

都市間輸送の高速化に貢献する 次世代高速新幹線駆動システム

Next-Generation Shinkansen Drive Systems

長谷部 寿郎 山本 肇

■ HASEBE Toshio

■ YAMAMOTO Hajime

東芝はこのたび、都市間高速鉄道の次世代を担う2種類の新幹線、N700系新幹線電車(以下、N700系と呼ぶ)とE954及びE955形式高速新幹線電車(以下、E954/E955形式と呼ぶ)向けに、それぞれ駆動システムを納入した。

N700系は、現在の鉄道業界で主流の誘導電動機駆動方式を採用し、駆動システムの編成質量対編成出力比で20%強の軽量化を実現した。一方、当社が納入したE954/E955形式用駆動システムは、高出力化を実現するとともに、軽量化と低騒音化、高効率化を達成するため、永久磁石同期電動機を採用した。

これら両新幹線とも現在走行試験を行っているが、N700系は2007年には量産車が営業運転に投入される予定であり、E954/E955形式は永久磁石同期電動機を使用した主回路システムの評価を継続し、次期新幹線用システムとしての妥当性を検証していく予定である。

Toshiba has delivered two types of Shinkansen drive systems for next-generation models; namely, the N700 series Shinkansen and the E954/E955 type Shinkansen. The drive system for the N700 series is of the induction motor type, the mainstream system in current railways, that realizes a reduction of approximately 20% in the weight-power ratio. For the E954/E955 type, on the other hand, we have delivered a permanent-magnet synchronous motor drive system that achieves high output, light weight, low noise, and high efficiency.

Both types of Shinkansen are undergoing evaluation running tests on main lines. Mass-produced N700 series trains will be put into service from 2007, while the E954/E955 type will be evaluated through the running tests to determine whether the permanent-magnet synchronous motor drive system is an appropriate drive system for the next-generation Shinkansen.

1 まえがき

日本の新幹線が都市間輸送の在り方を変えてから既に40年以上が経過し、国内外共に新たな都市間高速鉄道が活躍している。鉄道は省エネルギーな交通機関でありかつ安全性や定時性に優れていると言われていたが、自動車や航空機の発展に伴い更なる快適性を求められており、中でも到達時間の短縮は永遠の目標である。

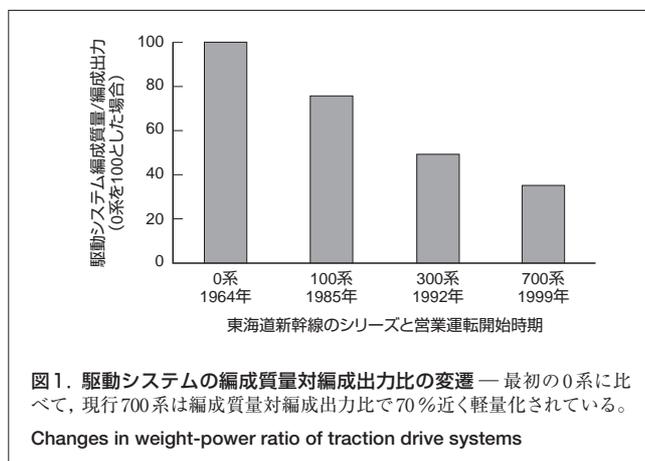
新幹線での到達時間短縮のためにはいろいろな方法があり、最近では車体傾斜装置の装備による曲線通過速度の向上や、1段ブレーキを実現するために新ATC制御方式を導入しているが、一般的な方法として最高速度向上や加速度のアップといった車両駆動にかかわる部分の性能向上が効果的であることは言うまでもない。

一方、日本は海外に比べて一般的に地盤が弱いため、高速化に伴い地盤振動や騒音の問題が発生しやすいと言われている。岩盤の上に線路が引ける欧州では機関車けん引による高速列車が発展したのに比べ、日本では質量が分散できる電車方式が発展した理由である。逆に言うと、車両を軽量化できれば、現在の線路の上をより高速に走行可能となる。日本の新幹線は海外の高速鉄道に比べて軽量で、1軸当たり

の質量が軽いのが大きな特徴である。このことから、大出力の駆動システムをいかに軽量化できるかが開発のポイントとなり、新幹線用駆動システムの開発の歴史は軽量化の歴史ともなった。

東海道新幹線を例に取り、駆動システムの総出力(編成出力)と編成質量(ブレーキ機器を含む)の比の変遷を図1に示す。

0系及び100系新幹線電車(以下、それぞれ0系、100系と



呼ぶ)は直流電動機駆動方式、300系及び700系新幹線電車(以下、それぞれ300系、700系と呼ぶ)は誘導電動機駆動方式を採用し、年を追うごとに大幅な軽量化が達成されていることがわかる。この間、制御装置も0系のタップチェンジャー+ダイオードブリッジ方式から100系のサイリスタ位相制御方式、300系のGTO(Gate Turn-Off)サイリスタ、700系のIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)を使用したPWM(Pulse Width Modulation)コンバータ+PWMインバータ方式へと替わり、大容量化と軽量化、更には高効率化を実現した。

このような状況のなかで昨年度、東海旅客鉄道(株)は次期の東海道・山陽新幹線用車両としてN700系の量産先行試作車を、東日本旅客鉄道(株)は次期高速新幹線検証のためのE954形式及びE955形式高速新幹線電車(以下、それぞれE954形式、E955形式と呼ぶ)を開発した。東芝はこれら次世代を担う両新幹線に主要電機品を納入しており、以下にその駆動システムの概要について述べる。

2 N700系新幹線電車

東海旅客鉄道(株)では、次世代の東海道・山陽新幹線電車として、現行の700系よりも高速の、高加減速、低騒音、省エネルギーを目指したN700系の開発を進めており、現在、量産先行試作車(図2)の走行試験を継続中である。このN700系用の電気品、特に駆動システムに課せられた命題は、低騒音や省メンテナンス、省エネルギーなどの環境性能を損なわずに軽量化と更なる出力アップを図ることである。

現行700系とN700系の主な性能を表1に示す。

駆動システムの中で、主変換装置と主電動機は搭載数量が多く、もっとも大きな質量を占めるため、常に最大限の軽量化が求められる。N700系では、16両のうち14両が電動車となるため、その比率は更に大きい。

N700系の主回路は700系の流れをくみ、現在の鉄道業界



図2. N700系新幹線電車 — 2005年から走行試験を開始したN700系の量産先行試作車である。
N700 series Shinkansen

表1. 700系とN700系の主要性能比較

Comparison of main performance specifications of 700 series and N700 series Shinkansen

| 車両形式 | 700系 | N700系 |
|--------------------|--------|--------|
| 最高速度 (km/h) | 285 | 300 |
| 最大起動加速度 ((km/h)/s) | 2.0 | 2.6 |
| MT比 * | 12M4T | 14M2T |
| 編成定格出力 (kW) | 13,200 | 17,080 |

*: 編成中の電動車(M車)と付随車(T車)の割合を示す値

の主流である誘導電動機駆動方式で、4台の主電動機を並列制御する主変換装置を装備している。駆動システムの主回路のブロック図を図3に、主変換装置の外観を図4に示す。

N700系ではこのような比較的ベーシックな構成を採用するとともに、700系に比べて主変換装置を2台、主電動機を8台増やして編成出力を約30%(単体で約10%)アップした。一方、主変換装置はパワーユニット構成の見直しや放熱構造の最適化、軽量部品の採用を進め、総質量を700系と同等に抑えることができた。主電動機に関しても、流体解析や温度

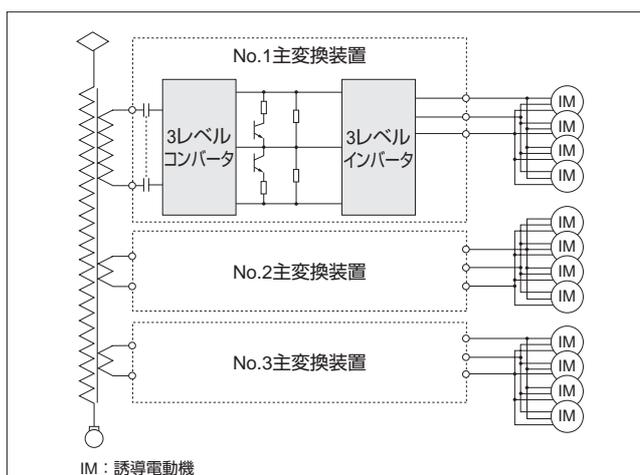


図3. N700系用主回路のブロック図 — 700系と同等の主回路システムを採用した。

Main circuit diagram of N700 series Shinkansen



図4. N700系用主変換装置 — 700系用と比べて、約10%のパワーアップと軽量化を達成した。

Traction converter for N700 series Shinkansen

上昇解析を活用して通風構造の最適化を図り、700系に比べて単体出力を10%アップしながら、ほぼ同等の質量に抑えることができた。

N700系用主電動機の温度解析結果例を図5に、また、700系とN700系について、駆動システムを構成する主要機器の編成質量と編成出力の比を図6に示す。

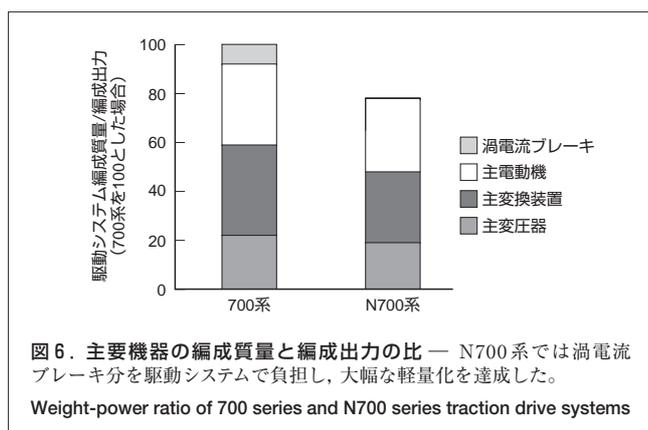
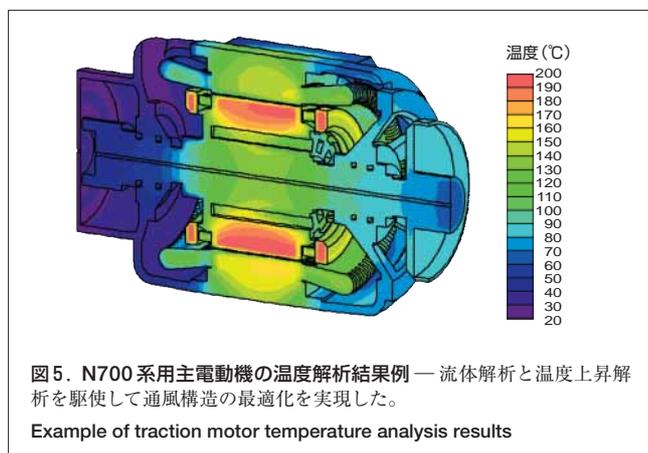


図7. E954形式 高速新幹線電車 (FASTECH360S) — 360 km/hでの営業運転を目指して、走行試験を実施中である。
E954 type (FASTECH360S) Shinkansen

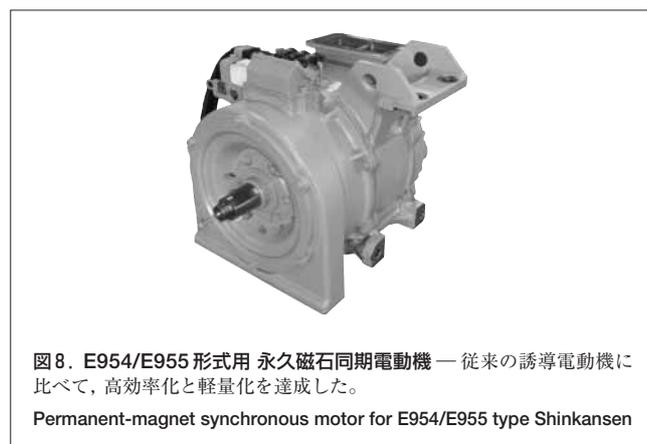


表2. 永久磁石同期電動機の主仕様

Main specifications of permanent-magnet synchronous motor

| 項目 | 仕様 |
|------|------------------|
| 定格容量 | 355 kW |
| 方式 | 自己通風方式 永久磁石同期電動機 |
| 効率 | 96.8 % |
| 外形寸法 | E2/E3系用誘導電動機と同等 |
| 質量 | 440 kg |

3 E954/E955形式 高速新幹線電車

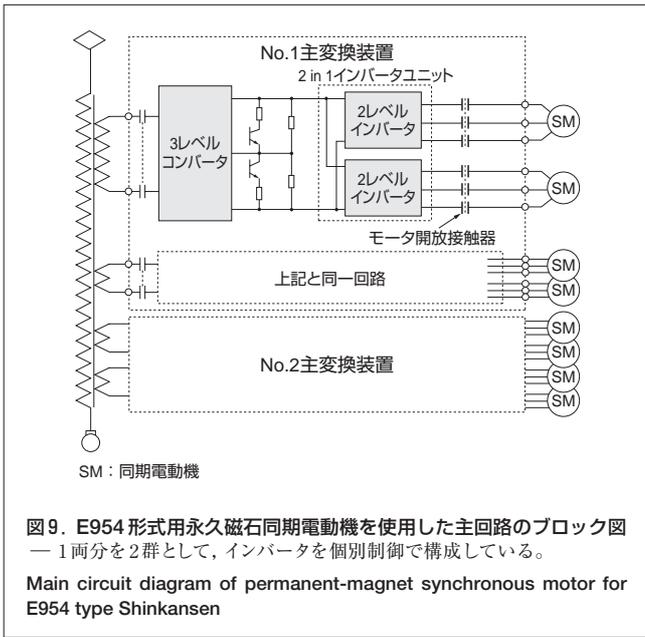
東日本旅客鉄道(株)では、時速360 kmでの営業運転を技術開発上のターゲットとして、新幹線専用のE954形式 (FASTECH360S: 図7) 及び新幹線と在来線を直通運転するE955形式 (FASTECH360Z)を開発し、現在走行試験を実施中である。

当社は約10年前から永久磁石同期電動機を使用した主回路システムの開発を行ってきており、今回、営業を目指した新幹線駆動システムとしては初めて、E954形式及びE955形式用の主回路システムを納入した。高速走行に必要な高出力を実現するとともに、小型・軽量化と低騒音化が重要なポイントである。永久磁石同期電動機の外観を図8に、主な仕様を表2に示す。この電動機は、誘導電動機に比べて効率が

が4~5%程度も高く、走行出力の大きい新幹線では、永久磁石同期電動機を使用した主回路システムの適用により、省エネルギー効果もよりいっそう期待できる。

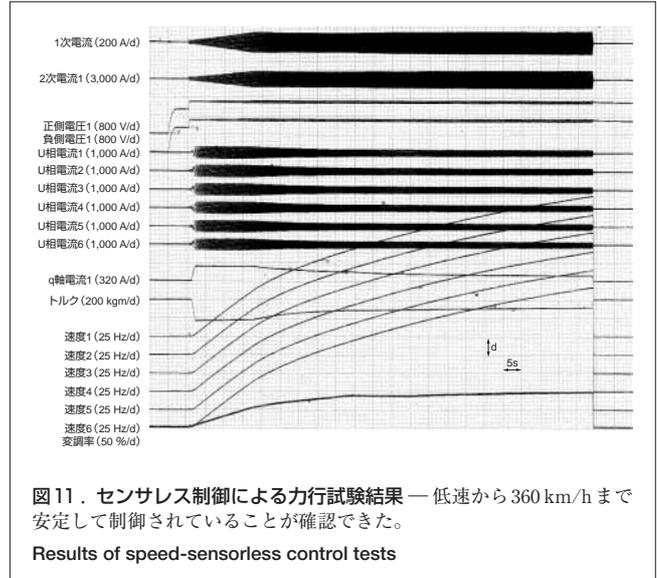
永久磁石同期電動機の高効率性を生かして、現行のE2系やE3系新幹線電車に使用している誘導電動機(300 kW)と同等の外形寸法でありながら、約20%の出力アップを実現している。

冷却方式に自己通風方式を採用することで、主電動機冷却用ブロワを不要にし、車両の軽量化とぎ装スペースの削減を図った。また、自己通風方式の主電動機は、高速走行時の騒音の面では一般に不利であるが、不等ピッチファン及び下部吐出し構造を採用することで、自己通風方式でありながら静粛性が向上している。



E954形式用永久磁石同期電動機を使用した主回路のブロック図を図9に、E955形式用主変換装置の外観を図10に示す。この電動機で駆動する場合、インバータの個別制御が必要となるため、誘導電動機駆動の場合の4台集中制御式インバータに比べて、主変換装置が大型化する傾向がある。そこで、1台のインバータが比較的小容量であることを生かして、冷却フィンの共通化によりパワーユニットを小型化するとともに、新開発の電動機駆動専用プロセッサの適用により制御基板を集約した新制御ユニットや、新開発の小型モータ開放接触器などの採用により、主変換装置の小型化を図っている。

一方、永久磁石同期電動機は磁極位置を精度よく検出して制御する必要があり、一般的に位置・速度検出用センサとしてレゾルバを用いる。E954/E955形式用の電動機もレゾルバを内蔵しているが、制御にはレゾルバを使わない制御方式を適用している。図11は、センサレス制御により時速360 kmまで力行する際の波形を示している。低速から360 km/hまで安定して制御されていることが確認できた。



4 あとがき

次世代を担う2種類の新幹線、N700系とE954/E955形式向けに、当社はそれぞれ駆動システムを納入した。

N700系用駆動システムは、現在の鉄道業界で主流の誘導電動機駆動方式で、4台の主電動機を並列制御する主変換装置を装備している。このような比較的ベーシックな方式を採用しながら、車両としての基本性能の大幅アップと軽量化を達成した。現在の主力電車として走行している700系に対して編成出力を約30%アップしながら、駆動システムの主要機器の編成質量を対編成出力比で20%強軽量化した。

一方、E954/E955形式用駆動システムは、高速走行に伴う高出力化を実現するとともに、軽量化と低騒音化、高効率化を達成するため、営業を目指す新幹線用として初めて永久磁石同期電動機を採用し、更に、在来線と同様の自己通風方式にして、主電動機用プロワをなくした構成とした。

これら両新幹線は、現在走行試験を継続中であるが、N700系は2007年には量産車が営業運転に投入される予定であり、E954/E955形式は永久磁石同期電動機を使用した主回路システムの評価を継続し、次期新幹線用システムとしての妥当性を検証していく予定である。



長谷部 寿郎 HASEBE Toshio

産業システム社 交通システム事業部 交通車両システム技術部主幹。鉄道車両システムのエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。

Transportation Systems Div.



山本 肇 YAMAMOTO Hajime

産業システム社 交通システム事業部 交通車両システム技術部グループ長。鉄道車両システムのエンジニアリング業務に従事。電気学会、IEEE会員。

Transportation Systems Div.