

電車線路モニタリングシステムの実用化

Practical application of the Overhead Contact Line Equipment Monitoring System



菅間 陽二*



貴志 俊英*



山本 浩志*

We have developed an overhead line equipment (line connection, tension balancer) monitoring system collecting inspection data by using RFID tags. In the communication test between the MUE-Train and the tags, the strike rate was 99.2%. In addition, we manufactured the trial product portable readers that communicates with the RFID tags. In the communication test between the portable readers and the tags, the strike rate was 98.5%.

In 2014, we are planning the introduction of this system in the specific line. We try to realize the conception of smart maintenance by monitoring system.

●キーワード：電車線路設備、RFID タグ、センサ、モニタリング、携帯型リーダー

1. はじめに

当社では、ICTを活用したメンテナンス業務の革新（スマートメンテナンス構想）の実現に向けた研究開発を進めており、その一つとして、営業列車で地上の電力設備の状態把握を可能にする電車線路設備モニタリングシステムの開発を行っている。本システムは、電力設備にセンサ付RFID（Radio Frequency Identifier）タグ（以降、RFIDタグ）を取付け、営業列車の屋根上に搭載するリーダーにより、測定データを無線で収集するシステムである。これにより、各種電力設備の状態を日常的に把握し、故障予兆の分析や計画的な修繕を行うことで、合理的な設備の保守・運営及び安定輸送のレベルアップを目指している。

今回、このシステムを実用化するために、以下の3つの項目を実施したので、その一部を報告する。

- (1) 年間を通して安定稼働するRFIDタグの開発
- (2) 列車巡視等で活用できる携帯型リーダーの開発
- (3) フィールド通信試験によるシステムの検証

2. 電車線路モニタリングシステムの概要

システム概略図を図1に示す。営業列車の屋根上に搭載されたリーダーは、RFIDタグからの測定データを受信すると、同じ車上にあるINTEROS（Integrated Train Control/Communication Networks For Evolvable Railway Operation System：次世代車両制御システム¹⁾）に送信要求をかける。測定データはINTEROSから公衆ネットワーク網により、地上サーバを経由して地上端末に送信される。

本システムは、受信する地上端末側で測定データの閾値設定が可能であり、閾値以上の測定データが観測された場合は端末画面及び音声にて警報アラームを発報させることが

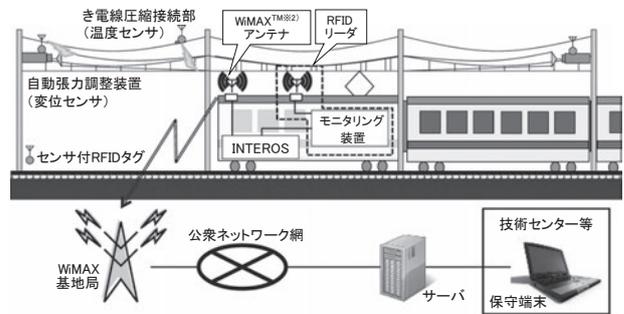


図1 電車線路モニタリングシステム

できる。これにより現在、示温ラベルや赤外線カメラで温度管理していた保全手法から、き電線圧縮接続箇所を定量的に把握し、異常発熱を早期に発見することが可能となる。

3. RFIDタグ

3.1 RFIDタグの仕様検討

図2は、RFIDタグのシステムブロック図を示す。RFIDタグとリーダー間の無線通信はZigBee™^{※1)} (2.4GHz)を採用し、130km/hの列車速度と通信可能距離から、約4秒間隔の間欠動作とし、省電力化を実現している²⁾。今回、年間を通して安定した稼働を実現するため、RFIDタグの各部品の仕様を以下のようにした。

・太陽光パネル

き電線圧縮接続箇所の温度は、き電線に流れる電流が大きいほど高くなる。そのため、冬季の曇天等の状況下でも、負荷電流が大きい朝方/夕方ラッシュ時間帯を含む8:00～19:00の11時間で連続稼働するように選定した。

・EDLC (Electric double layer capacitor)

突然の雷雨等による一定時間の日射がない状況下での使用を想定し、EDLCが満充電の状態から、午後の日射がない条件でも19:00まで連続稼働(12:00～19:00の7時間)する

ように選定した。

・RTC (Real-Time Clock)

RTCを搭載することで、夜間の起動/休止時間を制御できるため、昼間に太陽光パネルで発電した電力をEDLCで蓄え、夜間の任意時間でRFIDタグを起動することを可能とした。

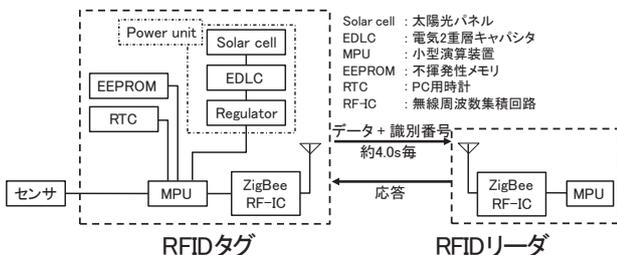


図2 RFIDタグのシステムブロック図

3.2 RFIDタグの評価

3.1章の仕様をもとに、RFIDタグを製作し、動作確認試験を実施した。図3は、温度センサ付RFIDタグをき電線圧縮接続部に取付けた状況の写真を示す。

RFIDタグ稼働時のEDLC電圧と日射量を測定した結果を図4に示す。2日間の累積全天日射量の平均は2.7MJ/m²であり、冬の曇天に相当する。RFIDタグは、EDLC電圧が1.5V以上で起動する。図4より、冬の曇天に相当する累積全天日射量において11時間程度の稼働が可能であることが確認できた。

製作した6個のRFIDタグのEDLCを充電後、停止するまでの時間とEDLCの電圧を計測した結果を図5に示す。図5より、EDLC充電後、平均7時間20分でRFIDタグの動作が停止する結果となり、無充電状態でも7時間以上の連続稼働が可能であることが確認できた。

以上の結果から、製作したRFIDタグは、RTCにより夜間の起動/休止時間を制御することで、年間を通して安定した稼働が可能である。

RFIDタグの耐用年数は、使用するEDLCは充放電による劣化がほとんどなく、10年以上の長寿命が期待されている³⁾。このEDLCの耐用寿命を基に10年を目標と定め、促進耐候性試験機、複合サイクル試験機、架線金具振動試験機による試験の後、各種部位の劣化がないことを確認した。

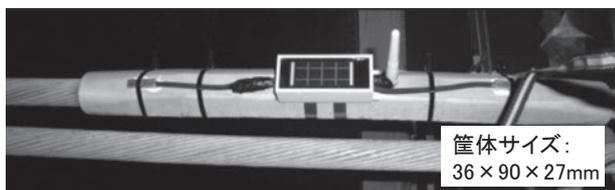


図3 温度センサ付RFIDタグの取付状況

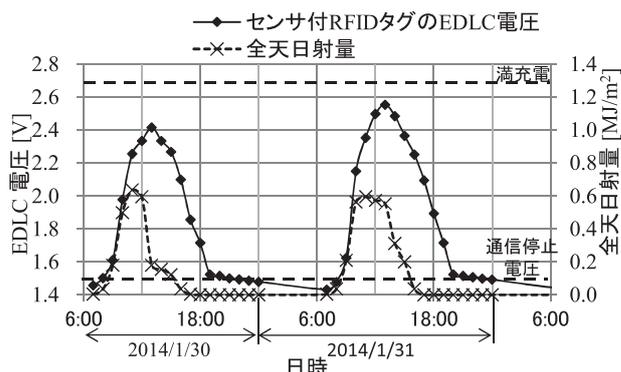


図4 連続稼働確認試験結果

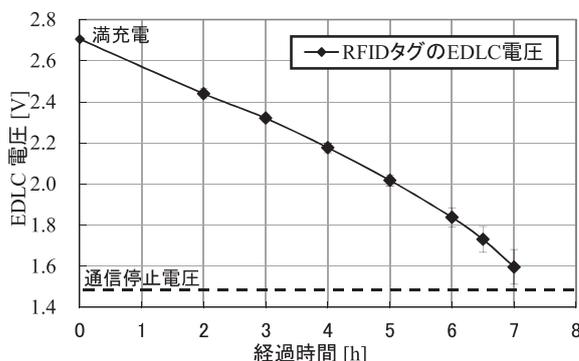


図5 無充電による稼働時間確認試験結果

4. 携帯型リーダの開発

4.1 開発概要

営業列車により測定データを収集する本システムでは、電力保守員の列車添乗を必要としない一方、車両運用に制限されるため、弾力的な測定を実施することができない。そこで、車上装置が搭載されない列車でもRFIDタグの測定データの収集を可能にするため、列車巡視等で電力保守員が携帯可能な携帯型リーダの開発を行った(図6参照)。さらに、開発したリーダは、RFIDタグに搭載したEEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) に保存された過去の測定データを受信・閲覧可能な機能を有している。

4.2 基本構成

携帯型リーダは、RFIDタグと無線通信する携帯型データ収集装置と携帯端末(スマートフォン、タブレット等)で構成される。図7に携帯型データ収集装置の基本構成図を示す。携帯型データ収集装置は2次電池駆動で、RFIDタグと通信するためのZigBee (2.4GHz) モジュール、携帯端末と通信するための無線LAN (2.4GHz) モジュールを搭載している。開発した携帯型リーダを図8に示す。

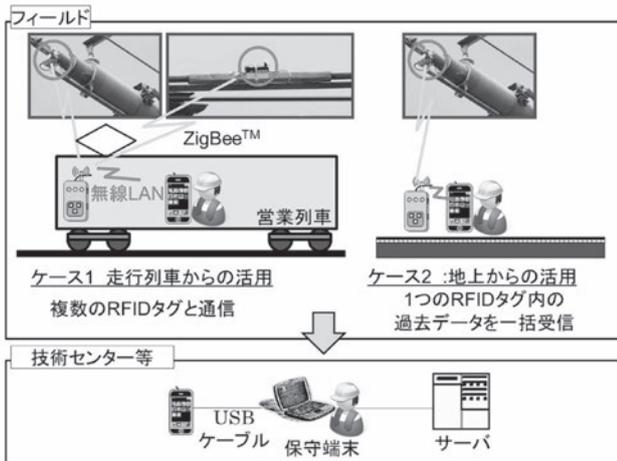


図6 携帯型リーダの概要

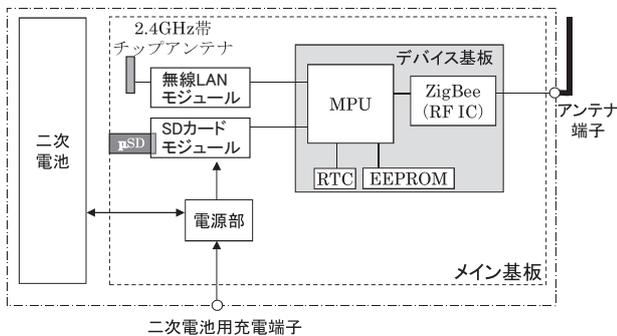


図7 携帯型データ収集装置の基本構成図

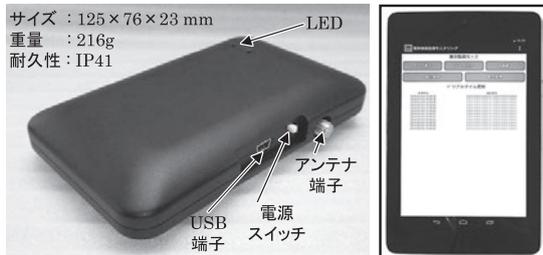


図8 携帯型リーダ

5. フィールド通信試験

5.1 試験概要

RFIDタグを営業線の実設備に取付け、MUE-Train (MULTipurpose Experimental Train) の先頭車及び後尾車の屋根上計2箇所にて搭載したリーダ(車上リーダ) およびMUE-Train先頭車の運転席に配置した携帯型リーダとの走行通信試験をそれぞれ実施した。RFIDタグの設置箇所及び数量は図9に示す。

5.2 車上リーダとRFIDタグの通信試験

図10にRFIDタグから走行列車が1日の行路(区間2往復)で受信した電線圧縮接続箇所温度を示す。なお、列車は

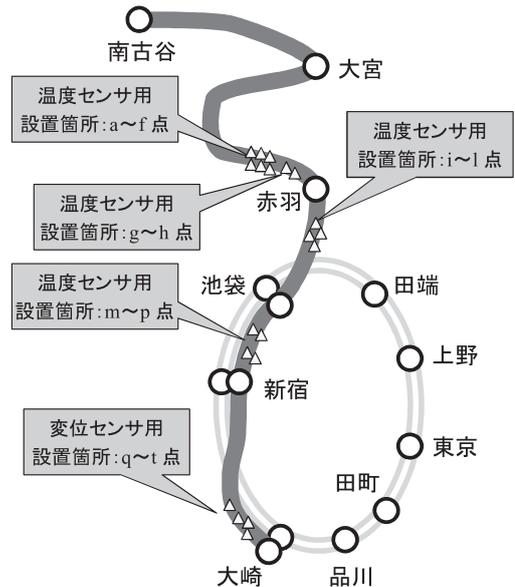


図9 RFIDタグ取付箇所

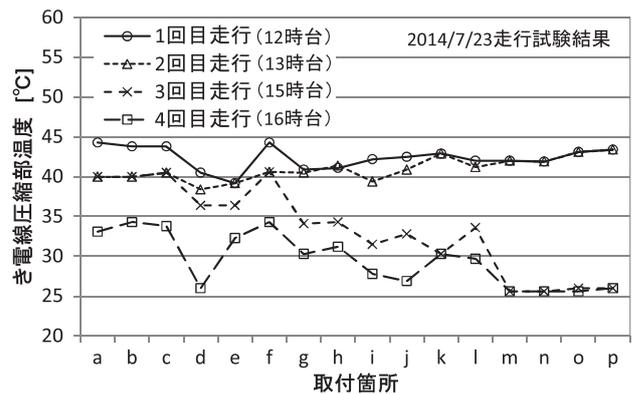


図10 走行列車による温度測定結果

1回目と3回目がa点からp点(上り線)、2回目と4回目がp点からa点(下り線)を走行した。図10より、同一の電線圧縮接続箇所でも、走行時間帯により温度に変化が生じている。この日は、3回目の列車走行でg点付近を通過する時間帯から、夕立による外気温の低下で、温度が下がったと考えられる。車上リーダによる通信試験では、合計約1000回のRFIDタグとの通信において、先頭車または後尾車単独での通信成功率は99.2%であった。また、先頭車と後尾車が共に通信不成立となった箇所はなかった。したがって、列車の先頭車および後尾車の2両にそれぞれリーダを搭載することでほぼ100%のデータ通信が可能であると考えられる。

5.3 携帯型リーダによる通信試験

携帯型リーダによる通信試験では、上り列車走行での通信成功率は99.0%、下り列車走行での通信成功率は97.8%で、列車往復(上り/下り列車走行)での通信成功率は98.5%であった。車上リーダの通信成功率99.2%に比べ、若干の通信成功率の低下がみられた。これは、運転台前面ガラスの

電波減衰度、運転台側面の車両本体による遮蔽効果、運転台と車上アンテナの高さの違い(1.5m程度)等が影響しているものと思われる。しかし、1行路の列車往復で、RFIDタグと携帯型リーダのデータ通信が不成立となった箇所はなく、線区を往復する列車巡視等で活用すれば、ほぼ100%のデータ通信が可能と考えられる。

5.4 EEPROMのデータ収集試験

RFIDタグに搭載したEEPROMの測定データを沿線から携帯型リーダにより収集を行った。図9のo点でのき電線圧縮接続部の温度データ収集結果を図11に、t点での自動張力調整装置の変位データ収集結果を図12にそれぞれ示す。

図11より、夏季と冬季において、RFIDタグの安定稼働が確認できる良好な結果が得られた。また、き電線圧縮接続部の温度変化は気象庁が公表する外気温⁴⁾と連動することが確認できた。これは、RFIDタグ取付箇所が、変電所と変電所の中間付近のため、負荷電流によるき電線温度上昇の影響が小さく、概ね外気温に推移した結果になったと考えられる。

変位センサ用RFIDタグには、タグ内部に温度センサを搭載している。図12の変位変動は、温度による架線伸縮長の計算結果とも概ね一致する結果であった。

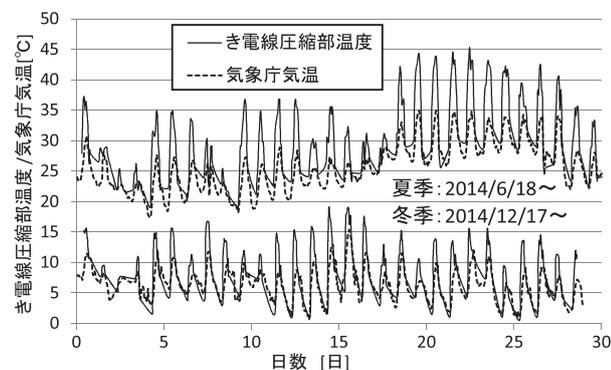


図11 き電線圧縮接続部の温度測定結果

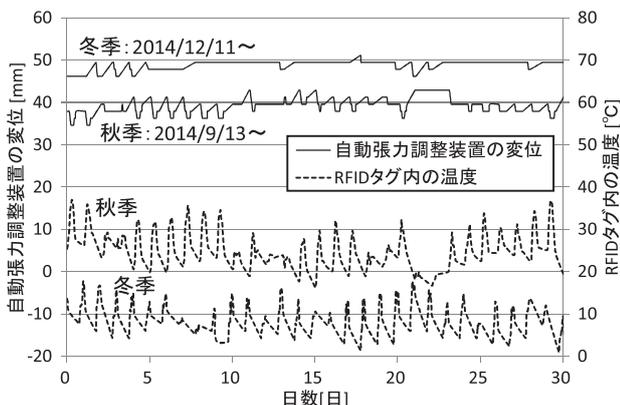


図12 自動張力調整装置の変位測定結果

6. おわりに

本報告では、電車線路モニタリングシステムの実用化に向けて以下の項目を実施した。

1. 年間を通して安定稼働するRFIDタグの開発

日射の少ない夕方や冬季の曇天等の状況下及び突然の雷雨等を想定し、RFIDタグの電源部の仕様を定めた。確認試験の結果から、RFIDタグは年間を通して安定した稼働が可能であると判断した。また、各種耐久性試験の結果から、10年以上のメンテナンスフリーを実現できる。

2. 列車巡視等で活用できる携帯型リーダの開発

列車巡視等で電力保守員が携帯可能な携帯型リーダの開発を行った。携帯型リーダは、RFIDタグと無線通信する携帯型データ収集装置と携帯端末(スマートフォン、タブレット等)で構成することとした。

3. フィールド通信試験によるシステムの検証

RFIDタグを営業線に設置し、MUE-Trainに搭載した車上リーダおよび携帯型リーダとの通信試験をそれぞれ実施した。通信試験の結果から、列車による多頻度データ収集、線区を往復する列車巡視等における活用が可能であることが分かった。

以上の結果から、今年度より、常磐線の一部区間においてRFIDタグを導入していく。本システムにより測定データを収集し、各種電力設備の状態を日常的に把握することで、故障予兆の検知や計画的な修繕が可能になり、合理的な設備の保守・運営及び安定輸送のレベルアップが実現できる。今後、本システムで得られた測定データの分析手法を確立していく。

※1) ZigBee は ZigBee Alliance, Inc. の登録商標です。

※2) WiMAXは WiMAX Forumの登録商標です。

参考文献

- 1) 河野洋一他:「次世代車両制御システム (INTEROS) に対応した車両機器の開発」、JR EAST Technical Review, No.36 p.51 (2011年)
- 2) 甘利智他:「電車線路設備モニタリングシステムの開発」、JR EAST Technical Review, No.39 p.7 (2012年)
- 3) トランジスタ技術2004年6月号、CQ出版、2004.6
- 4) 気象庁HP、<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>