

## 無線による信号通信設備状態監視システムの基礎開発

### A Study of a New Monitoring System for Railway Signal Equipment using Radio Communication



鈴木 雅彦\*



加藤 尚志\*

A monitoring system for signal equipment has been in place for several years at the JR East. Hence, the state of signal equipment at the maintenance center is known. But this system was installed over 20 years ago, so it cannot meet the needs of “stable operation,” “broadband data transfer,” or “easy construction and easy maintenance.” To satisfy these needs, we selected the method using radio communication to realize the outdoor operation along railroads. In this study, terminals and repeaters based on the ZigBee protocol have been developed. We used two different radio bands simultaneously. Eventually, good results were achieved.

●キーワード：状態監視、同時通信、無線、ZigBee

### 1. はじめに

#### 1.1 背景と目的

当社のほとんどの信号設備は状態監視が可能であり、メンテナンスセンターなどで設備の状態を常時把握できる。しかし、このシステムは運用開始から20年以上経過しており、現在のニーズである“より安定した稼働”、“大容量情報通信”、“施工や保全の容易さ”など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。

#### 1.2 信号設備および状態監視システムについて

信号設備には、図1のような種類があり、そのほとんどが列車の安全・安定運行に直結している。



図1 各種信号設備

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メンテナンスセンター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2)である。

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など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。

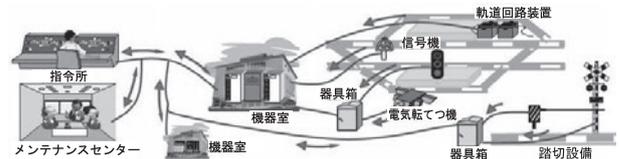


図2 信号設備の状態監視システムイメージ

このシステムは、導入から20年以上が経過している。そのため、「通信速度が数kbps程度である」「回線に不具合が発生すると、不具合箇所の配下の状態把握ができない」「有線回線の不具合箇所の特定が困難」といった課題がある(図3)。本研究では新しい技術によってこの課題を解決できる装置や仕組みの可能性について検討を行った。方向性としては、無線によるシステム構成の可能性を検討した。

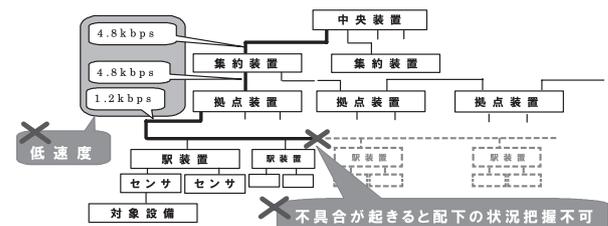


図3 現行の状態監視システム構成図と課題

### 2. 実施内容の検討

#### 2.1 方式の検討

表1 有線と無線の比較

はじめに有線・無線の構成について比較を行う(表1)。

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。しかしながら一般的に、無線は他の妨害源からの影響を受けやすい。そこで、信号設備安全安定稼働の確保を目的とした無線通信の常時監視への適用可能性について検討を行う。

	有線	無線
信号設備安全安定稼働の確保	○	要検証
より詳細な情報伝送(数百kbps程度)	○	○
設置/メンテナンス費用・時間の短縮	×	○
汎用技術活用による開発費用削減	○	○

表2 各種無線方式比較

	Wi-Fi(無線LAN)	Z-WAVE	ZigBee(2.4GHz)	ZigBee(920MHz)	Bluetooth
規格	IEEE802.11 a/b/g/n	ITU-T G9959 (G, wrnb)	IEEE802.15.4	IEEE802.15.4(d)	IEEE802.15.1
帯域	2.4GHz/5GHz	920MHz	2.4GHz	920MHz	2.4GHz
通信距離	100m	30m	30m~1km	600m~2.5km	10~100m
最大通信速度	300Mbps	100Kbps	250Kbps	100Kbps	2.1Mbps
セキュリティ	WEP,WPA,WPA2	128bit AES	128bit AES	128bit AES	64/128bit AES
接続数	100未満	MAX232	MAX65536	MAX65536	MAX7
主な用途	公衆無線	家電制御	家電制御 スマートメーター	家電制御 スマートメーター	携帯電話 PC周辺機器

主な無線方式について表2にまとめた。その中で鉄道用信号制御機器を監視する無線方式として通信距離、最大通信速度、接続数の点で適用可能性が高いと考えられるZigBee(2.4GHz)を選定し検証を行うこととした。

ZigBeeは、近距離無線ネットワークの世界標準規格の一つであり、信頼性のある低消費電力・低コストの無線通信としてZigBee Allianceにて研究が進められてきた。転送速度は比較的低い、動的にネットワーク構築された端末間をデータがホッピングするなどの特徴(図4)があり、電気的な仕様はIEEE802.15.4として規格化されている。

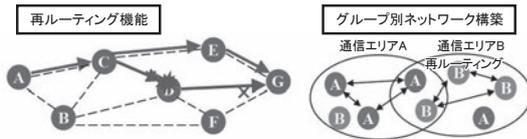


図4 ZigBeeの特徴

## 2.2 仕様策定にあたっての要求事項

仕様策定にあたっての要求事項は、「鉄道沿線という環境条件を考慮したうえで「安定した通信」「高いスループット」「省メンテナンス性」を確保できる」とした。なお、鉄道沿線に配置される信号設備には次のような特徴があると考える。イメージを図5に示す。

- ・線路に沿って線上に信号設備が点在(数百m)
- ・天候の影響を受ける屋外に設置
- ・駅構内は設備数が多く配置密度が高い
- ・設備が都市部と郡部両方に存在
- ・電源確保が困難な箇所がある
- ・障害要素として都市部ではビルなどの構造物やほかの電波の影響、郡部では山、木々などの影響を想定

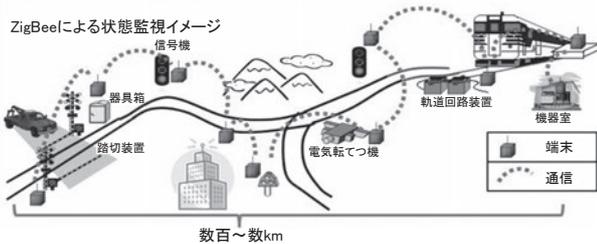


図5 ZigBeeによる状態監視イメージ

## 3. 実験フェーズ1の内容と結果

### 3.1 実験フェーズ1の概要

まず、ZigBeeの基本性能について確認を行い鉄道信号の状態監視に適用できるかどうかの見極めを行った。

試験概要は次のとおり、ホッピング、通信時間、ラッシュ、通信間隔、障害物である。構成イメージおよび試験の様子を図6に示す。なお、試験に使用した親機は160×95×30(mm)、子機67×67×28(mm)、CPUは両機とも8bit/クロック8MHzである。

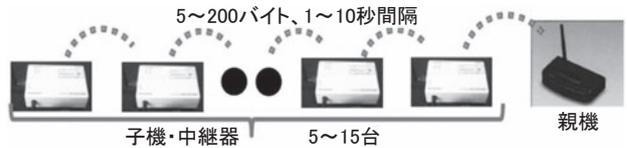


図6 試験イメージ

### 3.2 実験フェーズ1の結果および考察

各試験の結果を表3に示す。全体として通信が不安定だった。これは、試験場所の制約上、アンテナ無しで試験を行ったことが主たる原因と考えられる。また、ホップ数の増加で極端な通信速度低下(0.1kbps程度)、200バイト通信時のデータ抜け頻発、ラッシュ試験での親機停止などZigBeeの仕様に対して負荷が高かったことが分かった。そこで、CPU処理能力を32bit、クロック周波数24MHzタイプに向上させた再試験では、通信速度が0.1kbpsから60kbpsと大幅に改善された。

表3 基本性能試験結果

試験名称	試験の結果
1 ホッピング	5ホップ、10ホップ異常なし 15ホップの場合、40%で送信遅延
2 通信時間	5ホップ25msec、10ホップ35msec 15ホップ42msec。 200バイト送信では30%以上データ抜け
3 ラッシュ	2子機50バイト超で30%以上データ抜け 4子機200バイトでは親機停止
4 通信間隔	20バイト程度まで概ね正常通信 1秒ではデータ抜け率が高い 200バイトでは親機停止
5 障害物 迂回・貫通	コンクリート壁、錐物、鉄製を貫通 障害物を迂回し通信可能

### 3.3 実験フェーズ1のまとめ

ZigBeeを鉄道信号設備の状態監視に使用するにあたっての基本的性能試験を実施したが、安定したスループットを得るまでには至らなかったため改善策を検討した。

具体的には、「無線という特性上、通信途絶は不可避である」「ZigBeeが2.4GHz帯および920MHz帯の2帯域の仕様を持つ」という状況から、複数周波数を活用した装置とし、「鉄道信号設備を常時監視する」という目的を鑑み、「複数周波数の同時利用」という考え方を仕様盛り込むこととした。これにより、「異なる周波数が同時に通信不能になる可能性は低いため、通信安定性が高まる」、「ホッピングルートの工夫により、単独機器故障にも強くできる(図7)」、「情報の緊急度に応じた選択通信が可能」といった特徴を持つ装置を製作し、フェーズ2で、各種試験を行うこととした。

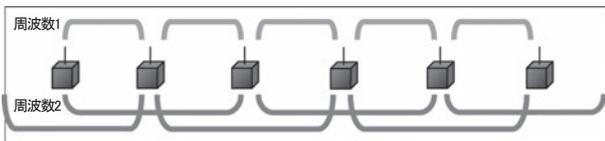


図7 ホッピングルートの工夫イメージ

## 4. 実験フェーズ2の内容と結果

新規に開発した端末の構成を図8に示す。

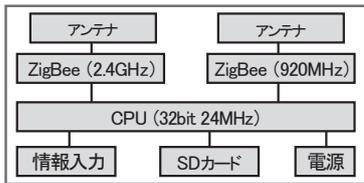


図8 新規に開発した装置

### 4.1 ホッピング試験、通信時間試験

試験概要を図9に示す。5分間連続で200バイトを10ホップさせても通信継続が可能だった。

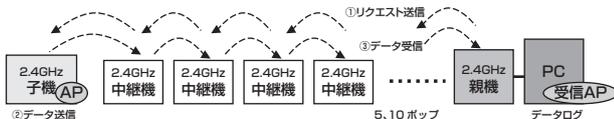


図9 ホッピング・通信時間試験概要図

なお、10ホップ時の所用時間は2.4GHzの場合で0.67sであり、1ホップあたり通信速度は122kbpsである。同様に、920MHzの場合は1.69sのため48kbpsである。

### 4.2 ラッシュ試験

次のように条件を変え、全組み合わせ(合計48パターン)で送受信データの欠損状況を確認した。

同時データ送信子機台数・・・1~4台

データ送信間隔・・・1秒、5秒、10秒

データ量・・・20バイト、200バイト

結果は、2.4GHzではデータ欠損率は0.01%であったのに対し920MHzでは負荷増加に応じてデータ欠損が多くなり最大23.2%に達した。

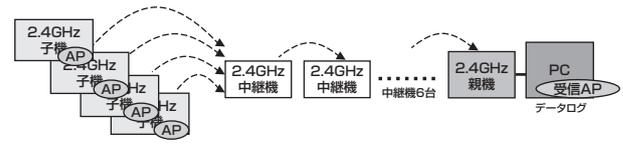


図10 ラッシュ試験概要図

なお、この場合の通信速度は、欠損が無いと仮定すると16kbpsとなる。

### 4.3 障害物迂回・貫通試験

器具箱(鉄製)内の子機と外部の親機との通信距離は約70m、電気転てつ機(鋳物)内の子機との通信距離は約93mだった。様子を図11に示す。



図11 貫通試験

また図12のように建物を障害物と見立て、子機と親機の通信試験を行った。2.4GHzでは20mまで通信可能だったのに対し、920MHzでは回り込み特性が高く、75mまで通信が可能だった。

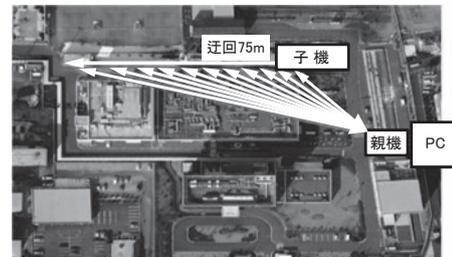


図12 障害物迂回試験

### 4.4 通信距離試験

子機~親機間の通信可能距離を200バイトデータ送信によって確認したところ両周波数とも960mであった。なお、子機の地上高は鉄道沿線での架線の高さを考慮して3mとしている。試験の概要および様子を図13に示す。

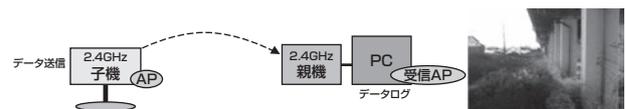


図13 通信距離試験

### 4.5 冗長構成試験

図14に示すように、中継器を並べ、ひとつおきに順次停止させたところ、停止した中継器を迂回して再ルーティングを行い、通信が再開された。ただし、通信回復まで2.4GHzで1分程度、920MHzで3分程度の時間を要した。

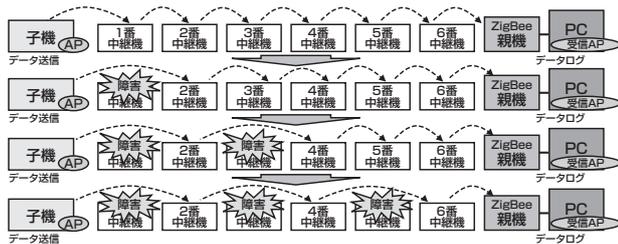


図14 冗長構成試験

## 4.6 電波干渉試験

2.4GHz帯の電波を発する電子レンジを子機と親機の間に近接配置し、通信しながら電子レンジを起動した(図15)が、通信への影響は無かった。

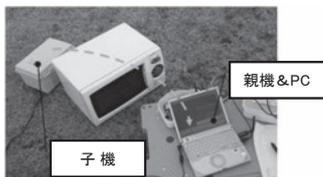


図15 電波干渉試験

## 4.7 同時通信試験

試験概要を図16に示す。200バイトデータを5分間連続で同時通信したが、データ欠損などは見られなかった。2.4GHzと920MHzの干渉なども無く通信は良好であった。

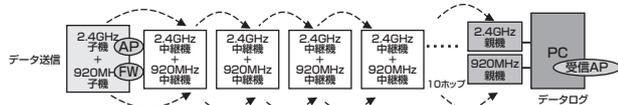


図16 同時通信試験

## 4.8 冗長通信試験

(その1) 両周波同時にデータ通信を行っている最中に、一方の周波数に障害を与えた(図17)が、もう一方の周波数による通信が継続できた。再ルーティングのタイムラグ削減、システムとしての安定稼働が期待できる。



図17 冗長通信試験 (その1)

(その2) 両周波のホッピングルートを図18のように異ならせて設定し試験を実施した。ある子機に障害が発生しても全体としての通信は継続できることが分かった。

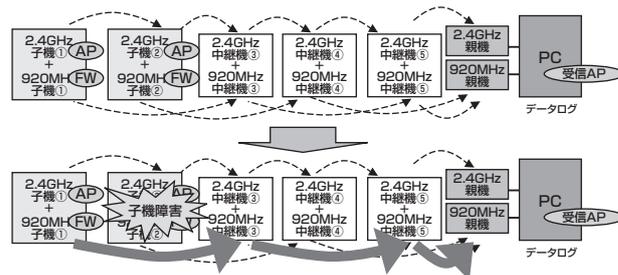


図18 冗長通信試験 (その2)

## 4.9 実験フェーズ2のまとめ

新たに開発した2周波同時通信機能により、電波障害および子機の故障の両方に対して安定した通信が継続できることが確認できた。また電波干渉や障害物等の環境影響にも強いことが分かった。一方、通信負荷増加に伴うデータ欠損率の上昇、再ルーティングに数分の時間を要するなど、今後改善を要する課題も明らかとなった。

## 5. 本研究のまとめ

ZigBeeによる鉄道信号通信設備の状態監視システム構築の可能性を検証した。機器単体同士の通信距離(約1km)、2.4GHz帯と920MHz帯の両周波数の同時利用とルーティングの工夫により、機器を400m程度の間隔で設置すれば電波障害にも機器故障にも強いデータ通信システムが構築できる可能性があることが明らかになった。今後は、内蔵ファームウェアの改良やメンテナンス性の向上により、さらに実用的な装置をめざし研究を進めていく。

### 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, pp328, 2014
- 2) ZigBee SIG-J ホームページ
- 3) 定常状態監視システム各装置 取扱説明書 星光社
- 4) 大同信号株式会社 製品カタログ 2013