

卒業論文要旨

液晶性分子の剛直性が粘度特性に及ぼす影響

Effect of molecular rigidity on viscosity of liquid crystal

システム工学群

蝶野・辻研究室 1220008 飯干 陽紀

1. 緒言

液晶とは固体と液体の間にある中間的な相であり、構成する棒状分子の方向が一定であるが、分子の重心位置は無秩序である。液晶を発現する分子は数多く存在し、各種物性値や液晶状態の温度範囲がそれぞれ異なる。これまで液晶ディスプレイの性能向上を目的として、光学特性および電気応答性に優れた液晶の合成やブレンドが行われてきた。一方、液晶を用いた新たなデバイスに液晶アクチュエータがある。液晶アクチュエータは液晶に電圧を印加した際の棒状分子の回転挙動に伴って発生する流動を利用して物体を駆動する⁽¹⁾。液晶アクチュエータにおいて最も支配的な液晶の物性値は粘度である。今後、材料の合成あるいはブレンドによってアクチュエータに最適な液晶粘度特性が実現できれば液晶アクチュエータの実用化が加速する。本研究では、剛直性の異なる2種類の低分子ネマティック液晶性材料5CB (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) と5CT (4-Cyano-4'-pentyl-p-terphenyl) の混合液晶について粘度特性の解析を行う。図1に5CBの分子構造と相転移温度⁽¹⁾、図2に5CTの分子構造と相転移温度⁽²⁾を示す。5CT分子は5CB分子に比べてベンゼン環が一つ多い分子構造なので剛直性が高い。

5CT と 5CB の混合液晶の相転移温度を求め、粘度測定を行うことで、分子の剛直性と粘度特性の関係を明らかにする。

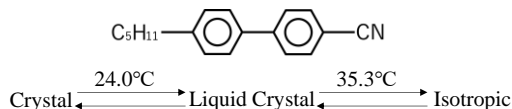


Fig. 1 molecular structure and phase transition temperature of 5CB

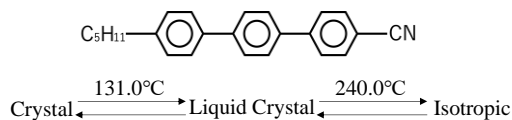


Fig. 2 molecular structure and phase transition temperature of 5CT

2. 実験方法

本研究では5CBと5CTの混合液晶を、混合比をモル比 n (5CTに対する5CBの割合)で表す。混合液晶を作成する際は140℃、200rpmで30分攪拌した。

粘度測定をする前に5CBと5CTの混合物が液晶状態である温度範囲を明らかにする必要がある。そのためにこの実験ではDSC(示差走査熱量計, DSC1:METTLER TOLEDO製)を用いて相転移温度を調べた。

次にDSCを用いた熱量測定から求めた液晶温度範囲の中央値で粘度を測定する。粘度測定には回転式レオメーター

(HAAKE MARSHI: Thermo Fisher Scientific 製)を使用した。測定部にはチタン製平行円板(直径60mm, ギャップ0.5mm)を用いた。

3. 結果及び考察

3.1 DSCを用いた熱量測定

図3に混合液晶($n=1, 1.5, 2, 2.5, 3$)のDSCの結果を示す。縦軸は熱流 H 、横軸は温度 T である。降温の方がヒートフローの変化が顕著であったため、一旦、液晶-等方相転移温度 $T_{\text{CL-I}}$ 以上に昇温した後、 $dT/dt = -0.024^{\circ}\text{C/s}$ で降温しながら熱流の計測を行った。 $n=1$ の場合、 $T=160^{\circ}\text{C}$ および $T=70^{\circ}\text{C}$ でヒートフロー H がピークを示しており、それぞれ液晶-等方相転移温度 $T_{\text{LC-I}}$ および結晶-液晶相転移温度 $T_{\text{C-LC}}$ に相当すると考えられる。また $n=2$ の場合には $T_{\text{LC-I}}=117^{\circ}\text{C}$ および $T_{\text{C-LC}}=53^{\circ}\text{C}$ 、 $n=3$ の場合には $T_{\text{LC-I}}=94^{\circ}\text{C}$ および $T_{\text{C-LC}}=33^{\circ}\text{C}$ であり、 n の増加とともに $T_{\text{LC-I}}$ 、 $T_{\text{C-LC}}$ いずれの値も減少する傾向が見られる。

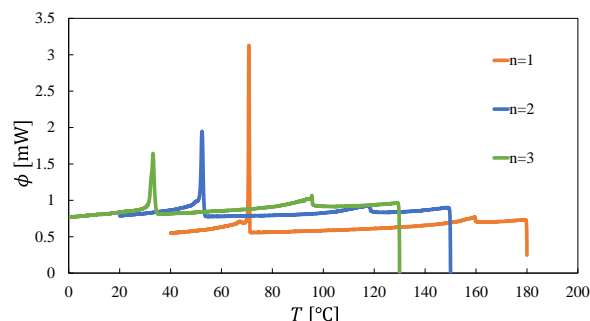


Fig. 3 DSC result of lower temperature of 5CB-5CT Mixtures

混合比 n とDSC測定結果より得られた相転移温度 $T_{\text{LC-I}}$ 、 $T_{\text{C-LC}}$ の関係を図4に示す。また、比較のために5CT単体($n=0$)および5CB単体($n \rightarrow \infty$)についての相転移温度も併記している。混合比 n の増加とともに、 $T_{\text{C-LC}}$ 、 $T_{\text{LC-I}}$ は減少する。一方、5CT単体の液晶発現温度幅 $R_T (=T_{\text{LC-I}} - T_{\text{C-LC}}) = 109^{\circ}\text{C}$ 、5CB単体の $R_T = 11.3^{\circ}\text{C}$ であるのに対して、 $2 \leq n \leq 4$ の混合液晶において $R_T \approx 65^{\circ}\text{C}$ の一定値を維持し、混合液晶における5CBの割合が高いにもかかわらず、混合液晶の相転移温度が5CBの相転移温度へ漸近するような傾向が見られない。言い換えると、5CBへの5CTの少量の添加が相転移温度に大きな影響をもたらす。また、 n の増加に対して大きな R_T を維持しながら、相転移温度が低くなる傾向は液晶の応用において大きな利点となる。

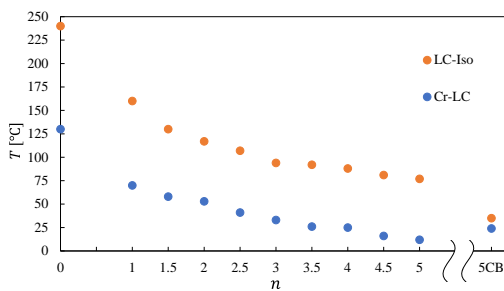


Fig. 4 Phase transition temperature by Mixing ratio

3.2 粘度測定

図5は、せん断速度 $\dot{\gamma}=100\text{s}^{-1}$ の場合の5CBの粘度の温度依存性を表す。 T_{LC-I} 近傍の温度範囲について粘度測定を行った結果である。また、図中の点線は5CBの液晶—等方相転移温度 $T_{LC-I}=35^\circ\text{C}$ を示している。図5より5CBの粘度は相転移温度である $T=35^\circ\text{C}$ で増加する。

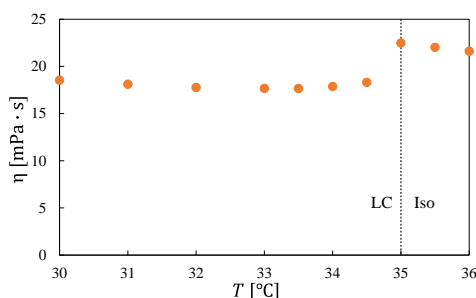


Fig. 5 Temperature dependence of the viscosity of 5CB

図6は、 $n=1$ の混合液晶の粘度の温度依存性である。相転移を含む温度範囲において $\dot{\gamma}=100\text{s}^{-1}$ で測定を行った。図5の場合と同様に、 T_{LC-I} 近傍の温度範囲についての結果であり、図中の点線は $n=1$ の $T_{LC-I}=160^\circ\text{C}$ を示している。図6より、粘度は $T=150^\circ\text{C}$ で最大値をとり、5CBの場合と異なり、相転移温度と乖離しており、混合液晶の場合にはせん断流れが液晶内部の分子配向構造に影響を及ぼしていると考えられる。

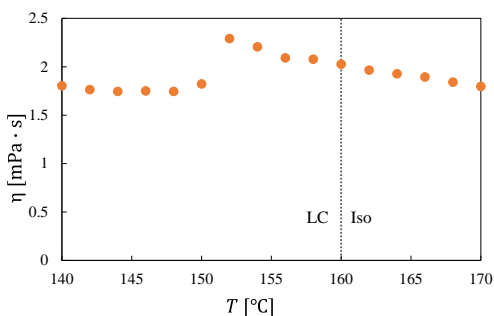


Fig. 6 Temperature dependence of the viscosity of 5CB-5CT Mixture ($n=1$)

図7に混合液晶の粘度のせん断速度依存性を示す。混合比によって液晶相を示す温度範囲が異なるため、測定温度は各混合液晶の液晶温度範囲の中央値 $T_{\text{center}} (= (T_{LC-I} + T_{C-LC}) / 2)$ と設定した。いずれの混合比においても、せん断速度の増加とともに粘度は低下し、 $\dot{\gamma} > 50\text{s}^{-1}$ で粘度はほぼ一定値に至る。低せん断速度領域における粘度の低下は、せん断流の印加による流動配向状態への遷移に起因すると考えられる。

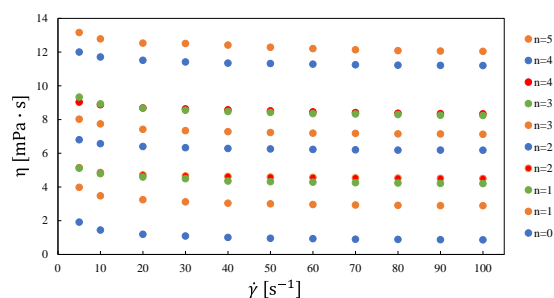


Fig. 7 Shear rate dependence of the viscosity of 5CB-5CT Mixtures

$\dot{\gamma}=5, 100\text{s}^{-1}$ の場合、粘度の混合比依存性を図8に示す。縦軸は粘度 η 、横軸は混合比 n である。図より、 $\dot{\gamma}=5\text{s}^{-1}$ および 100s^{-1} いずれの場合も、 n の増加に対して粘度が増加する傾向にあるが、 $n=1.5\sim 2$ および $3.5\sim 4$ の領域では粘度の増加が見られない。このことより、混合比の違いにより、液晶分子配向状態のマイクロ構造に何らかの違いが生じており、結果として粘度が混合比に対して単調増加を示さないと推察できる。

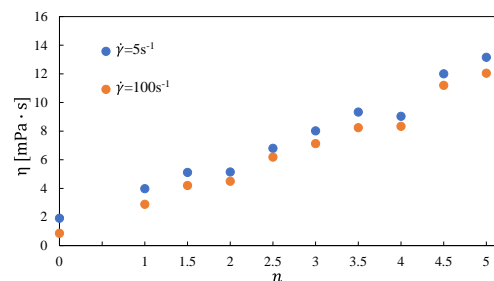


Fig. 8 Mixing ratio dependence of the viscosity of 5CB-5CT Mixtures

4. 結言

本研究では、5CTと5CBの混合液晶のDSC測定および粘度測定を行い、液晶分子の剛直性が液晶の相転移温度および粘度特性に及ぼす影響を調べた。得られた結果を以下に要約する。

- n の増加に対して大きな R_T を維持しながら、相転移温度が低くなる傾向が得られた。このことは、液晶の応用において大きな利点となる。
- 5CB単体の場合、粘度は液晶—等方相転移温度で上昇する。一方、混合液晶($n=1$)の場合には、相転移温度よりも低い温度で粘度の上昇が見られる。
- 混合液晶の粘度は、混合比の増加(剛直性の低下)に対して単調には増加せず、 $n=1.5\sim 2$ および $3.5\sim 4$ の領域では粘度の増加が見られない。

文献

- (1) 蝶野成臣, 辻知宏, “液晶駆動型マイクロアクチュエータの開発 第1版, 流動の発生とメカニズム”, 日本機械学会論文集B編, Vol.72, No.715(2006), pp.656-661.
- (2) Pestov, S., “Subvolume A-2.1.1:26-225: Datasheet from Landolt-Börnstein – Group VIII Advanced Materials and Technologies · Volume 5A in SpringerMaterials”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg(2003), 2.1.1:26-225.