

1. 緒言

近年,消費エネルギーの削減や省スペースなどの観点から携帯機器やマニピュレータなどの更なる小型化が望まれている.そこで,微小空間内において微小物体を任意の位置へ移動させるためのマイクロマニピュレータ,マイクロアクチュエータの開発が期待されている.液晶性材料は温度により等方相と液晶相をとり,相の間には相界面が発生する.界面には界面力が存在し,液晶性材料内に微粒子が混入している状態で界面を移動させると界面力によって微粒子を移動させることが実験において確認されている.界面力を用いる小型マニピュレータの開発を例にすると,相界面によって液晶性材料内に混入した微粒子を任意の位置まで移動させることができ,より微小な移動も可能となるのではないかと考えられている.このような界面力を利用した新たなデバイスの開発が考えられています.そのためには等方-液晶相界面のより正確な制御を可能にする必要があるので,この研究においては相界面の移動の数値シミュレーションを行う.

2. 理論および基礎式

液晶性材料の状態によるランダウ理論の自由エネルギーは

$$F = F_0 + \frac{3A_0(T - T_0)}{4} S^2 + \frac{B}{4} S^3 + \frac{9C}{16} S^4 \quad (1)$$

ここで S は分子の向きがどれだけそろっているかを表す秩序度であり,液晶相では $0 < S < 1$,等方相では $S = 1$ である. F_0 はエネルギーの初期値であり, A_0, B, C は正の定数,負

の定数,正の定数であり, T, T_0 は温度と相転移温度である.式

(1)から状態の自由エネルギーの極小値を求めることができ,熱力学的平衡状態となる秩序パラメーター S と温度の関係が求まる.液晶セル内の温度変化には

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

の熱拡散方程式を用いる. k は熱拡散係数である.

(2)式より相界面の移動の数値シミュレーションでは,相界面は相転移温度で発生するという仮定の元,液晶セル内の温度勾配を変化させたときの一次元の相界面の移動を数値シミュレーションにより解析する.

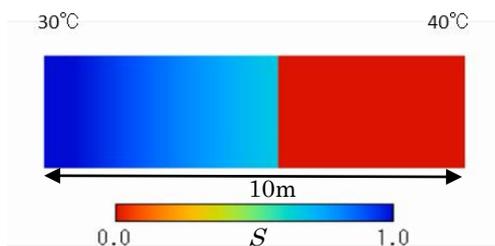


Fig. First state of the liquid crystal cell

液晶セル内の初期条件として液晶セル内の温度勾配が $30 \sim 40^\circ\text{C}$ で図 1 のように相界面が存在している場合に 40°C の熱源を $45, 50, 55, 60^\circ\text{C}$ へ変化させたときのシミュレーションを行う.このシミュレーションから相界面の可視化,移動速度の算出を行い温度勾配と相界面の移動の関係性を求める.

3. 実験結果および考察

図 1 は秩序度 S と温度 T の関係を示す. 図 2 は初期の液晶セル内は $30^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ の温度勾配を $30 \sim 45, 50, 55, 60^\circ\text{C}$ としたときの相界面の移動速度と温度勾配の関係を示す. これらの解析によって温度勾配を大きくすることによって相界面の移動速度が高くなり,温度勾配を小さくすると速度が低くなることが確認できた.よって,温度勾配を変化させることによって相界面を制御することは可能であるという結論を得た.

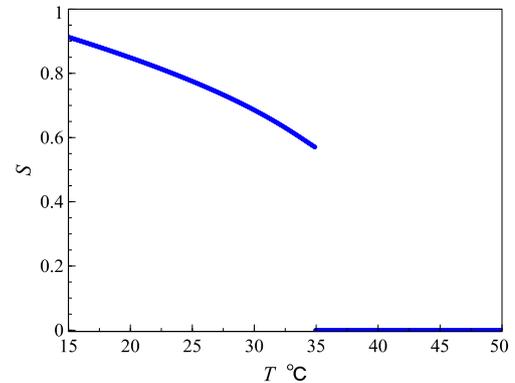


Fig.1 Order parameter dependence of Temperature

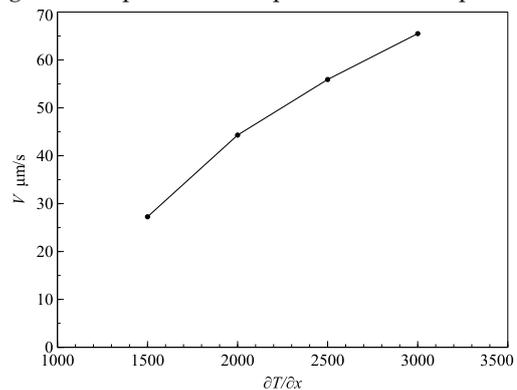


Fig.2 The velocity of the interface when changing the temperature gradient.

文献

(1) John L. West, Anatoliy Glushchenko, and Guangxun Liao. 'Drag on particles in a nematic suspension by a moving nematic-isotropic interface.' Phys. Rev. E, 66, p. 012702, 2002
 (2) 折原宏 (2004) 「液晶の物理」内田老鶴圃, pp.1-35
 (3) 液晶便覧編集委員会 (2000) 「液晶便覧」丸善株式会社
 (4) 藤井孝藏 (1994) 「流体力学の数値計算法」東京大学出版会, pp.1-14