

# 「3D フードプリンターによる食品開発」

大和製罐株式会社 総合研究所 第2研究室 堀内 真美

## 1. はじめに

未来の食は、きっと今とは随分変わっているであろう。近年、フードテックといわれる食のテクノロジーが急速に発展し、私たちの食生活にも革新が起きている。例えば、大豆などの植物性原料から肉を再現するプラントベースミート（代替肉）、ユーザーの嗜好しこうに合わせて最適なレシピを提案するIoT調理家電など様々な技術が身近なものとなった。細胞を培養して食べる培養肉でさえ、もはや夢の話ではない<sup>1)</sup>。こうした中、未来の食を創る食品加工技術として、3D フードプリンターへの注目が高まっている。

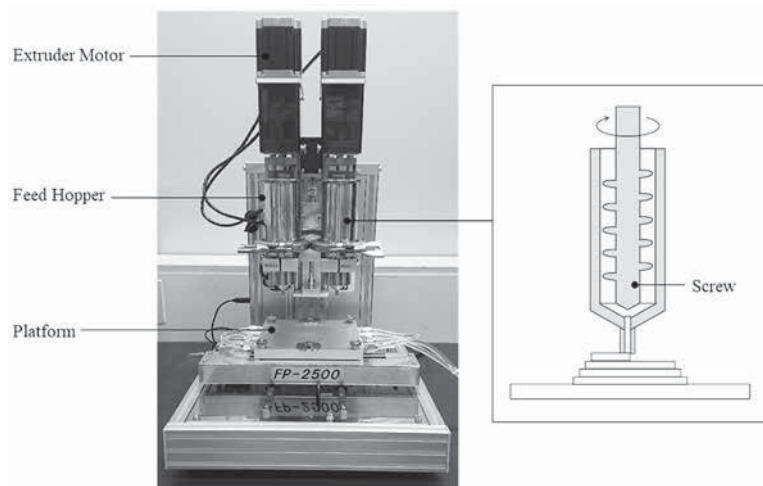
3D フードプリンターとは、造形材料として食品材料を用いる3D プリンター装置である。3D プリンターは、3D CAD データを基に材料を一層ずつ積層して目的の立体物をつくり出す製造技術であり、型成形や切削加工といった従来の加工技術では難しい複雑な形状のものでも容易に作製することができる<sup>2)</sup>。3D プリンティング技術は、1990年頃から航空や自動車といった工業分野で産業利用が進み、現在は、造形技術の高精度化と扱える材料の広がりによって食品や医療など幅広い分野で活用が期待されている。

今回は、3D フードプリンティングの技術と用途開発の取組みを紹介する。

## 2. 3D フードプリンティング

### (1) 3D フードプリンターの造形方式

3D プリンティングには様々な方式があるが、食品の分野で多く用いられている方式は、樹脂の



第1図 スクリュー方式の3D フードプリンター

熱溶解積層 (FDM : Fused Deposition Modeling) 方式に近く、食品材料をノズルから押し出して同一平面上に設計通りの構造を描き、それを積層していくことで目的の立体物を造形する<sup>3)</sup>。食材を押し出す方式としては、空気圧をかける方式や、注射器のようにプランジャ（押し子）を押し下げる方式、スクリュー方式がある。当社では、スクリュー方式の3D フードプリンター (FP-2500 : 世紀株) を用いている (第1図)。

上記の押し出し積層方式以外では、造形テーブルに砂糖を敷き詰め、香料と食用色素を混合した水をインクジェットで吹き付けて固めるバインダージェッティング方式が発表されている<sup>3)</sup>。さらに、山形大学では、新たな3D フードプリンターの方式として、レーザーを用いたバスタブ方式やパウダーベット方式の開発が進められている<sup>4)</sup>。

また、現在の3D フードプリンターは樹脂や金属を材料とする工業用の3D プリンターを基に開発されており、食品製造機としての衛生性や洗浄性の向上が求められる。

## (2) 3D フードプリンターの特長

3D フードプリンターの主な特長は、「個々人の遺伝的体質や健康状態、嗜好のニーズを満たすカスタマイズ性」、「いつでも誰でも必要なときに必要なものを自動で生産できるオンデマンド性」、「手作業や成形型ではできない複雑形状を外部・内部ともに設計し造形できる点」である。

まず、カスタマイズ性について考えると、介護食やベビーフードといった特定の人を対象とする食品、宗教上の理由やビーガンのような食習慣の制限を満たす食品など、カスタマイズ化された食品が求められる場面は増えている。加えて、近年、アレルギーや糖尿病、高血圧症の患者が増加しており、個々人の体質や健康状態に合った食の提供も求められる。これまでの食品製造はマスマイクロプロダクションが一般的であり、こうしたニーズを叶えることは難しい。一方、3D フードプリンターであれば、個々人の健康状態や嗜好に合わせて最適化された究極のパーソナライズ食の実現が期待できる。

また、国内では急速な高齢化と働き手の減少が社会問題となっており、介護の現場や飲食店における調理のオンデマンド自動化が強く望まれている。加えて、私たちは新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の拡大により、好きなときに好きな場所へ行けないという困難な状況を経験した。こうした課題に対しても、3D フードプリンターは救世主となるだろう。これまでは予約をして現地に出向かなければ経験できなかった一流シェフの味やおふくろの味が、自宅でも病院でも宇宙空間であったとしても、レシピ情報データを3D フードプリンターに転送するだけで堪能できるようになる未来がくるかもしれない。

食品の中には練り切りやチョコレート細工など、芸術的な要素を含み複雑で華やかな見た目そのものに価値がつけられる食品がある。これらの複雑な食品加工の多くは熟練の職人やパティシエが手作業で行っているが、こうした機械化が難しい分野においても3D フードプリンターのデータに基づく緻密な造形技術の活用が期待できる。

さらに、3D フードプリンターの最大の特長と

もいえるのが、内部構造(3次元構造)を制御できる点である。おいしい食事は、生きる中で大きな楽しみの一つとなる。そして、食べ物を「おいしい」と感じるのに重要な働きをしているのが「食感」である。「食感」は、食品の微視的および巨視的な3次元構造によって生み出される。つまり、3D フードプリンターにより3次元の密度や構造を制御することで、望む食感を自在につくり出せるようになる可能性が考えられる。

## (3) 世界の3D フードプリンティング

3D フードプリンティングは未だ発展初期の研究分野であるが、世界各国で研究開発が加速している<sup>5)</sup>。3D フードプリンターへの注目が高まるきっかけとなったのは、2013年にNASAがアメリカのBee Hex社に約1,400万円の研究費を提供したことであった。Bee Hex社は、長期間宇宙に滞在する宇宙飛行士のため、原料を全て粉末化し、造形前に水を加えてセットするとピザなどを出力できる3D フードプリンターを開発した。

3D フードプリンターが商業的に実用化された例もある<sup>6)</sup>。オランダでは世界初の3D プリント食レストランFood Inkが期間限定で開店された。スイスではBarry Callebaut社が複雑なデザインの3D プリントチョコレートホテルやレストランなどに販売した。

国内では、2018年に山形大学の古川氏を会長とした「やわらか3D 共創コンソーシアム」が立ち上がり、様々な3D プリンティング技術と多様な素材技術の融合による革新的技術創出のプラットフォームとなっている。また、農林水産省のムーンショット型研究開発事業では、3D フードプリンターを用いたAIシェフマシンの研究開発が進められている。

しかし、これまで世界各国で3D フードプリンティングの研究開発が行われ、商業利用もされたがこれらは一過性のものがほとんどである。現状では、3D フードプリンターが我々の実生活に根差し、ビジネスとして成功している例はみられない。3D フードプリンティング技術が食産業に参入していくためには、短期的・限定的ではない、新たな用途開発と付加価値の創造が求められる。

### 3. 3D フードプリンターの 介護食分野への活用

3D フードプリンターの用途として、単に形が面白い造形物をつくるだけでは、一過性の客寄せ効果で終わってしまう。本格的な社会実装のためには、3D フードプリンティングの技術でなければ実現できない機能と価値が必要である。

ここで、我々は、高齢者向け介護食の3D プリンティングを着想した。超高齢社会に突入した日本では、いかにして高齢者のQOL (Quality of Life) を高め健康寿命を延ばすかが重要であり、その基本は毎日のおいしい食事にあるといっても過言ではない。特に、日常生活に変化を持たせることが難しい要介護高齢者にとっては、食事が生活の中で最も楽しみになることが多く、食べる楽しみがQOLの向上に繋がる。

いくつになっても普通の食事をとり続けることは理想であるが、日本人の歯の平均寿命は約60年で、加齢とともに咀嚼・嚥下機能が低下していく<sup>7)</sup>。そうなると、食べやすいように小さく切ったり、軟らかく調理されたりした介護食が必要となる。今後、高齢化はますます加速することが予測されており、介護食の需要もさらに増え続ける。

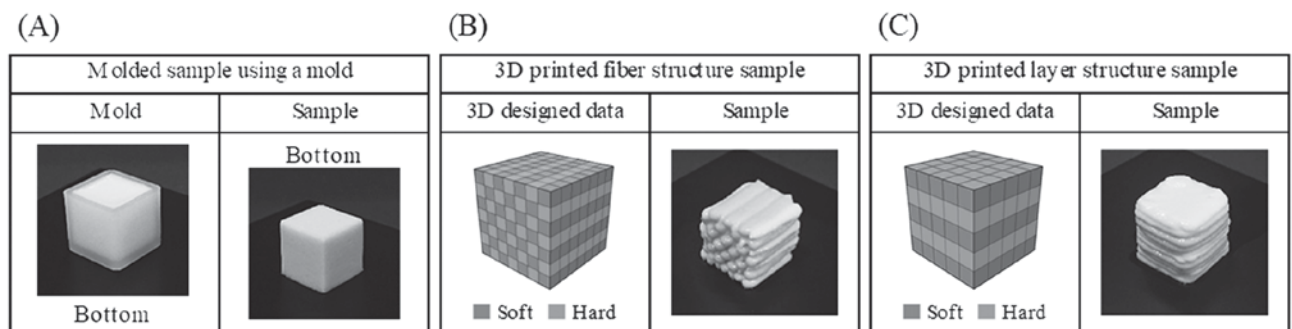
介護食は、個々人の咀嚼・嚥下能力や持病に応じて硬さや栄養成分などを調整する必要があり、カスタマイズ性の要求が高い食品である。また、介護食の調整は、料理をミキサーで粉碎したりゲル化剤を混ぜたりといった手間と時間がかかり、介護をする家族や職員の負担となる。少子高齢化が進み高齢者の世話をする労働人口が十分でない

現代においては、介護の現場は慢性的な人手不足となっており、介護食調整の自動化が望まれる。加えて、介護食はその軟らかさから成形が難しく、特に、食感の変化をつくり出すことが難しい。

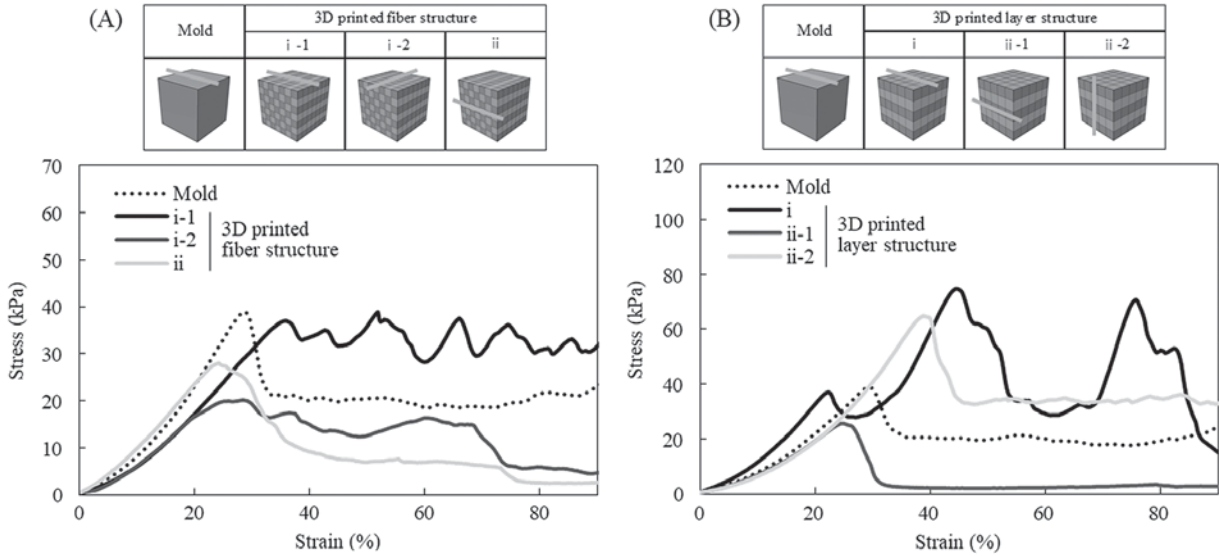
ここで3D フードプリンターの特長が活きる。3D フードプリンターを活用すれば、硬さや味、栄養価などが異なる様々な介護食フードインクを組合せ、個々人の健康状態や嗜好のニーズを満たすカスタマイズ食を自動で提供できるようになることが期待できる。さらに、介護食の3次元構造や密度を制御することで、普通食に近い食感、味や香りの広がりを持たせた介護食をつくり出せるようになることが考えられる。

### 4. 3D フードプリンターによる 食感設計

食品の「おいしさ」においては、「食感」が重要な要因となる。おいしさを構成する主な要因として、甘味や塩味といった味覚分子や香りの嗅覚分子による化学的な味と、温度や食感による物理的な味があげられるが、固形状食品では食感がおいしさを決定する最も重要な要因であることが報告されている<sup>8), 9)</sup>。そして、食感とは食品の構造によって作り出される。構造には、タンパク質やゲル化剤など高分子物質の架橋構造のように肉眼で見えないレベルの微視的なものと、カニの身の繊維構造や魚の身の層構造のように目に見えるレベルの巨視的なものがあり、これらの構造異方性がその食品を特徴づける食感を発現させている。しかし、介護食のような軟らかい食品は、型で成形されることが多く、内部の3次元構造を制御で



第2図 3D フードプリンターによる繊維構造と層構造の造形 (カラー図表をHPに掲載 C038)  
(A) 型成形 (B) 繊維構造 (C) 層構造

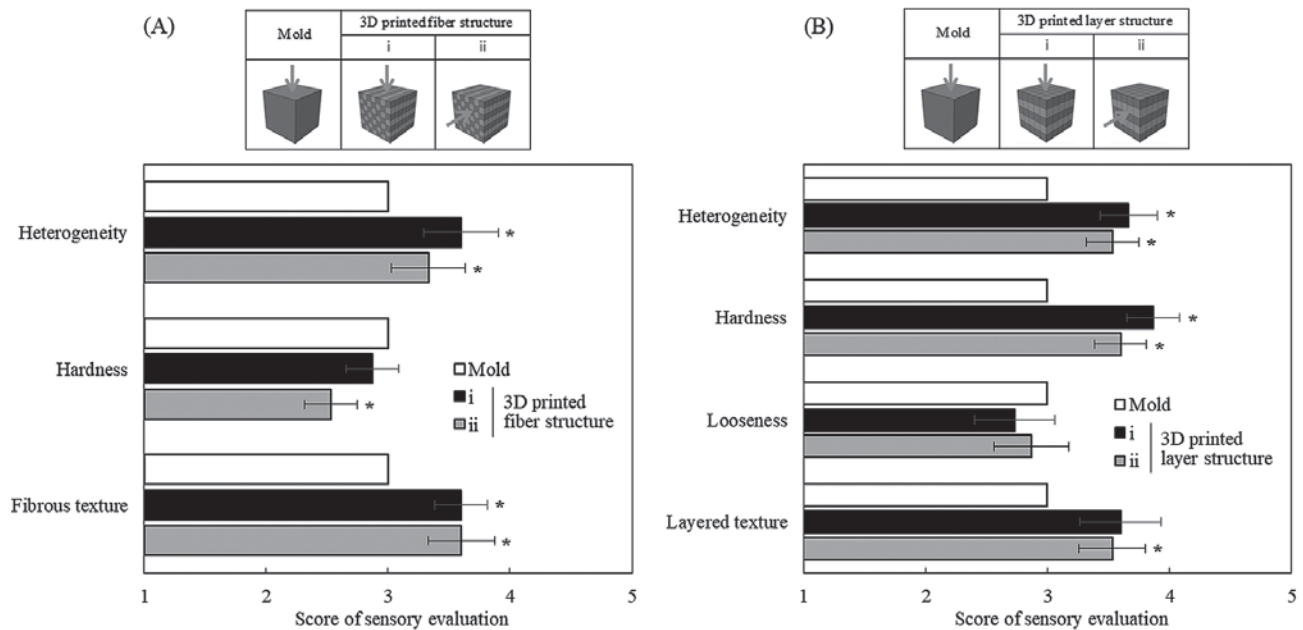


第3図 破断特性 (カラー図表をHPに掲載C039)  
(A) 繊維構造 (B) 層構造

きないため食感が均一となってしまう。こうした中、3Dフードプリンターを活用すれば、巨視的な3次元構造を造形して、柔らかい食品であっても均一でない食感設計ができるのではないかと考えられた。

そこで、我々は、硬さの異なる2種の介護コース食を用い繊維構造と層構造を造形して圧縮による破断試験と官能評価を行い、これらの構造の力

学特性を再現してねらった食感を発現させることができるか検証した(第2図)<sup>10), 11)</sup>。破断試験の結果、型成形サンプルでは破断点の後に特徴的なピークがみられず、内部構造が均一であると推察された。他方、繊維構造サンプルは、繊維を断ち切る方向に破断した応力-歪曲線において複数のピークがみられ、造形した線が融合せず繊維構造が保持されていると考えられた。加えて、繊維



第4図 官能特性 (カラー図表をHPに掲載C040)

(A) 繊維構造 (B) 層構造値は、平均値±SEMで示した(n=15)。

\*,  $p < 0.05$  vs. Mold (官能評価は型成形を基準(3点)とした相対評価で行った。↓は摂食方向を示した)

構造の特徴として、繊維に沿って破断するよりも繊維を断ち切る方が大きな力が必要となるが、この特徴も繊維構造サンプルで再現された(第3図(A))。層構造を上から破断した応力-歪曲線では軟らかい層と硬い層を示すピークがそれぞれみられ、設計通りの層構造が得られたと考えられた(第3図(B))。さらに、官能評価の結果、3Dフードプリンターで造形された繊維構造や層構造により、人が有意に識別できるレベルで繊維状や層状の食感を発現させられることが示された(第4図)。

これらのことから、本研究では、3Dフードプリンターで巨視的な3次元構造を造形して圧縮破壊時の力学特性を制御することで、軟らかい食品であっても望む食感を発現させられる可能性を示した。この3次元構造による食感設計技術は、介護食のみならず、代替食品や菓子類など幅広い食品において応用が期待できる。

## 参 考 文 献

- 1) Kang, D. H., Louis, F., Liu, H., Shimoda, H., Nishiyama, Y., Nozawa, H., Kakitani, M., Takagi, D., Kasa, D., Nagamori, E., Irie, S., Matsusaki, M., Engineered whole cut meat-like tissue by the assembly of cell fibers using tendon-gel integrated bioprinting. *Nature communications*, **12**, 1-12 (2021).
- 2) Kabir, S. F., Mathur, K., Seyam, A. F. M., A critical review on 3D printed continuous fiber-reinforced composites: History, mechanism, materials and properties. *Composite Structures*, **232**, 111476 (2020).
- 3) 川上勝, 古川英光, 近年の食品3D プリンタの発展, 日本画像学会誌, **58**, 434-440 (2019).
- 4) 日経トレンディ, 日経トレンディ 2022年1月号, p. 35 (2021).
- 5) Sher, D., Tutó, X., Review of 3D food printing. *Temes de disseny*, **31**, 104-117 (2015).
- 6) Kodama, M., Takita, Y., Tamate, H., Saito, A., Gong, J., Makino, M., Khosla, A., Kawakami, M., Furukawa, H., Novel Soft Meals Developed by 3D Printing. in Ch. 9 of "Future Foods" ed. By Heimo Mikkola, IntechOpen (2017).
- 7) 重松佳樹, 川崎弘二, 神原正樹, 日本人の歯の平均寿命に関する研究, 歯科医学, **63**, 287-295 (2000).
- 8) 青山博明, 森口奈津美, 山田芳, 中村卓, おいしい食感と食品構造, 食品と科学, **54**, 59-64 (2012).
- 9) Szczesniak, A. S., Consumer awareness of texture and other food attributes. *Food Technol.*, **17**, 74-77 (1963).
- 10) 堀内真美, 赤地利幸, 藤井亮児, 川上勝, 古川英光, 介護食などに適した軟質食品の3Dフードプリンティング: ごぼうピューレに添加したタンパク質とゲル化剤が吐出線と造形物の保形に与える影響, 日本食品工学会誌, **22**, 27-38 (2021).
- 11) 堀内真美, 赤地利幸, 川上勝, 古川英光, 3Dフードプリンターで造形される巨視的な3次元構造による介護食品などに適した軟質食品の食感設計とその効果, 日本食品工学会誌, **22**, 119-134 (2021).

## 5. おわりに

生きるための栄養摂取を考えれば、サプリメントや栄養ドリンクで十分であろう。しかし、食事にはそれ以上の大きな価値があり、人は原始から、よりおいしく、より健康に、より便利な食を追い求めて技術開発を続けてきた。今の3Dフードプリンティングの技術開発が、未来のより豊かな食卓に繋がることを期待したい。また、将来危惧されている全世界的な食糧危機の解決のため食用昆虫や藻類、細胞培養などの技術開発が進んでおり、こうした未来の食糧資源の加工技術としても3Dフードプリンターへの期待は大きい。

### ※本件に関するお問い合わせ先

大和製罐株式会社 技術管理部

〒100-7009 東京都千代田区丸の内2-7-2

TEL 03-6212-9720

www.daiwa-can.co.jp