

トンネルの維持管理に活用するワイヤレスセンサーネットワークシステムの開発

ジェイアール総研情報システム 正会員 ○蒲地 秀矢*
 鉄道総合技術研究所 正会員 中西 祐介** 津野 究** 仲山 貴司**

1. はじめに

変状トンネルを、長期にわたりリアルタイムでモニタリングすることを目的として、無線センサーを活用したトンネル変状監視システム¹⁾を開発した。今回、ZigBeePro規格に準拠した無線センサーを用いてワイヤレスセンサーネットワークシステムを活用し、トンネル変状監視への適用性を確認したので報告する。

2. ワイヤレスセンサーネットワークの開発

ワイヤレスセンサーネットワークをトンネル変状監視に適用するためには、使用する無線センサーに①建築限界を犯さないために小型であること、②ごく狭い限られた範囲に多数の無線機を設置できるよう電波の干渉や混信に強いこと、③電池交換などメンテナンスを最小限にするために省電力であること、等の条件が必要となる。また、②および③に対処するために電波出力を弱くすると、無線機間の通信距離が短くなり、これを補うために無線機間の中継を行うことが必須条件となる。以上を踏まえて、IEEE802.15.4 ZigBeePro規格に準拠した無線機を選定した。

本研究では、ひずみ式ひび割れ幅変位計を無線センサーに接続し、プロトタイプシステムを構築した(図1)(表1)。ひずみゲージを用いたセンサーは、他にも傾斜計・水圧計等があり応用範囲が広いが、微弱な電圧を扱うことから、シグナルコンディショナーを用意する必要がある。そこで、小型で省電力のシグナルコンディショナーを開発した。選定した無線機はスリープモードにより小電力化を図っているが、電源立ち上がり直後にアナログ信号が安定しなかったことから、シグナルコンディショナーの定電圧回路が安定する10msの時間においてデータ収録を行い、さらに平均化処理によりSN比を上げて対処した。

3. 性能確認

今回開発したワイヤレスセンサーネットワークを鉄道トンネルで用いることを想定して①環境温度適正試験、②長期稼働試験、③無線機間通信距離確認試験の3項目について検証を行った。

① **環境温度確認試験**:無線センサーを寒冷地に設置することを想定し無線センサーとひずみ校正器を外気と隔離できる容器に格納し、摂氏-15度を保てる冷凍機に約3日間セットして、温度ドリフトの検証を行った。図2に示すように、収録

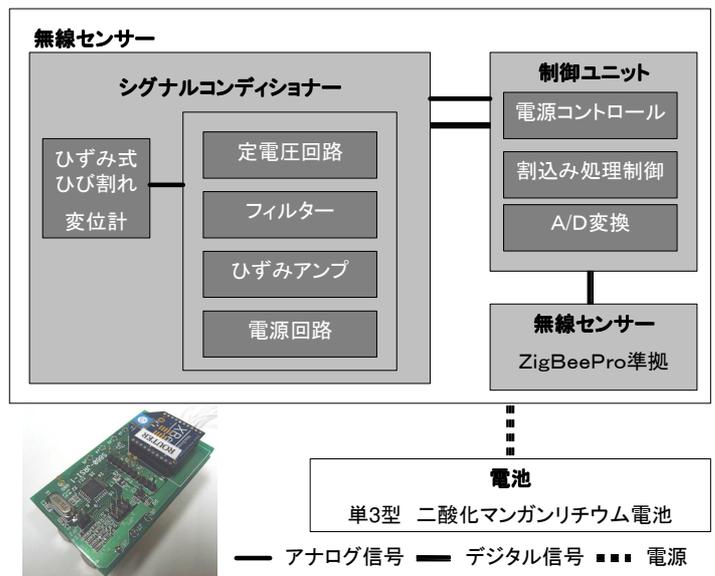


図1 無線センサー

表1 無線センサー性能

シグナルコンディショナー	制御部	無線機
測定レンジ: ±4000 μ	駆動クロック周波数: 500kHz	無線規格:ZigBeePro 無線出力:2mW
印加電圧: 1.2V	AD:10bit(1024)	消費電力 受信時:40mA 送信時:40mA 待機時:1uA
消費電力 待機時:0.1uA 収録時:8mA	消費電力 待機時:0.1uA 駆動時:0.3mA	

Key Words : トンネル, 変状監視, 無線センサ, リアルタイム, ワイヤレス

* 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38

Tel.042-577-7827 Fax.042-580-7037

** 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38

Tel.042-573-7266 Fax.042-573-7248

された温度に対してひずみの影響は±7μ(変位換算 0.003mm)程度と、影響は極めて少ないことがわかり、寒冷地での監視が可能であることを確認できた。

② **長期稼働試験**：測定条件は、収録間隔を 30 秒間隔と短い周期に設定し、電池の消耗と、それに伴うひずみの収録精度の推移を検証する試験を行った。図 3 に示すように約 4 ヶ月間、温度・電池の消耗に対して収録されるひずみの精度は±7μ(変位換算 0.003mm)程度と、影響は極めて少ないことがわかり、電池電圧が 2.5V まで減圧するまで安定して監視を行えることが確認できた。また収録間隔時間と電池寿命は比例していることから、収録間隔周期を 3 分に設定することで、およそ 2 年間の収録が可能であると考えられる。

③ **無線通信機間距離確認試験**：親無線機(コーディネータ)と子機(エンドデバイス)の 2 台の無線機 (2mW の電波出力強度) を用いて伝送試験を行い、電波の品質が確保できる距離について検討した。試験方法は、ケース毎に、親無線機と子機の間には 40byte のデジタル情報の往復を 10 回繰り返し、デジタル情報の欠落発生率と電波の減衰を表わす電波強度 (RSSI) を計測し、電波の品質を把握した。

評価した結果を図 4 に示す。河川敷で実施した試験では通信距離が 200m まで欠落発生率が 0%であり、データの損失がないことを確認した。また、RSSI についてはばらつきがあったものの、距離の増加とともに低下する傾向となることを確認した。廃線鉄道トンネル試験 (単線断面) では試験フィールドを 150m しか用意できなかったが、欠落発生率、RSSI とともに河川敷と同様の傾向となり、トンネルでも使用可能であることが確認できた。

4. まとめ

本研究では、ワイヤレスセンサーネットワークシステムを活用した変状トンネルの変状監視システムのプロトタイプを開発した。また開発した無線センサーの性能試験を行い以下の知見が得られた。

- 1) 無線センサーを構成している部品を、耐環境性能が-20 度から性能保証のある部品で構成することにより-15 度の環境で正常に稼働できることを確認できた。
- 2) 測定を 30 秒周期で行っても、約 4 ヶ月間の監視が可能であることを確認できた。測定周期を操作することにより、2 年以上の長期にわたってメンテナンスフリーの監視を実現できる可能性がある。
- 3) 無線通信機間距離確認試験では、2mW の微弱な出力の無線機であっても、およそ 200m 以上の通信を確立することが出来た。またトンネル内でも使用可能であることが確認できた。

参考文献

1) 津野究, 中西祐介, 仲山貴司, 無線センサを活用したトンネル変状監視システム, RRR, 第 66 巻, 第 2 号, 鉄道総合技術研究所, pp.18-21, 2009.2

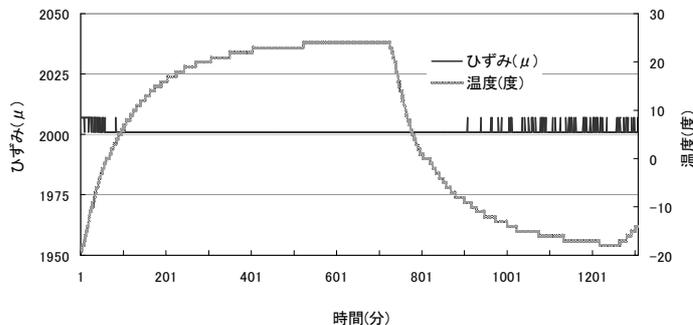


図 2 環境温度確認試験 (ひずみ, 温度)

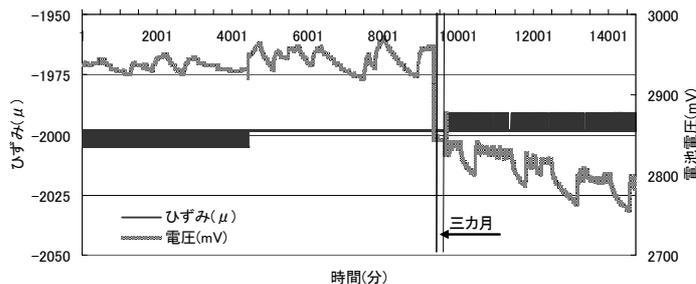


図 3 長期間稼働試験 (ひずみ・電池電圧)

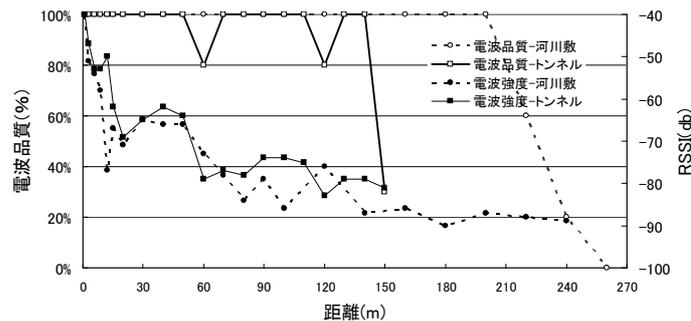


図 4 無線通信機間距離確認試験