

ごみ電池を電源とする温湿度無線モニタリングシステムに関する研究

九州大学大学院 学生会員 ○村上 凜太郎
九州大学大学院 正会員 中山 裕文
〃 フェロ-会員 島岡 隆行
〃 非会員 金谷 晴一

1. はじめに



廃棄物埋立地では、廃棄物の安定化状況の把握や周辺環境の汚染防止等を目的として、廃棄物の性状、保有水の水质、埋立ガス組成、温度等のモニタリングが求められる¹⁾。埋立廃棄物層内では、焼却残渣中の可溶性塩化物や強塩基性物質等が雨水と接触することで溶解し、高 pH かつ高い電気伝導度を示すため、イオン化傾向の異なる異種金属が保有水に浸漬することで電池回路が形成される。著者らは埋立廃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“ごみ電池”の概念実証を行ってきた²⁾。これまでの研究では、基礎的実験としてピーカ実験を行い、異なる電極材料や溶液の濃度ごとの発電特性を明らかにし、ごみ電池に電力を回収できることを確認した。本実験では、製作したプロトタイプのごみ電池と温湿度センサ、発信機等によって構成されるセンサユニットを接続し、焼却残渣溶液とごみ電池によって温度、湿度の無線モニタリングが可能か検証し、ごみ電池の IoT 電源としての評価を行うものである。

2. 実験の方法

表 1 に実験で用いたごみ電池を示す。正極に銅板、負極にマグネシウム板（縦 45 mm×横 15 mm×厚み 0.5 mm）を用い、保水体として吸水性と保水性の高い石膏と珪藻土を混合したものを用いた。石膏と珪藻土の質量比及び加水量は、質量比で石膏：珪藻土=10：3、加水量は固体質量分の 90%とした。蒸留水と混和しペースト状にした珪藻土を直方体のアクリルケースに流し込み、60°Cの乾燥炉で 1 日放置して硬化させた。また、短絡を防ぐための工夫として、正極と負極の間にシリコンシーラントで遮蔽加工を施した。次に、埋立廃物層内の保有水を再現するために、模焼却残渣溶液を作成した。容量 250ml のポリエチレン容器に 4.75 mm 以下の焼却残渣（質量比で、焼却灰：飛灰=3：1）に対して、液固比が 10 となるように純水を加えた。振とう機を用いて 200rpm で 6 時間振とうし、遠心分離機を用いて 2,000rpm で 20 分間、固液分離した後、孔径 0.1 μm のメンブレンフィルタを用いてろ過し、得られたろ液を焼却残渣溶液とした。図 1 にシステム構成、図 2 にセンサシステムを示す。実験で用いる通信方式は Bluetooth Low Energy（以下、BLE と呼ぶ）である。

これは Bluetooth の規格の一部で低電力動作に特化した無線通信技術である。まず、ごみ電池の保水体に焼却残渣溶出液をしみこませ発電させる。発電した電流をキャパシタに充電し、キャパシタに所定の電圧（2.1V 以上）が得られる電力を充電した後、BLE 送信モジュールにより BLE 通信を行う。PC 及びタブレット等がそのデータを受信する。以降、リセット IC により一定電圧に達する度に BLE 通信を行う。つまり、キャパシタは充電と通信による電力消費を繰り返す。キャパシタの端子にはデジタルテスターを接続し電圧を確認できるようにした。ごみ電池の保水体に焼却残渣溶出液を 1 セルにつき 1ml 吸水させて発電を行い、キャパシタを充電する。このときのキャパシタの電圧の時間変移を記録し、1 秒ごとの電圧値を記録した。また、BLE 通信によって温度データが送信されているかを PC で確認した。

表 1 使用したごみ電池

Type	1	2
Image		
EMV[V]	1.29	4.55
Power[mW]	0.82	2.20

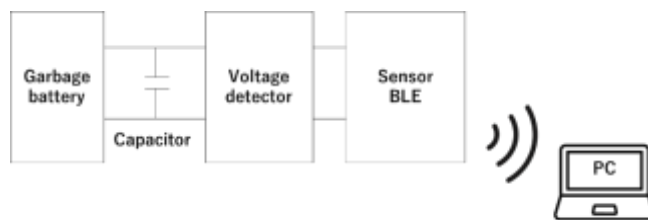


図 1 システム構成

3. 結果及び考察

単層のごみ電池を 2 個以上直列に接続した場合と 4 層のごみ電池を接続した場合のいずれにおいても、BLE 通信を介して温度と湿度のデータが送信されたことが確認できた。図 3 に通信が確認できたことを示す PC とタブレットを示す。PC 上のグラフは、アプリ「Cypress® BLE-Beacon」を用いて図化したものである。図 4 にごみ電池 1 組から 3 組までのキャパシタの電圧の経時変化を示す。1 組の場合は 1.39V で一定の値を示した。センサユニットの駆動電圧は 2.1V 以上であり、2.1V 未満の電源を接続した場合、BLE 通信モジュール側との回路が遮断され、キャパシタは電源と同じ電圧になるため、電力消費が起きず一定値を取る状態になるためである。2 組のとき、1.8V ~ 2.1V の間を約 5~7 秒周期で電圧値が上下していることが分かる。2.1V までキャパシタに電圧がかかるまでリセット IC によりセンサ側に電流が流れないようにしており、約 5 秒間の充電ののち、センサユニットで電力が消費され電圧が下がるという動作が連続して行われていることを意味している。3 組直列のごみ電池を接続したときは、3.08V~3.14V の間を約 2 秒間隔で僅かであるが上下に変動していることが分かる。電源電圧が駆動電圧に対して十分であるとき、センサユニットの消費電力分を充電する時間が短縮されることを示している。システムの発信インターバルは、抵抗値とコンデンサの容量によって調整することが可能である。例えば、センサを漏水検知に用いる場合、一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める省令（基準省令）では埋立地周縁地下水の異常を検知するために、埋立地の周縁観測井戸において毎月 1 回以上の電気伝導度と塩化物イオンの測定を義務付けている。この場合、測定間隔としては数週間に 1 度程度の頻度に設定される。

4. おわりに

本実験では、ごみ電池を用いた BLE 通信によるセンサユニット動作実験を行った。その結果、単層のごみ電池を 2 組以上直列につないだ場合と 4 層構造のごみ電池を接続した場合、センサユニットの駆動電圧 2.1V 以上を出力することができ、温度及び湿度のデータを PC に送信することを可能にし、ごみ電池を用いた BLE 通信による無線モニタリングの可能性を実証できた。今後の課題は、長期的なモニタリングの実証である。発信インターバルの調整やごみ電池の長寿命化を検討し、実用化に向けた研究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) 村上凜太郎ら：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、令和 3 年度土木学会西部支部研究発表会、pp.743~744、2021

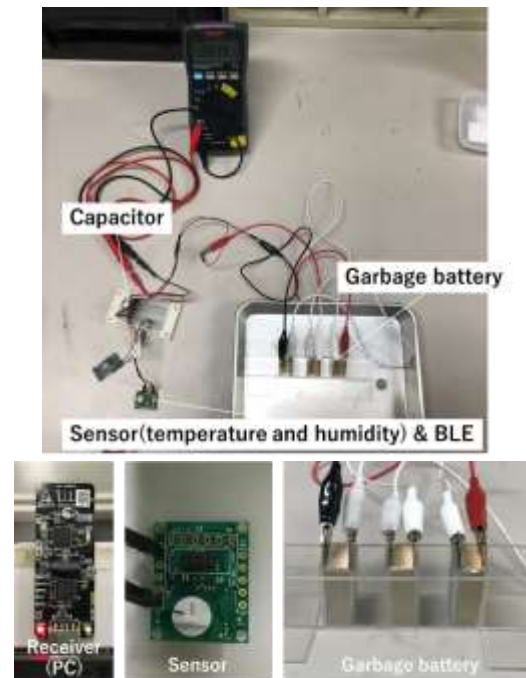


図 2 実験で用いた機器類の写真

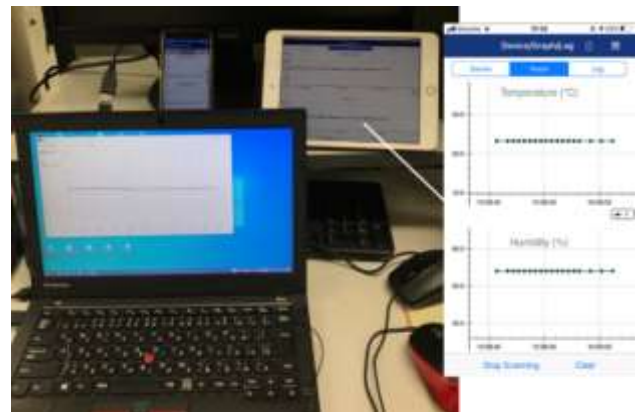


図 3 データ通信ができたことを示す PC、タブレット類

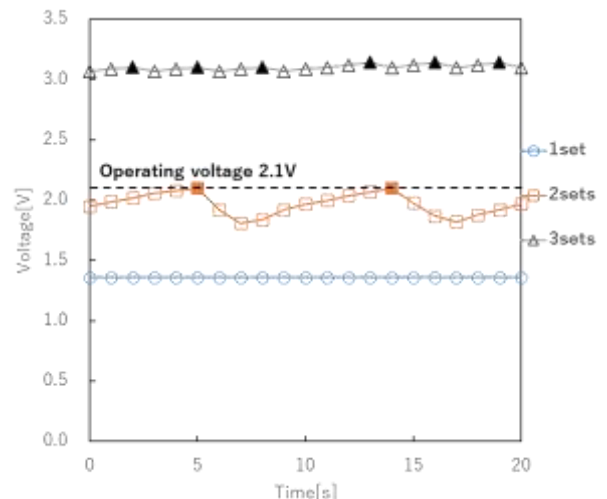


図 4 各ごみ電池接続時のキャパシタの電圧の経時変化