

1. 緒言

ネマティック液晶は,せん断流中における棒状の液晶分子の局所的配向方向(ディレクタ)の挙動によって2種類に分類される.ディレクタがある一定の角度で静止するアライニング液晶,および回転し続けるタンプリング液晶である.ディレクタがせん断流速に対してなす角度により粘度が変化する.したがって,タンプリング液晶のディレクタの挙動は複雑となる.

そこで,本研究では液晶平行円板間せん断流れにおける数値シミュレーションを行い,流動中の液晶分子の配向挙動を明かにする.そして,配向処理を変化させ,配向処理がディレクタの挙動に及ぼす影響を議論する.

2. 数値解析

本研究は Leslie-Ericksen 連続体論⁽¹⁾を用いる.用いる基礎式を以下に示す.まず液晶分子の平均的な配向方向を表すディレクタ \mathbf{n} のトルクバランス方程式は,

$$\left\{ \frac{\partial F}{\partial \mathbf{n}} - \nabla \cdot \left(\frac{\partial F}{\partial \nabla \mathbf{n}} \right) + (\alpha_2 - \alpha_3) \mathbf{N} - (\alpha_5 - \alpha_6) \mathbf{D} \cdot \mathbf{n} \right\} \times \mathbf{n} = \mathbf{0} \quad (1)$$

と表される.ここでの \mathbf{n} は単位ベクトルである. \mathbf{D} 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である.式(1)の F は,

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

と表される.また, F は液晶分子の空間的歪みによる液晶分子場の弾性エネルギーである. K_1 はディレクタの空間的広がり, K_2 はねじれ, K_3 は曲りに関する弾性定数である.座標系は円柱座標系とする.図1に本研究で用いた流れ領域および座標系(r, z)を示す.奥方向を θ 方向プラスとする.半径 R の2枚の円板間(間隔 H) に液晶を充填し,上部円板を回転させることで,液晶中にせん断流を与える.本研究では,ニュートン流体の流速分布で近似する.

境界条件として,円板壁面におけるディレクタは壁面に対して垂直な強固定配向 $\mathbf{n} = (0, 0, 1)$ を用いる.本研究では, $R=30\text{mm}, H=0.5\text{mm}$,と固定する.空間方向の離散化と時間方向の離散化には差分法を用い, $\Delta r = \Delta z = 2.5\mu\text{m}$,時間ステップ $\Delta t = 0.01\text{s}$ とする.ディレクタの各成分の格子点平均値の相対変化が, 10^{-7} になったとき定常とみなし計算を打ち切った.



図1. 計算領域

3. 実験結果および考察

図2に上平板回転速度 0.005Hz における,定常状態のディレクタを等間隔で描画したものを示す. $t=9.7\text{s}$ で定常となる条件を満たした.このとき,円板近傍のディレクタが大きく r 成分を持つことがわかる. θ 成分と z 成分は,円板間の中央 $z=H/2$ において,周期的に表れている.図3に上平板回転速度 0.005Hz におけるディレクタの r 成分の分布を示す.図2と同様に壁面近傍に r 成分が分布していることがわかる.また壁面は垂直で固定されているので局所的歪みは壁面近傍あると言える.したがって,配向処理によって,弾性トルクが変化すると考えることができる.また,定義した定常条件を無視し計算を続けた場合, r 成分の分布は,徐々に円中心に近づいていくという結果を得た.

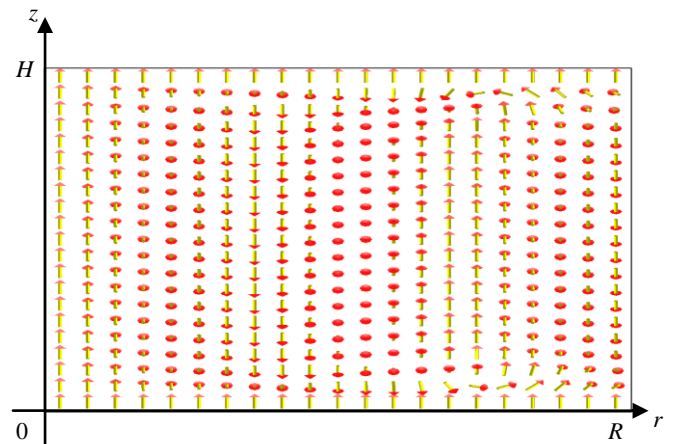


図2. 回転速度 0.005Hz における定常時のディレクタ分布

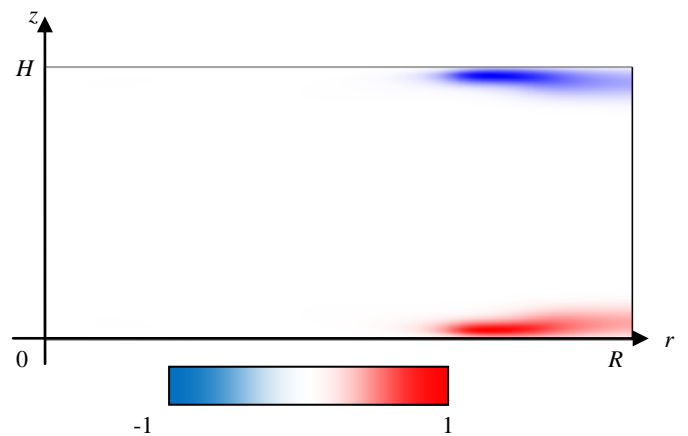


図3. 定常時における n_r 成分分布

参考文献

(1) F. M. Leslie, Arch. Ration. Mech. Anal. 28, (1968),256