

ネマティック液晶の平行円板間せん断流れにおける配向挙動の観察

Observation of orientation behavior in shear flow of nematic liquid crystal between rotating discs

システム工学群

流体工学研究室 鈴木 海介

1. 緒言

液晶とはある温度範囲で液体のような流動性を持ちながら、固体のような分子配列の規則性を持つ物質の総称である。この分子配列の向きを配向といい、電場、磁場、流動など外乱がない場合に界面近くの液晶分子が壁の性質によって何らかの影響を受けて配向することをアンカリングという。また壁から離れたところの配向状態は、長距離弾性効果によりアンカリング条件が反映される。アンカリング条件として壁面に垂直に配向する垂直配向、水平に配向する水平配向がある。

平板-平板間型レオメータを用いた低分子ネマティック液晶の粘度測定実験では円板の回転によりせん断を印可するため、アンカリング条件が円の回転軸に対称か、非対称かは重要な要素の1つである。図1(a)はアンカリング条件が円対称である垂直配向を表し、図1(b)は円非対称である水平配向を表す。今日までにレオメータを用いた粘度測定実験によって低分子ネマティック液晶について様々な研究結果が報告されてきた。しかしながらそれらはアンカリング条件が円対称のものであり、アンカリング条件を円非対称とした研究はない。

本研究では、アンカリング条件を垂直配向、水平配向にしたレオメータを用いたネマティック液晶の粘度測定および偏光顕微鏡観察を行う。得られた結果より、垂直配向と水平配向の分子配向挙動の違いを明らかにするとともに、流動、分子配向挙動、粘度の関係について調べる。

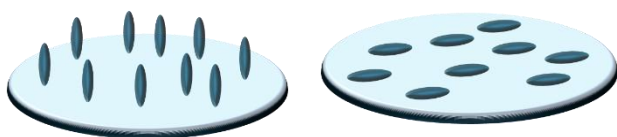


Fig.1 Anchoring conditions

2. 実験方法

実験装置としてレオメータ (MARSIII Thermo Fisher Scientific 製) を使用した。回転式レオメータでは測定部の上部と下部に取り付けられた円板の相対的移動によって円板間の試料にせん断を加え、せん断速度やその時間変化を制御することで測定を行う。図2はレオメータ測定部の概略図である。土台や下部円板はガラス、上部円板は鏡面加工にすることで光を透過、反射させ偏光板を通した後カメラに集光することで粘度測定と同時に観察を可能にしている。ガラス円板には垂直配向膜(AL60101 JSR 社製) またはラビング処理を施した水平配向膜を印加することで、アンカリング条件を規定する。水平配向膜は JSR 社製の AL3046 と和泉純薬工業社製の γ -ブチロラク톤を重量比 3:2 で混合したものを使用する。

粘度測定時のパラメータは垂直配向、水平配向どちらも、

円板間距離を $H=0.3\text{mm}$ 、雰囲気温度を $T=30^\circ\text{C}$ 、せん断速度を $\dot{\gamma} = 0.5, 1.0, 5.0, 10.0\text{s}^{-1}$ 、測定時間は円板が3回転する時間とし、 $t=3015, 1509, 303, 150\text{s}$ とした。

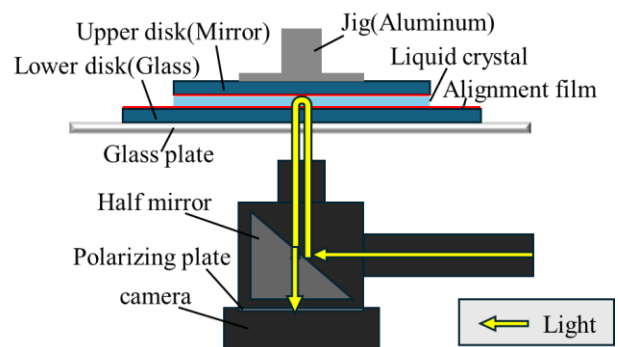


Fig2. Measurement section of the experiment equipment

3. 実験結果と考察

3.1 粘度測定

図3に垂直配向と水平配向の粘度のせん断速度依存性を示す。図3より低せん断速度域において垂直配向と水平配向の粘度の差は大きく垂直配向の方が水平配向に比べ粘度が高い。これは低せん断速度域では流動による粘性力よりも弾性力の影響が大きく、壁面のアンカリング条件が配向に与える影響が粘度の特徴としてでているからである。図4に示すミーソヴィツの粘性係数⁽¹⁾の大小関係は $\eta_1 > \eta_3 > \eta_2$ であることより、せん断方向に対して垂直を向く分子が多い垂直配向は、せん断方向に対して水平を向く分子が多い水平配向に比べ粘度は高くなっていると考えられる。また垂直配向、水平配向いずれも $\dot{\gamma} < 5.0$ の低せん断速度域ではせん断速度が増加すると粘度は減少していき、 $\dot{\gamma} \geq 5.0$ の高せん断速度域ではほとんど変わらない。これはせん断速度の増加により弾性力よりも粘性力が優位になるため、配向が流動方向に向きやすくなることにより粘度が減少するためである。高せん断速度域では流動による粘性力の影響が支配的となるため粘度の変化がみられなくなったと考えられる。

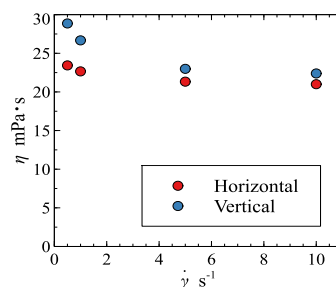


Fig.3 Relationship between Shear rate and Viscosity

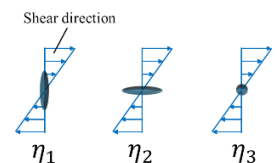


Fig.4 Miesowicz viscosity coefficient

3.2 偏光顕微鏡観察

ある流動条件下で液晶分子場にひずみが生じた時、線欠陥と呼ばれる液晶特有の欠陥構造が発生する。これらは偏光顕微鏡観察で線状の暗視野領域として観察できる。⁽¹⁾

図5~8は垂直配向、水平配向それぞれの $\dot{\gamma}=0.5, 5.0$, せん断速度印加開始からの経過時間 $t=2809, 282s$ の偏光顕微鏡観察画像を示し、線欠陥の視認が容易になるよう鮮明度、コントラスト、色の温度調整をしてある。図5, 6より、 $\dot{\gamma}=0.5s^{-1}$, $t=2809s$ の場合垂直配向では線欠陥が確認されない一方で水平配向では線欠陥が確認されることから、低せん断速度域において水平配向は垂直配向と異なる欠陥構造を発生させる分子配向挙動をとると考えられる。図5, 7より、垂直配向ではせん断速度の増加に伴い線欠陥が発生することがわかる。図6では流れ方向に角度を持つ単体の線欠陥である一方、図8では流れ方向に複数の線欠陥が伸びており、水平配向では低せん断速度域から高せん断速度域にかけて分子配向挙動が変化すると考えられる。

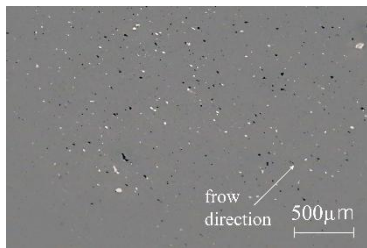


Fig.5 Polarized light microscopy at Vertical alignment, $\dot{\gamma}=0.5s^{-1}$, $t=2809s$

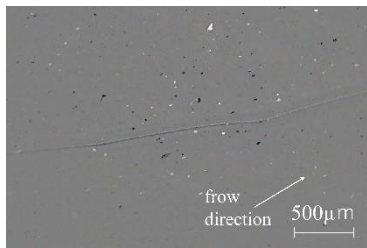


Fig.6 Polarized light microscopy at Horizontal alignment, $\dot{\gamma}=0.5s^{-1}$, $t=2809s$

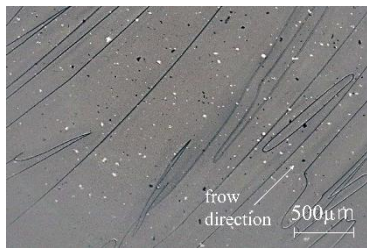


Fig.7 Polarized light microscopy at Vertical alignment, $\dot{\gamma}=5.0s^{-1}$, $t=282s$

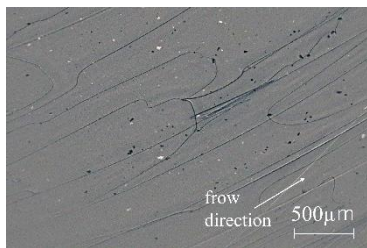
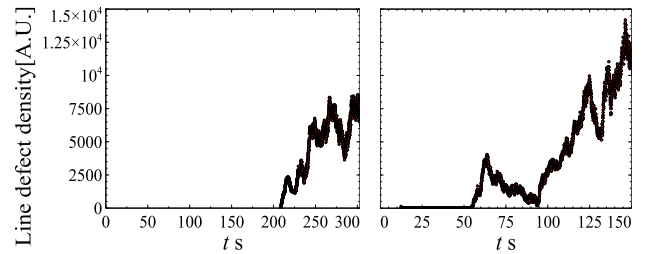


Fig.8 Polarized light microscopy at Horizontal alignment, $\dot{\gamma}=5.0s^{-1}$, $t=282s$

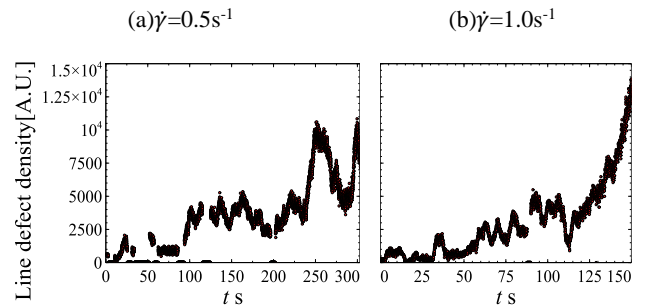
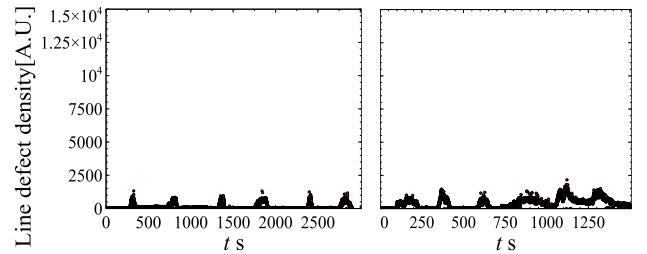
3.3 線欠陥密度

偏光顕微鏡観察で確認された線欠陥の発生量を定量的に評価するため、画像解析を行った。29.97fps で撮影した動画をフレームごと画像におこし、imageJ の Ridge Detection⁽²⁾⁽³⁾を用いて解析処理を行った。線欠陥の長さの合計値をその時間における線欠陥密度とした。

図9, 10は垂直配向、水平配向それぞれのせん断速度別の線欠陥密度の時間変化を表すグラフである。 $\dot{\gamma}=0.5, 1.0s^{-1}$ では垂直配向における線欠陥の発生は確認されなかった。一方、水平配向の低せん断速度域では測定時間内のある時間帯でのみ線欠陥密度の増加がみられる。また高せん断速度域ではどちらの配向でも線欠陥の発生は確認され、線欠陥の時間依存性が見られる。しかし垂直配向では測定途中から線欠陥が発生するのに対して、水平配向では常に線欠陥が発生することが分かる。よって低せん断速度域では水平配向は垂直配向とは異なり線欠陥を発生させる分子配向挙動をとると考えられる。また高せん断速度域ではともに線欠陥を発生するが、水平配向の方がより線欠陥が発生しやすい分子配向挙動をとると考えられる。



(a) $\dot{\gamma}=5.0s^{-1}$ (b) $\dot{\gamma}=10.0s^{-1}$
Fig.9 Line defect density variation with time at Vertical alignment



(c) $\dot{\gamma}=5.0s^{-1}$ (d) $\dot{\gamma}=10.0s^{-1}$
Fig.10 Line defect density variation with time at Horizontal alignment

参考文献

- (1) 折原宏, “液晶の物理”, 内田老鶴圃, (2004)
- (2) Steger, C. (1998). An unbiased detector of curvilinear structures. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 20(2), pp. 113-125
- (3) Wagner, T., Hiner, M., & Xraynaud. (2017). thorstenwagner/ij-ridgedetection: Ridge Detection 1.4.0 (Version v1)