

回収ボトルキャップの再資源化および Fused Granular Fabrication による大型 3D プリンティング

Recycling of Collected Bottle Caps and Large-scale Additive Manufacturing by Fused Granular Fabrication

中野 雄太¹, 織茂 亜希子¹, 濱崎 トキ², 大日方 伸³

Yuta NAKANO¹, Akiko ORIMO¹, Toki HAMASAKI², Shin OBINATA³

¹三菱ケミカル株式会社, ²株式会社 Boolean, ³株式会社積彩

¹Mitsubishi Chemical Corporation, ²Boolean Inc., ³Sekisai Inc.

【要約】

ペットボトルの国内におけるリサイクル率は高い水準にあるが、ラベルとキャップ部分についての資源活用は限定的である。これには、材料種の判別が困難である事などの理由が挙げられる一方で、回収から再資源化までの具体的なマテリアルフローが不透明であり、消費者における 3 分別回収のモチベーションが湧きにくいという側面もある。今回、弊社の材料設計技術でボトルキャップの造形性を改善し、Fused Granular Fabrication による再活用を行うことで、ミニテーブルを製造した。小規模回収された再生材を低コストで再資源化できる小回りの良さや、回収したキャップが製品になる過程を可視化しやすい観点からも、3D プリンティングは有用な手法である事を再認識した。

キーワード: 熱可塑性樹脂, 材料押出方式, FGF, 再生材, LSAM, LFAM

【Abstract】

While the domestic recycling rate of PET bottles is high, the utilization of their labels and caps remains limited. This limitation is due to factors such as the challenge of distinguishing the materials used and the lack of transparency in the material flow for recycling. Additionally, motivating consumers to engage in the sorting and recycling of these components is a persistent challenge. As part of our current empirical study, we undertook the reutilization of PET bottle cap through Fused Granular Fabrication to produce a table. Our results reinforced the utility of 3D printing as a method, especially considering its ability to efficiently recycle small quantities of reclaimed materials at a low cost. Furthermore, from a visualization perspective, 3D printing offers a comprehensible process in which collected caps are transformed into final products.

Keywords: 3D, Thermoplastics, material extrusion, FGF, recycled material, large-scale AM, large-format AM

1. プロジェクト背景

当社では、2022 年 6 月から 2023 年 3 月の間、広島県大竹市の自治体プラットフォームを活用したペットボトルラベルの水平リサイクル実現に向けた実証試験を行った[1][2]。本取り組みの目的は、ペットボトルのラベル to ラベルリサイクル社会の実装に向けた、選別技術の調査・検証及び、自治体や消費者と連携したペットボトル 3 分別回収の実証、啓蒙活動である。飲料用ペットボトル全体の再資源化促進に寄与するため、今回は、現状そのほとんどがマテリアルリサイクルされているキャップ部分に着目し、大型 3D プリンティングを用いた再活用の手法を提案した。ボトルキャップの回収については、広島県大竹市の小学校などにも協力いただき、大型 3D プリンターで製造した最終製品は現地の小学校へ寄贈されるスキームにて活動が実施された。

2. Fused Granular Fabrication について

3D プリンティングには様々な方式が存在するが、今回用いた方式は Fused Granular Fabrication (FGF) と呼ばれる。これは広義には熱可塑性樹脂を用いた材料押出

方式 3D プリンティングに分類される技術であり、樹脂ペレットを原料形態として用い、スクリー押出機で可塑性・熔融した樹脂を任意の経路上に堆積することで樹脂成形体を製造する成形方法である。FGF と比較される技術として、Fused Filament Fabrication (FFF) が挙げられる。FFF では原料形態として樹脂フィラメントを用い、押出ギアで搬送されたフィラメントが加熱されたノズル部分で熔融され、吐出される。FGF 及び FFF の概略図を図 1 に示す。

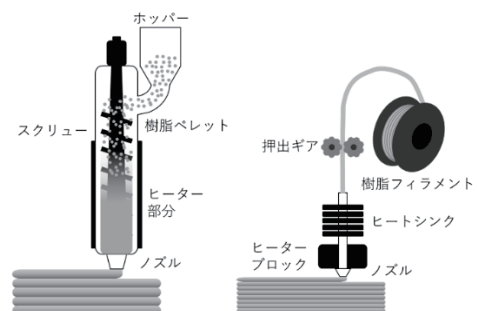


図 1. 各方式の概略図 (左: FGF, 右: FFF)

3. ボトルキャップの改質

飲料用ペットボトルから回収されるキャップにはポリエチレン (PE) 又はポリプロピレン (PP) が使用されており、使用済みペットボトルからキャップを回収した場合はこれらの樹脂が混合されていると考えられる。そこで、回収した材料について分析するため、回収・粉碎後に、均質化したサンプルの DSC 測定を行った。その結果、PE 及び PP に由来する結晶融解ピークが同時に確認されたことから、実際にこれらの樹脂の混合物であることが確認できた。また、ボトルキャップに含まれる PE や PP の混合物そのままでは結晶化度が高すぎるため、結晶化収縮による造形時の反りが懸念される。目的の成形体を安定して出力できるように種々改質用材料を添加する検討を行った。

まず、樹脂の結晶化度を小さくするため、結晶性の低いオレフィン系樹脂を選定し、添加した。また、タルクやシリカなどの無機系フィラーを添加する事で、樹脂全体の線膨張係数が小さくなるような配合を検討した。以上の検討を重ねた結果、反りが抑制され、かつ十分な層間接着性を示す改質配合を見出した。

4. 最終製品のデザイン

今回、大竹市の小学校へ大型 3DP で製造した造形物を寄贈することとなっていたが、種々条件を鑑みて、ディスプレイ台などとして使用することができるミニテーブルを製造することに決定した。製品の設計については、ペットボトルの再資源化スキーム確立による海ごみ削減への貢献で広島豊かな海を守る意味合いから、青系の色を選定し、また、波を表現するために Non-planner 3D printing の技法を用いた表現を取り入れる事とした。Non-planner 3D printing とは、造形中のノズルが平面ではなく曲面でスライスしたパス上を動く事で、Z 軸方向への連続的な動きを含んだ出力が可能となる技術である。これは、表現の幅が広がる一方で、造形データ (G-code) の作製から、3D プリンターによる樹脂の成形加工までを最適な条件に調整する必要があるため、従来の 3D プリンティングに比べて高度な技術が必要とされる。デザイン及び G-code の設計は株式会社積彩にて行われた。ミニテーブルのデザインコンセプトを図 2 に示す。

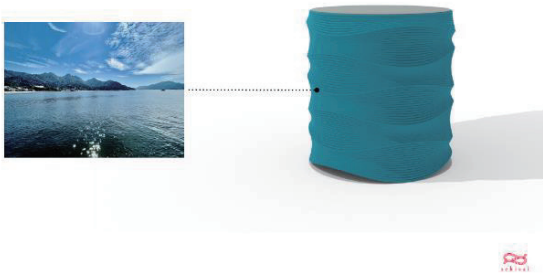


図 2. ミニテーブルのデザインコンセプト

5. 最終製品の製造

最終製品の製造に用いるため、回収ボトルキャップに改質を施した改質コンパウンド約 300kg を作製した。FGF による大型造形はエス・ラボ株式会社の装置を用いて行った。成形条件の最適化及び、製造オペレーションは株式会社 Boolean にて行われた。製造時の様子を図 3 に示す。



図 3. 製品製造の様子

6. 総括

最終成果物のミニテーブルを図 4 に示す。今回当社が実施した取り組みのうち、飲料用ペットボトル全体の再資源化促進のためには、3 分別時に回収が期待される「キャップ」の活用方法の提案が重要なテーマであった。今回のプロジェクトを通じて、Fused Granular Fabrication による大型 3D プリンティングは、以下の特徴が挙げられることを再確認した。①少量生産が可能であることから、ローカルで小規模に回収された廃材の再利用がしやすい。②従来の工法よりも材料ロスが少なくリードタイムが短いため、サプライチェーン全体での省資源・省エネルギー・省コスト化が実現可能である。③従来の工法では実現不可能な高機能・高性能あるいは高い意匠性を有した製品の実現による社会・環境へのポジティブな影響が期待できる。

上述した大型 3D プリンティングの利点を最大化できるよう、材料開発や造形技術開発に引き続き貢献していきたい。



図 4. 最終成果物のミニテーブル

参考文献

1. <https://gship.jp/cases/other/168/>
2. https://www.mcgc.com/news_release/01289.html