



液晶のトポロジカルな欠陥を利用して、 “書き換え可能”な高密度光渦発生アレイを作成

研究成果のポイント

- ・物質の自己組織化を利用したボトムアップ型アプローチ。
- ・構造のサイズを制御可能。
- ・実験室レベルで容易・安価・短時間で作成できる。
- ・フィルム化することでフレキシブルな光学素子としての応用に期待。

研究成果の概要

北海道大学の折原 宏教授、理化学研究所の荒岡史人ユニットリーダーらの共同研究グループは、液晶分子の形成するトポロジカル欠陥^[1]と呼ばれる特異な構造を、規則正しく広範囲にわたって自発的に並べる方法を見つけました。これは物質の自己組織化を利用したボトムアップ型^[2]の手法であり、液晶材料に少量のイオン性物質を添加するだけで得ることができます。そのため高価・特殊な装置を一切必要とすることなく、マイクロスケールの複雑なパターン構造を安価・短時間で作成可能です。作成された構造は電氣的に ON/OFF を切り替えることができるだけでなく、光マニピュレーション^[3]を併用することにより、局所的な領域における構造の書き換えを可能としています。

トポロジカル欠陥は光渦と呼ばれる特殊なレーザービームを発生させるために活用されており、今後は主に光学に関連する基礎・応用研究への貢献が予想されます。また、本研究のアプローチは、液晶材料をベースとしたマイクロ・ナノスケールのパターン構造を作る上で、新しい概念を提案することが期待されます。

本研究成果は、2016年11月7日（月）に「Nature Communications」誌において公開されました。

論文発表の概要

研究論文名：Large-scale self-organization of reconfigurable topological defect networks in nematic liquid crystals（再構築可能な液晶トポロジカル欠陥ネットワークの広範囲に渡る自己組織化）

著者：佐々木 裕司¹、Jampani V. S. R.²、田中 千晴¹、櫻井 信孝¹、坂根 伸¹、Le Van Khoa²、荒岡 史人²、折原 宏¹

（1. 北海道大学大学院工学研究院、2. 理化学研究所 創発物性科学研究センター）

公表雑誌：Nature Communications

公表日：日本時間（現地時間）2016年11月7日（月）午後7時（英国時間 2016年11月7日（月）午前10時（オンライン公開）

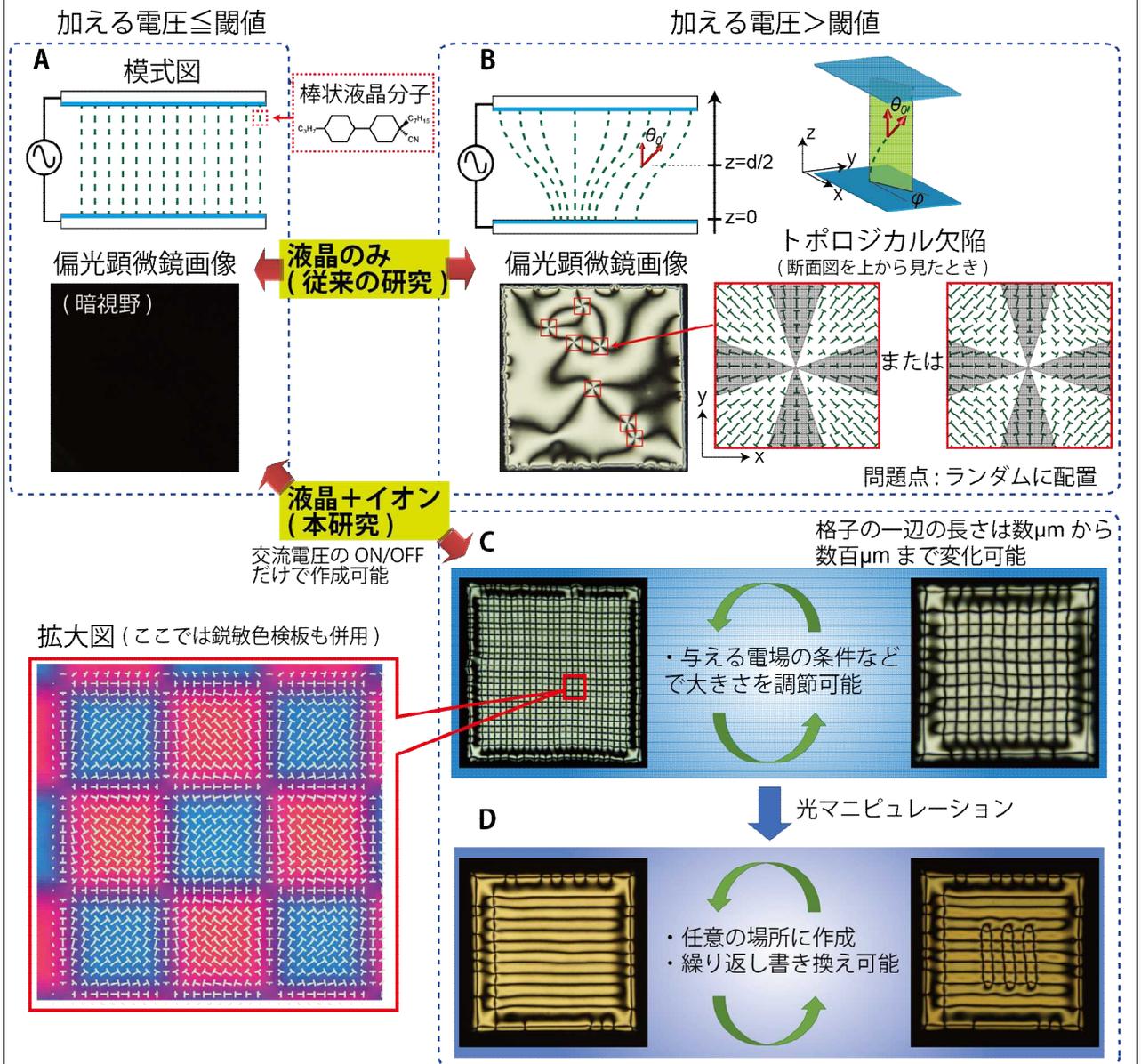
研究成果の概要

(背景)

ネマチック液晶は棒状分子が一様な向きに並んだ流体であり、屈折率異方性と誘電率異方性^[4]と呼ばれる2つの重要な性質をもっています。そのため、分子の方向を電氣的に変え、それによって物質の光学的性質を変化させることが可能です。この仕組みは、ディスプレイのみならず様々な液晶デバイスで利用されています。液晶物質の電気光学的な特徴を十分に活用するためには、「分子の方向」の正確な制御が要求されます。特に、ナノ・マイクロスケールの微細な領域に規則正しく分子を整列させることは、光学をはじめとする様々な分野で重要です。しかしながら、そのためには高価な装置が必要であり、誰もが手軽に試験研究を行うことは難しいという現状があります。

(研究手法)

液晶材料を2枚の平行に配置された電極付きガラス板の間隙（間隔は数 μm から数十 μm ）に流し込みます。基板にはフッ素系の高分子がコーティングされており、これによって液晶分子が基板に対して垂直に並びます（図A上）。なお、この状態を偏光顕微鏡で観察すると暗い様子が観察されます（図A下）。



垂直に並んだ状態で基板の間にある閾値以上の電圧を印加すると、誘電率異方性によって基板の中心付近の分子が電場に対して垂直な方向へと傾きます。傾く方向は面内のどこでもよいため、図 B のようなトポロジカル欠陥と呼ばれる構造が形成されます。偏光顕微鏡では、赤い四角で囲まれた部分のように、4本の黒い線が交わって観察されます。従来、液晶のトポロジカル欠陥は図 B の顕微鏡写真のようにランダムな位置に存在することが知られています。それに対して、本研究では液晶材料にイオン性の物質を重量比で 1%加えるという、極めて単純な条件を付け加えて、実験・観察を行いました。

（研究成果）

液晶にイオン性物質が含まれている場合、適切な周波数と振幅をもった交流電圧を印加すると、従来の知見とは大きく異なり、図 C のように格子状の模様が現れることが分かりました（ここでは四角い領域のみに電圧が印加される工夫がなされています）。このとき、縦と横の黒い線の交点の一つひとつがトポロジカル欠陥に対応しています（拡大図を参照）。この構造は電圧の印加だけで得られ、電圧がなければ元の図 A の状態へと戻ります。電氣的な切り替えは何度でも可能です。格子の間隔は、ガラス基板の隙間の大きさや交流電圧の振幅などによって数 μm から数百 μm へと調節できることも分かりました。

続いて、その構造の書き換えにも挑戦しました。今回の実験系では、印加する電圧を調節すると図 D のように、格子状の模様に加えて、ストライプ状の組織も作成可能です。まず、観察領域を一様なストライプで満たします。続いて、そのストライプの上に、レーザー光を照射し、光マニピュレーションを行いました。すると、図 D のように必要な場所だけに格子の模様を作り出すことに成功しました。これらの 2 つの模様は何度でも書き換え可能です。任意の場所へのトポロジカル欠陥配列の作成は、基板表面に特殊なパターンニング処理を必要としないからこそ実現した結果です。

（今後への期待）

高密度な欠陥配列は光渦など光学への応用研究が期待できます。現状では、この構造は 2 枚のガラス板の間で形成されていますが、液晶材料を高分子として安定化（ゲル化）させることで、内部構造を保持したままフィルムとして取り出すことが可能であると思われます。フィルム化により、曲げたり、引き延ばしたりすることの可能な光学素子として、応用研究へ役立つと期待されます。

お問い合わせ先

所属・職・氏名：北海道大学大学院工学研究院 助教 佐々木 裕司（ささき ゆうじ）

教授 折原 宏（おりはら ひろし）

TEL：011-706-6642 FAX：011-706-6642 E-mail：yuji.sasaki@eng.hokudai.ac.jp（佐々木）

TEL：011-706-6639 FAX：011-706-6639 E-mail：orihara@eng.hokudai.ac.jp（折原）

所属・職・氏名：特定国立研究開発法人 理化学研究所 創発物性科学研究センター

ユニットリーダー 荒岡 史人（あらおか ふみと）

TEL：048-462-1111（内線 6317） FAX：048-467-9599 E-mail：fumito.araoka@riken.jp

[用語解説]

[1] トポロジカル欠陥

ネマチック液晶では棒状の分子が同じ方向に並んでいるが、その並び方は変形することが可能で、系全体のエネルギーを最小限にするために、分子がある一点を向いた状態や、逆に、ある場所から遠ざかるような配置を取ることが可能となる。この点を欠陥と呼ぶ。

[2] ボトムアップ型

定まった鑄型の無い状態から、基本となる構成単位の構造の一つひとつを自ら成長させること。逆に、予め鑄型を与え、その型の通りに構造を形成させるものがトップダウン型と呼ばれている。

[3] 光マニピュレーション

レーザー光を対物レンズで絞る、それを用いて材料を操作するもの。

[4] 屈折率異方性・誘電率異方性

ネマチック液晶は棒状分子が一様に並んだ状態であり、その長軸と短軸のそれぞれの方向で屈折率や誘電率が異なること。