

## FDM方式3Dプリンタにおける印刷サポート材の検討

大島 溪太郎<sup>†</sup> 林 亮子<sup>‡</sup>金沢工業大学 情報学部 情報工学科<sup>†</sup> 金沢工業大学 工学部 情報工学科<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

近年では熱溶解積層方式（以後 FDM 方式と呼ぶものとする）3D プリンタ<sup>[1]</sup>が低価格化し、個人でも購入可能な価格帯となったため注目されている。FDM 方式は、ABS 樹脂などの線材であるフィラメントを熱してノズルから押し出し、塗り付けるように積層することで3次元形状を作成するしくみである。しかし、FDM 方式の3D プリンタでは、中空の形状や上方にせり出す形状ではフィラメントが冷めて十分な強度となる前に垂れてしまい、出力に失敗する場合がある。

この問題を解決するため、副本の役目をするサポート材を追加し、サポート材と目的物をあわせて出力する技法が知られている。しかし、サポート材は経験的に手動で作成されることが多い。そこで本発表では、実際に3D プリンタを用いて出力失敗する条件を調査し、Maya Python<sup>[2]</sup>を用いて適切なサポート材の自動生成を検討した結果を報告する。

本稿の構成は次の通りである。第2章では、本研究で使用する装置等の概要を述べる。第3章では、出力に失敗する条件を調べ、サポート材の形状を検討する。第4章では得られた結果をまとめる。

## 2. 3Dプリンタと物体作成環境の概要

本研究で使用するのは米国 Solidoodle 社製の FDM 方式 3D プリンタ Solidoodle 3 である。Solidoodle 3 は、上下移動する印刷台と2次元平面上を移動する印刷ヘッドで構成されている。FDM 方式 3D プリンタでは、中空の物体の上部や反り返り、せり出しのある形状物はフィラメントが垂れてしまい、出力に失敗することが知られており、本研究で様々な形状を予備調査で印刷した際にも実際に出力の失敗が起こっている。

この問題を解決するために、副本の役目をするサポート材を出力形状に追加し、サポート材と目的物を一体で印刷する手法が知られている。しかしサポート材は出力終了後取り除く必要が

あり、サポート材を増やすほど印刷の成功確率は高くなるが、サポート材が多いと除去が困難になることとフィラメントの消費量が増えることが問題である。また、サポート材は手動で経験的に作成されることが多い。そのため、最小限のサポート材を自動的に的確に配置する技術が必要である。

近年では、3D の物体を計算機上で作成する 3D モデリングソフトウェアは多様なものが作成され、販売や公開がされている。本研究では、モデリングソフトウェアにサポート材を自動作成するプログラムを組み合わせる必要があるため、Maya Python を用いて 3D モデリングを行う。

## 3. 出力事例とサポート材形状

まず、実際に 3D プリンタで3次元形状の出力を行い、印刷に失敗する条件を調べる。出力実験に用いた3次元形状を図1に示す。出力に失敗しやすい事例の一つが上方ほど横にせり出す形状であるため、本研究では最初に図1のような、L字型で水平面の土台との角度を変化させた形状を用いて成功と失敗の境界となる角度を調べる。水平面から角度を持って立ち上がる斜めの面が十分滑らかに印刷できた状態を成功とし、フィラメントが垂れて斜めの面に凹凸ができた状態を失敗とする。

出力実験結果を表1に示す。90° は明らかに成功するので、まず 30° と 60° で出力したところ、60° ではおおむね平らな面が得られたのに

表1. L字形の出力実験結果

角度 (°)	結果 (成功:○ 失敗:×)
60.000	○
45.000	○
39.375	○
33.750	○
30.000	×
28.125	×
22.500	×
11.250	×

A discussion about printing supporters for FDM 3D printer

<sup>†</sup>Keitaro Ooshima, Kanazawa Institute of Technology<sup>‡</sup>Ryoko Hayashi, Kanazawa Institute of Technology

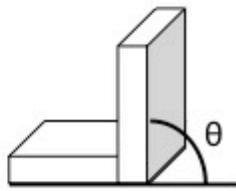


図1. 失敗する条件を明確にするための出力実験で用いた3次元形状



(1) 成功例 ( $\theta = 60.000^\circ$ )      (2) 失敗例 ( $\theta = 11.250^\circ$ )

図2. 3Dプリンタ出力例 (図1の形状を印刷し、見やすくなるよう逆さにしたもの)

対して、 $30^\circ$  では凹凸が見られ、失敗と判定した。以後、2分法で角度を決めていくつかの形状を印刷した。その結果、表1に示すように成功と失敗の境界は  $30^\circ$  付近であることがわかった。

出力例の写真を図2に示す。図2(1)は成功例の一つである  $60^\circ$  での出力結果で、斜面の縁部分は若干丸みを帯びているが斜面はおおむね平面になっている。図2(2)は失敗例の一つである  $11.250^\circ$  での出力結果である。これは明らかな失敗であり、斜面が平面にならず凹凸があつて、フィラメントがほつれたようになっていることがわかる。

次に、自動生成可能なサポート材の形状を検討する。Solidoodle で推奨されている3D出力用ソフトウェア Repetier-Host ではサポート材に波形を鉛直方向に積み重ねた形状を使用しているので、本研究でも同様の形状をまず検討する。波形を数学的に記述する方法の一つが正弦波であるため、正弦波を鉛直方向に積み重ねたサポート材形状が考えられる。正弦波の形状を決めるのは周波数と振幅であるため、出力形状にあわせて周波数と振幅を自動的に決定できればサポート材の自動生成が可能である。

振幅を決定するには、バウンディングボックスと呼ばれる、出力する物体を囲む最小の直方体を考える。バウンディングボックスは最適でないことを許せば出力物体の座標値から自動的

に決定できるため、振幅は自動決定可能である。

サポート材の周波数を決定するには、サポート材相互の適切な間隔を決める必要がある。サポート材の間隔と成功確率およびサポート材の量はトレードオフの関係にあるため、出力実験によって最適な間隔を決定する。サポート材相互の間隔を変化させた出力実験結果を表2に示す。サポート材の厚さは3Dプリンタのノズル口径分をそのまま使い、 $0.35\text{mm}$  とする。表2によると、 $2.5\text{mm}$  以上の間隔では失敗する可能性が高かった。さらなる実験の結果、成功しやすい最大のサポート材間隔は  $2.4\text{mm}$  であることがわかった。そこで、バウンディングボックスの底面深さをサポート材間隔+厚さに相当する  $2.75\text{mm}$  で割れば周波数を自動決定できる。

#### 4. まとめ

本稿ではFDM方式3Dプリンタにおいて中空などの失敗しやすい形状を出力するためのサポート材の検討を行った。様々な角度のL字型3次元物体を3Dプリンタで出力した結果、水平面から  $30^\circ$  程度で立ち上がる物体は失敗しやすいことがわかった。次に、波形のサポート材の自動生成を試みた。出力する物体を囲むバウンディングボックスの底面サイズを使用して、正弦波形状の振幅と周波数の条件を明らかにした。

今後の課題は、自動生成した正弦波形状を出力困難な形状に追加して、3Dプリンタ出力に実際に成功するかどうかを確認することである。また、容易に取り除けるサポート材形状も今後の課題である。

#### 参考文献

- [1] 「自宅ではじめるモノづくり超入門」、水野 操著、ソフトバンククリエイティブ、(2013)。
- [2] Adam Mechtley: “MAYA PYTHON 完全リファレンス”, 株式会社ボーンデジタル, (2013)。

表2. サポート材の最適な間隔を決定するための出力実験結果 (サポート材厚さ  $0.35\text{mm}$ )

サポート材の間隔 (mm)	結果 (成功:○ 失敗:×)
3.5	×
3.0	×
2.5	×
2.0	○
1.5	○
1.0	○