

特集：材料技術

材料技術に関する研究開発と今後の展望

上田 洋*

Research and Development Activities and Future Outlook in Materials Technology

Hiroschi UEDA

Materials for the railway system are required to maintain the designated performance over a predetermined period of time. Hence, it is necessary to deal well with the changes over time of the used materials. On the basis of this background, our current researches mainly consist of materials for long-time service life such as concrete, and steel structures, and friction members such as rail, wheel, bearing, brake shoe, contact wire, and pantograph contact strip. We are also developing new materials or new technologies for the railway systems. This paper shows an outline of our recent research and development activities and future outlook in materials technology.

キーワード：鉄道用材料，現象解明，評価手法，対策手法，新材料，材料開発

1. はじめに

2019年度より広がったいわゆるコロナ禍により、鉄道の利用に大きな変化が生じているほか、近年では保守等に従事する作業員の確保が困難になる等、鉄道を取り巻く環境は大きく変化している。このような環境の中で、鉄道技術に関する研究開発はこれらの変化に対応することが求められており、鉄道用の材料に関する研究開発においても、これらの変化を踏まえて将来を見据えていくことが必要である。

ところで、鉄道は大地の上を車両が走行することによって人や物資を運ぶシステムであり、これらを実現させるために数多くの材料が使用されている。それぞれの材料の役割は、鉄道の安全・安定運行を支えるために、各材料が使用開始から終了するまでの全期間にわたって所要の性能を発揮することである。

その種類にもよるが、一般的に材料は過大な衝撃等によって破損することのほかに、繰り返し荷重や水、化学物質、紫外線等の作用により時間の経過とともに摩耗、折損、ひび割れ、剥離、脆化等の劣化を生じることがある。したがって、鉄道システムを安全・安定に運営していくためには、使用材料の時間変化とうまく付き合うことが極めて重要である。そのため、これまで実施してきた、あるいは現在実施している数多くの研究開発も、ここに帰着する課題が必然的に多くなっている。

これらの研究開発は、材料の長寿命化や評価技術の発達に伴う取替時期の転換等を生み出し、材料調達や補修・部品交換に伴うコストや労力の低減に繋がっている。これらの取り組みは、コロナ禍におけるさらなるコスト低減や作業員の労力低減にも直結するため、今後ますます

重要になると考えられる。

本稿では、鉄道総研の材料分野における研究開発の背景および研究内容について概観するとともに、今後の研究開発を展望する。

2. 鉄道用材料の特徴

2.1 鉄道用材料における主な課題

前章で述べた材料の時間変化との付き合い方を考える時、鉄道用材料における影響が大きい課題として、

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。

①は、例えば土木構造物では100年以上の耐久性が期待され、必要により補修・補強を行いながら維持管理がなされている。車両については、土木構造物ほど長期間は使用されないが、それでも自動車と比べると使用期間が長い。一般に、屋外での使用は屋内での使用と比べて温度変化や日照、雨水による影響が大きい。これらは材料の劣化に繋がるが多く、材料の時間変化を正しく理解して付き合いしていくためには、これらの環境による影響を知り、対処していくことが必要になる。

②は、車輪／レール、トロリ線／パンタグラフ、車軸／軸受等多岐にわたる。鉄道は、大地の上を車両が走行するシステムであるため、このようなしゅう動部材が必然的に存在する。これらのしゅう動部材は、材料にとって厳しい環境で用いられており、材料の性能に時間変化を生じやすい部分であるほか、鉄道固有の課題が多い。

したがって、これらの課題は材料分野において鉄道総研が率先して取り組むべき課題であるといえる。

また、上記の①②への対応を進めるため、さらには新たな鉄道システムを開拓するために、材料分野に求めら

* 材料技術研究部長

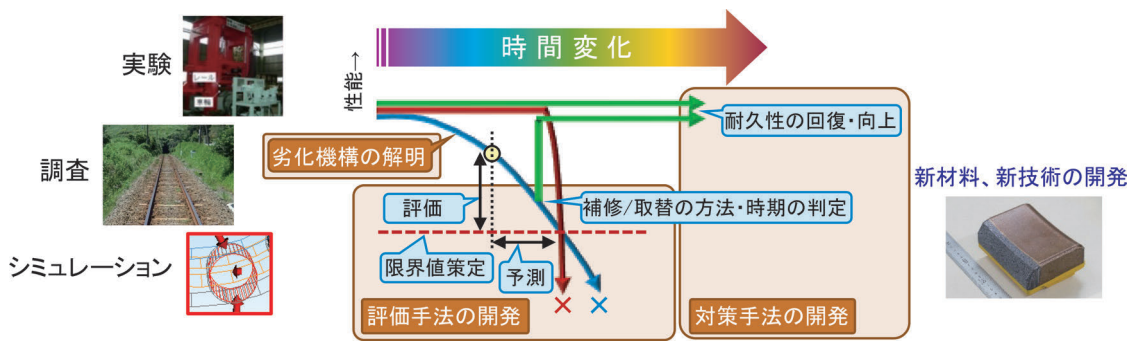


図1 材料の時間変化との付き合い¹⁾

れる技術開発として、

③新材料・新技術の開発によるシステムチェンジがあげられる。

2.2 研究開発のアプローチ

材料の時間変化に対してうまく付き合うためには、図1に示すように、使用材料に対する劣化機構の解明、評価手法の開発、対策手法の開発が必要になる。

これらの課題に対処するための研究開発のアプローチとして、現場調査、実験およびシミュレーションがあげられる。これらを融合させることにより、現場で生じている事象を正しく理解でき、有益な対処方法の発見に繋がると考えている。近年、シミュレーション技術が目覚ましい進展を遂げていることから、鉄道総研における材料の研究開発にもこれらのシミュレーション技術を積極的に取り入れる一方で、現場の状況把握や実験的アプローチについても手を緩めることなく、相乗効果を発揮することを目指して研究開発を進めている。

3. 現在実施している主な研究開発

鉄道総研が材料技術分野において、現在実施している研究開発の例を図2に示す。対象は車両から土木構造物、軌道、電力・信号通信等の地上設備に至るまで幅広く、コンクリート材料、防振材料、潤滑材料、摩擦材料の4つの研究室を中心に他の研究室とも連携してこれらの課題に取り組んでいる。

ここでは、劣化機構の解明、評価手法の開発、対策手法の開発に分けて研究例を紹介するが、各研究課題は現時点における研究開発のフェーズであり、劣化機構の解明を行っている課題については、その後にあるいは併行して評価手法や対策手法の開発を行い、鉄道の現場に反映させることを目指している。

3.1 劣化機構の解明

劣化機構の解明は、鉄道の現場で生じている現象を科学理論として体系化し、理論に基づいた適切な対策手法を見出すために必要不可欠であり、鉄道が持続的に発展するためにも極めて重要である。

トロリ線とパンタグラフすり板の摩耗を低減させるこ

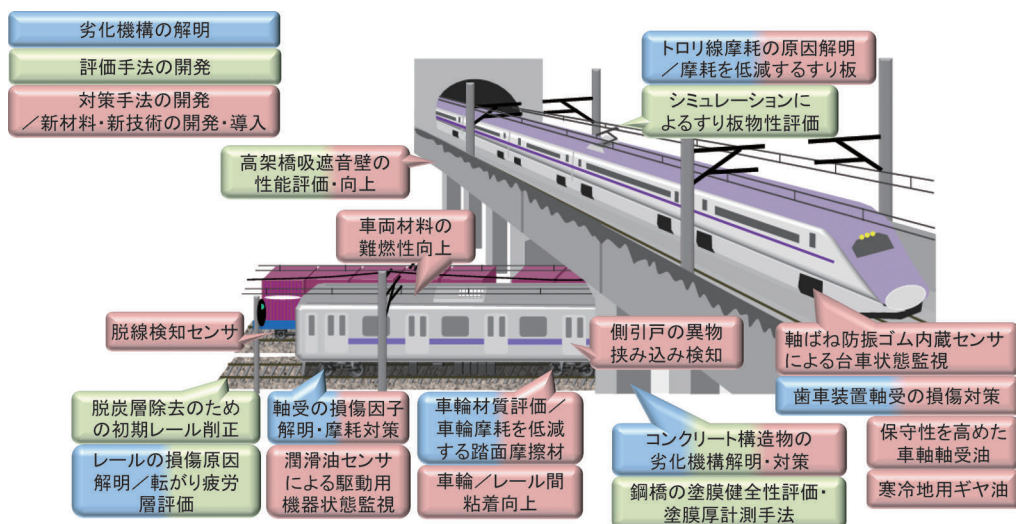


図2 現在実施している研究開発の例



図3 低速時に発生するトロリ線摩耗への影響を調べるための実験

とは、鉄道運営の低コスト化のために重要である。新幹線では、高速走行する区間よりも駅部におけるパンタグラフ停止位置でトロリ線の摩耗がしばしば目立ち、保守に労力を要していることから、現象解明と対策手法の提案に繋げるために、トロリ線とすり板を低速で摩擦させる実験を進めている（図3）。

電車や電気機関車における主電動機軸受は走行中に高速回転を行っており、何らかの理由で損傷すると安全・安定運行に支障を生じる。この損傷を防止するためには、その損傷機構を解明し寿命を適切に評価することが必要であり、そのために実験と動的数値シミュレーションを組み合わせた研究を行っている。これまで、必要なデータの取得が可能な試験機の設計やシミュレーションモデルの構築等を実施しており、今後は軸受の耐久試験やシミュレーション精度の向上を通じて、損傷因子の解明に繋げていく（図4）。

コンクリート構造物の劣化に対しては、水の作用が劣化に大きく影響することがわかってきたが²⁾、コンクリートや補修材中の水分挙動を測定することは容易ではなく、水の影響を考慮した適切な補修技術を体系化させることは難しかった。そこで、中性子線を用いることによりコンクリートや補修材への水分浸透性状を可視化し、水分挙動を明らかにする研究を進めている（図5）³⁾。また、寒冷地にあるコンクリート構造物の耐久性を高めるため、凍害の抑制に関する研究開発も進めている。

3.2 評価手法の開発

評価手法の開発は、対象とする材料の使用限界の策定、調査時点の性能レベルや使用限界に達するまでの時間等を評価することを目指しており、安全・安定性の確保に役立つとともに、長期間の使用による材料の有効利用や部品交換も含めたコスト低減等に役立つ技術である。

気動車等に搭載されているエンジンや変速機の状態を診断する手法として、これらに用いられる潤滑油中の鉄粉濃度を測定する方法がある。この測定を簡便に実施するために、車両の脇で測定可能な潤滑油分析装置を開発

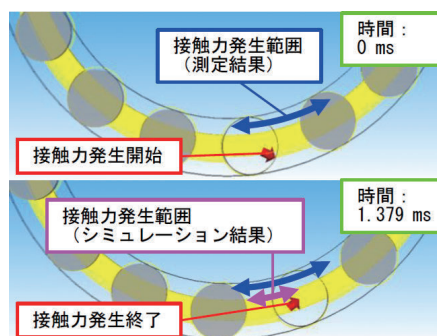


図4 主電動機軸受におけるころと保持器の接触シミュレーションの例

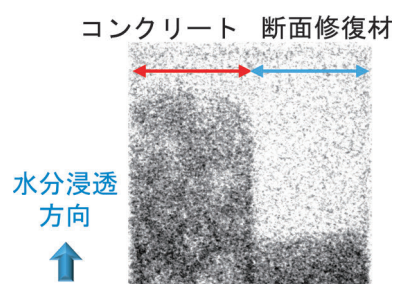


図5 中性子によるコンクリートおよび補修材中の水分浸透性状可視化の例³⁾

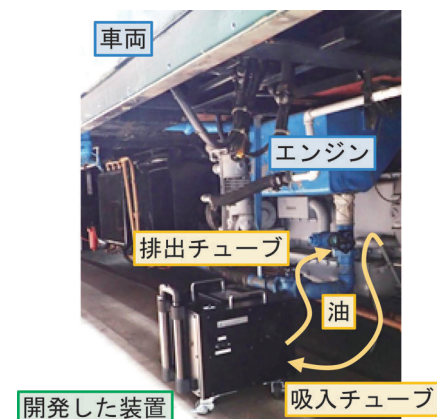


図6 車両の脇で測定可能な潤滑油分析装置

した（図6）⁴⁾。現在、車載可能な装置の研究開発を進めている。

材料シミュレーション技術の開発は、現場における現象把握と実験による手法とを組み合わせることで、より良い材料の開発に繋がられる。現在、パンタグラフのすり板を対象として、X線CTを用いたイメージベースモデルの均質化解析を行うことにより材料の物性を推定する手法の開発を進めており、構成材料の体積分率に比例して物性が決まるとする複合則と比べて実測に近い値が得られている（図7）⁵⁾。

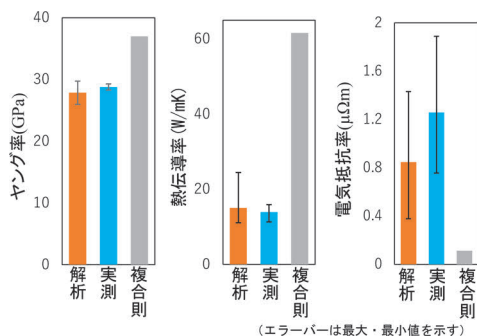


図7 材料の微視的構造モデルシミュレーションによるすり板材の物性評価例⁵⁾

3.3 対策手法の開発

劣化機構の解明と評価手法の開発は、現場の業務改善に役立つが、これらの知見を活用してさらに直接的な効果を発揮するものとして対策手法の開発がある。現在、図2に示したように、車輪の摩耗低減に向けた機能統合型の踏面摩擦材の開発⁶⁾、保守性を高めた車軸軸受油の開発、トロリ線摩耗低減に向けたパンタグラフすり板の開発等、対策手法の開発に関するテーマを数多く実施している。

近年、情報通信技術の発展に伴い、これらの技術を積極的に活用していくことが求められている。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、さらなる安全性向上を目指して、車両側引戸の戸先ゴムにセンサを内蔵し、紐などが挟み込まれたことによる引きずりの際にも検知可能な戸挟み検知システムの開発を進めている(図8)⁷⁾。また、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を用いたセンサを組み込み、車軸軸受の損傷を検知する技術の開発を進めており⁸⁾、損傷を早期に検知できる可能性が確認されている(図9)。一般に、センサを設置すると、得られる情報が増える一方で設置したセンサが落失する恐れも生じるが、これらのシステムでは既存部品の内部にセンサを組み込むことで落失のリスクをなくしており、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。

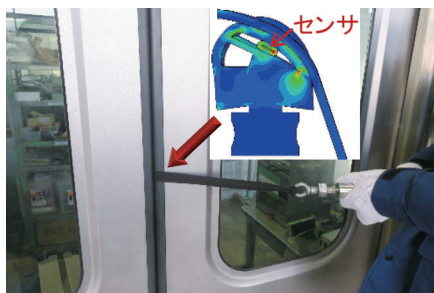


図8 戸挟み検知システムの開発

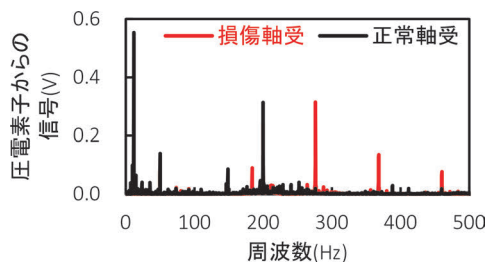


図9 軸ばね防振ゴムによる損傷検知例

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。これらの材料が、供用期間を通じて所要の性能を発揮するためには、各材料の時間変化とうまく付き合うことが重要であり、そのための技術を磨いていくことが必要である。また、その技術を磨くため、さらには鉄道システムを大きく変えるためには、新材料・新技術の開発が求められる。今後、さらなる安全性の向上、省力化、コスト低減、環境への対応等を目指して、激変する事業環境を踏まえつつ、将来を見据えながら鉄道材料に関する研究開発を進めていきたい。

文献

- 1) 上田洋：材料技術に関する最近の研究開発，鉄道総研報告，Vol.34，No.10，pp.1-4，2020
- 2) 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
- 3) 鈴木浩明，水田真紀，上原元樹，大竹淑恵：コンクリート断面修復部の中性子線による水分挙動の観察，鉄道総研報告，Vol.35，No.11，pp.5-10，2021
- 4) 鈴木淳一，木川定之，生駒一樹，高重達郎，鉄道総研報告，Vol.34，No.10，pp.29-34，2020
- 5) 森本文子，久保田喜雄：微視的構造モデルによるパンタグラフすり板材の物性評価，鉄道総研報告，Vol.35，No.11，pp.35-40，2021
- 6) 半田和行，嵯峨信一，池内健義，深貝晋也，野崎圭祐：車輪フランジ潤滑と踏面増粘着の機能を統合した車輪摩擦材の開発，鉄道総研報告，Vol.34，No.10，pp.35-40，2020
- 7) 間々田祥吾，鈴木康大，太田達哉：感圧センサを内蔵した戸先ゴムを利用した車両の戸挟み検知システム，鉄道総研報告，Vol.34，No.10，pp.23-28，2020
- 8) 間々田祥吾，野木村龍，矢口直幸，朝比奈峰之，岡村吉晃：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