

3D プリンタの付加価値を高める空間充てん構造体の研究（第3報）

藤井勝敏*

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

FUJII Katsutoshi*

小さな形状を複数組み合わせた立体構造を効率的に設計し、3D プリンタで造形する試みを通し、本装置の新たな活用方法を研究した。円環と円弧を組み合わせた粒形状を、互いに接触しないよう絡み合わせ、それらを規則的に配置することで、紐、布、泡状の不定形で鎖状の構造物を組上がった状態で造形する技術を改良し、その応用事例として今年度は乳児サイズのマネキン人形を試作した。また粒形状の生成パラメータを工夫することで、従来よりも外力に対する変形幅が大きい構造体を得た。

1 はじめに

3D プリンタは、CAD ソフトなどを使って編集した3D データを実体化する装置であり、切削加工などの従来の造形方法では製造困難な複雑形状を造形できることや、金型を作らずに少量生産可能なことなどが利点であると考えられてきた。当センターでも、熱溶解積層方式や粉末床溶融結合方式の3D プリンタを導入し、研究開発および企業の技術支援に活用している。

本研究は、令和2年度に導入した粉末床溶融結合方式の3D プリンタ Jet Fusion 540(日本 HP 製)の特徴と可能性に注目し、その新たな活用方法を研究している。本報告では、これまでに開発した技術について総括した上で、今年度研究開発した造形技術を中心に報告する。

2 空間充てん構造体

本装置は、粉末樹脂を敷き詰めた上に黒インクで積層断面を印刷し、光で加熱し溶融する繰り返し動作で立体造形する。このとき、造形空間内にいくつ形状を配置しても総造形時間は高さで決まることと、敷き詰めた粉末材料自体がサポート材として機能することから、図1の



図1 空間充てん構造体

ように基本形状を多数配列した構造体（本研究ではこれを「空間充てん構造体」と定義し、以下「構造体」と呼ぶ）を造形する用例が、この方式のプリンタの優位性であると考えた。

このような構造体を3D プリンタで造形する場合、形状データの作り方と、造形後の仕上げ処理方法が課題で、これまでに以下の研究開発を行った。

2.1 形状データ作成

3D プリンタで機械部品を造形する場合、単一形状を設計することが一般的であるが、本研究で扱う構造体は、複数の基本形状を鎖のように互いに絡めた構造である。このため、基本形状は絡み合うための環状部分（円環）と弦状部分（円弧）を併せ持つ立体物になる。本研究では表1に示すパラメータで制御する基本形状バリエーション群を基本形状として、三次元的に配置した形状データを生成するプログラムを開発した¹⁾。

表1 基本形状のパラメータ

名称	作例
弦の数	
弦の幅	
肉厚	
外観	

* 情報技術部

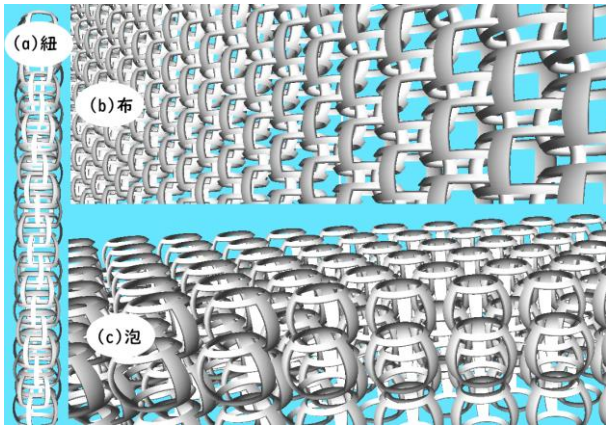


図2 紐、布、泡状構造体と応用例

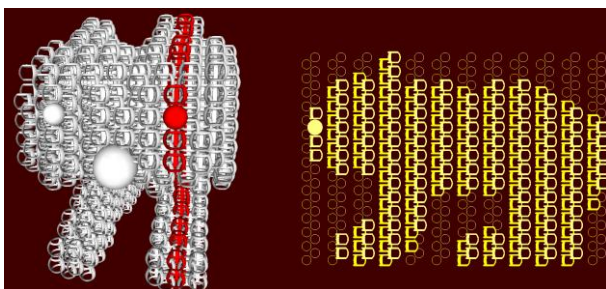
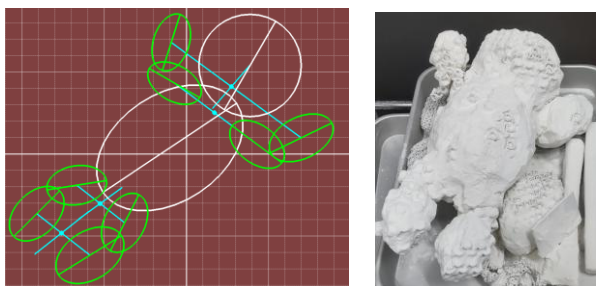


図3 泡状構造体編集ツール

この基本形状を繰り返し空間配置するときは、互いに接触しないように3Dプリンタの造形可能サイズに収める必要がある。配置条件によっては基本形状のパラメータの一部が制限されるが、これまでに図2(a)~(c)に示す紐状、布状、泡状の構造体を設計、試作した。その上で、泡状構造体の一部を除去または置換する方式の編集ツール(図3)を開発し、応用モデルを制作した²⁾。なお、このように同じ形状を繰り返す構造を3Dプリンタに与える際は、従来のSTL形式に代えて3MF形式を利用すると効率的であった。

今年度は、この方式が抱える編集の手間を改善するため、楕円球を基本形状とする編集ツールを開発し、図4(a)の平面図から図4(b)の立体物を出力した。これは泡状構造物が“ふわわり”とした感触に仕上がる特性を活かし、応用例として人形のような形状設計に特化したツールである。平面に配置した楕円の位置関係をもとに、三



(a)設計ツール画面 (b)造形出力直後
図4 人形設計ツールと出力結果



図5 電動ふるい機による除粉

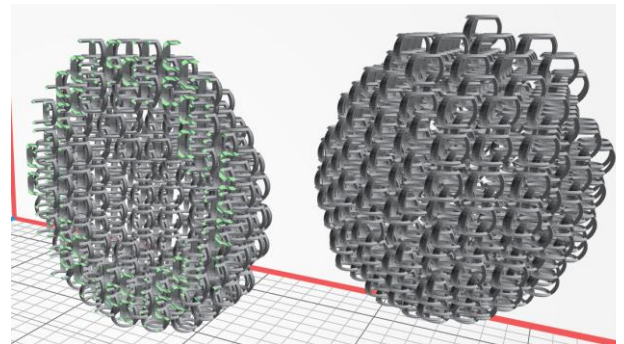


図6 中空化泡状構造体の断面表示

次元的な楕円球配置を計算し、その内部を基本形状で埋めた形状データを出力する。平面図の作図の際に、二つの相似な楕円ペアに左右対称という条件を付与すると、両腕や両足を平面図で配置するだけで自動的に三次元マネキン人形モデルを設計できる。

2.2 造形後の仕上げ処理

粉末床熔融結合方式の3Dプリンタは、材料をローラーで押し固めながら造形が進むため、造形直後は未硬化部分も固く締まった状態にある。通常は造形後に大半が崩れ落ちるが、本研究の構造体では基本形状内に粉末を抱えやすく、特に構造体中心部付近の未硬化材料は容易に崩れない傾向がある。また、基本形状を構成する部材が細いため、通常造形物の仕上げに使うビーズブラスト装置を使って吹き飛ばす方法では、中心に作用する前に破損する恐れがある。そこで、電動ふるい機による除粉(図5)や、構造体の空白部分を縦貫する棒状の捨て材を配置し、中心部分を崩すなどの対策を実施してきた。今年度は、データ作成時点に中心付近の基本形状を除去する改良(中空化、図6)を行ったところ、大型の泡状構造体造形物の除粉が容易になり、より柔らかい感触の形状が得られた。

3 基本形状の拡張

本研究で扱ってきた基本形状は、前述の通り細い弦状の部分が含まれており、それ自体が弾性を発揮する。その集合体や連続配置構造体も柔軟性を継承するため、本装置では、基本形状の設計パラメータを操作

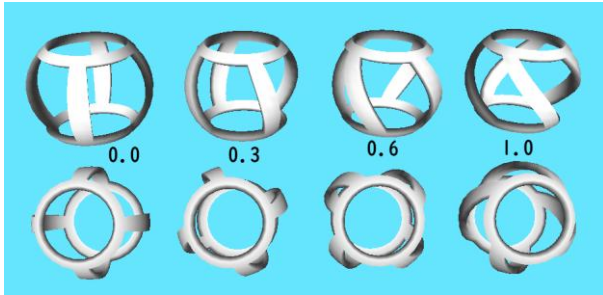


図7 ねじりパラメータ付き基本形状

することで、単一材料での造形物でありながら、部分的に硬さが異なる状態に造形できる。既報では、屈伸を意図する部分の太さパラメータを変化させたときの弾力の変化を示したが、今回は形状生成に新たなパラメータを追加して評価する。

従来の基本形状は、図1に示したとおり2本の円環を複数の円弧支柱で結合する構造で、特に支柱部の形状パラメータが弾性に関係することは容易に想像できる。ここで基本形状の径を保ちながら上下の円環をねじるように回転すると、図7に示す基本形状が得られる。ねじり角度は、円周を弦の本数で割った角度を単位とする符号付き回転パラメータで、これにより変化を付けることもできる。

3.1 圧縮特性

単体の基本形状を圧縮引張試験機(AD-2150)に乗せ、座屈するまで圧縮したときの反力の変化を図8に示す。全体の傾向として、ねじり角度なしと ± 0.5 の試験体では、反力や座屈までの様子に目立った差異はなかったが、 ± 1.0 の試験体では、低反力で深く圧縮され破断した。ねじり方向の左右差はなかった。圧縮が進む際は、ねじり方向が増す方向に接触面が回転する様子も見られた。座屈時の破断箇所は、円環との接合部でも円弧の途中にも現れ、規則性はなかった。

3.2 引張特性

基本形状を鎖状に連ね、破断するまで引き伸ばしたときの張力変化を図9に示す。こちらも、ねじり角なしと $+0.5$ では類似する傾向があるのに比べ、 $+1.0$ は顕著な伸びしろがあった。伸びる過程でねじり角度が減少する方向に回転し、破断は鎖玉のいずれかの円環と円弧の接合部で発生し、同じ鎖玉の破壊が進んで、最終的に分断した。

3.3 複合体の構成

3.1、3.2節より、基本形状にねじりを加えることで、径を変えずに柔軟性を増すことができたが、複数の基本形状を絡み合わせた複合構造体を作る上で、基本形状同士の干渉を避ける配置パラメータを再検討する必要があるが生じた。

引張試験にも用いた基本形状を直線的に並べた紐型の構造体は、直線配置の際に一段ごとに軸周りに加え

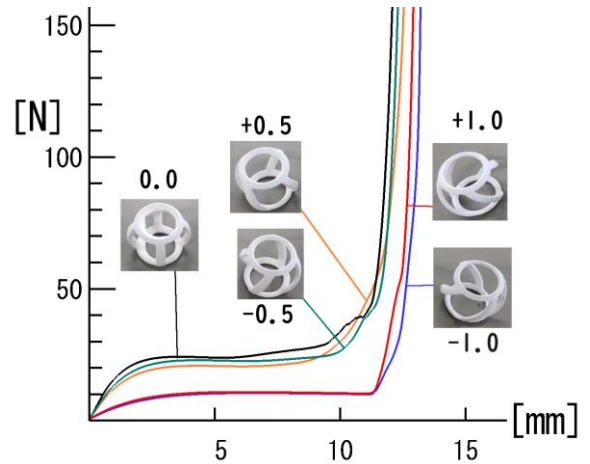


図8 圧縮特性

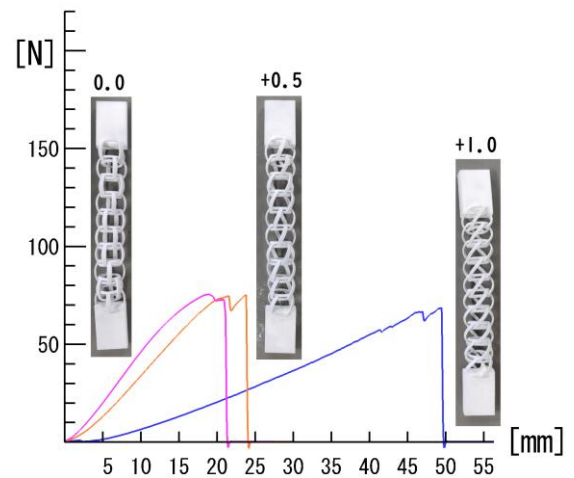


図9 引張特性

る回転角度に、基本形状のねじり角度と基本形状間の距離を考慮して加減調整することで、比較的容易に干渉を回避できる。

平面的に並べた布状構造体は、従来は円弧支柱4本の構造体を図10(a)のように配置していたが、ねじりを加えた支柱の場合、例えば図10(b)のような絡み配置ができる。これを実際に造形した出力結果が図10(c)で、従来の布状構造体と比べて、柔らかい手触りの造形物が得られた。

なお、立体的(泡状)構造体については、ねじり変形を加えた基本形状同士の干渉を避けるのが難しく、期待する配置方法は発見できなかった。

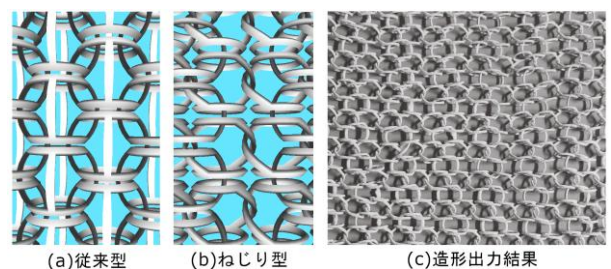


図10 ねじり布状構造体



図 11 「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」 作品例

4 まとめ

本研究は、当センターで導入した新方式 3D プリンタを研究し、その特徴を活かした利用方法を探索するところから始まった。特にインクジェット方式による多数同時、高速高精細の特徴に注目し、主に情報処理技術、3D CG 技術に関する知見を応用して空間充てん構造体と称する複合立体形状を設計、試作を行ってきた。効率的な設計のために、3D プリンタでは一般的な STL ファイルではなく 3MF を導入したことや、基本形状の反復配置を CAD 操作ではなくプログラム処理により行った。さらに、繊細な造形物の仕上げに係り、除粉作業の改善や染色処理にも取り組んだ。

3D プリンタは、入力した 3D 形状データを立体物で得る装置であり、その造形物にどのような価値を見出すかは、当然のことであるが使用目的に依存する。その上で、本研究の対象とした機種は、輪郭が明瞭に印刷される特徴に加えて、形状設計によって伸縮性を制御できることや、染色により色鮮やかな造形物が得られるという付加価値を示した。

最後に、本研究で得られた技術を結集して制作した 3D プリンタ造形物(図 11)を紹介する。これは造形可能な最大サイズである身長約 30 cm の乳児型マネキンを、泡状構造体で構成したものである。この作品を手にとれば誰でも、画面上の写真や映像だけで形状を確認することと、造形物に手で触れて確認する行為との間にある、感覚的な違いが実感できる。その上で、本研究を通して向き合ってきた 3D プリンタ造形物の付加価値について

思考を深め、今後も本装置の新たな活用方法を探索する考えである。

【参考文献】

- 1) 藤井,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.4, pp101-104,2023
- 2) 藤井,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.5, pp112-113,2024