

# トポロジー最適化と金属 3D プリントを用いた ポーラス材料の設計・製造

## 1. はじめに

近年、工業製品におけるポーラス(多孔質)金属材料の活用が盛んに行われている。たとえば、人工骨に局所的な衝撃吸収能や剛性を与えたり、熱交換器コア部分の表面積の増大等が挙げられる。このようなポーラス材料の生成は、溶融した金属中に水素化チタン等の発泡剤を混合し、発生したガスを含んだ状態で凝固させる溶湯発泡法などにより行われる。そのため、ポーラス材料の性能はそのマイクロ構造に大きく依存するにもかかわらず、人工的に構造特性を制御して設計・製造することは困難であり、設計・製造方法の確立が課題となっている。

他方、高い自由度で優れた設計案を導出可能なトポロジー最適化という技術がある。このトポロジー最適化を用いてポーラス材料のマイクロ構造を設計する試みは以前よりなされており、高剛性、高熱伝導率、あるいは自然界に存在しない負のポアソン比を持つ材料等の最適マイクロ構造が導出されている。しかし、先に述べたように、設計案に忠実な製造が困難なため、いまだ実用化には至っていない。

近年、複雑形状にも対応可能な極めて自由度の高い製造手法として、三次元積層造形機(3Dプリンタ)が注目を集めている。とくに、近年の技術進歩により、チタンや銅、アルミといった金属材料においても0.05 mm程度の精度で造形が可能になった。そこで著者らの研究グループは、トポロジー最適化でポーラス材料のマイクロ構造を設計し、それを金属3Dプリンタで忠実に造形して、最適な性能を持つポーラス金属材料を実現するという取り組みを行っている。

## 2. トポロジー最適化と均質化法を用いた材料設計

トポロジー最適化では対象構造の最適化問題を、ある空間における材料配置問題と考える。そのため、穴の数も含めた抜本的な最適化が可能である。ただし、実際の数値計算では仮想的な

材料密度を考え、密度の濃い部分は材料あり、薄い部分は材料なしと近似的に扱う。

また、あるユニットセル形状があるとき、それを周期的に配置して構成したポーラス材料のマクロ物性値は均質化法で計算することができる。

以上二つを組み合わせ、設計対象の空間に対して均質化法による計算を行い、マクロ物性値を求めつつ、その物性値の最大化または最小化、あるいは指定した値を目指してトポロジー最適化を行うことで、設計者の意図した性能を有するポーラス材料のユニットセル形状が得られる。そして、そのユニットセルを適当な大きさとで周期配置すれば、ポーラス材料モデルが完成する。

## 3. 金属三次元積層造形装置(3Dプリンタ)での造形

金属積層造形装置とは、レーザや電子ビームにより、金属粉末を層ごとに選択的に溶融・凝固させ、積層させて三次元形状を造形する。そのため、造形の形状自由度が極めて高い。ただし、造形の自由度が高いとはいえ、装置や材料にもよるが、造形物の最小厚さや許容角度等に制約があり、それに違反するモデルは造形できない。また、内部の粉末を造形後に除去するため、ポーラス材料は空孔が互いに接続したオープンセル構造である必要がある。

3Dプリンタ用の汎用三次元データはSTL(Standard Triangulated Language)と呼ばれる形式であり、トポロジー最適化で得られた密度分布に対してアイソサーフェスを作成し、その形状をSTLファイルとして出力する。

## 4. 造形例

簡単な最適化と造形例を紹介する。

図1(a)に示すのは、ユニットセルに等方性を持たせつつ、気孔率70%で体積弾性率を最大化した例である。なお、この研究は東北大学金属材料研究所の小泉雄一郎准教授との共同研究である。図2(a)に示すのは同様にユニットセルに等方性を仮定し、気孔

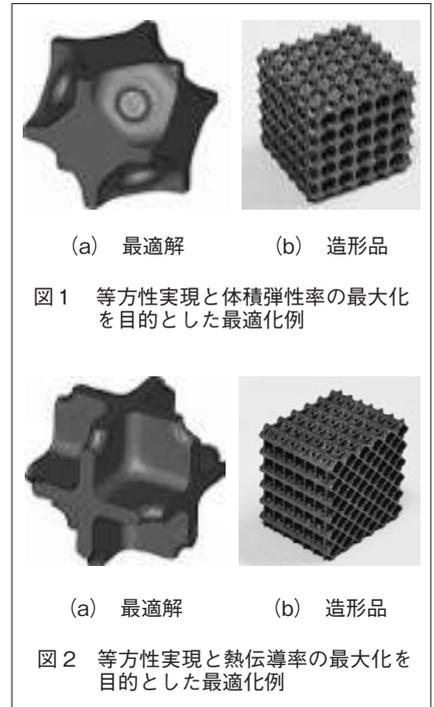


図1 等方性実現と体積弾性率の最大化を目的とした最適化例

図2 等方性実現と熱伝導率の最大化を目的とした最適化例

率70%で熱伝導率を最大化した例である。なお、この研究は名古屋大学大学院工学研究科の小橋眞教授との共同研究である。いずれも、最適解は当初クローズドセル構造で得られたため、強制的に粉抜き穴を空けて最適化を実施した。

なお、ある気孔率における、ポーラス材料の理論的な物性値の限界値はHashin-Strinkmanの材料物性値境界式より求めることができる。今回の最適化では、シミュレーション上で、その限界値に対して体積弾性率では約83%、熱伝導率では約97%を達成した。

これらの最適解を材料に純チタンを用い、EOS社のEOSINT M280で造形したのが図1(b)、図2(b)である。今後はこれらの構造に対して実験検証を行っていく予定である。

〔謝辞〕

本文中に記載させていただいた共同研究者の皆様および造形に関しましてご助言をいただきました、大阪府立産業技術総合研究所の中本貴之主任研究員、木村貴広研究員に御礼申し上げます。

(原稿受付 2014年8月29日)

〔竹澤晃弘 広島大学〕