

# 光造形 3D プリンタにおける レジンの混合によるグラデーション表現

村上崇斗<sup>†1</sup> 宮下芳明<sup>†1</sup>

光造形 3D プリンタでの多色表現には、移動する硝子盤やカラーセル方式に動くレジンタンクの使用が提案されている。これらの手法では出力サイズの小ささ、機器の高額さ、出力時間が単色造形時よりも長くなる点が課題として挙げられる。本稿では、安価に大きなサイズの多色造形を実現する方法としてレジンの混合に注目し、グラデーション表現を行うシステムを試作した。作成したプロトタイプシステムでは単色造形と変わらない時間でグラデーションの造形物を出力することが可能になった。

## 1. はじめに

3D プリンタには熱溶解積層法、光造形法、レーザー焼結層法など印刷方式に様々な種類がある。現在、樹脂、金属、コンクリートといった多様な素材を用いた 3D プリントが可能になっている。3D プリンタの種類によって価格帯や、印刷精度、素材に違いがあり、用途や予算に適した印刷方式を選ぶことが重要である。

3D プリンタのなかでも光造形法は比較的安価に入手できる種類でありながら高い造形精度が特徴である。しかし、出力が基本的に単色であり多色表現を実現するためには機器の高額さや出力サイズの小ささが課題である。

本研究では光造形 3D プリンタで安価に大きなサイズの多色造形を実現し、3D プリントによる表現の拡張を目的とする。レジン混合することでグラデーション表現を行う手法を提案し、光造形プリンタでグラデーション表現が行えることが明らかになった (図 1)。



図 1 提案手法による作例

## 2. 関連研究

3D プリンタにおけるマルチカラーの出力には様々なアプローチがされている。

### 2.1 光造形法の 3D プリンタにおける多色表現

#### 2.1.1 硝子盤の移動によるマルチカラー手法

Kowasari ら [1] は硝子盤を移動させ、プラットフォーム下に複数種の素材を持つことによりマルチカラーでの出力を可能にした。素材を異なるものに切り替える際にはエアージェットで造形物についた樹脂を取り除くことにより高速な素材の切り替えを実現している。また、Maruyama ら [2] はこれと同様の手法を用いてマルチカラーを実現したとともに、出力する際にプラットフォームを放射状に動かすことで気泡が入りにくいような手法を提案した。これらの手法ではレジンの切り替え工程や洗浄工程などにより単色造形よりも出力時間が長くなること、出力サイズが数ミリサイズと小さい点が課題である。

#### 2.1.2 カラーセル方式によるマルチカラー手法

Wicker ら [3] はレジンタンクを複数用意し、それらを移動させ樹脂を切り替えることによりマルチカラーを実現した。洗浄機を搭載しており、樹脂の切り替え時に素材が混ざらないようになっている。このシステムでもレジンの切り替えや洗浄工程により単色造形よりも造形時間が長くなる点、機材が高価である点が課題である。

### 2.2 熱溶解積層方式の 3D プリンタにおける多色表現

3D プリンタの中でも最も安価で扱いやすい熱溶解積層方式でも多色造形手法は数多く提案されている。

複数のエクストルーダを搭載することで多色造形が可能な 3D プリンタが発売されている [4]。Takahashi ら [5] はノズルが一つの 3D プリンタでも多色造形を可能にしており、エクストルーダの数に依存しない多色造形を実現した。

また、デュアルフィードエクストルーダにより 2 色のフィラメントを混ぜ合わせて印刷可能なプリンタ [6] が発売されており、マルチカラーでの出力だけでなく造形物の高さに応じたグラデーション表現が可能になっている。上野ら [7] はエクストルーダ内での相溶を利用し、2 種類の素材を掛け合わせた造形手法を提案した。

<sup>†1</sup> 明治大学  
Meiji University

### 3. 提案手法

本稿では、レジン混合グラデーション表現を行う手法を提案する。提案手法を実証するためにプロトタイプシステムを作成した(図2)。本システムはレジンタンクに別の色のレジンを追加する滴下装置と、レジンタンク内のレジンを混ぜ合わせる混合装置で構成されている。

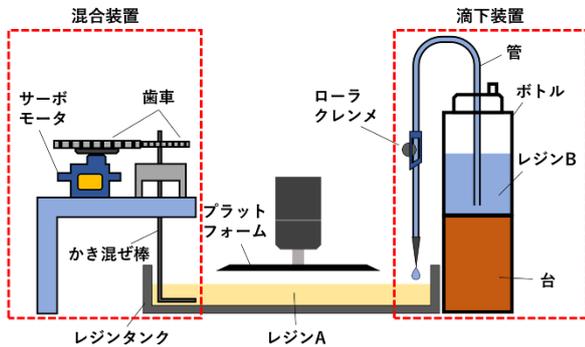


図2 システム概要

#### 3.1 滴下装置

滴下装置はレジンタンク内に別の色のレジンを追加するために使用する。別の色のレジンを追加することでレジンタンク内のレジンの色を変化させることを目的としている。サイフォンの原理によりボトルに入ったレジンがレジンタンクへ滴下される。ローラークレムを使用し、管を圧迫することで滴下量の調整を行う。

#### 3.2 混合装置

滴下装置によるレジンの追加だけではレジンタンク内のレジンが混ざらず、グラデーションでの出力ができないためレジンタンク内のレジンを混ぜる混合装置が必要である。そこでサーボモータを使用して、レジンタンク内のレジンを混ぜる装置を作成した(図3)。本装置はサーボモータを回転させ、かき混ぜ棒を回転させることによりレジンタンク内のレジンを混ぜ合わせる。

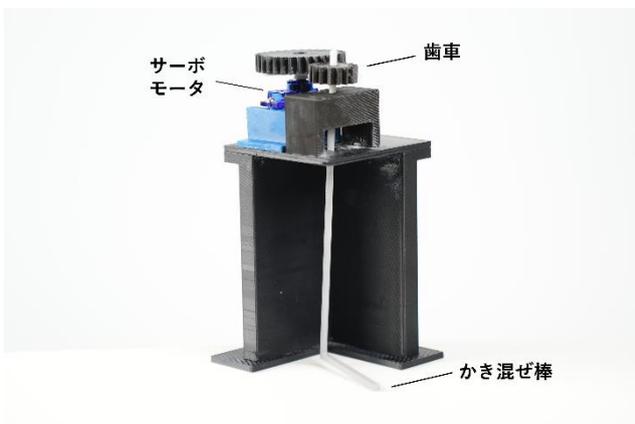


図3 作成した混合装置

### 4. 予備実験

提案システムによってグラデーション造形を行うにあたり、レジンの適切な追加量を検討するための予備実験を手動で行った。

#### 4.1 実験機材

光造形 3D プリンタには Elegoo Saturn[4]を使用し、レジンには SK 本舗の SK 水洗いレジン[5]の透明色と青色の2色を使用した。

#### 4.2 実験手順

本実験ではあらかじめレジンタンク内に透明色のレジンを入れておき、1辺4cmの立方体を生じ出力した。出力をしている際に少しずつ青色のレジンをレジンタンクへ追加し、へらを使い混ぜ合わせることでレジンタンク内のレジンの色を変化させた。出力時には造形物がプラットフォームからはがれないようにするために、ラフトと呼ばれる支えが造形される。出力開始後にはラフトのみの出力が行われるため立方体の部分の出力が開始されたタイミングでレジンの追加を開始した。3分毎に出力を一時停止し、レジンタンクに青色レジンを約0.3g追加し、へらを用いてよく混ぜた後、出力を再開した。これらを繰り返し造形を行った。

#### 4.3 結果

得られた出力物を図4に示す。出力時間は2時間47分であったが一時停止やレジンの追加、混合などの作業時間があったため出力開始から出力完了まで3時間半ほどかかった。元の透明色から青色に徐々にグラデーションがかかっている様子が確認できる。



図4 予備実験で出力した立方体

(左：底面を下にして撮影，右：底面を上にして撮影)

### 5. 造形例

予備実験を基にグラデーションを行うためのレジンの追加量の検討を行い、手動、自動でのグラデーション造形を行った。

#### 5.1.1 手動でのグラデーション造形

レジンタンク内に透明色レジンを200g入れておき球状のモデルを出力した。予備実験時と同様に造形の始めにはラフトが形成されるため、出力が20%完了した時点から青色レジンの追加を開始した。青色レジンを3分につき約1gレジンタンク内に入れ、へらでよく混ぜた。レジンの追加を107回行い、合計100gの青色レジンを追加した。

### 5.1.2 造形結果

造形物（図5）は高さ10cmであり、使用したレジン量は約200gである。



図5 手動で行ったグラデーション出力

### 5.2.1 自動でのグラデーション造形

透明色レジン、緑色レジン2色を使用しグラデーションの出力を行った。レジンタンク内に透明色レジン200g入れておき、滴下装置を用いて緑色レジンを追加した。造形が20%完了した時点から緑色レジンの滴下を開始した。1分につき約0.33gずつ緑色レジンを追加していき、計120gの緑色レジンレジンタンク内に滴下した。

### 5.2.2 造形結果

造形物（図6）の高さは10cmであり、使用したレジン量は約150gである。



図6 自動で行ったグラデーション出力

### 5.3 その他の造形例

これらの造形結果を踏まえ、プロトタイプシステムを使用し複数の造形を行った。図7に示す花瓶は同一モデルを単色、グラデーションでそれぞれ出力した結果である。どちらも出力時間は同じであり、プロトタイプシステムを使用したグラデーション着色プロセスは造形時間に影響を与えないことが示された。図8、図9の造形例より透明色から有色へのグラデーションだけでなく、有色から有色へのグラデーションを行えることも確認された。



図7 花瓶

（左：灰色のみ、右：青から赤へのグラデーション）



図8 風鈴



図9 ペン立て

### 5.4 考察

プロトタイプシステムを使用することで単色造形と同じ時間でグラデーション出力を行うことが可能になった。造形例は角度によって色の見え方が変化している。これは見る位置によって造形物の厚みが変わるからと考えられる。このことから、見る位置によって厚みが変わるモデルの出力にグラデーション出力は有効であると考えられる。

## 6. まとめと展望

本稿では、レジンを混合することでグラデーション表現が可能であることを示した。造形例からはモデルの一部の厚みに変化をつけることで見る場所によって色が変化して見えることが明らかになった。グラデーション表現の実現により、塗装などで再現が難しい表現が可能になり 3D プリンタによる表現拡張が可能になると考えている。今後はグラデーションを活かしたさらなる造形例を検討していく。

## 参考文献

- 1) Kavin Kowsari et al.: High-Efficiency High-Resolution Multimaterial Fabrication for Digital Light Processing-Based Three-Dimensional Printing, 3D Printing and Additive Manufacturing, Vol.5, No.3, pp.185-193 (2018).
- 2) Taiki Maruyama et al.: Multi-material microstereolithography using a palette with multicolor photocurable resins, Optical Materials Express, Vol.10, Issue 10, pp.2522-2532(2020).
- 3) Wicker, Ryan, et al.: Multiple material micro-fabrication: extending stereolithography to tissue engineering and other novel applications, 2004 International Solid Freeform Fabrication Symposium, pp.754-764(2004).
- 4) CREALITY/CR-X Pro  
<https://www.creality.com/products/cr-x-pro-3d-printer>, (参照 2022-07-23)
- 5) Haruki Takahashi et al.: Programmable filament: Printed filaments for multi-material 3D printing, Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp.1209-1221(2020).
- 6) XYZPRINTING/ダヴィンチ Jr. 2.0 Mix 3D プリンタ  
<https://www.xyzprinting.com/ja-JP/product/da-vinci-jr-2-0-mix>, (参照 2022-07-23)
- 7) 上野新葉, 宮下芳明: 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, 第 24 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2016) 論文集, 日本ソフトウェア科学会, pp.309-310(2016).
- 8) ELEGOO /ELEGOO SATURN MSLA 4K 8.9" MONOCHROME LCD RESIN 3D PRINTER  
<https://www.elegoo.com/products/elegoo-saturn-4k-mono-lcd-3d-printer?variant=39783999668272>, (参照 2022-07-23)
- 9) SK 本舗 / 3D プリンター トップ / SK 水洗いレジン  
<https://skhonpo.com/collections/sk-waterwashableresin/products/sk-waterwashableresin?variant=39493986287814>, (参照 2022-07-23)