

小型軽量・高出力主回路機器の開発



安井 義隆* 古田 良介**

新幹線の高速化には、主回路機器の高出力化、小型・軽量化、低騒音化が必要である。E954形式新幹線高速試験電車では、走行風冷水冷却主変換装置を特徴とするタイプ、自己通風同期電動機駆動を特徴とするタイプ、走行風冷主変圧器を特徴とするタイプの3方式の主回路システムを開発した。現車走行試験では、各方式の機能および性能を確認するとともに、信頼性評価、耐久性評価、メンテナンス性評価を行う。本稿では、開発した3タイプの主回路システムについて紹介する。

●キーワード：主回路、走行風冷却、水冷却、同期電動機

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)、質量はユニット当たり11.6ton、騒音は主回路機器単体の騒音レベル90dB(C)以下を設定した。また、主回路機器の冗長性を向上するとともに編成トルク制御を行うため台車単位の制御としている。

この目標を実現するため、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主変換装置を特徴とするタイプ、走行風を利用した小型・低騒音の主変圧器を特徴とするタイプ、自己通風式永久磁石同期電動機を特徴とするタ

イプの3方式の主回路装置を開発したので紹介する。

2 主回路性能

2.1 力性能

速度-引張力特性は、明かり区間・勾配10%において9ノッチ特性(営業車で想定する最終ノッチ)で360km/h均衡を基準として設定した。

起動加速度は0.472m/s/s(1.7km/h/s)とした。また、試験電車として、明かり区間・勾配3%において10ノッチ特性で400km/h超の性能とした。また、10ノッチは編成トルク制御を行うための過負荷特性として設定している。図1に速度-引張力曲線を示す。

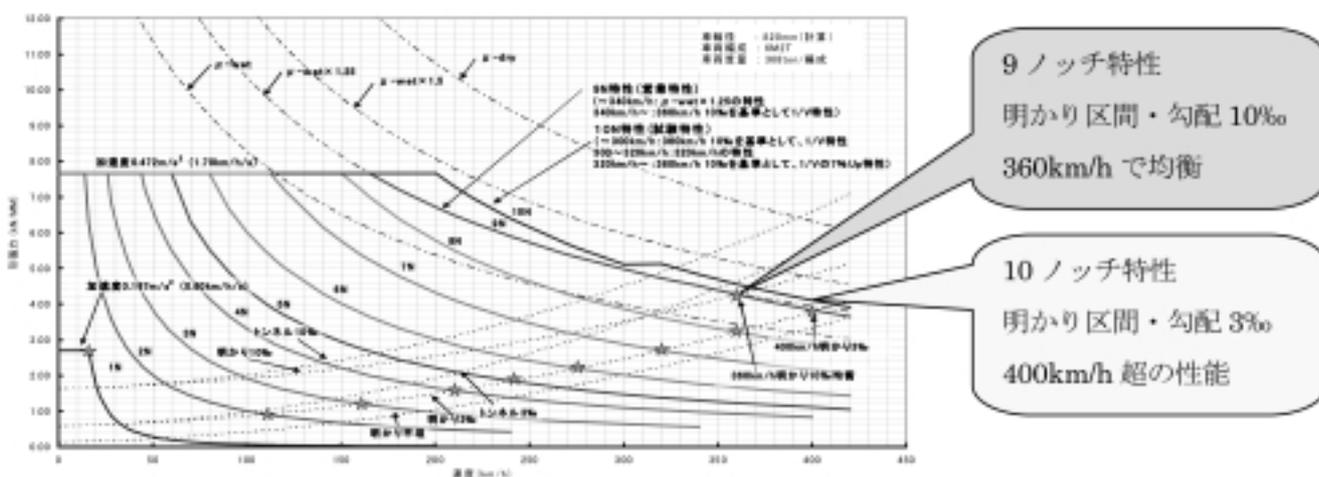


図1 速度引張力曲線

高速走行車両では、粘着性能のどの領域を適用するかにより動軸数（M車数）やノッチ特性の設定が異なる。E954形式では、編成後位M車が湿潤時の粘着計画式 $\mu - wet$ (1)の1.25倍程度までの粘着特性確保が可能であること並びに編成トルク制御が有効となることから $\mu - wet$ 特性を超える領域に9ノッチと10ノッチを設定した。

$$\mu - wet = \frac{13.6}{85 + V} \quad \dots\dots(1)$$

V：速度（km/h）

2.2 回生ブレーキ性能

速度-回生ブレーキ力特性は、主回路機器容量の最大

まで利用することとし、極力T車分を負担（B5ノッチ以下は全負担、B6ノッチ以上では空制で補足）することとした。

編成位置による粘着特性の有効利用（編成ブレーキ力制御）を行い、回生ブレーキ力負担を設定した。

3 主回路システム

E954形式主回路システムは、力行・回生ブレーキ特性を同一とした3つのタイプの方式を開発した。

表1に主回路機器特徴及び仕様を示す。

表 1 主回路機器特徴及び仕様

		第1ユニット	第2ユニット	第3ユニット
特徴		主変換装置に走行風冷水冷却方式を採用することにより、主変換装置の小型化、低騒音化を図った主回路システム ○冷却を走行風冷としブロー廃止により低騒音化 ○冷却効率の高い水冷却方式の採用により小型化	主電動機に自己通風方式永久磁石同期電動機を採用することにより、主電動機の高効率化、軽量化、低騒音化を図った主回路システム ○永久磁石同期電動機を採用し、高効率・軽量化 ○自己通風方式によりMMブローが不要となり低騒音化 ○同期電動機方式採用により、1インバーター1モーター制御 ○開放接触器内蔵により誘導電動機方式より大型化だが、MMブロー不要により相殺	主変圧器に走行風冷+強制風冷方式を採用することにより、主変圧器の軽量化・低騒音化を図った主回路システム ○走行風冷+強制風冷方式の採用により軽量化 ○走行風冷方式の採用によりブローの低騒音化
主変圧器	方式	強制風冷	強制風冷	走行風冷+強制風冷
	定格出力	3650kVA	3600kVA	3600kVA
	外形寸法	L2742×W2569×H650mm	L2593×W2215×H650mm	L2740×W2287×H650mm
	質量	3255kg	3280kg	3195kg
主変換装置	方式	走行風冷水冷却	強制風冷沸騰冷却	強制風冷水冷却
	コンバータ回路	3レベールPWM方式	3レベールPWM方式	3レベールPWM方式
	インバータ回路	3レベールPWM方式	2レベールPWM方式	2レベールPWM方式
	外形寸法	L2900×W2030×H650mm	L3200×W2400×H650mm	L3000×W2400×H650mm
	質量	1650kg	1820kg	2084kg
主電動機	方式	強制風冷誘導電動機	自己通風永久磁石同期電動機	強制風冷誘導電動機
	定格出力	370kW	355kW	350kW
	外形寸法	Φ480-L597.5mm	Φ490-L595.5mm	Φ470-L599.5mm
	質量	453kg	440kg	444kg
ユニット総質量 (パンタグラフ、支持ガイシ、特高機器を含む)		10.9ton	11.2ton	11.7ton

3.1 走行風冷水冷却主変換装置

3.1.1 走行風冷

主電動機を制御する主変換装置は、制御に伴う熱が発生する。この熱を冷却する電動送風機は、機器の大型化、質量増、騒音の原因ともなっている。

そこで、本方式では冷却に走行風を活用して電動送風機を不要とすることで、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の採用により、小型化を図った。

図2に走行風取り込みイメージを示す。

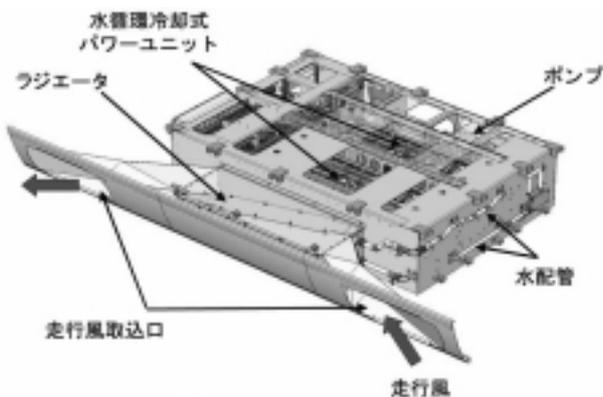


図2 走行風取込図

3.1.2 水冷却

冷却構成概要を図3に示す。

水循環により発熱部（パワーユニット取付け面）と放熱部(ラジエータ)を接続し、車両側面から取込んだ走行風により冷却を行う。

また、E954形式では、冷却性能が得難い低速域の運転が連続した場合も想定し、連続換気装置からの排風を補助冷却風として使用可能な構成とした。

従来の沸騰冷却方式と水冷却方式の比較について表2に示す。

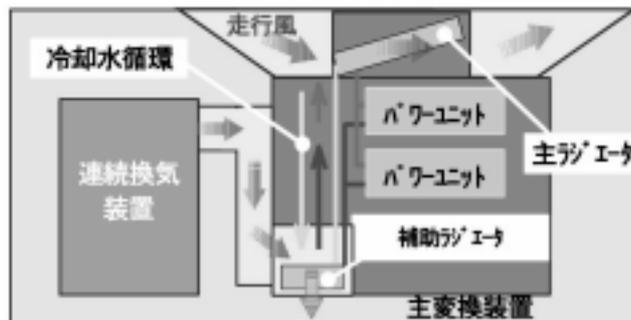


図3 冷却構成概要

表2 沸騰冷却と水冷却の比較

方式	沸騰冷却方式 (E2系適用)	水冷却方式 (E954形式適用)
動作原理	<p>半導体素子の発熱により冷媒（フロリナート）を沸騰させ素子の熱を蒸発器で奪う。沸騰による蒸気は凝縮器へ導かれ、凝縮器部分でフィンにより冷却され液化し熱を外気に放出する。液化した冷媒は重力により蒸発器に戻る。</p>	<p>ポンプにより強制的に冷媒（水）を循環させることにより、水冷フィンで半導体素子から熱を奪い、ラジエータ部まで冷媒により熱を移動させ、強制風冷のラジエータ部で放熱する（自動車エンジンの冷却方式と同じ）。</p>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸発器と凝縮器が一体構成 ・低温起動に支障なし ・凝縮器の位置が限定される ・中容量冷却システムでは最も小型化 	<ul style="list-style-type: none"> ・ユニット配置に自由度あり ・大容量冷却場合、装置小型化可能 ・環境負荷が小さい ・ポンプと配管が必要

3.2 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。

これに対し同期電動機は、回転子に埋め込まれた永久磁石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る（図4）。

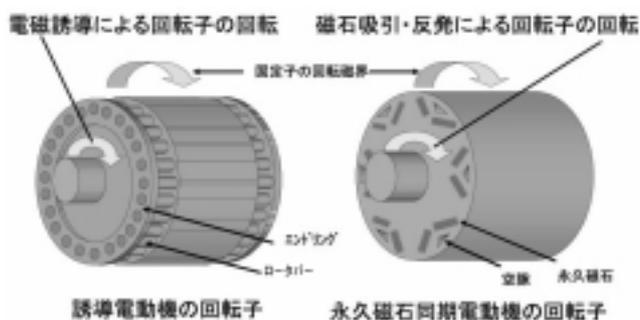


図4 誘導電動機と同期電動機の原理

永久磁石同期電動機は、回転子内の誘導電流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。

定置試験での効率測定の結果、定格時の効率は97%に達することを確認している。従来の誘導電動機に比べて、約3%の効率改善が期待できる。

図5に同期電動機の外観と回転子を示す。



図5 同期電動機外観および回転子

3.3 走行風冷主変圧器

高速化に対応するため主回路出力が増大し、主変圧器の冷却容量も大きくすることが必要になる。本システムでは、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することとした。

走行風による冷却容量は全体の約10%を見込んでいる。これにより、電動送風機の風量を抑制できるため、質量低減、軽量化、低騒音化を図っている。

図6に走行風冷主変圧器の外観と冷却フィンを示す。

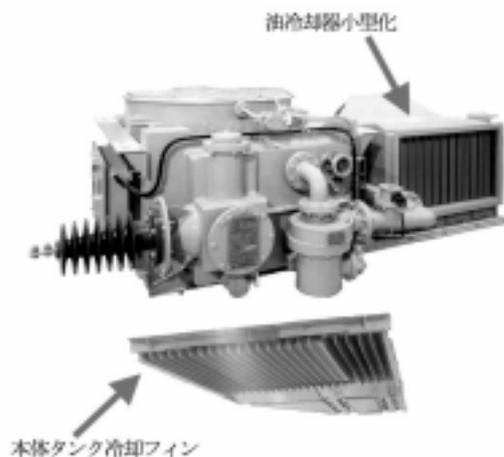


図6 走行風冷主変圧器外観および冷却フィン

4 おわりに

今回、E954形式新幹線高速試験電車では、3方式の主回路システムを開発した。

今後は、現車走行試験において、各方式の機能および性能を確認するとともに、信頼性評価、耐久性評価、メンテナンス評価を行い、世界一の新幹線に相応しい主回路システムを構築していく。

参考文献

- 1) 古田良介、安井義隆、佐川哲、北林英朗；新幹線初の走行風利用による水循環冷却方式主変換装置の開発、第14回交通・物流部門大会(TRANSLOG2005)、2005.12.
- 2) 古田良介、安井義隆、白石茂智、矢島敦、山本肇；初めて400km/h走行を実現した永久磁石同期電動機システムの開発、第14回交通・物流部門大会(TRANSLOG2005)、2005.12.