

電車用ダイレクトドライブモータのシミュレーション技術

高効率，低騒音，省メンテナンスを目指す電車用モータ

“人と環境に優しい交通システム”への取組みとして、高効率，低騒音，省メンテナンスを実現するダイレクトドライブモータ（DDM）を東日本旅客鉄道（株）と共同開発しています。

DDM を実用化するうえでの課題は、車両がレール継目を通過する際のレールに及ぼす衝撃力の緩和とモータの小型化です。

東芝は、振動解析や熱流体シミュレーション技術を用いてこれらの課題解決に取り組んでいます。

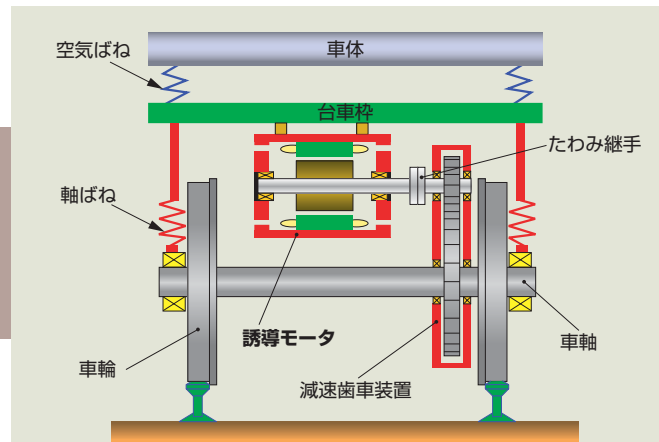


図1. カルダン方式（従来駆動方式）— 台車に取り付けられたモータのトルクを、たわみ継手と減速歯車装置を介して車軸に伝達します。

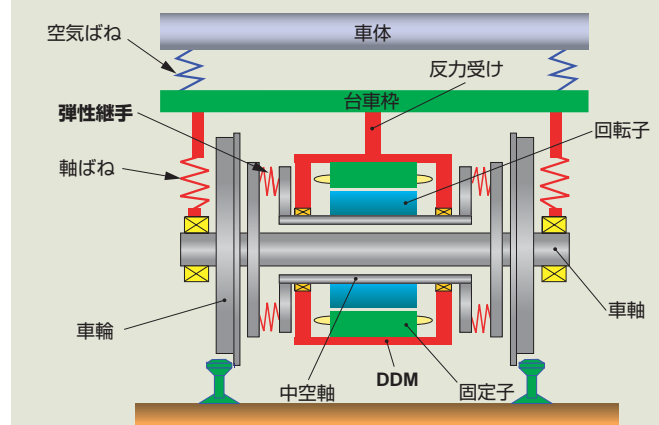


図2. DDM — モータのトルクは弾性継手を介して直接車軸に伝達します。

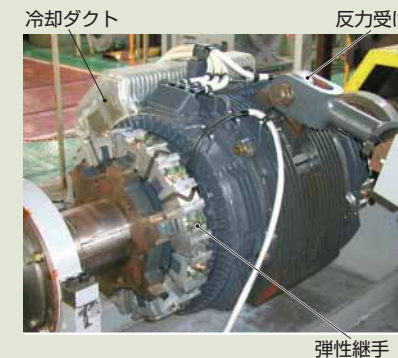


図3. DDMの外観— レールに及ぼす衝撃力を緩和する弾性継手とモータ内部を冷却する冷却ダクト、モータの回転反力を受ける反力受けから構成されています。

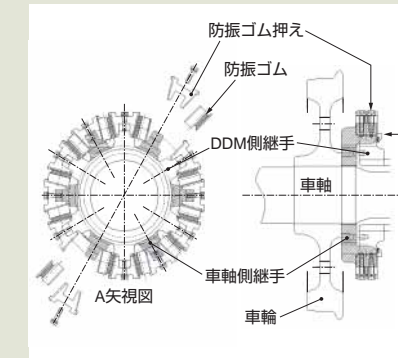


図4. 弾性継手の構造— 防振ゴムと防振ゴム押えを介して、車軸側継手とDDM側継手を結合しています。

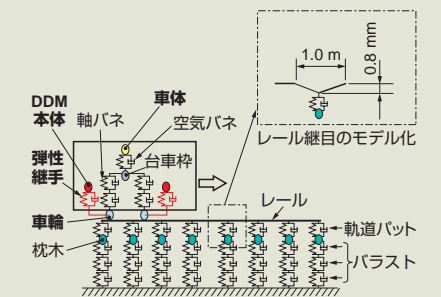


図5. 振動解析モデル— 車両がレール継目を通過する際、レールに及ぼす衝撃力やDDMの振動をシミュレーションできます。

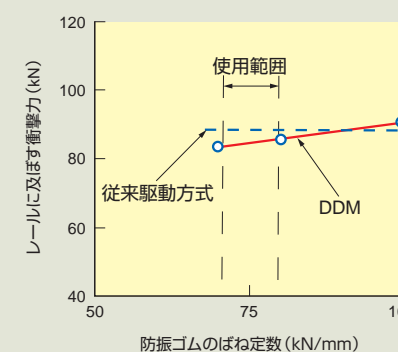


図6. 防振ゴムのばね定数とレールに及ぼす衝撃力の関係— レールに及ぼす衝撃力が従来駆動方式以下となるように防振ゴムのばね定数を決定しました。

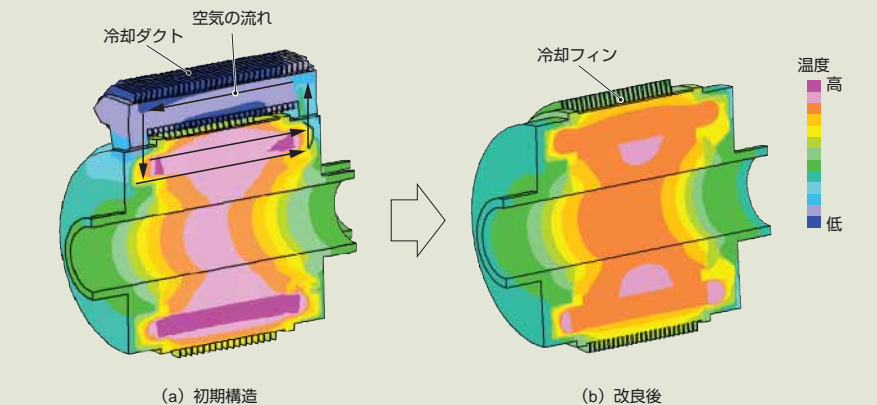


図7. 改良前後のモータ内部の温度分布— 冷却フィンの枚数や形状，配置を最適化することにより，初期構造の冷却ダクトを省略できることを熱流体シミュレーションで確認しました。

DDMの特長と課題

現在の通勤電車の駆動方式は、台車に取り付けられたモータのトルクをたわみ継手と減速歯車装置を介して車軸に伝達する、カルダン方式が主流です（図1）。

これに対して、DDMでは、従来駆動方式の減速歯車装置を省略し、モータのトルクを直接車軸に伝えます（図2）。また、誘導モータの代わりに永久磁石同期モータを採用しています。これにより、従来の駆動方式と比べ効率が5%向上しています。

また、モータ構造を全密閉形とすることで、従来の駆動方式に比べ騒音が

17 dB 低減しています。更に、モータ内部への塵埃（じんあい）侵入も防止できるため、分解保守コストの削減が期待できます。

一方で減速歯車装置の省略は、モータトルクの増加を必要とし、従来の駆動方式よりもモータが大型化します。また、モータ質量を車軸で支持するため、ばね下質量が増し、レールに及ぼす衝撃力の増加が懸念されます。

そこで、レールに及ぼす衝撃力を従来の駆動方式以下に抑え、モータの小型化を図ることが、DDMを実用化するうえでの課題となっていました。

弾性継手の最適化

衝撃力を緩和するためにDDMは弾性継手を介して車軸と直結しています（図2，図3）。

図4に弾性継手の構造を示します。弾性継手は、防振ゴムと防振ゴム押えを介して車軸側継手とDDM側継手を結合することにより構成されています。

衝撃力を緩和させるためには、DDMの振動と車軸の振動が重畳しないように防振ゴムのばね定数を決定する必要があります。

そこで、振動解析モデルを作成し、防振ゴムのばね定数と衝撃力の関係を

明らかにしました。

図5に車体やDDM，弾性継手，ばらスト，レール継目など車両及び軌道を構成する各要素をモデル化した例を示します。一定速度でレール上の車両を走行させ、レール継目を通過したときの衝撃力やDDMの振動を評価します。

この解析から防振ゴムのばね定数と衝撃力の関係を求めた結果を図6に示します。

この結果をもとに防振ゴムのばね定数を決定することによって、衝撃力を従来の駆動方式以下に抑えることができました。

また、走行時にDDMが受ける振動

も許容範囲内に収まることを確認しました。

冷却構造の最適化による小型化

熱流体シミュレーションを用いて冷却構造の最適化に取り組みました。

このシミュレーションによる検討の結果、固定子鉄心の背面に直接冷却フィンを設け、冷却フィンの形状や枚数，配置を最適化することで冷却ダクトを省くことができました。

図7に改良前後のモータ内部の温度分布を示します。

この結果から、初期構造において必要であった冷却ダクトを省略でき、更に固定子で約10 Kの温度を低減

できることがわかりました。

将来への展望

従来の駆動方式に比べ、高効率，低騒音，省メンテナンスを実現できるDDMは、次世代通勤電車用モータとして注目されており、今後、実車両（1編成分）に搭載される予定です。

今後は、更なる小型化を図り、多くの車種にDDMの適用を拡大していきます。

覚地 武夫

電力・社会システム社
電力・社会システム技術開発センター
電機応用システム開発部主査