

# グローバルな鉄道システム・サービスの革新を支える研究開発

鈴木 敦

Suzuki Osamu

佐藤 裕

Sato Yutaka

額賀 信尾

Nukaga Nobuo

崎川 修一郎

Sakikawa Shuichiro

勝田 敬一

Katsuta Keiichi

森田 潔

Morita Kiyoshi

都市の大気汚染や交通渋滞の解決手段として鉄道が注目を浴びている中、日立は、鉄道システム・サービスの革新に向け、計測・シミュレーション・IoTを基盤に、乗客や鉄道事業者の価値向上に取り組んでいる。

車両・電気品・信号・運行管理など主要プロダクツの基本性能向上に加え、近年では、地上車上間の電力連携や業

務システムの運用連携、駅構内の人流把握など、大規模で複雑な鉄道のオペレーションを高効率化するソリューション開発にも注力している。また、日立の顧客協創方法論であるNEXPERIENCE/Cyber-Proof of Conceptを鉄道事業向けにも開発し、顧客協創の加速に取り組んでいる。

## 1. はじめに

大都市が抱える大気汚染や交通渋滞などの社会課題の解決手段として、また、近年では街区の創生やリノベーションの中核として、鉄道システム・サービスが注目されている。本稿では、日立がグローバルで存在感のある鉄道総合システムインテグレーターをめざして成長を続けるための研究開発の取り組みを俯瞰（ふかん）する。

## 2. 鉄道研究の全体像

日立の鉄道研究は、世界各地域の顧客のニーズに即したサービス・ソリューションを開発する社会イノベーション協創センタ（以下、「CSI」と記す。）と、技術を通じてプラットフォームやプロダクツを開発するテクノロジーイノベーションセンタ（以下、「CTI」と記す。）を中心に進めている。

海外の研究拠点を統括するCSIでは、英国のロンドンに設立した欧州鉄道研究開発センタ（ERRC：European Rail Research Centre）と東京社会イノベーションセンタ（以下、「CSI東京」と記す。）の2拠点を中心に顧客協創を進めている。ERRCはロンドンを拠点とする鉄道ビジネスユニット本社との密な連携を礎に、英国向けの車両や保守、運行管理システムの現地適合を含め、欧州地域での顧客協創を推進している。CSI東京は、アジア太平洋地域での顧客協創に加え、エクスペリエンスデザインによる車両や情報システムのデザインならびにサービスデザインの研究開発に

注力している。

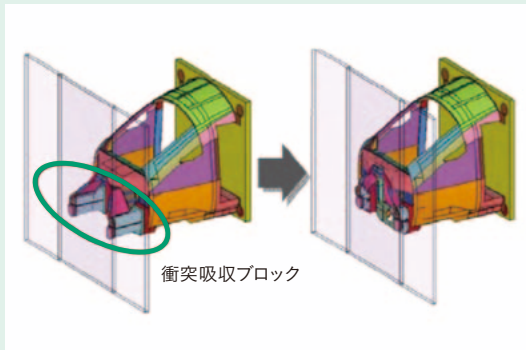
さまざまな要素技術を体系化した技術基盤を有するCTIは、車両・主回路・信号・運行管理などの主要プロダクツの技術革新を牽（けん）引するとともに、近年では鉄道システム全体の最適制御をめざした研究開発にも注力している。

鉄道研究では、計測、シミュレーション、そしてIoT（Internet of Things）に関連する技術基盤が特に重要である。鉄道で生じる複雑な現象を的確に捉える計測技術の代表例としては、走行車両から発生する騒音の音源分布計測や高精度空力騒音評価を可能とする風洞計測技術などがある。また、鉄道を実スケールで検証するには多大な時間と費用が必要なため、システムコンセプトの検証やプロダクツの設計最適化には計算科学シミュレーションの活用が欠かせない。さらに、鉄道オペレーションの最適化には、IoTの活用によってシステム上のさまざまな挙動をリアルタイムに捉え、これを制御することが重要となる。

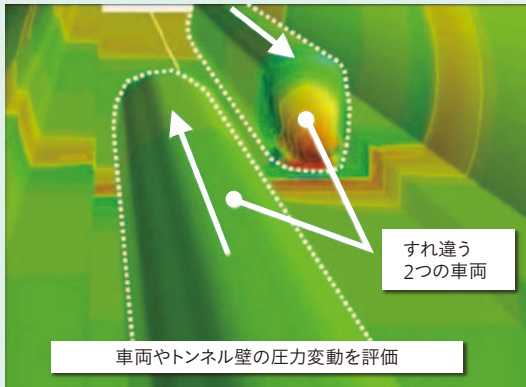
## 3. 主要プロダクツの研究開発

### 3.1 車両システム

車両開発では、ダイナミクス・熱流体・騒音・振動などが互いに影響する複雑な現象への深い理解が必要であるが、実スケールでこれらの現象を再現するには多大な時間と費用を要する。そこで日立は、車両開発の上流段階から



(a) 衝撃吸収ブロックを備えた先頭車の衝突解析事例



(b) トンネル内ですれ違う車両の表面圧力変動解析事例

### 図1 | 解析主導設計の適用事例

大規模な実験に代えて精度のよい車両特性評価を実現することで、車両の開発期間とコストの削減が可能になる。

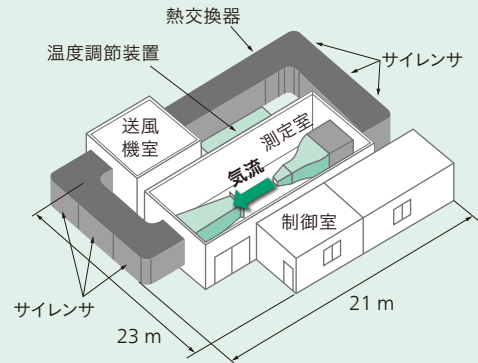
大規模数値シミュレーション（以下、「解析」と記す。）を駆使して車両の開発期間とコストを削減する「解析主導設計」を推進している（図1参照）。

また、シミュレーションでの現象把握が難しい騒音評価を目的に、鉄道研究に特化した高速低騒音風洞設備を開発した。この設備は、時速420 km 気流下の車両模型から発生する騒音を高精度に計測可能な環境を有しており、本風洞の活用により、特に高速車両開発に不可欠な車外騒音や空気力学的な特性の事前評価を可能としている（図2参照）。

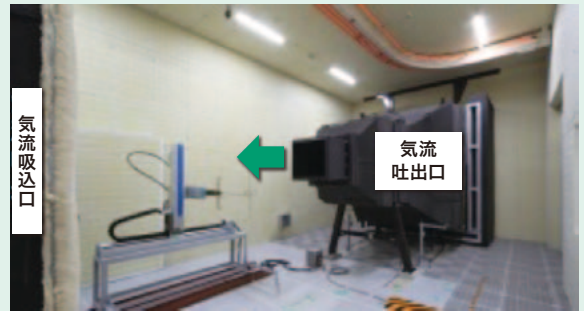
### 3.2 駆動システム・運転支援システム

日立は、主に省エネルギーをねらいとして、SiC (Silicon Carbide) を用いた低損失パワーモジュールや高効率電動機、リチウムイオン電池などのコンポーネントから、これらのコンポーネントの特長を生かす駆動システム、および、その制御技術の研究開発を進めている。例えば、詳細な磁界シミュレーションを通じて、主電動機の高調波磁束の分布を把握し、これに基づいて高調波損失低減を図る制御を開発している。

また、運転支援システム向けの研究開発事例として、列車自動停止制御装置のパラメータ自動調整機能がある。本



(a) 設備の全体構成



(b) 測定室の概観

### 図2 | 高速低騒音風洞設備の概要

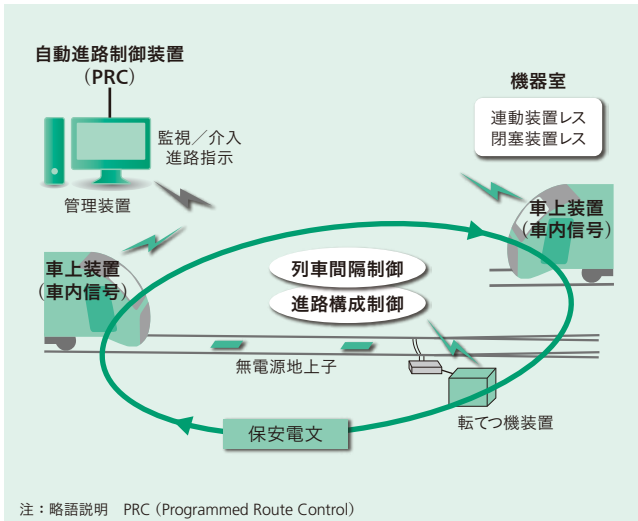
低い暗騒音環境下で時速420 kmの気流を発生させることができる。

機能は、走行実績データを常時統計処理して、変化する車両特性を把握し、その結果を走行制御指令に反映させて常に適切なブレーキ指令を出力するものであり、車両納入後の初期調整の工数低減や、営業運転中の停止精度維持が可能となる。

### 3.3 信号保安システム

信号保安システムの究極の姿は、列車の運行に本質的に必要とされる装置のみが相互に情報を交換し、その安全を確保する形態であると考えられている。このようなシステムが実現できれば、設備が最小化し、システムのライフサイクルコストが低減する。

そこで、日立では、車上装置と転てつ機（進路を変える装置）だけで保安機能を実現できる、リングトポロジーCBTC (Communication Based Train Control) の開発を推進している。従来、保安機能の核となる列車間隔制御や進路構成制御は、連動装置や閉塞装置などの地上側設備で行っていたが、このCBTCでは、これらの地上側制御装置の代わりに、車上装置と転てつ機間の情報共有、すなわち、保安情報を含む電文の回覧で保安機能を自律的に実現する。なお、その電文は、唯一性を保証する高信頼通信プロトコルで回覧される（図3参照）。



注：略語説明 PRC (Programmed Route Control)

図3 | リングトポロジーCBTCの概要

リングトポロジーCBTC (Communication Based Train Control) は、連動装置や閉塞装置で行っていた列車間隔制御や進路構成制御を保安電文の回覧で実現することで、簡素な地上側設備による列車制御を可能にする。

### 3.4 運行管理システム

近年の鉄道輸送では相互直通運転によって利便性が向上する一方、運行乱れの復旧に時間がかかり、旅客サービスの低下が懸念される。これに対して日立では、数理計画技術を適用した運転整理支援技術を開発している。

運転整理支援技術の一つである列車運行予測技術は、現在から数時間先までの列車の運行時刻を求めるものである。オペレータは列車運行予測結果を確認することで、運行支障を発生前に把握でき、事前対処が可能となる。日立は運転整理業務が必要とする高速な応答性と運行予測精度の実現に向け、数理計画技術の一つである制約プログラミングを適用した列車運行予測技術を開発した(図4参照)。

業務運用、信号状態、走行速度などの運行条件を制約式としてモデル化し、制約プログラミングの備える制約伝播(ば)と呼ばれる手法により、高速に解(列車運行予測時刻)を算出する。

この技術は実際の鉄道路線に適用され、日々の安全・正確な列車運行を支えている。

## 4. 鉄道オペレーションの高効率化に向けた研究開発

### 4.1 地上車上を連携したエネルギーマネジメント技術

鉄道システムの消費エネルギーの約70%を占める車両運用エネルギーの削減については、これまで、車両の軽量化や駆動システムの高効率化などの取り組みが主流であった。これに対し、日立では、車上の駆動システムと地上の運行管理・変電所・電力管理の情報を連携させ、リアルタイムな運行状況から出発抑止や惰行運転指示などをきめ細かく行うことで、さらなるエネルギー削減の検討を行っている。

このエネルギーマネジメント技術の中核を支えるのが、鉄道統合シミュレータである(図5参照)。このシミュレータは、車両・信号保安・運行管理・き電システムなどの主要サブシステムモデルを共通のフレームワークにつなげることで、サブシステム単体から全体システムまでを対象に、消費エネルギーをはじめ、各種指標の評価を可能としている。

### 4.2 駅構内人流解析技術

駅構内において、利用者数の変動や列車運行状況を考慮して駅構内の混雑を予測し、改善策の立案・評価を可能と

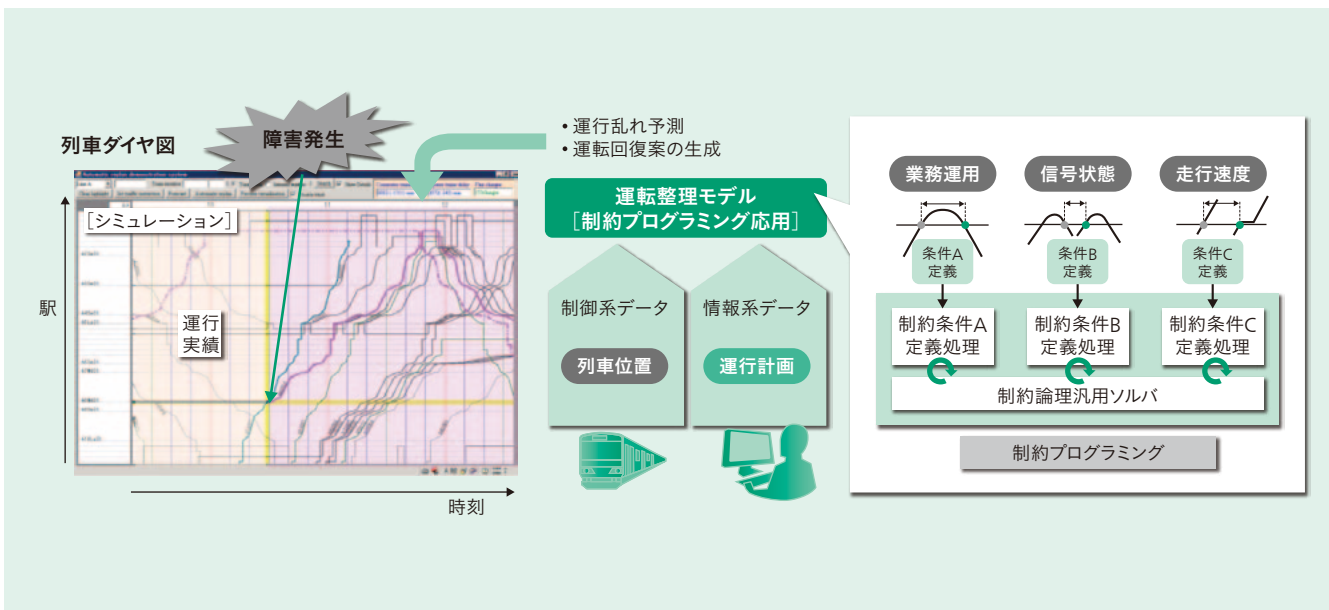


図4 | 制約プログラミングを適用した列車運行予測技術の概要

業務運用、信号状態、走行速度などの運行条件を制約式としてモデル化し、高速に列車の運行予測時刻を算出する。

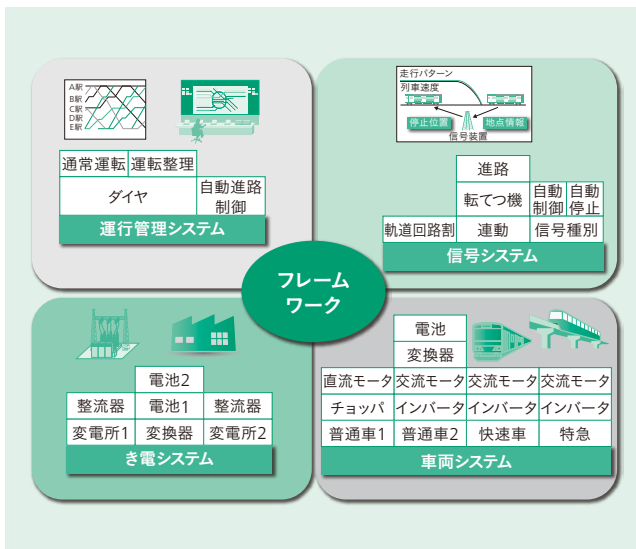


図5 鉄道統合シミュレータの特徴

評価に必要なサブシステムや構成機器を任意に設定することで、構成機器からシステム全体を評価することができる。

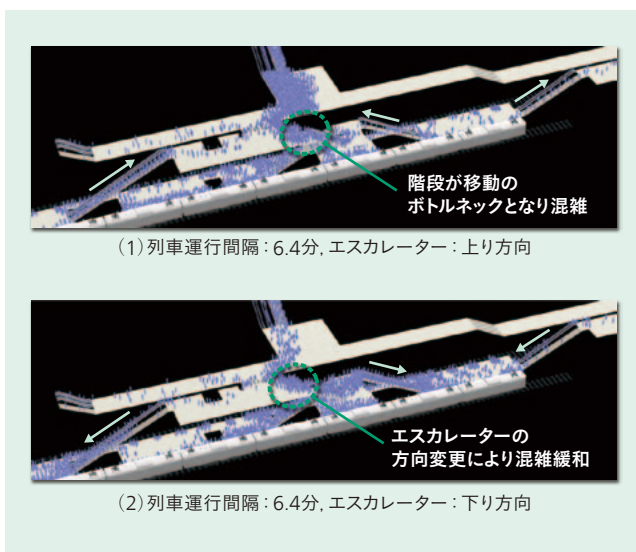


図6 駅構内人流シミュレータの予測結果の一例

既存駅のリニューアルや、新線・新駅の建設などで生じる人の流れの変化を事前に検証することが可能である。

する人流シミュレータの研究開発に取り組んでいる(図6参照)。

このシミュレータは、駅の空間設計を前提に、列車運行に合わせた列車乗降行動をはじめとするさまざまな旅客行動モデルを備え、例えばイベント時などに旅客が突発的に増加する状況において、列車を増発させた場合の混雑緩和効果などが評価可能である。

### 4.3 旅客流動解析技術

ダイヤに則って運行する列車と自律的に行動する旅客をモデル化し、列車の運行に合わせて移動する旅客の流れを推定する旅客流動シミュレータの研究開発を進めている(図7参照)。

道路交通の分野で培った経路探索技術の知見を活用し、

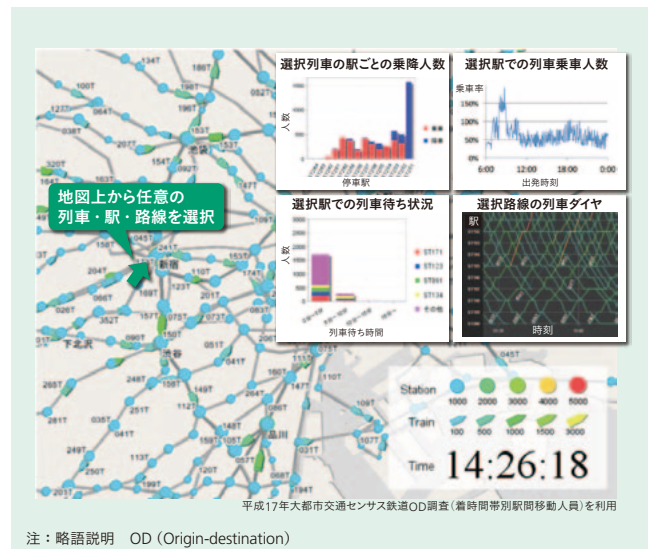


図7 旅客流動シミュレータの機能概要

列車数万本規模の複数路線の列車運行と、列車運行に合わせて移動する数千万人規模の旅客の移動状況を秒刻みで推定することが可能である。

ダイヤに則って運行する列車と、所要時間や乗り換え回数などから移動経路を合理的に選択して自律的に行動する旅客の移動とが、相互に与える影響を逐次計算することで、列車数万本規模の複数路線の列車運行を再現し、これらの列車運行に合わせて数千万人規模の旅客が移動する状況を秒刻みで推定できる。

### 4.4 業務リソースの運用連携技術

運行管理システムをシステム間連携のハブと位置づけ、鉄道に必要な資源の高効率運用を実現する連携技術の開発に取り組んでいる。例えば、列車ダイヤ・車両割当・乗務員割当を、運行管理システムを核に連携することで、運行乱れが発生した場合でも車両や乗務員などの資源を効率的

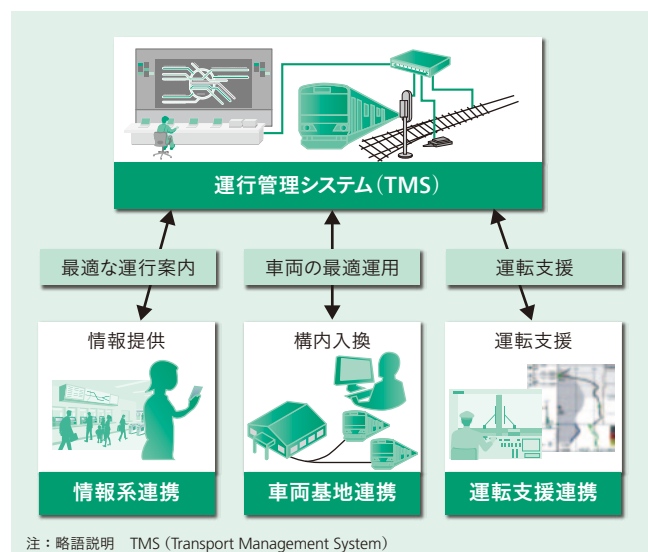


図8 業務リソースの運用連携技術の概要

運行管理システムを中心に連携することで、乗務員などの資源の効率的な運用が可能となる。

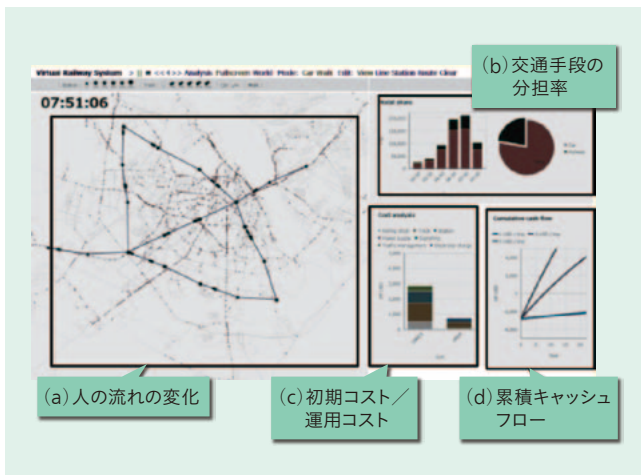


図9 顧客協創技法「NEXPERIENCE/Cyber-Proof of Concept」の画面例

大都市へ鉄道新線を敷設した場合の渋滞緩和効果と収益性を提示することで、顧客との協創活動を加速する。

に運用しながら速やかに復旧計画を提示することが可能となる(図8参照)。

さらに、旅客案内、車両の運転支援、保守などのさまざまな業務システムを運行管理システムと連携することで、業務の高効率化と運行サービスの向上を実現できる。

## 5. 顧客協創を加速する NEXPERIENCE/Cyber-Proof of Concept

日立では、システム導入検討の初期段階で、顧客と事業の全体像、およびその提供価値を共有する協創活動を支援するITツール「NEXPERIENCE/Cyber-Proof of Concept」を開発している。鉄道向けには、第4章で述べた各種シミュレータおよび経営シミュレータを組み合わせ、慢性的に渋滞が発生する大都市への鉄道新設による渋滞緩和効果と事業の投資対効果を一度に俯瞰するツールを開発し、顧客との協創活動の加速と深化に活用している(図9参照)。

## 6. おわりに

本稿では、鉄道システムの革新を支える日立の研究開発の取り組みを紹介した。

2015年度に Ansaldo Breda 社(現 Hitachi Rail Italy 社)と Ansaldo STS 社が日立グループに加わったことで、日立は鉄道事業のさらなる拡大を図っている。研究開発グループも、顧客協創と技術革新をさらに強化し、鉄道システムの革新を力強く牽引する所存である。

## 参考文献

- 1) 広瀬, 外: 鉄道システムにおける日立のエクスペリエンスデザイン, JREA, Vol. 56, No. 11 (2013.11)
- 2) 中村: 鉄道信号システムの革新, 情報処理学会誌, Vol. 55, No. 3, p. 268~276 (2014.3)
- 3) K. Katsuta, et al.: Feasibility study of ring topology CBTC system with information sharing among onboard and switch controllers, Proceedings of the 6th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis (Rail Tokyo 2015) (2015.3)
- 4) 崎川, 外: 運転整理知識を活用した制約プログラミングによる整理案作成方式, 電気学会論文誌C(電子・情報・システム部門誌), Vol. 130 (2010), No. 2, p.332~342
- 5) 鈴木, 外: 鉄道統合評価システムの開発, 第48回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集 (2011.11)
- 6) 藤原, 外: 列車運行と駅構内全域の旅客流動を考慮できるシミュレータを用いた混雑変化の推定, J-RAIL2014 講演論文集 (2014.12)
- 7) 藤原, 外: 鉄道向け旅客流動シミュレータの開発, 平成25年電気学会全国大会講演論文集 (2013.3)
- 8) 加藤, 外: 顧客協創のための事業価値評価ツールの開発と鉄道新設評価への適用, サイバネティクス (2016.1)

## 執筆者紹介



**鈴木 敦**  
日立製作所 研究開発グループ 機械イノベーションセンター  
輸送システム研究部 所属  
現在, 輸送システムの研究開発に従事  
博士(工学), 技術士(機械工学)  
日本機械学会会員, 日本伝熱学会会員



**佐藤 裕**  
Hitachi Europe Ltd. European Rail Research Centre 所属  
現在, 欧州における鉄道システムの研究に従事  
電気学会会員



**額賀 信尾**  
日立製作所 研究開発グループ 東京社会イノベーション協創センター  
顧客協創プロジェクト 所属  
現在, 鉄道分野・アーバン分野での顧客協創に従事  
人工知能学会会員, 情報処理学会会員, 電子情報通信学会会員,  
日本音響学会会員



**崎川 修一郎**  
日立製作所 研究開発グループ システムイノベーションセンター  
インフラシステム研究部 所属  
現在, 鉄道輸送管理システムの研究開発に従事  
日本電気学会会員



**勝田 敬一**  
日立製作所 研究開発グループ 機械イノベーションセンター  
輸送システム研究部 所属  
現在, 鉄道信号システムの研究開発に従事  
MIET(英国電気学会会員), 日本電気学会会員



**森田 潔**  
日立製作所 研究開発グループ 機械イノベーションセンター  
輸送システム研究部 所属  
現在, 鉄道車両の研究開発に従事  
日本機械学会会員