

電力技術に関する最近の研究開発

電力技術研究部
部長 長谷 伸一

1. はじめに

鉄道総研における電力技術関係の研究開発体制は、電力技術研究部のき電研究室、集電管理、電車線構造の研究室と鉄道力学部の集電力学研究室の4研究室と材料関係の研究室で行なわれている。研究分野ごとに大別すると変電関係と電車線関係に大別される。変電関係の研究開発としては、電鉄変電所における電力変換制御と省エネルギー、き電回路網の現象解析と最適構成、絶縁協調と絶縁劣化診断、電車線関係としては、電車線設備の計測・診断、しゅう動・集電材料の劣化現象、電車線材料の開発、新しい電車線の開発、集電系の高速化、集電現象解明のための計測技術、架線・パンタグラフ系の動的相互作用の現象解明、精密計測法および改善手法の提案などの研究開発を実施している。現在のき電関係、電車線関係の研究課題を図1、図2に示す。

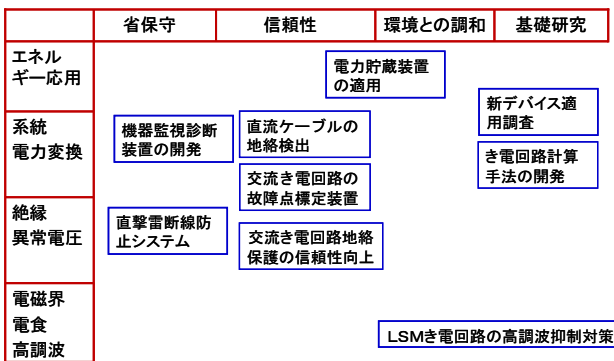


図1 き電関係の研究課題

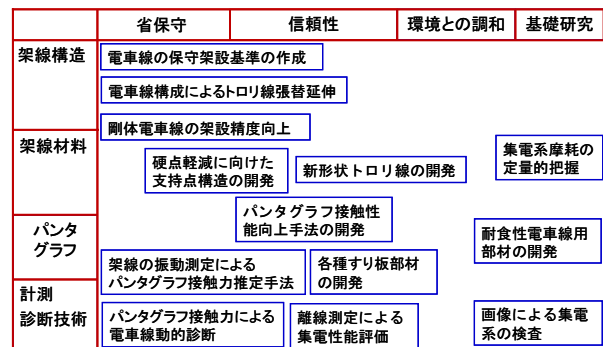


図2 電車線関係の研究課題

本稿では、電力関係の最近の研究開発について主な研究開発成果と、最近の電力貯蔵装置の電気鉄道への適用の現状を述べる。

2. 主な研究開発成果

(1) 新幹線地絡故障に対する変電所と外線側の絶縁協調

新幹線における地絡故障時の保護は、電車線路ではS状ホーンが多く用いられ、変電所では地絡保護用放電装置(GP)が用いられている。しかしS状ホーンは交流放電開始電圧は12kVであり、GPの交流放電開始電圧は5kVとなっているため、変電所に近い箇所の電車線路で地絡故障が発生した場合にはS状ホーンが放電せずGPが放電し、故障点付近のレール電位上昇等の弊害が懸念される。地絡故障発生時の低圧回線への影響やレール電位上昇を抑制するには、地絡保護装置であるS状ホーンおよびGPの放電開始電圧の低減が有効である。S状ホーンとGPの放電開始電圧を共に3kVとする改善方式を検討し、現地試験により、電車線地絡時のGP不要放電を防止できること、図3に示すように故障点の地絡電流は900Aと大きく低減されることを確認した。

また、図4に示すように現状ではレールの対地電位が9500Vまで上昇する地点では、保護装置がない場合に対して約75%のレール電位上昇となっていたが、それに対し改善方式ではS状ホーンが放電し、レール対地電位は2100Vで保護装置がない場合に対して約15%の電位上昇であり、改善方式によるレール電位上昇抑制効果を確認した。

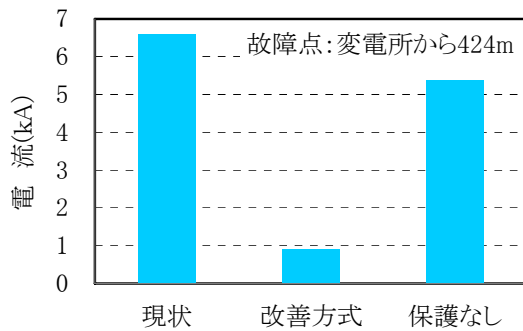


図3 地絡電流抑制効果

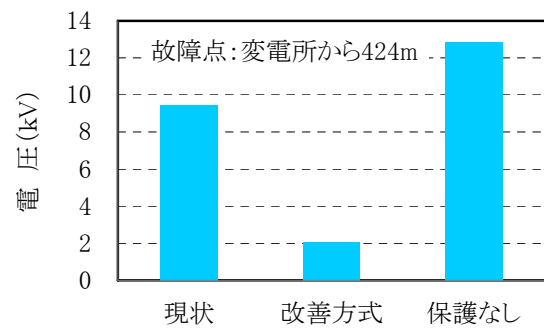


図4 レール電位上昇抑制効果

(2) 硬点軽減に向けた支持点構造の開発

新幹線の 300km/h 超域への速度向上に伴う電車線設備の保守コスト低減のため、トロリ線の局部摩耗を防止して張替周期の延伸を図るため、局部摩耗の原因となる支持点高さの不整や横張力によるトロリ線の引き上げを緩和する支持構造が必要である。特に、横張力によるトロリ線の引き上げは高速域に限らず低速域でも局部摩耗の原因となりやすく、これを抑制可能な支持構造を開発することを目的としている。

実設備におけるトロリ線高さ不整の調査、集電性能シミュレーションによる曲引金具の等価質量と引き角度の影響検討を行い、支持構造の仕様を決定した。これに基づいた新しい支持構造を試作し、機能試験、強度試験、等価質量測定等の基本的な特性試験を行い、性能を満足していることを確認した。

さらに、新しい支持構造を新幹線の営業線に試験架設し、トロリ線高さが整正されていることを確認した。

また、架設箇所での最高速度である 230km/h 域まで支持点押上量が 30mm 程度以内、トロリ線応力が 16MPa 程度以内であることを確認した。これらは安全上の目安値より十分低く、集電特性上問題ないと判断できる。

支持点後方で顕著なトロリ線摩耗進行点等におけるトロリ線応力を測定し、摩耗進行箇所ほど大きな応力が発生する傾向があること、新しい支持構造の適用により、従来の支持構造に比べて応力値の平均化と最大値の低減が可能であることを確認した。支持点近傍で発生するトロリ線応力（小弧面上の引張応力を測定）は、その点の摩耗進行度（摩耗率）と強い相関があることを確認した。これは、接触力と応力、接触力と摩耗の相関に関する従来からの知見と一致しており、図5に示すように試験箇所では支持構造の適用により摩耗率が20%程度低減するものと推測される。

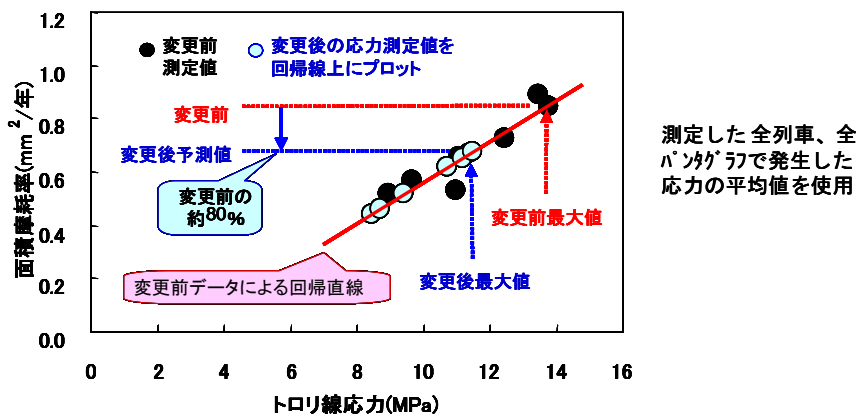


図5 試験箇所の応力-摩耗率の相関と摩耗低減効果の予測

(3) 断面形状変更によるトロリ線疲労強度の向上

トロリ線の耐疲労性向上には材質の改良のほか、断面形状を変更し同一の負荷における曲げひずみを低減する方法がある。そこで、後者について試作・試験を通して有効性を検証し、疲労に対する保安度向上と寿命延伸に資する。試作したトロリ線を図6に示す。整備新幹線等に用いられている公称断面積110mm²の高強度トロリ線の置き換えを念頭に置き、断面積は約110mm²、材質はクロム・ジルコニウム系銅合金トロリ線（PHCトロリ線）のものとした。また、しゅう動面側を110mm²と同じく半径6.17mmの円弧とすることで、電

気・軌道総合試験車におけるしゅう動面幅に基づいた摩耗測定に支障のないようにした。さらに、公称断面積 170mm^2 トロリ線用のイヤーを適用可能とした。上面および肩部の半径は2007年度に行った風洞試験の結果を踏まえ、特に以前の案より上面の半径を小さくした。 110mm^2 断面に比べたひずみ低減見込みは、約10%である。

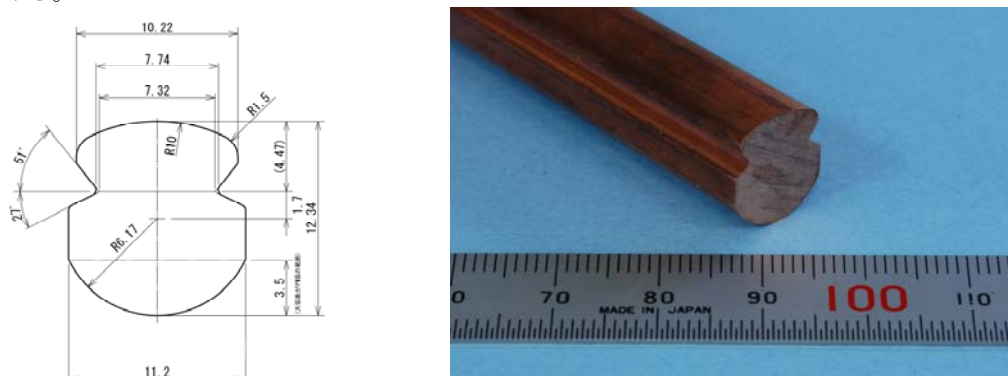


図6 試作トロリ線

風洞試験(PHC材、張力 19.6kN での使用を想定し残存直径 9mm)によるギャロッピング特性は風速 30m/s でも従来の 110mm^2 断面に比べ、新品および摩耗限度のいずれの場合も悪化していないこと、疲労試験では、張力 14.7kN の条件で従来の 110mm^2 のPHCトロリ線と比較したところ、材質としての耐疲労性はほぼ同等であることを確認した。また、集電試験装置によるパンタグラフ走行試験の結果、図7に示すように従来断面の硬銅より線と比較しても10%程度のひずみが軽減していることを確認した。

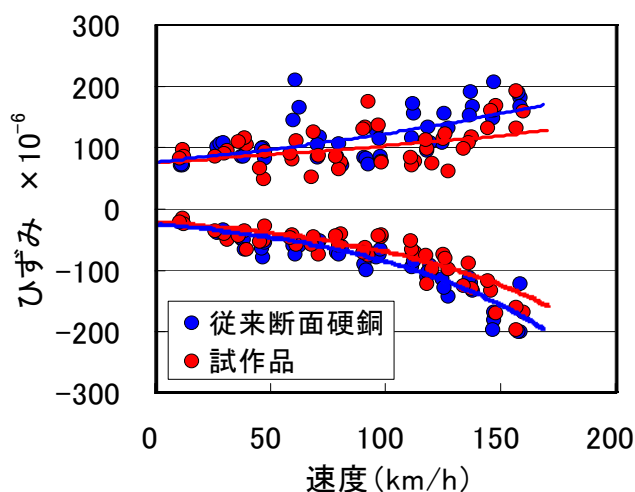


図7 パンタグラフ走行試験結果

3. 電力貯蔵装置の電気鉄道への適用

(1) 鉄道総研の最近の取り組み

近年、電圧降下対策あるいは回生電力の有効利用を目的としたエネルギー貯蔵装置が、直流電気鉄道の地上設備として適用され始めている。鉄道総研においても電気二重層キャパシタを貯蔵媒体とした電力貯蔵装置の開発を行ってきた。その成果として、西武鉄道(株)において回生電力の有効利用を目的として実用化された。しかしながら、これまでこうした電力貯蔵装置の制御方式については、充電および放電の開始電圧を固定した制御方式がほとんどであり、特に、電圧降下対策と回生電力の有効利用を両立させて機能させることは容易ではない。そこで、充電および放電の開始電圧あるいは入出力電流の大きさを変動させることにより、上記、両機能を両立させる制御方式を検討している。

この制御方式は、エネルギー貯蔵媒体の充電状態が上限に近い場合は一時的に放電開始電圧を上げることで放電を促し、逆に充電状態が下限に近い場合は充電開始電圧を下げることで充電を促す制御の適用により、充放電バランスを保ちつつ高い効果が得られることを理論的に明らかにした¹⁾。また、電鉄用変電所の受電電圧の変動に対応して最適な充放電電圧を計算する手法を提案している。

(2)最近の電力貯蔵装置の導入例

(a) リチウムイオン電池を採用した直流電気鉄道用電力補完装置²⁾

2006年秋、西日本旅客鉄道株式会社の湖西線・北陸本線の交流電化から直流電化への切替に伴い新設された新疋田変電所では、リチウムイオン電池を用いた電力補完装置が本格的に稼動している。本装置は西日本旅客鉄道株式会社が以前導入した変電所補完装置が短時間電圧降下時に効果的に出力できる特性をベースに、回生絞込み制御と協調して回生電力を吸収し、架線電圧上昇を抑制できる双方向の機能を持った装置として導入された。この装置に使用されたリチウムイオン電池には、10CA（600A）の充放電が可能な高出力型電池が採用されている。

(b) 架線電圧補償システム³⁾

鹿児島市交通局では輸送力の増強に伴い新型車両の導入が行なわれている。この輸送力の増大と、近年の夏場の猛暑に伴い車両の冷房装置の稼動率が高くなっており、ラッシュ時における電圧降下が生じることが懸念された。そこで回生電力を有効利用しながら架線電圧降下を補償する架線電圧補償システムを桜島棧橋通電停と中州通電停の2箇所の中央分離帯上に設置した。2007年3月より営業運転を開始し順調に稼動している。本装置はリチウムイオン電池を使用し、路面電車の電停内での中央分離帯に設置可能な寸法で構成されていること、変電所から離れた場所での設置であるため、既設変電所の直流遮断器との連携のため、インターネット経由の遠隔監視および装置の運転・停止を行なう機能を有している。

(c) 非常用電源としてのNAS電池システム導入⁴⁾

福岡市交通局では、全路線の停電発生時に車両基地局と16駅の重要負荷に対して電力供給を行なう非常用電源としてNAS電池システムを導入した。投入時の過電流による障害が懸念されたため、高圧変圧器の一次遮断器の投入電圧と二次側遮断器の投入タイミングを調整することにより安定的に投入できる事となっている。また、平常時は、朝夕のラッシュ時に生じる電力使用量をNAS電池により効果的にシフトし、デマンドのピークシフトを行い、契約電力の低減が可能となっている。

4. おわりに

鉄道総研の電力技術に関する研究開発成果の一部と、最近の電力貯蔵技術の電気鉄道への適用を紹介した。これらの研究開発にあたっては、現地試験などでJR各社はじめ多くの鉄道事業者の皆様のご協力を頂いており、深く感謝申し上げますとともに、研究開発成果の活用をお願いいたします。

【文献】

- 1) 小西 他：電気鉄道地上用電力貯蔵装置の効果的な運用を目指した充放電制御方式の検討、平成20年電気学会産業応用部門大会
- 2) 梅田 他：リチウムイオン電池を採用した直流電気鉄道用電力補完装置、鉄道車両と技術、No126
- 3) 星 他：鹿児島市交通局向け架線電圧補償システムの概要、鉄道車両と技術、No126
- 4) 玉腰：地下鉄道におけるNAS電池システムの導入、電気学会関西支部講習会予稿集