

FASTECH360における 主回路機器の開発



水口 芳樹*



川崎 淳司*

E954形式新幹線高速試験電車の主回路システムでは、小型・軽量・低騒音の走行風冷水冷却主変換装置を特徴とする方式、小型・低騒音の自己通風式永久磁石同期電動機駆動を特徴とする方式、小型・軽量・低騒音の走行風冷主変圧器を特徴とする方式の主回路システムを開発した。現車走行試験において各方式の機能および性能を確認し、約60万キロの耐久走行試験実施後には解体調査を実施した。本稿では、開発した3方式の主回路機器について、試験結果および解体調査の結果についてまとめる。

●キーワード：主回路、走行風冷却、水冷却、自己通風式同期電動機、主変圧器防振ゴム

1. はじめに

新幹線の高速化には、主回路機器としては高出力化、小型・軽量化、低騒音化が必要である。開発目標として、出力は6M2T編成で均衡速度400km/h以上（勾配3/1000）、主回路機器総重量はユニット当たり11.6tonを設定した。

機器の低騒音化を実現するため、

- (1) 走行風を利用した水循環方式の電動送風機を必要としない小型・軽量・低騒音の走行風冷水冷却主変換装置を特徴とするタイプ（A方式）
- (2) 小型・低騒音の自己通風式永久磁石同期電動機（以下、「自己通風式同期電動機」という。）を特徴とするタイプ（B方式）
- (3) 走行風を利用した小型・軽量・低騒音の走行風冷主変圧器を特徴とするタイプ（C方式）

の3方式の主回路装置を開発した。

2. 主回路装置の開発

2.1 走行風冷水冷却主変換装置

主電動機を制御する主変換装置は電力変換に伴う熱が発生する。この熱を冷却するために、これまでの新幹線車両では電動送風機が用いられてきた。この電動送風機は、機器の大型化、質量増、騒音の原因にもなる。そこで、本方式では冷却に走行風を活用することで電動送風機を不要とし、小型化・低騒音化を図った。また冷却効率の高い水冷却方式を当社として初めて採用し、小型化を図った。図1に走行風冷水冷却方式の外観を示す。

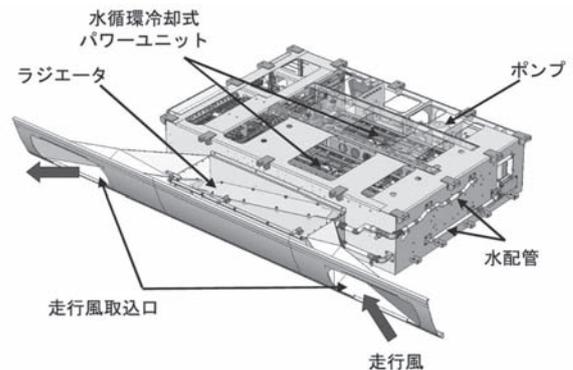


図1 走行風冷水冷却主変換装置

2.2 自己通風式同期電動機

従来の新幹線の主電動機は、固定子の回転磁界で回転子に電流を誘起し相互の電磁誘導作用で回転する誘導電動機である。永久磁石同期電動機は、回転子が固定子の回転磁界と直接吸引・反発して回転する方式であり、同期電動機の回転子には永久磁石を埋め込んでいる。誘導電動機と同期電動機の回転子の構造比較を図2に示す。

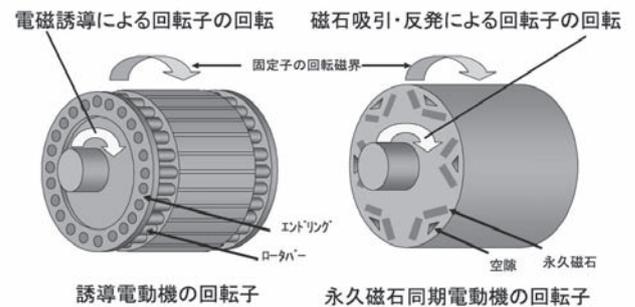


図2 誘導電動機と永久磁石同期電動機の回転子

永久磁石同期電動機は、回転子内の誘導電流によるロスが発生しないため、誘導電動機に比べて効率が高く、発熱が少ないというメリットがある。さらに、冷却方式を従来の強制風冷から自己通風とし、電動送風機を不要とした。

また、定置試験での効率測定の結果、自己通風式同期電動機の定格時の効率は97%に達することを確認しており、従来の誘導電動機に比べて、約3%の効率が改善されている。

2.3 走行風冷主変圧器

新幹線の高速化には主回路の出力を増大させる必要があるが、それに伴い主変圧器の冷却容量も大きくなるという課題がある。そこで、冷却容量の増加による質量増、大型化を抑制するため、本体タンク下面に冷却フィンを設置して走行風を利用した主変圧器を開発した。これにより、電動送風機の風量を抑制することで冷却に必要な油冷却器を小型化して、主変圧器の質量低減、軽量化、低騒音化を図った。

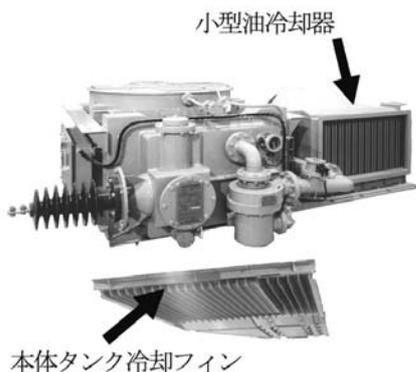
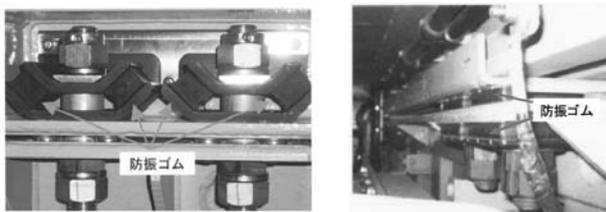


図3 走行風冷主変圧器外観および冷却フィン

2.4 電磁振動対策

騒音および振動を抑制するために主変圧器と車体梁の間に防振ゴムを挟んだ構造を採用した。E954形式新幹線高速試験電車では車体横梁側に取付けた吊り方式および車体側だけでなく主変圧器側にも防振ゴムを取付けたサンドイッチ方式を採用した。防振支持構造と取り付け状態を図4に示す。これによって主変換装置のPWMコンバータによる素子のスイッチングに起因する高調波によって主変圧器で発生する騒音や振動の抑制が期待できる。



(a) 吊り方式 (b) サンドイッチ方式
図4 主変圧器防振ゴム

3. 試験結果

3.1 主回路性能

主回路性能について、計画した速度-引張力特性または速度-ブレーキ力特性と実測値を比較した結果、ほぼ計画値と一致した出力を確認した。試験結果を図5および図6に示す。

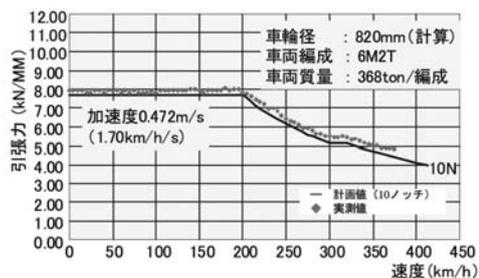


図5 速度-引張力特性

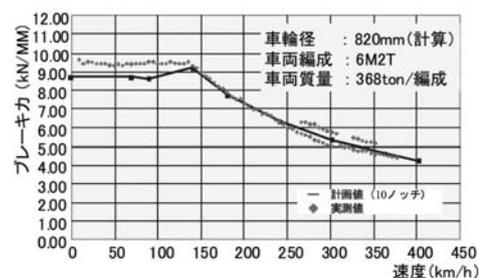


図6 速度-ブレーキ力特性

3.2 冷却性能

3.2.1 走行風冷水冷却主変換装置

主変換装置の冷却性能を確認するための温度測定結果例を図7に示す。発車および停車直後で取込風温度および排風温度が急激に変化しているが、走行風導内部にて温度を測定しているため、停止時に空気がこもったことと、素子によって熱せられた冷却水が循環した影響と考えられる。

トンネルなど外気温の急激な変化の影響を除いた場合、試験走行中の温度上昇値(素子取付面温度-外気温)は最大24Kであった。これは目安値61K(外気温40℃時)に対し余裕のある結果であり、走行風による冷却が良好であることを確認した。

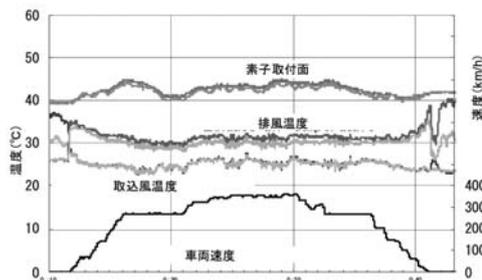


図7 走行試験における温度測定結果

3.2.2 自己通風式同期電動機

主電動機の温度上昇の車両速度に対する変化を図8に示す。最高運転速度（395km/h）においても、温度上昇値は十分余裕をもって限度内に収まり、自己通風による設計目安値を満足していることを確認した。また、自己通風による冷却風量が得にくい15km/hの低速走行でも図9に示すように温度上昇は見られなかったことから、自己通風方式でも冷却が良好であることを確認した。

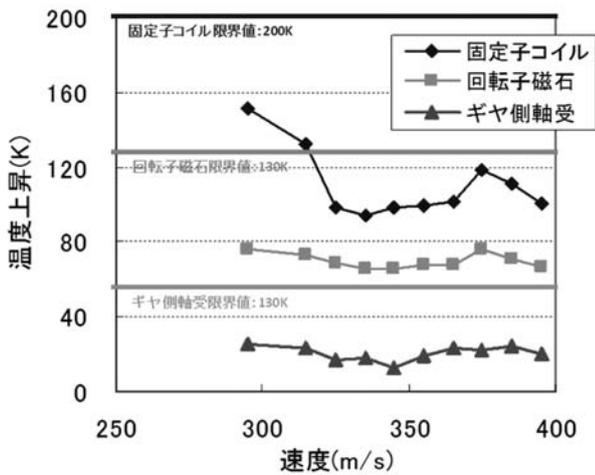


図8 主電動機温度測定結果

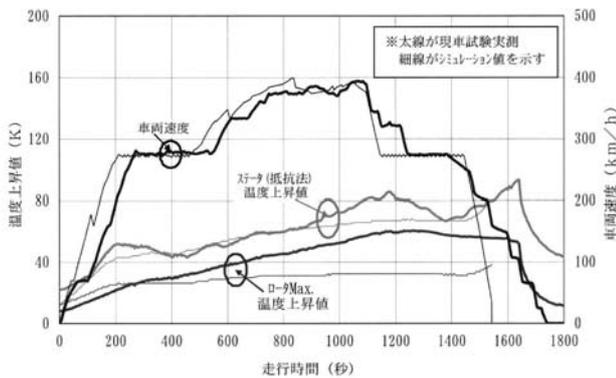


図9 高速走行時 (398km/h) のシミュレーションと実測値の比較

3.2.3 走行風冷主変圧器

速度向上試験において主変圧器油温度の上昇測定による冷却能力の測定を行った結果を図10に示す。速度向上に対して冷却に必要な冷却性能は確保されており、温度上昇値は車両速度の増加に伴い高くなる。しかし、最高速度395km/h走行試験時でも冷却油の温度上昇限度値80K以下を十分満足しており、走行風による冷却方法が良好であることを確認した。

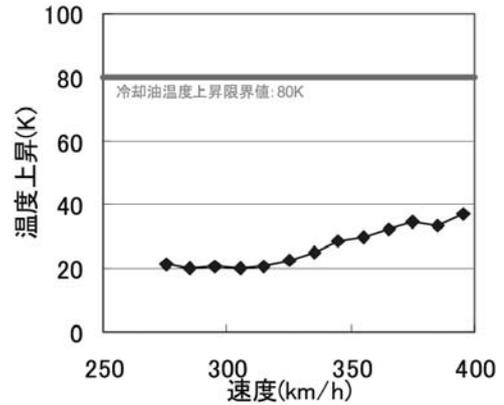


図10 主変圧器 (冷却油) 温度測定結果

3.3 消費電力量

速度向上による電力消費量の増加について検証するために、3方式の主回路機器について、電力消費量を測定した。測定結果を表1に示す。電力消費量は、自己通風式同期電動機方式を特徴とする方式の消費電力が最も少なく、省エネルギーを実現していることを確認した。

表1 消費電力測定結果

	走行風冷冷却主変換装置を特徴とする方式	自己通風式同期電動機を特徴とする方式	走行風冷主変圧器を特徴とする方式
力行電力量 (kWh)	237.6	205.2	222.9
回生電力量 (kWh)	22.4	23.6	21
電力消費量 (kWh)	215.2	181.6	201.9
同期電動機駆動の電力消費量を100とした場合の比較	118.5	100	111.2

※日時: 2005年8月2日
 ※走行区間: 9881B 仙台～北上 (下り)
 ※最高運転速度: 398km/h

3.4 主変圧器防振性能

速度向上試験において騒音・振動の測定を行った結果を図11、12に示す。車体側の振動加速度に対しては主変圧器側に比較して1/4程度の低減を確認した。また、床上の騒音についても床下と比較して騒音の低減が確認できた。

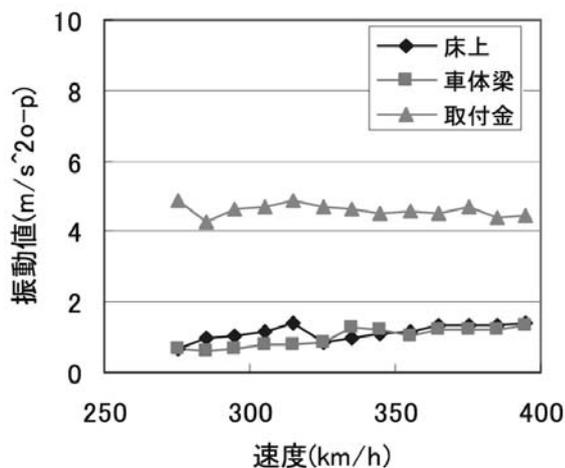


図11 主変圧器振動測定結果

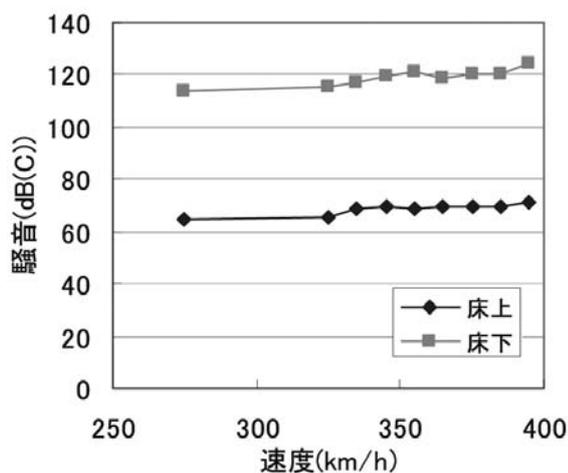


図12 主変圧器騒音測定結果

4. 耐久走行試験後の解体調査

4.1 同期電動機における永久磁石の調査

同期電動機の回転子には永久磁石を用いているが、永久磁石は高熱を与えると減磁あるいは消磁する性質がある。よって、耐久試験中の熱負荷による永久磁石へ影響を調査することにした。

磁石の劣化状態を確認するため、無負荷回転試験を行い、誘起電圧を測定し、新製時と比較することで永久磁石の状態を確認した。調査結果から、対象の8台すべてにおいて、必要な性能を保持していることがわかった。

4.2 主変換装置における冷却水の調査

主変換装置には

- (1) 走行風冷+水冷方式 (A方式)
- (2) 強制風冷+水冷方式 (C方式)

を採用しており、耐久走行試験後の冷却水水質劣化状態を調査した。

水質劣化について、金属など異物成分の有無、電食防止液の成分変化、不凍液の成分変化、pH・電気導電率の変化を調査し、両方式とも、60万 km 走行の使用に対し、冷却水としての性能に問題がなかった。

4.3 主変圧器防振ゴム

主変圧器用防振ゴム挿入構造（吊り方式、サンドイッチ方式）のゴム劣化状態について、外観、バネ定数、厚さ寸法、強度、断面状態を調査した。結果を表2にまとめる。両方式とも、60万 km 走行の使用に対し、寿命（限界値）には達していなかった。

表2 主変圧器防振ゴム調査結果

	吊り方式	サンドイッチ方式
外観	異常なし	異常なし
バネ定数	平均 10.4%変化 (限界値:20%変化)	上側:平均 22.4%変化 下側:平均 14.9%変化 (限界値:30%変化)
厚さ寸法	平均 5.3%変化 (限界値:20%変化)	上側:平均 4.6%変化 下側:平均 5.0%変化 (限界値:30%変化)
強度	ゴムと金属との剥離等の異常なし	ゴムと金属との剥離等の異常なし
断面状態	異常なし	異常なし

5. おわりに

今回、E954形式新幹線高速試験電車では、3方式の主回路機器を開発し、現車走行試験において、各方式の性能を確認した。また、耐久走行試験後の解体調査を行い、今回の新規採用機器・部品は60万 km 走行後でも必要な性能を保持していることを確認した。

今後は、更なる高速化に向けて本開発の成果を反映していきたい。

参考文献

- 1) 安井義隆、古田良介：小型軽量・高出力主回路機器の開発、JR EAST Technical Review No14 Winter2006