

平成 30 年 6 月 29 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05803

研究課題名(和文)流体力学的特性に優れた液晶材料の開発

研究課題名(英文)Optimization of fluid dynamics properties of liquid crystalline materials

研究代表者

辻 知宏 (Tsuji, Tomohiro)

高知工科大学・システム工学群・教授

研究者番号：60309721

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：液晶の流体力学的特性を応用した新たな液晶デバイスとして液晶アクチュエータがある。液晶アクチュエータの性能を最大限に発揮するためには、流体力学的に優れた液晶材料を開発する必要がある。本研究では数値シミュレーション手法を用いて、液晶材料の物性値(粘性係数、弾性係数、誘電率異方性)が液晶アクチュエータの駆動性能に及ぼす影響について調べた。結果より、液晶アクチュエータに最適な物性値を明らかにした。さらに、異なった物性値を持つ液晶材料を用いたアクチュエータの駆動実験より、シミュレーション結果の妥当性が確認されるとともに、従来の2倍以上の駆動速度を得た。

研究成果の概要(英文)：To develop the liquid crystalline materials optimal for the liquid crystalline actuators, we have investigated the effect of fluid dynamics properties of liquid crystalline materials, such as viscosity coefficients, elasticity coefficients, and dielectric anisotropies, on the driving performance of the liquid crystalline actuators. From the numerical simulations on the liquid crystalline actuators, the relation between the material properties and the driving performance of the liquid crystalline actuators is explored, and the optimal values for the material properties are proposed. The liquid crystalline actuators with five different liquid crystals are experimentally tested, and the experimental results agree with the simulation results.

研究分野：流体工学

キーワード：非ニュートン流体 液晶 アクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

液晶材料の表示素子への応用が発見されて以来、液晶材料の光学的性質や電気的性質について盛んに研究が行われてきた。その結果、液晶ディスプレイは従来のブラウン管型ディスプレイにとって代わり、フラットパネルディスプレイ (FPD) という新規産業分野が創出された。一方、EL ディスプレイやプラズマディスプレイなどの優れた FPD の開発が進んでおり、液晶産業にとって脅威となっている。しかし、液晶ディスプレイ技術はほぼ成熟しきっており、後発の FPD にそのシェアを徐々に奪われていくことは容易に予測がつく。液晶は、固体・液体・気体に次ぐ第 4 の状態と呼ばれ、その利用用途は他にも多岐にわたって存在するはずであり、液晶産業の活性化のためには、液晶材料の新規応用分野の開拓が急務であると考えられる。図 1 は液晶材料への外部からの入力因子とそれにとまう外部への出力因子を表す。例えば、液晶ディスプレイの場合には液晶に電場を与え、液晶分子の配向方向の変化を引き起こすことにより、光の変化を得ている

(電場 液晶分子配向場の変化 光の変化)。他方で、図 1 に示すように 3 つの入力因子と 3 つの出力因子が存在すれば、単純に $3 \times 3 = 9$ 通りの組み合わせがあり、液晶ディスプレイを除いても 8 通りもの液晶利用の可能性がある。これまでに、申請者らは液晶材料を利用したマイクロアクチュエータ (平成 13 年 10 月特許出願, 平成 16 年 8 月登録, 平成 20 年国際特許登録) および発電機 (平成 18 年 9 月特許出願, 平成 24 年 5 月登録) に関する提案を行い、その試作・駆動に成功した。液晶駆動型アクチュエータは液晶に電場あるいは磁場を入力し、流動を出力 (電場・磁場 液晶分子配向場の変化 流動) する仕組みであり、液晶発電機は液晶に流動を入力し、電圧を出力 (流動 液晶分子配向場の変化 電場・磁場) する機構である。これら液晶新デバイスの性能のキーとなるのが液晶材料である。これまでに、液晶ディスプレイへの応用を念頭に液晶の光学的特性については盛んに研究されてきたが、液晶新デバイスのための液晶の流体力学的特性に関する研究は皆無である。

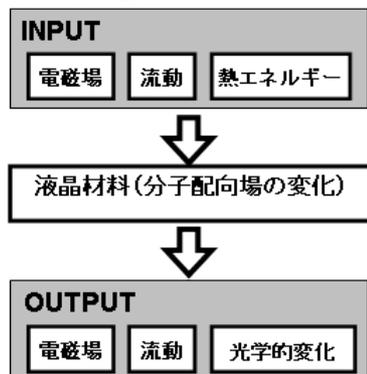


図 1 液晶材料への入力因子・出力因子

2. 研究の目的

液晶材料の応用に関する従来の研究は、「液晶 = ディスプレイ」といった図式が成り立つほど光学的応用分野に限定されてきた。液晶ディスプレイが液晶の異方性を光学 (オプティクス) の分野に巧みに応用した成功例であるとすれば、本研究は液晶の異方性を機械工学 (メカニクス) の分野に応用する研究として位置づけられる。このような研究は世界的にも全く例が無い。「液晶」という言葉は特定の物質の固有名詞でなく、本来は固体・液体・気体に続く物質第 4 番目の状態を表現する言葉である。固体については「固体力学 (または材料力学)」が、液体と気体については「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」、あるいは「液晶工学」という新規学術分野の構築に繋がる独創的研究である。本研究は、液晶力学分野の更なる発展に寄与するとともに、先に述べたように液晶の力学的応用分野を開拓するものである。

これまでの研究で、液晶力学を応用した新たな液晶デバイスとして液晶マイクロアクチュエータおよび液晶発電機の試作および駆動に成功した。しかし、これらの駆動実験に用いられた液晶は 4-n-4'-cyanopentylbiphenyl (5CB) という一般的な液晶材料であり、液晶力学デバイスに最適な材料からは程遠い。液晶力学デバイスの性能を引き出し、その実用化につなげるためには、最適な液晶材料設計が必要不可欠である。そこで、液晶流動のシミュレーションを基に、液晶力学デバイスのための液晶材料設計の指針の確立および液晶材料の合成 (液晶材料メーカーへ依頼) し、その後、新規液晶材料を用いた液晶アクチュエータの駆動性能の評価を行う。

3. 研究の方法

前述したように、本研究は液晶流動シミュレーションによる液晶力学デバイスのための新規液晶材料の開発指針の策定、および実際に合成された新規液晶材料を利用した液晶力学デバイス性能の実験測定という大別して 2 つの部分から成り立っている。

まず、液晶流動シミュレーションについては、液晶の粘度、弾性係数、誘電率をパラメータとして、電場による背流の発生および背流によって駆動されるアクチュエータの性能を調べる。計算パラメータである物性値の影響について広範囲に調べる必要があり、計算量が膨大となる。そこで、並列演算機用のシミュレーションプログラムを開発して計算を行う。

次に、シミュレーション結果を基に、数種類の新規液晶材料を液晶号材料メーカーに合成依頼し、液晶アクチュエータの駆動実験を行う。力学的性能を目的とした液晶材料開発は未知の領域であり、既存の液晶材料をベ

ースとしたブレンドにより液晶材料の製作を行う。

4. 研究成果

実際の液晶材料には、6個の粘性係数、3個の弾性係数、および誘電異方性の合計10個の物性値がある。本研究では、既存の液晶である5CBの物性値をベースとして、粘性係数、弾性係数、誘電率に関する倍率 C_α , C_K , C_ε を導入して解析を行う。

図2は本研究で用いた液晶アクチュエータである。上下2枚のガラス平板間に液晶材料が設置され、上下平板間に電圧10V、周波数100Hz、デューティ比5%のパルス電圧を印加する。平板間隔は10 μ mであり、上部平板が駆動体である。

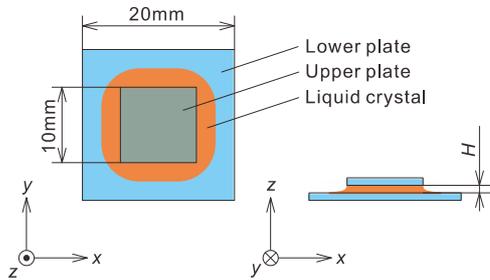


図2 液晶アクチュエータ

(1)シミュレーション結果

図2はアクチュエータの駆動量 L の時間変化に対する粘性係数の影響を表すシミュレーション結果である。印加電圧周期に対応して、階段状にアクチュエータが駆動していることが分かる。また、粘性係数の増加とともに、液晶アクチュエータの駆動速度は、一旦増加した後減少することが分かる。粘性係数の増加は、アクチュエータの駆動力であるせん断応力の増加につながる一方で、液晶分子の電場に対する応答速度を低下させる要因となる。その結果、液晶アクチュエータの駆動速度は粘度に対してピークを有する。

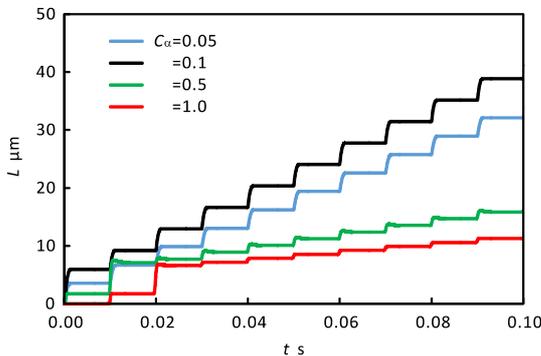


図2 アクチュエータの駆動量の時間変化 (粘性係数の影響)

図3はアクチュエータの駆動量 L の時間変化に対する弾性係数の影響を表すシミュレ

ーション結果である。弾性係数が小さい場合には、図2の場合と同様に階段状のアクチュエータ駆動が生じている。弾性係数が増加すると、パルス電場中の電圧ONの時に正の駆動が発生するのに対して、電圧OFF時に負の駆動が生じることが分かる。この負の駆動は電圧ON時に電場方向へと配向した液晶分子が電場OFF時には平行配向状態へと復帰しようとすることに起因する。そのため、弾性係数の増大は、負の駆動量の増加を引き起こし、結果としてアクチュエータの駆動速度を減少させる。

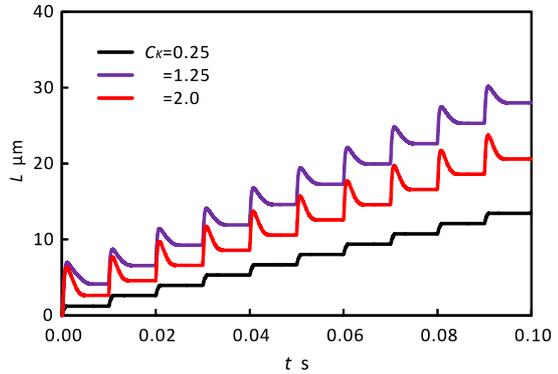


図3 アクチュエータの駆動量の時間変化 (弾性係数の影響)

図4は液晶アクチュエータの駆動速度に対する粘性係数および弾性係数の影響を表す。図の縦軸は弾性係数、横軸は粘性係数であり、液晶アクチュエータの駆動速度をカラーバーで表している。図より、液晶アクチュエータ駆動に最適な弾性係数および粘性係数が存在し、それらの値はそれぞれ4.8pNおよび3.6mPa sであることを明らかにした。

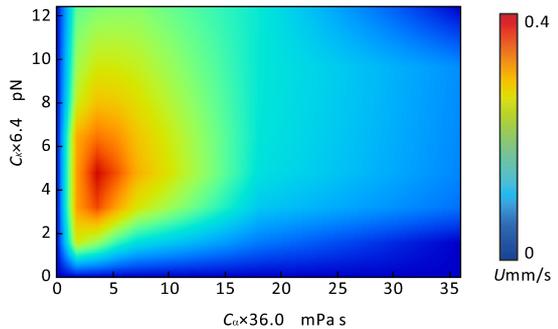


図4 液晶アクチュエータの駆動速度に対する粘性係数および弾性係数の影響

(2)実験結果

図5に5種類の物性値の異なる液晶材料を用いた場合の液晶アクチュエータの駆動性能を示す。図の横軸は印加電圧周波数、縦軸は液晶アクチュエータの駆動速度である。液晶の違いによって液晶アクチュエータの駆動速度が大きく異なることから、シミュレーション結果からも明らかのように、物性値が液晶アクチュエータの影響に強く影響す

ることが確認できた。また、本研究で用いた液晶材料において、最も駆動速度が大きかったものは、シミュレーション結果と同様に低い粘度を示し、従来の5CBを用いた場合と比較して2倍以上の駆動速度となった。

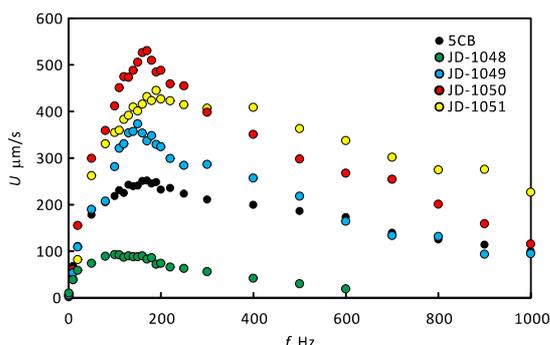


図5 液晶アクチュエータの駆動速の周波数依存性（5種類の液晶を用いた実験結果）

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 1 件)

Yuan Zhou, Tomohiro Tsuji, Shigeomi Chono, Fundamental study on the application of liquid crystals to actuator devices, Applied Physics Letters, 査読有, 109, 2016, 11902, <https://doi.org/10.1063/1.4955267>

〔学会発表〕(計 6 件)

石川 貴瑛, 辻 知宏, 蝶野 成臣, ライオトロピック液晶のせん断流れの分子動力学シミュレーション, 日本機械学会 中国四国支部 第 54 期総会・講演会, 2016 年

安田 貴紀, 松田 琳子, 辻 知宏, 蝶野 成臣, 液晶無定形アクチュエータの開発, 日本機械学会 中国四国支部 第 54 期総会・講演会, 2016 年

ハン ジートン, 辻 知宏, 蝶野 成臣, 西脇 永敏, 液晶アクチュエータの駆動特性の評価（液晶物性の影響）, 日本機械学会 中国四国支部 第 55 期総会・講演会, 2017 年

Yugo Tamura, Tomohiro Tsuji, Shigeomi Chono, Macroscopic Electric Polarization of Liquid Crystals Under Shear Flows, The Ninth JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference, 2017 年

Rinko Matsuda, Tomohiro Tsuji, Shigeomi Chono, Development of Amorphous Actuators Driven by Liquid Crystal Flows, The Ninth JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference, 2017 年

HAN Zhitong, 辻 知宏, 蝶野 成臣, 液晶アクチュエータの駆動特性に及ぼす液晶物

性値の影響, 日本機械学会 2017 年度年次大会, 2017 年

6. 研究組織

(1) 研究代表者

辻 知宏 (TSUJI, Tomohiro)

高知工科大学・システム工学群・教授

研究者番号：60309721

(2) 研究分担者

蝶野 成臣 (Chono, Shigeomi)

高知工科大学・システム工学群・教授

研究者番号：20155328