

# 阪急電鉄(株) 1000系車両用電気品

Electrical Equipment for 1000 Series EMUs of Hankyu Corporation

廣田 航介

■ HIROTA Kohsuke

東芝は、従来から鉄道車両向けに、省エネ性、省メンテナンス性、及びサービス性などを向上させた機器の開発を進めてきており、このたび、阪急電鉄(株)の新型通勤車用1000系車両に対して、主要な電気品を納入した。

高効率で省メンテナンス性に優れた永久磁石同期電動機(PMSM: Permanent Magnet Synchronous Motor)を用いた駆動システムは、消費電力量を大幅に削減し、従来の装置から小型・軽量化した4in1インバータ装置によりぎ装占有スペースの削減に貢献した。また、モニタリングシステムと車内案内表示システムの効率化を図り、乗客に豊富な情報を提供する車両情報統合システムや冗長性の高い補助電源システムにより、サービス性の向上を実現した。

Toshiba has been making efforts to develop electrical equipment for rolling stock that offers enhanced energy saving, easy maintenance, and high serviceability. With this as a background, we have delivered the main electrical equipment for the new 1000 series electric multiple units (EMUs) of Hankyu Corporation.

The propulsion system incorporates highly efficient, easy-to-maintain permanent magnet synchronous motors (PMSMs) that achieve a significant reduction in traction power consumption, as well as 4-in-1 traction inverters for the PMSMs that are smaller in size and lighter in weight than conventional inverters, resulting in a reduction in the required installation space. Furthermore, our newly developed integrated train information system with a simple configuration makes it possible to supply passengers with plentiful information, and the auxiliary power supply system with high redundancy contributes to improved serviceability.

## 1 まえがき

阪急電鉄(株)の1000系車両(図1)は、神戸線と宝塚線の通勤車用として導入され、2013年11月28日に神戸線で、同年12月25日に宝塚線で営業運転が開始された。東芝は、省エネ性能に優れた駆動システムや、視認性の高い乗客案内サービスを提供する車内案内表示システムなど主要電気品を納入し、1000系車両の開発コンセプトである「すべてのお客様に快適な移動空間～さらなる環境性能の向上～」に応えることができた。

ここでは、1000系車両を構成するシステムの中で、当社が納入した電気品の特長について述べる。

## 2 1000系車両の仕様

1000系車両の仕様を表1に示す。基本的な仕様は既存の主力車両である9000系を踏襲しているが、MT比<sup>(注1)</sup>を4M4Tとしている。これにより車両としての粘着性が向上し、また、主回路システムにおいては4モータ制御が可能となっている。

(注1) 鉄道車両の動力車(M: Motor)と付随車(T: Trailer)の構成比。例えば、8両編成で、動力車が4両、付随車が4両の構成を4M4Tなどと表す。



図1. 阪急電鉄(株)1000系車両 — 外装は伝統カラーのマルーンとアイボリーである。

1000 series EMUs of Hankyu Corporation

## 3 駆動システム

### 3.1 PMSM<sup>(1)</sup>

主電動機として、定格出力190 kW (1時間定格)の全閉自冷式PMSM(図2)を採用した。

鉄道車両を駆動するための主電動機としては、誘導電動機(IM: Induction Motor)が国内外で広く採用されているが、当社は、より高効率な主電動機であるPMSMを他社に先駆けて開発し製品化した。

PMSMの特長は、次のとおりである。

表 1. 1000系車両と9000系車両の主な仕様

Main specifications of 1000 series and 9000 series EMUs

| 項目       |  | 仕様   |   |
|----------|--|--|---|
|          |  | 1000系  | 9000系   |
| 車両       | MT比  | 4M4T   | 3M5T  |
|          | 加速度  | 2.6 (km/h)/s                                     |   |
|          | 減速度  | 3.7 (km/h)/s (常用), 4.2 (km/h)/s (非常)             |   |
|          | 設計最高速度   | 130 km/h   |   |
| 主回路システム  | 主電動機   | 全閉自冷式PMSM<br>190 kW×16台                          | AC三相かご形IM<br>200 kW×12台                       |
|          | 制御装置   | IGBT VVVF制御<br>(回生優先ブレーキ, 定速制御)<br>4モーター×2群制御    | IGBT VVVF制御<br>(回生優先ブレーキ, 定速制御)<br>2モーター×2群制御 |
| 車両情報システム | モニタリングシステム                                       | 車両情報統合システム<br>コンピュータ制御方式<br>タッチパネルLCD表示          | コンピュータ制御方式<br>タッチパネルLCD表示                     |
|          | 車内案内表示器  | 32インチハーフサイズ<br>LCD表示器 3台/両                       | 15インチサイズ<br>LCD表示器 6台/両                       |
| 補助電源システム | 静止形IGBTインバータ装置<br>AC440 V, 三相,<br>60 Hz, 150 kVA | 静止形IGBTインバータ装置<br>AC200 V, 三相,<br>60 Hz, 150 kVA |   |

AC : 交流 IM : 誘導電動機  
IGBT : 絶縁ゲートバイポーラトランジスタ VVVF : 可変電圧可変周波数  
LCD : 液晶ディスプレイ

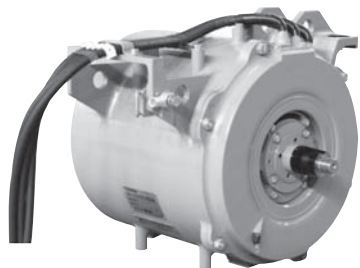


図2. PMSM — 従来のIMと比較し、損失を大幅に低減した。また、全閉構造により、省メンテナンス性に優れるとともに騒音も抑制した。

PMSM

- (1) 省エネ性 回転子に永久磁石を用いることで、二次側(回転子側)に流す電流が0となり、二次銅損がなくなる。これにより主電動機の損失が大幅に低減し、従来のIMでは定格効率が91%程度だったものを、97%まで向上させた。
- (2) 省メンテナンス性 PMSMは損失の少ない電動機であり、全閉構造を採用できる。これにより外部からのごみやちりの侵入を防ぐことができ、内部の清掃作業が不要となる。また、当社独自の技術である回転子を固定する機構により、内部を分解することなく軸受の交換が可能である。
- (3) 低騒音 全閉構造を採用することで騒音低減を実現した。従来のIMと比較し、機外への騒音を約12 dB低減(当社比)させた。

### 3.2 VVVFインバータ装置<sup>(2)</sup>

3.2.1 装置の小型化 PMSMを含めた同期電動機は、回転数に同期した制御が必要であることから、1台の主電動



図3. パワーデバイス — 3.3 kV-500 Aを2回路内蔵した新型のIGBT素子である。

Power module for 4-in-1 traction inverters

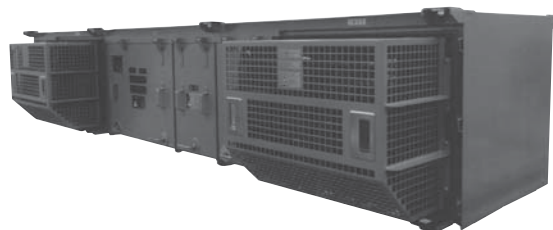


図4. 4in1インバータ装置(2群タイプ) — 1台で主電動機8台を駆動できる。

4-in-1 traction inverter incorporating two inverter units

機に対して1台のインバータ回路で駆動する個別制御が必要となる。この方式は、1台のインバータ回路で複数の主電動機を駆動できるIMを用いた駆動システムと比較し、インバータ装置が大型になってしまうことが課題であった。

当社は、限られたスペースの中に装置をぎ装する必要がある鉄道車両でこの課題を克服するため、装置の小型・軽量化の開発を行ってきた。具体的には、高耐熱IGBT(絶縁ゲートバイポーラトランジスタ)素子を採用することで、従来125℃であった最大動作温度を150℃に向上させ、また、2回路分を1パッケージ化した2in1パワーデバイスを開発した(図3)。更に、このパワーデバイスを用い、四つのインバータ回路を1台の冷却器で冷却可能な4in1インバータユニットを開発した。これにより、パワーユニットを小型化したのに加え、制御ユニットについても演算を高速化し、一つのプロセッサで2回路のインバータ回路を制御可能にした。これらにより、当社の従来のPMSM駆動用インバータ装置と比較し、体積比で60%、質量比で50%それぞれ低減し、IM駆動用インバータ装置と同等のサイズまで小型化することができた。

更に、4in1インバータユニットを2台搭載し、8台のPMSMを駆動できる2群タイプのインバータ装置(図4)も開発した。1000系車両にはこの2群タイプのインバータ装置を搭載することで、床下のぎ装占有スペースを低減した。

3.2.2 メンテナンス性 VVVF(可変電圧可変周波数)インバータ装置の制御ユニットには、当社でi-DU(Intelligent-

Display Unit)と呼んでいるLCD(液晶ディスプレイ)表示器を搭載している(図5)。タッチパネル操作により装置の制御

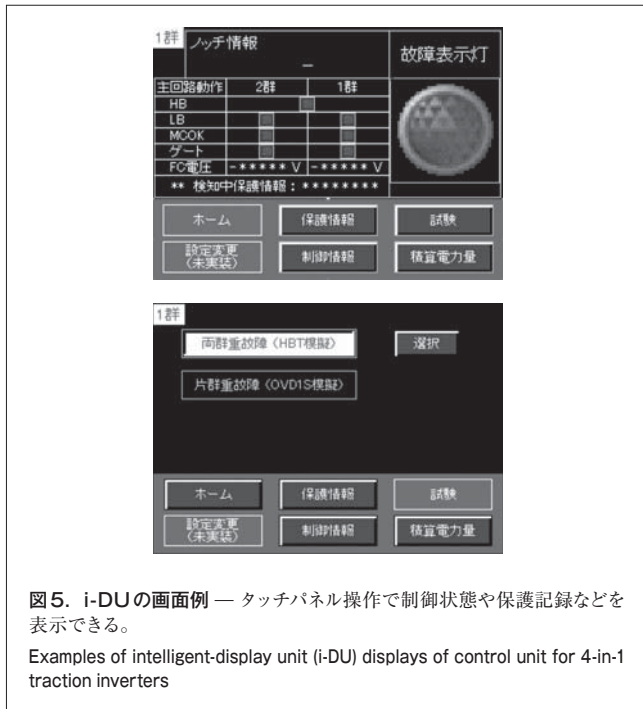


図5. i-DUの画面例 — タッチパネル操作で制御状態や保護記録などを表示できる。  
Examples of intelligent-display unit (i-DU) displays of control unit for 4-in-1 traction inverters

状態, 保護記録, 及び積算電力量の表示や, 車両性能の設定変更などが可能である。i-DUの採用により, LED(発光ダイオード)表示であった9000系車両と比較し, メンテナンス時の操作性や視認性を向上させている。

#### 4 車両情報統合システム<sup>(3)</sup>

車両情報システムとしては, モニタリングシステムと車内案内表示システムを統合した車両情報統合システムを採用した。従来は, モニタリングと車内案内表示をそれぞれ独立したシステムで行っており, ぎ装スペースやコストの面で非効率的であったことから, これらを統合して重複する機器やぎ装配線を削減し, 高効率なシステムを実現した。

車両情報統合システムの構成を図6に示す。モニタ装置(モニタ中央装置とモニタ端末装置の総称)間を100 Mビット/sの昇圧したEthernet<sup>(4)</sup>幹線伝送路で接続して機器情報やデジタル入力情報を収集し, 運転台のモニタ表示器でそれらの情報が表示される。各車両ではモニタ装置と機器をRS485(Recommended Standard 485)伝送で接続し, 相互に情報授受を行っている。運転状況記録は, 両先頭車のモニタ中央装置で同時記録を行う2重系としている。

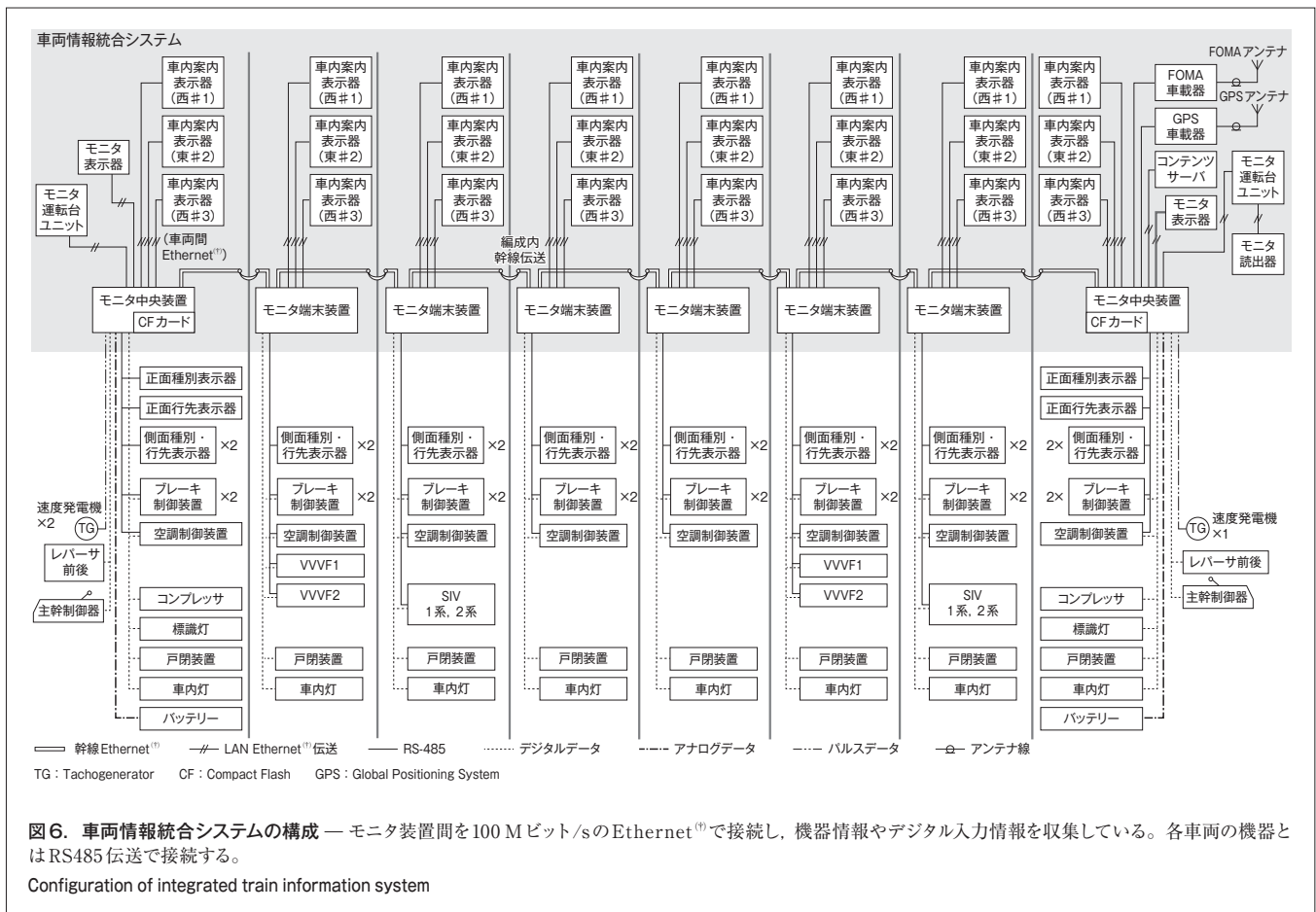


図6. 車両情報統合システムの構成 — モニタ装置間を100 Mビット/sのEthernet<sup>(4)</sup>で接続し, 機器情報やデジタル入力情報を収集している。各車両の機器とはRS485伝送で接続する。  
Configuration of integrated train information system

### 4.1 伝送仕様

モニタリングと車内案内表示に共通で、高速の100 Mビット/s 幹線伝送路を用いている。幹線伝送はEthernet<sup>(注)</sup>をベースとした鉄道車両用ネットワークであるTEBus (Train Ethernet Bus)を用い、車両内支線伝送は、IEEE 802.3 (電気電子技術者協会規格802.3)の中で100BASE-Tの規格に準拠している。また、幹線伝送は、送信信号電圧を8 Vp-p昇圧とすることで、耐ノイズ性を高めている。

高速伝送路により、モニタリングにおいては、機器故障情報の読出しや、システム内機器のソフトウェアのリモートローディングなどデータ転送時間を短縮することができる。車内案内表示においても、高速伝送が大容量のデータ転送を可能にしており、広告用動画の転送にも十分対応できる。

モニタ装置間は、スイッチングハブによりスター形に接続するトポロジーを採用しており、各モニタ装置の2チャンネルを幹線伝送に使用し、残りを支線伝送に使用する構成としている。冗長性については、1台のモニタ装置が故障したときには、幹線伝送をモニタ装置内でバイパスすることで、正常な装置だけで伝送路を構成できる。

表2. 車内案内表示器の仕様

Specifications of passenger information system

| 項目        | 仕様                       |
|-----------|--------------------------|
| 1 表示機能    | 薄膜トランジスタカラー LCD          |
| 2 表示サイズ   | 32インチハーフサイズ相当            |
| 3 画面表示エリア | 約20 (縦) × 約70 (横) cm     |
| 4 解像度     | フルHDハーフ (1,920 × 540ドット) |
| 5 視野角     | ほぼ180° (真横からでも見える)       |
| 6 輝度      | 900 cd/m <sup>2</sup>    |
| 7 バックライト  | LED (交換不要)               |
| 8 最大消費電力  | 35 W                     |
| 9 質量      | 約10 kg (電源ユニットを含まず)      |
| 10 実装場所   | ドア上 かもい                  |

HD: High Definition



図7. 車内案内表示器の画面例 — 駅数の多い路線図のスクロール表示や、画面分割による2画面同時表示などが可能である。

Example of passenger information system display

### 4.2 車内案内表示システム

各車両には32インチ ハーフサイズの大型LCDを使用した案内表示器を搭載している。表示器の概略仕様を表2に示す。横長の形状にしたことで、駅数の多い路線図や、ホーム案内、号車案内などを表示する際、それらのサイズを小さくすることなく表示できる。一度に表示しきれない場合には、スクロール表示を行う。また、広告動画や、無線経由で取り込むニュース、天気などを表示する際には、二つの画面に区切り、行き先、種別、及び次駅と同時に表示する(図7)。

各案内表示器は表示制御用コントローラを内蔵しており、幹線が故障したときにも表示させることができる。また、表示器が1台故障しても、ほかの表示器は正常に表示できる。コンテンツや広告動画などの大容量データは、各コントローラ内に実装している高速メモリに保存する。

## 5 補助電源システム

補助電源システムは9000系車両と同じ設計を踏襲し、冗長性の高い待機二重系SIV (Static Inverter) システムを採用している。故障時には装置内で待機側に切り替わることで、車内サービスを低下させることなく走行可能である。更に、編成内に2台の補助電源システムを搭載して並列運転制御を行うことで、送受電装置を不要にし、冗長性の高いシステムを実現している。

## 6 あとがき

阪急電鉄(株)の1000系車両には、省エネ性と省メンテナンス性に優れるとともに、低騒音のPMSM駆動システムをはじめとして、当社の最新技術を投入した電気品が搭載されており、安全で快適な、環境に優しい鉄道車両の実現に貢献している。当社は、今後も更なる技術革新を進め、鉄道業界の発展に貢献していく。

## 文献

- 川口 修. 省エネを実現する鉄道車両用機器. 東芝レビュー. 68, 4, 2013, p.19 - 22.
- 田坂洋祐 他. 省エネと環境性能に寄与する鉄道車両用PMSMドライブシステム. 東芝レビュー. 69, 4, 2014, p.28 - 32.
- 廣田航介 他. 東芝における情報伝送装置の開発～阪急1000系, 1300系車両情報統合システム～. 鉄道車両と技術. 211, 2014, p.12 - 16.

• Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標。



廣田 航介 HIROTA Kohsuke

社会インフラシステム社 鉄道システム統括部 車両システム技術部。鉄道車両システムのエンジニアリング業務に従事。Railway Systems Div.