

# 鉄道分野における新材料に関する最近の研究開発

材料技術研究部  
部長 曾根 康友

## 1. はじめに

技術革新の多くは、設計施工技術だけではなく、使用される材料の性能向上や高機能化によってもたらされてきた。鉄道技術においてもその発展には様々な材料技術が寄与している。鉄道における材料技術の関わりとしては、車両・施設の機能向上、長寿命化、保守軽減に使われる材料の性能向上や劣化現象の解明が、さらにその進捗にあたっては評価・分析技術の向上があげられる。材料の性能向上に向けては、新材料そのものの開発、適用研究が必要である。

本稿では、まず材料をその組成や性質によって分類し、鉄道のどのようなところで使用されているかを概説する。また、新たな概念の材料や材料開発手法とともに、それぞれの分野で現在進められている研究開発の動向を紹介する。さらに、今後の鉄道用材料の研究開発を展望する。

## 2. 鉄道における新材料の研究開発の取り組み

鉄道用材料の研究開発において、近年取り組みの対象となっているものを図1に示す。車両用、施設用に大別され、施設用については構造物、軌道、電力など、それぞれの用途に分類される。加えて車輪／レール間の摩擦制御など、車両・施設の両方からのアプローチが必要な境界分野にも及んでいる。以下、各種材料の特徴をその組成別に概説し、鉄道における新材料の開発、新材料の適用に関する研究開発の取り組み例を紹介する。



図1 鉄道用材料に関する最近の取り組みの対象  
(青文字：施設関連，赤文字：車両関連)

### 2.1 有機材料とその研究開発

有機化合物を主成分とする材料である。有機化合物は、炭素、水素、酸素、窒素を中心に、リン、イオウなどそれほど多くない種類の元素が組み合わせられてできる化合物であり、炭素原子同

士が結合してできる原子の鎖を中心にして、他の元素が結合してできる。炭素原子が数個から数百万個まで、鎖状や環状に結合し、直線状があれば枝分かれするものもあるので種類が多く、分子構造の少しの違いが性質に影響するため、様々な有機化合物が材料として使用されている。

有機材料はわずかな違いが性質に影響することから、分子の設計、合成や加工方法の制御などを通じて新しい材料が開発されている。たとえば材料を構成する分子の向きをそろえる（配向させる）ことによって、薄膜や固体の強度向上を図れるほか、分子の一部分の構造を少し変更することで、異なる効果を持たせることができる。また、単一の材料の開発のほかに、主体となる材料に他の材料の粉末や繊維を混合させることによって新たな機能を持つ材料を創出する手法は「複合化」と呼ばれ、材料開発の有効な手法の一つである。複合化は有機材料に限らず、後述する各種の材料に対しても行われる。複合化によって得られた材料は複合材料と呼ばれる。

圧電セラミックスは機械的エネルギーと電氣的エネルギーを変換する性質である圧電性を持つものの、一般に硬く成形性に劣る。そこで鉄道総研では、圧電セラミックスを有機材料の一種であるゴムに混合させた複合材料である圧電ゴムの開発に取り組んでいる。圧電性能と成形性を両立させた圧電ゴムの性能向上に向けた材料開発に加え、センサへの適用研究を進めている<sup>1)</sup>。

## 2.2 無機材料とその研究開発

無機化合物を主成分とする材料である。無機化合物は有機化合物以外の化合物と定義される。そのため、無機化合物を構成する元素の種類は有機化合物と比較して大変多い。

無機材料の新材料開発手法の一例として、他の元素を微量に加えることや、材料の微視的な規則性（結晶構造）を変化させることがあげられる。加える量や規則性が最適になると、性能が飛躍的に向上することがあり、たとえば超電導物質の超電導を発現する温度が高まる、太陽電池の変換効率が良くなる等の例がある。

鉄道用材料としての無機材料の開発事例として、アルカリシリカ反応(ASR)抑制材料を紹介する。ASRは、コンクリート内部のアルカリ成分によって発生するASRゲルが吸水膨潤することでコンクリート躯体にひび割れを生じさせる、コンクリートの劣化を促進する現象の一つである。対策として鉄道総研では原因物質であるアルカリ成分を吸着して反応の進行を防ぐ抑制材料を開発してきた。吸着効果に加えて、ASR抑制効果が高いリチウムを放出する材料の検討を進め、原材料と製法の工夫により、低コストで作製できるLi-EDI型ゼオライトによる抑制材料を新たに開発した。この材料は現在使用されているカルシウムを放出するものより抑制効果が高いことを確認しており、これを主要成分とするひび割れ注入材の実用化を図っている<sup>2)</sup>。

## 2.3 金属材料とその研究開発

鉄、銅、アルミニウムなどの金属元素からなる材料である。一方で、有機化合物から構成されているのではないという点において、前節で記したように無機材料の定義とも合致することから、無機材料の一種と分類することもできる。一般に強度、靱性（ねばり）、耐熱性などに優れた材料が多いのが特徴である。また、金属材料は、主原料が鉄であるかどうかにより、鉄鋼材料と非鉄金属材料に分類されることがある。

鉄道総研では車両のさらなる軽量化に向け、マグネシウムを適用する検討を進めている。マグネシウムは密度がアルミニウムの約3分の2の、実用的な金属の中で最も軽量の金属である。マグネシウム自体は発火点がアルミニウムより低い、カルシウムを含有する難燃性マグネシウム

合金とすることで発火点の低さを克服しようとしている。これまでに、構体を構成する中空形材の押し出しによる製造やある種の溶接が可能であることを確認しているが、実用に向けては、さらなる長尺化や接合技術の確立が課題となっている<sup>3)</sup>。

## 2.4 エコマテリアルとナノマテリアル

材料に関する新たな概念が知られるようになってきている。本稿では代表的な2種類を紹介する。

地球環境問題への対応が大きな課題の一つとなっていることから、材料にも、使用エネルギーの削減、環境への影響が小さい物質への置き換えが求められている。このような材料を「エコマテリアル」と総称する。鉄道用の盛土のり面で雑草の繁茂を防ぐのり面保護シートに対し、それまで使用されていた、ハロゲン素材と呼ばれる、廃棄する際の焼却処理時に有害物質を発生させる可能性がある素材から、非ハロゲン素材に置き換えることで、エコマテリアル化を達成した<sup>4)</sup>。このシートはすでに実際の施工例がある。

これまでの物質と比べて小さい、ナノスケール(10<sup>-9</sup>m)になったときに独特の特性を示す材料を「ナノマテリアル」と総称する。炭素原子が平面的に結合したシート状の物質が、丸く閉じて直径0.4~50nmの円筒形になったナノマテリアルをカーボンナノチューブ(CNT)と呼ぶ。CNTは機械的な強度が強く、同じ炭素から成る黒鉛に比べて優れた導電性を示すことが知られている。また、カーボンブラック(CB)も、CNTと同様に炭素でできている直径数nm~数百nmの微粒子である。これらを潤滑グリースの添加剤として活用し、本来は絶縁体であるグリースに導電性を持たせることで、通電時に発生する摩耗の一種である「電食」を防止する可能性があることがわかっているほか、添加により潤滑グリースの基本的な性質の一つである耐焼付き性を向上させることも見いだされている<sup>5)</sup>。

新材料の開発、適用に関する取り組み例を、前節までに記した分類によりまとめて表1に示す。

表1 鉄道への新材料の開発および適用に関する最近の取り組み例

対象分野	主な適用対象部材	適用する材料	期待される主な効果	適用する材料の主成分の分類
車両	車両構体	難燃性 マグネシウム合金	軽量, 難燃性	金属材料
	潤滑グリース	ナノカーボン	導電性 機械的特性	無機材料 ナノマテリアル
	パンタグラフすり板	アルミニウム複層材	導電性, 耐摩耗性	金属材料
施設	き電ケーブル	超電導材料	高温超電導特性	無機材料
	まくらぎ	ジオポリマー コンクリート	製造時の環境負荷低減 ASR・劣化等への耐性	無機材料
	コンクリート	イオン交換物質	ASR抑制	無機材料
	のり面防護シート	非ハロゲン部材	環境適合性	有機材料 エコマテリアル
	ノーズ可動 クロッシング	レール鋼の頭部 熱処理方法	耐摩耗性	金属材料
	レール等のき裂 検知システム	導電性表面材	導電性, 表面追随性	無機材料
	軌道パッド	発泡性ゴム	低温時緩衝性能	有機材料
車両・ 施設等	センサ	圧電ゴム	機械エネルギー/ 電気エネルギー変換	有機材料

### 3. 今後の新材料開発

鉄道で使用される材料には豊富な実績を持つものが多いが、今後は数値シミュレーションや過去のデータの活用によって設計された新たな材料が、それらに取って代わる可能性がある。

材料の性質や機能の多くには理論があるものの、実際の開発や高機能化は経験に基づくことが多い。そのため、原材料を混ぜて作り、性能や機能を実験により証明する過程では、失敗や手戻りはある程度当然のものと考えられている、しかし、それらを予測することができれば、期間も過程も合理的に材料開発を進めることができるはずである。

理論に基づく材料の開発には「計算」が必要であるが、これまでは扱える原子の数や精度に限界があり、計算方法も結果も実用性が高いとは言えないものであった。これに対し、近年のコンピュータの進歩や大量のデータを取り扱う環境の向上により、こういった手法が改めて注目されている。太陽電池や半導体などの分野ではこの手法に基づく材料開発によって成果があがりつつある<sup>6)</sup>。

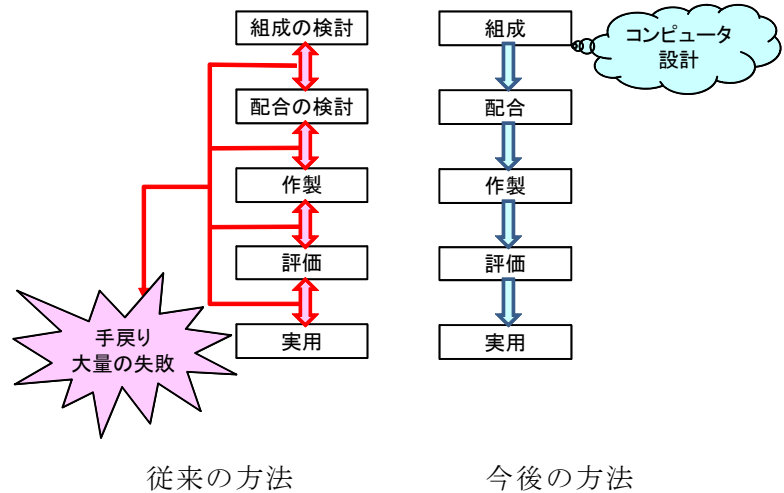


図2 今後の新材料開発のイメージ

### 4. おわりに

新材料の開発と適用に関して、他分野も含めた動向と、鉄道用材料の機能向上、長寿命化、保守軽減に向けた鉄道総研での取り組みを紹介した。今後も材料技術の向上を通じて鉄道の持続的な発展のための努力を継続する所存であり、関係各位のご協力をお願い申し上げます次第である。

### 参考文献

- 1) 間々田, 矢口, 岡田, 半坂, 山登, 吉田: 粒子のパターニング配向による圧電ゴムの圧電性能向上, 第26回エラストマー討論会講演要旨集, pp. 9-10, 2014
- 2) 上原, 佐藤: ジオポリマー法による繊維補強短まくらぎの試作, 鉄道総研報告, Vol. 28, No. 2, pp. 11-16, 2014
- 3) 森, 上東, 辻村, 石塚: 軽量金属の新素材を求めて, RRR, Vol. 71, No. 5, pp. 24-27, 2014
- 4) 矢口, 間々田, 鈴木, 梶尾, 三吉: 非ハロゲン素材による高分子系のり面防護シートの開発, 鉄道総研報告, Vol. 29, No. 4, pp. 17-22, 2015
- 5) 鈴木, 上東, 柿嶋: ナノカーบอนを分散させた導電性グリースによる転がり軸受の電食防止対策, 鉄道総研報告, Vol. 29, No. 4, pp. 29-34, 2015
- 6) G. シーダー, K. ベアスゾーン: はずれのない材料設計, 日経サイエンス, Vol. 44, No. 5, pp. 88-93, 2014