

# 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

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。従来より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、電力設備の故障に起因する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、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CO<sub>2</sub>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。

電力技術研究部における最近の研究開発課題として、き電設備と電車線設備に大別し、更に「省メンテ」「信頼性」「環境との調和」「基礎研究」のキーワードに分類した研究課題を表1、表2に示す。これら研究課題に関し本月例発表会において報告されていない代表的な研究開発について紹介する。

表1 き電設備の研究課題

	省メンテ	信頼性	環境との調和	基礎研究
エネルギー応用				自動式整流器の利用の研究
系統電力変換	新幹線切替セクションの並列切替方式	直流ケーブルの地絡検出 交流き電回路の故障点検定装置		き電回路計算手法の開発
絶縁異常電圧		交流き電回路地絡保護の信頼性向上		
電磁界電食高調波			電磁界低減法の研究 掃線路の電食防止対策 LSMき電回路の高調波共振対策	

表2 電車線設備の研究課題

	省メンテ	信頼性	環境との調和	基礎研究
架線構造	支持点での抑制抵抗の架線張力と集電特性へ及ぼす影響 剛体電車線の波状摩擦対策とコスト低減の検討	交流用セクションの開発		
架線材料		硬点軽減に向けた支持点構造の開発		トロリ線の寿命評価・疲労強度の向上
パンタグラフ		パンタグラフ接触性能向上手法の開発		線状類の寿命評価
計測診断技術	架線の振動測定によるパンタグラフ接触力推定手法 パンタグラフ接触力による電車線動的診断			アルミニウム青銅製電車線用部材の耐食性評価 UV光学式離線測定装置の開発

## 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並列切替方式

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。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、過渡的な過大電流・電圧が抑制できる方式である。この並列切替の可否の判定値を切替開閉器の定格電流値とした場合、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定格値を下回っており、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。

## 2.2 交流き電回路の故障点標定装置の開発

交流き電回路においては、電車線路の地絡・短絡故障箇所特定のために、故障点標定装置により故障点の特定を行なっている。現在の故障点標定装置は標定誤差が最大1km程度あることから、故障点の探索と復旧に時間を要することがある。標定精度の向上を目的として、図1に示すように、故障時に保護線または負き電線に発生するサージ電圧の変電所とき電区分所への到達時間差を利用した故障点標定装置の開発を行なっている。

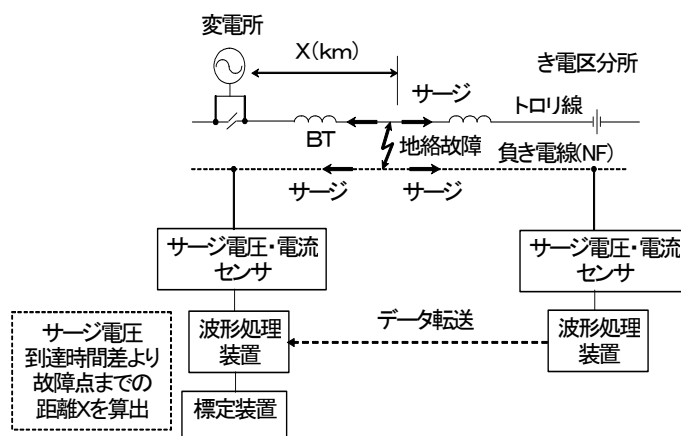


図1 故障点標定装置の構成

実際に発生するサージ電圧に近い20kVインパルス電圧印加によるき電回路のサージ伝播特性試験および人工地絡故障試験より、T相に発生したサージ電圧が変電所とき電区分所に伝播し、変電所およびき電区分所においてN相に移行したサージ電圧が検知できることを確認した。

今後は、サージ電圧検知による故障点標定装置を試作し、現地試験により標定精度を検証・評価を行なう予定である。

## 2.3 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。電鉄変電所の電磁界測定結果によると、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、評価したい地点の電磁界の規格適合性評価は、電磁界測定値を変電所機器の許容最大出力時の値に換算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・施工指針を示した。

## 3. 電車線設備に関する研究開発

### 3.1 支持点での抑制抵抗による集電性能への影響

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（以下抑制力）が発生し、径間ごとの張力は必ずしも一定でないと考えられている。そこで、き電ちょう架式電車線のちょう架線滑車支持区間と可動ブラケット支持区間の張力、ちょう架線移動量などを調査した。その結果、トロリ線張力はほぼ一定であったが、滑車支持区間の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た。この状態を模擬した架線パンタグラフ走行シミュレーションの結果、最高・最低気温に対応する張力変動があった場合、離線の目安値（離線率 5%、離線時間 200ms）を超えない速度は、ダンパのあるパンタグラフではほぼ 120km まで、ダンパのないパンタグラフで 100km 程度までであった。

### 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。

実設備におけるトロリ線高さ不整の調査の結果、支持点構造として±30mm 程度の調整幅があれば高さ不整をほぼ解消できること、偏位を適切に調整することが出来れば局部磨耗の進行を抑制できる可能性があることを確認した。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 1 kg 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（従来 16° または 12°）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、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。高さ、偏位調整機構は、専用治具の使用により横張力などの加重が付加状態でも調整可能である。曲線引金具は引き角度 9° に対応するため従来より 50～100mm 程度長い形状とした。軽量化のため主アーム形状を変更した試作品と、従来アーム形状の試作品を試作した。これら試作品について機能試験、強度試験から仕様を満足することを確認し、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実施した。

### 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。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随特性向上手法の現車による検証、復元ばねストッパ当り緩和機構導入の提案、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集電試験装置による走行試験を実施し、集電性能向上に有効であることを確認した。また、サーボ弁付空気シリンダへの電力供給するため、集電電流を利用したパンタグラフ制御用電源装置を試作した。

### 3.4 硬銅より線の寿命に関する検討

き電線に多く使用されている硬銅より線および圧縮接続部箇所の寿命の目安を把握し、硬銅より線の適正な張替に寄与するため、硬銅より線と硬銅より線圧縮接続部の腐食劣化に対する電気的および機械的特性評価を実施した。加速腐食させた硬銅より線と応力腐食割れを生じた硬銅より線の特性評価を基に、実負荷電流を想定した温度上昇、張力に対する引張破断時の断面積から硬銅より線  $\text{Cu}325\text{mm}^2$  では残存面積率が 0.6、接続箇所では抵抗増加が新品時の 1.6 倍までが使用限度であることを提案した。また、接続箇所の温度指標としてサーモラベルに代わるパラフィンワックスを用いた発熱検出材の検証を行い、有効性を確認した。

### 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、測定機器の仮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磨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証した。また、従来困難であった、昼間の 1 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。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磨耗機構の理論的解析が必要であること、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。

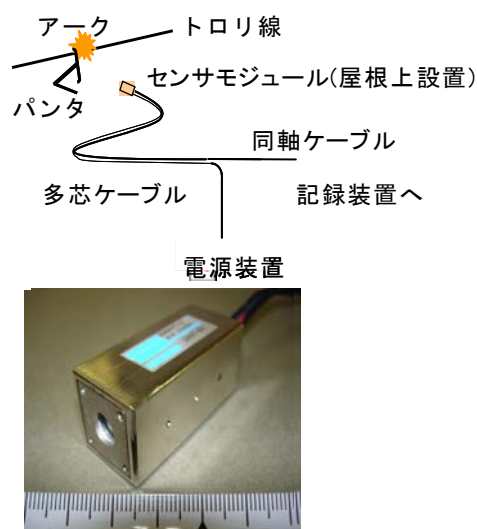


図2 UV センサモジュール構成と概観

## 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したい。