

進化する新幹線車両システムと東芝の取組み

Technologies for Rolling Stock Systems and Electrical Equipment Supporting Evolution of Shinkansen Trains

吉田 憲二

■YOSHIDA Kenji

東海道新幹線の開業から半世紀近くを迎えるが、新幹線は正確性、安定性、高速性、及び省エネ性を備えた鉄道システムとして、これまでに新しい種々の技術を取り入れながら常に進化を続けている。またその間、半導体を中心としたデバイスの進化が新しい新幹線車両用電機品の発達を支えてきた。更に、新たな新幹線の路線建設も行われている一方で、在来線の線路幅を変えずに新幹線と直通運転できるフリーゲージトレイン（以下、FGTと呼ぶ）の開発も進んでいる。

東芝は、開業当初から車両システムや、電力システム、運行管理システムなど安全・安心で快適な新幹線を実現するための中核部分を担う設計・製造メーカーとして車両システムの開発に参画してきた。進化を続ける新幹線において、当社はこれまで培ってきた技術に最新のデバイスやICT（情報通信技術）を適用した新幹線車両用電機品を開発し納入するとともに、新しいタイプの新幹線であるFGTの実用化に向けた開発を進めている。

Although almost half a century has passed since the Tokaido Shinkansen Line started operation, the Shinkansen trains continue to evolve for the benefit of social and economic infrastructures through the adoption of new technologies to realize an advanced transportation system with ever-improving punctuality, stability, speed, and energy efficiency. Improvement of the performance of devices such as semiconductors is also supporting the development of electrical equipment for Shinkansen trains. Furthermore, a gauge changeable train, which can run on the gauges of both conventional railway lines and Shinkansen lines, is being developed in parallel with the construction projects for new Shinkansen lines.

Toshiba has been actively participating in the development of Shinkansen train systems, including rolling stock systems, power systems, traffic control systems, and maintenance management systems, to assure safe, secure, and comfortable operation as a core manufacturer from the start of the Shinkansen project. We are making continuous efforts to supply electrical equipment for Shinkansen trains using state-of-the-art devices as well as information and communication technologies, and are working toward the practical realization of the gauge changeable train.

1 まえがき

1964年10月に東京駅と新大阪駅間を結ぶ東海道新幹線が開業してから、既に半世紀近くが過ぎようとしている。世界に先駆けて200 km/hを超える速度で乗客を乗せる高速鉄道として営業を開始した新幹線は、わが国の経済と国土を繁栄させる原動力の一つとなり、今や“Shinkansen”と言えば海外でも通用するほどの大きな成果を挙げてきた。

現在では、青森県から鹿児島県に至る約2,400 kmにわたって拡充され、日本列島を縦断する規模の新幹線網が完成している。これらの中には、山形新幹線、秋田新幹線と呼ばれる、新幹線と在来線を直通して走行する車両も登場している。この二つの新幹線は、在来線側の線路幅を新幹線のサイズに変更して直通運転するシステムである。今後は新青森駅から北の北海道へ、更に長野駅から先の北陸方面にも新たな新幹線の建設が進められている。

東芝は、東海道新幹線開業当初から新幹線の車両システムや、電力システム、運行管理システムなどの開発に取り組み、新幹線の屋台骨を支えてきた。

ここでは、進化を続ける新幹線の車両システムにおいて、当

社が開発に参画する電機品の最新技術の概要、及び今後の展開について述べる。

2 新幹線車両の主要電機品

新幹線の車両システムは、車体そのものと以下に述べる電機品などから構成される。

- (1) 主回路システム 電気を集電し、その電気を使って列車を走らせるための装置で構成
- (2) ブレーキシステム 列車を停止させるための装置
- (3) 補助回路システム 照明などの各装置に電源を供給する装置や空気調和装置などで構成
- (4) 情報系制御システム 種々の装置に制御情報を配信したり、それらの装置の動作状況などを監視（モニタリング）したりするほか、文字や音声による車内案内などの情報を総合的に制御する装置から構成
- (5) 走り装置システム 車体を支える台車を中心に走行中の振動などを抑制するための装置で構成
- (6) 保安系システム 前方列車の状況に応じた信号に従って、安全を確保するためにブレーキを掛けたり、走行

状態や駅などの停止位置に応じて車両の速度を制御したりする装置から構成

当社は、新幹線開業当初からこれら主要装置の開発設計に携わり、これまでに多数の製品を製造し納入してきた。特に情報制御システムは当初の新幹線にはなかったものであるが、コンピュータ技術の発展とともに新たに導入されてきたシステムであり、今や新幹線の安全・安心で快適な運行にはなくてはならないシステムとなっている。

3 主要電機品を支える東芝の技術

3.1 主変換装置

主回路システムの中核となる主変換装置は、コンバータや、平滑回路、インバータ、真空交流接触器、無接点制御装置、制御電源などで構成され、最近ではこれらの制御回路機器を一つの箱に収納した一体箱構造が採用されている。この箱構造にはアルミニウム製の筐体（きょうたい）を採用し、更に内蔵機器の寸法を小型化するなどにより、軽量化を図っている。また、使用するパワー半導体に高速スイッチングが可能なIGBT（絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ）素子を採用することで駆動用電動機（以下、主電動機と呼ぶ）や主変圧器から発生する電磁音の低減が可能になり、インバータ部とコンバータ部をそれぞれ3レベル構成とすることできめ細かい電圧制御ができるようになった。

当社は、これらの技術を種々の新幹線車両の主変換装置に採用してきた。東日本旅客鉄道（株）の最新車両であるE5系やE6系の新幹線にも適用しており⁽¹⁾、加えてスナバ回路などの主回路部品の省略や内蔵機器の改良などにより更なる軽量化を進めた結果、E5系（図1）の主変換装置ではE2系（後期型）



図1. E5系新幹線 — 320 km/hの営業運転を開始したE5系の主変換装置は、E2系のそれと比べて約18%の軽量化が図られた。
E5 series Shinkansen

のそれと比べて約18%の軽量化を達成している。

一方IGBT素子では、損失の改善が進み、冷却性能の向上とあいまっていっそうの小型・軽量化が進んでいる。一般に、主変換装置には電動送風機による強制風冷方式が採用されていたが、前述した種々の小型・軽量化の技術を用いながら、素子の損失改善を活用したことで、最新鋭車両のN700系1000番代車（以下、N700Aと呼ぶ）では、電動送風機を搭載せずに走行風を利用した自然冷却式の主変換装置を実現した。出力容量は異なるが、300系の主変換装置に比べて、平面での面積は約32%小さく、質量は約57%の軽量化を達成することに当社の技術が大きく貢献している。N700A用の主変換装置を図2に示す。



図2. N700A用主変換装置 — N700A用の主変換装置は、走行風冷却方式を採用していっそうの小型・軽量化を図った。
Main converter/inverter equipment for N700A Shinkansen

半導体の進化が新幹線の主回路システムの進化をもたらしているが、炭化ケイ素（SiC）素材を採用したパワー半導体の実用化に向けた取組みが進められている。SiC素子は、動作時に電力が熱として失われる電力損失を大幅に削減できる特長を持つ高効率の半導体で、発熱が少ないことから、装置の小型・軽量化がよりいっそう促進されると考えられる。特に主回路システムに適用すれば効果が大きく、新幹線の更なる発展に寄与すると期待されている。

3.2 情報系制御装置

200系新幹線で初めて採用されたモニタリング機能を持つ装置は、車両に搭載されている各種の装置の状態を把握し、適切に状況を乗務員に知らせる目的で導入が進められた。その後のマイクロコンピュータ処理能力の向上を受けて、次の100系新幹線では、現在のモニタリング装置の基本機能を備えたものとなった。100系では、車両間の伝送路に当社の技術を生かした光ファイバによる伝送技術が本格的に採用され、それ以降、新幹線のモニタリング装置の車両間伝送には光ファイバを用いた伝送路を構成することが踏襲されている。

最新のN700Aのモニタリング装置には、この車両間伝送に1 Gビット/sの容量を持つ当社技術が採用されており、今後の更なる伝送容量の大容量化技術に関してもICTを活用した開発を進めている。

3.3 保安系装置

近年のコンピュータ処理技術やセンサ技術の進化は目覚ましく、これまで電子制御の対象にはなっていなかった車両の振動を抑制したり、乗り心地を改善したりする分野にも、電子制御技術が採用されるようになってきた。

例えば、N700系に採用された車体傾斜制御には、その心臓部となる車体傾斜制御装置に、制御処理回路と車体の傾斜を適切な状態に制御するためのセンサ回路に当社の技術が採用されている⁽²⁾。

また、新幹線の安全の要となっている自動列車制御装置(ATC: Automatic Train Controller)には、線路側から発信されるATC信号をデジタル化して、高度なデジタル処理技術を駆使して種々の制御を行うことができる、高機能のデジタルATCも登場してきた。デジタルATCにも、フェールセーフCPUをはじめとする多くの当社技術が採用されている。

更にN700Aには、ダイヤの遅れ回復に活用するために、ATCの情報を活用して一定速度を維持して走行させるように列車を制御する定速走行制御装置が導入された。高速走行する新幹線を一定速度で精度良く維持するための機能を持つ定速走行装置の導入はわが国の新幹線では初めてであり、この装置の開発にも当社の技術が反映された。

これらの各装置やATCに適用された制御技術は、主回路システムと並んで当社の先進的技術の適用が期待される分野であり、今後のいっそうの進化に貢献していく。

3.4 その他の装置

車両に電源を供給する補助電源装置は、変圧器による単純な電圧変換方式から、整流回路を経てインバータを介し必要な交流電源を供給する方式に進化してきた。スイッチング周波数を高く設定できるIGBTを適用することで高周波インバータを実現できるようになり、周辺機器を大幅に小型・軽量化できるようになった。

また補助電源装置は、蓄電池や直流負荷にも電力を供給するシステムを備えており、整流部分もダイオードからIGBTに変更することで、負荷側の変動の影響を受けにくく、より安定した電源を供給できるようになった。これらの負荷変動に対する瞬時制御などに、当社の制御技術が生かされている。

乗客に快適な車内空間を提供する空気調和装置でも軽量化が進められており、近年では耐食性の高いフィンを備えた熱交換器などを採用することでメンテナンス性も向上している。

4 FGTの開発

新幹線と在来線を直通運転する場合に、在来線側の線路の幅を変えずに、車両側で車輪の幅を変えて走行することができるFGTの開発が進められている。当社は、FGTの実験段階であった約20年前から主体的に開発に取り組んできた。特に車輪幅を走行しながら変えていくため、FGTの台車構造は非常に複雑になる。車輪の幅を変えるための種々の装置を装備しなければならないため、従来の車両に比べて機器を取り付ける空間が狭いという特殊な条件が発生する。

これらの厳しい条件から、低速域で駆動トルクが確保しやすく、狭い台車の空間に装備する主電動機には、小型・軽量・高出力化が求められた。従来の誘導電動機では性能に限界があるため、当社は、非常に狭い空間でも高出力を確保できる永久磁石同期電動機(PMSM: Permanent Magnet Synchronous Motor)を開発し、早い段階からFGTに採用してきた。新幹線走行に使用できるPMSMとしては初めてとなる。

FGTに採用されたPMSMの一例を図3に示す。

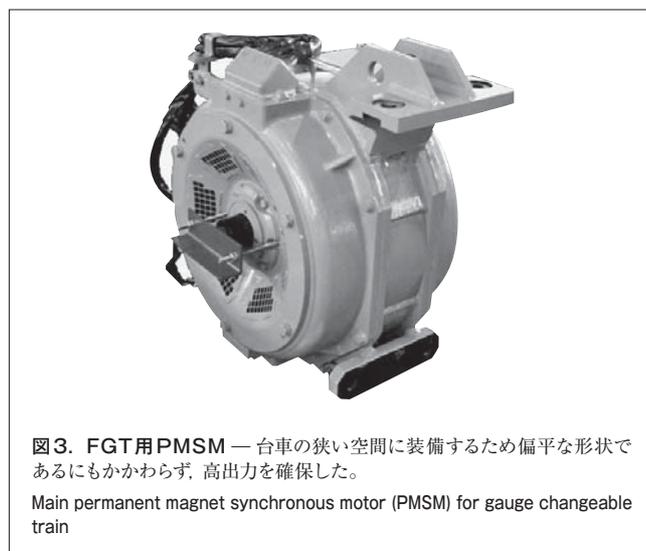


図3. FGT用PMSM — 台車の狭い空間に装備するため扁平な形状であるにもかかわらず、高出力を確保した。

Main permanent magnet synchronous motor (PMSM) for gauge changeable train

FGTの軸方向の寸法が従来の新幹線用誘導電動機の1/2程度であるにもかかわらず、新幹線区間を270 km/hで走行できる性能を持つ。

FGTは、現在、四国を拠点として耐久性の確認走行試験を続けているが、これまでの種々の試験成果を踏まえ、九州新幹線長崎ルートや北陸新幹線への乗入れ車両として、在来線との直通運転が可能なFGT導入の方針が示されており、実用化に向けた段階に入ることになった。

車輪の幅を変えずに新幹線と在来線を直通するこれまでの車両とは異なり、車輪の幅を変えながら新幹線と在来線を直通するという、まったく新しいタイプの新幹線が姿を現す時代も来るものと思われる。これまで培ってきた当社の技術が活

用できるように、実用化に向けた開発を進めている。

5 あとがき

現在国内では、各地方で整備新幹線の計画が検討されており、また、最新技術が盛り込まれた新幹線車両の導入が図られている。整備新幹線では、2014年度末完成予定の北陸新幹線（長野～金沢間）の延伸や、更には北海道新幹線（新青森～新函館間）の計画も進められている。

当社は、半世紀近くにわたり、新幹線用車両システムの装置を開発してきた。これらの豊富な経験と実績を基に、国内市場だけでなく海外市場への展開も図り、高速・大量輸送の発展に貢献している。その一端として、2007年1月には台湾高速鉄道の開業をフルターンキー（FTK）^(注1)プロジェクトとして成功させた。

今後、世界各国の高速鉄道の導入計画も視野に入れ、幅広い活動を進めていくとともに、新しいデバイスや種々の高度化した制御技術を導入し、進化を続ける新幹線の開発に貢献していく。

(注1) 契約形態で、設計から、調達、建設、試運転助勢までを一括して行うこと。

文 献

- (1) 森田政次 他. 国内新幹線向け 車両システムと電気品. 東芝レビュー. 64, 9, 2009, p.19 - 22.
- (2) 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.



吉田 憲二 YOSHIDA Kenji

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主務。鉄道及び車両システムの技術開発に従事。

Railway & Automotive Systems Div.