

卒業論文要旨

ネマティック液晶の円管内流れにおける分子配向挙動の観察

システム工学群

流体工学研究室 1210107 月森 優志

1. 緒言

液晶相は、結晶相の異方性と液晶相の流動性を併せ持っている。液晶の多くは棒状分子からなっており、物性値は分子の配向状態によって大きく変化する異方性流体である。液晶の異方性を利用した製品の例の一つに液晶ディスプレイが挙げられる。液晶ディスプレイは薄型、軽量、低消費電力という長所があり、現在では生活に欠かせないものとなっている。液晶ディスプレイをはじめとする液晶製品は、今後も数多く生産されていくと考えられる。液晶製品製造プロセスにおいて液晶の輸送には主に円管を用いており、液晶の円管内流れによって生産性能が決定する。液晶を効率よく流すためには、より小さい圧力勾配で大きな流量を流す必要がある。液晶分子は棒状分子であり、流れが分子の流れ方向に対する分子配向軸の向きによって粘性が変化し、液晶分子の配向方向は流れによって変化する。したがって、液晶分子の圧力場と分子配向場は相互に作用し、流動に大きな影響を及ぼしている。本研究では、液晶材料の円管流れにおける分子配向挙動の偏光観察と同時に圧力勾配の測定を行い、分子配向場と圧力場の関係を分析することを目的とする。

2. 実験装置および方法

図1に実験装置の概略図を示し、図2に流路の概略図を示す。本実験で使用する液晶材料は 4-n-pentyl-4'-cyanobiphenyl (5CB) と 4-Cyano-4'-n-octylbiphenyl(8CB)であり、 $24^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ でネマティック相を示し、8CB は $34^{\circ}\text{C}\sim 38.5^{\circ}\text{C}$ でネマティック相を示す。実験環境を 5CB の時は 29°C に設定し、8CB の時は 34°C に設定した後に、シリンジに液晶を充填し、ステッピングモーターとマイクロメータを回転させることによって、シリンジを押し込む。シリンジと流路はシリコンチューブを通じてつながれており、流路に液晶を流し込むことが出来る。実験装置はヒータで囲まれており、ヒータによって温度を制御している。

流路は内径 1.0mm で長さは 120mm のガラス円管を用いる。ガラス円管の両端には 3D プリンターで作成した治具を取り付け、シリコンチューブを通じて、微差圧センサ (SENSIRION 社 SDP610-25Pa) に接続する。また、流路を挟んで偏光板を垂直に設置する。偏光板とは特定方向に偏光した光のみを通過させることが可能であり、垂直に設置することによって光を遮断する。液晶分子の長軸方向に対して垂直または平行に入射した直線偏光は、液晶分子を通過後も直線偏光のままである。しかし、液晶分子は長軸方向と短軸方向で屈折率が異なるため、液晶分子に対して斜めに入射する直線偏光は、液晶分子通過後に楕円偏光となり、流路を挟んで垂直に設置した偏光板を通過することが出来る。この性質を利用することで、分子配向挙動を観察することが可能である。実験パラメータ流量 Q を変化させ、観察を行う。

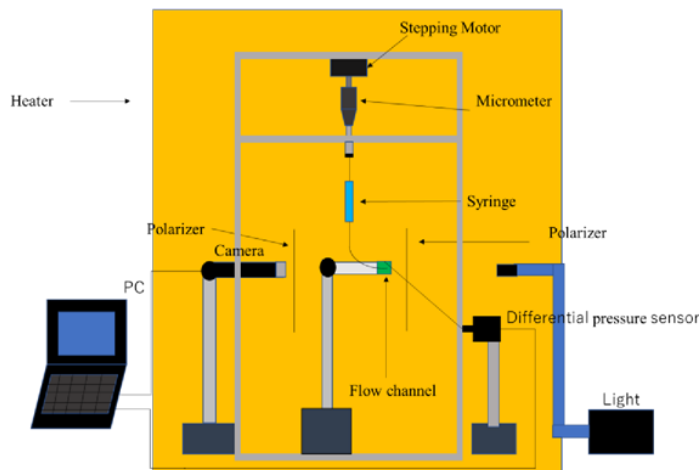


Fig1. Schematic diagram of the experimental setup

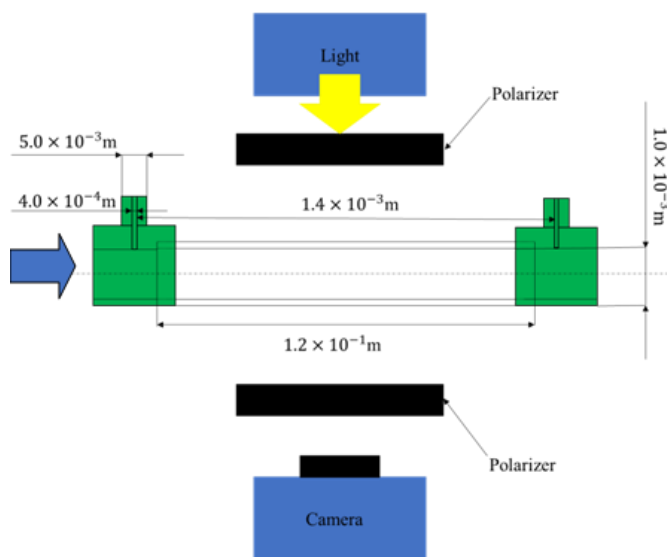


Fig2. Schematic diagram of the flow path

3. 結果と考察

流量 Q を変化させ観測を行う。差圧が微小であるが、差圧は流量 $0.75\text{mm}^3/\text{s}\sim 2.00\text{mm}^3/\text{s}$ の範囲で測定することが可能である。しかし、実際に測定した差圧データはノイズを多く含んでおり、生データのままで解析が困難である。そこで、Savitzky-Golay 法を用いてデータの平滑化を行った。図3に流量 $0.75\text{mm}^3/\text{s}$ の時の 5CB と 8CB の差圧データを示す。各流量 20 秒間液晶を流し、 $t=12\text{s}$ の時にステッピングモーターを回転させ流動を開始し、 $t=32$ の時にステッピングモーターを停止させる。5CB のデータを見るとステッピングモーターを開始させた後に徐々に差圧が上がっていき、最大値となった後に差圧が減少していつていることがわかる。

次に、8CB のデータをみると差圧は 5CB のように減少していないことがわかる。ここで、分子配向挙動を録画した動画と圧力勾配の変化と見比べてみる録画した動画をビットマップ画像に変換し、静止時との輝度値の差を差分する差分画像に変換して解析を行うことにより、おおよその分子配向の乱れを観察することが可能である。図の左に生データ、右に差分画像を示す。図 5 に流量 $0.75\text{mm}^3/\text{s}$ の時の分子配向挙動を示す。それぞれの分子配向挙動において(a)は $t=13\text{s}$ 、(b)は $t=32$ を示す。5CB の分子配向挙動を見てみると、(a)の時は円管の真ん中を中心に分子配向が乱れており、(b)の時には全体に広がっていることがわかる。8CB の分子配向の乱れを観察すると、(a)の時から壁面付近でも分子配向の乱れが確認することが出来、(b)の時も分子配向の乱れがあまり変化していないことがわかる。これにより 8CB は分子配向の乱れが流しはじめからあまり変化していないため差圧も変化しないと考えられる。しかし、5CB は流しはじめから分子配向の乱れが大きくなっているが図 3 をみると差圧が減少している。これは液晶の円管内流れにおいて分子配向は乱れるものの 5CB はアライニング挙動を示すため、せん断流れによって液晶分子の全体的な配向方向がせん断流れ方向を向くためであると考えられる。また、図 6 に 5CB の各流量と液晶分子流動中の差圧の平均値の関係を示し、図 7 に 8CB の各流量と液晶分子流動中の差圧の平均値の関係を示す。5CB の液晶流動中の平均差圧はニュートン流体と同様に、流量が大きい方が平均差圧も大きくなるという結果が得られた。しかし、8CB の液晶流動中の平均差圧は流量 $1.5\text{mm}^3/\text{s}$ の時に最大となっている。この結果より、8CB は $1.5\text{mm}^3/\text{s}$ の時よりも流量 $1.75\text{mm}^3/\text{s}$ 、 $2.0\text{mm}^3/\text{s}$ の時の方が効率よく流れていることがわかる。これは 8CB が液晶流動中に配向方向が不規則に変化するためであると考えられる。

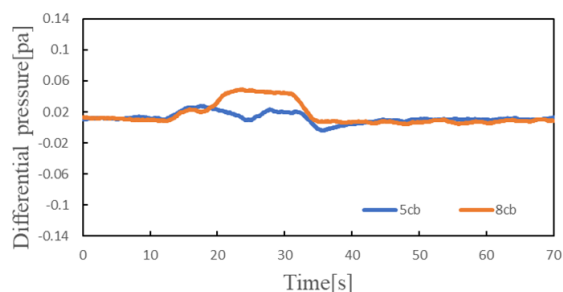


Fig3. Differential pressure data at a flow rate of $0.75\text{mm}^3/\text{s}$.

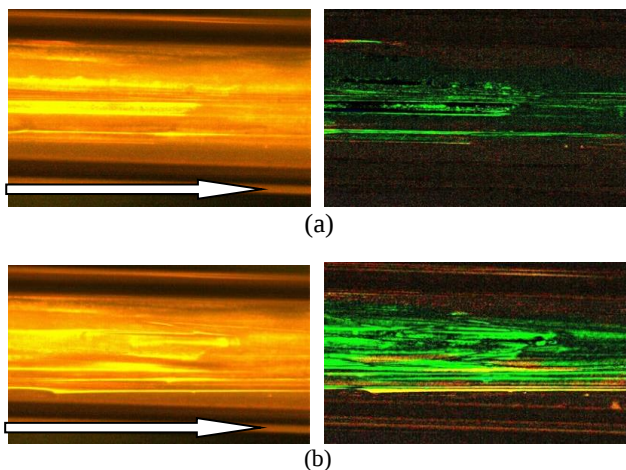


Fig4. Molecular orientation behavior of 5CB at a flow rate of $0.75\text{mm}^3/\text{s}$

Fig4. Molecular orientation behavior of 5CB at a flow rate of $0.75\text{mm}^3/\text{s}$

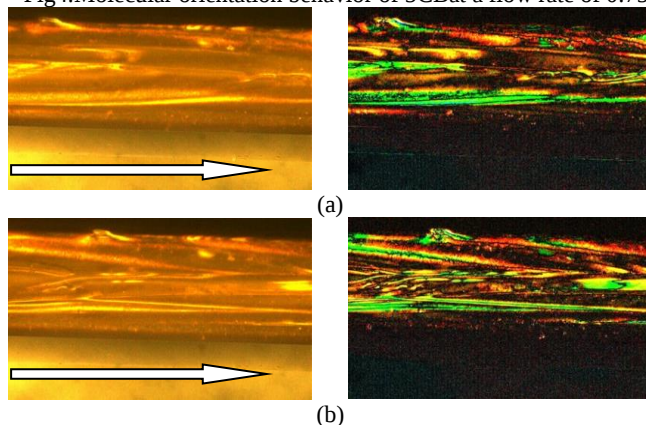


Fig5. Molecular orientation behavior of 5CB at a flow rate of $0.75\text{mm}^3/\text{s}$

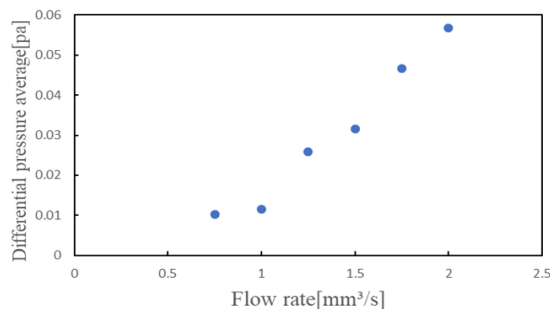


Fig6. Average differential pressure during liquid crystal flow of 5CB

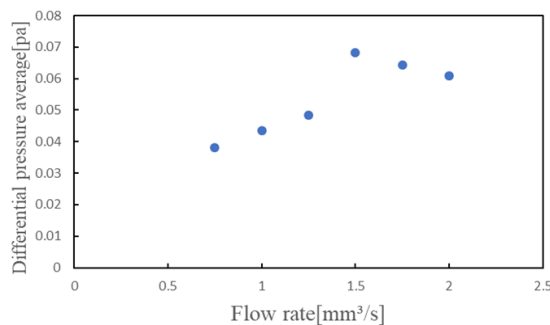


Fig7. Average differential pressure during liquid crystal flow of 8CB

4. 結言

本研究では、ネマティック液晶の円管流れにおける分子配向挙動の観察を行った。得られた結果は、

- ・ 5CB の分子配向は円管中心から乱れていき、時間変化とともに全体に広がるが 8CB は流しはじめから分子配向が全体で乱れている。
- ・ 8CB の平均差圧は流量 $1.5\text{mm}^3/\text{s}$ の時に最大となり、それ以降は平均差圧が低下する。

文献

- (1) 森川敬信 鮎川恭三 流れ学 朝倉書店 (1993)
- (2) 佐藤 進 液晶の世界 産業図書株式会社 (1994)