

JIS/IEC規格に適合した 鉄道変電所用直流スイッチギヤ

DC Switchgear for Railway Substations in Compliance with JIS/IEC Standards

大辻 浩司 神田 浩司 池辺 高行

■ OTSUJI Koji ■ KANDA Koji ■ IKEBE Takayuki

近年、電気鉄道の建設が新興国を中心に世界的に盛んになっている。東芝は、この旺盛な市場ニーズに応えるため、国内市場での経験をベースにグローバルスタンダードを取り込み、JIS E 2501 (日本工業規格 E 2501) 及び IEC 61992 (国際電気標準会議規格 61992) の両規格に適合するHS6形直流スイッチギヤを開発した。直流スイッチギヤは直流電気鉄道用変電所において、電車線に直流電力を供給するとともに、電車線での電気的な事故発生時に速やかに事故電流を遮断し、事故区間を限定する役割を担うキーコンポーネントである。今回、電気的かつ構造的な設計更新による機能向上とともに、多機能型保護リレーの実装や、遮断器と断路器の制御回路の基板化などにより制御回路のシンプル化を図ることで、当社従来製品のHS1形に比べて容積比率を約33%まで縮小した。

DC switchgears, one of the key components of an electric railway substation, shut off the fault current and immediately disconnect the fault section from other operational sections in the event of a problem. The construction of electric railway systems is expected to further expand throughout the world in the coming years, particularly in developing countries, resulting in increased demand for DC switchgears.

In response to this trend, Toshiba has developed the HS6 type DC switchgear that has been adapted to meet global standards based on the technological know-how and experience cultivated through the development of products for the Japanese market. The HS6 type DC switchgear complies with the JIS (Japanese Industrial Standards) E 2501 and the IEC (International Electrotechnical Commission) 61992 standards. Its volume has been reduced by almost 33% compared with our conventional HS1 type DC switchgear due to simplification of the control circuit through the use of multi-functional protection relays and newly developed control boards for the circuit breakers and disconnectors. It also offers enhanced functions due to improvements in the electrical and structural design.

1 まえがき

直流スイッチギヤは、都市近郊電車や地下鉄などの直流電気に電車線を介して電力を供給する設備であり、直流遮断器や、断路器、計測及び保護装置などで構成されている。

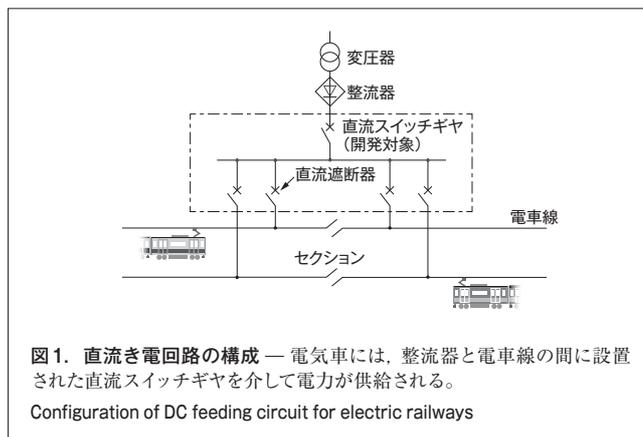
東芝は、国内鉄道向けを主体に1970年代から直流スイッチギヤを製造しており、2012年に海外鉄道にも適用可能な製品HS5形を開発した⁽¹⁾。HS5形は、2012年以降、海外向けに58面を納入し、国内でも2014年度から納入を開始している。

今回、海外及び国内でのより多くのニーズに応える目的でHS6形直流スイッチギヤを開発した。HS6形はHS5形に対し、直流遮断器ラインアップの強化、直流遮断器の固定・出し入れ方法の変更、及び制御回路の更なる簡素化に加え、標準実装する保護リレーの機能アップを図るなど、よりユーザーニーズに応えた製品に仕上がっている。

2 直流スイッチギヤの概要と東芝製品の変遷

2.1 直流スイッチギヤの概要

変電所から電車線（トクリ線）に電気を送ることを“き電”と



言い、一般的な直流き電回路を図1に示す。

電力会社又は送配電会社などから供給される三相交流電圧は変圧器と整流器により直流電圧（1,500 Vや750 Vなど）に変換され、電車線を介して直流電気車へ供給される。直流スイッチギヤは整流器と電車線の間に設置されるものであり、電車線に直流電力を供給するとともに、電車線で事故が発生した際に、速やかに事故電流を遮断し、事故区間を限定する役割を担っている。

2.2 東芝製直流スイッチギヤの変遷

当社は1930年代から直流遮断器を製造している。当初直流遮断器は変電所内に単体で設置されていたが、電流遮断時のアーク放電に対する安全性確保や、設置スペースの縮小が可能なスイッチギヤ化が求められ、1970年代から直流遮断器を金属閉鎖配電盤に収納した電気鉄道用直流スイッチギヤを製品化している。当社は、ユーザーの要求仕様に合わせて各種直流遮断器のラインアップを用意しており、それぞれの遮断器に合わせて直流スイッチギヤをシリーズ化している。

現在製造している直流スイッチギヤの外形と製品化時期を表1に示す。2012年に製品化したHS5形は、新たに開発した当社製直流保護リレーと海外製主回路コンポーネントを採用し、海外では一般的な盤構造を採用することで、従来形に対して大幅な縮小化を達成している。2012年からインドネシアに納入し、2014年には国内最初の製品として長崎電気軌道(株)御船蔵町変電所に納入している(図2)。

今回開発したHS6形は、大規模な構造変更を行ったHS5形の設計思想を踏襲し、更なる小型化と機能向上を目指したものであり、その外形はHS1形との容積比率で約33%まで縮小している。現在もっとも多く運用され今後の更新対象となるHS1形とHS6形の側面図を図3に示す。

表1. 直流スイッチギヤの外形比較

Comparison of dimensions of DC switchgears developed by Toshiba

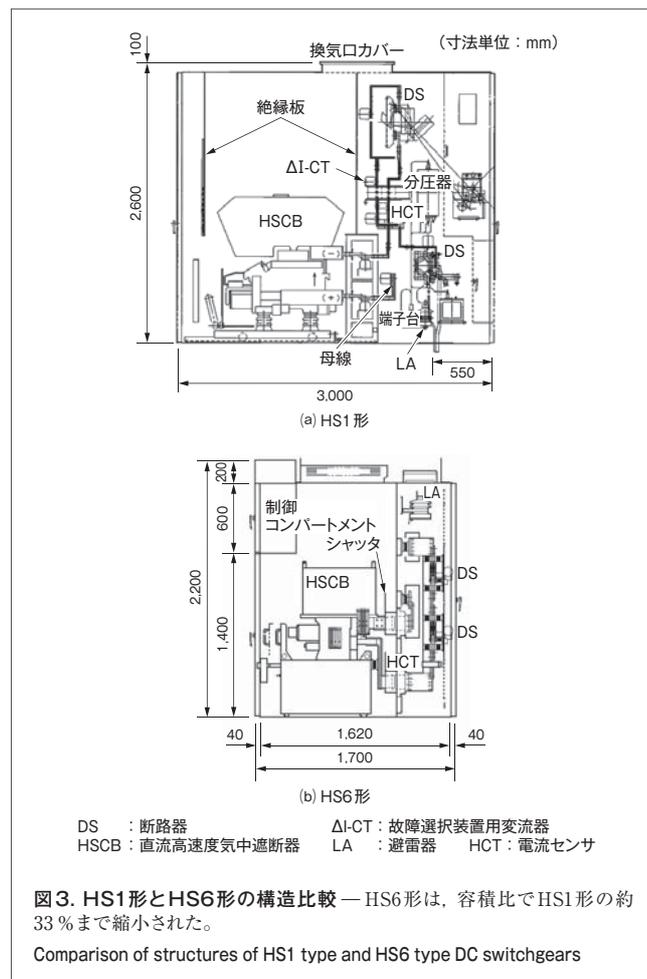
項目	形式					
	HS1	HS2	HS3	HS4	HS5	HS6
幅 (mm)	800	800	800	800	600	600
奥行き (mm)	3,000	2,600	2,300	2,600	1,740	1,700
高さ (mm)	2,600	2,300	2,300	2,300	2,100	2,000
容積 (m ³)	6.24	4.78	4.23	4.78	2.19	2.04
容積比 (%)	100.0	76.6	67.8	76.6	35.1	32.7
適用遮断器形式	BJF	UR	HSVCB	BST	BST	BG
市場	国内	国内	国内	国内	国内 海外	国内 海外
製品化年	1972	1993	2002	2012	2012	2015

*高さは取外し可能な排気口、ケーブルダクトを除いた寸法



図2. 御船蔵町変電所 直流スイッチギヤー 海外ニーズを取り込んだHS5形を国内で初めて納入した。

DC switchgear installed at Ofunaguramachi Substation



3 開発品の概要

3.1 開発品の仕様

HS6形直流スイッチギヤ及びBG形直流遮断器の仕様を表2に示す。HS5形までは、定格の電圧及び電流がDC(直流)1,800V-4,000Aの遮断器をDC900V回路や負荷電流の小さな変電所などにも適用してきたが、今回、海外の地下鉄や路面電車で需要の多いDC900Vの遮断器を追加し、定格電流を2,600Aと4,600Aの2種類とすることで、よりリーズナブルな選択を可能にした。これらの遮断器を収納する直流スイッチギヤは共通設計としている。

3.2 スwitchギヤ構造の変更点

スイッチギヤの構造面におけるHS5形からの変更点は以下である。

- (1) 遮断器の固定及び出し入れ方法の変更
- (2) ラインテスト回路を遮断器台車に実装
- (3) 遮断器及び断路器制御回路の基板化
- (4) 高さ及び奥行きを縮小

メンテナンスのために直流遮断器をスイッチギヤから引き出す際に、HS5形までは、①遮断器切操作、②正面扉開放、及び

表2. HS6形直流スイッチギヤ及びこれに適用される直流遮断器の仕様
Specifications of HS6 type DC switchgear and DC circuit breakers

項目		仕様			
形式		HS6-2V125			
適用規格		IEC 61992/JIS E 2501			
定格電圧 (V)		DC 1,800			
定格インパルス耐電圧 (kV)		20			
定格商用周波耐電圧 (kV)		9.2			
定格母線電流 (A)		8,000			
定格短時間耐電流 (kA)		125			
直流遮断器	タイプ	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4
	形式	BG-1P125D	BG-2P80D	BG-1R125D	BG-2R80D
	定格電圧 (V)	900	1,800	900	1,800
	定格電流 (A)	2,600	2,600	4,600	4,600
	遮断目盛範囲 (kA)	1.4-2.7 2.0-8.0		2.0-8.0 4.0-15.0	
	定格短絡電流 (kA)	125	80	125	80
	定格線路時定数 (ms)	100	31.5	100	31.5
	標準動作責務	O-15秒-CO-15秒-CO-60秒-CO			

O: 遮断動作 CO: 投入動作後直ちに遮断動作

③遮断器引出し、の手順で行っていたが、HS6形では安全性向上のため、①遮断器切操作、②遮断器を盤内で主回路断路位置まで引出し、及び③正面扉開放、の手順に見直し、遮断器が主回路から完全に切り離せるまで正面下部扉を開放できない構造とした。盤内での遮断器の接続・断路状態を図4に、HS6形直流スイッチギヤの外観を図5に示す。遮断器の出し入れ操作は、スイッチギヤ正面扉下部から出し入れハンド



図5. HS6形直流スイッチギヤー 安全性向上のため、直流遮断器が主回路から切り離された状態でないと正面下部扉を開放できない構造になっている。

Front view of HS6 type DC switchgear

ルを挿入することで行う。遮断器が主回路に接続されている状態では、遮断器後方のロックピンにより位置が固定され、正面側パネルと合わせて二重にロックされる構造としている。

ラインテスト回路は、直流遮断器投入前に電車線の健全性を確認するための回路で、海外でニーズの多い機能である。HS5形ではこの回路をスイッチギヤの背面側に実装していたが、HS6形ではBG形遮断器の台車に実装することで、盤正面側でのメンテナンスを可能にするとともに、スイッチギヤ背面側に断路器2台の実装スペースを確保した。

更に、基板化した遮断器制御回路も台車に実装し、断路器制御回路の基板化や制御ケーブルのコネクタ接続化などの施策を加えることで、制御コンパートメントを縮小し、スイッチギヤ全体の縮小化を実現した。

3.3 直流保護リレー

海外市場では監視、制御、保護、計測、及び伝送機能を一体化した多機能型の保護リレーを直流スイッチギヤの制御コンパートメントに実装する形態が主流となっており、当社も自社開発した多機能型直流保護リレーをHS5形から採用している。また、これに併せて電流及び電圧を検出するセンサも小形の用品を採用することでスイッチギヤ全体の縮小化に大きく貢献している。

HS6形でもこの基本構成は同じであるが、直流保護リレーの保護要素として、直流地絡過電圧保護要素を追加し、また、保護リレー内部の情報をパソコン(PC)で設定し、表示できるPCツールの機能を拡充するなど利便性の向上を図っている。PCツールによる事故電流波形の表示例を図6に示す。

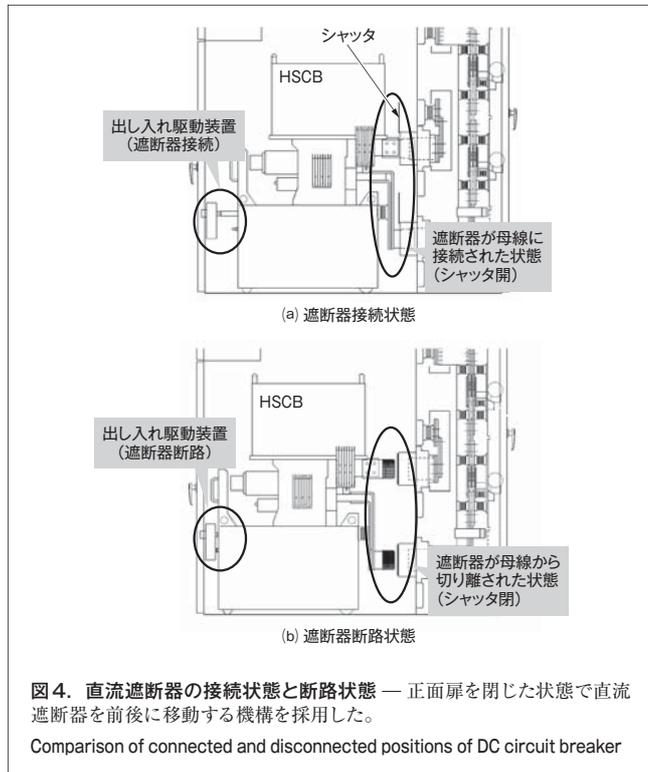


図4. 直流遮断器の接続状態と断路状態 — 正面扉を閉じた状態で直流遮断器を前後に移動する機構を採用した。

Comparison of connected and disconnected positions of DC circuit breaker

4 形式試験

HS6形直流スイッチギヤは、当社での形式試験に加え、公益財団法人 鉄道総合技術研究所でJISに沿った遮断試験を実施し、その後、国際認定試験場であるドイツのIPHにおい

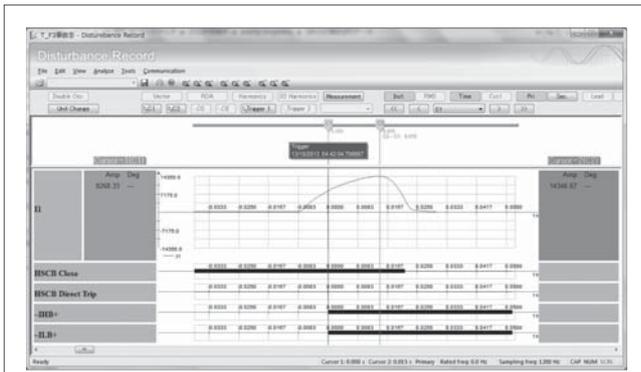


図6. PCツールによる事故電流波形の表示例 — 保護リレー内部の情報にPCで設定し、表示できる。

Example of fault current waveform on PC display

てIEC規格に基づく以下の試験を実施した。

- (1) 温度上昇試験
- (2) 機械操作試験
- (3) 電気操作試験
- (4) 雷インパルス耐電圧及び商用周波耐電圧試験
- (5) 短時間耐電流試験(母線及び接地回路)
- (6) 遮断試験

特に遮断試験に関しては、DC1,800VとDC900Vそれぞれの遮断器に対し、最大短絡電流、最大エネルギー、及び遠方故障短絡の三つの故障電流条件で試験を実施した。この中でDC900V用遮断器の最大短絡電流の遮断試験では、125kAの遮断を90秒間で4回実施するという国内の従来規格にはない非常に厳しい条件の試験に合格した。125kA遮断試験時の波形を図7に示す。また、IPHでの温度上昇試験のようすを図8に示す。

5 あとがき

今回開発したHS6形直流スイッチギヤは、大規模な構造変更を行って2012年に開発したHS5形の設計思想を踏襲し、更なる小型化と機能向上を目指したものである。外形は、1972年

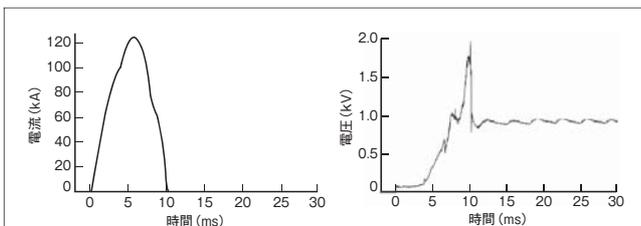


図7. HS6形の125kA遮断試験の結果 — 国際認定試験場であるドイツのIPHにおいて国内の従来規格にはない厳しい遮断試験に合格した。

Results of 125 kA current breaking test showing current and voltage waveforms of HS6 type DC switchgear



図8. HS6形の温度上昇試験のようす — IPHにおいてIEC規格に準ずる各種試験を実施した。

HS6 type DC switchgear undergoing temperature-rise test at IPH GmbH, Germany

から製造を継続しているHS1形に対し、容積比率で約33%まで縮小できた。HS6形には保護リレーも実装しているため、従来別置きしていた保護制御盤も不要となり、直流変電所全体として約20%の省スペース化が実現できる。また、国際認定試験場でのIEC規格に基づいた形式試験にも合格しており、今後拡大が見込まれる海外鉄道市場のニーズに応える製品となっている。国内でも、海外ユーザーのニーズと当社の国内ノウハウを融合したHS5形の納入実績が増えつつあり、HS6形と併せて、今後もユーザーのニーズに合った製品を供給していく。

文献

- (1) 長谷川哲也 他. 海外鉄道向け直流スイッチギヤ. 東芝レビュー. 68, 10, 2013, p.42 - 45.



大辻 浩司 OTSUJI Koji

社会インフラシステム社 電力流通システム事業部 鉄道電力システム技術部グループ長。電気鉄道変電所のシステムエンジニアリング業務に従事。

Transmission & Distribution Systems Div.



神田 浩司 KANDA Koji

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。気中スイッチギヤの構造設計に従事。

Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



池辺 高行 IKEBE Takayuki

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。気中遮断器の設計に従事。

Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems