

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制御により柔軟な輸送を実現する

列車の衝突や追突を防ぐため、線路上のある決められた区間には列車を1本しか入れない「閉そく」とよばれる仕組みがあります。デジタル無線を活用することで、列車の位置を細かく把握して閉そくの位置や範囲を柔軟に動かすことができる「移動閉そく」が実現されています。この移動閉そくで用いられている列車の位置情報を運行管理にも活用することで、列車を安全かつ柔軟に運行できる新しいシステム「情報ネットワークを利用した列車運行制御システム」を提案しました。ここでは、提案したシステムにおける列車制御の考え方と効果の一例を紹介します。



**杉山 陽一**  
Yoichi Sugiyama  
信号・情報技術研究部  
列車制御研究室  
副主任研究員



**岩田 浩司**  
Koji Iwata  
元 信号・情報技術研究部  
列車制御研究室長  
(現 鉄道国際規格センター  
上席主査)



**山本 春生**  
Haruo Yamamoto  
前 信号・情報技術研究部  
列車制御研究室長

## はじめに

現在の鉄道では、信号保安と運行管理の2つのシステムが役割を分担することによって列車の安全・安定運行を実現しています。信号保安システムは、列車の衝突・追突・脱線を防ぐため、列車の間隔や、分岐器・踏切の制御を担います。運行管理システムは、列車の定時運行のため、運行状況を把握し、遅延が発生したときは列車の発着時刻や出発順序、行先などを変更して回復を図ります。

これまで、信号保安システムでは閉そくとよばれる区間の単位で列車を制御し、運行管理システムでは駅間単位で列車の運行を管理していました。いずれも固定された区間単位で列車の位

置を把握するため、列車間隔の短縮による列車本数の増強や、遅延の状況に応じた柔軟な運行が困難でした。

そこで筆者らは、安全を確保しつつ利便性の高い柔軟な運行を実現するため、列車の位置を細かく把握して制御できる「移動閉そく」とよばれる仕組み<sup>1)</sup>と情報ネットワークを活用して信号保安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」<sup>2)</sup>を提案しました。ここでは、このシステムのベースとなる列車制御の仕組みと効果を紹介します。

## 固定閉そくと移動閉そく

閉そくは、列車の衝突・追突を防止するための重要な仕組みです。線路上

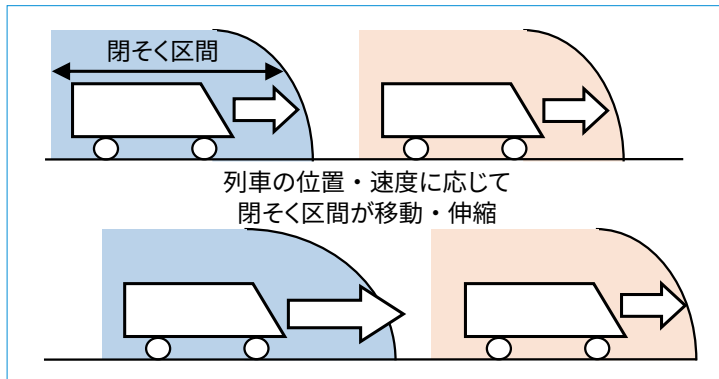


図1 移動閉そくのイメージ

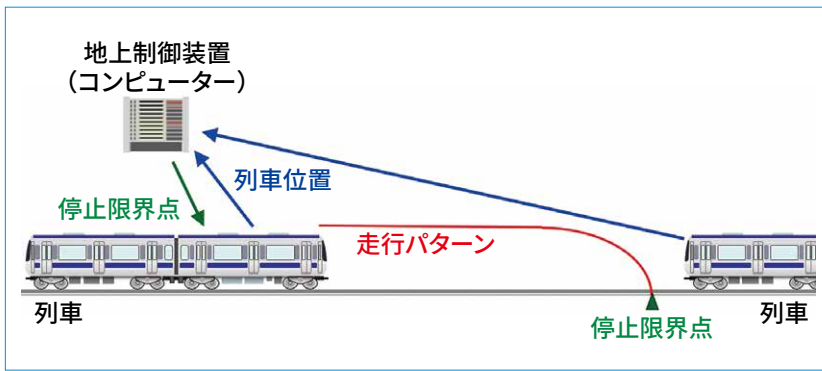


図2 無線式列車制御システムの基本動作

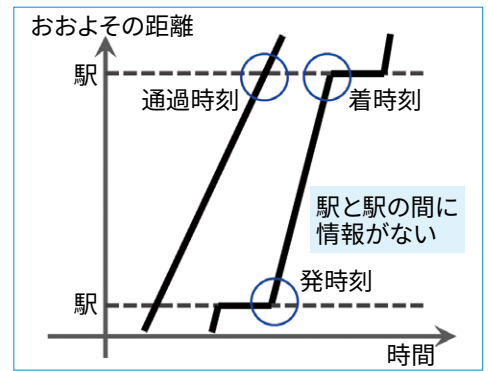


図3 列車ダイヤのイメージ

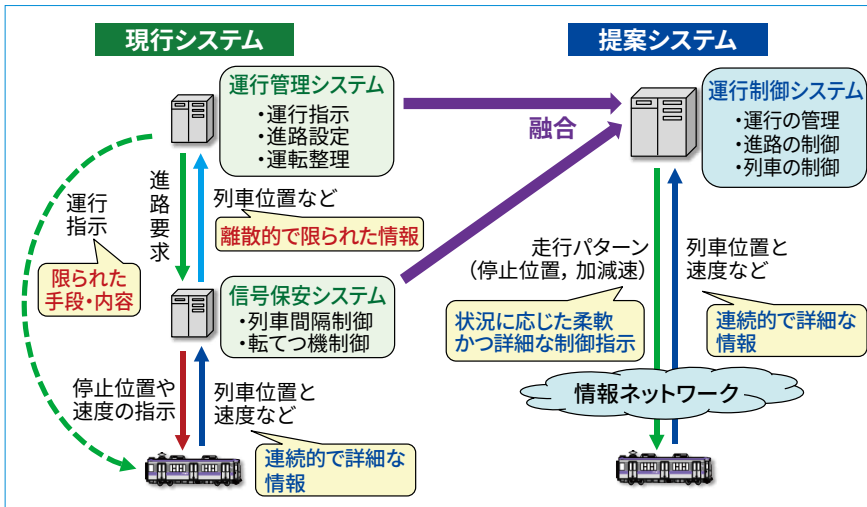


図4 情報ネットワークを利用した列車運行制御

のある決められた区間には列車を1本しか入れないようにすることで、列車どうしの間隔を安全を確保できる距離に保ちます。閉そくには、固定閉そくと移動閉そくがあります。

固定閉そくは、閉そくを設定する区間があらかじめ決めた位置や長さで固定されている方式です。区間ごとに列車の有無を検知し、区間の境界に設置された信号機で進入の可否を運転士に指示します。固定閉そくは多くの路線に用いられる安全性・信頼性の高い方式ですが、列車の間隔を決められた区間の長さよりも縮めることができないため、運転できる列車の本数を増やしたり、運転間隔を柔軟に変えるなどの調整ができません。

これに対し、移動閉そくは、列車の位置に応じて区間の境界が逐次更新される方式です(図1)。この方式は、無

線を活用して列車を制御する無線式列車制御システムによって実現が可能となりました。無線式列車制御システムでは、地上装置が各列車の詳細な位置を把握し、安全に走行できる限界点を無線で指示します。列車は、指示された限界点で確実に停止できるように走行速度を制御することで、安全を確保します(図2)。移動閉そくでは、列車の位置を細かく特定できるため、ブレーキ性能に応じて列車間隔を柔軟に変えることができます。

### 列車の運行管理の仕組みと課題

一方、列車の運行管理は、駅の発着時刻を基準にして行われます。列車が駅を発着・通過する時刻を線で結んだ図が列車ダイヤです(図3)。遅延が発生すると、指令員がダイヤ上で駅の発着時刻や列車の順序を調整し、運行管

理システムを通じて列車に指示を出すことで遅延を解消します。

ダイヤ乱れの早期解消や需要に応じた輸送力の配分など、利便性をさらに向上するためには、列車の動きを詳細に把握し、列車の加減速を細やかに制御する方法が考えられます。しかし、現在の運行管理システムでは、列車の詳細な位置を把握していないため、駅間での加減速のタイミングを管理・制御することができません。

また、脱炭素化に向けてさらなる省エネルギーな運行を実現していくうえでも、駅間の加減速を細やかに制御・管理できる仕組みが望まれます。

### 移動閉そくによる列車運行制御

そこで、移動閉そく方式で利用されている詳細な位置情報と制御情報を運行管理にも適用し、信号保安と運行管理の機能を情報ネットワークを活用して一元化することで、安全な列車の制御と柔軟な運行管理の双方を実現できる新しい列車運行制御システムを提案しました(図4)。

このシステムでは、中央の運行制御システムが安全かつ詳細な運行を計画し、以下のような流れで列車を管理・制御します。

- ①列車が位置を中央に無線で報告
- ②運行制御システムが各列車の運行状況に応じて運行計画を更新
- ③運行制御システムが各列車の制御指示を生成、列車へ無線で伝送

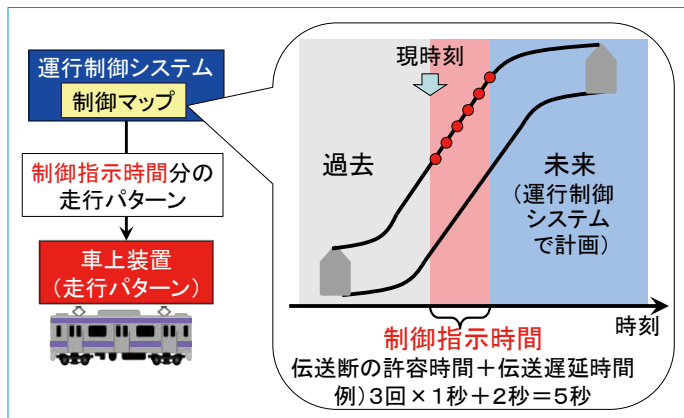


図5 中央の運行制御システムから列車への制御指示

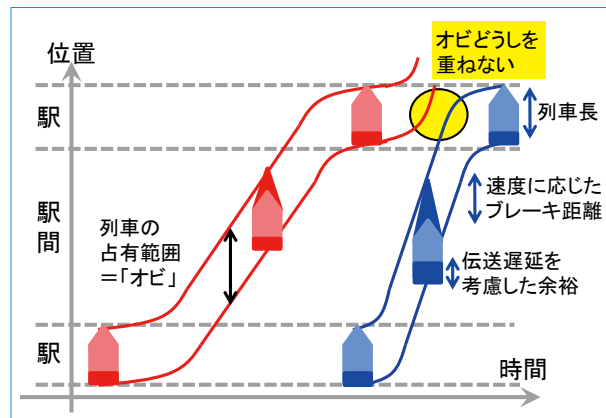


図6 制御マップでの列車間の安全確保

④列車は制御指示に沿って走行

①では現在の移動閉そくで得られる詳細な位置情報を利用し、③では、運行計画に基づいて、列車が走行すべき軌跡を指示します(図5)。ここでいう軌跡とは、時々刻々と線路上を進む列車の先頭と末尾の位置を並べた帯のようなものです。列車の走行をこのような軌跡として管理することで、詳細な位置情報を制御に反映します。

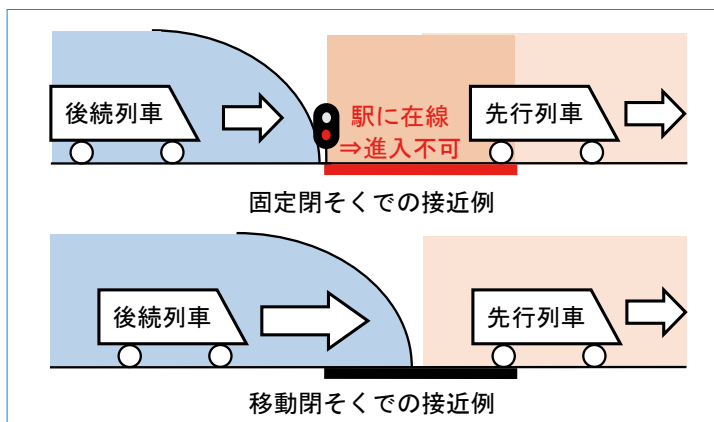


図7 簡単な列車接近モデル

新しい列車ダイヤの形式

列車の制御を軌跡レベルで指示するには、線路上のあらゆる地点の通過時刻を管理するため、従来と異なる新しい列車ダイヤの形式が必要です。

そこで、ダイヤの時刻を表す横軸はそのまま、線路上の位置を表す縦軸を細かい数値で表すことができる「制御マップ」を提案しました。この制御マップでは、全列車のあらゆる時点の位置を連続的に管理します。列車ごとの走行方法は、制御マップ上の軌跡として表現することができます。

制御マップによる安全な制御

制御マップでは、列車が安全に走行できる範囲を細かく設定できます。このため、従来の列車ダイヤではできなかった安全確保の役割も担うことができます(図6)。制御マップ上では、実際の列車位置の前後に余裕距離を加え

ることで、列車が占有できる領域を定義します。前方の余裕は列車が急ブレーキで停止するまでの距離、後方の余裕は無線通信の遅れや位置計算の誤差を想定して安全性を高めるために設定します。

制御マップ上で列車ごとに帯状の領域を相互に重ねないように描き、この帯状の領域に基づいて列車に制御指示を出すことで、安全な制御を実行します。

列車から位置の情報が届かなくなった場合は、最後に得られた位置の情報から、列車がいると想定される最大範囲を制御マップ上に設定することで、安全を確保します。また、列車が制御指示を受信できない場合は、自動で前方の余裕内で停止します。

この制御マップでは、分岐器や踏切を制御マップ上で状態を管理し、進路の制御を行うこともできます。

制御マップによる予測制御

ダイヤ乱れ時など、列車が駅に到着する間に、駅の手前でいったん停車する場合があります。これは、駅に先行列車がまだ在線しているためです。

固定閉そくでは、先行列車が駅を出発して閉そく区間外に出るまでは、後続列車は駅に入ることができません(図7上)。一方、移動閉そくでは、各列車がもつ安全な領域(=閉そく区間)が重ならない限り、駅に向かって進むことができます(図7下)。

このような状況下で、できるだけ駅の手前で停止せずに済むよう、あえて手前で減速し、先行列車の動きに合わせて駅に到着するタイミングを調整する制御手法があります。この手法は予測制御とよばれ、具体的な制御理論も提案されています(図8)<sup>4)5)</sup>。予測制御ができれば、駅の手前で完全に停止

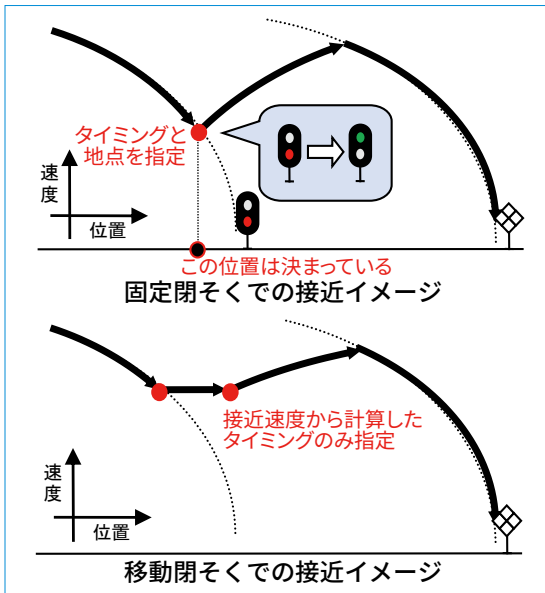


図8 予測制御の列車接近イメージ

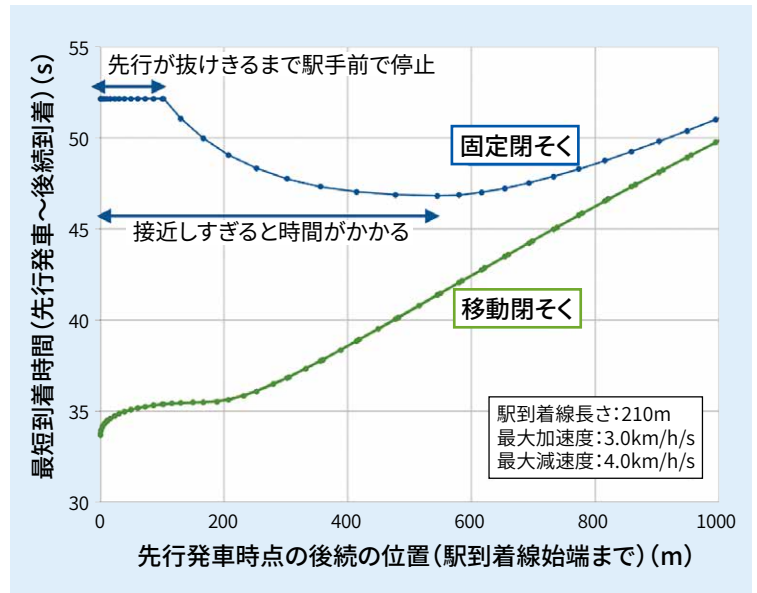


図9 後続列車が駅到着までにかかる時間の試算結果

せずに済み、到着を早めることができます。しかし、先行列車の動きを予測する方法や、後続列車へ指示を行う方法が実現されていませんでした。

そこで、先に述べた制御マップを活用し、移動閉そくと予測制御を組み合わせた列車制御の実現を考えました。制御マップ上では、すべての列車の位置や動きを管理していますので、予測制御に必要な先行列車の出発タイミングを制御マップから知ることができ、また後続列車への制御指示も生成できます。ここで紹介した新しい運行制御システムは、予測制御によるこれまでにない柔軟な列車の制御も実現できる可能性をもっています。

### 予測制御による運転間隔の短縮効果

制御マップを活用した予測制御の効果を確認するため、図7のような状況を想定し、駅に到着するまでの時間をどのくらい短縮できるかを試算しました。具体的には、先行列車が駅を出発する時点で後続列車の位置を変えた時に、先行列車が出発してから後続列車が到着するまでにかかる時間を計算しました(図9)。この計算では、固定

閉そく・移動閉そくの双方について計算を行いました。固定閉そくに比べ、移動閉そくでは到着までにかかる時間を大幅に短縮できることがわかります。

固定閉そくでは、先行列車に接近しすぎた場合は、駅前で一時停止してしまいます。一方、移動閉そくでは、加減速を変更するタイミングを柔軟に設定できるため、先行列車との距離に応じた制御指示ができ、後続列車は短い時間で駅に到着できます。

### おわりに

利便性の高い要求に対応する鉄道輸送の実現方法として新しく提案した「情報ネットワークを利用した列車運行制御」における列車制御の仕組みを紹介しました。無線や位置認識の技術によって得られる列車の詳細な位置情報を運行管理にも活用することで、これまでにない柔軟な輸送が可能となり、利便性の向上や省エネ化が期待できます。

ここでは触れませんでした。提案した列車制御方式の実現性の評価・分析もすでに行っています<sup>6)</sup>。情報ネットワークを利用した列車運行制御による利便性の向上効果については、次の

特集記事で詳しく紹介していますので、ぜひご覧ください。

今後、提案したシステムの実用化と、自律運転などさらに高度な列車運行制御システムの実現に向けた研究開発に取り組む予定です。[RRR]

### 文献

- 1) JIS E 3801-1:2009：無線式列車制御システム 第1部：一般要求事項および機能要求事項，2009
- 2) 福田光芳，杉山陽一，國松武俊，辰井大祐：Improvement of train traffic control functions, WCRR 2016, No.842, 2016
- 3) 福田光芳，杉山陽一，國松武俊，辰井大祐：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
- 4) 平栗滋人，兎束哲夫：線区条件に応じた列車群の予測制御方式，鉄道総研報告, Vol.24, No.3, pp.29-34, 2010
- 5) 杉山陽一，山本春生，岩田浩司：ダイヤを用いた接近制御による運転時隔短縮効果の検討，第24回鉄道技術・政策連合シンポジウム (J-RAIL 2017) 講演論文集, S1-4-6, 2017
- 6) 杉山陽一，岩田浩司，山本春生：情報ネットワークを活用した列車運行制御の仕組み, RRR, Vol.75, No.8, pp.12-15, 2018