

# 海外鉄道向け直流スイッチギヤ

## Space-Saving DC Switchgear for Overseas Railway Systems

長谷川 哲也      神田 浩司      福田 恭之

■ HASEGAWA Tetsuya      ■ KANDA Koji      ■ FUKUDA Yasuyuki

電気鉄道の変電所向け直流スイッチギヤは、都市近郊鉄道などの直流電気に電力を供給する設備であり、直流遮断器、断路器、計測装置、及び保護装置などで構成される。

東芝は、国内鉄道向けを主体に1970年代からこの製品を製造しているが、今回、海外の鉄道にも適用可能な製品を開発した。この製品は、制御、遮断器、及び主回路の各コンパートメントの新規開発により、国内向けの従来品と比較して、設置床面積でFeeder盤1面当たり57.5%削減できる。また、制御コンパートメント内に、保護、制御、及び計測の各機能と国際標準のネットワーク機能を1ユニット内に収納した直流保護リレーを実装したことで、別置きの保護・制御用配電盤が不要となり、変電所全体の省スペース化に貢献できる。既に、インドネシア鉄道省に3変電所分の21面を納入済みで、今後も、都市近郊鉄道などの建設計画が多い新興国を中心に、グローバル市場に展開していく。

DC switchgears, which consist of a DC circuit breaker, disconnecting switch, measurement and protection equipment, and other devices, are used to supply power to DC electric trains on urban railway lines.

Toshiba has been developing and manufacturing DC switchgears mainly for the Japanese railway system since the 1970s, and has now developed a DC switchgear applicable to overseas railway systems. This product applying a newly developed control circuit, circuit breaker, and main circuit compartment achieves a 57.5% reduction in installation area per feeder panel compared with conventional DC switchgears in the Japanese market. Furthermore, the control circuit compartment is equipped with a DC protection relay incorporating protection, control, and measurement functions as well as network functions compliant with international standards in a single unit, reducing the need for separate installation of conventional protection and control panels. This also contributes to space saving for the entire substation. We have delivered 21 panels of our new DC switchgear for three substations of the Directorate General of Railways of the Ministry of Transportation, Indonesia, and are promoting this product in other emerging markets that are planning to construct urban railway lines.

### 1 まえがき

近年、新興国を中心に電気鉄道（以下、電鉄と略記）の建設が盛んであり、鉄道電力システムをグローバル市場に展開していくためには、海外で要求される幅広い仕様に適合した製品の開発が必須となっている。これらのうち、電鉄用変電所における直流スイッチギヤは、直流電気に電力を供給する重要な設備であり、グローバル対応の直流スイッチギヤの需要は、都市鉄道の建設増加に伴って年々拡大している。

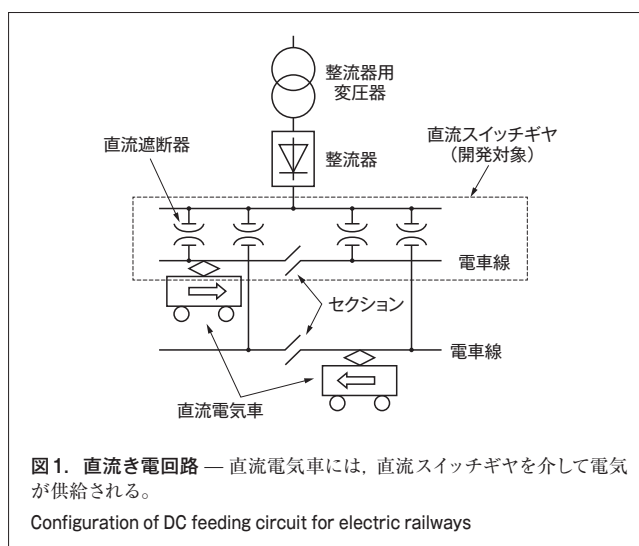
東芝は、国内の電鉄向けを主体に1970年代から同製品を製造しているが、今回、海外の電鉄にも適用可能な製品を開発した。ここでは、その概要、技術、及び特長について述べる。

### 2 直流スイッチギヤの概要と開発コンセプト

#### 2.1 直流き電システムと開発対象

変電所から電車線（トクリ線）に電気を送ることをき電といい、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適切な直流電圧（1,500 V又は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。

今回開発した製品は、整流器と電車線の間に設置される直

流スイッチギヤであり、整流器設備で直流に変換した電力を電車線に供給するとともに、電車線で事故が発生したときには、速やかにその事故電流を検出する直流き電線用保護リレー（以下、直流保護リレーと略記）と、遮断する直流遮断器を主要機器としている。

### 2.2 海外向け直流スイッチギヤの開発コンセプト

海外のグローバルメーカーが市場投入している直流スイッチギヤは、本体がコンパクトなことを特徴としているため、これまで国内で採用されている製品よりも、幅、奥行き、及び高さの各寸法を小さくする必要があった。また、保護、制御、及び計測の機能を合理的にスイッチギヤに盛り込み、保護・制御用配電盤を省略して変電所全体のスペースを縮小したいというニーズがあるため、以下の3点を開発コンセプトとした。

- (1) 海外グローバルメーカー並みのサイズにすること
- (2) 保護、制御、計測の各回路の合理化と操作性の向上
- (3) 変電所監視システムとの接続を容易にするネットワーク機能の実装

## 3 開発品の概要

電鉄用変電所の直流スイッチギヤは、図2(a)に示すように、incoming 盤（整流器二次側回線盤）、Feeder 盤（常行き電回線盤）、Stand-by 盤（共用き電回線盤）、及び Negative 盤（負極回路・共通連携処理盤）で構成される。直流スイッチギヤの主な仕様を表1に示す。

海外メーカー製の直流スイッチギヤは、国内では別に設けている保護・制御用配電盤の機能も全て実装しており、直流き電設備として非常にコンパクトな構成となっている。

Feeder 盤の側面図を図3に示す。今回の開発品は、遮断器コンパートメント、制御コンパートメント、及び主回路コンパートメントの三つから構成されている。以下に、各コンパートメントの開発内容について述べる。

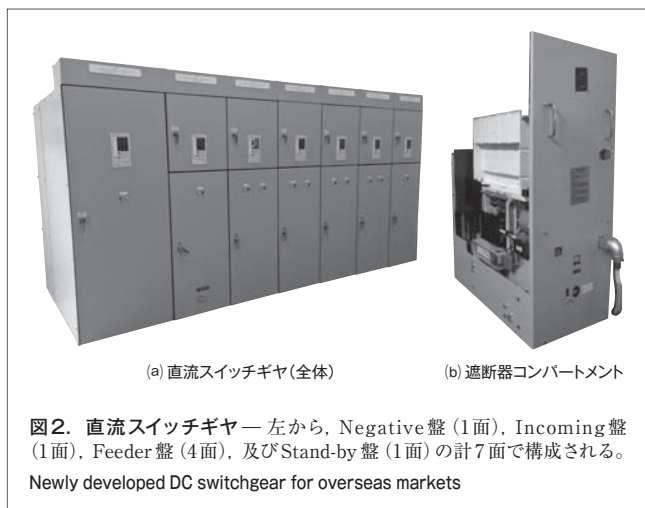
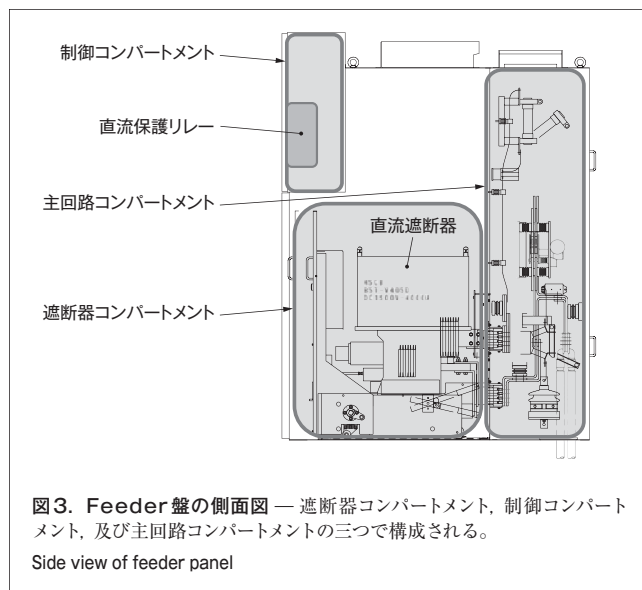


表1. 直流スイッチギヤの主な仕様  
Main specifications of DC switchgear

項目	仕様
形式	HS5
定格電圧	DC900 V/1,800 V
定格母線電流	DC4,000 A to 12,000 A
定格短時間電流	80 kA
定格インパルス耐電圧	20 kV
定格商用周波耐電圧	9.2 kV
適用規格	IEC 61992/JIS E 2501

DC：直流    JIS E 2501：日本工業規格 E 2501



### 3.1 遮断器コンパートメントの開発

開発にあたり市場調査を実施した結果、欧州を中心に様々なメーカーが直流スイッチギヤを製造していることを確認したが、いずれのメーカーも主要機器である直流遮断器には、SECHERON（セシュロン）社など数社の主要製品を採用するケースが多いことがわかった。

当社は1990年代から、SECHERON社製の直流遮断器をOEM（Original Equipment Manufacturing）で採用しており、今回の開発においても同社の製品を採用することとした。ただし、採用したのは遮断器だけで、メンテナンス時の作業を容易にするための引出し機構には、わが国の鉄道事業者にも採用されるよう、新設計の当社製品を適用し、直流遮断器と組み合わせて遮断器コンパートメントを構成した。図2(b)にその外観を示す。

### 3.2 制御コンパートメントの開発

グローバル市場で要求される直流スイッチギヤは、保護機能のほかに、操作連動機能、保護連動機能、及び計測機能を同一装置内に実装する多機能型装置がもっとも一般的な形態である。

これらの機能を合理的かつコンパクトに実装するために、多機能型装置と制御回路をスイッチギヤ正面上部の制御コンパートメントに集約した。その主要な構成要素である直流保護リレーは、表示、計測、操作を含む操作連動機能を備えたオールインワン型の装置であり、今回の直流スイッチギヤの開発に合わせて開発した。保護、制御、表示、及び計測それぞれの機能を盤ごとに独立して担う構成が主流であるため、直流保護リレーを直流スイッチギヤの各盤に分散して実装している。

直流保護リレーの基本仕様と実装機能の一覧を表2に、概略の機能ブロック図を図4に示す。直流き電回路の電流と電圧をリレー内に高精度に取り込み、常時計測及び事故波形記録などの機能を標準実装し、保守に活用できるようにした。ま

た、変電所内監視システム及び中央監視システムなどの上位システムとは、汎用ネットワーク経由で送出できるように、通信プロトコルとして汎用プロトコルのMODBUS-TCP (Transmission Control Protocol) を採用した。その他のプロトコルとして、IEC 61850 (国際電気標準会議規格61850)、DNP (Distributed Network Protocol) 3.0、及びIEC 60870-5-103にも対応予定である。

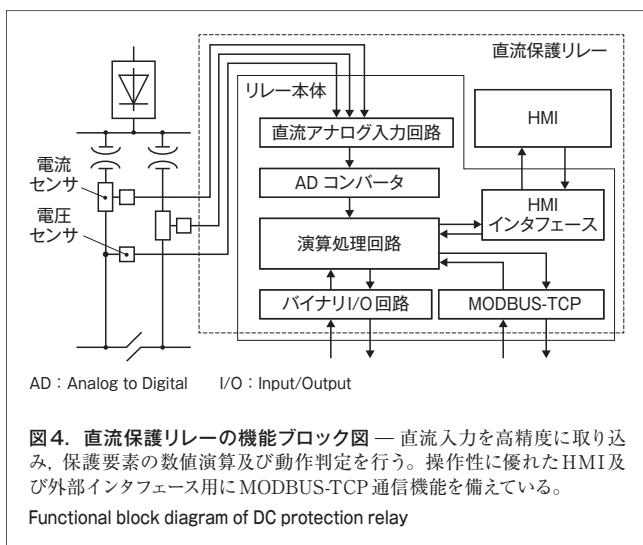
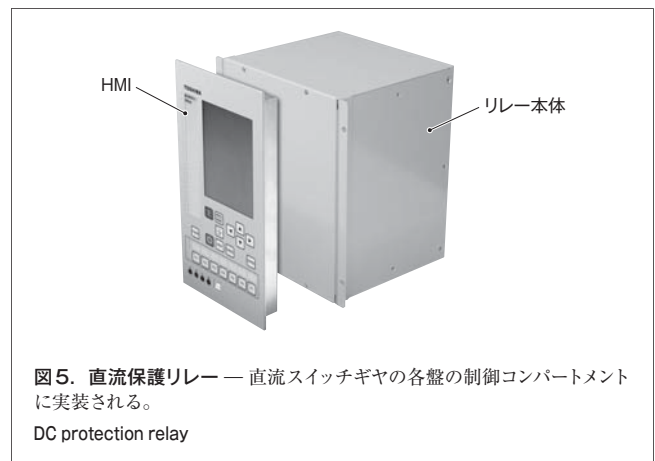
直流保護リレーの外観を図5に示す。HMI (Human Machine Interface) としてカラーのタッチパネル ディスプレイも備えており、図6の表示例のように、設定変更や事故記録の確認などをビジュアルに操作可能であり、き電回路機器の操作と状態表示及び、電流値などアナログデータの計測と監視を行うことができる。

直流保護リレーは、ソフトウェアと入出力点数の違いにより、Feeder 盤用、Stand-by 盤用、Incoming 盤用、及び Negative 盤用の4種類としたが、ハードウェアは共通にしている。

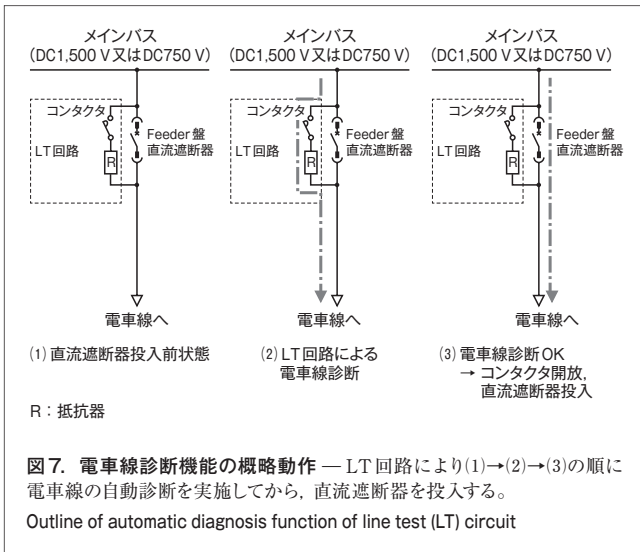
Feeder 盤及びStand-by 盤用の直流保護リレーには、電流変化分で事故電流を検出する $\Delta I$ 保護要素を、不要動作対策を盛り込んで実装した。更に、IEC規格に準拠した不足電圧

表2. 直流保護リレーの基本仕様と実装機能  
Main specifications and functions of DC protection relay

項目		仕様・機能
基本仕様	入力電圧範囲	100~250 VDC
	通信プロトコル	MODBUS, IEC 61850, IEC 60870-5-103, Webブラウザ, DNP3.0など
	対応言語	英語, 中国語, 日本語, ホルトガル語
実装機能	保護要素	$\Delta I$ 保護要素 電流増加分検出保護要素 50 過電流保護要素 (4段階) 49 温度過負荷保護要素 (3段階) 59 過電圧保護要素 (2段階) 27 過少電圧保護要素 (2段階) 32 逆流電流保護要素 (4段階)
	制御機能	自動再閉路機能 電車線診断機能 連絡遮断機能 遮断器及び断路器制御機能 セクション補償機能
	計測機能	電流, 電圧, 電力, 電力量, インピーダンス
	監視機能	遮断器状態監視機能 トリップ回路断線検知機能 遮断器動作回数カウンタ機能 自己診断機能
	記録機能	イベント記録 故障記録 障害記録







保護要素、過電圧保護要素、過電流保護要素、及び過負荷保護要素を実装している。

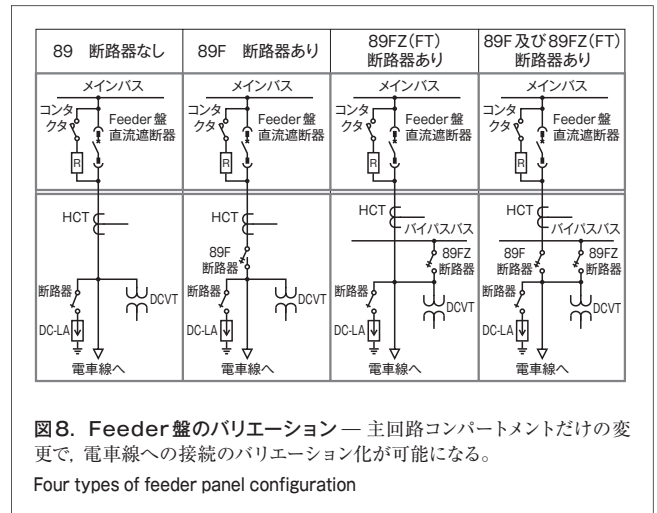
更に、図7に示すような電車線診断機能も実装しており、直流遮断器投入前に電車線のインピーダンスを測定し、事故の有無を判定する処理を行う。この機能は、グローバル市場ではLT (Line Test) 回路と呼ばれ、実装要求が多い機能である。更に、事故発生時のリトライ動作を自動で実施するための自動再開路機能も実装しており、き電回線の健全性と復旧性を高めている。

Incoming 盤用直流保護リレーには、過電流保護要素、逆過電流保護要素、整流器二次側回線の不足電圧保護要素、及び過電圧保護要素を備え、整流器事故の主保護を担う。

Negative 盤用制御コンパートメントは、各Feeder盤、Standby盤、及びIncoming 盤用直流保護リレーが送出するリレー動作や操作連動などの連動ロジック、その他の情報を収集し上位システムへ情報を伝送する。また、Negative 盤用直流保護リレーには、レールと大地間の異常電圧を検出する過電圧保護要素や、スイッチギヤのフレームから大地への漏れ電流を検出する地絡過電流保護要素を今後実装する予定である。

### 3.3 主回路コンパートメントの開発

主回路コンパートメントは、断路器、電流センサ (HCT)、電圧センサ (DCVT)、避雷器 (DC-LA)、及びLT回路で構成されている。これらに海外で実績のある小型機器を採用することで、主回路コンパートメントのコンパクト化を実現した。電車線への断路器の構成は、顧客の仕様により異なる。主区分用の断路器 (89F) や、システムの冗長性を持たせるために予備用の断路器 (89FZ) が設けられることがあるが、図8に示すように、これらを四つのケースで標準化した。これらは、主回路コンパートメント内の構成を変更するだけで、バリエーション化できる。



## 4 あとがき

今回開発した直流スイッチギヤは、コンパクト化を実現するとともに、直流変電所の保護システムとして必要とされる保護、制御、及び計測の機能に加え、ネットワーク機能を備えたグローバル対応モデルである。当社の従来製品と比較し、設置床面積でFeeder盤1面当たり57.5%削減できる。また、従来は必須であった別置き保護・制御用配電盤が不要になり、直流変電所全体でも約20%の省スペース化が実現できる。

この直流スイッチギヤは、2012年度に、インドネシア鉄道省に3変電所分の21面を納入済みである。インドネシアでは、今後も既設変電所の更新計画や都市鉄道の新線計画があり、更なる需要が見込まれている。また、インドネシア以外の東南アジア及びその他のグローバル市場に対しても、それぞれのニーズに応じた形態で展開していく予定である。



長谷川 哲也 HASEGAWA Tetsuya

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主務。電鉄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



福田 恭之 FUKUDA Yasuyuki

コミュニティ・ソリューション社 府中コミュニティ・ソリューション工場 社会インフラシステムソリューション部主務。電鉄受変電システム的设计に従事。

Fuchu Operations-Community Solutions