

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

情報ネットワークを利用した列車運行による利便性改善効果を予測する

列車の遅延が発生した際の遅延回復までに要する時間の短縮や、保守作業の効率化にも資することができる柔軟な運行の実現を目指して、列車制御と運行管理の機能を一体化した「情報ネットワークを利用した列車運行制御システム」の開発を進めています。今回、このシステムが導入された際の効果を評価するため、列車運行制御システムのシミュレーターを開発し、保守作業にともなう運行方法の変更が旅客の利便性に与える影響を定量的に評価する手法を提案しました。ここでは、手法の概要とケーススタディーの結果をご紹介します。



國松 武俊
Taketoshi Kunimatsu
信号・情報技術研究部
運転システム研究室
主任研究員

はじめに

現在、多くの路線では、列車どうしの衝突を防ぐために、あらかじめ決められた1つの区間内に列車1本のみ進入を許可する「固定閉そく」とよばれる信号保安システムが採用されています。近年では、駅と駅の間での列車の位置や速度をより細かく把握し、列車を制御する「移動閉そく」¹⁾も実用化されています。一方、列車の安定運行を支える運行管理システムでは、路線全体の状況を把握し、列車の駅発車時刻を調整するなどの管理を行いますが、詳細な列車位置などの情報は使われていません。このため、路線全体の状況に応じて列車の加減速を調整し、列車間隔を詰めて多くの列車を走行させるといった細かい運行管理ができません。

そこで、信号保安と運行管理の機能を一体化した新しい仕組み「情報ネットワークを利用した列車運行」²⁾を開発しました(図1)。この仕組みでは、路線全体の状況と詳細な列車位置などの情報を活用して列車の加減速を細かく調整でき、また、わたり線があれば、列車本数を減らすことなく単線運転が可能となります。ここでは、情報ネッ

トワークを利用した列車運行を導入した場合の列車運行状況を再現、評価する手法を紹介します。

情報ネットワークを利用した列車運行とは

現状の列車運行の仕組みでは、まず指令室で各列車の走行ルートや運行順序が決定され、指令員が列車の進路を制御するために必要な情報を運行管理システムに入力します。運行管理システムでは、入力された情報と、先行列車との位置関係から、列車ごとの制限速度を演算します。この制限速度は、信号機の現示によって列車の運転士に伝達されます。また、列車運行が乱れた場合には、列車の間隔を調整するため、指令員が駅に対して発車タイミングを指示します。運転士は、制限速度の範囲内で列車を運転操作し、もし制限速度を超過した場合には、信号システムによって自動的に減速させる仕組みとなっています。現行のシステムでは、駅間の具体的な運転操作方法までは指示されません(表1)。

情報ネットワークを利用した列車運行では、信号保安と運行管理の双方の

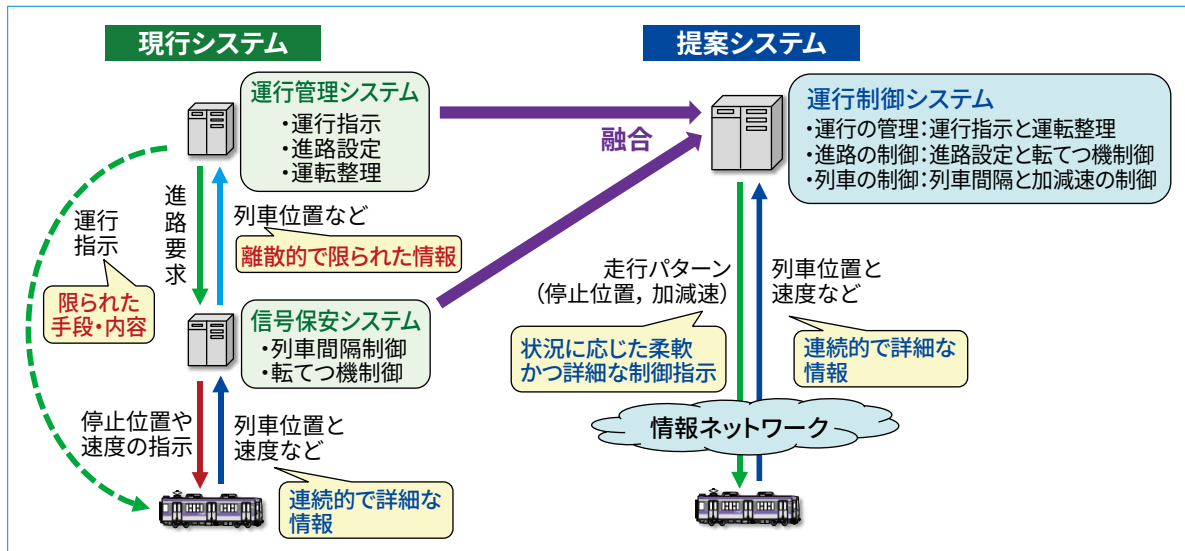


図1 情報ネットワークを利用した列車運行

機能を融合した運行制御システムが、全列車の運転操作を直接、同時に計画し、各列車に指示します。このシステムは、詳細な列車位置や速度などの情報に基づいて各列車の運行をきめ細かく制御する新しいアルゴリズムによって、列車どうしの間隔を安全に保ちながら、運行状況に応じて各列車の加減速を柔軟に制御することができます。中央の運行制御システムが、全列車の詳細な状態をつねに把握し、各列車の運転操作を計画、実行すれば、安全で最適な運行が可能になるという考え方です。

評価シミュレーションの構成

情報ネットワークを利用した列車運行による遅延の短縮などの効果を評価するため、これまでに開発した列車運行・旅客行動シミュレーター³⁾を活用し、新しい運行方式を再現する手法を開発しました(図2)。これは、各列車の運転操作を計画する「運行管理シミュレーター(以下、運行管理sim)」と、各列車の位置、速度など列車の動きを再現する「走行模擬シミュレーター(以下、走行模擬sim)」から構成

表1 信号保安システムと運行管理システムの役割・機能の比較

	信号保安システム (移動閉そく)	運行管理システム	情報ネットワークを利用した列車運行
列車の詳細な位置把握	○	× 区間単位	○
列車の加速・減速調整	○	×	○
単線運転	△本数が限定	△本数が限定	○

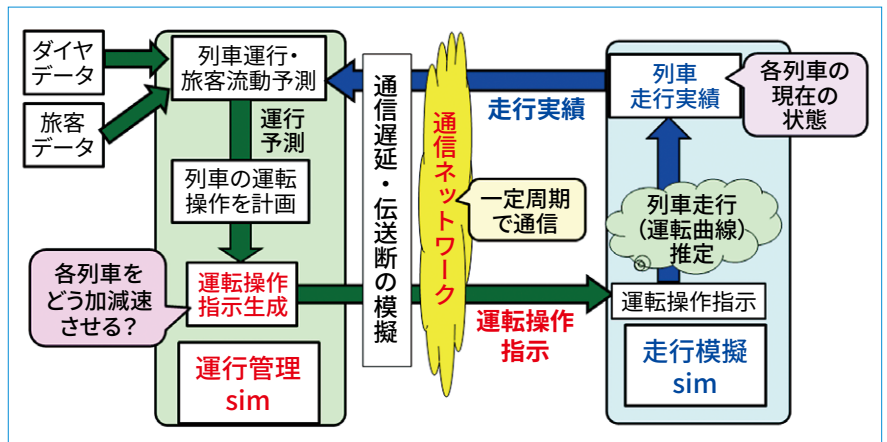


図2 提案するシミュレーション手法

されます。

運行管理simから走行模擬simには、運行管理simが計画した各列車の次駅までの運転操作指示、例えば「ある位置から30秒間加速、20秒間だ行、その後40秒間ブレーキをかけて停止」と

いった情報が送られます。走行模擬simでは、この運転操作指示に基づいて、各列車の現在位置や速度から駅間の走り方(時刻と列車位置・速度との関係)を計算します。

走行模擬simから運行管理simには、

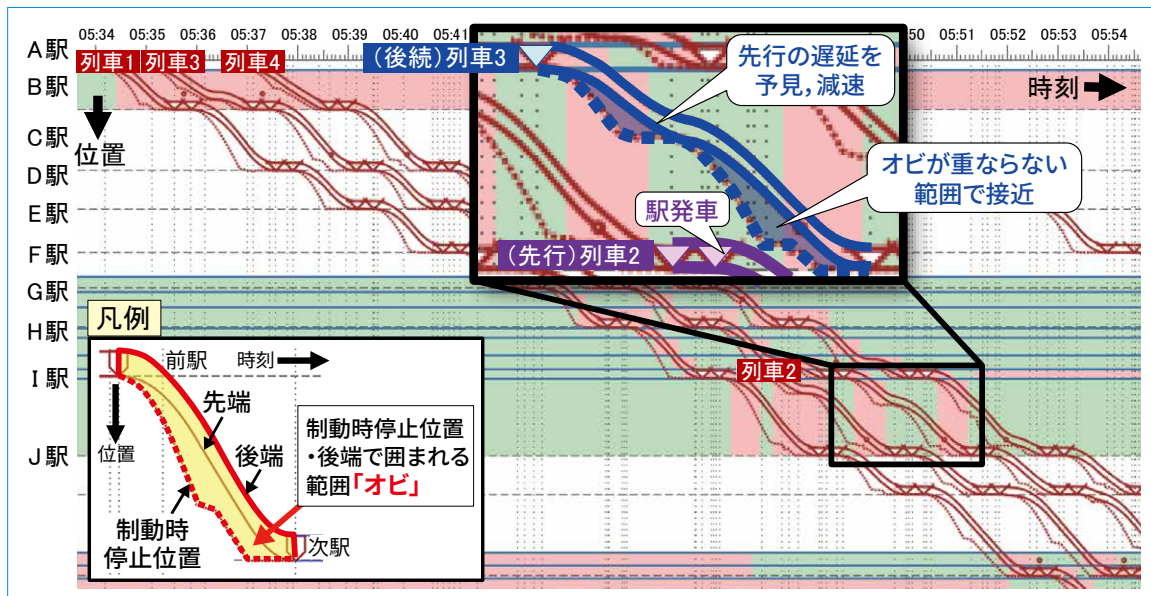


図3 実路線でのシミュレーション例

走行模擬simが作成した各列車の走行実績を送ります。そして最後に、運行管理simでは、各列車の走行実績から列車の位置や状態を更新したうえで、全列車の現在状態から次駅までの走り方を一括して計画します。これらの処理と通信を、1秒程度の周期で行います。

このような2つのシミュレーターが連成動作する構成により、新しい運行制御方式を忠実に再現でき、旅客の移動時間の变化から導入効果を評価することが可能となりました。なお、シミュレーションにかかる時間を短縮する工夫により、列車本数が1,000本/日程度の通勤路線における約3時間分の列車運行を、一般的なデスクトップPCでも75分程度で計算できます。

実路線での試算例

開発したシミュレーターによる列車間隔の変化の試算例を紹介します。ここでは、ある実在の路線において、下り線の始端駅Aで、所定5:09発の列車1が支障により発車できず、支障の解消後、5:34に発車する状況を想定しました。

列車運行状況の試算結果を図3に示します。横軸は時刻、縦軸は列車や駅の位置を示しており、列車ごとの走行軌跡は3本の曲線で示されます。実線の2本は列車の先端と後端位置を、破線の1本は、当該位置から制動(ブレーキ)操作をした場合の停止位置を示しており、先行列車と衝突させないように最低限確保すべき列車間隔を表します。

図3には、4本の列車1~4が続いて運行されている様子が示されています。列車2は途中のI駅が発車駅で、列車1と列車3の間に割り込みます。列車2の後続となる列車3は、列車2のJ駅発車時刻を予見し、駅間での停車を防ぐために、I駅~J駅間でいったん、減速運転しています(図3の青線)。列車2の後端(紫線)と列車3の制動時停止位置(青破線)とが重なる部分があることから、列車2と列車3は安全上必要な最小間隔で運転されていることになります。この結果から、情報ネットワークを利用した列車運行により、安全を確保しつつ列車間隔を最小にできることを確認しました。

単線運転により保守作業時間帯を拡大させた場合の影響

新しい運行方式では、続行列車との間隔縮小だけでなく、対向する列車との間隔も縮小可能です。例えば、早朝・深夜や昼間の時間帯に、一部の駅間を片側線のみ使用した単線運転ができれば、もう一方の線路の保守作業時間を拡大することが可能となります。このとき、単線区間を運行する列車の間隔を詰めることができれば、お客様の利便性に与える影響を低減できます。そこで、単線運転した場合の旅客への影響を評価するため、時間帯ごとの旅客の所要時間の变化を試算しました。

今回試算した単線運転の状況を図4に示します。ある通勤路線の1駅間で、通常の夜間保守作業時間帯を超えて作業の時間が必要なケースを想定しました。早朝、昼間、深夜の3つの時間帯で、A:平常ダイヤで運行、B:全面運休、C:単線運転、の3パターンについて、旅客の乗車駅から降車駅までの平均所要時間を比較しました(図5)。なお、Bの全面運休の場合には、旅客は他の路線を利用して乗車駅から降車駅まで移

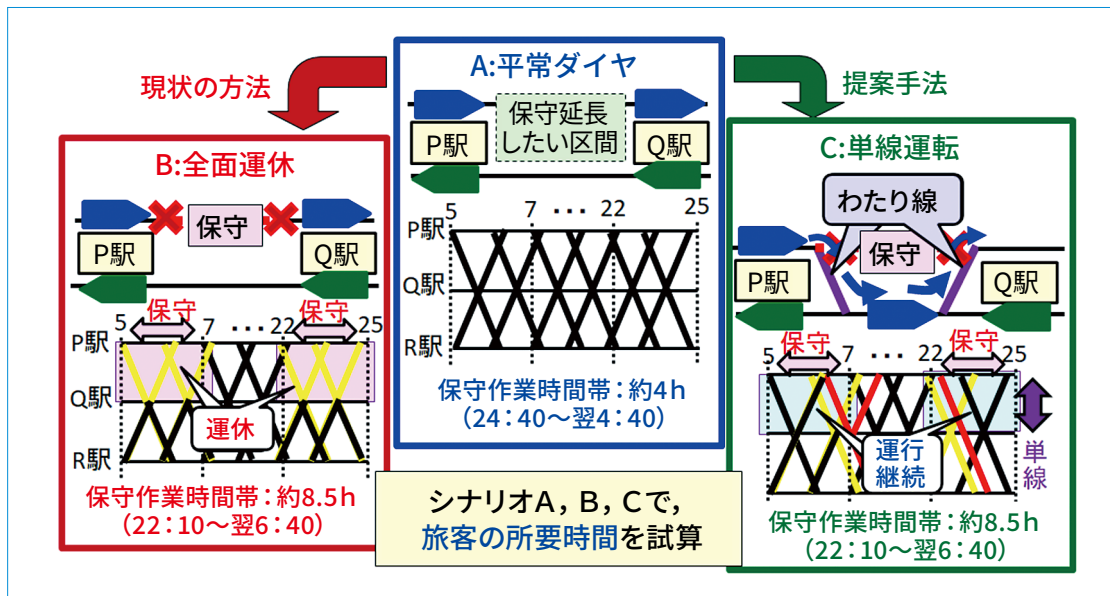


図4 比較評価する単線運転のシナリオ

動するものとした。

図5より、早朝、昼間、深夜のいずれも、B:全面運休の場合は、A:平常時よりも所要時間が大きく増加します。これは、旅客が他の路線に迂回するためです。一方で、C:単線運転の場合には、旅客は迂回する必要がなく、所要時間は平常時から少し増加するだけとなりました。これより、単線運転は旅客への悪影響が小さいことがわかります。

早朝、深夜に単線運転を実施すれば、新たに確保できる作業時間帯を、通常終電から初電までの作業時間帯と継続させることができ、トータルで約8.5時間程度の作業時間を確保できると見込まれます。このように、新しい運行方式では、旅客への影響を最小限にしながら保守作業に時間を拡大できることが確認できました。現行の運行方式で同じような単線運転を行おうとしても、列車本数を大幅に減らさざるを得ず、現実的ではありません。

なお、ここで想定したような単線運転を行うためには、わたり線が必要です。ここでは割愛しますが、わたり線が設備されていない区間でも今回紹介

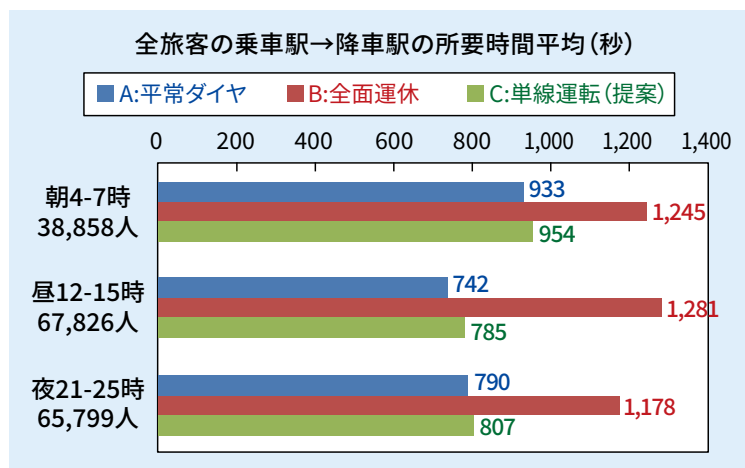


図5 比較評価結果

したような柔軟な運行ができるよう、短期間の工事で臨時に設置できるわたり線の構造も開発しました。

おわりに

情報ネットワークを利用した列車運行による列車の動きを再現し、導入効果を評価するためのシミュレーション手法を紹介しました。今後、情報ネットワークを利用した列車運行の実用化に向けて活用するほか、さらに新しい列車運行制御方式も扱えるよう、発展させていきたいと考えています。 [RRR]

文献

- 1) 馬場裕一, 立石幸也, 森健司, 青柳繁晴, 武子淳, 齋藤信哉, 鈴木康明, 渡邊貴志: 無線による列車制御システム (ATACS), Technical review, JR East, No.5, pp.31-38, 2003
- 2) 杉山陽一, 岩田浩司, 山本春生: 運行管理と保安制御を融合した列車運行制御システムの基礎検討, 鉄道総研報告, Vol.32, No.5, pp.35-40, 2018
- 3) 武内陽子, 坂口隆, 熊澤一将, 國松武俊, 佐藤圭介: 高性能な列車運行・旅客行動シミュレータの開発と列車運行の多面的評価, 電気学会論文誌D (産業応用部門誌), Vol.135, No.4, pp.411-419, 2015