修士論文要旨

コレステリック液晶を用いたソフトアクチュエータの開発

Development of a soft actuator utilizing a cholesteric liquid crystal

知能機械システム工学コース

流体工学研究室　　1225040　中山　祐輔

1.　緒言

近年，ネマティック液晶の背流効果を利用したアクチュエータの開発が行われている[1]．液晶平板アクチュエータでは，上下 2 枚の平板間に液晶材料を挟み，平板間隔に電場によって誘起される流れによるせん断応力を利用して平板の駆動を実現している．さらに，液晶の流動性をより積極的に応用したアクチュエータとして液晶多自由度アクチュエータの開発が行われている[2]．液晶多自由度アクチュエータは物体を駆動させる液晶平板アクチュエータとは異なり，液晶滴自体を駆動させるアクチュエータである．液晶滴自身の形状を流路形状に適合させながら 3 次元的に駆動し，内包する物体を運搬するアクチュエータの実現が期待されている．これまでに基板上または基板間に位置するネマティック液晶滴の 2 次元駆動に成功している[3]．しかし，これらの研究では液晶滴が基板に触れているため液晶滴は基板面に沿った 2 次元駆動しか実現できない．そこで，比重の近い液体中に浮遊した液晶滴に着目する．

ネマティック液晶の場合，液体中に浮遊した球状液滴内部の分子配向状態は局所的には異方性を有するものの，液滴全体では異方性を持たない．そのため，この液滴を特定の方向に駆動することは困難であり，アクチュエータとして不向きである．ネマティック液晶の代わりにコレステリック液晶を利用することで，液滴内部に分子配向の高次構造が生じることで液滴全体としての異方性を実現でき，3 次元駆動可能なアクチュエータの実現が期待できる．

本研究では 3 次元的に駆動する多自由度アクチュエータの実現を目指し液体中に浮遊するコレステリック液晶滴にパルス電場を印加した場合の液晶滴の挙動を調べる．

2.　実験装置および方法

図 1 に実験セルの概略図を示す．2 枚のガラス基板から成るセル内に液晶を封入する．セル内側の基板表面には，ITO 電極が成膜されている．また，セル厚を一定とするためスペーサーとして厚さ 150μm のマイクロフィルムが基板間に挿入されている．図 2 は実験装置の断面図である．実験セルの上下にガラスヒータが設置されており，実験セルとガラスヒータは断熱性が高い MDF（中密度繊維板）で覆われている．実験セル内の液晶滴の挙動を観察窓を通して顕微鏡観察を行う．また，白金測温抵抗体は温度コントローラと接続され，ガラスヒータの温度を任意の値に設定できる．コレステリック液晶として，ネマティック液晶である 4-Cyano-4'-pentylbiphenyl（5CB）にらせん構造を安定させるためのカイラル剤 S-811（メルク社製）を適量添加したものを用いる．ガラスヒータの温度を 40℃に上昇させ液晶を等方相に相転移した後，ヒータ温度を約 34℃に下げ等方相中にコレステリック液晶滴を発現させる．ITO 電極を介して液晶滴に電場を印加する．実験セルを鉛直方向から顕微鏡撮影し，液晶滴の電場印加時の挙動を観察する．

コレステリック液晶分子のらせんピッチはカイラル剤の添加量で調節することができる．本研究ではらせんピッチ P=5.7，7.1，10.7，13.1，15.1，26.5μm のコレステリック液晶を用いる．

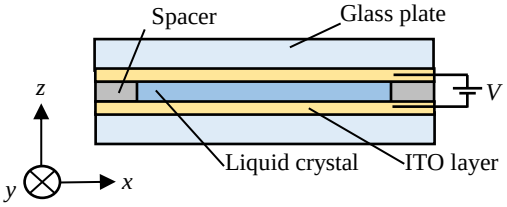


Fig.1 Schematic of experimental cell

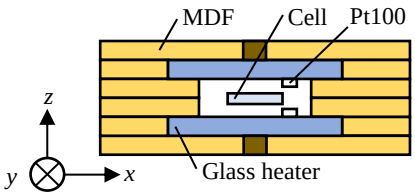


Fig.2 Schematic of experimental setup

3.　実験結果と考察

図 3 に電圧 V=10V，周波数 f=50Hz，duty 比 50%のパルス電場印加時におけるコレステリック液晶滴（P=13.1μm）の駆動の様子を示す．液晶滴の初期の重心位置を白色×印，各時刻における重心位置を黒色×印で示す．液晶滴内部の縞模様はコレステリック液晶分子配向のらせん構造によるものであり，縞の間隔と一致する．図 3 より時間の経過とともに，液晶滴の重心位置が左下方向に移動しており，電場の印加による液晶滴の駆動が確認できる．また，駆動時に液晶滴の形状変化は見られない．また，液晶滴表面の縞の方向は液晶滴の駆動方向におおよそ一致しており，パルス電圧印加時の液晶滴の駆動方向と縞の方向の間に相関があることがわかる．

次に，液晶滴内部の分子配向状態と液晶滴の駆動特性を詳細に調べるためにコレステリック液晶のらせんピッチを変更して実験を行った．図 4 にコレステリック液晶のらせんピッチ P 液晶滴の駆動速度 v との関係を示す．図 4(a)は電圧 V=10V，周波数 f=3Hz，duty 比 50%のパルス電場印加時，図 4(b)は電圧 V=10V，周波数 f=500Hz，duty 比 50%のパルス電

場印加時のグラフである. v はそれぞれ 10 回実験を行なった平均値をプロットしており，エラーバーは標準偏差を表している．図 4(a)より，P≲13.1μm において P の増加にともなって v は増加し，v は P=13.1μm のとき最大値（v≈8.5μm/s）となる．P≳13.1μm において P の増加にともなって v は減少する．一方，図 4(b)の場合には，液晶滴の駆動速度はらせんピッチ P によらずほぼ一定値を示す.

図 5 にコレステリック液晶滴の直径 D と駆動速度 v の関係を示す．らせんピッチ P=10.7μm の液晶滴に電圧 V=10V，周波数 f=50Hz，duty 比 50%のパルス電場を印加している．D≈80μm 近傍で駆動速度が最大値を示すものの，駆動速度にばらつきが大きく直径と駆動速度の間の明確な相関は見られない.

D≈83μm の液晶滴の内，駆動速度が大きいものと小さいものについて，液晶滴内部の分子配向状態の比較を行う．図 6 に液晶滴のらせん軸に沿った無次元偏光透過光強度 I/I_{max} の変化を示す. 図中青線は v=12.7μm/s, オレンジ線は v=4.5μm/s の液晶滴の値である．青線で示される駆動速度が大きい液晶滴についての透過光強度分布の場合，極大値と極小値がコレステリックらせんピッチの間隔で交互に現れており，液晶滴内部で一様ならせん配向構造が形成されていることがわかる．一方，駆動速度が小さい液晶滴の場合，極大値と極小値の間隔が一定ではなく，液晶滴内部の配向構造が乱れている．これらの液晶滴内部の分子配向構造の違いが駆動速度の違いの要因となっていると考えられる.

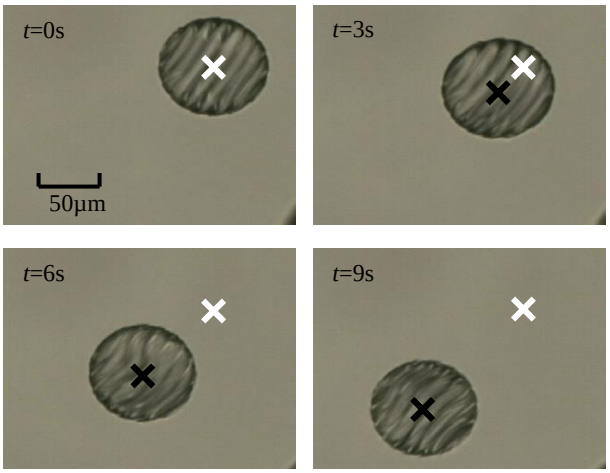
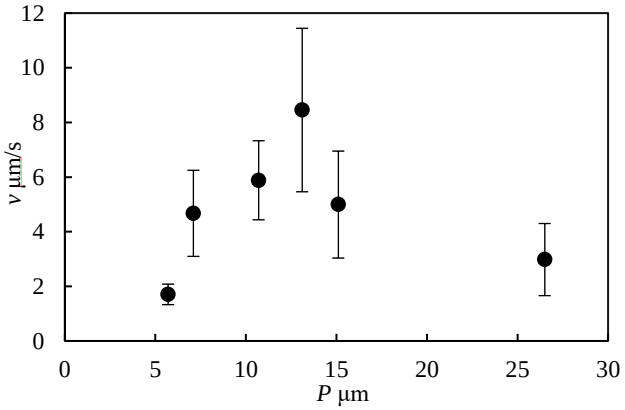
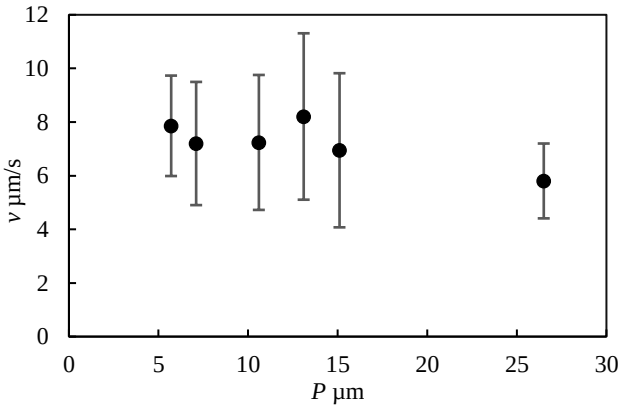


Fig.3 Motion of liquid crystal droplet under pulse voltage



(a) f=3Hz



(b) f=500Hz

Fig.4 Dependence of the maximum driving speed of droplet on the chiral pitch of cholesteric liquid crystal

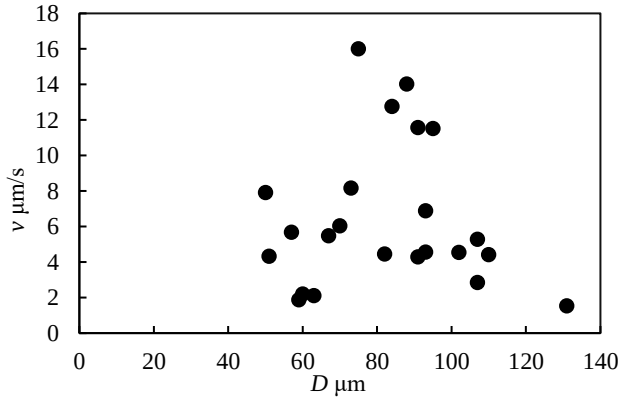


Fig.5 Dependence of the maximum driving speed of droplet on the diameter of cholesteric liquid crystal droplet

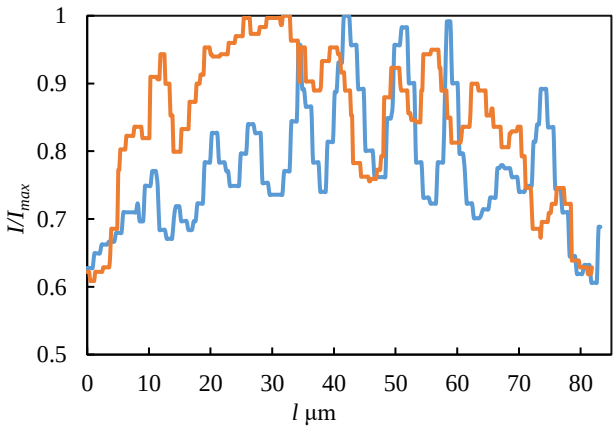


Fig.6 Polarized light intensity along the helical axis of cholesteric molecular orientation

4. 結言

本研究では，液体中に浮遊したコレステリック液晶滴にパルス電場および直流電圧を印加した場合の液晶滴の挙動を調べた．得られた結果を以下に示す．

- パルス電場を印加した場合，コレステリック液晶滴は分子配向のらせん構造によって形成される縞模様の方向に並進駆動する．
- コレステリック液晶滴に周波数 3Hz のパルス電場を印加した場合，駆動速度はらせんピッチに対して極大値を持ち，その最大値はピッチが 13.1μm のとき 8.5μm/s となる．
- コレステリック液晶滴に周波数 500Hz のパルス電場を印加した場合，らせんピッチによらず約 8.5μm/s の一定駆動速度を示す．
- コレステリック液晶滴の駆動速度は液滴内部に形成される分子配向構造と強い相関を持ち，高い駆動速度を実現するためには一様ならせん構造の形成が必要であることを明らかにした．

文献

(1) 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 1 報，流動の発生とメカニズム”，日本機械学会論文集 B 編，Vol.72, No.715 (2006), pp.656-661.

(2) 山口淳・蝶野成臣・辻知宏，”液晶を用いた無定形アクチュエータの開発”，第 91 期日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集.

(3) 松田 琳子，蝶野成臣，辻知宏，”液晶流を利用した無定形アクチュエータ”，流体工学部門講演会講演論文集，Vol.2016, (2016)