

鉄道一般

車両

施設

電気

運転・輸送

防災

環境

人間科学

浮上式鉄道

# 材料の高機能化と 鉄道への応用

携帯電話の普及も自動車の燃費向上も、世の中の技術革新は材料の高機能化によってもたらされています。同じように鉄道技術の発展にもさまざまな材料技術が寄与しています。ここでは、材料をその組成や性質の違いによって分類し、鉄道のどのようなところで使用されているかを概説します。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高機能化の研究開発の動向を紹介し、さらに、鉄道用材料の高機能化に関する取り組みを述べて、今後の鉄道用材料の研究開発を展望します。



曾根 康友  
Yasutomo Sone  
材料技術研究部  
部長  
[専門分野]潤滑剤の化学

## はじめに

車両の速度向上は、車体や部品の軽量化、駆動系の高出力化、ブレーキ性能や集電特性の向上、その他部材の性能向上など、要素技術の発展によって実現されます。そのいずれも材料自体の開発や加工技術の進歩、信頼性の確保に多くの技術が注ぎ込まれてきた結果と言えます。したがって、鉄道用材料の研究開発は、これからの鉄道の発展を支える柱として取り組んでいく必要があります。

ここでは鉄道用材料の高機能化について述べるにあたり、数ある材料を、主な成分の種類別に分類し、その性質や鉄道における用途、高機能化技術を紹介します。

材料の分類方法は種々ありますが、ここでは構成している物質の違いから、

有機材料、無機材料、金属材料の3つに分類します(図1)<sup>1)</sup>。

## 有機材料

有機材料は有機化合物を主成分とする材料です(☞参照)。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ることができる化合物です。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化合物ができます。炭素原子が数個から数百万個まで、鎖状や環状に結合し、さらにそこから枝分かれするものもあるので種類が多く、少しの違いが性質に影響するため、さまざまな有機化合物が材料として使用されています。

炭素数が比較的少ない有機化合物は液体で、鉄道で使用されるものの代表

## ☞「化合物」と「材料」

たとえば「有機化合物」と「有機材料」は、その違いが分かりにくい用語です。文献1)によれば、「化合物」は2種以上の元素の原子に化学結合によって生じた純粋物質、「材料」は、「材料科学」という用語を参考にすると、工学の分野で有用な物質と定義されます。これにしたがえば、化合物が人間にとって有用だと、材料として取り扱われることになり、両者には違いがあることとなります。ここでも、「化合物」と「材料」という2つの用語を分けて使用することにします。

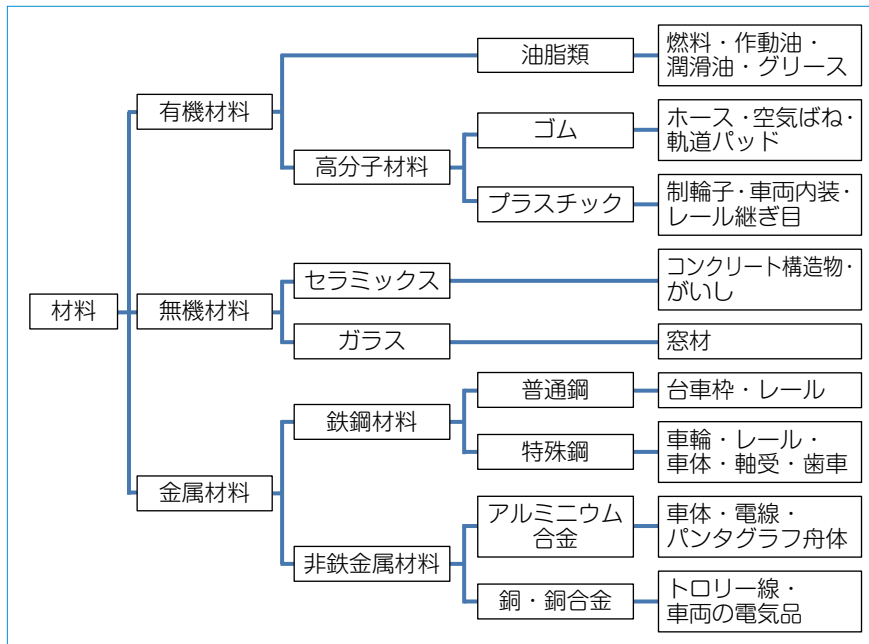


図1 鉄道用材料の分類例と主な使用箇所

としては燃料（軽油やガソリン）、油圧作動油、潤滑油・グリースなどがあげられます。

一方、炭素数が多くなると有機高分子化合物と呼ばれ、この化合物で構成される材料は、多くのものが固体です。単に「高分子材料」と略されることもあります。鉄道で使用される高分子材料の代表はゴムやプラスチックです。ゴムは変形させた際に元に戻る応力が大きく、それによって生じる粘性や弾性によって振動を吸収する性質があります。そこで、台車のエアホース、ブレーキ配管の膜板、空気ばね、軌道でレールの下に敷設される軌道パッドなどに使用されています。

有機材料は分子の設計、合成や加工方法の制御などのわずかな違いが性質に影響することから、いろいろな高機能化手法があります。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ますし、分子の一部分の構造を少し変更することで、異なる

効果を持つ材料を生み出すことができます。

### 無機材料

無機材料は無機化合物を主成分とする材料です。無機化合物は有機化合物以外の化合物と定義されます。したがって、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く、有機化合物では結合している炭素の数によって決まる大まかな性質の分類により紹介しましたが、無機化合物は性質が多様で、そのような紹介が困難です。

粉体などを成形・焼成してできるセラミックスは代表的な無機化合物です。セメントは、石灰石とケイ石を混合・焼成してできるセラミックスの一種で、鉄道ではコンクリート構造物の原材料として大量に使用されています。また、石英やムライトといった鉱物から成り、絶縁性に優れたセラミックスは、電力設備で通電部分と支持部との間を絶縁する「がいし」として広く使用されています。さらに、セラミックスの一種

であるアルミナ（アルミニウムの酸化物）は、まき砂に代わる車輪／レール間の増粘着材として使用され、噴射装置とともに、高速車両を含む多くの鉄道車両に設置されています。

ある温度より低温で電気抵抗がゼロとなる「超電導」は、主に、バリウムやイットリウムなどの元素を含む、一部のセラミックスで見られる現象です。

無機材料の高機能化手法の一例として、他の元素を微量に加えることや、材料をマイクロな目で見た際の規則性（これを結晶構造と言います）を変化させることがあります。加える量や規則性が最適になると、たとえば超電導物質が超電導の状態に転移する温度が高まったり、太陽電池の変換効率が飛躍的に向上することがあります。

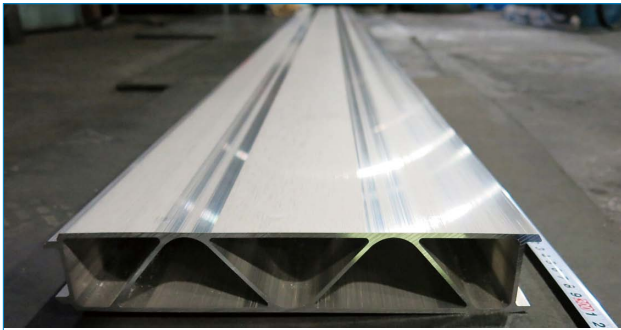
### 金属材料

金属材料は鉄、銅、アルミニウムなどの金属元素からなる材料を指します。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、無機材料の一種とも分類できます。一般に強度、じん性（ねばり）、耐熱性などに優れた材料が多いのが特徴です。

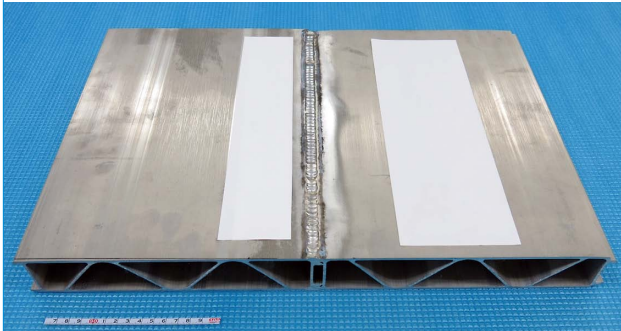
金属材料は、主原料が鉄であるかどうかにより、鉄鋼材料と非鉄金属材料に分類されることがあります。

鉄を主原料とする鉄鋼材料は、産業革命以降、その物性や製造方法について多くの研究開発が行われてきました。鉄道においてもレールや車輪など、走行に不可欠で基本的な部材に加え、台車や車体（構体）など、多くの箇所に鉄鋼材料が使用されています。中でも、電車の重要な走行部品である駆動装置を構成する歯車や軸受には、硬さを必要とするため、クロムなどの元素を含む特殊鋼が使用されています。

一方の非鉄金属材料は、鉄鋼材料に



押し出しによる型材の断面



2つの型材を接合した様子

図2 難燃性マグネシウム合金による車両構体向け中空型材

はない性質を必要とする箇所でも数多く使用されています。たとえば電気を通す必要があるトロリー線などの電気配線には、電気抵抗が鉄のおよそ6分の1である銅やその合金が使われます。

合金化、すなわち他の元素を混ぜることは、金属材料の高機能化手法としてとても有効です。軽量化も省エネルギーや高速化に大きく貢献するため高機能化の一環と言えます。車両の構体に対しては、密度が鉄のおよそ3分の1であるアルミニウムの合金が使われます。

マグネシウムは密度がアルミニウムの約3分の2であり、さらに軽量の金属です。このマグネシウムを、構体に適用する検討が進んでいます。マグネシウムはそのままでは可燃性がありますが、カルシウムを含む難燃性マグネシウム合金とすることで燃焼しにくくしています。これまでに、構体を構成する中空型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ます。

製造・加工することによる強度の向上も、産業応用のため、高機能化手法として広く取り組まれています。

### 複合材料

ここまでに概説した分類による材料のいくつかを組み合わせで作った材料です。多くの場合、主体となる材料の中に、粉末や繊維などを分散して作られ、単一の材料よりも優れた性能を持たせることができるので、高機能化の手法として大変有効です。

プラスチックを主体として、繊維を分散させた材料が繊維強化プラスチック (FRP) であり、複合材料の代表格です。とくに炭素繊維を分散させると炭素繊維強化プラスチック (CFRP)、ガラス繊維を分散させるとガラス繊維強化プラスチック (GFRP) と呼ばれます。FRPは軽量でありながら強度があることが特徴で、エポキシ樹脂と炭素繊維からなるFRPの比強度(引っ張り強さを密度で割った値)は、鋼のおよそ5~6倍にもなります。このよう

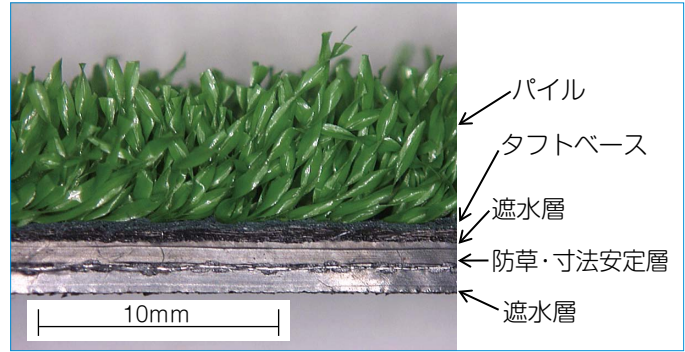


図3 非ハロゲン素材を用いたのり面防護シートの断面<sup>3)</sup>

(図2)、さらなる長尺化や接合技術の確立が今後の課題です<sup>2)</sup>。

このほか、材料を構成する粒子が微細になるように

な性質を活用するため、FRPは車両の部材として構体の一部、台車の一部としても使用されています。

近年、FRPは自動車や航空機など、他の交通機関で構造材料としての適用が進んでいます。元々、鉄鋼と比べると価格が高いため、鉄道での使用は限定的でしたが、今後は徐々に導入しやすい材料となる可能性があります。

ゴムに圧電性能を持つセラミックス粒子を分散させた圧電ゴムは、分散させた粒子の、機械的エネルギーを電気エネルギーに変換させる性能を持ちながら、同時に軟らかく成形しやすいゴムの特徴を備えています。複合材料とすることによってゴムを高機能化させることができました。

### 新しい概念の材料

近年、材料に関する新たな概念が知られるようになってきました。代表的な2種類と、鉄道への適用に向けた研究例を紹介します。

### エコマテリアル

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ます。このような材料の総称が「エコマテリアル」です。

盛り土のり面への雨水の浸透や雑草

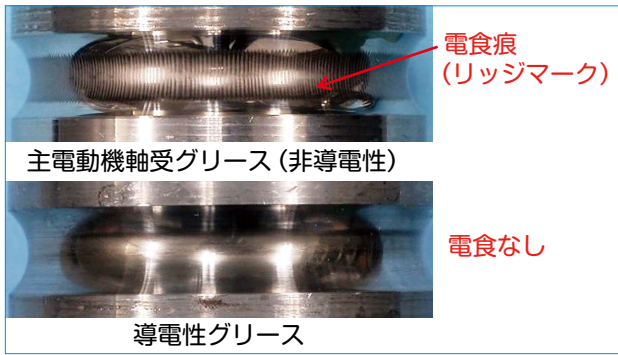


図4 グリスの導電性と軸受での電食発生状況<sup>4)</sup>

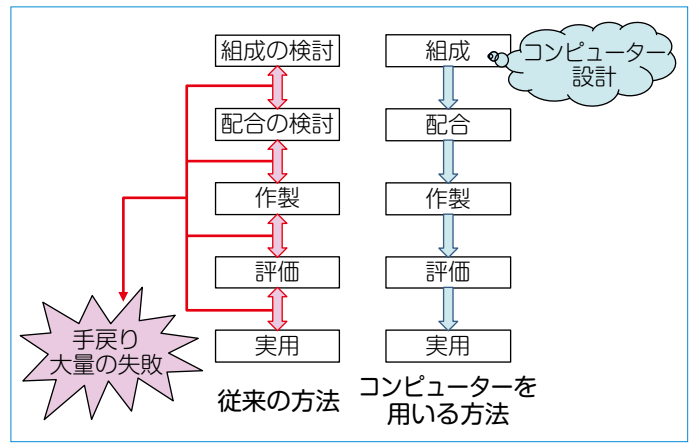


図5 コンピューターを用いた材料設計のイメージ

の繁茂を防ぐのり面保護シートに使用されていたハロゲン素材（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）を非ハロゲン素材に置き換えることで、エコマテリアル化が達成されました<sup>3)</sup>。このシートは試験用の盛り土で耐久性を確認しているところですが（図3）、すでに実際の施工例もあります。

### ナノマテリアル

物質を構成する微視構造が、これまでの物質と比べて小さいナノスケール（ $10^{-9}$ m、百万分の一ミリメートル）になったときに独特の特性を示す素材の総称をナノマテリアルと呼びます。

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）と呼びます。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ます。

カーボンブラックも炭素でできている直径数nm～数百nmの微粒子です。これを潤滑グリスの添加剤として活用し、本来は絶縁体であるグリスに導電性を持たせることで、通電時に発生するの摩擦の一種である「電食」を防止する可能性があることがわかっています（図4）<sup>4)</sup>。

エコマテリアルやナノマテリアルの

ような、これまで知られていなかった機能を持つ材料にも目が向けられます。

### コンピューターを使用した材料設計

これまで材料の開発や高機能化は、元となる理論に従うものの、詳細な組成や配合は経験に基づくことが多く、実際に混ぜて作り、その性能や機能を実験により証明する方法が一般的でした。しかし、すべてを作り、実験しなくても性能や性能を予測することができれば、短い期間で手戻りを少なく、合理的に材料開発を進めることができるはず（図5）。

材料開発に必要な理論や、その理論に基づく計算によって物性を予測する方法はこれまでもありましたが、扱える原子の数や精度に限界があり、実用性が高いとは言えないものでした。しかし、近年のコンピューターの進歩や大量のデータを取り扱う環境の変化により、こういった手法が改めて注目されています。実際に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が進められています<sup>5)</sup>。

鉄道で使用される材料の多くは実績に根ざして古い歴史を持っています。しかし、今後はコンピューターを駆使した材料設計や過去のデータに基づい

て高機能化された材料や、想像もつかなかった新たな材料が、それらに取って代わることも想定されます。

### おわりに

鉄道用材料の研究開発は、材料自体の開発と、日々進歩する先進的な材料技術の導入研究の両輪で成り立っています。今後も安全の確保を前提として、多岐にわたる鉄道システムからのニーズに応え、鉄道の持続的発展に向け、材料の高機能化を通じて貢献していきたいと考えています。[RRR]

### 文献

- 1) 長倉三郎ら編：岩波理化学辞典第5版，1998
- 2) 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
- 3) 矢口，間々田，鈴木，榎尾，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
- 4) 鈴木，上東，柿嶋：ナノカーボン分散させた導電性グリ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
- 5) G.シーダー，K.ベアスゾーン：はすれのない材料設計，日経サイエンス，Vol.44，No.5，pp.88-93，2014