

鉄道総研講演会

鉄道の持続的发展を目指して
—省人化と自動運転—

2024 年 10 月 18 日(金)

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 人にやさしい軌道交通自動化技術
～安全で快適な旅の提供と働き手が安心できる職場を目指して～
東京大学大学院工学系研究科
電気系工学専攻 教授 古関 隆章

基調講演

- 7 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

一般講演

- 19 車両・電気分野の省人化技術
車両技術研究部長 瀧上 唯夫
- 25 軌道分野の省人化技術
軌道技術研究部長 桃谷 尚嗣
- 31 構造物分野の省人化技術
構造物技術研究部長 田所 敏弥
- 37 自動運転の高度化
信号技術研究部長 新井 英樹

講演者プロフィール

こせき たかふみ

古関 隆章 博士(工学) 東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻 教授

<プロフィール>

1996年 スイス連邦工科大学 (ETH Zurich) 客員研究員
2000年 東京大学大学院情報理工学系研究科電子情報学専攻助教授
2001年 同 大学院情報理工学系研究科電子情報学専攻准教授
2009年 同 大学院工学系研究科電気系工学専攻准教授
2013年 同 大学院工学系研究科電気系工学専攻教授

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)

ももや よしつぐ

桃谷 尚嗣 博士(工学)

<プロフィール>

1998年 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻修士課程修了
2014年 軌道技術研究部 軌道・路盤研究室長
2022年 軌道技術研究部長(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)

あらい ひでき

新井 英樹 博士(工学)

<プロフィール>

1994年 東北大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士課程前期2年課程修了
2012年 信号・情報技術研究部 信号システム研究室長
2020年 研究開発推進部 計画課長
2022年 信号技術研究部長(現職)

人にやさしい軌道交通自動化技術 ～安全で快適な旅の提供と働き手が安心できる職場を目指して～

東京大学大学院工学系研究科 電気系工学専攻 教授
古関 隆章



1. はじめに

人口減少・高齢社会において、我が国をはじめ世界中で、自動化をめざす賢いDX推進が多様な分野の研究開発の重点項目となっている。旅客輸送の主たる役割は人（旅客）に安全かつ快適な移動サービスを提供することである。また、貨物輸送でも、貨物そのものは自律的に移動することはできない。そのため、これらの輸送を支えるためには人の役割が不可欠である。

我が国の都市鉄道は、大都市への人口集中と、多くの労働者が鉄道による通勤を行う特徴的な市場の中で、現在社会的に重要な役割を果たしてきた。そして、まさにこの「人の役割が重要」という強い思いと、実際に優秀な運転士の存在があったため、鉄道における自動運転の重要性は昭和・平成期を通じ、真剣に議論されることが希少であった。しかし、日本は急速な高齢化とともに、数年前からすでに絶対数で見ても長期的人口減の局面に入っている¹⁾。それに伴う生産労働人口の減少に伴い、公共交通を支える従業員の減少と、交通マーケットの長期的縮小という二重の困難の中で、いかにサービス水準を高め魅力を増しつつ、持続可能な鉄道事業の姿を実現するかが重要な課題と認識されている。さらに、令和に入って経験した世界的感染症の脅威のもと、鉄道の運営に従事する専門職員の健康と安全を確保しつつ、困難のもと運転を継続する方法も重視されるようになった。

社会的要請・ニーズの観点から、この技術には、基本的に運転にかかる専門的職員の数をDX（デジタルトランスフォーメーション＝デジタル技術の積極的な活用による業務の効率化）活用で削減することで、日々の運行費用を削減することが期待される。さらに、乗務員手配などの制約から解放されることで、需要変動への列車運行の柔軟な対応が可能になる。特に、輸送

需要が大きい時間帯には、利便性を追求する短編成高頻度運行を可能とするとともに、需要が小さい場合にも、利用者の利便性を損うことなく、デマンドに柔軟に対応する運行の自由度が広がる。そのために、本講演に続く具体的な研究の紹介で述べられるように、省力化と高安全・高信頼運転を両立させるという技術的課題も、積極的に鉄道総研（（公財）鉄道総合技術研究所）を含む多くの専門家により検討されている。

一方、要素技術の観点から、近年、列車の連続位置検知の技術が実用化されていることも重要である。特に、ブレーキ操作のみを自動化するTASC（Train Automatic Stopping Control）は、すでに多くの我が国の都市鉄道において実用実績がある。さらに、自動運転の実現に有意義な地車間の無線データ通信に基づく列車制御：CBTC（Communication Based Train Control）関係の技術も、実用期を迎えた。

本講演では、鉄道における運転の自動化技術について概観するが、公共交通の自動化は無人化とは異なる。省力化を進め経済合理性を追求する中で、働き手が長く安心して働ける「人中心の省力化」を目指すものである。本講演では、無人化も視野においた国際的な運転の自動化、DXの推進の趨勢のもと、日本流の省力化がどうあるべきかという視点から、近年の自動運転実用化等を具体例に展望する。

2. 鉄道の自動運転の動向

2.1 自動運転技術の国際標準

ドライバレス化（＝自動運転により運転士がいなくても列車が運転できるようにすること）を目指した都市鉄道自動運転の国際的展開に伴い、IEC（国際電気標準委員会）の鉄道関連技術を扱う技術委員会TC9

表1 国際規格IEC 62267に定められた自動運転段階GOA
(色付けされた項目が自動化されている機能)

Grade of Automation 自動運転段階	列車運転の種類	列車の力行	列車の制動	ドア開閉操作	異常時の 運転対応
GOA1	列車防護 ((Automatic Train Protection) の下での運転士によるマニュアル運転	運転士による	運転士による	運転士による	運転士による
GOA2	ATP ATOのもとでの運転士による運転 ワンマン運転あるいは半自動運転	自動システム	自動システム	運転士による	運転士による
GOA3	Driverless Train Operation : DTO ドライバレス自動運転	自動システム	自動システム	添乗員による	添乗員による
GOA4	Unattended Train Operation : UTO 添乗員がいないことを許容する運転	自動システム	自動システム	自動システム	巡回員による

で、都市鉄軌道系交通システムの自動運転に関する国際標準化が審議された。IEC 62267 WG 39が設立され、国際規格IEC 62267が発行された。この規格は、パリ市交通局 (RATP) 関係者が、国際主査として議論を主導し、都市交通システムの運転士による運転を自動運転にする場合の、リスクを低減させる方策例を述べ、安全性要件を述べる規格として制定された。都市交通の運転の機能を整理して、役割を乗務員かシステムかによって、自動運転の程度を表1に示すように階層化している。その中で、自動運転として、DTO (Driverless Train Operation) 運転自動化段階 (GOA) レベル3)、UTO (Unattended Train Operation 運転自動化段階 (GOA) レベル4) が定義されている。

2.2 日本は軌道系自動運転のパイオニアだった

大阪のニュートラム、東京のゆりかもめなど、自動運転によるUTOの導入は、新交通システムですでに40年以上も前に行われた。このことから、日本は軌道系自動運転のパイオニアであったといえる。国内の技術標準 JIS E 3802が定められた。その後、国際規格IEC 62267の成立を受けて、自動運転装置 (ATO : Automatic Train Operation) のJISの改定も行われた。これらの自動軌道交通 (AGT) における運転システムの特徴は以下のとおりである。

- (1) 日本では、高架構造の新交通システムでUTO, DTOが先導的に実現された。
- (2) これは、高架軌道が物理的に他の環境と隔離され、避難誘導が比較的簡易に実施可能なことによる。

- (3) 日本の新交通システムは、故障しない、駅間に停止しないことを前提とした設計である。

しかし、(2) (3) の条件の成立しない一般の鉄道への展開は、以下のような海外動向に大きく後れを取ることとなった。

2.3 海外の都市鉄道におけるめざましい実用展開

今日、世界のGOA3,4の自動運転の実用例は、本講演会ご関係者のような専門性の高い研究者・技術者が学術雑誌や専門誌で議論する対象ではなく、Wikipedia²⁾などで簡単にリストが入手できるような、「ごく当たり前の普及技術」となった。2024年8月末時点でのWikipedia²⁾によれば、(一部分類に疑問を感じる場所もあるものの) ケーブルカーの原理に基づく効果の都市鉄道や磁気浮上システムを含め、GOA4実用線として、欧州 (デンマーク4路線 [以下簡単のため「路線」を省略して記述], フランス14, ドイツ6, ハンガリー1, イタリア9, ロシア1, スペイン3, スイス2, イギリス4)、南北アメリカ (ブラジル7, カナダ5, チリ2, メキシコ1, ペルー1, USA43, ベネズエラ1)、アジア (中国42 (香港3, マカオ1を含む)、インド6, インドネシア3, パキスタン1, マレーシア7, カタール4, サウジアラビア7, シンガポール6, 韓国13, 台湾4, タイ3, トルコ3 (欧州側1を含む)、アラブ首長国連邦5)、オセアニア (オーストラリア1) というように、実に多数の実用線のリストとその元情報へのリンクが掲載されている。それらのシステム供給者として、初期の先行実績として、

1981年にフランス、リール市のゴムタイヤ式都市鉄道のドライバレス運転をいち早く示したVAL方式を採用した小型地下鉄、1985年に運行を開始したリニア誘導モータ駆動の鉄輪式小型鉄道であるカナダスカイレールの実用化を基礎にアジアを含む世界市場へのドライバレス運転の展開を図ったボンバルディア、磁気浮上式鉄道から新交通への転換を2003年に行ったバーミンガム空港線のドッペルマイヤー・ケーブル・カーに加え、アルストーム、ジーマンス、アンサルルド・ブレダなどの主要な欧州勢が名を連ねている。

ここでは、前述の国際標準化のきっかけとなり、日本の自動運転の検討にも大きな影響を与えたパリメトロの例を簡単に紹介する。

フランス・パリメトロにおける自動運転

1998年に全自動運転によるドライバレス運転を実用化し、世界的な注目を集めたのはパリ市の地下鉄14号線である。その特徴と思想を、RATPへの聴き取り調査の結果に基づき以下にまとめる。

- (1) 自動運転に関する国際規格 IEC 62267 に準拠した設計で、1.7mの高さを持つスクリーンホームドアによる駅の安全策を伴って、UTOの実現を早期に図った。
- (2) 地下鉄14号線は、伝統的な軌道回路も併用した運転保安システムの上で自動運転システムを構築していたが、その後自動運転を、順次、地下鉄1号線の無人運転化に拡張した。
- (3) 14号線で成功したシステムをアップグレードする形の上記の地下鉄1号線への展開の中で、列車制御をCBTC(列車無線制御システム)への変更とセットで行うとともに、IEC 62267で規定された腰高式ホーム柵を用いたプラットフォームの安全確保を図った。
- (4) しかし、その後の商用運転の経験に基づくRATPの2019年時点の判断では、パリにおいては、意図的な犯罪者の地下鉄トンネルへの逃避などの行動を防止するため、1.7mあるいはそれ以上の高さのスクリーンホームドアが必要と考えている。
- (5) RATPによるドライバレス運転の開発、導入は、省力化、省エネルギー化を目標として行われた。
- (6) トンネル内での非常停止等に対しては、運転指令センタ(OCC: Operation Control Center)からの指令、遠隔リセットによる再起動で基本的には対応するが、万が一の場合は、職員が30分以内に到着し、避難誘導を行う。

(7) RATPにおける自動運転は、GOA2の半自動ワンマン運転とGOA4のUTOを戦略的に使い分けることが大切で、その後、1号線での実用化もしたが、全てをUTOにするわけではない。むしろ、GOA4は特別な路線という位置づけである。

(8) 日本で重要な議論対象としている、乗務員添乗を必須とするGOA3は安全上も運営上も実質的利点がないため、単に概念上の分類としており、採用の予定はない。

ここで紹介した、パリに続き、現在地下鉄を中心に、欧州、そしてアジアでも、カナダや欧州発のシステムが数多くの実用路線が展開した。特に、40線を上回る中国での実用化の展開は目ざましい。

また、9月初めにプラハで開催された鉄道技術の国際会議では、ドイツ航空宇宙研究所(DLR)の研究者から、欧州における、台車を自由に履き替える形で、鉄道と道路交通を含む統一的な公共交通の自動運転をシームレス(乗り換えあるいは積み換えなし)に実現するEUの研究プロジェクトPods4Railという構想³⁾の紹介が行われた⁴⁾。

一方、前掲のWikipediaのリストには、日本についても、前掲の新交通システムを中心に数件の記述と、システム供給者としての日本メーカー名の記載がある。しかし、4章で述べるような昨今のわが国の取り組みについての記述は少なく、日本の鉄道の運転自動化の取り組みはいまだ広く世界からは認知されていない。

3. 鉄道と自動車の「自動運転技術」の考え方の相違

情報プラットフォーム企業があらゆる分野へビジネス展開する中、自動車の自動運転技術への研究開発投資も本格的になった。その自動化レベルの国際標準は(やや長期視点で地上インフラに依存しない自律的自動運転を最上位層に加えた)レベル5まで規定されている。運転支援機能を持つ自動車の販売、将来を見据えた法規則の改訂の検討、さらに高い自動化レベルの道路上での実験(およびそれに伴う事故の事例や懸念)の報道を含め、道路交通の運転自動化と自動車のビジネスモデルの変革も文献⁵⁾の書籍等に記されているように大きな注目を集めている。

このことは、我が国の鉄道における自動列車運転実用化検討進展の検討の追い風にもなっている。その一方、自動化は管理された空間を走行する鉄道の方が実現容易なはずで、すでに前章で紹介したように海外で

はごく当たり前に普及しているのに、なぜいまさら「何周回も遅れて」鉄道運転自動化を議論するのか？という社会一般からの素朴かつ厳しい視線にも繋がっている。

これについては、4章以降で述べる、我が国の鉄道における安全性の考え方や運行者の責任に関する社会的要求の相違を定量的に理解するとともに、人に優しい運転自動化の独自の展開とその価値について、丁寧な説明が必要になる。

また、「自動化」といっても、道路交通の自動化が autonomous operation であるのに対し、鉄道の運転自動化の基本は列車と OCC とのリアルタイム制御に基づく、「自律制御とは基本的に正反対の」集中型の ATO であり、システム・制御の考え方として異なる概念であることには注意すべきと考える。

4. 日本の自動運転の検討と安全性確保における人と機械の役割

2章で概観した海外での実用化と技術標準化を視野に置きつつ、平成から令和にかけUTOまでの展開を視野においた DTO 実用化検討が、東日本旅客鉄道株式会社、九州旅客鉄道株式会社など数多くの事業者を中心に、熱心に行われるようになった。

2018年3月から9月まで、東日本旅客鉄道株式会社の専門家を中心に全国の関心を持つ鉄道関係者を集めて開かれた「無人運転検討準備委員会」を経て、同12月に国土交通省に、鉄道総研を事務局として、「鉄道における自動運転技術検討会」⁶⁾が設置された。3年計画で国の鉄道行政における技術基準の整備を視野に、都市鉄道モデルケース、地方鉄道モデルケースの2つの検討を進めたが、令和に入ってから数件の鉄道事故や、感染症による活動制限のため、当初想定よりも時間を要した。この国土交通省の自動運転技術検討会で、運転資格を持たない添乗員が列車前頭部に乗車することを必須とする自動運転を GOA2.5 とし、国際規格にない追加的な日本独自の概念として定義した。

その後、都市モデル鉄道ケースに関して、「自動運転を導入する線区は、従来の一般的な路線での安全性と同等以上の性能を確保することを基本的な考え方とする」という令和元年度とりまとめ報告書の記述にある「従来の一般的な路線の安全性」の考え方の整理や、安全確保に重要な、鉄道と周辺環境の「分離」措置の考え方の議論がなされ、2021年度で検討を終了、2022年9月13日に、その成果が報告書として国土交通省鉄道局のHPで公開され⁶⁾、その後の日本におけ

るドライバレス運転の実用化検討の指針となった。さらにその内容に基づき、鉄道関係者の意見も集約しつつ、2024年3月には、鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準の一部改正⁷⁾が行われた。

これらの環境整備のもと、現在、日本では様々な鉄道事業者が、鉄道のドライバレス自動運転の実用化に取り組み、以下のような、実績あるいは計画の発表が公開されるに至っている。

- (1) 九州旅客鉄道 2024年3月 香椎線でのGOA2.5 商用運転開始 鹿児島本線 折尾-二日市間 GOA2運転開始
- (2) 南海電気鉄道 和歌山港線 2023年8月から GOA2.5実証走行試験開始
- (3) 東日本旅客鉄道 山手線 2022年10月から GOA2の実証運転
- (4) 東日本旅客鉄道 新幹線 2029年新潟駅-新潟車両センター間GOA4化 将来の上越新幹線のGOA3,4化の計画を発表
- (5) 大阪市高速電気軌道 2024年度に中央線の阿波座駅～新駅(夢洲)においてGOA2.5の実証実験開始を公表
- (6) 東京地下鉄 2025年度から丸の内線でGOA2.5実証試験開始
- (7) 東海旅客鉄道 東海道新幹線 2021年11月から N700SでGOA2の試験走行 2023年5月報道公開
- (8) 西日本旅客鉄道 環状線でGOA2.5の実証試験新幹線について JR東日本等と連携
- (9) 東武鉄道 大師線へのGOA3の導入を目指した検討

これらの日本国内での鉄道の自動運転の取り組みは、これから数十年にわたり継続し発展することが期待されることから、国土交通省鉄道局の呼びかけのもと、2023年に「鉄道における自動運転の導入・普及に関する連絡会」が発足した。これまでに、2023年12月、2024年4月および8月の3回開催され、各鉄軌道事業者における自動運転の導入状況等について関係者で共有し、自動運転の取組みを促進するための議論が行われている。8月の連絡会⁸⁾では、海外のシステムとは適用環境も技術的思想も異なり、各適用路線の事情に最適化した技術開発が行われる中で、蛸壺の技術の育成を防ぐ議論の重要性が認識され、個々の鉄道路線の個性を重んじつつも横通しの視点を重視する「緩い標準化」を念頭に実用化検討を加速させよう、という提案もされている。

5. 自動運転とセンサ・CBTCの技術

5.1 日本のGOA3, 4の列車運転における車上センサ搭載による安全確保に関する検討の現況と問題点

自動運転に関わるセンサ技術に関しては、本講演会の別の発表で、鉄道総研の研究成果が詳細に紹介されるので、ここでは講演者が直接関与してきた地下鉄の検討を短く紹介する。国土交通省自動運転技術検討会の取りまとめ⁶⁾では、「従来の一般的な路線での同等以上の性能を確保することを基本的考え方とする」とされた。これに準拠し、日本地下鉄協会のセンサによる前方監視のシステムの検討の目安も、可動式ホーム柵が導入されたATOワンマンシステムを基準に、ドライバレス化を考え、安全性の「現状非悪化」を考えた。

一方、陸上、明かり区間における一般の鉄道路線におけるセンサ技術の問題点を意識し、当分の間、当該センサに依存しない形で更なる分離措置の達成を目指し、検討を進める。仮にセンサを「搭載する場合、現時点において当該センサは安全の上乗せのための措置の位置づけとなる」と車上センサの責務を限定する方向性が省の検討会で示された。左記の「更なる分離の措置」とは(1)ホーム・踏切部分以外における分離：侵入防止柵等の各種柵による物理的保護 (2)踏切における分離 (3)ホーム上における分離：旅客のホームから線路内への侵入・転落を防止する可動柵等の設備 (4)脱線、上下線間の列車衝突への対応が挙げられる。

日本地下鉄協会の検討では、(1)について、地下区間では基本的にトンネルにより完全な分離が実現されていると考えられる。一方、一部に存在する明かり区間、特に高架ではなく掘割区間では、一般の都市鉄道同様の検討を要する。(2)(3)については、地下鉄路線には踏切は存在せず、ドライバレス化を想定する路線はすでにホームからの転落等への対策は設備上十分になされていると考えられる。(4)については、前方監視とは別に、脱線検知システムとしての検討を要し、JISにも要求事項があり、既に存在する各国のドライバレス対応のシステムでも脱線検知システムが実装されている。

日本の地下鉄の営業運転最高速度は100km/h(東京地下鉄(株)の東西線)、その他の主要な路線では最高時速80km/hであることから、最高時速80km/h、緊急制動減速度4.5km/h/s、検知からブレーキ動作までの時間を2秒と考え、250m前方の大人が屈んだ状態を想定した1m四方ほどの前方障害物を検知できる、ということを目標にセンサシステムの選定、性能評価を進めている。

5.2 自動列車運転と無線による列車制御CBTC

無線に基づく連続的な位置の検知と列車間隔制御により、高度な列車の制御を実現し高頻度運転を可能とする無線列車制御(CBTC)と呼ばれるシステムが、次世代の鉄道の重要技術として、開発が進み、新路線への導入が進められている。これにより、列車位置の検知、列車の追突や衝突を回避する信号保安システムを、軌道回路に代表される地上設備に依存せず、無線通信によるものに置き換えることができ、設備の初期コスト、設備のメンテナンスを本質的に軽減できる。

本講演で議論している運転の自動化とCBTCは直接関係するものではないが、連続的な列車位置の検知と運転指令からの列車の運行の制御、さらに運転自動化による高頻度運転や省エネルギーやパワー・マネジメントを含む列車群の高度な制御を可能とする技術であることから、これらの2つの技術の融合は好ましく海外では共用されている例がすでに多い²⁾。実際に、CBTCに基づくGOA3以上の自動運転の計画も我が国でも具体的設計の議論の俎上にある。

6. まとめ 人に優しい日本の運転自動化技術

令和に入り、強力に推進されるようになった鉄道の運転自動化の技術だが、すでに見てきた2章、4章の議論を見ると、実用化路線の数、および、商用運転開始時期から見る限りでは、日本の鉄道の自動運転が諸外国に比べて初動の大きな遅れをとり、その差がますます大きく開きつつあることは否めない。とにかく、自動列車制御の技術が形成され、その安全性について、技術的に数値化され合意を得た数値条件を満たせば、グローバルに統一的なシステムを導入すればよい、という地下鉄や高架の都市軌道交通を中心に実用化を急速に進めてきた、諸外国のシステムと比べ、我が国の鉄道事業の事情は大きく異なる。すなわち、ベストエフォートという考え方が受け入れられない極めて高いレベルの安全に対する要求と重い社会的責任を担いつつ、私企業として大量旅客公共輸送の安価で持続可能なサービスを担っているのが日本の鉄道である。そのため、現状技術の水準を冷静に把握し、地方を含む国全体として可能な自動運転実現の解を導くという、隘路を進む検討の中で、関係者が、ぎりぎりの努力を続けてきたことを、ここでは敬意と今後の大いなる発展への期待を持って見たい。

愛知高速交通Linimoやリニア新幹線といった本質的に全電気駆動である磁気浮上鉄道の運行システムを見ても明らかなように、もともと電気駆動と自動運転の相性は良い。電気鉄道は当初から常に地上のインフラストラクチャとの間で連続的なエネルギーのやり取りをしてきたものである。自動運転は、地上通信機能と車上制御機能を強化することで、情報もエネルギーも地車間でやりとりを行う中で、運行の経済性、安全性、柔軟性および信頼性を高める可能性を本質的に持つ技術であると考えてよいであろう。

現在検討されている日本の都市鉄道一般へのDTO、UTO技術の展開を考えると、以下の課題を克服する必要がある。

1. 無線列車制御 (CBTC) 等との融合を含め、高い信頼度で列車位置、列車速度をOCCが把握する機能の確立と保証
2. 踏切での安全性確保の方策の確立と社会的受容
3. 人間による前方監視によらない安全確保機能の確立と検証
4. 巡回員等による避難誘導における安全確保の確立と社会的受容
5. 現状非悪化論の精査、自動運転安全評価に関する社会的合意

鉄道システムに、運行の柔軟性と省エネルギー性を高めるといえることを通じ、全自動運転が与える価値は、人口減少社会での持続的モビリティ社会の発展に資するものである。この技術の展開について、昨今注目されている機械学習やビッグデータの利用、人工知能応用など情報技術の革新的成果の適用へ、やや曖昧ながら大きな期待がある。

その一方、実際の都市鉄道におけるドライバレス運行システムの安全性と信頼性を支えるのは、運転や設備をよく理解した人の力であることに留意したい。特に、日本独自のGOA2.5という一見中途半端な自動運転では、安全確保に前頭乗務員が重要な役割を果たす。したがって、その実用化検討において、前頭乗務員の身体要件、資格要件が、特に注意深く詳細に検討されてきた。GOA2.5は運転実務の現場から人を排斥するのではなく、安全な運行に責任を持つという重要な任務を負いつつも、より長く、より楽に職員が鉄道のプロとして誇りをもって働ける可能性を拓くものである。また、日本の自動運転は都市交通のみならず、地方鉄道、高速鉄道も広く視野に置き、職員の力を、運転操作以外のところで適切に活かすことを重視して検討が進められてきた。このように「大和の心」の自動運転は、

人に優しい包摂性を持つDXの好例として、人が多く高齢化の進むアジア諸国を中心に、欧米発のシステムを中心に置く思想とは異なる形で、評価され広がっていくことを期待したい。

参考文献

- 1) 国立社会保障・人口問題研究所 (2023年) 日本の将来推計人口 (令和5年推計) <https://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2023/pp-zenkoku2023.asp>, (参照: 2024-10-14)
- 2) Wikipedia_ List of driverless train systems : https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_driverless_train_systems, (参照: 2024-10-14)
- 3) EU-Rail Pods4Rail : <https://rail-research.europa.eu/news/pods4rail-developing-a-new-kind-of-mobility-system/>
- 4) A. Paz Martinez, Y.K. Adams, S. Nägele, V. Laqua and D. Winkle : “Assessing Multimodal Mobility Systems for Benchmarking Rail-Bound Intermodal Pods in ERJU’s FA7-Projekt Pods4Rail,” Proceedings of Railway 2024, Paper-No. 27.2, ISSN 2753-3239, Prague, September 2024, <https://www.ctresources.info/ccp/paper.html?id=10332>, (参照: 2024-10-14)
- 5) 日高洋祐, 牧村和彦, 井上岳一, 井上佳三 : MaaS モビリティ革命の先にある全産業のゲームチェンジ, 日経BP社 (2018/11/22) ISBN-10 : 4296100076 ISBN-13 : 978-4296100071
- 6) 国土交通省鉄道局ホームページ_鉄道における自動運転技術検討会 : https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_fr1_000058.html, (参照: 2024-10-14)
- 7) e-GOV 鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準の一部改正についての意見募集公開文書 : <https://public-comment.e-gov.go.jp/pcm/download?seqNo=0000268097>, (参照: 2024-10-14)
- 8) 国土交通省鉄道局ホームページ_鉄道における自動運転の導入・普及に関する連絡会の情報 : https://www.mlit.go.jp/report/press/tetsudo07_hh_000260.html, (参照: 2024-10-14)

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。

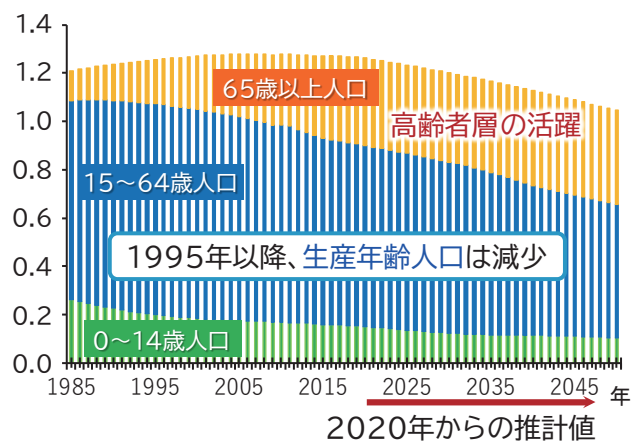


図1 日本の人口及び生産年齢人口⁴⁾⁵⁾

(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)

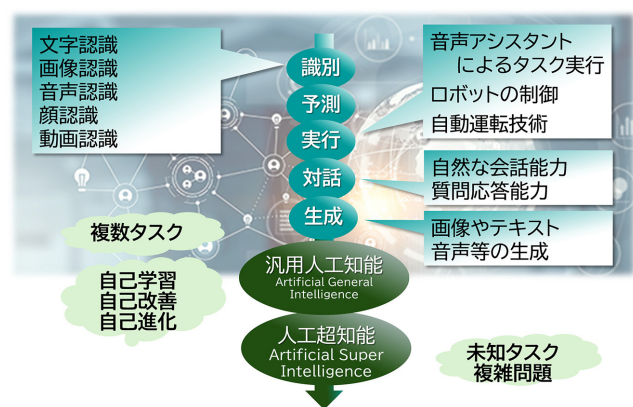


図2 AI技術の開発動向

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

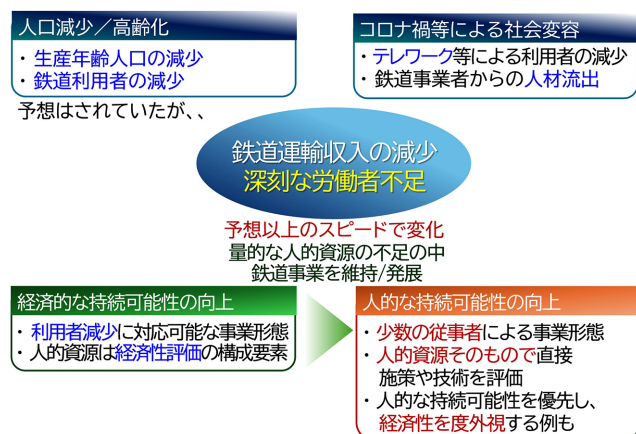


図3 鉄道を取り巻く環境の変化と持続可能性の向上

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、

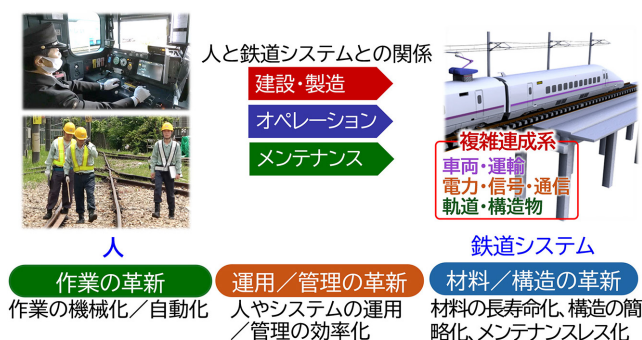


図4 鉄道の省人化と自動運転技術の分類

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、高頻度計測、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

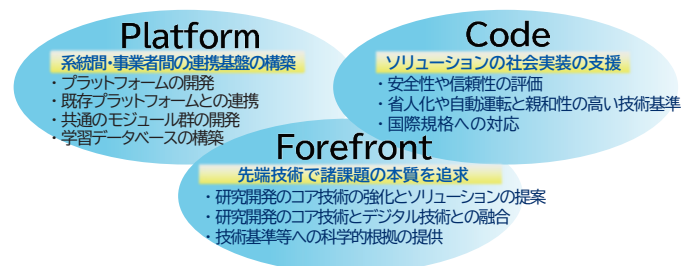


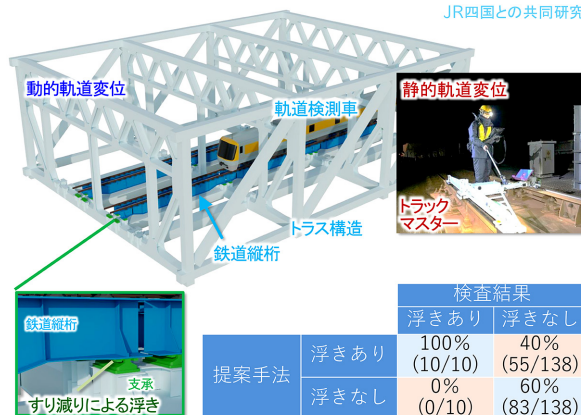
図6 省人化や自動運転において鉄道総研が果たすべき役割



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

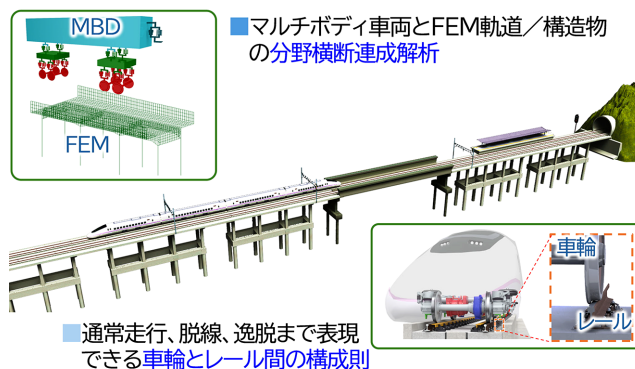


図10 研究開発のコア技術であるシミュレーション技術（車両、軌道、構造物の動的相互作用解析法）

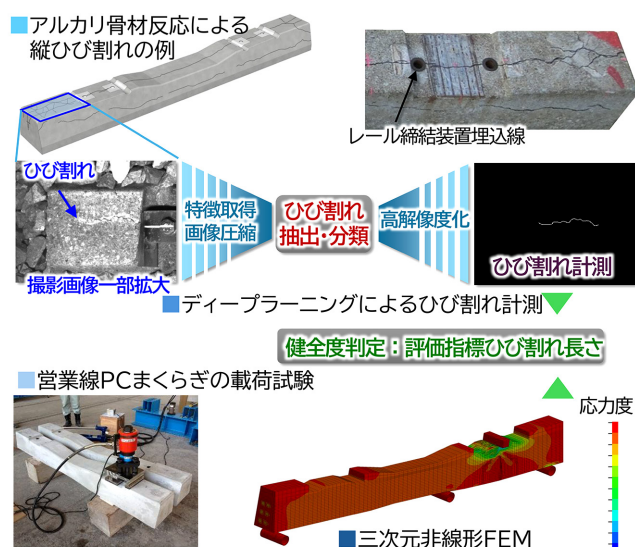


図11 研究開発のコア技術とデジタル技術との融合
(PCまくらぎの健全度判定)

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

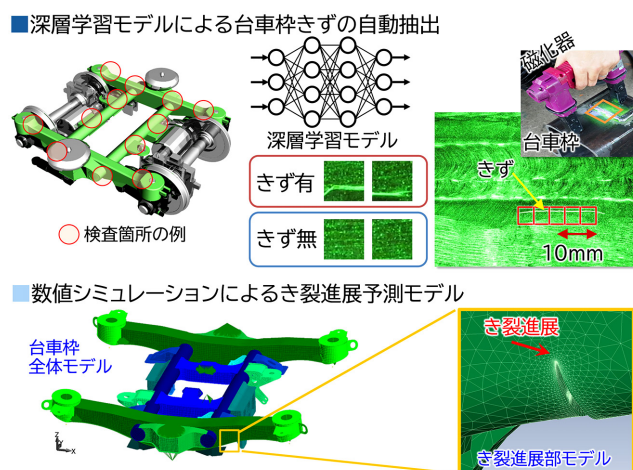


図12 技術基準等への科学的根拠の提供
(台車枠の検査)

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

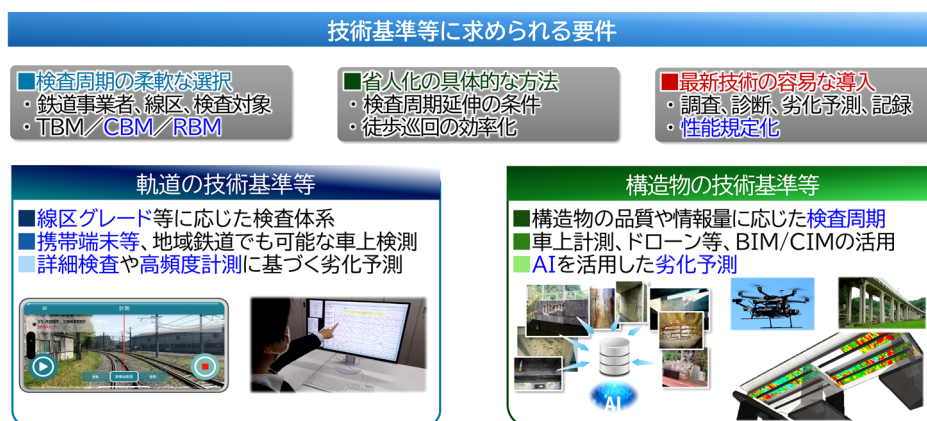


図13 省人化と親和性の高い技術基準等

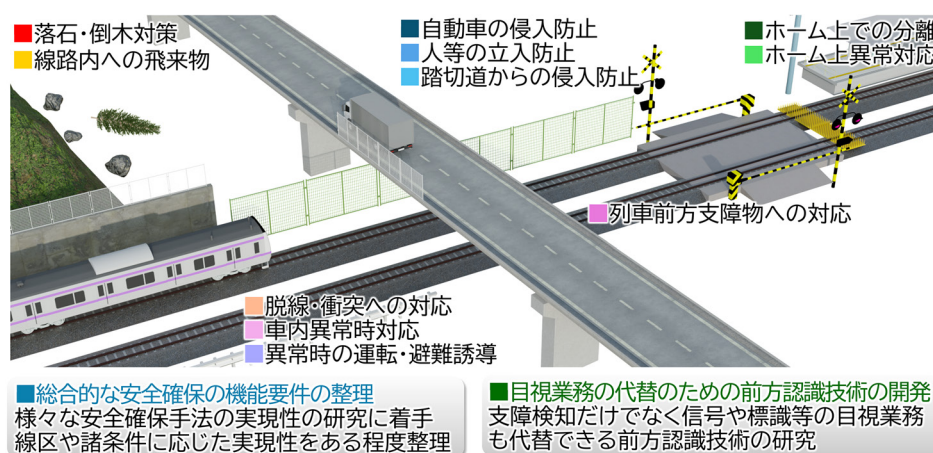


図14 自動運転と親和性の高い技術基準等

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>

車両・電気分野の省人化技術

車両技術研究部長 瀧上 唯夫



1. はじめに

鉄道車両・電気設備（本講演では、電力および信号保安設備を電気設備と総称する）は、列車が安全に運転することができる状態にするため、その機能を維持する必要がある。一方、生産年齢人口の減少をはじめとした社会的な背景を受けて、安全を確保しつつ、メンテナンス業務を省人化することが以前にも増して求められるようになってきている。

本講演では、車両・電気設備のメンテナンスにおける省人化の方向性や、その実現に向けた鉄道総研における取り組みについて紹介するとともに、近年特に着目されている機械学習等の人工知能（以下、AI）を鉄道分野のメンテナンス業務に適用するにあたっての課題と、その解決に向けての取り組みについても述べる。

2. 車両・電気分野のメンテナンスの現状と課題

2.1 メンテナンス体系と現状

車両および電気設備のメンテナンスは、鉄道に関する技術上の基準を定める省令、施設及び車両の定期検査に関する告示（以下、告示）等を踏まえて各事業者が定めた実施基準に基づき実施されており、その体系は定期検査を行うことを基本とし、必要な補修、部品交換等を行うものとなっている。

告示には、一定の条件を満たす車両の部位や電気設備・機器は、検査間隔をあらかじめ定めた周期より延長することができることなどが定められており、近年の技術の進歩を背景に、検査周期の延伸や検査体系を再構築した事例が報告されている¹⁾²⁾。また、車両に搭載されたモニタリング装置等で計測したデータを活用した検査・診断業務の高度化に向けた取り組みも進

められており、これらも省人化に寄与しているものと考えられる。

しかしながら、車両部品の検査の多くは外観の目視、分解した部品の目視や探傷などによって行われているほか、電気設備の検査についても検測車による機械化がなされているものを除くと、列車巡視や徒歩巡回による人手、特に人の目に頼る作業が多く、将来的に技術者を確保していくことが困難になりつつある中、これまで以上にメンテナンス業務の省人化が求められる現状にある。

2.2 省人化の方向性

前節で述べた現状を踏まえ、省人化を実現するための方向性として、本講演では以下の3つの観点を挙げ、次章において関連した取り組みを紹介することとする。

(1) 作業の革新：自動化・脱技能化

多くの検査が人手に頼って行われている一方で、技術者・熟練者の確保が困難となりつつあるという現状を踏まえ、作業自体の自動化、および判定の自動化による脱技能化をめざす。

(2) 運用・管理の革新：検査・保守間隔の適切化

近年の技術の進歩等の実態が、定期検査の周期の設定に必ずしも反映されているとは限らない現状を踏まえ、時間基準保全（以下、TBM）に基づく検査・保守の周期延伸、あるいは常時モニタリング等の活用による状態基準保全（以下、CBM）への移行をめざす。

(3) 画像・AIの活用による加速

上記の(1)(2)で示した革新を加速するため、カメラ画像を含むセンサー情報の活用、さらにはAIが物体認識や状態判定を担う技術については、鉄道のメンテナンス業務への早期導入をめざす。なお、本項目に関する取り組みは、車両・

電気設備に限定されるものではなく、他分野にも共通する部分が多いが、本講演内で述べる。

3. 省人化に向けた鉄道総研の取り組み

本章では、2.2節で示した省人化の方向性に沿って、鉄道総研の取り組み事例を紹介する。

3.1 自動化・脱技能化

3.1.1 床下撮影装置による車両外観異常検出³⁾

車両の検査のうち、列車検査（仕業検査）は、列車として運転できる状態（在姿）で行われ、ブレーキなどの機能を確認するほか、主要部分の状態を主に作業員が外観を目視することで確認している。外観検査箇所は床下機器に集中していることから、車両を側面から撮影し、外観の異常を自動で検出する装置を開発した（図1）。

車両入換等、低速で走行する車両を対象に、ドップラーセンサーで走行速度を計測しながら、ラインカメラで側面を連続撮影して記録する。異常検出処理では、まず検査対象とする領域を自動的に抽出したうえで、あらかじめ保存しておいた正常時の画像と比較し、差分が大きければ異常として検出する。本装置の導入により、作業員が車両の近くまで行かずに事務所等にい

ながら検査が可能になることが期待され、省人化に貢献できるものと考えている。

3.1.2 台車部品の非破壊検査におけるきずの自動検出⁴⁾

台車部品は走行中に繰り返し受ける負荷によって微細なき裂が発生する恐れがあることから、定期的に台車を分解したうえで、磁粉探傷や超音波探傷などの非破壊検査が行われている。このうち、従来は手作業で行われ、熟練技術を要する磁粉探傷による台車枠のきずの検出を、画像とAIを活用して自動的に抽出する手法の開発を進めている（図2）。

台車枠溶接部の検査対象箇所を磁化しながら蛍光磁粉を吹き付けて吸着させ、ブラックライトを当てた状態の画像をカメラで撮影し、多数のきずあり・きずなし画像をAIに学習させたモデルを作成した。学習済みモデルに対して性能評価を行ったところ、現時点では溶接部の表面きずを70～80％程度の成績で検出できることを確認した。

実用化にあたっては、精度向上を図るなどの課題が残されているものの、本手法は統一的なきず判定結果を提供できるため、脱技能化に貢献できると考えているほか、将来的にはロボット化も見据え、検査業務自体の自動化もめざした取り組みを進めている。

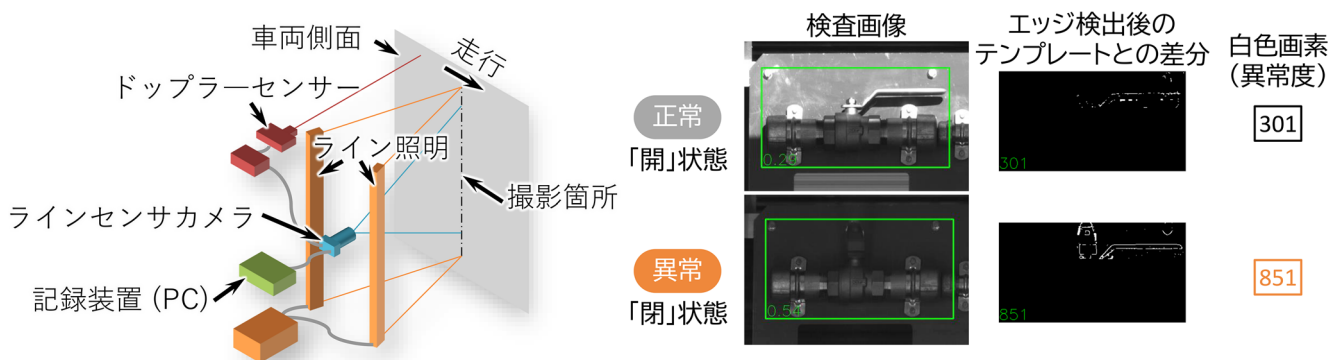


図1 床下撮影装置による車両外観異常検出（空気配管コックへの適用例）

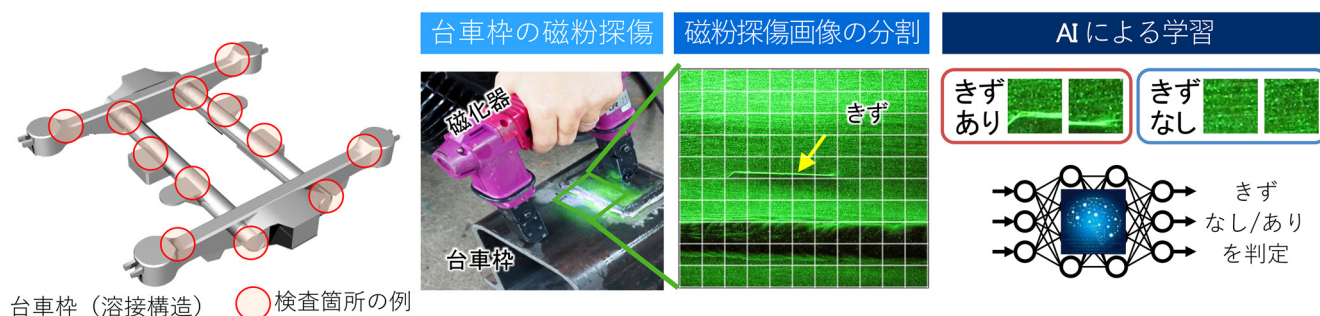


図2 磁粉探傷におけるきずの自動検出

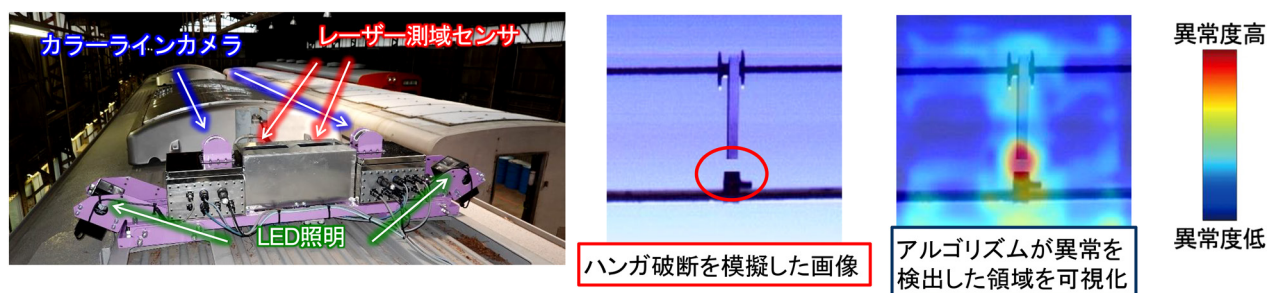


図3 3次元計測と画像解析を用いた架線金具の異常検出



図4 車載カメラによる沿線設備の診断システム(電化柱の傾き推定への適用例)

を超えて共通で利用可能とするために必要となる「列車位置(キロ程)の推定」「撮影画像から俯瞰画像への変換」「線路方向の長尺画像の生成」といった機能群を、基盤モジュール化したうえで、個別の検査に必要な診断システムに組み込んで活用することをめざしている。

基盤モジュールの詳細については文献6)に説明を譲ることとし、ここでは沿

3.1.3 3次元計測と画像解析を用いた電車線検測と架線金具の異常検出⁵⁾

車両の屋根上にカメラなどの撮影装置を設置し、電車線の位置の計測や設備の異常を検出する装置を開発した(図3)。

LED照明で明るさを確保したうえで、検査対象とする電車線に向けた2台のラインカメラとレーザー測域センサ(LiDAR)の組み合わせにより、ステレオ計測の原理によって、対象とする線条などの位置を高精度に取得するとともに、画像を連続的に取得する。さらに取得した画像をAIに学習させることで、ハンガの位置を検出するとともに、その異常度を判定し、可視化することが可能である。図3右は、形状による判定結果より、ハンガ下部の破断を検出した例であるが、その他、色による判定結果からちょう架線の腐食の度合いを検出するなど、種々の異常を検出できる機能を開発しており、定期検査や判定の自動化によって、省人化に寄与するものと考えている。

3.1.4 車載カメラによる沿線設備の診断システム⁶⁾⁷⁾

車載カメラにより、走行中の車両で撮影した前方映像を、沿線設備の診断に活用するシステムの開発を進めている。本システムは、保線、電気といった系統を

線の電化柱傾き推定への活用事例を図4に示す。本手法は、2種類のAIモデルを組み合わせで利用していることが特徴で、まず列車前方画像から電化柱を検出するために事前に学習させたAIモデル①で、電化柱の画像内での位置を矩形領域として抽出する。次に、AIモデル②により電化柱そのものが占める領域を画素単位で推定する。なお、AIモデル②はSegment Anythingと呼ばれるモデルを採用することで、矩形情報から領域を推定するための追加学習を不要とし、学習にかかるコストを抑える工夫をしている。最後に、得られた領域情報から画像モーメントを計算し、電化柱の傾斜角度を算出する。これまでの検証では、線路直角方向の電化柱の傾きを推定できる見通しを得た。本手法の採用により、定期検査、判定の自動化が可能となり、省人化に寄与することが期待できる。

3.2 検査・保守間隔の適切化

3.2.1 車上モニタデータの車両機器異常検出への活用⁸⁾

近年、走行中に機器の稼働状態等に関するモニタデータを蓄積できる機能を有する車両が増えており、これらのデータを活用して、機器の異常や故障を検出

するニーズが高まっている。これに関する取り組みの例として、車両モニタデータから、エンジンのオーバーヒートの予兆を捉えるため、エンジン冷却水温度の異常を検出する手法を考案した(図5)。

本手法では、まず車両速度やエンジン回転数、外気温度等のモニタデータとエンジン冷却水温度の関係をAIに学習させ、走行中のモニタデータから冷却水温度を推定するモデルを構築した。通常、AIを学習させるためには、異常時のデータが必要となるが、一般に機器が故障することはまれで、異常時のデータを取得することは容易でないことを考慮し、本手法は正常時のデータのみからモデルを構築したことが特徴である。

実稼働状態において、冷却水温度の実測値とAIが出力する推定値の差異に基づき異常度を算出したところ、機器が正常状態の場合と比較して、異常状態の場合に異常度の値が大きくなる傾向が確認された。した

がって、異常度に一定のしきい値を設けることで、オーバーヒート発生の予兆を捉えることが可能となる。

そのほかの適用事例として、空調機器のコンプレッサの異常などを検出できることも確認しており、今後対象範囲を拡大することで、TBMからCBMへの移行の推進に寄与する手法であると考えている。

3.2.2 信号用沿線電子機器の寿命評価⁹⁾

屋外に設置されている信号用沿線電子機器は、劣化の要因や傾向を把握することが難しいため、使用環境や機器の種類によらず、一定時間の経過により一律に交換されるのが一般的である。これに対して、日本全国で信号用沿線電子機器が使用される環境と故障の実態を調査する課題に取り組んだ。具体的には、部品の劣化に支配的なストレス要因が電圧・電流と温湿度であることを明らかにするとともに、電子機器を構成する電子部品自体の寿命と、温度変化の影響を受ける基

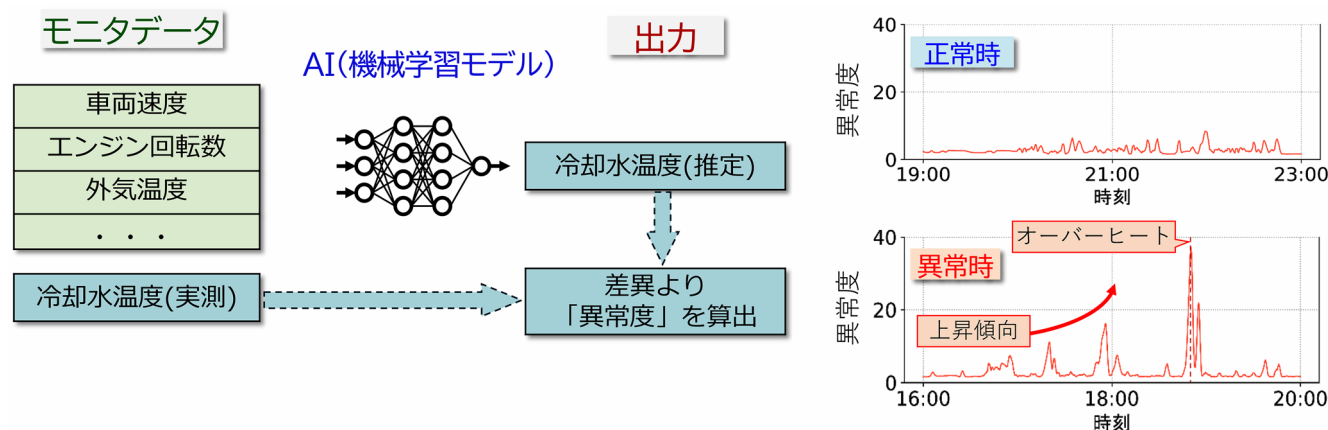


図5 車上モニタデータの車両機器異常検出への活用(エンジンオーバーヒート予兆検出への適用例)

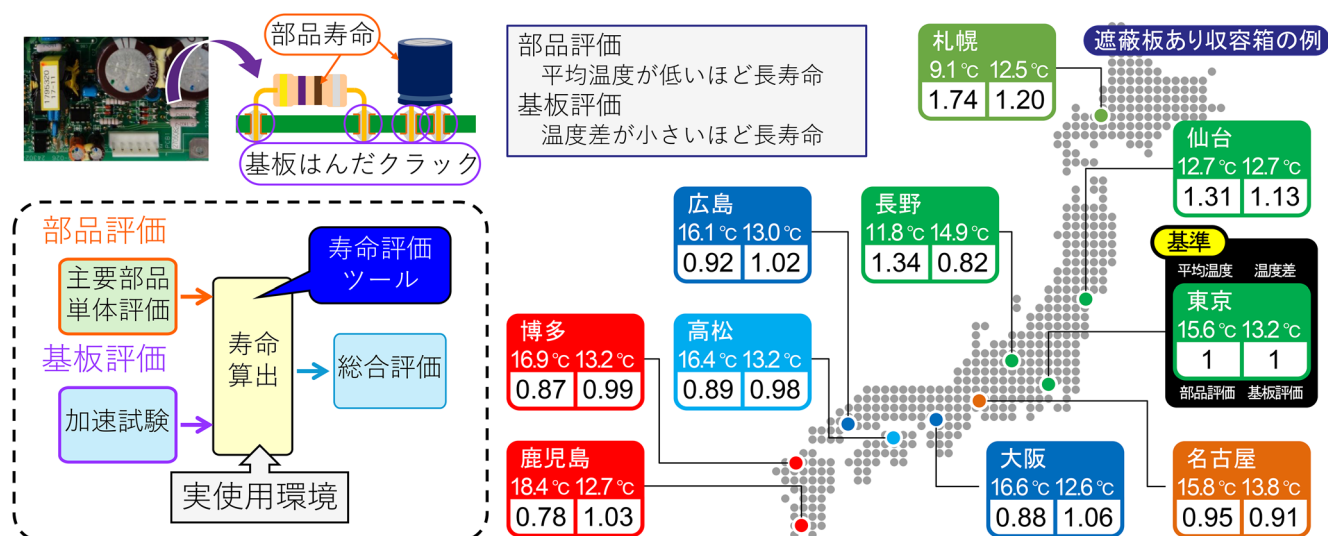


図6 信号用沿線電子機器評価手法(踏切用列車検知装置への適用例)

板のはんだ接合部にクラックが発生するまでの寿命を評価する手法および評価ツールを開発した(図6)。

具体的な活用例として、鉄道総研の所内試験線の踏切用列車検知装置を例に、直射日光を遮る収容箱の遮蔽板の有無や、実際に測定した温度の影響を加味し、評価を試行したところ、遮蔽板の有無など、使用条件・環境の違いが寿命に与える影響を定量的に算出することが可能となった。そのうえで、日本全国の主要都市の気温条件を用いた試算等を実施し、気温が低い地域や日間の温度差が小さい地域では、寿命予測値が長くなる傾向が確認できた。これらの成果を活用することで、地域の環境に応じた適切な機器の交換 時期の検討が可能となるほか、実運用中に温湿度を計測して寿命予測値を随時更新することで、CBMの実現にもつながるものと考えている¹⁰⁾。

3.3 画像・AIの活用

3.3.1 AI活用の現状と課題

一般に、AIが担う機能は、未知の対象の種類や名称、状態を認識・判断する「分類」、与えられた条件やデータから未知の状態での量を推定する「予測」、そして、近年注目されている「生成」などに大別される。

これらのうち、「分類」と「予測」については、以前からメンテナンスへの活用の取り組みが進んでおり、前述の紹介事例で活用したAIも、そのいずれかに該当する。なお、「生成」については、近年、文章や絵だけではなく、プログラムソースの生成も可能となっており、今後、点検ポイントや補修に関するアドバイス情報の生成など、メンテナンスへの活用も本格化していくものと考えられる。

このようなAIの性能の劇的な向上につながった技術として機械学習があり、中でも、計算機の性能向上などにともない実用が可能となったディープラーニングが挙げられる。このディープラーニングでは、十分な学習データを準備する必要があるが、通常、実フィールドで得られるのは、多量の正常データと少量の異常データであるという制約の中で、大量の良質な学習データをいかに効率よく準備できるかが重要となる。

また、AIは一般に内部構造がブラックボックス化されており、判断根拠が明確に示されないことが多い。学術的にはExplainable AI(説明可能なAI)などの研究が進んでいるが、産業界に適用しうる手法の確立にはまだ至っていない。このような中で、AIの活用範囲を広げていくためには、AIの性能を適切に評価し、精度や信頼性の向上につながる実用的な手法の開発も望まれる。

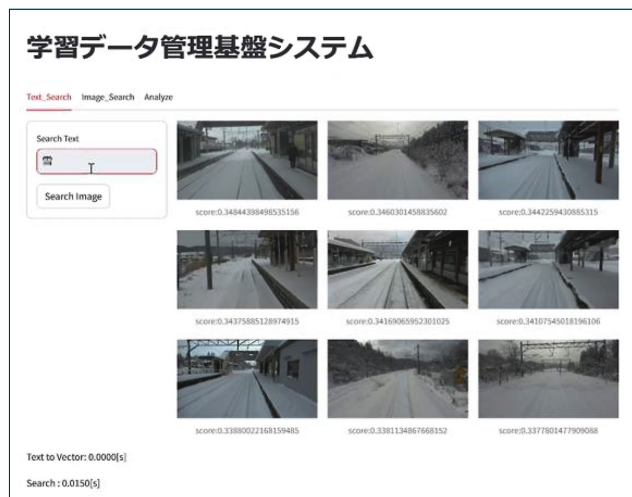


図7 画像データ管理基盤システム
(「雪」をキーワードとして入力した場合の出カイメージ)

3.3.2 学習データ管理基盤システム

AIの学習に用いるデータの量・質を確保するための取り組みとして、撮影した前方映像を対象とした「学習データ管理基盤システム」の開発に取り組んでいる(図7)。本システムは、様々な条件で撮影された画像を集約して一元管理するとともに、目的に応じた適切なデータセットを生成してAI学習用に提供することをめざしたものである。

一方で、画像の量が増えると、収集した画像の中に対象物の画像が存在しても、データセットに含める画像の探索や抽出に手間がかかり、有効活用することが難しくなる。そこで本システムには、手作業で画像にラベルを付与することなく、キーワードによる「テキスト検索」や、指定した画像に基づく「類似画像検索」によって、関連する画像を自動で抽出して出力することで、データセットの生成を支援する機能を持たせた。さらに、データセット内で、指定したキーワード等に関連したデータの内訳を算出する機能も付加し、各種条件の網羅性の確認等に利用することも可能としている。

以上の機能を活用し、様々な条件を網羅したデータセットを生成してAIの学習に適用することで、AIの性能向上に寄与できるものと期待できる。また、この学習データ管理基盤は、事業者等の間で学習データを共有するためのプラットフォームの開発にも活用可能である。

3.3.3 AIの性能・信頼性向上に向けた取り組み

AIの性能・信頼性向上に向けた取り組みの一環として、車載カメラで撮影した前方画像による物体認識を対象とし、AIの判断ミスが発生した場合に、以下

を順次確認することで、原因を特定する手法を開発した(図8左)。これにより、原因に応じた対策を提示することが可能になると期待される。

(1) 入力画像

主な要因：明るさ不足、ピンボケ、ズーム不足など
対策例：カメラの設定変更

(2) AI構造

主な要因：特徴量の抽出性能不足
対策例：別構造のAIを採用

(3) 学習データ

主な要因：学習データに含まれる条件不足
対策例：異常(特殊条件)データの収集、生成AIの活用

また、AIが判断するにあたって「視線」がどこにあるかを可視化したり、判断過程における根拠(具体的な設備の箇所と状態)を言語化する手法の開発にも着手している(図8右)。

これらは難易度の高い取り組みであるが、実現すればAIの性能の向上につながるほか、判断根拠の把握が容易になることなどから、車両、電気分野にかかわらず、メンテナンス業務へのAI導入の加速に寄与するものと期待される。

4. おわりに

本講演では、車両、電気(電力、信号保安)設備のメンテナンスにおける省人化の方向性として、

- (1) 作業の革新：自動化・脱技能化
- (2) 運用・管理の革新：検査・保守間隔の適切化
- (3) 画像・AIの活用による加速

の3点を挙げ、その実現に向けた鉄道総研における取り組みについて紹介するとともに、AIを鉄道分野のメンテナンス業務に適用するにあたっての課題、その解決に向けての取り組みについて述べた。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、省人化に寄与する研究開発をはじめとした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。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 小島崇, 風戸昭人, 宮原宏平, 鶴飼正人：画像による地上からの車両床下状態確認手法, 鉄道総研報告, Vol.37, No.9, pp.9-15, 2023
- 4) 台車部品の非破壊検査におけるきずの自動抽出手法, 2024年度鉄道総研技術フォーラム
<https://www.rtri.or.jp/events/forum/2024/is5f1i0000002efx-att/forum2024-B10.pdf>
- 5) 電車線画像検測装置, 2024年度鉄道総研技術フォーラム
<https://www.rtri.or.jp/events/forum/2024/is5f1i0000002efx-att/forum2024-A04.pdf>
- 6) 長峯望, 前田梨帆, 合田航, 坪川洋友：車載カメラによる沿線設備の管理・診断技術, JREA, Vol.67, No.3, pp.28-31, 2024
- 7) 前田梨帆, 合田航, 長峯望, 羽月孝太, 鶴直人：列車前方画像を用いた電化柱の傾斜推定手法, 電気学会自動車/交通・電気鉄道合同研究会資料, pp.7-12, 2023
- 8) 横内俊秀, 高重達郎, 近藤稔：鉄道車両におけるモニタデータを用いた機器の異常検知, 鉄道総研報告, Vol.36, No.2, pp.23-28, 2022
- 9) 国崎愛子, 藤田浩由, 野村拓也, 石井琢：鉄道沿線信号設備における電子機器の寿命予測手法, 鉄道総研報告, Vol.34, No.7, pp.11-16, 2020
- 10) 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

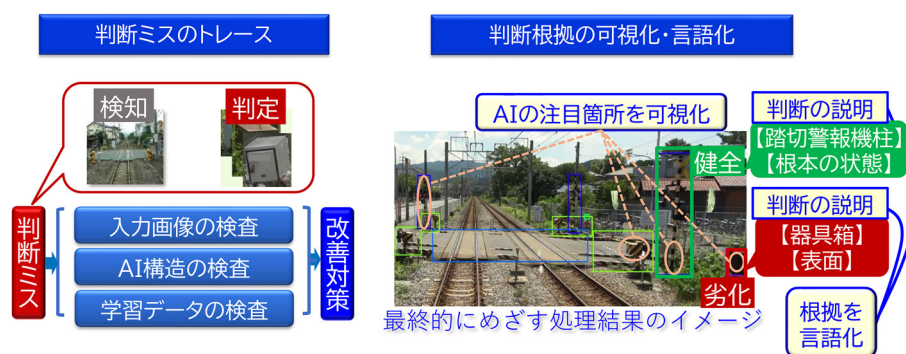


図8 AIの判断ミストレース手法および判断根拠の可視化・言語化イメージ

軌道分野の省人化技術

軌道技術研究部長
桃谷 尚嗣



1. はじめに

人口減少や少子高齢化による労働力不足が進む中、地域の発展およびCO₂削減の観点から、環境負荷の小さい交通手段である鉄道のネットワークを発展させ、持続させていく必要がある。

既設線では設備の老朽化、熟練技術者および保守費用の不足が課題となっており、特に地域鉄道では維持が困難な路線も多いといった現状にある。一方、今後の鉄道の建設においては、新幹線では全国新幹線鉄道整備法を踏まえた鉄道ネットワークの整備、在来線では連続立体交差化の推進や都市鉄道網の充実による利便性の向上が求められる。

ここで、軌道の種類としてバラスト軌道およびスラブ軌道・弾性まくらぎ直結軌道等の直結系軌道がある。バラスト軌道は既設線に多く、定期的な保守作業が必要とされる。一方、直結系軌道は新設線で多く採用され、基本的にメンテナンスフリーとなる。軌道のメンテナンスでは定期的に軌道の状態を検査し、その結果に応じて補修を行う必要がある。検査には軌道変位検査と軌道部材検査があり、軌道変位検査の結果に基づいてバラストのつき固めやレールの高さ調整を行い、軌道部材検査の結果に基づいて部材の交換や補修等が行われる。

今後の軌道の建設・施工およびメンテナンスに向けては、「運用・管理の革新」、「作業の革新」、「材料・構造の革新」が必要となる。「運用・管理の革新」では「データ共有のためのプラットフォームの構築」、「保守計画策定の自動化・効率化のためのシステムの構築」が望まれる。次に、「作業の革新」では「検査への画像データの活用」、「AIによる検査結果の自動判定」、「保守作業の効率化」が望まれる。さらに、「材料・構造の革新」では「部材の長寿命化・メンテナンスレス化」、

「軌道構造のスリム化、低配筋化」、「施工の簡略化・自動化」が望まれる。

それに加えて、省人化に向けては技術基準との親和性も重要であり、軌道の安全性を担保するための新たな指標を用いた管理手法の確立のための研究開発を進めることも重要と考えられる。

本講演では軌道分野の省人化に寄与するこれまでの研究開発、省人化へ向けた研究開発の方向性および今後の展望について述べる。

2. 省人化に寄与するこれまでの研究開発

2.1 軌道におけるこれまでの研究開発の概要

軌道分野でのこれまでの研究開発における代表的な例として、「運用・管理の革新」に資する技術である「保守管理データベースシステム(LABOCS)」がある。また、「作業の革新」に資する技術として、「AIによる軌道部材状態評価システム」を開発しており、さらに「材料・構造の革新」に資する技術として「バラストの低強度安定処理工法」および「S型弾性まくらぎ直結軌道」を開発している。次節ではこれらの技術の概要を紹介する。

2.2 これまでの研究開発の取り組み事例

(1) 軌道保守管理データベースシステムLABOCS¹⁾

軌道保守管理データベースシステム(以下、LABOCS)(図1)は軌道検測車や専用の検査装置で得られた軌道変位・列車動揺のほか、各種台帳データを一元管理し、波形処理などにより分析するためのソフトウェアである。

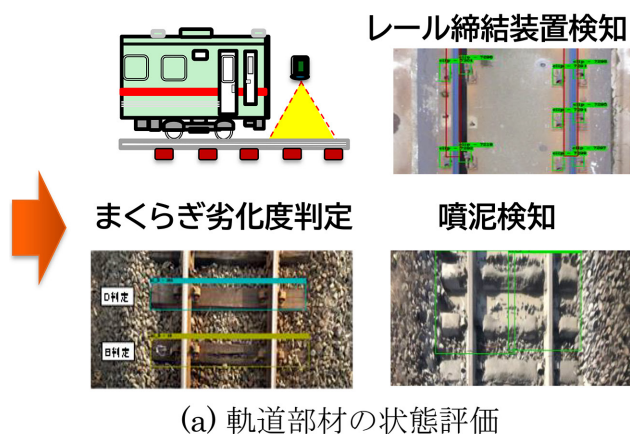
軌道保守管理のプラットフォームとして多くの鉄道事業者で活用されており、これをベースとして軌道のデジタルメンテナンスツールとして拡張していく計画としている。これについては3章で改めて現在進めている取り組みについて述べる。

(2) AIによる軌道部材状態評価システム²⁾

木まくらぎ等の軌道部材の検査は作業員が徒歩で実施しているため、多大な労力を必要としており、デジタル技術による省人化が求められている。このシステム(図2)では列車先頭に市販のビデオカメラを設置し、軌道の画像を撮影してそれを射影変換し、軌道を真上から見たような形の俯瞰画像に変換する。この画像を用いたディープラーニングにより、木まくらぎの劣化度、レール締結装置の脱落、噴泥の発生などをシステ



図1 軌道保守管理データベースシステムLABOCS



(a) 軌道部材の状態評価



(b) 判定結果の表示の例

図2 AIによる軌道部材状態評価システム

ム上で自動的に検知する。判定結果はパソコンの画面上で表示して確認することができる。

(3) バラストの低強度安定処理工法³⁾

この工法では破碎・細粒化が進んで噴泥が生じるような状態のバラストに対して、超速硬セメントと高分子材料をミックスした補修材をタイタンパによるつき固めと同時にバラストに混合し、低強度でバラストを安定処理する(図3)。低強度で安定処理するので、施工後も通常のバラスト軌道と同じようにタイタンパでつき固めを行うことができる。

本工法を用いることで、バラスト交換を先送りでき、つき固めの回数も減らすことができる。

(4) S型弾性まくらぎ直結軌道⁴⁾

25年ほど前に鉄道総研で開発されたD型弾性まくらぎ直結軌道は、国内外で広く普及しているが、列車の横荷重に抵抗するための複雑な配筋を必要としており、コンクリートを打ち込むための型枠の設置が煩雑であるという課題もあった。

省人化・低コスト化を目指して2016年に新しく開



(a) 補修材



(b) つき固め作業による安定処理

図3 バラストの低強度安定処理工法

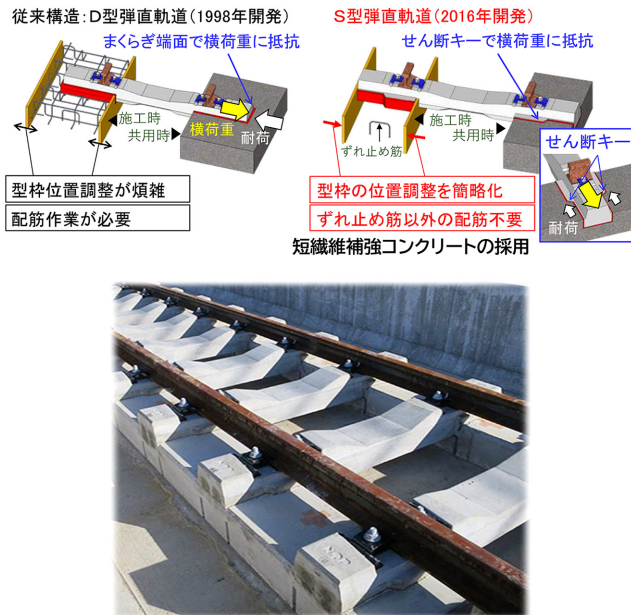


図4 S型弾性まくらぎ直結軌道

発したS型弾性まくらぎ直結軌道（図4）では、まくらぎ側面に設けたせん断キーで列車の横荷重に抵抗する構造にするとともに、短繊維補強コンクリートを採用することで、ずれ止め筋以外の配筋を不要とした。また、型枠はまくらぎ端部およびせん断キーに当てることで位置を固定できるため、設置が容易になっている。

3. 省人化へ向けた研究開発の方向性

3.1 省人化へ向けた研究開発の概要

鉄道総研が果たすべき役割として、「システム・事業者間の連携基盤の構築（Platform）」、「先端技術で諸課題の本質を追求（Forefront）」、「ソリューションの社会実装の支援（Code）」がある。

現在進めている軌道分野の研究開発において、「システム・事業者間の連携基盤の構築（Platform）」に対しては、「運用・管理の革新」に資する技術として、「高機能化したLABOCSと統合分析プラットフォームの連携」および「軌道保守計画策定支援システム」の開発を進めている。

また、「先端技術で諸課題の本質を追求（Forefront）」に対しては、「作業の革新」に資する技術として、「携帯情報端末の活用による巡視・検査の省人化」および「画像による検査を支援する除草手法」、加えて「材料・構造の革新」に資する技術として「新材料を活用した軌道スラブの製作の省人化」および「レールガス圧接

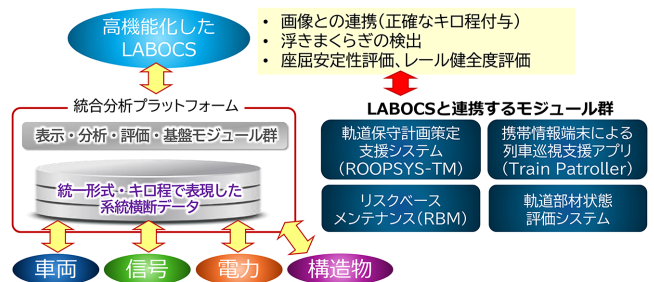


図5 高機能化したLABOCSと統合分析プラットフォームの連携



図6 軌道保守計画策定支援システム

の簡略化・自動化」といった技術の開発を進めている。

さらに、「ソリューションの社会実装の支援（Code）」については、新技術と技術基準との親和性を念頭に置き、リスクベースメンテナンスを活用した新たな軌道状態評価指標の開発に取り組んでいる。

次節ではこれらの研究開発について述べる。

3.2 現在進めている研究開発の事例

3.2.1 システム間・事業者間の連携基盤の構築

(1) 高機能化したLABOCSと統合分析プラットフォームの連携⁵⁾

現時点で最新版のLABOCSは、相互相関法により測定データを正確に重ね合わせる位置補正機能を有しており、特定のキロ程における軌道変位の推移を分析することができる。このLABOCSの機能をさらに向上させ、図5に示すように、「画像への正確なキロ程情報の付与」、「浮きまくらぎの検出」、「座屈安定性評価」、「レール健全度評価」といった機能を搭載する。また、LABOCSと連携するモジュール群として、「軌道保守計画策定支援システム」、「リスクベースメンテナンス手法」、「携帯情報端末による列車巡視支援アプリ」、「軌道部材状態評価システム」の開発を進める。

高機能化したLABOCSでは「統合分析プラットフォーム」と連携することで、車両、信号、電力および構造物など他の分野との円滑なデータ連携を実現する。

(2) 軌道保守計画策定支援システム⁶⁾

図6に示す「軌道保守計画策定支援システム」はLABOCSと連携するモジュールの一つである。「軌道状態診断」として、軌道変位の基準値に対する余裕度や軌道部材の状態診断を行う。また、「軌道状態予測」では高頻度測定に対応し、軌道変位やレール・道床状態の将来予測を行う。「保守計画策定」ではマルチプルタイタンパやレール削正車などの運用計画を策定する。最後に「保守計画評価」では軌道変位および材料保守の中長期的な計画の評価やPCまくらぎ化計画の効率性を評価する。

3.2.2 先端技術で諸課題の本質を追求

(1) 携帯情報端末の活用による巡視、検査⁷⁾

巡視・検査の省人化を目的とした「携帯情報端末による列車巡視支援アプリ (Train Patroller)」はスマートフォンなどの携帯情報端末を活用し、列車前方の画像やGPSによる位置情報、3軸の加速度等を測定する。図7に示すように、携帯情報端末は列車の前頭に設置して使用する。LABOCSと連携させることで、動画に正確なキロ程を字幕情報として表示することができる。また、撮影した画像は「AIによる軌道部材状態評価システム」に用いることもできる。

さらには、今後、下記の機能を持たせる計画としている。

- ・ 加速度および画像から平面性変位・軌間変位 (軌間保持力) を推定
- ・ 曲線諸元・構造物・軌道部材等の台帳を自動生成しデータベース化
- ・ 軌道変位に依存しない、列車動揺 (加速度) と画像による走行安全性の評価

これらを実現することで、軌道検査の自動化および検査結果の自動判定による省人化を目指す。

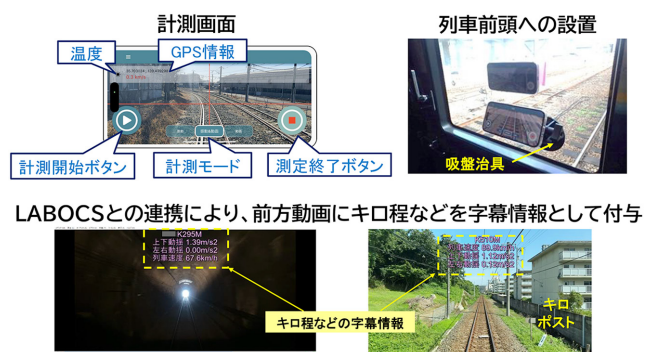


図7 列車巡視支援アプリ (Train Patroller)

(2) 画像による検査を支援する除草方法⁸⁾

画像による軌道の検査を導入する場合、雑草が繁殖していると軌道部材の状態を確認することができないことが課題となる。また、鉄道用地内の管理では除草に多大な労力を割いている。

従来の除草作業では刈払いや除草剤散布を行うが、刈払いでは作業者に対する振動・騒音の影響、除草剤散布では周囲への薬剤飛散の課題があった。

そこで、除草作業を効率的に行うため、蒸気により雑草を枯死させる方法を開発している (図8)。本手法を用いることで、刈払いにおいて必要であった事前のケーブル等の探索や刈草の回収が不要になるなど、施工速度は72分から50分へ約30%短縮できるとともに、作業員は5人から3人の40%減となる。さらに雑草が再生する速度も遅くなるため、雑草の種類によっては施工の回数を減らすことも可能となる。

さらに、レール上を走行しながら軌道内を除草する装置の開発にも取り組んでいる。

(3) 新材料を活用した軌道スラブの製作⁹⁾

スラブ軌道に用いられる軌道スラブは比較的密に鉄



(a) 蒸気により枯死した雑草



(b) レール上を走行する蒸気除草装置

図8 蒸気を用いた軌道内の雑草防除法

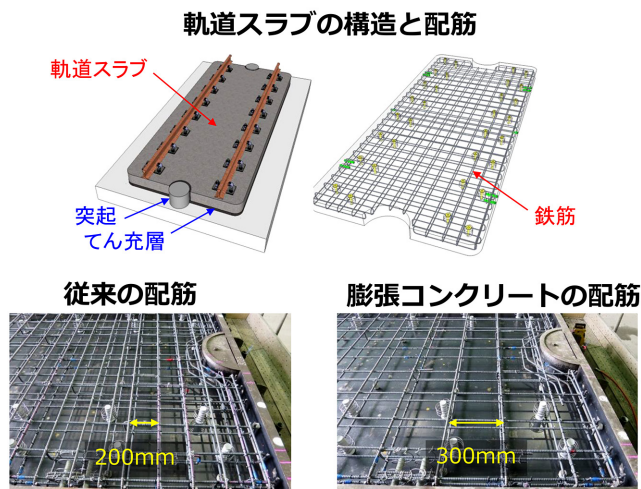


図9 膨張コンクリートを用いた軌道スラブの製作

筋が配置されている。そこで、膨張コンクリートを適用して鉄筋を減らす方法を検討した。膨張コンクリートを用いた鉄筋コンクリートでは、体積膨張しようとする力が鉄筋で拘束されることによって、コンクリートにプレストレスによる圧縮力が導入されて耐力が増加するため、鉄筋量を減らすことができる。

図9に示す例では鉄筋の間隔を従来の200mmから300mmに拡大しているが、軌道スラブを薄く設計することも可能である。また、本検討に用いた膨張コンクリートの配合は高い耐凍害性を有することも確認している。

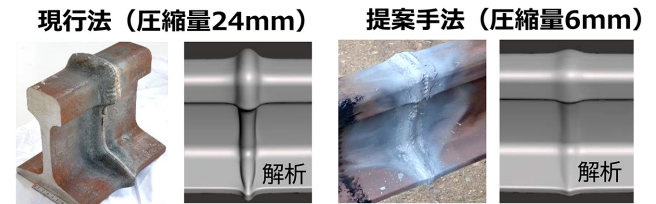
(4) レールガス圧接の簡略化・自動化¹⁰⁾

レールガス圧接には資格が必要であるが、熟練技術者の減少や働き手自体の減少により、将来的に施工が困難となることが想定されるため、省人化・脱技能化が必要とされている。

通常のレールガス圧接では、圧接に伴って生じるふくらみを専用の装置で押し抜く必要があるが、装置の重量が150kg程度あり、この運搬に労力が必要となっていた。そこで、このふくらみを抑えるため、加圧力を圧接中に変化させる「変圧法」により、圧縮量を小さく抑えながらも、従来と同等の溶接強度が得られる方法を開発した(図10)。

提案した手法では圧縮量が6mmと現行法の1/4となり、ふくらみが小さくなる。それによりグラインダのみで研削できるようになるため、押抜き装置と油圧ポンプ1台が不要となる。これにより作業員も3人から2人、施工コストも30%減とすることができる。また、ふくらみをロボットアームで自動的に研削する技術の開発も進めている。

今後は自動レールガス圧接装置を開発し、資格不要



(a) 圧縮量およびふくらみの低減



(b) ロボットアームによるふくらみの研削

図10 低圧縮量レールガス圧接工法

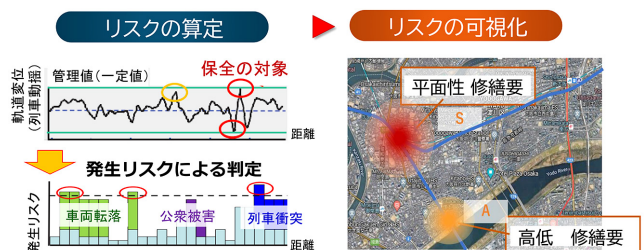


図11 リスクベースメンテナンス手法

の完全自動化による省人化を目指す。

3.2.3 ソリューションの社会実装の支援

(1) 新たな軌道状態評価指標¹¹⁾

「リスク」とは事象の発生確率×影響度(被害の程度)で定義され、リスクベースメンテナンス(以下、RBM)ではリスクの大きい箇所を予測し、優先的に補修する。

本手法では沿線環境の情報や輸送情報のデータベースを作成し、軌道検査の結果と照らし合わせて、車両の転落、公衆の被害、列車衝突などで生じるリスクを算定する。さらに、算定したリスクから補修の優先度が高い箇所をシステムの地図上で可視化する(図11)。

(2) 省人化と親和性の高い技術基準等

省人化と親和性の高い技術基準等の整備により、省人化につながる新しい技術が有効に活用されやすくなると考えられる。

現在の軌道の検査では告示により、基本的には基準期間は1年に1回となっており、整備基準値等による閾値を用いた判定を行っている。それに対して、今後はCBMや劣化予測により検査の時期を柔軟に決定す

る枠組みが望ましいと考えられる。また、閾値ではなく、RBMによる補修箇所を選定も導入できるのが望ましいと考えられる。

これらの手法を用いた軌道管理として、軌道変位・列車動揺等の閾値によらず、安全を担保するための軌道に求められる性能を数値化した新たな基準の策定が望ましいと考えられる。

さらに、CBM・RBMに対応したメンテナンス体系を確立するため、新しい技術基準につながる研究開発として、「高頻度検測に対応したレール、まくらぎ等の部材の検査時期の設定」、「線区のグレードに応じた最適な検査頻度の設定」、「携帯情報端末を活用した、軌道変位データに依存しない走行安全性評価」、「車上計測主体による軌道CBM・RBMを許容する軌道維持管理の手引きの作成」といった取り組みを進めていく予定としている。

4. 軌道分野の省人化に向けて

今後の軌道分野の研究開発において「系統間・事業者間の連携基盤の構築 (Platform)」に対しては高機能化したLABOCSを統合分析プラットフォームと連携させ、鉄道設備のメンテナンスデータを一元管理するシステムを社会実装する。また、「ソリューションの社会実装の支援 (Code)」に対しては、CBM・RBMに対応した維持管理の基準を社会実装する。

「先端技術で諸課題の本質を追求 (Forefront)」に対しては画像やスマートフォン等の汎用機器をさらに活用し、AIにより画像から不良箇所を自動的に抽出する技術を社会実装する。また、夜間作業の削減に向け、無線式列車制御を活用した保守用車の昼間走行など、「建設・施工」・「補修・作業」の省人化を実現するための新技術を社会実装する。

これらの技術により、列車の安全・安定運行を実現する軌道をより少ない人とコストで実現する。

さらにその先の未来に向けた技術開発の方向性としては、自律型ロボットやドローン、携帯情報端末等を用いた高度なデジタルツインを実現するとともに、人型ロボットや専用ロボットによる自動施工・補修技術の実現が考えられる。

5. おわりに

本講演では軌道の建設・施工とメンテナンスにおける省人化のための研究開発の取り組みについて述べた。

省人化のための技術では、検査のデジタル化が注目されることが多いが、建設・施工、補修・作業の省人化も重要であり、これらの技術をバランスよく開発し、社会実装につなげていく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 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
- 2) 加藤爽, 坪川洋友, 長峯望, 合田航, 前田梨帆, 糸井謙介：列車前方画像を用いた木まくらぎ劣化度判定システム, 鉄道総研報告, Vol.37, No.4, pp.33-38, 2023
- 3) 景山隆弘, 中村貴久, 北条優, 田島史花：劣化したバラストに対する低強度安定処理工法による沈下抑制効果, 鉄道総研報告, Vol.38, No.6, pp.15-21, 2024
- 4) 谷川光, 高橋貴蔵, 桃谷尚嗣, 吉川秀平：施工が容易で低コストなS型弾性まくらぎ直結軌道の開発, 鉄道総研報告, Vol.31, No.12, pp.23-28, 2017
- 5) 吉田尚史, 田中博文, 西本正人, 三和雅史：データ一元化システムで鉄道設備の台帳・検査記録を管理する, RRR, Vol.78, No.8, pp.20-23, 2021
- 6) 松本麻美, 石川智行, 三和雅史：軌道改良を考慮したライフサイクルコストを最小化する軌道メンテナンス手法の開発, 鉄道工学シンポジウム論文集, 土木学会, pp.143-150, Vol.24, 2020
- 7) 田中博文, 趙博宇, 蘇迪, 長山智則：携帯情報端末を活用した鉄道線路維持管理用の低コストな列車巡視支援方法の実用化に関する研究, AI・データサイエンス論文集, 土木学会, 5巻1号, pp.56-65, 2024
- 8) 谷川光, 潮木知良, 池畑政輝, 中村貴久：施工性および防除効果に優れた蒸気除草手法の開発, 鉄道総研報告, Vol.38, No.9, pp.23-28, 2024
- 9) 谷川光, 桃谷尚嗣：軌道スラブへのケミカルプレストレストコンクリートの適用に関する基礎的検討, コンクリート工学年次大会2022, 日本コンクリート工学会, 2022
- 10) 小納谷優希, 伊藤太初：押抜き作業が不要な低圧縮量レールガス圧接部の性能評価, 鉄道工学シンポジウム論文集, 土木学会, Vol.28, pp.53-60, 2024
- 11) 清水惇, 三和雅史：画像解析技術を活用した軌道のリスクベースメンテナンス法の開発, 鉄道総研報告, Vol.33, No.2, pp.5-10, 2019

構造物分野の省人化技術

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、鉄道構造物の建設やメンテナンスにおける安全性の確保が不可欠である。しかしながら、少子高齢化にともなう生産年齢人口の減少や近年の働き方改革にともなう労働環境の変化により、鉄道事業に係る要員の確保が困難になりつつある。本講演では、構造物分野における省人化技術を紹介し、さらなる省人化のための今後の研究開発について概説する。

2. 構造物分野の現状と課題

鉄道構造物の建設やメンテナンスに係る要員の確保が困難になる一方、橋りょうやトンネル等の鉄道構造物の老朽化が進行している。また、最近では、自然災害の激甚化、頻発化で鉄道構造物が被災する事例が多く発生している。このように、鉄道構造物に係る業務

は、年々増加している。

鉄道構造物の安全性は、法令等に基づき確保されている。「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」¹⁾では、鉄道の建設と施設の保全に関する事項が示され、定期検査の周期等は告示に示されている。2001年改正の省令では、技術基準の性能規定化が示された。これ以降の技術基準の改訂では、順次、性能照査型の設計法に移行し、現在では、すべての技術基準が性能照査型の設計法へ移行した。しかしながら、鉄道構造物の設計実務では多くの仕様規定が残されている。例えば、コンクリート構造物の建設では、性能照査の前提となる構造細目が存在し、複雑な鉄筋の組立て等、これに対応できる熟練技能者の確保が課題となっている。また、メンテナンスでは、技術基準において、2年ごとの定期検査が定められており、目視と打音を基本とした調査、人の経験に基づく判断を基本とした診断は、いずれも、人が労力と時間をかけて実施するため、検査員の確保が課題となっている。

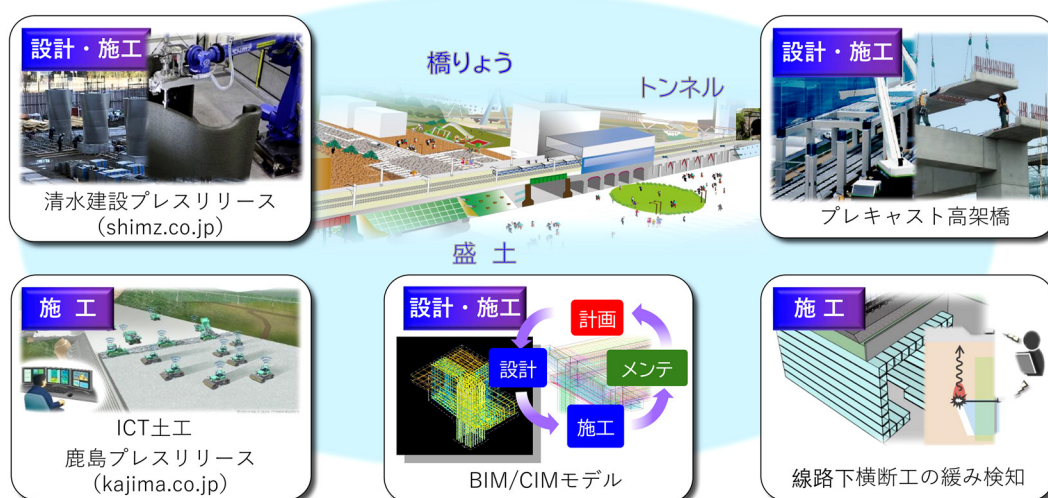


図1 建設分野における省人化技術の例

このような状況において、鉄道システムを維持、発展させていくためには、鉄道構造物の安全性を確保したうえで、建設とメンテナンスを省人化する必要がある。

3. 省人化に関するこれまでの取り組み

3.1 建設に関する省人化技術

設計や施工に関する最近の省人化技術の例を図1に示す。橋りょう、盛土、トンネル等の各種鉄道構造物を対象に、デジタル技術を用いた施工方法や建設機械を用いた施工方法が開発されている。

「プレキャスト高架橋の設計・施工」²⁾は、性能設計により、新技術を適用して施工を省人化した事例である。コンクリート構造物の建設では、場所打ちコンクリートによる労働集約型の施工から、プレキャスト構造を用いた機械施工の適用により施工の省人化が期待できる。プレキャスト構造を適用するおもな目的は、工期短縮や狭隘箇所での施工であるが、工場製作の部材を現地で組み立てるため、施工が省人化できる。ま

た、部材は、工場製作となるため、品質向上やそれに伴うメンテナンス性が向上する。北陸新幹線高架橋への適用にあたっては、柱と梁の接合部にモルタルスリーブ継手を用いた接合方法を開発した(図2、図3)。適用にあたっては、載荷試験により性能確認を行い、設計・施工指針³⁾を整備した。

3.2 メンテナンスに関する省人化技術

メンテナンスに関して、鉄道総研で取り組んだ最近の省人化技術の例を図4に示す。橋りょう、盛土、トンネル等の各種鉄道構造物を対象に、デジタル技術を用いた各種検査手法を開発した。

「トンネルの検査支援システム」^{4),5)}は、デジタル技術を活用して、トンネルのメンテナンスを省人化した事例である。トンネルの定期検査は、事務所での画像確認や、変状マーキング、健全度判定等に多くの労力と時間を要する。また、暗いトンネル内で、過去の検査結果と現地の変状を突合せて、目視や打音の実施箇所を特定しなければならない。そこで、事務所での作業



図2 北陸新幹線プレキャスト高架橋

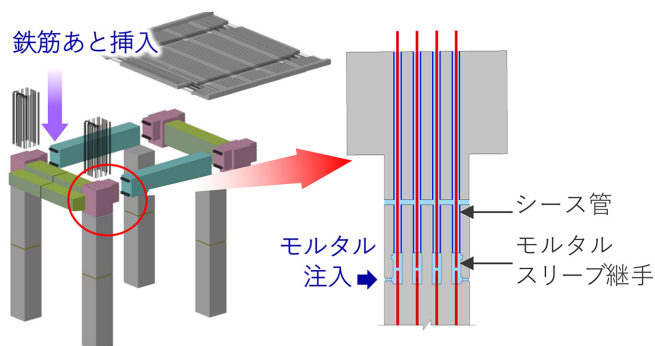


図3 モルタルスリーブ継手を適用した高架橋



図4 メンテナンス分野における省人化技術の例

の省人化のため、変状抽出および健全度判定アプリを開発した。このアプリでは、AIが変状画像を自動マーキングし、健全度判定を行い、目視や打音の実施箇所である要注意箇所を選定する。また、トンネル内での作業の省人化のため、要注意箇所の投影装置を開発した。移動式のプロジェクションマッピング装置で、トンネル内に要注意箇所を鮮明に表示し、検査を効率化する(図5)。変状抽出・健全度判定のアプリは、鉄筋露出や錆汁等の多種多様な変状を90%以上の精度で抽出できることを確認した。アプリの使用で、事務所作業を1/50以下に削減できる。さらに、要注意箇所投影装置は、暗いトンネル内において調査箇所をあらかじめ投影できるため、現場での詳細な指示が不要となり、現地調査に要する時間を1/2以下にできる。なお、山岳、シールド、開削等の様々なトンネル形状に対応可能で、アプリと投影装置は今年度の販売を予定している。

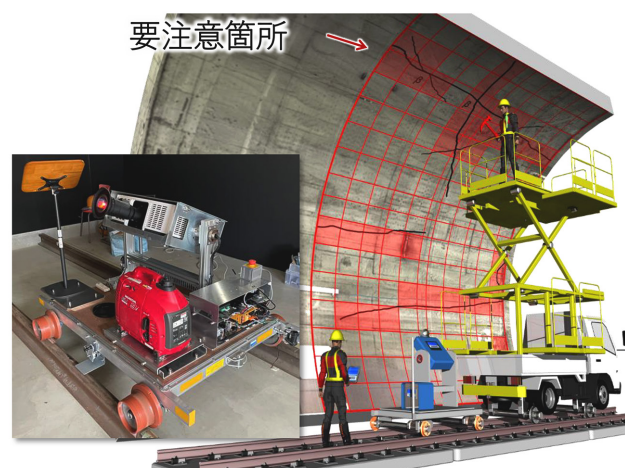


図5 トンネル要注意箇所投影装置

4. 省人化のための研究開発

4.1 建設分野において果たすべき役割

構造物の建設分野において、鉄道総研が果たすべきと考えている役割を図6に示す。

Forefrontに位置づけられる構造物のシミュレーション技術の例である「性能設計による設計・施工」⁶⁾では、有限要素解析(以下、FEM)による構造細目の解消や鉄筋配置の最適化で施工を省人化する。コンクリート構造物は、技術基準等に示された構造細目にしたがって鉄筋を配置するが、耐震基準の強化に伴い鉄筋量が増大している。特に、ラーメン高架橋の接合部においては、骨組み解析の前提となる、剛度を確保するため、鉄筋が輻輳し、鉄筋組立には、熟練の技能者が必要となる。そこで、FEMを用いて構造物の性能

におよぼす鉄筋配置の影響を評価することで、鉄筋の最適化、簡素化が可能となる。ここでは、接合部の大外に配置する軸方向鉄筋の曲げ内半径を 3ϕ (ϕ :鉄筋径)と 10ϕ とした解析例を示した(図7)。曲げ内半径により接合部の応力状態が大きく異なることがわかる。なお、FEMの結果は、実験結果との比較により、十分な精度を有していることを確認している(図8)。FEMにより精度よい性能評価が可能になることから、性能に基づいた鉄筋配置を行うことによって、鉄筋を簡素化し、施工の省人化が期待できる。

Forefrontに位置づけられるデジタル技術を用いた施工方法の例である「盛土の施工」⁷⁾では、デジタル技術で労力と時間のかかる盛土の品質管理のための現場試験を省人化する。盛土の施工では、転圧後、所定の地点で密度試験および剛性確認の載荷試験することが技術基準で定められている(図9)。構造物の性能を確保するため必要な試験であるが、多地点での現場試験が求められており、技能者の確保が困難になりつつある。そこ

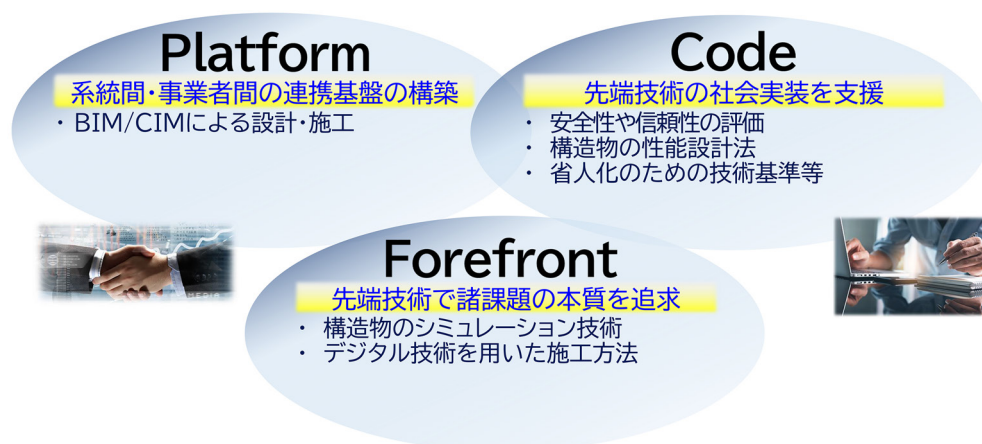


図6 建設分野における鉄道総研の果たすべき役割

で、転圧後の沈下量の推移から密度、剛性を推定し、現場試験を省略することで、施工管理を省人化する。また、3Dスキャナにより沈下量を面的管理することで、施工不良箇所の抽出精度が向上する。さらに、将来的には、GPSによる自動運転との連携により、さらなる省人化が可能になる。このようにデジタル技術を活用した施工管理の推進で、盛土の施工の省人化が期待できる。

Platformに位置づけられる「BIM/CIMによる設計・施工」⁸⁾では、BIM/CIM (Building/ Construction Information Modeling) の活用により、計画から設計、施工、メンテナンスまでの円滑な情報伝達で、各段階の業務を省人化する。設計段階では、BIM/CIM 情報から、設計で用いる骨組みモデルを自動作成すること

ができる。鉄道総研では、BIM/CIMと骨組みモデルを用いた解析ツールの連携手法を開発し、プロトタイププログラムを公開している。将来的には、性能設計に有用なFEMとの連携手法の開発を目指す。施工段階では、3次元の鉄筋情報を鉄筋組立の手戻り防止等に活用できる。

4.2 メンテナンス分野において果たすべき役割

構造物のメンテナンス分野において、鉄道総研が果たすべきと考えている役割を図10に示す。

Forefrontに位置づけられる変状計測技術の例である「ドローンによる調査」⁹⁾では、ドローンによる変状情報の取得を自動化、高速化し、調査を省人化する。鉄道総研では、ドローンに関する研究開発を実施してきたが、最近のドローンの飛躍的な技術進歩を踏まえて、定期検査への適用を目指す。具体的には、コンクリート構造物を対象に、ひび割れ、かぶり、浮き等の変状

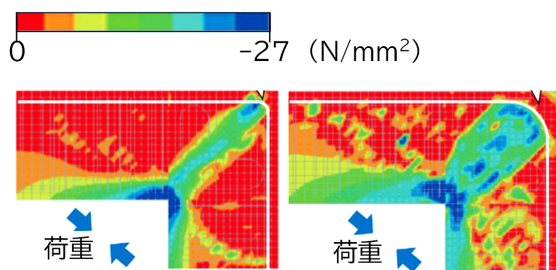


図7 FEMによる接合部の応力状態
(左: 3φ 右: 10φ)

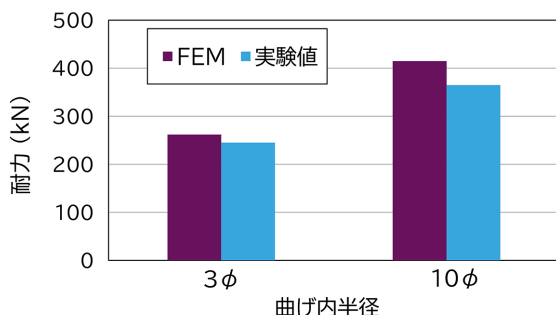


図8 FEMおよび実験による接合部の耐力

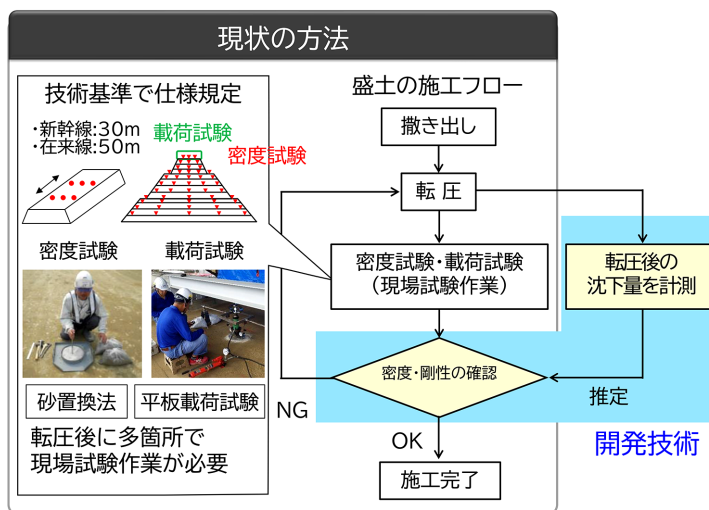


図9 盛土の施工フロー

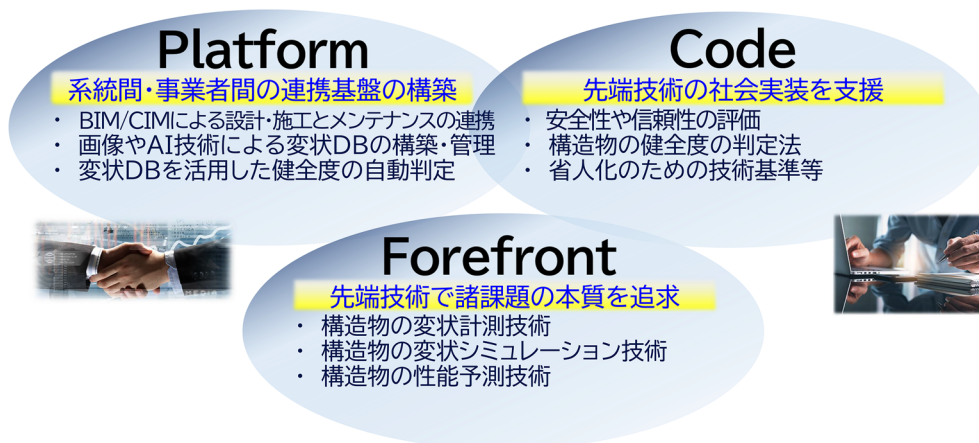


図10 メンテナンス分野における鉄道総研の果たすべき役割

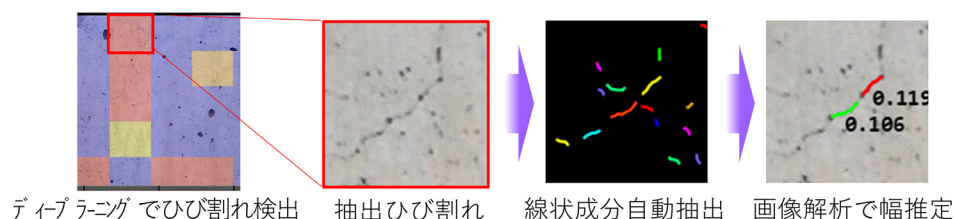


図11 デジタル画像によるひび割れ幅の推定

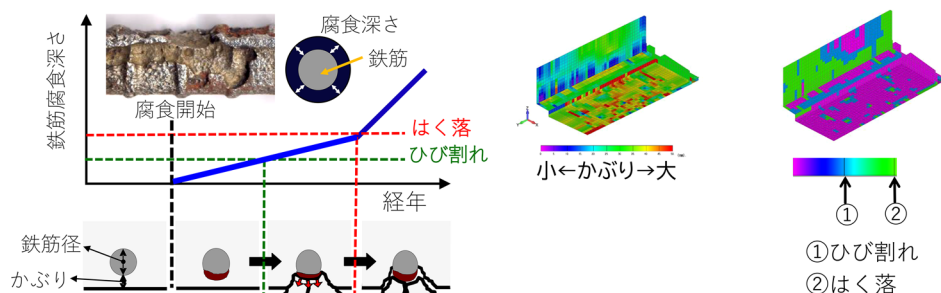


図12 シミュレーションによるコンクリート構造物の劣化予測

情報を取得する。ひび割れについては、AIによりひび割れ幅を計測する。これまでの研究⁹⁾により、ディープラーニングでひび割れを検出し、画像解析によるひび割れ幅の算定する要素技術を確認した(図11)。今後は、性能予測に求められる取得データの精度、構造物における計測位置、計測頻度を検討し、実務でのドローンの運用や計測方法を確立する。そして、定期検査へ適用することで、調査の省人化が期待できる。

ForefrontおよびCodeに位置づけられる変状シミュレーション、性能予測に対応する「新設構造物の診断と検査周期延伸」¹⁰⁾では、BIM/CIMの活用とシミュレーションによる性能予測で定期検査を省人化する。設計情報、つまりBIM/CIM情報から、FEMモデルを自動作成するツールを開発する。また、かぶり等のしゅん工情報をBIM/CIMを介して、FEMモデルに反映する。さらに鉄筋の劣化モデルを用いてコンクリートのはく落を予測する(図12)。経年による鉄筋腐食に起因するひび割れ、はく落、さらには、残存耐力を予測することが可能となり、定期検査の周期延伸の可否が判断できる。このように、仕様規定型のメンテナンスから性能規定型のメンテナンスに移行することによって、メンテナンスの省人化が期待できる。

Platform、ForefrontおよびCodeに位置づけられる変状データベースの構築、性能予測に対応する「既設構造物の診断と検査周期延伸」では、データベースの活用による性能予測で定期検査を省人化する。新設構造物では、シミュレーションに基づく性能予測で省人化を目指

すが、既設構造物は、詳細な設計・施工の情報がないため、シミュレーションが行えない。既設構造物においては、ドローン等を用いて収集した変状情報や過去の検査記録をもとにしたデータベースとAIを活用した変状の進展予測や性能予測で省人化を目指す。この手法は、地域鉄道への適用も想定している。データベースによる性能予測では、学習データの情報量が重要となるため、鉄道事業者間のデータ共有、連携が不可欠となる。鉄道総研では、連携の体制づくりに取り組むことを考えている。また、診断では、維持管理標準の健全度判定例を用いる場合が多いが、目視を前提とした現在の判定基準をデジタル情報に対応した判定基準にする必要がある。さらに、デジタル情報から自動で健全度判定を行う手法の開発を目指す。これらを実現するためには、変状情報のデータベースの構築が前提となる。

Codeに位置づけられる「省人化のための技術基準等整備」では、調査や診断の省人化技術を社会実装するため、技術基準等整備を支援する。目指すべき技術基準の方向を表1に示す。調査では、目視と打音の調査から、カメラによるデジタル画像やドローンを使用した調査を目指す。診断では、健全度判定例や人の経験に基づく判断から、新設構造物を対象としたシミュレーションによる判断、既設構造物を対象とした変状データベースとAIによる判断を目指す(図13、図14)。現在の技術基準では、変状をグレード分類し、おおよその性能を把握し、安全側の基準値で健全度を判定している。安全性に問題はないが、正確な性能は確認で



図13 変状データベースによる診断で性能予測

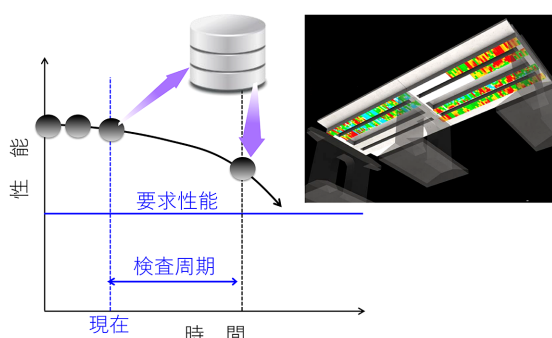


図14 シミュレーションによる診断で性能予測

きないため、すべての構造物に2年ごとの検査を行っている。そのため、経年の増加にしたがって、詳細検査や補修・補強の負荷が増大する。一方、性能予測に基づいた検査では、構造物の現在と将来の性能が把握できるため、周期延伸の可否の判断ができる。このような方法を推進するためには、性能予測を実施するためのツールを整備し、性能予測の作業負荷を低減することが不可欠となる。あわせて、これらの新技術を社会実装するための技術基準等の整備が求められる。

5. おわりに

鉄道構造物の建設では、FEMによる性能設計、デジタル技術による施工管理、BIM/CIM等のプラットフォームと連携した設計と施工を推進し、省人化を実現する。メンテナンスでは、デジタル技術による調査、シミュレーションやデータベースを活用した性能予測と検査周期の延伸で省人化を実現する。また、新技術を社会実装するための技術基準等の整備の支援によって、持続可能な鉄道システムを実現する。鉄道総研では、今後も構造物分野の省人化のための研究開発を推進する。引き続き、ご支援とご協力をお願いしたい。

表1 技術基準の目指すべき方向

	現在の技術基準	目指すべき方向
調査	目視、打音	デジタル画像、ドローン等
診断	健全度判定例 人の経験	新設構造物： シミュレーション等 既設構造物： 変状データベースと AI等
検査 周期	すべて2年	性能予測に基づいて 設定

参考文献

- 1) 土木関係基準調査研究会：解説 鉄道に関する技術基準（土木編，第四編）2024
- 2) 喜多直之，三倉寛明，岡本大，田所敏弥：建築プレキャスト工法の鉄道高架橋への展開，コンクリート工学，Vol.55，No.9，pp.815-819，2017
- 3) （公財）鉄道総合技術研究所：モルタルスリーブ継手を用いたプレキャストラーメン高架橋の設計・施工指針，2015
- 4) 仲山貴司，山下雄大：ディープラーニングを用いたトンネルの健全度自動判定システム，日本鉄道施設協会誌，Vol.62，No.10，pp.51-54，2024
- 5) 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
- 6) 鈴木瞭，中田裕喜，渡辺健：L型RC柱梁接合部の変形や隣接部材の耐力に着目したハンチの設計に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.46，No.2，pp.337-342，日本コンクリート工学会，2024
- 7) 笠原康平，中島進，天野友貴，藤澤真一郎，木口峰夫：盛土転圧時の沈下量情報を用いた剛性評価法に関する一検討，第59回地盤工学研究発表会，地盤工学会，2024
- 8) 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
- 9) 上半文昭，池田学，松岡弘大：ビデオカメラとドローンを用いた構造物検査技術の開発，鉄道総研報告，Vol.35，No.9，pp.41-46，2021
- 10) 土木学会：複合構造レポート，根拠に基づく構造成能評価のための点検・解析の技術体系を目指して，2022

自動運転の高度化

信号技術研究部長 新井 英樹



1. はじめに

日本における生産年齢人口の減少による影響が様々な産業分野で深刻化しており、鉄道においても、今後の運転士等の鉄道従事者の確保が課題となっている。そのため、列車運行業務の省人化が求められており、とりわけ、地域鉄道においては、その必要性が高いと言える。

この課題の解決策の一つとして、列車の運転操縦を自動化し、列車の先頭に動力車操縦者運転免許を有しない係員が乗務する形態や、列車先頭に必ずしも人が乗務しない形態の自動運転が挙げられる。既に、前者はJR九州の香椎線に導入されており、後者のドライバレス自動運転については、国内では新交通システムで実施されている。

今後、列車運行の安全性・安定性を向上させつつ、さらなる省人化、省力化を図るためには、高度な列車運行の実現や自動運転の普及に資する研究開発が必要である。特に、自動運転の普及のためには、踏切があ

る等の一般的な鉄道の路線にも導入可能であることが求められる一方で、極力、自動運転システム導入のための新規設備の増設を必要とせず、既存設備を活用することにより低コスト化が図れる自動運転システムであることが求められる。

本講演では、鉄道の自動運転の現状と、高度な自動運転の実現に向けた課題について述べるとともに、課題解決のための研究開発として、現在、鉄道総研で取り組んでいる「自律運転システム」、そして今後取り組む「既存設備を活用したGOA2.5自動運転システム」と「高度な自動運転システムの共通技術」を紹介する。最後に、自動運転の高度化に向けた鉄道総研の役割を示す。

2. 鉄道の自動運転の現状

2.1 鉄道の運転の自動化レベル

鉄道の運転の自動化レベル (GOA : Grades Of Automation) は、国際電気標準会議 (IEC : International

表1 鉄道の運転の自動化レベル (運転士や係員の乗務形態による分類)

自動化レベル※	乗務形態のイメージ [] 内は主な作業		国内の導入状況
GOA 0 (TOS : On Sight Train Operation) 目視運転		運転士(および車掌)	路面電車
GOA 1 (NTO : Non-automated Train Operation) 非自動運転			踏切がある等の一般的な路線
GOA 2 (STO : Semi-automated Train Operation) 半自動運転		運転士 [列車起動、緊急停止操作、避難誘導等]	一部の地下鉄 等
GOA 2.5 (IECおよびJISには定義されていない) 緊急停止操作等を行う係員付き自動運転		列車の先頭に乗務する係員 [緊急停止操作、避難誘導等]	JR九州 香椎線
GOA 3 (DTO : Driverless Train Operation) 添乗員付き自動運転		列車に乗務する係員 [避難誘導等]	一部のモノレール
GOA 4 (UTO : Unattended train Operation) 自動運転		係員の乗務無し	一部の新交通 等

Electrotechnical Commission) の国際規格である IEC 62267:2009 (JIS E 3802:2012):「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」により定義されており¹⁾、表1に示すように運転士や係員の乗務形態により分類される。

従来、踏切がある等の一般的な路線では、自動運転が行われておらず、非自動運転GOA1に区分される。地下鉄等の一部路線では、運転士が列車の先頭に乗務する半自動運転GOA2が導入されている。GOA3、GOA4が、いわゆるドライバレス自動運転であるが、国内では、踏切がなく、人等が容易に立ち入ることができない構造の新交通システムに導入されているのみである。

一方、2018年度から2021年度にかけて計8回開催された国土交通省の「鉄道における自動運転技術検討会」(座長:東京大学 古関教授)では、動力車操縦者運転免許を有しない係員が列車先頭の運転台に乗務し、緊急停止操作等を行う形態が検討項目として加えられた。この乗務形態は、IEC 62267 (JIS E 3802) では定義されていないものの、GOA2.5として区分された。表1には、GOA2.5も合わせて示している。なお、上記の「鉄道における自動運転技術検討会」のとりまとめは、2022年9月13日に公表されており²⁾、踏切がある等の一般的な路線を対象とした自動運転の導入について、鉄道の運転の自動化レベルに応じた、人間とシステムの役割分担、安全確保の考え方や要件が示されている。

国内および海外における自動運転の導入事例を表2に示す(海外においては、GOA2.5の導入事例はないため、除く)。GOA3、GOA4のドライバレス自動運転は、新交通システムや地下鉄に導入されている。GOA2を含めた自動運転については、国内ではレール式ATC (Automatic Train Control: 自動列車制御) を運転保安装置として用いる自動運転が主流であり、海外では無線式ATC、いわゆるCBTC (Communication-

Based Train Control) をベースとした自動運転が主流となっている。なお、世界初のGOA4のドライバレス自動運転による営業運転が開始されたのは、1981年の神戸ポートライナーであるが、近年では、海外において、CBTCと自動運転をセットにした形での新線等への導入事例が多く見られる。

踏切がある等の一般的な路線でのドライバレス自動運転に向けた主な課題として、「鉄道における自動運転技術検討会」のとりまとめでも示されたように、列車走行路上の安全確保が挙げられる。線路内への一般公衆の立ち入りは法的措置によって禁止されているものの、一般的な路線は新交通システムとは異なり、線路沿線からの侵入があり得る構造となっている。現状の運転士による運転においても、線路内への一般公衆の不法な侵入による事故も発生しており、鉄道事業者においては、線路内への一般公衆の立ち入りを防止するための柵(立入防止柵)の設置や、運転士による汽笛吹鳴、列車を停止させるブレーキ操作扱い等により、事故防止や事故発生時の被害軽減に最善を尽くしている実態がある。そのため、「鉄道における自動運転技術検討会」のとりまとめでは、一般的な路線でのドライバレス自動運転における線路内への一般公衆の侵入等の対応として、コスト負担を含めて合理的で実行可能な技術導入の検討が必要であると指摘しているとともに、立入防止柵等の強化やセンサ技術を用いた支障物検知等による「総合的な判断による安全確保」を要件として示している。また、ドライバレス自動運転に用いる装置の性能や適用する路線の状況を踏まえた「総合的な判断による安全確保」により、現状と同等以上の安全性を確保することが求められている。

2.2 高度な自動運転とは

一般的な路線にも導入できるドライバレス自動運転の実現や、現状の運転士による運転でのヒューマンエラー防止による安全性向上を実現するためには、自動

表2 国内/海外における自動運転の導入事例

	GOA 2 半自動運転	ドライバレス自動運転	
		GOA 3 添乗員付き自動運転	GOA 4 無人運転
国内	30線区 東京メトロ 札幌、名古屋、大阪、福岡等の 市営地下鉄 つくばエクスプレス 等	1線区 舞浜リゾートライン	9線区 神戸ポートライナー ゆりかもめ 金沢シーサイドライン 大阪ニュートラム 等
海外	約350線区 パリメトロ3、5号線 等	約10線区 サンフランシスコBART 等	約140線区 パリメトロ1、14号線 ニュルンベルグU2、U3号線 等

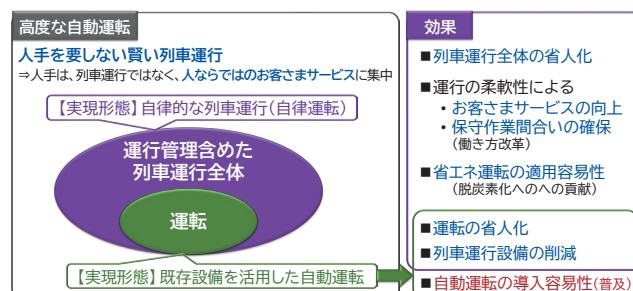


図1 高度な自動運転とその効果

運転システムの機能や性能をさらに高める必要があるが、本講演での「高度な自動運転」とは、列車運行の基本となる運転だけではなく、運行管理を含めた列車運行全体として、人手を要しない賢い列車運行を指す(図1)。人手は、列車運行ではなく、人ならではのお客さまサービスに集中させるという考え方である。

高度な自動運転の実現形態としては、大きく分けて二つの形態を考えている。一つは、現在、鉄道総研で取り組んでいる、自律運転である。

自律運転では、

- 運転を含む列車運行全体の省人化
- 運行の柔軟性による、お客さまサービスの向上や保守作業間合いの確保
- 省エネルギー運転の適用容易性
- 列車運行設備の削減

といった効果が挙げられる。自律運転については、4.1節で詳述する。

もう一つの実現形態は、今後、鉄道総研が取り組む、既存設備を活用した自動運転である。この実現形態では、自律運転と同様に、

- 運転の省人化
 - 列車運行設備の削減
- 等の効果に加え、
- 自動運転の導入容易性(普及)

といった効果が期待される。鉄道総研が目指す既設設備を活用した自動運転については、4.2節で詳述する。

高度な自動運転の実現に向けた課題を図2に示すが、自律運転では、要素技術の研究開発が必要であるとともに、自動運転との親和性も高い無線式列車制御が必要になる等、大幅なシステムチェンジを必要とする。

一方、既存設備を活用した自動運転では、

- ・汎用技術を用いた絶対位置検知技術
- ・地域鉄道への導入も可能とする自動運転システムであること

が課題となる。

また、自律運転や既存設備を活用した自動運転のような高度な自動運転に必要となる共通技術として、

- ・前方支障物検知技術
- ・GOA・検知対象に応じたセンシング機能要件
- ・前方認識技術

が挙げられる。

高度な自動運転に向けては、技術基準等との整合性も必要であり、進めるにあたり、国・鉄道事業者を含めた関係者との議論が重要となる。

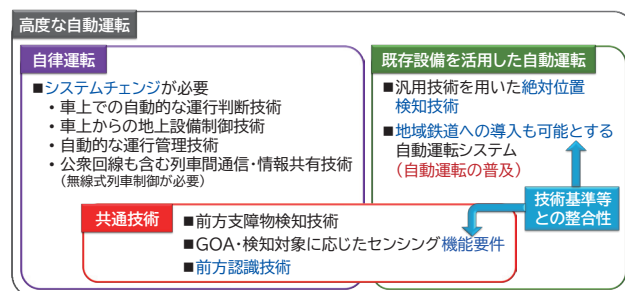


図2 高度な自動運転の実現に向けた課題

3. パターン制御式ATSを用いたGOA2.5自動運転システム

本章では、ATCを用いるのではなく、現用のパターン制御式ATS(Automatic Train Stop:自動列車停止)を用いたGOA2.5自動運転システムを紹介する³⁾。なお、開発主体はJR九州であり、鉄道総研は、その技術支援を行った。

3.1 システムの概念

従来、自動運転においては、ATO(Automatic Train Operation:自動列車運転)装置により、運転操縦の自動化が行われているが、ATO装置は保安装置として位置付けられておらず、列車間の間隔を確保する装置であるATC装置が保安機能を担うことを前提としている。ATCは、地上の軌道回路あるいは誘導ループコイルから、常に速度信号等の保安制御情報を車上で受信し、ATOはATCの保安制御の下で走行制御を行うことが基本となっている。一方、在来線の多くでは地上信号機とATSによって列車制御を行っており、特に地域鉄道ではこれをATCに置き換えることは経済的に困難な場合が多い。車上子と地上子間で保安制御情報を送受信する点制御式と呼ばれるATSでは、保安制御情報は車上子が地上子上を通過したときのみ受信される。つまり、ATCのように車上で連続的に受信できないという制約があるが、点制御式ATSの中でも連続速度照査式ATS、いわゆるパターン制御式ATSでは、車上装置にて自列車位置と、停止位置および速度制限区間を認識して連続的な速度照査を行っており、これをベースにすることで、既存のパターン制御式ATSを置き換えることなく、自動運転の実現が期待できる。

その具体例として、JR九州で現在使用されている車上データベース搭載型のパターン制御式ATSであ

るATS-DKを対象とし、それを用いたGOA2.5自動運転システムにおける制御方式の検討、プロトタイプシステムを用いた機能検証試験、そして安全性評価等の技術支援を行った。ATS-DKをベースとしたGOA2.5自動運転システムは、表1に示した通り、列車先頭に乗務した係員が線路上の障害となる事象を発見した場合の緊急停止操作や緊急時の旅客の避難誘導等を行い、従来の運転士が行っていた主な運転操縦をATO装置が行うこととしている。また、本システムは、踏切があるような一般的な路線を対象として、ATCをベースとする自動運転システムよりも安価な自動運転システムを目指したものである。

3.2 システムの前提条件

本システムの開発にあたっては、線区、列車、列車先頭に乗務する係員に対して以下の前提条件を設定した。

線区については、ATS-DK(常時パターン制御方式：当該信号機が停止現示でない場合、次信号機を停止現示と見なして速度照査パターンを発生させる方式)導入線区であること、自動閉そく区間および特殊自動閉そく区間の本線上の運転のみを対象とし、入換信号機および入換標識、誘導信号機による制御は行わないこととした。

対象列車は、ATS-DK送受信器およびATO装置搭載の本線列車のみとし、自動運転実施時は駅の通過運転をしないこと、編成長ならびに各駅の停止目標を固定とすること、前進のみを対象とすることとした。また、自動運転に対応する車両も現状の手動運転区間を走行する場合があるため、その場合のATSの作用や、運転取扱いに影響を与えないよう、ATS-DKの基本機能を変更しないこととした。

列車先頭の係員については、列車防護、緊急停止操作等を行うために列車に乗務することとし、作業に必要な適性、知識および技能を有しており、かつATO装置の取扱いに必要なとなる教育を受けた者とした。

3.3 システム概要

従来からのATSの位置付けは、運転士が適切な運転操縦を行う前提でのバックアップ装置である。しかし、係員によるGOA2.5自動運転を行うためには、システムの機能によって停止信号を冒進させないことが必須となる。

そこで、従来のATCベースでのATO装置とは異なり、ATO装置にも保安装置で実績のあるフェイルセーフ構成を適用することによって、ATS-DKとの組み合わせにより安全を確保する仕組みを導入することとした。また、自動運転実施時の信号冒進防護に関して、ATO装置側にATSを補完する機能を分担させることとした。これは従来にはなかった新しい考え方であり、今後、ベースとするATSの基本機能を変更することなく、GOA2.5自動運転を実現する場合における一つの方向性を示すものとする。

本システムは、既存設備（ATS-DK送受信器等）に新たにATO装置（自動運転演算部および継電器部）、自動運転システム用の地上子等を追加したものである。本システムの概略図を図3に示す。

自動運転演算部は、ATS-DK送受信器が演算する速度照査パターン（超過すると非常ブレーキを出力）の情報、および地上子情報に基づき目標速度となる運転パターンを作成し、それに従うように力行、ブレーキノッチ制御条件を出力する装置であり、ATS-DK送受信器と同様のハードウェア構成のフェイルセーフ

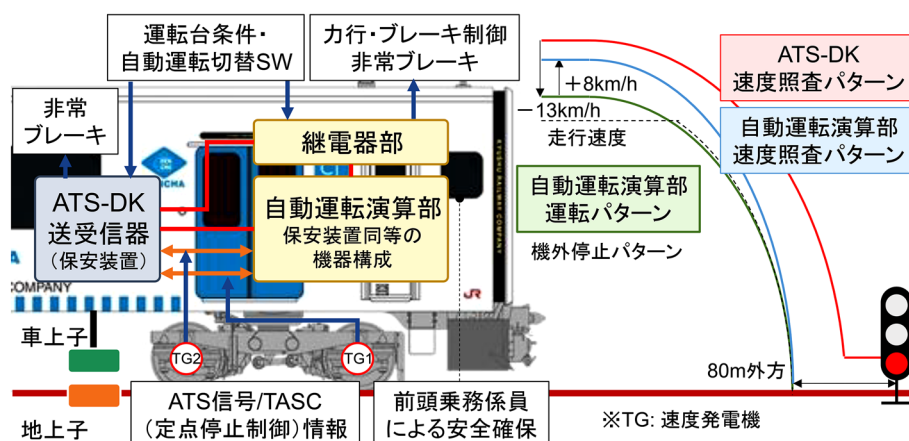


図3 ATS-DKベースの自動運転システムの概略図

な装置としている。なお、速度照査パターン（図3赤線）は、ATS-DK送受信器が常時保持しており、自動運転演算部はその範囲内で列車の速度制御を行うための運転パターン（図3緑線）と、ATS-DKが持つものとは別の速度照査パターン（図3青線）の2種類の演算を行う。自動運転演算部での速度照査パターンは、運転パターン（ATS-DK送受信器による速度照査パターンの -13km/h ）に対して、 $+8\text{km/h}$ の速度照査を行うものであり、速度超過時には非常ブレーキを出力する。なお、この機能は、ATS-DK送受信器とは独立して制御される。また、自動運転を行うためのスイッチ類として、走行開始要求ボタンや自動運転用列車停止ボタン等が設置される。一方、地上側の設備については、既存設備であるATS-DK用地上子の他に、自動運転システム用地上子として、TASC（定位置停止）地上子、信号冒進防護用の地上子と第2直下地上子の増設が必要となる。

本システムは、2024年3月16日からJR九州香椎線にて営業運転を開始しており、国内初のGOA2.5自動運転となる。

4. 高度な自動運転に向けた研究開発

本章では、列車運行业務や運転業務の省人化に向け、現在、鉄道総研で取り組んでいるテーマである「自律運転システム」について述べたのち、今後取り組むテーマである「既存設備を活用したGOA2.5自動運転システム」と「高度な自動運転システムの共通技術」を紹介する。なお、基調講演において、鉄道総研が果たすべ

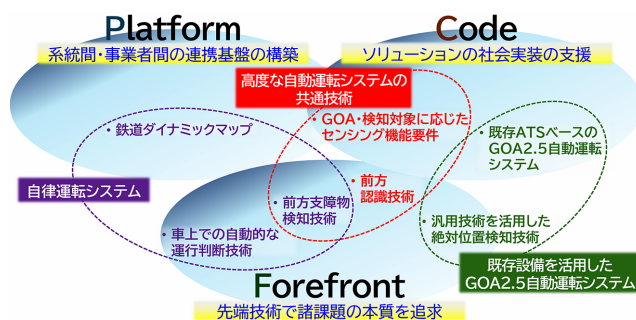


図4 鉄道総研が果たすべき役割での各技術の位置付け

き役割として、

- Platform（系統間・事業者間の連携基盤の構築）
- Forefront（先端技術で諸課題の本質を追及）
- Code（ソリューションの社会実装の支援）

が示されたが、以下で紹介する3つのテーマで開発する各技術は、図4に示すような位置付けとなる。また、図4中の各テーマと各技術の色分け（紫・緑・赤）は、図2に示した色分けと対応している。

4.1 自律運転システム

近年目ざましい進展を遂げているデジタル技術は、列車の運行においてさらに安全かつ高度な制御を実現するとともに、列車運行のさらなる省人化、省力化、そして省設備化への活用が期待されている。

鉄道総研の現基本計画であるRESEARCH 2025では、上記を踏まえ、鉄道の将来に向けた研究開発の一つとして「列車運行の自律化」を掲げている。

「列車運行の自律化」では、運転だけではなく、運

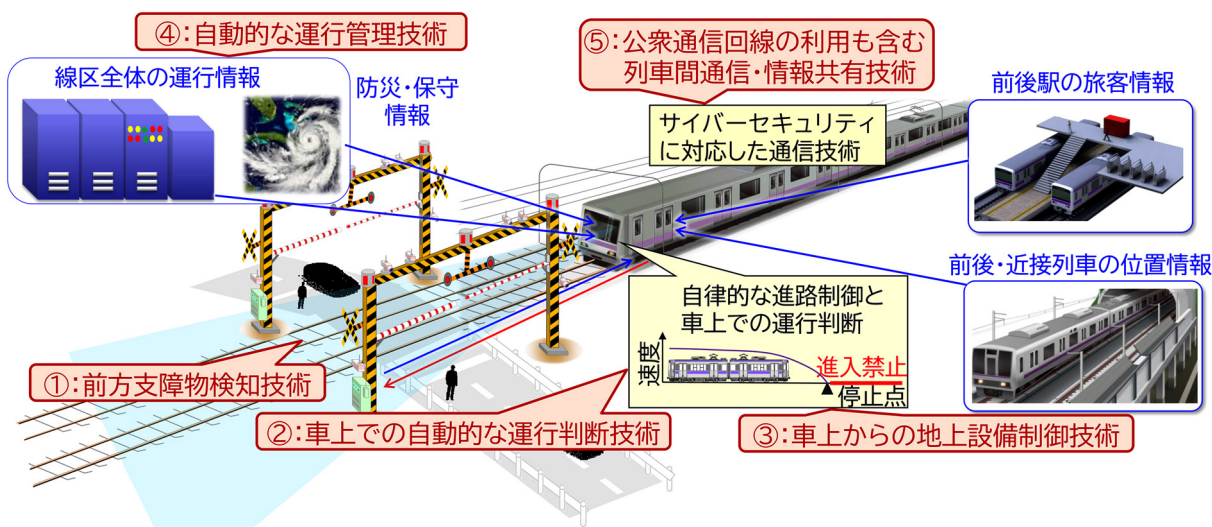


図5 自律型列車運行制御システム（自律運転システム）の要素技術

行管理を含めた列車運行全体の省人化、省力化を、できる限り少ない地上設備で実現するための自律型列車運行制御システム（自律運転システム）に関する研究開発に取り組んでいる。

自律運転システムとは、現状の地上側に制御主体を置くスタイルとは異なり、ドライバレス自動運転の列車が、線路内や沿線の支障物、旅客流動、保守作業や災害による運転規制、そして消費電力等に関する情報に基づいて、沿線の信号設備（転てつ機や踏切）を制御しながら、安全かつ柔軟に運行できるシステムを指す。本システムを構築するためには、以下の要素技術が必要であり、現在、それらの技術確立に向けた研究開発を行っている⁴⁾（図5）。

技術① 画像処理やLiDAR (Light Detection and Ranging) センサによる線路内や沿線の前方支障物検知技術

技術② 線路内・沿線の状態や車両の状態に関する情報を車上で集約する技術と、その集約した情報を基に車上で自動的に運行判断する技術

技術③ 無線通信により車上から地上の信号設備を直接制御する技術

技術④ ダイヤ乱れ時の遅延波及防止・早期遅延回復等の運転整理や省エネルギー運転のための広域での運行管理を自動的に行う技術

技術⑤ 公衆通信回線の利用やサイバーセキュリティも考慮した列車間通信・情報共有する技術

これらの技術は、列車運行の無人化のみを目指すものではなく、現状の列車運行業務の支援にも活用できると考える。また、これらの技術の確立により、より少ない地上設備で、輸送需要に応じた短編成高頻度運転や保守作業間合いの確保といった列車運行の柔軟性を持たせた高度なドライバレス自動運転が可能になると考える。

本講演では、技術①と技術②を紹介する。

(1) 前方支障物検知技術

自律運転を含め、踏切のある一般的な路線でのドライバレス自動運転のために必要となる共通技術である。

鉄道総研では、カメラとLiDARセンサの融合による支障物検知アルゴリズムの開発を行っている⁵⁾。

通常の可視光カメラでは、物体に反射した光を撮像素子に取り込むことにより、物体の色や質感を把握できる。したがって、カメラで取得された画像から物体の有無だけでなく、物体の種別を識別することがで

きる。これは、昼間においては問題ないものの、夜間においては、照度が不足することにより検知性能が低下する。

一方、LiDARセンサは、波長900～1,500nm前後の近赤外線レーザを照射し、物体からの反射波を捉えることにより測距を行うセンサであり、昼夜を問わず物体をレーザ点の集合である点群データとして把握できる。よって、LiDARセンサの併用により、カメラの夜間での検知性能低下を補うこととした。

カメラとLiDARセンサによる支障物検知のイメージを図6に示す。照度を問わず遠方まで検知性能を確保するために、カメラの画像と複数台のLiDARセンサから得られる点群データを用いる。最初に、画像と点群データのそれぞれの情報から、物体がある可能性が高い領域を推定する。画像については、画像を均等に区切った格子毎に、物体検出用の深層学習モデルを用いて物体の位置、大きさ、存在確率、種別および種別の判定確率を算出する。一方、点群データについては、地面からの反射波を取り除く前処理を行った上で、点群密度がある閾値を超える領域を、物体候補点群として抽出する。次に、カメラから見たLiDARセンサの設置位置の情報を利用して、物体候補点群を画像に投影し、画像からの格子毎の検知結果と重ね合わせて比較する統合処理を行う。物体候補点群の中心がある画像格子については、ほぼ確実に物体があると判定し、当該の画像格子における物体の存在確率を、深層学習により算出された値に関わらず100%とし、物体の大きさについても物体候補点群の大きさを採用する。物体の種別判定については、深層学習で算出された判定確率がある閾値より高い場合は、深層学習による判定確率をそのまま採用する。低い場合には、点群データによって物体自体は確実に検知されているため、画像

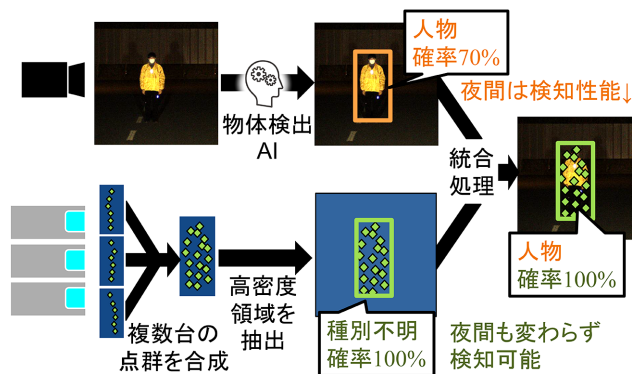


図6 カメラとLiDARセンサの融合による支障物検知

からは物体の種別が識別できなかったものとして「種別不明」と判定する。

カメラとLiDARセンサの融合による支障物検知アルゴリズムの評価試験結果を図7に示す。夜間における人物を検知対象とした。なお、試験では、カメラとLiDARセンサを列車に搭載した状態ではなく、実際の鉄道車両に取り付けた状態を模擬するために、地上から高さ約1.5mのトラックの荷台上にカメラ1台とLiDARセンサ9台、そしてLED前照灯2台を設置し、静止している被写体からの離れが50m毎の地点において、定置にて画像と点群データを取得している。晴れた夜間であるが、図7より、現状、カメラ1台とLiDARセンサ9台で、400m先の人物を90%以上で検知できることを確認した。また、LiDARセンサからのレーザ点群密度が向上することにより、検知率が向上することを試算している（図7中のLiDARセンサ12台は、点群密度に基づく検知率を机上で試算した結果である）。

(2) 車上での自動的な運行判断技術

現在の列車運行では、地上側に設置された各種監視装置からの状態情報を基に、多くの列車が関係する広域の運行判断は、指令所の指令員が、そして現場の運行判断については、乗務員が行っている。一方、自律運転システムでは、列車運行のさらなる省人化、省力化を図るため、各列車にて運行判断に必要な各種状態情報を集約し、状態情報に応じた制御（ある地点までに停止する、ある区間を徐行する、あるいは停止禁止区間を避けて停止する等）や運行再開判断の自動化が必要となる。車上で状態情報の集約や運行判断を

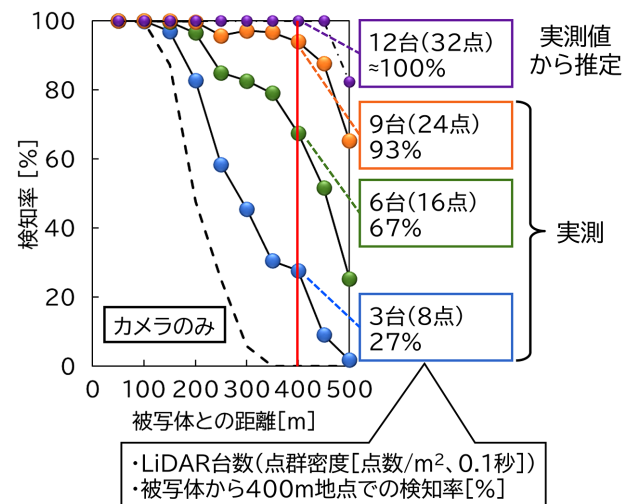


図7 夜間における400m先の人物検知率

行うための情報基盤として、鉄道ダイナミックマップを開発した⁶⁾。

鉄道ダイナミックマップは、地図面と線路図面から構成され、各種状態の変化の時間特性（更新頻度）に応じて区分された階層構造となっている。例えば、突発的な状態の変化が考えられる前方支障物検知の情報は更新頻度が高く、長期間にわたる大規模な計画的工事の情報は更新頻度が低い。また、地図面と線路図面の相互位置変換機能を有しており、キロ程を基準にした鉄道特有の状態情報と地図上の位置を基準にした気象情報等の公的な状態情報を統合し、時系列的に管理することが可能である（図8）。

列車の運行に影響を及ぼす線路内・沿線の状態情報、

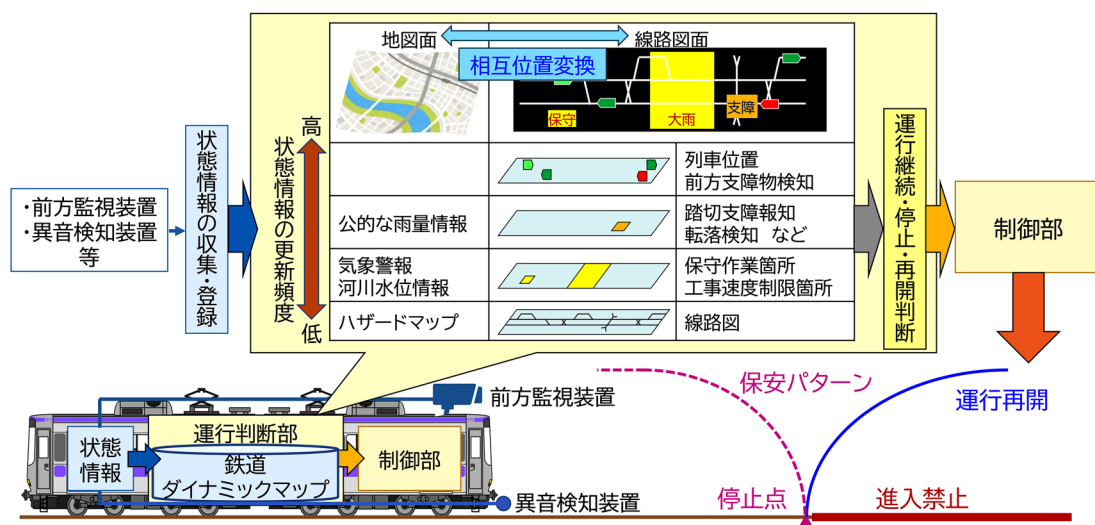


図8 鉄道ダイナミックマップとその情報に基づく車上での自動的な運行判断の概略図

降雨量・風速といった気象に関する状態情報が、鉄道ダイナミックマップに登録され、各列車は、走行経路上にある異常を自列車の現在位置をもとに探索・知得することができる。

鉄道総研の所内試験線を対象として、鉄道ダイナミックマップのプロトタイプを作成するとともに、コンピュータ上で、この鉄道ダイナミックマップに登録された状態情報に基づく列車の模擬走行を可能とするシミュレータを開発し、自律運転の検証を行った。本シミュレータでは、保守作業・工事による運転規制や線路内支障物の設定が可能であり、それら情報が鉄道ダイナミックマップに登録され、各列車の制御が所定どおりに行われることを確認している。

なお、鉄道ダイナミックマップは、沿線の状態情報を一元管理でき、運行判断を行うための情報基盤であるため、現状の指令員への支援装置としての活用についても検討を進めている。

(3) 自律運転システムの実証試験

現在、自律運転のためのATO装置や前方監視装置を鉄道総研の試験車両に仮設し、装置単体の動作確認を行っている(図9)。今後、鉄道ダイナミックマップを有する運行判断部も組み合わせ、前方支障物検知時に列車を止める機能や、支障物がなくなった後の自動的な運行再開も含めて、機能検証を行う。また、図5に示した自律運転システムのための各要素技術を、鉄道総研の試験車両および所内試験線に実装し、車上からの無線通信による信号設備制御や遅延回復のための運転整理といった自動的な運行管理等を含む自律運転システムの実証試験を2024年度中に行う計画である。



図9 鉄道総研試験車両への前方監視装置の仮設

4.2 自動運転の普及に向けた取り組み

今後、運転士等の確保が困難になる中、特に、地域鉄道においては、運転業務の省人化、省力化が喫緊の課題となっている。鉄道サービスの維持のためには、地域鉄道も含めた自動運転の普及が必要である。

自動運転の普及に向けて、鉄道総研では、今後、地域鉄道にも導入可能な「既存設備を活用したGOA2.5自動運転システム」、そして「高度な自動運転システムの共通技術」に関する基礎研究や技術開発に取り組む。

(1) 既存設備を活用したGOA2.5自動運転システム

現状、自動運転の導入時には、運転保安装置をATCやパターン制御式ATSに置き換える必要がある等、全面リプレースが必要となり、高額な設備投資を要する。

一方で、地域鉄道には、パターン制御式ATSではなく、旧国鉄のATS-S形相当(単一の周波数信号を車上子-地上子間で送受信する)のものが使われている場合が多い。そこで、地域鉄道にも多く導入されているATS-S形相当の既存のATSを活用したGOA2.5自動運転システムを構築する(図10)。

自動運転には、自列車の位置検知が非常に重要となるが、列車運行密度等の路線の条件に応じて、安全を確保するために必要となる位置検知精度を満たし、かつ低廉な汎用デバイスの活用による絶対位置検知技術を確立する。また、絶対位置検知技術については、車両基地内での自動運転への適用についても考慮する。既存設備であるATS-S形地上子や車両の速度発電機、そして車上データベースを軸に、必要となる位置検知精度を得るための慣性センサ、GNSS(Global



図10 既存設備を活用したGOA2.5自動運転システム

Navigation Satellite System：全球測位衛星システム）、RFID（Radio Frequency Identification：無線周波数識別）タグ等の低廉な汎用デバイスの中から組み合わせについて検討する。

その上で、既存のATSを活用し、限られた情報に基づいて、分岐器の開通方向によらず速度制限制御を行う等の安全側制御に機能を絞ったGOA2.5自動運転システムのプロトタイプ開発を行い、技術基準等との整合性を図る。

既存ATSと汎用技術の活用により、地域鉄道にも導入可能なGOA2.5自動運転システムの開発を目指す。

(2) 高度な自動運転システムの共通技術

現状、GOA3以上のドライバレス自動運転に用いる前方監視装置やセンサに求められる機能要件や評価指標がないといった課題がある。また、地域鉄道では、都市鉄道と同じようなドライバレス自動運転のための大規模な設備投資は困難であるため、路線の状況等に応じた機能要件を選択できるようにする必要がある。さらに、極力、自動運転のための新規設備の増設を必要とせず、既存設備を活用できる自動運転システムが求められる。

そこで、高度な自動運転システムのための共通技術として、

- ・ GOA・検知対象に応じたセンシング機能要件
- ・ 前方認識技術

の整理や確立に取り組む(図11)。

2.1節で述べたように、「鉄道における自動運転技術検討会」のとりまとめでは、一般的な路線でのドライバレス自動運転における列車走行路上の安全確保のために、立入防止柵等の強化やセンサ技術を用いた支障物検知等による「総合的な判断による安全確保」が要件として示されている。そのため、GOA区分、検知対象に加え、線区最高速度、周辺との分離度、そして踏切の有無といった路線の状況等に応じた、実現性のあるセンシング機能要件、評価指標について、国・鉄道事業者を含めた関係者との議論を通して整理し、「総合的な判断による安全確保」に関する技術基準等の整備への支援に資する成果を創出すべく取り組む。

さらに、ドライバレス自動運転のための大幅な設備投資を抑えるために既存設備を活用する高度な自動運転の共通技術として、前方認識技術を確立する。ドライバレス自動運転だけでなく、現状の運転業務の支援にも活用できる共通技術と考える。

現状の鉄道では、信号機、速度制限標識、踏切の特殊信号発光機等が、既に設置されている。これまで開

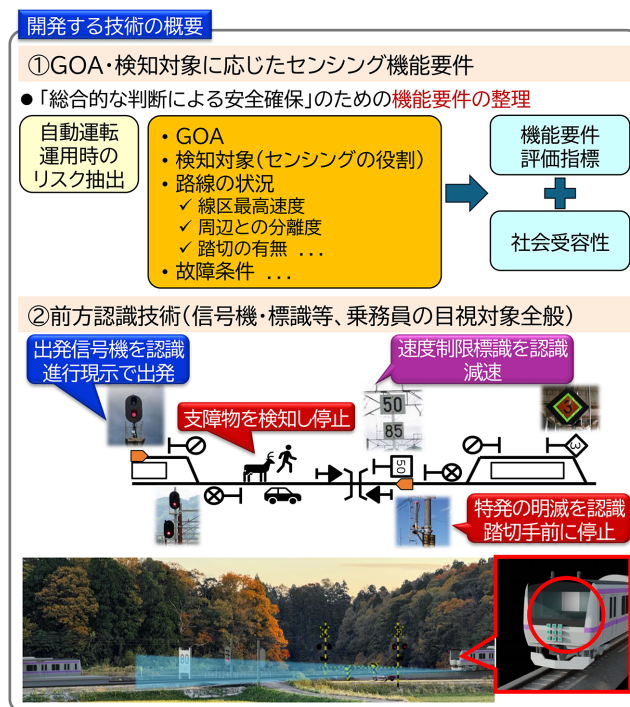


図11 高度な自動運転の共通技術

発してきた前方支障物検知技術は、カメラやLiDARセンサによる、主に支障物の検知を目的としていたが、支障物検知だけでなく、既存設備である信号機や速度制限標識といった、現状の運転士の目視対象全般を認識できる前方認識技術を確立し、自動運転における停止だけでなく、列車の出発や速度制限制御等の運転操縦にも対応させ、既存設備を活用することにより低コスト化が図れる高度な自動運転の実現を目指す。

5. おわりに ～自動運転の高度化に向けて～

本講演では、列車運行の省人化に向けた研究開発の取り組みについて述べた。

人手を要しない高度な自動運転や列車運行を実現するため、鉄道総研では、Forefront（先端技術で諸課題の本質を追及）とPlatform（系統間・事業者間の連携基盤の構築）の役割として、既存設備を活用した自動運転、高度な自動運転のための共通技術、そして自律運転に関する基礎研究や技術開発を進める。Code（ソリューションの社会実装の支援）の役割として、ドライバレス自動運転導入時の「総合的な判断による安全確保」の機能要件に関して、国・鉄道事業者を含めた関係者との議論を通して整理し、技術基準等の整備

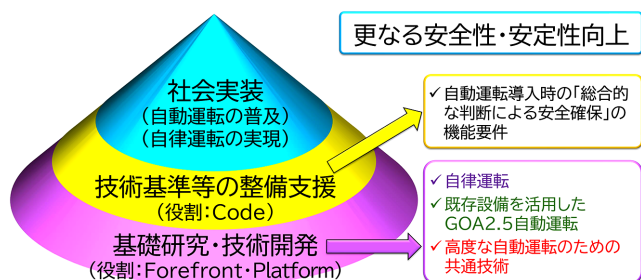


図12 自動運転の高度化に向けた鉄道総研の役割

への支援に資する成果を創出する。これらを基盤とし、自動運転の社会実装と普及、そして自律運転の実現により、鉄道の更なる安全性・安定性向上を目指す（図12）。

引き続き、国土交通省、鉄道事業者をはじめとし、先端技術を有する研究機関・大学・メーカ等と連携し、自動運転の普及に向けた研究開発・技術支援により、「鉄道の持続的発展」に貢献する。

参考文献

- 1) IEC 62267 : 2009 : Railway application- Automated urban guided transport (AUGT) - Safety requirements
- 2) 鉄道における自動運転技術検討会とりまとめ（令和4年9月13日）：<https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001512132.pdf>（参照日：2024年9月21日）
- 3) 藤田浩由，野村拓也，青柳孝彦，森田隼史：ATS-DKを活用した自動運転システムの開発，鉄道総研報告，Vol.35，No.10，pp.5-10，2021
- 4) 新井英樹：列車運行の自律化を目指す研究開発，JRガゼット，Vol.81，No.12，pp.44-46，2023
- 5) 影山棕，長峯望，吉野純樹：列車前方監視のためのカメラとセンサを用いた支障物検知手法，鉄道総研報告，Vol.38，No.2，pp.1-7，2024
- 6) 太田佑貴，祇園昭宏，西本翔，櫻井勇輝：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

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37回鉄道総研講演会 要旨集

2024年11月25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/>

