

鉄道の将来に向けた研究開発の 主な成果



鈴木 浩明
Hiroaki Suzuki
研究開発推進部
主管研究員
[専門分野] 人間工学、
実験心理学



川崎 邦弘
Kunihiro Kawasaki
信号・情報技術研究部
部長
[専門分野] 対列車通
信システム、電磁環境



佐々木 君章
Kimiaki Sasaki
研究開発推進部
主管研究員
[専門分野] 車両技術



網干 光雄
Mitsuo Aboshi
研究開発推進部
主管研究員
[専門分野] 集電工学

鉄道の将来に向けた研究開発では、おおむね10数年先の実用化を念頭において、鉄道事業者のニーズや社会動向に応える課題などの研究を行っています。RESEARCH 2020では、4つの大きな課題群：「鉄道システムの更なる安全性の追求」、「情報ネットワークによる鉄道システムの革新」、「新幹線の速度向上」、「鉄道シミュレーターの構築」に取り組んできました。ここでは、これらの課題群ごとにその目的と主な成果を紹介します。

鉄道の将来に向けた研究開発

鉄道の将来に向けた研究開発では、おおむね10数年先の実用化を念頭に置いて、鉄道事業者のニーズや社会動向に応える課題、先行的な技術開発、クリティカルな問題解決に結びつく課題などの研究を進めています。とくに、RESEARCH 2020では、図1に示すように、4つの大きな課題群として、「鉄道システムの更なる安全性の追求」、「情報ネットワークによる鉄道システムの革新」、「新幹線の速度向上」、「鉄道シミュレーターの構築」に取り組んできました。それぞれの中には、複数の研究開発テーマから構成されるいくつかの個別課題を設定し、これらの個別課題群を連携させて体系化を図りながら実施してきました。

ここでは、これらの目的や主な研究成果などの概要を紹介します。

鉄道システムの更なる安全性の追求

甚大な被害をもたらす自然災害の防災・減災、ヒューマンファクターの観

点による事故防止、脱線対策などに資するため、以下に示す3つの個別課題を実施しました。

鉄道の防災・減災技術の高度化

局所的短時間強雨や突風、巨大地震に対する減災技術を確立し、鉄道シス

テムのレジリエンス（破局状態回避と早期回復）を向上させる課題です。

気象災害については、外部機関（防災科学技術研究所）が配信する気象情報を利用して、沿線の氾濫域や突風の発生・移動を推定し、列車待避位置や

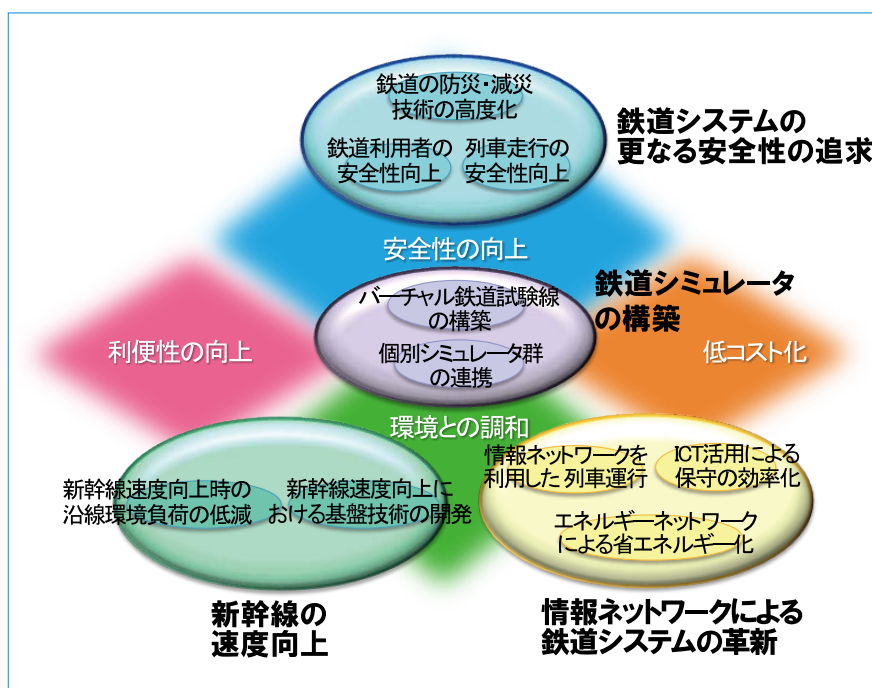


図1 鉄道の将来に向けた研究開発 (RESEARCH 2020)

※図1の「シミュレータ」の表記は本誌の外來語表記と異なりますが、原図のまま長音を付けずに表記しています。

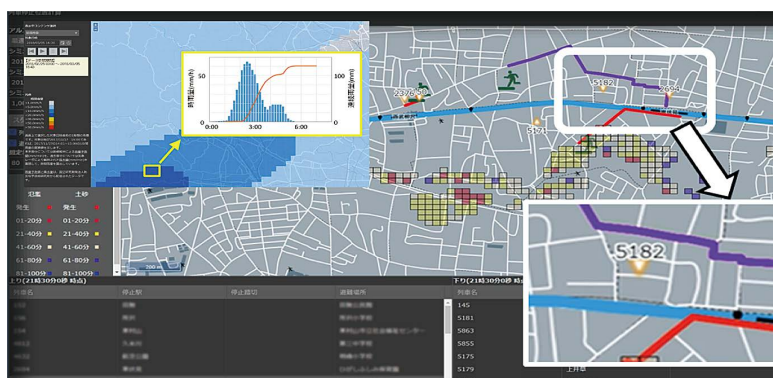


図2 リアルタイムハザードマップ



図4 人体ダミーを用いたスレッド試験



図3 衝突時の車両のFEM解析



図5 脱線しにくい台車

旅客の避難経路を表示する「リアルタイムハザードマップ」を提案しました(図2)。

巨大地震については、構造物の回復能力と起きてはならない事態の影響度との積を用いた「地震時の構造物の危機耐性評価法」を提案しました。さらに、複数箇所が被災した場合を想定し、輸送量を指標として鉄道ネットワークの復旧順序や補強対策箇所の優先箇所を解析できる「復旧戦略支援システム」を提案しました。

鉄道利用者の安全性向上

リスクが混在する高ストレス状況下において、安全に関わるさまざまな判断を鉄道従事員が的確に行うため、意思決定スキルの高低を測定できる作業課題と心理尺度を開発しました。

踏切システムの安全性向上については、無線による車上からの踏切制御システムと、遠赤外線カメラによる踏切内異常検知手法を提案しました。また、警報音の改良や遮断開始タイミング変

更に基づく「踏切警報鳴動中の進入防止対策」を提案しました。加えて、踏切群を制御して道路交通流の円滑化を図る手法と、本手法の定量評価が可能なシミュレーターを開発しました。

車両の衝突安全性の向上については、車両のFEM解析(図3)、人体ダミーを用いたスレッド試験(図4)、人体挙動シミュレーション解析を実施し、乗客傷害度と相関が高い車体構造の衝突安全評価指標と目安値を提案しました。

列車走行の安全性向上

「脱線させない軌道」については、軌道検測車によらない動的軌間と平面性の測定装置や、乗り上がり脱線および軌間内脱線を防止するための軌道変位管理法を提案しました。

「脱線しにくい車両」については、脱線防止技術を深度化するための脱線しにくい台車(図5)や、定置で車両の走行安全性を評価するための平面性変位追従性能試験法などを提案しました。

情報ネットワークによる鉄道システムの革新

近年、インターネットやスマホなどいつでもどこでも情報を送受できる情報ネットワークが整備され、さまざまな情報を活用することで、これまで不可能だった新しい製品・サービスが実現されています。さらに安全で安定した列車運行を実現するために、3つの個別課題に取り組みました(図6)。

情報ネットワークを利用した列車運行

列車運行に係るさまざまな情報を共有できる情報ネットワークを構築するための、通信手順(プロトコル)とセキュリティ確保の考え方を提案しました。

また、保守や旅客流動の情報を基に個々の列車の走り方を直接制御する列車運行制御アルゴリズムを提案するとともに、シミュレーションにより遅延回復力が高まることを確認しました。

さらに、柔軟な運行や省エネ化を実現するための、短期間で設置できる簡

略化した渡り線構造と、それに対応した電車線構造を提案しました。

ICT活用による保守の効率化

カメラ、レーダーなどのセンシング技術と、画像処理、機械学習などのICTを活用した構造物、集電、軌道の各設備の状態をデータ化する手法を提案しました。また、データを活用した保守作業の省力化システムを提案しました。

エネルギーネットワークによる省エネルギー化

情報ネットワーク上で、列車の消費電力や変電所の出力、蓄電装置などの動作状態を把握しながら、列車の運行や変電所を制御して省エネ化を図る手法を提案し、その効果を評価するためのシミュレーターを開発しました。

また、高機能変圧器や超電導ケーブルシステムなどのハードウェアを提案し、実験により効果を実証しました。

以上の取り組みにより、情報共有のための基盤と、設備状態をデータ化して保守に活用する手法の基礎を構築しました。また、各種の情報に基づいて、柔軟なあるいは省エネな運転を実現するための要素技術とシミュレーションによる評価手法を確立しました。

しかし、構築した各個別の要素技術を実際の鉄道に適用することや、さらには各個別技術を融合したまったく新しい列車運行制御システムの提案に向けては、情報ネットワークの実用展開とネットワーク上での情報の統合化、サイバーセキュリティなど、解決すべき課題が残されています。今年度から始まったRESEARCH 2025では、「列車運行の自律化」「デジタルメンテナンスによる省力化」「電力ネットワークの電力協調制御による低炭素化」の3つの課題に取り組み、残された課題の解決と、より具体的なシステムの実現を目指します。

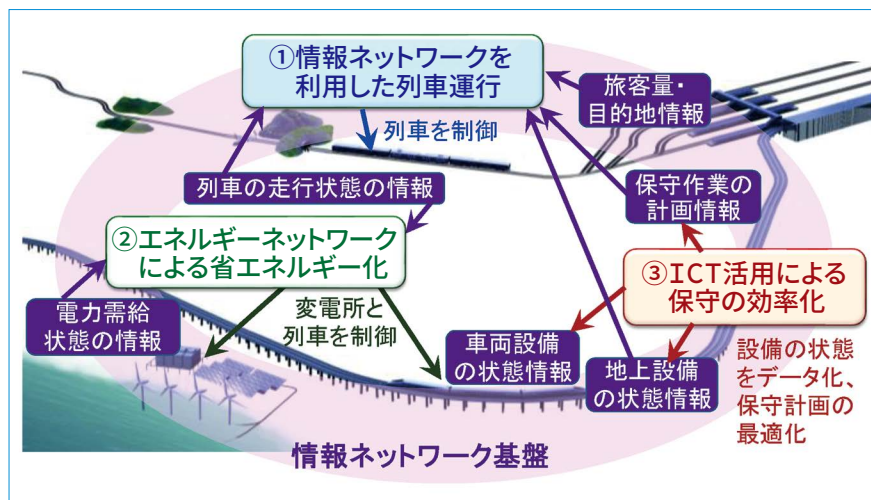


図6 情報ネットワークの活用に向けた3つの課題

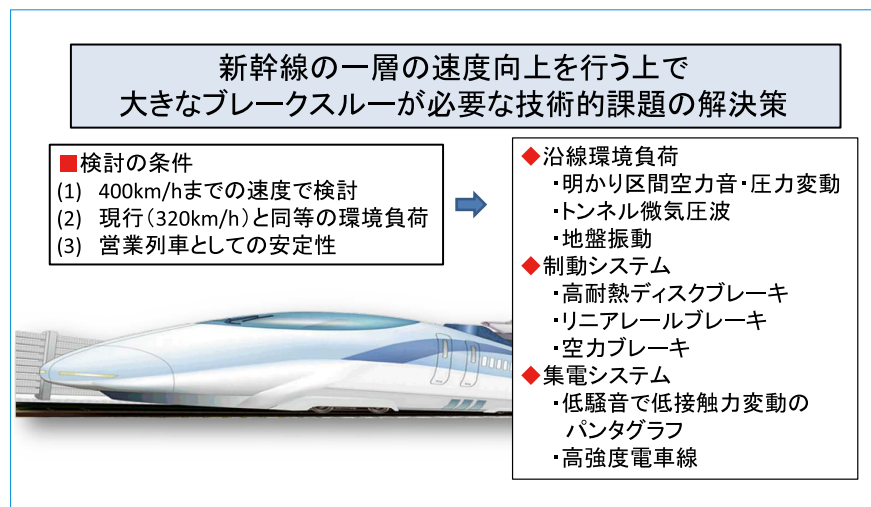


図7 新幹線速度向上のためのテーマ目標

新幹線の速度向上

新幹線の営業速度をさらに向上するために、現在の技術の改良では解決が困難な課題を最高速度400km/hまでの範囲で検討し、沿線環境負荷、制動システム、集電システムについての技術開発を行いました(図7)。

新幹線速度向上時の沿線環境負荷の低減

速度向上時の空力騒音、トンネル微気圧波、地盤振動を現在と同程度に抑えることを目指して、現象の解明と対策の開発を行いました。

空力騒音は速度の6乗～8乗に比例してパワーが増加するため、高速域では少しの速度増加でも急激に大きな

ります。主な音源はパンタグラフと台車周辺です。風洞試験と数値シミュレーションにより、パンタグラフでは形状の適正化、吸音材などの技術を開発しました。一方、台車については、これまでどの部分が音源か不明でした。このため風洞試験方法の工夫で、発生源が主電動機や歯車装置であることを示し、これらに気流を当てない対策を提案しました。

トンネル微気圧波は、列車が高速でトンネルに進入する際に空気が圧縮され、これが圧力波となって出口で大きな音を出す現象です。列車先頭形状とトンネル入り口に設けた緩衝工という

フードの工夫で抑制しています。高速では必要な緩衝工長さが非常に長くなるため、より効率的な仕様をシミュレーションと模型実験で検討しました。この結果、緩衝工断面積を従来よりも大きくすると効率がよいことを示すとともに、微気圧波が小さくなる3段の車両先頭形状を提案しました。

地盤振動については高速走行により急増する場所があることがわかりました。この振動増加要因を大規模なシミュレーションで究明し、振動増加の可能性がある場所の抽出方法と、対策方法の開発を行いました。

新幹線速度向上における基盤技術の開発

制動力が同じ場合、停止距離は初速の2乗に比例して長くなります。これを現在と同程度に抑えるため、高耐熱ディスクブレーキ、リニアレールブレーキ、空力ブレーキの3種類のブレーキを開発しました。リニアレールブレーキはレールと台車との間で非接触の電気ブレーキをかけるものです。地震などで停電しても使える特徴があります。空力ブレーキは非常時に車両の屋根上に設けた抵抗板を開いて空気抵抗で制動します。これらの併用により速度向上時の停止距離を現在と同程度にできる目途を得ました。

高速で走行すると、パンタグラフに働く空気力(揚力)が変化しやすくなり、集電が不安定になります。そこで、低騒音で接触力変動の小さいパンタグラフを開発しました。一方、架線では波動伝播速度と列車の速度が近くなると大きな振動が発生します。これを防ぐためには高強度で軽量のトロリー線が必要で、この材料候補を探索しました。

これらの開発により、騒音は地上対策との併用が必要ですが、所期の速度向上目標を達成する技術的方向性が確認できたと考えています。

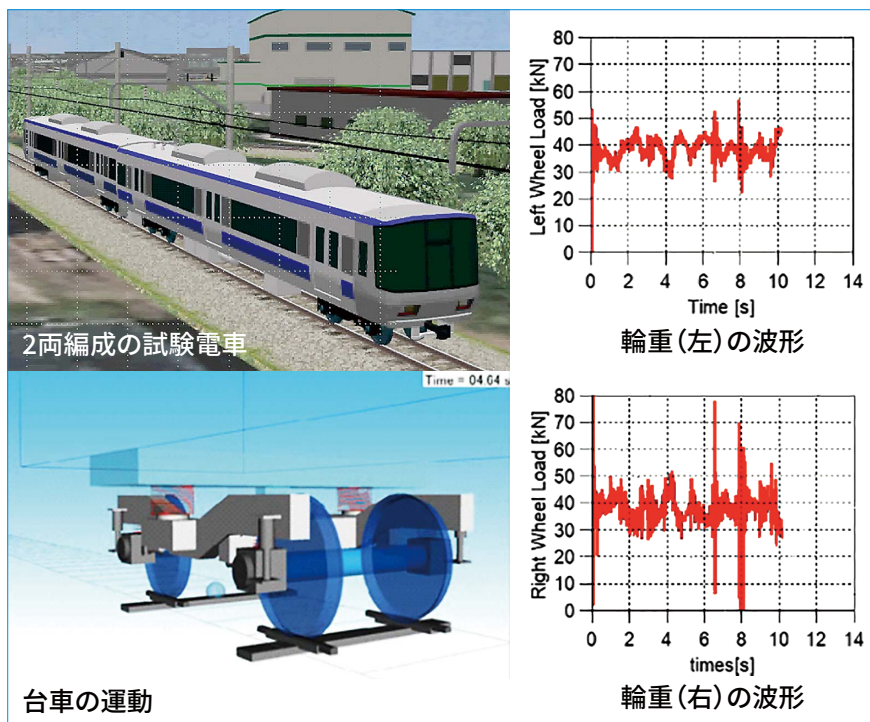


図8 バーチャル鉄道試験線の表示例

鉄道シミュレーターの構築

数値シミュレーションは、現象を表す方程式をコンピューターで解くことにより自然現象や社会現象などを模擬することであり、理論、実験に次ぐ第3の科学といわれています。近年の計算機の性能向上ともあいまって、その役割がますます重要になっています。

鉄道シミュレーターは、鉄道分野でこれまで個々に開発されてきたシミュレーション手法を互いに連携させることで、鉄道システムの最適化と複雑現象の解明に資することを目指すものです。

バーチャル鉄道試験線の構築

車両、軌道、架線・パンタグラフなどの列車走行ダイナミクス系のシミュレーション手法を連携させ、計算機上で列車走行を再現するものをバーチャル鉄道試験線とよんでいます(図8)。特定の営業線や仮想の試験線をモデル化して、列車が走行したときの挙動や、

長期間の繰り返し走行による部材の劣化などを予測することができます。

個別シミュレーター群の連携

個々のシミュレーション手法を効率的に連携させるために、各シミュレーションの実行を管理する共通プラットフォームや、シミュレーション間の連成計算を制御する連成マネージャー、連成計算の結果を時刻同期させて可視化する統合可視化ツールなどを構築しました。

まとめ

ここでは、RESEARCH 2020で実施してきた鉄道の将来に向けた研究開発について、4つの大きな課題群ごとにその目的や主な成果についての概要を紹介しました。なお、個々の詳細な内容については、以降の記事を参照してください。RRR