

## 超音波センサーを用いたペットボトル投入量推定システム

## Evaluation System for the Amount of PET Bottles Loaded Using Ultrasonic Sensors

那須 裕斗† 南 昂汰† 中村 亮太†  
Yuto Nasu Kota Minami Ryota Nakamura

## 1. 海洋プラスチックゴミ問題

海洋プラスチックゴミ問題は世界で最も大きな問題の 1 つである。すでに地球上の海に存在するプラスチックゴミの総量は 1 億 5,000 万トンを超えると推定されている。そして少なくとも年間 800 万トンのプラスチックゴミが新たに流入していると報告がある[1]。海洋プラスチックゴミ問題の懸念事項としては、海洋生態系への影響と海洋産業への影響、人体に及ぼす影響、観光産業への影響である。海洋生態系・産業については、海に流出したプラスチックゴミが分解され、マイクロプラスチックとなり、それを魚が誤食することが主な原因である。人体に及ぼす影響については、マイクロプラスチックを誤食した魚を人が食べることに、がんの発症リスクが高まるなどの健康被害が懸念されている。観光産業への影響については、プラスチックゴミの不法投棄により、景観が損なわれることが問題視されている。これら 4 つの問題を悪化させないためには不法投棄されたペットボトルのようなプラスチックゴミを拾い、海洋への流出を防ぐ必要がある。

## 2. 本研究の目的

本研究の目的は、海洋プラスチックゴミ問題を解決する一環として、路上や河川に不法投棄されたペットボトルゴミを世界中の人々が自主的に拾うことを促進するためのサービス(図 1 参照)を構築することである。本サービスは路上や河川で拾ったペットボトルゴミや使用済みのモノを、指定のゴミ箱に投入したユーザーの登録 ID、ゴミ箱の設置箇所、投入量を自動的に認識し、投入量に応じてユーザーに Point を付与するサービスであり、個人間または地域間におけるゴミ拾いに競争性を持たせることを目指している。本稿では上記サービスの機能の 1 つであるペットボトル投入量推定システムの開発と評価実験結果について示す。

## 3. 関連研究

## 3.1 各種センサーによるゴミ投入量推定について

Dadan[2]は、超音波センサー、GPS モジュール、GMS

モデム、Arduino UNO を用いて、ゴミ箱内のゴミの量を推定し、ゴミ箱の位置情報と共にその情報を管制室に送信している。Daniela[3]と Eunice[4]も、Raspberry Pi、荷重センサー、近接センサーを用いて同様のことを実現している。これら 3 つの研究は各種センサーを用いてゴミの量の推定を試みるという点で本提案システムと共通する。しかし、これらの研究ではゴミ箱内のゴミに対する適切な回収タイミングを自動検知し、回収の効率化を目的としており、ペットボトルなどのゴミをどのくらい投入したかを捉えることは実現されていない。

## 3.2 ゴミ回収促進支援について

スマートフォン向けのごみ拾い SNS アプリケーションであるピリカ[5]では、ゴミ拾い活動の様子の写真や現場の位置情報と共に、手動で測定したゴミ回収量の記録をアプリケーション内に残すことができる。またそれらの情報をユーザー間で共有することができ、ユーザー間での交流を実現している。清走中[6]という長野県で行われているイベントでは、拾ったゴミの種類や総量に応じてポイントを付与し、その合計ポイントを競い合うというゲーム感覚でゴミ拾い活動を実施することができる。これらのアプリケーションやイベントでは、ゴミ拾いに競争意識や達成感を持たせるという点で本研究と共通点がある。しかしながら、ゴミの量を自動で測定する機能は備わっていない。

ペットボトルリサイクル事業(セブン-イレブン・ジャパン×日本財団×横浜市)[7]では、ペットボトルの投入本数に応じて、ユーザーにポイントを付与する仕組みを構築している。ペットボトルを所定のゴミ箱に投入したユーザーに対してポイントを付与するという点では本研究と類似する。しかし、このシステムでは大型の専用装置を必要とするため、限られた場所にしか設置することはできない。これに対して本研究で使用するペットボトル投入量推定システムでは小型で持ち運び可能なタイプであり、既存のゴミ箱に装着することが可能である。

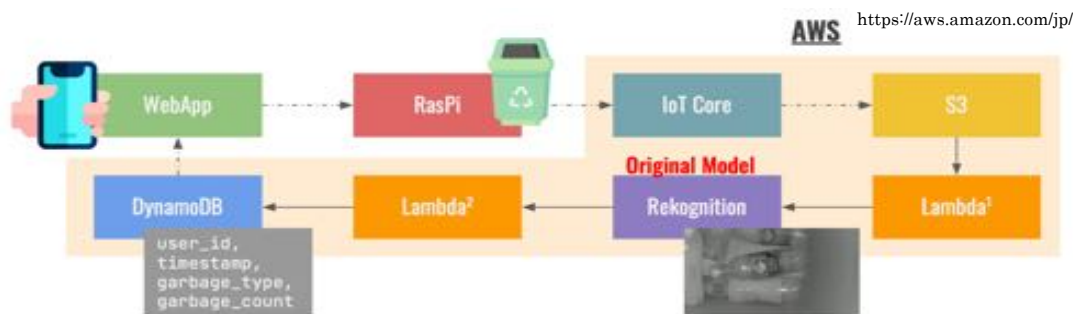


図 1 ペットボトルのゴミ拾い促進サービス

† 武蔵野大学 Musashino University

以上のように既存研究や既存サービスではゴミ箱容器内のゴミの量を自動検知したり、遠隔地に通知したりすることでゴミ収集の効率化を目的としたものがほとんどである。本研究の目的と同じようにペットボトルゴミの投入量を測定する装置は存在するが大型の専用装置であるために設置に対する制限が大きい。また、SNSを利用したゴミ回収促進サービスにおいてもゴミの量を自動で測定するなどの機能はなく、これらの運動を加速させるためにはより効率的にゴミ回収を支援する仕組みが必要であると考えられる。

以降4章ではプロトタイプ1として実装したペットボトル投入量推定システムの概要とシステムの各機能、使用方法、プロトタイプ1の評価実験結果を示す。5章では改良したプロトタイプ2のシステム概要および評価実験結果を示し、6章で本研究のまとめを示す。

## 4. ペットボトル投入量推定システム:プロトタイプ1

### 4.1 プロトタイプ1のシステム概要

図2に示すように Raspberry Pi 4 Model B と超音波センサー (HC-SR04) を組み合わせ、プロトタイプ1を実装した。ゴミ箱の中で超音波の衝突検出を行い、対象物までの距離を測定することにより、ペットボトルゴミの投入量を自動推定する仕組みである。なお、常時起動することを想定しているため、外部電源が必要である。またインターネットに接続可能な環境での使用を想定している。

プロトタイプにおけるペットボトル投入量の推定手順を以下に示す。

1. 図6に示すような形状とサイズのゴミ箱にプロトタイプを設置する（設置例：ゴミ箱の蓋の裏に超音波センサーを下向きに設置）。
2. プロトタイプを常時起動しておき、ペットボトルを投入する前に超音波センサーのデータを測定する（ここでの計測結果をゴミ箱内の高さの基準とする）。
3. ペットボトルの投入により超音波センサーの測定値に変化が生じた場合、一定時間待機し、測定値が安定した後に変化量としてその測定値を保存する。
4. 上記2で測定したペットボトル投入前の超音波センサーの測定値から上記3で測定したペットボトル投入後の超音波センサーの測定値を差し引き、ペットボトルの投入量として保存する。

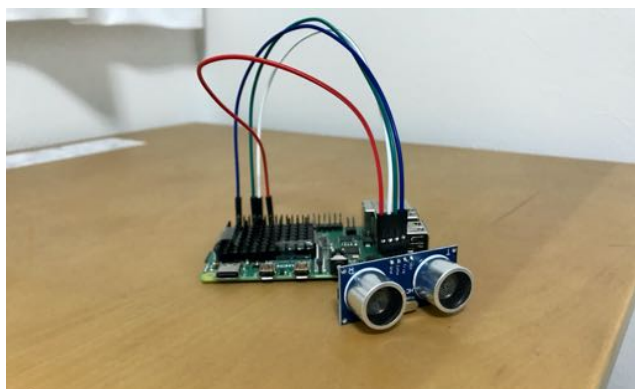


図2 ペットボトル投入量推定のための Raspberry Pi と超音波センサー

ペットボトル投入量推定値をユーザの Point としてクラウド上に保存する手順は以下のとおりである（図1参照）。

1. ペットボトル投入量推定値を AWS IoT Core を用いて MQTT 通信によりアップロードする。
2. S3 に保存されたことをトリガーとして Lambda が自動的に測定値をユーザの獲得 Point として DynamoDB に格納する（図3参照）。

現時点では、投入量推定値の整数部分をそのまま Point としているが、さまざまな形状や大きさのゴミ箱が存在するため、底面積の大きさや形状によってペットボトルの積み上がり方は異なることが予想される。ゴミ箱の底面積や形状、投入量推定値の変化量に応じた Point 換算法の検討が必要であると考えられる。

### 4.2 投入されたゴミの種類の自動認識機能

超音波センサーだけではゴミ箱に投入された物体を認識することはできない。そこで投入物がペットボトルかどうかを自動的に認識するために Raspberry Pi に接続したカメラによって物体認識を行う仕組みを実装した。図4に示すようにナイトビジョンカメラであればゴミ箱の中が暗かったり、夜間であったりしても投入されたものを物体検出に必要な明るさで撮影することができ、画像認識を行うことが可能である。ナイトビジョンカメラによって撮影された画像を Wi-Fi 経由で AWS の S3 にアップロードすることで Lambda がそれを検知し、Rekognition に画像データを引き渡す。Rekognition では、オリジナルの学習済み画像分類モデルを用いてペットボトルか否かを自動分類した結果を JSON データとして出力することが可能である。JSON データが取得されると2つ目の Lambda の機能が発動し、DynamoDB にデータが登録される。最終的に EC2 で起動した Web サーバー上の Web ページにユーザの獲得 Point が表示される仕組みを想定している。

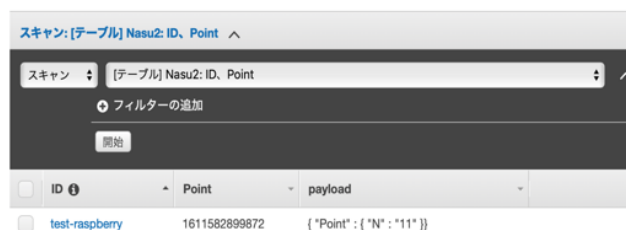


図3 データベースに格納された Point の例



図4 ナイトビジョンカメラによる物体検出

### 4.3 プロトタイプ 1 の評価実験

ペットボトルの投入量推定精度を調査するために、評価実験を行った。ゴミ箱の大きさは、幅 30cm、奥行き 30cm、高さが 40cm である。実験では、全 6 本の 500ml のペットボトルを潰さずに投入した。そしてペットボトルを 1 本投入するごとに、ペットボトル投入前の超音波センサーのデータからペットボトル投入後の超音波センサーのデータを引いた値を計算した。ペットボトルを 1 本ずつ (計 6 本) 投入する作業を 10 回行い、平均値と標準偏差を算出した。

図 5 は実験時の計測画面である。左の値がペットボトル投入後の超音波センサーの値であり、右の difference という値がペットボトル投入前の超音波センサーのデータからペットボトル投入後の超音波センサーのデータを引いた値である。

超音波センサーの測距範囲は 2 - 400[cm] であり、センサー基板正面を中心とした 15° の範囲である (分解能: 0.3[cm])。そのため、図 6 の左のようなゴミ箱内部の超音波の当たり方からゴミ箱の端にペットボトルが配置された場合に超音波センサーの測定値が変化しないことが予想された。しかしながら本システムではできるだけ簡素なシステム構成で実装することを目指しているため、1 つの超音波センサーでどの程度ペットボトルの投入量の変化を捉えることができるかを検証することとした

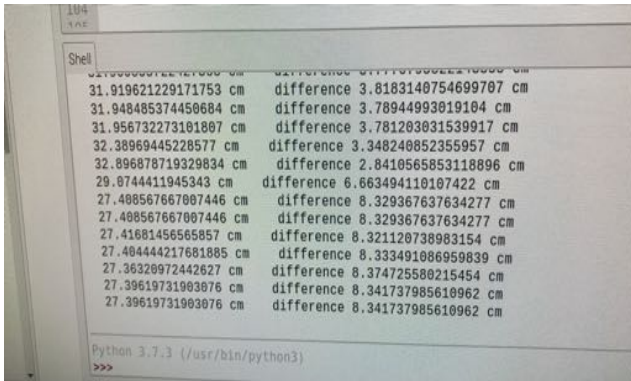


図 5 実験時の Raspberry Pi の計測画面

表 1 プロトタイプ 1 におけるペットボトル投入時の対象物までの距離測定結果

	試行 (回目)										平均値[cm]	標準偏差
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	2.78	0.00	0.00	2.12	0.00	0.00	1.43	0.00	4.69	0.00	1.10	1.55
2	2.55	0.00	1.48	1.03	5.66	1.44	1.57	0.00	1.33	4.08	1.91	1.68
3	3.56	3.22	4.48	6.27	2.33	4.33	3.87	5.34	2.99	4.12	4.05	1.09
4	4.23	3.83	3.25	8.29	3.27	2.72	1.10	5.77	1.12	4.33	3.79	2.02
5	4.10	6.38	6.72	8.67	4.15	5.44	10.1 3	1.87	4.47	2.65	5.46	2.45
6	5.82	6.55	7.31	4.22	3.98	8.87	11.2 4	9.21	4.56	7.98	6.97	2.28

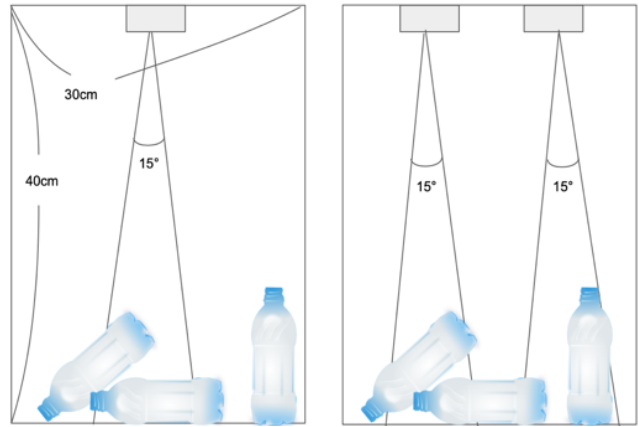


図 6 ゴミ箱内部の超音波の当たり方 (左: プロトタイプ 1, 右: プロトタイプ 2)

### 4.4 プロトタイプ 1 の評価結果

実験結果を表 1 と図 7 (上) に示す。全体的に見ると、ペットボトルの本数を増やすにつれて、超音波センサーの測定値は右肩上がりに上がっていることがわかる。しかしながら、4 本目の平均値 (ペットボトル投入量 4 本:  $\mu=3.79$  [cm],  $\sigma=2.02$ ) が、3 本目の平均値 (ペットボトル投入量 3 本:  $\mu=4.05$  [cm],  $\sigma=1.09$ ) よりも小さくなっている。また、1 本目 (ペットボトル投入量 1 本:  $\mu=1.10$  [cm],  $\sigma=1.55$ ) だけに焦点を当てて結果を見ると、10 回中 6 回ペットボトルを検出することができず、超音波センサーの値が 0.00[cm] になってしまった。これは、投入されたペットボトルがゴミ箱の端に落ち、超音波センサーの検出範囲外となったことが原因として考えられる。本研究において想定しているサービスでは、ゴミ箱に投入されたペットボトルの本数が 1 本であったとしてもユーザーにポイントを付与する必要がある。プロトタイプ 1 では 60% の確率でしか検出できないため、実用に耐えることはできないと考える。そこでプロトタイプ 1 に超音波センサーを追加し、どの程度改善することができるかを試みた。

## 5. ペットボトル投入量推定システム: プロトタイプ 2

### 5.1 プロトタイプ 2 のシステム概要

プロトタイプ 1 では 1 本目のペットボトルの検出確率が低くなるという問題があった。そこでプロトタイプ 2 では、1 本目のペットボトルの検出確率を高めることに重点を置き、超音波センサーの数を 2 個に増やして、ペットボトルの検出可能範囲を広げることを図った。図 6: 右がゴミ箱内部の超音波の当たり方を示すものである。

また、超音波センサーの数が 2 個に増えたため、ペットボトル投入前の超音波センサーのデータとペットボトル投入後の超音波センサーのデータのそれぞれの値は、2 つの超音波センサーの値を足して、その値を割り算出すこととした。ペットボトルの投入量推定方法は、ペットボトル投入前の超音波センサーのデータからペットボトル投入後の超音波センサーのデータを引いた値から推定し、プロトタイプ 1 と同様の方法を用いた。また Raspberry Pi と超音波

センサーの設置場所は、プロトタイプ1と同じくゴミ箱の蓋の裏とした。

## 5.2 プロトタイプ2の評価実験方法と結果

プロトタイプ2においてゴミ箱の大きさとゴミ箱へのペットボトルの投入数を変えずに、プロトタイプ1と同じ条件で評価実験を行った。

実験結果を表2と図7:下に示す。プロトタイプ1ではペットボトルを1本投入したにもかかわらず、超音波センサーの値が0.00[cm]となることが60%の確率で発生したが、プロトタイプ2では20%に抑えることができた。(ペットボトル投入量1本:  $\mu=1.52$  [cm],  $\sigma=1.08$ )。

そしてペットボトルの本数と増やすと、超音波センサーの値も右肩上がりが増加していることが確認できる。さらにプロトタイプ2では、プロトタイプ1の評価実験のときのように4本目の平均値が3本目の平均値よりも小さくなることもなかった(ペットボトル投入量4本:  $\mu=4.11$  [cm],  $\sigma=1.42$ , 投入量3本:  $\mu=3.37$  [cm],  $\sigma=1.18$ )。

また標準偏差の値にも着目してみると、プロトタイプ1の評価実験では1.09から2.45(最大値: ペットボトル投入量5本のとき  $\mu=5.46$  [cm],  $\sigma=2.45$ )であったのに対して、今回の評価実験では1.08から1.43(最大値: ペットボトル投入量5本:  $\mu=4.56$  [cm],  $\sigma=1.43$ )と値が小さくなることを確認した。

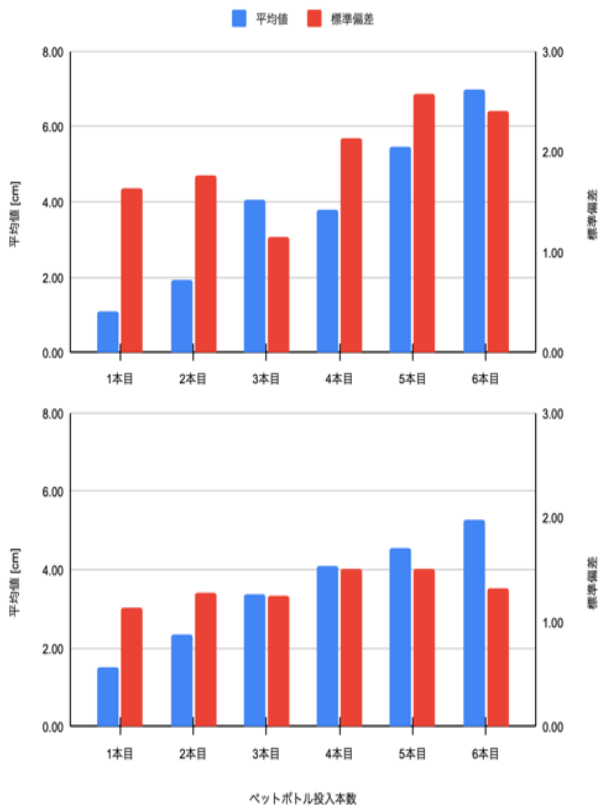


図7 ペットボトル投入時の対象物までの測定距離比較結果(上:プロトタイプ1, 下:プロトタイプ2)

表2 プロトタイプ2におけるペットボトル投入時の対象物までの距離測定結果

		試行(回目)										平均値[cm]	標準偏差
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ペットボトル投入本数(本)	1	1.78	1.12	0.00	3.32	1.27	0.90	1.80	3.23	0.00	1.74	1.52	1.08
	2	1.66	2.44	4.11	0.88	2.19	4.77	1.53	3.11	1.20	1.68	2.36	1.21
	3	4.01	5.64	3.30	2.45	4.03	3.21	3.92	1.20	3.88	2.01	3.37	1.18
	4	3.72	4.54	1.97	1.40	4.66	4.39	4.77	3.78	5.46	6.40	4.11	1.42
	5	5.44	2.17	5.45	2.70	6.68	4.47	2.75	5.02	5.80	5.07	4.56	1.43
	6	6.75	5.24	5.00	4.50	3.89	5.24	2.78	7.22	5.85	6.08	5.26	1.26

## 6. おわりに

本研究では、海洋プラスチックゴミ問題を解決する一環として、ペットボトルの回収を促進するためのペットボトル投入量推定システムを開発した。超音波センサーを備えた小型のエッジコンピュータを用いることによって既存のゴミ箱に後付け可能な仕様を考案した。構築したプロトタイプの評価実験の結果、超音波センサーを1つ使用した場合に比べ、2つの場合はゴミ箱に投入されたペットボトルに対して測定値のばらつきを軽減できることを確認した。

また本研究ではゴミ拾いをポイント化し、個人間または地域間におけるゴミ拾いに競争性を持たせることを目的としている。そのためにもペットボトルの投入量を高い精度で認識できる仕組みが求められる。

今後は超音波センサーによって得られる対象物までの距離(測定値)の変化からペットボトルの投入本数を推定する方法について検討を行っていく予定である。

## 参考文献

- [1] WWF JAPAN: 海洋プラスチック問題について(オンライン), 入手先<<https://www.wwf.or.jp/activities/basicinfo/3776.html>> (参照 2021-06-13)
- [2] Riyan Hadi Put, Feri Teja Kusma, Tri Nopiani Damayanti, Dadan Nur Rmadan, "IoT: smart garbage monitoring using android and real time database", TELKOMNIKA, Vol.17, No.3 (2019).
- [3] Vincenzo Catania, Daniela Ventura, "An Approach for Monitoring and Smart Planning of Urban Solid Waste Management Using Smart-M3 Platform"(2014).
- [4] Eunice David Likotiko, Devotha Nyambo, Joseph Mwangoka, "MULTI-AGENT BASED IOT SMART WASTE MONITORING AND COLLECTION ARCHITECTURE ", IJCEIT, Vol.7, No.5,(2017)
- [5] 株式会社ピリカ: ごみ拾い SNS ピリカ(オンライン), 入手先<<https://sns.pirika.org>> (参照 2021-0612)
- [6] PRTIMES: ゲーム感覚ゴミ拾いイベント「清走中」を2021年3月に長野県内5地域で開催決定!(オンライン), 入手先<<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000002.000063921.html>> (参照 2021-06-05)
- [7] 横浜市: ペットボトルリサイクル事業(セブン-イレブン・ジャパン×日本財団×横浜市)(オンライン), 入手先<[https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/sumai-kurashi/gomi-recycle/pla-taisaku/kigyuu/petbottle\\_recycle.html](https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/sumai-kurashi/gomi-recycle/pla-taisaku/kigyuu/petbottle_recycle.html)>(参照 2021-06-12)