



二段階にわたる分子のテンプレート化で

光物性を制御できるマイクロピクセル状の高分子安定化液晶を作成

研究成果のポイント

- ・ 液晶物質の自発的なパターン形成を利用した高分子テンプレートを作成。
- ・ 作成した高分子ネットワークを鋳型として任意の液晶分子を埋め込み、光学的物性を制御。
- ・ フィルム化などの応用研究の実現に期待。

研究成果の概要

二段階にわたって分子をテンプレート化する(型に埋め込む)ことによって、ピクセル状のパターン構造を任意の液晶材料で作成することに成功しました。まず、ピクセル状の液晶分子配列を電氣的に作成し(物質の自発的秩序形成による一段階目のテンプレート)、その中に高分子ネットワークを埋め込み構造を安定化することで、電圧を加えなくても構造を維持できることを実証しました。続いて、埋め込んだネットワークを骨組みとして活用することで(二段階目のテンプレート)、周囲を異なる種類の液晶分子で入れ替えたところ、新たに埋め込まれた分子もまた電気や温度によって光学物性を制御できることを示しました。

今後、より高濃度なネットワークで安定化することによってフィルム状にし、温度や光などで変形・伸縮可能な光学材料へと繋がるのが期待されます。

本研究成果は、ドイツ時間 2017 年 7 月 31 日(月)に「Advanced Materials」誌において公開されました。

論文発表の概要

研究論文名 : Polymer-Stabilized Micropixelated Liquid Crystals with Tunable Optical Properties Fabricated by Double Templating (二段階のテンプレート化によって作成された光学的に制御可能なマイクロピクセル状の高分子安定化液晶)

著者 : 佐々木裕司¹, 上田基史³, レバンコア^{4,5}, 天野怜央², 坂根伸², 藤井修治¹, 荒岡史人⁴, 折原宏¹ (1. 北海道大学大学院工学研究院, 2. 北海道大学大学院工学院, 3. 北海道大学工学部, 4. 理化学研究所創発物性科学研究センター, 5. 東京理科大学理学部第二部化学科)

公表雑誌 : Advanced Materials

公表日 : ドイツ時間 2017 年 7 月 31 日(月)(オンライン公開)

研究成果の概要

(背景)

液晶とは、固体と液体の両方の性質を示す物質であり、ディスプレイをはじめとして身の回りの様々な場面で利用されています。中でもネマチック液晶は、長さ数ナノメートルの棒状の分子が同じ方向に並んでおり(図 A)、分子の長軸方向と短軸方向で光の屈折率や誘電率が異なる「異方性」という性質を有します。ネマチック液晶は、この異方性によって物質の光学的性質を電氣的に変化させることができますが、既存の技術を超えて液晶材料をさらに新しい用途へ応用するには、分子を微細な領域で精密に並べることが不可欠です。一方で、複雑な分子の並びを安定的に作り出すには、特殊な装置が必要となります。

このような状況の中で、近年、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、電圧を加えるだけで多数のトポロジカル欠陥^{*1}を規則正しく配置させ、分子をピクセル状に並べる方法を発見していました。しかしながら、使用できる液晶化合物の種類に制限があること、さらには電圧を切ると構造が崩れてしまうこと等の欠点がありました。

(研究手法)

パターンを形成することが可能なタイプの液晶材料(ホスト分子)に、数パーセントの割合で光重合^{*2}性モノマー(ゲスト分子)を加えました。使用するモノマーも棒状であるため、混合するとホスト液晶分子のすき間にはさまれ、ホスト液晶分子と同じ方向に並べることができます(図 A)。適切な条件に設定した交流電圧を混合試料に加え、ホスト液晶分子の性質を利用してピクセル状のパターン形成を行いました。この時、ホスト液晶分子にはさまれているモノマーもまたピクセル状に配列しており、ホスト分子のパターンがモノマー分子にとっての鋳型(テンプレート)の役割を果たしていることとなります。

電圧を止めるとパターンを維持できない問題をクリアするため、パターンを誘起した状態で紫外光(主に発光ダイオードを光源として使用)を照射し、モノマー分子を重合することで高分子ネットワークを作成しました(図 B)。すると、ネットワークが骨組みの役割を果たすため、重合に使用されていないホスト液晶材料は電圧を加えなくても安定的に構造を保持することができます。これが高分子安定化という手法であり、このネットワークを利用した実験を行いました。

(研究成果)

紫外線を照射するとモノマーが重合し、ピクセル状のパターンをそのまま安定化できました。重合した試料の温度を上げてホスト分子を液体状態にすると、骨組みのネットワークの屈折率異方性のみが残り、トポロジカル欠陥の様子を顕微鏡で観察できるようになりました(図 C)。さらに、光源として発光ダイオードの代わりにレーザーを用いると、微小な領域を高分子化することが可能です(図 D)。紫外線を照射していない部分は、引き続き電圧の影響を受けるので、様子を切り替えることができます。

続いて、高分子安定化した試料を、他の液晶材料に浸す実験を行いました(図 E)。すると、徐々に中の分子が置き換わり(図 A でグリーンで表した分子が図 E ではブルーの分子に置き換わり)、いわば「二段階目のテンプレート化」として、劣化させずに様子を変化させることに成功しました(図 F)。分子を入れ替えた試料に電圧を加えたものが図 G です。電圧を加えると置き換えられた分子の向きが変化し、顕微鏡での観察の様子が変化することがわかります。浸した液晶単体ではパターンを形成す

ることはできませんが、ネットワークを埋め込むことで、任意の物質でパターンを作成可能であることを示しています。

(今後への期待)

本実験で使用したモノマーの濃度は数パーセントと低濃度でしたが、今後はモノマーの割合を増加させることにより、自立膜(フィルム)の作成が期待されます。通常、液晶材料はガラス基板に挟み込まれていますが、フィルム化することで曲げたり、伸縮させたりすることが可能となります。本研究で得られた結果は、フィルム化が現実的であることを示唆するものです。アクチュエータ(入力されたエネルギーを物理的運動に変換する機械要素)や光学素子(レンズなど)などに関連した新しい研究題材を提供できると考えています。

お問い合わせ先

北海道大学大学院工学研究院応用物理学部門 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)

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

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

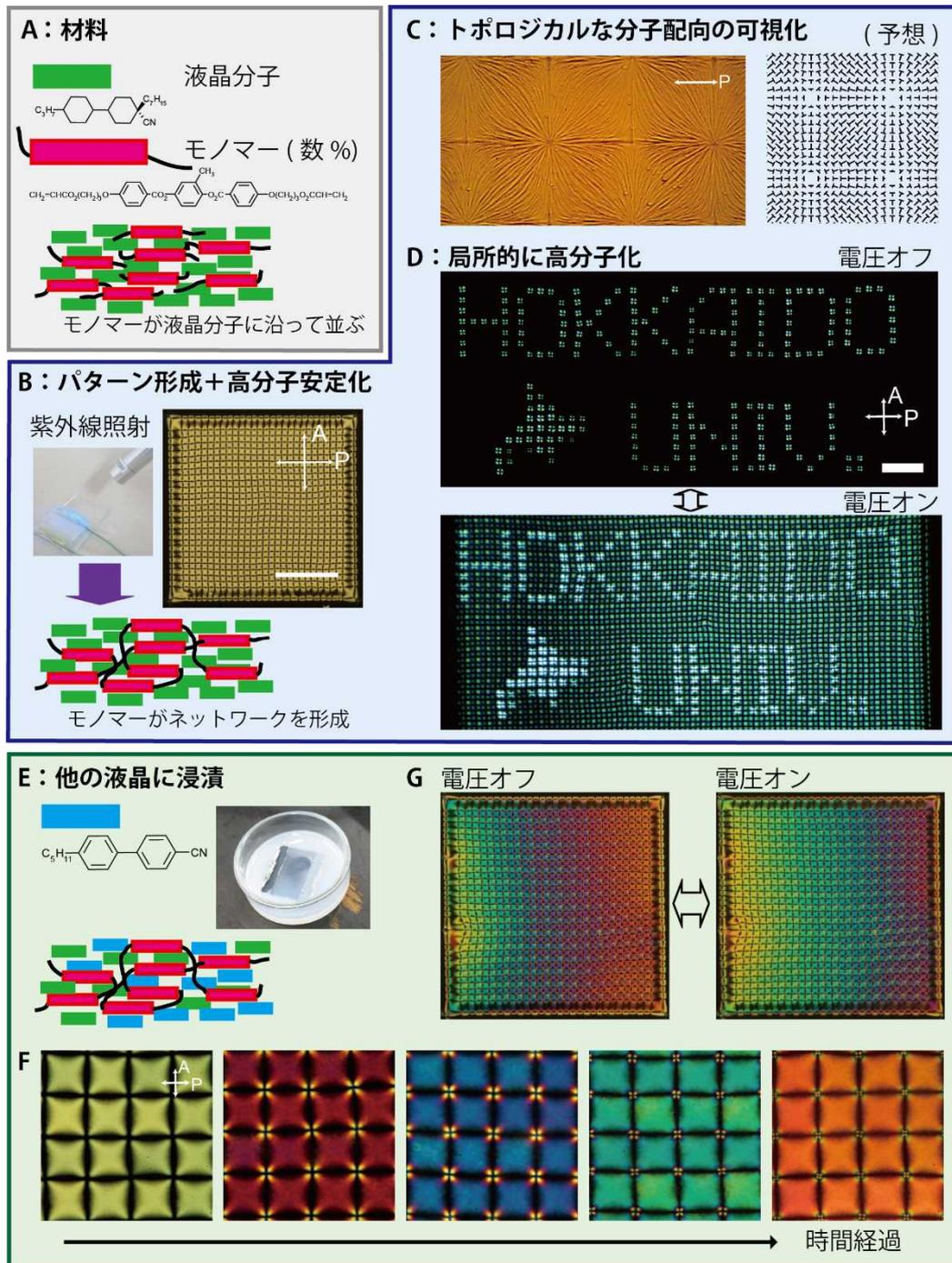


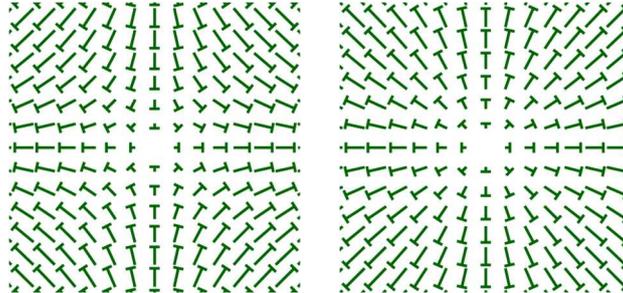
図. A:用いた化合物。

B-D: 紫外線照射によるピクセル状構造の高分子安定化。AとBを比較するとわかるように、光を当てることでピンク色のモノマー同士がネットワークを形成する。このネットワークが骨組みの役割を果たし、電圧を加えなくても安定的な構造を保持することが可能となる。

E-G: 試料セルを液晶に直接浸し、ネットワーク内の分子を置き換えた様子。

【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、その並び方はある程度変形することができ、下の図のように分子がある一点（図の中心）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作り出すことが可能となる。この中心の点を、トポロジカル欠陥と呼ぶ。



- *2 光重合・・・光を当てることで、同じ種類の小さな分子(モノマー)が結合し、巨大な分子(高分子, ポリマー)となること。ここでは光として紫外線を使用している。