



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Non-Equilibrium Steady State Response and Fluctuations of Sheared Nematic Liquid Crystals [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Jaka Fajar Fatriansyah
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12016号
Issue Date	2015-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/59920
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Jaka_Fajar_Fatriansyah_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 Jaka Fajar Fatriansyah

審査担当者 主 査 教 授 折原 宏
 副 査 教 授 明楽 浩史
 副 査 教 授 村井 祐一

学位論文題名

Non-Equilibrium Steady State Response and Fluctuations of Sheared Nematic Liquid Crystals

(せん断を印加したネマチック液晶の非平衡定常応答とゆらぎ)

液晶は結晶と液体の中間状態にあるため、液体の持つ流動性および結晶の持つ光学的、機械的、電氣的異方性を同時に示す。液晶の異方性の起源は、細長い分子形状に由来し、各分子は平均的にある一方向を向く。流れと分子の配向は相互に結合しているので、流れは配向の変化を引き起こし、逆に配向変化は流れを引き起こす。配向が外部電場により容易に制御できることを用いて、液晶は電気粘性流体、マイクロモーター等のデバイスへの応用が期待されている。しかし、これらの応用の際に必要なとなる液晶の外場への応答特性に関する基礎的な知見は十分には得られていない。そこで、本研究においてはせん断流下において時間変化する電場に対する応力応答等の基本的なレオロジー特性を調べている。一方、せん断流下では、時間反転対称性が破れ、平衡状態から離れた非平衡状態となるので、非平衡ゆらぎおよび応答の恰好の研究対象ともなる。非平衡状態においては平衡状態とは異なる特徴が知られている。例えば、平衡統計力学の金字塔であるゆらぎと応答を関係づける揺動散逸定理が破綻する。

このような背景の下、本研究では、定常せん断を印加した液晶における非平衡定常応答とゆらぎを実験および理論の両面から調べることを目的としている。まず、液晶の基礎理論であるエリクセン-レスリー (EL) 方程式をもとに、せん断流下にある液晶の一般的なダイナミクスを調べている。次に、せん断流下において交流電場、さらには直流電場を印加したときの応力応答を測定し、結果を EL 方程式によって解析している。この論文ではその成果を纏めている。

本論文の第 1 章では、液晶の基礎的性質が紹介され、本論で主に使われる EL 理論が説明されている。さらに、先行研究が紹介され、本研究の背景と目的が述べられている。

第 2 章では、EL 理論を用いて定常せん断流下で液晶 5CB と 8CB に外場として磁場を印加したときの 3 次元磁場空間における状態 (相) 図を計算している。解析的な解が、配向が時間的に回転する場合に対して与えられている。このとき、回転軸は運動を支配する行列の左固有ベクトルの方向を向くことが示された。特に、非保存力は、磁場が配向ベクトルをせん断面から外れるように印加したときに現れることを明らかにした。液晶 5CB の応答関数において実験的に観測された非保存力はこれと同じような機構によって生じると結論している。ランジュバン方程式を用いて、時間相関関数と応答関数を計算し、拡張された揺動散逸定理を導出するとともに、配向ゆらぎの性質を詳細に調べている。磁場を変化させたときにおこる安定状態から不安定状態への臨界点において緩和時間およびゆらぎ振幅の発散が見出されている。

第 3 章では、定常せん断流に加えて直流電場を印加した場合の応力の交流電場応答を調べてい

る。まず、EL 理論から単一分域モデルに対して 1 次および 2 次の応答関数を計算している。実験および理論から直流電場が印加された場合には、高周波においても応答が一定値を取り、ゼロにならないことを明らかにしている。このプラトートの起源は、応力方程式に現れる配向ベクトルの時間微分項であり、直流電場が及ぼす著しい効果である。さらに、偏光顕微鏡下において交流電場印加時に透過光強度測定を行ない、配向ベクトルの応答関数の方は高周波領域で消失することを示し、上記の起源に間違いがないことを確認している。また、2 次応答のプラトートが、直流電場が無いときに消失するのは、オンサーガーの相反関係から導出されるパロディの関係式によることを示している。

第 4 章では、直流電場によって誘起される非配向状態から配向状態への転移を交流電場に対する応力応答を測定することによって調べている。二つの状態においては全く異なる応力応答が 1 次と 2 次応答の両方において観測されている。転移点近くで緩和時間および低周波応答の増大が観測され、平衡系の相転移との類似性が指摘されている。配向状態では EL 理論が適用可能で、高周波領域で観測されたプラトートを含めて、実験結果と理論結果は良く一致することが示されている。結果として、この論文で用いられた観測手法はせん断流下にある非平衡定常転移を研究するのに非常に有益であると結論づけている。

最後に、第 5 章で本研究の成果をまとめている。

これを要するに、本研究ではせん断流下の液晶における応力の電場応答を実験および理論の両面から調べ、非平衡定常状態における応答およびゆらぎに関して新たな知見を得たものであり、応用物理学に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格のあるものと認める。