

# 鉄道用材料に関する研究開発の動向

久保 俊一\*

## Recent Trend of Research and Development on Materials for Railway

Shunichi KUBO

The research and development on railway materials should be focused not only on the aspect of high-efficiency, high-performance and high economical performance as up to now, but also on ecological performance, such as a low environmental load and energy saving. The introduction of new materials, such as eco-materials and nano-materials are essential for railway area to promote innovative changes in the railway field. The contribution of the material technology is expected in a lot of research and development fields of the railway in the coming 20 years outlook.

キーワード：鉄道用材料，環境負荷，新材料，高性能化

### 1. はじめに

現在の鉄道の研究開発では、安全性の向上を前提に、利用者の多様なニーズに応え、他輸送機関との競争・協調を進める上で必要な高速化・高機能化や経済性の向上が求められている。これらに加え、近年は地球環境問題への対応も求められる。このためには、従来から用いられている材料・手法の改良開発とともに、エコマテリアル、ナノマテリアル等の新たな材料や技術の導入と展開が求められる。本稿では、鉄道用材料に関する最近の主な研究開発の概要を紹介するとともに、今後の研究開発の方向性と展望について述べる。

### 2. 実用材料・手法の開発

現在に使われている鉄道用材料や手法に関連した開発では、鉄道現場側からの要望や研究開発側からの実用的な発想を出発点に、必要に応じて基礎的な事項まで踏み込んで解析・解明を行い、課題解決する手法をとっている。

#### 2.1 車両関連材料

駆動装置の軸受、潤滑油、潤滑グリース、ゴム高分子部材、ブレーキ装置のディスク、制輪子、ライニング、集電装置のパンタグラフすり板などが主な対象である。

##### (1) 潤滑グリースの新たな中間給脂機構の開発

誘導主電動機の保守省力化では、軸受グリースの潤滑寿命延伸が重要で、グリースポケット形状改良や給脂方法検討など、近年、材料の適切な使用法に重点を置いてきている。より効果的な給脂方法として、中間給脂（電動機を解体せずにグリースを追加する）時に、劣化グ

リースを遠ざけ劣化の少ないグリースを供給できる給脂機構を開発し<sup>1)</sup>、適切な中間給脂の時期を提案した。台上試験では、非解体で180万km走行の潤滑寿命を確認した。

##### (2) 転がり軸受の転動体荷重分布の測定<sup>2)</sup>

転がり軸受の損傷の要因解明のため、軸受の転動体にかかる荷重の分布を小型の円筒ころ軸受で測定した。外輪とハウジングとの接触長さが短いほど最大転動体荷重は大きく荷重を受ける範囲は小さい、転動体荷重分布と軸受の損傷との関係では接触長さが短いほど短時間で圧痕からはく離が発生する等が明らかとなり、軸受に同一荷重が加わっても、外輪とハウジングの接触状態により軸受内部の転動体の荷重分布は異なり、それが軸受の損傷に影響することを確認し、ハウジングの最適な形状の検討などに生かせる知見が得られた。

##### (3) 新幹線用車軸軸受油の開発<sup>3)</sup>

新幹線電車の車軸軸受油は、高速化に伴い熱・酸化安定性や耐久性の向上が求められる。これには鉱油系基油に代わりPAO（ポリアルファオレフィン）等の合成系基油の適用が有効である。コスト面を考慮しPAOと鉱油系基油との混合使用を検討した結果、PAOを50%混合でも良好な特性が得られることが分かり、速度420km/h、150万km走行相当の台上試験で油・軸受とも良好な状態であることを確認した。

##### (4) 車輪踏面熱き裂の実験的再現と発生機構解明<sup>4)</sup>

車輪の踏面全周に車軸方向に進展する踏面熱き裂は、車輪の寿命短縮の原因となるが、その防止対策は確立されていない。踏面熱き裂の発生機構を探り、発生条件を明らかにするため、車輪の走行条件やブレーキ条件が制御できる定置試験装置で踏面熱き裂の再現生成を試み再現した。その結果、踏面熱き裂は制輪子による温度サイクルとレールとの接触転動の双方の影響により発生することが明らかとなり、今後の踏面熱き裂の発生機構の解

\* 材料技術研究部

## 特集：材料技術

明と対策確立に資する知見が得られた。

## (5) パンタグラフすり板

新幹線用パンタグラフすり板として、従来とは異なる固体潤滑成分を用いた鉄系焼結合金すり板を開発し、実車・実設備ですり板・トロリ線双方の摩耗推移を調査し、すり板の摩耗が低減したこと、およびトロリ線の摩耗は従来材とほぼ同等であることを確認した<sup>5)</sup>。

## 2.2 構造物関連材料

基礎・土構造で使われるシート・繊維材料、軌道関係を含むコンクリート材料、塗装材料等が主な対象である。

(1) セメント系断面修復材の評価手法<sup>6)</sup>

構造物補修用のセメント系断面修復材の性能評価は、補修材単体で行われており、構造物へ施工後の補修箇所全体の耐久性を評価する指標はない。コンクリートと補修材の界面に着目した耐久性評価手法を検討し、補修材施工の新たな品質評価の指標として界面での透水係数を提案した。指標を用いた品質管理により、下地処理の工夫や材料性能の向上による再劣化の抑制が期待できる。

## (2) 鉄筋腐食による劣化と部分断面補修

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。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、劣化予測式を提案した<sup>7)</sup>。

はく離・はく落した箇所を部分的に補修する断面補修による補修箇所周辺で、鉄筋腐食による劣化事例が見られ、対策が求められている。部分断面補修後に、補修箇所周辺で発生する鉄筋腐食による再劣化は非中性化域との間で生じるマクロセル腐食が主要因であることを明らかにし、部分断面補修の効率的な施工法を提案した<sup>8)</sup>。

(3) アリカリ総量の測定手法の開発<sup>9)</sup>

アルカリシリカ反応 (ASR) によるコンクリート構造物の劣化抑制対策として、コンクリート中のアルカリ総量を $3.0\text{kg/m}^3$ 以下に抑制する方法が用いられるが、アルカリ総量 $3.0\text{kg/m}^3$ 程度の領域でアルカリ総量を的確に把握する方法が求められている。コンクリート試料をギ酸で溶解しアルカリ総量を求める手法を開発した。

(4) き裂検知用導電性表面材料<sup>10)</sup>

従来から開発している導電性表面材料を用いた鋼橋のき裂検知手法で、実構造物を模擬した試験体による評価試験や屋外環境 (温湿度条件) に対する影響評価を行い、気象変動による抵抗値変化の補償法を考案した。また、鋼橋用の環境負荷低減型塗装仕様である ECO<sup>11)</sup> に組み込む場合の適切な施工工程を提案した。今後、実構造物への施工試験で施工性、作業性、長期耐久性の確認を行う。

## (5) シート材

地下構造物内部への漏水防止工法に適用され、局所的な損傷が生じても漏水の防止が可能な EVA 樹脂 (エチ

レン-酢酸ビニル重合体) が主体のコンクリート接着性防水シートを開発し、シートのコンクリートへの接着性向上のため接着層にシリカを含む特殊 EVA 樹脂を用いたところ、接着強度が大幅に向上した<sup>12)</sup>。

## 2.3 軌道関連材料

軌道路盤材料、軌道パッド、レール等のほか、車輪/レール間の摩擦制御に関わる材料が主な対象である。

## (1) 継目用レール防音材の開発

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の開発を進め、既開発の一般区間用に加え、大きな騒音が発生する絶縁継目などのレール継目用の防音材を試作した<sup>13)</sup>。継目用防音材はグラスウールを無機質粒子結合材で包み込んだ構造を持ち、無機質粒子結合材はケイ砂と樹脂による多孔質吸音材で、レール近傍に設置しレールと車両下部からの放射音を吸音する。継目用防音材により、衝撃加振試験で約 5 dB、実軌道でのモーターカー走行で約 1.5dB の騒音レベル低下を確認した<sup>14)</sup>。

(2) 軌道パッドの衝撃荷重応答<sup>15)</sup>

レール/車輪間に作用する衝撃荷重は、振動・騒音や軌道破壊の要因となり、その対策として軌道パッド材質改良によるレール支持の低ばね定数化があるが、衝撃荷重に対する軌道パッドの緩衝性能の評価では、定量的な評価法がなかった。新たに開発した衝撃実験装置を用いて軌道パッドへの作用力を測定し、緩衝性能を評価する方法を開発した。

(3) レール削正用砥石の開発<sup>16)</sup>

レールのシェリング損傷や波状摩耗の抑制のためにレール削正が行われている。レール削正では、削正後のレール頭頂面に粗さやうねりが連続的に形成され騒音が発生する場合があります。この防止には、削正車の移動速度を速くしつつ所要の削正量を確保できる砥石材料が必要となる。砥粒の種類、粒度、結合度などを変えた砥石材料を開発し、削正能力の向上と、削正によるレールの熱影響や塑性流動は現用材と変わらないことを確認した。

## 3. 新たな材料の鉄道への適用の研究

これまで材料関係の国家プロジェクト等では、構造や機能性能を主眼とした様々な新材料が開発されてきた。これらを鉄道分野に導入するための研究開発を紹介する。

## 3.1 エコマテリアル

エコマテリアルとは、地球環境への配慮を念頭において材料を指す概念で、具体的には、①リサイクル可能、②生分解性、③長寿命、④無毒性、⑤自然親和性などの性質を持つ材料や、⑥リサイクルされた材料、⑦再生可能資源から作られた材料などを指す。

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コンクリートで、エコマテリアルの一種と言え、多量のCO<sub>2</sub>を排出する普通セメントを使用せず、一般のコンクリートと比較して約80%のCO<sub>2</sub>削減が可能とされる。ジオポリマーコンクリートによりPCまくらぎを試作し、JISの性能試験で要求性能を測定して、基準値を上回ることを確認した<sup>17)</sup>。今後通常のPCまくらぎとの性能比較や製造技術の確立を進めていく。

### 3.2 インテリジェントマテリアル

インテリジェントマテリアルとは、知能材料、知的材料とも呼ばれ、自己診断性、自己調節性、自己修復性などの自律性を持つ材料や製品である。

圧電セラミックスは、ひずみと電圧の相互変換が可能で、センサーの他、インテリジェントマテリアルとして防音・防振など振動制御への用途が期待されるが、脆性材料であり任意形状への成形が困難である。圧電セラミックス粒子をゴム材料に配合した材料を作製して、加振試験により荷重と発生電荷を測定し、圧電粒子配合のゴム材料が圧電性能を持つこと、粒子径の増大により圧電性能が向上することを確認し、成形が容易なゴム材料を圧電材料として使える可能性を見出した<sup>18)</sup>。

### 3.3 ナノマテリアル

ナノマテリアルは、ナノ(10<sup>-9</sup>m)スケールの構造を持つ材料で、フラーレンやカーボンナノチューブなどの炭素材料がその代表例である。

車両床材などの高分子材料では難燃性確保のため塩素などハロゲン化合物が添加されるが、燃焼時のガスの安全性の観点から脱ハロゲン化が求められている。少量の無機物を添加したナノ複合材料の適用により、脱ハロゲン化と難燃性を両立することが可能である。ナノ複合材料の特性、積層構造の検討、機械的強度、難燃性の評価を行い、車両床材に適用できることを確認した<sup>19)</sup>。

カーボン系新材料であるカーボンナノチューブ(CNT)を分散させたグリースを作製して、トライボロジー特性や導電性を評価し、CNTを分散させたグリースは黒鉛分散よりも高い導電性を示し、導電性グリースとして使用できる可能性を見出した。

### 3.4 高温超電導材料<sup>20)</sup>

超電導バルク体の開発では、大型化のほかに大量生産する手法の開発に取り組み、各種機器への応用のために、樹脂含浸による機械的・磁気的性能向上の検討を進めている。

超電導線材の開発では、直流電線への応用を想定したビスマス系線材によるケーブルを試作し、諸特性を測定したほか、次世代超電導線材と呼ばれるイトリウム系(Y系)など希土類系(RE系)線材の各種機器への応

用のために、セラミックス・金属間の層間剥離の防止、線材同士の接合、巻線化などに取り組んでいる。

### 3.5 新材料導入における環境負荷評価

新しい材料を鉄道に適用・導入する際には、これらの性能評価のみならず環境負荷の評価により、材料の製造、使用、保守、処分につながるライフサイクルで環境負荷が低減しているか把握することが重要である。新材料導入による環境負荷変化をライフサイクルアセスメント(LCA)で評価し、CO<sub>2</sub>排出量による比較で、ジオポリマーコンクリート製造では普通コンクリート製造の約20%に、カーボン系すり板導入では従来の銅系焼結合金すり板の場合の約75%であった<sup>21)</sup>。将来的には、新材料導入の事前検討項目として、性能評価・コスト評価に加え環境負荷評価が必要となってくると考えられる。

## 4. 今後の鉄道用材料の研究開発の方向

鉄道総研では、2010年から5年間の「基本計画(RESEARCH2010)」や、20年後を見通した「リサーチマップ」を策定し、今後取り組むべき研究開発項目を示している<sup>22)</sup>。これらの項目のうち、材料技術に関連した項目の方向性や目標、課題について紹介する。

### 4.1 リサーチマップにおける研究開発項目

20年後を見通したリサーチマップでは、研究開発項目として、①自然災害に強いシステム、②事故・故障に強いシステム、③マンマシンシステムの高度化、④列車制御の知能化、⑤沿線環境負荷軽減、⑥省エネルギー、⑦保守・建設の効率化、⑧高速化(速達化)、⑨高度情報処理技術による輸送効率・サービスの向上、⑩シミュレーション技術の高度化、が挙げられており、②、⑤、⑥、⑦、⑧の各項目で材料技術の貢献による進展が期待される。

### 4.2 材料技術の貢献が期待される研究開発項目

#### (1) 事故・故障に強いシステム

鉄道システムを構成する要素の信頼性向上として、車輪、レール、ブレーキ、すり板などの転がり・滑り摩擦部分の部材の破壊メカニズムの解明や、各材料の高強度化、寿命予測技術の開発、損傷診断・損傷防止技術の向上により、鉄道システムの信頼性向上が期待される。

#### (2) 沿線環境負荷軽減

鉄道からの発生音の静音化では、新たな材料の適用やその組合せを用いた防音材・吸音材による低減対策技術の向上・革新により、脱アノイアンス化が期待できる。

#### (3) 省エネルギー

電系の省エネルギー化では、超電導線材の開発とき電線の超電導化により電ロス低減が期待できる<sup>23)</sup>。

車両の省エネルギー化では、軽量金属<sup>24)</sup>やCFRP等

## 特集：材料技術

の軽量材料の車両構体への適用や車両部材への高分子材料の適用による車両重量の軽量化で省エネが期待できる。

## (4) 保守・建設の効率化

鉄道用材料の自己診断・修復技術の開発や、新たな材料の導入により保守量の大幅な低減、取替周期の大幅な延伸を実現し、保守の効率化を図りつつ信頼度も向上させることが期待される。

車両の床下機器の部材の状態監視・状態分析による故障発生の予測技術の開発により、営業運転時の故障検知や故障防止が期待される。

車輪、レール材料の摩擦摩耗現象の解明による車輪・レールの摩耗形状の予測技術や、摩耗による形状変化の少ない部材の開発が期待される。

## (5) 高速化（速達化）

新たな材料を適用した防音材・防振材による高速化に伴う発生音、低周波音の対策技術の開発のほか、軽量ブレーキディスクの開発により、さらなる高速化に対して安定したブレーキ力が期待される。

## 5. おわりに

鉄道各分野での材料へのニーズは、実用材を基本として高効率・高性能、経済性の向上に加え、新たな材料の導入による低環境負荷、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など多様である。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。

## 文献

- Hibino, S. et al.: A Proposal of New Interim Grease Supply Method for Induction Traction Motors, Proceedings of World Tribology Congress 2009, No.B2-415, p.813, Kyoto-Japan, 2009
- 永友貴史・岡村吉晃・高橋研・木川武彦・野口昭治：光ファイバセンサを用いた転がり軸受転動体荷重の動的測定法，第10回日本機械学会・機素潤滑設計部門講演会講演論文集，No.1108, pp.25-28, 2010
- 中村和夫・細谷哲也・日比野澄子・鈴木淳一・設楽裕治・平野亨：新幹線車両用合成系車軸軸受油の開発，第16回鉄道技術連合シンポジウム（J-RAIL2009）講演論文集，No.2407, pp.185-188, 2009
- 半田和行・牧野一成・西森久宜・小原孝則・宮内瞳苗・柿嶋秀史：車輪踏面熱き裂の実験的再現と生成条件，鉄道総研報告，Vol.24, No.8, pp.35-40, 2010
- 土屋広志・久保俊一・久保田喜雄：新しい潤滑成分を用いた新幹線用焼結合金すり板，電子情報通信学会技術研究報告EMD2009-59, Vol.109, No.263, pp.1-6, 2009
- 上田洋・工藤輝大・玉井謙：セメント系補修材の耐久性評価，鉄道総研報告，Vol.24, No.8, pp.5-10, 2010
- 飯島亨・工藤輝大・玉井謙：コンクリート中の鉄筋の腐食速度に及ぼす気温の影響，鉄道総研報告，Vol.23, No.6, pp.11-15, 2009
- 飯島亨・工藤輝大・玉井謙：コンクリートの部分断面補修箇所周辺の鉄筋腐食機構，鉄道総研報告，Vol.24, No.8, pp.17-22, 2010
- 鶴田孝司・上原元樹・水野清：酸溶解による硬化コンクリート中のアルカリ量測定手法，鉄道総研報告，Vol.24, No.8, pp.11-16, 2010
- 坂本達朗・鈴木実・田中誠・小林裕介・杉節政雄：導電性表面材料を用いた鋼構造物用き裂検知手法の開発，鉄道総研報告，Vol.24, No.8, pp.23-28, 2010
- （財）鉄道総合技術研究所（編），鋼構造物塗装設計施工指針，2005
- 矢口直幸・間々田祥吾・館山勝・楠戸一正：コンクリート接着性防水シートの改良，鉄道総研報告，Vol.23, No.6, pp.16-21, 2009
- 間々田祥吾・半坂征則・佐藤大悟・鈴木実・佐藤潔：メンテナンス性を考慮したレール継目用防音材の開発，鉄道総研報告，Vol.23, No.6, pp.22-27, 2009
- 間々田祥吾・半坂征則・佐藤大悟・佐藤潔・太田顕：実用型レール継目用防音材の材料構成と評価，第16回鉄道技術連合シンポジウム（J-RAIL2009）講演論文集，No.1608, pp.349-352, 2009
- 鈴木実：衝撃荷重下における軌道パッドの特性評価，第233回鉄道総研月例発表会講演要旨，2010
- 兼松義一・佐藤幸雄：削正能力を高めたレール削正用砥石の開発，鉄道総研報告，Vol.24, No.8, pp.29-34, 2010
- 上原元樹・東原実・横川勝則：ジオポリマー法による環境負荷低減PCまくらぎの作製，土木学会第64回年次学術講演会講演概要集，No.V-369, pp.735-736, 2009
- 間々田祥吾・矢口直幸・鈴木実・佐藤大悟・半坂征則：粒子配向型圧電ゴムの性能向上の検討，第59回高分子学会年次大会講演予稿集，No.1Pe073, p.1344, 2010
- 伊藤幹彌・坂本達朗・上原元樹・鶴田孝司：ナノ複合材料の車両用床材への適用性評価，鉄道総研報告，Vol.24, No.8, pp.47-52, 2010
- 富田優：高温超電導の応用技術，RRR, Vol.67, No.4, pp.20-23, 2010
- 相原直樹：鉄道用材料のLCAによる環境評価，鉄道総研報告，Vol.23, No.6, pp.5-10, 2009
- 芦谷公稔・池田学・澤田亮：鉄道総研リサーチマップ，JREA, Vol.53, No.1, pp.34771-37445, 2010
- 富田優：次世代鉄道システムを創る超伝導技術イノベーション，2010年度春季低温工学・超電導学会講演概要集，No.3A-a09, p.186, 2010
- 森久史・辻村太郎：鉄道車両構体用の最新溶接技術，鉄道総研報告，Vol.24, No.8, pp.53-58, 2010