

材料技術に関する最近の研究開発

上田 洋*

Recent Research and Development Activities of Materials Technology

Hiroshi UEDA

Since the start of the railway operation, materials technology for the railways has progressed with development of railway technologies. Our current researches are mainly consists of long-time service life materials such as concrete or steel structures, and friction members such as rail, wheel, bearing, brake shoe, contact wire, pantograph contact strip. We are also developing new materials or new technologies represented by superconducting power feeding cable. This paper shows the outline of our recent research and development activities of materials technology.

キーワード：鉄道材料，現象解明，評価手法，新材料，材料開発

1. はじめに

(公財) 鉄道総合技術研究所の歴史は、1907（明治40）年、当時は帝国鉄道庁と呼ばれていた組織の中に鉄道調査所が設置されたことに始まる¹⁾。この組織は「鉄道業務の取調，鉄道の学術的研究及应用ならびに鉄道用品の試験に関する事項を調査」を行うとされたが、当時第一に取りあげられたのは「セメント及煉瓦試験」であり、材料の試験から始まっている。

それから今日に至るまでの112年間、鉄道材料に関する研究開発は鉄道の進展とともに発展を遂げてきた。言うまでもないが、鉄道には極めて多種多様な材料が使用されており、その全てを研究対象として取り上げることは困難である。そのため、必然的に、鉄道の運営への影響が大きく、かつ研究所がその特性を發揮しやすい分野に集約され、特に材料の時間変化に関する事柄、具体的

には劣化・損傷に関する原因解明と対策に関する研究等に注力してきた。本稿では、当研究所が材料分野において実施している研究開発について概観するとともに、最近の主な研究開発について紹介する。

2. 近年の主な研究開発成果

当研究所では、研究開発によって得られた主な成果を「主要な研究開発成果」として取り纏め、毎年ウェブサイト等で公開している²⁾。図1に、材料技術研究部が実施した研究開発課題で2010年度以降に主要な研究開発成果に掲載された件名を示す。対象分野としては、車両関係と土木構造物・軌道関係が多い。また、車両関係では軸受やパンタグラフすり板等の摩擦・摩耗に関する件名、土木構造物・軌道関係ではコンクリートの劣化抑制、レールの疲労対策等、材料の耐久性に関する件名が多い。

車両関係

- ・車輪フランジ部の摩耗を低減する踏面摩擦材(2018)
- ・小歯車軸受の焼付き発生における組合せすきまの影響(2017)
- ・C/C複合材製すり板の低廉化および使用限度厚さの明確化(2016)
- ・車両用潤滑グリースの劣化評価基準の改訂(2015)
- ・低温起動性能を向上した新幹線車両用ギヤ油(2014)
- ・寿命延伸した新幹線用焼結合金すり板の開発(2012)
- ・アルミニウム合金のナノ組織制御による特性改善(2012)
- ・車輪踏面熱き裂発生の原因解明と判定手法(2010)

電力関係

- ・300m級超電導き電ケーブルの製作(2014)
- ・超電導き電ケーブルによる電車走行(2013)
- ・鉄道用超電導ケーブルの製作(2012)

土木構造物・軌道関係

- ・コンクリートの膨張劣化を促進する影響要因(2018)
- ・水素イオン型ジオポリマーによるコンクリート劣化抑制(2017)
- ・回折X線解析法による経年レールの削正手法(2016)
- ・X線フーリエ解析手法によるレール金属組織の転がり疲労評価(2013)
- ・非破壊によるコンクリート構造物表層の緻密さの簡易評価手法(2012)
- ・セメントを使用しないジオポリマーまくらぎ(2012)
- ・鋼構造物き裂検知システム(2011)
- ・リチウム含有ゼオライトによるアルカリシリカ反応抑制材料(2010)

分野共通

- ・粒子配向による圧電ゴムの性能向上(2013)
- ・荷重センサ等に適用できる圧電ゴム(2010)
- ・小型超電導マグネット(2010)

図1 材料分野における主要な研究開発成果（2010年度以降）

* 材料技術研究部長

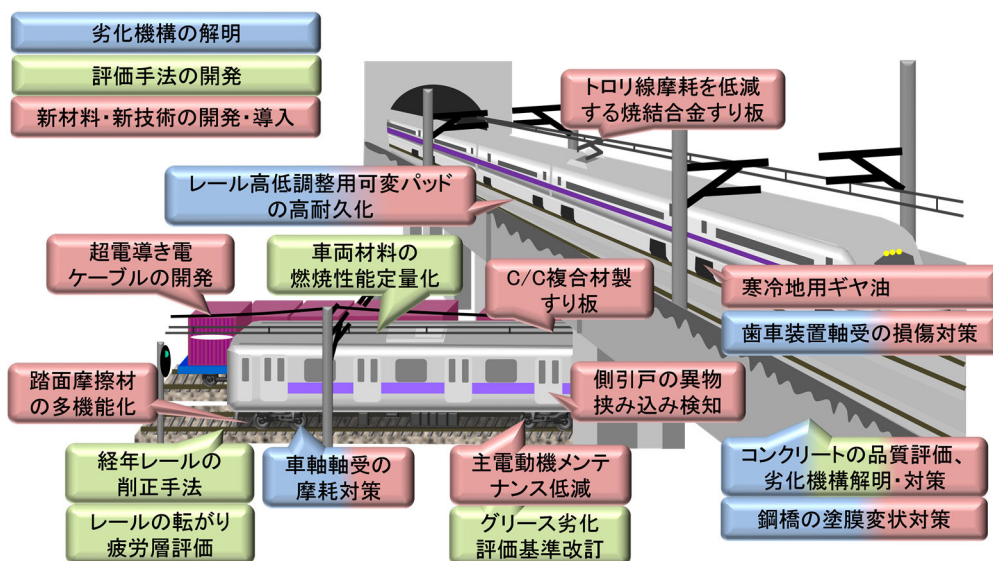


図2 近年実施してきた主な研究開発課題

3. 現在実施している主な研究開発

3.1 研究開発の主な対象

材料分野における研究開発課題は、時代とともに変遷してきたが、鉄道システムを運営していく上で必須であり、かつ鉄道総研が率先して取り組むべき課題として、

- ①屋外での長期間供用への対応
- ②しゅう動部材への対応

がある。材料が初期に所要の性能を発揮することは当然であるが、これらは前述した「材料の時間変化」を捉えることに焦点を当てている。摩耗や腐食といった材料の時間変化と上手く付き合うことが、鉄道の安全性向上やメンテナンスの省力化等に極めて重要である。

また、新たな鉄道システムを切り拓いていくために必要な課題として、

③新材料・新技術の開発によるシステムチェンジがある。これは、既存材料の新材料への置き換えのみならず、後述する超電導き電ケーブルのように、これまで適用されていない新材料・新技術を開発・導入することにより鉄道のシステムを変革するものも含んでいる。

さらに、車両材料の燃焼性能定量化等、時代の要請または先取りとなる課題にも取り組んでいる。

図2に、近年実施してきた主な研究開発課題を示す。これらの課題は、劣化機構の解明等といった現象解明、評価手法の開発、新たな対策技術の開発等といった新材料・新技術の開発・導入に大きく分けられる。なお、劣化機構の解明を進めている課題では、得られた成果を実務に反映させるために、対策技術の開発も合わせて実施することが多い。

3.2 屋外での長期間供用への対応

屋外での長期間供用について、例えば土木構造物では100年以上の経年となる構造物が数多く供用されている。供用が困難あるいは供用に多大な労力を必要とする構造物に対しては取替等が必要になるが、補修技術を駆使することで健全に供用ができるのであれば、社会資本の有効活用の点からも供用を継続することが望ましい。コンクリート構造物では、その劣化原因は様々であるが、水が影響していることが多い³⁾。その一方で、水はコンクリート構造物に良い役割を果たす場合もあるため、コンクリート構造物を健全に維持管理するためには、水と上手く付き合うことが重要である。コンクリートへの水の浸透性状は、同じ配合であっても養生方法等により大きく異なるため、コンクリート表層の品質評価、特に水分浸透に対する評価方法の確立が求められる。当研究所では、コンクリートの表層品質を簡易に評価する手法の一つとして、散水試験を提案している(図3)⁴⁾。また、劣化機構解明の一環として、エトリングイトと呼ばれる物質の遅延生成によるコンクリートの膨張劣化に関する研究等も進めている。鋼構造物については、塗替の方法



図3 コンクリートの簡易な品質評価方法

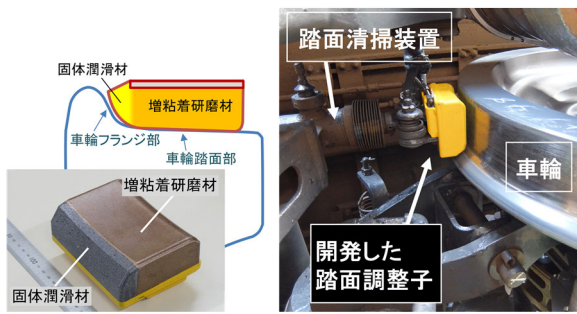


図4 車輪フランジの摩耗を低減する踏面摩擦材

や周期が耐久性に大きく影響するため、これらに関する研究開発等を実施している。

3.3 しゅう動部材への対応

鉄道は、大地の上を車両が走行することで旅客や貨物を運ぶシステムであることから、動く部分と動かない部分が必然的に存在し、材料の視点で見ればその境界部分の健全性確保が重要になる。このような境界として、例えばレールと車輪、車軸や主電動機軸、歯車軸等の軸受部分、トロリ線とパンタグラフすり板等がある。これらの部分では、接触する双方の材料に対してき裂の防止や摩耗の低減等が重要な課題となる。例えば、摩耗の少ない車輪を開発した際に、レールの摩耗が著しく大きくなってはいけぬ。また、材料表面にしばしば形成される微細なき裂や変質を摩耗によって除去するといった対策もあるので、摩耗低減のみを一概に求めても必ずしも良い結果にはならない。この分野の研究開発は、相手材料を理解するとともに、材料開発の方向性等について広い視野を持って臨むことが必要になる。

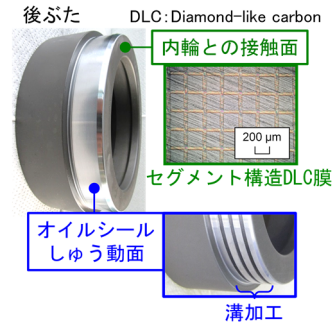
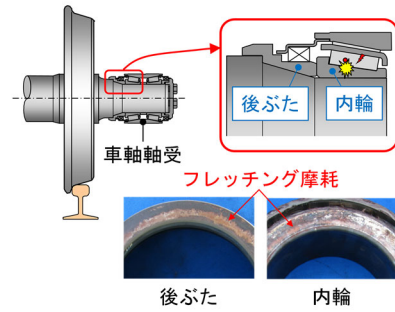


図5 車軸軸受のフレッチング摩耗と抑制手法

また、部位によって異なる材料特性が求められる場合もある。例えば、車輪ではフランジの摩耗を低減するためにフランジ部では潤滑性が求められるのに対して、踏面では空転・滑走を防ぐために、粘着性が求められる。そこで、これらを両立させた材料として、車輪フランジの摩耗を低減する踏面摩擦材を開発した(図4)。この材料は、車輪踏面の粘着力確保とフランジ部の潤滑性確保という相反する要求に対し、踏面部の増粘着研磨材とフランジ部の固体潤滑剤を一体成型した材料を用いることにより、相反する性能を両立させたことに特長がある。

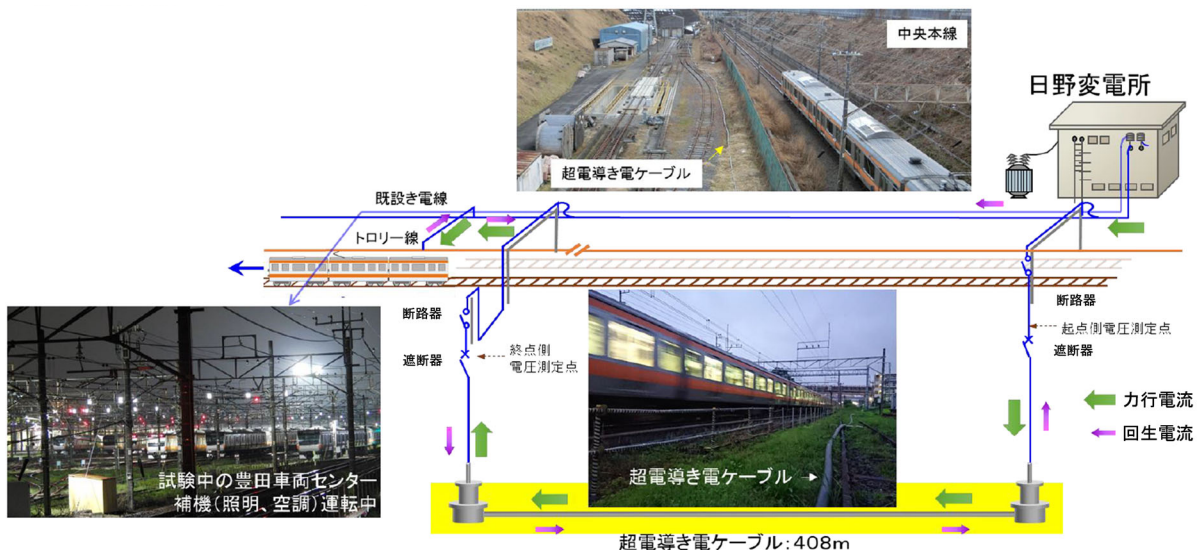


図6 日野土木実験所に敷設した超電導き電システム

特集：材料技術

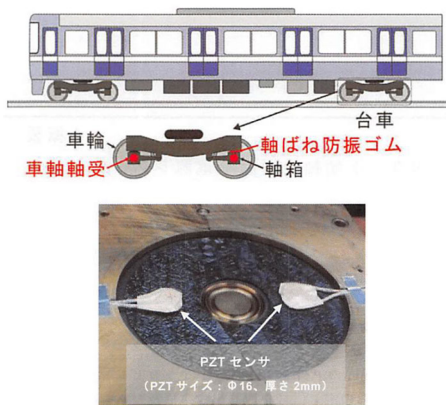


図7 軸ばね防振ゴムとセンサの埋設状況

車軸軸受のフレッチング摩耗抑制手法の開発では、車軸軸受の内輪と後ぶたとの間で、フレッチングと呼ばれる微小な往復すべりが生じることによる摩耗現象の解明と対策技術の開発を行っている(図5)⁵⁾。鉄道用材料は振動への対処が求められるものが多いが、大きな振動のほかに、このような微小な振動による影響もあり、このような微振動に対する研究開発も進めている。

3.4 新材料・新技術開発への取り組み

材料分野の研究開発が貢献する大きな事柄として、新材料や新技術の開発によるシステムチェンジがあり、大きなイノベーションに繋がられる。このような開発として、高温超電導材料を鉄道のき電線として用い、電圧降下なしに送電可能な超電導き電ケーブルの開発を進めている。最近では、東京都交通局殿、東京地下鉄株式会社殿の協力のもと、実用化に向けた適用試験の一環として、直流600V給電で、実車走行におけるシステム切り離し試験と通電試験を実施した⁶⁾。なお、システム切り離し試験とは、既設き電回路に本システムを並列接続した状態で、送電中に本システムを既設き電回路から切り離した場合でも、既設き電線を通じた送電により継続して車両が走行できることを確認するものである。さらに、東日本旅客鉄道株式会社殿の協力のもと、中央本線(直流1500V)のき電系統に本システムを接続し、実車両を走行させた通電試験とシステム切り離し試験を実施した(図6)⁷⁾。

超電導き電ケーブルは、超電導材料を冷却するために必要な液体窒素等の圧力容器と配管を持ち、これらは鉄道の新時代到来を予感させるが、見方を変えると、これらの容器や配管は蒸気機関車を彷彿させるものでもある。鉄道では、空気圧や油圧を含めて圧力容器や配管と古くから付き合っており、その意味では取扱い易い技術であるともいえる。

3.5 情報化に対応した鉄道用材料技術

近年、情報通信技術の発展に伴い、IoT、ビッグデー

タやAI等の活用が期待されており、鉄道技術においてもこれらを積極的に活用していくことが求められている。今後の鉄道技術の発展において、いわゆるモノ(材料)と情報はいわば車の両輪であるとも言える。材料技術が情報化に役立つ例として、センシング材料の開発がある。現在、車両の軸ばねに設置されている防振ゴムの内部に、圧電材料(PZT:チタン酸ジルコン酸鉛)を用いて荷重を検知するセンサを組み込み、軸ばねにかかる荷重を検知する技術開発を進めている(図7)⁸⁾。一般に、センサが増えると、得られる情報が増える一方で、設置したセンサの落失を防止する対策が必要になる等、システムが複雑化し、メンテナンス業務が増えるといったデメリットがある。この材料は、既存部品の内部にセンサを組み込むことで、防振ゴムとしての性能を維持しながらセンサ落失のリスクをなくせるといった特長があり、今後のセンシング時代に役立てられることを期待している。

4. まとめ

鉄道用材料には多種多様な材料が使用されている。その一つが不具合を生じるだけで安全・安定性に支障を来すことがある。各材料は、メーカーによる確実な製造と、鉄道事業者による確実な保守、またここに関わる多くの関係者の努力を通じて健全に使用される。今後、さらなる安全性の向上、省力化、コスト低減、環境への対応等、激変するであろう事業環境を踏まえつつ、鉄道材料に関する研究開発を進めていきたい。

文献

- 1) 鉄道院：明治四十年度帝国鉄道庁年報，1909
- 2) 鉄道総研ウェブサイト：
<https://www.rtri.or.jp/rd/seika/> (参照日：2019年9月10日)
- 3) 上田洋：水の動きからみたコンクリート構造物のメンテナンス，RRR，Vol.68，No.4，pp.22-25，2011
- 4) 西尾壮平：散水によるコンクリート表層品質の簡易評価，鉄道総研報告，Vol.30，No.6，pp.5-10，2016
- 5) 岡村吉晃ほか：車軸軸受のフレッチング摩耗を低減する後ぶたの提案，鉄道総研報告，Vol.33，No.11，pp.23-30，2019
- 6) 鉄道総研ニュースリリース：
https://www.rtri.or.jp/press/is5f1i000000bj8w-att/20190703_001.pdf (参照日：2019年9月10日)
- 7) 鉄道総研ニュースリリース：
https://www.rtri.or.jp/press/is5f1i000000btv2-att/20190806_001.pdf (参照日：2019年9月10日)
- 8) 間々田祥吾ほか：鉄道における圧電ゴムを用いたセンシング技術，鉄道総研報告，Vol.32，No.10，pp.11-16，2018