

液晶アクチュエータの最適化を目的とした液晶の力学特性の測定

流体工学研究室 1170150 水野 貴斗

1. 緒言

液晶の力学的応用を目指した研究として液晶アクチュエータが先行研究によって提案された⁽¹⁾。液晶アクチュエータとは、2枚のガラス平板に液晶を挟み、電場を与えることで発生する液晶の流動を利用して平板を駆動させるというアクチュエータであり、MEMS、医療分野での活躍が期待できる。

現在、液晶アクチュエータは実用化に至っていない。要因は、アクチュエータの性能は駆動源である液晶材料に大きく依存するにもかかわらず、液晶アクチュエータに最適な液晶材料に関する知見が皆無にあることにある。そのため、10万種類以上の液晶化合物の中から力学特性に優れた材料を選定するか、新規液晶材料を開発する必要がある。

これまで液晶物性値については多く調べられている。しかし、それらの多くは液晶ディスプレイの開発を目的とした光学的、電磁気学的な性質に関する研究であり、液晶の力学特性に関する研究はほとんど行われていない。また、現在存在する液晶の力学特性の測定方法は、測定自体が非常に困難かつ測定条件が限定されるため、測定方法として確立されていないのが現状である。今後、多種の液晶材料の力学特性を調べるためには、簡便かつあらゆる液晶材料に適用可能な測定方法が必要となる。そこで、本研究では液晶の力学特性の簡便な測定方法の確立を目指す。

2. 実験装置および方法

式(1)に液晶の粘性、弾性と緩和時間⁽²⁾のモデルを示す。緩和時間を T 、弾性を K 、粘性を η とする。

$$T \propto \frac{\eta}{K} \quad (1)$$

この緩和時間 T の測定を行い、弾性 K を求める。緩和時間とは、緩和現象の要する時間のことであり、図1に示すように、液晶に電場を与えている状態から、電場をOFFにして液晶分子が定常状態へ戻るまでの時間のことを言う。緩和現象とは分子間に働く弾性エネルギーによって起こる現象である

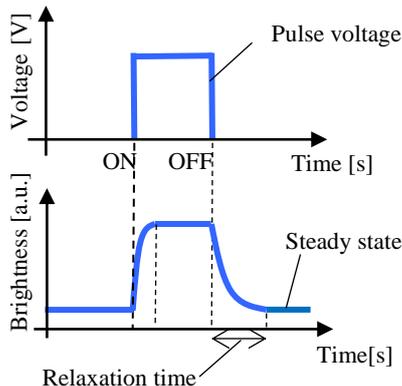


Fig. 1 Position of the relaxation time

図2には水平配向を用いた実験装置の概略を示す。水平配向とは液晶セルの配向パターンの一つである。ガラス平板の表面に配向処理と呼ばれる特殊な処理を行い、配向処理の方向が上部平板と下部平板で同じ方向の時の配向状態を水平配向と言う。この配向処理によって、液晶分子は処理をした方向を向く。

図2に示すように水平配向を施した2枚のガラス平板間に液晶材料5CBを注入する。5CBとは代表的なネマティック液晶のことを指す。ガラス平板の配向処理を施した方向に対して上下に±45°角度をつけて偏光板を設置する。このとき、偏光板同士は上下で互いに90°傾いている。そして平板に対して垂直な方向へDC電圧を与える。そのときの液晶分子の駆動の様子を、透過光強度を用いて測定する。実験パラメータとして、入力電圧およびセル厚を変える。さらに、液晶分子の配向パターンの違いについても考察する。

また、新規液晶材料JD-1048の弾性特性を調べる。JD-1048と5CBの粘性は既知であるので、それぞれの緩和時間を式(1)に代入することで、2つの弾性値 K を求めることができる。

ただし、図2は水平配向を用いた時の概要図を示しているが、もう一つの配向パターンTN(Twisted nematic)セルの場合は、上下のガラス平板の配向方向が90°捻じれており、それに伴って偏光板も上下で90°捻じれた配置をとる。TNセルの場合も偏光板同士は上下で互いに90°傾いている。

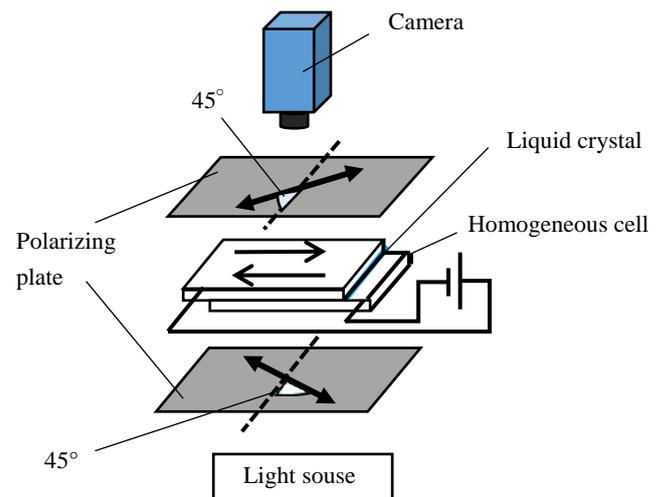


Fig. 2 Experimental equipment

3. 実験結果および考察

液晶材料5CBに電場を与えた時の、緩和時間の電圧依存性とセル厚依存性をそれぞれ図3、図4に示す。電圧依存性については、入力電圧が大きくなるにつれて、緩和時間

は増加した。しかし、本来緩和現象とは式(1)で示したように、粘性と弾性のみによる不変現象であるため、電圧には依存しない。しかし、今回の結果は電圧変化によって輝度が増加した。考えられる原因は、電場を与えることで液晶セルに電荷が溜まる。入力電圧が大きいかほど溜る電荷量が大きくなったため、緩和時間は入力電圧が大きくなるにつれて増加したと考えられる。

セル厚依存性については、セル厚が大きくなるほど緩和時間は長くなった。これは電圧を OFF にしたときに液晶分子が元の配向状態に配向しようとする力が働く。壁面からの距離が遠い液晶分子ほどその力の影響は少ない。セル厚が大きくなるにつれて、平板の壁面からセルの中心までの距離が長くなる。そのため、セルの中心までの距離が長いセルほど元の配向状態へ戻ろうとする働く力が小さくなり、緩和時間が長くなったと考えられる。しかし、グラフからわかるように、セル厚が大きくなるに緩和時間は長くなっているが、輝度が一度大きくなる第一ピークまでの時間は、どのセル厚の場合も近い値になっている。これはセル厚によって緩和時間が長くなる原因が緩和速度ではなく、液晶分子が定常状態になるまでの揺らぎの時間長いのだと考えられる。

図 5 に液晶分子の配向パターンの違いによる緩和時間の結果を示す。水平配向と TN 配向を比較すると、水平配向の方が緩和時間は長くなった。これは配向している分子の方向が関係しており、水平配向は下部平板の壁面にある液晶分子から、上部平板の壁面にある液晶分子まで分子が同じ方向を向いている。それに対して TN cell は下部平板から上部平板の壁面にある液晶分子が少しずつ捻じれている。液晶分子が棒状であることで、TN 配向の時のの方が分子間の距離の積分値が大きくなる。したがって、TN 配向の時のの方が緩和時間が短くなったと考えられる。また、2 つの配向の違いによって、定常状態での輝度値が大きく異なった。

図 6 に 5CB と JD-1048 での緩和時間の測定結果を示す。JD-1048 は 5CB に比べ緩和時間が長くなった。したがって、JD-1048 の方が緩和時間と粘性、弾性のモデル式(1)が 5CB より大きくなるのがわかる。しかし、現在 JD-1048 の詳しい弾性係数、粘性係数がわかっていないため、今後も調べる必要がある。

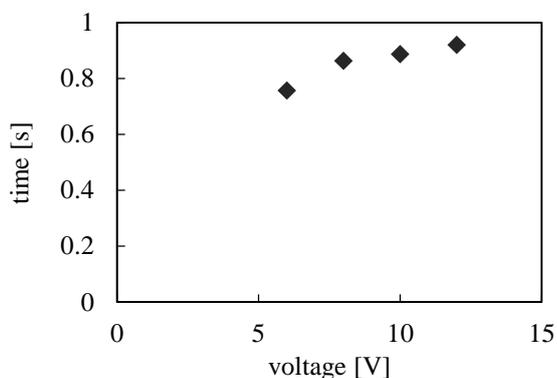


Fig. 3 Relationship between voltage and relaxation time

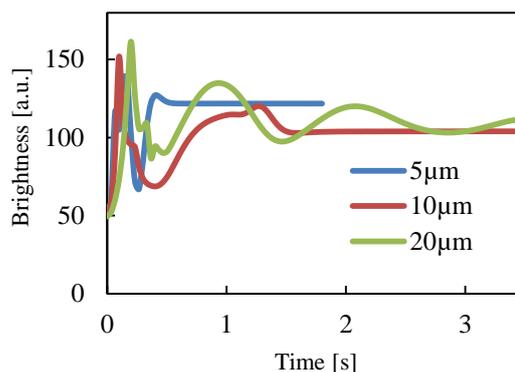


Fig. 4 Comparison to Time in different cell thickness

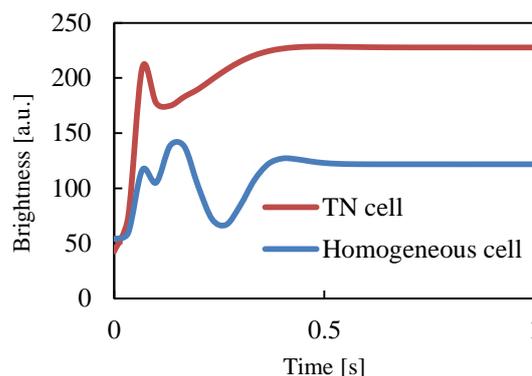


Fig. 5 Comparison to Homogeneous cell and TN cell

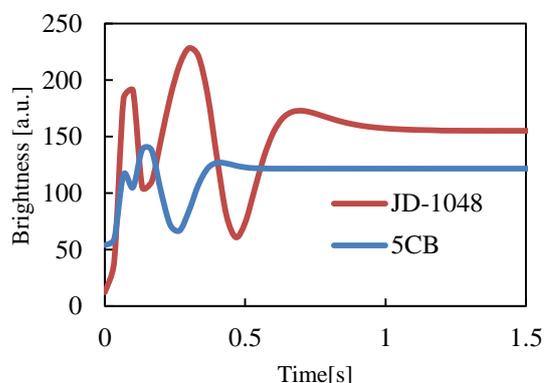


Fig. 6 Comparison to 5CB and JD-1048

4. 結言

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- ・液晶分子の挙動の内、弾性特性を緩和時間を用いて測定することに成功した。
- ・緩和時間はセル厚が大きくなるにつれて長くなる。
- ・異なる配向方向の液晶セルによる緩和時間は、他の条件が同じであっても変わる。
- ・JD-1048 は 5CB に比べ、式(1) に示した粘弾性の比が大きくなる。

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, 流動の発生とそのメカニズム)", 日本機械学会論文集 B 編, Vol.72, (2006-3), pp656-661
- (2) 『液晶便覧』液晶便覧編集委員会編 丸善出版
- (3) 『液晶科学実験入門』日本液晶学会編 シグマ出版