

鉄道における情報通信技術の活用と シミュレーション技術

土屋 隆司*

Application of Information and Communication Technologies to Railways and the Role of Simulation Technologies

Ryuji TSUCHIYA

This paper describes the future directions of the application of information and communication technologies (ICT) to railway operations, which include advanced demand prediction, transport planning, facility management systems, wireless communication-based train control systems, etc. We also discuss the role of simulation technologies which will be used to evaluate the performance and cost-effectiveness of newly developed systems and/or deployment plans. We believe the use of simulation technologies will greatly promote the deployment of ICT solutions in various fields of railways.

キーワード：情報通信技術，ICT，シミュレーション，旅客流動，無線通信ネットワーク

1. はじめに

発展の著しい情報通信技術（ICT）を活用することによる鉄道の安全性，利便性，効率性のさらなる向上が期待されている。鉄道における ICT の活用を進めるためには，様々な新しいシステム，施策，設備投資等を事前に精度良く評価し，費用対効果を見積ることが不可欠である。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。そこでこのような事前評価を計算機で支援する技術としてシミュレーション技術が重要となってくる。本稿では，まず，鉄道における ICT 活用の方向性および，そのために必要となる共通基盤技術について概観する。続いて鉄道の情報通信分野におけるシミュレーション技術の活用に関する鉄道総研の取り組みについて紹介するとともに，今後の動向を展望する。

2. 鉄道における情報通信技術の活用

2.1 ICT 活用による鉄道業務の効率化

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。鉄道も例外ではなく，輸送計画，列車運行，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の活用によるサービスの高度化，業務の効率化へ向けた検討が進められてい

* 信号・情報技術研究部 部長

る。鉄道総研における近年の取り組みとしては，コンテナ貨車の管理を効率化する新しい業務フローとそれを実現するシステムの提案¹⁾や，要員効率を考慮した乗務員運用の作成手法とそれを実現するシステムの提案²⁾等がある。

2.2 各種センシング技術の鉄道での活用

近年では，鉄道環境に適用可能な各種センシング技術の進展が著しく，新しいサービスや高度なシステム実現のための重要な要素技術となりつつある。具体的な事例としては，旅客流動調査や需要把握の分野においては，個々の利用者の携帯する小型コンピュータやタグなどの情報を自動的に収集することによって人の動きを把握する「プローブパーソン」に関する検討が進められている³⁾。すでに ITS (Intelligent Transport System) においては，車をプローブ（探針）とした，所謂「プローブカー」による交通情報の収集とそれに基づく交通情報提供が実用に供されている⁴⁾。鉄道においても，従来から行なわれてきた自動改札機やアンケート調査等による旅客流動把握に加え，上記のようなプローブ情報を用いることにより，利用者の行動やその文脈を把握する技術を確立することが可能となり，今後，需要予測の高精度化，異常時も含めた旅客誘導・情報提供の高度化などが期待される。一方，設備保守等への応用として RFID と呼ばれる無線通信が可能な小型の ID タグを用いた設備の個別管理システムの検討も行なわれている⁵⁾。このような方式が普及していけば，将来的には，設備（部品）の生産，流通，導入，運用，廃棄といった一連の流れを確実にトレースすることができるようになり，設備管理の効率化に資するものとして期待されて

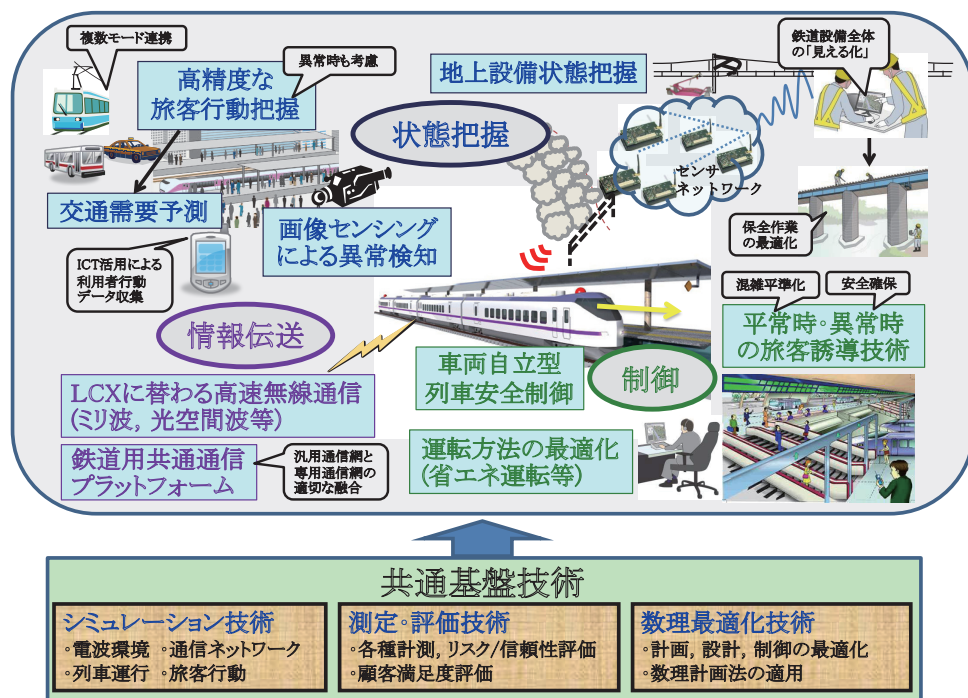


図1 鉄道における ICT 活用の方向と共通基盤技術

いる。また、各種センサを用いた設備の異常検知、異常個所の経過監視等の応用も進展しつつある⁶⁾。

2.3 無線通信技術の鉄道での活用

近年の情報通信技術の特徴のひとつは、無線通信技術の急速な進展、普及である。通信ネットワークの大容量化やユビキタス化（いつでもどこでも使える）は、従来なかった新しいアプリケーションシステムを実現可能としている。たとえば、無線 LAN, WiMAX, あるいは LTE 等の携帯電話の高速データ通信サービスの普及により、移動体上でのインターネットアクセスサービスが一般化した⁷⁾。また、前述したような各種設備の異常検知・状態監視のためのシステムでは、小型の無線センサノードで局所的なネットワーク（無線センサネットワークと呼ぶ）を構成することにより、計測データを安価でかつ効率的に収集するしくみが検討されている⁸⁾。

一方、従来は、無線通信の使用が一般的ではなかった分野でも無線通信の活用が進みつつある。代表的な例は、列車制御システムである。信頼度の向上、柔軟な運用の実現、保守コストの低減を目指し、無線通信を用いた列車制御システムの開発と実用化が進められている⁹⁾。特に、地下鉄などを中心に、ISM 帯（2.4GHz 帯）を用いた CBTC（Communication-Based Train Control）と呼ばれる無線式列車制御システムの導入が世界的に進んでおり、その動向には今後も注目していく必要がある。

2.4 鉄道における ICT 活用のための基盤技術

以上のような鉄道における ICT 活用を支える共通基

盤技術は、①測定・評価技術、②シミュレーション技術、③数理最適化技術の3つであると考えている（図1）。鉄道環境固有の要件を考慮した測定・評価技術については、各種システムを鉄道環境に展開していく上では不可欠となる技術であり、今後も着実に継承していくべき技術分野と考えられる。また、最適化技術については、ICT を活用した業務刷新および、その実現のためのシステムの効果的な実施展開を支援する技術として今後一層重要となる技術である¹⁰⁾。前述したコンテナ貨車管理の支援システムや乗務員運用の作成システムではその核となる技術として数理最適化技術が使用されている。なお、数理最適化技術の鉄道への適用に関しては、本号の文献¹¹⁾にこれまでに鉄道の各分野を対象に実施した基礎的な調査の結果をまとめてある。

一方、シミュレーション技術は、新しいシステム、施策等を事前に精度良く評価し、費用対効果を見積る上で極めて重要な技術である。本稿の後半では、ICT 活用を支援するためのシミュレーション技術の適用例として、輸送サービス・輸送計画を評価するための列車運行・旅客行動シミュレータや列車制御用無線通信ネットワークの評価用シミュレータ等について、鉄道総研の取り組みを紹介する。

3. 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

3.1 列車運行と旅客行動のシミュレーション

鉄道総研では、すでに自動改札機で取得された OD データおよびダイヤデータに基づいてシミュレーション

を実施し、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）を推定することのできる「列車運行・旅客行動シミュレータ」を開発している¹²⁾（図2）。このシミュレータは、内部でひとりひとりの旅客を発生させ、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、単なる列車運行を模擬するだけでなく、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（あるいは発生する可能性のある）現象の再現やその分析評価を旅客の視点から行なうことが可能となっている。

本シミュレータの新しい応用として折り返し設備の評価への適用がある¹³⁾。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（図3）。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、体験した混雑度などを定量的に示すことができる。これは、設備投資効果を旅客の視点から評価することに他ならない。

本シミュレータについては、列車運行部分の精緻化に向けた開発も並行して進めている。具体的には、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模擬するために、既開発の運転曲線作成システムのノウハウを利用して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列車運行シミュレータに実装中である。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計算を実施可能となり、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。

3.2 移動円滑性を評価可能な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。

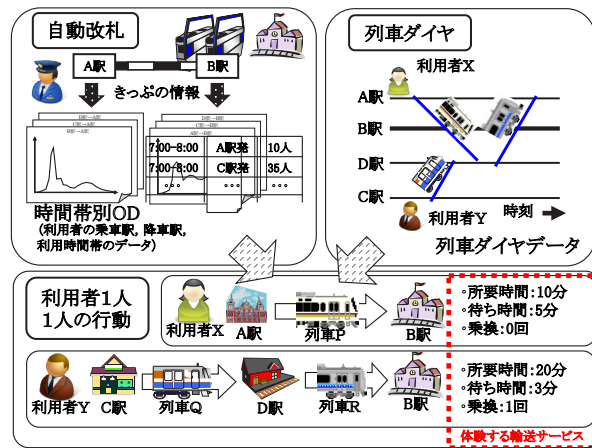


図2 列車運行・旅客行動シミュレータ

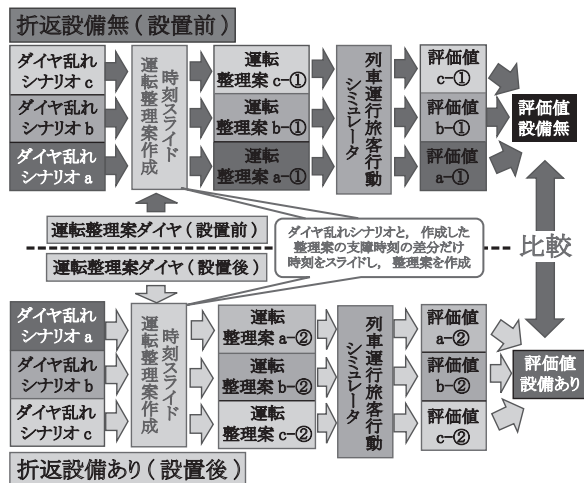


図3 シミュレータによる折返し設備評価のイメージ

4. 通信ネットワーク設計・運用を支援するシミュレーション技術

4.1 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

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。そのためには、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効率的に支援することが重要である。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ている¹⁴⁾（図4）。開

特集：輸送計画・情報技術

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。両者が共通のシミュレーション条件下で連携す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。

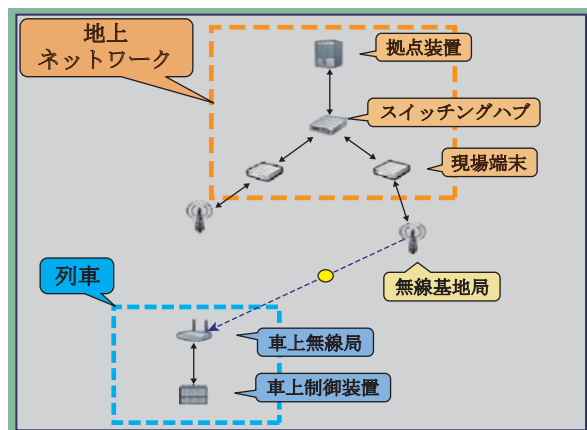


図4 シミュレーションの実行画面例

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。なお、この規格については本号掲載の文献¹⁵⁾に詳細を紹介しているので参照されたい。

4.2 設備の状態監視用センサネットワークの運用法のシミュレーションによる評価

鉄道沿線の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モニタリングシステムの研究開発が進められている。しかし、実際にセンサネットワークを鉄道のフィールドに導入するためには、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めた、ネットワークの効率的な運用方法についての知見の蓄積が不可欠である。そこで、鉄道沿線の保守現場への導入を想定し、冗長経路を持つアドホックセンサネットワークモデル上で、ネットワーク運用方法の違いがネットワークの可用性や運用コストに与える影響を比較検討するためのシミュレーションを行なった¹⁶⁾。実際には、ネットワークの可用性と運用コストはトレードオフの関係になるため、このようなシミュレーションを繰り返すことによってアプリケーション(状態監視システム)が必要とする品質を満たしつつできるだけコストの低い運用方法を模索することが可能となる。

5. おわりに

鉄道における ICT 活用の方向性について概観するとともに、鉄道の情報通信分野におけるシミュレーション技術の活用に関する鉄道総研の取り組みの一部を紹介した。今後も情報通信技術のさらなる活用による鉄道の安全性、効率性、利便性の向上に向け、研究開発を進めていく所存である。

文献

- 1) 加藤, 福村, 坂口: 検修業務の平準化を考慮したコンテナ貨車検査計画作成手法, 鉄道総研報告, Vol.27, No.2, pp.23-28, 2013
- 2) 坂口, 加藤, 福村: 要員効率に着目した乗務員運用計画の作成手法, 鉄道総研報告, Vol.27, No.2, pp.11-16, 2013
- 3) <http://www.probe-data.jp/index.html>
- 4) <http://www.honda.co.jp/internavi/>
- 5) 田中, 高橋, 鈴木: 鉄道設備の保守管理に RFID を活用する, Railway Research Review (RRR), Vol.68, No.4, pp.26-29, 2011
- 6) 土屋, 野末, 篠田, 小林: センシング・情報通信技術により設備を管理する, Railway Research Review (RRR), Vol.67, No.6, pp.14-17, 2010
- 7) 土屋: 鉄道における高速大容量移動体通信技術の動向, 鉄道と電気技術, Vol.21, No.1, pp.9-13, 2010
- 8) 羽田, 土屋: 電力消費を考慮したセンサネットワーク設計の最適化手法, 鉄道総研報告, Vol.24, No.10, pp.35-40, 2010
- 9) 黒岩, 梅津, 伊藤, 森井, 馬場, 中山, 今野: 仙石線における ATACS の実用化, JREAST Technical Review No.28, pp.41-46, 2009
- 10) 土屋: 鉄道における数理最適化技術適用の現状と今後の展望, 鉄道総研報告, Vol.25, No.12, pp.1-4, 2011
- 11) 羽田, 土屋: 鉄道における数理最適化技術の活用可能性, 鉄道総研報告, Vol.27, No.2, pp.45-48, 2013
- 12) 國松, 平井, 高橋, 村木: マイクロシミュレーションを用いた利用者の視点による列車ダイヤ評価手法, 電気学会論文誌 D, No.130, Vol.4, 2008
- 13) 國松, 坂口, 石原: 列車運行・旅客行動シミュレーションによる折返設備評価, 電気学会産業応用部門全国大会, 2012
- 14) 菅原, 川崎, 中村, 祇園: 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
- 15) 川崎: 安全関連伝送に関する国際規格 IEC62280, 鉄道総研報告, Vol.27, No.2, pp.41-44, 2013
- 16) 宮下, 羽田, 野末, 土屋: 設備の状態監視用センサネットワークの可用性評価, 鉄道総研報告, Vol.25, No.12, pp.41-46, 2011