高電圧開閉装置・遮断器のSF_6フリー化を実現するEconiQ

近年，太陽光や風力などの自然エネルギーの導入拡大により，発電の脱炭素化は大きく進展している。その一方で，エネルギーバリューチェーンの送配電部分における温室効果ガス排出削減も課題であることが分かってきた。遮断器，ガス絶縁開閉装置などの高電圧変電装置で六フッ化硫黄（SF_6）の使用を廃止することが，ネットゼロを達成し，よりサステナブルな電力系統運用を実現するためのカギとなる。SF_6は最も強力な温室効果ガスの一つであり，地球温暖化係数はCO_2の2万5,200倍にも及び，流出した場合，3,200年も大気中にとどまるといわれている。
本稿では，環境効率の高いEconiQ技術によって業界のSF_6からの脱却を加速させる，日立エナジーの取り組みについて紹介する。

Christian Ohler
Navid MahdiZadeh

1. はじめに

変電装置は運転中，極端な機械的，電気的，熱的ストレスにさらされることが多い。特に高電圧遮断器や開閉装置などはその傾向が強く，例えば，6万3,000 Aの故障電流を遮断するために通常必要とされる420 kVの遮断器は，内部温度が2万℃（約3万6,000°F）以上に達することがある。また，遮断プロセスで放出されるエネルギーは，時速100 kmで走行中の自動車を停止させるのに必要なエネルギーに相当する[1)]。

このような過酷な条件下では，極めて高い絶縁強度と遮断能力を持つ絶縁ガスが求められる。六フッ化硫黄（SF_6）はこの二つの性能特性を兼ね備えた合成フッ素化合物であり，1950年代以降，世界中の電力系統で広く使用されてきた。しかし，1997年の京都議定書で，SF_6は監視と削減の対象となる6種類の主要温室効果ガスの一つに指定されている。以降約20年間にわたり，装置メーカーはSF_6に代わるよりサステナブルなソリューションを開発するために膨大な時間と資金を投入してきた。しかし，SF_6と同様の性能特性を同等の設置面積で実現できるソリューションの特定は困難を極めた。

2. SF_6代替ガスを求めて

長年にわたり，さまざまなSF_6代替ガスが開発され，高電圧用途でのテストが繰り返されてきた。その中で，代替候補となるものがいくつか見つかった。近年，SF_6に代わる有力な候補の一つとして合成空気が取り上げられ，合成空気を絶縁ガスとして用いる真空遮断器に注目が集まった。合成空気は，温暖化係数こそゼロではあるものの，絶縁性能はそれほど高くない。そのため，SF_6(また

はその他の先進的な代替混合ガス）を使用する場合と比べ，GIS（Gas-insulated Switchgear：ガス絶縁開閉装置）などの金属容器内に密閉された開閉装置が大型化，重量化しがちである。

高電圧GISのサイズは，いくつかの理由で重要な要素である。第一に，変電所は都市部にあり，設置面積に制約があることが多い。第二に，合成空気を使用しても，製造プロセスで使用する材料やエネルギーが増えると，結果的にCO_2排出量の削減効果は相殺されてしまう。そこで，高電圧装置［特に，GIS，GIL（Gas-insulated Transmission Line：ガス絶縁伝送路），DTB（Dead Tank Breaker：デッドタンク遮断器），ハイブリッド型開閉装置などの金属容器内に密閉された装置］に対してより効果的なソリューションとして浮上したのが，フルオロニトリル（C_4-FN）ベースの混合ガスである。純粋なC_4-FNはSF_6の2倍の絶縁強度を持つ。CO_2およびO_2と混合した場合，CO_2換算量はSF_6の約100分の1に抑えられる。それ以外にも以下のような利点がある。

（1）C_4-FNベースの混合ガスを使用する装置は従来の同一定格のSF_6使用製品と同程度に小型化が可能

（2）高電圧に対応する拡張性

（3）SF_6と同等の信頼性

（4）最小のカーボンフットプリントを実現

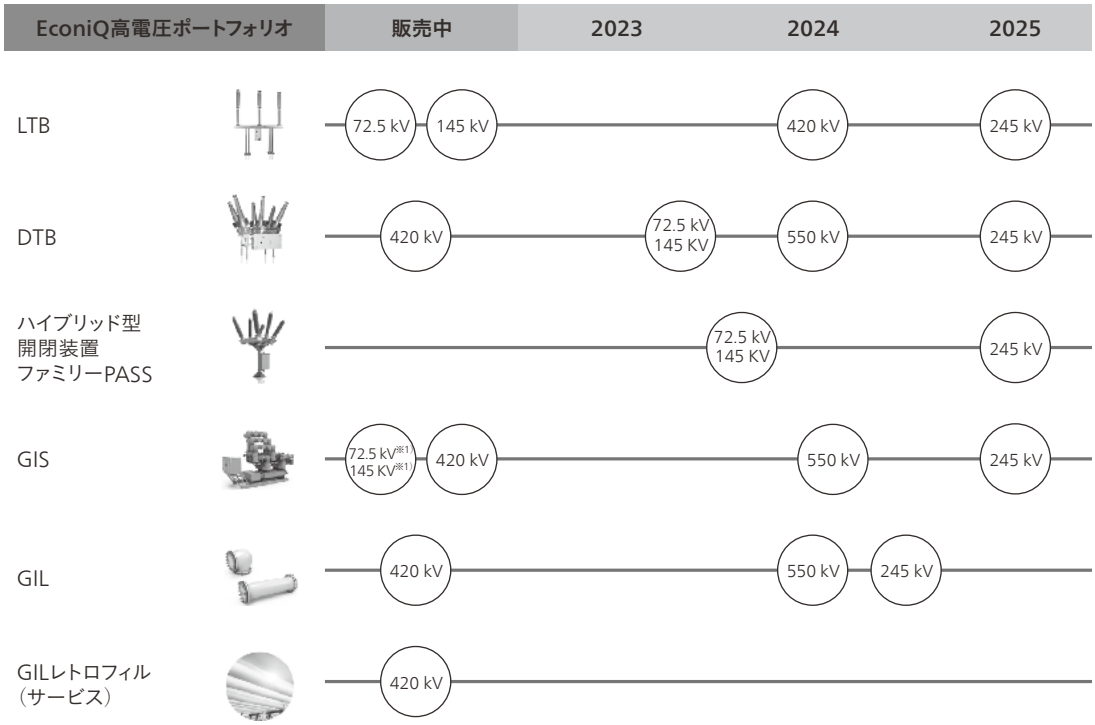
3. SF_6フリー技術のパイオニアとして

日立エナジーは，持続可能な開閉装置ソリューションの開発におけるグローバルリーダーであり，この2年間で新しいC_4-FNベースの混合ガスを使用した高電圧製品の商品化について大きな成果を挙げている。2021年，日立エナジーは，GE Renewable Energy社のGrid Solutions事業部門との協業・クロスライセンス契約を経て，環境効率の高い高電圧開閉装置のポートフォリオ「EconiQ[2)]」の販売を開始した。すでに，72.5 kV，145 kVのLTB（Live Tank Breaker：ライブタンク遮断器）や145 kVのGIS，420 kVのGIL，EconiQレトロフィルなど，SF_6フリーの高電圧EconiQ製品が世界中で導入されている。

2022年末には，420 kV，63 kAのSF_6フリー遮断器を

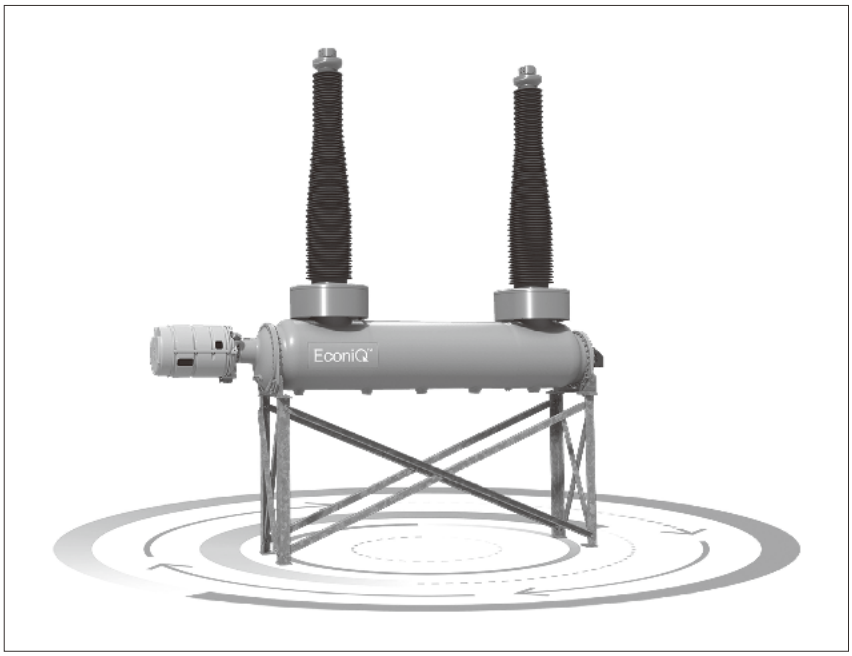
図1｜EconiQ高電圧ポートフォリオのロードマップ

日立エナジーは，今後数年間で，SF_6フリー技術を高電圧製品全体に拡大する計画である。



注：略語説明ほか
LTB（Live Tank Breaker：ライブタンク遮断器），DTB（Dead Tank Breaker：デッドタンク遮断器），PASS（Plug and Switch System），GIS（Gas-insulated Switchgear：ガス絶縁開閉装置），GIL（Gas-insulated Transmission Line：ガス絶縁伝送路）
※1）2023年に小型ソリューション，2024年には60 Hz製品を発売予定。
※2）このロードマップには，現時点での最善の期待，見積もりおよび予測に基づく，将来に関する情報が含まれる。この情報は，事前の予告なく変更されることがある。
※3）製造は日立エナジーおよびそのグループ会社が手がける。

図2｜EconiQ 420 kV DTBの外観
米国の345 kV送電系統において，SF_6フリー420 kV遮断器がDTB用途で初めて設置される予定である。



導入したことで，重要なマイルストーンに到達した。この定格電流を持つ遮断器は長距離電力伝送において特に重要である。SF_6フリーの代替品の製品化が重要なのは，送配電事業者にとって新たな脱炭素化の道を開くことになるためである。この遮断器は，63 kA，5,000 A，50 Hzおよび60 Hzについて，IEC（International Electrotechnical Commission：国際電気標準会議）ならびにIEEE（Institute of Electrical and Electronics Engineers：米国電気電子学会）の規格に定められている関連試験に合格しており，設置面積もSF_6ベースの420 kV遮断器と同等である。

日立エナジーは，今後数年間で，SF_6フリーのポートフォリオを高電圧開閉装置全体に拡大する計画である（**図1**参照）。

4. プロジェクト事例

今後数年間にわたり，複数のSF_6フリーEconiQ 420 kV遮断器の設置が予定されている。日立エナジーが発表した直近のプロジェクトの概要を以下にまとめる。

（1）米国

2023年後半に，米国で初の420 kV遮断器が設置され，345 kV変電所のDTBとして使用される予定である（**図2**参照）。変電所の運営会社であるEversource Energyは，米国北東部の約400万人の顧客にサービスを提供している。このプロジェクトは，2030年までにEversource社が変電所の運用においてめざすカーボンニュートラルの達成を含め，持続可能性の取り組みを推進するうえで重要な役割を果たす。

（2）ドイツ

ドイツでは，EconiQ 420 kV遮断器がGISとして初めて導入される。日立は，TenneT TSO GmbHの電力系統の変電所に3基のGISを設置する。このプロジェクトによって削減されるSF_6は約2,300 kgで，これは年間1,100台以上の乗用車からのCO_2排出量に相当する。本プロジェクトは2026年に完了の予定である。

（3）英国

日立エナジーとLinxon UK Ltd.は共同で，首都ロンドンに信頼性の高いクリーンな電力を安定的に供給するための重要な電力インフラプロジェクトであるLondon Power Tunnelsの強化に取り組んでいる。National Grid社が掲げるネットゼロの目標達成を支援するため，日立エナジーはSF_6フリーのEconiQ 420 kV GISおよびGILを納入する。同社は世界最大級の民間送配電事業者であり，2050年までに保有資産を完全にSF_6フリーにするという意欲的な目標を掲げている。

5. おわりに

従来，公共サービス事業者や送電事業者は，新技術の導入に伴うリスクの可能性を回避する傾向があった。電力系統では電力の安定供給が最も重要であることから，これは当然のことといえる。風力や太陽光などの再生可能エネルギーの普及が進むにつれ，既存の送配電インフ

ラの拡張とそのインフラへの適応が必要となる。一般的に風力発電所からの電力は，従来の発電源と比べてエンドユーザーまでの送配電距離が長いため，高電圧のシステムや変電所の需要が高まる。新しいインフラの建設にあたっては高信頼性が最優先とされる一方，持続可能性への関心の高まりに合わせて，温室効果ガス排出量への配慮も必要になる。

高電圧装置におけるSF_6の廃止は，ネットゼロに向けた重要なステップの一つとして，産業界と行政の双方から広く受け入れられている。さまざまな代替技術のうち，高電圧装置のSF_6に置き換わるソリューションとして実証されているのがC_4-FNベースの技術である。総カーボンフットプリントの比較において，C_4-FNを使用するガス技術の方が，絶縁媒体として合成空気を使用する高電圧GISよりも有利である。近年，欧州，中国，韓国をはじめとする世界中の大手業者の装置でC_4-FNベースの混合ガスがすでに使用されており，今後さらに広く採用されていく見通しである。

日立エナジーは，今後10年以内に高電圧製品全体にEconiQ技術を導入し，ポートフォリオの拡張性を示すとともに，持続可能技術のリーダーとして業界を牽引していく。

参考文献など

1）Modern Power Systems, Breaker Breakthrough, Q and A with Markus Heimbach, Managing Director, High Voltage Products, Hitachi Energy（2022.8），
https://www.modernpowersystems.com/features/featurebreaker-breakthrough-9967621/

2）日立エナジー，EconiQ™とは，
https://www.hitachienergy.com/jp/ja/sustainability/econiq

執筆者紹介

Christian Ohler
Hitachi Energy Switzerland Ltd., BL Function Marketing and Sales, High Voltage Products, Power Grids 所属
現在，高電圧製品事業部門の開閉装置グローバル製品グループのマネジメントに従事

Navid MahdiZadeh
Hitachi Energy Switzerland Ltd., BL Function Technology, High Voltage Products, Power Grids 所属
現在，高電圧製品事業部門にて高環境効率ポートフォリオ，グローバルポートフォリオのマネジメントに従事

日立評論

日立評論は、イノベーションを通じて社会課題に応える
日立グループの取り組みを紹介する技術情報メディアです。

日立評論Webサイトでは、日立の技術者・研究者自身の執筆による論文や、
対談やインタビューなどの企画記事、バックナンバーを掲載しています。ぜひご覧ください。

日立評論（日本語） Webサイト	Hitachi Review（英語） Webサイト
https://www.hitachihyoron.com/jp/	https://www.hitachihyoron.com/rev/

日立評論メールマガジン

Webサイトにてメールマガジンに登録いただきますと、
記事の公開をはじめ日立評論に関する最新情報をお届けします。