

論文審査の結果の要旨

氏名 鈴木 博祐

本論文は、「連続的内部構造変調による機能構造体の光造形 (Data processing of stereolithography for functional materials with continuously modulated internal structure)」と題した実験研究を7章からなる和文で記述したものである。1章と2章で序論と付加加工 (AM: Additive Manufacturing) 技術の研究背景、3-5章でAM技術に関する課題、提案とその内容、6章で実験結果について述べ、7章で総括をした。

近年、3Dプリンタあるいは光造形の技術の発展が著しい。この加工技術は、加工の分類の中の付加加工 (AM) に属し、変形加工や除去加工など区別される。制御性の高い光造形AM技術を活用すれば、従来の加工技術では実現困難であった、複雑かつ微細な内部構造を持つ構造体を形成することができ、優れたマクロな物理機能を発現させることが可能になる。例えば、骨や樹木は、 10^3 以上の高い微細度 (内部構造に対する外形サイズのスケール比) の内部構造を持ち、軽量性と剛性あるいは柔軟性を得ている。AM技術を用いて、骨のように複雑かつ微細な内部構造を制御し、中実構造では実現できない優れた機能をもつ構造体を形成する新しい技術への可能性に期待が高まっている。(1-2章)

確かにAM技術発展によって造形の自由度は原理的に著しく拡大したのだが、現状、大きな自由度を活かした造形が実現されているとは言えない。というのも、大きな自由度の構造、特に 10^3 以上の微細度をもつ3Dマルチスケール構造は、構造表現データが指数関数的に肥大化するからである。これに伴って、AM面加工で層ごとの付加加工のための2Dスライス演算や、作成した2Dスライスデータ群も膨大になる。さらに、機能構造体を持つ性能を構造データからシミュレート・最適化するための計算量も肥大化する。これらの課題を解決する新しいデータ表現とAM加工用データ処理を考案し、極めて少ないデータ量、計算コストで、マルチスケール機能構造体のAM造形を実現することが本研究の目的である。(3章)

本研究では、 10^3 以上の微細度をもつ3Dマルチスケール構造に対して、パラメトリックジャイロイド陰関数曲面のように、少ないパラメータで疎密構造を表現できる適切な関数で陰関数表現を行い、少ないデータ量で高微細度の3Dマルチスケール構造を表現する方法を提案した。面加工のためのスライシング処理についても、加工時にリアルタイム・スライシング計算を行うスライサーを開発・導入し、膨大な2Dスライスデータの蓄積を回避して、マルチスケール構造のAM加工を実践する方法を提案した。陰関数表現を用いた表現方法は、モルフィングによる複数3Dマルチスケール構造の連続的接続を可能にするため、領域接続を行った高次構造の表現・設計に有力である。(4-5章)

提案したデータ表現法をソフトウェアに導入し、開発したスライサーを組み込み、光造形を行う 3D プリンタの制御システムを開発した。これを用いて、実際に、軽量・高剛性・高緩衝性を有する橋梁を模したモデル機能構造体を設計し、3D プリンタで光造形した。作製された機能構造体の剛性評価実験を行ったところ、中実構造よりも、質量当たりの剛性が高い構造が実際に得られたことが検証された。以上により、提案の有用性が実証でき、当初の目的が達成された。(6章)

以上、本論文の内容は、 10^3 以上の高い微細度をもつ 3D 機能構造体、例えば骨のように連続的な外形変形をしながら、空隙率、空孔径、構造の異方性などの内部構造を高い自由度で制御した構造体を、付加加工法で造形することを初めて可能としたものであり、材料や加工の工学・科学に大きな進展をもたらすものである。また、本研究で構築した高い自由度の構造のデータ表現・処理・最適化の手法は、物理学における変分法・有限要素法計算・量子力学的状態計算における基底関数を選択した表現・近似・物理量計算・最適化などの手法・問題と類似性が高く、物理学の学理を 3D 加工の基礎学術として展開したと見ることができ、科学・学術的な意義も大きい。以上より、本論文の内容は、博士論文として十分評価に値すると判断された。

本論文の研究内容は指導教員らとの共同研究であるが、研究の着想・計画と遂行、結果の分析など、研究の大部分は論文提出者が主体となって行ったものと判断される。

よって、論文審査委員会は全員一致で博士(理学)の学位を授与できると認めた。