

輸送・交通計画技術に関する最近の研究開発

川崎 邦弘*

Recent Trends and Topics of Research and Development related to Transportation and Traffic Planning Technology

Kunihiro KAWASAKI

The signaling and transport information division of RTRI aims to contribute to enhancing safety, reliability, and convenience through the research and development of the signalling systems, the communication network technology, the transportation planning and the traffic management, and the condition monitoring technology for railway facilities. This paper outlines the recent trends of research and development to propose new train operation and control technology for safer and more stable transportation services. This paper further reports the recent development of technology to detect the obstacles on the track to reduce railway traffic accidents.

キーワード：運行管理，無線式列車制御システム，踏切内異常検知，線路内異常検知

1. はじめに

ここ数年，地震や豪雨，台風などの気象災害による被害が深刻なものとなっている。特に雨に関しては降雨量が想定以上となるばかりか，大量の雨が短時間のうちに局所的に降り，甚大な被害をもたらす場合が増えている。鉄道においても，設備の被災や，列車運行の乱れなど，大きな影響を受けるケースが増えている。列車の運行管理の面では，気象情報に基づく運転規制や計画的な運休など，安全確保を最優先にしながら，輸送サービスの中断を極力最小限とし，かつできるだけ早く正常な運行に復旧をするために様々な対応策が検討・実施されている。

鉄道総研では，これまで，列車の安全・安定輸送を支える運行管理業務を支援する手法・システムの開発に取り組んできた。これらの研究開発は，現行の運行管理業務の一部を自動化・省力化することにより，鉄道のオペレーションに携わる方々の負担を軽減することで，より安全で安定した輸送サービスの実現に資することを目的とするものである。しかし，冒頭で述べたような気象災害も含め，これまで経験したことのないような異常な状態にも柔軟・迅速に対応するためには，列車の運行・制御システム自体を高度化し，運行状況や気象条件などに応じて柔軟に列車を運行できる仕組みへと変えていくことが望まれる。

また，その一方で，災害時以外の列車運行における鉄道事故の原因の多いが，踏切障害と線路内立ち入りとなっている，国土交通省から公表された「軌道輸送の

安全に関わる情報（平成 29 年度）」によれば，平成 29 年度中に発生した鉄道事故 665 件のうち，65%（435 件）が踏切障害（247 件）と線路内立ち入り（188 件）となっている。定常運行時において，さらなる安全性・安定性を高めるためには，運転士による線路内監視を支援，あるいは補完できるシステムの開発が急務となっている。

なお，交通計画の分野に関しては，広域のかつ年単位での需要予測手法に加え，駅単位や日単位・時間単位など詳細な需要の予測に対するニーズが高まっていることから，入手可能な範囲のデータを使って需要を推計する手法の開発・提案を行っている。また，鉄道の社会的な価値の定量化や，自然災害が発生したときの意思決定の支援に関する研究も進めている。将来的には，交通計画分野の研究開発を，本稿で述べる新しい列車運行制御システムの研究開発とも連携させ，自然災害発生時の判断を列車運行制御に反映する手法の開発や，新しい列車運行制御システムの導入効果の評価への適用にも取り組みたいと考えている。

輸送計画・交通計画に関する研究開発の詳細については本特集の各論文にゆずり，本稿では，計画の対象あるいは推計・評価の対象となる列車運行制御システムに焦点をおいて，これまでの列車の運行管理を支援するシステムの開発の経緯について簡単に触れたのち，災害時を含む様々な状況にも柔軟に対応できる列車運行制御システムの実現に向けた取り組みについて紹介する。また，鉄道事故の削減に資するために取り組んでいる踏切内・線路内の異常を早期に検知する技術の開発状況についても紹介する。

* 信号・情報技術研究部長

2. 列車の運行・制御を支えるシステムの開発動向

2.1 運行管理を支援するシステム

現在、ダイヤの作成や列車の運行管理は、駅ごとの発着時間を基準として行われることが一般的である。利便性の高い輸送サービスを継続的に提供できるよう、ニーズにあったダイヤを効率的に計画したり、遅延が発生した際の運転整理を適切に行うため、様々な支援システムが開発されてきた。

ダイヤの作成支援については、1950年代からコンピュータの活用が提唱され、1960年代には当時の国鉄で「OPERUN計画」と呼ばれたプロジェクトがスタートし、鉄道輸送における運転情報処理システムの近代化計画への取り組みが始まった¹⁾。その後、コンピュータの性能向上に伴い、実用的な支援システムが開発され、1990年代には各鉄道事業者に列車ダイヤ作成システムが導入された。最近では、クラウド型の輸送計画システムの開発も進められており²⁾、鉄道事業者が必要な機能を選択して利用できるサービスも実現されている。これらの支援システムの実現により、列車ダイヤの効率的なチェックや、関係箇所間でのデータ共有、一元的な帳票の作成などが可能となっている。また、駅での案内表示に列車ダイヤデータを直接反映するなど、旅客への情報提供サービスの充実による利便性の向上にもつながっている。

鉄道総研では、ダイヤ作成の基本となる運転曲線を自動で作成するシステム「SPEEDY」をはじめ、輸送計画の作成業務や運転整理、乗務員の交番順序の自動作成など、運行管理業務を支援する手法・システムの開発に取り組み、一部の成果が実際に鉄道事業者に活用されている。現在、既に開発したシステムの機能向上・性能向上に関する研究開発を継続するとともに、過去の実績ダイヤからパターンを見出して整理案を作成する手法や、機械学習の技術を活用して30分程度先の運行状況を予測する手法³⁾など、新しい課題にも取り組んでいる。

2.2 詳細な位置情報に基づく新しい運行制御システム⁴⁾

近年、無線通信技術やデータベース技術を活用することにより、列車の位置や速度等の情報を細かく把握しながら列車を安全に制御する無線式列車制御システム⁵⁾が実用化されている。無線式列車制御は、列車位置を連続的に把握できること、個々の列車に対して直接的に制御情報を与えられる点が、従来の保安装置とは大きく異なる。このような特長を、より積極的に運行管理に活用することにより、これまでではできなかった新しい運行制御の実現が可能となる。

例えば、都市部などで先行列車に遅延が生じたとき、

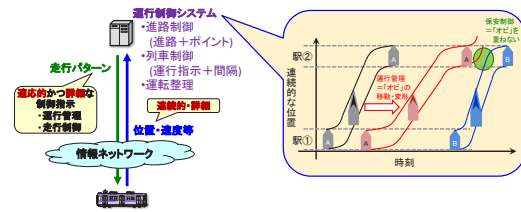


図1 情報ネットワークを活用した運行管理と列車制御の融合

現在の運行管理では、信号で許容される速度に沿って走行することになるため、後続の列車が駅の手前で一旦停止する場合が生じる。もし列車の位置を詳細に把握・制御できれば、先行列車が遅れた際に、駅に向かう後続列車の速度を細かく制御することにより、運転間隔を短く、かつ遅延の伝搬も抑制することが可能となる。さらに、鉄道総研が開発しているリアルタイムハザードマップ⁶⁾を活用した自然災害時の運行判断や、3章で述べる線路内の異常検知の結果をリアルタイムに反映し、列車を停止させたり、徐行させたりすることも可能となろう。また、障害や保守作業のために一部区間が不通となった場合でも、走行する線路を柔軟に変更して列車運行を継続することで利便性を維持しつつ、昼間の時間帯に保守作業が行えるなど、鉄道事業者における運用の自由度を高めることができる。

このような運行制御を実現するためには、走行列車の順序管理や、進路制御のタイミングをリアルタイムで円滑に行う必要がある。鉄道総研では、2015年度から、情報ネットワークにより運行管理と保安制御の機能を融合し、運行に係る情報に基づいて運行状況を予測し、運転曲線をリアルタイムに再計算して個々の列車や進路を制御するシステムの開発に取り組んでいる（図1）。

このシステムでは、従来のダイヤ図の縦軸を、駅単位などの離散的な位置から、連続的な位置に変えたマップ図とすることにより、ある1本の列車がこのマップ図上で占有する範囲を「オビ」として表現する。各列車の「オビ」が重ならないように列車の走行を制御することにより、列車同士を衝突させることなく安全に運行することができる。また、オビをずらしたり、形を変える（傾きを大きくしたり小さくしたりすることにより、運行の管理も同時に行うことができる。

図1に示したような運行制御システムを実現するために必要な技術として、①詳細な列車位置と設備等の状態情報に基づいて安全に列車を制御するアルゴリズム、②輸送に関する詳細な情報をリアルタイムに収集して列車の運行を予測する技術⁸⁾、③予測結果に基づいて列車の運行計画をリアルタイムに自動生成する技術を開発している（図2）。開発中の制御アルゴリズムを駅に接近する際の列車間隔制御に適用した場合の例を図3に示す。

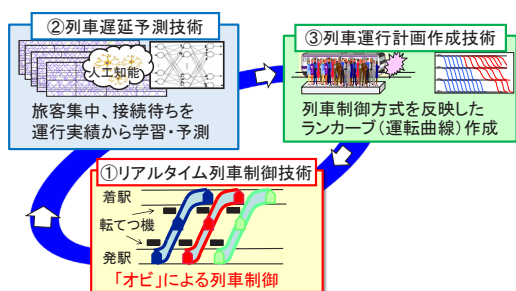


図2 新しい列車運行制御システムを構成する要素技術

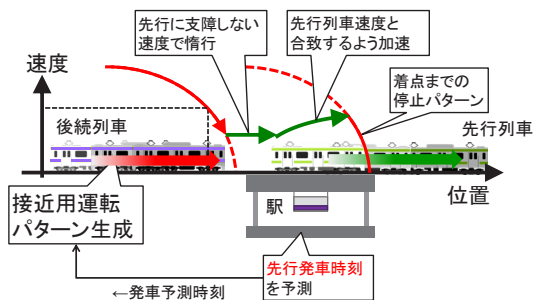


図3 駅接近制御に適用した場合の例

従来の固定閉そく方式では、先行列車の出発が遅れたとき、後続列車は先行列車が在線する閉そく区間の手前で停止しなければならない。これに対し、開発中の列車運行制御システムでは、先行列車の発車時刻を予測し、この予測結果に基づいて、先行列車との安全な列車間隔を確保できる速度で走行を継続させることができるため、機外停止せずに駅に接近、進入することが可能となる。現在、制御アルゴリズムの適用効果を詳細に評価するためのシミュレータの開発を進めているが、簡易な試算によれば、運転条件によっては列車間隔を十数秒程度短縮できる見込みを得ている。

3. 線路内の異常を検知する技術の開発

近年、カメラやレーダー等のセンシング技術、画像処理や機械学習による状態の判断・予測技術の急速な高度化により、従来は困難であった走行中の列車の進路上の異常を自動で検知するシステムを実現できる可能性が高まっている。鉄道総研では、乗務員の負担軽減と、将来の自動運転の実現に資するため、最新のICTを活用して踏切内や線路内の異常を自動で検知する技術の研究開発に取り組んでいる。

踏切内や線路内の異常を検知する技術は、将来の自動運転に必須であるばかりでなく、非自動運転システムにおいても運転士の支援システムとして安全性を向上するうえで有効であるため、早期に実用化すべき最優先課題としてテーマに取り組んでいる。

本章では、踏切や線路内の人・支障物などを検知する技術について説明する。

3.1 踏切内の異常検知

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が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、鉄道総研では、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異常を検知するシステムの開発を進めている⁷⁾。このシステムでは、機械学習の技術を活用することによって踏切内の異常を認識でき、かつ2系統で同じ処理を行って結果を照合することで信頼性を高めている(図4)。昨年度までに降雨や降雪など各種気象条件下で検知性能の確認試験を実施し、検出すべき対象が検出できない時間が700ms以上継続しないことを確認した。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。温度差が小さい場合でも検出できるアルゴリズムへと改良を行い、今年度から、複数の実際の踏切においてフィールド試験を行って検知性能の確認を行い、2020年度までに実用レベルに到達することを目指している。

なお、ここで述べた遠赤外線式の踏切内異常検知装置については、早期に実用化を図るため、2018年9月に「実用化推進チーム」が設置された。このチームは、これまでに開発してきた画像処理技術を高度化するとともに保安装置としての完成度を高め、本装置を早期に実用化するための研究開発を推進することを目的として設置されたものである。現在、実用化にあたっての課題の抽出、ユーザーニーズの把握と性能目標レベルの設定、研究開発計画の策定・修正などの活動を行なっている。

3.2 複数センサーを統合した列車前方の異常検知

列車上から前方の異常を検知する技術については、2016年度までに、運転台に設置したカメラの映像から、30cm×30cm大の物体を最遠で230m先から検知でき、150m以内では80%以上の検知率で検知できる技術を

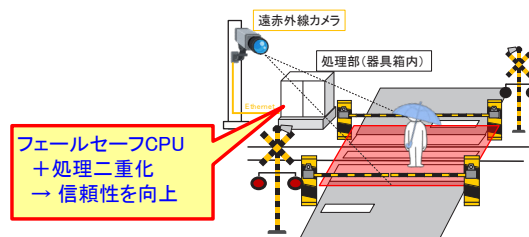


図4 遠赤外線画像式踏切内異常検知装置

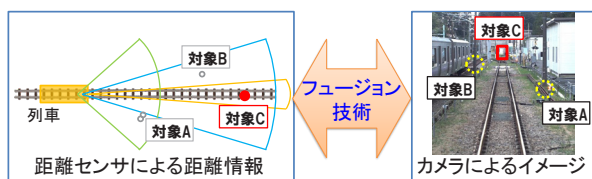


図5 複数センサーを統合した列車前方監視

開発した。これは、映像の時間的・空間的な差分をとることによって、異常の有無を判定する技術を応用したものである。機械学習の技術を活用した人物の検知手法についても検討を行い、照明の条件にもよるが、最速で250m先から検知しはじめ、180m以内では90%以上の検知率で検知できることを確認した⁸⁾。

しかし、現在の画像処理技術だけでは遠方の異常を検知することは困難であることから、今年度からはセンサーフュージョン技術によってカメラと距離センサーを組み合わせ、誤検出を抑制した異常検知アルゴリズムの開発に取り組んでいる(図5)。

さらに、車上からの監視だけでは、曲線や山間部など見通しのきかない区間での異常が検知できないなど限界があるため、2015年度までに総務省の「電波資源拡大のための研究開発」の一環として開発した90GHz帯レーダーの技術⁹⁾も活用することで、2020年度までに300m先の異常を検知できる技術を開発したいと考えている。さらには、2023年度までに600m先の異常が検知できる技術の確立を目指している。

なお、近年、画像処理と機械学習の組合せによる状態監視の技術が急速に高度化しており、線路内監視に適用できる可能性がある。しかし、現状の機械学習の技術では、学習していない事象が発生した場合の検知出力が予測できない、検知結果に至る判断プロセスが見えないなど、安全に直結する監視システムに適用するには解決すべき課題が多い。将来、これらの課題が解決される可能性はあるが、線路内監視も含め、鉄道の安全に直結する判断や予測に機械学習の技術を適用する際には、慎重な検討と検証が必要と考えている。

4. おわりに

本稿では、列車運行のさらなる安全性・安定性の向上に資する研究開発の事例として、災害時も含む様々な状況にも柔軟に対応できる列車運行制御システムと、踏切内・線路内の異常を早期に検知する技術の開発状況につ

いて述べた。鉄道総研では、ここで紹介した取り組みのほか、各種の運行管理・制御方法の効果を定量的に評価するためのシミュレーション手法や、鉄道の運行に必要な情報を統合して扱える運行制御用情報ネットワーク基盤の研究開発も進めている。また、従来は日単位であった列車ごとの需要予測を時間単位でできるようにする手法や、これまで定量化できなかった鉄道の存在価値を評価する手法など、サービスの形態や内容の検討、意思決定を支援するための基盤技術の開発、提案等も行っている。

今後、さらに安全で安心して利用して頂ける鉄道を実現していくためには、列車の運行に係るあらゆる情報をいかに集めて活用するかが大きな鍵となる。将来の運行管理・制御のあるべき姿を描きつつ、現状の課題にもしっかり目を向け、最新の情報通信技術を積極的に活用しながら、より利便性の高い鉄道の実現に向けた研究開発を進めていきたいと考えている。

文献

- 1) 須田忠治, OPERUN-D計画, 鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集, 1969
- 2) 鈴木辰徳 他, クラウド型輸送計画システムの開発, 第50回サイバネ・シンポジウム論文集, 405, 2013
- 3) 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
- 4) 福田光芳, 他, “運行管理と列車制御を融合した新しい列車運行方式”, RRR, Vol. 74 No.1, pp.8-11, 2017
- 5) 渡辺郁夫: 無線式列車制御の動向, 鉄道総研報告, Vol. 25, No. 5, pp.1-4, 2011
- 6) 太田岳洋: 気象災害ハザードマップのリアルタイム化による鉄道防災ネットワークの構築, 第28回鉄道総研講演会要旨集, pp.16-21, 2015
- 7) 中曽根隆太, 新井英樹, 長峯望, 竜本ジョ, 大森達也: 遠赤外線画像を用いた踏切障害物検知装置の開発, 平成30年電気学会全国大会講演論文集, pp.344-345, 2018
- 8) 中曽根隆太, 長峯望, 鶴飼正人, 向嶋宏記, 出口大輔, 村瀬洋: 画像処理技術を用いた前方障害物検知装置の開発, 鉄道総研報告, Vol. 31, No. 3, pp.11-16, 2017
- 9) 川崎邦弘, 中村一城: ミリ波技術の鉄道応用に関する動向, 鉄道総研報告, Vol. 30, No. 1, p.54, 2016