

課題番号	Q18T-04
課題名（和文）	マイクロゲルにより構築する食感設計型食品3Dプリンタの開発
課題名（英文）	Development of texture design using microgels printed by 3D printer
研究代表者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 理工学部 理工学科 生命科学系 准教授 氏名 武政 誠
共同研究者	所属（学部、学科・学系・系列、職位）  氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位）  氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位）  氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位）  氏名

#### 研究成果の概要（和文）

食感を設計どおりにプリントすることが可能なフード3Dプリンタの要素技術として、装置開発、およびフードインクの開発を行った。3Dプリンタは近年発展が著しく、最も普及している熱可塑性樹脂を造形するプリンタだけでなく、チョコレートや飴といった食品を扱うことが可能な3Dプリンタも市販されている。しかし、これらは単一食材を用いて「立体形状を再現する」ことを目的としており、いわばチョコレート細工や、飴細工の自動加工機であり、食感を制御することはできない。本研究では、食感を設計して食品を3Dプリントする要素技術の開発を行った。特に、印刷用のインクとも言える、ペースト状食品の成分として、マイクロゲルを活用したフードインクの開発に取り組んだ。マイクロ流路やマイクロチャンネル構造を使ったデバイスを作製し、膜乳化などの技術を応用する事で様々なサイズのマイクロゲルを、加食材料を利用して作成することに成功した。スケーラビリティの高い方法であり、食感を判別可能な程度の規模で利用可能な手法であり、それらを3次元空間に自在に配置するための要素技術についても構築した。

#### 研究成果の概要（英文）

Food 3D printing was developed to print food texture as designed manner. A 3D printer for food is commercially available before this study, but the capability was currently limited to only several food materials, such as chocolate and candy. Additionally, only one food material can be handled in most cases, although the use of multi-material is required to realize a variety of food textures. Using microgels, consisting of a series of different food materials, such as proteins, carbohydrates, and lipids, and so on, a different texture can be reproduced if each gel can be placed in 3D space in a designed manner. We developed 3D printer with multi-paste extruders, and micro-channel emulsification device to make micro gel food ink.

## 1.研究開始当初の背景

味には、(a)塩味や甘味などの化学的な味と、(b)食感に代表される物理的な味があり、おいしさへの貢献は 60%超が物理的な味であると言われている。食感の大半は不均一構造に起因しており、不均一構造の作製が自在に可能となれば従来と比べて多くの新食感食品などを創り出せると期待される。

複数材料を設計通りの自在な形状に積層することは、近年注目を集める 3D プリンタが得意としている。3D プリンタで利用可能な材料は、熱可塑性樹脂から、金属やコンクリートなどへと多様化している。また、用途についても、ラピッドプロトタイピングから、一部では量産への利用も始まっており、ものづくり革命の基盤となりつつある。

一方で、食品をプリントすることは、見た目を重視した造形に従来の研究は特化しており、実際の食品を模して印刷できても、おいしさの観点では芳しくない食品しか印刷できない状態であった。

この原因としては、限られた物性のフードインクしか 3D プリンタでは出力できないことが根底にあると我々は考えており、物性はもちろん、栄養素について、また化学的な味までも自在に制御することにつながる、究極のフードインクが切望されていた。

## 2.研究の目的

食感を設計する基盤技術確立を目指している。「求められる食」を「必要な時」、「必要な場所」で「プリント」する道を拓く。これにより、不要な食品破棄を減少させたり、また調理時間や消費エネルギーの低減が期待できる。一方で全く新しい食感や食生活を生み出す「食文化の質の変革」をもたらす技術になると期待されている。

従来は事実上作製不可能であった「新しい食感」を、PC 上で CAD による設計に基づいて、創

造可能とすることを将来的に目標とし、特に本研究では微小サイズの球状ゲル(マイクロゲル)を作製方法を検討し、それらを設計通りに、3次元空間上に配置することで食材の細胞配列や、組織構造を模倣した食品造形の基盤技術を本研究で実現させることを目的とした。

## 3.研究の方法

現存する食品用 3D プリンタは、チョコレートによるデコレーション用途や、形状可変のおにぎり作成用途など、均一材料を自由な形状に造形することに主眼を置いており、型による成型の域を出ないばかりか、食感を設計する段階には至っていない。この原因は造形材料となる(1a)フードインクの開発が未熟であること、(1b)利用可能な材料の種類が乏しく、形状も含めて設計の自由度が低すぎること、(1c)それらを自在に操って立体造形を可能とする装置開発が不十分であること、にあると考えている。この問題を解決するために以下の方法で解決を試みた。

(1)装置開発： フードインク出力を担うマルチノズル化フード 3D プリンタを開発する。ペースト状食品を設計通りの手順に従って、空間配置することが可能なペーストエクストルーダーを備えた、フード 3D プリンタを作製した。多くのパーツは市販のキットや、汎用の機械部品を流用したが、オープンソースの制御回路、制御ソフトウェアなどを組み合わせて活用し、市販されていないパーツについても、別途 FFF 方式など熱可塑性樹脂や UV 硬化樹脂による 3D プリンタを利用して作製し、組み合わせる事で完成させた(図 1a, b)。

(2)膜乳化によるマイクロゲルフードインクの作製： 次世代のフードインクとして、各種栄養素をカプセル化したマイクロゲル式フードインク作製に取り組んだ。マイクロゲルを作製する方法は多数報告されており、ゲル化途中で強いせん

断応力を加えながらゲル化させていく方法など、大量に調整する方法もある。一方、最終的にフードインクとして利用する際の利便性を考えると、上記の方法のように、ゲルのサイズが均一とはならない多分散のマイクロゲルでは制約が多いと予想される。一方マイクロ流路によるマイクロ液滴の作成法も確立されているが、大量調製には課題もある。それらの中間として、今後の大規模化も期待できる膜乳化、マイクロチャネルを利用したマイクロ液滴作成法を検討した。特に中嶋らによるマイクロチャネルによる単分散エマルジョン作成法をより簡便に、かつ大量に作製することを目指して検討を行った。

#### 4. 研究成果

(1) 装置開発： 前述の方法に従って、1本、または2本のフードインクをセットし、ペースト状のフードインクの立体配置を可能とするシステムを本研究で構築した。(図 1a,b)

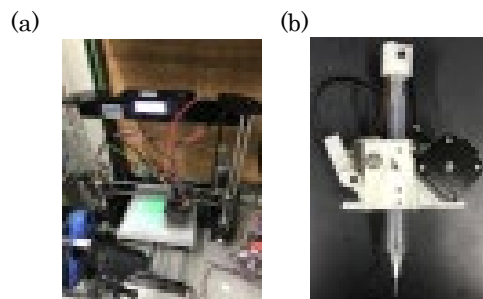


図 1 本研究で作製したフード 3D プリンタの元になる、(a)FFF 式 3D プリンタと (b)ペーストエクストルーダー

(2) マイクロゲルフードインクの作製： 図 2 のように、マイクロチャネル式のマイクロエマルジョン作製デバイスを、CAD 上で設計し、3D プリンタにより作製を行った。三次元的に配置したマイクロ流路間にマイクロチャネルを作りこみ、それぞれの流路が水相、油相となるよう送液をシリジポンプで行った。水相には水溶性のゲル化剤を添加し、マイクロ液滴を作製した後にゲル化させることを可能としている。マイクロチャネルの形状に依存して、作製されたマイクロ液滴のサイ

ズやその分布は大きな影響を受ける。これらの多様な条件を一度に評価し、また液滴作成時の状況を顕微鏡観察することを容易にしたデバイスとして、多数の条件を一度に評価することも行った(図 2b)。

マイクロチャネルのジオメトリや、水相、油相の送液速度など各種条件により、3D プリンタで立体造形を行った膜乳化デバイスを利用した場合でも、最小で  $200\mu\text{m}$  程度のマイクロゲルが狭いサイズ分布で作製可能であった。さらに微小なマイクロゲルについても、より高精度な 3D プリンタを利用するか、もしくはフォトリソグラフィを利用したマイクロチャネルを利用することで、 $1\mu\text{m}$  以下のサイズまで、大量に作製することが可能であると考えられる。

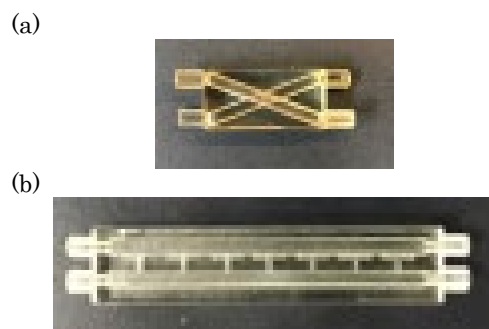


図 2 本研究で作製したマイクロチャネル式エマルジョン作製デバイスの例。(a)単一チャネル型、と(b)多チャンネル化デバイスの作製例。

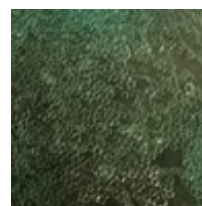


図 3 本研究で作製したマイクロゲル式フードインクの拡大写真。

以上のように、本研究で開発した技術を利用して基本的な構造を構築することにより食感を造形する要素技術を確認することができた。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕（計8件）

1. 食感設計に向けた 3D プリンタの開発, 清水純平, 武政 誠, 第 42 回バイオテクノロジー学会（ポスター賞受賞）, 北九州市国際会議場, 2019 年 6 月

2. フード 3D プリンタにより食感を作り出す, 清水純平, 武政誠, 日本農芸化学会 2020 年度大会（社会事情により中止、2020 年度大会トピックス演題に選定）, 2020 年 3 月