

機関番号：26402

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23651140

研究課題名(和文) タンプリング液晶のせん断特性とマイクロ力学センサの開発

研究課題名(英文) Shear flow behavior of tumbling liquid crystals and development of micro mechanical sensors

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：単純せん断流中で回転し続けるタンプリング液晶が“液体状圧電体”になり得るかどうかを調べるため、せん断印加時に液晶が発生する分極値の時間変化を測定した。本研究が一定の成功を収めれば自在形状のマイクロ力学センサの開発に繋がる。

内径6 mmの外筒と外径5 mmの内筒からなる同心二重円筒間に液晶を充填して、内筒を回転させて液晶にせん断を印加した。使用した液晶は4-cyano-4'-octylbiphenylである。内筒回転数が0.2 rpmのとき電位差はパルス状の波形を示し、その大きさは最大で±70 mVに達した。従ってタンプリング液晶が圧電体に適していることがわかった。

研究成果の概要(英文)：In order to investigate whether a tumbling-type liquid crystal, which continues to rotate in simple shear flow, may be "a liquid-like piezoelectric material", we have measured the polarization induced by the sheared liquid crystal. A certain level of success of this research leads to the development of micro-mechanical sensors with flexible shape.

We prepared concentric two cylinders which consist of the outer cylinder with the inner diameter of 6 mm and the inner cylinder with the outer diameter of 5 mm, injected a liquid crystal between the two cylinders, and imposed a shear force on the liquid crystal by rotating the inner cylinder. We used 4-cyano-4'-octylbiphenyl as a tumbling-type liquid crystal. When the rotation speed of the inner cylinder was 0.2 rpm, the induced voltage showed a pulsatile shape with +70 mV in magnitude. Thus, a tumbling-type liquid crystal is suitable to a piezoelectric material.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学、マイクロ・ナノデバイス

キーワード：マイクロセンサ 液晶 圧電効果 力学センサ

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 蝶野成臣(研究代表者)と辻知宏(研究分担者)は、これまでディスプレイのみに応用されてきた液晶に対して力学的側面からアプローチすることで、液晶駆動型のマイクロアクチュエータを提案した。楠川量啓(研究分担者)は固体圧電材料の機械的応答や、水熱合成により金属-圧電体複合材料を作製するなど、圧電材料について幅広い知識と経験を有している。

同一大学・同一学科に所属する3名は、互いの専門領域を越えて議論するなかで、固体の性質を一部有する液晶は圧電効果を発現するのかという疑問に行き着いた。過去の文献を調査したところ、この効果は1969年にR. B. Meyerによって既に見出されていた(Meyer, R. B., Piezoelectric effects in liquid crystals, *Phys. Rev. Lett.*, **22**, 918 (1969))。しかし過去の研究は全て静的な場合、すなわち固定された2枚の平板間に液晶を充填し、壁面での分子配向角を変えた場合や電場・磁場を印加した場合に限定されており、流動または大変形を扱った研究は皆無であることがわかった。そこで申請者らは平成21年度に研究を開始した結果、分極値は2枚の壁面での分子配向角の差に依存することがわかった。つまり単純せん断流中で、ある一定方向に定常配向する通常の液晶(アライニング液晶)では十分な圧電効果は得られず、せん断流中で回転し続けることで大きな配向角を発現するタンプリング液晶こそが、圧電体の有力候補であることを見出した。

(2) 本研究は液晶をエネルギー変換材料として捉えることで、従来の機械工学の延長線上にない新規な機械要素技術の構築を狙っている。すなわち、流動(運動エネルギー)を入力して電場(電気エネルギー)を出力するエネルギー変換デバイスの開発を目指した研究である。このような着想は過去に例が

なく、本研究グループが先駆けて取り組む研究プロジェクトである。本研究が一定の成功を収めれば、自在形状のマイクロ力学センサ(歪み計、歪み速度計、さらには微弱な力を計測できるセンサ)が実現できる。その結果、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や、精密医療機器等の高度化を加速することになる。

## 2. 研究の目的

本研究では、タンプリング液晶にせん断流を印加した際に発生する分極値の時間変化を数値計算と実験の両面から調べることで、以下の3点の解明を図る。

- (1) タンプリング液晶は歪みを電気エネルギーに変換する“液体状圧電体”となり得るか。
- (2) もしそうであるならどの程度の電圧を発生するのか。
- (3) 歪み、歪み速度、および力を計測するセンサに応用可能か。

## 3. 研究の方法

前述の研究目的を踏まえ、以下の計画・方法で研究を遂行した。

- (1) せん断歪み速度と発生分極値との関係の数値計算

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。従来構築した各種プログラムを利用することで、プログラミングの効率化・省力化を図った。

続いてせん断速度、液晶の物性値および寸法を広範囲に変化させ、分子配向分布を求めた。そのデータから、円筒間に発生する分極値の時間変化をコンピュータで見積もった。

- (2) 実験デバイスの設計と製作

同心二重円筒装置を製作して実験を行った。外筒の内径は6 mm、内筒の外径は5 mmで両者ともにガラス製である。外筒の内表面と内筒の外表面には透明電極膜を蒸着した後、垂直配向膜を塗膜した。この垂直配向膜

により、内外筒表面に接する液晶分子は表面に対して垂直に配向する。外筒を静止させ、内筒を回転させることで液晶にせん断を印加した。実験には、タンブリング液晶として 4-cyano-4'-octylbiphenyl (8CB) を、比較のためにアライニング液晶として 4-cyano-4'-pentylbiphenyl (5CB) を用いた。

### (3) 分極値の実測と圧電効果の評価

回転速度を変化させ、円筒間の電位差をナノボルトメータで測定した。またレーザー光をデバイスに照射してその反射光強度をフォトディテクタで測定することにより、分子配向状態を推定するとともに圧電効果との関係について検討した。

## 4. 研究成果

8CB の場合の、発生電位差の時間変化を図 1 に示す。内筒回転数は 0.1 rpm である。電位差はパルス状の波形を示しており、その大きさは最大で  $\pm 40$  mV である。発生周期には明確な周期性は認められない。回転数を 0.2 rpm に増加させた結果を図 2 に示す。電位差は -70 mV にまで達しており、またパルスの発生頻度も高くなっている。比較のため、内筒回転数が 0.2 rpm のときの 5CB の結果を図 3 に示す。縦軸のスケールが図 2 と異なっていることに注意すれば、8CB の方がピーク値は 10 倍以上大きい。またパルスの発生頻度も高い。従ってタンブリング液晶が圧電体に適していることがわかる。

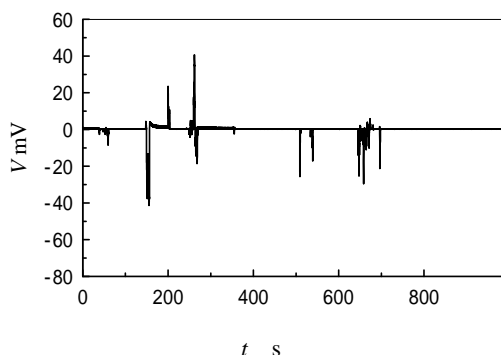


図 1 タンブリング液晶 (8CB) の場合の電圧値の時間変化 (回転数 0.1 rpm)

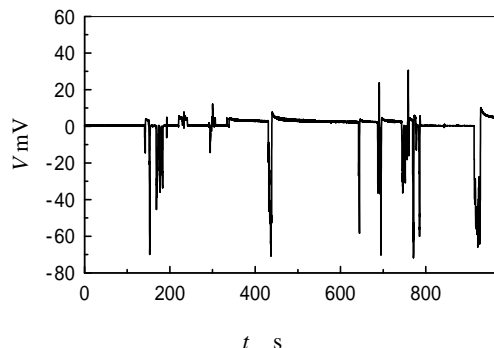


図 2 タンブリング液晶 (8CB) の場合の電圧値の時間変化 (回転数 0.2 rpm)

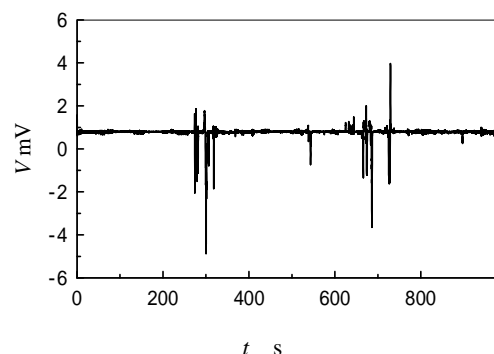


図 3 アライニング液晶 (5CB) の場合の電圧値の時間変化 (回転数 0.2 rpm)

## 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)

辻 知宏、蝶野 成臣、タンブリング液晶の二重円筒間せん断流れの数値解析、レオロジー学会誌、査読有、40 巻、2012、pp.239-244

〔学会発表〕(計 11 件)

辻 知宏、蝶野 成臣、テンソル型 Leslie-Ericksen 理論を用いた液晶流の数値解析、日本流体力学会年会 2011、2011

辻 知宏、蝶野 成臣、ネマティック液晶の out-of-plane 現象の数値解析、日本機械学会年次大会、2011

辻 知宏、蝶野 成臣、液晶流動における分子配向場の数値計算、第 25 回数値流体シンポジウム、2011

Tomohiro Tsuji, Shigeomi Chono, Experimental and numerical investigations on dynamics of nematic-isotropic interface, International Congress on Rheology, 2012

辻 知宏、蝶野 成臣、液晶 - 等方相界面の挙動およびその制御、日本機械学会年次大会、2012

辻 知宏、蝶野 成臣、流動によって誘

起される液晶フレクソエレクトリック効果、日本レオロジー討論会、2012  
亀井 和正、辻 知宏、蝶野 成臣、ネマティック - 等方相界面を利用した液晶マニピュレータ、日本機械学会中国四国学生会卒業研究発表講演会、2013  
亀井 和正、辻 知宏、蝶野 成臣、液晶 - 等方相界面を利用したマイクロマニピュレータ、日本液晶学会討論会、2013  
蝶野 成臣、辻 知宏、液晶 - 等方相界面の物理とその応用、第 61 回レオロジー討論会、2013  
井上 皓久、辻 知宏、蝶野 成臣、同心二重円筒間液晶せん断流れの数値解析、日本機械学会中国四国支部第 52 期総会講演会、2014  
伊東 良祐、辻 知宏、蝶野 成臣、流動による液晶分極特性に関する実験、日本機械学会中国四国支部第 52 期総会講演会、2014

楠川 量啓 (KUSUKAWA, Kazuhiro)  
高知工科大学・工学部・教授  
研究者番号：60195435

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称：液体 - 液晶間相転移と液晶欠陥の相互作用による物体移動機構および物体移動方法

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 2011-188543

出願年月日：2011 年 8 月 31 日

国内外の別：国内

取得状況(計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 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