

# 電力技術に関する最近の研究開発

奥井 明伸\*

## Recent Topics on Power Supply Technology

Akinobu OKUI

Energy conservation, earthquake-resistant measures and labor-saving of maintenance offer important motivation for research and development of power supply technology. Railway Technical Research Institute has been conducting research and development to improve the safety of overhead contact line against earthquake, to reduce the environmental impact by improving the energy efficiency, and to reduce the maintenance cost by diagnostic technology. This report describes the outline of recent research and development related to power supply technology in Railway Technical Research Institute.

キーワード：電気鉄道，省エネルギー，地震対策，メンテナンス，省力化

### 1. はじめに

国は防災基本計画（災害対策基本法第34条第1項の規定に基づき，中央防災会議が作成する，政府の防災対策に関する基本的な計画）の中で，国土形成計画等の総合的・広域的な計画の作成に際しては，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，日本全国を見据えた道路，鉄道，港湾の整備など国土全体のグランドデザインの観点からの検討を行う必要があるとしている<sup>1)</sup>。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，鉄道においては，今後，地震に強い設備はもちろんのこと，地震等の災害時の復旧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。

また，東北地方太平洋沖地震を契機として，国は現行のエネルギー政策をゼロベースで見直すことを検討している。その見直しにあたっては，国家戦略担当大臣を議長とする「エネルギー・環境会議」を設置し，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，総合資源エネルギー調査会に「基本問題委員会」を設置して，現行のエネルギー基本計画をゼロベースで見直し，新たな

\* 電力技術研究部 部長

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<sup>2)</sup>。特に，電力供給に関しては，先に示した革新的エネルギー・環境戦略を具体的に進める上で「電力システム改革専門委員会」が，今後のあるべき電力システムについてとりまとめを行っており，その中の「電力システム改革に関するタスクフォース論点整理」では「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。こうした動きは，今後，低廉で安定的な電力供給が行えなくなる可能性があることを示唆しており，省エネルギー対策のひとつとして国は「エコルールラインプロジェクト推進検討会議」で，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，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23年度）」によると<sup>3)</sup>，鉄道事業者の安全関連設備投資額の営業収入に占める割合は平均で10.6%であり，これに加えて，施設・車両の修繕費用に占める割合は平均で10.9%である。こうした設備投資額の増加は，鉄道事業者の経営を圧迫する場合があることから，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。

こうした最近の社会情勢を背景に，鉄道に対しても今後，「地震対策」，「省エネルギー」，「保全の省力化」という視点に基づく技術開発の要請が高まるものと考えら

特集：電力技術

れる。鉄道総研では、こうした要請に応えるべく、鉄道事業者の視点に立脚した多くの研究開発課題を進めており、電力技術については、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」、鉄道事業者への即実的な成果を目的とした「実用的な研究開発」、基盤技術の発展を目的とした「鉄道の基礎研究」の枠組みの中で複数の研究開発課題を進めている。本報告では、これら研究開発課題の中から平成24年度に終了した主な研究開発成果について概説する。

2. 鉄道の将来に向けた研究開発

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」は、図1に示すように5つの「大課題」と呼ばれる研究開発の枠組みの中で、個々の研究開発課題が相互に関連しながら進められる。電力技術に関する研究開発課題については、大課題「1. 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」という区分の中で1件、大課題「2. 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」という区分の中で9件、大課題「3. メンテナンスの革新」の中の「新しい状態監視保全技術」という区分の中で3件、大課題「5. 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」という区分の中で1件の合計14件が実施されている。このうち、平成24年度に実施した全11件の研究開発課題のうち主な成果について概説する。

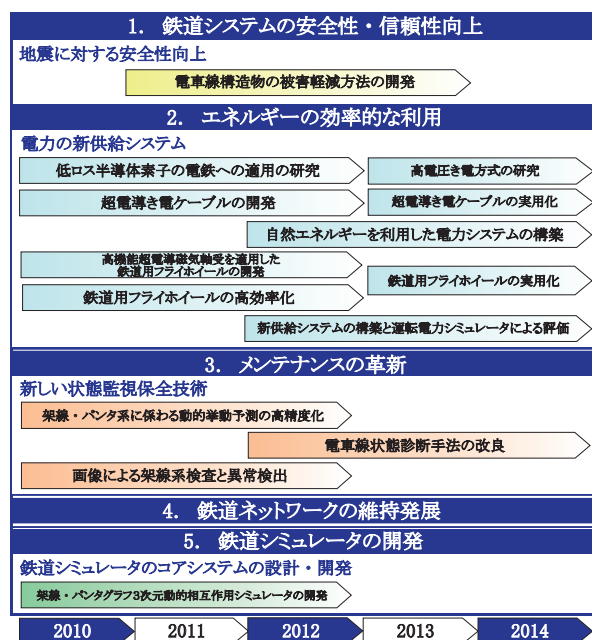


図1 電力技術に関する将来指向課題

2.1 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「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を構築する。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、地震リスクを低減する。

このうち、平成24年度に実施した研究開発課題「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2、図3）<sup>4)</sup>。また、砂詰基礎の交番載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。

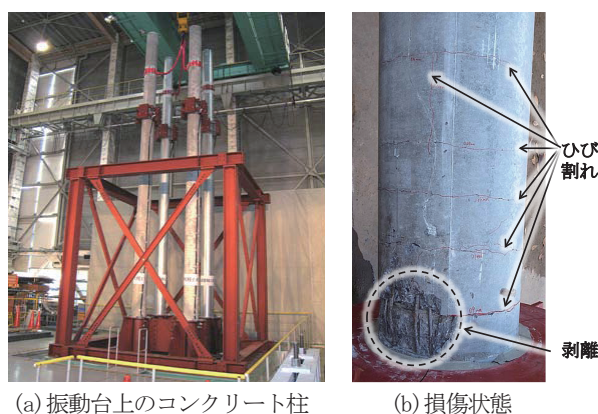


図2 振動台実験とコンクリート柱の損傷状態

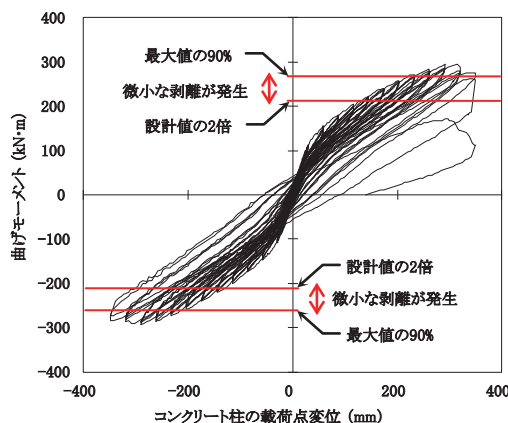


図3 コンクリート柱の曲げモーメント・変位

2.2 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「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として、送電効率の向上、回生電力の有効利用、電力供給システムの最適化を目標に、超電導き電ケーブルの開発や電圧の

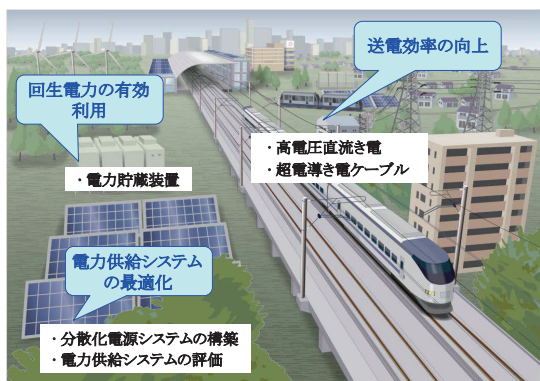


図4 電力の新供給システムのイメージ

高電圧化、蓄電装置の活用、自然エネルギー等の分散化電源システムの構築に加えエネルギー評価が可能なシミュレータを開発する(図4)。

このうち、平成24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、往路と復路が同軸構成になった短尺な超電導き電ケーブルを製作し(5m)、12kAまでの通電試験および冷却試験を行った。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を行うとともに、冷却装置を含めたシステム開発を進める(図5)<sup>5)</sup>。

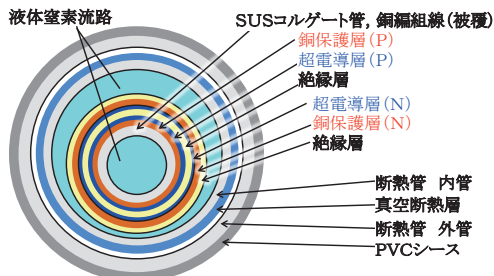


図5 超電導き電ケーブルの断面

さらに、平成24年度に終了した研究開発課題「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する検討を行った。特に整流器については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全波整流回路を製作し、損失特性を定量的に評価するとともに、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に比べて損失が低減できる可能性があることを示した。また、直流高速度遮断器については、Siを材料とするIGBT(絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ)を用いて小容量半導体遮断器を製作し、連続通電時の温度上昇試験から半導体素子における損失を評価するとともに、短絡電流を遮断する試験を実施し、提案する副遮断回路を用いた限流方式の効果を確認した。また、将来のき電電圧の高電圧化を想定した場合に、直

流半導体遮断器に要求される仕様をシミュレーションにより評価した。

一方、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の一環として進めてきた「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」(平成24年度終了)では、ロータによる垂直荷重のみ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、軸受冷却技術について確認を行うとともに、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(図6)。

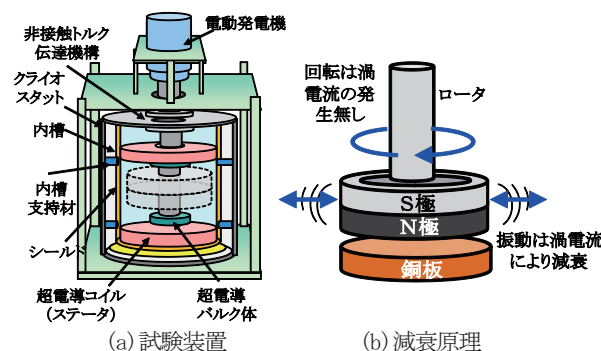


図6 鉄道用フライホイールの減衰付与装置

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。

### 2.3 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す。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。

このうち、平成24年度に終了した「画像による架線系の検査と異常検出(2010～2012)」では、従来、電気検測車により行われている架線系の検査対象が基本的にトロリ線に限られており、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ることから、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、効率化を図る。

架線の3次元位置の測定方法として、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手法(画像/レーザーハイブリッド計測)を採用している(図7)。この方法は、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

特集：電力技術

識することができるとともに、認識した線の3次元配置上の特徴から、シンプルカタナリ、コンパウンドカタ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の種類を自動判別することが可能である(図8)<sup>6)</sup>。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。

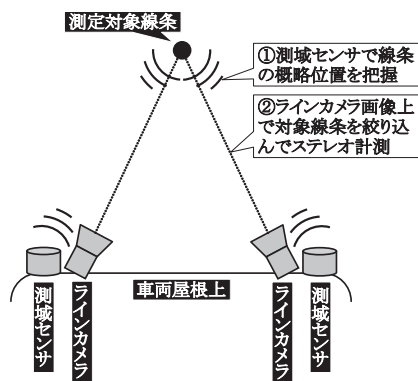


図7 線条類等の測定方法

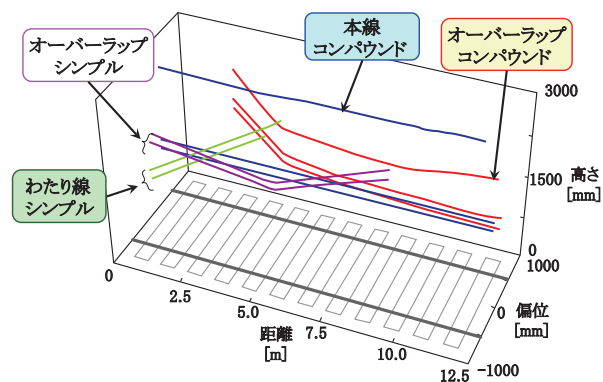


図8 複数の架線の自動認識結果(実験室試験)

### 3. 実用的な研究開発

「実用的な技術開発」として、平成24年度は、11件を実施した。主な成果の概要を以下に示す。

「変電所機器の劣化診断システムの開発(2011～2012)」では、変電所の電力設備の更新周期を延伸することはコスト削減効果が大い一方、電力設備の余寿命診断は非常に困難なことから、電力設備の劣化に係わる過熱、機械的損傷、絶縁劣化をそれぞれガス、振動、部分放電の経年計測を通じて評価し、総合的な劣化判定システムを構築する。平成24年度は、電気鉄道用変電所固有の機器である直流高速度遮断器や電力ケーブルを対象とした過熱検出装置を開発するとともに検証試験を通して信頼性について評価を行った。

「設備に応じた押上量・歪み量の評価法(2010～2012)」では、新幹線の電車線設備条件において、トロリ線押上量・歪み量を低減するための技術的要素とその要素ごとに定められる許容値を検証し、押上量・歪み量

管理の判断基準策定の検討を行った。また、これにより、現在の全線での一律管理から、設備条件に応じた効果的な押上量・歪み量の管理方法を提案した。平成24年度は、トロリ線の疲労に対する歪み目安値を、トロリ線の種類に応じてよりの確に提案するため、疲労試験を実施した。

### 4. 鉄道の基礎研究

「鉄道の基礎研究」として、平成24年度は、3件を実施した。このうち、「大地の電気的モデルの構築(2010～2012)」では、直流電気鉄道においてレールからの漏洩電流により地中埋設された金属の腐食が問題になることがある一方、変電所や隧道内のように複雑な接地系の電位上昇について不明な部分が多いことから、電位上昇の把握と漏洩電流対策について検討を行った。平成24年度の主な成果としては、接地系に用いられている埋設された電線の電位分布について検討を行うとともに、模擬的に大地に接地線を布設し、可変周波数電源装置を用いて電位分布や接地抵抗の周波数特性、平編組線による接地抵抗抑制効果等について評価を行った。

### 5. おわりに

最近の電力技術に関する研究開発課題として、鉄道総研で実施している研究開発課題の一部を紹介した。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。なお、本研究を行うにあたって現地試験等で多くの鉄道事業者やメーカー各社のご協力を頂いており、本紙面を借りて深く感謝するとともに、成果の活用をお願いしたい。

### 文献

- 1) 内閣府(中央防災会議):防災基本計画, 2012年9月6日修正
- 2) 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
- 3) 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23年度), 2012
- 4) 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
- 5) 富田, 福本, 鈴木, 石原, ミリアラ:鉄道用超電導き電ケーブル, RRR, Vol.69, No.5, 2012
- 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