

# 最近の信号通信分野の研究開発

渡辺 郁夫\*

## Recent Research and Development of Railway Signalling and Telecommunications Technologies

Ikuo WATANABE

This paper outlines new train control systems based on information technologies. It also describes studies on mechanical analysis model for switch-and-lock system, a track circuit coded method for improvement of immunity, automatic generation of an interlocking table, and lightning protection measures for signalling. In addition, it introduces the outline of a risk analysis of signalling systems, EMC, some applications of new telecommunication technologies, image processings, GPS, and formal methods to railway systems.

キーワード：列車制御システム，低周波軌道回路，連動図表，雷害対策，リスク評価，EMC，画像処理，フォーマルメソッド

### 1. はじめに

信号通信技術は、安全で便利な鉄道を構築していく上で重要な技術分野の一つである。信号通信技術研究部では、新しい列車制御システムの開発や構成法の研究開発、個々の信号機器の改良・問題解決のための研究開発、移動体通信・通信ネットワークなどの新しい通信技術の鉄道への適用研究、安全性評価やEMC評価などの評価技術の研究、画像処理の鉄道への応用などに関する研究開発などを実施している(図1)。ここでは、信号通信に関する最近の研究開発の取り組みについて紹介する。

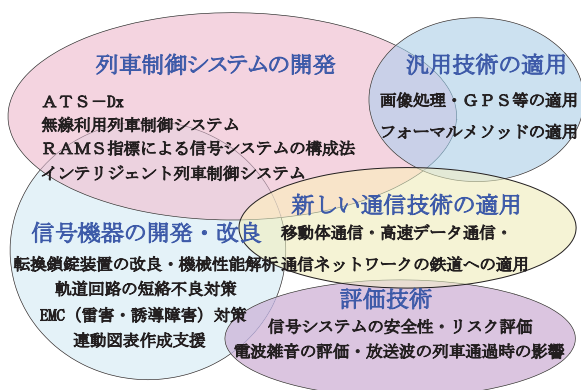


図1 信号通信分野の研究開発

### 2. 列車制御システムの開発

#### 2.1 ATS-Dx<sup>1)</sup>

現在のATS-S改良形と機能互換性を有し、連続的な速度照査機能を実現するATS-Dxを開発した(図2)。ATS-Dxは、車上に走行区間のデータベースを持つことで箇

所ごとに地上子を設置することなく速度制限に対応可能なこと、ATS-S改良形の車上子や地上ケーブルが利用可能なことなどの特長を持つ。安全性に関する評価、現車試験による機能検証を実施し、複数の鉄道事業者で実用化の準備を進めている。

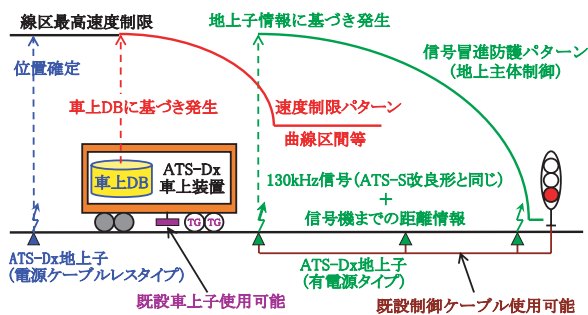


図2 ATS-Dxのシステム概要

#### 2.2 無線利用の閑散線区向け列車制御システム<sup>2)</sup>

JRの閑散線区には国鉄末期に導入された電子閉そくが使用されているが、設備の老朽化、取替用機器の入手が困難になってきているなどの課題がある。そこで、地上設備の削減が可能なCARATなどの無線による列車制御システムをベースとして、閑散線区に適したシステムを検討している。CARATとの相違は、位置検知にGPSやICタグを使用する点、地上-車上間の情報伝送を駅構内などの必要な箇所でのみ行う点である。その一方で、既存の電子閉そくからの移行性の確保を重視するニーズも存在するため、既存設備を極力活用した上で、無線を使用したシステムの開発にも取り組んでいる。システムの概要を図3に示す。駅構内での列車検知は軌道回路を使用するほか、列車制御は地上信号機およびATSの機能によって行う。このシステムは、段階的な機能向上を図る

\* 信号通信技術研究部 部長

特集：信号通信技術

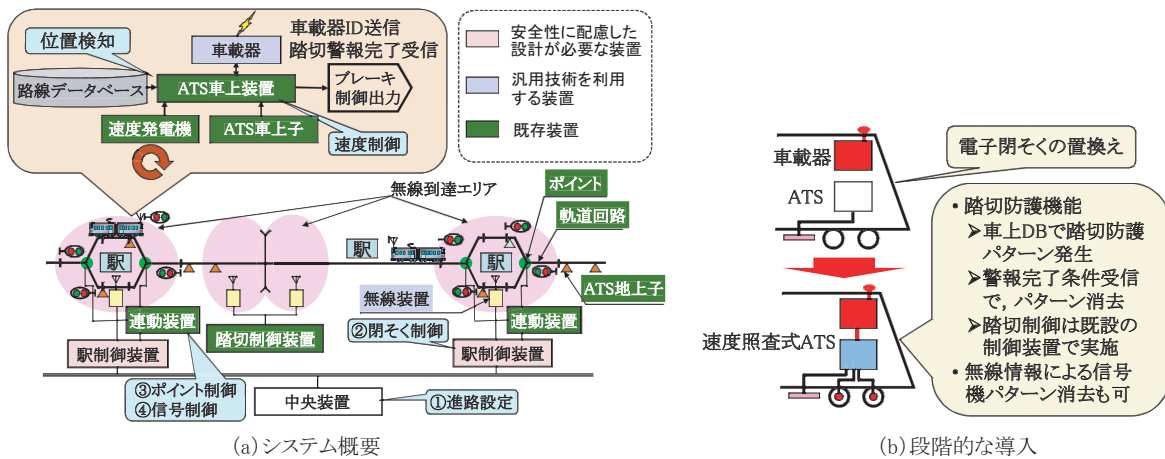


図3 既存設備を活用した閑散線区向け無線利用列車制御システム

ことが可能である。必要に応じてATS-Dxなどの速度照査機能を持つATSを付加し、車載器とのインタフェースをとることで、地上からの無線情報によるATS防護パターンの消去、踏切防護パターンの消去などの機能を順次追加できる。なお、このシステムでは、踏切の警報制御自体は現在と同じ方式を使用し、地上から無線により送信された踏切警報完了条件によって、ATSの機能で発生させた防護パターンを消去する仕組みとなっている。

2.3 RAMS指標による信号システムの構成法の研究<sup>3)4)</sup>

信号システムのアベイラビリティ評価法や、RAMSの考え方を基本とするコスト指標によって信号システムの各種構成案について検討する手法を検討している。また、構成案の一つとして駅に連動装置を設けず、列車を含む現場機器に機能を分散する構成とすることでアベイラビリティの向上が期待される新しい信号システムを検討している。列車からの進路制御、列車固有のID情報管理に基づく転てつ機の転換・鎖錠制御、現場機器に対応して配置された無線装置間の通信、インテリジェント化により列車検知性能を向上した軌道回路（駅構内）などをベースとし、システムの機器構成、各機器間で伝送する情報、制御手順などを検討している（図4）。

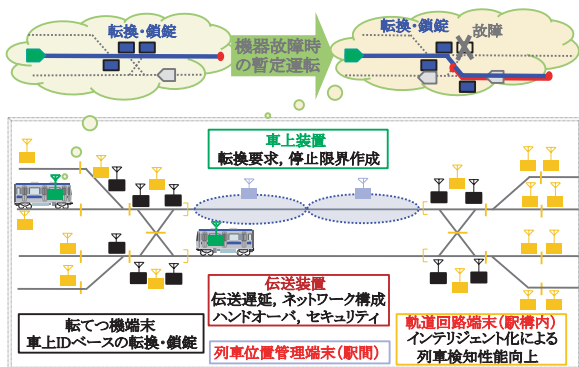


図4 提案する分散形信号システムの概要

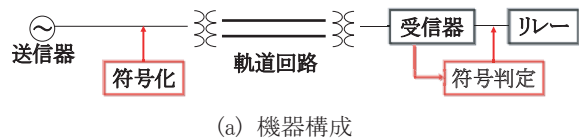
3. 信号機器の課題解決

3.1 転換鎖錠装置の転換特性の解析モデル<sup>5)</sup>

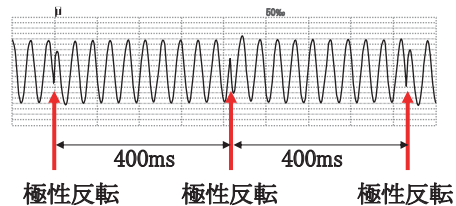
転換鎖錠装置の機械的性能の解析・評価手法を確立することを旨とし、転換鎖錠装置の転換、特に転てつ用品の各要素における負荷力の伝達をモデル化し、分岐器の転換鎖錠装置の転換力の動特性を再現するシミュレーション解析モデルを検討している。このシミュレーションを利用することで、新しい電気転てつ機の開発時の実機による測定試験の頻度を抑制でき、開発の大幅な効率化が期待できる。今後、シミュレーション精度の向上を図っていく予定である。

3.2 低周波軌道回路の耐ノイズ性向上<sup>6)</sup>

一部の低周波軌道回路において、車両からの妨害電流に対する許容値が小さいことが新製車両開発の障害になっている。そこで低周波軌道回路において、車両からのノイズによる危険側誤動作を防止するための列車検知方式を検討し、耐ノイズ性能を向上させることで許容値を緩和する方策を検討している。図5に示すように軌道回路送信出力の極性を符号に従って切り替えることで信号電流に対して2値の位相変調行って軌道回路信号を符



(a) 機器構成



(b) 符号化した信号波形

図5 長大軌道回路信号の符号化

号化し、符号検定により軌道回路の危険側誤動作を防止する手法を提案している。

### 3.3 連動図表作成支援システム<sup>7)</sup>

連動装置の設計・検査を支援するため、駅の配線略図から連動表や連動検査表を自動作成する連動図表作成支援システムを開発している(図6)。単に連動表の作成に留まらず、作成した連動図表データに対して具体的解説を行う解説機能、同様な条件の事例を検索表示する機能を付加し、連動装置の“教育支援”としても活用できるシステムとなっている。

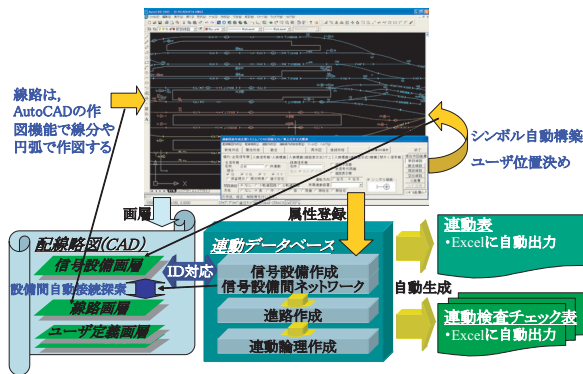


図6 連動図表作成支援システム

### 3.4 雷害対策<sup>8)</sup>

電子機器が信号設備に導入されるに伴い、雷害による障害も多く発生している。これまでに、レールあるいはレール近傍大地に雷サージ電流を印加する大規模な現地試験を行い、現状踏切設備の耐雷性能を定量的に明らかにした。また、多雷地区で実雷撃時の踏切設備に発生する雷過電圧を測定し、雷過電圧発生頻度の定量的把握が可能になった。現在は雷サージ解析モデルを構築し、様々な耐雷対策を事前に定量的に評価する手法を検討している(図7)。総合的な雷害対策に利用していく予定である。

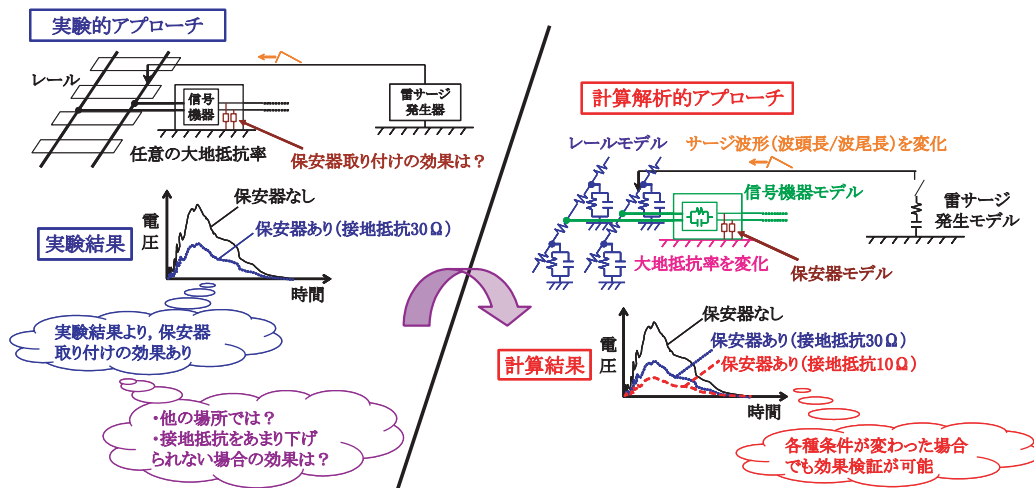


図7 信号設備の雷対策の定量化

## 4. 評価技術

### 4.1 信号システムのリスク評価・安全性評価<sup>9)</sup>

鉄道の安全性向上のためにリスク評価も重要であり、この課題に取り組んでいる。信号装置のハザード(危険源)を洗い出し、その発生確率および発生した時の被害を定量的に予測し、それらからリスクを定量的に算出する(図8)。リスクの評価は、各種安全対策の順位付けを行ううえでも重要である。また、リスク低減のための安全性技術適用効果の定量化手法を深度化して適用範囲を広げていきたいと考えている。

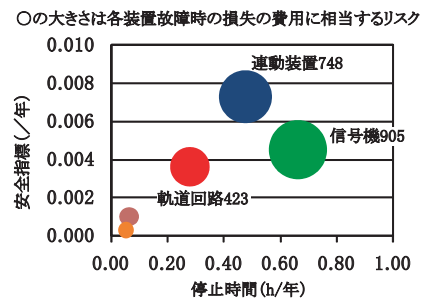


図8 信号設備のリスク評価

### 4.2 EMC, 誘導障害<sup>10)</sup>

鉄道沿線の電磁環境の把握やEMC(電磁両立性)も重要な課題である。これまで電磁環境を把握するには測定による手段しかなく、多大な労力を必要としていた。そこで、走行列車を電波雑音の発生源、車体・架線・レール・変電所をアンテナとして捉えた計算モデルを考案し、実測で得られる強度変化を再現できるシミュレーションを開発している。今後、モデルの検討をさらに深度化してシミュレーション精度の向上を図り、種々の放射防止対策効果やEMC規格への適合性などの事前確認に適用できるツールへと発展させたいと考える。

また、2003年よりテレビの地上デジタル放送が開始さ

特集：信号通信技術

れ、鉄道沿線における受信品質の向上が期待されている。実際の鉄道の影響、特に列車通過による影響の範囲を把握するために、線路沿線での列車通過時の地上デジタル放送の受信品質を簡易に評価できるツールの作成を行っている。

5. 汎用技術の適用

5.1 汎用通信技術の鉄道への適用<sup>11)</sup>

無線LANなどの汎用通信技術の鉄道への適用検討を行っている。無線LANについては、沿線現場に臨時カメラを設置してその情報を最寄りの駅や通信回線を利用できる場所まで臨時に通信回線を構成する手法や、2つの無線LAN方式（IEEE802.11g及びIEEE802.11a）を併用して、伝送誤りに伴う再送による伝送遅延時間の増大や、ハンドオーバーのための一時的な切断時の伝送障害を、相互に補完し合うことによりフレームロス率及び伝送遅延時間を低下させる手法などを検討している。

5.2 画像処理の鉄道への応用<sup>12)</sup>

列車の運転台のカメラ画像から臨時信号機や特殊信号発光機などを自動的に検知・認識する手法の開発を実施している（図9）。形状ベースパターンマッチング手法により徐行予告信号機及び速度標識を画像認識するプログラム、特殊信号発光機の視認距離を確認するための仕組みなどに関して研究を進めている。



図9 徐行予告信号機および速度標識の画像認識

5.3 GPSの鉄道への適用

GPSの列車制御における位置検知への適用について検討している。GPSは測位誤差が問題となる。運輸多目的衛星用航法補強システム（MSAS：MTSAT Satellite-based Augmentation System）が運用開始され、このMSASを併用することで列車位置検知の誤差範囲を特定し、列車制御の位置検知に利用する検討を行っている。航空機向けの保護レベル（最大誤差範囲）が遮蔽等の多い鉄道環境でも最大測位誤差以上の値を示すことなどの結果が得られている。

5.4 フォーマルメソッドの適用<sup>13)</sup>

ソフトウェアの高信頼化のために、フォーマルメソッドを鉄道信号のソフトウェアに適用する検討を行っている。対象装置をVDMでモデル化し、Bメソッドを使用して証明しつつコード化することで、仕様に矛盾がなく、仕様に記述した性質が満たされることを証明機能により証明しつつ、ソースコードを作成することができる。安全が要求されるソフトウェア作成のツールとして有効利用されることが期待される。

6. おわりに

信号通信の技術分野における最近の主な研究開発の取り組みについて紹介した。安全で便利な鉄道を構築していく上で信号通信技術は極めて重要な分野の一つであり、今後も諸課題に対して全力を挙げて取り組む所存である。関係各位のご理解とご協力をお願いする。

文献

- 1) 新井, 佐藤: 車上速度照査式ATS-Xの基本システム開発, 鉄道総研報告, Vol.20, No.10, pp.5-10, 2006
- 2) 山本ほか: 汎用無線技術による低コストな無線式列車制御システム, 平成20年電気学会全国大会講演論文集 [5], 5-S22 (13-14), 2008
- 3) 岩田, 平栗, 渡辺: アベイラビリティを観点とした鉄道信号設備評価法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.1, pp.5-10, 2009
- 4) 平栗: RAMS指標に基づいた鉄道信号システム構成法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.1, pp.11-16, 2009
- 5) S.Shiomi, Y.Igarashi: Development on analysis model for Shinkansen switch-and-lock system, 8th WCRR Abstract, pp.470-471, 2008.5.
- 6) 福田, 寺田, 北野: 軌道回路に適用する巡回符号の検定方法の検討, 電気学会交通・電気鉄道研究会TER-09-46, pp.5-10, 2009
- 7) 関根: 不確定要素の事前設定による連動図表の効率的自動生成, 鉄道総研報告, Vol.23, No.1, pp.17-22, 2009
- 8) 新井, 土師, 藤田: 落雷時の大地/レール電位上昇による信号設備への影響と対策, 鉄道総研報告, Vol.23, No.1, pp.23-28, 2009
- 9) 岩田, 渡辺: リスク評価による鉄道信号装置の改善手法の検討, 第39回信頼性・保全性シンポジウム発表報文集, pp.395-400, 2009.7
- 10) 川崎: 電気鉄道による電波雑音強度変動の推定手法の基礎検討, 鉄道総研報告, Vol.23, No.1, pp.45-50, 2009
- 11) 関: 鉄道沿線での簡易な無線通信システム構築手法の実験的評価, 鉄道総研報告, Vol.21, No.11, pp.23-28, 2009
- 12) 長峯, 鶴飼: 列車前方映像を用いた徐行予告信号機の認識手法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.1, pp.33-38, 2009
- 13) 寺田: Bメソッドによる単線自動閉そく装置の検証, 信学技報, DC2009-61, pp.31-36, 2009