

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. 鉄道総研の長期経営計画

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、以下に示す4つの「研究開発の目標」を定めている。

- 安全性の向上
- 環境との調和
- 低コスト化
- 利便性の向上

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おり、まもなくその成果をまとめる時期となっている。現在実施している電力技術に係わる研究開発課題を、目標および「鉄道の将来に向けた研究開発」、「実用的

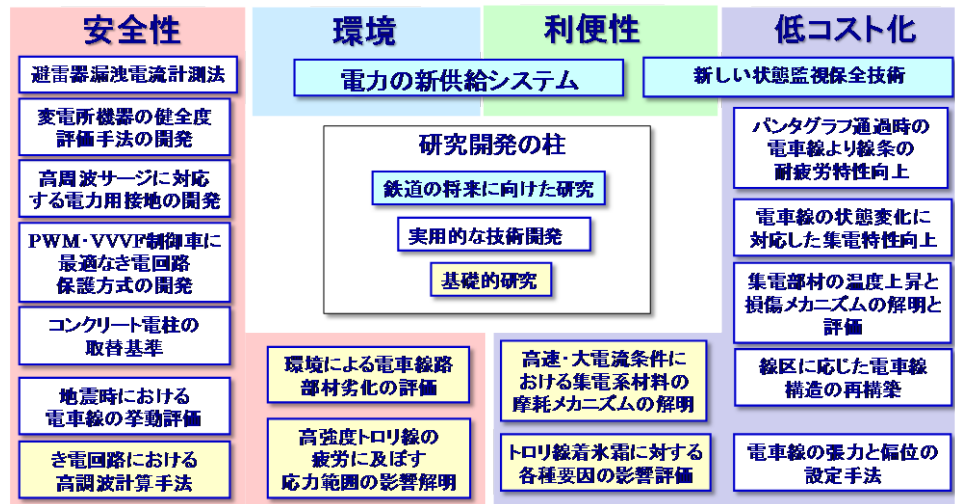


図1 電力技術に関する最近の研究開発課題

研究」、「基礎的研究」に区分して分類したものを図1に示す。

「鉄道の将来に向けた研究開発」課題については先進的な研究開発を目標として図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。

2. 電力技術に関する最近の研究開発課題

2011年3月の東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)以降、日本のエネルギー事情は一変した。地震直後の東日本では深刻な電力不足となり、計画停電の実施に至った。引き続き同年夏には関東の鉄道各社が電気事業法に基づく電気使用制限を実施した。それ以降も、夏期および冬期に全国の鉄道事業者が繰り返し節電要請を受けている。そこで、各鉄道事業者では全系統にまたがった省エネルギーを検討し、着々と実現に至っている¹⁾。

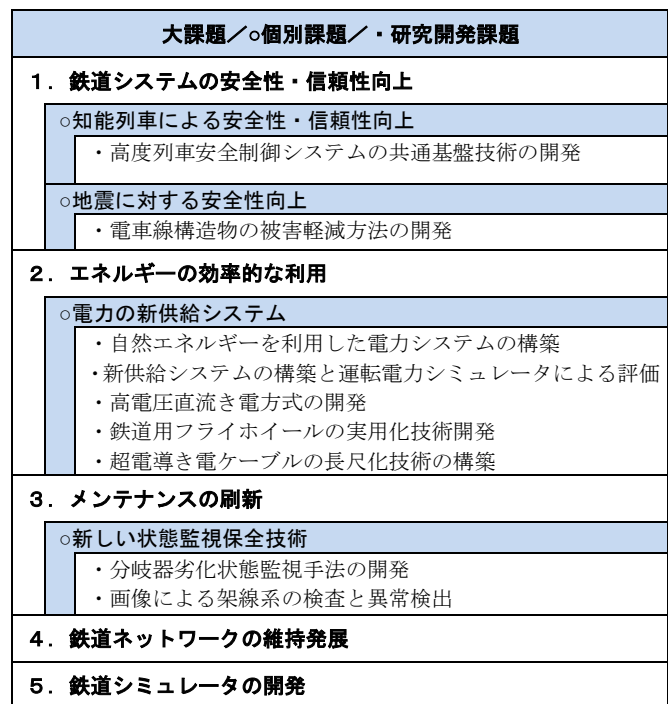


図2 鉄道の将来に向けた研究開発(電力関連)

一方、2015年3月予定の北陸新幹線金沢延長および2016年春予定の北海道新幹線開業の後、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。また、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、省エネルギーと省メンテナンスおよび安全性向上を中心としている。以下、最近の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)。

このうち、研究開発課題「超電導き電ケーブルの長尺化技術の構築(2013~14)」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、往路と復路が同軸構成(図4)になった30m長の超電導き電ケーブルを用いた所内試験で、冷凍システムを含めシステム全体が設計通りに動作し電車運転が可能であることを確認するとともに(図5)、300m長の超電導き電ケーブルによる試験設備を製作して冷却試験を実施し、さらに電車運転に至った²⁾。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。

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(2010~12)」³⁾では、回転するロータによる垂直(スラスト)荷重を

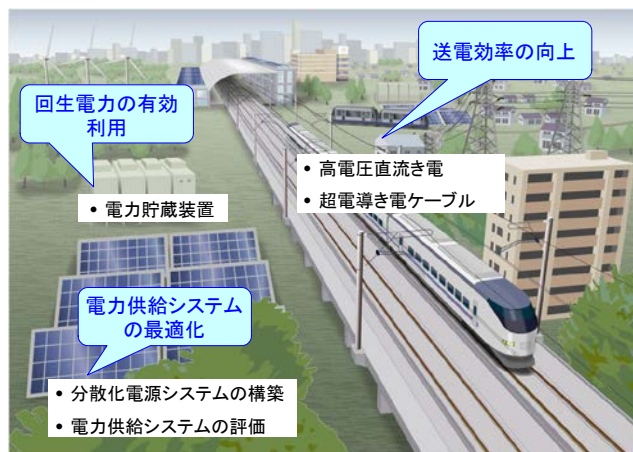


図3 電力の新供給システムのイメージ

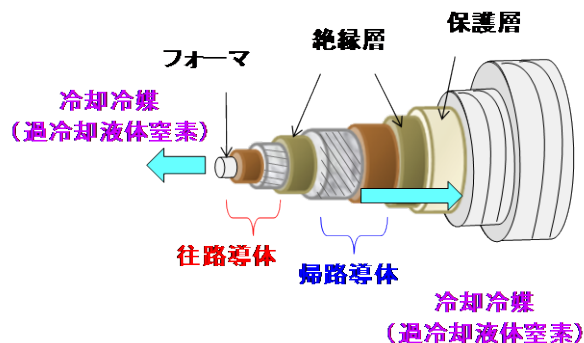


図4 超電導き電ケーブル



図5 超電導き電ケーブルを用いた電車走行

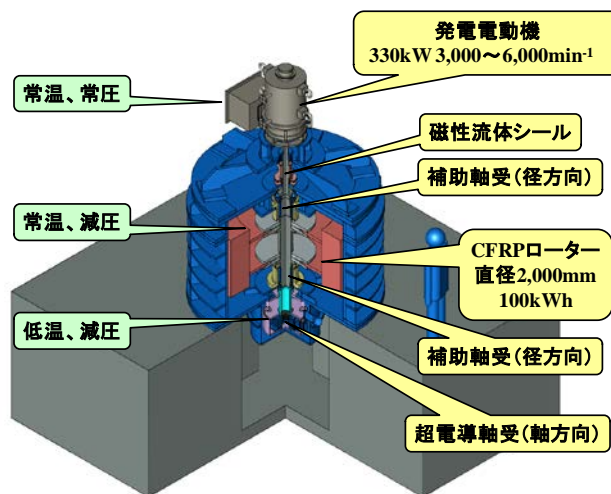


図6 超電導磁気軸受フライホイール

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。引き続き「鉄道用フライホイールの実用化技術開発（2013～14）」において、2トン程度のフライホイール支持が可能な磁気軸受の開発を中心に、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ている。電力量 100kWh 級の超電導磁気軸受フライホイールを設計・製作中である（図 6）。

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、車両側の対応が必要となる。「高電圧直流き電方式の研究(2013～14)」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 は変更しない高電圧直流き電方式を提案している(図 7)。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。検討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候試験を進めている。

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、自然エネルギー発電の変動に対しても有効である。鉄道総研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ており、実証試験を準備中である。また、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ており、地上電力設備だけではなく、車両性能や運転理論の正確な再現を目指している。

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。

4. 省メンテナンスと高速化に関する研究

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。

電車線に関しては、研究課題「電車線状態診断手法の改良（2012～14）」においてトロリ線・パンタグラフ間接触力の測定手法および測定結果から導く架線系評価手法と⁴⁾、画像とレーザー測距センサのハイブリッド計測による電車線監視システムの開発を進めており、後者を別項で紹介する。

一方、実用的研究課題「環境による電車線路部材劣化の評価（2012～2014）」および「変電所機器の健全度評価手法の開発（2013～2015）」では、電車線路設備および変電設備の故障防止・安定運用に資するため各部材を評価している。これまでに、長経年トロリ線の残存寿命を評価して経年のみで耐疲労性が低下しないことを確認、FRP 部材の硝酸水溶液中での脆性破壊現象再現、高圧ケーブルの暴露劣化試験でケーブル末端部の施行方法の評価をそれぞれ行った。後者二つを別項で紹介する。

「高速走行時の電車線の挙動解明と金具振動試験条件の評価（2011～2013）」では、新幹線のトン

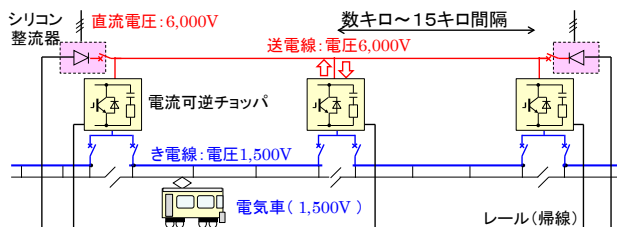


図 7 高電圧直流き電方式の構成例

ネル内で測定した列車通過時の風速を、風向や対向車の有無等の条件毎に列車速度との比で整理し、高速走行に対する電車線の設計や電車線挙動の予測において考慮すべき風速を提案した(図8)。

また、電車線金具振動条件を明らかにするとともに、パンタグラフ通過時の電車線 MT コネクタ疲労現象について有限要素法を用いてコネクタの振動波形を模擬し、リード線に用いられる軟銅より線の疲労試験を行った。振動解析では、より線を仮想的単線で置換して単線の諸特性を実験的に同定して有限要素モデルを構築し、実働振動波形に対するリード線のひずみ波形を推定した。さらに振動解析結果と試験で得たより線の疲労寿命特性を合わせて疲労寿命を推定し、実架線でリード線の疲労損傷を生じた例と照合して開発した手法の妥当性を確認した(図9)。

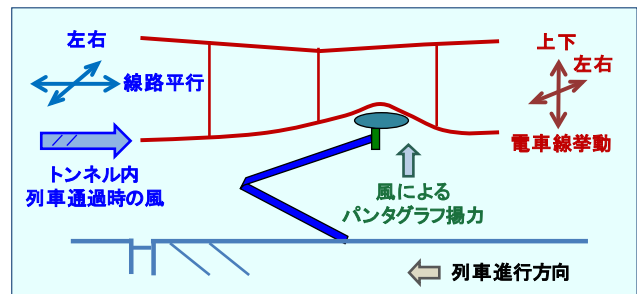
さらに、基礎的研究課題「高速・大電流条件における集電系材料の摩耗メカニズムの解明(2012~2014)」では、各種の試験を通じて通電条件下のトロリ線やカーボン系すり板等の集電系材料の接点溶融現象や摩耗形態遷移メカニズム解明を目指している。「トロリ線着氷霜に対する各種要因の影響評価(2013~2015)」では、トロリ線に付着した氷霜の接着力再現といった難しい課題に取り組んでいる。

5. おわりに

電力技術に関する最近の研究開発を紹介した。鉄道総研では2014年12月に志や将来の方向性を示すビジョンとその実行計画にあたる2015年度から5年間の基本計画(RESEARCH 2020)を公表した。この中でも、省エネルギー技術、省メンテナンス技術、そして地震対策があらためて我々の目標として定められている。引き続き、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。

参考文献

- 1) 兎東：鉄道システムの省エネルギーについて、鉄道と電気技術、Vol.25, No.1, pp.3-8, 2014
- 2) 富田,鈴木,福本,石原,赤坂,小林：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, pp.53-58, 2014
- 3) 吉澤,荒井,長嶋,坂本：フライホイール駆動用永久磁石同期電動機の開発、鉄道総研報告、Vol.27, No.7, pp.35-40, 2013
- 4) 臼田,池田：接触力測定に基づくトロリ線の静高さ測定、鉄道総研報告、第28巻第10号、(2014)
- 5) 清水,菅間,近藤,半田,光用：新幹線トンネル内の列車風が集電性能へ及ぼす影響、鉄道総研報告、Vol.27, No.8, pp.29-34, 2013



風向	対向車	列車速度比	風向	対向車	列車速度比
線路	なし	0.3	左右	なし	0.08
平行	あり	0.5		あり	0.12

図8 トンネル内電車線挙動と考慮すべき風速

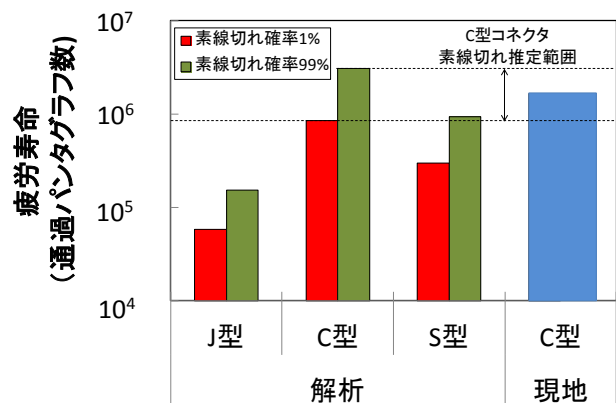


図9 コネクタリード線の疲労寿命推定結果と、実架線での疲労損傷例比較