

液晶アクチュエータの実用化を目的とした液晶の分子場弾性定数の測定

Measurements of elasticity of the molecular orientation field for the purpose of developing liquid crystal actuators

知能機械システム工学コース

流体工学研究室 1215031 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は、電場を与えることで発生する液晶の流動を利用して物体を駆動させ、超小型化が可能であるというメリットを持つ. そのため、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、液晶アクチュエータの性能は駆動源である液晶材料の力学特性に大きく依存するにもかかわらず、アクチュエータに最適な液晶材料に関する知見が皆無なためである. そのためには、10万種類以上の液晶材料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.

しかし、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長い測定時間を必要とする. 今後、多種の液晶材料の力学特性を調べるためには、簡便かつ短時間で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、本研究では実験とシミュレーションを併用した液晶の分子場弾性定数の簡便な測定方法の確立を目指す.

2. 実験および計算方法

本研究で用いた支配方程式を以下に示す.

- ・フランクの自由エネルギー式

$$F = \frac{1}{2}K_1(\nabla \cdot \mathbf{n})^2 + \frac{1}{2}K_2(\mathbf{n} \cdot \nabla \times \mathbf{n})^2 + \frac{1}{2}K_3|\mathbf{n} \times \nabla \times \mathbf{n}|^2 \quad (1)$$

- ・角運動方程式

$$\mathbf{0} = \mathbf{n} \times \left(\frac{\partial F}{\partial \mathbf{n}} - \nabla \cdot \frac{\partial F}{\partial \nabla \mathbf{n}} \right) \quad (2)$$

- ・出射光のジョーンズベクトル

$$\begin{bmatrix} E'_x \\ E'_y \end{bmatrix} = R(\psi_A) \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} R(-\psi_A) R(\psi_i) J_{TN} R(-\psi_i) \begin{bmatrix} \cos \psi_p \\ \sin \psi_p \end{bmatrix} \quad (3)$$

このとき、 F は液晶分子場弾性エネルギーである。 K_1 、 K_2 、 K_3 は液晶の弾性定数のことをいい、それぞれ広がり変形、捻じれ変形、曲がり変形の3種類となる。 \mathbf{n} はディレクタと呼ばれる液晶分子の巨視的な配向方向を表す。 E'_x 、 E'_y はそれぞれ液晶セルを通過する異常光、常光である。 R は回転行列、 J_{TN} はTN(Twisted Nematic)セルのジョーンズベクトルを表す.

液晶の弾性定数を測定することは、式(1)の3つの定数を求めることである. 図1にはTN配向セルを用いた実験装置の概略を示す. TN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ラビングと呼ばれる配向処理を行い、上下の平板の角度を90°ずらすことで、それに伴って液晶分子も上下で捻じれた配向方向になる. この時、偏光板の方向はラビング方向と同方向になるように設置する.

この実験では、液晶に電場を与えた時のディレクタの駆動の様子を透過光強度の変化を用いて測定する.

シミュレーションにおいては、式(1)、(2)を用いて、平行平板間に電場を与えた時の1次元計算を行い、電場の強さと液晶分子の角度の関係を求めることができる. 次にその角度と式(3)を用いることで、出射光の偏光状態を求めることができる. これらの結果は、図2に示すシグモイド関数のような形を得ることができる.

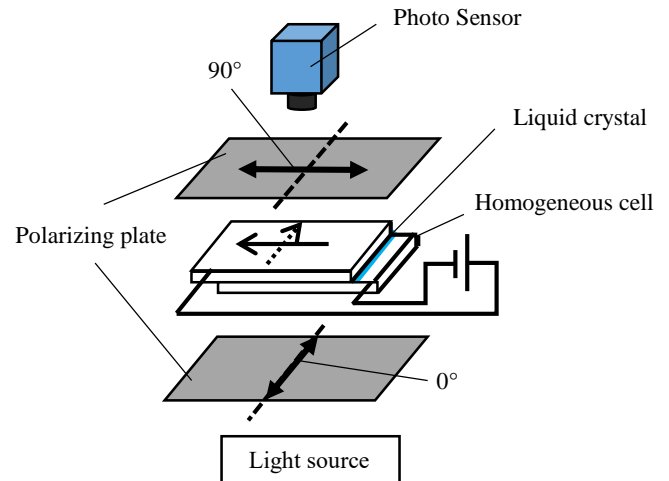


Fig. 1 Experimental setup

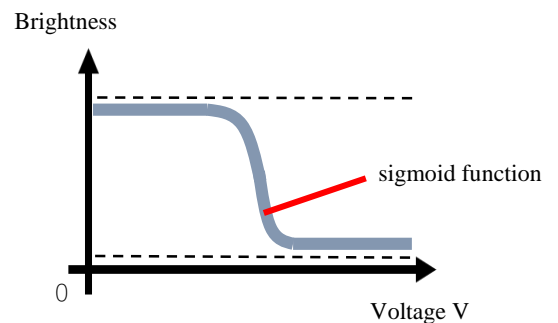


Fig. 2 Sigmoid function

3. 結果および考察

以下の図3に実験とシミュレーションで得られた結果を示す. ただし、この時、縦軸の透過光強度 I は、式(4)のように定義する.

$$\text{透過光強度 } I = \frac{\text{各電圧印加時の透過光強度 } I_v}{\text{電圧無印加時の透過光強度 } I_0} \quad (4)$$

実験値は0.9V付近で下降し、2.0V付近から定常状態になる. 計算値は、0.5V付近で1.4V付近から定常状態になる. 実験とシミュレーションを比べると、液晶の駆動電圧に差が

生じていることがわかる。原因としては、実験における実験装置や液晶材料そのものの抵抗によって、シミュレーションと比べて液晶にかかる実質電圧に差が生じていると考えられる。

$$y = \frac{c}{1 + e^{-a(x-b)}} \quad (5)$$

式(5)に係数 a , b , c を用いたシグモイド関数を定義する。2つの結果をシグモイド関数に近似して評価を行う。この関数の形状は3つの係数のみに依存するため、係数が全て等しい場合同じ関数であると言える。また、その時の入力値 K_1 , K_2 , K_3 がその液晶材料の弾性定数であることがわかる。

図3の近似関数を図4に示す。図4より液晶に電場を与えた時の透過光強度の変化をシグモイド関数での近似が可能であるということがわかった。

次に、入力値 K_1 , K_3 を変化させたときの近似関数のグラフをそれぞれ図5, 図6に示す。図5のグラフは弾性定数 K_1 を0.5倍, 1.5倍した時の透過光強度の値の近似関数を表す。0.5 K_1 の時, K_1 の時より駆動電圧が0.3V程度小さくなった。1.5 K_1 の時, 閾値電圧は近い値となったが, 定常値までの傾きが K の時に比べて緩やかになった。これは, 弾性定数 K_1 が大きくなるほど液晶分子が立ち上がろうとする力の逆の力が働くからだと考えられる。図6の K_3 の場合も同様に, 弾性定数が大きくなるほど緩やかに立ち上がることがわかる。つまり, K_1 と K_3 では, K_1 の係数のほうが分子の駆動に大きく効いてくることが分かる。

従って, これらの結果より, 弾性定数 K の値を変化させることによって, シグモイド関数のグラフを変化させることが可能である。今後, この測定方法によって, 液晶の弾性定数を求めることができると考えられる。

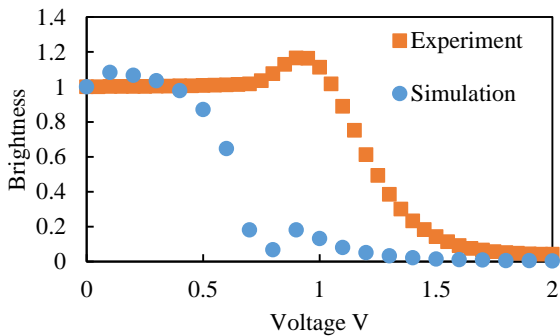


Fig. 3 Comparison of experiments and simulations

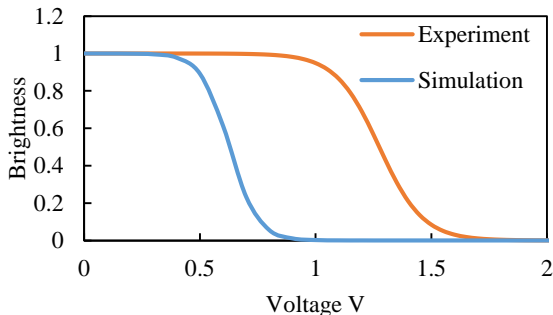


Fig. 4 Sigmoid function approximation

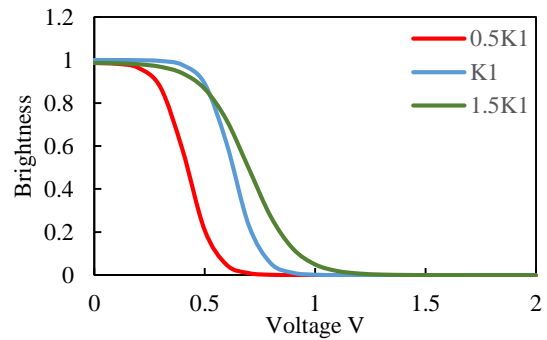


Fig. 5 K_1 value change

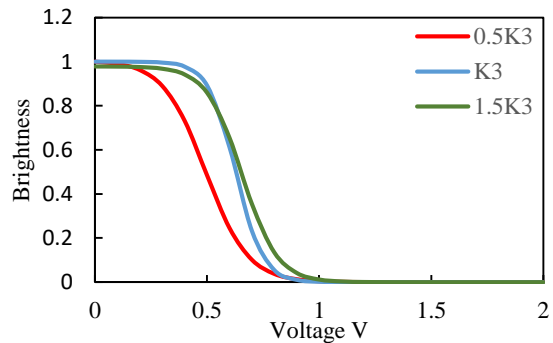


Fig. 6 K_3 value change

1. 結言

液晶に電場を与えた時の液晶分子の駆動の様子を透過光強度の変化を用いて, 実験とシミュレーションの両方で求め, シグモイド関数によって近似することができた。

また, シミュレーションにおける入力値 K_1 , K_2 , K_3 を変化させることで, 近似関数を変化させることができた。このことにより, 図7のような実験とシミュレーションを併用した液晶の弾性定数の測定方法は有効であると言える。

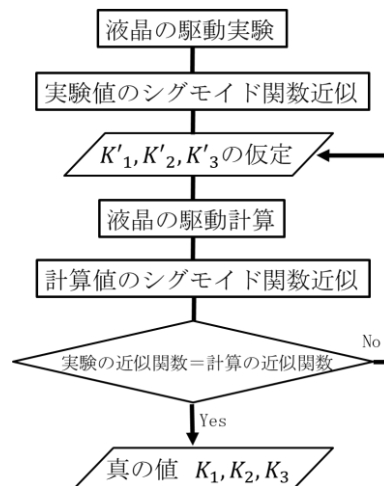


Fig. 7 Calculation of Elastic constants

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) 『液晶科学実験入門』日本液晶学会編 シグマ出版
- (3) 『液晶便覧』液晶便覧編集委員会編 丸善出版