

車両関係の最近の研究開発

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、車両関係の様々な研究開発を4目標（信頼性向上、利便性向上、低コスト、環境との調和）に沿って進めている。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、鉄道の将来に向けた研究開発課題として取り組んでいる。その他、強風時の走行車両の挙動や、衝突時の車両の変形挙動等安全に関わる研究開発は信頼性向上を目標とし、燃料電池車両の開発等環境負荷低減に貢献できる研究開発は環境との調和を目標として重点的に進めている。ここでは2008年度に終了した研究開発テーマの中で、低コストを目標としているものから「軸重移動を考慮した機関車空転再粘着制御方法」と「新しい潤滑成分を用いた新幹線用焼結合金すり板」、利便性向上を目標としているものから「車体剛性向上による乗り心地改善方法」、環境との調和を目標としているものから「ナノ材料を用いた車両用床材」の4件について簡単に紹介する。

2. 軸重移動を考慮した機関車空転再粘着制御方法

動力車で牽引する際、牽引反力によって台車中心や車体中心に回転モーメントが生じ、各軸の軸重が変化する。この変化を軸重移動といい、その量を軸重移動量という。牽引力の大きい機関車の場合、軸重移動量が大きくなる。例えば、各軸の起動引張力を55,000Nとしたときの最大軸重移動量は約20,000Nとなる(図1)。軸重移動量が負となる第1軸では空転が起こりやすくなる。こういった軸重移動に対し、各軸の引張力を実用的な範囲で経験的に按分して空転を防止する手法(静的な軸重移動補償)がとられてきた。

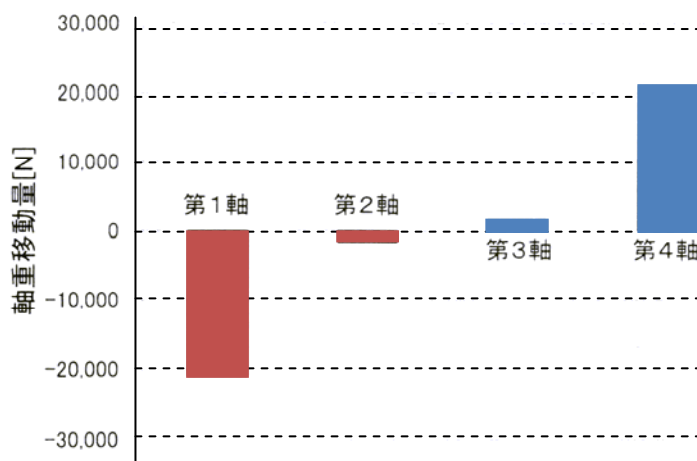


図1 各軸の軸重移動量

一方、ある軸が空転したり再粘着制御が行われると、空転軸の伝達力が変化し、台車や車体にピッチングを起こす回転モーメントが働く。その結果空転していない他の軸に軸重の変化が起き、空転が誘発されやすくなる。その変化に対応した再粘着により粘着力をより有効に活用することが可能となる。

そこで、空転軸が引き起こす軸重の変化を考慮した、空転誘発の軽減を目的とした制御方式を開発した。具体的には、空転軸の加速度に基づいて他軸のトルクを増減し、動的な輪重補償を行うものである。この制御方式を実際のインバータ電気機関車に適用し(図2)、構内線で散水条件による空転試験を実施した。その結果、空転回数は約20%低減し、平均牽引力は約4%向上し(図

3)、空転誘発を抑制し牽引力を向上できることを確認した。

今回は個別制御方式の機関車で性能を確認したが、今後、台車単位で制御する機関車への適用も検討し、実用化を目指す。

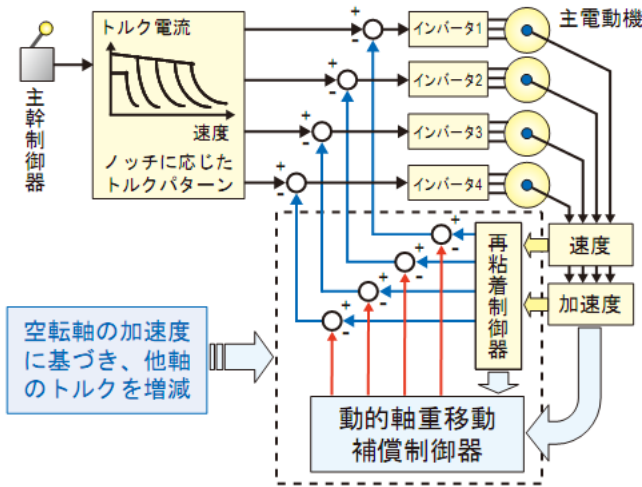


図2 空転誘発を抑制する際粘着制御

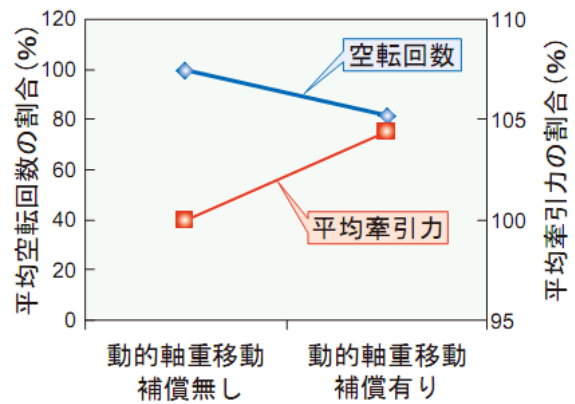


図3 空転回数と平均牽引力の変化

3. 新しい潤滑成分を用いた新幹線用焼結合金すり板¹⁾

新幹線用パンタグラフすり板には、さらなる高速化とパンタグラフ数削減に伴う集電電流の増加によるすり板摩耗量の増加、さらには環境負荷低減への対応が求められている。特に、すり板とトロリ線の摩耗量低減や潤滑性向上のために配合する固体潤滑剤でも環境負荷低減をはじめ性能向上の要求が強い。そこで、最新の固体潤滑技術を採用し、金属硫化物やビスマスなどの新しい潤滑成分を持った新幹線用焼結合金すり板2種類を開発した。開発材は従来の焼結合金すり板と比較して電気抵抗が多少大きくはあるが、機械的特性はほぼ同等である(表1)。

表1 すり板材の物理特性と成分の概要

供試材	密度 (g/cm ³)	硬さ (HB)	引張強さ (MPa)	シャルピー 衝撃値 (J/cm ²)	抵抗率 (μΩcm)	素地	硬質成分	潤滑成分
開発材A	7.0	105	275	14.0	55	Fe粉	Cr	MoS ₂ , Bi, BN
開発材B	6.8	92	207	11.0	59	Fe粉	Cr, W, Cr-V	FeS ₂ , MoS ₂
現用材	7.1	98	282	21.7	40	Fe粉	Cr	MoS ₂ , 他
開発目標値		70~115	176.4以上	9.8以上	80以下			

試験機による試験で、トロリ線の摩耗は従来のすり板を使用する場合よりも小さくなる結果が得られた。また、実車の高速域での諸特性を比較するため走行試験を行った結果、最高速度275km/h以上の高速走行でも異常を起こすことなく使用できること、耐摩耗性も現用品と比較して同等以上であることを確認した(図4)。また、新在直通新幹線にも適用するため、新しい潤滑成分を用いた新幹線用焼結合金すり板を新在直通新幹線車両に搭載して在来線区間における摩耗特性調査を行い、すり板の摩擦特性(図5)およびトロリ線への影響は、現用すり板と同程度であることを確認した。

以上より、最高速度275km/h以上の高速走行および新在直通新幹線区間においても新しい潤滑成分を用いた新幹線用焼結合金すり板が実用可能であることを確認した。現在、一部の新幹線において開発したすり板が全編成で実用化されている。当面、追跡調査を継続して実施していく。

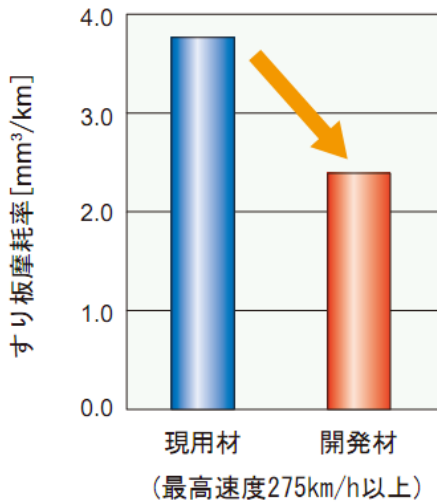


図4 現用材と開発材のすり板摩耗率比較

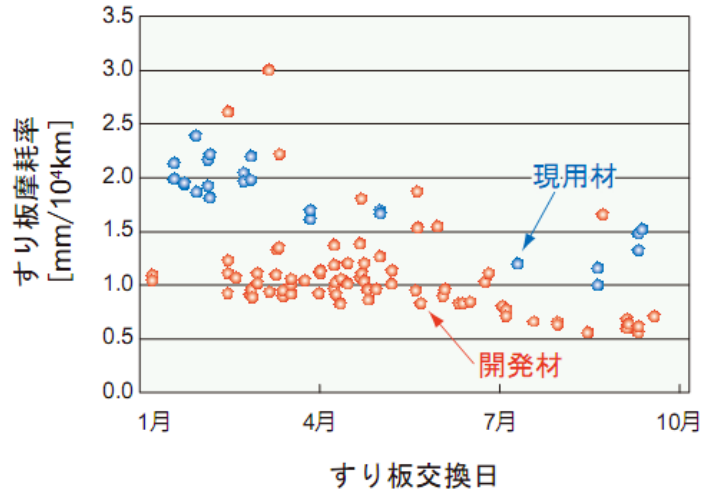


図5 新幹線区間および在来線区間走行時のすり板

4. 車体剛性向上による乗り心地改善手法²⁾

鉄道車両の軽量化・高速化において、車体の剛性向上策に関する技術開発は快適性向上の観点から重要である。そこで、これまで車体強度を担う主要部材と認識されていなかった内部骨組を活用することによって、車体剛性を向上させ乗り心地に関連する振動特性を改善する手法を提案した。

具体的には、構体そのものに大きな変更を加えず、車内の天井、戸袋、床部に補強材を取り付け、それらを接合して「リング化構造」を構成する試験車体を製作した(図6)。構体荷重試験を行い、リング化構造なしの場合と比較し、車体の静的な剛性の指標である「相当曲げ剛性」(車体全体を一様なはり」とみたとときの剛性)を約13%向上できることを確認した(表2)。また、ステンレス鋼製車体では、車体各面が独立に変形しながら振動する特徴があるが、リング化によりそれが抑制され、車体剛性の動的な指標である「固有振動数」が、主要な振動モードで3~6Hz程度上昇することを車両試験台試験で確認した(図7)。これにより、車体全体が「はり」として振動する特性に近づくため、車体曲げ振動低減のための対策が立てやすくなる。また、固有振動数の上昇とともに人間が感じる振動に対

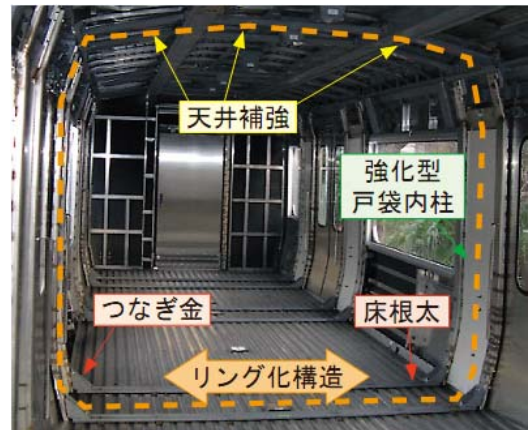


図6 剛性試験車体

表2 JISE7105に基づく構体荷重試験結果

(a) 垂直荷重試験			
荷重	リング化構造	たわみ	相当曲げ剛性
355.0kN	なし	9.2 mm	$7.48 \times 10^8 \text{ Nm}^2$
	あり	8.1 mm	$8.47 \times 10^8 \text{ Nm}^2$

曲げ剛性が向上 (約13%)

(b) ねじり荷重試験			
荷重	リング化構造	たわみ	相当ねじり剛性
40.0kNm	なし	3.6 mm	$2.01 \times 10^8 \text{ Nm}^2/\text{rad}$
	あり	3.1 mm	$2.39 \times 10^8 \text{ Nm}^2/\text{rad}$

ねじり剛性が向上 (約19%)

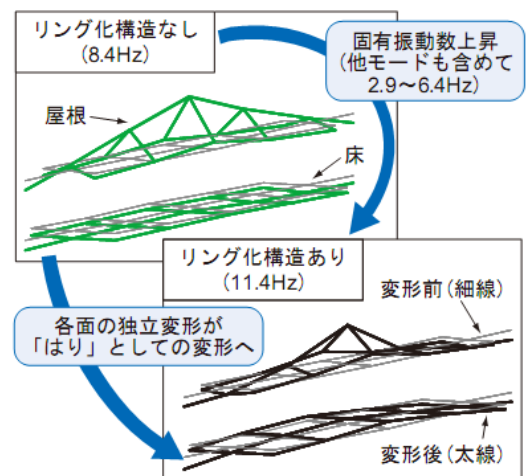


図7 振動モードの変化例

する感度が低下するため、乗り心地上有利になる。

一般に、剛性向上により振動が直接減少する効果は小さいが、上記検討により部材の追加により車体全体の剛性向上効果が高い部位をある程度特定することができた。このような部位に振動減衰効果の大きい部材を適用することで車体振動を効果的に低減できると期待される。今後、このような振動低減方策の検討を進める。

5. ナノ材料を用いた車両用床材

難燃性が要求される車両用床材は、ハロゲン含有の高分子材料を使用している。しかし、燃焼時に有毒ガスを発生するため、火災時の安全性や廃棄処理が問題となっており、脱ハロゲン化が求められている。脱ハロゲン化と難燃性を両立するには、無機系物質をより多く配合する必要がある。すると、重量増加、柔軟性低下、脆性増加を招き、高分子材料の利点を大きく損なってしまう。ここでは、高分子材料中に無機ナノ粒子を配合、分散させたナノ粒子複合材により高分子材料の利点を生かしながら難燃性を確保できると考え、鉄道車両用床材への適用を検討した。

適用可能性の高い材料としてナイロン6とモンモリロナイトナノ粒子との複合材を選択し、試験片を試作し、難燃性評価、機械強度測定を行った。その結果、ナノ粒子複合材を床材内部に積層させる構造よりも、表面に被覆する構造(図8)とした方が高い難燃性を示すことがわかった。機械的強度も旧JRSが定めていた規格を満足し、車両用床材として適用可能なことも確認できた(表3)。また、材料の密度を小さくできること等により、従来の車両用床材と比較して単位面積あたりの重量が50%以下にできることが確認でき、軽量化に貢献できる可能性を示した。



図8 ナノ材料を適用した床材の構成

表3 試作品の特性

項目	試作品(ナノ床材)	現状床材の規格値
引張強さ	27MPa	5.88MPa以上(旧JRS)
破断時伸び	125%	100%以上(旧JRS)
耐加熱老化性	-17%	±30%以内(旧JRS)
燃焼性	難燃性	「難燃性」以上(省令)

6. おわりに

最近の車両関係の研究開発例として、2008年度終了テーマの成果4件を紹介した。鉄道総研では、実用化に近いものから、非常に基礎的なものまで他にも種々の研究開発に取り組んでいるが、鉄道車両の技術進歩に貢献できるよう、今後も関係箇所との連携を図りながら着実に進めていきたい。

[文献]

- 1) 久保、土屋、久保田：新幹線用鉄系焼結合金すり板の性能向上、2006.9
- 2) 相田、富岡、瀧上：車体構造の違いによる在来線車両の車体固有振動モード特性の比較、J-Rail2007講演論文集、pp.143-146、2007