

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03920

研究課題名（和文）誘電率10000超を示す液晶化合物の強誘電性の実証とメカニズムの解明

研究課題名（英文）Fundamental studies on liquid crystal compound with larger dielectric permittivity than 10000

研究代表者

菊池 裕嗣（Kikuchi, Hirotugu）

九州大学・先端物質化学研究所・教授

研究者番号：50186201

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,400,000円

研究成果の概要（和文）：研究代表者らは、流体でありながら強誘電性を示す新規液晶物質を発見した。この物質は形状の自由度が高くかつ大きな自発分極や誘電率を示すため、これまでになく応用が期待できるが、その発現メカニズムは明らかとなっておらず、また発現する温度範囲は室温よりかなり高温であるため応用に課題があった。本研究では、新規に強誘電性を示す液晶化合物を合成し、分子構造と強誘電性の相関を調査し、分子長軸方向に一定以上の大きさの双極子モーメントが重要であることを明らかにした。また、混合系の共融現象を利用して室温付近で強誘電性を示す材料の開発に成功した。さらに自作装置を用いてドメイン内での分子の配向状態の可視化に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来までに見出されていた強誘電性液晶は、構造の対称性を極性が生じるように下げることで達成されてきた。本研究で見出された強誘電性液晶は高い対称性を有し、分子間の双極子モーメント同士の相互作用により形成される点で特異である。本研究はソフトマター分野に直接型強誘電性液晶という新たな領域を切り拓いた点に学術的意義を有する。また、形状の自由度を有しながら大きな自発分極や誘電率を示すため、外場応答性の機能性材料として唯一無二の応用が期待され、社会的意義も大きい。本研究により室温付近に強誘電性を示す材料の開発に成功したことから、さらに応用のポテンシャルは高まったと言える。

研究成果の概要（英文）：Our research group has discovered a new liquid crystalline material that exhibits ferroelectricity even though it is a fluid. However, the mechanism of the appearance of ferroelectricity has not been clarified, and the temperature range of the appearance is considerably higher than room temperature, so there have been some problems in its application. In this study, we synthesized novel liquid crystal compounds that exhibit ferroelectricity, investigated the correlation between molecular structure and ferroelectricity, and clarified that a dipole moment of a certain magnitude in the direction of the molecular long axis is important. In addition, we succeeded in developing a material that exhibits ferroelectricity near room temperature by utilizing the eutectic melting phenomenon in mixed systems. Furthermore, we succeeded in visualizing the orientation state of molecules in a domain using a device of our own design.

研究分野：ソフトマター科学

キーワード：液晶 強誘電性 自発分極 誘電率 ネマチック スメクチック

1. 研究開始当初の背景

液晶は分子の配向に自発的な異方性を有するため、配向対称軸に対する角度によって誘電率が異なる。ネマチック液晶のような一軸対称性の場合、対称軸であるダイレクターに平行方向と垂直方向の比誘電率の差 $\Delta \epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ を誘電異方性と呼んでいる。 $\Delta \epsilon$ は、電場によって液晶分子に作用するトルクに比例するため、液晶ディスプレイの駆動電圧に関わる重要なパラメータである。ネマチック液晶の $\Delta \epsilon$ は、下記の Maier-Meier の式で表される。

$$\Delta \epsilon \propto \left\{ \Delta \alpha - \frac{F \cdot \mu^2}{2k_B T} (1 - 3 \cos^2 \beta) \right\} \cdot S \quad (式 1)$$

ここで、 α : 分子の分極率異方性、 μ : 双極子モーメント、 β : 分子長軸と μ のなす角、 S : 長距離配向秩序、 F : 定数である。ネマチック液晶の誘電異方性の絶対値 $|\Delta \epsilon|$ は、一般には 20 以下で、大きくても 100 程度である。

近年、応募者らは図 1 に示す化合物(C3DIO)のある液晶相(MP 相)において誘電異方性 $\Delta \epsilon$ が 10,000 を超えることを発見した(特願 2016-26840、*Advanced Materials* 2017, published online, Front Cover に採択)。この値は、極性液体の比誘電率 (30~80) や一般的なネマチック液晶の誘電異方性 (絶対値で 20 以下、大きくても 100 程度) と比較して桁違いに大きい。この液晶相はスメクチック相と違い、流動性が高く、層構造を有していない。

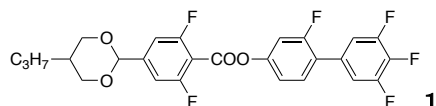


図 1 C3DIO の化学構造

しかしながら、偏光顕微鏡観察においてネマチック相とは異なる **Sandy** あるいは **Broken Schlieren** 組織を示す。さらに、強誘電体に特有の分極反転、平行四辺形の **P-E** ヒステリシス、第二次高調波発生 (SHG) を示し、その強誘電的分極の方向は液晶のダイレクターに平行だった。もし、この状態が真に強誘電性であれば、異常に大きな誘電率や諸物性は説明することができる。しかしながら、層構造がなく流動性を示しながら強誘電性を示す物質はこれまで見つからず、これまで見出されている強誘電性液晶でも自発分極がダイレクターに平行である系は見つかっていない。また、構造の対称性の観点からも層構造のないネマチック的な相では、強誘電性は原理的に現れない。

「流体でありながら 10,000 を超える比誘電率および誘電異方性」、「ネマチック的分子配列構造でありながら強誘電性」、これらの現象は、従来の常識では解釈できない。誘電異方性においても、一般的によく用いられる液晶分子 5CB は $\mu = 5.94 \text{ D}$ で $\Delta \epsilon = 17$ 程度であるが、C3DIO は $\mu = 9.43 \text{ D}$ でありながら $\Delta \epsilon > 10,000$ となり、上記の式 1 では説明できない。さらに、物質が強誘電性を示すには、系の対称性は 32 の点群のうち 10 種 (C_1 , C_2 等) に限られる。ネマチック相のような一軸円筒対称の場合は $D_{\infty h}$ であるので、構造上、強誘電性にはなり得ない。しかしながら、C3DIO の構造は X 線回折実験の結果、長距離並進秩序構造を持たないネマチック的秩序である。なぜ、C3DIO はネマチック的秩序構造でありながら強誘電的な挙動を示すか、本研究はその疑問を解明し応用のポテンシャルを高めることに中核を置く。

2. 研究の目的

本研究は応募者らが最近発見した、流体でありながら 10,000 を超える比誘電率を示し、ネマチック的配向秩序を有しながら強誘電的分極を示す、新規な液晶化合物 C3DIO のその異常な挙動のメカニズムを化学的・物理的に解明し、新たな高感受率材料の開発に応用展開することを目的とする。さらに、従来の概念を覆す「強誘電性ネマチック相」の存在の実験的証明を目指し、材料科学・技術の飛躍的な発展に寄与する。

3. 研究の方法

種々の C3DIO 類縁体を合成するとともにその誘電緩和と分極反転電流を測定し、 N_f (MP) 相の発現を評価した。ITO 電極領域が $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ で、電極間距離 $10 \mu\text{m}$ の垂直配向セルに試料を注入し、印加電圧 $0.1 \text{ V}_{\text{rms}}$ で誘電緩和を測定した。高い比誘電率を示した類縁体は、分極反転電流測定及び偏光顕微鏡 (POM) 観察を行った。分極反転電流測定は誘電緩和と同じ作製条件のセルを用いて、印加電圧 $V_{\text{pp}} = 20 \text{ V}$ 、周波数 $f = 100 \text{ Hz}$ の三角波で測定した。POM 観察はスピコートで PMMA を塗布した面内水平配向セル (セル厚 $10 \mu\text{m}$) 中で観察した。また C3DIO およびその類縁体について、基底関数として B3LYP/6-31+G(2d, p) を用いた密度汎関数理論 (DFT) 計算により構造最適化を行い、双極子モーメント μ を算出した。

試作した共焦点偏光レーザー走査顕微鏡 (CLSM, 図 2) を用いて二色性蛍光色素への励起偏光面を 45 度ずつ回転させながら蛍光像を 4 枚撮影し、偏光面の方位角の二倍の色相角度に着色した画像を加算してカラー方位角像を得た。また、対物レンズの後焦点面近傍に遮光板を挿入し、励

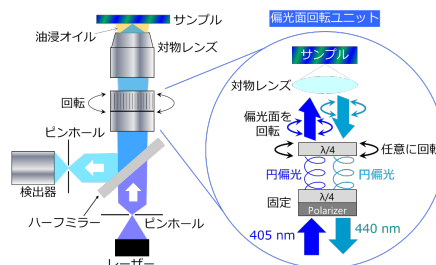


図 2 試作した共焦点偏光レーザー走査顕微鏡

起光と蛍光の光路の極角方向への傾きを選択することで、配向ベクトルの傾斜の向きを可視化した。さらに MP 相の縞状ドメインに対して平行に直流電場を印加した時の変化を観察した。

4. 研究成果

(1) 分子構造と強誘電性の相関

1,3-ジオキサン骨格を有するフッ素系液晶化合物 (C₃DIO **1**) で発現する 3 種の液晶相の一つにおいて、通常のネマチック相のような高い流動性や X 線回折パターンを示すにも関わらず、誘電率異方性が 1 万以上と極めて大きいこと、また強誘電的分極反転スイッチングや第二次高調波発生 (SHG) を示すことが示されている。本研究では、C₃DIO の構造を系統的に変化させた類縁体 **2-6** (図 3) の物性を評価することで、特異な誘電特性と化学構造の関係を解明することを目指した。

本研究で検討した C₃DIO 類縁体である **2-4** は C₃DIO に比べて分子長軸方向の双極子モーメントの減少が予想される構造であり、**5** および **6** は C₃DIO に比べて分子長軸方向の双極子モーメントの増大が期待される構造である。これら類縁体の誘電緩和と分極反転電流を測定し、N_F 相の発現を評価した。

表 1 に各化合物の比誘電率の最大値 ($\epsilon_{r, \max}$) 及び双極子モーメント μ (分子長軸方向) を示す。誘電緩和測定から得られた比誘電率は、**2, 3, 4** は C₃DIO に比べて著しく減少した。一方で、**5** の比誘電率は 86 °C において約 5,000、**6** の比誘電率は 60 °C において約 15,000 と非常に高い値を示した。分子長軸方向の双極子モーメントは、予測通り **2, 3, 4** は減少し、**5, 6** は増大する結果が得られた。また、図 4 に **5** と **6** の分極反転電流測定の結果を示す。**5, 6** ともに明瞭な自発分極の反転を示すピーク電流が確認できた。この電流から電束密度-印加電圧 ($D-E$) ループを評価した。図 4 に示すようにどちらの化合物でも、強誘電体で典型的に観測される $D-E$ ヒステリシス曲線が観測された。 D の飽和値は 4.4 $\mu\text{C}\cdot\text{cm}^{-2}$ を示した C₃DIO に比べて **5** で約 0.7 $\mu\text{C}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、**6** で約 0.4 $\mu\text{C}\cdot\text{cm}^{-2}$ 大きな値を示した。面内水平配向セルを用いた POM 観察では、**5, 6** 共に N_S 相から N_F 相への相転移時の特徴であるブラシ内部から明るい複屈折を持つ領域の出現と過渡的な自発流動を確認した。上記のように棒状分子骨格の側面のフッ素の位置が変化して分子長軸方向の双極子モーメントが減少すると N_F 相が発現せず、骨格の末端に極性置換基を導入して分子長軸方向に双極子モーメントが増大すると分子短軸方向の電気的な分子間斥力が増大するにも関わらず N_F 相が発現した。N_F 相の発現にはジオキサン環に直結するフェニル基におけるフッ素置換基の位置や末端の官能基、あるいは、それによって生じる双極子モーメントの向きが重要な因子であることが示唆された。

(2) 強誘電相の温度領域の制御

化合物 **1** のアルキル鎖の炭素数 n が異なる類縁体 C_nDIO ($n = 1, 2, 3, 4$) において発現する MP (N_F) 相の多くは冷却過程のみで発現し、熱力学的には準安定状態である。本研究ではアルキル鎖長が異なる DIO を混合することで共融現象により熱力学的に安定な N_F 相を実現した。

本実験では 2 種類の DIO 化合物 C_nDIO と C_mDIO ($n, m = 1, 2, 3, 4$) を用いて全 6 パターンの C_nDIO/C_mDIO 混合系 ($n/m = 1/2, 1/3, 1/4, 2/3, 2/4, 3/4$) を測定の対象とした。また、それぞれの混合系に関して重量比を 10 wt% 刻みで変化させ、計 54 試料を作製した。

図 6 に誘電緩和スペクトル測定に基づく分子長軸方向の比誘電率 $\epsilon_{(11)}$ ' の温度依存性を示す。なお、本測定では周波数を 1 Hz ~ 10 MHz まで変化させて行ったが、図では 100 Hz における測定結果を示している。測定を行った 6 つの混合系のうち、5 つの混合系において明らかに比誘電率が上昇している温度域を確認した。このことから C₃DIO/C₄DIO 混合系を除く 5 つの混合系に関して熱力学的に安定な MP (N_F) 相を発現したことが示唆される。また、C₁DIO/C₄DIO 混合系、

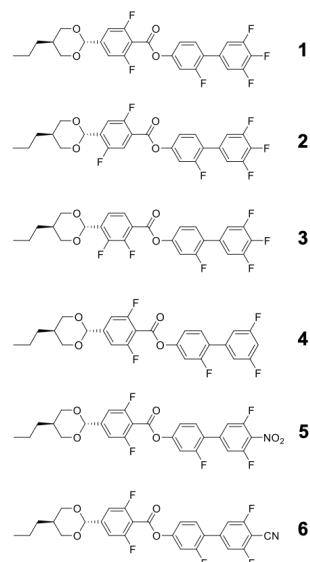


図 3 合成した DIO 類縁体化合物

表 1 合成した化合物の最大誘電率と双極子モーメント

compound	$\epsilon_{r, \max}$ (Temperature / °C)	μ / D (along long axis)
C ₃ DIO	~10,000	9.38
2	7.2	8.13
3	8.5	8.31
4	10.0	7.84
5	~5,000	12.88
6	~15,000	13.29

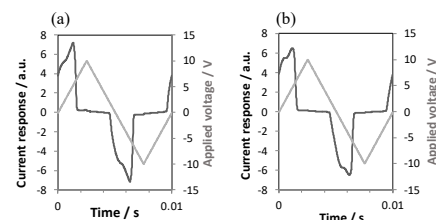


図 4 化合物 **5** と **6** の分極反転曲線

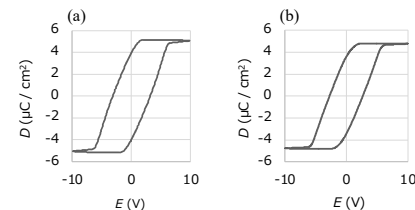


図 5 化合物 **5** と **6** の $D-E$ ヒステリシス

C1DIO/C3DIO 混合系、C2DIO/C4DIO 混合系における一部の組成では 40~45 °C 付近の温度から比誘電率の上昇が確認された。

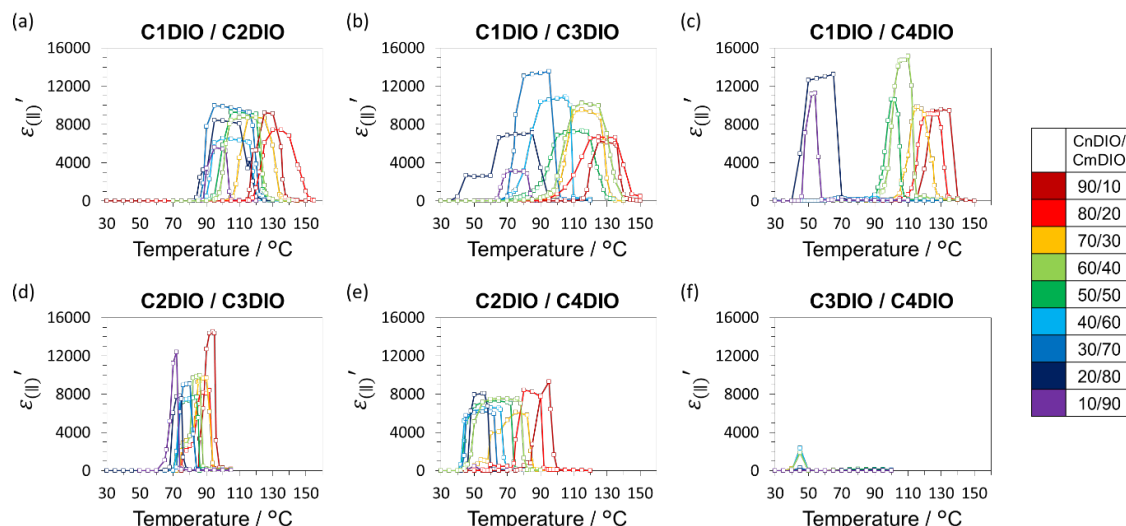


図6 C_nDIO/C_mDIO 混合系の誘電率の温度依存性

前項で、2種類のC_nDIOを混合することで共融現象による凝固点降下が試みられ、43 OC ~ 72 OCの温度範囲でN_F相を発現させることに成功したが、更なる低温化と温度範囲の拡大が求められている。本研究では3種類のC_nDIOを系統的に混合することで共融現象による凝固点降下を誘起させ、N_F相の温度範囲の低温側への拡大を試みた。また、C₃DIOのジオキサン基をエステル基に置換したC₃ESTER (Fig. 1(b))とC_nDIO混合液晶との4成分混合系を調製し、N_F相の更なる低温化を目指した。

図7に3成分混合系列における加熱過程で発現するN_F相の下限温度の三角プロットを示す。3成分混合系列で最も低温までN_F相を発現した混合物Mixture Aを偏光顕微鏡で観察した結果、N_F相に特有な縞状の組織と高い流動性を確認した。冷却すると26 °Cでこの組織から球晶が発生するとほぼ同時に比誘電率の低下が始まった。Mixture Aの融点が構成成分の単独のいずれの融点より大幅に低下したため、共融現象により発現温度の低温側への拡大されたことが示唆された。LCR測定から、Mixture Aは昇温過程で49 °Cから81 °Cという32 °Cの広い温度範囲で10,000を超える比誘電率を示した(図8)。C_nDIO2成分混合系では、C₁DIOとC₄DIOを重量比1:4で混合した試料が50 °Cから65 °Cの15°Cの範囲で10,000を超える比誘電率を示したが、Mixture Aの方がより低温から広い温度範囲で高誘電率のN_F相を発現したと言える。またC₁/C₂/C₄以外の混合系においても、2成分系より3成分系でより低温側へN_F相の発現温度範囲が拡大する傾向が示された。一方、Mixture AにさらにC₃ESTERを混合したMixture Bは、Mixture Aと比較して昇温過程で8°C低い約32 °Cから、降温過程では約20°C低い-1°Cまで100を超える比誘電率を示した。Mixture Bで大幅な共融現象が確認されたのは、C₃ESTERのメソゲン骨格がC_nDIOと異なっているために異種分子が混ざったまま結晶化する固溶体の形成が抑制されて、C_nDIOとC₃ESTERがより別々に結晶化することで、結晶化に伴うエントロピーの減少幅が増大したためと考えられる。

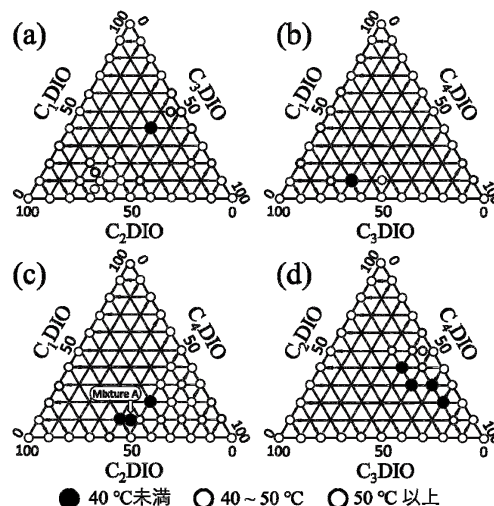


図7 三成分系の相図

(3) 強誘電ドメイン内の配向構造の可視化

本研究では、水平配向セル中のN_F相で発現する縞状ドメインでの配向ベクトルの三次元構造を解明するため、液晶ダイ

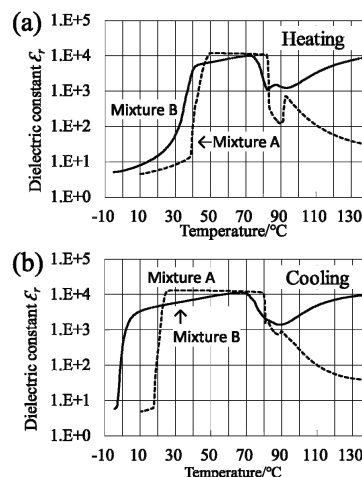


図8 最適化された二種の混合系の誘電率の温度依存性

レクター方向に配向する二色性蛍光色素を C3DIO に添加し、共焦点レーザー走査型顕微鏡 (CLSM) と偏光顕微鏡 (POM) を用いて観察した。

N_F 相の POM 観察では、検光子に平行な約 20 μm 間隔の縞状のテクスチャの大部分は暗いため、深さ方向に捻れの無い様な配向を示す一方、ドメイン境界の近傍に 2 本の明線に挟まれた暗線が確認された (図 9 (a))。クロスニコルから偏光子の角度を ± 30 度変化させたときの暗線の移動を調べた結果、片方の明線は深さ方向に配向ベクトルが約 $30 \sim 60$ 度捻じれた領域、暗線は約 90 度捻じれた領域だった (図 9 (b))。基板に垂直な XZ 平面でのカラー方位角像からは、カバーガラス近傍の配向ベクトルがベンド変形とスプレイ変形を伴った Neel wall であること、また、どの方位角の励起偏光面にも蛍光を示さない垂直配向の壁がセル界面から $5 \sim 15 \mu\text{m}$ 離れた領域で見出された (図 9 (c))。この壁を傾斜像で観察すると、暗い壁に垂直な X 軸方向に配向ベクトルがねじれた Bloch Wall であることが明らかになった (図 9 (d))。本来、隣接する液晶分子の双極子モーメントが一方向に揃った強誘電ドメインはエネルギー的に不安定であると考えられていた。しかし、この結果から、強誘電ドメインの分極方向の反転が、セルとの境界近傍では水平配向を保つために方位角方向の変形に基づく Neel wall によって、界面から離れたバルク領域ではねじれ変形に基づく Bloch Wall によって実現し、巨視的な分極電荷の増大による不安定化を回避していることが示唆された。また、Neel wall と Bloch Wall は水平方向にも約 $5 \mu\text{m}$ の距離を保ちながら平行に並ぶこと、偏光顕微鏡で観察されるドメイン境界の 2 本の明線の交差は、Neel wall と Bloch Wall が交差して位置関係が反転する欠陥であることを見出した。以上より、DIO の N_F 相が水平配向セル中で示す縞状テクスチャにおいて、配向ベクトルはドメイン境界に対して平行であり、隣り合うドメインの向きは、セル界面近傍では Neel wall、界面から離れたバルク領域では Bloch Wall を伴って交互に反転していることが示された。

次に、基板面に平行な Y 軸方向に $5 \sim 6 \text{ mV } \mu\text{m}^{-1}$ の直流電場を印加した結果、POM 観察において縞状組織で暗かったバルク領域が明るく変化し、ドメインと暗いまま変化のないドメインが交互に現れ (図 10 (b))、かつ電場の向きを反転すると (図 10 (c))、ドメインの明暗も逆転した。

分極と電場の向きが同じ領域は配向ベクトルヘトルクが働かず暗視野を保ち、分極と電場が反対向きの領域は配向ベクトルの回転によって暗視野から明視野に変化したと考えられる。

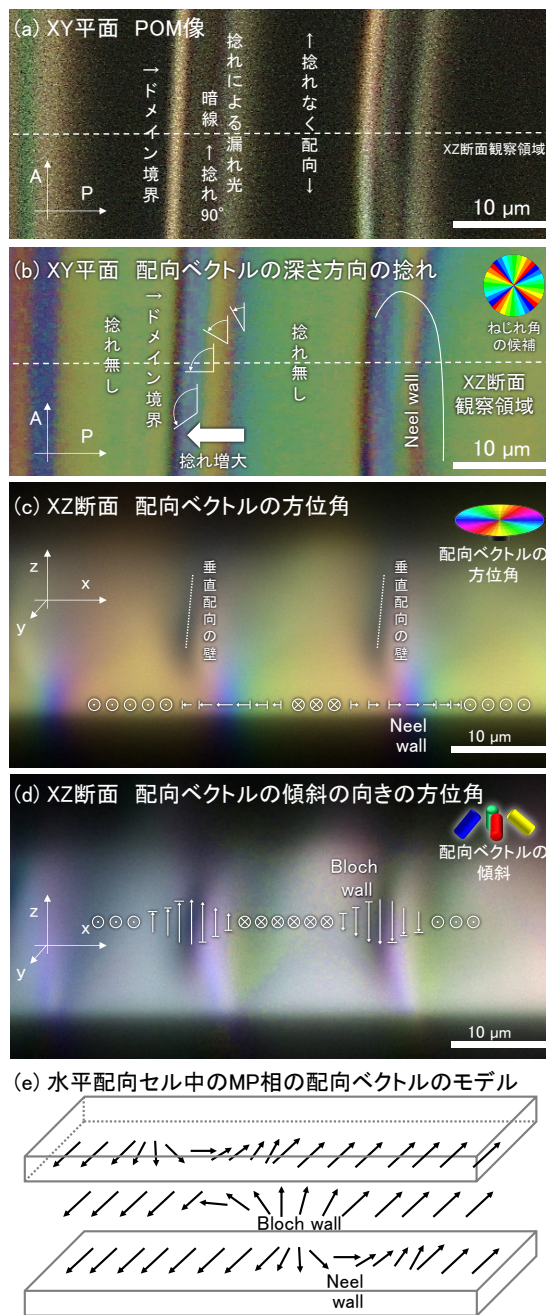


図 9 DIO の縞状 N_F 相の同一領域での POM 像(a)、捻れ分布(b)、方位角 XZ 断面像(c)、極角 XZ 断面像(d)と、得られた配向ベクトルのモデル (e)。

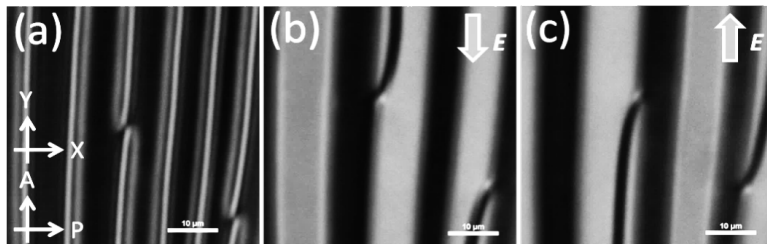


図 10 DIO の N_F 相における電場無印加時(a)と Y 軸負の向きに電場印加時(b), Y 軸正の向きに電場印加時(c)の POM 像。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Kizhakidathazhath Rijeesh, Nishikawa Hiroya, Okumura Yasushi, Higuchi Hiroki, Kikuchi Hirotosugu	4. 巻 12
2. 論文標題 High-Performance Polymer Dispersed Liquid Crystal Enabled by Uniquely Designed Acrylate Monomer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 1625 ~ 1625
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym12081625	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Nishikawa Hiroya, Shiroshita Kazuya, Higuchi Hiroki, Okumura Yasushi, Haseba Yasuhiro, Yamamoto Shin-ichi, Sago Koki, Kikuchi Hirotosugu	4. 巻 10941
2. 論文標題 A fluid liquid crystal with ferroelectric-like order	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 EMERGING LIQUID CRYSTAL TECHNOLOGIES XIV	6. 最初と最後の頁 1094106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2507189	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yoshizawa Daisuke, Higuchi Hiroki, Okumura Yasushi, Kikuchi Hirotosugu	4. 巻 7
2. 論文標題 Relationship between molecular structures of uniquely designed C ₂ -symmetric axially chiral dopants and their helical twisting properties in cholesteric liquid crystals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 2225 ~ 2231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8tc05296d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yoshizawa Daisuke, Okumura Yasushi, Yamamoto Jun, Kikuchi Hirotosugu	4. 巻 51
2. 論文標題 Decreasing the operating voltage of a polymer-stabilized blue phase based on intermolecular affinity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 667 ~ 673
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-019-0183-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Rijeesh Kizhakidathazhath, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, Hirotugu Kikuchi	4. 巻 262
2. 論文標題 Effect of polymer backbone flexibility on blue phase liquid crystal stabilization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Molecular Liquids	6. 最初と最後の頁 175-179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.molliq.2018.04.085	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahashi Misaki, Ohkawa Takuma, Yoshida Hiroyuki, Fukuda Jun-ichi, Kikuchi Hirotugu, Ozaki Masanori	4. 巻 51
2. 論文標題 Orientation of liquid crystalline blue phases on unidirectionally orienting surfaces	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 104003 ~ 104003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/aaaa4b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsuji Takeshi, Sakaki Shota, Fujiwara Hideki, Kikuchi Hirotugu, Tsuji Masaharu, Ishikawa Yoshie, Koshizaki Naoto	4. 巻 122
2. 論文標題 Stabilizer-Concentration Effects on the Size of Gold Submicrometer-Sized Spherical Particles Prepared Using Laser-Induced Agglomeration and Melting of Colloidal Nanoparticles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 21659 ~ 21666
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b05911	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fukuda Jun-ichi, Okumura Yasushi, Kikuchi Hirotugu	4. 巻 10555
2. 論文標題 Numerical calculation of Kossel diagrams of cholesteric blue phases	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 EMERGING LIQUID CRYSTAL TECHNOLOGIES XIII	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2286290	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 西川浩矢, 城下和也, 樋口博紀, 奥村泰志, 長谷場康宏, 山本真一, 佐郷弘毅, 菊池裕嗣	4. 巻 23
2. 論文標題 強誘電ネマチック? 巨大分極秩序発現メカニズムの解明に迫る	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本液晶学会誌	6. 最初と最後の頁 35-45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kikuchi Hirotsugu, Ashimine Takahiro, Qin Zehui, Higuchi Hiroki, Anan Shizuka, Okumura Yasushi	4. 巻 13
2. 論文標題 Enhancement of Polymer Structural Ordering in Polymer-Stabilised Blue Phases for Improved Electro-Optical Properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Symmetry	6. 最初と最後の頁 772.1 ~ 772.11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/sym13050772	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Oh Heemuk, Kikuchi Hirotsugu, Lee Ji Hyun, Kim Su Ji, Lee Jun Bae, Cho Moon Sun, Lee Min Young, Okumura Yasushi, Hong Joo-Hee, Hong Sung-Kyu	4. 巻 11
2. 論文標題 Ultraviolet light screen using cholesteric liquid crystal capsules on the basis of selective reflection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 25471 ~ 25476
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1ra03499e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Fukushima Seiji, Tokunaga Kakeru, Morishita Takuya, Higuchi Hiroki, Okumura Yasushi, Kikuchi Hirotsugu, Tazawa Hidehisa	4. 巻 11
2. 論文標題 Polymer-Stabilized Blue Phase and Its Application to a 1.5 μm Band Wavelength Selective Filter	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 1017 ~ 1017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst11091017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kikuchi Hirotugu, Matsukizono Hiroyuki, Iwamatsu Koki, Endo Sota, Anan Shizuka, Okumura Yasushi	4. 巻 9
2. 論文標題 Fluid Layered Ferroelectrics with Global C v Symmetry	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Science	6. 最初と最後の頁 2202048-2202048
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/advs.202202048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Matsukizono Hiroyuki, Iwamatsu Koki, Endo Sota, Okumura Yasushi, Anan Shizuka, Kikuchi Hirotugu	4. 巻 11
2. 論文標題 Synthesis of liquid crystals bearing 1,3-dioxane structures and characterization of their ferroelectricity in the nematic phase	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 6183 ~ 6190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2tc05363b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計35件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 菊池裕嗣, 西川浩矢, 城下和也, 遠藤聡太, 水城裕太, 祝迫宏記, 阿南静佳, 樋口博紀, 奥村泰志, 山本真一, 佐郷弘毅, 長谷場康宏
2. 発表標題 高誘電率を示す新規液晶相 強誘電性ネマチック相?
3. 学会等名 日本液晶学会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 祝迫宏記, 奥村泰志, 阿南静佳, 山本真一, 佐郷弘毅, 菊池裕嗣
2. 発表標題 高極性液晶における液晶配向ベクトルの観察
3. 学会等名 日本液晶学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 有村優奈, 阿南静佳, 奥村泰志, 菊池裕嗣
2. 発表標題 全方向に弱アンカリングを示す液晶/基板界面の開発
3. 学会等名 日本液晶学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿南静佳, 菊池裕嗣
2. 発表標題 規則的な分子配列を有するMOF中でのシアノピフェニル系液晶の配向
3. 学会等名 日本液晶学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥村泰志, 石田瑛一, 阿南静佳, 新山 聡, 菊池裕嗣
2. 発表標題 分子配向型高分子/液晶複合膜の相分
3. 学会等名 日本液晶学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 有村優奈, 阿南静佳, 奥村泰志, 菊池裕嗣
2. 発表標題 アンカリングフラストレーションによる液晶の界面アンカリング制御
3. 学会等名 高分子学会討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 有村優奈, 阿南静佳, 奥村泰志, 菊池裕嗣
2. 発表標題 シランカップリング剤による液晶界面のアンカリング制御
3. 学会等名 高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 遠藤 聡太・奥村 泰志・山本 真一・佐郷 弘毅・菊池 裕嗣
2. 発表標題 ジオキササン基を有する高極性液晶化合物の誘電緩和測定
3. 学会等名 2019年日本液晶学会 討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菊池 裕嗣
2. 発表標題 液晶 / 高分子複合系の構造と機能発現
3. 学会等名 日本学術振興会情報科学用有機材料第142委員会合同研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasushi Okumura, Takaaki Narita, Jun-ichi Fukuda, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi
2. 発表標題 Fluorescence imaging of director spatial distribution in liquid crystal blue phases using dichroic dyes
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirotsugu Kikuchi
2. 発表標題 Ferroelectric-like Properties in Fluid Liquid Crystals
3. 学会等名 CEMS Topical Meeting on Modern Ferroelectrics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊池裕嗣
2. 発表標題 強誘電性と流動性を併せ持つ新規液晶
3. 学会等名 日本学術振興会情報科学用有機材料第142委員会合同研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirotsugu Kikuchi
2. 発表標題 Electro-optical properties of LC/polymer composite materials based on slippery interface
3. 学会等名 The 3rd CBNU-CREST workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥村泰志
2. 発表標題 共焦点レーザー走査型顕微鏡を用いた高分子安定化ブルー相の観察
3. 学会等名 2018年度 液晶化学・材料研究フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Kikuchi
2. 発表標題 Liquid Crystal/Polymer Composites for Electro-optics
3. 学会等名 The Eighth International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies(EM-NANO 2021) (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Okumura, E. Ishida, S. Niiyama, H. Kikuchi
2. 発表標題 Observation of Polymer Structure and Electric-field Response of Liquid Crystal Director in Composite Films Consisting of Liquid Crystal and Highly Oriented Polymer
3. 学会等名 19 th Optics of Liquid Crystals (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口将生、阿南静佳、奥村泰志、菊池裕嗣
2. 発表標題 様々な官能基を有するMOF中での液晶分子の配向
3. 学会等名 第70回高分子年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 城崎紗也、奥村泰志、阿南静佳、菊池裕嗣
2. 発表標題 高極性液晶を用いた誘電アクチュエータゲルの創製
3. 学会等名 第58回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口将生、阿南静佳、奥村泰志、菊池裕嗣
2. 発表標題 様々な官能基を有するMOFと液晶複合体が示す光学的異方性の温度応答性
3. 学会等名 第58回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柴田 真人、阿南 静佳、奥村 泰志、菊池 裕嗣
2. 発表標題 液晶 / 高分子複合体の低温における電気光学応答と高分子構造
3. 学会等名 2021年九州地区高分子若手研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩松孝紀、松木圃裕之、奥村泰志、阿南静佳、菊池裕嗣
2. 発表標題 強誘電性ネマチック相発現の分子構造依存性
3. 学会等名 2021年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本平和也、奥村泰志、阿南静佳、菊池裕嗣
2. 発表標題 超解像顕微鏡を用いた高分子鑑定家液晶中の高分子構造の観察
3. 学会等名 2021年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 亘保太斗、奥村泰志、阿南静佳、菊池裕嗣
2. 発表標題 強誘電性ネマチック液晶を母液晶とするブルー相の創製
3. 学会等名 2021年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 城崎紗也、奥村泰志、阿南静佳、菊池裕嗣
2. 発表標題 強誘電性ネマチック液晶を用いた誘電エラストマーアクチュエータ
3. 学会等名 2021年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口将生、阿南静佳、奥村泰志、菊池裕嗣
2. 発表標題 液晶/MOF複合体が示す複屈折の温度応答性に及ぼすMOF細孔の化学的性質の影響
3. 学会等名 2021年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 亘保太斗、奥村泰志、阿南静佳、菊池裕嗣
2. 発表標題 強誘電性ネマチック液晶を母液相とする高分子安定化ブルー相の創製
3. 学会等名 2021年九州地区高分子若手研究会・冬の講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Kikuchi, H. Matsukizono, K. Iwamatsu, S. Endo, S. Anan, Y. Okumura
2. 発表標題 Liquid crystals with longitudinal ferroelectricity
3. 学会等名 19 th Optics of Liquid Crystals SWS2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瀬戸口貴裕、奥村泰志、阿南静佳、菊池裕嗣
2. 発表標題 共焦点レーザー走査型顕微鏡を用いた強誘電性ネマチック相の配向ベクトルおよび分極ドメイン構造の解明
3. 学会等名 第59回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瀬戸口貴裕、奥村泰志、阿南静佳、菊池裕嗣
2. 発表標題 強誘電性ネマチック相の縞状ドメインにおける配向ベクトルの3D空間イメージング
3. 学会等名 2022年 日本液晶学会討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柴田真人、奥村泰志、阿南静佳、菊池裕嗣
2. 発表標題 液晶 / 高分子複合体の低温における異常遅延応答とその改善に向けた材料開発
3. 学会等名 2022年 日本液晶学会討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柴田真人、阿南静佳、奥村泰志、菊池裕嗣
2. 発表標題 液晶 / 高分子複合体の電気光学応答特性の温度およびモノマー種依存性
3. 学会等名 第59回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中野紗希、阿南静佳、奥村泰志、菊池裕嗣
2. 発表標題 液晶/金属-有機構造体の複合体が示す複屈折と結晶構造の対称性
3. 学会等名 2022年 日本液晶学会討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂本裕亮, 松木園裕之, 阿南静佳, 奥村泰志, 菊池裕嗣
2. 発表標題 液晶配向の全方位に対して弱アンカリングを示す界面の創製
3. 学会等名 2022年 日本液晶学会討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 角折洋樹, 奥村泰志, 阿南静佳, 菊池裕嗣
2. 発表標題 混合誘起融点降下に基づくエナンチオトロピック強誘電性ネマチック相の発現温度範囲の制御
3. 学会等名 2022年 日本液晶学会討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口将生, 阿南静佳, 奥村泰志, 菊池裕嗣
2. 発表標題 液晶と金属-有機構造体の複合体が示す光学特性と有機配位子の置換位置と種類の影響
3. 学会等名 2022年 日本液晶学会討論会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	奥村 泰志 (Okumura yasushi) (50448073)	九州大学・先導物質化学研究所・准教授 (17102)	
研究分担者	樋口 博紀 (Higuchi Hiroki) (50432951)	九州大学・先導物質化学研究所・助教 (17102)	H30年6月末に住友重機械工業株式会社へ転出し、科研費の応募資格を喪失した。

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
韓国	Dongguk University-Seoul	Suncheon Jeil College	