

# スメクチック液晶薄膜の膜変形効果と新規な配向制御手法の開発

島 弘幸 [北海道大学大学院工学研究科／助教]

## 背景・目的

本申請課題の目的は、柔らかさ(=可変形性)を有する液晶薄膜の分子配向について、その秩序形成メカニズムと膜形状の弾性変形(塑性変形)との相関関係を理論的に解明することにある。特に、スメクチック液晶薄膜の力学的変形により誘起される①液晶分子場の異方的空間変調 ②光学活性・界面特性の局所変化を、理論・数値計算の両面から解析する。これにより、薄膜の弾性変形が分子配向秩序の形成ダイナミクスに与える影響を定量的に評価するとともに、力学的変形をベースとした分子配向の新規な制御スキームを確立する。

## 内容・方法

液晶相が示す分子配向の高操作性は液晶ディスプレイに活用されているほか、多様な秩序構造の発現メカニズムは基礎科学の見地からも非常に興味深い。その一方で、従来の液晶研究は平坦な薄膜内における分子間の協同現象を対象としたものが多く、幾何学的な変形を加えた液晶薄膜が示す多彩な光物性については未開拓の部分が多い。このような研究動機から、本申請課題ではまず、曲面形状を有するスメクチック C 相液晶薄膜について、その形状変化が分子間相互作用エネルギーに与える効果を解析的に調べた。特に、渦欠陥部分における局所的配向エネルギーに注目し、曲面上における渦欠陥配置と分子配向秩序との相関関係を解析的に調べた。さらに力学的変形を加えた液晶薄膜の秩序形成プロセスについて、離散格子模型を用いた実空間・実時間シミュレーション解析、およびより高効率・高精度計算を志向した新しい数値計算アルゴリズムの開発を行った。

## 結果・成果

本申請課題で扱った具体的な研究テーマとその主な成果を2件、以下に示す。

### ①可変形液晶膜に対する自由エネルギーの定式化

本テーマでは、力学的弾性を有する液晶薄膜を想定し、その膜変形と分子配向秩序との相関を記述するための弾性自由エネルギーの定式化を行った。具体的には、平坦薄膜の熱力学的安定分子配向を求めるのに有効なフランク型自由エネルギー表式を拡張し、これに膜の力学的変形効果を表す曲率テンソル項と共に微分項を導入することで、形状変化に伴うスメクチック C 液晶薄膜の自由エネルギー表式を導出した。その結果、通常は複雑な関数形を示す自由エネルギー表式が、膜変形効果の寄与に限ってはただ二つの項を含む簡単な関数形で表せ

ることを明らかにした。この結果は、液晶膜の形状の恣意的変形により、渦欠陥の配置を外から制御できることを示唆するものである。この結果をうけて現在遂行中の研究では、曲面液晶薄膜の秩序形成過程における膜変形効果を調べている。これら渦欠陥・秩序相両者の安定性を総合的に調べることにより、曲面薄膜形の秩序形成ダイナミクスに対する幾何学的曲率の効果を定量的に解明することができると考える。さらには、曲率の時間的変化(振動)に伴うパターン成長の変化を調べることで、極性薄膜に外圧を加えた際の系の弾性応答機構の解明を目指す。

### ②スメクチック液晶薄膜における外圧応答の考察

上に述べた極性薄膜の構造形成理論および外圧応答理論について、現実のスメクチック液晶薄膜に適用する際の適用条件を詳細に調べた。スメクチック液晶分子は自発分極を有するために電場に対する応答速度が従来のネマチック液晶よりも早く、次世代のディスプレイ素材としての期待が高い。またスメクチック液晶は層構造を持ち液晶分子の自由度が限定されるため、外圧による局所的な変形に対し長距離に渡る層変形を示すことが知られている。そこで本テーマでは、層変形によるエネルギー緩和の限界を超えた時のスメクチック液晶分子の動的挙動を多面的に考察し、印加外圧に対するスメクチック液晶薄膜の弾性応答の臨界値を評価した。その結果、スメクチック相を構成する個々の分子配向のチルト角(基盤からの立ち上がり角)の値に応じて、自由エネルギーに対する膜変形効果の寄与が正負に逆転することがわかった。現実の液晶薄膜においては、チルト角の大きさは液晶分子と基盤の化学結合により決定される。すなわち本結果は、既存のチルト角制御技術と力学的膜変形を相補的に利用することにより、バリエーションに富む分子配向制御を実現できることを示唆するものである。

## 今後の展望

本申請課題が志向するスメクチック液晶の外力応答に関する成果は、新規なタッチパネル機能を備えた液晶ディスプレイ技術開発の契機となり得る。タッチパネル機能は現在、最も有用なグラフィカル・インターフェースとして広く活用されているが、画面上の入力部分において①光の透過率低下を伴う ②狭額縫化が困難などの技術的な課題が残されている。本課題では、液晶薄膜に外圧を加えた際の光特性の変化を解析したことから、その知見は外圧(=膜の形状変化)を位置センサーとする新規なタッチパネル機能の技術開発に繋がると考えられる。