

第 38 回 鉄道総研講演会

**研究開発のコア技術の高度化
ー持続可能な鉄道システムの創造に向けてー**

2025 年 10 月 22 日(水)

有楽町朝日ホール

公益財団法人鉄道総合技術研究所

目次

特別講演

- 1 **フィジカルAIシステムとしての鉄道・モビリティ
(柏の葉地域での自動運転バス社会実装事業等を通じた考察)**
東京大学生産技術研究所
ハーモニック・モビリティ研究センター長 教授 **中野 公彦**

基調講演

- 9 研究開発のコア技術の高度化
ー持続可能な鉄道システムの創造に向けてー
- 理事 曾我部正道

一般講演

- | | | | | |
|----|---------------------------------|---------------|----|----|
| 23 | 車両・電気分野における研究開発のコア技術の高度化 | 車両技術研究部長 | 瀧上 | 唯夫 |
| 25 | 軌道・構造物分野における研究開発のコア技術の高度化 | 構造物技術研究部長 | 田所 | 敏弥 |
| 31 | 人間科学分野における研究開発のコア技術の高度化 | 人間科学研究部長 | 遠藤 | 広晴 |
| 37 | 新幹線の高速化と空気力学分野における研究開発のコア技術の高度化 | 環境工学研究部 主管研究員 | 斉藤 | 実俊 |

講演者プロフィール

なかの きみひこ
中野 公彦 博士(工学) 東京大学生産技術研究所 ハーモニック・モビリティ研究センター長 教授

<プロフィール>

2000年 東京大学工学系研究科産業機械工学専攻 博士課程修了
2000年 山口大学工学部機械工学科 助手
2006年 東京大学生産技術研究所 助教授
2018年 東京大学生産技術研究所 教授
2025年 ハーモニック・モビリティ研究センター (ITSセンター) 長

そがべ まさみち
曾我部 正道 博士(工学)

<プロフィール>

1991年 横浜国立大学工学部建設学科卒業
2017年 鉄道力学研究部長
2021年 総務部長
2023年 企画室長
2024年 鉄道総研理事(現職)

たきがみ ただお
瀧上 唯夫 博士(工学)

<プロフィール>

1999年 名古屋大学大学院工学研究科電子機械工学専攻 博士後期課程修了
2019年 車両構造技術研究部 車両振動研究室長
2022年 研究開発推進部 計画課長
2024年 車両技術研究部長(現職)

たどころ としや
田所 敏弥 博士(工学)

<プロフィール>

2002年 北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 博士課程修了
2017年 構造物技術研究部 コンクリート構造研究室長
2022年 総務部 人事課長
2024年 構造物技術研究部長(現職)

えんどう ひろはる
遠藤 広晴

<プロフィール>

2004年 慶応義塾大学大学院理工学研究科基礎理工学専攻 修士課程修了
2023年 人間科学研究部 快適性工学研究室長
2025年 人間科学研究部長(現職)

さいとう さねとし
斉藤 実俊 博士(工学)

<プロフィール>

1990年 大阪大学大学院工学研究科造船学専攻 前期課程修了
2011年 環境工学研究部 熱・空気流動研究室長
2022年 環境工学研究部長
2025年 環境工学研究部 主管研究員(現職)

フィジカルAIシステムとしての鉄道・モビリティ (柏の葉地域での自動運転バス社会実装事業等を通じての考察)

東京大学生産技術研究所
ハーモニック・モビリティ研究センター長 教授
中野 公彦



1. はじめに

フィジカルAI (Artificial Intelligence) が明確に定義された文献は見当たらないが、物理法則を理解したAIを指し、NVIDIA 社長ジェン・スン・フアン (Jensen Huang) 氏により広く知られるようになった用語と言える¹⁾。国内でも、科学技術振興機構からフィジカルAIシステム開発が戦略プロポーサルとして出されるなど注目されている²⁾。ヒューマノイドなどのように自律で動くロボットを指すことが多いが、自動運転などにより自律走行を行うモビリティも含まれると考えられる。情報を処理するだけでなく、物理世界の情報を認識し、判断を行い、実際に作用するAIを指す。鉄道においては、自動運転はもちろんであるが、保守・保全、運行最適化の知能化も、AIが判断を行うのであれば、フィジカルAIに含まれる。前述のジェン・スン・フアン氏はフィジカルAIを次のAIの波と言及しており、鉄道にとっても、今後のコア技術になると考えられる。

一方、著者が所属する東京大学生産技術研究所ハーモニック・モビリティ研究センター (当時: 次世代モビリティ研究センター) では、2016年頃から、柏キャンパスがある柏市柏の葉地区での自動運転バスの技術開発およびその社会実装を目指した活動を行ってきた³⁾。現在は、経済産業省・国土交通省事業の下、柏の葉地区での2025年度中のレベル4自動運転 (道路交通法において運転者が不要の自動運転) によるバスサービスを実現させることを計画している。道路交通の話ではあるが、関係省庁の許認可取得活動も含めた自動運転バスサービスの実装活動からは、フィジカルAIシステムの今後の社会実装を考える上で、重要な示唆が得られることが期待できる。

本稿では、柏の葉での自動運転バス社会実装事業の内容を紹介し、課題に触れる。また、機械学習を用いた鉄道関連研究を紹介し、フィジカルAIとしての鉄道技術の将来を議論する。

2. 柏の葉地区自動運転バスサービス社会実装

2.1 自動運転バス (レベル2) 長期営業運行実証実験

東京大学は、平日は柏キャンパスと柏の葉キャンパス駅間 (片道2.6km) に朝晩は10分間隔、日中は60分間隔でシャトルバスを運行しているが、2019年11月1日より、実施主体を柏ITS推進協議会として、同ルートにおいて、図1に示す自動運転バス (レベル2運用) を、毎日3-4往復運行 (バス改造: 先進モビリティ株式会社、運用: 東武バスセントラル株式会社) させている。1日の走行は25.8kmとなり、他のシャトルバスと同



図1 柏ITS推進協議会を実施主体とした自動運転バス (レベル2運用) サービスに用いられているバス

様に、東京大学教職員学生、来訪者は乗ることができる。また、インフラ協調型自動運転を実施できるように、柏ITS推進協議会に所属する信号機・センサメーカーが、交差点を中心に路側器・送信器を設置している（図2）。GNSS信号を受信しにくい箇所には自己位置同定を行うための磁気マーカーを設置している。

開始当時、既に全国各地で自動運転バス（レベル2運用）の実証実験は行われていたが、1年以上の長期にわたって行われるものは、ほとんど実施されていなかった。1年を通じて行うことにより、実運用上の課題を見つけることができるようになった。

2.2 法改正

長期営業運行実証実験が開始された時は、自動運転（レベル3以上）を行うことは法的に認められていなかった。自動運転バスの実証実験は、運転席に運転者がおり、自動運転機能を運転支援装置として利用する形（レベル2運用）で行われていた。2020年に施行された改正道路運送車両法により、自動運行装置が保安基準対象装置に追加され、法的に自動運転を行う装置の存在が認められた。同年に施行された改正道路交通法により、システムの要請により人間が運転を引き継ぐ必要があるレベル3の自動運転が認められた。さらに、2023年施行の改正道路交通法により、特定自動運行許可制度が創設され、都道府県公安委員会から許可を得れば、定められた条件の下であれば運転者が不要である自動運転（レベル4）を行うことができるようになった。これらの法改正により、2023年5月より、福井県永平寺町にて、歩行者自転車が入り込める遊歩道を走行するカートを使ったレベル4自動運転サービスが開始された。カートは2023年3月30日に道路運送車両法の自動運転車として認可され、2023年5月

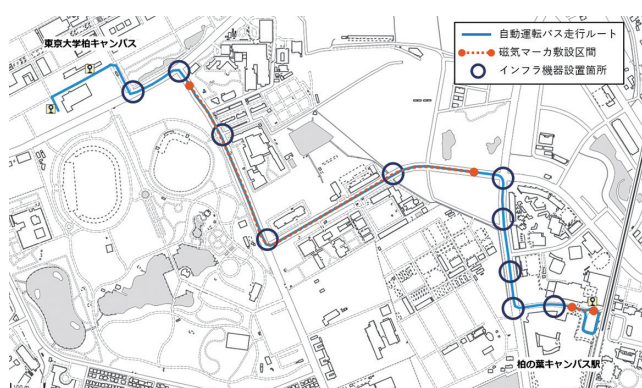


図2 シャトルバスルートと路側器および磁気マーカー設置位置

11日に道路交通法の自動運転許可が下りている。それ以降、東京都大田区、北海道土幌町、三重県多気町、茨城県日立市、長野県塩尻市等で、特定自動運行が許可され、レベル4自動運転サービスが始められた。今後も増えていくことが予想される。

2.3 RoAD to the L4事業

2021年9月より、経済産業省・国土交通省による自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト（RoAD to the L4）が始まった。4つのテーマが設定され、テーマ1は永平寺町でのレベル4モビリティサービスの実現に関するものであり、2022年度末に終了した。テーマ2は茨城県日立市のバス専用道でのレベル4自動運転バスサービスに関するものである。2024年度に乗務員乗車型での特定自動運行を実施済みであり、最終年度である2025年度は、遠隔監視のみでの自動走行実現を目指している。テーマ3は、第2東名での物流トラックのレベル4自動運転サービスを実現するものである。2025年度以降の実装を目指している。テーマ4は千葉県柏市柏の葉地区において、一般道（混在交通）での特定自動運行を目指すものであり、協調型システムの開発を含んでいる。2019年から実施しているレベル2運用の自動運転バスサービスを特定自動運行（レベル4運用）にするものである。テーマ2から4は2025年度で終了することになっており、その成果は他地域に展開されることが期待されている。

2.4 Cool4概要

RoAD to the L4のテーマ4は、Cool4 (Cooperative Level 4 Automated Mobility Service) と呼ばれ、柏市柏の葉地域にインフラ協調型のレベル4自動運転バスサービスを2025年度までに実装することを目的にしている。国立大学法人東京大学を幹事組織として、国立大学法人東海国立大学機構（名古屋大学）、国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社三菱総合研究所、一般財団法人日本自動車研究所、先進モビリティ株式会社によって構成されるコンソーシアム形式で受託し、著者がリーダーを務めている。本稿の執筆時点（2025年9月11日）での事業スケジュールは図3に示す通りである。柏ITS推進協議会による自動運転バスの長期営業運行実証実験は継続するが、特定自動運行を行うことを想定したバスの開発を新たに行い、2023年度からは、シャトルバスルートで公道走行試験（レベル2運用）を行っている。1年以上の試験期間



図3 Cool4事業のスケジュール

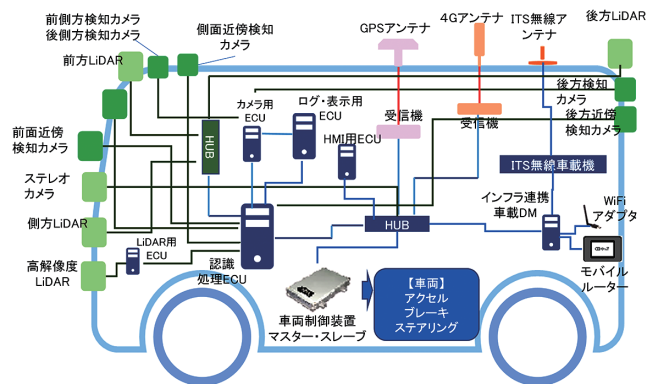


図4 協調型レベル4自動運転車両の概要

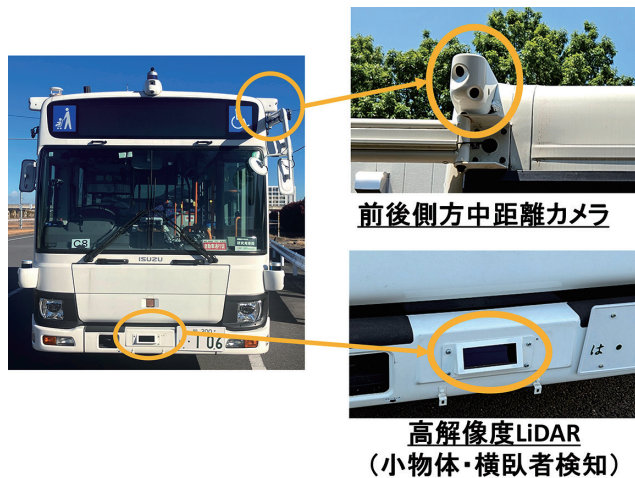


図5 前後側方中距離カメラと高解像度LiDAR

中に走行実験の結果をフィードバックして改良を行い、関東運輸局に対して自動運行装置の走行環境条件付与申請を行い、2025年8月29日に認可された⁴⁾。今後は、千葉県警に対して特定自動運行許可申請を行い、千葉県公安委員会からの許可を得てから、レベル4自動運転の試験走行を行い、2026年1月から特定自動運行によるシャトルバスサービスを実施する予定である。

2.5 協調型自動運転システム

協調型自動運転車両の概要を図4に示す。カメラ、LiDARによって全方位(360°)の環境認識を行っている。LiDARは距離計測に優れているため、主に形状認識に用いられ、物体認識はカメラによって主に行われる。自車位置同定は、あらかじめ作成した3次元地図とセンサ出力のマッチングで行うが、GNSS (GPS) による同定も行っている。特定自動運行に向けて、左

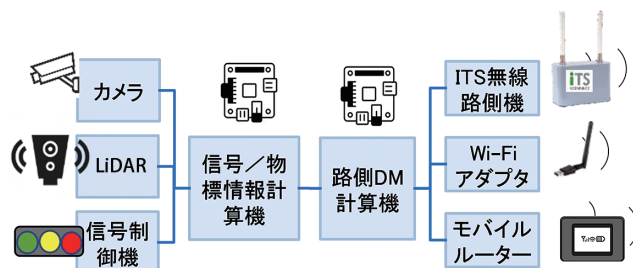


図6 協調型システムの基本構成

右方向の環境認識性能強化のための前後側方中距離カメラと、路上の小物体と横臥者の検知のための高解像度LiDARを設置した(図5)。また、図4には描かれていないが、緊急車両検知用のマイクも設置してい

る。協調型システムにおいて、信号制御器および路側センサと車両間で利用する協調型システムの基本構成を図6に示す。路側の情報は、信号／物標情報計算機および路側データ連携モジュール(DM)を介して、送信される。データの送受信には、計算機路車間のITS周波数帯(760MHz)を利用した直接通信(Vehicle-to-Infrastructure Communication)と携帯電話回線(LTE/5G通信)を用いた通信(Vehicle-to-Network Communication)が用いられる。また、Wi-Fiも使うことが可能である。

2.6 特定自動運行の計画

2025年度特定自動運行（レベル4自動運転）は、科警研西交差点を含むL字区間（図7赤線）（片道700m程度）で行い、他の区間は、レベル2運用で行う。シャトルバスルート全区間において、自動運転機能は動作しているが、特定自動運行を行う時は、運転士による運転介入を行うことができないようになっている。対向車が存在する交差点での右折においては、対向車に加えて、横断歩道上および進入の可能性がある歩行者および自転車を検知することが必要であるため、自動運行装置による安全確認に時間を要してしまう。周囲の交通の円滑性に影響を与えることが懸念される。特定自動運行区間においては、科警研西交差点は、駅から柏キャンパスに向かう時は右折になるが、丁字路であるため、対向車が存在しない。交通円滑性への影響を考えて、特定自動運行区間を上記のように定めた。インフラ協調型システムは、交差点を中心に図7に示す位置に設置している。ルート上の全ての信号交差点で、信号連携による信号サイクル情報の送信が行われる。なお、一部区間のみの特定自動運行であること、また、自動運転が続行不能となり車両が停止した場合は、周りの交通への影響を考えて、速やかに車両を移動させる必要があることから、当面は、運転士が車内に乗車する。

2.7 インフラ情報活用

道路交通は、混在空間であっても運転者が安全に責任をもつことを前提としているため、自動走行装置が搭載されている車両側で安全を担保することを前提とする考えが支配的である。CoO4においても、車載センサのみでは取得不可能な情報を路側器から受信し、活用することにより、交通の円滑性向上を図ることをインフラ協調型システムの目的としている。インフラからは、信号情報と物標（障害物）情報の提供を受ける。

信号情報は信号サイクル情報であり、青信号残秒数を受信することにより、交差点進入直前で黄信号に変わった際の急減速を回避することができる。特定自動運行区間である科警研西交差点においても、青信号残秒数を用いた信号連携は行われる予定である。それ以外には、時差式信号交差点右折時において、対向車方路側の信号サイクル情報を受信することにより、右折発進判断の円滑化を図ることも検討されている。当該時差式信号は特定自動運行区間には存在しないので、実施したとしても、レベル2での運用となる。なお、信号情報は、警察庁の方針により補完情報として扱うことになっている⁵⁾。すなわち、車載カメラによって実際の信号灯色を認識し、信号情報に誤りがあった場合にも道路交通法に従った走行ができればならない。青信号残秒数は、インフラ情報によって、早めの減速を行うものであり、それにより事故リスクを上げることはないと考えられる。ただし、対向車方路側の信号サイクル情報は、早めの出発判断を促すものであり、レベル4自動運転で用いる是非については、今後も議論が必要である。

物標情報は、路側センサが検知した、車載センサからの死角に存在する障害物の情報を指す。運転者が安全に責任を持つ運転支援（レベル2以下）においては、障害物の存在情報を送信する意義はあるが、運転者が存在しないレベル4においては、障害物が存在しないというフリースペース情報が求められる。インフラ情報に対して要求される信頼性は格段に高くなり、事故発生時の車両とインフラの責任分界の議論が必要となる。CooL4では、前述の通り、車両側で安全を担保することを前提にして、物標情報は走行の円滑化を目的に用いる方針を出している。ただし、交通の円滑化

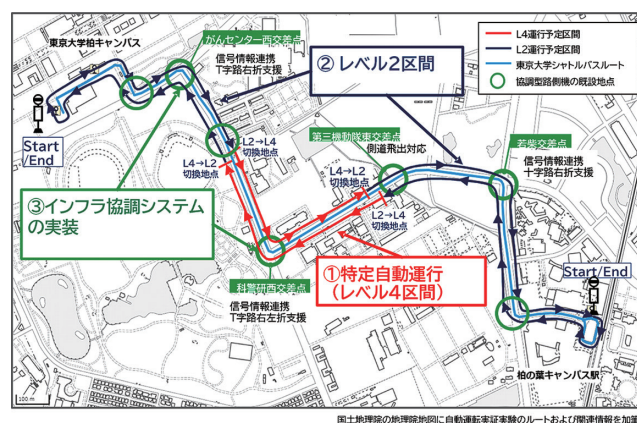


図7 2025年度公道実証実験のルート

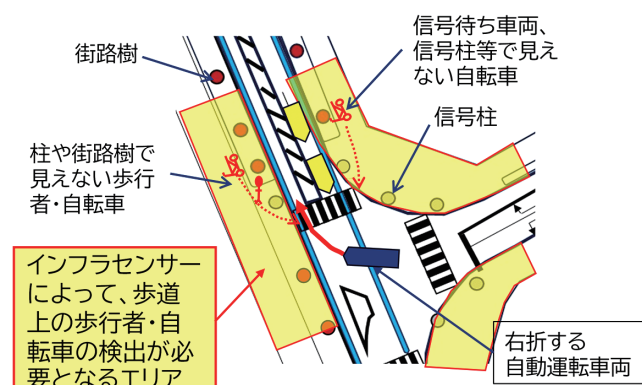


図8 路側センサの検知範囲

は発進判断を早める、もしくは走行速度を上げることを意味し、事故リスクを高めることになる。その実装の是非については、まだ議論が必要である。

Cool4においては、物標情報を用いた特定自動運行は行わない。物標情報は、データの送受信の試験に留めるか、レベル2運用において活用する予定である。

2.8 路側センサの設置

物標情報は特定自動運行には用いないが、将来の活用可能性を検討するために、路側センサの設置は行っている。図8に科警研西交差点において、路側センサが検知する範囲を示す。具体的な数値は示していないが、自動運転バスが交差点通過を行う時間内に、横断歩道に進入する可能性のある歩道上の歩行者および自転車を検知することを目的に、検知範囲をカバーするように複数個所にLiDARとカメラを設置している。

2.9 データ連携プラットフォーム

協調型システムにおいては、多岐にわたる通信パスが存在し、開発が複雑になるため、将来の他地域展開を視野に入れて、プラットフォーム化を行っており、それをデータ連携プラットフォームと呼んでいる。図9に名古屋大学が中心になって開発しているCool4のデータ連携プラットフォームのアーキテクチャを示す。協調型自動運転に必要な機能を開発済みであり、性能評価を実施し、現時点では満足できる性能を達成している。今後は、複数の路側センサの出力のデータ融合（フュージョン）アルゴリズムの開発、安全分析、セキュリティ・プライバシー確保機構の組み込みなどを行う予定である。

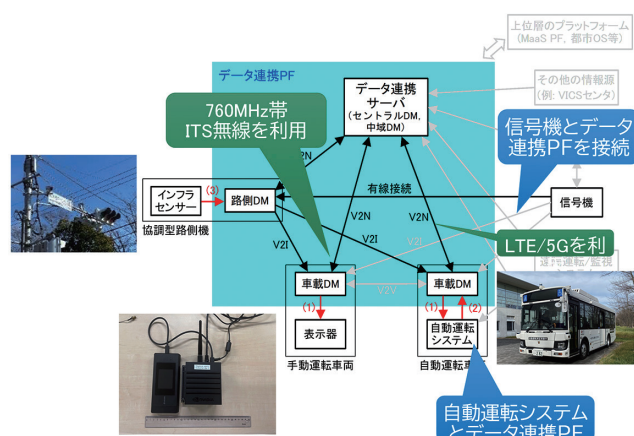


図9 Cool4で開発したデータ連携プラットフォームのアーキテクチャ

2.10 レベル4自動運転運行の課題

インフラ協調型レベル4自動運転の開発状況を述べたが、安全性確保、交通円滑性確保、道路交通法への適合に関して以下の課題が挙げられる。

・安全性確保

安全性を確率で示すだけでなく、リスクを洗い出し、それらに対する対処方法を決めておくことが求められる。ただし、その作業は膨大になり、完全であることを示すことはできない。

・交通円滑性確保

混在空間の走行では、他の道路利用者の走行の障害になることは極力避けることが求められる。安全性を確保した上で、発進判断を適切に行うことが必要である。ただし、発進判断に必要な情報は、障害物がないという情報（フリースペース情報）であり、その確認には時間がかかる。

・道路交通法への適合

法律においては、数値が規定されていないため、その解釈が困難なことが多い。不必要に保守的な解釈を行えば、円滑性を阻害する。なお、道路交通法の第一条には、道路における危険を防止し、その他交通の安全と円滑を図ることを目的とすると記されており、円滑な走行は、自動運転車両に求められる性能と考えられる。

なお、今まで運転タスクの自動化のみを議論してきたが、運転士が行う業務は、運転のみでない。点検業務、乗客対応、安全確保（事故・故障時の応急対応）等の運転以外の業務の方が、自動化は難しい。道路交通において車内無人を実現するためには、人間が、遠隔でどこまで、これらの業務ができるかが課題となる。

3. 鉄道におけるAI活用研究の紹介

3.1 機械学習を用いた車輪とレール間の接触状態の推定

著者が行っている、鉄道におけるAIを用いた研究を紹介する。鉄道総合技術研究所で開発されたPQ輪軸（図10）は、垂直荷重P、横荷重Q、前後接線力Tが計測可能である。脱線係数（Q/P）より、脱線に対する走行安全性を評価できるが、車輪とレール間のアタック角、左右接触位置、摩擦係数等により、安全といえるQ/P（限界脱線係数）は変わる。計測したP、Q、Tから、機械学習（LightGBM、1D-CNN）により、アタック角、接触位置、摩擦係数を推定することを試みる研

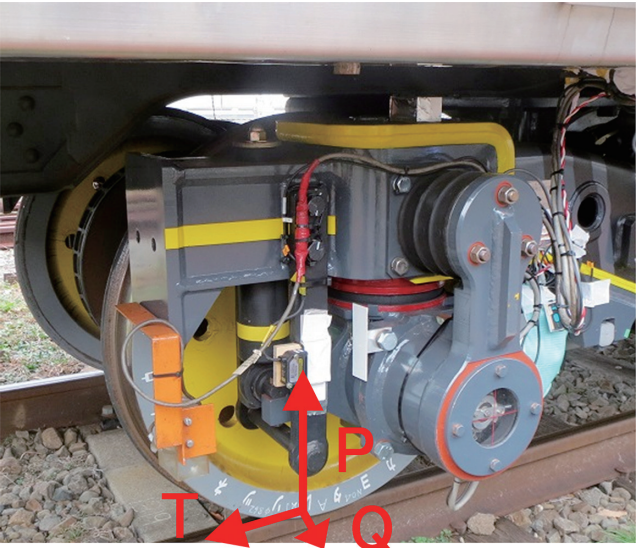


図 10 PQ輪軸（写真提供：鉄道総合技術研究所）

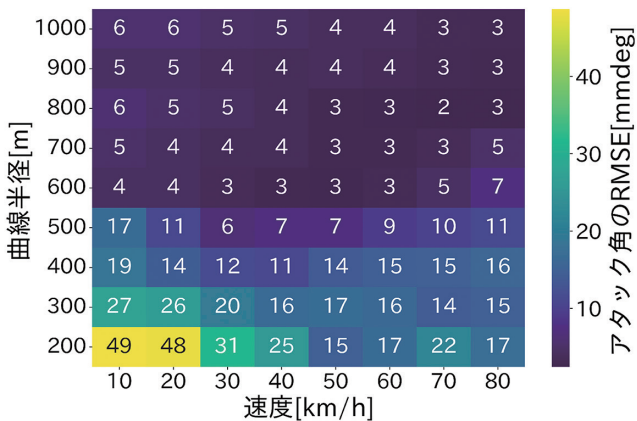


図 11 機械学習によるアタック角の推定精度

究である。将来は、指標の閾値のみを用いた判定ではなく、ベテランの技術の判断を模擬できるシステムを構築することを目指している。数値計算結果を教師データおよび評価データとして用いた。LightGBMを用いて推定したアタック角の精度を図11に示す。速度の小さい急曲線で精度が低下する傾向がある⁶⁾。

3.2 携帯電話回線を利用した鉄道車両と自動車の統合型交通制御システム

携帯電話のLTE通信を利用して、鉄道踏切と自動運転車両を統合して制御するシステムを提案した。列車車上装置がGNSSで取得した自己位置を、携帯回線を使ってセンターに送信し、センターは列車の最短到達時間を計算し、それに基づき、踏切警報機と遮断機の動作開始時間を計算し、踏切制御装置に送信する。車上装置は、踏切通過後に警報終了情報をセンターに、センターはその情報を踏切制御装置に送信する。このようにして無線による踏切制御を行う。これらの信号は、交通信号機、自動車、スマートフォン等にも送信可能であるため、統合した交通制御が可能になる（図12）。本システムの動作確認を、鉄道試験線と試験用踏切が存在する東京大学柏キャンパスITS実験フィールドにて行った⁷⁾。また、鉄道車両の踏切通過時刻がわかり、車両の位置情報を取得可能であれば、待ち時間、平均速度、旅行時間を指標に加えた報酬関数を用いた深層強化学習を行うことによって、最も効率的な交通制御（信号制御）方法を導くことができる（図13）。これにより交通信号が固定サイクルであっ

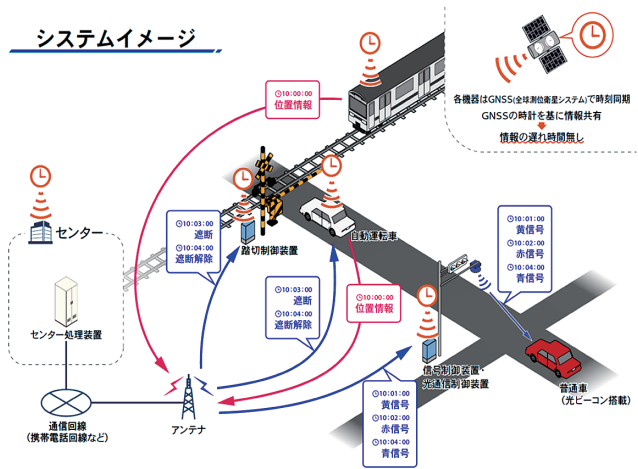


図 12 鉄道車両と自動車の統合型交通制御システム概念図⁷⁾

た時に比べて、待ち時間、旅行時間を短縮し、平均速度を向上させることができることを数値計算により示した⁸⁾。

なお、車載カメラとレーダーにより踏切警標の認識と前方車両との距離の計測を行い、踏切の発進判断を支援するシステムの研究開発も行われている⁹⁾。

4. フィジカルAIとしての鉄道・モビリティの将来像

鉄道を含むモビリティにおけるAI活用の成果と課題を述べてきた。認識モジュールだけでなく、判断においてAIをモビリティで活用することに関しては、以下の利点と課題が存在する。

- AIは発進時等に、人間に近い判断を行うことができ、安全性に加えて円滑性を求められる場面では、その活用が期待される。人間よりも膨大なデータを学習することができるが、法律・ルールへの遵守や安全運転を行うことを保証することはできない。
- 運転時に求められるような高度な判断は、人間の良心（道徳）と社会的常識（社会規範）に基づいて行われるところが多い。AIにそれを行わせるためには、技術だけの学習では不十分で、良識ある人間の知能をAIで模擬する必要がある。
- 自動車の走行時は、運転者が法的責任をとることが一般的である。ただし、現状では、AIが法的責任主体になることはできない。

人間と同等以上の知能を持つAIができることが理想であるが、現実的なタイムスパンでの実装を考えると、以下に示す対応を行うことも求められる。

- 法律・ルール、環境の変更
AIが法的責任主体となるには、法律の専門家を含めた多くの議論が必要であり、現実的な時間で議論が収束することは望めない。自動運転システムのようなフィジカルAIシステムが現実社会で動作しやすいような法律・ルール、環境を整備する方が近道である。
- 高度な判断は、人間がアシストする余地が必要。
特定自動運行においては、運転タスク以外の判断は、車内乗務員か、遠隔監視者が行うことが想定されている。システム主体で動作しながら、高度な判断が必要になった際には、人間がアシストできるようなシステムにすることも検討したほうが良い。判断のミスにより事故が起きた際のシステ

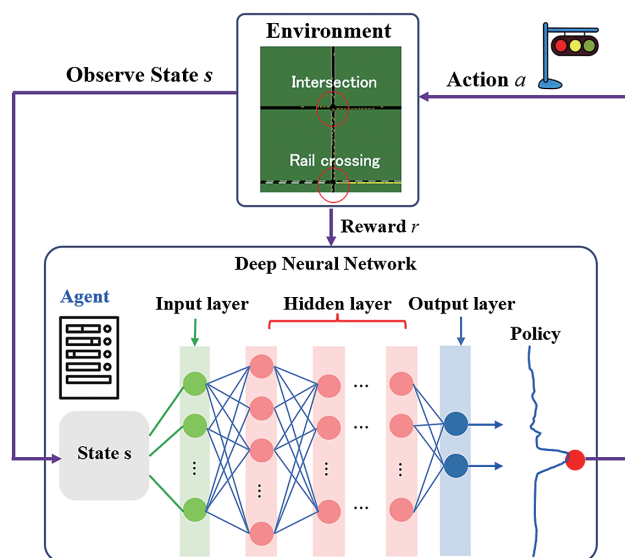


図13 深層強化学習を用いた鉄道と自動車の統合的交通制御⁸⁾

ムと人間の責任分界など議論が必要である。また、フィジカルAIの実装には、ELSI (Ethical Legal, Social Issues) と呼ばれるような、技術的課題以外の課題に取り組む必要もある。著者は、国立研究開発法人科学技術振興機構 社会技術研究開発センター(RISTEX)の助成を受け、明治大学および筑波大学とともに、2020-2023年度にわたり、ELSIを踏まえた自動運転技術の現場に即した社会実装手法の構築という事業を行った¹⁰⁾。

5. まとめ

- 柏市柏の葉地区において、2025年度にレベル4自動運転を実施する予定で、自動運行装置の走行環境条件付与を受けている。今後は、特定自動運行許可を得る必要がある。
- レベル4自動運転の運行範囲を広げるためには、法律に適合させながら、安全性と円滑性を両立させる技術の開発が求められる。
- 人間の運転を模擬した自動運転を行うためには、判断までをAIが行う必要があると言われているが、AIは法的責任主体になれないという課題がある。
- 高度な判断を行うAIの実装のためには、法律・ルール・環境の変更など、技術以外の課題(ELSI)も含めて考える必要がある。

参考文献

- 1) Kolawole Samuel Adebayo, What Is ‘Physical AI’ ? Inside The Push To Make AI Understand The Real World, Forbes published Jun 13, 2025, 07:01am EDT, updated Jun 13, 2025, 04:48pm EDT, <https://www.forbes.com/sites/kolawolesamueladebayo/2025/06/13/what-is-physical-ai-inside-the-push-to-make-ai-understand-the-real-world/>, (参照 2025-09-11)
- 2) 戦略プロポーサル フィジカル AI システムの研究開発～身体性を備えた AI とロボティクスの融合～, 国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター, 2025年5月, <https://www.jst.go.jp/crds/report/CRDS-FY2025-SP-01.html>, (参照 2025-09-11)
- 3) 中野公彦：テーマ4：混在空間でインフラ協調を活用したレベル4自動運転サービスの実現に向けた取り組み, RoAD to the L4プロジェクト成果報告会, 2025年2月27日, https://www.road-to-the-l4.go.jp/publication/pdf/20250227_theme04.pdf, (参照 2025-09-11)
- 4) 関東運輸局プレスリリース, 千葉県初！自動運転車（レベル4）の認可を行いました～運転者を必要としない自動運転車（レベル4）～, 国土交通省, 2025年8月29日, <https://www.tb.mlit.go.jp/kanto/content/000356771.pdf>, (参照 2025-09-11)
- 5) 協調型自動運転システムへの情報提供等の在り方に関する検討報告書, 協調型自動運転システムへの情報提供等の在り方に関する検討会, 警察庁, 2023年3月, https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/council/r4_kyoutyou_houkokusho.pdf, (参照 2025-09-11)
- 6) 薮内皓太郎, 國行翔哉, 本堂貴敏, 飯田浩平, 宮本岳史, 中野公彦：機械学習を用いた車輪とレール間の接触状態の推定, Dynamics and Design Conference 2025, OS9-1-1-03, 日本機械学会, 2025
- 7) 中野公彦, 浅野晃, 長澤弘之, 高田哲也, 貝塚勉, 楊波：携帯電話回線を利用した鉄道車両と自動車の統合型交通制御システム, 第17回 ITS シンポジウム2019, ITS Japan, 2019
- 8) Xutao Mei, Nijiro Fukushima, Bo Yang, Zheng Wang, Tetsuya Takata, Hiroyuki Nagasawa, Kimihiko Nakano, “Reinforcement Learning-Based Intelligent Traffic Signal Control Considering Sensing Information of Railway,” IEEE Sensors Journal, vol.23, no.24, pp.31125-31136, 2023, doi: 10.1109/JSEN.2023.3327696.
- 9) 中野公彦, 福島虹郎, 楊波, 王正, 梅旭濤, 高田哲也, 長澤弘之：携帯電話回線を利用した鉄道踏切制御と自動車の踏切通過支援システム, 自動車技術会2023秋季大会, 自動車技術会, 2023
- 10) ELSIを踏まえた自動運転技術の現場に即した社会実装手法の構築, RInCA事業ウェブページ, 国立研究開発法人科学技術振興機構 社会技術研究開発センター(RISTEX), <https://www.jst.go.jp/ristex/rinca/projects/jpmjrrx20j4.html>, (参照 2025-09-11)

研究開発のコア技術の高度化 ー持続可能な鉄道システムの創造に向けてー

理事
曾我部 正道



1. はじめに

1.1 社会的背景と鉄道を取り巻く環境の変化

鉄道は、我が国の重要な社会基盤として150年余にわたり安全・安心で効率的な輸送を提供し、社会の発展を支えてきた。しかしながら、社会を取り巻く環境は、新型コロナウイルス感染症の拡大以降、変化が一層加速している。

従来からの社会課題は深刻化、顕在化、複雑化しており、特に鉄道においては、労働力不足やインフラの老朽化、地域鉄道の事業継続等が喫緊の課題となっている。

(1) 自然災害の激甚化、広域化、頻発化

日本における豪雨災害の被害額は近年増加傾向にあり、気候変動の影響が顕著である。地震による被害も頻発している。鉄道はそのネットワーク特性から、局地的な災害であっても、広域的な輸送障害を受けやすい。鉄道総合技術研究所（以下、「鉄道総研」という。）では、例えば、レーダー雨量を活用した降雨時運転規制における規制値設定方法、公的機関の配信データを活用した鉄道沿線での風速予測方法、降雨により被災した盛土の低コストな復旧対策工法の提案、海底地震計情報を活用した地震検知手法、鉄道地震被害推定情報配信システムの開発等に関する研究開発を行ってきた^{1)・3)}。

(2) 2050年カーボンニュートラルの実現

脱炭素化の推進は国際的な必達目標であり、エネルギー効率が良く環境に優しい輸送機関である鉄道も例外ではない。鉄道事業全体での取り組みが求められている。鉄道総研では、例えば、省エネ指向ダイヤ、蓄電池による回生電力や再生可能エネルギーの有効活用、燃料電池車両、バイオ燃料ディーゼル車両等に関する研究開発を行ってきた^{4)・6)}。

(3) 労働力不足とインフラ老朽化

生産年齢人口は1995年以降減少を続けており、鉄道分野においても運転士・保守要員不足が深刻化している。また、膨大な老朽化インフラの維持管理は高コストであり、省人化と効率化が求められる。保守作業の夜間から昼間への転換等、従前では想定できない業務形態への転換が生じている。鉄道総研では、列車の自律運転システムや、メンテナンス省人化のための統合分析プラットフォーム、携帯情報端末や車上計測による軌道・構造物の異常検知等の研究開発を行ってきた^{7)・14)}。

(4) 技術革新の急速な進展

一方で、科学技術分野では、AIや自動運転、ドローン等のデジタル技術、蓄電池やバイオ燃料、省エネルギー運転、再生可能エネルギー等の脱炭素化技術、量子アニーリング等において、世界規模で技術革新が急速に進展している^{15)・21)}。

とりわけAI技術は、世界規模での開発が進められており、広範な領域での応用が見込まれている。鉄道においては、ディープラーニング等での画像識別技術として実用化が進展している他、大規模言語モデルLLM (Large Language Model) や大規模マルチモーダルモデルLMM (Large Multimodal Model) といった生成AIを従来にはない課題へ適用する動きが始まっている。また、デジタル空間だけでなく、現実の物理世界と直接相互作用できるフィジカルAIシステムへの注目が高まっている²²⁾。

1.2 基本計画RESEARCH 2030

こうした背景のもと、鉄道総研は、2025年度から5カ年の新たな基本計画「RESEARCH 2030－持続可能な鉄道システムの創造－」を、鉄道総研のビジョン「革新的な技術を創出し、鉄道の発展と豊かな社会の実現

に貢献します」を実現する実行計画として策定した²³⁾²⁴⁾。

社会課題の深刻化や技術革新の急速な進展を踏まえ、足元を見据えたフォアキャストの視点に加え、安全・安心かつスマートで、環境に優しく、持続可能な、未来の鉄道のあるべき姿を見据えたバックキャストの視点の両方から、革新的な技術の創出を目指す。

図1にRESEARCH 2030における鉄道の将来に向けた研究開発プロジェクトを示す。鉄道事業者のニーズや社会動向に応える課題で、鉄道総研の研究開発能力の高い分野や特長のある領域を活かせる課題、総合力を発揮できる課題等に対して、プロジェクト形式の5つの大課題「激甚化する自然災害に対する強靱化」「自動運転の高度化」「メンテナンスの省人化」「鉄道システムの脱炭素化」「シミュレーションによる鉄道固有現象の解明」を設定し、13課題、48研究テーマで実施する。

プロジェクト型の研究開発の他に実用的な技術開発として、鉄道事業の諸課題解決に即効性があり、実用化の波及効果が大きい課題、社会実装を目指す課題を実施する。また、鉄道の基礎研究では、鉄道固有現象の解明等の革新的な技術の源泉となるテーマを実施する。実用及び基礎で単年度200件超を実施していく予定である。

1.3 研究開発の進め方と研究開発のコア技術

研究開発テーマは、目標とロードマップを見据えて設定する。ロードマップは、革新的な技術の源泉とな

る基礎研究から応用開発までをカバーするものとし、最終目標と先導的研究、基盤技術研究、応用技術開発、実用化開発等の研究開発段階毎のマイルストーンを的確に設置し、進捗状況を確認しながら、研究開発をシームレスに推進する。

実用化開発段階等では、革新的な技術を社会実装していくために必要とされる法令や技術基準等の整備の支援に関して、高い専門的知識を持つ研究者が主体的、積極的に関与する。また、国際標準化活動を推進するため、研究開発テーマは、国際規格開発への展開を考慮して設定する。

基本計画RESEARCH 2030では、特に研究開発のコア技術に、重点的にリソースを投入して高度化を図る。

図2に研究開発のコア技術の定義を示す。研究開発のコア技術とは、鉄道の諸課題の本質の追究と解決の原動力となり、研究開発テーマの推進に継続して活用可能で、汎用性が高く、鉄道事業全体に共通利益を生み出す技術である。具体的には、独創的な試験設備等を活用した実験や計測等のフィジカル技術、鉄道固有の理論や知識を反映したシミュレーション技術、評価・予測・判断技術を強化する。

画像解析やAI、プラットフォーム等の社会を変容させる可能性を有する最先端のデジタル技術については、分野横断的に適用の可能性を探るとともに、鉄道総研の強みであるコア技術と融合させることにより、革新的な技術の創造に繋げていく。

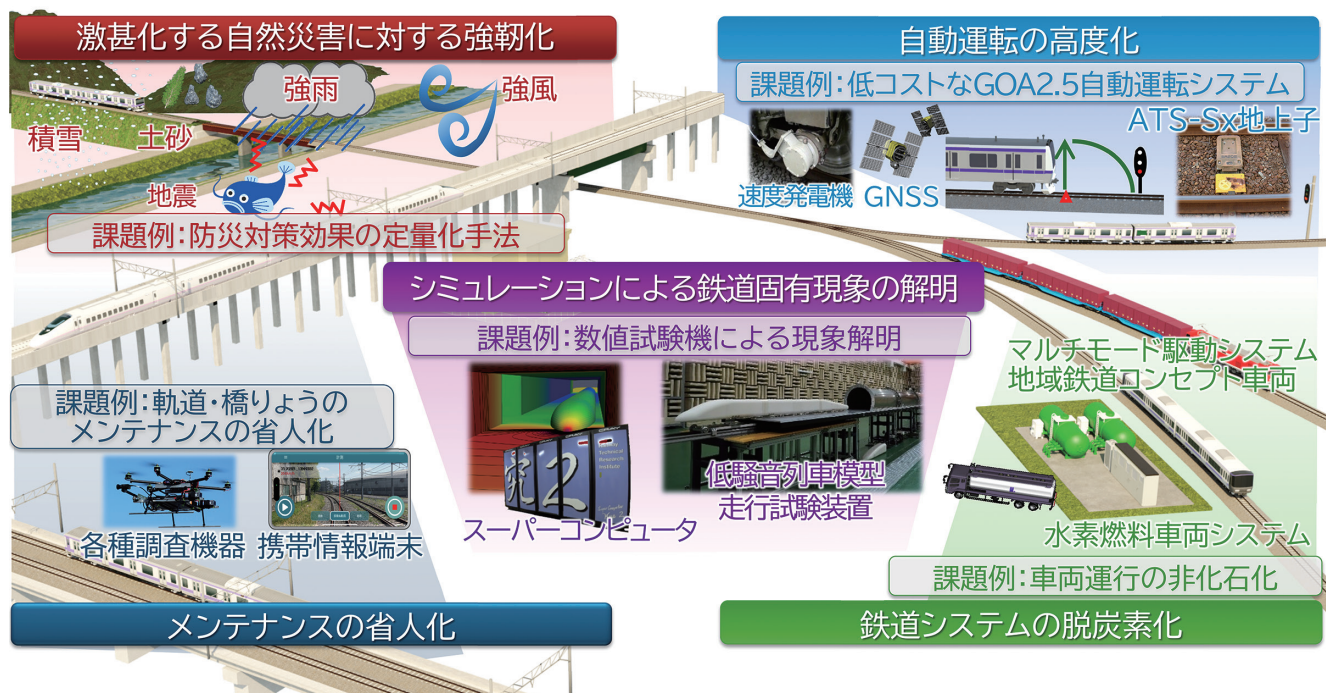


図1 RESEARCH 2030における鉄道の将来に向けた研究開発プロジェクトの例

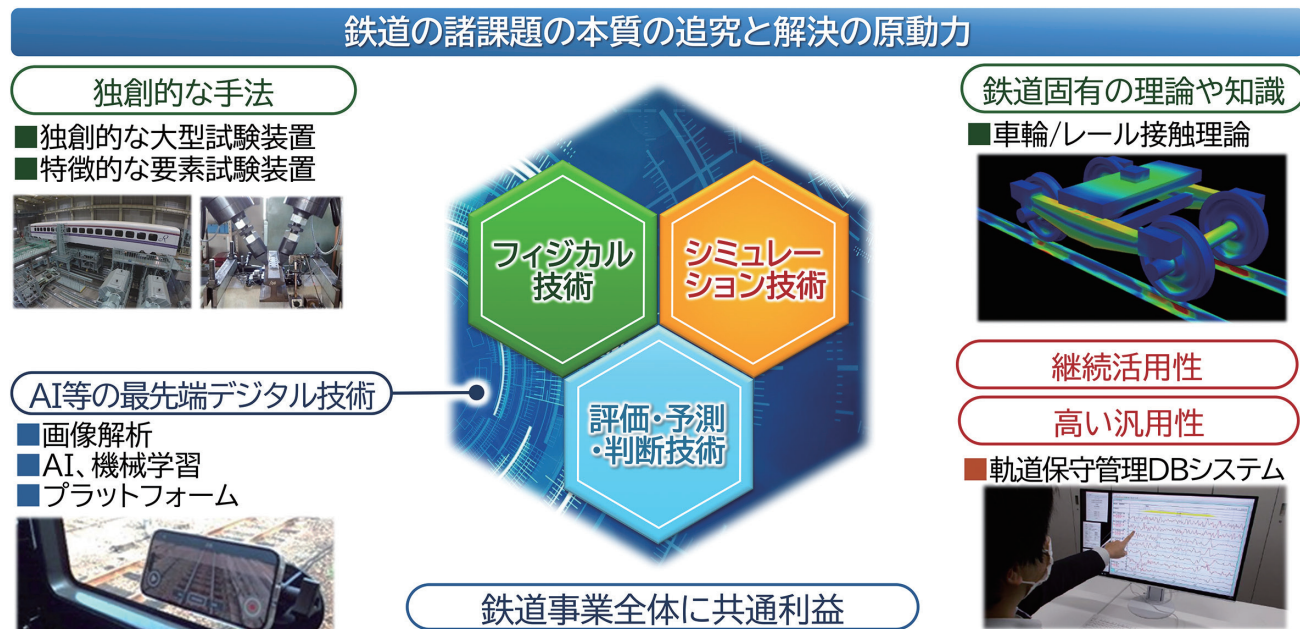


図2 研究開発のコア技術



図3 研究開発テーマと研究開発のコア技術の活用例

1.4 レイルウェイ・トランスフォーメーション

鉄道は今、社会課題の深刻化、顕在化を受けて、大きな変革期を迎えている。未来の鉄道のあるべき姿を実現するために、レイルウェイ・トランスフォーメーションRXというべき、大きな流れが生じている。この中で鉄道は、単に持続可能なシステムを目指すだけでなく、「持続可能な社会を支える存在」に進化していく必要がある。その実現の鍵の一つが、技術開発で

あり、鉄道総研も技術で貢献していく。

以上のような背景から、本稿では、研究開発のコア技術の高度化について論じることとした。

2. 研究開発のコア技術と課題

2.1 研究開発のコア技術の活用例

図3に前基本計画RESEARCH 2025における研究開

発テーマと研究開発のコア技術の活用例を示す。図中には、研究開発のコア技術を赤字で示した。地震時の車両挙動の評価では動的大変形接触シミュレーションが、洗掘被災橋梁の緊急診断法では衝撃振動試験支援システムIMPACTUSといった現場測定やデータ分析技術が、GOA2.5自動運転の開発支援では保安アルゴリズムや技術基準といった理論や知見が、トンネル詳細検査ではプロジェクトマッピングや画像分析を用いた診断システムといった現場測定やデータ分析技術が、超電導き電ケーブルの開発と稼働試験では、大容量の超電導き電ケーブルシステムに対する理論、知見、測定技術が、窓開け走行時の車内換気では空気流シミュレータが活用された^{13)25)・30)}。

2.2 鉄道の諸課題の本質の追求

図4に研究開発のコア技術による本質の追究について示す。鉄道総研の研究開発のコア技術では、研究開発のトレンドを反映して、データ分析技術の頻度が多く、続いてシミュレーション技術が続いている。実験・計測技術は成熟した技術である点等から、細分化された結果となっているが全体としては一定割合を占めている。

これらについて、個々の技術内容を見ながら整理すると、実現現象をどう再現するか、エビデンスデータをどう入手するか、得られたデータをどう分析・評価・考察するかに大別される。

これらを、研究開発の一連の流れ、即ち、新たな理論の提案、検証、社会実装の中で捉えると、研究開発のコア技術においては、データに基づき、新たな理論を考え、実証する「論理性」と、結論を導き、社会実装に繋げる「実践力」が重要であると考えられる。

2.3 研究開発のコア技術の課題

鉄道総研における研究開発のコア技術の高度化について論じる前に、鉄道の研究開発分野の特徴と課題について整理したい。

(1)鉄道の研究開発分野の特徴

成熟産業であり公共大量輸送機関である鉄道では、高いレベルでの安全に対する説明責任を求められる。一方で、膨大な老朽化した社会資本ストックを抱えている。

古くから経験工学として発展してきた経緯から、実証重視の体系であり、鉄道固有問題には本質的に未解明な事例が散見される。

鉄道は、車両、運輸、電力、信号、通信、軌道、構造物等の複雑連成系のシステムであり、異なる学術分野を跨る境界領域の課題も少なくない。取り扱う空間・時間領域もナノからマクロ領域までと幅広い。

(2)研究開発のコア技術の課題

こうした中での課題としては、まず研究体制をどう維持していくかという点が挙げられる。そもそもがニッチな鉄道の研究開発の市場では、専用の研究開発ソフトウェア一つとっても十分という訳ではなく、また、日本全体の産業基盤の縮小により、製品や試験装置の部品供給サプライチェーンが不安定化している。

また、残された諸課題は複雑な異分野横断問題が多く、単独の研究開発のコア技術だけでは解決困難、あるいは解決できたとしても高コストとなることが予想される。AIを始めとする先端技術は、解決策の一つであるが、導入には十分な検証と、特にリスクに対する精査、社会実装のための合意形成とルール作りが必要である。

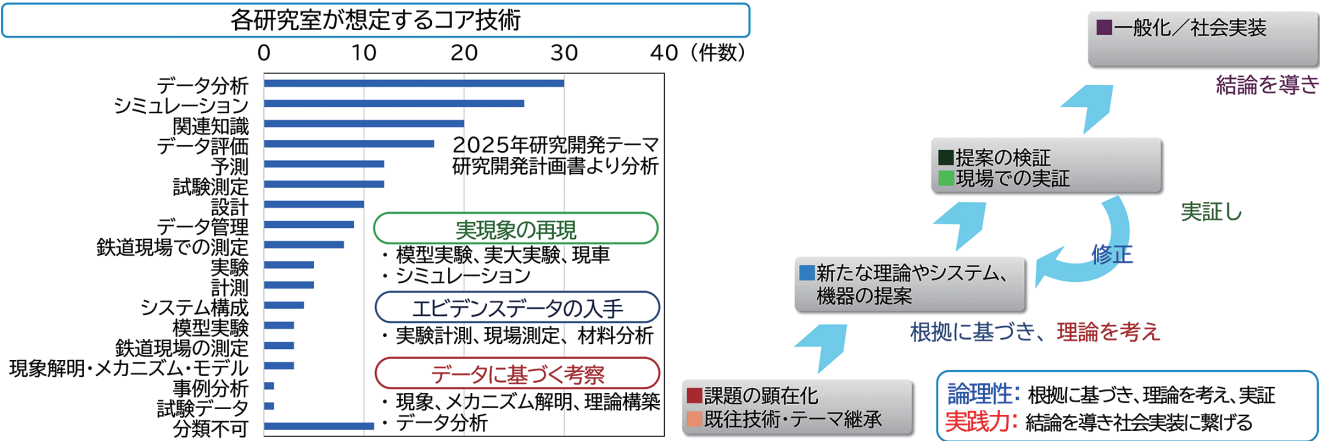


図4 研究開発のコア技術による本質の追究



図5 フィジカル技術の高度化の例

これまでの様々かつ膨大な研究成果や資料の活用性も課題である。過去の研究成果の活用については、進化を続ける生成AIとの親和性を高めていく必要がある。また、鉄道総研は現場を持たないため、研究成果の社会実装に当たっては、研究開発テーマの立案段階から、研究開発のコア技術を用いた体系的なアプローチが必要である。

研究開発のコア技術を取り扱う研究者の不足も課題の一つである。鉄道業界全体としての労働力不足に加えて、大学等における研究トレンドのデジタル分野への急傾倒も懸念材料である。

こうした課題に対する改善の取り組みは、個々に既になされてきているが、鉄道を取り巻く環境は激変しており、時間とリソースの制約はより厳しさを増している。

3. 研究開発のコア技術の高度化

以上を踏まえ、研究開発のコア技術の高度化について、3つの方向性、“Logical Examination” 論理的・実践的な本質探究、“Fusion Promotion” 技術融合の促進、“Knowledge Application” ナレッジの活用、の観点から論じてみたい。また、併せて研究開発のコア技術を活用できる研究者の育成にいても論じることとする。

3.1 “Logical Examination” 論理的・実践的な本質探究

まず、高度化の議論において、全てのベースとなる

フィジカル／シミュレーション／評価の個々の技術の高度化について、論理的・実践的な本質の探究の観点から整理する。

研究開発のコア技術の役割は、表面的な事象やデータの中からその背後にある根本的な概念・原理・機構を解明し、鉄道事業に貢献することにある。

そのためには、論理的な思考力、メカニズムの考察能力を深化させていく必要がある。収集した情報に基づき、何故そのような現象が生じるか等、既存の理論での説明や仮説を立て、新たな理論等に基づく深化したコア技術を構築する。

実事象に近い再現性と、より深い物理現象の探究を実現するために、仮説やコア技術に対して段階的、定量的な構築と検証を行う必要がある。

社会実装に繋がる実践的なブレークスルー技術強化するために、研究プロセスにおけるコア技術の役割を見極め、コア技術の構築の自己目的化を防止し、数値目標を設定して高度化していく必要がある。

(1) フィジカル技術の高度化

実証能力、論理的思考力、メカニズム考察力を向上させるため、再現力、探究力、観察力を強化していく。

具体的には、再現力に関しては、車両試験台を始めとする試験設備等の更新・新設において、速度、振動、温度等の各種実験パラメーターを計画的に拡張していくこと、特に脱線や重要システムの実証で求められる試験車両や所内試験線等のフルスケール試験の能力を整備していく³¹⁾。

探究力に関しては、一連の車輪／レール接触試験装置群を始め特長ある独創的な試験装置について、鉄道固有現象の探究を深度化できるように整備していく。また3.2節で後述するハイブリット実験やデジタルツインも手法として挙げられる。

観察力に関しては、マイクロホンアレイや加速度計等の多点同期計測等の分解能の強化、高速度カメラ、赤外線カメラ、X線カメラ、PIV、LiDAR、ドップラレーダーといった新たな測定装置やその組み合わせの導入を進める³²⁾。

図5にRESEARCH 2030で取り組むフィジカル技術の高度化の例を示す。

総合路盤試験装置では、メンテナンスの省人化に関する諸課題のメカニズム解明に資するために、既存装置の機能の向上を図る。高速走行による軌道の動的応答を再現するため、既存の反力フレームに鉛直アクチュエータを7基設置して、最高速度400km/hのフルスケール移動載荷を可能とする。また、レール直角方向及び長手方向にもアクチュエータを新設し、レール軸力作用下での軌道座屈試験の機能も追加する。

運転シミュレータでは、近年の乗務員業務の変化に対応するため、GOA2.5を始めとした自動運転の機能を付加する。また、自動運転で求められる指令との連携や乗客の避難誘導を再現するため模擬指令卓やVR客室を新設する。更に、乗務員のワークロード評価を可能とするため、模擬仮眠室を設置する。加えて、より定量的な評価を実現するために最新の生体計測機能を追加する。

駅シミュレータでは、駅構内の人の誘導・制御を検証するため、LiDARや画像等の計測装置による効率的で高精度な人流把握環境を構築し、別途構築する駅シミュレータのデジタルツインを活用しながら旅客流動の評価に活用する。また、温熱環境や音環境の再現機能を付加する³³⁾。

地域鉄道コンセプト車両については、地域鉄道の特性に適した脱炭素駆動システムを開発するとともに、自動運転や車上計測の機能もフルスケールで検証可能なコンセプト車両を整備する⁴⁾。

これらの他、既存の大型試験設備の維持・更新ともバランスを取りながら、限られたリソースの中で既存設備を有効活用しながら再現力、探究力、観察力の向上を図る。

(2) シミュレーション技術の高度化

鉄道固有現象、分野横断問題において、メカニズムやパラメータ影響度、複雑条件の解明に資するため、精緻化、異分野連成、高速化・効率化を図る。

具体的には、精緻化に関しては、車輪／レール転がり接触シミュレータ等において、鉄道固有の理論・物理構成則を新たに構築する。あるいは分岐器走行性の評価等において実績のある汎用解析ツールとユーザー定義の構成則の組み合わせ、短期間で信頼性の高い手法を構築する³⁴⁾³⁵⁾。

異分野連成・境界問題に関しては、構造物音の評価等において、異なる複数の物理現象を同時に解くマルチフィジックス解析手法の適用を進める。また、河川橋脚の洗掘評価等において、異なるスケールの現象を

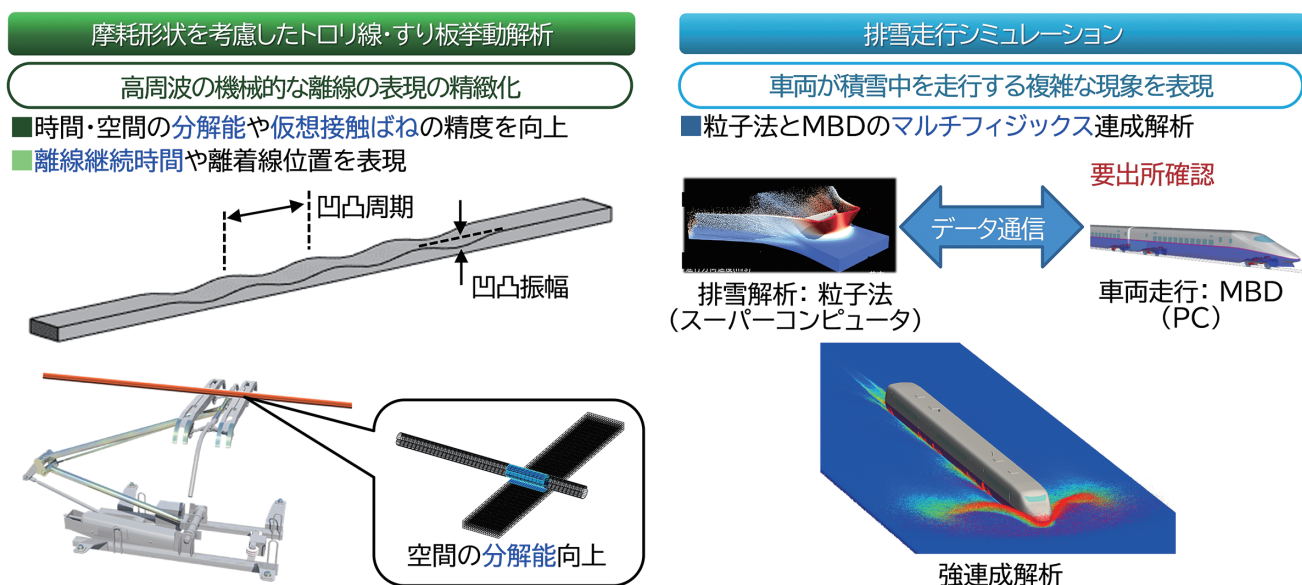


図6 シミュレーション技術の高度化の例



図7 評価・予測・判断技術の高度化の例

効率的に同時に解くマルチスケール解析手法を構築する。実績ある手法を連成させ、複雑な問題に対しても実用的な解を得る³⁶⁾³⁷⁾。

図6にRESEARCH 2030のプロジェクトとして取り組むシミュレーション技術の高度化の例を示す。

摩耗形状を考慮したトリ線・すり板挙動解析では、部材の劣化の要因となる高周波の機械的な離線・再接触に及ぼす、摩耗形状、摩擦、温度等の測定困難なパラメータの影響を定量的に明らかにするために、時間・空間の分解能や仮想接触ばねを精緻化する。また、その妥当性を離線継続時間や離着線位置により検証する³⁸⁾。

排雪走行シミュレーションでは、実験では再現困難な車両が積雪中を走行する複雑な現象を、粒子法によるスノウプラウの排雪解析と、MBD (Multi Body Dynamics) による車両運動解析とを微小な計算時間ステップ毎に相互の影響を考慮して解く、マルチフィジックス解析で表現する³⁹⁾。

高速化・効率化に関しては、計算機の高速化に取り組む。鉄道総研の共同利用スーパーコンピュータはこれまで、8回の更新を実施してきた(平均4年間隔、理論性能向上8倍)。現在のXC50の理論演算性能は821 TFLOPSである⁴⁰⁾。

今回の更新では、CPU機である「Rail Core」(3,100 TFLOPS)とGPU (Graphics Processing Unit) 搭載機である「Rail Synth (Synthesis: 統合)」(4,500 TFLOPS)を整備し、合計7,600 TFLOPSを確保する。

Rail Coreは、内製の鉄道固有ソフトの大規模並列計算の高速化に、Rail Synthは、GPU対応の汎用ソフトや鉄道固有ソフトの移植利用、大規模データを扱う。

(3) 評価・予測・判断技術の高度化

評価技術に関しては、特に前方画像の活用、VR等の先端技術を活用した、状態把握、異常検出、性能評価等に取り組む¹⁴⁾⁴¹⁾⁴²⁾。

要員、需要、作業、劣化等の変化の予測技術に関しては、ARやベイズ推計等の統計的手法、鉄道固有現象に基づく劣化・寿命予測手法の高度化を進める⁴³⁾⁴⁵⁾。

判断技術に関しては、鉄道ダイナミックマップや列車制御アルゴリズムをベースに、自動運転における平常時、故障・障害時の運行判断を自律的に行う手法を構築する。

これらの技術の高度化はAI等の先端技術による進展が著しい分野であるが、鉄道固有問題の技術、知識、経験を生かし社会実装を進める。

図7にRESEARCH 2030で取り組む評価・予測・判断技術の高度化の例として、低コストで省要員・省設備の自動運転システムの開発について示す。

具体的には、基盤技術となる列車の絶対位置検知手法の開発や列車の制御に必要な鉄道ダイナミックマップの高度化を進める。ここで、鉄道ダイナミックマップとは、列車の位置や、障害物、災害、保守等運行に係る情報を集約するシステムである。また、連続的な接続を不要とする非連続通信型の列車制御システムを、これまで培ってきたフェイルセーフ技術を駆使して構

築する。マルチベンダー化、サイバー攻撃耐性、公衆回線利用、省設備化を考慮したシステム構築を行っていく。更に、運転士の目視代替・支援のための前方認識技術や自動係員の行動や心理・生理特性の評価法についても検討を進める。これらを通して、総合的な安全確保の機能要件を整理し、社会実装に必要な技術基準等の整備を支援する¹⁵⁾⁴⁶⁾⁴⁹⁾。

地域鉄道等の一般路線への自動運転システムの広範な普及を目指し、要素技術の開発を進める。

3.2 “Fusion Promotion” 技術融合の促進

次に、2つめの高度化の方向性である技術融合の促進について述べる。単独技術での深度化では求解困難な問題や、時間とリソースの制約に対して、技術融合により求解力の向上と効率化を図り、研究開発のコア技術の高度化を加速させる。

具体的には、車両、電気、信号、軌道、構造物といった異なる分野、シミュレーションやフィジカル、評価技術といった異なる技術に加えて、社会を変容させる力を持った最先端のAI技術との融合を推進し、求解力を向上させる。

また、情報交換や研究費、要員の分担、試験設備の機能の補完等の組織間の枠を越えた相互支援、相互補完を推進して効率化を図る。

課題の早期解決のために、必要なコア技術を見極めるとともに、融合による波及効果を事前に確認し、戦略的に技術融合を進めていく。

(1) フィジカル／シミュレーション／評価技術の融合

フィジカルとシミュレーションとの融合としては、例えば、数値計算では評価が困難な一部の軟弱地盤の特性を試験に置き換える地盤応答のハイブリッド実験や、実パンタグラフ試験と架線シミュレーションとをリアルタイム制御で連成させるHILS (Hardware In the Loop Simulation) の構築に取り組んでいる。試験設備をデジタル空間上に再現するデジタルツインの構築も進めている⁵⁰⁾⁵¹⁾。

評価とフィジカルとの融合としては、例えば、次世代振子システムでは、乗り心地の評価に関する知見と、自列車位置検知や振子アクチュエータの制御法とを組み合わせたシステムを構築するとともに、現在、既存車両に適用できるシステムの開発も進めている⁵²⁾。

評価とシミュレーションとの融合としては、例えば気象観測の評価データと、太陽の動きや熱収支・熱伝導シミュレーションとを組み合わせた軌道温度の評価手法が挙げられる⁵³⁾。

図8にRESEARCH 2030で取り組む、フィジカル技術とシミュレーション技術の融合の例、数値試験機による鉄道固有問題の現象解明の例を示す。鉄道総研の特長ある試験設備をデジタル空間上に再現しメカニズム解明に活用する。

大型低騒音風洞では、横風走行安全性の評価を目的として、自然風の数値計算モデルの構築等を進め、複雑な車両形状やビル、高架橋といった風洞では困難な条件を再現する⁵⁴⁾。

低騒音列車模型走行試験装置では、列車のすれ違い等の評価を目的として、計算モデルを構築し、装置で

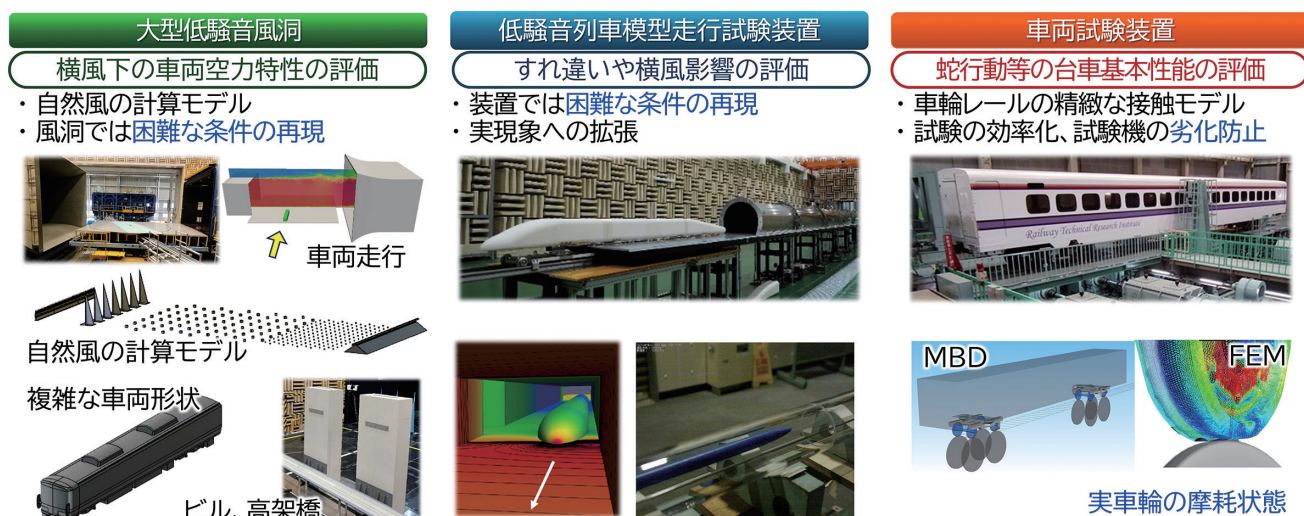


図8 フィジカル技術とシミュレーション技術の融合
数値試験機による鉄道固有問題の現象解明

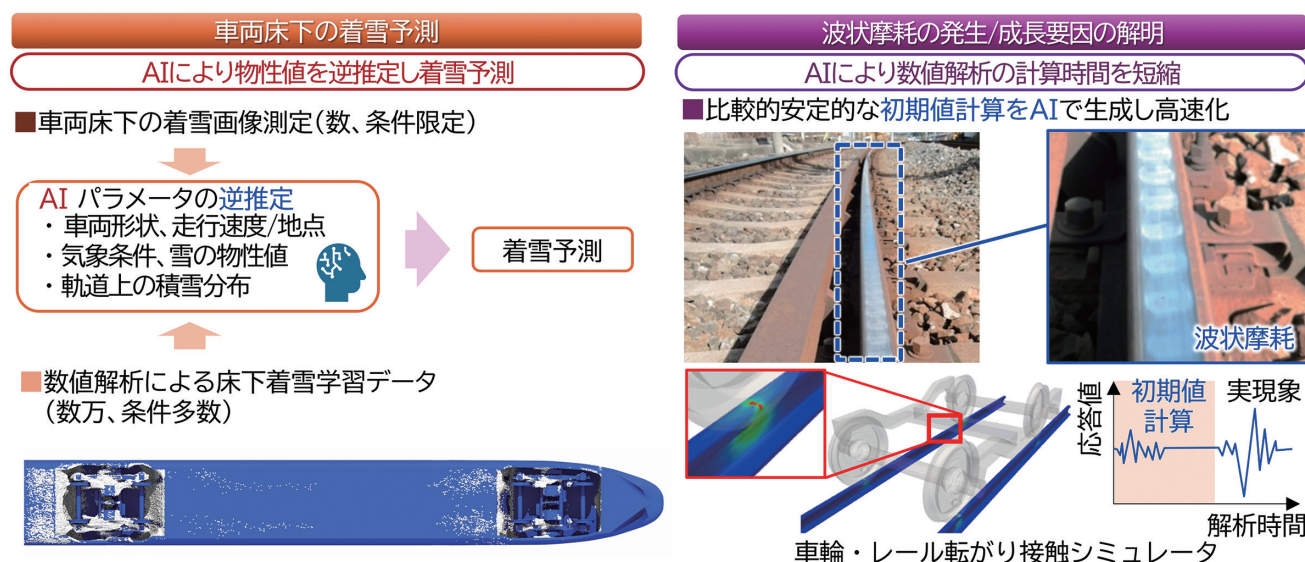


図9 シミュレーション技術とAI技術の融合

は困難な双方向走行等の条件を再現する。

車両試験装置では、蛇行動等の台車の基本性能の評価を目的として、実際の車輪の摩耗状態等を考慮できる車輪レールの精緻な接触モデルを用いて、試験の効率化とFEM解析による蛇行動現象の再現を目指す³⁶⁾。

(2) 鉄道レガシー技術とAI技術の融合

技術融合の促進で欠かせないのが、AI技術との融合である。世界規模のIT企業が強力にAI開発を推進する中で、その鉄道事業への適用が急速に進んでいる。この際、研究開発のコア技術だけでなく、鉄道事業全般で使用されてきた、様々なレガシー技術を活用していくことが重要である。

大規模言語モデルLLMに関しては、研究分野以外でも適用が進んでいるが、鉄道総研においても、人間科学分野の安全教育等のテーマで活用を進めている。

フィジカルAIに関しては、昨年度の鉄道総研講演会で取り上げたが、自動運転や保守管理分野での研究に取り組んでいる¹³⁾¹⁴⁾。

シミュレーションの分野でもAIとの融合が進んでいる⁵⁵⁾。

図9にRESEARCH 2030で取り組むシミュレーションとAIの融合の例について示す。

車両床下の着雪予測方法では、除雪作業の省人化を目的として、AIによる着雪予測を行う。実際の撮影画像の数や条件は限定されるため、パラメータを同定して一般化していくことは困難である。そこで、事前に数値解析により数万単位の画像データを用意し、AIにより車両形状や走行速度、気象条件、雪の物性、

積雪分布等のパラメータを逆推定して、着雪予測を行う方法を開発する⁵⁶⁾。

鉄道固有問題である波状摩耗の発生／成長要因の解明では、レールのメンテナンスの省人化を目的として、AIによる数値解析の高速化を進める。計算に用いる車輪レール転がり接触シミュレータは、計算時間が莫大であるため、比較的安定的な初期計算の領域をAIで生成する手法を開発する³⁴⁾⁵⁷⁾。

鉄道の公共機関としての安全に対する説明責任や実証重視という点を考慮すると、AIシステムのV&V (Verification & Validation) も研究開発のコア技術に課せられた役割であると考ええる。

(3) 他研究機関、鉄道事業者、メーカーとの連携

連携の最も重要な目的は、技術力の向上であり、最先端の技術を習得し、新たなアルゴリズムの構築等に繋げていく必要がある。

もう一つは相互補完による研究開発の効率化である。鉄道総研は、現地試験に関しては鉄道事業者に、物創りに関してはメーカー等に依存している。また、他機関の試験設備との相互補完も重要で、例えば鉄道総研にない試験設備の機能やパラメータ範囲について共同研究等を実施して積極的に活用する。

鉄道総研は2025年度、84件の共同研究、6件の委託研究、7件の包括共同研究契約を実施しているが、これらを通じて、最先端の技術の習得に努め、高度化を進めていく。

図10に他機関との連携の例として海外共同研究の事例を示す。

フランス国鉄SNCFとの共同研究では、30年間で、87件の共同研究、情報交換を実施してきた。例えば、電車線保守の効率化を目指した共同研究では、架線解析とパンタグラフ解析との連成解析法の構築等を実施しており、RESEARCH 2030でも継続して精度向上を図っていく。

バーミンガム大学との共同研究では、PCまくらぎの衝撃挙動に関する数値実験法を習得した。これらの知見は、国際規格の審議に活用した他、前方画像によるAI判断の基準としても活用されている⁵⁸⁾。

3.3 “Knowledge Application” ナレッジの活用

続いて、3つ目の高度化の方向性である、ナレッジの活用について述べる。本稿でいうナレッジとは、鉄道の研究開発に関連する知識・ノウハウを指す。例えば、様々な設計・図面情報、事故情報等は、その代表的なものである。また、研究開発の成果等から生まれた、技術基準や車両、設備そのものもナレッジといえ、形式知だけでなく、暗黙知も含まれる。研究開発のコア技術にもナレッジは内包されている。

ナレッジを有効活用するためには、記録の蓄積と資産化や再活用を進める必要がある。

記録の蓄積と資産化については、過去情報や出版物のデジタル化・機械可読化を推進し、生成AIとの親和性を高めていく。研究成果や資料は膨大であるが、それらを体系的に再活用する仕組みは十分ではない。

鉄道技術情報DBやメンテナンス情報を集約した維持管理DB、事故情報を集約した鉄道安全DB等の情報プラットフォームを活用し、鉄道業界全体の資産であるナレッジを高度に活用できる枠組を構築していく。

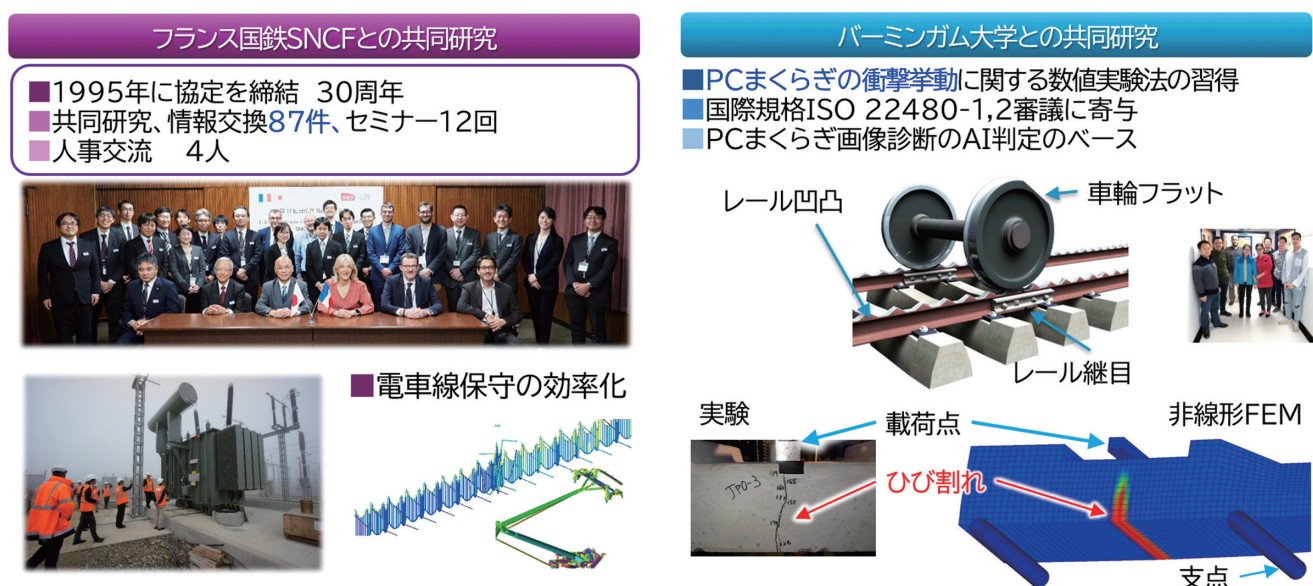
再活用では、ナレッジ活用によりコア技術を高度化し、その高度な成果を誰もが使用できるような形で一般化、ナレッジ化し、更にそれをベースに研究開発のコア技術の高度化に再活用してステップアップしていく。

図11にナレッジの再活用の例として、構造物の技術基準の例を示す。許容応力度法、手引きや実設計図面等のナレッジをベースとして、部材の状態評価や載荷実験、計算機設計CAE等のコア技術が強化され、限界状態法や静的解析による設計法がナレッジとして社会実装された。これをベースとして性能評価や大型振動台、高度シミュレーション等がコア技術として発展し、現在では性能照査法や動的解析による設計法がナレッジとして社会実装されており、一方でBIM/CIMや生成AIの活用等の研究開発が進められている⁵⁹⁾⁻⁶⁵⁾。

3.4 コア技術を有効活用できる研究者の育成

研究開発のコア技術を有効活用するためには、表面的な事象やデータの中から、その背後にある根本的な概念・原理・機構を解明し、鉄道事業への貢献に繋げることができる研究者が必要である。

そのためには、試験装置や分析装置を使いこなし、



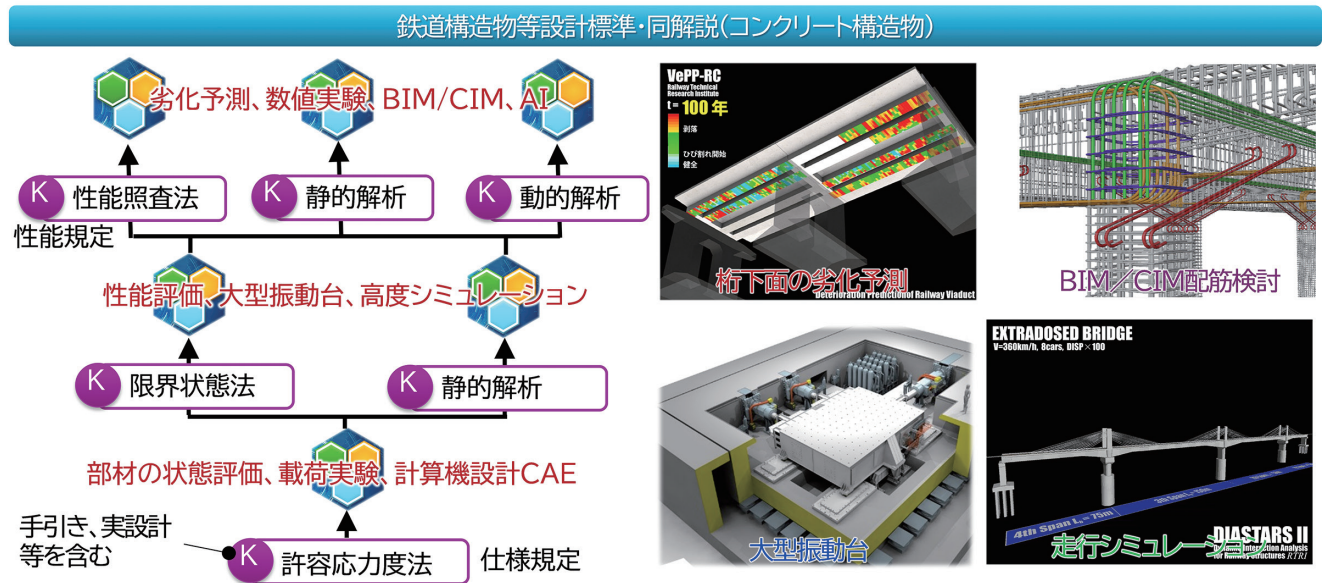


図11 ナレッジの再活用事例

高度な数値解析を行い、結果を読み解く力等を鍛え、全てのベースとなる本質を探究する能力を強化することが重要である。また、鉄道事業者への出向や現地試験等を通して、土木の技術基準や車両の構造等の研究対象の本質を見極める専門知識を習得していく必要がある。更に鉄道事業を理解し、ロードマップ、ゴール、必要な研究開発のコア技術を選択し、社会実装に繋げていく能力が必要である。

論理的に思考し仮説を立て検証・実証し社会実装に繋げられる人材を育成する。

4. 持続可能な未来の鉄道のあるべき姿の実現

レイルウェイ・トランスフォーメーションRXというべき、大きな変革の流れの中で、鉄道が直面する課題は多岐にわたり、従来の枠組では解決が困難な課題が山積している。研究開発のコア技術は、こうした諸課題を乗り越え、持続可能な鉄道システムを創造する鍵となる。本稿では、研究開発のコア技術の高度化について3つの方向性から論じた。

(1) “Logical Examination” 論理的・実践的な本質探究

論理的な思考力やメカニズム考察能力を深化させるとともに、実事象に近い再現性とより深い物理現象の探究を実現し、社会実装に繋がるブレークスルー技術を強化する。再現力、探究力、観察力、計算機環境の

観点から全てのベースとなる個々の技術を高度化する。

(2) “Fusion Promotion” 技術融合の促進

異分野、異技術、AI等との技術融合で新たな技術を創造するとともに、組織の枠を越えた技術の相互補完等により、単独技術の深度化では解決困難な問題に対し、求解力を向上させるとともに、効率化を図り、コア技術の高度化を加速する。

(3) “Knowledge Application” ナレッジの活用

ナレッジをコア技術の高度化に有効活用するため、鉄道業界全体の資産であるナレッジを高度に有効活用するための枠組を構築するとともに、AIとの親和性を高めていく。その再活用により、研究開発のスピードアップと成果の品質向上を図る。

鉄道総研は、これらの取り組みにより、鉄道を「持続可能な社会を支える存在」へと進化させるために、技術で貢献していきたいと考えている。

本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

参考文献

- 1) 国土交通省：「令和元年東日本台風」による被害状況，図 I -0-1-3 地球温暖化の影響が評価された異常気象による気象災害，国土交通白書2022
- 2) 布川修：激甚化する気象災害に対する鉄道の強化，RRR，Vol.82，No.4，pp.10-17，2025
- 3) 国土交通省 気象庁：日本の年平均気温偏差の経年

- 変化, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html
- 4) 長谷川均：鉄道運行エネルギーの脱炭素化, RRR, Vol.80, No.4, pp.8-13, 2023
- 5) 国土交通省:水素燃料電池鉄道車両等の安全性検証検討会:水素燃料電池鉄道車両等の安全性検証検討会とりまとめ, 2024
- 6) 高重達郎, 奥野敬太, 荒川貴裕, 岡部彰人：次世代バイオディーゼル燃料を用いた実証試験, JREA, Vol.67, No.9, pp.11-14, 2024
- 7) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口（令和5年推計）の概要, https://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2023/pp2023_gAIyou.pdf
- 8) 内閣府政策統括官（経済財政分析担当）：2023年度日本経済レポートーコロナ禍を乗り越え、経済の新たなステージへー, 2024, https://www5.cao.go.jp/keizAI3/2023/0213nk/pdf/n23_5.pdf
- 9) 厚生労働省：労働経済動向調査, <https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/43-1.html>
- 10) 政府統計の総合窓口(e-Stat)：労働経済動向調査, <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&toukei=00450072&tstat=000001018522>
- 11) 小湊鉄道株式会社：一部ダイヤ減便のお知らせ, 2024
- 12) 東日本旅客鉄道：ダイヤ改正における終電時刻の繰り上げなどについて, 2020
- 13) 新井英樹：自動運転の高度化, 第37回鉄道総研講演会, 2024, https://www.rtri.or.jp/events/kouen/bugud900000000opv-att/37abstract_ippan4.pdf
- 14) 桃谷尚嗣：軌道分野の省人化技術, 第37回鉄道総研講演会, 2024, https://www.rtri.or.jp/events/kouen/bugud900000000opv-att/37abstract_ippan2.pdf
- 15) KDDI Smart Drone：全国初！鉄道営業線内で「遠隔自動飛行」に成功～「鉄道の線路点検×スマートドローン」災害時初動対応等を見据えた技術実証実験, <https://kddi.smartdrone.co.jp/column/5377/>
- 16) 神戸電鉄：ドローンを活用した、鉄道構造物の維持管理に係るコスト低減および安全性向上に関する検証, <https://www.niro.or.jp/pdf/2021drone/01shintetsu.pdf>
- 17) 東急電鉄株式会社：鉄道事業における点検・検査業務に四足歩行ロボットを導入する技術検証を開始～安全で安心な移動の持続的提供を目指し、点検・検査業務の高度化・効率化を推進します～, 2025, <https://www.tokyu.co.jp/company/news/detAI/55641.html>
- 18) 内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局：量子未来社会ビジョン～量子技術により目指すべき未来社会ビジョンとその実現に向けた戦略～, 2022, https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/ryoshi_gAIyo_print.pdf
- 19) 富士通株式会社・理化学研究所：世界最大級の256量子ビットの超伝導量子コンピュータを開発ーハイブリッド量子コンピューティングプラットフォームの量子ビット数を4倍に増強し、計算能力を拡大ー, 2025, https://www.riken.jp/pr/news/2025/20250422_1/index.html
- 20) SoftBank：AGI(汎用人工知能)とASI(人工超知能)とは？従来のAIとの違いも解説, <https://www.softbank.jp/biz/blog/business/articles/202310/what-is-agi/>, 2024.6.24更新
- 21) AI総合研究所：AI(人口知能)の種類は？その分類・仕組みから、メリットや活用例も解説, <https://www.AI-souken.com/article/AI-types-introduction>
- 22) 国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター：フィジカルAIシステムの研究開発ー身体性を備えたAIとロボティクスの融合, 2025, <https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2025/SP/CRDS-FY2025-SP-01.pdf>
- 23) 公益財団法人鉄道総合技術研究所：基本計画ー持続可能な鉄道システムの創造ーRESEARCH 2030 (2025年度～2029年度), 2024, https://www.rtri.or.jp/rtri/is5f1i0000004zpt-att/2025_RESEARCH2030.pdf
- 24) 曾我部正道：RESEARCH 2025の研究開発成果と今後の取り組み, RRR, Vol.82, No.4, pp.4-9, 2025
- 25) 葛田理仁, 飯田浩平：地震時の大変位挙動までの車両運動シミュレーション, Rollingstock & machinery, Vol.33, No.7, pp.27363-27366, 2025
- 26) 後藤恵一, 飯田浩平, 徳永宗正：脱線後までを考慮した編成車両の地震時挙動の解析手法, 鉄道総研報告, Vol.38, No.9, pp.1-7, 2024
- 27) 中島進, 佐名川太亮, 小松灯, 横山大智：洗掘で被災した河川橋りょうの残留支持力の推定法, 日本鉄道施設協会誌, Vol.62, No.10, pp.47-49, 2024

- 28) 清水達貴, 仲山貴司, 三輪陽彦, 大原勇, 石井貴大, 野城一栄: トンネル検査時要注意箇所投影装置の検証, トンネル工学報告集, Vol.33, 2023
- 29) 福本祐介, 小林祐介, 荒井有気, 富田優: 超電導き電システムを利用して鉄道の電力を供給する, RRR, Vol.78, No.1, pp.8-11, 2021
- 30) 中出孝次, 高垣昌和: 走行時の鉄道車両の窓開けによる車両換気効果の数値シミュレーション, 第34回数値流体力学シンポジウム講演論文集, D05-1, 2020
- 31) 国土交通省・鉄道総合技術研究所: 急曲線における低速域での乗り上がり脱線等の防止に関する検討会報告書, 2004
- 32) Uda,T., Akutsu,M., Kawaguchi,T. and Ogata,Y., "Sound source distribution of high-speed trains and reduction of aerodynamic bogie noise," INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, InterNoise22, Glasgow, Scotland, pp.3709-3716, 2022
- 33) 柴田宗典, 石突光隆, 対馬銀河: 動画解析と数理最適化モデルを用いた鉄道駅構内における分布交通量の推計手法, 日本建築学会計画系論文集, Vol.88, No.803, pp.56-67, 2023
- 34) 坂井宏隆, 齋藤理沙, 高垣昌和: 実軌道の不整を考慮する車輪・レール転がり接触解析手法の開発, RRR, Vol.81, No.5, pp.40-45, 2024
- 35) 清水紗季, 塩田勝利, 山本智之, 及川裕也: 合成まくらぎ直結分岐器における固定クロッシングの損傷に関する基礎検討, 第26回鉄道工学シンポジウム論文集, pp.209-216, 2022
- 36) 渡辺勉, 宇田東樹, 阿久津真理子, 清野多美子: 数値解析によるRCラーメン高架橋における構造物音の部材別寄与度の定量化, 鉄道総研報告, Vol.39, No.6, pp.35-41, 2025
- 37) 石井秀憲, 室谷浩平, 中出孝次: 水流中の3次元土砂の移動に基づいた河川橋脚周りの局所洗掘解析手法, 鉄道総研報告, Vol.37, No.4, pp.9-15, 2023
- 38) 小山達弥, 長尾恭平, 池田充: 架線・パンタグラフの三次元シミュレーション, 鉄道総研報告, Vol.34, No.9, pp.5-10, 2020
- 39) 室谷浩平, 秋山裕喜, 高垣昌和: 汎用マルチボディダイナミクスソフトウェアを用いた鉄道車両の排雪走行シミュレーション, 計算工学講演会論文集, Vol.30, D-06-04, 2025
- 40) 林雅江, 室谷浩平: スーパーコンピュータ, RRR, Vol.75, No.6, p.38, 2018
- 41) 鈴木大輔, 菊地史倫, 小池隆治: 運転士の視線配分データフィードバックシステムの開発, 鉄道総研報告, Vo.38, No.11, pp.71-77, 2024
- 42) 田中博文, 趙博宇, 蘇迪, 長山智則: 携帯情報端末を活用した低コストな列車巡視支援方法の開発, 鉄道総研報告, Vol.39, No.1, pp.21-27, 2025
- 43) 加藤怜, 中東太一, 小久保達也: 要員数最小化を目的とした乗務員運用計画の自動作成手法, 鉄道総研報告, Vol.39, No.3, pp.47-53, 2025
- 44) 川西智浩, 岩田直泰, 坂井公俊, 山本俊六, 室野剛隆, 青井真: 鉄道用地震情報公開システムによる沿線の揺れ・被害の把握, 日本地震工学会誌, No.36, pp.21-24, 2019
- 45) 藤田浩由, 椿健太郎, 高崎建, 往古直之: 使用環境センシングによる信号用電子機器の寿命予測手法, 鉄道総研報告, Vol.36, No.8, pp.37-44, 2022
- 46) 影山暁, 長峯望, 吉野純樹: 前方監視のためのカメラとセンサを用いた支障物検知法, 鉄道総研報告, Vol.38, No.2, pp.1-7, 2024
- 47) 太田佑貴, 祇園昭宏, 西本翔, 桜井勇輝: 自律運転に向けた沿線・車両状態情報に基づく運行リスク評価手法, 鉄道総研報告, Vol.38, No.3, pp.43-48, 2024
- 48) 北野隆康, 熊澤一将, 藤田浩由, 杉山陽一: 車上主体の自律型列車制御システムの開発
- 49) 鉄道における自動運転技術検討会: 鉄道における自動運転技術検討会とりまとめ, 2022.9, <https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001512132.pdf>
- 50) 鈴木聡, 井澤淳, 豊岡亮洋, 小島謙一: ハイブリッド地盤応答試験による土の変形特性試験方法の検討, 第53回地盤工学研究発表会, 2018
- 51) 小林樹幸, 小山達弥, 原田智: 高速パンタグラフ試験装置を用いた集電系ハイブリッドシミュレーション手法, 鉄道総研報告, Vol.35, No.12, pp.47-52, 2021
- 52) 風戸昭人, 真木康隆: 次世代の振子制御システム, R & m, Vol.33, No.6, 2025
- 53) 浦川文寛, 渡辺勉, 木村成克: GISデータを使用した広域レール温度予測法, 鉄道総研報告, Vol.34, No.4, pp.53-59, 2020
- 54) 野口雄平, 中出孝次: 横風空力特性に関する風洞試験を模擬した数値シミュレーション, 鉄道総研報告, Vol.31, No.9, pp.11-16, 2017

- 55) 加藤正大, 山本健斗, 大石篤哉: Isogeometric解析における局所接触探索への深層学習への適用, 第30回計算力学講演会講演論文集, 日本機械学会, 2017
- 56) 室谷浩平, 中出孝次, 鎌田慈: 降雪地帯を走行する鉄道車両への着雪を再現する着雪シミュレータの開発, 鉄道総研報告, Vol.36, No.7, pp.59-68, 2022
- 57) 網干光雄, 田中博文, 梶原和博: レール波状摩耗の発生メカニズムを解明する, RRR, Vol.78, No.2, pp.8-11, 2021
- 58) 後藤恵一: バーミンガム大学との共同研究, RRR, Vol.76, No.4, pp.16-19, 2019
- 59) 国土交通省監修・鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物設計標準・同解説-コンクリート構造物-, 丸善出版, 2004
- 60) 国土交通省監修・鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物設計標準・同解説-コンクリート構造物-, 丸善出版, 2023
- 61) 館山勝: 大型振動試験装置, RRR, Vol.47, No.11, p.47, 2008
- 62) 宮本岳史, 松本信之, 曾我部正道, 下村隆之, 西山幸夫, 松尾雅樹: 大変位軌道振動による実物大鉄道車両の加振実験, 日本機械学会論文集(C編), Vol.72, No.706, pp.1849-1855, 2005
- 63) 曾我部正道, 松本信之, 金森真, 涌井一: エクストラードロード橋の衝撃係数・列車走行性とその可視化, 鉄道力学論文集, No.10, pp.25-30, 2006
- 64) 轟俊太郎, 渡辺健, 田所敏弥, 岡本大: 目視に基づくRC構造物の鉄筋腐食速度の推定法, 鉄道総研報告, Vol.32, No.2, pp.11-16, 2018
- 65) 小西亮太, 渡辺健: BIM/CIM モデルを活用した鉄道RCラーメン高架橋の設計手法, 鉄道総研報告, Vol.39, No.9, 2025

車両・電気分野における研究開発のコア技術の高度化

車両技術研究部長
瀧上 唯夫



1. はじめに

少子高齢化等による生産年齢人口の減少は、輸送需要の減少に加え、労働力不足などの形で鉄道事業に影響を及ぼすと想定され、車両・電気分野では、近い将来、特に保守作業に従事する技術員や運転士の不足、熟練技術の継承などの課題が顕在化することが懸念される。また、近年は社会や乗客からの安全性、利便性への期待が高まっていることに加え、自動運転や脱炭素化の実現をめざした取り組みも強く求められている。

本講演では、上記のような背景のもとで、持続可能な鉄道システムを実現するために必要不可欠となる研究開発のコア技術について、車両・電気分野に着目してその概要や事例を紹介するとともに、高度化による諸課題の解決に向けての取り組みについて述べる。

2. 研究開発におけるコア技術と課題

2.1 コア技術の実例

車両・電気分野（本講演では、信号、電力分野を総称して電気分野と呼ぶ）におけるコア技術は多岐にわたるため、紙面の都合上ごく一部となるが、その実例を基調講演で示された「フィジカル技術」「シミュレーション技術」「評価・予測・判断技術」に該当するものに分類して図1に示す。

2.2 コア技術高度化の方向性と課題設定

先述の諸課題の解決に向けて種々の技術開発が進められている中で、鉄道総研は様々な立場で研究開発に携わることが考えられるが、外部機関と役割分担あるいは連携しつつ、持続可能な鉄道システムの創造に貢献していくことが重要である。

基調講演では、そのためのコア技術の高度化の方向性として図2の3項目が示されているが、本講演では車両・電気分野で鉄道総研が果たすべき役割として、より具体的に以下のような課題を設定して議論することとする。

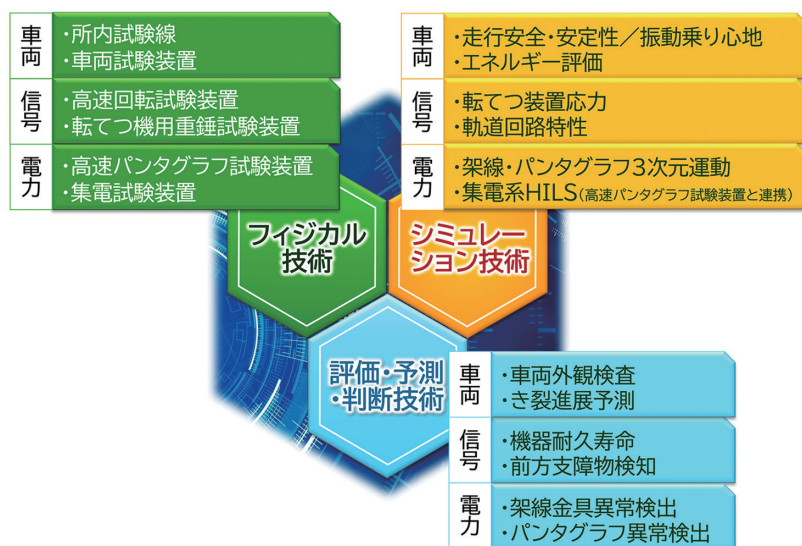


図1 コア技術の分類と例



図2 コア技術高度化の方向性

- ①鉄道固有問題では実証が重視されるため、試験装置等における事前検証にあたって、実現象の再現性確保が重要となる。
- ②経験・実績に基づく業務や基準等について、論理的な根拠の提示や、定量的な評価に基づく一般化が求められる。
- ③車輪／レール、パンタグラフ／架線など連成問題が多く、異なる分野間が連携した対応が必要となる。
- ④実験、シミュレーション手法それぞれの高度化による課題解決には限界があり、両手法の組み合わせによるブレイクスルーが必要となる。
- ⑤これまで蓄積した各種経験や知見とコア技術を組み合わせ、自動運転や脱炭素化の実現をはじめとした喫緊の社会的要請に応える必要がある。

これらの課題認識は従来からあり、既に解決に向けて取り組んできたところであるが、リソースが限られている中で、以前にも増して研究開発成果の創出にスピードが求められていることを踏まえ、ここであらためてこれらの課題の解決に資するコア技術の高度化について検討することとした。

次章ではその取り組みについて述べるが、その際、基調講演で示された高度化の方向性(図2)との対応を、節のタイトルの末尾に、それぞれの先頭文字【L】、【F】、【K】を付すことで表す。

3. コア技術の高度化

3.1 事前検証における実現象の再現性向上【L】

前述の課題①に対応し、コア技術の分類として挙げた「フィジカル技術」の高度化に該当する事例として、2025年度にしゅん功した「車輪・レール接触試験装置」の活用について紹介する。

車輪がレール上を転動して走行するという基本的な

構造は、鉄道が実用化されて以来不変であり、車輪・レールの接触特性は、脱線、空転・滑走、摩耗、きしり音など、鉄道固有の多くの現象と密接に関係している。

鉄道総研は、図1に取り上げた以外にも特色ある試験装置を多く保有しており、車輪・レールの接触に関連するものに着目しても、図3(a)に示す通り多岐にわたる¹⁾。これらは、スケールや対象とする現象が発生する走行速度等に応じ、相互に補完して活用されているが、試験片または実部品を軌条輪に接触させて回転を発生し、そのときの特性を取得するものが一般的である。

これに対し、車輪・レール接触試験装置(図3(b))は、実物の車輪・レールを接触させ、荷重・変位制御、アタック角を設定した試験を実施できることが特徴である。実走行状態の「再現性」が向上したことにより、摩擦係数、接触位置、圧力分布を測定することで、以下のような検討に活用することが可能となる。

- ・摩耗形状を考慮した接触現象解明(脱線に対する安全性向上)
- ・車輪、レールの初期摩耗・変形進展の模擬(メンテナンスの省人・省力化)
- ・増粘剤／潤滑剤・摩擦調整剤の性能評価(空転・滑走防止による安定輸送／きしり音抑制による環境調和)

今回は車輪・レール接触試験装置を紹介したが、その他の特色ある試験装置も活用し、事前検証における再現性確保を図り、妥当性確認を経て、新技術等の社会実装推進に貢献していきたいと考えている。

3.2 論理的根拠・一般化された対策の提示【L】

続いて、前述の課題②に対応し、コア技術の分類として挙げた「シミュレーション技術」の高度化の事例として、転てつ装置のフロントロッド部の応力解析について紹介する。

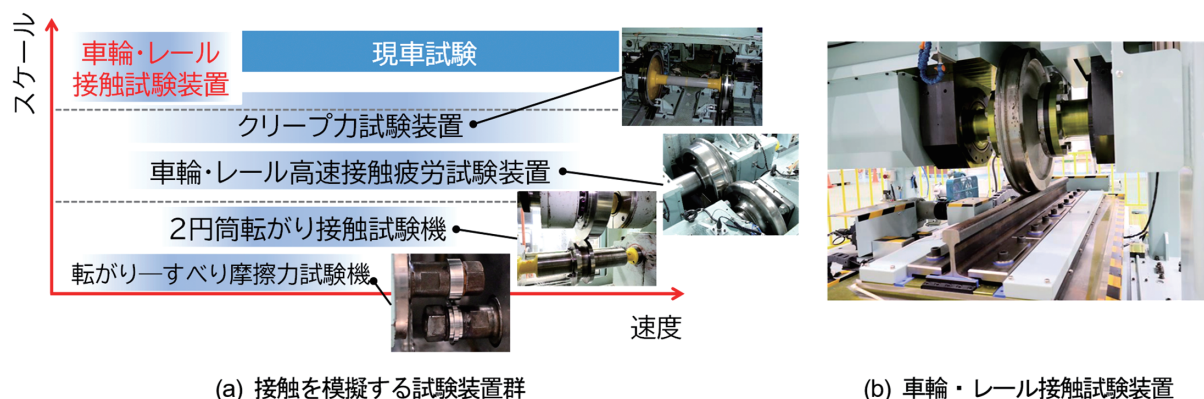


図3 車輪・レールの接触を模擬する試験装置群と車輪・レール接触試験装置

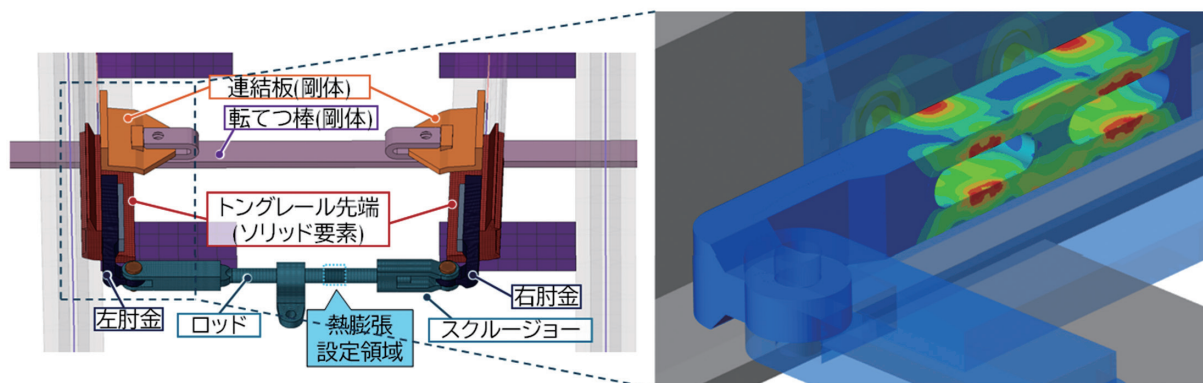


図4 転てつ装置のモデルと応力解析結果例

フロントロッドの折損は転換不良を引き起こす場合があります、これまで形状や使用材料の見直しなどの改良が進められてきたが、近年でも一定数の発生がみられる。現地調査等により、折損は主にフロントロッドの一部である肘金部分で発生すること、特に関節分岐器内のうち、高速で列車が通過する箇所が発生しやすいなどの傾向が明らかになっていたものの、原因特定や対策は個別に行われており、一般化には至っていなかった。

これに対して、折損部位である肘金に発生する応力に着目した解析結果に基づいて一般的な折損原因を解明するとともに、それを踏まえた折損防止対策の提案に取り組んだ。作成した応力解析モデルと、その結果例を図4に示す。

解析により、肘金表面の長穴周辺に応力が集中する部位が存在することがわかった。また、接着不良の解消のために左右間隔を伸ばした条件では、当該部位の応力が増大する場合があります、左右間隔を適切に調整することが応力集中の解消、折損防止に有効であることなども明らかにし、これをもとに、一般化された保守方法や交換周期の提案などが可能となった²⁾。

本結果は、シミュレーション技術を活用することで、メカニズムの考察から、一般化された対策立案につながったものである。その他の設備等に関しても、経験・実績に加え、論理的根拠の提示とそれに基づく基準や対策の提案により、鉄道事業者における生産性向上につながる業務に貢献していきたい。

3.3 自動運転普及に向けた取り組み【L】

次に、「評価・予測・判断技術」のうち、安全性評価・運行状況判断等に関するコア技術に着目し、前述の課題⑤に対応して、自動運転の普及に向けた高度化の取り組みを紹介する。

これまで鉄道は、安全確保のコアとなるフェイル

セーフ技術を培い、その技術をベースに運行制御の自動化を進めてきた。1977年には、安全確保を担うATCの防護のもとで駅間の操縦を自動で行うGOA2の自動運転が、近年では車上データベースを活用した速度照査式のATSによるGOA2.5の自動運転システムがそれぞれ実用化されている。今後、踏切等がある一般的な線区への自動運転の導入を促進するためには、線路上の安全を確保して列車を制御する技術の高度化と、低コスト化の双方が必要となる。この双方の課題を解決するためには、様々なセンシング技術や、最新の画像処理技術、5Gなどの無線通信技術の活用が有効なアプローチとなるが、これらの技術自体は一般にフェイルセーフ性を持たないことから、安全に関わる判断や制御に適用するためには、安全を確保する仕組みが不可欠である。これに対し、カメラ等のセンサーの故障や画像処理結果の異常を検知、あるいは地上～車上間での通信が途絶した際に、列車を停止させるなど、安全側に制御する技術は既に確立されている。一方、既存の技術では、例えば通信品質の変動が列車運行の安定性を阻害する要因となりうるなど、安定性の維持には解決すべき課題がある。

そこで、これまで培ってきた従来のフェイルセーフ技術をベースに、「列車の安全かつ安定した運行制御に必要な機能・情報とは何か」を追究し、「安全確認型」の制御方式を提案している³⁾。この制御方式は、安全が確認できている停止限界まで列車を走行させることを可能とするもので、全線での連続通信を前提としない点が従来技術との大きな違いである。このような安全確認型の列車制御技術により、公衆網など圏外や情報欠落が発生する可能性のある通信手段を活用することができ(図5(a))、専用の通信設備を削減しつつ、安全性と安定性の双方を確保することが可能となる⁴⁾。

さらに、この安全確認型の制御方式と「鉄道ダイナ

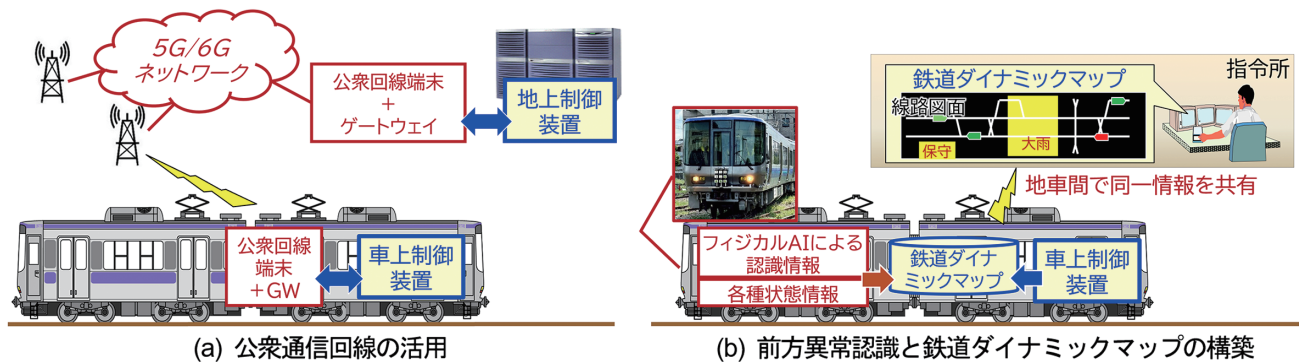


図5 自動運転の実現に向けた取り組み

ミックマップ」⁵⁾を連携させることで(図5 (b))、列車の位置や転てつ装置・踏切の状態情報や、前方障害物検知といったフィジカルAIの認識結果などを統合、列車・指令間で共有することが可能となる。これにより、自動運転時に指令員が行う状況判断や車上係員への指示等の負担が軽減されるほか、早期回復力と安定性のさらなる向上も期待できることから、引き続き少ない設備と要員でも安全性と安定性を両立できる自動運転システムの実現をめざした取り組みを進める。

今回は自動運転に関する取り組みを紹介したが、他の分野においても、安全性の本質追究といったコア技術に基づく要素技術の開発に加え、フィジカルAIや最新の情報通信技術等を“サポートツール”として活用し、鉄道事業者やメーカー等とも連携して鉄道業務に貢献する高度なシステムの実現に向けた取り組みを進めていきたい。

3.4 車輪・レール連成問題への対応【F】

前述の課題③④に対応して、「フィジカル技術」と「シミュレーション技術」の融合の例として、車両試験装置と解析モデルを組み合わせた走行安全性評価について紹介する。

車両試験装置は車両(車輪)を載せた軌条輪を回転させることで走行を模擬するもので、鉄道総研が保有する装置を持つ主な機能、およびこれを利用して実施する試験における評価対象を表1に示す⁶⁾。本装置で実施する走行安定性確認試験では、軌条輪を高速で回

転させた場合の蛇行動限界速度を評価するのが一般的であり、これまで、高速車両用ボルスタレス台車の実現などに貢献してきた。

一方、車両運動および車輪・軌条輪間の接触モデルを連携させた「数値車両試験台」の構築に取り組んでいる。具体的には、有限要素モデル(FEM)等を活用した高精度な車輪・軌条輪接触力計算シミュレーションと、車両全体の運動を模擬するマルチボディダイナミクスモデルといったスケールが全く異なる複数のモデルを連携させ、実試験と同等の時間で蛇行動限界速度の評価を可能とする手法の開発を進めている(図6)。

フィジカル技術としての車両試験装置は、構築したシミュレーション結果と精度を比較するなど、妥当性検証のための用途に活用するほか、実際の装置で容易には実現できない条件や、パラメータスタディなどの検討を数値車両試験台での仮想試験で代替するなど、双方を組み合わせることで、検証試験の補完や効率化をめざす。

さらに、将来的には数値車両試験台で得られた知見や成果を反映して、車両がレール上を走行する精緻なシミュレータを構築することができれば、たとえば、これまで検討事例が少ない車輪やレールの摩耗を考慮した条件における走行安定性の評価も可能となるほか、

表1 車両試験装置の概要

使用機能	評価対象	備考
高速回転(軌条輪)	走行安定性	最高速500km/h
加振(アクチュエータ)	乗り心地	各軸左右上下ロール
負荷(フライホイール)	駆動性能	車両側(輪軸)を駆動

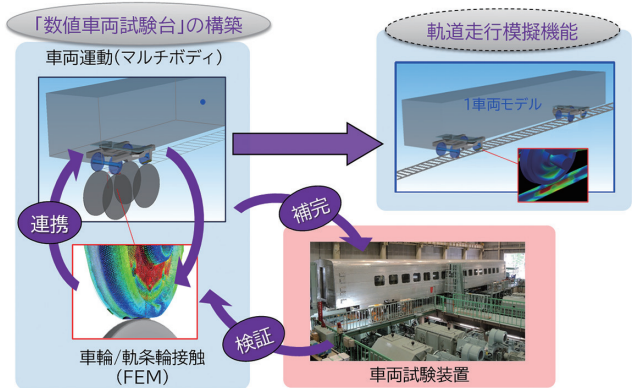


図6 車両試験装置とシミュレーションの融合イメージ

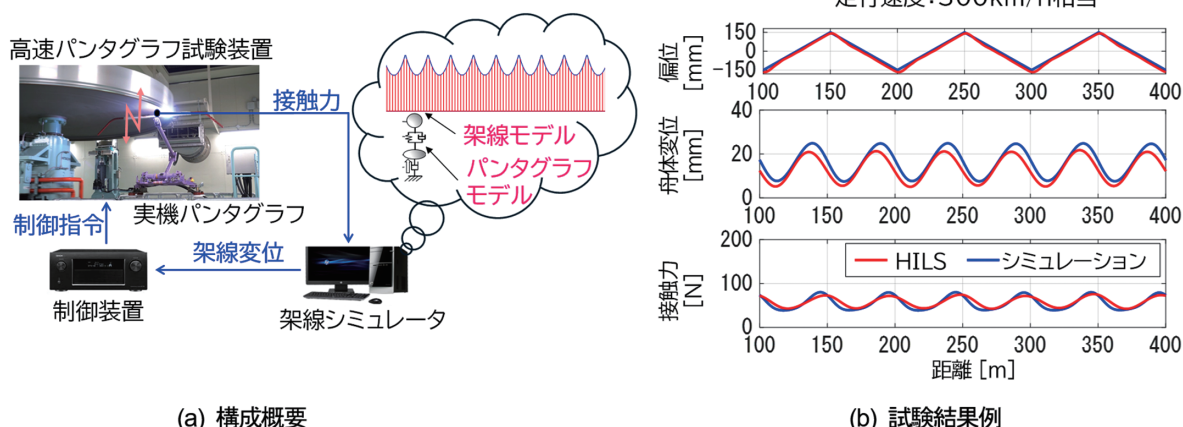


図7 集電系HILS

振動乗り心地など、快適性評価への活用も期待される。

今回取り上げた数値車両試験台を含め、高度な試験装置・シミュレーション技術の連携により、評価の精緻化や境界領域を含む課題解決を加速していきたい。

3.5 架線・パンタグラフ連成問題への対応【F】

前述の課題③④に対応し、「フィジカル技術」と「シミュレーション技術」の相互補完により高度化をめざす点では前節と同様であるが、ここではさらに両者を「リアルタイム」で連成させる集電系HILSについて紹介する。

HILSとはHardware in the Loop Simulationの略で、集電系HILSは、図7(a)に示す通り、実機パンタグラフと架線の運動を模擬する高速パンタグラフ試験装置とその制御装置、および試験装置の模擬架線部分の目標変位を計算する架線シミュレータにより構成される。

高速パンタグラフ試験装置は、模擬架線を最高速度500km/hで回転させながら、上下方向、左右（円周直角）方向に任意波形で加振する機能を備える。一方、架線シミュレータは、架線（トロリ線、ちょう架線、ハンガー等）を物理モデルで表現したもので、集電系HILSでは実測した架線・パンタグラフの接触力を入力し、試験装置の模擬架線の目標変位を出力する。この処理をリアルタイムで行うことで、実際に走行することなく、架線・パンタグラフの動的挙動を実態に即して検討することが可能となる。ここで、試験装置に与える目標変位に対して、実際に発生する変位には遅れの発生が避けられないため、加振器の制御には、ブリストル大学との共同研究の成果として、DSS（dynamically substructured system）制御と呼ばれる手法に基づく技術を導入し、解決をはかった⁷⁾。

図7(b)は試験結果の一例を示したもので、現時点で、

パンタグラフと架線の連成については、上下方向のみを考慮した試験が実施可能であるが、今後は、左右方向偏位や、編成内の複数パンタグラフの挙動を評価できるシミュレーションモデルを組み込む予定である。集電系HILSの実現により、シミュレーション単独では表現困難な現象の再現や、実車走行試験によらず効率的に試験の実施が可能となるという利点を活かし、集電システムの性能向上に寄与できるものと期待している。

今回紹介した集電系HILSを含め、高度な試験装置・シミュレーション技術の連携をさらに高度化し、評価の対象範囲拡大や、単独技術では困難な課題の解決を加速していきたい。

3.6 水素燃料電池車両の社会実装支援の取り組み【K】

鉄道分野における脱炭素化は喫緊の課題であり、鉄道総研でも、蓄電池車両の開発、バイオ燃料の適用検討、水素燃料電池車両の開発など、種々の取り組みを進めている。ここでは、前述の課題⑤に対応し、コア技術の高度化の方向性「ナレッジ活用」の事例として、水素燃料電池車両の社会実装支援への取り組みについて紹介する（図8）。

水素燃料電池車両に関しては、技術開発に加え、鉄道での使用環境に対応した技術基準等の整備が望まれていた。鉄道総研では、2000年代前半から燃料電池車両に関する開発を進めており、これまでに蓄積した試験車両における知見等に基づき、水素燃料電池車両の安全性評価としてリスクアセスメント、水素放出のシミュレーション等を実施し、これらを踏まえて、車両が備えるべき安全対策の提案を行った⁸⁾。

これらの提案は、2025年4月に施行された水素燃

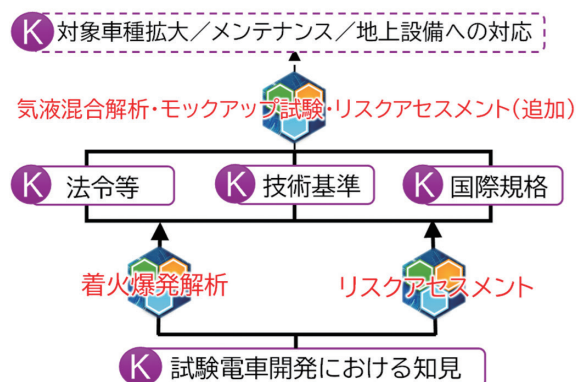


図8 水素燃料電池ハイブリッド試験電車と社会実装に向けたナレッジ活用

料電池鉄道車両に関する省令・告示の改正等に反映されたほか、容器や附属品に関する技術指針についても、高压ガス保安協会より2025年8月に容器保安規則に規定する機能性基準に適合するものと認定された。

水素燃料車両に関しては、今後も水素容器位置の多様化、水素エンジンや複数の動力源をもつマルチモード車両への適用、メンテナンス基準、地上側の水素ステーションの設置などに関する検討が求められるものと想定している。

脱炭素化は社会からの要請が高い喫緊の課題であり、引き続き技術開発や技術基準の策定支援を進めるとともに、他の分野においても、技術基準等といった既存のナレッジの活用によるコア技術の高度化、新たに生み出されたナレッジの再活用によるスパイラルを実現し、社会実装に貢献していきたい。

4. コア技術の高度化による持続的な鉄道システムの創造に向けて

少子高齢化等による生産年齢人口の減少を背景とした技術員や運転士の不足や、安全性、利便性の向上、自動運転や脱炭素化の実現といった社会的要請が高い課題の解決に向け、本講演では、車両・電気分野の研究開発のコア技術に着目し、その概要や高度化による諸課題の解決に向けて鉄道総研が取り組むべき課題について整理するとともに、取り組み事例について述べた。

紙面の都合上、今回紹介できたコア技術とそれに対応したその高度化の方向性は一例であるが、鉄道総研では、持続可能な鉄道システムの創造に向けて、今後も関係省庁、鉄道事業者、研究機関・大学やメーカー等と連携し、保有するコア技術の高度化による課題解決、新技術の社会実装を通して、鉄道事業に貢献する

取り組みを推進する所存であり、引き続きご支援とご協力をお願いしたい。

※水素燃料電池試験電車の開発の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

参考文献

- 1) 石田誠, 石田弘明, 伴巧, 車輪／レールに関する大型実験設備, RRR, Vol.61, No.6, pp.8-13, 2004
- 2) 潮見俊輔, 重盛壮平: 転てつ装置におけるフロントロッド肘金の折損防止に向けた取り組み, JREA, Vol.68, No.8, pp.69001-69004, 2025
- 3) 関山瞬太郎, 久保田淳司, 西本翔, 太田佑貴, 北野隆康, 藤田浩由, 中村英夫: 安全確認型列車制御システムの検討, 電気学会 自動車／交通・電気鉄道合同研究会資料, TER-24-071, 2024
- 4) 関山瞬太郎, 久保田淳司, 西本翔, 北野隆康, 藤田浩由: 安全確認型列車制御システムでの停車場構内における安全確保の考え方, 電気学会 リニアドライブ／交通・電気鉄道合同研究会資料, TER-25-007, 2025
- 5) 太田佑貴, 祇園昭宏, 西本翔, 櫻井勇輝: 状態情報をつないで迅速な運行判断を支援する, RRR, Vol.82, No.1, pp.34-39, 2025
- 6) 石栗航太郎: リニューアルした車両試験台, RRR, Vol.72, No.11, pp.8-11, 2015
- 7) 小林樹幸, 小山達弥, 原田智: 高速パンタグラフ試験装置を用いた集電系ハイブリッドシミュレーション手法, 鉄道総研報告, Vol.35, No.12, pp.47-52, 2021
- 8) 水素燃料電池車両の安全性評価, 2025年度鉄道総研技術フォーラム, <https://www.rtri.or.jp/events/forum/2025/echr2f000000096c-att/forum2025>

軌道・構造物分野における研究開発のコア技術の高度化

構造物技術研究部長
田所 敏弥



1. はじめに

鉄道を安全かつ安定的に運行するためには、軌道や構造物の安全性の確保、それを維持するためのメンテナンスが不可欠である。一方、鉄道を取り巻く環境は、近年、大きく変化しており、研究開発に活用するコア技術を高度化することによって課題を解決し、持続可能な鉄道システムを構築することが求められている。本講演では、軌道・構造物分野におけるこれまでの研究開発のコア技術の活用例を紹介するとともに、コア技術の高度化の取り組みについて概説する。

2. 軌道・構造物分野の現状と課題

近年の自然災害の激甚化、頻発化、広域化により、災害があらゆる場所で日常的に発生するようになった。特に豪雨災害は、被害規模が年々増加しており、地震との複合災害も懸念されている。また、少子高齢化にともなう生産年齢人口の減少により、メンテナンスに関わる要員の確保が困難になっており、地域鉄道においては、事業継続が困難になりつつある。さらに、橋りょうやトンネル等の鉄道構造物の平均経年は60年を超え、老朽化が年々進行している。このような現状において、鉄道総研では、以下のような研究開発に取り組んできた。

(1) 自然災害に対する強靱化(安全性の向上)

線状の施設である鉄道の機能維持においては、災害に対する弱点箇所を抽出し、補強することが重要である。地震や豪雨災害に対する事前対応として、各種の性能評価法や補強工法を開発してきた。さらに、災害が発生した場合に被害を迅速に検知し、早期復旧するための工法や列車の運行再開可否判断手法を開発してきた。

(2) ICT・IoTの活用(メンテナンスの省人化)

メンテナンスを省人化するため、ICTやIoTを活用し、現場作業の機械化、自動化、また、熟練技能者の減少に対応する現場作業の脱技能化、施設や設備の長寿命化に取り組んできた。さらに、最近のセンサーやドローン、AIの技術革新を踏まえ、それらを活用した軌道や構造物の各種検査支援システムの開発に注力してきた。軌道分野では、列車前方に設置した携帯端末から取得した列車動揺や画像情報を用いた列車巡視システムを開発している。また、構造物分野では、AIを用いたトンネルの変状検知による検査支援システムを開発している。

(3) 技術基準の整備

技術基準は、研究開発成果を社会実装する役割があるが、最近のICTやBIM／CIMといったデジタル技術を実務で適用できるように、技術基準や関連する手引き等を適宜、改訂している。

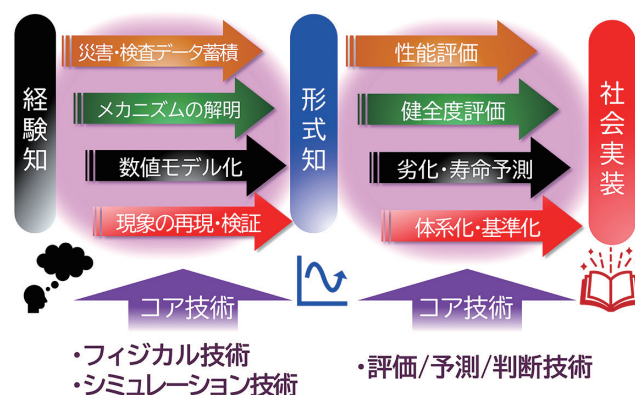


図1 課題解決のためのコア技術の活用

安全性の向上とメンテナンスの省人化を目的に、図1に示すように研究開発のコア技術を活用してきた。軌道・構造物分野では、脱線事故や地震、豪雨災害における経験や知見を蓄積し、安全性に関する技術を向上し、技術基準等を通じて体系化してきた。さらに、それらを定期的に更新することによって、研究開発成果を社会実装してきた。また、メンテナンスにおいても、現場の経験に基づき技術を体系化してきた。これらのいわゆる経験知を、事故・災害やメンテナンスにおけるデータ蓄積、現象のメカニズム解明、数値モデル化、さらには、現象の再現・検証を行い形式知としてきた。これらの過程において、実験や計測等のフィジカル技術やシミュレーション技術といったコア技術を活用してきた。さらに、形式知となった情報に対して、性能や健全度の評価、劣化・寿命予測、体系化・基準化を行うことによって、研究成果を社会実装し、安全性の向上やメンテナンスの省人化を実現してきた。この過程では、評価、予測、判断技術といったコア技術を活用してきた。このように、経験知から、形式知、さらには、社会実装する過程において、研究開発を加速・効率化する手段として、様々なコア技術を活用してきた。

近年の鉄道を取り巻く環境の変化によって、新たな課題も生じている。軌道・構造物分野の研究開発においては、経験式や実験式から脱却し、シミュレーション技術を活用する研究事例が多くなったが、それにもないV&Vや研究開発のスピードアップ、シミュ

レーションに用いる構成則の検証には、実験技術の高度化が課題となっている。また、ICT・IoT技術の進歩とともに膨大なビックデータが蓄積されるようになったが、これらをメンテナンス実務で活用するには、理論的な検討や検証が課題となっている。さらに、老朽化した大量の施設や設備を限られた要員でメンテナンスするには、高度な技術の一般化とともに、得られた技術的知見の再活用が課題となっている。そのため、持続可能な鉄道システムを構築するには、これらの課題を解決することが求められている。

3. コア技術の活用例

3.1 軌道・構造物分野のコア技術

軌道・構造物分野の研究開発のコア技術の例を図2に示す。コア技術は、フィジカル技術、シミュレーション技術、評価・予測・判断技術に分類される。

フィジカル技術には、独創的な大型試験装置や特徴的な要素試験装置がある。前者の例として、大型振動台、総合路盤試験装置、大型降雨実験装置、2軸疲労載荷装置がある。後者の例として、2軸疲労載荷装置、衝撃振動試験の計測システムであるIMPACTUSがある。また、軌道検測装置も特徴的な要素試験装置と考えられる。

鉄道固有の理論や知識に基づいたシミュレーション技術には、列車と構造物の連成を考慮した走行シミュレーション、脱線シミュレーション、また、粒子法を用いた河川橋脚の洗掘シミュレーション、さらには、



図2 軌道・構造物分野のおもな研究開発のコア技術の例

駅構内の利便性の向上や駅改良時の検討に用いられる旅客流動シミュレーションがある。

評価・予測・判断技術には、列車走行の安全確保とメンテナンスの省人化に貢献する軌道保守管理データベースシステム（以下、LABOCS）がある。また、コンクリート構造物の剥落予測手法は、技術基準として整備されているとともに、最新技術を取り込むべく研究開発が進められている。

3.2 フィジカル技術(2軸疲労载荷装置)

軌道のフィジカル技術として、図3に示すレール締結装置の2軸疲労载荷装置がある。台車が急曲線を通過する際、外軌に作用する横圧は、第1軸は軌間外側へ、第2軸は軌間内側へ作用する。これを模擬するため、輪重と横圧の合力を2方向から交互に载荷する日本独自の評価方法が確立しており、鉄道構造物等設計標準・同解説（軌道構造）¹⁾やISOの技術仕様書²⁾に反映されている。

本载荷装置の活用例として、ボルトが緩まないレール締結装置である無螺締式レール締結装置³⁾の性能評価試験がある。本载荷装置を用いて新たに開発したレール締結装置のレール頭部の左右変位量、締結ばねの発生応力、100万回繰返し载荷後の各部材の状態を確認し、安全性を評価した。この結果を踏まえて、開発した締結装置を現地に試験敷設し、社会実装に向けた検証を進めている。

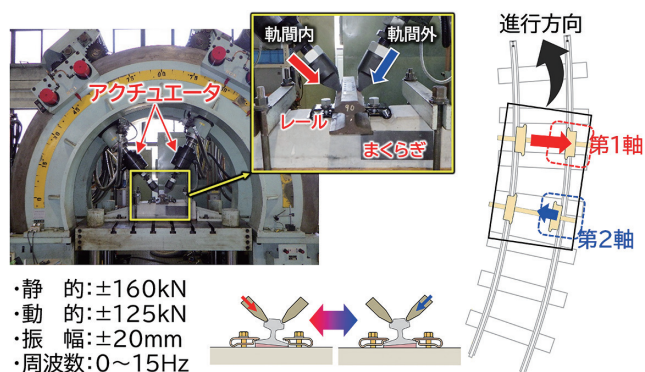


図3 フィジカル技術
(レール締結装置の2軸疲労载荷装置)

3.3 フィジカル技術(鉄道システムの振動台試験装置)

鉄道システムの地震時の安全性の向上のためのフィジカル技術として、中型振動台と大型振動台がある。それぞれ特徴ある試験装置であり、地震時の鉄道システムの破壊メカニズムの解明や性能評価、対策工の開発などに活用されている。

中型振動台は、毎時120mmの散水機能を有しており、降雨と地震の複合災害を模擬した試験が可能である。過去には、降雨後に地震が発生し、盛土が崩壊した事例がある。降雨時の土中の水分量によっては、通常、地震時に崩壊しない盛土であっても、崩壊する場

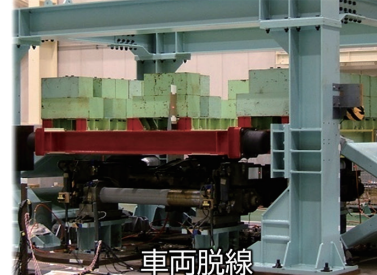
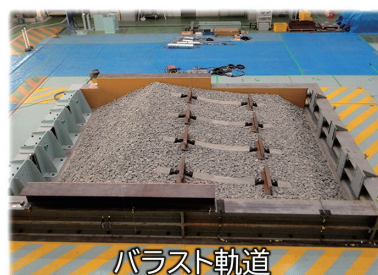
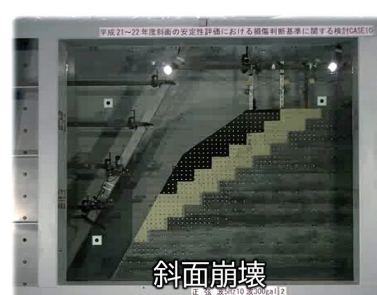
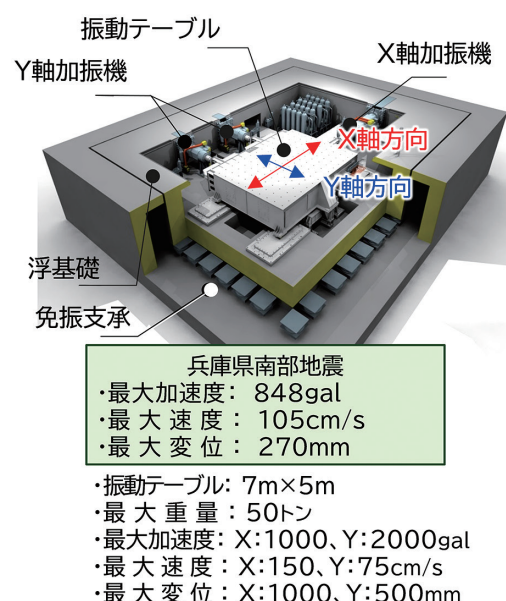


図4 フィジカル技術(鉄道システムの地震時の安全性向上のための振動台試験装置)

合があることを振動台実験により確認している⁴⁾。災害が激甚化している現在、この装置の活用によって、対策工等の新技術の開発が期待されている。

大型振動台の仕様、および使用例を図4に示す。大型振動台は、7m×5mの振動台テーブルに最大重量50トンの積載が可能である。加振能力は、兵庫県南部地震において観測された断層直下型の地震動を包含しており、震度7クラスの巨大地震を再現することができる。これまで、鉄筋コンクリート構造の鉄道高架橋柱や斜面を対象とした加振試験が実施され、破壊メカニズムの解明や性能評価法を開発してきた。また、構造物以外では、実大のバラスト軌道や台車を対象に地震時の挙動を再現し、破壊や脱線メカニズムの解明、さらには対策工を開発してきた。

3.4 評価技術（迅速な災害復旧のための橋脚の性能評価法）

近年の豪雨災害においては、洗掘による河川橋脚の根入れ減少や底面露出にともなう支持力減少により、橋脚の安定性が著しく低下する場合がある。被災後に行われる衝撃振動試験は、衝撃荷重による自由振動を周波数解析することによって固有振動数を求める非破壊検査法である。固有振動数を簡易に計測でき、その変化から橋脚の健全度を推定できることから、鉄道事業者において広く利用されている。鉄道総研では、1987年に初代システムを提供して以降、随時改良しており、2024年にリリースしたIMPACTUSでは、加速度計を圧電型から水晶式に変更し、センサーを小型化、高精度化し、可搬性と評価精度を向上させた。

衝撃振動試験では、橋脚の健全度低下の有無は判断できるが、性能の定量的評価は困難であった。そのため、載荷試験により橋脚の安定性を確認し、運行再開までに数か月を要する場合があった。そこで、図5に

示すように、橋脚の上下流側の鉛直応答差に着目し、両者の振幅比から橋脚の底面露出率を推定する手法を開発した。さらに、底面露出率、橋脚く体傾斜等の影響を考慮した支持力算定手法⁵⁾を開発し、運行再開に要する期間短縮が可能となった。このように健全度の定性的な評価に用いられていた計測技術から、橋脚の残存支持力を定量的に評価し、迅速に災害復旧するための性能評価法を開発した。

4. コア技術の高度化の取り組み

4.1 コア技術の高度化の課題と解決策

軌道・構造物分野の研究開発では、シミュレーションを活用する研究事例が多くなり、それにともないV&Vや研究開発のスピードアップ、シミュレーションに用いる構成則の検証において、実験技術の高度化が課題となっているが、これに対しては、試験設備の高度化等によって、論理的、実践的な本質を探究する（①Logical Examination）。また、蓄積された膨大なビックデータをメンテナンス実務で活用するには、理論的な検討や検証が課題であるが、これに対しては、フィジカル技術とシミュレーション等の技術融合を促進する（②Fusion Promotion）。さらに、大量の老朽化した施設や設備を限られた保守要員でメンテナンスするためには、高度な技術の一般化と得られた技術的知見の再活用が課題であるが、これに対しては、蓄積されたナレッジを活用する（③Knowledge Application）。これら①②③に対応した取り組みを以下に紹介する。

4.2 軌道のフィジカル技術の高度化

①Logical Examination：理論的・実践的な本質の探究の取り組みの例として、軌道のフィジカル技術の

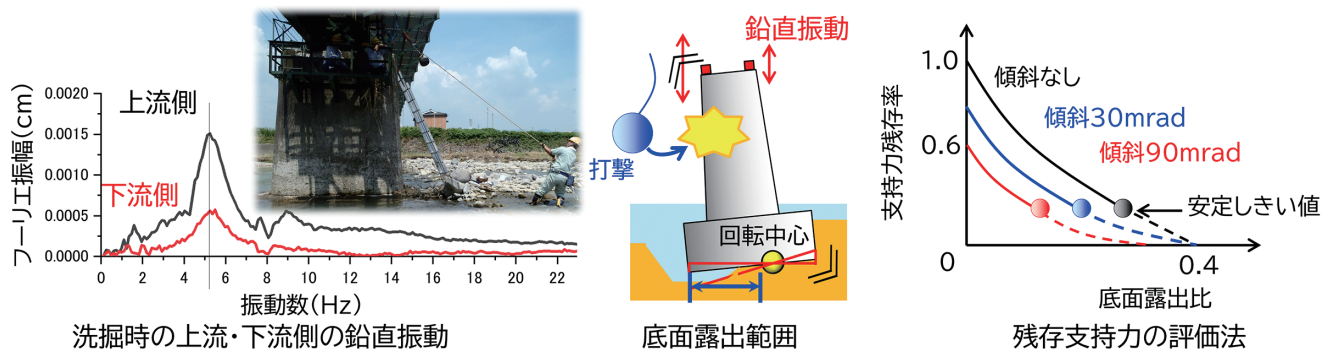


図5 構造物の評価技術（迅速な災害復旧のための橋脚の性能評価法）

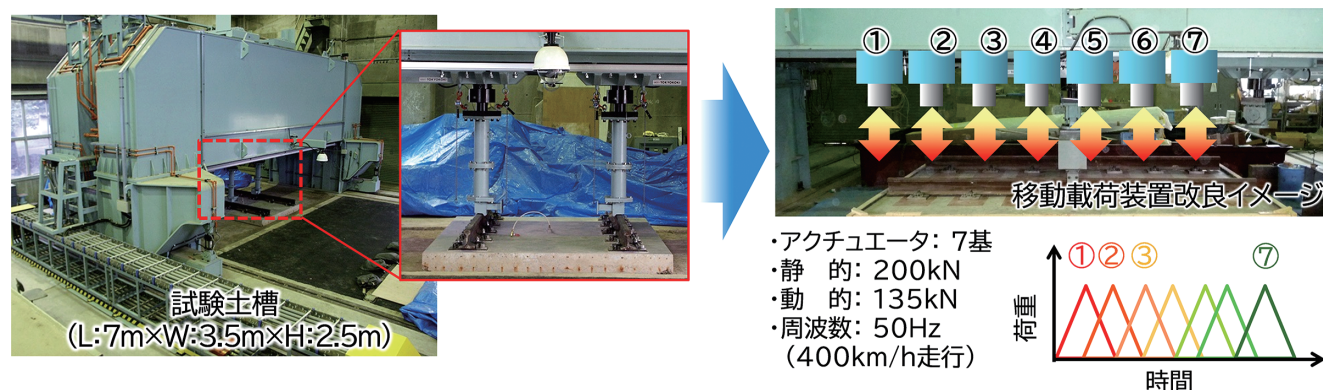


図6 軌道のフィジカル技術の高度化(総合路盤試験装置の改良)

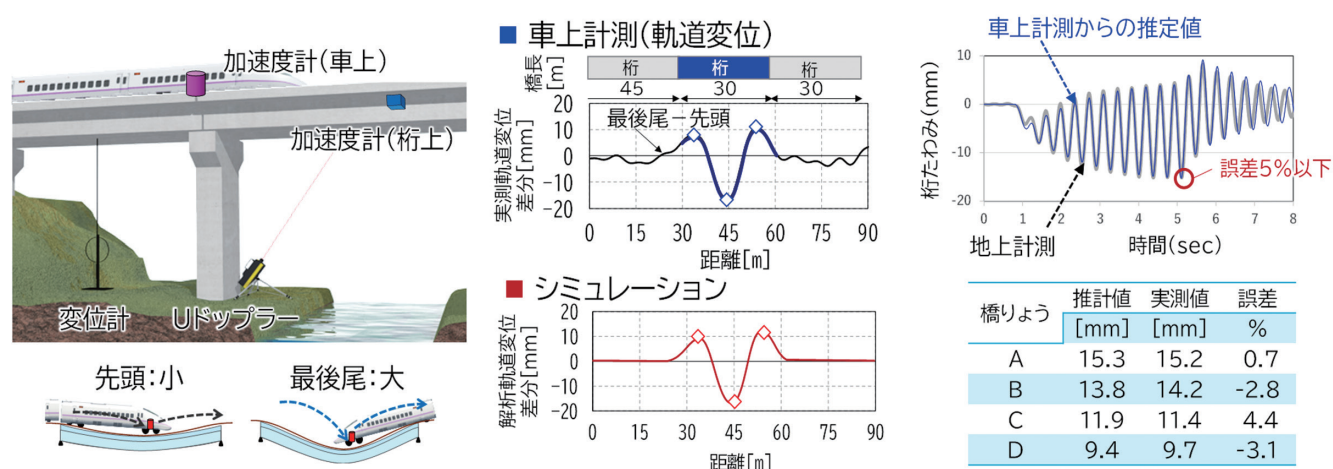


図7 構造物の計測技術とシミュレーションの融合(橋りょうのたわみ量の推定)

高度化がある。軌道分野の研究開発では、図6に示す実物大の軌道や路盤に対して列車荷重を連続的に載荷できる総合路盤試験装置により、軌道の変状や補修工法を評価している。本試験装置の活用例として、路盤層にあらかじめ敷き詰めたバラストにグラウトを充填することで、施工間合いの2～3時間で、高剛性の路盤改良層を構築する工法⁶⁾を開発した。

総合路盤試験装置については、2基のアクチュエータによる定点載荷であるが、図6に示すようにアクチュエータを多軸化し、移動荷重を模擬できる載荷装置への改良を計画している。改良後は、アクチュエータを現状の2基から7基に増設し、7基のアクチュエータの載荷を制御することで、時速400km/hでの車輪移動を模擬できるようになる。今後は、新たな総合路盤試験装置を活用し、軌道や路盤に対する変状評価、対策工の開発を行う。

4.3 計測技術とシミュレーションの技術融合

②Fusion Promotion: 技術融合の取り組みの例として、列車の走行安全とメンテナンスの省人化に関する橋りょうのたわみの計測技術とシミュレーションの技術融合がある。

橋りょうのたわみは、橋りょうの健全度評価において、重要な指標となる。ひび割れ等の変状増加により、剛性が低下するとたわみが増大し、乗り心地や走行安全性を脅かす。また、剛性の低下にともなって、列車走行時に振幅が急増する共振が発生する場合がある。このような要注意橋りょうは、たわみを計測する必要があり、変位計やUドップラー等の地上からの計測技術や桁上に設置した加速度計から推定する計測技術が開発されてきた。しかし、これらの計測技術は、計測に多大な時間と労力を要するため、車上計測により共振する橋りょうを抽出する方法を開発した。この計

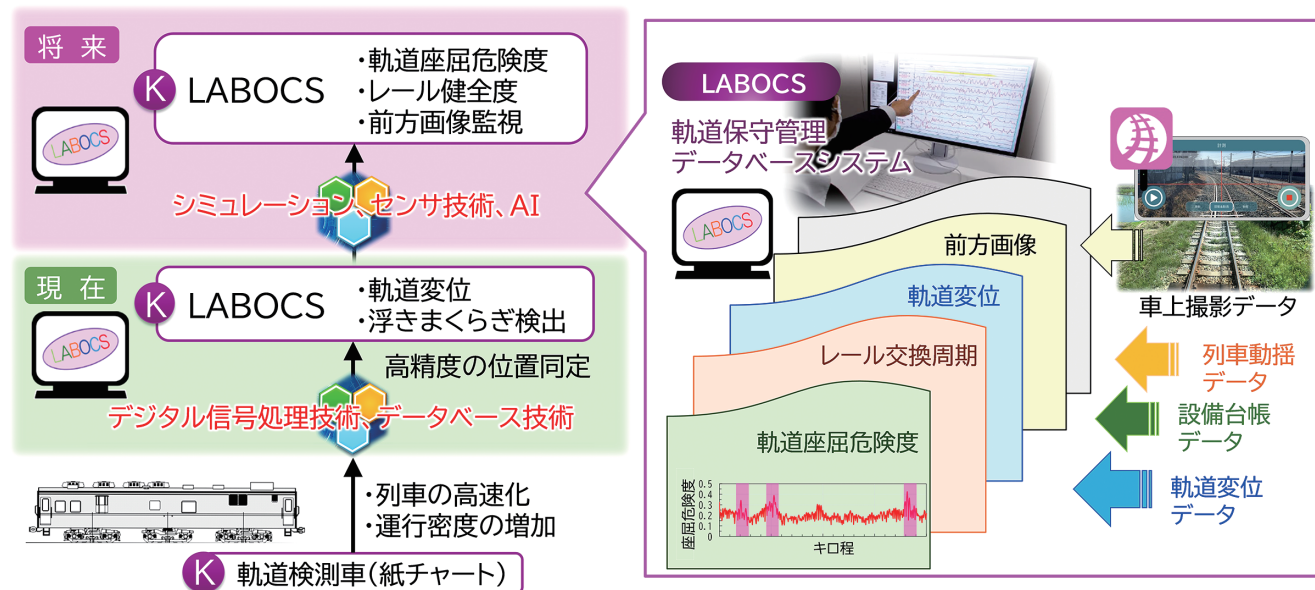


図8 LABOCSにおけるナレッジの活用と更新

測技術により、共振する橋りょうが抽出できるようになったが、たわみ量の絶対値の推定はできない。

そこで、車上計測で得られた軌道変位とシミュレーションで得られた軌道変位から、たわみ量を算出する方法⁷⁾を開発した。図7に示すように、車上計測で得られた最後尾と先頭車両の軌道変位の差分の3つのピークに着目し、シミュレーションにおけるピークと一致するように固有周期と減衰定数を同定する手法を開発した。そして、同定された固有振動数と減衰定数を用いて走行シミュレーションを行うことで、橋りょうのたわみ量の絶対値を算定することが可能になる。地上計測と比較したところ、誤差5%以内で精度よくたわみの絶対値を推定できることを確認した。本手法の適用範囲は、単純桁であるが、今後は、連続桁や橋台裏の背面盛土の沈下による支承のあり検知等への拡大を目指している。このように計測技術とシミュレーションを融合した独創的な手法のさらなる高度化に取り組んでいる。

4.4 LABOCSにおけるナレッジの活用と更新

③ Knowledge Application：ナレッジの活用に関する軌道分野の取り組みの例として、図8に示す列車の走行安全とメンテナンスの省人化に関するLABOCS⁸⁾がある。

LABOCSでは、各検査データのデジタル信号処理技術やデータベース技術により、軌道変位の計測や浮きまぐらぎの検知が行われている。現在、軌道のデジタルメ

ンテナンスツールとして拡張するため、シミュレーション、センサー技術、AIを活用した軌道部材の状態評価法等の研究成果の実装を進めている。このうち、軌道座屈危険度⁹⁾の評価では、軌道検測車に搭載されたLiDARセンサーから道床形状を把握する手法と、軌道の高低変位から浮きまぐらぎを推定する手法を組み合わせ、道床横抵抗力を推定し、それを基に軌道の座屈発生温度を推定する。また、レール健全度¹⁰⁾の評価では、軌道検測で得られるまぐらぎの浮き量やレール頭頂面凹凸、およびシミュレーションで得られた簡易推定式により、レール応力を推定する。一方、経年レールを用いた疲労試験より疲労限度を求め、これらの結果からレールの寿命を推定する。さらに、軌道座屈危険度やレール健全度の評価に加え、携帯情報端末を活用した列巡視支援アプリ Train Patroller¹¹⁾で取得した前方画像により、列車の走行安全に影響する要因を抽出する機能を開発する。

このように、これまで蓄積されてきたナレッジを新しい研究成果で更新し、LABOCSを継続的に高機能化することで、列車の走行安全とメンテナンスのさらなる省人化を目指す。

4.5 技術基準におけるナレッジの活用と更新

③ Knowledge Application：ナレッジの活用に関する構造物分野の取り組みの例として、図9に示すメンテナンスに関する技術基準がある。

構造物のメンテナンスについては、メンテナンスの

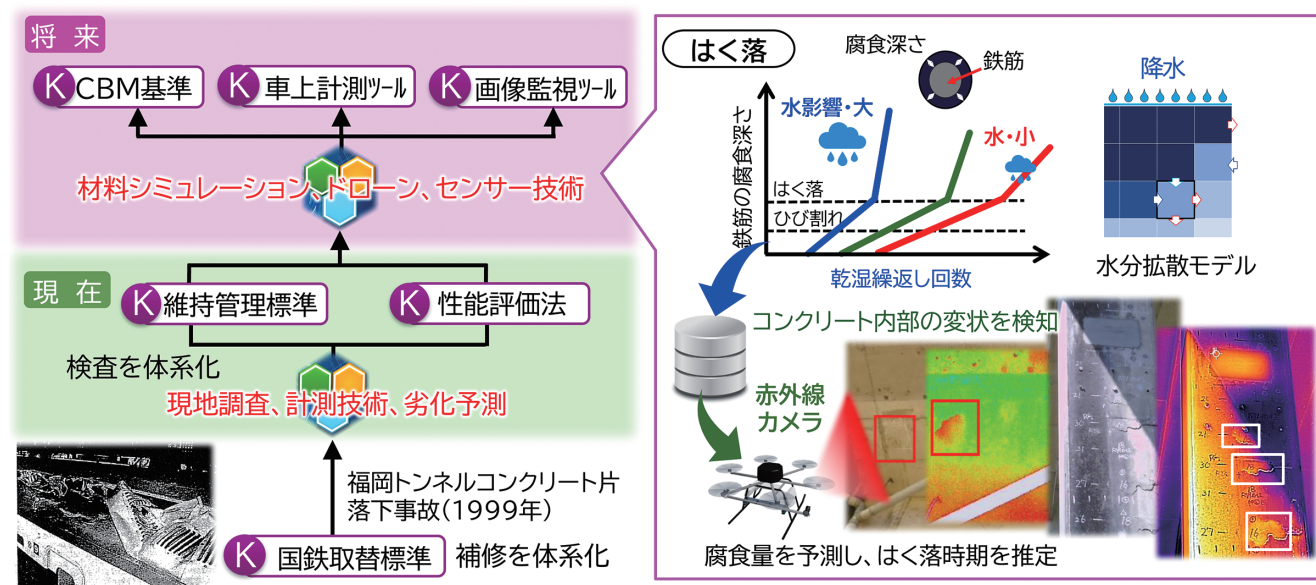


図9 技術基準におけるナレッジの活用と更新

ナレッジの蓄積である取替標準¹²⁾が国鉄時代に制定され、補修方法が体系化された。そして、国鉄民営化後、1999年に山陽新幹線福岡トンネルにおいて、走行中の新幹線にコンクリート片が落下、衝突する事故が発生し、コンクリートの耐久性が社会問題となった。それを受け、2004年に鉄道構造物等維持管理標準¹³⁾（以下、維持管理標準）が制定され、検査が体系化された。維持管理標準の制定にあたっては、大規模な構造物の現地調査が実施された。調査では、様々な計測技術や、コンクリート中の鉄筋腐食等の劣化予測法、構造物の性能予測法が開発された。維持管理標準の制定から20年以上が経過した現在、材料のシミュレーション技術やドローン等の各種調査技術、赤外線等のセンサー技術が大きく進歩している。例えば、劣化予測に用いる鉄筋腐食速度については、調査結果をもとに、安全側に設定したものであるが、コンクリート内部に分布する水分量の経時変化を拡散理論による水分移動解析¹⁴⁾を活用することで、環境に応じた鉄筋腐食速度や腐食開始時期を精度よく算定できる可能性がある。また、ドローンやセンサーの性能も飛躍的に向上したことから、目視では確認できないコンクリートの浮きを赤外線カメラで検知することができるようになる。これらの技術を組み合わせることで、コンクリートのはく落時期を精度よく予測することが可能になり、検査周期の延伸や労力を要する打音調査の削減が期待できる。

このように、これまで蓄積されてきたナレッジを新

しい研究成果で更新し、コンクリート構造物の性能予測技術を社会実装することで、メンテナンスのさらなる省人化を目指す。

5. おわりに

鉄道の安全性向上とメンテナンスの省人化においては、フィジカル技術の高度化が課題であるが、独創的な試験装置を活用、改良することで、メカニズム解明の深度化と新技術の開発を強化する。また、ビックデータのメンテナンス実務での活用には、理論的な検討・検証が課題であるが、計測技術とシミュレーションの技術融合により新たなソリューションを提案し、研究開発を加速する。さらに、社会実装にあたっては、高度な技術の一般化と活用、得られる技術的知見の再活用が課題であるが、軌道保守管理システムや構造物の技術基準を中核のナレッジとして、継続的に高機能化する。

このように、鉄道総研では、研究開発のコア技術の高度化を推進し、持続可能な鉄道システムの構築を目指す。今後とも、ご支援と協力をお願いしたい。

参考文献

- 1) 国土交通省監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（軌道構造），丸善出版，2011

- 2) ISO/TS 18973:2025, Railway infrastructure — Rail fastening systems — Two directional test method for resistance to repeated loading, 2025
- 3) 山岡大樹, 弟子丸将, 玉川新悟: 既設PCまくらぎに適用可能な無螺締板ばね式レール締結装置の開発, 鉄道総研報告, Vol.38, No.12, pp.1-46, 2024
- 4) 松丸貴樹, 小島謙一, 館山勝: 浸透水の影響を受けた盛土の地震時挙動に関する基礎的研究, 土木学会論文集C, Vol.70, No.1, pp.135-149, 2014
- 5) 中島進, 佐名川太亮, 小松灯, 横山大智: 洗掘で被災した河川橋りょうの残留支持力の推定法, 本鉄道施設協会誌, 第62巻, 第10号, pp.47-49, 2024
- 6) 伊藤壱記, 桃谷尚嗣, 木次谷一平: 既設線省力化軌道と同時に施工可能な路盤改良工法の開発, 鉄道総研報告, Vol.34, No.4, pp.1-10, 2025
- 7) 松岡弘大, 服部紘司: 車上計測された軌道変位に基づく共振橋りょうの桁たわみ推定法, 鉄道総研報告, Vol.39, No.10, pp.1-10, 2025
- 8) 古川敦: パソコンで軌道を管理する-LABOCSの開発-, RRR, Vol.73, No.6, pp.16-19, 2016
- 9) 西宮裕騎, 中村貴久: 車上計測データを活用した軌道座屈安定性の評価手法, 日本鉄道施設協会誌, Vol.63, No.9, pp.40-43, 2025
- 10) 細田充, 高橋信貴, 佐野国光, 弟子丸将: レール応力に影響を及ぼす浮きまくらぎやレール凹凸の発生状態に着目した経年レールの疲労寿命評価, 日本機械学会論文集, Vol.91, No.941, 2025
- 11) 田中博文, 趙博宇, 蘇迪, 長山智則: 携帯情報端末を活用した低コストな列車巡視支援方法の開発, 鉄道総研報告, Vol.39, No.1, pp.21-48, 2025
- 12) 日本国有鉄道施設局土木課: 土木構造物の取替の考え方, 日本鉄道施設協会, 1974
- 13) 国土交通省監修・鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編), 丸善出版, 2007
- 14) 橋本龍, 渡辺健: 水分状態と骨材・鉄筋による内部拘束を考慮したRC断面の収縮解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.47, No.1, pp.1794-1799, 2025

人間科学分野における研究開発のコア技術の高度化

人間科学研究部長
遠藤 広晴



1. はじめに

鉄道の人間科学分野の研究は、1962年に発生した三河島事故を直接の契機とする。運転士の信号冒進に端を発した多重衝突事故は甚大な人的被害を生じ、その対策としてヒューマンエラーに起因する事故の防止を主目的とした鉄道労働科学研究所（以下、鉄道労研）が設立された。

国鉄分割・民営化後は、鉄道総合技術研究所がその研究分野を継承し、「ヒューマンエラー事故の防止」に関わる研究に加えて、「事故時の被害軽減」に関わる研究や、速達化・快適性向上などの「利用者サービスの向上」に関わる研究も進めてきた¹⁾。

鉄道労研が発足してから60年以上が経過し、この間に、鉄道従事員・利用者を対象とした様々な実験や

調査を重ね、また、その時々最新の解析・シミュレーション技術も取り入れながら、鉄道の人間科学分野における独自のコア技術を育んできた。

本講演では、人間科学分野におけるこれまでの研究開発のコア技術の例を紹介するとともに、最近のコア技術の高度化の取り組みについて概説する。

2. 人間科学分野の研究開発の課題

近年、少子高齢化・生産年齢人口の減少が進み、労働力不足への対応や、熟練者の退職による暗黙知的なノウハウの継承が喫緊の課題となっている。また、社会の価値観も変化する中、より安全・安心・快適で、ウェルビーイングな社会への期待が高まっている。さらに、安全意識の高まりから、ヒューマンエラーの低減や異

	労働環境の変化	社会的価値観の変化	
鉄道を取巻く環境の変化	- 自動運転の普及 〔平常時〕監視業務 〔異常時〕指令・乗客との連携 - 役割の変化、未知の環境 - 現場熟練者の退職	- 事故・異常時を想定した安全設計へのニーズ 1次衝突、2次衝突 - 列車衝突時の被害軽減、異常時の避難誘導、...	- 快適で有意義な移動時間へのニーズ - 乗り心地、車内設備の使いやすさ、作業環境、...
研究開発の課題	- ヒューマンエラー事故の防止 - 列車運行中の乗務員の心身状態把握の更なる精緻化 - 自動運転中の異常時など未知の環境への対応 - 現場熟練者の安全スキルの形式知化・可読化	- 事故時の被害軽減 - 再現困難な被害事象に対する精度の高い検討方法の確立	- 利用者サービスの向上 - 多様なニーズに対応する的確な評価法の確立
コア技術の高度化の方向性（第4章）	 Logical Examination 論理的・実践的な本質の探究 AI等の最先端デジタル技術	 Fusion Promotion 技術融合の促進	 Knowledge Application ナレッジの活用

図1 鉄道を取巻く環境の変化に対応するための人間科学分野の研究開発課題

常時の適切な対応への要求、そして、人の特性（ヒューマンファクター）や多様性を踏まえた人間中心のシステム設計へのニーズが高まっている。

これら社会的課題・ニーズに対応して、持続可能な鉄道システムを構築するための人間科学分野の研究開発の課題を以下に整理する（図1）。

（1）労働環境の変化に対する研究開発の課題

将来的な乗務員不足への対応策として、自動運転の普及が進められている。自動運転では、運転操作は主にシステム側が担い、乗務員側は、例えば自動化レベルGOA2.5を想定した場合、平常時は監視業務、異常時は、指令や乗客と連携した避難誘導を担うことになる。列車運行における人の役割が変化し、これまで体験したことのない未知環境への対応が求められる。このような中で、「ヒューマンエラー事故を防止」するために、平常時・異常時を含む、様々な状況での乗務員の心身状態を精緻に把握し、過緊張や覚醒低下などの異常状態を早期に検出する技術の高度化が課題である。さらに、自動運転中の異常時など、未知環境への対応力を強化する支援技術の高度化も重要な課題である。

また、熟練者の退職が進む中で、現場の安全管理のノウハウを確実に継承することが重要である。これに対しては、熟練者の安全スキルを形式知化し、若手職員と共有できるようにする技術の高度化が課題である。

（2）社会的価値観の変化に対する研究開発の課題

鉄道利用者からの、安全・安心・快適な車内空間への期待の高まりから、事故時をも想定した安全設計が求められている。踏切事故時等で生じる衝撃への対策

や、異常時の避難誘導がその例で、「事故時の被害軽減」のために、これら複雑で再現困難な事象に対する精度の高い検討方法の確立が課題である。

また、平常時に関しても、鉄道は単なる目的地への移動手段ではなく、快適で有意義な時間を過ごす空間としての期待が高まっている。読書や携帯端末での映像鑑賞、座席テーブルを使用したPC作業など、車内での過ごし方が多様化する中、乗客がストレスを感じることなく快適に過ごせる環境が求められており、更なる「利用者サービスの向上」に向け、様々な利用状況に対応可能な車内快適性評価法の確立が課題である。

3. 研究開発のコア技術の例

コア技術は、フィジカル技術、シミュレーション技術、評価・予測・判断技術に分類されるが²⁾、人間科学分野では、これまでに人の様々な特性、すなわちヒューマンファクターに関連する評価・予測・判断技術を中心にコア技術の開発を進めてきた。本章では、第2章で示した研究開発課題の解決に向けた基盤として、これまで開発したコア技術の例を紹介する。

3.1 鉄道従事員を対象としたコア技術の例

鉄道従事員を対象としたコア技術の例を図2に示す。「事故の背景要因の検討」を支援するコア技術として、「事故の聞き取り調査手法」³⁾と「ヒューマンファクター分析法」⁴⁾がある。職場の安全マネジメントでは、事故やヒヤリハットの「情報収集」、「事故の原因



図2 鉄道従事員を対象としたコア技術の例

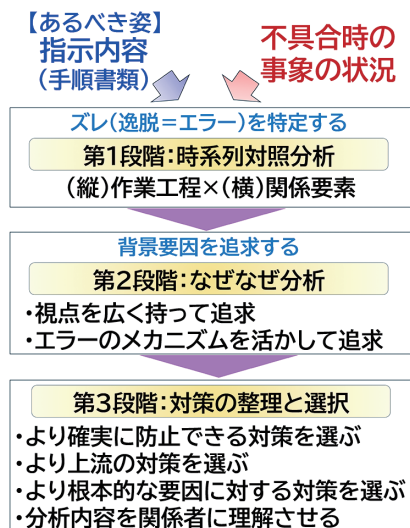


図3 鉄道総研式ヒューマンファクター分析法の概要



図4 鉄道利用者を対象としたコア技術の例

（背景要因）の分析」、「対策の策定と実施」、そして「対策の効果の確認」の流れを繰り返すことが重要である⁵⁾。「事故の聞き取り調査手法」は、「情報収集」を支援する技術で、心理学の専門技術である「傾聴法」と「認知面接法」を基に、対象者から多くの情報を聞き出し、事故の背景要因となる情報を効果的に探る手法である。「ヒューマンファクター分析法」は、「事故の原因（背景要因）の分析」と「対策の策定と実施」を支援する手法である。分析は3段階で構成され（図3）、まず、本来「何が期待され」、それに対して「どのような行動のズレが生じたのか」、そして次に、「なぜその行動が起きたのか」といった視点で事実確認を重ね、ヒューマンエラーのメカニズムを考慮して背景要因を分析する。そして第3段階では、推定した背景要因を基により確実に効果的な対策を検討する。

「職場の安全風土の醸成」を支援するコア技術として、職場の安全に対する認識の現状を把握し、改善に繋げるための「職場の安全風土評価手法」⁶⁾や、事故のグループ懇談を通じて、リスク情報の共有や安全意識の向上に繋げる「事故のグループ懇談手法」⁷⁾がある。

「現場での安全活動を支援」するコア技術として、指差喚呼のエラー防止効果を体感し、そのメカニズムを理解することで、現場での指差喚呼の実践を促す「指差喚呼のエラー防止体験」⁸⁾がある。また、線路内作業における触車事故の発生プロセスを、VR体験などを通じて理解し、ルール違反の抑止を図るために開発された「触車事故防止ルールの遵守に向けた安全教育法」⁹⁾がある。

この他、旧国鉄から受け継いだ運転適性検査に関する研究も継続しており¹⁰⁾、これまでに鉄道従事員の安

全管理・安全活動を支援する様々な評価法・教育訓練法を開発し、多くの鉄道事業者提供してきた。

3.2 鉄道利用者を対象としたコア技術の例

鉄道利用者を対象としたコア技術の例を図4に示す。

車内環境の快適性を評価するコア技術として、乗客の暑さ／寒さを評価する「車内温熱快適性評価法」^{11), 12)}がある。本評価法は、人の体温調節のメカニズムを考慮した生理モデルと、被験者実験に基づく統計モデルを用いて、乗客の何割が暑くて、または寒くて不満かを評価する。本評価法により乗客が温熱的に不快と感じる状況を検出し、空調制御の改善などへの活用が可能である。「車内騒音の不快感評価法」¹³⁾は、音の大きさ（ラウドネス）だけでなく、音の甲高さ（シャープネス）や変動感（変動強度）などの音質も考慮した不快感の評価法である。車内騒音の大きさを低減してもなお不快感が生じる場合には、本評価法により音質の観点からも評価することで、不快感の原因を特定し、効果的な対策を行えるようになることが期待される。

ユニバーサルデザインの視点からの、「車内設備の使いやすさの評価法」¹⁴⁾がある。身長や体格が異なる多様な利用者にとって最適な車内設備（つり革、手すりなど）の寸法や形状を明らかにするため、車内のレイアウトや振動環境を模擬する車内快適性シミュレータを用いたユーザビリティ評価を行う。これまで提案した支持具等は、多くの通勤車両に採用されている。

駅環境を対象としたコア技術として、バリアフリーの視点からの「視覚障害者誘導用ブロックの評価法」^{15), 16)}がある。延べ100名超の視覚障害者を対象に

実施したヒアリング調査や行動観察実験の結果に基づき、プラットホームの内外方の誤認に起因する転落事故を防ぐために開発された「ホーム縁端警告ブロック」は日本産業規格 (JIS) にも採用された¹⁷⁾。

以上のように、被験者実験やヒアリング調査、行動観察実験など、人を対象とした実験・調査のノウハウを基に、ヒューマンファクターを考慮した車内・駅環境の評価法を構築してきた。

4. 研究開発のコア技術の高度化

第2章で整理した、人間科学分野の研究開発の課題を解決するためには、評価・予測・判断技術の高度化に加え、フィジカル技術やシミュレーション技術も活用し、さらにデジタル技術・AIとも融合して、各コア技術の高度化を加速することが必須である。

図1に示した「労働環境の変化」に対応して「ヒューマンエラー事故を防止」するための課題に対しては、先端の計測技術による乗務員の状態把握や、列車運行環境の高度な再現技術を、「論理的・実践的な本質の探究 (Logical Examination)」によってさらに高度化する必要がある。また、熟練者が持つ暗黙知的なノウハウの継承に関しては、暗黙知の形式知化の支援に有効な生成AIの活用により課題解決を図る。

「社会的価値観の変化」(「安全・安心・快適な空間への期待の高まり」)に対応して「事故時の被害を軽減」するための課題に対しては、実試験とシミュレーションとの「技術融合の促進 (Fusion Promotion)」により、シミュレーション技術を高度化する。

また、「利用者サービスを向上」するための課題に対しては、これまで蓄積した乗り心地評価の「ナレッ

ジの活用 (Knowledge Application)」により、多様なニーズに対応可能な評価法への拡張を図る。

上記 Logical Examination、Fusion Promotion、Knowledge Application による研究開発のコア技術の高度化²⁾の取り組み例を以下に紹介する。

4.1 Logical Examinationによる高度化の例

ここでは、「ヒューマンエラー事故の防止」を目的とする高度化の取り組み例を3つ紹介する。

4.1.1 乗務員の生理・心理特性の評価技術の高度化

安全・安定輸送を確保するうえで、列車運行中の乗務員の心身が良好な状態を保つことが重要である。乗務員の心身状態の異常を早期に検出することで、良好な状態に戻るための適切な支援に繋げることが可能となるため、生理計測による心身状態の評価技術の開発を進めている。

図5は、運転シミュレータを用いた実験において、「突然、線路に倒木が出現」する異常時シナリオを体感した場面の生理量の計測結果 (上段から、脳波、心拍数、呼吸) とブレーキ操作 (最下段) を示したものである¹⁸⁾。

被験者Aに関しては、倒木に気づいてからすぐにブレーキ操作が行われ、心拍数が一時的に増加したものの、すぐに回復し、生理状態が安定していることが確認できる。一方、被験者Bに関しては、倒木に気づいてからブレーキ操作が行われるまで数秒程度の遅れが見られた。当該被験者は、倒木発見前後において、脳波に変化が見られ、心拍数が上昇し、呼吸も浅くなっていることから、倒木発見による心理的な緊張がブレーキ操作の遅れに繋がったと推測することができる。

このように、異常時における運転士の行動の要因となる心身状態を、生理量から把握できることをこれま

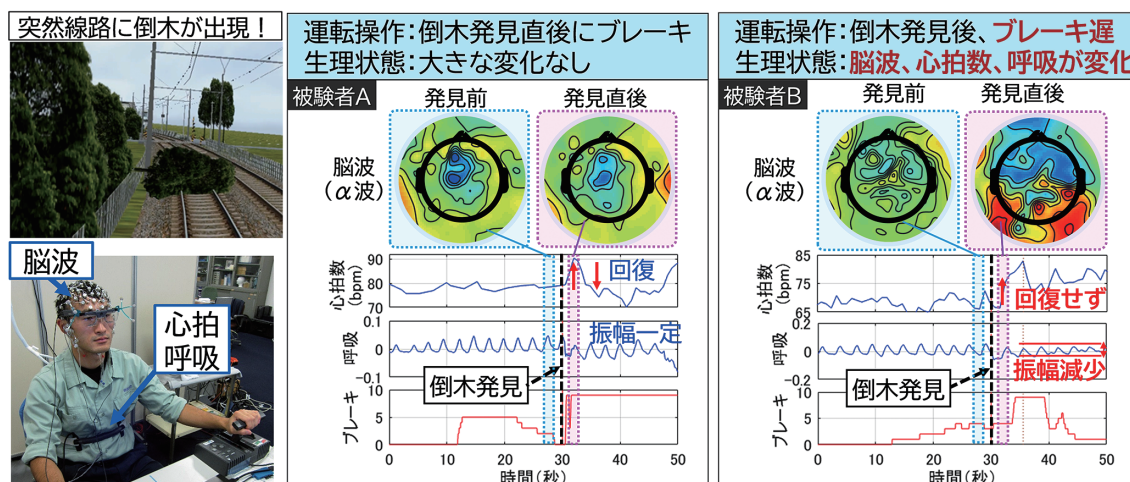


図5 乗務員の生理・心理特性の評価技術の高度化

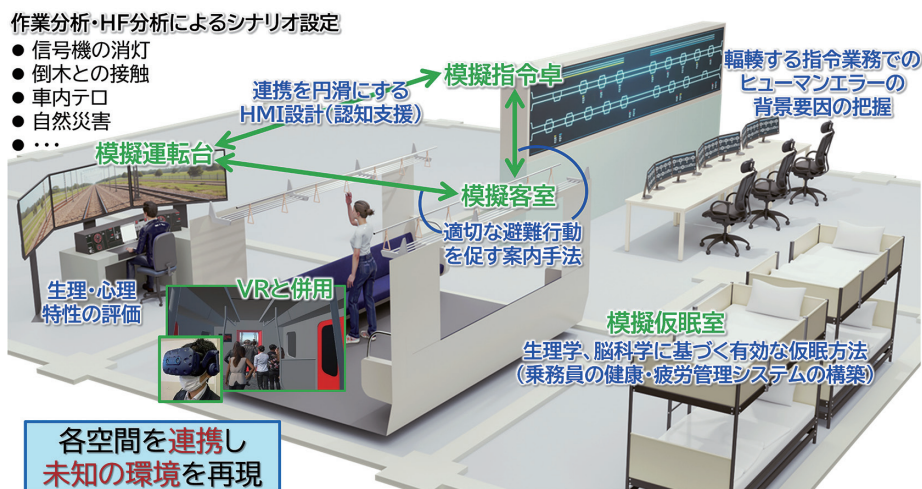


図6 高度化を目指す列車運行環境シミュレータのイメージ

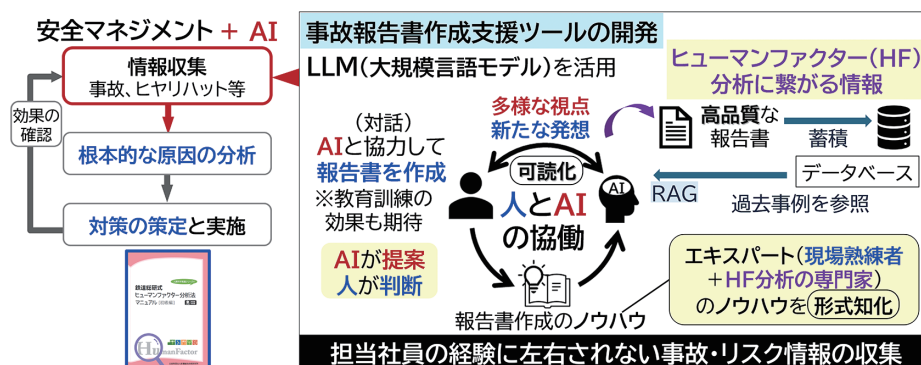


図7 安全マネジメントの支援技術の高度化

での研究で明らかにしてきた。

一方、各生理量の正常時の値や、異常時の変化量には個人差が大きいため、運転士一人ひとりの「正常」／「異常」状態を的確に評価・判断することには依然として課題が残されている。そこで、現在、この生理量の個人差に対応可能な手法の検討を進めている。当該手法は、心拍間隔、呼吸の規則性、呼吸長などの複数の指標から個人ごとに適した指標を選定することで、各運転士の過緊張や覚醒低下等の異常状態を検出する手法である¹⁹⁾。実際の運転業務における当該手法の適用可能性について、先端のウェアラブルデバイスを活用して現在検証を進めている。

4.1.2 列車運行環境の再現技術の高度化

自動運転中の異常時など未知環境への対応力を強化する支援技術として、自動化レベルGOA2.5以上の運行形態（運転資格を持たない乗務員が乗車、もしくは完全無人運転）での列車運行環境の再現技術の高度化を目指す。現在計画しているシミュレータのイメージ図を図6に示す。「模擬運転台」、「模擬指令卓」、「模擬客室」

を一つの設備、もしくはネットワーク上で連携し、乗務員、指令、乗客のそれぞれの役割をもつ複数の人々が参加可能な設備である。体感する異常時シナリオは、想定する自動化レベルに応じた作業分析とヒューマンファクター分析に基づいて事前に設定する²⁰⁾。再現した未知環境での模擬体験を通じて、例えば、「輻輳する指令業務でのヒューマンエラーの背景要因の把握」や、「指令と乗務員間の連携を円滑にするヒューマン・マシンインタフェース設計」に関する研究、自然災害時や車内テロ発生時における、「乗客の適切な避難行動を促す案内手法」に関する研究の深度化等を行う予定である。また、生理計測装置を備えた「模擬仮眠室」を設置し、一連の勤務スケジュールでの乗務員の負担を定量的に評価することで、健康管理および疲労管理の高度化に資する研究も実施する予定である。

4.1.3 安全マネジメントの支援技術の高度化

事故が発生した際、必要な情報を不足なく収集して報告書にまとめることは、その後の原因分析や対策の策定に大きく影響するため、職場の安全マネジメント

において極めて重要である。一方、現場の安全管理のノウハウを有する熟練職員の退職が進む中、経験の浅い職員が安全管理業務を担う必要性も生じており、担当職員の経験に左右されない高品質な事故報告書を作成する体制の整備が課題となっている。

そこで、鉄道総研では、過去事例のデータと生成AIを活用して、事故報告書の作成を支援するツールの開発を進めている(図7)。本ツールの主な特徴は、現場熟練者のノウハウだけでなく、ヒューマンファクター分析の専門家のノウハウも形式知化して生成AIに反映させることで、現場の知識・経験に基づくリスク情報に加えて、根本原因分析に繋がる情報が含まれた、高品質な報告書作成を支援するという点にある。なお、生成AIが行うのはあくまで多様な視点からの「提案」であり、担当者は、AIからの提案を参考に、報告書に必要な情報を「判断」する。このAIとの対話を通じて、担当者は形式知化された熟練者のノウハウを学習すると同時に、ヒューマンファクターの視点も学習することになり、安全スキルの教育訓練効果も期待できる。

本ツールの開発は今年度より開始しており、現在、現場熟練者のノウハウの形式知化の検討を進めている。

4.2 Fusion Promotionによる高度化の例

4.2.1 人体挙動シミュレーション技術の高度化

「事故時の被害を軽減」する対策の一つとして、踏切事故時等で生じる2次衝突(車内の人と車内設備との衝突)を対象として、被害状況を高精度で解析する人体挙動シミュレーション技術の高度化に取り組んでいる。図8(a)に通勤車両のロングシートを対象として、手すりの有無による被害状況の比較を行った例を

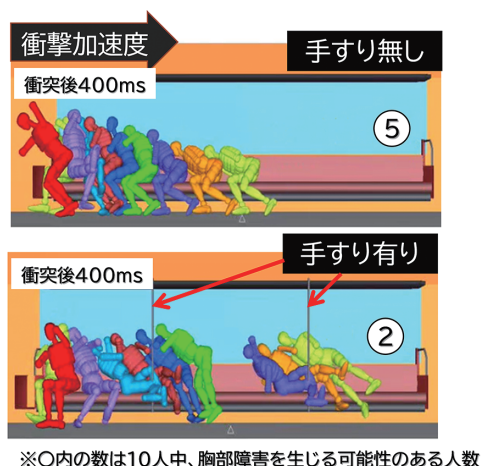
示す²¹⁾。手すり無しの場合と比べて、手すり有りの場合は、乗客同士の衝突や加速距離が抑えられ、傷害値が低くなることを確認している。

現在、衝撃試験とシミュレーションの融合により、人体挙動シミュレーション技術の更なる高度化を進めている²²⁾。スレッド試験(スレッドと呼ばれる台車を用いて衝撃を加えた際の人体ダミーの挙動を評価する試験)(図8(b))やインパクト試験(インパクトを用いて衝撃を加えた際の被衝撃部位の傷害値を評価する試験)(図8(c))から得られる実測データを基に、人体挙動シミュレーションモデルのパラメータを補正するデジタルツインにより、列車衝突時の被害推定の精度を高める取り組みを進めている。

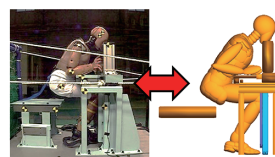
4.3 Knowledge Applicationによる高度化の例

4.3.1 乗り心地評価技術の高度化

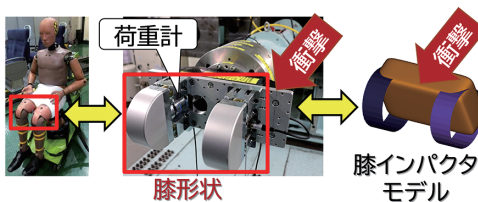
走行時の振動に起因する快・不快感を対象とした乗り心地の研究は国鉄時代から盛んに行われており、曲線走行時の左右定常加速度(遠心力)や、振子式車両のロール角速度・角加速度などに対する許容限度や目安値が設定された(図9)。また、走行振動の乗り心地を評価する「乗り心地レベル」も提案されており、各許容値/目安値と共に現在も参照されている(以後、これらをまとめて「乗り心地指標」と記載)。当時の乗り心地指標の開発目的は、軌道管理や車両設計への活用が主であり、乗り心地の改善箇所(振動要素や走行地点)の特定に重点が置かれていた。そのため、各振動要素に対して個別に指標が設定され、評価時間も数分程度と比較的短時間であった²³⁾。



(a) ロングシート座席の手すりの影響把握



(b) スレッド試験とシミュレーション



(c) インパクト試験とシミュレーション

図8 列車衝突時の人体挙動シミュレーション技術の高度化

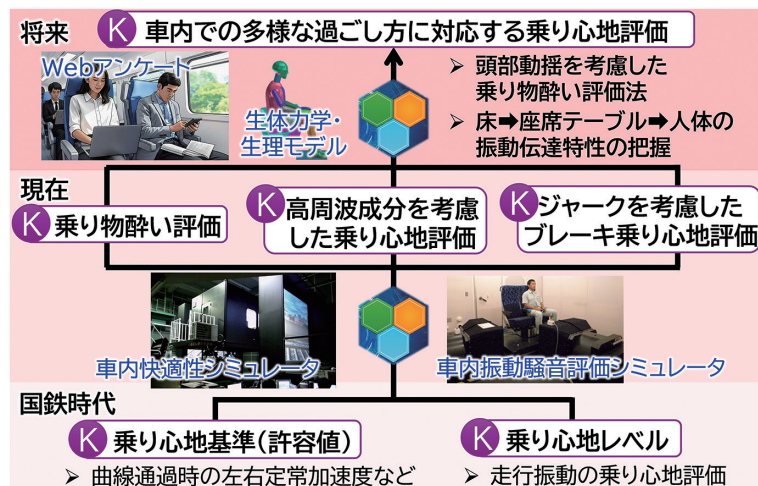


図9 乗り心地評価技術の高度化

国鉄分割・民営化後は、鉄道総研において「利用者サービス向上」の視点から、乗客の体感により合致した評価法の開発を進めている。振動乗り心地評価における高周波数成分（20～30Hz程度）の評価法の改良²⁴⁾や、減速度とジャークの両者を考慮したブレーキ時の乗り心地評価法²⁵⁾など、国鉄時代の乗り心地評価法を基盤として、精度改善や複数要素を対象とした評価法への拡張などを行ってきた。また、乗り物酔いなど、比較的長時間の乗車に起因する要素に対しても評価法を新たに開発し²⁶⁾、振子式車両の車体傾斜制御にも活用されている。

今後は、乗客の様々な利用状況に対応可能な車内快適性評価法の確立に向けた取り組みを進める。評価法の開発にあたっては、従来の乗り心地評価法に生体力学・生理モデルを導入する形で評価法の高度化を図る。これに加え、客室環境を模擬する車内快適性シミュレータや車内振動を精度よく模擬する車内振動騒音評価シミュレータを活用して、多様な過ごし方、例えば、PC作業や映像鑑賞、携帯端末操作などを作業条件とした被験者実験を重ね、主観評価、人体挙動、生体応答データを蓄積し、評価法の精度向上を図る。この取り組みにより、これまで蓄積された乗り心地評価のナレッジと、人の特性に基づく理論モデルを活用した、ヒューマンファクターの本質を捉えた高度な乗り心地評価法の構築を目指す。

5. おわりに

鉄道を取巻く環境は変化し続けており、それに応じて人の役割も変化し、新たな「未知環境」も絶えず発

生すると考えられる。そのような中で、「ヒューマンエラー事故の防止」に貢献するために、未知環境を再現可能な実験設備などのフィジカル技術の高度化に加え、先端的なセンシング技術を活用した鉄道従事員の心身状態に関する評価・予測・判断技術の高度化を図る。これらの取り組みにより、エラーに繋がるヒューマンファクターの本質を探究し、改善策や新たな支援方法の提案を目指す。

喫緊の課題である安全管理のノウハウの継承については、AIを活用して現場熟練者のノウハウを形式知化するとともに、鉄道総研のヒューマンファクター分析の専門的知見も導入することで、ナレッジの継承と安全マネジメントの効率的・効果的な運営を支援する技術の高度化を図る。

鉄道利用者からの安全・安心・快適な空間へのニーズに対しては、シミュレーション技術の高度化により解析精度を高め、有効な「事故時の被害軽減」対策を提案して、鉄道システムの安全設計に貢献する。また、平常時に関しても、生体モデルの導入により乗り心地の評価技術を高度化し、車内での多様な過ごし方に対応可能なきめ細かな評価を実現することで、「利用者サービスの向上」を支援する。

今後も、鉄道従事員・利用者のヒューマンファクターの本質の探究を基盤として、人間中心の視点を軸に、最先端技術との融合・協働により、人間科学分野における研究開発のコア技術の高度化を推進する。これらコア技術の高度化にあたっては、鉄道利用者のニーズを的確に捉えつつ、関係各所と十分に議論を重ねながら、現場の課題やニーズを踏まえて取り組んでいく所存である。引き続きご支援とご協力をお願いしたい。

※3.2節の一部は旧東急車輛製造株式会社（現株式会社総合車両製作所）との共同研究、交通エコロジー・モビリティ財団からの委託研究により実施し、4.2節の一部は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

参考文献

- 1) 鈴木浩明：特集①：分野別人間工学の現状と将来（2）—鉄道分野における人間工学研究室の現状と将来展望—，人間工学，Vol.50，No.2，pp.61-70，2014
- 2) 曾我部正道：研究開発のコア技術の高度化—持続可能な鉄道システムの創造に向けて—，第38回鉄道総研講演会要旨集，pp.9-22，2025
- 3) 宮地由芽子，鍋木俊暁，岡田安功：事故の背景要因に対する聞き取り調査手法と教育プログラム，鉄道総研報告，Vol.29，No.7，pp.5-10，2015
- 4) 宮地由芽子：職場安全管理の改善に向けたヒューマンファクタ分析手法，鉄道総研報告，Vol.21，No.5，pp.11-16，2007
- 5) 国土交通省大臣官房運輸安全監理官室：事故、ヒヤリ・ハット情報等の収集・活用の進め方～事故の再発・未然防止に向けて～（鉄道モード編），2023
- 6) 宮地由芽子，村越暁子，赤塚肇，鈴木綾子：職場の安全風土評価手法の開発，鉄道総研報告，Vol.23，No.9，pp.23-28，2009
- 7) 重森雅嘉：安全意識向上のための事故のグループ懇談手法の開発，鉄道総研報告，Vol.23，No.9，pp.11-16，2009
- 8) 増田貴之，佐藤文紀：指差喚呼によるヒューマンエラー防止効果を体感する，RRR，Vol.71，No.4，pp.8-11，2014
- 9) 村越暁子，宮地由芽子，松本麻美，鍋木俊暁，羽山和紀：触車事故防止ルールの遵守徹底に向けた安全教育法の開発，鉄道総研報告，Vol.34，No.1，pp.9-14，2020
- 10) 井上貴文，鈴木浩明，喜岡恵子，赤塚肇，重森雅嘉，樋田航：新しい運転適性検査体系，鉄道総研報告，Vol.22，No.7，pp.5-10，2008
- 11) 遠藤広晴，伊積康彦，林伸明：夏季の通勤列車内の温熱快適性予測手法，鉄道総研報告，Vol.29，No.7，pp.27-32，2015
- 12) 遠藤広晴，榎並祥太，菊地史倫，吉江幸子，伊積康彦，野口純：夏季における通勤車両内の横流ファン送風の影響を考慮した温熱快適性評価手法，鉄道総研報告，Vol.37，No.8，pp.1-8，2023
- 13) 安部由布子，水上直樹：人間の不快感と相関の高い車内騒音の評価手法，鉄道総研報告，Vol.24，No.11，pp.41-46，2010
- 14) 斎藤綾乃，鈴木浩明，白戸宏明，藤浪浩平，遠藤広晴，松岡茂樹，平井俊江，斎藤和彦：通勤近郊列車のつり革高さと手すり位置の検討，人間工学，42，pp.9-21，2006
- 15) 鈴木浩明：ヒューマンファクターの観点から安全性を向上する，第19回鉄道総研講演会要旨集，pp.69-76，2006
- 16) 水上直樹：バリアフリーのための小さな設備，RRR，66（1），pp.27-30，2009
- 17) 日本規格協会：高齢者・障害者配慮設計指針—視覚障害者誘導用ブロック等の突起の形状・寸法及びその配列，JIS T 9251，2014
- 18) 中川千鶴，秋保直弘，吉江幸子，小島崇，渡部貴浩，鈴木綾子：生理指標を活用した運転士状態推定の基礎的検討，鉄道総研報告，Vol.33，No.1，pp.5-10，2019
- 19) 中川千鶴，渡部貴浩，秋保直弘，小島崇，吉江幸子，鈴木綾子：生理指標を活用した運転士の心身状態の推定，鉄道総研報告，Vol.36，No.1，pp.11-16，2022
- 20) 鈴木大輔，本田裕尚：鉄道の自動運転におけるシミュレータを用いた異常時シナリオの検討，人間工学，Vol.61，Supplement号，2G04-03，2025
- 21) 小美濃幸司，中井一馬，白戸宏明，鈴木大輔：通勤列車の踏切事故時の乗客挙動シミュレーション，鉄道総研報告，Vol.26，No.1，pp.21-26，2012
- 22) 中井一馬，榎並祥太：衝突安全性を考慮した鉄道の運転台の対策検討，第31回鉄道技術・政策連合シンポジウム，SS6-4-1，2024
- 23) 鈴木浩明：鉄道車両の乗り心地評価法，騒音制御，Vol.31，No.5，pp.362-367，2007
- 24) 中川千鶴，島宗亮平，高見創，渡邊健，横山義彦：高周波振動を考慮した乗り心地評価法，鉄道総研報告，Vol.26，No.1，pp.33-38，2012
- 25) 小美濃幸司，白戸宏明，遠藤広晴，清野寛：乗り心地に配慮したブレーキパターン，人間工学，Vol.42，No.3，pp.164-171，2006
- 26) 鈴木浩明，白戸宏明，手塚和彦：低周波振動が列車酔いに及ぼす影響，鉄道総研報告，Vol.18，No.2，pp.9-14，2004

新幹線の高速化と空気力学分野における 研究開発のコア技術の高度化

環境工学研究部 主管研究員
齊藤 実俊



1. はじめに

鉄道のさらなる競争力強化のために求められる項目のひとつに新幹線の高速化による利便性の向上がある。新幹線の高速化のためには、車両、電気、構造物、軌道などあらゆる分野の技術開発が必要となる。なかでも騒音などの沿線環境を維持するための技術開発は、新幹線沿線が人口密集地域にあることが多いために、とりわけ重要である。

また、鉄道における空気力学的な現象に伴う課題は多岐にわたり、新幹線に限らずさまざまな問題を引き起こすことがある。鉄道の安全性、快適性の維持・向上のためには、これらの諸課題を解決するための技術開発が重要となる。

本講演では、新幹線の高速化における沿線環境の維持・向上に関する研究開発、および空気力学分野における研究開発のコア技術とそれらの高度化にむけた取り組みについて紹介する。

2. 高速化と空気力学分野における技術的課題

2.1 高速化時の沿線環境維持のための技術的課題

鉄道はエネルギー効率が高く、環境に優しい交通機

関であるが、その一方で列車が走行すると沿線にさまざまな環境問題を引き起こすことがある。これらの問題は列車が高速になると顕在化するため、新幹線の新線建設時や高速化の際には沿線環境を維持するための技術開発が必須となる。沿線環境に関する主な課題としては、沿線騒音、トンネル坑口から放射されるトンネル微気圧波、地盤振動などがあげられる。これらの現象については、それぞれ基準や目安値などが制定されており、それらの遵守が求められているが、そのためには、各現象を正確に予測し、効果的な対策を実施する必要がある。

2.2 空気力学分野における技術的課題

空気力学的な現象に伴う課題は多岐にわたるが、特に重要な課題として、安全性にかかわる強風による車両の転覆の問題があり、そのために防風柵や運転規制などハード、ソフト両面の対策が実施されている。鉄道総研では効果的な防風対策や適正な運転規制を行うために、強風による空気力を正確に評価するための研究開発を行っている。

また、近年、新幹線の寒冷地域への延伸にともない、寒冷条件下での安全・安定輸送の確保が求められている。なかでも、台車部への着雪現象が安全・安定輸送に対して非常に重要な課題となっていることから、低コストで効果的な台車部の着雪抑制策の開発を進めている。

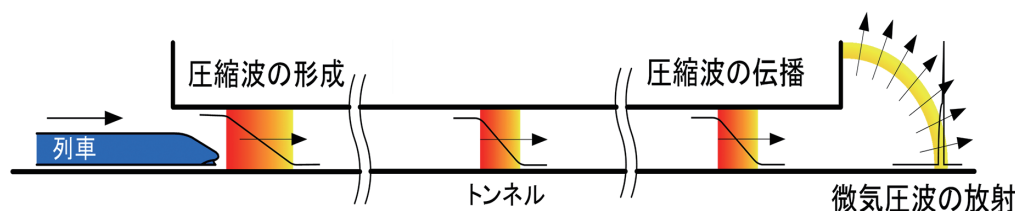


図1 トンネル微気圧波の現象

3. 研究開発のコア技術の活用事例

本章では前章で示した諸課題のうち、トンネル微気圧波の評価と台車部着雪量評価におけるコア技術を紹介する。

3.1 トンネル微気圧波評価に資するコア技術

トンネル微気圧波（以下、単に微気圧波）の現象を図1に示す。列車の突入によってトンネル内に形成された圧縮波がトンネル内を音速で伝播し、列車退出側坑口に到達したとき、その一部がパルス状の圧力波となって外部へ放射される。この圧力波はトンネル微気圧波と呼ばれ、発破音や家屋・建具の振動を発生させる要因となる。この微気圧波を正確に予測し、効果的かつ低コストな低減対策方法を開発するために数値シミュレーションによる予測技術と発射装置による実験技術を活用している。

数値シミュレーションによって微気圧波を正確に予測するためには、図1に示した、(1) 圧縮波の形成、(2) 圧縮波の伝播、(3) 微気圧波の放射の各段階を正確に計算する必要がある。鉄道総研ではそれぞれの段階において音響理論や流体力学にもとづいた数値モデルを構築し、波形レベルで正確に予測できる独自の数値

シミュレーション手法を用いている¹⁾。図2に数値シミュレーションによる計算と現地測定の比較結果を示す。計算結果は現地測定結果と良く一致しており、本シミュレーションは微気圧波予測のための非常に有用なツールである。

微気圧波低減対策の効果を定量的に評価するためには、模型実験による検証が不可欠である。微気圧波の現象を模型実験で評価するためにはトンネルと列車の相対運動を再現することが必要であり、そのための実験装置として列車模型発射装置²⁾がある。現在、軸対称列車模型発射装置2台（縮尺1/90程度、測定区間11m、最高速度450km/hと縮尺1/90程度、測定区間16m、最高速度550km/h）と、実形状列車模型発射装置（縮尺1/20、測定区間40m、最高速度400km/h）（図3）の計3台が稼働しており、トンネル緩衝工や列車先頭部形状の最適化など、微気圧波低減対策に関する実験に活用している。

3.2 台車部着雪量評価に資するコア技術

車両が積雪区間を走行すると線路上の雪が舞い上がり、車両の床下や台車部に付着し、塊となって成長する。この雪の塊が気温の上昇や走行時の振動、分岐器を通過するときの衝撃などで落下すると、線路のバラ

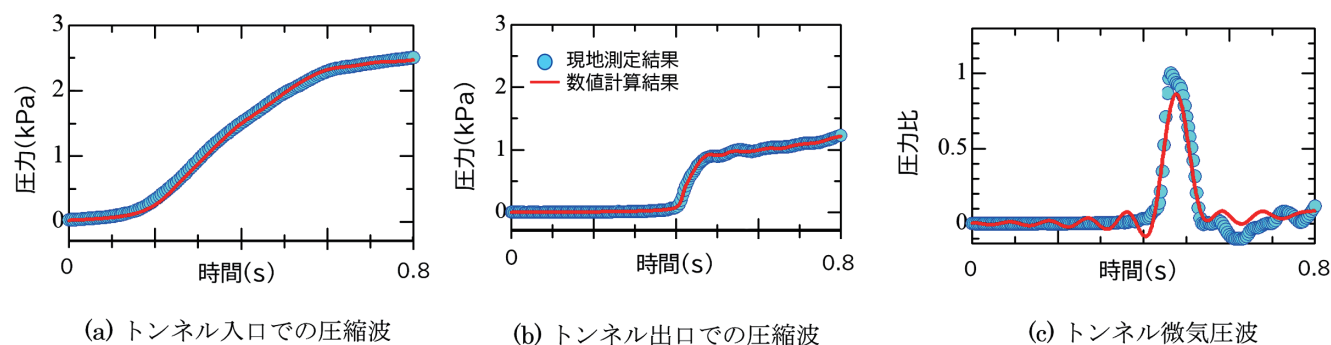


図2 数値シミュレーションによるトンネル微気圧波の予測

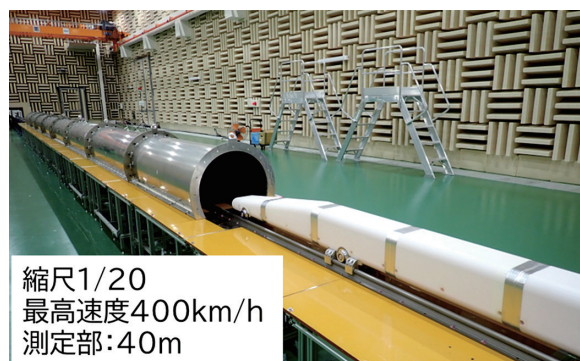


図3 列車模型発射装置

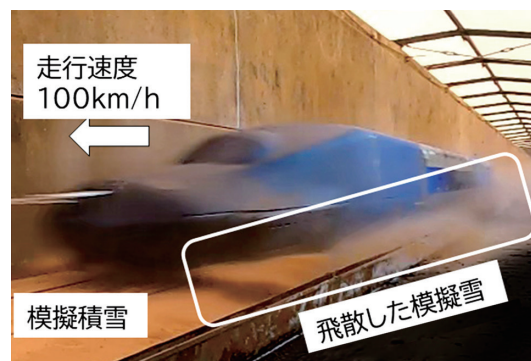
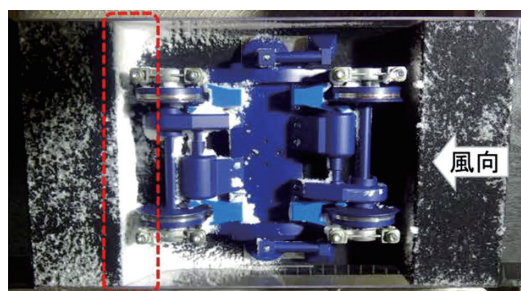
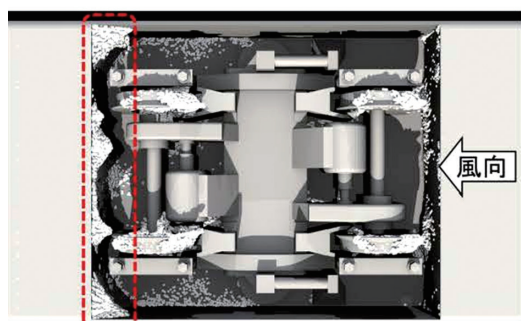


図4 模擬雪を用いた車両模型走行装置による着雪実験



(a) 雪風洞による実験結果



(b) 着雪シミュレータによる計算結果

図5 台車部着雪の計算結果と実験結果

ストが飛び散り、車両や設備、沿線家屋などに被害が発生する可能性がある。そこで、高速で走行する車両周りの空気の流れを台車部に取り込むことで着雪を抑制する対策方法の検討を行っている。効果的な対策方法の開発には、現象を正確に再現し、かつ、対策効果を定量的に評価することが必要である。ここでは、台車部着雪量評価のために活用している車両模型走行装置による着雪実験技術³⁾と着雪現象を正確に再現するための数値シミュレーション技術⁴⁾を紹介する。

車両模型走行装置は縮尺1/11の車両模型(3.5両編成)を最高速度100km/hで走行させる装置で、粒子運動が雪と相似であるクルミ殻を模擬雪として使用し、台車部への着雪状況の把握や走行風を台車内に取り込むための空力デバイスの仕様決定に活用している(図4)。

走行装置による実験では粒子運動が実際の雪と相似になる模擬雪を使用しており、舞い上がりによる飛散運動は実現象を再現できるが、台車部への付着現象は実際の雪と異なる可能性がある。そこで、実際の雪の付着現象も含めて再現するための着雪シミュレータを開発した。本手法は①台車部周辺の空気の流れを計算する気流計算、②気流によって浮遊する雪粒子の軌道を計算する軌道計算、③飛雪粒子の着雪判定を行う着雪計算の三種類の計算を連成させたものである。着雪判定については雪風洞による飛雪粒子の着雪実験を行

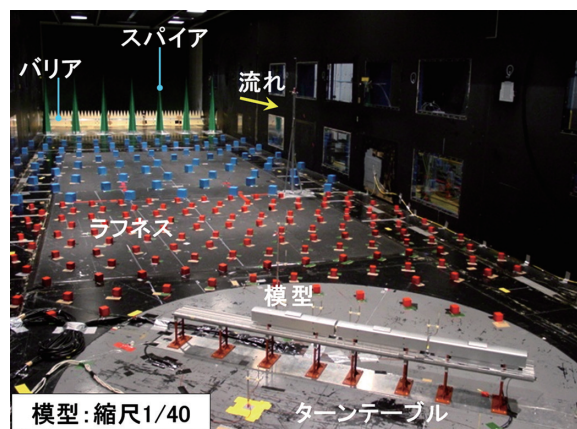


図6 横風空気力評価のための風洞実験

い、着雪判定モデルを構築し、着雪シミュレータに組み込んだ。台車部塞ぎ板への着雪に関する計算結果と雪風洞による着雪実験の結果を図5に示す。両者を比較すると、計算による台車端部(図5の赤枠内)の着雪状況は雪風洞による実験結果と類似していることが確認できる。

4. 研究開発のコア技術の高度化

新幹線の高速化や空気力学分野における技術課題の解決のためには、各コア技術の持続的な高度化が必須である。本章ではコア技術の高度化の取組事例として、横風空気力の評価と沿線騒音評価における取り組みについて紹介する。

4.1 横風空気力評価のコア技術の高度化

強風による列車転覆事故を防ぐための適切な運転規制風速の決定、あるいは、防風柵などのハード対策による効果の定量的評価のためには、横風によって車両に作用する空気力を正確に評価する必要がある。そこで、鉄道総研では風洞実験技術と数値シミュレーション技術を活用することによってこれらの課題解決に取り組んでいる。

風洞実験で横風による空気力を正確に評価するためには、作用している自然風の特性を再現する必要がある。そこで、鉄道総研では図6に示すように風洞床面にスパイアやバリア、ラフネスと呼ばれる障害物を適切に配置し、自然風の平均風速の鉛直分布と乱れ度を再現した乱流境界層を用いた実験を行っている⁵⁾。また、空気力は車両形状だけでなく高架橋や盛土などの地上構造物の影響も受けるため、両者を組み合わせた縮尺模型を使用している(図6は高架橋の実験例)。ま

た、鉄道総研の大型風洞による実験の場合、模型の縮尺は1/40であるが、実物大模型を用いた現地測定の結果と比較し、精度良く空気力を評価できることを確認しており、風洞実験技術は横風空気力評価のためには不可欠の重要な技術である。

現在、風規制区間においては、沿線に設置された風速計で観測された風速が基準値（規制値）に達すると速度規制や運転中止を行っている。しかし、図7に示すように、列車の走行位置で風速を観測しているわけではなく、さらに、自然風の風向、風速は時々刻々変化している。したがって、車両に作用する空気力をより正確に把握するためには、沿線に設置された風速計ではなく、列車がリアルタイムに風向・風速を推定することが求められる。そこで、車上計測による空気力推定手法の開発を行っている。具体的には車両に圧力センサーを配置し、その圧力分布から作用する空気力を推定する。その際、コスト面やメンテナンス面からできるだけ少数の圧力センサーによって風向・風速を推定するために、推定に対する関連性の高い測定箇所を数値シミュレーションにより求め、その妥当性を風洞実験により検証する。このように数値シミュレーション技術と風洞実験技術を高度化することで、列車による自律的な空気力推定手法の構築を目指す。

風洞実験は縮尺模型を使用している点に加え、車両

模型が地面に固定されている点が実際の現象と異なる。そこで、走行状態を模擬するための風洞実験用の走行装置の開発に取り組んでいる。本件は同様の装置を有するバーミンガム大学との共同研究で実施したものである。鉄道総研の走行装置は大型低騒音風洞に仮設するもので、縮尺1/60の車両模型を最高速度36km/hで走行させることができる（図8（a））。車両模型は小型で低速であるが、大型風洞によって風を発生させるため、均一な一様流や自然風を模擬した乱流境界層による実験が可能である。一方、バーミンガム大学の実験装置は縮尺1/25の車両模型を最高速度270km/hで走行可能な装置である（図8（b））。風発生装置は小型のファンを配列した簡易的なもので、風速分布の均一性が不十分であるが、比較的大きな車両模型を高速で走行させることが可能である。両者による実験結果を比較検討することで課題を抽出し、現象のさらなる再現精度向上のためには、大型の車両模型を高速で走行させ、かつ、良質な風を発生させる装置が有効であることが確認された。そこで、風洞実験技術の高度化として、3.1節で紹介した大型の列車模型発射装置（図3）に設置するための横風用の送風機の開発に取り組んでいる。長い測定区間に均一な風を発生させる必要から、複数台配列した小型ファンと、短距離で整流するためのハニカムやメッシュから成る整流胴とノズルで構成

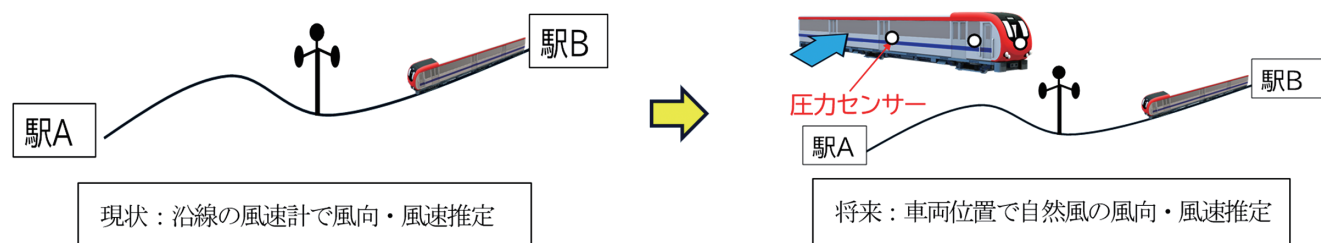


図7 数値シミュレーションによるトンネル微気圧波の予測

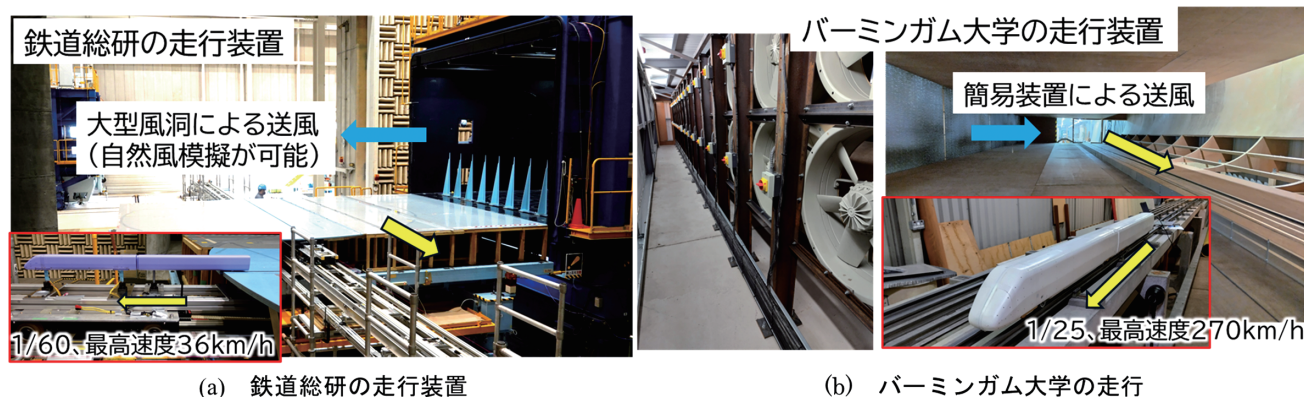


図8 数値シミュレーションによるトンネル微気圧波の予測

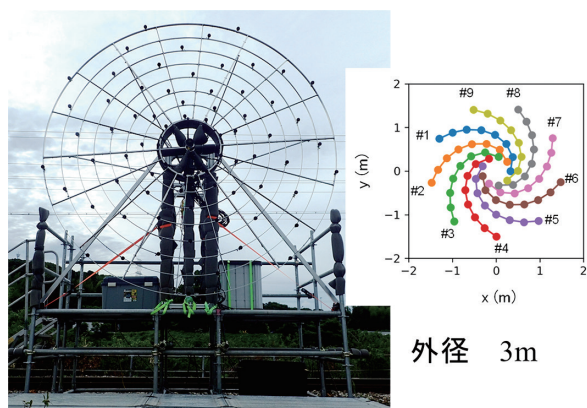


図9 二次元マイクロホンアレイ

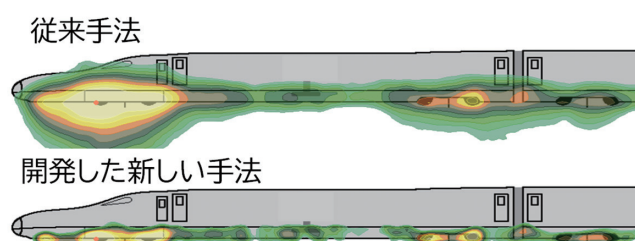


図10 新幹線の音源探査事例

されている。開発した装置を活用することで、車両と地上構造物との相対運動が再現でき、車両周りの風速分布が実際の状況に近づくことで構造物の影響や防風柵などの効果の定量的評価に資することが期待される。

4.2 沿線騒音評価のコア技術の高度化

沿線騒音の環境基準を遵守するためには、車両の音源位置を正しく把握し、沿線における騒音を正確に予測することが求められる。これらの目的のために、音源探査技術と、音の伝播予測を行うための音響模型実験技術、数値シミュレーション技術を用いた研究開発が実施されている。

音源探査技術として、多数のマイクロホンを平面上に配列することにより二次元的な音源分布の探査が可能な二次元マイクロホンアレイ（以下、アレイ）⁶⁾がある（図9）。本アレイは9本のスパイラル曲線にそれぞれ8本のマイクロホンが配置されたもので、外径が3mである。スパイラル曲線の数や曲がり具合等、様々な形状でアレイの性能計算をシミュレーションし、測定周波数250Hz帯～6.3kHz帯において最も良好な性能となる配列を選定した。

アレイの各マイクロホンで得られた信号を処理することで、音源の位置を特定することができるが、従来

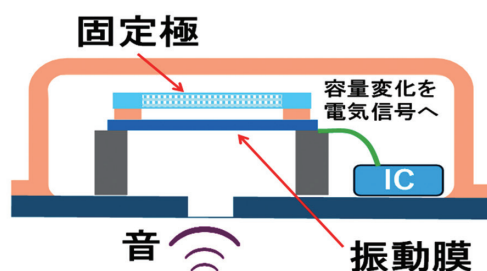


図11 MEMSマイクの構成概要図



図12 地形データ例

の信号処理方法ではアレイの展開領域とマイクロホン数が有限であることに起因し、理想的な点音源であってもアレイ処理後の音源は有限の幅に広がることで音源の位置がぼやけてしまい、空間分解能に限界があった。近年、空間分解幅を大きく向上させる信号処理法として、アレイの幾何学的な配置によって決まる音源の広がり除去することで音源の空間分解能を向上させる手法が開発されており、この計算手法を鉄道総研のアレイ配列に適用できるように工夫し、音源探査に用いている⁷⁾。その解析事例を図10に示す。新しい信号処理方法を用いることで台車の車軸間隔程度の空間分解能が得られていることがわかる。

効果的な騒音低減策を検討するためには、音源位置のさらなる詳細把握が必要であり、音源探査技術の高度化が求められる。そのための解決手段のひとつとして、MEMSマイク（Micro Electro Mechanical Systems マイク）の活用を検討している。MEMSマイクは図11に示されるように音響センサーと信号処理用の集積回路が組み合わさった小型（数mm角）で高性能のマイクロホンであり、スマートフォンやヘッドホンなど幅広く使用されている。このMEMSマイクを従来のマイクロホンでは設置不可能な狭小箇所、たとえば風洞実験用の縮尺模型の台車取り付け部などに多数配置するこ

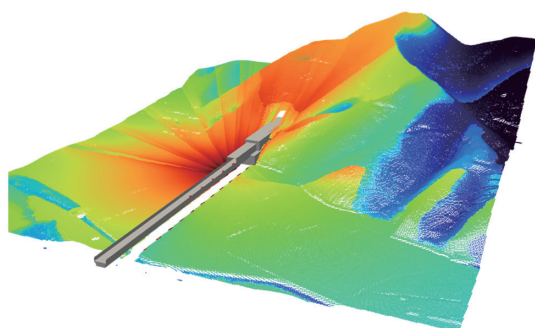


図13 地形の影響を考慮した音圧分布の計算例

とで、台車の音源探査に活用できる可能性がある。

音の伝播予測には音響模型実験技術と数値シミュレーション技術が用いられている。音響模型実験では、鉄道車両の音源を点音源装置や線音源装置で適切に模擬し、防音壁や車両の吸音材などの相似性を考慮しながら、3軸トラバースを用いた音圧分布測定によって音の伝播特性の把握を行っている。一方、数値シミュレーションでは、車両と防音壁間の多重反射などのために音場が複雑になる車両周辺の近傍場と、音場としては単純であるが非常に広い範囲の計算が必要となる騒音評価点(25mm点)付近の遠方場を境界条件で接続することで、それぞれ別の計算手法によって音圧を求めている。音響模型実験では車両と防音壁の間など狭小領域の測定が困難である一方、数値シミュレーションでは高周波数域において騒音評価点である25mm点までの広い範囲について計算を実施することは、計算リソースの観点から困難な状況である。よって、音の伝播予測においては両技術を併用し、それぞれの技術で得られた結果を補完することで実施している。

現在の沿線騒音予測手法では騒音評価点を平地として想定している。今後、より正確に沿線騒音を予測するためには、対象とする騒音評価点周辺の家屋や地形による音の反射、回折の影響を考慮した予測手法の構築が望まれる。そこで、現在、国交省の提供する3D都市モデル(PLATEAUプラトー)を活用した数値モデルの構築を行っている。取得した地形データの例を図12に示す。図12に示した地形データは、地形や家屋配置についてはPLATEAUを元に作成されたものである。また、鉄道構造物(高架橋や緩衝工など)や車両形状については図面を元に作成する。この地形データをもとに、音響計算の数値モデルを構築し、遠方場における音の伝播計算を実施することで、地形や家屋による音の反射、回折の影響を考慮した騒音予測が可能となる(図13)。

5. おわりに

新幹線の高速化や空気力学分野における技術的課題の解決のためには、各課題に対するコア技術の持続的な高度化が必要である。本分野は鉄道特有の現象が多いことから、理論による現象解明を十分に行うことで問題の本質を探究することが重要である。また、共同研究などにより他分野の知見や技術を積極的に取り入れながら、独創的な手法による解決策を探究し、提案する。また、提案した解決策を社会実装するためには現地試験による性能評価が必須であり、鉄道事業者との連携も必要不可欠である。今後とも研究開発のコア技術の高度化について、関係各所と議論を重ねながら進めていく所存である。これまでと同様、ご支援、ご協力をお願いしたい。

※3.1節にはボストン大学への委託研究の、3.2節には防災科学技術研究所、4.1節にはパーミンガム大学との共同研究の成果を含む。

参考文献

- 1) 福田傑, 宮地徳蔵, 中村真也: トンネル微気圧波を予測する, RRR, Vol.72, No.1, pp.16-19, 2015
- 2) 福田傑, 飯田雅宣: 列車・トンネル系の空気力学に関する模型実験, 日本音響学会, Vol.63, No.9, pp.543-548, 2007
- 3) 高見創, 新木悠斗, 室谷浩平, 石井秀憲, 鎌田慈: 走行風を利用した新幹線台車周りの着雪対策, 鉄道総研報告, Vol.36, No.9, pp.5-10, 2022
- 4) 室谷浩平, 中出孝次, 鎌田慈: 降雪地帯を走行する鉄道車両への着雪を再現する着雪シミュレータの開発, 鉄道総研報告, Vol.36, No.7, pp.59-68, 2022
- 5) 鈴木実, 種本勝二, 斎藤寛之, 今井俊昭: 自然風を模擬した車両に働く空気力に関する風洞試験法, 鉄道総研報告, Vol.17, No.11, pp.47-52, 2003
- 6) 宇田東樹, 山崎展博, 北川敏樹: 空力音に関する試験に活用する, RRR, Vol.73, No.11, pp.16-19, 2016
- 7) 宇田東樹, 北川敏樹: 音響透過板を用いた台車部空力音の測定および評価手法, 鉄道総研報告, Vol.34, No.3, pp.29-34, 2020

本要旨集の著作権は当研究所に帰属します。

—お問い合わせ先—

公益財団法人鉄道総合技術研究所 総務部 広報

電話：042-573-7219

第38回鉄道総研講演会 要旨集

2025年10月22日 発行

発行人 芦谷 公稔

発 行 公益財団法人鉄道総合技術研究所
鉄道総研講演会事務局

〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38

U R L <https://www.rtri.or.jp/>

