

ブリッジ構造と樹脂の引き伸ばしを用いた高密度な毛構造の造形手法

高橋治輝* 宮下芳明*

概要. 本稿では、熱溶解積層方式 3D プリントを使用して毛のように細い構造を作る造形手法を提案する。既存手法では、細くて高密度な毛構造を安定して出力することが困難であった。提案手法は、細く引き伸ばした樹脂を橋渡しするように壁面に固定する方法でこれらの問題をすべて解決する。

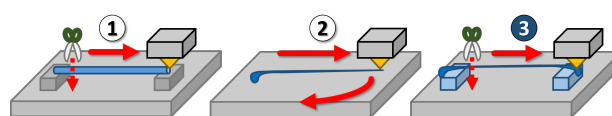
1 はじめに

熱溶解積層方式 3D プリントは、溶解した樹脂をノズルから押し出し、プラットフォーム上に積み重ねていくことで 3D 形状を作り上げていく。研究者やアーティストはこの造形方式の独自性に着目し、パラメータの探索を重ねることで、従来の CAD モデルにとらわれない構造の造形を実現している。本稿では、Laput らによって提案された毛構造の造形 (3D printed hair [1]) に着目し、構造とパラメータを追究することで、高密度かつ極細な構造を安定して造形可能とする手法を構築する。

2 毛構造の造形

図 1 に、毛のような構造を造形可能とする先行研究と提案手法との違いを示す。まず、最も単純な方法として、壁面を作ってその間に樹脂で橋を作る構造がある (図 1①)。こういったブリッジ構造が造形可能であることはよく知られており、両端が固定されているため比較的安定している。しかし、造形される部分は通常の造形と同様であるため、ノズル口径 (0.4 mm 程度) よりも若干細い構造までしか作ることができない。そのため、切り離れた部分はブラシのように硬い毛構造になる¹。

Laput らは、自身の論文中でこの方法で作られる構造の太さと硬さの問題を指摘しており、これを解決する造形手法を提案した [1]。この手法では、プラットフォーム上に樹脂を押し出し、ノズルの先端で樹脂を引き伸ばすことで、通常の造形では実現困難なほど細い構造を出力する。ノズルをターンさせるように動かすことで、造形部分を切り離していた (図 1②)。この方法であれば、ノズル口径よりも遥かに細い構造を作り出すことができる。一方で、造形の安定性や実現可能な密度に関して制約があった。まず、切り離れた箇所が自由に動いてしまい、造形部分が安定しないという問題がある。特に細い部分はノズルの熱や 3D プリントの冷却ファンの影響



	① ブリッジ構造	② 3D printed hair	③ 提案手法
細さ	× 0.4mm (ノズル径) 程度	○ 0.08mm 程度	○ 0.08mm 程度
安定性	○ 両側固定	× 片側固定	○ 両側固定
密度	△ 1本あたりが太い	× ノズルとの接触回避	○ 0.4mmピッチ 程度

図 1. 既存手法と提案手法との違い

を受けて、プラットフォーム上で変形したり動いたりしてしまう。結果として、ノズルを既造形部分との接触を避けるように制御するか、ハードウェア的な解決を施さねばならず、造形可能な密度に限界があった。また、直線以外の構造や長い髪の毛の造形が難しいこともあげられる。もし、円状に毛を伸ばす場合は、それぞれの毛を切り離すために、ノズルが移動できるだけの空間を確保する必要がある。つまり、実際に造形可能な長さだけでなく、ノズルが動く領域を加味した設定が必要となる。

提案手法は、既存手法の優位な特徴を組み合わせ、これらの問題点を解決するものである (図 1③)。まず、造形の安定性を保つためにブリッジ構造のように壁を作り、その間を橋渡しするように毛構造を造形する。このとき、樹脂を引き伸ばす手法をもとにした制御方法で構造を作り出し、始点と終点を壁面に固定する。両端が固定されて安定しているだけでなく、1本の構造が極めて細く造形されているため、密度も限界まで上昇させることができる。また、造形が完了したのちに、片方の壁 (あるいは中心部分) をハサミなどで切断するという方法をとるため、構造を切断するためのノズルの移動領域も不要である。

3 デザインシステム

前述の構造を作り出すため、与えられたパラメータをもとに 3D プリントの造形パス (Gcode) を生成するシステムを実装した。提案システムは、Gcode を直接やり取り可能な 3D プリントを想定している。

図 2 に、システムが要求する主要なパラメータと造形の様子を示す。パラメータは大きく分けて、髪の毛構造を支える壁面、髪の毛構造の位置・サイズ、

Copyright is held by the author(s).

* 明治大学大学院先端数理科学研究科

¹ <https://3dprint.com/32480/3d-print-paintbrush-bridging/>

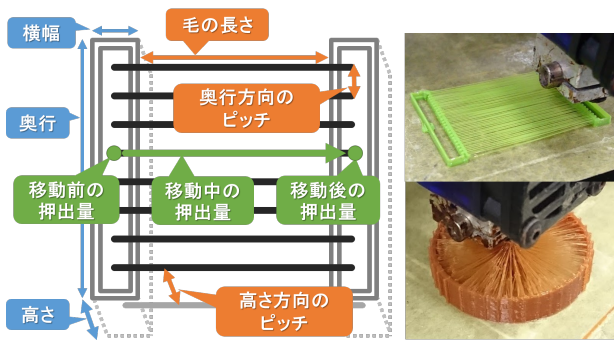


図 2. パラメータと造形の様子

髪の毛構造を作るための樹脂量からなる。ユーザは、これらを作りたい構造の大きさや、自身の環境に応じて調整しながら造形を繰り返していく。システムはこれらのパラメータから作られた造形パスをファイルとして書き出す。また、クリップボードに直接書き込む機能も実装したため、Gcode エディタを搭載したホストアプリケーションを使用すれば、より効率的に探索作業を行うことができる。

壁面の形状を変えることで、異なる形状の毛構造を作ることが可能となる。本稿では、円状に広がった毛構造を作るシステムも実装した。直線状の構造における左右の壁が中心軸と外壁に対応し、ピッチが一周の間の本数に対応する。造形は外側の壁から中心の軸に向かう方向としている。また、図 2 中には記載されていないが、髪の毛の構造を造形する際のノズルの移動速度や温度設定によって、より安定した造形を実現することができる。現状では、造形速度は 30 mm/s 前後にしており、推奨温度よりも若干下げたほうが安定することが経験的にわかっている。熱溶解積層方式 3D プリンタの種類や使用できる樹脂は多種多様であるため、使用する環境に合わせてパラメータの探索と調整を行う必要がある。

4 造形例

図 3 に提案手法を用いて作成した造形例を示す。なお、造形には Ninjabot NJB-200 を使用し、すべて PLA 樹脂を使用した。図 3 左部は、髪の毛の構造を直線に作成したものである。使用する樹脂によって性能はわずかに異なるが、現在の環境では、最大密度が高さ・奥行き方向に 0.4 mm ピッチ程度、最長 180 mm (壁を 10 mm 幅とし造形可能領域をすべて使用)、太さは 0.08 から 0.15 mm であることがわかっている。日本人の髪は 0.05 から 0.15 mm (平均 0.08 mm 程度) と言われており、人間の髪の毛に匹敵する細さで造形が行えている。また、十分に密な造形ができているため、造形物を敷き詰めることで絨毯や芝生を作ることも可能である。図 3 右部は、髪の毛の構造を円状に作成したものである。造形精度は直線時に作成されるものと同様であるが、円状の場合は半径と本数によってピッチが決まり、中心



図 3. 造形例

に近づくほどノズルとの接触の可能性が増す。現在の環境では、1 周あたり 100 本前後の構造が作られるように設定をしている。また、先行研究で提案されていた後処理の応用も可能であり、筒状の造形物内に挿入したまま保管したり、ドライヤーで癖をつけることで毛の構造を変形させることができる。

5 議論

提案手法は壁を作る必要があるため、その分の造形時間と樹脂量が増加する。これは先行研究でも指摘されており、繊細な構造を熱溶解積層方式 3D プリンタで表現するためにはこうしたコストが必要である。また、造形物が大きくなると、造形後の切り離し作業が困難になる。現在は、カッターやハサミで切り離すことが可能であるが、効果的な分離方法があればより高精度な毛先を表現できるだろう。ABS 樹脂を用いた造形も行っており、より柔らかい構造が作れることを確認している。しかし、熱による変形が起こることから、大きな造形物を作ることが難しい。これは一般的な ABS 樹脂の造形でも起こりうるため、ラフト・ブリム構造を付加したり、造形時の温度を維持する仕組みで解決できる。提案手法で作成された造形物は極細の構造で連結されているため、壁面同士を押し込んだり、筒状の壁面と組み合わせることで独特の触感を提示することができる。この形状を利用することで、新たなタンジブルインタフェースの作成も可能となるだろう。

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] Laput, G., Chen, X. and Harrison, C. 3D Printed Hair: Fused Deposition Modeling of Soft Strands, Fibers and Bristles. In Proc. of UIST'15, pp. 593–597, 2015.