

氏名	XIAOYANG ZHENG			
学位の種類	博士(工学)			
学位記番号	博 甲 第 10767 号			
学位授与年月日	令和5年3月24日			
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当			
審査学術院	理工情報生命学術院			
学位論文題目	Computational Design and Fabrication of Mechanical Metamaterials (メカニカル・メタマテリアルの計算設計と造形)			
主査	筑波大学 教授(連係大学院)	博士(工学)	内藤 昌信	
副査	筑波大学 准教授(連係大学院)	博士(工学)	渡邊 育夢	
副査	筑波大学 教授	工学博士	金 熙榮	
副査	物質・材料研究機構 主任研究員	博士(工学)	宇都 甲一郎	

論 文 の 要 旨

本論文では、自然には発現しない力学特性を示すメカニカル・メタマテリアルを、計算機を用いて設計するとともに、3D プリンターを用いて造形して、設計通りの力学特性が得られることを実証した。メカニカル・メタマテリアルは一般に材料微視構造の不均一性を活用することで、特異な力学特性を引き出す人工的な材料である。そこで、本論文では計算機を用いて所望の特性が得られる材料微視構造を設計する二つの手法を開発した。また、さらに機能性を付与するために、光反応性形状記憶ポリマーを用いて、光を当てることで力学特性を切り替えることができるプログラマブル・メカニカル・メタマテリアルを開発した。

第一章では、メカニカル・メタマテリアルの設計とその造形方法に関する研究背景をまとめるとともに、本論文の学術的位置づけについて言及した。

第二章において、三次元周期幾何関数を用いて、負のポアソン比を示す材料微視構造を設計した。このメカニカル・メタマテリアルを実際に造形し、ポアソン比 -0.5 の応答が得られることを確認した。また、設計した造形体は低密度であるため、剛性・強度が非常に低い。そこで、ニッケル被覆を施すことによって、負のポアソン比を維持したまま、剛性および強度を付与できることを示した。この複合材料は繰り返し負荷を与えても性能が低下しないことを実験的に確認した。

第三章では、光反応性形状記憶ポリマーを作成し、光を当てることで性質を変えることができるプログラマブル・メカニカル・メタマテリアルを開発した。3D プリンターでは特殊なポリマーを利用できないため、3D プリンターで成形型を造形し、鋳造によって材料微視構造を作成した。また、開発したポリマーと設計手法を用いて、アクチュエーターを設計・造形し、開発したメタマテリアルのソフトロボティクスへの適用性を示した。

第四章では、深層学習を用いて不規則構造でありながらメタマテリアル特性を示す材料微視構造を設計する手法を開発した。ここでは、疑似画像生成技術として知られる敵対的生成ネットワークを拡張し、所

望の特性に対応した材料微視構造を出力するシステムを開発した。一般にメタマテリアルは規則構造で構成されるが、開発手法では不規則構造でメタマテリアル特性を示す材料微視構造を設計できる。

第五章では、本論文を総括するとともに、開発手法の産業利用の可能性および当該分野の今後の発展について、言及した。

審 査 の 要 旨

〔批評〕

本論文では、計算機を用いて特異な材料特性が得られる材料微視構造の設計アプローチが開発された。また、3Dプリンターを用いて設計したメカニカル・メタマテリアルの特性を実験的に評価した。

第二章では、着目する負のポアソン比だけでなく、強度や電気伝導性にも着目した多目的最適設計を試み、これを造形するための具体的なプロセスを提案した。また、造形体の繰り返し変形によって特性が劣化しないことも確認した。第三章では、変形とともに熱による特性変化を示すスマートポリマーを新たに合成し、その変形・熱特性に基づく時間軸の依存性を活用したプログラマブル・メタマテリアルの設計方法を提案した。さらに、このスマートポリマーを用いて複雑な形態を造形できる方法を開発した。第四章では、形態設計を深層学習に基づく新しいアプローチを開発し、不規則構造でありながらメタマテリアル特性を示す新奇の材料を設計した。そのメタマテリアルが設計通りの特性・材料挙動となることを実験的に実証した。ここで、3D プリンターで造形が可能な形態となるように、造形プロセスを考慮した設計がなされている。

本研究では、メタマテリアルを対象として、プロセス・微視構造・特性という3つの要素を制御し、材料性能を引き出す材料設計の枠組みが開発された。計算機を用いた設計手法、3Dプリンターを用いた造形とともに、国際的に注目を集めている分野であり、学術的・産業的にも有用な成果が得られた。

〔最終試験結果〕

令和5年2月10日、理工情報生命学術院学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。