

信号通信分野における研究開発の動向

川崎 邦弘*

Trend on Research and Development Activities Relating to Signalling and Telecommunication Systems in Railway Fields

Kunihiro KAWASAKI

The expansion of the new coronavirus infection (hereinafter referred to as COVID-19), which has begun in Japan at the end of 2019, has greatly affected railway business. There is an urgent need to reduce fixed costs while responding to changing needs for mobility in society after the convergence of COVID-19. We need to speed up our research and development so that we can contribute to the efforts of railway companies to reduce fixed costs. This paper introduces, first the overall picture of research and development to contribute to the sophistication of automatic operation and its application to conventional railway lines. Secondly, it introduces ongoing research and development efforts related to the utilization of non-failsafe processors or a public communication network such as 5th Generation mobile communication systems (5G) for critical applications in the railway field. The direction and policy of future research and development for equipment saving and cost reduction are also described.

キーワード：自動運転，省設備化，デジタル技術，5G，自律化，COVID-19

1. はじめに

2019年度末に国内で始まった新型コロナウイルス感染症（以下 COVID-19）の拡大により、鉄道も大きな影響を受けている。鉄道事業者では、お客様に安心してご利用頂けるよう各種の感染防止対策をとりながら、安全で便利なモビリティの提供に尽力されている。今後は、COVID-19 収束後の社会における移動に対するニーズの変化に対応しつつ、固定費の削減を図っていくことが鉄道事業者にとって急務となっている。

鉄道総研では、以前から低コスト化・省設備化に関する研究開発を進めているが、鉄道事業者における今後の固定費削減に向けた取り組みに寄与できるよう、研究開発のスピードアップを図る必要があると考えている。

本稿では、自動運転の高度化や一般線区への展開に資するための研究開発と、汎用技術や 5G の活用による信号通信設備の低コスト化に関する研究開発への取り組みを紹介し、アフターコロナ社会における鉄道の維持・発展に向けた今後の研究開発の方向、方針について述べる。

2. 運転の自動化に向けた研究開発

2.1 乗務員の業務と自動化に関する課題

国土交通省が定めている「鉄道の技術上の基準を定める省令」の第十一条（動力車を操縦する係員の乗務等）の解説では、列車に乗務する係員は、①動力車を操縦す

るための係員、②列車防護・運転取扱い業務を担当するための係員、③旅客扱い業務を担当するための係員、の3つに分けることができるとしている。ワンマン運転は、この3つの係員の役割を運転士が一人で担うものであり、ドライバレス運転は、運転士の代わりとなる係員と自動化システムが①～③の役割を担うものと言える。なお、無人運転は、ドライバレス運転の一種であり、列車に係員が乗務せず、システムと地上の係員が①～③の役割を担う。

運転の自動化を実現する形態には、人とシステムの役割分担によって幾つかの種類がある。鉄道の列車運行に関する自動化の程度の分け方は、都市鉄道の指令/制御システムの要件を定めた国際規格 IEC 62267 (JIS E 3802)¹⁾ によって定義されている GoA (Grade of Automation) が用いられる (図1)。

日本では、高架構造で踏切がなく、駅のプラットホー

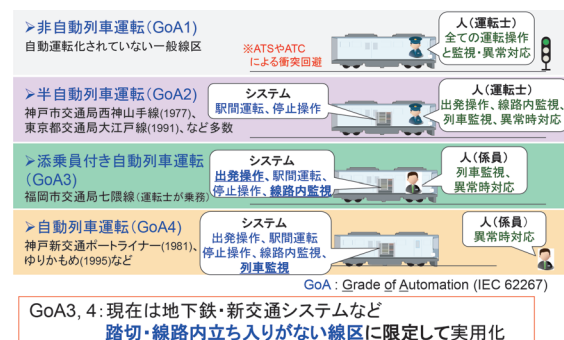


図1 自動運転における人とシステムの役割分担

* 信号・情報技術研究部長

みにホームドアが完備されており、容易には線路内に立ち入ることができない路線においては、GoA4の無人運転が実現されている²⁾。

国土交通省では、2018年度から「鉄道における自動運転技術検討会」(座長 東京大学大学院 古閑教授)を設置し、列車の前頭に運転資格を持たない係員が乗務して自動運転を行う方式(GoA2とGoA3の間のためGoA2.5と仮呼)以上のグレードの自動運転を、踏切などがある一般線区で実施する場合の技術的課題の抽出と要件の検討を進めている³⁾。具体的な技術課題としては、列車前方の線路内などの安全監視や異常時の乗客の避難・誘導などが挙げられている。

2.2 運転士の支援・ドライバレス化に資する研究開発

本特集号では、自動運転の導入・展開や、ワンマン運転における運転士の支援に資するための研究開発に関する論文として、以下の4件を掲載した。

- (1) ATS-DKを活用した自動運転システムの開発
- (2) ATS-Pを想定した自動加減速制御のための運転パターン生成技術
- (3) カメラとLiDARセンサを統合した列車前方支障物検知手法
- (4) 車両側面カメラを用いた安全確認手法

上記のうち、(3)と(4)は画像処理とAIに代表されるデジタル技術をフルに活用したもので、(3)は今後ドライバレス運転を一般的な線区に展開していくうえで必須の技術であり、また(4)はワンマン運転の支援が目標ではあるがドライバレス化にも展開できる技術と考えている。

以降の各項では、本特集号で論文として掲載できなかった取り組みの中から、一部の事例を簡単に紹介する。

2.2.1 遠赤外線画像による踏切内異常検知

踏切内の異常検知については、従来は自動車の検知を

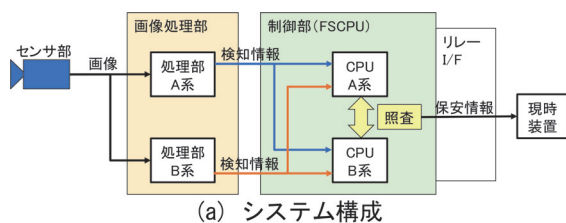


図2 遠赤外線画像式踏切内異常検知

目的として、レーザービームを踏切道内に照射するシステムや、レーザーレーダ等を使用するシステムが導入されてきた。しかし、これらのシステムでは、ある一定以上の大きさの物体でなければ検知できない、あるいは検知できない範囲があるなどの制約があった。そこで、遠赤外線カメラでとらえた温度映像から、画像処理によって踏切内の人物などの車よりも小さい物体を検知するシステムの開発を進めている(図2)⁴⁾。当初は機械学習の技術を適用していたが、処理量や学習の課題が多いことから、時間的・空間的な差分から物体を高速で認識する技術を開発することによって、路面上に倒れた人でも認識できる性能を実現している。また、処理系を二重化するとともに、カメラからの映像出力をチェックする仕組みを開発することで装置の信頼性を高めている。昨年度までに実用化を意識したプロトタイプ装置の開発が終わり、現在、実フィールドにおいて各種気象条件下で検知性能の確認試験を実施している。この方式では、温度差から対象を検知するため、路面温度と検知対象物の温度が近いと未検知もしくは誤検知となる可能性がある。様々な条件下での見逃し確率と誤検知率などを定量的に評価したうえで、2022年度からは実用化のステージへ進めたいと考えている。

2.2.2 車上カメラによる特殊信号発光機の認識

特殊信号発光機は踏切の非常ボタンなどと連動して発光し、運転士に沿線の異常を伝える設備である。多くの路線では、運転士が発光を目視で確認してブレーキを操作し、列車を停止させている。この運転士による確認を支援することで安全性をさらに向上できるよう、車載カメラを用いた点滅形の特殊信号発光機の発光検知手法を開発した(図3)⁵⁾。

開発した手法では、光学フィルタを装着した車載カメラを用いて列車の前方を撮影し、撮影した動画から画像処理によって特殊信号発光機の発光のみを検知する。交通信号機など他の赤色点滅灯との分別を短時間で行うた

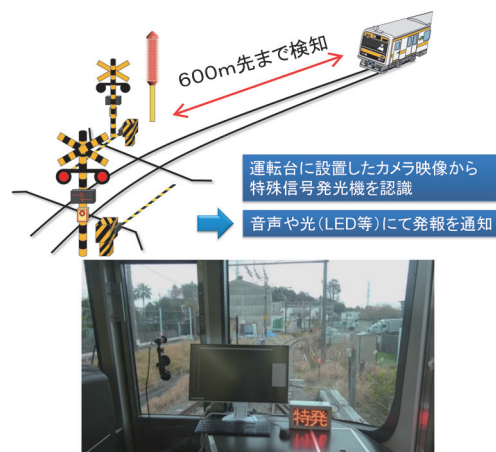


図3 車上カメラによる特殊信号発光機の認識

めに、まず動画に映っている特殊信号発光機の発光パターンを数値化し、あらかじめ特殊信号発光機の発光パターンを登録したデータベースと照合して検知を行っている。600m先の特殊信号発光器が発光してから1秒以内に検知できることを実験により確認した。

現在、実用化に向けて、実際に車両に搭載できる装置の開発を進めており、2022年度に実線区でのモニタリングを行ったうえで、2023年度の実用化を目指している。また、回転式の発光機にも適用できるアルゴリズムの開発も並行して進めている。

なお、本手法はカメラによる前方監視技術の一つの要素として開発したものである。カメラを用いて発光を検知するため、動画として情報が残せると同時に、信号機の現示など他の対象物の検知への適用・展開も可能と考えている。

3. 設備の低コスト化・削減に向けた研究開発

信号通信設備に係る固定費の削減に向けては、装置自体のコストを下げるほか、必要な設備そのものを減らすことが必要となる。ここでは、装置自体の低コスト化や設備数の削減に資する技術として、汎用プロセッサによるフェールセーフ装置の構成と、5Gを保安用途へ適用するための研究開発の事例を紹介する。

なお、2020年度の鉄道総研講演会⁶⁾と本誌⁷⁾上において、「列車運行の自律化」を鉄道の将来に向けた研究開発の一つとして構想を紹介したが、これは、2章で述べたドライバレス運転をさらに高度化しつつ、地上に置かれる保安設備数の削減を目指すものである。

3.1 汎用プロセッサによるフェールセーフ装置の構成

鉄道信号システムでは、システムに障害が生じた場合に、システムを安全な状態に維持もしくは、安全な状態へと遷移するフェールセーフ性を確保することが基本となっている。このため、故障時に接点が落下側となるリレーや、コンピュータを用いる場合も装置単体で入力・処理・出力それぞれでのフェールセーフ性を実現するフェールセーフ装置によって構成されている。しかし、フェールセーフ装置は概して高コストとなるため、近年、性能向上が著しい汎用のプロセッサを活用することで保安装置を低コストで構成する手法が検討されている。

汎用プロセッサを鉄道信号システムへ適用するに当たっては、装置単体ではフェールセーフ性を持たないこと、また、製品のライフサイクルが短いことから、システム全体のライフサイクル内での保守や更新が困難となる、という課題がある。

そこで、汎用プロセッサを安全に係る処理に適用する際の要件を整理・定義したうえで、システム全体の安全

分析を行うフェーズと、安全要件の確認を行うフェーズによって、システムを構成するためのフローを提案したうえで、最初の段階として、フェールセーフ装置の入出力部に汎用プロセッサを適用する構成法を提案した⁸⁾。また、汎用コンピュータや公衆回線の利用において課題となるセキュリティ確保についても、フェールセーフ装置で暗号化技術を適用するためのフレームワークも示した。今後は、さらに一歩進めて、フェールセーフ装置によらずに汎用プロセッサのみでシステムを構成する手法の研究開発を進めていく予定である。

3.2 保安制御への5Gの活用

鉄道における5Gの適用については、既に各鉄道事業者が通信事業者と連携して主に旅客サービスの向上に関する実証実験を行っており、新しいサービスの提供が始まろうとしている。しかし、列車の運行制御など安全に係る情報伝達への5Gの適用に関する検討・実証についてはまだ十分に行われていない。保安用途に5Gが活用できれば、自営の対列車通信システムを置き換えることが可能となるほか、地上の自営ネットワークも簡素化することが期待できる。

そこで、無線式列車制御や将来の自動運転など、列車のさらなる安全・安定運行を実現するための5Gの活用方法を確立すべく、伝送の信頼性や遅延などの性能評価を行うとともに、5Gの特徴を活かした制御システムの構成等に関する研究開発に取り組んでいる。

2021年3月に、鉄道総研の所内試験線に28GHz帯を使用したノンスタンドアロン（NSA）方式のローカル5Gシステムを構築した（図4）。基地局と端末での制御信号のやり取りのためのアンカーとして、2.5GHz帯の自営LTEシステム（自営BWA）を導入している。ローカル5Gだけでなく、自営LTEシステム用の特定無線局の免許も同時に取得し、ローカル5Gと自営LTEによる伝送特性の比較も可能としている。

今後、鉄道環境における5Gの伝送特性を定量的に把握し、信頼性や遅延などの評価を行う予定である。また、世

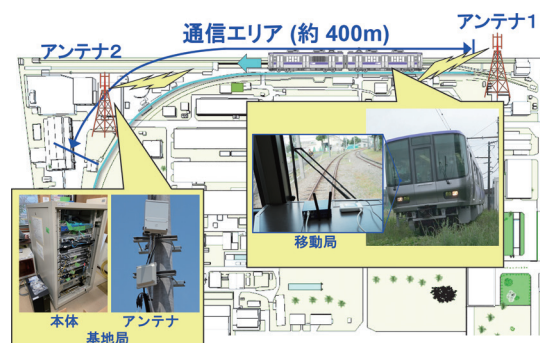


図4 ローカル5Gシステムの構成

界鉄道連合（UIC）が進めている次世代鉄道移動通信システム（Future Railway Mobile Communication System：FRMCS）に関する検討と、国内の鉄道事業者におけるニーズなどを踏まえながら、鉄道の運行制御を中心とする5G活用に向けたガイドラインの素案を2021年度末までに作成、提案する予定である。

4. アフターコロナ社会に向けた研究開発

COVID-19が発生する以前から、固定費の削減や、ニーズの変化に柔軟に対応できる運行制御の実現に向けた研究開発に取り組んできたが、これらの取り組みは、アフターコロナの社会において鉄道を維持・発展させていくためにも重要なものと認識している。特に、運転の自動化や省設備化など、固定費削減に直結する技術については、研究開発のスピードをさらに加速させなければならないと考えている。

まずは、多様なデータと最新のデータ処理やAIの活用手法を確立することにより、運転士の判断に係る負荷や時間の削減、さらには自動化を目指したい。また、AIを適用する際に用いられる汎用のCPUとGPUなどの高速プロセッサや、第五世代移動体通信システム（5G）などの無線通信ネットワークの技術を、安全に関わる業務に適用するために必要となる信頼性・妥当性の評価手法と処理結果の異常を検知する手法を早期に構築することにより、システムや装置の低コスト化と高信頼化を同時に実現することも目指したいと考えている。

さらには、分野横断のデータ共有基盤の構築、列車運行の自律化など、省人化・省設備化・省エネ化を同時に実現できる新しいシステムへとシフトしていくための将来に向けた研究開発にも精力的に取り組んでいきたい。

また、成果の提供、発信のタイミングを早めることも必要と考えている。これまでは、成果の発信・提供を、実用性や信頼性が確実となった時点で行ってきたが、制約条件がある、あるいは性能が限定的な段階であったとしても、部分的にでも鉄道事業者のニーズに応えられる成果がでた時点で早期に提案、提供していくことが重要と考えている。特にデジタル技術を活用した成果については、ベースとなるデジタル技術自体の進展や陳腐化のスピードが速いため、早期に鉄道事業者へ展開して使って頂きながらブラッシュアップしていくアプローチが必要と考えている。ただし、安全性や旅客の満足度に直結するような課題については慎重に性能や効果を検証する必要がある、従来と同様に完成度を高めてから提案、提供しなければならない研究開発もあるので、全ての研究開発の成果を一律に扱うことはせず、鉄道事業者からのご意見を頂きながら、早期に提供すべき研究成果を慎重に選定していく必要があると認識している。

5. おわりに

本稿では、運転の自動化や省設備化に資する技術の研究開発について取り組み状況を紹介させて頂いた。また、アフターコロナ社会における鉄道の維持・発展に資するための研究開発について方向性と考え方を述べた。

COVID-19を取束させるべくワクチン接種や治療薬の開発が進むなど明るい兆しは見えて来てはいるものの、長期的・継続的な感染防止対策が引き続き求められている状況である。移動に対するニーズが大きく変化し、鉄道事業が非常に厳しい状況に置かれている中でも、列車を毎日定時に動かすために努力されている鉄道事業者における業務の省力化、効率化に少しでも資することができるよう、今後の研究開発に取り組むたいと考えている。また、アフターコロナ社会における人々の移動や物流の形態の変化に対応していくために必要な技術は何かを考え、今後の研究開発に反映させていくことも重要である。社会基盤としての鉄道の維持はもちろん、さらなる発展に少しでも寄与できるよう、国内外の鉄道事業者や先端技術を有する研究機関・メーカー・大学と連携させて頂きながら、研究開発に鋭意取り組んでいきたい。

本稿で紹介した5Gに関する研究開発は、株式会社日立製作所と共同で実施したものである。

文 献

- 1) IEC 62267: 2009, "Railway applications –Automated urban guided transport (AUGT) – Safety requirements", IEC, 2009.
- 2) 水間毅：鉄道における自動運転の歴史と今後、計測と制御、第56巻、第2号、pp.93-98、2017
- 3) 鉄道における自動運転技術検討会一国土交通省：https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_fr1_000058.html（参照日：2021年7月31日）
- 4) 市川武、長峯望、向嶋宏記：踏切内異常検知アルゴリズムの評価方法の検討、電気学会 交通・電気鉄道研究会、TER-21-050、2021
- 5) 向嶋宏記、長峯望、野村拓也、市川武：列車前方カメラを用いた特殊信号発光機の明滅検知手法、鉄道総研報告、Vol.34, No.7, pp.17-22, 2020
- 6) 川崎邦弘：列車運行の自律化、第32回鉄道総研講演会要旨集、pp.33-38、2020
- 7) 川崎邦弘：信号通信分野におけるICT活用に関する研究開発の経緯と展望、鉄道総研報告、Vol.34, No.7, pp.1-4, 2020
- 8) 祇園昭宏：汎用コンピュータを用いたフェールセーフ装置の構成手法、JREA、第64巻、第8号、2021