

2. 4GHz 帯 ZigBee 電波と LAN による原子力発電所での データ伝送

DATA transmission by 2.4GHz radio frequency and LAN
from Nuclear Power Plant to office

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

Abstract

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. If the suspicious equipment is located in high radiation area, it is hard to arrange for the additional monitoring. So, wireless data transmission system is desired. And maintenance persons desire to watch the additional monitoring data in their office on P.C. We can enable to transfer the desired live data from sensors in NPP to the maintenance person's office, using by ZigBee system connected to LAN. In order to enlarge the operating term, the battery for sensors is switched on or off by the signal related to sleeping function on ZigBee sensor-terminal.

Keywords: ZigBee, repeating function, sleeping function, LAN, portable system, sensor-terminal

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。傾向監視したい機器が放射線量率の高いエリアにある場合、センサの設置や指示計・記録計までのケーブルを布設する際の被ばく線量が問題となる。この対策としては、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。

原子力発電所内で核計装等に影響を与えず、情報を伝送できるものとして、2.4GHz 帯の ZigBee 方式の電波が有効であることが確認[1]されていることから、この方式を用いたデータ伝送システムの検討を行った。

検討にあたっては、実際の運用を考慮して以下の要求事項を満たし、現場で使用しやすいものとなることを念頭においた。

- ・傾向監視したデータを事務所の執務場所にて常時把握できること
- ・バッテリー交換せずに長期間傾向監視できること
- ・急激な変動も検知できること
- ・持ち運びに便利のように小型軽量化であること

2. ZigBee 方式の概要

センサ出力を小出力で長時間小型の送信端末にてデータ伝送でき、産業・民生分野で実績がある無線技術として ZigBee 方式がある。この方式には以下の特徴がある(図1)。

- ・送信出力が数 mW と小さく、また送信時以外は機能を停止(スリープ機能)することにより、電源も含め小型化できる
- ・中継器にて中継することにより遠距離まで電波を到達できる(中継機能)
- ・受信データに欠落があった場合、欠落データを再収集できる(再送機能)

今回検討に使用した日立製作所製の ZigBee 機器(2.4GHz 帯用)の外観を図2に示す。

左側がセンサ端末の外観であり、温度・湿度センサ内蔵のほか、4-20mA 入力 1 端子、サーミスタ入力 4 端子を備え、リチウム電池(CR123A)、出力 2mW にて高さ 69mm・幅 60mm・厚さ 34mm(アンテナ・突起物を除く)・質量 90g である。

右側が中継器・基地局の外観であり、出力 2mW にて高さ 100mm・幅 66mm・厚さ 30mm(アンテナ・突起物を除く)である。

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

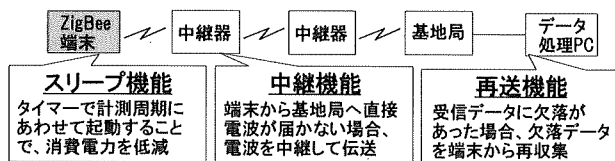


図1 ZigBee 方式の概要

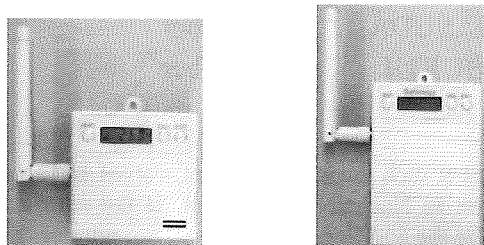


図2 ZigBee の機器の外観

3. 伝送する情報について

傾向監視を強化する際にセンサ出力を収集し伝送することになるが、現場のニーズをまとめると以下のとおりである。

- ・伝送したい情報としては、温度・圧力（差圧を含む）・振動等
- ・温度等については、なるべく長期間監視できること
- ・圧力については、急激な変動が監視できること
- ・センサ出力の収集・伝送に用いる機器は小型・軽量であること
- ・収集したデータを事務所にて常時監視できること

なお、ZigBee 方式で伝送できる情報量としては1回あたり約 100 バイトであり、伝送したい温度・圧力・振動等のデータはこれより小さいため、ZigBee 方式にて伝送可能である。

4. 原子力発電所—事務所間の情報伝送

4.1 原子力発電所内

原子力発電所のように壁・床・天井がコンクリートであり、機器・配管が多数複雑に配置されているところでは、2.4GHz 帯の ZigBee 方式では、電波の到達距離は 30m 程度であることが確認されている。

原子力発電所の運転中に人が出入りできる場所のうち放射線量率が高く、機器・配管が多数あり、実際に傾向監視を強化したい場所としてタービン建屋のヒーター室があげられる。そこで、浜岡原子力発電所5号機の定期点検中に、タービン建屋ヒーター室にて実際

に温度センサを 2.4GHz 帯の ZigBee 電波にて情報を伝送することとした。

4.2 原子力発電所—事務所間

2.4GHz 帯の ZigBee 方式の電波では、厚さ数 10cm をこえるようなコンクリートの壁を越えて伝送できないことを確認済である。また原子力発電所から事務所まで数百 m 離れていることから、原子力発電所—事務所間も 2.4GHz 帯の ZigBee 方式の電波は到達できない。

そのため、原子力発電所内と事務所間に設置済の LAN にて基地局で収集したデータを伝送することとし、事務所側の LAN に接続したパソコンにて最終的にデータを収集・表示することとした。

LAN によるデータ伝送を含むシステム構成は図3のとおりとなる

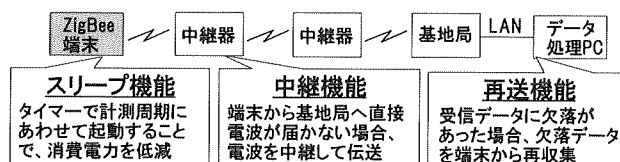


図3 ZigBee と LAN を組み合わせた方式

4.3 原子力発電所—事務所間の情報伝送結果

浜岡原子力発電所5号機の定期点検中に、タービン建屋ヒーター室にてセンサ端末に内蔵の温度センサの出力を伝送した結果を図4に示す。図4aがセンサ端末で収集したデータであり、図4bが事務所側の LAN に接続したパソコンにて収集したデータ、および図4cがこれらのデータの差を示す。

これらの結果より、事務所側のパソコンにて正しくセンサ出力を収集できることを確認できた。

なお、ACコンセント近傍に中継器・基地局を設置することにより、ヒーター室内の全域をカバーできることが確認できたことから、中継器・基地局はACコンセントからの電源供給することとした。

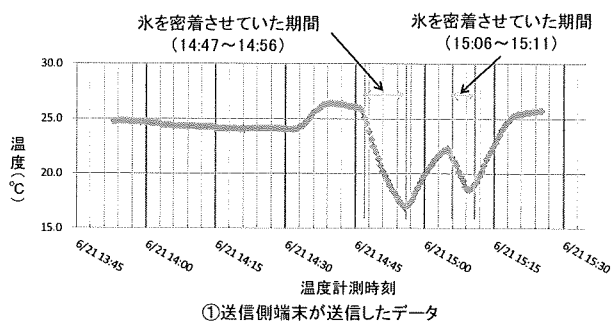
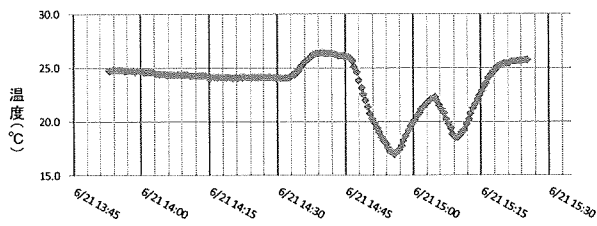
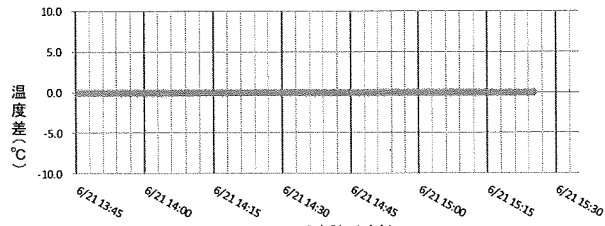


図4a センサ端末からの送信データ



②事務所側のLANに接続されたパソコンが受信したデータ

図4 b 事務所のLAN 端末での受信データ



送信・受信データの差(①-②)

図4 c 送信・受信データの差

5. 監視期間の長時間化

温度データを測定する際に、センサ端末に内蔵の温度センサではなく熱電対にて測定するというように、外部センサを接続する場合があります。センサ端末内蔵のリチウム電池では電源容量が小さいため、別に外部センサ駆動用の電源を設置する必要があり、その際の構成を図5に示す。

このままでは、外部センサ(図5の場合は熱電対)に常時電流が流れることになり、連続使用できる期間は蓄電池容量により制約されることになる。

このため、図6aのようにセンサ端末からのD0信号出力でDC/DC変換器に組み込んだリレーを制御することにより、センサ端末が起動してセンサ信号を収集するときのみ外部センサへ電源供給することとした。

外部センサへの電源供給するにあたり、D0信号を用いる場合と用いない場合の連続使用時間の変化の例を図7に示す。

図7は外部センサに熱電対を用いた場合で、連続使用時間は外部センサ用蓄電池(ここでは7Ahの蓄電池容量)とZigBeeのセンサ端末内蔵電池(CR123Aの容量1Ah)のうちの使用時間の短い方に制約される。センサ出力をサンプリングする周期(動作周期)が100秒の場合、D0出力を使用しない場合は蓄電池が制約となり約0.7ヶ月であるが、D0出力を利用する場合は動作周期に比例して連続使用時間が大きくなりセンサ端

末内蔵の電池の方が制約となる。この場合、連続使用時間が約1.7ヶ月となり大幅に改善できることが判明した。

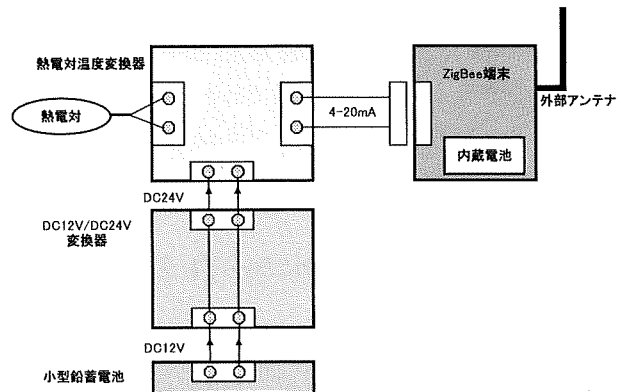


図5 外部センサへ電源供給する場合の構成

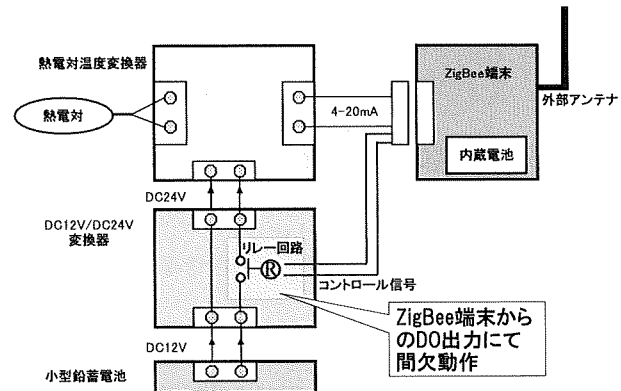


図6 a D0信号を用いて蓄電池制御する場合の構成

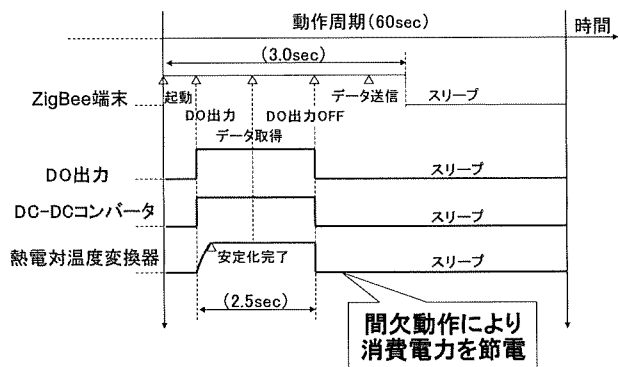


図6 b D0信号を用いる場合の動作タイミング

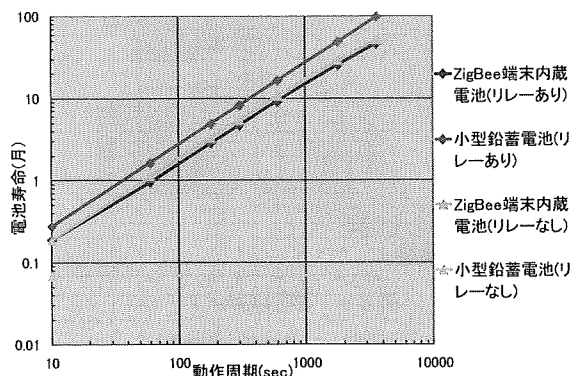


図7 連続使用できる時間の比較

6. 急激な信号変化の把握

圧力の急変など急激な信号の変動を素早く検知するためには、サンプリング間隔を短くする必要がある。

今回の検討に用いた ZigBee 端末の標準設計では、最短のサンプリング間隔は 10 秒である。このため、制御ソフトウェアを見直し、サンプリング周期を 0.1 秒まで短縮し、10 個のサンプリングデータを一括して送信することとした。

サンプリング周期 0.1 秒においても正確にデータ伝送できることを確認した。

なお、この場合はスリープ機能は機能しないので ZigBee センサ端末内蔵のリチウム電池寿命も短くなるため、AC コンセントから電源を確保することが必要となる。

7. 持込可能な小型軽量システム

傾向監視を強化する場合には、なるべく短時間で現場まで運搬し、素早く設置が完了させることが望ましい。

そのため、ZigBee のセンサ端末・外部センサ（外部センサ用ケーブルを含む）・DC/DC 変換器・外部センサ用蓄電池一式をアルミアタッシュケースに収納することとした。蓄電池容量 7Ah の蓄電池を用いた場合でもアルミアタッシュケースを含め 8kg 以下と小さくすることができた。

このアルミアタッシュケースを監視強化したい機器の近辺まで運搬し設置することになる。

機器収納イメージを図 8 a に、現場での測定イメージを図 8 b に示す。

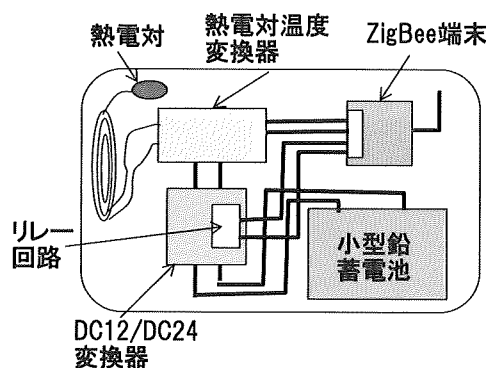


図 8 a 機器収納イメージ
(外部センサ熱電対の場合)

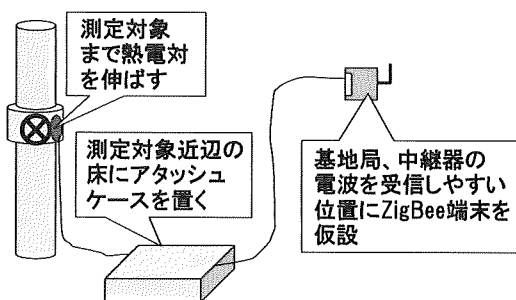


図 8 b 現場での測定データ収集イメージ

7. まとめ

浜岡原子力発電所 5 号機の定期点検中にタービン建屋ヒーター室にて実際に温度センサの計測データを 2.4GHz 帯の ZigBee 方式の電波にてデータ伝送し、基地局で受信したデータを原子力発電所内一事務所に設置された LAN を経由し、事務所のパソコンにて正しくデータ伝送されることを確認した。

外部センサの電源供給用の蓄電池と DC/DC 変換器を用い、ZigBee のセンサ端末の制御信号を用いて DC/DC 変換器の作動を制御し、センサ端末のサンプリング周期に対応して外部センサの電源供給を ON/OFF することにより、連続使用期間を延長することができた。

また、ZigBee のセンサ端末のソフトウェアを見直すことにより、サンプリング周期を 0.1 秒まで短縮することが可能であり、これにより急激な信号変化も測定可能となることを確認できた。

さらに、現場への持込可能なシステムを検討し、運搬・設置が容易となるシステムを構成した。

以上のことから、2.4GHz 帯の ZigBee 方式の電波を用いてデータ収集し、その結果を原子力発電所一事務所を結ぶ LAN を経由することにより、監視強化したい機器に応じて長期間連続に、あるいは急激な信号変化を把握でき、かつ運搬・設置が容易で、さらに事務所で監視できるシステムを構成することができた。

参考文献

- [1] 辻 建二、増田 亮太、福井 琢也、“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”、日本保全学会第 7 回学術講演会要旨集、御前崎、2010、pp.486-488。

(平成 23 年 6 月 23 日)