

# 食品残渣由来バイオマス配合樹脂による、 地域内資源循環型ものづくり検討

Study of regional resource recycling type manufacturing  
using biomass compounded plastic derived from food residues

湯浅亮平<sup>1</sup>, 荒井将来<sup>1</sup>, 高橋昭人<sup>2</sup>, 田中浩也<sup>1</sup>

Ryohei YUASA<sup>1</sup>, Masaki ARAI<sup>1</sup>, Akito TAKAHASHI<sup>2</sup>, Hiroya TANAKA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>慶應義塾大学, <sup>2</sup>株式会社放電精密加工研究所

<sup>1</sup>Keio University, <sup>2</sup>Hoden Seimitsu Kako Kenkyusho Co.,Ltd.

## 【要約】

神奈川県鎌倉市において地域回収されたコーヒー粕と植物由来樹脂をコンパウンドした材料を用い、同じく鎌倉地域内に設けられた 3D プリント設備を活用して公共のベンチ製作と設置を行なった。この事例の検討段階や経過観察を通して得た地域内資源循環型ものづくりの検討における知見「適正量の資源回収スキーム構築の必要性」「公共物としての使用に耐える素材選択」「適正量の材料製作のためのコンパウンド手法」「3D プリント対応設計」などについて報告する。地域資源と 3D プリント技術を用いて、その街らしい公共のアイテムを作ることにより、資源循環だけではなく街への愛着向上にも寄与するものづくりを進めていきたい。

キーワード: 資源循環, 公共物, 食品残渣, 植物由来材料, 3D プリント,

## 【Abstract】

Using a compound of locally collected coffee grounds and plant-derived resin in Kamakura City, Kanagawa Prefecture, we used 3D printing equipment located in the Kamakura area to create and install public benches. We will report on the knowledge gained through the study stages and follow-up observations of this case. By using local resources and 3D printing technology to create public items that are unique to the city, we would like to promote manufacturing that not only contributes to resource recycling but also to increasing attachment to the city.

Keywords: Resource recycling, public property, food residues, plant-based materials, 3D printing

## 1. 序論

近年、CO2 排出抑制や資源循環の観点から、3D プリントなど小規模生産が可能な設備を用いて、使用場所に近い地域で適正量を製作するコンセプトのものづくり事例が盛んに報告されている[1]。この際、植物由来樹脂や地域内で排出される再生樹脂等の環境対応材料が素材として用いられ、環境負荷の低い製造が試みられている。しかし、廃棄物削減の観点では、放置竹林や食品残渣から回収可能な未利用バイオマス資源も地域内で排出される廃棄物中の多くの割合を占めているため[2]、樹脂に限定しない資源回収スキームの構や資源活用先開発が求められる。

## 2. コンセプト

本検討は、神奈川県鎌倉市を舞台に、廃棄物削減と地域資源循環スキーム構築の一環で行われたものである。地域において食品残渣など、通常は焼却処理される未利用資源の回収スキーム構築と、回収された植物性資源をフィラー材として樹脂とのコンパウンドを行い、市内の公共物を製作するための材料として活用する。

本稿での製造アイテムは地域の公共空間で使われるベンチである。ベンチのうち木製のもの、雨風等で劣

化・腐食するため、定期・不定期のメンテナンスが必要となる。この課題に対し、樹脂製の公共物を製作する。製造は、同じく地域内に設置された 3D プリント製造設備を備えるリサイクリエーション慶應鎌倉ラボにて行われる。

## 3. 素材選定と回収方法検討

ターゲットとする製作物によって材料に求める物性は異なる。今回は屋外に設置され長期使用する公共物の製作を目的とするため、紫外線や風雨に対する耐候性能が重視される。ベースとなる樹脂材料は耐候性の高い植物由来樹脂であるデュラビオ D5380-IUR(三菱ケミカル製)[3]を選択した。

ベース樹脂に配合する植物由来フィラーは、地域で回収検討可能な未利用資源の中から、事前加工が不要であり、回収量の細かい調整が可能な点から、コーヒー粕を選択した。

地域内資源循環システムの構築段階では、回収資源の回収量と活用量を合わせることも大切である。活用可能量以上に回収量を増やした場合、保管時における劣化や再廃棄を避ける必要がある。このため、本検討では、十分に研究コンセプトと研究の各段階における実施内容を理解し、小規模の回収から協力可能なパートナーと

して地域のカフェ1件と、企業オフィス1件と連携して取り組んだ。また、コーヒー粕は、コーヒーの淹れ方で異なる粒径によるコンパウンドへの影響を確認するため、カフェからはエスプレッソ挽きコーヒー粕(粒径:~0.2mm)、企業オフィスからはドリップ挽きコーヒー粕(粒径:~2mm)に限定して回収した。回収は1週間に一度、回収パートナーがリサイクリーション慶應鎌倉ラボに持ち込む形で行った。

また、コーヒー粕はドリップ後の状態において豊富な水分と栄養を含んでおり、回収後からコンパウンド工程に進むまでの期間において、カビの発生防止が可能な方法で保管する必要がある。回収パートナーにおいては、使用後のコーヒー粕を天日干し、冷蔵、冷凍などの方法で約一週間保管し、リサイクリーション慶應鎌倉ラボで受け取った後は、環境温度 80 度に設定した箱型乾燥機(松井製作所社製ハコカンPO)で、24H以上の乾燥後に、防湿性のあるアルミパウチに保管した。

#### 4. フィラーの劣化温度と加工温度について

植物性フィラーとするコーヒー粕は一定温度以上に加熱するとコーヒー成分由来のガス、油分が溶出する。予備実験では 200-220°C:油分の溶出、230-250°C:揮発成分の発生が確認されている。特に揮発成分は、溶融した樹脂の内部で発生した場合、樹脂を発泡させ、表面品質の低下と、樹脂内部に空洞を作り出し、造形物の強度を低下させる要因となる。本来は、コンパウンド時、3D プリント時において、劣化温度以下の加工温度を保つことが望ましい。ただし、耐候性を持つ樹脂として選定したデュラビオ D5380-IUR は、3D プリント時の成形温度が 240°C 付近であり、コーヒー粕の劣化開始温度より高温であるため、ある程度の劣化による成分溶出は避けられないものとして、配合比率を検討した。

#### 5. コンパウンド

コンパウンドには MF 式混合溶融機(放電精密加工株式会社製)[4]を用いた。熱源を使わないため素材の劣化を最小限に抑え、さらに最大 80%と高いフィラー配合比率で混合溶融ができることを特徴とする方式である。またバッチ式で最小 4kg からの試作が可能のため、初期の試作検討に適している。MF 式混合溶融機を用いたコンパウンド結果として、コンパウンドの段階では劣化による発泡などは見られず、エスプレッソ挽きコーヒー粕(粒



図 1, MF 式混合溶融機によって得られた混合材料

径:~0.2mm)、ドリップ挽きコーヒー粕(粒径:~2mm)どちらも、51wt%の配合比率にて樹脂とコーヒー粕の混合材料を得ることができた。

一般的な2軸押し出し方式などに比べて、ごく短時間でコンパウンド可能なため、コーヒー粕の劣化が抑えられている可能性があるが、本検討中では他工法との比較はできていない。

#### 6. 3D プリント造形設定に合わせた配合比率検討

3D 造形には FGF 方式の 3D プリンター GEM シリーズ(エス.ラボ製)[5]を用いた。デュラビオ D5380-IUR の 3D プリント温度は 240°C 程度であるため、3D プリントノズルから吐出される混合材料中のコーヒー成分が過熱により劣化し、ガス発生、樹脂の発泡が確認された。コーヒー粕の配合量に比例してガスの発生量は変化するため、複数の配合比率で造形実験を行ったところ、コーヒー粕比率 6.25~12.5wt%の範囲にて、造形中のガス発生量を許容できる配合比率と判断した。ただし 12.5%では、稀に表面に気泡が現れるため、屋外使用をターゲットとしている本検討においては、6.25wt%配合を採用した。

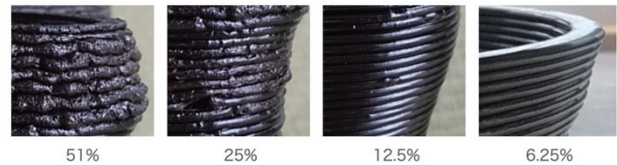


図 2, コーヒーカスの配合量によって変化する造形物の表面品質(造形温度 240°C)

#### 7. 造形方法と 3D モデリング

3D 造形時においてもペレットをスクリー中で滞留させる時間が必要以上に長い場合、過加熱が起きコーヒー粕よりガスが発生する。過加熱を防止する方法として、ノズルから常に一定量に樹脂を吐出し続けることが可能な一筆書き造形ツールパスでのモデリングを行った。外形形状はベンチ設置予定のデッキに隣接する地域の名物である「観音像」の纏う羽衣と親和性を持たせ、布が風でたなびいている形状とし、曲面は全て FGF 造形においてサポート材を生成せずとも造形可能な曲率とした。また、デッキに設置される 14 台全て異なる形状とした。内部構造は、ベンチ座面の撓み強度を向上させるためのリブと、コンクリート製の土台へ取り付けのための作業空間を設けた。

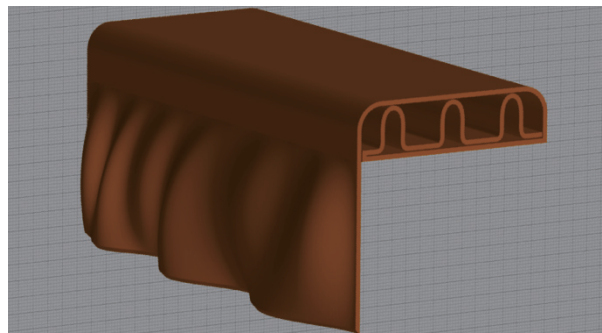


図 3, 一筆書きツールパスによる 3D 造形データ



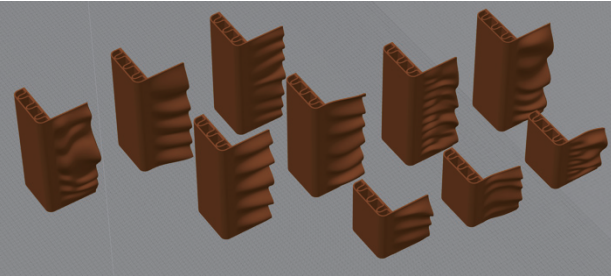
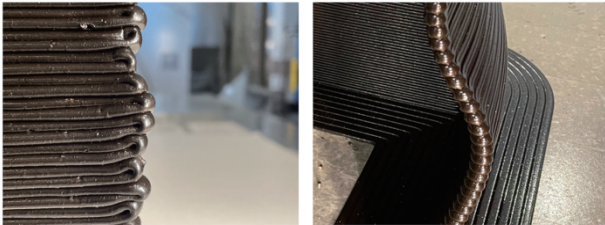


図 4, 14 台異なる形状の 3D データ群(一部)

また,3D 造形設定において,一筆書きツールパスで外周が閉じたスパイラル状以外の 3D 造形を行う場合は,ツールパスをノズルが往復する形となる。この際,高品質な造形物を得るためにはレイヤーチェンジ時の折り返し端部の材料吐出量と,ノズルの移動速度の適切な組み合わせが求められる。今回はコーヒー粕の過加熱防止のため,材料吐出量は固定とし,ノズル移動速度の詳細な設定のみによって滑らかに連続的な折り返し部の造形ができた。



左:不適切な設定時の端部 右:適切な設定時の端部

図 5, 端部の適切な押し出し設定

## 8. 設置と経過観察

3D 造形されたベンチ 14 台は,2023 年 5 月より,鎌倉市内の JR 大船駅前歩行者デッキに設置され,利用が始まっている。設置当日から多くの市民が座っている様子が観察され,現在も新しい街のアイテムとして,親しまれている。



図 6,公共空間に設置されたベンチ

設置から約 4 ヶ月後の 2023 年 9 月現在,ベンチ表面には全体的に白化が見られている。ベース樹脂として耐候性のあるデュラビオ D5380-IUR を選択したが,内部

のコーヒー粕フィラーが劣化しているものと推測される。

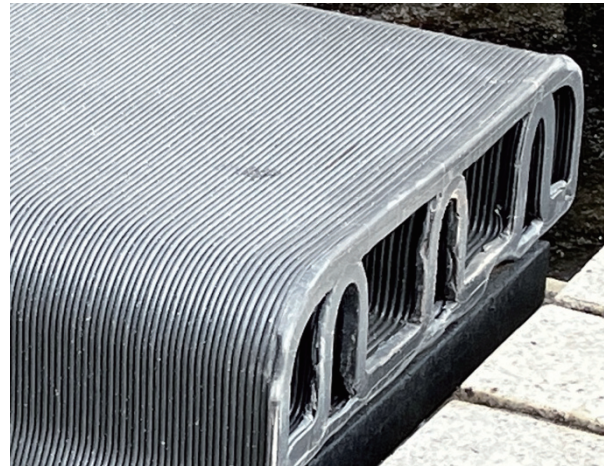


図 7, 白化したベンチ表面

フィラーの劣化による,物性の変化については今後の確認項目として継続的に観察していく必要がある。また,植物由来樹脂と植物由来フィラーを組み合わせた製品は,3D プリント造形物に限らず,今後も生まれてくることが予想される。耐候性のある樹脂によって被覆することによって,樹脂そのものだけではなく,フィラーの劣化も防ぐような配合や構成が求められるであろう。

## 9. まとめと今後の課題

地域内で回収された未利用資源と樹脂の混合材料を用いて 3D プリントにより公共物を製作・設置運用することができた。資源回収においては,回収資源の保管面でも,活用量に応じた回収システム構築の必要性が確認された。バイオマス資源をフィラーとした樹脂コンパウンドでは,ベースとなる樹脂ごとに異なる成形温度に合わせた配合比率の見極めが大切である。今回用いたデュラビオシリーズでも,より MFR の高いグレードを選択することで,低い温度で成形する可能性を検討すると共に,コーヒー以外の未利用資源との組み合わせも模索する。製造物のデザイン面では,3D プリントによる小規模生産で,地域の風景・特色に合わせた特徴のあるデザインを施すことが可能であることが示された一方,カスタマイズ設計のコスト低減が今後の課題である。また,このように地域資源を用いて製作された公共アイテムによって,地域に暮らす市民の幸福度向上などにつながる可能性があるか,引き続きモニタリングしていきたい。

## 謝辞

コーヒー粕の回収にご協力いただいた,calender 吉澤裕介氏, patagonia 松井直子氏,服部秀也氏,資源の活用先検討にご尽力いただいた鎌倉市都市整備課のみなさまに感謝申し上げます。

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. Print Your City (参照:2023-9-28)  
<https://www.printyour.city/>
2. 鎌倉市令和元年度家庭系ごみ質(燃やすごみ)組成調査について(参照:2023.9.28)  
<https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/gomi/documents/04soseichosa.pdf>
3. 三菱ケミカル株式会社(参照:2023-9-28)  
[https://www.m-chemical.co.jp/products/departments/mcc/pc/product/1200363\\_9344.html](https://www.m-chemical.co.jp/products/departments/mcc/pc/product/1200363_9344.html)
4. 放電精密加工株式会社(参照:2023-9-28)  
[https://www.jarec.or.jp/29th\\_jarec\\_symposium/pdf/hsk.pdf](https://www.jarec.or.jp/29th_jarec_symposium/pdf/hsk.pdf)
5. エス.ラボ株式会社(参照:2023-9-28)  
[https://slab.jp/products/pellet\\_3dp/](https://slab.jp/products/pellet_3dp/)