

# 液晶－等方相界面を利用したマニピュレータの制御方法の開発

## 1. 緒言

近年、MEMS への応用のため、マイクロ・ナノスケールでの微小物体を対象とした精密な位置制御が可能、かつ、小型化が可能なマニピュレータが求められている。しかし、従来のマイクロマニピュレータでは、機械式で高精度の位置制御機構によりシステムが複雑になるため、大型になってしまうという欠点がある。また、ロボットアームの先端に針状の工具を用いて対象物を移動させるため、対象物に傷をつけてしまう可能性も問題となる。

これらの問題点の解決策として、等方相と液晶相の境界に存在する相界面に着目し、相界面に働く界面力および液晶材料の特性を活かした液晶マニピュレータの開発が行われた。液晶マニピュレータは、液晶材料と液晶材料を封入するための容器、温度を制御するための熱源という構成のため、構造が単純であり装置の小型化が可能であると考えられる。また、界面を挟んだ等方相および液晶相の両相は流動性があるため、対象物を駆動する際にも傷を付けにくいという利点がある。

先行研究では、液晶材料に温度差を与え液晶－等方相界面を発生させ、液晶材料中に混入させた微粒子の駆動に成功している。(1)しかし、温度と相界面の位置の関係が明らかになっておらず、相界面の位置制御を行うにはいたっていない。したがって、また、相界面の位置制御を正確に行うにあたって、液晶セルの温度分布を調べる必要がある。これまでは、図1の(a)のように液晶セルの上下2ヶ所に白金測温抵抗体を設置し、温度の測定を行っていた。しかし、これでは液晶セル全体の温度分布の変化を知ることはできない。これでは、温度分布と相界面位置の関係を明らかにすることはできない。

そこで、図1の(b)のようにさらに7つの熱電対を取り付け、セル全体の温度分布を測定し、相界面の位置との関係を調べる。

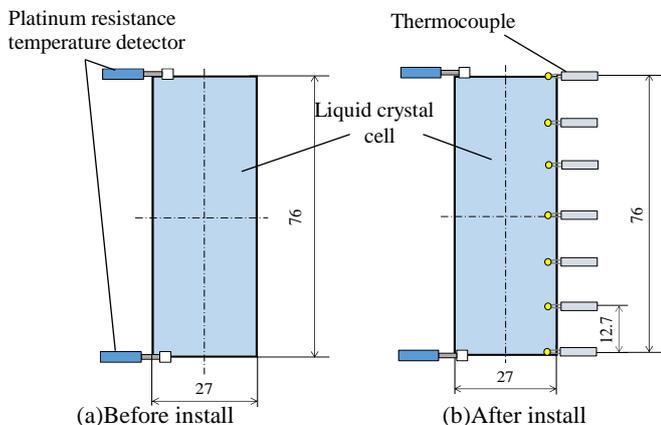


Fig.1 Measure the temperature of liquid crystal cell with the thermocouple

## 2. 実験装置および実験方法

図2に実験装置の概略図を示す。液晶セルは、間隔が100μmの2枚のガラス平板と、その隙間に注入された液晶材料4-Cyano-4'-pentylbiphenyl(5CB:ネマティック相－等方相転移温度  $T_{NI}=34.7^{\circ}\text{C}$ :密度  $\rho=1008\text{kg/m}^3$ ) (2) から成る。また、ガラス平板の内側の表面には垂直配向処理が施してある。液晶には、駆動の対象として微粒子(積水化学工業(株)製マイクロパール:密度  $\rho_p=1190\text{kg/m}^3$ )を混入させる。装置は、2枚の銅板の上下に4つのペルチェ素子を取り付けてある。この銅板の間に液晶セルを挟み、液晶セルに温度分布を与え相界面を発生させる。まず、全てのペルチェ素子の温度を相転移温度以上にし、液晶セル内全体を等方相にする。その後、上部のペルチェ素子の温度を相転移温度以上、下部のペルチェ素子の温度を相転移温度以下に設定することで、相界面の位置を観察口のより下側に来るように制御する。このとき、相界面より上側の領域が等方相、下側の領域が液晶相である。その後、下部のペルチェ素子の温度を下げることにより相界面の位置は、液晶相領域の拡大により上方へ移動する。相界面の移動および微粒子の挙動を観測口から CCD カメラと単色光源による透過光観察を行う。

また、実験装置内の温度分布の測定を行うために、熱電対(Pico Technology社:8ch熱電対データロガーTC-08)を等間隔になるように設置した。この熱電対を用いて、液晶セルの温度分布の変化を時々刻々記録する。実験により得た動画データから、2次元動画解析ソフトを用いて相界面の位置および速度のデータを得る。

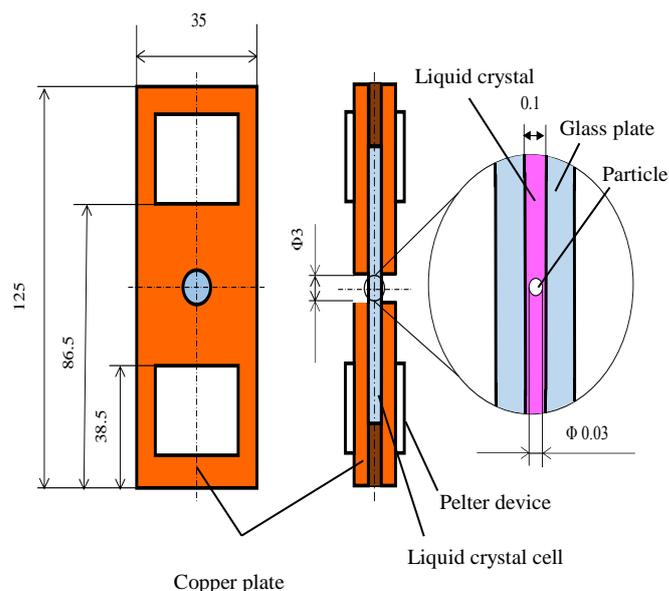


Fig.2 Experimental equipment

## 2. 実験結果および考察

図3には液晶セル下端部の温度を34℃から32℃へ変化させ、液晶相を拡大し相界面を移動させたときの顕微鏡画像とその時の温度をグラフで表している。画像は相界面(図中赤線)より上側の領域が等方相、相界面より下側の領域が液晶相である。グラフは、縦軸が画像のスケールと一致しており画像中央を0mmとし上下に0.15mmである。また、相界面付近での温度は、液晶セルの中央とその上下の熱電対の3点で測定した温度から二次曲線によって補間した。図3の顕微鏡画像より、相界面の位置が上方へ変化していることが分かる。グラフでは、相界面が発生している温度が常に相転移温度である34.7℃よりわずかに低いことが分かる。これは、相界面が発生する現象よりも熱の伝播速度のほうが速いため、相界面が相転移温度より遅れていることによると考えられる。

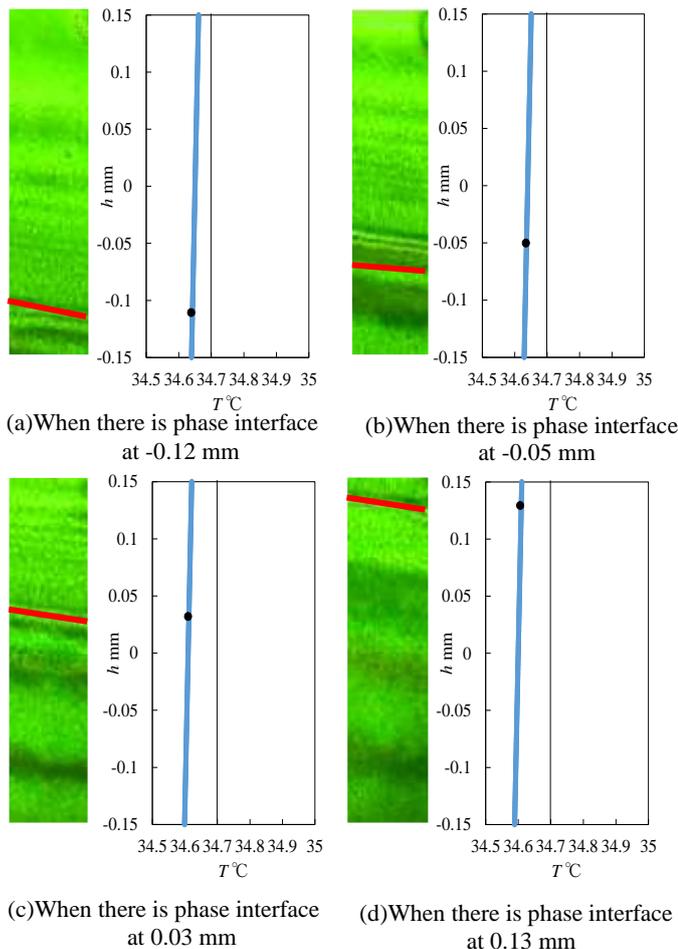


Fig.3 Microscope image and graph

図4は微粒子を混入させ、最下部の熱電対の温度を31.0℃から30.3℃に変化させ、液晶相を拡大し相界面を移動させ微粒子を駆動したときの顕微鏡画像と温度を表している。また、一連の画像により、界面が安定しないものの相界面の移動により微粒子を駆動している様子が分かる。図4のグラフを見ると、相転移温度である34.7℃より大きく離れた温度で相界面が発生していることがわかる。今回、微粒子を混入させないで相界面の駆動を行ったときは、相転移温度と相界面の温度との差は0.03℃から0.09℃の範囲であり相転位温度との差は0.1℃未満であった。しかし、微粒子を混入させた場合では、相転移温度と相界面の温度との差は0.51℃から0.54℃の範囲であった。つまり、微粒子を混入させると相転移温度と

相界面の温度の差は0.5℃以上低い結果になった。この原因として、液晶材料と異なる密度の微粒子を駆動しているため、微粒子によって相界面が押されたと考えられる。また、液晶材料と微粒子の比熱の違いも原因として考えられる。

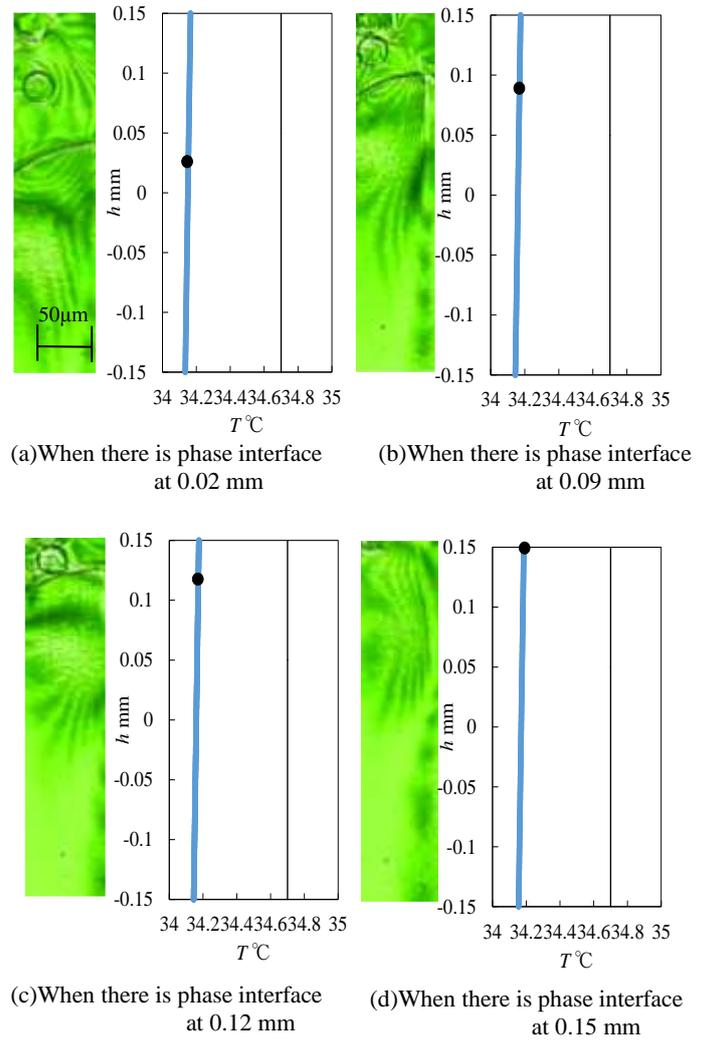


Fig.4 Microscope image and graph

## 3. 結言

本研究では、相界面駆動時の相転移温度と相界面での温度の関係を調べるために、装置内の温度分布を測定し、相界面の駆動実験を行った。その結果、相界面移動時での相界面の温度は相転移温度である34.7℃よりも低いことが確認できた。また、微粒子を混入させると、相転移温度より0.5℃以上低いことが分かった。これにより、相界面の制御を正確に行うためには、相転移温度の位置を制御するのではなく、液晶セルの温度分布の制御によって相界面の制御を行う必要がある。

## 4. 参考文献

- (1) 亀井和正, 辻知宏, 蝶野成臣, 2014年日本機械学会論文集(2014)
- (2) Germano S. Iannacchione and Daniele Finotello Calorimetric Study of Phase Transitions in Confined Liquid Crystals (1992)