

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月7日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360081

研究課題名（和文） 先端医療機器の高度化を目的とした液晶駆動型超小型モータの開発

研究課題名（英文） Development of liquid crystalline micromotors to sophisticate advanced medical instruments

研究代表者

蝶野 成臣（CHONO SHIGEOMI）

高知工科大学・工学部・教授

研究者番号：20155328

研究成果の概要（和文）：

液晶に電場を印加すると棒状分子が回転して流動（背流）が発生する。この流動を利用して小型モータを開発した。寸法効果について検討するため軸径が70 μ m, 100 μ m, 485 μ mの3種類のサイズのモータを製作した。いずれにおいても回転むらの少ないスムーズな回転が得られた。本研究で開発したモータは、軸の外表面に接している液晶が発生するせん断力で回転するので、寸法が小さいほど回転数は大きい。最大回転数は最小サイズのモータに対して得られ、約30 rpmであった。

研究成果の概要（英文）：

Imposition of an electric field on a liquid crystal rotates the rodlike molecules, and resultantly a flow, called backflow, is induced. We developed small size of motors by using the backflow. In order to investigate the size effect, we manufactured three sizes of motors whose diameters of axes are 70 μ m, 100 μ m and 485 μ m. These motors rotate smoothly and steadily. Since the motors developed in this study rotate by the shear force generated in a portion of liquid crystal in contact with the outer surface of the rotation axis, the smaller size of the motor gives the higher rotation speed. The maximum rotation was obtained for the smallest one, and the value was approximately 30 rpm.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2011年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2012年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：流体工学

キーワード：液晶，モータ，マイクロ・ナノデバイス，マイクロマシン，背流効果

1. 研究開始当初の背景

(1) 液晶アクチュエータの原理

液晶は棒状の分子から構成されている。液

晶に電場を印加すると、この棒状分子は重心まわりに回転し、そこに背流と呼ばれる流動が発生する。2枚の平板間に液晶を充填して

電場を印加すると平板間にはS字のような速度分布が発生するので、壁面せん断力を利用すれば可動状態の上部平板を運動させることができる。これが液晶アクチュエータの基本原理である。本アクチュエータの特長は、シンプルな構造、自在形状、極小、低電圧駆動である。

(2) 液晶研究の動向及び本研究の位置づけ

液晶を力学的に応用した研究は極めて少ないが皆無ではない。例えば、電気粘性 (ER) 効果を利用したブレーキやダンパの開発研究が、液晶ゲル・液晶エラストマーを利用した人工筋肉の開発研究が過去に見られる。しかし前者は他に駆動源を有する受動的機械要素としての利用であり、後者はその挙動が固体に近く液晶特有の柔軟性が生かされていない。

液晶アクチュエータは、液晶そのものが駆動源となる MEMS, NEMS と定義できる。システム主要部を液体のように振る舞う液晶が占めているので、サイズダウンが容易であり、また自由自在な形状変化が可能である。この点が本研究の最もユニークな特色である。

(3) 着想に至った経緯

20mm×20mm で質量 0.05g のガラス平板の駆動実験を行った結果、速度約 100 $\mu\text{m/s}$ の直線性に優れた駆動が得られ、平板のスライド駆動については確立できた。最近の胃カメラは経鼻方式により小径化が進み、ズームやオートフォーカス機能の具備がより困難になっている。これを可能にするには、レンズの位置決め精度が 5 μm 程度のスムーズな駆動が可能な低電圧超小型モータの開発が必要である。

駆動対象を平板から曲板、さらには円筒に展開し、平板駆動で得た知識と技術を外挿すれば、超小型モータの開発が可能であり、上記の胃カメラを始め先端医療機器の開発を加速できる。

(4) 学術的な特色・独創的な点及び予想さ

れる結果と意義

“液晶”という言葉は固体・液体・気体に続く物質第4番目の相を表現する言葉である。固体に関しては“固体力学(または材料力学)”が、液体と気体に関しては“流体力学”という学術分野が確立されている。本研究は“液晶力学”という新規学術分野の構築に繋がる独創的研究である。

液晶による“しなやかな”駆動が可能なマイクロモータの実現は、超精密化、超小型化が要求されている次世代マイクロロボット、上述した胃カメラや嚥下式カプセル型内視鏡のような先端医療機器等の開発を大幅に加速すると考えられる。さらに、精密機器メーカーや液晶合成化学業界、情報産業等も巻き込んだ新たな市場の創出をも可能にすると考えられ、社会的・経済的波及効果は極めて高い。

2. 研究の目的

本研究では、同心二重円筒の間隙に液晶を充填することで液晶モータのプロトタイプを製作する。印加電圧と回転数の関係を実測するとともに計算結果との比較を行う。また寸法効果について検討し、最適駆動条件を決定する。

3. 研究の方法

(1) 液晶の粘弾性測定

粘性係数は、液晶分子を所定の方向に強制的に配向させる電場印加装置を具備した粘度計で測定した。弾性定数は、市販の実験用セルを用いて、セル内に封入された液晶に電場を印加した際の電場強度と偏光顕微鏡観察による配向状態の関係から得られた。

(2) 数値計算

同心二重円筒間流れを計算するためのプログラミングを行った。本研究室で従来構築した各種プログラムを利用してプログラミ

ングの効率化・省力化を図った。

印加電圧、モータの寸法等を変化させて、回転数を数値計算用コンピュータで見積もった。

(3) 液晶分子の配向処理

内筒外表面のラビング処理については、平板用ラビング装置を曲面用に改良して使用した。最も困難な点は、外筒内表面のラビング処理であった。本研究では、垂直配向剤を壁面に塗布し、液晶分子を壁面に対して垂直に配向させる方法を用いた。この方法ではラビング処理は不要となり、製作は極めて容易になった。ただし、円筒間での分子配向はハイブリッド配向となるので、分子の回転角がラビング法に比して小さくなり、モータとしての性能は低下すると予想された。そこで予備実験として、平板間ハイブリッド配向の実験を行い、駆動特性の低下の程度について検討した。

(4) モータの設計・製作と回転数の評価

モータの内外筒の間隙を $10\ \mu\text{m}$ ~ $50\ \mu\text{m}$ 、内筒の外径が $100\ \mu\text{m}$ ~ $500\ \mu\text{m}$ のものを製作して、印加電圧を変化させながら、回転数や回転むらについて測定した。測定には高速ビデオカメラを用いた。得られた実測データを計算結果と比較検討すると同時に、液晶モータとしての評価を行った。

4. 研究成果

寸法効果について検討するため、3種類のサイズのモータを製作して、それらの動特性実験を行った。その際、電場強度を一定にするため、外筒と内筒の間隔はすべて一定の $5\ \mu\text{m}$ となるように外筒と内筒のサイズを選んだ。製作した3種類のモータの代表的な寸法は、モータ①(外筒の内径 $80\ \mu\text{m}$ 、内筒の外径 $70\ \mu\text{m}$)、モータ②(外筒の内径 $110\ \mu\text{m}$ 、内筒の外径 $100\ \mu\text{m}$)、モータ③(外筒の内径

$495\ \mu\text{m}$ 、内筒の外径 $485\ \mu\text{m}$) である。

いずれのモータにおいても回転むらの少ないスムーズな回転が得られた。回転数は、モータ①では周波数が 1000Hz のとき最大値 20.5rpm 、モータ②では周波数が 1000Hz で最大値 14.6rpm 、モータ③では周波数が 400Hz で最大値 2.6rpm であった。本研究で開発したモータは、内筒の外表面に接している液晶が発生するせん断力で回転するので、寸法が小さいほど回転角としては大きく、結果的に回転数も大きくなったと考えられる。

以上の実験結果は、二重円筒間の液晶流動に関する数値計算結果と満足に一致した。

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7件)

- ① S. Chono and T. Tsuji, Development of novel microactuators driven by liquid crystalline materials, Proceedings of MEMS2013, 査読有, 2013
- ② 蝶野成臣, 辻知宏, 液晶駆動型マイクロアクチュエータの開発(第5報, 平板駆動の数値計算), 日本機械学会論文集(B編), 査読有, Vol.77, 2011, 1758-1766 https://www.jstage.jst.go.jp/article/kikaib/77/781/77_781_1758/_pdf
- ③ A. Sunarso, T. Tsuji and S. Chono, Three-dimensional molecular dynamics simulations of reorientation process and backflow generation in nematic liquid crystals under application of electric fields, Journal of Applied Physics, 査読有, Vol.110, 2011, 044911
DOI: 10.1063/1.3625248
- ④ Y. Zhou, T. Tsuji, and S. Chono, Driving performance of liquid crystalline actuators, Proceedings of the ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference, 査読有, 2011
- ⑤ 辻知宏, 蝶野成臣, ハイブリッド配向液晶セル内の背流速度分布, 日本機械学会論文集(B編), 査読有, Vol.77, 2011, 1420-1428
https://www.jstage.jst.go.jp/article/kikaib/77/779/77_779_1420/_pdf

- ⑥ Y. Zhou, T. Tsuji, and S. Chono, Measurement of driving force of liquid crystalline actuators, Proceedings of the 5th Pacific Rim Conference on Rheology, 査読有, 2010, A-8-3
- ⑦ 蝶野成臣, 辻知宏, 液晶駆動型マイクロアクチュエータの開発 (第4報, 平板駆動実験), 日本機械学会論文集 (B編), 査読有, Vol.76, 2010, 1849-1854
http://ci.nii.ac.jp/els/110007989256.pdf?id=ART0009578765&type=pdf&lang=jp&host=cinii&order_no=&ppv_type=0&lang_sw=&no=1370513799&cp=

[学会発表] (計7件)

- ① 戸田丈浩, 辻知宏, 蝶野成臣, 配向分布関数を用いた平行平板間液晶流動の非定常解析, 日本流体力学会年会, 2012年9月16日, 高知
- ② 長谷部恭紳, 辻知宏, 蝶野成臣, 電場が誘起する液晶ドロップレットの駆動, 日本機械学会流体工学部門講演会, 2012年11月17日, 京都
- ③ 蝶野成臣, 辻知宏, ネマティック液晶の平行平板間流れの数値解析, 数値流体力学シンポジウム, 2012年12月18日, 東京
- ④ 蝶野成臣, 辻知宏, 液晶アクチュエータの駆動性能, 日本液晶学会討論会, 2011年9月11日, 東京
- ⑤ 蝶野成臣, 辻知宏, 配向分布関数を用いた平行平板間液晶流れの数値解析, 日本機械学会年次大会, 2011年9月14日, 東京
- ⑥ 蝶野成臣, 辻知宏, 植原慎一郎, 林郁昌, 液晶駆動型小型モータの開発, 日本流体力学会中四国・九州支部講演会, 2011年12月10日, 福岡
- ⑦ S. Chono and T. Tsuji, Development of liquid crystalline actuators, Proceedings of 23rd International Liquid Crystal Conference, 2010年7月12日, Poland

[産業財産権]

- 出願状況 (計1件)
- ①名称: 液体-液晶間相転移を利用した物体選別機構および物体選別方法
 発明者: 辻知宏, 蝶野成臣
 権利者: 高知工科大学
 種類: 特許
 番号: 特願 2011-188542
 出願年月日: 2011年8月31日
 国内外の別: 国内

○取得状況 (計3件)

- ①名称: Liquid crystal motor making use of

flow of liquid crystal

発明者: S. Chono and T. Tsuji
 権利者: Kochi University of Technology
 種類: Patent
 番号: US 8363172 B2
 取得年月日: 2013年1月21日
 国内外の別: 外国

- ②名称: 液晶欠陥を利用した液晶流動形成機構および液晶流動形成方法, 並びに, 液晶流動を利用した物体移動機構および物体移動方法

発明者: 蝶野成臣, 辻知宏
 権利者: 高知工科大学
 種類: 特許

番号: 特許第 4701415 号
 取得年月日: 2011年3月18日
 国内外の別: 国内

- ③名称: Liquid crystal flow forming mechanism, method of forming same, and object moving mechanism using liquid crystal flow

発明者: S. Chono and T. Tsuji
 権利者: Kochi University of Technology
 種類: Patent

番号: US 7826029 B2
 取得年月日: 2010年11月2日
 国内外の別: 外国

[その他]

ホームページ等

http://www.kochi-tech.ac.jp/kut/about_KUT/faculty_members/prof/chono-shigeomi.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

蝶野 成臣 (CHONO SHIGEOMI)
 高知工科大学・工学部・教授
 研究者番号: 20155328

(2) 研究分担者

辻 知宏 (TSUJI TOMOHIRO)
 高知工科大学・工学部・教授
 研究者番号: 60309721

岡 宏一 (OKA KOICHI)
 高知工科大学・工学部・教授
 研究者番号: 10160649