

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：32708

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25410214

研究課題名(和文) 液晶エラストマーを利用したフィルム型ディスプレイ設計の基礎的研究

研究課題名(英文) Study of Film Type Display Using Liquid-Crystalline Elastomers

研究代表者

平岡 一幸 (HIRAOKA, KAZUYUKI)

東京工芸大学・工学部・教授

研究者番号：50267530

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：液晶エラストマーはソフト固体でありながら液晶相の刺激応答機能を持つため、圧電効果を利用した人工筋肉や、電傾効果を用いたフィルム型ディスプレイ材料への応用などが期待される。本研究では、電傾効果を発現するキラルスメクチックA相(SmA*)を持つ液晶エラストマーに注目し、一軸配向した液晶エラストマーを合成し、相転移挙動と電界誘起変形を検討した。コレステロール誘導体をメソゲン基とした側鎖型液晶エラストマーが室温近傍から120℃の温度範囲でSmA*相を呈し、この温度領域全体で電傾効果が発現した。電界誘起による光軸変化に比較してせん断変形は小さく、フィルム型ディスプレイ材料として有望と考えられる。

研究成果の概要(英文)：Optical and mechanical responses to electric stimulation in a side-chain chiral smectic A (SmA*) elastomer composed of a cholesterol derivative mesogen were investigated. The molecular tilt caused by the electroclinic effect in an electric field was measured optically in the SmA* phase. In addition, shear deformation of the elastomer induced by an electric field was observed. The tilt angle in the shear deformation, defined as the angle between the edge of the elastomer film and the direction of the layer normal, was smaller than the molecular tilt angle estimated by optical measurement. Molecular dynamics in smectic phases was also investigated to study molecular mechanism in the electric-field-induced deformation.

In addition, reversible deformation of a uniaxially oriented main-chain liquid-crystalline elastomer composed of smectic polyesters was investigated, because the reversible deformation about 450% was confirmed in a cyclic heating-cooling process.

研究分野：化学

キーワード：液晶エラストマー 液晶 高分子 フィルム型ディスプレイ 液晶ディスプレイ 人工筋肉 アクチュエーター 高分子液晶

1. 研究開始当初の背景

従前より低分子系液晶材料の電場誘起による分子再配列は良く知られており、液晶テレビをはじめとして広く応用されている。しかしこれらの液晶材料は液状であるため2枚のITOガラスなどの間に充填して用いる必要がある。そのため未来型ディスプレイとして注目されているフィルム型ディスプレイ用材料としてはほとんど検討されていなかった。一方、液晶エラストマーは、液晶の異方的な機能とポリマーネットワークの力学的性質を併せ持つ新しい材料である。本研究では形態が液状ではなくソフト固体であることに注目し、液晶エラストマーを利用したフィルム型ディスプレイ設計のための基礎的研究を推進した。

これまでネマチック液晶エラストマーの電場印加によるダイレクター変化や試料変形については多くの研究例がある(例えば、[1] Y. Yusulf, J-H, Huh, P. E. Cladis, H. Brand, H. Finkelmann, S. Kai, *Phys. Rev. E.* 2005, *71*, 061702. [2] K. Urayama, S. Honda, T. Takigawa, *Macromolecules* 2005, *38*, 3574. など)。さらにソフト弾性理論を用いた変形過程の解析も試みられている([3] K. Urayama, S. Honda, T. Takigawa, *Macromolecules* 2006, *39*, 1943., など)。研究結果を総括すると、ネマチックエラストマーは、メソゲンの再配列において試料の変形が伴うため、ディスプレイ用材料には不相当と考えられる。

SmA*エラストマーやSmC*エラストマーについても電場誘起による光軸変化や形状変化が報告されている(例えば、[4] W. Lehmann, N. Leister, L. Hartmann, D. Geschke, F. Kremer, P. Stein and H. Finkelmann: *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **328**, 437 (1999). [5] K. Hiraoka, P. Stein, H. Finkelmann, *Macromol. Chem. Phys.*, **205**, 48 (2004). [6] C. M. Spillmann, B. R. Ratna, J. Naciri, *Appl. Phys. Lett.*, **90**, 021911 (2007). など)。本研究開始当初の段階においても、これら材料の表示素子への検討例はいくつかあったが([7] E. Gebhard, R. Zentel: *Macromol. Rapid Commun.*, **19**, 341 (1998). [8] M. Brehmer, R. Zentel, G. Wagenblast, K. Siemensmeyer, *Macromol. Chem. Phys.*, 1994, *195*, 1891. など)、いずれもITOガラス基板内に液晶を充填した従来の液晶表示素子の研究の域を出ておらず、フィルム自身が光バルブ機能を持つフィルム型ディスプレイを念頭に置いた系統的な研究は行われていなかった。

本研究では液晶における自発分極や電傾効果が重要な役割を担う。研究開始以前から、それらの発現機構については精力的に研究が行われてきた(例えば、[9] 福田敦夫(研究代表者), 特別推進研究(0612005) “液晶における反強誘電性の発現機構に関する分子運動論的研究” 研究成果報告書, 1997)。し

かしながら、分子運動論的な観点からの研究は緒についたばかりで、未だ解明されていない点が多い。

本研究開始以前は、主鎖型液晶エラストマーの電界誘起による分子再配列の検討例はなかった。そこで、本研究当初は主鎖型液晶エラストマーの電気刺激応答の研究を行った。一方、本研究開始当初の段階において、主鎖型液晶エラストマーが室温-等方相間の加熱・冷却により5倍程度の大きな可逆変形を示すことを見出したので、「主鎖型液晶エラストマーの加熱・冷却による大変形挙動の分子再配列機構の解明」についても本研究の推進テーマとして加えた。

本研究開始以前において、既に、液晶エラストマーの熱変形については多くの研究がなされていた。特にネマチック液晶エラストマーについては実験・理論の両面から系統的な研究が行われていた([10] H. R. Brand and H. Finkelmann, “*Handbook of Liquid Crystals*”, vol. 3, D. Demus, J. Goodby, G. W. Gray, H. -W. Spiess, V. Vill, Eds., Wiley-VCH, Weinheim **1998**, p. 277-302.)、[11] M. Warner, E. M. Terentjev, “*Liquid Crystal Elastomers*”, Oxford Sci. Press., Clarendon **2003**.)。

一方、主鎖型液晶オリゴマーを架橋剤としたネマチック液晶エラストマーは、等方相⇄ネマチック相転移において200%を超える伸縮が報告されていたが([12] H. Wermter, H. Finkelmann, *e-Polymer* **2001**, 013)、その変形機構については未解明であった。

2. 研究の目的

本研究では、高分子液晶を架橋することで、ソフト固体でありながらメソゲンの電場応答性能を併せ持った液晶エラストマーの合成を試み、その諸物性を検討することでフィルム型ディスプレイ用材料の基礎研究を行うことを目的とした。低分子液晶の場合、流動性があるので分子再配列の際に形状変化を伴わない。しかし、液晶エラストマーはソフト固体なので、分子再配列に際して光軸変化と形状変化の両方生じることが予想される。ディスプレイ用材料に応用する場合、この形状変化はデメリットとなる。そこで本研究では液晶エラストマーの電界印加に伴う光軸変化に加えて形状変化についても検討することを目的とした。

本研究では、キラルな分子からなるスメクチック相、特にキラルスメクチックA (SmA*)相とキラルスメクチックC (SmC*)相に着目した。同液晶は、1次元結晶・2次元液体である。電場印加により分子が再配列し光軸が変化する一方、スメクチック層内の液体秩序の中で分子再配列が生じるため、巨視的な形状変化を伴わないことが期待される。一方、ディスプレイ材料の応用を考える場合、広い温度範囲で駆動する必要である。そこで、光軸変化が期待できるSmC*相のゴールドストーンモ

ードやSmA* - SmC*相転移近傍で顕在化するソフトモードについて、広い温度範囲における電界誘起応答の検討を目的とした。

液晶の自発分極や電傾効果の発現機構はほとんど未解明である。本研究ではその発現機構の検討を目的とした。既述のように、キラリティ導入により自発分極や電傾効果を発現するキラルスメクチック液晶に注目し、分子を構成する原子レベルのダイナミクスと巨視的な電氣的物性との関係についての知見を得ることを目的とした。キラリティと核レベルでの分子運動に焦点を当て研究を行うため、これまで検討例が少なかった¹³C-固体核磁気共鳴法(¹³C-固体NMR法)を用いて分子を構成する炭素核の運動を観測した。

さらに前述のように主鎖型液晶エラストマーの熱変形挙動についても研究テーマに加えた。主鎖型液晶エラストマーは高分子性と液晶性が直接カップリングするため、側鎖型液晶エラストマーに比べより高性能な機能が期待される。一方、Bibenzoateをメソゲン基とする主鎖型液晶高分子BB-*n* (*n*はスペーサー部分の炭素数)は、ある温度範囲でスメクチック相をとることが知られている。本研究では、このBB-*n*型の主鎖型液晶高分子を応力印加架橋することで、全てが主鎖型高分子液晶で構成された全主鎖型液晶エラストマーを試料として用いた。研究途上で同試料が加熱により5倍程度の大きな自発的・可逆変形機能を持つことを見出したので、この熱刺激による大変形における分子再配列の解明を研究目的に加えた。

3. 研究の方法

(1) 液晶エラストマーの合成

「ポリシロキサンを主鎖とした側鎖型液晶エラストマー」と「ポリエステル系主鎖型液晶エラストマー」を主な試料とした。

前者は、ヒドロシリル化反応によりポリシロキサン主鎖へメソゲン基と架橋剤を側鎖として導入した側鎖型液晶エラストマーである。反応過程において応力を印加し、配向した液晶エラストマーを作成した。

後者の主鎖型液晶エラストマーは、Bibenzoateをメソゲン基としてアルキルジオールを柔軟鎖として用いた主鎖型高分子液晶を重合する際に、3官能性の架橋剤(トリオール)を加えることにより得た。前者と同様に、反応過程において応力を印加し、配向した液晶エラストマーを作成した。

(2) 配向状態の評価

得られた試料について、X線回折、偏光顕微鏡観察、さらに赤外分光分析法を併用し、配向条件と配向秩序(スメクチック層と層内メソゲン分子の両方における配向秩序)との関係を定量的に評価した。

(3) 相転移挙動と分子再配列の評価

相転移挙動を検討するため、示差走査型熱

量測定(DSC)、熱機械分析(TMA)、X線回折、ならびに顕微鏡観察を行った。TMAは針入測定法により計測を行った。

さらに作成した試料の分子配列構造を検討するためX線回折実験を行った。検出器としてイメージングプレートもしくは2次元半導体を用い、小型炉にて試料温度を調整し実験を行った。X線回折実験では試料の上端のみをカプトンテープで固定した。

(4) 電界誘起変形と熱変形の観測

小型炉とビデオカメラで構成された変形観測システムを用いて、昇降温過程における液晶エラストマーの形状変化の定量的な観測を行い、形状変化の可逆性を評価した。

電界誘起変形の観察には2枚のITOガラス間にシリコンオイル(KF-96-30CS 信越化学工業社製)を満たし、その中にエラストマーを入れ形状変化を観察した。試料片端をカプトンテープで固定し、ガラス間隔はシリコンゴムスペーサー(厚さ1mm)を用いて制御した。矩形波の電界を試料に印加し、その際の形状変化をCCD付顕微鏡観察システム(対物レンズ倍率:10倍)を通してパソコン上のキャプチャーシステムで観察し変形量を求めた。CCD付顕微鏡観察システムから得た画像を1ピクセルが1 μ mとなるように液晶ディスプレイに拡大し、形状変化を評価した。尚、1ピクセルがハーフトーンの場合、変形量を0.5 μ mとした。

(5) 分子ダイナミクス研究

強誘電性のSmC*相を示すキラル液晶性化合物と、キラル部以外は同じ化学構造を持つキラル液晶性化合物の2つを試料とした。結晶相から各種液晶相を経て等方相へ至る幅広い温度範囲において¹³C-固体NMR測定を行った。各構成炭素の共鳴スペクトルの半値幅ならびにスピン-格子緩和時間を測定し、これらの物質の分子ダイナミクスを研究した。さらに本申請予算により購入した赤外線分光分析装置を用い、刺激応答時の分子配列の変化の観測ならびに、分子運動と刺激応答機能との関係を検討した。

4. 研究成果

スメクチック相を呈する液晶エラストマーを用いて、刺激応答材料設計の基礎研究を行った。具体的には、側鎖型液晶エラストマーの電界応答性を利用したフィルム型液晶ディスプレイの基礎研究、ならびに核レベルの分子運動と刺激応答機能との関係を検討するため、¹³C-固体NMR法を用いて液晶分子のダイナミクスを研究した。さらには主鎖型液晶エラストマーを用いて熱刺激応答による大変形に関する研究を行った。主な結果は以下の通りである。

(1) フィルム型液晶ディスプレイの研究

電傾効果を発現するキラルスメクチック

A(SmA*)相を有する液晶エラストマーに着目し、フィルム型液晶ディスプレイ設計の基礎的検討を行った。ポリシロキサンの主鎖に、ネマチック相とSmA*を呈するコレステロール誘導体をメソゲンとして側鎖に導入した。この液晶エラストマーは室温から130°Cまでの広い温度範囲でSmA*相の分子配列を持つことをX線回折により明らかにした。一軸応力下で合成することにより配向したSmA*エラストマーを得た。等方相を含む昇降温後も配向方向を維持していることをX線回折により確認した。

SmA*相においては電傾効果が期待されるので、スメクチック相と平行方向のx軸方向に電界(0~±1.00 kV/mm)を印加しyz面における光軸の変化 θ_M を観測した。-x方向の電界により光軸は時計回り(yz面を+方向)に、+x方向の電界により反時計回り(yz面を-方向)に回転した。 θ_M はほぼ電界強度に比例し、1kV/mmの電界強度下で4~4.5°程度傾くことが分かった。この光軸の回転は電傾効果によりメソゲンが傾いたことによるものと考えられる。

次に電界誘起による液晶エラストマーの変形を検討した。まず、電界印加時の層法線方向のサンプルの収縮 $\Delta L = L_{(0)} - L_{(Ex)}$ 、すなわちz方向の変形を観測した。z方向の変形 ΔL は電界の向きによらず、+x方向と-x方向のいずれの電界に対しても試料は縮み、1kV/mmの電界強度下において8 μ m程度の収縮 ΔL が観測された。また変形量 ΔL は電界強度の二乗にほぼ比例した。この試料の収縮は、電界誘起によるメソゲンの傾きにより層間隔が小さくなったためと考えられる。この試料のサイズは厚さ600 μ m、巾3.4mm(層方向)、長さ4.1mm(層法線方向)である。層法線方向試料長4.1mmと1kV/mm下の傾き4°から予想される変形量 Δz は10 μ m程度であり観測値8 μ mと良い一致を見た。

さらに、メソゲンの傾きと試料のせん断変形との関係を検討するため、x軸方向に電界を印加した際のy方向(層と平行)の変形 $\cdot Y$ を観測した。観測点は、試料(試料長4.1mm)を固定した場所からZ=0mm、Z=1.4mm、Z=2.8mm、の3点とした。である。固定点直下(Z=0mm)においては、電界誘起変形は観測されず、±1.0kV/mmの間、±0.5 μ m以下の変形であり600V/mm以下の電界では変形は観測されない。一方、固定点から離れるにつれてせん断変形が明瞭に認められ、メソゲンの傾きの場合と同様に変形方向は印加電界の極性に依存し、-x方向の電界によりyz面を+方向に、+x方向の電界によりyz面を-方向に変形した。固定点から最も遠い(Z=2.8mm)における変形量は、±1.0kV/mm電界印加により約±3.5~4.5 μ m程度である。この値から求めた液晶エラストマーのせん断変形角度 θ_E は0.08-0.09°であり、既述の光軸の傾き4-4.5°と液晶エラストマーのせん断変形角度 θ_M を比較すると、 θ_E/θ_M は0.02程度とな

りメソゲンの傾き θ_M がエラストマーのせん断変形 θ_E にほとんど寄与していないことが分かった。

さらにSmA*構造を有しかつガラス転移温度以上の30°Cから130°Cの広い温度範囲で、上述の電傾効果が観測され、フィルム型液晶ディスプレイ材料として有望であることが分かった。

また等方相においてx方向の±1.00 kV/mmの電界に対してx軸方向への±0.3mm程度の曲がり変形が観察された。+x方向の電界では+x方向の変形が、-x方向の電界では-x方向の変形が生じ、誘電異方性ではなく分極応答に起因することが解った。しかしその変形機構の詳細については今後の課題である。

[学会発表①、⑧、⑩、⑪、⑬、⑰、及び⑱]。

(2) 分子ダイナミクス研究

キラル液晶S-MH(6)POBCとその同族体であるアキラル液晶H(6)POBCについて¹³C固体NMR法を用いてキラリティと分子運動の関係を研究した。共鳴ピークの半値幅とスピン-格子緩和時間 T_1 の測定から、分子を構成する炭素核レベルにおけるダイナミクスを評価し、キラリティと分子運動の関係を検討した。

骨格部やアルキル鎖における多くの炭素原子において、キラリティ導入によるダイナミクスの影響は認められなかった。一方、C23に-CH₃基を結合させキラリティを導入することにより運動性の変化が確認された。アキラル液晶の非不斉炭素C23の場合、結晶相においてもスメクチック液晶相とほぼ同様の分子運動性を保持していることが示唆された。一方、キラル液晶の不斉炭素C23の場合、結晶相中において骨格部の分子運動凍結の影響を受けて分子運動性の低下が認められた。

[雑誌論文②及び③]。

(3) 液晶エラストマーの大変形に関する研究

Benzoateをメソゲン基とする主鎖型液晶エラストマーを試料とした。延伸しながら架橋反応を施すことで一軸配向した試料を得た。配向試料のX線回折像において、鋭いが弱いスメクチック層の反射が観測されたことから、SmA構造を含有したサイボタクチックネマチック液晶相の出現が示唆された。

架橋反応時に8.5倍延伸した試料は、室温-等方相の間における加熱・冷却の際、5.5倍程度の可逆的・自発的伸縮が観測された。1~3倍までの伸縮における変形量は秩序パラメータに依存したが、3~5.5倍の伸縮では秩序パラメータの変化をほとんど伴わなかった。このことから、「秩序パラメータに起因する変形」と「秩序パラメータに起因しない変形」の2つの変形機構があることが分かった。後者については、主鎖のヘアピンの生成と消失が変形に関わっていると考えられるが、詳細は今後の課題である。

[雑誌論文①] 及び[特許出願(特開

2016-047880)]。

(4) SmC*液晶エラストマーの2軸変形の研究

試料はポリシロキサンを主鎖とし、SmC*相を呈する側鎖型液晶エラストマーを用いた。架橋時に2軸変形「せん断変形」ならびに「2段階の延伸」をそれぞれ行うことで、均一の配向したSmC*相液晶エラストマーの、熱変形挙動を観測し、液晶エラストマーが最終形状のみでなく、その変形過程も記憶していることを明らかにした[雑誌論文⑥]。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

① Kazuyuki Hiraoka, Ryo Shinozaki, Shota Sumitomo, Large spontaneous deformation of uniaxially oriented main-chain liquid-crystalline elastomers composed of BB-*n* mesogens, *Liquid Crystals*, **43**, in print. (学術論文・査読有). DOI: 10.1080/02678292.2016.1195897.

② Kazuyuki Hiraoka, Ryota Kawasaki, Manami Yamamoto, Ryota Tsuyuki, Kenta Niikura, and Ken-ichiro Komiya, Molecular Fluctuation of Chiral and Achiral Smectic Liquid Crystals Studied by ¹³C-NMR Spectroscopy, *Ferroelectrics*, **495**, 1-16, 2016年, (学術論文・査読有). DOI: 10.1080/00150193.2016.1136724.

③ 平岡一幸, 川崎良太, 山本愛実, 小宮研一郎, ¹³C 固体核磁気共鳴法によるスメクチック液晶におけるキラリティと分子ダイナミクスの研究, 東京工芸大学工学部紀要, **37**, 1, 24-30, 2015年, (学内紀要・査読無).

④ Yang Ho Na, Yuki Aburaya, Hiroshi Orihara, Kazuyuki Hiraoka, and Youngbae Han, Electrically induced deformation in chiral smectic elastomers with different domain structures, *Physical Review E*, **90**, 062507, 2014年, (学術論文・査読有). DOI: 10.1103/PhysRevE.90.062507.

⑤ 赤坂修一, 金子核, 久保山敬一, 滝沢節夫, 徳島忠夫, 住田雅夫, 平岡一幸, 城島栄一郎, 半導体ナノダイヤモンドを配合した高分子複合繊維の電気特性と衛生効果, 材料の科学と工業, **50**, 3, 93-99, 2013年, (学術論文・査読有).

⑥ K. Hiraoka, K. Mochida, Shape change and molecular realignment of a two-successive-process-deformed chiral smectic C elastomer, *Liquid Crystals*, **40**, 5, 669-680, 2013年, (学術論文・査読有).

DOI: 10.1080/02678292.2013.767390.

[雑誌記事] (計1件)

① 平岡一幸, 2012年 液晶物理・物性フォーラム/ソフトマターフォーラム共催研究会報告「生体とメゾスコピックな秩序構造と機能」, 液晶学会誌 (JLCS ニュースレター, No. 96, 2013年), (研究・技術報告・査読無).

[学会発表] (計22件)

① Kazuyuki Hiraoka, Hisashi Kashimura, Shota Kaneshima, Electric-field-induced deformation of chiral smectic A liquid-crystalline elastomers composed of cholesterol derivative mesogens, 26th international liquid crystal conference, 2016 August 3, Ohio, U. S. A. (invited).

② Kazuyuki Hiraoka, Shohei. Sumitomo, Large Spontaneous Deformation of Uniaxially Oriented Main-Chain Liquid-Crystalline Elastomers Composed of BB-*n* Mesogens; Target is the Ruyi Bang Pole Expanding 100 Times at Owner's Command, 26th international liquid crystal conference, 2016 August 3, Ohio, U. S. A.

③ 平岡一幸, 篠崎 凌, 住友昌平, 主鎖型液晶エラストマーの昇降温における変形とそのメカニズム, 2016年度繊維学会, 東京, 繊維学会, 2016年6月8-10日.

④ 平岡一幸, 篠崎 凌, 住友昌平, 配向した主鎖型液晶エラストマーの昇降温における自発変形, 2016年春期 62回応用物理学会, 東京, 応用物理学会, 2016年3月19-22日.

⑤ K. Hiraoka, Y. Saito, R. Shinozaki, H. Kashimura, and S. Sumitomo, Spontaneous Deformation of Oriented Main-Chain Liquid-Crystalline Elastomers Composed of Smectic Polyesters, 8th International Liquid Crystal Elastomer Conference: ILCEC2015, イタリア, エリチェ, 2015年10月2-7日.

⑥ 露木亮太, 川崎良太, 山本愛実, 小宮研一郎, 平岡一幸, ¹³C-NMRによるキラリティ液晶分子の液晶相と結晶相における分子ダイナミクスの研究, 新倉健太, 2015年日本液晶学会討論会, 神奈川, 日本液晶学会, 2015年9月7-9日.

⑦ 齊藤由香里, 篠崎凌, 佐藤茜, 住友昌平, 平岡一幸, Bibenzoateをメソゲン基とする主鎖型液晶エラストマーの変形挙動と配向秩序パラメータ, 2015年日本液晶学会討論会, 神奈川, 日本液晶学会, 2015年9月7-9日.

⑧ 樫村 尚, 金島清太, 橋本常弘, 平岡一幸,

コレステロール誘導体を側鎖に持つキラルスメクチック A 液晶エラストマーの相転移と電界誘起変形, 2015 年日本液晶学会討論会, 神奈川, 日本液晶学会, 2015 年 9 月 7-9 日.

⑨ K. Hiraoka, R. Kawasaki, M. Yamamoto, and K. Komiya, Molecular Fluctuation of Chiral and Achiral Smectic Liquid Crystals Studied by ¹³C-NMR Spectroscopy, 15th International Conference on Ferroelectric Liquid crystals: FLC2015, チェコ, プラハ, 2015 年 6 月 28 日-7 月 3 日.

⑩ K. Hiraoka and S. Kaneshima, Phase Transition and Electric-Field-Induced Deformation of a Chiral Smectic A Liquid-Crystalline Elastomer, 15th International Conference on Ferroelectric Liquid crystals: FLC2015, チェコ, プラハ, 2015 年 6 月 28 日-7 月 3 日.

⑪ 金島清太, 平岡一幸, 側鎖型キラルスメクチック A 液晶エラストマーの相転移と電界誘起変形, 2015 年度繊維学会, 東京, 繊維学会, 2015 年 6 月 10-12 日.

⑫ 川崎良太, 山本愛実, 小宮研一郎, 平岡一幸, スメクチック液晶におけるキラリティと分子ゆらぎ, 2015 年春期 62 回応用物理学会, 神奈川, 応用物理学会, 2015 年 6 月 10-12 日.

⑬ 平岡一幸, 住友昌平, 主鎖型液晶エラストマーの変形挙動と配向秩序パラメータ, 第 4 回ソフトマター研究会, 名古屋, ソフトマター研究会, 2015 年 1 月 6 日.

⑭ 佐藤 茜, 金島清太, 住友昌平, 平岡一幸, 配向した主鎖型スメクチック液晶エラストマーの大きな変形挙動, 2014 年日本液晶学会討論会, 島根, 日本液晶学会, 2014 年 9 月 8-11 日.

⑮ 川崎良太, 柴野周平, 山本愛実, 小宮研一郎, 平岡一幸, スメクチック液晶におけるキラリティ導入による分子ダイナミクスへの影響, 2014 年日本液晶学会討論会, 島根, 日本液晶学会, 2014 年 9 月 8-11 日.

⑯ 平岡一幸, 橋本常弘, キラルスメクチック液晶エラストマーのエレクトロメカニクス, 2014 年度繊維学会, 東京, 繊維学会, 2014 年 6 月 11-13 日.

⑰ K. Hiraoka, T. Hashimoto, and T. Tashiro, Electroclinic and Piezoelectric Effects of a Chiral Smectic A Elastomer, 25th International Liquid Crystal conference, アイルランド, 国際液晶学会, 2014 年 6 月 29 日-7 月 4 日.

⑱ 平岡一幸, 橋本常弘, キラルスメクチック液晶エラストマーの電傾効果と圧電効果, 2014 年春期 61 回応用物理学会, 神奈川, 応用物理学会, 2014 年 3 月 17-20 日.

⑲ 橋本常弘, 市田拓魅, 持田耕平, 平岡一幸, 試料変形を伴わず配向変化する SmC*液晶エラストマー, 2013 年日本液晶学会討論会, 大阪, 日本液晶学会, 2013 年 9 月 8-10 日.

⑳ 住友昌平, 栗原遼, 森河健二, 平岡一幸, 主鎖型スメクチック液晶エラストマーにおける応力印加架橋と配向挙動, 2013 年日本液晶学会討論会, 大阪, 日本液晶学会, 2013 年 9 月 8-10 日.

㉑ 柴野周平, 小林琢哉, 山本愛実, 小宮研一郎, 平岡一幸, ¹³C-NMR によるキラルならびにアキラルなスメクチック液晶のダイナミクスの研究, 2013 年日本液晶学会討論会, 大阪, 日本液晶学会, 2013 年 9 月 8-10 日.

㉒ 平岡一幸, 持田耕平, 森河健二, スメクチック液晶エラストマーにおける変形履歴の記憶, 2013 年度繊維学会, 東京, 繊維学会, 2013 年 6 月 12-14 日.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 液晶エラストマーの製造方法, 特開 2016-047880, (特許出願)

発明者: 平岡一幸

権利者: 学校法人東京工芸大学

種類: 特許

番号: 特願 2014-172967

出願年月日: 平成 26 年 8 月 27 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.lssc.t-kougei.ac.jp/biomimetic/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平岡 一幸 (Hiraoka, Kazuyuki)

東京工芸大学・工学部・教授

研究者番号: 50267530

(2) 研究分担者

なし。

(3) 連携研究者

なし。