

材料の研究開発の最近の動向

材料技術研究部
部長 久保 俊一

1. はじめに

鉄道の提供するサービスは、安全性の確保を前提としつつ、利用者の多様なニーズに応えた魅力あるものであり、経済性にも優れていることが、他輸送機関との競争・協調を進める上で必要である。これらに加え、近年は地球環境問題への対応も求められており、鉄道用材料には高性能化、耐久性、経済性の向上や環境影響の低減などがより以上に求められている。一方、材料分野では、エコマテリアル、ナノマテリアル等の新たな概念や技術の展開が進展しているが、最近では資源に関するリスクが注目を集めつつある。ここでは、まずその対応として提唱される国の元素戦略の概略を紹介し、続いて近年取り組んでいる鉄道用材料に関する研究開発について紹介する。

2. 材料資源リスクへの対応

近年改めて、地殻中に含まれる資源の量に対する年間使用量の評価結果や、特定の希少元素資源が少数の国に偏在するリスク（資源リスク、元素リスク）が指摘され、それに対応して「元素戦略プロジェクト」（文部科学省）と「希少金属代替材料開発プロジェクト」（経済産業省）が2008年度から始動している。

これまでの資源リスクへの対応には、石油備蓄制度の他にレアメタル国家備蓄制度があった。後者は国と民間で鉄鋼製品の合金元素（ニッケル(Ni)、クロム(Cr)、タングステン(W)、コバルト(Co)、モリブデン(Mo)、マンガン(Mn)、バナジウム(V))の備蓄事業を行うものである。これらの元素の価格は、鉄鋼生産量の増大や鉱山事故等により大きく変動する。例えば、ニッケルの国際価格は2003年7月を基準とするとその後5年間で2.6～6.5倍となっている。鉄道の車両構体のステンレス鋼や各種構造材で使われる低合金鋼にはニッケル、クロム、モリブデン等が含まれ、今後の動向によってはコスト低減に向け代替材料の検討が望まれる。

「元素戦略プロジェクト」では、希少元素や有害物質を豊富で無害な元素に置き換える技術と代替材料の開発を目指している。目標とする機能を発現するメカニズムを解明し、資源リスクの少ない元素で同等機能を発現させ代替を進めようとする基礎的・基盤的な研究で、ナノテクノロジーの果たす役割が期待されている。一方、「希少金属代替材料開発プロジェクト」では、情報家電、ロボット、電池等の新たな産業分野の拡大により今後の需要増が見込まれる希少金属の安定供給確保に向けた代替技術・使用量低減技術の開発を目標としている。具体的には透明電極向けインジウム(In)、希土類磁石向けディスプロシウム(Dy)、超硬工具向けタングステンを対象に5年後の実用化を目指している。

鉄道分野では、燃料電池や高性能な二次電池の開発が期待されているが、実用化に向けてどのような元素が使用できるかは重要な課題である。また、機器の高性能化・小型化のためにレアメタルの活用が一つの方策であるが、今後は代替材料の開発も視野に検討を進める必要がある。

3. 鉄道用材料に関する最近の取組み

鉄道総研では、鉄道で使われる各種材料の性能向上や損傷メカニズムの解明、評価法の開発のほか、新材料の鉄道分野への導入や鉄道の環境負荷評価にも取り組んでいる。表1は、材料技術に関する研究開発項目を、その適用分野ごとに示したものである。以下に研究開発の目標ごとに紹介する。

3.1 経済性向上・長寿命化

主電動機の検査周期延伸のために軸受グリースの使用壽命延伸が求められている。封入したグリースが有効に使用できるグリースポケット形状の検討、改良形状の提案と効果の確認を行った。

転がり軸受の損傷発生に及ぼす軸受の荷重分布の影響を評価するために、車軸軸受の転動体荷重分布に関する検討を行った。

鉄筋腐食によるコンクリートの劣化予測では、鉄筋の腐食速度を知る必要がある。これまでの塩化物イオン濃度、含水率、中性化深さの腐食速度への影響に加え、気温の影響も検討した。

建設後の経過年数の長いトンネルには、覆工コンクリート表面が脆弱化しているものがあり、これらはセメントの代用材として混和した珪藻土の中性化に起因することを示した。

アルカリ骨材反応（ASR）により劣化したコンクリート構造物の補修では、反応抑制効果のより大きな補修材が求められている。アルカリイオンを吸着し、ASR抑制効果が大きいリチウム（Li）イオンを放出するLi-A型ゼオライトを合成し、ASR抑制効果が特に大きいことを見出した。より合成が簡単で低コストなLi型ゼオライトによるASR補修材の開発を進めている。

レール材料では、耐シェリング用として開発してきたベイナイトレールの長期の現地敷設試験が終了し、優位性が確認された。レール頭頂面近傍の損傷状態について金属学的解析手法で検討し、削正条件を変えたレールの解析などによりレール削正量や間隔の基本的考え方を提示した。

そのほか、微粒子ショットピーニング法による車軸表面改質と車輪座のかじり防止、JIS耐候性鋼材より耐塩害性を高めた高耐候性鋼材の鋼橋への適用、粘土の一種であるベントナイトを用いた省力化軌道の路盤変状対策、新材質による電車線金具（イヤール）の長寿命化などにも取り組んでいる。

3.2 高機能化・高性能化

車輪／レール系の接触現象では、表面清浄度の影響等の基礎的検討と材料の噴射による粘着係数の制御（増粘着と摩擦調整）方法の提案を行った。

車輪フランジ部などの摩耗低減法の一つとして複合化ショットピーニング法による表面改質被膜の適用を検討し、相手材も含め摩耗低減の効果が大きいことを確認した。さらに性能向上を目指し、改質被膜の厚膜化や改質被膜付与に適した下地の表面処理の検討を進めている。

北海道などの降積雪地帯を走行する在来線車両の高速化に対応するため、高速域のブレーキ性能と粘着性能の両立を目指し、現行の合金鑄鉄制輪子にフィルター状炭化けい素製ブロックを複合化した鑄鉄複合化制輪子を開発した。

貨車の車軸軸受に発生する電食を防止するために貨車平軸受用接地装置の開発を行い、定置試験で絶縁状態への移行や著しい抵抗の増大は見られないことを確認した。

パンタグラフすり板材料では、焼結合金とカーボン系材料があり、前者は新幹線と在来線の機関車で、後者は在来線電車で主に使われている。焼結合金では相手トロリ線の摩耗を増加させることなく、すり板の耐摩耗性の向上を目標に材質改良が行われている。カーボン系材料では、現

用の混合焼結型や金属含浸型のカーボン系材料より機械的特性に優れたC/C複合材（炭素繊維強化炭素複合材）の開発実用化を進め、カーボン系材料の軽さを活かせる舟体への装着方法の検討が進められるなど、新幹線などへの用途拡大に向けて開発が続けられている。

鋼橋のき裂の検出・評価を簡易なき裂検知システムで行うことを目指し、導電性表面材を開発した。き裂発生検知用とき裂進展検知用のそれぞれに適した電気特性の塗料を開発し、実用に適した塗装系を提示した。引き続き、配線材の開発とき裂検知システムの検討を行っている。

耐衝撃性能の優れた軌道パッドの開発のために、レールの1締結と3締結状態での衝撃荷重下のパッドの動的挙動を把握する装置と試験条件を確立し、パッドの挙動の解析手法を検討した。

レール/車輪間で発生する転動音対策としてレール防音材を開発を進めている。レール防音材は内層の制振・吸音機能を持つエチレンプロピレンゴム発泡体と外層の制振鋼板で構成され、レールに直接取り付けられるもので、現地試験で騒音低減効果が確認されている。従来の対策に比べ施工の容易さや軽さなどが優れている。現在は、低コスト化および継目部用の開発を進めている。

車輪フランジ部とレールのゲージコーナー部の接触による摩耗防止用に散布される潤滑剤は、粘着係数を下げ空転・滑走の原因となることがある。摩耗を防止し、かつ粘着係数の低下を抑える潤滑油として、トラクション油の適用検討を行った。トラクション油は通常の油より摩擦係数が高く、トルク伝達性能が高く、自動車のハーフトロイダル型無段変速機などで実用化されている。トラクション油を構内試験線の実車両で用い、レールと車輪間に各種油が介在した際のブレーキ時の減速度を測定した。試作油は現行油と比較して、減速度の低下を抑制することを示した。

そのほか、セラミック(C/SiC)ブレーキディスク、シリコンゴムのせん断変形抵抗による粘性要素を付加したダブル形緩衝器、非線形ばね定数を持つゴムによるけん引リンク緩衝ゴム、金属多孔質材によるパンタグラフの空力音低減、袋体充填ポリマーによる地盤改良材、特殊EVA樹脂を用いた接着性防水シート、制振・防錆機能を持つ鋼橋被覆ゴムラテックスモルタル、鉄筋コンクリートの代わりに短繊維補強コンクリートを用いた取換用軌道スラブなどにも取り組んでいる。

3.3 超電導材料

超電導材料の開発と鉄道分野への応用に関する技術開発を行っている。

バルク体の開発では、これまでに大型化に取り組んできており、現在は、含浸法による機械的・磁気的性能向上の検討を進めている。

超電導材料の応用では、車両用主変圧器のコイルの開発を担当し、巻線で発生する交流損失を低減するため、幅狭高温超電導線の特性向上を行い、巻線構成、構造の検討および一次、二次巻線用モデルコイルを製作し、基礎的データなどを得た。

3.4 新しい材料

塩化ビニル代替の難燃性床材として、粘土鉱物のナノ（ 10^{-9} m サイズ）粒子を樹脂に分散させ、脱ハロゲン化の可能性を確認してきた。この材料を床材の基材に接着した試作品を製作し、重量が従来品の50%以下、引張り強度が従来品以上であることを示した。

新しいコンクリートへの取組みとして、ジオポリマーコンクリートの検討を進めている。ジオポリマーコンクリートは、火力発電所などで発生する石炭灰を原料とする環境負荷の小さな材料である。普通セメントを使用しない軽量ジオポリマーコンクリートの配合と強度との関係を明らかにし、化学的耐久性が高いことを確認した。

負の線膨張係数を持つPBO繊維と導電材料の銅を複合化した低熱膨張線状材料の開発を進めている。

3.5 鉄道環境負荷の評価

材料の開発・選択などに不可欠の環境負荷評価手法の検討や評価実施の際に使用する原単位の精度向上に取り組んでいる。また、他の運輸機関との環境負荷評価を最新の産業連関表（2000年版）に基づき実施した。

4. おわりに

鉄道各分野での材料へのニーズは、従来からの高効率・高性能、経済性の向上に加え、低環境負荷、有害物質代替、新エネルギー・省エネルギー関連など環境対応の重要性が増してきている。材料分野では、ナノマテリアル、ナノテクノロジーの展開が見られ、それらを適用した材料の制御、高性能化の試みが進みつつある。ニーズとシーズの動向を見極めながら、これからの鉄道への材料面から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／適用分野	経済性向上・長寿命化	高機能化・高性能化	新しい材料の開発・適用 環境負荷評価等
車両	<ul style="list-style-type: none"> ・微粒子ショットピーニング法による車軸表面改質 ・車軸軸受の転動体荷重分布の推定 ・グリースポケット形状 	<ul style="list-style-type: none"> ・材料噴射による摩擦制御 (FRIMOS、セラジェット) ・ショットピーニング法による車輪表面改質 ・鋳鉄複合化制輪子 ・セラミックディスクブレーキ ・ダブル形緩衝器 ・けん引リンク緩衝ゴム ・貨車平軸受用接地装置 ・パンタグラフすり板 ・金属多孔質材を用いたパンタグラフの空力音低減 	<ul style="list-style-type: none"> ・ナノ粒子分散床材 ・車両用超電導主変圧器
施設 (構造物)	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋腐食によるコンクリートの劣化予測 ・トンネル覆工コンクリートの劣化原因判定 ・新しいASR補修材 ・高耐候性鋼材の鋼橋への適用 	<ul style="list-style-type: none"> ・ポリマー地盤改良材 ・接着性防水シート (エバブリック) ・き裂検知用導電性表面材 ・制振・防錆機能を持つ鋼橋被覆モルタル 	<ul style="list-style-type: none"> ・ジオポリマーコンクリート
施設 (軌道)	<ul style="list-style-type: none"> ・ベントナイトライナーを用いた省力化軌道 ・ベイナイトレール 	<ul style="list-style-type: none"> ・短繊維補強コンクリート ・軌道パッドの動的挙動解析 ・レール防音材 ・トラクション油 	
電気	<ul style="list-style-type: none"> ・電車線金具(イヤー) 		<ul style="list-style-type: none"> ・低熱膨張線材 ・超電導線材
その他			<ul style="list-style-type: none"> ・超電導バルク体 ・環境負荷の評価

(注)網掛けは、今回の発表件名