

1. 緒言

現在, 液晶を利用した製品として一般的に知られているものに液晶ディスプレイや液晶繊維などがある. これらの製造過程において液晶の流動が生じるため, 液晶の流動解析は, 液晶製品のコスト削減・生産性の向上につながる.

一般に液晶分子は棒状であり, 流れ方向に対する分子の向きにより粘度が変化する. 一方で, 流れによって分子の向きが変化する. すなわち, 速度場と配向場は相互作用し流動に影響を及ぼす. また, 数値シミュレーションにおいては速度場と圧力場に加えて配向場の計算を行うため膨大な計算を必要とする. 近年のコンピュータの発達によりこの膨大な計算が可能になってきた. そこで本研究では, 円管内流れの数値シミュレーションを行い低コスト・高生産性につながる流動条件の提案を行う.

2. 理論および計算条件

本研究で使用した基礎式を以下に示す.

・運動方程式

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} \quad (1)$$

・連続の式

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (2)$$

ここで, ρ は密度, \mathbf{v} は速度ベクトル, p は圧力, D/Dt は実質微分である. また, 運動方程式の偏差応力テンソル $\boldsymbol{\tau}$ には Leslie-Ericksen 理論

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

を用いる. 式中の \mathbf{n} は液晶分子の平均方向を表すディレクタであり, \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 はフランクの弾性自由エネルギー密度, $\alpha_1 \sim \alpha_6$ は Leslie の粘性係数である. また, 式(3)中の \mathbf{n} を規定するための方程式としてディレクタの角運動方程式

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

を用いる.

図 1 に流路形状と座標系を示す. 円管に定圧力勾配で図中 z 軸正の向きに液晶を流動させた場合の速度場と配向場の解析を行う. 流れ流域に円筒座標系を適用し, θ 方向および z 軸方向には速度場, 配向場は変化しないと仮定する. 円管半径 $r_0=0.5[\text{mm}]$, 速度 \mathbf{v} の初期条件は $\mathbf{v}=(0,0,0)[\text{m/s}]$ とする. また, 境界条件は円管壁面で $\mathbf{v}=(0,0,0)[\text{m/s}]$, 円管中心で $\partial \mathbf{v} / \partial \mathbf{r} = \mathbf{0}$ を満たすとする. ディレクタの初期条件は最大で流れ方向に対し 0.05° の傾きを持つ一様乱数で与える. また, 円管壁面の境界条件は, 初期値を境界条件とし円管中心は $\mathbf{n}=(0,0,1)$ とする.

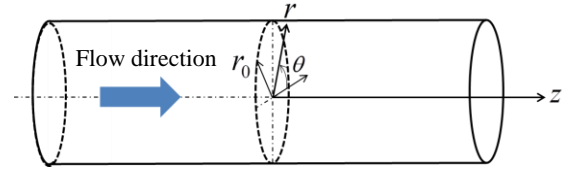


Fig.1 Flow geometry and coordinate system

3. 計算結果

図 2 にディレクタの平均した流れ方向成分 \bar{n}_z の時間変化を示す. $dp/dz=-10.0, -14.0[\text{Pa/m}]$ では, ディレクタが時間とともに流れ方向に対し傾き定常に至る.

一方, $dp/dz=-15.0, -20.0[\text{Pa/m}]$ の場合には \bar{n}_z は減少した後, 急激に増加し, その後定常に至る. 図 3 は速度の平均値 \bar{v}_z の時間変化を表している. \bar{n}_z の挙動と同様に低圧力勾配の場合には \bar{v}_z は単調な減少の後定常に至るが, 高圧力勾配では \bar{v}_z は一旦減少した後増加に転じ, 定常に至る. \bar{v}_z の増加は \bar{n}_z の増加に対応しており, ディレクタの傾きによって粘度が増加したことに起因する.

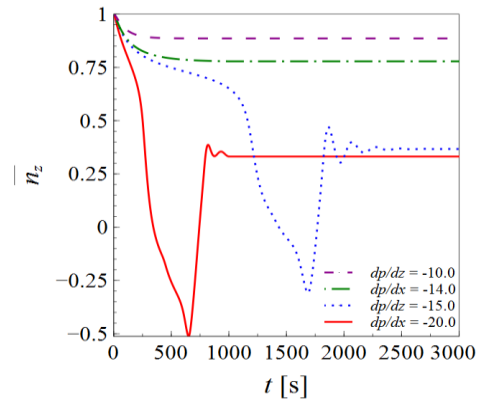


Fig.2 Time change of z ingredient of director

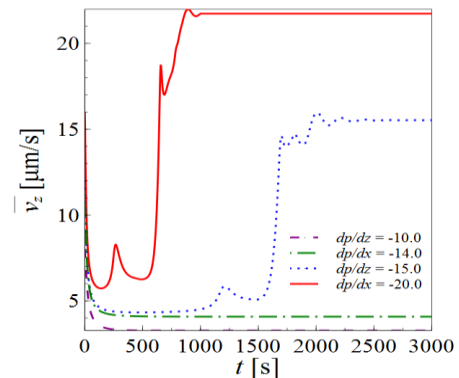


Fig.3 Time change of the mean velocity

文献

- (1) 折原宏 著 液晶の物理 内田老鶴圃出版 (2004)
- (2) 中橋和博, 藤井孝蔵 著 格子形成法とコンピュータグラフィックス 東京大学出版 (1995)