

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 20 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560205

研究課題名(和文) 発電機能を有する液晶流体軸受けの開発

研究課題名(英文) Development of the liquid crystalline bearing which can generate electricity

研究代表者

辻 知宏 (Tsuji, Tomohiro)

高知工科大学・工学部・教授

研究者番号：60309721

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：液晶を利用した発電可能な軸受けの開発のための基礎研究として、ネマティック液晶の二重円筒間せん断流れの実験及び数値解析を行った。本研究では、内円筒が回転することによる液晶流動によって誘起される内外円筒間の巨視的分極の計測に成功した。また、実験および数値解析結果より、流動中の液晶分子配向分布に線状の不規則な組織が現れるため、内外円筒間に誘起される分極値が不規則となることを明らかにした。さらに、内円筒の回転速度が大きいほど線状組織の空間密度が大きくなる。

研究成果の概要(英文)：As a fundamental research on developing a liquid crystalline bearing which can generate electricity, we have experimentally and numerically investigated the shear flow of a nematic liquid crystal between concentric cylinders. We have successfully measured the macroscopic electric polarization between the inner and the outer cylinders, which is induced by the shear flow of the nematic liquid crystal. From the experimental and numerical results, it is found that the irregularity of the induced macroscopic electric polarization profile arises from the irregular line-like texture profile in the molecular orientation field of the liquid crystal under the shear flow. The spatial density of the texture increases with the increase of the shear rate.

研究分野：流体工学

キーワード：流体工学 非ニュートン流 液晶

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。そこで、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。近年、申請者は液晶材料を利用したマイクロアクチュエータに関する提案 (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) を行い、その試作・駆動に成功した。しかし、固体、液体、気体に次ぐ第4の状態と言われる液晶の利用用途は他にも多岐にわたって存在するはずである。図1は液晶材料への外部からの入力因子とそれともな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)。また、液晶駆動型アクチュエータの場合には、液晶に電場あるいは磁場を入力し、流動を出力する仕組みである (電場・磁場 液晶分子配向場の変化 流動)。さらに、これまでの研究において、流動を入力し、液晶分子の配向場に歪みを生じさせることで、液晶材料に巨視的分極を引き起こすことが可能であることを理論解析と実験との両面より見出した (電場・磁場 液晶分子配向場の変化 流動)。さらに、この原理を用いれば、液晶材料を用いた全く新しい発電デバイスを開発可能であることを提案している。

2. 研究の目的

近年、固体圧電材料を用いた発電システムに関する研究が行われるようになってきた。圧電材料と同様に、液晶材料でも分子配向場にある種の歪みを生じさせることにより、巨視的な分極が生じることが知られている (R.B. Mayer, Phys. Rev. Lett., 22, 918 (1969))。さらに、申請者は、固体圧電材料の場合には歪み量だけに依存して分極が発生するのに対して、液晶材料の場合には材料の歪み量だけでなく歪み速度によっても巨視的分極を発生させることが可能であることをシミュレーションによって確認した (T. Nagae, T. Tsuji and S. Chono, Journal of Fluid Science and Technology, 2, 258-269 (2007))。液晶材料の巨視的分極の歪み速度依存性と形状適合性を利用することにより、固体圧電材料では実現不可能な、全く新しい発

電システムが開発可能である。

本研究では、液晶発電システムの実用化にターゲットを絞って研究を行う。具体的には、回転軸の軸受けに液晶材料を用いた潤滑と発電を同時もしくは切り換えて行えるようなデバイスの開発を最終目的とする。そこで、本研究期間内に、

- ・軸受けを想定した液晶流動および巨視的分極のシミュレーションソフトウェアの開発および液晶材料の発電特性および潤滑特性を最適にする利用条件 (軸受け形状、流動条件、温度条件、液晶材料の物性) の同定
- ・2重円筒間における液晶せん断流れの実験装置の設計及・製作および実験データの収集
- ・シミュレーションデータと実験データの比較および検討
- ・データに基づいて、液晶流体軸受けの試作および検証を行う。

3. 研究の方法

(1) 実験

図1に実験装置の概略図を示す。装置は全て断熱ボックス内にあり、温度調節器、ヒーターおよびファンによって一定の温度に保たれる。液晶セルおよび空セルの内筒は、DCモータの回転を受けて同時に回転する。電気ノイズの影響を除去するため、液晶セルと空セルの電圧の差分をデータロガーを用いて測定する。

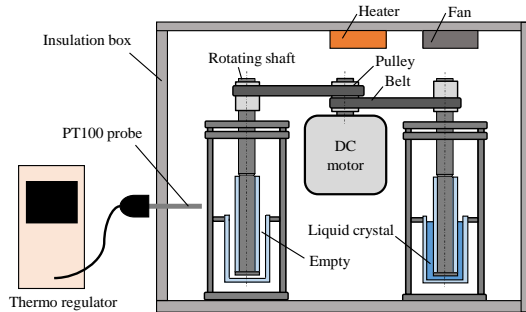


図1 実験装置

(2) シミュレーション

本研究では Leslie-Ericksen 連続体理論

$$((\alpha_3 - \alpha_2)\mathbf{N} + (\alpha_6 - \alpha_5)\mathbf{D} \cdot \mathbf{n} + \frac{\partial F}{\partial \mathbf{n}} - \nabla \cdot \frac{\partial F}{\partial \nabla \mathbf{n}}) \times \mathbf{n} = \mathbf{0}$$

を用いる。ここで  $\mathbf{n}$  は液晶分子の平均的な配向方向を表すディレクタと呼ばれる単位ベクトル、 $\alpha_i$  は Leslie 粘性係数、 $\mathbf{D}$  は変形速度テンソル、 $\mathbf{N}$  はディレクタと流体の相対角速度ベクトル、 $F$  は液晶分子の空間的歪みによる液晶分子場の弾性エネルギーである。基礎式を円筒座標系で展開し、図2に示す2重円筒間せん断流れにおける液晶分子の配向挙動についての3次元数値解析を行う。本研究では、 $R_{out}=3.0\text{mm}$ 、 $R_{in}=2.5\text{mm}$  とし、 $z$  方向には  $2.5\text{mm}$  の周期境界領域をとる。計算に

は2次精度の中心差分法を用い, GPU を用いた並列計算を行う.

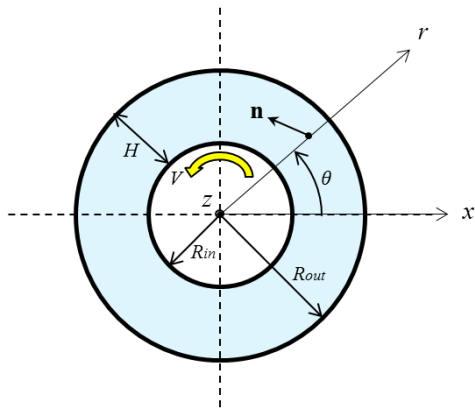
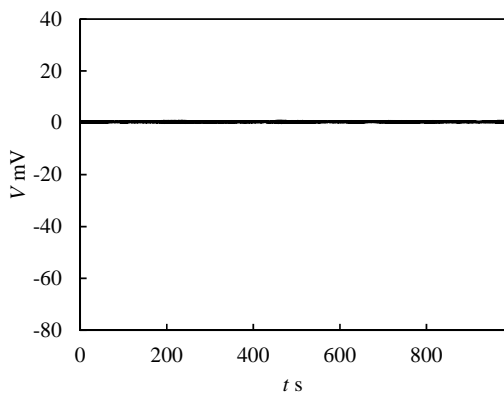


図2 流れ領域および座標系

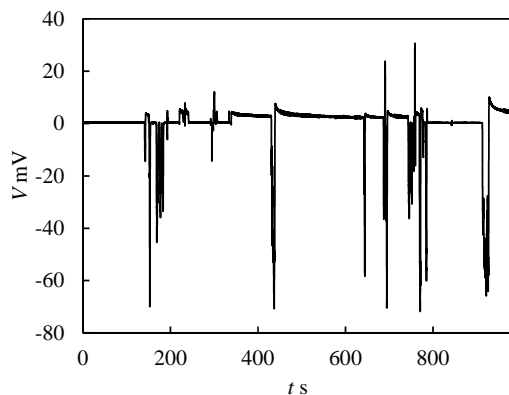
#### 4. 研究成果

##### (1) 実験結果

図3(a)および(b)に, 空セルおよび液晶セルの内外筒間電位差  $V$  の時間変化を示す. 内筒回転数  $N=0.202$  rpm である. 図3(a)および(b)のいずれにおいても,  $t=0\sim 141$  s 間は, どちらも  $1\text{mV}$  以下のノイズのみが現れる. その後,  $t=142$  s において, 液晶セルのみに,  $V=-14.4$  mV のパルス状の電位差が発生している. 一方, 空セルでは, 常に  $1\text{mV}$  以下のノイズのみを維持しているのに対し, 液晶セ



(a) 空セル



(b) 液晶セル

図3 電位差の時間変化

ルでは, 最初のパルスの発生以降, 複数のパルス状の電位差が発生し,  $t=770$  s において最大電位差  $V=-71.7$  mV を示している. この結果より, 流動により液晶に巨視的分極を発現させることが可能であることを見出した. また, 液晶セルにおける電位差が時間に対して不規則である理由については詳細に調べるために図4(a)および(b)に低せん断速度および高せん断速度を与えた場合の液晶セルの偏光顕微鏡画像を示す. 液晶ディスプレイでも応用されているように, 液晶分子の配向状態に依存して偏光方向が変化する. そのため, 変更観察下では液晶分子配向の空間的歪みが強調される. 図4より, 流動中の液晶分子配向場が不規則な線状組織を形成していることが分かる. 液晶セルにおいて発生する電位差の不規則性は, 不規則な線状組織の発生に起因すると考えられる. また, 線状組織はせん断速度(すなわち, 内円筒の回転速度)が大きいほど高密度で発生することが分かった.



(a) 低せん断速度



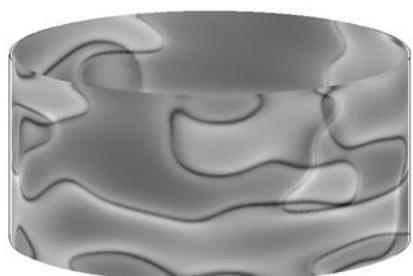
(b) 高せん断速度

図4 液晶分子配向の可視化画像(実験)

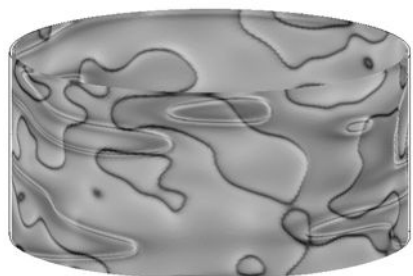
##### (2) シミュレーション結果

図5(a)および(b)に, それぞれ低せん断速度および高せん断速度の場合の, シミュレーション結果より得られた偏光顕微鏡画像を模した可視化画像を示す. 図中の黒い領域は光を通さず, 白い領域は光を通して様子を表す. 図4の実験画像と同様に液晶流動によって分子配向場の線状組織が発生していること, およびせん断速度が高い方が線状組織の空間密度が高くなっていることが分かる.

シミュレーション結果を詳細に調べた結果、分子配向場のノイズが拡大することによって線状組織が発生することが明らかになった。今後は、このシミュレーション結果を基に、流動中の液晶分子配向場のコントロール方法の確立を目指し、液晶発電デバイスの実用化につなげる必要がある。



(a)低せん断速度



(b)高せん断速度

図5 液晶分子配向の可視化画像  
(シミュレーション)

## 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 3件)

辻 知宏, 蝶野 成臣, 液晶駆動型マイクロアクチュエータの開発(第6報, 駆動方向制御), 日本機械学会論文集, 査読有, 81巻, 2015, pp.14-00627-1-10

Tomohiro Tsuji, Shigeomi Chono, Takanori Matsumi, Velocity profiles of electric-field-induced backflows in liquid crystals confined between parallel plates, Journal of Applied Physics, 査読有, Vol.117, 2015, pp.054501-1-8

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

〔学会発表〕(計 4件)

伊東良祐, 辻 知宏, 蝶野 成臣, 二重円筒間液晶せん断流れにおける巨視的分極に関する実験, 第92期日本機械学会流体工学部門講演会, 2014年10月, 富山大学

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年3月, 鳥取大学  
辻 知宏, 蝶野 成臣, 液晶によって誘起される液晶フレクソエレクトリック効果, レオロジー討論会, 2012年9月, 名古屋大学

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

## 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