

熱溶解積層方式 3D プリンタにおける エクストルーダ内での相溶性を利用した硬軟制御手法

上野 新葉* 宮下 芳明†

概要. 熱溶解積層 (FDM: Fused Deposition Modeling) 方式の 3D プリンタは低価格化によって普及が進んでいる一方で、プリント可能な素材とその種類には限りがあり、造形物には自然と制約が生まれている。そこで FDM 方式 3D プリンタのエクストルーダ内での相溶を利用し、造形物の硬度を制御する手法を提案する。フィラメントを引き抜いた後、同じノズルに別のフィラメントを押し出すとき、引き抜きしきれなかったノズル内に残留している素材と押し出している素材がエクストルーダ内で混在する状態になり相溶する。本稿では硬い高分子材料である 3D プリンタのフィラメントに対し、エクストルーダ内で熱可塑性エラストマーを添加することで塑性を与える。本手法は、将来的にフルカラー表現や物性の制御など FDM 方式の 3D プリンタにおける表現の拡張や、そうした可変に適したフィラメントの製造につながる。

1 はじめに

熱溶解積層 (FDM) 方式の 3D プリンタは低価格化によって普及が進んでいる。こういった 3D プリンタはプロトタイピングの加速を促した一方、使用するフィラメントの色や物性に依存してしまうため、その造形物には限りがあった。粉末造形方式などの高価な 3D プリンタでは硬軟制御などを実現しているが、FDM 方式の 3D プリンタではそれを実現できていない。一方文献 [1] のように、FDM 方式の 3D プリンタを使用し、2 色のフィラメントを用いてディザリングの手法を適応することで、表現の多様化も提案されている。また FDM 方式の 3D プリンタ Prusa i3 MK2¹ は、本来使用可能な 1 種類に加えて 4 種類のフィラメントを切り替え可能にする拡張キットの先行予約がはじまっている。このように 1 つのノズルで複数の色を出力できるように 3D プリンタの改造が行われている。しかしいずれもフィラメント自体の色や物性に依存した出力のみが可能であり、インクジェットプリンタのように素材を混ぜてプリントすることは行われていない。

そこで FDM 方式 3D プリンタを用いて、エクストルーダ内でフィラメントを相溶することで、2 つのフィラメントの中間的な特性をもつ素材を出力に使用する手法を提案する。本稿では硬軟制御手法として、硬い材料である PLA 樹脂に対し、軟らかい素材である熱可塑性エラストマーのフィラメントをエクストルーダ内で添加して塑性を与える。本手法は将来的にフルカラー表現や物性制御の実現など、FDM 方式 3D プリンタの表現を多様化させる。

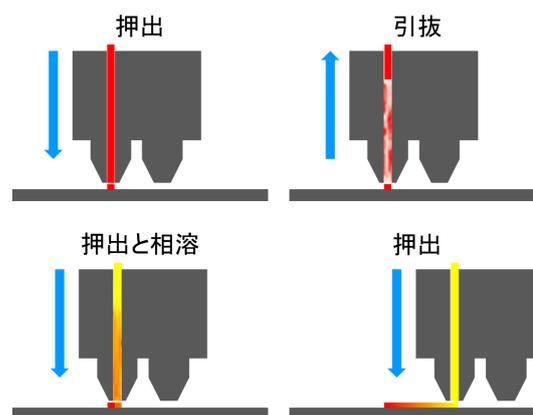


図 1. 提案手法による 3D プリント

2 提案手法

エクストルーダ内でのフィラメントの相溶性を利用して、FDM 方式の 3D プリントした造形物の硬軟制御を行う手法を提案する (図 1)。フィラメントを引き抜いた際、エクストルーダ内には引き抜きしきれなかった素材が残留する。その同じエクストルーダに添加したいフィラメントを押し出すと、残留する素材と押し出している素材がエクストルーダ内で混在する状態になる。さらに押し出しをすることで、2 つのフィラメントの相溶によるいずれのフィラメントの特性ともいえない中間的な特性をもつ素材がノズルから射出され、新しい素材として出力に使用することができる。本稿ではエクストルーダ内で、硬い材料である PLA フィラメントに対し、軟らかい素材である熱可塑性エラストマーのフィラメントを添加して塑性を与え、2 つの中間的な硬度をもつ素材を疑似的に作り出し、それによって 3D プリントすることを可能にする (図 2)。

Copyright is held by the author(s).

* 明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科

† 明治大学総合数理学部

¹ <http://www.prusa3d.com/> (2016 年 10 月 23 日確認)



図 2. PLA と熱可塑性エラストマーを用いた作成例

2.1 引き抜きと押し出し

フィラメントの引き抜きでは、エクストルーダ内のすべてのフィラメントを完全に取り除くことはできない。この時、同じエクストルーダに異なる種類のフィラメントを押し出すと、残留したフィラメントと相溶し、2つのフィラメントの特性が混在する素材がノズルから押し出される。こういったフィラメントの引き抜き / 押し出しを出力の中断をすることなく行うために、3D プリンタを制御する G-Code を編集することによって造形の途中に介入させた。

引き抜き / 押し出しの際、余分に押し出されたフィラメントが触れることで造形物が汚れてしまうことが考えられる。本手法ではこうした影響を考慮しノズルと造形物の距離を離すため、XY 軸方向へのノズルの退避と Z 軸方向へのプラットフォームの退避を行う。通常の 2つの素材を使用する 3D プリントにおいても、ノズルからの垂れやしみによって造形物を汚してしまうことが問題とされており、フィラメントの引き戻しや壁の造形を行っている [2]。

2.2 制作環境

出力の中断をすることなくフィラメントの引き抜き / 押し出しの工程を行うために、2種類のフィラメントを 1つのノズルに送れるような機構を作成し、ホットエンドにとりつける。またホットエンドにつけた機構を通して押し出しを行うため、押し出しのためのモータが 3D プリンタのヘッドから離れた箇所に 2つ搭載するボーデン式の 3D プリンタを用いる。本稿では FDM 方式のボンサイラボ株式会社製 BS01+ Dual² を使用した。造形温度は 210°C とし、ノズル口径は 0.40 mm のものを使用した。同じノズルから押し出しを行うためノズルは 1つしか使用しないが、2つのエクストルーダを動かすためにもう一方のノズルも温める必要がある。そのためもう一方のノズルは、使用するプリンタにおいて押し出しを行う最低温度である 175°C とした。

² <https://www.bonsailab.asia/about.html> (2016 年 10 月 23 日確認)

3 議論

提案手法では 2つのフィラメントを順に入れ替える必要があるため、フィラメントの引き抜きをした後に、添加したいフィラメントの押し出しを行う。この引き抜きと押し出しするフィラメントの長さのパラメータは必ずしも等しいわけではなく、素材特性によって値が異なると考えられる。特に本稿で使用した熱可塑性エラストマーのフィラメントは、その軟らかい特性がゆえに押し出しをしなくともノズルから垂れてしまうため、引き抜きよりも押し出しを多めに設定する必要がある。しかし多くしすぎると相溶する間もなくフィラメントが入れ替わってしまうため、細かいパラメータの調整が必要である。

現状では出力物が劣化し、造形物が折れやすくなる傾向がみられる。これは、エクストルーダ内で混ざっていない材料が形成する構造が破断面となりやすいからであると考えられる。今後は、引張試験によって引張破断強度を測定して評価を行う。

4 まとめと展望

本稿では、FDM 方式 3D プリンタにおけるエクストルーダ内での相溶を利用した造形物の硬軟制御を提案した。硬い素材である PLA フィラメントに対し、エクストルーダ内部で軟らかい素材である熱可塑性エラストマーのフィラメントを添加して塑性を与えることで、2つのフィラメントの中間的な硬度を持つ素材を疑似的に作り出すことを可能にした。

本手法は、将来的に FDM 方式 3D プリンタでのフルカラー表現、弾性率などの物性や特性の制御、さらにそうした可変に適したフィラメントの製造につながる。造形物の表現の拡張をより容易にするため、Capricate のような範囲選択で素材を選べるようなデザインツールの実装を検討している [3]。

謝辞

本研究は、JST, COI の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] Tim Reiner, Nathan Carr, Radomír Měch, Ondřej Št'ava, Carsten Dachsbacher, Gavin Miller. Dual-color Mixing for Fused Deposition Modeling Printers, *Computer Graphics Forum*, Vol. 33, No. 2, pp.479-486, 2014.
- [2] Jean Hergel, Sylvain Lefebvre. Clean color: Improving multi-filament 3D prints, *Computer Graphics Forum*, Vol. 33, No. 2, pp.469-478, 2014.
- [3] Martin Schmitz, Mohammadreza Khalilbeigi, Matthias Balwierz, Roman Lissermann, Max Mühlhäuser, Jürgen Steimle. Capricate: A Fabrication Pipeline to Design and 3D Print Capacitive Touch Sensors for Interactive Objects, In *Proc. UIST'15*, pp.253-258, 2015.