

機関番号 : 32708

研究種目 : 基盤研究 (C)

研究期間 : 2008 年度 ~ 2010 年度

課題番号 : 20550167

研究課題名 (和文) 液晶エラストマーの形状記憶に対する架橋トポロジー効果

研究課題名 (英文) EFFECT OF CROSSLINKED TOPOLOGY ON SHAPE MEMORY OF 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

研究成果の概要 (和文) : 液晶エラストマーはポリマーネットワークの力学的性質と液晶の異方性を併せ持つ新しい材料であり、相転移時のメソゲンの再配列を試料形状に反映させることにより形状記憶機能を付与できる。本研究ではキラルスメクチック C (SmC*) 相を持つ液晶エラストマーを中心に形状記憶に対する架橋トポロジー効果について研究を行った。捩れ変形架橋によりメソゲンの傾きが捩れ変形と掌性カップリングすることを示すと同時に、螺旋分子配列に伴う巨視的捩れ変形の発現を確認した。さらに、自発分極の電界応答に伴う形状変化の観測から、メソゲンの電傾効果とエラストマーの巨視的変形とのカップリング機構について考察した。

研究成果の概要 (英文) : Liquid-crystalline elastomers have attracted both industrial and scientific interests because of their shape memory effect caused by rubber elasticity with anisotropic molecular alignment of liquid crystalline phases. In this study, we have focused on chiral smectic C (SmC*) elastomers because of their additional structures and properties such as the helical structure and ferroelectricity owing to their chirality and local C₂ symmetry. The stimuli-responsive behavior, such as the biaxial shape memory effect in thermo-mechanical responses, the electric response to mechanical excitation due to the piezoelectric and electroclinic effects, and twist deformation during the SmC*-SmA transformation, have been investigated. Additionally, we report chiral mechanical coupling between tilt and twist in SmC* elastomers.

交付決定額

(金額単位 : 円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野 : 化学

科研費の分科・細目 : 材料化学・機能材料・デバイス

キーワード : (1) 液晶, (2) 高分子液晶, (3) 液晶エラストマー, (4) 主鎖型高分子液晶, (5) 架橋剤, (6) 光学活性分子, (7) 人工筋肉, (8) 高分子構造・物性

1. 研究開始当初の背景

液晶エラストマーは液晶の異方的な機能とエラストマーの力学的性質を併せ持つ新しい材料である。形態が液状ではなくソフト

な固体であることから、従来の液晶性材料では実現できなかった新たな機能、例えば相転移における自発的な伸縮性能、を利用した人工筋肉などへの応用が期待されている。この

自発的な伸縮は等方相⇔液晶相転移におけるポリマーネットワークの異方的な再配列による。

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既になされており、等方相⇔ネマチック相転移の伸縮を用いた“熱-力学変換”素子について多くの研究例がある ([1] 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.), [2] M. Warner, E. M. Terentjev, “*Liquid Crystal Elastomers*”, Oxford Sci. Press., Clarendon 2003.). 特に、主鎖型高分子を含んだネマチック液晶エラストマーは、その等方相⇔ネマチック相転移において、300%を超える伸縮が報告されている (H. Wermter, H. Finkelmann, *e-Polymer* 2001, 013 (http://www.e-polymers.org/papers/finkelmann_210801.pdf)).

本研究開始時、既にスメクチック液晶エラストマーについてもスメクチック A(SmA)相の変形機構を中心に組織的な研究が始められていた ([1]R. Zentel, *Angew. Chem. Adv. Mater.* 1989, 101, 1437. [2]E. Nishikawa, H. Finkelmann, *Macromol. Chem. Phys.* 1999, 200, 312. [3] A. Komp, H. Finkelmann, *Macromol. Rapid Commun.*, 2007, 28, 55.). しかし、2軸性の対称性であるスメクチック C(SmC*)相や螺旋構造を持つキラル液晶相を発現する液晶エラストマーについては検討例がほとんどなかった。さらに、従来のスメクチックエラストマーの研究では、ほとんどが側鎖型液晶エラストマーを用いており、主鎖型スメクチック液晶エラストマーの相転移挙動や自発的・可逆的な変形機構についての系統的な実験はなされていなかった。

2. 研究の目的

ポリマーネットワーク形成時の架橋トポロジーの工夫により、変形機能の高性能化や複雑で高機能な新たな変形機能の付与が期待される。本研究では、1次元結晶・2次元液体であるスメクチック液晶相を持つ液晶エラストマーを中心に研究を行った。特に、2軸的対称性であるスメクチック C(SmC)相、さらに自発分極を持ち螺旋状の分子配列を持つキラルスメクチック C(SmC*)相を取り上げた。自発分極の電界応答に伴う液晶エラストマーの形状変化や、相転移に伴う分子再配列の形状変化への反映を検討することで、2軸性変形や捩れ変形など複雑な形状変化機能を持つ材料の開発を目的とした。

また、高分子と液晶の双方の異方性が直接カップリングする主鎖型高分子液晶を原料とすることで、異方性の強いネットワークト

ポロジーを導入し、飛躍的に大きな変形能力を持つ形状記憶材料の開発を目的とした。

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、ポリシロキサン主鎖へヒドロシリル化により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。架橋反応過程において力場を加えることにより配向を制御した液晶エラストマーを作成した。

後者は、メソゲンとして Bibenzoate を柔軟鎖としてアルキルジオールを各々用いて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) を添加することにより得た主鎖型液晶エラストマーである。前者と同様に、応力を加えながら架橋反応を行うことにより、メソゲンが配向した液晶エラストマーを得た。

(2) 配向状態の評価

得られた試料について、X線回折と偏光顕微鏡観察を併用し、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) 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既存の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、形状変化における可逆性を評価した。

さらに、本申請予算により高電圧電源を購入し、既存の変形観測システムに組み入れることで電界誘起変形の観測を行った。

4. 研究成果

主な研究成果は以下の通りである。

(1) 架橋トポロジー効果の検討

① 側鎖型液晶エラストマーの変形挙動に対するクロスリンカー効果 (雑誌論文 7, 11)

メソゲン型クロスリンカー (硬いクロスリンカー) とハイドロキノン型クロスリンカー (柔軟なクロスリンカー) を用い2種類の液晶エラストマーを合成し、熱-変形挙動を比較・検討した。SmC*相から SmA 相にかけて、前者は層の傾き角が減少しダイレクター方向の試料長も収縮したが、後者はメソゲンの傾き角が減少し層法線方向に試料が伸びた。これら結果から液晶エラストマーの変形がクロスリンカーの選択により制御できることがわかった。

②主鎖型スメクチック液晶エラストマーの

熱変形挙動 (雑誌論文 9)

液晶性と高分子性が直接カップリングした主鎖型高分子液晶を用いた液晶エラストマー (以下、主鎖型液晶エラストマー) を合成し、熱変形挙動を検討した。1 軸配向した主鎖型液晶エラストマーを室温から等方相へ繰り返し昇降温させたところ、等方相の試料長を 1 として、等方相-液晶相間で 1.5 倍程度の可逆的伸縮が確認された。試料長は X 線回折像から求めた秩序パラメーターと線形関係にあった。液晶相の X 線回折像においてメソゲンの 1 軸配向にも関わらず層の配向が認められないことから、等方相における熱処理によりサイボタクチック・ネマチック構造が出現したものと推定した。

(2) キラル液晶エラストマーの複雑変形

① SmA*液晶エラストマーの電傾効果と電界誘起変形 (雑誌論文 1, 2)

ポリシロキサン主鎖にメソゲン側鎖としてコレステリック誘導体を導入したキラルスメクチック A (SmA*) 液晶エラストマーを合成した。SmC*相は現れず SmA*相のみが発現した。SmA*相において電傾効果 (光軸変化) と巨視的な変形が (正方形形状から単斜形状へ) 観測された。1 次元結晶 (層構造) であることを反映し、光軸の傾きに伴う層伸縮と層法線方向の試料伸縮は同程度であった。一方、層内分子の液体的秩序に起因する分子再配列のため、フィルム変形の傾きは光軸の傾きの 1/50 程度しか反映しなかった。

② SmC*液晶エラストマーの電界誘起変形 (雑誌論文 2, 5, 6)

自発分極の発現が期待されるキラルスメクチック C (SmC*) 相を有する液晶エラストマーを合成し、H20 年度購入の高電圧電源を用いて電界誘起変形を観測した。電傾効果による層法線方向の伸縮が観測され、SmC*-SmA 相転移における同効果のソフト化を確認した。

③ ヘリカルメカノクリニック効果 (雑誌論文 2, 3)

SmC*相を有する主鎖型高分子液晶 S-BB-4* (2Me)/6 を SmA 相 (210°C 程度) で熱架橋し主鎖型液晶エラストマーを合成した。1 軸延伸下の架橋で得られた試料は、室温でもメソゲンの傾きは認められず SmA 相のみを発現した。原料ポリマーの SmC*相における螺旋掌性と同一方向の右捩れ変形を加えながら架橋した試料は、室温でメソゲンが層法線から 16° 傾いた SmC*構造となった。しかし、左捩れ変形を加えた試料は数度程度以下の傾きであった。この結果より、メソゲンの傾きと捩れ変形との間に掌性カップリングがあることがわかった。

(3) 液晶秩序とナノダイナミクスの検討

① Amphotropic 液晶性に基づく新たな秩序構造の探索 (雑誌論文 8)

MHPOBC を「棒状分子」として、octane などのアルカン類を「鎖状分子」として選び、

その混合比を変えた系の相転移挙動ならびに出現するスメクチック液晶の構造について研究した。いずれの場合も、結晶相から液晶相への転移に際して層間隔が 35Å から 60Å 程度に不連続に増加し、スメクチック相内では層間隔が温度の増加に伴い減少した。これらの層間隔の温度依存性は混合比にほとんど依存しなかった。一方、溶媒の混合比の増加に伴い層内のメソゲン分子間隔は広がる傾向を見せた。これは層内メソゲン分子間に、溶媒分子が浸入した結果と考えられる。

② 逐次相転移における液晶のナノダイナミクス (雑誌論文 4, 10)

より多彩な液晶エラストマーの変形機構を探索するため、低分子スメクチック液晶のダイナミクスを検討した。13C-NMR を用いてスピン-格子緩和を観測し、相転移に伴う分子ダイナミクスを核レベルで解析した。液晶から結晶への転移に伴い、骨格部が凍結するものの、柔軟鎖の運動性は連続的低下することが分かった。

(4) 主鎖型スメクチック液晶エラストマーの UV 架橋による配向制御 (投稿準備中)

主鎖型高分子液晶 S-BB-4* (2Me)/6 をいくつかの液晶温度領域において UV 架橋しポリマーネットワークを得た。SmC*相で架橋した試料は螺旋構造を持ち、SmC*-SmA 相転移において螺旋の解けに伴う巨視的捩れ変形が観測された。SmA 相で架橋した試料は、室温でもメソゲンの傾きは認められず SmA 相のみを発現し、SmA-Iso 転移で層法線方向に伸縮した。Iso 相で架橋した試料ではスメクチック相は出現せず、異方的変形は観測されなかった。

(5) 側鎖型 SmC*液晶エラストマーにおけるソフト弾性 (投稿準備中)

応力印加履歴の異なる 2 種類の均一配向 SmC*エラストマー (「SmA-SmC*相転移時にせん断応力印加架橋を行った均一配向 SmC*エラストマー」と「SmC*相における層方向の延伸による均一配向 SmC*エラストマー」) を合成し、両者の昇降温における変形挙動と分子再配列を検討した。両者とも液晶相から等方相にかけての昇降温で 2 軸性の形状記憶機能を有していた。せん断変形試料はモノドメイン試料であるため、SmA 相から SmC*相転移にかけて、メソゲンの傾きと同程度の傾きで、試料形状が正方形形状から単斜形状へと可逆的に変形した。一方、延伸試料は同相転移において層の傾きが確認されたが試料形状はほとんど変化しなかった。これは、延伸試料がポリドメイン試料であり、各ドメインが独立に回転する (傾く) ため、巨視的な形状変化を伴わなかったものと考えられる。

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下線）

〔雑誌論文〕（計 11 件）

(1) K. Hiraoka, T. Kishimoto, M. Kato, and T. Tashiro, “Electroclinic and electromechanic effects in a side-chain chiral smectic A elastomer”, *Liquid Crystal*, 2011, 38, 489. (査読有)

(2) K. Hiraoka, T. Tashiro, M. Kobayashi, R. Kazama, and W. Sagano, “Symmetry and stimulus response of chiral smectic liquid-crystalline elastomers” Proc. SPIE, Vol. 7775, 777509/1-8 (2010). (査読有)

(3) T. Tashiro, Y. Kondo, K. Hiraoka, “Helical mechanoclinic deformation of main-chain chiral smectic elastomers”, *Macromolecular Rapid Communications*, 2010, 31, 1948-1953. (査読有)

(4) K. Komiya, M. Nanamiya, M. Oshima and K. Hiraoka, “Molecular Dynamics in smectic and Crystalline phases studied by ^{13}C -NMR Spin-Lattice relaxation time Observation”, *Ferroelectrics* 2010, 394, 16-21. (査読有)

(5) K. Hiraoka, S. Toyoda, Y. Hourai, M. Tokita and J. Watanabe “Influence of DC Electric Field on Collective Fluctuation of Main-Chain Ferroelectric Liquid-Crystalline Polyesters: Polymeric Effect on Collective Fluctuation”, *Applied Physics Express*, 2010, 3, 011701. (査読有)

(6) K. Hiraoka, M. Kobayashi, R. Kazama, and H. Finkelmann, “Electromechanics of a Monodomain Chiral Smectic C Elastomer: Mechanical Response to Electric Stimulation”, *Macromolecules* 2009, 42, 5600-5604. (査読有)

(7) K. Hiraoka and H. Finkelmann, “Crosslinking Topology and Deformation Behavior of Smectic Liquid-Crystalline Elastomers”, *Jpn. J. Appl. Phys.* 48 (2009) 061505. (査読有)

(8) K. Hiraoka, A. Kato, H. Hattori, Y. Sasaki, Y. Omata, K. Koguma, N. Ban, and M. Oshima, “Phase Transformation of Swollen Thermotropic Liquid Crystals Studied by X-ray and ^2H -NMR Measurements”, *Mol. Cryst.*

Liq. Cryst. 509 (2009) 1-8. (査読有)

(9) K. Hiraoka, T. Tashiro, M. Tokita, and J. Watanabe, “Spontaneous deformation of main-chain liquid-crystalline elastomers composed of smectic polyesters”, *Liquid Crystals*, 36 (2009) 115-122. (査読有)

(10) K. Hiraoka, A. Iwahori, H. Shiroshita, H. Hara and M. Nanamiya, and M. Oshima, “Chirality and Molecular Dynamics in Smectic Compound Studied by ^{13}C -NMR Spin-Lattice Relaxation Time Observation”, *Ferroelectrics*, 364 (2008) 129-135. (査読有)

(11) # K. Hiraoka, N. Tagawa, K. Baba, “Shape-Memory Effect Controlled by the Crosslinking Topology in Uniaxially-Deformed Smectic C Elastomers”, *Macromol. Chem. Phys.*, 209, (2008), 298-307. (査読有)

#は本科研費執行前に行った研究であるが、関連の深いテーマなので本報告書に載せた。

〔学会発表〕（計 44 件）

(1) Thermomechanics of Main-Chain Liquid-Crystalline Elastomers Cross-Linked at Isotropic, Smectic A, and Chiral Smectic C phases., K. Hiraoka, K. Onozuka, Y. Kondo, and T. Tashiro, The International workshop on Physics of Poly-Domain Liquid Crystalline Elastomers”, 2011年6月9-11日, 上海交通大学 (招待講演)

(2) 主鎖型高分子液晶エラストマーのキラリティと捩れ変形, 田代徹, 近藤友惟, 小野塚康太, 平岡一幸, 2011年春期 58 回応用物理学会, 神奈川, 応用物理学会, 2011年.

(3) UV 架橋により合成された主鎖型液晶エラストマーの自発変形, 近藤友惟, 田代徹, 平岡一幸, 2010 年度液晶学会討論会, 福岡, 2010 年.

(4) キラルスメクチック液晶エラストマーの電界誘起変形, 加藤昌之, 岸本豊寿, 平岡一幸, 2010 年度液晶学会討論会, 福岡, 2010 年.

(5) ねじり変形下で架橋したキラルスメクチック液晶エラストマー, 田代徹, 近藤友惟, 小野塚康太, 平岡一幸, 2010 年度液晶学会討論会, 福岡, 2010 年.

(6) ^{13}C -NMR によるスメクチック相から結晶相における分子運動の研究 (II), 小宮研一郎、平岡一幸, 2010 年度液晶学会討論会, 福岡, 2010.

(7) UV 架橋により合成された主鎖型液晶エラストマーの構造と力学物性, 近藤友惟・田代徹・平岡一幸, 第 59 回高分子学会討論会, 札幌, 2010 年.

(8) キラルスメクチック液晶エラストマーにおいてねじれ変形により誘起されるメンゲンの傾き, 平岡一幸、近藤友惟、小野塚康太、田代 徹, 第 59 回高分子学会討論会, 札幌, 2010 年.

(9) 主鎖型液晶エラストマーの可逆変形と力学的性質(II), 小野塚 康太、田代 徹、平岡一幸, 2010 年度液晶学会討論会, 福岡, 2010 年.

(10) Symmetry and stimulus response of chiral smectic liquid-crystalline elastomers, K. Hiraoka, T. Tashiro, M. Kobayashi, R. Kazama, and W. Sagano, 2010SPIE conference, USA, 2010 年, (招待講演)

(11) Symmetry and Molecular Stimulus Response of Smectic-C Elastomers, K. HIRAOKA, T. Tashiro, Y. Kondo, T. Kishimoto, K. Onozuka, M. Kato, 23rd International Liquid Crystal Conference, Poland, 2010 年.

(12) Amphotropic Properties of Binary Mixtures of Rod-like Molecule and Solvents, Ken-ichi Miyazono, Shizuka Ujiie, Masato Oshima, and Kazuyuki Hiraoka, 23rd International Liquid Crystal Conference, Poland, 2010 年.

(13) 液晶エラストマーの対称性と刺激応答, 平岡一幸, 第 65 回繊維学会年次大会, 東京, 2010 年.

(14) Symmetry and Stimulus Response of Smectic-C Elastomers, Kazuyuki HIRAOKA, Ryugo KAZAMA, and Manami KOBAYASHI, 第 59 回高分子学会年次大会, 横浜, 2010 年.

(15) スメクチック C 液晶エラストマーの形状記憶と応力履歴記憶, 板垣成将, 平岡一幸, 2010 年春期 57 回応用物理学会, 東海大学, 2010 年, (学会発表 (国内学会))

(16) 棒状分子のアンフォトロピック特性, 平岡一幸, 宮菌健一, 2010 年春期 57 回応用物理学会, 東海大学, 2010 年.

(17) 主鎖型液晶エラストマーの可逆変形と力学的性質, 田代 徹、中村武裕、平岡一幸, 2009 年度日本液晶学会討論会, 東京農工大, 2009 年.

(18) スメクチック液晶エラストマーの形状記憶と応力履歴記憶, 板垣成将、畔上里江子、持田耕平、平岡一幸, 2009 年度日本液晶学会討論会, 東京農工大, 2009 年.

(19) アルカンにより膨潤したスメクチック液晶の構造と物性, 宮菌健一、伴 信行、平岡一幸, 2009 年度日本液晶学会討論会, 東京農工大, 2009 年.

(20) キラルスメクチック C エラストマーの電界誘起変形 (II), 岸本豊寿、小林愛実、平岡一幸, 2009 年度日本液晶学会討論会, 東京農工大, 2009 年.

(21) スメクチック C エラストマーのサーモメカニクスとエレクトロメカニクス, 平岡一幸, 2009 年度日本液晶学会討論会, 東京農工大, 2009 年.

(22) UV 架橋により主鎖型高分子液晶を用いた液晶エラストマーの合成とその性質, 近藤友惟, 田代徹, 平岡一幸, 2009 年度液晶学会討論会, 東京農工大, 2009 年.

(23) Emergence of Cybotactic Nematic Structure during Successive Phase Transitions of Main-Chain Liquid-Crystalline Elastomers Composed of Smectic Polyesters, Tohru Tashiro and Kazuyuki Hiraoka, 5th International Conference of Liquid Crystal Elastomers, Ohio, USA, 2009 年.

(24) Electromechanics of Monodomain Chiral Smectic C Elastomer: Mechanical Response to Electric Stimulation, Kazuyuki HIRAOKA, Manami KOBAYASHI and Ryugo KAZAMA, 5th International Conference of Liquid Crystal Elastomers, Ohio, USA, 2009 年.

(25) Influence of DC Electric Field on Collective Fluctuation of Main-Chain Ferroelectric Liquid-Crystalline Polyesters, K. Hiraoka, 12th Conference on Ferroelectric Liquid Crystals, Spain, 2009 年.

(26) Molecular Dynamics in Smectic and Crystalline Phases Studied by ^{13}C -NMR Spin Lattice Relaxation Time Observation, Kazuyuki Hiraoka, Ken-ichiro Komiya and Masato Nanamiya, 12th Conference on Ferroelectric Liquid Crystals, Spain, 2009 年.

(27) Mechanical Response to Thermal and Electric Stimulations of Chiral Smectic C Elastomer, Kazuyuki HIRAOKA, Manami KOBAYASHI and Ryugo KAZAMA, 12th Conference on Ferroelectric Liquid Crystals, Spain, 2009 年.

(28) 主鎖型高分子液晶エラストマーの相転移とサイボクチック構造の発現, 平岡一幸、田代徹, 第 64 回繊維学会年次大会, 東京, 2009 年.

(29) 主鎖型高分子液晶エラストマーの相転移と自発変形, 田代徹, 近藤友惟, 平岡一幸, 第 58 回高分子学会年次大会, 神戸, 2009 年.

(30) スメクチック液晶エラストマーの配向制御と機能化, 平岡一幸, 2008 年日本液晶学会・研究フォーラム合同講演会, マホロバ・マインズ三浦、三浦、神奈川, 2008 年 (招待講演) .

(31) スメクチック液晶エラストマーの形状記憶とクロスリンクトポロジー, 近藤友惟、田代 徹, 平岡一幸, 2008 年度日本液晶学会討論会, キャンパスプラザ京都、京都, 2008 年.

(32) ^{13}C -NMR スピン格子緩和時間測定によるスメクチック液晶におけるキラリティと分子運動の研究(III), 小宮研一郎、七宮将人、平岡一幸, 2008 年度日本液晶学会討論会, キャンパスプラザ京都、京都, 2008 年.

(33) キラルスメクチック C エラストマーの電界誘起変形, 小林愛実、大塚直風間隆吾、田代徹、平岡一幸, 2008 年度日本液晶学会討論会, キャンパスプラザ京都、京都, 2008 年.

(34) スメクチック C 液晶エラストマーにおける応力印加架橋と自発変形, 畔上里江子、飯田香織、持田耕平、平岡一幸, 2008 年度日本液晶学会討論会, キャンパスプラザ京都、京都, 2008 年.

(35) 主鎖型高分子液晶を用いたポリマーネ

ットワークの可逆変形と分子再配列, 田代徹、平岡一幸, 2008 年度日本液晶学会討論会, キャンパスプラザ京都、京都, 2008 年.

(36) 膨潤スメクチック液晶における相転移挙動と分子配列解析(II), 伴信行、加藤陸志、小川高弘、佐々木吉則、平岡一幸, 2008 年度日本液晶学会討論会, キャンパスプラザ京都、京都, 2008 年.

(37) スメクチック液晶エラストマーの対称性とトポロジー, 田代徹、平岡一幸, 2008 年度日本液晶学会討論会, キャンパスプラザ京都、京都, 2008 年.

(38) スメクチック液晶エラストマーのクロスリンクトポロジーと可逆変形, 平岡一幸, 第 62 回繊維学会年次大会, タワーホール船堀、東京, 2008 年.

(39) Phase Transformation of Swollen Thermotropic Liquid Crystals Studied by X-ray and ^2H -NMR Measurements, Atsushi Kato, Hideaki Hattori and Kazuyuki Hiraoka, 22nd International Liquid Crystal Conference, Juju, Korea, 2008 年.

(40) Reversible Deformation of Polymer Networks Composed of Main-Chain Smectic Polyesters, Thoru Tashiro and Kazuyuki Hiraoka, 22nd International Liquid Crystal Conference, Juju, Korea, 2008 年.

(41) 主鎖型高分子液晶を用いたポリマーネットワークの形状記憶効果, 田代徹、平岡一幸, 第 57 回高分子学会年次大会, パシフィコ横浜、神奈川, 2008 年.

(42) Crosslinking Topology and Reversible Deformation of Smectic Elastomers, Kazuyuki Hiraoka, 22nd International Liquid Crystal Conference, International Liquid Crystal Conference, , Juju, Korea, 2008 年.

(43) Electromechanics of Chiral Smectic C Elastomers, Kazuyuki HIRAOKA, International Symposium on Non-Equilibrium Soft Matter (P-60) , Kyoto, Japan, 2008 年.

(44) Shape memory effect exhibited by liquid-crystalline elastomers composed of smectic main-chain polyesters, Toru Tashiro and Kazuyuki Hiraoka, 2nd International symposium on the manipulation of advanced materials, P-44. ,

Awaji Yumebutai Int. Conf. Center, Hyogo,
Japan, 2008 年.

〔図書〕 (計 1 件)

(1) 平岡一幸 (分担執筆), ” 液晶エラストマー”, 液晶 —構造制御と機能化の最前線— (加藤隆史監修), pp. 203-216, CMC 出版 (2010)

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

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

松本 利彦 (MATSUMOTO TOSHIHIKO)

東京工芸大学・工学部・教授

研究者番号 : 50181780