

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

鉄道の利便性を高めるための技術

鉄道の利便性を高めるためには、ハード・ソフトの両面でさまざまな手段があります。これらのさまざまな手段を効率よく活用し、効果を発揮させるためには、利便性の評価に大きく影響する列車運行計画やサービス内容の策定作業を支援するための手法や、駅や輸送サービスの魅力・効果を定量的に評価する手法に関する研究開発が欠かせません。ここでは、鉄道の“商品”であるダイヤの作成と運行管理にスポットをあてて、支援技術の概要と、将来の新しい運行管理・制御の実現に向けた研究開発について紹介します。



川崎 邦弘
Kunihiko Kawasaki
信号・情報技術研究部
部長
【専門分野】 対列車通信
システム、電波環境

鉄道の「利便性」とは？

読者の皆さんにとって、「便利な鉄道」とはどのようなものでしょうか。「目的地に早く行ける（速達性）」「決まった時間に到着できる（定時性）」などが鉄道の代表的な「便利さ」でしょう。ほかにも、「あまり待たずに乗れる」「切符を買わなくても乗れる」「階段を上り下りしなくてすむ」「次の列車に乗り換えやすい」「駅の中で買い物ができる」「運行状況がリアルタイムで見られる」などなど、旅客が感じる「便利さ」はさまざまです。

鉄道をより便利な交通機関とするためには、車両の高性能化や快適な駅・車内環境の整備などのハード面の改善と、ダイヤの設定と運行管理・旅客への情報提供サービスなどのソフト面の充実、そして駅の新設や路線の拡大といったインフラ全体の拡充など、さまざまな方策がとられます。

ダイヤの設定と運行管理は、車両・線路・駅・乗務員などのリソースを効率よく運用して、いかに旅客にとって便利な輸送サービスとして提供するか、すなわち、旅客が直接触れる“商品”の品質を決める重要な業務のひとつで

あり、鉄道に対する利便性の評価に直結します。

利便性の高い輸送サービスを提供するためには、旅客のニーズはもちろん、車両や地上設備の条件や線区沿線の地域の特性、季節や天候にいたるまで、実にさまざまな要素を考慮しながらダイヤを設定する必要があります。また、列車の運行中には、常に状況を把握し、遅れが生じた場合は速やかにダイヤを回復しなければなりません。

ダイヤの作成や運行管理においては、より多くの新鮮な情報を効率よく活用できるようにすることが、利便性を高めることにつながります。

列車のダイヤ図

列車のダイヤ図は、列車の各駅における到着時刻と出発時刻を表した図です（図1）。ダイヤ図には、当初の列車の運行計画を表す計画ダイヤと、実際の運転状況を記録した実績ダイヤがあります。ダイヤの様式は鉄道事業者によってさまざまですが、ほとんどの場合は横軸が時刻、縦軸が駅の位置となっており、「スジ」と呼ばれる斜めの線で1本の列車を表します。ダイヤ

図を用いれば、どの列車が何時にどの駅まで到着するか、どの列車が途中で追い越されるかといった情報を直ちに読み取ることができます。また、スジの太さや色などで、快速列車や各駅停車列車などの列車種別を表すこともあります。ダイヤ図は、鉄道の“商品”としての輸送サービスそのものが表されたもの、といえるでしょう。

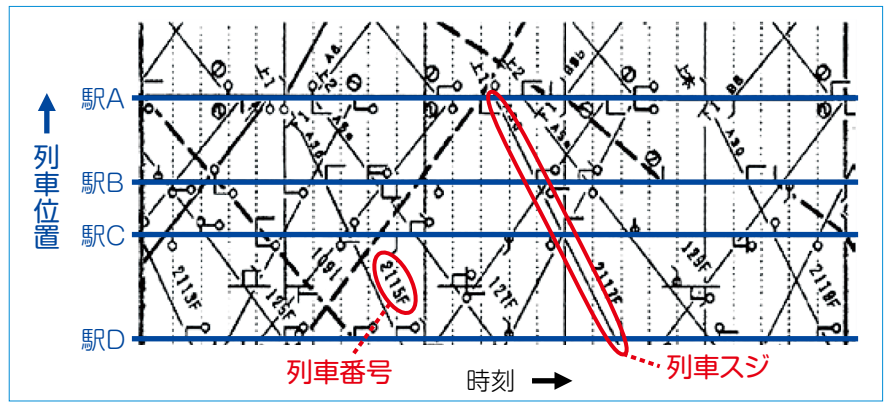


図1 ダイヤ図の例

ダイヤの計画と運行管理

ダイヤを作成するためには、列車が次駅に到着するまでにかかる時間と、ある列車が発車したのちに次の列車の発車が許されるまでの時間間隔などを考慮する必要があります。また、車両および乗務員の運用、信号設備やプラットフォームの状況、時間帯ごとの旅客の動き、他路線との接続なども考慮しなければなりません。ダイヤは人（「スジ屋」と呼ばれる専門職の方）が一本一本スジを引くことにより作成されていました。しかし、扱う列車と駅が多くなるほど、また特急や快速、各駅停車などの列車種別や相互乗り入れといった運行形態が増えるほど、計画ダイヤの作成は複雑になり、多くの労力と時間が必要になります。

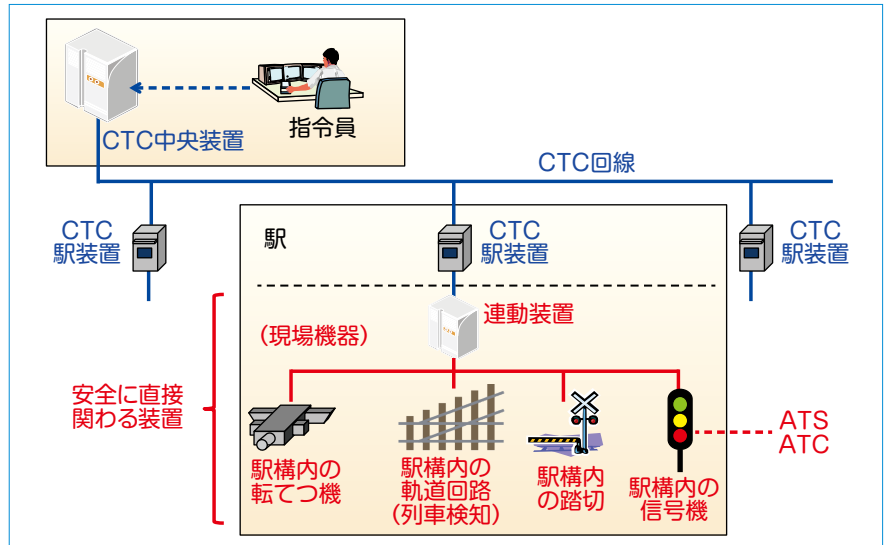


図2 CTC

また、作成したダイヤに従って列車を運行するためには、信号機と転てつ機を制御し、もし事故などによって遅れが発生したときには、ダイヤの変更

を行ってダイヤの乱れを回復しなければなりません(☞参照)。

現在、信号機と転てつ機の制御については、CTC(図2:☞参照)の導入によって指令室に集中化されていたり、PRC(☞参照)の導入によって自動化されています。しかし、遅れが発生したときの運転整理は、多数の列車の状況を把握しながら、遅延の原因の復旧時刻と旅客の動きを予測し、車両や乗務員、駅など多数の関係部署と連絡をとりあい、迅速に変更内容を決定する、という非常に厳しい作業を短時間に行わなければならない。さらに、何をもち最良な整理とするかの基準が、定量化しにくいという状況によって変わってしまうため、現在でも指令員の臨機応変な判断に基づいて運転整理が行われているのが現状です。

☞ 運行管理と運転整理

ダイヤに従って信号機や転てつ機を制御する業務と、ダイヤの乱れを回復する業務を総称して運行管理と言います。

また、列車に遅延が生じたときに、ダイヤの乱れを回復するために、列車の運休や順序の変更、折り返し駅や到着番線の変更、列車種別の変更など一時的にダイヤを変更することを運転整理と言います。

☞ CTC

Centralized Traffic Controlの略で、列車集中制御装置と呼ばれます。CTCは、各駅の信号機や転てつ機を指令室から集中して遠隔制御できるようにしたものです。CTCの操作は、列車運行を指令する権限を持つ指令員が行います。CTCの導入により、駅ごとに置かれていた信号制御盤が不要となり、指令室で列車の位置を把握して集中的に運行を管理できるようになりました。

☞ PRC

Programmed Route Controlの略で、列車の進路を自動で制御する方式の一つです。列車のダイヤをあらかじめコンピューターに登録しておき、コンピューターが信号機と転てつ機を制御します。駅の発車標や自動案内放送もPRCで制御されることがあります。CTCでは列車の運行を遠隔で管理・制御できますが、自動ではありません。PRCの導入によって、指令員の負担を軽減することができました。

ダイヤ作成・運転整理の支援

利便性の高い輸送サービスを提供できるよう、ニーズにあったダイヤを効率的に計画したり、遅延が発生した時の運転整理を適切に行うためのさまざまな支援システムが開発されています。

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りました¹⁾。その後、コンピュータの性能向上にとともに、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はじめました。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ます。このような支援システムの実現により、高度化した列車ダイヤに対する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ます。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ます。

運転整理の支援についても、過去の実績ダイヤからパターンを見いだして整理案を作成する手法や、機械学習によって整理案を提案する手法などの研究開発が進められています。鉄道総研でも、ダイヤの作成支援や、運転整理を効率的に行うための支援システムの研究開発に取り組んでおり、一部の成果が実際に鉄道事業者に活用されています(図3)。

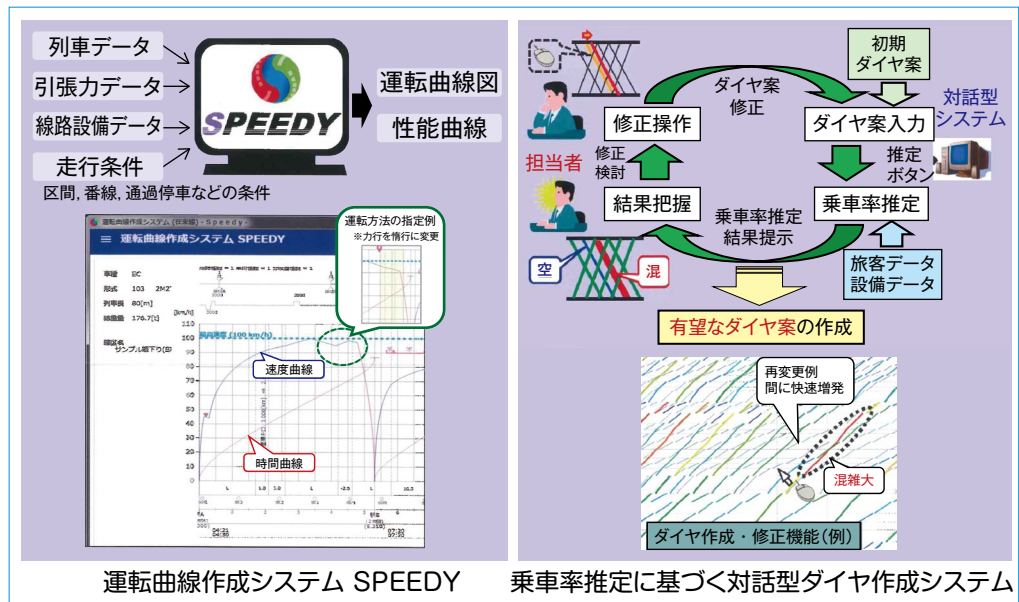


図3 鉄道総研が開発したダイヤ作成を支援するための各種システム

詳細な位置情報に基づく新しい運行制御による利便性の向上

現在、ダイヤの作成や運行管理においては、駅ごと、もしくは閉そく区間ごとに列車の位置を管理しています。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、列車の位置や速度など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が実用化されています。無線式列車制御システムの導入のメリットは、地上設備を減らすことができること、柔軟に列車間隔を設定できること、などがあげられます。この無線式列車制御システムが制御のために使っている詳細な列車位置や速度の情報を、運行管理に活用することにより、これまではできなかった新しい運行制御ができるようになります。

たとえば、都市部などで先行列車に遅延が生じたとき、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あります。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、運転時隔を短く、かつ遅延の伝搬も抑制することが可能とな

ります。このように、旅客の集中や列車の遅延といった状況に応じて列車の着発時刻や列車同士の間隔を柔軟に制御できれば、ダイヤ乱れを早期に回復することができるので、旅客の利便性を上げることができます。さらに、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、鉄道事業者の運用の自由度も上げることができます。

情報ネットワークを活用した新しい運行制御システムの開発³⁾

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ります。そのためには、現在、多くの鉄道では別々のシステムとして稼働している運行管理システムと信号保安システムの機能を密接に連携させる必要があります。

鉄道総研では、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ま

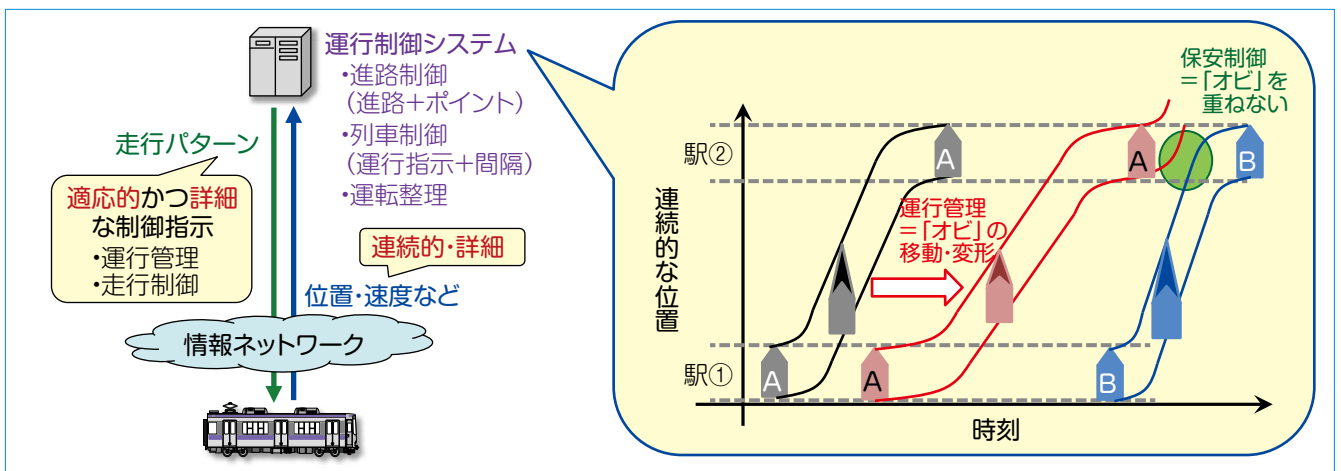


図4 情報ネットワークによる運行管理と保安制御の融合

す(図4)。

このシステムでは、図1に示した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」として表現します。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ます。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ます。

図4中の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など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、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ます(図5)。これらの3つの技術をリンクするための運行制御用情報ネットワーク基盤の開発も進めています。

おわりに

ここで紹介した運転曲線に基づく列車制御手法と列車運行予測手法のほかにも、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

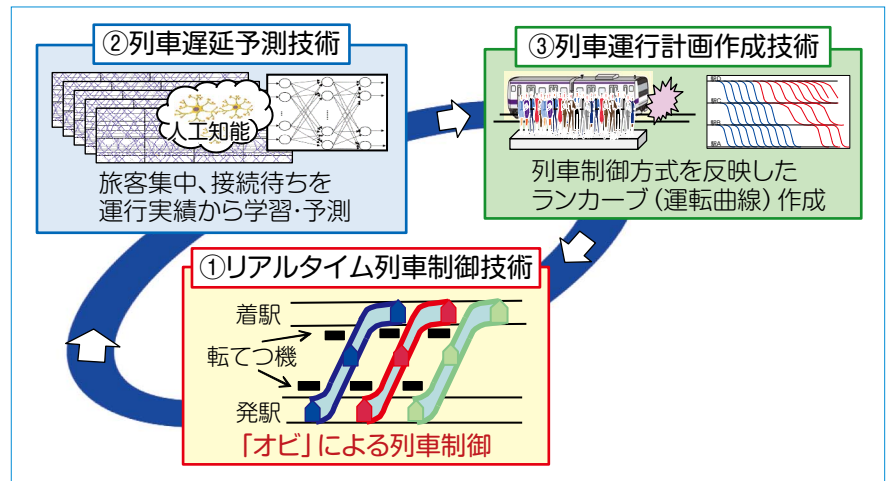


図5 新しい運行制御システムを構成する要素技術

レーション手法と、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を進めています。今後は、新しい運行制御システムの有効性をシミュレーションなどにより示す予定です。また、情報ネットワーク基盤についても、デモシステムを鉄道総研の所内試験線に構築し、その有効性を実験的に実証するとともに、所内での諸実験などの実務に活用できるようにする予定です。さらに、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も進めています。

今後、さらに便利な鉄道を実現して

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、が大きな鍵となります。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ます。[RRR]

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，久保英樹：クラウド型輸送計画システムの開発，第50回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集，No.405，2013
- 3) 福田光芳，杉山陽一，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