

静電インクジェット式 3D プリンタによる高粘度食品材料の高精度プリント

High accuracy printing of high viscosity food materials by using Electrostatic Ink Jet 3D printer

○ 鈴木祐哉（早稲田大）

高岸賢輔（早稲田大）

梅津信二郎（早稲田大）

Yuya Suzuki, Waseda University
Kensuke Takagishi, Waseda University
Shinjiro Umezu, Waseda University

Abstract: As food printing machine is expected to take a large role in the future digital food manufacturing, this experimentation will be handling high viscous food material printing using Electrostatic Ink Jet 3D printer. It is known for being able to print higher viscous materials with more precision than Fused Deposition Modeling (FDM) 3D printer which is the most commonly known type of 3D printer. Making use of this performance, we had successfully observed high viscous food material, in this case, milk chocolate which has viscosity of over 9700[cps] at 30[°C] forming droplet at the tip of the nozzle and being able to print by adjusting voltage, gap and pressure.

Key Words: Electrostatic Ink Jet 3D printer, food printing, high viscous material

1. 背景

現在 3D プリント技術は使用可能な素材が多岐に渡ることから多くの分野での応用が期待されている^[1-2]. 食品分野もその例外ではない. 我々は今回 3D プリント技術を用いて食品を製造するフードプリントの研究を行う. 従来のフードプリントの例を挙げると, 熱溶解式(FDM)式 3D プリント^[3]を用いてチョコレートの印刷^[4]を行っているものがある. しかし, この方式では印刷の積層ピッチが約 0.5[mm]以上と非常に粗く, 造形物の概形は表現できるものの, 積層痕が目立ち, 細かな形状は表現出来ていない. さらに高粘度材料をプリントする際には添加物を加える必要があり, 添加物によって印刷する食品の味に影響が出てくる問題点もある. そこで我々は高粘度な材料を高精度に印刷することが可能である静電インクジェット法^[5-6]を用いることで, 従来法では行われていない市販のチョコレートの添加物を何も加え得ない状態での高精度な印刷を行う. 以上の内容をここに報告する.

2. 目的

現状のフードプリンタの課題である印刷精度および高粘度材料の印刷を静電インクジェット法を用いることで同時に解決し, 消費者満足度が視覚的, 味覚的に高い食品を印刷可能にする.

3. 実験方法

印刷する材料としてロッテ社のガーナミルクチョコレートを用いる. 粘度は 9795[cps]である. このチョコレートの高精度プリントを行うために静電インクジェット法を用いたチョコレートプリンタを作製した. 図 1 に模式図を示す. 静電インクジェット法は, シリンジ内の液体の造形材料と基板に, 高圧電源とつながった電極から高電圧を印加することにより, 静電気力を用いて, 液体を引っ張る形で吐出するというものである. この方式を用いると静電力により, ノズル先端にテーラーコーンが形成される. これによって, ノズル径よりも小さな液滴を吐出させることが可能となる. また, 今回は静電力で引っ張って吐出する材料の量を調節する目的で圧力調整ユニットを搭載する. 圧力調整により, 吐出量を安定化させ, 電圧の制御によってチョコレート細線の径のコントロールが可能となる.

電源装置にはグリーンテクノ社の GS50P 小型高電圧電源を用いた. 印加電圧は 0.0[kV]から 50[kV]まで変更可能

である. 加圧装置には AS ONE 社の SPE-1 シリンジポンプエコノミを用いた. 加圧量は 0.0[μ m/min]から 3000[μ m/min]まで変更可能である. ノズルは内径 0.33[mm], 外径 0.64[mm]の Nordson 社の Precision Tips を用いた. ステージにはシグマ光機社の XY リニアステージを用いた. プリント時にノズルではなくステージを駆動させる構造にしている. これはノズル先端が移動することによって, 液滴が慣性の影響を受け, 吐出精度に影響を与えることを防ぐためである. 印刷したチョコレートの細線をマイクロスコープで撮影し, 画像から細線の直径を測定した. 印刷した細線の撮影は KEYENCE 社の VH-Z100R で行なった. ノズルとステージのギャップは実験を通して 1500[μ m]で固定した. これは, 今回の実験では印加電圧によってチョコレート細線の径をコントロールするためであり, その他の影響を抑えるためである.

実験手順は, シリンジ内圧力の調整, 印加電圧の調整, 吐出線径の測定の順に行なった. 圧力を最初に調整することで電圧をかける前にノズル先端までチョコレートが行き渡り, 安定的な吐出が可能になっている. 一連の作業はユーザーの使用環境を想定し, 室温 30°C の下で行なった.

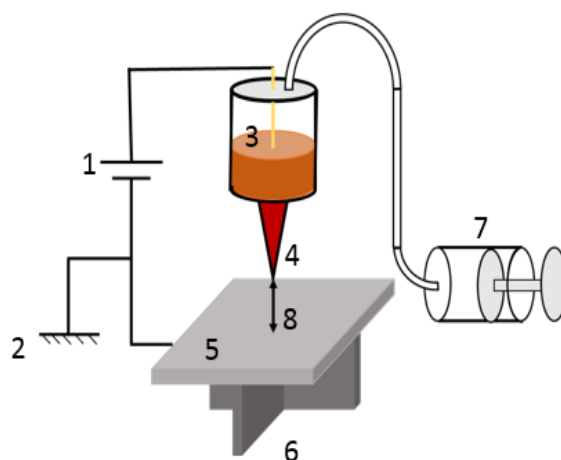


Fig.1 schematic diagram of the experimental device (1.power supply 2.ground 3.electrode 4.nozzle 5.metal plate 6.XY mechanical stage 7.pressure device 8.1500 μ m gap between the nozzle and the XY stage)

4. 実験結果

本実験では、圧力調整と静電インクジェット法を用いることによって径が従来のチョコレート 3D プリンタの限界であった 500[μm]よりも細いチョコレートラインを印刷する。圧力の調整によりノズルからの吐出量を安定化させ、電圧を制御することでチョコレートラインの径を変化させた。

図 2 に本実験で印刷した径が約 50[μm]のチョコレートラインを顕微鏡で撮影した画像を示す。印刷の条件は、印加電圧 11 kV で行った。図 2 より本実験で用いたチョコレートプリンターがチョコレートの微小液滴を規則的にノズルから滴下し、ノズル内径の 330[μm]よりも細いラインを印刷しているとわかる。また今回用いた市販のチョコレートは室温環境下において、吐出後凝固するため、重力の影響によってライン形状が時間経過と共に崩れるという現象は起きず、細い線径を維持することが可能である。

図 3 に印加電圧とチョコレートラインの径の関係を示す。ノズル先端にテーラーコーンの形成が確認できたのは印加電圧 8[kV]を超えた段階である。しかし、11[kV]を超えると放電現象が観察された。そのため、印加電圧 8-11[kV]の範囲で測定を行った。図 3 より、印加電圧が上がるほど径が細くなっていることが確認できる。これは印加電圧を上げることでノズル先端に働く静電力が増加し、テーラーコーンがより細くなることでコーン先端から切り離される液滴が小さくなる結果、印刷されるチョコレート線が細くなっているといえる。

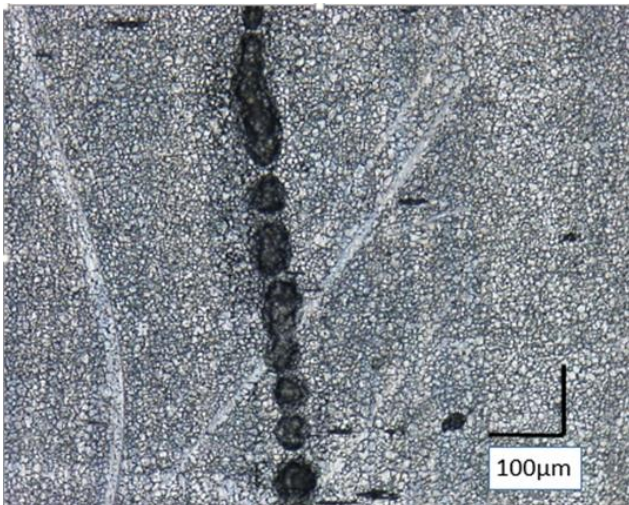


Fig2. Microscope picture of chocolate line drawn by using EHD printing 300 倍

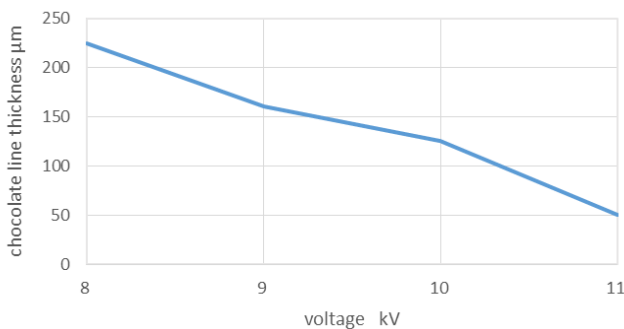


Fig3. changes of the thickness of the chocolate line by the applied voltage

5. 考察

静電インクジェット方式を採用することでチョコレートのような高粘度食品材料であってもノズル先端にテーラーコーンを形成することが可能で、ノズル内径よりも径の小さい液滴を吐出することが確認できた。

本実験で、圧力を調整し、ノズル先端からの吐出量を一定に保った状態では、印加電圧が吐出線径に影響を与えることが確認できた。今回は、印加電圧以外の影響を抑えるため、ステージでのギャップを固定して行なった結果、危険な放電を防ぐ必要上、11[kV]での吐出が限界であった。放電が起こるかどうかは、ギャップの間隔と印加電圧の大きさによって決定される。しかし、ギャップと印加電圧はそれぞれ別の要素であり、放電現象への影響力が異なる。今回は印加電圧を制御して実験を行ったが、ギャップを変化させた場合において同様な実験を行うことでより理想的な吐出条件の特定が可能になると考えられる。現状の限界である 11[kV]以上の印加電圧においても安定的にチョコレートの吐出が可能な機構を作製することでより精密な吐出が可能になると考えられる。

6. 結言

高粘度食品材料の高精度プリントが可能であるフードプリンタの開発を目的として、現在主流である FDM 式フードプリンタよりも高粘度材料の高精度な吐出に優れた静電インクジェット法を用いてプリントを行なった。高粘度食品材料であるミルクチョコレートに高電圧を加えることにより、微小液滴を吐出し、超微細なラインを印刷することができていると顕微鏡での観察によって視覚的に確認できた。電圧のコントロールによって吐出するラインの径を制御することも確認できた。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費(No.16H04308)、公益財団法人浦上食品・食文化振興財団、公益財団法人サッポロ生物科学振興財団の支援の下、行いました。誠に御礼を申し上げます。

参考文献

- (1) H. Kodama, Automatic method for fabricating a three - dimensional plastic model with photo-hardening polymer, *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 52, No. 11, pp. 1770-1773, 1981
- (2) B. Leukers et al. Hydroxyapatite scaffolds for bone tissue engineering made by 3D printing, *J.Mater. Sci.: Mater. Med.*, Vol. 16, Issue 12, pp 1121-1124, 2005
- (3) S. S. Crump, Apparatus and method for creating three-dimensional objects, United States Patent 05121329, 1989
- (4) J. Sun et al. 3D food printing-An innovative way of mass customization in food fabrication. *Int. J.Biopri.*, vol. 1, No. 1 pp. 27-38, 2015
- (5) S. Umezumi, T. Hatta and H. Ohmori, Fundamental Characteristics of Bioprint on Calcium Alginate Gel, *Jpn J. Appl. Phys.*, Vol. 52, 05DB20, 2013
- (6) S. Umezumi, H. Ohmori, Characteristics on micro-biofabrication by patterning with electrostatically injected droplet, *CIRP Ann.*, Vol. 63, Issue 1, pp. 221-224, 2014