

# 7.2～72kV脱SF<sub>6</sub>ガス絶縁スイッチギヤの最新技術

矢野知孝\*  
竹内 靖\*

Latest Technologies of 7.2～72kV Dry Air Insulated Switchgear

Tomotaka Yano, Yasushi Takeuchi

## 要 旨

国内外の電力会社・電力需要家の送配電・受変電設備には、化学的に安定であり無毒・無臭で電気絶縁性能・電気遮断性能(消弧性能)に優れた六フッ化硫黄ガス(SF<sub>6</sub>ガス)が1960年ごろから採用されている。SF<sub>6</sub>ガスの適用によって受配電設備は開放形(空気絶縁)から、三相分離形GIS(Gas-Insulated Switchgear)(高圧力SF<sub>6</sub>ガス絶縁)、三相一括形GIS(高圧力SF<sub>6</sub>ガス絶縁)、C-GIS(低圧力SF<sub>6</sub>ガス絶縁)へと発展移行し、受配電設備の設置面積は開放形に比べ、約1/10にまで縮小された。また、受配電設備は小型・軽量化のみでなく信頼性の向上、ライフサイクルコスト(LCC)削減及び環境負荷低減が図られてきた。しかしながら、SF<sub>6</sub>ガスの地球温暖化係数は非常に高く(CO<sub>2</sub>の23,900倍)、1997年の地球温暖化防止京都会議以降はSF<sub>6</sub>ガスの排出量削減とともに、SF<sub>6</sub>代替ガスの開発が活発に行

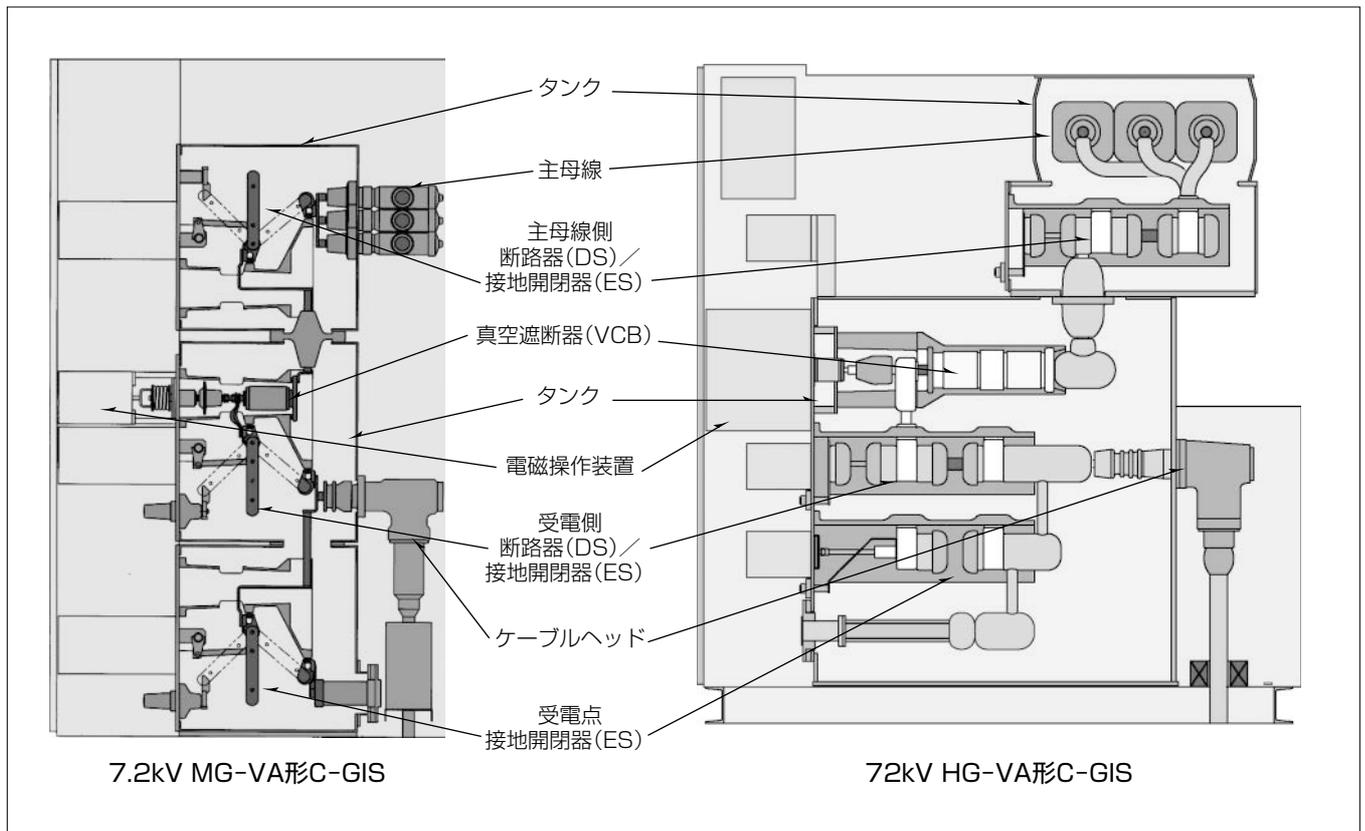
われている。

三菱電機では、消弧媒体として真空を用い、絶縁媒体としてドライエアを採用したC-GISを2000年以降に順次製品化を行い、脱SF<sub>6</sub>ガスによる環境負荷低減対策を図ってきた。現在では、受配電設備に必要な7.2kVから72kVまでのC-GISのシリーズ化を完了している。

これらの製品シリーズは、環境負荷低減とLCC削減の目的のため、遮断器の操作装置として永久磁石と電磁コイルを用いた電磁操作方式を採用し、さらに、遮断器の状態監視技術、タンク内部の絶縁監視技術を組み合わせたC-GISのトータルCBM(Condition Based Maintenance)を可能とし、LCCの削減に貢献している。

本稿では、ドライエア絶縁技術、電磁操作装置及びCBMの最新技術について述べる。

特集  
II



### “MG-VA形”C-GIS及び“HG-VA形”C-GISの内部構造

7.2kV MG-VA形C-GIS(7.2kV三菱密閉形複合絶縁スイッチギヤ)及び72kV HG-VA形C-GIS(72kV三菱密閉形複合絶縁スイッチギヤ)の内部構造を示す。タンク内部はドライエアを充填、遮断器は真空遮断器、遮断器操作装置は電磁方式を採用している。

1. ま え が き

近年の地球温暖化抑制のニーズに対応するため、当社は六フッ化硫黄ガス(SF<sub>6</sub>ガス)を使用しないC-GISとして、7.2kVから72kVまでのクラスでドライエアを絶縁媒体として真空遮断器を用いたC-GISを製品化している。これらの製品シリーズは、環境負荷低減とLCC削減の目的のため、遮断器の操作装置として永久磁石と電磁コイルを用いた電磁操作方式を採用し、さらに、遮断器の状態監視技術、タンク内部の絶縁監視技術を組み合わせたC-GISのトータルCBMを可能とし、LCCの削減に貢献している。

本稿では、ドライエア絶縁技術、電磁操作装置及びCBMの最新技術について述べる。

2. ドライエア絶縁C-GISのシリーズ化

表1に7.2~72kVドライエア絶縁C-GISのシリーズ構成を、表2に製品シリーズのコンセプトを示す。この製品シリーズは、従来の当社C-GIS(低圧力SF<sub>6</sub>ガス絶縁)で高い評価を得ている“小型”“軽量”“高信頼性”、及び様々な受電形態と電気室に対応できる“配置計画の柔軟性”等の特長に加え、一層の“環境負荷低減”と“LCCの低減”を目的とし製品化を行っている。そのため、このシリーズすべての製品で、真空遮断器・低ガス圧ドライエア絶縁・電磁操作方式・CBM機能を採用している。

表1. ドライエア絶縁C-GISのシリーズ構成

製品形名	項目	仕様
MG-VA	定格電圧 (kV)	7.2
	定格電流 (A)	630/1,250
	定格遮断電流 (kA)	25
	定格ガス圧 (MPa-G at 20°C)	0.03
HS-X	定格電圧 (kV)	12/24
	定格電流 (A)	630/1,250
	定格遮断電流 (kA)	25
	定格ガス圧 (MPa-G at 20°C)	0.07
HG-VA	定格電圧 (kV)	72
	定格電流 (A)	800/1,200
	定格遮断電流 (kA)	25/31.5
	定格ガス圧 (MPa-G at 20°C)	0.15

表2. 製品シリーズのコンセプト

コンセプト	新技術/対策	
環境に優しく	地球温暖化抑制	ドライエア絶縁(脱SF <sub>6</sub> ガス)
	省エネルギー	電磁操作方式VCB(操作エネルギー低減) 主回路導体の最短路(発熱量低減)
人に優しく	安全性	低ガス圧化 電磁操作機構部のメンテナンスフリー化
	省力性	CBM機能ユニット搭載
		母線接続時のガス処理レス化
	高信頼性	構造の単純化
		部品点数の削減
		電磁操作装置による主接点直動化 操作装置部の損耗部品レス化

3. ドライエア絶縁技術

3.1 絶縁技術

ドライエアは地球温暖化係数がゼロである反面、絶縁耐力がSF<sub>6</sub>ガスの約1/3しかなく、SF<sub>6</sub>ガスと同等の絶縁耐力を得るためには、SF<sub>6</sub>ガスの約3倍のガス圧力または、絶縁距離の拡張などによって設計電界をSF<sub>6</sub>ガスの1/3程度に低減する必要がある。しかし、ドライエアのガス圧を上昇させた場合は、タンク・絶縁物等の機械的強度を増強する必要があり、また、ガス漏れ時の耐電圧性能低下が大きい。このため、ドライエアと固体絶縁物を組み合わせた複合絶縁技術を開発させ、7.2~72kVの製品シリーズで、0.2MPa-G以下の低ガス圧力で、従来のSF<sub>6</sub>ガスを適用したC-GISと同等以下の外形寸法での製品化を達成している。

上記の複合絶縁は、バリヤ絶縁及び被覆絶縁にドライエア絶縁を組み合わせた方式である。図1にドライエア中の不平等電界下(棒-平板電極)における、被覆絶縁ありでの放電電圧の圧力特性(プロット)、及び被覆絶縁なしでの放電モデル推定式(図中の破線)を示す。

図1から、0.1MPa-G以下の低ガス圧力領域では、絶縁被覆によって放電電圧が被覆絶縁なしでの推定式に対して同等以上の放電電圧値となっており、被覆絶縁が低ガス領域で、耐電圧値を高める有効な対策となる。

3.2 電流遮断技術

SF<sub>6</sub>ガスより約1/100の消弧性能であるドライエアの適用で、C-GISの内部機器である断路器/接地開閉器によるドライエア中でのループ電流/誘導電流開閉性能の向上が重要である。図2にドライエアとSF<sub>6</sub>ガスの圧力とアーク時間の関係、及びドライエア0MPa-Gの永久磁石を用いた磁界駆動方式におけるアーク時間を示す。ドライエア中では圧力の上昇に伴って遮断性能が上昇するのに対し、SF<sub>6</sub>ガスでは圧力依存性がない。また、磁界駆動方式では低圧力領域でもSF<sub>6</sub>ガスと同等以上の遮断性能が確保可能である。今後、さらに遮断現象の理解と評価を行い、遮断性能の向上、開閉機器の小型・軽量化を行う。

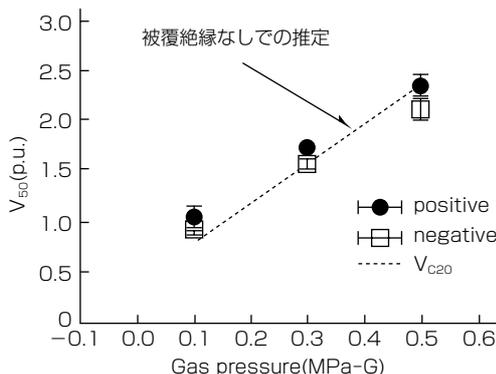


図1. ドライエア放電電圧の圧力特性<sup>(3)</sup>

#### 4. 電磁操作装置

遮断器を駆動する電磁操作装置(図3)は、7.2~72kVの製品シリーズで、永久磁石を用いた電磁操作装置を採用、開閉操作は電流コイルの電磁力で行い、投入状態は永久磁石の磁力によって保持することによって、ラッチレバーなどの消耗部品を廃止して、部品点数及び操作エネルギーを従来のバネ操作式VCB(Vacuum Circuit Breaker)に比べ約30%低減した。この電磁操作機構は、過渡電磁界解析と駆動部の運動解析の連成解析手法、及び品質工学を適用することで操作装置の各構成要素の最適化を行い、駆動ばらつき抑制を行った。

#### 5. CBM機能

ドライエア絶縁C-GISでは保守の省力化を目的として、駆動監視機能、絶縁劣化監視機能を搭載したCBM機能に通信機能を搭載し、上位システムでの状態監視を可能とした。

##### 5.1 駆動監視技術

遮断器を駆動する電磁操作装置は、電気エネルギー注入によって駆動するため、電流波形を観測することで遮断器

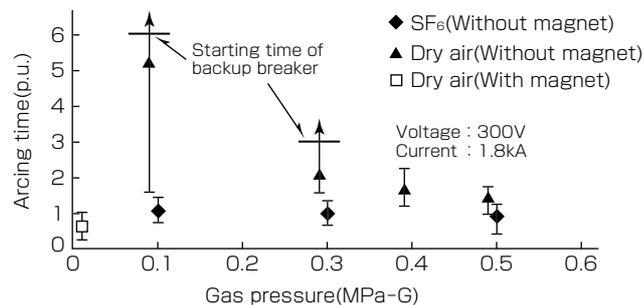


図2. 電流遮断性能の圧力特性<sup>(4)</sup>

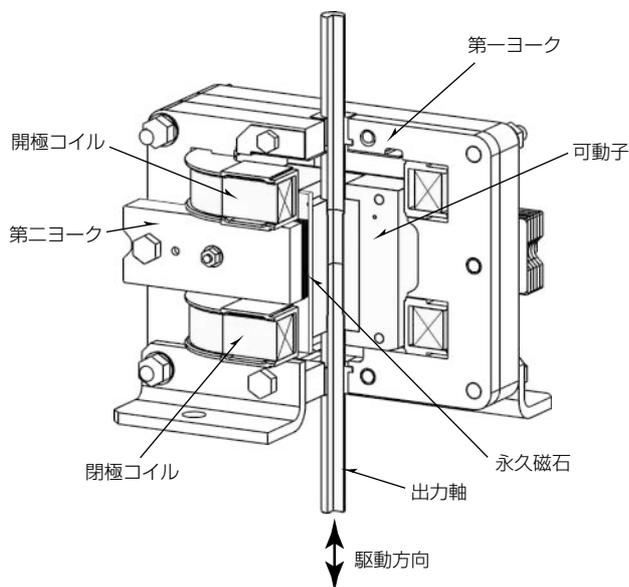


図3. 電磁操作装置

の動作特性を監視することが可能となっている。図4に開極駆動時の励磁電流と動作特性を示す。図4で、実線は正常時の電磁操作VCBの開極駆動時の電磁コイルへの励磁電流波形と動作特性の例を示したものである。また、図の破線は、主接点の消耗量が過大になった場合の励磁電流波形と動作特性の例を示したものである。動作特性で速度が大きく変化する接点开離点A、動作完了点Bでは、同時に励磁電流にも変化点が発生しており、動作特性と励磁電流波形には関連性があることが分かる。このことから、励磁電流波形を分析することによって、VCBの電磁操作装置の状態検知を実現した。

##### 5.2 絶縁劣化監視技術

CBM機能で実現する絶縁劣化監視は、活線時に部分放電検出ユニットを用いて、部分放電発生時の電磁波を検出し、検出した放電レベルがある閾値(しきい値)を越えた回数をカウントし、部分放電の放電レベルと継続性を合わせて絶縁劣化の診断を実施する。図5に主回路電圧と部分放電発生の特性を示す。部分放電は印加電圧の正極/負極のいずれか、または両方の特定の位相で発生する。また、検出する部分放電の周波数帯はケーブルなどの静電容量による減衰が大きいMHz帯を使用し、外部からノイズ信号がC-GIS内に侵入することを抑制する。

##### 5.3 通信機能の搭載

CBMユニットに通信機能(“CC-Link(Control & Communication Link)”伝送)を搭載し、状態監視したデータをシーケンサを用いて上位システムに上げることを可能とした。図6にシステムの構成を示す。

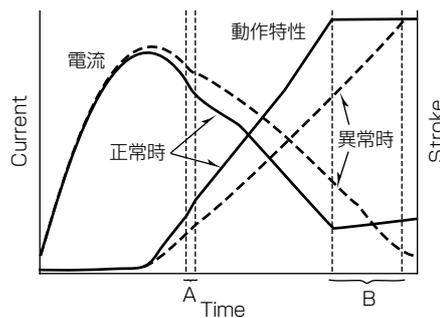


図4. 開極駆動時の駆動電流特性

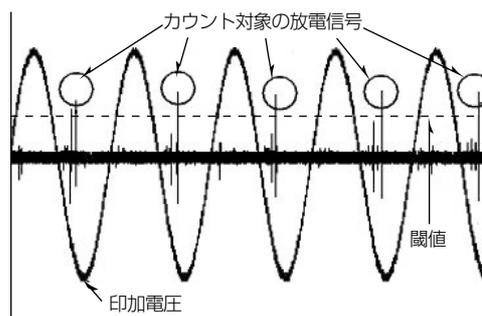


図5. 部分放電特性

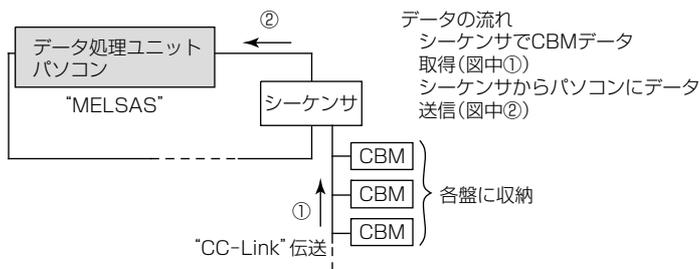


図 6. CBM通信システムの構成

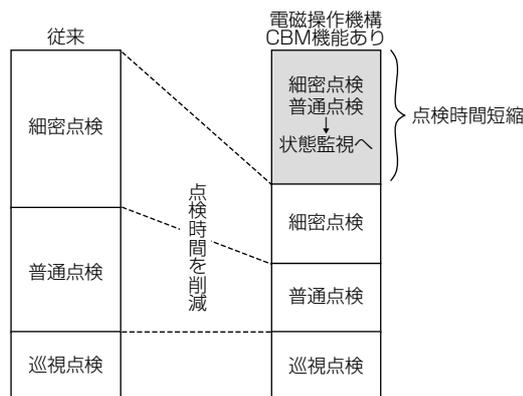


図 9. CBM機能と点検時間の変化



図 7. 絶縁劣化監視の長期トレンドデータ



図 8. 絶縁劣化監視のアラーム発生時データ(前後 1 日分)

図 6 の構成では、上位システムとして“MELSAS”（三菱受配電監視制御システム）を使用した例である。各盤に収納されたCBMユニットから、シーケンサに監視データを取り込み、“MELSAS”のデータ処理ユニットパソコンで各監視データのトレンドを見ることを可能としている。

絶縁劣化監視の部分放電回数長期トレンドデータを図 7 に示し、アラーム発生時のデータを図 8 に示す。

トレンドデータやCBM監視状態を上位システムで確認可能となり、盤面での監視項目確認が不要となることで、CBM機能で監視している項目に対するメンテナンス時間を削減している。

#### 5.4 CBM機能によるライフサイクルコスト低減

従来のVCB、またはVCBを搭載したスイッチギヤの定期点検項目には、運用状態で日常的に目視で実施する巡視点検、2～3年に1回、設備を短時間停電して行う普通点検、6～12年に1回、設備を停止して行う細密点検がある。

電磁操作方式とCBM機能ユニットを組み合わせることによって、これら定期点検項目の一部を省略し点検作業時間を短縮することが可能である。図 9 にはVCBを搭載した標準的なC-GISで、電磁操作方式とCBM機能を搭載した場合の点検時間の概要を示す。電磁操作方式とCBM機能を搭載した場合の点検時間は、従来の定期点検方式に比べて大幅に削減できる。このような効率的な点検によって停電時間の短縮や、定期点検時間の短縮が可能となり、C-GISのライフサイクルコストの削減に貢献する。さらに、常時監視機能によって、従来、定期点検でしか発見できなかった部位の異常を早期に発見できるため、事故や故障を未然予知する効果がある。

## 6. む す び

低ガス圧ドライエア絶縁、電磁操作装置、CBMを採用した、7.2～72kV脱SF<sub>6</sub>ガス絶縁スイッチギヤの最新技術について述べた。世界的な環境問題への取組みが活発化している中、地球温暖化係数の高いSF<sub>6</sub>ガス排出の規制強化の動きがあり、特に72kV以下の脱SF<sub>6</sub>ガス化のニーズが高まっている。今後ともドライエア絶縁・電流遮断・電磁操作装置・CBMの各機能の技術を更に深め、小型・高信頼性のガス絶縁スイッチギヤの開発を進めていく。

## 参 考 文 献

- (1) 有岡正博，ほか：72kV脱SF<sub>6</sub>ガス絶縁スイッチギヤ“HG-VA”，三菱電機技報，80，No.7，455～458（2006）
- (2) 有岡正博，ほか：7.2～72kV脱SF<sub>6</sub>ガス絶縁スイッチギヤ，三菱電機技報，82，No.11，681～684（2008）
- (3) 武輪知明，ほか：乾燥空気インパルス破壊電圧に対する絶縁被覆効果，平成23年電気学会全国大会，1-088（2011）
- (4) 中田勝志，ほか：ドライエア中の電流遮断性能に関する基礎検討，平成23年電気学会全国大会，6-304（2011）