

# 液晶せん断流れにおける分極値に配向欠陥構造が及ぼす影響

## Effect of the defect structures in molecular orientation field on the electric polarization under shear flows of liquid crystal

知能機械システム工学コース

流体工学研究室 1215017 田村 裕吾

### 1. 緒言

液晶は結晶性を有しているために結晶が持つ圧電効果に似た効果を持ち、分子配向場にひずみを与えることによって巨視的分極が発生する。なお、液晶における巨視的分極はフレクソエレクトリック効果と呼ばれる。<sup>(1)</sup>液晶は流動性を持つために変形量に限界は無く、破壊する危険性はない。また液晶自身に形状の制限はなく自由な形状のデバイスを製作する事が可能である。

一例として、流体軸受けの潤滑剤として使用する事で潤滑をしつつも発電するデバイスや、MEMSの動力源として超小型発電デバイスなどが期待される。本研究は分極デバイスの開発を目的として、同心二重円筒間の液晶を流動させ、フレクソエレクトリック効果によって電位差を発生させることで電気エネルギーを取り出す。

先行研究での同心二重円筒間液晶せん断流れの実験では図1で示したように不規則なパルス状の電圧が確認され、そのままでは発電デバイスとしての利用は難しい。<sup>(2)</sup>また、従来の研究で図2において見られるような配向欠陥構造が空間的かつ時間的にランダムに発生と消滅を繰り返していることが確認された。液晶の巨視的分極であるフレクソエレクトリック効果と液晶の配向場には密接な関係がある。しかしながら従来の研究における偏光観察領域は液晶全体の領域に比べれば著しく狭い領域しか観察できていない。

そこで、本研究では偏光観察領域を従来の研究よりも広い、外筒全周に拡大することで液晶全体の配向欠陥構造を把握し、同心二重円筒間における巨視的分極と配向欠陥構造の関連性を調べることを目的とする。

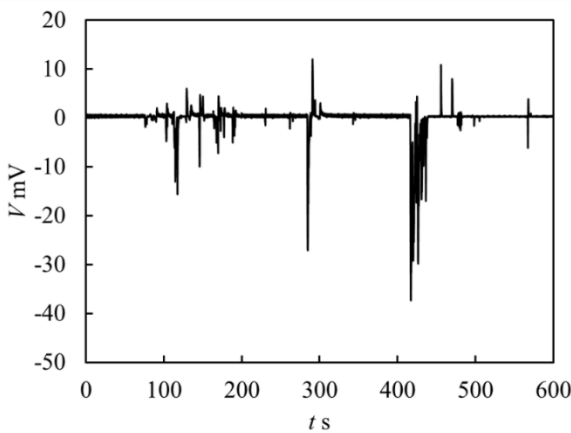


Fig. 1 Voltage between inner and outer cylinders ( $T=37^{\circ}\text{C}$ ,  $E_r=200$ )

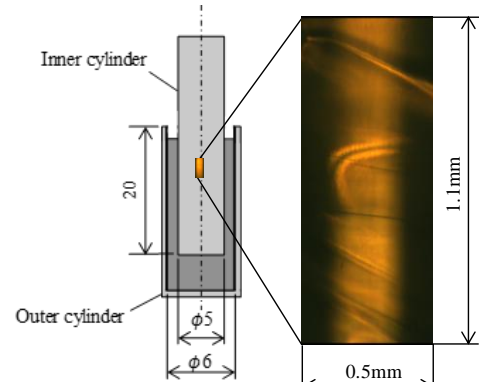


Fig. 2 Polarized microscopic image of liquid crystalline under shear flow

### 2. 実験装置と実験方法

図3に実験装置の概略を示す。同心二重円筒と液晶からなる液晶セル、液晶が充填されていない空セル、および駆動用DCモーターは断熱ボックスで囲われており、ヒーターによってボックスの内分温度は制御されている。DCモーターを駆動することによりプーリー、ベルトを介して液晶セルおよび空セルの内筒が回転する。せん断流動時の液晶の様子をリフレクターを通して偏光顕微鏡観察する。

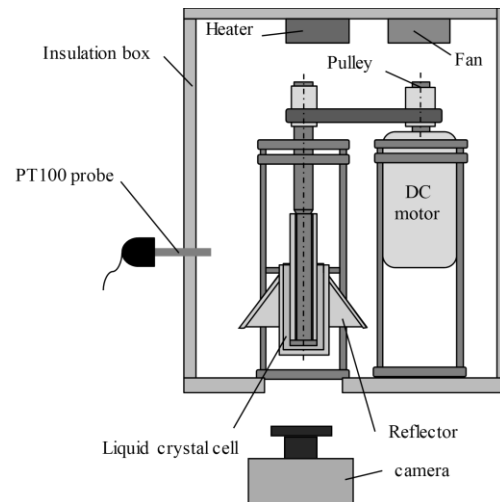


Fig. 3 Experimental setup

外筒には片閉じガラス管(外径8mm, 内径6mm, 長さ30mm)を用いて、内筒には両端開放ガラス管(外径5mm, 内径3mm, 長さ40mm)を用いる。内筒と外筒の表面にITO透明電極膜および配向膜が製膜されている。外筒および内筒には垂直配向剤(JSR製 オプトマーAL60101)を使用している。

実験に用いる液晶は 8CB(4-Cyano-4'-octylbiphenyl)であり、ネマチック相から等方相になる相転移温度は 41°Cである。(3)

まず液晶セルの温度を相転移温度以上にし、液晶を充填した際の流動配向履歴を消去した後、温度を設定値まで緩やかに下げる。その後、 $t=0$  で撮影の開始と同時に内筒を回転させ始め、測定を行う。実験条件は温度  $T=37.5^\circ\text{C}$ 、エリクセン数  $Er=200$ (内筒回転数  $N=0.202\text{rpm}$ )である。

### 3. 実験結果及び考察

図 4 に間隔 1mm の格子を外筒の側面に張り付けた後にリフレクター下方より撮影をした画像である。図 4 のままでは像が歪んでおり、解析に不適である。そこで、図中に示した赤線の領域を展開した画像を図 5 に示す。外筒側面の 1mm の格子が得られていることが分かる。

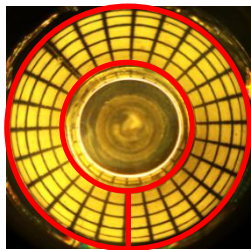


Fig. 4 Observed image

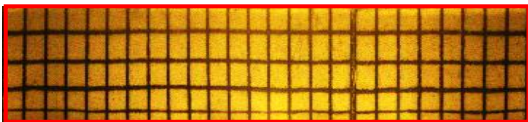


Fig. 5 Development view

次に液晶を注入した状態で撮影した偏光画像を図 6 に示す。本来、流れを印加していない状態では様な光量が得られるのが理想であるが、画像の上下中央付近に内筒を支えるステンレス棒表面の傷に起因する筋状の模様が見られる。この影響を取り除くために、以降の解析には  $t=0$  s の画像との差分画像を用いる。

図 7(a)~(d)は  $t=0$ s で内筒を回転し始めた場合の差分画像の時間変化を表す。 $t=0$ s では差分化しているため何も映っていない。図 7 (b)は内筒が回転してから 40 秒経過しており、線状の明るい領域が見られるようになってくる。ここでは液晶の配向場が急激に歪んでおり、配向欠陥構造が発生していると考えられる。その後、図 7 (c), (d)のように配向欠陥の密度は時間の経過とともに変化する。

図 8 に差分化した偏光観察の画像全体の平均輝度値の時間変化を示す。内筒が回転を開始直後に輝度値の急激な上昇が見られ、その後は振動しつつ変化を続けている。このことから、配向欠陥が発生と消失を繰り返していると考えられる。今後、電圧と全周偏光観察を同時に行うことで、どのような状態で巨視的分極が発生しているかを明らかにすることができる。

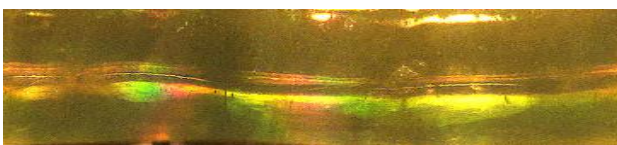
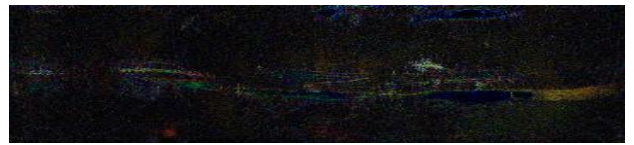


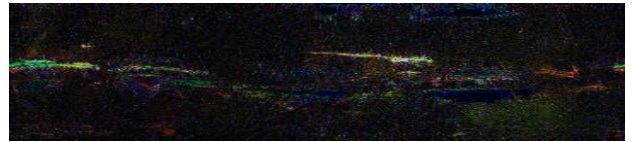
Fig. 6 The development view of all circumference observations



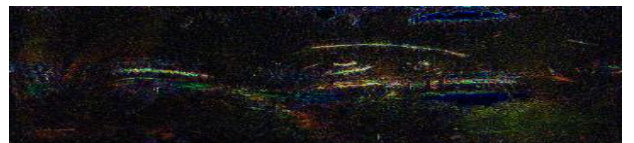
(a)  $t=0$ s



(c)  $t=40$  s



(c)  $t=555$  s



(d)  $t=872$  s

Fig. 7 The development view of all circumference observations (Difference value)

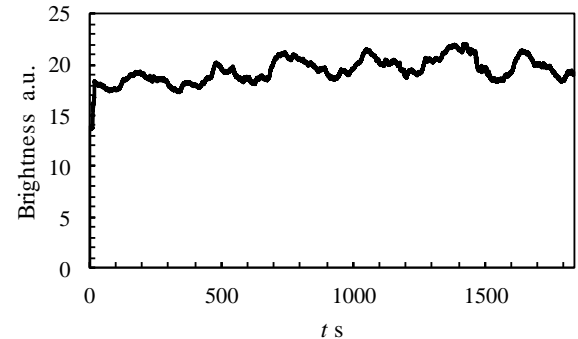


Fig. 8 Brightness change

### 4. 結言

本研究では同心二重円筒間液晶せん断流れの全周偏光観察を行い、流動中の液晶分子の挙動を観察した。得られた結果を以下に示す。

- ・観察画像の輝度値の変化から、配向欠陥が発生と消滅を繰り返すことを確認することができた。
- ・流動中の液晶分子配向場の全周観察手段を確立した。

### 文献

- (1) R. B. Meyer, Piezoelectric Effects in Liquid Crystals, Phys. Rev. Lett. 22, 918 (1969)
- (2) 伊東 良祐, 辻 知宏, 蝶野 成臣, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集 (2014)
- (3) 液晶便覧, 液晶便覧編集委員会, 丸善株式会社, (2000)