

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23686042

研究課題名(和文)磁性要素間相互作用を利用した微細柔軟駆動体

研究課題名(英文)Soft micro actuator with interaction between magnetic elements

研究代表者

津守 不二夫(TSUMORI, Fujio)

九州大学・工学(系)研究科(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) 21,000,000円、(間接経費) 6,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では磁場中での磁性要素の相互作用を効果的に利用したアクチュエータの開発を目的とする。相互作用を用いることにより従来の手法では達成できなかった以下の2つのメリットが得られる。すなわち「均一磁場中においても多様な変形パターン生成」「磁気アクチュエータが本来不得手とする微小構造の駆動が可能」である。これらの特徴を活かし、多様な変形が可能な微細アクチュエータを作製する。本研究では新たな作製プロセスの開発を行い、また、磁性粒子のエラストマー内部での相互作用に関する理解を深めるために有限要素磁場解析を行った。また、外部磁場を加える新たな方法を提案し、人工繊毛状の構造を駆動した。

研究成果の概要(英文)：A micro actuator using interactions between many micro magnetic elements was proposed and developed in this work. There are two merits using the magnetic interactions; the first is that we can obtain many variations of deformations, and the second is that smaller structure can be fabricated because of its simple mechanism. Some new fabrication processes were developed in the present work. Finite element magnetic analysis was also performed to show effectiveness of the interactions between the magnetic elements. Finally, an artificial cilium, which was actuated by a newly developed system for application of magnetic field, was demonstrated.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：ソフトメカニクス 微細加工 MEMS マイクロアクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

樹脂を利用した柔軟アクチュエータは MEMS 分野で広く必要とされる駆動構造としてさまざまな用途が期待されている。本研究では、磁性粒子を樹脂内部に配置した構造を用意し、外部磁場により駆動する手法に着目する。このような磁場駆動構造は特に微細駆動構造を作製する際に有効であり、生体を模倣した人工繊毛構造の研究が海外において活発に進められていた。たとえば、EU のプロジェクトであり欧州の複数の大学および企業が参画する ARTIC (2006-2010) は先導的な役割を演じておりカンチレバー状の構造の作製や解析を行った (例えば Lab Chip, 9 (2009) p.2326 や Phys. Rev. E, 79-4, (2009) 046304 等)。また、米国においての研究では、ペンシルバニア大学の研究グループによるピラー構造の報告例が代表的である (PNAS, 107-5 (2010) p.1844)。これら、磁場駆動構造の原理として、現在使われているものは次の 2 種である。すなわち「磁気勾配を利用した磁気源への誘因力の利用」「外部磁場に構造長手方向を添わせようとするモーメントの利用」である。上記の原理が有する問題点としては、例えば人工繊毛の例の場合、単なる往復運動では送液効果は得られない。「行き」と「帰り」で変形パターンを変化させるには複雑な工夫が必要となる (例えば Nature Materials 8 (2009) p.677)。

2. 研究の目的

本研究ではこれまで全く注目されていなかった磁場中での磁性要素の相互作用を効果的に利用したアクチュエータの開発を目的とする。相互作用を用いることにより従来の手法では達成できなかった以下の 2 つのメリットが得られる。「均一磁場中においても多様な変形パターン生成」「磁気アクチュエータが本来不得手とする微小構造の駆動が可能」これらの特徴を活かし、多様な変形が可能な微細アクチュエータを作製する。

そのため、磁性粒子のエラストマー内部での相互作用に関する理解を深めることや、新たな成形プロセスとしてインプリントプロセスを応用していくことも同時に検討する。さらには、効果的な外部磁場の与え方についても探求する。

3. 研究の方法

本研究で対象とした具体的な構造を図 1 に示す。ここではシリコンゴムシート上に磁性粒子を分散させた小ゴム要素を規則配置させている。このようなゴムシートに外部磁場を与えることにより、例えば、図 1 右においては曲げが発生している。

構造はシンプルであり、作製にはさまざまな微細加工法を適用可能である。本研究においてはこれまで、光硬化性樹脂 (SU8) の光リソグラフィ法による鋳型を用いた作製法

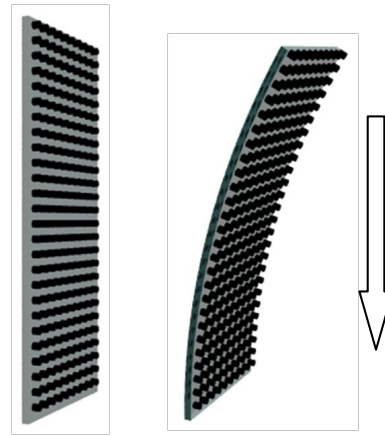


図 1：作製する構造例。右は縦方向の外部磁場により変形した様子。

や、シート材料への直接レーザ加工プロセスを適用してきた。本研究においては、さらにインプリントプロセスを応用することを検討し、インプリントプロセスによる 3 次元構造内への磁性要素の配置も検討した。この手法では、磁性粒子を分散した樹脂シートと樹脂のみのシートの 2 層を重ね合わせ、微細な金型 (モールド) を使って加熱・加圧成形を行う方法である。

作製した構造体は外部磁場により駆動される。しかし、多数の磁性要素の相互作用を予想し、アクチュエータの変形を設計することは困難である。そこで、有限要素法を用いた磁場解析を設計に取り込むこととした。

また、ピラー構造を液体中で駆動し、PIV 法 (Particle Imaging Velocimetry) を用いた観察を行い、人工繊毛としての効果の検証を行う。

4. 研究成果

ここでは、まず、作製法として検討したインプリントプロセス加工について述べる。前節で述べたように、2 層のシートを重ね合わせたインプリントプロセスを用いる。図 2 に成形例を示す。界面のパターンは上層と下層の変形特性に依存するが、今後プロセス設計を行うことにより、図 1 のようなこうぞうを作製することも可能となる。

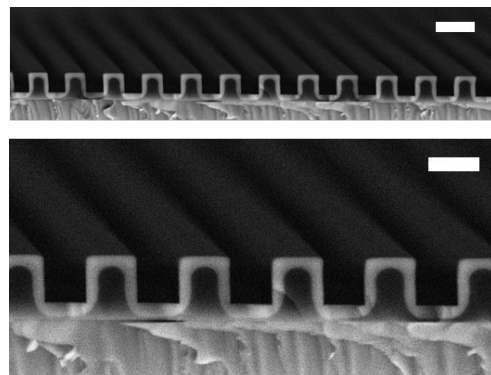


図 2：積層インプリントにより作製した構造例。上層部には粉末材料が含まれている。(スケールバー：上図 10 μm, 下図 5 μm)。

本研究においては、柔軟な材料において構造を作製するにいたっていないが、この技術は積層インプリントプロセスとして、波型セラミックシートの作製といった大きな派生技術としての効果を生んだ。

次に、シートパターン設計についてである。本研究で提案する構造はシート上の磁性要素のパターンにより、まったく挙動が異なる。典型的な一例として、図3のパターンを示す。この2種類は同様に正方格子状にパターンが配置されているが、45度だけ向きが異なったものである。

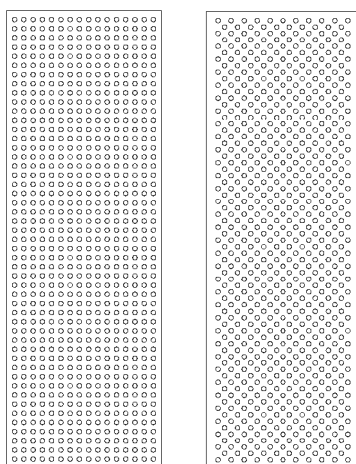


図3：正方格子状の2パターン例。

このようなパターンがどのような変形を行うか、有限要素磁場解析により評価した。図4に解析結果の一部を示す。ここでは縦方向に外部磁場を印加した場合の磁束線を示してある。このように配置により、磁束の流れがまったく異なることが確認される。

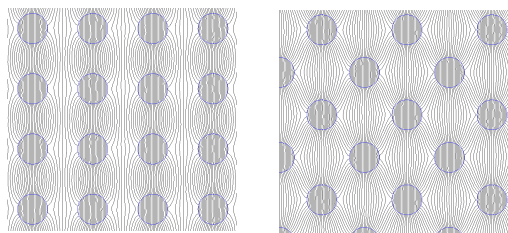


図4：有限要素磁場解析結果例。

このような磁束の流れは磁性要素の配置による。そのため、構造が変形した際には、この配置が変化する。そして、磁束の流れにも変化が発生する。磁場解析によって、このような、それぞれの状態に対応するエネルギー状態を導出できる。そこで、実際に変形した際のエネルギー変化を評価することにより、構造がどのように変形するかを予想することができる。上記の例においては、左のパターンでは縦方向により、収縮力がはたらくが、逆に右のパターンにおいては、伸長力がはたらく。このような変形予測が磁場解析により容易に行うことが可能となった。

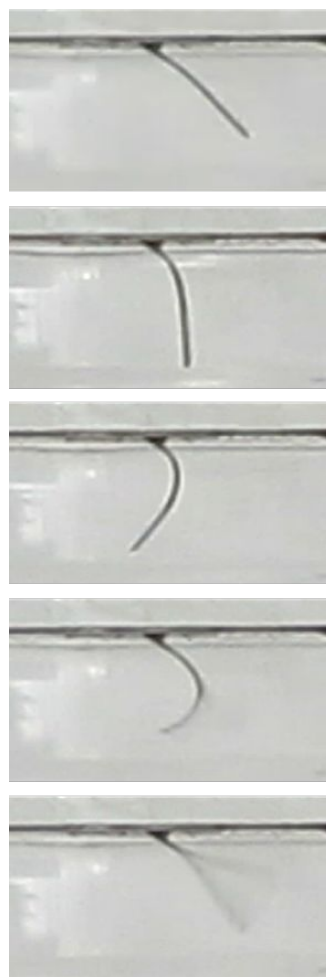


図5：作製した人工織毛の動き。

構造は外部磁場により駆動可能である。これまで、単純な縦方向もしくは横方向の磁場をオン・オフしていた。このような単純な外部磁場による駆動においても、さまざまな変形パターンが得られるメリットがあるが、さらなるパリエーションの増大のため、永久磁石を構造近くで回転させることによる磁場駆動方法を開発した。

図5は、その際の構造の動きのスナップショットである。往復時の行きと帰りで非対称的な動きが観察される。比較的簡単な磁場印加方法で効果的な動きを発現できたといえる。

このような動きによる水流の流れは、PIVといった既知の手法により評価できる。

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10件)

Fujio TSUMORI, Yuki TANAKA, XU YANG, Toshiko Osada, Hideshi Miura, "Development of improved solid oxide fuel cell electrolyte sheet by microimprinting for layered material", Japanese Journal of Applied Physics, 53 (2014) 06JK02-1-6.

Fujio TSUMORI, Suguru ECHIKAWA, Yujiro HIRABAYASHI, Tsuyoshi NAKATSUJI, Toshiko OSADA, Hideshi MIURA, "Development of Powder Generation Device Using Inverse Magnetostriction Effect of Elastomer Material Dispersed with Magnetic Powder", Japan Journal of Powder and Powder Metallurgy, 61-4 (2014) 193-198.

XU YANG, Fujio TSUMORI, Toshiko Osada, Hideshi Miura, Improvement of solid oxide fuel cell by imprinted micropatterns on electrolyte, Micro & Nano Letters, 8, 10, 571-574, 2013.10.

Fujio TSUMORI, XU YANG, HYUNGOO KANG, Toshiko Osada, Hideshi Miura, SIMULATION OF DEFORMATION OF LAYERED SHEET DURING MICRO POWDER IMPRINTING PROCESS, XII International Conference on Computational Plasticity, 1267-1273, 2013.09.

TSUMORI Fujio, HATAMA Kenji, KANG HYUNGOO, Osada Toshiko, Miura Hideshi, "Magneto-FEM Analysis for Micro Actuator using Array of Magnetic Elements", Proc. IEEE-NEMS2013, 845-848.

XU YANG, TSUMORI Fujio, HASHIMOTO Seiya, TAKAHASHI Masashi, KANG HYUNGOO, Osada Toshiko, Miura Hideshi, Improvement of Solid Oxide Fuel Cell by Imprinted Patterns on Electrolyte, IEEE-NEMS2013, 887-890, 2013.04

F. Tsumori, S. Hashimoto, M. Takahashi, Y. Xu, H. Kang, T. Osada, H. Miura, Micro Imprinting Process for Surface Patterning of Ceramic Sheet, Proceedings of the 2012 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition, P-T6-72, 2013.02.

Yang Xu, Fujio Tsumori, Hyun Goo Kang, Hideshi Miura, Study on Fabrication of Micrometer Patterned Ceramic Sheet with Micro Powder Imprinting (μ PI) Method, Advanced Science Letters, 12, 170-173, 2012.06.

Kenji Hatama, Fujio Tsumori, Yang Xu, Hyungoo Kang, Toshiko Osada, Hideshi Miura, "Magnetic Micro Actuator Using Interactive Force between

Magnetic Elements", Japanese Journal of Applied Physics, 51 (2012) 06FL14-1-4.

Yang Xu, Fujio Tsumori, Hung-Goo Kang, Hideshi Miura, Fabrication of Micro Patterned Ceramic Structure by Imprinting Process, Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, 58, 11, 673-678, 2011.11.

[学会発表](計20件)

赤峯彰, 山口 哲生, 沈立然, 津守 不二夫, 澤江 義則, ヤモリを模擬したミクロ曲り梁配列構造の動力学, 日本機械学会九州学生会第45回卒業研究発表講演会, 2014.03.04.

越川卓, 津守 不二夫, 平林祐次郎, 仲辻毅, XU YANG, 長田 稔子, 三浦 秀士, 磁性粒子分散エラストマーにおける粒子間の磁氣的相互作用を用いた発電デバイスの開発, 粉体粉末冶金協会平成25年度秋季大会, 2013.11.29.

Fujio TSUMORI, Takuma Abe, Syuhei Seki, Koichi Nagasawa, Actuation of magnetic particles on array of magnetic elements, 26th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, 2013.11.08.

Yuki Tanaka, Fujio TSUMORI, XU YANG, Toshiko Osada, Hideshi Miura, Development of improved SOFC electrolyte sheet by micro imprinting process for layered material, 26th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, 2013.11.07.

Fujio TSUMORI, XU YANG, HYUNGOO KANG, Toshiko Osada, Hideshi Miura, SIMULATION OF DEFORMATION OF LAYERED SHEET DURING MICRO POWDER IMPRINTING PROCESS, XII International Conference on Computational Plasticity, 2013.09.05.

西條 明憲, 津守 不二夫, XU YANG, KANG HYUNGOO, 長田 稔子, 三浦 秀士, 磁性小要素に誘起されるトルクを駆動源としたマイクロアクチュエータの開発, 粉体粉末冶金協会春季大会, 2013.05.27.

津守 不二夫, XU YANG, 高橋 昌史, 橋本 聖矢, KANG HYUNGOO, 長田 稔子, 三浦 秀士, 多段階積層インプリントプロセスによるセラミックス微細薄膜構造体の作製, 粉体粉末冶金協会春季大

会,2013.05.28.

TSUMORI Fujio, HATAMA Kenji, KANG HYUNGOO, Osada Toshiko, Miura Hideshi, Magneto-FEM analysis for Micro Actuator using Array of Magnetic Elements, IEEE-NEMS, 2013.04.09.

XU YANG, TSUMORI Fujio, HASHIMOTO Seiya, TAKAHASHI Masashi, KANG HYUNGOO, Osada Toshiko, Miura Hideshi, Improvement of Solid Oxide Fuel Cell by Imprinted Patterns on Electrolyte, IEEE-NEMS2013, 2013.04.08.

橋本聖矢, 津守不二夫, 徐楊, 高橋昌史, 姜賢求, 長田稔子, 三浦秀士, 微細インプリントプロセスを用いた波型形状を有する高性能 SOFC 電解質層の開発, 機械学会九州支部講演会, 2013.03.13.

高橋昌史, 津守不二夫, 徐楊, 橋本聖矢, 姜賢求, 長田稔子, 三浦秀士, 多段階インプリントプロセスによるセラミックシート表面上への多階層微細パターニング, 日本機械学会九州支部講演会, 2013.03.13.

徐楊, 津守不二夫, 姜賢求, 長田稔子, 三浦秀士, 粉末マイクロインプリント (μ PI) 法による高アスペクト円錐孔アレイ表面を有するセラミックシートの作製, 第 63 回塑性加工連合講演会, 2012.11.05.

F. Tsumori, S. Hashimoto, M. Takahashi, Y. Xu, H. Kang, T. Osada, H. Miura, Micro Imprinting Process for Surface Patterning of Ceramic Sheet, Powder Metallurgy World Congress & Exhibition PM2012, 2012.10.16.

津守不二夫, 姜賢求, 長田稔子, 三浦秀士, 有限要素磁場解析による磁性要素・エラストマー型微細アクチュエータの挙動解析, 粉体粉末冶金協会平成 24 年度春季大会, 2012.05.23.

Yang Xu, Fujio Tsumori, Hyungoo Kang, Toshiko Osada, Hideshi Miura, Improved Process for Fabrication of Solid Oxide Fuel Cell Based on the Micro Powder Imprinting Technology, International Conference on Materials Processing Technology 2012, 2012.06.28.

K. Hatama, F. Tsumori, Y. XU, H. Kang and H. Miura, Magnetic Micro Actuator

using Interactive Force between Magnetic Elements, 24 th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, 2011.10.26.

Y. Xu, F. Tsumori, K. Hatama, H. Kang and H. Miura, Micro Thermal Imprinting on Powder-polymer Multilayer Substrate, 24 th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, 2011.10.27.

Yang Xu, Fujio Tsumori, Hyung-goo Kang, Hideshi Miura, Fabrication of Micro Patterned Ceramic Structure by Imprinting Process (the 2nd Report) 3D Structures on Multilayer Ceramic Sheet, 粉体粉末冶金協会平成 23 年度秋季大会, 2011.10.26.

畑間健司, 姜賢求, 津守不二夫, 三浦秀士, 磁性粒子分散エラストマーの磁場中粘弾性評価, 日本鉄鋼協会, 2011.09.20.

Yang Xu, Fujio Tsumori, Takuro Nishida, Hyun-Goo Kang, Hideshi Miura, Effects of Sintering Parameters on Morphology of the Single/Multi Layer Ceramic Sheet with Micro Pattern for Solid Oxide Fuel Cell, International Conference on Sintering 2011, 2011.09.01.

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