

氏名(本籍地)	柳町拓哉
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	博甲第 7235 号
学位授与年月日	平成 27 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	数理解物質科学研究科
学位論文題目	

Studies on dynamics of nematic disclination under external force
(外力下におけるネマチック転傾のダイナミクスに関する研究)

主査	筑波大学教授	理学博士	齋藤 一弥
副査	筑波大学教授	博士(学術)	都倉 康浩
副査	筑波大学教授	博士(理学)	岡田 晋
副査	産業技術総合研究所 主任研究員	博士(理学)	福田 順一

論 文 の 要 旨

ネマチック液晶中のトポロジカル欠陥である転傾は配向ベクトル場を通して相互作用し、自発的に運動し、また対消滅するなど様々な振る舞いを示すことから、物性科学において興味深い研究対象とされてきた。本論文では、こうした既往の研究を調査・検討した上で、より現実に近い液晶セルで予期される、外力の下での転傾の運動について実験的な研究を行っている。すなわち、液晶セルの表面による液晶分子の配向についての束縛(アンカリング)、配向場の変形に伴う液晶の流動(背流)、これらへの静的な外場(電場)の影響、さらに外場が非定常な場合の振る舞い、を検討している。

2章では強いアンカリングのある条件下での対消滅を、液晶セルの厚みを変化させることにより検討した。1 μm 程度以上の厚みのセルでは、アンカリングが無い場合と同様の背流効果が観測されたのに対し、それ以下の厚みでは背流効果が急激に小さくなった。これはサンプルセルの表面から 0.5 μm 程度の範囲に、アンカリングによる配向場の変形によって背流が抑制された領域が存在することを示している。実際、これが配向場の変形によることを弾性体理論による配向場との比較を通じて明らかにした。

3章では静的電場下における対消滅を観察することにより、背流に対する静的電場の効果を検討した。符号の異なる転傾の速さの比を通して背流効果を評価し、電場印加による顕著な減速にも関わらず比が一定にとどまるという結果を得た。これから、電場は転傾を減速するだけの効果しか無く、転傾の運動に伴い発生する背流の発生機構には影響を与えないことを明らかにした。

4章では時間に依存する電場の影響としてスイッチングに伴う運動を観察した。この種の時間依存した外場による転傾の運動を観察したという報告は未だ無い。実験はネマチック液晶滴の周囲に安定に生じ

る転傾リングを対象として行った。実験の結果、交流電圧(周波数 1 kHz)の場合と直流電圧の場合で顕著な違いが見られた。交流では電圧印加後、単調に(印加電圧で決まる)平衡位置へと緩和するのに対し、直流電圧の場合には平衡位置の周りで減衰振動的な振動が観察された。これまでの液晶科学の常識では、1 kHz 程度の交流電場は配向場の緩和より十分速いため、直流と同様の効果を与えると考えられてきた。このため、直流電場下と交流電場下の相違自体が興味深い、現段階では相違の起源は明らかでない。直流電場下で観察された振動の半「周期」は振幅が小さいほど長く、数 100 秒におよんだ。初期電圧、終端電圧を様々に変化させて振動の特徴を抽出し、非線形な場の中で有限の質量の転傾が振動するモデルを構築し、半定量的に運動を記述した。こうして得られた転傾の有効質量は 0.1 g mm^{-1} 程度の大きな値となった。この有効質量が液晶の弾性体理論で記述できるかどうかを理論的に検討したところ、弾性体理論で予想できる有効質量は実験値の約 10 分の 1 程度でしか無く、弾性体理論を超えた取り扱いが必要な現象であることが明らかになった。

以上のように、静的な外力について残されていた課題を実験的に検討して既存の枠組みの有効性を確認すると共に、時間に依存した外力の下で予想もされたことのない新規な現象を見出し、液晶科学および非平衡系の科学の新しい分野の端緒を拓くことができた。

審 査 の 要 旨

[批評]

本博士論文ではネマチック液晶中のトポロジカル欠陥である転傾の運動について、これまでに行われてこなかった実験を行っている。静的な外力を加えた 2 種類の実験では、配向場の弾性体理論と流体力学という既存の枠組みが基本的に正しいことを明らかにし、想定し得る実権条件を網羅してその検討を集結させるという意味を持っていたと評価できる。一方、時間に依存する外場についてはほぼ手つかずの状態であった中、電場スイッチングにより全く予想されていなかった超長時間緩和現象を直流電圧の下でのみ見出すという成果を上げている。見出した現象は新奇性と意外性が十分にあり、当該分野に興味深い実験課題を提供したと評価できる。その機構の解明は未完であるものの、弾性体理論の枠内で有効質量を評価してみるなど現段階で可能な検討はつくされている。時間に依存した外力印加の様式として、周期的外場に研究を拡張すると、周波数依存性という広大な研究対象が可能となるが、こうした研究の必要性についても著者は十分に理解していると認められる。今後、著者自身、あるいは他の研究者によって展開がなされるものと期待されるが、課程制大学院としてはその全てを限られた時間で遂行することを求めることには無理があるといわざるを得ない。現段階において著者自身に、液晶科学およびそれを包含する物性科学分野における基本的な知識と素養は備わっているものと評価できる。

[最終試験結果]

平成 27 年 2 月 16 日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

[結論]

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。