

A02-001 非平衡定常状態におけるソフトマターのゆらぎとレオロジー

北海道大学大学院工学研究院 折原 宏
大分大学工学部 長屋智之
北海道大学電子科学研究所 中垣俊之
九州大学大学院工学研究院 日高芳樹

1. 液晶電気対流のしきい値電圧以下における配向ゆらぎ

負の誘電異方性を有する水平配向液晶にしきい値以上の電圧を印加すると液晶電気対流 (EHC) が発生する。この対流発生の前駆現象として、しきい値電圧以下では対流を誘起する流れのゆらぎとそれと結合した配向ゆらぎの増大が転移点近傍で起こる。このような臨界ゆらぎの観測には従来シャドーグラフ法が用いられてきた。対流を誘起する配向ベクトルはセルのガラス面に対し垂直に揺らぐので、それによる屈折率変化を精密に測定する必要があるからである。本研究ではこのシャドーグラフ法に対して、ネマチック液晶にキラル剤を添加し、鏡映対称性を破ることで前述の垂直方向のゆらぎと水平方向のゆらぎを結合させ、偏光顕微鏡下でこの不安定化するゆらぎの観測に成功した。この簡便な手法を用いて、ゆらぎの大きさおよび緩和時間を測定した。試料にはメルク社製の ZLI 2806 を用い、イオンを重量パーセントで 1%、キラル剤を 0.27% 添加した。このときキラル剤の濃度は、水平配向セル内でらせんを巻かないように調整した。120Hz、43.1Vpp で撮影した動画のスナップショットを図 1(a) に示す。図でダイレクター (白い矢印) に垂直なストライプ状のゆらぎは時空間的に現れたり消えたりしている。図 1(b) に対応するパワースペクトルを示す。中心のピークは通常の熱ゆらぎによるものである。斜め方法に現れたピークが対流を誘起するソフトモードによるものである。

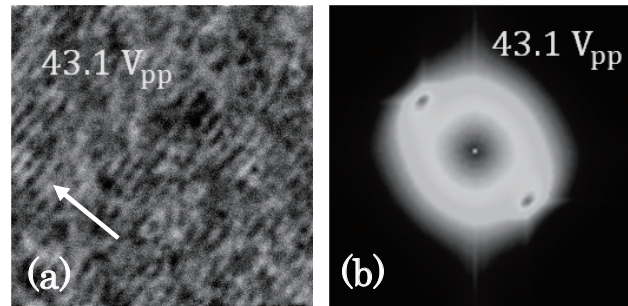


図 1. しきい値電圧以下で現れる (a) ストライプ状のゆらぎと (b) パワースペクトル。

撮影された各時刻の画像を空間的にフーリエ変換し、フーリエ係数 $J_k(t)$ を求め、時間相関関数 $\langle J_k(t) J_k(0)^* \rangle$ を計算した。図 2(a) にソフトモードのピーク波数での時間相関関数を示す。時間相関関数は減衰振動しているのがわかる。液晶では通常、並進および回転運動の慣性は無視できるので、エリクセン・レスリー方程式からもわかるようにすべてのゆらぎは平衡系では緩和型となる。この系で減衰振動型の相関関数が観測されたのは、非平衡系に特有な非保存力がしきい値以下でも現

れる。時間相関関数は減衰振動している

のがわかる。液晶では通常、並進および回転運動の慣性は無視できるので、エリクセン・レスリー方程式からもわかるようにすべてのゆらぎは平衡系では緩和型となる。この系で減衰振動型の相関関数が観測されたのは、非平衡系に特有な非保存力がしきい値以下でも現

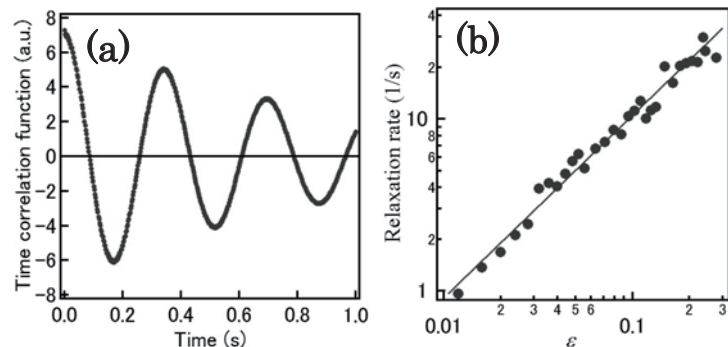


図 2. (a) 時間相関関数と (b) 緩和レートの換算電圧依存性。

れたためと考えることができる。このような非保存力はせん断流下のネマチック液晶の電場応答の実験でも観測されている。図 2(b)に、相関関数を減衰関数 $Ae^{-t/\tau} \cos 2\pi ft$ でフィットしたときの緩和レート $1/\tau$ の電圧依存性を示す。ただし、横軸は $\varepsilon = (V_c^2 - V^2)/V_c^2$ であり、 V_c はしきい値電圧である。緩和レートはしきい値に向かって発散的に増大している。べき関数でフィットすると指数はほぼ 1 となった。周波数を変えるとオブリークローラのゆらぎも観測することができる。今後は実験条件を変えるとともに理論的な解析も行ない、液晶電気対流における非平衡定常ゆらぎの性質を明らかにする予定である。

2. 液晶電気対流とレオロジー

誘電異方性($\Delta\varepsilon$)が負のネマチック液晶 MBBA に $\Delta\varepsilon$ が正のネマチック液晶 EBCA を混合し、様々な値の $\Delta\varepsilon$ の混合液晶の粘性率と電気対流の構造の関係を調べている。本年度は、 $\Delta\varepsilon$ を精密に測定する実験システムを作成し、高電圧で粘性減少が起こるのは $\Delta\varepsilon$ が負の場合のみであることを明らかにした。この系では $\Delta\varepsilon$ が 0 に近い試料で図 3 に示す流れに垂直な縞模様が発生する。高電圧(60Hz、170V)を印加した直後、全体に電気対流による乱流が生じて試料全体が真っ暗な状態になる。暫くすると、図 4 に示す流れ方向に長い楕円状の明るい縞模様を持つドメインが現れ、時間と共に拡大し、各ドメインの縞が整って全体が縞模様になる。縞状ドメインがある状態で電場を切ると、ドメイン内には転傾欠陥的な線が残り、背景には配向壁状の太い帯と転傾欠陥的な線が残った。興味深い事に、ドメインにあった線は背景の太い帯よりも早く消滅した(図 5)。ドメインの生成-成長は縞状組織が見られない誘電異方性の混合液晶および MBBA でも観測された。類似の現象として、剪断が無い状態で配向欠陥が無い乱流 (DSM1) から配向欠陥がある乱流 (DSM2) が生成して成長することが知られているので、今後は縞状ドメインと DSM1-DSM2 転移との関連性を調べる予定である。

また、せん断流および dc 電場下で ac 電場に対する応力応答を測定し、dc 電場誘起の非平衡相転移を見出している。¹⁾

3. 生体物質のシアバンディング

せん断流下において F-アクチン水溶液が低粘度と高粘度の 2 相に分離すること (シアバンディング) を報告しているが、今回微小管水溶液においてもシアバンディングを見出した。生体物質としては 2 番目である。現在、蛍光標識した微小管を用いて 3 次元配向度を調べている。

参考文献:

- (1) J. F. Fatriansyah and H. Orihara, *Phys. Rev. E* **91**, 042508 (2015).

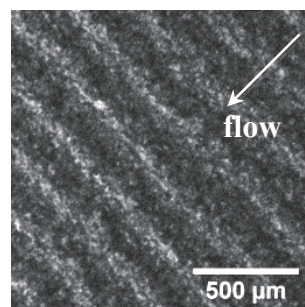


図 3. EBCA1.9%、110V 下での縞模様。

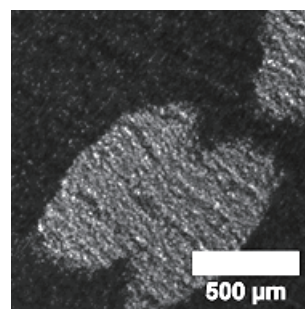


図 4. EBCA1.9%、縞模様の生成過程。

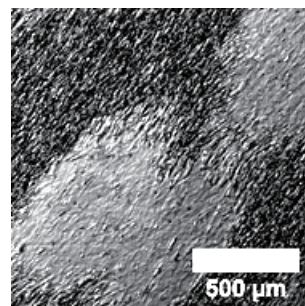


図 5. EBCA1.9%、電場除去後。