

[招待論文：総説・レビュー論文]

# 大型ペレット式 3D プリンタを活用した プラスチック資源循環の地域実践

## Local Plastic Recycling Using Large Scale Pellet- Based 3D Printers

田中 浩也

慶應義塾大学環境情報学部教授

Hiroya Tanaka

Professor, Faculty of Information and Environmental Studies, Keio University

Correspondence to: htanaka@sfc.keio.ac.jp

湯浅 亮平

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科特任講師

Ryohei Yuasa

Project Assistant Professor, Graduate School of Media and Governance, Keio University

荒井 将来

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科特任助教

Masaki Arai

Project Research Associate, Graduate School of Media and Governance, Keio University

守矢 拓海

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科研究員

Takumi Moriya

Project Researcher, Graduate School of Media and Governance, Keio University

常盤 拓司

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科特任教授

Takuji Tokiwa

Project Professor, Graduate School of Media and Governance, Keio University

青木 まゆみ

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科特任助教

Mayumi Aoki

Project Research Associate, Graduate School of Media and Governance, Keio University

益山 詠夢

宮城大学事業構想学群 准教授

慶應義塾大学 SFC 研究所 上席所員

Emu Masuyama

Associate Professor, School of Project Design, Miyagi University

Senior Researcher, Keio Research Institute at SFC

## 柚山 精一

エス. ラボ株式会社代表取締役  
慶應義塾大学 SFC 研究所所員

Seichi Yuyama  
CEO, S.lab Inc.  
Researcher, Keio Research Institute at SFC

## 橘 和子

エス. ラボ株式会社  
慶應義塾大学 SFC 研究所所員

Kazuko Tachibana  
S.lab Inc.  
Researcher, Keio Research Institute at SFC

## 釜井 正太郎

エス. ラボ株式会社  
慶應義塾大学 SFC 研究所所員

Shotaro Kamai  
S.lab Inc.  
Researcher, Keio Research Institute at SFC

## 高橋 昭人

株式会社放電精密加工研究所  
慶應義塾大学 SFC 研究所所員

Akihito Takahashi  
Hoden Seimitsu Kako Kenkyusho Co., Ltd.  
Researcher, Keio Research Institute at SFC

**Abstract:** 大型ペレット式 3D プリンタは、地域におけるプラスチック資源循環を支える中核技術となる可能性を有する。筆者らのグループは、東京 2020 オリンピック・パラリンピックを契機として研究開発した新技術やノウハウを活用して、鎌倉市を舞台に地域における応用可能性を探索している。本論文では、その可能性や課題を整理し、今後の方向性をまとめる。

Large pellet 3D printers will become a core technology for local plastic recycling. The authors are implementing locally in Kamakura City, the technology system originally developed for the Tokyo 2020 Olympic and Paralympic Games. This paper identifies its possibilities and challenges and summarizes future directions.

**Keywords:** ペレット式 3D プリンタ、リサイクル、ツールパス、循環型まちづくり、地域性  
pellet 3D printer, recycling, toolpath, circular city, locality

## 1 はじめに

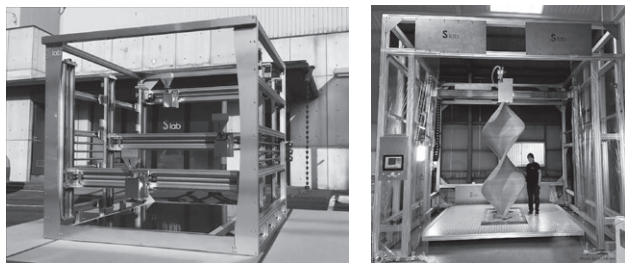
慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス（以下 SFC）のメディアセンターに、3D プリンタ等の小型デジタル工作機械を自由に使うことのできる「ファブスペース」が設置されてから、およそ 10 年になる。ファブスペースの 3D プリンタは今も最新の機種に随時更新され、授業や研究、サークル活動などに広く利用されている。

現在「3D プリンタ」と呼ばれている技術のルーツは遡って 1980 年代から始まる。当時、この技術の主たる目的は、企業の製品開発の試作開発日数を短縮することにあつたため、「ラピッド・プロトタイピング（迅速な試作開発）」と呼ばれていた。「3D プリンタ」という用語が使われ始めたのは 2005 年前後からである。従来よりもはるかに小型で、簡易に使うことのできる卓上タイプがその後広く普及した。

過去 10 年間はまた、「試作品製造装置」から「最終製品（工業製品）製造装置」に向けて、3D プリンタにまつわるさまざまな研究開発が国内外で行われた時代でもあった。乗り越えるべき代表的な課題は 3 つあった。「工業製品グレードの材料を使えるようにすること」「造形速度を工業製品レベルに近づけ、高速化すること」「接着強度や造形品質を向上させること」である。ISO によれば、3D プリンティング（ここでは Additive Manufacturing と呼称されている）の方式には大きく 7 種類があり、それぞれが異なる原理で造形を実現しており、使える材料も金属、セメント、プラスチックなど異なる。したがって、7 つの造形方式それぞれに見合った、3 つの大課題を解決するアプローチが試みられてきた。そして 2020 年代に入り、医療用装具、靴、家具、建築、金属製品などで最終製品がつくられるようになっている。

筆者らの研究グループは、7 つの造形方式のなかのひとつである MEX（Material Extrusion: 材料押し出し方式）を専門とし、その中でもさらに工業グレードの樹脂ペレットを直接出力することのできる FGF（Fused Granular Fabrication）と呼ばれる大型ペレット式 3D プリンタに関して、ソフトウェアとハードウェアを一体的に進める開発研究に約 10 年間取り組んできた。卓上のサイズの 3D プリンタではフィラメントと呼ばれる樹脂リール状の材料が通常用いられ、FFF（Fused Filament Fabrication）と呼ばれるが、FGF では

---



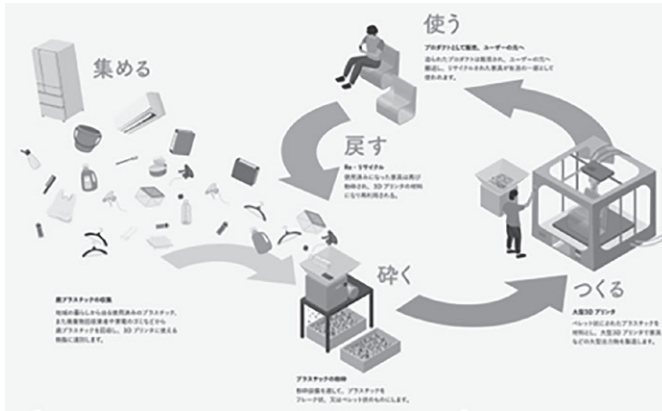
(図1) 最大1メートルのものが 3D プリントできる「ArchiFAB TATAMI (左)」と、最大3メートルのものまで 3D プリントできる「ArchiFAB 茶室 (右)」。



(図2) 東京 2020 オリンピック・パラリンピックの表彰台。大会終了後、メダリストの出身校や、大会に協力した自治体に全数配布されており、筆者らが住む神奈川県鎌倉市にも1台寄贈された。現在では、地域のスポーツ大会などの際に利用されている。

フィラメントではなく樹脂ペレットを直接用いる。FFF では経口 0.4mm 程度の細いノズルから吐出されるが、FGF では経口 2mm ~ 10mm といった太いノズルで吐出できることもあり、1メートル以上のサイズのものでも高速に造形できる技術となった (図1)。この技術を用いた 3D プリント家具が実際に生産販売されている。

さて筆者らは、この大型ペレット式 3D プリンタを用いて 2021 年に開催された東京 2020 オリンピック・パラリンピックにおいて、全国各地から回収された使用済み洗剤ボトル 24.5 トンを材料とした、表彰台約 90 台の製造を担当した (図2)。このプロジェクトを経て、地域のプラスチック資源循環系を構築する際の核となる技術として、3D プリンティングが有用なのではないか



(図3) 3D プリンタを中心としたプラスチック資源循環の概念図

という着想を得た。現在、その構想を実行に移すため、神奈川県鎌倉市を舞台として地域でプラスチックの資源循環を行う研究を行っている。

## 2 プラスチック資源循環に向けた 3D プリンタの拡張技術

バージン材料（新品の樹脂ペレット）を用いて製品を造形する通常の 3D プリンタ活用を発展させ、プラスチック資源循環に向けて 3D プリンタを活用する場合、特に次の 3 点に注意を払うことになる。

- ・使用済みプラスチック製品を粉碎、ペレット化して、リサイクル材料として用いること。
- ・3D プリントの造形加工時に、ごみを一切出さないように設計すること。
- ・3D プリンタによって造形される製品が、使用后、将来的に不要になった際には、粉碎、ペレット化して、再びリサイクル材料として循環できるように見込んで、あらかじめ設計しておくこと（図 3）。

以上 3 点を実現するために必要となる設計技法に、「ブレンド材料の設計」「オーバーハング制約とシングルツールパス設計」「モノマテリアル化と材料情報のトレース」の 3 つがある。これらを順を追って詳述する。

## 2.1 ブレンド材料の設計

通常の 3D プリンティングでは、3D プリンタに最適化された樹脂ペレット材料（バージン材料）が使用されている。他方、使用済みプラスチック製品を粉碎、ペレット化して、リサイクル材料として用いる場合、それらの材料はもともと 3D プリンタに最適化されたものではないため、ほとんどの場合、材料自体を改良する作業が必要になる。使用済み製品は、もともとブロー成形や圧縮成形、射出成形などで加工された製品であり、樹脂材料はもっぱらそれらの造形方法に対して最適化されている。その状態から、3D プリンタに最適化された材料に改質するのである。

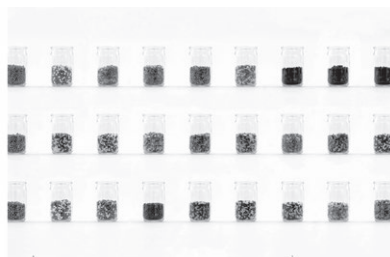
プラスチック材料を 3D プリンタで使用可能とするために、特に重視する項目は、「メルトフローレート（溶融プラスチックの流動性）」「層間溶着」「収縮抑制」の 3 点である。メルトフローレートは、ある温度をかけた際に、一定の速度で安定的にスクリーンの中を流れ通過してくるかどうかを判断する数値であり、3D プリンタで「材料吐出」が可能であるかどうかによっておおむね決まる。次の「層間溶着」は、下から上に 1 層ずつ付加していくという 3D プリンタ特有の造形加工プロセスの中で、正しく材料が積み上がって溶着が進んでいくかにかかわる。層と層のあいだが正しく溶着しない材料では、造形した物体がもろく、壊れやすくなり、必要な強度を満たすことができなくなる。最後の「収縮抑制」は、吐出が終わり層が積み上がっていく 3D プリント物が、温度変化によって収縮することで変形し、プリント過程が途中で中断せざるを得なくなってしまうことがないかどうかの判断にかかわる。収縮率は樹脂の種類によって異なることが知られているが、ある範囲内に収まっていなければ、その材料を 3D プリントに使うことは難しい。

以上、3 つの項目を満たした材料でなければ樹脂ペレット式 3D プリンタでは造形エラーとなり、使用することができないが、東京 2020 オリンピック・パラリンピックで用いた使用済み洗剤ボトルをはじめ、ほとんどのケースにおいて、回収された時点ではリサイクル材料が、これらの項目を満たしていない。

ここで我々の研究チームでは、他の材料とのブレンドという方法によって 3 項目を解決する方法を開拓してきた。そして、ブレンドによって組み合わせ



(図4) 回収された様々な使用済み洗剤ボトル



(図5) 材料ブレンドの実験の様子

られる他の材料も、別のリサイクル材料から選択することで、全体のコンセプトをぶらさないようにしている。

東京 2020 オリンピック・パラリンピックの際には、市民から回収された使用済み洗剤ボトルに対して、使用済み冷蔵庫から取り出されたガラスウール材料を混練（コンパウンド）することで、3D プリンタで使用できる樹脂ペレットとして改質し使用した。この場合、洗剤ボトル、ガラスウール材料の両方がリサイクル材料であることから全体のコンセプトがリサイクルであることが貫かれている。

こうした研究の延長線上に、地域の天然の未利用資源や、廃棄される食品残渣などを利活用する可能性が開けてきている。その中でも、筆者らは、「混合溶融技術」に着目している。これは、高速回転によって材料同士を衝突させ、発生した熱で材料を高温加熱、高圧化し、均一に混合溶融するものであり、スギ、ヒノキ、竹などの木質バイオマス材や、カカオハスクなどのフードロス材、抽出後のコーヒーかすなどのフードウェイスト材など、従来よりもいろいろなものをプラスチックに混ぜることが可能である。事例のひとつとして、筆者らは 2023 年に、植物由来のバイオプラスチックに、地域から回収された使用済みコーヒーかす粉末を溶融した独自材料を開発し、鎌倉市内に設置されるベンチ 14 基を大型 3D プリンタで作成した。これらは現在、鎌倉市都市整備課との連携のもと、湘南モノレール大船駅裏に実際に設置され、使用されている。



(図6) 使用済みコーヒーかす粉末を溶融したプラスチックを用いたベンチ

## 2.2 オーバーハング制約とシングルツールパス設計

MEX (Material Extrusion: 材料押し出し) 方式の 3D プリンタにはもともと形状的制約がある。層と層とを積み上げていく際に、下に支えがない部分に材料を吐出すると造形物が崩落してしまう。このように造形物が空中に浮いている部分をオーバーハングと呼ぶ。小型の FFF 式 3D プリンタでは、オーバーハングを含んだ形状が入力された場合、自動的に下部に支持部 (サポート材) が加えられて出力する原理になっている。これらのサポート材は、出力後に、ニッパーやカッターなどによって取り外すことができる。もしくはサポート材を水溶性の材料によって造形し、造形後に湯で溶かすことによって取り除くという方法もある。

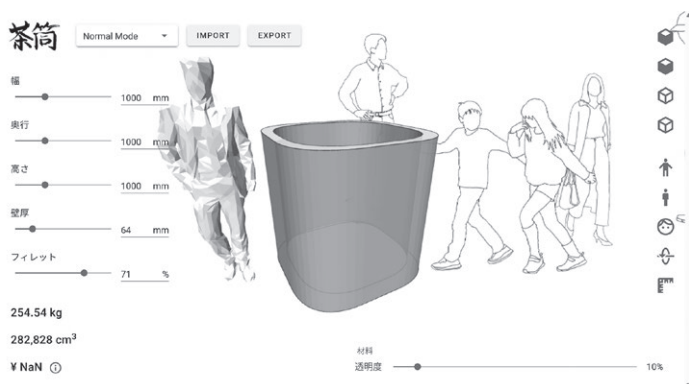
しかし、大型樹脂ペレット式 (FGF) 3D プリンタでこの方法を採用することは難しい。まず径口が 2mm ~ 8mm 程度と太いものになるため、ニッパーやカッターによって取り外すことが作業的に容易ではない。また水溶性サポート材によって出力する方法を採用すると、作業後に大量の廃液を処理することになり、リサイクルという環境配慮のコンセプトとの齟齬が大きくなってしまう。そのため、サポート材を使用しない形状に限定して設計を行う必要がある。

さらに、大型樹脂ペレット式 3D プリンタは、材料吐出と停止を細かく繰り返すと、「ツノ」状の尖った樹脂端部が生まれてしまうという問題がある。これを回避するためには、一度吐出を始めたら最後まで停止せずに、連続的なひとつの軌道 (ツールパス) だけで造形を終えるという方法が望ましく、この状態をシングルツールパスという。



我々の研究グループでは、こうした大型樹脂ペレット式 3D プリンタ特有の形状的制約や付随する問題を一旦は受け入れ、むしろこれらの制約を積極的に考慮し克服しながら、デザイナーが設計を進められる独自ソフトウェアを開発することを目指してきた。

開発した独自ソフトウェアのひとつは「茶筒」と命名されたウェブアプリケーションである。筒（シリンダ）状の形態は、オーバーハング制約を満たし、シングルツールパスに変換が可能のため、大型樹脂ペレット式 3D プリンタとの相性が最も良いことで知られる。このアプリは、断面形状の変更や壁の厚さ（シェル）の変更などの多様な機能を実装しており、大型 3D プリンタ向け設計の導入編の役割を果たしている。

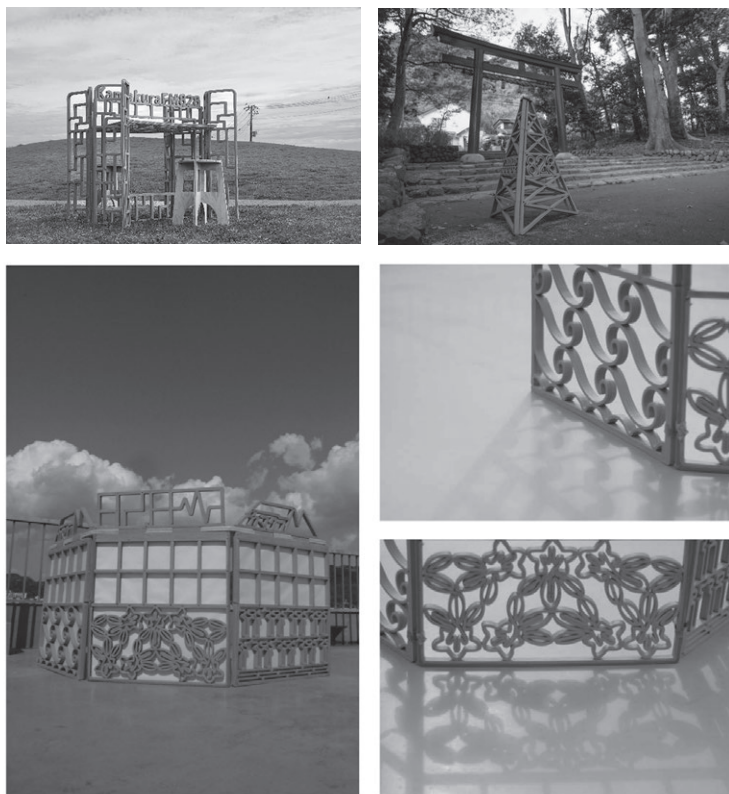


(図7) 「茶筒」の操作画面 (<https://main.d2pjx7weim97kn.amplifyapp.com/normal>) より



(図8) 「茶筒」によって設計された 3D プリント物の例

もうひとつのソフトウェアは「Fabrix」と名付けられたもので、これは、Adobe Illustrator や Rhino といった既存の作図・モデリングソフトのプラグインとしてオープンに提供されている (<http://fabrix.design>)。一般的な3Dプリンタ用設計ソフトが、立体形状を設計していくものであるのに対し、Fabrixでは、樹脂を吐出する軌道（ツールパス）を直接設計していく環境が用意されている。2023年のSFC春休み特別研究プロジェクトでは、SFCの学部2～3年生約10名が、Fabrixを用いた3Dデータ制作に取り組んだ。いずれも、環境負荷の低い（ごみの出ない）製造方法を担保しながら、斬新なデザインに成功していた。



(図9)“Fabrix”を用いたシングルツールパスによるデザイン例。製作者名は謝辞に示す。

### 2.3 モノマテリアル化と材料情報のトレース

一般的に、機能性を追求する工業製品では、異なる材料どうしが組み合わせられて高度な機能が実現されている。たとえば包装材では、難燃性、透明性、ガスバリア性などのそれぞれの機能を達成するために異なる素材でできた層が接着されている。オフィス椅子では、金属、プラスチック、布などが適材適所で使われている。

しかし、複数の異なる材料が分離不可能になっている状態は、機能が高いことと引き換えに、リサイクル性が著しく低くなる。近年地球環境への配慮が求められる中で、そうしたことへの反省意識から、一つの原料や素材でできている「モノマテリアル製品」への注目が高まっており、特に包装材業界では積極的な研究開発が進められている。

さて一方、3Dプリンタで造形される製品は、基本的にモノマテリアル製品である。2.1で述べたとおり、3Dプリンタ用ブレンド材料として一旦改質された材料は、それでつくられた製品が不要になった際には、回収、粉碎、ペレット化して、再びリサイクル材料として3Dプリンタで使用することができる（造形や使用を通して、熱や紫外線によって劣化していくことは考慮する必要がある）。

ただし、こうした循環がつながっていくためには、製品がモノマテリアルとなっているだけでは十分でなく、そこで使用された材料の細かな組成の「情報」が、次のリサイクルを担当する人々へと正しく伝わっていく必要がある。素材の情報が分からない製品をリサイクルする場合、たとえそれがモノマテリアル製品であったとしても、その素材がなんであるかを突き止める分析作業に膨大なコストがかかってしまうからである。



(図10) CQR (サーキュラーコード) と、それが付与されたリサイクルプランター

---



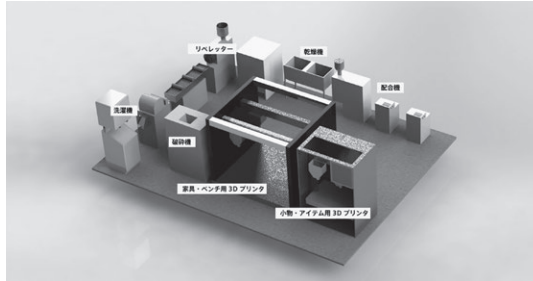
（図 11）CQR（サーキュラーコード）によって読み取ることのできる情報

こうした問題意識から我々が開発したのがサーキュラーコード（CQR）である。サーキュラーコードは、リサイクル、アップサイクルされた製品に取り付けて使用され、通常の QR コードと同様、スマホなどで読み取ることができる。読み取ると、製品に使用されたブレンド材料の組成が、まるで食品の成分表示のごとく細かく表示される。また、たとえば「洗剤詰め替えパック〇〇〇枚分が、この製品には使用されている」というように、材料の種類だけでなく、ある製品から別の製品にアップサイクルする際の量的換算も表示するようにしている。

この情報表示がつけられていれば、次のリサイクルが行われる際に材料の分析を行う手間が省け、大幅な負荷軽減となるほか、一般の市民にとっても、ある製品が別の製品へとリサイクル、アップサイクルされた過程を情報として確認することができ、新たな環境行動へとつながる布石となる。本システムは現在鎌倉市で実験実証中である。

### 3 神奈川県鎌倉市での地域実践

第 1 章で述べたように、筆者らは東京 2020 オリンピック・パラリンピックにおいて、全国各地のスーパーや学校から回収された使用済み洗剤ボトル



(図 12) リサイクリエーション慶應鎌倉ラボに導入されている機器一式

24.5 トンを材料とした、表彰台約 90 台の製造を担当した。そのプロジェクトを契機として、技法・ノウハウ化した活用法（第 2 章で詳しく解説した）を地域での持続的なリサイクル活動へとつなげたいと考え、2022 年 6 月に神奈川県鎌倉市に「リサイクリエーション慶應鎌倉ラボ」を開業した。そのラボの 1 階には、大型ペレット式 3D プリンタのみならず、材料の洗浄、粉碎、リペレット、乾燥、混合に必要な最低限の機材一式を導入し、小さなりサイクル工場のようにになっている。この施設を中心として、地域から回収したプラスチック材料を用いて、地域のシンボルとなる公共アイテムを製造し、まちに設置する実践を行っている。

### 3.1 「しげんポスト」による地域プラスチック回収

神奈川県鎌倉市では、2016 年より洗剤詰め替えパックの市民回収が、「リサイクリエーション」と呼ばれて開始され、地域の小中学校を拠点として続けられてきた。今回筆者らは、その活動と連携したうえで、さらに 3 か所（鎌倉市役所、リサイクリエーション慶應鎌倉ラボ前、面白法人カヤック前）に新たな資源回収スポットを設置した。

その際に、回収ボックスの形状のリデザインを試みた。従来よく見られる「回収ボックス」は、資源を上から投げ込むような形状のものが多く、我々は、郵便ポストや図書館の返却ポストのように、資源を水平に差し込む形状にデザインを刷新し、これを「しげんポスト」と名付けた。「しげんポスト」にはさらに、鎌倉市で 2020 年より運用されている地域デジタル通貨「まちのコイ



(図13)「しげんポスト」の外観

ン」を付随させており、資源回収に協力した際にコインを受け取ることができる仕組みとした。このコイン受け取りはユーザー登録としての役割も果たしており、事後的に、筆者らの活動に関するさまざまな連絡を受け取れるようになる。

さらに、鎌倉市役所とリサイクルレーション慶應鎌倉ラボ前に設置されたしげんポストには、重量センサが搭載されており、1時間ごとの回収量の変化がデータで記録されている。これによって、曜日、時間、天候、場所などに応じた、市民の投函行動を分析することも可能である。

しげんポストで回収された洗剤詰め替えパックは、その後、一旦洗剤メーカーの工場へと送られ、そこでペレット化される。メーカーではそのペレットをもとに、再び洗剤詰め替えパックに水平リサイクルする等の試みを行っている。筆者らのラボでは、そこでつくられたペレットの一部を受け取り、3Dプリンタを用いた公共アイテムの制作のために使用させていただいている。

### 3.2 市民リクエストに基づく公共アイテムのデザイン

リサイクルレーション慶應鎌倉ラボでは、市民から洗剤詰め替えパックを回収すると同時に、「回収資源を使って、大型3Dプリンタでまちに何をつくってほしいか」の意見も市民から回収している。意見は、不定期に開催されるラボでの市民ワークショップや、資源回収に協力した市民へ「まちのコイン」システムを通じてアンケートを出す方法とで回収した。以下は、回収した意見の一部抜粋である。



(図 14) 「おかえり遊具」の外観

- 
- ① 障害者施設にベンチや植木鉢を作って頂けたら嬉しいです。
  - ② 子どもたちの使う物 (遊具)
  - ③ イス
  - ④ 鎌倉駅に、まちのベンチを再生プラスチックで。
  - ⑤ 市内の保育園や幼稚園の園庭にベンチがほしい。
- 

要望の中で特に多いのは「遊具」「植木鉢」「ベンチ」の3つであり、リクエストが多いまちの公共アイテムの代表例であることが分かる。これを受け、ラボでは「遊具」「植木鉢」「ベンチ」それぞれを個別に制作することを進めつつも、同時に「遊具」「植木鉢」「ベンチ」の3つの機能が合体した新たなアイテム「おかえり遊具」を開発することとした。図14がその外観である。

アザラシの形状をデフォルメして全体形状を設計しており、斜め45度に、植物を植えることのできる穴が開いている。植物を入れて南に向けることで、日光で植物を育てることができる。また、大人が座る場合には横向きに座ることでベンチとなり、子供はまたがって座ることで、動物型遊具のように遊ぶことができる。さらに植えた植物が成長し、人の身長よりも大きくなれば、

このアイテム自体が木陰を生みだすものとなり、夏の灼熱をわずかながら回避する効果生まれる。

以上のような過程でデザインされた「おかえり遊具」は、2023年5月27日に鎌倉市役所オープンデーとして開催された「one day play park」にて市民へとお披露目され、その後、リサイクリエーション慶應鎌倉ラボの前に設置され、通りがかりの人が座ることができるようになっている。

### 3.3 アンケート結果

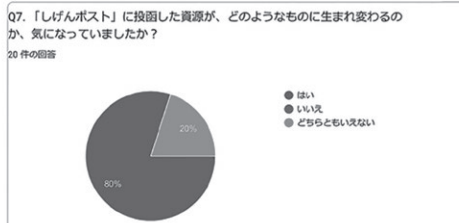
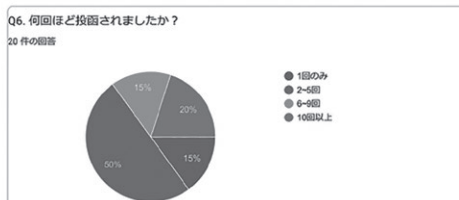
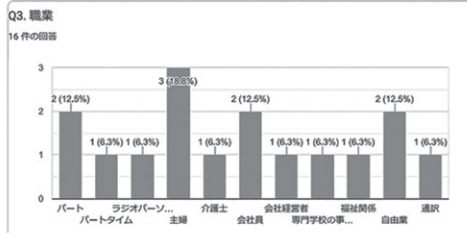
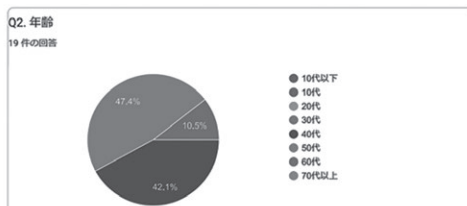
「まちのコイン」においてコイン取得者へメッセージ連絡ができる機能を活用し、2023年5月には、できあがった「おかえり遊具」について、資源提供者へ報告を送信した。同時に初期的なアンケートを実施し、20名からの回答を得た。回答者は、40代、50代、60代であり、職業はさまざまであった。それぞれ、1回のみならず2回以上、資源を投函したユーザーが多く、その後、「その資源によって何が作られるのか」を気にしていたという回答が8割であった。筆者らが制作したものの結果について、事後的に連絡したことについては、好意的に受け入れられていることが分かった。

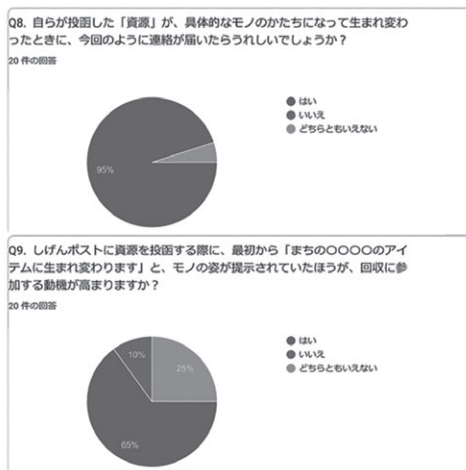
さて、今回の鎌倉市での地域実践は、東京2020オリンピック・パラリンピックとは大きく異なる点があった。東京2020オリンピック・パラリンピックでは、最初から「表彰台をつくる」ことが明示されており、それに参加するために市民は資源投函を行っていた。対して今回の鎌倉市での地域実践は、最終的に何が作られるかがはっきりとは明示されていない状態で、資源投函への参加をいただいている。この違いを考察するため、「最初から〇〇〇がつくられると分かっていたほうが、資源投函への動機が高まりますか」という質問を行った。その結果、65%のユーザーは「はい」と回答しているが、「いいえ」や「どちらともいえない」の回答もあった。我々が想定したよりも「はい」は少なかったが、この結果を受けて、我々は次のように考察した。

これまででも、自治体による資源回収は広く実施されてきた。たとえば鎌倉市では、21分別が日々実施されており、カン、ビン、布、紙、ペットボトル、容器包装プラスチックなど、全体の50%以上が資源化に回されている。しかしその回収の時点で、市民に向けて「それが最終的に何に再利用されるのか」



「どんなものにつくりかえられるのか」は明示されてこなかった。それに対して、東京 2020 オリンピック・パラリンピックにおいて、最初から「つくるもの」を明示してから資源回収を行うアプローチは、新たな方法であると筆者らは考えていた。この体験は、どちらかといえば、明確な目的・ゴールを持って実施されているプロジェクトに対して、呼びかけに応じて支援と参加を表明するクラウドファンディングに近いといえる。資金を提供する代わりに資源を提供する、マテリアルのクラウドファンディングである、との説明も折に触れて行ってきた。





しかし、今回のアンケートを受け、このことが単純に投函行動への動機づけになるかどうかは不確定であり、今後さらに丁寧に考察する必要があることに気づかされた。資源投函行動に至る動機を深く知ることは今後の地域での活動にとって最も重要である。対象人数を増やしてさらに追加アンケート等で確認しながら、どのようなコミュニケーションをとることが、市民が前向きに楽しく回収に参加する仕組みとなるのかについて、今後精緻に研究していきたいと考えている。

#### 4 まとめと展望

本稿では、大型ペレット式 3D プリンタを活用したプラスチック資源循環の地域での実践について述べてきた。アップサイクルの観点から見れば、3D プリンタは、「回収できたプラスチックの種類と量」を前提としながら、市民と一緒にまちに必要とされるものを考え、ともに作り、使っていくことに効力を発揮する。これは、従来の工業製品の生産フローにリサイクル・プラスチックを使用しようとする際、「回収されるプラスチックの量と質、タイミングが読めない」ことがボトルネックとなってしまう課題があったが、それに対して別の出口戦略を提示したものともいえる。

今後は、まちの公共アイテムとして、鎌倉市や市民のリクエストのもと、インクルーシブな機能を備えた遊具開発に取り組むことを予定している。地域の未利用資源、廃棄資源を活用し、ブレンド・コンパウンドによって新しい3Dプリンタ用材料を生み出しながら、同時に、遊具に求められる高い安全性、長期間使用できる耐候性、耐久性を満たしていくという難易度の高いチャレンジとなる。この達成に向け、本稿では述べられなかった複数の材料を適材適所に吐出するマルチヘッド型3Dプリントや、ひとつのツールパス内で比率を変えながら材料を切り替えることのできる連続式マルチマテリアルプリンティング技術を研究開発していく計画である。さらに、鎌倉市役所や遊具メーカーとも連携しながら、具体的なデザイン、品質評価を進め、地域に貢献していきたいと考えている。

## 謝辞

本プロジェクトは、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ある。

「しげんポスト」の設置から洗剤詰め替えパックの回収、ペレット化までの過程について、花王株式会社、株式会社カヤック、鎌倉市の協力を得ており、特に花王株式会社の松本泰正氏、佐藤剛氏にはここに記して感謝します。

また、図9に示したシングルツールパスによるデザイン例は、磯崎学、上野祥太、河合慈英、小林誠弥、佐藤諒弥、白井雅也、高橋美帆、千葉楓夏、平井瑛大、三浦稔貴、矢田美涼が参加した2023年春の特別研究プロジェクトの成果であり、その詳細は[http://fab.sfc.keio.ac.jp/paper/files/special\\_research\\_project/2023\\_projectbook\\_final.pdf](http://fab.sfc.keio.ac.jp/paper/files/special_research_project/2023_projectbook_final.pdf)に公開している。

[受付日 2023. 9. 30]

