

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 Signalling and Telecommunications Technologies

Shigeto HIRAGURI

This paper outlines the recent research and development of train control systems, solutions for a problem of existing signaling equipment and the applications of radio communication technology to railways. It describes what we call “intelligent train” and a train control system for secondary lines which does not require an interlocking device at stations. It also describes solutions about a point machine in secondary lines, lightning-induced voltage in cables and a visibility test of the obstruction warning signal. Finally, it describes the applications of millimeter wave technology which enables high speed and large capacity communications.

キーワード：列車制御，転てつ機，雷害対策，踏切，無線通信，ミリ波

1. はじめに

鉄道における信号通信技術は、安全で安定した輸送サービスを提供する上で、重要な役割を担っている。近年は、進展が著しいコンピュータや情報通信技術を利用した新しいシステムの導入も進んでいる。例えば、国内の列車制御システムについては、デジタル方式のATCや多機能・高機能化されたATSの導入が進んでいる。このほか、2011年には、無線式列車制御システムが実用化されている。

鉄道総研では、無線式列車制御システムの開発を通じて得た知見や考え方を基盤として、さらなる安全性の向上や、鉄道の効率的な運営に資する新しい制御手法の研究開発を推進している。また、既存の信号設備の課題解決にも取り組んでいる。さらに、通信技術については、列車制御への利用に留まらず、設備のモニタリングや利用者へのサービスにおいて、より重要性が高まるものが想定され、将来に向けた取り組みを始めている。

本稿では、信号通信分野における、最近の研究開発の取り組みについて述べる。

2. 列車の制御手法

2.1 知能列車

近年、開発された列車制御システムは、デジタル方式のATCや無線式列車制御システムなどのように、停止すべき位置情報を列車に与え、線路条件や車両のブレーキ性能などを加味した、安全な速度パターンに従って制

御することが、国内外を問わず大きな潮流となっている。

これらは、従来からの信号保安の範疇での制御であるが、列車走行の安全に影響する要素としては、このほかに列車前方の障害物、沿線での災害、車両の状態なども想定される。そこで、これらに関するセンシング情報を列車に与え、これに基づいて列車が安全な走行方法を判断する知能列車と称するシステム¹⁾の開発を進めている。

知能列車の機能構成は図1に示すとおりである。各種のセンシング情報を集約、処理する部分の子知能と位置付け、子知能から得られた情報から安全な走行方法を最終的に判断する部分を親知能と位置付けている。

子知能には、様々なものが想定されるが、現在は画像による前方監視、台車の健全性監視などについて開発を進めている。それぞれの子知能が扱う情報内容は大きく異なるため、親知能に対しては事象の種別と推奨される対応方法（即時に停止すべき、停止する必要はないが徐行の必要ありなど）を共通の形式で提供する。親知能はこれらの情報を統合し、その時点での在線位置と状況に基づいて、安全な走行方法を判断する。

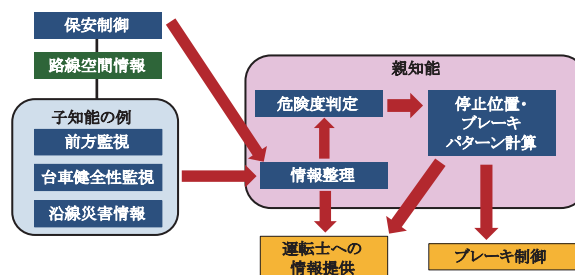


図1 知能列車の機能構成

* 信号・情報技術研究部 部長

特集：信号通信技術

2.2 閑散線区向けの列車制御システム

無線を利用する列車制御システムでは、軌道回路や付帯するケーブルなど地上設備を削減でき、設備保全の効率化が期待される。このような特徴を利用した閑散線区向けの列車制御システムとして、拠点無線式列車制御システム²⁾を開発し、これをベースとしたシステムの導入準備が進んでいる³⁾。

さらに、現在は閉そくや連動機能の実現方法を根本的に見直し、駅の連動装置を不要とする新しいシステムの開発を進めている^{4) 5)}。

このシステムは、図2に示すように車上で地点検知に基づいて、車上と中央に設置した閉そく管理装置との間の情報伝送を利用して、車上が主体となって進路制御を行うものである。これによって、駅の連動装置が不要となり、地上設備のさらなる削減が可能となる。

また、地点検知用デバイスとして汎用のRFIDタグの使用を検討している。RFIDの使用に際しては、車上でIDの読み取り順序をチェックするほか、1閉そく区間内のIDを全て受信したことを閉そく解除の条件とすることなどによって、安全性を確保している。一方、汎用のRFIDタグは列車のように高速で移動する物体との間での送受信を行う場合、伝送誤りの発生率が大きくなるなどの課題がある。そこで、伝送プロトコルを改良して読み取り時間の短縮を図ったほか、伝送する情報量を見直して、1伝送フレーム内で複数回の情報受信を行い、冗長符号による検定回数を増やすことなどの改良を行い、鉄道環境での適用に向けた検討、検証を進めている⁶⁾。

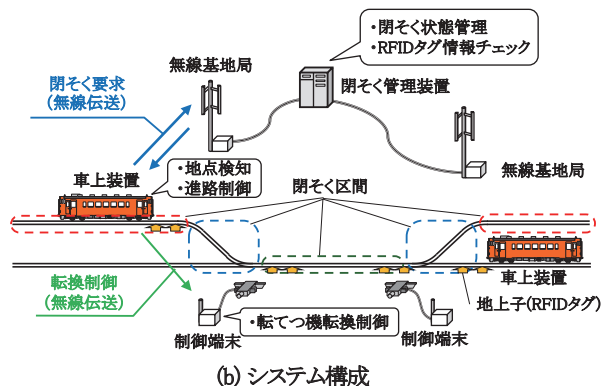
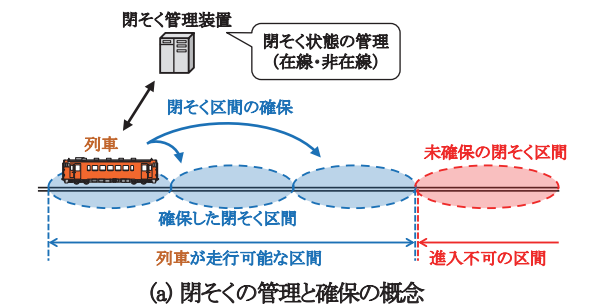


図2 車上主体型の進路制御による列車制御システム

なお、本研究開発は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

3. 信号設備に関する課題解決

3.1 閑散線区用の転てつ機

閑散線区ではバネの力を利用することで、電源などの外部動力源が不要な発条転てつ機が使用されている場合が多い。ところが、近年、軽量レールの製造が行われなくなり、発条転てつ機を使用する分岐器に50Nレールが使用される場合が見られる。50Nレールの使用には、仕様上の問題はないが、軽量レールに比較して転換負荷が大きく、余裕が少なくなるため、床板の油切れ時などに復帰不能が発生しやすくなることが懸念される。一方、転換力を増加させることは、車両の割り出し通過時に輪軸に加わる抵抗力が増え、特に軽量車両に対しては走行安全に対する影響が生じる可能性がある。

これらの課題に対応するとともに、電気転てつ機よりも低コストで設置できることを目的とした、閑散線区向けの転てつ機の開発を進めている⁵⁾。図3に示すように、発条転てつ機と同様に連動装置から直接転換制御を行わない方式としたが、十分な転換力を確保するためには何らかの動力が必要となる。そこで、列車の接近をトリガとして転てつ機を転換させる踏込み転換方式を採用することとした。この際、1秒程度の高速な転換が必要になるため、これに対応できる動力として空気圧を利用する方式を考案し、これを実現するための転換機構を開発した。また、列車が分岐器背向側から進入する時に、万一、転換制御が行われなかった場合にも安全に列車を走行させるように、列車による割り出し発生時には、トングレールの鎖錠を解錠する機構も合わせて開発している。

今後は、実用化を目指した改良を行い、検証試験を行う予定である。

なお、本研究開発は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

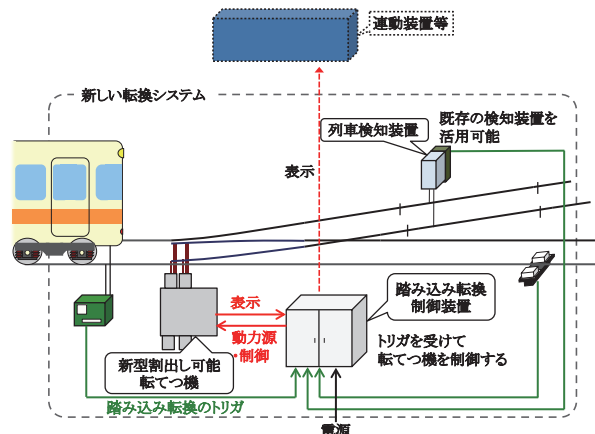


図3 閑散線区向けの割り出し可能転てつ機

3.2 信号設備の雷害対策

近年、マイクロコンピュータの導入など、信号設備の電子化が進んでいるが、落雷時などに発生する過電圧・過電流に対するぜい弱性が課題となっている。これに対する適切な対策を効率良く実施するためには、対策によって見込まれる効果をあらかじめ評価することが必要である。

落雷時の雷過電圧の発生状況を把握するため、信号ケーブル、架空仮設の電源線、レールに発生する雷過電圧の長期にわたる観測を行った。この結果に基づいて、雷電流値 I と落雷位置 r までの距離との比 (I/r) に対して、発生する雷過電圧を推定する式を導出した。さらに、 I と r について統計的な考え方を適用して、信号設備の耐雷性能を上回る雷過電圧の発生確率を算出する手法を開発した。これにより、雷害発生頻度を目標とする値に低減するために必要な、信号設備の耐雷性能を明らかにすることができる。

また、これまで、定量的な把握が行われていなかった信号機器室内のケーブル敷設状況などを考慮した現象について、FDTD法(有限差分時間領域法)を用いて、シミュレーションを実施し、信号ケーブル間の誘導性サージ低減のために必要な離隔や、接地方式による耐雷性能の違いを定量的に把握、評価できる手法を開発した⁷⁾。

3.3 特殊信号発光機の視認性確認

踏切道内の障害物の検知時や、支障報知装置の扱い時などに、異常の発生を列車に伝達するために動作する特殊信号発光機(以下、特発)は、常時は点灯していない。そのため、その視認性確認は地上から作業員の目視によって行われている。この確認作業は、夜間に実施することが多く、作業の効率や結果の客観性に課題がある。

これに対して、図4に示すように、特発に不可視光線を発する近赤外線LEDを組込み、これを列車に搭載したカメラで撮影、認識する手法の開発を進めている⁸⁾。

視認性確認を行う場合、特発の800m手前から近赤外線LEDの発光を認識する必要がある。このため、LEDを特定のパターンで点滅させることによって、周辺光の

影響を受けることなく、認識する手法を開発した。また、LEDの点滅パターンを踏切ごとに設定することで、列車から複数の特発が見えるような場合にも、これらを区別した確認ができる。さらに、列車上から撮影することによって、これまでは困難であった連続的な確認もできるようになる。

開発した手法については、現車試験によって基本的な性能を確認しており、現在は実用化に向けた開発を進めている。

4. 通信技術の鉄道への適用

4.1 無線伝送品質の評価

鉄道においては列車との間の情報伝送手段として、従来から列車無線などが利用されてきた。また、無線式列車制御システムの実用化により、今後、無線通信に対する期待と重要性はますます高まると想定される。

無線伝送を利用する際、必要な伝送品質を得るためには、基地局の配置など回線設計を適切に行うことが重要である。ところが、地形や列車速度などに左右される電波の伝播損失を適切に見積もることは困難である。一方、現地試験による計測は有効な手段ではあるが、設定できる条件に制約があるほか、多大なコストを要する。そこで、各種条件を設定して、効率的な無線回線設計を支援する「RADTRACE」と称するシミュレータを開発した⁹⁾。

また、これをベースとして、地上のネットワークも含めて、無線式列車制御システムの通信性能を評価するシミュレーションシステムを開発している¹⁰⁾。

4.2 ミリ波通信の利用

4.2.1 概要

ミリ波は高速・大容量通信を行える周波数帯として、これまでも鉄道への適用が検討されてきた。ところが、直進性が強く、見通し内通信が基本になること、波長が短く、空気中の分子に電波が吸収され、減衰が大きくなるという特性や、設置コストが高いことなどによって、普及するには至っていない。しかし、近年、費用対効果に優れたデバイスの開発が進んだほか、地上側設備に無線信号を光ファイバで伝送するRoF(Radio on Fiber)や、高速・高性能のO/E変換技術を使用する「ミリ波・フォトリソ技術」の開発によって、これらの課題を解決できる可能性が高まってきており、例えば図5に示すようなシステム構成として、広いエリアを極力少ないミリ波デバイスでカバーすることが期待される。

現在、総務省の電波利用料制度による研究課題の一部として、40GHz帯を用いた対列車通信システム、90GHz帯を用いた線路内監視システムの開発に取り組んでいる。以下にその概要を紹介する。

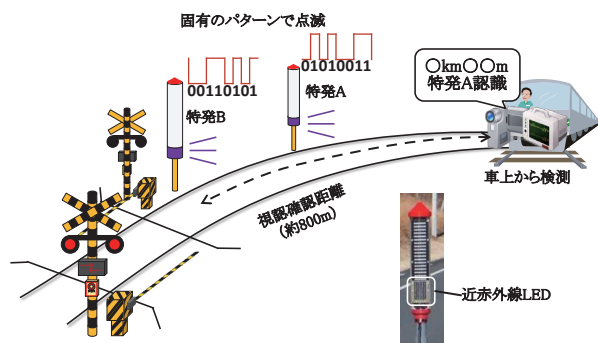


図4 特殊信号発光機の視認性確認手法

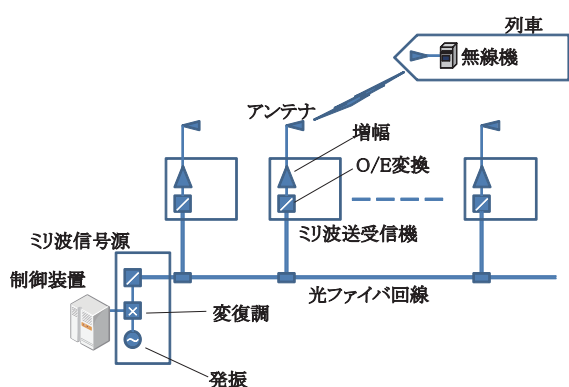


図5 ミリ波フォトニクス技術の利用例

4.2.2 40GHz帯の利用

これまでに簡略化したモデルによるシミュレーションを経て、通信性能を確認する試験を実施した¹¹⁾。この試験では、新幹線のトンネル区間で、軌陸車に移動局を搭載して15km/hで走行させたほか、自動車を100km/hで走行させた試験を実施した。この結果、高い場所率で100Mbps程度の通信ができることを確認している。

現在、鉄道線路内における電波伝播特性とデータ伝送品質のシミュレーションによる予測評価手法と回線設計支援技術の開発、鉄道環境に適した地上用・車上用のアンテナの仕様検討、保安通信設備として利用できる信頼性を確保するための手法の検討に取り組んでいる。

4.2.3 90GHz帯の利用

90GHz帯は、他のミリ波帯に比べて大気中の減衰が小さく、優れた伝播特性と広い帯域利用特性を有しているため、広い範囲をセンシングが可能な上、沿線のセンサ間や地上-列車間の情報伝送への適用も可能である。

現在、総務省における電波資源拡大のための研究開発として委託を受け、ミリ波レーダを使用した線路内監視システムの開発に取り組んでいる。鉄道総研構内において試作装置による基礎的な試験を実施し、線路周辺の電化柱や建物などを検出できることを確認している。

将来は、ミリ波レーダと4.2.1で述べたRoF技術の活用により、図6に示すように、検知エリアが線状に広がっている鉄道の条件に適したシステムの構築が期待される。

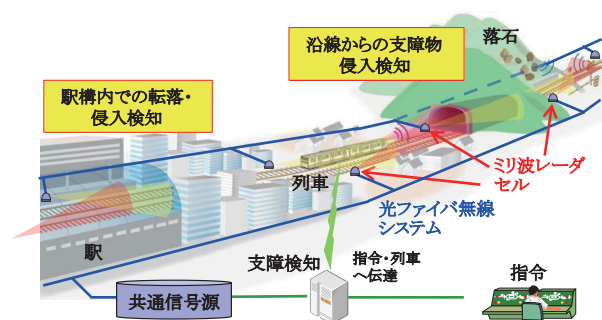


図6 ミリ波レーダを利用した線路内監視システム

5. おわりに

信号通信分野に関して、新しい列車制御の手法、信号設備の課題解決、ミリ波を中心とする通信技術の利用に関する最近の研究開発事例を紹介した。

引き続き、信号通信技術の最大の使命である高安全、高信頼な列車運行を支えるための技術開発に取り組んでいく予定である。

また、情報技術を積極的に活用することで、これまでの信号保安で培ってきた技術をベースとして、輸送管理も含めた、高度に柔軟で利便性の高い輸送サービスの提供に資する研究開発にも取り組んでいきたい。

文献

- 1) 土屋隆司：信号通信・運輸関係の研究開発，鉄道総研報告，Vol.27, No.9, pp.1-4, 2013
- 2) 平栗滋人，福田光芳，藤田浩由，小野雄人：閑散線区に適した拠点無線式列車制御システム，鉄道総研報告，Vol.25, No.5, pp.5-10, 2011
- 3) 太田正毅，鈴木新太郎，松原啓，福田光芳，吉成慶介，近久智哉：境線電子閉そく装置更新に関する考察，第50回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集，論文番号609, 2013
- 4) 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
- 5) 新井英樹，潮見俊輔，北野隆康：閑散線区向け信号システムの技術開発，鉄道と電気技術，Vol.25, No.7, pp.10-15, 2014
- 6) 杉山陽一，佐々木達也，福田光芳，北野隆康：RF-IDタグ読取りによる列車位置検知方式の信頼性に関する考察，第22回春季信頼性シンポジウム，pp.29-32, 2014
- 7) 小野雄人，竹内恵一，新井英樹，杉本経嗣，山口大介：信号通信ケーブルに発生する雷過電圧解析，鉄道総研報告，Vol.27, No.9, pp.5-10, 2013
- 8) 長峯望，鵜飼正人，杉本経嗣，阿部秀男，片桐崇史：特殊信号発光機の視認性確認手法の開発，鉄道と電気技術，Vol.25, No.3, pp.29-33, 2014
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 塚本薫，加藤泰典，梅田周作，河原伸行，長山博幸，川崎邦弘，中村一城，辻宏之，岡崎彰浩，石津文雄：40GHz帯を用いた移動体通信システムのフィールド試験，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.113, No.246, RCS2013-149, pp.43-48, 2013