

特集：情報・通信

# 情報通信技術に関する最近の研究開発

福田 光芳\*

Trend on Research and Development Relating to Information and Communication Technology in Railway Fields.

Mitsuyoshi FUKUDA

In various industrial fields, innovation of systems and improvement of business operations through the use of information and communication technology, or so-called digital technology, have become urgent challenges. In railway industries, decline in the working-age population as well as changes in behavior triggered by the COVID-19 have led to stronger demands than ever before for labor and manpower savings and lower costs. To accomplish these tasks, innovation in railway systems using digital technology is expected. This paper presents recent research and development using digital technology, in terms of data analytics, sensing and recognition, and information networks.

キーワード：デジタル技術, データ解析, 画像処理, AI, 情報ネットワーク

## 1. はじめに

様々な産業分野において、情報通信技術を活用したシステムの革新や業務の改善などが喫緊の課題となっている。鉄道分野においては、生産年齢人口の減少に加えてコロナ禍を発端とした行動様式の変化により、省力化、省人化や低コスト化の要望が以前に増して強くなるとともに、早期の目標達成が求められている。

鉄道総研においては、基本計画 RESEARCH 2025 において、「デジタル技術による鉄道システムの革新」を活動の基本方針の1つと定め、情報通信技術の鉄道への導入を推進し、列車運行の自律化やデジタルメンテナンスの促進など、鉄道現場での労働力不足等の課題に対応した省力化技術に関する研究開発を重点的に実施することとしている。また、2022年4月に情報通信技術研究部を新設し、鉄道におけるデジタル技術の活用を分野横断的に促進するための体制を強化した。鉄道システムを革新する「切り口」として、①データを解析し、メンテナンスや営業・輸送サービスの意思決定を支援する技術、②カメラやLiDARなどでセンシングした結果を画像処理やAI等で認識・判断し、メンテナンス省力化や安全性向上を図る技術、③デジタル技術活用のためにデータ伝送・集約する情報ネットワークや無線通信などの基盤技術の3つに着目し、それぞれに対応した情報解析、画像解析、通信ネットワークの3研究室を設置した。なお、実用的な成果を得るためには、鉄道システムの各分野の技術との連携が重要であるので、各系統の研究者と連携して研究開発を進めることとしている。

本稿では、上記①～③の切り口で、最近の研究開発を

紹介する。

## 2. データ解析と意思決定

設備等のメンテナンスにおいては、高頻度・多箇所のデータの自動計測と集約が可能となりつつあること、データ解析技術の進化などから、各系統で様々なデータ解析の取り組みが行われている<sup>1)2)</sup>。一方で、直接的なデータ計測や、高頻度の自動計測が困難な設備等もある。また、設備の劣化傾向等を高い精度で推定することが難しい場合もある。そこで、メンテナンスの効率化、高度化を目的とし、自系統だけでなく、他系統の計測データも用いてデータ解析する方法について研究開発を進めている。

また、営業・輸送サービスは旅客利便性のほか、鉄道事業者からの視点では、運輸収入など複数の指標で評価することが考えられる。利便性向上は収入増加に直結しない場合もあるが、需要喚起、他交通機関に対する競争力強化、企業イメージ向上など様々な効果が期待できる。列車運行に関わる様々なデータを集約・解析・評価を行い、改善方法の評価や提案ができれば、輸送サービスの品質向上や営業力の強化に資することができる。

以下、これらの2つの観点で、最近の研究開発を紹介する。なお、どちらの観点においてもデータ解析は、手段であり、検査周期の延伸やメンテナンス体制の変更、営業施策の判断など意思決定に資する結果を出せることが重要である。

### 2.1 分野横断のデータ解析

鉄道システムは車両、軌道、電力など様々な業務システムから成り立っている。メンテナンスに必要なデータは、

\* 情報通信技術研究部長

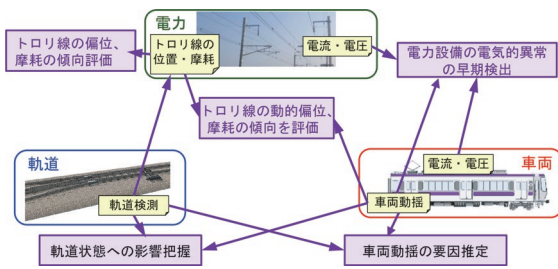


図1 複数系統の相互関係の一例

業務系統毎に計測・集約・解析が行われている。しかし、異なる業務系統間の設備は相互に影響しており、メンテナンスの効率化を進めるためには、分野横断的な解析が効果的と考えることができる。例えば、車両で得られる計測データは、軌道や電力設備の状態の影響を受けるので、図1のように相互に影響しているといえる<sup>3)</sup>。データのフォーマットや位置の基準（キロ程）が業務系統毎に異なるので、これらを共通化するための方法を検討するほか、複数の業務系統間のデータを統合して分析する手法について研究を進めている<sup>4)</sup>。例えば、他系統のデータに、自系統の主要なデータと類似した変化傾向を示すデータを見つけられれば、データ計測の周期が長い場合やデータ欠損がある場合に、他系統のデータから健全性等を確認できる可能性がある。さらに、これまで検出できなかった劣化の兆候の検出など、分野横断的な解析への期待は大きい。

まずは、分野横断的な解析のための統合分析プラットフォームの構築とともに、分析手法の検討を深度化し、上記に示したような効果が得られることを示したい。

## 2.2 営業・輸送サービスの評価

営業・輸送サービスの評価に関わる研究開発として、地域鉄道におけるパターンダイヤの利便性評価<sup>5)</sup>、貨物鉄道ネットワークに対する災害対策<sup>6)</sup>、都市鉄道における鉄道路線イメージと沿線居住意向の関係の定量化<sup>7)</sup>を行っている。

列車が等間隔に発車するようなダイヤをパターンダイヤと呼んでいる。参考文献5では、ダイヤのパターン化により旅客の期待待ち時間を小さくできること、運行本数を増やさずとも、ダイヤのパターン化により、旅客からの利便性評価を向上できる可能性があることを示している。

参考文献6は災害時の事業継続計画（BCP）策定の一環として、輸送サービスの頑健性向上のための対策について評価する手法を報告している。この手法では、事前の設備改修等に要するコスト（投資コスト）、災害発生後に不通区間が存在する状況での輸送量（不通時輸送量）とその運用に要するコスト（災害時コスト）の観点で、事前の対策や災害発生後の復旧手順（どの区間から

復旧させるか等）を評価できるようにしている。

参考文献7は都市鉄道における路線の持つブランドやイメージと居留意向（その路線沿線に住み続ける意向、その路線に転居する意向）の関係について、アンケート調査の結果を分析・考察したものである。鉄道路線の沿線居住者の増加・維持を図るための施策立案の際の意思決定に活用していただくことを見据えたものである。現段階では、定性的なイメージとの対応しか示していないが、イメージを変化させる定量的な要因と対応づけられれば、鉄道事業者の施策への活用が可能になる。

また、旅客運輸収入の変動に対して影響を与えうる要因候補を調査・整理し、各要因候補と収入変動との因果関係を定量化することによって、収入変動の要因とその効果を明らかにすることを目指している<sup>8)</sup>。これはCasual Impactという新しい手法を適用した研究であり、将来の運輸収入の推定や、運輸収入の増加を図る営業施策等の実現を目指すものである。

## 3. センシングと認識・判断

これまで鉄道分野で用いられてきたセンシングは、電圧や変位量などの物理量を計測するものであった。設備監視等に必要な物理量を直接的・間接的に計測できるため、多くの場合、高度な処理を施さなくても状態の認識や判断が可能である。一方で、計測すべき箇所が多くなると、コストや信頼性の面で実用的ではなくなる場合もある。また、目視で状態を判断していた事象は、単純な物理量の計測では代替が困難であることが多い。

この課題を解決する方法として、カメラやLiDARなどを用いたセンシングと認識・判断の技術が注目されている。これらのセンサは対象範囲を2次元あるいは3次元のデータとして一括取得できるので、計測箇所毎にセンサを取り付ける必要がないうえ、目視で得られる情報と同等の情報をデータとして取得できる。これらの技術が注目されるようになった背景は、カメラやLiDARなどセンサの性能向上と低価格化に加え、画像処理やAIなどの処理技術の進化がある。

ここでは、処理技術の観点で最近の研究開発について紹介する。

### 3.1 物体認識

カメラやLiDARなどのセンサを用いる主要な目的として、物体の有無や種別を判別することがあげられる。これまでも、画像処理の技術や、対象物の特徴に特化したアルゴリズムを埋め込むことにより、物体の有無や種別を判別することはできていたが、AIを活用することにより、これらの性能が大きく向上している。図2は運転台から撮影した画像から登録済みの設備を抽出し、種

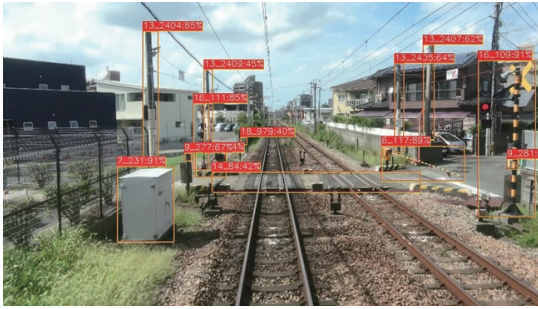


図2 設備の認識結果の例



図3 射影変換の例

別ごとに分類するシステムで用いている AI の実行例である<sup>9)</sup>。オレンジの枠は、登録済みの設備として抽出したことを示し、その上の数字は設備種別や認識の確からしさを示している。学習用のデータ作成ができれば、アルゴリズムを変更することなく様々な設備に対応できる。また、まくらぎを認識して劣化状態を判別するシステムでも物体認識の AI を活用している<sup>10)</sup>。

### 3.2 俯瞰画像への変換

画像中の対象物の大きさや形は、対象物とカメラの位置や角度により変化する。対象物にカメラを正対させて一定距離で撮影できれば、大きさや形が統一できるので、処理が単純化できるが、既設のカメラを活用したり、撮影方法の容易さを優先する場合は、必ずしもこの条件を満たせない。このような場合に有効な手法として、射影変換により正対した画像（俯瞰画像など）を得る手法があげられる<sup>11)</sup>。

射影変換の例を図3に示す。図3の左側の画像はホーム上の点字ブロックや旅客、車両側面を模擬したセットにおいて、車両側面に設置されたカメラから撮影したものである。図3右側の画像は、射影変換により、俯瞰画像に変換したものである。点字ブロックのサイズは既知であるので、1画素あたりの長さを算出することにより、人物とホーム端の距離を算出することができる<sup>12)</sup>。

これにより、車両側面に設置されたカメラの画像から、旅客の接近等を検知し、運転士に注意喚起を行ったり、乗降人数のカウントを行うことができる。

また、図2のアプリケーションでは、俯瞰画像を用いることにより、フレーム間でのまくらぎの移動量を算出し、走行距離を計算できるようになっている。

### 3.3 周波数解析

画像の中から特定の周波数を検出して、物体や事象を検出する技術がある。

特殊信号発光機の明滅を検知するアプリケーションでは、動画の各フレームをしきい値処理によって“1”か“0”（点灯 or 滅灯）に二値化し、連続する動画のフレームを重ね合わせることで、点滅のパターン（ビット列）を得る。重ね合わせ結果の画像から特殊信号発光機の周波数を表すビット列を探索することで、特殊信号発光機の点滅を検知する<sup>13)</sup>。

また、踏切の遮断かん折損を検知するアプリケーションでは、1枚の画像中の空間的な周波数を解析し、遮断かんの折損有無を判別している<sup>14)</sup>。遮断かんは、「黒色」「黄色」が一定間隔で繰り返されているので、この繰り返し状況を周波数分析により判別し、所定範囲から逸脱した場合に遮断かん折損と判断している。

## 4. 情報ネットワーク

鉄道では、無線・有線の通信技術の研究開発に古くから力が注がれ、国内の通信技術をけん引する場面もあった。また、鉄道の運行業務に用いられる通信システムの多くは、自営回線として設備されてきた。しかし、これらの通信技術を含む情報ネットワーク技術の進化は著しく、性能・コストの両面で汎用技術や公衆通信回線を活用することが有益となってきている。このような状況に対応し、汎用技術、公衆通信回線を利用したシステムの研究開発が盛んになってきている。

### 4.1 公衆通信回線の活用

現在、鉄道の運行業務で使われている通信システムでは、鉄道事業者が自社で設計・施工し、保守管理等を行う自営網が多く用いられている。一方で、近年は移動体通信技術の発展が著しく、特に第5世代移動通信システム（5G）では、「超高速・大容量」という特徴だけでなく、「高信頼・超低遅延」あるいは、「多数同時接続」という特徴で通信することが可能となる。これらの特徴を選択可能な5Gのサービスを活用することで、従来の鉄道アプリケーションの機能向上に加えて、新たなアプリケーションを創出することが期待されている<sup>15)16)</sup>。しかし、個別に5Gを適用したアプリケーションの実装を進めると、

その都度、様々な仕様や独自の取扱いに対応する必要が生じ、鉄道事業者と通信事業者の双方で導入検討やシステム設計に多くの工程・コストを要する。そこで、運行制御システムの機能の実現に向けた要件定義の方法や導入時の基本的なシステム設計、運用の基本的な考え方をガイドラインとして作成を進めている<sup>17)</sup>。このガイドラインでは、5Gの導入を検討する鉄道事業者の視点で、運行制御システムへの5G適用の要否判断から、導入する際のシステムや設備を設計する基本的な方針、および、運用における保守・保全に関する留意事項を示す予定である。また、鉄道事業者がガイドラインの記載をカスタマイズすることで要求仕様を策定できるようにする。

## 4.2 情報ネットワーク

先述の通り、5Gなど新しい技術や公衆回線網を活用することにより、鉄道アプリケーションの機能向上を図ったり、通信設備の維持管理コストを低減することができる。一方で、個々の鉄道アプリケーションから見ると、これらの技術はあくまでも手段であり、通信媒体に拘らず、所定の通信品質で情報授受できればよい。このような観点から、列車が様々な媒体を切り替えながら通信を行う方法の研究開発も行われている<sup>18)</sup>。また、現状では鉄道アプリケーション毎、あるいは、技術系統毎に独立した通信システムを構築しているが、これらの通信システムを統合できれば、通信設備の省設備化に加え、技術系統間の情報共有により、2.1節に示したような効率的なメンテナンスにもつながる。このような通信システムを実現するため、我々は複数の通信媒体、複数の鉄道アプリケーションを統合し、さらに、鉄道アプリケーション毎に異なる情報の重要度や優先度などの要件に応じて、通信媒体や経路を切り替えるためのプロトコルRITP (Railway Information Transfer Protocol) を提案している<sup>19)20)</sup>。

## 5. まとめ

本稿では、データ解析と意思決定、センシングと認識・判断、情報ネットワークの切り口で、最近の研究開発を紹介した。これらの技術は、あくまでも共通技術であり、鉄道システムの各業務システムの技術と一緒に初めて効果が得られる。引き続き鉄道事業者をはじめとする関係各位にご指導・ご協力をお願いする次第である。

## 文献

1) 久田斗志：スマートメンテナンスの取り組み状況について～データの利活用～, JR EAST Technical Review, 東日本旅客鉄道株式会社, No.67, 2021

2) 高月真明：鉄道沿線設備の状態監視に向けたIoT化の推進、技術の泉, 西日本旅客鉄道株式会社, No.46, 2022

3) 流王智子, 河村裕介, 羽田明生, 栗田いずみ：分野をまたがる鉄道メンテナンスデータの統合分析プラットフォームの開発, 鉄道総研報告, Vol.36, No.8, pp.51-56, 2022

4) 河村裕介, 羽田明生, 細川雄太, 流王智子：鉄道のメンテナンスデータに対する変動傾向の定量化手法, 電気学会産業応用部門大会予稿集, 2022

5) 鈴木崇正, 渡邊拓也, 奥田大樹, 深澤紀子：地域鉄道におけるパターンタイヤの利便性評価, 鉄道総研報告, Vol.36, No.12, pp.35-40, 2022

6) 奥田大樹, 渡邊拓也, 中川伸吾, 鈴木崇正, 深澤紀子：貨物鉄道ネットワークに対する災害対策の実施効果の評価手法, 鉄道総研報告, Vol.36, No.12, pp.41-46, 2022

7) 渡邊拓也, 深澤紀子, 奥田大樹, 鈴木崇正：都市鉄道における鉄道路線イメージと沿線居住意向の関係の定量化, 鉄道総研報告, Vol.36, No.12, pp.47-52, 2022

8) 松本涼佑, 中川伸吾, 鈴木崇正, 渡邊拓也, 深澤紀子：大型商業施設の開業等が鉄道輸送の収入に与える効果に関する一考察, 第28回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2021)予稿集, 2021

9) 向嶋宏記, 長峯望：ハンディカメラによる列車前方映像を用いた信号設備の管理支援システムの開発, 鉄道総研報告, Vol.36, No.8, pp.45-50, 2022

10) 三和雅史：低コスト化・省力化に貢献する軌道技術, 鉄道総研報告, Vol.36, No.3, pp.1-4, 2022

11) 長峯望, 坪川洋友, 合田航, 前田梨帆, 加藤爽, 糸井謙介：列車前方画像を用いた画像解析による軌道設備の検査, 鉄道総研報告, Vol.36, No.12, pp.7-12, 2022

12) 合田航, 長峯望, 向嶋宏記：車両側面カメラを用いた安全確認手法, 鉄道総研報告, Vol.35, No.10, pp.23-28, 2021

13) 向嶋宏記, 長峯望, 野村拓也, 市川武：列車前方カメラを用いた特殊信号発光機の明滅検知手法, 鉄道総研報告, Vol.34, No.7, pp.17-22, 2020

14) 影山椋, 長峯望, 高崎建, 進藤卓朗：監視カメラを用いた遮断かん折損検知手法の実環境での適用に向けた時間帯に対する依存性の検証, 交通・電気鉄道/マイクロマシン・センサシステム合同研究会, TER-22-040, 2022

15) 中村一城, 北野隆康, 川崎邦弘, 近江泰志, 藤嶋堅三郎, 市川駿：第5世代移動通信システムの鉄道運行業務への適用可能性検証, 鉄道総研報告, Vol.36, No.8, pp.23-30, 2022

16) 中村一城, 北野隆康, 竹内恵一, 流王智子, 川崎邦弘：鉄道運行業務への公衆5G活用に向けたローカル5Gを用いた基礎検討, 電子情報通信学会, 無線通信システム研究会, 2022

17) 北野隆康, 岩澤永照, 中村一城, 竹内恵一, 川崎邦弘：鉄

- 道運行制御システム向け 5G 活用ガイドラインの策定に向けた検討項目の整理, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2022
- 18) Adaptable Communications System Field Test Strategy, <https://projects.shift2rail.org/download.aspx?id=1f74972f-8a50-4564-bf18-af560414d90d>(参照日：2022年9月21日)
- 19) 流王智子, 羽田明生, 中村一城, 川崎邦弘：鉄道運行向け統合情報ネットワークにおけるプロトコルの機能確認試験, 電気学会, 通信研究会, 2022
- 20) 流王智子, 羽田明生, 山口大介, 中村一城, 川崎邦弘：鉄道向け通信プロトコルにおける伝送媒体利用機能の提案, 鉄道総研報告, Vol.36, No.12, pp.13-19, 2022