

卵パック由来のペレット式3Dプリンタ用 リサイクル材料開発と地域内循環への展開

Development of Recycled Materials for Pellet-Based 3D Printers from Egg Packs
and Their Application in Local Community Circulation

矢田 美涼¹, 河合 慈英², 白石 慶彦¹, 鳥居 巧¹,
湯浅 亮平¹, 荒井 将来¹, 田中 浩也²,

Misuzu YADA¹, Jiei KAWAI², Yoshihiko SHIRAISHI¹, Takumi TORII¹,
Ryohei YUASA¹, Masaki ARAI¹, Hiroya TANAKA²

¹ 慶應義塾大学大学院, ² 慶應義塾大学

¹ Keio University Graduate School, ² Keio University

【要約】

市民から回収したプラスチック製卵パックを用いてリサイクル材料を開発し、回収地域で使用されるプロダクトにアップサイクルし地域に還元することで、地域内資源循環の実現を目指している。プラスチック製の卵パックは A-PET フィルムで成形されており、単一素材であること、汚れが比較的少ないこと、家庭から高頻度で排出され効率的に回収できることから、安定した資源としての活用が期待出来る。またリサイクル材料としては特異である、ピンク色とシルク調の質感を合わせ持つ材料になるため、その特性を生かした公共製品をデザインし製造を行う。ペレット式3Dプリンタを用いることで小規模な製品開発と製造を実現し、回収量に過不足なく生産し還元していくことで地域内資源循環において理想とされている、小さな閉じた循環が実現できると考えられる。また、卵パックは市民からの排出頻度が高い資源であるため地域内資源循環システムの可視化を行い市民参加の実感を持ってもらうことで、地域内資源循環の持続につながると考えられる。これらの製品の地域への還元及び、市民参加の実感を返礼品と捉えた、「資源クラウドファンディング」を提案する。

キーワード: 3D プリンタ, 3D プリント材料, リサイクル, リサイクル材料

【Abstract】

This research aims to realize local resource circulation by developing recycled materials from plastic egg packs collected from citizens, upcycling them into products used in the collection area, and returning them to the community. Plastic egg packs are molded from A-PET film. Being made of a single material, relatively clean material, and frequently disposed of from households for efficient collection, they hold promise as a stable resource. Furthermore, as a recycled material, it possesses unique characteristics: a pink color and a silky texture. We design and manufacture public products that leverage these properties. Using a pellet-based 3D printer enables small-scale product development and manufacturing. By producing and returning products in quantities that precisely match the amount collected, we believe we can achieve the ideal small, closed-loop cycle envisioned for regional resource circulation. Furthermore, since egg packs are a resource frequently discarded by citizens, visualizing the local resource circulation system and fostering a tangible sense of citizen participation is expected to contribute to the sustainability of local resource circulation. We propose “Resource Crowdfunding,” where the return of these products to the community and the tangible sense of citizen participation are treated as rewards.

Keywords: 3D printer, 3D printing material, recycling, recycled material

1. 背景

近年多くの自治体や企業でプラスチック分別回収が導入されているが、市民が回収したプラスチックがその後どのようにリサイクルされ、最終的にどのような製品になるかを実感する機会は少ない。多くの分別回収されたプラスチックは、破碎、選別、圧縮等の処理を経て回収地域外に輸出されるため[1]、市民がリサイクルのプロセスを追って知ることは難しい。こうした状況は、資源循環に対する市民の参加意識を十分に引き出せておらず、分別回収への動機付けや理解を得ることに課題がある

と考えられている。また、Bocken ら(2016)が示す「narrow, slow, close, regenerate」という循環型経済の設計戦略においては、小さな閉じた循環(close)の実現が、資源の価値保持と環境負荷低減に有効であるとされている[2]。この観点から、地域内で回収・再資源化されたプラスチックを再び地域に還元し地域内で利活用する仕組みを構築することは、循環の可視化を通じて市民の参加意識を高めるとともに、持続的な資源循環の推進に寄与すると考えられる。

プラスチック製の卵パックは高い透明度と柔軟性を持

つ A-PET フィルムで成形されており、単一素材であること、汚れが比較的少ないこと、家庭から高頻度で排出されるため効率的に回収できることから、安定した資源としての活用が期待出来る。また、国内で流通しているプラスチック製卵パックは無色透明とピンク色の 2 種類に限られるため(Fig.1), 着色剤を添加せずに鮮やかなピンク色のリサイクル材料が得られる。一般にリサイクルプラスチックは混色により灰色がかかる傾向があるが、卵パックは色調が限定されているため、市民に元製品を想起させやすい材料になり得る。

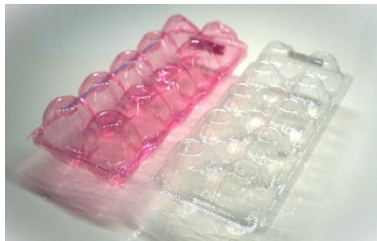


Fig.1 Two types of Egg Packs

2. 目的

本研究の目的は、地域から回収した卵パックを用いたペレット式 3D プリント用のリサイクル材料を開発し、その材料を活用したアップサイクル公共製品を地域内に設置することで、市民が資源循環を実感できる仕組みを構築することである。

特に卵パックは市民からの排出頻度が高い資源であるため、これを用いたアップサイクル公共製品の設置は循環への参加意識を喚起する有効な手段となる。また、特徴的な色彩を持つリサイクル材料を地域資源循環のシンボルとして位置づけ、そのデザイン実践を試みる。

さらに、3D プリントを活用することで小規模かつ地域資源量に応じた過不足のない製品開発・製造を行うことが可能になり、地域内資源循環において理想とされている「小さな閉じた循環」が実現できると考えられる[2]。

卵パックの回収過程からは、市民が「活動への期待」を抱いて資源を提供していることが明らかとなった。その期待への「返礼品」としてアップサイクル公共製品を提示し、市民参加の実感を高めることを目指す資源循環を地域に還元する新たな仕組みとして「資源クラウドファンディング」を提案する(Fig.2)。

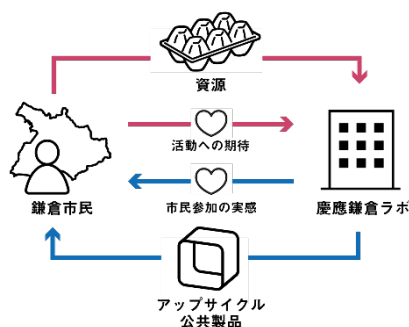


Fig.2 Resource Crowdfunding Explained

3. 先行研究と位置づけ

近年、廃棄プラスチックを用いたデザイン実践が国際的に展開されている。例えば、オランダのデザインスタジオ The New Raw による「Print Your City!」プロジェクト[3]や、イギリスの Smile Plastics[4] が挙げられる。

前者は、市民が持ち込んだペットボトルキャップなどの廃プラスチックを大型ロボットアームによる 3D プリントで都市家具へと転換し、循環の成果を公共空間に可視化する試みである。この事例は、大都市スケールにおける参加型リサイクルのモデルを提示した点に特色がある。

一方、Smile Plastics は使用済みプラスチックを圧縮成形し、テラゾー風の装飾性を持つパネルとして再生している。これらは家具や内装材に広く利用され、リサイクル素材そのものの色彩や質感を審美的価値へと昇華させた事例といえる。

これらに対して本研究は、公共空間にアップサイクル公共製品を設置することによる循環の可視化と、リサイクル素材の審美性の追求を継承しつつ、より小規模な地域での閉じた循環を基盤とする仕組み設計、実践的プロトタイプ提示に重点を置いている点で、独自性があるといえる。

4. 卵パックの回収と資源化

4.1. しげんポストプロジェクト

しげんポストとは、地域で集めた資源を使用し、地域のアップサイクル公共製品を制作するプロジェクトとして鎌倉市で始まった資源回収 BOX である[5]。2023 年 10 月より、プラスチック製卵パック回収用のしげんポストがリサイクリエーション慶應鎌倉ラボ前に設置された(Fig.3)。



Fig.3 Shigen Post Station

4.2. 卵パック回収状況

卵パックは、リサイクリエーション慶應鎌倉ラボ前の一か所でのみの回収で月に約 200 個のペースで安定して回収されている。これは年間約 36 kg 回収される計算になる。家庭から週に約 2 個のペースで排出されるため、市民参加の頻度が高いことが特徴である。

4.3. 卵パック回収後の処理

卵パックは、家庭から回収されたものであり、基本的に食品残渣などの汚れは少ないが、ラベルシールが付着している場合がある。そのため、事前処理としてハサミを用いてシール部分を切除した。また、卵パックはフィルム素材であり、薄く軽量なため、本研究で使用する粉砕機に直接投入しても刃に十分に噛み込まず粉砕が進行しにくい。このため、投入前に卵パック全体を手で絞るように圧縮して塊状にし、粉砕機で効率的にフレーク化できるようにした。得られたフレークは、その後乾燥機により乾燥処理を施し、押出成形用の前処理とした(Fig.4)。



Fig.4 Strained egg packs and flaked egg packs

4.4. ペレット状バージン材料との混合と造形

本研究では、卵パック由来の A-PET を単独で使い、ペレット式材料押出型 3D プリンタによる造形を試みた。しかし、原料がフレーク状であるためスクリューへの供給が不均一となり、押出挙動が不安定となった。さらに、A-PET は層間接着性に乏しく、造形物の強度が十分に得られなかった。以上の理由から、本研究環境において A-PET 単独での実用的な造形は困難であることが確認された。

造形の安定化を目的として、バイオベース PC である Durabio® ペレット(三菱ケミカル製)[6]と A-PET との混合による利用を検討した。A-PET フレークをペレット式 3D プリンタに安定的に供給するためには、ペレット化を行うことが望ましい。しかし、卵パック由来のフィルム状フレークをリペレットに安定して投入し、均一なストランドとして押出・冷却・カットすることは本研究環境では困難であり、十分な再現性を得ることができなかった。

そこで本研究では、ペレット状の Durabio®とフレーク状の A-PET を直接ドライブレンドし、その混合物を大型のペレット式 3D プリンタである IRORI(S.lab 製)に投入して造形を行った(Fig.5)。通常 24mm/s 程度のノズル移動速度に対して、50% 程度速度を落とすことでエクストルuderのスクリー内で溶け合いながら押し出されるため、不均一な見た目になることを抑えることが出来る。これをペレタイザに繋ぎペレット化する方法も試したが、速度が遅く効率が悪いため断念した。また、ペレットとフレークの混合比率を段階的に増やしていったところ、A-PET の割合が 20%を超えると押出および造形の安定性が著しく低下したため、20%を上限とした。

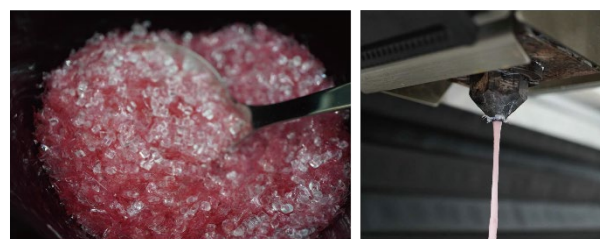


Fig.5 A mixture of Durabio® and flake-shaped egg packs

4.5. カラーバリエーション

国内で流通しているプラスチック製卵パックは、無色透明と赤卵用に多く用いられるピンク色の 2 種類に大別される。そのため、着色剤を添加することなく、ピンク色由来の鮮やかな色調を有するリサイクル材料を得ることが可能である。

本研究では、無色およびピンク色の卵パックフレークの混合比率を調整し、3 種類のカラーバリエーションを有するリサイクル材料を作成した(Fig.6)。



Fig.6 Three types of egg pack recycling materials

さらに、Durabio®と A-PET を混合して押出成形を行ったところ、シルク調の質感が観察された。PC 系樹脂と PET 系樹脂のブレンドにおいては微細な相分離構造が形成される可能性があり[7]、この構造が可視光の散乱や干渉を誘発し、その結果としてシルク調の外観が発現したと考えられる(Fig.7)。

以上の結果より、シルク調の質感を有し、かつグラデーションなピンク色を持つ卵パック由来のリサイクル材料を得ることができた。グラデーションなカラーはペレット式 3D プリンタならではの造形表現として生かすことのできる特徴である。



Fig.7 Egg pack recycling material output sample

5. デザイン実践

本研究におけるデザイン実践では、地域内資源循環を市民が実感するきっかけとして、特徴的な質感と色彩を有する卵パック由来のリサイクル材料を用いて、地域

におけるシンボリック的存在としてアップサイクル公共製品を制作・設置することを目指す。

特に地域市民の目に日常的に触れる場に配置することが重要であると考え、公共空間において使用される製品を想定した複数のプロトタイプを提案する。

5.1. ランプシェード

卵パック由来のリサイクル材料でピンク色～白色の滑らかなグラデーションカラーが造形できた(Fig.8)。シルク調の質感が透過光によって美しさが一層際立つことから、ランプシェードとしての活用に適していると考えられる。

現在鎌倉市において分庁舎建設の企画提案が上がっており、市民利用を目的とした公共スペースの拡充が期待される。これらの空間における照明器具に、卵パック由来のリサイクル材料を導入することで、市民の日常的な利用環境において本材料が視認される機会を増加させ、地域資源循環のシンボルとしての役割を果たすことが期待される。



Fig.8 Egg pack recycled material lampshade

5.2. ミニ三角コーン

小型の三角コーンでささやかなエリアの分割ができる。従来の三角コーンでは主張が強すぎて景観を損なってしまう場面でも、やさしい色彩とミニサイズでその影響を軽減できる(Fig.9)。また、光が透過する性質を生かして内部に照明を仕込み、光る三角コーンとして設置することで、夜間の足元の注意喚起にも使用できる。



Fig.9 Egg pack recycled material Mini traffic cone

6. まとめと展望

本研究の卵パック回収、資源化、アップサイクル公共製品の造形、設置というフローを通して「資源クラウドファンディング」という概念を示した。

その構想の一環として、地域で回収した資源の材料化を行い、さらにその材料を用いたアップサイクル公共製品のプロトタイプ制作を実施した。

今後はデザイン実践として試作した製品を地域内施設に実際に設置し、市民における資源循環の実感や参加意識の向上をアンケートやインタビューを行い検証する必要がある。また、材料研究の観点からは、卵パック由来のリサイクル材料における A-PET の混合比率を増加させる検討や、PETG との混合による透明性の向上など、さらなる改良の余地が残されている。

参考文献

1. Kamakura City, “Youki housou plastic bunbetsu shite dashita ato, dou naru no? [What happens after separating plastic containers and packaging?],” *Note* (2025). Available: <https://kamakura-city.note.jp/n/n06d632f7e5f9>.
2. N. M. P. Bocken, S. Short, P. Rana, and S. Evans, “Circular business model experimentation: Demystifying assumptions,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 277, 122596 (2020). Available: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122596>.
3. Print Your City, “Print your city,” (2025). Available: <https://www.printyour.city/>.
4. Smile Plastics, “Smile plastics,” (2025). Available: <https://smile-plastics.com/>.
5. Shigen Post, “Shigen post,” (2025). Available: <https://shigenpost.com/>.
6. Mitsubishi Chemical, “PC (polycarbonate) product information,” (2025). Available: https://www.m-chemical.co.jp/products/departments/mcc/pc/product/1200363_9344.html.
7. Y. Kong and J. N. Hay, “Miscibility and crystallisation behaviour of poly(ethylene terephthalate)/polycarbonate blends,” *Polymer*, vol. 43, no. 6, pp. 1805-1811 (2002). Available: [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(01\)00772-8](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(01)00772-8).

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