

泡構造 3D プリンティングによる触感と光の同時制御

Simultaneous Control of Tactile and Lights by 3D Printing Foam Structures

中村 亮太¹, 大平 麻以², 田中 浩也³

Ryota NAKAMURA¹, Mai OHIRA², Hiroya TANAKA²

¹慶應義塾大学 総合政策学部, ²慶應義塾大学 環境情報学部, ³慶應義塾大学 環境情報学部

¹Faculty of Policy Management, Keio University, ²Faculty of Environment and Information Studies, Keio University,

³Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

【要約】

本研究では、泡構造と呼ばれる空間充填に優れた主な5種類の構造体(球形、ケルビンの14面体、ボロノイ3D、ウィア=フェラン構造、ウィリアムズの14面体の中から、熱溶解積層型3Dプリンタによる造形が可能な構造体の出力を行い、出力できた構造体の柔らかさの計測を行った。加えて造形途中で構造体内部にLEDライトや吸水ポリマーといった機能性部品の挿入を行い、新たな特性を付与する方法を検討した。これらを組み合わせることで、触感と光を同時に設計する方法を提案する。プロダクトスケールとして3×3×3の泡構造材の製作を行った。これらは新たなプロダクトデザインへの応用として期待される。

キーワード: FFF 3D プリンタ, 泡構造, 触感, 光

【Abstract】

In this study, from among the five main types of structures called foam structures (sphere, Kelvin tetradecahedron, Boronoi 3D, Weaire-Phelan structure, Williams tetradecahedron), which are excellent in space filling, we tried to find which structures could be printed by a FFF 3D printer, and the tactile characteristics such as softness were investigated. We also developed a method to add new characteristics by inserting parts such as LED lights and water-absorbing polymers inside the structure during modeling. By combining these, we will organize methods for controlling tactile sensation and light at the same time, and apply them to new product design.

Keywords: FFF 3D Printer, Foam Structure, Tactile, Light

1. 序論

近年、様々な分野における応用可能性を秘めた構造として泡構造への関心が高まっている。そんな中、泡構造の3Dプリンタによる造形も数多く行われているが、オーバーハング等の制約を踏まえ、その多くが造形制限の少ない光造形3Dプリンタを用いて行われている¹⁻³。他にも、FFF3Dプリンタを用いて泡の造形を行う試み⁴は見られるが、泡構造の、構造の造形をFFF3Dプリンタにより試みた事例はほとんど見られない。そこで今回、FFF3Dプリンタで造形可能な泡構造の種類を明らかにすることを検討した。

また、近年機能性材料や電子部品を内部構造に挿入することで新たな特性を物質に付与する試みは多く行われている。内部構造の充填剤の量やパターンを変えることで機械特性を部分的に制御する研究⁵や、複数の機能性のあるエクストルーダーを取り付けることによって形状に加えて内部に電子基板を埋め込むことができる。⁶Patrick氏らの研究⁷では、3Dプリント物の内部構造に電子基板を挿入し多機能化を図る取り組みが行われており、内部構造に機能を付与する検討は数多く行われている。これらの研究では内部に挿入する部品とモデルの形状を操作することで一体型の造形物にはできない機能特性を持たせることを可能としている。

このような背景を基に本研究では、各ユニットが独立に内部空間を持つ泡構造の幾何学的特徴を応用することで、ユニットごとの内部にLEDライトや吸水ポリマーなどの部品を個別に挿入し、またそのユニットのパターンを変えることでモデル全体に新たな特性を付与する手法を提案する。

その応用先の提案として触覚の可視化体験を提案する。触覚の研究分野の抱える課題の1つに、触感が体験者の中のみで完結してしまい第三者と共有することが難しいことが挙げられる。それを解決する為触感のパラメーター化⁸やセンシング技術を用いたジェスチャー検出技術⁹などの、体験者が体感した触感を外部と共有できる技術が研究されている。しかし触感の可視化に光を用いた例はほぼ見られず研究の余地がある。

そこで今回、我々は上記の手法を用い、光による触覚の表現方法を模索した。

2. 泡構造の設計と出力の検討

泡構造とは、ケルビン14面体、ウィリアムズの14面体、ウィア=フェラン構造などの1種類もしくは1組のパターンだけで空間を充填できる構造体のことを指す。特徴として、優れた空間充填性能とユニットの積み重ねによってモデル形成を行うことが挙げられる。また類似する幾何構造のユニットである球形状と類似する空間

充填手法であるボロノイ 3D 構造も加えた 5 種類を対象に検討を行なった。

5 種類の構造体(球形、ケルビンの 14 面体、ボロノイ 3D、ウィア=フェラン構造、ウィリアムズの 14 面体)のうち、直線のみでモデルの生成が可能であった 4 種類(ボロノイ 3D、球形、ケルビンの 14 面体、ウィア=フェラン構造)の出力を行った。出力には熱溶解積層型の 3D プリンタ(Creality Ender 5)を用い、出力素材は TPU(eSUN TPU)を用いた。

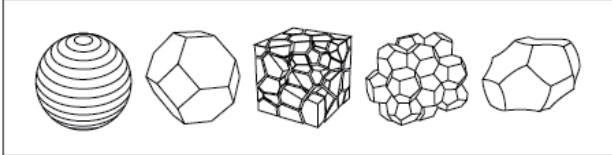


図 1. 主な泡構造 5 種類

2.1. 出力結果

出力試験の結果、サポート材を付けず柔軟性を担保した状態で球形とケルビン 14 面体の 2 種類が出力可能であることがわかった。ボロノイ 3D は支柱の太さを 3mm に太く設定することで柔軟性がない状態ではあるが造形可能であることがわかった。ウィア=フェラン構造はオーバーハングが問題となり、サポート材ありの状態でのみ出力が可能であることがわかった。



図 2. FFF 3D プリンタで出力可能な構造体 2 種

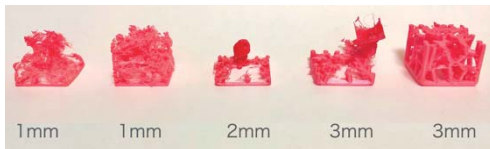


図 3. ボロノイ 3D の出力実験結果



図 4. ウィア=フェラン構造の出力実験結果

3. 試験体作成

FFF 方式で出力可能な球形とケルビン 14 面体と、それぞれの内部に充填剤を加えた機械特性の計測を行うため試験体の設計を行った。

3.1 モデリング

試験片のモデルサイズは、使用する部品が内部に収まる最小サイズ(26.6mm X 26.6mm X 26.6mm)の大きさを基本にした。またモデルの壁の厚さとは、それぞれ造形が可能で最小値を用いた。(球形)壁の厚さ 0.6mm

(Kelvin)壁の厚さ 0.6mm, 柱の太さ 0.8mm。

4.2 構造体と構造内部に入れる既製品の選定

柔軟性を担保した状態で、安定して FFF 3D プリンタで出力が可能だった球形とケルビン 14 面体を構造体として採用した。また構造内部に入れる部品は LED ライト(DiCUNO 5MM LED, Panasonic CR1616 3V)と吸水ポリマー(DAISIO, 虫除けビーズ No.166)を採用した。

4.3 出力

出力には熱溶解積層型の 3D プリンタ(Creality Ender 5)を用い、出力素材は TPU(eSUN TPU)を用いた。また出力はサポート材無しでの出力を行なった。



図 5. モデル出力に用いた 3D プリンタと出力素材

5. 荷重-変位計測

本研究で出力した泡構造のユニットセルであるケルビン 14 面体と球形構造の幾何構造が異なることによって表面の柔らかさの違いや少し押し込んだだけで座屈現象といった機械特性の違いが観察できることから押し込み型試験機を使い荷重-変位の計測を行い構造体の変形について考察を行った。

5.1 計測機器

計測には図 6 に示す測定装置 YAWASA MSES-5012-1-SL (テック技販、京都)を用いた。



図 6 計測に用いた機器

5.2 計測条件

計測には 4 節で出力した 3D プリントされた試験片を用いて行った。標本は定盤の上に乗せられ圧力センサーに球面上のプロープ(20mm)を取り付ける。0.5mm/sec の一定の速度で標本に対して 10N の加重に達するまで荷重をかけ、変位加重曲線を計測した。

5.3. 計測結果

計測結果を図 7,8 に示す。幾何構造を比較すると球形の方が、傾きが小さいことから柔らかいことがわかる。反対にケルビン14面体は傾きが大きいことから球形状に比べて今回の計測条件では硬いことが示された。また球形は座屈現象がわずかな押し込み量でも容易に生じることが計測された曲線が不安定になっていることから観察できる。

球形、ケルビンのそれぞれに座屈現象が見られ、使用した機器では座屈発生後の計測が難しいかった為、座屈が見られる前までの数値をそれぞれ有効とした。

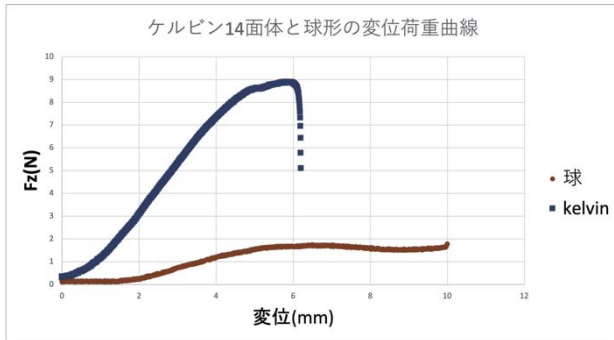


図 7. ケルビン 14 面体と球形の変位荷重曲線

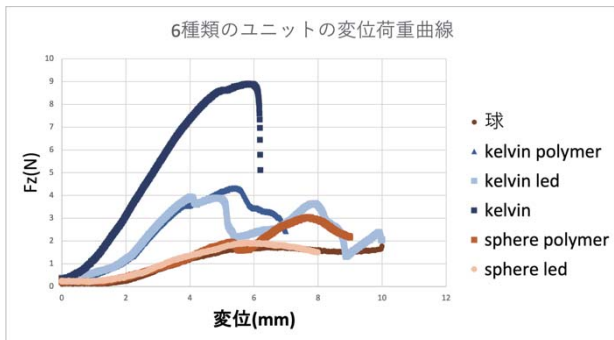


図 8. 種類のユニットの変位荷重曲線

6. 考察

図 7 の結果から、泡構造は構造体の持つ直線の数が増えることで、FFF を用いた造形の場合、より固い特性を持つと推測される。

図 8 からは、内部に挿入する充填剤の種類により泡構造の持つ機能特性が制御可能であることが示唆される。

7. モデル作成

6 節において、泡構造の構造自体に機械特性の違いがあること、またユニット内部に部品を挿入することで新たな機能特性を生むことができることが分かった。このことからユニットを複数つなげることで任意の機械特性をもつ泡構造を組み立てる手法を構築した。

7.1 パターン生成システム

今回、用意した 6 種類のユニットをランダムなパターンで配置しモデルを生成するシステムを、Grasshopper を用いて開発した。

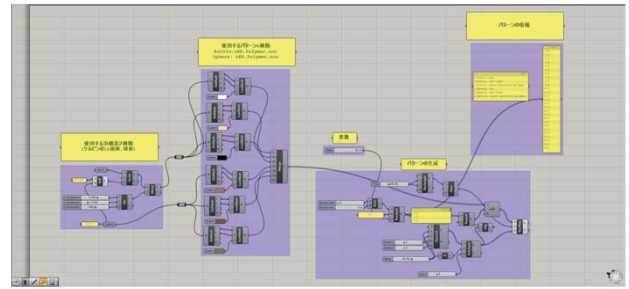


図 9. 作成したパターン生成システム

7.2 モデリング

試験片のモデルサイズは、4.2 で作成したユニットを 3x3x3 に積んだ大きさ(79.8mm X 79.8mm X 79.8mm)を基本にした。

7.3 出力

出力には 4.3 と同様のものを使用した。また 7.1 で生成したパターンの中から、特徴の異なる 3 つのモデルを出力した。

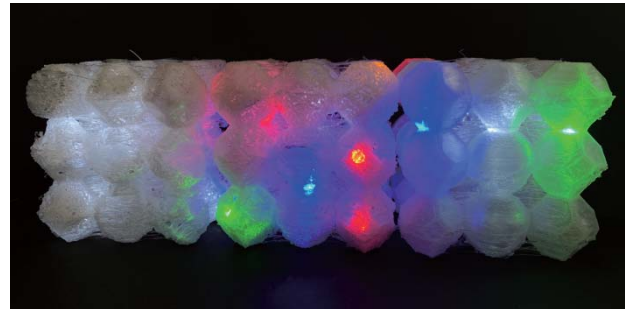


図 10. 今回出力したモデル

8. 感性評価

出力したモデルの感触と光の印象に関する感性計測を、8 人を対象に実施した。

8.1 計測条件

被験者は各モデルを 4 通りの握り方で握り、その感触と光の光量を 10 段階で評価した。また自由記述で光の色について評価を行った。

9. 感性評価結果

計測結果の一部を図 11 に示す。モデル間の感触、光の印象が異なることがわかる。また同一のモデルであっても握り方によって感触に違いがあることが示された。さらに、複数色の光を内部に挿入されたモデルの場合、握り方により感触に加え光の印象も変わることが確認された。

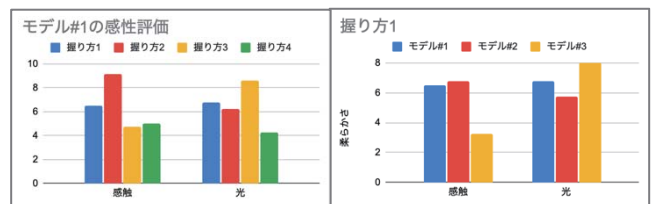


図 11. 感性評価結果の一部

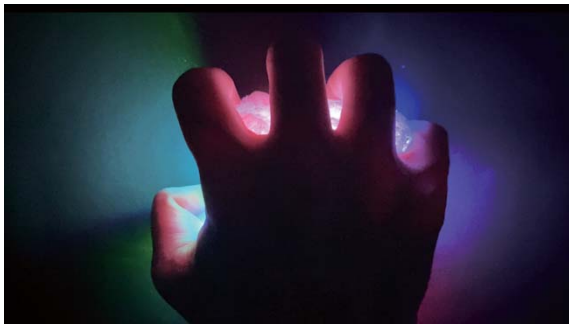


図 12. モデル#2, 握り方 1 の様子



図 13. モデル#2, 握り方 2 の様子

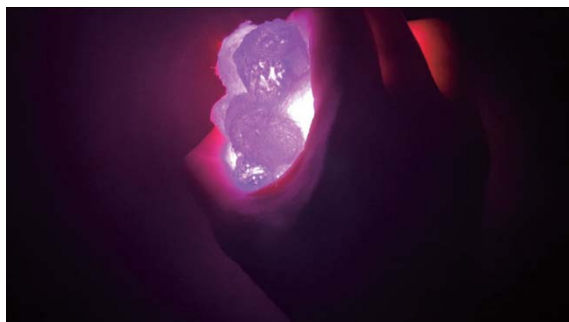


図 14. モデル#2, 握り方 3 の様子



図 15. モデル#2, 握り方 4 の様子

10. 考察

図 11 の結果、そして図 12-14 の様子から、内部に挿入する部品やモデルの柔らかさや光の印象を制御できることが示唆される。

11. 結論

今回の研究では、主な泡構造の中で球形、ケルビン 14 面体の 2 つが FFF 3D プリンタでの出力が可能であることが分かった。また構造体の内部に部品を挿入することで構造体の特性を制御できることが計測により明らかとなった。それらを組み合わせることで任意の特

性を持つモデルが作成できることが明らかとなり、今回の泡構造の 3D プリンティング手法が、感触と光の漏れ出方を同時に制御できるものであると確認できた。

今後、構造体内部に入れるモノとそれによって生まれる特性の可能性、またそれらの組み合わせ方でどのような特性の変化が現れるかを検証し、ライブラリとして活用できるようにデータ蓄積を行ってゆく。

参考文献

1. I.Capasso, B.Liguori, L.Verdolotti, D.Caputo, M.Lavorgna, E.Tervoort, “Process strategy to fabricate a hierarchical porosity gradient in diatomite-based foams by 3D printing” (2020)
2. Jonàs Martínez, Jérémie Dumas, Sylvain Lefebvre, “Procedural Voronoi Foams for Additive Manufacturing” (2016)
3. Xuan Song, Zhuofeng Zhang, Zeyu Chen, Yong Chen, “Porous Structure Fabrication Using a Stereolithography-Based Sugar Foaming Method” (2016)
4. Bonthu Dileep, Mrityunjay Doddamani, “3D Printed Lightweight Composite Foams” (2020)
5. Jonas Zehnder, Espen Knoop, Moritz Baecher, Bernhard Thomaszewski, “MetaSilicone: Design and Fabrication of Composite Silicone with Desired Mechanical Properties” (2017)
6. 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科. 相部範之, 田中浩也. FABRICATOR. 商標登録第 5884872 号. 2018-7-31.
7. Patrick F. Flowers, Christopher Reyes, Shengrong Ye, Myung Jun Kim, Benjamin J. Wiley, “3D printing electronic components and circuits with conductive thermoplastic filament” (2017)
8. 藤吉賢, RFID タグを用いたものと情報をつなぐパーソナル・ファブ리케이션. 慶應義塾大学, 2014, 学士 論文
9. 国立大学法人広島大学. 栗田雄一, 辻敏夫, 荒剛, “触覚評価方法および触覚評価システム. 2018-004585. 2018-1-11.
9. “A Deformable Sensor for Multimodal Inputs Based on Conductive Foam with a Single Wire” (2021)