

修士論文要旨

液晶力学デバイスのための液晶粘度特性評価

Evaluation of liquid crystal viscosity for liquid crystal mechanical devices

知能機械システム工学コース

流体工学研究室 1225013 金滝 泰英

1. 緒言

液晶とは結晶と液体の中間状態を表す。そのため、液晶は液体のような流動性を示し、結晶のように方向によって物理的性質が変わる異方性を示す。現在、液晶の流動を応用した液晶アクチュエータの開発が進んでいる⁽¹⁾。液晶アクチュエータは、液晶の流動性を利用しどのような形状にも適応することが可能であり、構造がシンプルであるため、小型化が容易である。

液晶ディスプレイに適した液晶材料については、光学的・電磁気学的見地から広範に研究が行われているが、液晶アクチュエータに適した液晶材料に関する研究は皆無である。液晶アクチュエータの駆動原理は背流と呼ばれる電場によって誘起される液晶流動が、駆動対象物体と液晶の接面でせん断応力を生じさせることによる。そのため、液晶アクチュエータの駆動特性には、粘度が最も影響を及ぼす物性値であることは容易に推察できる。

通常の流体と同様に液晶の粘度は温度によって変化する。液晶材料の粘度が液晶アクチュエータの駆動特性に影響を及ぼすことから、液晶アクチュエータの駆動特性は周囲の温度環境に強く影響を受ける。一方、液晶分子は棒状であり、液晶分子の向きによっても粘度が変化する。従って、液晶アクチュエータに最適な液晶材料を粘度の観点で調べるためには、液晶粘度の温度依存性、粘度と液晶分子の配向方向の関係について明らかにする必要がある。

ネマティック液晶は単純せん断流れ中での液晶分子の配向挙動によって2種に分類される。液晶分子の配向方向（ディレクタ）が単純せん断流れ中でLeslie角⁽²⁾と呼ばれる一定の角度で静止するアライニング液晶。ディレクタが回転し続けるタンブリング液晶である。

本研究では、アライニング状態のみを示す4-Cyano-4'-n-pentylbiphenyl(5CB)と温度に依存してアライニングとタンブリングの両状態を示す4-Cyano-4'-n-octylbiphenyl(8CB)を対象として粘度測定を行う。

2. 実験装置および方法

回転粘度計(MARSIII Thermo Fisher Scientific 製)を実験装置として使用する。

粘度測定における測定部概要を図1に示す。ITO膜がガラス円板全面に製膜されており、両円板間に電圧印加可能となっている。ガラス円板の対向する面には垂直配向膜が製膜されている。両円板間ギャップ $h=0.5\text{mm}$ であり、上部円板が回転することで液晶にせん断流れが誘起される。図2は平衡状態における液晶分子の配向状態を示す。上下円板壁面に施された垂直配向膜の効果により、平衡状態において液晶分子は z 軸方向の一様配向状態を示す。

測定試料として4-Cyano-4'-n-pentylbiphenyl(5CB)と

4-Cyano-4'-n-octylbiphenyl(8CB)の2種類のネマティック液晶を用いる。

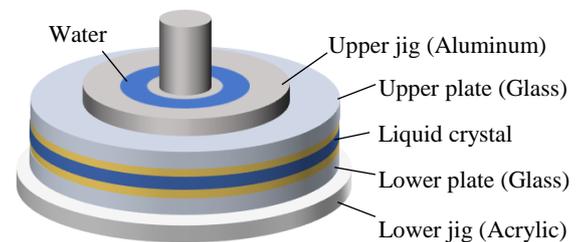


Fig.1 Schematic of the experimental setup

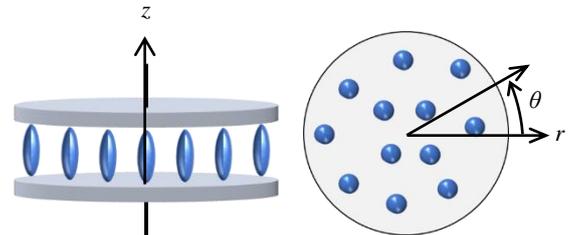


Fig.2 Alignment of liquid crystal molecules under homeotropic anchoring conditions

3. 実験結果と考察

流動中の液晶分子の配向状態が測定粘度に及ぼす影響を調べるため、上下円板間隔に電圧 $E=40\text{V}$ を印加した場合の粘度 η とせん断速度 $\dot{\gamma}$ の関係を図3に、同条件での数値シミュレーションで予測した円板間隔における分子配向状態（棒状分子の配向方向の流れ方向からの傾き角 ϕ 分布）を図4に示す。基礎式にはLeslie-Ericksen連続体理論を、数値計算には差分法（格子幅 $\Delta r=\Delta z=0.025\text{mm}$ ）を用いてシミュレーションを行った。

図3より、 $\dot{\gamma}$ の増加にともない η は減少し、 $\dot{\gamma} \geq 50\text{s}^{-1}$ でほぼ一定の値 $\eta \approx 24\text{mPa}\cdot\text{s}$ となる。これはせん断速度の増加により、液晶の配向状態が垂直配向から流れ方向へと傾く度合が増すことに起因すると考えられる。

図4より、ディレクタが流れ方向を向く領域がせん断速度の増加に従って円板外周部から円板中心部へと向かって大きくなるのが分かる。また、 $\dot{\gamma}=100\text{s}^{-1}$ の場合には、円板間のほぼ全領域でディレクタは流れ方向を向いている。これらの結果より、流動中の分子が流れに平行に配向している場合の粘度に対して、分子が垂直に配向している場合の粘度は2倍以上であり、分子配向状態が測定粘度に大きく影響を及ぼすことが分かる。

次に、図5に $\dot{\gamma}=100\text{s}^{-1}$ の場合における5CB粘度の温度依存性を示す。 $T \leq 33.0^\circ\text{C}$ までは一般的な流体と同様に、温度上昇にともなう粘度は減少する一方で、 $34.5^\circ\text{C} \leq T \leq 35.0^\circ\text{C}$ において急激な粘度上昇が見られる。5CBのネマティック液晶相—等方相転移温度 $T_{NI} \approx 35.0^\circ\text{C}$ であり、液晶相から等方相への相変化が急激な粘度上昇の原因である。

図6は $\dot{\gamma}=100\text{s}^{-1}$ の場合における8CB粘度の温度依存性を示す。 $T \leq 39.5^\circ\text{C}$ では温度の上昇とともに粘度は減少する。温度に対する粘度の低下度合いは図5に示した5CBの場合と比べて大きいことがわかる。また、8CBのネマティック液晶相—等方相転移温度 $T_{NI} \approx 41^\circ\text{C}$ であり、相転移にともなう急激な粘度上昇が $T=40.5^\circ\text{C}$ 近傍に現れる。しかし、5CBとは異なり、 $T=38.2^\circ\text{C}$ 付近で粘度に変曲点が存在する。この変曲点温度を境に低温側がタンブリング現象、高温側がアライニング現象であると推察できる。

そこで、粘度の過渡応答から流動中の分子配向挙動の推測を試みる。図7は8CBの $T=36.5, 38.8^\circ\text{C}$ の場合の粘度の時間変化をFFT解析した結果である。図の横軸は周波数 f 、縦軸は振幅 A を表す。 $f \approx 0.01\text{Hz}$ 近傍のピークは上部平板の回転周期に一致しており、実験誤差であると考えられる。一方、 $f \geq 0.01\text{Hz}$ において、 $T=36.5^\circ\text{C}$ の場合の A の値が $T=38.8^\circ\text{C}$ の A の値を概ね上回っており、 $T=36.5^\circ\text{C}$ においてせん断流れによる液晶分子の回転挙動（すなわち、タンブリング挙動）が現れていると考えられる。

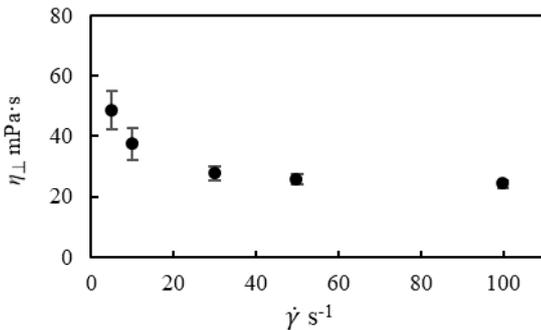


Fig.3 Effect of shear rate on viscosity of 5CB

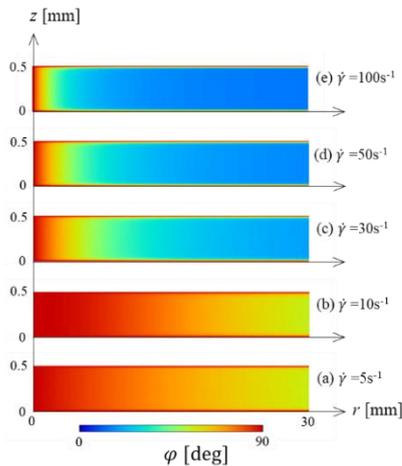


Fig.4 Director profiles for 5CB

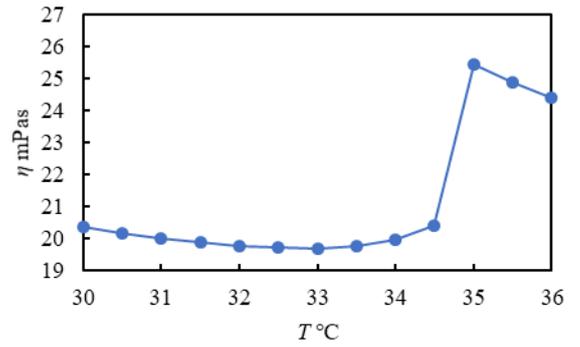


Fig.5 Temperature dependence of the viscosity of 5CB

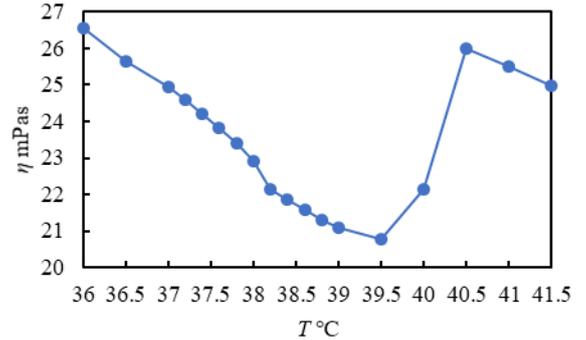


Fig.6 Temperature dependence of the viscosity of 8CB

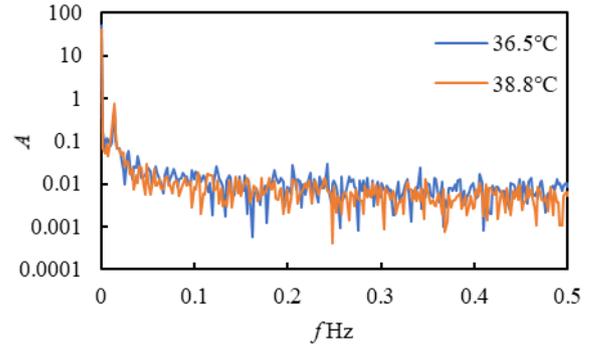


Fig.7 FFT analysis of the transient viscosity of 8CB

4. 結言

本研究では、回転粘度計を用いてアライニング状態のみを示す5CBと温度に依存してアライニングとタンブリングの両状態を示す8CBを対象として粘度測定を行った。得られた結果を以下に示す。

- 流動中の分子が流れに平行に配向している場合の粘度に対して、分子が垂直に配向している場合の粘度は2倍以上であり、分子配向状態が測定粘度に大きく影響を及ぼす。
- 5CBおよび8CBのいずれも、ネマティック相—等方相転移温度付近で温度の上昇に対して急激な粘度増加を示す。一方、相転移温度以下の領域では、5CBおよび8CB共に温度の上昇に対して粘度は低下するが、8CBの場合には分子配向のタンブリング挙動とアライニング挙動の切り替わり温度で粘度に変曲点が見られる。

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) 液晶便覧編集委員会, 液晶便覧(2000), 丸善