

# 環境に調和し、信頼性に優れた 電鉄向け 受変電システム

Railway Substation Systems Offering Environmental Harmony and High Reliability

家入 一郎 伊藤 隆志

IEIRI Ichiro

ITO Takashi

近年、電気鉄道用変電システムは、地球環境保全、高機能・高性能化、省スペース化、高信頼性、保守性の向上などが求められている。東芝は、このような要求に応え、最新のパワーエレクトロニクス技術、マイクロエレクトロニクス技術、情報技術などを駆使することにより、環境保全を考慮した固体絶縁スイッチギヤ及び太陽光発電システム、高機能・高性能化を実現する各種変換器、省スペース・高機能・高性能・保守性の向上などを実現するマイクロエレクトロニクス(ME)型配電盤、保全管理システムなどを開発した。

In recent years, there has been growing demand for railway substation systems providing greater environmental preservation features, higher performance, space saving, higher reliability, and improved maintainability.

Toshiba has responded to this demand by employing the latest technologies in the fields of power electronics, microelectronics, and information technology to develop and commercialize a range of products for railway substation systems. These are a solid insulated switchgear and a solar electricity generation system offering environmental preservation benefits; various converters with enhanced functionality and higher performance; and a microelectronic type switchboard as well as a maintenance management system that realize expanded functions, higher performance, and improved maintainability.

## 1 まえがき

電気鉄道における車両は、交流、直流ともにPWM(Pulse Width Modulation)インバータによる交流電動機駆動が主流となってきており、これに伴い、変電所も回生電力処理システムの要求が高まってきている。

また、近年クローズアップされている温暖化などの環境問題の点においても、対策の一環として六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)ガスレス機器や新エネルギーシステムへの要求も徐々に高まりつつある。

そこで、ここでは、東芝が開発した電鉄用変電所の最新技術について述べる。

## 2 PWM 変換器

直流電気鉄道の整流設備の一部には、近年の回生車両の普及から、回生率の向上などを目的に変電所の直流電圧を一定に制御する、高電圧・大容量光トリガサイリスタ素子を適用した他励式サイリスタ整流器を使用している。

また、回生車両から回生電力を受電側に戻すためには、電力回生インバータを設置する必要があり、同時に受電システムに対する高調波や無効電力の対策を行う設備が必要となる。このため、設置スペースの限られたシステムへの適用が困難であった。

今回、次世代整流器として整流器と電力回生インバータの機能を兼ね備えていることなど、設備的利点以外にも優れた電圧制御性能、交流系統への低高調波、力率1の運転ができることといった特性、性能上の多くの利点を備えた大容量PWM変換器を開発した。

PWM変換器を図1に、製品概要を表1に示す。

直流変電所の構成については、新設及び老朽化更新の計



(a) 外観



(b) IGBT(絶縁ゲートバイポーラトランジスタ)モジュール

図1. PWM変換器 - 整流器と電力回生インバータの機能を兼ね備えている次世代整流器である。

Pulse width modulation (PWM) type converter

表1. 製品概要

Product outline

項目	仕様
定格	力行容量：4,500 kW - DC 1,500 V-3,000 A 回生容量：力行容量の70% S種 100%連続 200% -2時間 300% -1分間)
主回路構成	三相ブリッジ6段並列多重構成
適用素子	IGBT 3,300 V - 1,200 A 素子
冷却方式	強制風冷方式
外形寸法	6,000(幅)×3,000(高さ)×3,000(奥行き)mm (制御盤 800幅を除く)

DC:直流

画において、可能な限り機器を省略できる方式が有利である。

こうした課題を解決できる次世代整流器として、PWM変換器の今後の需要を期待したい。

### 3 静止形周波数変換器

東海旅客鉄道(株)東海道新幹線網島周波数変換変電所では、同期電動発電機を使用した回転形周波数変換機(FC: electronic Frequency Converter)3台を使用して、50 Hzから60 Hzに周波数を変換し列車に電力を供給しているが、今回、電源増強として静止形FCを増設することになり開発を行った。

#### 3.1 システム仕様

静止形FCの主な仕様を表2に示す。

この静止形FCは出力容量60 MVAで、50 Hz側及び60 Hz側ともGTO(Gate Turn-Off thyristor)を使用した自励式電力変換器を使用し、154 kV - 50 Hz電源をいったん直流に変換し、更に77 kV - 60 Hzの交流電力に変換する装置である。

表2. 静止形FCの仕様

General specifications of static type electronic frequency converter (FC)

項目	仕様
定格出力容量	60 MVA (過負荷仕様なし)
入力電圧	154 kV - 50 Hz - 3相
出力電圧	77 kV - 60 Hz - 3相
主回路構成	単相ブリッジ三相6段多重*
パルス数	1パルス方式*
変換器用変圧器結線	千鳥結線*
直流電圧	2,800 V
使用素子	6,000 V - 4,000 A GTO
素子構成	1直列 - 並列 - 4アーム/1相1段
冷却方式	純水循環水冷

\*50 Hz側及び60 Hz側変換器とも同じ

#### 3.2 構成

主回路構成は50 Hz側と60 Hz側変換器とも同じであり、主回路素子は重要設備のため高信頼性が求められることか

ら、これまで多くの運転実績を持つGTOを採用した。

また、1パルス制御を採用してスイッチングによる損失低減を図り、回転形FC以下の低損失とした。

更に、60 MVAの出力容量に対し30 MVAの周波数変換器2群構成とし、並列運転することにより、万一の故障の場合でも30 MVAの運転継続ができるようにしている。

#### 3.3 システムの特長

この静止形FCの大きな特長としては、回転形FCと並列運転をすることが挙げられる。

回転形FCとの並列運転における負荷分担制御として、静止形FCが定格容量まで優先的に負荷を取る方式と、回転形FCの定格容量を超えた分を分担する方式が設定できるようにしている。

## 4 24 kV 固体絶縁スイッチギヤ

これまで、定格電圧24 kVクラスのスイッチギヤでは、SF<sub>6</sub>ガスの優れた絶縁耐力を使用したガス絶縁スイッチギヤが主流となっていたが、地球温暖化防止対策の一つとして、SF<sub>6</sub>ガスを使用しない24 kV固体絶縁スイッチギヤを製品化した。以下にその概要を述べる。

製品のポイントとしてSF<sub>6</sub>ガスレスは当然であるが、変電所のリニューアルなどを考慮し、小型化、軽量化、保守の省力化を図った。

特長を以下に示す。

- (1) 真空とエポキシモールドでSF<sub>6</sub>ガスレスを実現
- (2) 相分離外層接地で短絡防止
- (3) 長年の技術蓄積と新技術の融合で高信頼性を実現
- (4) 小型・軽量でエレベータ搬入可能
- (5) バランス型電磁操作機構(BMA)の採用で点検作業の簡素化

概略仕様を表3に、外観を図2に示す。

真空遮断器の操作機構には、永久磁石(PM: Permanent

表3. 固定絶縁スイッチギヤの仕様

Specifications of solid insulated switchgear

項目	仕様	
定格電圧	24 kV	
定格耐電圧	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	

DS: 断路器  
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



図2. 固体絶縁スイッチギヤ - 高性能エポキシ樹脂を絶縁材料に使い、環境に優しいSF<sub>6</sub>ガスレスのスイッチギヤとした。  
Solid Insulated Switchgear

Magnet)とソレノイドコイルを用いた電磁アクチュエータを採用した。操作機構の概念を図3に示す。この機構は、構造が簡単で部品点数が少なく、多数回開閉に適している。閉路動作は、PMと同方向に磁束が発生するようにコイルを励磁し、開路ばねによる開路保持力に打ち勝つだけの吸引力を発生させて動作させるものであり、開路動作は、コイルをPMによる磁束と逆方向に励磁することにより、PMによる開路保持力を減少させて動作させるものである。

## 5 直流高速度真空遮断器

直流電気鉄道のき電回路の保護用遮断器として、古くから直流高速度気中遮断器(HSCB: High Speed Circuit Breaker)が使用されているが、直流変電所の安全性の向上、点検の省力化、装置の小型化、遮断音の低騒音化などの二-

ズから、真空バルブを使用した直流高速度真空遮断器(HSVCB: High Speed Vacuum Circuit Breaker)を採用する変電所が徐々に増えており、当社も2000年3月に開発を完了している。概略仕様を表4に、外観を図4に示す。

真空バルブは、接点が開極してもそのアーク電圧は低いいため、HSCBのように電流を減衰させることができない。そこでHSVCBでは、電流検出後に真空バルブを高速で開路し、転流用コンデンサからの重畳電流(逆電流)を真空バルブに注入して強制的に電流ゼロ点を発生させ、主電流を転流回路に転流させた後、き電回路に蓄積されたエネルギーを消弧装置で吸収することで遮断動作が完了する。

HSCB収納スイッチギヤに比べ小型化、安全性の向上、点検省力のほか次の特長を持っている。

- (1) ユニット化 遮断器は 遮断ユニット、 転流ユニット、 保護制御ユニットの三つのユニットで構成し、遮断/転流ユニットは盤から引き出せる構成になっており、点検の省力化に貢献している。
- (2) 監視機能 HSVCB機構を含めた異常監視を実施しており、万一異常が検出された場合には、故障警報を出力する。

表4. 直流高速度真空遮断器の仕様

Specifications of high-speed vacuum circuit breaker

項目	仕様
定格電圧	DC750/1,500 V
定格電流	3,000/4,000 A
定格遮断容量	50 kA
突進率	3×10 <sup>6</sup> A/s / 10×10 <sup>6</sup> A/s
定格遮断電流	25 kA
遮断方式	真空遮断方式
消弧方式	非直線抵抗放電方式
動作方式	投入: BMA 方式 開極: 電磁反発高速開極

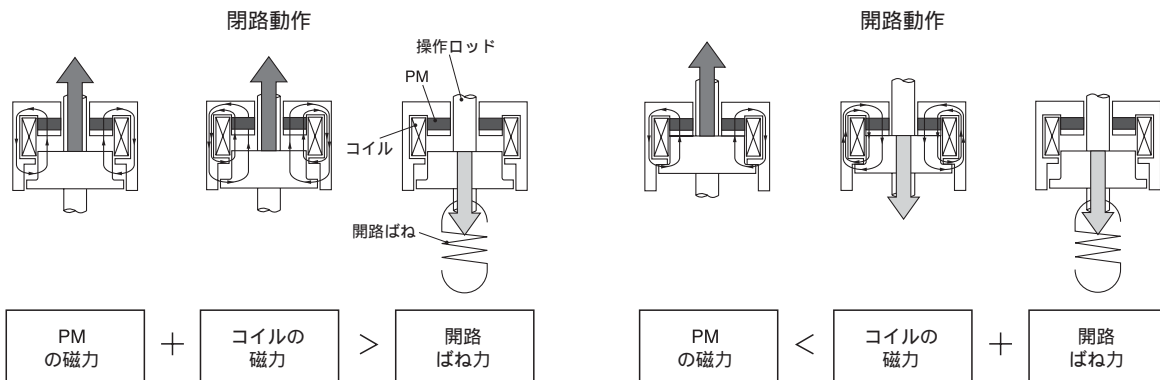


図3. バランス形電磁操作機構 - 永久磁石 + コイルの磁力とばね力のバランスを最適化することで、構造の簡素化と高信頼性を確保した。  
Balanced magnetic actuator



図4. 直流高速度真空遮断器 - 遮断部に真空バルブを使用し、転流コンデンサからの逆電流を重畳させ、電流0点を形成し、消弧装置で遮断エネルギーを吸収して遮断する。  
High-speed vacuum circuit breaker

例として、コンデンサ類の不適合の場合、遮断不能前に“自動切操作”する機能も持っている。

## 6 配電盤

### 6.1 ME型配電盤

最新のME型配電盤は、西日本旅客鉄道(株)山陽新幹線向けに開発したシステムである。最新のマルチリアルタイム

処理コンピュータシステム技術を導入し、保護、連動、監視、計測及び保全データ収集機能を同一のデジタル処理装置で処理する統合型システムである。このシステムは、主回路系統ごとの二重化構成とし、高信頼性、省スペース化及び高保全性を実現した。

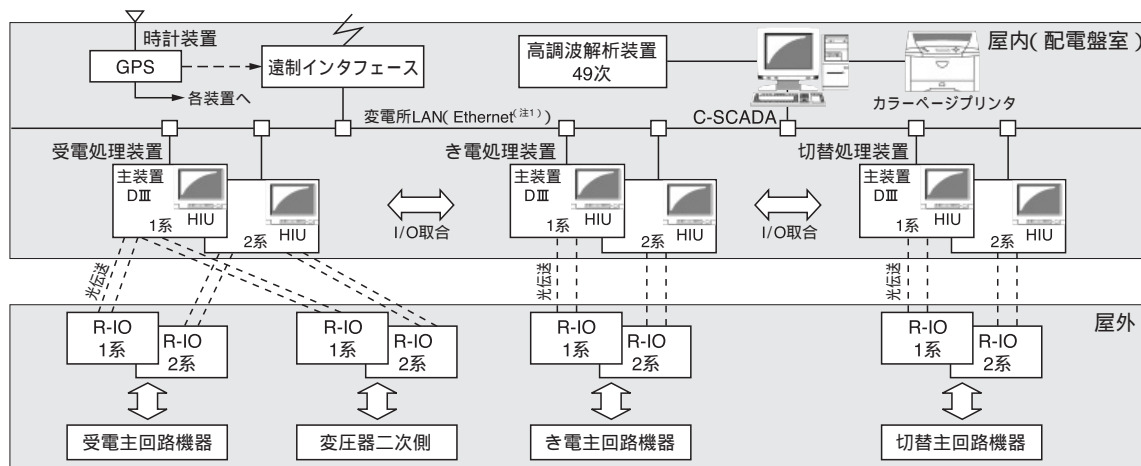
外観を図5に、システム構成を図6に示す。

### 6.2 保安全管理システム

最新の保安全管理システムは、時々刻々と変動している設備の状態を正確に、かつ時間や場所の制約を受けずに把握



図5. ME型配電盤 - 保護、連動、監視、計測及び保全データ収集機能を同一のデジタル処理装置で実現した最新ME型配電盤の外観を示す。  
Microelectronic type switchboard



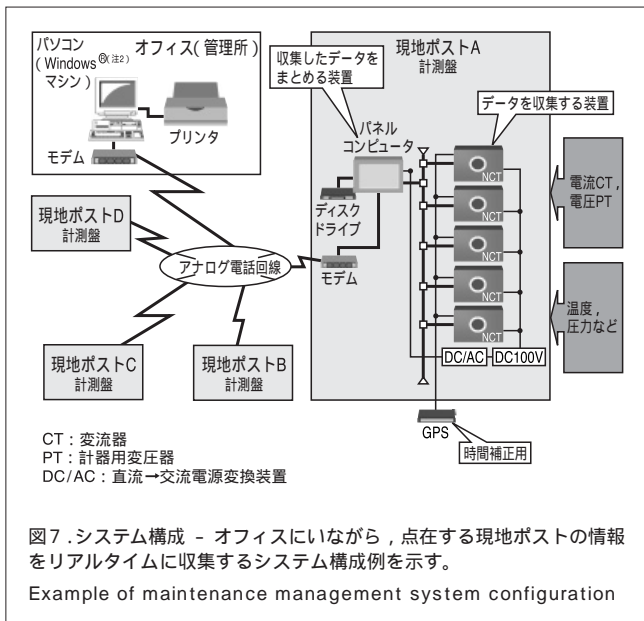
GPS : Global Positioning System      DⅢ : デジタル型保護継電器システム  
C-SCADA : コンパクト型スキャダ      HIU : Human Interface Unit  
I/O : Input/Output

図6. 新ME型配電盤システム構成 - 危険分散・高信頼性を考慮した二重化構成とし、屋内・屋外間を専用光伝送で結合して情報の多量化と高速・耐ノイズ性能を向上した。

Circuit configuration of new microelectronic type switchboard

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の商標。





することを實現したシステムである。現地情報を収集する情報端末には、耐ノイズ性能に優れネットワーク機能を装備した、自律的で自己完結動作を可能とするネットワークコンピューティング端末(NCT)を採用した。オフィスと現地ポスト(変電所など)間の接続は、使用中の通信媒体に合わせ構築できるようにした。

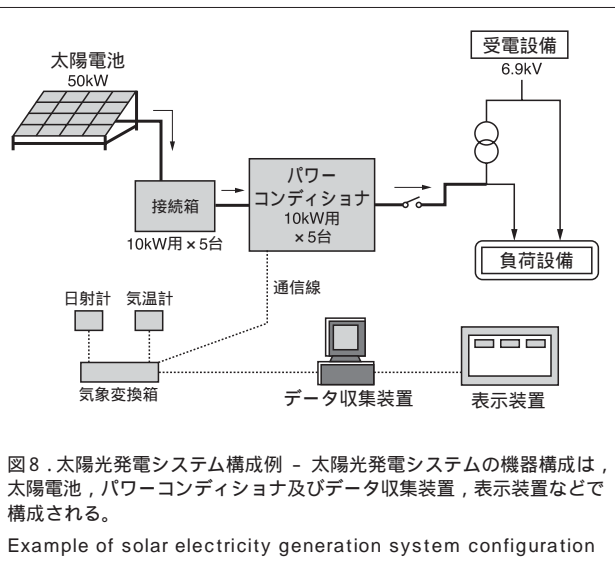
システム構成例を図7に示す。

## 7 新エネルギーシステム

地球温暖化防止対策として、従来の化石燃料(石油、ガス)や原子力などに代わる新エネルギー(太陽光、風力、バイオマスなど)が近年注目されている。

今回、東海旅客鉄道(株)小牧研究所に太陽光発電システムを導入したので、システム構成を図8に示し、システムの概要を以下に述べる。

- (1) 太陽電池は、太陽から日射を受けると直流電力を発生し、これを接続箱に集電する。
- (2) パワーコンディショナ(インバータ、系統連系保護装置などを含む)は、この直流電力を並列する商用電源の電圧、周波数、位相と同期した交流電力に変換し、連系運転を行うことで対象となる負荷設備へ商用電源とともに電力を供給する。
- (3) パワーコンディショナ内蔵の連系保護装置などにより、パワーコンディショナ及び系統の異常時には連系を遮断する。



- (4) 運転データなどは、データ収集装置により収集して発電電力などを表示装置で表示するとともに、日報・月報として、毎時・毎月の日射量や発電電力量を帳票として出力する。

## 8 あとがき

電鉄変電所は、車両の発達に対応した電力供給システムを實現する必要がある。開発ニーズとしては、更なる省スペース化、低損失化、高信頼性及び高機能化の促進に加え、地球環境保全面を重要視したシステムへの要求が高まっている。これを実現するには最新の技術を積極的に取り入れていく必要がある。

今後も、鉄道ユーザーのニーズに対応したシステムを構築すべく開発に取り組んでいく。



家入 一郎 IEIRI Ichiro

電力・社会システム社 交通システム事業部 交通電力システム技術部課長。電鉄用受変電システムエンジニアリング業務に従事。  
Transportation Systems Div.



伊藤 隆志 ITO Takashi

電力・社会システム社 交通システム事業部 交通電力システム技術部主務。電鉄用受変電システムエンジニアリング業務に従事。  
Transportation Systems Div.

(注2) Windowsは、米国 Microsoft Corporation の米国及びその他の国における登録商標。