

信号通信・運輸関連の研究開発

土屋 隆司*

R&Ds related to Signalling, Telecommunications, and Transport Operation

Ryuji TSUCHIYA

This paper describes some of the ongoing future-directed research themes in which information and communication technologies play a very important role. First topic is what we call “intelligent train” whose objective is to improve safety, and reliability of railway operation by using advanced sensing and communication technologies. Second topic is the technologies for evaluating and increasing passengers’ convenience of transfer as well as for evaluating train operation from both passengers’ and rail operators’ points of view. Third topic is the application of condition monitoring technologies to railway facilities, focusing on the optimization of the design and operation of wireless sensor networks in order to realize cost-effective deployment of condition monitoring systems in railways. キーワード：情報通信技術，知能列車，位置検知，旅客流動，移動抵抗，無線センサネットワーク

1. はじめに

鉄道総研では、鉄道の将来に向けた研究開発としていくつかのプロジェクト型の研究開発テーマ（将来指向課題と称する）を推進している。本稿ではその中から鉄道の安全性・信頼性のさらなる向上をめざした「知能列車」に関する研究開発、鉄道輸送におけるボトルネックのひとつとなっている交通結節点の移動円滑化に資する研究開発、状態監視技術の活用による合理的な保全手法の構築をめざした研究開発のそれぞれについて、最近の状況を報告する。

2. 知能列車による安全性・信頼性の向上

「知能列車」とは、車両が持つ、もしくは外部に設置されたセンサ等からの情報に基づき危険状態を車両自体で検知し、危険を回避するための制御を行なうシステムのことである（図1）。従来からある保安システムにこのような機能を上乗せすることにより、列車運行のさらなる安全性向上の実現を目指している。主な開発項目としては、①高精度な列車位置検知技術（図2）、②実設備と整合の取れた路線情報の整備・提供等の情報基盤技術、③列車自身によるセンシング（台車健全性監視等）と運転規制判断のためのシステム、④運転士支援システム等がある。

これらのうち、高精度な列車位置検知技術は、安全確保の観点から最適な列車停止位置を決定するための重要な要素技術として研究開発を進めている。具体的には、複数の異種センサを用いた複合的な位置検知手法により高精度な位置検知を実現する枠組みを提案するとともに

* 信号・情報技術研究部 部長

（図2）、個別のセンサの性能確認を行ってきた。開発方式のひとつである、慣性センサと速度発電機を併用する手法では、全速度域で列車速度を高精度に算出することができること、および、滑走・空転時の速度発電機速度を、慣性センサにより補正する効果等により、数m程度の誤差での位置検知が可能であることを確認している。高精度複合型位置検知技術については本号の論文¹⁾に報告があるので、興味のある方は参照されたい。

一方、路線空間情報基盤に関しては、各系統の情報を統合的な路線空間情報として知能列車で活用できる形に

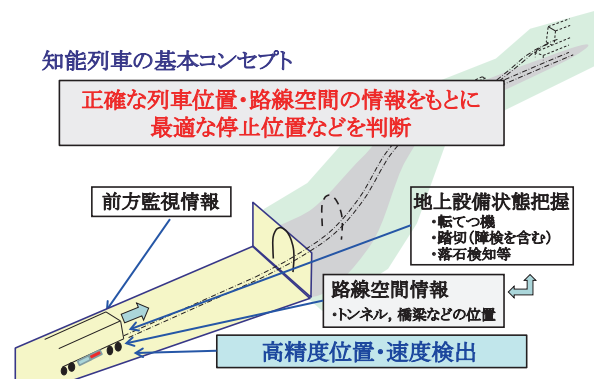


図1 知能列車のイメージ

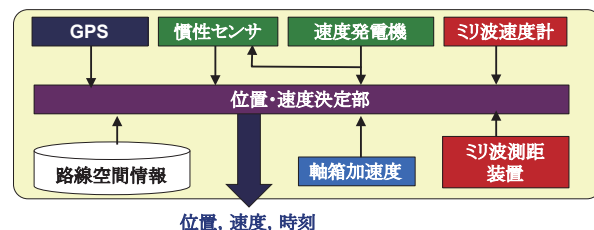


図2 複合型高精度列車位置検知のイメージ

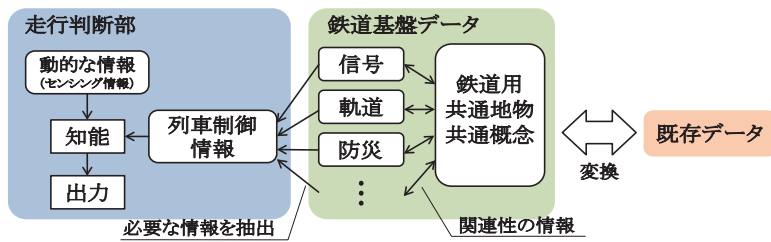


図3 路線空間情報の構成

するための論理構造を検討し、データベースの仕様を作成した(図3)。

今後は上記のような基盤技術の完成度を高めるとともに、それらを知能列車の「知能」(適切な走行判断を行なう部分)で実際に活用するための検討を進めていく予定である。

3. 交通結節点における移動円滑化

3.1 駅の乗継利便性の評価モデル

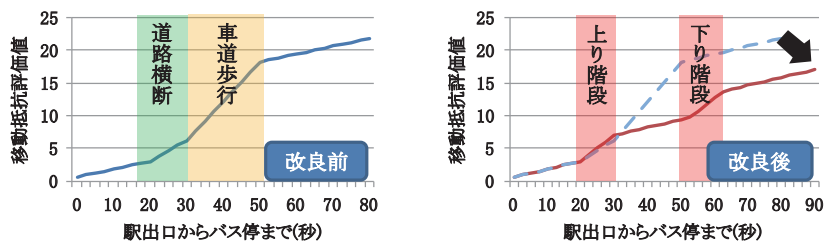
鉄道は、駅から駅への移動手段を提供しているが、本来の経路全体の移動(ドア・ツー・ドアの移動)には、他の交通モードとの連携が不可欠である。また、鉄道内で移動する場合も、多くの場合に乗り継ぎが発生することから、交通結節点における移動を円滑にすることは、鉄道利用の促進に寄与し、結果的に環境負荷の低減にもつながると考えられる。

駅における乗継ぎ利便性の評価についてはこれまで多くの調査研究が行われてきているが、バス等の他モードとの乗継ぎ利便性の評価に関しては、十分な検討が行われてこなかった。そこで鉄道総研では、移動距離や歩行安全性、バス停構造など、鉄道とバスの乗継経路の物理的特性からその経路の利便性を定量的に評価するモデルを開発した²⁾。この手法によって乗継ぎ経路の利便性を定量化できるため、将来の新駅設置における乗継ぎ経路の利便性の事前評価や、既存駅の改修等における施策の評価、複数案の比較検討等が可能である(図4)。

なお、階段による上下移動、改札口などの狭隘部の通過、駅コンコースやホーム上の混雑など、移動の妨げ、あるいは身体的・心理的負担の原因となるものやその負担の度合のことを「移動抵抗」と呼ぶ。我々は、駅構内の旅客流動シミュレーションの中に「移動抵抗評価用エージェン

3.2 列車運行の多面的評価

鉄道による移動の円滑化のためには、結節点である駅のみならず、鉄道ネットワーク全体としての移動抵抗の低減にも取り組む必要がある。しかし、列車運行については単に旅客の利便性の観点だけでなく、運行に必要なリソース(コスト)やエネルギー消費等、様々な観点からの評価が必要である。そこで、このような多様な観点から列車運行を評価するための評価尺度について検討するとともに、その尺度に基づいて列車運行を評価するシミュレータを開発した。本シミュレータでは、自動改札機で取得されたODデータおよびダイヤデータを入力とし、内部でひとりひとりの旅客を仮想的に発生させ、その行動(どの列車に乗り、どこで乗換え、いつ目的駅に到着したか等)を詳細にトレースするしくみを実現している。これにより、混雑による列車遅延の発生や後続列車への遅延の波及等の現象を再現可能となっており、列



改良前後の経路特性 ⇒ 評価モデル ⇒ 利便性改善評価

図4 開発した評価モデルによる乗継利便性評価のイメージ

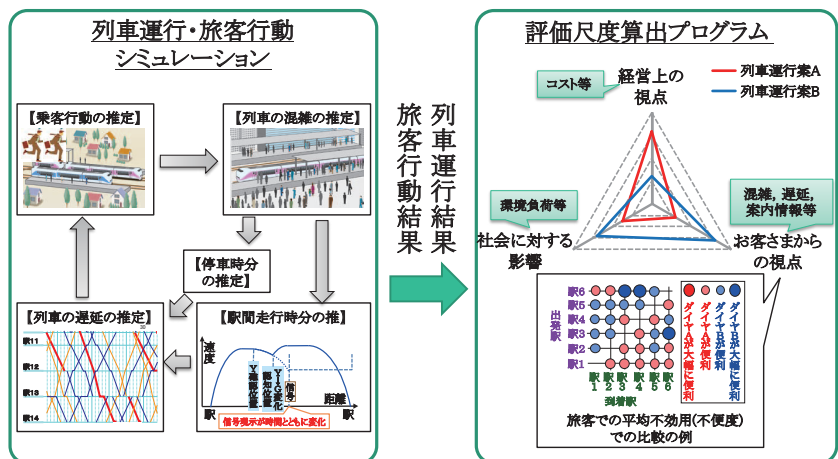


図5 シミュレータによる列車運行の多面的評価

車運行の実態に即した評価が可能となっている（図5）。

さらに、信号、線路形状、車両性能などの実際の走行条件を考慮した列車運行を模擬するために、信号条件の変化に対応して動的に運転曲線を修正する機能も実装している³⁾。これにより、基準運転時分を算出するロジックを適用した駅間走行時分が計算可能となり、進行現示以外での速度制限を受けた走行や機外停止が発生する状況などを再現可能となった。この機能を応用すれば、駅間での実際の運転方法を模擬し、消費エネルギーを計算することができ（図6）、省エネルギー性の観点から列車運行を評価することも可能である⁴⁾。

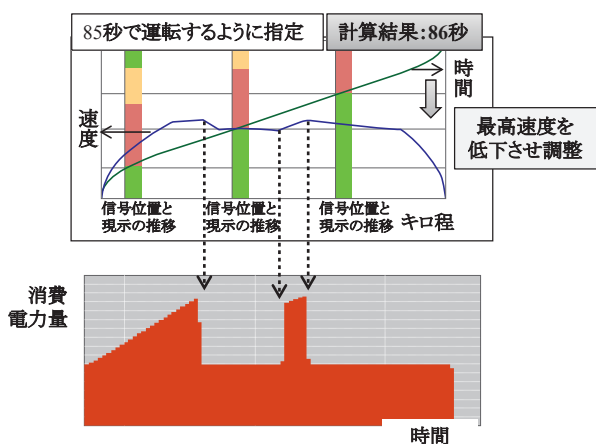


図6 精緻な列車運行シミュレーションと消費エネルギー計算

4. 新しい状態監視保全技術

4.1 状態監視保全による鉄道設備の維持管理

鉄道は巨大な装置産業であり、構造物、軌道、電力、信号通信等の設備を適正な状態に維持し、列車の安全な走行を確保することは極めて重要な課題である。法令等に基づき、設備の維持管理のための定期検査が各分野において実施されているが、人的リソース等の制約があり、十分な頻度で行なえなかったり、検査結果の客観性に課題が残るケースもある。設備の状態をより正確かつ高頻度に把握することができれば、設備の不具合に起因する危険事象の回避（予防保全）や状態に応じた費用対効果の高い保全計画の策定（保全コスト低減）等が可能となる。

以上の問題意識に基づいて、本研究では、鉄道の地上設備を対象に、状態監視に基づく保全技術の検討を進めている（図7）。具体的には、高架構造物、軌道路盤、分岐器、

電車線等を対象にした設備状態計測（センシング）技術の開発に加えて、センシングデータの伝送、集約のための保守情報ネットワーク設計・運用の最適化技術、中長期運用を前提とした効率的なセンサ管理等、共通的・基盤的事項についても検討している。以下では、このような共通的・基盤的技術開発の中から、無線センサネットワークの鉄道現場への適用に関わるものを紹介する。

4.2 無線センサネットワークの導入・運用支援技術

各分野において設備の状態監視をするためのツールとして、無線通信機能を持つ多数のセンサノード群から構成される無線センサネットワーク（Wireless Sensor Network）の適用が検討されている⁵⁾（図8）。センサノードは、センサ機能に加えて、無線通信機能、計算機能（プロセッサ）、電源等を備えた小型の機器であり、中には外部のセンサを接続する汎用インターフェースを有するものもある。図8に設備状態監視システムにおける無線センサネットワークの位置付けを示す。

実際にセンサネットワークを鉄道現場に導入するにあたっては、ネットワークの構成法（ノードの配置、伝送経路の決定等）およびネットワークの運用法について明確な方法論が確立していないという課題がある。そこで、鉄道総研では、鉄道現場の特徴的な条件を考慮して、ネッ

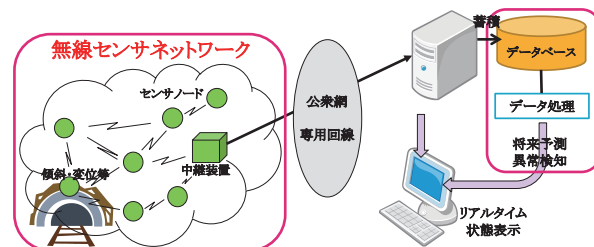


図8 状態監視システムと無線センサネットワーク

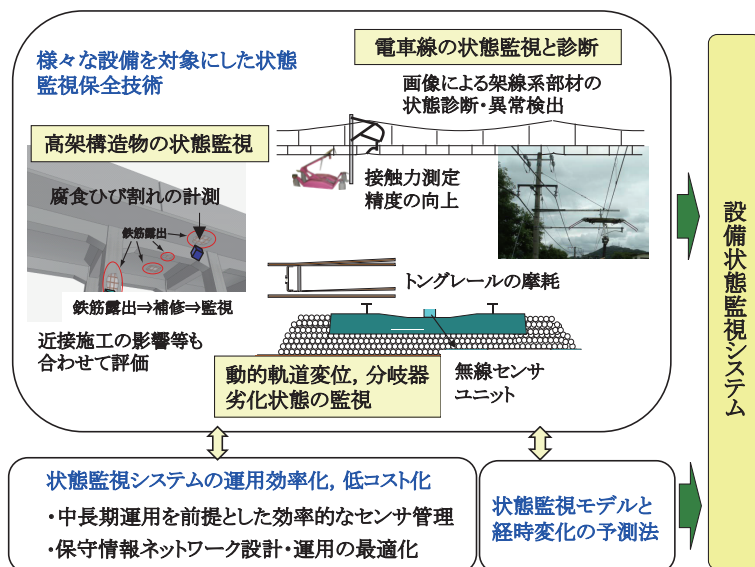


図7 新しい状態監視保全技術の全体像

特集：信号通信・運輸

トワークの総費用（設置費用と運用費用の総和）を最小とするように、センサデータ中継装置およびセンサデータ集約装置の設置数とそれらの設置場所、リレーとセンサの送信出力、センサデータの伝送経路を同時に設計するための数理モデルを構築した(図9)。本号掲載の文献⁶⁾では、実トンネルへ設置された無線センサネットワークに対して本手法を適用し、コスト低減効果があることをシミュレーションにより確認している。

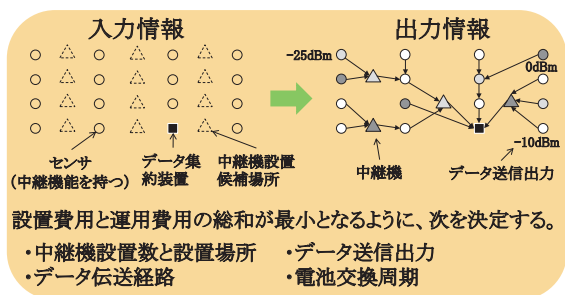


図9 状態監視用無線センサネットワークの設計支援のための数理モデルの例

一方、無線センサノードの故障やバッテリー切れへの対応などを含む、ネットワークの効率的な運用方法の検討も重要である。そこで、無線センサネットワークにおける各センサノードのバッテリー切れによるネットワークポロジの変化を考慮した上で、各センサノードの packets 送信数から、それらのバッテリー寿命を予測する手法を開発した。一部のノードのバッテリーが枯渇すると、データを収集できなくなる孤立ノードが発生したり、一部のノードが処理するデータ量が増減するなどの現象が起これるため、これらを加味した上での予測を行なっている(図10)。

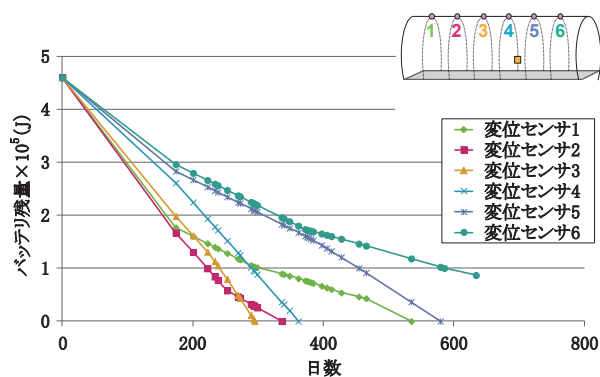


図10 センサノードのバッテリー残量曲線(予測)

今後は、これまで開発した、無線センサネットワークの導入・運用支援技術を実際の鉄道現場への状態監視システムの導入場面に適用し、その有効性を実証していく予定である。

5. おわりに

鉄道の将来に向けた研究開発としてプロジェクト型の研究開発テーマとして実施している将来指向課題の中から知能列車、交通結節点の移動円滑化、状態監視保全の3つの研究課題について紹介した。いずれの研究課題も、情報通信技術が重要な役割を担っており、最新の情報通信技術をいかに鉄道現場に即した形で導入していくかが重要となる。引き続き、これらの研究課題について検討を深めるとともに、鉄道の安全性、効率性、利便性の向上に貢献できるよう、研究開発を進めていきたい。

文献

- 1) 福田, 菅原, 祇園, 小野, 北野, 白井: 列車制御のための車上で高精度な位置検知手法の開発, 鉄道総研報告, Vol.27, No.9, pp.17-22, 2013
- 2) 鈴木, 武藤, 松原, 山本: 駅周辺の特性を考慮した鉄道とバスの乗継利便性評価手法の開発, 鉄道総研報告, Vol.27, No.9, pp.41-46, 2013
- 3) 武内, 坂口, 熊澤: 走行条件を考慮した列車運行シミュレータの開発, 第19回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, 2012
- 4) 武内, 坂口, 熊澤: 運転曲線レベルでの駅間走行計算が可能な列車運行シミュレータの開発, 第49回鉄道サイバネ・シンポジウム, 2012
- 5) 土屋: センサネットワーク研究の最新動向とその鉄道への適用可能性, 鉄道総研報告, Vol.23, No.8, pp.53-58, 2009
- 6) 羽田, 土屋, 曾我: 設置運用費用を考慮した無線センサネットワーク設計手法, 鉄道総研報告, Vol.27, No.9, pp.23-28, 2013
- 7) 羽田, 廣瀬: 鉄道構造物ヘルスマonitoringにおける無線センサネットワークの総費用最小化計画, オペレーションズ・リサーチ, Vol.57, No.9, pp.518-523, 2012