

# 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 平栗 滋人

## 1. はじめに

鉄道総研では信号・情報通信分野において、鉄道の安全性・信頼性や利便性の向上を目指した研究開発を推進している。特に近年は、進展の著しい情報通信技術の活用が重要なキーワードとなっている。本発表では、列車運行のさらなる安全の向上を目指した知能列車、鉄道の利便性向上に資する移動円滑性の評価手法に関する研究成果について述べる。この他、基盤となる技術として転てつ機の状態監視手法、通信誘導障害の予測計算の研究成果を紹介する。

## 2. 知能列車による列車運行のさらなる安全向上

### 2.1 基本的な制御方法

列車運行の安全は、信号システムに代表される機械と人間（運転士）が協調して実現するものであるが、線路上の障害物、沿線での災害、車両の異常などに対する判断は、運転士に委ねられる部分が多い。そこで、各種のセンシング技術を活用して、運転士の知覚を補完し、状況に応じて推奨される運転を判断、制御あるいは表示する知能列車と呼ぶシステムを開発した（図1）。

知能列車は大きく分けて、親知能と子知能から構成される（図2）。子知能は、目的事象ごとにセンシングと、受け持ち事象だけから見た安全な運転方法の判断を行う。今回は、画像による前方監視、台車の健全性監視などを対象として検討を行った。親知能は各子知能の情報を統合して列車として最も安全な走行方法を最終的に判断する。具体的には各監視項目とその状態に対して、システムが介入する方法（即時停止、減速して安全な場所に停止など）などを定めておく。ここで、例えば「安全な場所に停止」と判断した場合には、ある地点で停止した場合の危険性（地点リスク）、および走行の継続による危険性（走行継続リスク）を考慮して、総合的な危険性が最も小さい箇所を停止すべき位置と判断する（図3）。地点リスクは、停止した場所からの避難の容易性、橋りょうなどの存在を考慮して定める。また、前方の障害物を検知した場合には、その検知地点を中心にリスクが分布するように設定する。走行継続リスクは、例えば、脱線が懸念されるような場合には、距離に対して急激に増大する。

これらの制御方法と運転士への情報表示を含む検証システムを試作し、運転シミュレータを使用した検証を行い、所定の動

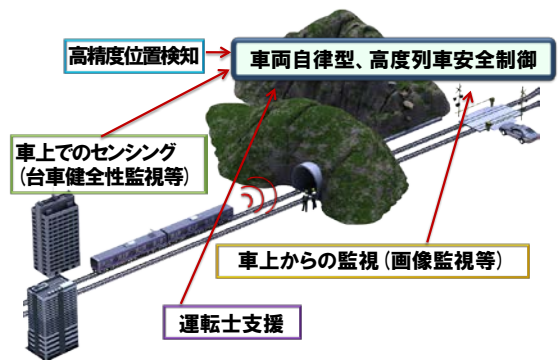


図1 知能列車の概念

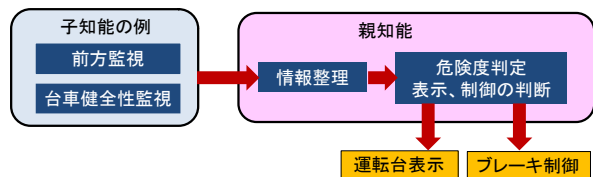


図2 親知能と子知能

作をすることを確認した。

## 2.2 その他の要素技術

知能列車では地上-車上間，親知能-子知能間で安全に関わる制御情報のほか，保守用の状態情報など，伝送上の性能に対する要求レベルが異なるものが混在している。これらを，通信設備に要するコストを抑制した上で，適切に管理できるようなネットワーク構成とフレームフォーマットを提案している。

また，設備などの位置を管理するための基盤として，異なる系統間の情報を統一的に取り扱うため，GML（Geography Markup Language）に基づいた路線空間情報の仕様を策定した。

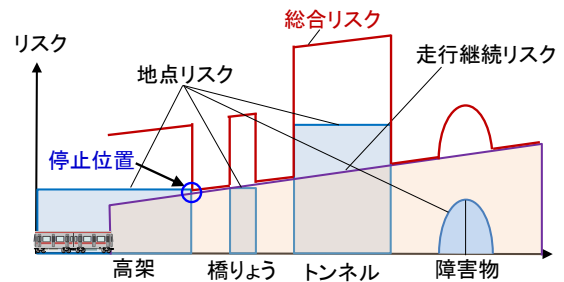


図3 リスクを考慮した走行制御

## 3. 移動円滑化による利便性の向上

### 3.1 概要

列車や他の交通機関との乗り継ぎが行われる駅での移動円滑化は，鉄道の利用拡大や環境負荷の低減に寄与することが期待される。また，駅と駅を結ぶ経路上を移動する際の利便性が高いことも，全体としての移動円滑化にとって重要である。そこで，交通ネットワークの整備，駅設備改良の方針決定や，大規模災害などの異常時も含む輸送計画の策定を支援する評価手法を開発した。

### 3.2 駅に着目した移動円滑性の評価手法

鉄道のネットワークを「都市間」，「都市内」，「駅とその周辺」の3つの階層で捉えて評価する手法を開発した（図4）。

都市間については，全国の旅客流動実績データなどを入力とし，消費者余剰<sup>1)</sup>とCO<sub>2</sub>排出量を改善するような，理想的な交通ネットワークを多目的遺伝的アルゴリズムを用いて導出する。この結果，複数の最適解が得られ，その中から分析目的に合った解を選択する



図4 鉄道ネットワークの移動円滑性評価

ことができる。得られた解（ネットワーク）と現状とを比較し、現状の利用者数が最適解の場合を大きく下回る駅をボトルネックとして抽出する。この手法は、新線の開業や災害時の路線の長期運休、人口減少など社会情勢の変化などを想定した最適ネットワークの検討や、旅客数推定などへも活用可能である。

都市内については、複数種別の列車が運行されている場合を考慮して、旅客の列車選択行動を表す数理モデルを作成し、これに列車ダイヤ、時間帯別 OD データを組み合わせ、旅客滞留数が多く見込まれる駅を抽出する手法を開発した。

これらの手法によって抽出された、移動上のボトルネックとなる駅を対象としてバスなど他の交通機関との乗り継ぎ利便性を定量的に評価する手法を開発した。移動経路上の階段の存在などの要素を考慮して移動抵抗を算出する手法を提案し、結果を可視化するツールを開発した。これによって、改良が必要な箇所の抽出や、改良策の評価を行うことができる。

### 3.3 移動円滑化のための輸送計画の評価手法

列車ダイヤの評価などに活用している列車運行・旅客行動シミュレータをベースとして、信号設備条件や、車両性能を考慮して、運転曲線レベルで列車走行を精緻に再現するシミュレータを開発している<sup>2)</sup>。これによって、旅客の視点、消費エネルギーなど社会に対する影響、列車本数など経営上の視点といった様々な角度から輸送計画を評価できる。

一方、大規模な災害などによって列車運行が長時間停止した場合を対象として、運行再開の計画を評価する手法を開発した。運行再開の計画案と駅の入場規制案、および旅客の移動に関するデータを入力し、駅での待ち時間や移動状況を計算し、輸送量と駅での滞留旅客数を得る。これによって、例えば入場規制の実施によって運行停止を回避できる効果を確認することができる（図5）。今後、実用に向けて、入力データの与え方、想定するシナリオの考え方の整理などに取り組む予定である。

本研究は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金により実施した。

本研究は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金により実施した。

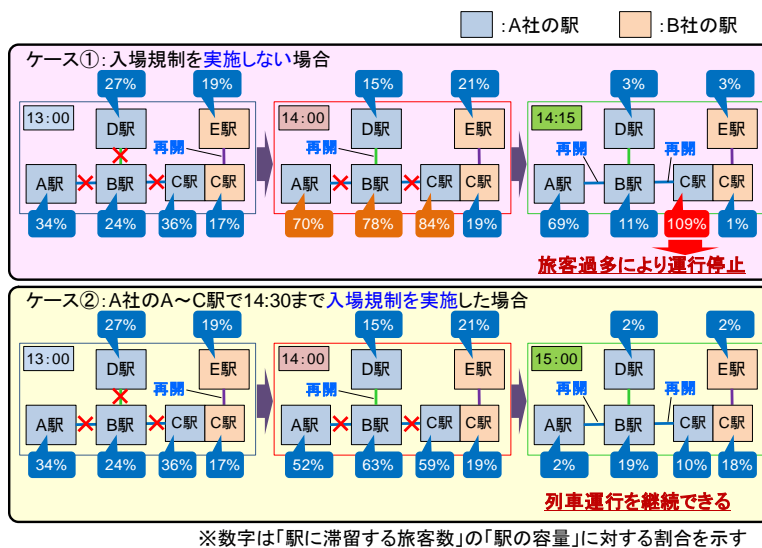


図5 長時間の運行停止からの再開計画の評価

## 4. 基盤技術の研究開発

### 4.1 転てつ機の状態監視

転てつ機に転換不能などの不具合が発生すると、列車運行に大きな影響を及ぼすことがある。これに対しては、転換動作に関する不具合を事前に把握し、未然に対策を講じることが有効である。しかし、転換動作に関する特性は転てつ機ごとに異なる特性を持っているため、一律な基準による判定が困難である。検討の結果、トングレールのストロークに対する転換負荷力が平均値を中心に正規分布に近い形で分布することが分った。そこで、

これを利用して、通常時の負荷力データを蓄積、統計処理することで、個別の転てつ機ごとにしきい値を計算し、これを超えた場合に警報を発するシステムを開発した(図6)。試作システムによる約1年間の検証の結果、転換動作の異変を検出できることを確認している。

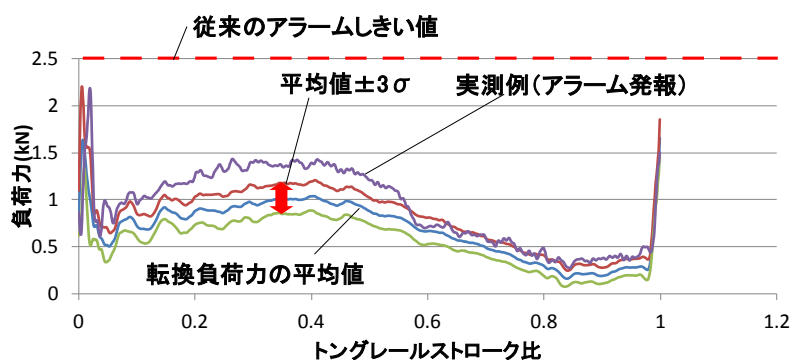


図6 転てつ機の状態監視

#### 4.2 通信線に対する誘導予測計算

電化区間において、沿線に敷設される通信線には列車の走行に伴い、誘導電圧・電流が発生し、伝送品質が低下するなどの影響が生じることがある。従来から、シミュレーションを利用した評価が行われてきたが、計算できる周波数が音声帯域に限定されていた。また、ケーブル構造や土木構造物中の鉄筋の影響は計算値を補正することなどによって誘導量を大きめに見込んでおり、設計上の余裕が大きい可能性があるなどの課題があった。そこで、周波数が高くなるにつれてモデルを細かく分割するとともに、大地の影響や導体の表皮効果を考慮したパラメータ計算に適切な近似式を採用する新しい手法により、予測できる周波数をデータ伝送帯域の1MHz以上まで拡大した(図7)。また、導体数の制限を無くし、並列処理を導入して計算速度を向上させることで、設備条件を詳細に考慮できるようになり、予測精度が10%程度向上している。

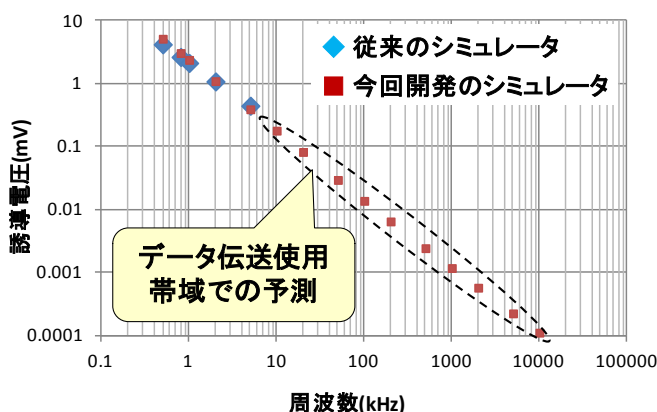


図7 通信線に対する誘導予測計算

#### 5. おわりに

今後、本発表で紹介した成果の展開を図るとともに、新たな技術開発を通じて、鉄道の安全性・信頼性、経済性、利便性の向上に資する成果をタイムリーに発信していく所存である。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局：鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル，2012
- 2) 武内陽子，坂口隆，熊澤一将，國松武俊，佐藤圭介：運転曲線レベルで再現可能な列車運行シミュレーション，鉄道総研報告，Vol.28，No.4，pp.41-46，2014