修士論文 2019 年度(令和元年度)

3D プリンタを用いた新しい食感を有するフードデザインの実践

慶應義塾大学　政策メディア研究科

若杉　亮介

修士論文 2019 年度

3D プリンタを用いた
新しい食感を有するフードデザインの実践

論文要旨

本論文では、食分野における、フードプリンティングの応用可能性についての検討を行う。近年、食品を直接印刷することのできるデジタルファブリケーション技術、フードプリンティングが開拓される一方、それらの食分野での利用は未だ浸透していない。こうした技術と社会の間にある障壁について考察を行うため、フードプリンティング領域においてのフードデザインの実践を行った。

具体的には、フードプリンタの造形特徴である内部構造の造形に注目をし、内部の形状・密度による食感の変化を与えた食品の試作、またそれを元に、食分野の当事者との議論を行うことで新しい料理の製作を行った。

こうした製作を通じながら、現在のフードプリンティングの応用可能な領域とその課題について考えていく。

キーワード:
1. 3D プリンティング　2. 食分野　3. フードテック
4. インクルーシブデザイン 5. Provotyping

慶應義塾大学　政策メディア研究科

若杉　亮介

Master's Thesis Academic Year 2019

Practice of Food Design with New Textures using 3D Printing

Summary

This paper examines the applicability of food printing.
Despite the recent development of digital fabrication technology that can directly 3D print food, also known as food printing, it has not yet been implemented in the food industry. To consider the barriers between food printing technology and the food industry, we practiced food design with food printing.

We focused on internal structures of food products produced by food printers, which vary in texture according to its internal shape and density, and proposed new recipes through prototypes of food products and discussions with the stakeholder.

We will consider the applicable areas of current food printing and their issues through procedures mentioned above.

Keywords:
1. 3D Printing　2. Food Industry　3. Food-Tech
4. Inclusive Design　5. Provotyping

Graduate School of Media and Governance
Keio University

Ryosuke Wakasugi

目次

[1] 序論
- 1-1. 背景
- 1-2. 研究の目的
- 1-3. 本論の構成

[2] 導入
- 2-1. 食と技術
- 2-2. 食のデジタル化
- 2-3. デジタルファブリケーション

[3] 関連事例
- 3-1. 食分野におけるデジタルファブリケーションの動向
- 3-2. 現状の課題
- 3-3. 本研究の位置づけ

[4] 製作手法
- 3-1. フードプリンティング
- 3-2. 使用機材
  - 3-2-1. エクストルーダー
  - 3-2-2. 素材

[5] 製作
- 5-1. DfAM 技術を用いた成形手法
  - 5-1-1. 食体験における食感
  - 5-1-2. 内部構造を用いた「Parametric Food Texture」の製作
  - 5-1-3. 評価
- 5-2. 新しい料理の製作
  - 5-2-1. 専門家へのヒアリング
  - 5-2-2. Boundary Cubic の製作
  - 5-2-3. 考察

[6] 結論

参考文献
謝辞
付録　CHOCOL3D の使用方法

[1]　序論

第一章　序論

本論文の中心的な問題は、食分野における、デジタルファブリケーション技術の応用可能性である。本論文の概要として、3D プリンタをとりまく技術の発達による、様々な分野での応用可能性ついて示す。その次に本研究における目的を述べ、最後に本論文の構成を述べる。

1-1. 背景

近年、3D プリンタはハードウェア・ソフトウェアの発達、素材の多様化などにより、試作品としての用途ではなく、プロダクトと同等の品質をつくれるようになりつつある。また、3D プリンタの造形特徴を用いた「DfAM(Design for Additive Manufacturing)」と呼ばれる生産技術が普及してきている。DfAM を用いることで、本来その物質にはない物性を加えたり、従来の成形手法では困難だった形状を造形することが可能になるため、その利活用が期待されている。

こうした技術の発達から、3D プリンタは工業デザインだけではなく、建築や医療などの様々な分野での応用が行われつつある。

食分野もその 1 つであり、デジタルファブリケーション技術を用いることで新しい食体験の提供が期待される。その一方、他分野の応用に比べて、3D プリント技術があまり浸透しておらず、未だにレストランなどの飲食店で使われている事例はほとんど存在しない。

1-2. 研究の目的

本研究の目的は、これまでのフードプリンティングの事例の分析と、それを元に DfAM 技術を用いたフードデザインの実践である。そして、実践を通じて得たフードプリンティングを食分野で応用する際の知見をまとめる。

1-3. 本論の構成

本論は、以下の章立てで議論を進めていく。

第一章: 序論
第二章: 導入
第三章: 関連事例
第四章: 製作手法
第五章: 製作
第六章: 結論

第二章では、これまでの食と技術の歴史をはじめとして、デジタルファブリケーションが貢献しうる食分野の領域について示す。

第三章では、先行事例を踏まえて、本研究の立ち位置について提示する。

第四章では、今回の製作に使用したチョコレートを出力する 3D プリンタの詳細や使用方法について記述している。

第五章では、3D プリントの造形特徴である内部構造を用いた食感の制御したチョコレートの製作、またフードデザイナーとの共同で新しい料理の製作手法についてまとめていく。

最後に第六章では、これらの製作を通して、デジタルファブリケーションを食分野で応用する際の実践手法について考察を行う。

[2] 導入

第二章　導入

2-1. 食と技術

これまで料理は、技術によって複雑化・多様化を遂げてきた。技術による料理の表現支援で最も有名な事例が、スペインのレストラン「エル・ブリ」である。エル・ブリでは、「人の五感すべてに働きかけ、さらに“人の脳をびっくりさせる”料理」を調理の信念とし、新しい食体験の開発を日々行っていた。ソーダを作るための機械に注目をし、その機械を用いることで本来泡立てられない素材を泡立てるエスプーマという技術を開拓したり、減圧器具など、本来料理では使われなかった技術を用いたりなど、自分たちの料理の製作手法の開拓を行い、自分たちの思想の表現を実現していた。

石川(2019)[20]によると、料理は、食材・調理法・思想によって構成されていると述べている。調理法は、技術を用いてシェフが想像する世界観を表現するプロセスである。
技術の発達は、料理家たちの世界観を表現・拡張することを支援する重要な役割であると言える。

出典 1. エスプーマを用いた料理

2-2. 食のデジタル化

近年、食のデジタル化に対して注目が集まってきている。デジタルデータとして保存することが可能になることで、物質世界に出力できる機械さえあれば、場所や時間の制約を受けずに任意の料理を食べることが可能になる。アメ

リカの SF テレビドラマ『スタートレック』では、「レプリケーター」と呼ばれる装置が登場しており、食の未来についての示唆が行われている。
レプリケーターは、分子を材料として物質に変換し、あらゆる人工物のコピーを作り出すことが可能な万能工作機械である。クルーそれぞれの部屋に食品専用のレプリケーターが設置されており、音声ユーザーインターフェースで「アールグレイをホットで」のようにオーダーすることで、その場で希望の飲食物が合成される。

出典 2. レプリケーターの写真

また、モーリーロボティクス社は、自動調理キッチン「ロボティクス・キッチン」を開発した。料理は、五感をつかって味わう体験であるため、そのデータの保存方法が難しい。現在の料理の主な情報の保存方法は、写真などの視覚情報とレシピである。レシピは調理の再現性が高いように感じる一方でその作った味が、作者のつくった味と一致しているのかを確認することは難しい。ロボティクスキッチンでは、人の調理工程を機械が記録し、データを元にロボットアームで再現することで、見た目や味をコピーすることを目的としている。

出典 3. The Robotic Chef - Moley Robotics

OiCy では、スマートキッチンと題して、IoT 技術を用いた新たな食体験の提供を目的とした活動を行っている。レシピをアプリケーションから探し、調味料を自動で配合するというものである。

出典 4. OiCy 調味料の自動配合機

このように食分野において、料理をデジタルデータとして保存するような活動が多く取り組まれはじめている。

2-3. デジタルファブリケーション

デジタルファブリケーションとは、コンピュータによって制御される工作機械を用いた、ものづくりの総称である。アナログな工作機械と異なり、PC 上でデータを作成し、機械に転送することで、かたちあるものを作ることができる。

近年、食品を直接印刷することが可能な 3D プリンタ「フードプリンタ」の技術が発展しつつある。フードプリンタの取り組みは、2000 年代からはじまった。2006 年に米国のコーネル大学にてシリンジに素材を入れる仕組みの 3D プリンタ、Fab@HOME が登場した。この機械は、ゲル状、ペースト状の素材を扱えるため、チョコレートやホットケーキなどの食品を 3D プリントすることが可能になった。Fab@HOME を皮切りに、様々な 3D プリンタメーカー、飲食業界の企業などがフードプリンタの事業への参入がはじまった。

食分野におけるデジタルファブリケーションの貢献できる特徴は大きく分けて 3 つ挙げられる。

1. 造形表現の拡張
   型を用いた成形では、離型を前提とした形状しかつくることができなかった。3D プリンタは、成形上の制限が型に比べて少ないため、より幅広い形状の成形が可能である。また、外形だけでなく、内部構造のパターンや密度などを調節した立体物の出力が可能になる。

2. 多品種少量生産
   大量生産を目的とする場合、型の利用が適しているが、金型を製作するには大幅な時間とコストがかかってしまう。食材を直接印刷することによって、様々な形状を少量で生産することが可能である。

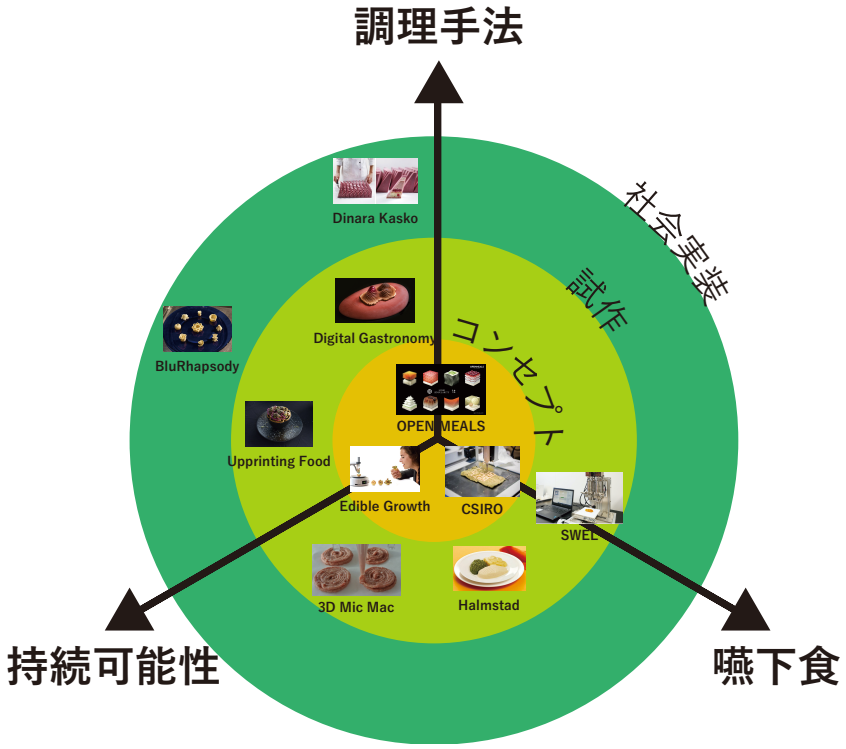
3. データによる汎用可能性
   デジタルファブリケーションはデジタルデータを入力して加工を行う。そのため、出力する機械さえあれば、データを他の場所へ送るだけで、その場所ですぐに生産することが可能である。

こうした特徴を踏まえた上で、食分野での応用を検討する必要であると考える。

[3] 関連事例

第三章　関連事例

3-1. 食分野におけるデジタルファブリケーションの動向



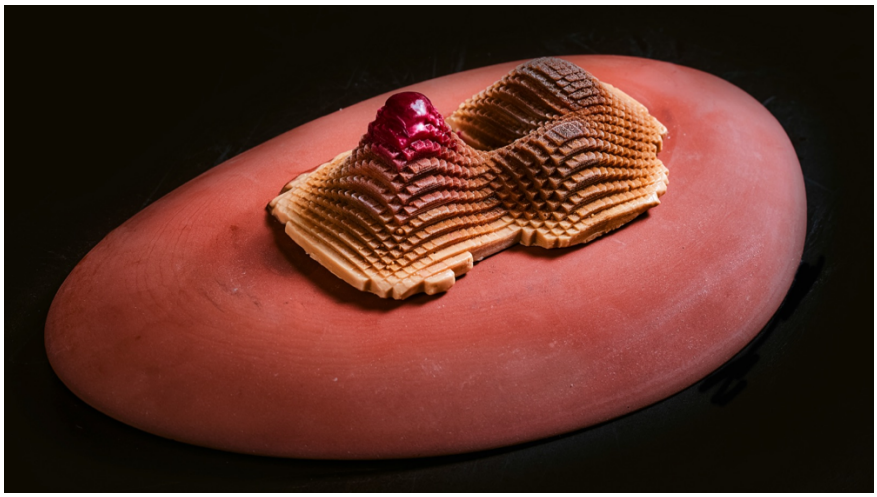
出典 5. 食分野における 3D プリンタの応用事例の一部(2019 年現在)

2010 年代からの活発的に行われている食分野の 3D プリンタの応用事例について紹介をした(出典 5)。フードプリンティング応用先として、大きく分けて、「美食学」「持続可能性」「社会問題」の 3 つのジャンルでのアプローチが行われている。今回は実際に製作している例を紹介しながら、それぞれについて分析を行う。

調理手法

デジタルファブリケーションを用いた新しい製作手法による新たな料理の製作を行っている。

・Digital Gastronomy
デジタル工作機械を用いることによるガストロノミー(美食学)のデジタル化を行っている。



出典 6. Hybrid Lab Digital Gastronomy

・BluRhapsody
フードプリントを用いたパスタを製作したプロジェクトである。スープを包むことの出来るような容器型の形状をはじめとした、新しいパスタ料理の開拓を行っている。実際にレストランでも提供されており、3D プリンタの活用における成功例と言える。

出典 7. BluRhapsody

・Dinara Kasko

Dinara Kasko は、元建築家のパン職人である。3D プリンタを用いて、ケーキのベーキングで使用する食品用のシリコン型を製作している。

出典 8. Dinara Kasko のケーキ

持続可能性

フードロスや食糧危機など、環境問題へのアプローチを行っている。

・Upprinting Food
世界中のフードロスをなくすため、廃棄予定の食料を粉末にし、ペースト状にする技術を開発し、新しい食品にリデザインする活動を行っている。

出典 9. Upprinting Food

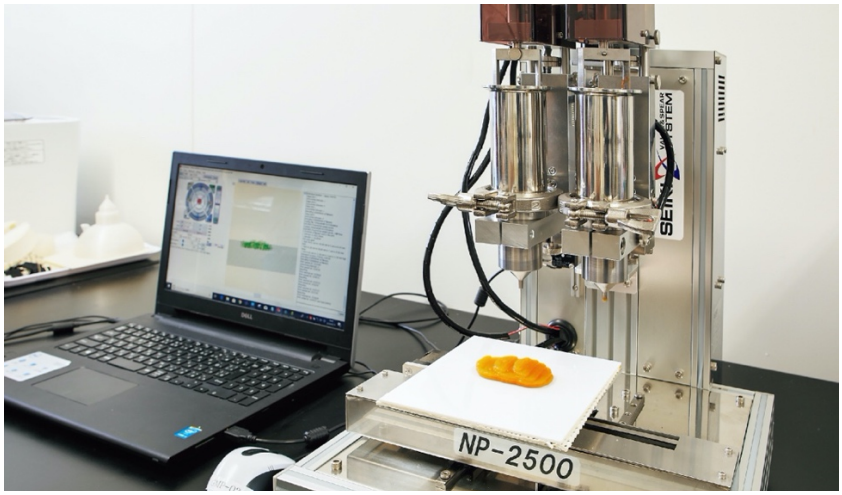
・3D Mic Mac
ファストフード大手の McDonald's は、カスタマイズ可能なハンバーガー、3D Mic Mac の開発を進めている。オーダーメイドにすることで、作り置きをする必要がなくなるため、廃棄物を減らすことにも繋がる。

出典 10. 3D Mic Mac

嚥下食

高齢社会に対して適応できるような料理を製作するアプローチを行っている。

・SWEL
山形大学の SWEL(Soft & Wet matter Engineering Laboratory)では、介護食に注目をしている。飲み込みやすいようにペースト状になっている介護食は見た目・食感共に食欲を削いでしまう。フードプリンタで成形することで、高齢者の食の QOL を高めることを目的としている。



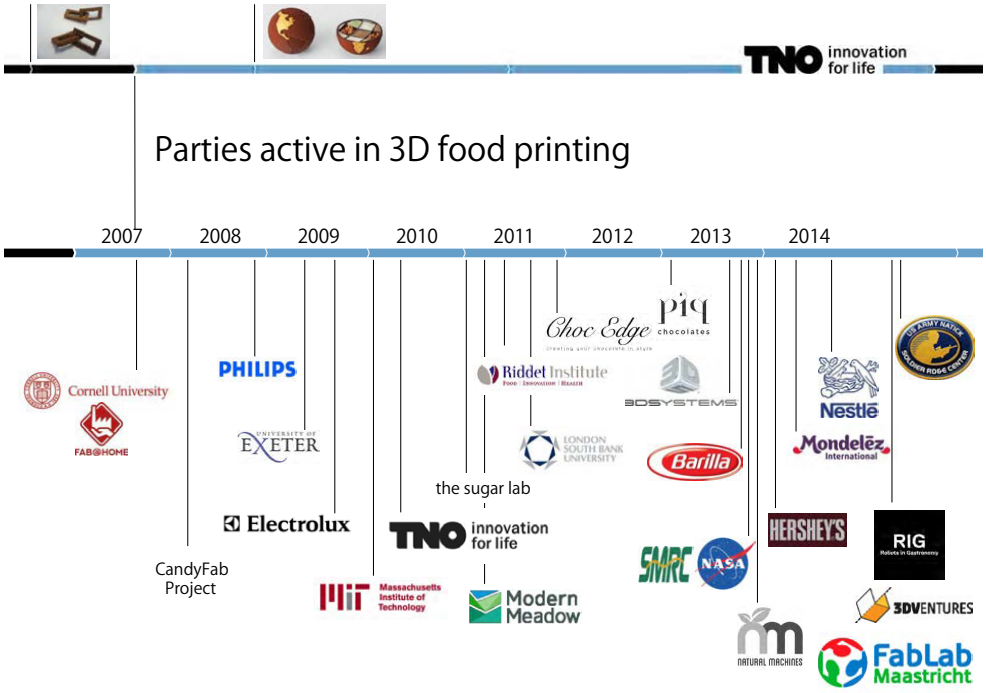
出典 11. 山形大学のフードプリント

・Halmstad
スウェーデンの自治体は、食品プロバイダー Findus and Solina、バイオ 3D プリンタ企業 Cellink および 3D プリンティングサービスプロバイダ Addema、ルンド大学、クリスチャンスタード大学の研究者等と協力し、高齢者向け介護施設で、3D プリントフードの提供を計画している。

出典 12. スウェーデン ハルムスタッドでの 3D プリントフードの活動

3-2. 現状の課題

フードプリンティングは 2007 年頃から取り組まれている。しかし、食分野での 3D プリンタの活用は、その他の応用先の分野である建築分野、医療分野に比べて、普及と発展のスピードが著しく遅れている。そうした理由として、考察を行う。



出典 13. TNO による 2007 年から 2014 年までのフードプリントの歴史

1 つ目は、3D プリントの特性を用いた造形が行われていないことである。これまでのフードプリンタの応用例では、2 次元のロゴマークなどを押し出した平面状の造形がほとんどである。また、手作業で可能な範疇のものが多く、デジタルデータの作成や印刷のための準備などを考慮するとかえって工数がかかってしまう。

2 つ目は、食分野の当事者とのコラボレーションの欠如である。
フードプリンティングは、技術自体が未成熟な分野であるため、エンジニア主導で技術開拓をするプロジェクトが多く存在する一方、シェフやパティシエなどの食分野の当事者と共同で行っている例はほとんど見られていない。そのため、食分野におけるニーズとのミスマッチが起こり、社会応用の段階で活動が停滞しやすく、食分野での応用まで至らないのではないかと考える。

3-3. 本研究の位置づけ

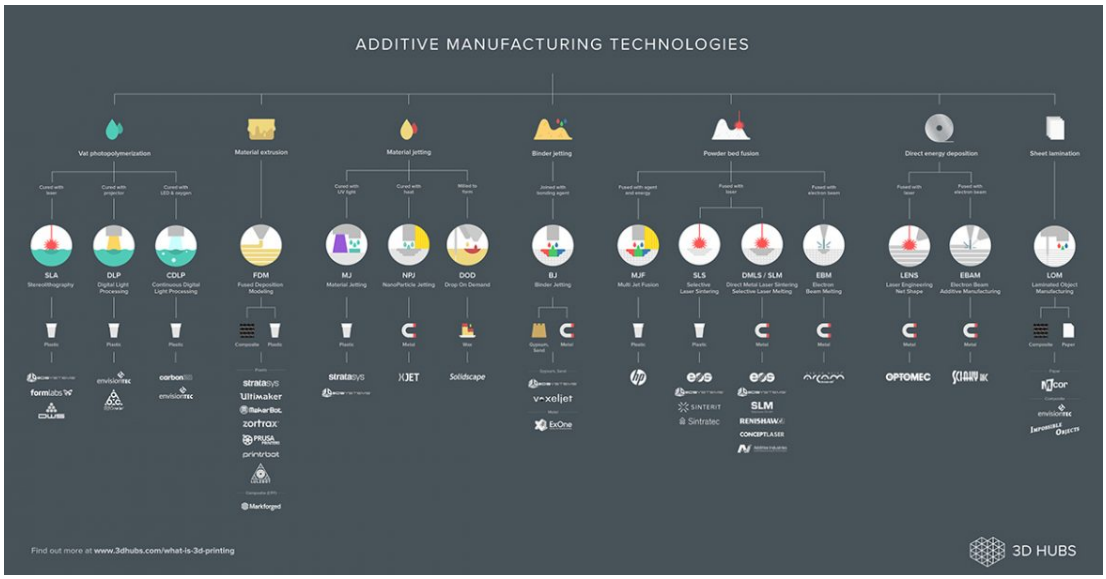
今回の研究では、美食学を主軸としたアプローチを行うことで食分野への貢献を行う。また前述したような課題を踏まえ、当事者とのコラボレーションを行うことで、食分野の文脈を汲み取った新しい料理の製作を行う。

[4] 製作手法

第四章　製作手法

3-1. フードプリンティング

フードプリンティングは、食べ物を直接造形することができる 3D プリンティング技術の総称である。3D プリントの印刷方法は大きく分けて 7 つにグルーピングされている。一般的なフードプリントの印刷方式は ME(Material Extrusion)方式を採用しており、シリンジやギアポンプを用いた出力方式がつかわれている。



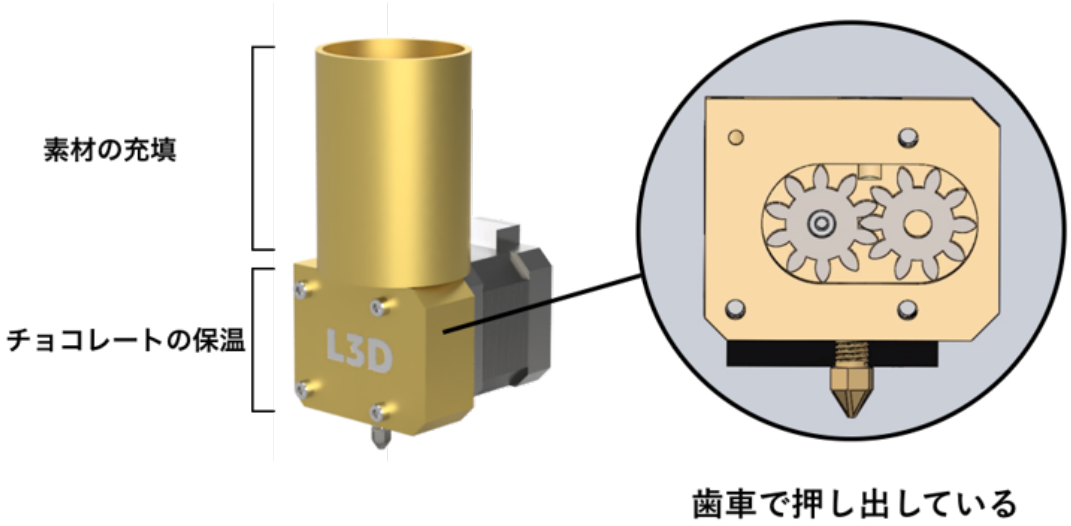
出典 14. 3D HUBS 3D プリンティングの印刷手法一覧

3-2. 使用機材

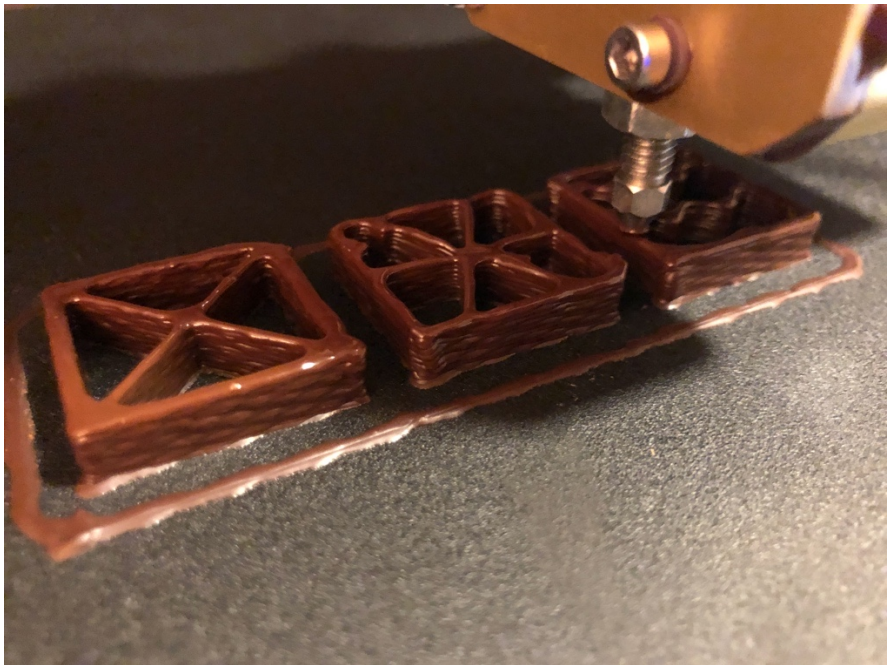
今回は、チョコレートを出力できる 3D プリントエクストルーダー「CHOCOL3D」を用いて製作を行った。

3-2-1. エクストルーダー

CHOCOL3D は、液状のチョコレートを上部のタンクに貯めてギアポンプで押し出すエクストルーダーである。これを既存の 3D プリンタ Ender-3 のエクストルーダーに付け替えて使用した。



出典 15. CHOCOL3D の概要



出力の様子

CHOCOL3D の詳しい使用方法に関しては、巻末付録に記載する。

3-2-2. 素材

素材は、カカオ配合率の高いものを採用した。フードプリントには一定の粘度が必要であるため、油分が高く粘度の高いチョコレートを使用する必要がある。また、ME 方式のフードプリントでは、下から上に層を重ねて造形していくため、下の層が冷えて固体にならないと、次の層を積み重ねることができない。油分が多く含まれていると固体化が早まるため、カカオの配合率が高いものを選択する必要がある。

固体になりやすくする方法としてテンパリングを行うことも効果的である。テンパリングとは、チョコレートに含まれるカカオバターを分解し、安定した細かい粒子に結晶させて融点を同じにするための温度調整のことを指す。 テンパリングを行うと、チョコレートにツヤがでて、柔らかい口当たり、なめらかな口溶けのチョコレートに仕上がる。テンパリングを行うことで、味だけではなく冷え固まる時間の短縮につながる。

使用したチョコレートは以下の 2 つである。

左: 出典 16. ノベルラッテ(ミルク) (上掛け用チョコ)TOMIZ 製
右: 出典 17. クーベルチュールフレーク(エキストラビター)大東カカオ社製

ノベルラッテは、植物性油脂が多く含まれており固体化が早く、テンパリングが必要ないため工数を省略できる。本来コーティングなどに使われる材料のため、砂糖の量が多く単品で食べるのには適していない。
クーベルチュールフレークは、テンパリングが必要であるが、チョコレートとしての純度が高いため、単品での食に適している。

[5] 製作

第五章　製作

5-1. DfAM 技術を用いた成形手法

フードプリンティングでは、DfAM 技術の特性を活かした出力物の例がほとんど存在していない。そこで DfAM の造形特徴である内部構造を用いた食感の変化をもたらす出力物を製作することにした。

5-1-1. 食体験における食感

今回は、食感に注目をした製作を行った。ここでの食感とは、食べ物の噛み砕く時の歯ごたえを指す。食感は、歯ごたえそのものだけでなく、噛んだ時の咀嚼音による聴覚の刺激など、他の感覚への影響するため、料理において重要な要素である。そのため、食感に注目した食品を製菓会社が多く開発している。[出典 18,19,20,21]

食感は、食品自体の構造に影響される。DfAM 技術では、従来の製法から、より自由な形状を造形することが可能になった。そのため、食感において表現拡張の貢献が可能になるのではと考えた。

出典 18. 明治 THE CHOCOLATE

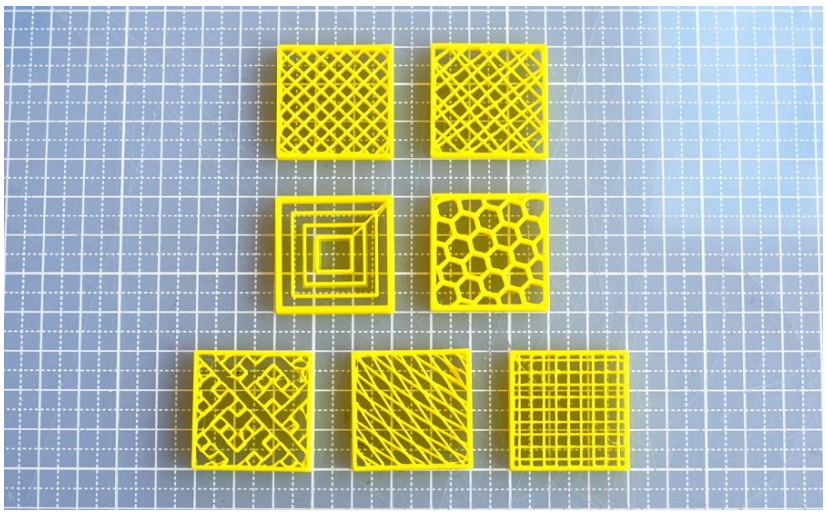
出典 19. LOTTE 紗々

出典 20. nendo CHOCOLATEXTURE

出典 21. ネスレ エアロチョコレート

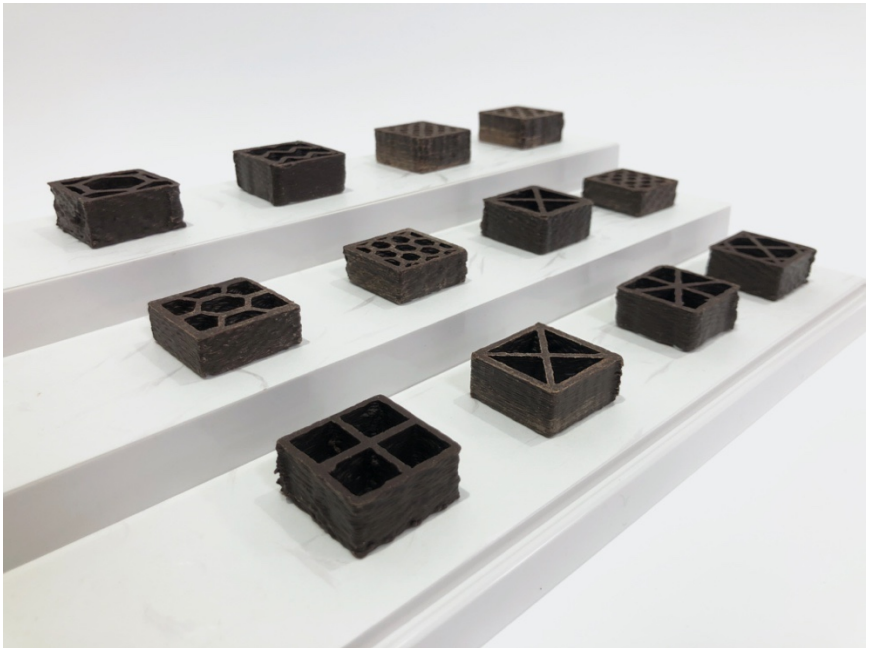
5-1-2. 内部構造を用いた「Parametric Food Texture」の製作

今回は DfAM 技術の 1 つである内部構造に注目をした。内部構造とは、通常 3D プリントする際に モデルの強度や重量などを調整するために用いられる構造体である。 それぞれの内部構造の形状パターンによって、食感の重要な要素である空洞のかたちも異なるのではないかと考えた。



出典 22. 内部構造のサンプル

30×30×15(mm)の直方体 3D データを製作し、それぞれに内部構造を変えたプロセスを振り分け、Simplify3D(ver.4.1.1)でスライスし出力をした。



製作した「Parametric Food Texture」

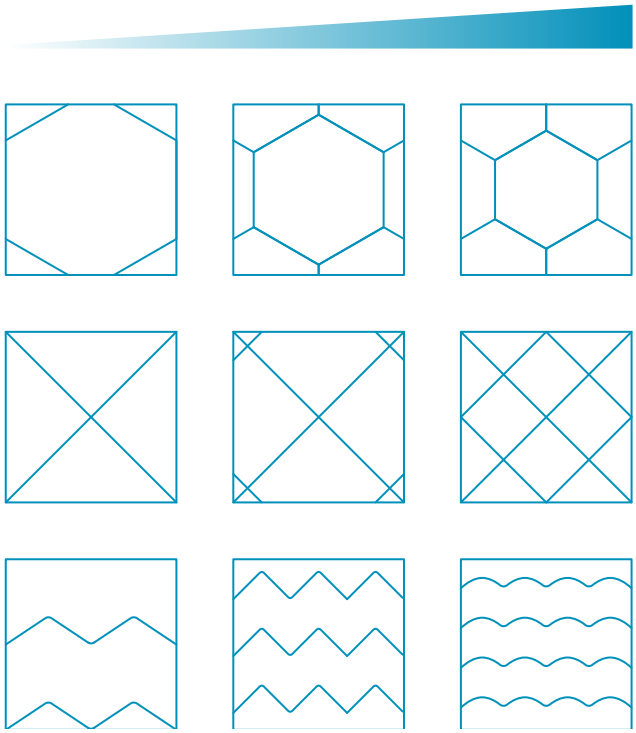
5-1-3. 評価

先行研究[3]では、フードプリンタで印刷したそれぞれの内部構造を強度試験で分析し、評価を行っている。本研究では、それぞれの構造が食感にどのような影響をもたらすかを考えた。

今回は内部構造の食感を記述する上で、チョコレートをユーザーに咀嚼してもらい、その咀嚼音を録音し、それらを波形としてまとめた。

内部構造パターン 3 種類と異なる密度 3 種類の計 9 種類のチョコレートをプリントした。

構造パターン / 密度
- Full Honeycomb / 10% ・ 15% ・ 20%
- Rectillinear / 10% ・ 15% ・ 20%
- Wiggle / 10% ・ 15% ・ 20%



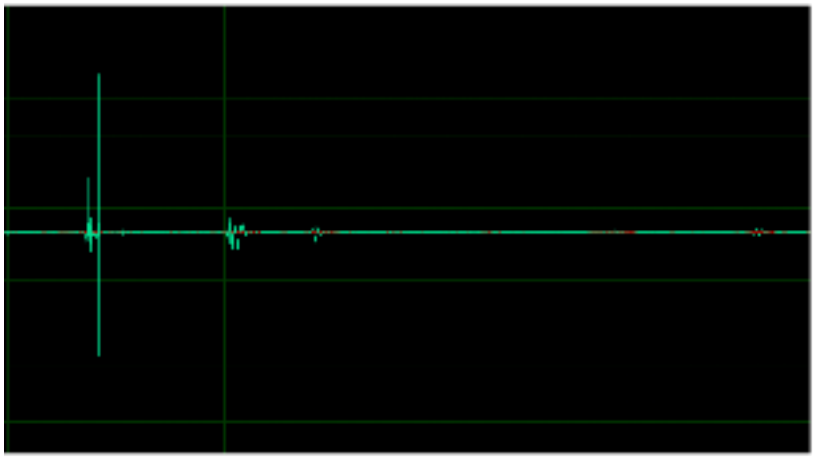
採用したパターンの平面図

比較を行うため、パターンを垂直に噛み砕くことを咀嚼条件とした。

咀嚼の実験を行った結果、密度の高さによって、咀嚼の回数、また咀嚼時間が増えていることがわかった。以下に実験結果の音源の波長を掲載する。

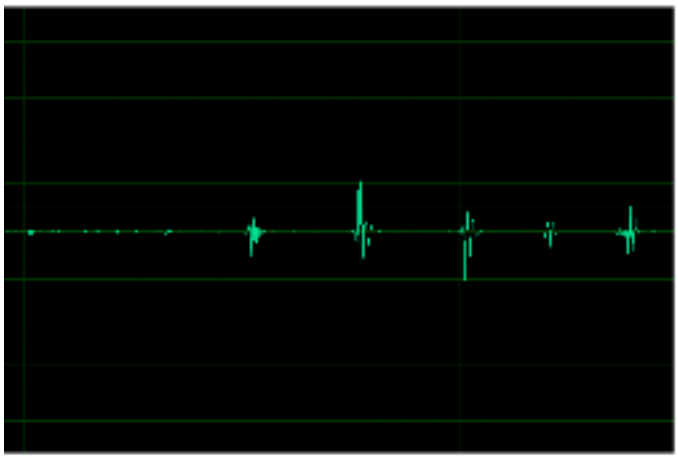
Honeycomb パターン

10%

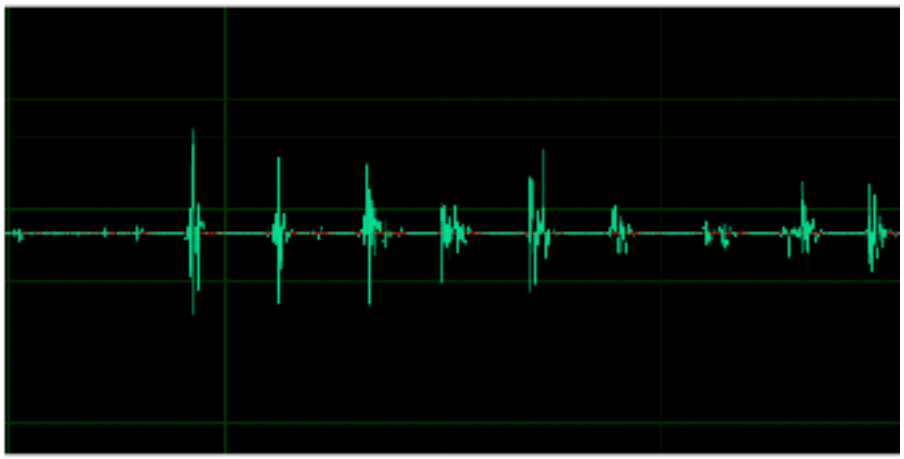


x

15%

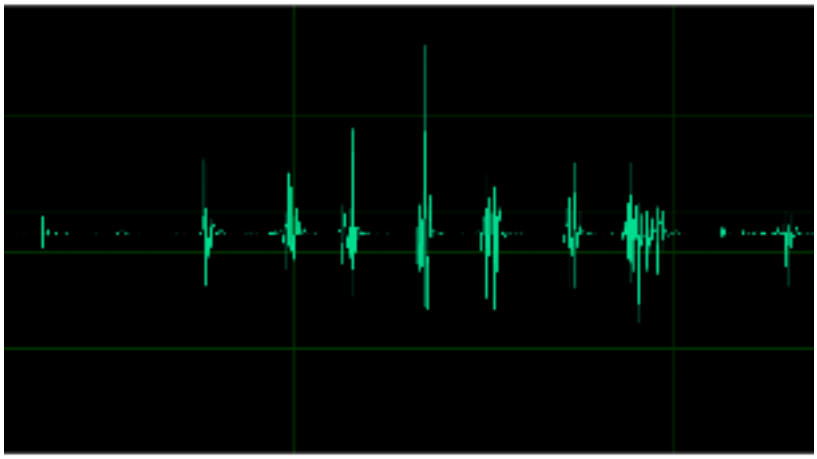


20%

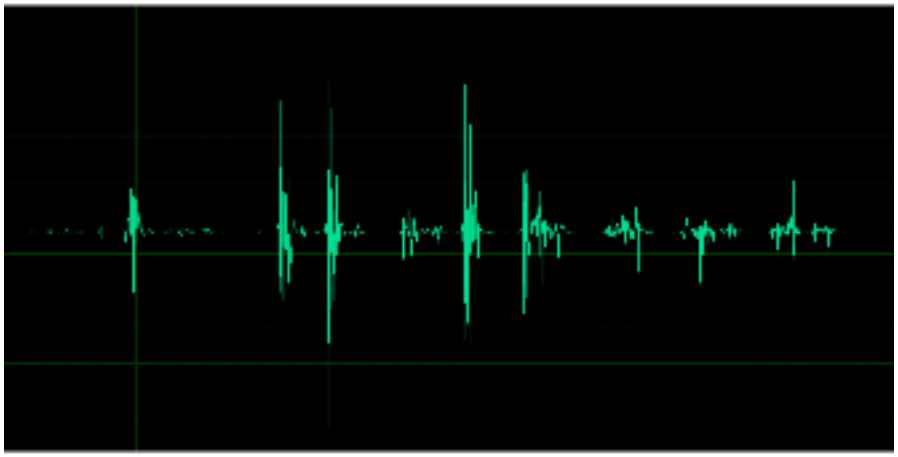


Wiggle パターン

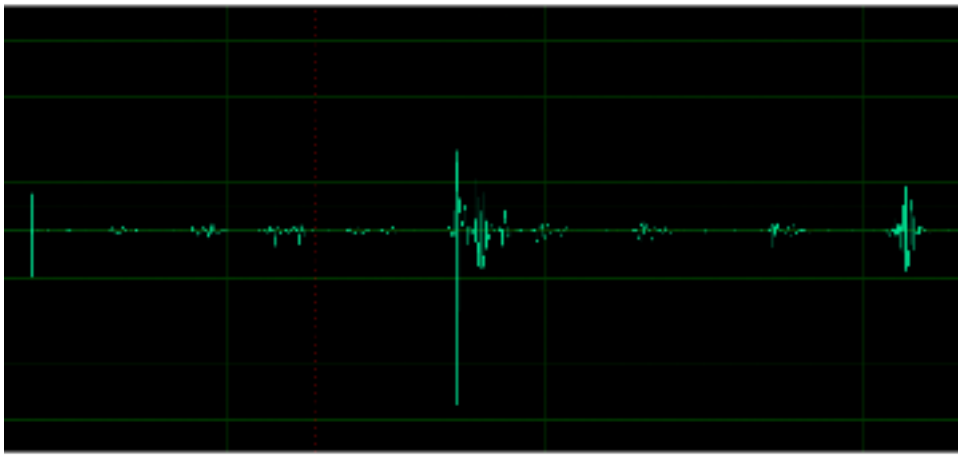
10%



15%

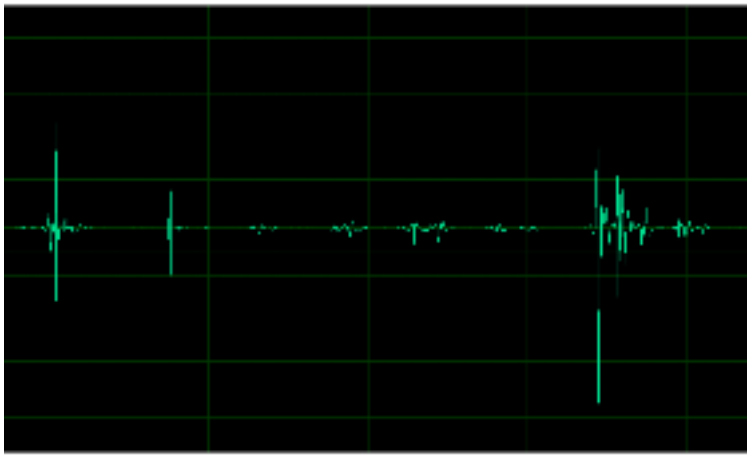


20%

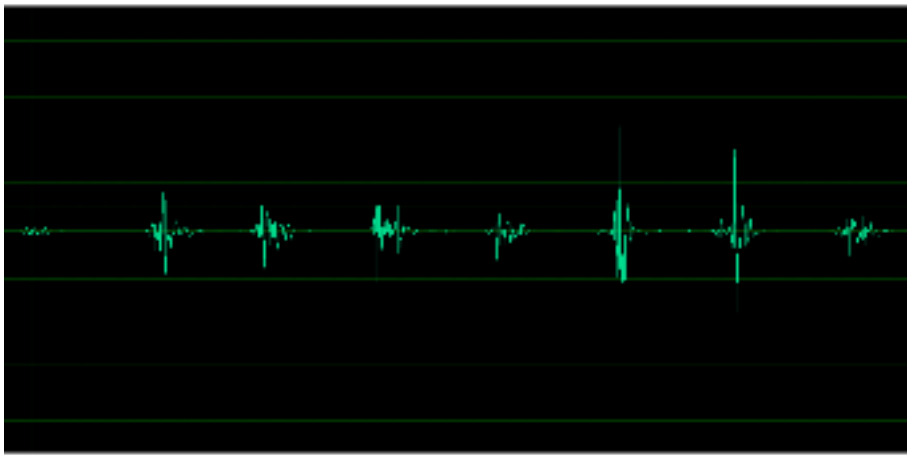


Rectilinear パターン

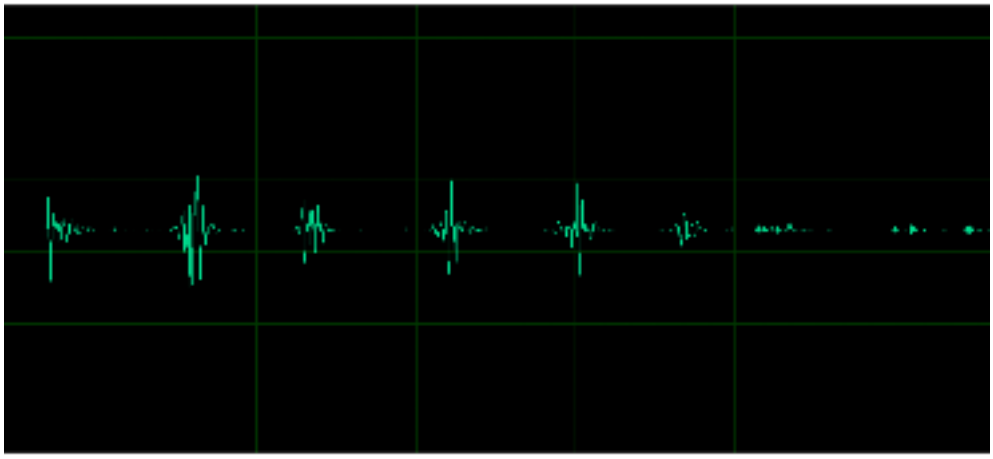
10%



15%



20%



5-2. 新しい料理の製作

第二章の背景で述べたように、食分野におけるデジタルファブリケーションの応用の重要な要素は、当事者とのコラボレーションである。

5-2-1. 専門家へのヒアリング

食分野のニーズを得るため、食分野で活動しているフードデザイナー・中山晴奈氏へのインタビューを行った。
インタビューでは、4-3 で製作をした、内部構造で食感の変化を与えるチョコレート「Parametric Food Texture」を紹介しながらフードプリンティングを用いた食分野での応用可能領域について伺った。

そこで得た食分野の当事者から見たフードプリンティングに対する期待と姿勢についてインタビューを行った。

以下、中山氏の会話の抜粋である。

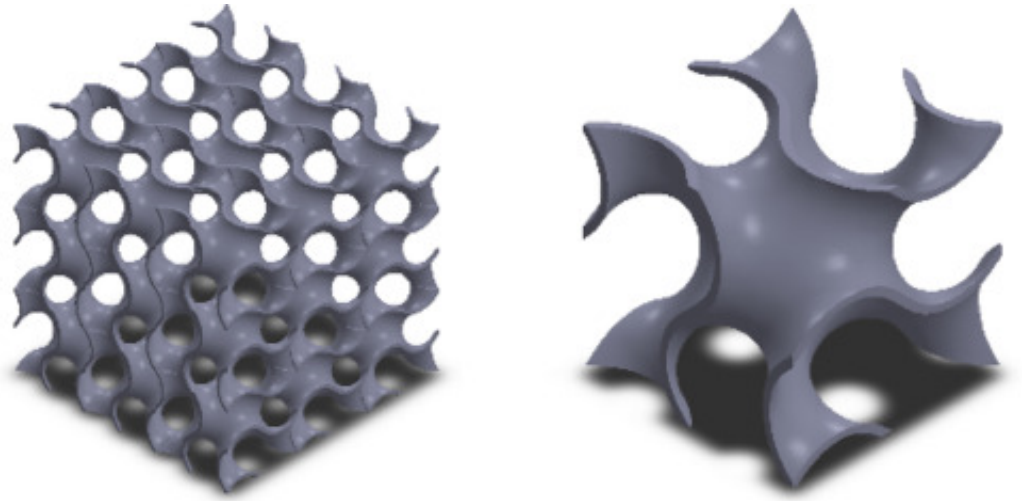
> *料理はメタモルフォーゼが面白いんですよ。*
> *焼くとカリカリになる、乾燥すると固くなるとか。そこが重要だと思います。例えば、パンケーキだと、最初に生地で絵を書いて、時間差ですべて流し込むと絵が(焦げ目で)表現できたり。小麦粉や米粉などの素材であれば、揚げることで固くなったり、そういうところまでできたら面白いなと思います。出力してそのまま食べるのは調理ではない気がします。*
>
> *チョコレートプリントも、現状だと絵や文字を書くのがメインだと思いますが、そういう用途だと手作業とは変わらないですね。シェフとかが主体的に採用したいと思うには、手作業以上の価値を見出す必要があります。*
>
> *(Parametric Food Texture を見て)例えば、今のチョコレートの構造にガナッシュを詰めて固めてみるとか。いわゆるガナッシュチョコレートの調理過程はとても面倒で、一回、器状のチョコレートを用意して、(ガナッシュを)絞って、もう一回蓋を作り閉じる、というように手間がかかる。そういったことが簡単にできたら良いなと思います。*
>
> *食品関係は一個の機械で完結しないぐらい工程が複雑なので、キッチンがあって、デジタルファブリケーション機器がつかえることがよいと思います。*

インタビューを通して、フードプリントで出力したものをそのまま食べるのではなく、調理器具の 1 つとして使用し、更に工程を加えて「料理」をつくりたいとのことだった。フードプリンティングでは、出力したものをそのまま食べることを想定したものが多いため、この観点については新鮮だった。

今回のインタビューを元に、新しい料理の製作では、後から手を加えられる「余白」のあるものであること、食材を多様に加えられることを設計要件とした製作を行った。

5-2-2. Boundary Cubic の製作

素材を詰める構造体の検討を行い、ジャイロイドという構造に着目した。ジャイロイドとは、立方格子を三次元的に連続した一枚の面で等分割する構造で、自然界にも見られる多孔質な構造体である。この構造は従来の型を用いた製法ではつくれず、DfAM 独自の製造可能な形状である。



出典 23. ジャイロイドの形状

ジャイロイドの構造は、空洞が 2 層に分かれているような構造体であるため、それぞれの空間 2 つに食材をトッピングすることで、3 つの食材が共存したキューブが作れるのではないかと考えた。

ジャイロイドはそれぞれの部分毎に密度の調節が可能なため、外側から内側にかけてトッピングとチョコレートの比率を変えたり、右半分から左半分にかけてトッピングの割合を変えたりすることが可能になる。

Boundary Cubic の作り方

1. CHOCOL3D でジャイロイド構造を 3D プリントする
※今回は 5cm 立法の 3D データを使用した
2. ジャイロイドの空洞部分にペースト状の食材をクリーム絞り袋で注入する

フレームとなるチョコレートで 3D プリントをしたジャイロイド構造

製作した「Boundary Cubic」

今回の製作は長時間の展示における耐久性を意識したため、注入する素材にメレンゲを採用した。調色には、市販の着色料、ココアパウダーを使用した。

メレンゲを使用した場合の作業工程

卵白を泡立て、砂糖を数回に分けながら加えると、卵白にツヤが出て、混ぜる時に重たくなってくる。この状態で着色料を加えて調色をする。

メレンゲは水分を飛ばすことで素材の硬さが生まれる。一般的には、オーブンで焼く方法が一般的だが、チョコレートが溶けてしまうため冷凍による水分蒸発を行った。

今回は、長時間の展示を考慮しメレンゲを使用したが、その場で調理加工・食事を行う場合は、クリームやジャムなどの形状が崩れやすい素材を使用することも可能である。

トッピングの組み合わせの多様さを示唆した空想のレシピ集

5-2-3. 考察

中山氏に、製作した「Boundary Cubic」を見せながら再度インタビューを行った。以下が会話の抜粋である。

Boundary Cubic についての考察

食べることになると、かじる構造であれば構わないですが、一口サイズにしたほうが実用的だと思います。その時に、構造体自体の厚みが調整できるといいですね。

もしくは割りやすい構造で、一口サイズにできてもいい気がします、食べる時の食感もそうだけど、ポテトチップスの袋を開ける時の快楽のように、食べる前の面白さもあるので。

こういう(ジャイロイド)構造は、パティシエの手作業だとできないので、3D プリンタの意味があると思います。

型にクリームを絞るだけでタルトが作れるような、タルトカップって売っているじゃないですか。外壁の構造だけでも作るのが大変だったり、作業(型をつくる、型に流し込むなどの役割)が分担されたりしているので、そういった用途にも使えると思います。

(パティシエなどが)自分で出力するのはもちろんだけど、こうしたチョコレートの構造体を作るっていうデザイナーがいても良いと思うし、3つの味が混じらないで入るとか、構造の特徴を活かすことで表現の価値が生まれるので、結構(デザイナーを)欲しい人はいると思います。

お菓子は基本、構造体になっていて、タルトみたいに外壁と中身があったり、ケーキみたいにレイヤー状になっていたり、お菓子独特の構造があると思います。これ(3D プリントしたチョコレート)にしたことで、構造が 3 次元化になり、さらに新しい感じがします。

今回のコラボレーションについての考察

料理人は、構造やデザインとか、食と関係ないものと出会ったほうが新しい発想が生まれるようなところがあって、こういう(PLA で出力をしたジャイロイド構造を見て)同じ構造で再現された、食から一個離れてるものを見せてもらい、その上でチョコレートみたいな話が入ってくることで、いろんな要素が分解されて提示されてる感じがします。

こういうチョコレートがあるという話ではなくて、こういう構造があって、これをチョコレートにしてこうやってという食の要素を分解してもらっているイメージがある。それを見せてもらっているから、こっちの立場としても刺激的に捉えることができる。

それこそ料理の工程を見るのが面白いというように、これが実際にチョコレートで出せるんですよと見せられることで私だったらこうしたいというクリエイティビティを引き出すような刺激がある気がする。やっぱりデータだけでは読み取れないものが、マテリアルがあるので、要素を分解されて見せられることで、要素ごとの組み合わせの提案がしやすくなる。

単純にプロダクトを見せられるだけとは違うコミュニケーションができたのが価値なのかなと思います。

こういう出力できて、マテリアルが違うもので見せられるのも、実寸も違うとか含めて、ものを食に限らず、こういう寸法でこうなるとか、思考のヒントの提案のされかたをするっていうのも面白いと思います。たぶんこれをすでにできるおもちゃとか家電とかあって、見せられるよりも、こういうものから入って話を聞いたほうが面白いんだろうなぁと思います、過程に価値があるかもしれないです。

食べ物って食材自体がストーリーがあるのがこの数年すごく流行っていて、「誰々がつくったこだわりの農法の〇〇」だったり、情報を食べている感じなんですけど、作り方自体にもこういうものがあるっていうのは、ひとつ価値になる時代になるんだろうなと感じました。

今回のコラボレーションを通して、はじめに着想した Parametric Food Texture から、料理として大きな飛躍ができたように感じる。実際の当事者とのコラボレーションはあらゆる技術の応用において、重要な要素であることを再認識した。

また、コラボレーションをする上で、プロセスを分けて提案することが重要であると感じた。今回は、調理工程の要素を分解して、その 1 つである、構造に特化した提案を行った。このような要素ごとに提案を行うことで、コラボレーターが様々なプロセス、要素をかけあわせて提案しやすくなり、アイデアの飛躍が生まれるのではないかと考える。

[6] 結論

第六章　結論

今回の研究では、異業種におけるデジタルファブリケーションのデザイン実践の経験を通じて、食分野におけるデジタルファブリケーションの応用について、重要な点を挙げる。

1つ目は、食分野の文脈を汲み取ることである。中山晴奈氏とのインタビューを通じて、印象的だったことが「料理のメタモルフォーゼ」である。3D プリントは一見、何でも印刷することが可能であるゆえに、3D プリントで完成形をつくることを目的としたフードプリントのプロジェクトが数多く存在している。こうした中、フードプリンティングが食分野で活用される方法として、実際の当事者からの意見を聞くことが重要であると考えた。

2つ目は、文脈を汲み取った上で、当事者が創発できるような出力物をつくることである。Laurens Boer, Jared Donovan ら(2012)[14]が提唱した「Provotyping」という概念がある。Provotyping は議論を Provoke(誘発する)するためのプロトタイプ製作のことを指す。こうした Provotyping を製作することで、議論可能な環境をつくった。3D プリンタは、その応用可能性の幅が広い故に、なにが出来るのか他分野の当事者が理解することが難しい。今回の研究でいくつかの食分野の当事者との議論を行ったが、そうした中で相手の文脈を汲み取り、アレンジをしながらその分野における Provotyping を提示し、応用可能性を伝えることが重要であると考える。

今後のフードプリンティングの展望として、「ユーザー」の定義が必要となると考える。実際にフードプリンタをレストランに導入する場合、操作や組み立てなど技術的な要素が課題となる。現在のフードプリンタは、PC を用いてデータの作成、加工を行うため、他の食材を加工する機械に比べて、操作方法の難易度が高く、3D プリンタを扱えるよう、技術習得が必要になる。また、メンテナンスも工具を用いるため、調理場での運用に適しているとは言えない。技術の進歩による改善も行われるが、その一方でどのようにデジタルファブリケーションを導入するか、社会実装に向けてサービスデザインの設計が求められていくと考える。

参考文献

1. 3D Food printing Creating shapes and textures
   https://www.tno.nl/media/5517/3d_food_printing_march_2015.pdf (参照 2019-07-01)

2. Valérie Vancauwenberghe, Mulugeta Adasu Delele, Wondwosen Aregawi, Pieter Verboven, Evi Bongaers, Martijn Noort, Mathijs de Schipper, Edwin Van den Eijnden, Kjeld Van Bommel, Bart Nicolai
   Characterization and model-based design validation of 3-D printed cookies, 7th Conference on Industrial Computed Tomography, Leuven, Belgium (iCT 2017)

3. A. Wondwosen, P. Verboven, V. Vancauwenberghe, E. Bongaers, E. Van den Eijnden, K. Van Bommel & B. Nicolai,
   Structure design of 3D printed cookies in relation to texture, In D.E. Dermesonlouoglou, V. Giannou, E. Gogou, & P.Taoukis (Eds.), Proceedings from the 29th EFFoST conference on food science research and innovations, 2015, Athens,Greece, volume I, pp. 415-419.

4. Q. Saleem
   Mechanical and fracture properties for predicting cracking in semi-sweet biscuits, International Journal of Food Science & Technology, Volume 40, Issue 4, pages 361-367.

5. Moran Mizrah, Amos Golan, Arial Bezaleli Mizrahi, Rotem Gruber, Alexander “Zoonder” Lachnish and Amit Zoran. 2016.
   “Digital Gastronomy: Methods & Recipes for Hybrid Cooking”
   To appear in The 29th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '16). ACM, New York, NY, USA.

6. SUSHI SINGULARITY
   http://www.open-meals.com/sushisingularity/ (参照 2019-07-12)

7. BluRhapsody
   https://blurhapsody.com/ (参照 2019-07-12)

8. chocolatexture
   http://www.nendo.jp/jp/works/chocolatexture/ (参照 2019-07-19)

9. Bollini, M., Tellex, S., Thompson, T., Roy, N., and Rus, D. 2013.
Interpreting and executing recipes with a cooking robot. In Experimental Robotics, pages 481– 495. Springer.

10. Cordeiro, F., Epstein, D. A., Thomaz, E., Bales, E., Jagannathan, A. K., Abowd, G. D., and Fogarty, J. 2015.
Barriers and Negative Nudges: Exploring Challenges in Food Journaling. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15). ACM, New York, NY, USA, 1159- 1162.

11. Sun, J., Peng, Z., Zhou, W., Fuh, J.Y.H., Hong, G. S., Chiu, A. 2015.
A Review on 3D Printing for Customized Food Fabrication. Procedia Manufacturing, Volume 1, 2015, Pages 308-319.

12. Bell, G. and Kaye, J.J.
Designing Technology For Domestic Spaces: A Kitchen Manifesto. Gastronomica, 2, 2 (2002), 42-62

13. Bollini, M., Tellex, S., Thompson, T., Roy, N., and Rus, D. 2013.
Interpreting and executing recipes with a cooking robot. In Experimental Robotics, pages 481– 495. Springer.

14. Laurens Boer , Jared Donovan.2012
Provotypes for participatory innovation
June 11–15, 2012 • Newcastle, UK.DIS2012

15. Chocolate 3D Printer – All You Need to Know in 2019
https://all3dp.com/2/chocolate-3d-printer-all-you-need-to-know/ (参照 2019-12-28)

16. 大橋正房ほか(2010)『「おいしい」感覚と言葉』BMFT 出版部

17. 佐藤成美(2018)『「おいしさ」の科学』講談社

18. 上野聡(2016)『チョコレートはなぜ美味しいのか』集英社新書

19. ジュリア・カセム(2014)『インクルーシブデザイン』学芸出版社

20. 石川伸一(2019)『「食べること」の進化史』光文社

21. 田中浩也(2014)『SF を実現する』講談社

22. 3D プリンタで介護食革命、「食べる」を楽しく、介護を楽に
https://www.yamagata-u.ac.jp/jp/hitotohito/research/20190715/ (参照 2019-12-28)

23. McDonald's lance 3D Mic Mac, un burger imprimé en 3D pour réduire le gaspillage alimentaire
https://www.3dnatives.com/mcdonalds-impression-3d-010420193/ (参照 2019-7-28)

24. Zoran, Amit. 2019.
"Cooking with Computers: The Vision of Digital Gastronomy."
Proceedings of the IEEE, Issue 7 August 2019

25. MIT students make 3D-printed ice cream
https://www.theguardian.com/technology/2014/jul/17/mit-students-3d-printing-ice-cream (参照 2020-01-03)

26. Self-printed food (with banana skin) judged at TU/e
https://www.cursor.tue.nl/en/news/2018/mei/week-3/self-printed-food-with-banana-skin-judged-at-tue/ (参照 2020-01-03)

27. 3D printed food could soon help dysphagia sufferers
http://www.3ders.org/articles/20170530-3d-printed-food-could-soon-help-dysphagia-sufferers.html (参照 2020-01-03)

28. 渡邊萌果. 2014.
素材の特性に合わせたものづくりのレシピの検討

29. Upprinting Food https://www.upprintingfood.com/ (参照 2020-01-03)

30. 世界初！3D プリントされたコース料理を出すレストランがロンドンにオープン https://irorio.jp/sophokles/20160713/335567/ (参照 2020-01-08)

図表出典引用元

出典 1. 再現レシピも！未知の泡食感「エスプーマ」でしゅわしゅわの魅力に惚れる https://macaro-ni.jp/35867 (参照 2020-01-03)

出典 2. レプリケーター
https://memory-alpha.fandom.com/ja/wiki/レプリケーター (参照 2020-01-03)

出典 3. The Robotic Chef - Moley Robotics
https://www.youtube.com/watch?v=KdwfoBbEbBE (参照 2020-01-03)

出典 4. OiCy https://oicy.cookpad.com (参照 2020-01-03)

出典 5. SUSHI SINGULARITY https://www.open-meals.com/sushisingularity/
(参照 2020-01-03)

Digital Gastronomy https://digitalgastronomy.co (参照 2020-01-03)

BluRhapsody https://blurhapsody.com/ (参照 2020-01-03)

廃棄食品を 3D プリンターでアップサイクル https://tabi-labo.com/290652/wt-upprinting-food (参照 2020-01-03)

Algorithmic Modeling Cakes
https://www.youtube.com/watch?v=w1Z00Z1ujx8 (参照 2020-01-03)

3D プリンタで介護食革命、「食べる」を楽しく、介護を楽に
https://www.yamagata-u.ac.jp/jp/hitotohito/research/20190715/ (参照 2020-01-03)

Edible Growth: 3D-Printed Living Food That Grows before You Eat It
https://www.thisiscolossal.com/2015/03/edible-growth-3d-printed-living-food-that-grows-before-you-eat-it/
(参照 2020-01-08)

スウェーデンの自治体が民間企業と協力し高齢者介護施設で 3D プリントフードを提供を計画 https://idarts.co.jp/3dp/sweden-3d-printed-food-care-homes/ (参照 2020-01-08)

3D printed food could soon help dysphagia sufferers
https://www.3ders.org/articles/20170530-3d-printed-food-could-soon-help-dysphagia-sufferers.html
（参照 2020-01-08）

ICE CREAM 3D PRINTING VIA FUSED DEPOSITION MODELLING (FDM) https://tlo.mit.edu/technologies/ice-cream-3d-printing-fused-deposition-modelling-fdm（参照 2020-01-08）

McDonald’s lance 3D Mic Mac, un burger imprimé en 3D pour réduire le gaspillage alimentaire　https://www.3dnatives.com/mcdonalds-impression-3d-010420193/（参照 2020-01-08）

出典 6. Digital Gastronomy
https://digitalgastronomy.co（参照 2020-01-03）

出典 7. BluRahapsody
https://blurhapsody.com/（参照 2020-01-03）

出典 8. Algorithmic Modeling Cakes
https://www.youtube.com/watch?v=w1Z00Z1ujx8（参照 2020-01-03）

出典 9. 廃棄食品を 3D プリンターでアップサイクル
https://tabi-labo.com/290652/wt-upprinting-food（参照 2020-01-03）

出典 10. McDonald’s lance 3D Mic Mac, un burger imprimé en 3D pour réduire le gaspillage alimentaire
https://www.3dnatives.com/mcdonalds-impression-3d-010420193/（参照 2020-01-08）

出典 11. 3D プリンタで介護食革命、「食べる」を楽しく、介護を楽に
https://www.yamagata-u.ac.jp/jp/hitotohito/research/20190715/（参照 2020-01-03）

出典 12. スウェーデンの自治体が民間企業と協力し高齢者介護施設で 3D プリントフードを提供を計画
https://idarts.co.jp/3dp/sweden-3d-printed-food-care-homes/ (参照 2020-01-03)

出典 13. 3D Food printing Creating shapes and textures
https://www.tno.nl/media/5517/3d_food_printing_march_2015.pdf (参照 2019-07-01)

出典 14. 3D HUBS
https://www.3dhubs.com/ (参照 2020-01-03)

出典 15. CHOCOL3D
https://chocol3d.com/ (参照 2020-01-03)

出典 16. イルカ　ノベルラッテ（ミルク）（上掛け用チョコ）/ 200g
https://tomiz.com/item/00135001 (参照 2020-01-03)

出典 17. クーベルチュールフレーク（エキストラビター）/ 1kg
https://tomiz.com/item/01277700 (参照 2020-01-03)

出典 18. えんウチ
https://enuchi.jp/ (参照 2020-01-03)

出典 19. ロッテ 紗々
https://www.lotte.co.jp/products/brand/sasha/index.html (参照 2020-01-03)

出典 20. nendo chocolatexture
http://www.nendo.jp/jp/works/chocolatexture/ (参照 2020-01-03)

出典 21. すみよのメモ帳 http://sumiyo-memo.seesaa.net/article/409743003.html (参照 2020-01-03)

出典 22. 3D プリンター作る！
https://3dp0.com/fill-patterns/ (参照 2020-01-03)

出典 23. Diab W.Abueiddaa MohamedElhebearya Cheng-Shen (Andrew)Shianga SiyuanPanga Rashid K.Abu Al-Rubb Iwona M.Jasiuka Mechanical properties of 3D printed polymeric Gyroid cellular structures: Experimental and finite element study

謝辞

田中浩也教授には、学部時代より丁寧なご指導をいただきました。研究室に所属している中で様々なプロジェクトの経験をさせていただいたことで、デザインエンジニアとしての姿勢を学ぶことができました。

副査を引き受けていただいた、仲谷正史准教授、脇田玲教授には新しい視点や研究における姿勢についてご指導いただきました。

中山晴奈さんには、本研究のコラボレーターとして大変お世話になりました。デジタルファブリケーションの文脈を汲み取っていただいた上でのフィードバックやコメントは貴重な学びとなりました。

チョコレートバンク・石原紳伍さんには、チョコレートについて知識を持ち合わせてない私に様々な知見を教えていただきました。

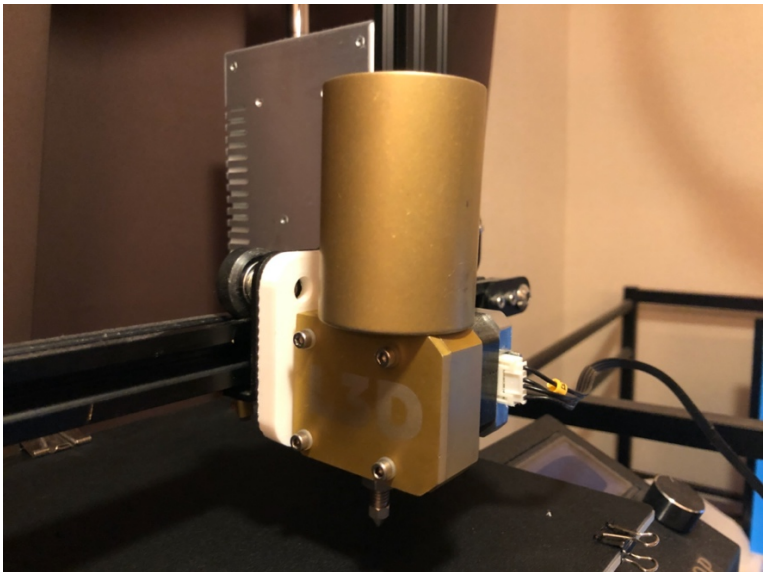
宮川祥子准教授には、学部時代より大変お世話になりました。異分野におけるデジタルファブリケーションを用いたデザインの姿勢についてご指導いただいたことで、今回の研究がより深いものになりました。

田中研のみなさんにも大変お世話になりました。学年問わず、研究に真摯に取り組む姿は、僕自身たくさんの刺激をもらっていました。
徳重早織さんには研究についての助言や、製菓作りの助言をいただきました。
脇本智正さんは今回の研究をはじめた時から多くの時間を費やして協力していただきました。
大日方伸さんには、研究に対する的確なアドバイスをいただき、研究を進める上でとても助かりました。
森瑞貴さんには、製作のサポートや、身近な壁打ち相手として研究の相談をさせていただきました。

最後に、研究活動を支え、応援してくれた家族と友人に心から感謝します。

付録

CHOCOL3D 使用方法

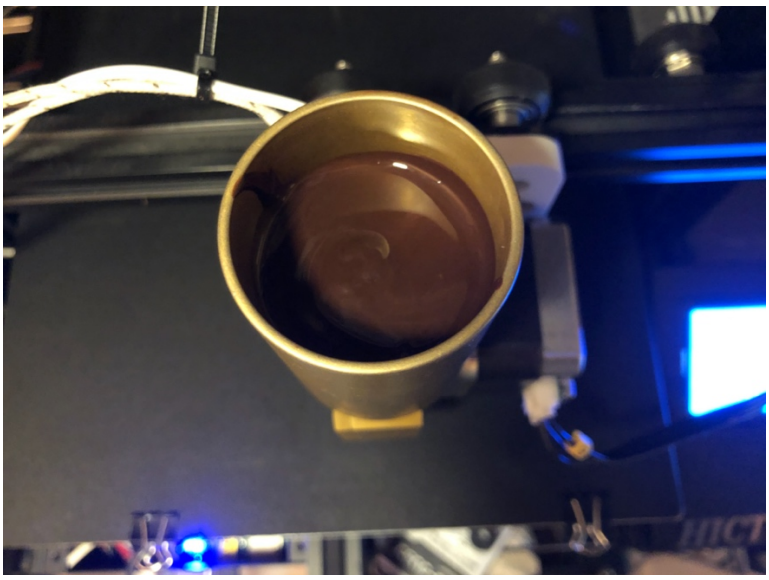


1. CHOCOL3D エクストルーダーをプリンターに取り付け、35℃で保温状態にしておく

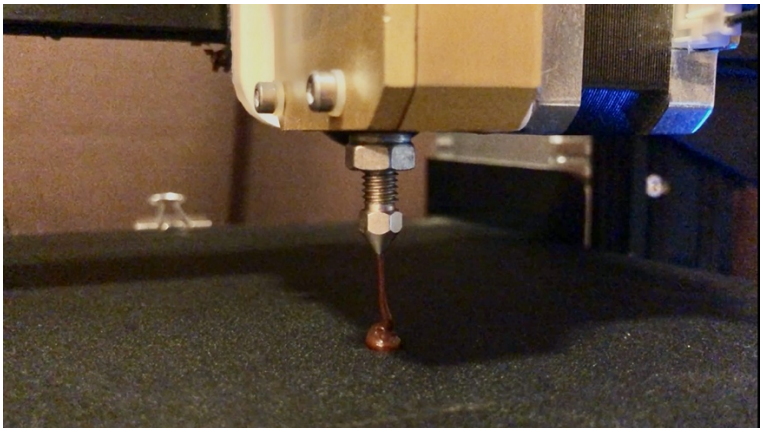
※保温しない状態で、チョコを充填させると、冷えて固まってしまう。

2. チョコレートを湯煎にかける

※湯煎をかける場合は、お湯の温度は 70℃前後で行う。
混ぜるときは、チョコレートを巻き込みながらヘラでボウルの底面をなぞるようにして溶かしていく。



3. チョコレートが液体になったらポットに充填する



4. 充填が完了したら、シリアル通信で M302(低音でのエクストルード許可)をプリンターに送りエクストルードの確認を行う

※エクストルーダー全体を温めるヒーターは、エクストルーダー中心部にあるため、ノズルまで熱が届きにくい。そのため、この工程を済ませた後は、ノズル部でチョコレートが固まらないように定期的にチョコレートのエクストルードを行い、素材の滞留を防ぐか、すぐにプリントを開始できる状態にしておくようにする。

使用方法-トラブルシューティング

・エクストルードが行われない場合
ノズルで詰まっている可能性が高い。一度出力を止めて、ノズルを外した状態でエクストルードされるかを確認する。エクストルードされていればノズルを一度熱湯にさらし、詰まりを解消させてからセットする。

エクストルードが確認できない場合は、機構部分でチョコレートが固まってしまい、ギアが回っていない可能性があるため、解体し洗浄する必要がある。

・軌道する場合
パスが交差すると、ノズルにチョコが付着し、それがノズルつまりの原因になる。スライサーによる G-code の自動生成を行うと

・造形物の欠けが起こる場合

左の画像のように造形途中で、ある一部の造形が出力されない場合がある。こうした時は射出料が足りていない場合があるため、射出量を調節した上で再度印刷を行う必要がある。

・吐出が安定しない場合
吐出系で問題が起こったら 1.0mm のノズルで試して出力の確認をする。
出力ができない場合は、吐出の設定もしくは内部のギアの噛み合わせが問題である可能性が高い。

出力環境

チョコレートをプリントする場合、素材だけでなく環境が重要になる。出力するときの室温は 24℃前後を維持する。

スライス設定
スライスソフトには Simplify3D(ver4.1.1)を使用した。
以下が印刷設定のパラメーターである。

```
extruderToolheadNumber,0
extruderDiameter,0.82
extruderAutoWidth,0
extruderWidth,0.8
extrusionMultiplier,1
extruderUseRetract,1
extruderRetractionDistance,1
extruderExtraRestartDistance,0
extruderRetractionZLift,0
extruderRetractionSpeed,1800
extruderUseCoasting,0
extruderCoastingDistance,0.2
extruderUseWipe,0
extruderWipeDistance,5
;  primaryExtruder,0
;  layerHeight,0.25
;  topSolidLayers,0
;  bottomSolidLayers,0
;  perimeterOutlines,1
;  printPerimetersInsideOut,1
;  startPointOption,3
;  startPointOriginX,0
;  startPointOriginY,0
;  sequentialIslands,0
;  spiralVaseMode,0
;  firstLayerHeightPercentage,100
;  firstLayerWidthPercentage,100
;  firstLayerUnderspeed,0.5
;  useRaft,0
;  raftExtruder,0
;  raftTopLayers,3
;  raftBaseLayers,2
;  raftOffset,3
```

; raftSeparationDistance,0.14
; raftTopInfill,100
; aboveRaftSpeedMultiplier,0.3
; useSkirt,1
; skirtExtruder,0
; skirtLayers,1
; skirtOutlines,1
; skirtOffset,4
; usePrimePillar,0
; primePillarExtruder,999
; primePillarWidth,12
; primePillarLocation,7
; primePillarSpeedMultiplier,1
; useOozeShield,0
; oozeShieldExtruder,999
; oozeShieldOffset,2
; oozeShieldOutlines,1
; oozeShieldSidewallShape,1
; oozeShieldSidewallAngle,30
; oozeShieldSpeedMultiplier,1
; supportAngles,0
; temperatureName,Primary Extruder
; temperatureSetpointCount,1
; temperatureSetpointLayers,1
; temperatureSetpointTemperatures,35
; temperatureStabilizeAtStartup,1
; temperatureHeatedBed,0
; fanLayers,1,2
; fanSpeeds,0,100
; blipFanToFullPower,0
; adjustSpeedForCooling,1
; minSpeedLayerTime,15
; minCoolingSpeedSlowdown,20
; increaseFanForCooling,0
; minFanLayerTime,45
; maxCoolingFanSpeed,100
; increaseFanForBridging,0
; bridgingFanSpeed,100
; use5D,1
; relativeEdistances,0
; allowEaxisZeroing,1
; independentExtruderAxes,0
; includeM10123,0
; stickySupport,1

; applyToolheadOffsets,0
; gcodeXoffset,0
; gcodeYoffset,0
; gcodeZoffset,0
; overrideMachineDefinition,0
; machineTypeOverride,0
; strokeXoverride,200
; strokeYoverride,200
; strokeZoverride,200
; originOffsetXoverride,0
; originOffsetYoverride,0
; originOffsetZoverride,0
; homeXdirOverride,-1
; homeYdirOverride,-1
; homeZdirOverride,-1
; flipXoverride,1
; flipYoverride,-1
; flipZoverride,1
; toolheadOffsets,0,0|0,0|0,0|0,0|0,0|0,0
; overrideFirmwareConfiguration,0
; firmwareTypeOverride,RepRap (Marlin/Repetier/Sprinter)
; GPXconfigOverride,r2
; baudRateOverride,115200
; overridePrinterModels,0
; printerModelsOverride
; startingGcode,G28 ; home all axes
; layerChangeGcode,
; retractionGcode,
; toolChangeGcode,
; endingGcode,M104 S35 ; turn off extruder,M140 S0 ; turn off bed,M84 ; disable motors
; exportFileFormat,gcode
; celebration,0
; celebrationSong,Random Song
; postProcessing,
; defaultSpeed,400
; outlineUnderspeed,0.5
; solidInfillUnderspeed,0.8
; supportUnderspeed,0.8
; rapidXYspeed,4800
; rapidZspeed,1000
; minBridgingArea,50
; bridgingExtraInflation,0
; bridgingExtrusionMultiplier,1

; bridgingSpeedMultiplier,1
; useFixedBridgingAngle,0
; fixedBridgingAngle,0
; applyBridgingToPerimeters,0
; filamentDiameters,3.55|1.75|1.75|1.75|1.75|1.75
; filamentPricesPerKg,46|46|46|46|46|46
; filamentDensities,1.25|1.25|1.25|1.25|1.25|1.25
; useMinPrintHeight,0
; minPrintHeight,0
; useMaxPrintHeight,0
; maxPrintHeight,12
; useDiaphragm,0
; diaphragmLayerInterval,20
; robustSlicing,1
; mergeAllIntoSolid,0
; onlyRetractWhenCrossingOutline,1
; retractBetweenLayers,1
; useRetractionMinTravel,0
; retractionMinTravel,3
; retractWhileWiping,0
; onlyWipeOutlines,1
; avoidCrossingOutline,0
; maxMovementDetourFactor,3
; toolChangeRetractionDistance,12
; toolChangeExtraRestartDistance,-0.5
; toolChangeRetractionSpeed,600
; externalThinWallType,0
; internalThinWallType,2
; thinWallAllowedOverlapPercentage,10
; singleExtrusionMinLength,1
; singleExtrusionMinPrintingWidthPercentage,50
; singleExtrusionMaxPrintingWidthPercentage,200
; singleExtrusionEndpointExtension,0.2
; horizontalSizeCompensation,0