

無線センサーを用いた 効率的な状態監視で鉄道設備を守る



田中 実
Minoru Tanaka
浮上式鉄道技術研究部
磁気浮上研究室長



細川 雄太
Yuta Hosokawa
情報通信技術研究部
通信ネットワーク研究室
研究員



中村 一城
Kazuki Nakamura
情報通信技術研究部
通信ネットワーク研究室長

はじめに

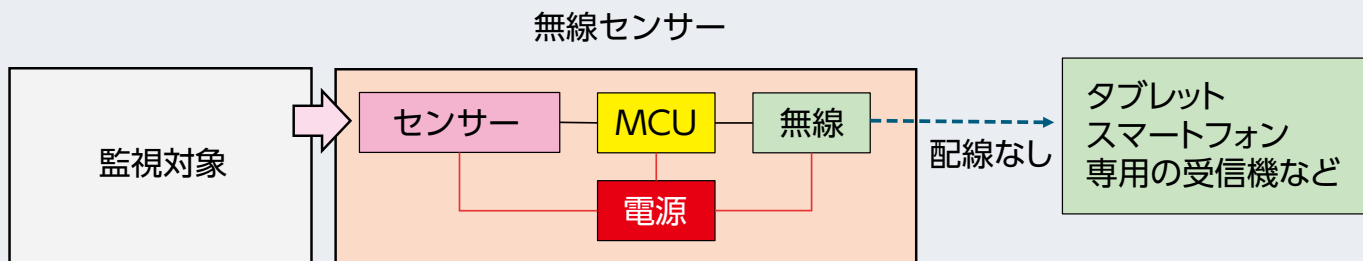
鉄道の安全・安定輸送の確保には、軌道、電車線、信号、車両、橋りょう、トンネルなど鉄道システムを構成する全ての鉄道設備の保守管理が重要です。これまでは、設備ごとに決められた周期で保守管理を行う時間基準保全が行われてきました。しかし、労働人口減少にともない、より効率的な保守管理が求められています。そこで、センサーにより設備状態を監視し、状態に基づき適切なタイミングで保守管理を行う状態基準保全が注目されています。状態基準保全の実現には、極力人手をかけずに効率的に設備の状態を監視する必要がありますが、実現のカギとなる技術の一つに、無線センサーを用い

た状態監視があります。無線センサーとは、監視対象に設置することにより、現地に行かなくても遠隔で設備の状態が監視できるデバイスです。本記事では、普及が進む無線センサーの例を紹介するとともに、低消費電力の長距離無線を用いた遠隔監視手法と、電源不要の無線センサーを用いた状態監視手法について紹介します。

普及が進む無線センサー

図1に無線センサーの構成例を示します。監視対象の状態をセンサーで測定し、MCU (Micro Controller Unit) と呼ばれる小型コンピュータで測定データを処理します。その後、無線により管理者のタブレットやスマート

図1 無線センサーの構成例



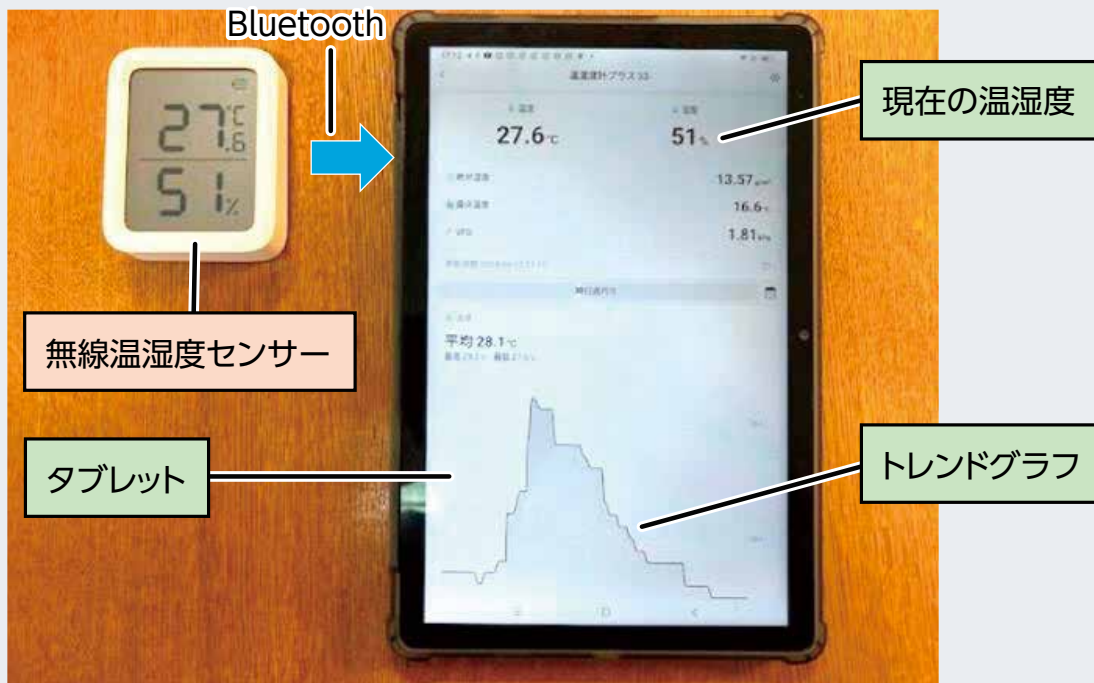


図2 無線温湿度センサー（SWITCHBOT株式会社：温湿度計プラス）とタブレット画面

フォン，専用の受信機などに監視結果を送信することで，手軽に監視対象設備の状態が確認できます。最近では，状態監視データをクラウドで管理する例も増えています。情報通信技術の進歩は目覚ましく，MEMS (Micro Elector Mechanical Systems) と呼ばれる半導体集積回路などの製造技術を用いたセンサーは，高性能化，省電力化，低コスト化が進み，無線方式

ではセンサーデータの収集に適した新しい規格が次々と登場し，クラウドでは人工知能によるデータ分析の利用が始まっています。

無線センサーは，産業用だけでなく民生用でも普及が進んでいます。例として，図2に無線温湿度センサー，図3に無線加速度センサーを示します。無線温湿度センサーは安価であり，置くだけで室内の温湿度監視が可能です¹⁾。ま

図3 無線加速度センサー（イーデザイン損保：&eセンサー）とスマートフォン画面



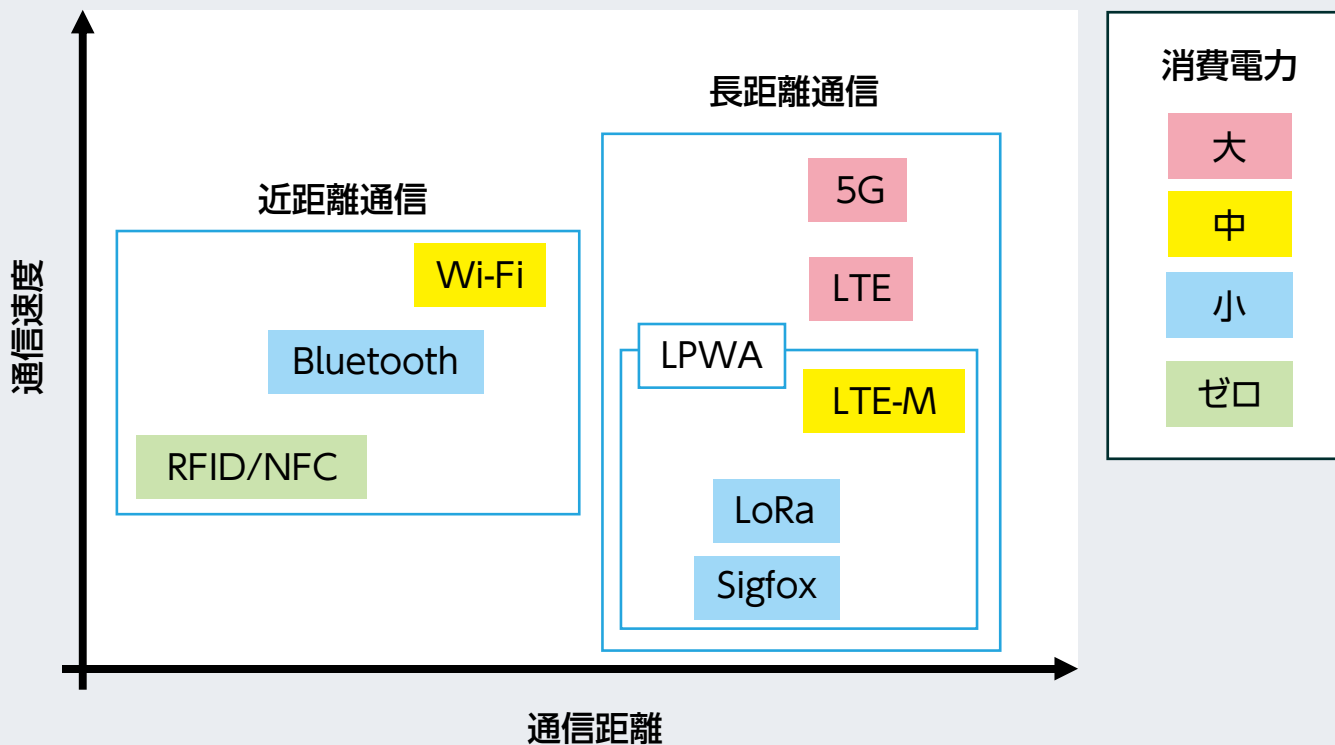


図4 主な無線規格の通信距離と通信速度と消費電力の関係

た、無線加速度センサーは、自動車のダッシュボードに置くだけで、急加速、急ブレーキ、急ハンドルなど運転状態が確認できます²⁾。

上記のような民生用の無線センサーの多くには、Bluetoothという無線規格が用いられています。スマートフォンやタブレットなどとの接続が容易であることに加え、低消費電力であるため、無線センサーの電池寿命が長くなることが特長です。私たちはこのBluetoothを用いた無線センサーについて、沿線設備の状態監視への適用を検討しました³⁾。Bluetoothは通信距離が短いため、データ収集には受信機を持つ保守作業者が無線センサーに近づく必要があります、人手がかかることが課題です。そこで対策として、列車にBluetoothの受信機を設置し、沿線の監視対象設備に設置した無線センサーとすれ違う際に、無人でデータ収集する方法を検討しました。実際に新幹線を用いた試験では、時速255kmで無線センサーのデータを収集することに成功しました³⁾。

無線センサーによる遠隔監視

無線センサーには、Bluetooth以外にもさまざまな無線規格が利用できます。図4に主な無線規格の通信距離と通信速度と消費電力の関係についての概略図を示します。これら無線規格を使用条件に合わせて選定することが重要です。例えば、近距離通信を行う場合には、RFID/NFCやBluetooth、Wi-Fiなどの利用が考えられます^{3)~5)}。一方、遠隔監視を行う場合は、スマートフォンで利用されるLTEや5Gの適用により、高速で大容量の通信が実現できます。近年では、広いエリアを低消費電力で通信できるLPWA (Low Power Wide Area) と呼ばれる無線規格が登場しました。無線センサーにより鉄道設備の遠隔監視を行う場合、長距離通信が必要であり、電池駆動やバッテリー駆動を行う場合は、低消費電力であることが求められます。一方、センサーで1回に取得するデータは小容量であり、通信速度が遅くても問題なくデータが取得できる場合が多いです。LPWAはこれ

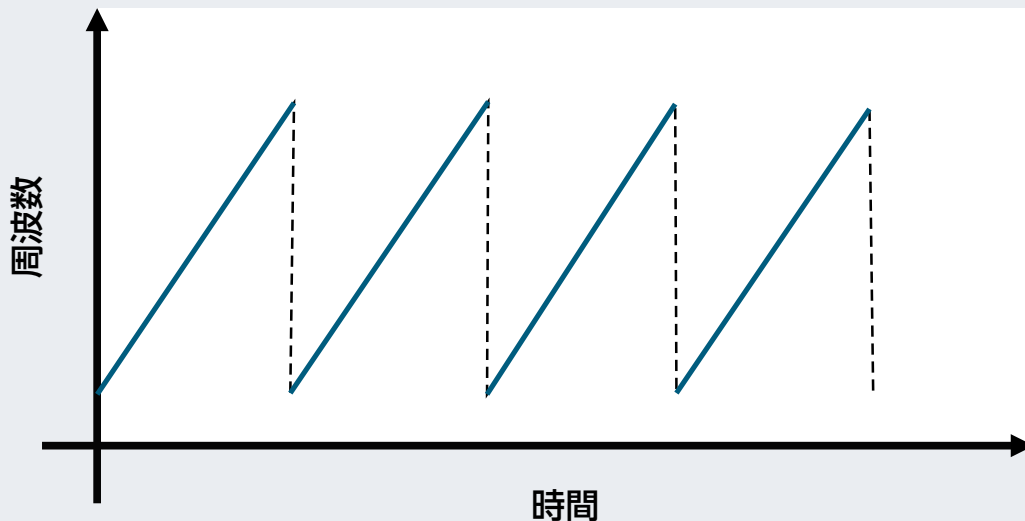


図5 チャープ信号の例

らの条件を満たすため、無線センサーに適した通信規格と言えます。

LPWAの中でも事業者の基地局を利用せずに無線センサーネットワークが構築できるLoRaに着目し、鉄道設備の状態監視への適用を検討しました⁶⁾。LoRaはLong Rangeの略でCycleo社（現Semtech社）が開発したLoRa変調を用いています。変調とは電波の基本信号（搬送波）にデータを乗せる技術です。LoRa変調は、図5に示すように時間とともに周波数が増えるチャープ信号を用いたチャープスペクトラム拡散方式をベースに開発された変調方式です。この方式により、ノイズに強く微弱な電波でも受信ができるため、長距離通信が可能です。実際にLoRaによる長距離通信試験を行いました。通信距離を長くするには、アンテナを高い位置に設置して見通しを良くすることと、送信電力を上げることが有効です。地上デジタル放送では、高さ600m級のスカイツリーにアンテナを設置し、高層ビルの影響を避けて見通しを確保しています。試験では宮崎県の日向灘が見通せる宮崎実験センター指令室に受信機のアンテナを設置しました。一方、LoRa変調の無線センサーは、送信出力を最大の20mWに設定し、位置を変えながら通信を行い、受信し

た電波の強さ（受信信号強度）と、送信データ数に対する受信データ数の割合（データ到達率）を測定しました。図6に結果を示します⁷⁾。見通しの良い場所では約16kmの通信が可能であり、遠隔監視に活用できることがわかりました。一方でデータ到達率にはバラつきがみられました。状態監視に用いるには、データ到達率を100%近くまで向上させる必要があります。そこで、無線センサーネットワークを構成する際に、[時分割多元接続](#)⁸⁾や[データ再送](#)⁹⁾、[ダイバーシティー技術](#)¹⁰⁾などを組み合わせてデータ到達率を向上させました⁶⁾。

8) 時分割多元接続

複数の無線センサーが同一チャンネル（周波数）を利用して通信する際、時間を区切って、各無線センサーに送信する時間（タイムスロット）を割り当てる通信技術。複数の無線センサーは通信する時刻がそれぞれ異なるため、無線センサー間の送信データの衝突を避けることができる。

9) データ再送

無線センサーから同一データを複数回送信することにより、受信機の受信する機会を増やし、データ到達率を向上する技術。

10) ダイバーシティー技術

無線センサーから送信する信号を複数のアンテナで受信することにより、通信経路を複数にして、データ到達率を向上する技術。

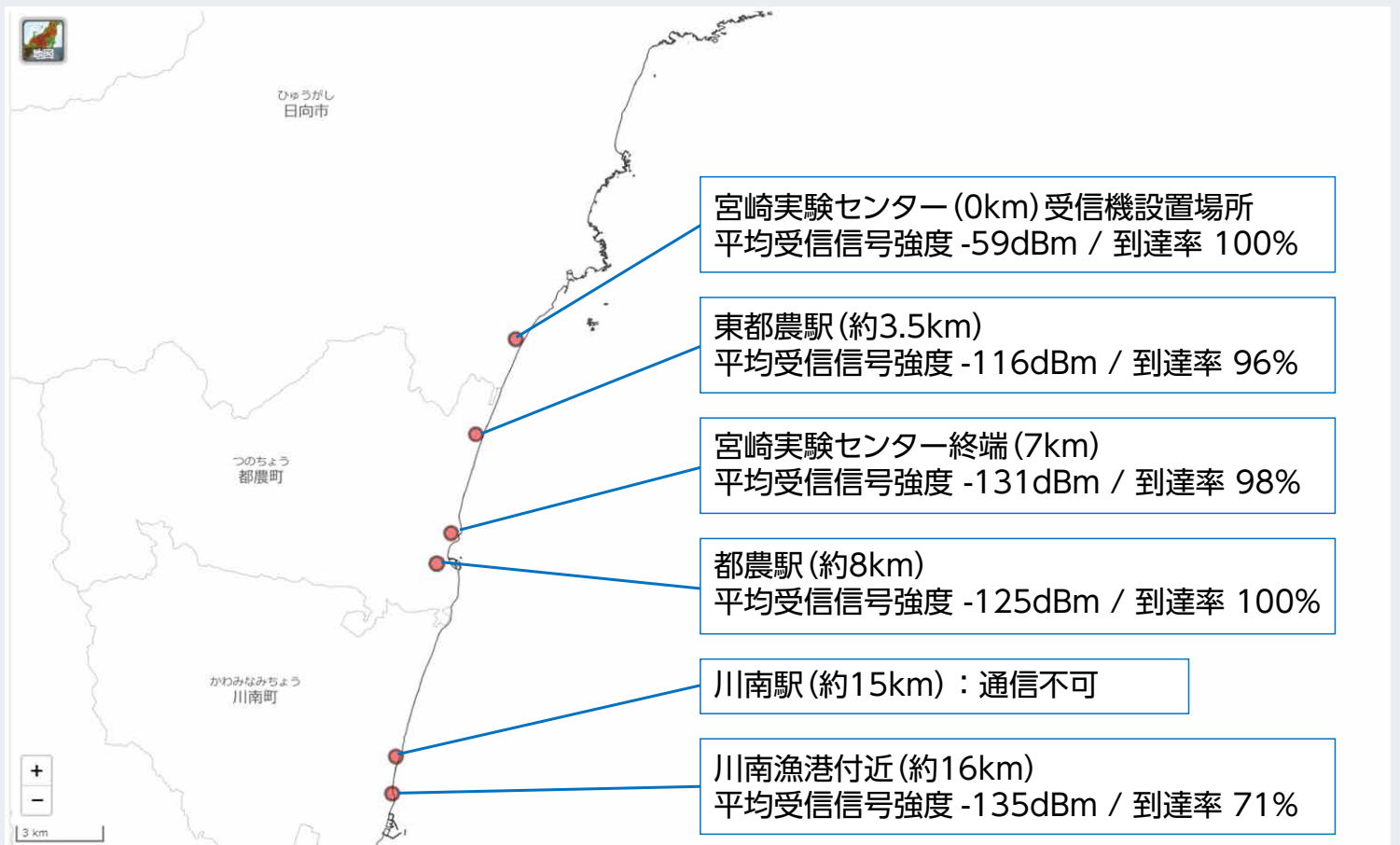


図6 長距離通信試験結果 (地理院地図 (国土地理院) を加工して作成)⁷⁾

バッテリーフリー無線センサーによる状態監視

監視対象の鉄道設備の中には、高所など電源供給や電池交換が困難な場所も考えられます。そこで、大学と共同でバッテリーフリー無線センサーの研究を行っています⁸⁾。図7に無線センサーの写真を示し、図8に通信のしくみを示します。電源不要とするため、無線センサーが質問器から受信した電波の一部を電力に変換する無線給電により、ICチップとセンサーを稼働させるとともに、センサーデータに応じてスイッチをON/OFFさせて電波の反射状態を切り替え、反射波にデータを乗せる後方散乱通信

を行っています。複数の無線センサーと通信する場合は、コマンドにより無線センサーごとにスイッチの切り替え周波数を割り当てて、干渉を避けています。本技術は、現在国際規格の審議が進められており、今後の普及が期待されます。また、無線センサーは市販の省電力センサーを利用できるため、さまざまな鉄道設備の状態監視への応用が期待されます。

おわりに

労働人口減少にともない、鉄道設備の効率的な保守管理が求められています。無線センサーは、適切な無線規格やセンサーの選択により、

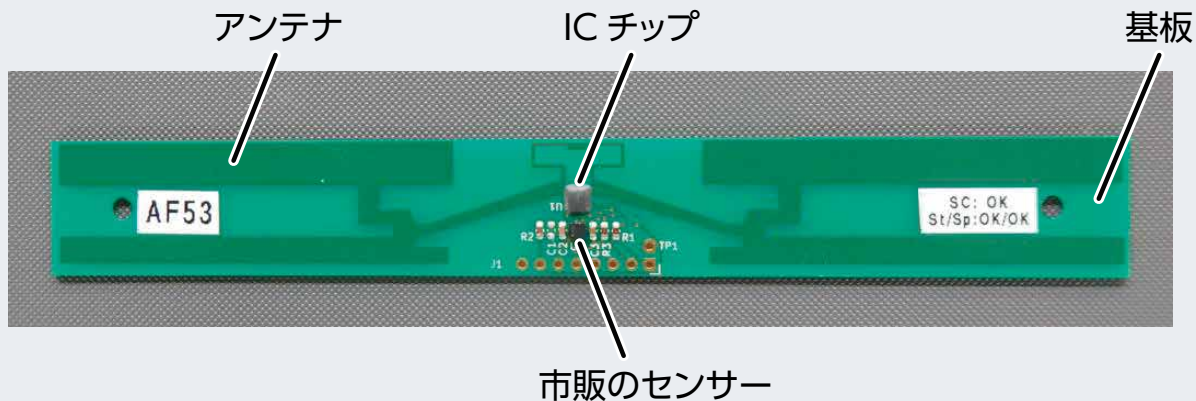


図7 バッテリーフリー無線センサー写真

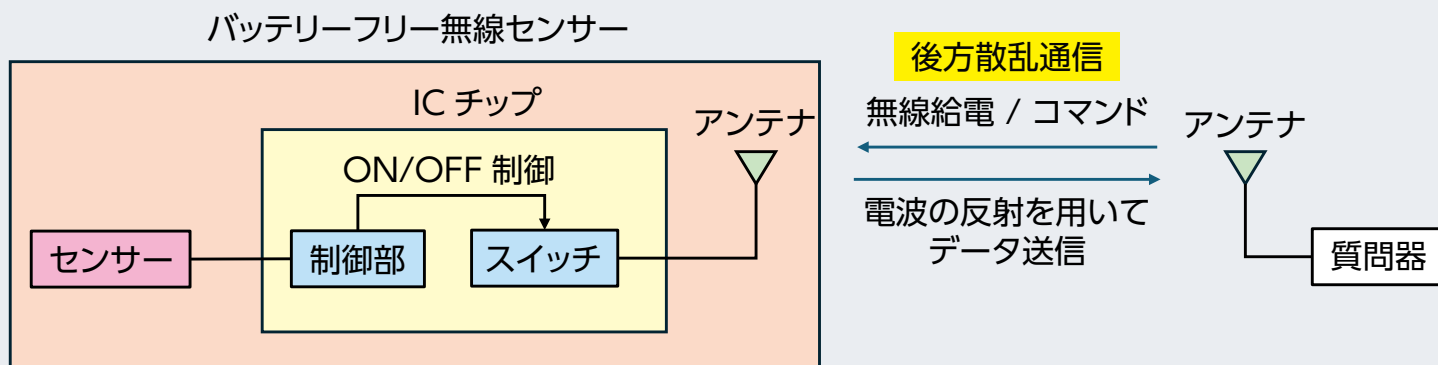


図8 バッテリーフリー無線センサーを用いた通信のしくみ

人手をかけずに設備の状態監視が可能になるとともに、状態に基づき適切なタイミングで保守管理を行うことが期待できます。今後も新しい無線規格やセンサー技術を取り入れて、鉄道設備の効率的な保守管理に貢献する研究開発を進めてまいります。

RRR

文献

- 1) SWITCHBOT(株): SwitchBot 温湿度計プラス, <https://www.switchbot.jp/products/switchbot-meter-plus> (入手日:2024年9月5日)
- 2) イーデザイン損害保険(株): &eアプリのダウンロード, <https://www.e-design.net/ande/merit/safedrive/app-sensor/> (入手日: 2024年9月5日)
- 3) 田中実, 饗庭雅之, 高橋紀之, 池田遼平, 依田裕史: 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, RRR, Vol.76, No.7, pp.24-27, 2019
- 4) 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.23-28, 2017
- 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, 池田遼平, 高橋紀之: 低消費電力の長距離無線技術を用いた地上設備状態監視システムの構築, 鉄道総研報告, Vol.34, No.11, pp.31-36, 2020
- 7) 国土地理院: 地理院地図 / GSI Maps, https://maps.gsi.go.jp/index_m.html#12/32.287713/131.742210/&base=blank&ls=blank&disp=1&vs=c0g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f0 (入手日:2024年9月5日)
- 8) 田中実, 中嶋稔, 鈴木賢次, 三次仁, 徳増理: マルチキャリア後方散乱通信を用いた浮上式鉄道用地上コイルの振動測定手法, 令和6年電気学会全国大会講演論文集, 5-006, 2024