

再生プラスチック材料を用いた 3D プリント椅子・ベンチの設計と製造実証

Design and Manufacturing of Chairs and Benches Using Large-Scale 3D Printing Technology
with Recycled Plastic Materials

益山 詠夢¹, 大木 智博², 田中 浩也¹

Emu Masuyama¹, Tomohiro Oogi², Hiroya Tanaka¹

¹ 慶應義塾大学, ² 東京エコリサイクル株式会社

¹ Keio University, ² Tokyo Eco Recycle Co., Ltd.

【要約】

昨今、3D プリンタによってリサイクル材料に新たな価値を与えることが、資源循環を進めるための一技術になりえるのではないかという期待が高まっている。本研究では、再生プラスチックを材料とし、大型3D プリンタを使用して椅子やベンチを製造し、その可能性を実践的に探究する。回収された廃棄家電からリサイクルされたポリプロピレンを用いて3D プリンタで出力するための材料特性を考慮した出力試験、またその材料を出力するための3D プリンタでの出力設定、大型3D プリンタの機械特性を考慮したデザイン形状の守るべき制約と見えて来たもの、設計された椅子のデザインテーマと工夫、構造的な強度を担保するための試行錯誤などについて述べる。これらを総合して、今後のリサイクルと大型3D プリンタを結合する可能性を述べる。

キーワード: 大型 3D プリンタ, リサイクル, デザイン, 再生プラスチック

【Abstract】

Nowadays, there is a growing expectation that giving new value to recycled materials by 3D printing could be a technology to promote a circular economy. In this research, we focused on recycled plastic as a material to manufacture chairs and benches using a large-scale 3D printer, and practically explore its potential. Using polypropylene recycled from collected waste home appliances, we conducted print tests to make it possible to output with a 3D printer while considering the material properties, and calibration of the machine's setting for 3D print output. We explored finding design constraints using large-scale 3D printing technology, designing and making the concept of chairs and benches, and ensuring structural durability on the design through try and error. By synthesizing the above, the possibility of combining recycling and large 3D printers in the future is described.

Keywords: large-scale 3D printing, recycle, waste plastic,

1. 序論

本研究で使用した大型3Dプリンタはエス.ラボ株式会社により実験的に開発されたFGF (Fused Granular Fabrication) 方式のプリンタである。当プリンタは幅、奥行、高さ1mからなる1㎡の出力範囲があり、出力ノズルは1～10mmまで使用可能である。材料面では、一般的なフィラメント式のものとは異なりペレット式であることで、一般的に出回っていない材料でも容易に出力試験をすることが可能である。一般型3Dプリンタとは出力範囲もノズル径も異なるサイズを有する大型3Dプリンタでは、家具や建築建材スケールの製造物を実現可能とする。(図1)



図1. Archi Fab II (エス.ラボ株式会社)

一般に樹脂を使った椅子の製造に使われる金型成形は、最初の金型作成時にかかる高額な初期投資を要する。それに比べこの新しい3D プリント製造技術では、3D CAD でデザインされたデジタルデータを読み込む事で直ちに製造する事ができ、多額の初期投資無しに多品種変量生産を可能にする。また、3D プリント技術は、昨今の技術進展により「ラピッドプロトタイピング」という試作作成の領域を超え、製品レベルの完成されたプロダクトを製造できるところまできている。本研究はこの技術特性を生かし、再生プラスチックを材料とした椅子、ベンチの製造実験を行い、材料、意匠の問題点について報告する。

2. 材料:再生プラスチックを3D プリンティングに使用する

ペレット式3Dプリンターは、製品として一般的に出回っている既存の材料だけではなく、ペレット状であれば実験的に新しい材料を3Dプリンタにより出力可能かどうかを見極める実験的な機械としての優位性がある。

本研究ではプロダクトとして既に使用され、使用済みになった製品を回収して作られた再生プラスチックに着

目し、その材料を3Dプリンタでプリント可能にする為に試行錯誤をおこなった。今回使用した樹脂は、家電リサイクル法で回収された廃家電をリサイクルプラントで破碎し、選別されたポリプロピレン(以降PPと呼ぶ)をペレット化し、再びメーカーの家電製品のパーツとしてリサイクルされる樹脂材料である。この再生PP樹脂は、冷蔵庫1台から約6kg、洗濯機1台から約6kg、エアコン1台から約3kg再生され、それがペレットとして配合された材料になる。3Dプリンタで椅子一脚を製造するのにリサイクルPPを6kg使うと想定すると、それに必要な廃棄家電は冷蔵庫1台か、洗濯機1台、またはエアコン2台、から一脚の椅子を造ることが出来る。(図2)

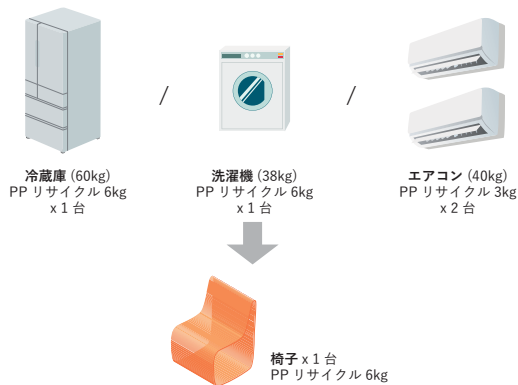


図2. 廃家電から再生されたPP材料で造る椅子

3Dプリンティング用に使用する樹脂材料の一つの課題として、出力成形後の材料の反り問題がある。これは溶融した樹脂が大气に触れ急激に冷却されることで起こる材料の収縮によるものである。本研究で使用したリサイクルPP材料は、何も混ぜない状態で3Dプリントすると激しく反る為、そのままでは使用不可能な材料である。その為、反りを抑制する効果を期待できる様々なフィラー材料を混練し小型サンプル出力を行い、反りの抑制効果と表面テクスチャーを検証した。(図3、表1)

試験結果から最も良い効果を得られたフィラー材料である、グラスウールとグラスファイバー入りリサイクルPPを椅子スケールの出力試験に使用することを決定した。



図3. 出力サンプル

フィラ-タイプ	1. タルク	2. マイカ A	3. マイカ B	4. GF 粉末	5. GF 扁平	6. GF 繊維	7. GW
反り抑制	×	△	△	○	◎	◎	◎
表面	○	×	×	○	×	○	○

フィラー各30%添加、GF:グラスファイバー、GW:グラスウール

表1. 出力テスト:リサイクルPP+フィラー

3. 意匠:大型3Dプリンタで製造する為の家具デザイン

1-10mmの太さまであるノズル径は樹脂を溶融する温度設定、スクリーンの吐出スピード、ヘッド動かすフィードレートなどこれらの微細な調節によりプリントする樹脂の太さ、高さを出力するプロダクトのデザインに合わせてコントロールする必要がある(最大、幅約16mm、高さ約5mm位までの出力が可能)。意匠面ではこの積層の幅と高さが、構造物の強度や意匠として層の見え方の印象を決定する要素となる。

プリント可能な積層面の角度は45度以上なければ、積層された材料が重力で垂れてしまい積層がうまくいかなくなる。一般的な3Dプリンターでは、サポート機能を使い45度以下のサーフェスに対して対応するが、大型3Dプリンターでは1層1層のサイズが大きい為、サポート機能を使って接着した樹脂同士を後に剥がし、後処理で綺麗にするのが容易ではない。

ペレット式大型3Dプリンタを使用し製造するプロダクトの設計は、それ特有の機械的制約を理解した上で意匠設計を行わなければならない。ペレット式大型プリンタは、一般的なフィラメント式デスクトッププリンタとは異なり、フィラメントを物理的に引き込む機構を備えてなく、「リトラクション」が機能しない。故に、造形物の表面を綺麗に出力する為には、溶融した樹脂が一時とも途切れることの無いように一筆書きで出力パスを作成しなければならない。また出力パスを一筆書きにすることで、プリント時間の短縮効果も期待できる。

これらの要素を念頭において、椅子の設計を行なった。(図4)

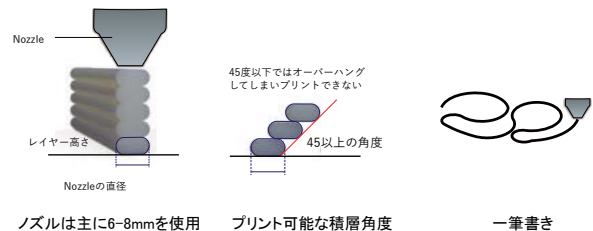


図4. 機械特性とデザインルール

まずは、3Dプリント技術を使った椅子の世界の事例を紹介する。

オランダの「The New Raw」というデザイナー集団は、ギリシャ・テッサロニキにて街で回収された廃プラスチックを材料(PPとHDPE)として大型のロボットアームを使いパブリックベンチを製造した。植物用プランターとベンチを混合させたプロダクトを海岸沿いのパブリックスペースに多数設置した。6軸のロボットアームの特性を活かし45度の角度で樹脂を積層することでより、水平に積層した場合の上記に述べた角度45度以下のジオメリーでの成形不可能な形状に対して、より幅の広い角度を持つ形状に対して出力可能にする。各ベンチには、アルミプレートにそのベンチの総重量が記載されており、そのベンチを作ることでのどのくらい廃プラスチックが再利用さ

れたかが分かるようになってきている。現在では海洋プラスチックゴミや、漁業で使われる不使用になった網などを集め、それを材料としてビーチに置かれる更衣室やビーチベットのデザインへと展開している。(図5)

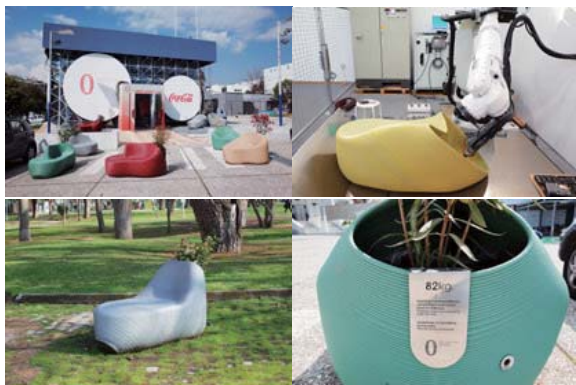


図5. The New Raw : ゼロウェイスト ラボ

ここで、本研究で意匠設計を展開した5種類の椅子、ベンチのデザインコンセプト、工夫などを説明する。(図6)

① Auxetic Chair

3D プリンティングの内部構造設計で採用される幾何学のひとつに「オーゼティック・パターン (Auxetic Pattern)」がある。この椅子は、その幾何学の周期構造の一つを取り出して拡大し、さらに「一筆書き」のパスへと統合することで、身体の動きに柔軟に呼応し、馴染む椅子のデザインへと応用した。リエントラント・ハニカム構造のフレキシブルさを利用して、身体の重さを支え、椅子自体のクッション性や、しなやかな背もたれの寄りかかりを実現できないかと考えた。空隙の幅や角度を細かく操作することで、座り心地をデザインすることが可能となった。

②+③ Recyclable Butterfly Chair & Bench

気軽に持ち運べる屋内でも野外でも使えるツールとベンチのシリーズ。二つの断面形状からなるシンプルなプロファイルからつくられている。1人で座れる椅子の幅から、2人で腰かけられるベンチの幅まで、用途に応じて長さを自由に決めることができるデザインになっている。この椅子は不使用になった際、粉砕することによりまた他のプロダクトに生まれ変われるというコンセプトの椅子である。

④ Daruma Chair

オフィスや自宅のリモートワークなどで使える、良い姿勢を保ちながら長時間使える椅子。バランスボールなど自らのバランス感覚で身体の重心を移動させることが出来る健康椅子を参考にデザインした。椅子の前方の底面が20度ほど斜めに上がっており、ユーザーが座ることにより椅子が前方に傾く。それにより、ユーザーの背筋

が自然と伸びる姿勢になる。脚で身体の自重をサポートするように座り、自分の心地良い座り具合で椅子を使用することができる。

⑤ Owl Chair

ダルマチェアのデザインを展開して作られたオウルチェアは、お尻と背中を優しく包み込むようにデザインされた背もたれ付きの深く座れる椅子である。背もたれを付け加えることで、新たに加わる重量をどのように受け、1層レイヤーのシェル構造だけで、身体を支えることができるかが、デザインのポイントとなった。意図的に椅子後部に折り目やカーブを付けることで、応力に耐えうる強度を担保することを試みた。さまざまな曲面、角度、折りパターンを試験し、意匠と構造を同時に探索した。



左上: ① Auxetic Chair
 右上: ② Recyclable Butterfly Chair
 中左: ③ Recyclable Butterfly Bench
 中右: ④ Daruma Chair
 下左: ⑤ Owl Chair

図6. リサイクルPPを使った椅子デザインシリーズ

4. 3D プリント椅子の資源循環



図7. 「砕く」、「つくる」、「使う」、「戻す」の資源循環

上の図の様に(図7)、回収された再生プラスチックを材料にプリントした椅子を、再び粉砕してペレット化し、再び3Dプリンターで他のプロダクトとして100%リサイクル造形できるかを検証した。次の順で粉砕から再成形までのプロセスを行なった。(図8)

- ① 椅子を粉砕機に入れて加工できるように小さいパーツに切り分ける。
- ② 粉砕機にて(直径6ミリ穴のメッシュ使用)粉砕されたフレークを取り出す。
- ③ フレークをペレタイザーにてペレット化する。
- ④ リペレットしたものを使い再び3Dプリンターで再成形する。

上記のプロセスから、粉砕した椅子から材料をリペレットし再び造形する事が可能であることが実証された。



図8. 椅子の粉砕、リペレット、再プリントの工程

色の実験として単色の赤色のものから、茶系、それに水色、黄色を混ぜたものを段階的に混ぜていった。単色の場合は問題無く色が出るが、様々な色が混ざった場合はグレー調の色になっていくことが分かった。表面は1度目のプリントよりも少し粗くなっている様に見える。これが樹脂の劣化から出現するものなのかは現時点ではまだ判断できない。(図9)

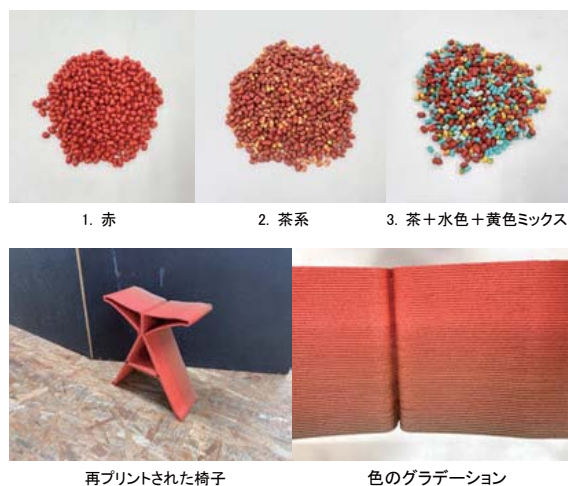


図9.異なる色のリペレット樹脂材料を使ったプリントテスト

5. 結論

本研究を通じて、回収された廃棄家電から選別されたPPを利用して大型3Dプリンターで出力し高品質な生活用品の実例を作った。椅子の強度に関しては人が座れる強度は十分担保でき、設計された中の一つの椅子に関しては家具メーカーの協力を経て強度テストを行い、破断せずに耐える事ができた。

大型3Dプリンターによって椅子、ベンチ等の大型家具全体を製造すると、リサイクルプラスチック活用の観点からは利用用が増え効率がよいと言える。

椅子を製造した後もう一度ペレットに戻し再び3Dプリント技術でプロダクトにする「マテリアルリサイクル」が可能であることを実証した。単一素材を使った一体型整形は、パーツ部品のアッセンブル工程を省き、プロダクト消費後の廃棄問題として資源循環も容易にさせ、環境配慮型のサプライチェーンの構築に期待できる製造技術である。

謝辞

本研究は、JST-COI「感性とデジタル製造を直結し、生活者の創造性を拡張するファブ地球社会創造拠点(JPMJCE1314)」の支援を受けたものである。

参考文献

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Auxetics>
2. <https://thenewraw.org/Zero-Waste-Lab>