

鉄道の持続的発展を目指して －省人化と自動運転－

理事
曾我部 正道



1. 鉄道を取り巻く環境の変化

1.1 鉄道を取り巻く社会課題

(1) SDGsとコロナによる社会変容

2015年に国際連合で採択された持続可能な開発目標（SDGs：Sustainable Development Goals）¹⁾は、これまでの人間の活動から生じた貧困・飢餓、気候変動、差別、環境破壊等の様々なグローバルな課題を解決するため、17ゴールと具体的な169ターゲットを定めている。例えばゴール8「働きがいも経済成長も」、ターゲット8.2には、「多様化、技術向上及びイノベーションを通じた高いレベルの経済生産性の達成」といった内容が示されている。2024年の世界人口は81億1900万人と前年に比べ7400万人増加した一方で、世界人口の2/3が少子化社会で暮らしている²⁾。

このような中で、2019年に新型コロナウイルス感染症が発生し、そのパンデミックにより日本を含む世界は、大きく変容した。日本の鉄道事業もまた、その影響を大きく受けた。鉄道運輸収入は回復しつつあるものの、社会や人々の価値観は変化し、新しい行動様式や人材流動化の影響が継続している。

(2) 我が国及び世界が乗り越えるべき社会課題

総務省³⁾は、近年の世界的な課題として「グリーン・カーボンニュートラル（地球温暖化）」「災害の激甚化（被害最小化のための取組み）」「情報過多、情報独占への対応（真偽不確かな情報流通・拡散）」「嗜好の多様化（市場の細粒化）」「ウェルビーイング志向の高まり（経済的成功より生きがい／健康）」を挙げている。特に日本では、「人口減少・高齢化」「生産性向上」「都市への人口集中と地方の過疎化の問題」が注視すべき課題であるとしている。先進国は軒並み同様の課題を抱えているが、日本経済はバブル崩壊以降、長期の低

迷期が続いており、人口流出による地方の経済・産業の担い手不足、コミュニティ維持の困難さが指摘されている。

1.2 生産年齢人口の減少と鉄道の取り組み

(1) 日本の人口及び生産年齢人口の減少

図1に日本の人口及び生産年齢人口（外国人の移住者を含む15～64歳人口）の推移を示す。総務省が発表した2024年1月の人口は、前年から53万人減少となった⁴⁾。これは過去最大幅の減少である。特に、生産年齢人口は、1995年以降減少を続けている⁵⁾。2000年には68%を占めていた生産年齢人口は、2050年には15ポイント低下し、53%になると予測されている。一方で、労働力人口（15歳以上の人口のうち就業者と就業意欲のある失業者を合算した人口）⁶⁾は、7000万人弱を維持してきた。これは、高齢者層の活躍や女性就業者の増加によるところが大きいですが、こうした構造には限界がある。

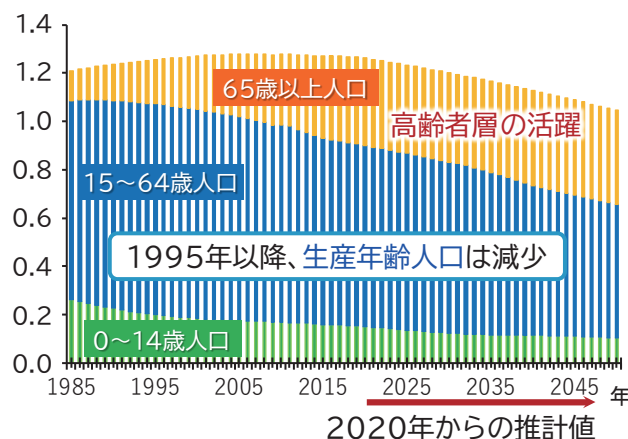


図1 日本の人口及び生産年齢人口⁴⁾⁵⁾

(2) 労働者不足と鉄道の取り組み

厚生労働省の労働経済動向調査⁷⁾によれば、労働者不足感は、2009年以降に上昇に転じ、特に、鉄道を含む運輸業は他産業に比べて、平均11ポイント高い状況が続いている。鉄道における労働者不足は、生産年齢人口の減少に加え、コロナ禍以降の人材流出もあり深刻度を増している。

これに対して、鉄道事業者では、運転士不足に対応した減便⁹⁾や保守作業員不足に対応するための終電繰上げ¹⁰⁾などが既に実施されている。さらには、国や鉄道事業者は、動力車操縦者運転免許の受検資格見直し¹¹⁾や地域鉄道への技術支援¹²⁾、事業者間の連携¹³⁾、女性／高齢者／外国人材の活用¹¹⁾¹⁴⁾、維持管理体系の定期基準保全TBM (Time-Based Maintenance) から状態基準保全CBM (Condition-Based Maintenance) やリスク基準保全RBM (Risk-Based Maintenance) への移行等に取り組んでいるが、維持管理等の省人化や一般路線への自動運転の導入等を目指した技術開発への期待も高い。

1.3 省人化と自動運転を実現するための技術開発

(1) Society 5.0

内閣府は、2016年開始の第5期科学技術基本計画 (2016) においてSociety 5.0を提唱するとともに、2021年開始の第6期科学技術・イノベーション基本計画において更なる具現化を進めている¹⁵⁾¹⁷⁾。Society 5.0は、サイバー空間とフィジカル (現実) 空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立し人間中心の社会を目指すものである。具体的には、フィジカル空間からセンサとIoTを通じてあらゆる情報を蓄積し、人工知能 (AI) が蓄積した

ビックデータを解析し、高付加価値な情報、提案、機器への指示を現実空間にフィードバックしていきこうというものである。

(2) AI技術

図2にAI技術の開発動向を示す。進化が著しいAI技術については、現状では、識別、予測、実行等の分野で実績があり、対話や生成といった分野でも急速に活用が進んでいる。その先のレベルを目指した、汎用人工知能、人工超知能等の開発も進められている¹⁸⁾²⁰⁾。

Python等の容易に取得できるプログラミング言語の使用環境が整ったこと等もあり、鉄道においても、ディープラーニングを中心としたAI活用が急速に進んでいる。一方で、公共大量輸送機関である鉄道は、安全性や信頼性に対して求められるレベルが高く、これをどう担保していくのが課題といえる。

(3) センシング技術

センシング技術は、古くから多様な技術が研究されている。特に最近のキーワードとしては、画像、複数のセンサを統合するセンサフュージョン、ドローン等が挙げられるが、AIとの連携により飛躍的に性能が向上しており、特に画像においては、CNN (Convolutional Neural Network: 畳み込みニューラルネットワーク) により活用の幅が広がった²⁰⁾。

(4) プラットフォーム技術

生産や維持管理において、ツールの共通化やデータ連携の基盤となる技術やシステム、いわゆるプラットフォーム技術の導入が進められている。

例えば国土交通省は²¹⁾²²⁾、2016年に、ICT等の新しい技術の導入による建設現場の生産性向上等を目指したi-Constructionを提言した。これを具現化する取り組みの一つとして2019年には、BIM/CIM (Building / Construction Information Modeling, Management)

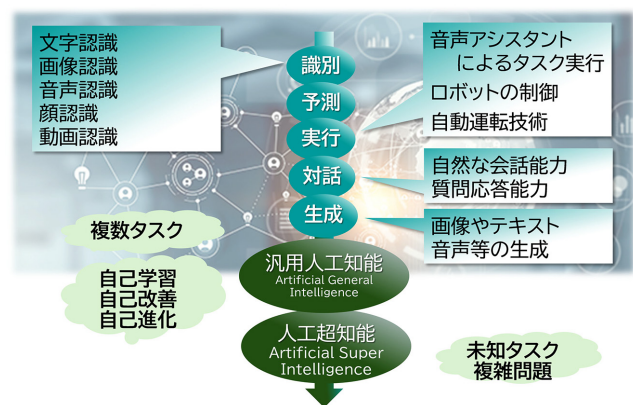


図2 AI技術の開発動向

表1 鉄道の自動運転の導入状況

自動運転レベル	事業者名	路線名	検証運転	実運用
GOA2.5	JR九州	香椎線	2019年12月～	2024年3月～
緊急操作を行う係員付き自動運転	南海電鉄	和歌山港線	2023年8月～	未定
	東京メトロ	丸ノ内線	2025年度予定	未定
	大阪メトロ	中央線	2024年度予定	未定
	JR西日本	環状線	2020年2月	未定
GOA3	JR東日本	上越新幹線	未定	2030年代中頃
添乗員付き自動運転	東武鉄道	大師線	未定	未定
GOA4	JR東日本	上越新幹線 (回送線)	2021年10月～	2020年代末
無人運転	JR東日本	上越新幹線 (本線回送列車)		2030年代中頃

GOA2半自動運転は除く、GOA3、4新交通システム等は除く

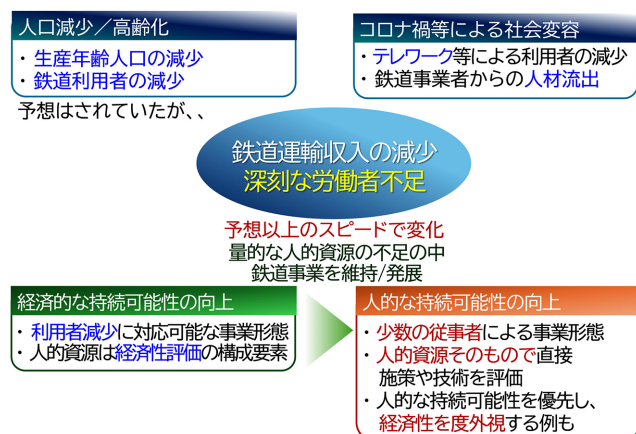


図3 鉄道を取り巻く環境の変化と持続可能性の向上

の導入を提言し、公共工事における原則適用をロードマップに則り進めている。BIM/CIMは、調査／測量／設計／施工／維持管理等の各段階で、三次元モデルに各種情報を結び付けた共通フォーマットのデジタル情報を受／発注者が共有し生産性や品質の向上を目指すものである。

(5) 自動運転技術

自動運転技術は、自動車分野で急速に進展している。ドライバー監視に基づくフット／ハンズフリー技術が、高速道路等の条件下で社会実装され、システム監視に基づくアイズ／ドライバーフリー技術の開発も進められている²³⁾。

表1に鉄道の自動運転の導入状況をGOA (Grades Of Automation) ごとに示す。GOA2半自動運転を除き、GOA2.5 (緊急操作を行う係員付き自動運転)、GOA3 (添乗員付き自動運転)、GOA4 (無人運転) について示した。GOA3、4については、モノレール、新交通システムは除いて示した。

GOA2.5はJR九州の香椎線で導入されており、踏切を有する線区としては初の試みである²⁴⁾。また、新幹線の回送列車等でのGOA4に向けた運転システムの開発も進められている^{25) 26)}。

今後、よりグレードの高いGOA3、4等の運転システムを既存の一般路線に導入していくためには踏切や障害物検知等の課題を克服していく必要がある。

1.4 人的資源の観点からの持続可能性の向上

図3に鉄道を取り巻く環境の変化と持続可能性の向上について示す。人口減少／高齢化、コロナ禍等による社会変容により、鉄道運輸収入の長期的な減少シナリオが想定されることに加え、深刻な労働者不足が、

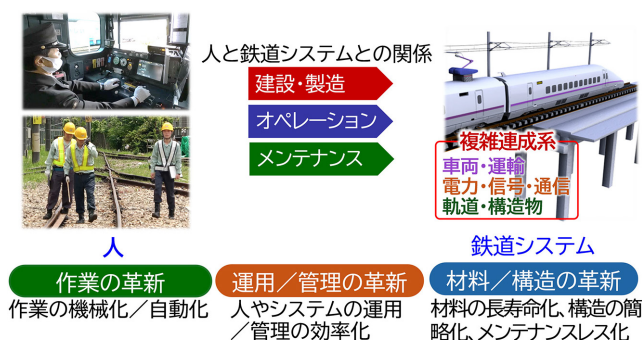


図4 鉄道の省人化と自動運転技術の分類

予想以上のスピードで生じている。

これまででも、縮小する社会を想定し、鉄道事業の生産性を高め、経済的な持続可能性を向上させるための取り組みはなされてきた。鉄道利用者の減少に対応可能な事業形態、長期的に利益を生む事業形態、様々な技術開発が進められる中で、人的資源についても経済性評価の構成要素の一つとして議論がなされてきた。

一方で、近年の量的な人的資源の枯渇に対して、社会基盤である鉄道事業を着実に維持、そして発展させていくためには、少数の従事者により、質の高いサービスを提供する事業形態の確立が不可欠である。そのためには、従事者である人の多能化、リスクリング等に加えて、作業の機械化／自動化／脱技能化、運用の効率化、鉄道そのもののメンテナンスレス化が必要である。

こうした状況下においては、人的資源を中心とした持続可能性の向上の議論が必要であり、既存の業務形態や新しい施策、技術などについて、確保できる人的資源の量と質を尺度として、直接的に評価することが重要となってきた。更にいえば、人的資源が優先指標であり、経済性を度外視するような場面も散見されるようになってきた。予想以上のスピードで進む社会の変化に対して、根本的な対応が求められている。

以上のような背景から、本稿では、鉄道の持続的発展を目指した省人化と自動運転について論じることとした。

2. 鉄道総研の取り組みと課題

2.1 鉄道の省人化と自動運転技術の分類

図4に鉄道の省人化と自動運転技術の分類を示す。鉄道システムとは、車両／運輸／電力／信号／通信／軌道／構造物等から構成される複雑連成系であり、こ

れらは、主に建設／製造、オペレーション、メンテナンスの3つのフェーズで、人と係る。

省人化と自動運転技術の分類としては、作業の機械化や自動化による「作業の革新」、人やシステムの運用／管理の効率化による「運用／管理の革新」、材料の長寿命化、構造の簡略化、メンテナンスレス化による「材料／構造の革新」の3つが挙げられる。

2.2 鉄道総研の研究開発の例

図5に鉄道総研の研究開発の例を示す。前述の3つのフェーズと、3つの分類に対して、近年取り組んできた研究開発、現在取り組み中の研究開発を整理した。

「作業の革新」のための研究開発としては、例えばICTを活用した盛土の施工、GOA2.5自動運転、自律型列車運行システム、前方障害物検知、車両床下撮影装置、三次元電車線検測装置等が挙げられる。

「運用／管理の革新」については、統合分析プラットフォーム、軌道管理のためのLABOCS、信号用電子機器の寿命予測、整備作業ダイヤの自動作成等が挙げられる。

「材料／構造の革新」については、RC部材の接合部の配筋簡素化、プレキャスト高架橋、S型弾性直結軌道、PHCシンプル架線、潤滑剤の長寿命化等が挙げられる。

一方で、こうした画像やAI等のデジタル技術、新材料や新構造を公共大量輸送機関である鉄道に適用していくためには、安全性や信頼性の評価、技術基準化が欠かせない。

2.3 省人化と自動運転の要素技術の例

省人化と自動運転を実現する鍵となる要素技術がセンシング技術である。カメラ、赤外線カメラ、ラインカメラ、ウェアラブルカメラ、レーザー、レーダー、LiDAR、振動、超音波、音響、GNSS、温度、加速度計、速度計などの活用を進めるとともに、高精度計測、複数のセンサを組み合わせたセンサフュージョン、同期計測などの技術が活用されている。

センサ情報の分析、人やシステムの運用・管理の効率化に寄与する要素技術としては、基盤となるデータベースやプラットフォーム、決定木系やディープラーニング系のAIや統計解析、寿命予測、劣化予測、業務計画、補修計画、要員計画等の各種ツールの開発に取り組んでいる。

鉄道の特徴である長大な設備を維持管理していくためには、センサ搭載の方法も重要となる。従前の搭載方法である人、トロ、専用車両に加え、営業車、ドローン、スマホの活用が進んでいる。

センサとデータベースを結ぶネットワーク技術としては、5G、Beyond 5G、公衆回線、Wi-Fi、セキュリティ管理といった通信技術の鉄道沿線環境で活用に関する研究開発を進めている。

材料の長寿命化、構造の簡略化、メンテナンスレス化を実現する技術としては、材料分析装置、載荷試験機、疲労試験機、振動台などが活用されている。

いずれにしても複雑連成系の鉄道では、単独のデジタル技術では対応困難な場合も多く、複数の要素技術の融合が重要となる。



図5 鉄道総研の研究開発の例

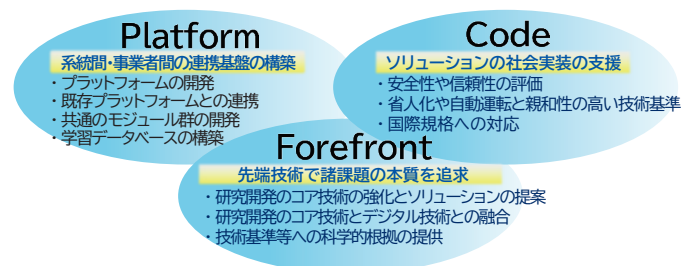


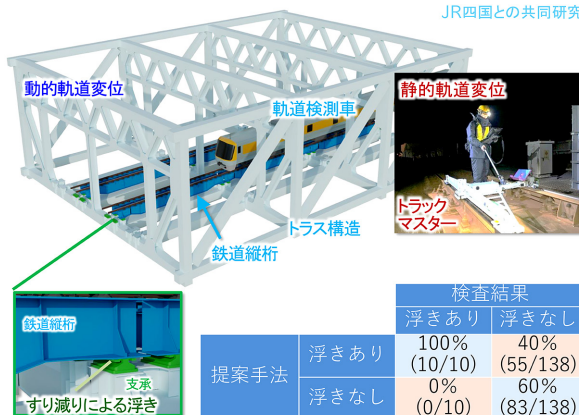
図6 省人化や自動運転において鉄道総研が果たすべき役割



図7 統合分析プラットフォーム



JR四国との共同研究

図8 系統横断データ活用例
(軌道検測データの土木構造物への適用)

2.4 鉄道の省人化と自動運転に向けた課題

以上の鉄道総研の取り組みを踏まえた上で、鉄道の省人化と自動運転に向けた研究開発の課題を整理する。

(1) 時間との競争

労働力不足は、益々深刻化することが予想される。解決策として期待されるデジタル技術は急速に進歩しているものの、鉄道分野の実務への浸透スピードは、必ずしも十分ではなく、また事業者や技術分野（以下、系統）により差が生じている。特に鍵となるAI等については学習の質、量、方法などの点で困難さが指摘されている。

(2) 諸課題を解決する力

鉄道は成熟した多系統の複雑システムであることから、デジタル技術の適用のみでは解決困難な事例も少なくない。また、研究と社会実装の狭間に横たわる「死の谷」を越える一押しが不足する場合が散見される。一方で、研究トレンドやリソース投入が急速にデジタルシフトし、諸課題を解決する力の衰退が懸念されている。

(3) 安全性と生産性向上との両立

安全は公共大量輸送機関としての要件であるが、AIを始めとする先端技術の導入に当たっては効果とリスクとのトレードオフを踏まえた精査が必要である。科学技術においては安全の概念自体も時代とともに変化してきたが、労働力不足という時代の中で安全性と生産性の向上の両立を目指すべく、先端技術を社会実装していくための合意形成とルール作りが必要である。

3. 鉄道総研が果たすべき役割

図6に省人化や自動運転において鉄道総研が果たすべき役割について示す。鉄道では既に多くの省人化や自動運転の取り組みが行われているが、前述のような課題を踏まえ、抜本的な取り組みをスピードアップして実施していく必要がある。そのために鉄道総研が果たすべき3つの役割について以下に詳述する。

3.1 “Platform” 系統間・事業者間の連携基盤の構築

(1) プラットフォームの開発

深刻化する労働力不足にスピーディーに対応していくためには、系統間・事業者間のデータ連携の促進による業務の効率化が重要となる。

図7に鉄道総研が開発する統合分析プラットフォームの概要を示す²⁷⁾。統合分析プラットフォームでは、車両、電力、信号、軌道、構造物などの各系統の様々なデータ、具体的には、検測・診断、台帳、車上計測、前方計測などのデータを統一形式・キロ程に変換した系統横断データを構築する。

この系統横断データに対して表示・分析・評価モジュール群を適用して、効率的な検査、劣化予測やリスク評価、交換検査周期の最適化などによりメンテナンスの省人化を図る。

図8に系統横断データ活用例として、軌道検測デー

タの土木系統への適用について示す。これは、現在、近接目視で行われている瀬戸大橋の4400箇所の鉄道縦桁支承の検査に、車上検査を適用していく手法を開発したものである²⁸⁾。軌道検測車が走行した際の動的軌道変位の測定波形とトラックマスターの静的軌道変位の測定波形の差から、支承のすり減りによる浮きを検出する。適用試験では、0.5mm以上の浮きを100%検知しており、近接目視検査を実施すべき支承のスクリーニングが可能となっている。

(2) 既存プラットフォームとの連携

鉄道事業者を始めとする各所においても、業務効率化の基盤としてのプラットフォーム開発が進められている。こうした既存プラットフォーム同士の相互連携、鉄道固有のソフトウェア群とのデータ連携も省人化の重要な開発要素である。

例えば鉄道総研では、前述の国土交通省が主導するBIM/CIMと鉄道固有の性能照査型設計ツールや維持管理ツール、FEM解析プログラムとのデータ連携を進めている²⁹⁾³⁰⁾。また、軌道分野で広範に使用されている軌道保守管理データベースシステムLABOCSについては、前述の統合分析プラットフォームとの相互連携機能の開発を進めている。

(3) 共通のモジュール群の開発

各鉄道事業者で開発が進められているプラットフォームでは、最新の画像や分析処理モジュールに重複が散見される。そこで、鉄道総研では、最新技術を鉄道に適用する共通のモジュール群を開発し、各鉄道事業者のニーズに応じて提供する枠組みを推進している。

図9に共通のモジュール群の例を示す³¹⁾。基盤モジュール群としては、車両の前方画像の俯瞰画像への変換、管理用の長尺画像の作成、画像内の様々な鉄道設備の認識の他、画像フレームへのキロ程の付与を開発している。また、分析・評価モジュール群としては、架線ハンガの劣化、ホーム離れ、信号器具箱の劣化の他、ATS地上子位置、電柱傾斜、車両動揺等を開発している。



図9 共通のモジュール群の例

こうした共通のモジュールの活用により、開発期間／費用の削減が可能となり、鉄道事業者等は必要な個別開発にリソースを集中することができる。

(4) 学習データベースの構築

AI・機械学習モデルを用いたモジュールは、安全性及び信頼性の確保に加えて、良質な学習データを大量に揃えることが課題である。

鉄道総研では、AI・機械学習データとして、様々な問題に適用可能な鉄道用画像ライブラリの構築を進めている³²⁾。こうした鉄道用画像ライブラリを構築／提供することにより、各鉄道事業者単独では困難な画像の質（線区、天候、画角などのバリエーション）や量を確保することができる。共通の画像を用いることにより、モジュールの安全性や信頼性の担保や、開発期間の短縮を図ることができる。

3.2 “Forefront” 先端技術で諸課題の本質を追求

(1) 研究開発のコア技術の強化とソリューションの提案

研究開発のコア技術を継続的に強化することにより、建設やメンテナンス、オペレーションの省人化、自動運転等に資するソリューションを提案していく。

研究開発のコア技術とは、研究開発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もたらす技術であり、具体的には、独創的な大型低騒音風洞や車両試験台、振動台といった大型試験設備、特徴的な要素試験装置、所内試験線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流体解析や車両運動解析、運転時分解析等のシミュレーション技術等である。

研究トレンドやリソース投入が、急速にデジタルシ

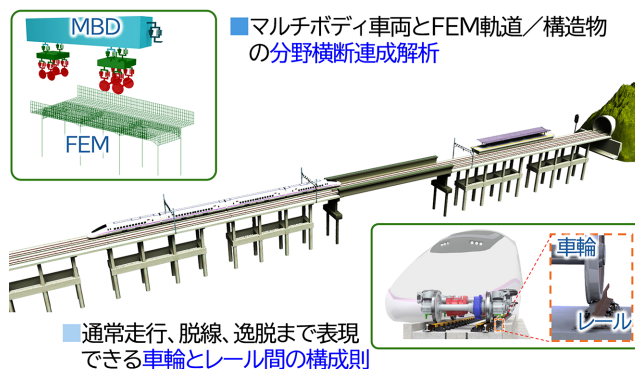


図10 研究開発のコア技術であるシミュレーション技術（車両、軌道、構造物の動的相互作用解析法）

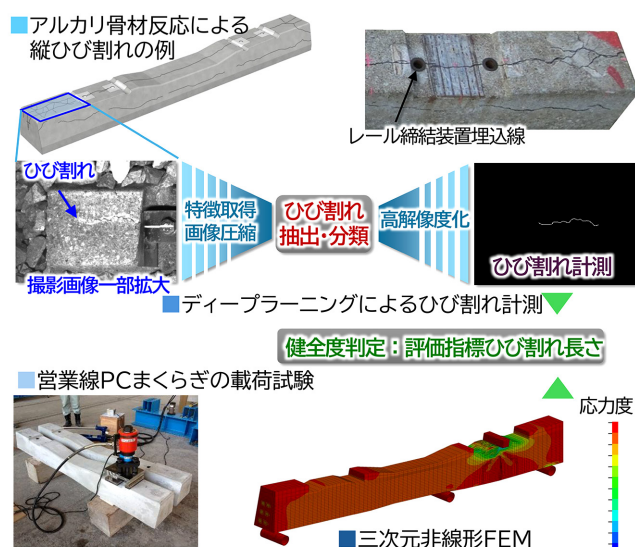


図 11 研究開発のコア技術とデジタル技術との融合
(PCまくらぎの健全度判定)

フトする中であっても、鉄道の諸課題の解決にはこうした研究開発のコア技術が欠かせない。加えて、こうしたコア技術を有効に活用できる能力や知識、経験を有する職員の育成にも注力していく必要がある。

図10に研究開発のコア技術であるシミュレーション技術の例として、車両、軌道、構造物の動的相互作用解析法を示す。当該技術は、鉄道固有の諸問題に適用可能な汎用ツールで、マルチボディ車両モデルとFEM軌道／構造物モデルを用いた分野横断連成解析法であり、通常走行、脱線、逸脱まで表現できる車輪とレール間の構成則を有している³³⁾。

この手法は、繊維補強コンクリートを用いた高耐久性の桁や防音壁の開発、防振スラブやラダー型まくらぎ等の省力化軌道の開発、桁たわみや支承変状等の車上からのモニタリング法の開発、桁の累積疲労損傷度の評価法の開発等の維持管理の省人化の用途だけでなく、地震時や降雨時の橋梁上の車両走行評価、構造物音や地盤振動等の様々な諸課題の解決に汎用的に適用されている。

(2) 研究開発のコア技術とデジタル技術との融合

実務では、デジタル技術を適用しただけでは解決困難な課題も少なくない。研究開発のコア技術から得られる理論的な知見を、画像やAI、プラットフォーム等のデジタル技術と融合させることにより、予測や評価モジュールの高精度化や学習用画像データベースの信頼性向上を図ることができる。

図11に研究開発のコア技術とデジタル技術との融合の例として、画像によるPCまくらぎの劣化診断に

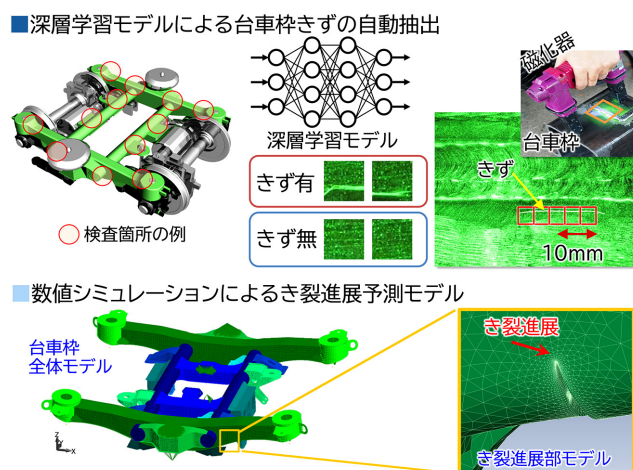


図 12 技術基準等への科学的根拠の提供
(台車枠の検査)

ついて示す³⁴⁾。PCまくらぎの健全度評価は、徒歩巡視で実施されるが、敷設本数が膨大であるため多大な労力を必要とする。また、判断にも個人差が生じる。そこで、保守用車や車両からの撮影画像からディープラーニング等により高解像度のひび割れ図を作成し、健全度判定を行うモジュールを構築した。

図11は、アルカリ骨材反応に起因するひび割れを対象とした判定モジュールの例であるが、これを実務に適用していくためには、健全度の判定基準が重要となる。そのため、ひび割れ長さや幅等の物理量がPCまくらぎの各種耐荷力に及ぼす影響を、営業線PCまくらぎの载荷実験や三次元非線形FEM解析等の研究開発のコア技術を用いて定量化した。破壊メカニズムの本質を解明した上で、検査方法や頻度、見落としした場合のリスク等も加味して、モジュールに適用する具体的な評価指標、閾値、措置などを設定した。

(3) 技術基準等への科学的根拠の提供

同様な研究開発のコア技術の役割として、技術基準等の安全性や信頼性を担保するための科学的根拠を定量的に提供することが挙げられる。

図12に技術基準等への科学的根拠の提供の例として、台車枠の検査の例について示す。台車枠に対しては、施設及び車両の定期検査に関する告示の解釈基準、別紙第3、台車枠の検査マニュアル等³⁵⁾に基づき定期的な検査が行われている。基本的には、き裂が小さい段階(きず)で発見・処置すれば、重大事故を防止することができるため、重要部検査及び全般検査の定期検査で磁粉探傷検査等の確実な方法できずの有無を検

査することが重要となる。

一方で、近年、台車枠の検査箇所数が増加していること、非破壊検査の判断には経験が必要なこと、今後、検査員の確保が困難となること等が予測されるため、鉄道総研では、磁粉探傷画像に対してディープラーニングを用いた自動抽出手法を開発した³⁶⁾。

このような手法を用いるためには、どの程度のきずまでを検知の対象とするか、閾値の議論が必要となる。台車枠の検査マニュアルには、き裂長さの走行距離に伴う変化の調査やシミュレーション等によるき裂進展曲線に基づき、初期き裂長さ40mmが塑性変形（き裂長さ600mm）に至るまでに120～150万kmの走行が必要との記載がなされているが、今後のディープラーニングの適用を想定して、数値シミュレーション等を用いたき裂進展曲線の定量化に取り組む必要がある。

具体的には、応力解析とき裂進展部の再モデル化とを繰り返しながらき裂の拡大を表現していく手法を適用し、台車枠の構造特性や使用線区条件などを考慮し、部位ごとにき裂進展曲線を算出し、閾値の設定の根拠データを提供したいと考えている。

3.3 “Code”ソリューションの社会実装の支援

(1) 安全性や信頼性の評価

ソリューションの社会実装を支援するため、鉄道総研は中立的な第三者機関として国や鉄道事業者の技術

基準等の構築を支援していく。

表2に技術基準等の体系をまとめて示す³⁵⁾³⁷⁾⁻³⁹⁾。ここで技術基準等とは、鉄道営業法から実務で用いられる参考資料、手引き、マニュアル、計算例までを含めて、広義に定義した。鉄道の技術上の基準を定める省令は、新技術の導入や個別事情への柔軟な対応を可能とするため、2001年に性能規定に移行した。これをベースとして、省人化や自動運転との親和性の高い技術基準等の整備を促進していく必要がある。

社会実装を支援するためには、技術基準等に反映する場合の設定根拠や情報、メリット、リスクを提示していく必要がある。専門的な知識を駆使して理論的、実証的、統計的に技術基準等の設定根拠を提供・明示するとともに、先端技術によるソリューションの安全性や信頼性を評価する。高度な学術的な研究や知見を一般化して、鉄道事業者、鉄道利用者等に対して提示するとともに、社会的な受容ベースとなる正確な情報、具体的なメリットやリスクを提示していく。

技術基準等の策定に際して、鉄道総研は、中立的な第三者機関として関与し支援するとともに、国や学識経験者、鉄道事業者、鉄道関係者、学協会活動、鉄道利用者等の意見を整理・集約し、具体的な基準案としての合意形成を支援する。

(2) 省人化と親和性の高い技術基準等

表3に告示等における検査周期の概略と検査周期の

表2 技術基準等の体系

Code 技術基準等(広義)	技術的自由度を高め、新技術の導入や線区の個別事情への柔軟な対応を可能に
鉄道営業法	
鉄道に関する技術上の基準を定める省令	2001年性能規定に移行
施設及び車両の定期検査に関する告示	
鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準	強制力を持たず具体化、数値化
鉄道構造物等の技術基準について 通達(構造物)	解説 鉄道総研及び鉄道事業者が
鉄道構造物等の維持管理標準の制定について 通達(軌道、構造物)	解釈基準の設定根拠を取りまとめ
施設及び車両の定期検査に関する告示の解釈基準	個々の実情を反映
鉄道事業者の実施基準	省人化・自動運転との親和性
参考資料、手引き、マニュアル、計算例	デジタル技術等のソリューションの
国際規格、国内規格、協会規格	社会実装に必要な
例 JIS E 3802(IEC62267)自動運転都市内軌道旅客輸送システム-安全要求事項	解釈基準や根拠の提供

表3 告示等における検査周期の概略と検査周期の延伸の手段と各系統の動向

	車両	電力設備、運転保安設備	線路の定期検査
在来線	重要部 4年又は50万km 全般 8年(いずれも電車)	重要度に応じて 1年、2年	軌道 1年 構造物 2年
新幹線	重要部 1.5年又は60万km 全般 3年又は120万km	重要度に応じて 3月、6月、1年	軌道 1年、軌道変位2月 構造物 2年
検査周期の延伸の手段	・電子機器化、高耐久化 ・検査実績による実証 ・状態監視の導入	・自動的に動作する予備装置 ・耐用年数での定期交換 ・電車線等を支持する工作物	構造物 詳細検査実施 鋼・合成4年 コンクリート6年
CBM/検査周期延伸の動向	・車両新製時の電子機器化、高耐久化、状態監視導入 ・試験車両による実証	・変電所の二重構造 ・デジタル化、自己診断機能 ・PC電化柱等は+1年など	実績なし

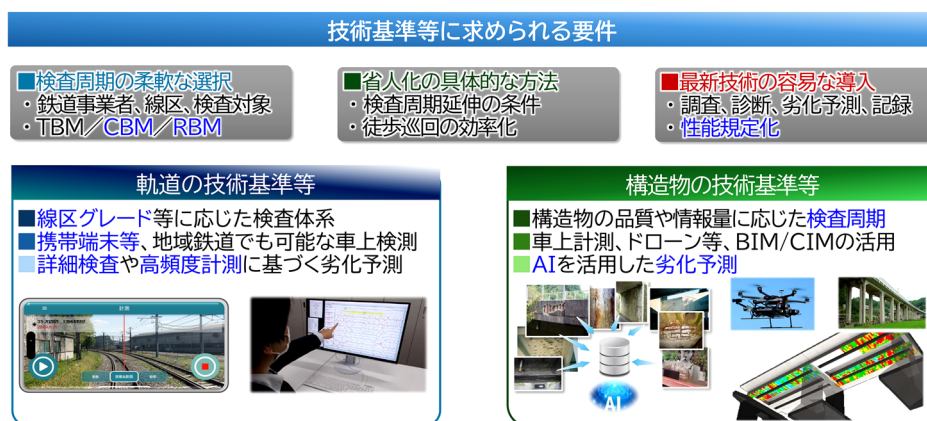


図13 省人化と親和性の高い技術基準等

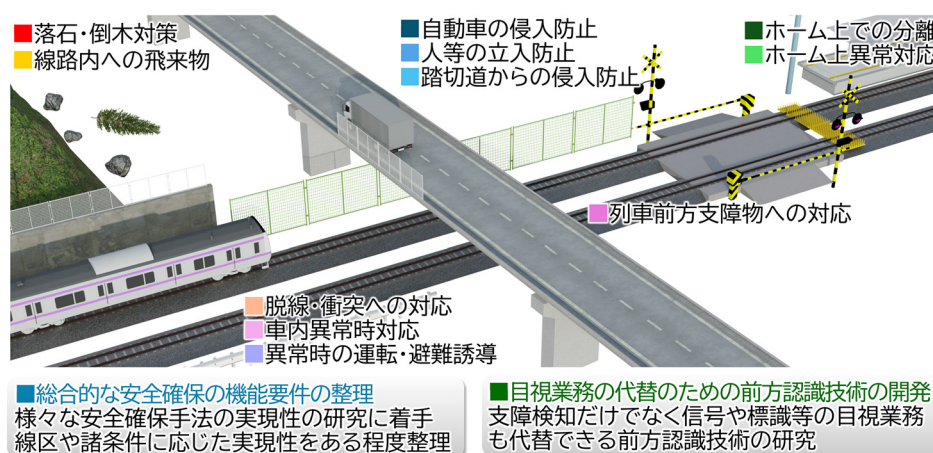


図14 自動運転と親和性の高い技術基準等

延伸の手段と各系統の動向を示す。告示等には、検査周期や、特に車両では走行距離が規定されている。また、検査周期の延伸の手段も規定されている。

各系統のCBMや検査周期の延伸については、車両では、鉄道事業者において、車両新製時の電子機器化、状態監視導入、試験車両での実証などが進められている^{40)~42)}。

電力設備、運転保安設備では、システムの二重化、デジタル化などによる事例が多くある。PC電化柱等は検査周期が1年延長されている⁴³⁾。ただし、徒歩巡回の負担が大きいことから、その省力化の要望が強い。また、メーカー保証期間等が決まった部品が多いため、劣化予測等RBMによる部品交換の省人化が重要となっている。

線路については、軌道は周期延伸の規定がないこと、構造物は周期延伸の要件である詳細検査の実施⁴⁴⁾が困難であることから実績がない。軌道もまた、徒歩巡回

や部品交換の省人化が課題として挙げられる。

図13に省人化と親和性の高い技術基準等を示す。系統全体として共通に求められる技術基準等の要件としては、鉄道事業者、線区、系統、検査対象により、TBM/CBM/RBMの柔軟な組み合わせが可能であること、検査周期の延伸手法や徒歩巡回の簡略化方法を示すこと、調査、診断、劣化予測、記録において、最新技術の導入を容易にすること等が挙げられる。技術基準等の中でも特に体系の下位階層の部分には、根拠が不明な仕様規定も残されており、可能な限り性能規定化していく必要がある。特に検査周期延伸の実績のない軌道及び構造物については、こうした取り組みが必要である。

軌道については、検査周期延伸の規定化、線区グレード等に応じた検査体系、携帯端末や地域鉄道にも適用可能な車上計測への対応、詳細な検査や高頻度計測に基づく劣化予測の検査体系への反映などの観点から研

究を進めていく。

構造物については、新設構造物と既設構造物との品質や維持管理に関する情報量の違いに応じた検査周期の考え方、車上計測、ドローン等の最新の調査方法やBIM/CIMの活用方法、AIを活用した劣化予測の検査体系への反映などの観点から研究を進めていく。

(3) 自動運転と親和性の高い技術基準等

国土交通省は、鉄道における自動運転技術検討会のとりまとめ⁴⁵⁾を受けて、2024年に鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準を改正し、VII-5第58条(自動運転をするための装置)関係にGOA4、3、2.5に係る項目が規定された³⁵⁾。また、上記とりまとめには、GOA3、4における安全確保の基本的考え方として、総合的な判断による安全確保が例示された。

図14に自動運転と親和性の高い技術基準等を示す。GOA3以上を実現するために大きな設備投資を行うことは、特に地域鉄道などでは困難であるため、既存の鉄道システムを可能な限りそのまま活用できる自動運転システムを目指した研究開発が必要である。総合的な判断による安全確保の手段については、従前の一般的な路線での安全性と同等以上の性能を確保していくため、線区や諸条件に応じた総合的な安全確保の実現性や機能要件を整理するとともに、様々な安全確保手法について検討を進める。

自動運転の鍵となる目視業務の代替のための前方認識技術については、支障検知だけでなく信号や標識等の目視業務も代替できる前方認識技術の研究を進める。

(4) 国際規格への対応

省人化や自動運転に関連する国際規格は、様々な産業分野で開発が進められている。このうち鉄道に関する国際規格については、鉄道総研の鉄道国際規格センターが、国、国内規格作成団体、鉄道事業者、鉄道関連企業等と緊密に連携を図りながら、国際標準化活動を担う中核的な機関としての役割を果たしている。鉄道国際規格センターは、国際標準化団体である国際電気標準会議IEC、国際標準化機構ISO等に対して、日本からの国際規格の提案、国際規格開発の促進等の活動を行っている。

本稿に直接関連する国際規格としては、鉄道の自動運転に関するものが挙げられる。IEC 62290「都市内鉄道信号システムの管理と指令制御」には、自動運転に関するGOAの定義が記載されており現在、改訂作業中である。IEC 62267「自動運転都市内軌道旅客輸送システム(AUGTシステム)－安全要求事項」には、GOA3、GOA4に対する安全要求事項が記載されてい

る(JIS E 3802は同一内容)。これらの枠組みに加えて、ISO/TC269(鉄道分野)/SC 3/WG 6「自動運転のオペレーションルール」において、国際的な議論が開始されるところである。

日本の鉄道技術全般についての維持／活性化と、その海外展開に向けて活動を進めていく。

4. 鉄道の持続的な発展を目指して

鉄道の持続的な発展のためには、抜本的な生産性の向上に資する技術革新が重要となる。そのために鉄道総研が果たすべき役割について、“Platform”、“Forefront”、“Code”の3つの観点から論じた。

- (1) “Platform” 系統間・事業者間の連携基盤の構築に関しては、統合分析プラットフォームの開発、既存プラットフォームとの連携、共通のモジュール群の開発、学習データベースの構築により、社会を変える力を持った画像やAIなどのデジタル技術を鉄道事業へ適用していくための基盤創りを進める。
- (2) “Forefront” 先端技術で諸課題の本質の追求に関しては、研究開発のコア技術の強化とソリューションの提案、研究開発のコア技術とデジタル技術との融合、技術基準等への科学的根拠の提供等に取り組み、革新的な技術の創出に挑む。
- (3) “Code” ソリューションの社会実装の支援に関しては、安全性や信頼性の評価、省人化や自動運転と親和性の高い技術基準、国際規格等への対応等に取り組み。技術的自由度を高め、新技術の導入や線区の個別事情への柔軟な対応を実現していく。

これらの取り組みにより、持続可能な鉄道システムを創造し、鉄道の発展と豊かな社会の実現に貢献していきたいと考えている。本稿で紹介した研究の一部は、国土交通省の補助金を受けて実施した。

参考文献

- 1) 外務省：JAPAN SDGs Action Platform, <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/index.html>
- 2) 国連人口基金 駐日事務所：80億人の命、無限の可能性：権利と選択の実現に向けて、世界人口白書2023日本語抜粋版, 2023 (United Nations Population Fund, “State of world population 2023: 8 Billion Lives, Infinite Possibilities, the

- case for rights and choices”, 2023)
- 3) 総務省：コロナ後に求められる社会像，第1部 特集 デジタルで支える暮らしと経済，情報通信白書令和3年版，2021
 - 4) 総務省自治行政局住民制度課：住民基本台帳に基づく人口，人口動態及び世帯数のポイント（令和6年1月1日現在），2024.7
 - 5) 国立社会保障・人口問題研究所：表1-1 総数，年齢3区分（0～14歳，15～64歳，65歳以上）別総人口および年齢構成係数：出生中位（死亡中位）推計日本の将来推計人口（令和5年推計）結果概要，2023，https://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2023/pp_zenkoku2023.asp（EXCELデータを2024年4月に利用）
 - 6) 総務省統計局：労働力調査 最新の主な結果，<https://www.stat.go.jp/data/roudou/2.html>
 - 7) 厚生労働省：労働経済動向調査，<https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/43-1.html>
 - 8) 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>
 - 9) 小湊鉄道株式会社：一部ダイヤ減便のお知らせ，2024.7
 - 10) 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，2020.9
 - 11) 国土交通省 鉄道局安全監理官：鉄軌道における動力車操縦者運転免許の受検資格を見直します，2024.7，<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001750972.pdf>
 - 12) 国土交通省：地域鉄道対策，https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk5_000002.html
 - 13) 国土交通省：地方鉄道事業者間の業務連携検討を支援します！～並行在来線（北陸新幹線）事業者間連携による業務効率化の取り組み～，2024.7，<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001755425.pdf>
 - 14) 西日本旅客鉄道株式会社：人財戦略（人財育成/ダイバーシティ&インクルージョン/ワークエンゲージメント），<https://www.westjr.co.jp/company/action/training/#projectB>
 - 15) 内閣府：Society 5.0とは，https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/society5_0.pdf
 - 16) 内閣府：科学技術基本計画，平成28年1月22日閣議決定，<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf>
 - 17) 内閣府：第6期科学技術・イノベーション基本計画，令和3年3月26日閣議決定，<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/6honbun.pdf>
 - 18) 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>
 - 19) 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
 - 20) 松尾豊：人工知能の未来とデータ共有の新しい可能性，情報処理，Vol.58，No.58，2015
 - 21) 国土交通省 i-Construction 委員会：i-Construction～建設現場の生産性革命～，2016
 - 22) 国土交通省大臣官房技術調査課：初めてのBIM/CIM 2019，https://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bimcim/bimcim1stGuide_R0109_hidaritojiryomen_0909.pdf
 - 23) 多田善隆（国土交通省自動車局自動運転戦略室長）：自動運転の実現に向けた取り組みについて，<https://www.mlit.go.jp/koku/content/001609155.pdf>
 - 24) 九州旅客鉄道株式会社：2024年3月16日より2つの「自動運転」を開始します！～香椎線 GOA2.5 運転開始，鹿児島本線 自動列車運転支援装置の実証運転開始～，2024.2
 - 25) 高見俊彰，鈴木桂太郎：東海道新幹線の自動運転システムに関する技術開発，Technological Report，No.2，2024.6
 - 26) 東日本旅客鉄道株式会社：新幹線にドライバレス運転を導入します，2024.9
 - 27) 流王智子，河村裕介，羽田明生，栗田いずみ：分野をまたがる鉄道メンテナンスデータの統合分析プラットフォームの開発，鉄道総研報告，Vol.36，No.8，pp.51-56，2022
 - 28) 服部紘司，松岡弘大，田中博文：車上計測された軌道変位に基づく橋りょうあおり検知に向けた数値解析的検討，土木学会鉄道工学シンポジウム論文集，Vol.28，pp.84-91，2024.7
 - 29) 小西亮太，渡辺健，大野又稔，石橋奈都実：BIM/CIMと照査の連携によるRC構造物の設計作業時間削減の提案，JREA，Vol.67，Vol.1，pp.47594-47597，2024.1
 - 30) 小西亮太，渡辺健，遠藤洋平，阿部淳一：BIM/CIMモデルと鉄道コンクリート構造物の照査プロ

- グラムの連携手法の提案, 日本鉄道施設協会誌, Vol.62, pp.35-38, 2024.1
- 31) 向嶋宏記, 長峯望: ハンディカメラによる列車前方映像を用いた信号設備の管理支援システムの開発, 鉄道総研報告, Vol.36, No.8, pp.45-50, 2022
- 32) 合田航: 前方監視におけるAIの判断ミスのトレース手法, 第368回鉄道総研月例発表会, 2024
- 33) 曾我部正道, 松本信之, 藤野陽三, 涌井一, 金森真, 宮本雅章: 共振領域におけるコンクリート鉄道橋の動的設計法に関する研究, 土木学会論文集, No.724/I-62, pp.83-102, 2003
- 34) 箕浦慎太郎, 渡辺勉: 深層学習を活用したPCまぐらぎのひび割れ検知手法に関する基礎的検討, AI・データサイエンス論文集, No.4, Vol.3, 2023
- 35) 国土交通省: 鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準, 国鉄技第157号, 2002.3, 最終改正2024.3
- 36) 小笠原柚, 牧野一成, 重盛壮平: 溶接欠陥の磁粉探傷試験への機械学習の適用に向けた基礎検討, 日本非破壊検査協会2023年度秋季講演大会講演概要集, pp.185-186, 2023
- 37) 国土交通省: 鉄道営業法, 明治三十三年法律第六十五号, 1899, 最終改正2018.5
- 38) 国土交通省: 鉄道に関する技術上の基準を定める省令, 平成十三年国土交通省令第百五十一号, 2001.12, 最終改正2012.8
- 39) 国土交通省: 施設及び車両の定期検査に関する告示, 国土交通省告示第千七百八十六号, 2001.12
- 40) 一木剛: JR東日本の新しい車両保全体系(新保全体系)の概要, R&M, Vol.10, No.10, pp.17-20, 2002.10
- 41) 中倉康喜, 歌野敦夫: 全般検査・台車検査周期延伸に向けた取り組み, R&M, Vol.30, No.10, pp.42-45, 2022.10
- 42) 赤萩剛: JR東日本における車両CBMの取り組み～在来線電車の保全体系の変遷とモニタリング保全体系の確立～, R&M, Vol.31, No.2, pp.12-16, 2023.2
- 43) 国土交通省鉄道局監修, 電気関係技術基準調査研究会編: 解説 鉄道に関する技術基準(電気編)第五版, 一般社団法人 日本鉄道電気技術協会, 2022.7
- 44) 国土交通省鉄道局監修, 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)コンクリート構造物－令和4年付属資料改訂版－, 丸善出版, 2022.5
- 45) 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>