

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13916

研究課題名（和文）磁性微粒子鎖配向型多次元プリンタによる外部磁場駆動構造の構築

研究課題名（英文）Development of magnetic actuation system using multi-dimensional printer for elastomer dispersed with oriented magnetic particles

研究代表者

津守 不二夫（TSUMORI, Fujio）

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：10343237

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：磁性粒子を分散させた弾性樹脂材料を用いた新たな3次元プリンタを開発した。このプリンタでは3次元構造を出力するのみならず、構造の各箇所に（ ）の2つの角度で方向を指定する磁気異方性を付与することができる。本研究課題において、紫外線平行光源を用いた装置、およびUVレーザー光源を用いた装置を開発し、実際に造形体を駆動させることに成功した。同一の形状の構造であっても、異なる内部磁気異方性を有する造形体を出力したところ、同一の磁場内でも全く反対の変形挙動を示すことが確認できた。

研究成果の概要（英文）：A 3D-printer for elastic material dispersed with magnetic particles was newly developed in this work. The printer can output 3D structure with magnetic anisotropy represented with 2 angles. In this work, 2 apparatus, one with a UV lamp and the other with UV laser system, were developed, and successfully printed a actuatable structure. We printed 2 structures of the same shape which had 2 different patterns of magnetic orientation, and demonstrated to show completely different deformation under the same applied magnetic field.

研究分野：粉末プロセス

キーワード：磁性粒子 3Dプリンター additive manufacturing 異方性 アクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

磁性微粒子を分散させた弾性樹脂材料は外部磁場駆動型アクチュエータのためのキーマテリアルである。特に MEMS 分野においてはシリコンゴム (PDMS) に磁性微粒子を分散させた柔軟材料を用いたマイクロアクチュエータが多種開発されている。申請者は近年、磁性粒子分散シリコンゴムを硬化させる際に外部磁場を印加し、磁性粒子の直鎖構造を生成し、異方性を有した材料に関する研究を進めている。

また、近年、3次元プリンタが新たな形状構築手段として急速な進歩を遂げている。この方法では計算機上の3次元図面から製品を作りあげる。計算機上のバーチャルなデータをスライスデータとして分解し、一層ずつ積層していく加工法となっている。同様の原理を用い、樹脂や金属等の多様な材料が用いられており、サイズもミクロンオーダのものからメートルオーダのものまで幅広く利用されるようになった。

2. 研究の目的

磁性粒子分散弾性樹脂 (エラストマー) は外部磁場駆動型アクチュエータのためのキーマテリアルである。申請者は内部構造として粒子鎖を有する材料に注目し、興味深い変形挙動を得てきた。本研究は3次元構造内部の各箇所自由に磁性粒子鎖配向を設置できる新たな装置を開発し、さらに発展させた外部磁場駆動型構造を作製することを目的とする。3次元形状 (x, y, z) のみならず、各箇所での粒子鎖配向方向 (,) の5個をパラメータとする、言ってみれば「5次元プリンタ」を開発し、これにより単純な外部磁場印加で自由に駆動できる構造を作製する。開発する装置は自由度に制限がまったくないため、MEMS 用のマイクロアクチュエータや、ソフトメカニクス分野において利用可能な強力なツールとなる。本研究では、磁性粒子鎖配向させた樹脂を空間内に自由

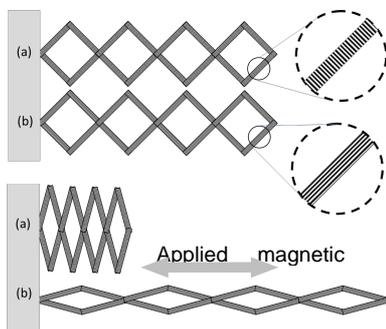


図1：狙う造形例。同じ形状のパンタグラフ状構造であるが、内部に異なる磁気異方性を有している。水平方向への磁場印加により片方は縮み片方は伸びる。

に配置するための新たな多次元プリンタを開発し、これにより新たな外部磁場駆動型材料を作製する。このような構造は図1に示すような自由度の高いアクチュエータとして活用が可能である。

3. 研究の方法

3Dプリンタ技術は世の中で確立している手法を用いる。具体的には紫外線硬化樹脂材料を積層させる。

初年度はUV平行光源を用い、マスクパターンを通して露光することにより、パターンを作成した。具体的な装置概要を図2に示す。将来的に磁場により変形させる構造を作製するため、紫外線硬化型のゴム材料を探し、製品として発売されている紫外線硬化シリコン樹脂を採用した。この樹脂にカルボニル鉄粉を混ぜ合わせた粘性の高い液をステージ上に塗布し造形を行った。

2年目はより解像度を高め、自由度を増大させるために、UV光源部にガルバノスキャナを搭載したUVレーザを導入した。これにより、より細かい造形が可能となると考えられる。どちらの装置においても外部磁場は永久磁石を造形ステージ下部に設置することにより磁性粒子の配向を実現した。

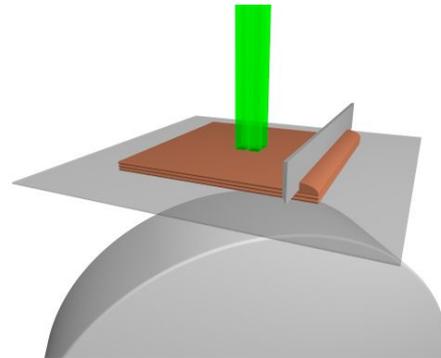


図2：開発する多次元プリンタのイメージ。ステージ上に材料を薄く供給するとともに、所望パターンを硬化させる。ステージ下には円柱状の永久磁石を配置し、磁石の回転により外部磁場を制御する。

4. 研究成果

まず、樹脂内の磁場を印加した際の磁性粒子の構造変化を確認した。この構造変化により磁気的異方性が構造内に付与される。未効果の樹脂に永久磁石を用い磁場を印加する。また、印加時間も変化させた。その結果、図3に見られるような粗さのことなる粒子鎖構造が生成していることを確認した。これらはいずれも磁気的な異方性を示す構造である。将来的に微細な構造内部に粒子鎖を生成したいことを考えると、短時間かつ弱い磁場で細かい粒子鎖が生成することが示されて

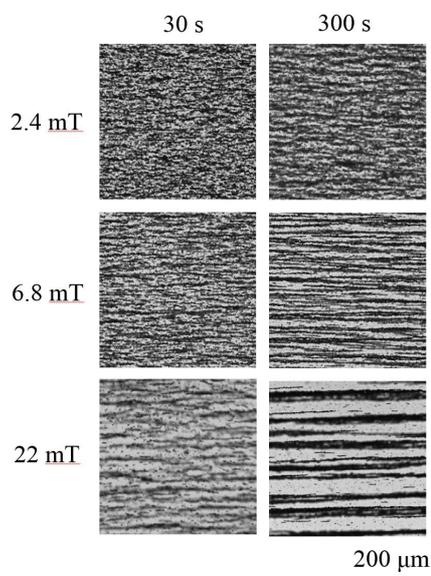


図3：外部磁場印加による，粒子鎖クラスタ構造の変化．

おり，微細構造に応用できることがわかる．次に，実際に積層構造を作製した．図4は作製したウッドパイル状の構造である．5層積層されており，各層，異なる磁気異方性が付与されている．

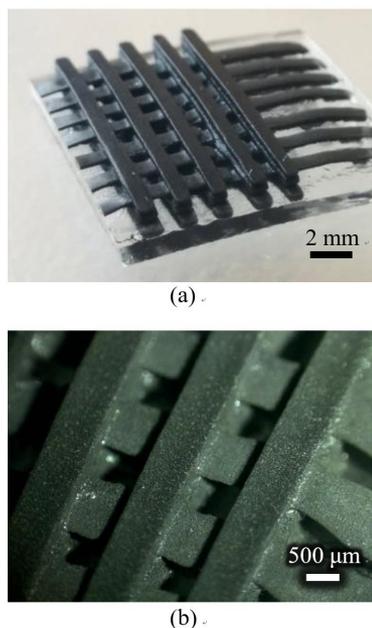


図4：作製した構造例．5層の各層に異なる磁気異方性が付与されている．

最後にUVレーザを用いた造形例を挙げる．図5は磁気異方性の配置の異なる2種類の四角形状である．同じ磁場を印加した場合にも伸縮の方向が異なることが確認できる．これは図1に紹介した模式図通りの挙動である．この四角形を構成する梁は100マイクロメートル程度の幅であり，小型のアクチュエータを作製するに十分な解像度が実現できていることが示されている．

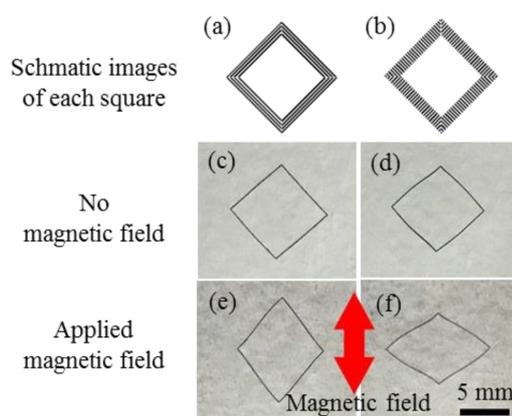


図5：UVレーザを造形に用いた例．単純な四角形であるが，内部の磁気異方性の違いにより，磁場中で異なる変形挙動を見せる．

5．主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

[1] Ryuma MARUME, Fujio TSUMORI, Kentaro KUDO, Toshiko Osada, K. Shinagawa, Development of magnetic-field-driven artificial cilium array with magnetic orientation in each cilium, Japanese Journal of Applied Physics, 56 (2017), 06GN15.
doi: 10.7567/JJAP.56.06GN15

[2] Fujio TSUMORI, Hidenori KAWANISHI, Kentaro KUDO, Toshiko OSADA, Hideshi MIURA, Development of three-dimensional printing system for magnetic elastomer with control of magnetic anisotropy in the structure, Japanese Journal of Applied Physics, 55-6S1 (2016), 06GP18.
doi: 10.7567/JJAP.55.06GP18

[3] Fujio TSUMORI, Ryuma MARUME, Akinori SAIJOU, Kentaro KUDO, Toshiko OSADA, Hideshi MIURA, Metachronal wave of artificial cilia array actuated by applied magnetic field, Japanese Journal of Applied Physics, 55 (2016) 06GP19.
doi: 10.7567/JJAP.55.06GP19

[4] Fujio TSUMORI, Akinori SAIJOU, Toshiko OSADA, Hideshi MIURA, Development of actuation system for artificial cilia with magnetic elastomer, Japanese Journal of Applied Physics, 54 (2015), 06FP12.
doi: 10.7567/JJAP.54.06FP12

〔学会発表〕(計9件)

[1] 津守不二夫, 磁性柔軟材料を利用した4次元プリンティング技術の開発と応用, マイクロ接合研究委員会, 2016.12.09. (東京).

[2] 津守不二夫, 磁性ゴム材料を用いた人工繊毛とその挙動, エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム2016 (EcoDePS2016), 2016.12.07. (東京).

[3] 津守不二夫, 材料異方性パターンニングによる4次元プリンタ, 第2回日本機械学会イノベーション講演会(iJSME2016), 2016.11.24. (東京).

[4] Ryuma MARUME, Fujio TSUMORI, Kentaro KUDO, Toshiko OSADA, Shinagawa KAZUNARI, Development of magnetic-driven artificial cilia with high aspect ratio, 29th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, 2016.11.11. (Kyoto, JAPAN).

[5] Fujio TSUMORI, Ryuma MARUME, Akinori SAIJOU, Development of artificial cilia actuated by applied magnetic field, The 8th KAIST - Kyushu University Joint Workshop, 2016.09.23. (Daejeon, KOREA).

[6] 津守不二夫, 工藤健太郎, 長田稔子, 磁性粒子分散エラストマーを用いた4Dプリンティングプロセスの開発, 日本機械学会年次大会, 2016.09.14. (福岡).

[7] 津守不二夫, 磁性粒子分散柔軟材料を用いた人工繊毛の開発, 生物規範工学公開講演会, 2016.08.04. (札幌).

[8] Hidenori KAWANISHI, Fujio TSUMORI, Kentaro KUDO, Toshiko OSADA, Hideshi MIURA, Development of 3D Printing System for Magnetic Elastomer with Control of Magnetic Anisotropy in the Structure, 28th International Micro Processes and Nanotechnology Conference, 2015.11.12. (Toyama, JAPAN).

[9] Ryuma MARUME, Fujio TSUMORI, Akinori SAIJOU, Kentaro KUDO, Toshiko OSADA, Hideshi MIURA, Metachronal Wave of Artificial Cilia Array Actuated by Applied Magnetic Field, 28th International Micro Processes and Nanotechnology Conference, 2015.11.12. (Toyama, JAPAN).

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.mech.kyushu-u.ac.jp/~zaiika/research.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

津守 不二夫 (TSUMORI, Fujio)
九州大学大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 10343237

(2) 研究分担者

桐原 聡秀 (KIRIHARA Soshu)
大阪大学接合科学研究所・准教授
研究者番号: 40362587