

営業列車による電車線路設備のモニタリング



和木 浩*

電車線路設備モニタリングシステムは、営業列車とセンサ付無線タグを使用して設備の検査データを収集するシステムである。このシステムの開発では、太陽電池と電気二重層キャパシタを電源としたメンテナンスフリーのセンサ付無線タグを試作し、多目的実験車（MUE-Train）による実フィールドでの動作検証試験を行った。その結果、110km/hの高速で走行する列車による温度測定データの収集が可能であることが確かめられた。一方、パンタグラフの衝撃加速度を検出することにより架線不具合箇所を特定する架線状態監視装置の試作を行い、MUE-Trainに搭載した。

●キーワード：電車線路設備、モニタリング、無線タグ、センサ

1. はじめに

当社では、電車に電力を供給するための電車線路設備の健全性を維持するために、年に数回電気検測車による架線の検査を行っている。しかし、電気検測車が検査できるのは、本線上のトリ線（トリー）の位置や摩耗、わたり線の構成などの限られた項目のみであり、人手に委ねられている項目も多い。

長距離にわたる電車線路設備を検査することは、多大な労力を要する作業であり、作業負担の軽減とメンテナンスコスト削減の観点から効率的な検査方法について検討する必要がある。また、設備メンテナンスの質の向上を図るために、設備の状態を継続的に把握（モニタリング）し、故障予兆の把握を行うことが望ましい。

本稿では、効率的な検査と設備メンテナンスの質の向上を目的に開発を進めている、電車線路設備モニタリングシステムと架線状態監視装置について述べる。

2. 電車線路設備モニタリングシステム

2.1 システムの構成

図1に、現在開発を進めている電車線路設備モニタリングシステムの構成を示す。このシステムでは、現在巡回による検査を行っているき電線圧縮接続部（温度計測）や電車線自動張力調整装置（バネの変位計測）に、センサ付無線タグを取付け、リーダーを搭載した営業列車により検査データと設備管理データを収集する。このシステムでは、検査データを伝送するための通信インフラを必要としないという特長がある。

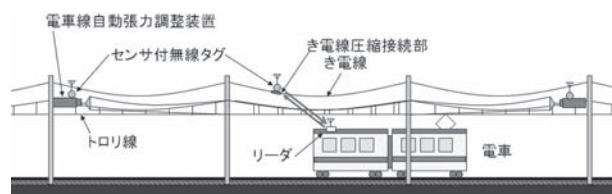


図1 電車線路設備モニタリングシステムの構成

2.2 センサ付無線タグ

このシステムを実現するには、メンテナンス不要で低コストのセンサ付無線タグを開発しなければならない。具体的には、バッテリーの長寿命化と小容量化を図るための省電力化が一番の課題だと言える。

図2に、このシステムのブロック図を示す。このシステムのセンサ付無線タグでは、無線通信部としてZigBeeを採用している。ZigBeeは、IEEE802.15.4に準拠するセンサネットワーク向けの無線規格で、省電力化と低コスト化が重視されている^{1,2)}。また、このセンサ付無線タグでは、電源として太陽電池と電気二重層キャパシタを採用している。太陽電池は、近年安価で高性能なものが入手できるようになった。また、電気二重層キャパシタは、通常の二次電池よりも長寿命であり、電源の交換が不要になる。

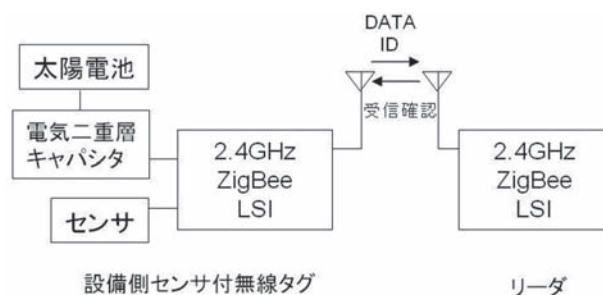


図2 システムのブロック図

2.3 システムの試作

図3に、試作したき電線圧縮接続部用温度センサ付無線タグを示す。この試作品では、3日間日照が得られなくても動作するように電気二重層キャパシタの容量を設定した。また、図4にMUE-Trainに搭載したリーダの試作品を示す。

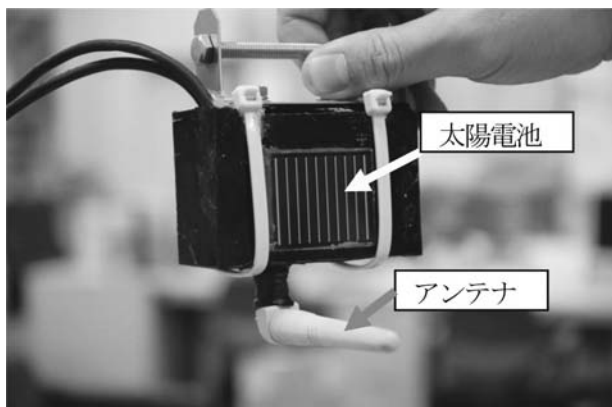


図3 センサ付無線タグ試作品

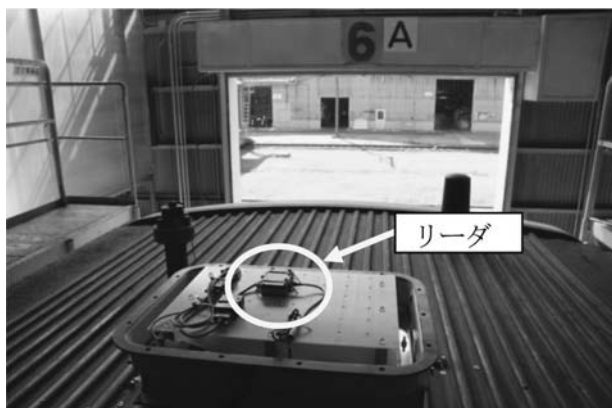


図4 MUE-Trainに搭載したリーダ試作品

2.4 動作検証実験

試作したセンサ付無線タグを実フィールド（東北本線雀宮・宇都宮間）のき電線圧縮接続部に取付け、MUE-Trainによる動作検証試験を行った。その結果、110km/hで走行する列車により温度測定データが収集できることを確認した。また、センサ付無線タグは、現地に設置後6ヶ月経過後も、継続的に動作していることを確認した。

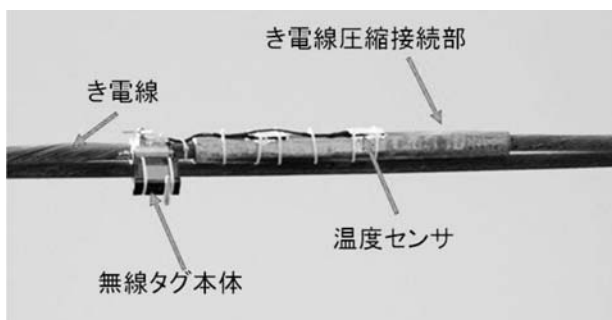


図5 実フィールドに設置したセンサ付無線タグ

2.5 今後の開発

今後は動作検証試験の結果から、実運用に適した太陽電池と電気二重層キャパシタの容量について検討する。また、センサ付無線タグの低コスト化と耐久性の検討、電車線自動張力調整装置用変位センサの開発を行う計画である。

3. 架線状態監視装置

3.1 パンタグラフ加速度計測による架線状態監視

架線設備に金具の外れや接続構成の不具合箇所があると、電車が通過した時にパンタグラフに衝撃が発生することがある。このような架線・パンタグラフ事故が発生すると、原因である不具合箇所を特定するために、その列車が走行した区間を巡回しなければならない。この作業は、多大な時間と人員を要するため、早急な復旧と作業量削減の観点から、不具合箇所の迅速な特定方法について検討する必要がある。

架線設備の不具合箇所を特定するには、図6のようにパンタグラフに加速度センサを取付け、不具合箇所を通過した時に生じる衝撃加速度を検出する方法が有効だと考えられる³⁾。この方法を営業列車のパンタグラフに適用すれば、架線の状態を常時監視できるため、不具合箇所の迅速な特定が期待できる。また、不具合の予兆を把握できる可能性もある。

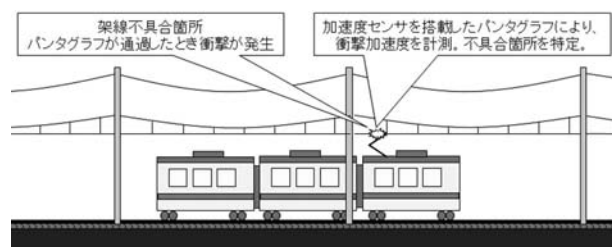


図6 パンタグラフ加速度計測による不具合箇所特定

3.2 システムの構成

図7に、架線状態監視装置のシステム構成を示す。また、図8にMUE-Trainに搭載した架線状態監視装置の外観を示す。このシステムは、大きく分けて、以下の4つのユニットで構成されている。

(1) 加速度計測用パンタグラフ

加速度計測用パンタグラフには、図9に示すように、舟体や舟体支えに加速度センサが取付けられており、架線不具合箇所を通過した時の衝撃加速度を検出できるようになっている。このパンタグラフの構造は、E233系に搭載されているPS33Dをベースにしている。

(2) 加圧部計測ユニット

このユニットには、架線の状態やパンタグラフの動きを撮影するビデオカメラと、架線とパンタグラフの間に離線が生

じたときに発生するアークを検出する紫外線センサを搭載している。また、加速度波形とビデオ映像、紫外線センサのデータを同一のファイルで記録することが可能な、画像同期記録装置を備えている。このユニットは、パンタグラフの加速度センサが接続されているため、常時パンタグラフと同電位の状態（直流 1500V）にしなければならない。そのため、筐体をがいしで固定し、車体と電氣的に絶縁している。

(3) 赤外線送受信装置と制御用コンピュータ

加圧部計測ユニットで記録された計測データは、赤外線通信装置で、非接触で制御用コンピュータに送信される。制御用コンピュータでは、加圧部計測ユニットで記録されたデータとキロ程情報（データデポによる情報と仕業カードによる情報）、速度情報の突合せを行う。

(4) 電源部

電源部には、直流 1500V が印加された状態で使用する加圧部計測ユニットに電力を供給するための絶縁トランスがある。

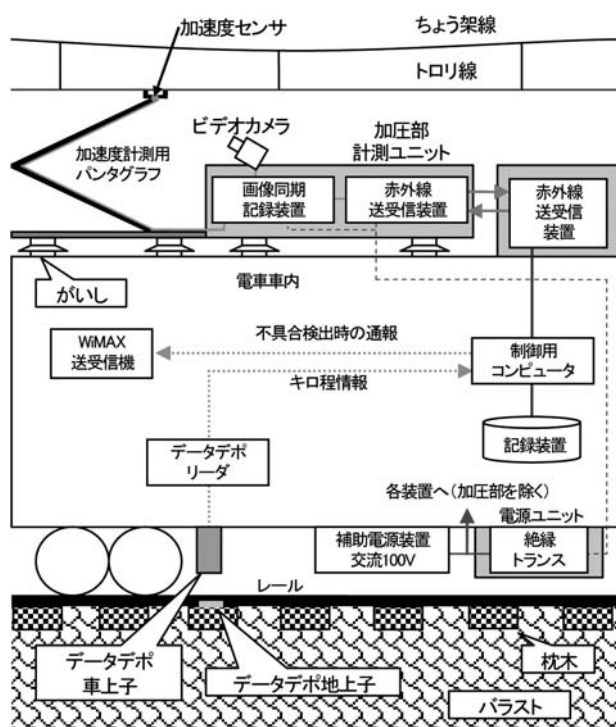


図7 架線状態監視装置のシステム構成



図8 MUE-Trainに搭載された架線状態監視装置の外観

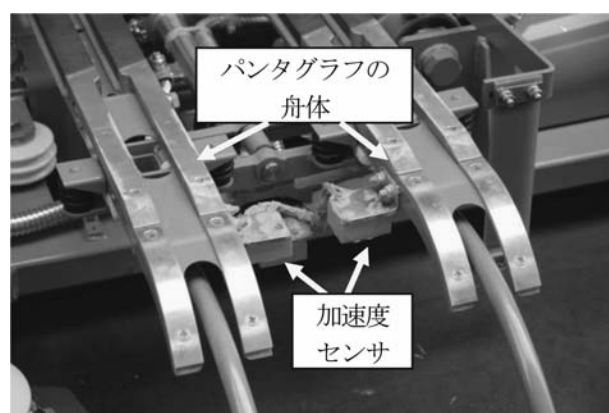


図9 パンタグラフに取付けられた加速度センサ

3.3 システムの機能

(1) 同期記録機能

図 10 に、記録したデータの解析ソフト画面を示す。本システムの解析ソフトウェアでは、計測したパンタグラフの加速度データと離線アーク、パンタグラフビデオ映像、キロ程情報、速度情報を同時に観測できる。この機能は、不具合箇所の早期発見や研究のスピードアップに貢献すると考えられる。

(2) 不具合箇所通過時の通報機能

本システムでは、異常な加速度や離線アークを検出した際、担当保守区などに、その瞬間のビデオ映像と計測データ（現象が発生した前後数秒間のデータ）を送信する機能を持つ。通信手段としては、近年普及しつつある WiMAX^{*1} を使用する計画である。

(3) バッテリーレスで駆動が可能

従来のパンタグラフの加速度を計測する試験装置では、加圧部計測ユニットをバッテリーで駆動していたため、バッテリー交換作業が必要であった。そのため、営業列車での常時計測は、いままで実現しなかった。今回開発した本システムでは、絶縁トランスを使用して加圧部計測ユニットに電力を供給するため、バッテリーレスで常時駆動が可能になった。

(4) 赤外線通信による高速データ転送

本システムでは、ビデオ映像を扱うため、記録データは膨大な容量（例えば、1時間記録して10GB程度）になる。また、加圧部計測ユニットの画像同期記録計を車内の制御用コンピュータからオンラインで使用するには、画像同期記録計と制御用コンピュータの間で極めて速い通信速度を確保しなければならない。そのため、本システムでは、最高1.25Gbps（通常の無線LANの約20倍）でデータ転送が可能な赤外線無線LANを使用している。



図10 解析ソフトの画面

3.4 今後の開発

今後の開発では、MUE-Trainの試験走行によって加速度データを収集し、架線不具合箇所特定のためのしきい値を策定する。また、本システムの次期通勤電車への搭載を検討する。

4. おわりに

本報告では、営業列車とセンサ付無線タグにより電車線路設備の点検データを収集する電車線路設備モニタリングシステムの開発について述べた。このシステムのセンサ付無線タグは、太陽電池と電気二重層キャパシタを電源部として採用することにより、無給電・電池交換不要が期待できる。東北本線雀宮・宇都宮間において、このシステムの動作検証試験を行った結果、110km/hで走行する列車による点検データの収集が可能であることが確認できた。また、現地設置後、6ヶ月経過した現在、無給電で動作していることが確認できた。今後は、センサ付無線タグの低コスト化と電車線自動張力調整装置用変位センサの開発を行う計画である。

また、パンタグラフの衝撃加速度を計測することにより架線不具合箇所の特定を行う、架線状態監視装置を試作し、MUE-Trainに搭載した。このシステムでは、パンタグラフの加速度データとビデオ情報、離線アーク、キロ程、速度の同

時観測ができる特長を持つ。今後は、MUE-Trainの試験走行により加速度データを収集し、架線不具合箇所特定のためのしきい値を策定する計画である。

注釈

※1 IEEE802.16eに準拠する移動体通信に対応した無線通信規格で、車両から地上へのデータ転送に適用できる可能性がある。日本では2.5GHz帯での使用が可能であり、最高下り40.4Mbps、上り10.6Mbps、800m/局の通信が可能だといわれている。

参考文献

- 1) 阪田史郎、嶋本薫；無線通信大全、リックテレコム、2007。
- 2) 鄭立；ZigBee開発ハンドブック、リックテレコム、2006。
- 3) 久須美俊一、福谷隆宏；電車線異常におけるパンタグラフ衝撃、平成15年電気学会産業応用部門大会、Vol.3, pp.275～276,2003。