

トロリ線のモニタリングと局部摩耗の予測

Catenary monitoring and prediction of contact wire localized wear points



高橋 敦宏*



貴志 俊英*



山本 浩志*

We are developing a "O.H.L monitoring device" loading on the operating train to get the high frequency data about contact wires. In order to extend the replacement period of contact wires, it is necessary to develop methods for predicting the localized wear of the wire. We are analyzing the measurement data of contact wires from the inspection train by applying "Data analytics technology".

●キーワード：営業車、トロリ線、摩耗、モニタリング、状態基準保全

1. はじめに

当社では、新幹線と在来線全線の電車線設備管理を行うために、電気・軌道総合検測車(East-i)を用いた設備検測を実施している(図1参照)。測定項目としては、トロリ線摩耗(残存直径)、偏位、高さ、支障物、硬点・パンタ衝撃、離隔・平行長等である。在来線では年4回の走行により架線状態を連続的に記録し、データを電車線設備のメンテナンスに活用している。



図1 在来線電気・軌道総合検測車(East-i)

トロリ線の摩耗が急激に進行する局部摩耗は、図2に示すように離線、偏位過大による補助すり板摺動等が原因であることが経験的に知られているが¹⁾、電気検測車測定データを処理する検測車システムで抽出される局部摩耗箇所は、実測値が残存直径のしきい値を超えているかの判定を行っているのみであり、その発生につながる設備不良(高さ・偏位等)を検知して局部摩耗発生防止や摩耗量低減を図るまでには至っていない。トロリ線は断線すると大きな輸送障害となる設備であり、摩耗限界に至る前に張替えなくてはならないが、その工事には大きなコストを要する。また、局所的な摩耗が発生しトロリ線を張り替える場合でもトロリ線同士の接続のため

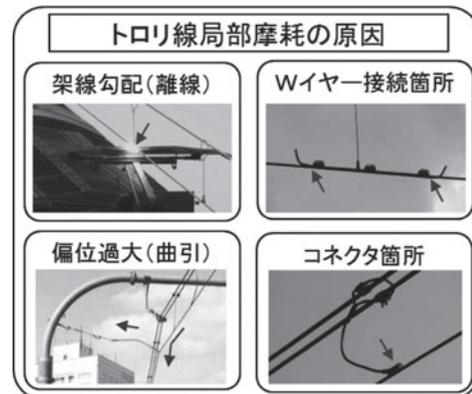


図2 経験的に知られているトロリ線局部摩耗の原因

には数メートルないしは数十メートル程度の張替え施工が必要になる上、トロリ線接続箇所は重量が重く弱点となり摩耗が早く進行してしまう。よって、リスク管理とコスト削減の両方の観点から、図3のようにトロリ線の検測データから局部摩耗発生要因を分析し、その発生を未然に防止するための新しい設備管理方法が求められている。

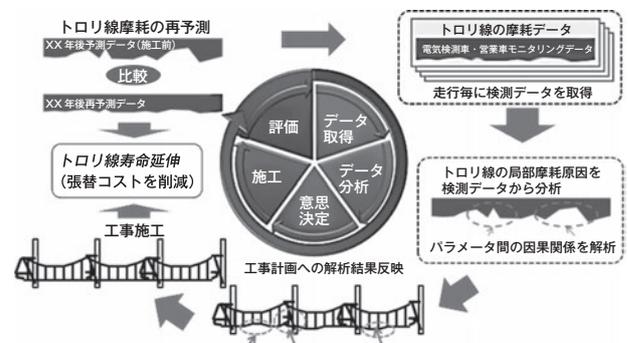


図3 トロリ線局部摩耗の未然防止に関する手法

これらを踏まえ、テクニカルセンターではトロリ線を高頻度でモニタリング可能とするために、営業用車両に搭載可能な「架線状態監視装置」の開発を行っている。また、近年技術的進歩の著しいデータ解析手法の適用により過去の電気検測

車の架線測定データを解析し、トロリ線摩耗量とトロリ線高さ・偏位等の他の測定値、パラメータとの相関や傾向をとらえてトロリ線摩耗箇所、摩耗量を予測する手法について検討している。

ここでは、トロリ線モニタリングと局部摩耗予測に関する取組みについて紹介し、トロリ線の局部摩耗発生抑制に着目したCBM(Condition Based Maintenance、状態基準保全)の深度化の検討結果について述べる。

2. トロリ線のモニタリング

2.1 架線状態監視装置プロトタイプ(MUE-Train)

2008年度から2013年度まで、多目的試験電車(MUE-Train)にトロリ線のモニタリング機能を備えた架線状態監視装置のプロトタイプを搭載し、走行試験により機能確認とデータ収集を行った²⁾。

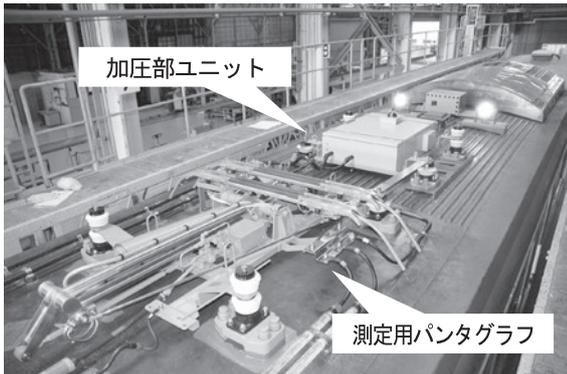


図4 架線状態監視装置 屋根上ユニット(MUE-Train)

プロトタイプでは、MUE-TrainのM車(6号車)屋根上に図4に示す屋根上ユニット、および車内に制御装置を設置し、表1に示す機能を備えた装置とした。当初は、トロリ線を含む電車線設備とパンタグラフの境界領域で異常が発生した際のパンタグラフ衝撃や離線等をリアルタイムで検知し、指令やメンテナンス区所へ発報する機能のみの構成としていた。

表1 架線状態監視装置プロトタイプの機能

センサ名	検知対象
パンタグラフ加速度センサ	架線金具、障害物等のパンタグラフへの衝撃を検知
光学式離線センサ	パンタグラフ離線時に発生するアークを検知
パンタグラフ監視カメラ	パンタグラフのトロリ線摺動状況を確認

2.2 営業車搭載モデル(E235系量産先行車搭載)

2.2.1 装置の概要および機能

MUE-Trainに搭載したプロトタイプを用いた試験結果を踏まえ、営業車へ搭載可能な装置を開発した。屋根上と床下機器箱に装置を集約し、床下へ設置した制御ユニットが屋根上装置と車両制御システム(INTEROS)に連携する機器構成とした(図5参照)。モニタリングデータに付加する時刻、位置情報(線名・線別・キロ程)、走行速度、列車番号等の情報をINTEROSから自動的に取得する構成とし、車上装置の簡略化と無人化の実現を目指している。

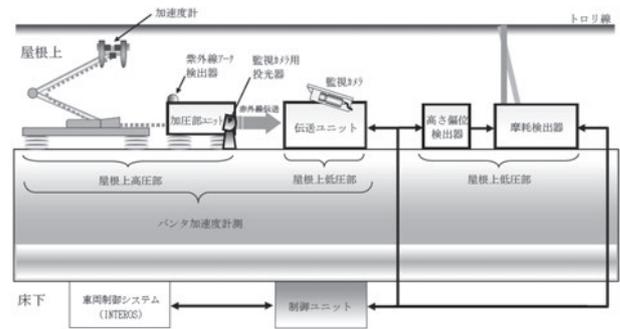


図5 架線状態監視装置営業車搭載モデルの機器構成

なお、営業車搭載モデルではプロトタイプで検討した異常検知機能と合わせて、電気検測車と同様の架線測定データを取得し、車上装置と地上システムで記録する機能を設けている。測定項目として、トロリ線の架設状況の良否を判断する重要な、トロリ線高さ・偏位・摩耗(残存直径)を追加した(表2参照)。

表2 架線状態監視装置営業車搭載モデルの機能

センサ名	検知対象
パンタグラフ加速度センサ	架線金具、障害物等のパンタグラフへの衝撃を検知
光学式離線センサ	パンタグラフ離線時に発生するアークを検知
パンタグラフ監視カメラ	パンタグラフのトロリ線摺動状況を確認
トロリ線高さ・偏位検出器(回転式レーザー装置)	トロリ線高さ・偏位を測定
トロリ線摩耗検出器(赤外線LED光装置)	トロリ線摩耗(残存直径)測定、電柱検知

これらの機能を備える装置を搭載した営業車が繰り返し走行し、電気検測車と同様の測定項目について高頻度にデータ収集することにより、これまで把握していなかったトロリ線架設状況の変化をきめ細かく把握し、トロリ線の局部摩耗発生をはじめとした設備劣化につながる要因の解析が期待出来る。

特に、本装置を搭載するE235系量産先行車は山手線を走行し、同一区間を一日で最大17回程度走行する見込みである。電気検測車の測定に比べて数百倍の頻度でデータ取得が可能となる見込みで、データ取得の高頻度化による効果の検証を行うには最適である。

2.2.2 トロリ線高さ・偏位検出器

電気検測車では、トロリ線の高さ（軌道面を基準）を検測用パンタグラフの上下動にリンクしたポテンショメータを用いて、偏位（軌道中心を基準とした左右位置）を車両室内に設けたレーザ装置を用いて測定している。しかし、車両のメンテナンス性や装置の大きさを考慮すると、同様の装置を営業車に搭載するのは難しい。

そこで、本検出器では車両の屋根上に搭載可能かつ客室内に支障せず車両限界内に取付け可能な仕様とするべく、小型のレーザ測位装置を採用し、トロリ線高さと同様に測定するようにした（図6参照）。4台のレーザ装置を並列に配置し同期制御を行うことにより、単体の4倍の測定間隔を確保し、装置の小型化を実現した。

また、電気検測車で使用しているレーザ装置のレーザ光出力はJIS C 6802（レーザ製品の放射安全基準）のクラス3Bのため、走行速度が5km/h以下で発光を停止する機構を設けて駅への進入進出時や停車時に車両周辺の人体防護を行っている。一方、本検出器のレーザ光出力はクラス1であり出力が小さいため、発光制御機構等による人体防護処置が不要となった。

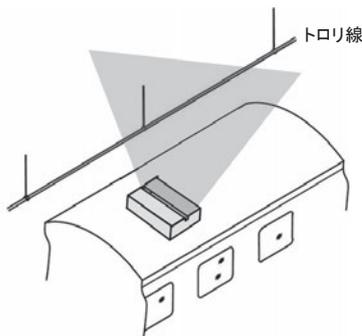


図6 トロリ線高さ・偏位検出器

2.2.3 トロリ線摩耗検出器

電気検測車で採用しているトロリ線の摩耗（残存直径）測定装置は、前項で述べた高さ・偏位測定用のレーザ装置を使用している。

本検出器では測定用光源として高輝度赤外LEDを使用しており、高さ・偏位検出器と同様に発光制御機構等による人体防護処置が不要となった（図7参照）。

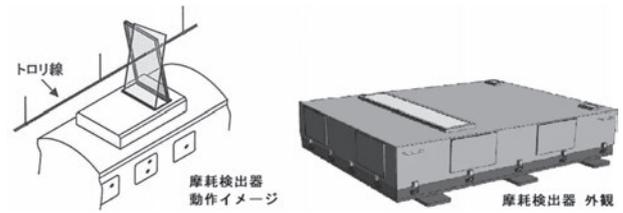


図7 トロリ線摩耗検出器

3. トロリ線局部摩耗の予測

3.1 分析対象のデータ

電気検測車データ解析のためには、経験的に知られているトロリ線局部摩耗の発生メカニズムを仮説として解析結果により証明するだけでなく、近年のデータ解析技術を活用することで、大量のデータから未知の相関や規則性を見出す可能性が期待できる。

そこで、電気検測車システムから出力されるデータと二次的に生成されるデータを説明変数、解析対象となるトロリ線局部摩耗箇所のデータ（要注意箇所一覧データより抽出）を目的変数として設定し、表3に示す説明変数の中から目的変数と相関の強い項目、つまりモニタリングすべきトロリ線局部摩耗の発生を引き起こす要因を抽出する取り組みを行った。

表3 解析対象データ一覧（抜粋）

説明変数名	詳細・例
線名	線名(〇〇線、〇〇本線など)
線別	線別(上り、下り、単線など)
架線構造	シングル架線、コンパウンド架線、インテグレート架線など
トロリ線線種	GT-Sn110°、GT-M-Sn170° など
高さ	トロリ線高さ(軌道面基準)
高さ平均値	過去3歴間の高さ平均値
高さ最大値	過去3歴間の高さ最大値
高さ分散値	過去3歴間の高さ分散値
摩耗	トロリ線残存直径
過去の摩耗差分値	過去3歴前と現在歴の摩耗差分値
動的偏位	トロリ線偏位(軌道中心基準)
勾配	トロリ線勾配(径間)
硬点	パンタグラフ上下方向の衝撃加速度
パンタ衝撃	パンタグラフ前後方向の衝撃加速度
列車速度	列車走行速度
エアセクション区間	エアセクション箇所(径間)
エアジョイント区間	エアジョイント箇所(径間)
電柱番号不連続区間	跨線橋・駅舎等の構造物箇所

3.2 データ解析の課題と今後の取組み

各区間の3ヶ月毎の検測データ間の差分を観察した際、トロリ線残存直径が時系列に減少（摩耗）せず増加する例（図8）や、歴の測定値全体に一律の誤差が発生するオフセット等のノイズ（図9）が観測された。また、前述のデータ解析を行ったところ、予測結果と計測値が大きく乖離した³⁾。

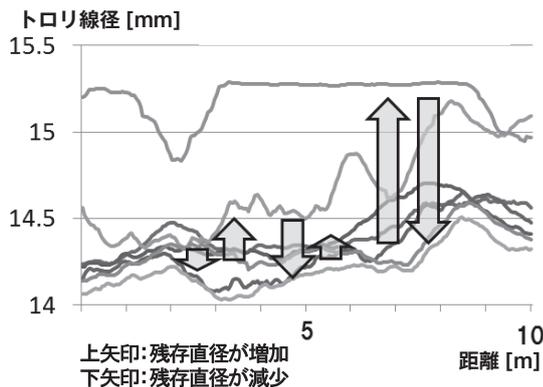


図8 連続7歴のトロリ線残存直径測定値の変化

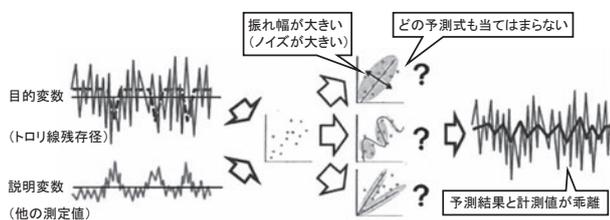


図9 ノイズによる予測結果への影響

このような事象の要因として、以下のような要因が考えられる。

- ①レーザ測定装置による計測誤差（トロリ線摺面荒れによるレーザ光乱反射ノイズ等）
- ②測定位置ずれ（電柱検知漏れ、キロ程積算時の車輪直径によるずれ等）

営業車に搭載する架線状態監視装置は電気検測車と同様の原理で測定を行っており、位置情報も電柱検知（光学式）およびINTEROSから取得する車輪直径積算によるキロ程を使用している。従って、今後営業車走行時に取得される高頻度データ解析でも同様の課題があるため、ノイズ除去のためのフィルタリング処理、電柱支持点箇所の偏位極大値に着眼した測定波形の自動整形等の工夫を行う必要があり、その具体的な手法について引続き検討を行っている⁹⁾。今後これらの課題を解決し、トロリ線局部摩耗箇所およびその摩耗量の予測がシステムチックに可能かどうかを検証していく。

4. おわりに

当社においては、これまでトロリ線は電気検測車の測定データを主として摩耗管理がされており、鉄道の電気設備の中で数少ないCBMが実施されているものである。しかし、今後のメンテナンスエンジニアの減少やコスト削減といった背景をカバーしながら更に設備の安全性や経済性を向上するためには、本稿でご紹介したようなICTを活用したモニタリングデバイスで大量の設備データを蓄積し、データ解析により設備の劣化状況を把握かつ予測することにより、CBMを更に深度化して電気設備のメンテナンス業務スタイルを大きく変えていくことが必要となる。

テクニカルセンターではこれを「スマートメンテナンス構想」として掲げているが、トロリ線に関しては、本稿で述べたモニタリング装置による高頻度のデータ収集とデータ解析技術を組み合わせて局部摩耗を予測することにより「トロリ線が減ってしまう前に、減らないように手を打つ」というメンテナンス手法へのシステムチェンジを目指している。その中で、特に摩耗の予測についてはまだ多くの課題を抱えているが、一つ一つ解決して実現できるよう取り組みを進めていく。

参考文献

- 1) 松本；「電気鉄道」、森北出版(株)、pp.134-137 (1999)
- 2) 和木；「営業列車による電車線路設備のモニタリング」、JR EAST Technical Review No.32、pp.11-14
- 3) 高橋、貴志、山本；「電気検測車測定データ解析によるトロリ線摩耗予測」、第20回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL) (2013)
- 4) 高橋、貴志、山本、千葉、本橋、青柳、渡辺；「トロリ線摩耗予測に向けた電気検測車測定データ解析」、第28回電気学会産業応用部門大会 (2014)