

補助事業番号 2023M-426

補助事業名 2023年度 高精度バイオ3Dプリンティングを実現する

マイクロ流体ノズルの開発 補助事業

補助事業者名 小嶋 勝

1 研究の概要

医療や食生活など、様々な分野への応用が期待されるバイオ3Dプリンティングを発展させるため、マイクロ流体デバイスを用いたノズルを開発し、その評価を行う。

2 研究の目的と背景

バイオ3Dプリンティングでは複数の材料の使用が困難であり、単純な構造しかできないという限界がある。そこで、この問題を解決するためマイクロ流体デバイスを応用したノズルを開発する。

3 研究内容

(1) プリンティングシステムの高精度化

材料の切り替えが可能なプリンティング用の実機の構築を進めた。3軸アクチュエータを基盤とすることで、任意形状のノズルを実装可能な装置を構築した。専用のシリンジポンプを備え、複数材料の切り替えによるプリンティングを実施可能な実機を構築した。さらに、ポンプの精度をあげた改良版を作製し、これらを実験に用いた。

また、実機解析に用いるノズルは、光造形式プリンタを用いて造形した。ノズルの2つの流入口に、異なる色で着色した溶液を充填したシリンジポンプをそれぞれ接続し、溶液を流入させた。観察した切り替わりの様子から切り替えの効率を算出した。

さらに、高精度化、高度化を進めるため、マイクロ流路ノズル内における、異なる粘性の材料の切り替えの評価を行った。まずは、T字型のノズルで切り替えたときの効率について評価した。また、他の形状のノズルについて評価を行い、実機によるプリンティングで検証した。また、インクプリンティング時にインクの流れに圧縮を付加することにより、より複雑な形状を印刷可能な技術の開発も行った。

T字型のノズルで切り替

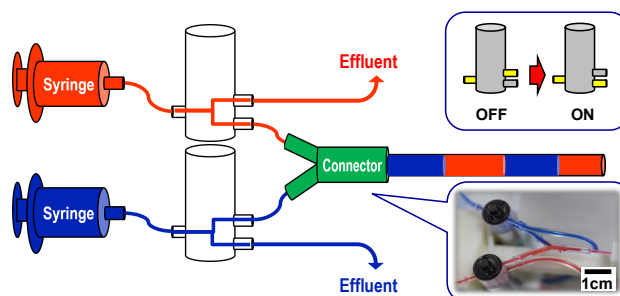


図1. 圧力の残留に対応した切り替えノズル

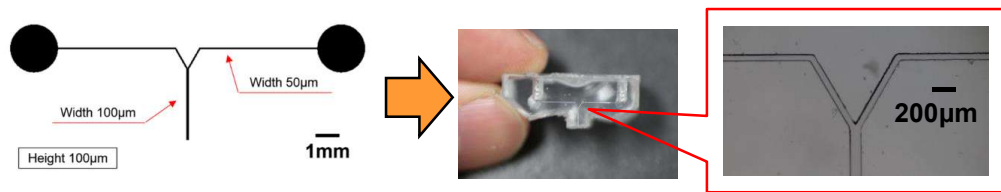


図2. マイクロ流路を用いた切り替えノズル

えを評価したところ、圧力の残留が起きない構造とすることで、効率の良い切り替えを行うことができた(図1)。また、マイクロ流路を用いたノズルを設計したところ、高精度な切り替えに成功した(図2)。さまざまな形状の評価を行ったところ、粘性が低いインクが粘性の高いインクを押し除けて切り替わるときの効率が低く、効率的な切り替えには非対称形ノズルの設計が必要である事が示唆された。さらに、実機によるプリンティングを行ったところ、対称ノズルと比べて効率的に材料が切り替わり、妥当性が示された。

さらに、インクプリンティング時にインクの流れに圧縮を付加することにより、より複雑な形状を印刷可能な技術の開発も行った。この手法により、与えた圧縮に相関した周期構造の印刷に成功し、本機構をプリンティングシステムに統合することにより、これまで実現できなかった、凹凸を持ったより複雑な形状の印刷が可能となった(図3, 4)。また、複数インクの混合方法として混合機能を付加したノズルに関して検討を行い、空気を封入した界面を応用することで効率的な混合を実現し、プリンティングでも十分な混合ができることを確認した。

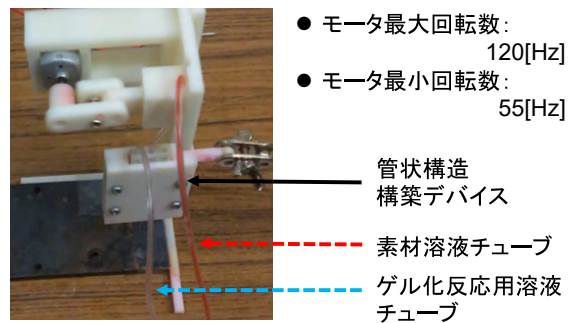


図3. 圧縮を付加する機構

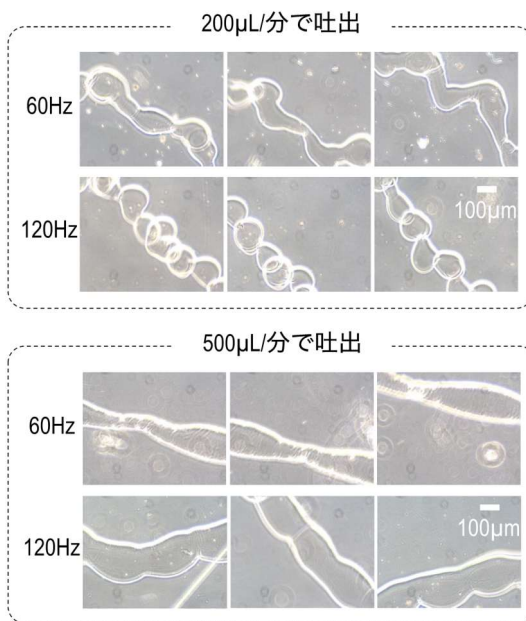


図4. 圧縮を付加による波状の構造

(2) プリンティングシステムの応用



図5. (a) 作製したデバイス (b) 曲げ動作

開発した造形手法を用いて、導電性を付与したヒドロゲルで構成されたフレキシブルゲル力覚センサデバイスを作製し、その評価・高性能化に取り組んだ。

まずは、導電性ヒドロゲルの機能の向上を進めた。センサ感度の向上のため、液体金属含有ヒドロゲルを作製し、その評価を行った。具体的に

は、液体金属としてガリNSTAN（ガリウム、インジウム、錫の合金）を用い、その安定化に頻繁に使用されるポリマーであるポリビニルアルコールやアルギン酸を用いて液体金属含有ヒドロゲルを作製した。ゲルの形成には、フェノール性水酸基を導入したアルギン酸、ポリビニルアルコールを用い、架橋を行うことで実現した。導電性向上の効果を期待し、ガリNSTANは超音波処理により微粒子としてヒドロゲル中に分散させた。

実際に導電性の評価を行った結果、微粒子の添加により導電性が大きく改善したことが確認された。次に、ガリNSTANを分散させたヒドロゲルを用いて、フレキシブルゲル力覚センサとしての機能を評価した（図5）。作製したデバイスを用いて、引き伸ばしや曲げ動作を行い、電気特性の変化を計測した（図6）。その結果、引張に応じた電気抵抗の変化が見られ、引張長さが大きくなるにつれて、電気抵抗の変化が大きくなった。この結果から、引張長さに応じた抵抗値の変化を高精度で測定できることが確認された。また、曲げ動作に関しても、曲げる角度に応じた電気抵抗の変化が見られ、角度を大きくするにつれて、電気抵抗の変化が大きくなった。この結果から、角度に応じた抵抗値の変化を高精度で測定できることが確認された。以上の結果から、作製したヒドロゲルは歪みセンサとして活用できる可能性が示された。

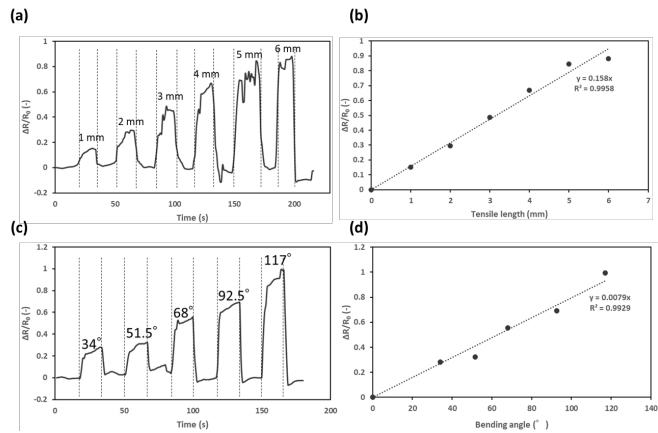


図6. (a) 引張長さに応じた電気抵抗の変化 (b) 各ピークの最大値のプロット(引張) (c) 曲げ角度に応じた電気抵抗の変化 (d) 各ピークの最大値のプロット(曲げ)

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

バイオ3Dプリンティングは、医療や食生活など、様々な分野への応用が期待される技術であり、近年話題となっている人口肉もプリンティングによりつくられている。このような分野を底上げする技術として今後活かされると期待している。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

今回の研究はこれまで行ってきたプリンティングシステム開発における、ノズルの高度化に関する研究であり、過去に報告しているロボットアームを用いたプリンティングシステムの機能向上を達成したものである。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

国内会議

“マイクロ流体デバイスを用いた高機能ノズルの開発”，小嶋 勝，洞出 光洋，日高 光将，新井 健生，第41回 日本ロボット学会学術講演会 1L3-02，2023年9月，仙台国際センター

“送液管の動的変形を応用した非対称形状ヒドロゲルファイバーの構築”，中家弘登，小嶋 勝，堀口一樹，境慎司，化学工学会 第54回秋季大会（福岡）2023年9月，福岡大学 七隈キャンパス

“マイクロ流路を応用した高機能ノズルの検討”，小嶋 勝，福島 英，新井 健生，ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2024，2024年5月，ライトキューブ宇都宮

国際会議

“Automatic Stiffness Measurement of Small Objects Using an Integrated System of Simultaneous Multi-scale Observation and Two-Directional Force Measurement”，Masaru Kojima Member, Ryo Yoshikawa, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, 2024 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems, Nov. 2024, Nagoya, Japan

7 補助事業に係る成果物

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 大阪大学基礎工学部(オオサカダイガク キソコウガクブ)

住 所: 〒560-8531

大阪府豊中市待兼山町1-3

担 当 者: 准教授 小嶋 勝(コジマ マサル)

担 当 部 署: 基礎工学部(キソコウガクブ)

E - m a i l: kojima.masaru.es@osaka-u.ac.jp

U R L: <https://chem-bio-mech.net/>