

## 72／84kV環境対応開閉装置

72/84kV Eco-Friendly Switchgear

\*系統変電システム製作所

## 要 旨

環境対応開閉装置は、従来形のガス絶縁開閉装置(Gas Insulated Switchgear：GIS)に対して、環境負荷低減に貢献し、さらに保守省力化及び機器更新性向上を図った最新形の開閉装置である。これまで半世紀にわたり培ってきたGIS技術を基に、真空バルブ及びドライエアーを適用することで環境負荷の高いSF<sub>6</sub>(六フッ化硫黄)ガスを不使用にして、さらに小型化・構造簡素化、保守点検の省力化などを実現した最新形の72／84kV環境対応開閉装置を開発した。

## 1. ま え が き

GISは、その優れた性能と特長から電力用開閉装置として広く国内外に適用されている。当社でもこれまで半世紀にわたってGIS及びガス遮断器(Gas Circuit Breaker：GCB)の製造を行ってきた。しかし、GISの絶縁、遮断性能を実現しているSF<sub>6</sub>ガスの地球温暖化係数(Global Warming Potential：GWP)がCO<sub>2</sub>の24,300倍であることから、欧州でのフッ素ガス規制法(EU573/2024)などによってSF<sub>6</sub>フェーズアウトを基本にした規制が進んでいる。今回、SF<sub>6</sub>ガスの代替として遮断器(Circuit Breaker：CB)の遮断部に真空バルブ、機器の絶縁媒体としてドライエアー(GWP＝0)を適用し、環境負荷低減及び保守点検性向上、既設GISとの機器更新性を確保した最新機種である72／84kV環境対応開閉装置を開発した。図1にその主な特長を示す。

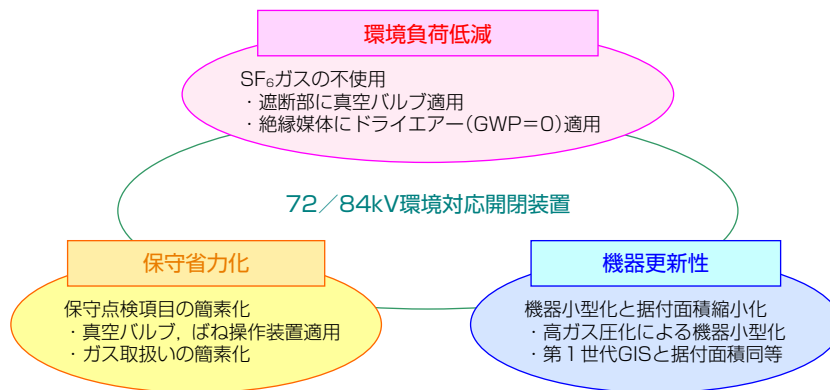


図1-72／84kV環境対応開閉装置の特長

この環境対応開閉装置は温暖化係数の高いSF<sub>6</sub>ガスを必要としない。遮断部に真空バルブ、絶縁媒体にドライエアーを適用することで、環境負荷低減を図った。また、負荷電流10,000回まで交換不要である真空バルブの適用によって保守省力化を図るとともに、断路器(Disconnecter Switch：DS)及び点検接地開閉器(Earthing Switch：ES)操作装置へフレキシブル連結を適用することで保守面を通路面にして作業性の改善を図った。また、高ガス圧化によって機器を小型化し、第1世代GISと据付面積の同等性を実現した。

本稿では、最新形である72／84kV環境対応開閉装置の特長及び適用技術、開発、製品化について概要を述べる。

## 2. 定格事項と基本構造

72／84kV環境対応開閉装置の定格事項，基本仕様を表1に示す。定格電流は2,000A，定格短時間耐電流は31.5kAまで対応している。基準ガス圧力は機器サイズの小型化を図るため，0.8MPa(第1世代GISは0.4MPa)としている。なお，本稿に述べる圧力値は全てゲージ圧力を示す。DS，ESは電流遮断方式に磁気アーク駆動方式を採用することで遮断性能の向上を図っている。また，DS及び点検ESの操作装置にフレキシブル連結を適用し，操作装置の配置自由度を向上させている。

表 1-72／84kV環境対応開閉装置の定格事項と基本仕様

定格事項		仕様
共通	定格電圧(kV)	72／84
	定格電流(A)	800／1,200／2,000
	短時間耐電流(kA)	20／25／31.5
	雷インパルス耐電圧(kV)	350／400
	基準ガス圧力(MPa)	0.8
CB(ばね操作)	定格遮断電流(kA)	20／25／31.5
DS(電動操作)	ループ電流開閉(A)	1,600
線路ES(ばね操作)	誘導電流開閉(A)	200

図2(a)に新形器の72／84kV環境対応開閉装置，図2(b)に従来器の第1世代72／84kV GISの構造図を示す。72／84kV環境対応開閉装置は全ての機器で3相の高圧部を一つのタンクに収納する全3相一括構成にして，真空遮断器(Vacuum Circuit Breaker：VCB)を縦形配置，主母線を積層配置にしている。この構成によって，主母線以外の3相分離構成及び主母線の下面配置で構成していた第1世代72／84kV GISに対して同等以下になる据付面積を実現した。また制御盤を含めたユニット一体輸送を実現しており，現地の機器据付工期短縮を図っている。機器の幅(図2のA方向)が最小になるように機器寸法を極小化し，DS，ESの操作装置を通路面に配置して保守点検作業性の向上を図った。

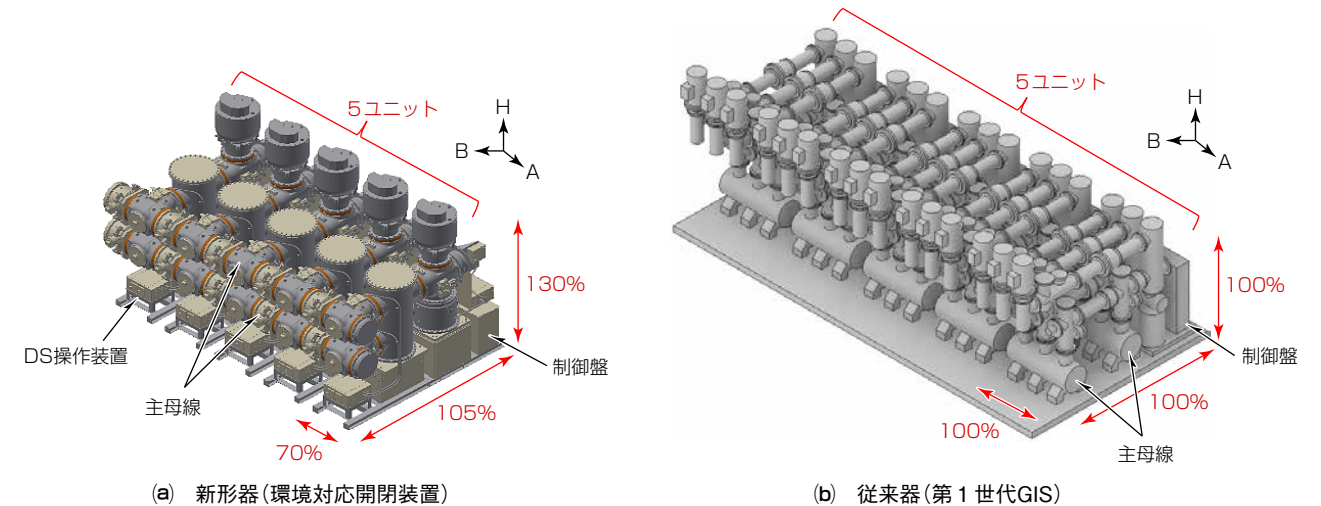


図 2-72／84kV開閉装置構造図

次に，遮断器とブッシングで構成する単体遮断器について，図3(a)に新形器の72／84kV VCB，図3(b)に従来器の72／84kV GCBの外観を示す。単体遮断器は，環境対応開閉装置と同様に真空バルブを収納したタンク内をドライエアーによる絶縁にして，架空線と取り合うブッシング部を気中絶縁とした構成である。新形器は上部のブッシング引き出し部の構造を最適化することによって，従来器とほぼ同等の据付面積を実現した。

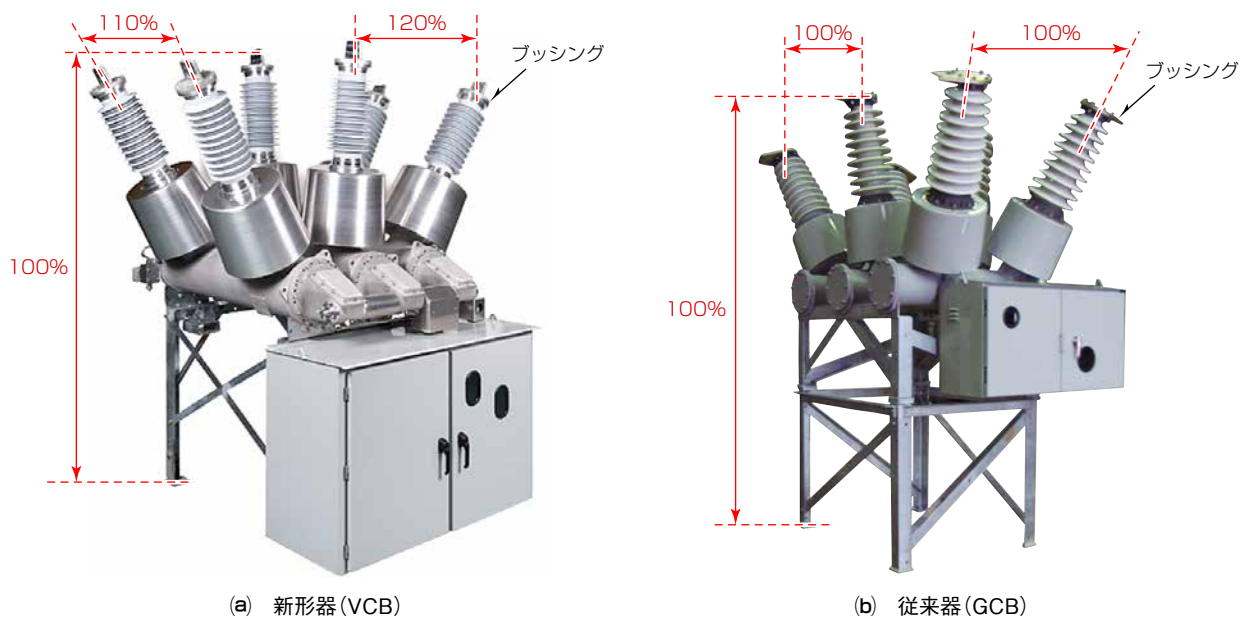


図3-72/84kV単体遮断器

### 3. 環境対応開閉装置の適用技術

環境対応開閉装置の開発で、ドライエアーを絶縁媒体として適用するための要素技術開発を実施してきた。機器運用の観点から、環境対応開閉装置と従来器GISの主な点検項目の比較を表2に示す。3章では表2に示す、③分解生成物と材料適合性、④部分放電測定、⑤ガスシール材料、⑦CB内部点検周期について特長を述べる。

表2-環境対応開閉装置とGISの主な点検項目比較

	環境対応開閉装置	GIS
① ガス圧力(MPa)	0.8	0.4~0.5
② ガス水分量(ppm)	150	150
③ 分解生成物と材料適合性	NO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>	SF <sub>4</sub> , SO <sub>2</sub> , SOF <sub>2</sub> , HF
④ 部分放電測定	UHF法(IEC60270法)	UHF法(IEC60270法)
⑤ ガスシール材料	EPDM	CR, NBR, EPDM
⑥ ガス漏れ測定の適用ガス	He	SF <sub>6</sub>
⑦ CB内部点検周期	負荷電流開閉 10,000回	負荷電流開閉 5,000回

NO：一酸化窒素，NO<sub>2</sub>：二酸化窒素，O<sub>3</sub>：オゾン，SF<sub>4</sub>：四フッ化硫黄，  
SO<sub>2</sub>：二酸化硫黄，SOF<sub>2</sub>：フッ化チオニル，HF：フッ化水素，  
UHF：Ultra High Frequency，EPDM：エチレンプロピレンゴム，  
CR：クロロブレンゴム，NBR：ニトリルゴム，He：ヘリウム

#### 3.1 分解生成物と材料適合性

環境対応開閉装置で、DSとESの小電流開閉はドライエアー雰囲気中で行われる。小電流開閉によって発生する分解ガスについて分析／測定した、DSによる電流3,200Aの100回開閉後の測定結果を表3に示す。生成された分解ガスは窒素酸化物NO、NO<sub>2</sub>、及びO<sub>3</sub>であり、生成濃度は数百ppmv程度と小さかった。機器内部を構成する材料に対する材料適合性試験の評価は、どれも顕著な特性低下がなく、機器への分解生成物の影響はほぼないことを確認した<sup>(1)</sup>。

表3-DSによる電流3,200A 100回開閉後の分解ガス測定結果

	NO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
発生濃度(ppmv)	51	293	<1

### 3.2 部分放電測定

以前からドライエアー圧力が0.5MPaなどの場合はUHF帯より低い周波数帯が部分放電測定に適していることが報告されている。一方、今回開発の環境対応開閉装置は、絶縁性能向上を目的に、基準ガス圧力を0.8MPaまで増加させているため、0.8MPaでの部分放電の発生周波数について検証した<sup>(2)</sup>。図4に針電極に設置した検出抵抗を介して測定した部分放電電流とUHFセンサー信号の測定結果を示す。交流電圧印加によって発生した部分放電をUHFセンサーで検出している。環境対応開閉装置は従来器と同様にUHFセンサーが適用可能であるとの結果を得た。

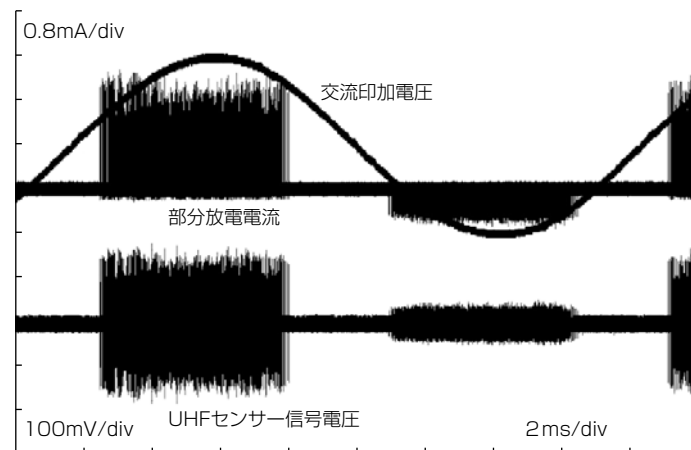


図4-部分放電電流とUHFセンサー信号の測定結果

### 3.3 ガスシール材料と寿命

ガス気密部品であるシール材料の寿命評価のため、高圧ドライエアー中での劣化特性を検証した<sup>(3)</sup>。シール材料の主な劣化要因はシール材料に接している酸素による劣化である。SF<sub>6</sub>機器ではシール材料に接する酸素は外気0.1MPaだけであるが、環境対応開閉装置は内部にドライエアー0.8MPaを封入しており、SF<sub>6</sub>機器に比べて酸化劣化が促進されるため、耐酸化性の高い材料を適用する必要がある。そのため、耐酸化性が高くSF<sub>6</sub>機器にも適用しているEPDMを適用する。寿命評価試験では、装置内にドライエアー0.8MPaを封入し、槽内を一定温度に保持しシール材料の圧縮永久歪(ひず)みを測定した。図5に各温度での圧縮永久歪み80%到達時間を示す。日本の代表地域(大阪府)での等価温度66℃で圧縮永久歪み80%到達時間は100年であることから、本体機器寿命に対してシール材料寿命は十分な裕度を持つ。

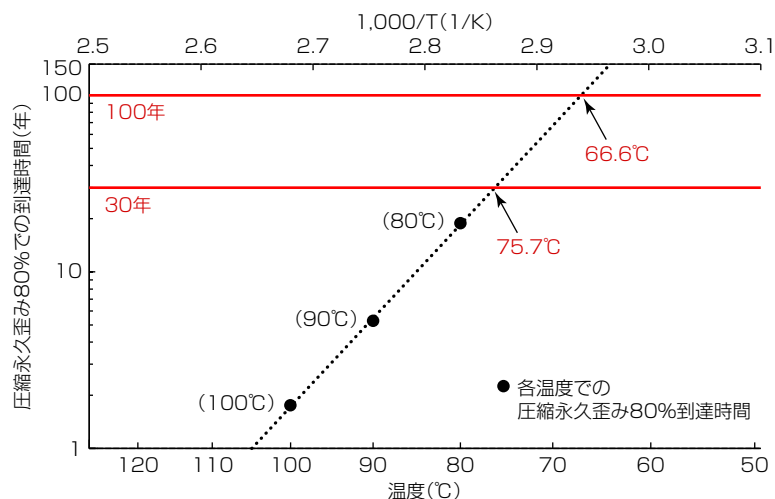


図5- EPDM O-リングの圧縮永久歪み80%到達時間のアレニウスプロット



### 3.4 CBの内部点検周期

CBのコンタクト点検・交換周期は、電流遮断部の接点寿命が影響する。環境対応開閉装置は、CBに真空バルブを適用しており、電流遮断部を真空の遮断接点で構成している。真空中の接点間で発生したアークは、真空中で発生することに加えて、接点間に発生する磁界の影響を受けることで接点表面に広く拡散する。そのため、電流遮断時でアークの電流密度を低減でき、接点表面の温度上昇を抑制できるためSF<sub>6</sub>機器に比べて電極の損耗量を抑制できる。この効果によって、従来器のCBの内部点検周期が負荷電流開閉5,000回に対して、コンタクト交換周期を10,000回まで延伸可能である。

## 4. 形式試験及び現地据付状況

72/84kV環境対応開閉装置及び72/84kV単体VCBについて、耐電圧、遮断などJEC(電気規格調査会)規格に定める形式試験を実施し十分な性能を確認した。また、輸送試験、連続開閉試験などの参考試験を実施し十分な性能を持つことを確認した。一例として、環境対応開閉装置の耐電圧試験状況を図6に、輸送試験状況を図7に示す。耐電圧試験では規格値に対して120%と十分な裕度を確保していることを確認した。また、輸送試験では悪路模擬走行でも各部応力が十分低く裕度を持つことを確認した。



図6-耐電圧試験状況



図7-輸送試験状況

次に、2023年5月から運転開始した72/84kV単体VCBの現地運転状況を図8に示す。工場での出荷試験形態と同じブッシング一体輸送として現地据付工程の短縮を実現した。また、SF<sub>6</sub>ガスを用いない代替ガス機器についての内容が追加されたJEC-2390:2023を参照して現地耐電圧試験として、系統試充電によって健全性を確認した。JEC-2390:2023規定のSF<sub>6</sub>機器と同様な現地作業管理項目、品質管理基準が適用されていること、SF<sub>6</sub>絶縁と比べてドライエアー絶縁に及ばず金属異物の影響が同等以下<sup>(4)</sup>であることを考慮した。据付面積は2章で述べたとおり従来器と同等であり、変電所の既設基礎の流用が可能であり、変電所の敷地面積を増やさずに環境対応開閉装置の導入が可能である。



図8-72/84kV単体VCBの現地運転状況

## 5. む す び

電力業界を取り巻く様々な情勢変化の一つとして近年SF<sub>6</sub>規制があり、環境負荷低減、経年機器の更新が要求される中、当社が長年にわたり培ってきたGIS技術に加えて真空バルブによる遮断、ドライエアー中による絶縁など新たな研究・開発の成果を反映し72/84kV環境対応開閉装置の開発、製品化を行った。特長として、環境負荷低減、保守省力化及び機器更新性向上を図ったことが挙げられる。

今後、更なる高定格化、機器の小型化及びデジタル化対応を図った環境対応開閉装置の開発、製品化を実施予定である。

## 参 考 文 献

- (1) Miyashita, M., et al.: Gaseous by-products generated by bus-transfer current switching in dry air and their impacts, International Symposium on High Voltage Engineering 2023, 336 (2023)
- (2) 宮下 信, ほか: 高ガス圧ドライエアー中の部分放電検出, 令和5年電気学会全国大会論文集, 6-034, 44~46 (2023)
- (3) 佐藤光馬, ほか: ドライエアー適用機器のガス気密特性, 令和4年電気学会全国大会論文集, 6-006, 6~8 (2022)
- (4) Inami, K., et al.: Partial Discharge and Breakdown Properties in Dry Air, N, and CO<sub>2</sub> Under Nonuniform Electric Field, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 30, No.6, 2583~2591 (2023)