

---

一般セッション(口頭講演)| インクジェット

## [IJ5.1] インクジェット(5-1) 応用/3Dプリンティング/バイオプリンティング

### Inkjet (5-1) Applications/3D Printing/ Bio Printing

2018年6月21日(木) 09:30 ~ 10:30 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟 2 二階)

---

#### [IJ5.1-01] インクジェット3Dプリンタの積層プロセスの検討 Study on Lamination Process of Inkjet 3D Printer

\*田沼 千秋<sup>1</sup>、田中 豊<sup>1</sup>、御法川 学<sup>1</sup> (1. 法政大学)

\*Chiaki Tanuma<sup>1</sup>, Yutaka Tanaka<sup>1</sup>, Gaku Minorikawa<sup>1</sup> (1. Hosei University)

インクジェット方式3Dプリンタは、低コスト、高精度、サポートレスで生産性の高い技術として、積層造形法の有望な選択肢の一つにあげられている。紫外線(UV)硬化樹脂材料を用いたインクジェット方式により、自立する微細な円柱の造形のための積層プロセスの検討を行ってきた。

本報告は、UV硬化樹脂材料を用いたインクジェットシステムにおける高速化、高精度化のための積層造形プロセスについて、インクの吐出と積層過程の検討を行った結果について述べる。

# インクジェット 3D プリンタの積層プロセスの検討

田沼 千秋\*, 田中 豊\*\*, 御法川 学\*\*\*

\*法政大学 マイクロ・ナノテクノロジー研究センター

\*\*法政大学 デザイン工学部システムデザイン学科

\*\*\*法政大学 理工学部機械工学科

Study on Lamination Process of Inkjet 3D Printer

Chiaki Tanuma\*, Yutaka Tanaka\*\*, and Gaku Minorikawa\*\*\*

\*Research Center for Micro-nano Technology, Hosei University of Japan

\*\* Department of Art and Technology, Faculty of Engineering and Design, Hosei University of Japan

\*\*\* Department of Mechanical Engineering, Faculty of Science and Engineering, Hosei University of Japan

By studying the ink lamination process of ink-jet 3D printer using ultraviolet curable ink, we succeeded in forming a fine column. We found that by controlling the ink volume of an ink drop ejected from an ink-jet head, the ink volume of an ink layer, and the time of UV irradiation, it is possible to control the thickness of the fine column. In addition, optimization of the above-mentioned parameters showed that it is possible to control the time for fine column formation. fine cylinder whose diameters were 0.22mm and 0.55mm were formed by using the ink-jet print head that ejected an ink drop of 6pL.

## 1. はじめに

積層造形技術による 3D プリンタは、製造における試作・評価工程で利用されてきたが、製品に採用するためには、廃棄物の低減(サポートレス), 高精度化(表面の平滑性), 高温耐性の向上, 複合化, 付加造形などが課題として挙げられる。これらの課題を解決する技術として、インクジェット方式が期待されている。インクジェット方式の 3D プリンタは、多様な材料を用いて高精度な積層造形が可能であるが、サポートレス化を含めた低コスト化と生産性の向上が課題である<sup>1)2)</sup>。

インクジェット方式の多くは、紫外線硬化型(UV 硬化型)のインクを用いる。インク液滴の吐出と UV 光照射を繰り返すことで積層造形を行うが、造形物の形状維持のために、サポート材を用いる。つまり、造形と同時にサポート材と一緒に形成する必要がある。一方、造形物の形成に要する時間は、インク液滴の吐出時間と UV 光照射時間の和となる。高速に造形するためには、一層を形成するインク液滴量を増やし、UV 光照射回数を減らすことが必要となる。また、サポートレスの造形により高速化が可能と考えられる。

著者ら<sup>3)</sup>は、カチオン重合型インクを用いて立体の造形を試み、自立する直径 0.55mm, 高さ 5mm の

円柱の形成に成功した。しかし、その造形の過程については詳細な検討がなされていなかった。

本報告は、微細な円柱が形成される過程について高速ビデオカメラによる観察などを行い、サポートレスでかつ高速な造形の可能性を検討した結果について述べる。

## 2. 実験

### 2.1 実験装置の概要

Fig.1 に、実験に用いた装置の概略構成図を示す。また、Fig.2 に、実験装置の写真を示す。実験装置は、3D インクジェットプリンタ、高速ビデオカメラとカメラ用 LED 光源で構成した。

3D インクジェットプリンタは、東芝テック社製 エゾ型インクジェットヘッド CA3A, UV-LED, X-Y ステージとこれらを制御する駆動制御回路から構成され、PC を介して所望の制御を行った。インクの粘度の最適化のため、インクの温度制御をおこなった。

インクは、ダイセル社製 LED カチオン硬化型インクジェットインク VEX-12001(開発品)を用いた。UV-LED は、中心波長が 365nm で最大出力が 2300mW の素子をパルス制御して用いた。

高速ビデオカメラは、フォトロン社製 FASTCAM SA-Z を用いた。レンズは、ライカ社製 Z16-APO を用いた。高速ビデオカメラ用の LED 光源は、ユーテックテクノロジー社製 UFLS-75 を用いた。インク液滴の飛翔状態の撮影のための装置構成は、インク液滴が投影されるように、LED 光源、インクジェットヘッド、高速ビデオカメラの順に配置した。

\* 〒184-0003 東京都小金井市緑町 3-11-15

\* 3-11-15 Midori-cho, Koganei-shi, Tokyo 184-0003, Japan

e-mail: chiaki.tanuma.45@hosei.ac.jp

## 2. 2 実験方法

実験は、インクジェットヘッド駆動条件の最適化、インクの硬化条件の確認、円柱の形成の順に行った。インクジェットヘッドの駆動条件の最適化は、吐出体積、サテライトの発生を高速ビデオカメラで観察して、駆動電圧などの最適化を行った。インクの硬化条件は、インクの流動が停止する最小限のエネルギーを求め、積層造形的高速化を目指した。

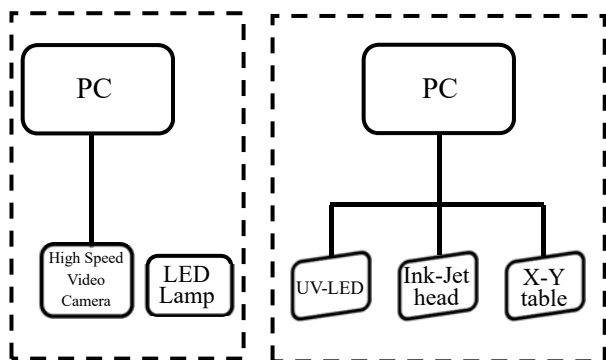


Fig.1 Schematic of experimental facility for laminating process in Ink-Jet 3D printer

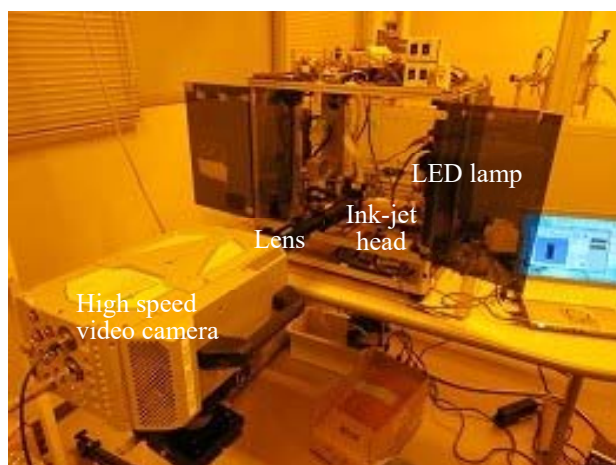


Fig.2 Photograph of experimental facility for laminating process in Ink-Jet 3D printer.

## 3. 結果と考察

Fig.3(a)(b)に、カチオン重合型 UV インクを用いて作成した円柱の写真を示す。

Fig.3(a)の円柱は、直径が 0.65mm で高さは、およそ 5mm である。円柱の作成は、25,200pL のインク液滴を吐出して、積算光量が  $50\text{mJ}/\text{cm}^2$  となるように UV 光を照射した。この操作を 70 回繰り返して、円柱を形成した。

Fig.3(b)は、直径が 0.35mm で高さは、およそ 1.6mm の円柱である。4,200pL のインク液滴を吐出

して積算光量が  $50\text{mJ}/\text{cm}^2$  となるように UV 光を照射した。この円柱の作成は、前記の操作を 30 回繰り返した。

二つの円柱の側面には、積層過程で形成された僅かな段差が観察された。また、積層した最上層は、わずかに盛り上がり、ドーム形状となっている。

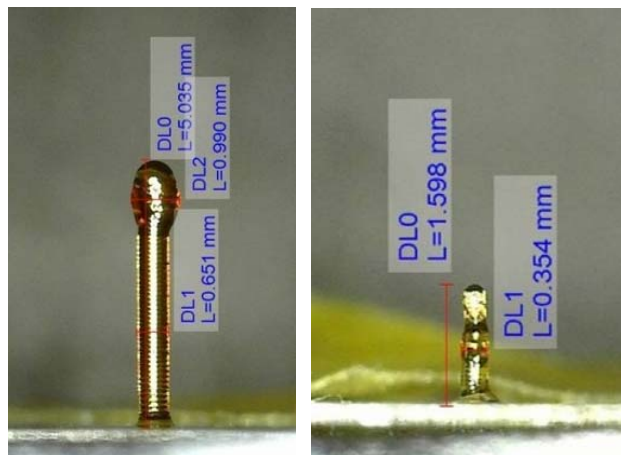


Fig.3 Photograph of fine cylinder using catatonically polymerized ink.

(a) diameter 0.65mm, height 5mm

(b) diameter 0.35mm, height 1.6mm

Fig.4,5 に、インク液滴の積層数と円柱の形状変化を示す。

Fig.4 は、直径が 0.22mm の円柱を形成する際の積層過程を高速ビデオカメラで撮影し、積層数とその形状を静止画で示した。

4,200pL のインク液滴を吐出して、所定の積算光量の UV 光を照射した後に、同じ場所に同量のインク液滴を吐出して UV 光を照射し層を重ねた。

Fig.4 に示す(a)(b)(c)(d)は、インク液滴がそれぞれ 1 層、5 層、10 層、15 層した際の形状である。5 層目以降に積層されたインク液滴は、円柱の直径を決定する形状となっており、その後は、円柱が一定の直径で積層された。

Fig.5 は、直径が 0.55mm の円柱を形成する際の積層過程を高速ビデオカメラで撮影し、積層数とその形状を静止画で示した。

25,200pL のインク液滴を吐出して、所定の積算光量の UV 光を照射した後に、同じ場所に同量インク液滴を吐出して積層を行った。Fig.5 に示す(a)(b)(c)(d)は、それぞれ 1 層、5 層、10 層、15 層した際の形状である。5 層目から直径は一定となり、その後は、円柱が縦方向に成長した。

Fig.6,7 に積層数と円柱の高さの関係を示す。二つのグラフで円柱の高さは、5 層目以降で傾きが大きくなり、積層数に応じて円柱が高くなった。すなわち、5 層目までは、インク液滴は、着弾後に広がる傾

向であったが、インク液滴が一定の量まで積層されると円柱の直径は一定となり、比較的スムーズな側面の円柱が形成された。

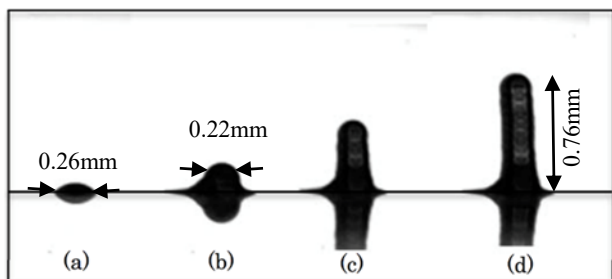


Fig.4 Formation process of fine cylinder.

- (a) Ink volume:4,200pL, Number of layer:1
- (b) Ink volume:4,200pL, Number of layer:5
- (c) Ink volume:4,200pL, Number of layer:10
- (d) Ink volume:4,200pL, Number of layer:15

#### 4. まとめ

高速ビデオカメラによる観察などにより、微細な円柱が形成される過程について検討を行い、サポー

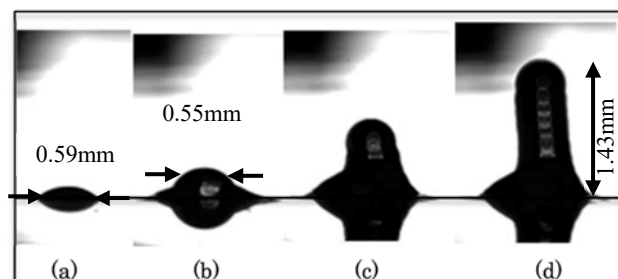


Fig.5 Formation process of fine cylinder.

- (a) Ink volume:25,200pL, Number of layer:1
- (b) Ink volume:25,200pL, Number of layer:5
- (c) Ink volume:25,200pL, Number of layer:10
- (d) Ink volume:25,200pL, Number of layer:15

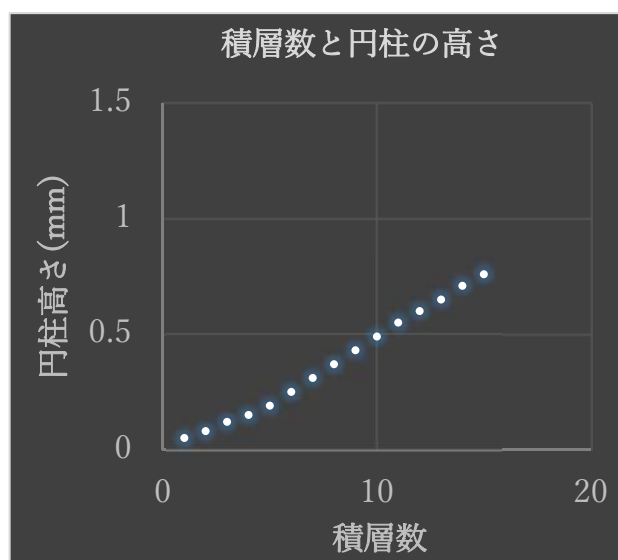


Fig.6 Relationship between number of layers and height of fine cylinder: Ink volume:4,200pL

Fig3-7 に示す結果から、インクジェット方式による微細な円柱の形成過程において、基板にインク液滴が着弾して、一定の範囲でインク液滴が硬化すると、円柱形成の土台となり、その後に着弾した液滴は、一定の直径で円柱が形成されるように見える。一回に吐出するインク液滴の量を増やすと円柱の直径が大きくなることから、インクの表面張力により直径が決定されていると推測される。つまり、インク液滴の量と表面張力のバランスにより、円柱が形成されると考えられる。

なお、Fig.3 と Fig4,5 の円柱の直径が異なるのは、造形を行うテーブルの振動が影響しているためと推察している。

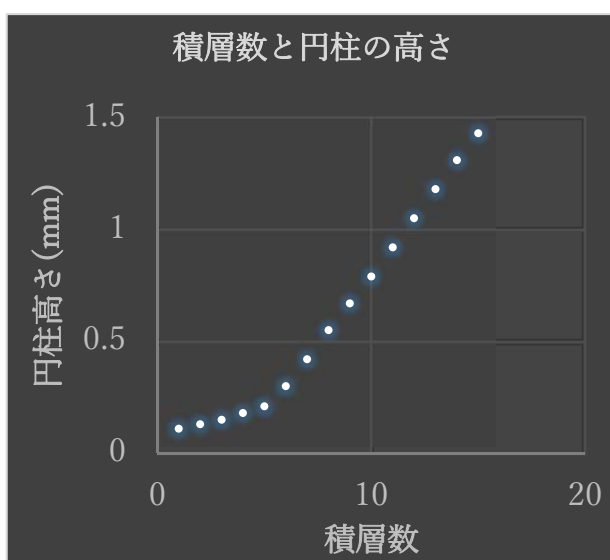


Fig.7 Relationship between number of layers and height of fine cylinder: Ink volume:25,200pL

トレスで高速な造形の可能性について検討した。

その結果、インク液滴の量と一回ごとに積層するインクの量を制御することで、円柱の直径と形成時間の最適化が可能であることが分かった。今後、インクの表面張力、噴射速度などのパラメータを加え、形成時の精度向上と時間短縮の可能性を明らかにする。

#### 謝辞

本研究は、私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「グリーンテクノロジーを支える次世代エネルギー変換システム」(文部科学省 2013~2017 年)の助成、および経済産業省・戦略的基盤技術高度化支援事業「工業製品製造に適した革新的な多次元

制御方式による 3D プリンタの技術開発」の助成を受けて実施された

本研究の遂行にあたり、インクジェットによる造形などに協力していただいた加藤 航 氏並びに関 智弥 氏(デザイン工学部 システムデザイン学科 田中 豊研究室 2018 年卒)の両名に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) Barry Berman; Business Horizons, Vol.55, Issue 2, March-April 2012, Pages 155-162
- 2) Christopher Thomas Schmitt; Low Cost Inkjet Process for 3-D Printing, a thesis submitted in partial fulfillment of the honors requirements for the degree of Bachelor of Science in Mechanical Engineering, Univ. Arkansas May 2016
- 3) Chiaki Tanuma, Wataru Kato and Yutaka Tanaka; Visualization of ink laminating process in ink-jet 3D printer, Proceedings of Visualization Society of Japan, OS-5-3, Nov.2017