

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

# 無線センサーネットワークで 鉄道設備の状態を監視する

鉄道の安全・安定輸送を維持するため、鉄道設備の定期的な検査・保守が行われています。近年、さまざまな種類の製品が登場している無線センサーネットワークを活用して鉄道設備の状態を常に把握できれば、予防保全や早期復旧などの対応が可能となります。そこで、鉄道への無線センサーネットワークの導入を目指して、設計上の留意点や導入手順を整理しています。ここでは、無線センサーネットワークに使用される周波数帯の特徴を述べ、Wi-SUNを活用した無線センサーネットワークによる実証実験について紹介します。

## 鉄道設備の維持管理

鉄道には、構造物、軌道、車両などのさまざまな設備があります。これらの鉄道設備は、時間の経過とともに劣化したり、故障が起こりやすくなったりします。そのため、列車の安全安定運行を維持するためには、これらの鉄道設備のメンテナンスが欠かせません。現在、鉄道設備の多くは、ある一定の周期で検査が実施され、劣化や故障の度合いに応じて補修や整備などが行われています。たとえば構造物の場合は、全般検査とよばれる目視を主体とした検査が2年に1回行われています。このような一定周期での検査に基づいて

保守を行う方法に対し、設備の状態を常時監視し、その状態に応じて必要なタイミングで補修や整備などを施す状態監視保全とよばれる方法が近年注目されています。

## 状態監視システム

状態監視保全を実現するための手段の1つとして、無線センサーネットワークを利用した状態監視システムがあげられます(図1)。

無線センサーネットワークは、さまざまな物理量を計測してデータを無線で伝送する「無線センサー」と、それらの計測データを集約するための「集



**岩澤 永照**  
Nagateru Iwasawa  
信号・情報技術研究部  
ネットワーク・通信研究室  
研究員  
[専門分野] 無線通信システム



**流王 智子**  
Satoko Ryuo  
信号・情報技術研究部  
ネットワーク・通信研究室  
副主任研究員  
[専門分野] データ分析



**野末 道子**  
Michiko Nozue  
信号・情報技術研究部  
ネットワーク・通信研究室  
主任研究員  
[専門分野] センサーネットワーク



**川村 智輝**  
Tomoki Kawamura  
信号・情報技術研究部  
ネットワーク・通信研究室  
研究員  
[専門分野] データ分析、誘導障害



**川崎 邦弘**  
Kunihiko Kawasaki  
信号・情報技術研究部  
部長  
[専門分野] 無線通信システム、EMC

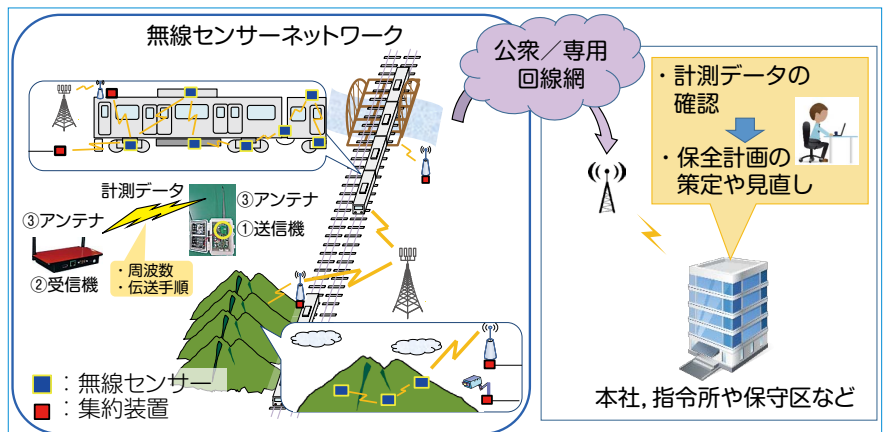


図1 無線センサーネットワークによる状態監視システムの全体イメージ

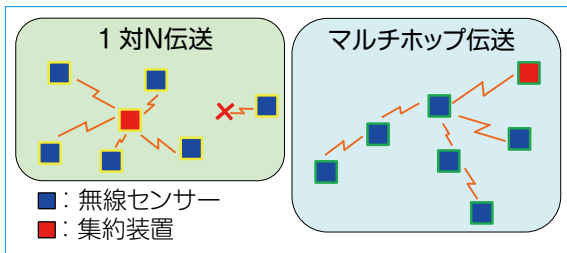


図2 マルチホップ伝送

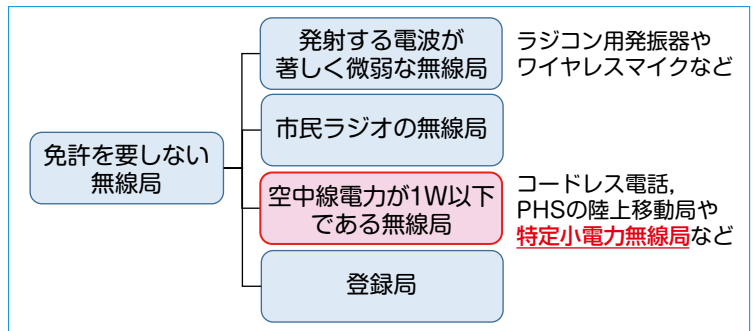


図3 免許を要しない無線局

約装置」から構成されます。また、無線センサーから集約装置に計測データを直接伝送できない場合には、中継装置や中継機能を持つほかの無線センサーを経由して、情報を目的地まで伝送します。このように複数の端末を経由して伝送を行う方法をマルチホップ伝送と呼びます(図2)。さらに、集約装置に集められた計測データを、自社のネットワークやインターネットなどを経由して本社や指令所、保守区などに伝送し、計測値の表示や警報の発報などを行います。

無線センサーネットワークのように、無線でデータを伝送するためには、データを電波に乗せるための送信機(①)と、受信した電波からデータを取り出すための受信機(②)、そして空間に電波を放射したり、伝搬してきた電波を受け取ったりするためのアンテナ(③)が必要です。送信機に入力されたデータが受信機から正しく出力されるようにするためには、送信機

表1 無線センサーネットワークで使用される代表的な周波数帯の比較(参考)

	429MHz帯	920MHz帯	2.45GHz帯
帯域幅(1chあたり)	8.5kHz	200kHz ※一部100kHz	2MHz(ZigBee) 22MHz(IEEE802.11b)
チャンネル数	30	38(20mW時) 77(1mW時)	14(IEEE802.11b) 16(ZigBee)
最大送信電力	10mW	20mW	10mW
最大到達距離	1.5km程度	1km程度	100m程度
最大通信速度	4.8kbps	500kbps	250kbps(ZigBee) 22Mbps(IEEE802.11b)
マルチホップ伝送 回り込みのしやすさ	困難 ○	可能 ○	可能 △

と受信機との間で、使用する電波の周波数や、伝送手順などを決めておく必要があります。

### 無線センサーネットワークで使用される周波数帯

日本国内で電波を利用する場合は、電波法に従う必要があります<sup>1)</sup>。電波法では、無線局(☞参照)の開設には原則として免許が必要であり、無線局で使用する無線設備が技術基準に適合しているかどうかを免許申請の手続きの際に検査することが定められています。ただし、電波法が定めている条件を満たす無線局については、免許を受けずに運用することが認められています(図3)。中でも特定小電力無線局は、無線局免許だけでなく、無線従事者資格を取得する必要がないため、無線センサーネットワークを含めて広く利用されています。特定小電力無線局で使われている周波数帯のうち、無線センサーネットワークで使用される代表的な周波数帯とその特徴を表1に示します。

920MHz帯は2012年7月にISMバンド(☞参照)として新たに割り当てられた周波数帯です。当該周波数帯は、同じISMバンドである2.45GHz帯と比較して遠くまで電波が届きやすく、物陰に回り込みやすいため、線路沿線や車両のように伝送する範囲が細長く、また、障害物の多いエリアに適している周波数帯の1つです。429MHz帯は920MHz帯よりも電波の伝搬距離が長く、物陰へも回り込みやすいのですが、伝送できるデータ量が少なく、またアンテナが大きくなるという面があります。

### 無線センサーネットワーク導入時の課題

鉄道設備の状態監視を行う場合、その監視対象物や利用目的に応じてデータ取得頻度を決定する必要があります。たとえば、構造物の定常監視を行うためには、多くの場合1日に1回程度データを取得すれば十分ですが、変状を予測するためには、日変動を考慮して数時間に1回以上のデータ取得が必要な

#### ☞ 無線局

電波法第2条第5号に定められており、電波による情報伝送を目的とした無線設備およびその無線設備を操作する人を合わせたものを指します。

#### ☞ ISMバンド

ISMバンド(Industrial, Scientific and Medical Band)は、産業・科学・医療向けに割り当てられた周波数帯域のこと。主に高周波エネルギーによる加熱や加工に用いられ、制限された出力以下であれば、免許不要で使用できます。

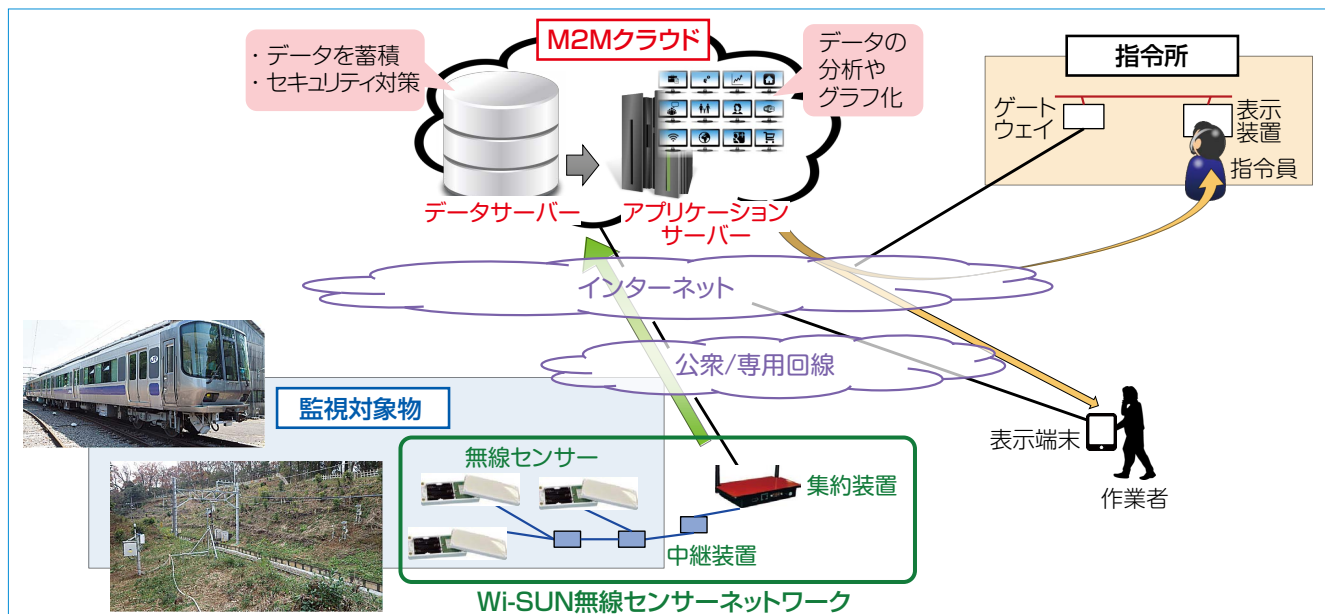


図4 Wi-SUN無線センサーネットワークを利用した状態監視システムの構成例

場合もあります。

また、監視対象物や設置環境、データ伝送量に合わせて周波数や通信規格を選ぶ必要があります。たとえば、障害物が少なく数m～数十m程度の近距離で多くのデータを伝送したい場合は2.45GHz帯、障害物が多く1km未満の距離で中程度の容量のデータを伝送したい場合は920MHz帯、小容量のデータを長距離伝送したい場合は429MHz帯が候補としてあげられます。

さらに、無線センサーと集約装置間においては、その伝搬路が空間であるため、無線信号強度の変動や雑音の影響を受け、データを損失する可能性があります。無線センサーと集約装置間でデータを損失してしまうと、監視に必要な情報が得られなくなってしまう可能性があります。

そこで、さまざまな無線方式の特性を踏まえて、監視対象物や利用目的によって必要なデータ取得頻度や品質でデータを伝送できるよう、周波数や通信規格の選び方と、無線センサー・中継装置などの配置を設計する方法を整理して、鉄道事業者が使用できるように、「鉄道環境への無線センサーネットワーク導入ガイド」の草案を作成しています。

### 無線通信規格 [Wi-SUN]

920MHz帯を使用する無線通信規格の1つにWi-SUN (Wireless Smart Utility Network) があります<sup>2)</sup>。Wi-SUNは、国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) が主導で標準化を進めた日本発の国際規格です。Wi-SUNは、スマートメーター (ガスや電力の自動検針情報を無線で伝送する装置) 向けに開発され、小容量のデータを、高信頼かつ低消費電力の伝送できるという特徴を持っています。また、マルチホップ伝送にも対応しています。

### Wi-SUNとM2Mクラウドを利用した状態監視システム

Wi-SUNは、鉄道沿線のような細かいエリアで小容量の計測データを伝送するのに適しているといえます。また、無線センサーの電源が確保できない場所の監視でもバッテリーによる長期間の駆動が期待できます。そこで、Wi-SUNの無線センサーネットワークとM2Mクラウド (☞参照) を利用した状態監視システムの研究開発に取り組んでいます<sup>3)4)</sup>。本システムの構成例を図4に示します。監視対象物にWi-SUNの無線センサーを設置し、無線センサーからの計測データを集約装置

に集め、インターネット経由でM2Mクラウドのデータサーバーに計測データを蓄積します。M2Mクラウドのデータサーバーには、複数のセキュリティ対策が施されており、あらかじめ登録されたユーザーや端末しか接続できないようになっています。また、M2Mクラウドにはアプリケーションサーバーがあり、監視目的に合わせて実装されたアプリケーションによってデータの分析やグラフ化が行われます。指令員や作業員は、インターネット経由でアプリケーションサーバーにアクセスすることで分析後のデータやグラフ化された計測値を確認できます。なお、これらのアプリケーションを利用する際にも、情報が不正に流出しないよう、ログイン認証などの手続きが必要となっています。

#### ☞ M2M クラウド

M2M (Machine to Machine) は、機器同士をネットワークでつなぎ、人が操作をしなくても、機器間で情報収集や機器制御をするシステムのことです。このようなシステムを支援するために、無線センサーなどの機器で計測したデータを収集・管理するためのクラウドコンピューティング環境をM2Mクラウドと呼びます。

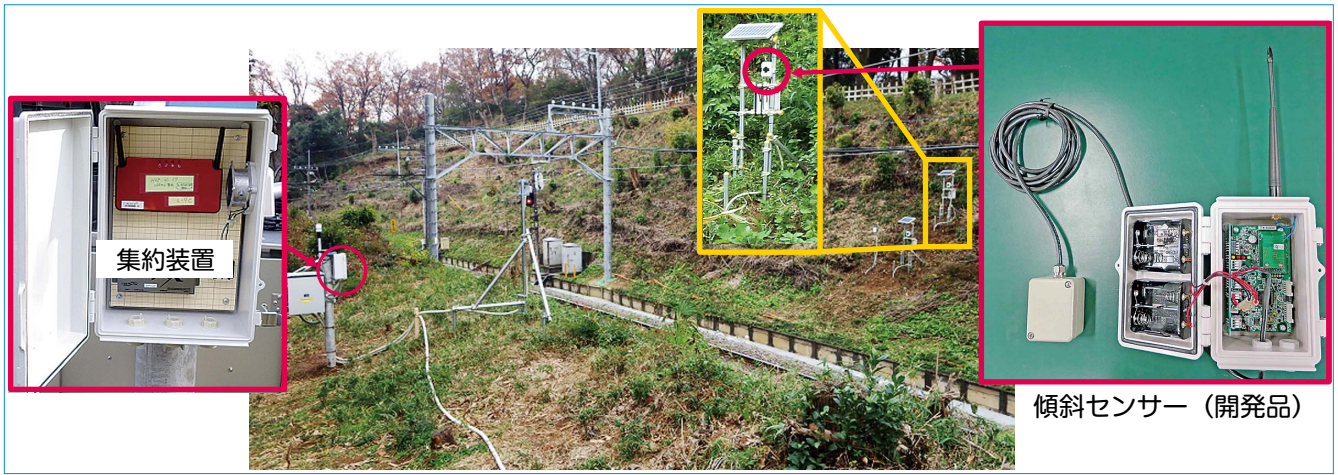


図5 鉄道斜面における設置状況

## Wi-SUN無線センサーネットワークの実証実験

導入ガイドの妥当性と、Wi-SUNの鉄道環境への適用性を確認するために、実際の営業線の沿線にWi-SUNの無線センサーネットワークを構築し、M2Mクラウドに計測データを蓄積する実証実験を行いました。

この実証実験では、線路沿線の斜面の状態監視を想定して、傾斜角と土壌水分量を計測して無線センサーネットワークで伝送することとしました。今回監視対象とした斜面は緩やかなカーブ区間を含んでおり、集約装置を設置する場所から見通せない監視場所もあります。傾斜角と土壌水分量のように数バイト程度のデータを、見通せない場所でもマルチホップで伝送できるよう、作成したガイド案に沿って、Wi-SUNによる無線センサーネットワークを設計しました。

なお、斜面の定常状態を監視するためには、1日に数回程度の計測頻度が十分です。しかし、集中豪雨や地震などが発生したときの変状を早くとらえるためには、より高頻度な計測データが必要となる場合があります。常に高頻度に計測し伝送を行う方法もありますが、負荷電力が大きくなり、無線センサーのバッテリーの消耗を早めてしまいます。そこで、傾斜センサー自身

が計測した値に基づいて計測と伝送の頻度を自律的に変更するアルゴリズムを開発しました。今回の実証実験では、このアルゴリズムを実装したWi-SUNの傾斜センサーも設置し、その機能の検証も行っています。

図5に集約装置と傾斜センサーの設置状況を示します。設置から3か月間計測データを蓄積した結果、集約装置と直接通信している無線センサーからのデータは、欠損なくM2Mクラウドに100%蓄積されており、中継装置を経由して集約装置まで通信している無線センサーからのデータについても、M2Mクラウドに99%以上蓄積されていることを確認しました。さらに、開発した傾斜センサーに実装した自身の計測値に応じて計測や頻度を変更する機能が設計どおりに動作することも確認しました。

## おわりに

ここでは、無線センサーネットワークで使用されている代表的な周波数の特徴について述べ、Wi-SUN無線センサーネットワークとM2Mクラウドを利用した状態監視システムを紹介しました。また、この状態監視システムで鉄道斜面の計測データを集める実証実験についても紹介しました。

今後は、紹介した鉄道環境への実証

実験の結果から導入時における課題を抽出し、導入ガイドに反映していきたいと考えています。

また、最近では、LoRaWANやSIGFOXなどのような、小容量のデータを遠くへ伝送するための新しい技術が登場しています。これらの新しい技術の特徴・特性の把握と、導入手法の検討・提案も引き続き行っていく予定です。

なお、本研究の実施にあたり、現地試験にご協力いただきました西武鉄道株式会社の関係の皆様に深く感謝いたします。また、本研究成果の一部は、国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)の委託研究「ソーシャル・ビッグデータ利活用・基盤技術の研究開発」により得られたものです。RRR

## 文献

- 1) 総務省：電波利用ホームページ, <http://www.tele.soumu.go.jp/> (2017.10.1)
- 2) 原田博司：IoT時代を支える国際無線通信規格Wi-SUN, ITUジャーナル, Vol.47, No.2, pp.3-8, 2017
- 3) 岩澤永照, 羽田明生, 流王智子, 川村智輝, 野末道子, 川崎邦弘：鉄道現場におけるWi-SUNを利用した状態監視システムの適用可能性の検証, 情報処理学会研究報告 高度交通システムとスマートコミュニティ (ITS), VOL.2015-ITS-62, No.1, pp.1-6, 2015
- 4) 流王智子：Wi-SUNによる鉄道設備監視用無線センサーネットワークの性能評価, 第301回鉄道総研月例発表会要旨, 2016