

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

運行管理と列車制御を融合した新しい列車運行方式

近年、無線を用いた列車制御システムの実用化が進んできています。これらのシステムでは、地上と車上間の双方向の伝送や細かい位置検知機能を活用し、安全性の向上や移動閉そくによる運転時隔の短縮などが可能となります。

一方、運行管理システムは、これまで、軌道回路により在線有無の情報を用いて、運行状態の把握や運転整理などを行ってきました。無線を用いた列車制御システムでは、より細かい情報が得られます。これにより、運行管理と列車制御の機能を一体化させた新しい列車運行方式を検討しています。ここでは、現在検討している方式の概要とメリット、運行方法の例について紹介します。



福田 光芳
Mitsuyoshi Fukuda
前 信号・情報技術研究部
列車制御研究室
室長
【専門分野】 信号システム



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
【専門分野】 無線式列車
制御システム



辰井 大祐
Daisuke Tatsui
信号・情報技術研究部
運転システム研究室
副主任研究員
【専門分野】 輸送計画評
価、旅客流動推定、シ
ミュレーション

はじめに

運行管理は、計画されたダイヤ通りに列車を運行するために運転士や列車制御のシステムに指示を出したり、ダイヤが乱れた場合に列車の時刻・行き先を変更したり、列車を運休させたりして運転整理を行い、ダイヤを所定に回復させる役割を担っています。運転整理を行う場合は、車両や乗務員の手配も同時に行わなければいけないので、指令員には大きな負担がかかっています。

列車制御について見てみると、現在、多くの線区では、軌道回路(☞参照)を用いて列車の在線位置を判定しています。また、これらのシステムでは、運転士や車上の装置に伝達できる情報は、信号の種別や停止すべき位置

など限られた情報のみです。したがって、指令員や運行管理システムが把握できる列車位置は、軌道回路単位での在線位置、運転士への指示は列車無線などを使用した音声によることが前提となっています。

しかし、近年、導入が進められている無線を用いた列車制御システム(以下、無線式列車制御システム)は、地上の装置が詳細な列車位置・速度を把握できることが大きな特長です。この特長を活かし、移動閉そく(☞参照)によって運転時隔を短縮することも可能です。また、軌道回路などの地上設備を削減することにより、低コスト化や保守性の向上も期待できます。

無線式列車制御システムを前提とした場合、指令業務や運行管理システム

☞ 軌道回路

左右のレールを電気回路の一部として列車の有無を検知する装置です。レールを一定の区間に区切り、一方の端からもう一方の端に向けて電流を流した場合、車両が在線すると、輪軸で左右のレール間が短絡されるので、区間の末端まで電流が流れなくなります。この原理を利用して、列車の在線を検知しています。

広く用いられている方式ですが、区切られた区間内のどこに在線するかは、この仕組みではわかりません。

では、より多くの情報を比較的短い周期で得ることができるようになります。細かい列車位置や列車速度を把握できることにより、効率的な運転整理を行うなど、運行管理の質を向上させることが期待されます。

列車の情報を地上側の装置で把握できるだけでなく、地上側のより多くの情報を列車に対して伝送できる点に着目し、運行管理と列車制御の機能を一体化させた新しい列車運行方式を検討しています。これまでは、信号機、ATS/ATC (Automatic Train Stop/Automatic Train Control) などの装置が走行の可否に関わる情報（安全に止まるための情報）を伝送していましたが、運行管理を担う機能（装置）が運転曲線のような情報（安全に走行するための情報）を伝送し、そのとおりに走行させようという考えです。フェールセーフの原則に従うのは同じですが、列車の制御を「安全に止まるための制御」から「安全に走行するための制御」へ転換することを目指しています。

新しい列車運行方式

無線式列車制御システムでは、地上と車上で双方向の情報通信が可能となり、地上側で列車位置と走行速度を連続的に把握できるようになります。これにより、図1 (a) の運行管理と列車制御、列車の間で詳細な情報を授受できるようになります。

図1 (b) のように、列車制御が担っ

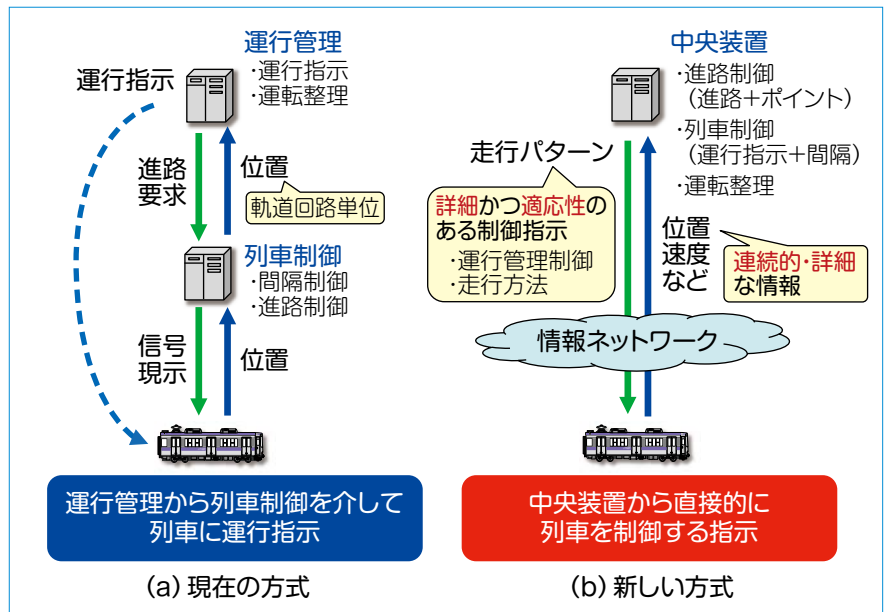


図1 運行管理・列車制御間の情報

ていた安全性確保の機能と列車や地上設備の機能を運行管理部分に一元化したシステムを考えています。

情報ネットワークを活用し、列車の位置・速度の詳細な情報を中央装置が列車から受け取ります。その情報をもとに、複数列車の運行の大局的な管理（運行管理の役割）と列車の衝突や脱線などを防ぐための列車への指示（列車制御の役割）を行います。

これまでは、列車制御による信号現示や防護（ブレーキパターンなど）の範囲内で走行する概念で運行管理をしていましたが、この方式では中央装置が、安全かつ詳細な運行計画を作成し、走行パターンの形態で列車に指示します。ポイントなどの地上設備もその運行計画に従って制御されます。「安全

な運行計画」を作成し、その運行計画のとおり列車が走行すること、運行計画のとおり地上設備が制御されることによって安全性を確保する考え方です。中央装置から細かい運転指示が随時出されますので、自動運転を行うことを前提として考えています。

実際には列車の加減速度の誤差、旅客の乗降時間が長引くことによる遅延、設備故障などを考慮する必要があり、運行計画通りに運行できない場合があります。そのような事象を考慮し、安全な運行計画は、その時の列車運行状況や環境条件などに応じて周期的に作成します。

海外ではダイヤが明示されない路線も珍しくありませんが、日本では事前にダイヤが作成され、ダイヤに従って列車が運行されることが前提です。輸送障害などによって遅延が発生した場合は、平常のダイヤ通りに戻すことを最終的な目的として運転整理が実施されます。

しかし、今後の列車運行を考えた場合、単に固定的なダイヤに従うだけでなく、時々刻々と変化する状況にあわ

移動閉そく

列車と列車が衝突しないように閉そくと呼ばれる区間には、必ず1列車までしか進入させないようにしています。軌道回路を用いたシステムでは、軌道回路の区切りの単位でしか閉そくの区間を設定できません。列車の位置を連続的に検知できる場合は、列車の移動に応じて連続的に変化する情報を使って列車同士が安全な間隔を保つよう制御できます。このため移動閉そくでは列車の間隔を短くできる効果があります。このような方式を移動閉そくと呼びます。

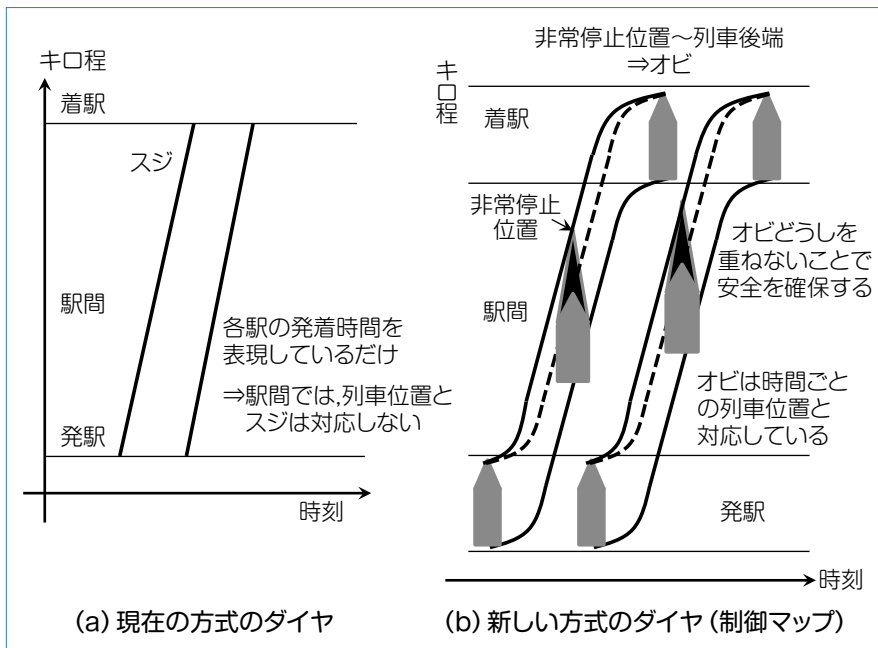


図2 運行計画のイメージ

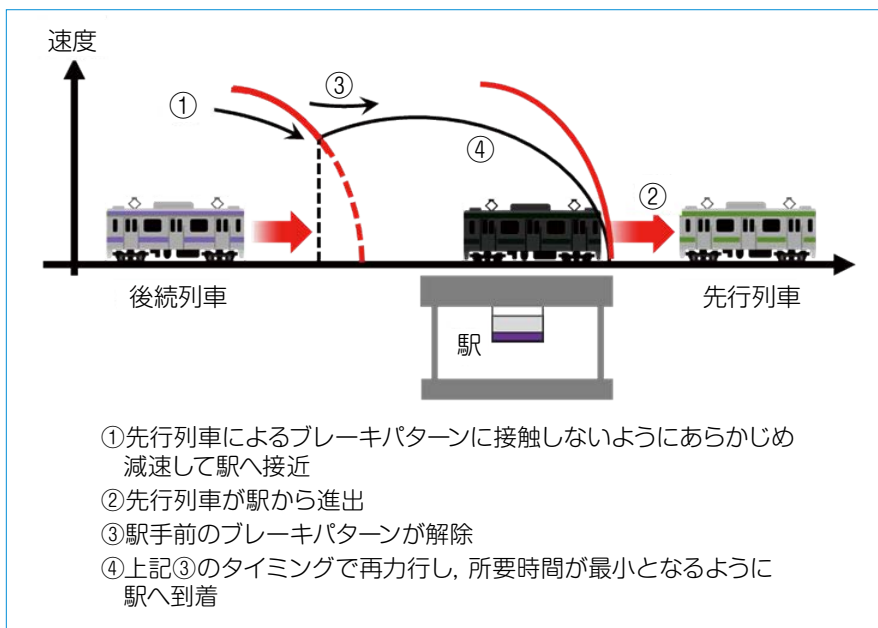


図3 新しい方式の効率的な制御指示の例

せて、柔軟に列車運行することも必要と考えます。これまでは計画されたダイヤと実際の運行との差異が最終的な評価指標でしたが、列車運行に関わる諸条件を評価の項目として、ダイヤを変化させたり、列車の走行方法を変化させたりすることにより、より質の高い輸送サービスを提供したり、鉄道運営のコストを低減したりしたいと考えています。この場合の諸条件としては、

車両運用などの制約条件と、最大限に満足させたい要望の条件にわけられます。要望の条件は、相反する条件もあり得るので、その時の状況にあわせて方針を設定し、優先すべき要望を選択したり、それぞれの要望の折り合いのつく列車運行を模索したりする必要があります。

要望の条件としては、旅客利便性の向上、保守などの作業に関する要望、

列車運転電力の省エネルギーに関する要望などが考えられます。研究の第一段階とし、旅客利便性の向上、保守などの作業に関する要望に着目し、研究を進めています。なお、省エネルギーやほかの要望などについても順次組み入れていきたいと考えています。

新しい列車運行方式を支える制御方法

現状の運転整理は、必要が生じた場合に、図2(a)に示すダイヤ上の直線「スジ」を平行移動したり、削除したりすることにより実施されます。駅間の所要時間は標準的な値とし、駅間どのように走行するかは管理できない前提です。

新しい列車運行方式では、中央装置がリアルタイムに集約した情報をもとに図2(b)のような運行計画を常時作成します。この運行計画の図を制御マップと呼んでいます。制御マップ上の列車の安全な在線領域に相当する領域を、ダイヤ上のスジに対比させて「オビ」と呼んでいます。個々の列車への制御指示はオビをもとに作成して列車に送信します。列車へ送信する情報をリアルタイム運行制御情報と呼びます。

制御マップでは、駅間を含む各地点の正確な位置に対応しているため、オビの情報から列車がポイントや踏切を通過する時刻がより正確に把握できます。したがって、ポイントの転換や踏切の遮断の制御もタイムリーに行うことが可能になります。

従来のダイヤによる管理との主な違いは、ダイヤでは各駅の着発時刻のみを管理しているのに対して、制御マップでは時刻ごとの位置および列車が占有する範囲を管理している点です。これにより、次の2つの利点が得られると考えています。

まず、スジの平行移動だけでなく、

傾きを含む形状を変化させることにより、細かい走行計画・指示が可能となります。たとえば、先行列車の駅からの出発が遅れている場合、**図3**に示すように後続列車をあらかじめ減速しておき、先行列車が出発するタイミングに合わせて加速することによって遅延の早期回復に効果があることがわかっています¹⁾、このような走行方法を制御マップ上で計画し、走行指示することが可能となります。

新しい列車制御方法の実現方法

このような列車制御を実現するためには、先行する列車がどのように運行するかを予測することが重要になります。現在の時刻から少し先の時間まで各列車の各駅の停車時間を正確に予測できれば、旅客数の増加などで停車時間が拡大しそうなときに、事前に後続列車の速度を抑えたり、後続列車の発車時刻を調整したりすることができま**す** (**図4**)。

このような手段を具体的に検討するため、各列車の各駅での遅れを正確に予測する手法の開発に取り組んでいます。列車運行に関するデータで、リアルタイムに取得できるものを活用し、現在の時刻から数十分先までの各列車の各駅における発遅延、各区間における乗車率を正確に予測することを目指しています。

旅客利便性の向上

旅客の利便性を向上させるため、不効用値 (☞参照) をひとつの評価指標と捉え、この不効用値を改善することを考えます。まず、列車運行状態 (列車位置) と各駅の旅客数の実績をもとに、数十分程度先までの列車運行状態、旅客数の推定を行います。この推定結果に対して評価を行い、十分な値に達していない場合は、運転整理案を作成

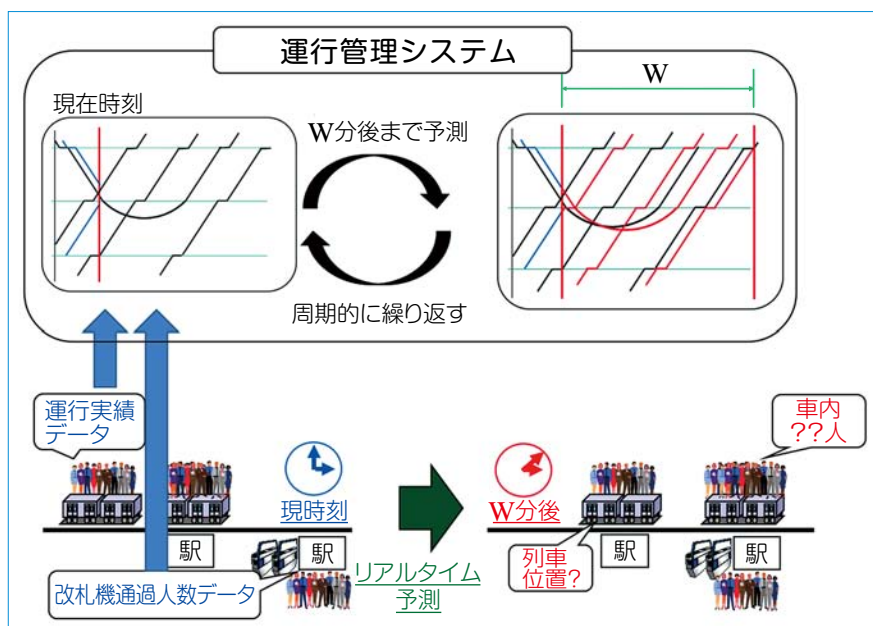


図4 新しい方式の予測による運転整理案の作成

し、その案に基づいて同様の推定、評価を繰り返します。より良い評価となる運転整理案を採用し、その時点での制御マップを確定させます。

保守などの作業に関する要望としては、各部門の作業種別に応じてさまざまなものがありますが、共通の課題として、我々は作業時間の確保を対象としました。これまでは、列車が走行しない時間帯に作業を行う概念でしたが、この概念をあらため、保守作業も列車と同様に運行管理の一つの要素と位置づけ、制御マップ上で管理します。優先度の高い作業と判断されれば、中央装置が列車のオビをずらし、作業時間を設定します。これにより、昼間時間帯に実施する作業を増やしたり、個々の作業時間を長く確保したりすることが可能となり、作業効率向上による低

コスト化や信頼性向上、労働力確保の容易化が期待できます。また、作業者の出入りを含めて管理することにより、作業員の安全性の向上も期待できます。

おわりに

新しい列車運行方式のメリットを十分に引き出すためには、リアルタイムに実行可能な運転整理案を具体的に作成する必要があります。また、情報を中央装置に集約し、集中的に処理するために必要なハードウェアの性能を整理する必要もでてきます。ハードウェアに要求される性能を見極めるため、システムの伝送容量、中央装置の処理能力などに加え、適切なシステムの運用を確保するための信頼性やシステム構成などを検討する予定です。RRR

☞ 不効用値

利用者の観点から移動時の利便性を評価する値です。待ち時間、目的地までの乗車時間に、乗換回数、混雑率をそれぞれ時間に換算して加えた値になります²⁾。

文献

- 1) 平栗滋人, 富井規雄, 長谷伸一: 予測制御による列車制御方式, 鉄道総研報告, Vol.17, No.6, pp.29-34, 2003
- 2) 国土交通省: 鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル, 2012