

電力技術に関する最近の研究開発

電力技術研究部
部長 兎束 哲夫

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震を契機として、国は「エネルギー・環境会議」を設置して、現行のエネルギー政策のゼロベースでの見直しを進めている。同会議ではエネルギーシステムの歪み・脆弱性を是正し、安全、安定供給、効率、環境の要請に応える短期・中期・長期からなる革新的エネルギー・環境戦略を推進するとともに、新たなエネルギー・ミックスとその実現のための方策を含む新しい計画について議論を進めることとしている¹⁾。電力供給に関しては、「低廉で安定的な電力供給」を実現する「より競争的で開かれた電力市場」を構築することを基本理念とした「新たな需要抑制策」、「需要家の選択」、「供給の多様化」、「競争の促進と市場の広域化」、「安定性と効率性の両立」について10の論点をまとめている。こうした動きから、省エネルギー対策のひとつとして国土交通省では2012年7月に開催した「エコレールラインプロジェクト推進検討会議」²⁾において、鉄道の消費電力量を2010年比で2030年までに2割程度削減することなどを提案している。

一方、国は防災基本計画の見直しにおいて³⁾、地震災害から国土並びに国民の生命、身体及び財産を保護することに十分配慮するものとし、特に海溝型巨大地震が発生した場合の地震災害対策の立案にあたっては、被災地のみへの対応では限界があることから、国土全体のグランドデザインの観点から検討を行う必要があるとしている。また、鉄道を含む基本的な交通・通信施設等については、各施設の耐震化や国土ミッシングリンクの解消等のネットワークの充実、施設・機能の代替性の確保、各交通・通信施設間の連系の強化等により大規模災害発生時の輸送・通信手段の確保に努めることを明示しており、鉄道においても、今後、地震に強い設備はもちろんのこと、地震等の災害時の普及を支援するためのインフラ設備としての機能が要求される。

他方、鉄道輸送の安全性・信頼性を維持するためには設備投資が不可欠であるが、国の「鉄軌道輸送の安全にかかわる情報(平成24年度)」によると⁴⁾、設備投資額の増加は、鉄道事業者の経営を圧迫する可能性があることから、設備の更新周期延伸や簡易な検査・診断方法の確立が望まれ、特に、利用者の増加が見込めない地方鉄道においては早急な改善策が必要であるとされている。

鉄道総研ではこうした最近の社会情勢に順応できるよう、国や鉄道事業者の視点に立脚した多くの研究開発課題を体系的に進めている。本報告では、先進的な研究開発を目的とした「鉄道の将来に向けた研究開発」の中から電力技術に関連する最近の研究開発成果について概説する。

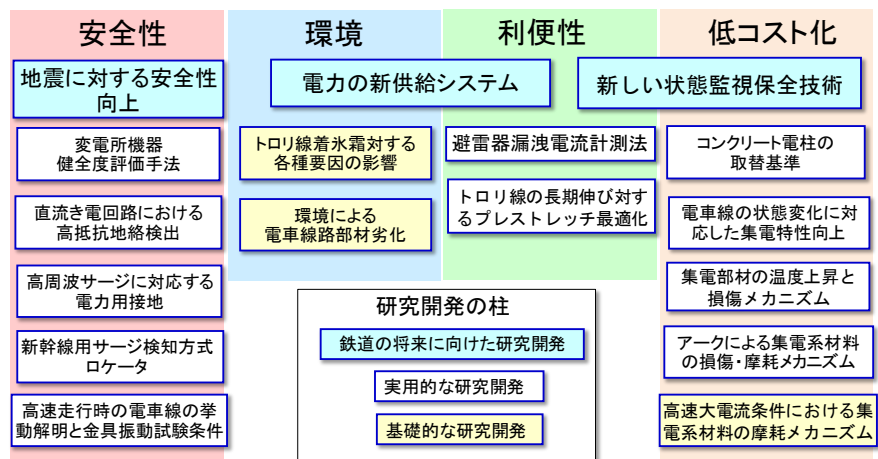


図1 電力技術に関する最近の研究開発課題

2. 電力技術に関する最近の研究開発課題

鉄道総研で現在実施している電力技術に係わる研究開発課題を、安全性、環境、利便性、低コスト、という4つのキーワードで分類したものを図1に示す。鉄道総研では、多くの研究開発課題を「鉄道の将来に向けた研究開発」、「実用的研究」、「基礎的研究」に区分して研究開発を進めているが、「鉄道の将来に向けた研究開発」課題については先に述べたとおり先進的な研究開発を目標とする一方、「実用的研究」は、鉄道事業者に即効性のある実用的な技術開発成果を提供することを目的としており、「基礎的研究」は実用技術の萌芽または基盤となる研究課題で、鉄道固有現象の解明、事象のモデル化、評価法の確立、新しい技術・材料・研究手法の適用等を目的としている。

図1の中で「実用的研究」に分類される研究開発課題は11件、「基礎的研究」に分類される研究開発課題は3件である。

一方、先進的な研究開発を目的とする「鉄道の将来に向けた研究開発」では、図2に示す5つの「大課題」と呼ぶ枠組みを設定しており、個々の研究開発課題を相互に関連させながら進めている。

電力技術に関しては、大課題「鉄道システムの安全性・信頼性向上」の中の「地震に対する安全性向上」、同「エネルギーの効率的な利用」の中の「電力の新供給システム」、同「メンテナンスの革新」の中の「新しい状態監視保全技術」、同「鉄道シミュレータの開発」の中の「鉄道シミュレータのコアシステムの設計・開発」について、合計14件の研究開発課題を実施している。

以下、2012年度に実施した「鉄道の将来に向けた研究開発」の研究開発課題から主な成果について概説する。

3. 電力の新供給システム

大課題「エネルギーの効率的な利用」に含まれる研究開発課題「電力の新供給システム」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る。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高電圧の高電圧化、回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するものである(図3)。

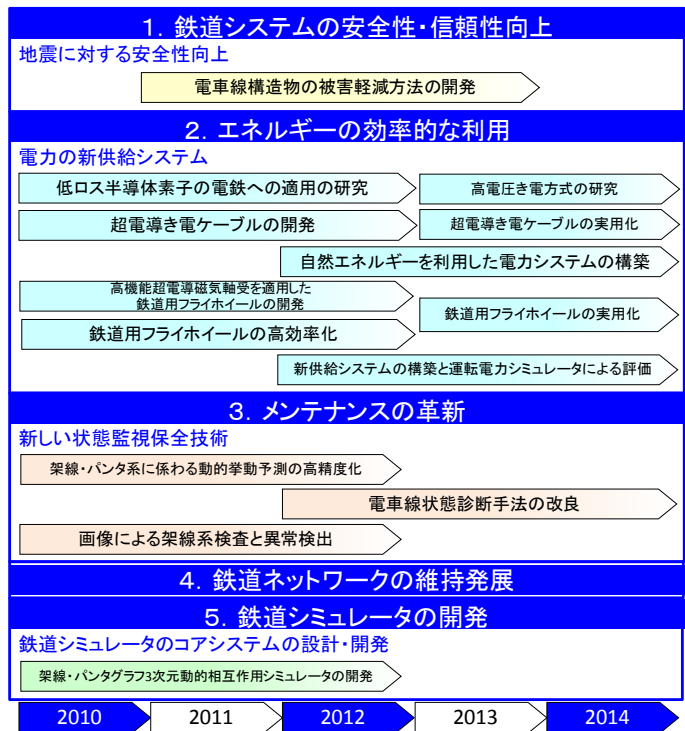


図2 電力技術に関する将来指向課題



図3 電力の新供給システムのイメージ

このうち、2012年度に終了した研究開発課題「超電導き電ケーブルの開発（2010～2012）」では、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、冷媒である過冷却液体窒素の往路と復路、超電導導体の往路と復路をすべて同軸構成とした短尺（5m）の超電導き電ケーブルを製作し、12 kA までの通電試験および冷却試験を行った（図4）。今後、これらの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するとともに冷却装置を含めたシステム開発を進める。

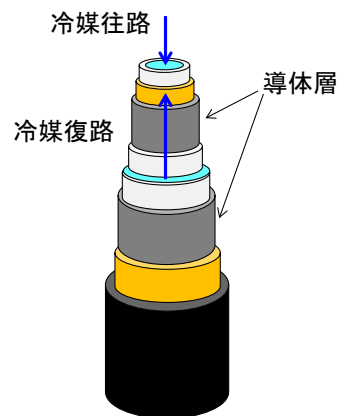


図4 超電導ケーブル構造

「低ロス半導体素子の電鉄への適用の研究（2010～2012）」では、高電圧直流き電を行う上で必要となる整流器と直流高速度遮断器について、損失や基本性能に関して検討した。整流器については、SiC（炭化ケイ素）を材料とするショットキーバリアダイオード素子を用いた小容量の全波整流回路を製作して半導体素子の損失特性を評価し、高電圧化した場合に従来の Si（ケイ素）を材料とする整流器と比較した損失低減の可能性を示した。また、Si の IGBT（絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ）を用いて小容量の直流高速度半導体遮断器を製作し、通電試験による損失ならびに短絡電流遮断試験による限流効果を確認した。

一方、「高機能超電導磁気軸受を適用した鉄道用フライホイールの開発（2010～2012）」では、回転するロータによる垂直（スラスト）荷重を模擬可能な試験装置を製作し、超電導磁気軸受が回転体を非接触で支持できることを検証した。また、回転試験により、ロータダイナミクス、軸受冷却技術を確認するとともに、減衰付与装置を開発し、高速回転安定化に有効であることを確認した。

なお、「電力の新供給システム」の一部は国土交通省の補助金を受けて実施している。

4. 地震に対する安全性向上

大課題「鉄道システムの安全性・信頼性向上」に含まれる研究開発課題「地震に対する安全性向上」は、鉄道施設の耐震余裕度（設計上の限界値を超えても直ぐには倒壊しない）や残存耐力など、現在の耐震設計で内包している安全性を明確にし、巨大地震に対しても合理的に安全性が評価できる手法の構築を目標としている。また、制振デバイスや地盤免震なども含めた新しい合理的な対策工法を提案するとともに、地震リスク低減を目的としている。

2012年度に実施した「電車線構造物の被害軽減方法の開発（2011～2013）」では、電車線柱（コンクリート柱、鋼管柱）の実物大振動台試験を実施し、塑性域までの動特性を把握するとともに、コンクリート柱の外観と損傷度合との対応を把握し、健全度診断手法の深度化を図った（図5）⁵⁾。また、砂詰基礎の交番载荷試験により基礎内部の電車線柱の挙動を把握し、3次元有限要素モデルにより砂が電車線柱の振動特性に与える影響を示した。

なお、本研究開発課題の一部は国土交通省の補助金を受けて実施している。



(a)振動台上のコンクリート柱 (b)損傷状態

図5 振動台実験とコンクリート柱の損傷状態

5. 新しい状態監視保全技術

大課題「メンテナンスの革新」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ている。さらに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ものである。

従来から電気検測車によって行われている架線系の検査で、基本的にトロリ線だけを検査対象として摩耗や硬点検出を行っていた。これに対して、「画像による架線系の検査と異常検出(2010～2012)」では、ちょう架線やき電線などの線条、ハンガなどの金具、支持物については、目視検査に頼っていたことから、これらの設備について画像解析技術を応用し、人の目に代えた「機械の目」による検査手法を確立することで、保守の高度化、効率化を図った。

架線の3次元位置の測定方法としては、レーザーを用いた測域センサにより測定対象物のおおまかな位置を検出し、さらに、この結果に基づいてラインカメラにより精度良く位置や形状を検出する画像／レーザーハイブリッド計測手法を採用した(図6)。本手法では、わたり線等で近接配置された複数線条や、支持物の影響等によりデータ欠落がある場合でも、線条を連続的に認識するとともに、認識した線条の3次元配置上の特徴から、シンプルカテナリ、コンパウンドカテナリといった架線形式を判定した上で、トロリ線、ちょう架線といった線条種類の自動判別が可能である⁶⁾。現在、カメラの振動やレンズの特性を補正し、測定精度を向上する方法を検討している他、金具の検出方法の開発を進めている。

6. おわりに

電力技術に関する最近の研究開発として、鉄道総研で現在実施している「鉄道の将来に向けた研究開発」の一部を紹介した。今後も省エネルギー技術、地震対策、保全の省力化技術を目的として、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) 経済産業省(総合資源エネルギー調査会)：エネルギー・ミックスの選択肢の原案について，2012年
- 2) 国土交通省：エコレールラインプロジェクトの必要性とその目指す方向(案)，2012年
- 3) 内閣府(中央防災会議)：防災基本計画，2012年9月6日修正
- 4) 国土交通省：鉄軌道輸送の安全にかかわる情報の公表(平成24年度)，2013
- 5) 川嶋、原田：震荷重を受けた後のプレストレストコンクリート柱に対する健全性診断法と有効範囲，平成25年電気学会産業応用部門大会，2013
- 6) 松村、根津、網干、庭川、川畑、田林：画像処理による架線位置の非接触測定の基礎検討，平成25年電気学会全国大会，5-135，p.232，2013

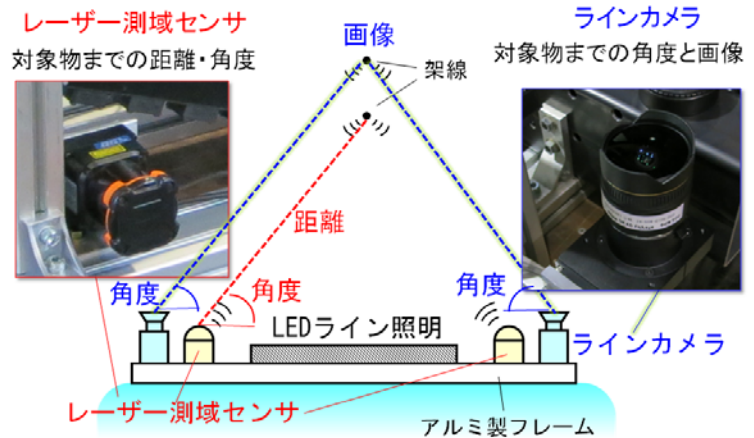


図6 線条類等の画像／レーザーハイブリッド計測