

平板駆動型アクチュエータの数値計算 上部平板質量が駆動特性に与える影響

知能流体力学研究室 寺井輝晃

1. 緒言

液晶とは、液体と固体の中間状態である。棒状の液晶分子に電場を印加すると、誘電異方性により液晶分子は電場方向を向く。平行平板間で一様な平行配向分布を持つ液晶分子に電場を印加すると、液晶分子が回転し流動が発生するが、粘性によりすぐに消滅する。その後、電場を解放すると配向分布は初期配向分布へと復帰する。そのため電場の印加と解放を繰り返すパルス波を印加することで、連続的に流動を発生させることができる。

近年、この流動を利用した新たなアプリケーションとして、液晶を駆動源とするアクチュエータが提案された。本研究では平板駆動型液晶アクチュエータの上部平板質量が駆動特性に与える影響について数値シミュレーションを用いて調べる。

2. 理論及び数値計算

ネマティック液晶の等温流れを記述する支配方程式及び、上部平板の運動方程式は以下の通りである。

- 連続の式 $\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$ (1)

- 運動方程式
$$\rho \left\{ \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right\} = (\varepsilon_{\perp} \mathbf{E} + \Delta \varepsilon \mathbf{n} \cdot \mathbf{E} \mathbf{n}) \cdot \nabla \mathbf{E} - \nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}$$
 (2)

- 構成方程式(Leslie-Ericksen 理論)
$$\boldsymbol{\tau} = \alpha_1 \mathbf{n} \mathbf{n} \mathbf{n} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{n} + \alpha_2 \mathbf{n} \mathbf{N} + \alpha_3 \mathbf{N} \mathbf{n} + \alpha_4 \mathbf{A} + \alpha_5 \mathbf{n} \mathbf{n} \cdot \mathbf{A} + \alpha_6 \mathbf{A} \cdot \mathbf{n} \mathbf{n} - \frac{\partial F}{\partial \nabla \mathbf{n}} \cdot (\nabla \mathbf{n})^T$$
 (3)

- 角運動方程式
$$\mathbf{n} \times \left\{ \frac{\partial F}{\partial \mathbf{n}} - \nabla \cdot \left(\frac{\partial F}{\partial \nabla \mathbf{n}} \right) - \Delta \varepsilon \mathbf{n} \cdot \mathbf{E} \mathbf{E} + (\alpha_3 - \alpha_2) \mathbf{N} + (\alpha_3 + \alpha_2) \mathbf{A} \cdot \mathbf{n} \right\} = 0$$
 (4)

- 上部平板の運動方程式
$$m \frac{du}{dt} = \begin{cases} 0 & (u(t) = 0, \tau_p A < \mu_s mg) \\ \tau_p A - \text{sgn}(u) \mu_k mg & (\text{others}) \end{cases}$$
 (5)

ここで速度ベクトル \mathbf{v} は

$$\mathbf{v} = (v_x, 0, v_z) \quad (6)$$

で表され、液晶分子の局所的配向方向を表すディレクタ \mathbf{n} は

$$\mathbf{n} = (\sin \theta, \cos \theta, 0) \quad (7)$$

で表される、 ρ は流体密度、 \mathbf{E} は電場ベクトル、 ε と、 ε_{\parallel} はそれぞれディレクタの垂直および平行方向の誘電率、 $\Delta \varepsilon = \varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp}$ は誘電率の異方性、 p は圧力、 $\boldsymbol{\tau}$ は偏差応力テンソル、 $\alpha_1 \sim \alpha_6$ はレスリー粘性係数、 K_1, K_2, K_3 はそれぞれ分子配向場の広がり、ねじれ、曲がりを表す弾性定数、 \mathbf{N} はディレクタと流体の相対角速度ベクトル、 \mathbf{A} はひずみ速度テンソル、 F はディレクタの弾性ひ

ずみ、 m は上部平板質量、 u は上部平板移動速度、 τ_p は流動が上部平板に及ぼすせん断応力、 A は液晶と接している上部平板面積、 g は重力加速度、 μ_s, μ_k は平板間隔を維持するために用いる粒子と上部平板との静摩擦係数及び動摩擦係数で、それぞれ $\mu_s=0.28, \mu_k=0.196$ とする。

図 1 に本研究で用いた流れ領域及び座標系を示す。 \mathbf{E} は電場ベクトルで、 $E = V/H$ である。ただし、 V は印加電圧、 H は平板間隔である。

液晶の物性値には、ネマティック液晶である 4-cyano-4'-n-pentylbiphenyl (5CB) の値を用いる。計算条件は、平板間隔 $H=10\mu\text{m}$ 、印加電圧 10V、デューティー比 5%、周波数 $f=10\text{Hz}$ のパルス波とする。上部平板質量は単位面積あたりの質量 $m/A=0.4675, 0.935$ 及び 1.87 kg/m^2 の 3 つの条件で数値計算を行った。

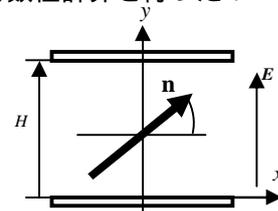


Fig.1 Flow geometry and Coordinate systems

3. 計算結果及び考察

図 2 に各質量での上部平板の移動量を示す。グラフの縦軸は移動量を、横軸は時間を示す。グラフより $m/A=0.935 \text{ kg/m}^2$ のとき上部平板が最も移動し、このときの平均移動速度は $50.05\mu\text{m/s}$ であった。 0.4675 kg/m^2 では電場印加時に最も移動するが、電場解放直後に後退する。また 1.87 kg/m^2 では電場解放直後に後退しないが、電場印加時の移動量が少ない。これらの理由から、 $m/A=0.935 \text{ kg/m}^2$ において 1 パルス当たりの移動量が最大になったと考えられる。このことから上部平板質量は移動量に大きく関係すると考えられる。

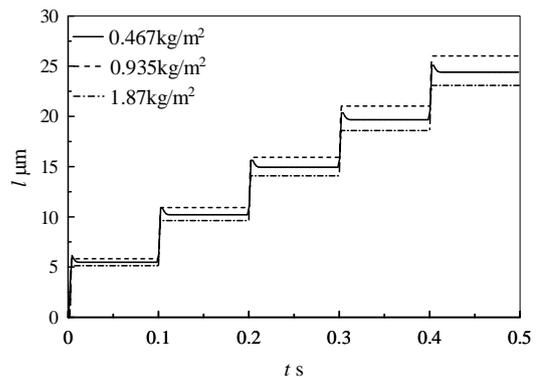


Fig2. Moved distance of the upper plate

参考文献

(1) 蝶野成臣, 辻知宏, (B 編), 72(2006), pp.656-661.