

# 72/84 kV 固体絶縁スイッチギヤ

## 72/84 kV-Class Solid-Insulated Switchgear

竹井 義博      多賀谷 治      佐藤 純一

■ TAKEI Yoshihiro      ■ TAGAYA Osamu      ■ SATO Junichi

定格電圧72/84 kVのスイッチギヤでは、六フッ化硫黄 (SF<sub>6</sub>) ガスを使用したキュービクル形ガス絶縁スイッチギヤ (C-GIS: Cubicle Type Gas Insulated Switchgear) が採用されていた。しかし、1997年12月に開催された地球温暖化防止京都会議 (COP3) において、SF<sub>6</sub> ガスが排出抑制対象ガスの一つとして指定されたため、このガスを使用しない72/84 kVのスイッチギヤが望まれていた。

東芝は、SF<sub>6</sub> ガスを使用しない環境調和型のスイッチギヤとして、24/36 kVに続き、72/84 kVの固体絶縁スイッチギヤ (SIS: Solid Insulated Switchgear) を製品化した。このSISは、SF<sub>6</sub> ガスフリーであるとともに、絶縁媒体にガスを使用しないためガス管理が不要になるなどの保守の省力化や、変電所のリニューアルなどを考慮したコンパクト化を図ったスイッチギヤである。

Cubicle type gas-insulated switchgears (C-GISs) using sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) as a gaseous dielectric medium have been widely applied as 72/84 kV-class switchgears for electric power transmission systems. However, as SF<sub>6</sub> is listed as one of the quantified emission limitation and reduction objectives in the Kyoto Protocol adopted at the Third Session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP3) in December 1997, demand has been growing for 72/84 kV-class switchgears that do not use SF<sub>6</sub>.

With this as a background, Toshiba has developed and released an SF<sub>6</sub>-free 72/84 kV-class solid-insulated switchgear (SIS), following its previous launching of a 24/36 kV-class model for power distribution systems. The newly developed SIS is an environment-conscious product that offers not only easier maintenance without the need to exchange SF<sub>6</sub> or other insulation gases, but also greater compactness taking the renewal of substations into consideration.

## 1 まえがき

電力の安定供給のために不可欠な製品のひとつであるスイッチギヤが1890年頃に誕生して以来、100年以上が経過した。この間、スイッチギヤの形態は、世の中のニーズへの対応と技術の進歩に応じて開放型から、ハウジング型、金属閉鎖型、密閉型へと変化し、更に、小型・大容量化、耐環境性の向上、環境調和、安全性の向上、及び省メンテナンス化が図られてきた。

スイッチギヤの形態が大きく変化し発展してきたのは、絶縁技術の向上によるところが大きい。これまで、スイッチギヤに適用されてきた主な絶縁方式は、気中絶縁方式から、気中絶縁とバリヤや被覆絶縁とを組み合わせた複合絶縁方式、六フッ化硫黄 (SF<sub>6</sub>) ガス絶縁方式へと変化し、絶縁耐力の向上とともに機器の小型化に貢献してきた。現在、72/84 kVのスイッチギヤの主流は、SF<sub>6</sub> ガスの優れた絶縁性能を利用したガス絶縁スイッチギヤ (C-GIS: Cubicle Type Gas Insulated Switchgear) である。

SF<sub>6</sub> ガスは無毒、無臭、不活性、不燃性の気体で、絶縁耐力と消弧能力が実用上もっとも優れていることから、受変電機

器の絶縁媒体や消弧媒体として幅広く使用されている。また、非常に安定した気体であり、大気寿命<sup>(注1)</sup>は3,200年と長い。しかし、赤外線吸収量が大きいため、地球温暖化係数 (GWP) が二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) ガスの23,900倍と大きく、1997年に開催された地球温暖化防止京都会議 (COP3) において、排出抑制対象ガスの一つに指定された。このことから、SF<sub>6</sub> ガスを使用しない環境調和型スイッチギヤの製品化が望まれていた<sup>(1)~(5)</sup>。

このような背景から、東芝はSF<sub>6</sub> ガスを使用しないスイッチギヤとして、2002年に24 kVの固体絶縁スイッチギヤ (SIS: Solid Insulated Switchgear)<sup>(6)</sup>を、また2004年には36 kV-SIS<sup>(7)</sup>を製品化した。これらのSISは、SF<sub>6</sub> ガスより絶縁性能が優れるエポキシ樹脂で、真空バルブを含む主回路部をモールドすることにより構成したものである。主絶縁媒体となるエポキシ樹脂は、信頼性の高い注型品とするために、耐熱性、靱性 (じんせい)、及び機械的強度を向上させた樹脂である<sup>(8)</sup>。

当社は今回、24 kV及び36 kVに続き、72 kV及び84 kVのSISを製品化した。ここでは、72/84 kV SISの特長とそれを実現した技術について述べる。

(注1) 分解されずに大気中にとどまる寿命。

## 2 72/84 kV SISの概要

### 2.1 構造と仕様

72/84 kV SISの代表的な構造を図1に、主な仕様を表1に示す。

断路器 (DS) 本体と遮断器 (CB) 本体には真空絶縁を採用し、DSとCBの真空バルブを含む主回路導体をエポキシ樹脂でモールドすることで、SF<sub>6</sub>を使用しない環境調和型スイッチギヤを実現した。更に、主回路機器の最適配置により小型化を、また完全相分離と外層シールドにより安全性の向上を実現した。

### 2.2 特長

72/84 kV SISの特長は次のとおりで、環境との調和のためSF<sub>6</sub>ガスを使用しないことに加えて、変電所のリニューアルなどを考慮したコンパクト化と保守の省力化などである。

- (1) 環境調和
  - (a) 主回路の固体絶縁化
  - (b) DSとCBの真空絶縁化による脱SF<sub>6</sub>化

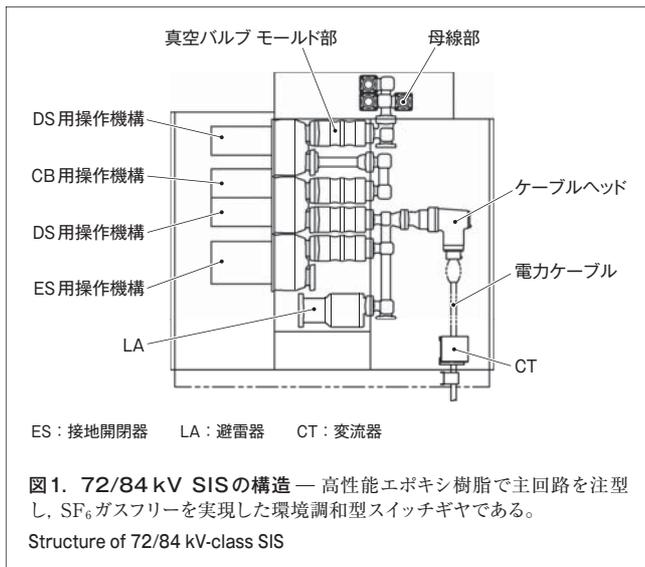


表1. 72/84 kV SISの仕様

Specifications of 72/84 kV-class SIS

項目	仕様	
	72 kV SIS	84 kV SIS
定格電圧 (kV)	72	84
定格耐電圧	雷インパルス (kV)	350
	商用周波数 (kV)	400
商用周波数 (Hz)	140	160
定格周波数 (Hz)	50/60	
定格母線電流 (A)	800/1,250	
定格短時間耐電流 (kA)	25/31.5	
適用規格	JIS, JEC, JEM	

JIS : 日本工業規格  
JEC : 電気学会 電気規格調査会標準規格  
JEM : 日本電機工業会規格

- (2) コンパクト化 主回路機器の小型化と回路構成の最適化によるコンパクト化
- (3) 安全性 主回路の相分離と外層シールドの採用による相間短絡故障の抑制
- (4) 保守の省力化
  - (a) 固体絶縁による主回路密閉化で品質の長期維持
  - (b) 新操作機構による部品点数の削減

## 3 72/84 kV SISの絶縁技術

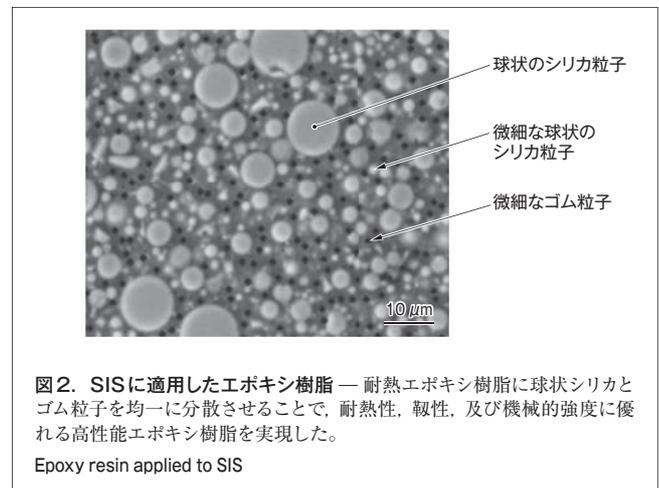
### 3.1 高性能エポキシ注型樹脂

当社は、2002年に24 kV SISを製品化したとき、優れた絶縁特性を持つエポキシ注型樹脂を開発した<sup>(6)</sup>。この材料は、耐熱エポキシ樹脂に粒径の異なる球状シリカとゴム粒子を充填し、更に、それらを均一に分散させることで、耐熱性、靱性、及び機械的強度を向上させたものである(図2)。これにより、エポキシ樹脂と線膨張率が大きく異なるセラミックを絶縁容器に用いている真空バルブを直接モールドできるようにした。

### 3.2 絶縁層に欠陥を内在させない注型技術

3.1節で述べた高性能エポキシ注型樹脂は、72/84 kV SISで必要とする材料特性を満足しているが、24/36 kV SISと比較すると、エポキシ注型樹脂による絶縁層に加わる電界(単位距離当たりの電圧)が高くなると、絶縁層に内在する微小な欠陥でも部分放電が発生しやすく、絶縁破壊に至る可能性が高くなる。絶縁層中の欠陥の大きさと電圧が部分放電の発生に与える影響(計算値)を図3に示す。

絶縁層に内在する欠陥としては、エポキシ注型樹脂中の泡や、高電圧部分とエポキシ注型樹脂の界面の剝離などが挙げられる。特に、SISは、金属やセラミックスなどで構成される真空バルブの外周にエポキシ注型樹脂の絶縁層を設ける必要があり、真空バルブとエポキシ注型樹脂の界面の剝離を防ぐ必要がある。



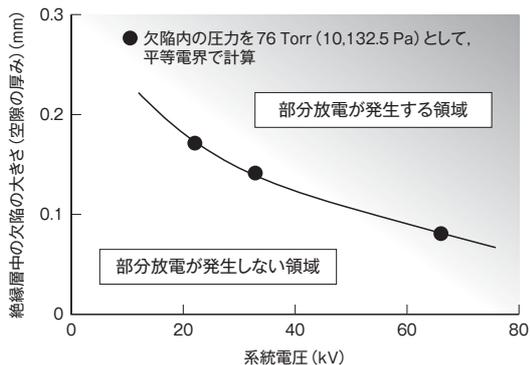


図3. 電圧と欠陥の大きさが部分放電の発生に与える影響 — 電圧が高くなるにつれ、絶縁層中に内在する微細な欠陥により部分放電が発生しやすくなる。

Effects of void size and applied voltage on inception of partial discharge

72/84 kV SISは更なる小型化により高電界化しているため、24/36 kV SISでは絶縁性能に影響を及ぼさない微小な空隙が、72/84 kV SISでは欠陥となる場合がある。このため、注型を行う際に必要な様々な条件の最適化を図り、72/84 kVの電圧クラスでも十分な絶縁性能を確保できる注型条件を確立した。これにより、複雑な形状であるCBやDSの真空バルブを直接モールドすることが可能になり、72/84 kV SISの製品化を実現した。

### 3.3 真空バルブの小型化技術

72/84 kV SISのキーコンポーネントであるCBとDSは、真空中で主回路を開閉する真空バルブを採用し、エポキシ樹脂で直接モールドする構成とした。今回製品化した72/84 kV SISのCB及びDS用真空バルブの外形を、当社製の72/84 kV C-GIS (GF形) で採用しているCB用真空バルブと比較して図4に示す。SIS用の真空バルブは、容積が従来のC-GISに



図4. 72/84 kVのSIS用及びC-GIS用真空バルブの外形比較 — SISに適用している真空バルブは、GF形C-GISに適用しているCB用真空バルブに比べ、約25%の小型化を実現した。

Comparison of vacuum valves for SIS and C-GIS

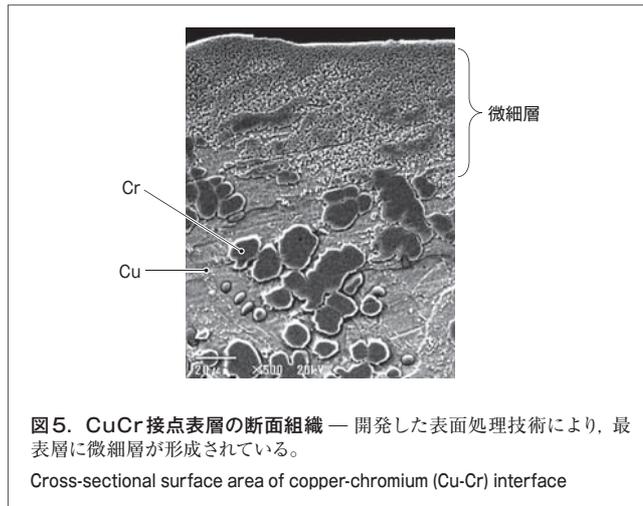


図5. CuCr接点表層の断面組織 — 開発した表面処理技術により、最表層に微細層が形成されている。

Cross-sectional surface area of copper-chromium (Cu-Cr) interface

比べて約25%縮小された。

小型化を実現した技術の一つとして、真空バルブ内の接点間の絶縁性能向上が挙げられる。真空バルブの接点材料には高耐圧用接点であるCuCr (銅クロム) 接点を用いており、その絶縁特性を向上させることが真空バルブの小型化につながることから、接点の表面を微細化する表面処理技術を開発し、絶縁性能を向上させた。この表面処理を施すことで、GF形C-GIS用の接点と比較し、絶縁性能は1.2~1.4倍に向上した。この表面処理技術により微細化した接点表層の断面組織を図5に示す。

## 4 72/84 kV SISの構成例

絶縁特性の向上などにより、真空バルブを小型化するとともにモールドバルブなどの注型品も小型化し、機器の水平配置や段積みによる最適配置が可能となって、スイッチギヤのコンパクト化を実現した。72/84 kV SISの受電盤の構成例を図6に示す。

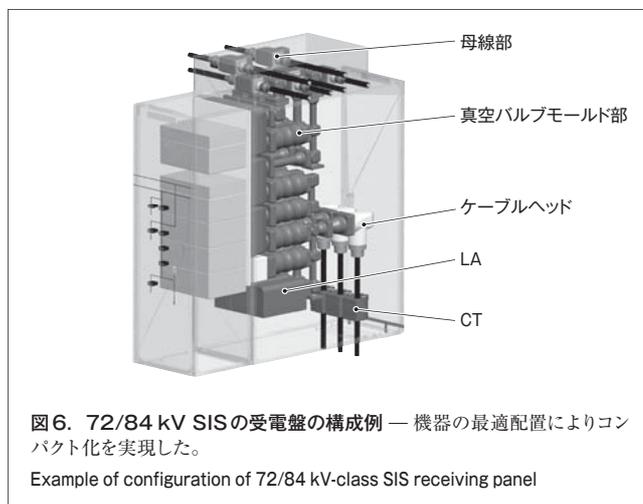


図6. 72/84 kV SISの受電盤の構成例 — 機器の最適配置によりコンパクト化を実現した。

Example of configuration of 72/84 kV-class SIS receiving panel

特別高圧需要家の受電部に採用されている受電方式の系統図の一例を図7に、その外形寸法例を図8に示す。図7の系統は、本線と予備線の2回線で電力会社から受電し、VCT（計器用変成器（電力需用用））とそのバイパス回路を経由し、

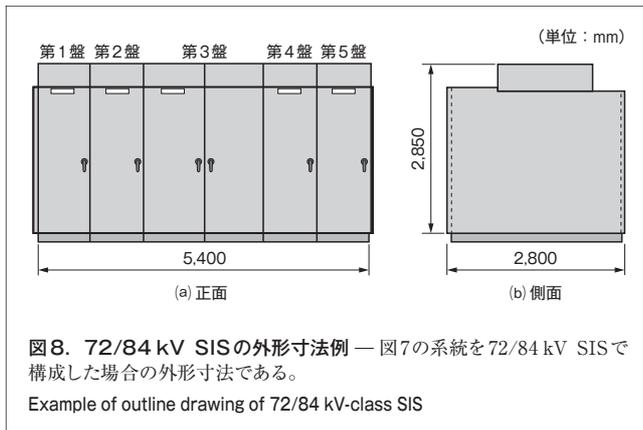
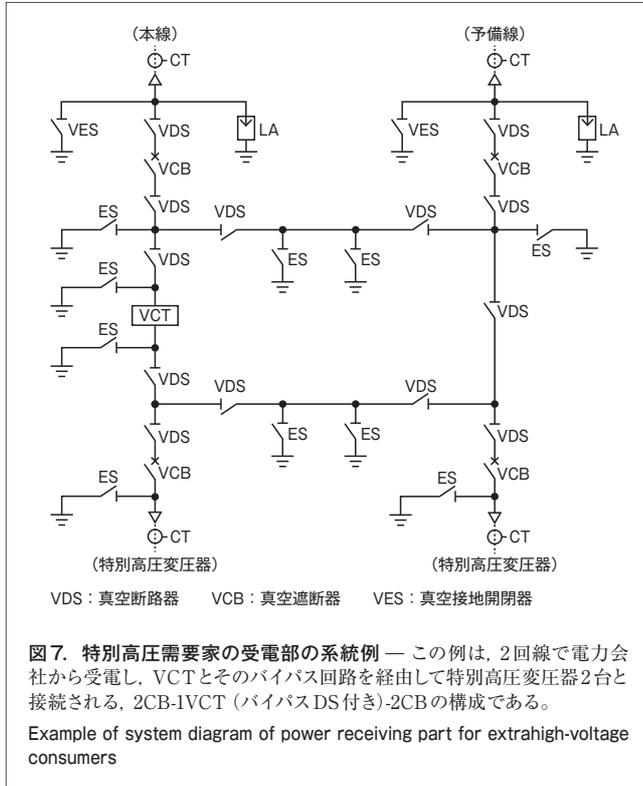


表2. 72/84 kVのSISとC-GISの比較  
Comparison of specifications of 72/84 kV-class C-GIS and SIS

項目	72/84 kV SIS	72/84 kV C-GIS
SF <sub>6</sub> ガス使用量 (kg)	0	136
設置面積 (m <sup>2</sup> )	15.12	19.76
容積 (m <sup>3</sup> )	42.3	49.4

\*1：構成は本線-予備線受電2CB-1VCT（バイパスDS付き）-2CBとする  
\*2：C-GISは東芝GF形C-GISを指す  
\*3：VCTは油絶縁方式とする

特別高圧変圧器2台と接続される2CB-1VCT（バイパスDS付き）-2CBの構成である。

このような構成の72/84 kV SISとGF形C-GISの比較を、表2に示す。72/84 kV SISは、SF<sub>6</sub>ガスを使用しないことに加え、設置面積で23%、容積で14%の低減を実現した。

## 5 あとがき

当社は、排出抑制対象ガスであるSF<sub>6</sub>ガスを使用しないコンパクトなスイッチギヤとして、24/36 kV SISに引き続き72/84 kV SISを製品化した。

今後も技術開発に取り組み、信頼性と安全性の向上を図るとともに、環境との調和を考慮した製品開発を行っていく。

## 文献

- 六戸敏昭 他. "高気圧N<sub>2</sub>ガス絶縁による24kV C-GISの開発". 平成15年電気学会全国大会. 仙台, 2003-03, 電気学会. 2003, p.353-354.
- 佐藤伸治 他. 脱SF<sub>6</sub>ガス形24kV開閉装置に搭載の多機能真空バルブ向け真空絶縁技術の開発. 電気学会論文誌B. 123, 4, 2003, p.442-449.
- 佐藤伸治 他. SF<sub>6</sub>ガスフリーの新型24kVスイッチギヤ. 電気評論. 86, 3, 2001, p.19-22.
- Sato, J. et al. "New Technology for Medium Voltage Solid Insulated Switchgear". Proc. of IEEE/Power Engineering Society (PES) Transmission and Distribution (T&D) Conference and Exhibition. Yokohama, 2002-10, IEEE PES. 2002, p.1791-1796.
- Shiomi, T. et al. "Investigation of Dielectric Breakdown Probability Distribution for Vacuum Disconnecting Switch". Proc. of IEEE/PES T&D Conference. Yokohama, 2002-10, IEEE PES. 2002, 1780-1785.
- 佐藤純一 他. 地球環境に配慮した24 kV 固体絶縁スイッチギヤ. 東芝レビュー. 58, 12, 2003, p.66-69.
- 藤井茂良 他. 24/36 kV 固体絶縁スイッチギヤ. 東芝レビュー. 59, 12, 2004, p.56-59.
- Shimizu, T. et al. "Material and Simulation Technology for Solid Insulated Switchgear". Proc. of the 7th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials. Nagoya, 2003-06, IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society. 2003, p.1194-1197.



竹井 義博 TAKEI Yoshihiro

コミュニティ・ソリューション社 コミュニティ・ソリューション事業部 技術第三部グループ長。受変電設備のエンジニアリング業務に従事。電気設備学会会員。  
Community Solutions Div.



多賀谷 治 TAGAYA Osamu

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 スイッチギヤ部主務。スイッチギヤの開発に従事。  
Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



佐藤 純一 SATO Junichi

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 電力蓄電ソリューション・配電システム開発部主幹。真空バルブ及び固体絶縁スイッチギヤの研究・開発に従事。電気学会会員。  
Power and Industrial Systems Research and Development Center