

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K14836

研究課題名(和文) 磁場印加により2Dから3Dに可逆的に自己変形可能な磁歪折り紙の創成

研究課題名(英文) Development of magnetostrictive paper reversibly self-transformable magnetostrictive origami from 2D to 3D by applying a magnetic field

研究代表者

栗田 大樹(Kurita, Hiroki)

東北大学・環境科学研究科・助教

研究者番号：40643226

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：磁歪材料は、コイルを用いて機械的な衝撃や振動から電力を発生させることから、エネルギーハーベスティング材料として注目されている。磁歪材料として、Tb-Dy-Fe合金やFe-Ga合金などが知られているが、これらの材料は脆性かつ高価であるという問題がある。そこで、磁歪粒子を分散させたポリマーマトリックス複合材料が先行研究で検討されている。本研究では、Fe-Co合金および作製したFe-Co合金粒子分散セルロースナノファイバー(CNF-FeCo)紙に着目し、その磁歪を調べた。一部のCNF-FeCo紙は、Fe-Co合金単体の薄膜の磁歪(70 ppm)よりも高い磁歪(200 ppm)を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、高い磁歪特性を有する紙が作成できることがわかった。この磁歪折り紙は、将来的に、可逆的な二次元(2D)材料の三次元(3D)変形技術の開発へと発展し、変形可能な電池、3D電子部品、自己折りたたみ式ロボットなどの設計を可能とする。さらに、本研究から得られる可逆的に自己3D変形可能な磁歪折り紙は副次的に持ち運び・折りたたみが可能な磁歪センサ・アクチュエータ、逆磁歪効果を利用した環境発電可能な紙も実現できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：A magnetostrictive material is deformed by an external magnetic field (i.e. magnetostrictive effect) and changes the surrounding magnetic field by a load (i.e. inverse magnetostrictive effect). Because magnetostrictive material generates electrical power from mechanical impact and vibration using a coil, magnetostrictive material attracts attention as an energy harvesting material. Terfenol-D (Tb-Dy-Fe alloy) and Galfenol (Fe-Ga alloy) are well-known as magnetostrictive materials, However, these materials are brittle (i.e. low workability) and expensive. Hence, magnetostrictive particle dispersed polymer matrix composites have been considered in previous studies. In this study, we focus on Fe-Co alloy and fabricated Fe-Co alloy particle dispersed cellulose nanofiber (CNF-FeCo) paper and investigated their magnetostriction. Few CNF-FeCo paper showed higher magnetostriction (close to 200 ppm) than that of Fe-Co thin film (70 ppm).

研究分野：複合材料設計学

キーワード：磁歪 セルロースナノファイバー 複合材料

1. 研究開始当初の背景

設計の自由度を大きく広げる可能性があることから、2D から 3D へ可逆的に変形可能な材料の開発は現在大きな期待を集めている。2D から 3D へ可逆的に変形可能な材料として形状記憶合金が挙げられるが、形状記憶合金はあらかじめ記憶させた特定の形状にのみしか変形できない上、加熱・冷却に時間を要するために変形応答性が極めて低い。

近年、申請者らの研究グループは FeCo 合金/Fe クラッド材を利用した振動発電に成功した[1]。そこから得られた知見を基に、申請者は最近 FeCo 合金/Fe クラッド材を用いた高感度磁歪振動板を提案した[2]。さらに、図 1 に示すように FeCo 合金短繊維を分散させたフィルムが磁歪特性を示すことを明らかにした[3]。並行して、申請者は次世代の強化繊維であるセルロースナノファイバー (CNF) を利用した高強度材料創成に取り組んでおり、CNF の高強度極薄シートの作製や CNF を添加したエポキシ樹脂シートの劇的な高強度化を達成した[4]。

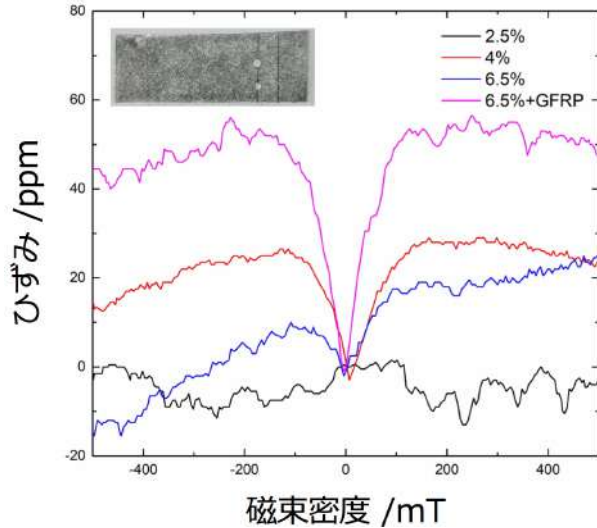


図 1 FeCo/エポキシ樹脂複合フィルムの磁歪特性

2. 研究の目的

本研究では、磁歪効果を利用した可逆的に自己 3D 変形が可能な磁歪折り紙の創成を目的に、磁歪 FeCo 合金粒子分散 CNF 折り紙の作製と磁歪特性評価に取り組む。

3. 研究の方法

図 2 に磁歪 FeCo 合金粒子分散 CNF 折り紙の作製プロセスを示す。出発材料として、Fe₄₉-Co₄₉-V₂ 粉末 (PF-15F、エプソンアトミックス株式会社)、CNF 2wt.% スラリー (BiNFi-s、IMA-10002、スギノマシン株式会社) を用意した。磁歪 FeCo 合金粒子分散 CNF 折り紙の作製のために、まず CNF2wt.%スラリーと Fe₄₉-Co₄₉-V₂ 粉末を混合し、金属メッシュシート上に置いた。その後、この混合液を 120℃で 15 秒間ホットプレスし、10×10×0.2^t mm³ の磁歪 FeCo 合金粒子分散 CNF 折り紙を得た。いくつかの異なる体積分率の Fe₄₉-Co₄₉-V₂ 粉末を有する磁歪 FeCo 合金粒子分散 CNF 折り紙を作製した。

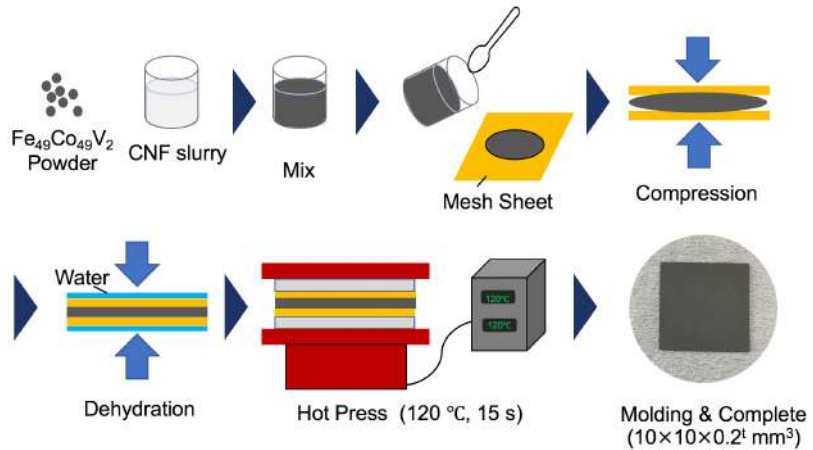


図 2 磁歪 FeCo 合金粒子分散 CNF 折り紙の作製プロセス

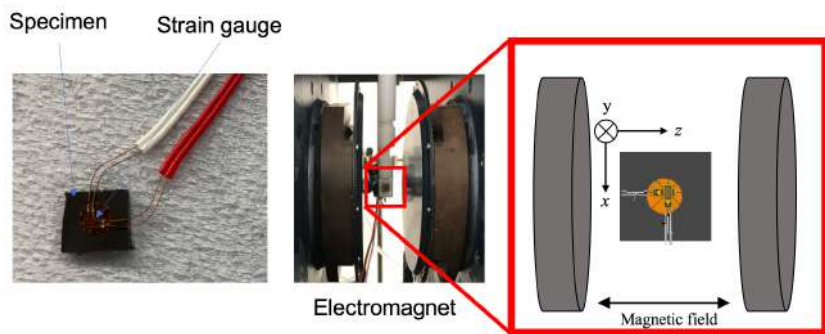


図 3 試験片取り付けと磁場印加方向

磁歪 FeCo 合金粒子分散 CNF 折り紙の磁歪特性を振動試料型磁力計 (VSM, BHV-50H, 理研電子株式会社) を用いて、磁界印加方向に平行な方向 (z-) および垂直な方向 (x-) に -1000~1000mT の印加磁束密度をかけて評価した (図 3)。

4. 研究成果

CNFの量を制御することで、磁歪FeCo合金粒子分散CNF折り紙の厚さを制御可能であることを確認したが、磁歪特性の基礎データ取得時の実験誤差を考慮すると厚さ0.5 mmの磁歪FeCo合金粒子分散CNF折り紙を実験に用いることが望ましいことがわかった。SEM観察より、CNFがネットワーク状に磁歪FeCo合金粉末を絡めており、紙としての形状維持に貢献していること、そしてその組織が均一であることを明らかにした。磁歪特性評価装置および汎用のひずみゲージを用いて、作製した磁歪FeCo合金粒子分散CNF折り紙の磁歪応答性、磁歪量を評価した結果を図3に示す。磁歪FeCo合金粒子分散CNF折り紙は、Fe₄₉-Co₄₉-V₂粉末の体積分率に関わらず、(a)無磁歪(ほぼゼロppm)、(b)中磁歪(75 ppm付近)、(c)高磁歪(200 ppm付近)という3つの異なる磁歪挙動を示した。これらの結果は、磁歪FeCo合金粒子分散CNF折り紙の磁歪が安定していないことを示唆しているが、注目すべきは、CNF-FeCoペーパーが200 ppmの磁歪を示し、Fe-Co薄膜の磁歪(70 ppm、図3(d)参照)よりも高いことである。しかし、この現象を理解するためにはさらなる実験と議論が必要である。

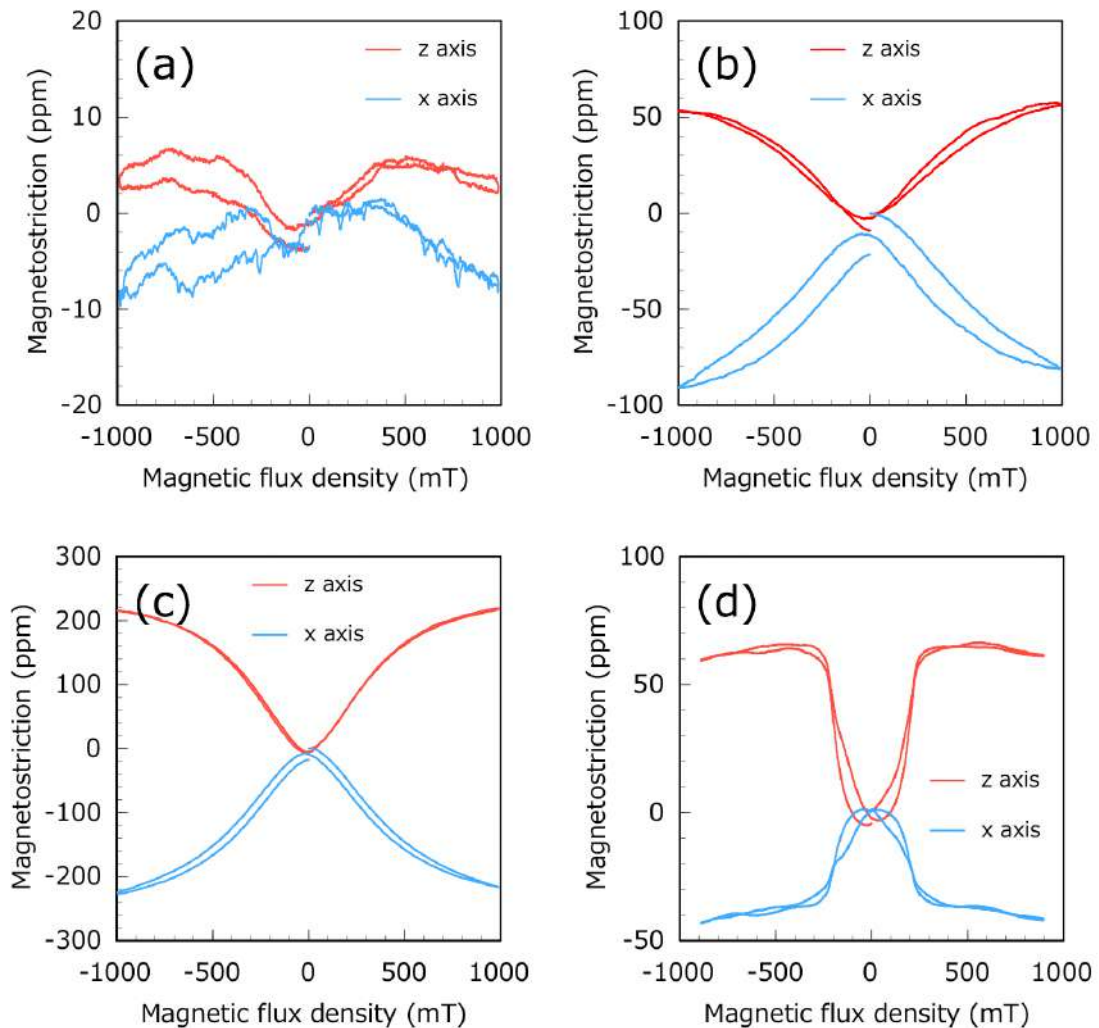


図3 磁歪FeCo合金粒子分散CNF折り紙の磁束密度に対する磁歪変化

引用文献

- [1] プレスリリース, 日刊工業新聞 他, 2018年2月22日; 国際出願 PCT/JP2018/16247.
- [2] Kurita H, Yang Z, Narita F, Shindo Y. Evaluation of Vibration Energy Harvesting for Magnetostrictive (Invited lecture). IUTAM2018, Beijing, China, 2018
- [3] Wang Z, Yang, Z, Katabira, K, Kurita H, Narita F. ISFGMs2018, Kita-kyushu, Japan, 2018
- [4] Xie Y, Kurita H, Katabira K, Narita F. ISFGMs2018, Kita-kyushu, Japan, 2018

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 景野託実, 栗田大樹, 先崎尊博, 成田史生
2. 発表標題 FeCo 粒子分散ソフト複合材料の磁気特性および磁歪特性評価
3. 学会等名 第12回日本複合材料会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takumi Keino, Hiroki Kurita, Kenichi Katabira, Takahiro Senzaki, Fumio Narita
2. 発表標題 Evaluation of Magnetic Properties and Magnetostrictive Responsiveness of Fe-Co-V Alloy Particle Dispersed Soft-MaterialBased Composite Sheets
3. 学会等名 ACMFMS2020+1 (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------