平成 26 年度
慶應義塾大学
学士論文

素材の特性に合わせたものづくりのレシピの検討
- 食品用 3D プリンタの開発を通して -

環境情報学部環境情報学部 4 年
渡邊萌果

指導教員 田中浩也准教授
2015 年 1 月 20 日

論文要旨

近年、ものづくりに関するいくつかの基盤が広まったことで、個人によって取り組むことのできるものづくりの領域が拡大しつつある。ひとつ目の基盤としては、デジタルファブリケーションという技術が一般市民にも身近な存在となったこと、ふたつ目の基盤としては、デジタルファブリケーション環境を活かしたものづくりを共有するインターネット上のサービスが発展したことが挙げられる。

本論では、このような基盤を活かして数多く生まれているプロジェクトの中でも、世界中で生まれつつある食品用 3D プリンタの事例に着目する。食品用 3D プリンタのプロジェクトは、ものづくりの基盤のひとつであるデジタルファブリケーション環境を活かし、それぞれが用いる素材の特性に合わせた機械の開発を進めている。一方で、各プロジェクトが独自の発展をしながらも、これらの食品用 3D プリンタには、機械同士に共通した特徴が数多く見られる。しかし、共通している点を持つ機械や素材の開発における知見は、もうひとつの基盤であるウェブサービスでの共有が乏しい現状がある。このような現状から、プロジェクト間で共通する知見の共有がより盛んに行われるようになることで、食品用 3D プリンタのような素材の特性を活かしたプロジェクトを拡大することができるのではないかと考えた。

そこで本論では、いくつかの制作や検証を通じて「素材の特性に合わせたものづくりの知見を共有するためには、どのような要素が必要なのか」について、以下の 2 点の取り組みを通して検討する。

1. 食品用 3D プリンタの制作を通した、素材の特性に合わせたものづくりの実践
2. 素材の特性に合わせたものづくりの知見の共有を目的とした、情報伝達手段の試作とその検証

以上の取り組みから、食品用プリンタのプロジェクトをはじめとする素材の特性に合わせたものづくりが、ものづくりの基盤を活用することで、より拡大していくために必要な要素を見出すことを目指す。

慶應義塾大学 環境情報学部
渡邊 萌果

目次

1.　研究の背景　4
1.1.　パーソナルファブリケーション　4
1.2.　ものづくりの共有を支援するサービス　5
1.2.1.　Instructables　6
1.3.　ものづくりの共有、継承を支援するサービス　7
1.3.1.　Thingiverse　8
1.3.2.　Fabble　8
1.4.　取り上げたサービスのまとめ　9
1.5.　ものづくりの継承を支援するルール　10
1.5.1.　クリエイティブ・コモンズ・ライセンス　10
2.　関連する活動　11
2.1.　素材の特性に合わせた食品用 3D プリンタ　11
2.1.1.　Fab@Home　12
2.1.2.　Choc Creator　13
2.1.3.　Pancake Bot　13
2.1.4.　和菓子を出力する３D フードプリンタ　14
2.1.5.　３D ゲルプリンタによる食品の出力　14
3.　背景、関連する活動のまとめと本研究の目的　15
4.　食品用３D プリンタの制作　16
4.1.　素材の選定　16
4.2.　食品用 3D プリンタによる造形の形状目標の設定　17
4.3.　制作に使用した 3D プリンタ　18
4.4.　制作において参照した 3D プリンタ　19
4.5.　制作した 3D プリンタ本体の概要　20
4.5.1.　素材を出力するエクストルーダ　22
4.6.　素材の開発　23
4.6.1.　米粉の分類　23
4.6.2.　米粉の種類選定のための実験　25
実験の結果詳細　31
4.6.3.　「微細米粉」の特性の整理　32
5.　食品用３D プリンタの制作から得た仮説　34

6.　素材の特性に合わせたものの派生のための情報伝達手段の試作　36
6.1.　素材の加工に関する情報伝達のためのスライサーの開発　36
6.2.　素材の特性に合わせたものづくりレシピの要素検討　39
7.　レシピの必要要素検討のための実験　40
7.1.　予備実験　41
7.2.　本実験　43
7.3.　2 つの実験の考察　44
8.　まとめ・展望　46
9.　謝辞　47
10.　図引用　48
11.　文献目録　49
12.　付録　51
12.1.　Fabble「ラテアートステンシル」①改変前　51
12.2.　Fabble「ラテアートステンシル」②改変後　53

1. 研究の背景

本論は、素材の特性に合わせたものづくりについて述べるものである。その研究背景として、そのようなものづくりが起こる基盤として機能している、近年のものづくりに関する潮流について説明する。取り上げる事項は、以下の 3 点に分類される。

- 個人によって行うことができるものづくりの領域の拡大の
- 個人によるものづくりをインターネット上で共有するサービス
- ものづくりの派生を助けるサービスやルール

以下、これらの潮流がどのようなものか説明した上で、代表的な事例を紹介していく。

1.1. パーソナルファブリケーション

近年、デジタルファブリケーションと呼ばれる技術が一般市民にも身近な存在となりつつある。デジタルファブリケーションとは、コンピュータ上の設計データをもとに、コンピュータ制御によって動くデジタル工作機械を用いて素材を加工する技術の総称である。デジタル工作機械には、レーザー加工機や 3D プリンタ、CNC ミリングマシンなどがある。デジタル工作機械を用いたものづくりは古くから行われてきた。ただ、それは工場など製造現場に属する層の間に限られていた。しかし近年になって、機械や設計ソフトウェアが低価格化したことや、ソフトウェアにおけるオープン化の流れが機械などのハードウェアにも派生したことにより、利用者の層が広がっている。

デジタルファブリケーション技術がアクセスしやすいものになったことに伴って、デジタル工作機械を使える場も広がっている。
デジタル工作機械を備えた市民工房である FabLab は 2014 年 12 月現在世界に 400 箇所以上、日本国内にも 12 箇所存在する。 [1]
さらに、教育現場にもデジタル工作機械を使える場は広がっている。たとえば、筆者が在学する慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスのメディアセンターでは、複数の 3D プリンタをはじめとするデジタル工作機械が自由に使用できる形で設置されている。
また、3D プリンタやミリングマシンなどのデジタル工作機械は、個人で小型のものを購入し自宅で利用する人も現れている。

以上のような状況の変化によって、少人数単位でもデジタル工作機械を用いたものづくりを行うことが可能になった。このように、個人が自らの必要や興味にもとづいてデジタルファブリケーション技術を用いてものをつくることを、パーソナルファブリケーションと呼ぶ。

1.2. ものづくりの共有を支援するサービス

前節で述べたパーソナルファブリケーションの潮流は、世界中のあらゆる場において、個人によるものづくりの領域を広げた。本節では、個人によるものづくりを支えているもうひとつの要素として、インターネット上の共有サービスを取り上げる。

つくりかたを共有するウェブサービスとしては、パーソナルファブリケーションが広まる以前から、いくつかの分野で広く用いられてきた。例えば、料理のつくりかたを共有するウェブサービスに Cookpad [2]がある。Cookpad は、ユーザーが料理のつくりかたを材料の分量や手順などの項目で構成されるレシピ形式で公開し、共有できるサービスである。レシピの公開だけでなく、公開されたレシピを見てユーザーが料理を作ったことを写真とともに投稿する「つくれぽ」という機能も盛んに利用されており、1 つのレシピに 1 万件以上の「つくれぽ」が投稿された例もある。Cookpad は 1990 年代終盤に日本で生まれ、2014 年 12 月現在、月間利用者数は 5000 万人以上、公開されているレシピは 191 万件を超える。Cookpad は、日本中の家庭の台所という、ある程度設備が共通した場における「料理」という種のものづくりをインターネットでの共有を支援していると言える。

図 1.1 Cookpad

ものづくりの分野においても、デジタルファブリケーション技術が一般化し、世界中で個人によるものづくりのプロジェクトが多数生まれる中で、そのようなものづくりを公開・共有するためのウェブサービスが広く利用されるようになった。インターネット上のこれらのサービスは、デジタルファブリケーション環境のある世界中の場におけるものづくりを共有するグローバルなプラットフォームとして、パーソナルファブリケーションの発展を支えている。

1.2.1. Instructables

ものづくりの共有を支援するサービスとして、Instructables [3]を取り上げる。Instructables は、Autodesk 社が運営するものづくりの方法を共有するためのウェブサービスである。各作品のページは、完成品の写真、材料、レシピ形式による作成手順の説明などで構成されている。投稿されているコンテンツの分野は、デジタル工作機械を用いたものから日曜大工や電子工作、料理のレシピ、包丁の研ぎ方といったスキルまで幅広い。

共有されたページを参照して他のユーザーがものを作ったこと伝達する機能として「I Made it」がある。この機能を通して「このレシピをもとに、私も作りました！」とレシピの作成者に報告することができる。Instructables の「I Made it」や、前述した Cookpad の「つくれぽ」は、ウェブサービスに投稿されたコンテンツを参照した投稿者以外のユーザーによってものづくりが行われたことを示しているという点で、個人によるものづくりを支援していることを確認する材料となっていると言える。

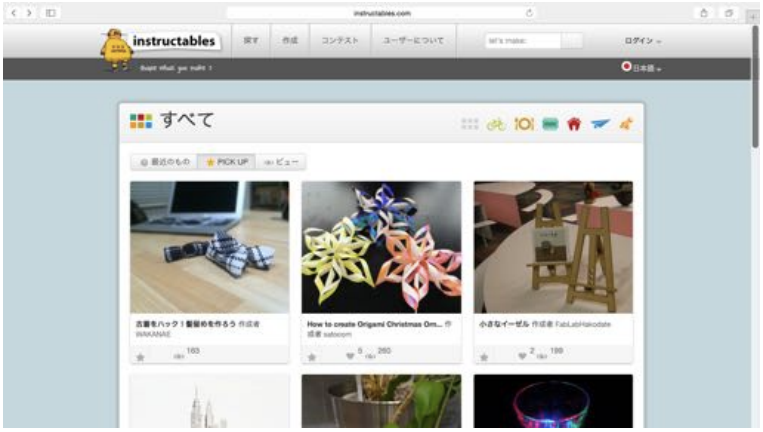


図 1.2 Instructables

1.3. ものづくりの共有、継承を支援するサービス

前節で取り上げたものづくりの共有サービスによって、数多くのものづくりがインターネット上で共有された。共有されたものづくりは、離れた場において参照され、同様の内容でつくられる場合のほか、改変が加えられる場合もある。このように改変が加えられたものづくりは、もとのコンテンツの内容を引き継ぎつつも、派生の記録がサービス上では記録されない。継承を支援するサービスとしては、ソフトウェア開発の分野において広く利用されてきた GitHub [4]がある。GitHub は主として git というバージョン管理システムを用いてソフトウェアのソースコードの変更履歴を保存するサービスである。

このサービスの大きな特徴として、他者による継承を支援する「フォーク」という仕組みがある。「フォーク」とは、食事に使うフォークの先端が分かれているように、１つのプロジェクトを複数に分派させることである。GitHub におけるソースコードの分派は、他のユーザーがプロジェクトをコピーすることにより行う。もとのプロジェクトに対して直接変更を加えることなく、自らのプロジェクトとしてコピーして改変を行った上で、どのプロジェクトから派生したものなのかを示すことで、継承を記録することができるのである。

ものづくりの領域においても、「共有」の支援に加え、ものづくりの派生を記録し「継承」を支援するサービスが生まれ、多くの人に利用されている。それぞれのサービスにおける「継承」は、共有されているコンテンツの種類の特色を表した形で行われている。

1.3.1. Thingiverse

Thingiverse [5]は、米国の Makerbot 社が運営する、デジタルデザインを共有するためのウェブサイトである。3D プリンタやレーザー加工機を用いて造形するための設計データが投稿されている。投稿のカテゴリは「Art」「Fashion」「Household」などと分かれている。特に 3D データの投稿が多く、世界最大の 3D プリントコミュニティとして機能している。Thingiverse には、1.2 で紹介した 2 つのサービスと同様に、「つくりました！」と伝達する機能として「I made one」機能がある。Thingiverse の場合は共有されているものが 3D データであるため、「つくりました！」として共有されるのは、データをもとにした 3D プリント出力物などが多い。Thingiverse において継承を示す機能は「Remix it」というものである。この機能は、数値の調整により形状の改変可能なデータが共有された際に、もとのデータをもとに他のユーザーが改変した結果を閲覧できる機能である。

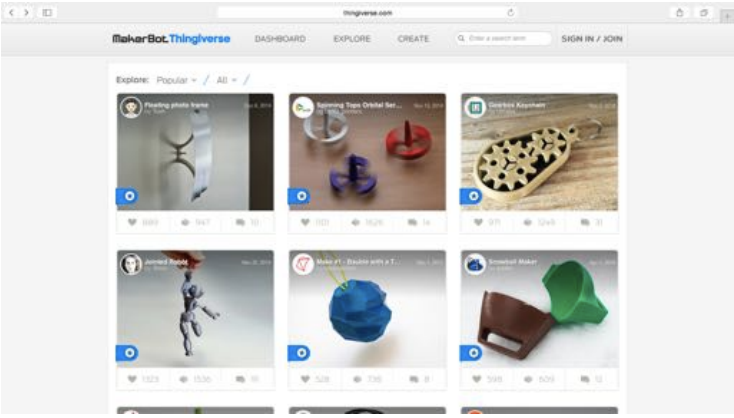


図 1.3 Thingiverse

1.3.2. Fabble

次に紹介する Fabble [6]は、GitHub の仕組みをソフトウェアだけでなくソフトウェア、ハードウェアを含む包括的なものづくりの領域に適合させたサービスである。Fabble はものづくりのプロジェクト全体の進行を管理し、プロジェクトの背景にある知識や情報、記述・保存・蓄積・伝達する機能を持つ。Fabble においては、完成されたものの作り方を「レシピ」という形で公開することをはじめ、アイディアのコンセプトや制作途中の設計データなど、あらゆる段階の情報を記録することができる。このような記録は GitHub と同様に提供されている「フォーク」機能を用いて、あるプロジェクトを起点として他のものづくりプロジェクトへの派生を蓄積していくことができる。

1.4. 取り上げたサービスのまとめ

前節まで「ものづくりの共有を支援するサービス」および「ものづくりの共有、継承を支援するサービス」を取り上げてきた。紹介したサービスを図で整理する。
分類は、以下の 3 項目で行った。

- サービス側から提示されている、コンテンツにおいて共有される項目
- コンテンツを参照して別のユーザーが「つくりました」と報告できる機能の有無
- 派生の記録機能の有無

サービス名	サービス提供側からコンテンツで共有される項目	つくりました機能	派生の記録
Instructables	・つくりかたの手順 ・設計データ	○	×
Thingiverse	・設計データ ・出力における説明(3D プリンタの設定など) ・同じ設計データをもとに他ユーザーがつくった写真	○	○
Fabble	・材料 ・使用する道具 ・つくりかたの手順 ・設計データ ・制作メモ	×	○

図 1.4 サービスの整理

1.5. ものづくりの継承を支援するルール

GitHub をはじめとするものづくりの継承を支援するサービスによって、インターネット上に共有されたものづくりのデータはあらゆる人が改変できるようになっている。このように改変が加えられる際、最初に作った人の権利を守るための仕組みがある。この仕組みはものづくりの継承をより円滑にしている。
本節では、インターネットで共有されるコンテンツに関する権利を守るために広く用いられているルールとして「クリエイティブ・コモンズ・ライセンス」を取り上げる。そして、このルールがどのように機能しているか解説する。

1.5.1. クリエイティブ・コモンズ・ライセンス

デジタルファブリケーション領域のものづくりでは、でき上がった物理的な「もの」と同様に、プロダクトの設計データや、機械を操作するために開発したソフトウェアなどの「情報」も重要な資産となる。
クリエイティブ・コモンズ・ライセンス [7]は、前述したような、インターネットで公開されたあらゆるコンテンツの権利を守るために作られた著作権ルールである。
この著作権ルールは、Thingiverse などの共有サービスや、GitHub などにおける継承の中で、作成されたコンテンツがインターネット上で広がる際に大きな役割を持っている。クリエイティブ・コモンズ・ライセンスは、コンテンツと捉えうる全ての作品とその部分を「この条件を守れば私の作品を自由に使って良いですよ」と著作者自身が意思表明するためにある。
以下の 4 つの条件の組み合わせで構成される計 6 つのライセンスが用意されている。

- 「表示（作品のクレジットを表示すること)」
- 「改変禁止（元の作品を改変しないこと)」
- 「非営利（営利目的での利用をしないこと)」
- 「継承（元の作品と同じ組み合わせの CC ライセンスで公開すること)」

このルールを用いることで、著作者は自らの権利を保持したまま作品を自由に流通させることができる。また、コンテンツの受け手の立場から捉えると、ライセンスが示す条件の中で自由にコンテンツの再配布やコンテンツ同士の統合を行うことができる。

図 1.5 クリエイティブ・コモンズが提供する 6 つのライセンス

2. 関連する活動

前章では、研究背景として、個人によるものづくりの基盤となっている事項について述べた。そのような基盤を活かし、個人によるものづくりが広く行われるようになった。多様な特色をもつプロジェクトが世界中で生まれている今日であるが、その中には、素材に着目したプロジェクトも個人のスケールで生まれてきている例がある。本章では、個人によるものづくりの潮流から生まれた数多くのプロジェクトの中でも、素材とくに食品を対象としたプロジェクトに着目し、事例を紹介する。

2.1. 素材の特性に合わせた食品用 3D プリンタ

食品に着目したものづくりの事例として、食品用 3D プリンタを取り上げる。3D プリンタは一般的に樹脂を用いるものが多いが、樹脂以外の素材を用いる 3D プリンタが生まれてきている。食品用 3D プリンタは、樹脂以外の素材を用いる 3D プリンタの潮流の 1 つとして世界で多様なプロジェクトが起こりつつある分野である。

筆者が食品用 3D プリンタに着目した理由は、世界で生まれた複数の食品用 3D プリンタはそれぞれ、機械の機構に共通した点を持ちつつも、各プロジェクトで用いる素材の特性に合わせて、多様な発展をしていると考えたためである。各プロジェクトは、デジタルファブリケーション環境を活かして、素材の特性に合わせた機械の改良を進めている。

2.1.1. Fab@Home

Fab@Home [8]は、米国のコーネル大学の研究室にて 2006 年から開発が行われた 3D プリンタである。材料はチョコレートやホットケーキミックスの生地などの食品の他、シリコン樹脂などの使用も可能であり、マルチマテリアル 3D プリンタと呼ばれる。複数の素材に対応した個人向けの 3D プリンタとしては最も古い。Fab@Home に取り入れられているシリンジに素材を入れる仕組みは、以後開発されたペースト状の素材を材料として用いる多くの 3D プリンタに採用されている。

造形は機械に取り付けられたシリンジに液体やペースト状態の材料を入れ、積み重ねることにより行う。Fab@Home の開発者は利用者による改良を推進しており、機械の設計データや機械を操作するソフトウェアをオープンに公開していることも特徴である。使用できる素材の例や調合の分量を開発者側の情報サイトで紹介している。また、Fab@Home の使用に関するノウハウは開発者側が運営する掲示板において、ユーザー間で共有されている。

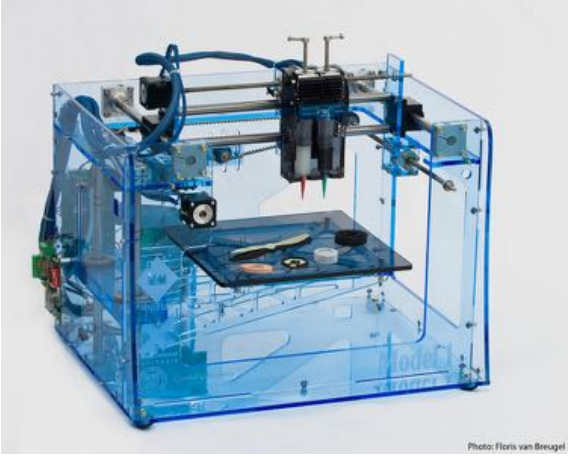


図 2.1 Fab@Home ver.2

2.1.2. Choc Creator

Choc Creator [9]はスペインの ChocEdge 社が 2013 年に開発した、チョコレート造形用の 3D プリンタである。熱して溶かした状態のチョコレートを付属のシリンジに入れ、積層を行う。造形方式は上述の Fab@Home と同様だが、チョコレートの造形に特化させていることが大きな違いである。Choc Creator は、Fab@Home と異なり枠で覆われていない筐体でつくられているため、大きな皿をプレートの上に置き、皿に直接チョコレートによる装飾を施すことができる。チョコレートという素材を活かした造形の用途を機械に反映させていると言える。

図 2.2/Choc Creator

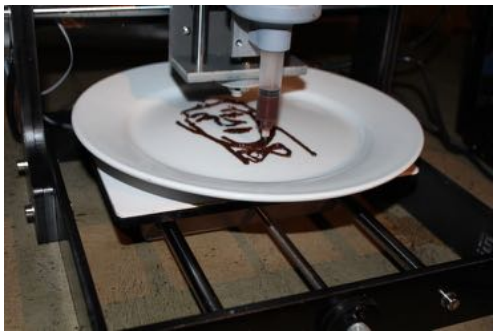


図 2.3 Choc Creator による皿への出力

2.1.3. Pancake Bot

Pancake Bot [10] は、2010 年に開発されたパンケーキ専用の 3D プリンタである。材料を積層する土台としてホットプレートが用いられているため、上述した 2 つと比較して筐体が大きい。空気によって押し出されたパンケーキ生地の出力と並行して、ホットプレートで加熱を行う。素材をセットするため容器として、シリンジよりも大きい物が用いられている。これは一般的に食事として食されることの多いホットケーキに適合させていると言える。

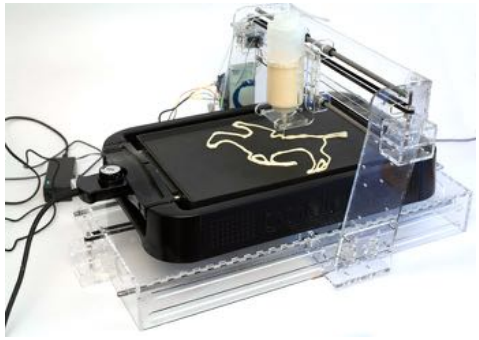


図 2.4 PancakeBot

2.1.4. 和菓子を出力する3D フードプリンタ

国内で開発されている食品用 3D プリンタの事例を紹介する。
まず、一つ目は東京工業大学附属科学技術高等学校で開発され和菓子を出力する 3D プリンタ [11]である。素材として、白餡を使用している。樹脂用の熱溶解積層法による 3D プリンタの改造により作られており、素材を出力するエクストルーダをシリンジに変更している。素材である白餡を柔らかくするために、樹脂の加熱用に取り付けられていたヒータと温度センサ(サーミスタ)を使用している。

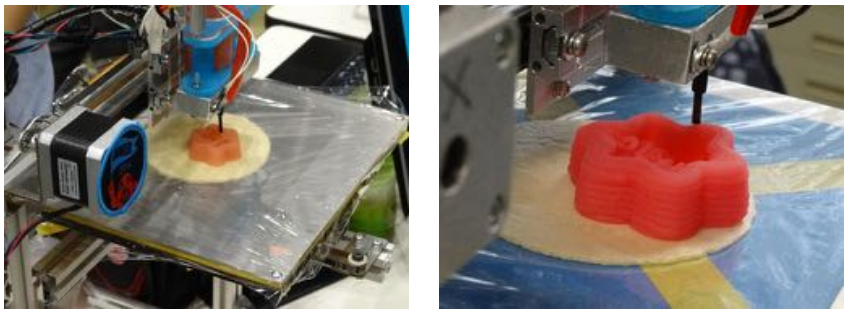


図 2.5　和菓子を出力する 3D フードプリンタ

2.1.5. 3D ゲルプリンタによる食品の出力

国内の食品用３D プリンタの事例として、二つ目に紹介するのは、ゲル素材をプリントする３D プリンタを食品に使用した例である。山形大学ソフト＆ウェットマター工学研究室 [12]は、開発した 3D ゲルプリンタの出力例のひとつとして、ブルーベリーが入った練乳をせんべいの上に印刷する試みを行っている。また、同プロジェクトでは、米沢商工会議所や地元食品企業と連携し「米沢いただきます研究会 [13]」を発足し、地元産食材の活用や、個人に合わせた介護職の開発に取り組んでいる。

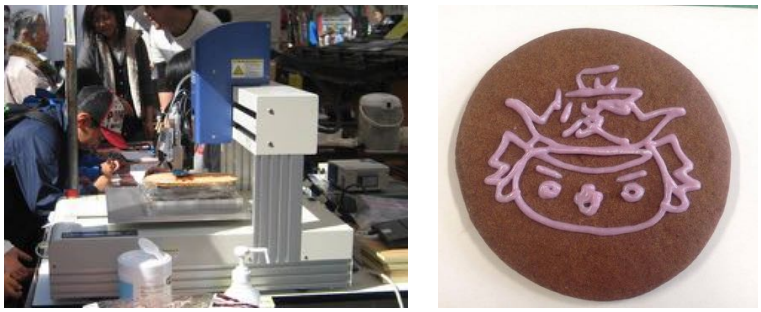


図 2.6 3D ゲルプリンタと出力した食品

3. 背景、関連する活動のまとめと本研究の目的

関連する事例として取り上げた食品用 3D プリンタは、第 1 章で述べたものづくりの基盤のひとつであるデジタルファブリケーション環境を活用し、開発が行われたものである。それぞれの食品用 3D プリンタは、使用する素材の特性が機械の機構に特徴として表れている。ホットケーキ生地や白餡など、用いる素材の特性に合わせた機械を開発するために、デジタル工作機械を用いて試作を重ねているプロジェクトが見られる(各プロジェクトの食品用 3D プリンタの改良の過程は、それぞれのウェブサイトに詳しい)。

それぞれの食品用 3D プリンタは独自の改良を重ねていると言える一方で、食品用 3D プリンタには共通した特徴も数多く見られる。まず、機械の機構について複数のプロジェクトに共通した点として、素材を入れたシリンジの先端から素材を出力していることや、素材を押し出す動力にモータの回転を上下運動に変換した力を利用しているケースが複数あることが挙げられる。また、素材の取り扱いについても共通する点があると考える。まず、3D プリンタ専用に製造され流通している材料以外を利用するのは一般的に行われていることとは言えない中で、ペースト状の素材を用いている点は大きな共通点である。また、3D プリンタによる積層のために、素材の細かい選定や配合に試行錯誤が行われたことも複数のプロジェクトにおいて確認できる。このように、食品用 3D プリンタのプロジェクトは共通した点を持っている。しかしながら、開発の記録は主に各プロジェクトの個別のウェブサイトの中に完結しており、もうひとつのものづくりの基盤である共有サービスを用いた知見の共有は盛んではない。素材の特性に合わせた試行錯誤は共通しながらも、そのような知見の派生は記録されていないのである。以上の現状は、共有サービスなどの既存の情報伝達手段が、素材の特性に合わせた機械の開発に関する知見の共有に適していないためではないかと考えた。素材の特性に合わせた道具の開発や、デジタルファブリケーション領域のものづくりに用いる素材の取り扱いなど「素材の特性に合わせたものづくり」は知見の要素が多い上、各要素を互いに関連づけながら開発を行う必要がある。このような理由から「素材の特性に合わせたものづくり」こそ、ものづくりの領域の中でも、知見を共有するためのサービスの活用が生かされるべき領域なのではないかと考える。

そこで、本研究の目的として「素材の特性に合わせたものづくりの知見を共有するためには、どのような要素が必要なのか」という問いについての検討を設定する。
本研究を通じて、食品用 3D プリンタをはじめとする素材の特性を活かしたものづくりが、ものづくりの基盤をさらに活用されることで、今後さらに拡大していくために必要な要素を見出すことを目指す。

4. 食品用３D プリンタの制作

前章では、素材の違いが機械の特徴に表れた例として、食品用 3D プリンタの事例を取り上げた。
その中で取り上げたように、世界では多様な食品用３D プリンタのプロジェクトが存在している。用いる素材もチョコレートや、ホットケーキ生地、白餡など多岐に渡る。上述したこれらの例を見ると、食品用３D プリンタの特色として、出力する素材の特色が機械の特徴にあらわれていることを挙げることができる。

この第 3 章では、素材の特性に合わせたものづくりを実際に行う。これは、本研究の目的である「素材の特性に合わせたものづくりの知見を共有するためには、どのような要素が必要なのか」という問いについての検討の布石とするためである。「素材の特性に合わせたものづくり」の題材として、独自の食品用 3D プリンタを開発する。
食品用 3D プリンタは、既存の 3D プリンタの仕組みを継承した上で、本研究で使用する素材に合わせて開発を行った。

以下のような流れで開発を行った。
- 3D プリンタの材料としてどのような素材を出力するか選定
- 食品用 3D プリンタによる造形の形状目標の設定
- 食品用 3D プリンタの制作
- 3D プリンタで出力する素材の開発

以下の項では、各段階の詳細を述べる。

4.1. 素材の選定

本研究において「素材の特性に合わせたものづくり」を実践するにあたり、開発する食品用 3D プリンタで用いる素材を選定する。
本研究では、「米粉」を素材として使用する。
選定の理由は、本研究を行う日本において米粉は麺類や和菓子をはじめ多様な加工食品に用いられていることから、食品用 3D プリンタの素材としても様々な加工法が期待できると判断したためである。

4.2. 食品用 3D プリンタによる造形の形状目標の設定

食品用 3D プリンタの制作にあたり、前章で選定した素材である「米粉」を用いて造形する形状の目標を設定した。

制作を行う前に機械で造形する目標の形状を設定した理由は、食品用 3D プリンタの特性として、「素材の特性」と「素材を用いて造形する形状」の両方が表れていると考えるためである。例えば、2.1.4 で挙げた和菓子を出力する 3 D フードプリンタでは、素材である白餡を柔らかくするために樹脂用のヒータを取り付けたままにしており、「素材そのもの」の特性が機械に表れている。また、2.1.2 で挙げた Choc Creator は、筐体を枠で囲わず大きな皿を置きやすいという機械の特徴が、開発者がユースシーンとして提案している「チョコレートを用いた皿の装飾」に合致していると考える。

本研究で開発する食品用 3D プリンタでは、米粉の素材を用いて「器状の形状」を造形することを目標とする。
この目標の参考としたのは、米を用いたプロダクト例である、kup [14]である。この事例は、米を用いて容器を作っている。kup は中に食材を入れ器として利用したり、その後スープの中に入れたりすることができる。

3D プリンタの特徴はデジタルデザインをもとにあらゆる形状を造形できるというものである。この特色を活かすことで、出力物の中に入れる食材に合わせて様々な形状の容器を制作したいと考え、造形の目標として設定した。

図 4.1 kup

4.3. 制作に使用した 3D プリンタ

3D プリンタは既存の機種を改造することにより制作した。
選定したのは、SeeMeCNC 社の ORION である。 [15]
選定の理由を 2 つ挙げる。

1 点目は、ORION の機構が前項で設定した造形の目標に適するという理由である。3D プリンタの中で ORION が分類される「デルタ型」と呼ばれる 3 軸の 3D プリンタは、3 本のアームが連動して動くため、筒状の造形物の出力が得意とされている。このデルタ型 3D プリンタの特徴が、本研究において設定した 3D プリントの造形目標の「器状の形状」出力に合致すると判断した。

2 点目は、ORION の設計データがオープンに公開されていることが、既存の 3D プリンタを改造して用いる今回の用途に適するという理由である。ORION の設計データは開発者が図面データとして公開している他、世界中で ORION を改造している人たちのフォーラムも存在する。

以上 2 点の理由から、ORION を制作に使用することとした。

図 4.2　デルタ型 3D プリンタの ORION

4.4. 制作において参照した 3D プリンタ

制作においては、陶土を出力して器を作るセラミック 3 D プリンタを参照した。
セラミックプリンタを参照した理由は、以下の 2 点である。

- 「器状の形状」というキッチン 3D プリンタの造形目標が、陶土で器を作ることを目的とするセラミックプリンタと共通するため
- 素材が熱溶解性ではなく積層する際には室温で造形を行う点が共通するため

まず 1 つめが Jonathan Keep 氏により開発された Ceramic Delta [16]である。キッチン 3D プリンタと同じデルタ型であることから、ノズル付近の部品の形状を参考にした。この 3D プリンタは素材の出力のために、ペースト状の素材を押し出す既存の機械を利用している。

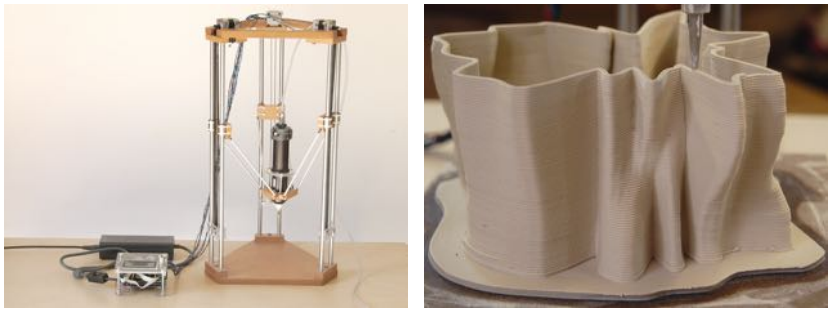


図 4.3Keep 氏の Ceramic Delta と出力例

参照した 2 つめは Unfold [17]が開発したセラミック 3D プリンタである。
筐体が箱型でありキッチン 3D プリンタとは異なるが、テーブルトップ型と小型であるという共通点から、素材を送り出す機構において参考にした。この 3D プリンタは、素材をシリンジに入れ、コンプレッサによる空気圧とモータの回転の 2 つの力で押し出している。Unfold のセラミックプリンタの機構については、開発した 3D プリンタのエクストルーダについて説明する際に詳しく説明する。

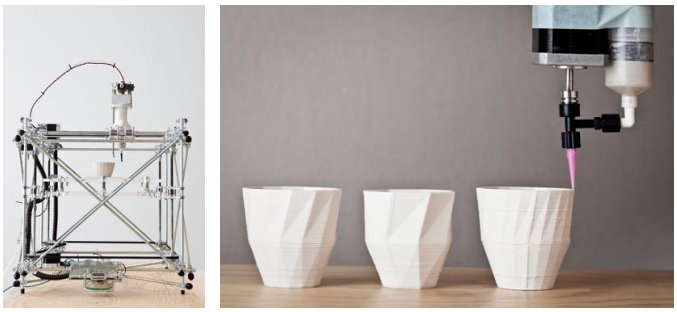


図 4.4　Unfold によるセラミック 3D プリンタと出力例

4.5. 制作した 3D プリンタ本体の概要

デルタ型であり、熱溶解積層法[1]により造形を行う ORION をもとに、食品用 3D プリンを開発した。ペースト状の素材を造形する用途に合わせて作り変えるため、以下の部品を変更した。

取り外した部品

部品名	用途
溶解ヘッド	樹脂を熱して出力
ヒートベッド	樹脂を熱し台に定着

追加した部品

部品名	用途	備考	下図番号
コンプレッサ	空気の送り出し		(1)
コンプレッサ接続ホース	空気の送り出し		(2)
シリンジ	素材の保持、供給		(3)
供給チューブ	素材の供給		(4)
ステッピングモータ	素材の出力		(5)
スクリュー付きノズル	素材の出力	3D プリンタで制作	(6)

表「追加した部品」の「下図番号」に関しては、次ページの図「追加した部品の概要」の通し番号と対応している。

[1]熱溶解積層法…3D プリンタの造形方式。ABS 樹脂や PLA 樹脂などの熱可塑性樹脂を高温で溶かし、1 層ずつ積層することで 3 次元形状を造形する。 [27]

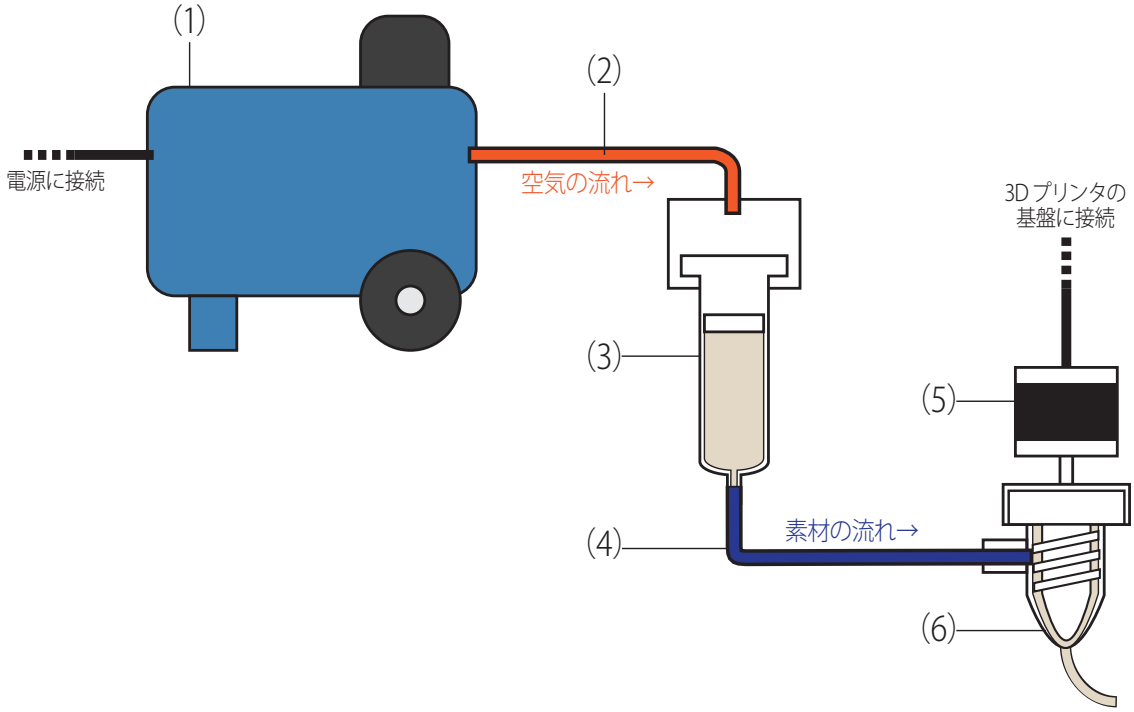


図 4.5 追加した部品の概要図

図 4.6 キッチン 3D プリンタの
もととなった ORION

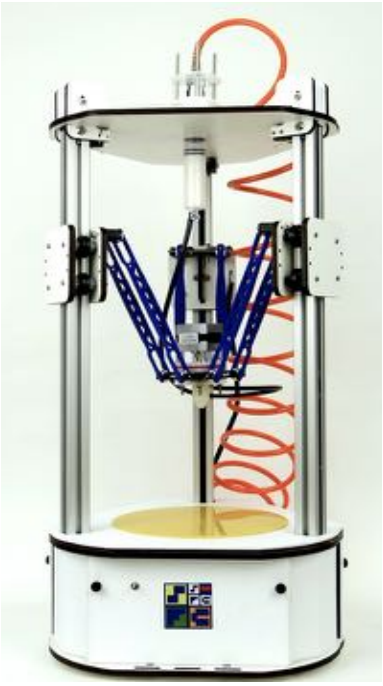


図 4.7 キッチン 3D プリンタ

4.5.1. 素材を出力するエクストルーダ

エクストルーダは、ステッピングモータ、スクリュー、ノズルにより構成されている。スクリューを回転させることで、チューブから供給された素材をエクストルーダに押し出す。この機構は工業用用途の基板実装のためにクリームはんだを塗布するディスペンサの部品に用いられているものを参考にしている。
はんだ塗布用のディスペンサの部品は、Unfold のセラミック 3D プリンタにおいても利用されている。

図 4.8 Unfold のエクストルーダと使用している部品

ORION の筐体サイズに合わせるため、また、食品を造形するためにある程度の量を出力するために、大きさを変えて 3D プリンタでエクストルーダを制作した。

図 4.9　エクストルーダの拡大図
先端に取り付けられた黒いチューブを通って、シリンジ内の素材が供給される。
エクストルーダ上部のステッピングモータがノズル内部のスクリューを回転させる。

4.6. 素材の開発

素材として選出した「米粉」を用いた素材の開発を行った。
複数の種類の米粉の中から、出力テストにより素材として適した種類のものを選出した上で、開発した３Ｄプリンタで造形可能な素材の配合を見出した。

4.6.1. 米粉の分類

米粉とは、コメを製粉した米穀粉の総称である。米粉の分類は、原料として使用されるコメの種類と、加工方法によって行われる。
米粉の原料となる材料は大きく分けて、うるち米(主に主食として食されるコメ)と、もち米(おこわや餅に加工されるコメ)である。
また加工法は、生のまま加工するβ型、コメを熱処理して糊化させてから粉にするα型に大別できる。
うるち米ともち米、β型とα型という区分により、米粉は以下の図のように分類される。

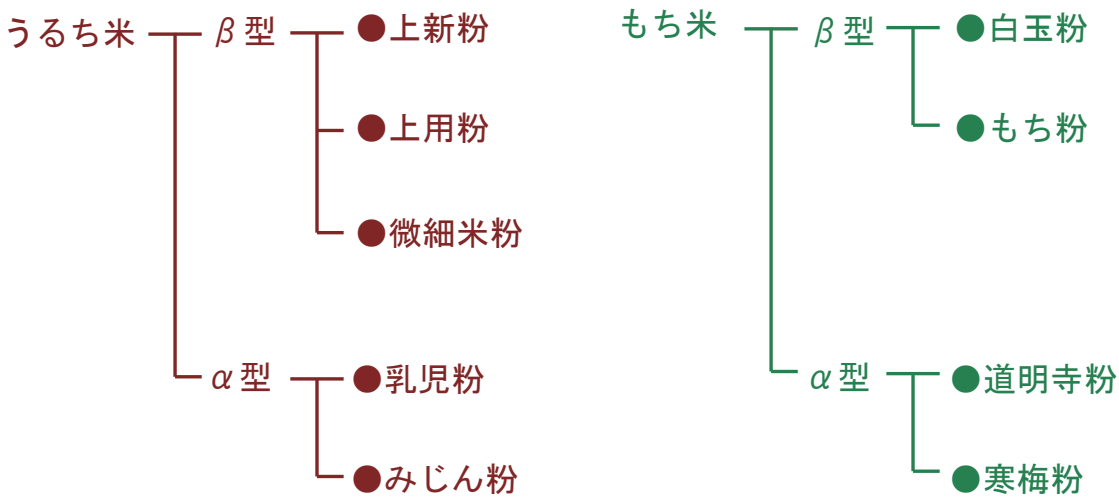


図 4.10 米粉の種類［18］

以下、各種類の米粉がどのような製法によりできているかを示す。 [19] [18]

＜うるち米β型＞
上新粉：　水洗いしたうるち米を水切り後、 ロール製粉方法で仕上げたもの。
上用粉：　水洗いしたうるち米を水切り後、胴搗製粉したもの。
微細米粉：上記 2 種類よりも微細な米粉。うるち米を気流粉砕、衝撃式粉砕などの方法で、昔からの米粉と比べてより細かく、デンプンの損傷が少なくしたもの。

＜うるち米α型＞
乳児粉：　うるち米を熱加工（アルファー化）して、製粉したもの。
みじん粉：うるち米を煮た後、これを乾燥し、焙煎して製粉したもの。

＜もち米β型＞
白玉粉：もち米を水洗いしたあと水に漬け（半日～1 日） → 水切りし、水を加えながら砕いたもの。もち粉より粒が細かい。
もち粉：水洗いしたもち米を水切り後、 ロール製粉方法で仕上げたもの。

＜もち米α型＞
道明寺粉：もち精米を水に浸し蒸してから乾燥して干飯（ほしいい）を作り、それを粗く砕いたもの。
寒梅粉：精白したもち米を水洗い、水漬けし、蒸して「もち」にしたものを白く焼き上げた後、粉砕（製粉）したもの。

4.6.2. 米粉の種類選定のための実験

前項 4.6.1 にて整理した米粉の中から、本研究において開発する 3D プリンタに用いる素材を検証し、米粉の種類の選出を行った。
素材選定の実験は 2 段階に分けて行った。

1. 各種米粉がペースト状になるまで水を混ぜ、実験 2 で使用する素材の水と素材の割合を設定する。
2. 実際に出力を行い、3D プリンタでの出力への適正を観察する。3D プリンタにおいて素材の容器として実際に用いるシリンジに、4.5 において制作したノズルの径と同じ 2mm の穴をあけたキャップを取り付け、素材の出力を行った。

素材選定実験①の内容

<u>実験の目的</u>
各種類の米粉において、素材選定実験②で用いる素材の分量を設定する。

<u>実験の概要</u>
米粉に一定量ずつ加水して混ぜあわせる。水の量は粉の粒が確認できないペースト状になるまで増やす。

<u>実験において確認する事項と理由</u>
- 水の量
  - 実験②で用いる素材の分量とするため
- 加水した際の米粉の状態
  - 全ての素材がペースト状になるまで加水するため。

<u>実験手順</u>
- 米粉に重量の 25%の水を足す
- ①を混ぜあわせる
- 全体の粉が水に馴染み、乾いた米粉の粒が目視で確認できなくなるまで①と②を繰り返す。

素材選定実験①の結果

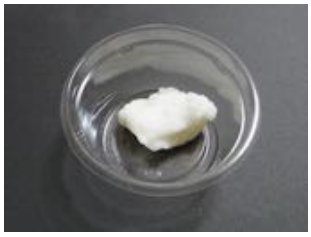
種類	加水後の様子	加水量	状態
上新粉		150%	最後の 25%で急激に緩んだ。水には溶けたが、水に馴染まず混ぜると感触が重い。
上用粉		150%	生地がしまる。ざらざらした感触が残る。
微細米粉		150%	粘りがある。滑らか。
乳児粉		300%	一つにまとまりやすい。粘りが強い。
みじん粉		150%	一つにまとまる。粘る。

図 4.11　素材実験 1 の結果-うるち米

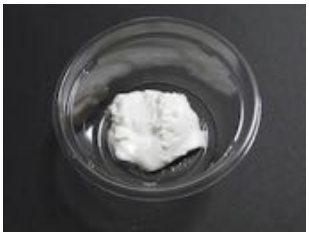
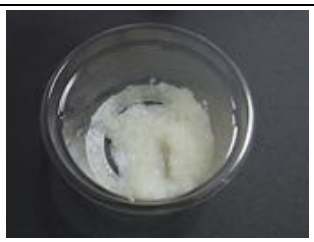
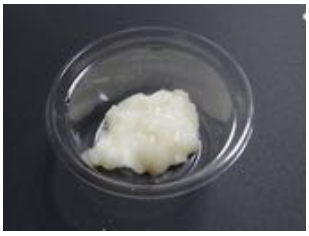
種類	加水後の様子	加水量	状態
白玉粉		100%	最後の 25%で急に緩む。粉っぽさが消えない。
もち粉		100%	硬いペーストができる。形が崩れない。
道明寺粉		100%	粒が大きく、水に溶けない。
寒梅粉		200%	粘りが最も強い。ダマになり、まとまらない。

図 4.12　素材実験 1 の結果-もち米

素材選定実験②の内容

実験の目的

各種の米粉から、シリンジからの出力に適したものを選出すること

実験の概要

シリンジに素材(制作方法は後述)を入れ、実験器具に固定し、コンプレッサからの空気でカップに一定時間出力する。

実験において確認する事項と理由

- 出力時の様子
  途切れや詰まりなく出力が可能か確認するため
- 時間あたりに出力された素材の量
  一定時間、同様の圧力で出力された量の差を定量的に比較するため
- 出力直後の様子と出力から 5 分後の様子
  3D プリンタによる出力の間、形状を保てるか確認するため

実験手順

1. 素材選定実験①から導いた分量で米粉を加水して素材をつくる。
2. シリンジの中に素材を入れ、実験器具に固定する。
3. シリンジの下に、素材を出力するためのプラカップを設置する。
4. 0.01mPsca の圧力で 20 秒間出力する。
5. 出力直後、出力から 5 分後の形状の変化を記録する。

図 4.13　実験に使用した器具。
シリンジを固定し、カップの中に素材を出力する。

素材選定実験②の結果

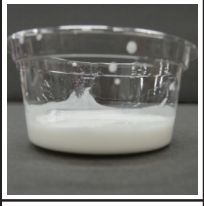
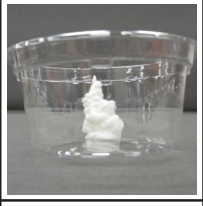
	上新粉	上用粉	微細米粉	幼児粉	みじん粉
加水量 (%)	150	150	150	300	150
出力量 (cc)	30	30	8.7	4.2	2.8
出力直後					
5 分後					

図 4.14　出力の結果①うるち米

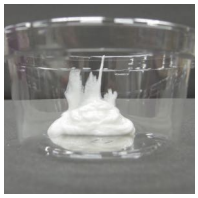
	白玉粉	もち粉	道明寺粉	寒梅粉
加水量 (%)	100	100	100	200
出力量 (cc)	30	6.2	–	–
出力直後			出力不可	出力不可
5 分後			出力不可	出力不可

図 4.15　出力の結果②もち米

実験の結果詳細

シリンジからの出力に適している素材と適していない素材を明確に分類できた。
まず、出力に適していないと判断した素材を 2 種に大別した。

不適切な素材群①液状になってしまう素材
以下の 3 種は形状を保てず、液状となり、20 秒の間に全て出力された

- 上新粉
- 上用粉
- 白玉粉

不適切な素材群②出力できない素材
以下の 2 種は、出力することが出来なかった。

- 道明寺粉
- 寒梅粉

まず、寒梅粉は粒度が粗く、素材がノズルを通過することが出来なかったことが出力できない理由であると考える。また、道明寺粉はシリンジの中で固まってしまい出力することが出来なかった。
コンプレッサの圧力を 0.4Mhpa まで上げても出力が不可能であったため、本研究のコンプレッサの空気圧による出力には不適切であると判断した。

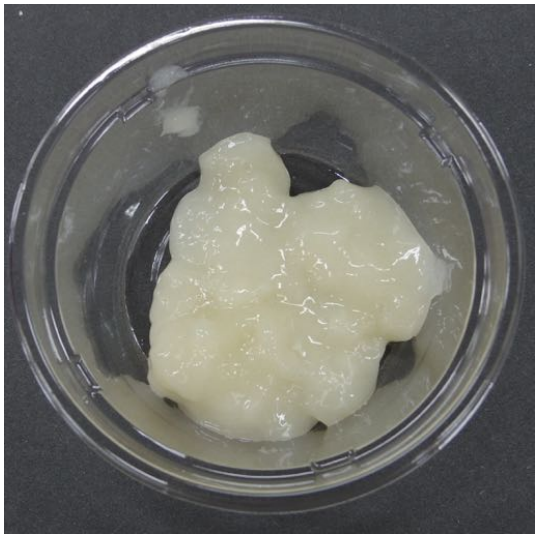


図 4.16 加水したみじん粉。
粒度の大きい粒が確認できる

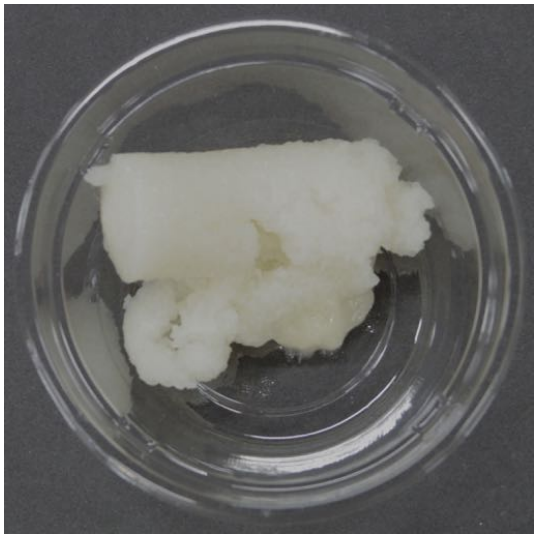


図 4.17　加水した道明寺粉。
シリンジの形状に固まっている

実験により、出力が可能な素材は以下の 4 種であった。

- 微細米粉
- 乳児粉
- みじん粉
- もち粉

この中でも、出力から 5 分経過後の形状の変化が小さく、粘度が低く扱いやすいという理由から、「微細米粉」を素材として選出した。

4.6.3. 「微細米粉」の特性の整理

前項 4.6.2 中の検証により選出した「微細米粉」を用いて更に細かい実験を行った。
微細米粉は、小麦粉の代替として製パンや製菓等の用途向けに販売されている。
微細米粉の中でも、加水すると液状になるものとペースト状になるものが確認できたことから、詳細な整理を行った。
結果、吸水時に「しまる」特性をもつ、損傷澱粉量が多い素材が適していることが分かった。
図において「C1」「C3」と記載したうるち米の米粉の分類は、日の本穀粉株式会社による「米粉・コメ粉選択のガイドラインとその応用例」に準じている。 [20]

図 4.18 損傷澱粉率 2.1%の米粉 C1 を重量 130%の水に混ぜた様子

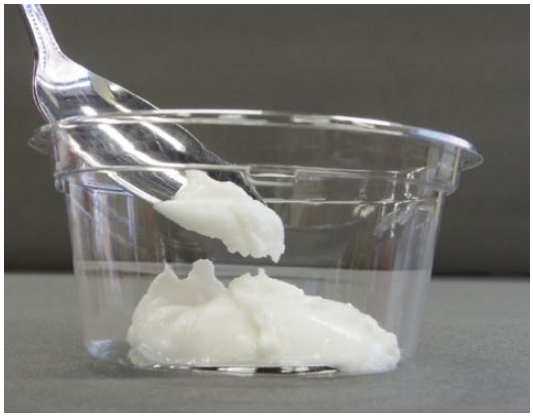


図 4.19 損傷澱粉率 14.3%の米粉 C3 を重量 130%の水に混ぜた様子

図 4.20　開発した材料による出力例

5. 食品用３D プリンタの制作から得た仮説

第 3 章では、自ら素材の特性に合わせた食品用 3D プリンタを制作した。食品用 3D プリンタの制作は「素材の特性に合わせたものづくりの派生を促進するにはどのような要素が必要なのか」という問いを検証するための実践として行ったものであった。

ここでさらに、前章の食品用 3D プリンタの制作から得られた考察から、「素材の特性に合わせたものづくり」の発生を促進するための仮説を立てた上で、仮説に基づいた試作を行う。食品用 3D プリンタを開発の中で得られた仮説は主に以下の 2 点であった。

1. 3D プリンタを操作するために生成する G-code[2]の文字列には、素材、機械ごとの特性が表れているのではないか
2. 機械と素材を同時に開発するために試行錯誤する営みは、今回の例に限らずあらゆる場合に応用可能であり、共通した項目で伝達できるのではないか

まず 1 つめの仮説について述べる。
開発した食品用 3D プリンタで造形を行う際には、出力されたものの状態を確認しながら、G-code を生成するスライサーの設定を調整した。このように出力物の状態に応じてスライサーの設定を試行錯誤するのはあらゆる種類の 3D プリンタに共通するものである。スライサーの設定は G-code に数値データとして現れているが、3D プリンタの種類や機構の違いによって、スライサーで設定する項目の種類は異なる。そのため、例えば食品用 3D プリンタの使用に樹脂用 3D プリンタ向けのスライサーを用いる場合、食品用 3D プリンタの出力結果には関係のないものも多い。
このように、デジタル工作機械の種類や用途によって、スライサーで設定する項目は異なる。そのため、共通した特徴をもつ機械においては、使用する素材に合わせて G-code に残った機械の設定を用いて、素材の出力実験記録のデータ伝達に有益なのではないかと考えた。

次に 2 つめの仮説として挙げた「機械と素材を同時に開発するための試行錯誤の伝達」について、2 点に分けて述べる。
1 点目は、加工における素材の状態の記述である。今回行った食品用 3D プリンタの開発では、ペースト状の素材を用いた造形を行った。この際には、粘度や固さなど素材の特性に関して留意しなくてはならない点が多かった。参考にしたプロジェクトの中には、料理のレシピ形式で材料の分量が公開されているものもあった。しかし、同じ名称の素

[2] G-code　3D プリンタ等、NC 制御装置において使用するプログラミング言語

材においても素材の状態が異なるものが多く見られ、「3 次元で造形する」という目的においては、転用できないことが多々あった。ここから考えたことは、機械と素材をともに開発する今回の場合においては、分量だけでは情報が不足しており、その分量で得られた素材は「どのような状態か」について記述が必要であるということである。
2 点目は、機械を制作する工程と素材をつくる工程の記述についてである。食品用 3D プリンタの制作においては、類似する機械の機構を参照しながらも、自らが用いる素材の特性に合わせて機械の機構や部品に改良を重ねた。

このように、選んだ素材に合わせて機械をつくる際には、機械によって行う加工の要件と素材の特性に合わせた試行錯誤が必要である。ただ、このような試行錯誤は制作ブログでの記述や instructables などの共有サイトの雛形から情報を得るのは難しいと思われる。そこで、機械と素材を同時に開発する際の試行錯誤を伝達するための項目を洗い出した上で雛形をつくることは、「素材の特性に合わせたものづくり」の促進に寄与し得るのではないかと考えた。

以上までに述べた仮説から、以下 2 つの試作を行うこととした。

- 機械と素材の開発が複合したプロジェクトの開発で得られる情報を、他の素材の特性に合わせた機械の開発においても参照可能な形で伝達する「ひな形」の検討
- ペースト上の素材を用いた 3D プリンタにおいて必要な要素の設定に特化させたスライサーを作り、G-code を実験の条件を記録する情報媒体として活用

6. 素材の特性に合わせたものの派生のための情報伝達手段の試作

食品用 3D プリンタと素材の開発から得た仮説をもとに、試作を行った、
(1) 食品用３D プリンタによる素材に特化したスライサーの開発
(2) 素材の特性に合わせたものづくりのレシピコンテンツの試作と検証
について述べる。

6.1. 素材の加工に関する情報伝達のためのスライサーの開発

共通した特徴をもつ機械においては､開発した食品用 3D プリンタで造形を行う際には、出力されたものの状態を確認しながら、G-code を生成するスライサーの設定を調整した。このように出力物の状態に応じてスライサーの設定を試行錯誤するのはあらゆる種類の 3D プリンタに共通するものである。スライサーの設定は G-code に数値データとして現れているが、3D プリンタの種類や機構の違いによって、スライサーで設定する項目の種類は異なる。そのため、例えば食品用 3D プリンタの使用に樹脂用 3D プリンタ向けのスライサーを用いる場合、設定を行わない項目が数多く存在する。
このように、デジタル工作機械の種類や用途によって、スライサーで設定する項目は異なる。そのため、用途が共通する機械においては、素材に合わせて機械を操作する実験記録のデータの伝達のために､使用する素材に合わせて調整したスライサーの設定を使用可能なのではないかと考えた。

そこで本項では､素材の特性に合わせた機械の設定データを伝達する用途を想定し､3D プリンタの用途を規定した上で設定する項目を限定した G-code を生成するためのスライサーを開発する。試作において、用途を「加熱具合によって色、固さが変化する素材を用いる 3D プリンタ」と規定する。素材のサンプルとしては「ホットケーキ生地」を用いた。
次に設定する項目は以下の 3 点とした。

- 軌跡の間隔
- ヘッドが動くスピード
- ヘッドの動きを止め、静止する時間

このスライサーによって「加熱時間の差によって絵柄を描く」ことを目的として、上記の項目を実験記録として G-code に数値で残すことができるスライサーを開発した。
ホットケーキ生地を用いて「加熱時間の差によって絵柄を描く」造形は、手作業の分野では多様な事例があり、Cookpad などにもレシピが公開されている。 [21]このような表現を、3D プリンタを用いれば数値として加工の記録を残すことができると考えた。

図 6.1 ホットケーキ生地を用いて加熱時間の差により描画を行った例。
Cookpad のレシピより

以下、開発した「加熱時間の違いを利用して、2 階調の絵柄を描く」ためのソフトウェアを用いた造形までの流れを図で説明する。

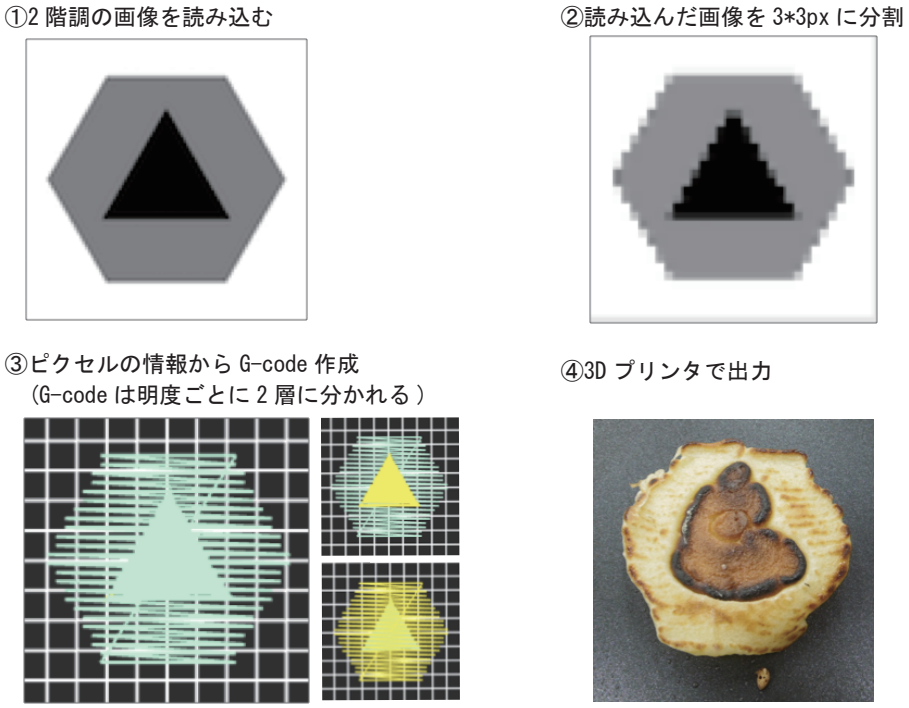


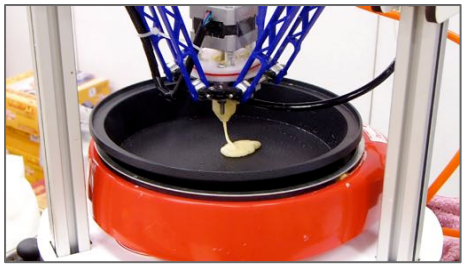
図 6.2 開発したソフトウェアによる G-code 作成から造形までの流れ

```
G21 ; set units to millimeters
M107
G28 ; home all axes
G90 ; use absolute coordinates
G92 E0
M82 ; use absolute distances for extrusionG1 X-55 Y-61
G1 Z85
G1 F3000
G1 X-1 Y-24
G1 X-1 Y-23
G1 X0 Y-23
G1 X-2 Y-22
G1 X0 Y-22
G1 X-2 Y-21
G1 X1 Y-21
G1 X-3 Y-20
G1 X-2 Y-20
G1 X1 Y-20
G1 X2 Y-20
G1 X-3 Y-19
G1 X0 Y-19
G1 X2 Y-19
G1 X-4 Y-18
G1 X0 Y-18
G1 X2 Y-18
G1 X3 Y-18
G1 X-4 Y-17
G1 X1 Y-17
G1 X3 Y-17
G1 X-5 Y-16
G1 X4 Y-16
```

図 6.3 生成した G-code

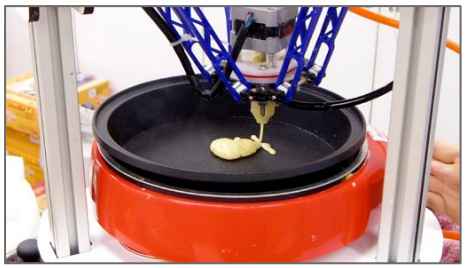
図 5.2 の出力例は、3D プリンタによって以下の図のように造形した。

①1 層目の出力(F2700)



②120 秒停止、加熱 (GP4 P120000)

③2 層目の出力(F2700)



④30 秒加熱 (G4 P30000)

図 6.4 開発したスライサーによる造形の様子

6.2. 素材の特性に合わせたものづくりレシピの要素検討

素材の特性に合わせたものづくりの情報伝達手段として、レシピコンテンツを試作する。試作においては、素材に合わせた道具をつくるものづくりの１例をレシピコンテンツとしてまとめた。その上で、このドキュメントをもとにした実験を通して、レシピの継承に必要な要素を検討する。

例として取り上げたのは、「粉を用いて描くステンシルシート」である。レーザーカッターでステンシルシートをつくり、泡立てた牛乳の上に粉を振りかけることにより絵柄を描く。

「粉を用いて描くステンシルシート」は以下の素材に合わせて道具をつくる一連の工程を含むことから、題材として選定した。

<u>工程</u>

1. デザインの設計
    - 素材の特性を考慮し、ステンシルシートのデザインデータをつくる
2. デジタルファブリケーション環境での加工による道具の制作
    - レーザーカッターを用いてステンシルシートを切断
3. 素材を造形に適した状態に加工
    - 牛乳を泡立て、粉がのる状態にする
4. 制作した道具と素材を組み合わせ、造形
    - 牛乳の上にステンシルシートを用いてステンシル

また、ドキュメントの作成においては、既存のサービスに新たに加える要素を足していき、実験を通して「素材の特性にあわせたものづくり」に必要な要素を検討する。既存のサービスに変更を加える形で「素材の特性にあわせたものづくり」のレシピ伝達の雛形を試作することを目指す。
今回、要素を加えるもととする雛形として、Fabble を選定した。
Fabble を選定した理由は、

- デジタルデータにより設計データを共有可能
- 手順をブロックに分けて記述可能
- 手順を二階層にわけて記述可能
- 道具、素材を整理することができる

という特徴が今回の試作に有用であると考えたためである。

7. レシピの必要要素検討のための実験

素材と道具の両者をつくるレシピをもとに、素材を変えて道具をつくる場合、どのような要素の伝達が必要かどうかを検証する。

前章で作成したドキュメントをもとに、実験では被験者に「素材の特性に合わせたものづくり」に分類されるものづくりのレシピをもとに、レシピに記載された実践してもらうことで、どのような要素が必要となるか検証する。

実験では Fabble に作成したコンテンツである「レーザーカッターによるラテアートシートの制作」のレシピをもとに、素材を変えてつくることで、コンテンツに足りない要素を上げてもらう形で行った。

素材の改変は以下のとおり行った。

①ラテアートステンシル (泡立てた牛乳とコーヒー　＋　ココアパウダー)

↓

②ポタージュスープスープのトッピング (泡立てた牛乳とポタージュスープ　＋　トッピング用刻みパセリ)

実験は 2 段階に分けて行った。

1. 予備実験 ： もとになるレシピをもとに、素材を改変してつくり、今回行う「ステンシルシート」においての「軸とする素材の特性」を導く
2. 本実験　 ： 予備実験から得た素材の特性をもとに、必要だと導いた要素を加えたレシピをもとに、再度「ステンシルアート」の素材を改変してつくり、雛形を検討するもととする。

実験における共通事項

被験者:SFC の学部生 3 名(男性 1 名、女性 2 名)

被験者は、「共有サービスを使用し公開されたレシピをもとにデジタルファブリケーション環境において自力でものをつくる」という想定のもと、ベクターデータ作成ソフトとデジタル工作機械の使用経験がある者を選んだ。

7.1. 予備実験

もとになるレシピをもとに、素材を改変してつくることで、選定したケースにおいての「軸とする素材の特性」を導くための実験を行なう。

参照するレシピ：

Fabble「ラテアートステンシル /w laser cutter」

http://fabble.cc/mocha05/latteartstencil

工程

①Design Stencil Seat	ベクターソフトでステンシルシートのデータ作成
②Make Stencil	データをもとにレーザーカッターで加工
③Make Café Latte	ミルクを泡立てコーヒーを淹れて、カフェラテをつくる
④Stencil	粉を振りかけて、ステンシル

(詳細は 9 章付録①を参照)

挙がった意見

1. (デザイン時)粒の大きさに合わせたステンシルシートを作るための記述がほしい。
2. (デザイン時)穴が占める面積と素材の味の関係を留意点として記載してほしい。
3. 粒の大きさと、粉を泡の上に振りかける際の距離の関係記述が必要。

被験者自身の失敗をもとに再度造形を行った結果、意図した絵柄を描くことが出来た。

実験において観察されたこと

1. 挙がった意見 1.にあるように、「粒の大きさとステンシルの穴の相関」が伝達できず、実験における造形での失敗につながった。この項目は「ステンシルシート」において素材の特性の軸の 1 つであり、数値として記載すべきだと考えた。

図 7.1　粒の大きさとステンシルの穴の大きさが合わず、文字が不鮮明

2. 挙がった意見 2.にあるように、「ステンシルの穴の面積と素材が料理の味にもたらす影響の関係」も、デザイン時に伝達すべき事項だと言えるだろう。

以上の 2 点は、「道具のデザイン時に素材の特性について考慮すべと言える項目」についてのものである

3. 粒の大きさと、粉を泡の上に振りかける際の距離は造形の結果への影響大きい。関係の記述が必要

この点からは「③Make Café Latte」の際にステンシルの出来を考慮することを確実に伝達する必要があると考えた。

図 7.2 水面の距離が遠く失敗した例

図 7.3　失敗をもとに修正すると、鮮明に描画できた。

軸となる素材の特性

以上の考察から、以下の 2 点を軸となる素材の特性として扱う。

- ステンシルで使用する粒の大きさを考慮しステンシルの穴を設計すべき
- 粉を振りかける空間の距離が長いと、造形が不鮮明となりやすい

7.2. 本実験

参照するレシピ：
Fabble「ラテアートステンシル /w laser cutter」を改変
予備実験から導いた「考慮すべき素材の特性の軸」の記載を手順として加えた
作成したレシピページ：http://fabble.cc/mocha05/latteartstencil

工程

①【Design Stencil 前に】	②にあたり考慮すべき点の伝達
②Design Stencil Seat	ベクターソフトでステンシルシートのデータ作成
③Fab Stencil Seat	データをもとにレーザーカッターで加工
④【Make Cafe Latte 前に】	⑤にあたり考慮すべき点の伝達
⑤Make Cafe Latte	ミルクを泡立てコーヒーを淹れて、カフェラテをつくる
⑥Stencil	粉を振りかけて、ステンシル

(詳細は 9 章付録②を参照)

挙がった意見
①被験者 1 より
1. (デザイン時)ステンシルシートに複数の柄を入れる場合、粒の大きさの記述に併せて十分な間隔をあけるべきだという記述がほしい。
2. 「①【Design Stencil の前に】」など、手順の前に注意があるが、見落としやすい。考慮すべきタイミングで、Fabble の手順形式とは別の形で注意書きが必要ではないか。
3. 数字で目安の記載があっても、感覚的にどの程度かわからない。併記があるといい。

②被験者 2 より
1. 加工の情報を数値で指示するときは、指定の数値だけでなく「このくらいまでなら上手くいった」という成功、失敗のケースの記載がほしい。
2. 数値で指定するときは、形容詞による説明や図による説明がないと混乱を招く。
3. 注意書きは、工程を順にたどる形式とは区別した形で記載すべきでは。
4. 穴の大きさと味のバランスについての記載がほしい

7.3. 2 つの実験の考察

実験において 3 人の被験者が同じレシピをもとに作業を行った中で、失敗に繋がった理由(ステンシルの穴の大きさが不適切で鮮明に描画できなかったこと)や、実験後に挙がった「このような情報がこのような形式で欲しかった」という声には共通点が見られた。

まず「このような情報が欲しかった」という意見についてである。実験で行った「ラテアートステンシル」において素材の扱いに関して「レシピ参照者に対して考慮を強く促す必要がある」と声が挙がったのは、主に以下の 3 点である。

- ステンシルシートの穴の大きさと粒の大きさの相関の目安
- ステンシルの穴の面積と粉による味への影響への記載と、穴の大きさの目安
- 液体の水面とカップの縁からの距離は、ステンシルの出来栄えに大きく影響すること

次に、「情報はこのような形式で欲しかった」という意見についてである。本実験で使用した改変後のレシピでは、工程のブロックの中で「①【Design Stencil 前に】」などの形で後の工程に向けて考慮が必要で事項について注意を促す記載を行う工夫を加えた。このような記載方法の形式について、本実験の被験者の 2 人から挙がった声は以下の通り分類できる。

- 「後の工程に向けて考慮が必要なこと」については、考慮を反映させるべき段階において記載するべき。また、この記載はレシピの流れからは外れる情報であるので、別の形で記載するべき。
- 考慮すべき数値の目安は、色の違いや文字サイズの違いという形でレシピの文章から区別した形式で記載するべき。

以上の声を反映させて今回使用した「Fabble」を「素材の特性に合わせたものづくり」に適応させたイメージは、以下のようになると考える。

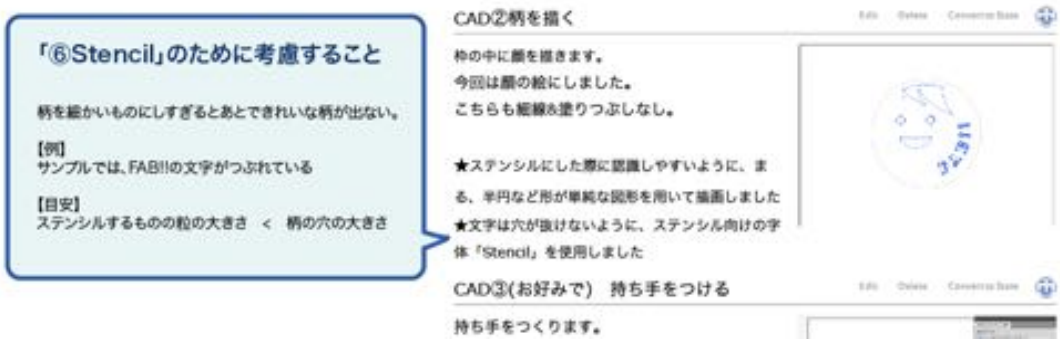


図 7.4「後の工程に向けて考慮が必要なこと」の記載例①。
右側に縦に流れるレシピの工程とは区別し、吹き出し形式で記載。

図 7.5「後の工程に向けて考慮が必要なこと」の記載例②。
①で挙げた吹き出し形式の記載に併せ、注意すべき数値の目安を赤字で記載して区別

素材の特性に合わせたものづくりでは、手順の序盤で行う道具の設計が、手順の最後である道具と素材を用いた造形の完成度に大きく影響をもたらすことが特徴のひとつと言える(例えばラテアートステンシルではステンシルシートの穴設計が粉を振る工程に影響する)。

2 つの実験を通して、「素材と道具をつくるものづくり」のレシピにおいて必要なことは、大きく分けて 2 つあると考えた。

- 各ものづくりのケースごとにはじめに「素材の加工における考慮を道具に入れなければならない軸」を規定する必要があるということである。
- 各工程において、素材加工に適した道具をつくるために、加工の前段階の適切な箇所で「何のために、どのような点を考慮すべきか」を伝達すべき。また、この伝達は流れに添って読み進めるレシピの工程形式とは異なる形で伝達することが必要である。

8. まとめ・展望

本論においては、「素材の特性に合わせたものづくりを促進させるにはどのような要素が必要だろうか」という問いのもとに、複数の取り組みを通してその答えを検討した。
第 3 章では、既に存在するプロジェクトを参考にしながら、素材に合わせて実際に機械をつくる取り組みを行った。
第 3 章の実践を通して生まれた仮説をもとに、第 5 章の「素材の特性に合わせたものの派生のための情報伝達手段の試作」を行った。
第 5 章の試作においては、記録媒体としてのスライサーと、レシピ共有の雛形を作成したが、今回行った試作の成果物の 2 つは今回取り上げた食品用 3D プリンタから生まれた仮説によりできたものであり、「素材の特性に合わせたものづくり」全てに応用可能とは言い切れない。
しかし、あらゆるケースに応用可能な雛形の一例を示すことはできたのではないかと考えている。

今後さらに、あらゆるものづくりのレシピを素材に合わせて改変する営みと、ものづくりから生まれた仮説をもとにした実践を通して、「素材の特性に合わせたものづくり」のつくりかたの伝達について考えていきたい。その中で、食品用 3D プリンタのようにインターネット上のプラットフォームにおける情報の共有がなされていない分野についても今後の課題としたい。

本論で事例として取り上げた、各地で行われている「素材の特性に合わせたものづくり」は、近年のものづくりに関する潮流によって目立ちはじめたものである。これから更に潮流が盛んになるにつれ、このような事例は増え続けるだろう。
今後も、何らかの形でその潮流の一助になりたい。

9. 謝辞

本研究を進めるにあたり、お世話になった方々に感謝の意を表したいと思います。

指導教員としてご指導くださった田中浩也先生ありがとうございました。田中先生には、2 年生だった 2012 年の夏に展示「紙とデジタルファブリケーション」に関わらせていただいて以来、2 年半以上に渡り、ものづくりに関する知識や姿勢などあらゆる場面で大きな道標となっていただきました。全ての期間に渡り、熱く指導いただいたことを心から感謝しております。

日の本穀粉株式会社には、素材や素材に関する資料を提供いただきました。中でも、企画開発部神田哲也さまには、食品用 3D プリンタの開発初期段階から、素材に関する多くの知識を提示いただいき、誠にありがとうございました。

特定非営利活動法人フードデザイナーズネットワークの中山晴奈さん、食とものづくりスタジオ FERMENT の皆様には、素材の加工に関する知見や、関連する広い知識を提示いただきました。ありがとうございました。

また、本研究は COI-T プログラム「感性に基づく個別化循環型社会の創造」への助成を一部受けて行いました。ありがとうございました。

石崎俊先生には田中研究室に入る以前に 2 年生の春学期から 1 年間、研究会で指導いただきました。「研究室では学習環境の色彩の作業効率への影響」というテーマで初めて研究に取り組みました。丁寧なご指導、誠にありがとうございました。

機械の開発にあたり機構の相談から機械の制作まで終始サポートしてくださった、合同会社 SHC 設計増田恒夫さん、田中研究室の関島慶太さん、清水茂樹さん、守矢拓海さんありがとうございました。
田中浩也研究室の皆様、本研究について様々な視点からアドバイスを下さったほか、2 年半に渡りともにものづくりに取り組ませていただき、本当にありがとうございました。

最後に、大学生活 4 年間に渡り私を心配しつつも暖かく支えてくれた家族や友人に感謝の意を表します。皆様の支えのおかげで、4 年間興味のままに行動できたことを心から感謝しております。ありがとうございました。

10. 図引用

図 1.5 クリエイティブ・コモンズが提供する 6 つのライセンス
http://creativecommons.jp/licenses/
図 2.1 Fab@Home ver.2
http://www.fabathome.org/wiki/index.php?title=Image:Fab%40HomeSystemPhoto.jpg
図 2.2/Choc Creator
http://chocedge.com/choc-creator-v1.php
図 2.3 Choc Creator による皿への出力
http://www.pinterest.com/pin/475411304384027664/
図 2.4 PancakeBot
http://www.pancakebot.com/
図 2.5　和菓子を出力する 3D フードプリンタ
http://www1.hst.titech.ac.jp/~kadota/3D/printer6.html
図 2.6 3D ゲルプリンタと出力した食品
https://www.facebook.com/swelbook/
図 4.1 kup
http://www.ladiesgadgets.com/kup-sugix-cup-rice/
図 4.2　デルタ型 3D プリンタの ORION
http://seemecnc.com/products/orion-delta-3d-printer
図 4.3Keep 氏の Ceramic Delta と出力例
http://www.keep-art.co.uk/
図 4.6 キッチン 3D プリンタの もととなった ORION
http://seemecnc.com/products/orion-delta-3d-printer
図 4.8 Unfold のエクストルーダと使用している部品
http://unfoldfab.blogspot.jp/
図 6.1 ホットケーキ生地を用いて加熱時間の差により描画を行った例。 Cookpad のレシピより http://cookpad.com/recipe/2901277

11. 文献目録

[1] FabLab Japan. [Online]. http://fablabjapan.org/

[2] Cookpad. [Online]. http://cookpad.com/

[3] Instructables. [Online]. http://www.instructables.com/ja/

[4] GitHub. [Online]. https://github.com/

[5] Thingiverse. [Online]. http://www.thingiverse.com/

[6] Fabble. [Online]. http://fabble.cc/

[7] クリエイティブ・コモンズ・ライセンス. [Online]. http://creativecommons.jp/licenses/

[8] Cornell University. Fab@Home. [Online]. http://www.fabathome.org/

[9] Choc Edge. [Online]. https://chocedge.com/

[10] Pancake Bot. [Online]. http://www.pancakebot.com/

[11] 東京工業大学科学技術高等学校門田ロボテク. 和菓子を出力する３D フードプリンタの開発. [Online]. http://www1.hst.titech.ac.jp/~kadota/

[12] 山形大学ソフト＆ウェットマター工学研究室. [Online]. http://furukawa.yz.yamagata-u.ac.jp/swel/top.html

[13] 米沢いただきます研究会. [Online]. http://y-sansoukyo.jp/yonezawa_itadakimasu.html

[14] kup. [Online]. http://www.designboom.com/tag/sugix/

[15] SeeMeeCNC. ORION™ Delta Desktop 3D Printer. [Online]. http://seemecnc.com/products/orion-delta-3d-printer

[16] Ceramic delta. [Online]. http://reprap.org/wiki/Ceramic_delta

[17] Unfold. [Online]. http://unfold.be/pages/projects

[18] 東海農政局. [Online]. http://www.maff.go.jp/tokai/shokuryo/shohi/komeko/komekotowa.html

[19] http://www.kozawa.net/. [Online]. http://www.kozawa.net/new_page_26.htm

[20] 神田哲也(日の本穀粉株式会社). 米粉・コメ粉選択のガイドラインとその応用例. [Online]. http://ci.nii.ac.jp/naid/40019465877

[21] おいしく楽しい☆お絵かきホットケーキ. [Online]. http://cookpad.com/recipe/2901277

[22] 浩也 田中 et al., *FAB に何が可能か 「つくりながら生きる」21 世紀の野生の思考*.: 株式会社フィルムアート社, 2013.

[23] 田中浩也, *SF を実現する 3D プリンタの想像力*.: 株式会社講談社, 2014.

[24] markus kayser. Solar Sinter. [Online]. http://www.markuskayser.com/work/solarsinter/

[25] kuluska（クルスカ）. [Online]. http://kuluska-japan.com

[26] Natural Machines. Foodini. [Online]. http://www.naturalmachines.com/

[27] Japanese Makers. 3D プリンタの種類. [Online]. http://www.japanese-makers.com/archives/4105

[28] How to Cut Meat - Instructables. [Online]. http://www.instructables.com/id/How-to-Cut-Meat---LASER-STYLE!/?lang=ja

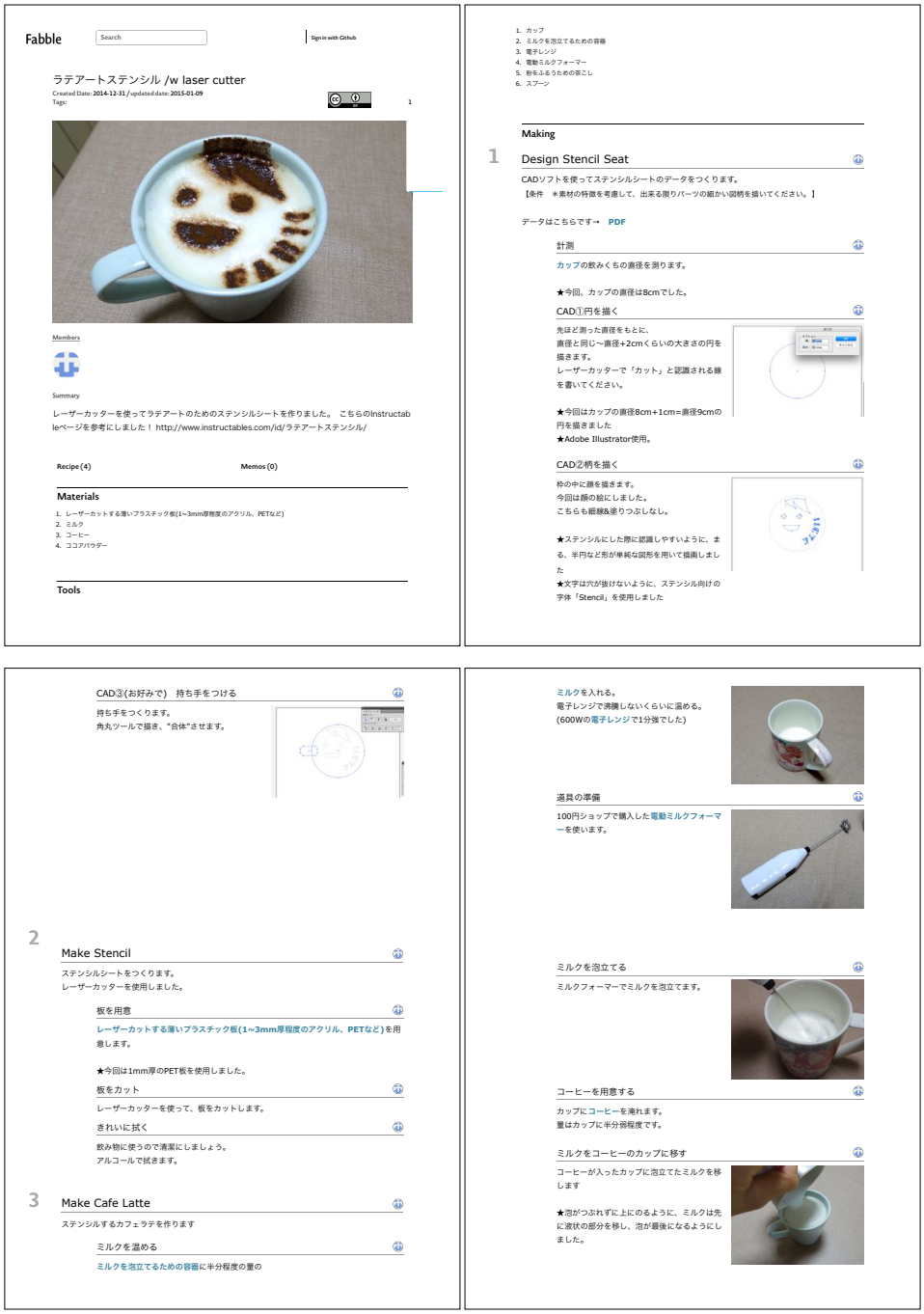
[29] 全国穀類工業協同組合ホームページ. [Online]. http://www.komeko.net/

[30] 北陸農政局. [Online]. http://www.maff.go.jp/hokuriku/food/komeko/kome_hanasi01.html

[31] 全国穀類工業協同組合. [Online]. http://www.komeko.net/

12. 付録

12.1.　Fabble「ラテアートステンシル」①改変前



Fabble　Search　Sign in with Github

ラテアートステンシル /w laser cutter

Created Date: 2014-12-31 / updated date: 2015-01-09

Tags:

1

Members

Summary

レーザーカッターを使ってラテアートのためのステンシルシートを作りました。 こちらのInstructableページを参考にしました！ http://www.instructables.com/id/ラテアートステンシル/

Recipe (4)　Memos (0)

Materials

1. レーザーカットする薄いプラスチック板(1~3mm厚程度のアクリル、PETなど)
2. ミルク
3. コーヒー
4. ココアパウダー

Tools

1. カップ
2. ミルクを泡立てるための容器
3. 電子レンジ
4. 電動ミルクフォーマー
5. 粉をふるうための茶こし
6. スプーン

Making

1 Design Stencil Seat

CADソフトを使ってステンシルシートのデータをつくります。

【条件　＊素材の特徴を考慮して、出来る限りパーツの細かい図柄を描いてください。】

データはこちらです→ PDF

計測

カップの飲みくちの直径を測ります。

★今回、カップの直径は8cmでした。

CAD①円を描く

先ほど測った直径をもとに、
直径と同じ～直径+2cmくらいの大きさの円を描きます。
レーザーカッターで「カット」と認識される線を書いてください。

★今回はカップの直径8cm+1cm=直径9cmの円を描きました
★Adobe Illustrator使用。

CAD②柄を描く

枠の中に顔を描きます。
今回は顔の絵にしました。
こちらも細線&塗りつぶしなし。

★ステンシルにした際に認識しやすいように、まる、半円など形が単純な図形を用いて描画しました
★文字は穴が抜けないように、ステンシル向けの字体「Stencil」を使用しました

CAD③(お好みで)　持ち手をつける

持ち手をつくります。
角丸ツールで描き、"合体"させます。

2 Make Stencil

ステンシルシートをつくります。
レーザーカッターを使用しました。

板を用意

レーザーカットする薄いプラスチック板(1~3mm厚程度のアクリル、PETなど)を用意します。

★今回は1mm厚のPET板を使用しました。

板をカット

レーザーカッターを使って、板をカットします。

きれいに拭く

飲み物に使うので清潔にしましょう。
アルコールで拭きます。

3 Make Cafe Latte

ステンシルするカフェラテを作ります

ミルクを温める

ミルクを泡立てるための容器に半分程度の量の

ミルクを入れる。
電子レンジで沸騰しないくらいに温める。
(600Wの電子レンジで1分強でした)

道具の準備

100円ショップで購入した電動ミルクフォーマーを使います。

ミルクを泡立てる

ミルクフォーマーでミルクを泡立てます。

コーヒーを用意する

カップにコーヒーを淹れます。
量はカップに半分弱程度です。

ミルクをコーヒーのカップに移す

コーヒーが入ったカップに泡立てたミルクを移します

★泡がつぶれずに上にのるように、ミルクは先に液状の部分を移し、泡が最後になるようにしました。

図 12.1 Fabble「ラテアートステンシル」改変前 1/2

ミルクの完成

泡がカップの表面全体を覆うように、スプーンで整えます。

★ステンシルがはっきりとできるよう、泡を平らに整えました

ミルクの量について

★ミルクの表面が、

- カップの縁の高さを超えないようにしました(ステンシルシートにつけないため)
- かつ、カップの縁ぎりぎりになるようにしました(粉を落とす距離を短くするため)

4 Stencil

カップにステンシルをセット

カップの上にステンシルをのせます。

ココアパウダーと道具の用意

ステンシルに使う素材と道具を用意します。

- ココアパウダー
- 粉をふるうための茶こし
- スプーン

ココアパウダーをふりかける

茶こしをシートの上にセットし、
ココアパウダーを茶こしの中振り入れます。

★真上から振りかける
★細かい箇所(今回は文字)は、

完成！

★ココアパウダーの輪郭が滲んでしまいました。

想定される原因：
①泡立てが足りなかった？(100円ショップのミルクフォーマーはパワーが不安定)
②ミルクの表面とステンシルシートの距離が遠すぎた？(もっとぎりぎりまで泡をいれたほうがよかった？)

Usages

図 12.2 Fabble「ラテアートステンシル」改変後 2/2

12.2.　Fabble「ラテアートステンシル」②改変後

Fabble　Search　Sign in with Github

ラテアートステンシル /w laser cutter

Created Date: 2014-12-31 / updated date: 2015-01-17

Tags:

1

Members

Summary

レーザーカッターを使ってラテアートのためのステンシルシートを作りました。 こちらのInstructableページを参考にしました！ http://www.instructables.com/id/ラテアートステンシル/

Recipe (6)　Memos (0)

Materials

1. レーザーカットする薄いプラスチック板(1~3mm厚程度のアクリル、PETなど)
2. ミルク
3. コーヒー
4. ココアパウダー

Tools

1. カップ
2. ミルクを泡立てるための容器
3. 電子レンジ
4. 電動ミルクフォーマー
5. 粉をふるうための茶こし
6. スプーン

Making

1　②【Design Stencil の前に】

後のステップに向けて考慮すること

Stencilに備えて①

【粒の大きさと、ステンシルの柄の細かさを考慮】
デザインするとき、細かい柄を作りすぎるとあとできれいな柄が出ない。

【例】
サンプルでは、FAB!!の文字がつぶれている

【数の目安】
ステンシルするものの粒の大きさ<ステンシルの隙間の大きさ
となるようにする。

Stencilに備えて②

【ステンシルするココアパウダーの量を考慮】
ステンシルで穴となる面積＝ココアがかかる面積

【例】
サンプルの柄はコップの面積の2割程度が柄。
ココアの粉が多すぎて粉っぽくなってしまった。

【数の目安】
ステンシルの柄の面積　＝　カップの面積の1~2割以下

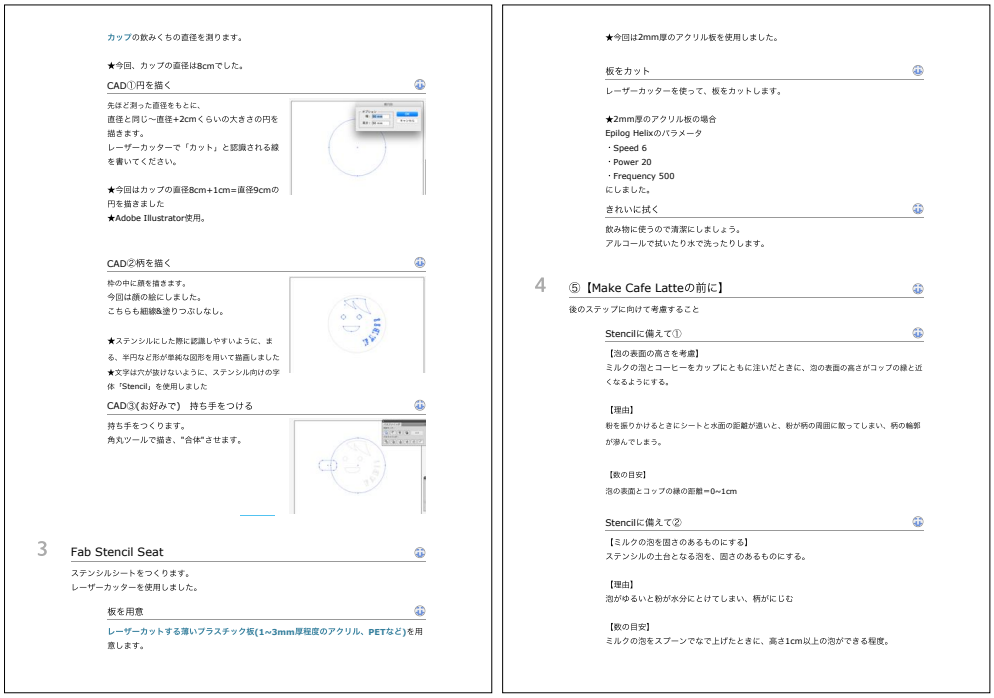
2　Design Stencil Seat

CADソフトを使ってステンシルシートのデータをつくります。
【条件　＊素材の特徴を考慮して、出来る限りパーツの細かい図柄を描いてください。】

データはこちらです→　PDF

計測

図 12.3 ラテアートステンシル改変後 1/4



カップの飲みくちの直径を測ります。

★今回、カップの直径は8cmでした。

CAD①円を描く

先ほど測った直径をもとに、
直径と同じ～直径+2cmくらいの大きさの円を描きます。
レーザーカッターで「カット」と認識される線を書いてください。

★今回はカップの直径8cm+1cm=直径9cmの円を描きました
★Adobe Illustrator使用。

CAD②柄を描く

枠の中に顔を描きます。
今回は顔の絵にしました。
こちらも細線&塗りつぶしなし。

★ステンシルにした際に認識しやすいように、まる、半円など形が単純な図形を用いて描画しました
★文字は穴が抜けないように、ステンシル向けの字体『Stencil』を使用しました

CAD③(お好みで) 持ち手をつける

持ち手をつくります。
角丸ツールで描き、"合体"させます。

3 Fab Stencil Seat

ステンシルシートをつくります。
レーザーカッターを使用しました。

板を用意

レーザーカットする薄いプラスチック板(1~3mm厚程度のアクリル、PETなど)を用意します。

★今回は2mm厚のアクリル板を使用しました。

板をカット

レーザーカッターを使って、板をカットします。

★2mm厚のアクリル板の場合
Epilog Helixのパラメータ
・Speed 6
・Power 20
・Frequency 500
にしました。

きれいに拭く

飲み物に使うので清潔にしましょう。
アルコールで拭いたり水で洗ったりします。

4 ⑤【Make Cafe Latteの前に】

後のステップに向けて考慮すること

Stencilに備えて①

【泡の表面の高さを考慮】
ミルクの泡とコーヒーをカップにともに注いだときに、泡の表面の高さがコップの縁と近くなるようにする。

【理由】
粉を振りかけるときにシートと水面の距離が遠いと、粉が柄の周囲に散ってしまい、柄の輪郭が滲んでしまう。

【数の目安】
泡の表面とコップの縁の距離=0~1cm

Stencilに備えて②

【ミルクの泡を固さのあるものにする】
ステンシルの土台となる泡を、固さのあるものにする。

【理由】
泡がゆるいと粉が水分にとけてしまい、柄がにじむ

【数の目安】
ミルクの泡をスプーンでなで上げたときに、高さ1cm以上の泡ができる程度。

図 12.4 ラテアートステンシル改変後 2/4

5 Make Cafe Latte

ステンシルするカフェラテを作ります

ミルクを温める

ミルクを泡立てるための容器に半分程度の量のミルクを入れる。
電子レンジで沸騰しないくらいに温める。
(600Wの電子レンジで1分強でした)

道具の準備

100円ショップで購入した電動ミルクフォーマーを使います。

ミルクを泡立てる

ミルクフォーマーでミルクを泡立てます。

コーヒーを用意する

カップにコーヒーを淹れます。
量はカップに半分弱程度です。

ミルクをコーヒーのカップに移す

コーヒーが入ったカップに泡立てたミルクを移します

★泡がつぶれずに上にのるように、ミルクは先に液状の部分を移し、泡が最後になるようにしました。

ミルクの完成

泡がカップの表面全体を覆うように、スプーンで整えます。

★ステンシルがはっきりとできるよう、泡を平らに整えました

ミルクの量について

★ミルクの表面が、
- カップの縁の高さを超えないようにしました(ステンシルシートにつけないため)
- かつ、カップの縁ぎりぎりになるようにしました(粉を落とす距離を短くするため)

6 Stencil

カップにステンシルをセット

カップの上にステンシルをのせます。

ココアパウダーと道具の用意

ステンシルに使う素材と道具を用意します。
- ココアパウダー
- 粉をふるうための茶こし
- スプーン

ココアパウダーをふりかける

茶こしをシートの上にセットし、
ココアパウダーを茶こしの中振り入れます。

図 12.5 ラテアートステンシル改変後 3/4

図 12.6 ラテアートステンシル改変後 4/4