

2024 年度杉山産業化学研究助成 報告書

フード 3D プリントによる食感創成に向けた食感プリント領域拡大の実現

東京電機大学 理工学部 武政誠

フード 3D プリントは、少数ロットでもカスタム食品を製造することが可能であり注目を集めている。我々は、既存の製造技術では創り得ない食感を創り出すこと、など多数の利点を備えており、高齢化社会を迎えた現在、また今後必須となる製造技術として注目が集まっている。

フード 3D プリントの課題として、プリント可能な食感が限定されている点が挙げられる。プリント食品の食感は、やわらかい食感に限定されている。その理由は、やわらかいレオロジー特性のフードインクでないと、内径の細いニードルからフードインクを押し出して造形を行う 3D プリントでは利用できない、という制約に起因している。3D プリントでは、材料を細孔ノズルから、押し出す際、高分解能で空間配置することが必要である。その際、細孔から高粘度のフードインクを押し出すために大きなエネルギーを必要とし、装置の大型化や、印刷速度の低下などさまざまな問題を引き起こす。この問題を解決するために、ノズル押し出し時には低粘度で、かつ押し出し後には、多様な食感を実現可能となるよう、レオロジー特性が短時間で自在に制御可能なメカニズムが求められている。

フード 3D プリント用のフードインクのレオロジー特性を制御する手法を本研究で確立することを目的とし、研究を行った。具体的には、食品添加物の利用、局所加熱、局所的乾燥を併用することにより、制御を試みた。ニードルから押し出す最中はやわらかく、一方で押し出した後はかたく、つまり歯ごたえのある食感を実現するためには、フードインク内部で多数の架橋が形成され、結果として破断強度、引張/圧縮弾性率、剛性率がそれぞれ増加させる必要がある。

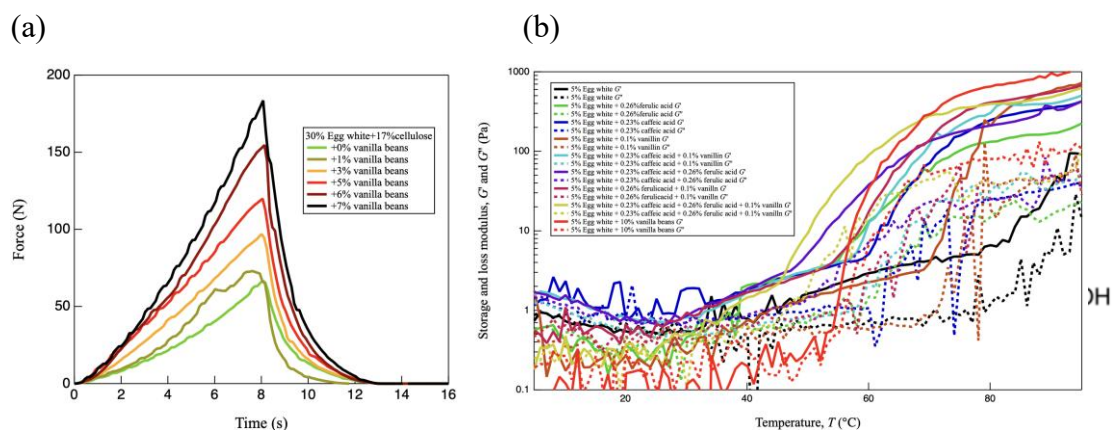


図 2 (a)卵白インクで造形した 3D プリント食品の圧縮試験結果(サンプルの厚み

2.0 mm, 圧縮距離 1.6 mm, 圧縮速度 1 mm/sec, ロードセル 200 N, プランジヤー

ノヤズ形 200 1 mm) (b) 各種組成のフードインクにおける G' の温度依存性

上記のレオロジー特性を強化するためには、必要な架橋点数の増加を誘発する、複数のメカニズムを併用できれば、さまざまな食材に対応し、また食感制御の幅を拡大できる、と期待される。たとえば、疎水性相互作用、ポリイオンコンプレックス形成など、化学架橋、物理架橋、イオン架橋といった複数の架橋メカニズムを併用する事で、架橋点を増加させる手法が多様化できれば、架橋点の強度や、架橋点間分子量など、食感を支配する分子レベルのパラメータを多様化し、また制御できると期待される。

我々は、本研究でポリフェノール類を中心に、天然の低分子化合物を中心に、タンパク質間を架橋する化合物を探索した。その中で、バニリン-タンパク質間の架橋形成現象を発見し、3D プリント食品の高強度化に応用するための結果を得た。

作製したフードインクで 3D プリントを実施したところ、卵白-バニラビーンズインク

で造形した 3D プリント食品の最大圧縮加重は約 160 N となった。従来インク、つまり

ポリフェノール類が存在しない状況下で 3D プリントした食品の最大圧縮荷重は約

0.16N であり、圧縮荷重は従来比約 1000 倍となった(図 2a)。疎水性相互作用やジ

スルフィド結合の結合点数が多くなり架橋密度が増加することが期待される。バニラビ

ーンズを添加することで、含有される多種類のポリフェノール類によって 3D プリント

食品材料の架橋密度が増加した結果、圧縮荷重が増大したと考えられる。バニラビー

ンズに含有されていると考えられるポリフェノール類他を卵白インクに添加したサンプルのレオロジー測定結果は、図 2b に示した。アタリメを同条件で圧縮した結果、約 80 N となり、本研究で開発した架橋点の増加手法により、相対的にアタリメと同等以上の歯応えを有する食品までをも 3D プリントが可能となり、言い換えるとプリント可能な食感域を拡大した、と考えられる。

学会発表等

1. 小田, 武政, 「可食フィラー充填によるフード 3D プリンタ用インクの粘弾性最適化」第 73 回高分子学会年次大会, 2024 年 6 月. 2. 小田陽矢, 武政誠, 第 47 回バイオレオロジー学会, 「従来比 1000 倍の圧縮荷重を実現する食品用 3D プリンタの可食インク物性制御」, 2024 年 6 月. 3. 宮崎和真, 武政誠, 「多糖類とタンパク質を用いたレーザー式食品 AM 製造による広範な食感創出」, 高分子学会年次大会, 2025 年 5 月. 4. 宮崎和真, 武政誠, 「代替肉の食感制御を実現するレーザーフード 3D プリント技術」, 米養食糧学会, 2025 年 5 月, トピックス賞受賞. 5. 宮崎和真, 武政誠, 食品工学会 「代替肉の食感と霜降り度合い同時制御に向けたレーザーフード 3D プリント技術開発」, 優秀発表賞受賞. 6. 宮崎和真, 武政誠, 食品科学工学会, 「構造及び材料物性に基づくレーザー 3D プリント食品の食感制御」, 2025 年 8 月. 他, 国際会議 1 件, 国内会議 2 件, 計 9 件発表