

# 信号・情報通信技術に関する最近の研究開発

信号・情報技術研究部

部長 土屋 隆司

## 1. はじめに

近年の情報通信技術(ICT)の発展は社会のさまざまな領域に変革をもたらしつつある。鉄道においても、輸送計画、運行管理、列車制御、旅客サービス、設備の維持管理等を含むさまざまな分野において情報通信技術を活用することにより、サービスの高度化、業務の効率化を図る取り組みが進められている。このような鉄道における ICT 施策の推進のためには、ICT を用いた新しいシステム、施策等の実施効果を事前に精度良く評価し、投資の費用対効果の見積りを支援することが重要である。実験システムや社会実験などにより、このような評価を行なうこともあるが、想定されるあらゆる状況を考慮した実験の実施が不可能であることも多く、また仮にそれが可能であったとしても膨大なコストや時間がかかる等の問題もある。そこで、鉄道総研では、様々な輸送改善施策や ICT を活用した新しいシステム等の性能、安全性・信頼性、費用対効果を、シミュレーション技術等を用いて評価するための技術開発に力を入れている。本発表では、輸送サービス・輸送計画・運転設備等を評価するための列車運行・旅客行動シミュレータや無線通信ネットワークの性能、信頼性等を評価する技術などを中心に、最近の研究開発を紹介する。

## 2. 輸送サービス・設備等の評価のためのシミュレーション技術

### 2.1 列車運行と旅客流動のシミュレーション

#### (1) 列車運行・旅客行動シミュレータとその応用

列車運行と旅客流動は一見独立した事象のように思えるが、都市圏の朝ラッシュ時に頻発する「お客様混雑による列車遅延」に見られるように、実際には相互に密接な関係がある。そこで鉄道総研では、列車運行と旅客行動を同時に模擬することによって各旅客の列車選択行動、各列車の混雑度、運行時刻(遅延の有無、程度)を再現することのできる「列車運行・旅客行動シミュレータ」を開発しており、列車ダイヤ、列車運行の評価に活用している(図 1)。

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

再現可能となっている。このように、旅客行動と列車運行の相互作用を含めて模擬することにより、実際の鉄道現場で発生している現象を再現したり、ある列車ダイヤを実施した場合の旅客行動を予測

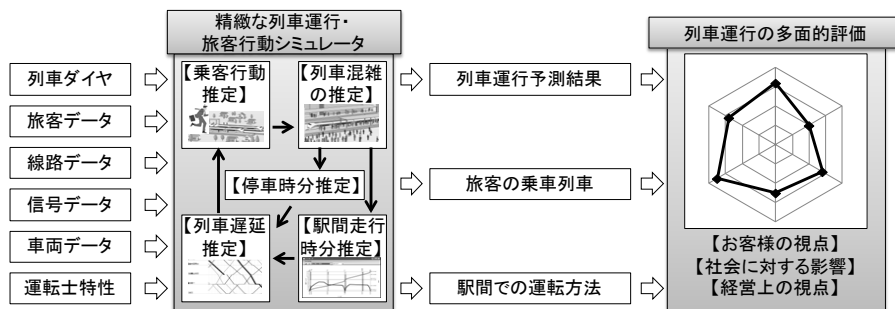


図 1 列車運行・旅客行動シミュレータによる列車運行評価

し、旅客の視点から当該ダイヤや列車運行を評価するといったことが可能となっている。評価尺度としては利用者視点のもの(不効用値等)、経営上の視点(必要なリソース、コスト等)、社会的な観点(エネルギー消費等)など、多面的な評価が可能である。

### (2) 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

上記のシミュレータでは、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精緻に模擬するために、信号条件の変化に対応して動的に運転曲線を修正するプログラムをシミュレータに実装した。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を計算でき、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 2)、省エネルギーの観点から列車運行を評価することも可能である。

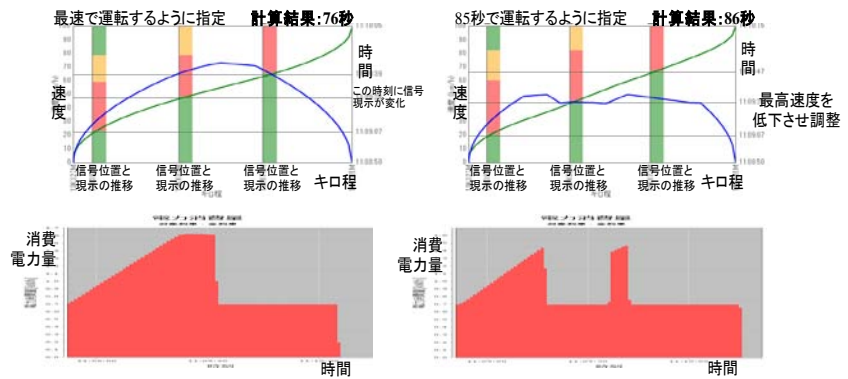


図 2 運転方法に応じた消費エネルギー計算(例)

### (3) 折返し設備評価への応用

本シミュレータの新しい応用として折返し設備の評価への適用がある。これは、輸送障害の影響範囲の局所化およびサービスレベル低下の抑制のために途中駅に折り返し設備を増設することを検討する際に、その費用対効果を事前に分析評価することを可能とするものである。本シミュレータを用いることにより、折り返し設備設置前後における、各旅客の所要時間、待ち時間、体験する混雑度などを定量的に示すことができる。これによって、設備投資効果を旅客の視点から評価することができる。

## 2.2 移動抵抗評価のための駅構内旅客流動シミュレーション

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。ここでは、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、交通結節点および鉄道ネットワーク全体における移動抵抗を低減し、よりシームレスな移動環境の構築に資する研究開発を進めている。駅における移動抵抗を評価するための基礎的調査を行なうとともに、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ト」を投入し、移動抵抗を計算するしくみを開発中である。

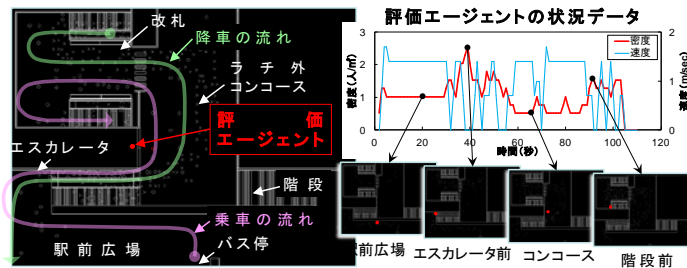


図 3 駅の移動抵抗評価シミュレーション(開発中)

### 3. 無線通信ネットワークの設計・運用を支援するシミュレーション技術

#### 3.1 無線式列車制御システムのための通信ネットワークシミュレーション

現在、多くの鉄道の列車制御システムでは、制御の基本となる列車の位置検知と列車への制御情報の伝達に軌道回路が用いられている。しかし、近年では都市鉄道を中心に、無線式の列車制御の導入が世界的に進展しており、日本においても仙石線において無線式列車制御システムが実運用されている。無線式列車制御は、地上設備の削減による低コスト化、地上・車上間での多様な情報伝達による列車制御の高度化(移動閉そくや踏切の定時間警報制御等)などのメリットがあり、今後も普及が進むものと期待されている。

無線式列車制御システムでは、沿線の無線基地局等の設備と各列車との間で、保安に関わる制御電文を無線により安全かつ確実に伝送することが求められる。伝送異常を検出した場合にはただちに列車を停止させることによって安全を確保する必要がある。このため、伝送品質の劣化がシステムの信頼性や可用性を低下させ、最終的には輸送サービスの低下につながる可能性がある。そのような事態を回避するためには、データ伝送回線を含む通信ネットワークの性能、信頼性等を事前に評価することにより、回線設計、ネットワーク設計を適切に支援することが重要である(図4)。そこで、鉄道総研では、鉄道沿線における無線データ伝送品質や雑音特性等を考慮した上で、エンドツーエンドでの通信品質(伝送遅延、信頼性、安定性等)を評価することのできるシミュレータを開発した(図5)。

開発したシミュレータは、無線データ伝送回線の伝送品質を評価する「無線データ伝送回線モデル」と拠点装置、無線基地局、車上無線局等から構成される無線式列車制御システムの通信ネットワークを模擬する「通信ネットワークモデル」から構成される。両者を共通のシミュレーション条件下で連携動作させることによってネットワーク全体としての通信サービスの品質を定量化し、列車制御システムの使用に耐えるか否かを確認することができる。また、本シミュレータでは、「鉄道の信号通信システムにおける保安伝送に関する国際規格(IEC62280)」のパート2に規定されている脅威を模擬する機能も有しており、これらの脅威を発生させて通信ネットワークの性能を評価することも可能である。

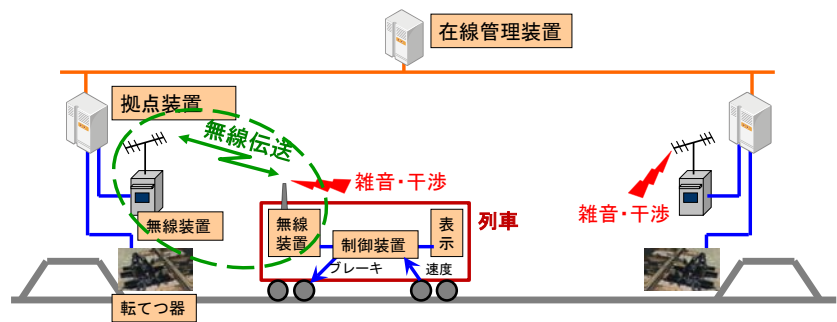


図4 無線式列車制御システムにおける通信ネットワーク

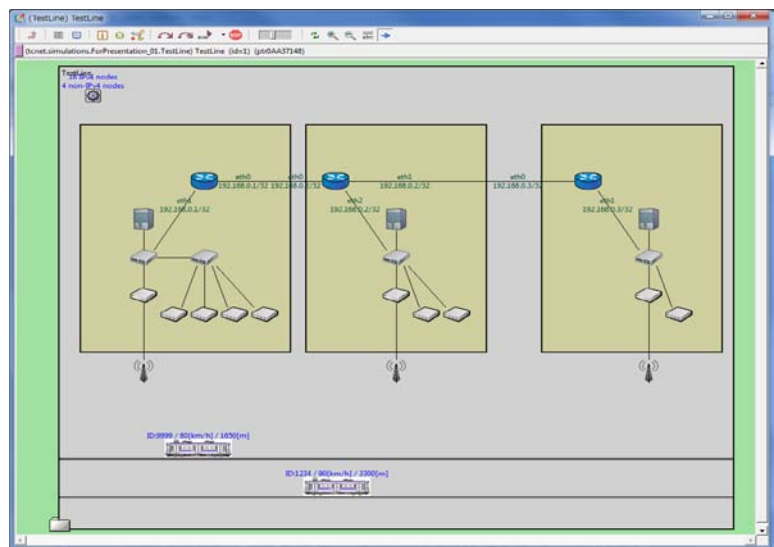


図5 無線式列車制御用ネットワークシミュレーション

### 3.2 設備の状態監視用センサネットワークの設計および運用方法の評価

鉄道設備の状態監視をするため、センサネットワークを用いた状態監視システムが検討されている。しかし、実際にセンサネットワークを鉄道現場に導入するためには、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を確立する必要がある。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リレー(中継装置)とゲートウェイ(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。また、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トポロジ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。

## 4. 列車位置検知技術の高度化

### 4.1 複合型高精度位置検知技術

鉄道総研では、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「知能列車」の検討を進めている。既存の保安システムに上記機能を上乗せすることにより、

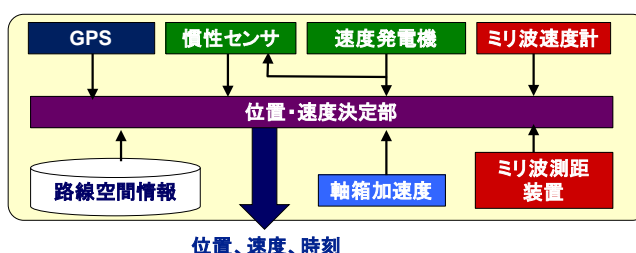


図 6 複合型高精度位置検知システムのイメージ

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。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要素技術として重要であり、研究開発を進めてきた。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(図 6)、個別のセンサの性能確認を行なってきた。開発方式のひとつである、慣性センサと速度発電機を複合する手法では、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。

### 4.2 車上位位置認識システム

省設備化の一手法として車上で位置を特定する車上位位置認識システムについても検討している。車上位位置認識システムの情報は、列車ごとに得られる個別の情報であり、進路制御に用いるには、線区を走行する列車間あるいは地上の設備で当該情報を共有する必要がある。そこで、車上で検知した地点情報を、無線通信等によりセンター側で閉そく鎖錠・解錠の情報として共有化し、システム全体で安全性を確保できるしくみを提案するとともに、連動機能を車上、または地上に設備した列車制御システムを対象に、機能の安全性評価を行った。

## 5. おわりに

本稿では、様々な輸送改善施策や情報通信技術(ICT)を活用した新しいシステム等の性能、安全性・信頼性、費用対効果を、シミュレーション技術等を用いて評価するための研究開発を中心に紹介した。引き続き、情報通信技術を応用した鉄道輸送の効率化、利便性の向上等に向け、研究開発を推進していきたいと考えている。なお、本発表で紹介した研究成果の一部は国土交通省による補助金によるものであることを付記する。