器

不燃性である SF_6 ガスを絶縁媒体として採用した変圧器で、ガス絶縁開閉器と組み合わせ、安全性、防災性を指向したトータル不燃形受変電設備を構築することができる。消火設備などの設置が必要な地下や屋内受変電設備として設置する変圧器として最適である。

図2に外観写真を示す。



図2 三相 10 MVA 66/6.3 kV ガス絶縁変圧器

3.3 今後の展望

近年、地球環境保全や脱化石資源というニーズが高まる中で、超高効率や超低騒音の変圧器をラインナップするとともに、絶縁油を従来の鉱油に代えて植物由来で生分解の高いパームヤシ脂肪酸エステルを用いた環境配慮型変圧器の開発を進めており、絶縁や冷却についてモデル試験や実現模試験で所期の性能を確認している。

図3にパームヤシ脂肪酸エステル入り変圧器の温度上昇試験赤外線画像を示す。

4. ガス絶縁開閉装置の主な製品

ガス絶縁開閉装置は、機器を円筒タンクに収納した

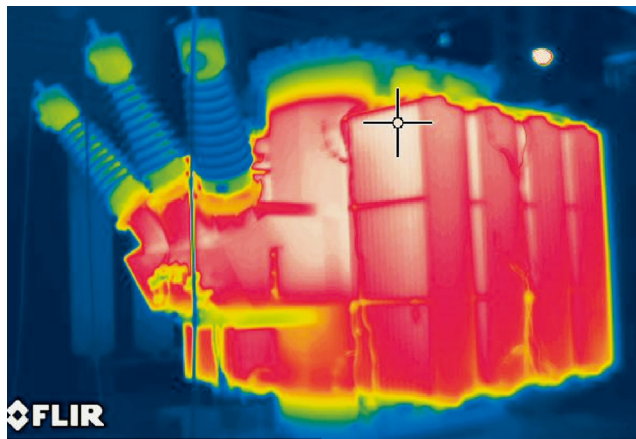


図3 温度上昇試験時の赤外線画像

GIS タイプと1つの角形タンクに全機器を収納した C-GIS タイプがある。それぞれの主な特長を以下に記す。

4.1 168 kV, 72/84 kV ガス絶縁開閉装置 (GIS)

ガス絶縁開閉装置は、これまでに電力会社向け製品を中心として高信頼性、縮小性などの特長を有し、受変電開閉装置の主力機器となっている。

1つの容器に複数の機能を収納、複合化するとともに解析結果に基づく合理的な配置、構造の最適化により、大幅な縮小化・軽量化を実現している。これにより、一括輸送部分の拡大、据付面積の縮小を実現し、据付工期も大幅に短縮することが可能となった。また、敷地レイアウトにあわせた機器構成の多様性と増設・事故時の停止期間の短縮などのニーズに対応することも可能である。

図4に変圧器と直結接続した 168 kV のガス絶縁開閉装置の一例を示す。



図4 168 kV 縮小形 GIS 変圧器直結

4.2 キュービクル形ガス絶縁開閉装置 (C-GIS)

生産設備や情報機器の高度化に伴い、受変電設備への信頼性の要求はますます高まっている。また、高度経済成長期に導入した設備の老朽化による更新ニーズにより、コンパクト化と現地工期の短縮、環境調和性の向上などが要求されている。このような社会ニーズに対応した製品としてキュービクル形ガス絶縁開閉装置がある。

キュービクル形ガス絶縁開閉装置は角形容器内に主要機器を収納し、低圧力の SF_6 ガスを封入したガス絶縁開閉装置であり、大幅な小形化・軽量化を実現した。

定格電圧別の機器の特長は以下の通り。

4.2.1 72/84 kV キュービクル形ガス絶縁開閉装置

72/84 kV には、大別すると2種類のタイプがある。

1L-1CB, 2L-2CBなどを構成する機器(タイプI)は、下部に受電室、上部には母線室を備えている。受電室には、遮断器、断路器、接地開閉器、避雷器と受電側の機器を収納し、母線室には変圧器一次断路器および母線などを収納している。

従来機と比較して、据付面積を45%、容積を35%に

縮小し、さらに操作装置や監視部を前面に集中配置し、外観を列盤構成することにより保守点検性や環境調和性も向上した。

近年増加傾向にある 2L-4CB タイプやバイパス、ループなどの大型設備や信頼性向上に対するニーズに適した機器（タイプⅡ）は、受電用 CB ユニットと変圧器保護用 CB ユニットの上下に 2 段積みの構成にすることで、従来 2 つのユニット構成（タイプⅠの場合）が 1 つのユニット構成となり、据付面積を従来比で 88% に縮小した。

また需要家の受電形態である、架空引き込みとケーブル引き込みの対応として、受電ユニットと変圧器ユニットを天地反転して構成することにより、構成機器に使用する部品の共通化を図っている。

図 5 にタイプⅠとタイプⅡの内部構造の比較図を示す。

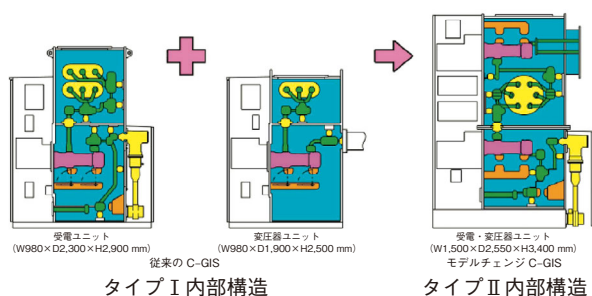


図 5 タイプⅠとタイプⅡの内部構造比較

4.2.2 24/36 kV キュービクル形ガス絶縁開閉装置

従来 24, 36 kV クラスの絶縁には、気中絶縁が主流であったが、都市部などのビル受電ではスペースを有効に活用するため、設備の縮小化が強く望まれている。また、信頼性、安全性の向上、保守の簡素化はもちろんのこと防災面を考慮した不燃化、保護・制御面等で多機能な働きをさせるインテリジェント化、周囲環境との調和性に優れた製品になっている。

さらに高圧スポットネットワーク受電方式にも対応しており、供給信頼度の極めて高い製品を提供している。

遮断器は真空遮断器（VCB）を採用し、断路器および接地開閉器は、両者を一体化した 3 位置開閉器（スリーポジション）を採用している。

図 6 に 36 kV のキュービクル形ガス絶縁開閉装置の一例を示す。

4.3 今後の展望

今後は、絶縁・消弧媒体として使用される SF₆ ガスの使用量を削減するための、真空遮断器を使用した機器、さらに乾燥空気や N₂ などの代替ガスを使用した脱 SF₆ 機器を順次リリースしていき、環境にやさしい製品を充実させていく予定である。



図 6 36kV C-GIS

5. 開閉制御装置

配電盤、キュービクル、スイッチギヤとも称される開閉制御装置は、気中絶縁を主体とし、真空遮断器や変成器、母線などを金属製筐体内に収納した製品である。その構成から経済性に優れている他、永年さまざまな分野への納入で培われた経験に裏付けされた技術を活かし、高い性能と品質を作り込んだ製品化を行っている。

5.1 特長

(1) コンパクト

小型で高い遮断能力を有する真空遮断器と、絶縁技術、通電性能技術を基に装置内の機器レイアウトの最適化を図ったことにより、経済性とコンパクト性が優れている。

装置内レイアウトは、保護板の配置により安全性に十分な配慮をしつつ、機器を引き出すことができるなど操作性や保守性を高めている。

(2) 高度な保護制御

保護リレー技術とデジタル技術を基に、永年の実績を有するデジタル形保護計測装置（PACGEAR）を装備し、適切な保護機能を実現するとともに、万が一の事故時の原因分析を容易とするための事故波形記憶機能など、高い機能を有している。

また停電時の自動停復電制御や、コンデンサ自動制御、コージェネレーション制御など、お客様のニーズに合った制御方式のカスタマイズが可能である。

さらに、プログラマブルロジックコントローラ（PLC）の自在性を活かし、制御系の監視を行うなど、高度な設備監視やきめ細かな制御も実現している。

(3) 多彩なラインナップ

36 kV 特別高圧から低圧の受変電設備の全てをラインナップしており、用途や設置場所に応じた機種選定が可能である。図 7 に示した全天候型シュルタタイプスイッチギヤはその一例であるが、装置内に運転保守スペースを確保することで、建屋建設が不要であり設備全体としてコンパクト性と経済性を両立させたものである。

5.2 今後の展望

「地球環境に優しく」と言われて久しいが、その要求は年々増している。従来から材質の変更や解体のし易さなどに取り組んできたが、有害6物質（鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、PBB（ポリ臭化ビフェニル）、PBDE（ポリ臭化ジフェニルエーテル））の排除など、その取り組みを加速させている。さらに、保守性やコンパクト性の更なる向上にも取り組んでいく予定である。



図7 全天候型シェルタイプスイッチギヤ

6. 集中監視制御システム

集中監視制御システム（MUDIC）は、これまで紹介してきた受変電設備機器を含め、お客さま設備の安心・効率的な運用管理を実現するシステムである。なお適用範囲として、工場、ビルなどの受変電設備監視制御のみならず、水処理設備監視制御などにも適用可能なシステムとしている。図8に水処理場監視システム例を示す。

6.1 特長

(1) 高い信頼性

CPUには工業用パソコンを採用し、高い信頼性で24時間連続監視制御が行えるものとしている。また、機能を実現するアプリケーションは、MUDICシリーズ初期からのリアルタイム処理技術を継承した製品化を行っており、高い性能を実現している。

(2) 高機能

状態監視、計測監視、機器制御、帳票など記録の基本機能に加え、きめ細かいデマンド監視制御機能、力率調整制御機能、スケジュール制御機能を装備し、エネルギー管理の支援が可能である。

(3) ラインナップ

拡張性の高い主製品である MUDIC500 V（集中型）

に加え、小規模電力監視装置として MUDIC10 IV、CPU 部を監視制御サーバとデータサーバに分離した MUDIC500 V（分散型）をそろえ、幅広い用途への対応が可能である。

(4) IT 技術応用

MUDIC500 Vでは、CPU と情報 LAN に接続された WBT（Windows Based Terminal）や IE（Internet Explorer）のブラウザ画面による、離れた場所での監視の実現や、電子メールによる状態通知機能の提供が可能である。

6.2 今後の展望

工場などでの総合エネルギー管理が求められている現在、監視制御システムとして、エネルギー運用管理の「状況の見える化」から、「予想／効果の見える化」の提供、ユビキタス時代により必須となるセキュリティ機能強化を進めていく所存である。



図8 水処理場監視システム例

7. おわりに

東光高岳では、総合重電メーカーとして培ってきた技術を基に、工場、上下水道施設、研究機関などの高品質で安定した電力を必要とする幅広い分野へ受変電設備を納入し、社会に貢献してきた。

今後、ユビキタス社会やスマートコミュニティの広がりを受け、需要家の垣根を超えた受変電設備の高度化が求められるようになって考えている。これからも、お客さまの多彩なニーズに応えるため、お客さまとの対話を活かし、最新の技術を取り入れた受変電設備の各種機器づくりとともに、設備のプランニングから総合エンジニアリング、運用メンテナンスに至るまで、設備の構築にトータル的に対応し、お客さまのベストパートナーとなるべく取り組んでいく所存である。

配電用機器

1. はじめに

東光高岳の配電用機器は、従来から数多くの製品を揃えており、6.6 kV 機器を中心として当社の主力と位置づけることができる。来るべきスマートグリッドを実現するためには、これら配電機器の従来からの基盤技術と新たな計測・伝送・制御技術の融合させていく必要がある。本稿では東光高岳が保有する技術とそれによって実現している代表的な配電機器とを紹介する。

2. 保有する要素技術

2.1 試験技術

配電機器では、配電システムの事故時に公衆災害を最小限にするため、配電機器の開発試験では、外部事故時に通過する大電流に、また、内部事故時のアーク・内圧上昇に耐えることを確認する必要がある。図 1 に地上用変圧器の耐アーク試験風景を示す。



図 1 耐アーク試験

2.2 解析技術

製品開発においては、十分な耐久性や信頼性確保のために繰り返し検証するプロセスにおいて解析シミュレーションを駆使している。有限要素法による応力解析を最適形状の検討や強度評価に活用した事例を紹介する。

(1) 変圧器における線形応力解析

直埋変圧器のように地下孔に設置する変圧器は、極度の腐食環境に晒される。過去の知見から、溶接部は腐食に弱いため、可能な限り溶接部を外部に設けないようタンクの内部に補強を設けた。このとき、100 kPa の内圧に耐えることを構造解析にて確認した事例を図 2 に示す。

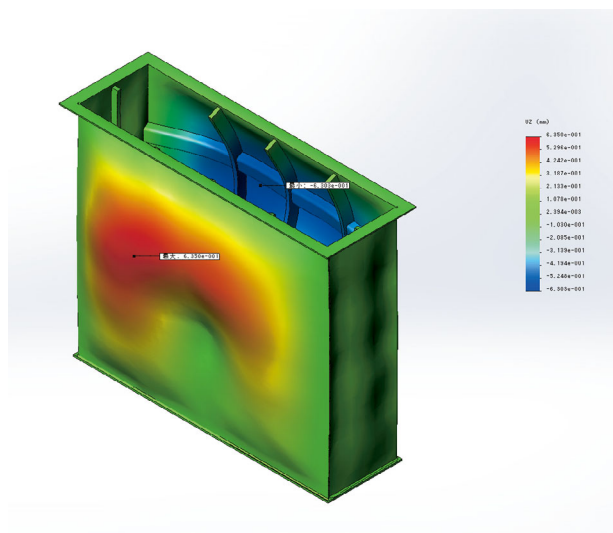


図 2 直埋変圧器の構造解析

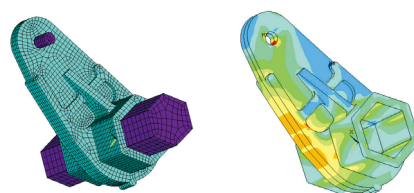


図 3 開閉器駆動部品の応力解析例

(2) 開閉器における線形応力解析

開閉器の接点部を駆動する絶縁シャフトの強度評価に線形応力解析を活用した事例を図 3 に示す。

(3) 熱流体解析

地上用変圧器は、変圧器タンクが換気孔を設けた外箱に覆われている。変圧器からの発熱を効率的に冷却する換気孔位置・大きさを検討するため熱流体解析（図 4）を実施した。

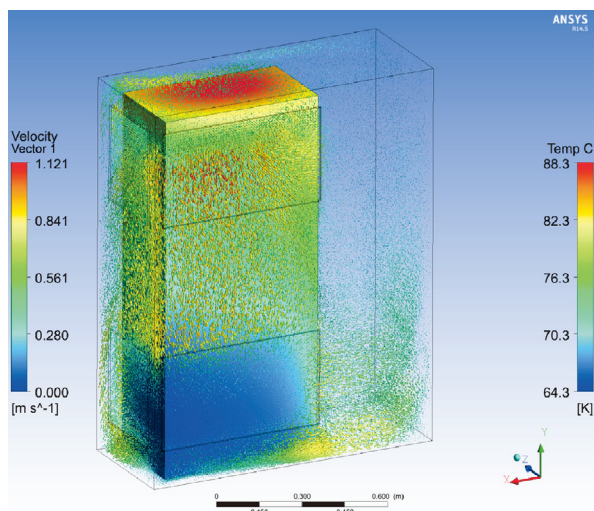


図4 地上用変圧器の熱流体解析

3. 主な配電用機器

3.1 6.6 kV 開閉器

6.6 kV 開閉器は、従来油入開閉器であったが、公衆安全の観点から1970年頃に気中化が急速に進み、手動および自動気中開閉器として現在も広く使用されている。機器のコンパクト化の観点から絶縁方式は、気中絶縁からSF₆ガスへと変遷したが、近年では地球温暖化防止の動向から再び気中または真空が採用されている。

また、1990年頃を中心に配電自動化が進み、自動気中開閉器及び遠方制御器が採用され、東京電力株式会社管内ではほぼ100%の普及率となっている。

数年前からスマートグリッドを実現するためのセンサ内蔵開閉器及び、開閉器の入切制御はもちろん、配電での各種情報を計測・記録・伝送可能な子局も開発され、現在設置されてきている(図5)。これらの機器により、配電線における電圧・電流情報が詳細に入手できるようになるため、よりリアルタイム性をもって、配電情報の把握と適切なコントロールが可能となる。

さらに今後、地中線用センサ内蔵多回路開閉器及び制御器も採用されていく予定となっている。

3.2 計器用変成器

(1) 6.6 kV 計器用変成器

6.6 kV 計器用変成器は、高圧需要家における電力の取引に用いられる機器で、電力量計と組合せて使用電力の計測を行う(図6)。最近では太陽光など再生可能エネルギーを活用した電力買取制度の機運の高まりもあって、買電のみならず、売電にも使用されるため、その数量は急激に増えている。また供給地域も全国に広がっており、各電力会社で使用いただいている。

外箱には、従来鉄鋼を用いた箱が採用されているが、近年では直接引込みの柱上などに設置されることも多くなってきており、ステンレスを用いた箱の採用や、耐塩塗装を施した仕様もラインナップしている。



図5 センサ内蔵気中開閉器及び子局



図6 6.6 kV 計器用変成器

(2) モールド変成器

エポキシ樹脂を用いた固体絶縁で構成される計器用変圧器、変流器は、主に受電盤等のキュービクルに収納され、電圧、電流の計測に用いられている(図7)。電圧階級としては、低圧から77 kVまでの幅広い範囲をエポキシモールドでラインナップを取りそろえている。



図7 モールド計器用変成器

絶縁材料であるエポキシ樹脂のブレンドに関しては、独自に研究開発も行っており、耐クラック性や靱性の優れた新機能樹脂のライン化や新たなモールド変成器もリリースしている。

また、従来の屋内仕様の樹脂に加え、屋外用樹脂も自社開発しており、鉄道車両搭載用接地形変圧器などに適用しており、従来の油入形変成器の代替としてオンリーワン製品となっている(図8)。

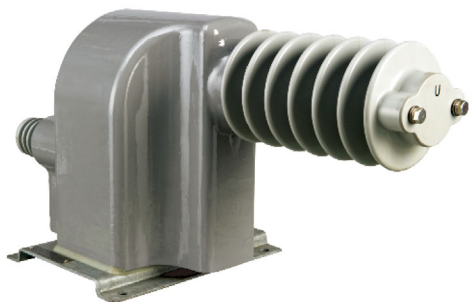


図8 車両搭載用接地形モールド変成器

3.3 6.6 kV 変圧器

(1) 柱上変圧器

6.6 kV 柱上変圧器（図9）は、主に電力会社の仕様によって製作されている。材料面では、低損失化の要求に対応するために、鉄損の低減を目的として、鉄心材料は、1990年ごろから従来の方向性珪素鋼板に加えて、高配向方向性鋼板、アモルファス鋼板を採用している。巻線の材料としては、損失の小さい電気銅を用いることが一般的であるが、重量制限のある場合はアルミニウムを用いる。絶縁油としては、鉱油を用いることが一般的であるが、最近の環境にやさしい製品の開発の一環として、菜種油を採用した柱上変圧器を試作し、社内設備として運用している。



図9 柱上変圧器

(2) トップランナー変圧器 2014

2006年度の油入変圧器に対する省エネ法特定機器規制開始により、いわゆるトップランナー変圧器（従来より低損失な変圧器）は広く普及した。トップランナー制度に基づき、変圧器の省エネ基準が見直され、2014年度より新省エネ基準が施行され、エネルギー消費効率（全損失）はいっそう向上（低減）しなければならなくなった。東光高岳でも2014年度規制に対応した変圧器（図10）を開発し、販売を開始している（詳細は本号の別頁を参照）。また、鉄心の設計を最適化することにより励磁突入電流抑制型変圧器も製作・販売している。

(3) 地上用変圧器

地中配電線路において道路上に設置される変圧器（図11）である。街の美観も損なわないよう、外形もスリ

ム、外箱表面は貼り紙防止構造となっている。開閉器にモールドディスコンの採用、充電部の密閉化、変圧器タンクと外箱の2重構造化により高い安全性を確保している。

(4) オートタップチェンジャー付柱上変圧器

本変圧器（図12）は、東光高岳の標準製品である柱上変圧器に、負荷時タップ切換器を内蔵し、負荷時タップ切換器を自律的に制御する制御装置をタンクに外付けしたもので、二次電圧を一定の範囲に自動的に維持するものである。負荷時タップ切換器の搭載により高さ方向は大きくなったが、外径は同じである。近年太陽光発電が導入されて、天候の変化による発電量の増減により、配電系統の電圧が変動しても、柱上変圧器2次側において、適正電圧の確保ができる。



図10 トップランナー変圧器 2014



図11 地上用変圧器



図 12 オートタップチェンジャー付柱上変圧器

(5) コンパクト直埋変圧器

地中配電において、直埋変圧器が採用されることがあるが、地下孔グレーチングより外形幅を小さくして、リプレース時に道路路面を開削することなく搬入出可能な変圧器が、コンパクト直埋変圧器（図 13）である。タンク外観点検が容易にできるよう保守・メンテナンスにも配慮の上、防錆性能を強化している。



図 13 コンパクト直埋変圧器

4. 今後の展望

東光高岳が提供する配電用機器の一例を紹介したが、その他にも多くの配電機器を取りそろえ、配電分野における電力の安定供給や公共安全、保守・メンテナンスにお役立ていただいている。

今後も、これまで培ってきた高電圧、計測、伝送、制御等の技術をベースに、安定した電力品質を維持・向上させて行くとともに、スマートグリッドによるより効率的かつ最適な運用を実現するために、新たな技術との融合をさらに図り、スマートな電力流通の実現を目指すべく、取組を続けていく。

エネルギーソリューション事業の技術・製品紹介

1. はじめに

地球温暖化問題への対策として CO₂ 排出量の削減が進められている。そのため、新エネルギーの利用拡大、エネルギーの効率的な利用が必要とされ、電力をコントロールするパワーエレクトロニクス技術の適用拡大が進んでいる。

2. パワーエレクトロニクス応用製品を支える技術

エネルギーを高効率に利用する電力変換技術は多種多様にあるが、特に高効率小形化に貢献する高周波スイッチング技術、エネルギーを蓄える電池の充放電技術、太陽光の発電電力を利用する系統連系技術、装置をネットワークに接続する通信技術などが重要となる。

(1) 高周波スイッチング技術

変圧器やリアクトルは高周波で駆動することにより小型化できるため、高周波変圧器や高周波スイッチング技術を適用して装置の小型軽量を実現している。

(2) 系統連系技術

太陽光で発電した直流電力を交流系統に接続するには系統連系技術が必要である。系統連系において蓄電池の充放電制御と太陽光発電の最大電力点制御を含めた系統連系運転を実現している。

(3) 通信技術

急速充電器の EV への充電制御には、車用通信技術である CAN 通信を採用している。また装置のネットワーク化や認証機能の付加が進んでおり、それらとは RS485, TCP/IP など最適な通信制御で対応している。

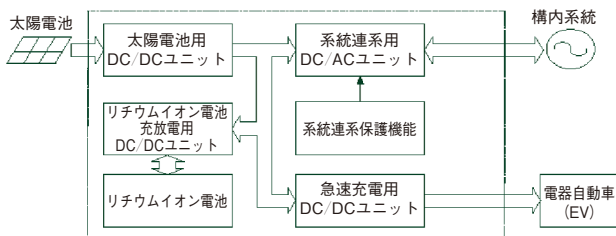


図1 パワーエレクトロニクス製品概念図

3. パワーエレクトロニクス応用製品

前項で紹介した技術を活用した代表製品は、電気自動車用急速充電器、蓄電システムがある。以下に概要を示す。

(1) 電気自動車用急速充電器

本急速充電器の特長は、主回路のユニット化である。10 kW ユニートを複数台搭載し装置を構成しており、装置容量を 10 kW から 50 kW まで対応している。また、一つのユニットが異常になった場合でも、装置容量は低減するが、残りのユニットで運転を継続する機能を搭載している。

国内はもとより欧州向では CE マーク取得、北米向では UL 認証を取得した装置を製品化した。また、電気バス用急速充電器も製品化している。

国内で EV 販売開始に合わせ市場投入した製品は、単独での使用であったが、普及するにつれて上位サーバと通信し認証機能が必要になった。このため、各種認証器と連携して EV 充電運転するネットワーク対応急速充電器を供給している。



図2 急速充電器外観

(2) 蓄電池システム

本システムは、蓄電池を夜間に充電し、昼間の電力消費ピーク時に放電する。停電発生時には自立運転を行い、重要負荷へ電力を供給する。太陽光で発電したエネルギーは優先的に負荷に供給する。

太陽光パネルと蓄電池は DC/DC 変換器で接続され、直流回路は双方向 DC/AC 変換器で系統に連系される。運転モードとしては、通常の連系運転、停電時の自立運転の他に、放電時間を予め設定できるピークシフトモード、蓄電池が運転できない場合の蓄電池切り離しモードを備える。

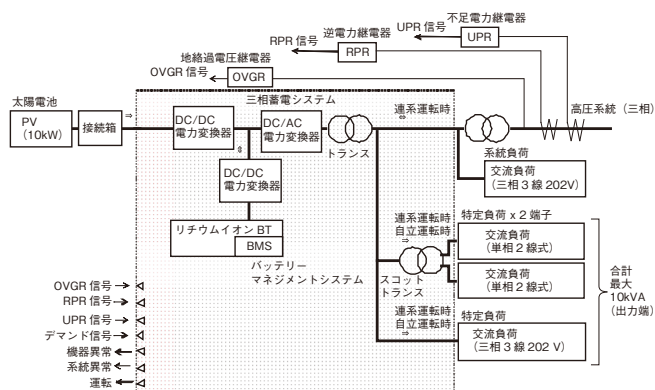


図3 三相蓄電システム構成図

4. EMS 応用製品を支える技術

エネルギーを効率的に使用する手法として、エネルギーの見える化システムを利用し、人の工夫や運用改善による省エネ活動が、一定の効果をあげてきた。本項では、さらなる省エネを志向し大成建設株式会社と共同開発した空調・照明自動制御技術と、近年急増している一括受電マンション向けの自動検針技術と、その製品を紹介する。

(1) 標準プラットフォーム技術

装置の小型化とコスト低減を実現するため、様々な製品を共通のプラットフォーム「ST-iNC」(Standard Toko intelligent Network Controller)で仕立てる方式を採用する。高速CPUであるARMと、512 MBのメモリを標準搭載し、これにRS-485, LAN, MicroLAN, USB, DIO等多様なインターフェースを具備, Linux (JAVA VM) をOSとし、エネルギーの見える化アプリケーションを実装した「エコ・Web」や、自動検針用アプリケーションを実装した「コンセントレータ（集中検針装置）」等、様々なアプリケーションを複数実行することができる。

(2) 電力線通信技術

既築マンションに自動検針システムを導入する場合、新たに通信線路を確保することが困難である。東光高岳では、これを解決するために、国内の電力会社等での採用実績の多いYITRAN方式の電力線搬送技術を用い、一括受電マンション向けスマートメータ「SmaMe」用通信モデムに仕立て、電力線通信を実現した。100 kHz～450 kHzの低周波搬送周波数帯域を利用したSS（スペクトラム拡散）方式を採用、伝送速度5 kbpsにて、確実な通信を実現する。通信レベルの減衰が認められた場合、自動または手動でホッピングするリピータ機能も搭載している。

(3) センサ技術

人検知方式として、サーモパイル方式（人体が発する遠赤外線を検知する方式）を採用し、従来式の焦電センサで行えなかった静止人体を検知、これにミクログラス機能（プリンターやFAX等を自動または手動でマスク

する機能）、通り抜け検出機能等の高度なアルゴリズムを実装し、新型人検知センサ「T-SmartFocus」に仕立てた。

人検知をリアルタイムで行え、オフィス空間の空調・照明設備を対象に、快適性を保ちながら、最適な省エネを実現する。

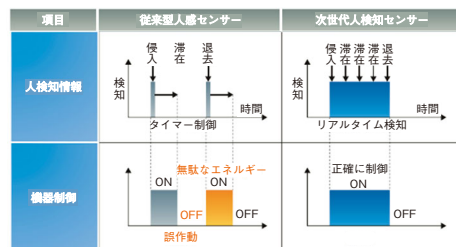


図4 人体検知パターン



図5 T-SmartFocus

5. EMS 応用製品

(1) 一括受電マンション向け自動検針システム

マンション等の集合住宅において、各世帯が電力会社と個別低圧契約するのではなく、管理組合が集合住宅全体で高圧一括契約し、個別に供給する仕組みが拡大している。東光高岳では、一括受電マンション向けスマートメータ「SmaMe」と、電力線通信用モデム、さらに、コンセントレータ（集中検針装置）をシステムアップした自動検針システムをMEMSアグリゲータ向けに提供している。



図6 SmaMe

“SmaMe”は、積算電力量30分値（正・逆）を出力できるため、今後展開される多様な料金メニューや電力



図7 コンセントレータ

見える化サービスに対応でき、また、遠方から電源回路の入り・切り制御や、電流制限値の容量変更も可能で、保守メンテナンスの大幅な省力化が図れる。

コンセントレータは、前述した「ST-iNC」に、500台の“SmaMe”の集中検針を行うアプリケーションを実装した Web サーバ機能付き集中検針装置である。30分間隔で、正確な検針値を収集・記録し、そのデータを USB メモリで取り出したり、上位系課金システムとネットワーク接続し、遠方にて管理することができる。運用に関する各種設定や管理が、Web コンテンツにより、簡易に行える点が特長である。

(2) 省エネ空調・照明制御システム

“T-SmartFocus”で取得した人検知情報を、上位機器のエリアコントローラへ出力し、インテリジェントな照明制御や空調制御を行い大幅なエネルギー削減（省エネ効果約 22%：当社設備実測値）を実現するシステム“T-ZoneSaver”。

- ・在/不在に合わせて明るさをスムーズにコントロール
- ・通り抜けの判断により無駄な増光・点灯を防止します
- ・リモコンリレーなども運動で OFF する電源制御も可能です(オプション)

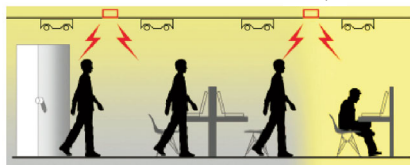


図8 照明設備の自動制御

- ・在/不在に合わせて空調機の運転モードを切替
- ・在/不在状況(在席率)に合わせて外気取入量を制御し、空調負荷を低減できます

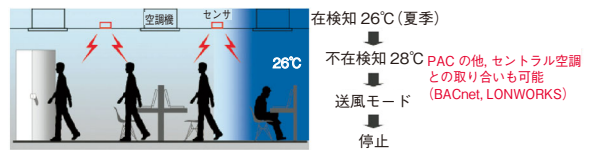


図9 空調設備の自動制御

“T-ZoneSaver”には、オプション機能として、人の滞在・不在や、照明・空調の制御状態を直感的に把握できるフロアマッピング機能や、節電要求に基づいたピークカット制御など、拡張性の高い機能も追加することもできる。

6. 今後の展望

蓄電システムは、災害時の電源確保のため普及拡大が期待される。また、EVの普及により急速充電器の設置も拡大してきている。急速充電器に蓄電池を搭載し、電力需要が逼迫する場合には蓄電池から電力を供給する装置も出現している。また、最大出力電力を上位からコントロールできるスマートグリッド対応急速充電器も必要になる。

災害時に非常電源となり通常時にはエネルギーを効率よく活用する上で、直流交流変換を行うパワーエレクトロニクス技術は今後も重要性を増していく。

メーターとシステム 東光東芝メーターシステムズ

1. 会社概要

東光東芝メーターシステムズ株式会社は、旧東光電気株式会社と株式会社東芝の計器事業を統合し2009年に発足した。

電力分野では、電力会社（一般電気事業者）向けに1915年に誘導形電力量計の国内型式第1号を取得し、また、電子式電力量計についても1986年に国内型式第1号を取得している。

2015年には、電力量計事業100周年の節目を迎える。

現在の製品の主力は電子式電力量計であるが、今後、導入が加速するスマートメーターへ開発・製造・販売をシフトし事業を展開していく。

ガス分野では、1970年から事業を開始し、現在は、ガスマイコンメーターコントローラや、検針用通信機器の開発・製造・販売を行っている。

水道分野では、1982年より電子式水道メーター用ユニットの製造・販売を開始し、現在は、無線検針システム用機器も手掛けている。

近年、ガス・水道分野においてもスマートメーター化の検討が始まっており、ガス分野はスマートメーター化に対応した機器の開発を進めている。

産業分野では、1979年のデマンド監視制御装置の製品化を皮切りに、電子式電力量計や自動検針システムへと事業を展開した。

現在は社会的ニーズが高まっているMEMS、HEMS（注1）などに利用されるスマートメーターおよび自動検針システムを中心に事業を展開している。

このように、東光東芝メーターシステムズは、電力、ガス、水道などの生活インフラに関わる計量器の総合メーカーである。

（注1）

EMS…エネルギーマネジメントシステム

Energy Management System

MEMS…マンションエネルギーマネジメントシステム

Mansion Energy Management System

HEMS…ホームエネルギーマネジメントシステム

Home Energy Management System

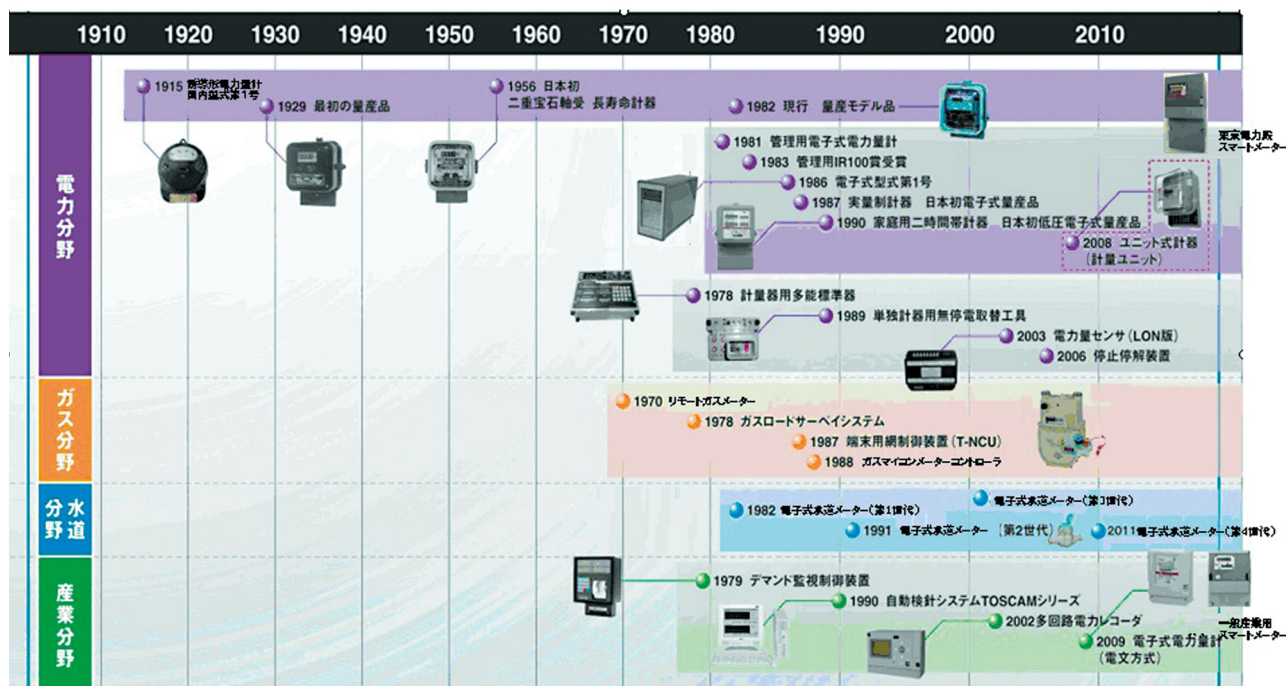


図1 計器事業の変遷

2. 主力製品紹介

2.1 電力分野

(1) スマートメーター

スマートグリッドや EMS のキーコンポーネントとなる 30 分単位の計量と記録、通信、開閉機能を有する電子式電力量計である。



図 2 東京電力向けスマートメーター



図 3 関西電力、九州電力向けユニット式計器

2.2 ガス分野

(1) ガスマイコンメーターコントローラ

ガスメーターに内蔵される装置で、ガスの異常使用や地震を感知した場合に、ガスの供給を自動的に遮断する安全機能をつかさどる制御装置である。

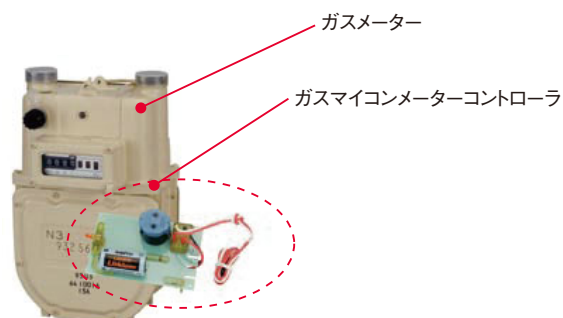


図 4 ガスマイコンメーターコントローラ

(2) 多段中継無線機

多段中継無線機は、無線機同士でメッシュネットワークを構築し、多段中継（マルチホップ）で通信する近距離無線機である。920 MHz 帯の無線周波数を使用し、国際規格の IEEE802.15.4 g（Low-Rate Wireless Personal Area Networks（LR-WPANs）の物理層の仕様）として標準化されている。

《特長》

① 自動登録機能

無線機は設置後、自動的に通信可能な無線機を探索し、ネットワークを自立的に構築するため、施工の簡素化が可能になる。

② 通信経路自動選択機能

各無線機が、ネットワーク情報を管理しているため、無線機が故障した場合や電波環境が悪い場合には、自動的に迂回経路への切替えが可能になる。

③ 10 年間動作

低消費電力な通信プロトコルを開発し採用することで、電池での 10 年間動作が可能である。

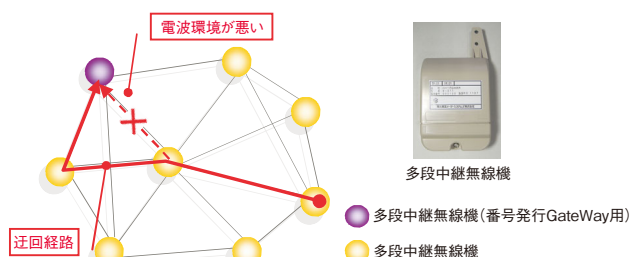


図 5 多段中継無線機メッシュネットワーク

2.3 水道分野

(1) 電子式水道メーター用ユニット

水道メーターに使用されるユニットで、流量に比例した水車の回転数を計測し積算値を液晶表示するとともに、通信機能を搭載している。電池で 8 年間（水道メーターの検定有効期間）動作が可能である。

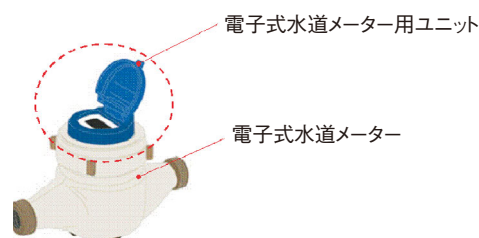


図 6 電子式水道メーター用ユニット

(2) 水道メーター用ハンディ無線検針システム

離れた場所に設置されている電子式水道メーターにハ

ンディターミナルから無線で検針するシステムである。積雪地域や難検針箇所でも広く利用されている。

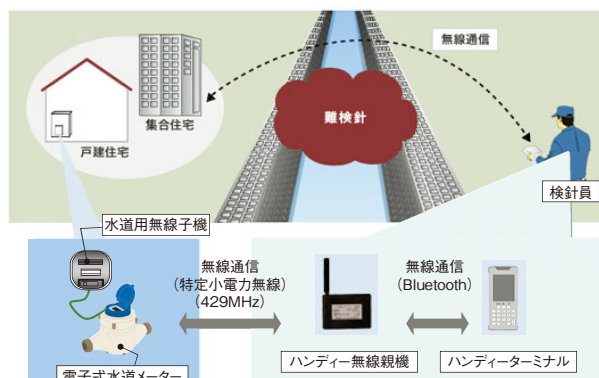


図7 水道メーター用ハンディ無線検針システム

2.4 産業分野

(1) MEMS、HEMS 向けスマートメーター

通信機能を搭載した産業分野（一般市販用）のスマートメーター「SmaMe シリーズ」である。東光高岳製のコンセントレータ「ST-iNC」とシステム連携を図り、スマートマンションや高圧一括受電マンションにおいて多様な料金メニューの策定や使用電力データの『見える化』に貢献している。

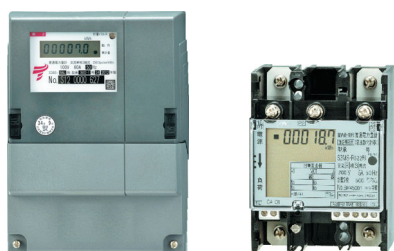


図8 一般産業用スマートメーター SmaMe シリーズ

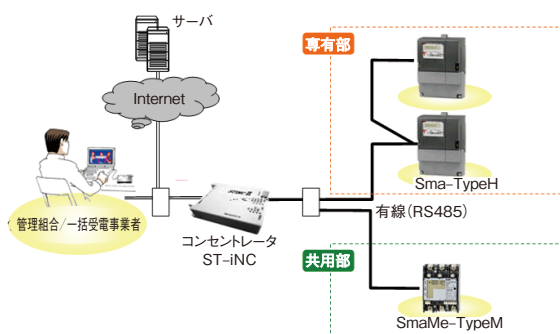


図9 東光高岳製 ST-iNC と連携した高圧一括受電マンション自動検針システムの例

(2) 自動検針システム

ショッピングセンター、テナントビル、市場、空港など、小規模から大規模までのさまざまな施設において、電気・ガス・水道などのメーターを一括検針し、帳票・請求書を発行する集中検針システムである（現機種では自動検針装置1台当たり最大400件検針可能）。また、2014年度、「SmaMe シリーズ」と組み合わせた最新システムの製品化も予定している。

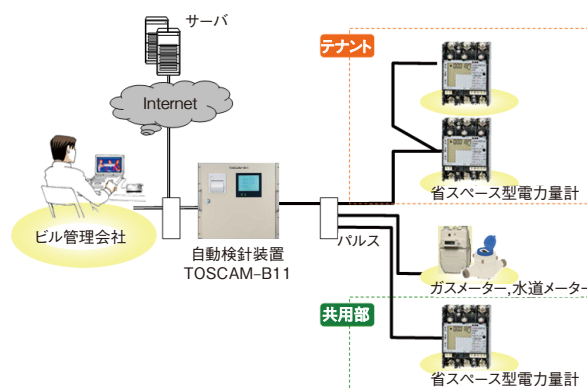


図10 テナントビルの自動検針システムの例

3. 今後の展望

電力取引の自由化や分散型電源の拡大、省エネ指向に対応したエネルギーマネジメントビジネスの拡大を背景に、スマートグリッド、EMSのキーコンポーネントとしてスマートメーターのニーズが高まっている。

東光東芝メーターシステムズは、東光高岳グループ、東芝グループと連携し、各電力会社のスマートメーター導入計画に合わせた製品の提供、ならびに、電力、ガス、水道のインフラを担う計量器のキーコンポーネントとエネルギーマネジメントシステムを提供することにより社会に貢献していく。

情報・エレクトロニクス装置事業の技術・製品紹介

1. はじめに

東光高岳グループの情報・エレクトロニクス装置事業では、主に半導体検査装置、シンククライアントシステム、組込みソフトウェア等の製造・販売を行っている。半導体検査装置は、光応用検査機器事業本部が担当している。長年培ってきた光応用技術、画像処理技術と精密制御技術を基に、主な製品として、三次元外観検査装置、画像処理機器、マスク欠陥検査装置および膜厚検査装置がある。シンククライアントシステムは、ミントウェアが担当している。セキュリティや管理運用性の向上といったメリットを活かし、製造業・金融業・自治体等の基幹業務にて多く利用されている。また、昨今では長年培ったCADのノウハウとシンククライアント技術を基に設計業務向けシンククライアントの構築・運用保守サービス提供にも注力している。組込みソフトウェアは、ユークエストが担当しており、前身である(株)神戸製鋼所情報通信部、東電ユークエスト(株)時代を通じて、20年以上にわたり、組込みシステムビジネスを展開してきた。制御系システム、情報家電、車載機器などに多くの採用事例をもつ組込みソフトウェアベンダーであるとともに、これまで培った通信技術を利用して、遠隔監視やセンサーネットワークなどのM2M(Machine to Machine)関連製品を製造している。

2. 半導体検査装置

2.1 三次元外観検査装置

本装置(図1)は、LSIチップ上の電極端子(バンブ:半田ボール)やICパッケージの電極端子(バンブ:バンブ径の最小50 μ m)の表面形状を、共焦点光学系を用いて、インライン全数検査を行う装置である。これらLSIチップやICパッケージは、パーソナル・コンピュータ(PC)、スマートフォン、モバイルPCなどに用いられ、その市場は、今後も成長が期待できる。本装置の共焦点光学系を用いた三次元計測は、検査対象ワーク(LSIチップやICパッケージ)を高速かつ高精度に計測することができる。最近、検査対象ワークの薄型化に伴って、加温状態でのワーク反りの程度を知る必要性が生じている。そのニーズに対応するため、温度可変基板反り検査装置(図2)を市場投入した。また、基板小型化のため、立体実装(三次元実装)に用いられる穴(VIA)の深さを計測する装置も当該技術の応用として市場投入した。



図1 三次元外観検査装置



図2 温度可変基板反り検査装置



図3 画像処理機器

2.2 画像処理機器

本装置(図3)は、工場で生産される商品に印字された文字の検査やウェーハの位置決めを行う装置である。

光を照射し、反射してくる光をカメラでとらえて画像処理し、文字検査や位置決めなどを行う。

2.3 マスク欠陥検査装置

本装置（図4）は、半導体製造工程の前工程で用いられるマスク（LSIチップや液晶画面を基板に焼き付けるガラス原版）の微細な回路欠陥（250 nm～1 μm）を検出する装置である。マスクに短波長（530～365 nm）光を照射し、透過または反射した光強度を測定し、欠陥を検出する。回路設計データとマスクから得られる画像データとの比較検査を行う装置である。



図4 マスク欠陥検査装置

2.4 膜厚検査装置

本装置（図5）は、光の干渉現象を利用して、多孔質膜の厚さ（1～50 μm）を計測する装置である。事例として、色素増感太陽電池に用いられている酸化チタン膜（多孔質膜）の厚さ計測に適用を考えている。色素増感



図5 膜厚検査装置

型太陽電池の酸化チタン膜厚は、発電効率を左右する重要な因子である。光干渉技術は、多孔質膜の厚さ計測だけでなく、生物の外皮厚さ計測などにも活用され、他分野への展開に期待がもてる。

3. シンククライアントシステム

3.1 シンククライアント端末

シンククライアントは、データもアプリケーションもサーバ側にあり、どの端末からでも同じ環境が利用可能という特長から、近年、情報漏洩対策やテレワークを実現するソリューションとして注目が集まっており、その適



図6 リモートアクセス用途での利用イメージ

用範囲も製造業・金融業・自治体等の基幹業務から外勤者・在宅勤務者のリモートアクセス用途へと広がっている(図6)。

ミントウェアは、高岳製作所システム事業部であった30年以上前から端末装置の開発・製造・販売を行っている国内シンクライアントメーカの草分け的存在であり、自社工場にて柔軟なカスタマイズ対応が可能であることが大きな特長である。製品としては、ファンレス設計により完全駆動部レスを実現したデスクトップ型(2画面表示可能な新製品を本号の別記事で紹介)、大手PCベンダーのノートPCをベースに独自の技術を適用したディスクレスノート型がある。端末の外観例を図7に示す。また、USBキーを挿入することで、既存PCをシンクライアント端末化できる「ゆびくら」を本号の別記事で紹介している。



図7 シンクライアント端末

3.2 設計業務向けシンクライアント

図面などの機密情報が多い設計業務においても、シンクライアントへの関心が高まっている。

(1) ネットブート方式によるシステム

ミントウェアでは、クライアントリソースをフルに活用でき3次元CADが快適に使えるネットブート方式のシンクライアントシステムを2001年より提供し、学校・教育現場を中心に300システム、40,000台を超える納入実績を持つ。

(2) 仮想デスクトップ方式によるシステム

近年は、ネットワーク帯域の狭いWAN環境や離れた拠点からでもセキュアに設計業務を行いたいといった現場ニーズに応えるため、仮想デスクトップ方式によるシステムも提供している。以前は、画面表示が追従できず実現が困難であったが、サーバのCPU/グラフィック処理にかかる負担をオフロードする技術の活用により、CADワークステーションのようなエクスペリエンスを提供することが可能となった。構成例を図8に示す。設計業務の他、高精細なグラフィック性能が要求される映像編集業務へも展開できる。

4. 組込みソフトウェア

4.1 ミドルウェア

制御システムや情報家電、車載機器といった、いわゆる組込みシステムにおいては、近年高機能化が進み、搭載されるソフトウェアが膨大になっている。

ユークエストは、これらの機器に組み込まれるミドルウェアと呼ばれるソフトウェアを販売している。USBやTCP/IP、無線LANドライバなど、ユークエストが販売したミドルウェアを組み込んだ製品の例を図9～11に示す。



図9 クラリオン株式会社 カーナビ



図8 仮想デスクトップ方式での構成例



図 10 NEC ディスプレイソリューションズ株式会社
データプロジェクタ



図 11 ローランド株式会社 シンセサイザ

4.2 M2M ルータ

テレメータリング，遠隔監視／制御，オンライン決済などの用途に利用できる携帯電話通信モジュールを搭載したルータ（図 12）を製造している。5 年以上にわたってコンシューマ機器，車載機器などに搭載実績を持つ自社製ミドルウェアをベースに通信ソフトウェアは全て自社で開発したものである。



図 12 M2M ルータ『UMsQuest』

4.3 センサネットワーク

920 MHz 帯無線を利用した，エネルギーや環境を監視するセンサネットワーク機器（図 13）を製造している。温湿度，CO₂，電力量，ガス／水道，照度などのセンサを接続するインターフェースを持ち，多彩な情報の収集が可能である。UMsQuest と組み合わせることで，クラウド環境にデータをアップロードしたり，DI/DO 子機を使うことで，エアコンなどを制御したりすることもできる。



図 13 無線センサネットワーク『EcoQuest』

5. 今後の展望

半導体検査装置では，独自の技術に基づいた製品を今後も市場投入していく。半導体検査装置市場だけでなく，他の分野へも事業を拡げ，「凹凸，厚さ何でも測れます」という製品を整えていく予定である。シンクライアントシステムでは，シンクライアントメーカーならではの強みを活かし，さらにモバイル仮想化，GPU 仮想化，仮想アプライアンス技術など要素技術の取り込みを進め，新たな分野へのソリューション提案に取り組んでいく。組込みソフトウェアでは，今後のユビキタス社会において必要となる通信などの基盤技術を蓄積し，スマートエネルギーや EMS といった分野で，東光高岳グループとしての相乗効果を生み出していく。

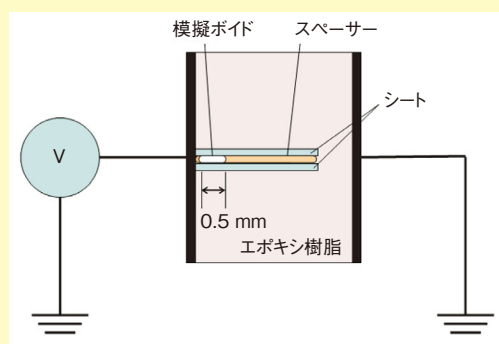
～エポキシモールド機器におけるボイド内の圧力推定～

エポキシモールド機器の高電圧化を目指した取組

森 佑介
Yusuke Mori

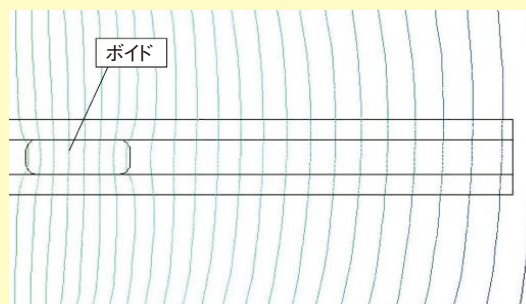
滝澤 明広
Akihiro Takizawa

寺田 修
Osamu Terada

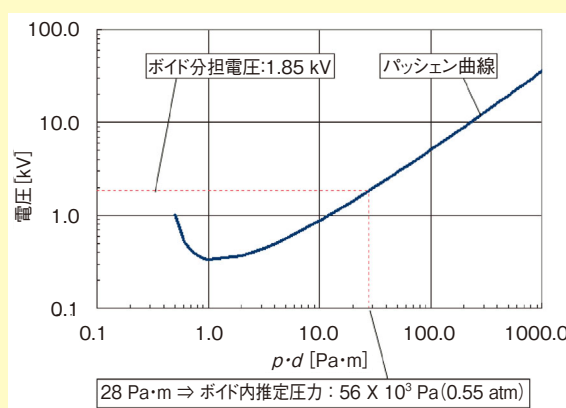


<供試器内の模擬ボイドイメージ>

電界解析



<ボイド部分の等電位線図>



<ボイド内の圧力推定>

部分放電試験結果
+ 電界解析結果
⇒ ボイド内圧力推定

エポキシモールド機器におけるボイド内の圧力推定方法

エポキシモールド機器の部分放電特性を把握する上で重要となるボイド内の圧力推定方法を示す。様々なエポキシモールド機器におけるボイド内の圧力を直接測定するのは容易ではない。そこで本稿では、容易にボイド内の圧力を把握する方法として、部分放電試験結果と電界解析結果からボイド内の分担電圧を算出し、パッシェンの法則と照らし合わせることで圧力を推定した。

エポキシモールド絶縁の適用範囲を拡大することは SF_6 ガスの削減などの観点から有用である。より高電圧の機器に適用する場合、機器の信頼性を確実に確保するために、製品設計や製造管理によるボイドレス化と併せて、万一ボイドが存在した場合の部分放電特性を把握しておく必要がある。

これまで筆者らは文献⁽¹⁾にて、部分放電消滅時におけるボイドの分担電圧がパッシェンの法則¹⁾と近い値となる結果を得た。これを利用し、ボイドを想定した電界解析を実施することで、部分放電消滅電圧を事前に予測できる見込みを得た。ただし、これはボイド内の圧力が大気圧と仮定できる場合であり、実際のモールド機器

では硬化プロセスにおいて、複雑に変化していると考えられる。これにより絶縁耐力が変化するため、ボイド内の圧力を把握する必要がある。

本稿では、検証用に模擬ボイドを内在させたモールド機器の部分放電特性を取得し、その結果と電界解析の結果から模擬ボイド内の圧力の推定を試みた。その結果、模擬ボイド内の圧力は大気圧より低い状態になっている可能性を見出した。この圧力推定方法を利用し、樹脂中に発生したボイド内の圧力を把握しておけば、部分放電特性の予測精度向上に繋がると考えている。

1) パッシェンの法則：放電電圧に関する実験則

1. はじめに

エポキシ樹脂は電気絶縁特性や機械強度が優れており、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計器用変成器などの電力機器に適用している。エポキシモールド絶縁の適用範囲が拡大されることで温暖化係数の高いSF₆ガスの低減にも繋がると考えられる。しかし、より高電圧機器へ適用する場合、信頼性の観点から、エポキシモールド機器の部分放電特性について十分に検証する必要がある。

一般的にモールド機器における部分放電は、微小な空隙に電界が集中することで発生する。注型時の巻き込みボイドも要因の一つであり、東光高岳においては、ボイドレスとなるよう樹脂の配合や温度、真空度等を管理している。また、規格に基づいた部分放電試験により、ボイド等の電氣的欠陥がないことを確認している。

エポキシモールド絶縁をより高電圧の機器に適用するためには、製品設計や製造管理によるボイドレス化と併せて、万一ボイドが存在した場合を想定し、部分放電特性を把握しておく必要がある。しかし、製品開発の度に多様なボイドを内在させた供試器を製作し、部分放電試験を実施するのは開発コストの増加に繋がる。そこで筆者らは電界解析を活用することで、ボイドが存在した場合の部分放電特性が把握できれば、開発コストの低減、製品の信頼性向上に繋がると考えている。

これまで筆者らは文献⁽¹⁾にて、エポキシモールド内部の放電現象の調査および検討を行い、ボイド部分の電界解析の評価について検証した。その結果、部分放電消滅時におけるボイドの分担電圧がパッシェンの法則と概ね近い値となった。このことより、事前にボイドを想定した電界解析を行うことで、部分放電消滅電圧を予測できる見込みを得た。ただし、これはボイド内の圧力を大気圧と仮定できる場合であり、実際のモールド機器では硬化プロセスにおいてボイド内の圧力が複雑に変化していることが考えられる。これにより、ボイド内の絶縁耐力が変化するため、実際のモールド機器におけるボイド内の圧力を把握する必要がある。これまでボイド内の圧力に関する検討としては、北村らや加子らにより、長期的な部分放電によって減圧されるといった報告がある⁽²⁾⁽³⁾。しかし、硬化終了後におけるボイド内の圧力について検討した例は少ない。本稿では、文献⁽¹⁾で述べた部分放電消滅電圧とパッシェンの電圧が近い値をとることを利用し、ボイド内の圧力の推定を試みたので報告する。

2. ボイド内の圧力推定方法

2.1 圧力推定方法

部分放電消滅電圧とパッシェンの電圧が近い値となることを利用し、以下の手順でボイド内の圧力を推定する。

- (1) 模擬ボイドを内在させた供試器を作成し、部分放電消滅電圧を取得する。
- (2) 模擬ボイドをモデル化して電界解析を実施し、印加電圧に対して模擬ボイドが電圧分担する割合を求める。
- (3) 取得した部分放電消滅電圧と模擬ボイドが電圧分担する割合から、部分放電消滅時の模擬ボイドの分担電圧を算出する。
- (4) パッシェン曲線から、模擬ボイドの分担電圧に対応する pd [Pa・m] を求め、これを模擬ボイドの長さで割ることで圧力を推定する。 $(p$: 圧力, d : 模擬ボイドの長さ)

2.2 供試器

図1に作成した供試器を示す。モールド表面の片側を接地面としており、モールド内で部分放電を発生させるため、図2のように充電部と接地面との間に長さ0.5 mmの模擬ボイドを作成した。模擬ボイドはスペーサーを二枚のシートで挟み込むことで形成した。

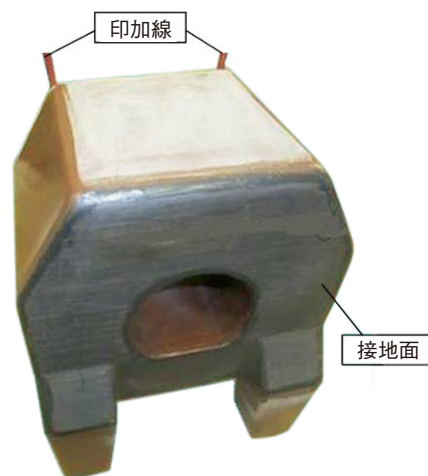


図1 供試器

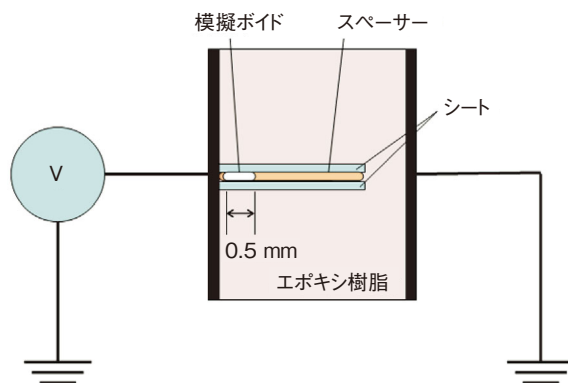


図2 供試器内の模擬ボイドイメージ

3. ボイド内の圧力推定結果および考察

3.1 圧力推定結果

2.1 に述べた手順で模擬ボイド内の圧力を推定した。

- (1) 供試器の部分放電消滅電圧を測定した結果、6.9 kVrms であった。
- (2) 模擬ボイドを考慮した電界解析を実施し、印加電圧に対して模擬ボイドが電圧分担する割合を求めた。図3は模擬ボイド部分の等電位線図であり、模擬ボイドには印加電圧の19%の電位差が発生する。
- (3) 部分放電測定結果(1)と電界解析結果(2)から、部分放電消滅時における模擬ボイドの分担電圧を算出すると1.85 kV ($6.9 \sqrt{2} \times 0.19$) となる。
- (4) (3) で得た結果をパッシェン曲線に記入すると図4となる。1.85 kV に対応する pd 積は $28 \text{ Pa}\cdot\text{m}$ となる。模擬ボイドの長さは 0.5 mm であるため、模擬ボイド内の圧力は $56 \times 10^3 \text{ Pa}$ (0.55 atm) 程度であると推定できる。

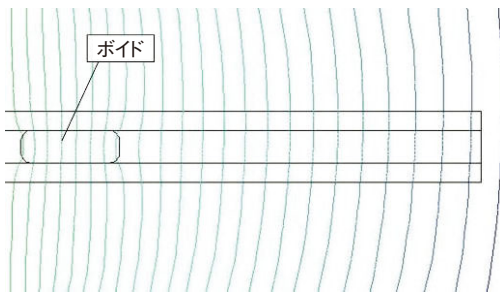


図3 模擬ボイド部分の等電位線図

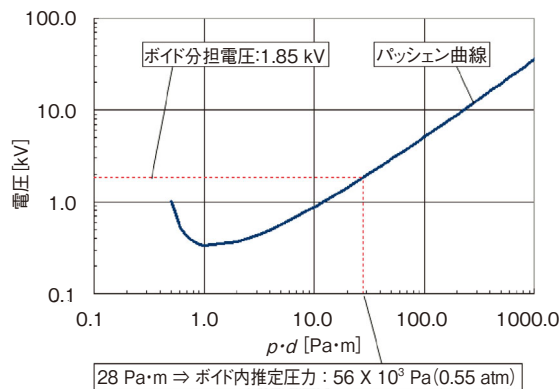


図4 模擬ボイド内の圧力推定

3.2 圧力変化のメカニズムの考察

これまでボイド内の圧力に関しては、文献⁽²⁾⁽³⁾で放電によって圧力は減少することが述べられているが、これらは hour オーダー放電を維持した場合の変化である。本稿の部分放電試験は sec オーダーの課電であり、放電による圧力変化ではなく、硬化終了直後には模擬ボ

イド内が大気圧以下になっていた可能性が高いと考えられる。このメカニズムを解明するためには、硬化プロセスにおけるボイドサイズや温度、ガス分子数の変化について検討する必要がある。図5に硬化プロセスにおける樹脂中のボイドサイズや温度、ガス分子数の変化と、それに伴うボイド内の圧力変化のイメージを示す。同図

(1) のように注型時に巻き込み等によるボイドが残存した場合は、その際の真空度に応じた空気と微量に蒸発した硬化剤がボイド内に閉じ込められる。(2) 周囲の雰囲気と平衡するようにボイドが収縮し、圧力が上昇する。このときの圧力上昇の程度は、樹脂の粘度等に依存すると考えられる。(3) 加熱硬化が開始されると温度上昇により、ボイドが膨張する。(4) 硬化反応により樹脂の流動性が失われてボイドサイズが決定する。なお、硬化反応に伴い樹脂は収縮するが、ボイド内の圧力に影響を及ぼすほどの体積変化は生じないと考えられる。(5) 硬化後の徐冷により、ボイド内の温度が低下する。また、蒸発していた硬化剤はボイドの表面に堆積する。ボイドサイズが不変の状態でも温度低下やガス分子数が減少するため、ボイド内の圧力が低下する。

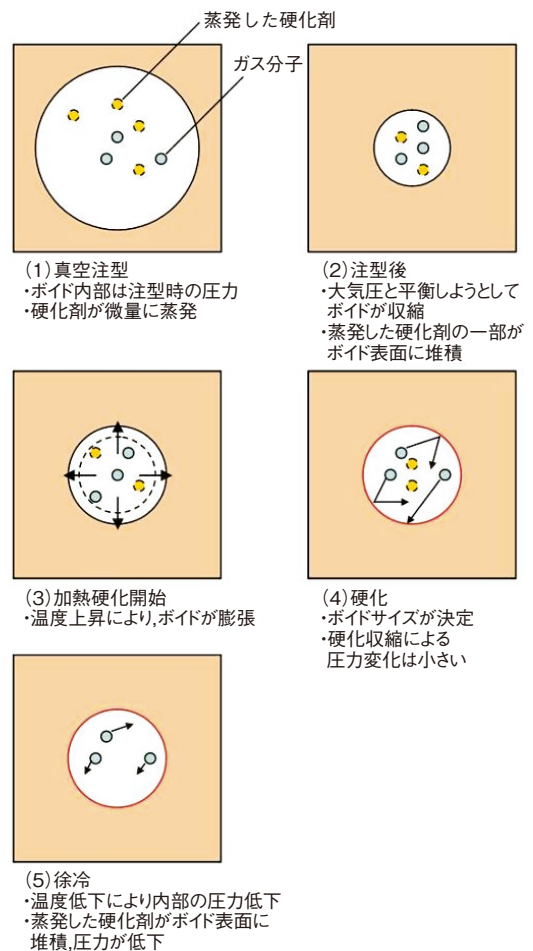


図5 硬化プロセスにおけるボイド内の圧力変化イメージ

硬化剤の蒸発の影響が極めて小さいと仮定すると、徐冷後のボイド内の圧力 P_5 は次式のように硬化温度と徐冷後の温度との比となる。

$$P_5 = P_4 \frac{T_5}{T_4} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 P はボイド内の圧力、 T は温度、下添え字は図 5 に示した硬化プロセスを表す。樹脂の硬化温度によって異なるが、電力用エポキシモールドの場合、硬化直後の圧力 P_4 から、徐冷により 0.7 ～ 0.8 倍程度になると推定できる。ボイド内の圧力が瞬時に周囲の圧力と平衡し、硬化剤の蒸発などの影響が極めて少ないとするならば、 P_5 は 0.7 ～ 0.8 atm 程度になるはずである。しかし、3.1 節で解析と実験の結果から推定した圧力は 0.55 atm であったことから、注型後のボイド内の圧力が大気圧と完全に平衡せずに硬化したことが考えられる。樹脂中のボイドにおいては、さらに硬化剤の蒸発分の影響などにより減圧することが考えられる。それ以外にも、半硬化～完全硬化の間にボイド内のガスが樹脂に吸収されることなども考えられる。

以上のように、ボイド内の圧力を硬化プロセスから定量的に検討するのは極めて難しい。2.1 節で述べた方法であれば、容易にボイド内の圧力を推定できる。これを利用し、樹脂や硬化条件によるボイド内の圧力変化を把握しておけば、エポキシモールド機器の部分放電特性の予測に有用であると考えている。

4. まとめ

エポキシモールド機器におけるボイド内の圧力を把握することは、機器の部分放電特性を予測する上で重要である。しかし、これについて検討した例は少なく、なおかつ、硬化プロセスから定量的に計算することは困難である。そこで本稿では、模擬ボイドを内在させた供試器の部分放電消滅電圧と電界解析の結果から、模擬ボイド内の圧力推定を試みた。その結果、模擬ボイド内の圧力は 0.55 atm 程度と推定でき、大気圧より低い状態である可能性を見出した。

5. おわりに

電力の安定的な供給を維持するには、電力機器の長期的な信頼性が求められる。そのためには、機器の部分放電特性の把握が必要である。しかし、エポキシモールド機器における部分放電現象については、未だに不明瞭な点もある。今後もエポキシモールド機器における部分放電について検証し、信頼性の向上に役立てる所存である。

参考文献

- (1) 森, 滝澤:「エポキシモールド機器の高電圧化を目指した取り組み～エポキシモールド内部の空隙における部分放電現象と電界解析の活用～」, 東光電気技報, No.17 pp.17-20 (2012)
- (2) 北村, 平林:「エポキシ樹脂中の密閉ボイドにおける部分放電特性と圧力変化」, 電気学会論文誌 A, 105 巻 7 号 pp.365-372 (1985)
- (3) 加子, 東村:「エポキシ樹脂の内部部分放電によるボイド内ガス圧およびボイド内表面抵抗の変化」, 電気学会論文誌 A, 105 巻 10 号 pp.555-561 (1985)



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



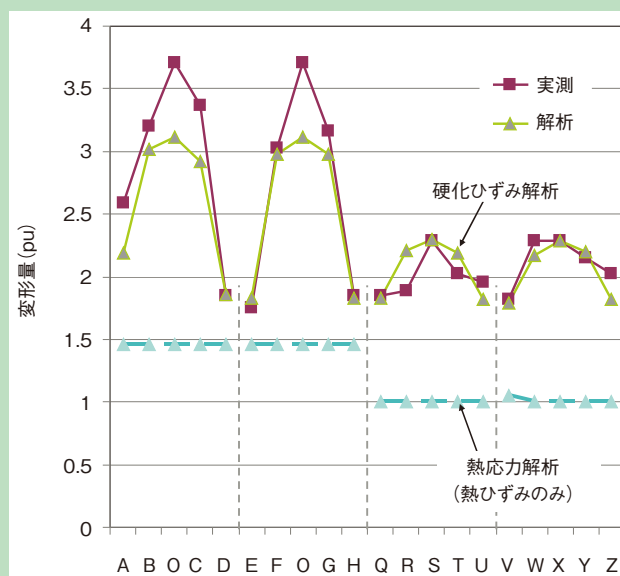
寺田 修
電力機器事業本部
モールド変成器製造部
設計グループ 所属
電力機器の開発・設計に従事

エポキシモールド機器の最適設計に向けた硬化ひずみ解析

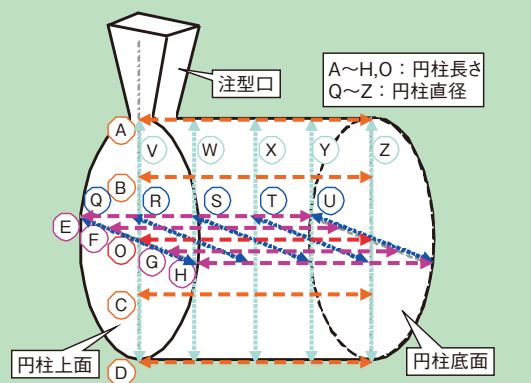
滝澤 明広
Akihiro Takizawa

森 佑介
Yusuke Mori

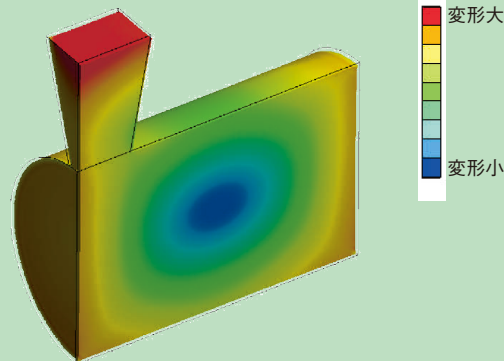
大竹 美佳
Mika Ohtake



＜変形量の実験と解析の比較＞



＜硬化実験の変形測定箇所＞



＜硬化ひずみ解析の変形図＞

エポキシモールドの硬化ひずみ解析

これまでエポキシモールド機器の変形量の解析は、従来の熱応力解析だけでは表現できなかった。成形プロセスにおいて生じる樹脂の収縮を加味する硬化ひずみ解析を適用することで、変形を表現できることを示した。この硬化ひずみ解析を利用して内部部品を含めた場合の残留応力やさらに温度変化などの使用環境の影響を組み合わせた応力状態を予測できる。

電力機器においてエポキシモールドによる固体絶縁は、防災や環境負荷低減の観点からニーズが高まっている。モールド機器の開発を迅速にかつ的確に進めるために、適切な構造や成形プロセス条件を事前に予測できることが重要と考え、筆者らは、硬化に関する解析技術の研究を進めている。モールド機器の設計に、より有用な情報を提供する目的で、エポキシモールド機器の硬化時の残留応力に加え、機器の使用環境を考慮した応力状態を予測することに取り組んでいる。

使用環境を想定した温度変化に対する製品の変形や応力を予測する場合、熱応力解析を実施することが多い。しかし、モールド機器では実験と解析との整合に課題が

多い。これはモールド機器に使用している熱硬化性樹脂の成形プロセスで生じる収縮を考慮していないことが要因と考え、硬化ひずみ¹⁾解析に取り組んだ。

本稿では、硬化収縮による変形を実測し、従来の熱応力解析だけの結果と比較して、硬化ひずみ解析が有効であることを示した。硬化ひずみ解析は、内部部品を含めた解析をすることで残留応力を求めることができる。さらに温度変化や外力を付加することで、使用環境での応力状態を予測できる。これらを利用してエポキシモールド機器の適切な構造設計に活かす。

1) 硬化ひずみ：熱硬化性樹脂の硬化反応に伴う収縮＋熱収縮

1. はじめに

エポキシ樹脂は電気絶縁特性や機械強度が優れており、電力機器の固体絶縁材料として広く用いられてきている。近年では防災や環境負荷低減の目的で、油やSF₆ガスといった絶縁方式に代わり、エポキシモールドの固体絶縁に対するニーズが高まっている。お客さまの多様なニーズに応えるためには、エポキシモールド機器をタイムリーに製品化することが重要である。モールド機器の設計・開発段階においては、成形プロセス条件を迅速に最適化することで開発期間の短縮が図れる。そこで当社では、成形時のエポキシ樹脂の流動、硬化反応および残留応力等の解析技術の研究開発を進めてきた。

これまで筆者らは、樹脂ボリュームが大きく、自己発熱の影響が無視できない硬化挙動に対する解析に取り組んできた^{(1)~(4)}。これらの取組を踏まえてさらに使用環境を想定した構造評価を製品開発の初期段階で実施することが、タイムリーに製品化する手段の一つと考えている。そこで本稿では、エポキシモールド製品の使用状態までを想定した構造解析への取組として、成形プロセスを考慮した硬化ひずみ解析に関して紹介する。

2. モールド機器の開発支援への取り組み

エポキシ樹脂のような熱硬化性樹脂は硬化反応によって体積収縮し、内部部品との熱収縮差により、成形時に機器内部に残留応力が発生する。残留応力が大きいと、使用環境での外的な荷重や温度変化などとの組合せにより、場合によっては、樹脂の割れなどを引き起こす。実際の成形プロセスでは、一次硬化プロセスで硬化収縮による残留応力が生じ、二次硬化プロセスにて応力緩和する。通常、製造工程では硬化後の残留応力を極力抑えるように成形プロセス条件などを管理している。そのための成形プロセス条件導出や製品形状の設計工程では、試行錯誤および数多くの検証を要する。それに対して、筆者らの取組は、硬化ひずみ解析を用いて残留応力を定量的に求め、残留応力を低減できる適切な成形プロセス条件や設計形状を見出すものである。これにより、開発期間を短縮しつつ、信頼性の高い安定した品質を実現する。さらに成形時の残留応力を考慮した上で使用環境を想定した外力や環境変化によるストレスを重畳して解析することで、製造から使用状態まで考慮したモールド機器の応力状態を予測し開発工程における手戻りを抑制する。

3. 硬化ひずみの解析方法

3.1 硬化ひずみ発生メカニズム

エポキシ樹脂は硬化反応時に体積収縮するが、この体積収縮は2種類の収縮の組み合わせによって生じる⁽⁵⁾。一つは硬化反応の分子結合による硬化収縮であり、もう一つは温度変化による熱収縮である。

これら収縮の影響は、モールド製品の外觀形状にソリやヒケなどの変形として現れる。また、残留応力としてモールド内部の部品にストレスを与える。反対に、反力として樹脂に対してもストレスが生じる。そのため、硬化ひずみは極力低減することが望ましい。

二次硬化プロセスで緩和しきれないひずみが製品の残留応力となる。そのため使用状態まで考慮した製品の応力状態を予測するには、ベースとなる一次硬化の硬化ひずみを把握することが必要である。

3.2 硬化ひずみの計算方法

硬化プロセスにおける樹脂の体積変化は図1のように硬化収縮と熱収縮がある。これらは、樹脂のゲル化点を起点としており、合算したものが全体の収縮を示す。

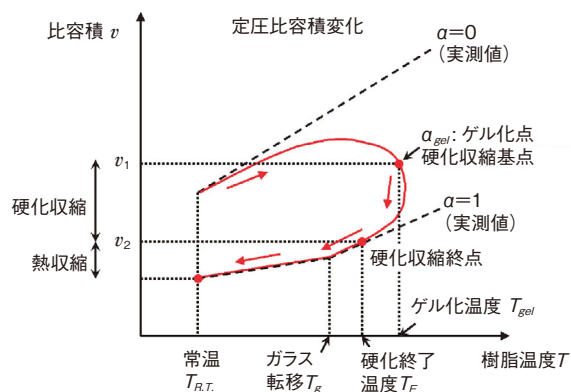


図1 硬化収縮と熱収縮の模式図

具体的な硬化ひずみの計算式を式(1)~(4)に示す。

(1) PVT特性（圧力・体積・温度の関係）から硬化反応率 α の変化を補間した比容積 v を算出する。比容積 v の変化から硬化収縮による体積変化率 S_v を求める。

(2) 体積変化率 S_v から硬化収縮ひずみ ε_c を求める。

(3) 熱収縮ひずみ ε_T は線膨張係数 β を用いて算出する。

(4) それらを合わせたひずみ ε_{Total} が硬化ひずみを示す。

$$S_v(p, T_E, \alpha) = \frac{v_2(p, T_E, \alpha) - v_1(p, T_{gel}, \alpha_{gel})}{v_1(p, T_{gel}, \alpha_{gel})} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\varepsilon_c = 1 - \sqrt[3]{1 - S_v} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\varepsilon_T = \beta(T_E - T_{R.T.}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\varepsilon_{Total} = \varepsilon_c + \varepsilon_T \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで得られる硬化ひずみを解析対象全体で累積するとヒケやソリとして定量的に表現できる⁽⁶⁾。また、樹脂の硬化によって生じるひずみと内部部品の熱変形を加味して構造解析を行うことで、硬化による残留応力⁽⁷⁾を求めることができる。

4. 硬化ひずみ解析による変形量

4.1 硬化ひずみの実験方法と評価方法

硬化ひずみ解析の妥当性および有用性を検証する目的で図2に示す円柱形状（φ80-117）の供試器を用いて硬化実験を行った。実験では一次硬化を行い、その後急冷し、一次硬化プロセスで発生した硬化ひずみを強制的に保持した。温度変化は図2に示す3点にて測定し、その変形は図3に示す箇所の外形寸法を測定して変形量を求めた。

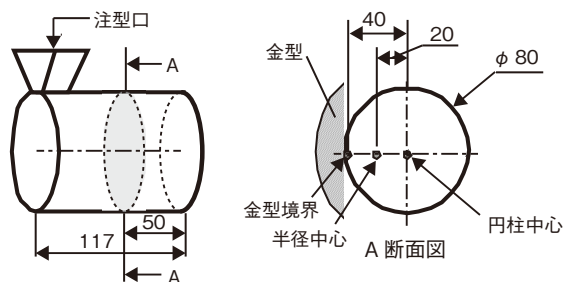


図2 円柱モデルの形状と温度測定箇所

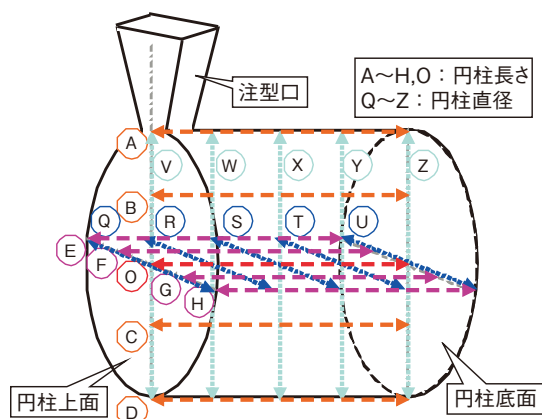


図3 変形の寸法測定箇所

4.2 硬化プロセスにおける温度変化

式（1）、（3）に示すように硬化ひずみは硬化中の樹脂温度の変化に影響を受ける。そこで、温度変化を図4にて確認する。なお、樹脂の初期温度を基準として正規化した。実測と解析では、部分的に多少の誤差は見られるものの、硬化によって樹脂が自己発熱して中心部の温度が高くなる様相および最高温度および最高温度に到達するタイミングなどよく一致している。

硬化ひずみは、樹脂が硬化によって移動しなくなるゲル化点以降に生じる。硬化反応率の解析結果からゲル化時間を求め、グラフ上にプロットすると、温度上昇の大きい円柱の内部から硬化していることが分かる。

4.3 硬化ひずみの解析と実測の比較

硬化反応に伴う収縮の影響を含めない熱収縮ひずみのみを計算する熱応力解析の結果を図5に示す。なお、

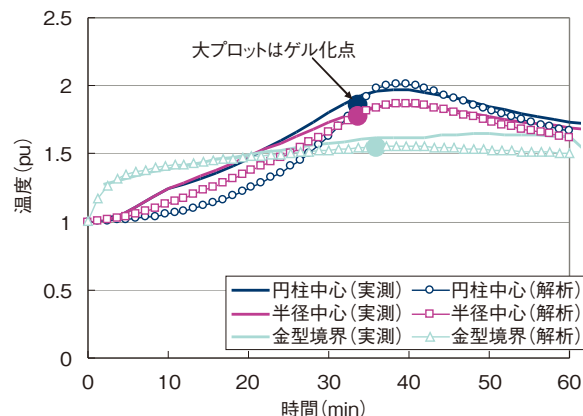


図4 硬化における樹脂の温度変化

変形量は熱収縮ひずみのみの解析結果Q～Uの平均値を基準として正規化した。以降の図においても同様に表記する。熱収縮ひずみのみの解析は、実測と比較して変形量および変形形状の傾向ともに大きな乖離がある。

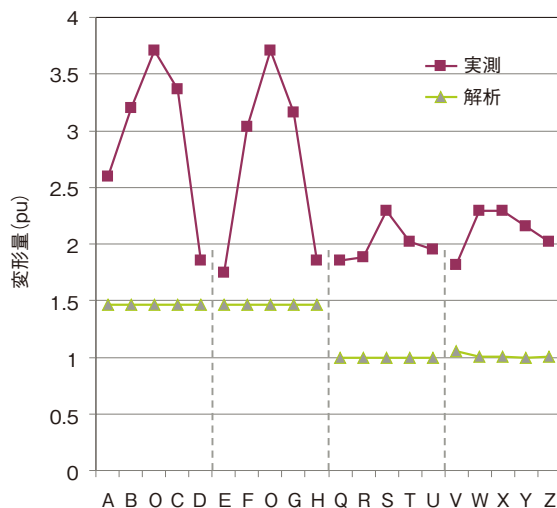


図5 熱応力解析と実測の変形量

硬化反応に伴う収縮を考慮した解析の結果を図6に示す。熱収縮ひずみのみの結果と比べ、2倍以上の変形量となり、実測に近い結果が得られた。またグラフが山なりとなる変形様相もよく表現できている。この変形の様相は、樹脂が硬化するときに化学反応により発熱するため、樹脂の中心部の温度が高くなり（図4）、中心部の硬化が先行し、樹脂表面中央部の変形量が大きくなったものと考えられる。このように樹脂の変形量を解析的に導出することができる本手法を用いて、内部部品を含めた解析を行うことで、成形時に発生する残留応力を定量的に予測できる見込みを得た。

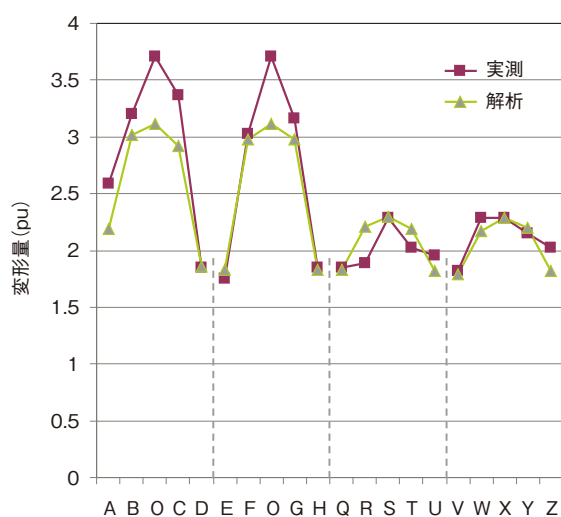


図6 硬化ひずみ解析と実測の変形量

5. まとめ

本稿では、構造設計や成形プロセスの両面を考慮したエポキシモールド機器の最適設計に向けた取組として、成形プロセスで生じる樹脂の硬化反応に伴う収縮を考慮した硬化ひずみ解析について紹介した。

従来の熱応力解析に対して、硬化ひずみ解析を実施することで、エポキシモールドの変形を表現できることを示した。この硬化ひずみ解析を製品開発の初期段階に実施することで、成形時に発生する変形や応力を抑制するための有用な情報を得ることができ、製品の開発期間を短縮しつつ、信頼性の高い製品づくりに寄与できると考えている。

今後、ここで得られた硬化ひずみにさらに二次硬化時の応力緩和を考慮する予定である。硬化後の残留応力に使用環境を想定した外力や温度変化などのストレスを加味して解析することで、製造から使用状態まで考慮した応力予測へと発展させ、開発の手戻りを抑制することで、よりよい製品づくりに役立てていく所存である。

参考文献

(1) 滝澤明広・山下太郎：「エポキシ樹脂モールド製

造プロセスにおける硬化反応時の発熱挙動の解析」, 東光電気技報No.14 (2009)

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

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

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

(5) 伊奈治・石川智則・杉浦昭夫・成田量一：「熱硬化型樹脂注型品の硬化プロセス解析技術の開発」, デンソーテクニカルレビュー Vol.7 No.2 (2002)

(6) 林垣 新・山本晃司・渡邊綾子・多田和美：「プラメディア技術報告書 (1999)」, 成形加工, 12, 103 (2012)

(7) 寺田賢二郎・濱名康彰・平山紀夫：「繊維強化プラスチックの粘弾性マルチスケール解析手法」, 日本機械学会論文集 A 編, 75 (760), 1674-1683, 2009-12-25



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



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



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, および解析技術の研究に従事

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

大竹 美佳
Mika Ohtake

山下 太郎
Taro Yamashita

平野 一美
Kazumi Hirano

電力用エポキシモールド機器

エポキシ固体絶縁のメリット

- 複数部材の一体成形
- 形状の自由度
- 小型化
- 省メンテナンス
- 防災(耐燃焼性)



エポキシ樹脂材料技術

- 配合・分散技術
- 評価技術(試験・分析)
- シミュレーション技術(注型・硬化/応力/電界)
- 製造プロセス技術

高電圧、大電流、屋外仕様、異種材料の大型一体成形等の市場ニーズに対応するエポキシ樹脂の高性能化

・熱硬化プロセスの短縮、工程・部材の簡素化を目的としたエポキシ樹脂の高機能化
・注型・硬化解析による硬化プロセスの最適化

構成材料の分離回収を目的とした熱硬化性エポキシ樹脂の溶解技術

今回の取組

植物油由来エポキシ樹脂の適用(グリーン化技術)

低炭素で持続可能な社会の実現



モールド機器の適用拡大によるSF₆ガス(地球温暖化ガス)使用量の削減

モールド機器の製造時の省エネ化によるCO₂削減

モールド機器のリサイクルによる循環型社会の実現

エポキシ樹脂のカーボンニュートラルによるCO₂削減

環境負荷低減に貢献する電力機器用エポキシ樹脂の高性能化・高機能化・高信頼化・グリーン化技術

低炭素で持続可能な社会の実現に向け、これまでの電力機器用エポキシ樹脂の高性能化・高機能化・高信頼性化技術の開発成果を活かし、エポキシ樹脂の適用範囲拡大によるSF₆ガス使用量の節減や製造プロセスの最適化、リサイクル技術など環境負荷低減を目的とした取組を推進している。平行して、石油由来エポキシ樹脂の代替として、材料そのものが環境負荷低減につながる植物油由来エポキシ樹脂を、電力用モールド機器へ適用するための取組も行っている。

近年、環境負荷低減を目的とした取組が様々な分野において盛んに行われている。熱可塑性樹脂を中心とする樹脂材料の開発においても、バイオマス資源の有効活用によるカーボンニュートラルや石油資源の使用量節減等、材料そのものが環境負荷低減に貢献する取組が積極的に行われている。一方、電力機器用エポキシ樹脂を含む熱硬化性樹脂では、熱可塑性樹脂と比較して、特性面における代替のハードルが高く、バイオマス資源を有効活用する取組はあまりなされていない。

筆者らは、環境負荷低減に貢献する電力機器用エポキ

シ樹脂の開発を目指して、各種バイオマスフィラーや植物油由来であるエポキシ化植物油を用いたバイオマス樹脂について、その成形プロセス性や基本的な材料特性を明らかにしてきた。

本稿では、電力用モールド機器への適用が有望な植物油由来エポキシ樹脂について、課題であった耐サーマルショック性の向上を試みた。その結果、石油由来エポキシ樹脂と同等以上の耐サーマルショック性能を有し、電力用モールド機器への適用の可能性を確認できたので報告する。

1. はじめに

地球温暖化防止のため、CO₂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。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SF₆（六フッ化硫黄）ガスが温室効果ガスであるため、その使用量の節減が責務であり、一部の電力機器においてはエポキシ樹脂モールド等による他の絶縁媒体へ代替が進められている⁽¹⁾⁽²⁾。

変成器メーカーである当社においても、より高電圧、大型の電力機器についてSF₆ガスの使用量節減を実現すべく、エポキシ樹脂の高性能化に積極的に取り組んできた^{(3)~(6)}。また、循環型社会の実現に貢献すべく、石炭火力発電所より生成される石炭灰に着目し、エポキシ樹脂に充填するフィラーとしての有効活用⁽⁷⁾⁽⁸⁾や、現在はそのほとんどが廃棄処分されている電力用モールド機器のリサイクル技術開発についても取り組んできた⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

環境対応型電力機器の開発に向けたアプローチとしては、これまでに開発した高性能化エポキシ樹脂の適用範囲拡大によるSF₆ガス使用量の節減や、硬化プロセスの最適化によるエネルギー消費量の節減を推進している。今後はバイオマス資源の有効活用により、材料そのものが環境負荷低減に貢献するエポキシ樹脂の実現を目指して、石油資源の使用量削減や地球温暖化防止をより一層推進していきたいと考えている。

本稿では、石油由来ではない植物油由来原料のエポキシ樹脂について、電力用モールド機器への適用を実現すべく、耐サーマルショック性の向上を試みたので報告する。

2. バイオマス資源の有効活用

2.1 バイオマス資源適用のメリット

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CO₂を吸収することから、最終的に焼却処分によりCO₂が発生したとしても、地球上におけるCO₂の増加を防止することができる。また、石油や鉱物等の枯渇資源と異なり、水やCO₂等の環境があれば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している。この繰り返し再生可能でCO₂を吸収して成長するバイオマス資源を有効活用し、石油資源の代替やその使用量の節減に向けた研究開発や実用化が、燃料や熱可塑性樹脂をはじめとする様々な産業分野で積極的に展開されている^{(11)~(13)}。

電力用モールド機器は機械強度や耐熱性等に要求される性能レベルが高く、熱硬化性樹脂であるエポキシ樹脂が多く用いられてきた。バイオマス資源の適用を考えた場合、熱硬化性樹脂は熱可塑性樹脂と比較すると、特性

面におけるハードルが高い。そのため、電力機器用エポキシ樹脂もバイオマス資源を適用する取組はあまりなされていない。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、電力機器用エポキシ樹脂に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。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、特に石油由来原料であるエポキシ主剤をバイオマス資源に代替することが、CO₂低減の面で最も効果が期待できる。

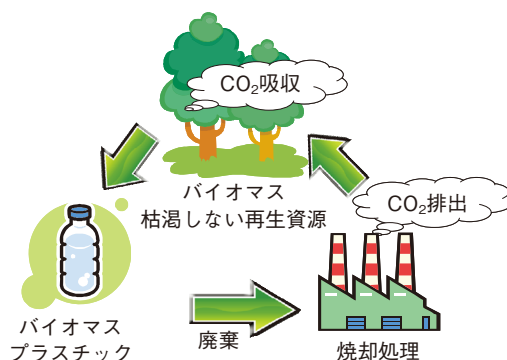


図1 カarbonニュートラルの概念

2.2 電力用モールド機器への適用における技術課題

エポキシ樹脂主剤の代替として、筆者らはこれまでに植物油の脂肪酸の不飽和部位（二重結合部）をエポキシ化した数種類のエポキシ化植物油⁽¹⁴⁾をターゲットとし、有用性検討を行なった⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。その結果、エポキシ化亜麻仁油樹脂（以下、亜麻仁油樹脂と略記）は、長年実績のある電力機器用エポキシ樹脂（以下、現行樹脂と略記）と比較して、耐熱性および機械強度がやや劣るものの、電気絶縁性、成形プロセス性は同等レベルであり、樹脂単体の材料特性として一定の性能を有することを明らかにした。しかし、熱的性質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、樹脂単体の特性だけでなく、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。

耐サーマルショック性を評価する一般的な手法として、冷熱試験が挙げられる。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、「JIS C 2105 電気絶縁用無溶剤液状レジン」における冷熱試験法を基に、より厳しい条件となるよう独自に液相冷熱試験法⁽³⁾を確立した。液相冷熱試験法の試験片を図2に示す。鉄製のスプリングワッシャーを内蔵する樹脂試験片（以下、SW 冷熱試験片と略記）に熱衝撃を与え、クラック発生の有無により評価が可能であり、大型の電力用モールド機器での冷熱試験結果と良好な相関関係を有していることも明らかにしている。

耐サーマルショック性評価において、亜麻仁油樹脂は硬化プロセス終了時点でクラックが発生し、耐サーマル

ショック性の向上が課題であった。



図2 SW 冷熱試験片

3. 耐サーマルショック性の向上

耐サーマルショック性の向上を図るため、二つのアプローチを試みた。一つは溶融石英の高充填による硬化反応収縮および熱収縮の低減、もう一つは硬化プロセスの最適化による熱収縮の低減である。

3.1 溶融石英の高充填による硬化収縮・熱収縮の低減

フィラーとして、現行樹脂に用いられている結晶性石英よりも線膨張係数の1桁小さい溶融石英を高充填することで、樹脂の硬化反応収縮率と熱収縮率をより低減することができる⁽³⁾。そこで、本アプローチでも注型可能な樹脂粘度を基準とし、溶融石英を最大限充填することで、硬化反応収縮率と熱収縮率の低減を試みた。なお、高充填の観点から、球状の溶融石英を選択すれば結晶性石英配合時の約1.8倍の充填が可能であることが分かった。

3.2 硬化プロセスの最適化による熱収縮の低減

電力機器用エポキシ樹脂は一般に、樹脂の種類、成形方法にもよるが80～130℃で硬化させるものが多い。この硬化プロセス温度が高いほど、室温まで降温させる硬化プロセス終了時の熱収縮による熱応力が大きくなる。これまでに検討した亜麻仁油樹脂は比較的高温・短時間で硬化させていたため、熱収縮が大きいと予想される。本アプローチでは溶融石英を高充填した亜麻仁油樹脂について、低温・長時間とする硬化プロセスの最適化により、熱収縮の低減を試みた。

3.3 耐サーマルショック性評価

溶融石英を高充填した亜麻仁油樹脂は結晶性石英を配合した亜麻仁油樹脂と同様に、硬化プロセス終了時点でSW冷熱試験片にクラックが発生した。一方、溶融石英の高充填に加え、硬化プロセスを最適化した亜麻仁油樹脂（以下、改良亜麻仁油樹脂と略記）は、硬化プロセス終了時点でSW冷熱試験片にクラックは発生しなかった。

今回検討した亜麻仁油樹脂においては、溶融石英の高充填によるアプローチのみでは、耐サーマルショック性の向上は不十分である。溶融石英の高充填と硬化プロセス最適化効果のそれぞれの寄与度については、硬化プロセスの最適化アプローチのみによる試作検討を行っていないため、明確にはなっていない。溶融石英の高充填の

効果に加え、硬化プロセスを最適化することが耐サーマルショック性の向上に対して有効な手法である。

改良亜麻仁油樹脂の耐サーマルショック性の試験結果を表1、線膨張係数を表2に示す。なお、表1の×印はn3もしくはn5の各試験片に、クラックが発生したタイミングを示し、表2の値は現行樹脂の値で基準化して表示した。

改良亜麻仁油樹脂は溶融石英の高充填および硬化プロセスの最適化によって、現行樹脂より優れた耐サーマルショック性を有していた。表2から、改良亜麻仁油樹脂は現行樹脂よりも線膨張係数がやや大きいため、耐サーマルショック性は不利になると予想されるものの、現行樹脂より良好であった。理由として硬化プロセスの違いや、配合フィラーの組成、形状の違い等が影響していると考えられる。

表1 耐サーマルショック性試験結果

サイクル	温度(℃)	冷熱指数	現行樹脂	改良前亜麻仁油樹脂	改良亜麻仁油樹脂
0	RT	0		×××××	
	100	0.5			
1	0	1.0	×××××		
	100	1.5			
2	-10	2.0			×××
	100	2.5			
冷熱指数平均			1.0	0.0	2.0

※表中の×印はクラックの発生を示す

表2 改良亜麻仁油樹脂の線膨張係数

		現行樹脂	改良前亜麻仁油樹脂	改良亜麻仁油樹脂
フィラー	種類	結晶性石英	結晶性石英	溶融石英
	重量比※	1	1.0	1.8
線膨張係数※		1	1.5	1.1

※現行樹脂の値を「1」とする基準化表示

4. 改良亜麻仁油樹脂の材料諸特性

改良亜麻仁油樹脂の耐サーマルショック性、曲げ特性、ガラス転移温度（以下、Tgと略記）の試験結果を表3に示す。なお、耐サーマルショック性を除く表中の値は現行樹脂の値で基準化して表示した。

改良亜麻仁油樹脂は改良前の亜麻仁油樹脂と比較すると、フィラーの高充填により、曲げ弾性率のみ高い値となり、曲げ強度およびTgは同等であった。

改良亜麻仁油樹脂は現行樹脂よりも、耐熱性および機械強度の面では劣っているため、適用範囲が限定される可能性はあるものの、耐サーマルショック性は現行樹脂より優れており、電力用モールド機器へ適用できる可能性を十分に有していると判断できる。

表3 改良亜麻仁油樹脂の硬化物特性

		現行樹脂	改良前亜麻仁油樹脂	改良亜麻仁油樹脂
耐サーマルショック性		100℃⇔0℃でクラック発生	硬化プロセス終了時点でクラック発生	100℃⇔-10℃でクラック発生
機械特性	曲げ強度*	1	0.8	0.8
	曲げ弾性率*	1	0.7	1.0
耐熱性	ガラス転移温度*	1	0.7	0.7
電気特性	絶縁破壊強度*	1	1.1	—
	誘電率*	1	0.8	—

※現行樹脂の値を「1」とする基準化表示

5. おわりに

材料そのものが環境負荷低減に貢献する電力機器用エポキシ樹脂の実現に向け、植物油由来エポキシ樹脂に溶解石英を高充填し、硬化プロセスを最適化することで、現行樹脂以上の耐サーマルショック性の向上に成功し、電力用モールド機器への適用の可能性を確認することができた。

電力用モールド機器は、長期に亘り高い信頼性を要求されるため、その実用化にはこれまでに取得したデータ以外の特性についても慎重に評価する必要がある。また、硬化プロセスの最適化は、材料配合を変更せずとも耐サーマルショック性の向上に有効なアプローチであったことから、特性と運用両面のバランスを考慮した硬化プロセスの最適化や、更なる環境負荷低減に貢献する材料開発も推進して行きたい。

■参考文献

- (1) 佐藤克朗・細川績・菅原雄一 他：「海外市場向け24kV 真空絶縁スイッチギヤの開発」, 日立評論, Vol.91, No.03 (2009)
- (2) 佐藤純一・阪口修・宮川勝：「地球環境に配慮した24kV 固体絶縁スイッチギヤ」, 東芝レビュー Vol.58, No.12 (2003)
- (3) 渡邊滋・山下太郎・熊谷美佳・平野一美：「電気絶縁用エポキシ樹脂の耐サーマルショック性向上」, 東光電気技報 No.13 (2008)
- (4) 山下太郎・熊谷美佳・渡邊滋・平野一美 他：「エポキシ樹脂の高性能化による特別高圧モールド機器のAPG 化の実現」, 東光電気技報 No.14 (2009)
- (5) 山下太郎・熊谷美佳・渡邊滋・平野一美：「環境対応型電力機器の実現に貢献するエポキシ樹脂の高性能化の取り組み」, 東光電気技報 No.15 (2010)
- (6) 山下太郎・熊谷美佳・大塚尊裕：「熱応力低減に着目したエポキシ樹脂の耐サーマルショック性向上」,

H22 電気学会全国大会 No.2-015 (2010)

(7) 山下太郎・熊谷美佳・大塚尊裕・平野一美：「再生資源の有効活用による電力機器用エポキシ樹脂の高性能化」, 東光電気技報 No.16 (2011)

(8) 山下太郎・熊谷美佳・大塚尊裕：「石炭灰の有効活用による電力用エポキシ樹脂の高性能化」, H23 電気学会全国大会 No.2-006 (2011)

(9) 熊谷美佳・大塚尊裕：「エポキシモールド変成器のリサイクル技術」, H22 電気学会全国大会 No.5-131 (2010)

(10) 熊谷美佳・大塚尊裕：「エポキシモールド変成器の溶解回収物の再利用」, H24 電気学会全国大会 No.5-128 (2012)

(11) 八百健二・相良俊明・森山正洋・高木誠一：「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)

(12) 位地正年：「非食用の植物資源を使用した高機能バイオプラスチックの開発」, Polyfile, Vol.48, No.570, pp.22-26 (2011)

(13) 吉岡まり子：「バイオマス / プラスチック複合材料—研究室関連の一連の取り組み—」, 材料, Vol.55, No.6, pp.537-544 (2006)

(14) 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, pp.3-4 (2010)

(15) 大竹美佳・山下太郎・平野一美：「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)

(16) 大竹美佳・山下太郎・丸山元樹・大塚尊裕：「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検討」, H25 電気学会全国大会 No.2-50 (2013)



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, および解析技術の研究に従事



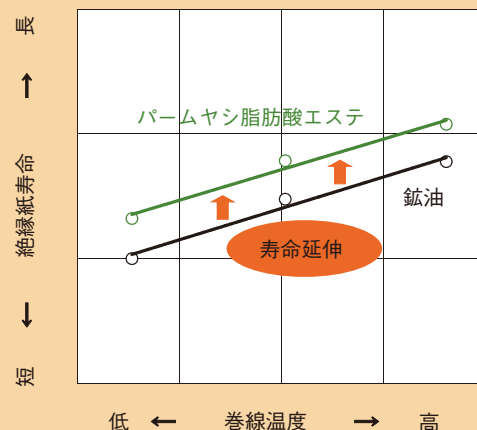
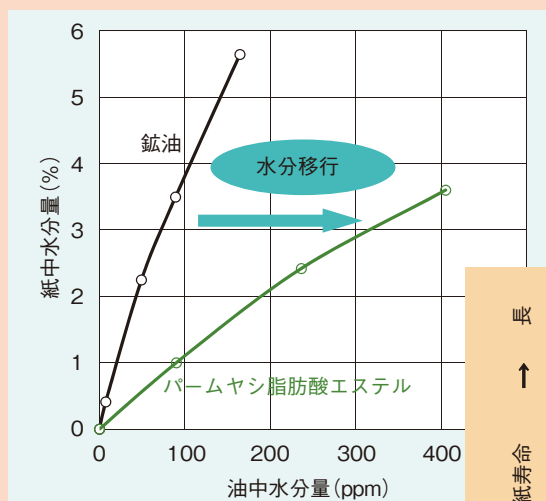
山下 太郎
技術開発本部
技術研究所
材料技術グループ 所属
エポキシモールド樹脂の研究に従事



平野 一美
東京理科大学大学院非常勤講師
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

パームヤシ脂肪酸エステル中における

絶縁紙劣化抑制に関する検討

栗原 二三夫
Fumio Kurihara

パームヤシ脂肪酸エステルによる油/紙水分平衡シフトと絶縁紙寿命延伸のイメージ図

パームヤシ脂肪酸エステルは吸湿性が高く、油/紙水分平衡が油側へ大きくシフトするため、紙から油への水分移行が生じる。これにともない油中での絶縁紙劣化が抑制され、絶縁紙寿命の延伸が期待できる。

重電分野においても機器の環境対応が必要とされている。変圧器においては鉱油に替わる液体絶縁媒体として生分解性に優れたエステル系絶縁油⁽¹⁾を適用した変圧器の開発が進んでいる。エステル油の中でもパームヤシ脂肪酸エステル (Palm Fatty Acid Ester) は従来の鉱油との互換性が高く、環境性はもとより高い比誘電率、低い動粘度といった特徴により変圧器の絶縁・冷却性能の向上も期待できる油種であり、東光高岳では PFAE を適用した変圧器の製品化を進めている。

変圧器へのエステル油適用のメリットとして絶縁紙の劣化抑制効果についても報告があり、今回 PFAE を対象にその効果を鉱油と比較検証した。その結果、高温・

高紙中水分量であるほど劣化抑制効果が大きいことが確認でき、そのメカニズムには PFAE の高吸湿性による紙から油への水分移行が関与している可能性が示唆された。また実験結果から絶縁紙寿命延伸倍率を推定したところ、鉱油中に比べ 1.7 倍程度となった (窒素密封、紙中水分 4%、巻線温度 95℃)。PFAE を適用することにより、鉱油入り変圧器以上の巻線 (絶縁紙) 寿命が期待できる。

(1) エステル系絶縁油：主成分として、脂肪酸とアルコールからなる分子内にエステル結合 (—COO— の化学結合) を有する化合物を使用した絶縁油。生分解性が高い。

1. はじめに

近年、重電分野においても環境対応が必要とされている。変圧器においては、鉱油に替わる液体絶縁媒体として生分解性に優れたエステル系絶縁油（以下エステル油）を適用した変圧器の開発が進んでいる^{注1)}。エステル油には菜種油、大豆油などの天然植物油、植物由来の脂肪酸エステル、合成系のポリオールエステルといった種類があり、海外では特に合成系で30年以上の使用実績がある。国内においても各油種とも製品化されており、油種によって生分解性や植物由来といった環境性のみならず、防災性（高引火点）や冷却性（低粘度）といった特徴を有している。

変圧器への適用実績としては、海外では植物系で220社以上、45万台を超える使用実績があり⁽¹⁾、近年国内においても電力用、電鉄用としての適用事例が発表されている。また最近ではIECにおける未使用天然エステル品質規格（IEC62770）の発行、国内では石油学会絶縁油分科会内の専門委員会における規格化検討が行われており、エステル油を使用しやすい環境の整備が進む傾向にある。

エステル油の中でもパームヤシ脂肪酸エステル（Palm Fatty Acid Ester）は、環境性はもとより、比誘電率が鉱油より高いことによる変圧器油浸絶縁における油隙部の電界緩和（絶縁特性向上）や動粘度が低いことによる冷却性向上等も見込めることから、弊社では従来の鉱油と互換性が高く変圧器に対するメリットも高い油種として注目し、同油種を適用した変圧器の製品化を進めている。

変圧器へのエステル油適用のメリットとしては、上記特徴のみならずエステル油使用下における絶縁紙劣化抑制効果についても報告されている⁽²⁾⁽³⁾。絶縁紙に対する劣化抑制は巻線寿命延伸などの点で利点になると考えられるが、変圧器には数種の密封形式があり劣化環境が異なることや、絶縁油中における絶縁紙劣化は「熱劣化」、「酸化劣化」、「加水分解」^{注2)}の相互作用により進行するため⁽⁴⁾、劣化抑制効果についてはこれらの劣化要因（温度、酸素（空気）、紙中水分）をパラメータとしての検討が必要である。そこで本稿ではPFAEの絶縁紙劣化抑制効果とそのメカニズムを明確にすることを目的に、油浸絶縁紙に対する劣化要因（温度、空気、紙中水分）と劣化抑制効果の関係についての比較検証を行ったので報告する。

2. 試験条件・方法

2.1 試料と試験条件

試験対象油種として、ライオン製PFAE（商品名：パステルネオ）を選定した。また絶縁紙は、電気絶縁紙（クラフト紙（0.08t、0.25t））を使用した。試験条件を表1に示す。

表1 試験条件

加速劣化温度	120℃, 130℃, 140℃
紙中水分量	0.5%（低水分レベル） 2%（154 kV 未満 現地据付基準レベル） 4%（高水分レベル）
密封環境	空気密封, 窒素密封
試験項目	引張強度, 油中水分, 酸価

2.2 試験方法

クラフト紙をロール状（銅線で固定）・短冊状に成形し、20 ml バイアルびんに入れ真空乾燥および硫酸調湿法にて所定の紙中水分量に調整後、脱水および空気飽和・窒素飽和した試料油を注油し高温用セプタムを介してアルミキャップで密封した。紙/油比は実器レベルとした。なお窒素密封試料の注油・密封作業は窒素置換したドラフト内で実施した。作製した試料入りバイアルびんをステンレスタンクに封入し、空気密封試料は空気封入、窒素密封試料はタンク内の窒素置換を実施し、フッ素ゴムガasketを介して密封した（図1参照）。その後各温度に設定した恒温槽内で加熱処理を実施し、所定の時間でタンクからバイアルびん試料を取り出し、25℃の恒温槽内で48時間以上静置後、各種測定を実施した。



図1 試料封入状態

3. 試験結果

3.1 引張強度

図2-1、2-2に各条件での引張強度残率の経時変化を示す。

窒素密封下、紙中水分0.5%、2%では、特に140℃において鉱油中に対するPFAE中での絶縁紙劣化（引張強度残率低下）が緩やかになる傾向が確認でき、高紙中水分（4%）では各温度でPFAE中の絶縁紙劣化が緩やかになる傾向が確認された。窒素密封下での高温・高紙中水分におけるPFAE中での絶縁紙劣化抑制効果が伺える。また空気密封下では鉱油中およびPFAE中における顕著な劣化傾向差異は確認できなかった。空気密封下では酸化劣化要因が相乗的に作用し、窒素密封下より

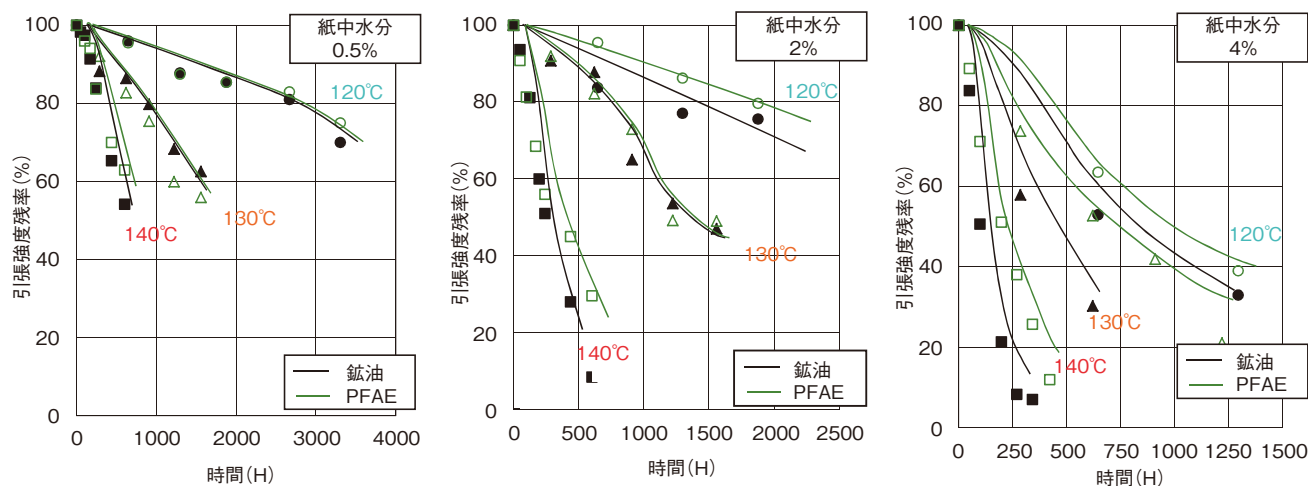


図 2-1 窒素密封 引張強度残率の経時変化

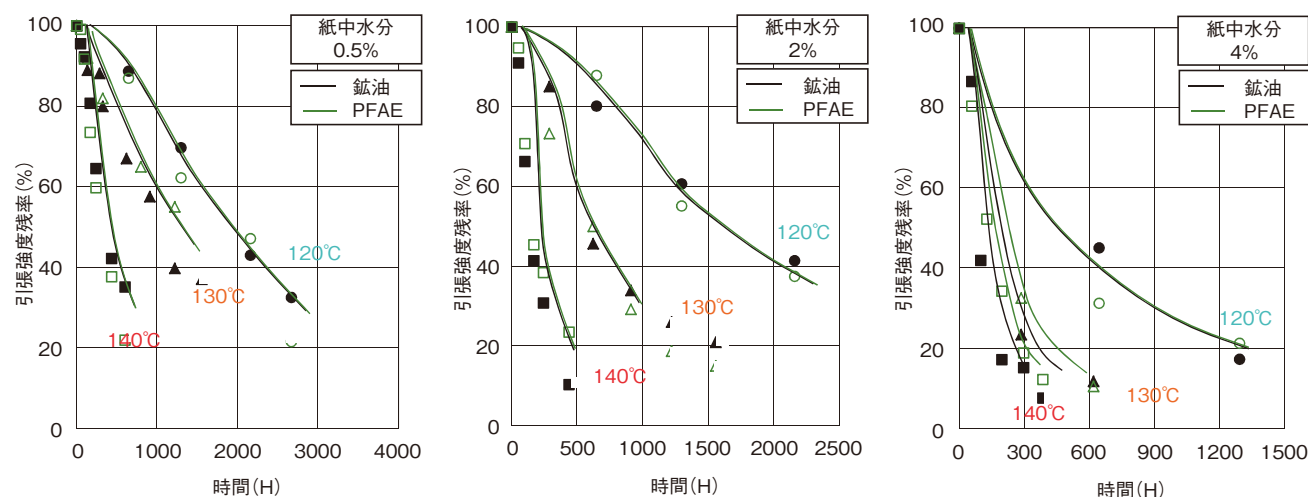


図 2-2 空気密封 引張強度残率の経時変化

過酷な絶縁紙劣化が生じていると考えられ、そのため劣化傾向差異が見えにくくなっていると思われる。酸化劣化要因の少ない窒素密封では、温度や水分（加水分解）要因の程度が絶縁紙劣化傾向差異として現われていると考えられる。

3.2 油中水分、酸価

各条件における PFAE 中の油中水分量は、試験開始後、空気密封・窒素密封とも、初期水分量（20 ppm）から大幅に増加し 200～300 ppm 超となった（鈇油中水分量は 30 ppm 以下）。この傾向は特に高温、高紙中水分量において顕著であった。これは PFAE の吸湿性の高さによって水分平衡が油側へシフト⁽⁵⁾、絶縁紙から絶縁油へ水分が移行しているためと考えられる。

また酸価は、空気密封下の鈇油では各条件で同様な上昇傾向を示し、最大 0.1 mgKOH/g 程度まで増加したが、窒素密封下では大きな上昇傾向を示さず、0.05 mgKOH/g 未満で飽和傾向となった。空気介在が少なく酸化劣化が抑制されるためと思われる。これに対し空気密封下での PFAE の酸価は紙中水分量が多いほど顕

著な上昇を示し、紙中水分 4% で 6 mgKOH/g 程度、2% で 1～3 mgKOH/g と鈇油に比べ非常に大きい値となった。また鈇油と異なり窒素密封下でも上昇傾向を示し、特に長時間加熱を行った 120℃、130℃の紙中水分 4% では 6 mgKOH/g 弱、短時間加熱の 140℃では 2 mgKOH/g 強まで増加した。高紙中水分では酸素の影響の少ない窒素密封でも酸価が上昇することや、紙中水分量により上昇傾向が顕著となることなどから、PFAE はエステルの加水分解により酸価が上昇している可能性も伺える。C. Patrick (Cooper Power Systems) らは、植物油は高温下でエステルの加水分解を生じ、紙の水分を消費すると推定している⁽²⁾。本結果はこの推定に合致し、PFAE 自体が紙中水分によって加水分解しカルボン酸を生じることによって酸価を上昇させている可能性が伺える。また低分子量の酸は加水分解の触媒となり紙の劣化を促進することが報告されている⁽⁴⁾が、今回の結果では（特に窒素密封で）酸価が上昇しているにもかかわらず PFAE の劣化抑制効果が現われており、PFAE の加水分解によって紙の劣化に大きな影響を及ぼすよう

な低分子量酸が生成しているわけではないと想定される。

また実器での経年使用による PFAE の酸価上昇の懸念があるが、今回の実験結果では、PFAE 窒素封入 130℃ 2% の条件下で紙の引張強度残率が 50% 程度になる時点での酸価は、0.06 mgKOH/g 程度であり、鉱油 (0.01 mgKOH/g) に比べ若干多いものの、保守管理基準 (0.2 mgKOH/g)⁽⁶⁾ より大幅に低く、実器運用上の問題とはならないと考えられる。

4. 劣化抑制効果に関する考察

4.1 各劣化要因からの考察

PFAE 中、鉱油中の絶縁紙引張強度残率が 50% に低下するまでの時間を比較鉱油に対する PFAE の倍率を算出することにより、各条件における PFAE の絶縁紙劣化抑制効果を調べた結果を表 2 に示す。

表 2 PFAE の絶縁紙劣化抑制効果 (カッコ内は想定値)

紙中水分 温度	空気密封			窒素密封		
	0.5%	2%	4%	0.5%	2%	4%
120℃	—	—	—	(1以上)	(1以上)	2.0
130℃	—	—	1.3	—	—	2.0
140℃	—	1.2	1.6	(1.2)	1.3	2.1

空気・窒素密封とも高温・高紙中水分であるほど、PFAE 中での絶縁紙劣化抑制効果が高い傾向があることがわかる。紙中水分が多いほど油側へ水分が移行する結果も得られており、PFAE 中での絶縁紙劣化抑制には高吸湿性による紙から油への水分移行の関与が大きいと考えられ、水分移行により絶縁紙の加水分解が抑制されている可能性が伺える。また空気密封では窒素密封とくらべ、特に低温、低紙中水分条件で劣化抑制効果が現われにくい。これは紙中水分が少ない場合は移行する水分が少ないことに加え、空気密封下での絶縁紙劣化は酸化の影響により窒素密封にくらべ過酷であると考えられ、水分移行による劣化抑制効果が現われにくくなっていると思われる。高紙中水分では PFAE の水分移行効果が現われやすいと考えられる。

4.2 エステル油の吸湿性からの考察

エステル油の吸湿性はエステル結合の数により異なることが報告されており⁽⁵⁾、天然エステルは PFAE に対しエステル結合が多く吸湿性も高いため水分移行効果も大きいと考えられる。また絶縁紙劣化抑制効果に水分移行の要因が強く関与していれば油種によって劣化抑制効果が異なると想定できる。図 3 に鉱油、PFAE、天然エステル (ここでは菜種油を使用) の油中 / 紙中水分平衡関係の検証結果を、図 4 に油種による紙劣化抑制効果比較の検証結果を示す。図 3 では天然エステル (菜種油) の水分平衡関係は PFAE より油側へシフトしており、水分移行効果は PFAE より大きいと思われる。また図

4 では天然エステル (菜種油) では絶縁紙の引張強度残率低下傾向は PFAE に対し緩やかとなり、上記想定に合致する結果となった。これらの結果からも絶縁紙劣化抑制に水分移行 (絶縁紙加水分解抑制) が強く関与しているものと考えられる。

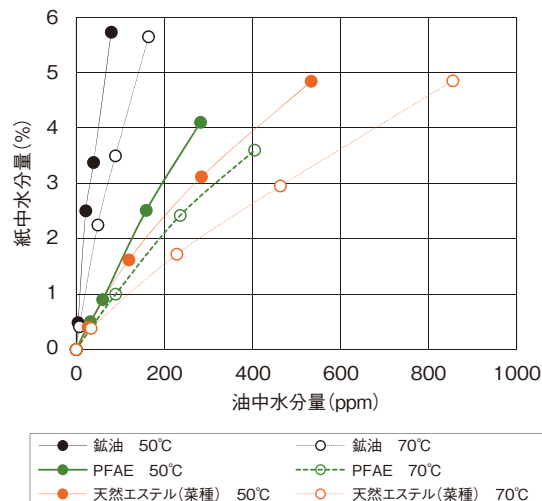


図 3 油種による油中 / 紙中水分平衡関係

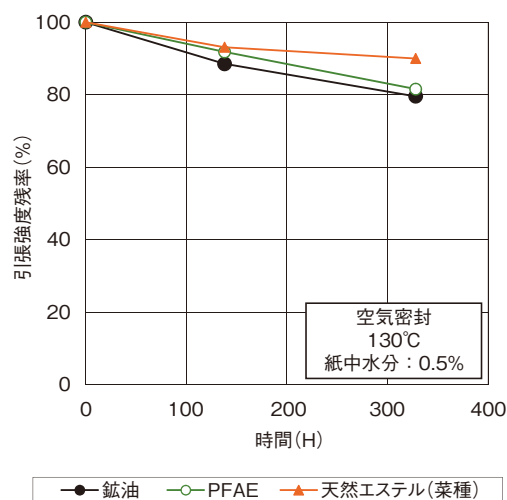


図 4 油種による紙劣化抑制効果比較

4.3 アレニウスプロットから想定した寿命延伸倍率

図 5 に、窒素密封 紙中水分 4% における実験結果から得られるアレニウスプロット (引張強度残率 50% を寿命とする) を示す^{注 3)}。この結果から巻線最高温度 95℃ における絶縁紙寿命時間を想定・比較したところ、1.7 倍程度の寿命延伸が想定された。変圧器実運用上の巻線温度はお客様における運転条件によって変化することや、巻線絶縁紙中水分量も運用状態によって異なるため上記寿命延伸倍率は絶対的なものではないが、この結果から変圧器への PFAE 適用によって、鉱油入り変圧器以上の寿命延伸効果が得られる可能性が示唆される。

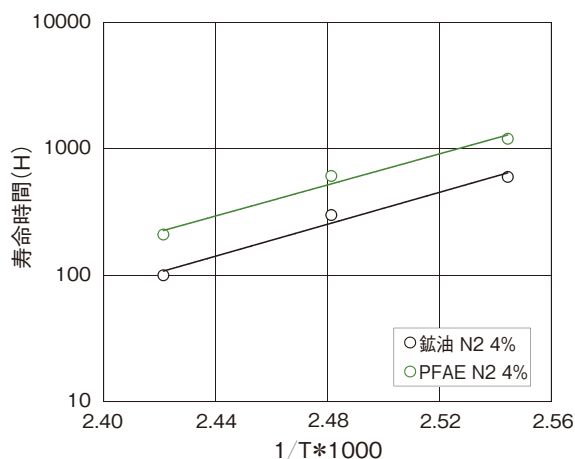


図5 アレニウスプロット（窒素密封 紙中水分4%）

5. おわりに

変圧器にPFAEを適用した場合の絶縁紙劣化抑制効果とそのメカニズムを明確にすることを目的に、劣化要因（温度、酸素（空気）、紙中水分）と劣化抑制効果に関する比較検証を行った。その結果、高温・高紙中水分量であるほどPFAE中の絶縁紙劣化が緩やかになる傾向が確認され、また空気密封に対し窒素密封条件でその傾向が顕著となることがわかった。酸化劣化要因の少ない窒素密封条件で、絶縁紙からPFAEへの水分移行による加水分解要因抑制の影響が現われていると考えられる。またエステル結合が多い天然エステルではPFAEに対し油中／紙中水分平衡関係の油側へのシフトが大きく、空気密封下の低紙中水分量においても劣化抑制効果が見られることから、絶縁紙劣化抑制効果のメカニズムとして高吸湿性による紙から油への水分移行と、それに伴う絶縁紙加水分解の抑制が関与している可能性が想定される。PFAE適用により、窒素密封や無圧密封など空気を遮断したタイプの劣化防止方式を持つ変圧器においては、鉱油使用時と同等以上の絶縁紙劣化抑制効果が期待できると考えられる。

参考文献

- (1) 「エステル系絶縁油専門委員会報告」第32回絶縁油分科会研究発表会, 2012
- (2) 西川他：「植物油を用いた絶縁紙の劣化と酸素の影響」H24電気学会電力・エネルギー部門大会
- (3) C. patrick, et al.-Aging of Paper Insulation in Natural Ester Dielectric Fluid, IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition, Oct. 28-Nov. 02, 2001
- (4) Cigre Brochure 323-Ageing of Cellulose in Mineral-Oil Insulated Transformer, 2007
- (5) Cigre Brochure 436-Experiences in Service with New Insulating Liquids, 2010

語句説明

注1) エステル系絶縁油：主成分として、脂肪酸とアルコールからなる分子内にエステル結合（-COO-の化学結合）を有する化合物を使用した絶縁油。生分解性が高い。

注2) 加水分解：反応物（ここでは絶縁紙）に水が反応し、分解生成物が得られる反応のこと。

注3) アレニウスプロット：スヴァンテ・アレニウス（スウェーデン）が1884年に提唱した、ある温度での化学反応の速度を予測する式（アレニウス式 以下参照）の対数を取りグラフ化したもの。

$$\kappa = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

κ ：反応速度定数 A ：頻度因子 E_a ：活性化エネルギー
 R ：気体定数 T ：絶対温度



栗原 二三夫
 技術開発本部 技術研究所
 材料技術G 所属
 材料の評価・応用技術開発に従事
 電気学会、石油学会会員

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

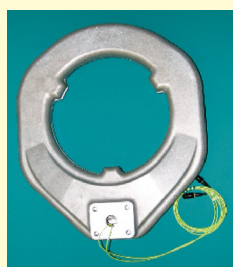
山口 達史
Tatsushi Yamaguchi

板倉 英治
Eiji Itakura

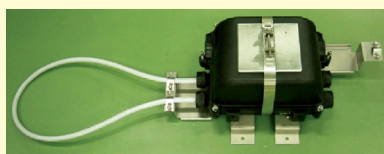
光ファイバ電流センサ 適用装置の実用化



検出盤

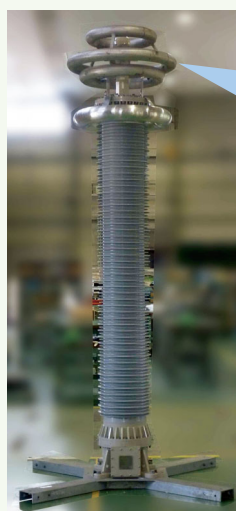


変電所故障区間検出装置用
光ファイバ電流センサ



ケーブル故障検出装置用
光ファイバ電流センサ

光 CT 開発の取組 (高精度化技術)



光 CT 部



電流検出部



MU(マーキングユニット)

220 kV 自立型光 CT

左側：東光高岳がこれまでに実用化した光ファイバ電流センサ適用製品の一例
(検出盤は変電所故障区間検出装置用)

右側：開発中の 220 kV 自立型光 CT

計測用 0.2S 級、保護用 5TPE 級の確度を有する。光 CT の出力は IEC 61850-9-2 に準拠したデジタル出力であり、オールデジタル変電所への適用が可能である。

ファラデー効果を利用した光ファイバ電流センサは、①電磁誘導ノイズの影響がない、②小型・軽量である、③磁気飽和がないためダイナミックレンジが広い、④広帯域である、⑤長距離信号伝送が可能であるなど、優れた特長を有している。

東光高岳は 1995 年から鉛ガラスファイバ型の光ファイバ電流センサの要素技術開発および用途探索に着手し、1999 年に日本で初めて光ファイバ電流センサ適用製品となる変電所故障区間検出装置を実用化した。その後、ケーブル故障検出装置（短絡検出用）、ケーブル故障検出装置（短絡・地絡事故検出用）、サージ受信形ケーブル故障点標定装置を実用化している。

一方、2008 年から電力分野で使用される計器用変成器への実用化を目指した光 CT の研究開発に取り組んでいる。最初に開発した 500 kV 自立型光 CT は確度階級が計測用：0.5 級、保護用：5TPE 級であり、IEC 61850-9-2 準拠の出力によってオールデジタル変電所への適用が可能である。また開発に際し光 CT の性能評価を行うため、デジタル計測誤差試験装置も合わせて開発した。その後、海外市場の要求仕様を満足する、高精度化を図った 220 kV 自立型光 CT を開発した。本装置の確度階級は計測用の 0.2S 級を実現しており、中国電力科学研究所武漢分院（武漢試験場）による誤差検証において良好な結果を得ている。

1. はじめに

ファラデー効果^{注1)}を利用した光ファイバ電流センサは、①電磁誘導ノイズの影響がない、②小型・軽量である、③磁気飽和がないためダイナミックレンジが広い、④広帯域である、⑤長距離信号伝送が可能であるなど、優れた特長を有している。東京電力株式会社と HOYA 株式会社が開発した光弾性係数^{注2)}が小さい鉛ガラス製光ファイバをファラデー素子として使用した光ファイバ電流センサ⁽¹⁾は、高精度な電流計測を実現している。

東光高岳は、鉛ガラスファイバ型の光ファイバ電流センサの要素技術開発や用途探索を 1995 年から開始し、1999 年に変電所故障区間検出装置を実用化した。また、2008 年から計器用変成器の実用化を目指した光 CT の研究開発に取り組んでいる。

本稿では、以下の 4 つの光ファイバ電流センサ適用装置の概要および光 CT 開発の取組を紹介する。

- ・変電所故障区間検出装置
- ・ケーブル故障検出装置（地絡事故検出用）
- ・ケーブル故障検出装置（短絡・地絡事故検出用）
- ・サージ受信形ケーブル故障点標定装置

2. 光ファイバ電流センサ適用装置

2.1 変電所故障区間検出装置⁽²⁾

本装置は、変電所の母線で発生した事故区間を特定する装置であり、事故点の早期発見ならびに健全設備の復旧時間の短縮に有効である（図 1）。母線保護継電装置動作時に、断路器に取り付けられた光ファイバ電流センサで事故電流を検出し、その出力を断路器の支持がいしに内蔵した光ファイバを介して検出盤に光伝送し、検出盤にて事故区間を特定する（図 2）。

電氣的絶縁が容易、小型・軽量（断路器の支持がいし本来の機能に影響を及ぼさない）という光ファイバ電流センサの特長を活かしている。

2.2 ケーブル故障検出装置（地絡事故検出用）⁽³⁾

地中送電線（以下、地中ケーブルと記載）の事故はケーブルの絶縁破壊に至っている場合がほとんどで、送電停止による絶縁特性の回復を期待することはできない。本装置は、架空送電線と地中ケーブルが混在する系統において地中ケーブルに発生した事故を検出し、再閉路機能をロックする信号を出力する装置である。地中ケーブル両端の架空送電線との接続点（以下、架地接続点と記載）に、地絡事故時に発生する零相電流を検出する光ファイバ電流センサを設置し、その出力を検出盤に光伝送し、電流差動リレーで地絡事故判定を行う（図 3、図 4）。光ファイバ電流センサはマンホールに設置可能な IPX7（JIS C 0920）の防水性能を有している。長距離伝送が可能であるという光ファイバ電流センサの特長を活かし、最大 20 km の光ファイバ伝送路に適用可能である。また、分岐線を含んだ地中ケーブルの分岐点およびケーブル

端に光ファイバ電流センサを取り付けることにより、地絡事故の発生区間（本線／分岐線）を特定することができる⁽⁴⁾。

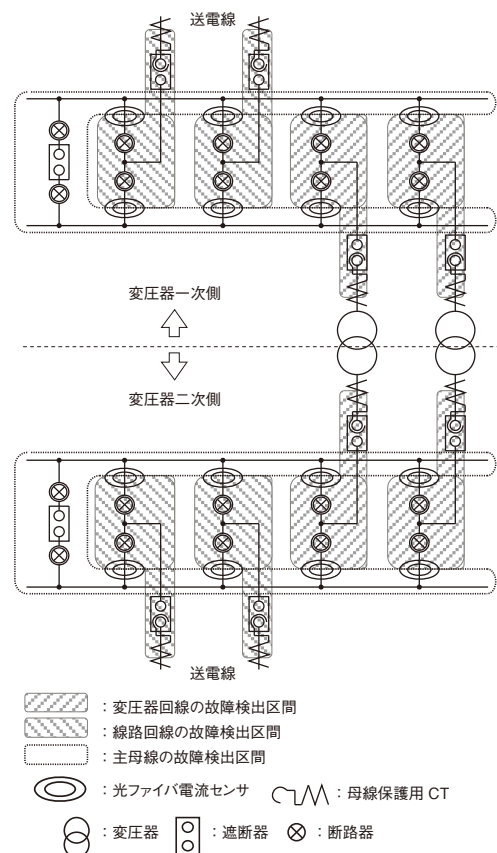


図 1 超高压変電所における故障区間検出装置の検出区間の一例



図 2 変電所故障区間検出装置の外観

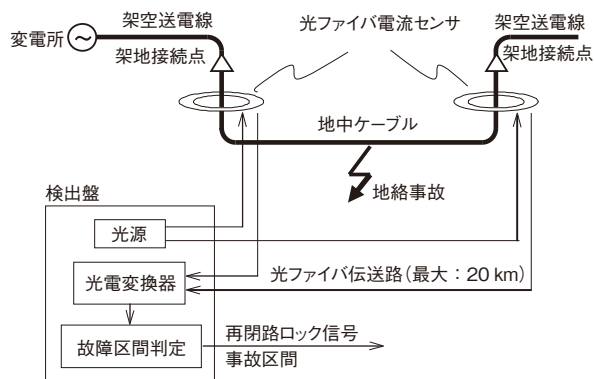


図3 ケーブル故障検出装置（地絡事故検出用）の構成

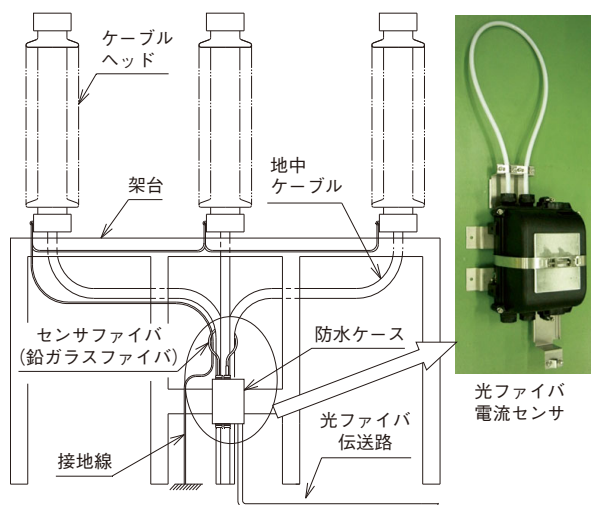


図4 光ファイバ電流センサの取付構造

2.3 ケーブル故障検出装置（短絡・地絡事故検出用）⁽⁵⁾

本装置はケーブルの短絡および地絡事故を検出する装置である（図5）。地中ケーブル両端の架地接続点の各相に設置した光ファイバ電流センサにより、異なる光波長（ λ_1 , λ_2 , λ_3 ）で電流計測し、その出力を検出盤に波長分割多重（WDM）伝送し、電流差動リレーで短絡事故判定を行う。また、光電変換器内で各相電流を合成することで零相電流を求め、地絡事故の判定を行う。WDM 伝送技術を利用することにより、伝送路に使用する光ファイバ数量を削減した。

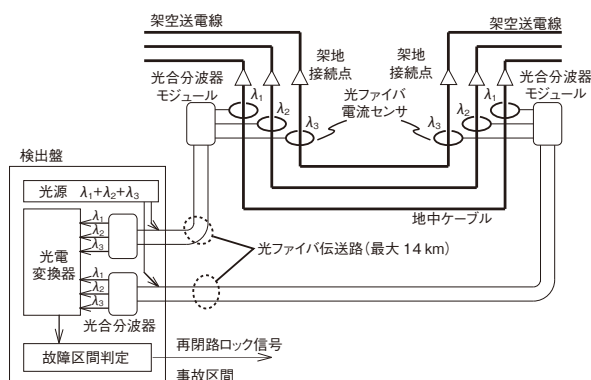


図5 ケーブル故障検出装置（短絡・地絡事故検出用）の構成

2.4 サージ受信形ケーブル故障点標定装置⁽⁶⁾

本装置は、ケーブル故障区間検出装置（地絡事故検出用）に故障点標定機能を追加した装置である。地中ケーブルで地路事故が発生すると地絡点でサージが発生し、そのサージはケーブルの両端に向かって伝搬する。地中ケーブル両端に設置した光ファイバ電流センサによりサージを検出し、各センサへのサージ到達時間差より事故点の位置を特定する（図6）。66 kV ～ 275 kV の恒長 20 km までの地中ケーブルの事故点を標定誤差 50m 以内で検出可能である。

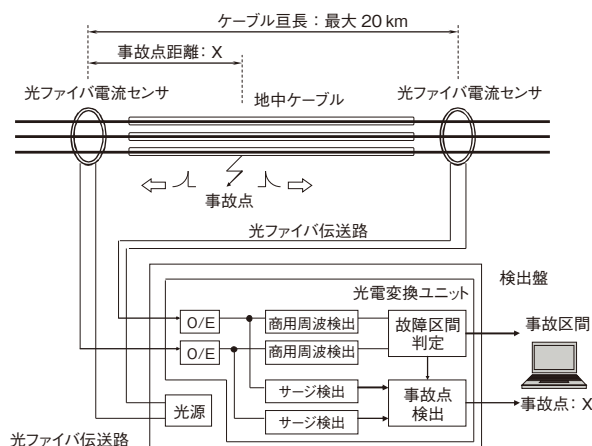


図6 サージ受信形ケーブル故障点標定装置の構成

3. 光 CT 開発の取組

3.1 開発概要

近年の変電所デジタル化の潮流から光 CT のニーズが高まり、海外メーカを中心に実用化に向けた開発が進められている。東光高岳においても光 CT を次世代の変成器と位置づけ 2008 年から開発に着手し、自立型光 CT の開発を通してデジタル出力に関する検討やデジタル計測誤差試験装置の構築、さらには光 CT の高精度化の検討等、実用化に向けた研究開発を実施中である。

3.2 500 kV 自立型光 CT の開発⁽⁷⁾

自立型光 CT は、センサ側のノイズ対策やサージ対策が不要であることから機器の信頼性に優れ、またデータ出力を IEC 61850-9-2⁽⁸⁾ に準拠しておりオールデジタル変電所に対応可能である。

本装置の構成は、ファラデー効果により電流を検出する光 CT 部と、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（Merging unit）からなっている。光 CT 部は、ポリマーが管の上部に電流検出部を取付けた構造であり電界緩和シールドを設けている（図7（a），（b））。MU は、光 CT の信号処理機能とデータ通信機能を有し、大電流時に発生する非直線性誤差と温度依存性による電流検出誤差の補償を行い計測精度の最適化を図っている（図7（c））。

光 CT の性能検証は、IEC 60044-8 (2002E) に準拠した形式試験を行い、設計目標値を十分満足することを確認している。



図7 500 kV 自立型光 CT の装置構成

3.3 デジタル計測誤差試験装置の開発⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

光 CT の性能評価について、従来はアナログ出力により行ってきたが、500 kV 自立型光 CT の開発に際してデジタル出力での性能評価に対応するべく IEC 60044-8 および IEC 61850-9-2 の規格に準拠した誤差試験装置を開発し、デジタル出力型光 CT の誤差測定環境の基盤を構築した (図 8)。

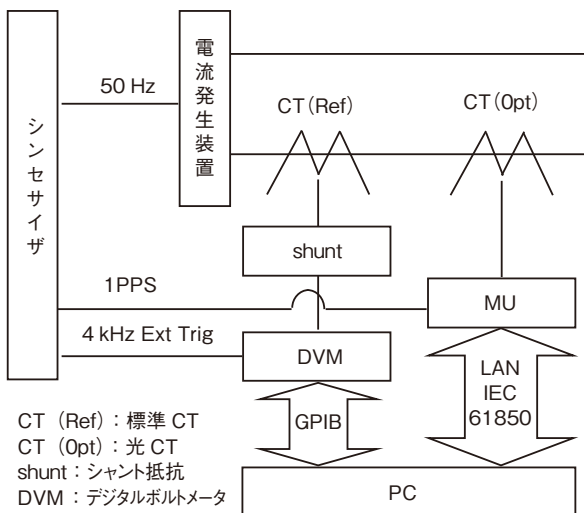


図8 誤差試験装置ブロック図

3.4 光 CT の高精度化⁽¹¹⁾

海外市場の要求仕様ならびに競合メーカーの開発仕様等を調査した結果、光 CT の更なる高精度化の必要性が明確となった。計測・計量用途に適用するため、IEC 60044-8 Class 0.2S の精度と、寒冷地域および温暖地域

に位置する変電所への適用を考慮した周囲温度の対応を合わせて実施した。表 1 に光 CT の仕様比較 (確度階級と周囲温度) を示す。

表 1 光 CT の仕様比較 (確度階級と周囲温度)

項目	従来仕様	中国仕様	高精度仕様
確度階級	計測用 IEC 0.5	IEC 0.2S	同 左
	保護用 IEC 5TPE	同 左	同 左
周囲温度	光 CT 部 $-20 \sim +40^{\circ}\text{C}$	$-40 \sim +55^{\circ}\text{C}$	$-40 \sim +60^{\circ}\text{C}$
	MU $-5 \sim +40^{\circ}\text{C}$	$-5 \sim +45^{\circ}\text{C}$	$-10 \sim +55^{\circ}\text{C}$

光 CT 部の周囲温度 $-40^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ 、MU の周囲温度 $-10^{\circ}\text{C} \sim +55^{\circ}\text{C}$ の範囲において、IEC Class 0.2S を満足する性能が得られた (図 9、図 10)。

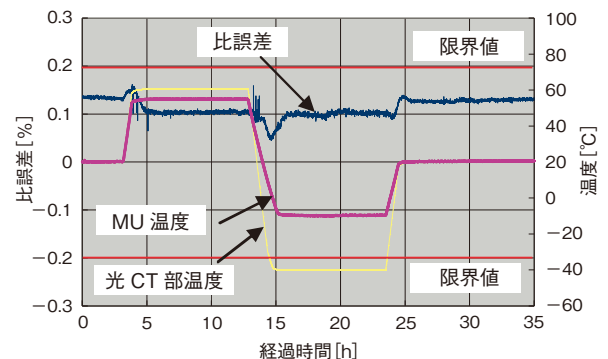


図9 温度サイクル誤差試験結果 (比誤差)

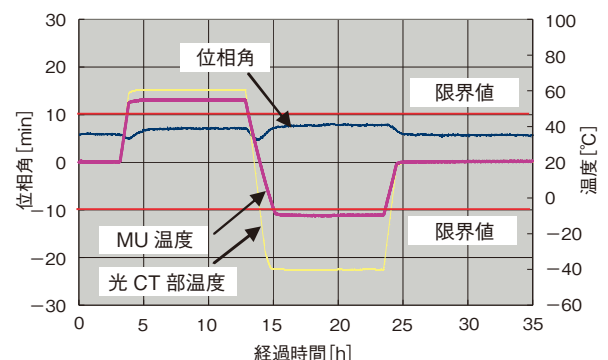


図10 温度サイクル誤差試験結果 (位相角)

3.5 光 CT の中国武漢試験場による誤差検証⁽¹²⁾

東光高岳が中国市場に参入するためには、中国の公的な認証機関である武漢試験場にて光 CT の型式認定を取得する必要がある。その第一ステップとして、武漢試験場において IEC 60044-8 規格 (中国では、GB/T20840.8-2007 が同規格となる) と IEC 61850-9-2 規格に準拠した 220 kV 自立型のデジタル出力方式光 CT の誤差試験を行った (図 11)。なお、試験に際し、東光高岳誤差試験装置による測定も併せて行った。試験の結果、IEC 0.2S の確度階級を満足することができ、また武漢試験場の誤差試験装置の測定結果と比較して、東光高岳誤差試験装置の測定精度の妥当性を確認した。(図 12、図 13)

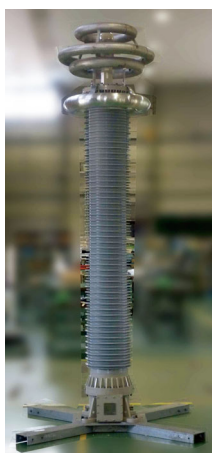


図 11 光 CT 部

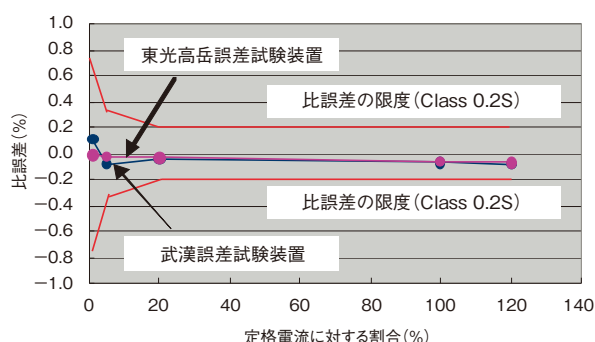


図 12 誤差試験結果の比較 (比誤差)

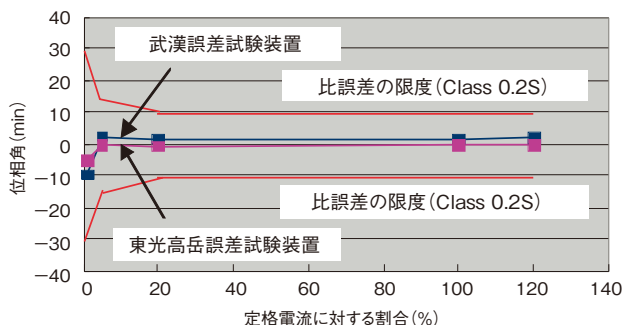


図 13 誤差試験結果の比較 (位相角)

4. おわりに

本稿では、東光高岳における光ファイバ電流センサ適用装置の実用化、および光 CT 開発に対する取組状況について述べた。今後は光ファイバ電流センサの特長を活かし、光ファイバ電流センサ適用装置の電力分野への適用拡大を推進していくとともに、オールデジタル変電所に適用可能な光 CT の実用化に向けて一層の努力をしていきたい。

■参考文献

- (1) 黒澤, 吉田, 坂本, 増田, 山下:「鉛ガラスファイバから製造した光ファイバのファラデー効果を利用した電流センサ」, 電学論 B, Vol.116, No. 1, pp.93-103 (1996)
- (2) 板倉, 植木, 平野:「光 CT 方式変電所故障区間

検出装置」, 高岳レビュー, Vol.50, No.1, pp.10-13 (2005)

(3) 島岡, 栢木, 黒澤, 白川, 山田, 板倉:「光 CT を応用した電流差動方式によるケーブル故障検出装置の開発」, 電気学会保護リレーシステム研究会, PPR-05-15, pp.27-30 (2005)

(4) 那須川, 近藤, 板倉, 植木:「光電流センサ式事故区間検出装置」, 高岳レビュー, Vol.53, No.1, pp.2-6 (2008)

(5) 栢木, 平田, 黒澤, 近藤, 山田, 板倉:「光 CT の波長分割多重伝送技術を用いたケーブル事故区間検出装置の開発」, 電学論 B, Vol.130, No. 1, pp.49-54 (2010)

(6) 谷川内, 嘉屋, 椎野, 板倉, 山田:「サージ受信形ケーブル故障点標定装置の開発」, 電学全大, 6-307 (2013)

(7) 山口, 塩澤, 六戸, 木田, 張:「自立型光 CT の開発」, 電学論 B, Vol.132, No.5, pp.415-421 (2012)

(8) 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

(9) 山田, 昆, 橋本, 山口, 矢澤, 近藤, 黒澤:「光ファイバ電流センサの性能評価試験」, 電学全大, No. 6-220, p.400 (2011)

(10) 山口, 橋本, 小磯, 塩澤, 矢澤:「デジタル出力型光 CT の性能評価」, 東光電気技報, No. 16, pp.5-7 (2011)

(11) 山口, 橋本, 小磯, 塩澤, 矢澤:「高精度光 CT の開発に向けた特性改善」, 東光電気技報, No. 17, pp.4-7 (2012)

(12) 山口, 橋本, 小磯, 川崎, 上月:「光 CT の中国武漢試験場による誤差検証」, 東光電気技報, No. 18, pp.34-37 (2013)

■語句説明

注 1) ファラデー効果: ファラデー効果とは透明物質に直線偏光を入射したとき、直線偏光の進行方向にかかる磁界の強度に比例して偏光面が回転する現象。

注 2) 光弾性係数: 光ファイバなどの光学素子に外力を加えたときに生じる複屈折の大きさを示す定数。光弾性係数が大きいと温度や振動により光学素子を通過する偏光状態が変化し易くなるため、光ファイバ電流センサの計測精度を低下させる。



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



板倉 英治
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
光ファイバ電流センサ適用装置の開発・設計に従事

第二次判断基準に対応した

トッランナー変圧器2014(油入, モールド)

石島 節男
Setsuo Ishijima望月 佑起
Yuki Mochizuki岡田 重紀
Shigenori Okada中西 高章
Takaaki Nakanishi

1. はじめに

2003年4月に「エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）」が改正施行され、高圧受配電用変圧器（油入変圧器、モールド変圧器）が特定機器^{注1)}に指定された。

2006年度から油入変圧器、2007年度からモールド変圧器が第一次判断基準に適合し、これを「トッランナー変圧器」と称している。

2012年に第二次判断基準（経済産業省告示71号）が告示され、2014年4月出荷分から第二次判断基準に適合した変圧器となり、これを「トッランナー変圧器2014」と称する。

特定機器の適用範囲と除外機種を表1に示す。特殊用途に使用される変圧器や市場割合が小さい変圧器などを除き、高圧配電に使用する変圧器の98.6%が対象となる⁽¹⁾。なお、対象範囲は現在のトッランナー変圧器と変更はない。

表1 特定機器の適用範囲と除外機種

適用範囲	機種：油入変圧器，モールド変圧器 容量：単相 10 kVA～500 kVA 三相 20 kVA～2,000 kVA 一次電圧：6 kV 級，3 kV 級 二次電圧：100 V～600 V
除外機種	ガス絶縁変圧器 H 種乾式変圧器 スコット結線変圧器 3 巻線以上の多巻線変圧器 モールド灯動変圧器 冷却方式が風冷式または水冷式の変圧器 電力会社向けの柱上変圧器など

第二次判断基準が告示されたことにより、日本工業規格（JIS）が改訂され、また、一般社団法人 日本電機工業会としてエネルギー消費効率に関する規格（JEM 規格）が制定された。今回開発したトッランナー変圧器2014はJISおよびJEM規格に適合したものとなる。

新規格のJISおよびJEM規格を次に示す。

- ・ JIS C 4304：2013 配電用 6 kV 油入変圧器
- ・ JIS C 4306：2013 配電用 6 kV モールド変圧器
- ・ JEM 1500：2012 特定機器対応の油入変圧器における基準エネルギー消費効率
- ・ JEM 1501：2012 特定機器対応のモールド変圧器における基準エネルギー消費効率

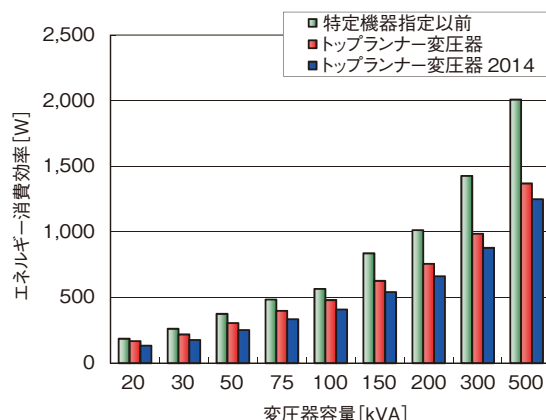
判断の基準にはエネルギー消費効率が用いられる。エネルギー消費効率は無負荷損^{注2)}と基準負荷率時の負荷損^{注3)}を合わせたもので次式により算出する。

$$\text{エネルギー消費効率} = \text{無負荷損} + (m/100)^2 \times \text{負荷損}$$

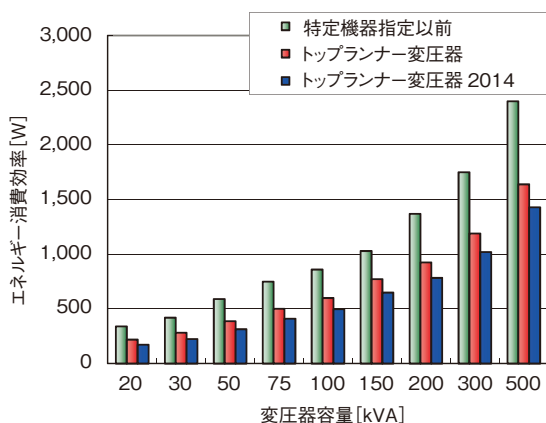
m：基準負荷率 500 kVA 以下 40%
500 kVA 超過 50%

従来のトッランナー変圧器とトッランナー変圧器2014の基準エネルギー消費効率、および特定機器指定以前の変圧器のエネルギー消費効率について、三相 50 Hz（JIS C 4304, JIS C 4306 規格品）での比較を図1に示す。

エネルギー消費効率は、トッランナー変圧器2014では、特定機器指定以前の変圧器と比較し40%程度、



(a) 油入変圧器



(b) モールド変圧器

図1 エネルギー消費効率の比較（三相 50Hz）

従来のトッランナー変圧器との比較では10%程度改善される。

エネルギー消費効率の改善により, 省エネルギー効果からの電気料金の削減, CO₂ 排出量の削減が図れる⁽²⁾。

なお, トッランナー変圧器 2014 の識別のため, 新しい統一デザインのロゴマークを変圧器本体, カタログに貼り付けることになっている。そのロゴマークを図2に示す。



図2 トッランナー変圧器 2014 ロゴマーク

2. 油入変圧器

2.1 開発の概要

第二次判断基準に適合した油入変圧器は, JIS および JEM 規格の改正を踏まえ, 以下のコンセプトにて開発を行った。

- (1) エネルギー消費効率の向上
- (2) 変圧器外形寸法の最適化
- (3) メンテナンス性の向上
- (4) 耐震性の向上

図3にトッランナー変圧器 2014 (油入) を示す。



図3 トッランナー変圧器 2014 (油入)
三相 50 Hz 300 kVA

2.2 エネルギー消費効率の向上

エネルギー消費効率の向上には, 鉄心に使用する電磁鋼板の特性, 鉄心断面積, 鉄心質量, 巻線に使用する導体特性, 巻線断面積, 巻線の大きさなどの各パラメータから適切な設計を行った。主な特長は次のとおりである。

(1) 電磁鋼板へ磁区制御材の採用

鉄心の電磁鋼板に磁区制御材を採用したことにより, 従来のトッランナー変圧器に採用している電磁鋼板より規定磁束密度での損失特性が5%程度向上し, 無負荷損が低減される。

(2) 鉄心の低磁束密度化

無負荷損は, 鉄心の断面積を大きくし低磁束密度化すると低減することができる。しかし, 過度の低磁束密度化は巻線線長の増加による負荷損の増加に繋がるため, 最適な磁束密度にて設計を行った。

また, 鉄心の低磁束密度化により無負荷損の低減だけでなく低騒音化も期待できる。

(3) 巻線の絶縁紙へ耐熱紙を採用

JIS が改正され, 油入変圧器の絶縁に耐熱紙が追加された。従来の変圧器に使用されている普通紙の場合, 温度上昇限度は絶縁油が 50 K, 巻線は 55 K であるが, 耐熱紙を採用した場合, 絶縁油が 60 K, 巻線は 65 K まで温度上昇が許容される。温度上昇限度の格上げにより, 巻線の冷却などに使用していたスペースが削減され巻線が小型化するため, 負荷損が低減できる。

2.3 変圧器外形の最適化

無負荷損を低減するために鉄心断面積を大きくし, 負荷損を低減するために巻線断面積を大きくした場合は変圧器も大きくなる。このため, 高効率化と変圧器外形の縮小は相容れないものとなる。

前項の磁区制御材と耐熱紙の採用は変圧器外形寸法の増加を抑制する目的も兼ねている。磁区制御材の採用により磁束密度を大幅に低減しない場合においても無負荷損が低減されるため鉄心は小型となり, 耐熱紙の採用による許容温度上昇限度の上昇により巻線は小型化される。

また, 第二次判断基準への適合により損失が低減され, 変圧器の発熱が減少する。これにより変圧器タンクに設けている波形冷却片が現行より小型化が可能となり, 床面積比で旧 JIS 品 (JIS C 1977) より 64%~94% までコンパクト化した。

三相 500 kVA でのトッランナー変圧器 2014 と特定機器指定以前の旧 JIS 品の比較を図4に示す。トッランナー変圧器 2014 の値は旧 JIS 品を 1 とした場合の相対値とする。

2.4 メンテナンス性の向上

変圧器容量 75 kVA 以上の油入変圧器は, 排油装置と温度計が付属となる。現行では 75 kVA, 100 kVA は温度計を付属していなかったが今回から標準付属となり,

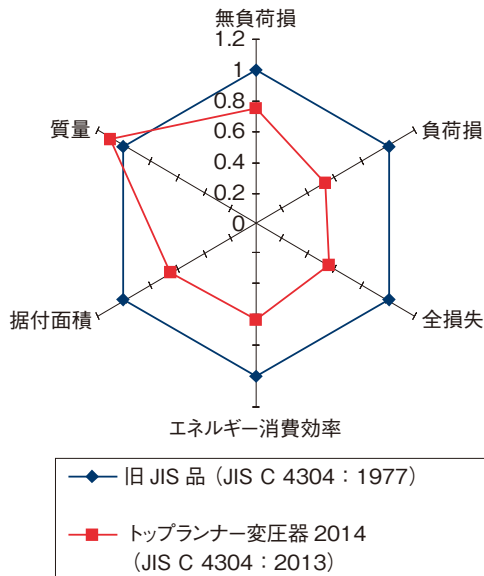


図4 旧 JIS 品とトップラナー変圧器 2014 の比較

また 75 kVA 以上では排油装置が排油弁となる。このため油の劣化診断時の採油などのメンテナンス作業が効率化される。

3. モールド変圧器

3.1 開発の概要

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・耐熱性等に優れたエポキシモールド樹脂を主絶縁材料として適用している。また、巻線部分を金型によってエポキシモールド樹脂で真空注型法により成形した固体絶縁方式を採用しているため、絶縁信頼性が高く、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している。

モールド変圧器としてこれらの優れた特性を保持しながら、長年培ってきたモールド変圧器の設計・製造技術をもとに、第二次判断基準となるエネルギー消費効率を満足できるモールド変圧器を開発した。

図5にトップラナー変圧器 2014 (モールド) を示す。

3.2 エネルギー消費効率の向上

エネルギー消費効率の向上は、油入変圧器と同様の方策となる無負荷損低減を目的とした鉄心材である電磁鋼板の高グレード化、および巻線材質・断面積の見直しによる負荷損の低減、そして磁束密度と導体巻数との最適設計による低損失化等で実現した。

トップラナーモールド変圧器の耐熱クラスは「F」が一般的であり、その巻線平均温度上昇限度は 95 K となっている。今回の JIS 改正ではモールド変圧器については温度上昇限度の格上げはないため、この温度上昇限

図5 トップラナー変圧器 2014 (モールド)
三相 50 Hz 100 kVA

度とエネルギー消費効率を満足し、かつ従来のトップラナーモールド変圧器とほぼ同等な外形寸法・質量となる設計とした。

3.3 モールド変圧器の多様化

モールド変圧器は多様な用途で適用されており、最近では太陽光発電システムの系統連系用設備である昇圧変圧器、また励磁突入電流の抑制機能を付加させた変圧器としても使用されている。これらのモールド変圧器はトップラナー変圧器の除外機種であるが、第二次判断基準のエネルギー消費効率を満足させた設計対応によりトップラナー変圧器 2014 基準に適合⁽³⁾した省エネタイプのモールド変圧器として今後とも広く採用されていくと思われる。

4. 耐震性の向上

東日本大震災での高圧受配電用変圧器の被害から、一般社団法人日本電機工業会が JEM-TR252 : 2013「配電用変圧器の変位量抑制指針」を制定した。

この指針は、接続する配線の余長や配線の可とう性の確保など、盤設計および施工に配慮を促すことを目的としており、変圧器の端子部の変位量を次のように規定している。

(1) 耐震標準

防振ゴム付属で設計用標準震度 1.0 (耐震クラス 1.0) を適用し、変圧器端子部における前後左右上下の片側あたりの変位が表 2 を満足する。(定格容量 1,000 kVA 以下)

(2) 耐震強化

防振ゴムなしで設計用標準震度 1.5 または 2.0 (耐震クラス 1.5 または 2.0) を適用し、変圧器端子部における前後左右上下の片側あたりの変位が表 2 を満足する。(定格容量 1,000 kVA 以下)

表2 端子部の変位量

変圧器の種類	端子部の変位量
油入変圧器	30mm 以下
モールド変圧器	50mm 以下

端子部の変位量は，変圧器タンクの強度や変圧器中身の固定方法などに影響される。規定の変位量を満足できるよう構造設計し，評価のための転倒試験を行い，変位量を確認している。

5. おわりに

以上，トッランナー変圧器 2014 の概要および特長を紹介した。トッランナー変圧器 2014 は 2014 年 4 月から適用され，年数を重ねた変圧器をリプレースする場合，エネルギー消費量，CO₂ 排出量を大きく低減できる。

環境やランニングコストの面から省エネに対する関心は強いいため更なる高効率化に関する技術開発に努め，設置スペースや耐震性，騒音の低減など市場のニーズに応える製品開発を行っていきたい。

■参考文献

- (1) 日本電機工業会：「トッランナー変圧器第二次判断基準スタート」，P.19（2013）
- (2) 石島：「配電用 6 kV 油入変圧器の低ロス化の動向」，高岳レビュー Vol.57，No.1，P.12（2012）
- (3) 岡田，中西，座馬他：「トッランナー変圧器 2014 に適合した励磁突入電流抑制モールド変圧器」，電気設備学会全国大会，E-9（2013）

■語句説明

注 1) 特定機器：二酸化炭素排出量を抑えるため，エネルギーの使用の合理化を図ることが特に必要な機器。

注 2) 無負荷損：負荷がない場合でも発生する損失。変圧器の巻線に電圧が印加され，鉄心に発生する磁束により発生する。

注 3) 負荷損：負荷により発生する損失。負荷電流と巻線の抵抗により発生する。



石島 節男
電力機器事業本部
小型変圧器製造部 設計グループ 所属
変圧器の開発，設計に従事



望月 佑起
電力機器事業本部
小型変圧器製造部 設計グループ 所属
変圧器の開発，設計に従事



岡田 重紀
タカオカ化成工業株式会社
開発本部 電源装置開発部 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
電気学会，電気設備学会，日本化学学会会員



中西 高章
タカオカ化成工業株式会社
開発本部 電源装置開発部 所属
モールド変圧器の開発，設計に従事

コンパクトで省資源を実現するスマートな配電盤

エコ・スマート配電盤

白木 正一
Masakazu Shiraki平出 智久
Tomohisa Hirade

1. はじめに

地球温暖化をはじめとする数々の環境問題への対応が求められる中、電力供給網と需要者をつなぐ受変電設備において東光高岳は環境負荷低減に取り組むと共に、機能向上に努めて来た。今回内部構造の合理化による縮小化を図るとともに、これまで多くの実績を重ねてきたデジタル形保護計測装置の更なる機能向上を図ることで、全体システムの高度化と簡素化を両立させたコンパクトで省資源かつ高機能なエコ・スマート配電盤を開発した。

2. 定格・仕様

エコ・スマート配電盤は適用対象を特高二次・変圧器容量 10,000 kVA 以下の設備をターゲットとしている。

定格・仕様について適用範囲を表 1 に示す。

適用範囲は各項目の定格・仕様の組み合わせとなる。

表 1 エコ・スマート配電盤の適用範囲

項 目		定格・仕様		
定格電圧 (kV)		3.6		7.2
VCB	定格電流 (A)	600		1200
定格	定格遮断電流 (kA)	12.5	20	25
定格母線電流 (A)		400	600	1200
		1600	2000	
定格短時間耐電流 (kA)		12.5	20	25
キュービクルの形		CW		PW
保護等級		IP2X		
屋内外の別		屋内		屋外
ケーブル・母線引き込み位置		盤下部	盤上部	バスダクト
避雷器放電電流 (kA)		2.5	5	10
所内盤トランス容量 (kVA)		20	30	50 75
直流電源盤バッテリー容量 (AH)		30	40	50

…オプション対応

3. 特長

エコ・スマート配電盤では環境負荷低減および高機能（スマート）化を実現するため各種施策を実施している。主な実施項目と効果について表 2 に示す。

またエコ・スマート配電盤のブロックスケルトンを

図 1 に、外観写真を図 2 に示す。

表 2 主な実施項目と効果

No	項 目	内 容	効 果	
			エコ	スマート
1	縮小化	合理的な機器配置による縮小化 設置面積：従来比 60%（当社比） 体積比：従来比 50%（当社比） 主変二次盤 700W×1,400D×1,900H mm （屋外盤は 2,182H） 配電線盤 650W×1,400D×1,900H mm （屋外盤は 2,182H）	○	○
2	ワイドレンジ CT の採用	ワイドレンジ CT の採用により 負荷変更時の改造対応が不要	○	○
3	複合型保護計測装置の採用	デジタル形保護計測装置（PACGEAR）採用により制御電源の省電力化	○	○
4	制御線の通信対応	中央監視装置との信号取り合いを通信採用により省配線化	○	○
5	主機器引き出し方向	屋内・屋外盤とも主機器は正面引き出し	—	○
6	PVC レス	エコ電線、エコダクトの採用など PVC レス化により環境負荷を低減	○	—
7	零相変流器の導体貫通化	零相変流器の導体貫通型を採用により、ケーブル接続作業性の向上および接地線の戻し忘れを防止	—	○
8	複数面一体搬入	複数面一体搬入によって、列盤作業を効率化（最大 4 面）	—	○
9	盤間接続	制御線の盤間接続端子台にコネクタ採用により、作業性の向上および接続誤りの防止	—	○
10	停復電制御	配電線の停復電による遮断・投入制御を PACGEAR に内蔵	○	○

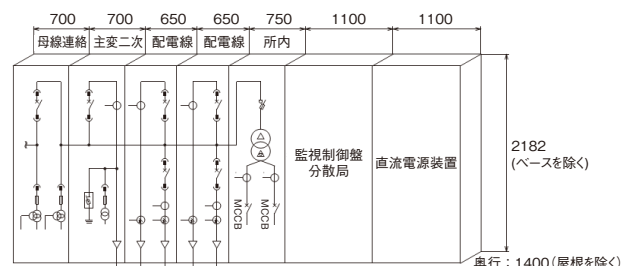


図 1 ブロックスケルトン



図2 エコ・スマート配電盤外観
(主変二次盤・配電線盤 屋外仕様)

以下に主な特長を説明する。

(1) 合理的な機器配置による縮小化

主回路通電部の縮小化技術は、固体絶縁方式、SF6 ガス絶縁方式、ドライエアー絶縁方式などが知られている。これらの絶縁方式を採用する場合、通電部の密閉化や筐体の密封技術が必要となり、構造が複雑化するため、一般的な気中絶縁方式のものに比べ、高コストとなる面がある。そのため、縮小化に優れるものの経済性の面で難点があった。

エコ・スマート配電盤では気中絶縁方式を採用し、汎用性の高い機器を採用しつつ内部機器および導体などを最適配置することにより、筐体内の冗長スペースを削減し、コンパクト化を実現している。

内部構造図を図3に示す。

構造としては現行品と同等のケーブル処理寸法を確保しつつ、制御配線部のユニット化による盤中段部への集約配置や、導体貫通型変流器の採用による主母線配置のコンパクト化などにより奥行寸法を1,400 mmとし、従来品に比べ縮小化を図っている。

また制御線の引き出しを主変二次盤もしくは母線連絡盤で集約することにより配電線盤では制御線引出部を無くし、幅寸法を650 mmとしている。

高さ寸法は屋内盤では1,900 mmとした。これにより建屋内への搬入時にエレベータでの運搬も可能としている。

これらにより、従来品と比較し配電線盤において据付面積で約40%、体積で約50%の縮小化を実現した。

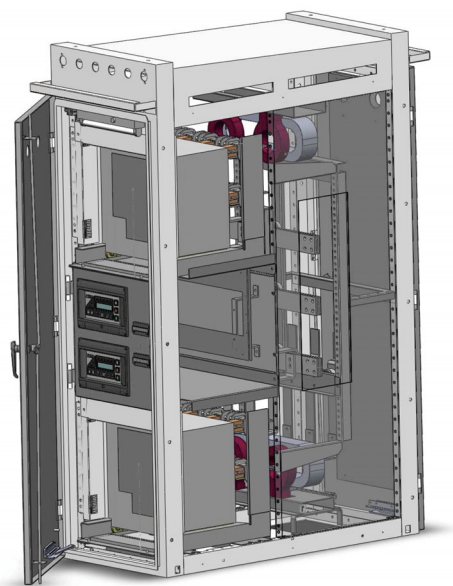


図3 内部構造図 (配電線盤)

(2) 制御配線量の削減

主変二次盤および配電線盤の保護、計測、機器操作表示といった機能は、複合一体型であるデジタル形保護計測装置 (PACGEAR) を採用し高機能化を図った。

また、監視制御盤とその他の配電盤との情報伝送にはCC-Link 通信を使用して、全ての故障、計測、状態信号を一本の通信ケーブルで伝送できるようにした。

監視制御盤についても機器操作、故障表示機能にプログラマブルロジックコントローラ (PLC) や液晶表示器を使用し、中央監視装置との取り合いも通信ケーブルのみで行うことで配線スペースを削減し小型化することで、縮小化した配電盤との列盤を可能とした。

(3) 筐体構造の合理化

従来、屋内盤と屋外盤では可動盤の配置の都合上で盤内機器の配置が異なり内部構造が異なっていた。そのため筐体構造や導体形状が異なり、別々の部材を使用していた。

前述のとおりエコ・スマート配電盤では盤内機器や配線部などの配置合理化を図っており、屋内盤および屋外盤のどちらも内部構造を同一とした。これにより使用部品の共通化を図っている。

また、エコ・スマート配電盤では筐体構造をボルト締め構造としている。これにより部材の運搬・保管のスペースを小さく抑えることが可能となったことや、図4に示すとおりフレームを上板、底板、前枠、後枠など各部位で構成部品を分けて共通部品化を図ることにより部品点数の削減を可能とした。また、仕様変更に伴う盤サイズの変更にも寸法変更に関連する部品のみの変更で対応可能なため、ある程度柔軟に対応が可能となり、納期短縮化にも効果がある。

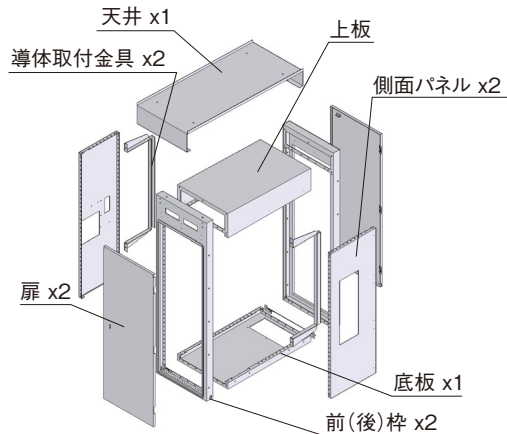


図4 フレーム構成図

当該ボルト締め構造とした場合に、ボルトの緩みや筐体にゆがみが発生しないか、また強度的な問題がないか検証するため、構造解析シミュレーションや試作器による耐震試験、輸送時の過大な振動や加速度に対する輸送試験などを実施し、いずれも問題ないことを確認している。また防雨形試験も実施しており屋外環境での使用に問題のないことも確認している。構造解析状況を図5に、試験状況について図6、図7に示す。

(4) ワイドレンジCTの採用

配電線盤に使用する変流器（CT）には、広範囲な電流計測が可能な導体貫通型のワイドレンジCTを採用した。これにより将来の負荷容量の変更に対してCTの交換が不要となり対応が容易になる。

また、電流値にあわせてCTを選定する必要がないことから、構造の統一化を図ることが可能となる。

ワイドレンジCTの外観を図8に示す。

(5) デジタル形保護計測装置

保護、計測、機器操作機能を一体化したデジタル形保護計測装置（PACGEAR）では、前述のワイドレンジCTに対応するため、1,200 Aまでの一次定格電流を、1,200、600、300、150の4タイプのCTと組み合わせ、保護および計測できるようにした。

さらに停電時および復電時の遮断器自動制御シーケンスを内蔵させた。搭載したシーケンスの内容を図9に示す。

これにより盤内の補助リレーやタイマーを無くし、配線量の削減と組立に要する時間の短縮が可能となった。

(6) エコ部品の採用

環境負荷を低減するため、エコ電線およびエコダクトを採用し、透明保護板の材質をポリカーボネードとしてポリ塩化ビニール（PVC）レス化を図った。

また、盤内照明のLED化や盤縮小化に伴うヒータ容量の見直しにより盤内の省電力化を図った。

(7) 現地据付作業性の向上

エコ・スマート配電盤では現地据付作業性の向上を図

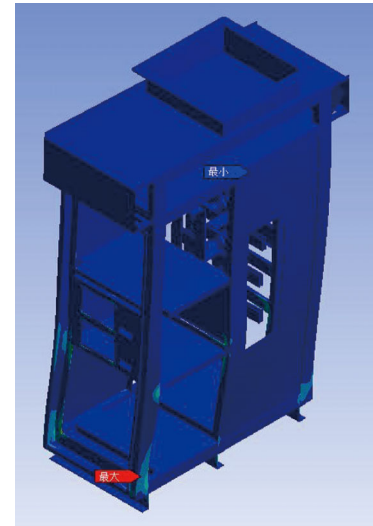


図5 構造解析状況



図6 耐震試験状況



図7 輸送試験状況

るため以下の改良を実施している。

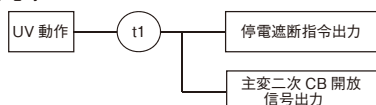
- ①屋外盤仕様においては屋根板を2面一体構造とし吊金具を屋根下に標準装備して、2面単位でハンドリングできるようにした。これにより現地据付時に列盤のドッキング作業を半減させると共に、列盤間の屋根カバー取付作業を半減させている。
- ②列盤間の渡り配線は従来端子台にて接続しているが、これをコネクタ接続とし、配線接続作業時間の短縮化



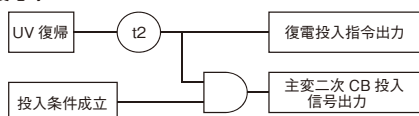
図 8 ワイドレンジ CT 外観

【主変二次】

停電時

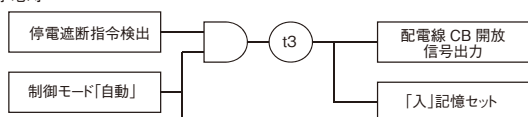


復電時



【配電線】

停電時



復電時

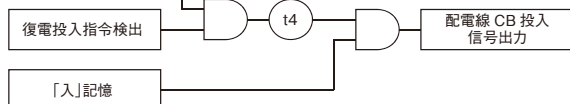


図 9 停復電回路ブロック図

および配線作業誤りの撲滅を図った。

- ③ ZCT は従来、盤内ケーブル引き込み部に設置し、ケーブル接続作業時に ZCT を貫通させて接続を行っている。またケーブルシースアースは一旦 ZCT を貫通させて接地端子へ接続する必要がある、この作業を忘れて地絡保護リレーの不要動作を招く事例もあった。

この対策として、導体貫通型 ZCT を採用することとした。これにより現地設置工事時のケーブル貫通作業の省略やシースアースの接続誤り防止を図ることが可能となる。

4. おわりに

環境性に優れコンパクトで高機能化を図ったエコ・スマート配電盤の概要について説明した。

今後エコ・スマート配電盤と従来型配電盤をそれぞれ仕様に合わせて適用していくこととなるが、今回の要素技術は従来型配電盤への適用も一部可能であることから、今後従来品への要素技術の展開を図り環境性向上と機能向上を図る予定である。

また適用対象設備の拡大も今後検討し、更なる適用拡大を目指していく所存である。



白木 正一
電力プラント事業本部
制御装置製造部 制御装置設計グループ 所属
配電盤の開発に従事



平出 智久
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
デジタル形保護計測装置の開発に従事

超小型モビリティの導入促進事業（国家プロジェクト）への参画

低圧充電管理システム (Mobile Charge²。)の実用化 ～豊島モビリティプロジェクト～

藤本 千紘
Chihiro Fujimoto

前崎 恒司
Koji Maezaki

1. はじめに

日本の電力消費量は、生活水準の向上や IT 革新による高度情報化社会の進展により、産業、生活のあらゆる面で増加してきた。家庭での電力消費の伸びも近年著しく、今後ますます増加すると予想されている。しかし、2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災による電力需給逼迫などの情勢変化に伴い、わが国のエネルギーに対する考え方は大きく変化し、省エネや再生可能エネルギーに対する関心が非常に高まっている。

それに伴い、エネルギー制約の強化や地球温暖化対策の観点から、エネルギー効率や CO₂ 排出量の優れた性能を持つシステムや機器の導入が実施されており、電動車両もその一つである。

電気自動車（以下、EV）やプラグインハイブリッド自動車（以下、PHV）、電気バイクは世界中で注目されており、日本国内でも各地で導入が進んでいる。また、省エネ、少子高齢化社会の新たな乗り物として軽自動車よりも小さく 1～2 人乗り用の三・四輪自動車「超小型モビリティ」も注目されており、新しいカテゴリーの電動車両として期待されている。

電動車両の導入が進む一方、外出先でも充電可能なインフラ整備が不可欠であり、国や地方自治体を中心に展開されている。外出先で充電設備を利用するにあたり、IC カードなどを用いた会員制サービスも始まっているが、これらは利用者を認証するシステムである。筆者らはエネルギーを効率的に利用するために、被充電体である機器を認証することが必要と考えた。そこで、被充電体の充電プラグをコンセントに挿入するという操作で機器認証及び、使用電力量などを把握することができる低圧充電管理システム『Mobile Charge²。(MC²)』⁽¹⁾⁽²⁾を開発した。

本稿では、超小型モビリティを活用した実証実験に MC²を導入し、低圧充電管理システムの実用化に向けた検討を行ったので、その取組について紹介する。

2. 豊島での実証実験

2.1 実証実験の概要

国土交通省が支援する『超小型モビリティの導入促進事業』が国家プロジェクト実証実験（以下、豊島モビリティプロジェクト）として香川県小豆郡土庄町豊島にて実施された。（プロジェクト実施期間：2013 年 7 月 20 日～2014 年 3 月 31 日）

豊島は、2013 年 3 月から瀬戸内海に浮かぶ島々を舞台に開催された、現代芸術の国際芸術祭『瀬戸内国際芸術祭 2013』の開催地の 1 つである。芸術祭への来場者は会期中で 100 万人を超え、多くの人々が瀬戸内海の島々を訪れた。

本プロジェクトでは、豊島を訪れた観光客の島内での移動手段として 6 台の超小型モビリティを豊島の玄関口である家浦港の豊島交流センターでレンタカーとして貸出した。充電設備としては、レンタル手続きを行う豊島交流センターに 6 台、島内を移動中に充電したい場合に備え、島キッチン（レストラン）駐車場に 2 台の MC²を組み込んだ充電器を用意した。これらのフィールドにおいて、観光客に超小型モビリティによる移動や充電サービスを提供し、どの車が、いつ、どの充電設備で、どれだけ充電されたかをリアルタイムに把握できるシステムの検証を行った。



地図データ ©2014 Google, ZENRIN

図 1 充電器設置箇所

2.2 システム構成

充電設備は充電を管理する MC² ボックス⁽¹⁾⁽²⁾と被充電体に割り振られた ID コードを発信する認証機から構成される。

MC² ボックスは超小型モビリティの充電電力量を計測するため、東光東芝メーターシステムズ株式会社（T2MS）製の電力量計（多回路電力レコーダ：KK20A）とシステム全体をコントロールし、サーバとの通信制御を行うための STiNC（インテリジェントネットワークコントローラ）を内蔵している。また、認証機は超小型モビリティ内部に組み込んでいる。更に、複数台の充電用コンセントを 1 台の STiNC でコントロールし、充電電力量は 1 台の多回路電力レコーダ（最大 6 チャンネル計測可能）にて計測する。

認証方法

- ①利用者が超小型モビリティの充電ケーブルを充電コンセントに挿入する
- ②超小型モビリティに内蔵された認証機から ID コードが充電ケーブルを通じて認証信号受信機へ送信される
- ③認証信号受信機から ID コードが STiNC に通知される
- ④ STiNC はクラウド上のサーバに ID コードを通知する
- ⑤サーバは登録された車両であるか否かを判定し、判定結果を STiNC に通知する
- ⑥ STiNC は判定結果が登録されている車両の場合、電力供給を開始する

豊島モビリティプロジェクトにおけるシステム構成を図 4 に示す。



図 2 充電風景（豊島交流センター）



図 3 充電風景（島キッチン駐車場）

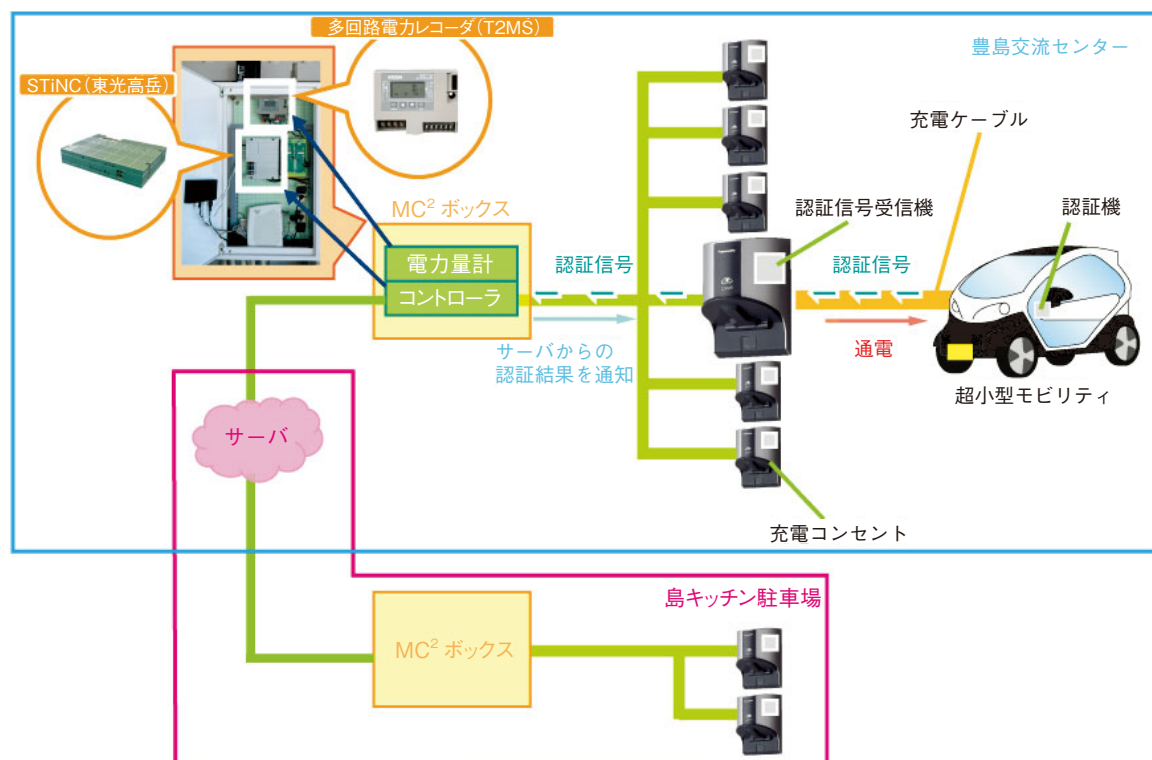


図 4 システム構成図

2.3 特長

- ・超小型モビリティに認証機を組み込んだことで、ユーザは充電用コンセントに充電ケーブルを挿すだけで認証が可能になり、IC カードなどによる認証行為が不要
- ・1 台の STiNC で複数台の充電用コンセントをコントロールすることが可能
- ・充電状況はクラウド上のサーバで管理し、リアルタイムにインターネットを経由して一元管理することができる

2.4 実証実験での充電状況

本実証実験において得られた知見を一部紹介する。

使用した超小型モビリティは最大で 4 時間の充電時間を必要とするが、豊島交流センターでの充電状況を整理すると、1 日使用した後の平均的な充電時間は 1 時間程度であり、95% の車が 2 時間以内に充電完了していた。

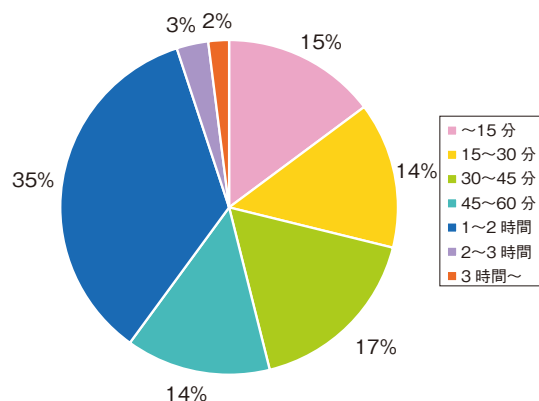


図5 豊島交流センターでの充電時間

また、豊島のメイン道路は 1 周約 15 km なので、1 日観光するという使い方であれば、途中の充電を行わなくとも走行可能距離に余裕はあるが、島キッチン駐車場に設置した充電設備の充電状況をみると、複数台の車が数分～1 時間程度の充電を行っていた。充電を行ったユーザの 60% が 30 分以下の充電時間であったことから、電池残量が十分な場合でも充電スポットがあれば、観光している間、食事をしている間などの短時間で充電を行うということが確認できた。

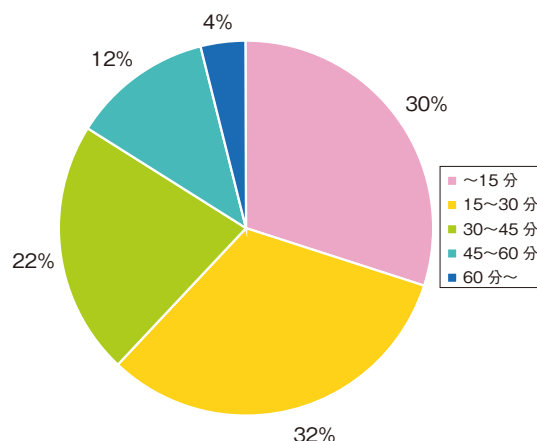


図6 島キッチン駐車場での充電時間

3. 機能展開

3.1 ピークシフト充電

豊島交流センターに設置した充電設備は 6 台の超小型モビリティが同時に充電しても問題ない契約電力を設定しているが、実際に 6 台の超小型モビリティが同時充電されるのは長くても 1 時間程度であった。

多くの電力会社は 23～7 時までの 8 時間が夜間電力の時間帯と設定されている。超小型モビリティの仕様より、充電するために必要な最大時間を 4 時間と仮定すると、夜間電力の時間帯に 4 時間を 2 セット確保することができるため、STiNC により充電開始時刻を 23 時以降、6 台の超小型モビリティを 3 台ずつ充電するようコントロールすることにより、ピーク電力の削減や、夜間電力時間帯に充電を行うことで、電力の負荷平準化を実現することが可能である。

実証実験期中で最も充電電力量が大きかった 1 日を例としてピークシフト充電による効果予想を図 7 に示す。

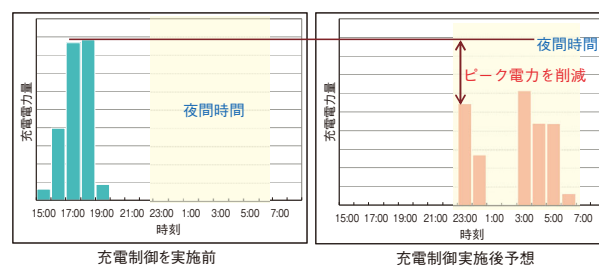


図7 ピークシフト充電による効果予想

3.2 複数車種の同時充電

豊島での実証実験では超小型モビリティの充電のみを行ったが、今後 EV や PHV など運用するようになった場合、車種ごとに異なる充電電流を考慮した組合せにより充電開始時間をシフトすることで、より効率の良い充電を行うことが可能になる。

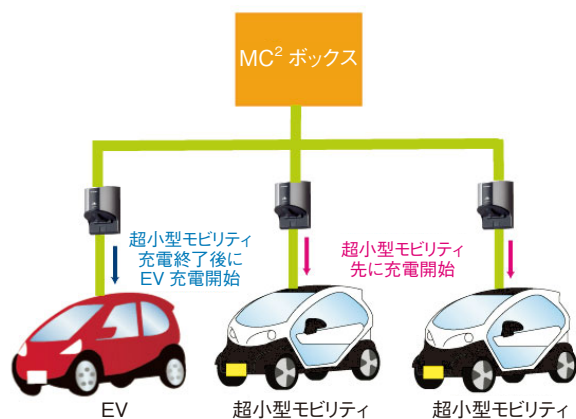


図8 複数車種による同時充電の構成例

3.3 エネルギーマネジメントシステムへの展開

豊島モビリティプロジェクトでは充電設備としてシステムを構築したが、コントローラにSTiNCを使用してることにより、充電器単体での提供だけでなく、システム全体のエネルギーマネジメントが可能である。

例えば、STiNC上にインストール可能なエコ.web IV^{注1)}を使用することでビル全体の使用電力量も計測可能になる。そこで、ビルの充電設備でEVなどを充電中にビル全体の使用電力量が逼迫してきた場合、EVへの充電電流を制御し、電力使用量をコントロールすることが可能になる。



図9 デマンドコントロール構成例

4. おわりに

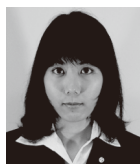
利用者認証（機器認証）を行い、使用された電力量を把握し、充電器だけでなくエネルギーマネジメントシステムとして構築可能な『Mobile Charge²。』の仕組みと、実用化案件を紹介した。今回は超小型モビリティの充電状況の一元把握に特化した、得られたデータから補充充電特性を考慮したエネルギーの効率利用も可能であると判断した。これらの知見に基づいて、今後電力の地産地消やマイクログリッドの実現が可能な島やビル、商業施設などへの展開が可能であると考えている。

参考文献

- (1) 前崎・小野田・大塚：「低圧充電管理システム（Mobile Charge²。）の紹介」, 東光電気技報 No.16 (2011)
- (2) 小野田・前崎・細谷：「低圧充電管理システム（Mobile Charge²。）」 東光電気技報 No.17 (2012)

語句説明

注1) エコ.web IV：STiNC IIにインストールした、エネルギー計測機能を実装したアプリケーション



藤本 千紘
技術開発本部
技術研究所
ICT技術グループ 所属
各種アプリケーションソフトウェアの開発・設計に従事



前崎 恒司
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
各種通信機器、電圧計測装置の開発・設計に従事

見える化で受変電設備の安心・効率的な運用とエネルギーの有効利用を支える

総合解析機能付き受変電監視制御システム MUDIC500 V + FEM@T

山鋪 知司
Tomoji Yamashiki

足立 純一
Junichi Adachi

藤澤 光剛
Mitsuyoshi Fujisawa

三輪 誠二
Seiji Miwa

1. はじめに

従来、工場・事業場では、省エネ法に基づくエネルギー使用の合理化が進められてきた。昨今の電力クライシスや電力料金値上げの対策としてエネルギー使用の合理化がクローズアップされるようになった。

工場におけるエネルギー使用の合理化のためには、エネルギー消費原単位の低減や待機電力の削減等の活動を設備単位で行い、その活動を統合管理することが重要である。その手法として、受配電設備のエネルギー管理に加えて生産設備のエネルギー使用の最適化を図るFEMS (Factory Energy Management System) が提唱されている。エネルギー消費量と生産に寄与する情報を設備単位で計測しエネルギー消費原単位として見える化すること、エネルギー消費原単位を低減するシミュレーションすることがFEMSの狙いである。

東光高岳では、受変電設備の監視制御を行うMUDICと、自治体施設等の省エネルギーを監理する総合解析システムを提供し、ご愛顧いただいた。この度、MUDICと総合解析システムを融合し、工場における受配電設備のエネルギー管理から生産設備のエネルギー使用の最適化までを担うシステム「MUDIC500 V + FEM@T」を製品化した。以下にその概要を紹介する。

2. 特長

2.1 エネルギー利用の見える化

自治体施設等で実績のある総合解析機能により、お客さまニーズに合った解析と表示が可能である。

また、情報LAN上のPCのブラウザによりエネルギー管理を気軽に行うことが可能となっている。

2.2 高信頼性

CPU (中央処理装置) にファクトリーコンピュータを採用し、24時間連続運転を実現した。RAS (Reliability Availability Serviceability) 機能 (温度監視、WDT (ウォッチドッグタイマ) 監視等) による高信頼性を確保している。

2.3 柔軟なシステム構成

システム構成は、対象設備規模 (入出力点数) や、設備配置状況等により異なったものとなるため、経済性などを考慮して、最適なシステム構成の検討を行った上で決定する。図1に、システム構成例を示す。

なお、監視制御機能処理と総合解析機能処理を2台の

CPUにて構成することも可能としており、MUDIC500 V導入済みの場合などにも柔軟に対応を行える。

2.4 容易な情報収集

分散する計測値は、インテリジェントネットワークコントローラ (STiNC II) にエネルギー管理アプリケーションを搭載した「エコ・Web」を適用することができる。表1にエコ・Web IVの基本仕様を示す。

表1 エコ・Web IV 基本仕様

項目	仕様
外形寸法	110(W) × 40(H) × 140(D)mm
入出力 I/F	• MicroLAN™ バス接続 • USB (2.0 HIGH) × 2 • LAN (10/100 BASE-TX) × 1 • RS-485 × 1
動作温度	−20℃ ~ 60℃
動作湿度	30 ~ 85% RH (結露なきこと)
電源電圧	DC 5V (AC/DC アダプター付属 AC100/200 V)
型式	STiNC-600X

MicroLAN™ 接続の入出力 I/F では、各種センサ (電力量センサ、パルス入力センサ、温湿度センサ、アナログ入力センサ等) を最大 32 点まで、バス接続 (シールド付 3 芯ケーブル) にて総延長 100 m の範囲で接続可能である。

3. 機能

本システムでは、受変電設備の運用を支える監視制御機能と総合エネルギー管理を支援する総合解析機能を併せ持っている。それぞれの機能概要を、表2、表3に示す。

3.1 監視制御機能

受変電設備の監視制御機能として、故障の発生・復帰、機器などの状態変化、計測値のトレンド及び上下限監視、機器の手動制御、デマンド監視及び対象負荷の自動制御、力率調整制御、スケジュール制御などの機能を実現している。

(1) 受変電監視制御 図2にグラフィック表示画面例を示す。本画面では、機器をシンボルで表示するなど、グラフィカルイメージで表現し、故障の発生や機器状態、現在計測値等の監視、機器の手動制御を行う。

(2) デマンド監視 図3に、デマンド監視画面例を示す。本画面では主に、受電デマンドの監視制御状況

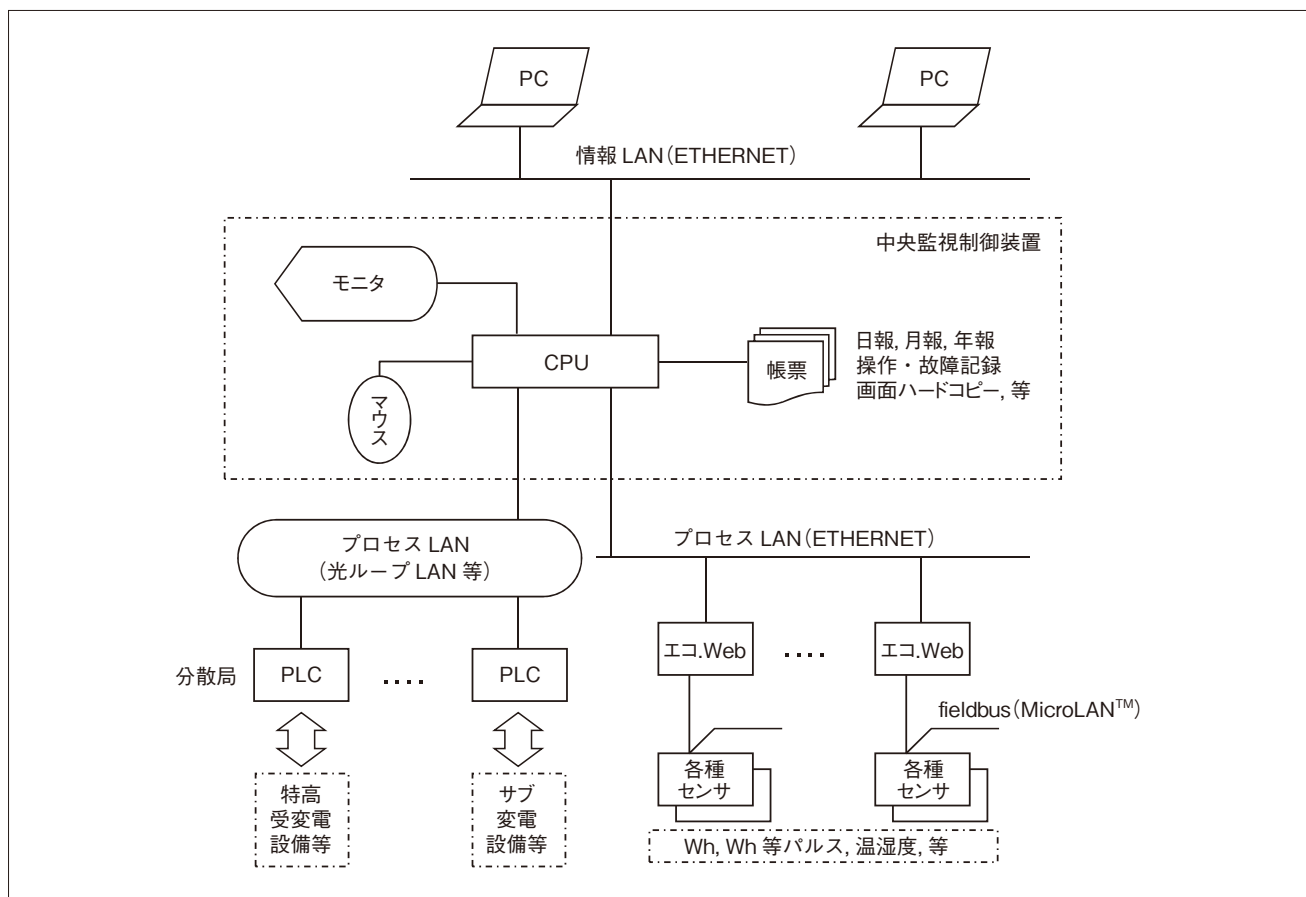


図 1 システム構成例

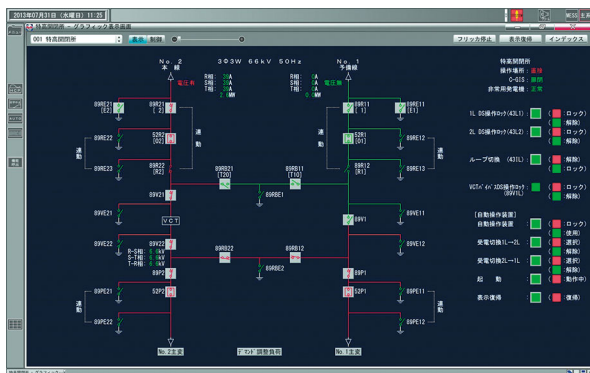


図 2 グラフィック表示画面例

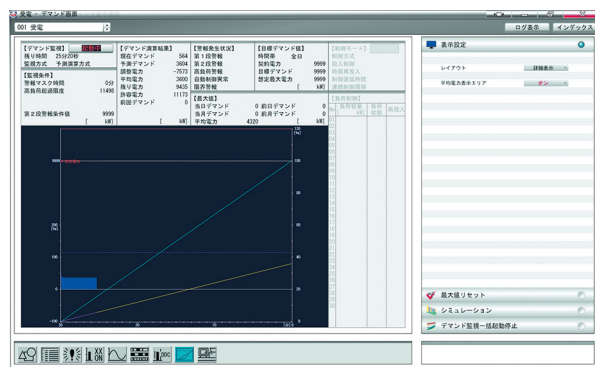


図 3 デマンド監視画面例

を表示する。設定された目標デマンドに対して、デマンド超過が予測される場合に、デマンド警報を発生する。監視方式は、使用電力の時間変動が少ない場合に適した予測演算方式と、電気炉負荷など時間変動が大きくデマ

ンド時限内での負荷調整を前提としている場合に適した警報ライン方式の2方式から選択することができる。また目標デマンド設定は、電力会社との時間帯別、季節別契約に合わせて設定することが可能である。

表 2 監視制御機能一覧

機能項目	機能概要
監視機能	ボイスアラーム、ディスプレイ、メッセージプリンタにより監視結果を出力する。
故障監視	故障項目を常時監視し、故障発生・復帰監視を行う。
機器状態監視	機器の状態を常時監視し、状態変化監視を行う。
上下限監視	各種計測値を監視し、上下限監視値の逸脱監視を行う。
監視ロック	各種監視機能は、監視ロック機能を有する。
画面表示	各種画面にて設備情報を表示する。
グラフィック表示	各種被制御対象設備をグラフィック表現により表示し、機器状態シンボルや計測データ、故障項目等を一括表示する。
運転履歴表示	警報、状態変化、上下限異常等メッセージを時系列にて一覧表示する。検索機能有。
継続故障表示	発生中の故障、異常メッセージの一覧表示を行う。
状態計測一覧表示	機器状態、故障発生状況、各種現在計測値を一覧表示する。
トレンドグラフ表示	各種アナログ計測値をトレンドグラフ表示する。サンプリング周期は1秒、5秒、10秒から選択可能。
帳票表示	各種計測値を1時間値として蓄え、日報・月報・年報を編集し、表示する。
統計グラフ表示	帳票用データから折れ線グラフ（アナログ値）、棒グラフ（パルス値）で表示する。
制御機能	監視対象設備機器の制御を行う。応動監視機能を有する。
手動操作	グラフィック表示画面から制御対象機器を選択して機器制御を行う。
デマンド監視制御	使用電力量のデマンドグラフ表示を行い、目標デマンドに対する超過懸念時にデマンド警報を発生する。また、デマンド制御対象負荷に対して負荷遮断、再投入制御を行うことも可能。
力率調整制御	主変二次無効電力を監視し力率を100%近くに維持すべく進相コンデンサの入切制御を行う。
スケジュール制御	設定されたタイムスケジュールに従って制御対象機器の入切制御を行う。
メッセージ記録	故障の発生・復帰等の各種監視結果をプリンタにて印刷出力する。
帳票記録	日報・月報・年報を自動印刷、手動印刷することが可能。
画面ハードコピー	ディスプレイに表示されている画面をイメージコピーし印刷することが可能。

表 3 総合解析機能一覧

機能項目	機能概要
全体表示	対象とする施設全体の使用電力量をツリー展開で表示する。
電力推移グラフ	選択した施設における1日（24時間）の電力推移をグラフ表示する。
温度相関グラフ	選択した施設における過去1年間の気温と温度の散布状況をグラフ表示する。
年間使用量月別積層	対象とする施設の月単位年間積層のエネルギー使用量比較をグラフ表示する。
デマンド監視	グループ毎の使用電力量と予測値をグラフ表示する。
データ出力	指定した施設の電力・ガス・水道等の使用量データをCSVファイル形式で出力する。
総合解析	総合的なデータ解析を行うための各種グラフを表示する。
年間使用量散布	年間使用量散布図と管理値により、年間使用量の評価を行う。
施設別原単位比較	グループ単位で、年間原単位を比較する。
夜間使用量	夜間と昼間の使用量を評価する。
利用時間帯	利用時間帯（ON/OFF）の比較で、使用状況を評価する。
期間使用量	日報・月報・年報のカレンダー形式による使用量を比較する（拡大及び重ね合わせ）。
期間原単位	日報・月報・年報のカレンダー形式による原単位を比較する（拡大及び重ね合わせ）。
温度比較	温度比較のデータをグラフ表示する。
データ出力	データをCSVファイル形式で出力する。
帳票表示	データの帳票表示を行う。
システム設定	システム運用に必要な設定を行う。
管理値設定	解析に必要なグループ登録等の管理値設定を行う。

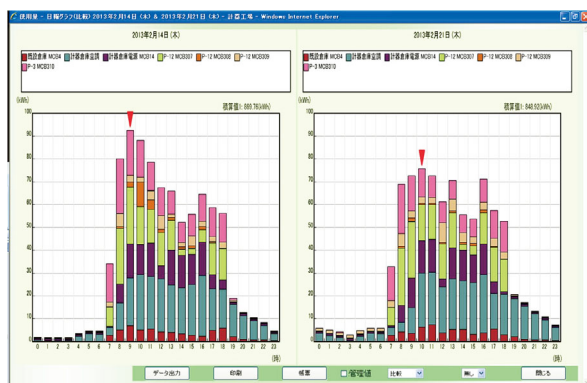


図4 日報グラフ（比較）例

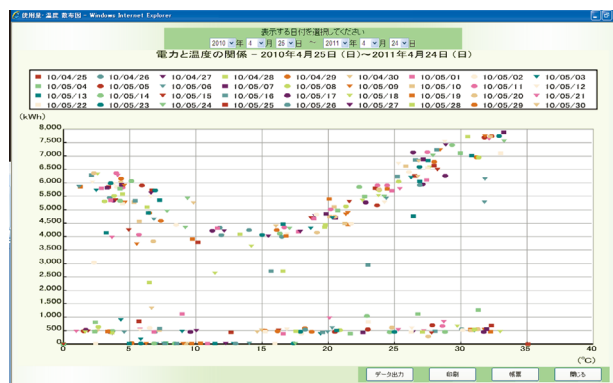


図5 温度相関グラフ例

3.2 総合解析機能

総合解析機能では、総合エネルギー管理を支援するものとして、各所の使用電力量をグラフ表示する機能を用意している。グラフ表示の一例を次に示す。

(1) 日報グラフ（比較） 図4に期間使用量の日報グラフ（比較）を示す。本グラフでは、グルーピングされた各所の使用電力量を積上げ、1時間単位の積層グラフとして表示する。比較したい日にち（任意）の使用電力量を並べて表示することで、例えば前週の同曜日と比較してエネルギー消費削減効果を確認できる。また、積層グラフとしては、各所での使用量の割合と傾向の確認も行える。

(2) 温度相関グラフ 図5に、年間における電力使用量との温度相関グラフ例を示す。本グラフでは、稼働日と冷暖房機器使用によるエネルギー消費傾向をつかむとともに、使用量予測パラメータの一つとしてとらえることができる。

4. おわりに

本稿では、工場における受配電設備のエネルギー管理から生産設備のエネルギー使用の最適化までを担うシステムを紹介してきた。

工場における最適なエネルギー使用の合理化を行うためには、生産形態に応じたエネルギー消費原単位の見える化やエネルギー消費原単位を低減するシミュレーションが必要になると考える。このためには、お客さまからのさまざまなご意見・ご要望や東光高岳の小山事業所内で実施中の実証試験の成果を反映することが欠かせない。

より扱いやすく、効果的なシステムに成長させるため、よろしくご指導・ご鞭撻をいただきたい。

■語句説明

「MicroLAN™」は Dallas MAXIM Semiconductor Corp. の商標または登録商標です。

「ETHERNET」は富士ゼロックス社の登録商標です。



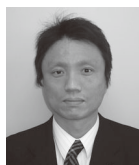
山鋪 知司

電力プラント事業本部

電力プラント事業企画部 事業企画グループ 所属
新規商品開発推進業務に従事

足立 純一

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
エネルギー管理システムの開発・設計に従事

藤澤 光剛

電力プラント事業本部

制御装置製造部 システム設計グループ 所属
監視制御システムの開発・設計に従事

三輪 誠二

電力プラント事業本部

制御装置製造部 システム設計グループ 所属
監視制御システムの設計に従事

エネルギーの最適利用を可能にする

スマートコントローラ

永山 伸行

Nobuyuki Nagayama

草川 慎一

Shinichi Kusagawa

1. はじめに

近年、電力の見える化は広く一般に認識され、需要家の間にも普及している。見える化によって特定の時間に電力のピークが出ていることや、割安な夜間電力が有効活用できることに気付くことができるようになってきた。これによりデマンドや電力料金を抑えるためのピークカット・ピークシフトが求められ、省エネやCO₂排出量の削減、またBCP（事業継続計画）にも効果を発揮する再生可能エネルギーや蓄電池などの分散電源を導入し、エネルギーを有効利用する機運が高まってきている。しかし、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの出力は地域特性に大きく影響し、図1に示すように急峻かつ変動量も大きい⁽¹⁾。

特定規模電気事業者（PPS）に於いては、送電で既存の系統を利用する場合、お客さまの電力需要量と発電による電力供給量を30分間で±3%の範囲で同時同量とする規定があるが、単純に蓄電池を導入するだけでは図1に示す変動を抑えることはできない。これらの対策としてエネルギーマネジメントシステムが開発され、実証試験が行われているが、天候によっては蓄電池等のスケジュール運転ではカバーしきれない場合がある。

東光高岳では再生可能エネルギー、蓄電池、コージェネ型電源などの分散電源を迅速かつ効率的な手法を適用して開発した高度な制御アルゴリズムによって、このような課題に対応できる小型の制御装置「スマートコントローラ」を開発した。

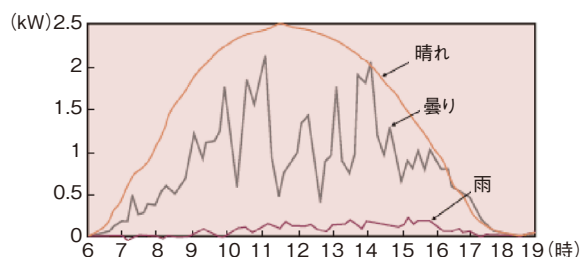
2. スマートコントローラの概要

スマートコントローラは小型で廉価なエネルギーマネジメント用の制御装置である。設備状態や運転状況を確認しながら、再生可能エネルギーや蓄電池などの分散電源を制御することによって受電電力を調整し、エネルギーコストの削減や安定した受電電力の維持に貢献する。

制御方法や料金形態により効果は異なるが、デマンドを下げるるとともに夜間電力の有効利用による電力量料金の削減、分散電源の出力変動による受電電力の変動を抑えるなどの効果を発揮する。また、蓄電池の状態を監視して充放電制御を適切に実施することで、対策を施さない場合と比較して寿命の延長効果が期待できる。

一般的に汎用のコントローラは使用設備や制御方法が

太陽光発電の出力変動(春季)



風力発電の出力変動(冬季)

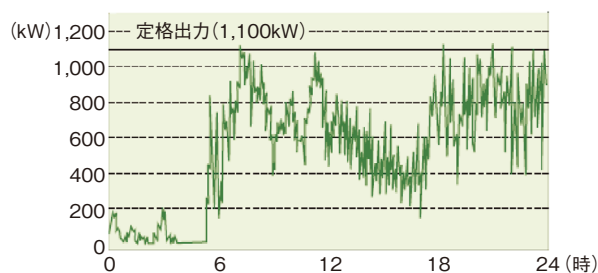


図1 再生可能エネルギーの出力変動例

予め決められており、電源設備などを追加する場合、システムに対応した制御ロジックの再構築が必要となる場合が多々ある。本コントローラは分散電源などの制御にモデルベースデザイン手法で開発した高度な制御アルゴリズムを実装しており、需要家の設備やニーズにマッチしたアルゴリズムを素早く提供できる。

太陽光発電、風力発電の出力変動を抑制し、電力事業者との連系点における受電量と送電量を3分間で±3%の範囲で同時同量とすることを目標とした実証が行われており⁽²⁾⁽³⁾、これと同等以上の制御が行えるよう、制御周期を最速100msで動作可能としている。

2.1 システム構成

スマートコントローラのシステム構成例を図2に示す。

パワーコンディショナやリモートI/Oを介して太陽光発電、蓄電池などの分散電源やその他の負荷設備を監視・制御して受電電力を調整することで、エネルギーコストの削減や安定した受電の維持に貢献する。設備監視制御システムMUDICシリーズと連携し、スマートコントローラで収集したデータをMUDICの画面上に表示することが可能である。

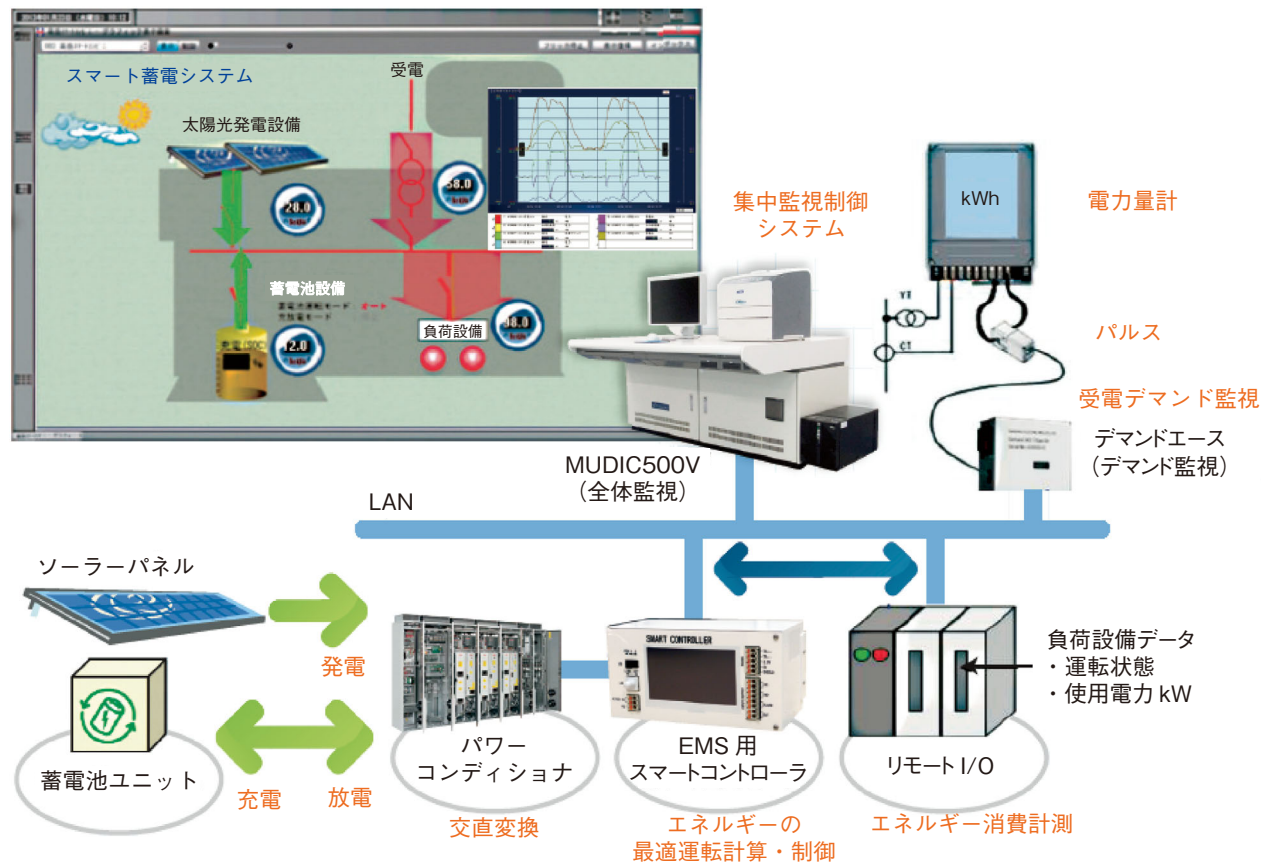


図2 システム構成例

2.2 装置構成

スマートコントローラは盤内設置のためコンパクトにすると共に、既存のPLC（シーケンサ）と併設することを考慮した高さ／奥行き寸法になっている。また、DIN レールによる取り付けも可能とした。制御対象の中心は、蓄電池の充放電や分散型電源などの出力制御、太陽光発電の出力調整などに関わるパワーコンディショナであるため通信インターフェースはEthernet やRS-485 をサポートしているほか、汎用の外部入出力接点、液晶パネル（オプション）などを搭載している。スマートコントローラの外観および仕様を図3、表1に示す。

2.3 機能概要

スマートコントローラには各種分散電源などの制御のほか、帳票やWebサーバ機能も搭載している。また、クラウドのストレージサーバに計測データを蓄積する機

表1 仕様

項目		Type-A	Type-B
電源電圧		AC100 V ± 10%, 50 Hz/60 Hz ± 1 Hz	
消費電力		最大 30 W	
LCD		なし	4.3 インチ LCD
使用環境	周辺温度	0 ～ 55℃	
	周辺湿度	20 ～ 80% RH（結露なきこと）	
防塵防水等級		IP30	
インターフェース	シリアル	RS-485	
	LAN (Ethernet)	RJ 45（100 BASE-TX/10 BASE-T, AUTO-MDIX 対応）	
	USB	USB 2.0	
	SD	microSD スロット	
外部接点		入力：2 点，出力：1 点	
制御方式		ソフト PLC ^{注1}	
外形寸法（※突起物は除く）		W 105 × H 100 × D 100 mm	W 190 × H 100 × D 100 mm
重量		約 800 g	約 1100 g

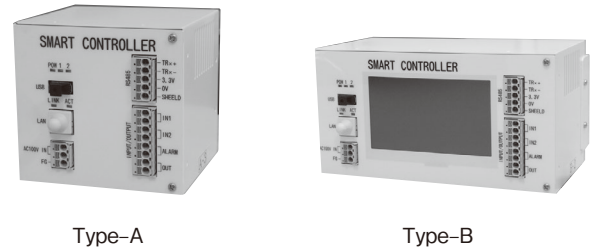


図3 スマートコントローラの外観

能を搭載しており、複数拠点のデータを一元管理することが可能となっている。
実装した主な機能を表2に示す。

表2 機能

ソフト PLC 機能	IEC61131-3 ^{注2} 規格のソフト PLC 機能を実装。FBD, LD ^{注3} などの PLC プログラミング環境にて開発した制御アルゴリズムを搭載する。
ホスト間連携機能	パワーコンディショナ, MUDIC, デマンドエース, リモート I/O と各種プロトコルにより, データ通信を行う。通信ポートはイーサネット, RS-485 に対応。
帳票機能	運転データから日報, 月報, 年報を編集し, CSV ファイルにて提供。
メール送信機能	設定したアドレスに対して帳票や警報メールを送信。
Web サーバ機能	Web ブラウザによるステータス表示および設定情報を変更。
データ蓄積機能	IEEE1888 (FIAP) の G/W 機能を搭載し, クラウドのストレージサーバにデータを蓄積。 複数拠点のデータを一元管理。

2.4 制御アルゴリズム

制御アルゴリズムはモデルベースデザイン手法によって開発している(図4参照)。また, 上流設計にて制御対象とする太陽光発電, 風力発電, 蓄電池などもモデル化している。例えば蓄電池のモデルでは, 極力実機に即した制御応答特性や定格出力電力のパラメータなどを変更可能とすることで, 多様な電池の検証が実施できる仕組みになっており, 開発の初期段階からシミュレーションによる検証を可能とした。

需要家の設備に合わせてモデル化した制御対象を組み合わせ, 制御アルゴリズムをニーズにマッチするように形成し, 繰り返しシミュレーションを行うことで早期検

証を行い, 信頼性の高い制御アルゴリズムを開発した。アルゴリズムは, 自動コード生成によって信頼性を維持すると共にスマートコントローラへスムーズに実装することができ, 開発時間の短縮やヒューマンエラー削減の役目も果たしている。また, 制御対象の組み合わせに応じてシミュレーションできることから, 既設の受変電設備と有機的な連携が可能となり, 予算にマッチする段階的な設備導入, 更新を容易にしている。

2.5 動作検証

スマートコントローラの動作検証例として東光高岳小山事業所の実証試験場⁽⁴⁾を対象モデルとした。本試験場には電源設備として, 太陽光発電, 蓄電池が設置されており, 電力会社およびこれらの電源により負荷に電力を供給する。

基本的な4つの制御アルゴリズムを適用した場合の動作状況を監視システムであるMUDICと連携して表示した結果を図5に示す。負荷電力と太陽光発電電力は春期のある日(天候:晴天)に取得した実測データを用いている。いずれの制御アルゴリズムにおいても, 目標受電電力に対して実際の受電電力はほぼ追従しており, 目標としている同時同量±3%内を実現できている。

図5(a)の受電一定制御の例では, 分散電源で補償すべき電力は

$$\text{補償電力} = \text{目標受電電力} - \left[\text{負荷電力} + \left(- \text{太陽光発電電力} \right) \right]$$

となり, 急峻な変動には応答性の良い蓄電池, 緩やかな変動にはガスエンジンなど(図5(a)ではその他電源と表記)を活用して, 協調して補償するように制御してい

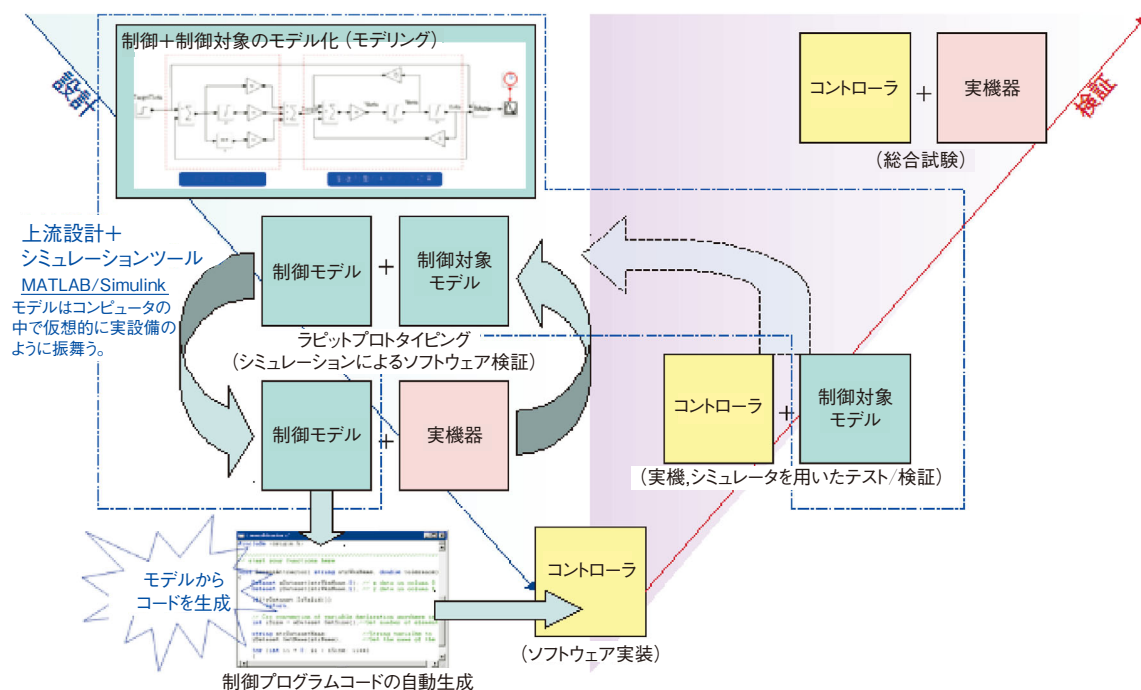


図4 モデルベース開発に基づく開発サイクル

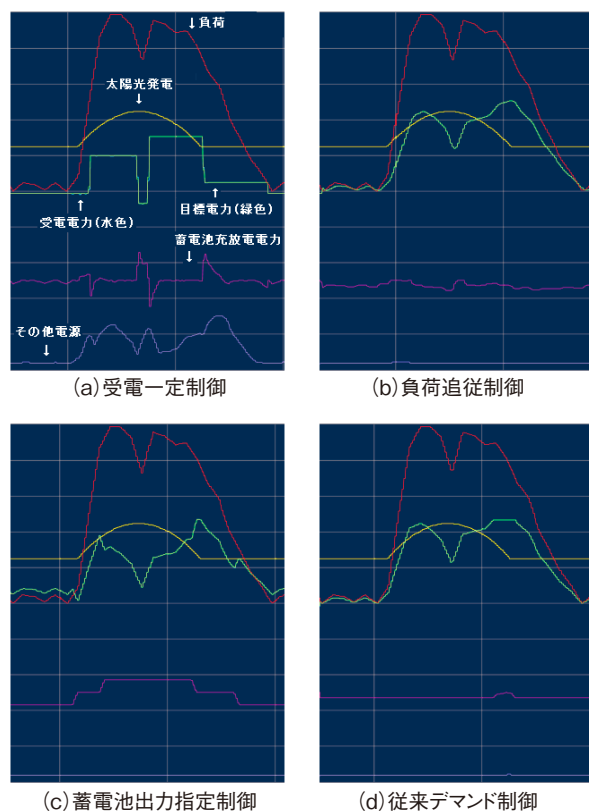


図5 検証結果

る。

受電一定制御の場合、目標値の設定は過去の運転実績や需要家のニーズにより決定し、その他の制御パターンでは受電電力に応じて自動的に設定する。将来的には負荷需要や太陽光の発電電力の簡易な予測制御を導入することで、より適した目標値を自動で設定することを目指す。

3. おわりに

本稿では高圧受電の需要家として、東光高岳 小山事業所の1エリアを対象としたシミュレーション結果を紹介した。太陽光発電や負荷などの被制御器を模擬するシミュレータとの連携も実施しており、制御周期 100 ms にて望む目標を実現できる可能性を確認できた。対象となる需要家の設備構成や導入される制御対象機器の応答特性が十分であれば実機での運用にも対応できると考える。

今後はシミュレーションにて得られた結果を踏まえ、実システムとして、小山事業所に設置して実機による動作検証およびデータ収集を進めると共に、ヒートポンプやEV用急速充電器などのモデル化を行い、制御対象機

器を充実させる。また、対向するパワーコンディショナやセンサー機器とのプロトコルを適宜開発していく。さらには、高圧受電と対象の異なる小山事業所内のある居室規模（低圧受電）を対象に、デマンドエースのデマンド制御と空調機器の間欠制御を組み合わせたエネルギー最適制御アルゴリズムも開発が完了しており、省エネ、ピークカット・ピークシフトに寄与できるラインアップを拡げていく予定である。

参考文献

- (1) 中部電力株式会社 ホームページより
http://www.chuden.co.jp/energy/ene_energy/newene/ene_data/dat_hendo/#
- (2) 分散型電源によるマイクログリッドシステムの開発清水建設研究報告（第82号平成17年10月）
- (3) S. Kusagawa et al.: "Frequency Spectrum Based Coordinate Control Scheme for Several Types of Distributed Power Generation Systems in a Micro Grid", Proc. the 12th EPE-PEMC Conference 2006 in Portoroz, Slovenia, (2006).
- (4) 高岳レビュー 175号 次世代配電ネットワーク実証試験設備の紹介

語句説明

注1) ソフト PLC：ソフトウェアによるプログラマブルロジックコントローラ。

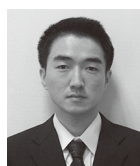
注2) IEC61131-3: PLC用の5種類のプログラム言語を定義したもの。

http://ja.wikipedia.org/wiki/IEC_61131-3

注3) FBD (Function Block Diagram), LD (Ladder Diagram): PLC用のグラフィカルなプログラム言語で、IEC61131-3標準で定義される5言語のうちのひとつ。



永山 伸行
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



草川 慎一
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技術の開発に従事
工学博士

コンパクトで導入が容易なエネルギー監視ソリューション

デマンドエースシリーズ

加藤 貴大
Takahiro Kato

1. はじめに

中小規模需要家向けのエネルギー見える化システムとしてデマンドエースシリーズを展開している。シリーズには、デマンド監視を行うデマンドエース、無線センサで環境情報を取得する EcoQuest、デマンドエースと EcoQuest からデータを収集・監視するコンセントレータなどがある。本稿ではデマンドエースシリーズのシステム構成とその構成装置について紹介する。

2. デマンドエースシリーズ

2.1 システム構成

本シリーズのシステムは、基本的に、デマンドエース、EcoQuest およびコンセントレータで構成される。コンセントレータは、デマンドエースからの受電電力・発電電力データ、および EcoQuest からの温湿度等の環境データを収集・集約する。そのデータは汎用のブラウザから閲覧が可能で、インターネット上のクラウドサー

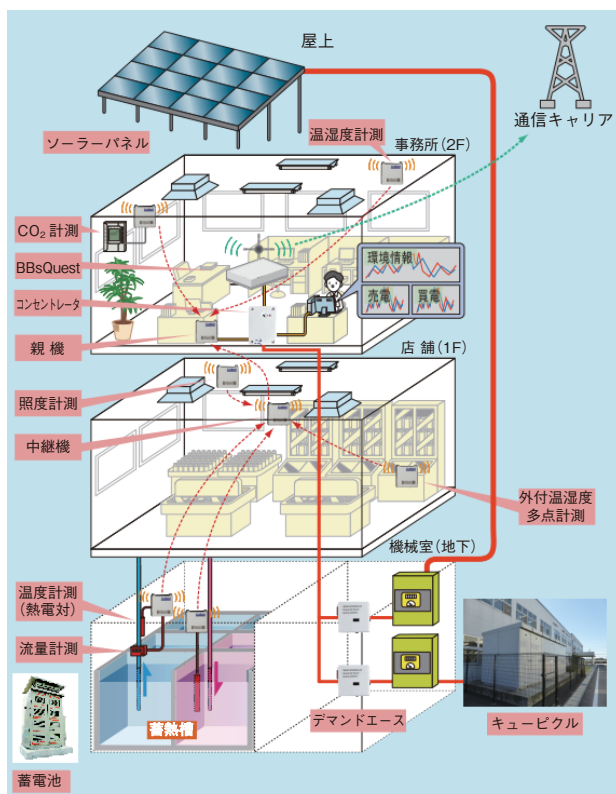


図1 デマンドエースシリーズのシステム構成例

バに蓄積することもできる。

本シリーズのシステム構成例を図1に示す。

2.2 システムの特徴

機能単位にモジュール化することで安価な導入コストと拡張性を両立しているため、要望に合わせて必要な機能だけを組み合わせることで小規模の需要家でも容易に導入が可能である。

3. 構成装置の紹介

3.1 デマンドエース

デマンドエースは小型で安価なデマンド監視装置である⁽¹⁾。装置の外形を図2に示す。

(1) デマンド監視

電力取引用のメータからパルスを取得し、10秒周期で現在デマンド値や予測デマンド値を演算する。監視状況は汎用パソコンなどのブラウザから確認する。また、時間帯別目標デマンド値を1日24時間で8つ設定することが可能で、これらの時間帯設定を1時間毎に適用する。電力使用量に応じ、閾値の設定により3段階の警報出力を行う。警報は監視表示灯(オプション)・メール・外部接点に出力し、ブラウザ・専用アプリケーションで確認する。

(2) コンパクト

設置面積は名刺相当のコンパクトサイズである。また、受電電力パルスを付属のクランプ式パルスセンサにより容易に取り込むことが可能で、電源はPoE^(注1)給電に対応しているため別途補助電源配線が不要である。そのため設置に場所を選ばず、取り付けが容易に行える。



図2 デマンドエースの外形

3.2 EcoQuest

EcoQuest はセンサの情報を通信する子機と、子機からデータを収集する親機からなる。EcoQuest のシステム構成を図3に示す。

(1) 多彩なセンサに対応

子機にセンサを接続することで多彩なデータを収集する。EcoQuest が対応しているデータ計測ノードは次の通りである。

- ・温湿度計測 ・外付温湿度多点計測
- ・電力量計測 ・流量計測
- ・照度計測 ・CO₂ 濃度計測
- ・熱電対計測 ・パルス計測
- ・DI 計測/DO 出力

(2) 無線によるデータ収集

親機と子機は無線によりデータ通信を行う。無線は周波数帯域 920 MHz 帯、出力 20 mW の特定小電力無線 (ARIB STD-T108 に準拠) を使用し、マルチホップでデータを収集する。

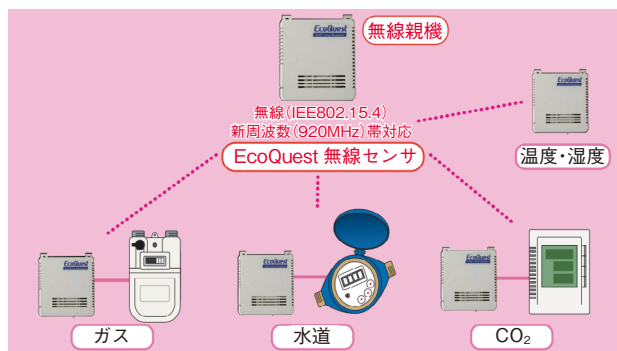


図3 EcoQuest のシステム構成

3.3 コンセントレータ

コンセントレータは EcoQuest 無線親機を内蔵し、デマンドエース・EcoQuest からデータを収集し管理する。(最大 16 点)

(1) データの収集・管理

収集したデータは汎用のブラウザからの閲覧が可能のほか、目的に応じて 6 種類の帳票を CSV 形式で出力する。また、電力データを収集している場合には、デマンドエース同様デマンド監視が可能である。コンセントレータの日デマンドグラフの例を図4に示す。

上位システムからのデマンドレスポンス指令にも対応している。

(2) IEEE1888 プロトコル (FIAP)

本装置では IEEE1888 プロトコル (FIAP)⁽²⁾を採用している。WRITE クライアントを搭載し、設備 (電力) データ収集するゲートウェイの役割を果たす。このプロトコルにより監視データをクラウドサーバに送信することにより、過去データを閲覧することが可能である。複数拠点で本装置を導入している場合では、このクラウド

サーバにデータを集約することにより複数拠点の一元管理が可能である。

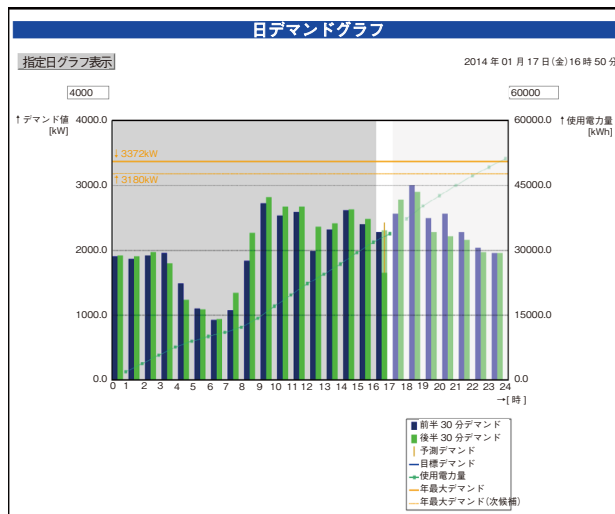


図4 コンセントレータの日デマンドグラフ

4. おわりに

中小規模需要家向けのエネルギー見える化システムであるデマンドエースシリーズを紹介した。

今後も機能拡張として DR (Demand Response) 対応などの機能を実現していく予定である。また、本稿で紹介した装置のほか、IEEE1888 通信端末など FEMS/BEMS の構成要素となる装置の開発を進める。

参考文献

- (1) 高橋, 中尾, 山舗, 原: 「デマンド監視装置とデマンドエース」, 高岳レビュー, Vol. 57, No. 1, pp. 7-11 (2012)

語句説明

注1) PoE: Power over Ethernet. LAN ケーブルを使用して電源を供給する技術。PoE 給電を行うためには PoE 対応のハブ (PoE インジェクタ) を使用する必要がある。

注2) IEEE1888 プロトコル (FIAP): FEMS/BEMS の標準プロトコルとして開発されたオープンな通信規格。

※ EcoQuest はユークエスト株式会社の登録商標です。



加藤 貴大
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

高温環境下での高精度基板反り計測を可能とする

温度可変基板反り検査装置

井上 征利
Masatoshi Inoue石原 満宏
Mitsuhiro Ishihara日名子 達也
Tatsuya Hinago

1. はじめに

近年スマートフォンやタブレット PC あるいはウルトラブックなどの可搬コンピュータの急速な普及に伴い半導体パッケージの小型化・薄型化が加速している。

この半導体パッケージの高機能化は、図 1 に示すように、パッケージ基板実装にボンディングワイヤを使用せず、パッケージ基板表面にバンプ^{注1)}を形成して直接電氣的に接続できるフリップチップ実装にすることで実現される。フリップチップ実装ではパッケージ基板全面に電極であるバンプを形成できるため、従来のワイヤボンディング実装と比べて、微細配線であっても LSI チップを小型化・薄型化することができる。

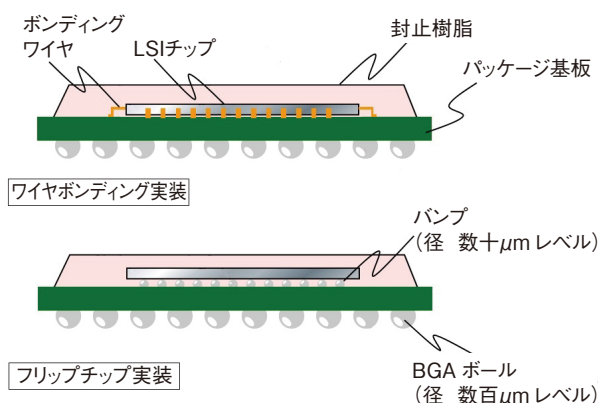


図1 パッケージ基板実装方法

一方、バンプの接続はリフロー^{注2)}工程においてバンプを融解させ接続するが、その際、図 2 のようにバンプが載ったパッケージ基板に反りが発生すると、一部のバンプ部で実装不良になってしまう。この反り量はバンプが微小であるほど実装への影響が大きい。近年ではバンプの微細化に加え、環境に配慮した鉛フリーはんだが使用されるようになったことで、はんだの融点が高く、従来より数十度リフロー温度を上げるため、パッケージ基板への熱ストレスが大きく、反りも起こりやすくなっている。

このような背景から、製品の品質や歩留まりを改善するためパッケージ基板加熱中の反り状態を詳細に計測できる装置のニーズが高まっており、東光高岳ではこの要求に応えるべく、業界トップシェアを持つ当社の三次元検査装置で培ってきた共焦点計測技術に、独自に開発し

たセンサ用断熱機構と加熱機構を組み合わせることで加熱中におけるパッケージ基板の反り計測を可能とする温度可変基板反り検査装置（図 3 を参照）を実用化した。

以下に、その概要を紹介する。

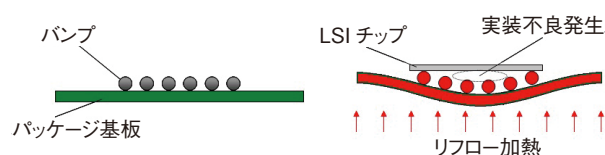


図2 パッケージ基板の反りによる実装不良



図3 温度可変基板反り検査装置の外観

2. 計測原理

共焦点光学系による三次元計測では、対物レンズの焦点位置と共役な位置にピンホールを配置し、計測対象物とピンホールとの位置関係を微動させることで、ピンホールを通過する反射光量が最大となる位置を求めることにより、計測対象物の高さを算出している。

本装置では図 4 に示すように、このピンホールを必要画素分二次元配列することで XY 走査を必要としない共焦点撮像光学系（以下、非走査型共焦点という）とし、さらに、三次元センサ（以下、3D センサという）部に Z 軸ステージを用いて Z 走査を行う手法を用いて

いる。この光学系は全画素同時計測型であることから、Z 軸ステージを連続移動させ、所定の高さ位置で高速シャッタ露光できることから、通常の走査型共焦点と比較して高速に計測することが特長である。

表 1 に今回開発した 3D センサ部の主な仕様を示す。3D センサはお客さまの計測対象物によって、視野サイズおよび XY 分解能の異なる 2 種類のセンサから選択できる。

表 1 3D センサ部の主な仕様

センサ型式	NCS-5020EX-KN	NCS-5220EX-KN
測定原理	非走査型共焦点	
Z 計測範囲	最大 3.0 mm	
Z 分解能	0.1 μm	
Z 走査速度	最大 1.0 mm/sec	
視野サイズ	6.0×6.0 mm	9.0×9.0 mm
XY 分解能	6.2 μm	9.3 μm

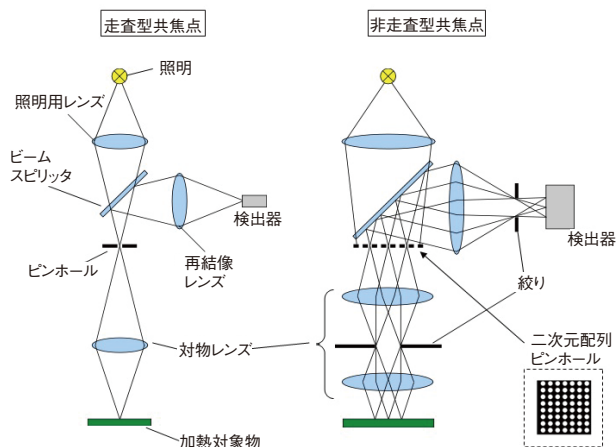


図 4 共焦点光学系

3. 装置構成と仕様

3.1 装置の特長

本装置の特長は次のとおりである。

- (1) 独自に開発したセンサ用断熱機構により、加熱対象物から 3D センサへの伝熱を遮断し、熱の影響を受けない高精度で安定した計測を実現している。
- (2) 加熱後の加熱対象物をクーラで冷却して、計測時間の短縮を図っている。
- (3) 16 ステップまでの温度制御プロファイル（室温～最大 260℃）が作成可能で、専用の金属性 JEDEC^{注3)}トレイ（以下、メタルトレイという）に載せられた加熱対象物を多様な温度下で計測できる。
- (4) ヒータによる両面同時加熱により、加熱対象物表裏面の温度差が少ない均一な加熱ができる。
- (5) 専用のアプリケーションにより、計測結果の解析や鳥瞰図表示が容易に行える。

3.2 装置構成

図 5 に本装置の構成ブロック図を、図 6 に装置本体加熱計測部の構成図を、表 2 に基本仕様を示す。

XYZ 軸ステージ上のテーブル上に赤外線ヒータを 6 本配列した加熱ケースを設置し、加熱ケースの上部に多数の加熱対象物を載せたメタルトレイを配置する。3D センサとメタルトレイとの間にはプレートヒータを設置し、メタルトレイ上の加熱対象物を上方からはプレートヒータによる対流熱伝達で、下方からは赤外線ヒータの熱放射で加熱する。このように両面加熱により加熱対象物表裏での温度差の発生を抑制している。

加熱対象物には熱電対を貼り付け、最大 5 箇所の温度データを基に赤外線ヒータおよびプレートヒータの温度制御を行っている。

メタルトレイの外形は JEDEC 規格で 322.6 mm×135.9 mm と規定されているが、搭載する加熱対象物のサイズや個数、固定方法などはお客さまが任意に設計したメタルトレイを使用しての計測も可能である。

3D センサ部の下方で XYZ 軸ステージが移動することで、加熱しながらメタルトレイ全面の領域で計測ができるようになっている。計測動作は加熱対象物が温度プロファイルに基づき目標温度に達し、任意に設定した時間経過後に行われる。

また、3D センサ周囲温度の上昇および結露の発生を防ぐために装置用エアコンを装備している。さらに、計測時間を速めるため加熱対象物を加熱した後に加熱対象物を高速で冷却する冷却用クーラおよび排熱用ブロアを装備している。断熱機構部には常時エアと冷却水が供給され、図 7 に示すように、高温な加熱対象物を計測中でも 3D センサ部の温度を一定に保ち、3D センサ部の保護および安定した計測を実現している。

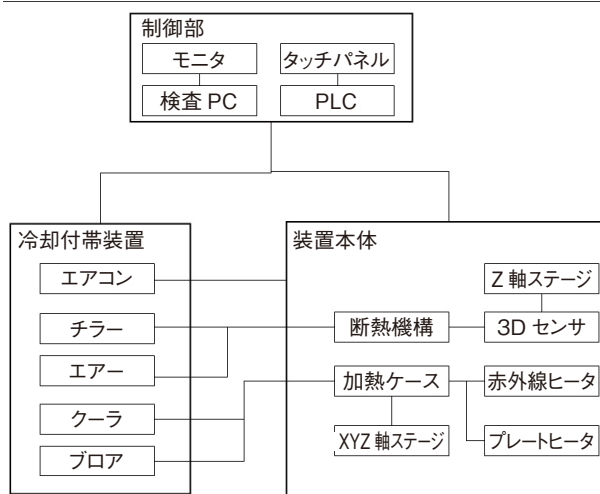


図 5 装置構成ブロック図

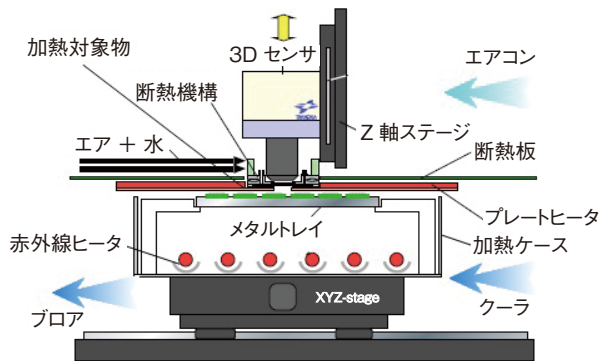


図6 装置本体加熱計測部の構成

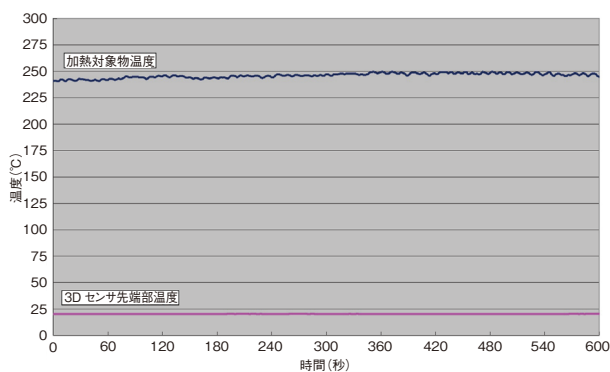


図7 加熱計測中の3Dセンサ部温度変化

表2 基本仕様

項目	仕様
温度可変範囲	室温～260℃
加熱／冷却速度	最大 1.0℃/sec ／ -0.35℃/sec
平面計測精度	<2.0 μm
計測速度	<2.0 sec (※)
計測項目	基板反り, バンプ高さ・平坦度 etc
装置本体サイズ	1,200(W)×1,960(D)×1,800(H) mm
質量	2,500 kg

※ Z 計測範囲 1 mm 時の 1 視野あたりの計測時間

4. 測定結果

4.1 表裏温度差の例

図8に両面加熱と赤外線ヒータのみの片面加熱した場合の加熱対象物の表裏温度差を比較したグラフの一例を示す。厚みや材質、内部の配線パターンなど加熱対象物の条件によって伝熱特性は異なるが、樹脂材を使用した1.5 mm厚の積層基板で測定した結果、片面加熱で25℃の温度差があったものが、両面加熱により温度差が5℃まで低減した。これにより本装置の両面加熱が表裏面温度差を抑制するのに有用な加熱方法であることを確認できた。

4.2 計測結果

高温加熱時の反り計測精度を評価するために、低膨張材質である合成石英ガラスを用いて平面度計測を行っ

た。

面精度 $\lambda/4$ ($0.158 \mu\text{m}$) の $50 \times 50 \text{ mm}$ 合成石英（熱膨張率 $5.5 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ ）平行平面ガラスを用い、その中心部 $25 \times 25 \text{ mm}$ 領域の反り計測し（9視野繋ぎ合わせ）平面度（最小二乗平面からの偏差の最大最小値差）を評価したところ、常温 25°C で $0.63 \mu\text{m}$ 、加熱時 236°C で $1.01 \mu\text{m}$ の結果が得られた。これにより本装置の3Dセンサは熱の影響をほとんど受けずに、サブマイクロメートルレベルの誤差で平面度計測ができ、パッケージ基板の計測には十分な性能を有していることが確認できた。

4.3 実サンプル計測例

図9に実際のバンプ付パッケージ基板の計測結果例を示す。バンプの高さも同時計測しているが、各温度帯のパッケージ基板反りのみを表示している。本装置は各温度での基板反り表示だけでなく、計測した結果の反りの差分の表示もできることから、加熱・冷却によってどのような反り変化が起きたかを詳細、かつ、容易に把握することができる。

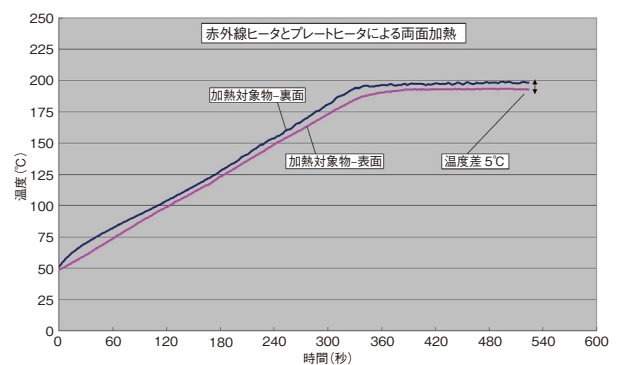
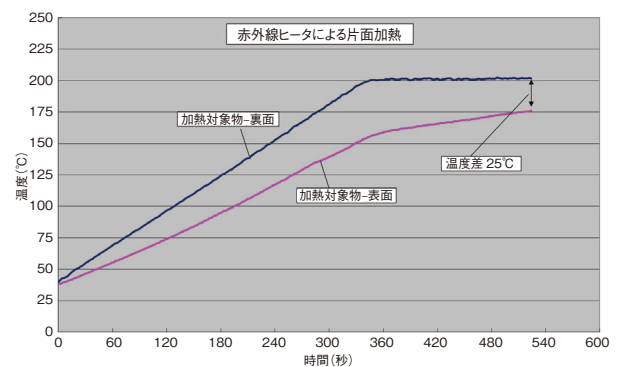


図8 加熱方式による表裏温度差比較

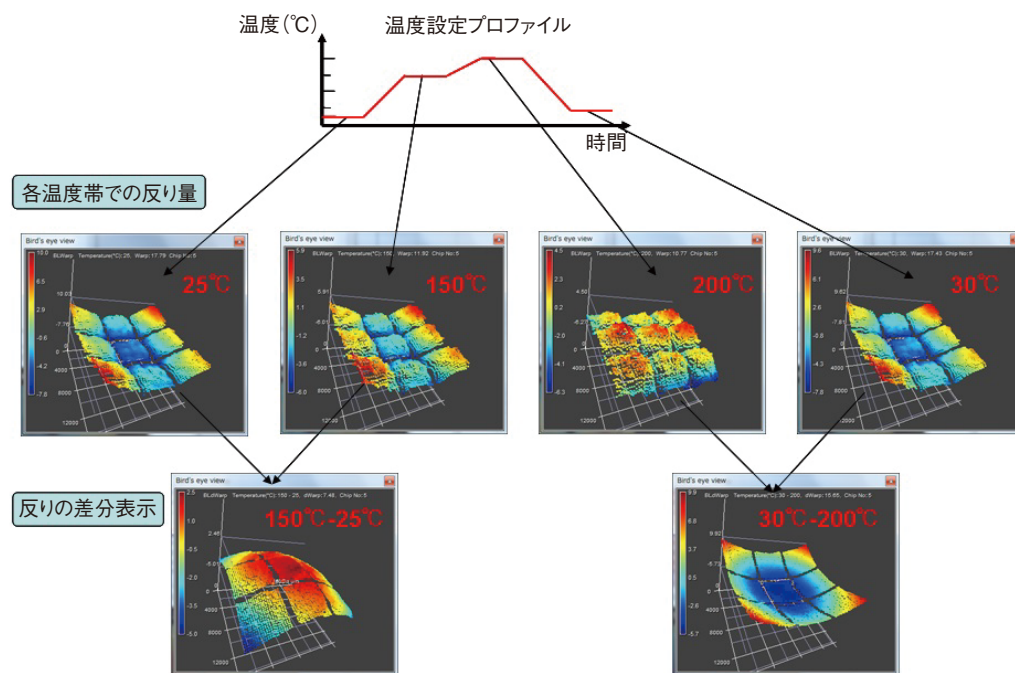


図9 パッケージ基板の計測例

5. おわりに

以上、開発した温度可変基板反り検査装置の概要を説明した。今後は、計測速度の向上と加熱性能の改良を進める。また、パッケージ基板に限らず幅広い分野での加熱計測を可能とするより汎用性の高い装置を開発していく所存である。

参考文献

- (1) JEDEC : High Temperature Package Warpage Measurement Methodology, JESD22B112, 2005
- (2) 石原満宏：「昇温機能付半導体パッケージ基板反り計測装置の開発」, 2012年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, p.627-628

語句説明

注1) バンプ：基板上に形成された突起状の微小電極部。リフロー工程時に融解しはんだ付けされる。

注2) リフロー：基板上にはんだペーストを印刷し、その上に部品を載せてから熱を加えてはんだを溶かして接合する方法。

注3) JEDEC：Joint Electron Device Engineering Councilの略称で、半導体技術の標準化を行う団体。JEDECトレイはその規格（外周サイズ）に準拠した電子部品を載せるトレイのことを指す。



井上 征利
光応用検査機器事業本部
技術開発部 開発グループ 所属
三次元検査装置の開発に従事



石原 満宏
光応用検査機器事業本部
技術開発部 所属
三次元検査装置の開発に従事
博士（工学）、精密工学会、OSA、SPIE 各会員



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
三次元検査装置の開発に従事

新エポキシ樹脂を用いたコンパクト型モールド変成器

◆ 概 要 ◆

モールド形変成器（変流器：CT，計器用変圧器：VT）は，主にキュービクル式高圧受電設備内に設置され，計測用または保護継電器用として使用されている。

近年の受電設備におけるニーズの一つとして盤巾寸法の縮小など省スペース化が求められており，それとともに内蔵される変成器についても小型化が求められている。そうしたニーズに応えるべく，新エポキシ樹脂を用いた小型，軽量のモールド変成器を開発した。

◆製品のラインナップ◆

・新エポキシ樹脂を用いた製品

		6kV	10kV	20kV
VT		リリース済	リリース予定 (2014 年)	リリース予定 (2014 年以降)
CT	巻線型	10kV 品で適用可	リリース済	リリース予定 (2014 年)
	貫通型	10kV 品で適用可	リリース済	—

◆ 特 長 ◆

・小型／軽量化

東光高岳にて開発した新エポキシ樹脂は，熱的負荷や過電流時の機械的応力に対して非常に高い耐熱性と耐クラック性を有する。これらモールド変成器は，この樹脂を用いることで樹脂厚の低減を行ったことと，内部構造，形状を一新することでさらなる小型／軽量化を実現している。

・生産性向上

新エポキシ樹脂は，従来の樹脂より硬化プロセスを短時間にすることが可能であるため，これによる生産性の向上や金型等の設備費の低減が図れる。

◆製品外観◆



CTD-1S

CTD-2S

CTD-3S

CWD-1

貫通型 CT と巻線型 CT

◆ 仕 様 ◆

・準拠規格：IEC60044-1
・共通仕様：50Hz 12/28/75kV
40VA 1.0/5P10

・貫通型 CT

形式：CTD-1S, CTD-2S, CTD-3S

仕様：300A ～ 3,000A 40kA1s

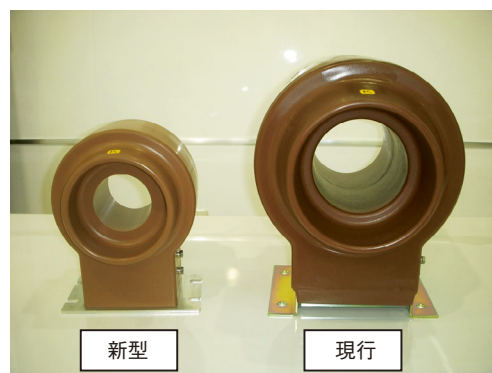
・巻線型 CT

形式：CWD-1

仕様：200A ～ 1,200A 25kA1s

◆新旧比較◆

・貫通型



貫通型 CT 比較

【現行からの比較】

容積：55 ～ 65%縮小 質量：35 ～ 60%低減

・巻線型



線型 CT 比較

【現行からの比較】

容積：約 55%縮小 質量：約 40%低減

気中多回路開閉器・変圧器（気中MP・MT）

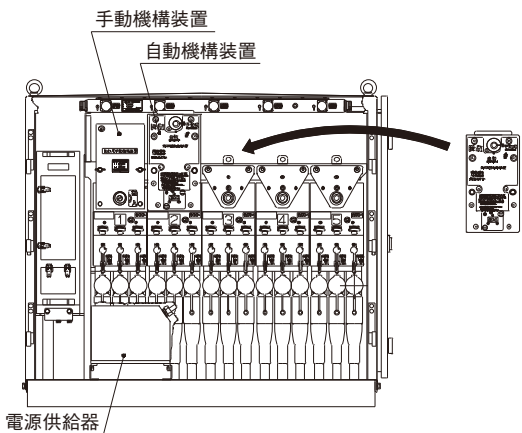
◆ 概 要 ◆

地中配電系統に設置されている気中多回路開閉器（略称：気中MP）は、操作機構部を着脱可能とし、未使用回路の機構部省略や回路ごとに機構部（自動・手動）の選択が可能なマルチ型とした。

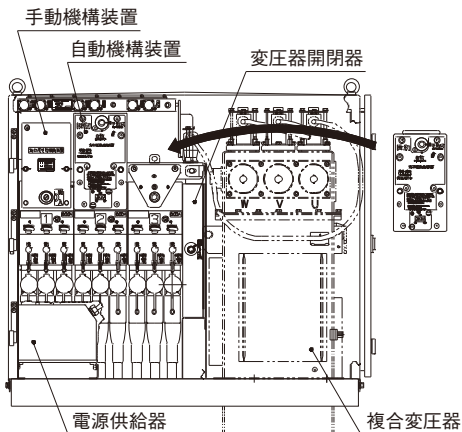
今回気中MPのシリーズ展開として、3回路の主回路開閉器と変圧器開閉器で構成される気中多回路変圧器（気中MT）を開発した。

◆ 特 長 ◆

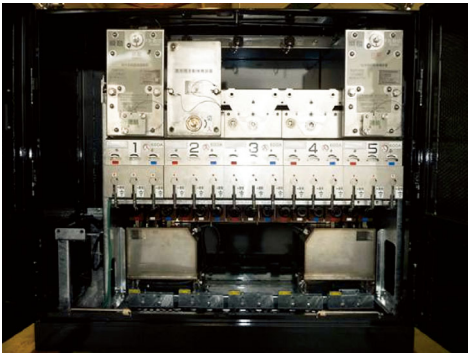
- ・主回路開閉部
エポキシ樹脂ケースを採用し、SF₆ ガス絶縁タイプの既存機器と同一の外形寸法を実現した。
- ・変圧器開閉器（気中多回路変圧器のみ使用）
エポキシ樹脂ケースを採用し小型化を実現、複合変圧器の負荷電流開閉を可能とした。
- ・接地短絡器
保守・点検・作業時のショートアースとして、開閉部に接地機能を設け、安全性を向上させた。
- ・ケーブル接続部
主回路端子は、機器直結T形終端接続端末を採用し、ケーブル施工や活線診断時の作業性を向上させた。
- ・自動機構装置
瞬時励磁方式を採用し、配電線路の電圧変動等による誤開放防止を図るとともに、入保持に必要な電力を削減した。
- ・手動機構装置
開閉部の「入」「切」の状態に関わらず、現地にて開閉部へ容易に着脱できる構造を実現した。
- ・電源供給器
一次ケーブルを省略した開閉部に直結する構造とし、キャビネット箱内に収納することを実現した。



内部構造説明図（気中 MP）



内部構造説明図（気中 MT）



気中 MP

◆ 定 格 ◆

項 目	負荷開閉器	変圧器開閉器	接地短絡器
定 格 電 圧	7,200 V	7,200 V	7,200 V
定 格 電 流	600 A	30 A	—
定 格 周 波 数	50 Hz	50 Hz	50 Hz
定格短時間電流	12.5 kA（実効値）1 秒	12.5 kA（実効値）1 秒	12.5 kA（実効値）1 秒
定格短絡投入電流	31.5 kA（波高値）3 回	—	—

分散方式 MUDIC500 V

◆ 概 要 ◆

受変電設備から下水処理場プラントまで幅広く適用できる設備監視制御システムとして MUDIC シリーズを提供している。

ここでは、システム構成に分散方式を採用した MUDIC500 V について紹介する。

分散方式 MUDIC500 V は、処理部に監視制御サーバとデータサーバを分散配置し、情報 LAN を介して連携を行っている。制御 LAN を介して接続する分散局にて収集した設備機器の状態や故障などの情報ならびに各種計測値情報をもとに、設備監視および制御を行うシステムとしている。図 1 に MUDIC500 V 操作卓外観、図 2 にシステム構成図を示す。

◆ 特 長 ◆

主な特長について以下に示す。

(1) 拡張性

小容量～10,000 点規模まで増設が容易。

(2) 信頼性

工業用 PC、二重化 HDD を採用。

自己診断機能を搭載。

監視制御サーバおよび、データサーバを制御 LAN に接続し、監視サーバ故障時もデータサーバ機能が継続可能。

(3) 視認性

ワイド画面表示対応の表示装置を採用しマルチウィンドウ表示を実現。

◆ 機 能 ◆

(1) 監視制御サーバ

① 警報アラーム機能

機器の状態変化、故障情報および計測値の上下限監視異常情報を編集し、即時画面表示および音声警報により報知する。

② グラフィック表示機能

各種設備をグラフィック表現により表示し、機器状態シンボルや計測データ、故障データなどを一括表示する。また、機器を選択し、入切制御を行う。

③ リアルタイムトレンド表示機能

現在の各種アナログ計測値の推移を、トレンド形式に



図 1 MUDIC500 V 操作卓外観

てわかりやすく表示を行う。サンプリング周期は、1 秒、5 秒、10 秒から選択可能としている。

④ 自動制御機能

デマンド監視制御機能、力率制御機能、スケジュール制御機能などを有し、各種条件により自動制御が行える。

(2) データサーバ

① データ管理機能

警報アラームなどの運転記録、ヒストリカルトレンドデータおよび帳票編集用データ蓄積が可能。

② ヒストリカルトレンド表示機能

過去の各種アナログ計測値をトレンド形式にて表示を行う。

③ 帳票編集機能

蓄積した帳票用データをもとに、日報、月報および年報を編集、作成する。

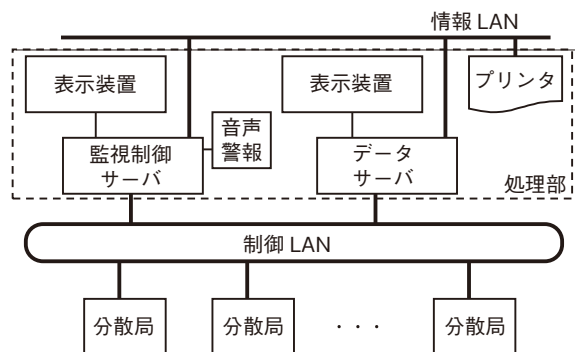


図 2 システム構成図

ECHONET Lite 規格準拠 デバイスソフトウェア EcoQuestENL/DS

ユークエストは、組込みソフトウェア開発技術を駆使して、この度 ECHONET Lite 規格準拠デバイスソフトウェア EcoQuestENL/DS を開発した。

ECHONET Lite とは、エコネットコンソーシアムが策定した CO₂ 排出量の削減、ホームセキュリティやホームヘルスケアの高度化に対応し、家電機器の遠隔制御／モニタリング等に活用するための通信規格である。

HEMS 市場への第一弾として開発したものが今回紹介する ECHONET Lite 規格準拠デバイスソフトウェア EcoQuestENL/DS である。

◆ 特 長 ◆

1. イニシャル費用が不要

ユークエストの ECHONET Lite デバイスソフトウェア + 機器オブジェクト（1つ）を製品に搭載するに当たって、イニシャル費用は発生しない。基本的に、ロイヤリティ費用のみで利用できる。

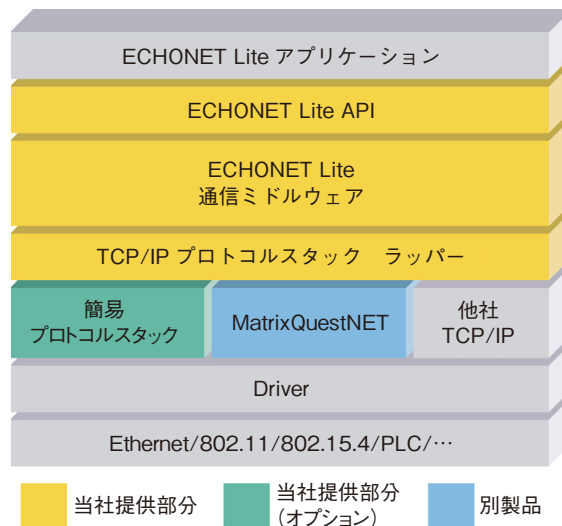
2. 様々な機器オブジェクトに対応

現在は、家庭用エアコン・照度・温湿度などの代表的な機器オブジェクトのみの対応となるが、ご要望に応じて、様々な機器オブジェクトに対応予定である。

3. 内臓の ROM / RAM で動作可能な必要最低限でのご提供

ユークエストの ECHONET Lite ミドルウェアは、ROM/RAM サイズで約数十 KB 程度の容量であるので、搭載予定の製品に数十 KB 程度の容量の空きがあり、お客さまにて想定している機器オブジェクトを製品に搭載することで、ご購入価格で開発から製品化まで行うことが可能である。

◆ 製品のブロック図 ◆



◆ 機 能 ◆

バージョン	ECHONET Lite Ver 1.01 準拠 (コントローラ, 機器双方) APPENDIX ECHONET 機器オブジェクト詳細 規定 ReleaseB
提供形態	オブジェクト
対応機器オブジェクト	家庭用エアコン, 照度センサ, 温湿度センサ ※その他, 機器オブジェクトについてはご要望 に応じて提供可能。
対象 OS	μ ITRON ※その他 OS については, ご相談ください。
nonOS 対応	対応可能
対応予定 CPU	RX62N/63N, CortexM3/M4, RL78 ※その他 CPU に関してはご相談ください。

ローダ／アンローダ付イントレイ型バンブ検査装置 TVI-7020-RA

◆ 概 要 ◆

バンブ検査装置は、PC やゲーム機の演算処理装置として用いられる半導体チップ（MPU や GPU など）の電極の高さ（バンブ高さ）等を検査する装置である。

本装置は、お客さまからご要望のあった検査速度高速化および検査された製品の仕分けを含む全自動化に因るために開発した。

表に概略仕様を、図に装置外観を示す（図の右からローダ、検査部、アンローダ）。

◆ 特 長 ◆

以下にバンブ検査装置 TVI-7020-RA の特長を記載する。

・高速高精度

広視野の NCS-7020 センサを搭載することで、既存の TVI シリーズの装置と比較して、高精度かつ 2 倍以上の検査速度を実現した。

・全自動化

最大 55 枚重ねたトレイ^{*1}をローダにセットし、作業者がスタートボタンを押すと、ローダ部からトレイを 1 枚ずつ検査部に搬送し、検査部にて全数検査し、アンローダにて仕分けおよび最大 55 枚まで積み重ねる動作を全自動で行う。

・自動仕分け対応

検査された製品を、検査結果によって良品と不良品 2 種（計測 NG、再検査）の計 3 種に仕分けし、トレイに積載する。

・グループ単位での設定および検査

異なるバンブ部グループ（異なるバンブ径）に対応するため、グループ単位でのパラメータ設定および検査項目設定を可能とした。

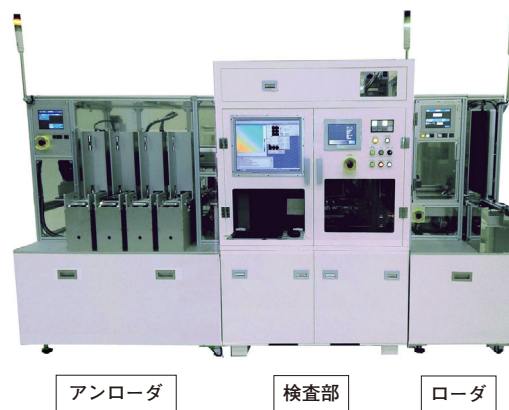


図 装置外観

表 TVI-7020-RA の概略仕様

	装置名称	TVI-7020-RA
センサ	センサ型式	NCS-7020 (非走査共焦点方式)
	XY 視野サイズ	13.3 mm×13.3 mm
	高さ分解能	0.1 μm
	高さ計測範囲	240.0 μm
	バンブ高さ計測繰返し精度	$3\sigma_{\text{average}} + 3\sigma_{3\sigma} \leq 2.0 \mu\text{m}$
	対象トレイ ^{*1}	JEDEC 規格品 ^{*2}
	最大検査速度	4,500 UPH ^{*3}
装置	対象バンブ高さ	5.0~100.0 μm
	最大トレイ積載数	55 段
	結果出力	OK, NG1, NG2

※表は弊社標準良品サンプル及びトレイの場合です。

*1 トレイ：製品（半導体チップ）を搬送する治具。

*2 JEDEC 規格品：半導体技術の標準化を行う Electronic Industries Alliance (EIA) の機関の規格品。

*3 UPH：Units Per Hour（個 / 時間）。

汎用画像処理装置 SPG-30Ⅲ

◆ 概 要 ◆

SPG-30Ⅲは、外観検査等を行うためのものであり、専用画像処理ライブラリ（画像処理をより簡単に行うための関数）で動作する汎用画像処理装置である。

従来のSPG-30Ⅱの後継機で、SPG-30Ⅱのアプリケーション（文字認識、外観検査、位置決めなど）をそのまま継承して使用できるFA用画像処理装置である。

◆ 特 長 ◆

- ・従来製品 SPG-30Ⅱより、コンパクトで軽量、低消費電力である。（体積 23%、質量 36%、消費電力 47% 減）
- ・アプリケーションを作成することにより、外観や寸法検査などのいろいろな用途に使用可能である。
- ・工場環境に適した各種ノイズ、温度、電源などの対環境性能を持つ汎用画像処理装置である。
- ・SPG-30Ⅱの文字認識、外観検査、位置決めなど、既存のアプリケーションをそのまま流用することが可能である。
- ・Enhanced Write Filter^{*1}によるOS保護機能を搭載している。

* 1 Enhanced Write Filter：書き込みアクセスからディスクを保護するシステム



正面外観

◆ 仕 様 ◆

項目	仕様, その他
CPU	Intel Core™ i5 520E [2.4 GHz] L2 Cache 256 KB×2 L3 Cache 3 MB
メモリ	DDR3 2 GB ECC 対応
寸法・質量	W270×H150×D250 mm（突起除く） 約 5 kg
電源	（入力）AC100-240 V 50/60 Hz （出力）連続 170 W：瞬間 220 W 消費電力：約 38 VA
使用温湿度	5～40℃：30～80% Rh
HDD	SSD 8 GB×1
フレームグラバ	最大 4 台接続、同時取り込み可能 モノクロ VGA サイズ
DI/O	入力 16 点：出力 16 点 絶縁型
OS	Windows® Embedded Standard 2009

※ Intel Core は Intel Corporation の商標です。

※ Windows は、Microsoft Corporation の登録商標です。

水素水生成器 Active BIO II（アクティブ ビオII）

◆ 概 要 ◆

2007 年 日本医科大学 太田成男教授らの研究グループによる国際学術誌ネイチャーメディシンでの論文発表を機に『水素』がクローズアップされ、医療、美容分野を中心に研究開発が進み、保存や取扱いの容易な『水素水』関連商品が著しく普及している。

東光高岳は『水素水』の機能にいち早く着目し、優れた浄水機能と水素水生成機能を併せもつ水素水生成器 Active BIO を 2004 年に商品化しており、キッチンスペースに設置して手軽に高濃度の水素水を作れる利便性から、病院、美容サロンのみならず、一般消費者の方々に幅広くご利用いただいている。

この度、Active BIO の後継機として、優れた浄水性能、水素水生成機能に加え、使い勝手の向上と機能アップを図った水素水生成器 Active BIO II を発売した。

◆ 特 長 ◆

- ・無隔膜電解槽を搭載し、中性域 (pH) の水素水を生成。
- ・大型の活性炭ブロックフィルタに水素をストックする独自のメカニズムを採用し、業界トップクラス 1 mg/L の高濃度水素水を提供。
※飲用、調理、洗顔等、幅広い用途にご利用いただけます。
- ・溶存水素量目安の表示機能 (LED) を搭載。
- ・大型の活性炭ブロックフィルタで総トリハロメタン等 12 項目の不純物を高度に除去。
- ・抗菌素材 (活性炭ブロックフィルタ、ホース) の採用で衛生的。
- ・通水時の捨て水 (ドレン) を大幅に削減。
… 従来比 50% 減
- ・電極に付着するカルシウムのセルフクリーニング機能を向上。
… 従来比 2 倍
- ・消費電力 5 W の省エネ設計。
- ・インテリアに調和するシックなデザイン。
(オフホワイト、シルバーのツートンカラー)
- ・1 年に 1 回のフィルタ交換時期を LED 照明でお知らせ。



Active BIO II 外観



[LED 照明色]
ブルー：水素量 0.5 ~ 1 mg/L
グリーン：水素量 0.5 mg/L 以下
オレンジ：フィルタ交換時期のお知らせ

小窓の照明

※水素が発生する様子を小窓で確認できます。

◆機 能◆

構造	ツウウェイ方式(ホース：給・排水 各 1 本)
流量 (0.1 MPa 時)	2 L/min
ドレン (0.1 MPa 時)	約 0.1 L/min
溶存水素濃度	1 mg/L (最大)
水素量表示 (小窓の照明)	ブルー：0.5 ~ 1 mg/L グリーン：0.5 mg/L 以下
浄水能力 ^{注1)} (12 項目)	12,000 L 遊離残留塩素、溶解性鉛 総トリハロメタン、クロロホルム 他
外形寸法	W200×D150×H300 mm
質量 (満水時)	3.5 kg
電源	AC100V 50/60Hz
消費電力	5.5 W 以下

注 1) 浄水能力は JIS S3201 家庭用浄水器試験方法に準じて評価。

シンククライアント 新モデル

◆ 概 要 ◆

東日本大震災以降、節電・BCP 対策として、場所にとられない働き方「テレワーク」への関心が高まっており、2014 年 4 月の Windows XP サポート切れに伴う PC 買い換えを機にセキュリティを確保しながらも利用場所を柔軟に選べるシンククライアントへの移行が増えている。

シンククライアント市場の拡大により、求められる適用シーンも増えており、そのニーズに応えるべくミントウェーブでは USB シンククライアント「ゆびくら」、高性能 Tera2 チップ搭載 OS レス端末「MiNT-ACC ZERO」、2 画面表示に対応したコンパクトモデル「MiNT-ACC mini-100」の 3 製品を開発し、製品ラインナップに加えたので、紹介する。

◆ 特 長 ◆

(1) USB シンククライアント「ゆびくら」

- ① USB キーを挿入することで PC をシンククライアント端末化。既存 PC 活用により、導入コストを低減。
- ② USB キー本体に接続先情報を持たせないゼロコンフィグ仕様により、セキュアな運用が可能。
- ③ 専用管理ツール（無償）により、接続先情報や USB キーの利用許可・禁止などを一括で設定可能。



ゆびくら

(2) 高性能 Tera2 チップ搭載 OS レス端末「MiNT-ACC ZERO」

- ① Teradici 社の PCoIP¹⁾ 専用プロセッサの「Tera2321」（Tera2）を採用。
2 画面表示に対応し、3 次元 CAD や映像編集業務に対して高いパフォーマンスを提供。
- ② OS、CPU を持たないことで、低消費電力かつ高信頼性を実現。

(3) 2 画面表示対応独自 OS 搭載コンパクトサイズ「MiNT-ACC mini-100」

- ① DSP+ARM の統合プロセッサによる高速処理を実現
- ② コンパクトサイズながら、2 画面表示に対応を可能。



MiNT-ACC ZERO



MiNT-ACC mini-100

1) PCoIP: PC over IP の略称で、Teradici 社が開発したデータ転送プロトコル。VMware Horizon View で採用されている。

◆ 機能・仕様 ◆

	ゆびくら	MiNT-ACC ZERO	MiNT-ACC mini-100
ハードウェア	USB キー（PC に挿入して利用）	Tera2 チップ搭載、CPU レス端末	DSP+ARM の統合プロセッサ搭載、専用端末
ベース OS	Ubuntu Linux	OS レス	Linux ベースの独自 OS
対応シンククライアント方式	・ Microsoft リモートデスクトップサービス ・ Citrix XenApp, XenDesktop ・ VMware Horizon View（PCoIP に対応）	・ VMware Horizon View（PCoIP に対応）	・ Microsoft リモートデスクトップサービス ・ Citrix XenApp, XenDesktop ・ VMware Horizon View（PCoIP に対応）
PCoIP プロトコル	ソフトウェア処理	ハードウェア処理	ソフトウェア処理
管理ツール	○	○	○
消費電力（アイドル時 / 最大負荷時）	—	6.5 W / 19 W	8 W / 19 W
寸法（W×D×H）	54.6×17.5×11.4 mm	45×130×150 mm	39.5×103.0×143.0 mm
質量	8 g	0.63 kg	0.37 kg

東京電力株式会社殿向け 550 kV 気中断路器の耐震強化モデルチェンジ

耐震性能向上のため導電部を軽量化した 550 kV, 4,000 A 水平中心一点切断路器を製品化した。

2011 年の東北地方太平洋沖地震で、これまで経験したことのない甚大な地震動により超々高圧変電所の 550 kV 気中断路器が数多く破損した。その地震被害を踏まえて、操作がいし可動部に振動を抑制する衝撃緩衝装置を装備するとともに、導電部を約 35% 軽量化して高重心構造を改善することで耐震性能向上を図った。開発にあたっては、耐震性能を確認するため、設計基準の 3m/s^2 共振正弦 3 波に加えて、東北地方太平洋沖地震動をはじめ、海外規格に準じた様々な高レベルの実地震波を印加した実加振試験を行い性能検証した。この結果、新たに装備した衝撃緩衝装置の効果により、設計基準 (JEAG5003) に対して 2 倍の安全率を有するとともに、高レベル地震動に対しても十分な性能を有することが確認された。今回開発品は、既設品に対しても互換性があり容易に取り付けが可能な構造となっており、2012 年 12 月に既設器へ初適用し、運転を開始している。



衝撃緩衝装置部拡大

東京電力株式会社殿向け送電用変電所用遠方監視制御装置（ユニット分割形）子局

◆ 概 要 ◆

東京電力株式会社殿では、2階層制御への順次移行・展開を計画している。2階層制御では上位システム（系制、配制）と下位装置を新伝送方式で連係することが必要となる。このため、新伝送方式に対応する伝送部（開発中）に接続可能な送電用遠方監視制御装置を開発した。本装置は株式会社明電舎殿、日本工営株式会社殿との共同で開発を実施した。

◆ 特 長 ◆

- ①装置を複数のユニットで構成し、開発済みの配変用ユニット分割形装置の技術を活用
- ②ユニット間は汎用プロトコルを適用し、経済性向上、機能拡張の柔軟性、システムの信頼性を向上
- ③高機能CPUの適用と部品点数の大幅削減により、コスト低減と信頼性を向上
- ④端子架1台当たりの装置容量を従来の1.4倍に増加し（350 ポジション）、端子架数が低減可能（最大装置容量（2,000 ポジション）時、8面（従来）を6面に低減可能）
- ⑤ヒューマンインターフェースに汎用パソコンを使用し、ブラウザ利用によりメンテナンス性能を向上



装置外観（左：ロジック架、右：端子架）

◆ 機 能 ◆

- ①操作
変電所機器の操作、要求操作、遠方/直接切替が可能
- ②表示・計測
変電所全体の運用状態が把握できる
- ③システム監視
ハード・ソフトウェアの不良を早期に発見
- ④設定
上位、メンテナンス装置による設定が可能
- ⑤時刻同期
装置の時刻設定（一定時間毎）に対応

ポスト新長期排出ガス規制対応 20 トントラックー体型 10 MVA 移動用変圧器

◆ 概 要 ◆

緊急対応が必要な変電所に素早く移動して電力を供給する、トラックー体型の配電用変電所用負荷時タップ切換変圧器である。

スリップオンケーブル受電タイプ、ブッシング受電タイプをラインナップしている。

◆ 特 長 ◆

- ・道路法の制限を受けない運行が可能（特殊車両通行許可が不要）なため、機動性に優れている。
- ・ポスト新長期排出ガス規制適合による車両の重量アップの条件下で、積載する変圧器を極限まで軽量化・低重心化し、道路運送車両の保安基準で定められた最大安定傾斜角 30 度以上の確保を実現している。
- ・トラックー体型のため、待機時の保管管理の簡素化が図れる。
- ・狭小な場所でも人力組立可能なケーブルヘッド架台を付属している。
- ・温度上昇限度を合理化し、クーラーの軽量化および低騒音化を図っている。
- ・ポリマーブッシングを採用することで、軽量化を図るとともに、重汚損地区での長期連続使用を可能としている。
- ・特定の変電所ではなく様々な変電所で使われることを想定し、コンパクトかつ低騒音としている。



スリップオンケーブル受電タイプ



ブッシング受電タイプ



トラックと一体での車検登録のため、最大安定傾斜角度 30 度以上を検証

◆ 仕 様 ◆

受電方式		スリップオン ケーブル受電タイプ	ブッシング受電タイプ
定格容量		10 MVA	
定格電圧		64.5 ± 7.5/6.9 kV	
タップ切換方式		負荷時タップ切換 (LR 制御盤付)	
絶縁強度	一次	LIWV : 350 kV AC : 140 kV	
	二次	LIWV : 60 kV AC : 22 kV	
結線		Y-Y-(△)	
%インピーダンス		12%	
タップ点数		17 点	
冷却方式		導油風冷式 (ODAF)	
騒音仕様		60 dB (JEC 基準)	
総質量		19.7 トン	19.9 トン

メガソーラ用 1L-1CB C-GIS

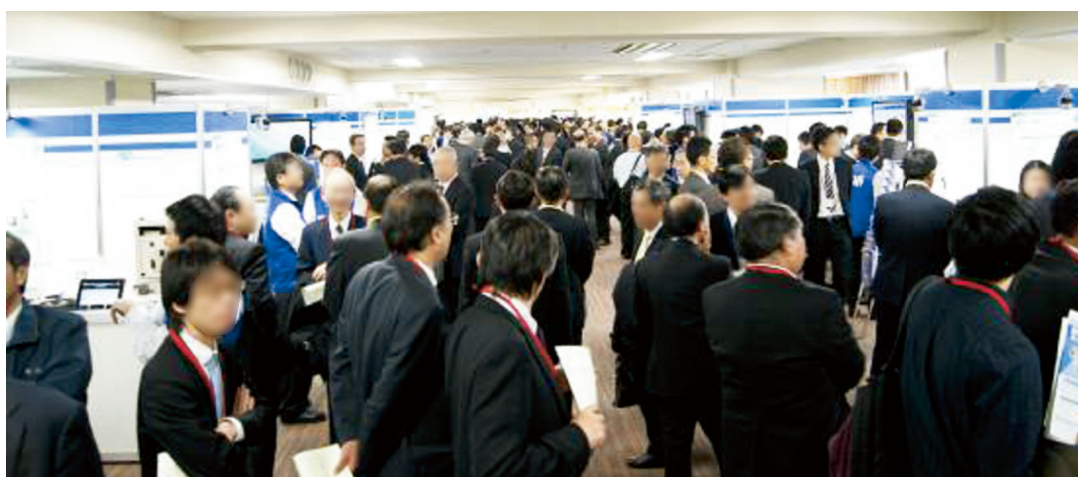
2012年に施行された再生可能エネルギーの固定価格買取制度を受けて、一般企業や自治体が、売電用または自家発電用としてメガソーラ発電所を建設する事例が増えている。このような背景から東光高岳でも、メガソーラ発電所用の特高連系設備として1L-1CBのC-GISを製作し、納入を開始した。1L-1CB C-GISは、遮断器、断路器、接地開閉器、避雷器などの構成機器に加え、計器用変圧器も同一タンク内に収納し、コンパクト化を図ったものであり、連系形態についても、架空引込、ケーブル引込の両方から選択可能な構造としている。



2013 東光高岳ホールディングス製品展示会開催

去る2013年11月19日から20日に「スマートグリッドとEMS！ 未来へ挑む「T」のOne Stopソリューション」をテーマに標記のプライベート展示会を開催した。2014年4月に完全経営統合した東光高岳の前身

である東光電気、高岳製作所の技術・製品の粋として選ばれた57件を出展した。2日間で2,550名のお客さまに来場いただいた。ご多忙の中、ご来場いただいたお客さまに感謝するものである。



小山太陽光発電所

再生可能エネルギーの積極的な利用と新たな技術開発により環境と社会に貢献すべく東光高岳小山事業所の西側遊休地を活用し太陽光発電設備を設置し、平成25年3月26日より発電を開始した。

◆ 発電所設備の概要 ◆

- | | |
|-------------|-----------------------|
| 1. 最大出力 | 1,500 kW |
| 2. 年間発電電力量 | 2,000 MWh（一般家庭530 軒分） |
| 3. 敷地面積 | 16,000 m ² |
| 4. 太陽光モジュール | 240 W × 6,264 枚 |

- | | |
|----------------|------------------------------|
| 5. パワーコンディショナー | 500 kW × 3 台 |
| 6. 昇圧変圧器 | 500 kVA × 3 台（300 V/6,600 V） |
| 7. 系統連系盤 | 5 面 × 1 台 |
| 8. 遠方監視システム | クラウド方式 |

◆ 特 長 ◆

1. モジュールは、防眩タイプを採用し周囲住宅への影響を配慮。
2. 設置角度を小さくすることにより風圧荷重を軽減。



太陽光モジュール



系統連系盤／昇圧変圧器／パワーコンディショナー

72/84 kV 合成短絡試験設備の試験運用開始

◆ 概 要 ◆

遮断器の電流遮断性能を検証する合成試験回路を大電力試験場に増設した。合成試験回路は、電流重畳法を採用した。発電機から電流を供給し、コンデンサ、リアクトル等で構成された電圧源回路により、過渡回復電圧（TRV）を発生する。このTRVは、電流零点検出器により検出された電流零点のタイミングに、遮断器に印加される。

これにより、遮断器の基礎的な電流遮断性能検証が可能となった。

◆ 特 長 ◆

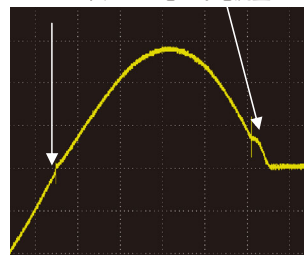
増設した電圧源回路の特長を以下に示す。

- ・対象電圧：72/84 kV
- ・対象電流：25/31.5kA
- ・対象周波数：50/60Hz
- ・単相アーク延長

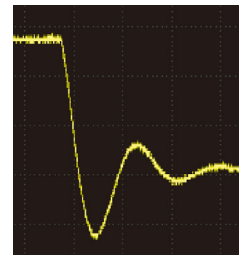


合成試験回路外観

アーク延長 電圧源電流重畳



遮断電流



TRV

真空注型装置の導入

◆ 概 要 ◆

電力用機器は、エポキシ樹脂による固体絶縁方式のニーズが拡大傾向にあることから、耐熱性等の性能向上を図りつつ、大型機器でも短時間硬化が可能なエポキシ樹脂の配合を確立し、生産性の向上を図っている。

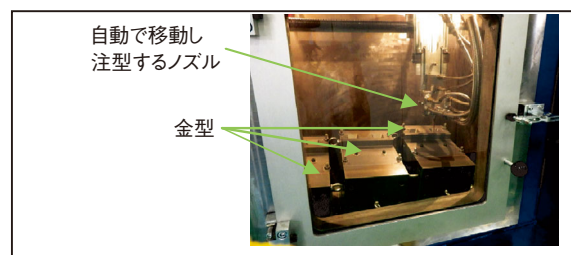
今回導入した真空注型装置は、この高性能エポキシ樹脂をより効率的に、かつ多様な要求仕様のモールド製品にフレキシブルに対応することができる。本装置は高サイクルで繰返し真空注型が可能であり、エポキシ樹脂の適用シーン拡大に伴う少量多品種ニーズにも柔軟に対応できる。

◆ 特 長 ◆

- ・高サイクル連続真空注型
注型チャンバー内を短時間で真空にし、繰返し真空注型が可能。
- ・自動注型
注型ポジション・注型個数・注型速度・注型樹脂量等を最適制御し、自動注型が可能。



真空注型装置構成



真空注型チャンバー

デュアル子局完成試験装置

◆ 概 要 ◆

光／搬送両方式対応型センサ内蔵自動開閉器用遠方制御器（以下、デュアル子局）の検査工程では、75 項目の受渡試験を実施している。

デュアル子局完成試験装置は、自動制御運転により 75 項目の試験のうち 50 項目 114 パターンを自動試験可能であり現在、4 台の試験装置を生産ラインに設置して検査業務の効率化を図っている。

◆ 特 長 ◆

本装置の主な特長は次のとおりである。

・試験時間

デュアル子局 1 台当たりの試験時間を 1/3 以下に短縮し、かつ試験を無人化。

・試験状況

パトライトによる状態表示と鳴動により、試験状況の確認が容易。

・トラブルシューティング

50 項目のトレースデータを自動で作成するので、エラーの原因追跡がスピーディ。

・合否判定

お客様の製品仕様と社内判定基準のダブルチェックにより合否を自動判定。

・試験結果

試験結果は CSV ファイルで保存し、成績書作成ツールを利用して、集約試験成績書への展開が可能。

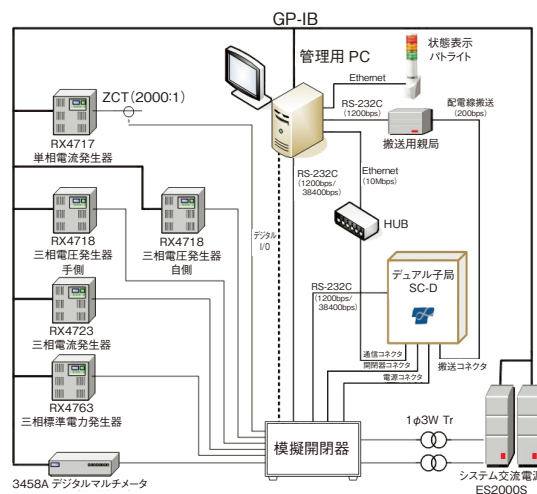
◆ 製品化 ◆

お客様の要望により、他社製のデュアル子局も試験可能な「デュアル子局特性試験装置」を製品化している。



デュアル子局完成試験装置 外観

◆装置構成◆



デュアル子局完成試験装置 構成図

会社紹介 日本リライアンス株式会社

日本リライアンス株式会社は、1964年1月に日本真空技術株式会社（現株式会社アルバック）と米国リライアンスエレクトリックカンパニーが共同出資し設立されました。日本リライアンスは、今年が50周年の節目に当たる年です。本稿では技術分野を中心とした内容と今後の展開にスコープをあてて紹介します。

1. 創業からの技術の主な変遷

創業当初の駆動装置（ドライブ）は米国リライアンス社製のものを輸入してシステムを構築していましたが、「自動制御の専門メーカーになろう」という強い思いが「技術の会社」への礎になりました。発端は「規格品の国産化」への挑戦でした。以降、自社で国産化された製品は磁気テープやフィルムのコーターライン、鉄鋼、非鉄金属製品の加工ライン（プロセスライン制御）へ本格投入されました。（リライアンスグループの成長戦略を参照）

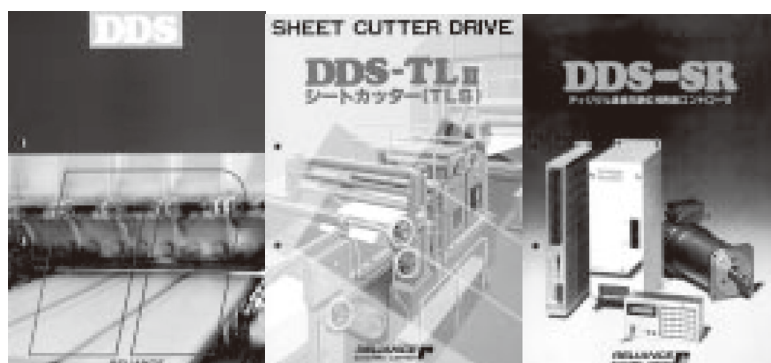
この時期ドライブ制御は、サイリスタ（第一世代）からトランジスタ／チョップパ制御（第二世代～）に移行し

ました。大ヒット製品である「DDS（デジタルDCサーボ）」は業界用語となったほど多方面に渡り産業界へ浸透していきました。

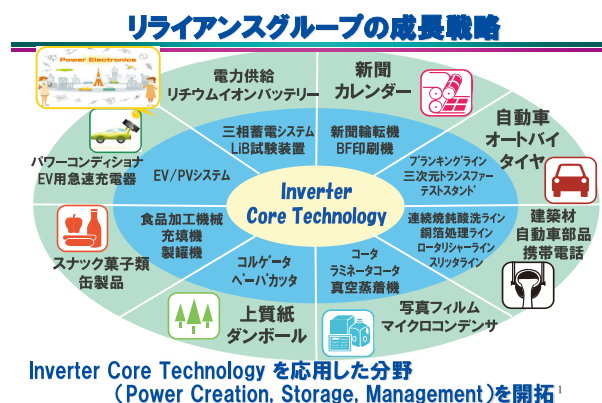
さらに、DCモータ制御が全盛であったサーボ制御を、より高速応答が可能なベクトル制御によるACサーボ制御に移行しました。第四世代（2000年頃）からはパワー素子もトランジスタ制御から現在主流のIGBT/IPMによる高速スイッチング制御（高機能／低損失化）へと切り変わり、それに呼応する形でコントローラーも、お客さまのどのようなご要求にも答えられるよう、制御ループをプログラミング可能にした、より高度な製品へと進化し続けました。（日本リライアンスの製品開発戦略を参照）

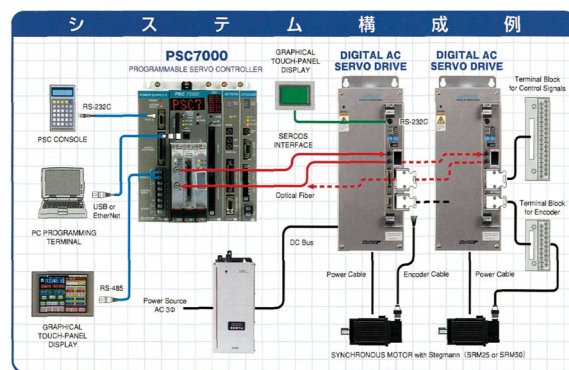
2. THE SPRIT OF MOTION, DRIVE AND SYSTEM を具現化する製品開発とエンジニアリング

前述したように、日本リライアンスは産業機械分野での駆動制御装置を数多く市場に送り出しています。自動車、鉄鋼、コイルセンター（薄板状の金属二次加工業）、紙／ダンボール、フィルムなどの機械制御において最適



「DDSシリーズ」の進化は当社の発展につながっていった（写真はDDSシリーズのパンフレット）





日本リライアンスは創立 50 周年を越え、更に発展するためには、より多くのシナジー効果が出せる製品開発と製品供給を目指す所存です。