

卒業論文要旨
液晶流中の応力場の数値解析

流体力学研究室

川野 昭矢

1. 緒言

近年、機械の小型化、精密化に伴って駆動部品の小型化が進んでいる。液晶を利用した駆動装置は構造部品が少なく、液晶駆動型マイクロアクチュエータが提案⁽¹⁾されている。これは液晶に電場を印加したとき誘起するせん断応力を利用している。一方、法線応力を利用する試みはなかった。駆動に利用するという視点で法線応力について解析することで、液晶応用の可能性が広がると期待される。

本研究では、平行平板間に充填された液晶に電場を与えたときの壁面にはたらくせん断応力および法線応力について数値解析を行い、新しい駆動様式の液晶マイクロアクチュエータを提案する。

2. 基礎方程式および計算条件

連続の式および運動方程式を以下に示す

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = -\nabla \cdot p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} \quad (2)$$

ここで \mathbf{v} は速度ベクトル、 ρ は流体密度、 D/Dt は実質微分、 p は圧力で、偏差応力テンソル $\boldsymbol{\tau}$ は Leslie-Ericksen 理論より

$$\boldsymbol{\tau} = \alpha_1 \mathbf{m} \mathbf{m} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{n} + \alpha_2 \mathbf{n} \mathbf{N} + \alpha_3 \mathbf{N} \mathbf{n} + \alpha_4 \mathbf{A} + \alpha_5 \mathbf{n} \cdot \mathbf{A} + \alpha_6 \mathbf{A} \cdot \mathbf{m} \mathbf{m} - \frac{\partial F}{\partial \nabla \mathbf{n}} (\nabla \mathbf{n})^T \quad (3)$$

で与えられる。ここで、 $\alpha_1 \sim \alpha_6$ は粘性係数、 \mathbf{n} は分子の局所配向を表す単位ベクトルで、ディレクタと呼ばれる。 \mathbf{A} は変形速度テンソル、 \mathbf{N} はディレクタと流体の相対角速度ベクトル、 F は配向場の空間的歪みによる弾性エネルギー密度である。次にディレクタの角運動方程式を示す。

$$\mathbf{0} = \mathbf{n} \times \left\{ \mathbf{G} - \frac{\partial F}{\partial \mathbf{n}} + \nabla \cdot \frac{\partial F}{\partial \nabla \mathbf{n}} + (\alpha_3 - \alpha_2) \mathbf{N} + (\alpha_6 - \alpha_5) \mathbf{A} \cdot \mathbf{n} \right\} \quad (4)$$

ここで \mathbf{G} は電場による単位面積あたりの外力である。

図1に流れ場および座標系を示す。ディレクタと x 軸のなす角を θ 、 x 方向速度を u とする。初期条件は $\theta=2^\circ, u=0 \mu\text{m/s}$ 、境界条件は $\theta(0)=\theta(H)=2^\circ$ の固定配向およびノンスリップ条件とする。平板間隔を $H=10 \mu\text{m}$ に固定し、印加電圧を計算パラメータとし、 $V=5 \text{ V}$ から 40 V について計算した。

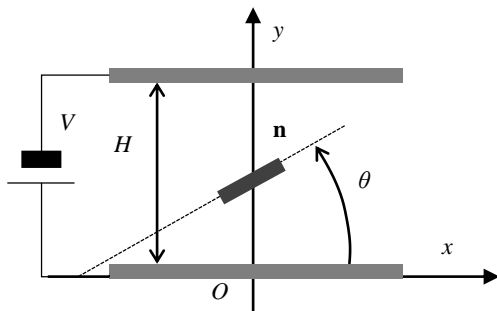


Fig.1 Flow geometry and coordinate system

3. 結果および考察

図2に定常に至ったときの配向分布を示す。平板間中央ではディレクタは電場方向に向き $\theta \approx 90^\circ$ であり、壁面近傍では θ の勾配が大きくなる。図3に印加電圧ごとの法線応力 σ およびせん断応力 τ の時間的最大値を示す。印加電圧を大きくすると双方ともに増加し、法線応力はせん断応力の数倍の大きさがあることがわかる。以上より、法線応力を利用して、たとえば平板を垂直に駆動することが考えられる。

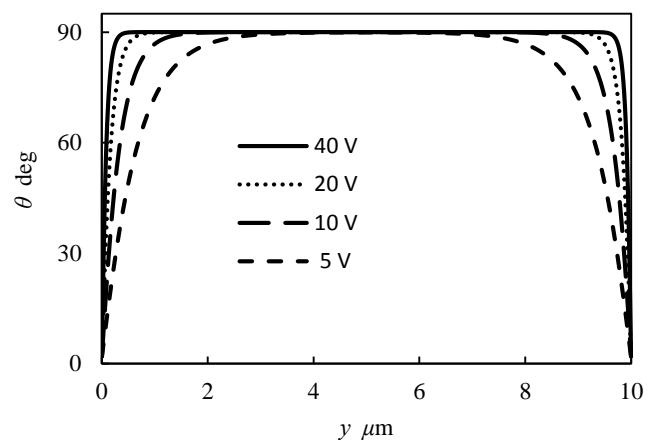


Fig.2 Effect of voltage on director in steady state

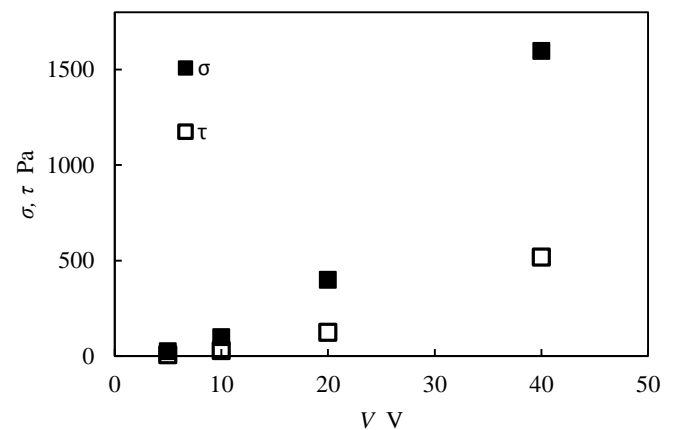


Fig.3 Effect of voltage on maximum normal and shear stress

参考文献

- (1) 蝶野成臣・辻知宏, 日本機械学会論文集(B 編), **72**, 715, (2006), 656-661.
- (2) 折原 宏, 液晶の物理, 内田老鶴圃, (2004)