

1. 緒言

近年、コストの削減や効率化を目的として、製品の小型化が進み、マニピュレータについての小型化も望まれている。しかし、従来のマニピュレータでは、固体同士の接触により摩擦が起こるなどの問題点があり、小型化に限度がある。この問題点を解決するために、液晶の流動性を生かしたマニピュレータの開発が期待されている。現在、液晶性材料を使用した実験で、温度制御により発生する等方(液体)相とネマティック(液晶)相の間の相界面を用いて、液晶セル内に存在する微粒子の駆動が可能になったことが明らかになっている。本研究では、微粒子の形状や大きさを変化させ数値解析により可視化を行い、相界面の挙動の変化を明らかにすることである。

2.理論および基礎式

液晶性材料の状態は次式のテンソル秩序パラメータの時間発展方程式により求まる。

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -\frac{6Dr}{1-3S:S/2} \left\{ \left(1-\frac{U}{3}\right)S - U \left[S \cdot S - \frac{1}{3}(S:S)\mathbf{I} \right] + U(S:S)S \right\} + \frac{L_1 \nabla^2 S}{\eta} + \frac{L_2}{2\eta} \left\{ \nabla(\nabla \cdot S) + [\nabla(\nabla \cdot S)]^T - \frac{2}{3} \text{tr}[\nabla(\nabla \cdot S)]\mathbf{I} \right\} \quad (1)$$

Dr は回転拡散係数、 η は粘度、 U はネマティック強度ポテンシャルを表している。液晶性材料は温度変化により状態が変化する。本研究で使用している液晶性材料は、等方相から液晶相への相転移温度 35°C の 5CB(4-pentyl-4-biphenylcarbonitrile)である。温度の時間変化は次式の熱拡散方程式を用いて求める。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

これらの式を二次精度の中心差分法と二次精度のルンゲクッタ法を用いて解く。(1)式の U の値は温度 T より求める。以上の2式を連立して解くことにより、温度の時間変化による液晶性材料の状態を求めることができる。図1に計算領域を示す。図1の点の領域が計算領域である。初期条件として領域内を5CBで満たし 36°C の等方相の状態にする。この領域の中心に微粒子を置く。この微粒子の大きさ、形状を変化させる。図1の横線の領域は熱源を表しており、左側に 20°C 、右側に 36°C の熱源を置く。微粒子の熱拡散係数は5CBの値を用いる。

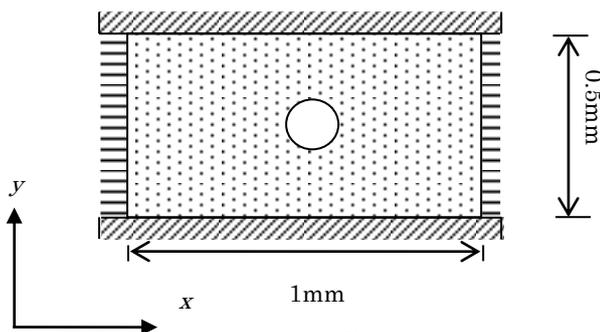


図1 計算領域

3. 解析結果および考察

時間変化による相界面の移動の可視化を図2に示す。図の黒線は相界面の位置を表しており、相界面が粒子に付着する形で移動をしていることがわかる。また図3は微粒子の大きさが $10\mu\text{m}$ 、図4は微粒子の大きさが $20\mu\text{m}$ のときの相界面が微粒子を通り過ぎる前の時間を可視化している。 S はスカラーの秩序パラメータで $S=0$ のときは等法相、 $S>0$ の時は液晶相を表す。微粒子の大きさが変化すると、微粒子の形に相界面がひずむ大きさが変化する挙動が見られた。これらの結果より、微粒子周りでは相転移が起こりにくいことがわかった。これは微粒子の周りの液晶分子の配向の影響により、相転移が起こりにくい現象が起きているからだと考えられる。

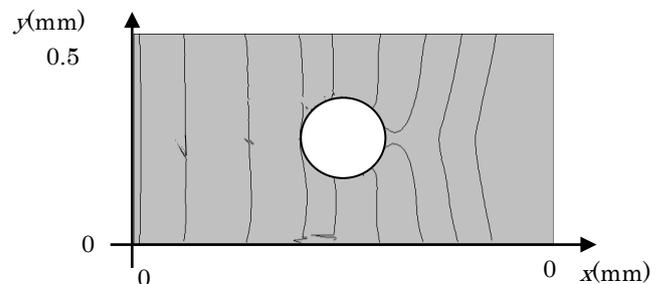


図2 時間変化による相界面の移動の可視化

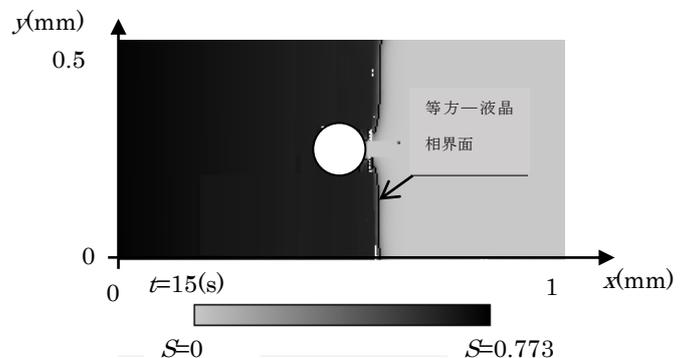


図3 相界面の移動の可視化(微粒子の大きさ $10\mu\text{m}$)

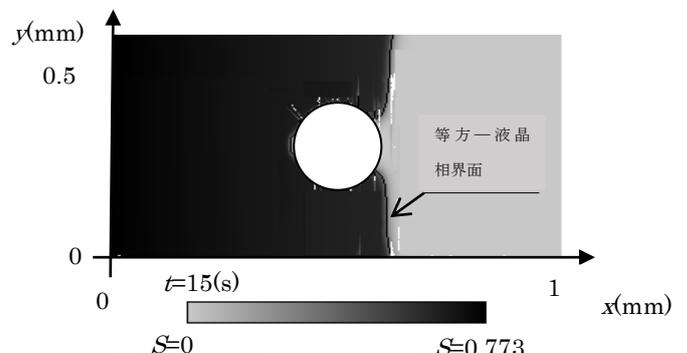


図4 相界面の移動の可視化(微粒子の大きさ $20\mu\text{m}$)

4. 文献

- (1)折原宏 (2004)「液晶の物理」内田老鶴園
- (2)河村哲也(2014)「流体解析の基礎」朝倉書店