

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 15 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009 - 2011

課題番号：21350123

研究課題名（和文）らせん状配向液晶とゲルのハイブリッド化による新しい物性の創出

研究課題名（英文）Novel properties of liquid crystal gels with helical alignment

研究代表者

浦山 健治 (URAYAMA KENJI)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：20263147

研究成果の概要（和文）：特定の方向に 90 度ツイストしたらせん配向をもつ液晶エラストマーを作製した。このエラストマーはらせん形状を示し、温度変化でらせん形態の左右の巻き向きが反転し、幅／厚みの比によってらせん形態がヘリコイドからスパイラルリボンに転移することがわかった。また、特定の方向に多数巻いたらせん配向をもつコレステリック液晶エラストマーを作製した。このエラストマーは、特定の向きと特定の波長の円偏光を選択反射し、ひずみによって選択反射の波長を可変できることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Twist nematic elastomers having a 90 degree twist alignment with definite handedness are prepared by chiral imprint method. The twist nematic elastomers exhibit a macroscopic helical form, and the reversal of the handedness is driven by temperature change. In addition, the shape transition between helicoids and spiral ribbons is induced by changing the width/thickness ratio. Cholesteric elastomers are prepared using reactive chiral LC monomers. The cholesteric elastomers reflect the left-circularly polarized light with a characteristic wavelength, and the corresponding wavelength is variable by imposed strain.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
21 年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
22 年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
23 年度	2,900,000	870,000	3,770,000
年度			
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：高分子物性

科研費の分科・細目：材料化学 高分子・繊維材料

キーワード：液晶，エラストマー，ゲル，キラリティ

1. 研究開始当初の背景

液晶エラストマーは液晶とエラストマーのハイブリッドであり、分子配向とゴム弾性のカップリングによる新規な刺激応答性材料として期待されている。特に、分子配向とマクロな材料の形状の強い相関は、液晶エラストマー特有の性質である。これまでに、

様々な配向秩序（ネマチック，スメクチック）をもつ液晶エラストマーが作製され、各液晶配向に特有の物性の発現が報告されてきた。一方で、液晶ディスプレイで有名な配向パターンであるツイストネマチック配向を液晶エラストマーの作製は報告されておらず、物性も未知のままであった。また、コレステリ

ック液晶エラストマーの作製例も限定されており、物性の詳細が明らかにされるには至っていない。

2. 研究の目的

反応性液晶エラストマーに所定量の非反応性キラルドーパントを混合することにより、膜の表裏面間で特定の方向に 90° ツイストした液晶エラストマーを作製する。得られたエラストマーの熱変形挙動を調べ、液晶配向との相関関係を明らかにする。また、キラリティをもつ反応性液晶モノマーを合成し、多数の巻数のらせん配向をもつコレステリック液晶エラストマーを作製する。同エラストマーのひずみや温度変化による光学応答特性の変化を明らかにする。得られた実験結果を説明する理論を構築する。

3. 研究の方法

非反応性のキラルドーパントを反応性液晶モノマーに適量混合し、配向膜が塗布されたガラスセル間で 90° ツイスト配向を誘起する。ガラスセルの配向膜の配向方向は直交させ、キラルドーパントの量を最適化することにより、セル間のツイスト角を 90 度に調整する。この状態で光開始ラジカル重合を行い、エラストマーを作製する。得られた試料の巨視的な形態を力学的拘束をうけない油浴中で温度を変数として観察する。液晶エラストマーの弾性モデルと有限要素法によるシミュレーションを行い、実験結果の理論的説明を行う。

キラリティをもつ反応性液晶エラストマーを合成し、これを用いて多数の巻数のらせん配向をもつコレステリック液晶エラストマーを作製する。作製時に溶媒を混合することによりらせん配向ピッチを可視光の波長程度に調整する。得られたエラストマーの反射スペクトルの温度およびひずみ依存性を調べ、選択反射特性の変化を明らかにする。

4. 研究成果

偏光顕微鏡観察などにより、研究方法に記した作製法でツイスト液晶エラストマーが得られていることが確認できた。

このエラストマーの短冊状試料は、マクロならせん形態を示した。らせんピッチは温度に強く依存し、ある温度ではらせんの極性の反転（左巻き、右巻き）が起こることがわかった。さらに、試料の幅／厚さの比を変化させると、ヘリコイド形態とスパイラルリボン形態間を転移することも発見した。液晶のらせん配向が、ゴムのマクロならせん形態を生み出し、さらにらせんの極性と形態転移を生むことを発見した成果は国内外で高い評価を得た。この研究は、分子のキラリティが物質のマクロな形状がどのように関わってい

るかということを実証したモデル実験になっており、液晶エラストマーという領域にとどまらず、自然科学の広い領域でインパクトを与えた結果として評価された。

合成したコレステリックエラストマーが赤色の左円偏光を選択反射することを確認した。このエラストマーは温度を上昇させると選択反射の波長が高波長側にシフトすると同時に、らせん軸方向の長さが増加した。また、らせん軸方向にエラストマーを圧縮すると、選択反射の波長が加えたひずみに比例して小さくなることがわかった。温度やひずみによって選択反射波長を可変できるユニークなエラストマーとして、同材料は注目を集めると考えられる。

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は下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

(1) K. Urayama, "Switching Shapes of Nematic Elastomers with Various Director Configurations", *React. Funct. Polym.*, 73, 885(2013). 査読あり DOI:10.1016/j.reactfunctpolym. 2012.10.008

(2) H. Higaki, K. Urayama, T. Takigawa, "Memory and Development of Textures of Polydomain Nematic Elastomers", *Macromol. Chem. Phys.*, 213, 1907 (2012). 査読あり DOI: 10.1002/macp.201200239

(3) K. Urayama, "Electro-Opto-Mechanical Effects of Swollen Nematic Elastomers", *Adv. Polym. Sci.*, 250, 119 (2012). 査読あり DOI: 10.1007/12_2010_107

(4) T. Okamoto, T., K. Urayama, T. Takigawa, "Large Electromechanical Effect of Isotropic Genesis Polydomain Nematic Elastomers", *Soft Matter* 7, 10585 (2011). 査読あり DOI:10.1039/C1SM06372C

(5) Y. Sawa, Y. Fangfu, K. Urayama, T. Takigawa, V. Gimenez-Pinto, R. Selinger, J. Selinger, "Shape Selection of Twist Nematic Elastomer Ribbons", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 108, 6364 (2011). 査読あり DOI:10.1073/pnas.1017658108

(6) Y. Sawa, K. Urayama, T. Takigawa, "Temperature responsive bending of nematic elastomers with hybrid molecular alignment", *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 549, 106 (2011). 査読あり DOI: 10.1080/15421406.2011.581157

(7) Y. Sawa, K. Urayama, T. Takigawa, T., A. DeSimone, L. Teresi, "Thermally Driven Giant Bending of Liquid Crystal Elastomer Films with Hybrid Alignment" *Macromolecules*, 43, 4362 (2010). 査読あり DOI:10.1021/ma1003979

(8) 浦山健治," 液晶エラストマー・液晶ゲルの多様な刺激応答特性"、物性研究、93, 579 (2010). 査読なし URL: <http://hdl.handle.net/2433/169245>

(9) 澤芳樹、浦山健治、瀧川敏算、DeSimone, A., Teresi, L. "ハイブリッド配向液晶エラストマーの熱屈曲挙動"、日本液晶学会誌、16(2), 56 (2012). 査読なし URL: <http://jglobal.jst.go.jp/public/2009042/2/201202248765118556>

(10) K. Urayama, E. Kohmon, M. Kojima, T. Takigawa, "Polydomain-Monodomain Transition of Randomly Disordered Nematic Elastomers with Different Cross-Linking Histories", *Macromolecules*, 42, 4084 (2009). 査読あり DOI:10.1021/ma9004692

(11) A. Fukunaga, K. Urayama, P. Koelsch, T. Takigawa, "Electrically driven director-rotation in swollen nematic elastomers as revealed by polarized Fourier transform infrared spectroscopy", *Phys. Rev. E*, 79, 051702 (2009). 査読あり DOI:10.1103/PhysRevE.79.051702

[学会発表] (計 10 件)

(1) K. Urayama, "Shape Selection and Variation of Twist Nematic Elastomer Ribbons", KIPS-ESPCI Workshop on Polymer Science 2011年11月28日, 京都

(2) 浦山健治," ツイスト配向液晶エラストマーリボンの形態の選択性と温度応答性"、2011年高分子討論会、2011年9月28日、名古屋

(3) 浦山健治," ツイスト配向液晶エラストマーリボンの形態の選択性と温度依存性"、2011年液晶討論会、2011年9月12日、東京

(4) K. Urayama, "Shape Selection of Twist Nematic Elastomer Films: Experimental Study", The 6th International Liquid Crystal Elastomer Conference, 2011年9月5日, Lisbon, Portugal

(5) K. Urayama, "Deformation and Mesogen

Reorientation of Polydomain Nematic Elastomers under Electric Fields"

The 2011 International Workshop on Physics of Poly-Domain Liquid Crystalline Elastomers, 2011年6月8日, Shanghai, China

(6) 浦山健治," 液晶/エラストマーハイブリッド材料の刺激応答特性", ゴム技術フォーラム「ソフトマテリアルの高機能化」, 2011年1月20日、東京

(7) 浦山健治," キラルインプリント法により作製した90度ツイスト配向液晶エラストマーリボンの形態変化と形態選択"、2010年エラストマー討論会、2010年12月9日、京都

(8) K. Urayama, "Shape Variations of Nematic Elastomer Ribbons with Nonuniform Director Configurations" The 23rd International Liquid Crystal Conference, 2010年7月11日, Krakow, Poland

(9) K. Urayama, "Thermal Deformations of Nematic Elastomer Ribbons with Nonuniform Director Configurations", The 5th Italian - Japanese Workshop on Liquid Crystals (JILC2010), 2010年7月6日, Cetrano, Italy

(10) 浦山健治," 液晶エラストマー・液晶ゲルの多様な外部刺激応答特性"、第19回日本MRS学術シンポジウム、2009年12月9日、横浜

[図書] (計 2 件)

(1) K. Urayama, T. Takigawa, "Electro-Mechanical Effects in Swollen Nematic Elastomers" in *Cross-Linked Liquid Crystalline Systems: From Rigid Polymer Networks to Elastomers*, Broer, D., Crawford, G. P., Zumer, S., Eds., Taylor & Francis, CRC Press (2011) p473-485.

(2) 浦山健治, "CSJ カレントレビュー01: 驚異のソフトマテリアル 最新の機能性ゲル研究、第11章 液晶ゲル"、化学同人 (2010) p117-123.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

http://www.cis.kit.ac.jp/~urayama/Kenji_Urayama.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浦山 健治 (URAYAMA KENJI)

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20263147

(2) 研究分担者 なし

()

研究者番号：

(3) 連携研究者 なし

()

研究者番号：