

車両用材料に関する最近の研究開発

材料技術研究部
主管研究員 辻村太郎

1. はじめに

事故・故障に強いシステムの構築、沿線の環境負荷軽減、省エネルギー、高速化などの目標において鉄道用材料の研究開発の貢献が期待される。特に車両のメンテナンスの観点から、車輪、レール、ブレーキ、軸受、パンタグラフすり板、トロリ線などの転がり・すべり摩擦部分の部材の損傷メカニズムの解明、各材料の高強度化や新しい材料の導入、寿命予測技術の開発、損傷診断・損傷防止技術の向上などにより、車両用材料の信頼性向上が期待できる。本稿では車両の保守現場において常に課題となる部材と材料について最近の研究開発状況を紹介する。

2. 車両用材料とメンテナンス

車両用部材の寿命はその役割が担えなくなった時点で決まる。部材の役割はその部材を構成する材料の特性に置き換えられ、これらの特性は、疲労、腐食、劣化等により低下する。その進行は、使用環境、条件により大きく影響され、材料ごとに劣化等の形態や進行度合、影響する因子が異なる。メンテナンス軽減を進めるには、材料の劣化等のメカニズムを解明しておくことが基本であり、その測定技術、検出技術および評価技術の開発が重要な鍵である場合もある。

一方でメンテナンスの方法は、「定期的に」検査、修繕、交換を行なう方法とそれらを「必要に応じて」行なう方法とに大別される。前者は、疲労、摩耗、劣化が一定の時間経過や使用により一定量進行することに対応した方法、後者は疲労、摩耗、劣化が進行して何らかの兆候が現れた時に対応する方法である。

鉄道車両で求められるメンテナンス軽減は、「定期検査、修繕の周期の延伸」と「検査・修繕の簡略化、低価格化」に集約される。材料の観点からは「周期延伸」では部材の長寿命化が課題で、材料自体の耐疲労性、耐摩耗性と耐劣化性の向上が求められる。パンタグラフすり板やブレーキライニングなどの摩耗部品、パッキングなどのゴム部品と潤滑油類などがそれにあたる。「簡略化、低価格化」は各部材ごとに検討され、材料自体よりも形状、構造に大きく影響される場合が多い。図1に部材の劣化等と材料技術面からの対応に関する関係を示す。

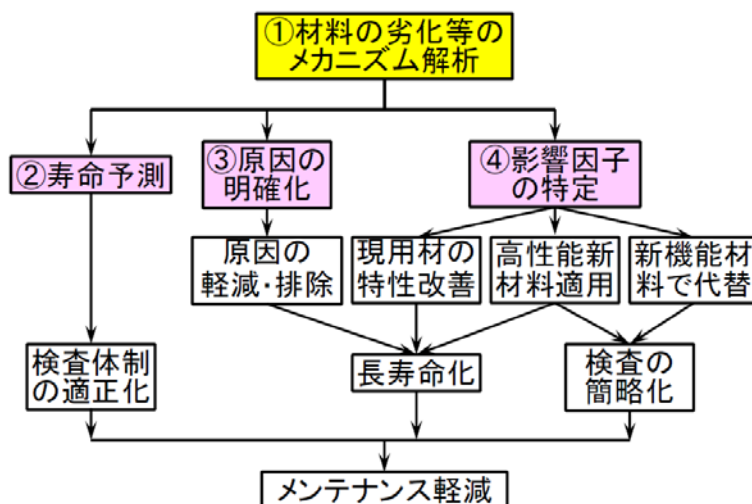


図1 メンテナンス軽減のための研究開発の流れ

3. メンテナンス軽減のための車両用材料の研究開発

3.1 摩擦・潤滑部材の長寿命化

パンタグラフすり板や制輪子等の摩擦部材、潤滑油やグリース等の潤滑部材の長寿命化では、図1①から④を経て現用材の特性改善や高性能な材料の開発が進められる。すり板や制輪子等は摩擦摩耗現象への影響因子が多様であり、そのメカニズムの解析が重要である。一方、軸受や車輪等では図1①から③を経て形状、構造、使用条件等の変更が検討される。転がり軸受では転動体の荷重条件を、車輪では踏面ブレーキ時の車輪温度や応力状態をより望ましいものに変えることで長寿命化が可能となる。

(1) パンタグラフすり板

在来線用パンタグラフすり板として民鉄等で普及が進みつつあるC/C複合材製カーボン系すり板は、比較的高価であり、更なる摩耗特性向上が求められているが、すり板材質の耐摩耗性向上の方策は必ずしも明確ではない。種々の条件下でC/C複合材製すり板の摩擦摩耗特性を調査した結果、摩耗量が離線時のアークエネルギーに比例することがわかり、耐摩耗性向上にはC/C複合材の素材である炭素繊維の種類を変える等で熱・酸化特性を改善する必要があることがわかった。一方、新幹線用の焼結合金すり板では、従来とは異なる新たな固体潤滑材の添加や、自己潤滑性の高い原料粉の使用により、従来と同等の潤滑性で耐摩耗性の高いすり板が開発されている。

(2) 合金鋳鉄制輪子

従来、合金鋳鉄制輪子の耐摩耗性や摩擦係数の向上では、リン、クロム、モリブデン等の合金元素の添加に依ってきたが、硬質のセラミックス粒子を介在させることでも摩擦摩耗特性の向上が図れ、炭化ケイ素発泡体を鑄ぐるんだ鋳鉄複合制輪子が開発されている。セラミックスとしてより汎用性の高いアルミナを用いたアルミナ発泡体（フォーム）を鑄ぐるんだ鋳鉄制輪子を開発し定置試験で性能を確認した結果、ブレーキ距離短縮や制輪子摩耗量低減で炭化ケイ素と同等以上の効果があることがわかった。

(3) 在来線電車のギヤ油

歯車装置の歯車と軸受を潤滑するギヤ油は通常60万km走行で交換されるが、油面計や磁気栓により内部の使用状況が把握可能であり、現行の2倍の耐久性があれば、交換回数を減らして歯車装置の保守軽減を進められる。ギヤ油の基油として酸化安定性、低温での流動性に優れる化学合成油で高機能のポリアルファオレフィン（PAO）を用い、新たなギヤ油を試作した。PAOは高価格であるため、その後の試作では鉱油系基油に置き換えるPAOの量を抑制することによるコスト減を狙い、添加剤により酸化安定性を強化した。試作油について各種試験で性能を調べた結果、120万km以上の走行に相当する条件でも酸化劣化状況は現行油よりも良好であることを確認した。

(4) 転がり軸受の転動体荷重分布

使用中の軸受に実際にかかる荷重を知ることができれば、これを軸受や軸箱などの設計に反映することにより性能向上を図ることができると考えられる。円筒ころ軸受の転動体にひずみ測定用の光ファイバセンサを埋め込み、転動体に荷重が加わるときに発生するひずみを測定することにより、軸受ハウジングへの荷重付与位置が荷重分布に及ぼす影響を調べた結果、ハウジング上面の2点に荷重を付与する条件では、2点が離れているほうが軸受寿命が長くなる効果があることがわかった。

(5) 在来線電車の車輪

車輪も転がり摩擦により摩耗する摩擦部材であるが、取替原因では踏面熱き裂の発生が多い。踏面熱き裂は、踏面制輪子を使う車両で車輪踏面に発生するき裂で、き裂除去に頻繁な車輪研削

が必要なため保守上の課題であるが、発生原因や条件は未解明だった。実物車輪を使用したベンチ試験、材料調査による実働温度およびき裂進展特性の分析、数値解析による踏面ブレーキ時の車輪内部の温度および応力状態の算定を組み合わせ実施した結果、踏面熱き裂の発生主要因は制輪子による熱負荷と車輪／レール間接線力であり、車両の加減速度と車輪の最高温度から、踏面熱き裂の発生可能性を推定することが可能となった。

3.2 検査修繕の簡略化・低価格化

現行の検査修繕の簡略化を図ろうとする場合には、まず個々の検査体系の課題の抽出から始まり、それぞれの課題の解決を進める必要があり、推進には相応の時間を要する。

(1) 主電動機軸受の新しい中間給脂方法

主電動機では非解体で軸受の潤滑寿命を延伸する目的で、一部において中間給脂が行われてきたが、初期封入量を減らす必要があることや、確実に一定量の給脂を行うことが難しいこと等の課題もあった。そこで、劣化グリースを軸受から遠ざけ、未劣化グリースを軸受近傍に供給し、安定した給脂効果が得られる新しい給脂機構を開発し、効果の高い給脂時期を提案した。

(2) 潤滑グリースの劣化管理手法

車両用潤滑グリースの劣化状態と継続使用の可否の判断基準として1980年代に設定された「管理基準値」が広く利用され、車両の検査周期延伸プロジェクト等でも重要な判定指標となっている。近年、交流電動機の導入等の車両機器の変化に加えてリチウム複合石けんグリース等の採用により、グリースの使用環境が変化した。新たな種類のグリースの中には、従来のグリースとは異なる劣化傾向を示すものも見られるため、管理基準値をこれらのグリースの使用状態にも照応したものにする必要があり、現行の管理項目（性状分析項目）で検討が必要な項目の抽出に取り組んでいる。

(3) 一本リンクゴムの損傷判定

一本リンクは、台車と車体をつなぎ、台車の加減速時の力を車体に伝達する部品で、取付け部にゴム部品（一本リンクゴム）が使われている。一本リンクゴムは台車・車体間の振動伝達のために適正な弾性を保持する必要がある。ゴム部品は長期間の使用で劣化するが、ゴムの損傷程度を外観調査から評価することは困難である。ゴム部品の物性指標であるばね定数を推定するために、簡易な衝撃加振試験の適用を検討し、新品や現車からの回収品に衝撃加振試験と材料試験機による試験を行って結果を比較した。その結果、一本リンクゴムでの衝撃加振試験の結果を用いてばね定数を推定できることがわかり、無負荷状態では判断が困難な大きな損傷のある一本リンクゴムを検出できる可能性が見出せた。簡易な衝撃加振試験によりゴムの劣化判定が可能となれば、検修現場における検査の簡略化が図れる。

4. メンテナンス軽減のための新たな材料・技術の導入

車両用部材の性能向上の多くは現用材の改良により進められるが、新たな材料や技術の導入により新機能の追加や飛躍的な性能向上が期待される。実用化に向けては、優れた特性を活かす設計やメンテナンス体系の再構築などの障壁も多く、実用化までの時間は長くリスクも高いが、成功した場合には大きな効果が期待される。最近の取組み例としては以下のとおりである。

4.1 ナノ材料の鉄道用材料への適用の検討

ナノ材料はナノ（ 10^{-9}m ）レベルでの材料調整（複合化、結晶制御等）により従来材にない特性を得た材料の総称で、新たな機能の実現や大幅な性能向上への寄与が期待される。

新たな機能付加例として、現行の塩化ビニル製の車両用床材に代わる材料としてナノ材料を添加した難燃性床材を開発した。塩化ビニルは燃焼時に有害ガスとなる塩素などのハロゲンを含む高分子材料である。開発材は、ポリアミドなどの樹脂中に少量のナノレベルの層状粘土化合物を分散させることにより、軽量で機械的特性に優れ、同時にハロゲンを含まずに鉄道車両に求められる難燃性を満足する材料が得られることを確認した。

カーボン系のナノ材料として、カーボンナノチューブ（CNT）が注目され様々な産業応用が試みられている。CNTはカーボンの層が単層または多層で直径が0.4～50nmの同軸円筒状になった物質で、銅の1,000倍の導電性、銅の10倍の熱伝導率や鉄鋼の20倍の強度などの特性を持ち、既存の材料との複合化により、これらの大幅な特性向上が期待される。

4.2 表面改質技術の適用の検討

急曲線通過時には車輪フランジとレールゲージコーナ一部で高面圧のすべり摩擦による摩耗が問題となる。そこで、フランジ部の耐摩耗特性向上を目指して固体潤滑被膜を用いた表面改質法の適用を検討した。現在は車両上からの塗油や地上からのグリース塗布等が主流である。

ショットピーニングによりフランジ部を下地処理し、固体潤滑被膜を生成して表面を改質した。実物車輪に表面改質加工を試み、車輪／レールを準静的に接触させしゅう動試験を行った結果、急曲線での接触条件を想定した高面圧・高すべり条件下で短期的ではあるが、耐摩耗性向上効果が持続することを確認した。

5. おわりに

鉄道総研では、メンテナンス軽減を目指して車両用部材の材料面からの性能向上と長寿命化、検査修繕の簡略化・低コスト化を推進している。今後も研究開発へのニーズとシーズの動向を見極めながら、材料面から鉄道への貢献を継続的に行っていききたい。

表1 鉄道用材料に関する最近の取組み

目 標／ 適用部材	材料の劣化等の機構の解明 新しい材料の適用	材料の長寿命化	検査修繕の 簡略化・低コスト化
走り装置	<ul style="list-style-type: none"> 車輪フランジ接触面形状の評価法 ショットピーニング法による車輪表面改質 	<ul style="list-style-type: none"> 車輪踏面熱き裂の発生機構と判定手法 	<ul style="list-style-type: none"> 一本リンクゴムの劣化評価法
車 体	<ul style="list-style-type: none"> 圧電ゴム ナノ粒子分散床材 ナノ組織制御アルミニウム合金 樹脂製窓ガラス 		<ul style="list-style-type: none"> ダブル形緩衝器
ブレーキ 装置	<ul style="list-style-type: none"> セラミックディスクブレーキ 鋳鉄複合化制輪子 	<ul style="list-style-type: none"> レアメタル削減合金鋳鉄制輪子 	
軸受 潤滑剤	<ul style="list-style-type: none"> 車軸軸受の転動体荷重分布の推定 車軸軸受の荷重の推定方法 ナノカーボン材料 	<ul style="list-style-type: none"> 在来線電車で用いたギヤ油 	<ul style="list-style-type: none"> 主電動機軸受の新中間給脂方法 潤滑グリースの劣化管理手法
集電装置	<ul style="list-style-type: none"> C/C複合材製カーボン系すり板の摩擦摩耗特性 ナノカーボン材料 	<ul style="list-style-type: none"> 新しい潤滑成分を用いた新幹線用焼結合金すり板 C/C複合材製カーボン系すり板 	

(注) 網掛けは、今回の発表件名。