
トポロジカル配向欠陥を利用した
異方性マイクロ粒子の準周期配列制御
Quasi-Periodic Arrangement Control of Anisotropic Micro-Particles
with Topological Defects

H28助自11

代表研究者	今 村 弘 毅	大阪大学 大学院工学研究科 電気電子情報工学専攻 院生 博士後期課程1年
	<i>Koki Imamura</i>	<i>First-year Ph.D. student, Division of Electrical, Electronic and Information Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University</i>
共同研究者	尾 崎 雅 則	大阪大学 大学院工学研究科 教授
	<i>Masanori Ozaki</i>	<i>Professor, Graduate School of Engineering, Osaka University</i>

Liquid crystals are matter in an intermediate phase between solids and liquids made up of uniaxially aligned rod-like molecules, and possess fluidity of liquids and anisotropy of solids. Liquid crystals are now widely used for not only flat panel displays but also other tunable photonic devices since their refractive indices can be tuned by an external field. On the other hand, photopolymerizable liquid crystals have polymerizable groups and are used in fabrication of anisotropic optical films. They can be obtained by pre-aligning molecules and irradiating ultraviolet light to induce photopolymerization. Moreover, anisotropic micro-particles can also be fabricated from pre-aligned photopolymerizable liquid crystals by inducing local polymerization within the sample. Because the alignment of rod-like molecules in the liquid crystalline state is retained within the fabricated particles even after polymerization, the optical and dielectric anisotropies are also retained in the particle.

When anisotropic micro-particles are dispersed in liquid crystal hosts, their inner molecular alignment acts as an anchoring potential at the LC-particle interface. In this study, we focused on anisotropic micro-particles with topological defects as new materials for liquid crystal colloids. Liquid crystal colloids are composites of liquid crystals and colloidal particles, and have been studied intensively because particles in liquid crystal hosts spontaneously form 2D or 3D colloidal crystals; however, possible particle arrangements are limited in conventional liquid crystal colloids since topological charges of isotropic, spherical particles cannot be controlled. In contrast, topological charges of anisotropic micro-particles can be easily varied through inner molecular alignment control, therefore novel alignment behavior in liquid crystal hosts that cannot occur in particles that are isotropic may arise. Here, we report quasi-periodic arrangement of anisotropic micro-particles in liquid crystals successfully achieved by controlled topological charges of particles.

研究目的

液晶とは、固体の有する異方性と液体の有する流動性を兼ね備えた物質の状態であり、外場の印加により屈折率の制御が可能であることから、液晶ディスプレイをはじめとする光学デバイスへ応用されている。一方、近年では新規の複合材料として液晶中にコロイド粒子を分散させた液晶コロイド系の研究が盛んである。等方的な材質からなる粒子を一様な液晶配向場中に分散させた場合、液晶配向場の変形により粒子間に異方的な相互作用が生じる。その結果として、粒子は自己組織的に配列し、周期的な3次元結晶構造を形成することが知られている。さらに、液晶の外場応答性を利用して、外部電界により構造の方位や周期を制御可能である。したがって、このようなコロイド結晶は、特性可変なフォトニック結晶として機能し、マイクロスケールでの光波制御に有用である。しかしながら、これまでのような等方性粒子を用いた場合には、形成可能な結晶構造は周期配列を有するものに限られてしまう。電気通信などの光技術の分野においては、このような配列周期による制約を受けない新たな光波制御の手法が渴望されている。

このような背景から、従来のフォトニック結晶における格子の自由度を拡大するために、準周期配列を有するフォトニック準結晶に着目した。準結晶は、結晶のような周期配列をもたないが、準周期と呼ばれる長距離秩序を有しており、これに応じた特異な機能を発現することで知られている。しかしながら、実験的に準周期配列を実現した例はない。そこで、我々は内部の液晶分子配向が制御された異方性粒子を用いることにより、液晶中において粒子の準周期配列を形成すれば、特性可変のフォトニック準結晶を実現できると考えた。液晶中

において、粒子はトポロジカル配向欠陥として振る舞うことが知られており、一般的な球形の等方性粒子の場合、そのトポロジカルチャージは常に+1であるが、粒子がトポロジカル配向欠陥を有している場合、そのトポロジカルチャージを分子配向制御によって任意に制御できる。粒子のトポロジカルチャージが+1のとき、まわりの液晶配向場にはチャージ-1/2のトポロジカル欠陥が2つ生じ、これらを媒介として粒子が周期的に配列する。一方で、例えば粒子のトポロジカルチャージを+5/2とすれば、粒子まわりの配向場にはチャージ-1/2のトポロジカル欠陥が5個誘起され、これらを媒介とした準周期配列が実現されると考えられる。

本研究では、光重合性液晶を材料として、粒子作製のためのレーザー光造形法と分子配向制御のための光配向法を利用することにより、トポロジカル配向欠陥を有する粒子を作製する。また、その液晶中における振る舞いを観察することにより、粒子内部の分子配向制御によりトポロジカルチャージの制御が可能であることを確かめる。さらに、粒子に与えたトポロジカルチャージに応じた粒子間相互作用が発現することを確認したうえで、トポロジカルチャージ+5/2の粒子を用いることによって、従来の液晶とコロイドの複合系では成し得なかった準周期配列構造が得られることを実証する。

概要

液晶とは、液相と固相の中間相を指し、固体の有する異方性と液体の有する流動性を兼ね備えた物質の状態である。このような液晶性は、一般に構成される分子の形状異方性に由来して発現することが知られており、例えば液晶ディスプレイに用いられるネマティック相は、大きさ数ナノメートル程度の棒状分子が一軸配向した相である。液晶は、簡便な配向処理

によって自己組織的に棒状分子が一様に配向し、その結果として、巨視的に屈折率や誘電率に異方性を有する。しかしながら、液晶の秩序は、固体のそれほど強固なものではなく、その流動性ゆえ外場の印加により配向を変化させることができる。このことは、外場の印加により屈折率の制御が可能であることを意味しており、液晶ディスプレイはまさしくこの原理を利用した応用例である。一方で、分子内に重合官能基を有する光重合性液晶を用いた場合、素子への紫外光照射により分子配向を固定化することで、分子配向性に由来した光学異方性を有する薄膜の作製が可能である。さらに、素子内で局所的な重合反応を誘起すれば、分子配向性を有する粒子の作製が可能である。粒子化した場合、分子配向性に由来した光学異方性を有することに加え、誘電異方性により電界に応答する運動性材料となるため、近年盛んに研究が行われている。

分子配向性を有する粒子は、液晶中に導入した際の挙動も興味深く、粒子界面において、周囲の液晶の配向を粒子内部の分子配向に揃えようとする規制力(アンカーリング)が働くことが明らかとなっている。これは、一般のコロイド粒子表面における液晶配向が表面に対して垂直または平行となることを規定されるのみであるのに対し、粒子が有する分子配向性に基づいた配向規制力を付与できることを意味する。このことから、分子配向性を有する粒子は、既存の液晶とコロイド粒子の複合材料(液晶コロイド系)を置き換える新規材料として利用可能である。一般に、等方的な材質からなる粒子を一様な液晶配向場中に分散させた場合、液晶配向場の変形により粒子間に異方的な相互作用が生じる。その結果として、粒子は自己組織的に配列し、周期的な3次元結晶構造を形成することが知られている。さらに、液晶の

外場応答性を利用して、外部電界により構造の方位や周期を制御可能である。したがって、このようなコロイド結晶は、特性可変なフォトニック結晶として機能し、マイクロスケールでの光波制御に有用である。しかしながら、従来の等方性粒子を用いた場合には、形成可能な結晶構造は周期配列を有するものに限られてしまう。一方で、分子配向性を有する粒子を用いた場合には、粒子内部の分子配列による粒子配列の制御を行うことが可能となり、特に、これまで実現できなかった準周期配列を有するフォトニック準結晶を構築できると考えられる。このことは、粒子を液晶中におけるトポロジカル欠陥とみなし、そのトポロジカルチャージを考えることにより説明できる。通常の球形等方性粒子の場合、そのチャージは常に+1であり、まわりの液晶配向場にはチャージ-1/2のトポロジカル欠陥が2つ生じる。そのため、これらを媒介として粒子が周期的に配列する。一方で、分子配向性を有する粒子の場合、内部の分子配向制御によりトポロジカルチャージを任意に制御できるため、特に、粒子のトポロジカルチャージを+5/2とすることにより、粒子まわりの配向場にはチャージ-1/2のトポロジカル欠陥が5個誘起され、これらを媒介とした準周期配列が実現可能であると考えられる。

本研究では、光重合性液晶を材料として、粒子作製のためのレーザー光造形法と分子配向制御のための光配向法を駆使することにより、トポロジカル配向欠陥を有する粒子を作製した。最も単純なトポロジカルチャージ+1/2を有する粒子、および準周期配列の構築が期待されるチャージ+5/2の粒子を用いてその液晶中における振る舞いをそれぞれ観察することにより、粒子内部の分子配向制御によりそのトポロジカルチャージを制御できることを実証した。そのうえで、粒子に与えたトポロジカルチャー

ジに応じた粒子間相互作用の発現を確認し、
トポロジカルチャージ+5/2の2粒子を用いるこ
とによって、従来の液晶とコロイドの複合系で
は成し得なかった準周期配列と同様の配列構
造が得られることを示した。

－以下割愛－