

最近の信号通信分野の研究開発

関 清隆*

Recent Research and Development of Railway Signalling and Telecommunications Technologies

Kiyotaka SEKI

This paper introduces new train control systems that utilize wireless telecommunications technology and information technology. It also describes the efforts to solve problems of existing signalling equipment, such as a modeling of switch-and-lock system, a system to make up an interlocking circuit diagram automatically, a track circuit with high noise immunity. In addition, it describes simulation techniques of radio disturbance wave emitted from railway systems to railway side, and of telecommunications networks intended to railway environments. It outlines some applications of image processing and GPS to railway systems.

キーワード：列車制御システム、信号機器、通信システム、EMC、画像処理

1. はじめに

信号通信技術は、安全でかつ利便性の高い鉄道を構築していくうえで重要な技術分野である。鉄道総研では、新しい列車制御システムの開発、個々の信号機器の開発や課題の解決のための改良、評価技術の研究、新しい通信技術や画像処理などの汎用技術の鉄道分野への適用などを軸として研究開発を実施している（図1）。最近は特に、シミュレーションによる現象の解明、評価などができる環境の構築に力を入れている。ここでは、最近の研究開発の取り組み事例を紹介する。

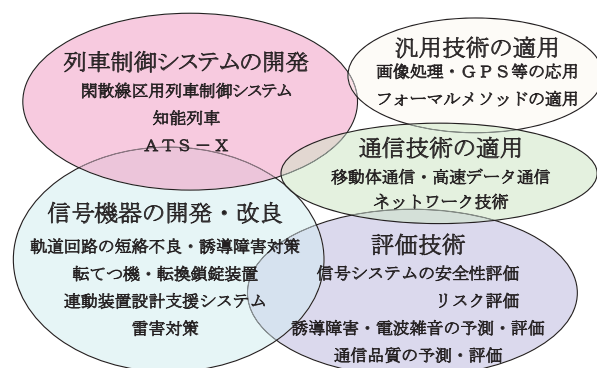


図1 信号通信分野の研究開発

2. 列車制御システムの開発

通信技術や情報処理技術の活用により、従来の列車制御システムに比べてより安全性の高いシステムや、より低コストで導入可能なシステムが構築できる可能性があ

る。そこで、これらの技術を活用し、既存システムからの置き換えを図るシステムだけでなく、新しい概念に基づくシステムの研究開発を進めている。

2.1 拠点無線式列車制御システム¹⁾

閑散線区で使用されている電子閉そくは、国鉄末期の導入から20年以上が経過し、設備の老朽化や一部装置の交換部品の入手が困難な状況にある。そこで、電子閉そくに置換え可能なシステムとして拠点無線式列車制御システム（図2）と呼ぶシステムを開発した。

このシステムは、中央装置、駅制御装置、駅無線機などの地上システムと、車載器、無線アンテナなどの車上システムから構成される。地上システムでは、軌道回路、信号機、閉そく回線などの既存設備を活用することで、システムの置換えを容易にしている。また、地上一車上間の無線通信には、免許が不要な2.4GHz帯の汎用無線技術を使用している。機能面については、電子閉そくではあらかじめ固定的に設定されていた車載器運用情報を、列車が始発駅を出発する都度、中央装置でソフト的に設定・管理する方式を開発し、乗務員による出発進路要求の省略、出発進路の早期構成・早発の防止などを実現し、運用上の効率向上を可能とした。

さらに、車載器をATS-Xのような車上速度照査機能を持つATSと接続し、踏切に沿線制御装置と無線機を設置することで、万一踏切での警報制御が行われていない場合には踏切手前に列車を停止させる踏切防護機能を実現できる。

本システムは、基本的な閉そく制御に加えて、連続的な速度制御機能を付加できる発展性も持っており、閑散線区の効率化に寄与するものと考えている。

* 信号・情報技術研究部 主管研究員

特集：信号通信技術

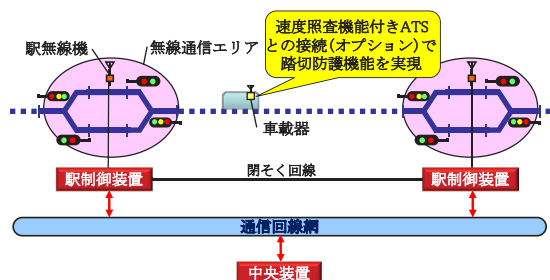


図2 拠点無線式列車制御システム

2.2 知能列車による安全性・信頼性向上²⁾

センシング技術、通信技術等を活用して列車に情報を集約することで、列車運行のさらなる安全性・信頼性向上を実現できる可能性がある。鉄道総研では、「車両が持つ、あるいは外部に設置した各種センサ等の情報により危険状態を車両自体で検知し、事故を回避するために最適な状態を確保するように制御する」知能列車の検討を進めている(図3)。



図3 知能列車のイメージ

具体的に検討を進めている異常状態は、線路内の障害物検知、台車の健全性監視などである。また、知能列車を実現するための基盤となる技術として、地上に新たな設備を設置することなく高精度に位置・速度を検出する手法の開発にも取り組んでいる。既設の速度発電機、車輪の滑走空転の影響を受けない慣性センサ、GPS、ミリ波などを適切に組み合わせた複合型の位置速度検出装置の開発を進めている。

2.3 地上の連動装置と軌道回路を省略した列車制御システム³⁾

2.1で述べた拠点無線式列車制御システムは、既存の電子連動システムからの移行の容易性を主目的として開発したシステムであり、既設の軌道回路や信号機等の地上インフラはそのまま活用することを前提としているが、これらの地上インフラも可能な限り省略することで導入コストやメンテナンスコストを縮減する、新たな考えに基づいた列車制御システムの開発にも取り組んでいる。このシステムでは、進路構成のための連動論理を車上に搭載し、また拠点には管理装置を設置して、この両

者間で閉そく情報を伝送する(図4)。

列車位置検知については、地上に設置したICタグの情報を車上で受信して絶対位置を特定する。現在までに、130km/hの速度で複数回タグ情報を受信できる見通しを得ており、車上地点検知装置として個別に実用化することも視野に入れて研究を進める。

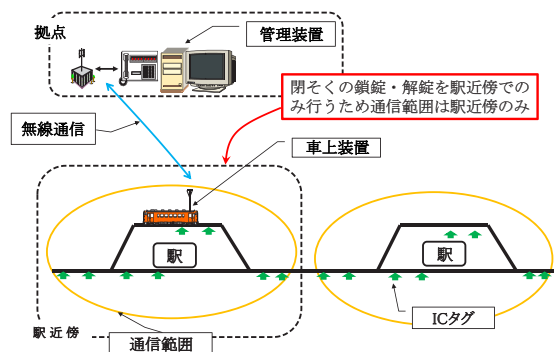


図4 連動装置と軌道回路を省略した列車制御システム

3. 信号機器の課題解決

既存の信号機器が抱えるさまざまな課題は鉄道固有の問題である。その原因を究明し、解決を図る手法や新しい機器を提案していくことは重要な研究開発課題と認識し、取り組みを推進している。

3.1 転換鎖錠装置の設計を支援する機械性能解析モデル⁴⁾

転換鎖錠装置が分岐器のトングレール等を転換させるためには、分岐器側の負荷(転換負荷)に対して、電気転つ機の能力(転換力)が適正な大きさであることが必要である。しかし現状では、転換負荷を知るには実設備の試作による測定が必要であり、転換鎖錠装置や分岐器の設計時の課題となっている。

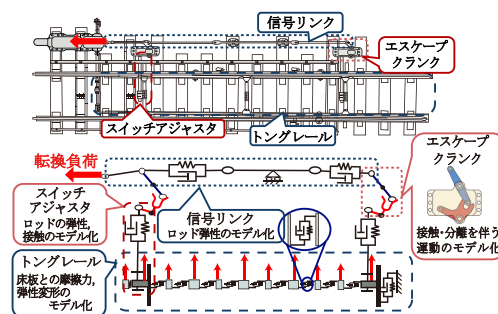


図5 転換鎖錠装置の機械性能解析モデル

そこで、実試験によらず転換負荷を推定するための、転換鎖錠装置および分岐器トングレールの機械性能解析モデルを開発した(図5)。新幹線用転換鎖錠装置の転換負荷の解析モデルを用いたシミュレーションを行い、平均転換負荷や転換動作開始点を十分な精度で推定できることを確認した。本モデルの活用により、設計段階から転換負荷を推定できるため、試作試験回数の削減が可

能になるなど、開発の効率化につなげることができる。

3.2 連動結線図自動作成システム⁵⁾

連動装置の設計を支援するため、これまでに駅の配線略図から連動図表を自動作成するシステムを開発し、実用化した。このシステムをベースとして、結線図を自動生成する機能を開発している(図6)。システム内部では、オブジェクト指向の考えを採用して、てこやリレー等の結線図を構成する要素や、一般化した標準結線図を定義している。これらを用いて、連動図表データから回路を自動構成し、見やすい形に自動レイアウトを行って出力する。さらに、作成した結線図によるシミュレータ機能も実装した。このシステムにより、結線図作成労力の軽減や作成時の誤りの排除が期待できる。

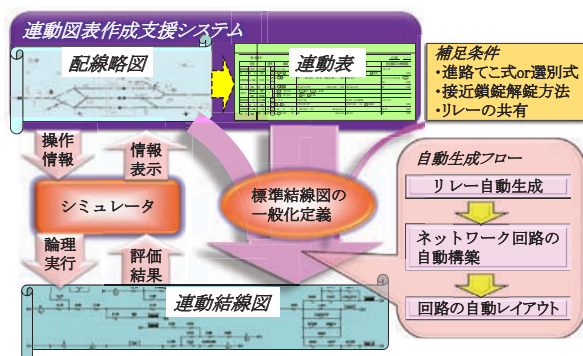


図6 連動結線図自動生成システム

3.3 耐ノイズ性の高い軌道回路^{6) 7)}

軌道回路が誤動作を起こさないために、新型車両の開発時には、妨害許容値を超える電流が車両から発生しないことを確認している。しかし、妨害許容値が小さい軌道回路があること、軌道回路種別が多いことから、車両開発における障害の1つとなっている。そこで、軌道回路電流をデジタル符号化して、受信側で符号照合を行って列車在線を判定し、耐ノイズ性を向上させる軌道回路の開発を行った。符号には巡回符号を採用し、符号検定の効率化を図っている。電化方式などの線区条件によらずに適用が可能であり、軌道回路種別の集約化が可能な汎用的な方式と、長大軌道回路に特化して耐ノイズ性を向上させる方式の2種類を開発した。

4. 評価技術

評価技術は、新しいシステムと既存システムの性能比較や、課題に対する対策法の効果の検証などのために、システムや装置の提案と表裏一体となって推進すべき技術であると位置づけ、研究を推進している。

4.1 電気鉄道用電波雑音シミュレーション手法⁸⁾

列車の走行によって鉄道沿線に放射される電波雑音特

性の把握や規格への整合性確認のためには、コストや時間のかかる実測を行うしか手段がなかった。そこで、シミュレーションによる評価手法の確立を目指し、走行列車を電波雑音の発生源(発振器)、車上配線・トロリ線・レール・変電所を放射源(アンテナ)として表現する解析モデルを構築した(図7)。本解析モデルを用いたシミュレーションを試行し、100MHzでは実測値との差が最大で十数dB以内に収まっていることを確認した。本手法は、コンデンサやリアクトルの付加、ぎ装配線の変更といった対策が、電波雑音強度の低減に寄与するか否かを判断することに適用可能である。

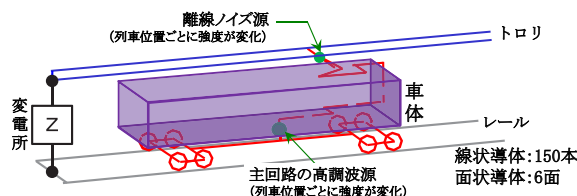


図7 鉄道アンテナモデル

4.2 地上デジタル放送受信品質予測・評価プログラム⁹⁾

列車通過による地上デジタルテレビ放送の受信品質への影響を予測することが可能な、受信品質評価システムを開発した。単純化したモデルによって、列車の有無によるC(受信レベル)およびN(電波雑音強度)の相対的变化を予測し、この予測値と無列車時のC/Nの値から列車通過時のC/Nを計算し、列車通過による影響発生の可能性を判断する。無列車時のC/Nについては、数値地図データを活用し、伝播途中にある地形を考慮して計算を行っている。列車通過時のC/Nの変化の予測値と実測値との誤差はおおむね6dB以内に収まっており、実用可能な精度が得られていた。本システムにより、実測調査箇所数の削減が可能となる。

5. 通信技術の鉄道への適用

新たに通信システムを導入する場合や、既存の通信システムの改修を行う場合などには、障害時や異常時など再現が困難な場合も含めて事前にその性能予測・評価を行う必要がある。このような予測・評価技術を中心に開発を進めている。

5.1 無線式列車制御システム用通信ネットワークの性能評価¹⁰⁾

無線式列車制御システムの通信ネットワークは、拠点装置を中心として線区全体の無線基地局等の設備を接続する地上ネットワークと、拠点装置と各列車との間で安全に関わる制御電文を伝送する無線通信回線によって構成される。このような大規模なネットワークの設計を支援できるよう、鉄道沿線における無線伝播特性や雑音特

性を考慮しつつエンドツーエンドの通信品質を評価することが可能なシミュレータを開発している。このシミュレータでは、たとえば無線方式や誤り制御方式を変更した場合に列車制御システムの安定性や信頼性に与える影響の比較などが行えるため、適切な通信ネットワークの効率的な設計に寄与できるものと考えている。

5.2 公衆無線通信サービスを含む通信ネットワークの品質評価¹¹⁾

携帯電話等の公衆無線通信サービスを活用して、業務支援システムや旅客サービスシステムなどのアプリケーションシステムを構築する場合、公衆通信網やインターネット網など、鉄道事業者が設計や品質の制御を自由に行えない区間が存在する。このような通信ネットワークの品質をシミュレーションにより予測し、アプリケーションシステムの導入可否の判断を支援する手法の検討を行っている。この手法では、簡易な実測を行って、基地局配置などシミュレーションモデルのパラメータを調整する。さらにこのモデルを用いたシミュレーションにより、アプリケーションシステムの伝送品質に対する要求条件を満足する場所率を予測する。今後は、シミュレーション精度の向上などを図っていく予定である。

6. 汎用技術の適用

通信技術のみならず、画像処理技術、GPS 関連技術など、汎用技術を鉄道に適用するための研究開発を推進している。

6.1 画像認識による特殊信号発光機の視認確認¹²⁾

踏切の障害を列車に知らせる特殊信号発光機は、800m 手前から連続的に視認できることが必要であるが、運行時間帯中に発光させての視認確認は難しいため、昼間でもその視認距離が確認できる仕組みが望まれている。そこで、沿線の外灯などのノイズと識別するために、特定パターンで点滅する近赤外線 LED を付加した発光機と、その点滅を認識する画像処理アルゴリズムを開発した。地上における性能試験では、昼・夜間及び晴・雨天下などのさまざまな条件下でほぼ 100% 認識できることを確認した。現在は、車上から連続的に視認確認する仕組みについて研究を進めている。

6.2 GPS を利用した列車位置検知¹³⁾

GPS は、地上設備によらずに位置検出が可能な手段であるが、測位に利用できる衛星の数やマルチパスなど伝播路の状態などにより測位誤差が発生する。運輸多目的衛星用航法補強システム (MSAS) の利用、線路上に存在することを拘束条件とする測位計算法などに加え、

2 台の受信機の測位結果の照合をはじめとするマルチパスの影響を低減するさまざまな手法を開発している。

7. おわりに

信号通信分野における最近の主な研究開発状況を紹介した。鉄道総研では、新しいシステムの開発から現象解明のような基礎的な課題まで、幅広く研究開発に取り組んでいる。研究手法としては、特にシミュレーション技術の高度化に力を注いでいる。今後は、最新の情報処理技術なども積極的に取り入れ、より高度なシステムの提案につなげていきたい。関係各位のご支援・ご協力をお願いしたい。

文 献

- 1) 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
- 2) 鈴木康文, 渡辺郁夫, 石塚弘道, 杉山友康, 館山勝: 鉄道システムの安全性・信頼性向上, RRR, Vol.68, No.1, pp.14-17, 2011
- 3) 佐々木達也: 地上連動装置と軌道回路を省略した列車制御手法, 鉄道総研月例発表会講演要旨, 2012.3
- 4) 潮見俊輔, 五十嵐義信: マルチボディダイナミクスを用いた新幹線用転換鎖錠装置の転換負荷力解析, TRANS-LOG2010, 2009
- 5) 関根俊: 連動図表から結線図を自動生成するシステムの開発, 鉄道総研報告, Vol.25, No.5, pp.29-34, 2011
- 6) 福田光芳: 耐ノイズ性の高い低周波軌道回路の開発, 鉄道総研月例発表会講演要旨, 2012.3
- 7) 寺田夏樹: 長大軌道回路の耐ノイズ性向上, 鉄道総研月例発表会講演要旨, 2010.12
- 8) 川崎邦弘: 電気鉄道用電波雑音シミュレーション手法の開発, 鉄道総研月例発表会講演要旨, 2012.3
- 9) 川崎邦弘, 中村一城: 鉄道沿線における地上デジタル放送の受信品質の予測手法, 鉄道総研報告, Vol.24, No.3, pp.41-46, 2010
- 10) 菅原宏之: 無線式列車制御システム用通信ネットワーク性能シミュレータの開発, 鉄道総研報告, Vol.26, No.7, pp.35-40, 2012
- 11) 中村一城: 鉄道における公衆高速無線通信サービス導入時の伝送品質評価手法, 鉄道総研報告, Vol.26, No.7, pp.47-52, 2012
- 12) 鶴飼正人, 長峯望: 画像認識による特殊信号発光機の視認確認手法, 鉄道総研報告, Vol.25, No.5, pp.41-46, 2011
- 13) 山本春生, 佐々木達也, 菅原宏之: 閑散線区向け列車制御システムへの GPS の適用, 鉄道総研報告, Vol.24, No.3, pp.23-28, 2010