

高効率，省メンテナンスを目指す 鉄道車両用主電動機

Traction Motors Aiming at High Efficiency and Low Maintenance

山田 敏明

YAMADA Toshiaki

白石 茂智

SHIRAISHI Shigetomo

鉄道車両用主電動機は、台車内の限られたスペースにおいて大出力が要求されるため、外気を主電動機内部へ取り込み冷却する方式(自己通風方式)が主流である。この方式は、微量ながら外気とともに塵埃(じんあい)を取り込むため、定期的な分解清掃が必要となっており、近年更なる保守軽減、分解周期延長などの省メンテナンスに対する要望が高まっている。一方で、鉄道車両駆動システムに関し、都市圏を中心に沿線環境への配慮としての低騒音化、社会的貢献としての省エネルギーに対する要望も高まっている。

このような要望に応えるべく、東芝では次世代車両用主電動機として、全閉自冷型主電動機、全閉外扇型主電動機、永久磁石を利用した高効率型同期電動機、ダイレクトドライブモータ(DDM)などの開発を進めている。

Due to the demand for high-output motors in the limited space between the wheels in an electric train, self-ventilating traction motors have been used for many years. Periodical disassembly maintenance is necessary to remove the small quantities of dust that enter the motor from the open-air ventilation. Reducing this burden, as well as increasing efficiency and reducing noise, would benefit the next generation of motors.

To address these needs, Toshiba is developing a fully enclosed type traction motor, a fully enclosed type traction motor with outer fans, a high-efficiency permanent-magnet synchronous motor, and a direct-drive motor (DDM) as traction motors for the next generation of trains.

1 まえがき

鉄道車両用主電動機は、従来から自己通風方式の誘導主電動機が主流である。この方式は、外気を主電動機内部に取り込み発熱部を直接冷却できるため、冷却効率などが良く小型・大容量化に適している。反面、主電動機内部に微量ながら外気とともに塵埃を取り込み、長期使用の間にこの塵埃が積もって冷却性能を低下させるため、定期的な分解清掃が必要となる。分解清掃周期は、外部環境にも左右されるが4年ごとに実施するのが一般的であり、近年更なる保守軽減、周期延長などの省メンテナンスに対する要望が高まっている。

一方、都市圏では鉄道沿線に住宅などが接近しており、環境への配慮として、鉄道車両の駆動システムに対する低騒音化の要望も高まっている。また、昨今の電力供給事情及び社会的貢献の観点から省エネルギーは重要な課題であり、高効率化に対する要望も高まっている。

東芝では、このような背景から次世代主電動機の開発として、全閉自冷型主電動機、全閉外扇型主電動機、永久磁石を利用した高効率型同期電動機、DDMの開発を進めている。

ここではその開発動向について述べる。

2 全閉自冷型主電動機

2.1 構造

全閉自冷型主電動機の外観を図1に、構造を図2に示す。主電動機内部に発生する熱は循環ファンにより冷却ユニットへ送られ、外部へ放熱される。軸受は長期非分解を想定し、

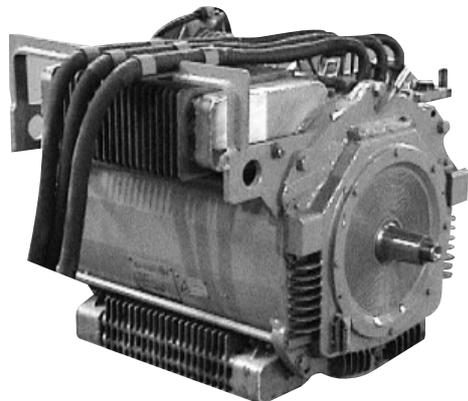


図1. 全閉自冷型主電動機 - 主電動機と冷却ユニットを一体化したコンパクトな構成としている。また冷却性能向上のため、主電動機表面に部分的に放熱フィンを構成している。

Fully enclosed type traction motor

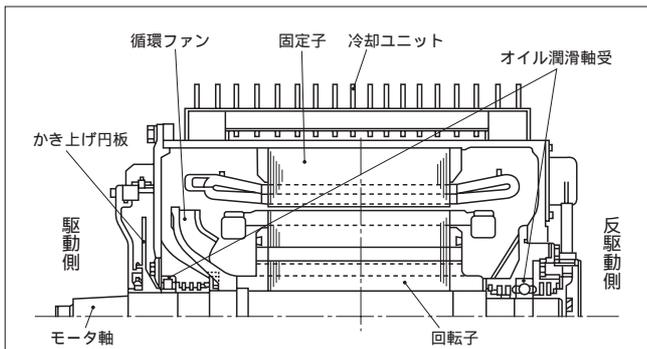


図2．全閉自冷型主電動機の構造 - 主電動機内部に発生する熱は循環ファンにより冷却ユニットへ送られ、外部へ放熱される。軸受は長期非分解を想定し、オイル潤滑方式を採用している。

Cross section of fully enclosed type traction motor

耐熱性が高く、また主電動機を分解せずにオイル交換が可能なオイル潤滑方式を採用するとともに、駆動側の給油室にためたオイルをかき上げ、駆動側・反駆動側両方の軸受に給油し、潤滑後のオイルは給油室に戻る“かき上げ円板循環給油方式”としている。更に、主電動機回転子及び固定子は、低損失けい素鋼板を採用するなど、高効率化設計を行っている。

主電動機と冷却ユニットを一体化したコンパクトな構成としている。また、冷却性能向上のため、主電動機表面に部分的に放熱フィンを構成している。

2.2 成果及び特長

全閉自冷型主電動機の成果及び特長として以下の項目が挙げられる。

- (1) 全閉化により主電動機内部の汚損がないこと、オイル潤滑方式の採用により在姿状態にて軸受オイル交換が可能なことから、長期非分解化が期待できる。分解復帰延長の目標としては、主電動機の更新周期を約24年とすると、5回分(4, 8, 12, 16, 20年目)の分解保守コスト削減となる。
- (2) 定置での試験結果では、3,500 rpmにおける主電動機から1 m離れた位置による騒音測定結果は74 dB(A)であり、従来比21 dB(A)の低騒音化を図ることができる。
- (3) 定置での試験結果では、連続定格における効率は95.8%であり、従来比約4%の高効率化が可能となる。効率向上による電力削減効果は、概算で主電動機1台当たり従来比2,500 kWhとなる(車両質量を定員乗車相当の36 t、走行距離を10万 km/年、比消費電力量を35 Wh/t/kmにて試算)。

3 全閉外扇型主電動機

3.1 構造

全閉外扇型主電動機の外観を図3に、構造を図4に示す。

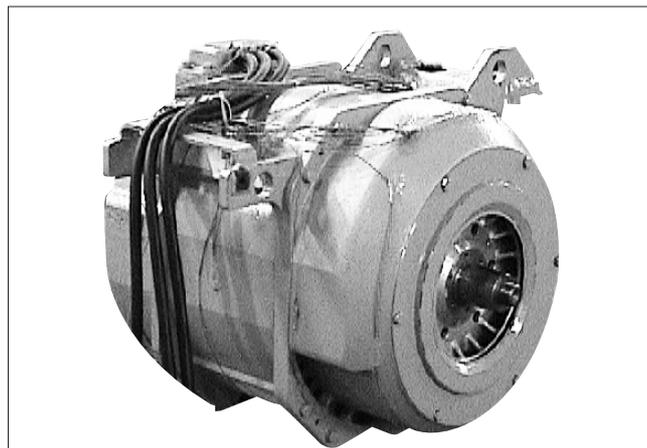


図3．全閉外扇型主電動機 - 全閉外扇型とすることで冷却性能を向上させ、小型・軽量化を実現している。図は1時間定格出力200 kWの主電動機である。

Fully enclosed type traction motor with outer fans

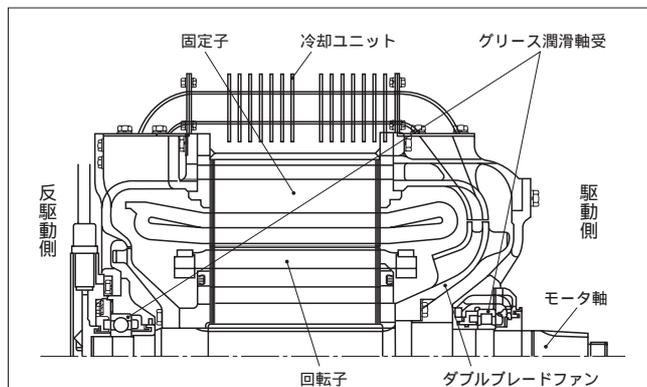


図4．全閉外扇型主電動機の構造 - 新開発のダブルブレードファンにより、固定子の外周に冷却風を送るだけでなく、密閉された機内空気を冷却ユニットを通して循環冷却しつつ、ファン自体で熱交換を行っている。

Cross section of fully enclosed type traction motor with outer fans

新開発のダブルブレードファンについては、固定子の外周に冷却風を送るだけでなく、密閉された機内空気を固定子外周の一部を通して循環することで放熱効率を高め、更にファン自体で熱交換を行う機能を持つ構造となっている。軸受については、保守体系と軸受部品を従来方式と同等としたまま分解周期の延長を目指すためグリース潤滑を採用している。

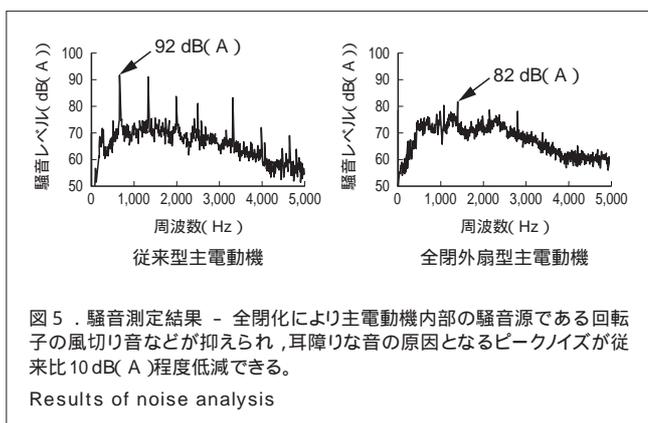
3.2 成果及び特長

全閉外扇型主電動機の成果及び特長として以下の項目が挙げられる。

- (1) 現状の全閉自冷型主電動機では熱的制約上、標準軌を想定した場合でも、1時間定格出力で140 ~ 165 kW程度が限界であるが、全閉外扇型主電動機では、冷却性能向上により、165 ~ 200 kW程度までカバーできる見通しを得ている。鉄道車両用主電動機は170 ~ 190 kW程

度の領域のニーズも多く、この全閉外扇型主電動機により、この出力領域をカバーできる全閉モータが提供できる。また、冷却効率を高めたことで全閉化によるデメリットである質量増加分についても従来の自己通風方式と比較して10～15%の増加に抑えることができる。

- (2) 機内はラビリンスを介して全閉化されており、全閉自冷型主電動機と同様、長期非分解化が期待できる。軸受に採用したグリス潤滑方式の制約上、目標としては、12年程度の非分解が考えられ、この実現のめどがつくと、24年更新前提で、4回分(4, 8, 16, 20年目)の分解保守コスト削減が期待できる。
- (3) 騒音測定結果は従来型と同等であるが、耳障りな音の原因となるピークノイズが従来比10 dB(A)程度低減できる(図5)。これは全閉化により主電動機内部の騒音源である回転子の風切り音などが抑えられ、また新開発の低騒音外扇の採用により、ファンのピークノイズも低減されていることによる。

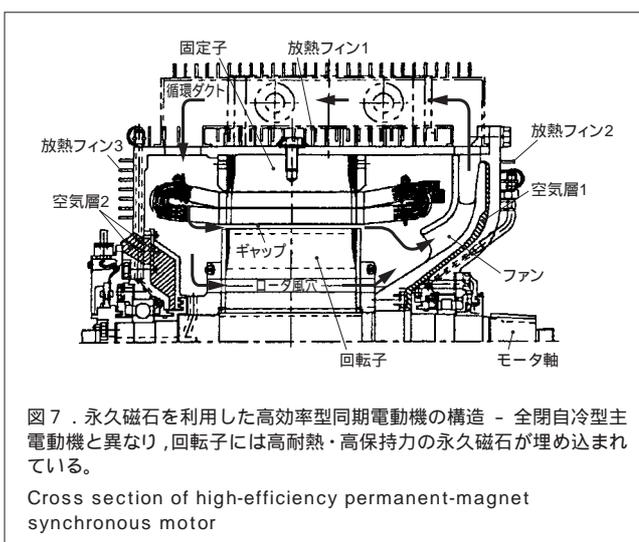


- (4) 効率は、主電動機内部損失の低減により93.5%であり、従来比約1.5%の高効率化が図れる。効率向上による電力削減効果は、概算で主電動機1台当り従来比1,000 kWhとなる(計算の前提条件は全閉自冷型主電動機と同じ)。

4 永久磁石を利用した高効率型同期電動機

4.1 構造

永久磁石を利用した高効率型同期電動機の外観を図6に構造を図7に示す。主電動機内部に発生する熱は循環ファンにより冷却ユニットへ送られ、外部へ放熱される点では、全閉自冷型主電動機と同一だが、異なる点として、回転子には高耐熱・高保磁力の永久磁石が埋め込まれている。軸受については、保守体系と軸受部品を従来方式と同等としたまま分解周期の延長を目指すためグリス潤滑を採用している。



4.2 成果及び特長

永久磁石を利用した高効率型同期電動機の成果及び特長として以下の項目が挙げられる。

- (1) 永久磁石の採用により、励磁電流が不要となるとともに、回転子損失が大幅に低減され、狭軌の通勤電車を想定した場合においても1時間定格出力で200 kW以上まで全閉自冷化が可能となる。また、質量も従来型と同等以下で実現が可能である。
- (2) この方式においても12年程度の非分解が考えられ、4回分(4, 8, 16, 20年目)の分解保守コスト削減が期待できる。
- (3) 騒音については、全閉自冷型主電動機並み(従来比20 dB(A)程度の低騒音化)が期待できる。

(4) 効率については、設計にもよるが、従来型自己通風と同一サイズ・同一出力で全閉自冷化した場合、従来の自己通風型誘導電動機と比較して4～5%の高効率化が期待でき、電力削減効果は概算2,500 kWhとなる。

5 ダイレクトドライブモータ(DDM)

DDMはいろいろな方式が開発されているが、ここでは代表例としてインナーロータ型DDMについて述べる。

5.1 構造

DDMの外観を図8に、構造を図9に示す。この方式では従来の駆動システムで必要な車輪と主電動機間の動力伝達を行う減速歯車装置を省略し、駆動システムとして大幅な高効率化と省保守化、及び低騒音化の実現を目指すものである。減速歯車装置の省略は主電動機のトルク増加(DDMの大型化)を招き、バネ下質量によるレール衝撃力の増加が懸念されることから、永久磁石同期電動機を採用して主電動機



図8 . DDM - 永久磁石同期電動機を採用して主電動機の軽量化を図るとともに、衝撃緩和を目的として車輪と主電動機が弾性継手を介して直結している。

Direct-drive motor

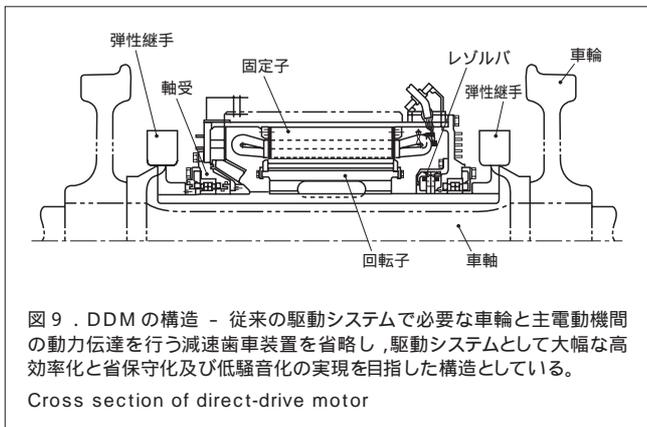


図9 . DDMの構造 - 従来の駆動システムで必要な車輪と主電動機間の動力伝達を行う減速歯車装置を省略し、駆動システムとして大幅な高効率化と省保守化及び低騒音化の実現を目指した構造としている。

Cross section of direct-drive motor

の軽量化を図るとともに、衝撃緩和を目的として車輪と主電動機が弾性継手を介して直結している。軸受については、従来方式と同様のグリース潤滑を採用している。

5.2 成果及び特長

DDMの成果及び特長して以下の項目が挙げられる。

- (1) 全閉外扇型主電動機と同様、12年程度の非分解が考えられ、4回分(4, 8, 16, 20年目)の分解保守コスト削減が期待できる。
- (2) 騒音については、従来比20 dB(A)の低騒音化が期待でき、更に減速歯車装置がないため、これに起因する騒音がなくなる。
- (3) 効率については、主電動機としての効率が従来比で4～5%の高効率化が可能であることに加え、他方式の主電動機で採用している減速歯車装置がない直接駆動方式であるため、歯車の動力伝達損失分2.5%の高効率化が期待でき、電力削減効果は概算4,000 kWhとなる。

6 あとがき

当社における次世代車両用主電動機の開発動向について述べた。ここで述べた次世代車両用主電動機については、試作レベルの開発を終え、いずれも営業運転でその効果を確認する段階にある。これらの主電動機により、従来方式では大幅な改善が難しい省メンテナンス、低騒音、省エネルギーを実現できる可能性があり、近年のユーザーニーズにこたえていけるものと期待している。

今後も、多様化するユーザーニーズに柔軟に対応できる次世代車両用主電動機の更に魅力あるシリーズ化のために、努力を続けていく。

文 献

- (1) 神孫子 博,ほか . 次世代通勤電車用直接駆動システム(全閉自冷IPM方式)の開発 . 平成11年電気学会産業応用部門全国大会 . 1999-8, p.347-350 .
- (2) 松岡孝一,ほか . 全閉式主電動機の開発(評価試験用主電動機の試作) . 電気学会回転機研究会 . RM-00-136 ,2000-10 .



山田 敏明 YAMADA Toshiaki

電力・社会システム社 交通システム事業部 交通車両システム技術部主任。交通車両システムのエンジニアリング業務に従事。

Transportation Systems Div.



白石 茂智 SHIRAIISHI Shigetomo

電力・社会システム社 府中電力・社会システム工場 交通システム部主務。鉄道車両用主電動機の開発に従事。

Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems