

修士論文 2021 年度

3D プリンタを用いたリサイクルプラスチックの文脈と特徴を 生かした感性価値向上の試み

An Attempt to Improve the Sensory Value of Recycled Plastics by Using 3d Printer
to Utilize Their Context and Characteristics

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

黄丁

修士論文 2021 年度

3D プリンタを用いたリサイクルプラスチックの文脈と特徴を生かした感性価値向上の試み

論文要旨

本研究は、リサイクルプラスチック素材の文脈と特徴を生かした感性価値を含むプロダクトデザイン手法に関する研究である。

具体的には次の3つの研究を実施した。1つ目は、リサイクルされたプラスチックに関する分析と考察である。2つ目は、3Dプリンタによるリサイクルプラスチックの特徴を加味したプロダクトデザイン手法の検討である。3つ目は、以上の2点を踏まえた上で製作物の提案と実践である。本研究の中では、2つのプロジェクトを行った。

本研究では Fused Filament Fabrication (以下 FFF) と呼ばれる造形方式の 3D プリンタを用いる。FFF 方式は、フィラメント状の樹脂を熱で溶かしながらノズルから押し出し、一筆書きのように樹脂を積み上げて造形物を作成する方式であり、リサイクルプラスチックの匂いや色などの特徴を直接プロダクトに付与することが可能である。その特徴を用いて、製品の付加価値が上がる可能性を検討した。最終的に、プロダクトの形状や色、材料が与える感性価値向上の効果について、考察を行った。

キーワード

1. プラスチックリサイクル
2. 感性価値
3. プロダクトデザイン
4. 3D プリンタ
5. デジタルファブリケーション

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科
黄丁

Master's Thesis 2021

An Attempt to Improve the Sensory Value of Recycled Plastics by Using 3D Printer to Utilize Their Context and Characteristics

Abstract

This study examines the implementation of a product design method that includes sensory value by taking advantage of the context and characteristics of recycled plastic materials.

This paper consists of three parts: first, an analysis and discussion of recycled plastics; second, a study of product design methods that take into account the characteristics of recycled plastics using 3D printing; and third, a proposal of a product based on the above two points. The third is to propose and implement a product based on the above two points. In this research, two projects were conducted.

In this research, we used a 3D printer with a modeling method called Fused Filament Fabrication (FFF), which is a method of creating objects by melting filamentous resin with heat and extruding it through a nozzle, building up the resin like a stroke of a pen. It is possible to directly impart features such as the smell and color of the plastic to the product. We examined the possibility of adding value to the product by using these features. Finally, we discussed the effect of the shape, color, and material of the product on increasing the sensory value.

Key words

1. plastic recycling
2. sensory value
3. product design
4. 3D printer
5. digital fabrication

Keio University
Graduate School of Media and Governance

Huang Ding

目次

概要	2
Abstract	3
目次	4
第1章 序論	6
1.1 背景	6
1.1.1 ペットボトルリサイクルの現状	7
1.1.1.1 ペットボトルのプラスチックリサイクル	7
1.1.1.2 ペットボトルのアップサイクル	8
1.1.1.3 プラスチックのリープサイクル	9
1.1.2 リサイクルプラスチックの社会的概要	10
1.1.2.1 リサイクルプラスチックの立ち位置	10
1.1.2.2 バイオプラスチックの利用現状	11
1.1.3 感性価値創造のプロダクトデザインの概要	12
1.1.3.1 感性価値の定義	12
1.1.3.2 感性価値創造の造形物	13
1.1.3.3 素材の特性がもたらす感性価値	14
1.2 本論の構成	15
第2章 先行研究	16
本研究の位置付け	16
2.1 3D プリントを用いた廃プラスチックの活用	17
2.1.1 Plastic Bottles to Olympic Podiums	17
2.1.2 「The New Raw - plastic」 workshop	18
2.1.3 Plastic Waste to Plastic Waste Bins	20
2.2 廃棄材とリサイクルプラスチックを組み合わせた例	21
2.2.1 Coffee Industry Waste to Coffee Bar	21
2.2.2 RECAPTURE	22
2.3 3D プリント以外での廃プラスチックの活用例	23
2.3.1 Precious Plastic	23
2.3.2 Bope shop	24
2.3.3 Supercyclers	25
第3章 製作手法	26
3.1 使用機材	26
3.2 製作手順	28
3.2.1 調整可能なデータの作成	28
3.2.2 QIDI TECH-3D printer を用いた製作の手順	31
3.2.3 BlackBelt 3D printer も用いた製作の手順	32

第4章 プロジェクト例1 コーヒーフィラメントを用いた事例	36
4.1 提案	36
4.1.1 コーヒーフィラメント「Wound Up」を素材として	36
4.1.1.1 コーヒーフィラメントと類似リサイクルフィラメントの特性	36
4.1.1.2 コーヒーフィラメントを使った感性価値具現化のプロダクトデザイン	39
4.2 製作	40
第5章 プロジェクト例2 青色PETフィラメントを用いた事例	41
5.1 提案	41
5.1.1 3Dプリンタフィラメント Ultrafuse®rPET の特徴	41
5.1.2 青いペットボトルを使った感性価値具現化の製品デザインの提案	42
5.2 製作	44
5.2.1 一般的なFFFプリンタで製作 (QIDI)	44
5.2.2 45°FFFプリンタで製作 (BlackBelt)	47
5.3 造形表現の考察	51
5.3.1 90°と45°方式の3Dプリンタで作られた造形物の比較	51
5.3.2 プリントエラーから生まれた糸引きの白い波表現	52
5.3.3 浮世絵をモチーフにしたテクスチャーデザイン	53
5.4 屋根として使用するためのプロダクトデザイン	55
5.4.1 様々な方向から見る屋根の色表現の変化	55
5.4.2 水上モビリティとしての応用可能性	57
第6章 結論	58
付録	60
謝辞	60
参考文献	61
BlackBelt の出力環境の G-code	67

第1章 序論

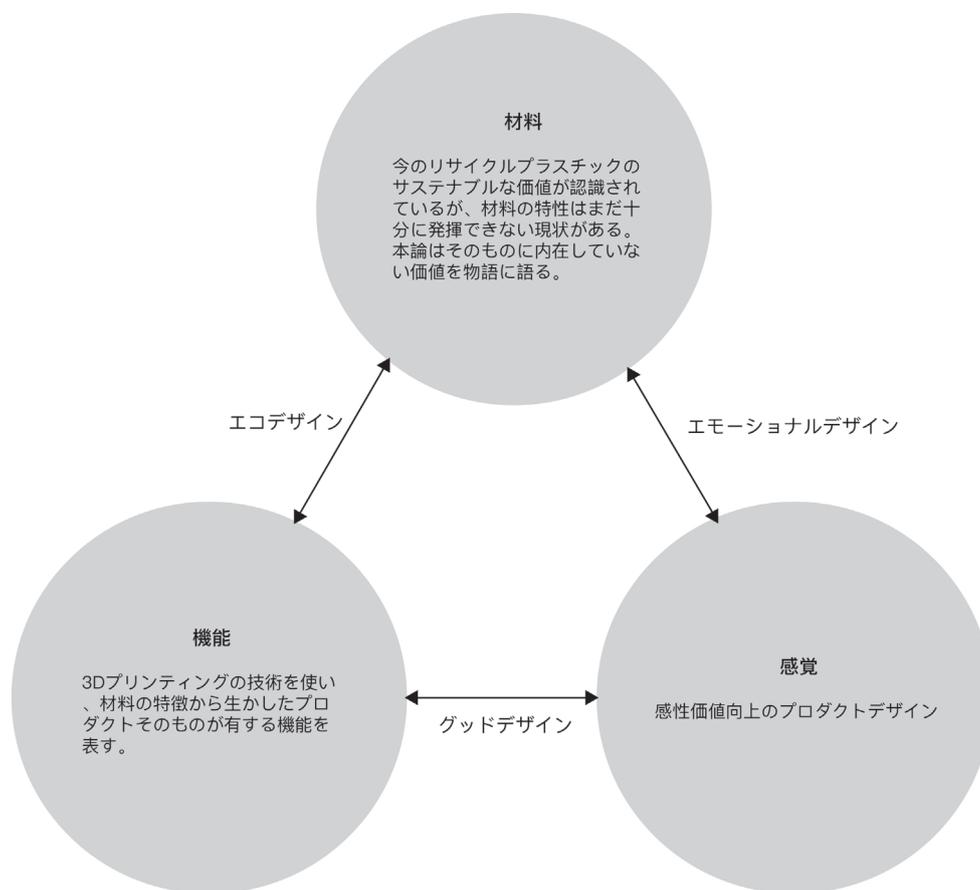


図1 研究背景の関係図

1.1 背景

この研究の時代背景として、2つの重要な動きを指摘したい。1つ目は近年の脱プラスチック化が社会的に推進され、リサイクル技術やエコマテリアルの開発が普及している点である。2つ目は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ための十分な技術進歩があり、3Dプリンタは資源循環を進めるための1つの技術として注目されていることである。

序論ではプラスチックリサイクルの現状と、感性価値について背景の説明を行い、プラスチックのリサイクルプロセスに3Dプリンタを組み込むことで感性価値を高めうる可能性があることを示す。具体的にはプラスチックリサイクルの現状について、1.1.1ではリサイクルが進んでいるPETを例にリサイクルプロセスや事例を説明する。1.1.2ではマテリアルに着目し、その社会的背景と課題について言及する。1.1.3ではリサイクルすることで付加価値を与える設計概念として、感性価値に着目した特性やいかに設計に取り込むことができるかについて言及する。

1.1.1 ペットボトルリサイクルの現状

本節では、プラスチックリサイクルのうち広く普及しているペットボトルを対象としたリサイクル技術の方法について説明する。

1.1.1.1 ペットボトルのプラスチックリサイクル

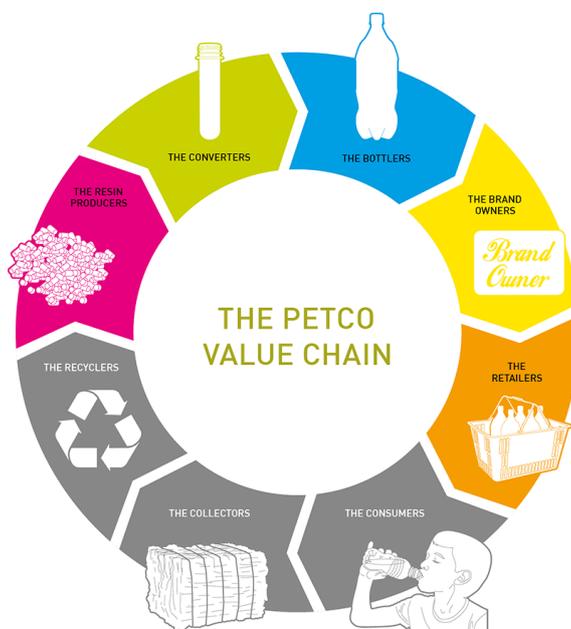


図2 The petco value chain 循環図

出典 PET Recycling Company NPC(2020) [HOW IS PET RECYCLED?]

ペットボトルは、何度でも同じ形、つまり新しい飲料用ボトルに再生できる数少ないポリマー材料でできている。図2のように、これによりリサイクルの輪が広がり、再利用できない廃棄物を一切出さないモノづくりをするという考え方である「ゆりかごからゆりかごまで」のパッケージング・ソリューションが可能になる¹。

ペットボトルは紙とともにリサイクルしやすい素材として知られており、そのリサイクル方法は、①繊維やフィルムへのリサイクル、②ボトル to ボトル (BtoB) リサイクルの2つが主流となっている²。

①繊維、フィルム等へのリサイクル

回収したペットボトルからキャップやラベルを取り除き、洗浄・粉砕してフレーク状にした後、熱処理して再生ペレットにする。再生されたペレットは、用途に応じて溶融し、繊維やフィルムに加工されて再商品化される。

②ボトル to ボトル (BtoB) リサイクル

一度使用したペットボトルを再利用することは、衛生面で高いハードルがあるが、日本では内閣府の食品安全委員会から「ケミカルリサイクル」と「メカニカルリサイクル」の2つのリサイクル方法が認められている。

¹ PET Recycling Company NPC(2020) [HOW IS PET RECYCLED?] <https://petco.co.za/how-is-pet-recycled/> (閲覧日 2021.12.20)

² 株式会社利根川産業 (2021) 「PET ボトルリサイクルに関する押さえるべき9つの基本について」 <https://www.tonegawa-s.co.jp/blog/industry/1118.html> (閲覧日 2021.12.22)

1.1.1.2 ペットボトルのアップサイクル

「アップサイクル」は、持続可能なモノづくりのための新しい方法論である。バージン材は、すでにフィラメントを押し出すために使用できるが、再生ペレットは、接触した物質（飲み物や食べ物）を吸収し、性質や外観が変化しやすく、リサイクルすることは簡単ではない¹。「アップサイクル」は、従来のリサイクルとは異なり、単に素材を原料に変換して再利用するだけでなく、元の製品よりも次元の高い価値のある製品を生み出すことを目的としている²。

ペットボトルは、弾力性、柔軟性と透明性に優れ、また食品にも安全性が確保されている。そのため、図3のように庭の装飾品やほうき、オットマンのシート作りなど、様々な用途に再利用することができる。



図3 ペットボトルのアップサイクル事例

出典 Skirmante 「23 Creative Ways To Recycle Old Plastic Bottles」

¹ 「Upcycling」 from From Wikipedia <https://en.wikipedia.org/wiki/Upcycling>

² Skirmante 「23 Creative Ways To Recycle Old Plastic Bottles」 https://www.boredpanda.com/plastic-bottle-recycling-ideas/?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=organic (閲覧日 2021.12.22)

1.1.1.3 プラスチックのリープサイクル

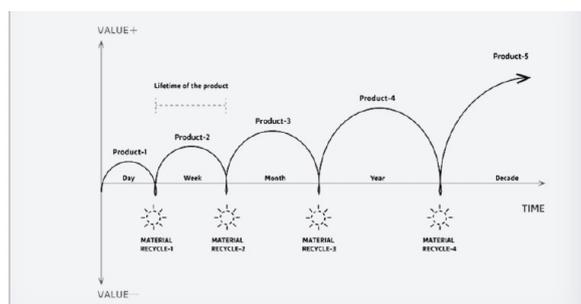


図4 リープサイクルの概要

出典 田中浩也 (2020) 「デジタルものづくりで「地球環境」と「産業」が相乗的に持続する未来を実現する」



図5 circular printed furniture

出典 益山 詠夢 (2020) 「Circular Printed Furniture」

素材をより価値のある製品に再生する「アップサイクル」は徐々に人々の生活に浸透してきている。素材が本来持っている可能性と、3Dプリンタなどのデジタル製造技術の力との組み合わせで、従来よりも付加価値の高い製品を製作し、ライフサイクルを未来に延長することを「リープサイクル・跳躍循環」(図4)と田中は述べている¹。事例として、慶應義塾大学 KGRI 環デザイン&デジタルマニュファクチャリング創造センターは「廃棄された冷蔵庫やエアコンから取り出し再生したリサイクルプラスチックと、フィラー材であるグラスウールを混練した独自のコンパウンド材料を用い、大型3Dプリンタによって造形した資源循環型の家具デザイン」(図5)²などのプロジェクトに取り組んでいる。

プラスチックリサイクルには多様な種類があり、種類によって劣化の移ろいも決まっている。廃棄されるペットボトルをアップサイクルし、装飾品や小道具等として別の場所で使用することによって、ペットボトルに新たな価値を与える可能性がある一方で、プロダクトデザインの限界とプラスチックリサイクル寿命があることが課題となっている。

リープサイクルは、製品寿命を延ばすために、リサイクルプラスチックに特別な改質を加える。これによって、プロダクトに付加価値を与え、使用寿命を延ばす可能性がある。ただし、材料の改質には多くのコストがかかることが問題であり、現在のところ気軽に用いることのできる手法ではない。

1 田中浩也 (2020) 「デジタルものづくりで「地球環境」と「産業」が相乗的に持続する未来を実現する」 <https://dmecc.sfc.keio.ac.jp> (閲覧日 2021.12.15)

2 益山 詠夢 (2020) 「Circular Printed Furniture」ファブ地球社会創造拠点 https://dmecc.sfc.keio.ac.jp/assets/circular_printed_furniture_2020.pdf (閲覧日 2021.12.15)

1.1.2 リサイクルプラスチックの社会的概要

本節では、以下3点を中心に説明する。ひとつめは、リサイクルプラスチックの概念と社会・経済の発展における役割である。ふたつめは、リサイクルプラスチックを製品デザインに用いる意義である。みつめは、4章における本研究で使用したコーヒーフィルタメントの使用理由及びその製品デザインの社会的意義とのつながりである。

1.1.2.1 リサイクルプラスチックの立ち位置

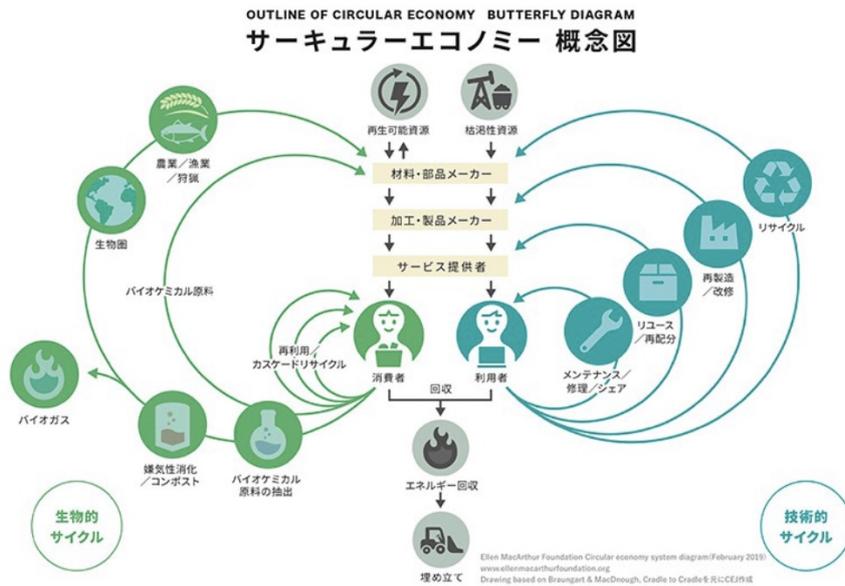


図6 サーキュラーエコノミー概念図

出典 CIRCULAR ECONOMY JAPAN (2020) 「サーキュラーエコノミー・システム バタフライダイアグラム」

エレンマッカーサー財団はバタフライダイアグラムというサーキュラーエコノミーの概念図を提唱している（図6）。すべての資源や素材が、寿命に至るまでの生物学的サイクルと技術的サイクルの2種類のサイクルで循環する未来を示している¹。

左が生物学的サイクル（植物や動物などの再生可能資源）、右が技術的サイクル（石油、金属、鉱物などの枯渇性資源）である。生物学的サイクルでは、資源は消費され、リサイクルされ、最終的には堆肥化や嫌気性消化によって新たな生物（原料）のためのバイオガスの形で生物圏に戻される。技術的サイクルでは、リユース、リマニュファクチャリング、リサイクルにより、資源を経済的に可能な限り利用する。

¹ CIRCULAR ECONOMY JAPAN (2020) 「サーキュラーエコノミー・システム バタフライダイアグラム」 <https://www.circulareconomy-japan.com/contents/54/>（閲覧日 2021.12.27）

1.1.2.2 バイオプラスチックの利用現状



図7 射出成形のバイオプラスチック

出典 環境省（2019）「バイオプラスチックを取り巻く 国内外の状況」



図8 生分解原料で作られた商品

出典 日本バイオプラスチック協会（2018）「バイオプラスチック概況」

プラスチックのなかで環境に優しいものとしてバイオプラスチック（植物由来樹脂）がある。2011年には、植物性と石油性の混合材料を用いたバイオPETが開発され、ポリ乳酸（PLA）とポリプロピレン（PP）を用いたものでは、射出成形が初めて可能になった¹。

図7の素材は、通常の化石資源を原料とするプラスチックとは異なり、焼却しても新たな二酸化炭素が発生しないため、二酸化炭素排出量の削減に優れている。51%以上の原料は木材のため、プラスチックでありながら木の質感が感じられ、水分を吸収し空気を通しやすい素材である。プラスチック射出成形技術により、任意の形状でこの素材を多量に生産することが可能である。植物領域における優れる素材である²。

図8の商品は、小麦、竹などの天然素材から作成されている。100%植物原料のため、100%生分解されることができる³。

1 環境省（2019）「バイオプラスチックを取り巻く 国内外の状況」<http://www.env.go.jp/recycle/mat052214.pdf>（閲覧日 2021.12.20）

2 日本バイオプラスチック協会（2018）「バイオプラスチック概況」<http://www.env.go.jp/council/03recycle/y0312-02/y031202-5r.pdf>（閲覧日 2021.12.20）

3 産業技術総合研究所（2010）「バイオマス資源の活用とバイオマスマテリアルの開発状況に関する実態調査」https://www.aist.go.jp/Portals/0/resource_images/aist_j/comp-info/idpo/houkoku21-4.pdf（閲覧日 2021.12.20）

1.1.3 感性価値創造のプロダクトデザインの概要

本節では、感性価値創造の社会的意義と感性価値の要素について説明する。このことは、論文の後半で述べる「なぜ、どのように製品デザインの感性価値を向上させるか」につながる。製品デザインにおける素材の使用は、重要な要素の1つである。素材の特性を分析し、まとめることで、素材の特性を通じたプロダクトをデザインし、製品の感性価値を高めることができる。

1.1.3.1 感性価値の定義

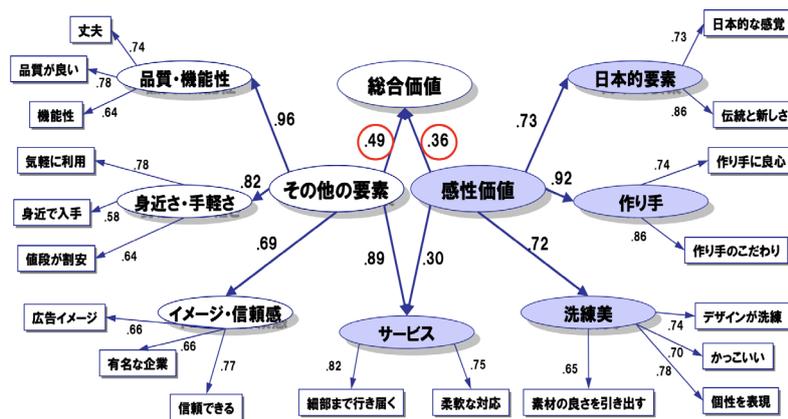


図9 感性価値創造の概念図

出典 みずほ総合研究所株式会社 (2010) 「感性価値からみた観光市場とその活性化」

感性価値とは、機能・信頼性・価格などの基本的な商品価値に加え、消費者の感性に訴え、感動や共感を呼ぶことで顕在化する価値である(図9)。感性とデザインの経緯は産業・学問と繋がっている¹。2007年の感性価値創造イニシアティブ報告書の中で、このように書かれている。「今後の日本の産業は、従来の価値観(価格、信頼、性能)だけでなく、感性価値を投入していく必要がある」。

感性とは、辞書の中で2つの説明がある。”物事を心に深く感じ取るはたらき”と”外界からの刺激を受け止める感覚的能力”を記述した。理解しやすい例として(図10)、森の中で蛇に遭遇するケースを考える。蛇がいかにも毒を持っていそうな赤色をしていて、さらに、頭を持ち上げてこちらを睨んでいたら、大抵の人はすぐに逃げ出すだろう。単純なことであるが、人は「危険だ!」ということを一瞬で判断し行動するようにできている。この能力が感性であり、究極的には、感性とは人が生きていくために必要な能力であるとも言える²。

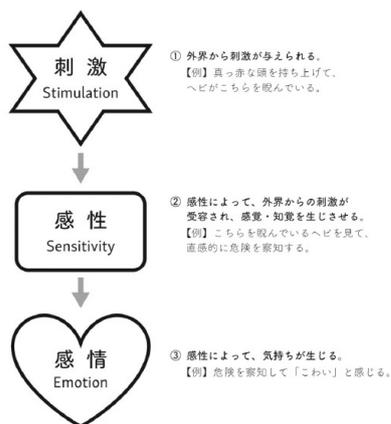


図10 感性定義の紹介図

出典 橋田規子 (2020) 「エモーショナルデザインの実践」 p6

1 みずほ総合研究所株式会社 (2010) 「感性価値からみた観光市場とその活性化」
https://www.mizuho-ir.co.jp/publication/mhri/sl_info/working_papers/pdf/report20100702.pdf (閲覧日 2021.11.29)
 2 橋田規子 (2020) 「エモーショナルデザインの実践」 p6

1.1.3.2 感性価値創造の造形物

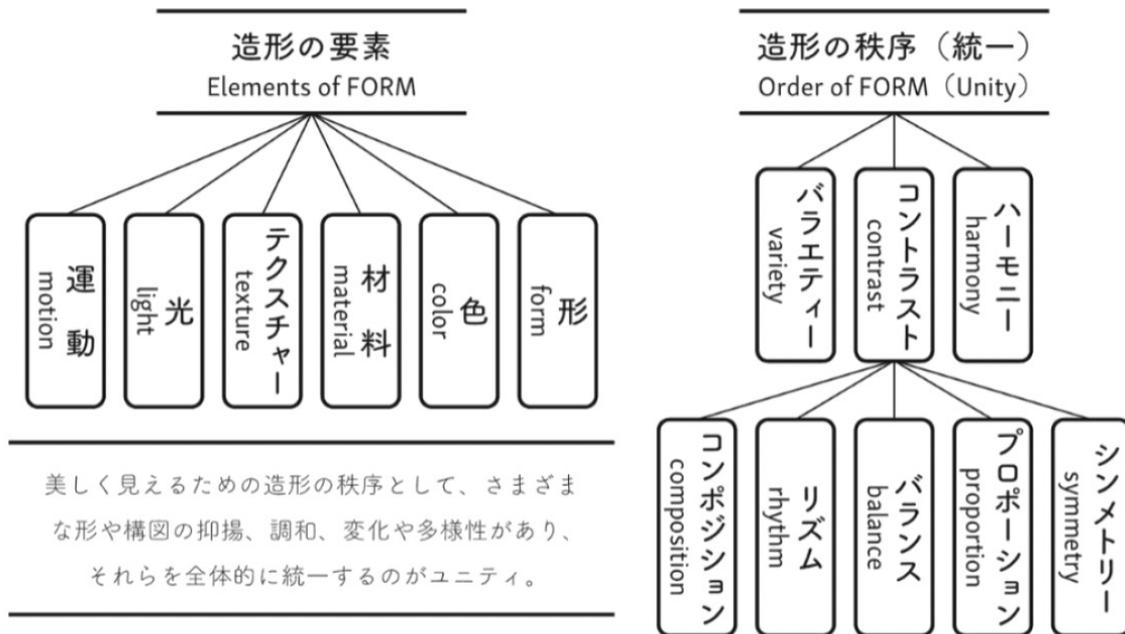


図 11 造形と感性価値の繋がり
出典 橋田規子 (2020) 「エモーショナルデザインの実践」 p94

世の中の可視化できる「モノやカタチ」は、全て造形と呼ばれている。造形物は色、形と素材などの多様な要素から構成されている。『形の美とは何か』(NHK 出版、2000 年)では、形、材質、テクスチャー、色、光と運動という造形を認識させる要素が挙げられている。これらの要素には、それぞれ人に与える情感の視覚効果がある¹。

また、これらの要素は様々に重なり合って造形の秩序を構成する。構成の原理には、ハーモニー、コントラスト、バラエティー、シンメトリー、プロポーション、バランス、リズムとコンポジションなどの造形の秩序の要素がある。これらの秩序の原理が組み合わさることによって、造形物全体としての形に対する色なイメージが生まれ出されて、印象が生まれる。デザインには、個々の要素だけでなく、それぞれが繋がり合って生まれる統一感(ユニティ)が必要²。

図 11 はその概略図である。プロダクトデザイナーはこれらの効果を確認しながらデザインを行う。

1 三井 秀樹 (2000) 「形の美とは何か (NHK ブックス)」
2 橋田規子 (2020) 「エモーショナルデザインの実践」 p94

1.1.3.3 素材の特性がもたらす感性価値

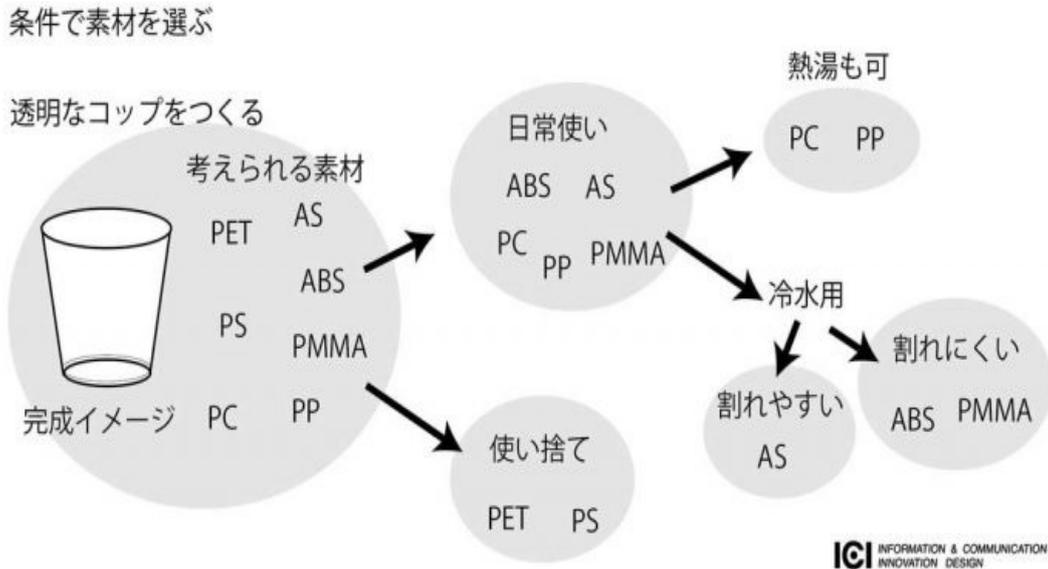


図 12 商品の素材選択の事例

出典 ICI Design Institute Inc. (2019) 「デザイン・ものづくりで大切な「素材（材料）選び」」

用途や使用方法が異なれば、選択される材料も変わる。（図 12）使い捨てであれば PET やポリスチレンなど、日常使いであればポリカーボネートやメタクリル樹脂、ABS 樹脂などが考えられる。日常使いのコップを例に挙げると、冷水用であれば AS 樹脂やメタクリル樹脂、ABS 樹脂が選択される。冷水用でも耐衝撃性が加わると、メタクリル樹脂や ABS 樹脂が選択される。熱い飲料を入れたい、食洗機に対応したいなどのより高い耐熱性が条件に加わるとポリカーボネート、ポリプロピレンなどが選択される¹。

このように透明なコップであっても、使う目的や使う条件によって最適な材料が変わって来る。一方、製品のニーズに合わせて素材を選択するのではなく、素材の特性や特徴を踏まえて設計することで、現在市場に出ている多様なリサイクル素材の使い方が多様化する可能性がある。また、これらの素材から作られる製品の付加価値は、その特性を生かすことで、感性により明らかに反映される可能性が高いと考えられる。

¹ ICI Design Institute Inc. (2019) 「デザイン・ものづくりで大切な「素材（材料）選び」」 <https://ici-design.co.jp/blog/?p=242>（閲覧日 2021.10.20）

1.2 本論の構成

本研究では、リサイクルプラスチックの再利用に関する先行事例についての考察・分析と、市販されているリサイクルプラスチックフィラメントの使用経験・分析を通して、素材の特徴という2つの視点から、一連のプロトタイピングを行い、文脈と特徴を生かした感性価値を含んだプロダクトデザイン手法の実践を行う。以後、本稿は、以下の章立てで議論を進めていく。論文の前半は本研究の成り立ち背景を説明し、先行事例を紹介した上で本論の位置付けを明確にする。製作したものは2つのプロジェクトに分けて提案・製作結果・考察を詳しく説明する。

第一章：序論

第二章：先行研究

第三章：製作手法

第四章：プロジェクト例1 コーヒーフィラメントを用いた事例

第五章：プロジェクト例2 青色PETフィラメントを用いた事例

第六章：結論

第二章では、複数の先行事例をベースにし、本研究の立ち位置を明確にする。

第三章では、2つのFFF方式3Dプリンターを通じて、本研究における使用した製作手法を具体的に説明する。

第四章では、コーヒーフィラメントの特性を分析しながら感性価値向上のデザイン要素を探索し、製作結果を説明する。

第五章では、青色フィラメントの特性とストーリーを記述し、感性価値のデザイン要素を洗練する。また、製作結果を具体的に説明する。

第六章では、これまでの章で展開されてきた結論をまとめる。参考文献と謝辞などを記述する。

第2章 先行研究

本章では先行研究を紹介し、本研究の位置づけを明らかにする。背景としてリサイクルプラスチックの価値が世界的に認識されるにつれ、これらの素材を用いた多くのプロジェクトが登場している。本章では、これらの既存プロジェクトを集約し、素材の特性を生かした設計軸と具現化された製品の価値の認識という軸で事例をマッピングすることで本研究の位置づけを行う。

本研究の位置付け

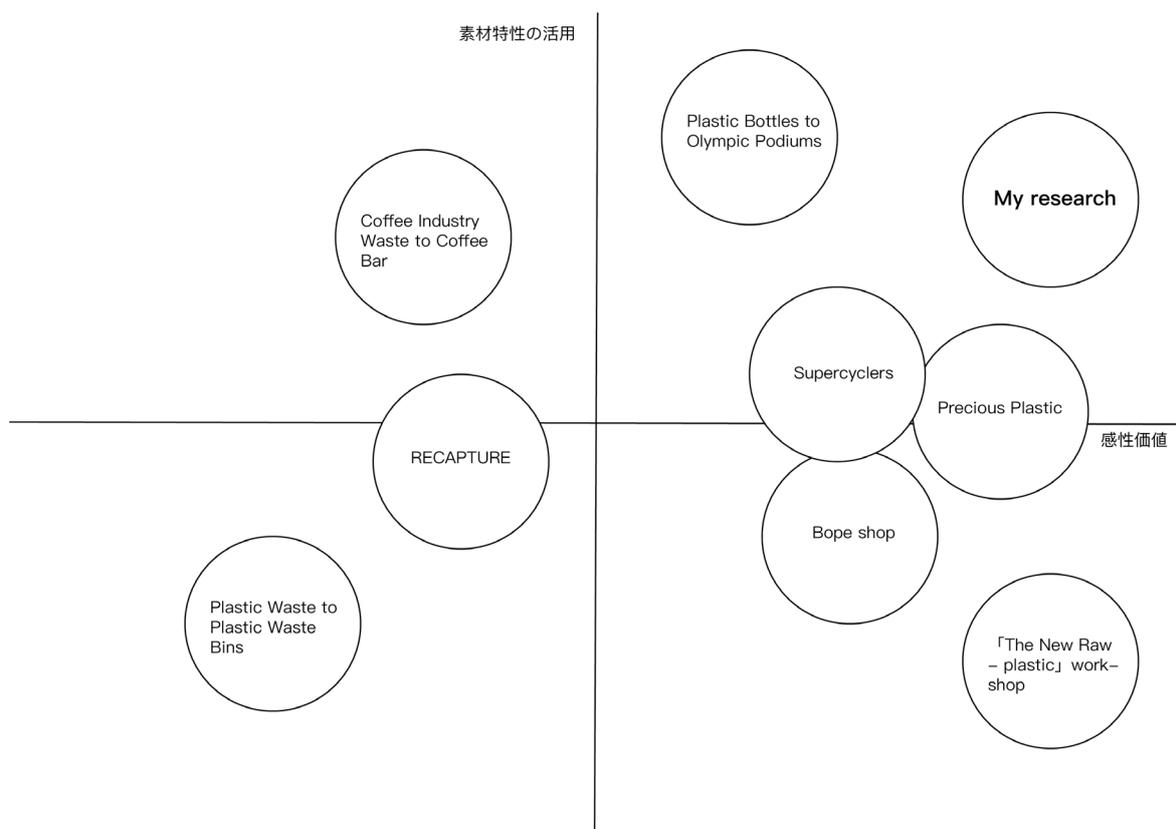


図13 本研究の位置付け説明図

2.1.1 Plastic Bottles to Olympic Podiums

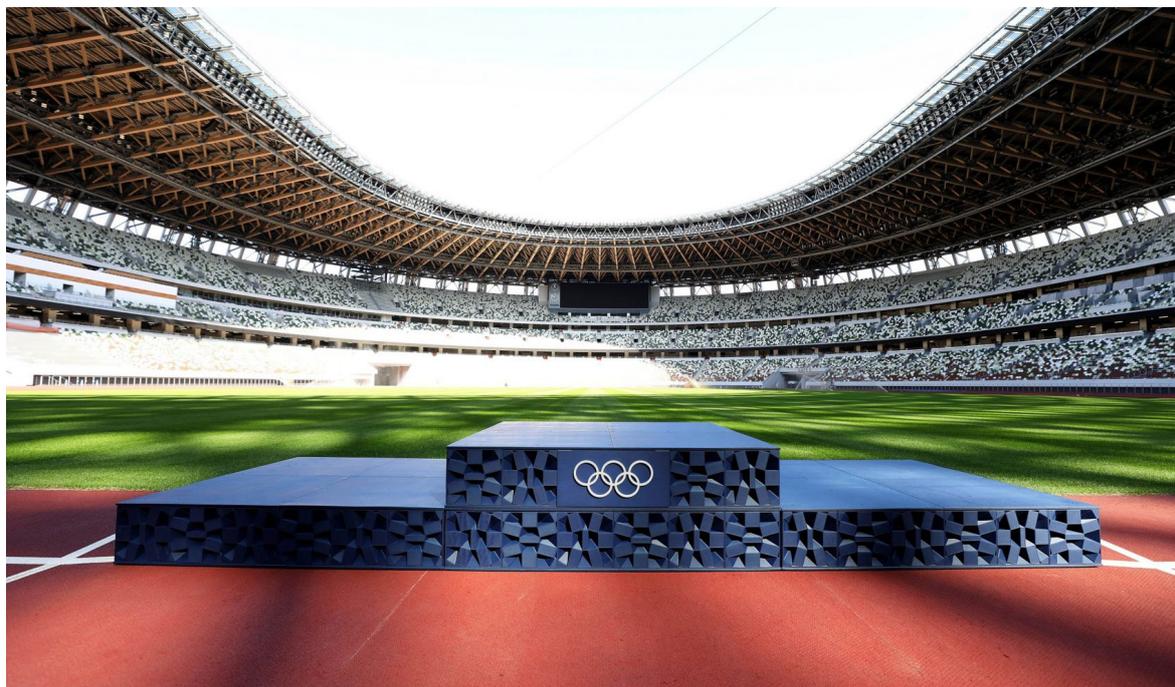


図 14 東京オリンピックの表彰台

出典 <https://all3dp.com/1/3d-printing-from-plastic-waste/> 閲覧日 2021.12.25

東京五輪 2020 の表彰台（図 14）の素材は、市民参加型の「みんなの表彰台プロジェクト」によって、過去 2 年間に日本の市民から回収された P & G 社の使用済み洗剤容器をリサイクルしたものに、冷蔵庫などで断熱材として使用されるグラスウールを混ぜた独自配合の素材によって作られた。このプログラムでは、全国に 2,000 以上の回収ボックスが設置され、シャンプーの容器などプラスチック廃棄物がリサイクルを行うために回収された¹。

表彰台を 3D プリントすることで、廃棄物を減らすだけでなく、その製造過程に使用されたプラスチックの二酸化炭素排出量を 1 つの回収物あたり 75 グラム削減することができる。日常的に使用されている洗剤容器をリサイクルし、東京オリンピックの表彰台に作り変えることは素材の辿ってきた特性がいかされているプロジェクトであると考えられる。大会終了後、表彰台のプラスチックは、全国の小学校・中学校・自治体へ譲渡され、リユース・リサイクルされている文脈と東京オリンピックがあったことをレガシーとして継承している²。

¹ International Olympic Committee (2020) 「Tokyo 2020 Collects 24.5 Tonnes of Used Plastic for Creation of Victory Ceremony Podiums」
<https://olympics.com/en/news/tokyo-2020-collects-24-5-tonnes-of-used-plastic-for-victory-ceremony-podiums>(閲覧日 2021.12.25)

² Jennifer Hahn (2021) 「Asao Tokolo 3D prints Tokyo 2020 podiums from donated plastic waste」
<https://www.dezeen.com/2021/07/15/podiums-tokyo-2020-olympics-asao-tokolo/>(閲覧日 2021.12.25)

2.1.2 「The New Raw - plastic」 workshop

「The New Raw - plastic」では、工業デザイン、建築、美術、環境保護の分野から27名の参加者が、1週間のあいだギリシャのシロス島でプラスチック廃棄物処理の現地事情を観察し、体験するプログラムを実施した。参加者は、その場でプラスチック廃棄物をリサイクルし、3Dプリンティング技術と循環型経済の方法論を学んだ。最終的には、廃棄されたペットボトルを3Dプリンタの原材料として利用したデザインおよびビジネスコンセプトを作成した¹。

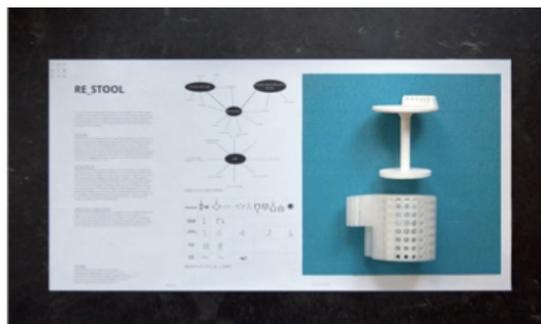


図 15 プラスチック用圧縮ツール

出典 <https://thenewraw.org/Workshop-Syros> 閲覧日 2021.11.25

RE STOOL / プラスチックゴミ用圧縮ツール (図 15)

ツールの形をした新しいタイプのゴミ箱のデザインである。RE STOOL は、「座る」という日常の何気ない動作のエネルギーを利用して、プラスチックゴミを圧縮する。



図 16 リサイクル報酬システム

出典 <https://thenewraw.org/Workshop-Syros> 閲覧日 2021.11.25

BOTTLE UP / リサイクル報酬システム (図 16)

子供たちにプラスチックのリサイクルを動機づけるキャンペーンのコンセプトである。BOTTLE UP は、エルムーポリス (シロス島) の町の新しい集合的な公共モニュメントを形成する大きな 3D プリントされたパズルから、子供たちにプレゼントする。

¹ The New Raw (2017) 「Workshop Syros」 <https://thenewraw.org/Workshop-Syros> (閲覧日 2021.11.25)

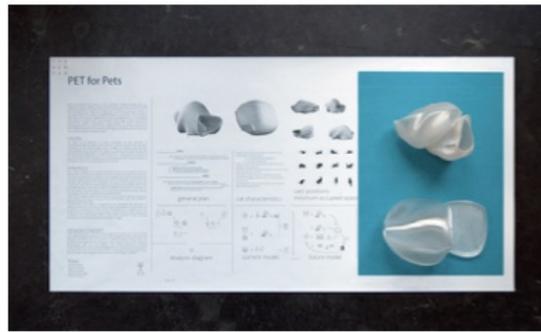


図 17 野良猫シェルター

出典 <https://thenewraw.org/Workshop-Syros> 閲覧日 2021.11.25

PET for Pets / 野良猫シェルター (図 17)

島で拡大する野良猫のための家をコンセプトに、3D プリンタによってデザインされたものである。PET for Pets は、地域のコミュニティから回収されたリサイクルプラスチックで作られており、町のどんな場所にもカスタマイズすることができる。

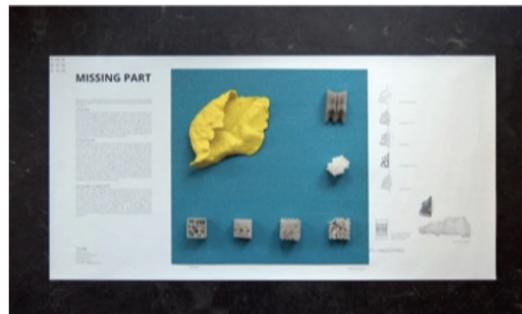


図 18 建物のひび割れのための建設資材

出典 <https://thenewraw.org/Workshop-Syros> 閲覧日 2021.11.25

MISSING PART / 建物のひび割れのための建設資材 (図 18)

建築物のひび割れに一時的に介入し、取り外し・調整・リサイクルが可能な建設資材として機能する。MISSING PART は、3D スキャンを用いて空洞の形状を正確に測定し、測定結果に応じた構造的なサポートを行うことで、湿気や劣化を防ぐ。

2.1.3 Plastic Waste to Plastic Waste Bins



図 19 再生プラスチックを利用した都市家具
出典 Ecobin. Established (2008)

イタリアの家具デザイン会社 Matrix International は、2021 年のミラノデザインウィークに向けて、フォルケ・ヤンソンが 1955 年にデザインしたソファを 3D スキャンし、再生プラスチックから 3D プリントすることを R3Direct 社に依頼した¹。

R3Direct 社によると、同社の 3D プリンティング技術は、フィラメントを押し出す工程を省き、シュレッダーで破碎した直後のプラスチックペレットを用いて出力ができる。これによりプラスチック廃棄物を利用した 3D プリント家具（図 19）では、エネルギー消費量と二酸化炭素排出量を削減することができるため、環境負荷を削減することが可能になったと考えられる。

¹ Ecobin. Established (2008) <https://www.ecobin.com.au/about-us/> (閲覧日 2021.12.27)

2.2 廃棄材とリサイクルプラスチックを組み合わせた例

2.2.1 Coffee Industry Waste to Coffee Bar

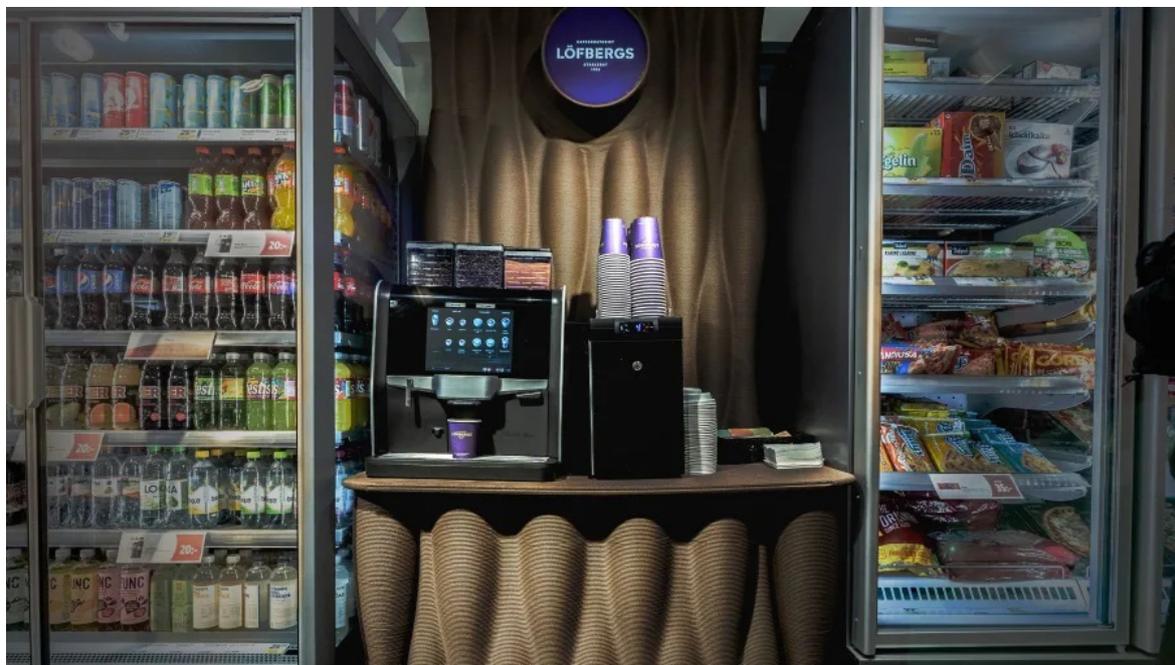


図 20 コーヒー廃棄物で製作したステーション
出典 CIRCULAR COFFEE COMMUNITY (2020)

スウェーデンのコーヒーメーカー Löfbergs は、3D プリント起業家の Sculptur と協力し、コーヒー生産廃棄物のリサイクルを行い、新しいコーヒーステーションに生まれ変わらせることを実施した（図 20）。

このコラボレーションは、Circular Coffee Community の取り組みの一環であり、2030 年までにコーヒーの廃棄物をゼロにするという同グループの野望を追求するためのものである。この世界初の 3D プリントされた廃棄物ベースのコーヒーステーションは 2021 年現在稼働しており、さらに多くのステーションの設置が進行中である。

コーヒーステーションは、コーヒーの焙煎工程から出る副産物と、ポリプロピレンをロボットアーム型 3D プリンタでプリントしたもので構成されている。さらに開発を進めることで、コーヒーの大袋をリサイクルしたポリプロピレンの使用も考えられており、コーヒーの生産廃棄物がコーヒーステーションに活かされる、100%循環型のコーヒーステーションを目指している¹。

¹ CIRCULAR COFFEE COMMUNITY (2020) <https://circularcoffeecommunity.com/the-community/>（閲覧日 2021.12.29）

2.2.2 RECAPTURE



図 21 コーヒー廃棄物で製作した家具
出典 RECAPTURE

“可能性をデザインする”株式会社 NOD は、バイオマス素材と 3D プリント技術で循環型社会を目指すプロジェクト「RECAPTURE」を推進しており、株式会社ネクアス、株式会社 Boolean とともに、有機廃棄物である“コーヒーかす”を素材として用いた世界初の大型 3D プリント家具（図 21）の製造を行った。コーヒーかすだけでなく、植物性プラスチックである酢酸セルロースや卵殻といった素材を用いた 3D プリントによる大型家具を製造を行い消費者が 3D プリント製のリサイクルプロダクトを手にとれる社会を実現している¹。

¹ RECAPTURE <https://recapture.jp>（閲覧日 2021.12.10）

2.3 3D プリント以外での廃プラスチックの活用例

2.3.1 Precious Plastic

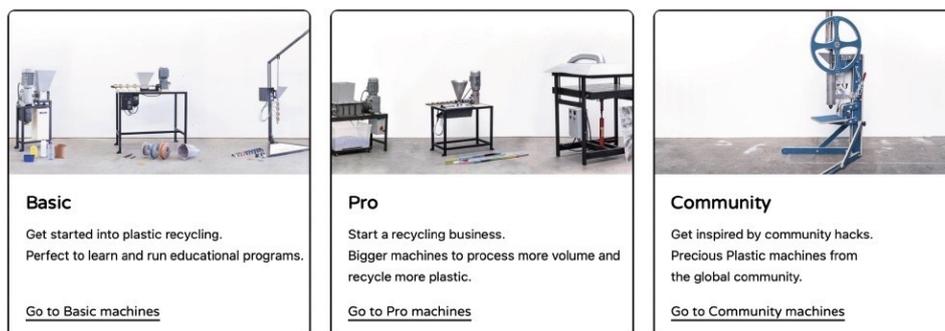
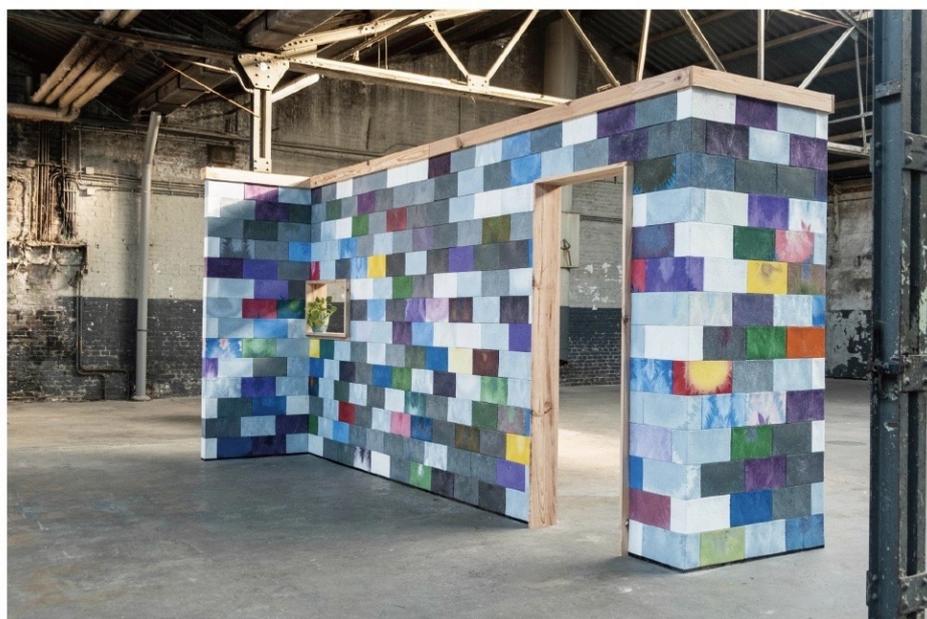


図 22 Precious Plastic の取り組み
出典 Precious Plastic (2020)

Precious Plastic は、世界中のプラスチックリサイクルの取り組みをオンラインで共有・支援することを目的に、オランダ人デザイナーの Dave Hakkens によって 2013 年に設立された。Preciousplastic.com のウェブサイトは、人々が新しいアイデアやデザインを共有するためのフォーラムやディスカッションボードを提供するだけでなく、専門的なチュートリアルやオープンソースの共有でも特別な存在となっている。

このウェブサイトでは (図 22)、プラスチックをリサイクルするための担い手を増やすことを目的として、ワークスペースと小さなプラスチック加工機を、わずかな人手で作る方法を中心に説明している。サイトでは、廃プラスチックを破碎して再生プラスチックを製造する機械を用いて、異なる形や色の廃棄物を混ぜることで再生材をより美的・芸術的に仕上げている。リサイクルによって感性に訴えかけるプロダクトの提案を行っている¹。

¹ Precious Plastic (2020) <https://preciousplastic.com/index.html> (閲覧日 2021.12.26)

2.3.2 Bope shop

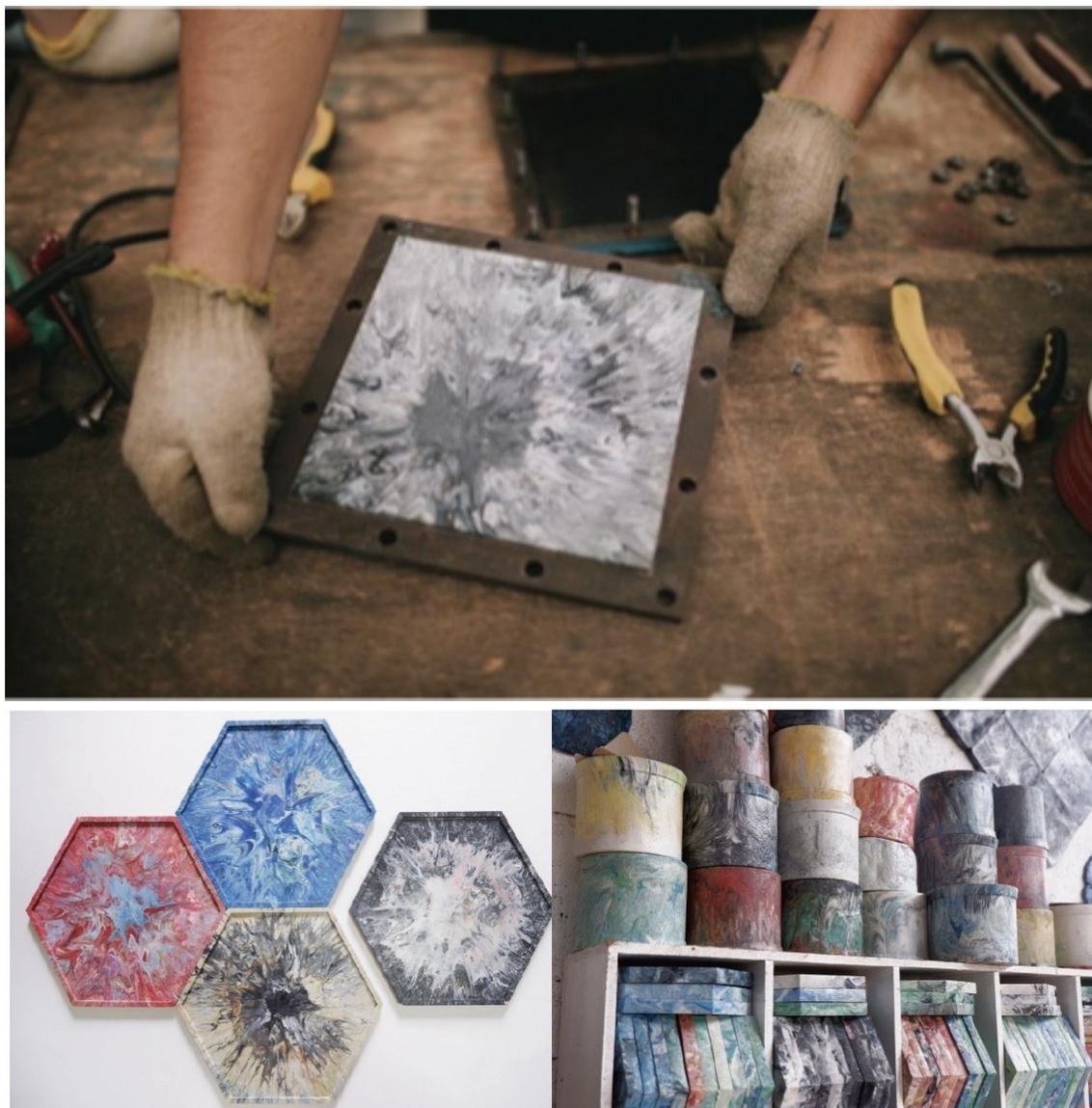


図 23 廃プラスチックで製作したカラーブレンド
出典 BOPE Japan (2018)

Bope コレクションは、ペットボトルのキャップなど、廃棄されるプラスチック素材のみを使用した 100%リサイクルのプラスチック製品である (図 23)。Bope コレクションは、タイのチャンマイで、Bope が開発したプラスチック成形機を使い、職人が手作業で 1 つ 1 つ、独自のカラーブレンドを施して生産され、審美性を伴ったプレートやフラワーポットが作られている¹。

¹ BOPE Japan (2018) 「地球環境にやさしいリサイクル雑貨 BOPE」 <https://bopeshop.ebisurecords.jp> (閲覧日 2021.12.25)

2.3.3 Supercyclers



図 24 海洋プラスチックで製作したカップ
出典 Supercyclers

Supercyclers は、オーストラリアに拠点を置くデザインブランドである。廃棄されたものを再び審美性をもつものに昇華させることを重要な目的のひとつとし、創設者の Sarah K と Liane Rossier は 2010 年から廃棄されたビニール袋を使ったプロジェクトに取り組んでいる。中でも興味深いプロダクトとして、オランダのアーティスト Kirstie van Noort がデザインした「Marine Debris Bakelite Cup」などがある（図 24）。このカップは、オーストラリアの海岸に流れ着いた海洋性プラスチック 100%を原料に、デザイナーのカラーパレット技法で丁寧に色を調合して作られ、同じものが 2 つとない審美性を伴ったカップが作られている¹。

¹ Supercyclers <https://www.supercyclers.com>（閲覧日 2021.12.24）

第3章 製作手法

研究の背景と先行研究の調査を通して、ペットボトルとリサイクルプラスチックの現状や、それぞれの感性価値を高めるデザイン手法の整理を行った。本章では2つの素材を対象にマテリアルの価値を高めるプロダクト設計を試みる。既存研究と異なるアプローチとしてデザインにおける形状、色、リサイクル素材の特性といった要素を柔軟に利用することによってユーザーの感性を高める方法を提案する。

本章では、両プロジェクトで共通となる、の設計・製作のための使用機材と製作過程、製作上の留意点について説明する。

3.1 使用機材

本研究ではリサイクルプラスチックのリサイクルを Fused Filament Fabrication 方式（以下 FFF 方式）の 3D プリンタを用いて行う。FFF とは、プラスチック素材を 1 層ずつ積層させながら造形物を作成していく方法である。造形物の造形は、スライサーソフトウェア（3D プリンタ専用のソフトウェア）を用いて行う。

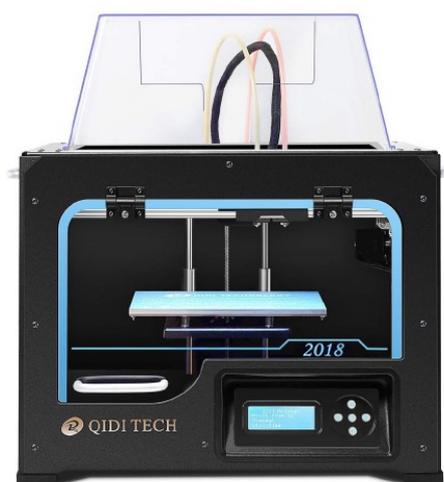


図 25 QIDI TECH-3D printer

出典 <https://qidi3d.com> 閲覧日 2022.1.3

本研究で使用した FFF 方式 3D プリンタ QIDI TECH-3D printer（図 25）¹

特徴

価格：FFF 方式 3D プリンタは、市場で入手可能な最も安価な造形方式の 1 つである。機器コストだけでなく、造形材料も安価であり、SLA 方式や MJF 方式と比較すると、FFF 方式は安価で、手間のかからない製造が可能である。

造形量：最大造形サイズは、230×150×200mm である。

材料：FFF 方式では、PLA・ABS・PETG・ASA など様々な種類のプラスチック素材を用いることができ、比較的安価かつ容易に入手できる。

¹ QIDI TECH

<https://qidi3d.com/products/r-qidi-technology-i-fast-3d-printer-industrial-grade-structure-with-dual-extruder-for-fast-printing-super-large-print-size-360-250-320mm>（閲覧日 2022.1.3）

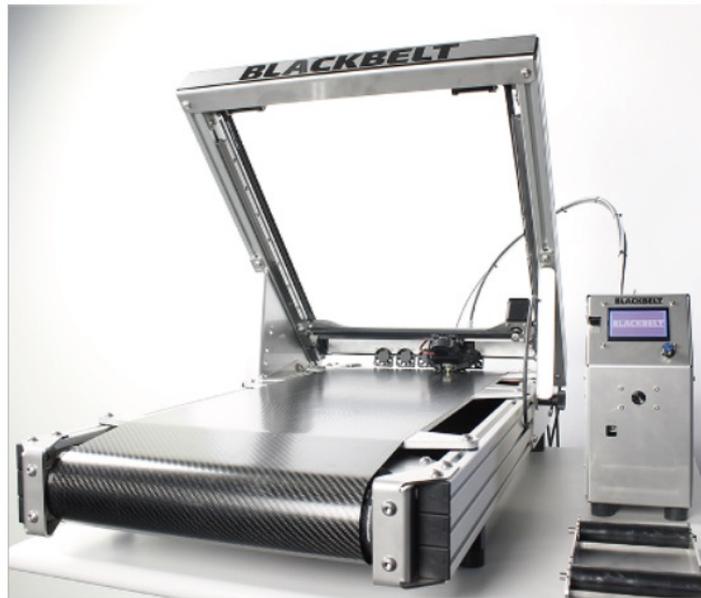


図 26 BlackBelt 3D printer

出典 <https://blackbelt-3d.com> 閲覧日 2021.12.30

本研究で使用した BlackBelt 3D printer (図 26) ¹

新しいタイプの 3D プリンタである「BlackBelt」はベルトコンベアを使用し、低コスト・短時間で大型スケールのプロトタイプを可能にする。X-Y アクチュエーションシステムなど、プリンタの部品やコンポーネントの多くは標準的な FFF 方式プリンタのものであることから容易に扱うことができる。主な特徴として BlackBelt では、ノズルが特定の 45° に傾斜し、プリンタの高精度なベルトコンベヤーが移動することで新しい Z 軸とプリントプラットフォームとなり、新しいレイヤーごとに水平に移動する。これによって z 軸方向に理論上は無限の造形空間をつくりだすことができる。

特徴

交換可能なプリントヘッド (0.4/0.5/0.6/0.8/1.0/1.2mm)

最大造形サイズ：340 x 340 x ∞ mm

プリント角度調整可能：15°/ 25°/ 35°/ 45°

フィラメント径：1.75mm

プリントヘッド：ノズルサイズ 0.4/0.6/0.8mm は Bowden を標準装備、Variodrive は 1.2mm

¹ Blackbelt 3D <https://blackbelt-3d.com> (閲覧日 2021.12.30)

3.2 製作手順

3.2.1 調整可能なデータの作成

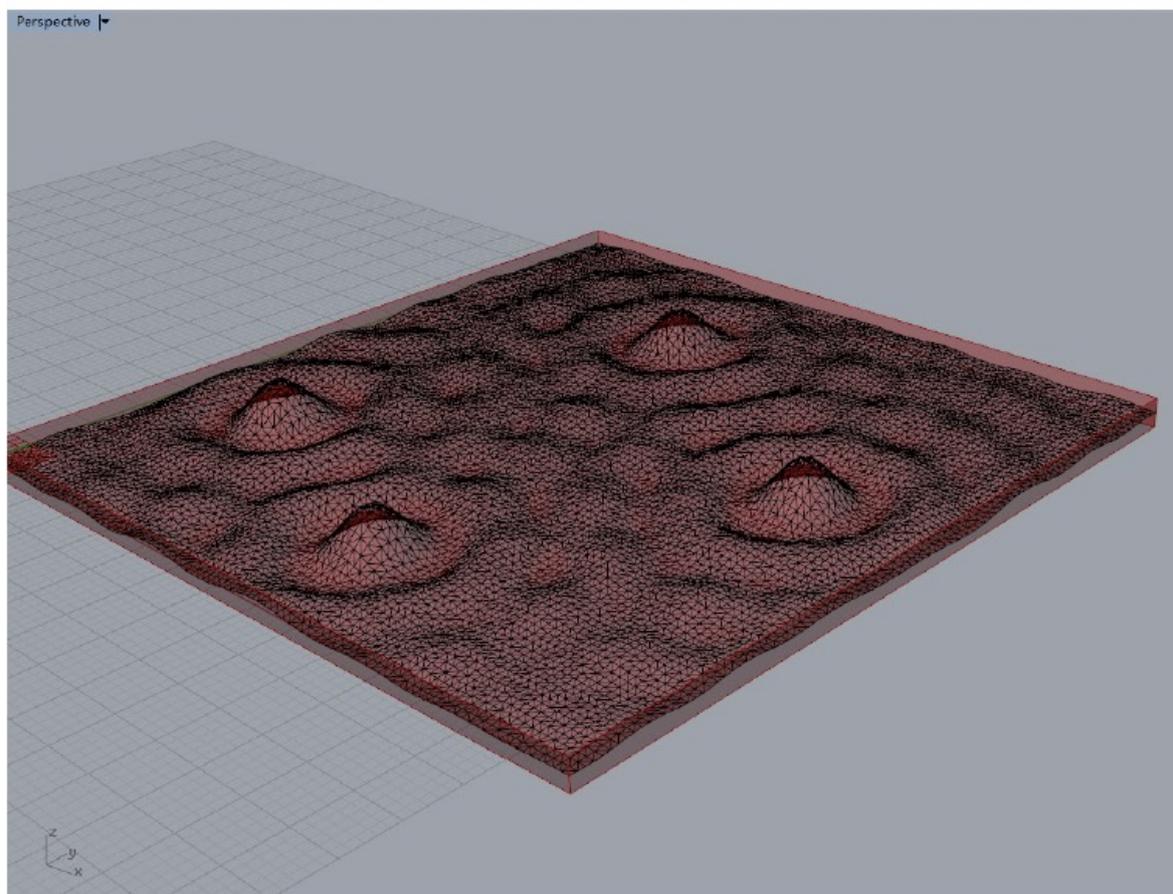


図 27 Grasshopper を用いるモデルデータ作成

Grasshopper は Rhinoceros 環境で動作するパラメトリックデザインソフトウェアで、手続き型アルゴリズムを用いてモデルを生成する（図 27）。¹ 本研究では、Rhinoceros で作成したサーフェス（NURBS サーフェス）を読み込み、Grasshopper を用いたサーフェススペースメッシュモデルを作る。空間メッシュのメッシュ数と厚さは、Grasshopper で任意に調整できる初期パラメータを使用し、それに応じて任意に最終モデルの変更も可能である。（図 27）

¹ Grasshopper 3D Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Grasshopper_3D（閲覧日 2021.12.20）

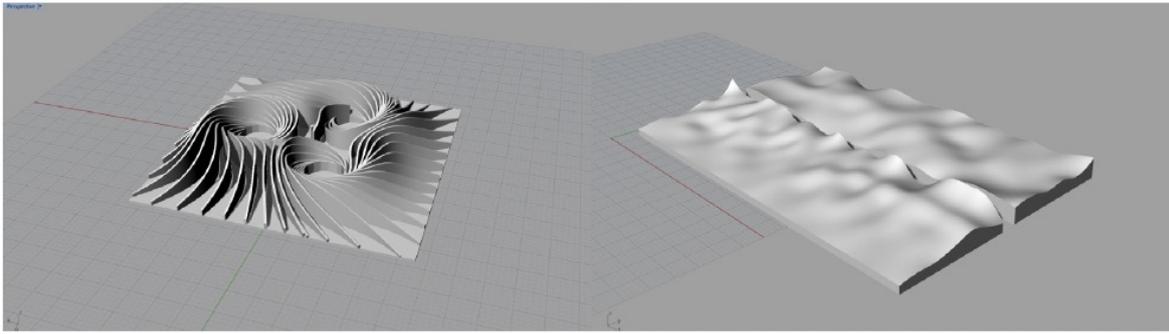


図 28 Grasshopper を用いるパラメトリックデザイン

Grasshopper のパラメトリックデザイン機能を利用し、サーフェスとカーブでソリッドモデルを作成した（図 28）。モデル表面の起伏やベクトル曲線の数値と配置密度は好みに応じて調整することができる。試作段階では、サンプル間の比較をしやすいように、各モデルの全体形状を四角形に統一した。

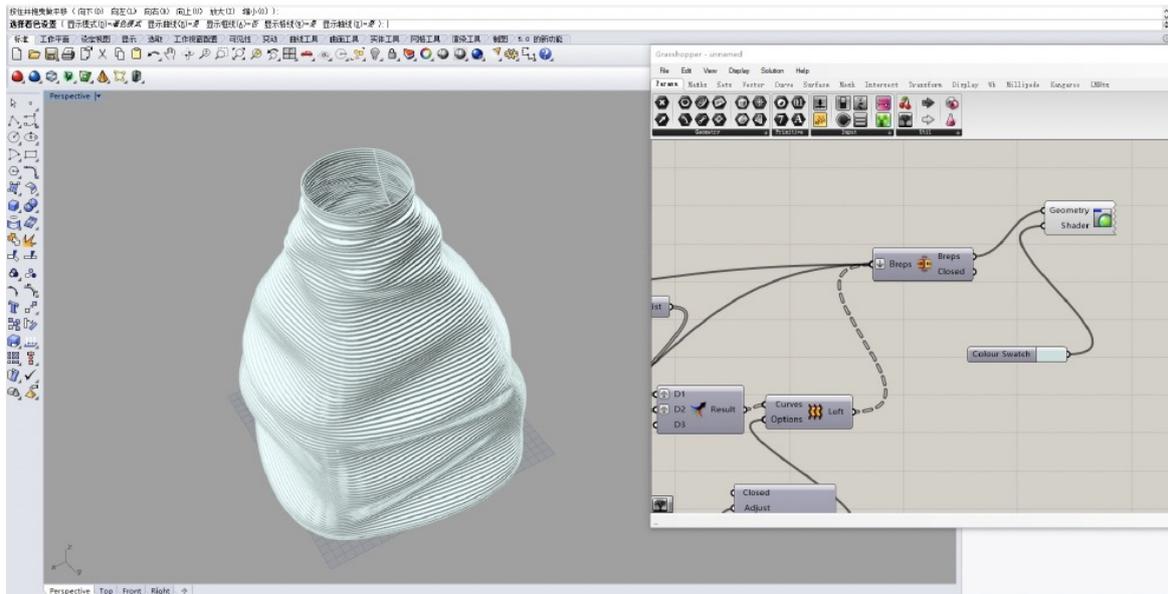


図 29 Grasshopper を用いる曲面モデリング

モデリング上の留意点として外壁が薄すぎるオブジェクトなど、厚みが薄いモデルはスライスソフトウェアでうまく認識されず、3D プリンタのノズル径によってプリントに失敗する可能性がある。そのため、Grasshopper で曲面を作成した後、3D プリント可能な要件を満たすために、モデルの外壁の厚さをオフセットする必要がある（図 29）。

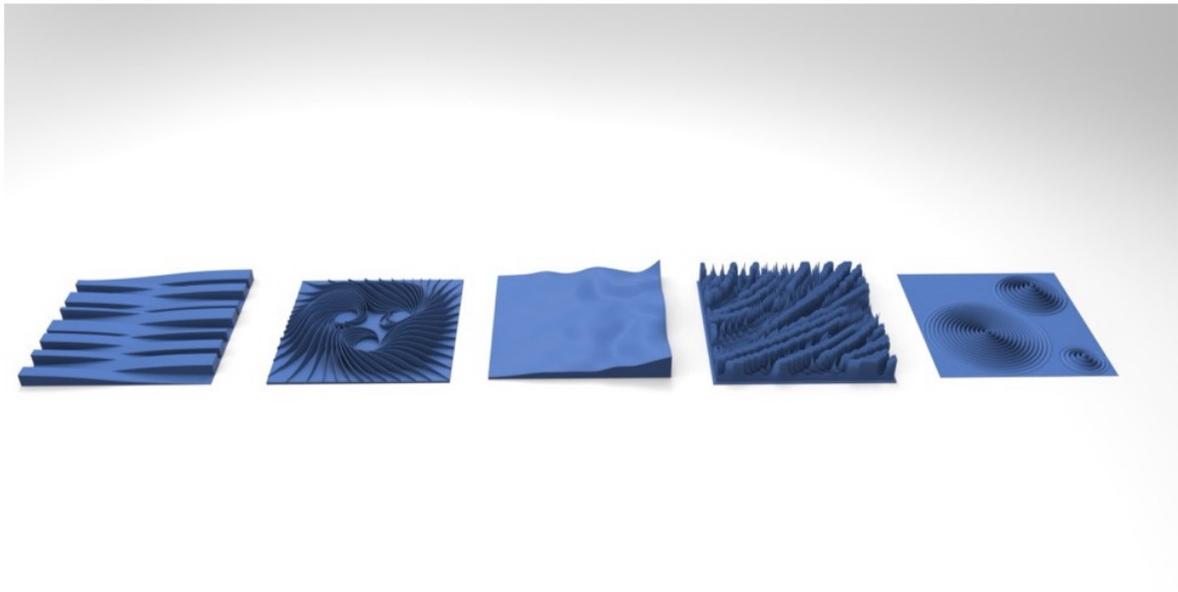


図 30 Keyshot を使用したモデルシミュレーション

Grasshopper と Rhinoceros を利用してモデルデータを生成し、STL データ形式に変換して保存する。プリントするモデルを事前に予測し、材料のプリント効果を最初に確認するために、モデルデータを Keyshot などのレンダリングソフトに取り込み、ソフトの中でマテリアルの編集やシーンライトの調整などを行い、外観のシミュレーションを行った (図 30)。

3.2.2 QIDI TECH-3D printer を用いた製作の手順

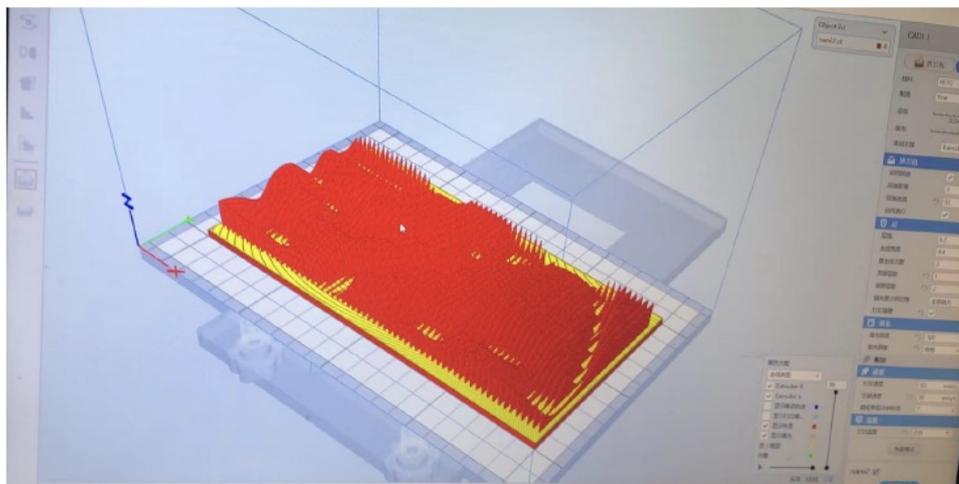


図 31 QIDI TECH用スライスソフト

対応する 3D プリント用のスライスソフトウェアは、QIDI のウェブサイトからダウンロードでき、QIDI TECH で認識される x3g データを書き出すことができる。Simplify3D などのスライスソフトウェアを使用する場合は（図 31）、G-code を x3g データ形式に変換する必要がある。

QIDI のスライスソフトは、一般的なスライスソフトと同様にパラメータを調整することができる。制作で使用されているリサイクルプラスチック製のフィラメントについては、メーカーが提供したプリント設定はほぼ全てのモデルで有効だが、特定のモデルについては、プリントの失敗が目立つ。成功率とプリント結果を改善するために、プリントパラメータをテストして調整することが必要である。



図 32 45° 超えのプリントエラー

再生プラスチック製のフィラメントを用いた造形物をできるだけ審美性を伴って出力するには、可能な限りサポート材を使用せずに 3D プリントを行う必要がある。また、モデルデータのオーバーハング角は 45 度以下に設定する必要がある。曲面のオブジェクトを印刷する場合、サポート不足によるプリントエラーが発生する。図 32 の左の写真はそのプリントエラーである。右は順調にプリントした造形物である。



図 35 慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス内の建物

BlackBelt は奥行方向に対して長さを無制限にプリントできる特性があるため、実際に使用する場所（図 35）の寸法を測定し、横幅を等分してプリントし、接着することで、効率的に大きいサイズの造形物をプリントすることが可能となる。

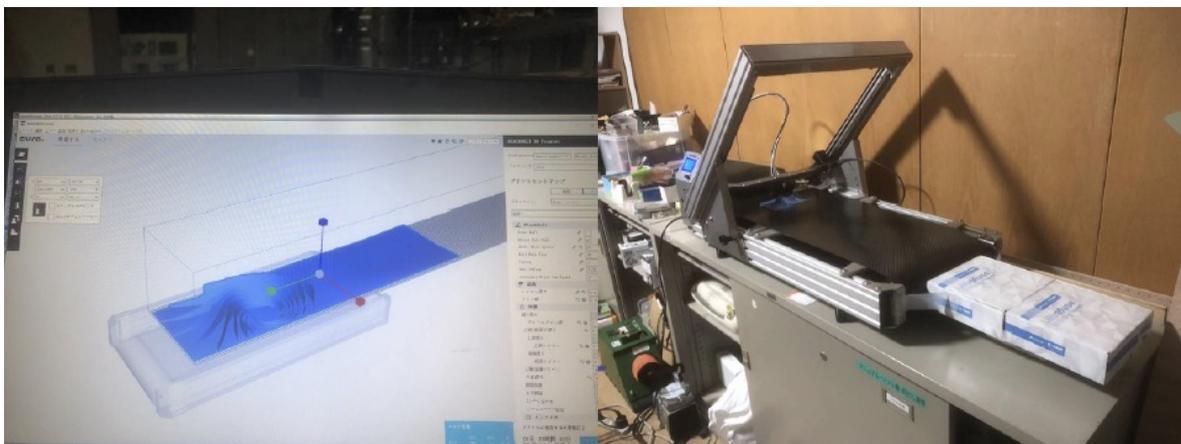


図 36 BLACKBELT の延長ボード設置

モデルデータを作成する際に、等分にする作業が必要である。（図 36）BlackBelt のプリントできる長さは理論上は無限であるが、BlackBelt のコンベアの長さは 90cm しかないことから、90cm 以上のモデルをプリントする場合、モデルが落下して印刷できない問題が発生しないように、下に支えとなるものを用意することが必要となる。



図 37 BLACKBELT 上の出力環境調整

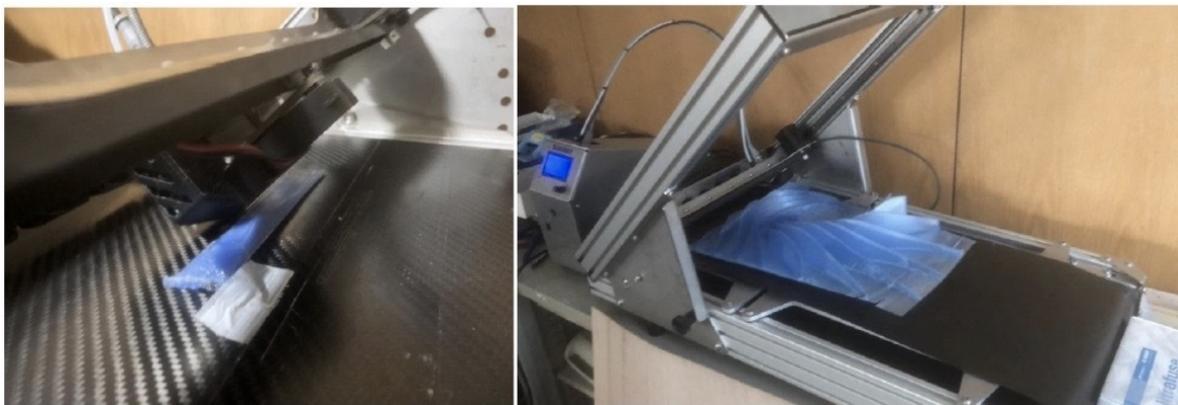


図 38 造形物の反りと積層面の割れ

スライス時には、3D プリンタのプリント温度、ファン、プリントスピードの設定は可能であるが、現在のスライスソフトは造形物の条件によって反りや積層面の割れが生じ、ソフトウェア側で BlackBelt に 100% マッチするプリンタの条件を得ることができないため、造形テストを行い誤差を修正する必要がある。(図 38) より良いプリント結果を得るために、プリント中のモデルのコンベアとの定着や積層方向の接着具合の様子を見ながら BlackBelt のインターフェイスでプリント温度の調整を行った (図 37)。

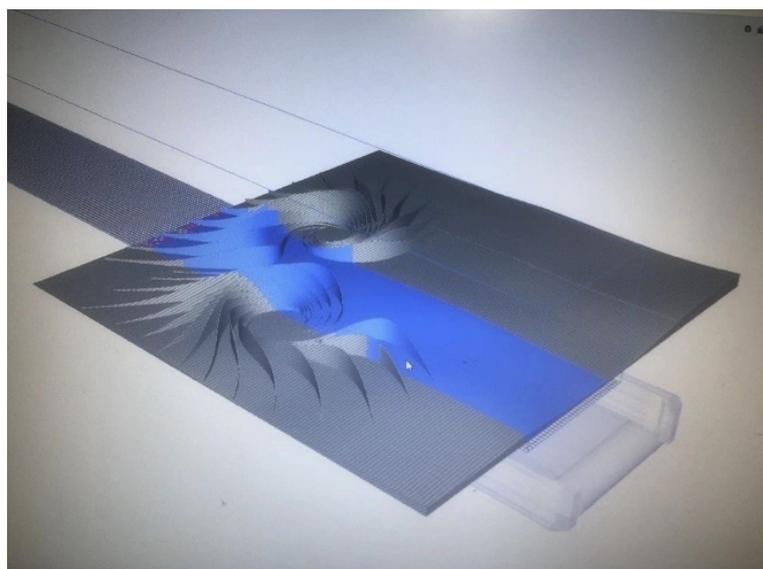


図 39 スライスソフトでパーツの組み合わせ



図 40 実物の組み合わせ

スライスソフトでは、パラメータの調整で大きなモデルを均等化し（図 39）、モデルをプリントする前に、モデルパーツの組み合わせとその見え方を確認することができる。図 40 で示すプリント対象物のサイズは（30mm×300mm×1200mm）と大きいため、1 部品でかかる材料は 2kg 程度であり、平均印刷速度を 100mm/s に設定する場合、印刷時間は 48 時間以上かかりコストは 15000 円程である。出力時間、コストともに造形による失敗をすることを避けたいことから、定期的にプリント中のモデルを確認し印刷パラメータを調整したり、フィラメントを補充しながら造形を行った。

第4章 プロジェクト例1 コーヒーフィラメントを用いた事例

本章では、コーヒーフィラメントを用いて感性価値を向上させる作例について説明する。初期的な検討としてコーヒーフィラメントを含む、いくつかのユニークなフィラメント材料を購入し、それぞれの材料の環境特性を分析し、それぞれの特性を抽出する探索的な検討をおこなった。そのうちシナリオの用途や素材の特性を考慮した結果、コーヒーフィラメントを用いて感性価値を向上させることを狙ったデザイン・製作を行った。

4.1 提案

4.1.1 コーヒーフィラメント「Wound Up」を素材として

4.1.1.1 コーヒーフィラメントと類似リサイクルフィラメントの特性



図41 リサイクルプラスチックの特性分析

現在フィラメント化されているリサイクルプラスチックは、ビールくず、麻繊維、竹繊維、コーヒーくずなどのバイオ素材を活用したフィラメントのほか、抹茶や卵の殻などのバイオ素材を活用したフィラメントも世界で販売されている。さまざまなリサイクル素材が登場し、リサイクル素材の種類が多様化するにつれて、3Dプリンティング技術による素材の特性を生かした製品設計の多様化が可能になっていくと考えられる。持続可能な社会発展が進むにつれて、将来的にバイオ素材で加工したフィラメントが数多く登場することが予想され、それを生かした設計方法の提案が重要であると考えられる。

図41のリサイクルプラスチックは、さまざまな素材で作成されているため、特有の硬さ、柔らかさ、匂い、色、表面の滑らかさ、透明度などを持っている。それぞれの特性を抽出・分類・整理し、様々な領域に活用することが期待できる。加えて、1つの素材の特性を生かすほか、2つ以上の素材の特性を組み合わせることも可能であり、製品デザインの可能性は拡張に寄与すると考えられる。



図 42 市販している各種のリサイクルプラスチック（上の左から a,b,c,d,e）

出典 3DFS id.arts

購入したフィラメント（図 42）¹

- a ビール原料フィラメント：3D-Fuel 社の『Buzzed – Beer Filament』は、同社の地元メジャーレーベルの醸造所から得た副産物（廃棄物）を原料にした PLA 混合材料で、ビール特有の黄金色と原料である穀物の風合いを残したフィラメントとなっている。
- b 麻原料フィラメント：3D-Fuel 社の『Entwined – Hemp Filament』は、無農薬や除草剤を使用せず成長した麻繊維から生成された 3D プリント用フィラメントである。
- c 珈琲原料フィラメント：3D-Fuel 社の『Wound Up – Coffee Filled Filament』は、廃棄珈琲（自然穀物）の副産物として生まれたコーヒー原料の 3D プリント用フィラメントで、色や香りも珈琲そのものである。
- d 自動車の内装廃材原料フィラメント：『Recycled ABS filament from car dashboards』は、廃棄される自動車のダッシュボードやドアパネルなどのプラスチック（ABS）製自動車部品から生成された、100% リサイクルフィラメントである。この ABS フィラメントは造形後にややマットな仕上がりとなり、毒性を持つ染料などを含まないため、安心して利用することが可能である。
- e 緑ペットボトル原料フィラメント：『Recycled PET filament from green bottles』は、廃棄される緑色のペットボトルから生成された、半透明のリサイクルフィラメントである。

¹ 3DFS id.arts <https://3dfs.idarts.co.jp/about>（閲覧日 2021.8.20）



Change from car to vase



Recycled ABS from car dashboards



Change from bottle to vase



Recycled PET from bottles

図 43 購入した素材で製作した試作品

3Dプリンタのプリント効果を把握するために、本製作を行う前に、予備検討としてd. 自動車の内装廃材から再生されたプラスチックフィラメントと、e. 緑ペットボトルから再生されたプラスチックフィラメントで花瓶モデルのサンプルを作成した（図 43）。自動車の内装廃材原料フィラメントは、特性として強度があるため、作成した製品の耐久性が優れる。緑ペットボトル原料フィラメントは、特性として透明度と緑の色を持っているため、デザインの手法で製品に美的な要素を与えられると考えられる。

4.1.1.2 コーヒーフィラメントを使った感性価値具現化のプロダクトデザイン

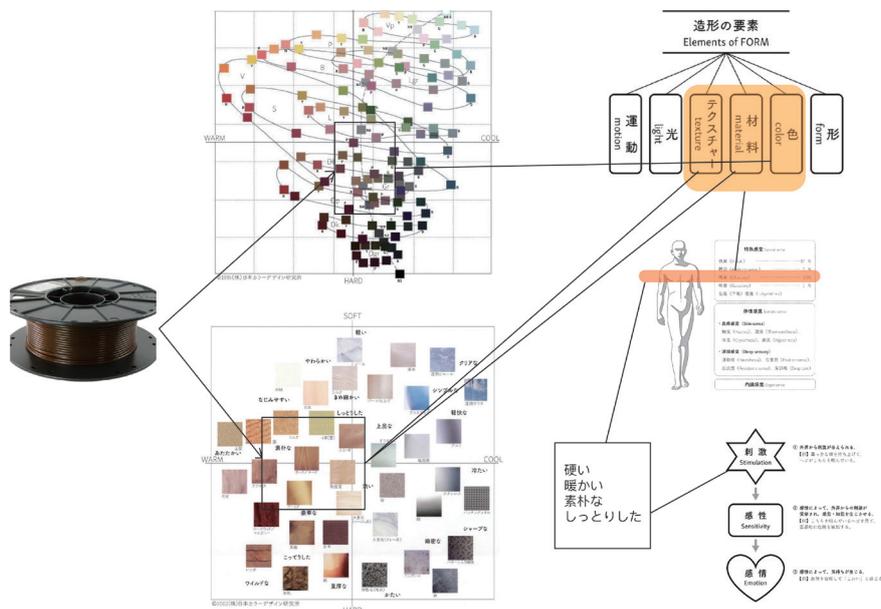


図 44 コーヒーフィラメントの感性価値創造の要素分析図
出典 (スケール) 日本カラーデザイン研究所

感性価値を具現化させるために購入したリサイクルフィラメントの中でコーヒーフィラメントに着目して特性を分析し、感性価値を含むデザイン要素を抽出した (図 44)。抽出された要素は主に「硬い」、「暖かい」「素朴」、「しっとり」の4つの要素が得られる。また、要素の中で、素材の特有のコーヒーの匂いが一番重要な特徴であることが分かった。

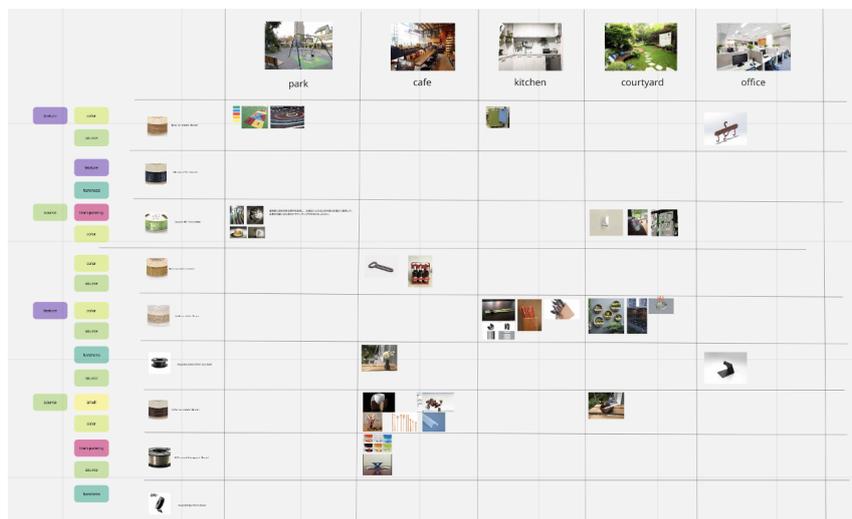


図 45 各種リサイクルフィラメントや生分解性フィラメントの使い道に関するアイディエーション

同様の分析方法を現在販売されているリサイクル素材について行うことで、公共空間の中での活用アイデアを検討した。例えば、ビール原料フィラメントはオープナー (カフェ) に、麻原料フィラメントはハンガー (オフィス) に、珈琲原料フィラメントはコップマット (カフェ) に、緑ペットボトル原料フィラメントは照明 (公園) に利用するなどのアイデアが得られた (図 45)。

4.2 製作



コーヒー原料フィラメント「Wound Up」
フィラメント径 1.75mm
メーカー推奨温度 185-215°C

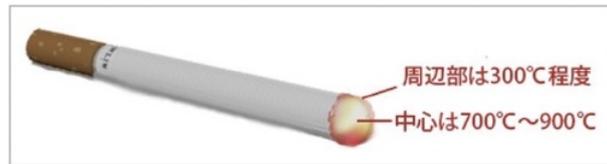


図 46 コーヒーフィラメントで製作した感性価値向上の製品デザイン試み

分析の結果得られたコーヒーフィラメントで灰皿をデザイン・製作した。この灰皿のコンセプトは、喫煙時にコーヒーの匂いを楽しむことである。タバコの吸い殻の温度で灰皿の表面を熔融することにより、コーヒーフィラメントは固体から気体に変換し、コーヒーの特有の香りが広がる（図 46）。

温度で素材の香りを広げるという方法で、コップマット、スプーンなどの温度と関わるプロダクトデザインにおいても、コーヒーフィラメントの活用は可能だと言える。

ただし、タバコの熱により灰皿が徐々に溶けていくため、耐久性については検討の余地がたぶんがあり、またコーヒー以外のプラスチック部分が溶けだすことによる健康への影響も無視できない。現在この灰皿は筆者らのシェアハウスのベランダに置かれている。

第5章 プロジェクト例2 青色 PET フィラメントを用いた事例

本章では、海外から輸入された青色 PET フィラメントの起源を説明することで、日本で使用されている海外のカラープラスチック製品のストーリーを導く。また、その特徴を分析することで、感性価値を高める製品デザインの要素を整理し、その要素に基づいて屋根のプロダクトデザインする。最後に、制作過程と制作後の知見を考察としてまとめる。

5.1 提案

5.1.1 3D プリンターフィラメント Ultrafuse®rPET の特徴



図 47 3D プリンターフィラメント Ultrafuse rPET
出典 日本 3D プリンター株式会社

rPET は、再生 PET を原料としたフィラメントである。海外において、食品への活用が認められており、自然で透明感のある、やや青みのある外観が特徴である。一般的な PET よりも密度が低く、耐熱性は高い（図 47）¹。



図 48 中国で市販している青いペットボトル包装の飲み物
出典 <https://www.jucanw.com/mszx/jfff/5194.html> 閲覧日 2022.1.24

有色ペットボトルについて日本と中国では異なる受け取られ方をしている。日本では「資源の保存及び再利用の促進に関する法律」（資源循環法）の改正案が制定され、主な着色されたペットボトルやポリ塩化ビニルの使用はすでに禁止されている。²

一方で中国では現在、青や緑のパッケージのペットボトル飲料がまだ多く出回っており、若者を中心に普及が進んでいる。（図 48）特別なパッケージは、商品のセールスポイントとなり、消費者が購入する際にも印象に残りやすくなる。そのため、中国で大きな市場を形成している。このことから rPET は中国で流通した青色ペットボトルがリサイクルされ、フィラメントとなり、日本で輸入された背景が rPET のストーリーとして存在する。

¹ 日本 3D プリンター株式会社 <https://ultrafuseff.jp/product/ultrafuse-rpet/>（閲覧日 2021.5.10）

² 経済産業省リサイクル推進課（2020）「資源有効利用促進法 - 3R 政策」

https://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/admin_info/law/02/pdf/shigenyukoriyoho-gaiyo.pdf（閲覧日 2021.10.20）

5.1.2 青いペットボトルを使った感性価値具現化の製品デザインの提案



図 49 氷山の「青」表現

出典 青木 弘行 (2017) 「プラスチックの逆襲」p198

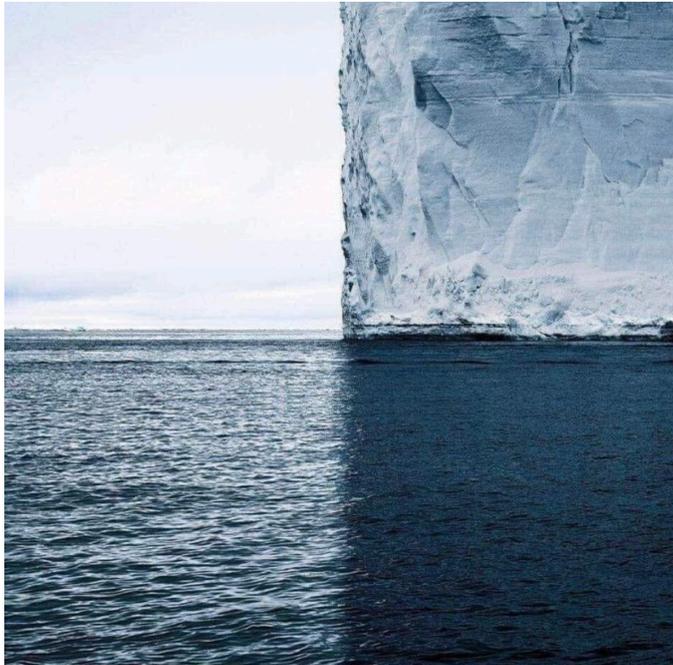


図 50 海と空の四つの青い色表現

出典 最多情報局 (2021)

青色 PET 材料を生かす視点を獲得するため、自然界のモチーフを検討した。自然の風景に目をやると、海と空の青さのなかに「深み」や「奥行き」があると思われることが多い。空は一様に青ではなく、そこには、地平線や水平線から上空にかけて、明るい青から深みのある青へ移り変わるグラデーションがある (図 50) ¹。

今回使用した青色 PET フィラメントは半透明なため、プラスチックを重ねることで、海や氷河のような淡い色から濃い色へのグラデーションを実現できる可能性がある (図 49) ²。

¹ 青木 弘行 (2017) 「プラスチックの逆襲」p198

² 最多情報局 (2021) <https://twitter.com/tyomateee/status/1462800860233146377?s=21> (閲覧日 2021.10.25)

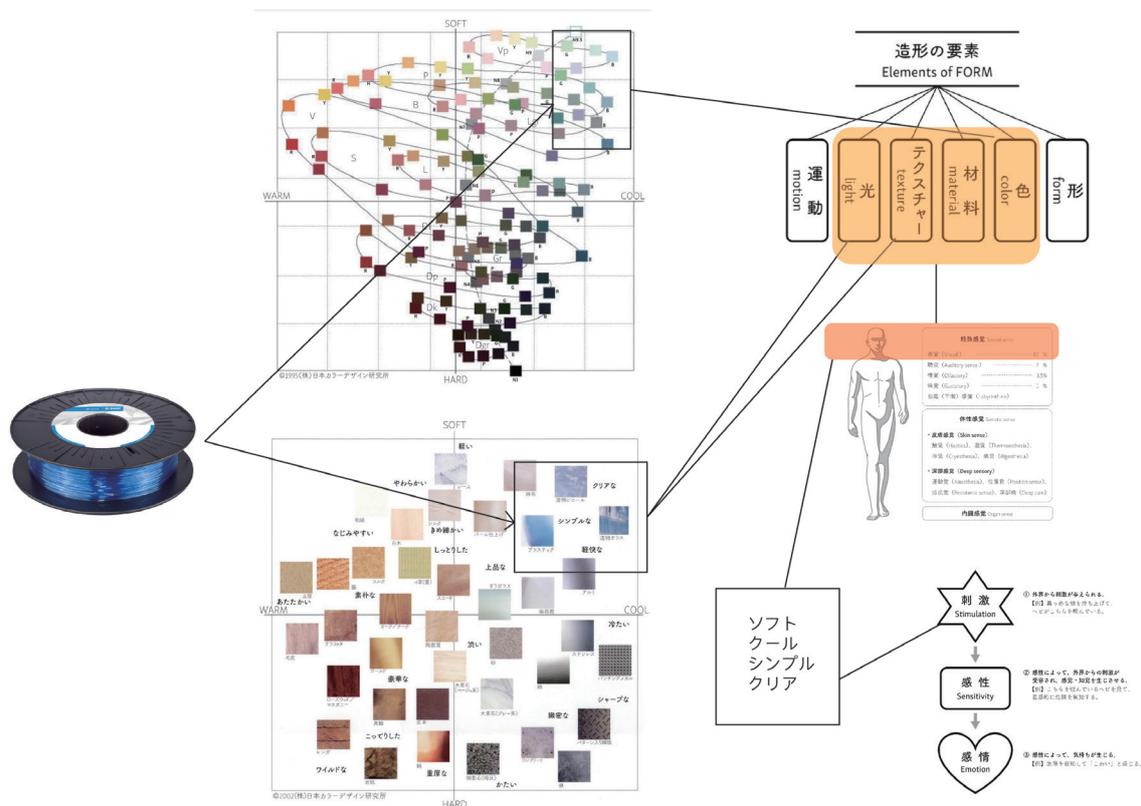


図 51 青色フィラメントの感性価値向上の分析図
出典 (スケール) 日本カラーデザイン研究所

この視点をもって、改めてこの素材の特性からチャートで分析を行った。色と素材から感性的価値のあるいくつかの要素が抽出された。今回使用するフィラメントの特徴は主に2つある。1つは青色ペットボトルから継いだクリアな青色。この青色はプラスチックを重ねることから透き通るような水色から深い青色までグラデーションができ、ソフトとクールなどの感性単語に繋がっていると考えられる。もう1つはPETは艶やかな素材であり、リサイクルされた後のフィラメントも滑らかに見えるので、シンプルやクリアといった感性単語に繋がっていると考えられる。これらのデザイン要素を組み合わせることで、ユーザーに視覚的な刺激を与え、製品の感性価値を高めることが期待される (図 51)。

5.2 製作

5.2.1 一般的な FFF プリンタで製作 (QIDI)

青色 PET 材の特徴を引き出すため、いくつかの形状でサンプル出力を行った。複数の曲線で構成された形をいくつかのバリエーションで作成し、3D プリントした。特徴は、曲面の全体の流れを上から観察し全周囲から見たときに、素材の色が明るいものから暗いものまで奥行きのある色になることである。外壁が薄いため、先端はほぼ透明で、光に当たると白く見えることが、このプロトタイプの実験から知見として得られた。

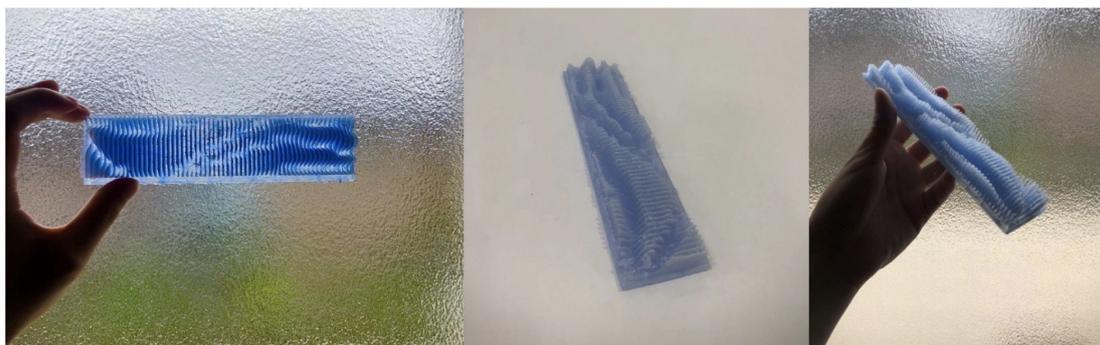


図 52 15*5*3 cm のサンプル A



図 53 15*15*2cm のサンプル B



図 54 15*15*20cm のランプシェードサンプル C



図 55 15*10*3cm の柔軟性あるサンプル D



図 56 r5*3cm のサンプル E



図 57 10*10*1cm のサンプル F



図 58 10*10*3cm のサンプル G

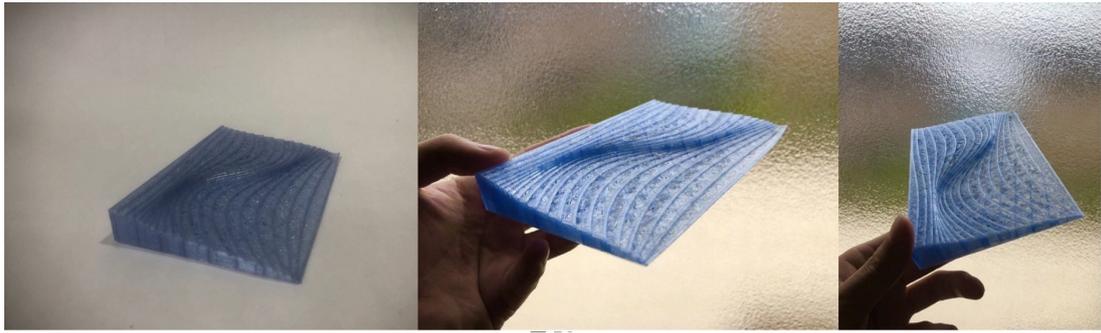


図 59 10*10*1cm のサンプル H

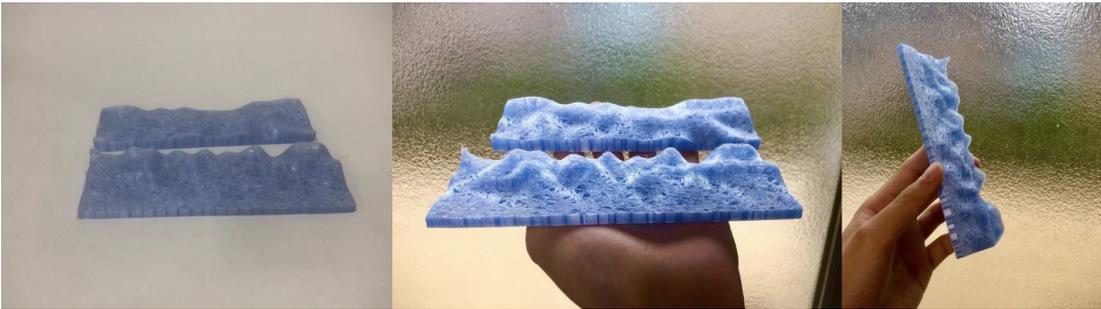


図 60 15*5*2cm のサンプル I

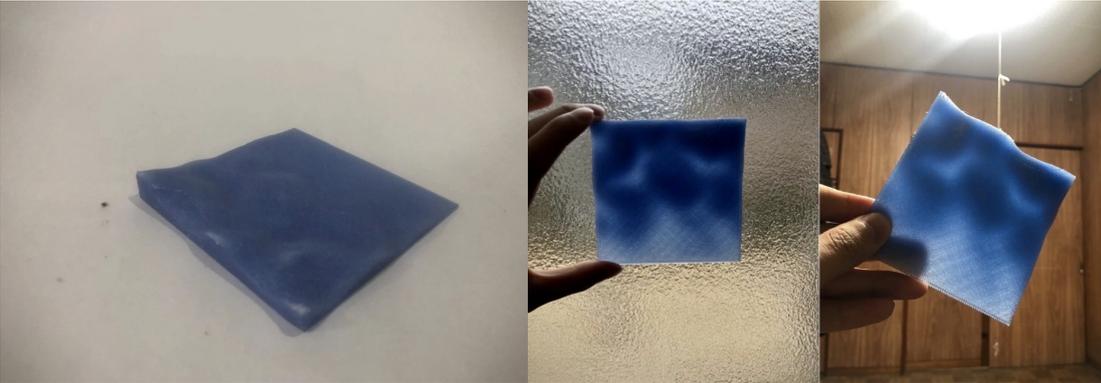


図 61 10*10*2cm のサンプル J

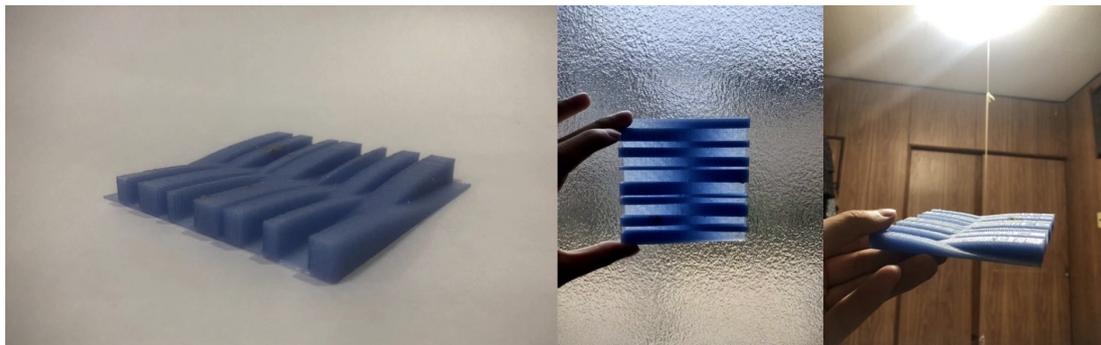


図 62 10*10*2cm のサンプル K

5.2.2 45°FFF プリンタで製作 (BlackBelt)

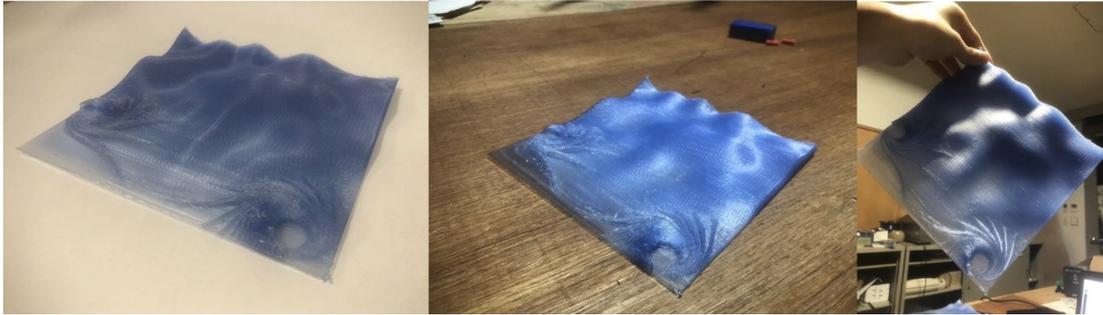


図 63 20*20*3cm のサンプル L



図 64 15*15*3cm のサンプル M



図 65 30*10*5cm のサンプル N



図 66 30*13*3cm のサンプル O



図 67 30*30*0.4cm のサンプル P



図 68 r15*3cm のサンプル Q

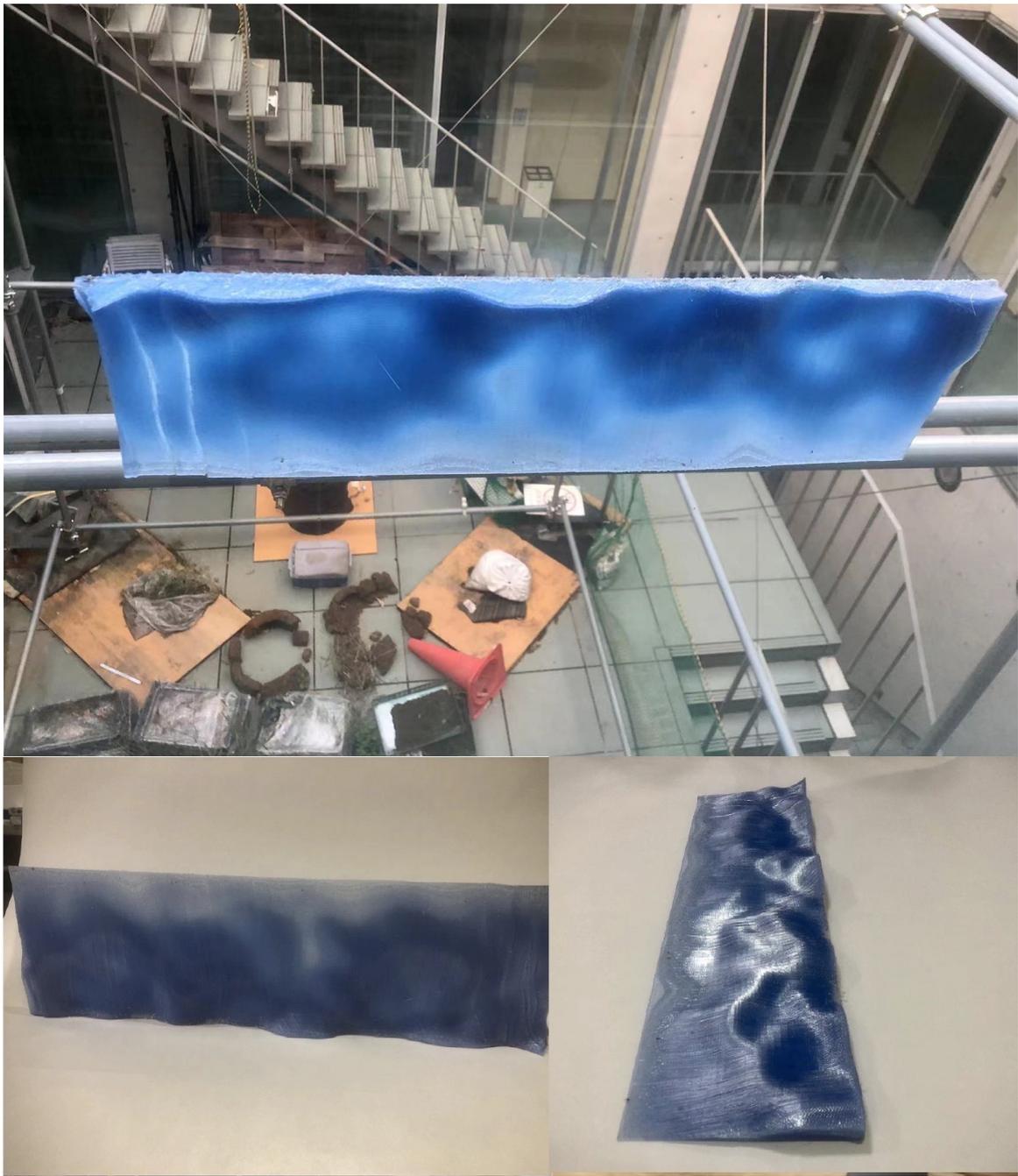


図 69 50*15*5cm のサンプル R



図 70 120*120*7cm の実物

5.3 造形表現の考察

5.3.1 90° と 45° 方式の 3D プリンタで作られた造形物の比較

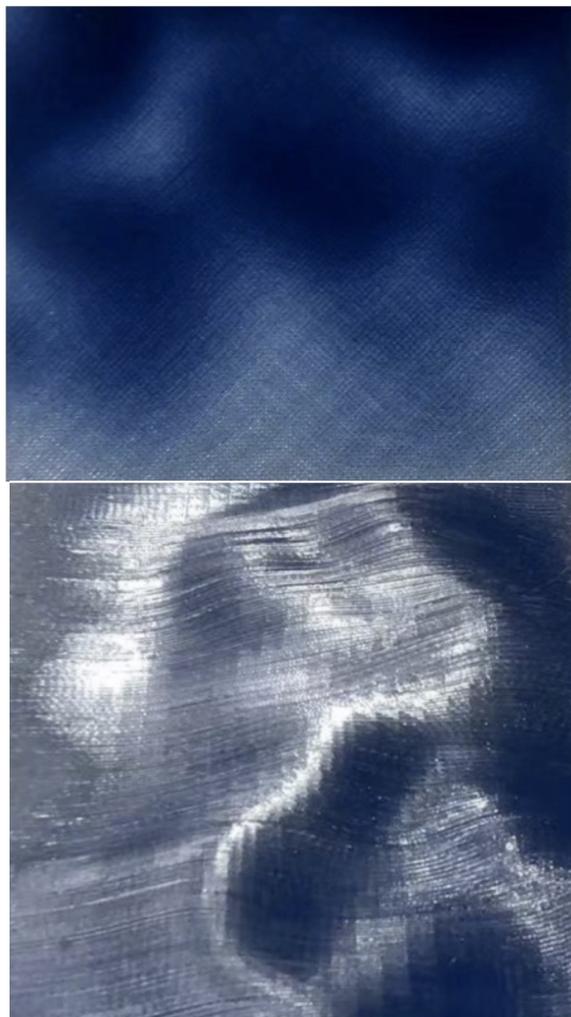


図 71 二種類のプリンターの造形物の表面の比較図

プリントの角度が異なれば、造形の成型工程も異なる。このことが違う視覚的効果を生み出すことが分かった（図 71）。通常の FFF 方式 3D プリンタでは、表面はピラミッドのような質感で、下から上に向かって層を重ねるようにプリントされるため、織物のような質感になる。しかし、45 度クローラー 3D プリンタでは、プリントプロセスが表から裏までであるため、構造物の最初の層が早い段階から印刷され、より滑らかな感触と光の反射が良い形状になる。

5.3.2 プリントエラーから生まれた糸引きの白い波表現



図 72 積層面割れのプリントエラー

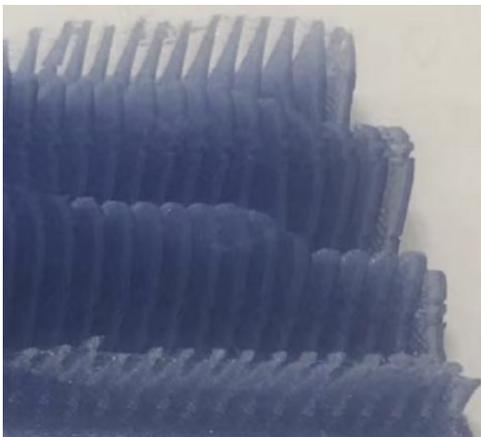


図 73 糸引きのプリントエラー A



図 74 糸引きのプリントエラー B

リサイクルプラスチックを使用しているため、印刷の際に失敗することも多いが、この素材には一定の透明感があり、モデル全体の曲線的な性格と相まって、物をプリントする際にエラーとして発生する「糸引き」などの現象が、かえって良い色の表現になる場合がある。あたかも「水しぶき」のように見えるこの表現も、積極的に組み込んで活用することにした。

5.3.3 浮世絵をモチーフにしたテクスチャーデザイン



図 75 葛飾北斎「あわびをとる女性たち」とサンプルKの比較
出典(右) 海女はまるで人魚のようだった。北斎や歌麿の手で描かれた、江戸時代の女性たち(画像集)



図 76 葛飾北斎「千繪の海 下総登戸」とサンプルJの比較
出典(右) ネット美術館「アートまとめん」



図 77 葛飾北斎「海上の不二」とサンプルDの比較
出典(右) 浮世絵に聞く

透明から濃い青までのグラデーションと、白い「水しぶき」のような表現を生かすため、浮世絵における海の表現を参考にして制作をまとめることとした。(図 75、76、77)¹ここで簡単に浮世絵の歴史を述べる。

浮世絵は製法の制約上、使用する顔料の種類が限られているが、一枚の絵に豊かな色彩を表現でき、それぞれの色彩が異なる層に変化する。

初期の浮世絵は、墨絵と赤絵に分けられる。そこで、多様な植物性顔料や鉱物性顔料、さらには海外から輸入した化学顔料を用いた錦絵が発展していったのである。しかし、その後、幕府から奢侈禁止令が出され、浮世絵は緑と青を基調とした色彩に変化していった。作品はより素朴なものになった。風景画では、青、シアン、黄、緑、赤の5色を使うのが基本になった。その中、浮世絵で非常に重要な色が青である。青は生命力、自然、優しさを表している。非常に魅力的な色であると同時に、何世代にもわたる農業を象徴する色でもある²。

浮世絵ではグラデーションカラーがよく使われる。風景画は、山や水をテーマに、明るいものから暗いものまで3色ほどの青で描かれるのが一般的である。しかし、青は寒色系なので、豊かさと視覚的インパクトを与えるために、画家は赤や黄色、暖色系の緑などの暖色を加え、色のバランスをとる。



図 78 照明を与える条件で色のグラデーション比較
出典(左) 浮世絵 Wikipedia

松明で照らすと、絵の色が表面に浮くのではなく、紙の繊維に浸透するため色の変化が起こり、灯台の明かりのように光を当てると徐々に変化していく。(図 78) この光の中の色のグラデーションは、今回制作したモデリングオブジェクトに比較的近い性質を持っている。

浮世絵をモチーフとして設定し、それを 3D (もしくは 2.5D のレリーフ) として再表現する、という視点を持つことで、青色 PET を用いた表現にさらなる広がりが生み出せることが分かった。

¹ 海女はまるで人魚のようだった。北斎や歌麿の手で描かれた、江戸時代の女性たち (画像集)
https://www.huffingtonpost.jp/2016/10/14/naked-pearl-diving-mermaids-of-japan_n_12484544.html (閲覧日 2021.12.25)
ネット美術館「アートまとめん」
<http://artmatome.com/>『千絵の海 %E3%80%80 下総登戸』 %E3%80%80 葛飾北斎 / (閲覧日 2021.12.25)
浮世絵に聞く
<http://ukiyoe.cocolog-nifty.com/blog/2020/03/post-6643c4.html>(閲覧日 2021.12.25)
² 浮世絵 Wikipedia <https://ja.wikipedia.org/wiki/浮世絵> (閲覧日 2021.12.25)

5.4 屋根として使用するためのプロダクトデザイン

5.4.1 様々な方向から見る屋根の色表現の変化

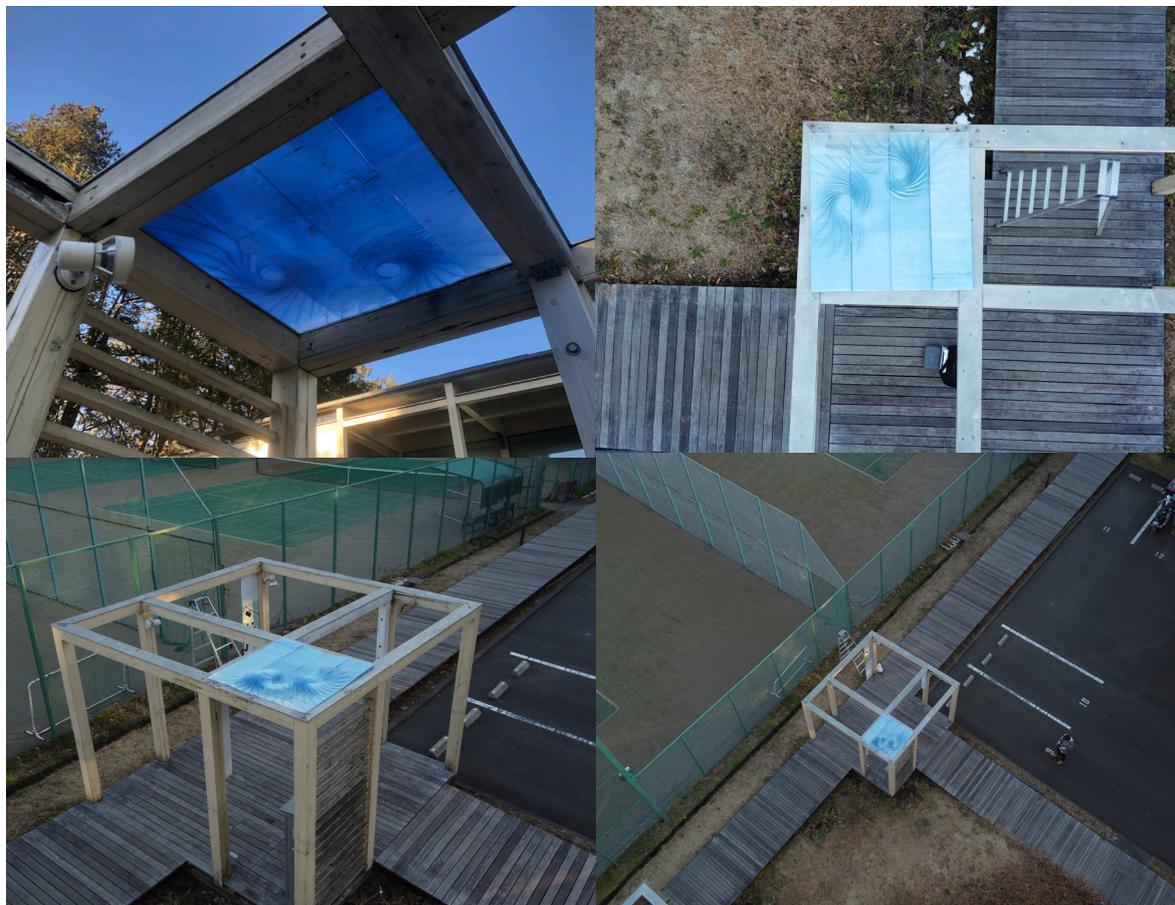


図 79 様々な方向から撮影した屋根

BlackBelt を使い、建物の屋根に貼る大きな形状のプリントを行った。クリアな青い再生プラスチックを由来とする素材そのものの青色と、デザインプロセスの中で与えた厚みの違いによって生じる青のグラデーションが、設置した建物の内部から上を見た際に確認することができた。ドローンで撮影した上空からは、小さなサンプルと同じように透明感を含んだ白から青へのグラデーションが確認できた。(図 79) 加えて素材の特性上、反射した太陽光で少し明るくなる視覚効果も確認でき、海の視覚表現に近い効果が得られることを確認した。

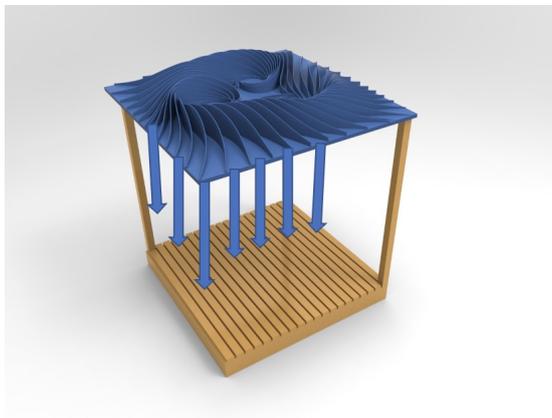
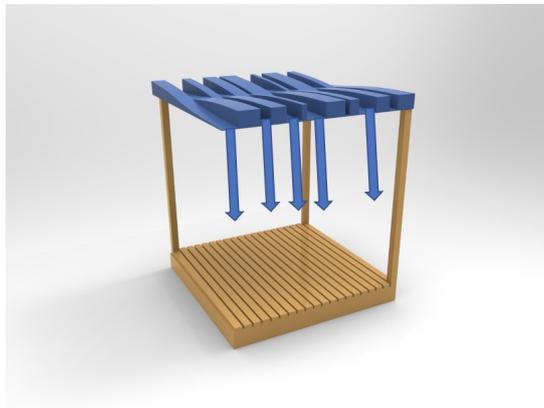
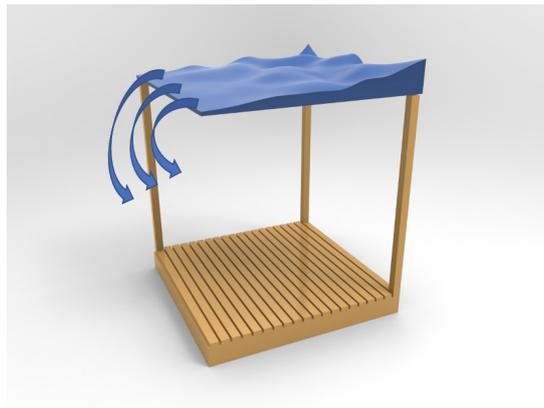


図 80 雨水の落ち方を考えたデザイン方法

PET は耐水性のある材料であるため、屋外の半透明の屋根などにも使用できると考えた。屋根で重要なことは、水の流れを調整することであり、モデルデータのパラメータを調整することで、屋根の雨どいの数や密度を自分のアイデアで変えることができ、雨水の落ち方もある程度デザインすることができるようにした（図 80）。

5.4.2 水上モビリティとしての応用可能性

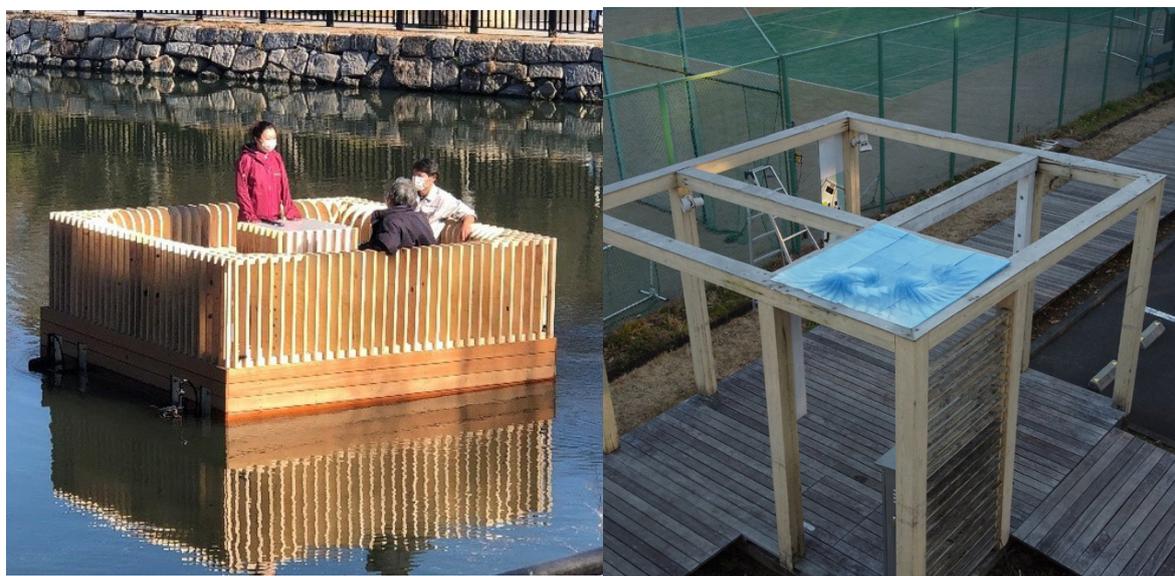


図 81 水上モビリティの屋根に応用する可能性
出典 (左) 炎重工株式会社 (2021) 「都市型自動運転船「海床 (うみどこ) ロボット」

炎重工株式会社が参加する海床ロボットコンソーシアム（株式会社竹中工務店、国立大学法人東京海洋大学海洋工学部清水研究室、株式会社 IHI、炎重工株式会社、株式会社水辺総研、新木場海床プロジェクト、一般社団法人ウォーター・スマート・レジリエンス研究協会から成る共同プロジェクトである。以下、海床ロボットコンソーシアム）は、海や運河・河川、湖沼などの水面に浮かべた床（3 m四方）が自動で動き、離着岸する自動運転船である。都市部の水辺を拠点に、都市型自動運転船が地域の魅力や付加価値の創造、さらには水辺の交通・物流など、さまざまな都市課題の解決に貢献することが期待されている¹。

遠くない将来、日本の都市でこの水上モビリティが人々の生活に浸透していくかもしれないと考えられる。しかし、この海床ロボットは、まだ屋根のデザインが十分に考えられていないという現状がある。本研究の製作物では、屋根の形状を認識でき、角度によって異なる視覚的な特徴を持つ提案を行っている。本研究の造形物を海床ロボットプロジェクトに適用するならば、海床ロボットのシナリオごとに異なる屋根テクスチャーを用いて意匠性を強調できることを想定した。（図 81）青のグラデーションは、日本の浮世絵に関連する視覚的要素を取り入れ、海床ロボットの海の用途により合致するものになると考えられる。また、雨水の落ち方の違いも、乗客にとってより興味深い体験となる可能性もある。

¹ 炎重工株式会社 (2021) 「都市型自動運転船「海床 (うみどこ) ロボット」実証実験を実施」
<https://prt-times.jp/main/html/rd/p/000000008.000023254.html> (閲覧日 2021.11.25)

第6章 結論

本研究は、感性価値があるプロダクトデザインのために、様々なリサイクルプラスチックの特性を具体的に分析を行ったものである。世界には、リサイクルプラスチックやバイオプラスチックを用いて新しい製品を生み出すプロジェクトが数多くあるが、その多くは、再生素材を共通素材として、3Dプリンターや金型を用いて、身近なテーブルや椅子、ゴミ箱などが作られている。これらのプロジェクトは、元々廃棄されていた素材を再利用しているが、素材に由来する価値を引き出さなければ、リサイクルコストが反映される普通の商品より高い値段になり、市場や消費者に受け入れられなくなる。消費者市場でより価値を発揮できなければ、忘れ去られがちな製品になってしまう。例えば、ペットボトルのキャップを再利用したゴミ箱は環境負荷に貢献し理にかなっているかもしれないが、キャップのリサイクル、選別、洗浄、乾燥、粉碎、溶解の工程で製造コストが大幅に加算されるため、消費者はより安価な選択肢を選ぶことに繋がる。このことは市場原理の中でリサイクルプロダクトが消費者から支持を得ることは難しいことを示唆している。本研究は、この問題を考慮し、青いペットボトルの透明感や青色、滑らかさといった素材そのものの特性や、コーヒー素材が持つ「加熱するとコーヒーの匂いが現れる」という素材に由来する特性を生かすことが必要であると示した。これらの特性を分析し、感性価値をまとめ、製品設計を行うことで、リサイクルプラスチック製品をより多くの人に受け入れてもらうための方法に繋がるのではないかと考えられる。

今後の展望

リサイクルプラスチックの技術が日々発展する中で、これらの素材をプロダクトデザインに活用する可能性が広がり、これらの素材が発揮する様々な価値が認識されてきている。そこで、これまでに実施した本研究の結果を踏まえ、以下の展望を述べる。

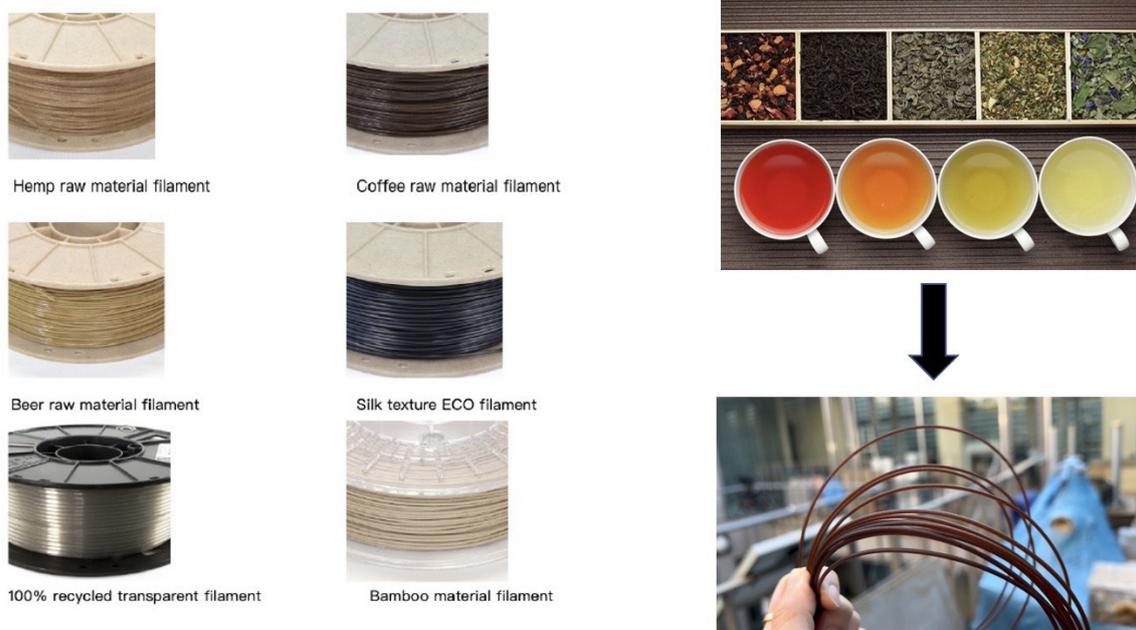


図 82 多様なリサイクルプラスチックフィラメント

本研究では、ペットボトルやコーヒーかすのリサイクルのみに絞って制作実践を行ったが、今後、自動車用プラスチック、植物繊維、各種の茶葉などを素材にした生分解性プラスチックなどを原料としたフィラメントが続々開発され、その特性を分析して製品設計に活用できる可能性はますます広がっていくと考えられる。その素材の特性をうまく活用することから、感性価値としての付加価値が消費者に認められ、リサイクルプラスチックの応用に貢献できる可能性がある。

付録

謝辞

田中浩也先生には、2019年から本当に色々なお世話になりました。僕が入学した時、研究室で唯一の外国人として、いつも悩み相談と研究進捗を聞いて頂きました。主査として終始ご指導をいただきました。ここに深謝の意を表します。

副査を引き受けていただいた、石川初先生と藤井進也先生には新しい視点についてご指導いただきました。ありがとうございました。

田中研の皆さん、大変お世話になりました。同期の岡崎太祐君、酒井絵理さん、賀下耀介さんと荒井将来さんとは、お互いに論文をチェックしたり、励まし合いをしました。感謝しています。賀下さんといつも一緒に中華料理を食べに行き、キャンパスから駅までの自転車トーク楽しみました。特に、おかちゃんには、同居しているこの一年の間に、研究や生活も色々な世話になりました。この一年を人生の大切な思い出にします。ありがとうございました。

修士の松本さんと江口さん、学部生の有田悠作君と知念司泰君には、研究最後のサポートをいただきました。ありがとうございました。

慶応で出会った中国人の親友、陳冠希、周逸凡、李璟璋、周氷潔と王卓揚とは、修士課程の間、いつも一緒に遊んだり、食事を楽しみました。皆さんとの交流は、私の精神の支えでした。ありがとうございます。

袁潔穎さんには、2021年9月からの半年くらいの間に、生活のサポートや、見近な壁打ち相手として研究の相談をさせていただきました。感謝いたします。

最後に、研究活動を支え、応援してくれた家族の黄小国様と丁麗娟様に心から感謝致します。

参考文献

- 1 田中 浩也 .(2014).
『SF を実現するー3D プリンタの創造力』 . 講談社現代新書
- 2 磯貝 恵三 .(2000).
『プロダクトデザインの広がり』 . 工業調査会
- 3 橋田 規子 .(2020).
『エモーショナルデザインの実践：感性とものをつなぐプロダクトデザインの考えか』 .
株式会社 オーム社
- 4 三井 秀樹 .(2000).
『形之美とは何か』 .NHK ブックス
- 5 青木 弘行 .(2017).
『プラスチックの逆襲』 . 丸善プラネット
- 6 経済産業省 .(2007).
『感性価値創造イニシアティブ』 . 経済産業調査会
- 7 井上 勝雄 .(2005).
『デザインと感性』 . 海文堂出版
- 8 ゲイル グリート ハナ . 今竹 翠 (翻訳) . (2006)
『エレメンツ・オブ・デザインーロウェナ・リード・コステロウと視覚関連の構造』 .
美術出版社
- 9 田中 浩也 , 益山 詠夢 , & 青木 翔平 . (2017).
プロトタイピングを中心としたデザインプロセスにおける「推進力」と「展開力」の
諸問題：「cultural exciter」 概念を参考として .Keio SFC journal, 17(1), 30-50.
- 10 林 茂也 . (2011).
熱分解を利用した木質バイオマスおよび廃プラスチックのエネルギー再生化法に関する研
究
- 11 加茂 徹 . (2021).
廃プラスチックの現状と循環利用への課題 持続可能な社会におけるプラスチックの使い
方 . 場の科学 , 1(1), 28-44.

- 12 浦山裕司 . (2006).
バイオプラスチックの製造開発と応用事例 .
ポリマー材料フォーラム講演要旨集 第 15 回ポリマー材料フォーラム (pp. 10-10). 公益
社団法人 高分子学会 .
- 13 中谷隼, 藤井実, 吉田綾, 寺園淳, 森口祐一, & 平尾雅彦 . (2008).
使用済ペットボトルの国内リサイクルと日中間リサイクルの比較分析 . 廃棄物学会論文
誌, 19(5), 328-339.
- 14 富樫英治 . (2020).
「トレー to トレー」 & 「ボトル to トレー」 のリサイクル . 成形加工, 32(11), 382-
385.
- 15 内丸もと子 . (2017).
新しいリサイクルのかたち一色を利用したアップサイクルー . 繊維製品消費科学, 58(3),
242-243.
- 16 Estahbanati, M. K., Kong, X. Y., Eslami, A., & Soo, H. S. (2021).
Current Developments in the Chemical Upcycling of Waste Plastics Using
Alternative Energy Sources. *ChemSusChem*, 14(19), 4152-4166.
- 17 Rorrer, N. A., Nicholson, S., Carpenter, A., Bidy, M. J., Grundl, N. J., &
Beckham, G. T. (2019).
Combining reclaimed PET with bio-based monomers enables plastics upcycling.
Joule, 3(4), 1006-1027.
- 18 Stahel, W. R. (2016).
The circular economy. *Nature News*, 531(7595), 435.
- 19 Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018).
Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological economics*, 143,
37-46.
- 20 山中敏正 . (2009).
感性価値創造プロセスとしてのデザイン . In 横幹連合コンファレンス予稿集 第 3 回横幹
連合コンファレンス (pp. 88-88). 横断型基幹科学技術研究団体連合 (横幹連合).
- 21 荒田有紀 . (2020).
東京 2020 オリンピック・パラリンピック競技大会の持続可能性と資源管理 . 廃棄物資
源循環学会誌, 31(3), 169-176.

- 22 Hsu, M. C., Wang, C., Herrema, A. J., Schillinger, D., Ghoshal, A., & Bazilevs, Y. (2015).
An interactive geometry modeling and parametric design platform for isogeometric analysis. *Computers & Mathematics with Applications*, 70(7), 1481-1500.
- 23 Jo, J. L. (2012).
KeyShot 3D Rendering. Packt Publishing Ltd.
- 24 吉田綾 . (2019).
中国の廃プラスチック輸入規制と国内のリサイクルへの影響 . *環境経済・政策研究*, 12(2), 50-53.
- 25 武末祐子 . (2005).
印象派と浮世絵に見られる自然観——モネと広重——.
- 26 ヘンリー・スミス , & 樋口一貴 . (1998).
浮世絵における [ブルー革命] . *浮世絵芸術*, 128, 3-26.
- 27 Dam, D. H., Le, H. N., Bui, D. T., & Nguyen, N. L. (2019).
A Research on Conveyor Belt 3D Printer in Industrial Applications.

図表出典引用元

- 28 株式会社利根川産業 (2021)
「PET ボトルリサイクルに関する押さえるべき 9 つの基本について」
<https://www.tonegawa-s.co.jp/blog/industry/1118.html> (閲覧日 2021.12.22)
- 29 「Upcycling」 from From Wikipedia
<https://en.wikipedia.org/wiki/Upcycling> (閲覧日 2021.12.22)
- 30 PET Recycling Company NPC(2020)
「HOW IS PET RECYCLED?」
<https://petco.co.za/how-is-pet-recycled/> (閲覧日 2021.12.20)
- 31 Skirmante
「23 Creative Ways To Recycle Old Plastic Bottles」
https://www.boredpanda.com/plastic-bottle-recycling-ideas/?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=organic (閲覧日 2021.12.22)

- 32 田中浩也 (2020)
「デジタルものづくりで「地球環境」と「産業」が相乗的に持続する未来を実現する」
<https://dmec.sfc.keio.ac.jp> (閲覧日 2021.12.15)
- 33 益山 詠夢 (2020)
「Circular Printed Furniture」ファブ地球社会創造拠点
https://dmec.sfc.keio.ac.jp/assets/circular_printed_furniture_2020.pdf (閲覧日 2021.12.15)
- 34 CIRCULAR ECONOMY JAPAN (2020)
「サーキュラーエコノミー・システム バタフライダイアグラム」
<https://www.circulareconomy-japan.com/contents/54/> (閲覧日 2021.12.27)
- 35 環境省 (2019)
「バイオプラスチックを取り巻く 国内外の状況」
<http://www.env.go.jp/recycle/mat052214.pdf> (閲覧日 2021.12.20)
- 36 日本バイオプラスチック協会 (2018)
「バイオプラスチック概況」
<http://www.env.go.jp/council/03recycle/y0312-02/y031202-5r.pdf> (閲覧日 2021.12.20)
- 37 産業技術総合研究所 (2010)
「バイオマス資源の活用とバイオマス材料の開発状況に関する実態調査」
https://www.aist.go.jp/Portals/0/resource_images/aist_j/comp-info/idpo/houkoku21-4.pdf (閲覧日 2021.12.20)
- 38 みずほ総合研究所株式会社 (2010)
「感性価値からみた観光市場とその活性化」
https://www.mizuho-ir.co.jp/publication/mhri/sl_info/working_papers/pdf/report20100702.pdf (閲覧日 2021.12.29)
- 39 ICI Design Institute Inc. (2019)
「デザイン・ものづくりで大切な「素材（材料）選び」」
<https://ici-design.co.jp/blog/?p=242> (閲覧日 2021.10.20)
- 40 International Olympic Committee (2020)
「Tokyo 2020 Collects 24.5 Tonnes of Used Plastic for Creation of Victory Ceremony Podiums」
<https://olympics.com/en/news/tokyo-2020-collects-24-5-tonnes-of-used-plastic-for-victory-ceremony-podiums> (閲覧日 2021.12.25)

- 41 Jennifer Hahn (2021)
「Asao Tokolo 3D prints Tokyo 2020 podiums from donated plastic waste」
<https://www.dezeen.com/2021/07/15/podiums-tokyo-2020-olympics-asao-tokolo/> (閲覧日 2021.12.25)
- 42 The New Raw (2017)
「Workshop Syros」
<https://thenewraw.org/Workshop-Syros> (閲覧日 2021.12.25)
- 43 Ecobin. Established (2008)
<https://www.ecobin.com.au/about-us/> (閲覧日 2021.12.27)
- 44 CIRCULAR COFFEE COMMUNITY (2020)
<https://circularcoffeecommunity.com/the-community/> (閲覧日 2021.12.29)
- 45 RECAPTURE
<https://recapture.jp> (閲覧日 2021.12.10)
- 46 Precious Plastic (2020)
<https://preciousplastic.com/index.html> (閲覧日 2021.12.26)
- 47 BOPE Japan (2018)
「地球環境にやさしいリサイクル雑貨 BOPE」
<https://bopeshop.ebisurecords.jp> (閲覧日 2021.12.25)
- 48 Supercyclers
<https://www.supercyclers.com> (閲覧日 2021.12.24)
- 49 QIDI TECH
<https://qidi3d.com/products/r-qidi-technology-i-fast-3d-printer-industrial-grade-structure-with-dual-extruder-for-fast-printing-super-large-print-size-360-250-320mm> (閲覧日 2022.1.3)
- 50 Blackbelt 3D
<https://blackbelt-3d.com> (閲覧日 2021.12.30)
- 51 Grasshopper 3D Wikipedia
https://en.wikipedia.org/wiki/Grasshopper_3D (閲覧日 2021.12.22)
- 52 3DFS id.arts
<https://3dfs.idarts.co.jp/about> (閲覧日 2021.8.20)

53 日本 3D プリンター株式会社

<https://ultrafuseff.jp/product/ultrafuse-rpet/> (閲覧日 2021.5.10)

54 経済産業省リサイクル推進課 (2020)

「資源有効利用促進法 - 3R 政策」

https://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/admin_info/law/02/pdf/shigenyukoriyoho-gaiyo.pdf (閲覧日 2021.10.20)

55 最多情報局 (2021)

<https://twitter.com/tyomateee/status/1462800860233146377?s=21> (閲覧日 2021.10.25)

56 海女はまるで人魚のようだった。北斎や歌麿の手で描かれた、江戸時代の女性たち (画像集)

https://www.huffingtonpost.jp/2016/10/14/naked-pearl-diving-mermaids-of-japan_n_12484544.html (閲覧日 2021.12.25)

57 ネット美術館「アートまとめん」

<http://artmatome.com/> 『千絵の海 %E3%80%80 下総登戸』 %E3%80%80 葛飾北斎 / (閲覧日 2021.12.25)

58 浮世絵に聞く

<http://ukiyoe.cocolog-nifty.com/blog/2020/03/post-6643c4.html> (閲覧日 2021.12.25)

59 浮世絵 Wikipedia

<https://ja.wikipedia.org/wiki/浮世絵> (閲覧日 2021.12.25)

60 炎重工株式会社 (2021)

「都市型自動運転船「海床 (うみどこ) ロボット」実証実験を実施」

<https://prt-times.jp/main/html/rd/p/000000008.000023254.html> (閲覧日 2022.1.22)

BlackBelt の出力環境の G-code

```
;BLACKBELTPROCESSED
;Generated with Cura_SteamEngine 3.6.0
M140 S40
M105
M190 S40
M104 S215
M105
M109 S215
M82 ;absolute extrusion mode
G90 ; Set to Absolute Positioning
M82 ; Set extruder to absolute mode
G21 ; Metric values
G92 X0 Y0 Z0 E0 ; Set all axis to 0
;home X
G1 Y2 ; Move Y axis off the bed
G28 X0 F2000 ; Home X axis
G1 X170 Z5 F4000 ; Move X to the center
;probe Y
M908 P5 S10 ; Setting the motor current of the Y1 motor off
M908 P1 S10 ; Setting the motor current of the Y2 motor off
G1 Y20 G3000 ; Move Y up
M400 ; Wait for current moves to finish
M908 P5 S25 ; Setting the motor current of the Y1 motor very low
M908 P1 S25 ; Setting the motor current of the Y2 motor off
G1 Y0 F500 ; Move Y down into the belt
M400 ; Wait for current moves to finish
M908 P5 S140 ; Setting the motor current of the Y1 motor to normal
M908 P1 S140 ; Setting the motor current of the Y2 motor to normal
G92 Y-0.1536
;purge
G1 Y2 ; Move Y axis off the bed
G1 F15000 ; Set high feedrate
G1 X170 F10000 ; Move the print head to the center and break the melt
G1 X335 Y 1 G1 E10; Extruder 10mm material and move to the side
G1 E15 ; Extrude 5mm more
G1 Z10 E18 F500 ; Move belt 5mm and keep extruding
G1 Z30 ; Move the belt a bit further without extruding
G92 Z0 ; Zero Belt
G92 E0 ; Zero the extruded length
G1 E-4 F3900 ; Retract 4mm at 65mm/s
;prepare printing
G1 E0 ; Move extruder back to 0
G92 E-1.5 ; Add 1.5mm start distance
M117 BLACKBELT Printing...
```