

低周波電磁波による無線通信を用いた固化式処分場の環境モニタリング技術に関する基礎的研究

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

1. はじめに

廃棄物埋立地においては、埋立廃棄物の性状、温度、保有水の水質、発生ガス組成等を把握するための環境モニタリングが求められる。広大かつ不均質な埋立廃棄物層内において適切な環境モニタリングを実施するには、無線通信を利用したセンサネットワークを構築し、埋立地内で多点自動観測できるモニタリングシステムが必要となる。埋立地内では低周波電磁波による無線通信が適用できると考え、現在までに焼却灰内における低周波電磁波の無線通信特性を調査し、廃棄物埋立地における有効性を確認してきた¹⁾。本稿では、固化式処分場内の温度を低周波電磁波により無線モニタリングできるかを検証した。固化式処分場は焼却残渣をセメント固化して埋立処分する「廃棄物固化式処分システム」の実証モデルであり、電源線や通信線の配線は水みちの要因となるため、内部の環境モニタリングには無線通信が有効である。また、本研究では、固化体内部からのデータ送信時における受信電圧、受信機の設置角度や設置場所が受信電圧に及ぼす影響を調査した。

2. 内容

2.1. 低周波電磁波による無線通信に用いた機器

本研究で使用した通信機器を表1に示す。小型送信機はデータロガー、送信回路、送信コイル（アンテナ）、電池で構成され、送信機に各種センサを接続することで、低周波電磁波により測定したデータを送信する。受信機は受信コイル（アンテナ）とコンピュータで構成され、測定データを回収する。

表 1 低周波電磁波の無線通信機器

	小型送信機	受信機
サイズ	Φ48mm×150mm	140mm×140mm×445mm
重量	1kg	6kg
電源	塩化チオニルリチウム電池	リチウムイオンバッテリー
周波数	8533Hzの低周波磁界を送受信	
図		

2.2. 焼却残渣固化体内と焼却灰内の受信電圧と通信距離の関係

昨年度の実験では焼却灰を充填した木製型枠（幅 1.8m×奥行 0.55m×高さ 0.45m）を 5 つ接合し、焼却灰内通信距離 1.8m、3.6m、5.4m、7.2m、9.0m で受信電圧を測定した¹⁾。本研究では、小型送信機の設置場所が固化式処分場となるため、予備実験として焼却残渣固化体内における受信電圧を測定した。本実験では、図1に示すように、F市A埋立地に設置された焼却残渣固化体（幅 2.5m×奥行 2.5m×高さ 0.3m）内に小型送信機を挿入し、固化体内通信距離 1.5m、2.0m、2.5m で受信電圧を測定した。図2には焼却灰内、固化体内で測定した受信電圧と通信距離の関係を示す。通信機器は受信電圧が受信位置のノイズレベル 0.5mVrms の3倍に相当する 1.5mVrms 以上であれば通信が可能であるため、通信媒質が焼却残渣固化体である場合にも通信に成功したことがわかる。本実験の固化体内通信距離においては、固化体内と焼却灰内で受信電圧に大きな差は確認されなかった。

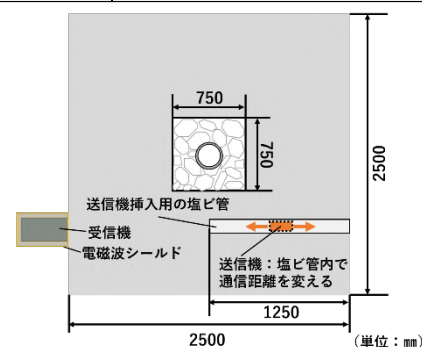


図 1 固化体内の受信電圧測定

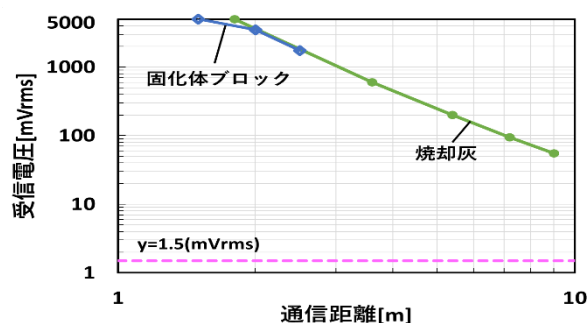


図 2 受信電圧と通信距離の関係

2.3. 固化式処分場における小型送信機の埋設位置

固化式処分場は図3に示すように1層あたり0.2mの焼却残渣固化体5層から構成され、温度センサを接続した小型送信機は下から1～2層目間と4～5層目間に埋設した。

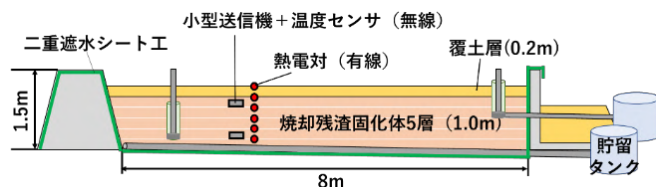
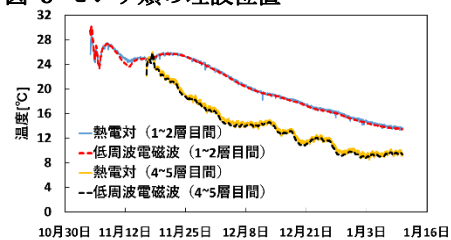


図3 センサ類の埋設位置



2.4. 低周波電磁波によって無線送信された固化体内部温度

図4に低周波電磁波により送信された温度データを示しており、現時点までに、小型送信機は、固化式処分場内からの無線通信を2ヶ月継続している。

2.5. 固化式処分場内からの通信における受信電圧

固化式処分場から受信機の設置地点まで12m離れている。設置地点にはプレハブが建てられており、プレハブ内に受信機やPC等を設置している。

受信機をプレハブの外に出し、3m、6m、9m、12mにおける受信電圧を測定し、図2に測定結果を追記した。図5より、本実験条件において、受信電圧は埋設深さの影響を受けず、また通信媒質が固化式処分場でも大きな変化はなかった。受信機をプレハブ外で移動させながら通信距離を変化させたが、通常、受信機はプレハブ内に設置されている。表2に通信距離12mでのプレハブ内外の受信電圧、ノイズレベル、S/N比を示している。S/N比は受信電圧 V_s (mVrms)、ノイズレベル V_N (mVrms)を用いて、 $S/N \text{ 比} = \log_{10} \frac{V_s^2}{V_N^2} \text{ (dB)}$ により算出した。表

図4 低周波電磁波により送信された固化体温度

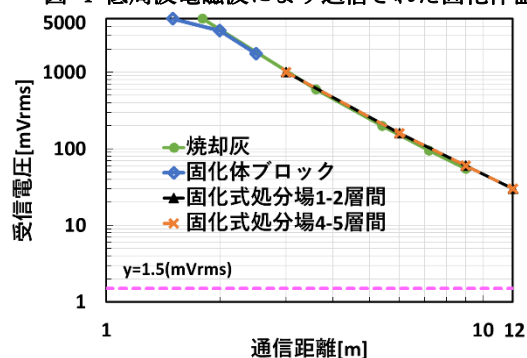


図5 受信電圧と通信距離の関係

2より、プレハブ内ではS/N比が減少しているが、これは受信機がプレハブ素材の金属に囲われることで受信電圧が減少したこと、プレハブ内では人工ノイズと呼ばれる電子機器から漏洩する不要な電磁エネルギーがPCから発生し、受信機周辺のノイズレベルを増加させたことが要因であると考えられる。

2.6. 受信機の設置角度が受信電圧に及ぼす影響

廃棄物埋立地で運用する際、送信機の設置場所や日々の埋立作業等の要因により受信機に対する送信機の角度が一樣にはならないため、本実験では表3に示すように受信機の設置角度 θ を変化させながら設置し、受信電圧への影響を調べた。図6に受信電圧と角度 θ の関係を示している。図6より、 $\theta = 0^\circ$ 、送受信機のコイル軸が平行である時受信電圧は最大であった。受信機の傾きが大きくなるほど受信電圧は減少し、 $\theta = 90^\circ$ 、送受信機のコイル軸が垂直である場合、受信電圧は30%にまで低下した。

表3 プレハブ内外の比較

	プレハブ外	プレハブ内
受信電圧 V_s	30mVrms	15mVrms
ノイズレベル V_N	0.5mVrms	1.5mVrms
S/N比	3.6dB	2.0dB

表2 受信機の設置角度

θ (°)	受信機	送信機
90		
45		
0		
-45		

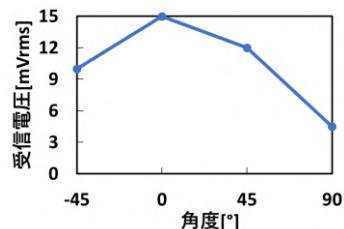


図6 受信電圧と θ の関係

3. まとめ

固化式処分場内における低周波電磁波の通信実験により以下のことが確認できた。

- (1) 低周波電磁波による無線通信は焼却灰同様、焼却残渣固化体内でも可能であり、現在までに2ヶ月データ送信を継続できている。
- (2) 設置建屋や電子機器の影響によるS/N比の低下が確認されたため、受信コイル（アンテナ）を本体から切り離し、屋外に設置することが望ましい。
- (3) 受信電圧は送受信機のコイル軸が平行時に最大を示し、設置角が増加するほど減少した。埋立地内での通信機機の設置計画では地上の受信アンテナの設置角度まで含めて検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) 田添智也ら：焼却灰内における低周波電磁波の無線通信特性に関する研究, 第43回全国都市清掃研究・事例発表会論文集, pp.259-261, 2022