

Title	家庭で発生する食品廃材から持続可能な食器を作るプロセスのデザイン
Sub Title	Designing a process for creating sustainable tableware from household food waste
Author	大須賀, 光(Osuga, Hikaru) Waldman, Matthew
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2024
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2024年度メディアデザイン学 第1121号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002024-1121

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2024 年度

家庭で発生する食品廃材から
持続可能な食器を作るプロセスのデザイン



慶應義塾大学
大学院メディアデザイン研究科

大須賀 光

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士(メディアデザイン学)授与の要件として提出した修士論文である。

大須賀 光

研究指導コミッティ：

マッシュ ウォルドマン 教授 (主指導教員)

山岡 潤一 准教授 (副指導教員)

論文審査委員会：

マッシュ ウォルドマン 教授 (主査)

山岡 潤一 准教授 (副査)

石戸 奈々子 教授 (副査)

修士論文 2024 年度

家庭で発生する食品廃材から 持続可能な食器を作るプロセスのデザイン

カテゴリ：デザイン

論文要旨

食品廃材の廃棄は、地球環境における資源の浪費と廃棄物管理の課題を深刻化させる要因の一つである。本研究は、家庭から発生する食品廃材を原料に用いて使い捨て食器を製造し、使用後に生分解を通じて土に還元する循環型プロセスの可能性を探るものである。具体的には、食品廃材を粘土状に加工し、型、手作り、clay printer という3種類の製造手法を活用して食器を成形する。また、食品廃材の種類や組成の特性を評価し、製造プロセスの操作性、再現性、カスタマイズ性について検討を行った。

プロトタイプの開発と評価実験を通じて、特定の食品廃材が成形性や生分解性に優れ、家庭での利用可能性が高いことが明らかになった。一方で、製造手法ごとに異なる課題が存在し、特に clay printer の操作性や粘土調整の難易度が家庭での実用性を制限する要因であることが示された。これらの課題に対して、UI 設計の改善や粘土レシピの改良を提案することで、廃材利用プロセスの実現性を高める可能性が示唆された。

本研究は、家庭レベルでの食品廃材アップサイクルの実現に向けた具体的なモデルを提示するとともに、廃材を「資源」として捉える意識を広めることで、持続可能な社会の構築に寄与する。本プロセスの実践により、廃材の新たな価値創造と、サーキュラーエコノミーの普及に向けた実用的なデザインモデルを提案する。

キーワード：

型, 手作り, clay printer , 食品廃材, アップサイクル

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

大須賀 光

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2024

Designing a Process for Creating Sustainable Tableware from Household Food Waste

Category: Design

Summary

The disposal of food waste is one of the contributing factors to the depletion of global resources and the exacerbation of waste management issues. This study explores the potential of a circular process that transforms food waste from households into disposable tableware, which can be returned to the soil through biodegradation after use. Specifically, food waste is processed into a clay-like material and shaped into tableware using three different manufacturing methods: molds, handcrafting, and a clay printer. The characteristics of different types and compositions of food waste were evaluated, focusing on the operability, reproducibility, and customizability of the manufacturing process.

Through prototype development and evaluation experiments, it was revealed that certain types of food waste exhibit excellent moldability and biodegradability, making them highly feasible for household use. On the other hand, challenges specific to each manufacturing method were identified, particularly with the clay printer, where operational complexity and the difficulty of adjusting the clay consistency were found to limit its practical usability at home. To address these issues, improvements in user interface design and clay recipe optimization were proposed, highlighting the potential for enhancing the feasibility of the upcycling process.

This study presents a concrete model for realizing food waste upcycling at the household level while promoting awareness of viewing waste as a resource, thereby

contributing to the development of a sustainable society. By implementing this process, the study proposes a practical design model for creating new value from waste and advancing the dissemination of a circular economy.

Keywords:

mold, handmade, clay printer, food waste, upcycling

Keio University Graduate School of Media Design

Hikaru Osuga

目次

第1章 序論	1
1.1. 背景	1
1.2. 食品廃棄物	2
1.3. 家庭における食品廃棄物の再利用に関する調査	3
1.4. 家庭でのアップサイクル	4
1.5. 型・手作り・clay printer	5
1.6. 本研究の目的	6
1.7. 本研究の構成	7
第2章 関連研究	8
2.1. 食品廃材の利用	8
2.2. 型によるアップサイクル	9
2.3. clay printer	10
2.3.1 clay printer の建築業界への応用例	10
2.3.2 clay printer によるアップサイクルの事例	11
2.4. 本研究の意義	12
第3章 デザインプロセス	14
3.1. デザインコンセプト	14
3.2. 食品廃材に混ぜる素材	15
3.2.1 プロトタイプ1：廃紙	15
3.2.2 アケルエワークショップの実施	16
3.2.3 ワークショップの結果と考察	17
3.2.4 プロトタイプ2：オーブンクレイ	18

3.2.5	Maker Faire での展示	20
3.2.6	オープンクレイにコーヒーカスを練り込んだ clay printer での出力	21
3.2.7	KMD Forum での展示	22
3.2.8	展示の考察	25
3.2.9	プロトタイプ3: カルボキシメチルセルロースとキサントガム	28
3.3.	型	29
3.3.1	器の製作	29
3.3.2	小鉢の製作	31
3.3.3	コップの製作	32
3.4.	手作り	34
3.5.	食品廃材の候補	35
3.5.1	食品廃材ごとの特性と結果	38
3.5.2	素材ごとの粘土のレシピ	41
3.5.3	ドライヤーによる器の乾燥	46
3.5.4	素材ごとの生分解性	47
3.6.	clay printer の UI 改善	47
第4章	最終プロトタイプと評価	51
4.1.	最終プロトタイプ	51
4.1.1	コンセプト	51
4.1.2	ウェブサイトのデザイン	51
4.2.	検証	55
4.2.1	検証の流れ	55
4.2.2	アンケート項目	59
4.3.	アンケート及びインタビューの結果と考察	61
4.3.1	ものづくり経験	61
4.3.2	廃材の再利用の頻度	62
4.3.3	粘土作りの難しさ	62

4.3.4	操作性	63
4.3.5	再現性	68
4.3.6	カスタマイズ性	72
4.3.7	見た目の評価	74
4.3.8	抵抗感の評価	78
4.3.9	プロセスのユースケース	82
4.4.	家庭での検証	83
4.5.	インタビューの結果と考察	86
第 5 章	議論	88
5.1.	clay printer の課題	88
5.1.1	導入コストの高さ	88
5.1.2	操作の難しさ	88
5.1.3	設備と環境の制約	89
5.1.4	プリント時間と効率の問題	89
第 6 章	結論	90
6.1.	総括	90
6.2.	今後の展望と課題	91
	謝辞	92
	参考文献	93
	付録	96
A.	ウェブサイト	96

目 次

1.1	家庭における食品廃材の再利用に関する調査	4
3.1	コーヒークラスで紙漉きをした様子	16
3.2	紙漉きワークショップの様子	17
3.3	1-10 %の配合率別に焼いたコーヒークラス粘土	19
3.4	コーヒークラスをふりかけて焼成した陶器	20
3.5	Maker Faire での展示の様子	21
3.6	オープンクレイにコーヒークラスを練り込んで作った陶器	22
3.7	KMD Forum での展示の様子	23
3.8	コーヒークラスで成形した陶器の様子	28
3.9	コーヒークラスで成形した陶器の様子	29
3.10	器の型	30
3.11	粘土が型に張り付いて取り出せない様子	30
3.12	型にラップを巻いて成形している様子	31
3.13	完成した器	31
3.14	小鉢の型	32
3.15	完成した小鉢	32
3.16	コップの型	33
3.17	型に粘土を押し込んでいる様子	33
3.18	完成したコップ	34
3.19	柔らかい粘土で成形した様子	35
3.20	硬い粘土で成形した様子	35
3.21	ある被験者がまとめた廃材日記	36

3.22	1 週間で出た食品廃材のリスト	37
3.23	バナナの粒がプリンターを詰まって、正常にプリントできない様子	39
3.24	積層直後に崩れてしまった様子	39
3.25	積層直後に崩れてしまった様子	40
3.26	にんじん陶器の様子	40
3.27	ほうれん草陶器の様子	41
3.28	手作り・型用粘土	43
3.29	clay printer 用粘土	43
3.30	手作り・型用粘土	44
3.31	clay printer 用粘土	44
3.32	手作り・型用粘土	45
3.33	clay printer 用粘土	45
3.34	器の乾燥	46
3.35	生分解の様子	47
3.36	1 ページ目の UI	48
3.37	2 ページ目の UI	49
3.38	3 ページ目の UI	49
3.39	3 ページ目の UI	50
4.1	粘土の作り方のページ	53
4.2	陶器の作り方のページ	54
4.3	被験者が UI を操作する様子	56
4.4	被験者が Clay Priner で作った食器	56
4.5	被験者が型で作った食器	57
4.6	被験者が手で作った食器	57
4.7	コーヒー陶器	58
4.8	にんじん陶器	58
4.9	ほうれん草陶器	59
4.10	ものづくり経験の結果	62
4.11	廃材の再利用の頻度の結果	62

4.12	clay printer の操作性	64
4.13	型の操作性	65
4.14	手作りの操作性	67
4.15	最も操作性が高かった製作方法	68
4.16	clay printer の再現性	69
4.17	型の再現性	70
4.18	手作りの再現性	71
4.19	最も再現性が高かった製作方法	72
4.20	コーヒー陶器の見た目の評価	75
4.21	にんじん陶器の見た目の評価	76
4.22	ほうれん草陶器の見た目の評価	77
4.23	最も使いたい陶器の見た目の評価	78
4.24	コーヒー陶器の衛生的な抵抗感の評価	79
4.25	にんじん陶器衛生的な抵抗感の評価	80
4.26	ほうれん草陶器衛生的な抵抗感の評価	81
4.27	最も衛生的な抵抗感の少ない陶器の評価	82
4.28	被験者が作った食器と料理	84
4.29	手でお皿を作っている様子	85
4.30	型で器を作っている様子	85
4.31	作った食器で食事をしている様子	86
A.1	ホームページ	96
A.2	粘土の作り方	97
A.3	型・手作り用粘土の作り方 (コーヒー)	98
A.4	clay printer 用粘土の作り方 (コーヒー)	99
A.5	処理方法 (コーヒー)	100
A.6	型・手作り用粘土の作り方 (にんじん)	101
A.7	clay printer 用粘土の作り方 (にんじん)	102
A.8	処理方法 (にんじん)	103
A.9	型・手作り用粘土の作り方 (ほうれん草)	104

A.10	clay printer 用粘土の作り方 (ほうれん草)	105
A.11	処理方法 (ほうれん草)	106
A.12	陶器の作り方	107
A.13	事前準備	108
A.14	UI の操作方法	109
A.15	プリント中の注意	110
A.16	型の使い方 1	111
A.17	型の使い方 2	112
A.18	手での作り方	113

目 次

3.1	手・型・clay printer に適した粘土の柔らかさ	42
3.2	素材ごとの粘土のレシピ	46
4.1	検証の流れ	55
4.2	アンケート項目	61
4.3	検証の流れ	84

第 1 章 序

論

1.1. 背景

食品廃材の大量廃棄は、現代社会において解決すべき重要な課題である。2022 年の Food Waste Index Report によれば、世界中で年間約 10 億 5000 万トンの食品が廃棄されており、その多くは家庭、食品サービス、小売業の 3 つの分野から発生している [1]。特に家庭からの食品廃棄は、全体の約 60 % を占めるとされ、他の分野と比較して廃棄管理が不十分な場合が多い。こうした食品廃材は、ゴミとして処理されることが一般的であり、リサイクルや再利用の仕組みが整備されていない。

食品廃棄の環境負荷は深刻である。埋立地では有機廃棄物がメタンガスを発生させ、温室効果ガスの排出源となっている。また、食品廃棄には生産・輸送・加工に必要な水資源やエネルギーが浪費されていることも問題である。

日本においても、家庭からの食品廃棄は顕著な問題である。2020 年の環境省の報告によると、日本の年間食品ロス量は 522 万トンに達しており、そのうち約半数が家庭から発生している [2]。これは主に過剰購入、消費期限切れ、調理過程での無駄に起因するものである。日本では、食品廃材の多くが可燃ゴミとして焼却され、リサイクル率が低い現状が続いている。

このような状況に対し、サーキュラーエコノミーの理念が注目されている。廃棄物を資源として再利用するこのアプローチは、廃棄物を減少させるだけでなく、資源の有効活用を促進し、環境負荷を大幅に低減する可能性を示している。特に、食品廃材を原料としたプロダクトの製造は、持続可能な社会の実現に向けた重要な取り組みとされる。

しかし、現在の取り組みの多くは産業レベルに留まり、家庭における食品廃材の

活用は限定的である。家庭での廃材利用の普及には、簡易で実用的な方法の確立が求められている。

そこで本研究では、家庭から発生する食品廃材を活用し、使い捨て食器を製造して使用後に土に還す循環型プロセスを構築することを目指す。本プロセスは、家庭内での手軽なアップサイクルを可能にし、個々人が持続可能な社会の実現に貢献する具体的な手段となり得る。さらに、本研究は clay printer をはじめとする家庭向け製造技術の可能性を探り、食品廃材を有用な資源として再発見することを目的とする。

1.2. 食品廃棄物

環境省によると、「食品廃棄物等とは、食品の製造、流通、消費の各段階で生ずる動植物性残さ等」¹と定義している。具体例として、野菜や果物の皮、芯、種、さらにはコーヒーカスや茶葉などが挙げられる。この大量の廃棄物は、資源の無駄遣いのみならず、埋め立てや焼却に伴う温室効果ガスの発生という環境負荷の原因にもなっている。

特に、食品廃材は生ものが多く、時間が経過すると腐敗しやすいという特徴がある。腐敗した廃材は悪臭や衛生問題を引き起こし、そのまま放置することは困難である。そのため、家庭での保存が難しく、廃棄せざるを得ないケースが多い。このような性質を持つ食品廃材を有効に活用するためには、短期間で利用し、速やかに廃棄できる使い捨て製品として加工することが重要である。

一方で、食品廃材は、適切に加工することで有用な資源として再利用可能である。食品廃材を肥料や飼料、あるいはバイオマスエネルギーの原料とする取り組みが既に進められており、廃材の価値を新たに発見する動きが活発化している。例えば、Eliche-Quesada らの研究では、コーヒーカスを粘土と混合し、セラミックレンガの製造に利用する実験が行われている [3]。研究によると、粘土にコーヒーカスを最大 5 % 混ぜることで、熱伝導性を低下させる一方で、機械的特性

1 環境省「第 3 章 循環型社会の形成」環境省公式サイト, 最終アクセス日: 2024 年 12 月 18 日.
<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/r04/html/hj22020301.html>

を十分に維持できることが示された。また、コーヒークスの添加により、粘土レンガ内の気孔構造が変化し、閉孔の割合が増えることで断熱性能が向上することが確認されている。

こうした研究は、食品廃材の新たな用途を開拓し、環境負荷の軽減に寄与する可能性を示している。

本研究では、食品廃材の特性を活かし、短期間で使用し、そのまま自然に還すことができる使い捨て食器の製造を目指す。使い捨て食器は、利用後に生分解されることで廃棄の手間を削減し、環境負荷の低減にも寄与する。また、食品廃材を資源として再発見することで、持続可能な循環型社会の実現に貢献することを目的としている。

1.3. 家庭における食品廃棄物の再利用に関する調査

家庭での食品廃棄物の再利用は、環境負荷の低減と資源の有効活用に寄与する重要な課題である。本研究では、家庭での食品廃棄物の再利用実態を把握するために、20名の被験者を対象に「普段、家庭で食品廃棄物を再利用しますか？」というアンケートを行った（図 1.1）。その結果、「はい」と回答したのは3名にとどまり、残りの17名は「いいえ」と回答した。「いいえ」と答えた理由としては、「面倒くさいから」「やりたいけどやり方が分からないから」といった意見が多く見られた。これらの結果は、家庭での食品廃棄物再利用に対して関心はあるものの、具体的な方法が分からないことが大きな障壁となっていることを示唆している。

普段、家庭で食品廃材を再利用しますか？



図 1.1 家庭における食品廃材の再利用に関する調査

1.4. 家庭でのアップサイクル

アップサイクルとは、廃材を新たな価値や用途を持つ製品へと変換するプロセスを指す。サステナブルな消費と生産を推進する手段として注目されているが、現在その多くは企業やデザイナーによる産業規模の取り組みに限られており、家庭レベルでの普及は限定的である。

Wang Jing (2018) の研究は、工芸を通じたアップサイクルに関する方法論の確立を目指し、廃材利用に関する現状を包括的に整理している [4]。この研究によると、家庭レベルでのアップサイクルが広がらない理由として、材料特性や製造プロセスに関する知識の不足、適切なガイドラインや具体的な方法論の欠如が挙げられる。特に、不慣れな素材に対してどのような技術を用いるべきか、どのように製品化すべきかといった点で、十分な指針が提供されていないことが問題視されている。

この課題を克服するための家庭でのアップサイクルの事例として、Fiona Bell らの研究「ReClaym our Compost」が挙げられる [5]。本研究では、家庭で発生する食品廃材をコンポストとして利用し、バインダーと混合して粘土状の「ReClaym」という生分解性素材を作成した。この素材は、スカルプティングやモールド成型、手持ち式エクストルージョンなど、シンプルな手法で家庭内で容易に成形可能である。ReClaym を利用して、植木鉢やテーブルウェア、ゲームのコマなどのプロダ

クトが作成された。また、使用後には再びコンポストに還元することが可能であり、完全に循環型のプロセスを実現している。

このような家庭でのアップサイクル事例は、Wang が指摘するガイドラインの不足を補い、個人が簡単に廃材を利用して新たな製品を作るための実践的な方向性を示している。本研究では、食品廃材を利用したアップサイクルのプロセスをさらに発展させることで、家庭におけるサステナブルな消費・生産のモデルを構築することを目指す。

1.5. 型・手作り・clay printer

廃材をアップサイクルしてプロダクトを製造する際には、その製造手法が成果物の品質や操作性、再現性に大きな影響を与える。本研究では、食品廃材を利用した使い捨て食器の製造において、型、手作り、clay printer の三つの手法を比較し、それぞれの特性と適性を検証する。

型を用いた製造は、高い再現性と生産効率が特徴である。同じ形状の製品を大量に生産することが可能であり、商業的なスケールでの利用に適している。型のデザインによって複雑な形状や機能を付加することもできるが、一方で、初期コストが高いことや、製造プロセスが硬直的であるためカスタマイズ性に欠けるという課題がある。

手作りは、柔軟性と創造性が最大の利点である。素材の特性に応じて細かな調整が可能であり、独自性のあるプロダクトを製造することができる。さらに、特別な設備を必要としないため、誰でも手軽に取り組むことができる。しかし、大量生産には向いておらず、操作の習熟度や個人差によって品質にばらつきが生じやすいという制約がある。

clay printer は、デジタル技術を用いて粘土を積層し、三次元的な形状を形成する装置である。この手法は、高度な再現性とカスタマイズ性を備えており、個別のニーズに対応した設計が可能である。さらに、プロセスの一部を自動化することで、作業負担を軽減できる点も魅力である。一方で、材料の粘性やノズルの設定に高い精度が求められるため、操作の難易度が高い場合がある。ま

た、設備コストやデジタルスキルが必要であることが普及の障壁となる場合もある。

本研究では、これら三つの製造手法を同一の食品廃材を用いて比較し、操作性、再現性、カスタマイズ性の観点から評価する。それぞれの手法が持つ特性を明らかにし、家庭でのアップサイクルプロセスに最適な製造方法を検討することで、環境負荷の低減と持続可能な製造プロセスの実現に寄与することを目指す。

1.6. 本研究の目的

本研究の目的は、家庭で発生する食品廃材を活用し、アップサイクルを通じて使い捨て食器を製造する循環型プロセスの可能性を検証することである。具体的には、食品廃材を原料として粘土を作成し、その粘土を用いて製造した使い捨て食器を、使用後に生分解させて土に還す仕組みを構築することを目指す。

この目的を達成するために、本研究では以下のリサーチクエスチョンを設定する。

- 家庭において、食品廃材を原料にした使い捨て食器を製造し、利用後に生分解させて土に還すプロセスを成立させることは可能か。
- 型、手作り、clay printer の三つの製造手法を比較した場合、操作性、再現性、カスタマイズ性の観点から、それぞれの適性はどのように評価されるか。
- 食品廃材を使い捨て食器に加工する際、製造や使用に適した食品廃材の種類は何か。

これらの問いに答えるため、本研究はプロトタイプの製造と評価、被験者を交えた操作性や製品の見た目の評価、さらに生分解性の実験を通じて、食品廃材を利用したアップサイクルの実現可能性を多角的に検討する。

本研究は、廃材を活用した家庭内での循環型プロセスを提案することで、環境負荷の低減とサーキュラーエコノミーの実現に貢献する新たなデザインモデル

を提示するものである。また、家庭レベルでのアップサイクルの具体的手法を示し、持続可能な社会の形成に向けた一助となることを目指している。

1.7. 本研究の構成

本研究は、家庭での食品廃材を活用したアップサイクルプロセスを検証するため、以下の6章で構成されている。

第2章 関連研究では、本研究に関連するサーキュラーエコノミー、廃材利用、clay printer の技術の先行事例を整理し、本研究の位置付けを示す。

第3章 デザインプロセスでは、食品廃材を原料とした粘土の開発と、型、手作り、clay printer を用いたプロトタイプ of 製造プロセスについて述べる。

第4章 最終プロトタイプと評価では、製造手法やプロダクトの性能を多角的に評価し、その結果を考察する。

第5章 議論では、評価結果を基に、家庭でのアップサイクルプロセスにおける課題や改善の方向性を議論する。

第6章 結論では、本研究の成果を総括し、今後の展望を示す。

第 2 章

関 連 研 究

2.1. 食品廃材の利用

食品廃材の資源循環プロセスは、持続可能な社会構築において極めて重要なテーマである。

Schaub と Leonard による研究は [6]、食品加工産業における廃棄物管理の課題に対し、堆肥化を代替手法として提案している。食品加工で発生する廃材は原材料の最大 30 % に達し、従来は埋立処分が主流であった。しかし、規制強化や埋立地の減少により、堆肥化が注目されるようになった。堆肥化は廃材の体積を最大 40 % 削減し、病原菌や雑草種子を熱処理によって排除する。また、生成された堆肥は土壌改良剤や栄養供給源として再利用可能であり、廃材の付加価値向上につながる。この研究は堆肥化の技術的要件やプロセス管理の課題を明らかにし、堆肥の質の向上が廃材利用の持続可能性に直結することを示している。

一方、fabula 株式会社と東京大学生産技術研究所が共同開発した新素材は、食品廃材を原料とした完全植物由来の「生分解性高強度素材」である [7]。この素材は、廃棄される野菜や果物を乾燥・粉砕し、熱圧縮成形することで製造され、食品由来の香りや色を保持したままコンクリートの約 4 倍の曲げ強度を実現している。さらに、耐水処理を施すことで湿潤環境でも利用可能である。fabula の技術は、建築・インテリア製品の製造など、産業用途での利用が期待されている。これにより、廃材の付加価値を高めるだけでなく、二酸化炭素排出量削減や廃棄物削減にも貢献している。

さらに、日本の企業である丸紅株式会社は、食品廃材を原料とした循環型食

器「edish」を開発し [8], 使用後の食器を飼料や肥料として再利用するアップサイクルの取り組みを進めている。

これらの研究および取り組みは、本研究が提案する家庭内での食品廃材アップサイクルプロセスといくつかの共通点を持つ。一方で、Schaub らが堆肥化を中心に廃材の循環利用を提案し、fabula が高強度素材の開発に特化しているのに対し、本研究は、家庭内で粘土化した廃材を使い捨て食器として利用し、土壌へ還元する循環型プロセスの実現を目指している。

2.2. 型によるアップサイクル

近年、環境負荷を削減するため、農業廃棄物や食品廃材を活用した製品の製造が注目されている。Hariharan と Arulraj (2023) [9] は、加熱・圧縮を利用して農業廃棄物を成形する効率的なプロセスを提案し、生分解性の高いカップやプレートを製造している。この研究では、バナナの茎やココナッツ殻といった特定の廃材を原料に用い、高い耐熱性と耐水性を持つ製品の可能性を示している。

さらに、型を用いた廃材アップサイクルの可能性も多く研究されている。Buxoo と Jeetah (2020) [10] は、パイナップル皮やモーリシャスヘンプを使い、真空成形による製造手法で、優れた強度を持つ紙コップを作成した。これらの事例は、工業的プロセスにおいて型を活用するアプローチの有効性を示している。

これらの研究に基づき、本研究では型を用いたアップサイクルの家庭内での実現性に焦点を当てる。家庭で廃材から使い捨て食器を製造する際、型を用いることで得られる利点として再現性の高さがある。一方で、型を活用したプロセスがどの程度家庭で容易に取り組めるのか、廃材の種類や組成が型の成形プロセスに与える影響については十分な検証がなされていない。本研究は、これらの点を実験を通じて解明し、型を活用した家庭向けアップサイクルプロセスの設計を目指す。

2.3. clay printer

clay printer は、粘土を用いた 3D プリントに特化した装置として、デジタル製造の新しい可能性を切り開いている。従来の製陶技術では困難であった複雑な形状や精密なデザインを実現し、環境負荷を軽減しつつ、持続可能な製造方法として注目されている。

clay printer の特徴の一つは、多様な素材に対応可能である点である。例えば、廃材を混ぜた粘土や生分解性素材を用いることで、アップサイクルの一環として利用することができる。また、粘土独特の質感や特性を生かした製品の出力が可能であり、日常生活に密接した器具から、芸術的なデザインを取り入れた作品まで、幅広い用途に対応できる。

さらに、clay printer はプリントプロセスにおいて、精度と効率性を両立している。ノズル径や積層高さの調整により、製品の仕上がりに対する制御が可能であり、個々の用途やデザインに応じた柔軟な対応ができる。特に、層ごとに模様を付けたり、素材に色を加えることで、従来のプリンターでは再現が難しかった表現を可能にしている。

clay printer の応用例は、廃材や食品由来の粘土を活用した製品づくりに留まらず、建築材料やインテリアデザイン、さらには教育現場での学習ツールとしても利用が進んでいる。これにより、持続可能性を追求した新たな製造技術として、さまざまな分野でその可能性が広がっている。

2.3.1 clay printer の建築業界への応用例

clay printer は、持続可能な製造技術として注目を集めており、特に建設分野において新たな可能性を示している。Alonso Madrid et al. (2023) [11] の研究では、粘土の再利用性に焦点を当て、clay printer による建設プロセスへの応用を検討している。彼らは、粘土の可塑性、再利用可能性、および乾燥後の硬化特性を評価し、建築材料としての持続可能性を示した。また、clay printer を利用した型枠形成技術も研究されており、複雑な幾何学形状を実現できるだけでなく、廃棄物を最小限に抑える方法として高く評価されている。

具体的には、「3D Claying」プロセスでは、市販の粘土を用いた試験を行い、粘土の加水調整や層間結合の強度など、技術的要因を詳細に分析した。また、試験では、使用後の粘土が完全に再利用可能であることが確認され、循環型経済への貢献が期待されている。同研究は、建設分野での粘土の利用における課題として、水への耐性不足を挙げているが、プラスチックフィルムやアルミホイルを活用した保護策を提案することで解決可能であることを示した。

さらに、Leschok と Dillenburger (2020) [12] は、粘土を型枠材として利用した実験を通じて、再利用可能性や環境的持続可能性を強調している。彼らの研究では、乾燥した粘土型枠が簡単に取り外せること、そして水を加えるだけで再利用可能であることを示している。一方で、粘土特有の脆さや重量が、大規模な建設プロセスでの課題として挙げられている。

2.3.2 clay printer によるアップサイクルの事例

clay printer は、廃材や自然素材を用いたアップサイクリングに適した製造技術として注目を集めている。この技術は、柔軟な素材を層ごとに積み上げることで、高い自由度を持つプロダクトデザインを可能にする。最近の研究では、持続可能な素材を利用した 3D プリント技術の実用化に向けた事例がいくつか報告されている。

Rivera らによる研究では、使用済みコーヒークスを主成分とする新しい 3D プリント素材が開発された [13]。この素材は、カルボキシメチルセルロース (CMC) とキサントガム (XG) をバインダーとして使用し、水を加えて粘土状に形成される。素材は低エネルギーで加工可能であり、家庭内での簡単な手順で製造できる点が特徴である。また、プリント後は完全に生分解性を持ち、コンポストとして再利用することが可能である。実験では、エスプレッソカップや植木鉢といった持続可能なプロダクトのプロトタイプが作成され、家庭での廃材アップサイクリングの可能性が示された。

一方、Buechley らは、bronze clay を利用した 3D プリント技術「CeraMetal」を提案している [14]。この研究では、金属粉末と植物由来のバインダーを混合して粘土状にし、デスクトップ型の clay printer で成形する手法を開発した。プリント後

には焼結プロセスを経て、高い耐久性を持つ金属部品が生成される。この技術は、他の金属 3D プリント技術と比較してコストが大幅に低く、リサイクルが容易である点で優れている。特に、プリント中の廃材や未使用部分を再度粘土として使用できる仕組みが、環境負荷の低減に貢献している。

上記の事例が特定の廃材素材の利用に焦点を当てているのに対し、本研究は廃材を活用したプロセス全体の成立可能性を家庭レベルで検証する点で独自性を有する。素材の多様性を重視し、コーヒーカスに加え野菜の皮や葉を対象に比較を行い、clay printer だけでなく型や手作りを含む製造手法の実用性を評価している。また、廃材の収集から生分解までのライフサイクルを統合的に設計し、clay printer の UI 改善により家庭内での実用性を高める取り組みも行っている。これにより、廃材を活用した持続可能なプロセスを多角的に提案する点で、既存研究との差別化を図っている。

2.4. 本研究の意義

廃材を利用したアップサイクリングは、循環型社会の実現において重要な役割を果たす。これまでの研究では、廃材を活用した製品開発やプロセス設計の事例が多く報告されている。しかし、これらの取り組みの多くは産業レベルや研究機関における実験的な枠組みに留まり、家庭における実践に直接応用するための具体的な手法は十分に提示されていない。

本研究の意義は、家庭という日常的な環境で廃材のアップサイクリングを実現するためのプロセスを提案し、検証する点にある。特に、コーヒーカスや野菜の皮といった家庭から排出される食品廃材を活用し、型、手作り、clay printer の 3 つの製造手法を比較することで、家庭における適切な廃材活用の方法論を確立することを目指している。

また、本研究は、廃材から製作された食器の見た目や衛生的抵抗感、生分解性といった複合的な評価を行い、廃材プロダクトの実用性を総合的に検証する。このような多角的なアプローチは、家庭レベルでの循環型プロセスを提案するだけでなく、そのプロセスが持続可能であることを定量的および定性的に評価すること

繋がる。本研究は、家庭レベルでのアップサイクリングを実現するための具体的な方法論を提示するとともに、廃材利用の可能性を科学的に実証するものであり、サステナブルデザインや循環型社会の構築に向けた重要な一歩となる。

第 3 章

デザインプロセス

3.1. デザインコンセプト

本研究のデザインコンセプトは、家庭内における新たな廃材循環の仕組みを創出することにある。現代社会では、食品廃材は多くの場合廃棄物として処理されているが、その再利用可能性は十分に検討されていない。本研究では、家庭で発生する食品廃材をアップサイクルし、使い捨て食器へと再利用し、さらにそれを生分解を通じて土に還すプロセスを提案する。これにより、家庭内で廃材循環を完結させ、従来のリサイクル手法に代わるサーキュラーエコノミーの実践モデルを提示する。

具体的には、コーヒークスや野菜の皮などの食品廃材を原料として粘土を生成し、型・手作り・clay printer という三つの製造手法を用いて食器を成形する。型は高い再現性と効率性、手作りは柔軟性と創造性、clay printer は高度なカスタマイズ性とデジタル技術の活用が可能である。それぞれの手法は異なる特徴と適性を持ち、ユーザーのニーズや利用環境に応じた最適な方法を選択できる柔軟なシステムを構築する。

これらの食器は使用後に自然環境下で生分解され、再び土へと還元される。このプロセスは、廃材が単なるゴミではなく有用な資源として循環する仕組みを実現し、環境負荷の低減に貢献する。

本デザインコンセプトは、家庭での実現性と操作性を重視し、誰もが簡単に取組みめるプロセスとして設計されている。さらに、型、手作り、clay printer の各手法の特性を最大限に生かすことで、カスタマイズ性や創造性を反映したプロダクトの製作が可能となる。本研究の目的は、これらの手法を組み合わせた

廃材循環プロセスを提案し、循環型社会の実現に向けた具体的なデザイン手法を提示することである。

3.2. 食品廃材に混ぜる素材

本研究では、食品廃材を用いて使い捨て食器を製作するため、まず初めに食品廃材に混ぜる素材を探すことから着手した。その過程で、家庭内で日常的に発生する食品廃材としてコーヒーカスを仮置き素材として選定した。コーヒーカスは粉碎などの前処理が不要であり、日持ちするという特性があるため、素材検証の初期段階において扱いやすい食品廃材であった。また、最初の検証には clay printer を用いた。この段階では、コーヒーカスと他の素材との組み合わせを検討し、粘土としての成形性や出力精度を確認しながら、使い捨て食器の製作に適した素材の組成を模索した。

3.2.1 プロトタイプ1：廃紙

廃紙を活用した食器製作において、まずシュレッダーによって裁断された紙をさらに野菜カッターで細かく加工した。この工程により、紙を均質な繊維状の状態にすることが可能となり、後工程での混合や成形が容易になった。細かく加工された紙片にコーヒーカスと水を加え、素材全体が滑らかになるまで徹底的に混合することで、再利用可能な粘土状の素材を形成した。

clay printer を用いる前段階として、素材の特性や加工適性を評価するため、紙漉きキットを用いた試作を実施した。このプロセスでは、混合した素材を紙漉きキットに流し込み、均一な厚さに広げた。その後、1～2日間の自然乾燥を行うことで、コーヒーカスを含む紙のシートを作成することに成功した（図3.1）。

紙漉きキットを用いた試作では、素材が均一に広がりやすい特性を持つ一方で、乾燥過程で収縮やひび割れが発生しやすい課題も確認された。また、コーヒーカスを含むことで紙に独特の色合いや質感が生じたが、その強度や成形性についてはさらに評価を行う必要があると考えられた。



図 3.1 コーヒーカスで紙漉きをした様子

3.2.2 アケルエワークショップの実施

男女 22 名を対象に、 コーヒーカスを活用した紙づくりワークショップを実施した。 本ワークショップでは、 コーヒーカスの再利用可能性に対する理解を深めるとともに、 実際の手作業を通じて循環型社会の概念を体験することを目的とした。

開始時には、 参加者にコーヒーカスの特徴や、 廃材として捨てられがちなコーヒーカスがどのように新しい素材として利用できるのかを簡単に説明した。 これにより、 日常生活における廃材の新たな価値への関心を喚起した。 その後、 ワークショップの主工程として、 シュレッダーで細かく裁断した紙片とコーヒー

カス、水を混ぜ合わせた素材を用い、紙漉きキットを使ってオリジナルの紙を作成する体験を行った（図3.2）。

紙漉き直後の紙は濡れており、そのままでは完成品として使用できないため、乾燥工程が必要であることを参加者に説明した。特に、濡れた紙が他の物を汚さないよう、専用のファイルに挟んで持ち帰れるよう配慮した。これにより、家庭で乾燥させた後、完成品としてコーヒーカス入りの紙が仕上がるという流れを実現した。



図 3.2 紙漉きワークショップの様子

3.2.3 ワークショップの結果と考察

ワークショップの結果として、参加者から肯定的な意見が多く寄せられた。食品廃材が紙になるプロセスについて、「教育的でわかりやすい」という評価があり、廃棄物が新たな素材に生まれ変わる過程に対する興味が喚起された。また、「コーヒーカスから紙を作る」という意外な組み合わせについて、「面白い」「新しい発想」といった感想が寄せられ、廃材の活用法としての可能性が高く評価された。

一方で、否定的な意見もいくつか寄せられた。紙漉き直後の紙について、その色や質感から「汚い」という感想が複数見られた。これは、廃材由来の素材に対する先入観が影響している可能性がある。また、作業中に水がこぼれやすく、周囲が濡れてしまう問題が指摘された。さらに、カッターを用いて紙を

細かくする作業について、「時間がかかり手間が大きい」という意見も挙げられた。濡れた紙を専用のファイルに挟んで持ち帰る際には、一部の参加者から「水が少し漏れてしまった」という苦情があり、紙漉き直後の紙が保持する水分量とその取り扱いに課題があることがわかった。

肯定的な意見から、食品廃材を活用するプロセスの教育的効果や、意外性のある発想が興味を引き出すことが確認された。一方で、家庭での利用を前提とした場合には、水回りが汚れることや工程の多さ、特に作業に手間がかかる点が障壁となることが明らかになった。これを踏まえ、より手軽で効率的に利用できる素材を探索し、プロセス全体の改良を進める必要がある。(図 3.2)

3.2.4 プロトタイプ 2：オーブンクレイ

次に、家庭用オーブンを活用できる低温焼成の素材として、オーブンクレイにコーヒーカスを混ぜた素材を試作し、その加工および出力プロセスを検証した。オーブンクレイは、比較的低温で焼成が可能であり、家庭用のオーブンをを用いて陶芸の焼成プロセスを簡易に再現できる特性を持つ。

具体的には、(図 3.3) のように小さな正方形のフレームにオーブンクレイとコーヒーカスを混ぜた素材を 1~10 % の配合率別に詰め、乾燥させた後、170 度の電子窯で焼成を行った。焼成後、素材は表面にコーヒーカス由来の茶色い色味が微かに残り、実験に適した形状が安定して維持された。



図 3.3 1-10 %の配合率別に焼いたコーヒークラス粘土

一方で、コーヒークラスを混ぜた際の素材の粘度や粒子サイズが、clay printerでの出力に影響を与える懸念があった。特に、混合素材がプリンターのノズル詰まりを引き起こす可能性があるため、慎重にプロセスを進める必要があった。

初期段階では、オープンクレイ単体をclay printerで出力し、その表面にコーヒークラスを振りかける手法を試した（図3.4）。



図 3.4 コーヒーカスをふりかけて焼成した陶器

3.2.5 Maker Faireでの展示

Maker Faire では、 廃材を利用して作成した粘土製品を展示し、 特にコーヒーカスを混ぜた陶器の実例を紹介した（図3.5）． 来場者には、 製作プロセスを説明するとともに、 実際の製品を手にとってもらう機会を設け、 その感想を収集した．

展示では、 「廃材を混ぜるという取り組み自体が面白い」との意見が多数寄せられ、 アップサイクルの可能性に対する関心が高いことが確認された． 来場者は廃材の活用に興味を示し、 この取り組みのユニークさに肯定的な反応を示した． 一方で、 「匂いが残るような特徴は感じられない」、 「本当にコーヒーカ

スが入っているのか分からない」という指摘もあり、廃材の存在感が製品に明確に反映されていない点が課題として浮き彫りになった。

また、時間が経つにつれ、陶器の表面に付着していたコーヒークスが取れてしまう現象が見られた。この問題は、製品における廃材の視覚的な特徴を保持する上での課題であり、製作プロセスや素材設計の改良が必要であることを示している。

これらの意見から、廃材の特性をより効果的に引き出すためには、視覚的および嗅覚的に廃材の存在をアピールできる工夫が求められることが分かった。



図 3.5 Maker Faire での展示の様子

3.2.6 オープンクレイにコーヒークスを練り込んだ clay printer の出力

Maker Faire での展示後、コーヒークスとオープンクレイを混ぜた素材を直接 clay printer で出力するプロトタイプを作成した。当初、コーヒークスを混ぜることで、プリンターのノズルが詰まるのではないかという懸念があったが、慎

重に素材を調整した結果、ノズル詰まりは発生せず、スムーズに出力を行うことができた。出力されたプロトタイプは、（図 3.6）のように形状が安定しており、焼成後も素材が期待通りの仕上がりを示した。



図 3.6 オープンクレイにコーヒーカスを練り込んで作った陶器

3.2.7 KMD Forum での展示

2023 年に開催された KMD Forum では、コーヒーカスを混ぜた粘土を用いた陶器の作り方について説明し、（図 3.7）のように、その製作過程を実演した。

また、来場者には実際に陶器を手にとって質感や形状を確かめてもらい、その後アンケートを通じて意見を収集した。アンケートには 10 名が回答し、食品廃材を活用した陶器や clay printer を用いた製作プロセスに対する興味深い反応が得られた。

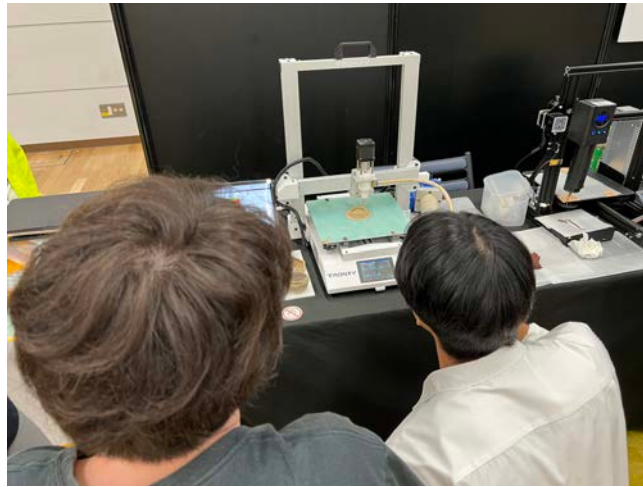


図 3.7 KMD Forum での展示の様子

アンケートの結果

Q1. 普段、廃棄食品のアップサイクル（リサイクルや再利用）を実践していますか？

はい：30％ いいえ：70％

Q2. Q1の回答理由を教えてください。

アップサイクルを実践している理由としては、環境保護を意識していることや、廃材を再利用することで持続可能性に貢献したいという声が挙げられた。一方で、やり方がわからない、面倒くさい、家庭で取り組むのは難しいという理由から実践していない人が多かった。

Q3. 食品廃材を使用して作られた陶器を見てどのように感じましたか？

食品廃材を使用した陶器に対しては、「食品廃材の新たな可能性が見えて驚いた」、「ゴミゼロではないが罪悪感が減る」、「意外性があり面白い」などの

ポジティブな意見が多数寄せられた。また、「表面の不均一さが個体ごとに味があって良い」、「リフレッシュな印象」など、廃材を使ったことに付加価値を感じる声も多かった。一方で、「よく見ないとコーヒークラスが入っていることが分からない」、「言われなければ気づかない」という意見もあり、廃材の存在感が十分に伝わらない点が課題として指摘された。

Q4. clay printer を使った陶器製作の過程で最も印象に残った部分は何ですか？

clay printer については、「3D プリンターのような仕組みで粘土を使うのが面白い」、「印刷の過程を視覚的に楽しめる」、「粘土の状態に応じてノズルを調整する必要がある」などの意見が寄せられた。また、「大量生産が可能であること」や「形状の美しさ」、「思ったよりもスピーディーで調整が効く点」が印象的だという声も多かった。

Q5. clay printer を使った陶器の形状は、従来の手工芸で作られた陶器とどう異なりますか？

従来の手工芸と比較して、clay printer による陶器は「層が重なったようなデザイン」や「幾何学的な形状」が特徴的だと感じた人が多かった。一方で、「従来の手工芸の方が柔軟に加工できる印象」や「clay printer の製品は機械的に見える」という意見もあった。

Q6. clay printer でアップサイクルすることと、手作業でアップサイクルすることの違いは何だと思いますか？

clay printer を使うことで、「アップサイクルが手作業よりも簡単で、より多くの人が取り組みやすい」と感じた人が多かった。一方で、手作業と比較して、「楽ではあるが、本質的には素材の使い方よりも作り方の違いが大きい」と指摘

する声も見られた。

Q7. clay printer を使うことで、アップサイクルに取り組む意欲が増しましたか？ なぜそう感じたかを教えてください。

多くの参加者が clay printer の利用によりアップサイクルへの意欲が高まったと答えた。理由としては、「技術がなくても簡単に組み立てる」、「効率的で楽しい」、「工業生産が可能になればビジネスとしても活用できる」などが挙げられた。一方で、「普及率や焼成の問題が解決されない限り、普段使いは難しい」という声もあった。

Q8. 自宅や個人で粘土プリント技術を使って陶器を作りたいと思いますか？

はい：30 % いいえ：70 %

Q9. Q8 の回答理由を教えてください。

「自宅で陶器が簡単に作れること」や「設備がコンパクトで場所を取らないこと」が「はい」と回答した理由であった。一方で、「頻繁には使わない」、「焼成が難しい」、「機器の扱いに自信がない」などの理由で「いいえ」と答えた人が多かった。

3.2.8 展示の考察

KMD Forum での展示およびアンケート調査を通じて、clay printer を活用したアップサイクルプロセスに対する来場者の反応や関心を把握することができた。

以下では、収集したデータを基に、本研究における成果と課題について考察する。

アップサイクルへの関心と課題

廃棄食品のアップサイクルについて、参加者の多くが「環境保護」や「持続可能性」といった理念に共感していた一方で、実際に実践している人は30%に留まった。「やり方がわからない」、「面倒くさい」といった理由が主な障壁となっており、アップサイクルを日常的に行うためには、手軽さや具体的な方法の普及が必要であることが示唆された。

食品廃材を用いた陶器の評価

食品廃材を使用した陶器については、その可能性や意外性を評価する声が多数寄せられた。「食品廃材が新たな価値を持つことへの驚き」や「個体ごとのユニークさ」など、ポジティブな反応が多く見られた。一方で、「コーヒークラスが入っていると気づきにくい」、「廃材の存在感が弱い」との指摘もあり、廃材の視覚的・物理的特徴を製品に反映するための素材設計やデザインの改良が求められる。

clay printer の製作プロセスとその特性

clay printer を用いた製作プロセスについては、「3D プリンターと同様の仕組みで粘土を扱う点が新鮮」、「形状の精密さや幾何学的な美しさが際立つ」といった評価が挙げられた。一方で、「製品が機械的に見える」、「手工芸よりも柔軟性に欠ける」との意見も寄せられ、clay printer の技術的特性に基づく表現の幅を広げる必要性が示唆された。また、「ノズルの調整」や「材料の状態管理」など、プロセス全体の精度向上に向けた課題も浮き彫りとなった。

アップサイクルに対する意欲の変化

clay printer を使用することで、アップサイクルに取り組む意欲が高まったと回答した参加者が多かった。「技術がなくても簡単に組みめる」、「効率的で楽しい」といった点が支持された理由である。一方で、「普及率や焼成設備の問題」が課題として挙げられており、これらを解決することでさらなる意欲喚起が期待できる。

家庭利用の可能性

clay printer を家庭で使用したいと回答した人は70%に上り、「陶芸のスキルがなくても簡単に作れる」、「設備がコンパクトで場所を取らない」などが主な理由として挙げられた。一方で、30%の参加者は「頻繁には使わない」、「焼成が難しい」、「機器の扱いに自信がない」などの理由から家庭利用を希望しないと答えた。焼成プロセスの手軽さやサポート体制の充実が、家庭利用を上げる上での鍵となると考えられる。

次のアクション

本考察を踏まえ、オープンクレイを用いたプロセスでもコーヒークスの存在感を十分に示せないことや、オープンを使用した焼成が難しいと感じる人が多いことが、家庭での普及を阻む主な障壁であると考えられる。これらの課題は、食品廃材を主原料としながらも、焼成を必要としないプロセスを設計することで克服できる可能性がある。次のステップとして、より簡易で家庭でも実践可能なプロセスを検討することが求められる。

3.2.9 プロトタイプ3：カルボキシメチルセルロースとキサントタンガム

カルボキシメチルセルロース（CMC）とキサントタンガム（XG）は、粘度調整や結合の強化を目的とした食品由来の増粘剤として知られている。本研究では、Rivera らによる研究で提案されたレシピに基づき [13]、これらの材料を使用して（図 3.8）のようにコーヒークスを主原料とする粘土を試作した。



図 3.8 コーヒークスで成形した陶器の様子

成形の成果

粘土を使って、clay printer で成形したものを（図 3.9）に示す。CMC と XG を添加することで、コーヒークスの配合率を 84 % にまで増加させることが可能となった。これにより、食品廃材の利用率が大幅に向上し、持続可能性の観点からも重要な成果が得られた。さらに、成形後の粘土は自然乾燥のみで一定の強度を得ることができ、焼成が不要となった。これにより、焼成工程に必要な高温設備やエネルギー消費を排除し、家庭での実践可能性が高まった。



図 3.9 コーヒークスで成形した陶器の様子

考察

プロトタイプ3では、CMCとXGの添加により、成形性の向上だけでなく、コーヒークスの配合率の大幅な増加と焼成の不要化が実現された。これは、食品廃材の利用効率を高めるとともに、家庭内での取り組みやすさを飛躍的に向上させるものである。

一方で、コーヒークスの高配合に伴い、粘土の混合工程や乾燥条件が製品の品質に与える影響が大きくなるため、今後は適切な配合バランスとプロセスの最適化が求められる。

本プロトタイプ3は、clay printerの特性を活かしつつ、食品廃材の利用率と実用性を高めた点で意義があり、廃材循環の新たな可能性を示す成果となった。

3.3. 型

3.3.1 器の製作

器の製作では、（図3.10）のような大小2つの型を作った。大きめの型に対して、少し小さめのオブジェクトを上から押し込むことで、綺麗に成形することができた。最初の試みでは、（図3.11）のように粘土が型に密着してしまい、

取り外す際に形が崩れてしまった。この問題に対して、（図 3.12）のように両方の型にサランラップを巻くことで粘土が型に直接触れず、スムーズに取り外せるようになった。

この方法により、器の表面は均一かつ滑らかに仕上がり、型を用いた製作手法の再現性の高さが確認できた。完成品を（図 3.13）に示す。



図 3.10 器の型



図 3.11 粘土が型に張り付いて取り出せない様子



図 3.12 型にラップを巻いて成形している様子



図 3.13 完成した器

3.3.2 小鉢の製作

小鉢の製作では、（図 3.14）のような大小 2 つの型を作った。小鉢の製作も器と同様の手法を用いた。大きめの型に粘土を敷き詰め、上から小さめの型を押し込むことで成形を行った。器の製作と同じ工程であったため、型にサラップラップを巻くことで取り外しの問題も回避できた。完成品を（図 3.15）に示す。



図 3.14 小鉢の型



図 3.15 完成した小鉢

3.3.3 コップの製作

コップの製作では、通常の円柱形ではなく、（図 3.14）のように捻れた形状のコップに挑戦した。しかし、捻れたデザインは複雑なため、皿や小鉢のように上から型を押し込む方法ではうまく取り外せず、成形が困難であった。

この問題を解決するため、（図3.17）のように型の形状に沿って粘土を少しずつ押し付けるように詰め込み、その後、丁寧に粘土を抜き出す方法を試みた。この手法によって、粘土が型に密着することなく、捻れた形状を保ったまま成形することに成功した。完成品を（図3.18）に示す。



図 3.16 コップの型



図 3.17 型に粘土を押し込んでいる様子



図 3.18 完成したカップ

3.4. 手作り

手作りによる製作では、粘土の柔らかさが成形の難易度に大きく影響することが明らかになった。（図 3.19）のように粘土が柔らかすぎる場合、形状が崩れやすく、フチが歪んだり、全体の厚みにばらつきが生じやすい傾向が見られた。

一方で、（図 3.20）のように適度な硬さの粘土を使用することで、手作業でも比較的安定した形状を作ることができた。



図 3.19 柔らかい粘土で成形した様子



図 3.20 硬い粘土で成形した様子

3.5. 食品廃材の候補

これまでコーヒークスを用いてプロトタイプを作成してきたが、家庭から出る食品廃材を食器に再利用することを目指す上で、コーヒークス以外の廃材の可能

性を検討する必要があった。そこで、新たな候補素材を探すための調査を実施した。

調査では、男女15名を対象に、家庭で1週間の間に発生した食品廃材を写真に記録し、(図 3.21) のように日記にまとめてもらった。そして、その中でも食品廃材だけを(図 3.22) のようにデータをリストにしてまとめた。



図 3.21 ある被験者がまとめた廃材日記

カテゴリー	廃材	原材料
生ごみ	いもの皮	有機物
生ごみ	トマトのヘタ	有機物
生ごみ	バナナの皮	有機物
生ごみ	卵の殻	有機物
生ごみ	トマトの芯	有機物
生ごみ	にんじんの皮	有機物
生ごみ	ほうれん草の切れ端	有機物
生ごみ	鮭の食べ残し	有機物
生ごみ	お菓子のカス	有機物
生ごみ	期限切れの薬	有機物
生ごみ	コーヒーカス	有機物

図 3.22 1週間で出た食品廃材のリスト

この調査の結果、さまざまな種類の廃材が確認された。候補素材を選定するにあたり、次の条件を基準とした。

廃材の発生量

廃材として一定量の重さが必要である。これは、粘土を作成する際に十分な素材量が必要であるためである。ゴミとしての発生量が少ない場合、プロトタイプの試作が難しくなる。

素材の加工性

clay printer から出力することを想定した場合、素材が適切に混合・加工できる

ことが重要である。これは、素材の形状や性質が粘土化プロセスに適しているかどうかを考慮したものである。

これらの条件をもとに、調査結果からいくつかの素材を絞り込んだ結果、いもの皮、バナナの皮、にんじんの皮、ほうれん草の根本、およびコーヒークスが候補素材として選定された。

3.5.1 食品廃材ごとの特性と結果

選定した候補食品廃材を用いて粘土を作成し、clay printer での出力を試みた。各廃材ごとの特性と結果を以下に示す。

バナナの皮

バナナの皮を乾燥させ、ミキサーで粉砕した後、CMC と XG を混ぜて粘土を作成した。しかし、バナナの外皮が硬く、ミキサーにかけても硬い粒が完全には粉砕されなかった。その結果、粒が clay printer のノズルに引っかかり、粘土の押し出しが安定しなかった（図 3.23）。具体的には、粒が引っかかる→プリンタの圧力で引っ掛かりが取れる→一気に粘土が噴射される→再び粒が引っかかる、という現象が繰り返し発生した。さらに、バナナの皮に含まれる糖分が多いため、成形時に粘土が他の層を巻き込み、積層が崩れてしまった（図 3.24）。



図 3.23 バナナの粒がプリンターを詰まって、正常にプリントできない様子



図 3.24 積層直後に崩れてしまった様子

いもの皮

いもの皮を乾燥させ、ミキサーで粉砕した後、CMCとXGを混ぜて粘土を作成した。バナナの皮と比較してノズルの詰まりは軽減されたものの、同様に糖分が多い影響で、成形時に他の層を巻き込み積層が崩れる問題が発生した（図3.25）。この結果、いもの皮も安定した成形には適さないことが判明した。

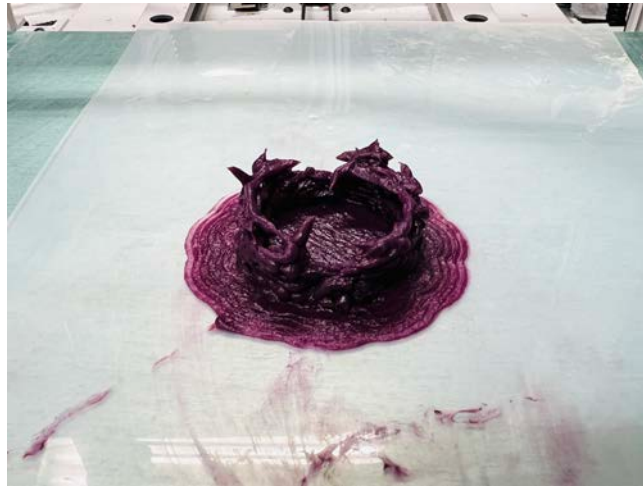


図 3.25 積層直後に崩れてしまった様子

にんじんの皮

にんじんの皮を乾燥させ、ミキサーで粉碎した後、CMCとXGを混ぜて粘土を作成した。にんじんの皮も多少の粘性を示したが、clay printerで積層し、安定した形状を成形することができた(図3.26)。バナナの皮やいもの皮と比較して糖分が少なかったことが、成形が成功した要因と考えられる。

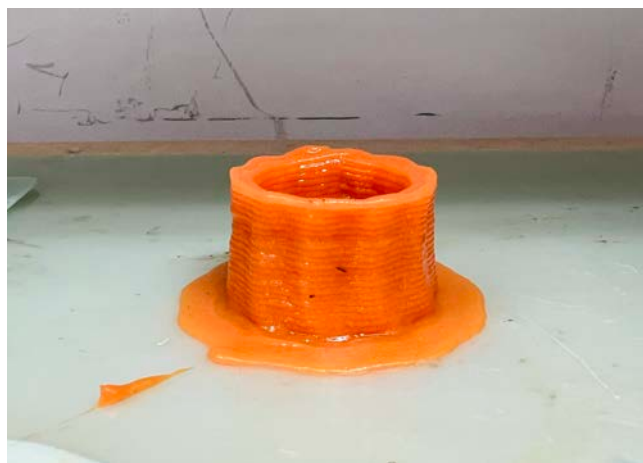


図 3.26 にんじん陶器の様子

ほうれん草の切れ端

ほうれん草の切れ端部分を乾燥させ、ミキサーで粉碎した後、CMCとXGを混ぜて粘土を作成した。にんじんの皮と同様に、糖分が少ないため成形が安定し、clay printerでの積層が成功した(図3.27)。この結果、ほうれん草の根本も成形に適した食品廃材であることが確認された。

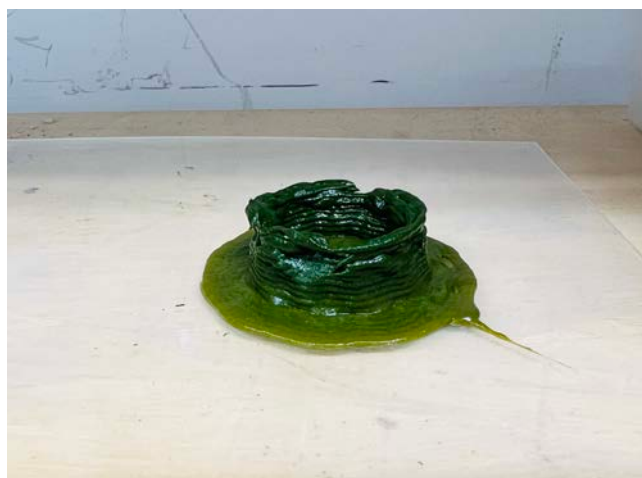


図 3.27 ほうれん草陶器の様子

以上の結果から、糖分が多い素材は積層時の安定性に課題があり、粘土化しても成形が困難であることがわかった。一方で、糖分の少ないにんじんの皮やほうれん草の根本は、成形性が高く、食品廃材を粘土として利用する素材として有望であると考えられる。

3.5.2 素材ごとの粘土のレシピ

本研究では、家庭でのアップサイクルを実現するために、食品廃材を原料とした粘土を作成した。素材ごとに型・手作り用粘土およびclay printer用粘土のレシピを(表3.2)に示す。

まず、コーヒークスを用いて、clay printerに適した粘土の柔らかさを粘土計を用

いて検証した(表 3.1). 試作結果によると, 水 80g・柔らかさ 700 dPa・s からやや粘土としては固いが成形が可能だった。水を 100g にまで増やすと, 柔らかさ 550 dPa・s となり, 安定した成形が可能となった。しかし, 110g まで増やすと柔らかくなりすぎ, 成形中に崩れてしまった。したがって, 安定した成形には水 100g・柔らかさ 550 dPa・s が最適な条件であると結論付けた。なお, 手成形や型成形に適した粘土の柔らかさは 1300 dPa・s であり, clay printer での出力には適さない。

表 3.1 手・型・clay printer に適した粘土の柔らかさ

素材	粘土の柔らかさ (dPa・s)	clay printer に よる出力可否
コーヒーカス 25g, CMC 4g, XG 0.6g, 水 50g	1300	不可 (手・型に適 した柔らかさ)
コーヒーカス 25g, CMC 4g, XG 0.6g, 水 60g	1100-1200	不可
コーヒーカス 25g, CMC 4g, XG 0.6g, 水 70g	800-900	不可
コーヒーカス 25g, CMC 4g, XG 0.6g, 水 80g	700	成形可能
コーヒーカス 25g, CMC 4g, XG 0.6g, 水 90g	650	可能
コーヒーカス 25g, CMC 4g, XG 0.6g, 水 100g	550	可能
コーヒーカス 25g, CMC 4g, XG 0.6g, 水 110g	400	不可

コーヒーカス粘土

型および手作り用では, 水分量を抑えることで粘度が高まり, 成形後の形状が保持されやすくなった。一方で, clay printer 用では水分量を増やすことで, ノズルを通過しやすくなり, スムーズな出力が可能となった。作成した粘土を(図 3.28, 図 3.29)に示す。

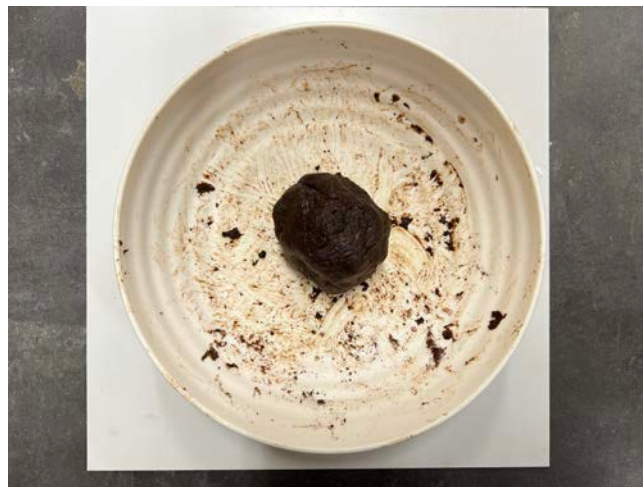


図 3.28 手作り・型用粘土



図 3.29 clay printer 用粘土

にんじん粘土

にんじんを用いた場合、コーヒーカスに比べて水分保持がやや高く、成形後の乾燥工程で収縮が見られることがあった。また、clay printer 用粘土では適切な粘度を保つため、水分量を多めに調整する必要があった。作成した粘土を（図 3.30, 図 3.31）に示す。



図 3.30 手作り・型用粘土



図 3.31 clay printer 用粘土

ほうれん草粘土

ほうれん草を用いた粘土は、他の素材と比較して水分吸収がやや多く、型・手作り用では安定した成形が可能であった。clay printer 用では、水分量を増やすことでプリント時のノズル詰まりを防ぎ、滑らかな積層が実現された。作成した粘土を（図 3.32, 図 3.33）に示す。



図 3.32 手作り・型用粘土



図 3.33 clay printer 用粘土

表 3.2 素材ごとの粘土のレシピ

素材	型・手作り用粘土	clay printer 用粘土
コーヒーカス	コーヒーカス 25g, CMC 4g, XG 0.6g, 水 50ml	コーヒーカス 25g, CMC 4g, XG 0.6g, 水 100ml
にんじん	にんじん 25g, CMC 4g, XG 0.6g, 水 60ml	にんじん 25g, CMC 4g, XG 0.6g, 水 120ml
ほうれん草	ほうれん草 25g, CMC 4g, XG 0.6g, 水 70ml	ほうれん草 25g, CMC 4g, XG 0.6g, 水 140ml

3.5.3 ドライヤーによる器の乾燥

食器の成形後、自然乾燥を行ったところ、乾燥中にカビが発生する問題が確認された。特に、湿度の高い環境ではカビの発生が顕著であり、長時間の自然乾燥は不適切であることが分かった。この問題に対処するため、乾燥工程に新たな手法を導入した。

まず、成形が完了した器に対し、ドライヤーを用いた乾燥を試みた。器の表面を均一に加熱し、余分な水分を迅速に除去することで、カビの発生を防ぐことができた。さらに、ドライヤー乾燥を行うことで、器の使用可能な状態に達するまでの時間が大幅に短縮され、実用性が向上した（図 3.34）。

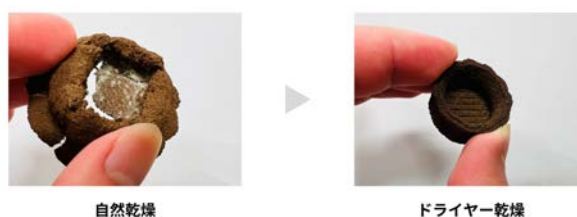


図 3.34 器の乾燥

3.5.4 素材ごとの生分解性

食品廃材を用いた粘土の生分解性を評価するため、作成したコーヒークス、にんじん、ほうれん草を主成分とする粘土を土に埋め、3週間放置する実験を実施した。この実験では、それぞれの素材がどの程度自然環境下で分解されるかを観察し、生分解の進行状況を確認した（図 3.35）。

3週間後に試料を回収し、外観および構造の変化を分析した。その結果、すべての素材において腐食が進行し、表面に細かな亀裂や欠損が生じていた。特に、にんじんとほうれん草を含む粘土では、分解が比較的早く進み、全体的に形状の崩れが顕著であった。一方、コーヒークスを主体とする粘土は、比較的形を保っていたものの、部分的に脆くなり、表面に微細な崩壊が確認された。

これらの結果から、コーヒークス、にんじん、ほうれん草を用いた粘土は、いずれも一定の条件下で生分解が進行することが明らかになった。特に、野菜由来の素材を含む粘土の方が、より速く分解される傾向が見られた。本研究の目的である「使用後に土に還す」プロセスにおいて、これらの素材は適切な生分解性を有することが示された。



図 3.35 生分解の様子

3.6. clay printer の UI 改善

これまでの検証を通じて、初めて clay printer を操作する人にとって、UI の操作が難しいという課題が明らかになった。特に、素材の選択や設定の調整が

複雑で、利用者がスムーズに操作を進められない場面が多く見受けられた。この課題を解決するため、独自の UI を設計し、以下の改善を行った。

1 ページ目の UI

利用者が使用する食品廃材（コーヒーカス、にんじんの皮、ほうれん草の根本など）を簡単に選択できる画面を導入。選択された廃材に基づいて、最適な出力設定が自動的に適用されるようにした。また、使用する食品廃材の重さを入力する欄を設けた。このデータに基づき、CMC や XG の必要量を自動で計算し、粘土作成プロセスをサポートする。これにより、初心者でも簡単に素材の準備が行える（図 3.36）。

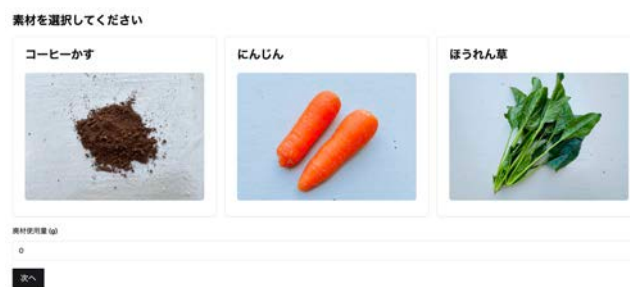


図 3.36 1 ページ目の UI

2 ページ目の UI

カップや皿など、事前に設定されたデザインテンプレートから選択できる機能を実装。視覚的にデザインを確認しながら選べるため、操作が直感的になり、初心者でも迷わずに進められる（図 3.37）。

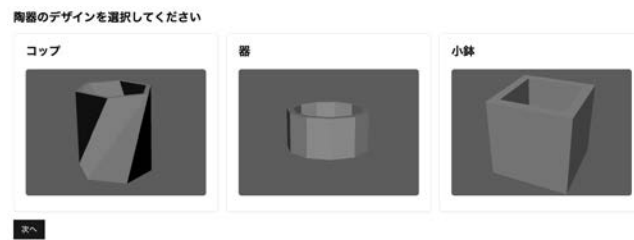


図 3.37 2 ページ目の UI

3 ページ目の UI

出力プロセスを開始する前に、選択した食品廃材の種類や重さ、デザインの情報を確認できる画面を設けた。これにより、誤操作や設定ミスを防ぐことが可能になった（図 3.38）。



図 3.38 3 ページ目の UI

4 ページ目の UI

出力が完了した後の最終画面には、使用した粘土のうち食品廃材が占める割合（%）を表示。さらに、完成した製品が生分解可能であり、使用後に土に還せることを示す説明を追加。これにより、利用者が製品の環境への貢献度を実感できる設計とした（図 3.39）。



図 3.39 3 ページ目の UI

この独自の UI は、特に初心者が操作をスムーズに進められるよう、メニュー構造を簡略化し、プロセス全体を可視化する工夫を盛り込んだ。これにより、clay printer を初めて使用する人でも安心して取り組める環境が整備され、食品廃材を活用したものづくりの普及を後押しする設計となった。

第 4 章

最終プロトタイプと評価

4.1. 最終プロトタイプ

4.1.1 コンセプト

本研究の最終プロトタイプは、家庭における廃材のアップサイクルを可能にするプロセスとして設計された。本プロセスは、廃材を新たな価値ある製品に変換する循環型のシステムを家庭内で実現することを目指している。特に、clay printer、型、手作りの3つの製造手法を統合し、使用者がそれぞれの家庭環境に応じた柔軟な製造方法を選べる点に特徴がある。

プロトタイプの中心的な要素は、食品廃材を素材として活用し、粘土状の材料を生成するプロセスにある。コーヒーカス、にんじんの皮、ほうれん草の切れ端といった日常的に発生する廃材を使用し、素材ごとの特性を考慮しながら、型、手作り、clay printerに対応した粘土を作る手法を開発した。これにより、多様な廃材を効果的に利用する可能性を探った。

最終プロトタイプは、家庭内で実現可能な廃材活用プロセスの確立を通じて、廃棄物削減の一助となることを目指している。

4.1.2 ウェブサイトのデザイン

最終プロトタイプとして、具体的な食品廃材の再利用プロセスをまとめたウェブサイトを作成した。

<https://pointy-syringa-8c2.notion.site/15e69e92bf0880d7ae0de2b1585730b2>

このサイトは、「粘土の作り方(図4.1)」と「陶器の作り方(図4.2)」という2つ

の主要なセクションに分かれている。「粘土の作り方」セクションでは、コーヒークス、にんじん、ほうれん草といった廃材を利用して、型・手作り用粘土および clay printer 用粘土の製造方法が各素材ごとに詳細に説明されている。

一方、「陶器の作り方」セクションでは、clay printer、型、手作りの3手法を用いた陶器製造プロセスが解説されている。特に、clay printer に関しては、独自に開発した簡易的な UI を使用したプリント手順や、プリント時の注意点が具体的に示されている。型を使用した場合の型取り方法や、手作りによる自由度の高い製作プロセスについても、初心者でも理解しやすいガイドラインを提供している。

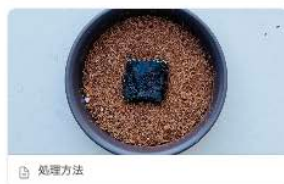
このウェブサイトは、家庭での廃材を使った粘土作りや陶器製造プロセスを手軽に実践できるよう、必要な情報をわかりやすい形で提供することを目的としている。ウェブサイトの詳細画像は付録に掲載する。

粘土の作り方

食品廃材を使った粘土作りは、環境負荷を減らしながら創造性を発揮できる画期的な方法です。本ページでは、原料の選定から粘土の配合、加工プロセス、処理方法までを詳しく解説しています。自然と人をつなぐ新たな循環の仕組みを、ご家庭でぜひ体験してください。また、作った器は使用後に生分解し、土へ還る循環型のデザインになっています。

Gallery view

コーヒー粘土



Gallery view

にんじん粘土



Gallery view

ほうれん草粘土



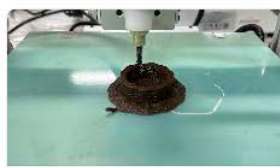
図 4.1 粘土の作り方のページ

陶器の作り方

陶器作りの流れはシンプルですが、工夫と発見の連続です。陶器作りのプロセスは、クレイプリンターや手作業で成形し、自然乾燥で仕上げるまでの流れを含みます。焼成を行わないため、特別な設備は不要で、自宅でも手軽に取り組めます。

Gallery view

Clay Printerの使い方



Gallery view

型の使い方



Gallery view

手での作り方



図 4.2 陶器の作り方のページ

4.2. 検証

4.2.1 検証の流れ

検証は、被験者が3種類の方法（clay printer、型、手作り）で同じ形状の食器を作成し、それらの評価を行う形式で10名に実施した。被験者にはウェブサイト上のガイドラインを参照しながら、食品廃材から粘土を作成し、clay printer を操作して食器をプリントした後、型と手作りによる成形作業を体験してもらった。

作業終了後、被験者には各手法に関する操作性、再現性、カスタマイズ性についてアンケートとインタビューで評価してもらった。また、廃材食器については見た目や衛生的な抵抗感を含む評価を実施し、アンケートとインタビューを通じて感性的な意見や改善点を収集した。検証の流れ(表4.1)、検証の様子や被験者が作った作品(図4.3, 図4.4, 図4.5, 図4.6)、デザインプロセスにも載せたが廃材食器の写真を再度(図4.7, 図4.8, 図4.9)に示す。

表 4.1 検証の流れ

粘土作り	10 分
clay printer での成形	15 分
型での成形	10 分
手で成形	10 分
廃材食器の比較	5 分
アンケート回答	10 分
体験後インタビュー	10 分



図 4.3 被験者が UI を操作する様子



図 4.4 被験者が Clay Priner で作った食器



図 4.5 被験者が型で作った食器



図 4.6 被験者が手で作った食器



図 4.7 コーヒー陶器

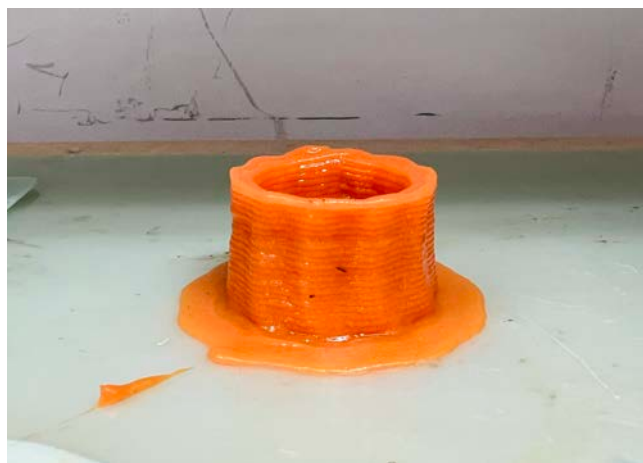


図 4.8 にんじん陶器

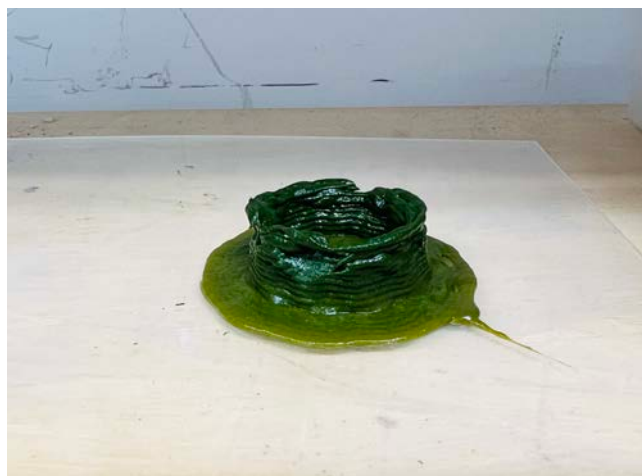


図 4.9 ほうれん草陶器

4.2.2 アンケート項目

本研究では、clay printer、型、手作りの3つの成形手法と、コーヒー陶器、にんじん陶器、ほうれん草陶器の3種類の廃材陶器を対象に、各手法および素材の特性を評価した。評価はアンケートおよびインタビューを通じて、以下の項目についてデータを収集する形で実施した。アンケート項目は(表 4.2)に示す。

clay printer、型、手作りの3手法を用いて、被験者が同じ形状の試作品を作成した際の操作性、再現性、カスタマイズ性、および廃材陶器の評価を実施した。本評価に先立ち、被験者に対して日常生活におけるものづくりや廃材の再利用の習慣についての質問を行った。「普段の生活でどれだけものづくりをしますか?」と「普段、家庭から出る廃材を再利用することはありますか?」について、いずれも「ない」「時々ある」「いつも作っている/再利用している」の3択で回答を求め、被験者のものづくりや廃材利用に対する関与度を把握した。

操作性については、「操作のしやすさ」を5段階(1: 難しい, 5: 簡単だった)で評価してもらい、再現性については「同じ形状を複数回再現する難易度」を5段階(1: 作れない, 5: 作れる)で評価した。また、カスタマイズ性は、「多様な形を作る自由度」と「形の微調整を通じて完成度を高める自由度」に分けて

評価した。これらの評価後に実施したインタビューでは、粘土作りの難しさやアンケート結果を基に各手法の特性や課題について意見を深掘りし、具体的な改善案を収集した。

廃材陶器については、見た目や衛生的な抵抗感を評価した。見た目に関しては「使用したい見た目であるか」を(1: 使用したくない, 5: 使用したい)のスケールで評価し、抵抗感については「心理的および衛生的に抵抗感があるか」を(1: 抵抗感がある, 5: 抵抗感がない)のスケールで評価した。これらの項目については選択式アンケートで回答を収集した後、インタビューで感性的な側面や廃材素材特有の特徴が与える影響について意見を聞き取った。

さらに、選択式アンケートでは以下の4項目についても質問を行った:

- 最も成形が簡単だった手法
- 最も再現性が高かった手法
- 最も使用したい見た目の陶器
- 最も抵抗感が少ない陶器

被験者はそれぞれ該当する選択肢を選んだ後、選択理由について自由記述やインタビューで詳しく述べた。また、インタビューでは、これらの評価結果を基に clay printer や廃材陶器の家庭での活用可能性に関するユースケースを探り、家庭利用時の具体的な課題や改善の方向性について意見を収集した。

表 4.2 アンケート項目

番号	質問内容	評価形式
Q1	普段の生活でどれだけものづくりをしますか？	3 択
Q2	普段、家庭から出る廃材を再利用することはありますか？	3 択
各 clay printer、型、手作りへの質問		
Q3	成形するのは簡単でしたか？	5 段階
Q4	今作ったものをもう一度作ってもらうとしたら、同じものを作れると思いますか？	5 段階
Q5	改善点や感じた課題があれば自由にご記載ください	記述
clay printer, 型, 手作りの比較		
Q6	最も成形するのが簡単だった作り方はどれですか？	3 択
Q7	最も同じものを何度も作れる作り方はどれですか？	3 択
Q8	改善点や感じた課題があれば自由にご記載ください	記述
各コーヒー陶器、にんじん陶器、ほうれん草陶器への質問		
Q9	食事に使用したい見た目でしたか？	5 段階
Q10	食事に使用するのに衛生的な抵抗はありますか？	5 段階
Q11	改善点や感じた課題があれば自由にご記載ください	記述
コーヒー陶器, にんじん陶器, ほうれん草陶器の比較		
Q12	最も食事に使用したい見た目の陶器はどれですか？	3 択
Q13	最も食事に使用するのに抵抗がない陶器はどれですか？	3 択
Q14	改善点や感じた課題があれば自由にご記載ください	記述

4.3. アンケート及びインタビューの結果と考察

4.3.1 ものづくり経験

ものづくり経験に関する回答を（図 4.10）に示す。被験者 10 名に対し、普段の生活におけるものづくりの頻度を尋ねた結果、ないと回答した被験者が 6 名、時々あるが 3 名、いつも作っているが 1 名となった。この結果から、ものづ

くりを日常的に実践している人は少数であり、全体の6割がものづくりにほとんど関与していないことが分かった。

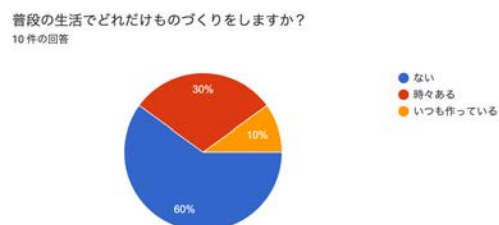


図 4.10 ものづくり経験の結果

4.3.2 廃材の再利用の頻度

廃材の再利用に関する回答を（図 4.11）に示す。被験者 10 名に対し、家庭から出る廃材の再利用について尋ねた結果、ないと回答した被験者が 8 名、時々あるが 2 名、いつも再利用していると回答した被験者はいなかった。この結果から、家庭で廃材を積極的に再利用する習慣がほとんど存在しないことが分かった。

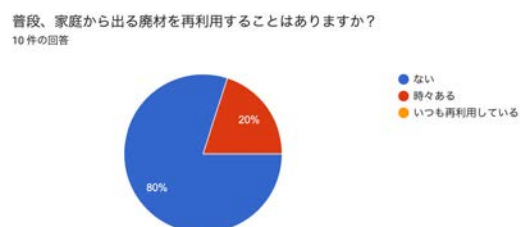


図 4.11 廃材の再利用の頻度の結果

4.3.3 粘土作りの難しさ

粘土を作る工程の難しさについて尋ねたところ、多くの被験者が工程の繊細さや手間に課題を感じていることが明らかとなった。

具体的な意見として、「混ぜる粉の量が繊細で、少し多めに入れたり少なく入れたりすると柔らかさにムラが出てしまう」という声が挙がった。特に、CMCは4g、XGは0.6gという分量を正確に測る必要があり、少しの誤差が粘土の状態や成形のしやすさに大きく影響を与えたと指摘された。また、「粘土を作るのに時間がかかる」という意見があり、配合や混ぜ合わせの工程に手間と時間を要することが、作業の負担となっていることがわかった。

さらに、被験者からは「粘土をこねるための道具が欲しい」という要望も挙げられた。手で粘土をこねる作業は労力がかかり、特に廃材を含んだ粘土の場合、均一に混ぜ合わせるのが難しく、成形に影響が出ることが課題として浮かび上がった。

一方で、手作業での工程に対する肯定的な意見も見られた。「粘土を作ること自体が体験として楽しかった」、「手間がかかる分、完成した時の達成感があった」と述べる被験者もあり、工程をものづくり体験として捉える姿勢が確認された。

この結果から、粘土を作る工程には分量の精度や調整、さらにこねる作業の労力や時間における技術的なハードルが存在する一方、作業自体を楽しむ体験価値があることが示唆される。しかし、家庭での実践を想定する場合、粉の計量をサポートするツールや事前に調整済みの粘土素材の提供、さらに粘土をこねるための専用道具の導入や工程の時間短縮の仕組みが、粘土作りの負担軽減に寄与すると考えられる。

4.3.4 操作性

clay printer

定量評価の結果を（図 4.12）に示す。

clay printer の操作性について 5 段階評価で尋ねた結果、1（操作が難しい）が 1 名、2 が 0 名、3 が 1 名、4 が 2 名、5（操作が簡単）が 6 名となった。この結果から、大半の被験者が clay printer の操作を「簡単」と評価しており、操作性においては一定の評価を得ていることがわかった。

高評価（4および5）をつけた被験者からは、「画面の操作がシンプルで直感的」、「手が汚れにくく、粘土をセットするだけで良い点が便利」といった意見が多く見られた。一方、低評価（1および3）をつけた被験者からは、「ノズルが詰まりやすく調整が難しい」、「素材の水分量や状態によって出力が安定しない」といった技術的な課題が指摘された。

また、UIに関する具体的な改善要望として、以下の意見が挙げられた。

- UIの素材選択の画面で、素材のアイコンと廃材の写真にした方がいい。素材全部をアップサイクルしているかのような印象を受ける。
- 素材や形状を選ぶ際に特徴や用途（例：スープ向きの素材/形状など）が示されると選びやすい。
- 廃材の重さから計算して、作成できる食器の大きさ（例：お味噌汁一杯分）や時間を表示する機能があると良い

これらの結果から、clay printerの操作性は総じて高評価であるものの、技術的な安定性やUIの改善によってさらにユーザビリティが向上する可能性が示唆される。特に、廃材を素材として選ぶ楽しさや完成イメージの視覚化を取り入れることで、家庭での廃材アップサイクルがより手軽で魅力的なものになると考えられる。

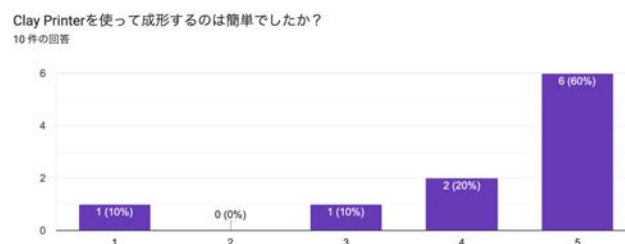


図 4.12 clay printer の操作性

型

定量評価を（図 4.13）に示す。

型の操作性について5段階評価で尋ねた結果、1（操作が難しい）が3名、2が1名、3が1名、4が4名、5（操作が簡単）が1名となった。この結果から、型の操作性に対する評価はばらつきがあり、難しいと感じる被験者が一定数いる一方で、工夫次第では高く評価されることもわかった。

低評価（1および2）をつけた被験者からは、「型に粘土を詰める量の調整が難しい」、「型から粘土を外す際に崩れてしまう」、「複雑な形状の型だと特に難易度が高い」といった意見が挙がった。特に、粘土を詰めすぎると型からあふれ、少なすぎると形が不完全になるという点が課題として指摘され、操作には繊細な加減が求められることが明らかになった。

一方で、高評価（4および5）をつけた被験者の中には、「サランラップを敷くことで粘土が取り出しやすかった」、「単純な形状の型であれば使いやすい」といった工夫によって操作性を向上させた事例が見られた。また、型を使用することで「手作業よりも安定した形を作りやすい」という利点も挙げられた。

この結果から、型の操作性にはいくつかの課題があるものの、工夫や道具のサポートによって操作の難易度を軽減できる可能性が示唆される。特に、粘土の量を均一に詰めるためのガイドや、取り出しやすさを向上させる工夫（例：型の設計改善や剥離剤の使用）が求められる。今後、こうしたサポートツールの導入や型のデザインの改善により、型の操作性がさらに向上し、家庭での実践が容易になると考えられる。

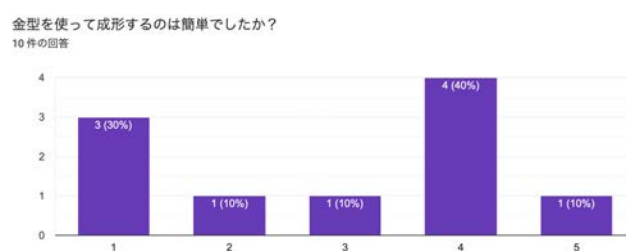


図 4.13 型の操作性

手作り

定量評価を（図 4.14）に示す。

手作りの操作性について 5 段階評価で尋ねた結果、 1（非常に操作が難しい）が 0 名、 2 が 5 名、 3 が 1 名、 4 が 3 名、 5（非常に操作が簡単）が 1 名となった。この結果から、手作りの操作性は「難しい」と感じる被験者が多くを占め、一方で一部の被験者からは「手作業ならではの直感的な操作が可能である」と評価される傾向が見られた。

低評価（2）をつけた被験者からは、「粘土の水分量やコンディションによって操作が左右される」、「細かい部分や複雑な形を手作業で成形するのは難しい」といった意見が挙がった。さらに、「手で粘土をこねる際、廃材に触ることに抵抗がある」と述べる被験者もあり、廃材を材料として使用することへの心理的なハードルも確認された。

一方で、高評価（4 および 5）をつけた被験者からは、「手で直接粘土に触ることで、思い通りの形を作ることができた」、「直感的に操作できるため、自由度が高い」といった肯定的な意見が見られた。また、手作り特有の「手間をかける楽しさ」や「ものづくりの達成感」が評価され、操作の難しさがある一方で、体験価値として捉えられる側面も確認された。

この結果から、手作りの操作性は粘土の状態や作業者の技量に大きく依存することが明らかとなった。しかし、手作業ならではの自由度や直感的な操作が評価されることから、操作をサポートするツール（例：粘土の厚みを均一にするガイド）が導入されれば、操作の難易度を軽減しつつ、ものづくりの体験価値を保つことができると考えられる。また、廃材に触ることへの抵抗感を軽減するため、手袋や道具を活用することも心理的なハードルを下げる一つの手段となる。

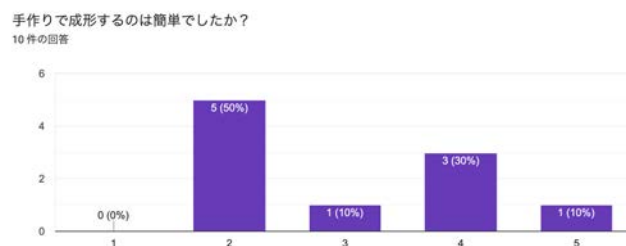


図 4.14 手作りの操作性

操作性の比較

定量評価を（図 4.15）に示す。

clay printer, 型, 手作りの3つの手法の操作性について評価を行った結果, clay printer が作りやすいと答えた被験者が8名, 手作りが作りやすいと答えた被験者が2名, 型が作りやすいと答えた被験者は0名だった。

clay printer が高く評価された理由としては, 「操作がシンプルで直感的」, 「手を汚さずに粘土をセットするだけで良い」, 「複雑な形状も作成しやすい」といった利便性が挙げられた。一方で, 「ノズル詰まり」や「粘土の調整の難しさ」といった技術的な課題も確認された。

手作りについては, 一部の被験者が「直感的に操作できる」, 「自分のイメージに近い形を自由に作れる」と評価する一方で, 「粘土の柔らかさや水分量によって操作の難易度が大きく左右される」, 「廃材に触ることに抵抗がある」といった意見も挙がった。

型については, 「粘土を均一に詰める加減が難しい」, 「型から取り出す際に崩れてしまう」, 「複雑な形状は特に操作が難しい」といった意見が多く, 被験者全体として操作性の評価は低かった。その一方で, 単純な形状においては安定した成形が可能である点が確認された。

この結果から, 操作性においては clay printer が最も優れていると評価され, 次いで手作りが一定の評価を得たものの, 型における操作性の課題が明らかとなった。今後, 手作りや型の操作性を向上させるためには, 粘土の状態をサポートするツールや, 取り出しやすさを考慮した型の設計改善が必要であると考

えられる。

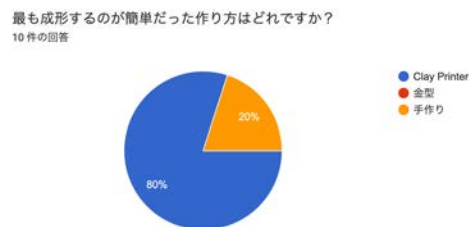


図 4.15 最も操作性が高かった製作方法

4.3.5 再現性

clay printer

定量評価の結果を（図 4.16）に示す。

clay printer の再現性について 5 段階評価で尋ねた結果、 1（再現性が低い）が 1 名、 2 が 0 名、 3 が 1 名、 4 が 5 名、 5（再現性が高い）が 3 名となった。この結果から、多くの被験者が clay printer の再現性を高く評価している一方で、一部の被験者からは課題も指摘された。

高評価（4 および 5）をつけた被験者からは、「同じデータを使用することで形が安定して作れる」、「手作業や型と比較して個体差が少ない」といった意見が挙げられた。また、複雑な形状や細かい造形においても、プリンターの優位性が確認された。

一方で、低評価（1 および 3）をつけた被験者からは、「ノズルが詰まることで途中で形が崩れてしまう」、「素材の状態によって出力の仕上がりが不安定になる」といった意見が挙げられた。特に、粘土の水分量や硬さが不均一な場合、再現性に大きく影響することが指摘された。

この結果から、clay printer の再現性は手作業や型と比較して高く評価されるものの、素材の状態やプリンターの技術的な問題によって安定性に課題が残ることがわかった。

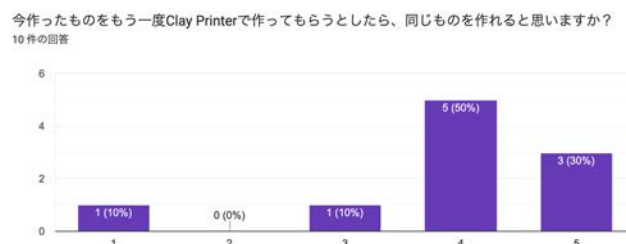


図 4.16 clay printer の再現性

型

定量評価の結果を（図 4.17）に示す。

型の再現性について 5 段階評価で尋ねた結果、 1（再現性が低い）が 2 名、 2 が 1 名、 3 が 0 名、 4 が 4 名、 5（再現性が高い）が 3 名となった。この結果から、型の再現性に対する評価は分かれたものの、半数以上の被験者が 4 以上の高評価を示しており、一定の再現性が認められることがわかった。

高評価（4 および 5）をつけた被験者からは、「同じ形を何度も作ることができる」、「単純な形状であれば安定して成形できる」といった意見が挙がった。

型は形が固定されているため、粘土を均一に詰めることができれば、再現性が高い点が評価された。

一方で、低評価（1 および 2）をつけた被験者からは、「粘土を詰める量の調整が難しく、形にムラができる」、「型から粘土を取り出す際に崩れてしまう」、「複雑な形状では再現が難しい」といった意見が挙がった。特に、粘土を型に詰める際の加減や、取り出し工程の難しさが再現性を低下させる要因として指摘された。

この結果から、型の再現性は単純な形状においては比較的高い一方で、操作の繊細さや型からの取り出しに課題が残ることが明らかになった。

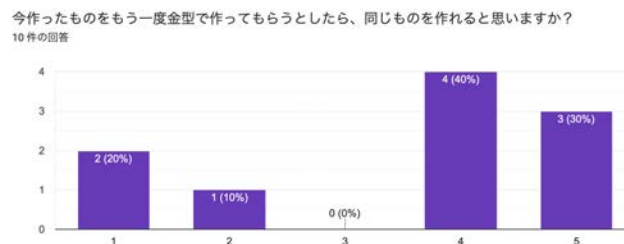


図 4.17 型の再現性

手作り

定量評価の結果を（図 4.18）に示す。

手作りの再現性について 5 段階評価で尋ねた結果、 1（再現性が低い）が 5 名、 2 が 1 名、 3 が 0 名、 4 が 2 名、 5（再現性が高い）が 2 名となった。この結果から、 手作りの再現性は低く評価される傾向にあり、 特に「非常に再現性が低い」と感じる被験者が過半数を占めた。

低評価（1 および 2）をつけた被験者からは、「同じ形を繰り返し作るのが難しい」、「手作業では細かい部分が不安定になり、 個体差が大きい」といった意見が挙がった。

一方で、 高評価（4 および 5）をつけた被験者からは、「手作業だからこそ自由度が高く、 工夫次第で同じ形に近づけることができた」、「作り手の経験や技術によって再現性を高めることが可能」といった意見も見られた。これは手作業ならではの特徴であり、 再現性の高さが作業者の技量に依存することが示唆される。

この結果から、 手作りの再現性は非常に低い傾向にあるものの、 経験や技術によってある程度改善する余地があることがわかった。

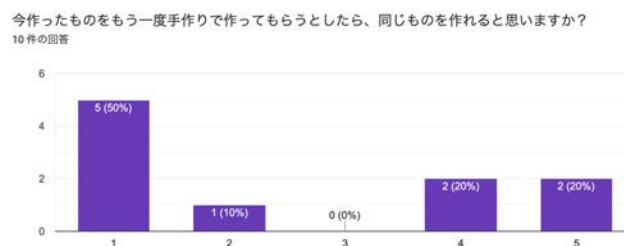


図 4.18 手作りの再現性

再現性の比較

定量評価の結果を（図 4.19）に示す。

clay printer, 型, 手作りの3つの手法の再現性について評価を行った結果, clay printer が再現性が高いと答えた被験者が9名, 型が再現性が高いと答えた被験者が1名, 手作りが再現性が高いと答えた被験者はいなかった。

clay printer は, 同じデータを使用することで安定した形状を作ることができる点が高く評価された。特に, 「複雑な形状でも再現性が高い」, 「手作業や型と比較して個体差が少ない」といった意見が多く, 再現性において最も優れた手法であることが示された。一方で, 「ノズルの詰まり」や「素材の水分量が不安定だと仕上がりに影響する」といった技術的課題も確認された。

型については, 「単純な形状であれば安定した再現が可能」, 「同じ形を複数作れる」といった利点があるものの, 「粘土を均一に詰めるのが難しい」, 「取り出し時に崩れてしまう」といった操作上の課題が再現性を低下させる要因として指摘された。

手作りについては, 再現性の評価が最も低く, 「手作業では個体差が大きくなる」, 「粘土の状態や技量に依存するため同じ形を作るのが難しい」といった意見が挙がった。その一方で, 手作業ならではの自由度や個性が反映される点を肯定的に捉える意見も一部確認された。

この結果から, 再現性においては clay printer が最も優れており, 型がそれに次ぐ評価を得た一方で, 手作りは再現性の面で大きな課題が残ることが明らかになった。今後, 粘土の状態を安定させる仕組みや, 型の設計改善, 手作業

をサポートするツールの導入によって、各手法の再現性向上が期待される。

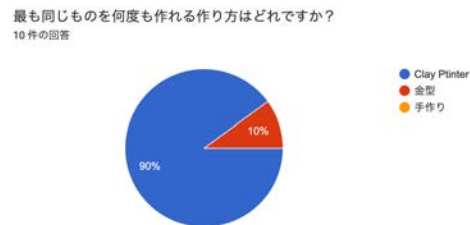


図 4.19 最も再現性が高かった製作方法

4.3.6 カスタマイズ性

clay printer

clay printer における完成度については、「形が滑らかで均一に仕上がる」、
「手作業では難しい精度の高い形が作れた」といった意見が多く挙がり、精度の
高い造形が可能である点が評価された。一方で、「粘土の水分量や硬さによっ
て仕上がりにムラが出る」、「ノズル詰まりや途中で形が崩れることがあり、
安定性に欠ける」といった技術的な課題も報告された。

作れるデザインの種類については、「手作業では作れない複雑な形状や立体的
なデザインが再現できる」、「細かな模様や曲線など、高度なデザインが可能
である」といった意見が挙がり、デザインの自由度が非常に高いことが評価され
た。一方で、「細い形状やくねくねした複雑な形は途中で崩れることがある」
といった意見もあり、clay printer はデザインの自由度が高い反面、形状や素材
の条件によっては安定して再現できない場合があることが示された。

この結果から、clay printer は完成度とデザインの自由度において高い評価を
得ているものの、技術的な安定性や素材の状態管理がカスタマイズ性に影響を与
えることがわかった。今後、ノズルの詰まりや出力途中の崩壊を防ぐ技術の向
上、デザインの制約を減らす機器や素材の改善が求められる。また、初心者で
も容易に操作できるテンプレートの提供や、安定性をサポートする仕組みの導入

により、より幅広いユーザーが高い完成度と多様なデザインを実現できると考えられる。

型

型における完成度については、「単純な形状であれば綺麗に仕上げることができる」、「手作業よりも形状が安定する」といった意見が挙がり、シンプルなデザインにおいては高い完成度が認められた。一方で、「型に粘土を均等に詰めるのが難しく、厚みにムラが出ることがある」、「複雑な形の型では粘土を取り外す際に欠けたり崩れたりする」といった課題も見られ、完成度は粘土の詰め方や取り扱いに大きく依存することがわかった。

作れるデザインの種類については、「型は一度作れば同じ形を何度も再現できる」という利点がある一方で、「形状が固定されているため、自由なカスタマイズが難しい」、「複雑なデザインや細かい装飾には不向きである」という意見も挙がった。一方で、「型次第で多様な形状が作れる」、「取っ手付きなど、clay printer では難しいデザインも作ることができる」といった意見も見られ、型の設計次第ではデザインの幅が広がる可能性が示された。

この結果から、型はシンプルなデザインにおいて高い完成度を実現できると同時に、工夫次第で clay printer では難しい形状や立体的なデザインを作成できるという利点も確認された。一方で、デザインの自由度や取り扱いにおける難しさが課題として残るため、今後、柔軟な型設計のサポートツールや、取り外しの容易な型の導入によって、さらに多様なデザインへの対応が期待される。

手作り

手作りにおける完成度については、「自分の思い通りに形を作れる」、「直感的に操作できるため、細かい部分にもこだわりや個性を反映できる」といった意見が挙がった。一方で、「細かな部分の成形が難しく、完成度にムラが出る」といった課題も指摘された。

手作りの最大の利点はデザインの自由度の高さであり、「複雑な形や曲線でも、

手の感覚を活かして自由に作れる」, 「型や機械に頼らず, 自分のイメージをそのまま反映できる」といった意見が挙がった. また, 「個性や手作りならではの味が出る」といったポジティブな評価も見られた. 一方で, 「細かいデザインや対称性を保つのが難しい」, 「作業者の技量によって作れる形にばらつきが出る」といった課題も指摘され, 手作業ならではの不安定さが課題として挙げられた.

この結果から, 手作りのカスタマイズ性は自由度や個性を反映できる点で非常に優れている一方で, 仕上がりの完成度や再現性には技術的なスキルや粘土の状態管理が大きく影響することがわかった.

カスタマイズ性の比較

clay printer, 型, 手作りの3つの手法にはそれぞれ得意とする作り方があることが明らかになった. clay printerは精密で複雑な形状の再現に優れ, 型はシンプルな形状や取っ手付きなど機能的なデザインを得意とし, 手作りは自由度が高く個性を反映しやすい点が強みである.

これらの結果を踏まえると, 一つの手法にこだわらず, 各手法の強みを組み合わせることで器を作ることも可能であると考えられる. 例えば, clay printerを用いて精度の高いベース部分を作り, 型で取っ手や特定のパーツを成形し, 最後に手作りによって細かな装飾や個性を加えることで, より完成度が高く, かつカスタマイズ性に富んだ器の製作が実現できる.

このように, 手法を組み合わせることで各作り方の弱点を補い合い, 家庭でも効率的かつ創造的な器作りが可能になると期待される. 今後は, こうした組み合わせを前提としたデザインプロセスや, 手法間の連携をサポートする仕組みの検討が求められる.

4.3.7 見た目の評価

コーヒー陶器

定量評価の結果は(図 4.20)に示す.

コーヒー陶器の見た目について5段階評価で尋ねた結果、1（食事に使用したい見た目ではない）が2名、2が2名、3が3名、4が2名、5（食事に使用したい見た目である）が1名となった。この結果から、コーヒー陶器の見た目に対する評価は分かれ、全体的には中程度の評価が多いことが明らかになった。

低評価（1および2）をつけた被験者からは、「表面がざらざらしていて粗さが目立つ」、「コーヒーの粒が見えることで廃材感が強く、食器として使うには抵抗がある」といった意見が挙げられた。さらに、「表面が凸凹しており、洗いにくそう」といった懸念も示され、食器としての実用性に疑問を感じる被験者も多かった。

一方で、高評価（4および5）をつけた被験者からは、「自然な風合いが独特で面白い」、「コーヒーを使用しているという点に個性を感じる」といった意見が見られた。また、「土のような質感が温かみを感じさせる」とポジティブに捉える被験者もあり、他にはない特徴として評価された。

この結果から、コーヒー陶器の見た目は、廃材特有のざらつきや粒感が好みを分ける要因となっていることがわかった。特に、表面の凸凹が洗いにくさや実用面の課題として指摘されており、今後、表面を滑らかに仕上げる加工や、粒感を活かしつつ機能性を向上させるデザインの工夫が求められる。

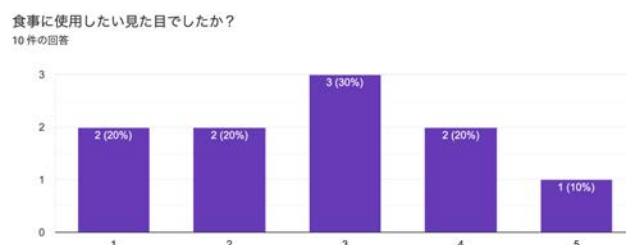


図 4.20 コーヒー陶器の見た目の評価

にんじん陶器

定量評価の結果を（図 4.21）に示す。

にんじん陶器の見た目について5段階評価で尋ねた結果、1（食事に使用した

い見た目ではない) は0名, 2が2名, 3が1名, 4が4名, 5(食事に使用したい見た目である) が3名となった。この結果から, にんじん陶器の見た目に対する評価はおおむね高く, 多くの被験者が肯定的に捉えていることがわかった。

高評価(4および5)をつけた被験者からは, 「発色が良く, 鮮やかなオレンジ色が美しい」, 「料理を盛り付けた際に映えるため, 食材の色合いとの調和が取れている」, 「白身魚や前菜など, 繊細な料理に適しており, 高級感を感じさせる」といった意見が挙がった。にんじん特有のオレンジ色が, 料理の見た目を引き立てる要素として評価され, 食器としての視覚的な価値を高めていることが示された。

一方で, 低評価(2および3)をつけた被験者からは, 「色が少しくすんで見える」, 「オレンジ色がもう少し鮮やかであれば良い」といった意見が見られた。

発色の良さが強みとされる一方で, 色の鮮やかさに対する改善の余地が指摘された。

この結果から, にんじん陶器の見た目は全体的に好評であり, 料理の色合いを引き立てる視覚的効果や高級感が強みであることがわかった。今後, 色の鮮やかさをさらに向上させる工夫や, 質感を改善することで, 食器としての完成度がさらに高まると考えられる。

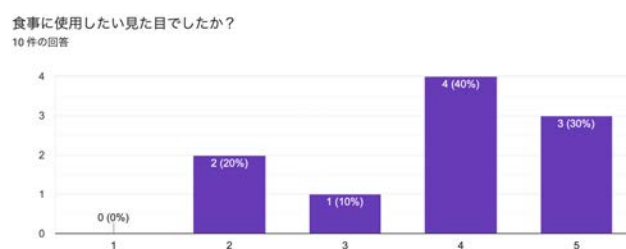


図 4.21 にんじん陶器の見た目の評価

ほうれん草陶器

定量評価の結果を(図 4.22)に示す。

ほうれん草陶器の見た目について5段階評価で尋ねた結果、1（食事に使用したい見た目ではない）は0名、2が2名、3が3名、4が3名、5（食事に使用したい見た目である）が2名となった。この結果から、ほうれん草陶器の見た目はおおむね中程度の評価が多いものの、一部の被験者から高い評価も得られていることがわかった。

高評価（4および5）をつけた被験者からは、「深みのある色合いが料理を引き立てる」、「黒に近い緑色がシックで、スープや白い料理を盛り付けると映える」といった意見が挙がった。特に、色の暗さが落ち着いた印象を与え、シンプルな料理やコントラストのある食材を際立たせる点が評価された。

一方で、低評価（2および3）をつけた被験者からは、「色が暗すぎて重たい印象がある」、「見た目が濁った緑色に見え、食器としての魅力に欠ける」といった意見が挙がった。また、「廃材感が拭えず、食事を盛り付ける際に抵抗がある」といった声もあり、色合いの暗さが見た目の評価を分ける要因となっていた。

この結果から、ほうれん草陶器の見た目は、深みのある色合いによるシックな印象や食材とのコントラストが強みである一方で、色の暗さや廃材感に対する抵抗が課題として指摘された。今後、色味を調整し、食器としての明るさや清潔感を向上させる工夫を加えることで、より多くの人に受け入れられるデザインとなることが期待される。

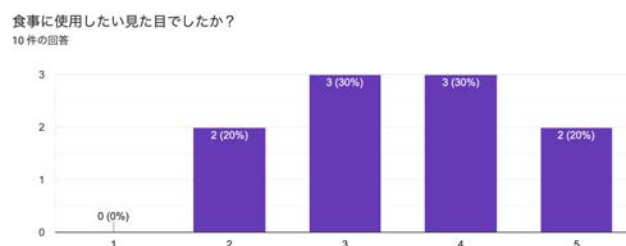


図 4.22 ほうれん草陶器の見た目の評価

廃材食器の見た目の比較

定量評価の結果を（図 4.23）に示す．

コーヒー陶器， にんじん陶器， ほうれん草陶器の 3 種類の見た目について最も使いたい陶器を尋ねた結果， にんじん陶器が 5 名と最も多く選ばれ， 次いでほうれん草陶器が 3 名， コーヒー陶器が 2 名という結果となった． この結果から， 廃材食器は食事の用途に応じて素材を使い分けることで， それぞれの強みを最大限に活かすことができると考えられる． 例えば， にんじん陶器は色鮮やかな料理や繊細な盛り付けに適しており， ほうれん草陶器は白いスープやシンプルな料理との組み合わせでコントラストを引き立てる． 一方， コーヒー陶器は装飾用や温かみのあるデザインが求められる場面で活用することで， 見た目の特性を有効に活かせる可能性がある． 今後， 料理の種類やシーンに合わせた食器の使い分けを提案することで， 廃材食器の価値を高め， 実用性とデザイン性の両立が期待される．

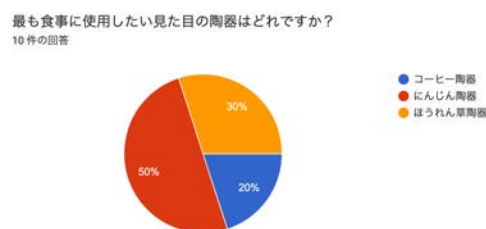


図 4.23 最も使いたい陶器の見た目の評価

4.3.8 抵抗感の評価

コーヒー陶器

定量評価の結果を（図 4.24）に示す．

コーヒー陶器の衛生的抵抗感について 5 段階評価で尋ねた結果， 1（非常に抵抗感がある）が 2 名， 2 が 5 名， 3 が 1 名， 4 が 0 名， 5（全く抵抗感がない）が 2 名となった． この結果から， コーヒー陶器は全体的に低評価が多く， 衛生的抵抗感を感じる被験者が多数であることがわかった．

低評価（1および2）をつけた被験者からは、「匂いが強く、食事に匂いが移りそうで気持ち悪い」、「コーヒーの粒感が表面に残っていてカビが生えそう」、「スープなど液体を入れると成分が溶け出しそうで不安」といった意見が挙がった。また、「普段コーヒークラスを台所の消臭剤として使用しているため、食器として使うことに抵抗があるが、消臭剤を入れる容器としてなら使いたい」、「食器ではなくアクセサリ入れなど別の容器としてなら使えると思う」との意見もあり、食品用途ではなく非食器用途としての活用可能性が示された。

一方で、高評価（5）をつけた被験者からは、「コーヒークラスの色が土のようで、普段使っている陶器と色味が近いので抵抗感がない」、「自然由来の素材という点で安心感がある」といった意見が挙がった。見た目の色味が一般的な陶器に近いことや、素材の自然さが衛生的な抵抗感を軽減する要因となったと考えられる。

この結果から、コーヒー陶器に対する衛生的抵抗感は、匂い移りやカビへの不安が主な要因であり、特に食品用としての使用に抵抗を感じる被験者が多かった。一方で、消臭剤の容器やアクセサリ入れといった非食器用途としての活用には一定の評価が見られた。

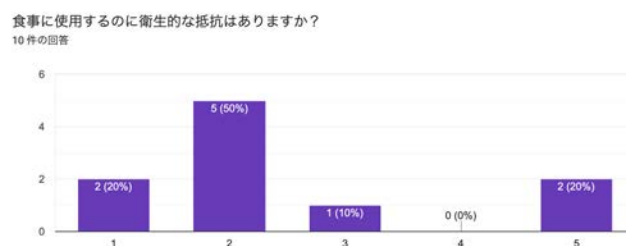


図 4.24 コーヒー陶器の衛生的な抵抗感の評価

にんじん陶器

定量評価の結果を（図 4.25）に示す。

にんじん陶器の衛生的抵抗感について 5 段階評価で尋ねた結果、1（抵抗感がある）が 1 名、2 が 2 名、3 が 0 名、4 が 4 名、5（全く抵抗感がない）が 3

名となった。この結果から、にんじん陶器の衛生的抵抗感はおおむね肯定的に評価され、半数以上の被験者が4以上の評価を示したものの、一部で抵抗感を示す意見も見られた。

高評価（4および5）をつけた被験者からは、「見た目に廃材感が少なく、清潔感がある」、「気持ち的に全然大丈夫だと感じた」といった意見が挙がった。特に、にんじんの明るい色合いが廃材特有の印象を軽減し、抵抗感を感じにくい要因となっていた。

一方で、低評価（1および2）をつけた被験者からは、「にんじんが嫌いな人には抵抗があるかもしれない」、「にんじんの質感がペースト状で気持ちが悪い」といった意見が挙がった。にんじんが元々食品であることが逆に抵抗感につながり、特に質感や見た目が心理的な不快感を引き起こす要因となっていた。

この結果から、にんじん陶器は全体として清潔感や色合いが評価される一方で、質感やにんじんそのものへの印象が衛生的抵抗感を引き起こすことがわかった。

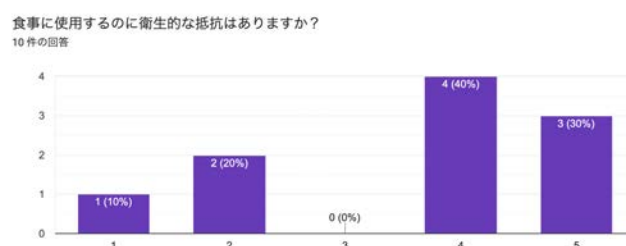


図 4.25 にんじん陶器衛生的な抵抗感の評価

ほうれん草陶器

定量評価の結果を（図 4.26）に示す。

ほうれん草陶器の衛生的抵抗感について5段階評価で尋ねた結果、1（抵抗感がある）は0名、2が2名、3が2名、4が2名、5（全く抵抗感がない）が4名となった。この結果から、ほうれん草陶器の衛生的抵抗感は全体的に肯定的な評価が多く、高評価が過半数を占める一方で、素材特有の課題も一部指摘された。

高評価（4および5）をつけた被験者からは、「にんじん陶器と比べてペースト感が弱く、コーヒー陶器と比べてカスの付着がないため、見た目・衛生感ともに抵抗を感じなかった」といった意見が挙がった。特に、見た目における表面の滑らかさや廃材の粒感が少ない点が、衛生的に感じられる要因として評価された。

一方で、低評価（2および3）をつけた被験者からは、「ほうれん草の匂いが強くて嫌だった」、「色が濁って見えるため、清潔感に欠ける」といった意見が挙がった。素材由来の匂いが残っていることや、色味が衛生面での心理的抵抗感を引き起こす要因となっていることが示された。

この結果から、ほうれん草陶器の衛生的抵抗感は全体として低く、見た目の清潔感が評価される一方で、匂いや色味に対する懸念が一部の被験者に抵抗感を与えていることがわかった。



図 4.26 ほうれん草陶器衛生的な抵抗感の評価

廃材食器の衛生的抵抗感の比較

定量評価の結果を（図 4.27）に示す。コーヒー陶器、にんじん陶器、ほうれん草陶器の3種類の廃材食器について、食事に使用する際の衛生的抵抗感を評価した結果、にんじん陶器が5名と最も抵抗感が少ないと評価され、次いでほうれん草陶器が3名、コーヒー陶器が2名という結果となった。この結果から、廃材食器の衛生的抵抗感にはそれぞれの素材特性が影響しており、にんじん陶器は清潔感と滑らかな質感から抵抗感が最も少なかった。一方で、ほうれん草陶器は匂いや色味の課題があり、コーヒー陶器は匂い移りやカビへの不安が強く指摘された。これ

らの課題に対する対策として、防臭・耐水性を向上させるための生分解性のコーティング剤の塗布が有効であると考えられる。生分解性のコーティングを使用することで、環境負荷を抑えつつ、匂いの残留や成分の溶出を防ぎ、表面の質感を滑らかに仕上げることができる。今後、生分解性素材を活用した適切なコーティング技術の導入により、食器としての実用性と衛生面での信頼性を向上させ、環境配慮型の廃材食器としての価値を高めることが期待される。

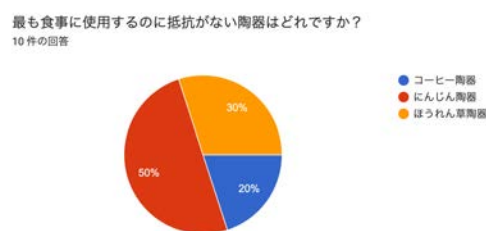


図 4.27 最も衛生的な抵抗感の少ない陶器の評価

4.3.9 プロセスのユースケース

本研究で提案した「家庭から食品廃材が発生し、その廃材を原料として粘土を作り、使い捨て食器を製作・利用し、最終的に土に還す」というプロセスは、環境負荷の軽減と家庭内でのアップサイクル実践を目的としたものである。被験者への検証とインタビューを通じて、本プロセスには複数の具体的なユースケースが見出された。

まず、家庭内の食品廃材の処理手段としての有用性が指摘された。多くの被験者が、生ごみの発生時に「これをどうにかしたい」と感じており、粘土として再利用することで廃材処理への負担が軽減されると評価した。特に、夏場やゴミ出し日までの保存が困難な時期に有効であり、生ごみの悪臭や腐敗の問題を解決する一手段として捉えられた。

次に、アウトドア活動における利便性が挙げられた。キャンプやバーベキューなどでは、使い捨て食器の需要が高く、廃材から現地で食器を作り、使用後に土に還すことでゴミの持ち帰りを減らせるという点が評価された。被験者からは

「現地で廃材を使って簡単に作れば、環境にも配慮できる」といった意見があり、野外活動のエコロジカルな選択肢としての可能性が示された。

さらに、教育現場での活用も提案された。小学校などの食育活動において、食品廃材を用いた食器作りは、食品を無駄にしない意識や環境への配慮を学ぶ実践的な教材となり得る。被験者からは、「野菜の切れ端が食器に生まれ変わるプロセスは、子どもにとって学びが多く、楽しい体験になる」との意見も挙げられている。

また、非食器用途への展開も期待されている。コーヒー陶器については、台所の消臭剤容器やアクセサリ入れとして使用するアイデアが提案された。食器としての実用性に抵抗感がある場合でも、日常のインテリアや収納用途として再利用の可能性が示された。

このように、廃材食器のプロセスは、廃材の有効活用や環境負荷の軽減、教育的意義、さらにはアウトドアや非食器用途といった多様なユースケースを持つことが明らかになった。今後は、プロセスの手間を軽減し、実用性を高める技術の導入や、生分解性コーティング剤の活用により、本プロセスのさらなる普及と展開が期待される。

4.4. 家庭での検証

家庭での検証は、食品廃材から作成した食器を日常生活で使用してもらうことを目的として実施した。3人暮らしの家庭において、手作りと型の2種類の手法を用い、3種類の食品廃材（コーヒーカス、にんじんの皮、ほうれん草の切れ端）から食器を作成し、その食器を実際の食事で使用してもらった。

検証の流れは以下の通りである。まず、家庭内で調理を行い、その過程で発生する食品廃材を集めてもらった。次に、私が作成したガイドラインにアクセスしてもらい、記載された手順に従って粘土を作成した。その粘土を用いて、手作りまたは型を使用して食器を成形する作業を行った。

完成した食器はドライヤーで乾燥させた後、実際の食事で使用してもらった。使用後は被験者に対し、食品廃材の利用に関する感想や、手作り・型のそれ

ぞれの手法の使いやすさ，仕上がりの満足度，廃材利用に対する意識の変化について定性的なインタビューを実施した．検証の流れ(表 4.3)，検証の様子や被験者が作った作品を(図 4.28，図 4.29，図 4.30，図 4.31)に示す．

表 4.3 検証の流れ

調理 (食品の廃棄が出る工程のみ)	30 分
粘土作り	10 分
手・型での成形	20 分
ドライヤーでの乾燥	10 分
食事	10 分
体験後インタビュー	10 分



図 4.28 被験者が作った食器と料理



図 4.29 手でお皿を作っている様子

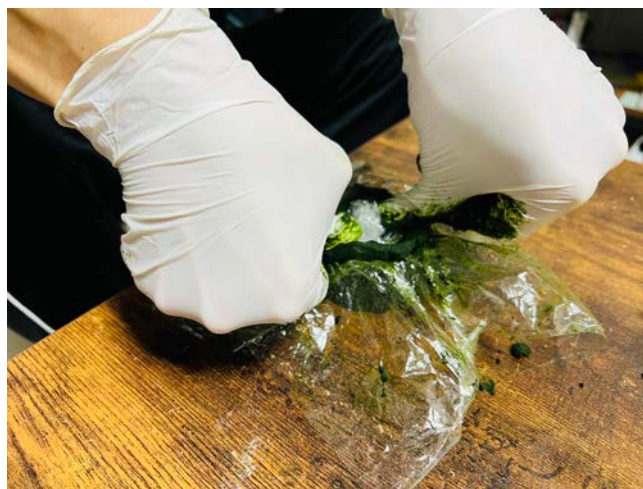


図 4.30 型で器を作っている様子



図 4.31 作った食器で食事をしている様子

4.5. インタビューの結果と考察

家庭での検証を通じて、食品廃材を利用した食器製作および使用に関して、いくつかの重要な知見が得られた。以下では、被験者からのインタビューを基に得られた意見と、観察を通じて明らかになった課題について述べる。

被験者からは、「手軽に粘土を作り、食器を製作できることに驚いた」という感想が寄せられた。さらに、「自分が作ったものだから愛着が湧いた」というポジティブな意見が得られ、自身の手で作ることの意義や楽しさが示唆された。一方で、「他人が作った器だったら食事するのに抵抗がある」という意見もあり、製作者への信頼や衛生的な安心感が、食器の受容性に影響を与えることが分かった。

製作された食器の見た目については、「色が綺麗なので料理が美味しそうに見えた」といった肯定的な評価があった。さらに、粘土に油を使用していないため、「手を洗ったらすぐに綺麗になり、掃除が簡単だった」という実用的な利点も挙げられた。一方で、食品廃材の種類による差異も指摘され、特に「コーヒーは乾燥させても匂いが強く残り、直接口が触れるのに抵抗があった」という意見があった。

検証中の観察を通じて、いくつかの課題も明らかになった。まず、粘土を作る際に粉の分量を非常に細かく測る必要があり、この作業が負担になっていた。

この点については、廃材以外の材料を事前に粘土状に加工しておき、家庭で

は廃材を混ぜるだけで粘土を完成させられるようなプロセスを導入することで、作業の負担を軽減できる可能性が考えられる。

さらに、綺麗に形を作る工程でも苦勞する様子が見られた。特に、粘土の形を整えたり、型を使用した際の仕上がりを向上させるには技術的な工夫が必要であると考えられる。

また、食器を乾燥させる工程では、ドライヤーを10分ほど使用する必要があり、この時間的な負担が家庭内での普及における大きな障壁となることが示唆された。

以上の結果から、食品廃材を利用した食器製作は、環境的な意義や個人の愛着を生む可能性を持ちながらも、作業工程の簡略化が不可欠であることが分かった。具体的には、粘土製作工程の負担を軽減する仕組みの導入や、食品廃材の特性に応じた改善が今後の課題として挙げられる。また、他者が製作した製品に対する心理的抵抗感の低減も重要な課題である。これらの課題を解決することで、家庭内での食品廃材のアップサイクルの実践性をさらに向上させる可能性がある。

第 5 章

議

論

5.1. clay printer の課題

本研究では、食品廃材を原料とした使い捨て食器の製造手法として、型、手作り、clay printer の3つの手法を比較し、それぞれの適性を検証した。その中でも clay printer はデジタル技術を活用することで、高い再現性やカスタマイズ性が実現できる点で優れている一方で、家庭での導入および運用において課題が多いことが明らかになった。

5.1.1 導入コストの高さ

clay printer の最も大きな課題の一つは、設備導入にかかるコストの高さである。一般的な家庭向け 3D プリンターと比較して、粘土専用のプリンターはまだ普及が進んでおらず、装置そのものが高額である。また、専用のソフトウェアやノズル、メンテナンスに必要な道具類も追加費用として発生するため、家庭レベルでの利用には経済的な障壁が存在する。

5.1.2 操作の難しさ

clay printer を効果的に活用するためには、素材の調整やノズルの設定、出力パラメータの調整といった高度な操作が求められる。特に、食品廃材を混ぜた粘土は、粘性や水分量が均一でないため、出力時にノズル詰まりや積層不良が発生しやすい。そのため、プリントを成功させるためには素材の事前準備と微調整が不可欠であり、初めて使用するユーザーには大きな負担となる。

5.1.3 設備と環境の制約

clay printer は精密な機械であるため、使用環境にも一定の条件が求められる。例えば、湿度や温度の変化が粘土の状態に影響を与え、安定した出力が難しくなる場合がある。また、装置のサイズや重さも家庭利用には不向きであり、設置スペースの確保が必要となる。

5.1.4 プリント時間と効率の問題

手作りや型による成形と比較して、clay printer は一つの食器を出力するために長時間を要する。特に複雑な形状や大きなサイズの製品を出力する場合、1回のプリントに数時間を要することがあり、家庭内での日常的な利用には効率が悪いという問題がある。

第 6 章

結 論

6.1. 総括

本研究では、家庭から発生する食品廃材を原料に、使い捨て食器を製造し、使用後に生分解を通じて土へ還す循環型プロセスの実現可能性を検証した。まず、製造手法として型、手作り、clay printer の三つの方法を比較し、操作性、再現性、カスタマイズ性の観点からそれぞれの適性を評価した。検証の結果、様々な課題があるものの、clay printer が全ての項目において高い評価を得た。

clay printer は新たに導入したシンプルな UI により操作性が大きく向上し、三つの製造手法の中で最も高い評価を得た。特に、複雑な形状や高いカスタマイズ性が評価され、柔軟なデザインが可能であることが示された。型は再現性と効率性に優れ、同一形状の製品を安定的に製作できる手法として評価された。手作りは素材への柔軟な対応や創造性が高く、手軽に製作可能である一方、品質にばらつきが生じやすい課題が確認された。これらの結果から、三つの手法はそれぞれ異なる強みを持ち、目的や用途に応じた適切な使い分けが重要である。

次に、食品廃材を利用して製作された陶器の評価では、見た目や質感が自然といった肯定的な意見が多く寄せられた。一方で、廃材由来であることに対する「衛生面での不安」や心理的な抵抗感も指摘され、製品の安全性や信頼性を高めるための工夫が求められることがわかった。

6.2. 今後の展望と課題

本研究で扱った製造手法や素材は、使い捨て食器にとどまらず、他の製品への応用の可能性も示した。食器だけでなく、植木鉢やインテリア雑貨、装飾品など、高いカスタマイズ性や素材の質感を活かした製品の製作が可能であることが確認された。また、アウトドア利用においては、廃材由来の製品が軽量で使い捨て可能な点が評価され、持ち帰り不要な環境負荷の低いアイテムとしての可能性が示唆された。一方で、教育分野への応用では、食品廃材の活用を通じて「資源循環」や「持続可能性」の学びを実践的に体験できる教材として期待される。廃材から製品を製作するプロセスを教育現場に導入することで、子どもたちが環境意識を高めるきっかけとなることが考えられる。

今後は、粘土素材の改良や製造手法の技術的課題の解決が求められる。特に、粘性や強度を安定させるための配合レシピの最適化、さらに長期的な生分解性評価による環境への影響分析が重要である。製造手法については、clay printerの精度向上や作業効率の改善に加え、型や手作りのプロセス効率化を進めることで、家庭での実践をより手軽で確実なものにすることが期待される。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、指導教員である慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科のマッシュ・ウォルドマン教授には、アップサイクルに関する深い知見と示唆に富んだご指導をいただきましたことを心より感謝申し上げます。持続可能なデザインと循環型プロセスの視点を学ぶことで、本研究の方向性を明確にし、大きな成長につなげることができました。

また、山岡潤一准教授には、clay printer の技術や知識について丁寧にご指導いただきました。初めて扱う clay printer の操作や応用において数多くの助言をいただき、試行錯誤を繰り返しながらも着実に研究を前進させることができました。

本研究の過程では、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の教員や関係者の皆様から多くの示唆とサポートをいただきました。さらに、試作や評価の過程で協力してくださった被験者の方々、研究やディスカッションを共に行った同期や先輩方、そして日々陰ながら支えてくれた家族や友人の支えがあったからこそ、本論文をまとめ上げることができました。

皆様にこの場を借りて深く感謝申し上げます。本当にありがとうございました。

参 考 文 献

- [1] United Nations Environment Programme. Food waste index report 2024. think eat save: Tracking progress to halve global food waste, March 2024. URL: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/45230>.
- [2] 環境省. 我が国の食品ロスの発生量の推計値（令和4年度）の公表について. (2024年12月18日閲覧). URL: https://www.env.go.jp/press/press_03332.html.
- [3] Dolores Eliche-Quesada, Luis Pérez-Villarejo, Fco Iglesias-Godino, C Martinez-Garcia, and Fco Corpas-Iglesias. Incorporation of coffee grounds into clay brick production. *Advances in Applied Ceramics*, Vol. 110, pp. 225–232, may 2011. doi:10.1179/1743676111Y.0000000006.
- [4] Jing Wang, et al. Upcycling through crafts: uncovering methods for craft-based upcycling design. Master’s thesis, Aalto University, 2018. Master’s thesis.
- [5] Fiona Bell, Netta Ofer, and Mirela Alistar. Reclaym our compost: Biodegradable clay for intimate making. In *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’22, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3491102.3517711>, doi:10.1145/3491102.3517711.
- [6] S.M. Schaub and J.J. Leonard. Composting: An alternative waste management option for food processing industries. *Trends in Food Science Technology*, Vol. 7, No. 8, pp. 263–268, 1996. URL: <https://>

- www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224496100297, doi:
[https://doi.org/10.1016/0924-2244\(96\)10029-7](https://doi.org/10.1016/0924-2244(96)10029-7).
- [7] fabula 株式会社. 【記者発表】廃棄食材から完全植物性の新素材
開発に成功. URL: <https://www.iis.u-tokyo.ac.jp/ja/news/3567/>
(2024 年 12 月 18 日閲覧).
- [8] 丸紅株式会社. edish. 2024. URL: <https://edish-jp.com/>
(2024 年 12 月 18 日閲覧).
- [9] Hariharan V and R. Arulraj. Design and analysis of innovative machine to
make bio cups and plates from agricultural waste. *International Journal for
Research in Applied Science and Engineering Technology*, Vol. 11, pp. 1597–
1608, 07 2023. doi:10.22214/ijraset.2023.53615.
- [10] Swabiiha Buxoo and Pratima Jeetah. Feasibility of producing biodegradable
disposable paper cup from pineapple peels, orange peels and mauritian hemp
leaves with beeswax coating. *SN Applied Sciences*, Vol. 2, pp. 1–15, 2020.
URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:220506464>.
- [11] Javier Alonso Madrid, Guillermo Sotorrió Ortega, Javier Goros-
tiza Carabaño, Nils O. E. Olsson, and José Antonio Tenorio Ríos. 3d claying:
3d printing and recycling clay. *Crystals*, Vol. 13, No. 3, 2023. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4352/13/3/375>, doi:10.3390/cryst13030375.
- [12] Matthias Leschok and Benjamin Dillenburger. Dissolvable 3dp formwork.
water-dissolvable 3d printed thin-shell formwork for complex concrete com-
ponents. In Kory Bieg, Danelle Briscoe, and Clay Odom, editors, *ACADIA
19: Ubiquity and Autonomy. Proceedings of the 39th Annual Conference of
the Association for Computer Aided Design in Architecture*, pp. 188 – 197,
s.l., 2019. Association for Computer Aided Design in Architecture (ACA-
DIA). 39th Annual Conference of the Association for Computer Aided De-

- sign in Architecture: Ubiquity and Autonomy (ACADIA 2019); Conference Location: Austin, TX, USA; Conference Date: October 24-26, 2019.
- [13] Michael L. Rivera, S. Sandra Bae, and Scott E. Hudson. Designing a sustainable material for 3d printing with spent coffee grounds. In *Proceedings of the 2023 ACM Designing Interactive Systems Conference*, DIS '23, p. 294–311, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3563657.3595983>, doi:10.1145/3563657.3595983.
- [14] Leah Buechley, Jaime Gould, and Fiona Bell. Cerametal: A new approach to low-cost metal 3d printing with bronze clay. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '24, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3613904.3642155>, doi:10.1145/3613904.3642155.

付 録

A. ウェブサイト

食品廃材で創るサステナブルな未来

本プロジェクトでは、家庭から発生する食品廃材を利用し、Clay Printerや手作業、型を用いた使い捨て食器の製造方法を研究しています。コーヒーカスや野菜の皮など、廃棄されがちな食品素材を粘土に加工し、美しい食器へと再生。使用後は生分解を通じて土に還元する循環型プロセスを実現します。

本サイトでは、食品廃材の可能性やアップサイクルの手法を分かりやすく紹介するとともに、家庭での実践方法をサポートします。持続可能な社会の実現に向けて、一緒に新しい価値を創造していきましょう。

粘土の作り方

家庭で簡単に取り組める、食品廃材を活用した粘土の作り方を紹介します。食品廃材は、単なるゴミではなく新しい可能性を秘めた資源です。コーヒーカスや野菜の皮などを粘土として再生させ、クレイプリンターや手作業での成形に適した粘土を作る方法を紹介します。

陶器の作り方

家庭から出る食品廃材を活用して作る陶器のプロセスをご紹介します。コーヒーカスや野菜の皮などの食品廃材を粘土化し、Clay printerや手作業、型を用いて陶器を製作する方法を開発しました。廃材が美しい器に生まれ変わる過程は、環境保護と創造性を両立する新しい挑戦です。

図 A.1 ホームページ

粘土の作り方

食品材料を使った粘土作りは、環境負荷を減らしながら創造性を養える画期的な方法です。本ページでは、原料の選定から粘土の配合、加工プロセス、乾燥方法までを詳しく解説しています。自然と人をつなぐ新たな価値の仕組みを、ご家庭でぜひ体験してください。また、作った後は乾燥後に分解し、土へ還る循環型のデザインになっています。

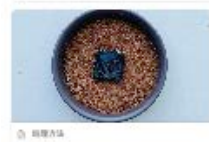
Gallery View

コーヒー粘土



① 器・手作り用粘土の作り方

② Clay Pottery用粘土の作り方



③ 乾燥方法

Gallery view

にんじん粘土



① 器・手作り用粘土の作り方

② Clay Pottery用粘土の作り方



③ 乾燥方法

Gallery view

ほうれん草粘土



① 器・手作り用粘土の作り方

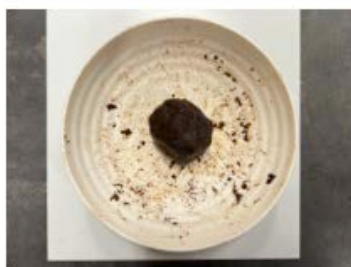
② Clay Pottery用粘土の作り方



③ 乾燥方法

図 A.2 粘土の作り方

型・手作り用粘土の作り方



完成品

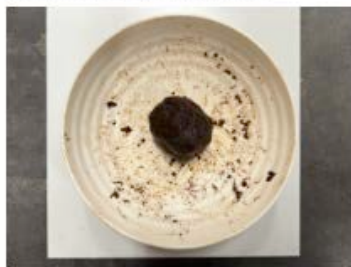
作り方の手順



① コーヒーのスクラップを移します。



② ①の混合物に石膏を20g、エポキシ樹脂の10g、水を10g加えます。



③ ②の粘土が乾いたら、型から取り出します。

図 A.3 型・手作り用粘土の作り方(コーヒー)

Clay Printer用粘土の作り方



完成品

作り方の手順



コーヒー粉末を250g準備します。



厚かきボケシメジを250g、セサミン油50g、水100gを加えます。



色白・粉が飛んできぬまで調整から完成です。

図 A.4 clay printer 用粘土の作り方 (コーヒー)

処理方法



使用したコーヒー陶器は土に返し、肥料にすることができます。

図 A.5 処理方法 (コーヒー)

型・手作り用粘土の作り方

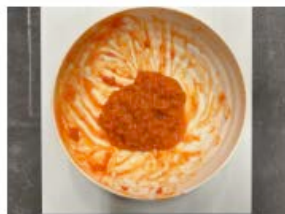


作り方の手順



図 A.6 型・手作り用粘土の作り方 (にんじん)

Clay Printer用粘土の作り方



作り方の手順

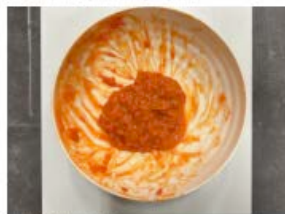


図 A.7 clay printer 用粘土の作り方 (にんじん)

処理方法



使用したにんじん蒔器は土に返し、肥料にすることができます。

図 A.8 処理方法 (にんじん)

型・手作り用粘土の作り方



作り方の手順



図 A.9 型・手作り用粘土の作り方 (ほうれん草)

Clay Printer用粘土の作り方



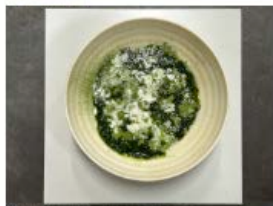
作り方の手順



1. ほうれん草と人参を細かく切ります。



2. 鍋で10分ほど煮込みます。



3. 料理機でペースト状にします。



4. 粘土の調整は、水を加えて調整します。

図 A.10 clay printer 用粘土の作り方 (ほうれん草)

処理方法



使用したにんじん陶器は土に返し、肥料にすることができます。

図 A.11 処理方法 (ほうれん草)

陶器の作り方

陶器作りの流れはシンプルですが、工夫と発見の連続です。陶器作りのプロセスは、クレイプリンターや手作業で成形し、自然乾燥で仕上げるまでの流れを含みます。焼成を行わないため、特別な設備は不要で、自宅でも手軽に取り組めます。

Gallery view

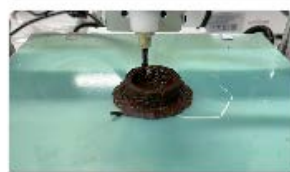
Clay Printerの使い方



事前準備



Clay Printerの使い方



プリント

Gallery view

型の使い方



型の使い方



型の使い方

Gallery view

手での作り方



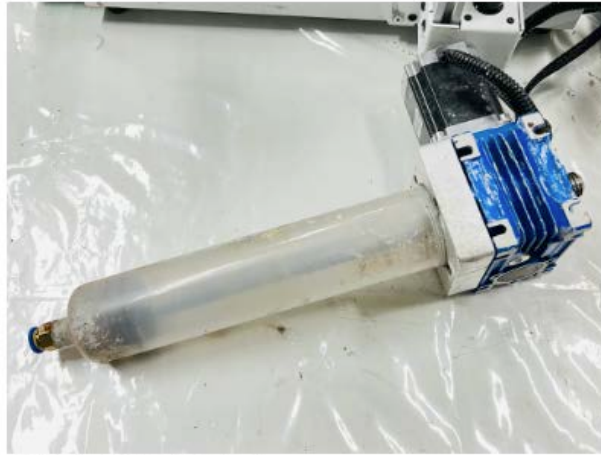
手での作り方

図 A.12 陶器の作り方

事前準備



①粘土を筒に入れて、バーを一番下まで押し込み、Clay Printerにセットします。



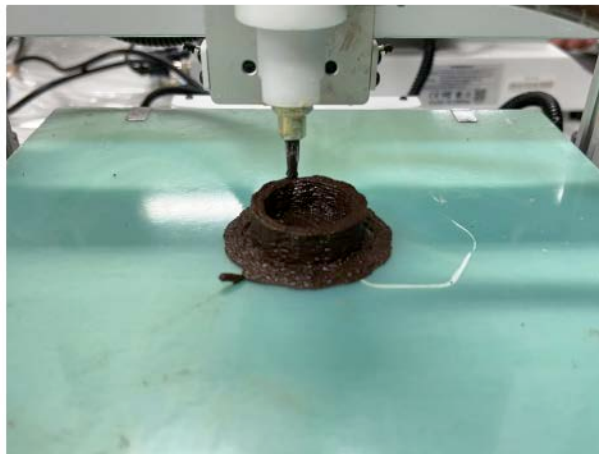
②機械にセットしたら準備完了です。

図 A.13 事前準備



図 A.14 UI の操作方法

プリント



④ノズルの詰まりが起こっていないか確認しながら完成を待ちます。もしノズルが詰まってしまったら、プリントを中止して、つまりを除去してください。



⑤プリンターの動きが止まったら完成です。

図 A.15 プリント中の注意



111

型の使い方③



必ず型に型紙を貼ります。



型紙の縁に糊を塗り、型紙を貼ります。



型紙を貼って、糊を乾かします。



完成品です。

図 A.17 型の使い方2

手での作り方



◎お手本を見ながら、粘土の形を整えていきます。



◎成形できたら完成です。

図 A.18 手での作り方