

サーキュラーエコノミー実現に向けた工業高校生の育成 ～廃プラからサステナブルなマテリアルリサイクルの実現～

静岡県立沼津工業高等学校 電子ロボット科 教諭

山田 幸宏

1. 背景・目的

近年、環境・社会・経済のさまざまな課題が深刻化する中で、持続可能な社会の実現が求められている。特に、SDGs の目標 12「つくる責任、つかう責任」の達成に向けた取り組みは、工業高校生にとって重要な視点である。

日本では年間約 940 万トンのプラスチックごみが排出されており、本校においてもものづくりによる材料消費が多く、消耗品費の増加が課題となっている。よって、回収したプラスチックを 3D プリンター用フィラメントに再生する技術を研究し、技術教育と環境意識の向上を目指した。そこで、サーキュラーエコノミーの実現に貢献することを目的とした AI 技術による廃棄プラスチックの回収およびリサイクル技術の実践を行った。

2. Huskylens による物体認識とその回収

AI カメラである Huskylens¹⁾を活用し、廃棄された PET ボトルを認識することで、ロボットが回収を行うプロジェクトを進めた。Huskylens がボールを認識している様子を図 1 に示す。ロボットには、レゴ® エデュケーション SPIKE™ プライムセット²⁾を活用し、組み立てを行った。実際に活用したロボットを図 2 に示す。はじめに、Huskylens にてブロックを認識する。その後、認識したブロックの中心座標 x , y 座標を基に、ロボットは目標物まで回収に向かう。そして、アームを利用してブロックを掴むことに成功した。

しかし、PET ボトルを認識するためには、多様な PET ボトルの形状を認識しなければならない点や、背景に映る物を PET ボトルと誤認する問題を解消することができず、PET ボトルを回収するまでに至らなかった。



図 1 Huskylens によるボールの認識



図 2 ロボット本体

3. 水中ドローン

① 製作背景

本校周辺には、一級河川である狩野川が流れており、その河川を利用した部活動にボート部が存在している。ボート部は、台風や大雨などの悪天候の後に廃棄された多数の PET ボトルを回収する作業を行っており、環境美化に貢献している。そこで、廃棄プラスチックをロ

ボットが回収し、3Dプリンターの材料として活用するため CHASING 社の gladius mini s 水中ドローン³⁾を活用した。本校のプールを活用し動作確認している様子を図3に示す。

② 狩野川での PET ボトル回収

実際に狩野川にて、水中ドローンを動作した様子を図4に示す。一級河川である狩野川は流れが速いため、水中ドローンに搭載されているアームでは廃棄プラスチックを掴むことが困難であった。そこで、3Dプリンターでアーム本体を拡張し、確実に掴めるよう工夫した。そのアームを図5に示す。

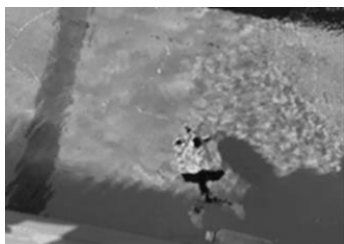


図3 水中ドローン



図4 狩野川での実験

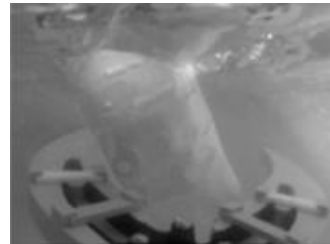


図5 拡張したアーム

4. PET 素材フィラメント化装置の製作

① 製作背景

日本国内で排出されるプラスチックごみのうち、PET ボトルは約 6～14%を占めている。河川や海岸に漂着するプラスチックごみでは、その割合が約 40%にまで増加しており、環境への影響が特に大きいことが分かる。PET ボトルは使用後に適切に処理されず、自然界に流出しやすい傾向があり、回収・再利用の優先度が高いプラスチックごみの一つといえる。

一方で、PET ボトルはリサイクルによるコストが高い状況にあり、3D プリンターのフィラメントとして活用することで、新たな資源としての価値を低コストで生み出す可能性がある。そこで、2・3で回収した PET ボトルを加工することで 3D プリンターの材料として再利用できる装置の製作を行った。

② PET ボトルのフィラメント加工手順と採用した方法

PET ボトルを 3D プリンターのフィラメントとして再利用するため、帯状に裁断した PET ボトルを加熱し、チューブ型の紐状に成形する方法を採用した。

- i. PET ボトルは筒状の形状をしているため、破砕するよりも均一な幅でカットする方が容易であり、安定した形状を得やすい。このため、破砕ではなく帯状に裁断した。
- ii. 内径を大きく加工した特製の 3D プリンターノズルを加熱し、帯状の PET を通しチューブ型の紐状に成形した。
- iii. 不均一な引き回しや巻き取りを行うと、フィラメントの直径がバラつき、プリンターの使用に当たって押し出し不良の原因となるため、高トルクのギアモーター及び自作ギア型スプールを使用し均一な張力を維持しながら巻き取った。

③ リサイクル PET フィラメントの特性と 3D プリント時の品質について

製作したリサイクル PET フィラメントは、内部が中空構造であり、融解時の粘度が高いため空気を含みやすく製品フィラメントと異なる特性を持つが、押し出し温度やプリント速度を正しく調整することで、図 6～図 8 のように強度や仕上がりにおいて、既製品のフィラメントとほぼ同じ品質で印刷することが可能であることを確認した。

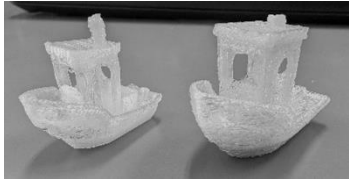


図 6

左:既製品 右:リサイクル

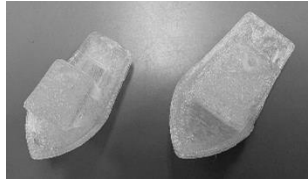


図 7

左:既製品 右:リサイクル

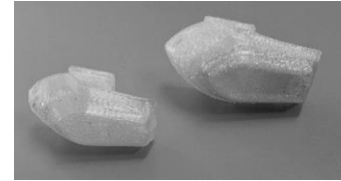


図 8

左:既製品 右:リサイクル

5. 多様な廃プラスチック素材のフィラメント化

ここでは、PET ボトルのように単純な加工が難しい形状の廃プラスチックをフィラメント化することを目的とした。そのために、ARTME3D 社の「Filament Extruder MK2.5」⁴⁾を製作し、フィラメントの成形に利用した。今回は主に PET ボトルキャップを対象とし、加熱・押出成形を行いながら、素材ごとの特性を調査した。

① 使用素材とフィラメント化の評価

廃プラスチックをフィラメント化するために、PP、PLA、ABS の 3 種類の素材を選定し、チップ状に加工して使用した。それぞれの素材の特性とフィラメント化の課題について以下にまとめる。

i. PP (ポリプロピレン)

加熱・押し出し成形時に、押し出しノズルの内径の約 2 倍に膨張する特性があり、成形が難しかったが、押し出し時の調整に注意すれば、最もきれいなフィラメントを成形することが可能であった。

ii. PLA (ポリ乳酸)

湿度管理が非常にシビアであり、適切に管理しないと加熱時に水分が気泡となり、フィラメントの品質が著しく低下した。電気炉などで長時間乾燥させることで、ある程度の品質向上が可能であった。

iii. ABS (アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン)

硬度が高く、粉碎加工が困難であり、融解温度が高いため、押し出し成形の安定性が低く、均一なフィラメントを作ることができなかった。

PP は適切な押し出し管理を行えば良質なフィラメントが得られる可能性があるが、PLA と ABS については事前処理や加工方法の工夫が必要であることが分かった。特に PLA の水分管理と ABS の粉碎・融解温度の調整が今後の課題となる。

② 各素材リサイクルフィラメントの特性と 3D プリント時の品質について

製作したリサイクルフィラメントを 3D プリンターでの使用可能性を検討した結果、リサイクルした PLA および ABS フィラメントは品質が安定せず、押し出し自体が困難であったため、3D プリントには適さなかった。

一方、リサイクル PP フィラメントは安定した吐出が可能であったものの、素材の特性上、ビルドプレートへの定着が難しいことが確認された。PP は他の素材とは接着しにくい、PP 同士であれば接着するため、ビルドプレートに PP テープを貼ることで定着が可能となった。しかし、印刷中の温度変化による収縮の影響で、造形物が約 20mm 以上の高さとなると造形物自体にゆがみが生じ積層が困難となる問題が発生した。以上の結果から、リサイクル PP フィラメントは 3D プリンターでの使用が可能であるものの、定着性や温度変化による収縮の課題があり、安定した造形を実現するためには印刷条件の最適化が必要であることが分かった。

6. まとめ

本研究では、工業高校生のサステナブル教育を目的として、廃プラスチック回収ロボットの製作とフィラメント化に関する研究を行った。製作及び実験を通じて、実際の河川等より廃プラスチックごみ回収には至らなかったが、廃プラスチックごみから 3D プリンターの材料であるフィラメントへの安定的な加工を可能とし、一部の廃プラスチック素材からは既製品として販売されているフィラメントと同様の精度での印刷を実現することができた。

さらに、12 月に開催された小・中・高校生を対象としたイベント「未来の科学者技術フェスティバル」において、本研究の内容と成果を発表し、多くの参加者に対してリサイクル技術の可能性やサステナブルなものづくりの重要性を伝えることができた。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、公益財団法人天野工業技術研究所様から多大なご支援を頂きました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) Gravity - HUSKYLENS (AI MV カメラモジュール)
<https://www.switch-science.com/products/6248>
- 2) LEGO Education SPIKE
<https://spike.legoeducation.com/>
- 3) CHASING | チェイシング
<https://chasing.co.jp/products/gladius-min/>
- 4) Filament Extruder MK2.5
<https://www.artme-3d.de/produkte/desktop-filament-extruder-mk2-5/produktbeschreibung-mk2-5/>