

海洋破碎プラスチックごみ回収ロボットの開発

—第3報 ごみ・砂分離機構と砂浜での統合実験—

Development of Garbage Collecting Robot for Marine Microplastics

-3rd Report : Sandy beach integration experiment of the separation mechanism for garbage and sand-

宇野光輝 (九州大) ○正 倉爪亮 (九州大)
正 松本耕平 (九州大)

Mitsuki UNO, Kyushu University

Ryo KURAZUME, Kyushu University, kurazume@ait.kyushu-u.ac.jp

Kohei MATSUMOTO, Kyushu University, matsumoto@irvs.ait.kyushu-u.ac.jp

Marine microplastics are plastic products that are crushed while drifting through the ocean and washed up on beaches. The presence of these garbage threatens the safety of beaches and marine ecosystems seriously. However, it is difficult to manually collect small microplastics scattered on beaches. Therefore, this study aims to develop a cleaning robot that automatically collects marine microplastics scattered on beaches and eliminates the workload from people. In this paper, we first explain the concept of the cleaning robot, then describe the configuration of the robot (conveyor belt and transfer mechanism) for effective microplastics collection, and the integration experiment conducted on a beach.

Key Words: Cleaning robot, Microplastics

1 緒言

現在、世界中で海洋破碎プラスチックごみによる海洋汚染が問題となっている。海洋破碎プラスチックごみとは、人々が海に捨てたペットボトルなどのプラスチック製品が、海を漂う間に破碎され砂浜などに打ち上げられた小さなごみを指す。これらのごみの存在は、砂浜の景観や安全性を損なうだけでなく、海洋生物が餌と間違えてしまうことで、海の生態系を崩してしまう。現状、目に見える大きなごみはボランティアの方々などにより清掃されているが、図1に示すような砂と混じり合い広範囲に散在する小さなごみは、人手では処理が非常に困難であり、大きな問題となっている。



Fig.1 Marine microplastics

そこで本研究では、砂浜でこのような小さな海洋破碎プラスチックごみを回収するためのロボットを開発している。本稿では、まずロボットによる砂浜のごみ回収の基本的な流れを紹介し、開発した機構として、砂とごみを掘り出すためのツメの機構とそれらを分離するベルトコンベアの機構を解説した後、それらを統合し実際の砂浜にて行った性能確認実験について述べる。

2 先行研究

現在、世界的な問題である海洋汚染に対処するため、ロボットを利用したごみ回収システムが多く提案されている。例えば、ほうきとちり取りを模倣した機構によりごみ回収を行う清掃ロボット [1] や、悪路に適した走行機構を採用しつつ、シャベルを用い

てごみを回収する清掃ロボット [2]、またクローラ式の足回りを採用し、ベルトコンベアを利用して大きなごみを回収する清掃ロボット [3] などが提案されている。しかし、これらのロボットは、主に壊れたペットボトルなど、目に見える大きなごみを回収することを目的としており、人手による回収の難しいマイクロプラスチック (大きさ 5mm 未満) を効率的に回収可能なロボットは提案されていない。

また以前我々は、小さなごみの回収を行えるロボットとして、図2に示すように、バキュームの吸引力を利用してごみ回収を行うロボット [4] を開発した。しかし、バキューム自体の電力消費が非常に多く、さらには砂とごみの分離性能に大きな課題があった。



Fig.2 Vacuum type robot[4]

3 ごみ回収ロボット

これらの先行研究を踏まえ、我々はごみ回収において重要な機能として、砂とごみの「掘り出し」と「分離」に着目し、図3に示すようなロボットを開発した。このロボットは、ロボット前方に砂とごみを掘り出すツメと移送機構を備え、その後方に砂とごみを分離するベルトコンベアを搭載している。大きさは縦 1600mm、横 1500mm であり、一度の走行で大量のごみを回収することができる。図4にごみ回収のプロセスを示す。ロボットが前進動作を行うと、前方に搭載したツメにより砂とごみを掘り出し後方に送り、後方に搭載されたメッシュのベルトコンベアを回転させることで砂とごみを分離する。分離されたごみは、ベルトコンベア上に設置された複数のスキージによって、大きさ毎に分

類し回収される。またこれら機構の動力源はすべてモータであり、バキュームに比べて電力消費を大きく抑えることができる。これらの構成により、砂浜に埋まる小さなごみを確実に回収しつつ、効率的な作業が可能である。

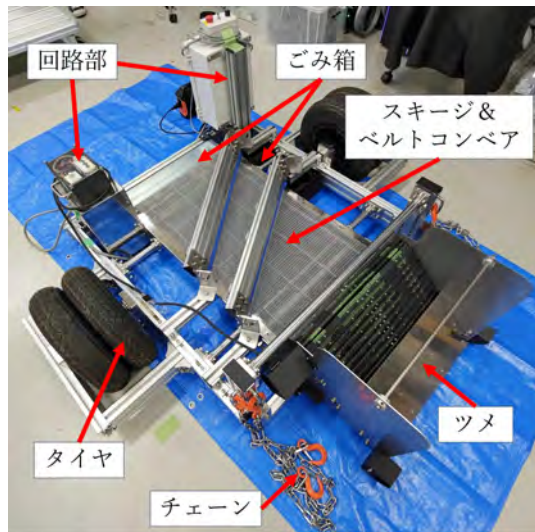


Fig.3 Garbage collecting mechanism

大きな砂山が形成される。この形成された砂山の中から、上部の移送機構がごみを掘り出し、強制的に後方のベルトコンベアに移送する。幅は約 500mm、高さは約 290mm あり、図 6 に示す断面図から分かるように、ベルトコンベアの回転軸上部に、移送機構の駆動輪があるように設計されているため、掘り出した砂山から確実にごみを移送することが可能である。

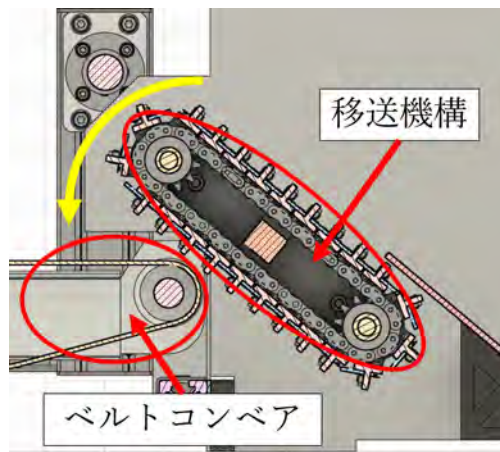


Fig.6 Conveyor belt and transfer mechanism

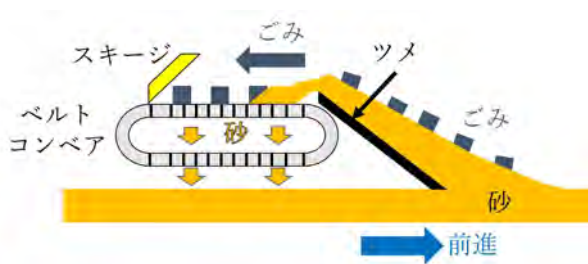


Fig.4 Garbage collection process

4 砂とごみを掘り出すツメ機構

図 5 に開発したツメ機構を示す。本機構は、砂浜に散在するごみを掘り出すことを目的として開発した。



Fig.5 Claw mechanism

本機構における、砂とごみを掘り出すツメの傾斜部分は、上半分を移送機構、下半分をアルミ製の板で構成されている。ロボットが前進すると、機構下部の板により砂が掘削され、機構前方に

図 7 にツメ全体の 3D モデルと、移送機構内部の構成を示す。ベアリングを留める軸受けユニットに対して軸を通し、スプロケットとアタッチメント付きチェーンを組み合わせることで移送機構を実現した。またアタッチメント付きチェーンに対して 3D プリンタで製作した履板を何枚も繋ぎ合わせることで履帯としている。防水・防塵の対策として、使用するモータには、保護等級は IP65 のオリエンタルモーター製のブラシレス DC モータ「BLHM450KC-50」を採用した。また機構の回転において重要な軸受け周りには、接触シールを施した防塵ベアリングを採用し、その上からオイルシールを取り付けることで、軸の回転を保護した。

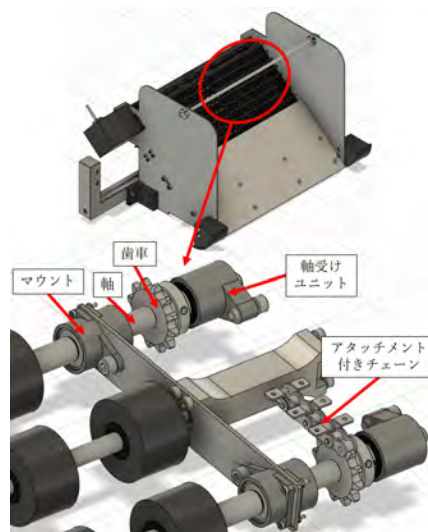


Fig.7 Detail of the transfer mechanism

5 砂を分離するベルトコンベア機構

図 8 に開発したベルトコンベア機構を示す。本機構は、ツメ機構から送られた砂とごみに対し、砂を分離しつつごみを分類して回収する役割を持つ。



Fig.8 Conveyor belt

本機構は、左右に不整地移動用の直径 400mm のタイヤを取り付け、ベルトコンベアの横と後方にごみ箱が取り付けられた構成となっている。ベルトコンベアの回転部分に採用したメッシュは、網目が 2~4mm となっており、一般的に 1mm 以下とされる砂粒のみを分離しつつ、マイクロプラスチック以上の大きさのごみを回収する。ベルトコンベア上には、スキーージと呼ばれるゴム製の板を用いたガイドを、ベルトコンベアの進行方向に対して 45 度傾けて取り付け、これは図 9 に示すように、流れてくるごみが、スキーージに当たりながら徐々に端まで誘導され、最終的にベルトコンベア横に取り付けたごみ箱により回収されるという仕組みである。スキーージは 2 つ搭載しており、前方のスキーージはベルトコンベア上から高さ約 7mm の隙間を作るように取り付け、後方のスキーージは高さ約 3mm の隙間を作るように取り付け、これらを用いることで、流れてくるごみに対して大きさ毎に分類しながら回収することができる。

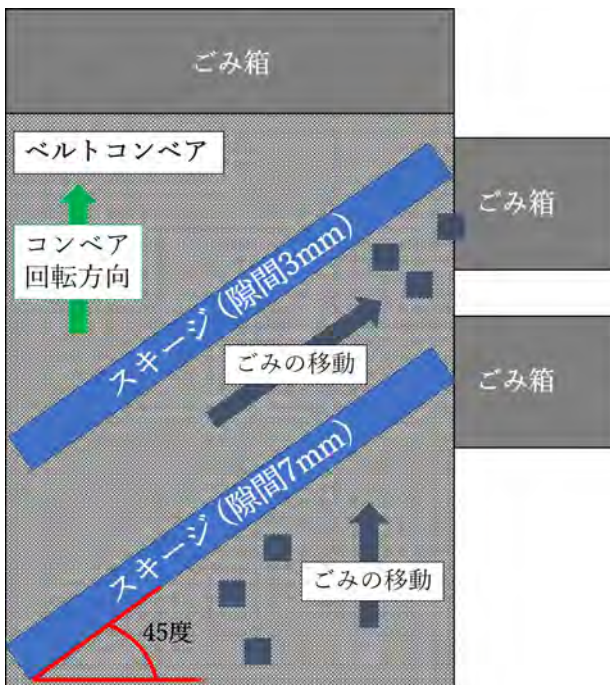


Fig.9 Concept of the conveyor belt

ベルトコンベアの配線図を図 10 に示す。ベルトコンベアを回転させるモータから出力調整用の変換インバータが繋がり、そこから専用のコントローラスイッチが接続されている。コントロー

ラスイッチには、緊急停止スイッチに加え、速度制御用のつまみと、回転方向変更用のトグルスイッチが存在する。これら回路部分は、専用の防水プラスチックボックスで防護されており、砂浜での使用を想定した防水仕様とした。



Fig.10 Controller of conveyor belt

6 統合実験

本節では、ここまでで紹介した機構を統合し、実際の砂浜にてごみ回収性能を確認するために行った統合実験について述べる。

6.1 実験方法

福岡市の寺山海岸にて実験を行った。また実験当日の砂の含水率は約 1~3% であり、砂に散らばるごみとして、長さ 10~100mm 程度の木片が特に多く、大きさ 20mm 以上のプラスチック片などが散在していた。図 11 に使用したロボットを示す。株式会社オーレック製のクローラロボットの後方に、製作したツメとベルトコンベアチェーンで取り付けている。本実験では、このクローラロボットを用いてごみ回収機構を牽引し、そのごみ回収性能を調査した。



Fig.11 Garbage collecting robot

6.2 結果

本実験での掘削の様子を図 12 に示す。図 12 の上側がロボットの走行の様子、下側がごみ回収の様子である。ロボットの前進により掘削を行い、赤丸で示すように移送機構が砂とごみをまとめて後方に移送している様子が見える。また旋回動作の様子を図 13 に示す。牽引するクローラロボットに合わせて、連続稼働しながら進行方向を変更できることが確認できた。前進・旋回動作においてロボットは止まることなく進み続け、移送機構・ベルトコンベア共に連続稼働できた。



Fig.12 Integration experiment



Fig.13 Curved trajectory

さらに掘削後のごみ箱の様子を図 14 に示す。小さな木片やプラスチック片など多様なごみを回収したことが確認できたが、砂の分離については不十分であった。またスキージによるごみの誘導の様子を図 15 に示す。赤丸で示すように、スキージに沿って砂とごみが移動し、ごみ箱まで誘導されていることが確認できた。



Fig.14 Garbages in trash can



Fig.15 Guiding garbage

6.3 考察

本実験から、ベルトコンベアを導入し、ごみ回収性能を確認することができた。実験結果から確認できたように、小さなごみの回収自体は達成したが、ベルトコンベアによる砂の分離は不十分であり、今後はこれに関する改良が必須と考えられる。また旋回動作を行った際、その間のごみ回収がほぼできていないという問題があった。この点については、旋回中に砂山がロボットの正面から崩れてしまうためと考えられる。

7 結言

本稿では、人による回収が困難なごみに対し、砂浜での効率的なごみ回収ロボットの開発を目的として、その要求仕様を定義し開発した機構について解説した。また、砂とごみをまとめて掘り出す機構として「ツメ機構」を開発し、砂を分離するための機構として「ベルトコンベア機構」を開発した。その後、ロボットの前進・旋回動作を実施し、ロボットのごみ回収性能を確認することができた。

現段階では、ロボットによるごみ回収は実現できたが、砂の分離性能に対して課題が残っている。現状、ベルトコンベアによる砂の分離は不十分であり、湿った砂による網の目詰まりといった問題点が見られる。今後の改良点として、ベルトコンベアを微小に振動させる機構を開発することで、振動ふるいのように砂を分離する仕組みを実現可能と考えている。この機構を開発し砂の分離に対応したうえで、その後は自動的なごみ回収を行うための自律移動の実現を目指す。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP20H00230 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 市村 智康 and 中嶋 新一: “自律型海浜清掃ロボット「ひろっ太郎」の開発 — 砂浜におけるゴミ回収と自律走行の評価 —”. 自動制御連合講演会講演論文集 60, pp. 456–458, (2017).
- [2] Medhasvi Kulshreshtha et al.: “OATCR: Outdoor Autonomous Trash-Collecting Robot Design Using YOLOv4-Tiny”. *Electronics* 10.18, (2021).
- [3] J. Shalini Priya et al.: “Beach Cleaning Bot Based On Region Monitoring”. *2019 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*. 2019, pp. 1–4.
- [4] 宇野 光輝 and 倉爪 亮: “海洋破碎プラスチックごみ回収機構の開発”. 第 22 回システムインテグレーション部門講演会 (*SI2021*), pp. 1054–1057, (2021).