

廃棄物埋立処分場の保有水を利用したエネルギーハーベスティングに関する基礎的研究

九州大学工学部	学生会員	○村上 凜太郎
九州大学大学院工学研究院	正会員	中山 裕文
〃	フェロー会員	島岡 隆行
〃	非会員	金谷 晴一

1. はじめに

廃棄物埋立処分場では、環境汚染の防止を目的として、埋立廃棄物の性状、保有水の水質、発生ガス組成、温度、施設の経年劣化や破損等のモニタリングが求められる。近年、飛躍的に技術開発が進む IoT センサを活用することで、高度な環境モニタリングシステムを構築することが期待されている。その様な中で、ワイヤレスによる通信、電源線を用いない IoT センサを設置する際の電源確保が大きな課題となっている。解決策として期待される、センサの設置場所で電力を確保するエネルギーハーベスティング技術の開発が重要である。

埋立廃棄物層内では、焼却残渣中の可溶性塩化物等が雨水と接触することで溶解する。焼却灰中の強塩基性物質の溶解に伴い保有水の pH は高い値を示し¹⁾、電解質を多く含むことから電気伝導度も高くなる。従って、イオン化傾向が異なる異種金属が保有水に浸漬した場合、電流が発生し、電池回路が形成される。本研究では、埋立廃棄物層内の保有水を電解液として作用させ発電エネルギーを回収する保有水電池の開発を試みた。

2. 保有水電池を用いたモニタリングシステムの概要

図 1 に、本研究で開発を目指す“保有水電池”を用いるモニタリングシステムの概略を示す。埋立層内の保有水が発電デバイスと接触することで機電し、蓄えた電力でセンサおよび発信機を作動させ、データ送信を行うシステムである。

3. 保有水電池の開発実験

3.1 電極素材の選定

図 2 に実験装置を示す。環境省告示 13 号法に準拠して焼却灰中の溶解性成分を溶出させ、模擬保有水を作成した。容量 250ml のポリエチレン容器に焼却灰（粒径 5 mm 以下の）に対して、液固比が 1、5、10、20 となるように純水を加えた。振とう機を用いて 200 rpm で 6 時間振とうし、遠心分離機を用いて液固分離した後、孔径 0.1 μm のメンブレンフィルタを用いてろ過し、得られたろ液を模擬保有水とした。表 1 に各液固比における模擬保有水の pH、EC を示す。ビーカーに模擬保有水を 50ml 注入し、電極間距離 3 cm となるように切れ込みを入れたゴム板に金属板（縦 15 mm × 横 15 mm × 厚み 0.5 mm）を差し込み、電極の 1.5 cm が模擬保有水に浸漬するように固定した。電極の組み合わせは Cu-Zn、Cu-Al、Cu-Mg の 3 種類とした。電気抵抗として、5 種類（680 Ω 、1k Ω 、4.7k Ω 、10k Ω 、20k Ω ）の抵抗をブレッドボードに組み込んだ。抵抗を組み込んだときの電圧、電流を小型デジタルテスターで測定した。結果を図 3～図 5 に示す。図の縦軸切片を E、直線の傾きを $-r$ とすると電圧を $V = E - rI$ と表すことができる。ここに、E は電池の起電力、 r は電池の内部抵抗を示し、内部抵抗と最大出力を求めた。電極パターンに依らず、液固比が小さくなるにつれて最大出力が大きくなる傾向を示した。液固比が小さい方が焼却灰からの無機イオン類（電解質）の溶出濃度が高く、電気伝導度が大きくなったためだと考えられる。本実験において、電池性能として最も高い電極の組み合わせは Cu-Al 電極で、最大出力の最大値は 0.20

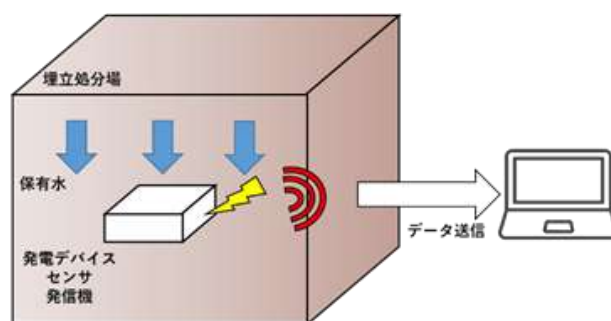


図 1 保有水電池を用いたモニタリングシステム

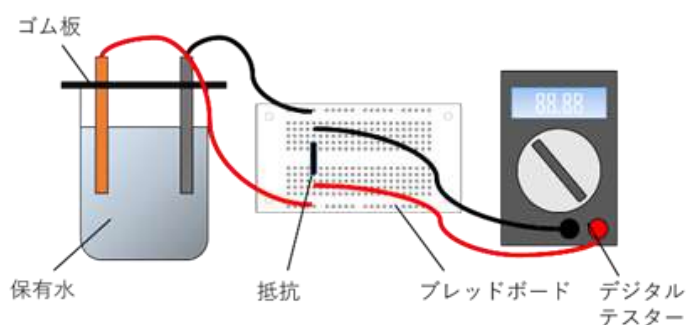


図 2 実験装置図

表 1 各液固比における pH と EC

液固比[-]	pH[-]	EC[mS/cm]
1	12.9	35.6
5	12.9	15.0
10	12.9	9.9
20	12.7	5.5

mW であった。一方、Cu-Mg 電極の組み合わせは他の電極の組み合わせと比較して、実験値/理論値 (vs. SHE) が 0.60 と理論起電力に比べ起電力が最も小さかった (Cu-Zn : 0.82、Cu-Al : 0.80)。これは、pH11.5 以上の水溶液でマグネシウムが不動態となること²⁾が原因と考えられ、模擬保有水の pH は 12.9 であったことから電極の腐食反応が進行せず、起電力が低下したものと考えられる。

3.2 コンデンサへの蓄電

保有水電池の起電力で消費電力の大きなセンサを駆動させようとする、電気抵抗に対して十分な電圧を出力できない。この問題を解決するため、コンデンサに電力を蓄電した後、コンデンサを介してセンサを駆動する方式を検討した。電極素材の選定実験で電池としての性能が一番高かった Cu-Al 電極の組み合わせの保有水電池を用い、1 kΩ の抵抗を用いて 2 時間に亘り、コンデンサ (1F) に蓄電した後、1 kΩ の抵抗を接続して放電させた。放電開始時から 30 秒ごとに 3,500 秒間にわたって電流値を計測し、放電曲線を作成した (図 6 参照)。コンデンサから放電される電気量 Q [C] は、 $Q=It$ と表される。ここに、電流 I [A]、時間 t [s] である。図 6 に示す放電曲線に囲まれた部分の面積を求め、コンデンサが蓄えた電気量を算出した。放電曲線は図中に示す式で表され、蓄電量 Q は 10.6 C と算出された。また、放電曲線の理論式は、電流 I [A]、起電力 E [V]、抵抗 R [Ω]、静電容量 C [F] を用いて、次式(1)で表される。

$$I(t) = \frac{E}{R} e^{-\frac{1}{RC}t} \cdots (1)$$

式(1)より起電力 E を算出すると 1.06 V となる。3.1 で測定した起電力は 1.35V であり、本実験では理論値より起電力が低くなった。このことは、電極表面に気泡が付着している様子が確認できたため、分極が起こったためと推測される。

4. まとめ

本研究では、廃棄物埋立処分場に設置する IoT センサの電源確保の方法として、保有水を利用した“保有水電池”によるエネルギーハーベスティングの開発のための基礎的な実験を行った。その結果、以下の知見を得た。

- 1) 電極素材の選定を行い、Cu-Al 電極の組み合わせが最も高い出力を出すことができた。
- 2) 保有水電池を用いてコンデンサへの蓄電を行い、電力を回収することに成功した。

今後はコンデンサへの蓄電方法の改善、コンデンサに蓄電した電気を実際にセンサを駆動すること、さらに保有水電池の性能を上げる方法について実験的に検討を行っていく予定である。

【参考文献】 1) 田中信壽：環境安全な廃棄物埋立処分場の建設と管理、技報堂出版、p.139 (2000) 2) 高谷松文：マグネシウムの表面処理、表面技術、44 巻、11 号、p.874 (1993)

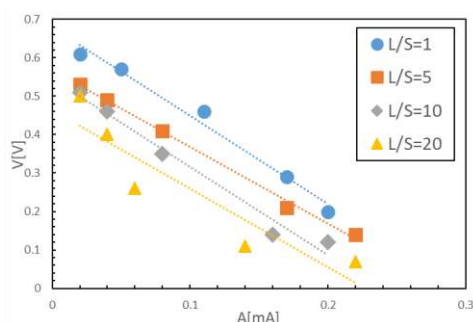


図3 Cu-Zn の電圧と電流

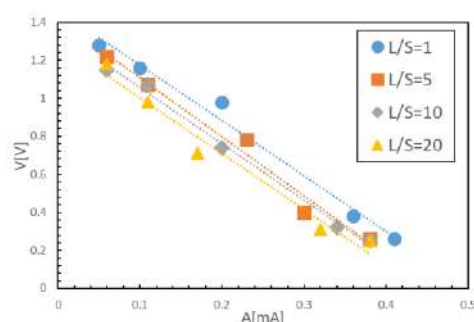


図4 Cu-Al の電圧と電流

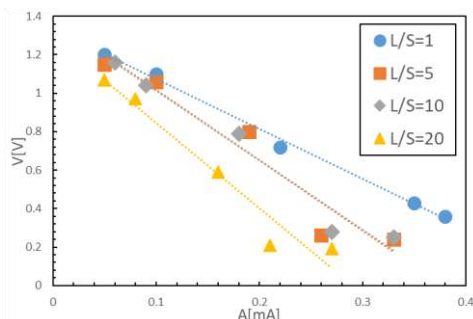


図5 Cu-Mg の電圧と電流

表2 各電極における内部抵抗と最大出力

Cu-Zn				
L/S[-]	1	5	10	20
理論起電力[V]	0.76			
起電力[V]	0.68	0.57	0.54	0.46
内部抵抗[Ω]	229	200	229	204
最大出力[mW]	0.05	0.04	0.02	0.02
Cu-Al				
L/S[-]	1	5	10	20
理論起電力[V]	1.67			
起電力[V]	1.47	1.41	1.35	1.3
内部抵抗[Ω]	292	310	296	293
最大出力[mW]	0.20	0.18	0.15	0.12
Cu-Mg				
L/S[-]	1	5	10	20
理論起電力[V]	2.36			
起電力[V]	1.33	1.38	1.38	1.29
内部抵抗[Ω]	230	366	361	442
最大出力[mW]	0.16	0.15	0.14	0.09

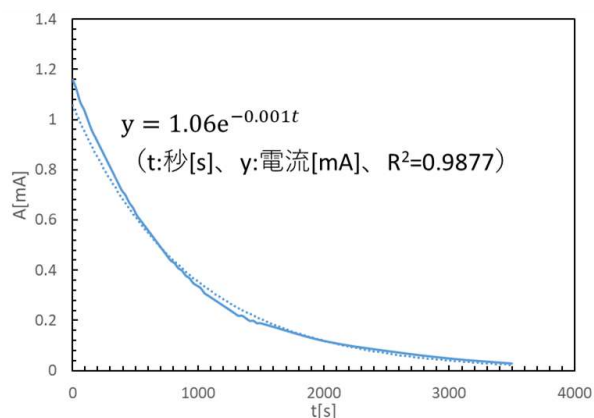


図6 放電曲線