

食品廃棄物を原料とする,香りを有した 3D プリント材料と その応用先の開拓

Scented 3D Printing Materials Derived from Food Waste and Their Potential Applications

黄家慧¹, 吉田る花², 鳥居巧¹, 田中浩也²

Kawai WONG¹, Ruruka YOSHIDA², Takumi TORII¹, Hiroya TANAKA²,

¹慶應義塾大学大学院, ²慶應義塾大学

¹Keio University Graduate School, ² Keio University

【要約】

本研究は,地域で回収された有機廃棄物から,押出式 3D プリンタ用の DIY バイオプラスチックを開発し,その応用の可能性を探るものである.廃棄物処理による環境負荷が深刻化し,再資源化が求められる中,食品残渣や花,貝殻といった廃棄物を材料として活用するだけでなく,それらに固有の香りに着目した.DIY バイオプラスチックの価値として,廃棄物に含まれる香りを付与することで,新たな応用が期待される.これらの香りを生かしたまま加工できるゼラチンなどを基材とし,香りを楽しむことのできる DIY バイオプラスチックの開発を試みた.さらに,押出式 3D プリンタの造形によって土との接触面を拡張し,DIY バイオプラスチックならではの生分解性を最大限に活かすことで,最終的に土壌へと還元される構造を設計する.これらを通して,使用時には香りを楽しみつつ,使用後には土壌に還元される多機能な素材の開発とその応用方法を模索した.

キーワード:DIY バイオプラスチック,3D プリンティング,廃棄材リサイクル,生分解性,香り

【Abstract】

In this research, DIY bioplastics for extrusion 3D printing were developed using locally collected organic waste, including food scraps, flowers, and shells, with a focus on retaining their unique scents. Gelatin-based materials preserve these natural aromas, allowing users to enjoy fragrance while using the material. The 3D printing approach increases the material's contact with soil, enhancing biodegradability and enabling structures to return to the environment after use. This study explores multifunctional, scent-infused bioplastics that combine sensory experience with sustainability, offering new possibilities for waste recycling and eco-friendly material applications.

Keywords:DIY bioplastic, 3D printing, waste recycling, biodegradability, scent

1. はじめに

1.1 背景

近年,プラスチック廃棄物による環境負荷は国際的に深刻な課題となっている.こうした時代背景を受け,石油由来プラスチックに替わる持続可能なバイオプラスチックに関して,幅広い研究が進められている.食品残渣や枝葉などの廃棄物は「汚い」「臭い」という消極的なイメージを持たれ,再利用可能性があるにも関わらず,焼却・埋立処理されているのが現状である.

DIY バイオプラスチックとは,ゼラチン,キトサン,寒天,澱粉質,アルギン酸ナトリウムなど天然由来の高分子を主成分とし,自然環境下で生分解可能な素材である.家庭環境や手に入りやすい設備で制作可能であり,食品残渣といった有機廃棄物を材料として活用できる.このため DIY バイオプラスチックは生分解性を持つとされているというメリットがある[1].昨今の環境意識の高まりに伴い,教育分野およびデザイン分野における活用が拡大している[2].

DIY バイオプラスチック研究はその生分解性や環境適

合性が注目され発展してきた.その分解性ゆえに機械的安定性に乏しく,工業用途での実用化の妨げとなっているとの報告もある[3].一方で,既存のプラスチックの用途とは異なる活用方法を模索する試みの中で,生分解性を最大限に引き出す手法も検討されている.材料の組成や架橋度が分解速度に影響し,さらに土壌の種類・湿度・温度などの環境条件によって分解挙動も変動することが報告されている[4].しかし,これまで DIY バイオプラスチックを使用する上で,生分解性というメリットが強調されてきたが,その特性を構造設計に積極的に取り込んだ研究はまだ十分に進んでいない.

地域に根ざした資源循環や再利用の仕組みが求められていることを踏まえ,本研究ではまず,DIY バイオプラスチックを 3D プリンタで造形できるよう,原料を配合する割合を調整した.これにより,DIY バイオプラスチックを 3D プリントならではの複雑な形状に加工することができる.複雑な形状は土との接地面積を増やし,土壌生分解が早く進行することが期待される.次に,藤沢市で回収された有機廃棄物を原料にし,香りに着目しながら DIY バイ

オプラスチックを制作した。

1.2 関連研究

アート・デザインの分野では、近年 3D プリンタを利用した DIY バイオプラスチックの成形が試みられている。例えば、MIT Media Lab の Mediated Matter Group はキトサンやセルロースを材料にした 3D プリント技術を開発し、生分解性を有する建築部材のデザインを製作している [5]。

一方で、多くの芸術系大学や個人スタジオにおいては、機材設備や技術的制約のため、依然として鋳型を用いた板材や膜状の平面的な成型加工が主流である。たとえば FabTextiles の Anastasia Pistofidou がゼラチンとグリセリンを用いて鋳型成形した DIY バイオプラスチックによる衣服は、シンプルな鋳型で生地やテクスチャを作る可能性を示している [6]。しかし、一般的に広く知られる DIY バイオプラスチックのレシピでは、鋳型成型による厚みのある造形では、内部の乾燥が進みにくく、ひび割れやカビが発生しやすいという課題も存在する。

1.3.本研究の目的

本研究では、押出式 3D プリンタを活用し、立体的かつ空隙構造を付与することで、均一に乾燥しやすくしつつ、生分解効率の最大化を目指す。加えて、本研究では藤沢市から収集した有機廃棄物を材料として DIY バイオプラスチックに活用する。製品の使用期間中に廃棄物由来の香りを活かし、従来の機能性志向の研究にはみられない、嗅覚的な価値を付与することを目指す。

2.造形方法

本研究で使用した材料とその検討過程について述べる。

2.1.素材の割合の探求

DIY バイオプラスチックの原料として、ゼラチン、寒天、キトサン、ペクチンなどを凝固剤として用いることが知られている。これらは単独、あるいは植物繊維などの天然原料と混合し、加熱や攪拌を経て DIY バイオプラスチックとして利用される。

今回、割合選定の基準として、材料が押出式 3D プリンタで安定的に押出され、成形後に形状を保持し、さらに乾燥過程において収縮や変形を生じないことを重要視する。また、これらの過程を経て制作される造形物に香りが残るようにした。

これらの要件を踏まえ、ゼラチン、澱粉質、アルギン酸ナトリウムを組み合わせた配合実験を行った。ゼラチンは冷却後に速やかにゲル化する特性を持ち、押出直後の形状保持に寄与する (Fig.1 Left)。一方、澱粉質は乾燥後の硬度や強度を補う。また、本研究で使用する 3D プリンタは、材料がシリンジからチューブを通してノズルに送られる過程で加熱されないため、急速な凝固による詰まりを防ぐ必要がある。そのため、凝固速度の比較的遅いアルギン酸ナトリウムを配合することで、シリンジおよびチュ

ーブ内の押し出される前の素材を固まりづらくした。一方、押出後は形状が保持する必要があるため、表面へ濃度 1% 程度の塩化カルシウム溶液を噴霧した [7]。

乾燥過程においてサンプルの収縮や反りが観察された (Fig.1 Middle)。これは含水率が高いため、完全乾燥時に収縮が生じることに起因すると考えられる。この問題を解決するため、地域で回収した貝殻を粉碎した粉末を配合に加え、固形成分の割合を高めることで変形の抑制を試みた (Fig.1 Right)。

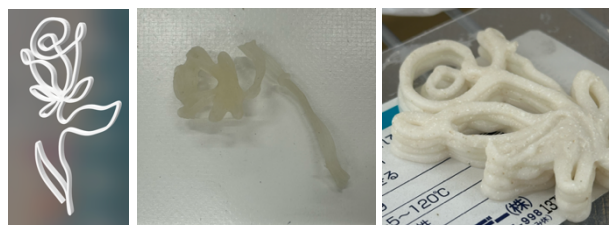


Fig. 1. 3D printing file 1 (Left)

Sample showing shrinkage (Middle)

Drying process after adding shell powder (Right)

2.2.プリンタとパラメータの設定

複数回の実験の結果、やや粘性のあるペースト状の素材は、安定して成形され、吐出時に材料が広がりづらく、積層しやすいことが分かった。そこで、プリントの押出方式を参考に、Ender-3 V3 SE (Creality 社製) にシリンジと吐出幅の広いエクストルーダを装着し、改造したセラミック対応 3D プリンタを用いてプリントを行った。シリンジエクストルーダの設定は subdiv を P-04、モーター速度を 60 として連続運転し、レイヤーピッチを 1 mm、線幅を 1 mm とした (ただしエクストルーダの補正により実際の押出量には誤差が生じる)。材料の粘度が高いため、プリント速度は 4 mm/s とやや遅く設定した。この素材は 3D プリント中にリトラクションが可能であり、様々な形に造形できる。

DIY バイオプラスチックの製作手順は以下に示す通りである。

3.製造工程

3.1.原料の収集

藤沢市のレストランや花屋など香りを持つ素材が出そうな場所へ赴き、素材の回収を試みた。調査の結果として、藤沢市の海鮮料理を提供する居酒屋から貝殻類が収集可能であることを確認した。また、イタリア料理屋からはオレンジの皮を回収でき、花屋では廃棄された花や枝葉を手に入れることができた。

3.2.準備

素材を重曹、クエン酸で洗浄する (Fig.3)。オレンジの皮と枝葉などはあらかじめ、香りをアロマオイルとして抽出する。その後、風通しの良い場所で乾燥させる。最後に、粉碎機でパウダー状にする (Fig.4)。



Fig. 3. Cleaning process



Fig. 4. Powdering process

3.3 プリント用素材の製作プロセス

最終的な配合比はアルギン酸ナトリウム:澱粉質:ゼラチン:グリセリン:貝殻粉末:水=2:30:3:1:20:100 とした。

まず、ゼラチン、澱粉質、アルギン酸ナトリウムなどをレシピ通り正確に秤量する。そして、澱粉質を冷水に入れて攪拌し、均一になった後、65 度程度まで加熱されたらゼラチンを加える (Fig.5)。最後に加熱を止めて、アルギン酸ナトリウムを入れる。すべての材料を溶解・混合した後、プリント用シリンジに充填する。



Fig. 5. Material preparation process

3.4.香りのするプロダクトの試作

以上にみられる手法を用いて、DIY バイオプラスチックによるプロダクトのプロトタイプを制作した。この製作物は香水などの香りを試すための「ムエット」というアイテムから着想を得ている。このプロトタイプは、オレンジの香りがするシートと花の香りがするシートの間に、その 2 種類の香る素材を表した形の 3D プリント造形物を中に挟み込んだ構造になっている (Fig.6)。香りシートについては、ゼラチン:グリセリン:水=4:1:20 の割合で調製し、型に流し込み乾燥させた (Fig.7)。3D プリントされた DIY バイオプラスチック (Fig.8) は、その香りに対応する形状にすることで、ユーザに香りを想起させることを狙った。シートと同じ材料・配合で両シートの縁に塗布し、接着することで一枚のムエットを作成する。最後に固定用の紐を結び付け、これにより DIY バイオプラスチック版のムエットが出来上がる (Fig.9)。

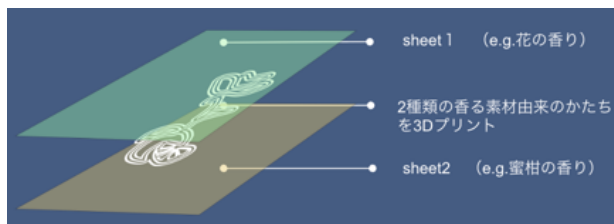


Fig. 6. Description of the Structure and Visualization of the Final Product



Fig.7. Sheet drying process (Left)

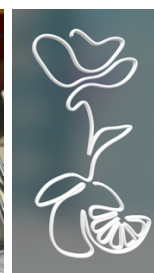


Fig.8. 3D printing file 2 (Right)



Fig.9. Printing to completion - appearance of the mouette sample

4.生分解性の検証

同じ割合と素材で作製した DIY バイオプラスチック素材を型成形サンプル (以下、サンプル a とする) と 3D プリントサンプル (以下、サンプル b とする) を用いて、分解の様子を比較した。両サンプルを土壌に埋設し、2025 年 8 月 15 日から 31 日までの約 2 週間にわたり分解過程を観察した。それぞれ同じ重量 (13.3g) になるように切り出し (Fig.10)、土を充填した容器内に入れて、CT スキャナを用いて 12 時間ごとに撮影を行った。



Fig. 10. Samples adjusted to the same weight (left-sample a; right-sample b)

CT スキャンの結果、8 月 15 日時点では両サンプルともに土壌中に埋設されて、内側まで灰色になっていることから、中身が詰まっていることがわかった (Fig.11 Top)。識別のため、図中では緑色の線で示した。8 月 26 日時点では両サンプルの内部に広範な黒色の領域が出現したことから分解が進行していることを確認した。サンプル a では中央部から黒色領域が拡大しつつも灰色の外縁が明瞭に残存していたのに対し、サンプル b では灰色領域が大幅に減少し、外縁も不明瞭で、黒色領域が全体に占める割合が a より b の方が大きいことが確認された (Fig.11 Middle)。8 月 30 日にはサンプル a の外縁が崩壊を始め、サンプル b はわずかな断片を残すのみとなり、緑線で示した範囲の黒色領域には明確な境界が認められなかった (Fig.11 Bottom)。

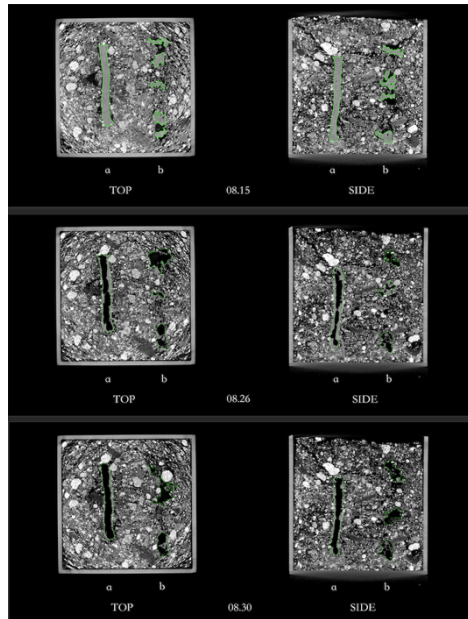


Fig. 11. CT scan results (from top: 08.15 – 08.26 – 08.30)

9月4日に土壌の一部を掘り出した際には、両サンプルとも回収不能であり、肉眼で確認できる断片も存在しなかった。これにより、両サンプルは8月15日から9月4日までの約3週間の間に完全に分解したと推察される (Fig.12)。重量を揃えてもサイズを完全に統一させることはできなかったが、CTスキャン像の比較から、土壌との接触面が多い空隙構造において分解効率が高い可能性が示唆される。



Fig. 12. Comparison between installation and post-retrieval conditions

5.まとめと展望

本研究では、材料の配合比を調整することを通して、押出式3Dプリンタを用いた、DIY バイオプラスチックの基本的な成形プロセスを確立した。さらに、試作された空隙構造のサンプルは、乾燥の均一性を向上させる可能性を示し、分解性においても一定の改善効果が見られた。

今後の展望として、まず香りの持続性や強度を検討し、展示空間における使用者の体験に組み込む。これにより、単なる製品にとどまらず、インタラクティブな体験を創出することを目指す。

今回は一部市販の精油を配合しており、できた3Dプリント物はその「香り」を保っていたことを確認した。今後の製作では全て藤沢市から回収した材料から作る精油を使っていきたい。また、茶屋から収

集する茶殻など地域に根ざした素材をさらに掘り下げることによって、藤沢市ならではの香りのバリエーションを探求し、素材段階・製品段階・分解段階を一連の流れとして設計していく。

謝辞

本研究は、JST 共創の場形成支援プログラム JPMJPF2111 の支援を受けたものです。

参考文献

1. 阿部辰海, 坂田拓人, 牧田陽奈子, 安宅絢音, 滑川由記, 松岡康友, 田中浩也. DIY バイオプラスチックの割合検討と3Dプリント葉脈への応用可能性. Conference on 4D and Functional Fabrication, 2022.
2. Ana Isabel Escobar Ostolaza(2024/11/21) 「STEM KitWorkshop」 . <https://www.fau.edu/engineering/community-outreach/stem-kit-workshop/> ,(参照 2025/09/07)
3. NEWJI Inc. (2025)「生分解性プラスチックの最新動向と市場導入の課題」.<https://newji.ai/supplier/manufacturing-industry/recent-trends-and-challenges-in-the-market-introduction-of-biodegradable-plastics/> ,(参照 2025/09/07)
4. Martucci, J. F., & Ruseckaite, R. A. . (2009) 「Biodegradation of three-layer laminate films based on gelatin under indoor soil conditions. Polymer Degradation and Stability, ,94(8), 1307-1313.
5. Mediated Matter Group, MIT Media Lab. (2021-2023)「Aguahoja III」 .[Project overview].<https://www.media.mit.edu/projects/aguahojia-iii/overview/> ,(参照 2025/09/07)
6. Cueva, O. (2023). 「Casting larger sheets of gelatin bioplastic [Student experiment]. Fabricademy. <https://class.textile-academy.org/2023/olivia-cueva/project%20Development/04-experiments/> ,(参照 2025/09/07)
7. R. RussoM. MalinconicoG. Santagata (2007) 「Effect of Cross-Linking with Calcium Ions on the Physical Properties of Alginate Films」. 『Biomacromolecules』 2007, 8, 10, 3193-3197