

博士論文審査の結果の要旨

氏名	GUAN XIAOYU
学位名	博士（工学）
学位番号	甲 第 743 号
論文題目	Research on nanofiber-based multifunctional composites with shape memory and piezoelectric effects for energy harvesting (形状記憶と圧電効果を有するエネルギー収集用多機能 ナノファイバーコンポジットに関する研究)
論文審査委員	主査 倪 慶清 森川英明 夏木俊明 梅舘拓也 FU SHAOYUN (重慶大学, 中国)

(博士論文審査の結果の要旨)

本学位論文は、材料の圧電性と形状記憶性を利用した柔軟な多機能ナノ材料の開発及びエネルギー収集センサーとしての応用展開を行ったものである。本論文は、その研究成果をまとめて7章から構成されている。

第1章では、圧電素材 PZT、形状記憶ポリマー (SMPU) ならびにその特徴・応用を概説し、本研究の目的を述べている。

第2章では、PZT 粒子の表面修飾、形状記憶ポリマー (SMPU) との界面性状、多機能ナノファイバーの作製方法、ナノファイバーの配向性および開発した材料の表面特性を明確にしている。

第3章では、PZT/SMPU ナノファイバーの力学特性、特に静的力学挙動、動的粘弾性挙動及び繰り返し作用応力下での応力緩和、クリープ特性を検討し、ナノファイバーの配向性との関係を明らかにしている。粒子表面修飾による力学的特性は、強度約 9%増加、降伏応力約 5%増加した。

第4章では、開発した材料の形状固定性、形状回復性及び回復応力などを測定、評価している。PZT 粒子表面修飾による改善効果が確認され、開発されたナノファイバーの形状回復率は 95%以上であることがわかった。また、ナノファイバーの配向角と形状記憶効果との関係、材料の柔軟性ならびに優れた形状記憶効果を有していることを明かにした。ナノファイバーの配向性を最適設計することにより、0° 配向 PZT/SMPU ナノファイバーの回復応力はランダム配向に比べ、約 7 倍大きく、形状回復率も約 2.5%増加した。

第5章では、エネルギー収集センサーとしての応用を展開している。開発されたナノファイバーは、圧電効果と形状記憶効果の両方を示した。表面修飾処理された 80wt%PZT/SMPU ランダムナノファイバーの出力電圧は 120.3 mV でした。出力エネルギーと試験条件（加速度、変位、周波数など）との関係を調査し、最適出力電圧条件を見出した。0° 配向 PZT/SMPU ナノファイバーの出力電圧は 421 mV に達した。

第6章では、開発した材料の柔軟性を生かし、複雑形状の構造部材にも貼り付けられ、エネルギー収集を行えることを確認している。予変形を付与することで曲面形状におけるエネルギー出

力は従来の約3倍向上したことがわかった。

第7章では、本研究を総括している。PZT粒子の表面修飾、ナノファイバー配向性の最適化、エネルギー収集センサーの曲面設計などにより、開発された多機能ナノファイバーは、圧電効果と形状記憶効果を共に有していること、またウェアラブルエネルギー収集センサーとしての応用が大いに期待されることを結論付けた。

本学位論文は4つの学術論文（掲載済み4編）に基づいて作成されている。学位論文の目安を満たしている。

以上を総合して、本学位論文の学術的価値及び工学応用に対する有用性が認められ、審査委員全委員一致して博士学位論文に値すると判断した。また、本研究は圧電材料と形状記憶材料に基づく材料開発に関するものであり、工学分野における応用展開が期待される。その研究内容は博士（工学）の学位論文に値するものと判断する。

（公表主要論文名）

- [1] Xiaoyu Guan, Hairong Chen, Hong Xia, Yaqin Fu, Yiping Qiu, Qing-Qing Ni, Multifunctional composite nanofibers with shape memory and piezoelectric properties for energy harvesting, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 2020, 31(7), 956-966.
 - [2] Xiaoyu Guan, Hairong Chen, Hong Xia, Yaqin Fu, Juming Yao, Qing-Qing Ni, Flexible energy harvester based on aligned PZT/SMPU nanofibers and shape memory effect for curved sensors, *Composites Part B: Engineering*, 2020, 108169.
 - [3] Xiaoyu Guan, Yubing Dong, Hong Xia, Juming Yao, Qing-Qing Ni, Mechanical and shape memory performance of shape memory polyurethane-based aligned nanofibers, *Polymer Testing*, 2020, 91, 106778
 - [4] Qing-Qing Ni, Xiaoyu Guan*, Yaofeng Zhu, Yubin Dong, Hong Xia, Nanofiber-based wearable energy harvesters in different body motions, *Composites Science and Technology*, 2020, 200, 108478.
- *co-first author