

スメクティック液晶ー等方相界面力を利用したマイクロマニピュレータの開発

Development of micromanipulator driven by the interfacial force between smectic liquid crystal and isotropic phases

知能機械システム工学コース

流体工学研究室 1215012 高沢 丈樹

1. 緒言

液晶材料は一般的に棒状分子から成り、温度変化にもな
って結晶相と等方相（液体）の間に液晶相を持つ。この液晶
相は、結晶の性質を有しながら、等方相（液体）のように流
動性も有する。液晶相と等方相が共存するように空間的に温
度分布を与えることで、流動性のある相に挟まれた液晶相ー
等方相界面を発生させることができる。

図 1 (a) に等方相 (I 相) の、(b) ~ (c) に異なった液
晶相の棒状分子の空間構造を示す。図 1 (a) の等方相では、
棒状分子の位置および配向に規則性は無い。一方、図 (b) に
ネマティック相 (N 相) では、分子の向きのみ規則性が現
れる。さらに図 1 (c) のコレステリック相 (C 相) では分子
構造が螺旋状に、図 1 (d) のスメクティック相 (S 相) では
分子構造が層状になっている。

これまでに、4-Cyano-4'-pentybiphenyl (5CB : N-I 相転移
温度 $T_M=35.18^\circ\text{C}$) に温度分布を与えることで N-I 相界面を
発生させ、そこでの界面力を利用した微小物体の駆動が提案
されており⁽¹⁾、さらに、直径 $30\mu\text{m}$ の微粒子の駆動を通して
界面力 $F=1.4\text{nN}$ であることが報告されている⁽²⁾。このことか
ら、N-I 相界面で働く界面力を利用して、小型化が可能なソ
フトマニピュレータの開発が可能であると考えられる。しか
し、N-I 相界面力は微小であり、用途拡大のためには大きな
界面力が必要となる。S-I 相界面を利用できれば、N-I 相
界面よりも大きな界面力が期待でき、マニピュレータの用途
拡大につながると考えられる。

そこで、本研究では、4-Cyano-4'-dodecylbiphenyl(12CB :
S-I 相転移温度 $T_{SI}=58.5^\circ\text{C}$)を用いて S-I 相界面を作り、マ
ニピュレータの駆動力である界面力について吟味する。

2. 実験装置・実験手順

図 2 に実験装置の概略図を示す。液晶セルは、間隔 $250\mu\text{m}$
で張り合わされた 2 枚のガラス平板と、その間隔に封入され
た液晶材料で構成される。ガラス平板の対向面には、垂直配
向膜 (JSR 株式会社製 : 垂直配向膜剤 AL60101) が製膜され
ている。駆動対象物として微粒子 (東ソー株式会社製 : ジル
コニア粉砕ボール YTZ 0.1mm 比重 6.0) を用いる。液晶セル
の温度分布をコントロールするために、液晶セルはペルチェ
素子を取り付けられた 4 枚の銅板で挟まれている。このペ
ルチェ素子は、ペルチェコントローラ (株式会社セルシステ
ム製 : TDC2010 計測精度 : ± 0.005 度) により温度制御され
る。

まず、全てのペルチェ素子の温度を T_{SI} 以上にし、液晶セ
ル内全体を I 相にする。上部のペルチェ素子の温度を T_{SI}
以上、下部のペルチェ素子の温度を T_{SI} 以下に設定するこ
とで、セル下部から液晶相への相転移が始まる。次に、下部ペ
ルチェ素子の温度を調整し、観察口のある装置中央付近で相界面
の位置を一定に保つ。その後、液晶中に混入された微粒子と
相界面の挙動を観測口から透過光観察をする。実験により得

た動画データから 2 次元動画解析を行い、微粒子の重心位置
の時間変化を調べる。

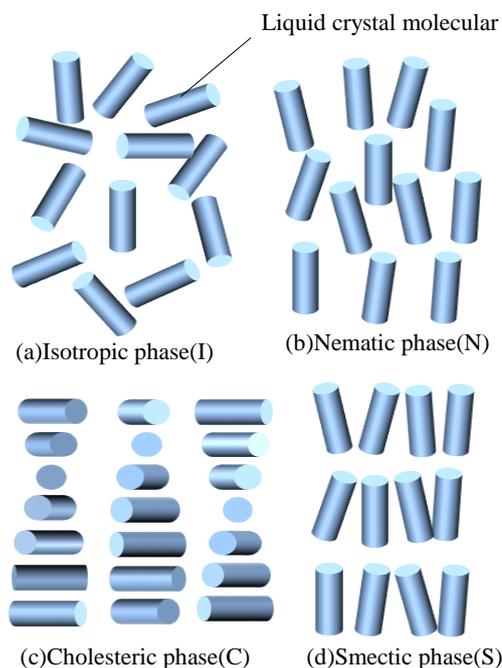


Fig.1 Schematics of molecular configurations

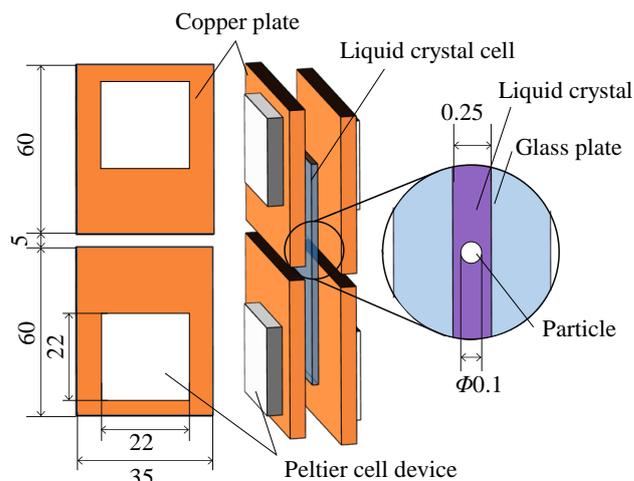


Fig.2 Experimental set up

3. 実験結果

図 3 は液晶性材料 5CB の実験結果の一例として上部ペ
ルチェ素子の設定温度を 40 度、下部ペルチェ素子の設定温
度を 30 度での N-I 相界面及び微粒子の挙動についての顕微

鏡画像である。画像中央を水平に横切る黒い線が N-I 相界面、画像内の黒い丸が微粒子であり、相界面を境に上側の領域が I 相、下側の領域が N 相である。また、微粒子が相界面に接した時間を $t=0$ 秒とする。(a) $t=-0.2$ 秒では微粒子が I 相側にあり、(b) $t=0$ 秒で微粒子は相界面と接触し、微粒子の形状に合わせて相界面も大きく変形している様子がわかる。さらに、(c) $t=0.2$ 秒で微粒子は相界面を通過し、N 相領域を沈降していることが確認できる。

図 4 は S-I 相界面を発生する 12CB を用いた実験結果の一例として上部ペルチェ素子の設定温度を 63.5 度、下部ペルチェ素子の設定温度を 53.2 度での S-I 相界面及び微粒子の挙動についての顕微鏡画像である。画像中央を水平に横切る黒い線が S-I 相界面、相界面を境に上側の領域が I 相、下側の領域が S 相である。また、微粒子が相界面に接した時間を $t=0$ 秒とする。(a) $t=-0.2$ 秒では微粒子が I 相側にあり、(b) $t=0$ 秒で微粒子は相界面と接触する。その後、(c) $t=6$ 秒より S-I 相界面の形状がわずかに変形しながらも、微粒子は相界面の上側の I 相領域で保持されていることがわかる。

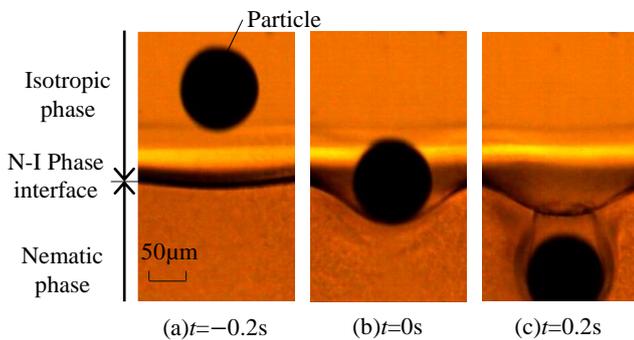


Fig.3 Microscopic images of N-I phase interface and particle

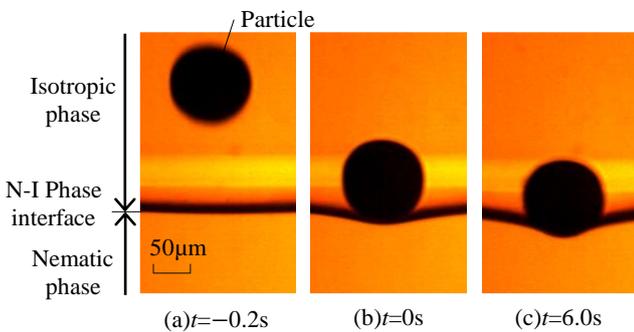


Fig.4 Microscopic images of Sm-I phase interface and particle

図 5 は図 3 に示した動画を解析して得られた微粒子の重心位置と N-I 相界面の時間変化である。相界面に接触する前の微粒子は、重力によって I 相領域中を一定の速度で沈降する。相界面接触後も微粒子は減速することなく沈降を続け、N-I 相界面を通過する。また、相界面の位置は微粒子の接近に伴って大きく変化する。時間の経過とともに微粒子に接触する前の位置に復元していることが確認できる。

図 6 は図 4 に示した動画を解析して得られた微粒子の重心位置と S-I 相界面の時間変化である。相界面接触前の微粒子は、重力によって I 相領域中を一定の速度で沈降する。相界面接触後の微粒子は、S-I 相界面によって I 相側で保持される。また、S-I 相界面は微粒子の形状に沿って変形し、S 相側に撓んだ状態を維持する。そのため、微粒子の重心位置は相界面接触時より 10µm 程度変化し、相界面上側の I 相領域

で保持されていることがわかる。このことから、12CB の S-I 相界面で発生する界面力は、5CB の N-I 相界面で発生する界面力より大きいのは明らかである。

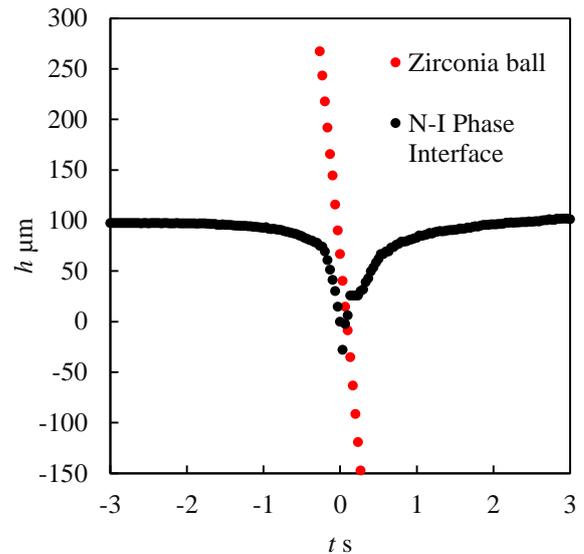


Fig.5 Time change in position of the phase interface and the particle with 5CB

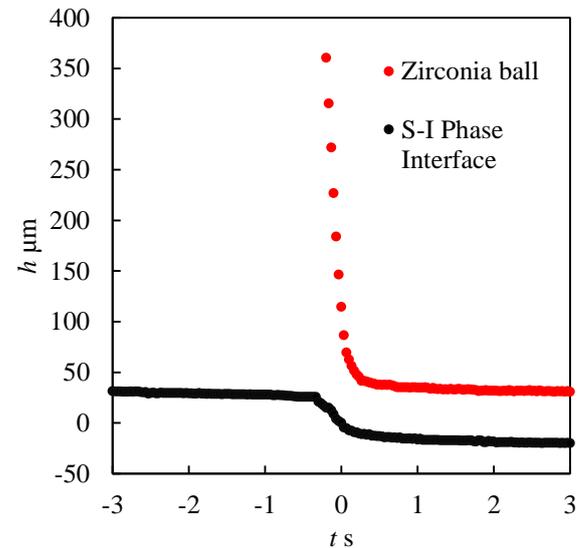


Fig.6 Time change in position of the phase interface and the particle with 12CB

4. 結言

本研究では、12CB に温度分布を与えた際に発生する S-I 相界面を用いて微粒子の駆動実験を行い、S-I 相界面力が N-I 相界面力よりも大きいことを明らかにした。このことより、S-I 相界面を利用することで、大きな駆動力を持つ液晶マニピュレータが実現可能である。

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), p.012702.
- (2) 亀井和正, 辻知宏, 蝶野成臣, 2014 年日本機械学会論文集中 (2014) Vol.81(2015), pp14-0062.