

要旨

多孔質構造は様々な分野での活躍が期待されている。こういった形状の設計・製造は困難である。実用的な多孔質構造は様々な外形を持ち、かつランダムに配置された気孔で構成される。その上気孔率の制御も必要である。本研究では多孔質構造作成システムと市販の CAD システムの統合により、より実用的な多孔質構造の設計を行う手法を考案した。この手法を用いて設計された構造を 3D プリンタによってより短時間で作製することに成功した。

1. はじめに

複雑な形状を実現するためアディティブマニュファクチャリングは有効である。複雑な形状の一つとして多孔質構造があげられる。多孔質構造は医療工学や材料工学の面から数多く研究されている。多孔質構造を設計する際に用いられる一般的な手法を図 1 に示す<sup>2)</sup>。図 1(a)の通りまずユニットセルと呼ばれる形状を設定する。その後図 1(b)に示す通りユニットセルを複製することで多孔質構造の設計図を得る。図 1(c)に示す通りその設計図の CAD データを 3D プリンタに入力し印刷することで多孔質構造を作成する。

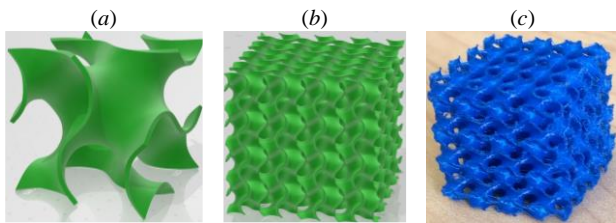


図 1 従来の多孔質構造作製

一方ユニットセルを用いた多孔質構造の作製には様々な技術的問題点がある。図 2 にそのいくつかの問題を示す。

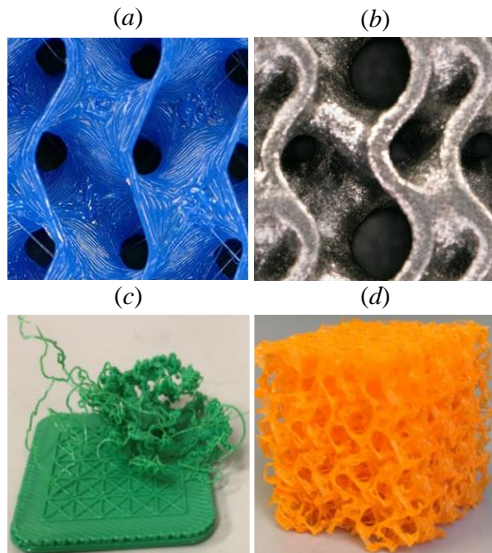


図 2 多孔質構造作製のユニットセル手法における問題点

図 2(a)は図 1(b)モデルの表面拡大であるが表面が滑らかでなく、表面処理が必要である。図 2(b) は金属で製造した場合であるが金属で印刷する場合は壁に厚さを持たせなければならない、再設計の必要がある。図 2(c) は直線型のユニットセル利用し設計したモデルを印刷したもので、サポート無しで印刷することができないものである。図 2(d) は直線と曲線が混在したモデルであるがそれ故に、材料を出すノズルの移動ルートが複雑になり、印刷不可だったと考え

られる。そのほかにも問題点がある。例えば気孔の配置や大きさが規則性を持つが実際の多孔質構造においては気孔の配置や大きさはランダムである。

そのため配置や大きさ、気孔率を調節することができ、製造に問題のない手法を考案する必要がある。本研究では上記に示した問題を解決し、多孔質構造の設計法を考案し、設計された多孔質構造を製造することによって、その有効性を示す。

2. 方法論

図 3 に本研究で開発した多孔質構造の作製手順を示す。この手順は先行研究から改良したものである<sup>3)</sup>。今回の手順は 8 つのステップで構成される。ステップ 1 では角柱型の外形を用意する(図 3(a))。ステップ 2 ではステップ 1 で用意された外形の STL データを作成する(図 3(b))。ステップ 3 ではステップ 2 で用意した STL データを任意の大きさに分割する(図 3(c))。ステップ 4 ではステップ 3 の STL データの分割を考慮した気孔をランダムに作成する(図 3(d))。それによりステップ 5 では気孔のある STL データが用意される(図 3(e))。ステップ 6 ではステップ 5 の外形を整える。ステップ 6 までを繰り返し多孔質構造片を任意の枚数だけ用意する。ステップ 7 では用意された複数の STL データを重ねることによって多孔質構造のモデルを完成する(図 3(g))。ステップ 8 ではステップ 7 で完成された多孔質構造モデルの STL データを用意し、3D プリンティングシステムを用いて多孔質構造を作製する(図 3(h))。図 3 に一つの外形の事例を示しており実際はユーザーの好みによってさまざまな外形を持つ多孔質構造を作製することができる。詳細は結果のほうに述べる。

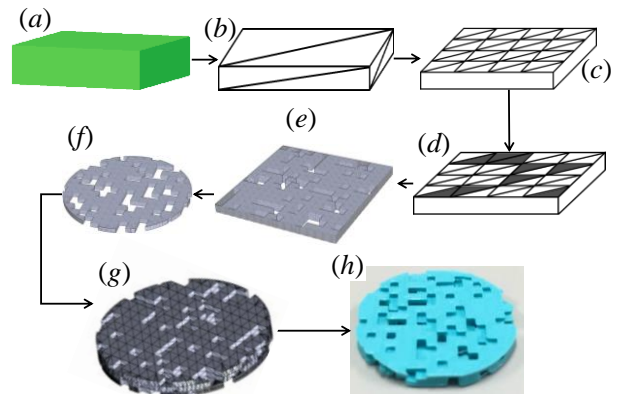


図 3 本研究において開発した多孔質構造作製手順

3. 結果

上記に述べた手順を実行し、複数の多孔質構造を作製した。こういう実験から以下のことが明らかになった。1 つ目は様々な外形に対応できるかどうか。2 つ目は気孔率の変更により設計及び製造に問題が生じるかどうか。最後に製作時間はどのように変化するか、あるいは外形は製作時間に影響するかどうか。

一つ目の外形について図 4 で示す。図 4(a)と図 3(e)は同

じ段階である。こちらを市販のソフトを使用してブル演算を行うことによって成形したものが図 4(b)–(d)であり、後者はこの手法の設計段階において様々な形を作り出すことに成功したことを表している。図 4(b)は円形に、図 4(c)は正五角形に、図 4(d)は正三角形に、図 4(e)は五芒星型にそれぞれ切り取った形であり、どれも同じ位置に同じ形の気孔が存在する。

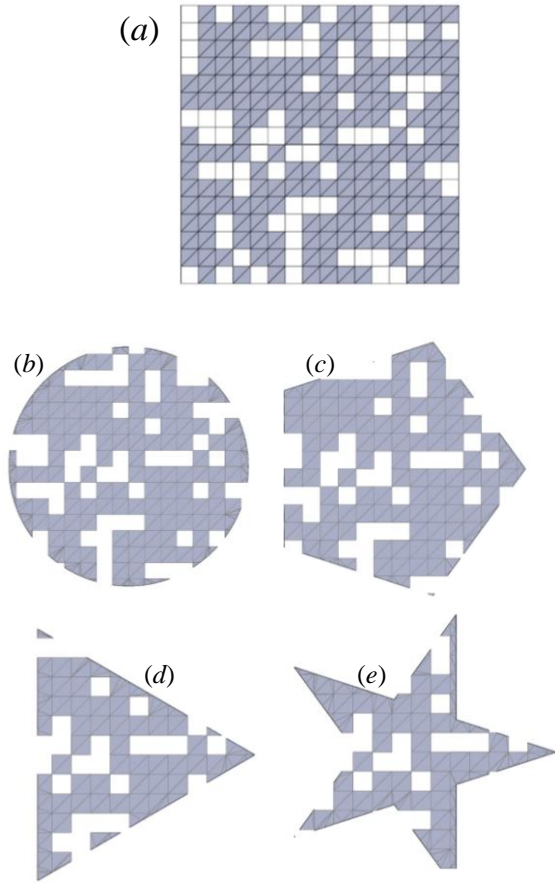


図 4 様々な多孔質構造片

Loose shell や thin wall などが発生するのでそれらの除去作業が必要になる。特に図 4(d)の上部に Loose Shell を確認することができる。

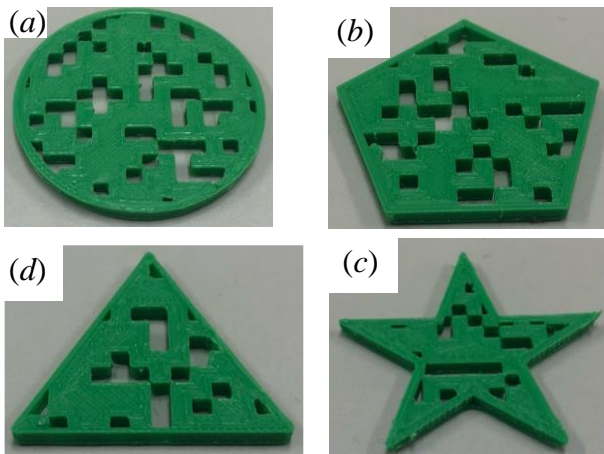


図 5 同じ気孔率、様々な外形の印刷物

図 5 はこの手法で実際に多孔質構造片を印刷したものである。(a)–(d) はそれぞれ円形、正三角形、正五角形、五芒星型を表している。ここから本研究で開発したシステムが様々な外形に対応できていることがわかる。製造時間に関して、設計においては複雑な五芒星に手間がかかり時間も伸びた。印刷においては材料の量に印刷時間が作用され、すべて 2 mm の厚さで印刷する場合、円形が 40 分で最長となり、正五角形が 29 分、五芒星型は 24 分、最短は正三角形で 17 分となった。材料の質量を見てみるとそれぞれ 5.2g、4.0g、2.7g、2.3g となっており印刷時間は材料の量に比例していることがわかる。

図 6 は気孔の大きさの違いを表した実際に作製したものである。(a)–(d)は気孔の大きさを大きいほうから順に並べている。尚、気孔のサイズは図 3(c)の工程で分割する際の分割数で決まる。分割数 1 の時は図 3(a)の広い面を「田」の字に分割し、分割数 2 はさらにその「田」の正方形一つ一つを同様に分割する仕組みになっている。図 4(a)は分割数が 4 なので 2 の 4 乗で 16 区切りになっている。製造時間に関して、気孔サイズを細かくするほど市販のソフトでのエラーが多く、時間がかかる場合があった。印刷時間に関しては気孔サイズの大きいほうから 13 分、15 分、17 分、24 分となり気孔サイズが細かいものに時間が掛かった。

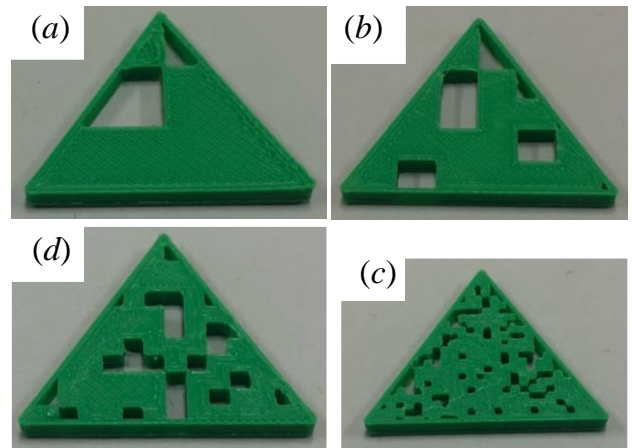


図 6 同じ外形、4 段階の分割数

#### 4. まとめ

本研究によりランダムな配置の気孔を持ち、気孔率の調整された様々な外形を持つ多孔質構造物を 3D プリントにより短時間で印刷する手法が開発された。また多孔質構造作製ソフトや市販のソフトにおいて未解決のエラーや 3D プリント上でのトラブル等は残ってはいるが、この技術を用いて医療工学、材料工学などの様々な学問に取り入れられることを期待し、それらの発展へ貢献できることを願う。

#### 5. 参考文献

1. A.M.M.S. Ullah, H. Kiuno, A. Kubo, D. M. D'Addona. A system for designing and 3D printing of porous structures. *CIRP Annals*, 69(1), pp. 113–116, 2020.
2. Y. Seto, AMMS Ullah, A. Kubo, D. M. D'Addona, R. Teti. On the Porous Structuring using Unit Cells. *Procedia CIRP*, 99, pp. 381–386, 2021.
3. 脊戸 勇輔, 裡 しゃりふ, 久保 明彦. アディティブマニファクチャリングに有効的な多孔質構造の作成システムの開発, 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会 2022 講演論文集, 22(6), pp. 89–94, 2022.