

## 2. 4GHz 帯の無線による原子力発電所内でのデータ伝送の検討

### Study on DATA transmission by 2.4GHz radio frequency in Nuclear Power Plant

中部電力(株)	辻 建二	Kenji TSUJI	Member
(株)日立製作所	増田 亮太	Ryota MASUDA	Member
(株)日立製作所	福井 琢也	Takuya HUKUI	Member

Additional monitoring is occasionally done on suspicious equipment such as pumps, motors, valves and so on, when monitoring parameters are different from normal operation in Nuclear Power Plant. To avoid excess radiation exposure during arrangements for the additional monitoring requiring sensors installation and cables layout, wireless data transmission system is desired. ZigBee system, which uses 2.4GHz radio frequency and has repeating function, is suitable for the needs above without influencing on nuclear instrument systems or radiation monitoring systems.

**Keywords:** ZigBee, UWB, wireless DATA transmission, repeating function, radiation tolerance

### 1. はじめに

原子力発電所では、機器の運転状態に通常と異なる兆候が認められた場合、温度計・圧力計等のセンサや指示計・記録計を現場に仮設して傾向監視をすることがある。放射線量率の高いエリアに設置したセンサから放射線量率の低いエリアに設置した指示計・記録計までケーブルを布設する際、作業時の被ばく線量が多くなる場合がある。被ばく線量を少なくして傾向監視をするには、センサ出力を無線により伝送することが有効と考えられる。一方、原子力発電所の核計装や放射線計測は重要でありかつ非常に微小な電流を扱っており、これらに影響を与えないことが求められる。

ここでは、核計装や放射線計測に影響を与えないで現場のセンサ出力を伝送するシステムの適用性について確認を行った。

### 2. 候補の選定

原子力発電所内でセンサ出力を無線伝送する場合、核計装・放射線計測・被ばく線量測定器に影響を与えないことが前提であり、無線端末が小型軽量であり設置作業に時間がかからないこと、一度に多数のセンサ出力を送信した場合にもデータ伝送できること、バッテリー交換等が不要で長時間連続で傾向監視ができること、安定的にデータ伝送できること等が要求される。

センサの出力をデータ伝送できる無線方式として

は、無線 LAN、Bluetooth 等が考えられるが、消費電力が少ない、無線端末が小型軽量等の観点から、ZigBee 方式(2.4GHz 帯)と UWB 方式(3.1~10.6GHz)を候補として選定した。

### 3. 伝送特性の比較

通常、無線によるデータ伝送をする場合、送信端末から受信端末間に障害となるような機器がほとんど設置されないという場合が多いが、原子力発電所はコンクリートの壁で四方を囲まれており、扉は鉄製で常時閉されている場合が多い。また、機器・配管が多数複雑に配置されている。このような通常と異なる環境において、ZigBee 方式と UWB 方式の比較を行った。

使用した ZigBee 方式、UWB 方式のそれぞれの無線端末を図 1、図 2 に示す。

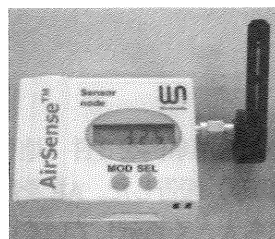


図 1 ZigBee 端末

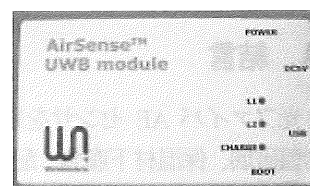


図 2 UWB 端末

#### 3.1 配管による影響

ZigBee 方式、UWB 方式とも無線端末は、傾向監視対象の近くの機器・配管に固定することになるため、送信端末を 125mm φ の鉄管との距離を 0~100mm の間に位置させたときの影響を確認した。そのときの試験方法を図 3 に、測定結果を図 4、図 5 に示す。

連絡先: 辻 建二, 〒459-8522 名古屋市緑区大高町  
北関山 20-1, 中部電力(株)電力技術研究所,  
電話: 050-7772-2875,  
E-mail: Tsuji.Kenji2@chuden.co.jp

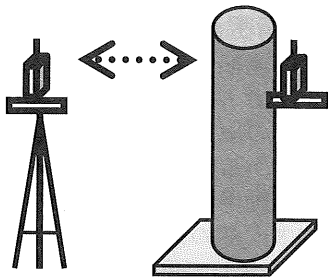


図3 配管影響確認方法

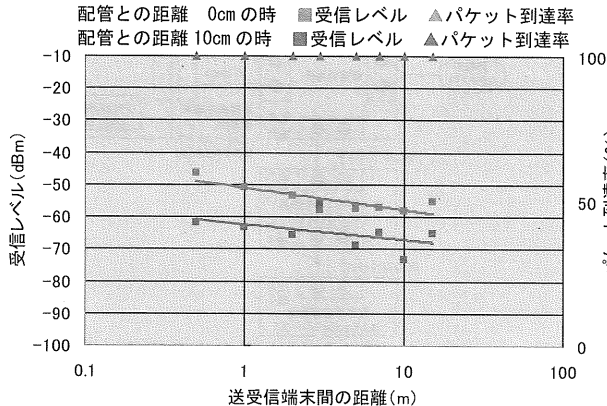


図4 ZigBeeの配管影響特性

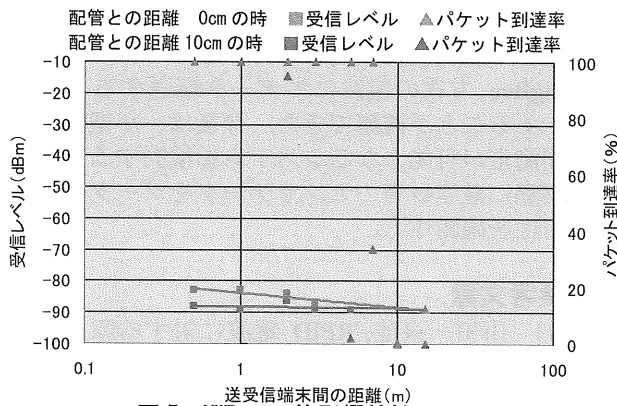


図5 UWBの配管影響特性

### 3.2 地下機械室での確認

より原子力発電所に近い状態での特性を比較するため、日立製作所中央研究所の建物の地下機械室にて伝送特性の比較を行った。その結果を表1に示す。

表1 データ伝送結果

距離 (m)	特徴	パケット到達率 (%)	
		ZigBee	UWB
10	機器・配管により見通せない	100	0
13	同上	100	0
15	金属扉とコンクリート壁で隔離	100	0
20	同上	100	0
25	機器・配管により見通せない	100	0

### 3.3 ZigBee方式の選定

UWB方式の出力0.1mW、ZigBee方式の出力1mWと出力の差はあるが、図4、図5、表1の結果から、原子力発電所のような場所においては、ZigBee方式の方が適していることが判明した。

## 4. 影響の有無の確認

2.4GHz帯の無線周波数の核計装機器への影響は、前置増幅器入力側が一番厳しいことが知られている[1]。この知見をもとに、原子力研修センター※のSRNM計装の前置増幅器や、電離箱に接触させた状態で異常が発生しないことを確認した後、浜岡原子力発電所5号機第4回定期点検中に、ZigBee端末2台を連続発信させた状態で、核計装機器の前置増幅器から1mの距離から徐々に接近させて密着させた。

ZigBee方式は他のZigBee端末からの無線を中継して無線伝送する「中継機能」がある。またデータ送信に必要な時間以外は休止状態となる。そのため、データ送信端末とデータ中継端末から影響を受ける可能性があることから、使用する端末は2台とし、また電波を連続発信させた状態で確認を行った。

その結果、核計装に指示計の変化や警報の発生等の異常な動作は認められなかった。放射線計測機器についても同様に実施したが、異常な動作は認められなかった。

原子力研修センターや浜岡原子力発電所での確認状況を図6・図7に示す。

※ 浜岡原子力発電所の敷地内にある研修・訓練用施設



図6 原子力研修センターでの確認状況 (SRNM 前置増幅器に接触させた状態)



図7 浜岡原子力発電所での確認状況 (主蒸気管モニタに接触させた状態)

## 5. 原子力発電所内での伝送特性の確認

浜岡原子力発電所5号機第4回定期点検時に、タービン建屋2階のヒーター室にてZigBee方式の電波の到達状況を確認した。その結果、実用できる距離として30m程度が目安であることを確認した。

## 6. 耐放射線性の確認

放射線量率の高いエリアでの連続使用を考慮すると、ZigBee 端末がどの程度までの放射線に耐えられるかを確認する必要がある。Co-60 による $\gamma$ 線を用いて、 $\sim 100\text{Gy/h}$  の放射線量率にて照射した。その結果、照射線量が  $100\text{Gy}$  を超えると破損する可能性が高いことを確認した。原子力発電所運転中に急きょ温度計等のセンサを仮設して傾向監視をしなければならない場所のうち、放射線量率の高い場所はタービン建屋 2 階のヒーター室である。ヒーター室の雰囲気放射線量率は数  $10\text{mSv/h}$  であることから、ZigBee 端末をヒーター室に設置した場合、耐放射線の観点からは 100 日程度は使用可能であることを確認した。

照射特性を図 8 に示す。

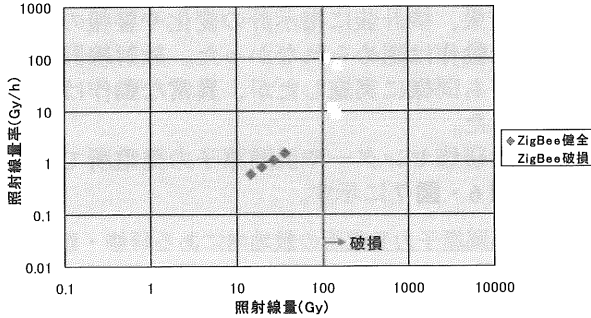


図 8 ZigBee 端末の Co-60 による照射特性

## 7. システム構成の検討

### 7.1 温度の目安測定

日立製 ZigBee 端末は標準でサーミスタを接続可能であり、目安程度に温度を把握できればよい場合は、測定対象にサーミスタを接触させるだけでよい。この場合は検出器であるサーミスタへも ZigBee 端末内の電池にて電源供給されており、そのときのデータ採取間隔と電池容量にて決まる測定可能時間は図 9 のとおりとなる。

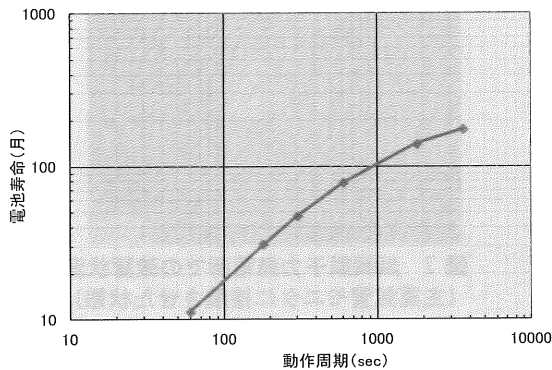


図 9 ZigBee 端末のサーミスタを使用する場合の測定可能時間

### 7.2 温度等の精密測定

原子力発電所運転中に傾向監視したいデータとしては、温度・圧力・振動・加速度等があげられる。これらの検出器の出力を、ZigBee 端末の 4-20mA の入力端子に入力することによりデータ伝送が可能となる。検出器駆動用の電源を供給するため、ZigBee 端末内部の電源とは別に蓄電池を用意し、DC/DC 変換器を介して供給することとした。熱電対を使用する場合の構成を図 10 に示す。

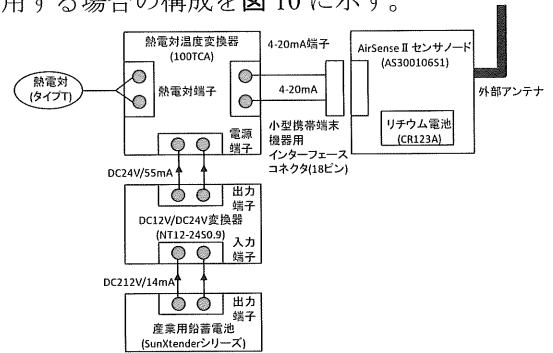


図 10 温度等精密測定する場合の構成

## 8. まとめ

原子力発電所で、通常と異なる兆候が認められた機器の傾向監視のための方法として、センサ出力を ZigBee 方式の電波にてデータ伝送することが有効であることが確認できた。今後は、小型軽量で長時間測定が可能となるシステムを検討するとともに、実際に温度計等のセンサデータをデータ伝送して実用性を確認する。

### 参考文献

- [1] 山田 泉他, "RFID 電波に対する原子力プラント計装の耐性評価," 日本原子力学会「2009 年秋の大会」