

# 卒業論文要旨

## 電場下におけるネマティック液晶の粘度特性の計測

### Measurement of viscosities of nematic liquid crystals under magnetic fields

システム工学群

流体工学研究室 1231001 大谷 丸哉

#### 1. 緒言

近年、電場によって誘起される液晶流動を応用した液晶アクチュエータの研究が行われている。具体的には、液晶に電場を印加した際の棒状分子の回転挙動にともなって発生する液晶流れが液晶に接する物体表面にせん断応力を生み出し、物体を駆動させるアクチュエータである<sup>(1)</sup>。液晶アクチュエータは構造の単純さから、マイクロマシンの駆動源としての利用が期待できる。この液晶アクチュエータの駆動力は液晶流動によるせん断応力であるため、液晶の粘度特性がアクチュエータの駆動性能に強く影響を及ぼす。液晶に電場を印加した場合、棒状の液晶分子が電場方向に沿うように回転するのみならず、分子の配向状態を介して粘度特性も変化する。したがって、液晶アクチュエータに適した液晶の選定には、電場下における液晶の粘度特性を明らかにする必要がある。一方で、液晶分子の配向状態を制御する手法に液晶配向膜がある。これは、液晶に接する固体表面（例えば、液晶を封入する容器の液晶と接する面）に高分子膜を塗布することで表面における分子配向方向を固定する手法であり、液晶ディスプレイにも応用されている。

そこで本研究では、液晶の電場が液晶の粘度特性に及ぼす影響について調べるとともに液晶配向膜が粘度特性に及ぼす影響についても吟味する。

#### 2. 実験装置及び方法

実験には回転粘度計(Thermo Fisher Scientific 社 HAAKE MARS III)を用いた。本実験では配向処理なし、垂直配向処理あり、垂直配向処理かつ電場印加の3パターンを行う。液晶材料として 24~35°C でネマティック相を示す 4-n-pentyl-4'-cyanobiphenyl (5CB)を用いる。

図1に測定計の概要を示す。測定計には平行プレートを用いた。上部円板、下部円板ともに直径 60 mm のガラス円板を使用した。円板間隔 0.5 mm に液晶が充填されている。下部円板直下に設置されたヒーターにより 25°C一定温度下で測定を行なった。

垂直配向処理あり実験については、上部、下部円板に垂直配向剤を塗布し垂直配向膜（ポリイミド）を製膜し、測定を行なった。

さらに電場印加実験については、垂直配向処理に加え、上部、下部円板に ITO 電極膜をスパッタリング法を用いてを施す。また、回転軸とガラス円板を接続するアルミ製の取り付け具に深さ 3 mm、幅 5 mm の環状の溝を加工する。この溝に水を充填し導線を接触させることで、上部円板の回転を阻害することなく電圧を印加することが可能である。下部円板は回転しないため導線をはんだ付けで直接接続している。また下部円板の下にはアクリル板を貼り付けており粘度計本体とは絶縁されている。電圧供給にはパワーアンプを用いる。

0 V から 40 V まで 10 V 間隔で電圧を印加する。

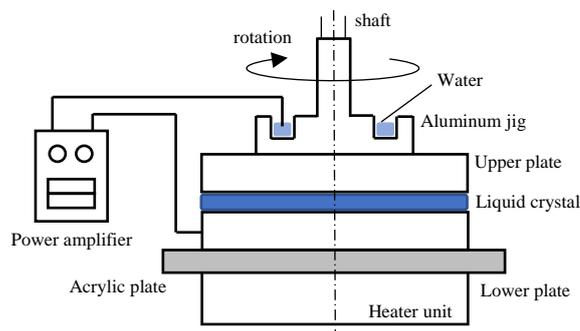


Fig.1 Measurement section

#### 3. 実験結果及び考察

図2, 図3, 図4に、せん断流れにおける実験結果を示す。図2, 3は縦軸に粘度 $\eta$ であり、横軸はせん断速度 $\dot{\gamma}$ である。図4は縦軸に粘度 $\eta$ であり、横軸は印加電圧 $E$ Vである。

図2は配向処理なしの場合の、粘度のせん断速度依存性を表す。せん断速度の増加とともに粘度はわずかに減少し、 $\dot{\gamma} \geq 10$ で一定値に至っている。

図3は垂直配向処理ありの場合の、粘度のせん断速度依存性を表す。配向膜なしの場合と同様にせん断速度の増加とともに粘度は減少し、 $\dot{\gamma} \geq 10$ で一定値に至っている。図2に示した配向膜なしの場合と比較すると、配向膜ありの場合には低せん断速度領域における粘度の減少が大きいこと、高せん断速度領域における粘度値が小さいことが分かる。配向膜がない場合のガラス表面における分子配向方向は円板間に液晶を充填した際の流動方向に依存し、本実験では上下平板面で液晶分子は放射状方向を向いていると推察できる。配向膜がない場合には、液晶分子がせん断面に対して垂直方向を向いているため、せん断流れの影響を受けず放射状方向を向いた状態を維持していると考えられる。一方で、垂直配向膜が存在している場合にはせん断速度が0の極限では、液晶分子は配向膜の影響により円板に対して垂直方向を向いているが、せん断速度が大きくなると、分子配向方向は流れ方向へと変化する。一般的に液晶の粘度は、液晶分子がせん断方向を向いている場合の粘度 > せん断面に垂直な場合の粘度 > 流れ方向を向いている場合の粘度であることが知られている<sup>(2)</sup>。したがって、高せん断速度領域において、垂直配向膜がある場合の粘度が垂直配向膜がない場合の粘度よりも小さくなる。

図4は垂直配向処理かつ電場を印加した場合の粘度の印加電圧依存性を表す。印加電圧が高いほど粘度が高くなることが分かる。また、電圧の印加による粘度の上昇値はせん断速度が小さいほど大きい。流動中の分子配向方向は、流動が

流れ方向へと配向させる効果と電場が円板間隔方向へと配向させる効果の競合によって決定される。したがって、高印加電圧かつ低せん断速度の場合に分子配向方向の流れ方向からのずれが最も大きくなり、粘度が高くなる。

次に、分子配向方向と粘度の関係を考察する。以下の式は、Leslie-Ericksen 理論から得られる分子配向角  $\theta$  (液晶分子と流れ方向との間の角度) と粘度の関係である。

$$\eta = \alpha_1 \cos^2 \theta \sin^2 \theta + \frac{1}{2} \{ (\alpha_3 + \alpha_6) \sin^2 \theta + (\alpha_5 - \alpha_2) \cos^2 \theta + \alpha_4 \} \quad (1)$$

この式より得られた分子配向角と粘度の関係を図5に示す。液晶分子が流れ方向 ( $0^\circ$ ) に配向しているときは粘度が低く、垂直方向 ( $90^\circ$ ) に配向しているときは粘度が高くなる。この結果と図4の結果を比較すると、電圧40Vの場合、 $\dot{\gamma} = 5, 10, 30$ における分子配向角はそれぞれ  $44^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $13^\circ$ となる。

以上の結果より、液晶の粘度はせん断速度、印加電圧、および配向膜の有無に大きく依存することが分かった。

#### 4. 結言

本実験では配向処理の有無と電場下におけるネマティック液晶の粘度特性の測定を行ない、分子配向について検討を行った。得られた結果を以下に要約する。

- ・液晶の粘度は配向膜の有無に依存し、垂直配向膜のある場合の粘度は配向膜の粘度がない場合よりも低くなる。
- ・電場下では流動中の液晶分子の配向方向は電場による効果と流動による効果の競合によって決まり、せん断速度が低く、印加電圧が高いほど液晶分子が流れ方向に対してなす角度が大きくなり、粘度が高くなる。

#### 参考文献

- (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, 流動の発生とそのメカニズム”, 日本機械学会論文集 B 編, Vol.72, No.715(2006-3), pp.656-661.
- (2) 折原宏, 液晶の物理 (2004)

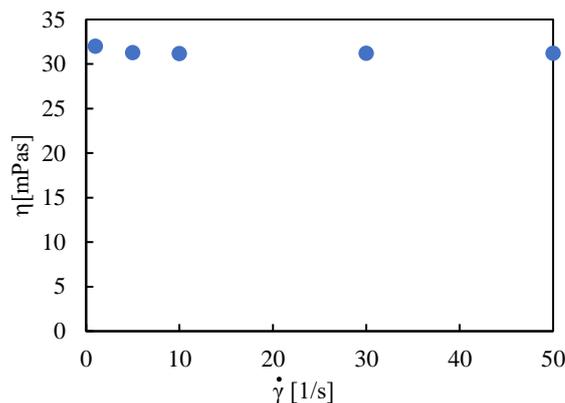


Fig.2 5CB Shear rate dependence of non-orientation

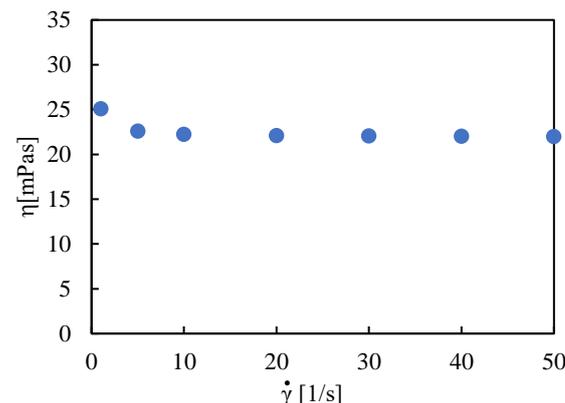


Fig.3 5CB Shear rate dependence of vertical-orientation

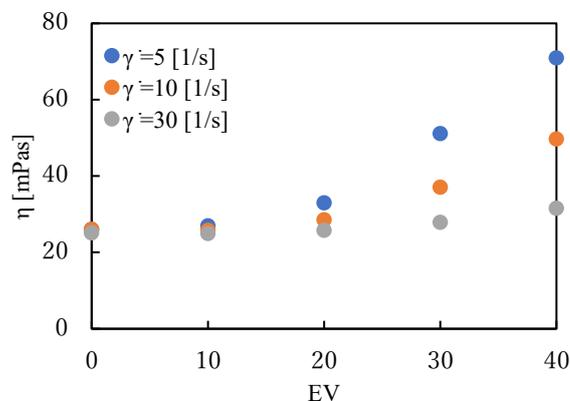


Fig.4 5CB Voltage dependence

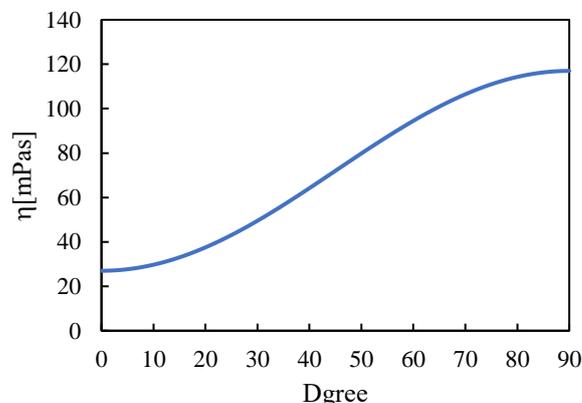


Fig.5 Relationship between Leslie Angle and Viscosity