

液晶－等方相界面力を利用した微小物体のマニピュレーション

システム工学群

流体工学研究室 1190156 三原 弦

1. 緒言

液晶性材料は結晶相と液相の間に液晶相を有する物質である。液晶性材料に液晶相－等方（液体）相転移温度 T_{NI} を含む温度分布を空間的に与えると、液晶相と等方相を共存させることができる。この液晶相と等方相が共存する際に発生する境界は(N-I)相界面と呼ばれ、そこでは相界面力が発生する。この力を利用することで微小物体を駆動させるマイクロマニピュレータの開発が可能であり^①, 新たな MEMS デバイスの駆動源として期待できる。現在使用されている一般的なマイクロマニピュレータは構成部品が多く、機械的に動作しているため、装置の小型化に限界が生じている。また、固体を対象物に接触させて移動させることから、対象物に損傷を与える。それに対して、液晶マイクロマニピュレータは主に熱源と液晶材料と容器のみで構成されることから、構造が単純である。また、液晶の等方相および液晶相は流動性を有しており^②, 自由な形状を取ることが可能であるため、デバイスとして使用する際には小型化や様々な形状への応用が比較的容易であるとともに、液体で対象物を捉えるため、対象物の損傷を防ぐことが可能であると考えられる。

先行研究において、重力によって沈降する微粒子に対して相界面を鉛直下方から上方に移動させることで微粒子の鉛直上下の1次元駆動に成功している^③。そこで、本研究では液晶性材料中に混入する微粒子の水平方向(上下左右方向、斜め方向)への駆動を図り、微粒子の2次元操作を試みる。

2. 実験装置及び方法

図 1(a), 図 1(b)に実験装置の概略図を示し、重力加速度は図 1(a)の紙面奥行き方向に働いている。液晶セルは2枚のガラス平板および、その中に封入された液晶性材料 4Cyano-4'-pentylbiphenyl (5CB: $T_{NI} = 35.2^{\circ}\text{C}$, 比重 1.008) からなる。液晶性材料に接するガラス表面には液晶分子を垂直配向させるための配向処理 (JSR 株式会社, 垂直配向剤 AL60101) を施している。ガラス内に封入した液晶性材料中に微粒子 (積水化学工業株式会社, ミクロパール SP-230-AC4, 直径 $30\mu\text{m}$, 比重 1.19) を混入させ、相界面力を用いて微粒子の駆動実験を行う。

次に実験方法について説明する。液晶セルに与える温度分布はペルチェ素子 (株式会社ビックス, UT2020CE-M) とペルチェコントローラ (株式会社セルシステム, TDC-4010R, 計測分解能 $\pm 0.0002^{\circ}\text{C}$, 計測精度 $\pm 0.005^{\circ}\text{C}$) を用いて制御する。ペルチェ素子は図 1(a), 図 1(b)のように配置し、対向する2枚のペルチェ素子を一組として合計4チャンネルに分ける。この組を上方から時計回りに ch1, ch2, ch3, ch4 (図中①～④に対応) として液晶セルの温度コントロールを行う。液晶セルに液晶相－等方相間の相転移温度 T_{NI} を含む温度分布を与える。温度分布によって液晶セル内の相界面を制御し、液晶セル内に混入した微粒子を相界面によって2次元方向に駆動させる。微粒子を上下左右方向に駆動させる場合は2チャンネル, 斜め方向に駆動させる場合は4チャンネル制御をそれぞれ行う。

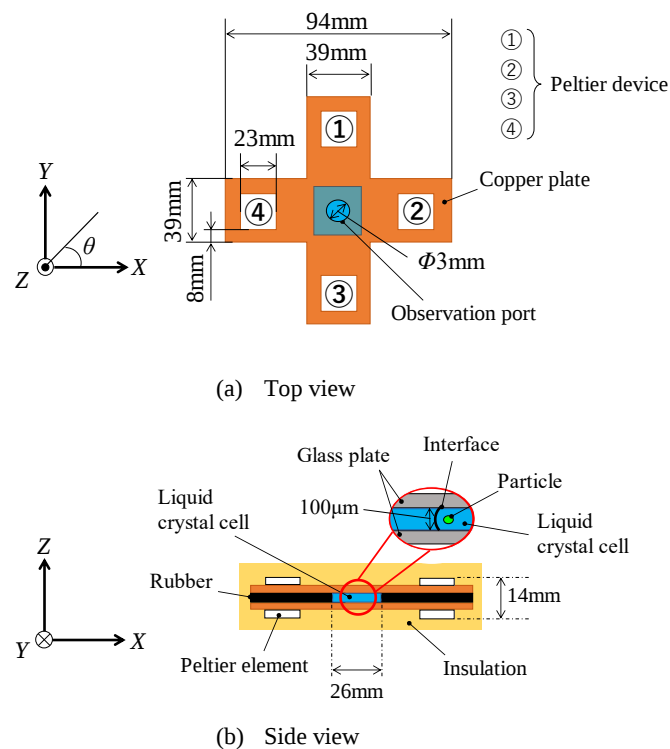


Fig. 1 Experimental setup

上下左右軸方向駆動を行う際の例として、下($\theta = -90^{\circ}$)方向への微粒子駆動の場合、まず4チャンネル全てを使って加熱し、液晶セル全体を等方相にする。次に ch2, ch4 は OFF にし、ch1 を相転移温度以下になるよう冷却していき、観察範囲に相界面を発生させる。その後、ch1 または ch3 を冷却することで相界面を下($\theta = -90^{\circ}$)方向へ移動させることができる。

また、斜め方向駆動の例として、右上($\theta = 45^{\circ}$)方向への微粒子駆動の場合、はじめは2チャンネル制御と同様、全チャンネルを用いて加熱し、液晶セル全体を等方相にする。次に ch3, ch4 を相転移温度 T_{NI} 以下になるよう冷却し、観察範囲に相界面を発生させる。その後、低温側の ch3, ch4 または高温側の ch1, ch2 のどちらかの温度を下げることで相界面を右上($\theta = 45^{\circ}$)方向へ移動させることができる。これらの相界面と微粒子の挙動を顕微鏡用カメラと光源を用いて透過光観察する。実験で得た動画データを2次元解析ソフトを用いて動画解析し、微粒子と相界面の変位のデータを得る。また解析を行う際は微粒子の重心と、界面と微粒子が接する点についての解析を行った。

3. 実験結果および考察

2チャンネル制御の実験例として下($\theta = -90^{\circ}$)方向への微粒子駆動の様子を図2に、微粒子と相界面が接触した時刻を $t = 0\text{s}$ とした場合の微粒子と相界面位置の時間変化を解析したものを図3に示す。図2中の破線は相界面を示す。相界面の

上側が液晶相，下側が等方相である。時間の経過とともに相面が微粒子に到達した後，微粒子は相界面とともに移動している。また図3より，微粒子が界面と接触した， $t = 0$ s以降は相界面と微粒子が同じ挙動を示すことから，2チャンネル制御による微粒子の駆動に成功したことがわかる。

次に4チャンネル制御の場合の例として右上($\theta = 45^\circ$)方向への微粒子駆動の実験結果を図4に，この時の微粒子と相界面位置の挙動を図5に示す。図2の場合と同様に，相界面を破線で示す。図4において相界面の左下側が液晶相，右上側が等方相である。2チャンネル制御の場合と同様に，微粒子が相界面に伴って右上方向へ移動していることがわかる。また，微粒子と相界面の軌跡を示した図5からも微粒子が相界面に接触した後，微粒子が相界面によって駆動され，同じ軌跡を描くことから，4チャンネル制御による微粒子の駆動に成功したと言える。

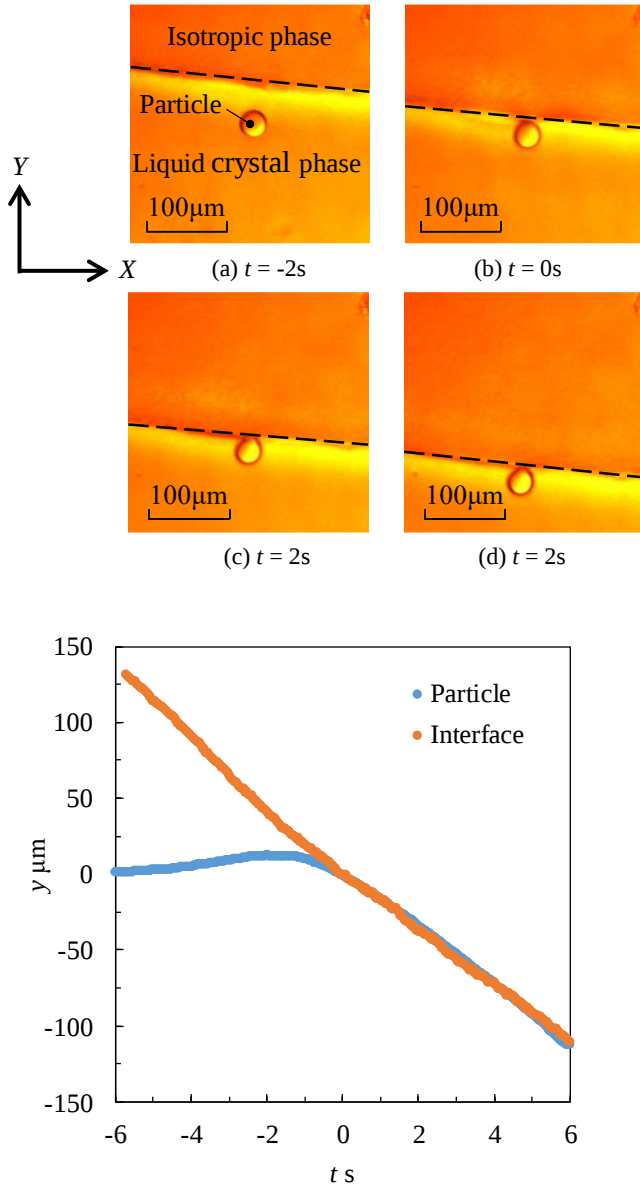


Fig. 2 Downward drive of a micro particle

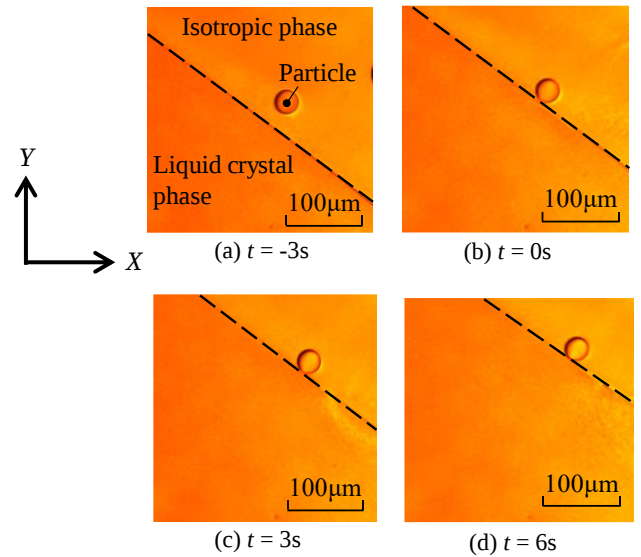


Fig. 4 Right upward drive of a micro particle

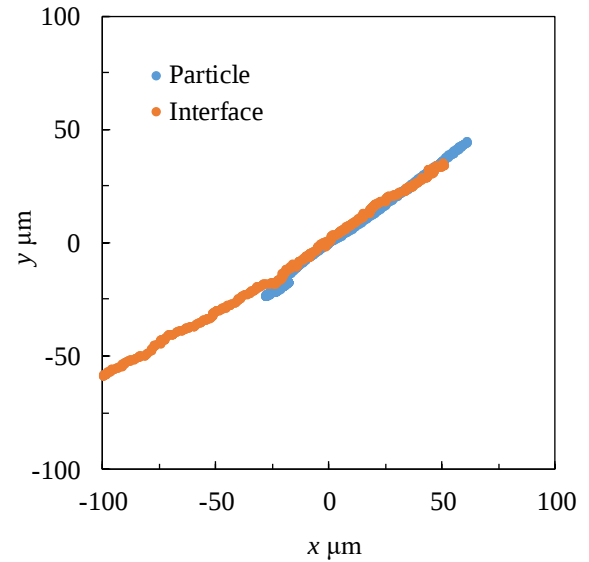


Fig. 5 Displacements of a particle and an interface for 4ch control

4. 結言

本研究では液晶性材料中に混入する微粒子の左右方向，斜め方向への駆動を図り，微粒子の2次元操作を試みた。その結果，液晶の相界面力を利用することで上下方向だけでなく，左右，斜め方向を含めた微粒子の2次元方向駆動が可能であることを明らかにした。

5. 参考文献

- (1) West, J. L., Glushchenko, A., Liao, G., Reznikov, Y., Andrienko, D. and Allen, M. P., Drag on particles in a nematic suspension by a moving nematic-isotropic interface, Physical Review E Vol. 66(2002), p012702.
- (2) 竹添秀男・渡辺順次，液晶・高分子入門，裳華房(2004)。
- (3) 亀井和正・辻知宏・蝶野成臣，液晶のネマティック相と等方相の相界面を利用したマイクロマニピュレータの開発，日本機械学会論文集，Vol. 81(2015)，No. 14-00628。