

## 赤外線カメラを用いたゴミ画像分類ポータブルツールの開発 Portable Tool for Garbage Image Classification Using an Infrared Camera

南 昂汰<sup>†</sup> 那須 裕斗<sup>†</sup> 中村 亮太<sup>†</sup>  
Kota Minami Yuto Nasu Ryota Nakamura

### 1. はじめに

#### 1.1 海洋プラスチックゴミ問題

海を汚染し、生態系に影響を及ぼしている海洋プラスチックゴミが注目されている。重量をもとにした予測では、2050年までに海洋プラスチックゴミの量が魚の量を上回るとする報告もある[1]。Jamebeckらによると、2010年には沿岸国192カ国で2億7500万トンのプラスチックゴミが発生し、480万トンから1270万トンが海に流入しており、その発生源の多くが東南アジア地域であるという[2]。海洋プラスチックゴミは、漁獲量の減少や、魚の体内に取り込まれるプラスチックの蓄積といった海洋資源への損害を引き起こしている。また、海の景観が損なわれることによる観光業への悪影響、経済的な損失も考えられる。したがって、プラスチックリサイクルの促進、廃棄物管理の改善が国際的に求められている。

#### 1.2 既存のペットボトル自動回収機

ペットボトルの投入本数に応じて、ユーザにポイントが付与されるペットボトル自動回収機がある。しかし、既存のペットボトル自動回収機は大型で持ち運びができない据え置きのものである。また、スーパーマーケットなどの一部の箇所にしか配置されておらず、設置場所が限定的である。海沿いの地域や観光地といった、プラスチックゴミが海へ流入しやすい場所にあるゴミ箱を活用して、ペットボトル自動回収機のような仕組みを用意することが有効だと予想できる。不法投棄されたペットボトルゴミが海へ流入してしまうことを防ぐために、人々の自主的なゴミ拾いを促進、支援するサービスが必要である。

そこで本研究では既存のペットボトルゴミ箱に装着することで、登録ユーザがいつでもどこでペットボトルを投入したか認識し、投入量を測定し、サーバに自動的に蓄積するポータブルツールを開発している(図1参照)。本稿では、自動ゴミ分類機能、ゴミ投入量自動測定機能の2点の機能を実装した。

本稿では2章で関連研究、3章で本研究の目的を、4章ではエッジコンピュータにおける画像認識精度を確認するための予備実験について、5章ではプロトタイプシステムの2つの機能(自動ゴミ分類機能、ゴミ投入量自動測定機能)の概要とそれぞれの機能の実装方法について、6章ではプロトタイプシステムの評価と考察、7章で結論と今後の予定について述べる。

### 2. 関連研究

#### 2.1 カメラやセンサを用いたゴミ回収支援

Ramadanらは、ゴミ輸送担当者がゴミを運ぶ目安となる通知を送信することを目的とし、ゴミ箱に搭載された超音波センサ、GPS、GSMモジュールからデータを取得し、リアルタイムにデータベースへ送信するシステムを実現した[3]。この研究は、超音波センサを用いてゴミに関するデータを取得し、データベースに送信するという点では本研究と共通する。しかし、この研究はゴミの投入量や経過時間から、ゴミを運ぶべきサインとなる通知を送信するのに対し、本研究はゴミの投入量からゴミ拾い促進のためのポイントを算出する。また、赤外線カメラと機械学習を用いてゴミの種類を画像分類するという違いがある。

熊本らは、これまで成功率が低かった半自動海洋ゴミ回収の改善を目的とし、水中ロボットに吸引機構を搭載させることで海洋ゴミ回収操作を簡略化させたシステムの有効性を検証した[4]。この研究は、海洋ゴミに対処する手段を自動化するという点では本研究と共通する。しかし、この研究は海面上にすでに浮遊している海洋ゴミを効率的に回収することを目指しているのに対し、本研究は海洋ゴミの発生そのものを根絶することを目的としている。

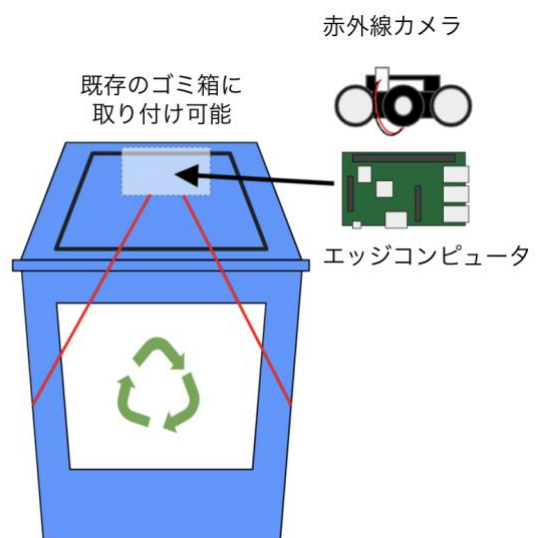


図1 赤外線カメラを用いた  
ゴミ画像分類ポータブルツール

<sup>†</sup> 武蔵野大学 Musashino University

## 2.2 ボランティア活動の促進と支援

ボランティア活動の促進と支援に関して関連研究と関連サービスを述べる。

大和らは、障害物検知に適した歩行データをユーザが積極的に収集することを目的とし、ゲーミフィケーションを組み込んだシステムを提案した[5]。この研究は、ゲームの要素や仕組みを応用するという点では本研究と共通する。しかし、本研究はユーザが積極的にペットボトルゴミを拾うことを目的としているという違いがある。

「ピリカ」[6]というスマートフォン対応のアプリケーションでは、写真や位置情報で自分のゴミ拾いを記録し、ピリカの利用者間でメッセージを送り合うことができる。拾ったゴミの量は自己申告する仕組みである。

株式会社Gabと学生団体Gomitomoは「清走中」[7]を長野県で開催した。この企画は、SDGsの達成に必要な主体的にゴミ拾いをする人口の増加を目的とした、ゴミ拾い競争イベントである。これらのアプリケーションや企画は、個人、地域でのゴミ拾い活動の促進支援、スコアリングによる競争、自主的、積極的なゴミ拾いの意識を持たせるという点で本研究と共通する。しかし、ゴミの画像認識機能や、ゴミの量を自動で測定する機能は搭載されていない。

「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）」[8]では、令和3年1月末までに横浜市内120店舗にペットボトル自動回収機を設置した。この事業は、ペットボトルの投入量に応じたポイントが自動で付与されるという点で本研究と共通する。しかし、この事業では専用のペットボトル自動回収機を必要とするが、本研究では既存のペットボトルゴミ箱でも投入量の測定が可能という点で異なる。

## 3. 本研究の目的

本研究の目的はペットボトルリサイクルを促進することである。ペットボトルのポイ捨てや不法投棄によって再利用の循環が止まることは海洋プラスチックゴミ問題にも関わっている。本提案ツールには自動ゴミ分類機能、ゴミ投入量自動測定機能の2つがある。自動ゴミ分類機能は、適切なゴミが投入されたかを判定するプロセスを自動化し、より効率的なゴミ回収サービスの実現につながると考える。従来のペットボトル自動回収機は、大型で持ち運びができない据え置きのものである。また、スーパーマーケットなどの一部の箇所にしか配置されておらず、設置場所が限定的である。専用のペットボトル自動回収機が新たに設置されるため、既存のペットボトルゴミ箱を活用することができないといった問題がある。しかし、本提案ツールを装着したペットボトルゴミ箱は、ペットボトル自動回収機と同様に、ペットボトルの投入量を測定し、ポイントを算出しユーザに付与することが可能となる。既存研究では、ゴミの投入量や経過時間から、ゴミを運ぶべきサインとなる通知を送信するなど、ゴミ輸送担当者がゴミ箱を巡回するルートの最適化を目的としたものが多い。それに対し、本研究はゴミを投入したユーザにポイントを付与し、ゴミ拾いのモチベーションを向上させることを目的としている。現在展開されているゴミ回収のボランティア活動促進サービスにおいても、ゴミの画像認識機能や、ゴミの量を自動で測定する機能は搭載されていない。しかし、本提案ツールを装着したペットボトルゴミ箱は自動ゴミ分類機能、ゴミ投入量自動測定機能までを実現することができる。本提案ツールを装着したペットボトルゴミ箱は、設置場所が限定されないため、道に落ちているペットボトルを拾って捨てるというユーザが使いやすく、ペットボトルリサイクル促進に役立つと考えている。



図2 本提案ツールの装着を想定しているゴミ箱の例

<https://www.google.co.jp/maps/@35.6295916,139.7863203,3a,23.3y,117.11h,77.66t/data=!3m6!1e1!3m4!1sCMZFfnozSYMTdjeYP4bTQ!2e0!7i16384!8i8192>

#### 4. 予備実験：エッジコンピュータにおける画像認識精度の検証

##### 4.1 予備実験方法

本提案ツールは、ペットボトルとカンを対象としたゴミ箱への装着を想定している(図2参照)。本提案ツールの自動ゴミ分類機能は、投入されたものがペットボトルまたはカンか、それ以外のゴミなのかを画像認識によって分類する機能である。

ゴミ箱の内部は、投入口からわずかな光が入るだけである。投入口にフタがあり、まったく光が入らないゴミ箱もある。可視カメラでは、ゴミ箱内部が暗く画像認識ができなかったため、照明で明るくするか、赤外線カメラを用いる必要があった(図3参照)。照明を用いた場合、ゴミ箱内部を均一に照らすことが難しく、光の反射によって画像認識に悪影響が生じるといった問題があるため、プロトタイプシステムでは赤外線カメラを採用した。

本提案ツールの自動ゴミ分類機能を実現するにあたって、エッジコンピュータ単独での画像認識精度を確認するための予備実験を実施した。機械学習用外部演算装置であるCoral USB Acceleratorをエッジコンピュータに接続し、赤外線カメラを取り付けた。学習済みモデルはmobilenet\_v1\_1.0\_224\_quant\_edgetpuを使用した。ペットボトルゴミ箱を想定したダンボール箱を明るい部屋に設置し、布を覆い被せることでゴミ箱内部の暗い環境を再現した。本提案ツールを装着したダンボール箱に、ペットボトルとカンを投入した。投入する順番や本数のパターンを9種類用意し、それぞれ3回ずつ実施した。投入する際、同時にではなく1本ずつ投入し、その度に認識結果を確

認した(図4参照)。以下に投入物のパターンを示す。

- Pattern 1 : ペットボトル1本
- Pattern 2 : ペットボトル2本
- Pattern 3 : ペットボトル3本
- Pattern 4 : ペットボトル4本
- Pattern 5 : カン1本
- Pattern 6 : ペットボトル1本, カン1本
- Pattern 7 : ペットボトル2本, カン1本
- Pattern 8 : カン2本, ペットボトル1本
- Pattern 9 : ペットボトル2本, カン2本



図3 可視カメラによる画像認識の様子



図4 赤外線カメラによる画像認識の様子

表1 予備実験で取得した認識結果

	1回目1本目	1回目2本目	1回目3本目	1回目4本目	2回目1本目	2回目2本目	2回目3本目	2回目4本目	3回目1本目	3回目2本目	3回目3本目	3回目4本目
Pattern 1	paper towel	-	-	-	soap dispenser	-	-	-	paper towel	-	-	-
Pattern 2	water bottle	hand blower	-	-	toilet seat	hand blower	-	-	hand blower	toilet tissue	-	-
Pattern 3	water bottle	water bottle	hand blower	-	water bottle	refrigerator	water bottle	-	water bottle	spotlight	washer	-
Pattern 4	water bottle	spotlight	water bottle	water jug	water bottle	washer	toilet tissue	oxygen mask	washer	toilet tissue	hand blower	hand blower
Pattern 5	paper towel	-	-	-	hand blower	-	-	-	hand blower	-	-	-
Pattern 6	hand blower	hand blower	-	-	water bottle	hand blower	-	-	water bottle	hand blower	-	-
Pattern 7	washer	hand blower	water bottle	-	washer	toilet tissue	hand blower	-	water bottle	hand blower	hand blower	-
Pattern 8	washer	hand blower	hair spray	-	rubber eraser	hair spray	medicine chest	-	lighter	toaster	oil filter	-
Pattern 9	spotlight	washer	water bottle	projector	hand blower	water bottle	water bottle	water jug	hand blower	water bottle	hair spray	hair spray

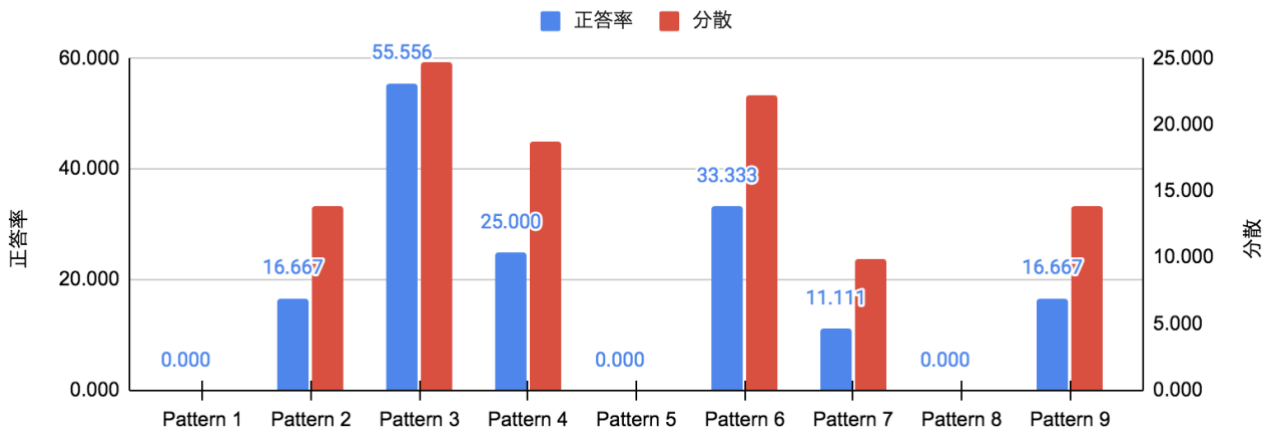


図5 予備実験における正答率と分散

## 4.2 予備実験結果

表1に示すように濃く色付けされている部分は投入物と認識結果が完全に一致したものである。例えばPattern 7に関しては3回目に1本目として投入したペットボトルが「water bottle」として認識され、投入物の種類と認識結果が一致していることを示す。その後、パターンごとに正答率と分散を比較することで、投入される物の組み合わせが精度に及ぼす影響について調査した(図5参照)。ペットボトルのみを3本投入するPattern 3の正答率が最も高い結果となった。しかし、認識精度のばらつきが大きく安定していなかった。また、カンを含むパターンでは、カンを含まないときと比較して正答率が低いことが分かった。カンを「can」と正しく認識できず、「hair spray」や「hand blower」と認識した。暗視下におけるMobileNetを用いた画像認識では、高い認識精度を確認することができなかった。

## 5. プロトタイプ：赤外線カメラを用いたゴミ画像分類ポータブルツール

### 5.1 システム概要

4.2の予備実験結果より、MobileNetの汎用的な学習済みモデルでは、暗視下におけるペットボトルとカンの認識精度が低いことが分かった。そこで、本提案ツールの自動ゴミ分類機能を実現するにあたり、AWS Rekognitionにてオリジナルモデルを作成した。エッジコンピュータ上で画像認識せず、クラウド上のモデルで画像認識することで、モデルを更新する度にエッジコンピュータへモデルをダウンロードする必要がない。本提案ツールが運用されることで日々取得する画像から、モデルをさらに学習させることが可能である。

図6に本提案システム全体構成図を示す。本提案システムでは、赤外線カメラを用いたゴミ画像分類ポータブルツールと今後実装予定のPhysical Webを用いた個人識別機能によって、誰がいつどこでペットボトルを投入したか自動的に認識し、投入量を測定しWebアプリケーションにデータを反映させる。まず、ポータブルツールによって撮影された画像がAmazon S3にアップロードされ、それを検知したAWS Lambdaがアップロードされた画像をAWS Rekognitionに転送し画像認識結果を受け取る。画像認識結果はAmazon DynamoDBへ自動的に蓄積され、Amazon EC2上に構築したWebアプリケーションにそれらのデータが反映される。

### 5.2 自動ゴミ分類機能

ペットボトルゴミ箱内部へ向けて、赤外線カメラと超音波センサがポータブルツール下部に取り付けられている(図7参照)。

ペットボトルとカン以外のゴミが投入されたとしても、超音波センサは反応してしまうため、画像認識による自動ゴミ分類機能が搭載されている。ペットボトルとカン以外のゴミが検出された場合、5.3のゴミ投入量自動測定機能によってユーザへ付与されるポイントが無効となる。エッジコンピュータがPythonプログラムによって赤外線カメラを制御し、暗いゴミ箱内部を撮影する。取得した画像データをクラウド上のストレージへ送信し、オリジナルモデルに画像認識させる。MQTTでAWS IoT Coreへ送信する手法では、フルHD画像のようなサイズの大きいデータの送信が制限されてしまう。そこで、Boto3ライブラリをPythonプログラムに追加し、Amazon S3へ画像データをアップロードする。

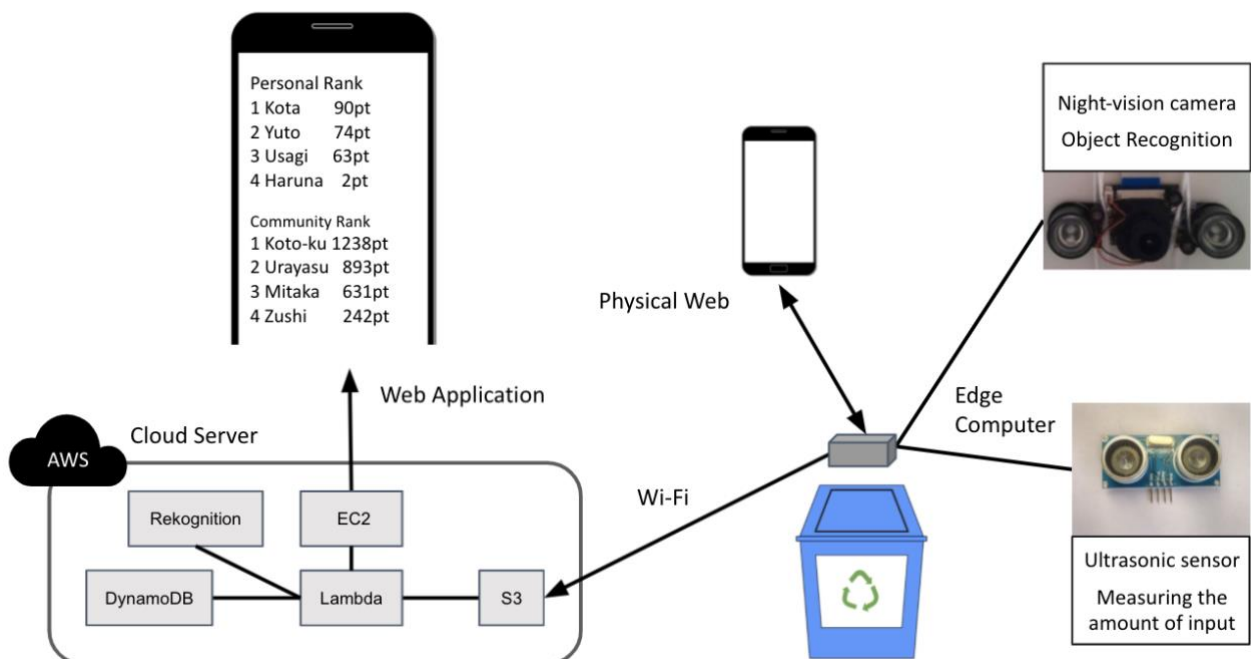


図6 本提案システム全体構成図

AWS : <https://aws.amazon.com/jp/>



図7 赤外線カメラを用いた  
ゴミ画像分類ポータブルツール下部

```
{
  "CustomLabels": [
    {
      "Confidence": 99.90599822998047,
      "Name": "NG"
    }
  ]
}
```



図8 NGラベルと予測された画像例

```
{
  "CustomLabels": [
    {
      "Confidence": 77.61700439453125,
      "Name": "OK"
    }
  ]
}
```



図9 OKラベルと予測された画像例

表2 画像認識評価結果

Label	F1 score	Test images	Precision	Recall
NG	0.979	24	1.000	0.958
OK	0.977	21	0.955	1.000

### 5.3 ゴミ投入量自動測定機能

エッジコンピュータがPythonプログラムによって超音波センサを制御し、ゴミ箱内部の投入量の測定とユーザに付与するポイントの算出を行う。現在は測定値の整数部分をそのままポイントとして扱っているが、ペットボトルゴミ箱の底面積に応じてペットボトルの積み上がり方は変わるはずである。今後、ペットボトルゴミ箱の底面積の大きさを考慮に入れたポイント計算システムを実装する。ポイントとタイムスタンプ、ポータブルツールのIDをJSON形式にまとめ、MQTTによってAWS IoT Coreへ送信する。AWS IoT Coreに設定したルールがトリガーされることで、これらのデータがAmazon DynamoDBに蓄積される。

## 6. プロトタイプ評価実験

### 6.1 評価実験方法

製作した赤外線カメラを用いたゴミ画像分類ポータブルツールのプロトタイプで撮影された画像に対して画像分類精度を評価した。ゴミ箱を想定したダンボール箱にペットボトルとカン、その他のゴミを投入し、赤外線カメラで撮影した220枚の画像をクラウド上にてラベル付けした。ラベルはNGとOKの2種類を設定した。NGラベルはペットボトルとカン以外のゴミが含まれる画像に付与されている。OKラベルはペットボトルとカンのみが含まれる画像に付与されている。ラベル付けしたデータセットの20%をテストデータセットとし、5.2の自動ゴミ分類機能で用いるオリジナルモデルをトレーニングした。このモデルの画像認識精度を確認することで、5.2の自動ゴミ分類機能の評価した。45枚のテストデータセットで予測されたラベルの種類と信頼スコアを記録した。

### 6.2 評価実験結果

表2に示すように、NGの画像に対する認識精度は97.9%と高い結果となった。同様にOKの画像に対する認識精度についても97.7%と高い結果となった。クラウド上で訓練データを用いて学習モデルを構築した結果、ゴミ画像を90.0%の精度で分類することが可能となった。ペットボトルとともに包装袋などのゴミが混入している場合において、非常に高い精度でNG画像と認識できることを確認した。例えば図8のような画像に対して99.9%のConfidence(以下、信頼スコア)が得られた。また、ペットボトルが複雑に積まれた場合においても、OK画像と認識できることを確認した。例えば図9のような画像に対して77.6%の信頼スコアが得られた。以上のように全体に対して高い認識精度が得られたが、表3に示すように、信頼スコアが一桁台となったものも複数あることを確認した。

表3 評価実験予測結果

	ラベル	信頼スコア		ラベル	信頼スコア		ラベル	信頼スコア		ラベル	信頼スコア
テスト画像01	OK	95.3%	テスト画像13	OK	88.9%	テスト画像25	NG	99.7%	テスト画像37	OK	91.1%
テスト画像02	OK	45.8%	テスト画像14	OK	15.3%	テスト画像26	NG	99.6%	テスト画像38	NG	99.8%
テスト画像03	OK	93.3%	テスト画像15	OK	96.0%	テスト画像27	NG	99.7%	テスト画像39	OK	53.7%
テスト画像04	OK	98.6%	テスト画像16	NG	99.5%	テスト画像28	NG	95.4%	テスト画像40	OK	5.0%
テスト画像05	OK	84.6%	テスト画像17	NG	100.0%	テスト画像29	NG	98.7%	テスト画像41	OK	55.9%
テスト画像06	OK	20.4%	テスト画像18	NG	99.8%	テスト画像30	NG	95.5%	テスト画像42	OK	17.6%
テスト画像07	OK	6.4%	テスト画像19	NG	99.3%	テスト画像31	NG	99.9%	テスト画像43	NG	97.8%
テスト画像08	OK	99.5%	テスト画像20	NG	82.4%	テスト画像32	NG	99.7%	テスト画像44	NG	99.4%
テスト画像09	OK	78.4%	テスト画像21	OK	5.1%	テスト画像33	NG	99.9%	テスト画像45	NG	99.9%
テスト画像10	OK	99.4%	テスト画像22	NG	99.6%	テスト画像34	NG	98.7%	-	-	-
テスト画像11	OK	97.9%	テスト画像23	NG	95.3%	テスト画像35	NG	100.0%	-	-	-
テスト画像12	OK	72.8%	テスト画像24	NG	99.3%	テスト画像36	NG	99.9%	-	-	-

### 6.3 考察

表3の予測結果からOK画像よりもNG画像に対する信頼スコアの方が全体的に高いことが確認できる。この結果から、特にNG画像に対して高い精度で認識できることが示唆される。テスト画像07と21、40はOKであると正しく予測しているものの、著しく信頼スコアが低い。これら3枚のテスト画像に共通しているのは、色が濃い派手なペットボトルが含まれているという点だった。独特な形状や派手なロゴを持つペットボトルやカンなど訓練データに存在しないものが混在していることが、信頼スコアを大きく下げる要因であることを確認した。この問題については、訓練データの数や種類を蓄積することで解決できる可能性が高い。本研究ではペットボトルゴミの投入量に応じて登録ユーザにポイントを付与するサービスの構築を目指している。ペットボトル専用のゴミ箱またはペットボトルとカンを混入可能なゴミ箱において、投入されたゴミの種類の判別に高い精度が要求されるが、上記のプロトタイプの評価実験結果より実用に耐えうる可能性が示唆された。引き続きデータセットを拡充し、精度の高い画像認識モデルの構築を行う。

### 7. おわりに

本稿ではペットボトルリサイクル促進を目的とし、ペットボトルとカンの投入量に応じたポイントのユーザへの付与、ペットボトルとカン以外のゴミの認識までを自動で行うポータブルツールを開発した。本提案ツールの機能として自動ゴミ分類機能、ゴミ投入量自動測定機能の2つを実装した。自動ゴミ分類機能は、適切なゴミが投入されたかを判定するプロセスを自動化し、より効率的なゴミ回収サービスの実現につながる。本提案ツールを装着したペットボトルゴミ箱は、設置場所が限定されないため、道に落ちているペットボトルを拾って捨てるというユーザが使いやすく、ペットボトルリサイクル促進に役立つ。今後、個人識別機能を実装予定である。ユーザ識別の応答速度と認識精度を検証したいと考えている。

#### 参考文献

- [1] Len Neufeld, Fabienne Stassen, Ruth Sheppard, Terry Gilman, "The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics", World Economic Forum, Geneva, Switzerland (2016).
- [2] Jenna R. Jambeck, Roland Geyer, Chris Wilcox, Theodore R. Siegler, Miriam Perryman, Anthony Andrady, Ramani Narayan, Kara La

vender Law, "Plastic waste inputs from land into the ocean", Science, Vol.347, Issue 6223, pp.768-771 (2015).

- [3] Dadan Nur Ramadan, Riyan Hadi Putra, Feri Teja Kusuma, Tri Nopiani Damayanti, "IoT: smart garbage monitoring using android and real time database", TELKOMNIKA, Vol.17, No.3, pp.1483-1491 (2019).
- [4] 熊本 光, 白倉 尚貴, 高松 淳, 小笠原 司, "吸引機構を搭載した水中ロボットによる海洋ゴミ回収システム", ロボティクス・メカトロニクス講演会2020, 1A1-B11 (2020).
- [5] 大和 佑輝, 奥川 和希, 呉 健朗, 栗飯原 萌, 古市 昌一, 宮田 章裕, "ゲーミフィケーションを用いたバリア検出のための歩行データ収集システム", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.25, No.1, pp.12-20 (2020).
- [6] 株式会社ピリカ: ごみ拾いSNS ピリカ (online), available from (<https://sns.pirika.org>) (accessed 2021-06-17).
- [7] PR TIMES: 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! (online), available from (<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000002.000063921.html>) (accessed 2021-06-17).
- [8] 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) (online), available from ([https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/sumai-kurashi/gomi-recycle/pla-ta-isaku/kigyuu/petbottle\\_recycle.html](https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/sumai-kurashi/gomi-recycle/pla-ta-isaku/kigyuu/petbottle_recycle.html)) (accessed 2021-06-17).