

世界の安全・安心・快適な公共交通に貢献する 鉄道車両用パワーエレクトロニクス機器

Power Electronics Equipment for Railcars Contributing to Safe, Secure, and Comfortable Public Transportation in the World

藤田 憲司 FUJITA, Kenji

小林 宣之 KOBAYASHI, Nobuyuki

富士電機は、最新のパワーエレクトロニクス技術を活用した鉄道車両用主回路電機品システム、電気駆動式ドア（電気式ドア）システムなどを提供している。消費電力低減による省エネルギー化のために小型・軽量化を進めた搭載機器や、快適性の向上のためにフルアクティブダンパ駆動装置を開発した。また、安全・安心のために電気式ドアシステムの部品構成やメンテナンス方法の見直しによる故障率の低減と安全性向上を実現した。これらの製品を日本国内の他、北米・アジアなどの海外市場への展開も積極的に進め、海外規格や現地生産への対応を進めている。

Fuji Electric provides traction equipment and electric door systems for railcars that utilize the latest power electronics technology. We have developed compact and lightweight on-board equipment with low-power consumption to save energy and fully active damper drive systems to improve passenger comfort. In addition, we have reduced the failure rate and enhanced the safety of our electric door systems by improving the component configuration and the maintenance processes. We have been actively promoting these products in Japan and overseas markets, such as North America and Asia, and are pursuing to meet overseas standards and to increase local production.

1 まえがき

地球温暖化対策のために、世界規模で温室効果ガス排出抑制のさまざまな取組みがなされている。日本におけるCO₂総排出量のうち運輸に関わるCO₂排出量は約20%を占めている。その中で多くを占める自動車分野では急速に電動化が進んでいる。また、環境負荷が小さく経済的な大量輸送手段である鉄道は、車両の高速化に加え、軽量・省エネルギー（省エネ）化によって持続的社会的発展に向けてさらなる進化を続けている。

富士電機では鉄道車両に搭載する最新のパワーエレクトロニクス製品を提供することで環境負荷を低減し、持続可能な社会の実現に貢献している。本稿では、図1に示す鉄

道車両用電機品のうち鉄道車両用主回路電機品システム（主変換装置、主電動機および主変圧器）、フルアクティブダンパ駆動装置、電気駆動式ドア（電気式ドア）システムについて述べる。

2 新幹線向け主回路電機品システムの小型・軽量化

鉄道車両の省エネ化には車両や搭載機器の質量低減による消費電力の低減は欠かせない。

富士電機製のSiCパワー半導体モジュールの採用や冷却方式の最適化により小型・軽量化を行い、新幹線の標準車両^(注)の実現に貢献した。

特集 省エネルギー・小型化と生産性向上に貢献するパワーエレクトロニクス

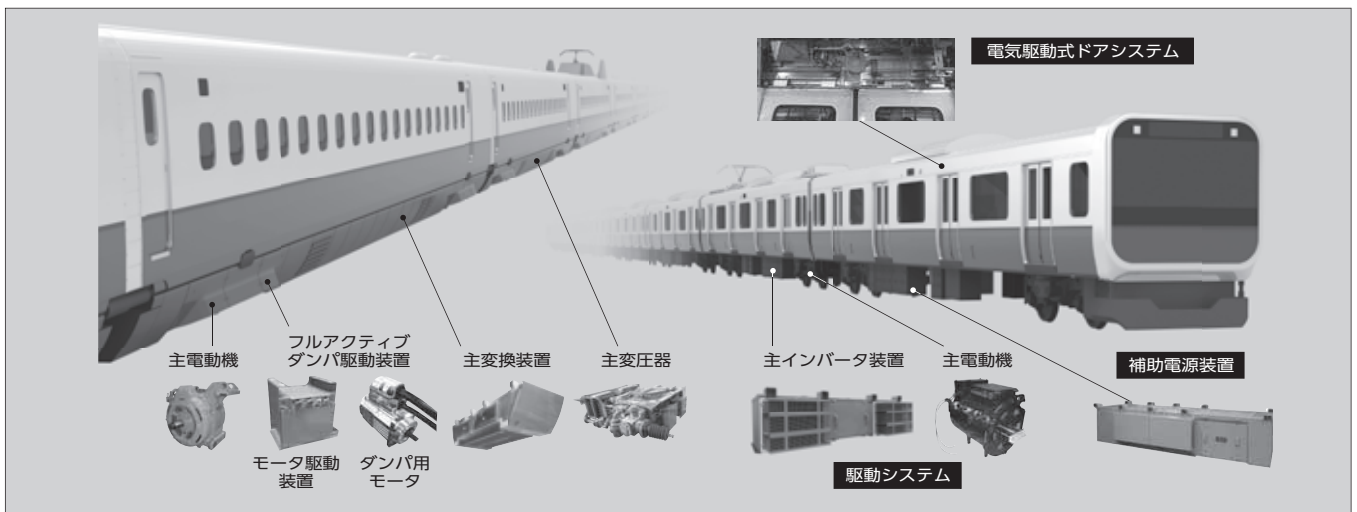


図1 鉄道車両用電機品

〈注〉新幹線の標準車両：床下機器の小型・軽量化により編成の車両数を柔軟に対応できる車両

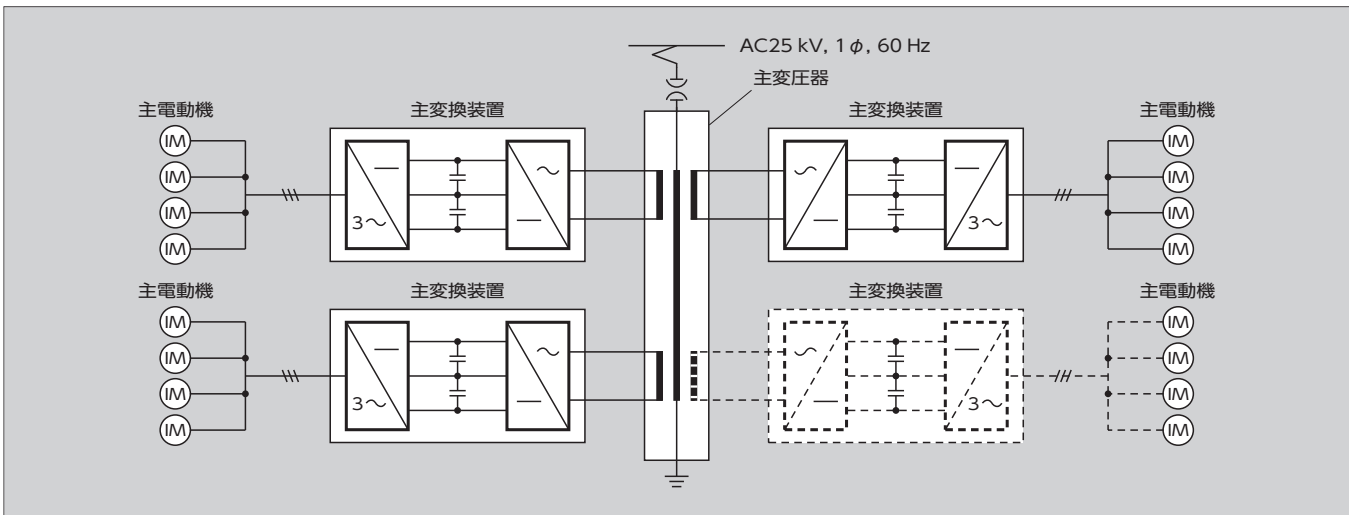


図2 主回路電機品のシステム構成

東海旅客鉄道株式会社のN700S新幹線車両に納入した主回路電機品の各機器において、次に示す小型・軽量化を行った。図2に主回路電機品のシステム構成を、表1に装置仕様を、図3に主回路電機品の外観を示す。

表1 主回路電機品の装置仕様

項目		仕様
公称電車線電圧		AC25 kV, 単相, 60 Hz
主変圧器	方式	単相外鉄形無圧密封式 (二次巻線: 3分割または4分割)
主変換装置	回路方式	3レベルPWMコンバータ 3レベルPWMインバータ
	パワーデバイス	SiCパワー半導体モジュール
	冷却方式	走行風自冷
主電動機	方式	かご型誘導電動機
	極数	6極
	定格電圧	AC2,300 V
	定格出力	305 kW (連続)

- (1) 主変圧器の銅損を低減する設計とし、巻線にアルミニウム電線を、また、冷却方式としてユニットクーラを採用した。これらにより、従来比12%の小型化と10%の軽量化を行った（二次巻線4分割タイプ）。
- (2) 主変換装置のパワーデバイスとして、低損失、高耐熱の特性を持つSiC-SBD（Silicon Carbide-Schottky Barrier Diode）とIGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）を組み合わせたSiCパワー半導体モジュールを採用し、冷却体を小型・軽量化した。さらに、パワーユニット内の構造および導体構成を最適化し、従来比9%の小型化と14%の軽量化を行った。
- (3) 主電動機の極数を従来の4極から6極に変更し、また、損失の少ない鉄心材料とすることで、従来比11%の小型化と17%の軽量化を行った。

これらの主回路電機品を搭載したN700S確認試験車は、2018年3月に走行試験を開始した。この試験で得られた試験結果を踏まえて改良した機器を搭載した営業車両が、2020年7月に営業運転を開始している（図4）。

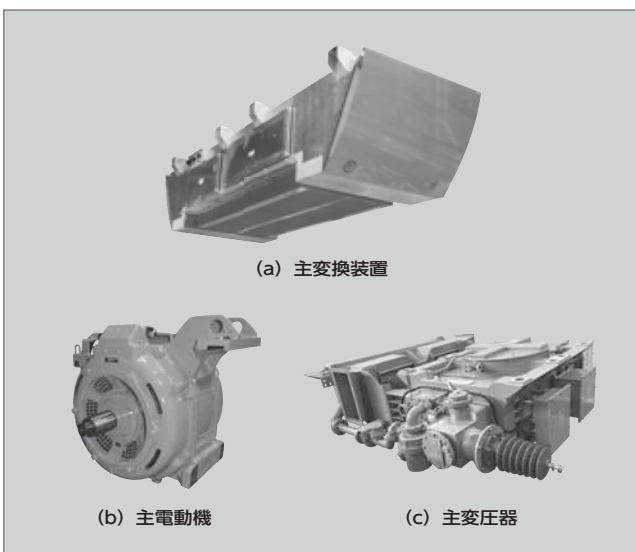


図3 主回路電機品の外観



図4 N700S新幹線車両
(写真提供：東海旅客鉄道株式会社)

③ フルアクティブダンパ駆動装置による新幹線車両の乗り心地の向上

N700S 新幹線のグリーン車などに搭載されているフルアクティブ制振制御システムは、車両の振動を制御して乗り心地を改善している。富士電機は、フルアクティブ制振制御システム内に組み込まれるダンパ用モータと、モータ駆動装置で構成されるフルアクティブダンパ駆動装置を納入している。ダンパ用モータで油圧ポンプを駆動することにより、車両の左右振動を抑制するダンパに油圧を供給し、乗り心地の向上に貢献している。

表2に装置の仕様を、図5に装置の外観を示す。装置の開発を進める上で次の工夫を行った。

- (1) モータ駆動装置箱を密閉構造とし、箱内の空気循環だけで内部機器を冷却することで、フィルタなどの定期的な交換が必要な部品を削減した。
- (2) ダンパ用モータを小型化し、台車内の限られたスペースに艤装(ぎそう)できるようにした。
- (3) ダンパ用モータの耐振性を強化し、台車に搭載できるようにした。

表2 フルアクティブダンパ駆動装置の仕様

項目	仕様	
モータ駆動装置	入力電圧	AC100V
	出力電圧	AC100V (三相)
	構造	密閉室、防水・防じん
ダンパ用モータ	方式	同期電動機
	電圧	AC100V (三相)
	定格トルク	1.1 N・m
	定格回転速度	3,000 r/min

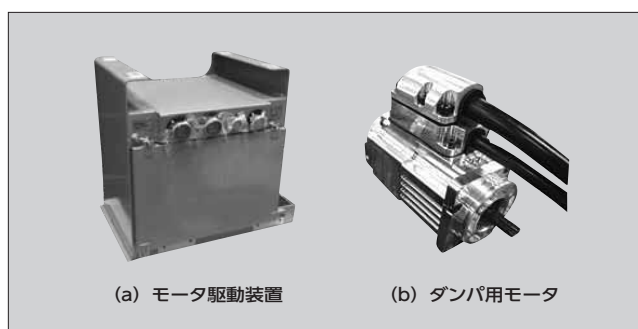


図5 フルアクティブダンパ駆動装置の外観

④ 在来線電車向け電気式ドアシステムにおける安全・安心への取組み

安全・安心な鉄道の運行は事業者による日々のメンテナンスによって実現している。しかし、将来予想される日本の労働人口の減少に対応するため、メンテナンス方法の見直しが急務である。電気式ドアシステムは、表3に示すように従来の空気式ドアシステムに比べ、安全性や取付性、操作性、保守性において優れた点が多い。

富士電機は、東日本旅客鉄道株式会社のE235系車両に電気式ドアシステムを納入している。このドアシステムは、既存の電気式ドアシステムに比べて永久磁石の使用量を削減し、装置全体で14%軽量化した。調整箇所や部品点数を削減したことにより、ライフサイクルコストを削減し、故障率の低減を実現した。

図6に電気式ドアシステムの構成を、図7に動作原理を示す。

このドアシステムは、ドアパネルを開閉する動力源となるモータ、モータ動力をドアパネルに伝達するラック・アンド・ピニオン機構を格納する本体、戸閉状態において施錠を担保するロック装置、モータやロック装置を制御する制御装置、ドアパネルを保持するスライド式ドアレール

表3 電気式ドアシステムと空気式ドアシステムの比較

	電気式ドアシステム	空気式ドアシステム
安全性	停電時、ロック装置でドア閉扉を維持可能である。サーボモータによる高感度な戸挟み検知制御機能によりドアに挟まれるリスクを低減する。	停電時、空気圧喪失によるドア開扉のリスクがある。戸挟み検知感度が低く、ドアに挟まれるリスクが高い。
取付性	電気配線とモジュール構造の機構部品のみで構成されており、機器脱着が容易である。	機構部品、空気配管、電磁弁用配線などがあり、機器脱着が複雑である。
操作性	制御ソフトウェアにより乗客行動を想定した動作パターンや条件の変更が可能である。	機構部分の制約により動作パターンやその条件の変更が困難である。
保守性	機構部分のみへの潤滑・メンテナンスのため、ライフサイクルコストを低く抑えられる。	機構部分、配管部分、コンプレッサなど多岐にわたるメンテナンスが必要である。

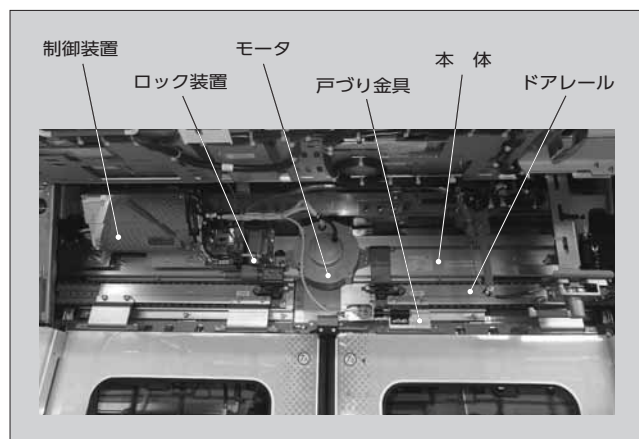


図6 電気式ドアシステムの構成

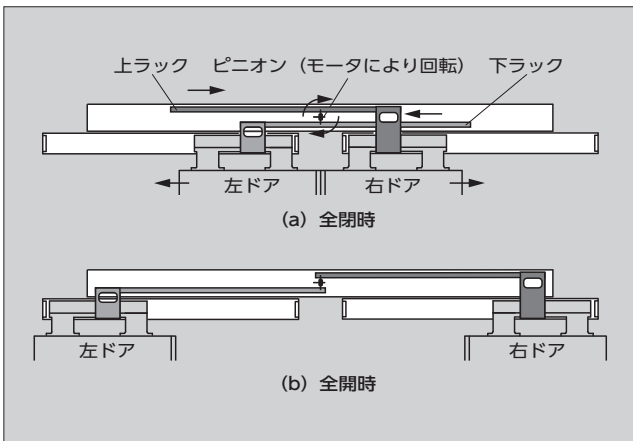


図7 電気式ドアシステムの動作原理

よび戸吊り金具から構成されている。特に、モータ軸にピニオンを直結し、上ラックと下ラックを直接駆動することで、この変速ギアのない簡素な機構によって、部品点数の削減とメンテナンスコストの低減を実現した。

なお、ロック装置は、ロックピン、ソレノイド、解錠ハンドルなどからなる。ドアパネルが戸閉位置にある状態でロックピンを下げ、扉側のロックホールとかみ合わせることでドアパネルを閉状態に維持する。開動作時は、制御装置からの指令に基づき、ソレノイドがロックピンを持ち上げることにより解錠動作を行う。また、メンテナンスや非常時は、解錠ハンドルの操作により、解錠ワイヤを介してロックピンを引き上げて解錠状態とする。

このシンプルな構造のロック装置は、施錠・解錠動作における動作シーケンスの自由度を広げている⁽²⁾。

このロック装置に最新の戸挟み検知シーケンスを適用した結果、薄い障害物を挟んだ際に車両走行の許可を示すパイロットランプを瞬時点灯しないようにすることができ、富士電機の既存装置に比べ“戸挟み検知”と“引きずり検知”が高感度となり、安全性が向上することが確認できた。

また、制御装置は状態監視機能や故障診断機能を持っている。これらの機能がドア状態や故障の診断を行った結果を、車上传送装置を介して上位側に送信し、鉄道事業者は



図8 E235系車両
(写真提供：東日本旅客鉄道株式会社)

車両のCBM (Condition Based Maintenance) などに活用する。

この電気式ドアシステムは東日本旅客鉄道株式会社のE235系車両に採用されている。山手線向けE235系車両で得られた知見を踏まえて改良された機器を搭載した横須賀・総武快速線向けE235系車両(図8)は2020年12月に営業運転を開始した。

5 海外市場への取組み

北米の既設路線の更新やアジアの新設路線建設を中心に、海外市場における鉄道車両の需要が拡大している。これに伴い富士電機は、海外市場への展開を積極的に進めるため、海外規格への対応や現地生産・現地関係会社による保守体制の確立に取り組んでいる。

5.1 国際規格や海外規格への対応

北米向けでは、ソフトウェアに対しCMMI (Capability Maturity Model Integration) への適合が要求され、認定資格者による公式なアセスメントを行い、2019年に評定を更新した。引き続き設計品質の向上の取組みを継続し、最新の規定に基づく評定の更新と高度化を進めていく。

アジア向けでは、機能安全への規格対応を要求される。地域ごとに要求される対象機能やレベルに応じて社内・社外の監査メンバーによる監査活動を行い、製品開発を進めている。

また、北米やアジアにおけるこれらの活動により得た知見を標準製品のコンセプト設計や業務改善に活用している。

5.2 現地生産・保守体制の構築

鉄道は、公共交通を担う重要なインフラである。そのため、鉄道車両向けの機器に対して、動作やメンテナンスに関する問合せや万一の不具合時の緊急対応のため保守体制を築く必要がある。そこで、米国やアジアなどの主要な顧客の拠点の近くにある関係会社や協力会社が保守サービスを行う体制を構築している。また、顧客の要求により現地生産が必要となっている。特に、ドアシステムへの海外顧客の要求に対応できるように米国における現地生産と保守体制を強化するため、富士 SEMEC 社を設立した。

6 あとがき

世界の安全・安心・快適な公共交通に貢献する鉄道車両用パワーエレクトロニクス機器について述べた。これらの分野は、最先端のパワーエレクトロニクス技術をベースとして小型、軽量、高性能、高信頼性を実現することで地球環境保護に貢献している。また、社会ニーズとさまざまな技術の融合によりメンテナンスの容易化と削減、および可用性の向上を実現し、安全・安心で快適な公共交通を発展・維持することで持続可能な社会の実現に貢献している。

今後も、省エネルギーと環境保護といった社会・市場の

ニーズを先取りした研究開発を積極的に推進し、社会全体の環境負荷低減に貢献できる製品を提供していく所存である。

参考文献

- (1) 小林宣之. 東海旅客鉄道株式会社向けN700S新幹線電車用電機品. 富士電機技報. 2020, vol.93, no.4, p.259-261.
- (2) 藤田憲司ほか. 輸送品質向上を目指したJR東日本E235系電車(山手線)向けドアシステム. 富士電機技報. 2018, vol.91, no.1, p.55-59.



小林 宣之

鉄道車両用電機品のエンジニアリング業務に従事。
現在、富士電機株式会社パワエレシステム インダストリー事業本部社会ソリューション事業部輸送機器部課長。



藤田 憲司

鉄道車両用ドアのエンジニアリング業務に従事。
現在、富士電機株式会社パワエレシステム インダストリー事業本部社会ソリューション事業部輸送機器部主査。電気学会会員。





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。