

金属3Dプリンタによる部品の高機能化

機械金属部 ○高野昌宏 吉田勇太 宮川広康 谷内大世
企画指導部 前川満良

1. 目的

金属3Dプリンタは迅速な試作製造装置としての活用に加えて、実部品を直接製造する生産装置としての活用が期待されている。この金属3Dプリンタは粉末を材料として層を形成し積層して造形する付加加工であるため、複雑な形状を比較的容易に造形できる点が最大の特徴となっている。そのため、一般的な加工法である除去加工では実現できなかった内部に複雑な冷却水管を持つ金型や構造部品の軽量化など、部品のさらなる高機能化のための活用が期待されている。一方、金属3Dプリンタでしか作製できない構造としてラティス（格子）構造が注目されているが、部品への適用には高度な設計が必要である。

そこで本研究では、ラティス構造を部品の一部に用いる設計手法を構築し、実部品への適用により部品高機能化への効果について検証した。

2. 内容

2.1 ラティス（格子）構造

図1に示すような3次元格子が連続的に配置されている構造は、ラティス構造と呼ばれている。このラティス構造は、1個の格子形状のピッチや線径を変更することで、材料の体積や表面積を自由に調整することができる。したがって、求める機能に応じて最適なラティス構造を決定する必要がある、その設計方法の確立が重要である。

1個の格子形状

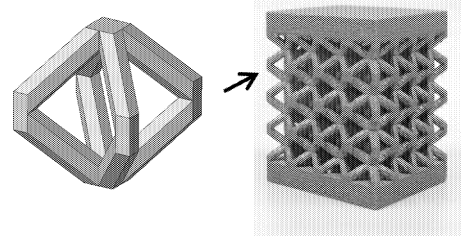


図1 ラティス構造

2.2 金型冷却性能の向上への適用

通常空洞となる冷却水管内部をラティス構造とすることで、冷却性能の向上を試みた。図2にラティス水管の概要図を示す。ラティス水管では、冷却媒体と接する表面積を大きくすることができ、また剛性がある程度確保されるため、より大きく、部品表面まで水管の形成が可能である。本研究では、冷却性能の向上に適したラティス構造を明らかにするため、格子ピッチと線径のアスペクト比が異なる3種類の形状について、それぞれ格子ピッチを変化させた場合のラティス水管の熱交換量をシミュレーションと実験により調べた。

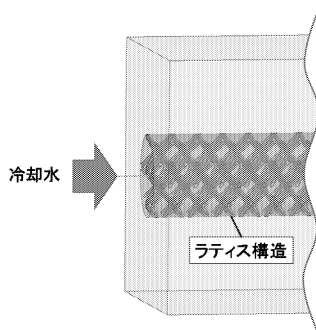


図2 ラティス水管

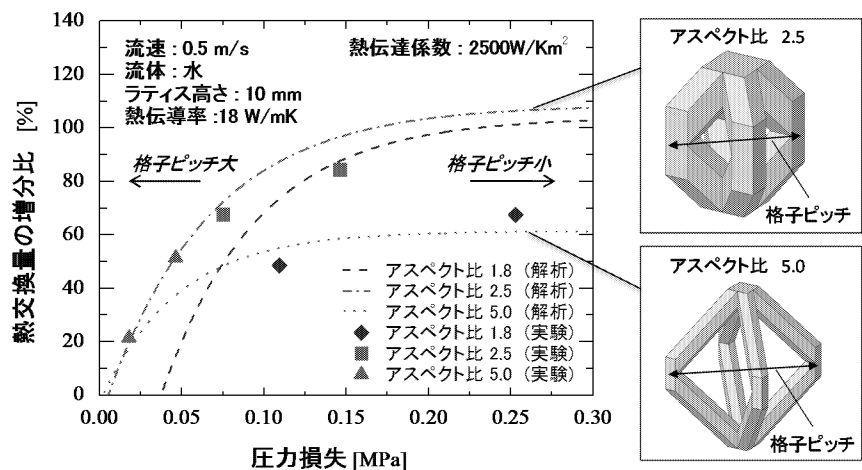


図3 ラティス水管の熱交換量の増加割合

図 3 にラティス水管の熱交換量の増分比（ラティスが無いものは0）と配管の圧力損失（流体抵抗）との関係を示す。同図のプロットが実験結果であり，曲線がシミュレーション結果である。同図に示すようにアスペクト比が 2.5 のラティス形状が全体的にその他の形状よりも熱交換量が大きい結果となった。また，格子ピッチを小さくすることで熱交換量は増加するが，それに伴い圧力損失も増加した。したがって，ラティス構造を決定する際には，アスペクト比を 2.5 とし，その格子ピッチは，ポンプ能力や水管全体の長さ等から圧力損失を考慮して決定する必要がある。

以上の結果をもとに，図 4 に示すようにラティス水管を有する射出成形金型を設計，製作し，熱交換量を調べた。内部が空洞の通常水管を最適に配置した金型に比べて熱交換量は 50%以上増加した。

2.3 工具の動剛性向上への適用

軽量，高剛性化が必要な部品である中ぐり工具（ボーリングバー）を対象にラティス構造の適用を試みた。ここでは，シミュレーションを繰り返しながら最適な形状を導出するトポロジー最適化と呼ばれる手法によって工具構造を設計した。トポロジー最適化とは，設定した設計空間の中で最適な材料の相対密度分布を求める手法であり，得られる最適形状の自由度が最も大きく，金属 3Dプリンタに適した手法である。最適化では固有振動数の最大化と切削負荷によるひずみエネルギーの最小化を目的関数とした。図 5 にトポロジー最適化で得られた中ぐり工具の密度分布の一例を示す。本研究では，得られた相対密度分布において，0.2~0.8 の領域をラティス構造に置き換え，0.8 以上の領域を中実構造とし，金属 3Dプリンタで作製した（0.2 以下は空洞）。作製した中ぐり工具を図 6 に示す。振動試験により固有振動数を測定した結果，通常の中ぐり工具と比べて動剛性は 50%以上向上した。

3. 結果

本研究では，金属 3Dプリンタで造形が可能なラティス構造を用いて，部品を高機能化する設計手法の構築，及びその効果について検証を行った。得られた結果を以下に示す。

- (1) 格子ピッチ/線形のアスペクト比として約 2.5 のラティス構造が冷却性能に優れている。
- (2) ラティス水管を持つ射出成形金型を試作した結果，熱交換量は 50%以上向上した。
- (3) 動剛性の向上を目的にトポロジー最適化手法を用いてラティス構造を有する中ぐり工具を設計して試作した。その結果，従来の中実構造と比べて動剛性は 50%以上向上した。

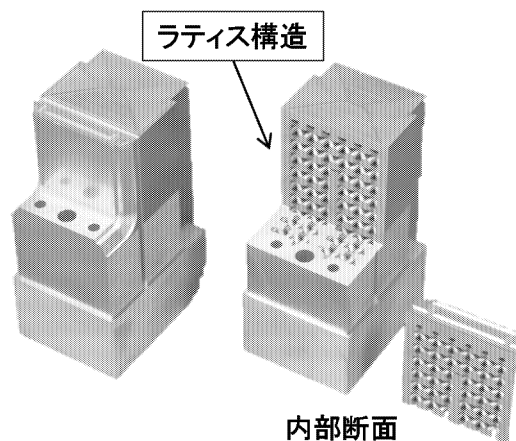


図 4 ラティス金型の写真

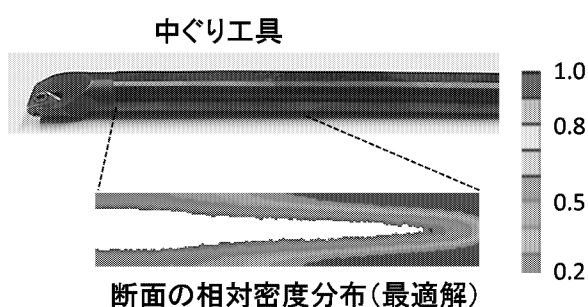


図 5 最適化した密度分布の一例



図 6 高剛性中ぐり工具