

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：32689

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H07290

研究課題名(和文) 温度勾配化におかれた液晶滴が駆動するトルクの探求

研究課題名(英文) Torque driven by liquid crystal droplets under a temperature gradient

研究代表者

坊野 慎治 (Bono, Shinji)

早稲田大学・理工学術院・講師(任期付)

研究者番号：60778356

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：等方相と共存したコレステリック液晶滴に温度勾配を印加すると、レーマン効果によってトルクが生じ、一方向回転を示す。本研究ではコレステリック滴と基板の間にアゾベンゼン基を有する高分子を導入し、紫外光で光励起することで表面を光潤滑した。潤滑により定量評価の難しい界面の影響を取り除くことができ、レーマントルクと粘性トルクが釣り合いから温度勾配が駆動するトルクを定量評価することが可能となった。

研究成果の概要(英文)：When we add a temperature gradient to cholesteric droplets coexisting with isotropic phase, Lehmann effect causes torque and cholesteric droplets exhibit unidirectional rotation. In this study, we introduced azobenzene polymer between cholesteric droplets and substrates to lubricate surface friction. Photo-lubrication removes the effect of surface, which enable us to estimate the torque driven by a temperature gradient quantitatively by balance between Lehmann torque and viscosity torque.

研究分野：ソフトマターの物理

キーワード：液晶 ソフトマター コレステリック液晶 レーマン回転

1. 研究開始当初の背景

(1) 温度勾配が駆動するトルクの定量的理解
 等方相と共存するコレステリック液晶(Ch)滴に温度勾配を印加するとレーマン効果によってCh滴の一方回転が生じる(図1)。鏡像対称な温度勾配を加えているにもかかわらず、回転という鏡像対称性の破れた運動が発現する点から学術的な興味を持たれている。またこの回転を駆動するトルクを定量評価することができれば、モーター等に应用可能な新規の原理となりうるため、応用上の観点からも注目を集めている。しかし既存の系においてはCh滴が基板に接触しているため、温度勾配が駆動するトルクが基板との界面における摩擦により散逸してしまう。この散逸は液晶と基板との複雑な相互作用により決まるため、定量的に評価することが困難である。このため温度勾配が駆動するトルクの定量的な理解がほとんどなされていない。

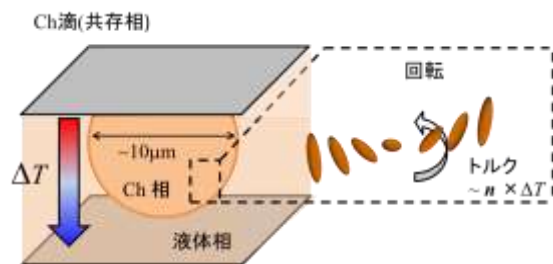


図1: Ch滴の模式図と温度勾配が駆動するトルク

(2) Ch滴の回転を駆動する“流れ”

これまでの研究で、Ch滴の回転は温度勾配により生じた熱流によって駆動されていた。しかし共存相中のCh滴に大きな温度勾配を印加すると、滴そのものが不安定化してしまうため、印加できる熱流には限界があった。このため熱流下におけるCh滴の回転速度は非常に遅いという問題があった。レーマン効果によるCh滴の回転を記述する現象論的なLeslie理論において、回転を駆動する“流れ”は熱流に限られていない。つまり熱流に代わる新規な“流れ”で回転を駆動し、その流量を増やすことができれば、Ch滴の高速回転を駆動できると期待される。

2. 研究の目的

(1) 光表面潤滑による界面効果の低減

本研究の目的は温度勾配がCh滴に駆動するトルクを定量評価することである。このために、界面を光潤滑し摩擦による散逸を取り除いた。本研究の系では、温度勾配により駆動されたトルクが、回転速度から定量評価可能な粘性トルクによってのみ散逸されるので、滴に駆動されているトルクを逆算することができる(図2)。

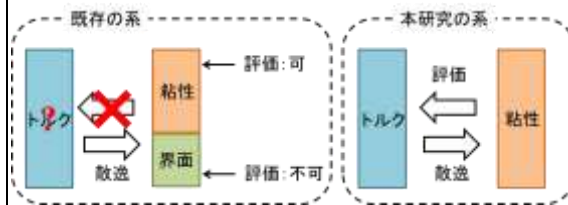


図2: 既存の系と本研究の系の比較

(2) 物質流が駆動するCh滴回転のメカニズムを解明する

本研究申請時にすでに、強くCh滴を紫外光励起すると温度勾配を印加していなくても、Ch滴が一方回転を示すことを発見していた。この回転を駆動する流れとして光照射に伴いCh試料中に生じるアゾベンゼンの異性体の物質流を提案した(図3)。そして、強い紫外光照射下におけるCh滴の回転現象について、“どの物理量”が“どの程度”影響を与えるのか明らかにし、そのメカニズムを明らかにすることを目的に研究を行った。

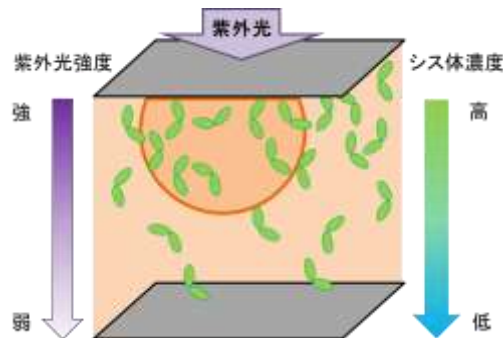


図3: 紫外光照射によって不均一に異性化したアゾベンゼンの物質流の模式図

3. 研究の方法

(1) Ch滴の試料中における分布

界面の影響を取り除くために、アゾベンゼン分子を配向膜として界面に導入した。アゾベンゼン分子は紫外光照射に従いトランス体からシス体へ異性体転移する(図4)。シス体は液晶の秩序を乱す効果(disorder効果)を有するため、紫外光励起を行うと基板付近のCh液晶が等方相へと転移する。この等方相によってCh滴の回転を潤滑する。

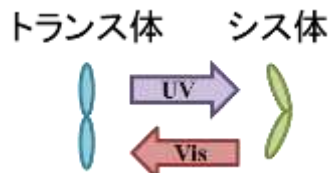


図4: トランス-シス異性体転移の模式図

(2) 紫外光強度及びアゾベンゼン濃度とCh滴回転速度の関係

アゾベンゼンのトランス-シス異性体転移は、紫外光の吸収を伴うため、紫外光照射側のアゾベンゼンの方が、よりシス体へ転移す

ると期待される(図 3)。アゾベンゼンの空間不均一な異性化により生じたシス体の物質流を用いて、Ch 滴の回転を駆動する。特に照射する紫外光の強度及び Ch 試料中に加えるアゾベンゼンの量に着目して研究を行った。

Ch 試料中にアゾベンゼン高分子を加え、Ch 滴を作成した後、片側から紫外光を照射した。この時熱流の影響をなくするためにセル基板上下の温度を均一に保ち $\Delta T \sim 0$ となるようにした。偏光顕微鏡観察を行い Ch 滴の回転挙動を観察し、その角速度を求めた。

4. 研究成果

(1) Ch 滴の回転に光潤滑が与える影響

Ch 滴の試料中の分布を調べ、Ch 滴が基板と接触しているか否かを調べるために、共焦点反射顕微鏡観察を行った。紫外光を照射していない場合には、Ch 滴と基板との界面からの強い反射光が観察され(図 5(a))、滴が基板に接触していることが明らかになった。一方で、紫外光照射すると界面における強い反射光が消失し(図 5(b))、試料中央で Ch 滴と等方相からの弱い反射光が観察された(図 5(c))。この結果は Ch 滴が基板から“浮かんで”いることを示している。つまり紫外光照射を行うことで、基板における摩擦の影響を取り除くことができることが明らかになった。

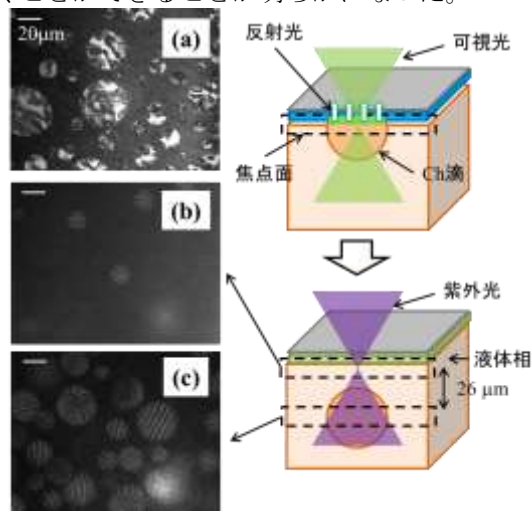


図 5 : (a) 紫外光非照射下及び(b)紫外光照射下における基板直下の共焦点反射顕微鏡像。(c)紫外光照射下及び試料中央に焦点を合わせた場合の共焦点反射顕微鏡像

次に光潤滑の Ch 滴の回転挙動に対する影響を調べた。光潤滑を行っていない場合には、温度勾配が滴にトルクを印加しているにもかかわらずほとんど回転が見られなかった。一方で光照射を行うと 0.2 rad/sec という非常に速い角速度で回転することが明らかになった。この結果は光潤滑により界面における摩擦を取り除くことが可能であることを示しており、温度勾配が駆動するトルクの定量評価が可能となった。

(2) アゾベンゼン物質流が駆動する Ch 滴の

回転

様々なアゾベンゼン濃度及び紫外光強度について、Ch 滴の角速度及び半径を見積もり、角運動量を算出した。角運動量のアゾベンゼン濃度に対する依存性を図 6 に示した。低濃度領域ではアゾベンゼン濃度の増加に伴い角運動量も増加するが、ある程度濃度が高くなると角速度が飽和し、アゾベンゼン濃度に依存しなくなる。この角運動量の飽和値の紫外光強度に対する依存性を図 6 インセットに示した。飽和角運動量は励起紫外光強度に比例して増加する。

本研究では以下の点を取り入れた理論モデルを作成した。

- ・トランス-シス異性体転移は反応拡散方程式に従い、トランス体からシス体への反応率は紫外光強度に比例する。

- ・Ch 滴中の紫外光強度は Lambert 則に従う

- ・Ch 相又は Iso 相に対するシス体の溶解度には差がある

- ・Leslie 理論：シス体及びトランス体の物質流に比例したトルクが生じる

このモデルによる予測を図 6 及び図 6 インセットに点線で示した。我々の理論モデルは実験結果と良く一致しており、紫外光照射によって生じた物質流が Ch 滴の回転を駆動していることが明らかになった。

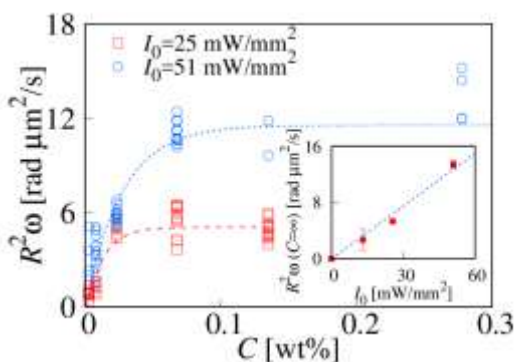


図 6 : Ch 滴の角運動量のアゾベンゼン濃度に対する依存性。インセットに飽和角運動量の紫外光強度に対する依存性を示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

[1] “Unidirectional rotation of cholesteric droplets driven by UV-light irradiation”, Shinji Bono, Sayumi Sato and Yuka Tabe, *Soft Matter*, **13**, pp.6569-6575 (2017) (査読有)

[2] “Unidirectional Heat Transport Driven by Rotating Cholesteric Droplets”, Sayumi Sato, Shinji Bono and Yuka Tabe, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **86**,

pp.023601-1-4 (2017) (査読有)

[学会発表] (計 10 件)

- [1] “光照射が駆動するコレステリック液晶滴の自転及び公転”, 坊野慎治, 第 8 回京都若手ソフトマター研究会 (2018)
- [2] “コレステリック液晶滴の光駆動ダイナミクス”, 坊野慎治, 丸山雄司, 多辺由佳, 物理学会 (2018)
- [3] “Unidirectional rotation of cholesteric droplets driven by UV-light”, Shinji Bono, Yuji Maruyama and Yuka Tabe, 16th International Conference on Ferroelectric Liquid Crystals (2017)
- [4] “光照射が駆動するコレステリック液晶滴の回転”, 坊野慎治, 丸山雄司, 多辺由佳, 第 7 回ソフトマター研究会 (2017)
- [5] “ダブルツイスト構造を有するコレステリック液晶滴の光駆動ダイナミクス”, 坊野慎治, 丸山雄司, 多辺由佳, 日本液晶学会討論会 (2017)
- [6] “コレステリック液晶滴の回転に対する光表面潤滑の効果”, 坊野慎治, 里紗弓, 多辺由佳, 物理学会 (2017)
- [7] “コレステリック液晶滴の光誘起濡れ転移”, 坊野慎治, 第 7 回京都若手ソフトマター研究会 (2017)
- [8] “Rotation of cholesteric droplets under UV light irradiation”, Shinji Bono, Sayumi Sato and Yuka Tabe, 3rd Asian Conference in Liquid Crystals (2017)
- [9] “紫外光照射下に置かれたコレステリック液晶の配向回転”, 坊野慎治, 里紗弓, 竹井翔洋, 多辺由佳, 第 6 回ソフトマター研究会 (2016)
- [10] “コレステリック液晶滴の回転挙動に対するアンカリングの影響”, 坊野慎治, 里紗弓, 竹井翔洋, 多辺由佳, 日本液晶学会討論会 (2016)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

坊野 慎治 (BONO, Shinji)
早稲田大学・理工学術院・講師(任期付)
研究者番号：60778356

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

()