

<平成 27 年度助成>

マイクロ 3D プリントを利用した次世代食品加工技術の創成

梅津 信二郎

(早稲田大学 創造理工学部総合機械工学科)

1. はじめに

現在我々の身の回りは加工食品で溢れており、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 時間連続的に生産可能であり、さらには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がしやすいという利点がある。一方、パティシエや高度技能を有する職人がつくる創造性に溢れた複雑で緻密な食品は、製造機械で作製するには不向きなため、高度技能者が時間をかけて丹念に作製している。さらに、技術を習得し、一人前になるには長期間を要する。これらのことから、複雑で緻密な食品は品薄で高コストという事態を招いている。このことを解決するにあたり我々は、高精度に描画可能なマイクロフードプリンタの開発が重要になると考えた。このような製造装置を開発することによって、デザインに関しての良いアイデアはあるものの、製造スキルがさほど高くない技能者が第一線で活躍できるようになると考えたからである。そこで、本研究では、身の回りの一般的な食品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の開発と、チョコレートを精密にライン描画し、評価することを目的とした。チョコレートをプリント対象として選んだのは、再成形しやすく、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. 実験装置と実験方法

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、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り、我々が過去に基礎特性を把握済みである。メリットとしては、市販のインクジェット法と比較して、高粘性な液体を高画質に吐出可能な点が挙げられる。電源装置にはグリーンテクノの 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。ノズルは内径 0.33 mm、外径 0.64 mm の Nordson の Precision Tips を用いた。ステージにはシグマ光機の 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、吐出精度に影響を及ぼす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

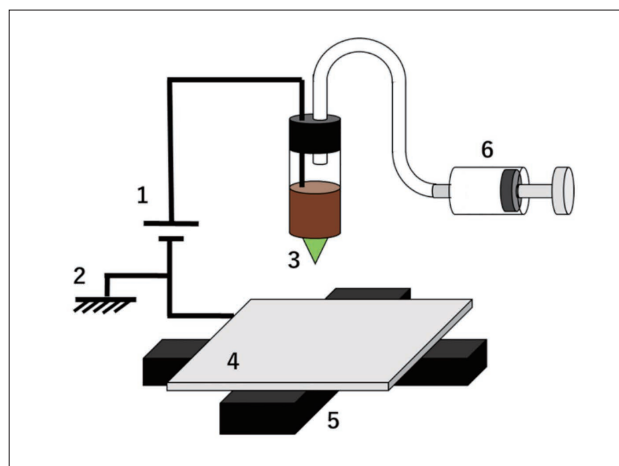


図 1 実験装置図 (1. 電源装置 2. グラウンド 3. ノズル 4. 金属平板とペルチェ素子 5. XY ステージ 6. 加減圧ユニット)

KEYENCE の VH-Z100R で行った。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。

これまで我々が用いていた装置との変更点としては、下記の 2 つである。ノズル後方に加減圧調整ユニットを設け、フードインクの吐出量の大雑把な調整を図った上で、さらに電圧制御によって、微細なものを造形する。これにより、ノズル先端に液溜まりができてしまうことを抑制した。さらには、描画対象表面にペルチェ素子を設置し、表面の温度を調整する。インクの粘度は温度に依存するので、着弾後の広がり抑制を実現させた。そして、ノズル先端から液滴がちぎれる際の液切れを良くすることで、液滴の微小化を図れると考え、加振機を使用した。

なお、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。

3. 実験結果

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。一方、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 ~ 11 kV の範囲でライン描画を行った際の結果を、図 2 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 μ m になった。

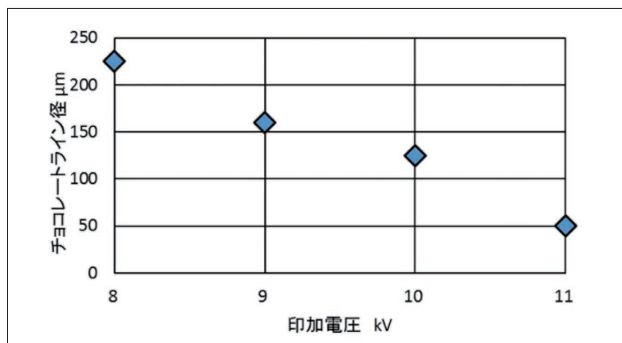


図 2 印加電圧を変化させた際のチョコレートライン幅

さらに、微小な液滴の吐出、高精度な描画を目的に、細線をノズル先端に搭載した。これを行うことにより、より小さなテーラーコーンがこの細線を包むように形成されるので、吐出される液滴径が小さくなると考えた。図 3 に ABS 細線を搭載した場合と先端を先鋭化させた ABS 細線を搭載した場合のチョコレートライン幅の結果を示す。先鋭化 ABS 樹脂線を搭載することで 50 μ m 以下の線幅での描画が容易に達成された。50 μ m は、視覚・味覚の両面から、十分に高精度であると考えられる。

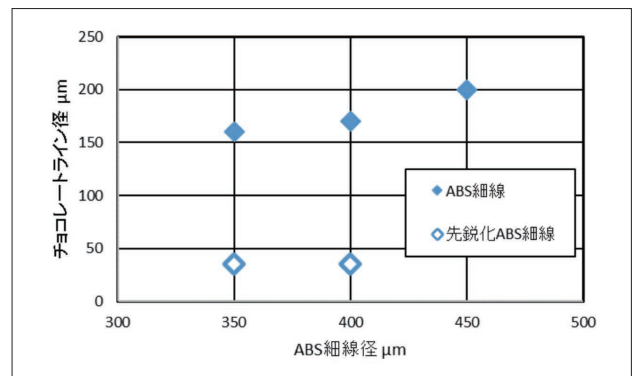


図 3 ABS 樹脂線を挿入して描画した際のチョコレートライン幅

上記の結果を踏まえて、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 μ m 以下で印刷を行うことができた。描画範囲は 500 μ m 四方で、フォントにしておよそ 1.4pt となっているため、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

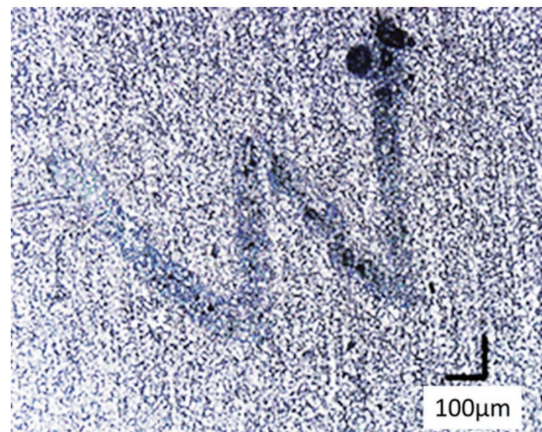


図 4 W 文字の描画

る現象はみられなかった。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みられなかった。

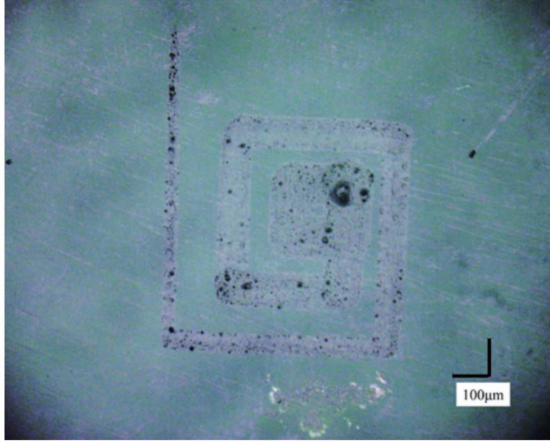


図5 螺旋パターンの描画

4. おわりに

高精度なフードプリンタの開発を目的に、静電インクジェット法を用いたマイクロフードプリンタの開発を行った。先鋭化された（ABS）細線をノズル先端に搭載することによって、 $50\mu\text{m}$ 以下での描画を達成した。視力が1.2の人の場合、眼球から30cm離れた物体の大きさは $73\mu\text{m}$ まで認識することが可能であることから、視覚的に十分な精度といえる。また、味覚受容体である味蕾と呼ばれる器官は直径およそ $50\mu\text{m}$ の突起に位置しており、 $50\mu\text{m}$ 以下の構造は味覚的に感知できない。これらのことから、 $50\mu\text{m}$ 以下の太さのチョコレートラインを描画できる装置を試作できた意義は大きいと考えている。一方で、本装置はシングルノズルであり、スループットは低い。このことから、大雑把な描画でもよい箇所に関しては手作業または開発されているフードプリンタを用いた上で、高精度な描画が要求される箇所に本研究で開発した装置を用いることで、複雑造形物を短時間に作製できるようになるのではないかと考えている。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、研究助成を賜りました公益財団法人 浦上食品・食文化振興財団に厚く御礼を申し上げます。

Creation of Next Generation Food-Processing Technology Utilizing a Micro 3D Printer

Shinjiro Umezu

Department of Modern Mechanical Engineering, Waseda University

Abstract

In recent years, we have become surrounded by many types of manufactured foods that are automatically produced in food factories. While such food factories operate for 24 consecutive hours, hygiene control is easy, as the number of human-operated processes have drastically decreased. On the other hand, complex, precision foods are difficult to fabricate via automatic processes, so that highly-skilled cooks now fabricate such foods. As the training and cultivation of these employees require substantial time and money, the cost and value of precision foods are extremely high. In this study, I developed an electrostatic inkjet printer for food printing technology. The merits of this inkjet printer, which include both high resolution and the ability to eject highly viscous liquids, are suitable for precision food printing. The viscosity of chocolate paste is 9668 cps. By inserting a slenderized ABS fiber at the tip of the nozzle and controlling the paste pressure via the pressure unit, the developed electrostatic inkjet printer was able to print a line with a very narrow width of less than $50\mu\text{m}$. This result is sufficiently precise from both visual and taste perspectives. By moving the printed target in the x and y directions using two linear motors, unique decoration patterns could be generated with no decrease in precision.