

電力技術に関する最近の研究開発

兎 東 哲 夫*

Recent Topics on Power Supply Technology

Tetsuo UZUKA

After the Tohoku-Pacific Ocean earthquake, all the Japanese railway operation companies have to care for energy saving problem, since Japan lost major part of electric power source. Thus, R&D about power supply technologies in RTRI should be directed toward the same direction. Also, Japan enters an era of falling birthrates, an aging society, and a shrinking population in the first half of the 21st century, and there has been a rapid decrease in the labor population. In such circumstances, maintenance free technology is another big subject for RTRI. This paper describes the recent topics on power supply technologies.

キーワード：電力設備，電車線，変電所，省エネルギー

1. はじめに

2011年3月の東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）以降続いている日本全体のエネルギー不足及び価格高騰に対応し，各鉄道事業者では全系統にまたがった省エネルギー施策を検討しており，着々と実現に至っている¹⁾。一方，2015年3月に金沢まで延長開業した北陸新幹線および2016年3月開業の北海道新幹線の後，しばらくの間は日本全体で鉄道路線新設の動きは低調である。他方，各鉄道事業者では少子高齢化時代に備えるため，一層の省メンテナンス化を進めている。

このような状況から，鉄道総研における電力分野における研究開発は，「省エネルギーで安定した電力設備実現に貢献する」ことを目標として，省エネルギーと省メンテナンスおよび安全性向上を中心としている。

本稿では電力技術に関する最近の研究開発について，次章で述べる「鉄道の将来に向けた研究開発」を中心として，鉄道総研の基本計画に沿って紹介する。

2. 鉄道総研基本計画に基づく取り組み

鉄道総研の研究開発活動はビジョンに沿って2015年度から開始された基本計画「RESEARCH 2020」に基づき，研究開発を進めている。RESEARCH 2020では，以下のような「研究開発の目標」を定めている。

- (1) 安全性の向上
- (2) 低コスト化
- (3) 環境との調和

(4) 利便性の向上

また，効果的な研究開発を進めるために，研究開発の枠組みとして以下の3項目を「研究開発の柱」に定めている。

- (1) 鉄道の将来に向けた研究開発
- (2) 実用的な技術開発
- (3) 鉄道の基礎研究

表1 RESEARCH2020における鉄道の将来に向けた研究開発（電力関連）

大課題／○ 個別課題／● 研究開発課題	
1. 鉄道システムの更なる安全性の追求	
○ 鉄道の防災・減災技術の高度化	
○ 鉄道利用者の安全向上	
○ 列車走行の安全性向上	
2. 情報ネットワークによる鉄道システムの革新	
○ 情報ネットワークを利用した列車運行	
○ ICT活用による保守の効率化	
● 電車線設備のリスク評価手法とライフサイクルコスト算出手法の提案	
● 集電系の状態監視要素技術の高度化	
○ エネルギーネットワークによる省エネルギー	
● 車両・地上設備の消費エネルギー予測に基づくエネルギーネット制御手法の開発	
● 超電導き電ケーブルの構築	
● 高機能整流器の開発	
3. 新幹線の速度向上	
○ 新幹線速度向上時の沿線環境負荷の低減	
○ 新幹線速度向上における基盤技術の開発	
4. 鉄道シミュレータの構築	
○ パーチャル鉄道試験線の構築	
○ 個別シミュレータ群の連携	

* 電力技術研究部 部長

特集：電力技術

2.1 鉄道の将来に向けた研究開発

RESEACH2020 に基づく「鉄道の将来に向けた研究開発」の中で、2015 年度に開始し、2016 年度において実施中の電力技術に係わる研究開発課題 5 件を表 1 に総括して示す。これらの研究開発課題は大課題「2. 情報ネットワークによる鉄道システムの革新」に属している。

2.2 エネルギーネットワークによる省エネルギー

(1) 鉄道省エネルギーの現状

電気事業連合会が公表している産業用電力販売量データ²⁾ から鉄道使用電力量（付帯電力および本社など使用分を含み、鉄道事業者の自営電源を含まない）と、国土交通省鉄道局監修の鉄道統計年報による鉄道旅客輸送量の推移を図 1 に示す。2005 年以前は輸送力と電力量が同様に推移し、特に 1990 年代前半まではその増加が大きかった。しかし、改正省エネルギー法が施行された 2005 年からは電力量が確実に減少し、鉄道における省エネルギー効果は明白となっている。さらに、2011 年の東日本大震災とその後のエネルギー事情激変に伴って激減した電力量は、省エネルギー施策の普及に伴って輸送量の伸びにも関わらず微減を続けている。

一方、国土交通省鉄道局では、環境省と連携して平成 24 年（2012 年）7 月に「エコレールラインプロジェクト」事業を立ち上げた。これは鉄道からの CO₂ 排出を 2030 年に 2010 年度比 2 割程度削減することを目指し、省電力化・低炭素化に計画的に取り組む鉄・軌道事業者を支援するものとなっている。

(2) さらに省エネルギーへ向けて

従来からの鉄道省エネルギー対策は、車両・運転・地上電力がそれぞれ個別に開発・施行して成果を挙げてきた。しかし、さらなる省エネルギーに向けての電車の運転電力削減に関する次のステップは、これまで個別に進めてきた車両・運転・電気各部門の省エネルギー対策に対して、情報を積極的に活用して連携を進めるソフトウェア対策となる。

鉄道総研が 2016 年度に取り組んでいる大課題「情報ネットワークによる鉄道システムの革新」に含まれる個別課題「エネルギーネットワークによる省エネルギー」では、研究開発の目標として、機器効率向上などのハードウェ

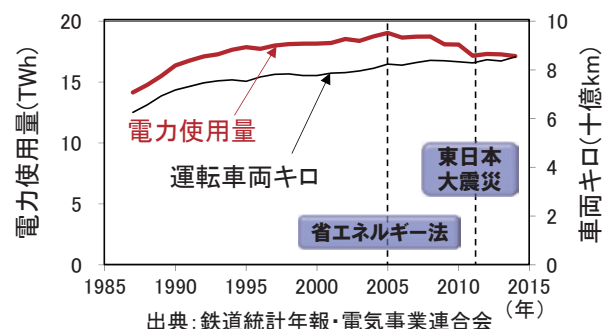


図1 鉄道輸送量と電力使用量の推移

ア対策で 10% のエネルギー削減、ソフトウェア対策で 10% のエネルギー削減を目指して研究開発を進めていく。

(3) エネルギーネットワークとその制御

電力設備と列車群との間に情報ネットワークを構築し、相互に情報を交換することによって連携してリアルタイム制御していく構成を提案し、これをエネルギーネットワークと仮称する。

エネルギーネットワークは、三つの機能で構成する(図2)。

- 電力設備と列車群との情報ネットワーク
- 予測シミュレーションと電力制御アルゴリズム
- リアルタイム制御が可能な電力機器

(4) 電力設備と列車群との情報ネットワーク

これまでの電力制御では、変電所等の電力設備と列車群とはお互いに情報を交換する手段を持っていなかった。そこで、電力設備・列車群及び指令との間に情報ネットワークを構築する(図3)。

変電所からは電圧や電流、電力貯蔵装置からは充電状態や充放電電流などの情報を伝送する。

列車群からは、力行・ブレーキノッチ、運転速度、列車やパンタグラフ位置などの情報を伝送する。

指令からは、列車ダイヤや運行状況、そして省エネルギー目標などを電力設備や列車に伝送する。

これによって、電力設備は周辺の列車群の状況を確認し、数十秒～数分先の状況を予測しつつ、電力貯蔵装置

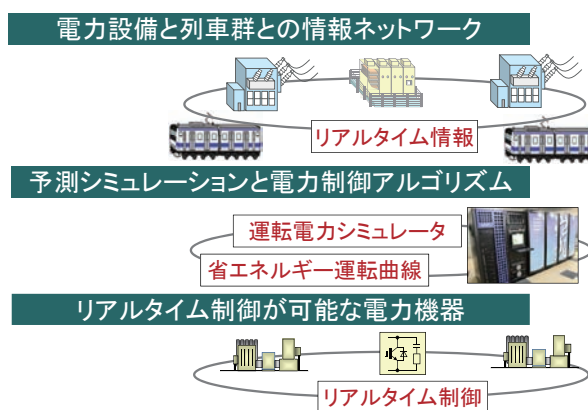


図2 エネルギーネットワークの3つの機能

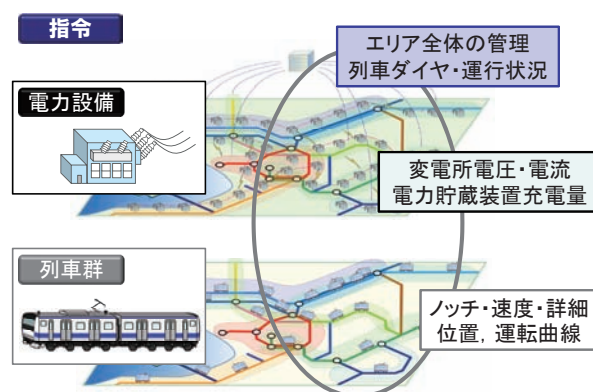


図3 電力設備と列車群との情報ネットワーク

の充放電制御及び変電所群の電圧制御を実施する。これらの地上・車上の情報は全て指令に集められ、エリア全体の管理を行い、必要によって電力設備や列車群に対して指示を行う。

(5) 開発の現状

エネルギーネットワークによる省エネルギーに関して、ハードウェアとしては、研究開発課題「超電導き電ケーブルの構築（2015～16）」において、直流電気鉄道用の超電導き電ケーブルの実用化へ向けて実路線仕様の400m級超電導き電ケーブルを製作中であり³⁾、評価試験へと進めていく。引き続き「RESEARCH2020」の枠組みにおいて、評価試験を継続するとともに、冷却装置を含めたシステム開発を進めていく。

また、「高性能整流器の開発（2015～17）」では、従来の整流器の中間にIGBT素子とリアクトルからなる電圧調整装置を挿入して、リアルタイムの電圧制御を可能とする（図4）。回生電力吸収機能は持たないが、比較的安価な構成として早期の導入を図っている。2016年度はリアクトル部分を試作し、制御装置と組み合わせて2017年度末の機器単体評価を予定している。また、エネルギーネットワークに組み込んだ際の制御方法も検討中である。

さらに、「鉄道用フライホイールの実用化技術開発（2013～14）」では、非接触状態で2トン程度のフライホイール支持が可能な超電導磁気軸受を開発し、瞬時入出力300kW、電力量100kWh級の超電導磁気軸受フライホイール実証機を設計・製作した（図5）⁴⁾。

太陽光発電所の系統連系試験施設に設置した実証機で、超電導磁気軸受による大径フライホイールの浮上・

回転確認の他、停電等により冷凍機が停止する異常時試験も実施し、安定浮上・回転が可能で安全設計の妥当性も検証した。鉄道用の大荷重対応超電導磁気軸受も現設計の延長で実現できる目途が立てられた（図5）。

さらに、これらの様々な省エネルギー手法を総合して評価する電力シミュレーションツールとして、電気車の正確な運転模擬と主回路模擬および電回路模擬を組み合わせ、多種類の電力貯蔵装置模擬を導入できる運転電力シミュレータ（図6）を開発した⁵⁾。「車両・地上設備の消費エネルギー予測に基づくエネルギーネットワーク制御手法の開発（2015～2017）」では、鉄道事業者の協力を得ながら複数列車群での省エネルギー手法を開発中である。

なお、本研究開発課題「エネルギーネットワークによる省エネルギー」の一部は国土交通省の補助金と文部科学省の科学研究費および新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の助成を受けて実施している。

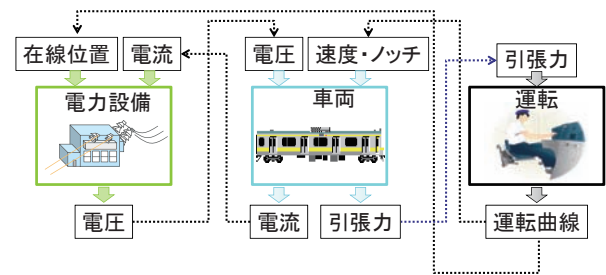


図6 運転電力シミュレータのコンセプト

2.3 ICT活用による保守の効率化

「情報ネットワークによる鉄道システムの革新」に含まれる「ICT活用による保守の効率化」は、鉄道の中長期にわたる状態変化を継続的に監視するため、センサの耐久性向上および更新作業の容易化を図るとともに、保守情報ネットワーク設計・運用の最適化技術の確立を目指している。今後、各設備の状態変化に基づく経年変化予測手法を確立し、監視頻度の最適化等、合理的な保全手法の提案につなげていく。

このうち、「電車線設備のリスク評価手法とライフサイクルコスト算出手法の提案（2015～2017）」では、電車線設備にかかわる長期間の事故データから、リスク評価に必要な事故確率の算出に向けた事故事象の分析と分類及びLCC算出に向けた設備の初期、メンテ、事故、廃棄コストの調査、算出を進めている（図7）。

「集電系の状態監視要素技術の高度化（2015～2017）」では、画像処理による設備診断手法を開発中であり、複数線条の形状認識とともにハンガ・ドロップ金具の画像認識手法（図8）を確立している⁶⁾。現在は所内試験線での列車走行中画像撮影試験を進めており、さらに営業線での検測試験を計画している。そして、接触

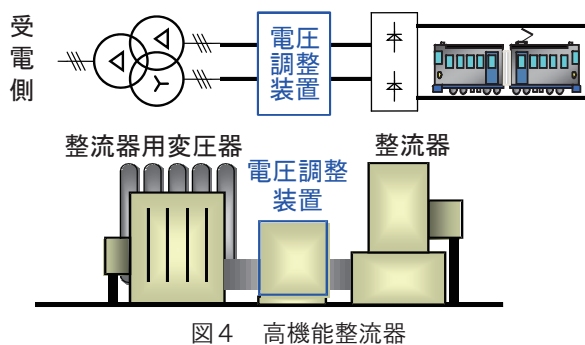


図4 高性能整流器

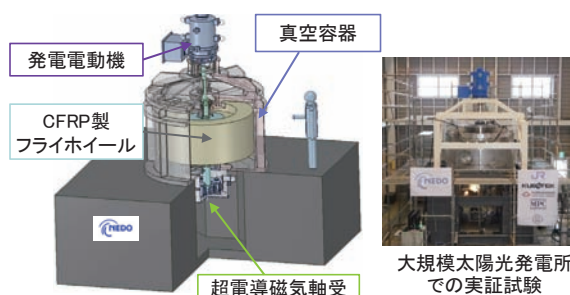


図5 超電導磁気軸受フライホイール

特集：電力技術

力を用いた電車線検出技術と組み合わせ、電車線の異常検出・診断手法を構築する予定である。さらには、電車線検出結果から架線パンタ運動シミュレーションによって集電性能を評価する試みも視野に入れている。

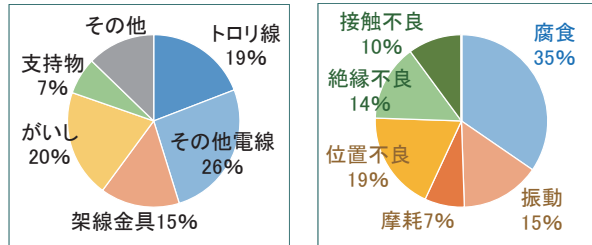


図7 電車線設備に関わる輸送障害の分析

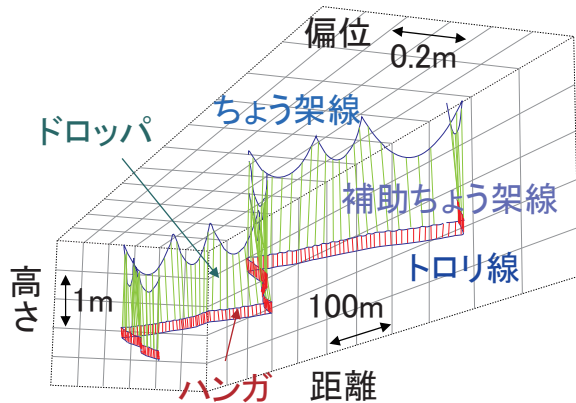
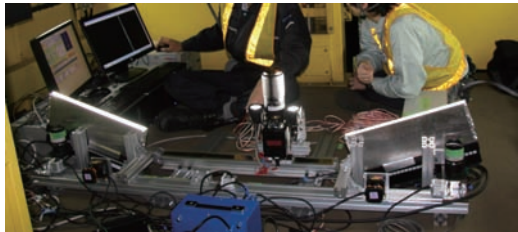


図8 画像による電車線路の状態計測

3. 実用的な研究開発

「実用的な研究開発」では、JR 各社殿からのご要望に基づく様々な研究開発を進めている。2015 年度に実施した研究開発課題の主要な成果については、本特集の別稿として示している。

一方で、電力設備に故障があった場合には安定輸送に多大な影響を与える場合が多いことから、メンテナンス対策と並行して、故障が起きにくい設備の開発や、故障の早期検出にも力を注いでいる。本年度から開始した「エアセクション箇所の電車線障害対策の開発（2016～2017）」では、障害が起きにくい電車線構造の提案・所内試験・営業線試験から実用化を図る。この他にも、「列車通過時の高架橋振動が電車線設備に与える影響の解明（2016～2018）」や「地震時における電車線の挙動評価

（2014～2017）」といった研究開発課題を進めている。

「電車線路設備の汚損区分再構成と耐食性支持部材の実用化（2015～2017）」では、現場に架設されていた電車線路設備の亜鉛めっき鋼管劣化状況調査結果（図9）を踏まえ⁷⁾、センサ類も活用した塩害汚損区分の見直しを図っている。

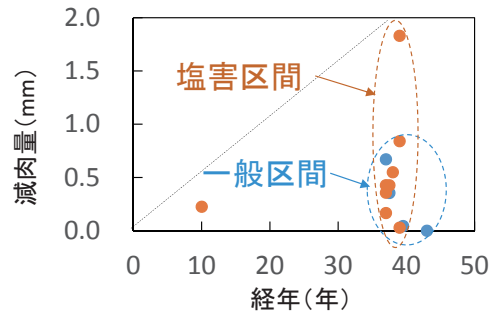


図9 可動ブラケット鋼管パイプの腐食調査結果

4. 鉄道の基礎研究

「鉄道の基礎研究」として、2016 年度は3 件を実施中である。2015 年度に終了した「トロリ線着氷霜に対する各種要因の影響評価」の成果は本特集の別稿に示している。

5. 今後の研究開発

電力技術に関する最近の研究の中心は省エネルギーと省メンテナンスであるが、その他の研究課題にも積極的に取り組んでいる状況を紹介した。

鉄道総研では今後も、鉄道事業者の要請に応えながら研究開発を進めて行く計画である。

文 献

- 1) 兎束，秦：鉄道における省エネルギー技術の意義・歴史と最新技術，JREA，Vol.58, No.9, pp.5-7, 2015
- 2) 電気事業連合会：電力統計情報，2015
- 3) 富田，福本，石原，鈴木，大崎：「鉄道用超電導ケーブルの適用性評価」，鉄道総研報告，Vol.28, No. 2, 2014
- 4) 長谷川，松江，長嶋，山下：「実証試験用超電導フライホイール蓄電装置の開発」，鉄道総研報告，Vol.29, No. 11, 2015
- 5) 武内，小川，森本，今村，美濃部，杉本：「列車運行電力シミュレータの開発」，鉄道総研報告，Vol.30, No.8, 2016
- 6) 根津，松村，網干，庭川，川畑，田林：「ステレオ画像計測とレーザー測距を併用した架線の非接触位置測定手法」，鉄道総研報告，Vol.28, No.10, 2014
- 7) 臼木：「亜鉛めっき鋼管製電車線路支持物の腐食劣化状態評価」，鉄道総研報告，Vol.29, No. 12, 2015