

1. 緒言

ネマティック液晶は位置の秩序は失っているが、配向の秩序を有する状態にあることから、流れることが可能である。その特性を生かし、さまざまなデバイスに用いられている。その代表として液晶ディスプレイ、液晶プラスチックなどが挙げられ、今後も様々なデバイスに用いられることが予想される。液晶製品の製造の際、液晶を流し込むプロセスが必須である。したがって、生産効率の向上のためには液晶の流動を解析する必要がある。しかし、液晶の流動を解析するための方程式は複雑で、数値計算に膨大な時間を要する。現在のところ1次元、あるいは2次元定常解析のみに限定されている。近年コンピュータの飛躍的な発達に伴い、より高度な計算を短期間で行うことが可能となっている。そこで、本研究では直角管内の液晶の流動を2次元非定常解析により明らかにすることを目的とする。

2. 基礎方程式

非圧縮性流体における連続の式、および運動方程式を以下に示す。

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \tag{1}$$

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

$\mathbf{v}$ は速度ベクトル、 $\rho$ は流体の密度、 $D/Dt$ は実質微分、 $p$ は圧力、 $\boldsymbol{\tau}$ は偏差応力テンソルであり、本研究ではLeslie-Ericksen理論を用いるため

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

と表される。 $\alpha_i$  ( $i=1\sim 6$ )はレズリ粘性係数、 $\mathbf{n}$ はディレクタ、 $\mathbf{D}$ は変形速度テンソル、 $\mathbf{N}$ はディレクタと流体との相対角速度ベクトルである。また、分子場と流れ場は互いに影響し合うため運動方程式に加え、ディレクタの角運動方程式が必要となり

$$0 = \mathbf{n} \times \left\{ \frac{\partial F}{\partial \mathbf{n}} - \nabla \cdot \left( \frac{\partial F}{\partial \nabla \mathbf{n}} \right) + (\alpha_3 - \alpha_2) \mathbf{N} + (\alpha_2 + \alpha_3) \mathbf{D} \cdot \mathbf{n} \right\} \tag{4}$$

と表される。 $F$ はフランクの自由エネルギー密度であり、

$$2F = K_1 (\nabla \cdot \mathbf{n})^2 + K_2 (\mathbf{n} \cdot \nabla \times \mathbf{n})^2 + K_3 |\mathbf{n} \times \nabla \times \mathbf{n}|^2 \tag{5}$$

$K_i$  ( $i=1\sim 3$ )は弾性定数で、式(10)右辺のそれぞれの項はディレクタの空間的な広がり、ねじれ、曲がりによる歪エネルギーを表す。

図1に本研究で用いた座標系を示す。 $x$ 座標軸上に無限に長い直角管を想定することにより、 $x$ 軸方向の速度変化およびディレクタ変化はないため、解析は $y$ - $z$ 平面で行う。すなわち

$$\mathbf{v} = (v_x(y, z, t), 0, 0) \tag{6}$$

$$\mathbf{n} = (n_x(y, z, t), n_y(y, z, t), n_z(y, z, t)) \tag{7}$$

境界条件として直角管壁面で $v_x(y, z, t)=0$ のすべりなし条件を与える。また、初期条件としてディレクタは流れ方向に向いており、 $v_x(y, z, 0)=0$ とした。計算条件として直角管の $y$ 方向の長さ1.0mm、 $z$ 方向長さ1.0mm、圧力勾配 $dp/dx=50.0\text{N/m}^3$ 、計算時間 $t=200\text{s}$ 、時間刻み幅 $dt=1.0 \times 10^{-7}\text{s}$ と設定した。空間方向に2次精度中心差分法、時間方向に2次精度ルンゲ・クッタ法を用いて数値解析を行った。

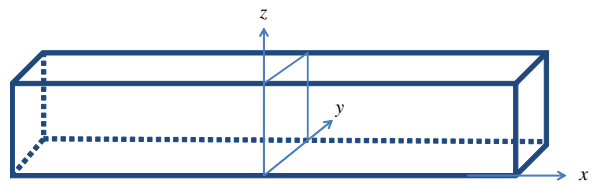


図1. 座標系

3. 計算結果および考察

図2に圧力勾配 $50\text{N/m}^3$ を与えた場合のディレクタの $x$ 成分を2乗した値の平均値 $\overline{n_x^2}$ の時間変化、図3に平均流速 $U$ の時間変化を示す。 $\overline{n_x^2}$ が大きいつま、ディレクタがほぼ流れ方向を向いていることを示している。 $\overline{n_x^2}$ は $t=50\text{s}$ まで大きく落ち込み、そこから上下を繰り返している。ディレクタが流れ方向に対してより大きな角度を持つとき、平均流速が低下することがわかる。つまり、図3で示す平均流速 $U$ の時間変化の値は $\overline{n_x^2}$ と相関していると言える。

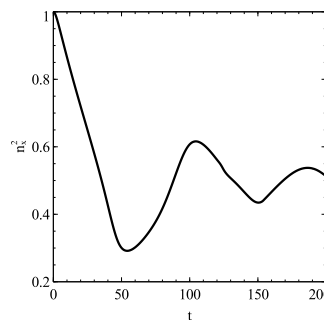


図2. ディレクタ

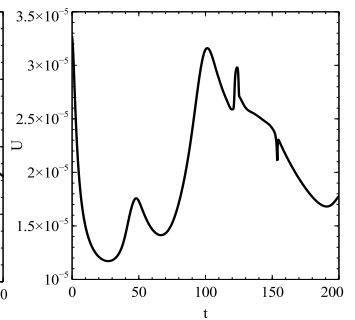


図3. 平均流速

参考文献

(1)The Structure and Rheology of Complex Fluids  
Rorald G. Larson