

液晶を利用したソフトアクチュエータの開発

システム工学群

流体工学研究室 1190158 三宅 栄一

1. 緒言

マイクロ・ナノ加工技術の発展にともなって様々な機械要素の開発が行われるようになってきた。その中の1つにマイクロアクチュエータがあり、圧電マイクロアクチュエータや超音波マイクロモータが挙げられる。近年、液晶を駆動源として利用したマイクロアクチュエータが提案され、従来の研究で液晶平板アクチュエータや、超小型の液晶モータが開発されている。これらのアクチュエータは、液晶にパルス電場を印加した際の、液晶分子の回転にともなう背流を駆動原理としている⁽¹⁾。さらに、液晶が液体状であり、変形が容易であるという特性を活かして、液晶ソフトアクチュエータが提案されている⁽²⁾。このアクチュエータは自由な形状に変形できるため周囲の環境に合わせ駆動する特徴を持つ。応用例として、自身の形状を血管など人間の体内構造に合わせて変形しながら移動して患部に直接薬を届けるドラッグデリバリーシステムや、ベアリングの潤滑油を液晶とし、潤滑状態の変化に合わせて移動する機能性潤滑油などが挙げられる。これら以外にも、MEMSデバイスの新たな駆動機構としての応用が期待される。

本研究では、液晶ソフトアクチュエータのサイズ変化による影響を調べるために、基板間隔が液晶滴の駆動特性に及ぼす影響について調べる。

2. 実験及び解析方法

図1に実験装置の概要を示す。実験に用いた液晶セルは間隔 d で固定された2枚のガラス基板と両平板に接するように注入された液晶滴から成る。ガラス基板の対向面には電場を印加するためのITO電極膜及び、液晶分子の配向方向をガラス基板と平行にするための水平配向膜が施されている。水平配向膜はラビング法を用いて、 x 軸方向に液晶分子の長軸が沿うように処理されている。また、厚さ d のスペーサーを基板面に挟み基板間隔 d を実現している。液晶材料は4-Cyano-4'-pentylbiphenyl (5CB)であり、 z 方向から観察したときに直径 $100\mu\text{m}$ となるよう注入する。基板間に

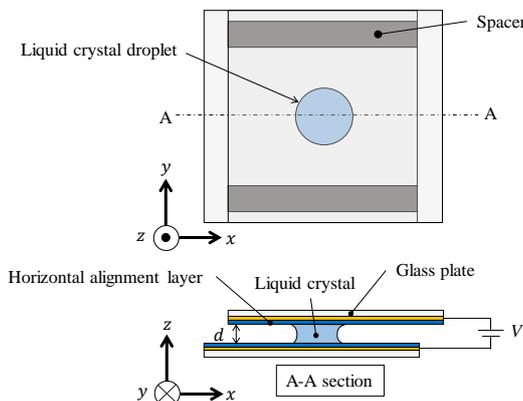


Fig.1 Schematic of experimental setup

DC電圧を印加して液晶滴を駆動させ、その様子を、顕微鏡を介して z 軸方向から動画撮影する。入力電圧 $V=30\text{V}$ 、基板間隔 $d=6, 16\mu\text{m}$ について液晶滴の駆動実験を行う。

3. 結果及び考察

図2に、電圧印加開始時刻 $t=0\text{s}$ から電圧印加時刻 $t=5\text{s}$ までの1sおきの液晶滴の挙動の連続画像を示す。基板間隔は $d=16\mu\text{m}$ である。液晶滴の初期重心位置を白色×印、各時刻 t での重心位置を黒色×印で示す。電圧印加によって液晶滴が図中右方向に駆動することが分かる。

図3(a),(b)に基板間隔 $d=6,16\mu\text{m}$ の場合の液晶滴の重心位置の軌跡をそれぞれ示す。 $t=0\text{s}$ での重心位置を原点とし、0.03sおきに液晶滴の重心位置をプロットしている。プロットの色は複数回行った実験結果をそれぞれ表している。図3より、液晶滴の駆動方向はばらついていることがわかる。また、 $d=16\mu\text{m}$ ではより直線的に駆動する。

図4(a),(b)は $d=6,16\mu\text{m}$ それぞれの基板間隔での液晶滴の駆動方向の確率分布を示したものである。縦軸は各範囲での確率を示す。なお、駆動方向の計算では、液晶滴の駆動方向の対称性から、 x 軸方向 $\pm 90^\circ$ の範囲に駆動方向を変換している。図4(a),(b)の結果より、 $d=6\mu\text{m}$ ではおおよそ x 軸方向 $\pm 90^\circ$ の範囲全体に駆動方向が分布していると言える。一方で、 $d=16\mu\text{m}$ は y 軸 $\pm 45^\circ$ の範囲に駆動分布が存在せず、 $d=6\mu\text{m}$ と比較して駆動方向の x 軸方向への指向性が強いと言える。

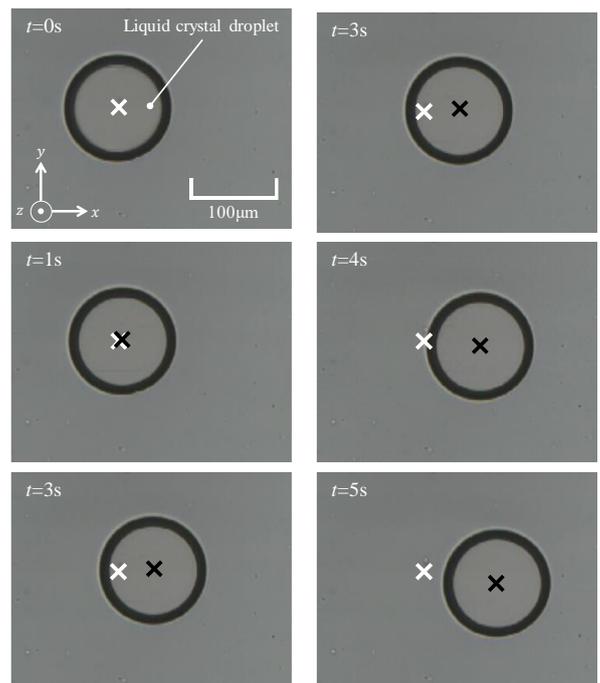


Fig.2 Motion of a liquid crystal droplet under DC voltage

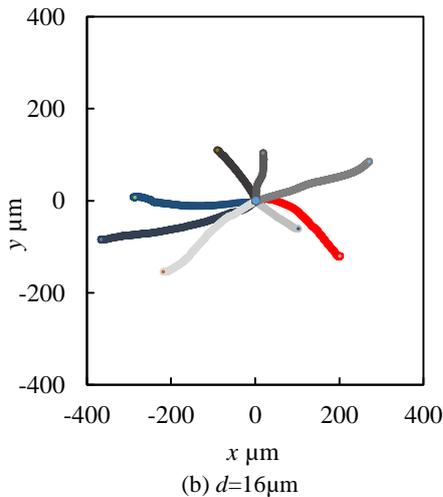
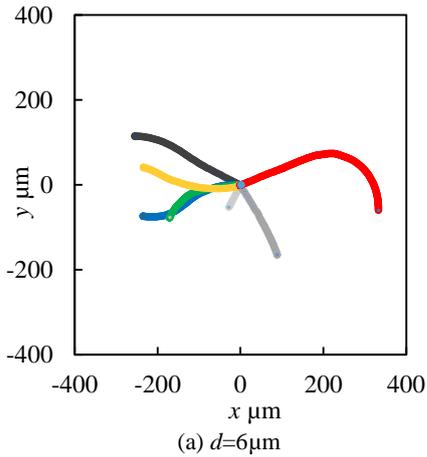


Fig.3 Path of liquid crystal droplet

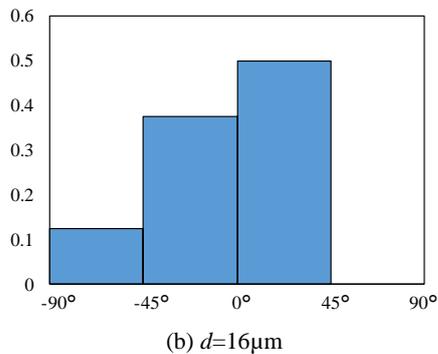
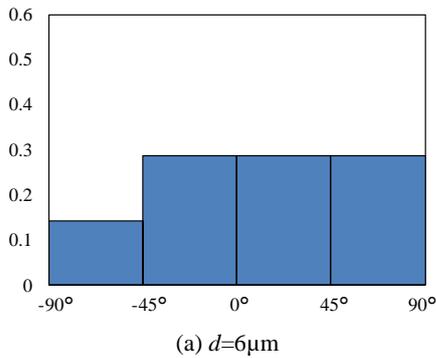


Fig.4 Probability distribution of driving droplet

図5 (a),(b)は、各基板間隔での液晶滴の駆動方向の分布を x - y 平面の単位円上にプロットしたものである。ただし、駆動方向の発生確率の対称性から、図5で変換した駆動分布を、原点に対して対称になるようプロットしている。図中の青のプロットを原点対称に移したものが赤のプロットである。青のプロットについて観察すると $d=6\mu\text{m}$ では、 x 軸 $+60^\circ \sim 75^\circ$ の範囲に 2 点、 x 軸付近 (x 軸 $\pm 5^\circ$) に 3 点、 x 軸 $-30^\circ \sim 60^\circ$ の範囲に 2 点、駆動方向が分布している。 x 軸付近で駆動分布の重複があるものの、駆動分布はおおよそ全周方向に渡っていると言える。一方、 $d=16\mu\text{m}$ の場合は、 x 軸 $+30^\circ$ 付近に 2 点、 x 軸 $-0^\circ \sim 20^\circ$ に 2 点、 x 軸 -10° 付近に 3 点、 x 軸 -45° 付近に 1 点駆動分布が存在している。 $d=6\mu\text{m}$ と比較して、駆動分布は x 軸 $+30^\circ \sim -20^\circ$ 付近に集中していると言える。図4の考察と合わせて考えると、液晶滴の駆動方向のばらつき度合は基板間隔に依存すると言える。

4. 結言

本研究では液晶ソフトアクチュエータの開発を目的とし、液晶滴に電場を印加した場合の液晶滴の駆動特性の基板間隔依存性について調べた。得られた結果を以下に要約する。

- ・電圧 30V を印加した場合、液晶滴の駆動方向はばらついて
- いる。また、 $d=16\mu\text{m}$ のほうが駆動がより直線的である。
- ・液晶滴の駆動方向のばらつき度合は基板間隔に依存する。

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) 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”, 第94期日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, (2016年11月12日)

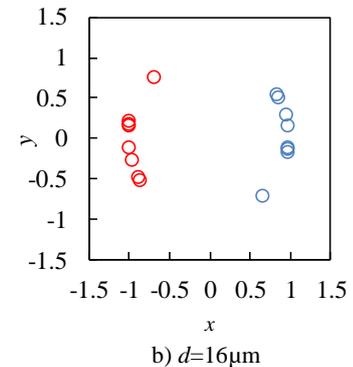
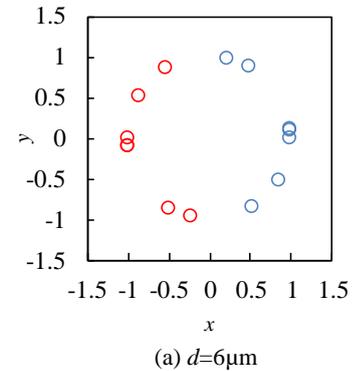


Fig.5 Driving direction of droplet