

## 廃棄物埋立処分場のモニタリングのための無線通信技術に関する基礎的研究

九州大学工学部 学生会員 ○田添 智也  
九州大学大学院 正会員 中山 裕文  
九州大学大学院 フェロー会員 島岡 隆行  
九州大学大学院 金谷 晴一

### 1. はじめに

近年、環境保全への関心の高まりとともに、廃棄物処理や污水处理等を担う環境関連施設の安全性向上が強く求められている。そのためには、環境関連施設のモニタリングのためのセンサネットワークの構築が必要である。環境関連施設の中でも、施設の劣化や破損に伴う環境汚染の周辺への影響、環境汚染が発生した場合の社会的インパクトの大きさから廃棄物埋立処分場を対象とする。廃棄物埋立処分場のような広大な土地において多数のセンサを有するネットワークを構築する際、ケーブルを不要にした無線通信技術が必要になってくる。なぜなら、地中での無線通信技術は、計測場を貫通するケーブルを使わずにデータを伝送できる、ケーブルがないためセンサ等の設置作業が容易である、ケーブルの断線によるトラブルを回避できるなどの利点があるからである。そこで、本研究では、環境関連施設を対象としたモニタリング技術開発のため、計測データの無線通信の方法について検討し、環境関連施設の安全性の向上に資することを目的とする。

### 2. 無線伝送モジュールの開発

無線通信は、集排水管やガス抜き管を導波管として用いる方式、埋立地層内に電波を透過させる方式の2方式がある。前者では、図1に示すように、空気層を導波管として用いるため Wi-Fi、Bluetooth 等の高周波通信を使用する。後者では、埋立廃棄物層内を透過する際に水分や金属等の影響により電波が減衰するため、減衰の影響が少ない低周波電磁波が有効である<sup>1)</sup>。本稿では前者の高周波通信を検討した。

### 3. Wi-Fi モジュールを用いたワイヤレスセンサの作成

#### 3.1 IoT マイコン・システム

高周波通信でデータを送受信するワイヤレスセンサを作成するため、IoT マイコン・システムを採用した。IoT マイコン・システムとは、データの入出力や処理等を行い電子機器を制御するマイクロコントローラをクラウドサーバを介して多数接続し、インターネット上で入出力装置との通信を行うものである。

#### 3.2 ワイヤレス温湿度センサの構造

本研究では、マイクロコントローラ ESP8266 を使用した。ESP8266 は Wi-Fi モジュールを内蔵しているため、センサと接続することで、得られたデータを Wi-Fi で送信することができる。これを DIP 形状にした NodeMCU と温湿度センサ DHT11 を図2のように接続して、ワイヤレス温湿度センサを作成した。また、その回路図を図3に示している。

#### 3.3 送受信システム

作成したワイヤレスセンサは MQTT というプロトコルを利用している。このプロトコルにおける通信はトピックを指定したデータを MQTT-Broker と呼ばれる処理サーバに送る (Publish) ことと、必要とするトピックを MQTT-Broker に Subscribe しておくことで行

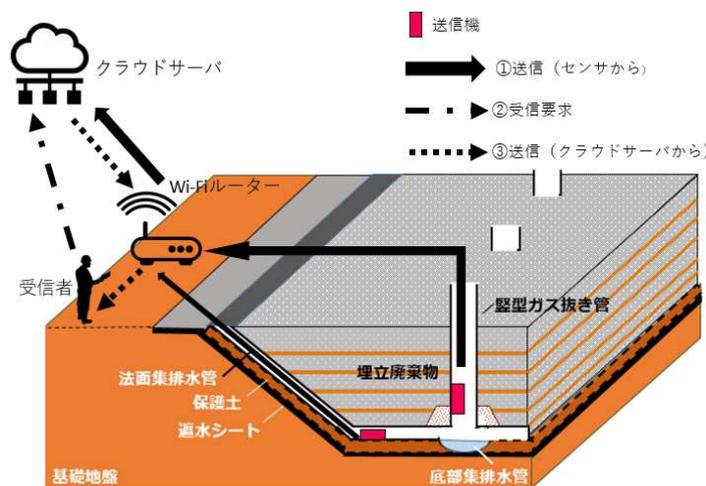


図1 廃棄物埋立処分場における高周波通信

表1 ワイヤレス温湿度センサの部品

部品	製品名	仕様
Wi-Fiモジュール	NodeMCU	電源電圧：4.5V～10V(USB電源対応) ボードサイズ：48mm×26mm×10mm (ピン含む) 重量：7.0g 無線LAN規格：IEEE 802.11 b/g/n
温湿度センサ	DHT11	電源電圧：3.3V～5.5V 消費電流：0.3mA(測定時)、60μA(スタンバイ時) サイズ：35×12×7mm(ピン含む) 重量：2.0g

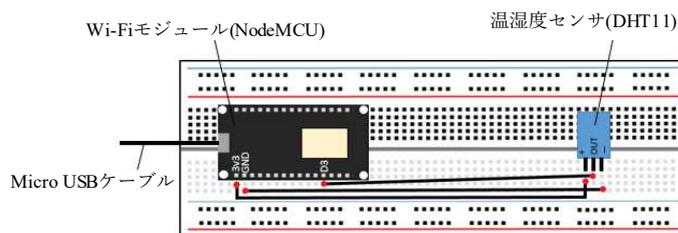


図2 ワイヤレス温湿度センサ

れる<sup>2)</sup>。具体的には、まずセンサで得られたデータがWi-Fiでアクセスポイントを経由して処理サーバに送信される。次に、受信者がデータの受信を処理サーバに要求する。最後に、処理サーバは送信側からの送信があると接続中の受信者にデータを送信するといった3段階の流れで通信が行われる。

4. 管内におけるWi-Fiモジュールの無線通信実験

埋立廃棄物層内に設置したセンサで計測したデータを浸出水集排水管、ガス抜き管を通じて地上に無線伝送する状況を想定し、塩化ビニル管を用いた模型実験を行った。この実験では、作成したワイヤレスセンサの信号の電波強度が実験条件によってどのように変化するかを測定した。電波強度とは、通信や信号の強さを表す値で、単位は[dBm]または[dbmW]である。また、塩化ビニル管の外側を埋立廃棄物層内のように電波の減衰が大きい空間にするため、塩化ビニル管を電磁波シールドで密封した。実験は図4に示す5つの条件で行い、10秒ごとの電波強度を3分間測定した。また、条件2以降は測定開始とともに電磁波シールドのふたを取り、3分後にふたを閉じた。各条件下における電波強度変化のグラフを図5に示している。電波強度測定に用いたソフトは-96dBm以下の電波強度を示すと通信切断が表示される仕様になっている。そのため、条件1のデータは全て-96dBmとしてプロットした。この測定結果から、どの条件においても、塩化ビニル管を導波管とした高周波通信が可能であることが確認できた。また、無線通信の基本方程式であるフリスの伝達公式から受信電力 $P_R$ [mW]、送信電力 $P_T$ [mW]、送信アンテナ利得 $G_T$ [dB]、受信アンテナ利得 $G_R$ [dB]、波長 $\lambda$ [m]、通信距離 $d$ [m]を用いて、

$$P_R = P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \dots (1)$$

式(1)を1mWを基準にして対数表示にしたデシベル単位[dBm]に変換し、

$$10 \log_{10} P_R = 10 \log_{10} P_T G_T G_R + 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) \dots (2)$$

式(2)から、通信距離 $d$ [m]が2倍、3倍になると電波強度がそれぞれ約6dBm、約9.5dBm減少することがわかる。今回の測定結果から、通信距離2m、4m、6mにおける電波強度の平均値はそれぞれ、-35.9dBm、-42dBm、-44.2dBmであった。これらの値はフリスの伝達公式から導かれる電波強度と通信距離の関係に概ね一致している。また、曲管は、電波強度に大きな影響は与えないことも確認できた。

5. まとめ

本研究では、廃棄物埋立処分場という広大な土地における地中無線通信について検討するため、Wi-Fiモジュールを用いたワイヤレスセンサを作成した。上で述べたように、本稿の条件においては、センサで計測したデータを浸出水集排水管、ガス抜き管を通じて地上に無線伝送することが可能であることを実験により確認した。また、管内での無線通信の電波強度がフリスの伝達公式に従うことも確認した。

参考文献

- 1) 高村尚, 奥津一夫, 須賀原慶久, 虎田真一郎, 大内仁: 地下深部岩盤中における無線データ通信特性に関する検討, 原子力バックエンド研究, 12巻, 1-2号, pp.21~30, 2006
- 2) 出口弘: IoT時代のマイクロサービスとワークフローのアーキテクチャデザイン, 国際P2M学会研究発表大会予稿集, pp.73~74, 2016

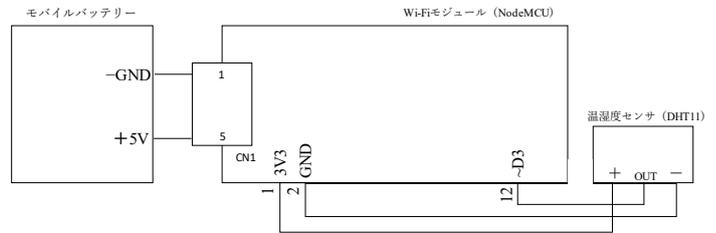


図3 ワイヤレス温度センサの回路図

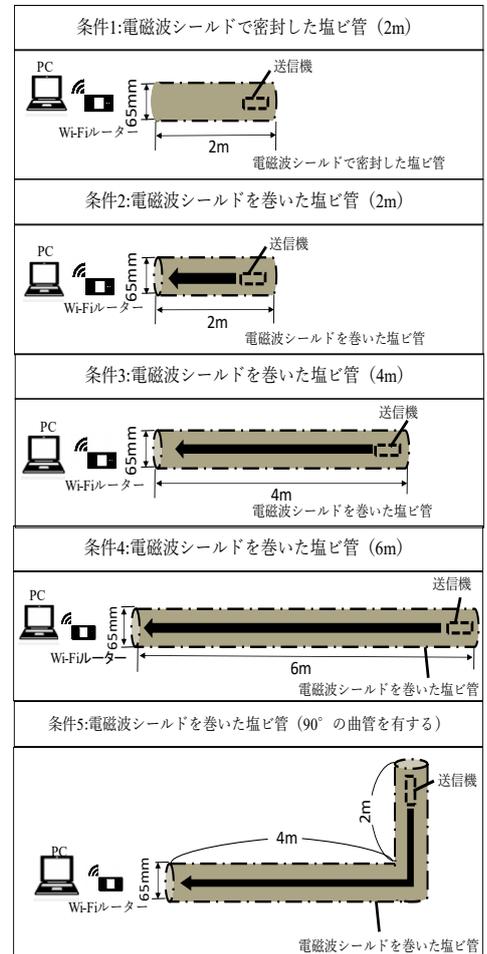


図4 実験ケース

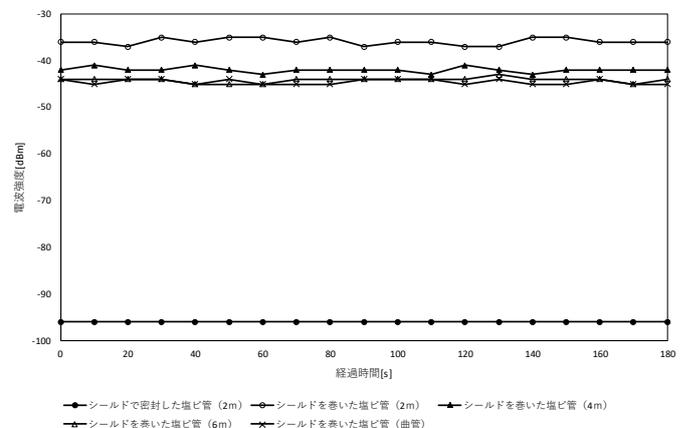


図5 各条件下における電波強度変化