

最近の輸送情報技術の研究開発

土屋 隆司*

Recent Research and Development on Transport Information Technologies

Ryuji TSUCHIYA

This paper describes some of the topics from the recent research and development on transport information technologies, particularly focusing on three research projects for future railways. The first topic covers dynamic demand prediction and on-demand transportation planning technologies. The second topic is related to the optical communication technologies for realizing broadband communication services for passengers on high-speed trains. In the third topic, we discuss the application of sensing and information technologies for monitoring various facilities in railways.

キーワード：輸送情報技術， デマンド， 輸送計画， 大容量通信， モニタリングシステム

1. はじめに

輸送情報技術に関する研究開発としては、情報通信技術の活用による鉄道業務の効率化、利用者利便の向上、安全安心の向上等を目指して活動を進めている。鉄道総研では、2005年度から2009年度にかけて、RESEARCH2005と呼ぶ基本計画に則って研究開発を進めてきた。RESEARCH2005の中心的活動のひとつとして、5年から10年程度の中長期的な観点からのプロジェクト研究である「将来指向課題」を推進してきた。全体で13件の将来指向課題がある中、輸送情報技術に関連するものとして「動的デマンド推定に基づく輸送計画の効率化」、「鉄道における高速大容量情報通信技術の開発」、「設備管理業務へのセンシング技術・ITの適用」があり、本稿では、これら3つの将来指向課題の成果を中心に、最近の輸送情報技術に関する研究を概観する。

2. 動的デマンド推定に基づく輸送計画の効率化

2.1 実施概要

鉄道の輸送計画作成に対しては、利用者の利便性向上と経営資源の使用効率向上という、一見、相反する課題の両立が求められている。鉄道事業者にとっては、利用者ニーズ（デマンド）を正確に把握し、デマンドに応じた輸送サービスを提供することが重要な課題となっている。近年、自動改札機データ等の活用によ

り、詳細な利用状況データをリアルタイムに取得することが可能となり、さらに計算機の処理能力の向上や並列処理技術の活用等によって大量のデータを高速に処理できる環境も整いつつある。また、数理計画法等の計画作成技術の高度化により、複雑なスケジューリング問題を実用的な時間で解くことも可能となりつつある。そこで、これらの技術を活用することにより、利用者へのサービス水準を一定に保ちつつ、効率的な輸送計画案を計算機で作成するための研究開発を実施した。図1に本研究の全体マップを示す。

本研究では、平常時および異常時における動的デマンド推定に基づいてダイヤ改正案や運転整理案を計算機で自動作成する技術を開発した。さらに、作成したダイヤ案等に基づき、利用者一人一人の行動を模擬するシステム（列車運行・旅客行動シミュレータ）を開発した。これにより、作成したダイヤ案等をさまざまな観点から評価することを可能とした。以下では、これらの研究の概要を紹介する。



図1 「動的デマンド推定に基づく輸送計画の効率化」の全体マップ

* 輸送情報技術研究部 部長

特集：輸送情報技術

2.2 列車運行・旅客行動シミュレータ

列車運行・旅客流動シミュレータ¹⁾は、列車運行および旅客一人一人の行動を精緻に模擬するシミュレータであり、列車ダイヤと駅毎の利用者数を入力とし、扉毎の乗降人数推定値から、混雑に起因する列車遅延時分を推定できる。列車運行状況のダイヤ図表示に加え、駅ホーム上で待っている旅客の数、列車に乗車している旅客の数などをリアルタイムに表示する機能により、列車運行状況および旅客行動状況を視覚的に捉えることができる。また、列車運行実績および旅客行動履歴を集計する機能により、多面的な観点から列車ダイヤや運転整理案の評価値を算出することが可能である。

2.3 利用者デマンドに応じた輸送計画作成

直近の利用者デマンドが高精度で予測可能になるという状況を前提として、直近のデマンドに的確に対応した輸送力の提供と、リソースの効率的使用とが両立可能な鉄道輸送計画作成の実現可能性を検討した。

個々の利用者のニーズに即応し、オンデマンドで列車設定を行うことができれば理想的である。しかし、車両や乗務員などのリソースの制約、駅・信号設備などの設備条件や、利用者への案内の必要性等を考慮すると、個々の列車の運転時刻と停車駅をその都度決定するような仕組みは現実的ではない。そのため、次のような輸送計画の枠組みを検討した。まず、事前に定めてある基本の列車ダイヤから、各日の利用者数に応じて運転する予定列車（影スジ）を適切に決定する。次に、各定期列車（定期スジ）と運転する影スジの車両数を決定する。この問題を数理計画問題として定式化し、その解法アルゴリズムを開発した。また、実在線区をもとに作成した試験データを用いた評価試験を行い、その効果を確認した。なお、本研究の詳細については文献2を参照されたい。

2.4 その他の研究開発項目

上記以外にも、動的なデマンド予測手法の研究、ダイヤ乱れ時のデマンド予測手法の研究、輸送計画の頑健性評価に関する研究、利用者デマンドを用いた運転整理案作成手法の研究等にも取り組んだ。このうち、ダイヤ乱れ時のデマンド予測手法の研究³⁾では、人身事故などで運転中断に遭遇した鉄道利用者の行動選択（「運転再開を待つ」もしくは「運転再開を待たずに迂回する」か）に着目し、その選択モデルを構築して、運転再開時の旅客数を予測する手法を考案した。輸送計画の頑健性評価に関する研究⁴⁾では、旅客の利便性に基づく頑健性評価指標を提案するとともに、列車運行シミュレータを用いて頑健性評価指標を算出する手法を開発した。

3. 鉄道における高速大容量情報通信技術の開発

3.1 実施概要

近年、携帯電話やWiMAXなど、モバイル通信環境の整備が進み、いつでもどこでもインターネットに接続し、メールやWebなどのサービスを使用できるようになりつつある。列車内の旅客向けの移動体通信サービスとしては、つくばエクスプレスの沿線無線LANを用いたサービスや、東海道新幹線における、LCX（Leaky Coaxial Cable、漏洩同軸ケーブル）を用いた車内無線LANサービス、対列車通信にWiMAXを用いた成田エクスプレスの車内無線LANサービスなどが知られている。通常のWebアクセスやメール利用等であれば、それほど大きな帯域を必要とすることはないと考えられるが、動画配信やP2P配信等、近年急速に普及しつつあるインターネットの新しい利用形態に対応するためには、地上・車上間リンクの大容量化は避けて通れない。また、TV会議のような応用では、地上⇒車上および車上⇒地上の双方向での通信の大容量性とリアルタイム性が不可欠である。

以上の点を踏まえ、鉄道総研では、列車内における双方向ブロードバンド通信サービスを実現する手段として、光空間波を活用する手法の検討に取り組んできたので最近の成果を次節で紹介する。

3.2 レーザ光通信技術による対列車通信

列車と地上の間で連続的な通信を実現するためには、移動する列車に搭載した光通信装置と地上側に設置した光通信装置が連続的に（途絶えることなく）通信を行う必要がある。これまでに検討したいくつかの対列車光通信方式の中から実際の鉄道環境における実現性が高いと考えられる「レーザスキャン方式」について、検討を深化化した。「レーザスキャン方式」とは、列車側・地上側双方の通信装置にビーコン光送信機を設置し、送信側はこのビーコン光送信機付近にレーザ光が当たるように可動式のミラーを制御し、列車の移動に合わせて地上側の装置（基地局）を切り替えながら連続的な通信を実現する方式である（図2）。

2009年度には、本方式の実環境への適用を考慮し、想定される通信距離に応じた機器の小型軽量化、列車振動を考慮した耐振性能の向上、降雨試験による雨の影響の

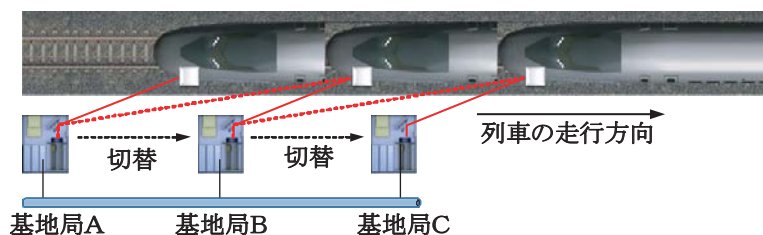


図2 光通信による連続的な対列車通信のイメージ

確認等を行った。また、高速移動体との継続的な通信のために必要となる基地局の高速な切り替え（ハンドオーバ）を実現する技術の開発も行った。

これらの要素技術を統合した光通信システムを用いて現地試験を行い、走行速度120～130km/hの在来線区間で、約500～700Mbpsのスループットを達成するとともに、地上・車上間の双方向ハイビジョンビデオ伝送にも成功した。なお、本研究の詳細については文献5を参照されたい。

4. 設備管理業務へのセンシング技術・ITの適用

4.1 実施概要

情報通信技術、センサ技術を活用し、鉄道設備の維持管理を効率化する取り組みが進められている。鉄道総研でも、鉄道設備の常時および異常時の様々な挙動を検知する新しい検査、監視技術の確立をめざした研究開発を行ってきた。常時のモニタリングの目的としては、目視で確認しづらい箇所の検査、発生した変状の継続的監視、定期的実施される全般検査の補完などが考えられる。一方、異常時、すなわち地震等による災害発生後のモニタリングの目的としては、災害に伴う設備の異常発生早期検知、損傷発生箇所や損傷程度の迅速な把握などが考えられる。また、モニタリングシステムの運用のためには、センサ単体ではなく、センサから対象設備の管理箇所までデータを伝送するネットワークやデータを集約するデータベースの構築も重要である。以下では、このような点を念頭に置きつつ、鉄道構造物などを対象に開発したモニタリングシステムについて簡単に紹介する。

4.2 鉄道設備モニタリング

システムの開発

設備維持管理用のモニタリングシステムは、①設備状態推定のための物理量を計測するセンサ、②センサデータに基づいて、対象設備の健全度、劣化度等を判定する分析・評価システム、③センサデータを管理するデータベース、および④これらを繋ぐためのデータ伝送システムから構成される。モニタリングシステムの開発においては、これらの構成要素を監視目的に合わせて適切に統合化し、提供することが求められる。開発したセンサ群、データ伝送システム等を組み合わせたモニタリングシ

テムを実際に実施展開する場合のイメージを図3に示す。この図では、監視目的に応じてさまざまなセンサが沿線設備に設置され、計測されたデータがさまざまな通信手段で指令・管理箇所などに伝送される様子が示されている。

センサから管理箇所までのデータ伝送手段については、データ量、リアルタイム性、投入可能な維持管理費に応じて選択することが可能である。これにより個々の鉄道事業者が、線区の重要度、監視目的、条件（対象設備や変状の種類）に応じた、適切なモニタリングシステムを構築できる。

4.3 鉄道総研構内試験線における総合試験

開発した各種センサ、伝送装置、サーバ側システム等を統合化し、実運用に近い形態でのテスト運用を行うため、鉄道総研構内に統合ネットワークを構築した。この統合ネットワークを用いて対象センサごとに、センサ～中継装置～データ管理サーバまでのデータ伝送試験を行い、データが確実に取得、収集できることを確認した。さらに、複数のセンサからのデータが混在する環境下での総合試験や異常時等を想定し、データ送信頻度が高い状態での負荷試験を実施したところ、無線伝送の競合などにより一部データの欠落、到着遅延などの現象が見られたが、おおむね安定的な伝送が可能であることが確認できた。このように集められた各センサのデータは統合データベースで一元管理され、さまざまなアプリケーションプログラムで活用可能となっている。

なお、開発したモニタリングシステム全般については文献6を、センサデータ伝送手段のひとつとして開発した、列車を用いた蓄積・運搬型のデータ収集方式については文献7を参照されたい。

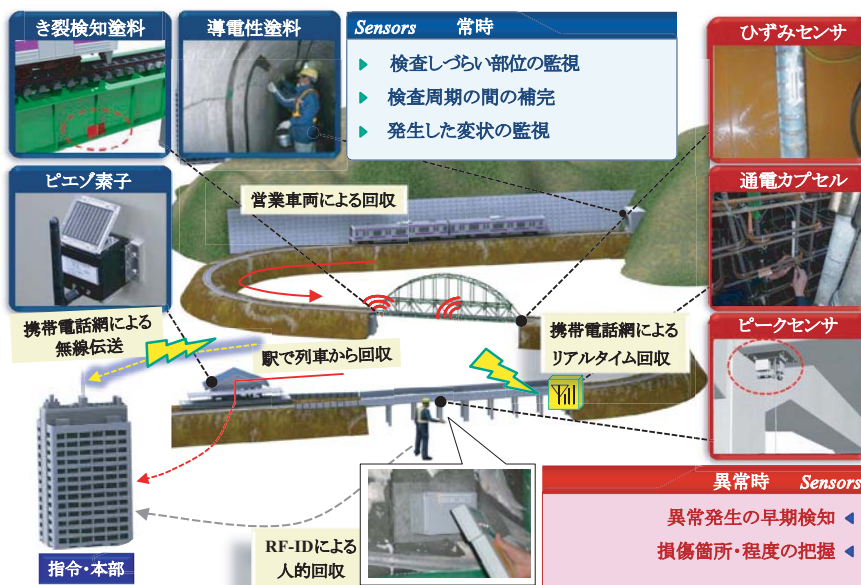


図3 モニタリングシステムの適用イメージ

特集：輸送情報技術

5. その他の研究開発

5.1 最適化技術の応用

これまでに述べた将来指向課題以外にも、鉄道輸送や設備保守等に関わる様々な課題に取り組んでいる。特に、最適化技術を用いて業務の効率化、リソース配分の適正化、旅客利便性の向上等を図るための研究に注力している。

機関車運用整理案作成アルゴリズムの研究⁸⁾では、ダイヤ乱れ時に、機関車の検査周期などを考慮し全体のスケジュール変更を行う機関車運用整理問題を整数計画問題として定式化し、列生成法により解を求める手法を提案している。実事例を元にした計算機実験の結果、良質な解が許容時間内に得られることを確認済みである。また、乗務員基地配置駅決定アルゴリズムの研究⁹⁾では、基地配置駅の全面的な見直し検討を行うために、数理最適化技術を用いて、基地配置駅の決定と乗務員運用計画の作成を同時に実現するアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムにより、基地配置駅と乗務員運用計画の関係について、様々な検討を行うことが可能となった。また、デマンド推定に基づく柔軟な自由席・指定席配分手法に関する研究¹⁰⁾においては、特急料金を変化させてデマンドをコントロールするとともに、変化させた特急料金の下での席種別デマンドを推定し、推定デマンドのOD構造に対して指定席・自由席の設定数を柔軟に変化させる最適化問題に取り組んだ。開発したアルゴリズムを組み込んだ席種設定シミュレーションシステムによる評価の結果、提案する柔軟な席種設定施策の効果が定量的に示された。

一方、設備モニタリングシステムにおいてセンサデータ伝送手段として使用されるセンサネットワークの配置を最適化するための研究にも取り組んでいる。電力消費を考慮したセンサネットワーク設計の最適化に関する研究¹¹⁾では、ネットワークを構成するノードの電力消費モデルに基づいて、ネットワーク全体の電力寿命を最長化するためのヒューリスティック手法を開発した。実構造物に設置したセンサネットワークから得られたデータに、開発手法を適用し、良質な解が得られることを確認した。

5.2 鉄道貨物輸送に関する調査研究

近年の環境意識の高まりを背景に、環境負荷の低い鉄道貨物輸送への期待が高まりつつある。鉄道総研では、鉄道貨物輸送に関する調査研究を継続的に進めている。鉄道貨物輸送による物流費用・環境負荷低減効果の評価手法に関する研究¹²⁾では、トラック輸送から鉄道輸送にモーダルシフトした場合の輸送費用の低減やCO₂の排出削減等の効果を評価する手法を提案している。具体的には、荷主の貨物輸送状況、貨物駅の地域影響範囲、地域と鉄道線区を結ぶ関係などの実態を分析し、貨物鉄道による陸上貨物輸送の物流費用低減効果やCO₂排出削減

効果などの影響を計測する手法を提案している。当該手法を用いたケーススタディ線区での試算も行なっており、貨物鉄道の社会的意義を定量化する取り組みのひとつと位置付けられる。

6. おわりに

輸送情報技術に関する最近の研究開発成果について、過去5年間にわたり推進してきた3つの将来指向課題の成果を中心に紹介した。ここで紹介した研究開発の多くは本号の各論文において、より詳細に報告されているので、是非ご一読いただきたい。

我々の研究活動に、様々な角度から忌憚のないご意見をいただければ幸いである。引き続き、情報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、研究開発を深めていきたいと考えている。

文献

- 1) 國松武俊, 平井力, 富井規雄: 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, Vol.130, No.4, pp.459-467, 2010
- 2) 坂口隆, 福村直登, 佐藤圭介, 加藤怜: 日別需要に基づく鉄道輸送計画作成手法の開発, 鉄道総研報告, Vol.24, No.10, 2010
- 3) 武藤雅威: 運転再開時における旅客数の予測手法の開発, 鉄道総研報告, Vol. 22, No.6, 2008
- 4) 武内陽子, 富井規雄, 平井力: 列車ダイヤの頑健性評価手法, 鉄道総研報告, Vol. 21, No.4, 2007
- 5) 中川伸吾, 松原広, 中村一城, 辰井大祐, 春山真一郎, 寺岡文男: レーザ光を用いた鉄道用大容量通信システムの開発, 鉄道総研報告, Vol.24, No.10, 2010
- 6) 野末道子, 土屋隆司, 篠田昌弘, 渡辺義大, 佐藤紀生: 鉄道構造物の常時・異常時モニタリングシステムの開発, 鉄道総研報告, Vol.24, No.10, 2010
- 7) 土屋隆司, 野末道子: 列車を用いたデータ収集ネットワークの開発, 鉄道総研報告, Vol.24, No.10, 2010
- 8) 佐藤圭介, 福村直登: 機関車運用整理案作成アルゴリズムの開発, 鉄道総研報告, Vol.24, No.10, 2010
- 9) 加藤 怜, 佐藤圭介, 福村直登: 乗務員基地配置駅決定アルゴリズムの開発, 鉄道総研報告, Vol.24, No.10, 2010
- 10) 柴田宗典: デマンド推定に基づく柔軟な指定席・自由席設定手法, 鉄道総研報告, Vol.24, No.10, 2010
- 11) 羽田明生, 土屋隆司: 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, 2010
- 12) 厲国権: 鉄道貨物輸送により物流費用・環境負荷低減効果の評価手法, 鉄道総研報告, Vol.24, No.10, 2010