

最近の車両の研究開発の話題

車両制御技術研究部

部長 小原 孝則

1. はじめに

鉄道総研では、2009 年度まで車両関係の様々な研究開発を基本計画 RESEARCH2005 に基づき 4 つの目標 (信頼性向上、利便性向上、低コスト、環境との調和) に沿って進めた。中でも、実機の試験とコンピュータシミュレーションを組み合わせ車両運動をより高度に再現するシステムの構築は信頼性向上を目標に、また、燃料電池車両の開発は環境との調和を目標に、鉄道の将来に向けた研究開発として重点的に取り組んだ。それらの成果はこれまでに報告されているので、ここでは 2009 年度に実施した研究開発テーマによる成果の中で、信頼性向上を目標とするものから「地震時脱線防止対策左右動ダンパ」、利便性向上を目標とするものから「新幹線用空圧式フローティングキャリパ」、低コストを目標とするものから「主電動機軸受のグリース入れ替えによる中間給脂機構」、環境との調和を目標とするものから「誘導電動機の高効率化」について簡単に紹介する。

2. 地震時脱線防止対策左右動ダンパ

車両の地震時走行安全性を向上させる目的で地震時脱線防止対策左右動ダンパ (図 1、以下地震対策ダンパ) を開発した。地震対策ダンパは、現在搭載されている左右動ダンパの特性を変更することにより、現在の性能は保ちつつ、地震時に台車から車体に伝わる大きな振動を減衰させるものである。地震対策ダンパ単体での性能試験の結果、通常使用域のピストン速度 200mm/sec までは通常ダンパと差はなく、これを超えたところで安定した大きな減衰力を発生することが確認できた (図 2)。次に、この地震対策ダンパの地震時走行安全性向上効果を検証するため、鉄道総研所有の大型振動試験装置にて実台車加振実験を実施した (図 3)。新潟県中越地震推定波の振幅を増加させながら加振した結果、地震対策ダンパでは通常ダンパに比べて 9% 程度大きい振幅入力まで車輪がレールから離れないことを確認した。なお、通常ダンパは加振を繰り返す途中で破損し減衰機能を失ったが、地震対策ダンパに異常は認められなかった。



図 1 地震対策ダンパ

また、実車の走行条件でシミュレーションを行い、地震対策ダンパを装備すると、走行安全限界振幅 (正弦波加振時に脱線しない最大変位振幅) は加振周波数 0.3 ~ 3.0Hz で平均 1.08 倍、最大 1.17 倍大きくなることを確認した (図 4)。

さらに、地震対策ダンパを装備した実車両で速度 300km/h 超の走行試験を行い、通常ダンパとして機能することを確認した。

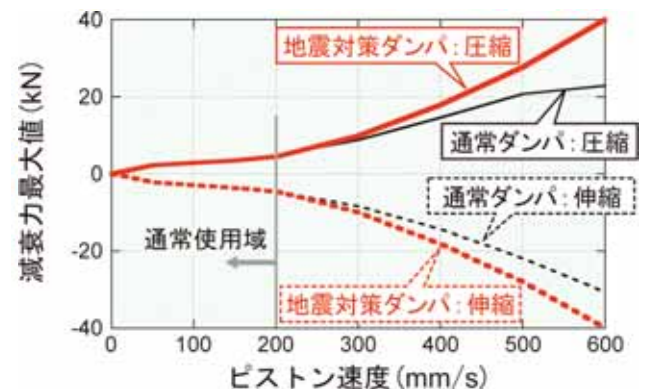


図 2 地震対策ダンパの減衰特性

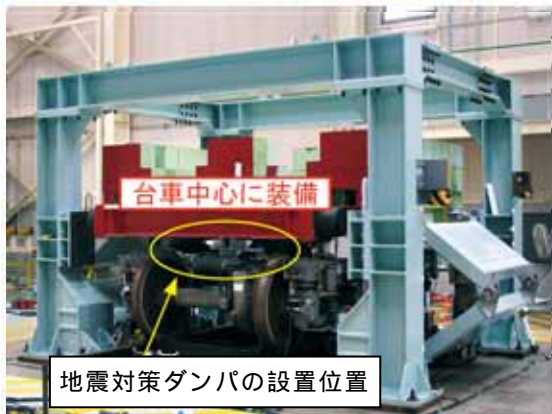


図3 実台車を用いた振動試験

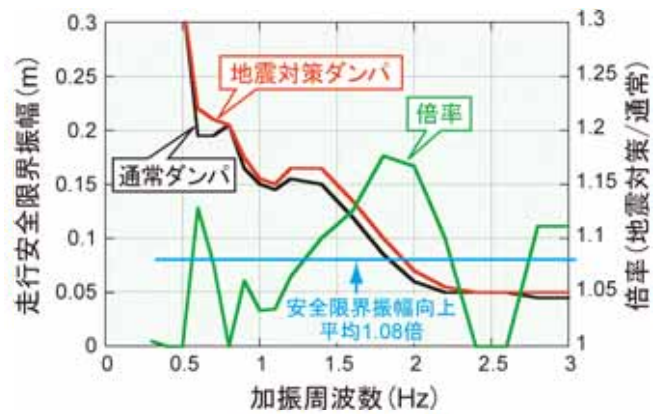


図4 新幹線車両に地震対策ダンパを搭載したときの走行安全限界

3. 新幹線用空圧式フローティングキャリパ

現在の新幹線の空気ブレーキは、電氣的な指令を空気圧に変換し、増圧シリンダと呼ばれる空気圧-油圧変換装置で油圧に変換され油圧式ブレーキキャリパを動作させるシステムとなっている。近年、空気圧で直接動作する空圧式ブレーキキャリパが注目されており、空気圧シリンダの動きをテコを介してディスクを挟み込むタイプのブレーキキャリパが開発されている。鉄道総研では、テコや歯車といった仕組みを用いず大きな力を直接伝えることができる「楕円形ダイヤフラム押付機構」を作動アクチュエータとして用いた直動式の空圧式フローティングキャリパ装置を開発した。本装置は軽量でコンパクトな既存の油圧式キャリパと互換性を持ち、部品点数も少なくメンテナンス性に優れている。

ダイヤフラムは空気圧を押し付け力に直接変換できる



図5 空圧式フローティングキャリパ

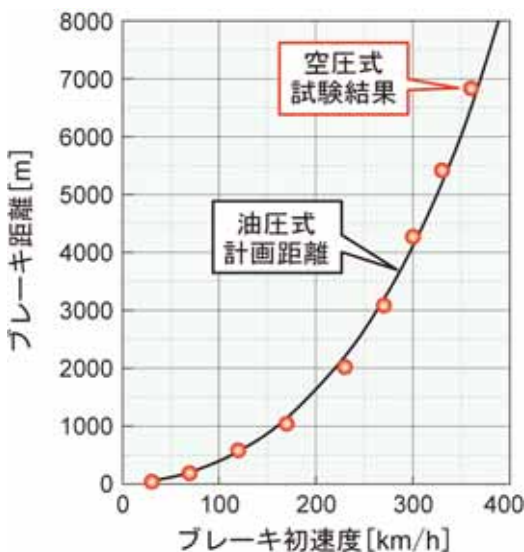


図6 非常ブレーキ性能

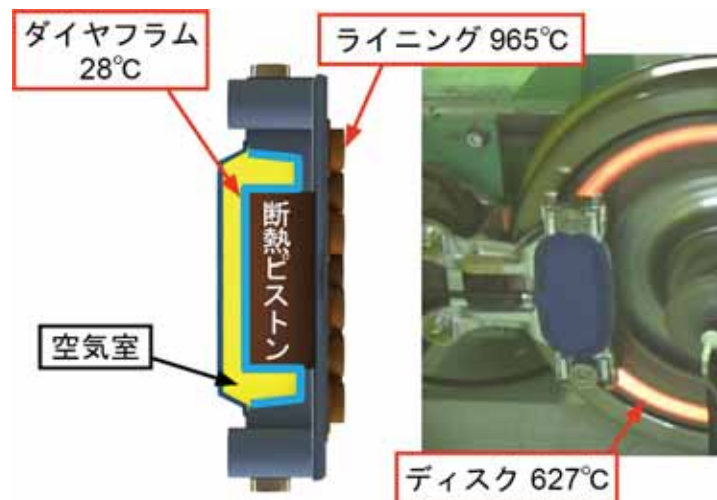


図7 ダイアフラムの温度上昇抑制状況 (初速度 360km/h からの非常ブレーキ)

単純な機構で、薄くて気密性の高いゴム膜を用いるため製作形状の自由度が大きいという特徴がある。その特徴を生かし、限られたスペースを有効に利用した楕円形状にすることで、油圧式キャリパと同等の大きさに構成した(図5)。

ブレーキ試験機による試験では、開発した空圧式フローティングキャリパが油圧式キャリパと同等のブレーキ性能を有し(図6) ダイヤフラム温度の上昇も、ブレーキライニングとの間に配置した断熱ピストンなどによりダイヤフラム寿命へ悪影響を及ぼさない温度に抑制できることを確認した(図7)。

4. 主電動機軸受のグリース入れ替えによる中間給脂機構

誘導主電動機の省メンテナンスには、軸受のグリース潤滑寿命の延伸が必要となる。そのため一部の主電動機では、中間給脂と呼ばれる、主電動機を解体せずにグリースを追加する手法が採用されている。この手法では、あらかじめ初期封入量を減らし給脂分のスペースを空けておく必要があり、給脂前の潤滑状態の悪化が懸念される。また、構造上、給脂量にばらつきが生じる。そこで従来の方法を踏まえ、中間給脂時に、劣化グリースを軸受から遠ざけ、背面の劣化の少ないグリースを軸受近傍に供給できる信頼性の高い給脂機構を開発した(図8)。この方法では、あらかじめ給脂スペースを空けておく必要がなく、給脂量を正確にコントロールでき、非解体で安定した給脂効果が得られる。

また、これまで適切な中間給脂の時期について検討されることがなく、使用期間を等分した時期に給脂が行われてきた。そこで、潤滑寿命がくる前の各段階で給脂する効果を比較する基礎試験を実施し、最も効果の高い給脂時期として、潤滑寿命の25%程度の時期に行うことを提案した(図9)。この結果から、在来線で走行距離180万kmまで主電動機非解体となることを想定し、給脂時期を60万kmに設定して新しい給脂方法と組み合わせることで台上試験を行ったところ、非解体で180万km走行に相当する潤滑寿命があることを確認した(図10)。

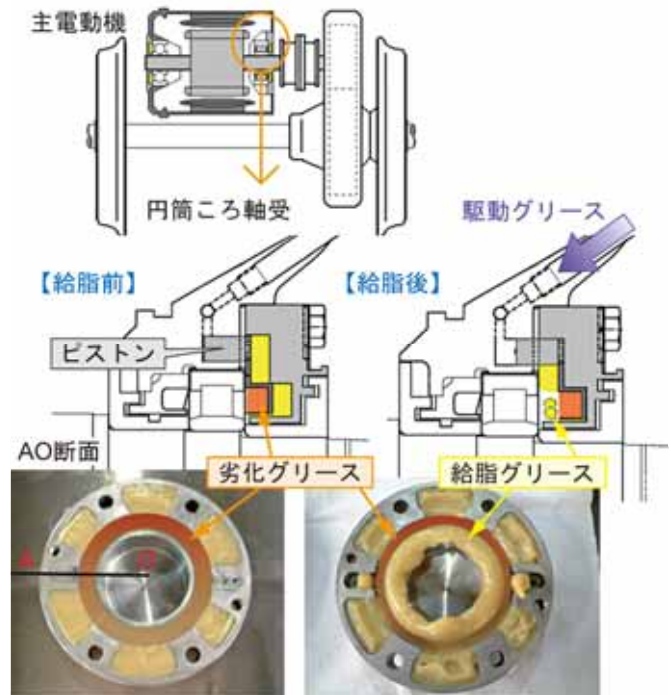


図8 開発した給脂機構とグリース給脂状態

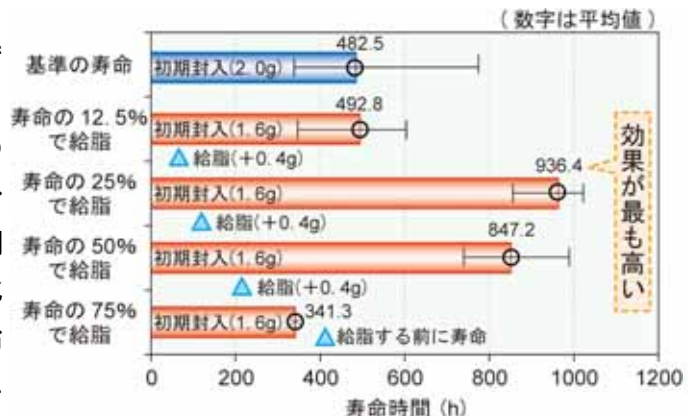


図9 給脂時期による寿命延伸効果の違い



図10 主電動機メンテナンスのイメージ

5. 誘導電動機の高効率化

鉄道車両用主電動機には現在誘導電動機が主に用いられている。頻繁に加減速を行う通勤電車では電動機の損失が消費エネルギーに占める割合が大きく、その省エネルギーを達成するためには誘導電動機を高効率化することが重要である。

一般に、誘導電動機の損失は、固定子銅損、固定子鉄損、回転子銅損、機械損、漂遊負荷損に分類される。これらのうち、銅損と鉄損を削減するために固定子巻線、鉄心、回転子それぞれに低損失材料(図 11)を使用した場合の損失を電磁界解析により求めた。その結果、2%の損失低減効果が得られることが確認できた。

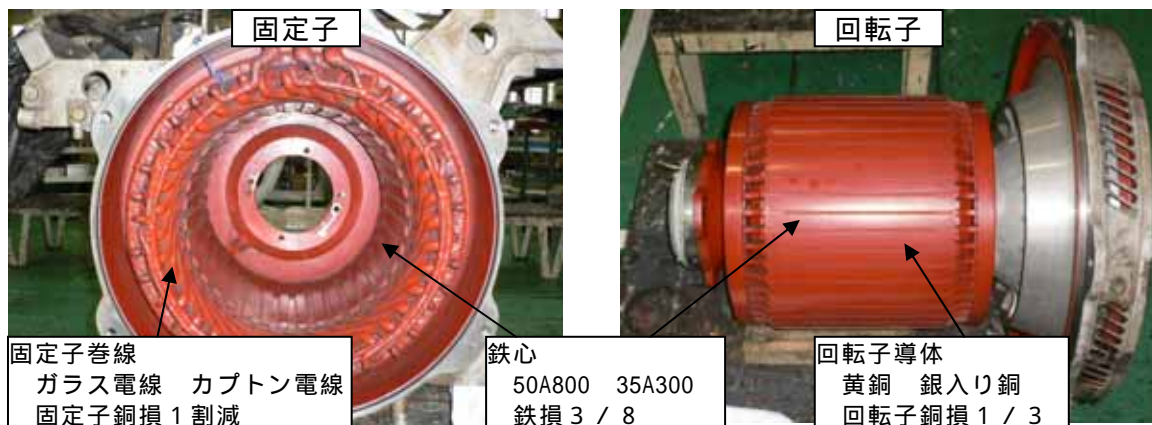


図 11 電動機各部に使用した低損失材料

また、標準的な通勤電車を想定して走行シミュレーションにより消費エネルギーの削減効果の試算を行った結果、低損失材料の適用により走行時の主電動機損失は約 3 割減少し、消費エネルギーについては約 14%の削減効果が得られることが示された。

さらに、最近の研究により、固定子鉄損や漂遊負荷損には、回転子に電流が流れて発生する高調波二次銅損と呼ばれる損失等が含まれており、これが他の損失と比べて同程度に大きい無視できないものであることが明らかにされている。そこで現状把握を行った上で、高調波二次銅損を低減する新しい回転子構造を考案し、電磁界解析により高調波二次銅損を約半減できる可能性を示した(図 12)。

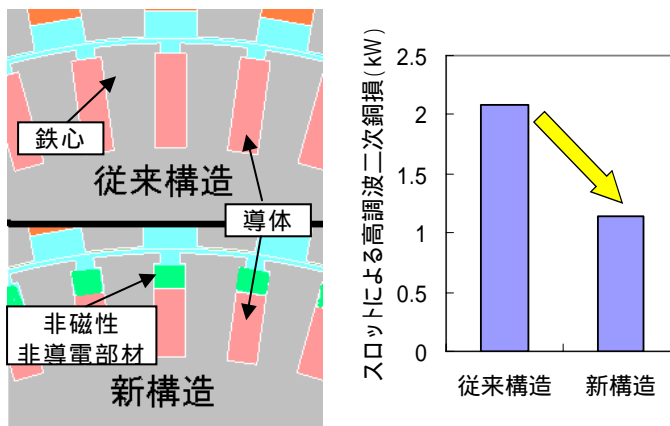


図 12 新構造回転子の概略と損失の変化

6. おわりに

車両関係に関する最近の話題として、2009 年度に取り組んだ研究開発テーマの成果のうち上記 4 件を簡単に紹介した。鉄道総研では 2010 年度から新しい基本計画 RESEARCH2010 のもと、「安全性の向上」、「環境との調和」、「低コスト化」、「利便性の向上」の 4 目標をもって研究開発を進めている。車両系統では、特に安全性、環境に力点をおいて研究開発テーマを設定し、今後の車両技術発展のために貢献したいと考えている。今後も関係個所との連携を密にしながら実りある成果をあげていきたい。