

キュービクル形乾燥空気絶縁開閉装置（エコC-GIS） の製品化

🔊 受変電技術，絶縁技術，CO₂排出，地球環境，スイッチギヤ

* 小林 徹 Toru Kobayashi * 山本和磨 Kazuma Yamamoto * 縣 祐介 Yusuke Agata

概 要

ガス絶縁開閉装置に絶縁媒体として広く使用されているSF₆ガスは、CO₂の23,900倍という高い地球温暖化係数を有することから、使用量の削減が世界的に求められている。そこで当社は、SF₆ガスを代替する乾燥空気絶縁の研究に取り組んできた。

キュービクル形乾燥空気絶縁開閉装置（エコC-GIS）は、当社の30年以上にわたる真空遮断器（VCB）技術及びガスレスタンク形VCBやエコ・タンク形VCBといった乾燥空気絶縁技術適用製品の実績から、「脱SF₆ガス」を達成した地球環境調和型の開閉装置である。低圧力の乾燥空気を絶縁媒体として使用し、温室効果ガスを使用しない製品を実現した。



72kVエコC-GIS

1. ま え が き

当社は、1980年代から真空遮断器（VCB）を使用したSF₆ガス絶縁開閉装置を製品化し、電力会社・民間需要家をはじめ多くのお客様に納入してきた。しかし、SF₆ガスは優れた絶縁媒体であるが、CO₂の23,900倍という高い地球温暖化係数を有することから、使用量の削減が世界的に求められている。また最近では、欧州、北米などで温室効果ガスを規制する動きが具体化している。このような背景から、当社ではSF₆ガス代替の絶縁媒体である乾燥空気をを用いた絶縁の研究に取り組み、製品化してきた。本稿では、遮断部に真空インタラプタ（VI）を用い、絶縁媒体に乾燥空気を適用したキュービクル形乾燥空気絶縁開閉装置（エコC-GIS）を紹介する。

2. エコC-GISの特長

エコC-GISは、乾燥空気絶縁を採用することで耐環境性を向上させ、さらに低ガス圧力や部分複合絶縁方式の採用で、現行SF₆ガス絶縁方式のC-GISと比較して同程度の大きさを実現した製品である。

第1表にエコC-GISの特長を示す。絶縁媒体は乾燥空気であるため大気放出でき、作業者の安全面も確保している。また複合絶縁を最小化することで、設備更新・廃棄時のリサイクル率を向上している。

3. 設 計 技 術

3.1 絶縁技術

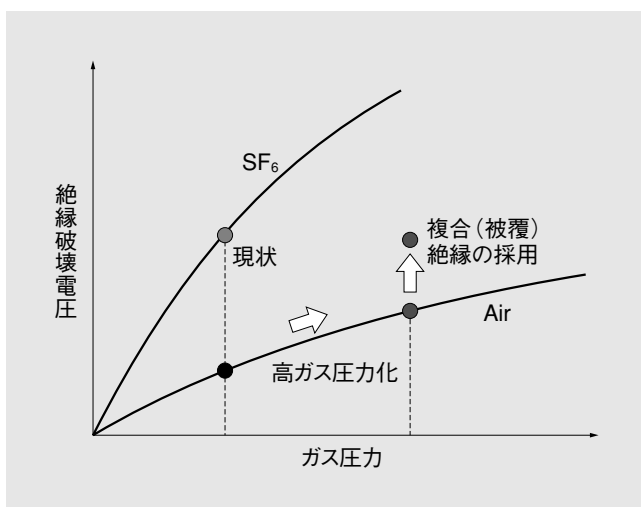
乾燥空気の絶縁耐力は、同圧力のSF₆ガスに対して3分の1程度であり、装置サイズを大きくせずに

*スイッチギヤ工場

第1表 エコC-GISの特長

エコC-GISは一般的なC-GISの特長に追加して、地球温暖化防止に貢献する環境調和型の製品である。

項目	特長
地球温暖化防止対策に貢献	・温室効果ガスに指定されたSF ₆ ガスの使用削減
高い信頼性の維持を実現	・数多くのC-GIS納入実績と長年の運転実績を基に、VIなど30年以上にわたり蓄積してきた技術で実現 ・主回路通電部は全てを乾燥空气中に密閉することで、外部雰囲気の影響なし ・操作装置は長年の実績と信頼性の高い、三相一括駆動形電動ばね操作機構を採用
小形化(現行SF ₆ ガス絶縁C-GISと同等)	・機器配置の最適化 ・部分複合絶縁の採用 ・絶縁設計(電界)の最適化
保守点検(メンテナンス)の省力化	・監視面と各機器の操作機構は、全て前面配置とし点検通路側に面し、操作と点検が容易



第1図 複合絶縁方式の概念図

最小限の圧力上昇と複合絶縁により、従来と同等の絶縁性能を確保した。

乾燥空気絶縁を適用するには、ガス圧を上げる必要がある。しかし、タンク強度の制約があるため、昇圧は最小限に抑え、タンク内収納機器の最適配置や主回路導体形状の最適化、絶縁破壊の起点となる高電界部分に絶縁被覆を用いた部分複合絶縁手法を採用し、従来と同等の絶縁性能を確保した。

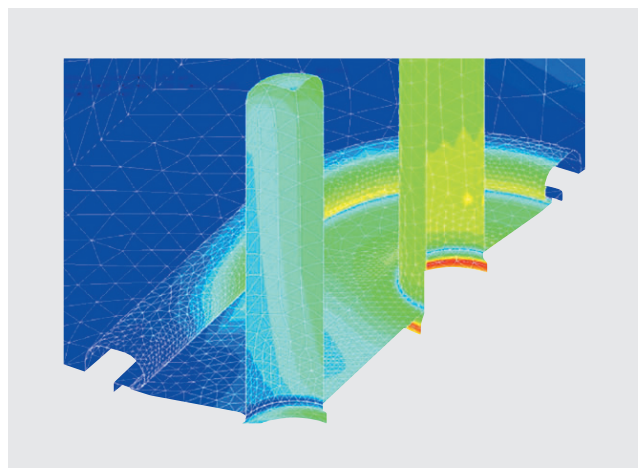
第1図に複合絶縁方式の概念図を示す。

(1) 絶縁設計のポイント 三次元電界解析を用いた高精度の絶縁設計を実施した。

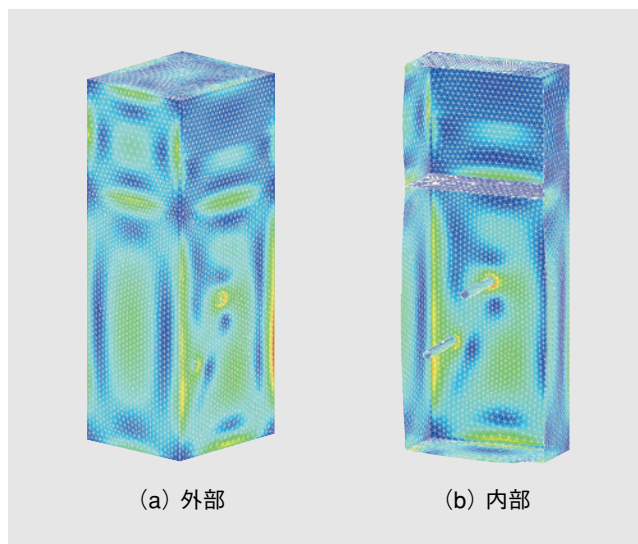
(a) 電界集中箇所は、複合絶縁によって電界を緩和

(b) 対地間・極間・相間の絶縁協調を精度よく設計することで、最適配置によるコンパクト化を実現

(c) トリプルジャンクション(三重結合点)は、



第2図 母線とスペーサの電界解析結果例
表面電荷法を用いた三次元電界解析による絶縁設計の例を示す。



第3図 タンク応力解析例

有限要素法を用いた三次元応力解析による構造設計の例を示す。

SF₆絶縁の場合と同様に局所的な電界を低減

(2) 絶縁解析手法 三相一括の機器は、対地間・相間などの絶縁協調も同時に検討しながら最適な位置・形状を求めていくことが必要となる。当社は精度・効率の面から、境界分割法である表面電荷法を用いた解析プログラムを自社開発し、基本的な絶縁設計ツールとして使用している。第2図に表面電荷法での母線とスペーサの電界解析結果例を示す。

3.2 構造設計技術

構造設計は、圧力封入時のタンクの変位や応力解析を実施した。タンク各部の応力及び変位が設計基準値以内になることを確認するとともに、適切なタンク板厚・補強位置を検討した。第3図にタンク応力解析例を示す。



4. 製品紹介

4.1 72kVエコC-GIS

72kVエコC-GISは2011年に開発完了し、2012年に初号器を納入した。第2表に定格事項を、第4図に受電盤構造図を示す。現行のSF₆ガス絶縁方式のC-GISと同様に、機器室と母線室をガス区分した構造にした。機器室にはVCB・接地開閉器付断路器（EDS）・線路用接地開閉器（ES）・避雷器（SAR）を、母線室には母線用EDS及び主回路母線を収納した。

(1) VCB VCBには真空中でのアークを最適化し優れた遮断性能を有した小形の新型縦磁界方式VIを採用した。今回採用したVIは、内部の電界分布の最適化、電極の縦磁界強度の強化などの見直

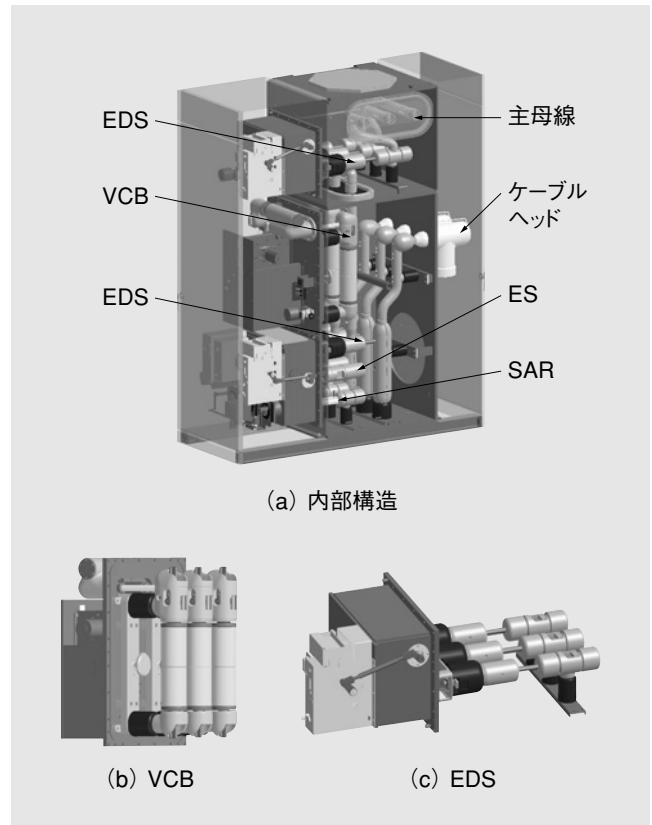
第2表 定格事項

72kVエコC-GIS及び24kVエコC-GISの定格事項を示す。

機器名	項目	定格値		
C-GIS	定格電圧 (kV)	72	24	
	定格耐電圧	商用周波 (kV)	140	50
		雷インパルス (kV)	350	125
	定格電流 (A)	800/1200	600/1200	
	定格短時間耐電流 (s)	25/31.5kA-2.0s	25kA-1.0s	
	絶縁媒体	乾燥空気		
	定格圧力	0.16MPa G	0.10MPa G	
	適用規格	JEM 1425, JEC-2350	JEM 1425	
VCB	定格電圧 (kV)	72	24	
	定格電流 (A)	800/1200	600/1200	
	定格遮断電流 (kA)	25/31.5	25	
	定格遮断時間(サイクル)	3	5	
	操作方式	電動ばね投入, ばね遮断		
	適用規格	JEC-2300		
EDS	定格電圧 (kV)	72	24	
	定格電流 (A)	800/1200	600/1200	
	定格短時間耐電流	25/31.5kA-2.0s	25kA-1.0s	
	操作方式	断路器	電動/手動	
		接地開閉器	手動	
適用規格	JEC-2310			
ES	定格電圧 (kV)	72	24	
	定格短時間耐電流	25/31.5kA-2.0s	25kA-1.0s	
	操作方式	電動ばね	手動	
	適用規格	JEC-2310		
SAR	定格電圧 (kV)	84	28	
	公称放電電流 (kA)	10	10	
	開閉サージ放電耐量クラス	C	D	
	適用規格	JEC-2373		

して、VI径で従来比88%とした。加えて、VI外表面に絶縁被覆による複合絶縁方式を採用することで、従来と同等の盤幅でVCBを内蔵することができた。第5図に従来形VIとの比較を示す。

操作装置は、数多くの納入実績（10年、1000台以上）がある信頼性の高い三相一括電動ばね操作方式を適用した。主回路部とばね操作機構は、一枚の取り付け板の両面に組み合わせた構成とし、

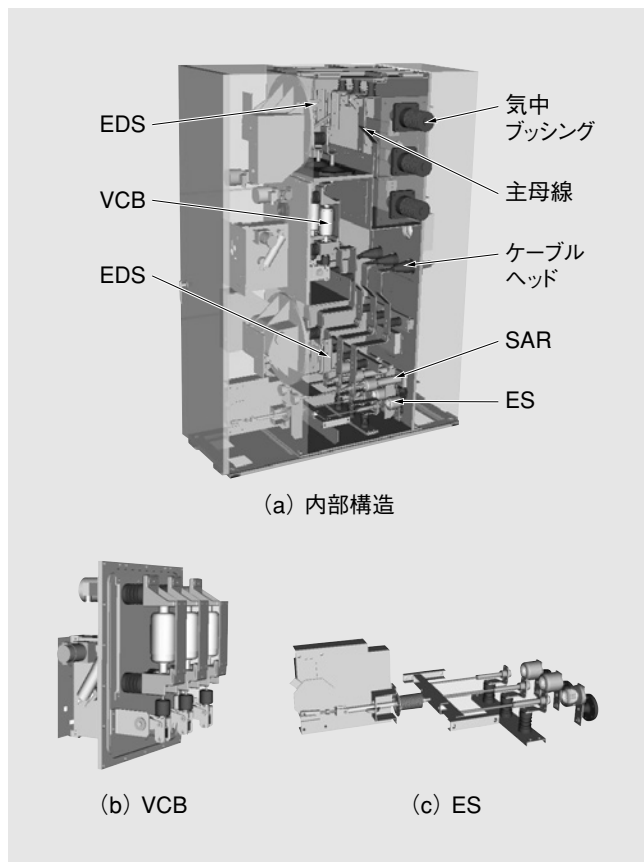


第4図 72kVエコC-GIS受電盤構造図
受電盤の内部構造・VCB・EDSを示す。



第5図 従来形VIとの比較

VI内部の電界分布の最適化と電極の縦磁界強度の強化によって、VI径で従来比88%を実現した。



第6図 24kVエコC-GIS受電盤構造図
受電盤の内部構造・VCB・ESを示す。

万一の場合を考慮して、容器から前面に引き出せる構造とした。

(2) EDS 断路器・接地開閉器の構造は、絶縁性能の安定性・通電性能確保を配慮して直線切り方式を採用した。また部分的な複合絶縁を使用して小形化を図り、従来と同等の大きさとした。

(3) SAR SARは、酸化亜鉛（ZnO）素子を使用したギャップレスアレスタを採用した。ギャップレスアレスタは、優れたサージ吸収能力を有し、C-GIS全体との絶縁協調をとっている。

4.2 24kVエコC-GIS

24kVエコC-GISは、2005年に初号器を納入してから現在まで約280面の納入実績がある。第6図に受電盤構造図を示す。気中計量計器用変成器（VCT）盤との取り合い部には気中ブッシングを採用した。VCBには、改良を加えたCu-Cr系電極

材を使用したVIを採用した。耐溶着性能・遮断性能・絶縁性能が向上し、VCB操作装置の低操作力化が可能となった。またEDSは、断路器形状の最適化を図り、現行のSF₆ガス絶縁方式のC-GISで実績のある3位置（接地・断路・接続）ブレード方式を採用した。その他機器構成及び特長は、72kVエコC-GISと同様である。

5. む す び

以上、内部導体などの配置の最適化・部分複合絶縁技術などによって、温室効果ガスを使用しないエコC-GISを現行のSF₆ガス絶縁方式のC-GISと同等の大きさで製品化した。またライフサイクルコスト（LCC）の低減も含め、エコC-GISの適用拡大が期待される。

今後もこのような製品を開発することで、地球温暖化防止・環境負荷低減に寄与していく所存である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



小林 徹 Toru Kobayashi
スイッチギヤの開発設計に従事



山本和磨 Kazuma Yamamoto
スイッチギヤの設計に従事



縣 祐介 Yusuke Agata
スイッチギヤの開発設計に従事