

電力技術に関する最近の研究開発

兎束 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、着々と実現に至っている¹⁾。一方、2015年3月に開業した北陸新幹線金沢延長および2016年3月開業予定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当面の研究開発は、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2010年度からの5年間の活動に関する基本計画（RESEARCH 2010）に基づき、以下のような「研究開発の目標」を定めていた。

- 安全性の向上
- 環境との調和
- 低コスト化
- 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」に定めていた。

- 鉄道の将来に向けた研究開発
- 実用的な技術開発
- 鉄道の基礎研究

電力技術研究部の研究開発もこれらの計画に則って進めてきた。

一方、2015年度から開始された基本計画「RESEARCH 2020」では、新たに定めたビジョンに沿って研究開発を進めている。「研究開発の目標」改め「研究開発の方向」と「研究開発の柱」はRESEARCH2010と同一である。

電力技術に関しては、引き続き省エネルギー・省メンテナンスおよび安全性向上を中心とした研究課題に取り組む予定である。

2.1 鉄道の将来に向けた研究開発

RESEARCH2010に基づく「鉄道の将来に向けた研究開発」では、5件の大課題の下に個別課題、それぞれの個別課題の下に研究開発課題と三層に構造化された枠組みの中で各種の研究開発を実施した。このうち、2014年度に実施した電力技術に係わる研究開発課題を、表1に総括して示す。2014年度には電力技術に係わる6件の研究開発課題を、「4. 鉄道ネットワークの維持発展」を除く4つの大課題に属する5つの個別課題で実施し、すべてが終了した。

また、RESEARCH2020に基づく「鉄道の将来に向けた研究開発」の中で、2015年度に開始した電力技術に係わる研究開発課題5件を表2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。

* 電力技術研究部 部長

特集：電力技術

表1 RESEARCH2010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. 鉄道システムの安全性・信頼性向上
○地震に対する安全性向上
2. エネルギーの効率的な利用
○電力の新供給システム
・自然エネルギーを利用した電力システムの構築
・新供給システムの構築と運転電力シミュレータによる評価
・高電圧直流き電方式の開発
・鉄道用フライホイールの実用化技術開発
・超電導き電ケーブルの長尺化技術の構築
3. メンテナンスの刷新
○新しい状態監視保全技術
・画像による架線系の検査と異常検出
4. 鉄道ネットワークの維持発展
5. 鉄道シミュレータの開発

表2 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
○電力の新供給システム
・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
○バーチャル鉄道試験線の構築
○個別シミュレータ群の連携

2.2 エネルギーの効率的な利用

このような状況において2014年度に取り組んだ大課題「エネルギーの効率的な利用」に含まれる個別課題「電力の新供給システム」では、従来の電力供給システムに代わる省エネルギー型の電力供給システムの開発を主眼としていた。具体的には、送電効率の向上対策として超電導き電ケーブルの開発およびき電電圧の高電圧化、回

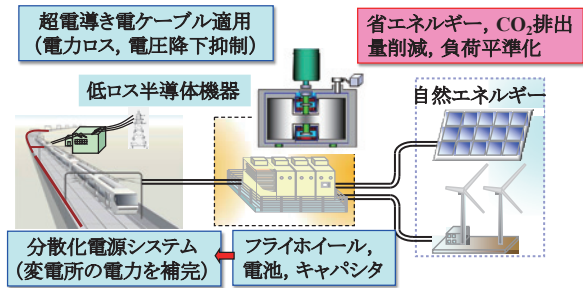


図1 電力の新供給システムのイメージ

生電力の有効利用対策として超電導軸受を用いたフライホイール蓄電装置の開発や自然エネルギー等の分散化電源システムの構築、さらに電力供給システムの最適化を目標に、エネルギー評価が可能なシミュレータを開発した(図1)。

研究開発課題「超電導き電ケーブルの長尺化技術の構築(2013～2014)」において、直流電気鉄道用の超電導き電ケーブルの基本性能を確認する目的で、往路と復路を同軸構成とした、300 m長の超電導き電ケーブルにおいて冷却試験を進め、所内試験線での電車運転に至った(図2)。引き続き「RESEARCH2020」の枠組みにおいては、基礎試験の結果をもとに超電導き電ケーブルの長尺化について検討を行うとともに、冷却装置を含めたシステム開発を進めていく。

また、「鉄道用フライホイールの実用化技術開発(2013～2014)」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開発のため、電動発電機とフライホイール間のトルク伝達方式、超電導コイルの冷却方式、フライホイールの運動解析、フライホイールの監視方法、営業線導入時を想定したシステムの評価等について検討した。

そして瞬時入出力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、年度末に組み立てを完了した。平成27年度は実用的な研究開発へと進み、フライホイール実証機を山梨県内の大規模太陽光発電所に設置して、太陽光発電の出力安定用として系統接続試験を実施中である(図3)。



図2 超電導き電ケーブルを用いた列車走行試験

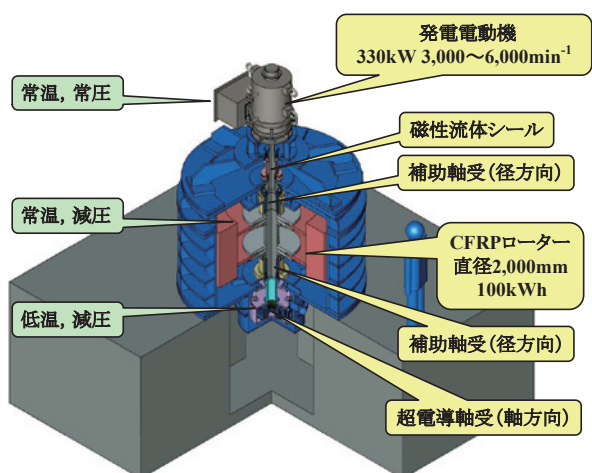


図3 超電導磁気軸受フライホイール

高密度線区における電気車電流の増加対策としては、1,500V 直流標準電圧の 3,000V 程度への高電圧化が有効であるが、これを適用するには車両側の対応が必要となる。「高電圧直流き電方式の研究 (2013 ~ 2014)」では、新たに高電圧整流器および送電線を新設し、送電電圧をき電線電圧（電車線電圧）まで降圧する電流可逆チョップ装置を一定間隔で設けることにより、従来設備であるき電線や電車線の標準電圧 1500V は変更せずに高電圧化する直流き電方式を提案している（図4）。これによって従来の車両をそのまま利用しながら、高電圧化された送電線を介した電力供給と回生電力吸収により、損失低減、電圧変動抑制、回生電力有効利用および変電所間隔の延伸を図る。現在は検討した構成に基づいた、き電損失のシミュレーション計算と、高電圧直流き電線の耐侯試験を進めている。

このほか、各鉄道事業者で導入が進む電力貯蔵装置は、変動する鉄道負荷だけでなく、太陽光・風力等の自然エネルギー（再生可能エネルギー）発電の変動に対しても有効である。「自然エネルギーを利用した電力システムの構築 (2012 ~ 2014)」では、両者の組み合わせでより高い省エネルギー効果を発揮することを計算で確認した上で、所内試験線を用いた実証試験を行った。

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を開発した。「新供給システムの構築と運転電力シミュレータによる評価 (2012 ~ 2014)」では、電気車の正確な運転模擬と主回

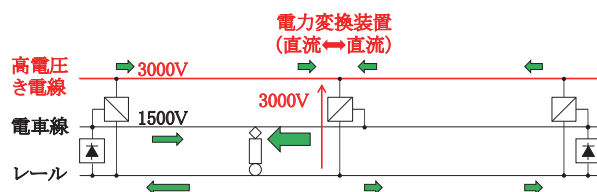


図4 高電圧直流き電方式の構成例

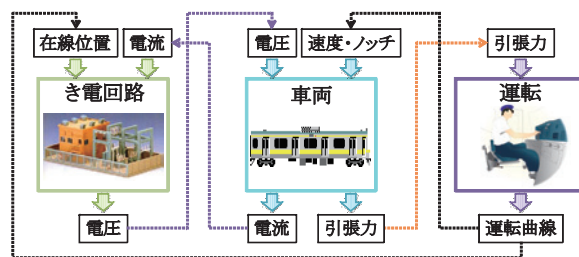


図5 運転電力シミュレータの構成

路模擬およびき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した運転電力シミュレータを開発した（図5）。また、鉄道事業者の協力を得て実施した検証試験によって、計算精度を実証した。

なお、本研究開発課題「電力の新供給システム」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。

2.3 鉄道システムの安全性・信頼性向上

「メンテナンスの刷新」に含まれる「新しい状態監視保全技術」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た。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る。

このうち、「電車線状態診断手法の改良 (2012 ~ 2014)」では、接触力測定結果から電車線構造を診断する手法及び画像処理による設備診断手法を開発し、接触力によるトロリ線高さの推定と架線不整箇所の特定制（図6）、さらに画像による電車線張力推定等の成果を得た（図7）。

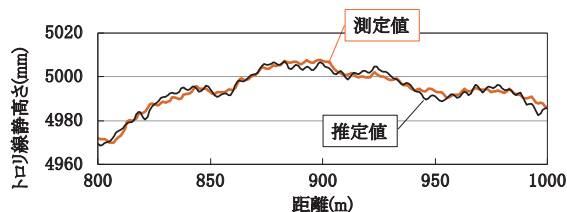


図6 パンタグラフ接触力から得たトロリ線高さ

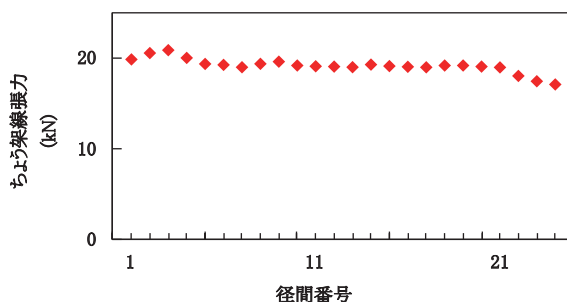


図7 電車線高さ測定から得たちょう架線張力推定

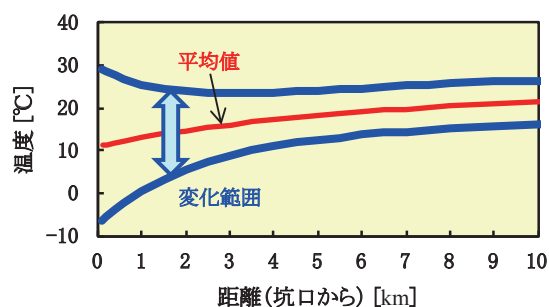


図8 トンネル内温度変化範囲

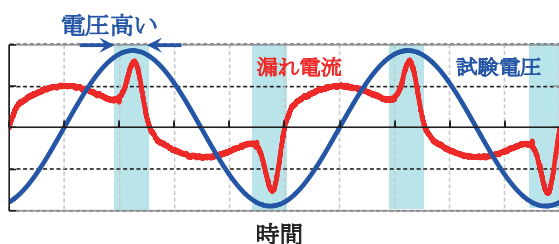


図9 避雷器内部酸化亜鉛素子劣化時の漏れ電流

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。2014 年度に実施した 11 件の研究開発課題から、主な成果を示す。

「電車線の状態変化に対応した集電特性向上（2012～2014）」では、温度変化やトロリ線摩耗時における架線張力やトロリ線高さについて、張力調整装置動作のヒステリシスやトンネル温度環境を考慮して詳細に検討した（図 8）。

「避雷器漏洩電流計測法の開発（2012～2014）」では、避雷器内部の酸化亜鉛素子劣化時の漏れ電流特性の解析結果による漏れ電流の特徴（図 9）に基づき、ログウスキーコイルを電流センサとして用いて出力をバンドパスフィルタで処理することにより、扱いが簡易な可搬形故障予兆検出装置を開発した。

4. 鉄道の基礎研究

「鉄道の基礎研究」として、2014 年度は 4 件を実施した。主な成果の概要を以下に示す。

「環境による電車線路部材劣化の評価（2012～2014）」では、電車線路設備の故障防止・安定運用に資するため各部材を評価した。2014 年度は、現場に架設されていた亜鉛めっき鋼管の劣化状況を調査し、今後の保守の一助とした。

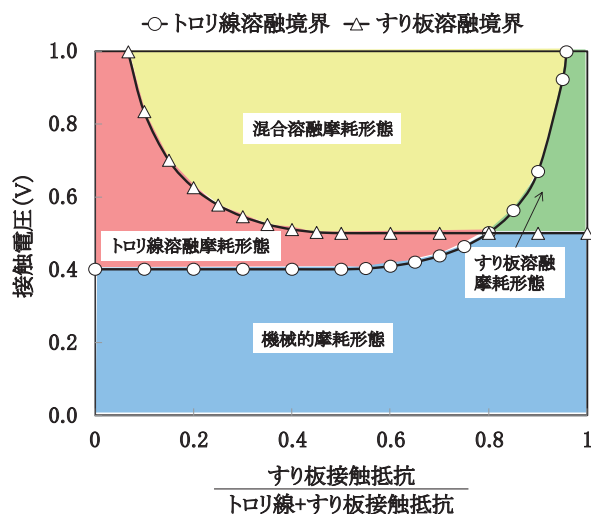


図 10 通電摩耗形態マップの例
（硬銅トロリ線と鉄系焼結合金すり板）

「高速・大電流条件における集電系材料の摩耗メカニズムの解明（2012～2014）」では、トロリ線とパンタグラフすり板がしゅう動集電中に摩耗する現象について、接触電圧・材料融点・被膜抵抗等の状況から摩耗形態のメカニズムを解明し、摩耗状況を予測する手段を提供した（図 10）。

5. 今後の研究開発

前述のように、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。

運転電力削減に関しては、鉄道事業者各社で様々な施策が実現している。次のステップは、車両・運転・電気各部門のさらなる協調による効率改善と考えている。また、省メンテナンスに関しては、状態監視用のセンサ開発とデータの蓄積、およびその処理のシステム化が必要と考えている。そのため、これらの課題を RESEARCH2020 の枠組みに取り入れ、2015 年度から研究開発を開始した。

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) 兎東, 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