

# 海外市場向け 36/40.5 kV 固体絶縁スイッチギヤ

## 36/40.5 kV Solid-Insulated Switchgear for Global Power Distribution Market

樽井 将邦

■ TARUI Masakuni

宮内 康寿

■ MIYAUCHI Yasuhisa

関森 裕希

■ SEKIMORI Yuki

1997年に開催された地球温暖化防止京都議定書 (COP3) において、絶縁媒体の六フッ化硫黄 (SF<sub>6</sub>) ガスが排出抑制対象ガスの一つに指定され、主要絶縁媒体として使用するスイッチギヤに対してもSF<sub>6</sub> ガスを使用しない製品のニーズが高まった。

東芝は、定格電圧 24 kV 及び 36 kV の固体絶縁スイッチギヤ (SIS) をそれぞれ 2002 年、2004 年に製品化し、それまで同クラスの主流であったキュービクル形 SF<sub>6</sub> ガス絶縁スイッチギヤ (C-GIS) を置き換える形で国内向けに着実に導入実績を重ねてきた。今回、これまでの実績に基づいて、海外の配電システム市場向けに海外の規格やシステムに対応するとともに構造を大幅に刷新することで従来型に比べて小型・軽量化を実現した、36/40.5 kV SIS を開発した。

Since sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) was listed as one of the targeted greenhouse gases under the quantified emission limitation and reduction objectives of 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 1997, demand has been growing for switchgears that do not use SF<sub>6</sub> gas as their main insulation medium.

Toshiba released 24 kV and 36 kV solid-insulated switchgears (SIS) in 2002 and 2004, respectively. Since then, we have been steadily installing these products as replacements for cubicle type gas-insulated switchgears (C-GIS), which were the leading products in medium-voltage systems in Japan. Based on this accumulated experience, we have now developed a 36/40.5 kV SIS for the global power distribution market. The newly developed SIS is compliant with the International Electrotechnical Commission (IEC) standards and has also been modified to meet various international requirements for power distribution systems. By completely reconsidering the structural design, we have succeeded in making the new SIS smaller and lighter than a conventional SIS.

## 1 まえがき

東芝は、国内市場向けとして 2002 年に SF<sub>6</sub> ガスをいっさい使用せず、従来の C-GIS から大幅な小型化を実現した 24 kV SIS を製品化し<sup>(1)</sup>、更に 2004 年に 36 kV SIS を製品化して<sup>(2)</sup>、国内で従来の C-GIS を置き換える形で着実に導入実績を積み重ねてきた。

海外の中電圧配電システムでも SF<sub>6</sub> ガスの代替が望まれていたが、代替の絶縁技術が確立せず、現実的には SF<sub>6</sub> ガスを使用しないとスイッチギヤの小型化が困難であった。また運用における経済性を考慮した場合、保守費用を削減するために、SF<sub>6</sub> ガスのリークを極力減らす (目標 0.1%) ように管理を強化するという方針が一般的になっていった<sup>(3)</sup>。

一方、これまで当社が開発した SIS は、海外規格に適合していない仕様が一部にあり、また海外の配電システムで要求されるレベルの遮断容量や通電性能を完全には満たしていなかった。

今回、中国や、欧州、中東などのグローバル市場をターゲットとして、これら市場での要求仕様を満足するとともに、IEC (国際電気標準会議) 規格や GB (中国法規) 規格などの海外規格にも対応した SIS を開発したので、その概要について述べる。

## 2 新型 SIS の概要

当社の SIS は、遮断器 (VCB) 本体と断路器 (DS) 本体に真空絶縁を採用し、断路器用と遮断器用の真空バルブを含む主回路導体を SF<sub>6</sub> ガスよりも絶縁性能に優れたエポキシ樹脂でモールドすることで、SF<sub>6</sub> ガスフリーを実現している。更に今回は、主回路構造の簡素化及び完全相分離に加え、外層シールドの採用により、小型・軽量化を図った。

新型 SIS は、これらの基本的な特長に加え、以下のコンセプトに基づいて開発した。

- (1) 海外規格への対応
- (2) 海外配電システムに対応した主回路及び機構への変更
- (3) 小型・軽量化
- (4) 遮断電流と通電能力の増大

従来型 SIS との外形寸法と質量の比較を表 1 に、新型 SIS の標準的な構造を図 1 に、その主要な仕様を表 2 に示す。表 1 のとおり、新型 SIS では従来型 SIS に対して大幅な小型・軽量化を実現した。

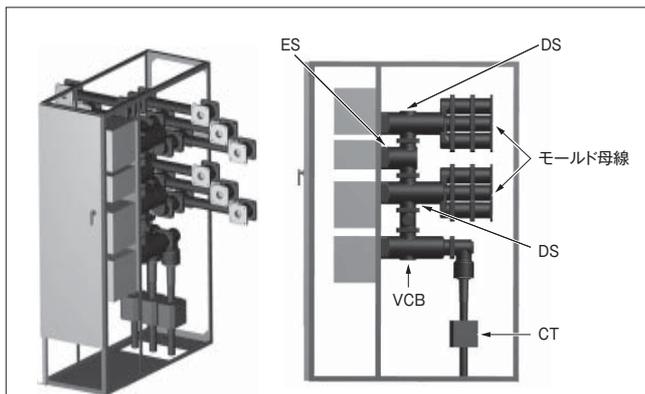
## 3 新型 SIS の開発項目

新型 SIS の開発にあたり、外形寸法を縮小し、更に様々なシ

表1. シングルバスフィーダ盤での36/40.5 kV SISの外形寸法と質量の比較

Comparison of dimensions and weights of conventional and newly developed 36/40.5 kV SIS

項目	新型SIS	従来型SIS
外形寸法 (mm)	600 (幅)×1,500 (奥行き)×1,900 (高さ)	800 (幅)×1,600 (奥行き)×2,000 (高さ)
質量 (kg)	1,500	1,750



ES: 接地開閉器 CT: 変流器

図1. 新型36/40.5 kV SISの標準的な構造 — ダブルバスパーシステムに対応したフィーダタイプである。

Standard structure of newly developed 36/40.5 kV SIS

表2. 新型36/40.5 kV SISの主な仕様

Main specifications of newly developed SIS

項目	仕様		
スイッチギヤ本体	定格電圧 (kV)	36	40.5
	定格電流 (A)	1,250, 2,000	
	定格商用耐電圧 (kV)	70	95
	定格雷インパルス耐電圧 (kV)	170	185
	定格周波数 (Hz)	50/60	50
	定格短時間耐電流 (kA)	31.5 (3 s)	31.5 (4 s)
	準拠規格	IEC 62271-200	GB 3906
母線方式	シングルバス/ダブルバス		
VCB	定格電圧 (kV)	36	40.5
	定格電流 (A)	1,250, 2,000	
	定格遮断容量 (kA)	31.5	
	クラス	E2, M2, C2	
準拠規格	IEC 62271-100	GB 1984	

システム構成に対応できるように、主回路部、操作機構部ともに従来型SISに対して大幅な設計変更を実施した。ここでは、その中で主要な変更点と検証結果について述べる。

### 3.1 注型品の複合化による部品点数の削減

従来型SISでは、VCBとDSのモールドバルブ部は、モールドバルブ本体と可動部モールドがそれぞれ別パーツの構造となっている(図2)。

このような構造では、主回路部を小さくしようとすると、モー

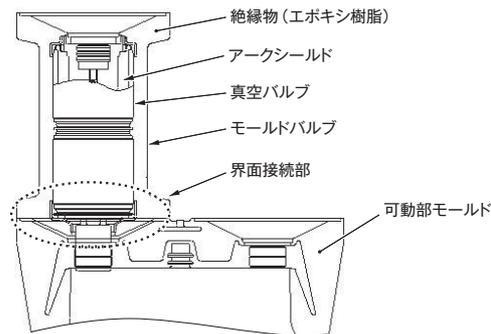


図2. 従来型SISのモールドバルブ部 — 可動部モールド部が大きく、質量も大きい。

Embedded vacuum interrupter of conventional SIS

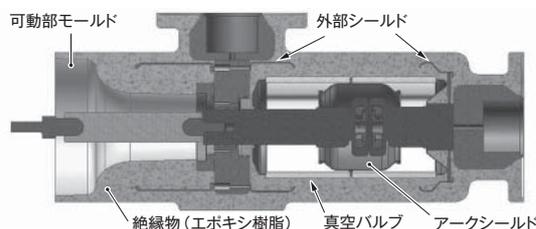


図3. 新型SISのモールドバルブ部 — 可動部と一体構造となり、従来よりも簡素でかつ小型化された。

Embedded vacuum interrupter of newly developed SIS

ルドバルブと可動部モールドの接続部の電界強度が高くなるため、小型化の阻害要因の一つになっていた。また、VCBとDSに加えて接地開閉器(ES)の可動部モールドも一体成形しているため、サイズ、質量ともに大きくなり、作業性の改善が課題であった。

これらを解決するため、モールドバルブと可動部モールドを一体構造とし、更にスイッチギヤとして最適な機器配置を実現するため、注型品は横置き構成とした。

可動部モールドを一体構造としたモールドバルブを図3に示す。モールドバルブ可動側の界面接続部がなくなったことにより、小型化できると同時に、可動部モールド注型用の大きな金型が不要になった。

これらの取組みにより、標準的なフィーダ盤構成において、従来型SISと比べ、注型品の数を2/3に削減できた(図4)。

## 3.2 最適設計による小型化

### 3.2.1 モールドバルブの小型化

高電圧化と小型化を両立させるためには、SISのキーパーツであるモールドバルブの耐電圧性能を向上させることが必要不可欠であり、そのためにはバルブ内にあるアークシールドの電位分担を適正化することが重要になる。その方法の一つとして、外部シールドを長くすることにより電位分担を適正にする手法があるが、発生

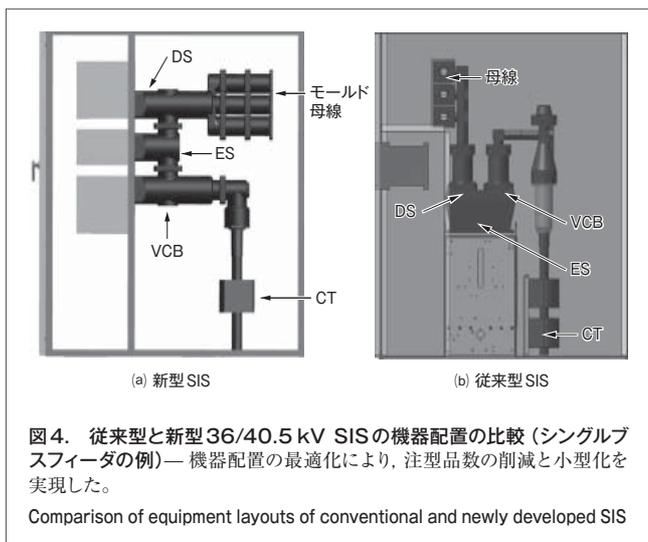


図4. 従来型と新型36/40.5 kV SISの機器配置の比較(シングルスフィューダの例) — 機器配置の最適化により、注型品数の削減と小型化を実現した。

Comparison of equipment layouts of conventional and newly developed SIS

する熱応力が大きくなり、製造過程での歩留り低下の原因の一つになるという課題があった。

そこで、電界解析と熱応力解析を用いて、外部シールドの形状をパラメータに、電界強度と熱応力のバランスを図る最適設計を実施した。熱応力解析の結果を図5に示す。

検討の結果、バルブ内のアークシールドの電位分担を固定側印加時と可動側印加時のいずれにおいても、従来型SISに対して向上させつつ最大熱応力値も管理値未満に抑えることで、モールドバルブの小型化を実現した。

**3.2.2 可動絶縁部の小型化** 小型化を図るうえで、開閉器の可動絶縁部を小さくすることも重要なポイントになる。そのため、外部シールドと気中沿面の形状をパラメータとして電界設計の最適化を行った。これにより従来型SISに対し、気中沿面距離をVCBとDSの可動絶縁部で2%、ES可動絶縁部で36%それぞれ縮小した。

### 3.3 主回路接続部の構造最適化

従来型SISの主回路接続部は、主に凹形導体と凸形導体を、スプリングコンタクトを介して接触させた構造になっている。この場合、凹形状と凸形状の2種類の界面を持つ注型品の組合せになり、SIS主回路を構成するうえで、金型を含め部品点数が多くなる要因となっていた(図6)。

そこで今回の開発においては、主回路接続部を一对の凹形状の導体を持つ注型品と、それらの間に挿入された樽(たる)状のコンタクトを電氣的に接続させる構造とした(図7)。

これにより、金型の共用化を図るとともに、注型品及び組立ての寸法誤差に対するロバスト性を向上させることができた。更に、短時間耐電流も40 kA (4 s) まで通電可能になり、大電流化も実現した。

### 3.4 検証試験

新型SISについては、各IEC規格(IEC 62271-200(スイッチギヤ)、IEC 62271-100(VCB)、及びIEC 62271-102(DS、

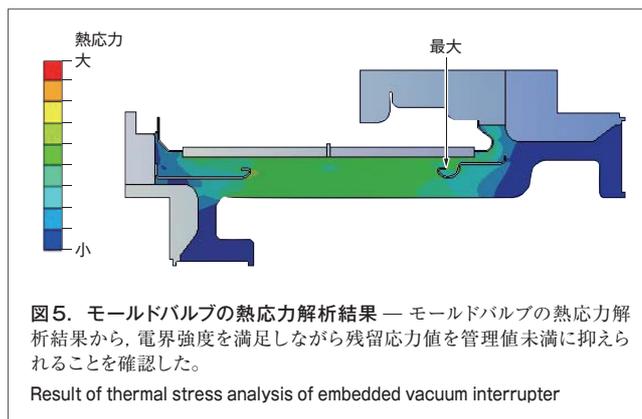


図5. モールドバルブの熱応力解析結果 — モールドバルブの熱応力解析結果から、電界強度を満足しながら残留応力値を管理値未満に抑えられることを確認した。

Result of thermal stress analysis of embedded vacuum interrupter

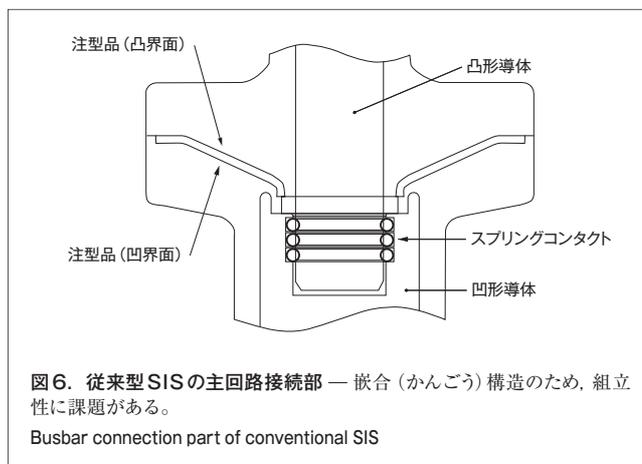


図6. 従来型SISの主回路接続部 — 嵌合(かんごう)構造のため、組立性に課題がある。

Busbar connection part of conventional SIS

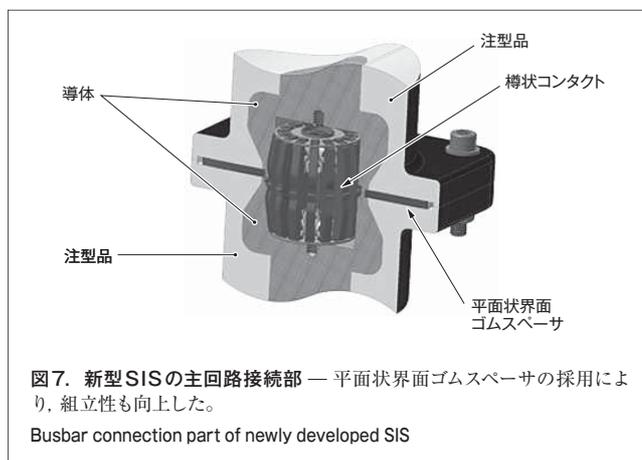


図7. 新型SISの主回路接続部 — 平面状界面ゴムスペーサの採用により、組立性も向上した。

Busbar connection part of newly developed SIS

ES)に加え、GB規格(GB 3906(スイッチギヤ)、GB 1984(VCB)、及びGB 1985(DS、ES))に基づいた一連の形式試験と独自の性能検証試験を実施し、必要十分な性能を持っていることを確認した。フィーダ盤の内部温度上昇について、もっとも温度上昇の厳しいS相条件での解析例を図8に示す。

実際の試験においても解析に準じた結果を得ることができ、要求仕様を満足していることを確認した。

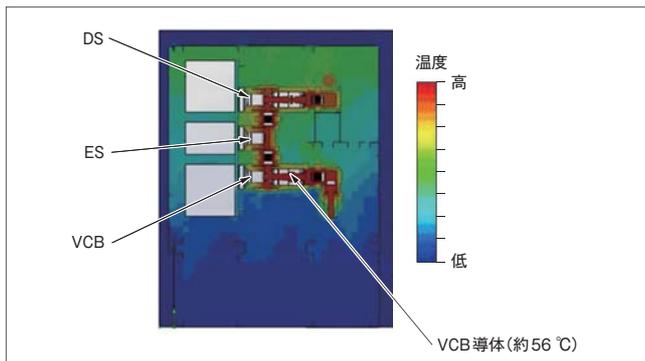


図8. スイッチギヤとしての温度上昇解析結果 — フィーダ盤構成においてもっとも温度上昇の厳しいS相条件で、温度分布を求めた。  
Result of temperature rise analysis of SIS feeder panel



図9. CESIで短絡試験中のSIS — 他の試験についても問題なく合格した。  
SIS undergoing short-circuit test at Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano (CESI)

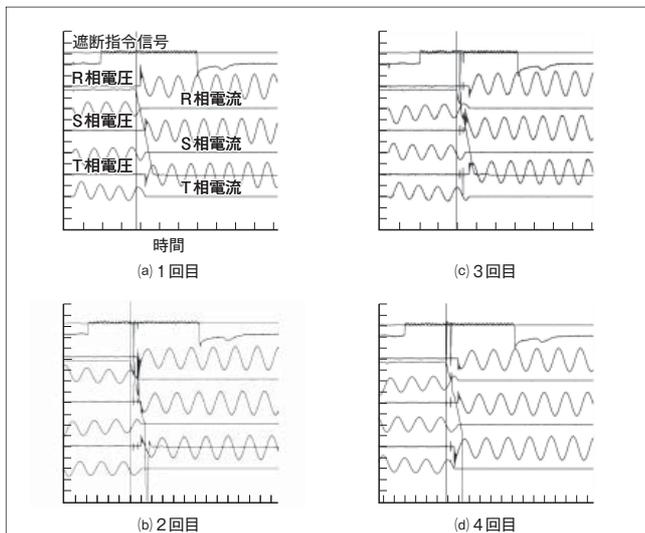


図10. 遮断試験 (T100a) 時の三相電圧・電流波形 — 4回連続の開操作全てで、遮断に成功した。  
Voltage and current waveform during breaking tests with T100a duty

#### 4 第三者認定取得

STL (Short-Circuit Testing Liaison) メンバーである第三者認定機関のCESI (イタリア電気部品・システム研究認証研

究所) において、短時間試験、遮断試験、及び開閉試験を実施した。遮断試験のようすを図9に示す。遮断試験の最終責務であるT100a条件での電圧・電流波形を図10に示す。

結果としてS1クラスの遮断器として、E2及びC2クラスに合格し、海外配電システムで要求される性能を十分に満足していることを確認した。

STLガイドにより、次の認定を取得した。

- (1) Short Circuit Performance (50/60 Hz)
- (2) Switching Performance (50/60 Hz)

#### 5 あとがき

当社は、海外配電システム向けとして海外規格に準拠し、C-GISと同等以上の小型・軽量化を実現した36/40.5 kV-1,250/2,000 A-31.5 kAのSISを開発した。今後は海外現地法人での生産を実現し、世界展開を進めていく。

引き続き信頼性と安全性の向上を目指して技術開発に取り組みながら、順次シリーズの拡大を実施し、グローバル市場へのSISの展開を図ることによって、SF<sub>6</sub>フリーの中電圧配電設備の普及に貢献していく。

#### 文献

- (1) 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.
- (2) 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.
- (3) Glaubitz, P. et al. GUIDE FOR THE PREPARATION OF CUSTOMISED "PRACTICAL SF<sub>6</sub> HANDLING INSTRUCTIONS". Paris, CIGRE Publication, 2005, 71p.



樽井 将邦 TARUI Masakuni

社会インフラシステム社 電力流通システム事業部 配電システムソリューション技術部主務。配電用電力システムのエンジニアリング業務に従事。電気設備学会会員。  
Transmission & Distribution Systems Div.



宮内 康寿 MIYAUCHI Yasuhisa

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。スイッチギヤの設計・開発に従事。  
Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



関森 裕希 SEKIMORI Yuki

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。真空バルブの設計・開発に従事。  
Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems