

特集：材料技術

材料技術に関する最近の研究開発

上田 洋*

Recent Research and Development Activities in Materials Technology

Hiroschi UEDA

Since the materials for the railway system are required to maintain the designated performance over a predetermined period of time, 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 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 in 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

鉄道は大地の上を車両が走行することによって人や物を運ぶシステムであり、これを実現させるために数多くの材料が使用されている。これらの「材料」いわゆる「モノ」と、近年目覚ましい発展を遂げている「情報」とが車の両輪を担い、これらを人が操ることによって鉄道技術が成り立っているともいえる（図1）。材料の役割は、鉄道の安全・安定運行を支えるために、各材料が所定の期間にわたって所要の性能を発揮することである。

ここで、「所要の性能を発揮」することが重要であることは言うまでもないが、合わせて重要なことは「所定の期間にわたって」性能を発揮することであり、これが満たされないと、その材料を用いる装置が機能を果たさなくなる。これは、列車運行等への影響がなく簡単に交換可能な材料であれば大きな問題にならないが、使用部位によっては事故や故障を誘発することに繋がる。

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。

また、新たな鉄道システムを開拓するために有効な方法として、使用材料の変革があげられる。材料が変わることにより、新たなシステムの構築に繋げることができる。そのために、新材料・新技術の開発についても積極的に進めている。

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、今後の材料開発を展望する。

2. 鉄道用材料の特徴

前章で述べた材料の時間変化との付き合いを考える時、鉄道用材料としてこの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

があり、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¹⁾。

また、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。

以下、これらの課題について順に述べる。

2.1 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、例えばコンクリート構造物や鋼構造物等の土木構造物では100年以上の耐久性が期待され、実際に100年以上使用されている構造物も増えている。所要の性能を満たせないのであれば、ある時期に取り換えることも必要になるが、許容されるコストの範囲で維持管理ができるのであれば、供用を継続

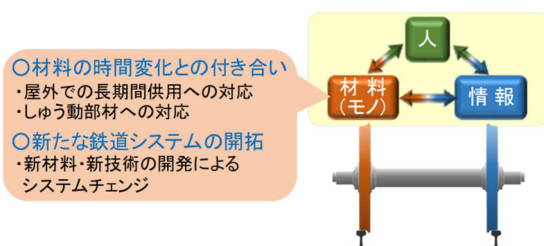


図1 鉄道技術と材料

* 材料技術研究部長

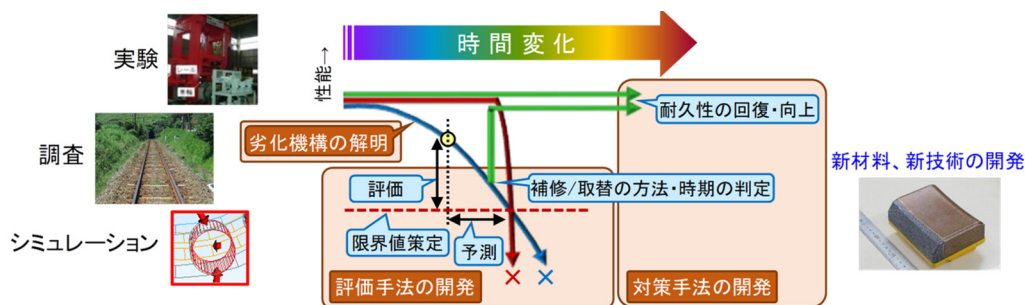


図2 材料の時間変化との付き合い

するために必要な知識や技術を総動員して維持管理を行うことが有益である。車両については、土木構造物ほど長期間は使用しないが、それでも自動車と比べると全体的に使用期間が長い。

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事が多く、材料の時間変化を正しく理解して付き合っていくためには、これらの環境による影響を知り、対処していくが必要になる。

2.2 しゅう動部材への対応

しゅう動部材の必要性は、大地の上を車両が走行するシステムが有する「動く部分と動かない部分とがあり、これらが接している」ことに起因している。このような部分は、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。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もある。

2.3 新材料・新技術の開発によるシステムチェンジ

新材料・新技術の開発によるシステムチェンジでは、材料の性能低下を抑制したり、性能が低下する材料を別の材料で代替したりすることにより、事故や故障の回避、

維持管理労力の低減、コスト低減等に繋げることを目指している。また、新材料の性能を活かして、これまでとは異なる新たなシステムを開拓することも大きな目標の一つである。

2.4 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2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。近年、シミュレーション技術が目覚ましい進展を遂げており、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の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狙っている。

3. 現在実施している主な研究開発

鉄道総研の材料分野において現在実施している研究開発の例を図3に示す。車両から土木構造物、軌道、電力・

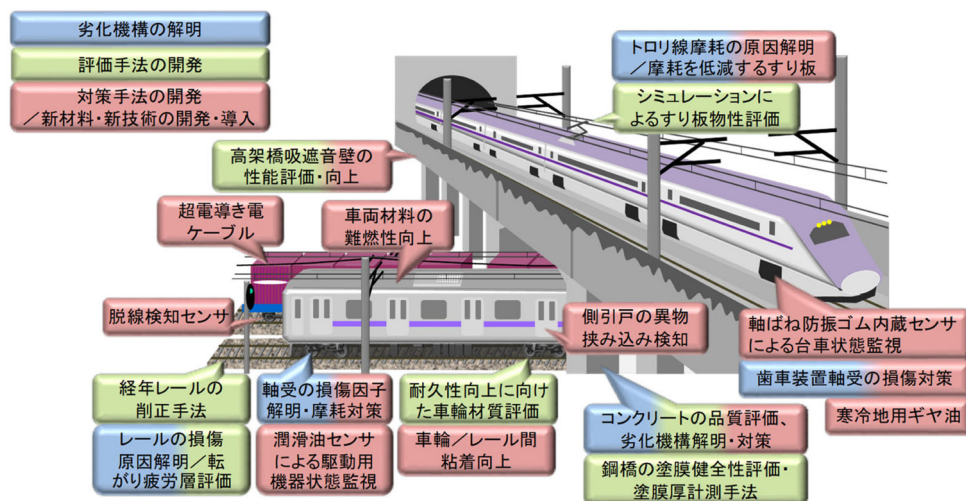


図3 現在実施している研究開発の例

信号通信等の地上設備に至るまで幅広く実施している。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するために、また材料の時間変化とうまく付き合う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。

劣化機構については、従来から数多くの研究がなされてきており、実務にも多大な貢献をしているが、その一方で、従来の概念では説明しきれない現象が現場で生じていることもある。このような現象に対しては、従来の概念にとらわれずに検討を行っている。

例えば、鉄筋コンクリート構造物等においてしばしば問題となる中性化による鋼材腐食は、コンクリートの中性化よりも水の作用が鋼材腐食に大きく影響することがわかってきた²⁾。これを受けて、コンクリートへの水の浸透等に関する研究を行っており、現在では補修材の施工が水分挙動に及ぼす影響等について研究を進めている。

また、コンクリートが膨張してひび割れを生じる原因の一つとして、エトリングイト(図4)の遅延生成がある。特に、アルカリシリカ反応と呼ばれる現象との複合作用によりコンクリートの膨張が促進され、これが実構造物におけるひび割れ発生原因の一つとなっている可能性があるため、この機構に関する研究を行っている³⁾。エトリングイトの遅延生成は、これを生じやすい条件下での研究が多かったが、本研究では鉄道構造物で一般的な条件下での発生の可能性に焦点を当てている。

車両が分岐器や急曲線を走行する際にしばしば生じる乗り上がり脱線の原因解明に向けて、車輪削正後の初期の段階における摩擦挙動を把握する手法の開発を進めている(図5)⁴⁾。車輪とレールは、マクロに見ればどちらもほぼ平滑に近いが、ミクロに見るとそれぞれの表面が微小な凹凸を持ち、これらの凸部同士で接触している。この接触状態(接触剛性)について超音波を用いて可視化することにより、接触面における摩擦係数増加メカニズムの解明を目指している。

3.2 評価手法の開発

評価手法の開発については、コンクリートの品質評価、潤滑油分析によるエンジン等の状態監視、レールの転がり疲労層の評価等を進めているが、ここではシミュレーション技術を活用した研究について簡単に紹介する。

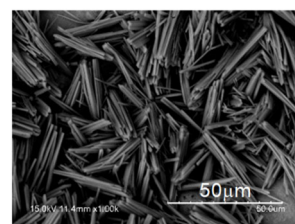
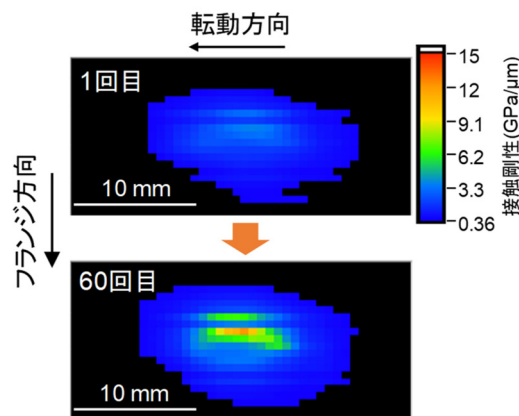


図4 コンクリートの膨張に影響を及ぼすエトリングイトの走査型電子顕微鏡写真



(a) 超音波による接触剛性の測定



初期粗さが大きい場合の例
(走行回数とともに接触剛性が增大)

(b) 測定結果の例

図5 車輪/レール間接触状況を可視化した例⁴⁾

従来の材料開発においては、現場における現象把握と実験による手法を主に実施してきたが、これにシミュレーション技術を組み合わせることで、より良い材料の開発に繋がる可能性があることから、材料シミュレーション技術の開発を進めている⁵⁾。このような技術は各機関で取り組まれているが、鉄道総研では、例えば複合材料について、その特性を表現できる程度にミクロなモデルにより、実務で必要となるヤング率や熱伝導率等のマクロな材料特性を推定できることを主目的としている。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いる(図6)。

吸音材等の材料特性を反映した騒音シミュレーションでは、防音壁側面にしばしば設置される吸音材や防音壁の嵩上げ時に使われるポリカーボネート板に対し、これらの遮音・吸音特性を評価できるシミュレーション手法

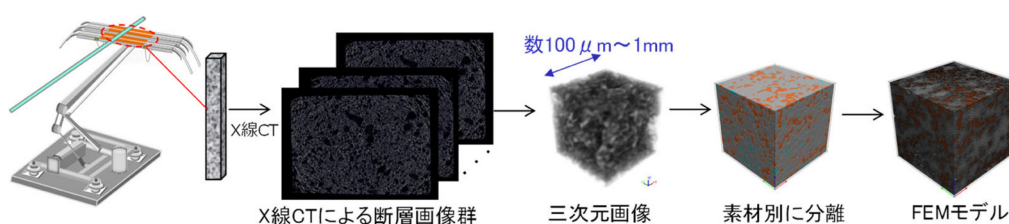


図6 材料の微視的構造モデルシミュレーションによるすり板の物性評価

を開発した。今後、開発したシミュレーション手法を用いて吸音効果がより高くなる材料の組合せ等を見出し、さらなる騒音低減に向けた防音壁の開発に繋げていく予定である（図7）。

3.3 対策技術の開発

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。

電車や電気機関車が走行する際、主電動機で発生する駆動力は歯車装置を介して車軸・車輪に伝わるが、この歯車装置を支える軸受が焼付きを生じると走行に大きく支障する。そこで、実機歯車装置の回転試験機（図8）を製作して、焼付き原因のひとつである小歯車部の隙間の減少が歯車装置の温度や振動に与える影響を調べる⁶⁾とともに、この隙間の管理を不要とする新たな構造の開発を進めている。

また、トロリ線摩耗を低減するパンタグラフすり板の開発、寒冷地を走行する新幹線に向けたギヤ油の開発、車輪／レール間の増粘着向上手法の開発、車両材料のさらなる難燃性向上に向けた材料開発等に取り組んでいる。

材料分野の研究開発が貢献する大きな事柄として、新材料等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用の電線として用い、電圧降下なしに送電可能な超電導電ケーブルの開発を進めている。

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。これらの材料は、時間の経過とともに変化して不具合を生じることがあり、安全・安定性に支障を来したり、メンテナンスに多大な労力を要したりする。このような材料の時間変化とうまく付き合うことが、鉄道システムのオペレーションには重要である。また、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、環境への対応を目指して、現在の激変する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。

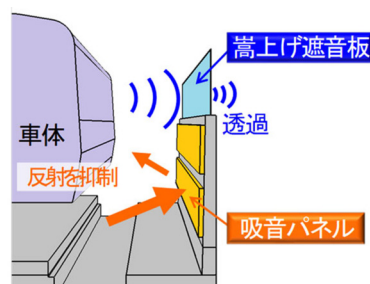


図7 防音壁の材料特性を反映した騒音シミュレーション

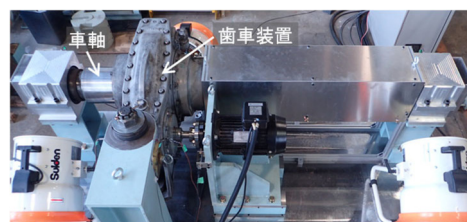


図8 実機歯車装置の回転試験機

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.33，No.11，pp.1-4，2019
- 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) 山崎由紀ほか：コンクリートのエトリングライト遅延生成へのアルカリシリカ反応の影響，鉄道総研報告，Vol.33，No.11，pp.5-10，2019
- 4) S. FUKAGAI et al., “Transitions in rolling-sliding wheel/rail contact condition during running-in,” *Tribology International*, Vol.149, 2020, p.105679.
- 5) 森本文子，久保田喜雄：微視的構造を考慮したシミュレーション手法のパンタグラフすり板材への適用検討，第26回鉄道技術連合シンポジウム（J-Rail）講演論文集，2019.12
- 6) K. TAKAHASHI et al., “Effects of bearing clearance and atmospheric temperature on performance of pinion bearings of railway vehicles,” *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol.14, No.4, 2020, p.20-00048.