

電力技術に関する研究開発の動向

長谷 伸一*

Recent State of Researches on Power Supply Technology for Electric Railways

Shin-ichi HASE

A number of researches are being promoted by RTRI on the technologies of power supply system for electric railways. these researches are classified into two categories. One is related to power stations and the power supply system, and the other is to the catenary system and other current collection systems. The final target common to the technologies classified in these two categories is how to supply stable and high-quality power. This paper presents the outline of recent researches of power supply system and composing equipment.

キーワード：電力設備，き電システム，電車線

1. はじめに

電気鉄道は高電圧，間欠大電流の特色を持つ電気設備であり，新幹線に代表される高速大容量対応設備，大都市圏近距離輸送への大電流対応設備，ローカル線への小電流対応設備など多様な設備が存在する。安定輸送を確保するため，これら多様な設備に対応したメンテナンスと高信頼性が求められてきた。今後の少子化による労働人口の減少により鉄道設備をメンテナンスする労働者の減少は避けて通れない。そのため，省メンテナンスの電力設備の必要性は益々高くなると予想される。また，電力設備に起因する故障により電車の正常運行を妨げないためにも，電力設備の信頼性を向上することは重要であり，合わせて故障が発生した場合には電車への電力供給を速やかに止め，安全性を確保する必要がある。更に，最近の電気鉄道には，省エネに伴うCO₂削減による地球環境保全への貢献，地域へ与える騒音・振動の低減，電気鉄道が発生する電磁界・高調波の抑制などの社会的要請が高まっている。

電力技術研究部としてもこれらの情勢を踏まえながら研究開発を進めている。最近の研究課題をき電設備と電車線設備に大別し，「省メンテ」「信頼性」「環境との調和」「基礎研究」のキーワードと，き電，電車線の研究分野ごとに分類した研究課題を図1，図2に示す。本号に掲載する以外の研究課題に関する開発状況について以下に紹介する。

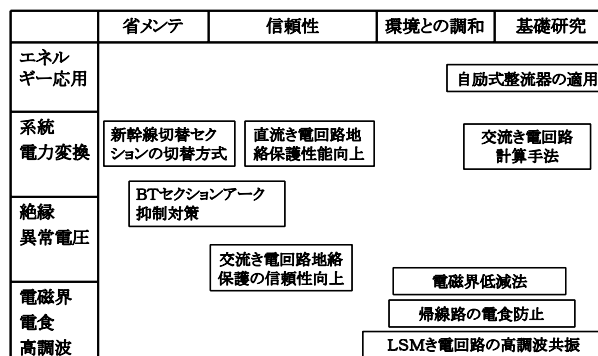


図1 電力技術研究部の研究開発（き電）

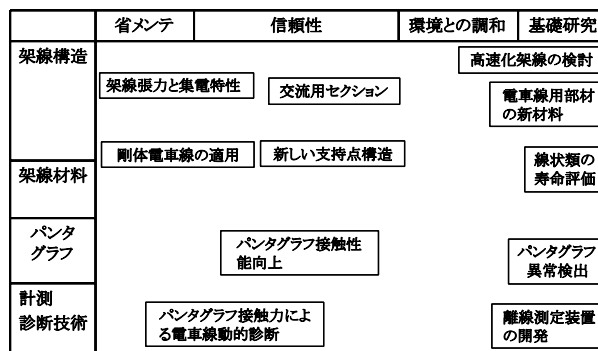


図2 電力技術研究部の研究開発（電車線）

2. き電設備に関する研究開発

2.1 新幹線切替セクションの切替方式

新幹線の変電所およびき電区分所前の切替セクションでは，電車通過時に電車への電源切替が必要であるが，現在の切替方式では0.3秒の停電時間が発生し，このとき切替開閉器の電流遮断により過渡的に過大な電流や電圧が発生する。この過大な電流や電圧により切替開閉器

* 電力技術研究部 部長

特集：電力技術

本体や車両側の変圧器の損傷を招く場合があり、遮断時に発生する電流、電圧の抑制が必要である。これらを抑制する切替方式として、異電源間を一時的に接続する並列切替方式を提案した(図3)。この方式はき電区分所において異電源間電圧差およびAT吸い上げ電流を常時監視し、回路インピーダンスから並列接続時の通過電流を予測することによって停電を伴わない切替を行うものであり、過渡的な過大な電流、電圧が抑制できる方式である。この切替開閉器の定格電流値を並列切替の可否の判定値とした場合、現地調査したき電区分所においては、並列切替時の通過電流値はこの判定値を下回っており、き電区分所での並列切替が基本的には可能であることを確認した。

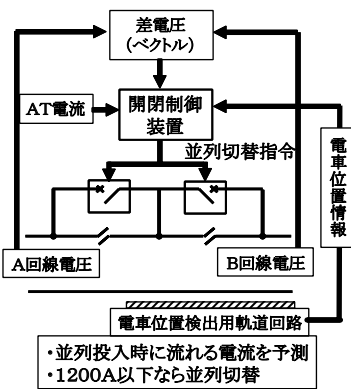


図3 並列切替方式構成

2.2 交流き電回路地絡保護の信頼性向上

鳥害、飛来物、台風による塩害などに起因して発生する電車線地絡故障では、人体の安全の確保および機器の損傷を防止する観点から、保護方式は大地電位上昇を抑制する確実な方法が必要である。このため、在来線交流区間における地絡時の現象を把握し、近年の鋼管柱の採用などの電車線支持物の変化に対応した保護方式と地絡保護装置の能力向上を目的とし、現在の電車線路地絡保護装置(S状ホーン)の放電開始電圧を10kVから3kV以下に低下させるS状ホーン用補助ギャップを開発した(図4)。この補助ギャップはS状ホーンの電極間に取り付けて使用するものであり、放電管と動作開始電圧が1800Vの酸化亜鉛素子(バリスタ)を直列に接続した構成とした¹⁾。これは電車負荷が発生する通常時のサージ電圧による放電を引き金として発生する可能性のある続流を阻止するためである。なお、放電管とバリスタを直列に接続する方式は本号の続流抑止型保安器で実績のある方式である。この補助ギャップを仮設したコンクリート柱への20kV地絡試験を行い、補助ギャップが正常に動作し、コンクリート柱は破壊しないことを確認した。また、現地において実線路のS状ホーンに取り付け長期暴露試験を実施中であり、長期試験終了後、2007年度に評価試験を行い、実用化を図る予定である。

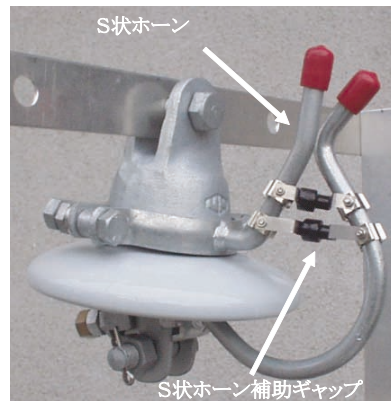


図4 S状ホーンとS状ホーン補助ギャップ

2.3 交流き電回路計算手法

電気鉄道における変電所設備設計に際しては、電車の運転電力量や架線電圧降下などを精度良く推定する必要がある。そこで、変電所設備設計計算に必要な十分な精度を持つ運転電力計算アルゴリズムを開発し、従来から鉄道総研にある多線状回路網解析と統合した新しい交流き電回路計算手法を作成した。運転電力計算で列車ダイヤ、車両性能および勾配線路条件から運動方程式を解いて1秒ごとの車両位置、電流、力率を求め、多線状回路網解析で求めたき電回路定数から変電所電力量、パンタ点電圧、車両ごとの消費電力量などが計算でき、さらに電力補償装置効果計算などが可能となった。現地負荷測定結果との計算精度検証を行った結果、新幹線高速走行区間では車両電流・き電電圧などの計算精度は十分であり、折り返し駅、車両基地などの滞留負荷を適切に模擬すれば、変電所における電力量の精度も実用的であることを検証した²⁾。新幹線低速区間では、惰行の模擬など、電力量計算に改善の余地がある。また、在来線では電車本数が多いことから生じるダイヤのゆらぎを再現することは困難であったが、負荷電力量計算は実用的な精度を得ている。

2.4 直流き電回路保護性能向上

2.4.1 回線電流方式高抵抗地絡検出システム

直流電気鉄道の高抵抗地絡故障は、従来の保護装置では検出が困難なため、故障電流が継続して流れ、線路沿線設備に多大な損傷を与える場合がある。この高抵抗地絡の検出方式として、保護線と放電ギャップを組み合わせた高抵抗地絡保護システムを提案した。このシステムは地絡故障時に保護線に発生する直流電圧で地絡故障を検出し、故障時のサージ電圧により故障点を標定するシステムである。その検証として実電源(DC1500V)を用いた人工地絡試験を実施した。その結果、地絡故障が起きると保護線に安定した直流電圧、およびサージ電圧の発生が確認され、20ms程度で地絡を検出し、また、サー

ジ到達時間から求めた故障点標定精度は400m以内となり、本システムにより高抵抗地絡故障検出および故障点標定が可能であることを確認した。直流電気鉄道では一般には保護線は張られていないため、実用化には新たに保護線の設置が必要となる。

2.5 変電所の電磁界低減法

近年、電磁界が人体や電子機器に与える影響が懸念されており、国際機関などでもガイドラインや規格が示されている。しかし、電鉄用変電所が発生する電磁界については、発生量、環境への影響の有無、対策などを含め、いまだ明確な知見は得られていない。電鉄変電所からの発生電磁界は変電所機器出力に比例して変化する。このため、評価したい地点における電磁界の規格適合性評価については電磁界測定値を変電機器の許容最大出力時の値に関して行うことが望ましいとの提案を行った。また、変電所における磁界計算にあたっては、変圧器などの主器からの電磁界は電線路からの磁界と比較して、距離による減衰が大きく、また構造上電磁遮蔽されているため、無視しうるほど小さいことを理論解析と現地測定結果より検証した。この結果を基に、変電所敷地内外における電磁界発生予測計算を実施して、現地測定結果と比較検討を行うとともに、電磁界影響を軽減可能な対策、変電所設計・施工指針を示す予定である。

3. 電車線設備に関する研究開発

3.1 架線張力と集電特性

架空電車線は良好な集電特性を維持するため、その張力は一定であることが望ましい。しかし、電車線は温度変化により伸縮するため引き止め箇所には張力調整装置を取り付け、支持点を電車線の伸縮による移動が可能な構造にするなどして張力を一定に保つようになっている。しかし、支持構造によっては摩擦力などにより線状の移動が抑制される抵抗力（以下抑制力）が発生し、径間ごとの張力は必ずしも一定ではないと考えられている。そこで、ちょう架線が滑車で支持されたき電ちょう架式電車線において張力、ちょう架線移動量などを調査した。また、抑制抵抗が集電特性へ及ぼす影響を架線パンタグラフ走行シミュレーションにより評価した。調査の結果、トロリ線張力はほぼ一定であるが、ちょう架線はドラム中央付近で温度による張力変動が見られることから、張力変動が抑制抵抗に打ち勝てず、ドラム中央付近の支持点では両端固定状態となっていると考えられる。この状態を模擬したシミュレーションの結果では、ドラム中央付近の集電特性が悪化し、温度-10℃および40℃では160km/hでは離線率が目安値の5%以上となり、安定した集電が確保できないと考えられる。

3.2 硬点軽減に向けた支持点構造

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いため、これを抑制可能な支持構造の開発を行っている。

実設備における支持点高さの不整分布から支持点構造として±30mm程度の調整幅があれば不整をほぼ解消でき、同様に偏位も適切に調整することが出来れば局部摩耗の進行を抑制できる可能性があること、集電性能シミュレーションにより曲引金具の等価質量と引き角度の影響検討を行い、等価質量は1kg程度以下、低速域の小半径曲線路を考慮しても引き角度は9°程度以下であれば集電性能への影響度が小さいことを検証した。実設備調査とシミュレーションから得た結果と電車線金具の一般仕様を基に、表1の新しい支持構造の仕様を決定し、高さ、偏位を±30mm無段階で調整可能な可動ブラケット構造と引き角度9°に対応した曲線引金具を試作した。

これら試作品について機能試験、強度試験を行ない仕様を満足することを確認した。今後は鉄道総研の集電試験装置による動特性の確認、実設備による確認試験を行なっていく予定である。

表1 試作品の仕様

	可動ブラケット	曲線引金具
強度	従来品の規格荷重を満足すること	
	・強度試験 水平荷重 垂直荷重	・強度試験 引張・圧縮・ねじり・ストップ・押上力 ・ばね動作・押上量・回転
調整 機構	高さ・偏位を±30mm調整が出来ること 架高維持のため、全線条に同量の調整が必要	
引き角度・等価質量	9° 1kg程度	

3.3 パンタグラフ接触性能向上

架線・パンタグラフ系の集電性能向上を図るため、パンタグラフの接触性能向上手法として、パンタグラフの動特性向上手法、ならびにパンタグラフ接触力のアクティブ制御手法の開発を進めている(図5)。特に後者に関しては、現車に適用可能な機器構成のアクティブ制御機構を適用することによって、高速走行時における径間周期接触力変動を半減することを目指している。

パンタグラフのパッシブな動特性向上手法に関しては、復元ばねの剛性最適化による追従特性向上手法の現車による検証、復元ばねの剛性可変機構の考案とその検証試験などを実施した。接触力のアクティブ制御手法に関しては、接触力測定手法の検討、制御効果検証のためのシ

特集：電力技術

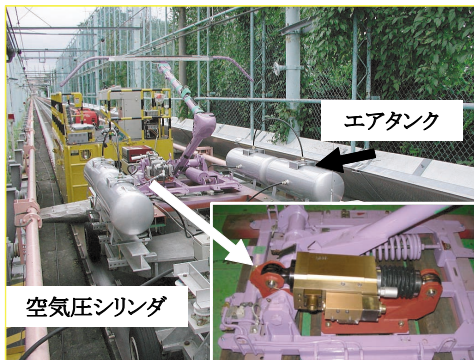


図5 接触力アクティブ制御パンタグラフ

ミュレーションなどを実施した。

3.4 接触力による電車線動的診断

トロリ線とパンタグラフ間の接触力の大きな変動は安定した集電を阻害する。接触力がゼロに近いと両者の接触が維持できず、アークの発生を誘引してしゅう動面材の摩耗を促進し、逆に接触力が大きいと、しゅう動部材に機械的なダメージを与える。したがって、トロリ線とパンタグラフの間に作用する接触力を測定、評価することは、集電の品質を把握するために非常に重要である。また、接触力変動は架線の架設状態の影響を強く受けており、接触力変動から架線の状態監視が可能であると考えられる。そこで、新幹線の現車走行試験において測定した接触力波形の特徴を分析した結果³⁾、①接触力とトロリ線静高さおよび離線時間には相関がある、②接触力平均値 F_m と接触力標準偏差 σ を用いた $F_m - 3\sigma$ は離線発生状況を表す接触力評価値として活用できる、③接触力が著大であるとトロリ線摩耗が進行している、④オーバラップ区間ではトロリ線静高さ構成が良好でない場合に著大接触力が発生している、などの知見を得た。これらの知見から、トロリ線の摩耗率およびひずみを基準にした接触力の目安値を提案した。

3.5 離線測定装置

離線測定は集電性能の評価手法としてしばしば用いられている。その評価指標として離線率や最大離線時間が用いられ、目安値を定めて速度向上試験などにおける判定基準としている。離線測定方法は各種提案されているが、測定機器の架設が比較的容易な電流式離線測定と光学式離線測定が用いられることが多い。光学式離線測定はすり板摩耗を評価するのに適した測定方法であり、より精度の高い評価指標として、光学式離線測定による離線率とパンタグラフ平均集電電流の積から求められる単位アーク電気量を用いた、離線評価方法の目安値の設定指針を検討した⁴⁾。また、従来困難であった、昼間の1

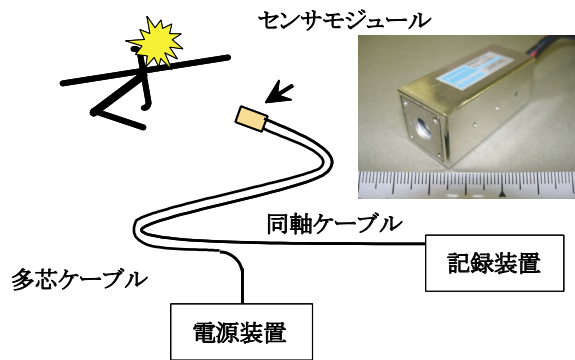


図6 UVセンサーモジュールの構成とセンサ概観

パンタグラフ走行でも測定可能な離線測定手法の1つとして紫外光 (UV) による光学式離線測定装置を提案した。紫外光センサとして、紫外光を透過する石英ファイバと光電子増倍管で受光する方式 (UV光ファイバ) と、UVセンサモジュールで直接受光する方式の2通りを試作し、離線アークの検証性能を試験した (図6)。この結果、センサを車両屋根上のパンタグラフ近傍に配置すれば、昼間でも離線アークの検出が可能であり、さらにUVセンサモジュールは構成が簡単で、取り扱いが容易、安価なことから、離線測定装置のセンサとして適用可能な見通しを得た。離線評価の目安値については、より一般的な評価のため摩耗機構の理論的解析が必要であり、UVセンサについても今後実用化へ向けた検討を行い、離線測定のさらなる高精度化を目指す予定である。

4. おわりに

鉄道総研の電力技術に関する研究開発状況の一部を紹介した。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、本紙面を借りて深く感謝申し上げますとともに、成果の活用をお願いいたします。

文献

- 1) 安喰浩司, 後藤昭夫, 高井渉, 井上隆, 佐藤了吾, 内沼夏織: 在来線交流き電回路地絡保護用低電圧放電装置の保護効果試験, 平成18年電気学会全国大会, No.5-183, 2006
- 2) 兎束哲夫, 赤木雅陽, 菅井俊一: 新幹線用運転電力シミュレーターの開発, 鉄道総研報告, Vol.20, No.9, 2006
- 3) 久須美俊一: 接触力と離線の評価についての一考察, 平成18年電気学会全国大会, 5-170, 2006
- 4) 根津一嘉, 久須美俊一, 岩井中篤史: 「離線アークの電気量を用いた集電性能評価の検討」, 平成17年電気学会産業応用部門大会, No.3-62, pp. III -283-286, 2005