

3D プリンタ造形物の付加価値を高める

空間充てん構造体の研究（第1報）

藤井 勝敏*

Study on flexible structure object using 3D printer (I)

FUJII Katsutoshi*

当センターで導入した樹脂粉末造形システムの特徴である高精細で高速な造形性能を用いて、複数の弓型を組み合わせて構築した単位形状を連鎖的に配置して、紐や布のような造形物を作成した。これにより、基本形状を連鎖的に配置した形状を設計・製造する手順を確立するとともに、また、このような形状データ表現に適した3MF形式を導入し、配置規則を記述した簡易言語から形状データを出力する変換プログラムを開発した、さらに、残留粉末の除去処理や染色処理など、機能性や保管性等の付加価値向上を試みた。

1. はじめに

CADで設計した三次元形状データを立体物として造形できる3Dプリンタは、ものづくりの分野では、試作品や少数部品の生産を手軽に行う手段として注目され、当センターが導入した歴代の3Dプリンタは県内外の製造業者等に活用されてきた。特に、令和2年度に導入した樹脂粉末造形システムは、ナイロン粉末の上にインクジェット方式で印刷し、加熱溶解して積層する3Dプリンタである。従来のFDM方式とは異なる特徴があり、新たな利用者による利用拡大を推し進めているところである。

本研究は、この新方式の3Dプリンタの性質に注目し、新たな物性や質感をもつ素材を製造する手段として活用する実例を示すことで、新規利用者の獲得を狙う。今回、弓型形状を組み合わせて構築した粒型の単位形状

を定義し、それを多数連鎖的に組み合わせた形状データをプログラミングにより生成の上、3Dプリンタで造形し、紐状や布状の立体造形物(図1)を作成したので、その概要を報告する。

2. 樹脂粉末造形システムの特徴

当センターで導入した樹脂粉末造形システムは、HP社製JetFusion540である(以下、粉末機と呼ぶ)。薄く敷いたナイロン粉末面に断面を印刷してすぐに加熱し、印刷部分を溶解させる動作を繰り返す方式の3Dプリンタである。従来のFDM方式が単一ノズルから粘性の高い樹脂を射出して造形する手順と比べて、造形物の数や大きさに関わらず短時間で高精細に積層できることや、印刷対象外の材料をサポート材として使用し、造形可能空間を効率的に使用できるため、一回のプロセスで多数の形状を出力できる利点がある。

その反面、未使用空間を占める無効材が相当量発生するため、FDM機に比べ運用コストは高くなる傾向がある。また、造形物に付着したナイロン樹脂粉末(図2)を造形後にビーズブラスト機で除去する工程が必要で、FDM機で行っていた溶解液に漬け込む方法に比べると手間がかかる。外部の利用者にはこれらの性質を踏まえ



図1 3Dプリンタによる布状造形物



図2 造形直後の状態



図3 リンクチェーン試作物

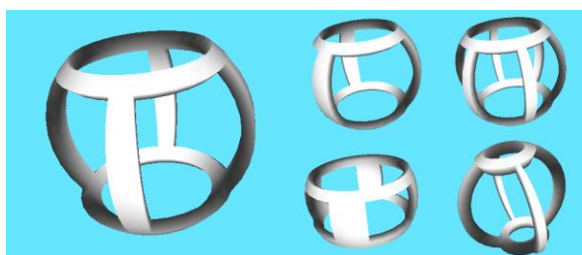


図4 空間充てん構造体のバリエーション

て造形方式の選択肢の一つとして粉末機を勧めているが、いまだにFDM機を使い続けるユーザも多い。

このため、FDM機から粉末機へのユーザ移行を促すのではなく、新たに粉末機のユーザを増やすためには、粉末機の特性を生かした造形事例を示す必要があると考えた。前述のとおり、粉末機には高精細で空間的に自由かつ多数の造形物を一括造形できる優位性があることから、例えば、チェーンのような連鎖形状の小規模試作に適していると考えられる。そこで、当センターの粉末機を活用してこのような製品を設計、試作できるか実際に検証した。

3. 形状データ作成

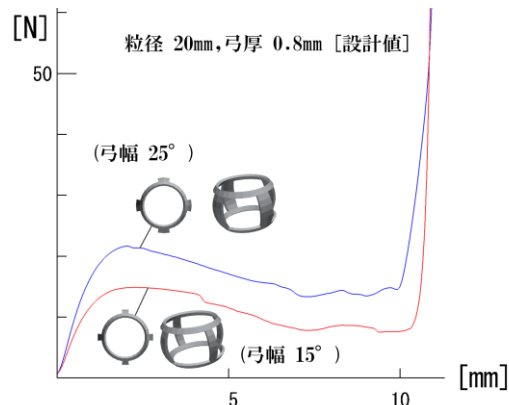
鎖状製品のうち楕円の粒を直線的に繋いだ一般的なリンクチェーン(図3)は、粉末機の導入当時から配布サンプル用に造形してきた。本研究では、空間的自由度をより高度に生かすため、図4に示す粒型の単位形状を空間中で絡み合うように配置する方法を検討する。この粒型形状を本報告では空間充てん構造体(以下、構造体)と呼ぶ。

3.1 空間充てん構造体

この構造体は、上下2個の円環を複数の弓で支持する構造になっており、空間配置時に粒同士を接触、あるいは非接触で絡ませた配置をすることで、可動性がある連結集合体を構築できる基本形状である。弓の本数は任意であるが、接触を避けて空間内に配置するには、3~6本が実用範囲である。弓の幅と太さを調整することで、



(a) 圧縮試験の様子



(b) 圧縮に伴う応力変化の様子

図5 圧縮試験結果

構造体単体の強度と柔軟性を制御できる。例えば損壊しない程度に薄く細く造形すると、外力で変形する弾性域が生じる。粒の大きさは、強度と造形物の扱いやすさを考慮すると、直径10~15mm程度が有効範囲である。

図5は、弓の幅を変えた2種類の構造体を圧縮試験し



図6 緩衝材状造形物



図7 連鎖造形物

表1 形状データ形式別ファイルサイズ比較

構成	単体	紐	帯
粒数	1 個	22 個	1935 個
STL	31 KB	1,341 KB	65,516 KB
3MF	6 KB	7 KB	15 KB
XML	46 KB	53 KB	345 KB



た結果の一例である(エアンドデイ製 MCT-2150)。粒の直径は 20 mm、円環距離は約 12 mm の円環に対して垂直に荷重を与えた。圧縮開始直後から応力が単調増加する弾性変形が続き、その後は座屈や破断が生じ急激に応力が低下する現象が観測できる。座屈や破断が一度発生すると本来の形状に復帰できないが、その手前の弾性変形領域は衝撃吸収等に応用できる。

この目的で使用する場合は、構造体同士を接触させた造形物(図6)を作ると、緩衝材のように全体で大きな外力を受け止めることができる。一方で、接触なく交差により連鎖させた場合(図7)は、一定の形態をとらない構造物ができる。

3. 2 形状データ形式

一般的に 3D プリンタで造形を行う場合、CAD で形状データを実出力するときには STL 形式と呼ばれるファイル形式を使用することが多い。この形式では、造形物の表面を三角形で近似し、その 3 頂点の三次元座標及び三角形の法線ベクトルを羅列するため、含まれる形状の数に比例してデータファイルサイズが大きくなる。

構造体の連鎖形状を STL 形式で格納すると粒数に比

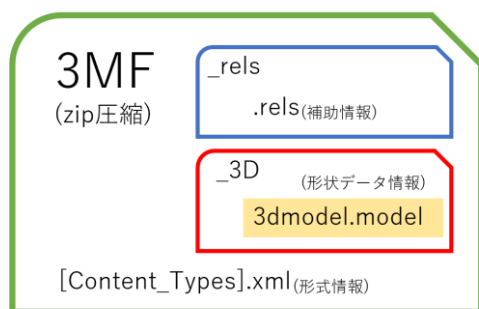


図8 3MF フォルダ構成

例しサイズが増加するが、同じ形状を繰り返し配置する場合、基本形状の定義と座標変換行列の羅列で空間配置を記述する仕様である 3D 製造フォーマット(3MF)²⁾を使うと、効率的に形状データを格納できる。なお、当センターの粉末機は STL だけでなく 3MF も処理することができる。

3MF 形式の形状データは XML 形式のテキストファイル(3dmodel.model)を所定のフォルダ構成(図8)で作成の上、全体を ZIP 圧縮することで作成できる。今回は、構造体の配置規則を記述した簡易言語のテキストファイルから 3MF を出力する変換ツールプログラムを開発した。このツールを用いて生成した形状データのファイルサイズ比較を表1に示す。

4. 付着粉末材料の除去

前述の通り、粉末機で印刷した直後の造形物には大量の粉末樹脂材料が付着している。通常はビーズブラスト機(図9)や金属ブラシ等を使って余分な粉を除去しているが、本研究の構造体は非常に細い部材で構成するため、この方法では破損を避けられない。その上、内側に未使用材を抱えやすい形状をしており、外部からのビーズ照射では除去が難しい。そこで図10に示す電動粉ふるい機を導入し、造形物を振動処理することによって付着材料の除去を試みた。

造形物を電動粉ふるい機で処理したとき、可動性がある連結部分の付着材は構造体同士の摩擦により研磨が進むが、固着している箇所は、そのままでは除去が進まな

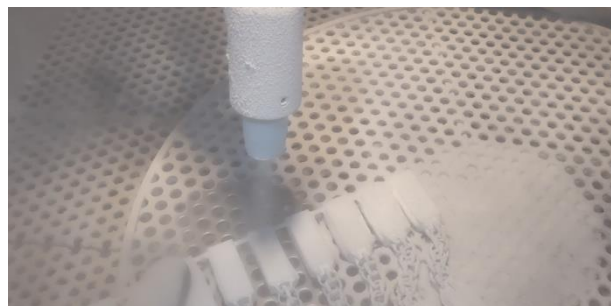


図9 ビーズブラストによる除粉作業



図10 電動粉ふるい機による除粉

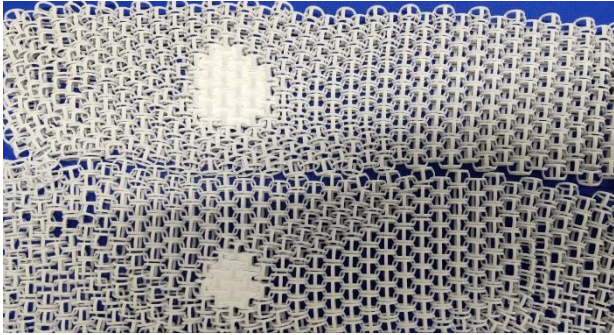


図11 粉末材料の固着(白い部分)

いことがある(図11)。固着箇所の数や場所は不規則であるが、印刷中のローラー圧縮により発生した団塊であり融着したものではないため、今回は固着部分を指で揉みほぐして可動性を確保し自己研磨を促すことで粉末除去に成功した。

5. 染色処理

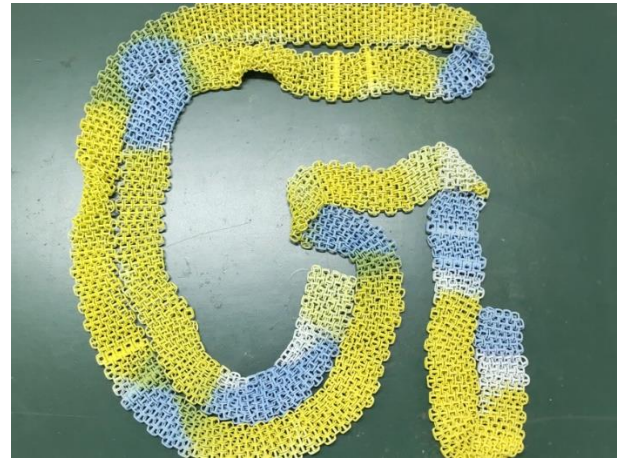
当センターの粉末機はカラー印刷機能を持たないため、造形物は原則としてナイロン材料自体の白色から灰色の仕上がりになるが、利用者の一部から形状だけでなく色彩を重視するニーズが上がっている。特に本研究で製作した布状造形物は、染色することで印象が変化すると期待できる。樹脂粉末材料はナイロン(PA12)であるため、市販の手芸用染料Somarun(藤久製)を使い、造形物の染色処理を試みた。

染色処理は、染料粉末と硫酸ナトリウム(芒硝)の水溶液(2.5%)に造形物を浸し、20分間80℃に保ったのちさらに20分漬け込み、最後に水洗いした。この工程では基本的に造形物全体は単色に染まるが、布に絞り染めなどの技法があるように、漬け方を工夫することで、図12のように模様をつけることもできる。

染色後は多少の色落ちや色移りが発生するが、それよりも造形物表面が擦れ合うことで粉が削れ落ちることが顕著な問題である。そこで、被膜による保護効果を期待して洗濯糊(PVA)水溶液に造形物を浸して乾燥させたところ、一時的に粉落ちを軽減する効果は見られたものの、表面摩擦を改善するまでの効果はなかった。この問題は、試作物の保管や用途の制限に係るため、今後も検討を続ける必要があると考えている。

6. まとめ

樹脂粉末造形システムの特徴を生かし、基本形状を空間上に連鎖的に配置した形状を設計、製造する手順を確立した。本報告では、空間充てん構造体と名付けた基本形状を複数個、連鎖配置した形状データを設計し、布状と紐状の造形物を作成した。また、このような構造の形状データの保存に適した3MFデータフォーマットを導入し、配置情報を記述した簡易言語から形状データを出力する変換プログラムを開発した。



(a) 模様付き染色



(b) 染色作業の様子

図12 造形物の染色

さらに、造形後の処理に電動粉ふり機を活用することで、概ね破損せずに付着材料を除去できることを確認した。また、この造形物を染色や糊付けすることで、機能性、保管性、色彩デザイン性など付加価値の向上を試みたところである。

今後は、本報告で定義した空間充てん構造体バリエーション群を応用して様々な空間配置によって機能性を編み出す研究を進めるとともに、CAD形状との連携、力学的物性の制御などに取り組む予定である。

【謝辞】

本研究の一部は、越山科学技術振興財団の助成金を受けて実施しました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) HP, HP Multi Jet Fusion テクノロジー, <https://jp.ext.hp.com/printers/3d-printers/products/>
- 2) 3MF コンソーシアム, <https://3mf.io/>