

電力技術に関する最近の研究開発

池田 充*

Recent Topics on Power Supply Technology

Mitsuru IKEDA

Reliability and stability of train operation of railway system has to be further improved in order for the railway to be a sustainable transportation mode in the future. Functional failure of power supply system significantly affects train operation; therefore research sector of RTRI responsible for power supply technologies of railway system is tackling improvement in reliability of power supply facilities. This paper describes recent topics on power supply technologies focusing on researches contributing to reduction in failures and accidents of railway system.

キーワード：電力設備，電車線，変電設備，メンテナンス，事故

1. はじめに

地球温暖化に伴う気候変動や極端気象の影響が身近なものとなりつつある今日，低炭素社会の実現は喫緊の課題である。元来，鉄道はエネルギー効率がが高く，炭素排出量の少ない輸送機関ではあるが，公共輸送機関としての役割を今後も継続的に担っていくためには，その省エネルギー性をさらに高める必要がある。その一方，日本の生産年齢人口は1995年をピークとして減少を続けており，2015年にはすでにピークの約87%にまで減少した。列車の安全かつ安定した運行にはインフラ設備の適切な維持管理が不可欠であるが，今後も生産年齢人口の急速な減少傾向が継続すると見込まれることから高い技能を持った保守要員の確保が困難になってくることが予測され，インフラ設備の検査・診断技術の高度化と保全手法の効率化が強く求められている。こうした長期的視点にくわえて，鉄道が信頼できる交通機関であり続けるためには，故障・事故による輸送障害を少しでも減らし，より安定した運行を実現することも重要である。

こうした状況分析に基づき，鉄道総研の電力技術に関する研究グループは，省エネルギー・省メンテナンスで安定した電力設備の実現に貢献することを目標として定め，その実現に向けた研究活動を行っている。本稿では，こうした研究開発のなかから，特に電力設備の安定性向上を実現するための研究開発の取り組みに焦点を当てて紹介する。

2. 電力設備のトラブル発生要因と防護体制

電力設備は，ひとたびトラブルが発生すると大きな輸送障害を引き起こしかねないことから，継続的な保守作

* 電力技術研究部長

業によって正常な状態に維持・管理されている。しかし，さまざまな事由により電力設備の不具合が生じ，場合によっては長時間の輸送障害が発生している。電力設備の場合，こうしたトラブルの引き金となる引金事象¹⁾を「想定外外乱」「長期劣化」「誤操作・誤作業」「保護装置故障」に分類することができる。

外乱とは，強風や大雪などの気象条件，地震，落雷，倒木・飛来物，沿線火災などであり，基本的には設計において考慮されるべきものであるが，設備が設計における想定を超えた外乱にさらされるとトラブルが生起する。長期劣化は，電力設備の構成部材の摩耗，摩滅，疲労，腐食などである。これを皆無にすることは現実的ではないが，許容範囲を超えて劣化が進展すると不具合が発生する。誤操作・誤作業は平時の運転操作，ならびに保守作業において発生するものであり，人間が関与する限りこれを皆無にすることは難しい。この3つの引金事象のいずれか，あるいは複数のものが許容レベルを超えると，何らかの故障が部品レベルで発生する。さらに，この部品故障により設備として機能を喪失する状態にまで不具合が進展すると，重大な輸送障害に至る。なお電力設備には，設備に機能喪失が発生した際の被害拡大を防ぐと

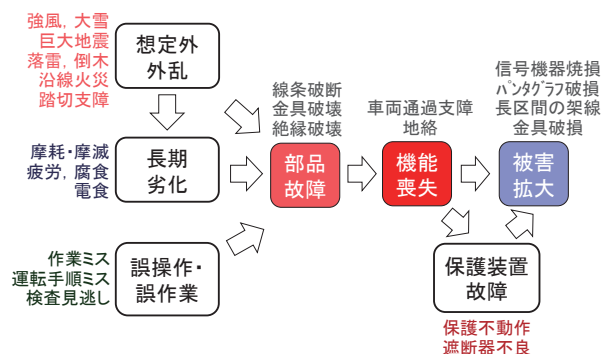


図1 電力設備の重大な輸送障害発生の流れ

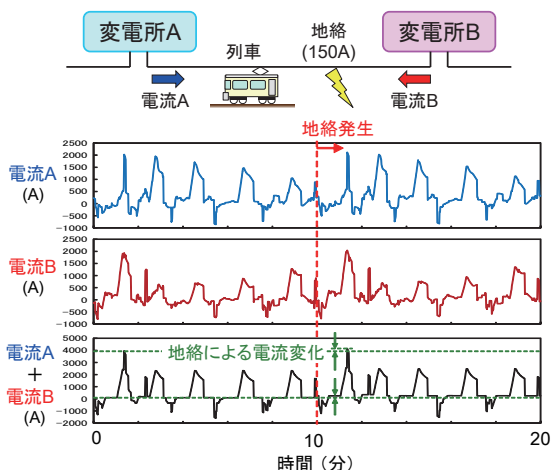


図5 直流き電回路の高抵抗地絡故障時の回線電流変化

指して開発を進めているものである。現在、任意の軌道上に架設された架線の静構造計算が可能となっており、各支持点においてトロリ線に強い横張力が作用する曲線区間の架線静構造を精度よく評価することができる(図4)。温度変化による線条の伸びを考慮することも可能であり、強風や温度変化などの各種外乱を考慮した架線構造の設計への活用が期待される。

こうした設計・評価ツールの開発と並行して、電力設備そのものの安全性を高めるための研究開発も進めている。例えば、電車線路に地絡が発生するとこれを速やかに検出してき電を停止し、設備の被害拡大を防ぐ保護装置が各変電所に設けられているが、コンクリート電化柱のように大きな電気抵抗を持つ支持物を介して地絡する高抵抗地絡への対応は不十分である。このため、鉄道総研ではすでに保護線と放電ギャップを組み合わせた保護線方式地絡検出システムを開発している⁵⁾が、保護線のような追加の電線敷設が不要な高抵抗保護方式の実現が強く求められている。そこで図5に示すように、列車運行電力シミュレータを活用して高抵抗地絡発生時の回線電流変化の評価を行い、これをもとに新しい高抵抗地絡検知方式の検討を進めている。

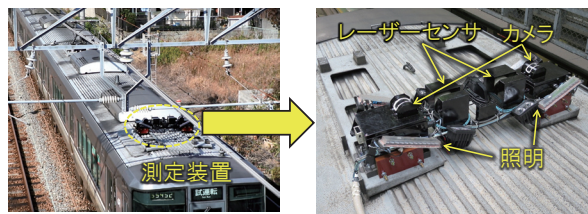
また、機能上の制約からトロリ線破断事故が発生しやすい直流電化区間のエアセクションについて、安価でありながら確実にトロリ線の破断を防止できる架線構造として、エアセクション用複合架線の開発⁶⁾を進めている。

4. 検査・保全技術の向上を実現するための取り組み

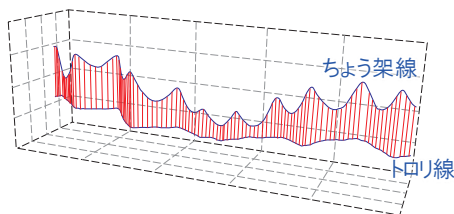
電力設備に起因するトラブルを防止するうえで、図2に示した通り設備の検査・診断は重要である。しかしながら、高い電圧が印加されるという電力設備の特性上、保守担当者が目視で検査を行うことのできるタイミング

は限られている。そのため、特に電車線のように長大なインフラ設備に関しては、目視による検査は効率が悪く、多くの人手を要している。そこで、電車線に関わる検査の効率化を図るとともに、検査そのものを高度化するため、電車線非接触測定装置の開発を進めている。

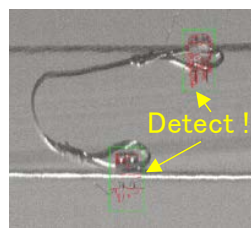
図6(a)に示すように、本装置はレーザーセンサとラインカメラから構成され、これを車両屋根上に搭載して営業速度で電車線画像を取得し、画像処理技術を活用することによって電車線の検査を行うものである^{7) 8)}。本装置の大きな特徴は、トロリ線だけでなく、その上部線条であるちょう架線や補助ちょう架線の架設状態の精緻な測定が可能であると同時に、ハンガやコネクタ等の電車線金具の取り付け位置やその状態を把握することができることである。また、従来の検測車のようにパンタグラフの上下運動を利用してトロリ線高さを測定するのではなく、完全に非接触で測定を行うことから、架線の純粋な静構造を把握できることも大きな特徴であり、前述のシミュレーションと組み合わせることにより、様々な条件下における架線の状態推定を実現可能であると考えている。現在のところ、在来線の営業最高速度(一部を除く)である130km/hにおいて本装置による電車線静構造の非接触測定が可能であることを確認している(図6(b))。また、この結果をもとに、各電車線金具を線条に取り付けているイヤの位置を自動的に特定可能であることも確認した(図6(c))。今後は、測定結果をもとに電車線金具の健全度を自動的に診断するアルゴリズムの



(a) 車両屋根上への仮設状況



(b) 130km/hで測定された電車線静構造



(c) コネクタ取付イヤの自動抽出例 (緑色のボックスはイヤの自動抽出結果を示す)

図6 電車線非接触測定装置とこれによる測定事例

特集：電力技術

確立や、線条類の腐食進行を判定する手法の開発などに注力する予定である。

5. 確実な保全作業の支援するための取り組み

電力設備の保全は、厳しい時間的制約のもとで人力により行われる作業により成り立っていることから、ヒューマンエラーによるトラブル（誤操作、誤作業など）を最小化するための取り組みも重要である。

その一つとして、電車線保守計画策定支援システムの開発に取り組んでいる。これは、電車線の検査結果をもとに事故の発生確率の評価を行い、事故発生による損失を考慮してリスクを定量化し、リスクがあらかじめ定めた許容レベルに到達する前に保守作業の実施を指示するものである（図7）。その際、設備のライフサイクルコストを勘案した保守計画を策定する。こうしたシステムの構築にはリスク評価の基礎となる各種情報の収集・評価が不可欠であり、現在は数千件におよぶ不具合データを収集し、その分析を行っているところである。

また、前章で紹介した電車線非接触検出装置の機能を活用し、この装置を小型化・簡易化したものを保守用車

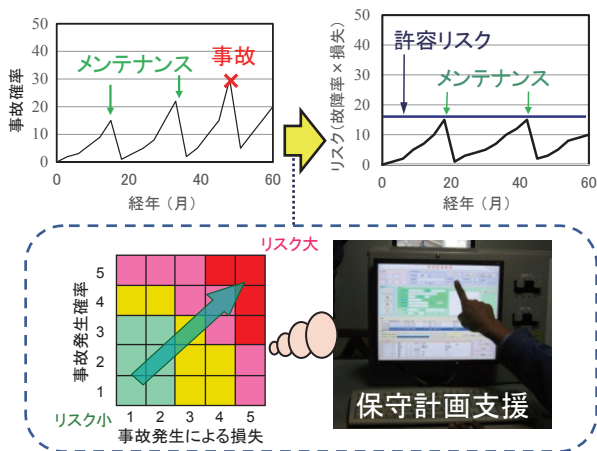


図7 電車線保全計画策定支援システム（イメージ）

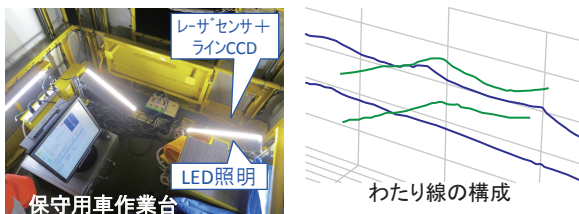


図8 電車線工事の後検査システム（イメージ）

に搭載すれば、電車線工事の後検査を詳細に行うシステムが実現可能であると考えている（図8）。

6. おわりに

本稿では、鉄道総研の電力技術に関わる研究グループが中心となり、電力設備の重大事故防止にむけて3つの観点から取り組んでいる研究開発について、その概要を紹介した。ただし、電力設備を取り巻く環境や情勢は常に変化している。そのため、重大な輸送障害の防止のためには、電力設備のトラブル防止のための防護体制の弱点箇所を常に把握し、その解消に向けた取り組みを継続的に行うことが不可欠であり、今後とも鉄道設備に関わる実態調査の実施に関して関係各位のご協力をぜひお願いしたい。

なお、列車運行電力シミュレータに関わる研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

文献

- 1) 松山久義：科学・石油精製プラントの保安に関する問題点、第12回評価・診断に関するシンポジウム，pp.1-6，(2013)
- 2) 武内陽子，ほか5名：列車運行電力シミュレータの開発，鉄道総研報告，Vol.30，No.8，pp.5-10，2016
- 3) 小山達弥，池田充：任意軌道に対する電車線モデルの作成方法（その1），日本機械学会2017年度年次大会講演論文集，G1800102(CD-ROM)，2017
- 4) 池田充，小山達弥：任意軌道に対する電車線モデルの作成方法（その2），日本機械学会2017年度年次大会講演論文集，G1800302(CD-ROM)，2017
- 5) 森本大観，ほか4名：直流き電回路における保護線を用いた高抵抗地絡検出手法，鉄道総研報告，Vol.28，No.10，2014
- 6) 伊東和彦，早坂高雅，宮崎修造，川原敬治：エアセクションにおけるトロリ線断線対策の検討，電気学会論文誌，Vol.138，No.2，pp.105-112，2018
- 7) 根津一嘉，ほか5名：ステレオ画像計測とレーザー測距を併用した架線の非接触位置測定手法，鉄道総研報告，Vol.28，No.10，2014
- 8) 松村周，根津一嘉，薄広歩：電車線非接触測定装置の車両への搭載によるトロリ線高さ測定，平成29年電気学会交通・電気鉄道リニアドライブ合同研究会，2017