

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應える課題で、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。

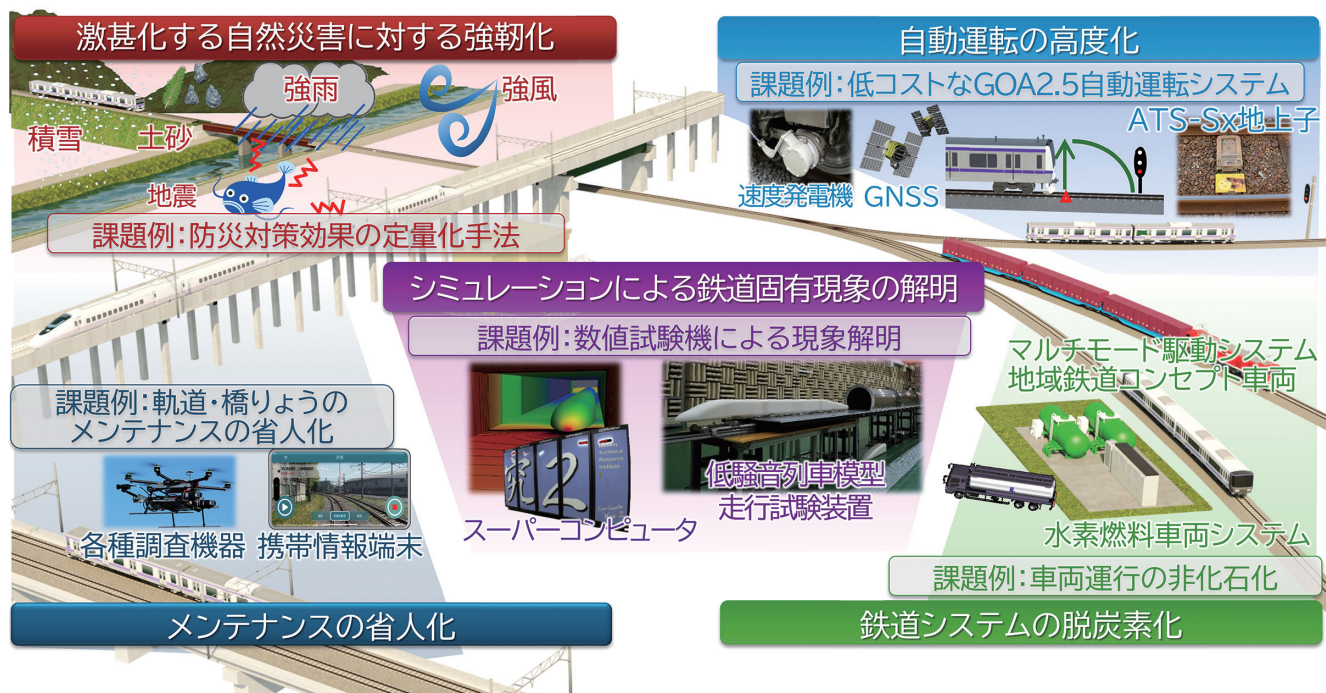


図1 RESEARCH 2030における鉄道の将来に向けた研究開発プロジェクトの例

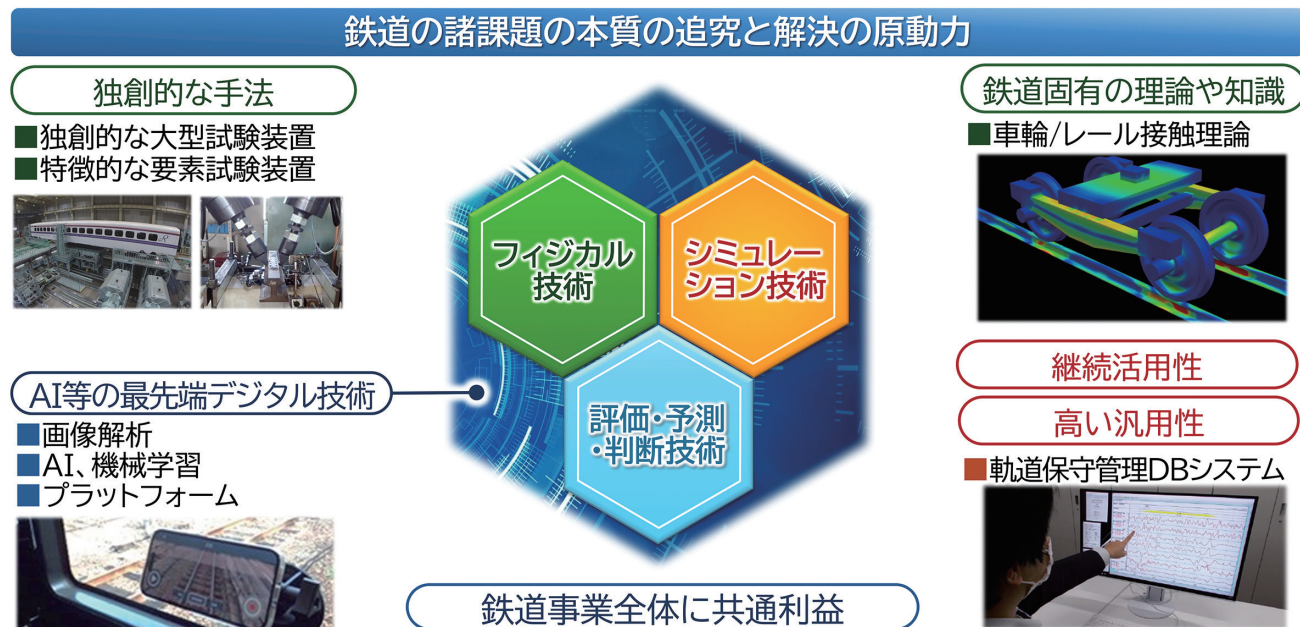


図2 研究開発のコア技術



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。

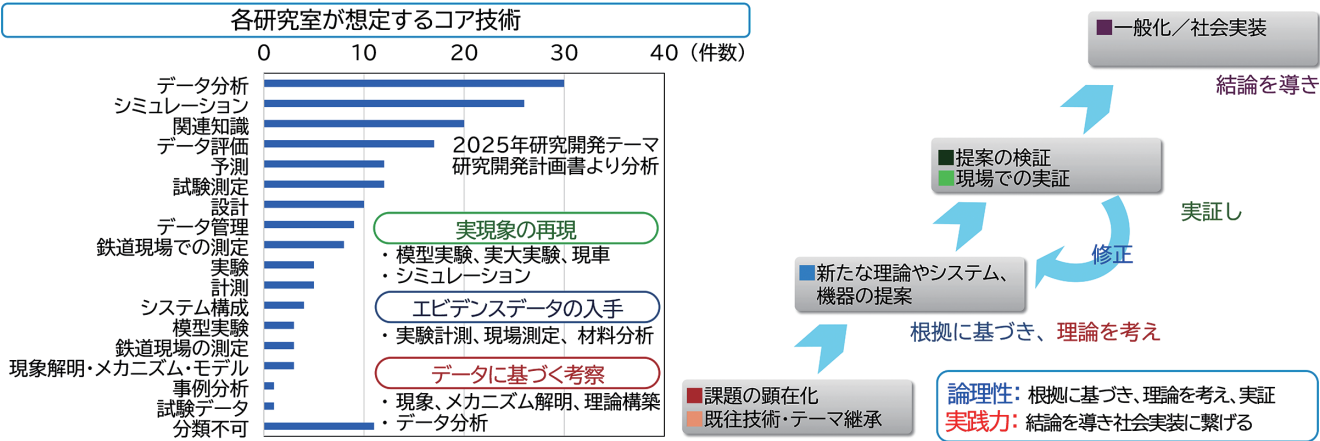


図4 研究開発のコア技術による本質の追究



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

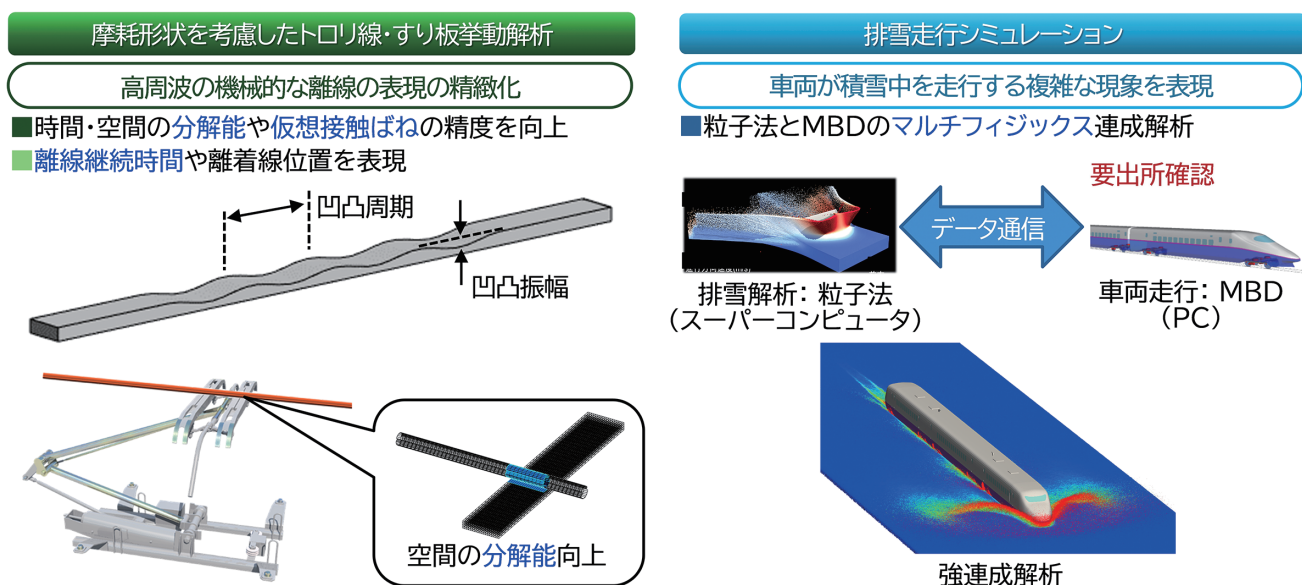


図6 シミュレーション技術の高度化の例



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

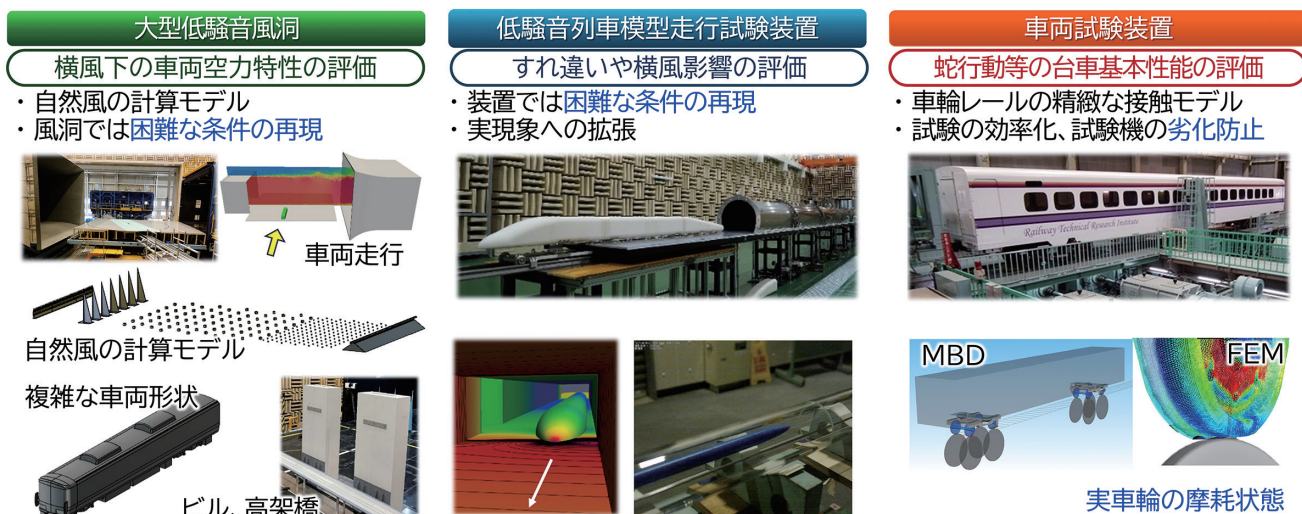


図8 フィジカル技術とシミュレーション技術の融合
数値試験機による鉄道固有問題の現象解明

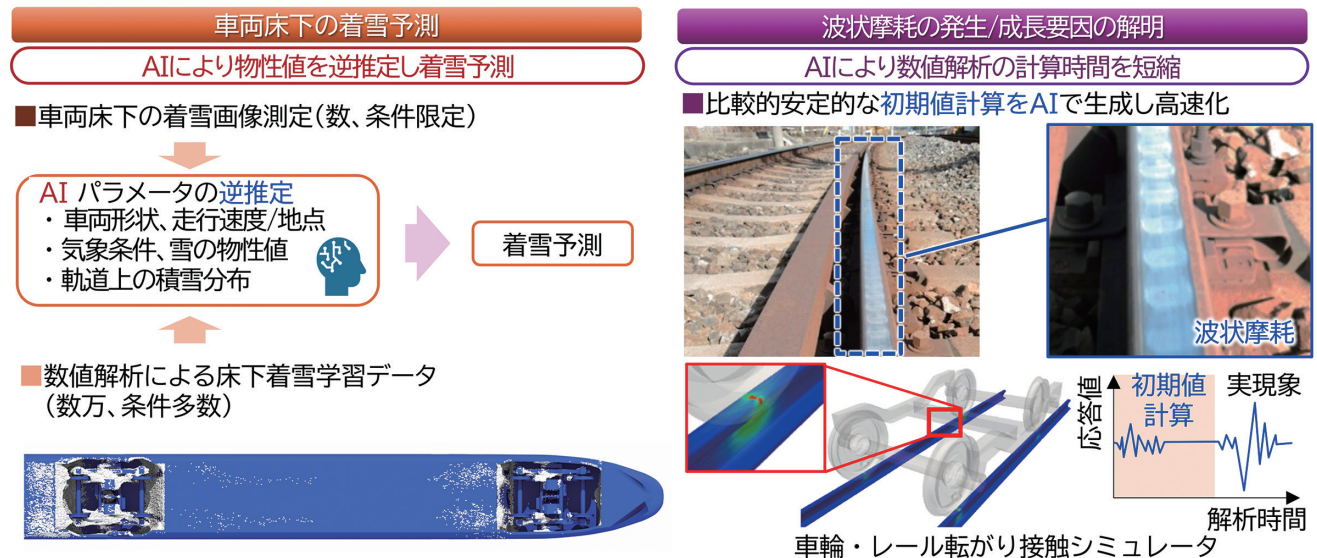


図9 シミュレーション技術とAI技術の融合

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、

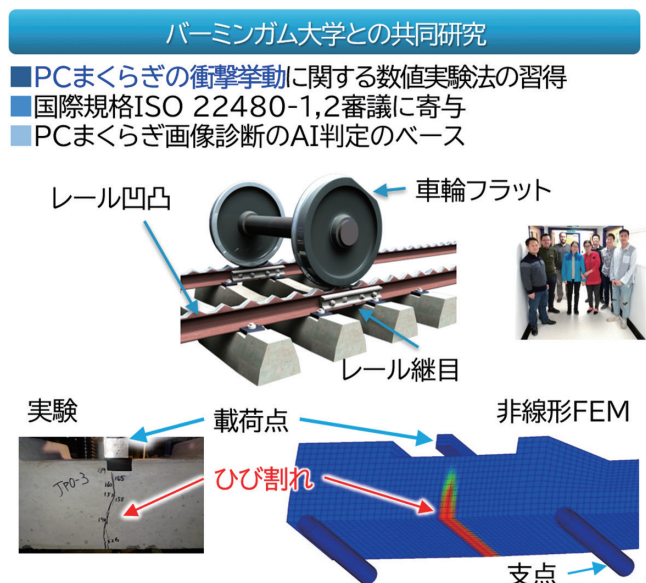


図10 他機関との連携の例

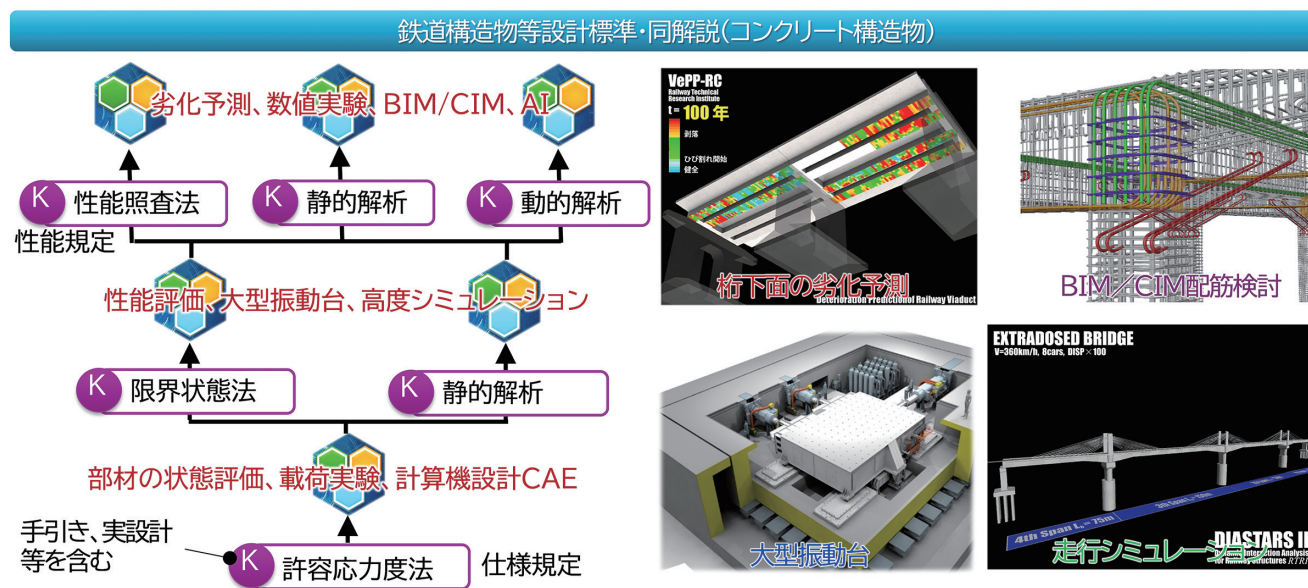


図11 ナレッジの再活用事例

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—コロナ禍を乗り越え、経済の新たなステージへ—, 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—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—, 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～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—持続可能な鉄道システムの創造—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) 影山暲, 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