

電車線路設備 モニタリングシステムの開発



甘利 智*



和木 浩**



出野 市郎*

電車線路設備は、電力社員等による目視・測定などの検査、もしくは検測車による検査（トロッコ線の摩耗・高さなどの測定）により、設備の健全性を維持している。検測車による測定は年に数回実施しているが、検測車により検査できない設備については、年に1回程度しか検査ができていない。このような設備のうち、き電線圧縮接続部の温度および、ばね式自動張力調整装置（以下、STB）のばね変位を対象に、営業車とセンサ付きRFIDタグ（以下、設備計測装置という）により定期的に測定可能なシステムを開発し、フィールド試験を行った。その結果、設備計測装置が機能すること、110km/hで走行する列車と設備計測装置間でデータの伝送が可能であることを確認した。

●キーワード：電車線路設備、RFID、センサ、き電線、自動張力調整装置

1. はじめに

電車線路設備は、電車で電力を供給する重要な設備であり、この健全性を維持するために、年に複数回、電気・軌道総合検測車（以下、検測車）により、トロッコ線の摩耗や架線位置（高さ・変位）などを検査している。一方で、検測車により測定できない設備については、電力社員等により、年に1回程度の測定もしくは目視による検査のみとなっている。

このような設備に対して、設備の状態を精度良く捉えるには、検査周期の短縮が考えられるが、作業量が大幅に増加することから、容易には達成できない。また、き電線圧縮接続部の温度やSTBのばね変位については、負荷電流や気象条件により刻々と変化するため、検査する機会によっては、ピーク値を測定できていないと限らない。このため、設備計測装置を取り付けて温度や変位を定期的に測定し、営業車が走行した際に、計測データを伝送することで、高頻度に検査できる電車線路設備モニタリングシステムを開発した。

本稿では、システムの概要とフィールド試験の結果の一部について報告する。

2. 電車線路モニタリングシステムの概要

電車線路モニタリングシステムは、地上設備に設置し、定期的に温度や変位を測定してそれを収録する設備計測装置と、MUE-Train上に設置して設備計測装置のデータを読み出すリーダー部によって構成されている。図1に、システムの概略図を示す。

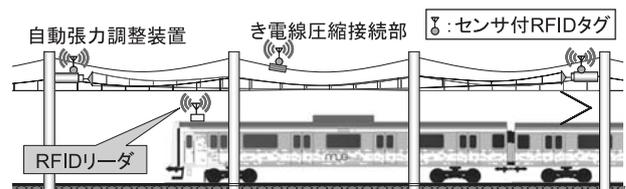


図1 電車線路設備モニタリングシステムの概要図

本システムを実現するために、設備計測装置は、沿線に設置された多くの地上設備に取り付けられるので、メンテナンス不要で、低コストとしなければならない。また、内部に駆動用電源を搭載することから、消費電力を小さくして電源の容量を小さくすることや電源の寿命を長くすることが大きな課題であった。

図2に、本システムのブロック図を示す。本システムでは、リーダーと通信を行うRF-IC、システム全体を制御するMPU、設備データを計測するセンサ、システムを駆動する内部電源部により構成されている。無線通信部としては、IEEE802.15.4に準拠するセンサネットワーク用の無線規格であるZigBee (2.4GHz) を採用している。ZigBeeは、省電力と低コストを重視した無線規格である¹⁾。電源部は、近年安価で高性能なものが入手できるようになった太陽光パネルと、二次電池よりも長寿命であり電池交換が不要である電気二重層キャパシタを採用している。

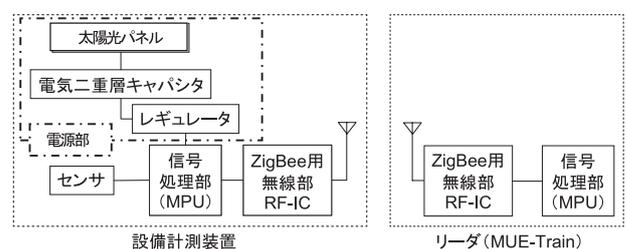


図2 設備計測装置ブロック図

3. 通信シーケンス

設備計測装置が最も大きな電力を消費するのは、送受信部を動作させる機会である。そのため、送受信時間を短縮すると省電力化が達成でき、電源の小型化・低コスト化や長寿命化に有効である。これまでに、さまざまな通信シーケンスを検討した結果、通信の確実性と消費電力を小さくするためには、間欠起動と休止を繰り返す方式が最も有利であることから、間欠動作方式を採用することとした。図3に、開発品の通信シーケンスを示す。

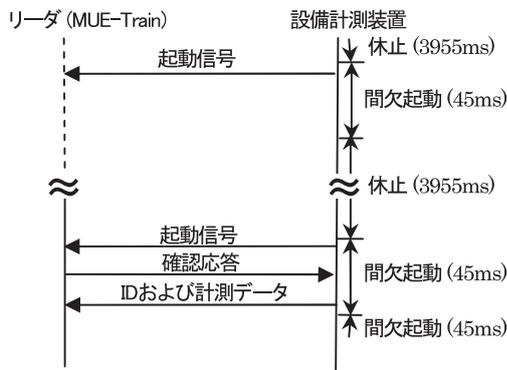


図3 開発品の通信シーケンス

このシーケンスでは、設備計測装置が間欠的に起動信号を送信している。リーダーを搭載したMUE-Trainが設備計測装置に接近した際は、この起動信号を受信し、確認応答を設備計測装置に返送する。確認応答を受信すると設備計測装置は、リーダーにIDと計測データを送信するものである。

営業車によりデータを収集するためには、営業速度で設備計測装置を通過するわずかな時間に通信を完了しなければならない。伝送条件が厳しい高架下に設置した設備計測装置と高架を走行するMUE-Train間で電波強度を測定した結果、約150m離れた場所からデータ伝送が可能であることが明らかとなった。当社における在来線の最高速度は、130km/h (約36.1m/s) であり、4秒以内に通信を行えば通信可能距離150mに対して通信をすべて完了させることができる。このため、間欠動作間隔を4秒とした。

4. 検査対象設備と設備計測装置

4.1 き電線圧縮接続部用設備計測装置

電気車へは、トロッコ線からパンタグラフを介して電気を供給するが、このトロッコ線に変電所から電気を送るための配電線がき電線である。図4に示すように、き電線の接続には、圧縮スリーブと呼ばれる金属の圧縮接続管が使用されている。この接続部に圧縮不良や腐食等があると抵抗が上昇するため発熱し、最悪の場合溶断することがある。現在はこのよう

な発熱を発見するために、サーモグラフィによる温度測定および、示温材を取り付けて設定温度に達すると生じる発色もしくは形状記憶合金の変形を検査時に確認している。

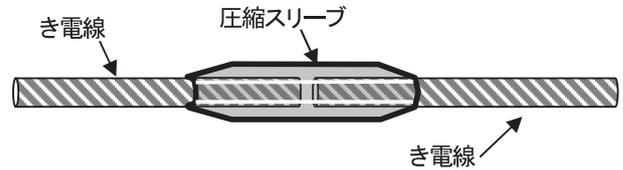


図4 き電線圧縮接続部

圧縮接続部の温度は、通電電流に依存するため、電流が小さい時には発熱を検知することが難しいこともある。本研究では、このき電線圧縮接続部に対して、温度を定期的に測定して発熱を早期に発見できる設備計測装置を開発した。

4.2 STB用設備計測装置

トロッコ線などの架線は、温度変化や経年により伸縮し、張力が変動してしまう。張力が変動すると、トロッコ線の静高さが変化して、パンタグラフとの接触が不安定となる。これを防ぐため、ばねを用いて架線の張力を一定に保つ装置がSTBである。しかし、STBに内蔵されたばねの可動量には限界がある。そこで、現在はSTBが適正な動作状態にあることを確認するために、ばね変位を目視で検査している。

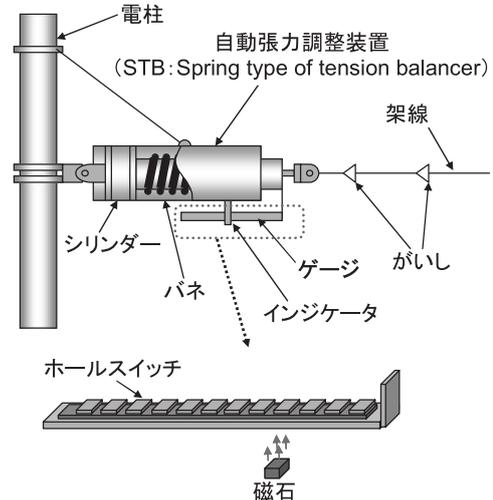


図5 STBと開発した設備計測装置の概要

き電線圧縮接続部と同様に、ばね変位は電線温度により刻々と変化する。そこで、本研究では、図5に示すように、STBのインジケータに取り付けた永久磁石から発生する磁界を、ゲージに取り付けたホールスイッチが検知して、ばね変位を測定する設備計測装置を開発した。

4.3 設備計測装置の概要

図6に、き電線圧縮接続部用設備計測装置を示す。き電線圧縮接続部用設備計測装置は、温度センサ部とRFIDタ

グ部により構成されている。RFIDタグ部には、RF-IC、MPU、アンテナ、電気二重層キャパシタ、太陽光パネルを一体とし、耐候性を持たせるためにウレタン樹脂で包埋した。



図6 き電線圧縮接続部用設備計測装置（1次試作品）

図7に、STB用設備計測装置を示す。ホールスイッチアレイは、STBのゲージの内側に設置し、ウレタン樹脂で包埋した。RFIDタグ部については、き電線圧縮接続部用設備計測装置と同様に、一体としてウレタン樹脂で包埋した。



図7 STB用設備計測装置（1次試作品）

5. フィールドでの動作検証試験

5.1 フィールド試験結果（1次試作品）

平成21年12月～平成22年10月にかけて東北本線雀宮・宇都宮間において、き電線圧縮接続部用設備計測装置のフィールド試験を行った。また、平成22年8月から9月にかけて東北本線野木・間々田間において、STB用設備計測装置のフィールド試験を実施した。

図8に、き電線圧縮部用設備計測装置の測定結果と、宇都宮気象台の気温記録を比較した結果を示す。気温の変化に応じて、測定データが変化している様子がわかる。このうち、気象台のデータに比べ高い測定値を示した部分については、日射によるものと考えられる。日射のない夜間には、気温とはほぼ一致しており、き電線圧縮接続部の温度を精度良く測定できていると考えられる。

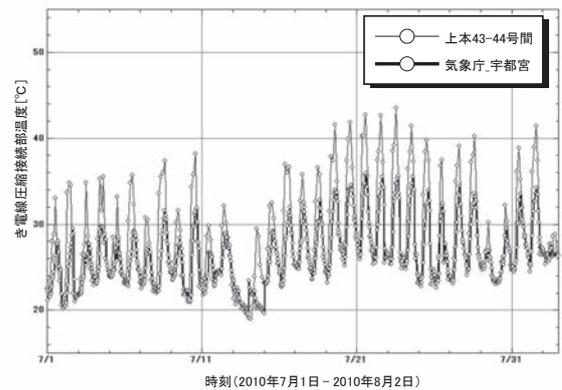


図8 き電線用設備計測装置測定結果（1次試作品）

図9に、STB設備計測装置の測定結果を示す。実際の架線の張力はなだらかに変化するが、ホールスイッチアレイの分解能が約15mmであること、また、3時間ごとの温度変化を捉えるように設定したため、矩形波のような測定結果となっている。しかし、気温変動などの影響により架線の伸縮に応じてSTBのばねが変位している様子がわかる。

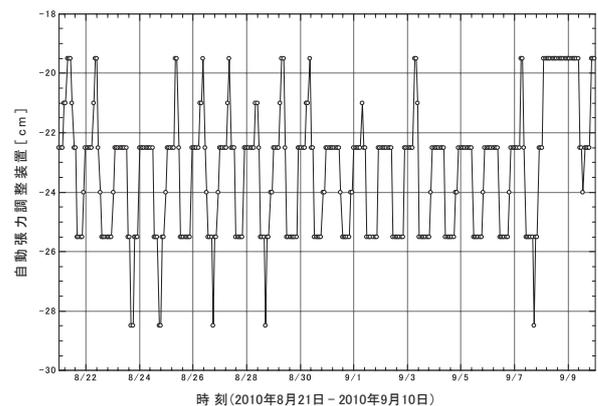


図9 STB用設備計測装置測定結果（1次試作品）

これらのフィールド試験にあわせて、MUE-Trainによる通信試験を行った。その結果、設備計測装置と110km/hで走行する電車間とでデータの伝送が可能であることを確認した。

これらの結果をまとめると、設備計測装置を用いて、定期的に接続部温度やばね変位の測定が可能であること、営業車と設備計測装置間でデータの伝送ができることを確認した。一方、1次試作品は、実現の可能性を確認する部分に重点を置いていたため、電源容量が大きく高価なものとなった。そこで、2次試作を行い、電源容量の最適化を行うこととした。

5.2 2次試作品の設計概要

1次試作品では、雨天などにより3日間日照が得られなくても設備計測装置が動作できるように設計を行った。しかし、電気二重層キャパシタの容量を大きくすると、高価になってしまう。そこで、電気二重層キャパシタの容量を変化させた3

つのモデルを製作して、フィールド試験を行い、必要とされるキャパシタ容量を検討した。表1に、2次試作品に用いたキャパシタ容量を示す。

表1 2次試作品の電源容量比較

	(参考) 1次試作品	2次試作品		
		小	中	大
キャパシタ容量(F)	50	3.3	5	11
無給電での動作時間(時間)	72	4	7	17

5.3 2次試作品のフィールド試験結果

平成23年7月～平成23年10月にかけて2次試作品のフィールド試験を実施した。実施箇所は1次試作品と同じである。図10および図11に、設備計測装置の設置状況を示す。

1次試作品では、常時動作することを目標としていたが、2次試作品では、必要十分な動作時間を確保すればよいとした。き電線圧縮接続部温度とSTBばね変位は、朝夕のラッシュ時間帯もしくは夏場の日中にピークとなる。少なくともこれらの時間帯には、確実に設備状態をモニタリングし、データを収集できる状態にしなければならない。このため、最適な電源容量を評価するに当たり、ある1週間（期間中は曇りもしくは晴れの日のみ）について、1日の稼働時間と稼働率を評価した。表2に、この結果を示す。

表2 1日あたりの稼働時間と稼働率（STB用）

キャパシタ容量	小	中	大
1日あたりの最長稼働時間(時間)	10	14.5	23
1日あたりの最低稼働時間(時間)	6	9.5	8.5
1日あたりの平均稼働時間(時間)	8.25	11.5	15.75
稼働率	0.343	0.479	0.656

表2より、キャパシタ容量小のモデルについては、平均稼働時間は約8時間、最低動作時間は6時間と最も短く、ある程度日照がある条件でも停止する可能性がある。平均稼働時間をみると、キャパシタ容量大のモデルが最も長いものの、最低動作時間をみると、中容量のほうが1時間長いことがわかる。これは、太陽光パネルとキャパシタの容量を最適にする必要があることを示している。この結果を用いて、太陽光パネルとキャパシタの容量についてシミュレーションを行い、実用化モデルに反映する予定である。

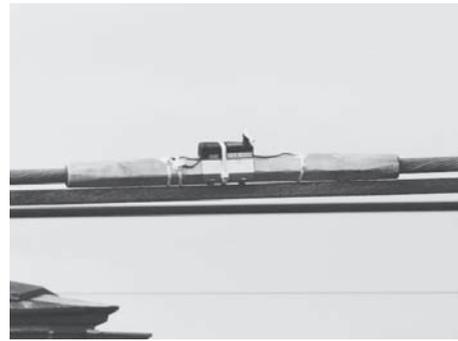


図10 き電線用設備計測装置設置状況（2次試作品）

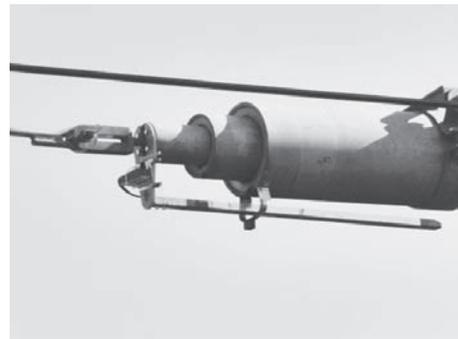


図11 STB用設備計測装置設置状況（2次試作品）

6. おわりに

本研究では、き電線圧縮接続部の温度およびSTBのばね変位について、センサ付RFIDタグを用いた設備計測装置を開発し、フィールド試験を実施した。その結果、設備計測装置は定期的に温度や変位を測定してその収録が可能であること、設備計測装置と営業速度110km/hで走行する電車間においてデータの伝送が可能であることを確認した。

今後は、実用化に向けた設備計測装置の試作、長期耐久試験や測定データを営業車から保守区事務所へ伝送するシステムの開発を行う計画である。

参考文献

- 1) 鄭 立：ZigBee開発ハンドブック、リックテレコム、2006。
- 2) 和木浩、石岡伸之、長嶋敏夫；電気学会研究会、TER-11-018、2011.5