

地球環境に配慮した 24 kV 固体絶縁スイッチギヤ

24 kV Solid-Insulated Switchgear Conforming with Environmental Requirements

佐藤 純一 阪口 修 宮川 勝

SATO Junichi

SAKAGUCHI Osamu

MIYAGAWA Masaru

これまで、定格電圧 24 kV クラスのスイッチギヤでは、六フッ化硫黄 (SF₆) ガスの優れた絶縁性能を使用したガス絶縁スイッチギヤ (C-GIS) が主流となっている。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、SF₆ ガスは排出抑制対象ガスの一つとして指定された。このため、SF₆ ガスを使用しないスイッチギヤが望まれていた。

このような背景から東芝は、SF₆ ガスをまったく使用せず C-GIS より小型・軽量化を実現した環境調和型の新しいタイプの 24 kV 固体絶縁スイッチギヤ (SIS) を開発した。

Toshiba has developed various medium-voltage switchgears up to now to meet the demands for environmental friendliness, size reduction, and improved safety and reliability. The use of the cubicle type gas-insulated switchgear (C-GIS) contributed to the minimization of size because of the higher dielectric strength of SF₆. However, SF₆ was placed on the list of greenhouse gases under the Kyoto Protocol in 1997.

We have therefore developed a new 24 kV solid-insulated switchgear (SIS) that uses no SF₆ and conforms with environmental requirements.

1 まえがき

社会インフラである電力の安定供給のために必要不可欠な製品の一つであるスイッチギヤは、1890 年ころに開放型が誕生して以来、既に 100 年以上が経過している。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進歩に応じて、開放型 ハウジング型 金属閉鎖型 密閉型へと変化し、小型・大容量化、耐環境性向上、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。

現在、定格電圧 24 kV 以上のスイッチギヤの主流は、SF₆ ガスの優れた絶縁性能を使用した密閉型ガス絶縁スイッチギヤ (C-GIS) である。SF₆ 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、6.6 kV の高電圧から 1,000 kV の超高電圧機器の絶縁媒体、消弧媒体として幅広く使用されている。その反面、非常に安定した気体であり大気寿命は 3,200 年と長く、赤外線吸収量も大きいため、地球温暖化係数 (GWP) が二酸化炭素 (CO₂) ガスの 23,900 倍と大きいことから、97 年 12 月に開催された COP3 において排出抑制対象ガスの一つとして指定された。このため、SF₆ ガスを使用しない環境調和型のスイッチギヤが望まれていた⁽¹⁾。

このような背景から東芝は、2002 年に 24 kV 固体絶縁スイッチギヤ (SIS) を開発した⁽²⁾。SIS は SF₆ ガスをまったく使用せず、C-GIS より小型・軽量化を実現し、更に、省メンテ

ランス化や、安全性と信頼性の向上を図った環境調和型の新しいタイプのスイッチギヤである。ここでは、SIS の概要と SIS を実現した新技術について述べる。

2 SIS の概要

SIS の開発コンセプトを表 1 に示す。開発のポイントとして SF₆ ガスフリーは当然であるが、変電所のリニューアルなどを考慮して、小型・軽量化や保守の省力化を図った。

SIS の仕様を表 2 に、外観及び代表的な構造を図 1 に示す。中電圧クラスに適用されている遮断器は、真空絶縁を適用

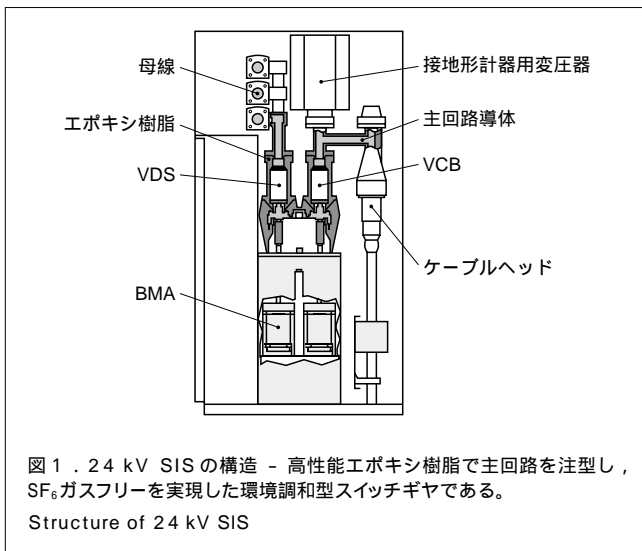
表 1 . 開発コンセプト
Development concept

項目	内容
環境調和	・主回路の固体絶縁化 ・断路器・遮断器の真空絶縁化による SF ₆ ガスフリーの実現
小型・軽量化	・高性能エポキシ樹脂の開発 ・主回路構造の簡素化 ・相分離外層シールドの採用による小型・軽量化の実現
安全性、信頼性	・相分離外層シールドの採用による短絡故障の抑制
保守の省力化	・主回路の固体絶縁化 ・外層シールドの採用 ・構造簡素化した新操作機構の開発による部品点数の大幅削減 ・点検作業の簡素化を実現

表 2 . SIS の仕様
Specifications of 24 kV SIS

項目		仕様
定格電圧		24 kV
定格耐電圧	雷インパルス	125 kV(DS極間 : 145 kV)
	商用周波	50 kV(DS極間 : 60 kV)
定格周波数		50/60 Hz
定格電流		630/1,250 A
定格母線電流		630/1,250 A
定格短時間耐電流		25 kA
適用規格		JIS , JEC , JEM , IEC

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
IEC : 国際電気標準会議規格



した真空遮断器(VCB)が主流であるが , 今回初めて , 断路器(DS)にも真空絶縁を適用した真空断路器(VDS)を採用した。VCB , VDS を含む主回路導体は , 今回開発した高性能エポキシ樹脂で注型することにより , SF₆ ガスフリーを実現した。更に , 主回路構造を簡素化し , 相分離外層シールドを採用することにより , 小型・軽量化を図り , 短絡故障の抑制と感電防止などの安全性を向上させた。また , 新操作機構として , 構造を簡素化したバランス型電磁操作機構(BMA)を開発し , 機構部の部品点数を大幅に削減することで , 信頼性の向上と保守の省力化を図った。

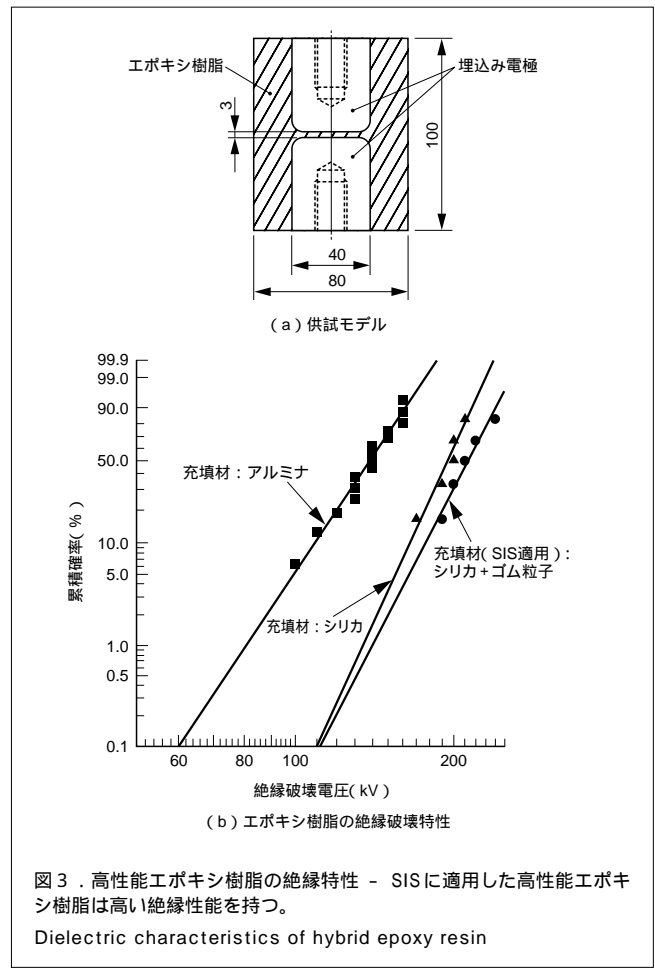
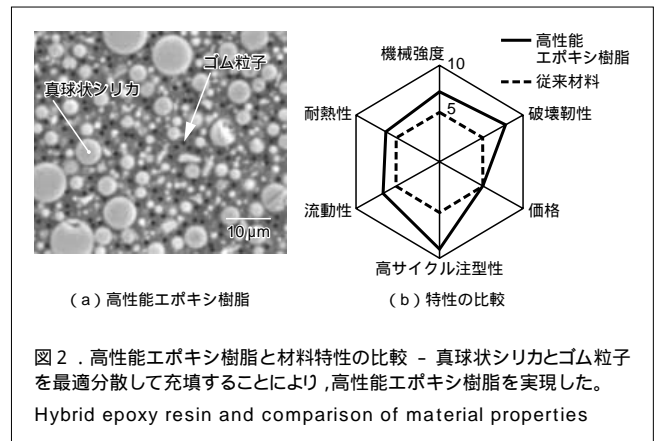
3 SIS を実現した新技術

3.1 絶縁材料・注型技術

SIS を構成する高性能エポキシ樹脂は , 高強度材料設計手法とポリマーアロイ(異種ポリマーのブレンド) という手法を高度に融合した樹脂である。材料の顕微鏡モデルと従来材料との特性比較(当社比) を図 2 に示す。耐熱エポキシ樹脂成分に粒径の異なる真球状シリカを細密充填(じゅうてん)

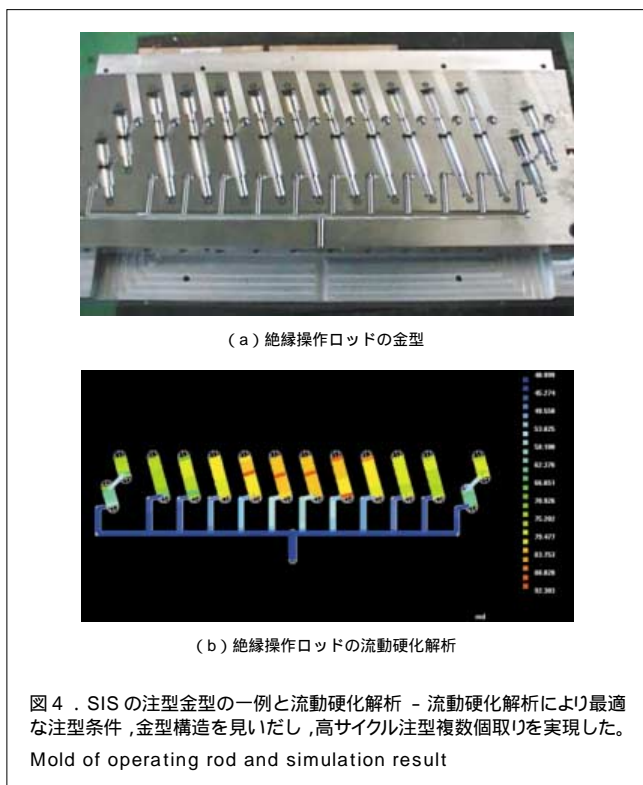
することにより , 高強度 , 高耐熱性と , 製造プロセスに必要な高流動性を実現し , 更に , ゴム粒子を最適分散することにより , 破壊靱性(じんせい) や耐クラック性を向上させた。これにより , エポキシ樹脂と線膨張率が大きく異なるセラミックを絶縁容器として用いている真空バルブを直接注型することが可能となり , 構造材 , 絶縁材として信頼性の高いエポキシ樹脂を実現した⁽³⁾。

絶縁破壊特性を図 3 に示す。供試モデルは電極間距離を



3 mmとした電極をエポキシ樹脂で成型した。図3は、充填材としてアルミナを用いたもの⁽⁴⁾とシリカのみを用いたものとを比較した。シリカとゴム粒子を充填材としたSIS適用のエポキシ樹脂の絶縁性能は、アルミナ充填材より約1.5倍、シリカのみを充填材よりも約1.1倍高い性能である。このように、絶縁性能においても非常に高い性能を持つ材料である。

SIS用絶縁物の製造は、生産性と信頼性を向上させるために、約30分の時間で複数個の注型品を一度に注型することができる、当社独自の高サイクル注型法を適用した。SISの注型金型と流動硬化解析の一例を図4に示す。高品質の絶縁物を製造するためには、注型条件と金型構造が重要なファクターである。これらの最適値は、注型プロセス中の樹脂の流れと硬化反応状態を可視化した流動硬化解析により求めた。図4はSISの注型品のなかでも多数個取りである絶縁操作ロッドの金型と解析例であるが、このように複数個の注型品を短時間で一度に製造することが可能となり、従来に比べて約10倍以上の生産性で製造することが可能となった。

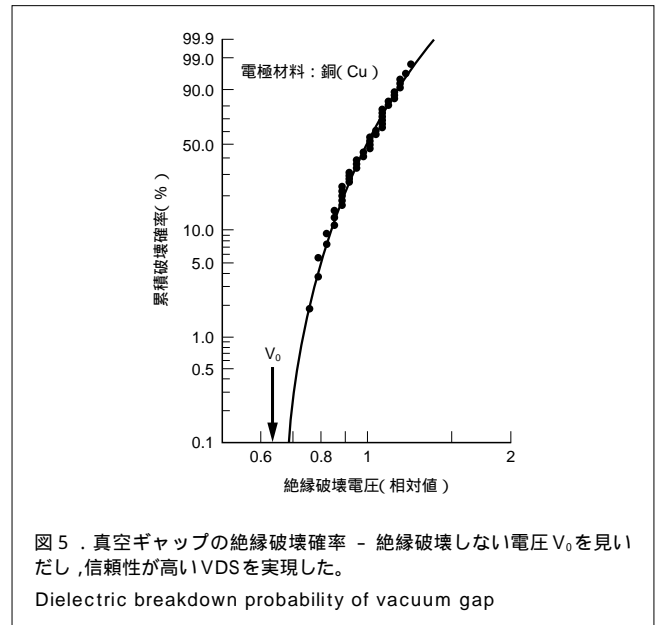


3.2 真空絶縁技術

DSの主要性能はより確実な電源の切り離しであり、高い絶縁信頼性と安全性が要求される。このため、DSは遮断器と比較して絶縁レベルが15%高く規定されている。SF₆ガスDSより絶縁性能が高くコンパクトなVDSを実現するためには、真空中の絶縁破壊確率の低い領域が重要となる。

真空ギャップの絶縁破壊確率をワイブル分布で表した一例

を図5に示す。DSを設計するうえで必要な電極形状、電極材料、開閉条件について体系的に調査し、真空中の破壊電圧は図5に示すような絶縁破壊確率がゼロとなる電圧 V_0 が存在するワイブル分布で表すことができることを明らかにした⁽⁵⁾。この V_0 を絶縁設計に導入することにより、絶縁信頼性が高く合理的な絶縁設計が可能となり、世界で初めてエポキシ樹脂で成型したVDSを実現した。



3.3 界面接続技術

主回路導体を固体絶縁物でモールドして構成するSISは、気体中で自由に導体を配線することができる気中絶縁スイッチギヤやC-GISと異なり、フレキシビリティのない固体絶縁物を適用するため、いかに多様な系統構成に対応できるようにするかがキーポイントである。そこで、要素機器ごとに分割して注型し、各エポキシブロックの取合いの形状を標準化することで、必要な要素機器を任意に組み合わせて構成でき、少ないブロックで自由な回路構成を実現した。エポキシブロック間の接合部の絶縁には、シリコンゴムを圧縮して接続する界面絶縁構成を採用した。エポキシブロック間の接続構成を図6に示す。各エポキシブロック間にはシリコンゴムを挿入して接続する構成である。このエポキシ/ゴム界面の絶縁設計には、界面の圧力分布解析と電界解析を用い、接続部形状の縮小化を図った。

3.4 操作機構技術

永久磁石とソレノイドコイルの磁力とばね力とのバランスをコントロールすることにより動作するBMAを開発した。閉路動作は、永久磁石と同方向に磁束が発生するようにソレノイドコイルを励磁し、開路ばねによる開路保持力以上の吸引力を発生させて動作する。一方、開路状態は永久磁石の磁力によ

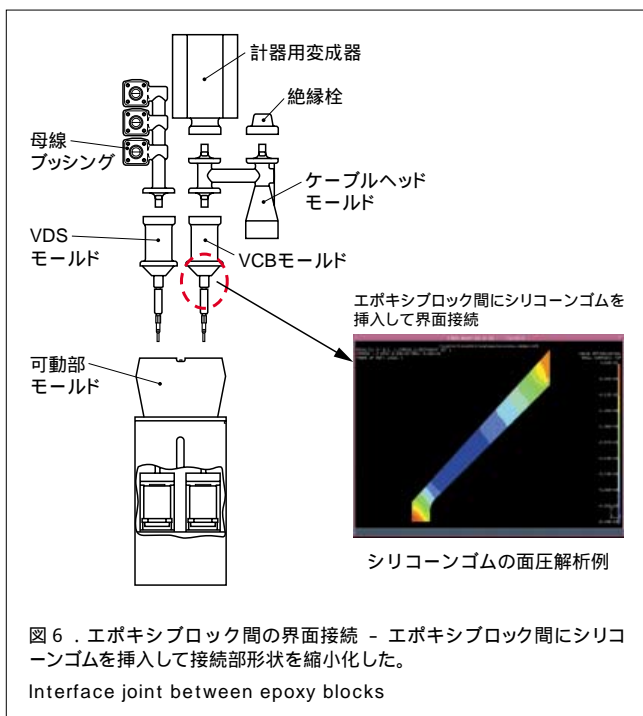


図6．エポキシブロック間の界面接続 - エポキシブロック間にシリコンゴムを挿入して接続部形状を縮小化した。
Interface joint between epoxy blocks

り保持し、開路動作の際にはソレノイドコイルを永久磁石による磁束と逆方向に励磁することにより、閉路保持している磁束を減少させ、開路ばねの弾性力により動作する。この操作機構により、従来に比べて約60%の部品点数を削減でき、高信頼性を維持しながら保守の省力化を図ることができた⁽⁶⁾。

4 従来機種との比較

環境調和、小型・軽量、省資源の観点で従来機種であるC-GISとSISを比較した結果を表3に示す。表3は当社製受電盤1面当たりの比較である。SISは、SF₆ガス使用量ゼロはもちろんのこと、質量半減、容積40%減、部品点数半減を実現した。また、一体輸送を行ったときの現地搬入のようすを図7に示す。このように、小型・軽量化が実現できたため、輸送における省力化も可能となった。

表3．SISとC-GISの比較
Comparison of SIS and G-GIS

項目	C-GIS	SIS
SF ₆ ガス使用量 (kg)	5	0
質量 (kg)	1,900	850
容積 (m ³)	2.7	1.7
部品点数 (点)	2,500	1,200

5 あとがき

SISは、SF₆ガスをまったく使用せず、C-GISより小型・軽



図7．輸送姿 - 小型・軽量化を図ったSISは一体輸送が可能である。
Scene of SIS transportation

量化を実現し、更に、省メンテナンス化や、安全性と信頼性の向上を図った環境調和型の新しいタイプのスイッチギヤである。今後も、環境に対する市場のニーズに対応した製品開発を行い、順次シリーズの拡大を図っていく。

文献

- (1) 次世代送変電機器のガス絶縁方式調査専門委員会．SF₆の地球環境負荷とSF₆混合・代替ガス絶縁．電気学会技術報告．841, 2001, p.3 - 11．
- (2) SATO, J., et al. "New Technology for Medium Voltage Solid Insulated Switchgear". Proceedings of IEEE/PES Transmission and Distribution Conference. Yokohama, 2002, p.1791 - 1796.
- (3) SHIMIZU, T., et al. "Material and Simulation Technology for Solid Insulated Switchgear". Proceedings of the 17th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials. Nagoya, 2003, p.1194 - 1197.
- (4) 青柳浩邦,ほか."GISスペーサ内部モデルの長時間V-t特性".電気学会論文誌B.117,2,1997,p.210-215.
- (5) SHIOIRI, T., et al. "Investigation of Dielectric Breakdown Probability Distribution for Vacuum Disconnecting Switch". Proceedings of IEEE/PES Transmission and Distribution Conference. Yokohama, 2002, p.1780 - 1785.
- (6) 家入一郎,ほか."環境に調和し,信頼性に優れた電鉄向け受変電システム".東芝レビュー.58,9,2003,p.30-34.



佐藤 純一 SATO Junichi

電力・社会システム社 府中電力・社会システム工場 スイッチギヤ部主務。密閉型スイッチギヤの開発・設計に従事。電気学会会員。

Fuchu Operations · Industrial and Power Systems & Services



阪口 修 SAKAGUCHI Osamu

電力・社会システム社 府中電力・社会システム工場 スイッチギヤ部主務。密閉型スイッチギヤの開発・設計に従事。電気学会会員。

Fuchu Operations · Industrial and Power Systems & Services



宮川 勝 MIYAGAWA Masaru

電力・社会システム社 府中電力・社会システム工場 スイッチギヤ部主査。密閉型スイッチギヤの開発・設計に従事。電気学会会員。

Fuchu Operations · Industrial and Power Systems & Services