

特 集 論 文

関連するSDGs



SDGsの達成に貢献する 開閉装置および変成器技術

The Electric Power Equipment Technology
that Contributes to the SDGs

相 馬 功 澁 谷 大 輔
Soma Isao Shibuya Daisuke

1. はじめに

当社の前橋製作所では、1963年の開設以来、ガス絶縁開閉装置（以下、GIS）と計器用変成器という、大きく二つの事業セグメントで製品開発と生産技術に取り組んできた。製品開発において、両セグメント事業部とも、コンパクト化、高信頼性、適用拡大といった観点で、それぞれの時代やニーズに応じてきた。また、生産技術開発では省エネルギー、CO₂削減を念頭に合理化に取り組んできた。これらの製品開発と生産技術は、いずれもサステナブルな社会の実現に貢献できるものである。本稿ではSDGsの達成に貢献する当社の開閉装置と変成器の技術、および生産設備についてその取組みを紹介する。

2. 開閉装置および変成器の技術

本章では、代表的な4種の製品について、その特徴を述べる。

2. 1 超縮小形GIS「XAE7^(*)」⁽¹⁾

国土の狭い日本において、電気設備をコンパクトに構成できるGISは、インフラ整備において、特別高圧以上の受変電設備に多く採用されている。GISの絶縁媒体ガスとして広く用いられるSF₆ガスは、電気絶縁性能に優れたガスである一方、地球温暖化係数がCO₂の約23,500倍（IPCC AR5値）と非常に高く、1997年COP3での京都議定書にて温室効果ガスの対象にSF₆ガスが加えられて以降、「その使用量をいかに削減するか」が、GISを市場に提供するにあたっての大きな命題の一つである。

この命題を達成する為に、当社では、GISのコンパクト化を更に進化させ、2003年に一般需要家向け72/84kV超縮小形GIS「XAE7」を市場投入した。

XAE7の開発においては、絶縁性能や開閉性能を維持しつつ、世界最小を目指し容積を小さくして使用ガスを削減することが、大きなポイントであった。当社は以下の技術で世界最小クラスを実現することができた（図1）。

- ①AE技術（GCBのアーキ磁気駆動と熱パuffersの効果的な融合技術）
- ②受電ユニットと変圧器ユニットの複合化技術
- ③摺動コンタクト円弧動作形3位置断路器／接地開閉器技術

その結果、本GISは、SF₆ガスの使用量を従来型の78%とすることができた。また、コンパクト化による副次的な効果としては、複数台一括輸送が可能となり、製品輸送時に発生するCO₂を削減することができる。

また当社は、FIT制度（固定価格買取制度）の施行以降、急増した大容量再生可能エネルギー設備において、連系開閉設備用にXAE7形GISを改良して適用し、再生可能エネルギー発電所の普及にも貢献している。

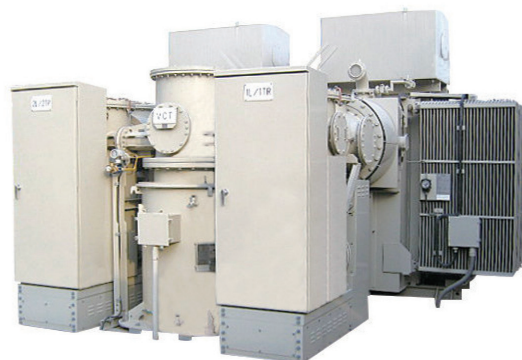


図1 超縮小形GIS「XAE7」

2. 2 ドライエア形GIS「XAE2^(*)V」⁽²⁾

当社では、絶縁媒体としてSF₆ガスを使用せず、自然由来のドライエア（乾燥空気）絶縁方式を採用した24kV超縮小形ガス絶縁開閉装置「XAE2V形GIS」を2005年に市場投入した。この電圧階級においては、既に、XAE7形GISと同様の思想でSF₆ガスを絶縁媒体とした「XAE2G形GIS」を市場投入していたが、XAE2V形GISは、その環境性能を高める目的で、ドライエア絶縁方式のGISとして開発したものである。

本GISはVCBを採用し、デッドスペースの極小化を目指して、ロータリー式3位置断路器／接地開閉器を適用する事などによる縮小化と複合化技術を適用した。これにより、24kVドライエア絶縁方式では、世界最小クラスのGISを実現した。機器のコンパクト化と軽量化により、機器製作時や製品運搬時に発生するCO₂を削減した他、母線接続に固体絶縁母線を採用することで、据付期間を大幅に短縮するとともに、現地工事におけるCO₂削減にも寄与している（図2）。



図2 XAE2V形GIS

2. 3 電源用ガス絶縁PVT⁽³⁾

当社では、ガス絶縁計器用変圧器（ガスVT）の製作・納入を1978年から開始し、日本国内では22～500kV、海外では22～1000kVのガスVTを多数納入してきた。ガスVTは、メータ用、リレー用として使用されるため、二次側に接続できる負担は数百VAとしていた。近年、変電所の所内電源に適した数十～100kVA程度の簡便でコンパクトな電源用変圧器が求められるようになったため、ガスVTの技術を応用し、2016年に25kVAの電源用ガス絶縁PVT（Power Voltage Transformer）を市場投入した。

電源用ガス絶縁PVTは、数十～数百kVで送電されている送電線に直接接続して、変電所の所内電圧や家庭で使用される数百Vの電圧に直接変換できる機器である。従来のように、送電線電圧から使用電圧に

変換するために複数台の変圧器を使用し、数回に分けて電圧を落とす方式に比べ、機器の小型化、機器構成の簡素化、据付面積の最小化を図れる等の特徴がある。本PVTは小電力供給用に、送電線から直接、家庭配電用電圧に変換することができ、なおかつ、機器が小型であるため、世界各国に点在する無電化地域や、日本においても、山間部や限界集落等の地域への適用が可能である。この機器を適用することにより、所内変圧器が不要となるので、変電所全体の面積の縮小ができるなど、インフラ整備に関わる社会的コスト低減にも貢献している。

なお、電源用ガス絶縁PVTは、現在、定格100kVAまで開発が完了している（図3）。



図3 132kVガス絶縁PVT

2. 4 生分解性絶縁油適用計器用変成器⁽⁴⁾⁽⁵⁾

2016年に化成品メーカーであるライオン・スペシャリティ・ケミカルズ株式会社と共同で生分解性の高いコンデンサ用電気絶縁油「パステル^(*)LI-B1」を開発した。当社では、2020年に本油を適用した環境配慮型の計器用変成器の販売を開始した。

通常、油入電気機器に用いられる絶縁油は、鉱物油や芳香族炭化水素を主原料とする合成油が用いられることが多いが、これらの絶縁油は難分解性であり、自然界に排出された場合に生分解性が低く、生態系への環境負荷が大きい。このような背景から、従来のコンデンサ用電気絶縁油とほぼ同等の特性を有しつつ、易分解性や低魚毒性のような環境特性に優れた絶縁油を採用することを目的に地球環境に配慮した計器用変成器を開発した。

本油を適用した計器用変成器であるCVT（コンデンサ形計器用変圧器：図4）、CC（結合コンデンサ）、

CT（変流器）、VT（計器用変圧器）、VCT（計器用変圧変流器）は、現行と同性能の製品を製造することが可能である。

なお、この絶縁油「パステルLI-BI」は、生態系への影響が小さいエコマーク認定を取得した電気絶縁油（認定番号:16 110 001）であり、環境に配慮した製品である。



図4 生分解性絶縁油適用コンデンサ形計器用変圧器

3. 生産設備

当社においては、かねてより生産性向上や工場全体のエネルギー削減等に取り組んできた。前橋製作所においても、各工場での生産性向上、省エネルギー化に加えて、働きがいのある職場づくり、働き方改革等の取り組みを行っている。本章では、当社前橋製作所における主要な生産設備についての取り組みを紹介する。

3. 1 SPSS^(*4) (Smart Power Supply Systems) の導入

前橋製作所では、2014年の550kW太陽光発電の設置を皮切りにコ・ジェネ発電機700kW、蓄電池96kWhを相次いで導入した。前橋製作所構内のこれらの設備をスマートグリッド化し、エネルギー需給の最適制御を目指して、SPSSを導入した。本システムの導入により、前橋製作所全体のエネルギーコストを26%削減できた。そして年間CO₂排出量としては、約10%削減を達成した。

現在では、VPP（Virtual Power Plant）構築実証事業に参画し、エネルギーの有効活用等、更なるシステムの進化に向けた検証を行っている。

なお、SPSSの詳細については、本誌に掲載の一般論文「持続的な成長を支えるスマート電力供給システム（SPSS）」を参照いただきたい。

3. 2 変成器工場での生産革新に向けた取り組み⁽⁶⁾

電力会社の発送電分離や再生可能エネルギー発電所系統連系用として油入機器の需要増加が予測されたことを背景に、当社では、これらの社会要求に応えるべく2018年に変成器工場を再編し、従来の生産ラインを一新した。

具体的には、新組立工場（第二工場）を増設し、第二工場と従来の組立工場とで、製品を電圧クラスで大別した。そして、両工場とも多品種の製品を混合して一直線で生産することを基本コンセプトに、工程と生産ラインを見直すことで、生産性向上を目指した。

同時に、以下の項で示すような最新技術を導入し、生産性の向上だけでなく、省エネルギー化と環境改善を実現した。

3. 2. 1 電動無人搬送車の導入

工場再編にあたり、第二工場と新塗装工場の増設を実施した。その結果、変成器の生産は、組立用の2工場と加工工場、塗装工場の計4工場で行うこととなった。

従来は、工場間の部材や仕掛品の搬送を作業者が行っており、多くの時間を要していた。搬送範囲が拡大した4工場で生産を実施するにあたって、部材搬送に係る作業時間を大幅に削減する必要があり、部材と仕掛品の無人搬送に取り組んだ。

まず、在庫部材保管場所を1ヶ所に集約し、ここを起点に電動無人搬送車で部材や仕掛品を各工場に搬送することとした。加えて、搬送車と各工場にセンサを設置し、搬送車の位置情報や稼働状況が事務所から分かるよう、管理の見える化を行った。これにより、部材と仕掛品の無人搬送を実現し、大幅に部材運搬に関わる作業時間の削減が可能となった。合わせて、作業者は重量物運搬から解放されることで、身体負担の軽減による安全面や、削減できた時間で新たなスキルの取得へのチャレンジなど、働きがい向上に貢献している。（図5）



図5 電動無人搬送車の運行状況

3. 2. 2 新型乾燥炉の開発・導入

多品種混流一直線生産ラインを実現するには、乾燥工程において、前工程側から製品を入れ、後工程側より引き出す必要性があった。これを、エネルギーロスを抑制しながら実現するために、従来の製品全体で乾燥処理をしていた工程を、中身単体で乾燥処理する方式に変更し、乾燥炉を小型化した。更に乾燥炉には、新たな方式である釣鐘型構造を開発、適用することで、より効率よく乾燥が可能となった。加えて、エネルギー消費量は従来の70%に低減できた。

3. 2. 3 新塗装工場への塗装ロボットの導入

従来の塗装の出来栄は、担当する作業者のスキルの熟練度に大きく依存していた。その一方で、塗装作業は有機溶剤を取り扱うため、防毒マスクやつなぎ作業服の着用など作業者への身体的負担、さらには健康リスクが大きく、塗装品質と共に、作業環境改善が課題であった。

そこでロボットによる塗装作業の自動化を目指して、さまざまなノウハウの数値化を行い、これを検証の上でロボットに実装した。これにより、出来栄のバラつきがなくなり、安定した品質が得られるようになった他、作業環境の改善を図ることができた。

新塗装工場では、これに加えて、ロボット塗装ブースに塗装乾燥炉を連結することで、予備乾燥～ロボット塗装～塗装乾燥における工程内での運搬作業の削減が可能となり、作業効率が大幅に向上した。

3. 3 GIS工場での生産革新に向けた取り組み

当社のGISの生産工場は、組立用3工場と部品製造用3工場の計6工場で構成されている。

GISは精度の高い加工を要する部品が多く、そのため主要部品を自社生産し、高品質と、コストを両立させることが当社製品の市場競争力の源泉となっている。

2018年から2020年にかけてGISの各部品製造装置の更新を行い、併せて積極的に自動化やIoT（Internet of Things）化を進め、生産性向上と同時に、工程の見える化と職場環境改善を実現した。

また、2022年3月に完成を予定している、新GIS組立工場では、各種課題を解決した工場として、現在建設を進めている。

3. 3. 1 部品製造工場の一新

部品製造工場では、多くの金属加工機を含めた製造装置が更新時期を迎えていたことを機に、自動加工機やロボット付旋盤等の最新の製造装置の導入を行った。同時に、各装置の稼働状況と全部品の製造

工程を、従来からある基幹系システムと新規に導入したBI（Business Intelligence）ツール及び状態監視ツールを連動させることにより、部品製造工程全体の見える化を行った。これにより稼働率の向上、リードタイムの削減と工数削減、および省力化が実現できた。

また、オイルミストや溶接ヒューム対策等の作業改善を行い、労働環境が大幅に改善できている。

3. 3. 2 新GIS組立工場での取り組み

現GIS工場は、前橋製作所開設以来、50余年の歴史の中で、社会情勢の変化や市場ニーズの変化に、増設・改良等を繰り返して対応してきたが、現在では老朽化に加えて、高齢化、労働力の減少等、新たな課題が生じている。

建設中の新GIS組立工場においては、これらの課題解決を狙っており、以下にその例を紹介する。

新GIS組立工場では、最新のSmart工場を目指して、部品・組立ての3D-CADデータとBIツールを、従来の基幹系システムと連動させることで、営業～現地調整までのバリューチェーンを構築する。これに製品を一気通貫で流せる最適生産ラインと、最新の自動化やAI（Artificial Intelligence）技術、IoT技術を融合させた、少量多品種の受注生産型工場を実現する。Smart工場化することで、現工場の1.5倍の増産対応を可能とした他、工数とリードタイムの大幅削減を目指している。またこれらの最新技術導入により、スムーズな人材育成・技術継承も実現する。

また、安全で働きがいのある工場を形成すべく、クレーンによる重量物運搬等を最小限とした他、部材倉庫から出荷までの工程間の無駄を徹底的に排除し、従業員の安全性、労働環境改善を図った。

加えて、工場内フロアは全体的に段差をなくし、スロープやエレベータ、多目的トイレ等の設置など、身体の不自由な方にも配慮した設計としている。

そして、最大操業時の1ユニット生産当たりの電力使用量30%削減の省エネルギーを実現し、最新のSF₆ガス充排気装置の導入により、地球環境保護に貢献するよう配慮されている。また、コロナ禍以降のニューノーマルに適用すべく、各所にカメラやディスプレイ等を配置し、設計者や生産技術者等の在宅勤務促進や、お客様との打合せ、および立会試験のリモート化などに対応できる工場を目指している。

4. まとめ

本稿では、SDGsの達成に貢献する当社の電力機器技術として、GISや計器用変成器の代表的な製品や、それ

らの生産設備について、当社における取組みを紹介した。

当社では、GISや計器用変成器などの電力機器技術を基に、今後も生産技術を革新し、新たな市場ニーズに適応した製品を提供していく所存である。

参考文献

- (1) 金万 他：「「XAE7形」72/84kVガス絶縁開閉装置」日新電機技報 Vol.49(2004.2)
 - (2) 金万 他：「「XAE2V」形ドライエア絶縁方式24kV縮小形ガス絶縁開閉装置」日新電機技報 Vol.50(2005.2)
 - (3) 川測 他：「100kVA電源用PVTの開発」日新電機技報Vol.65 No.2(2020.12)
 - (4) 笹谷 他：「コンデンサ用生分解性絶縁油の開発」日新電機技報 Vol.62 No.3(2017.10)
 - (5) 日新電機 2020年度有価証券報告書 研究開発活動
 - (6) 森川 他：「変成器工場の革新的生産ライン構築による生産性向上」日新電機技報 Vol.64 No.1 (2019.4)
- (*1) 「XAE7」は、日新電機株の登録商標です。
 - (*2) 「XAE2」は、日新電機株の登録商標です。
 - (*3) 「パステル」は、ライオン・スペシャリティ・ケミカルズ株の登録商標です。
 - (*4) 「SPSS」は、日新電機株の登録商標です。

執筆者紹介



相馬 功 Soma Isao
電力・環境システム事業本部
電力機器事業部 開発部
主幹



澁谷 大輔 Shibuya Daisuke
電力・環境システム事業本部
電力機器事業部 開発部
グループ長