

# 信号通信技術に関する最近の研究開発

平栗 滋人\*

## Recent Research and Development of Signaling and Telecommunications Technologies

Shigeto HIRAGURI

This paper outlines the recent research and development of the signaling and the telecommunication system from the view point of applying ICT. It describes that the concept of radio based train control has a possibility to bring innovations not only to the signaling system but also to the other fields, and introduces a new concept that realizes precise and adaptable train control by integrating functions of the traffic control system and the signaling system. It also describes the maintenance support system for point machine as an example of applying sensing and data analysis. Finally, it describes a basis of information network which will be able to be used commonly by various fields of railway in the future.

キーワード：列車運行，列車制御，センシング，データ分析，情報ネットワーク

### 1. はじめに

信号通信技術は鉄道の安全輸送の要と言える役割を担ってきた。コンピュータ制御や移動体通信などの発達に合わせ、2000年代以降には、デジタル方式のATC<sup>1)</sup>や無線式列車制御システム<sup>2) 3)</sup>などが実用化された。特に、無線式列車制御システムでは、地上ー車上間での連続的かつ双方向の通信を基本とした列車の詳細情報の把握、車上主体の速度制御などが実現された。これらは安全の確保はもちろんであるが、運転時隔の短縮、ダイヤ乱れからの早期回復など<sup>4)</sup>輸送サービスの向上、改善の効果ももたらしている。将来に向けて、これらの特徴をより積極的に活用することで、さらなる安全の向上、状況に即した柔軟な列車運行、列車の運行制御による省エネルギーなど、新たな可能性が期待される。

一方、鉄道は多くの設備を有しており、今後、想定されている生産年齢人口の減少などを考慮すると、これら設備の効率的な保全は重要な課題の一つである。これに対しては、センシング技術、センサネットワークなどを活用したデータ収集、多数のデータを有効に活用する処理・分析技術など、ICTの果たす役割が大きいと考えられる。

このような高度な列車運行や、センシングデータに基づいた設備保全を実現するためには、鉄道に存在する様々な情報を必要に応じて取り出し、活用できる情報ネットワーク基盤の構築も必要になると考えられる。

本稿では、信号通信分野におけるICT活用の視点から最近の取り組みと将来展望について述べる。

\* 信号・情報技術研究部 部長

### 2. ICT活用に関する研究開発

#### 2.1 列車運行・制御システム

無線式列車制御システムは、冒頭に述べたような運転時隔の短縮などの利点を持っているが、それらを効果的に発揮するためには、適切なシステム設計が必要である。この際、無線基地局の配置など、従来にはなかった要素を考慮してシステム性能評価を行っておくことが望ましい。このような評価を、列車運行への影響と関連付けて実施できるシミュレータの開発を進めている。

また、無線式列車制御システムは、従来の信号システムが対象としていた範囲の保安制御に留まらず、列車運行に関する多様かつ高度な機能を実現できる可能性を持っている。そこで、今年度からスタートした鉄道総研の基本計画「RESARCH 2020」において実施する将来指向課題の一つとして、状況に即した高度で柔軟な列車運行を実現する手法の開発に着手している。

このほか、無線式列車制御システムなどICTを活用したシステムでは、軌道回路や付帯するケーブルなど地上設備を削減できる点も大きな特徴である。これを活かして線区条件に応じたシステム構成とすれば、経営環境の厳しい地方線区にもコスト面の恩恵をもたらす有効な手段となり得る。そこで、比較的簡易な線形の単線区間を対象として、従来は連動装置が担っていた機能を列車が主体となって実行し、さらなる地上設備の削減を目指したシステムを提案している<sup>5)</sup>。なお、本研究は国土交通省の鉄道技術開発費補助金により実施した。

特集：信号通信技術

2.2 センシング技術・データ分析技術の利用

これまで、信号通信設備の多くは定期的な点検と保全、あるいは障害発生時にその都度、対応することで維持されてきた。また、定常的に状態データを取得する仕組みの導入事例も存在するが、得られたデータの効果的な活用という点では課題が多いと言える。一方、近年、センシング技術や情報技術の発達もあり、日常的に状態を監視して、必要なタイミングで必要な箇所に対策を講じる状態監視保全の考え方が注目されている。そこで、電気転つ機を対象として状態監視保全を支援するシステムの開発を行った。また、センサネットワーク技術の活用についても、プロトタイプシステムの開発と実環境での検証試験を行った<sup>6)</sup>。

2.3 情報ネットワーク基盤

2.1 で述べたような高度で柔軟な列車運行制御を核として、沿線の災害や車両自体の状態も考慮した安全制御、あるいは列車群の適切な制御による省エネルギーなどへの拡張を実現するためには、鉄道を構成する要素間で情報を共通に利用できる枠組みが必要である。さらに、2.2 で触れたようなセンサネットワークが広範囲に活用されるようになると、データを収集、蓄積し、必要なときに表示、活用できることも要求されるであろう。現在、これらに向けた情報ネットワーク基盤の研究開発にも着手している。

3. 列車運行・制御システム

3.1 列車制御システムの性能評価

無線式列車制御システムは、1990年代から鉄道総研で CARAT (Computer and Radio Aided Train Control System) と呼ぶシステムの開発に着手し、2011年には JR 東日本によって ATACS (Advanced Train Administration and Communications System) が実用化された。

図1に示すように無線式列車制御システムでは、地上では列車の詳細な位置や速度を連続的に把握し、列車が主体的に速度制御を行う。これによって、いわゆる移動閉そくが実現でき、先に述べたように従来のシステムに比べて、運転時隔の短縮や、ダイヤ乱れの早期回復が可能になる。

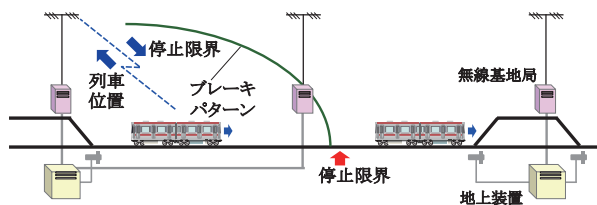


図1 無線式列車制御システム

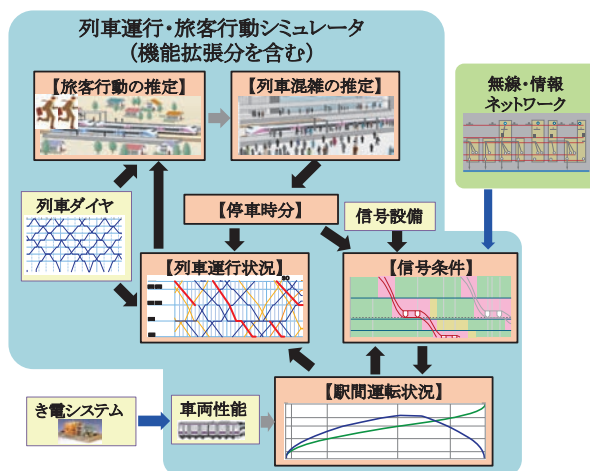


図2 システム評価シミュレータの構成

その一方で、ATACS など空間波無線を使用するシステムでは、列車は沿線に適当な間隔で設置した無線基地局との間で通信を行うが、時分割方式の多重伝送を行う場合、あるエリアをカバーする無線基地局と通信できる列車数には上限がある。したがって、大規模駅などではダイヤ乱れ時などに、列車運行に影響が生ずる可能性がある。そこで、このような場合に、列車運行に及ぼす影響の有無も含めた評価手法の開発に取り組んでいる。ここでは、列車運行上の影響と同時に、無線システムの設計の妥当性も合わせて評価することを意図している。そのため、これまでに開発した列車走行を模擬する「列車運行・旅客行動シミュレータ」<sup>7)</sup>と、無線回線設計、および地上ネットワークも含む通信性能を評価するシミュレータ<sup>8) 9)</sup>とをベースに両者の機能が連携して動作するシミュレータを開発している(図2)。

このシミュレータは、将来的には無線基地局以外も含む装置の故障時における列車運行への影響評価への活用を想定しているが、従来は機器自体の信頼度評価に留まっていたものを、最終的なサービスである列車運行への影響を評価できるようになる。これは、現在、日本からの提案にもとづいて作成作業が進められている、RAMS 規格 (IEC 62278) の RAM (Reliability, Availability, Maintainability) に関する追補としての技術報告<sup>10)</sup>の基本思想にも合うものであり、そのためのツールとしての活用も期待される。

3.2 情報ネットワークを利用した列車運行

3.1 で述べた無線式列車制御システムの特徴は、信号システムのみならず、列車の運行全体にも変革をもたらす可能性を持っていると言える。例えば、図3に示すように、転つ機などの設備故障や、線路上に何らかの障害が発生した場合、臨時的進路変更などによって、運行が全面的に停止してしまうことを回避し、利便性の低下

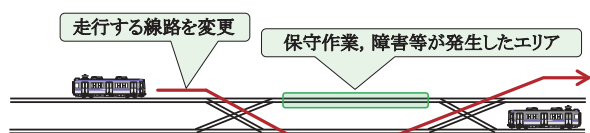


図3 状況に応じた進路設定の例

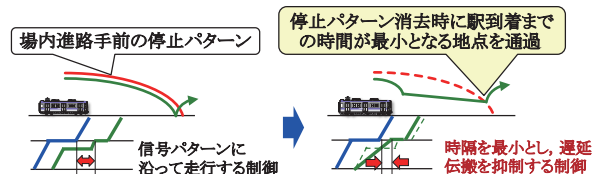


図4 状況に応じた速度制御の例

を抑制することが考えられる。従来の軌道回路による列車検知をベースとするシステムでは、列車が走行できる経路や方向は信号設備に依存しているため、このような制御を行うためには、あらかじめ対応した設備としておく必要があるが、構成が複雑となることや、それに伴うコスト増が懸念される。一方、無線式列車制御システムでは、これらの機能のかなりの部分について、設備を改修することなくソフト的な変更で実現することができる<sup>11)</sup>。

このほか、ダイヤ乱れが発生した場合、図4に示すように、一般的に運転時隔上のボトルネックとなる駅の手前で、信号で許容される地点まで、いわゆる追い込んで走行するよりも、場内進路が開通するタイミングを予測した上で、機外停止を回避するように速度を適切に抑制して走行する方が運転時隔を短くでき、結果としてダイヤ乱れの回復が早くなることが理論的には分っている<sup>12)</sup>。このような制御を行うためには、地上一車間で伝送する情報内容や、場合によっては伝送容量などを見直す必要があるが、基本となる列車情報の把握、列車に対する制御情報の付与が連続的にできる無線式列車制御システムの基盤がなければ、実現が困難と言える。

以上のような、その時点での状況に即した柔軟な列車運行を行うためには、無線式列車制御システムのようなシステムだけがあれば良い訳ではなく、高度な運行管理機能も必要である。そのためには運行管理と信号（列車制御）との緊密な連携が不可欠である。一方、現在は列車群の運行状況の把握、列車ダイヤに従った進路設定要求は運行管理システムが行い、この要求を受けての安全のチェックと信号機や転てつ機の制御による進路の確保は信号システムが行う、と設備も機能も明確に分かれている。このような構成は、多くを人手に頼っていた列車運行の自動化、安全・安定輸送の実現に大きな役割を果たしてきた。しかし、相互にやり取りする情報や、機能的な連携が限定的であるという課題があり、先に述べたような柔軟な列車運行を行うことは困難である。

そこで、無線式列車制御システムで実現した機能を基盤として、運行管理と信号の機能を密接に連携させる

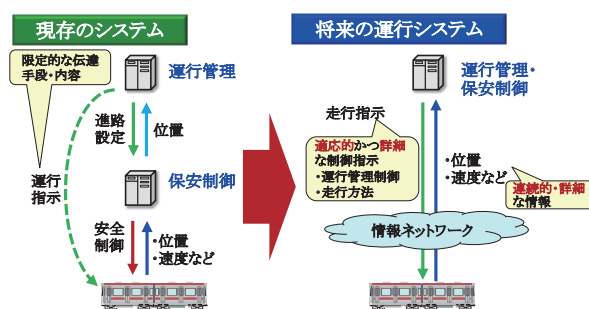
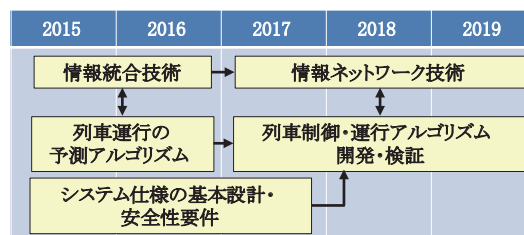


図5 新しい運行システムのイメージ



※列車制御・運行論理に関する部分を抜粋

図6 研究開発の工程

ことによって、状況に応じた柔軟な列車運行の実現を目指すシステムの研究開発に着手した(図5)。図6には、研究開発を進める上での課題と実施の計画を示す。

#### 4. センシング技術・データ分析技術の利用

センシングデータを活用した状態監視保全に関して、電気転てつ機を対象とした支援システムを開発した。

転てつ機に転換不能などの不具合が発生すると、列車運行に大きな影響を及ぼすことがある。これに対して、転換動作に関する不具合を事前に把握し、未然に対策を講じることが有効である。しかし、転換動作の特性は転てつ機ごとに異なっており、一律な基準による判定は困難である。転換負荷力のデータを分析したところ、トンダグレールストロークに対する負荷力が平均値を中心に正規分布に近い形で分布することが分った。そこで、これを利用して、通常時の負荷力データを転てつ機ごとに蓄積、統計処理して、しきい値を設定し、動作時の計測値が、これを超えた場合に警報を発するシステムを開発した(図7)。試作システムによる約1年間の検証の結果、転換動作の異変を検出できることを確認している。電気転てつ機については、このほかにロックモータの計測値と数理モデル、および気象データを使用して短期のロック位置変動を予測し、事前の調整を支援するシステムを開発している<sup>13)</sup>。

また、基礎的な取り組みとして、データ間の関係性の変化から変状の予兆検出法の研究にも取り組んでいる<sup>14)</sup>。

特集：信号通信技術

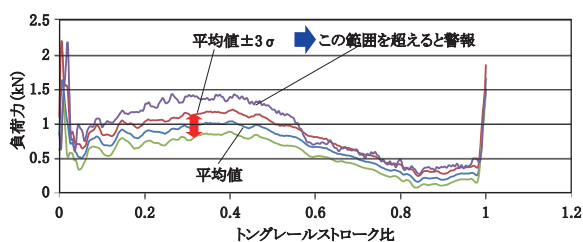


図7 電気転てつ機の転嫁負荷力の監視

5. 情報ネットワーク基盤

3章で述べたような新しい列車運行を実現するためには、関連する様々な情報を効率良くリアルタイムに共有することが必要である。将来的には、列車運行だけでなく車両や沿線の設備、災害などモニタリング情報なども統合的に扱える、図8にイメージを示すような基盤の構築を目指している。これによって、先に検討を行った「知能列車」<sup>15)</sup>や、今年度から別途、将来指向課題として取り組んでいる列車の走行制御による省エネルギー<sup>16)</sup>などの実現にも寄与すると考えている。

このようなネットワーク基盤では、収集する情報は異なる時間単位や細かさを持つため、効率良く収集、配信する仕組みが必要である。また、ネットワークを効率的に構成するためには、IoT (Internet of Things) 技術の活用も視野に入れる必要があると考えている。また、高度な列車運行のためには、ここで述べたネットワーク基盤のほか、地上ー車上間の情報伝送に対して、さらなる高速・大容量化も必要になると想定される。これに関しては新たな周波数帯の活用なども視野に入れる必要があると考えている。これについては、本号の「ミリ波技術の鉄道応用に関する動向」を参照されたい。

6. おわりに

本稿では、信号通信分野でのICT活用の視点から、将来に向けた研究開発の動向と展望を述べた。様々な情報を得る環境が整いつつある現在、それらを如何に有効に活用し、鉄道の発展に寄与するかが重要なポイントと考える。難易度の高い課題ではあるが、鉄道の発展に資することができるよう、取り組んでいく所存である。

文献

- 1) (社)日本鉄道電気技術協会：信号システムの進歩と発展，pp.32-44，2009
- 2) 中村英夫：CARATに関連する研究成果を概観する，鉄道総研報告，Vol.7，No.5，pp.10-16，1993
- 3) 佐藤盛三：無線を用いた移動閉そく式信号システム

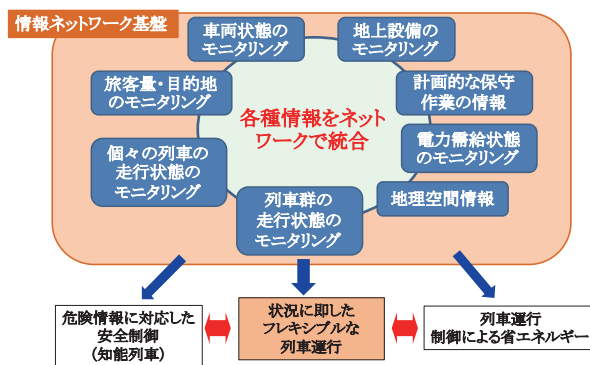


図8 情報ネットワーク基盤

ATACSの仙石線導入，JREA，Vol.55，No.1，pp.33-36，2012

- 4) 平尾裕司，長谷川豊，稲毛弘苗，平栗滋人：列車制御シミュレータUTRASの開発と信号方式の評価，鉄道総研報告，Vol.9，No.1，pp.55-60，1995
- 5) 佐々木達也，北野隆康：地点検知と連動機能を車上搭載した列車制御システム，鉄道総研報告，Vol.28，No.4，pp.17-22，2014
- 6) 野末道子，羽田明生，岩澤永照：無線センサネットワーク技術を活用した橋梁の状態監視システムの開発と運用，鉄道と電気技術，Vol.26，No.10，pp.10-14，2015
- 7) 國松武俊，平井力，富井規雄：列車運行・旅客行動シミュレーションシステムの開発，鉄道総研報告，Vo.21，No.4，pp.5-10，2007
- 8) 川崎邦弘，関清隆：鉄道向け無線データ回線シミュレータの開発，鉄道総研報告，Vol.28，No.4，pp.23-28，2014
- 9) 菅原宏之，北野隆康，川崎邦弘：無線式列車制御用通信ネットワークの性能評価システム，鉄道総研報告，Vol.28，No.11，pp.31-36，2014
- 10) 日本主導で「技術報告書」IECの「RAMS規格」，交通新聞，2015.2.20
- 11) 中村英夫，西堀典幸，武子淳：線路配線表現式連動表の提案と次世代連動論理の実現，鉄道総研報告，Vol.7，No.6，pp.17-24，1993
- 12) 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
- 13) 岩澤永照，流王智子，川崎邦弘，羽田明生：電気転てつ機のロック位置調整作業支援システムの開発，鉄道総研報告，Vol.28，No.11，pp.43-48，2014
- 14) 川村智輝，羽田明生，岩澤永照，川崎邦弘：鉄道構造物の状態監視データ間の関係性を用いた状態変化の予測手法，鉄道総研報告，Vol.29，No.6，2015
- 15) 佐々木君章：知能列車による安全性・信頼性向上，RRR，Vol.72，No.7，pp.8-11，2015
- 16) 兎末哲夫：電力制御のリアルタイム化によるエネルギーネットワーク，第28回鉄道総研講演会要旨集，pp.31-37，2015