

# 鉄道用材料の研究開発に関する最近の動向

辻村 太郎\*

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

Taro TSUJIMURA

Materials for railway have been developed and improved to increase the added value and to improve the economical performance of railway traffic services. In recent years, the risks of resource shortage and supply insecurity are realized again, and “Chemical Element Strategy projects” and “Rare Metal Substitute Development projects” funded by the related ministries of the government have been started. R&D items on railway materials under implementing in our department have been focused not only on conventional high-efficiency, high-performance and high economical performance but also on ecological performance, such as low environmental load, a toxic substance free and new energy and energy saving. The technology of nano-materials has been progressed and is able to control the material constitution and improve performances.

キーワード：鉄道用材料，新材料，高性能化，資源リスク，環境負荷

### 1. はじめに

2008年は、京都議定書の目標達成約束期間5年間の最初の年であり、地球温暖化への取組みは待ったなしの状況にある。他の輸送機関に比較して単位輸送量当たりの環境負荷が小さいと言われている鉄道は、鉄道輸送が担うべき領域での役割を十分に果たさなければならない。そのためには、利用者にとって使いやすく、魅力ある輸送機関であることが求められる。また、更なる環境負荷低減に向けた弛まぬ取り組みを行い、継続的な改善を達成することも必要である。このような要請を受け、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これまで以上に求められている。

一方、材料分野では、1980年代以降の新素材・新材料開発の流れ、1990年代以降のインテリジェントマテリアル、エコマテリアルやナノマテリアルといった新しい材料概念や材料技術の展開が継続してきているが、最近では資源に関するリスクが指摘され、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ている「元素戦略」の概要を紹介する。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

地球の資源が有限であることは、自明のことであり、1972年に発表されたローマ・クラブの報告書「成長の限

界」<sup>1)</sup>(D.H.メドウズら)などでもこれまでに指摘されてきている。この中では、各種金属やエネルギー資源についてその埋蔵量(採掘可能)と耐用年数をいくつかの場合について計算している。静態的耐用年数指標では、例えば銅：36年、鉄：240年、石油：31年となっていた。その後、資源探索が進み、採掘量は年々増加しているにも関わらず枯渇していないことから、徐々に多くの人々の考慮の対象から外れてきていた。しかし、最近になって改めて資源の究極埋蔵量(地殻中に含まれる量)に対する年間使用量<sup>2)</sup>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ことに起因する資源＝元素リスクが指摘され、それへの対応として「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)が提唱され、連携して今年度から動き始めている<sup>3)</sup>。

これまでの我が国の資源リスクへの対応としては、石油備蓄制度の他に、1983年度に開始されたレアメタル国家備蓄制度がある。円滑な産業活動の維持及び国家経済安全保障の確立を目的として、主に鉄鋼製品の合金元素であるニッケル、クロム、タングステン、コバルト、モリブデン、マンガン、バナジウムを対象とした国と民間での備蓄事業が運営されている。これら元素の資源価格は、鉄鋼生産量の中国などでの急激な拡大、また、資源が少数の国に偏在している場合には鉱山事故などによっても大きく変動している。ここ5年間で見てもニッケルは3～5倍、モリブデンは7～8倍になっている。

鉄道分野への影響としては、車両構体のステンレス鋼や各種の構造材などで使用されている低合金鋼にはニッケル、クロム、モリブデンなどが含まれており、今後の動向に

\* 材料技術研究部 部長

## 特集：材料技術

よってはコスト低減に向けた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、代替材料の開発を目指している。全面代替へのアプローチとしては目標とする機能を発現するメカニズムを解明して、資源リスクの少ない元素で同等の機能を発現させようとするもので、基礎的・基盤的な研究である。その際にはナノテクノロジーが大きな役割を果たすことが期待されている。

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が増大すると見込まれるインジウム、ディスプレイ、タングステン等の希少金属を対象とし、安定供給確保に向けた戦略の一部として代替/使用量低減技術の開発を目標としている。具体的には、

- ① 透明電極向けインジウム
- ② 希土類磁石向けディスプレイ
- ③ 超硬工具向けタングステン

を対象とし、5年後の実用化を目指している。

鉄道分野においても、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、小型化を実現するためにレアメタルの活用が一つの方策と考えられるが、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. 各材料担当分野の動向と成果

材料技術研究部では、コンクリート材料、防振材料、潤滑材料、摩擦材料と超電導応用の各グループに分かれ、鉄道で使用される各種材料の性能向上や損傷メカニズムの解明、評価法の開発を行っている。また、新材料の鉄道分野への導入に関しては、部全体として取り組みを行い、また鉄道の環境負荷評価も部として手がけている。以下に、それぞれの最近の取り組みを紹介する。

#### 3.1 コンクリート材料

コンクリート構造物等の維持管理手法の体系化やコンクリートの耐久性向上を目標に研究開発を進めている。コンクリートの劣化にはアルカリ骨材反応、塩害や鉄筋の腐食に起因するものなどがあり、それぞれのメカニズムの解明や劣化進展状況の評価法、推定法の検討、さらには補修方法の開発を進めてきている。

鉄筋腐食によるコンクリートの劣化を予測するには、鉄筋の腐食速度を知る必要がある。これまでの検討で塩化物イオン濃度、含水率や中性化深さの腐食速度への影響を定量化してきており<sup>4)</sup>、さらに気温の影響について検討を進めている。

建設後の経過年数の長いトンネルの中には、覆工コン

クリート表面が脆弱化しているものがある。調査の結果から、昭和初期の建設当時は、セメントの代用材として珪藻土を混和することが行われており、これが中性化することによって脆弱化することを示した<sup>5)</sup>。

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は再劣化している事例が多く、抑制効果のより大きな材料が求められている。そこで、アルカリイオンを吸着し、ASR抑制効果の大きなLiイオンを放出するLi-A型ゼオライトを合成し、その効果を検討した結果、ASR抑制効果が特に大きいことを見いだした<sup>6)</sup>。現在、さらにコスト削減を目指し、より合成の簡単な新しいLi型ゼオライトによるASR補修材の開発を進めている。

新しい材料、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、その化学的耐久性が高いことを確認した<sup>7)</sup>。

#### 3.2 防振材料

鉄道の環境負荷低減、コスト低減に資するため、振動・騒音現象解析、高機能ゴム材料開発を通じた騒音振動対策材料の開発、ナノコンポジット材料および施工技術を含んだ高機能材料の開発などを進めている。

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てきている。レール防音材は内層の制振・吸音機能を持ったエチレンプロピレンゴムの発泡体と外層の制振鋼板から構成され、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。従来対策に比較して施工の容易さや軽さなどが優れている<sup>8)</sup>。現在は、低コスト化および継ぎ目部用の開発を進めている。

耐衝撃性能の優れた軌道パッドを開発するために、レールの1締結及び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手法(装置及び試験条件)を確立すると共に、得られたデータから軌道パッドの動的挙動の解析手法を検討している<sup>9)</sup>。

塩化ビニルに代替する難燃性の床材として、粘度鈹物のナノ(10<sup>-9</sup>mサイズ)粒子を樹脂に分散させることにより、ハロゲンフリー化の可能性をこれまでに確認してきた。この材料を床材の基材に接着した試作品を製作し、重量は従来品の50%以下であること、引張り強度は従来品以上であることを示した<sup>10)</sup>。

鋼橋のき裂の検出・評価を従来の目視ではなく、簡易なき裂検知システムで行うことを目指し、導電性表面材の開発を行った。き裂発生検知用とき裂進展検知用に分け、それぞれに適した電気特性を持つ塗料を開発し、耐久性

を評価し、実用に適した塗装系を提示した<sup>11)</sup>。引き続き、配線材開発およびき裂検知システムの検討を行っている。

### 3.3 潤滑材料

鉄道事業者のニーズに応える具体的な成果を目指して、トラクション油やカーボン系新材料などの先行的な材料開発に取り組む一方で、軸受や潤滑剤に関する設計・評価基準の作成を行っている。また、オイルシール<sup>12)</sup>や新幹線用合成系車軸軸受油に関する研究開発も行っている。

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を防止する目的で散布される潤滑剤がレール頭頂部に回り込むと粘着係数を下げ、空転・滑走の原因となる。摩耗を防止しながら、粘着係数の低下を抑制する潤滑油としてのトラクション油の可能性について検討を行った。トラクション油は通常の油に比較して、摩擦係数が高く、トルク伝達性能が高い油であり、自動車のハフトロイダル型無段変速機などで実用化されている。これらについて、構内試験線で実車両を用い、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<sup>13)</sup>。

転がり軸受の軌道面に発生する損傷のメカニズム解明に向けて、圧痕を起点とするはく離発生の実験的な検討を行い、はく離発生には圧痕の個数よりも圧痕間隔の影響が大きいことを示した<sup>14)</sup>。また、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ている<sup>15)</sup>。

主電動機のメンテナンス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。その一方策としてグリースポケットに封入したグリースが有効に役割を果たせるようなグリースポケット形状の検討を行い、改良形状を提案し、その効果を確認した<sup>16)</sup>。

### 3.4 摩擦材料

すり板やブレーキなどの摺動系材料、車輪やレールなどの転動系材料を対象に高機能化、低コスト化を進めるとともに、材料、制御・メンテナンスを一体化したシステムの技術開発、提案と、それらにつながる現象解明や材料の開発を行っている。

パンタグラフすり板材料としては、焼結合金とカーボン系材料があり、前者は新幹線と東海地区や貨物などの在来線で、後者は多くの在来線で主に使用されている。焼結合金すり板は相手トロリ線の摩耗を増加させることなく、すり板自身の更なる耐摩耗性の向上、新幹線では今後の高速化に対応する材料の開発が課題とされ、耐熱・硬質成分としてのタングステンの効果が確認されつつある。カーボン系すり板では、現用の混合焼結型や金属含浸型のカーボン系材料よりも機械的特性の優れた炭

素繊維／炭素複合材（C/C コンポジット）の開発実用化が進み、カーボンの軽さを活かすための舟体への取り付け方法の検討が進められている。さや、またはボルトによる従来の方法に比較して軽量化が期待される接着法の検討において、舟体とすり板間接着面の温度評価を行い、接着剤の耐熱温度以下に納まるとの結果を得た<sup>17)</sup>。カーボン系すり板は、新幹線などへの用途拡大に向けて開発が続いている。

北海道などの降積雪地帯を走行する在来線車両の更なる高速化に対応するために高速域のブレーキ性能と粘着性能の両立を目指し、現行の高速車両用合金鋳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鋳鉄複合化制輪子を開発した<sup>18)</sup>。

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の検討を行っている。相手材も含めて摩耗低減の効果が大きいことを確認した<sup>19)</sup>。更なる性能向上を目指し、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。

レールに関しては、耐シェリング用として開発を進めてきたベイナイトレールの長期にわたる現地敷設試験が終了し、その優位性が確認された<sup>20)</sup>。また、レール頭頂面近傍の損傷状態に関する金属学的解析手法の検討<sup>21)</sup>を行うとともに、削正条件を変えたレールの解析などに基づきレール削正量や間隔についての基本的な考え方を提示した。

車輪／レール系の接触現象については、表面清浄度の影響等の基礎的検討および材料の噴射による粘着係数の制御（増粘着と摩擦調整）方法の提案を行っている<sup>22)</sup>。

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、ベンチテスト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<sup>23)</sup>。

### 3.5 超電導応用

超電導材料の開発とその鉄道分野への応用に関する技術開発を行っている。また、冷却技術の経験の中で得られた低熱膨張材料の在来鉄道分野への適用に関する基礎的な検討も進めている。

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、その作製手法としてのステップ法の開発などを行っている。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<sup>24)</sup>。また、低温領域の材料検討の中で注目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<sup>25)</sup>。

超電導材料の応用に関しては、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<sup>26)</sup>。

特集：材料技術

3.6 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<sup>27)</sup>。

4. おわりに

材料分野で近年再び注目されてきた資源リスクに対応する「元素戦略」プロジェクトについて紹介し、併せて当研究部での鉄道材料に関する取り組みの概要を紹介した。鉄道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て、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、それらを適用しての材料の制御、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たい。

文献

- 1) 大来佐武郎監訳, D.H. メドウズ, D.L. メドウズ, J. ラーンダズ, W.W. ベアランズ三世: 成長の限界, ダイヤモンド社, 1972
- 2) 中島健一, 長坂徹也, 原田幸明, 井島 清: 循環型社会構築のための評価手法, までりあ, Vol.44, No.4, pp.292-295, 2005
- 3) 経済産業省HP: 文部科学省実施事業「元素戦略プロジェクト」及び経済産業省実施事業「希少金属代替材料開発プロジェクト」委託先公募について
- 4) 飯島亨, 工藤輝大: コンクリート中の鉄筋腐食速度と浮き・はく離発生の推定手法, 鉄道総研報告, Vol.21, No.2, pp.5-10, 2007
- 5) 上田洋, 西尾壮平, 松田芳範: 珪藻土が混和されたトンネル覆工コンクリートの劣化特性, 鉄道総研報告, Vol.21, No.2, pp.11-16, 2007
- 6) 上原元樹: Li-A型ゼオライトによるアルカリ骨材反応抑制, 無機マテリアル学会第113回学術講演会, 2006.11
- 7) 上原元樹: ジオポリマー法による環境負荷低減コンクリートの開発, 鉄道総研報告, Vol.22, No.4, pp.41-46, 2008
- 8) 間々田祥吾, 半坂征則, 佐藤潔, 鈴木実: 遮音機能を有するレール防音材の開発, 鉄道総研報告, Vol.21, No.2, pp.21-26, 2007
- 9) 鈴木実, 半坂征則, 間々田祥吾, 矢口直幸: 重錘落下試験による軌道パッドの衝撃応答特性評価, 鉄道総研報告, Vol.22, No.4, pp.35-40, 2008
- 10) 伊藤幹彌, 間々田祥吾, 坂本達朗: ナイロン系ナノコンポジットの劣化に伴う特性変化の検討(その3), 高分子学会第55回高分子討論会, 2006.9
- 11) 田中誠, 坂本達朗, 江成孝文, 鈴木実: 鋼構造物のき裂検知に用いる導電性表面材の開発, 鉄道総研報告, Vol.21, No.2, pp.17-20, 2007
- 12) 中村和夫, 細谷哲也, 日比野澄子, 半坂征則, 間々田祥吾, 吉田博文: 新幹線高速化のための車軸軸受用オイルシールの開発, 鉄道総研報告, Vol.22, No.4, pp.5-10, 2008
- 13) 曾根康友, 鈴木淳一, 山崎大生, 田本芳隆, 古賀英俊: ブレーキ距離の増加を抑制する車輪/レール潤滑油, J-RAIL2007, pp.69-70, 2007.12
- 14) 池田博志, 永友貴史, 岡村吉晃, 佐藤康夫, 山本勝太: 車軸軸受の圧痕起点はく離の実験的検討, 鉄道総研報告, Vol.21, No.2, pp.31-34, 2007
- 15) 岡村吉晃, 池田博志, 下村隆行, 山本勝太, 城田伸一: 車軸軸受の転動体荷重分布に関する検討, J-RAIL2007, pp.643-644, 2007.12
- 16) 日比野澄子, 細谷哲也, 中村和夫: 主電動機グリースポケットの改良と寿命延伸効果, 鉄道総研報告, Vol.22, No.4, pp.11-16, 2008
- 17) 森本文子, 土屋広志, 久保俊一, 久保田喜雄: カーボン系すり板接着舟体の接着面温度の検討, 鉄道総研報告, Vol.21, No.2, pp.35-38, 2007
- 18) 森本文子, 宮内瞳岨, 半田和行, 辻村太郎, 川口清: 摩擦特性に優れた鋳鉄複合化制輪子の開発, 鉄道総研報告, Vol.22, No.4, pp.17-22, 2008
- 19) 松井元英, 柿嶋秀史, 森久史, 佐藤幸雄, 岩淵研吾: 複合表面改質法による車輪鋼の摩耗低減効果, 鉄道総研報告, Vol.21, No.2, pp.39-44, 2007
- 20) 佐藤幸雄, 辰巳光正, 上田正治, 三田尾眞司: ベイナイトレールの長期耐久試験による耐シェリング性の評価, 鉄道総研報告, Vol.22, No.4, pp.29-34, 2008
- 21) 佐藤幸雄, 岩淵研吾, 石田誠, 兼松義一, 佐々木敏彦, 高橋俊一, 松山綾平: X線応力測定法によるレール頭頂面の残留応力測定, J-RAIL2007, pp.77-80, 2007.12
- 22) 深貝晋也, 伴巧, 辻江正裕, 名村明, 石田誠, 新井富夫, 小林弘幸, 大野薫: 車輪/レール摩擦緩和システムの実用化, J-RAIL2007, pp.339-342, 2007.12
- 23) 柿嶋秀史, 松井元英, 細谷哲也, 池田博志, 岡村吉晃, 佐藤康夫, 寺田泰也, 長谷伸一: 貨車平軸受用接地装置の開発, 鉄道総研報告, Vol.22, No.4, pp.23-28, 2008
- 24) 富田優: 高温超導体の樹脂含浸・金属含浸による高磁場特性の向上, 鉄道総研報告, Vol.22, No.4, pp.47-52, 2008
- 25) 上條弘貴: PBO繊維-銅複合低熱膨張材料の開発, 電機学会交通・電気鉄道/リニア・ドライブ合同研究会, pp.51-56, 2007.7
- 26) 上條弘貴, 福本祐介, 秦広, 池田和也: 超導主変圧器の電気および機械特性試験, 鉄道総研報告, Vol.22, No.4, pp.53-58, 2008
- 27) 相原直樹, 森本文子, 辻村太郎: 産業連関表による各種輸送機関の環境負荷評価, 鉄道総研報告, Vol.21, No.2, pp.45-50, 2007