

フリーゲージトレイン新試験車両用電機品

Electrical Equipment for New Gauge Changeable Train Test Models

森 学人 高尾 剛広 金光 修平

■ MORI Manato ■ TAKAO Yoshihiro ■ KANAMITSU Shuhei

東京と新大阪を結ぶ東海道新幹線が開業してから2014年で50年目の節目を迎え、更なる鉄道ネットワークの拡大と幹線交通の多様化実現を目指し、整備新幹線の建設が進みつつある。北陸新幹線が2015年3月に長野-金沢間の開業を迎え、北海道新幹線では新青森-新函館北斗間の試験走行が始まった。同じ整備新幹線として九州の武雄温泉-長崎間は、フリーゲージトレイン（以下、FGTと呼ぶ）を前提に建設が進められている。

東芝は、1998年に完成したFGT 1次試験車から電気システム幹事メーカーとして携わり、実用化に向けた次期試験車両であるFGT新試験車両の製作にも参画した。主回路システム機器をはじめとして、補助電源システム機器、情報制御システム機器、保安システム機器を一括して納め、新しいタイプの新幹線であるFGTの実用化に向けた開発に大きく貢献している。

The Tokaido Shinkansen Line connecting Tokyo and Shin-Osaka marked its 50th anniversary in 2014, and the construction of new Shinkansen lines is still continuing toward further expansion and diversification of Japan's railway transportation network. The Hokuriku Shinkansen started operation between Nagano and Kanazawa in March 2015, and test runs have been conducted between Shin-Hakodate-Hokuto and Shin-Aomori stations on the Hokkaido Shinkansen Line. In addition, the Kyushu Shinkansen Line between Takeo-Onsen and Nagasaki is under construction taking the application of gauge changeable trains into consideration.

Toshiba was involved in the manufacturing of the first-generation gauge changeable train, which was completed in 1998, as an electrical systems supplier, and has subsequently been participating in the development of electrical equipment for new gauge changeable train test models aimed at the practical realization of a new type of Shinkansen train. As part of these efforts, we have delivered main circuit system equipment, auxiliary power supply system equipment, information control system equipment, and safety control system equipment.

1 まえがき

わが国の鉄道幹線ネットワークの拡大を図るため、各地で新しい整備新幹線の計画が進んでいる。この計画は全国新幹線鉄道整備法（昭和45年法律第71号）で整備計画が定められた路線であり、北海道新幹線（青森市-札幌市間）、東北新幹線（盛岡市-青森市間）、北陸新幹線（東京都-大阪市間）、九州新幹線鹿児島ルート（福岡市-鹿児島市間）、及び九州新幹線長崎ルート（福岡市-長崎市間）を対象とする。

その中の九州新幹線長崎ルート（図1）については、新幹線（標準軌1,435 mm）と在来線（狭軌1,067 mm）をつなぐルートで計画されており、軌間（ゲージ）の違いにより従来の新幹線車両では直通運転できない。乗換えが発生すると利便性が悪くなること、在来線の軌間拡大工事をするとその間列車を運休する必要が出てくることから、武雄温泉-長崎間はFGTの導入を前提に建設が進んでいる。

FGTは異なる軌間を直通運転できるよう、車輪の左右間隔を軌間に合わせて自動的に変換できる電車であり、東芝は1998年に完成したFGT 1次車と2007年に完成したFGT 2次車の製作に参画し、主要電機品を一括して納入した⁽¹⁾。

FGT 2次車の試験走行で基本的な走行性能の技術が確立

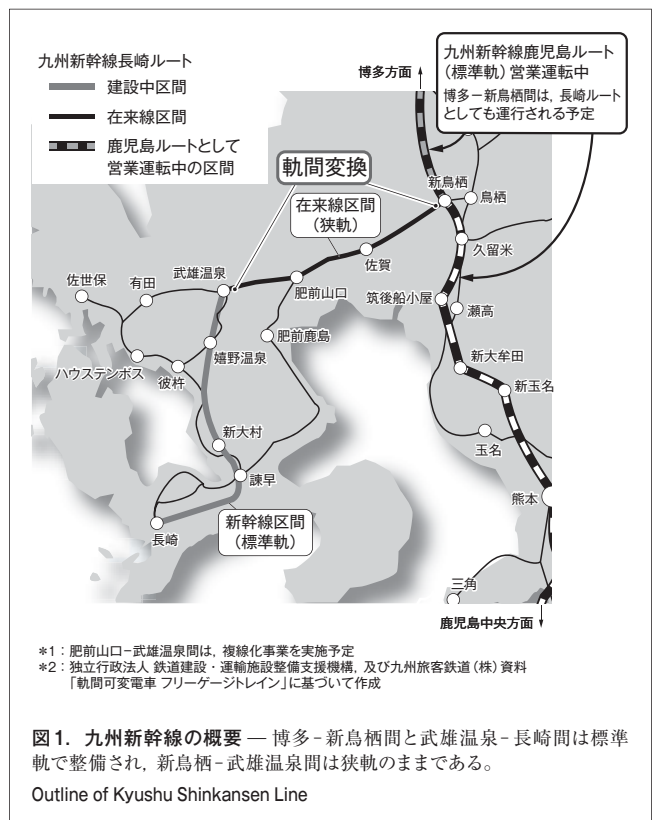




図2. FGT新試験車両—4両編成で、新幹線区間での最高速度は270 km/hである。軌間を変換することにより在来線も走行できる。
New gauge changeable train test model

表1. FGT新試験車両の主要諸元

Main specifications of new gauge changeable train test model

項目	仕様
車両編成	4両(4MOT:4両の全てに電動機搭載)
設計最大荷重	46 t/両
起動加速度	新幹線区間: 2.6 (km/h)/s, 在来線区間: 2.2 (km/h)/s
最高速度	新幹線区間: 270 km/h, 在来線区間: 130 km/h
編成出力	4,480 kW
車両限界	普通鉄道車両限界
台車方式	ボルスタレス式台車

したことを踏まえ、2014年3月に新たな試験車両(図2)が完成し、当社は引き続き主要電機品を一括して納入した。FGT新試験車両の諸元を表1に示す。

ここでは、FGT特有の軌間変換メカニズムとFGT新試験車両を構成する当社の電機品について述べる。

2 軌間変換メカニズムと制御

軌間可変電車方式は新しく線路を増やすなどの地上施設への負担が少なく、既存の施設を有効に活用できることが特長である。

車輪間隔の変換は、地上設備である軌間変換装置(図3)で行われる。以下に軌間変換の流れを示す。

- (1) 軌間変換装置に車両が進入すると、軸箱が支持レールに支えられ、車輪は浮いた状態になる。
- (2) 車輪の軸方向(枕木方向)のロック装置が解除される。
- (3) ガイドレールに沿って車輪が軸方向に移動し、軌間変換される。
- (4) 車輪の軸方向のロック装置が再びロックされる。
- (5) 車両が支持レールから降ろされて、車輪がレールに着線する。

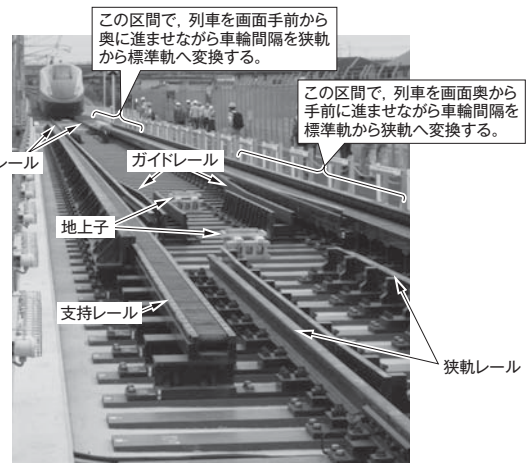


図3. 軌間変換装置—約70 mの区間に設置されており、車輪を浮かせることによって軌間変換を行う。

"Gauge Change Equipment"

台車には車輪の軸方向のロック/アンロック状態のセンサが取り付けられており、車体側の制御伝達装置で監視して、ロック/アンロックが正しく行われないなどの異常を検出した場合に非常ブレーキを動作させる。

この車輪間隔の変換を車内でも見られるようにするために、台車の映像を車内に設置したLCD(液晶ディスプレイ)パネルで確認できるカメラ映像システムを搭載している。FGT 2次車にも同じ目的でカメラが搭載されていたが、FGT新試験車両ではEthernet[®]伝送を行うことができる台車カメラを車内モニタシステムのネットワークに接続し、LCDパネルに表示するシステムとした。また、映像分配器により映像を分配することで、2, 3号車それぞれのLCDパネルで映像を見られる。

FGT新試験車両は床下機器を設置するスペースに制約があるため、カメラ設置位置と台車の間隔が約20 cmと非常に狭く、通常のカメラレンズでは十分な範囲を観測することができない。そのため魚眼レンズを採用し、更に映像の歪み(ひずみ)を補正するための画像処理を画像制御部でリアルタイムに行うことで、滑らかに行われる車輪間隔の変換状況を確認できる。

3 主要な東芝製電機品の技術と特長

3.1 主電動機

FGTは、狭軌を走行する在来線の車両限界内に標準軌を走行する新幹線レベルの電機品を配置する必要がある。そのため、床下の機器艙装(ぎそう)スペースに余裕がなく、電機品の小型・軽量化が必要である。台車も、狭軌の寸法内に新幹線用の主電動機や、ブレーキ、軌間変換機構などが配置されるので、主電動機を搭載するための軸方向のスペースが非常に狭くなる。

従来、新幹線用主電動機は誘導電動機を使用してきた。しかし、今回の台車と類似した構造のFGT 2次車開発では機装スペースが不足して誘導電動機で構成できなかったため、新幹線と同等の出力で小型化が可能な永久磁石同期電動機(PMSM: Permanent Magnet Synchronous Motor)を採用した²⁾。また、FGT新試験車両は実用化に向けた車両であることから、FGT 2次車で軸方向の寸法を短縮するために採用してきた内装継手方式をやめ、メンテナンス性を考慮した通常のWN継手(歯車形たわみ軸継手)方式を採用したため、主電動機の軸方向寸法の更なる縮小が必要になった。

これらの制約により、主電動機の鉄心長を短くする必要があるが、磁束発生面積が減少するのでトルクの減少につながる。そのため短鉄心長で必要なトルクを得るために磁気回路の最適化が必要になった。

通常のPMSM設計は2次元解析で最適化を行っているが、短鉄心長電動機の場合は鉄心端部での漏れ磁束が全体に比べて大きいので、実測トルクが2次元解析結果より減少してしまう。そこで3次元解析を用い、軸方向の磁束量についてより精度の高い検討を行うとともに、3次元解析結果と2次元解析結果の差の傾向を把握することによって、最適設計を行った。

その結果、FGT 2次車に比べて鉄心長が-10%、固定子径が-11%という厳しい条件であるにも関わらず、出力が12%向上した(図4、表2)。また、新幹線性能、在来線性能とも

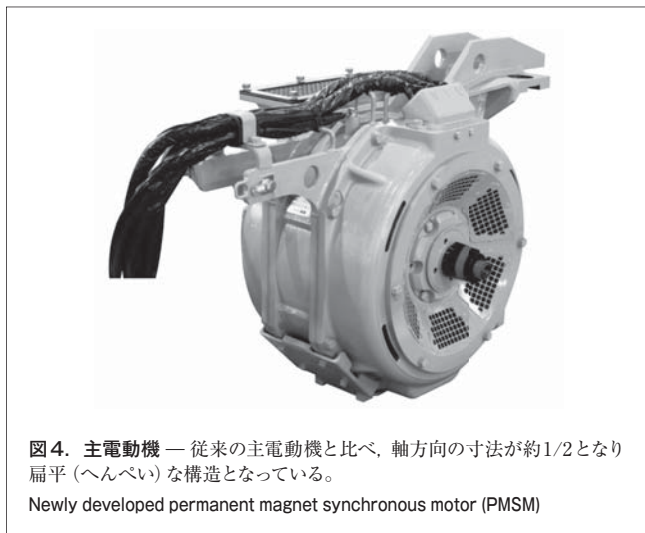


図4. 主電動機 — 従来の主電動機と比べ、軸方向の寸法が約1/2となり扁平(へんぺい)な構造となっている。
Newly developed permanent magnet synchronous motor (PMSM)

表2. FGT 2次車用及び新試験車両用PMSMのパラメータ比較
Comparison of parameters of PMSMs for second-generation gauge changeable train and new gauge changeable train test model

項目	2次車用	新試験車両用
出力 (kW)	250	280
鉄心長 (mm)	105	95
固定子直径 (mm)	610	540

に、設計条件の電流値で所定のトルクを出力できることを確認した。従来の新幹線用誘導電動機と比べて、軸方向の寸法が約1/2と小型化した新幹線区間を270 km/hで高速走行できる性能を持っている。

更に、従来の新幹線、在来線共に使用してきた誘導電動機に比べ、規定効率96.0~97.7%と大幅な高効率化を実現したことが負荷試験で確認された。

3.2 主変換装置

主電動機の駆動制御を行っている主変換装置は、PMSM駆動のため個別主電動機制御方式を使用する。主変換装置の主な仕様を表3に示す。

2章で述べたように軌間変換するときは車輪を浮かせるが、浮いている間に主電動機から車輪にトルクをかけ続けると車輪が急回転する可能性がある。その状態で車輪が線路に再着線すると、車両速度と車輪速度の差が大きいため線路及び車輪を傷つけてしまう。これを防ぐため、この個別主電動機制御方式を生かし、浮いた車輪への駆動力を止める個別トルクゼロ制御を行っている。個別トルクゼロ制御は、後述の制御伝送装置が地点情報を認識することにより、各車輪が浮くときにトルクをゼロにする指令を主変換装置に出力し、軸が再着線するときにトルクゼロ制御を解除する指令を出力する。

また、素子のスイッチングタイミングを指令するゲート制御については、IGBT(絶縁ゲートバイポーラトランジスタ)素子を使用した25 kV区間の交流電車で初^(注1)となる電気伝送方式を採用し、ゲート基板を開発した。新幹線は在来線と比べて架線電圧が高く、車両長が長いので引通し線も長くなることにより、ノイズ重量が大きいと考えられていた。そのため、光変換伝送方式が一般的に用いられてきたが、近年におけるゲートドライバの技術力向上によりノイズ耐量が改善され、電気伝送方式による駆動を行うことができた。これにより、検修(検査修繕)作業における光変換伝送路の光量測定が不要になるなど事業者側のメンテナンス性が向上し、同時に光ファイバを使用しないことにより製造時の作業性も改善された。ノイズ

表3. 主変換装置の主な仕様

Main specifications of main converter/inverter equipment

項目	新幹線	在来線
型式	G-PC901形	
コンバータ方式	3レベル変調単相電圧形PWMコンバータ	
インバータ方式	2レベル変調三相電圧形VVVFインバータ	
冷却方式	強制風冷沸騰冷却方式	
直流電圧 (V)	2,800	2,400
コンバータ部最大出力 (kW)	1,216	588
インバータ部最大出力 (kW)	1,296	624

PWM: バルス幅変調 VVVF: 可変電圧可変周波数

(注1) 2014年4月時点、IGBT素子を用いた25 kV区間の新幹線電車として、当社調べ。

試験で、十分なノイズ耐量を持っていることも確認できており、実運用に問題ない結果を得た。

この主変換装置は新幹線用装置をベースに製作を行っているが、新幹線・在来線直通運転のため、在来線の信号設備に対する誘導障害対策も必要になる。そのためFGT新試験車両においてはフィルタ回路や、底面から直接到達するノイズを吸収するための電磁鋼板を配置して、ノイズ対策を施した。

その他、九州地方特有である火山灰に対しても網の細かいエア抜きフィルタを採用するなど、実運用を想定した様々な対策を行っている。

3.3 モニタ装置

モニタ装置は、両先頭車に搭載されているモニタ中央装置、各号車に搭載されているモニタ端末器、及び運転台に搭載されているモニタ表示器で構成されている。九州区間を走行する新幹線のシステムに準じた構成としており、取扱いなども既存新幹線に準拠している。

車両間のモニタ幹線には量産を考慮し、光ファイバによる高速大容量伝送システムを採用した。モニタ中央装置やモニタ端末器のインタフェース基板にLANケーブルを接続することにより、測定データや車両データを伝送できる。

軌間変換区間における特徴的な機能として、運転士をアシストするための、主変換装置に対する速度制限リミッタがある。制限速度はモニタ画面上で1 km/h単位で設定できる。

また、ブレーキや、ドアステップ、主回路接触器動作などの車両健全性を確認するための検修機能も設けており、既存新幹線だけでなく、在来線にも対応した総合的な検修機能を持たせている。

3.4 制御伝送装置

各機器に指令を伝える電線本数の削減による車両の軽量化を目的として、FGT新試験車両は制御伝送装置を採用した(図5)。これまでの指令線の代わりとなるため、故障した場合を考慮して二重系構成としている。また、車両として運行に支

障をきたす一部の指令線については引通し線として残している。

2章で一部述べたとおり、制御伝送装置は、軌間変換区間付近に1方向について7個ずつ設置された地上子の位置情報と、自車の移動量から算出される位置情報に基づいて車両の位置を知り、軌間変換時の台車ロック/アンロック状態を適切な地点で監視している。他に、車体の高さについても同様に監視しており、台車のロック/アンロック状態及び車体高さに異常があった場合、ブレーキ制御装置へ通知する。また、3.2節で述べたとおり車輪が浮くタイミングで主変換装置に対してトルクゼロ指令を送り、同時にブレーキ制御装置に対しては空気制動停止指令を送信する。

4 あとがき

当社は、FGT技術の研究段階から車両用電機品の製作メーカーとして関わっており、実用化に向けたFGT新試験車両に主回路機器をはじめとして、補助電源システム機器、情報制御システム機器、保安システム機器を一括して納めた。

今後は試験走行において制御内容や車両モニタシステムの耐久性を確立するとともに、実用化に向けた電機品の小型・軽量化の検討を進めていく。

文献

- 1) 吉田憲二. 東海旅客鉄道(株)及び西日本旅客鉄道(株)向け新型新幹線用電機品. 東芝レビュー. 62, 10, 2007, p.50 - 53.
- 2) 長谷部寿郎 他. “フリーゲージトレイン新試験車両向けPMSMの開発”. 第51回鉄道サイバネ・シンポジウム. 東京, 2014-11, 日本鉄道サイバネティクス協議会シンポジウム委員会, 2014, No.513.

• Ethernetは、富士ゼロックス(株)の商標。

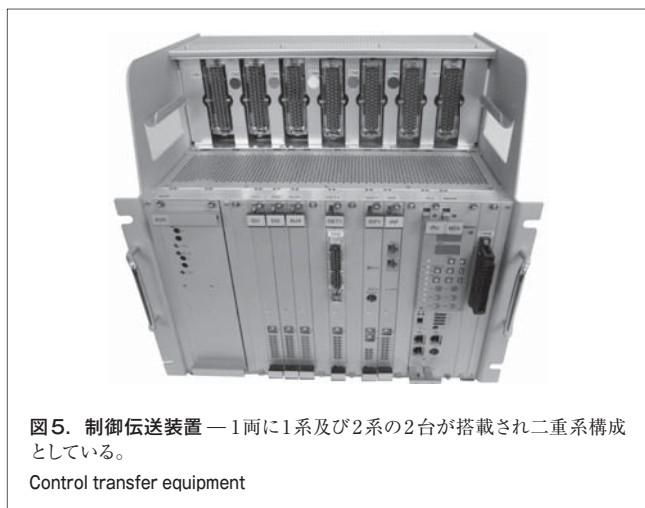


図5. 制御伝送装置 — 1両に1系及び2系の2台が搭載され二重系構成としている。
Control transfer equipment



森 学人 MORI Manato

社会インフラシステム社 鉄道・自動車システム事業部 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 & Automotive Systems Div.



高尾 剛広 TAKAO Yoshihiro

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 鉄道システム部。鉄道車両用主変換装置の電気・システム設計に従事。

Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



金光 修平 KANAMITSU Shuhei

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 交通システム部。鉄道車両用主電動機の開発・設計に従事。

Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems