

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

地上設備の監視データを 営業列車で低コストに収集する

労働人口が減少する中で、保守作業員が減少しても保守の品質を維持する方法として、センサーにより設備を監視して、劣化レベルに合わせて補修や交換を行う状態基準保全が注目されています。早期に故障を発見でき、作業員が現地に行く回数や交換回数を削減できますが、センサーの数が増加した際、そのデータ収集方法が課題となります。解決策として、多くのセンサーが鉄道沿線に設置されることに着目し、近くを走行する営業列車により低コストにデータ収集する手法を開発したので紹介します。

はじめに

鉄道の安全・安定運行の実現には、電力設備、電車線設備、信号通信設備、軌道設備、構造物など鉄道用地上設備の管理を適切に行い、品質を維持することが重要です。

図1に鉄道用地上設備の保全方法のイメージ図を示します。従来は劣化レベルにかかわらず定期的に点検や交換を行う時間基準保全（Time Based Maintenance：TBM）が行われてきました。この保全方法は、適切なタイミングで保守することにより高い品質を維持できます。しかし、熟練の保守作業員が減少する中でTBMを維持することは困難になるかもしれません。

一方、新たな保全方法として、センサーにより設備の劣化状態を監視して、劣化レベルに合わせて補修や交換を行う状態基準保全（Condition Based Maintenance：CBM）が注目されています。この保全方法は、センサーで高頻度に監視をするため、故障の早期発見が期待できます。また、劣化レベルが正確に把握できるようになれば、作業員が現地に行く回数を減らすことができ、低コスト化や省力化が期待できます。

CBMの実用化例として、営業列車に検測装置を搭載し、走行しながら軌道や電車線の変位を測定する監視手法があります¹⁾²⁾。従来よりも高頻度に監視ができるため、早期に異常を発見



田中 実
Minoru Tanaka
浮上式鉄道技術研究部
低温システム研究室
主任研究員
[専門分野] 無線、センサー、
浮上式鉄道用地上コイル、
浮上式鉄道用超電導磁石



饗庭 雅之
Masayuki Aiba
前 浮上式鉄道技術研究部
電磁システム研究室
上席研究員
(現 企画室 戦略調査課長)
[専門分野] 浮上式鉄道
用地上コイル



高橋 紀之
Noriyuki Takahashi
浮上式鉄道技術研究部
電磁システム研究室
主任研究員
[専門分野] 浮上式鉄道
用地上コイル



池田 遼平
Ryohei Ikeda
浮上式鉄道技術研究部
電磁システム研究室
副主任研究員
[専門分野] 浮上式鉄道
用地上コイル



依田 裕史
Hiroshi Yoda
前 浮上式鉄道技術研究部
電磁システム研究室
研究員
[専門分野] 非接触給電、
浮上式鉄道用地上コイル、
渦電流レールブレーキ、
数値シミュレーション

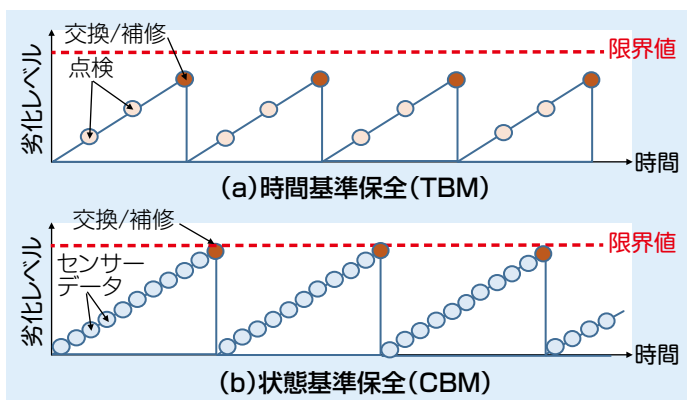


図1 時間基準保全と状態基準保全（イメージ図）

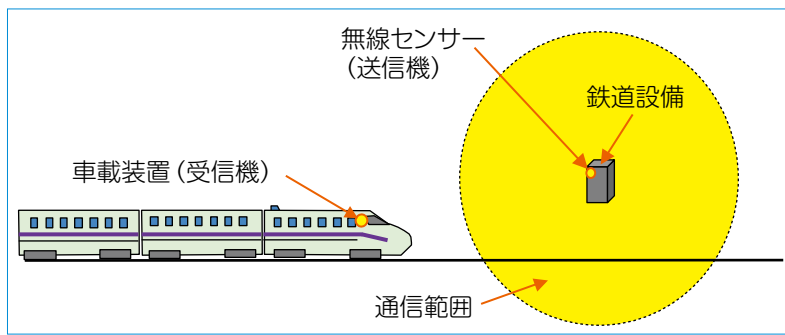


図2 すれ違い通信システム構成例

できます。営業列車から地上設備を直接監視できる場合には車両にセンサーを搭載する方法が有効です。しかし、車両から直接監視ができない場合は、地上設備にセンサーを設置する必要があります。この場合は、将来センサーの数が増加すると、そのデータ収集方法が課題となります。現地に監視データを見に行くのは手間がかかりますし、有線を用いた通信方法では長い配線が必要となり、設置や維持に労力やコストがかかります。そのため、無線化が必要になると考えられます。

確実な無線通信手段として、携帯通信網 (LTE/3G) の利用が考えられます。この方法は、電話のつながる場所であれば、どこでも監視が可能となります。しかし、センサーの数が多くなると通信費が増大します。また、消費電力が大きいため、電源のない場所の長期監視は困難です。この課題に対して、小容量・低速の新しい通信方式が登場しました³⁾。本格導入はこれからですが、従来よりも通信費が下がり、消費電力も低くなることが期待されます。

すれ違い通信

監視対象の地上設備の多くが鉄道沿線に設置され、営業列車が近くを走行することを考えると、近距離無線通信を使った安価なデータ収集方法が考えられます。地上設備と列車がすれ違い際に通信をするため、「すれ違い通信 (☞参照)」とよんでいます。

図2にすれ違い通信システムの構成例を示します。監視対象の鉄道設備には、送信機とセンサーを組み合わせた無線センサーを設置します。一方、営業列車には受信機を搭載し、無線センサーの通信範囲内を通過中にデータを受信します。すべての通過列車に受信機を設置すれば、高頻度の監視が可能となります。すれ違い通信では、車両が通信範囲を通過する間に受信を完了する必要があります。また、受信確率を高めるには、同一通信範囲内で複数回受信できるようにしておく必要があります。そこで、通信するデータ量は、小容量に限られます。

すれ違い通信にとって無線種別の選定は重要です。数多く無線センサーを設置することを考えると、低コストであることが求められます。また、営業列車だけでなく、保守作業員が現地でデータ収集することも考えると、スマートフォンなどと通信ができる無線であることも重要です。さらに、無線センサーを電池で長時間駆動する場合、低消費電力であることも求められます。

これら3つの要求を満たす無線方式として、Bluetooth Low Energy (BLE) (☞参照) があげられます。GoogleのAndroidやAppleのiOSにも対応しているため、多くのスマートフォンやタブレットと通信ができます。また、この無線方式は広く普及しているため無線モジュールは低価格であり、低消費電力のため、ボタン電池による動作も可能です。

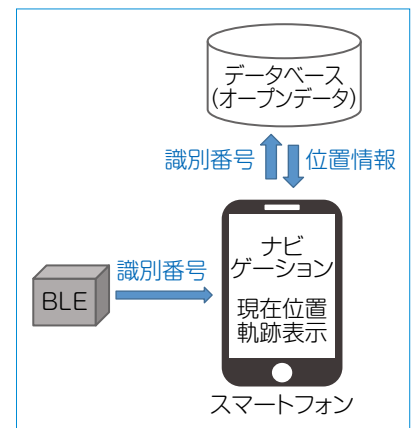


図3 BLEを用いた測位システム構成例

BLEを用いたデータ収集

BLEには小容量のデータを一齐送信する機能があり、ブロードキャストとよびます。この機能を用いると、短時間でデータを受信できるため、すれ違い通信に適した通信方式といえます。

BLEの応用例としては、GPS信号が届かない屋内における位置情報取得技術 (屋内測位技術) があります。図3にシステムの構成例を示します。屋内の目印となる場所にBLEを設置しておき、一定時間間隔で識別番号を送信します。また、データベースには識別番号と、これに対応した位置情報を登録しておきます。公的なデータベースの例として、国土地理院のパブリックタグ情報共有プラットフォームがあります⁴⁾。BLEの情報を登録すると、コンピューターで解釈可能なオープンデータ (☞参照) として位置情報が扱えます。たとえば、駅構内で識別番号を受信して位置情報が利用でき

☞ すれ違い通信

近距離無線通信を使って、移動体がすれ違いざまに行うデータ通信技術。

☞ Bluetooth Low Energy (BLE)

近距離無線通信のBluetoothにおいて低消費電力用に設計された無線方式。

☞ オープンデータ

機械判読に適したデータ形式でインターネットなどで公開され、加工や編集が可能なデータ。

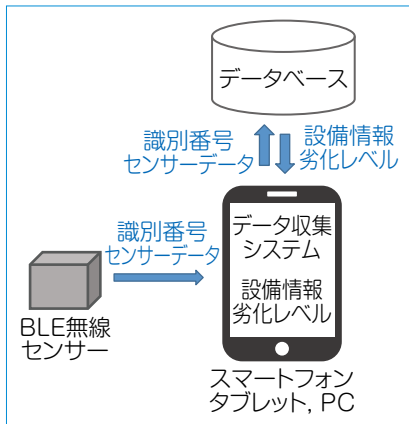


図4 BLEを用いたデータ収集システム構成例

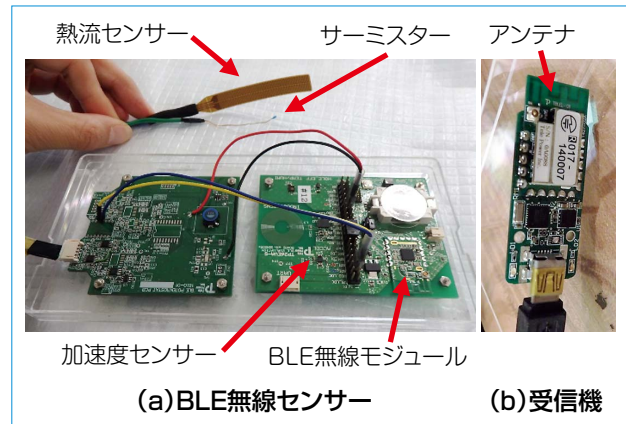


図5 BLE無線センサーと受信機

ば、スマートフォンの乗換案内アプリで、乗り換えホームやエレベーターの位置が特定でき、普段駅を利用しない外国人旅行客でもスムーズに乗り換えができるようになりますと期待されます。

図3と同様の構成で、地上設備の監視データを低コストに収集する手法を考えました。図4にシステムの構成例を示します。監視対象の地上設備にBLE無線センサーを設置し、識別番号とセンサーデータを送信します。また、データベースには識別番号と設備情報を登録するとともに、センサーデータが蓄積できるようにしておきます。保守作業員のもつスマートフォンや、列車に搭載した受信機と地上設備がすれ違う際にデータを受信できれば、識別番号から監視対象設備が特定でき、関連するセンサーデータが収集できます。

BLE無線センサー

性能確認のため、実際にBLE無線センサーを試作しました。図5(a)に写真を示します。BLE無線モジュールと3種類のセンサー(サーミスター、熱流センサー、加速度センサー)で構成しました。無線は通信範囲を広げるために、一般品よりも送信出力の大きなBLE無線モジュールを用いました。サーミスターは温度に合わせて電気抵抗が変化する安価なセンサーです。劣化や故障の際に温度が変化する設備の

監視に有効です。熱流センサーは放熱量が直接測定できるセンサーです。設備の放熱量から稼働状態を監視できます。加速度センサーは振動の大きさを測定するセンサーで、故障や劣化の際に振動が大きくなる設備の監視に有効です。また、重力加速度を利用して設備の傾きも測定できるため、地震後に設置状態を確認することも可能です。

高速すれ違い通信実証試験

BLEを用いたすれ違い通信について、屋内測位を目的として歩行者と通信した事例はありますが、データ収集を目的として高速走行車両と通信した事例はありません。そこで、実証試験を行うことにしました。

BLEの無線周波数は2.4GHz帯です。無線LANでも使用されていて、同一の周波数を複数の無線機が使用すると電波干渉の発生が懸念されます。そこで、無線センサーから0.1秒ごとにデー

タを送信して、受信確率を上げるようにしました。受信機にはスマートフォンやタブレットが利用できますが、無線モジュールが内蔵となっているため、アンテナの位置や向きがわかりません。そこで、実証試験ではUSBケーブルでPCと接続ができ、アンテナ位置が確認できる受信機を用いました(図5(b))。1秒間隔で受信を行い、結果はPCの画面に表示して記録しました。

最初に通信範囲を確認するため、周囲に障害物のない自動車のテストコースの道路脇にBLE無線センサーを設置し、試験車両の助手席の窓の内側に受信機を設置して、車両を徐行させました。図6に示すように、離隔距離を3.8mとした際、通信可能な距離は前後合わせて約168mでした。

次に、試験車両を等速走行させて、受信回数を測定しました。その結果、時速100kmで5~6回、時速200kmで2~3回受信でき、通信範囲から計

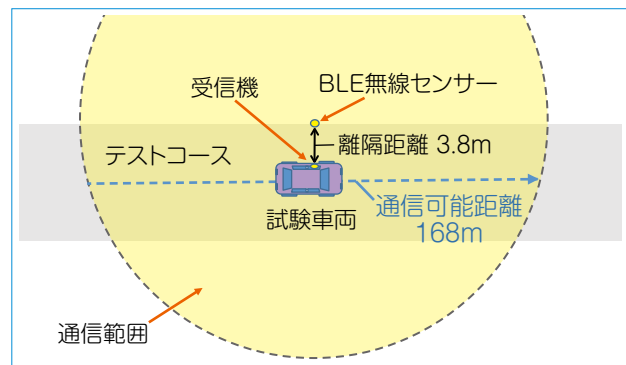


図6 通信範囲測定

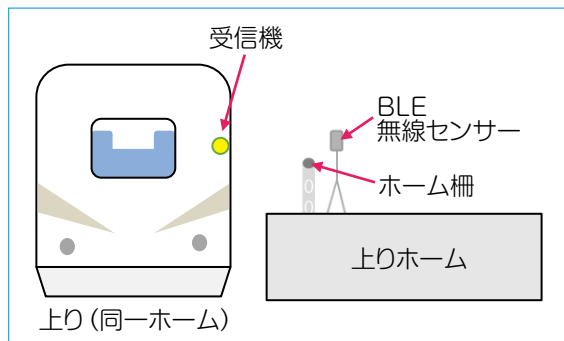


図7 新幹線車両によるすれ違い通信試験



図8 九州新幹線による実証試験

算される受信回数とほぼ一致しました。が可能なことがわかりました。

さらに、鉄道環境におけるすれ違い通信性能を確認するため、九州旅客鉄道株式会社殿の御協力で、新幹線による実証試験を行いました。図7に試験構成を示し、図8に写真を示します。九州新幹線の通過駅(久留米駅、新玉名駅)の上りホームにBLE無線センサーを設置し、上り列車のホーム側ドアの窓の内側にBLE-USB Dongleを設置しました。

久留米駅では、新幹線が時速145kmで通過する際にデータを6回受信できました。本結果より、実際の鉄道環境でも、すれ違い通信が可能なことがわかりました。新玉名駅では、さらに高速のすれ違い通信試験を行い、新幹線が時速255kmで通過する際にデータを2回受信できました。表1に取得データを示します。識別番号として利用したBLEのアドレスデータに加えて、3種類のセンサーのデータを受信でき、高速走行する新幹線によるデータ収集

無線センサーの低消費電力化

高速すれ違い通信を実現するため、通信エリアを広げましたが、市販品よりも送信電力が大きくなるため、電池で長時間稼働させるためには工夫が必要です。消費電力の低減には、無線センサーからデータを送信するタイミングを営業列車が通過する時間のみに限定し、送信回数を減らすことが有効です。なお、試作したBLE無線センサーには加速度センサーが搭載されているため、営業列車通過時の振動を検知してデータを送信することも可能です。また、走行する新幹線車両から、無線センサーの電源を制御する方法⁵⁾も研究しています。

おわりに

近距離無線通信技術のBLEを使って、地上設備に設置した無線センサーと高速走行する営業列車がすれ違う際、

表1 収集データ(時速約255km)

時刻	11:17:29	11:17:30
アドレスデータ	82,76,EA,48,B4,B0	82,76,EA,48,B4,B0
温度(°C)	10.17	10.17
熱流束(W/m ²)	-2.327	-2.327
加速度X(m/s ²)	0.035	0.016
加速度Y(m/s ²)	-1.047	-1.035
加速度Z(m/s ²)	0.078	0.055

センサーデータを収集する手法を紹介しました。保守作業員がデータ収集のために現地に行く必要がなく、長い通信線を配線する必要もなく、また、通信費もいらいため、低いコストで監視データを収集できるようになると期待されます。今後に向けて、電源レスの無線を用いたすれ違い通信⁶⁾や、複数の無線センサーのデータを同期して収集する手法についても研究をしています。状態基準保全の導入には監視データの収集が必要ですが、営業列車で低コストに収集する手法が導入の一助となれば幸いです。[RRR]

文献

- 1) 矢澤英治, 松田博之, 森高寛功: 営業列車で線路を検査する, RRR, Vol.66, No.11, pp.18-21, 2009
- 2) 明電舎: 架線検測装置力テナリーアイ, https://www.meidensha.co.jp/products/railwaysystem/prod_02/prod_02_01/index.html (入手日: 2019/04/19)
- 3) NTTドコモ: ドコモのLPWA, <https://www.nttdocomo.co.jp/biz/special/iot/lpwa/> (入手日: 2019/04/22)
- 4) 国土地理院: パブリックタグ情報共有プラットフォーム, https://ucopendb.gsi.go.jp/ucode/field_test/index.html (入手日: 2019/04/19)
- 5) 田中実, 高橋紀之, 池田遼平, 依田裕史, 岩井優仁, 稲本賢司: 浮上式鉄道用地上コイルのセンサーデータ収集システムの開発, 鉄道総研報告, Vol.32, No.3, pp.17-22, 2018
- 6) 田中実, 高橋紀之, 池田遼平, 依田裕史, 鈴木正夫: センサタグと保守用車間の路車間通信による地上コイル状態監視, 鉄道総研報告, Vol.31, No.1, pp.17-22, 2017