

信号通信の研究開発に関する課題と取り組み

渡辺 郁夫*

Research and Development on Railway Signalling and Telecommunications Technologies

Ikuo WATANABE

This paper outlines a communication based train control system for local lines, an advanced ATP system compatible with existing systems, and RAMS evaluation based method for constructing railway signalling systems. It also describes a study on mechanical analysis model for switch-and-lock system, a study of lightning protection measures for signalling devices, and a shunting problem of track circuits. In addition, it introduces a risk analysis for signalling systems, EMC, and some applications of image processing to railway.

キーワード：鉄道信号，鉄道通信，研究開発

1. はじめに

信号通信技術研究部では、閑散線区の閉そくを低コストで実現するための無線利用の新しい列車制御システム、現行の設備を最大限利用しつつ保安度の向上を図ったATSなどの新しい列車制御システムの開発を実施している。また、転てつ機の機械性能解析、軌道回路の短絡不良対策、機器の雷害対策など、信号システムの改良・高信頼化のための研究開発を実施している。さらに、移動体通信、通信ネットワークなどの通信技術の鉄道への適用や、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評価等の評価技術、画像処理の鉄道への応用技術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紹介する。

2. 列車制御システムの開発

2.1 無線利用の閑散線区用列車制御システム

国鉄末期に導入された電子閉そく装置が更新時期を迎えつつある。しかし、地方閑散線区は厳しい経営状況にあり、低コストでこれらの機器を更新する必要がある。そこで、地上設備をできるだけ少なくし、汎用技術を積極的に採用し、モジュール化とスケールメリット確保のための仕様統一による、閑散線区用列車制御システムの開発を行っている¹⁾。

制御は先に鉄道総研で開発したCARATと同様に車上主体とし、列車の位置は車上の速度発電機と線路データ

ベースで行い、駅構内などに設置する無線ICタグ等で車上の位置検知誤差を補正する(図1)。CARATと異なる点は、地上と車上の通信を全エリアではなく、駅構内などの必要な場所でのみ行う点である。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を使用することなども検討している。車上に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。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している。

汎用技術を使用することでコストを抑制する検討をしているが、汎用部品が誤動作したときの安全性や安定性確保などが課題である。

2.2 ATS-Xの開発

JR各社で使用されているATS-S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

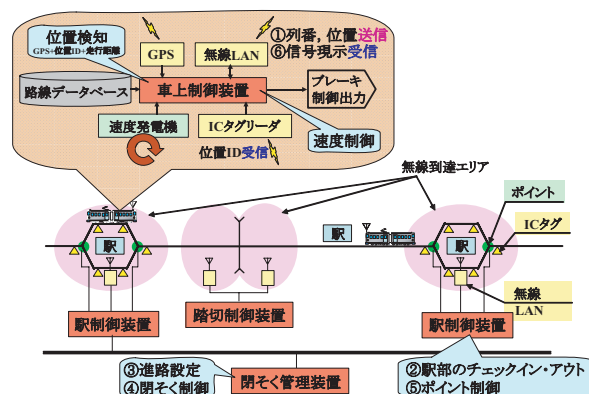


図1 無線利用の閑散線区用列車制御システム

* 信号通信技術研究部 部長

特集：信号通信技術

トで実現することが求められている。そこで現行ATS-Sとの互換性を確保し、車上速度機能照査を持つ低廉なATS (ATS-X) の開発を進めている (図2) ²⁾。

曲線などの固定の速度制限に対しては、車上にデータベースを持ち、列車の位置検知との組み合わせで防護する (図2-a)。信号機に対する防護は、地上子通過時に、従来の変周式地上子と車上データベースから信号機までの距離を車上で求めて防護パターンを発生する方式 (図2-b) と、信号機までの距離情報を地上子から受信して防護パターンを発生する方式 (図2-c) とがある。

コストダウンのため、地上のケーブルや車上子など現用設備を最大限利用できる方式を採用している。車上データベースを活用した車上速度照査パターンの発生や、発生したパターンに基づく制御などの機能の検証を実施している。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替工事の実施が可能である。現在、複数の鉄道事業者で実用化システムの検討を実施している段階である。

2.3 RAMS 指標による信号システムの構築

Reliability (信頼性), Availability (アベイラビリティ), Maintainability (保守性), Safety (安全性) のRAMS 評価指標に基づいて信号システムを評価し、RAMSに優れたシステムを低コストで構築する手法を検討している。

信号機器の障害により影響を受ける乗客数に着目し、その改善策を検討する手法を提案した。その手順を以下に示す。

- (1) 機器の障害発生頻度や障害発生時の列車遅延時間などのデータを分析し、機器ごとのアベイラビリティを算出する (図3)。
- (2) 機器障害が発生した時に影響を受ける乗客数を想定し、障害発生頻度との積により、影響を受ける乗客数の年間の期待値を推定する。
- (3) 障害により影響を受ける乗客数の期待値を減少させるために必要なアベイラビリティの目標を定め、これを

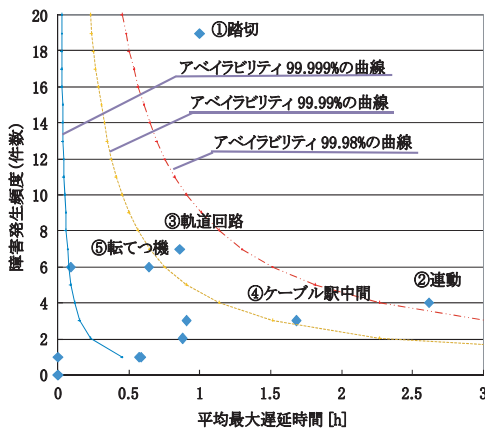
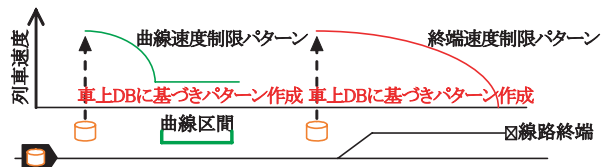
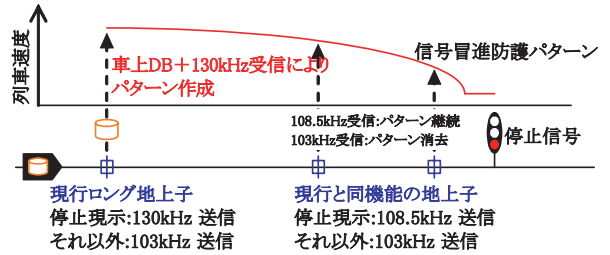


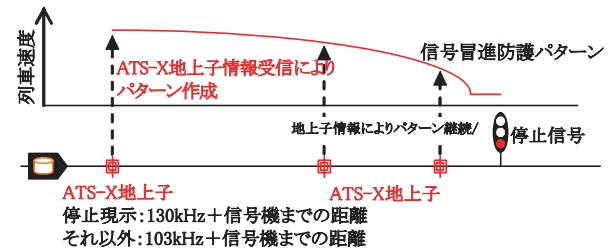
図3 信号機器のアベイラビリティ算出例



(a) 曲線等への速度制限機能



(b) 信号冒進防護機能(車上主体型)
(地上子は現行と同じ単一周波数送信機能のみ)



(c) 信号冒進防護機能(地上主体型)

図2 ATS-Xの概要

達成するためにアベイラビリティを大きく低下させている障害要因をなくすような対策を検討する (図4)。この手法を採用することにより、機器障害で影響を受ける乗客数を低減するための対策を効果的に検討できると考える。

また、信号システムを構築する際に、いくつかの構成案がある場合、初期コスト、保守コスト、障害発生時の損失コストを考慮して、線区規模に応じ最も低コストなシステム構成案を選択する手法を提案した。このような

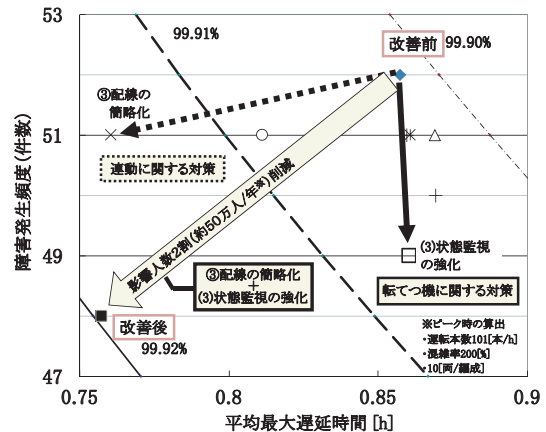


図4 アベイラビリティの改善手法

手法を用いることで、各種のコストバランスを考慮した信号システムの検討が可能になると考える。

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

転換鎖錠装置の設計は、各技術者の経験に依存している部分が多い。また、新しく設計された転換鎖錠装置に関しても、事前評価として機械的強度の静的評価だけが行われ、転換時の動的な性能などについては製作前に十分に性能評価できない状況にある。このような状況を改善するため、転換鎖錠装置の動的な評価が可能な機械モデルの研究に取り組んでいる（図5）³⁾。このような機械モデルによる評価が可能となれば、例えば、転つ機の転換速度を変化させた場合はどのような転換負荷特性となるか（図6）など、従来のような試作・試験・評価を繰り返して転換鎖錠装置を開発する場合に比べ、開発時間や開発コストを大幅に削減できることが期待できる。今後、シミュレーション精度の向上を図るとともに、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。

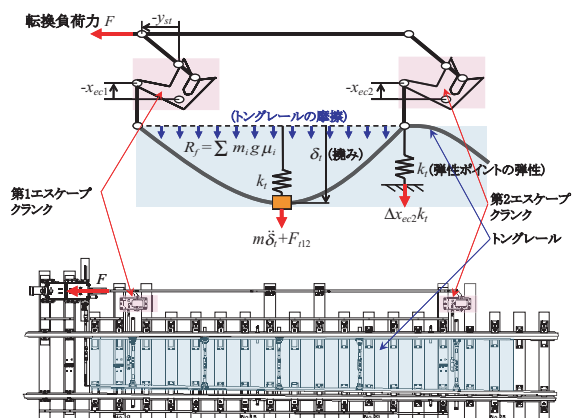


図5 転つ機転換負荷解析モデル

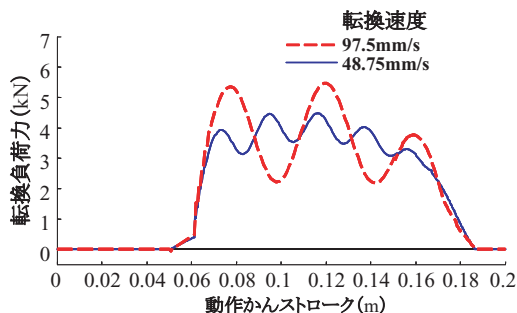


図6 解析モデルを用いた転換負荷力のシミュレーション結果

3.2 雷害対策

雷害による輸送障害は社会的混乱を招く恐れがあるため、効果的な雷害対策の確立が求められている。これま

で耐雷トランスや保安器の設置などの対策により一定の雷被害低減が認められるが、接地極からの雷サージ侵入や、接地あるいはレールの電位上昇による信号設備の破壊メカニズムに関して未解明な部分が多く、未だ雷被害が多いのが実状である。そこで、そのような雷害発生のメカニズムを解明するとともに、接地極周辺に生じる電位分布やそれによる接地極同士の干渉について明らかにし、効果的な雷害対策や効果の定量的な評価方法を検討している⁴⁾。

3.3 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の解析を行い、車輪踏面が粗く、軌道回路電流と車両の輪軸の重量が大きいか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⁵⁾。また、レールの錆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。今後は、いろいろな線区におけるレール表面の錆の発生状況などのデータを蓄積し（図7）、それら線区の条件に応じた軌道回路の要件をまとめ、短絡不良対策を提案していく予定である。

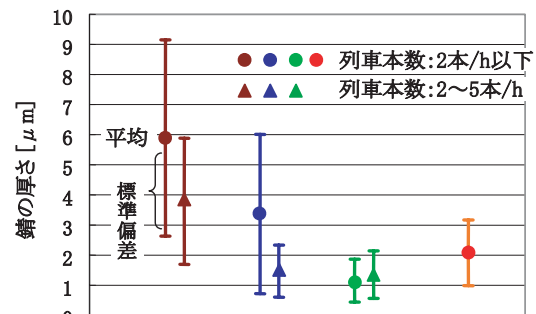


図7 地域ごとのレール表面の錆の測定例

4. 測定・評価技術

4.1 信号システムのリスク評価

鉄道の安全性向上のため、リスク評価も重要であり、この課題に取り組んでいる。リスク評価においては、危険要因となり得るハザードを洗い出し、ハザードの発生確率とそのハザードが発生したときの被害を定量的に予測し、それらの積によりリスクを算出する手法がとられる。信号システムでは、装置およびその部品のハードウェア故障やソフトウェアのバグ、雷、電磁ノイズなどの環境外乱、運転取り扱いミス、保守のミスなどのヒューマンエラーなど、広範囲のハザードを考慮する必要がある。また、設計、製作、運用、保守にわたるライフサイクルの各段階で発生するハザードすべてが対象と

特集：信号通信技術

なる。リスク評価は、これらのハザードに対しての安全対策の十分性の説明や、各種対策の順位付けの判断材料などに利用できる。ハザードの発生確率やその被害算出については、まだ精度が不十分な場合もあり、それら算出手法を深度化していく必要がある。同時に、リスク評価のベースとなる装置の故障データの効率的な収集方法の確立も重要と考える。

4.2 EMC, 誘導障害

鉄道車両の駆動制御へのパワーエレクトロニクスの導入等により、制御のスイッチングなどに起因する高調波などの電磁的ノイズが放射されるようになり、沿線の電磁環境の把握やEMC（電磁両立性）が重要な課題となっている。列車の走行によって鉄道沿線に放射される電波雑音については、標準的な測定法と限度値が既に国際規格として定められているが、実際の電波雑音の放射源の位置やその特性については、これまでは実測でしか把握することができない状況にあった。そこで、走行列車を電波雑音の発生源（発振器）、車体・架線・レール・変電所を放射源（アンテナ）として捉えた基礎的な計算モデルを考案した（図8）。これを用いたシミュレーションでは、実測で得られる強度変化と類似の傾向を再現できることを確認できた。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評価に適用できるツールへと発展させたいと考える。

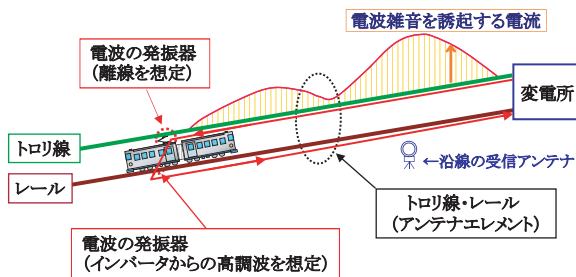


図8 鉄道からの電波雑音放射モデル

5. 画像処理の鉄道への応用

鉄道内の異常や不審物を監視により早期に発見し、重大事故を未然に防止するセキュリティ対策は重要である。現在は多くの監視カメラが設置されてきているが、全てのカメラ映像を常時注視しているわけではないため、リアルタイムに異常を発見することは困難な状況にある。そこで、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リアルタイムに画像処理解析し、不審者、不審物、災害を自動的に検知・情報配信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、

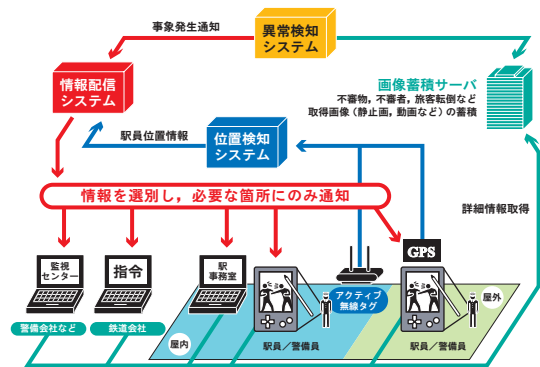


図9 異常検知・情報配信システム

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、異常検知結果を指令や駅員などの必要箇所に自動配信するシステムなどを開発した（図9）⁶⁾。

また、ステレオカメラによる踏切の障害物検知、列車の運転台からの前方障害物や臨時信号機などを自動検知・認識する監視システム、画像によるトンネル内のひび割れ診断システムなど、画像処理を鉄道に応用する研究を幅広く実施している。

6. おわりに

信号通信の技術分野における主な研究開発の取り組みについて紹介した。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、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したい。

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) 山本春生ほか：汎用無線技術による低コストな無線列車制御システム，平成20年電気学会全国大会講演論文集[5]，5-S22（13-14），2008
- 2) 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
- 3) S.Shiomi, Y.Igarashi: Development on analysis model for Shinkansen switch-and-lock system, 8th WCRR Abstract, pp.470-471, 2008.5
- 4) 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
- 5) 福田光芳，板垣朋範，寺田夏樹：軌道回路の短絡不良要因と改善手法，鉄道総研報告，Vol.21，No.11，pp.5-10，2007
- 6) 鶴飼正人：鉄道用異常検知・情報配信システムの開発，JREA，Vol.51，No.8，pp.15-17，2008