

# 信号通信の研究開発に関する課題と取り組み

渡辺 郁夫\*

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

Ikuo WATANABE

This paper outlines an advanced ATP system compatible with existing systems, a train control system for local lines based on communication, and a constructing method for railway signalling systems based on RAMS evaluation. It also describes an improvement in switch and lock system, application of formal methods to signalling software, a study of lightning protection measures for signalling devices and a shunting problem of track circuits. In addition, it introduces an application of a new telecommunication technology, a safety analysis for signalling systems, EMC and some applications of image processing for railway.

キーワード：研究開発，鉄道信号，鉄道通信

### 1. はじめに

信号通信技術研究部では、無線利用の列車制御システムやATC、閑散線区に適用する列車制御システム等の新しい列車制御システムの開発、軌道回路、ATS、転てつ機、踏切関連機器等の信号機器の開発・改良、軌道回路の短絡不良対策や機器の雷害対策、移動体通信、高速データ通信、通信ネットワークなどの通信技術の鉄道への適用、信号システムの安全性評価、電波雑音や誘導障害などのEMC評価、画像処理の鉄道への応用などに関する研究開発を実施している。このような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述べる。

### 2. 列車制御システムの開発・構成法

#### 2.1 ATS-Xの開発

JR各社で使用されているATS-Sx（ATS-S形の改良型）では、乗務員による確認扱い後は自動列車停止機能が解除され、その後の運転誤りの防護ができない問題がある。また、省令改正に伴い必要となった曲線速度制限や分岐速度制限を低コストで実現することが求められている。そこで現行ATS-Sxとの互換性を確保し、車上速度照査機能を持つ低廉なATS（ATS-X）の開発を進めている（図1）<sup>1)</sup>。

コストダウンのため、電源ケーブルレス地上子や、車上データを活用した車上速度照査パターンの発生方法、その検証に取り組んでいる（図2）。現行ATSと互換性があるため、必要線区（箇所）・必要車両からの段階的な取

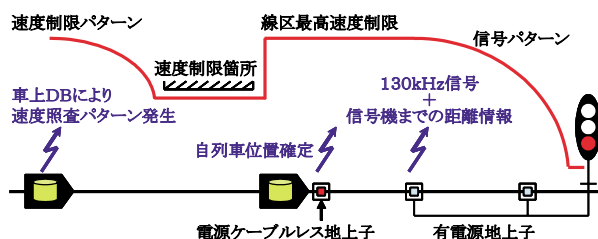


図1 ATS-Xのシステム概要



図2 電源ケーブルレス地上子と車上装置

替工事の実施が可能である。ATS-Xについては、一部のJRと実用化の検討を実施している。

#### 2.2 汎用技術を利用した閑散線区用列車制御システム

無線LAN、RFID、GPS等の汎用技術を利用する閑散線区用の列車制御システムを検討している（図3）。制御は車上主体とし、汎用技術をできるだけ使用することでコストを抑制する。

システムを段階的に導入することを考慮すると、いくつかの機器構成が考えられるが、最終的には閉そく制御、速度照査式ATS、踏切制御などの機能をすべて実現することを目標とする。

列車の位置は車上の速度発電機と線路データベースで

\* 信号通信技術研究部 部長

特集：信号通信技術

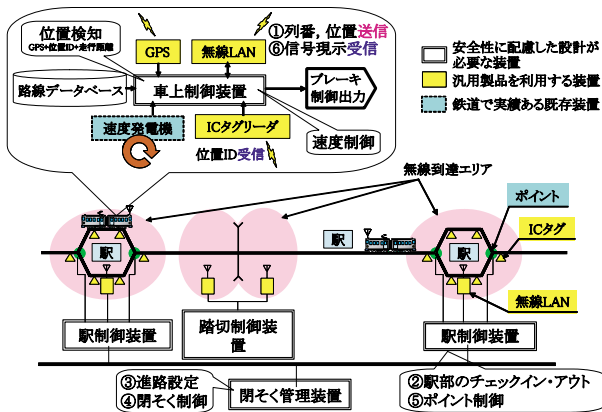


図3 汎用無線を利用した閑散線区用列車制御システム

行い、駅構内などに設置したRFIDで車上の位置検知誤差を補正する。車上-地上間の列車番号や列車位置の伝送には、汎用の無線LANを使用する。車上で曲線などの線路データベースがあるため、それらに対する防護も可能となる。汎用部品が誤動作したときの安全性・信頼性確保などの検討が重要である。

2.3 RAMS 指標による信号システムの再構築

これまで、信号システムは必要な機能ごとに装置を設置し、ボトムアップ的にシステム構築を行ってきた。そのためトップダウン的にみると信頼性等に関して改善の余地がある。そこでRAMS（信頼性 Reliability, アベイラビリティ Availability, 保守性 Maintainability, 安全性 Safety）の評価指標を考慮して、信号システムの構成をトップダウン的な視点から見直し、低コストなシステムを構成する手法の研究開発を進めている（図4）<sup>2)</sup>。R（信頼性）は平均故障間隔や故障の発生率などが基になる。A（アベイラビリティ）はシステムが所定の性能を発揮し得る能力の指標であり、稼働時間の割合などが基になる。

M（保守性）は故障が発生した場合のシステム停止時間などが基になる。S（安全性）は危険側故障の発生率で表される。これにコストの要素も加味して、高密度線区あるいは閑散線区などの線区グレードに対応したシステム構成を提案する。RAM 向上の対策技術と効果の評

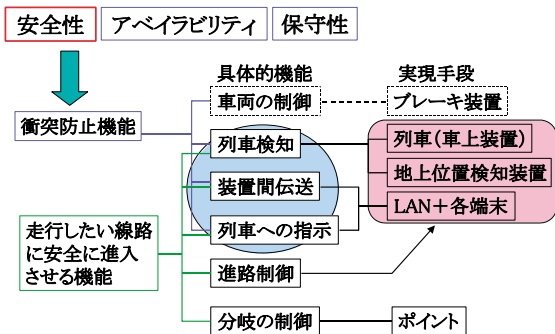


図4 トップダウン的な信号機器構成法

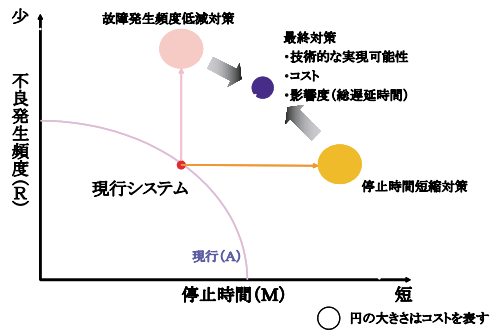


図5 RAMS 指標を改善する技術の効果評価

価手法なども検討している（図5）。

3. 信号機器の改良・高信頼化のための研究

3.1 転換鎖錠装置の転換特性の解析モデルの検討

分岐器の転換鎖錠装置の改良設計のため、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（図6）。このようなシミュレーションを利用することで、開発時の試作機の製作を最小限に抑えことができ、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るとともに、新幹線用の転換鎖錠装置の転換特性等の改善等に利用していく予定である。

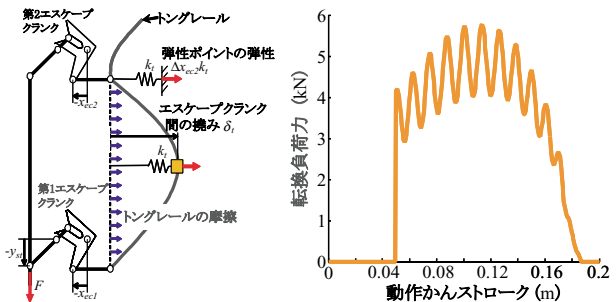


図6 転てつ機の転換負荷の解析モデルとシミュレーション結果例

3.2 フォーマルメソッドの適用

仕様記述からソフトウェアの検証まで一元的に扱えるフォーマルメソッドを信号システムに適用し、ソフトウェア開発の効率および品質向上を図る研究を実施している（図7）。VDMやB-Methodといった手法を組み合わせ、信号装置の開発に広く適用する方法を検討している。システムの仕様記述に適用しやすく、テスト支援環境が整っているVDMでシステム全体の仕様を記述し、厳密に仕様に矛盾がないことを証明し、仕様を満たすコードを生成可能なB-Methodで安全上重要な部分の詳細化を図ることで、上流から下流までフォーマルメソッドを適用することを提案した。今後、実システムへの適用を検討していく。

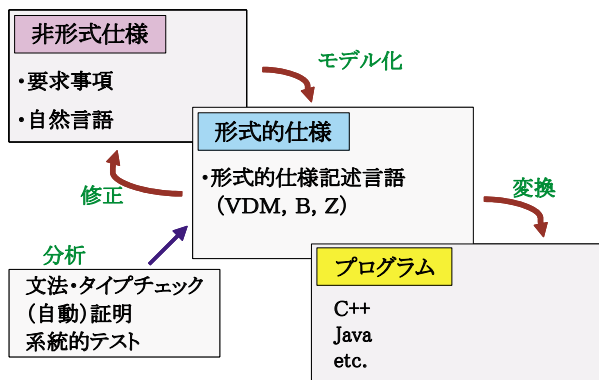


図7 フォーマルメソッドによるソフトウェア開発

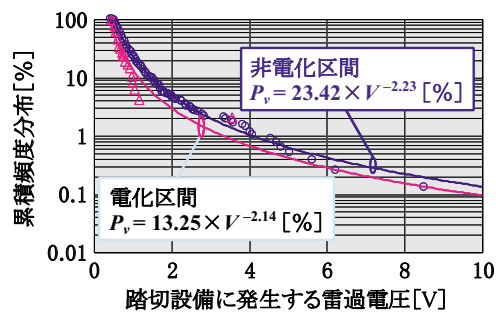


図9 雷過電圧の大きさと発生頻度

#### 4. 軌道回路の短絡問題、雷害対策

##### 4.1 軌道回路の短絡

軌道回路の短絡現象の解明とその定量的な評価は列車を確実に検知するために極めて重要である。これまで車輪・レール間の接触抵抗解析を行い、車輪踏面が粗く、軌道回路電流と荷重が大きいほど接触抵抗が小さくなることなどの性質をある程度定量的に把握することができた。また、レールのさびの厚さがある範囲の条件下では短絡電流を大きくしてもレール間電圧が一定となる半導体の性質を示すことも、実験的に再現できるようになった (図8)。今後、これらの結果を用いて個々の線区の状況に応じた軌道回路の要件をまとめて短絡不良対策を提案するとともに、新しい軌道回路方式についても検討を進めていく予定である。

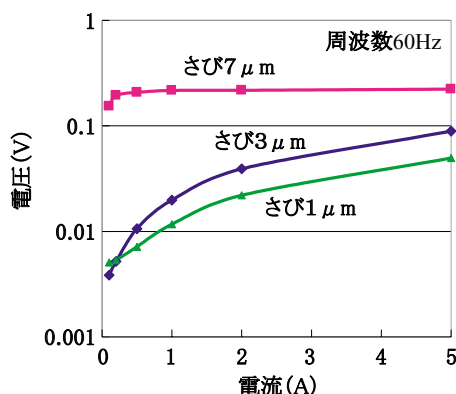


図8 軌道短絡の半導体特性

##### 4.2 雷害対策

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 (図9)<sup>3)</sup>。今後、雷サージ解析モデルを

構築することにより、総合的な雷害対策を確立する予定である。

#### 5. 新しい通信技術の適用

ユビキタスネットワーク実現のための一翼を担う技術であるアドホックネットワークの鉄道への適用検討を行っている。線路沿線での事故発生時などを想定し、沿線事故現場に設置した臨時カメラの情報を最寄りの駅まで臨時通信回線により伝送する手法などを検討している (図10)<sup>4)</sup>。線路沿線に臨時的無線中継器を配置して、無線中継器の配置が変わった時の伝送遅延時間、パケットのロスなどの伝送特性を調査し、適用時の問題点、その解決方法などを検討している。

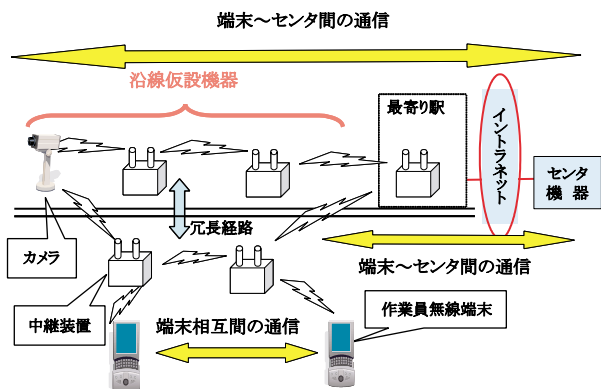


図10 臨時的沿線通信システムの概要

#### 6. 評価技術

##### 6.1 信号システムの安全性評価

安全を確保するうえで、ハザード (危険源) の同定は重要である。信号システムにおいては、対象とする装置やシステムの回路構成デバイスの故障から運転取扱いにおける人間のミスまで広範囲にわたるハザードを網羅する必要がある。同時に、設計、製作、運用、保守にわたるライフサイクルの各段階でのハザードをも網羅する必要がある。信号システムを対象とし、考慮すべき危険源

特集：信号通信技術

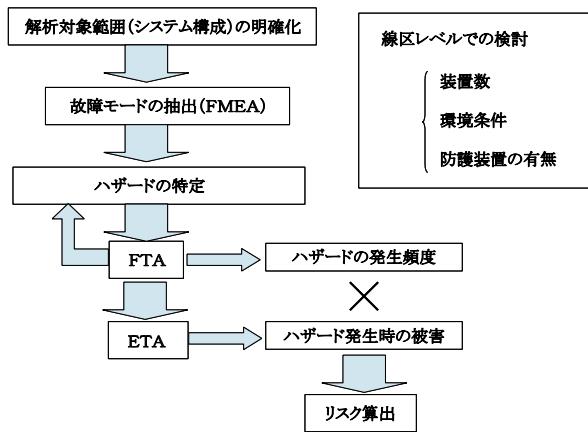


図11 リスク評価の流れ

をまとめたハザードリストの作成，体系化を進めたいと考えている。また，ハザードの発生確率およびそ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方法の検討を実施している（図11）。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。

6.2 EMC, 誘導障害

2003年よりテレビの地上デジタル放送が開始され，鉄道沿線における受信品質の向上が期待されている。しかし，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には，現在は実測による調査方法しかない。そこで，高架構造物による影響と列車通過による影響を表現する計算アルゴリズムの検討（図12）や，レイトレーシング法による電波伝搬解析などを実施し，線路沿線での放送受信品質を実測によらず，事前の机上計算で，ある程度予測できる手法を検討している。

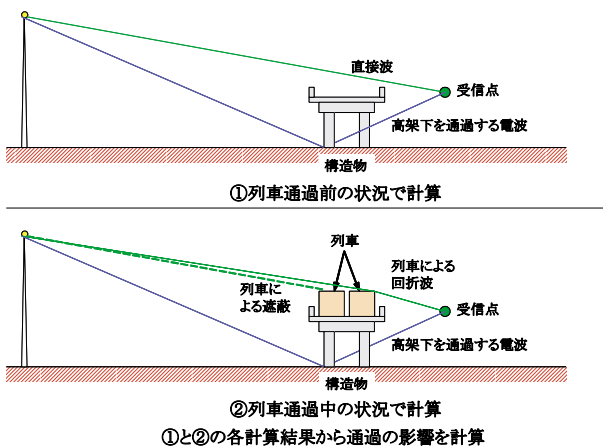


図12 列車通過の影響を計算するモデル例

7. 画像処理の鉄道への応用

駅構内，沿線，踏切あるいは車上に設置した監視カメラの映像を解析することで，不審者，不審物，災害を自動的に検知するシステムを開発している。雑踏下において1台のカメラで10人程度の人物を精度よく追尾し，置き去り荷物，転倒，暴力などのシーンを検知する画像処理アルゴリズムを開発している。また，踏切の障害物検知，列車の運転台からの前方障害物や臨時信号機などの検知・認識などの研究も実施している（図13）。



図13 徐行予告信号機の検知例

8. 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。鉄道における信号通信技術は，安全で魅力的な鉄道を構築していくうえで重要な分野のひとつであり，「鉄道の将来に向けた研究開発」，「実用的な技術開発」，「鉄道の基礎研究」の3つの項目の柱に関してバランスのとれた研究開発を実施していきたいと考える。

なお，本研究開発の一部については，国土交通省からの補助金を受けて実施した。

文献

- 1) 新井英樹，佐藤和敏：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) 平尾裕司，渡辺郁夫：RAMS指標に基づく信号システムの構築，RRR，Vol.62，No.11，pp.2-5，2005
- 3) 新井英樹・菅原宏之・佐藤和敏：鉄道沿線の信号設備における雷過電圧発生頻度の推定，鉄道総研報告，Vol.20，No.10，pp.35-40，2006
- 4) 関清隆：鉄道沿線の簡易な無線システム構築手法，JREA，Vol.50，No.8，pp.15-17，2007