

# 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

電車の安定輸送のため、電車への電力供給は安定的に高品質な電力を供給する事が要求される。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。更に、最近の電気鉄道には、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。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。

鉄道総研における電力技術の研究開発においても、これらの情勢を踏まえながら研究開発を進めている。本稿では、最近の研究開発の紹介として、将来指向課題「集電系の高性能化と保守の高度化に関する研究」についての進捗状況と、き電、電車線の研究課題について、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紹介する。

### 2. 集電系の高性能化と保守の高度化に関する研究

鉄道総研の基本計画 (RESEARCH 2005) において、将

来指向課題は「JR各社のニーズ、社会動向などに応える課題」、「先行的な技術開発、鉄道の将来を指向した課題」、「鉄道総研の研究開発能力の高い分野や特徴のある領域を活かせる課題」、「実用技術開発やこれに向けてクリティカルな問題の解決に結びつく課題」と定義され、電力技術分野としてテーマ名「集電系の高性能化と保守の高度化に関する研究」(2006～2009年)の課題を設定した。本テーマの目的は、新幹線の350km/h領域における高速営業走行を想定した場合、著大接触力や大離線に伴うトロリ線摩耗の急増に伴う保守作業量の増大が予測されることから、集電系の弱点要素を削減して集電系を再構築することである。

本テーマでは、以下に示す5つの子テーマを設定してテーマを遂行している。

- ① トロリ線寿命予測と評価基準の研究
- ② 電車線保守・架設基準の策定
- ③ 硬点軽減に向けた支持点構造の開発
- ④ 断面形状変更によるトロリ線疲労強度の向上
- ⑤ 接触力変動に向けたパンタグラフの開発

以下ではそれぞれの子テーマの概要について述べる。

#### 2.1 トロリ線寿命予測と評価基準の研究

トロリ線の損耗は主に摩耗と疲労であり、速度向上に伴う接触力や振動、離線アークの増大によって促進される。従って、接触力、振動、離線アークなど損耗要因と摩耗進行の関係を定量的に把握し、トロリ線摩耗予測手法の提案とトロリ線疲労寿命予測手法を提案することを目的としている。現在、架線における接触力測定手法を開発し(図1)、実フィールドにおける接触力測定と摩耗発生状況調査を行っており、2008年度には摩耗予測手法を提案する予定となっている。また、実働波形による

\* 電力技術研究部 部長

特集：電力技術

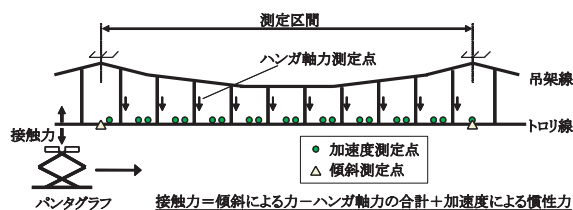


図1 架線における接触力測定手法

疲労損傷度推定にレインフロー法の適用可能性検証のため各種硬銅トロリ線の疲労試験を実施中であり、平均引張応力の影響を検証しレインフロー法検証試験を行なうこととしている。

2.2 電車線保守・架設基準の策定

本テーマでは、350km/h領域においても現状の300km/hと同等な接触力変動を維持し、局部摩耗などが発生しにくい電車線架設基準を構築するとともに、架設状態を推定できる診断法を開発し、保守担当者に対し不良箇所の状態と補修法を適切に与えられるような保守メニューを提示するシステムを開発する事を目標としている。現在、架設状態と接触力の関係をシミュレーションにより検討するとともに、接触力からトロリ線ひずみを推定する手法の検討を行い、集電試験装置で接触力変動と電車線架設状態およびひずみとの相関を検証している。架設状態診断法の検討のため、架線/パンタグラフシミュレーションのFEMモデルによる3次元化のプログラムの開発、電車線金具位置を車上から特定する画像処理手法の検討を行なっている。

2.3 硬点軽減に向けた支持点構造の開発

新幹線では、トロリ線の局部摩耗がその寿命を支配していることから、局部摩耗の抑制は電車線設備の保守コスト低減に大きく寄与する。これまでの摩耗測定では曲線区間における支持点付近の局部摩耗が多く検出されているが、これは曲線引き金具の引き角度が大きく、その構造上トロリ線引き上げが避けられないためである。そこで曲線引き金具の引き上げ金具を見直し、支持点高さの不整を調整できる支持構造を開発し、接触力変動を抑

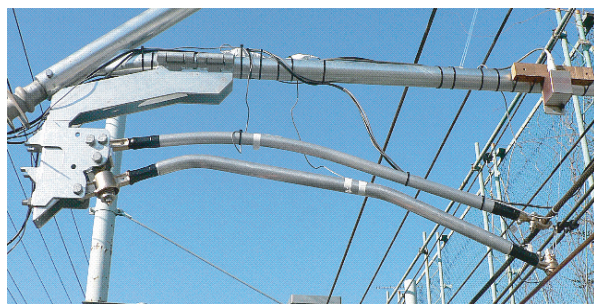


図2 試作した曲線引き金具と補助アーム

制して局部摩耗が発生しにくい支持点構造を開発することが本テーマの目標である。新しい曲線引き金具、支持構造の試作を行い、基本的な集電特性や金具に発生する応力に問題がないことを確認し、実設備における支持構造の適用と効果の検証試験を行なう準備中である(図2)。

2.4 断面形状変更によるトロリ線疲労強度の向上

新幹線における速度向上はトロリ線の疲労に対して条件が厳しくなる方向にあり、トロリ線の耐疲労性向上が望まれる。耐疲労性向上方法には材質の改良のほか、断面形状の変更により同一の曲げモーメントにおける曲げひずみを低減する方法がある。本テーマでは、整備新幹線などに用いられている公称断面積110mm<sup>2</sup>の高強度トロリ線の置き換えを念頭に、断面形状の検討を行なった。

断面形状は空力特性の確認を行ない決定し、クロム・ジルコニウム系銅合金の材質でトロリ線の試作を行い、強度、電車線金具との適合性などの基本特性を確認し、集電試験装置によりひずみ低減性能確認試験を行なっている。今後、実設備によるひずみ低減効果の確認を行なう予定となっている。

2.5 パンタグラフの接触性能向上手法の開発

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の開発を行なうことを目標としている。具体的にはパンタグラフの動特性向上手法、接触力のアクティブ制御機構を有するパンタグラフ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変動を半減することを目標としている。

動特性向上については復元ばねの剛性最適化手法に加えて復元ばねストップ当り緩和機構導入の提案、復元ばねの剛性機構の有効性検証を行い、これらを組み込んだパンタグラフの現車試験を実施し、集電性能向上効果の実証試験を行なった。接触力のアクティブ制御手法に関してはサーボ弁付空圧アクチュエータを実装したパン

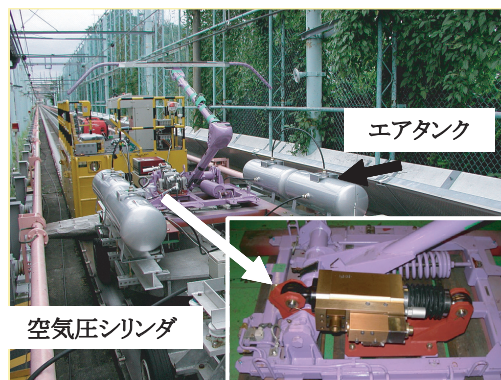


図3 接触力アクティブ制御パンタグラフ

タグラフによる接触力制御の効果確認、パンタグラフ用電源装置試作を行った。さらにパンタグラフのアクティブ制御則の改良を行い、より一層の集電性能向上を目指すこととしている（図3）。

### 3. き電設備に関する研究開発

#### 3.1 交流き電回路の故障点標定装置の開発

交流き電回路では、電車線路の地絡・短絡故障箇所の特定のため、故障点標定装置により故障点の特定を行っている。しかし、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。そこで、変電所とき電区分所にサージ電圧センサを設置し、故障時に保護線または負き電線に発生するサージ電圧を検出し、変電所・き電区分所へのサージ電圧の到達時間差を利用した高精度な故障点標定方式の開発を行っている（図4）。実際のサージ電圧に近い20kVのインパルス電圧によるサージ伝播試験、コンクリート柱を模擬した1k $\Omega$ 抵抗地絡試験を実施し、地絡保護方式がS状ホーン方式でも地絡導線方式でも、サージが保護線などに移行・伝播することを確認し、本方式による故障点標定が可能であるという知見を得た。今後は、故障点標定装置の精度確認のため、実フィールドにおける人工故障試験を行なう。

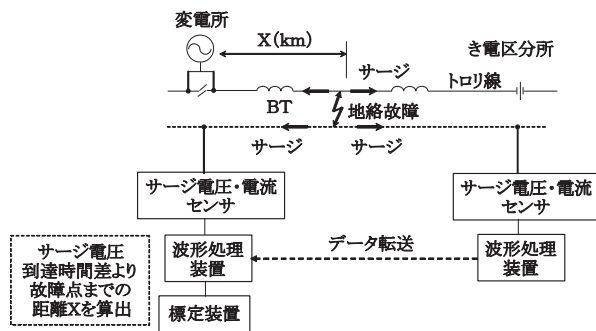


図4 サージ検出方式の故障点標定装置

#### 3.2 駅構内における交流地絡に対する保護能力強化

在来線交流電化区間での駅構内の地絡保護方式は、保安器を用いた保護地線方式である。保安器にはカーボン電極型と統流抑止型があり、交流放電開始電圧はどちらも2500Vで保護能力は同等である。保安器の目的は、地絡時の人体感電保護と機器破損防止であるが、近年、信頼性向上の観点から列車運行に関わる弱電機器への影響を最小限にとどめることが求められ、保安器の地絡保護能力の向上が必要な状況となってきた。

保安器の保護能力を向上させるには保安器の放電開始電圧を出来るだけ低くすることが有効である。放電開始電圧を現在の1/2から1/3に低減する低電圧放電保安器

回路構成を考案し、回路素子定数を検討するため、実フィールドで保護線のサージ電圧発生状況、保護線のサージインピーダンス測定を行ない、これらデータを基に定電圧放電保安器を試作した。所内での基礎特性試験を経た後、現地において保安器の機能を検証する（図5）。

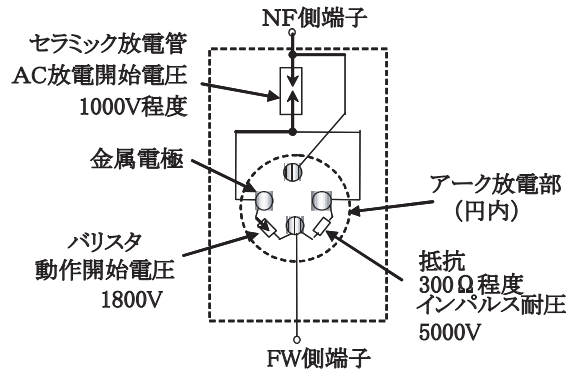


図5 低電圧放電保安器回路構成

#### 3.3 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状ホーンの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、故障点標定に誤差が発生する弊害が懸念される。

また、地絡故障時の低圧・弱電回線へのノイズの影響を低減するためには、地絡保護装置の放電開始電圧を低くすることが有効であることは前述した駅構内の保護能力強化と同様である。

本テーマでは、鉄道総研が開発した放電開始電圧が低いS状ホーン補助ギャップの採用などによりS状ホーンおよびGPの放電開始電圧を3kV程度にすることにより電車線路と変電所の保護協調の改善を行なうことを目標としている。考案した保護協調を実フィールドに試験導入し、長期的な信頼性を確認する。

#### 3.4 直流き電ケーブル地絡検出装置の開発

直流き電ケーブルは、その構造上金属遮蔽層がないため、絶縁破壊などの故障時には支持構造物に故障電流が流れて、変電所火災、沿線設備の焼損などの大きな被害をもたらす可能性がある。設備の信頼性向上を図るため、直流ケーブルの絶縁劣化・故障に関する検出方法の開発を行っている。直流き電ケーブルに適用可能な劣化評価試験を整理し、使用済みケーブルの試験を行ない劣化度合いと敷設状況の関係調査、整流器のリプル電圧が絶縁劣化に及ぼす影響、急速劣化試験などを実施中で

特集：電力技術

ある。

ケーブル故障の検出方法としてケーブル支持クリート部での電位検出方式、往路と復路のケーブル周囲の磁束から故障電流を検出する方式などを検討し、基礎的な検証試験を行なう。

4. 電車線設備に関する研究開発

4.1 剛体電車線の架設精度向上

剛体電車線は、摩耗による断線の恐れが無いため設備の信頼性が高く、省メンテナンス性も優れていることから、鉄道総研において在来線への適用手法の開発を行い、狭小トンネル等の一部の区間で導入された。また、在来線の高速線区への適用を目的とした開発も行ってきたが、一方で実設備における問題点として、設計値以上の摺動面凹凸や波状摩耗の発生等が明らかになりつつある。この問題点の解決策として、接続部の精度向上と支持構造改良等による支持点間たわみ量低減のための検討を行った(図6)。たわみが現状より小さくなる架台の新規形状を検討し、試作した支持構造を所内に設置して、摩擦力や温度伸縮による架台のたわみ量の把握を実施した。接続部に起因するたわみの抑制のため、接続構造および接続工法について検討を行う。また、架台から把持されているトロリ線自体のたわみも見られることから、トロリ線を均一な力で把持できる構造について検討を行っている。

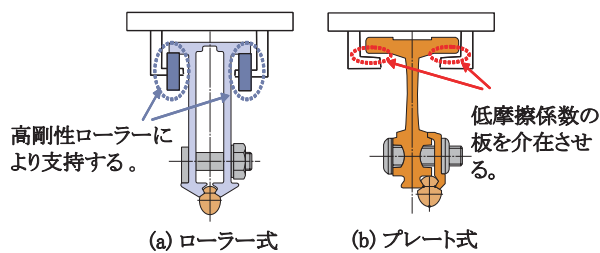


図6 提案した支持構造

4.2 耐食性長寿命電車線金具の開発

腐食による電車線路部材の破断・破損事故は多い。そこで、電車線部材のうちイヤー、がいしの金具部、絶縁水平パイプを対象として、これまでに調査した事故事例、および2005～2006年度に行ってきたイヤー材耐食性向上の基礎検討結果に基づき、特に重塩害地域での寿命延伸をねらった電車線部材の試作・試験を行っている(表1)。

現用材質と比較して成分として高ニッケル、低アルミに成分調整した耐食性新材質2種類および比較のための現用材質を製造し、それらを用いてハンガイヤーを試作、所内で断面観察、硬さ測定などを実施した後、試作した新材質イヤーを当研究所の勝木塩害試験場(新潟県岩船郡山北町)においてこれら新材質イヤーの暴露試験を実施している。CFRPコーティングによる絶縁水平パイプについても試作し、同じく勝木塩害実験所において課電暴露試験を開始している。がいし金具部の腐食については現地での腐食品調査、環境調査などを行なう予定となっている。

表1 イヤー断面のビッカース硬さ試験結果

項目	Type III	Type VI	現用品
測定点数(個)	33	32	33
最小(HV)	106	164	178
最大(HV)	208	219	235
平均(HV)	149	180	190

5. 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。