

運行管理業務のデジタル化に関する研究開発の取り組みと今後の展望

川崎 邦弘*

Outlines of Research and Development activities relating to Digitalization of Operation Management and Future Outlook

Kunihiro KAWASAKI

Various systems using Information Technology (IT) have been developed for automating or supporting train operation and traffic management. However, there remain some parts that depend on the experience and knowledge of dispatchers. For this reason, not only daily traffic management, but also a dispatching operation at the time of emergency such as a disaster imposes a heavy burden on dispatchers. In recent years, in order to reduce the burden on dispatchers and the time required for resuming train operation, based on information on passenger flow, operating conditions, weather conditions, etc, various systems for predicting and/or judging train operation are being developed by utilizing Information and Communication Technology (ICT), such as Artificial Intelligence (AI) and big data analysis. This paper introduces the plan for the R & D on train operation management support systems using ICT in the next master plan of RTRI from FY 2020 after surveying R & D that has been undertaken in the current master plan of RTRI from FY2015 to FY2019.

キーワード：運行管理，需要予測，ICT，自律化，基本計画

1. はじめに

列車の運行計画の策定や管理等の業務については、従前からシステム化が進められてきたが、未だ指令員の経験と知識に依る部分が多く、日々の管理のみならず災害時等の異常時における運行の判断は指令員の大きな負担となっている。最近では、指令員の負荷を軽減させるとともに、運転再開等の判断にかかる時間を短縮することを目的として、ICTを活用することによって運行に係る情報の集約と共有化や、運行予測等を行うシステムの開発が進められている。

本稿では、現基本計画の5年間で取り組んできたICT活用による運行管理業務の支援に関する研究開発の経過と現状を概観したのち、次期基本計画の5年間で取り組む研究計画について述べる。

2. 鉄道総研の基本計画

鉄道総研では、2015年1月に「革新的な技術を創出し、鉄道の発展と豊かな社会の実現に貢献します」をビジョン「RISING: Research Initiative and Strategy - Innovative, Neutral, Global」として掲げ、3つの果たすべき使命「ダイナミックな研究開発」「技術的良識に基づく中立な活動」「世界の鉄道技術をリードする活動」と戦

略を定めた。このビジョンを具現化するため、5年ごとに「基本計画」を策定し、基本計画に沿って年度ごとの事業を計画、実行している。

今年度は、2015年度から始まった現基本計画「RESEARCH2020」の最終年度であり、5年間の成果のとりまとめに向けて取り組んでいるところである。列車運行制御に関しては、本誌2019年7月号号めこれまでに何回かご紹介させて頂いた「情報ネットワークを活用した列車運行制御システム」の開発を進めてきた。

本年4月からは、新しい基本計画「RESEARCH2025」(2020年度～2024年度)がスタートする。この次期基本計画では、活動の基本方針として、(1)安全性の向上、特に自然災害に対する強靱化、(2)デジタル技術による鉄道システムの革新、(3)総合力を発揮した高い品質の成果の創出、(4)鉄道技術の国際的プレゼンスの向上、(5)能力を発揮でき、働きがいを持てる職場創り、の5項目を定めており、研究開発事業においては、上記の(1)(2)(3)に向けた研究開発を重点的に推進する計画である。特に、デジタル技術については全ての研究開発分野への導入を推進することで、ニーズの変化や環境の変化に対応できる鉄道システムの実現に資する成果の創出を目指す。

研究開発の目標としては、「安全性の向上」「低コスト化」「環境との調和」「利便性の向上」の4つを設定し、テーマを効率的・効果的に進めるための柱として「鉄道の将来に向けた研究開発」「実用的な研究開発」「鉄道の基礎研究」の3つを定めている。

* 信号・情報技術研究部長

3. 現基本計画での取り組みと主な成果

信号・情報技術研究部に所属する6つの研究室が担当したテーマは2015年度～2019年度の5年間で97本、このうち運行管理や需要予測など運輸・営業分野に関するテーマは28本である（関係研究部が主管のテーマ含む）。テーマの柱「鉄道の将来に向けた研究開発」「実用的な研究開発」「鉄道の基礎研究」別の内訳を図1に示す。

本章では、現基本計画「RESEARCH2020」の中で得られた運行管理や需要予測等に関する成果のうち、今号の特集で掲載した成果を除く主なものを紹介する。

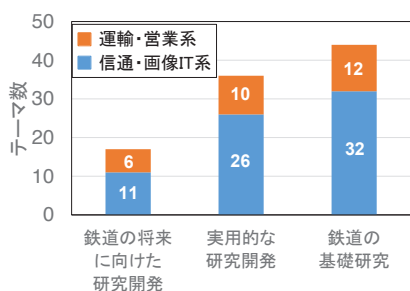


図1 現基本計画で信号・情報技術研究部の研究室が実施したテーマ数

3.1 SPEEDYの機能向上

駅間運転時分算出に必要となる運転曲線を自動作成するために開発されたSPEEDY¹⁾は、これまで様々な研究開発や多数の鉄道事業者殿に活用されてきた。情報技術の進歩や運転曲線の用途拡大に伴い、拡張性が高いシステムへと刷新するとともに、運転時隔計算ロジックを見直すことで、実用的な運転時隔の検討も可能とした^{2) 3)}。具体的には、線路データの表現方法を工夫することで、副本線におけるこう配や曲線などの詳細な設定が可能となった。また、様々な運転条件下で計算できるよう、詳細な線路データや運転方法を指定された運転曲線に対応した運転時隔の計算機能を実装した(図2)。駅間運転時分の算出のみならず、運転時隔(続行、追込・開通、平面交差)の算出および検討に広く活用頂いている。

3.2 リアルタイム情報を用いた列車運行予測

列車に遅延が生じた際に、列車の間隔調整等の適切な手配の判断を支援するための手法として、ニューラルネットワークを用いて数十分先までの列車遅延と乗車率を予測する手法を開発した(図3)⁴⁾。従来の予測法では、前提条件が固定されていたり、予測に必要な多数のパラメータを適切に設定する必要があるなど利用面での制約があった。本手法では、あらかじめニューラルネットワークに運行と乗車率の実績データを学習させておき、現在時刻までの列車遅延と乗車率のデータを与えることで、少ないパラメータ設定で予測が可能となっている。大きな乱れ

がなければ、86%の確率で遅延の予測誤差が30秒以内であることを確認した。今後、運行管理システムの追加機能として実装できるよう、実用展開を目指すとともに、第4章で紹介する列車運行の自律化の課題の中で、運行状況を予測するための要素技術として活用する予定である。

3.3 需要予測手法

交通需要予測、営業施策や鉄道サービスの定量的評価、経済性評価等を支援する手法については、複数交通機関の混合経路を考慮した場合の幹線鉄道の需要や、新幹線の利用実績データと暦配列等の情報を基に、30分単位の需要波動を予測する手法を構築した⁵⁾。さらに、予測した需要波動から各列車の予測乗車率を算出し、臨時列車の設定を支援するシステムを構築した。また、既存手法では推定が困難だった、地方の特急列車における幹線鉄道駅勢圏推定モデルを開発した(図4)⁶⁾。これにより、鉄道事業者において特急列車の県内利用に関する輸送施策・営業戦略の検討が可能になった。これらの手法については、複数の鉄道事業者殿にご利用頂いている。

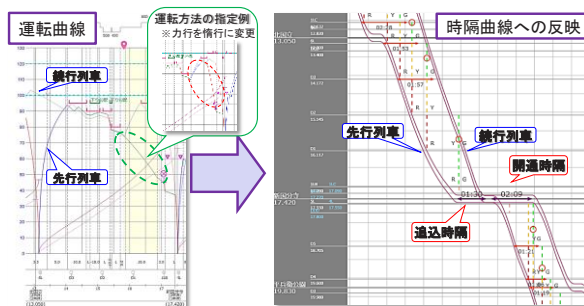


図2 機能向上したSPEEDYによる時隔曲線の作成例

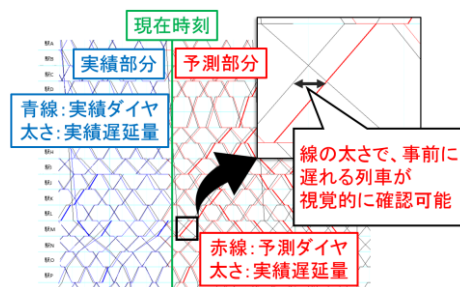


図3 ニューラルネットワークによる列車遅延の予測

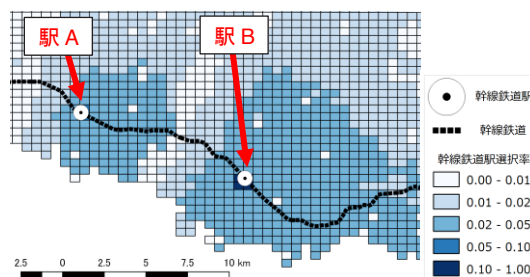


図4 幹線鉄道における駅勢圏の推定結果例

4. 次期基本計画における研究開発

本章では、次期基本計画「RESEARCH2025」で取り組む鉄道の将来に向けた研究開発の概要について述べ、列車運行の自律化に向けた研究開発計画を紹介する。

4.1 鉄道の将来に向けた研究開発

鉄道の将来に向けた研究開発については、概ね十数年先の実用化を念頭におき、鉄道事業者のニーズや社会動向の変化に応えるための課題として、以下の6つの大課題が設定される。

- 1) 激甚化する気象災害に対する鉄道の強靱化
- 2) 列車運行の自律化
- 3) デジタルメンテナンスによる省力化
- 4) 電力ネットワークの電力協調制御による低炭素化
- 5) 沿線環境に適合する新幹線の高速化
- 6) シミュレーション技術の高度化

上記の大課題のうち、信号・情報技術研究部が主担当として取り組む「列車運行の自律化」について、目指す姿と研究開発計画を次節以降で紹介する。なお、信号・情報技術研究部は、列車運行の自律化のほか、デジタルメンテナンスによる省力化、電力ネットワークの電力協調による低炭素化の課題にも参画する。

4.2 「列車運行の自律化」

4.2.1 自律化とは

列車運行の自律化とは、個々の列車が、前後列車と近接列車の状態、沿線・線路内の状態、転てつ機・踏切等の状態の情報に基づいて、転てつ機・踏切を制御して進路を設定し、線路内の安全監視を行いながら、適切な停止目標位置と走行パターンを判断して自動で走行することである。既に実用化されている自動運転は、地上の制御装置が各列車の位置情報に基づいて転てつ機を制御し、各列車に対して速度信号等を指示しており、列車は決められた走行パターンに従って走行している。自律化は、自動化の機能に加え、個々の列車が転てつ機・踏切を制御し、進路の安全を監視しながら停止目標位置を判断して走行することが特徴である。

列車運行制御の自律化の効果は、地上側の設備や制御用ケーブル等の削減による保守・運用コストと故障リスクの低減、指令員・乗務員の負担軽減によるヒューマンエラーの低減、異常発生時の早期運転再開と運転継続による利便性・効率の向上、などが挙げられる。自列車周辺の詳細な情報を使って迅速に異常を検知でき、異常解消後の安全確認も早くできるため、現場で迅速に運転再開の判断が可能となる。また、一部の列車の周辺で異常が発生して減速・停止が必要となっても、安全に支障しない区間の列車には波及しないという効果も期待でき

る。例えば線路内の支障を検知して一時的に列車が停止した場合でも、異常が解消して安全に進行できる状態になった時点で、列車が線路内の状態を判断し、安全を確認しながら運転を再開できる。また、斜面崩壊など運転再開に時間がかかるような場合には、列車が自ら状況を判断して前駅に退行するように運行計画を変更し、後続列車と情報交換をしながら前駅に戻り、乗客を早く降車、避難させることも可能となる。

さらに、自律型では安全に関わる機能が車上に集約されるため、万が一地上との通信ができなくなった場合でも、車上からの前方監視などの機能によって安全を確保できる範囲内で運行を継続することも可能となる。

このような異常時も含めて柔軟な運行が可能とする技術は、将来的のシームレスなモビリティサービスにおいて、鉄道が中心的な役割を果たすうえでも必要な技術と考えている。

4.2.2 列車運行の自律化に必要な技術

次期将来指向課題「列車運行の自律化」は、列車が自律的に走行するために必要な要素技術の確立を目的とする。具体的には、図5中に示した以下の4つの技術の研究開発に取り組むことを計画している。

①線路内・沿線の異常検知

列車上に設置したカメラや距離センサーで線路内や沿線の状態を連続的に取得し、画像解析技術等によって進路上の異常を検知する技術を確立する。目標としては、列車の前方600m先の異常検知を目指しており、曲線区間等における地上からの検知システムも検討する。

②沿線状態情報を統合した列車運行判断アルゴリズム

前後列車の位置、線路内・車両機器の異常情報などに基づき、列車が走行の可否を自律的に判断し、自ら運転曲線を作成して走行制御を行うための要素技術を確立する。この技術を開発するにあたっては、第1章で挙げた6つの大課題の一つである「激甚化する気象災害に対する鉄道の強靱化」で開発するリアルタイムハザードマップの情報も活用する。

③無線制御による自律型地上設備制御

列車がもつダイヤ情報と前後列車の位置などの情報を

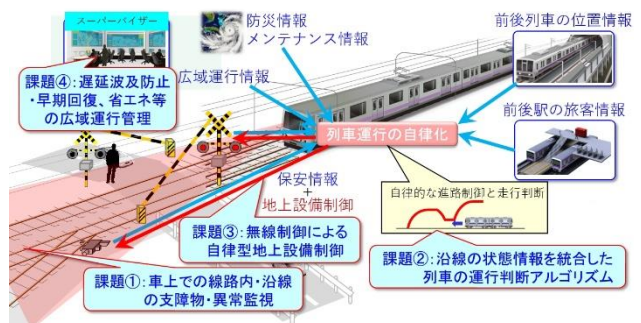


図5 「列車運行の自律化」における研究開発課題

特集：輸送・交通計画技術

基に、列車から地上の転てつ機（進路）、踏切などを制御する手法を開発する。

④遅延波及防止・早期回復，省エネ等の広域運行管理

上で示した①～③の技術によって、列車が自律的に走行できるシステムは構成できるが、省エネルギー運転やダイヤ乱れ時の早期回復運転等のより柔軟できめ細かい列車運行を実現するため、広域的な運行状況や旅客流動を把握・整理して各列車における運行判断の材料となる情報を提供する広域運行管理の技術を開発する。この技術を開発するにあたっては、第1章で挙げた6つの大課題の一つである「電力ネットワークの電力協調制御による低炭素化」で開発する省エネ運転手法も活用する。

4.2.3 研究開発スケジュールとロードマップ

次年度からスタートする次期基本計画の中では、まず自律化に必要な要素技術を確立し、最終年度の2024年度末に鉄道総研の所内試験線において試験用電車を使用した実証実験を行うことを計画している。

2020年度からは、4.4.2で示した4つの技術課題に対応する4本のテーマと、列車～列車間で制御情報を伝送するための通信技術に関するテーマの計5本のテーマがスタートする。2021年度以降も順次テーマをスタートさせ、最終年度までに計10本のテーマを実施する予定である。これらのテーマの実施にあたっては、これまでに開発してきた線路内や踏切の監視、列車や踏切の制御、クラウド連動など関係する要素技術をさらに高度化して活用する予定である。

2020年度～2024年度の5年間の研究開発によって得られる成果は、最終目標である自律化のためだけではなく、現行の自動運転システムの一般線区等への導入、展開にも資する技術として提案していくことを考えている。自律化された列車が営業線区で走行できるレベルに至るには十数年かかるものと見込んでいるが、現在の運行管理・保安システムからの移行方法も含め、一つずつ課題を解決しながら、実現を目指していきたいと考えている（図6）。

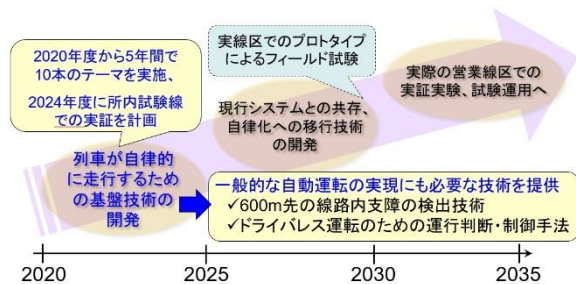


図6 自律化に向けた研究開発のロードマップ

5. おわりに

本稿では、2015年度～2019年度に実施した現基本計画における運行管理・需要予測関連の主な成果を概観し、2020年度からスタートする次期基本計画で鉄道の将来に向けた研究開発課題の一つとして取り組む「列車運行の自律化」の研究開発計画について述べた。

列車運行の自律化により、低コストでありながら、さらに安全・安心な輸送サービスが提供できるシステムを実現させたいと考えている。しかし、自律化を実現するためには、線路内の監視や情報セキュリティに対応した情報伝送、複数の情報を基に列車同士が協調して地上設備を制御する手法など、難易度の高い課題を着実に解決していかなければならない。海外においても、自律列車の開発が進められているが、地上からの制御に拠らずに列車が自律的に走行するシステムの開発は各国でも非常に難しい課題として認識されており、世界各国の研究者との共同での研究開発も視野に入れて取り組む必要があると考えている。

次期基本計画においても、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、鉄道の維持・発展に資する技術を創出するための研究開発に鋭意取り組んでいきたい。

文献

- 1) 山下修：特集 鉄道総研 運転曲線図と運転曲線作成システム「SPEEDY」, 運転協会誌, Vol.48, No.3 pp.1-4, 2006
- 2) 熊澤一将：自動閉そく区間における運転時分と運転時隔の変動に関する検討, J-RAIL2016 予稿集, S5-3-2, pp.595-598, 2016
- 3) 熊澤一将, 武内陽子：複数の観点による運転方法の比較評価方法の構築, 鉄道総研報告, Vol. 31, No. 10, pp.47-52, 2017
- 4) 辰井大祐, 中挾晃介, 國松武俊：ニューラルネットワークによる列車運行予測手法, 鉄道総研報告, Vol. 31, No. 10, pp.29-34, 2017
- 5) 松本涼佑, 奥田大樹, 深澤紀子：幹線鉄道の輸送計画策定支援に向けた旅客需要波動の予測手法, 鉄道総研報告, Vol. 31, No. 10, pp.17-22, 2017
- 6) 鈴木崇正, 松本涼佑, 深澤紀子：特急列車の近距離利用を対象とした駅勢圏の推定, 鉄道総研報告, Vol. 32, No. 12, pp.29-34, 2018