

電解気泡グミ：フードプリンティングにおける選択的な泡構造の造形

石井 綾郁*

概要. 食品を3Dプリントするフード3Dプリンティングの研究が盛んに行われており、最近の事例では複雑な内部構造を造形することで食品の食感を制御する試みが行われている。しかし、柔らかいペースト状の食用フィラメントによるプリンティングでは印刷解像度が低くなる傾向にあり、造形可能な構造が限られる。本研究では、グミのプリンティングの過程でグミ内部に電気分解による微細な泡構造を選択的に生成し、グミの食感を制御する手法を提案する。本手法に最適な材料を調査し、プリントの過程で電気分解を起こすための制御システムを開発することで、グミ生地内に気泡を生成しながら造形する技術を確立した。本手法により造形した泡を含むグミに対し圧縮試験を行った結果、泡を含む層の割合を変えることで、グミ本来の弾力性を維持したまま破断しやすさを制御できることがわかった。

1 はじめに

Additive Manufacturing を用いて食品を造形するフード3Dプリンティングをはじめ、インタラクティブメディアとして利用可能な食品を作成する研究が盛んに行われている。最近の事例では、ゲルをサポート材として用いて印刷を行う Embedded printing の技術をフードプリンティングに適用することで、複雑な形状や構造を持つ食品の作成が実現している [6, 7]。また、内部構造を独特なパターンで造形することで、食品の食感を制御する試みも行われている [3, 4, 5]。しかし、フード3Dプリンティングにおいては印刷解像度が低い傾向があり、微細な内部構造を作成することが難しい。これは、造形時にその構造を維持することが難しいためであり、フィラメントが柔らかい場合に顕著である。一方で、食品内部に微細なパターンを形成することは、フードプリンティングの文脈において、より豊かな食感を生み出す可能性につながると考えている。

2 提案手法

本研究では、フード3Dプリンティングの過程でフィラメント内部に微細気泡を選択的に生成し、食品の食感を制御することを目指す。特に本稿においては、市販のフード3Dプリンタ¹を使用し、グミ生地内部に電気分解気泡を生成しながら造形を行い、グミの食感を制御する手法を提案する(図1)。グミ生地によるフィラメントを抽出しながらノズルに内蔵されている電極に通電すると、水の電気分解が起こり水素と酸素の気泡が発生する。この気泡を含

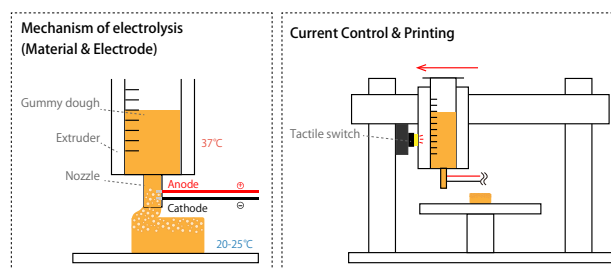


図1. 提案手法の概要。

んだ生地を積層することで、発泡構造を含むグミが造形できる。通電を適切に制御することで、選択的な泡構造の造形が可能である。

2.1 材料調製と電極実装

フィラメントとして用いるグミ生地は、100%オレンジジュースにゼラチンとグラニュー糖を加えて作成した。さらに、電気分解の通電促進のために、電解質かつ食品添加物である硫酸ナトリウムを生地に添加した。これらの材料の比率は、5:1:1:0.2(ジュース:ゼラチン:グラニュー糖:硫酸ナトリウム)である。この生地はゼラチンが含まれているため、高温状態で抽出を行いその後低温にすることで生地がゲル化し、積層が可能となる [1, 2]。実際に、エクストルーダ温度を37°C、室温を20~25°Cに設定することで、生地のゲル化および積層が可能であった。

電気分解をノズル部分で行うため、陽極と陰極を内蔵するノズルを一般的な3Dプリンタで作成した(図2)。ノズルの吐出口内径は1.6mmであり電極間隔は4mmである。陽極には、電気分解による溶出を防ぐために白金線を使用した。陰極は電気分解の過程で溶出しないため、入手しやすいすずめっき銅線を使用した。

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

* NTTコミュニケーション科学基礎研究所

¹ FELIX SINGLE Food 3D Printer

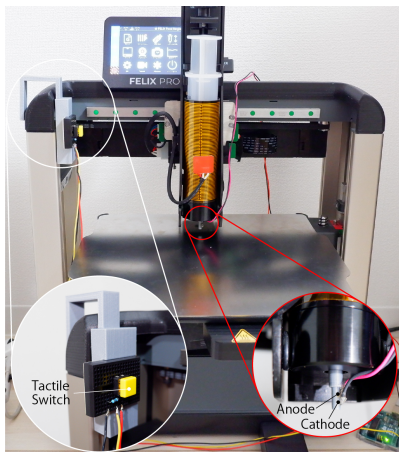


図 2. プリンタのセットアップ.

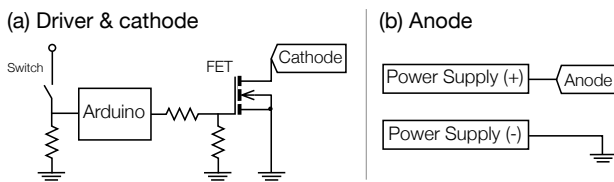


図 3. 電流制御システムの回路図.

2.2 電流制御と印刷

造形物内に選択的に泡を生成するために、プリント中の任意のタイミングで電極へ通電開始/停止する必要がある。このため、プリンタの端にタクトスイッチを設置し（図 2）、エクストルーダを移動させてその側面がスイッチを押下したときに通電を切りかえるような制御回路を実装した（図 3）。エクストルーダがスイッチ位置まで移動してスイッチを押すと、Arduino がそれを検知して MOSFET を活性化し、陰極が接地に接続される。直流電源の正の出力を陽極に、負の出力を接地に接続しているため、陰極が接地に接続すると陰極からは水素が、陽極からは酸素が発生する。

エクストルーダによるタクトスイッチの押下のために、Gコードを直接編集し、適切なタイミングでプリンタ端のタクトスイッチのある位置までエクストルーダを移動させるようなコードを追加した。さらに、グミの十分なゲル化のために、各層の印刷後に印刷を 60 秒間休止するようなコードも追加した。また、エクストルーダの移動速度は 3 mm/s とした。

3 評価

一部の層にのみ泡構造を含むグミに対し、加圧した際のふるまいを調べるために発泡させる層（以下、発泡層）の比率ごとにフォーステスタ²を用いて圧

² MCT-2150, A&D Co., Ltd.

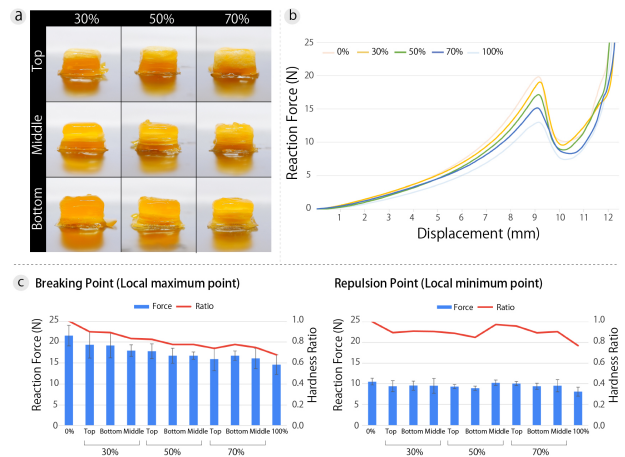


図 4. (a) 造形したグミ。各列が発泡層の比率を、各行が発泡層の位置を示す。(b) 下部に発泡層を配置した際の荷重変位曲線。(c) 各条件における破断点と反発点の平均値の比較。

縮試験を行った。調査対象の条件は発泡層の比率が 30%、50%、70%とし³、0%（非発泡）と 100%（全体発泡）の結果とも比較した。各比率については上部、中部、下部に発泡層を配置したグミを作成した（図 4 (a)）。グミの大きさは 20 × 20 × 10 mm であり、各条件で 3 個ずつ作成しそれぞれについて試験を行った。グミ作成時に電極へ流した電流値は約 18 mA であり、電圧は 27 V であった。測定はグミの表面温度が 15 °C に達した時点で開始した。

結果として、発泡層の比率によってグミの破断しやすさが変化する一方で、グミの弾性による反発感発泡層の比率によらずほぼ一定の強さで存在することがわかった。図 4 (b) に示す荷重変位曲線の極大点は破断した時点（破断点）であり、極小点は弾性が働いた時点（反発点）である。図 4 (c) は極大値および極小値の条件ごとの比較である。全体を通して発泡層の比率が高いほど極大値は小さくなり、グミは柔らかく破断しやすくなることがわかった。一方、極小値については全体発泡条件においてやや値が小さくなるものの、それ以外の条件についてはどれも 1N 未満の差しか見られなかった。これは、高い弾性を示す、泡を含まないグミの層が多少なりとも存在するためだと考えている。なお、発泡層の位置については、多少のばらつきはあるものの加圧時のふるまいに大きな差は見られなかった。

4 まとめ

本稿では、グミ生地内に電気分解気泡を選択的に生成しながら造形することで、グミの食感を制御する手法を提案・実装した。評価の結果、発泡層の比率によりグミ本来の弾力性を維持したまま破断しやすさをある程度制御できることがわかった。

³ 10 層中 3 層、5 層、7 層が発泡層。

謝辞

本研究はJST ACT-X（グラント番号：JPMJAX 22K3）の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] I. Díaz, C. Gallegos, E. Brito-de La Fuente, I. Martínez, C. Valencia, M. Sánchez, M. Diaz, and J. Franco. 3D printing in situ gelification of κ -carrageenan solutions: Effect of printing variables on the rheological response. *Food Hydrocolloids*, 87:321–330, 2019.
- [2] H. Herrada-Manchón, D. Rodríguez-González, M. Alejandro Fernández, M. Suñé-Pou, P. Pérez-Lozano, E. García-Montoya, and E. Aguilar. 3D printed gummies: Personalized drug dosage in a safe and appealing way. *International Journal of Pharmaceutics*, 587:119687, 2020.
- [3] Y.-J. Lin, P. Punpongsanon, X. Wen, D. Iwai, K. Sato, M. Obrist, and S. Mueller. FoodFab: Creating Food Perception Illusions Using Food 3D Printing. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, pp. 294:1–294:13, 2020.
- [4] Z. Liu, B. Bhandari, S. Prakash, and M. Zhang. Creation of internal structure of mashed potato construct by 3D printing and its textural properties. *Food Research International*, 111:534–543, 2018.
- [5] S. Mantihal, S. Prakash, and B. Bhandari. Textural modification of 3D printed dark chocolate by varying internal infill structure. *Food Research International*, 121:648–657, 2019.
- [6] M. Miyatake, K. Narumi, Y. Sekiya, and Y. Kawahara. Flower Jelly Printer: Slit Injection Printing for Parametrically Designed Flower Jelly. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, pp. 425:1–425:10, 2021.
- [7] H. Yang, D. Luo, K. Qian, and L. Yao. Freeform Fabrication of Fluidic Edible Materials. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, pp. 620:1–620:10, 2021.