
早稲田大学・創造理工学部



准教授
梅津 信二郎

2003年 早稲田大学 理工学部 助手
2007年 (独) 理化学研究所
基礎科学特別研究員
2009年 東海大学 工学部 助教・講師
2014年 早稲田大学 創造理工学部 准教授

豊かな食文化を創造するための次世代食品加工用マイクロ フードプリンターの開発と食品の試作

1. はじめに

現在スーパーマーケット等において陳列されている加工食品の多くは機械化された食品工場において生産されている。食品工場における食品製造は24時間ラインを止めることなく流し続けることができることから大量生産能力に優れている。また人間が介在する工程を最小限にできることから衛生管理もしやすくなっているといった利点がある。一方で高付加価値である複雑な造形等は製造機械をミクロン単位で調整する必要があることから困難であるといった欠点を持っている。このような高度な食品製造を行う代表がパティシエであるとする。パティシエによる菓子の製造業務は長時間に渡ることが多く、開店時に商品が用意されている必要があるため、早朝からの勤務が必要である。またいわゆる下積み期間といったものが長く、一人前とされるパティシエの育成には年単位の期間が必要である。このことから非常に技術力の高いパティシエの持つ人気店の商品は品質が高い一方で人件費がかさみ高額なものになっている。また、デザインに関して良いアイデアを有しているだけでなく、高い製造スキルも必要だが、コスト増に繋がっていると考えられる。このような背景から、高精度に描画可能なマイクロフードプリンターを開発することによって、下積み期間の短縮、デザインに関しての良いアイデアはあるが、製造スキルがさほど高くないパティシエにとって有効ではないかと考えた。そこで、本研究では、フードの材料としてチョコレートに注目し、これを高精度にプリントするマイクロフードプリンターの開発と、チョコレートを精密にライン描画し、評価する。チョコレートをプリント対象として選んだのは、再成形しやすいので、三次元状の構造物を作製した際に、見栄えがすること、および、それ自体に味があるため、追加で味を付与する必要がないことが理由である。

2 . 実験方法

印刷する材料として、市販されているチョコレート製品を加熱し、溶解させたものを用いる。このチョコレートを高精度にプリントするために静電インクジェット法を用いた。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印刷面に、高電圧を印加することにより、静電力を用いて、液体を引っ張る形で吐出するというものである¹⁾。この方式を用いると静電力により、ノズル先端にテーラコーンが形成し、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ことを申請者らは既に把握している^{2,3)}。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 $\mu\text{m}/\text{min}$ から3000 $\mu\text{m}/\text{min}$ 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ップで撮影し、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1.5 mmで固定した。

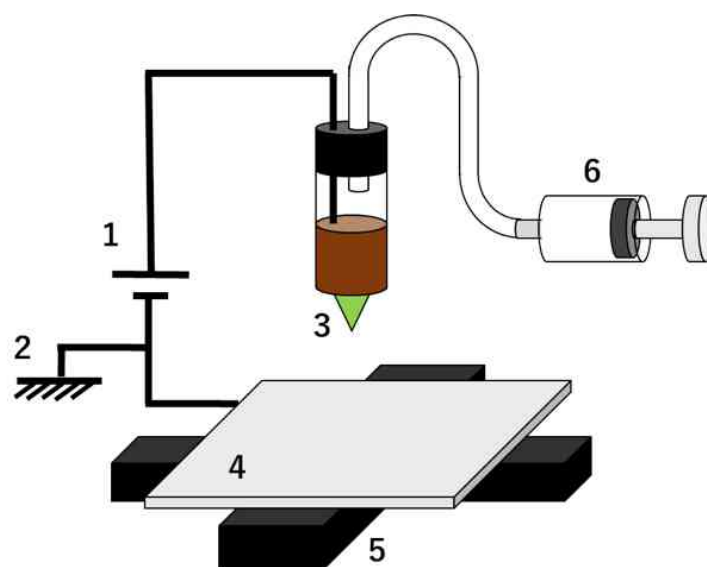


図1 実験装置図

(1.電源装置 2.グラウンド 3.ノズル 4.金属平板 5.XY ステージ 6.圧力装置)

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。

3. 実験結果

本実験において3種の異なる粘度を持ったチョコレートを用いて印加電圧 11kV で印刷した際の液滴径を顕微鏡で計測した結果を図2に示す。粘度が高いチョコレートほど液滴径が大きくなり、精密な印刷がしにくくなっていることが確認された。これはせん断応力が強く働くため、テラーコーンから液滴が切り離される際に十分な力が必要になるた

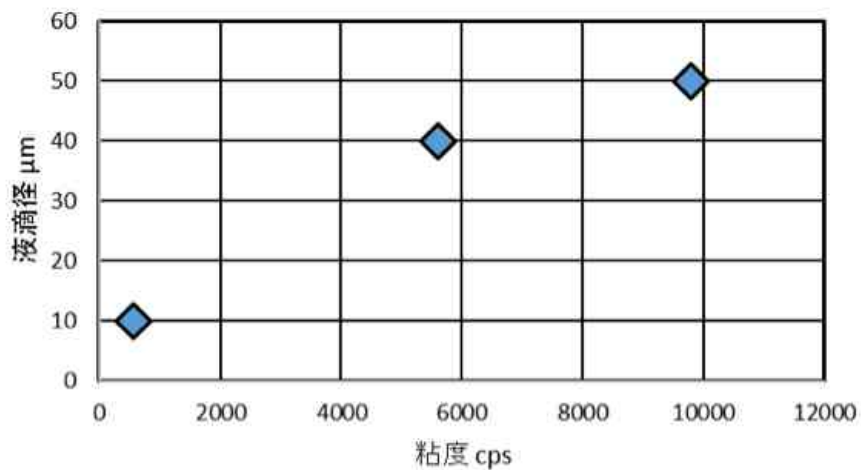


図2 静電インクジェットによって吐出されるチョコレートペーストの液滴径

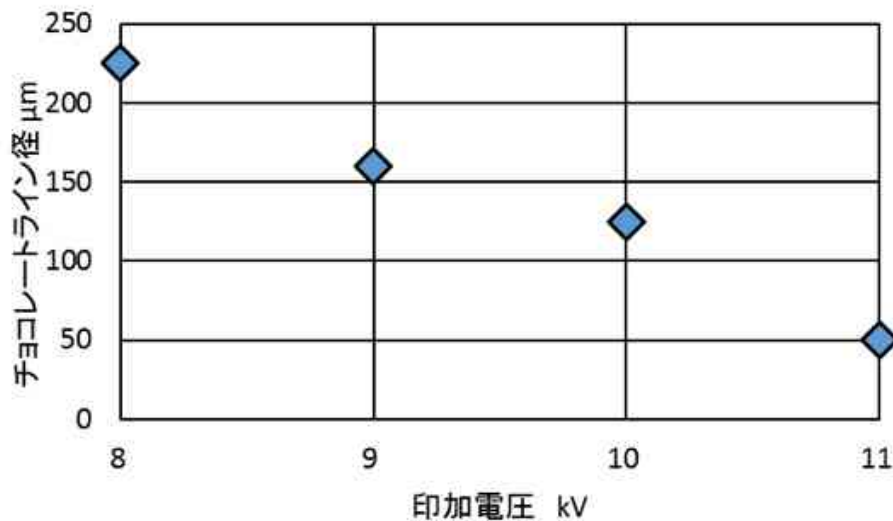


図3 印加電圧を変化させた際のチョコレートライン幅

めであると考えている。

次に、図 2 の実験で精密印刷が困難であると確認された粘度 9668 cps のチョコレートペーストを用いてライン描画を行った。印加電圧が 8 kV を上回ると、ノズル先端にテーラーコーンの形成が確認できた。いっぽう、印加電圧が 11 kV を超えると火花放電現象が観察され、ペーストの吐出ができなくなった。印加電圧が 8 から 11 kV の範囲で、ライン描画を行った際の結果を図 3 に示す。印加電圧が高いほど、ライン幅が小さくなった。これは印加電圧を上げることで、テーラーコーン先端に作用するイオン風の反発力が大きくなり、テーラーコーンが先鋭化され、吐出される液滴が小さくなったためであると考えている。11 kV の印加電圧で描画することにより、ライン幅が 50 μm になった。なお、他の粘性のチョコレートペーストに関しても同様の傾向が得られた。

4 . デザインの描画

前章にて、チョコレートペーストの描画に関する基礎特性の把握を行ったので、本章では、ステージの駆動を制御することによって、デザインの描画を行う。図 4 では二次元パターンの例としてアルファベットの W を描画した。線幅は 50 μm 以下で印刷を行うことができた。描画範囲は 500 μm 四方で、フォントにしておよそ 1.4pt となっているので、十分高精度といえる。また、角部は、ステージの移動方向を変更し、描画する必要があるが、力の急激な変化などに起因するボタ落ち現象などといった印刷精度の低下に繋がる現象は見られなかった。また、図 5 に螺旋パターンを描画したサンプルを示す。本サンプルにおいても、ステージの移動方向の急激な変更による精度低下は見られなかった。

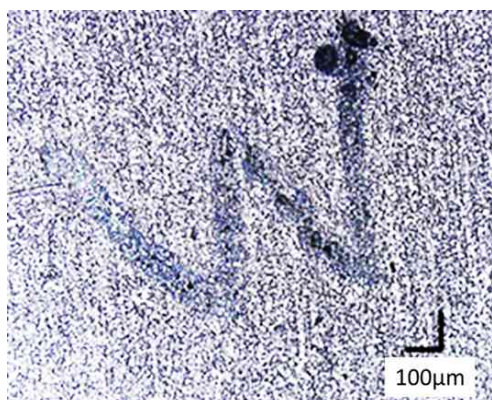


図 4 W 文字の描画



図 5 螺旋パターンの描画

さらに、重ね塗りに挑戦した結果を図 6 に示す。50 μm 以下の線幅でチョコレートラインを描画したサンプルに垂直に描画した。交点部分は二度描画されるが、1 回目の印刷で印刷面にできたチョコレートの盛り上がりは 2 回目の印刷に影響を与えないことがわかる。これはノズル先端から印刷面までのギャップが 1.5mm であるのに対して、チョコレートラインの厚さが数 μm から数十 μm 程度と大幅に小さいためであると考えている。このことから積層造形が可能であるといえる。なお、縦線が薄いのが、これは精度良く描画しすぎたため、カカオの成分（本図の黒部）がたまに吐出されないことがあったためである。これは、フードプリンターで吐出するインク内に含まれる固形物の大きさの調整によって解消可能であると考えている。

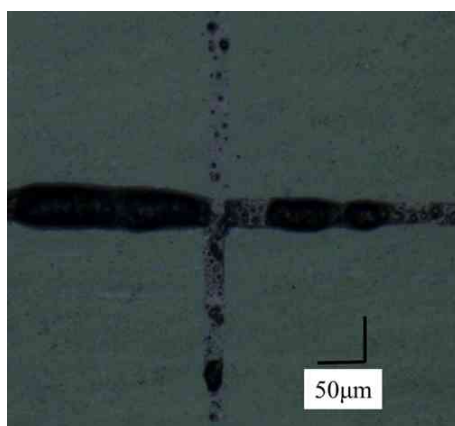


図 6 重ね塗り

5 . おわりに

本研究では、高粘性な液体であるチョコレートペーストをプリント可能な静電方式のフードプリンターの開発を行った。高粘性な液体を高画質に描画可能という静電方式のプリンターのメリットを生かして、50 μm の線幅で描画できることを示した。さらに、ステージを駆動することにより、意図するデザインにチョコレートを描画できることを示した。また、重ね塗りが可能なことから、カラフルなデザインや立体的な装飾を施せる可能性を有していることをしめした。なお、市販されているチョコレートの成分の関係で、成分が分離され、吐出されることが懸念されるが、これは、フードプリンターに特化したペーストの開発によって解消可能であると考えている。

文献

- 1) John Zeleny, *Phys. Rev.* **3**, 69-91., 2) Shinjiro Umezu, et al., *Sens. Actu. A. Phys.* **166**, 2, 251-255., 3) Hiroyuki Kawamoto, et al., *J. Imag. Sci. Tech.* **49**, 1, 19-27.