Special edition paper

無線を活用した新しい信号設備の状態監視について

New Monitoring System for Railway Signal Equipment using Radio Communication

鈴木　雅彦*　工藤　由康*　小林　巧*

A monitoring system for signal equipment has been installed at the JR East. Hence, the state of signal equipment can be easily monitored at maintenance depot. But since this system was developed over 20 years ago, it has some disadvantages. To achieve “stable operation”, “broadband data transfer” and “easy construction and easy maintenance”, we studied the new monitoring method using radio communication, especially focusing on ZigBee. Next, we developed the new mechanism using two different radio bands simultaneously as a basic function. Finally, we developed several types of terminal, repeater and base unit and carried out a field experiment. Eventually, we obtained good results.

●キーワード：状態監視、信号設備、同時通信、無線、ZigBee、二重化

1. はじめに

当社では、信号設備の監視を目的として状態監視システムが構築されているが、本システムは運用開始から20年以上経過しており、稼動の安定性向上、伝送する情報の詳細化、施工・保全性改善などのニーズへの対応が求められている。これらのニーズに応え、かつ鉄道沿線環境での運用が可能な新しい手法として、無線による状態監視について研究を行った。

1.1　信号設備および状態監視装置について

信号設備には、信号機・踏切保安装置・ATS・電気転てつ機・軌道回路・連動装置など多くの種類があり、そのほとんどが列車の安全・安定運行に直結している。これらの設備に不具合が発生した場合または発生の恐れがある場合には、保守担当区所などにより迅速に対処しなければならないが、それを支援しているのが、状態監視システム（図1）である。

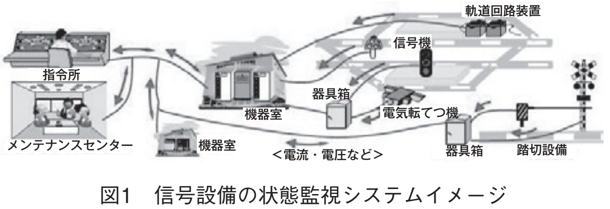

図1　信号設備の状態監視システムイメージ

このシステムは、現地にある信号設備の状態をメンテナンスセンター等に伝達するシステムで、各設備が持っている故障情報（接点情報）や、動作状況の情報（電圧・電流などのアナログデータ）をポーリングによって取得し中央に伝送するものであり、階層毎に集約する装置があり、決められた手順で伝送を行っている。

1.2　無線による状態監視に向けて

ただし、現行の状態監視システムは、構築後20年以上が経過し、通信速度の遅さや不具合発生時のシステム全体への影響度が大きいなどのデメリットも顕著になってきている。そこで、無線通信を活用した新しい状態監視システムを開発することとした。無線で構成する大きなメリットは、設置・メンテナンスの手間が軽減されることである。しかしながら、無線通信は有線に比べて信頼性に対する懸念がある。信号設備の状態は常時監視する必要があるため、無線通信の適用可能性について検討を行った。

無線通信にはさまざまな規格があるが、本研究では近距離無線ネットワークの標準規格の一つであるZigBee※（IEEE802.15.4）を採用した。通信範囲、最大接続数などの点で適用可能性が高いと考えたためである。転送速度は比較的低いが、動的にネットワーク構築した複数端末間でデータをホッピングでき、線上に長く設備が点在する鉄道設備と親和性が高いと考えた。セキュリティ面では端末間の接続をIDによって排他制御可能、データの暗号化にAES128を採用するなどの特徴がある。

2. 基礎試験および各種装置の開発

選定したZigBee規格について、汎用的な通信端末（2.4GHz帯使用）の適用可能性を検証した。その後、特定信号設備向けの新しい通信端末を開発した。

2.1　基礎試験および二重化ZigBeeの開発

基礎試験では、ホッピング試験（複数端末間でデータを中継）、ラッシュ試験（複数端末から同時にデータを送信）、インターバル試験（ある端末からのデータ送信間隔を変化させる）、遮蔽物貫通試験（金属、コンクリート、鋳物などの遮

*JR東日本研究開発センター　テクニカルセンター

※ZigBeeは、ZigBee Alliance, Inc.の登録商標である。

蔽物を電波が貫通するか）といった試験を実施した。

なお、各試験において通信データサイズ、端末数、通信間隔を変えながら測定を実施した。その結果、ホッピング数が10を超え、また通信データサイズが大きくなるにつれて通信速度が著しく低下することが分かった。遮蔽物はある程度貫通して通信可能であるものの、電波が途切れる事象もあり、汎用端末では実用性に難があることが分かった。

そこで、CPUの仕様を8bitから32bitに高めるとともに、2つの周波数を同時に利用する無線通信を実現するハードウェア（図2）を開発した（以下、二重化ZigBee）。日本では2.4GHz帯の他、920MHz帯も規格上使用可能である。両周波数帯を同時に使うことで、外乱に強い重要な監視システムとしての安定性を確保することが期待できる。一方の周波数の停止で縮退モードに、復活でリカバリーモードに移行し、それまで滞留していたデータを再取得する。また、ホッピングルートの工夫により、単独機器故障時も、全体のネットワークに影響を及ぼさないシステムを構築可能である。

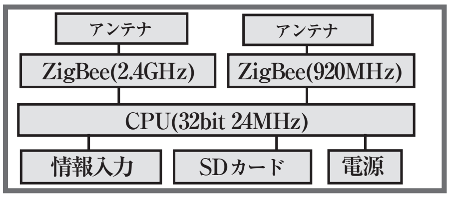

図2　開発した二重化ZigBeeの構成イメージ

2.2　中継器および集約機

二重化ZigBeeによる状態監視ネットワークを構築するために、中継器および集約機を開発した。

中継器について説明する。基礎試験において、端末間の通信距離は理想的な環境（遮蔽物無し、端末の設置高さ3m）では最大960mであったが、鉄道沿線にはさまざまな環境があり、また二重化ZigBeeの利点を活かすためには、端末の間隔は数百m程度にする必要がある。2.3節および2.4節で後述する各種端末が通信上理想的な位置に配置されるとは限らないため、データを中継する装置が必要と考えた。中継器は、中継器本体、充電コントローラーBOX、ソーラーパネルから構成（図3）されており、サイズはそれぞれ290×215×133(mm)、400×500×200(mm)、666×535(mm)である。ソーラーパネルを採用した理由は、中継器が外部電源を確保できる場所に設置できないケースがあるためである。

また、端末から中継器を経由した得られたデータは、中央装置（クラウド）に集約することとした。クラウドに送るためのデータ収集、通信を担う集約機（サイズは中継器本体と同じ）についても開発した（図4）。クラウドまでの通信はLTE/3G回線を用いる。

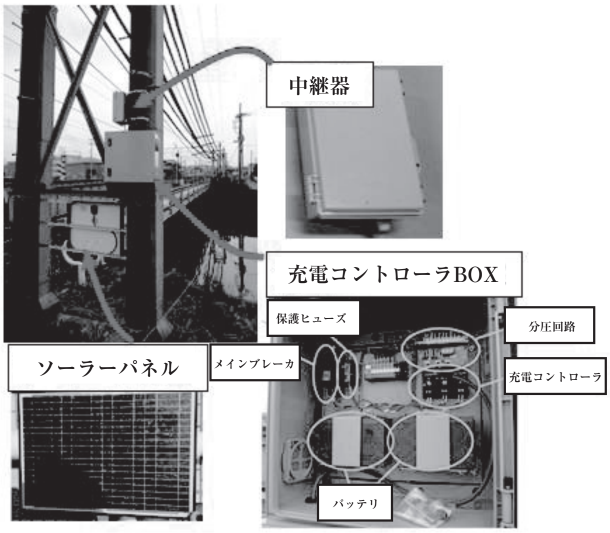

図3　中継器

図4　集約機

2.3　電気転てつ機用端末

電気転てつ機の不具合は列車運行に直接影響を与えるため詳細な動作情報収集を行うニーズが高いものの、当社の多くの電気転てつ機には動作情報記録機能がない。

そこで、「狭隘な転てつ機内部に後付可能」で「トリガによる効率的データ収集」が可能な機能を持つ動作情報収集用端末を開発した。

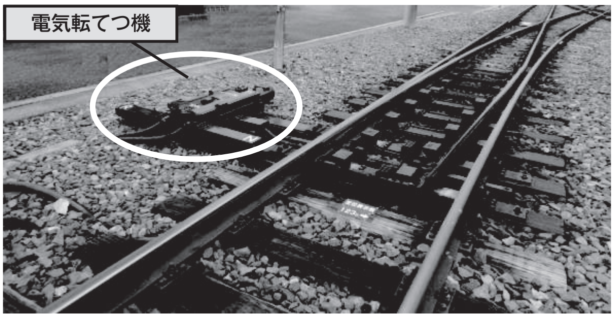

図5　電気転てつ機

開発した電気転てつ機用端末は図6(a)に示すものであり、サイズは38×84×145(mm)+65×84×145(mm)、電源はAC100V、収集データは6ch（各種電流、電圧および温度）

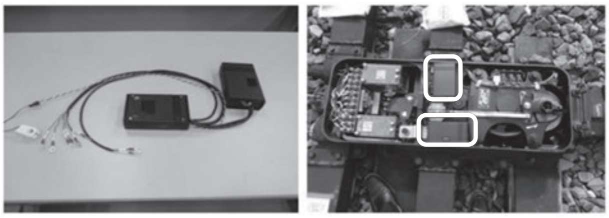

図6　左(a)電気転てつ機用端末、右(b)内蔵の様子

である。図6(b)のように電気転てつ機内の空きスペースに内蔵することができるようにした。

また、電気転てつ機は鋳物で作られており、2.1節における遮蔽物貫通試験では通信可能であったものの、安定した通信を確保するために、電気転てつ機下部に設けられている水抜き穴からアンテナを通すこととした。

2.4　踏切動作記憶装置用端末

踏切（図7（a））は道路と鉄道の重要な結節点であり、その事故防止のために制御装置・警報機・遮断機（図7（b））などの踏切保安装置が設けられている。

踏切動作不具合などのトラブル発生時には、踏切の動作状況を確認する必要があるため、ほとんどの踏切には動作記憶装置が設けられている。しかし、現在この装置に記録されているデータを取得するには、当該踏切まで行かなければならないため、このデータを事務所などの遠隔地で取得することで、不具合対応の迅速化と省力化が期待できる。

図7　左(a)踏切道、右(b)踏切保安設備の例

開発した踏切動作記憶装置用端末（図8（a））は、サイズ270×56×140(mm)、電源はAC100Vである。動作記憶装置が収集した全データを取得し伝送できる。図8(b)のように、踏切器具箱内に設置する。

図8　左(a)踏切動作記憶装置用端末、右(b)設置状況

3. 開発品を使用した各種フィールド試験

今まで述べた各開発品について、フィールド試験を実施し、実用化に向けた課題抽出を行った。

3.1　電気転てつ機用端末の試験

電気転てつ機用端末については、当社研究開発センター敷地内および訓練用車両が走る訓練センターにおいて試験を実施した。約1ヶ月の試験中、転換動作時のみのデータ取得を勘案した効率的なデータ送信ができたが、通信距離については課題が残った。地上設備設置位置の制限のためアンテナの設置高さを、本体の高さ以上にすることができず（図9）、本体の鋳物も通信の障害物となり、結果として通信距離が延びなかったためである。アンテナの設置については今後も検討が必要である。

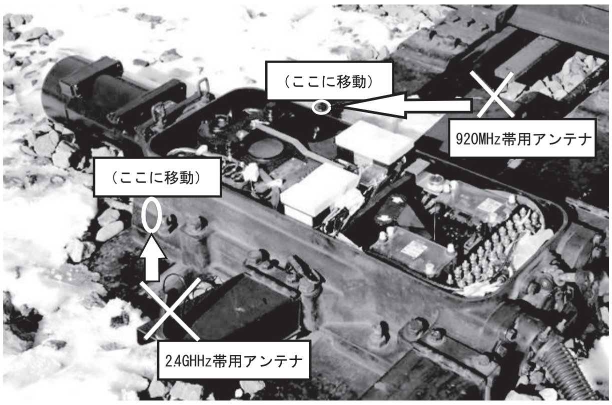

図9　電気転てつ機端末のアンテナ設置

3.2　踏切動作記憶装置用端末の試験

踏切動作記憶装置用端末については、営業線の踏切設備に接続して長期フィールド試験を実施した。

3.2.1　フィールド試験概要

図10　試験機器設置位置関係

試験フィールドは、さまざまな通信状況を試験可能であること、複数の種類の踏切動作記憶装置に接続可能なことなどを勘案し図10のような距離間隔で配置ができる場所を選定した。試験構成は図11の通りとし、踏切動作記憶装置の情報を、中継器～集約機～クラウドを経由して職場の端末に随時表示できるような構成とした。

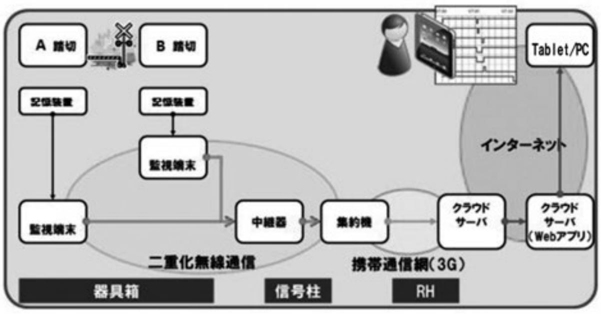

図11　フィールド試験構成

3.2.2　フィールド試験結果

約2ヶ月の試験期間中、通信ネットワークとしての稼働率は99%であった。残りの約1%は日照不足による中継器の電源断や集約機の一時的動作停止であった。なお、リカバリーモードを経たデータ収集率は100%であった。収集したデータは、閲覧しやすいようにクラウド上で加工され、Web閲覧が可能な端末で図12のように表示することができるようにした。保守担当社員にも使い勝手を評価してもらい、概ね良い評価を得た。過去の動作状況を全てクラウドに保存できるため、踏切器具箱内リレーの動作回数カウントによる取替周期判断への活用など、今までにできなかった保守を行うことも期待できる。

図12　踏切動作状況のWeb閲覧

3.2.3　施工・運用にあたっての留意点

フィールド試験時の施工状況を図13に示す。踏切動作記憶装置用端末は電源線・伝送線を接続するのみで容易である。中継器は既存の柱に取り付けたが、取り付けに3名で30分程度を要した。鉄道沿線での施工は夜間の列車運行停止時間内で行うことを想定する必要があるが、施工開始から動作確認まで含めても、一般的な夜間の作業時間（3時間程度）で施工が可能であることが分かった。ただし、各端末設置位置の決定は、施工に先立ち予め現場調査をして通信レベルを確認する必要がある。

図13　フィールド試験時の施工状況

運用時の留意点となる、フィールド試験中に発生した中継器不具合時のデータ伝送の様子を図14に示す。通常時、2.4GHzでネットワークが構成されていたが、中継器不具合時には中継器を飛び越して踏切動作記憶装置用端末が中継機能を果たし、920MHzで全体の通信が継続した。二重化ZigBeeによる、安定性の高い通信が実現できることを確認することができた。

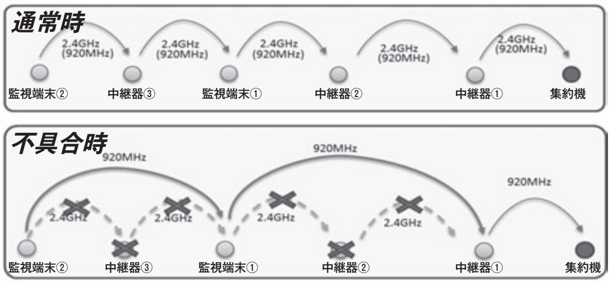

図14　通信不具合時の動作状況

4. まとめ

本研究により、信号設備の状態監視を行うシステムの現状の課題を解決し、より良い監視が可能なシステムを汎用無線技術の活用により実現する目処が立った。今後は、残された課題の解決、今回対象とした信号装置以外で詳細な状態監視のニーズが高い装置用の端末の開発など、施工や運用方法の策定など、このシステムの実導入に向けた検討を進めていく。

参考文献

1) 鈴木雅彦・加藤尚志・小林雅浩:「無線を活用した鉄道信号設備状態監視の研究」, 電気学会全国大会論文集 第四分冊, p.328, 2014

2) ZigBee Alliance HP, http://www.zigbee.org/, 2016.6.1アクセス

3) 星光社：定常状態監視システム(駅装置、CCU-A、CCU-B、CCU-C)取扱説明書, 星光社

4) 大同信号株式会社：製品カタログ, 2013

5) 鈴木雅彦・加藤尚志：「無線による信号通信状態監視システムの基礎開発」, JR EAST Technical Review No.48 - Summer , 東日本旅客鉄道株式会社, 2014

6) M. Suzuki, T. Kato and M. Kobayashi: A study of a new monitoring system for railway signal equipment using radio communication, Preceedings of ECT2014, Civil-Comp Press, 2014

7) M. Suzuki, T. Kato: Monitoring system for railway signal equipment using radio communication - development for motor point machine & crossing control system, Proceedings of Railway Engineering, ECS Publications, 2015

8) 工藤 由康・鈴木 雅彦・小林 巧：無線による信号設備の状態監視端末の開発および検証, 第22回 鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2015)論文集, 日本機械学会, 2015