

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 30 日現在

機関番号：14303

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26620179

研究課題名(和文)ポリドメイン液晶エラストマーのソフト弾性を用いた熱駆動アクチュエータの新しい原理

研究課題名(英文)Thermally driven actuator based on polydomain liquid crystal elastomers with soft elasticity

研究代表者

浦山 健治 (Urayama, Kenji)

京都工芸繊維大学・材料化学系・教授

研究者番号：20263147

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：等方相で架橋したポリドメイン液晶エラストマー(I-PLCE)は、ランダムに配向した局所ダイレクタが外場に鋭敏に応答する(ソフト弾性)特性をもつことが研究代表者らによって見いだされている。本研究は、ソフト弾性をもつI-PLCEは極めて低い荷重によって荷重方向に一樣にモノドメイン配向するため、温度変化を与えるとモノドメインLCEのように荷重方向に大きく伸縮するのではないかという研究代表者の着想を実証する実験を行った。ポリアクリレートおよびポリシロキサン骨格の側鎖および主鎖型I-PLCEについて該当の実験を行い、最大で約50%の熱伸縮ひずみを観察し、この動作原理を実証した。

研究成果の概要(英文)：Polydomain liquid crystal elastomers fabricated by cross-linking in the isotropic state (I-PLCE) have randomly oriented local directors which respond sharply to external fields. Thermally driven elongation/contraction is expected for I-PLCE under finite loading despite the initial random orientation, because I-PLCE forms monodomain alignment along the loading axis due to the soft elasticity. We have demonstrated experimentally a finite degree of thermal actuation (ca. 50% strain as a maximum) occurs in the two types of I-PLCEs, i.e., polyacrylate-based side-chain type, and polysiloxane-based main-chain type. I-PLCEs have a strong advantage that they need no care for the liquid crystal alignment in the cross-linking reaction in contrast to the monodomain LCEs with initial global director.

研究分野：高分子物性

キーワード：液晶高分子 高分子液晶 液晶 ゴム エラストマー アクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

液晶とゴムの融合である液晶エラストマー (Liquid crystal elastomer: LCE) は、液晶の分子配向とゴムのマクロな変形が強く相関するユニークな特徴をもつ高分子材料である。このユニークな特徴を利用し、熱、電場、磁場、光照射、溶媒添加などの液晶配向を変化させる外場を与えることにより、LCE を変形駆動させる多くの試みが行われてきた。中でも、巨視的な一軸配向 (プラナー配向) をもつモノドメイン LCE は、温度変化によって数十%以上の伸縮を示し、全固体材料の中で最大の熱変形量を示す。プラナー配向モノドメイン LCE を作製するには、反応性液晶を巨視的に配向させた状態で架橋反応を行わなければならない。これまでに応力場、電場、磁場下での架橋反応が報告されているが、いずれも容易な手法とはいえず、作製の困難さが LCE を熱駆動アクチュエータとして応用するための障害となっていた。

2. 研究の目的

架橋時の液晶配向に特に処理を行わない場合、ランダムに配向した多数のドメインから成るポリドメイン配向の LCE (P-LCE) が生成する。研究代表者は、この P-LCE を伸長すると非常に小さな張力で巨視的な一軸配向状態に転移 (ポリドメイン-モノドメイン転移) することを過去の研究で見いだした。この P-LCE のソフト弾性とよばれる独特の性質を用いれば、わずかな荷重でモノドメイン化するため、荷重下のポリドメイン LCE はあたかもプラナー配向のモノドメイン LCE のように熱変形挙動を示すのではないかと、という着想に至った。

本研究は、P-LCE に荷重を印加した状態で温度変化を与え、熱伸縮挙動を調べ、モノドメイン配向 LCE の挙動と比較検討を行う。P-LCE の作製には等方相あるいは液晶相で架橋する 2 種類の方法がある。これらの架橋履歴が P-LCE の熱変形挙動に与える効果についても調べる。

本研究で提案する原理が実証されれば、架橋時の液晶配向操作をせずとも、巨大な熱伸縮を示す LCE が作製できることになり、LCE の学理の面だけでなく、応用展開のうえでも大きな意義がある。

3. 研究の方法

モノアクリレート液晶とジアクリレート架橋剤のラジカル共重合により、LCE を作製した。P-LCE は反応性液晶化合物の相転移温度よりも高い温度の等方相および低い温度の液晶相で架橋した 2 種類の試料を作製した (それぞれ、I-PLCE、N-PLCE とする)。モノドメイン配向試料は、配向膜を塗布したガラスセル中で配向させた化合物に対して反応を行い、作製した。

短冊状試料におもりをぶら下げ、恒温槽中で温度を変化させ、荷重方向の試料長を温度

を変数として測定した。

4. 研究成果

図 1. I-PLCE の荷重下の熱伸縮挙動

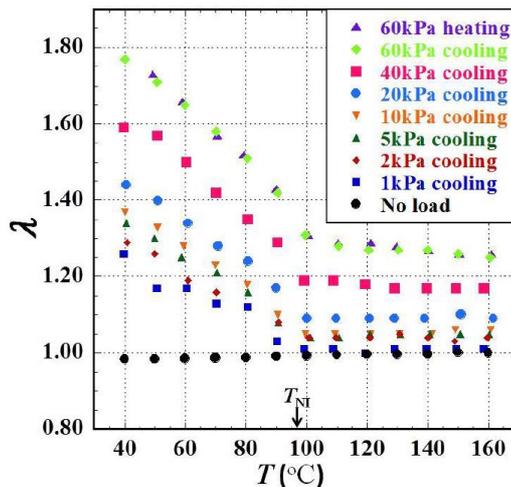


図 1 に I-PLCE の熱伸縮挙動を示す。は荷重方向の試料の長さであり、未荷重下の長さを 1 としている。未荷重状態で温度変化を与えたとき、に有意な変化はみられないことから、体積熱膨張 / 収縮の効果は無視できるほど小さいといえる。相転移温度 (95) 以上の等方相での荷重の増加に伴う の増加は、荷重による試料の伸びの増加によるものである。重要なことは、相転移温度以下の領域では、冷却とともに各荷重下の試料長が増加していることである。これは、荷重下の PLCE はモノドメイン LCE と同様に挙動することを示している。

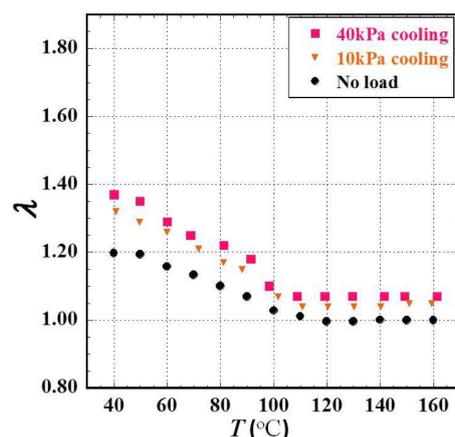


図 2. モノドメイン LCE の荷重下の熱伸縮

図 2 にモノドメイン LCE の熱伸縮挙動を示す。巨視的な一軸配向をもつため、無荷重下でも液晶相で試料長が冷却に伴い増加している。40kPa の応力下の はモノドメイン LCE と I-PLCE は同程度であり、荷重下の I-PLCE はモノドメイン LCE と同じ規模の熱伸縮を示

すことがわかる。

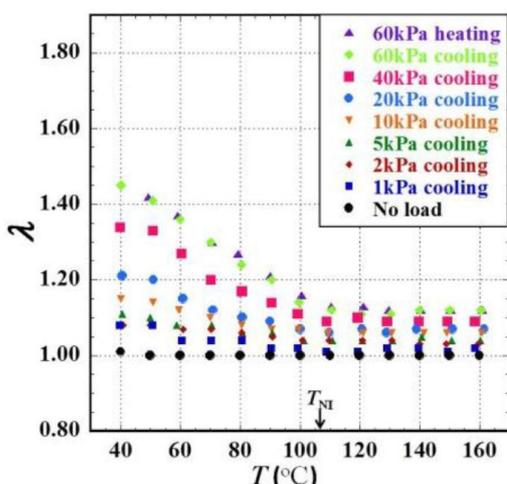


図3. N-PLCEの荷重下の熱伸縮挙動

図3に液晶相で架橋されたN-PLCEの荷重下の熱伸縮挙動を示す。N-PLCEも荷重下の液晶相温度領域では、熱伸縮挙動を示したが、その大きさは、I-PLCE(図1)と比べると小さい。これは、液晶相での架橋によりドメインの配向記憶があるために変形が阻害され、同じ荷重でも変形が小さくなったと考えられる。同様の差異が、一定の伸長速度でひずみを増加させていくことによって得られる応力-ひずみ関係でも観察されている。

以上のことから、本研究で提案したソフト弾性を利用したポリドメインLCEの熱駆動の原理は実証されたことがわかる。伸長以外の変形様式、例えば圧縮ひずみ下での熱伸縮挙動などについては未検討である。この原理が他の変形についても適用できるかどうかについては今後の検討課題である。

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 4件)

(1) Tamashima, K., Takigawa, T., Urayama, K., "Effects of Mechanical Constraint on Director Configuration of Monodomain Nematic Elastomers under Temperature Variation" *Nihon Reorji Gakkaishi*, **44**, 17-21 (2016). DOI:10.1678/rheology.44.17 査読あり

(2) Varanytsia, A., Nagai, H., Urayama, K., Pallfy-Muhoray, P., "Tunable Lasing in Cholesteric Liquid Crystal Elastomers with Accurate Measurement of Strain" *Sci. Rep.*, **5**, 17739 (2015) DOI:10.1038/srep17739. 査読あり

(3) Nagai, H., Urayama, K., "Thermal Response of Cholesteric Liquid Crystal Elastomers", *Phys. Rev. E*, **92**, 022501-1-6 (2015) DOI: 10.1103/PhysRevE.92.022501. 査読あり

(4) Tsuchitani, A., Ashida, H., Urayama, K., "Pronounced Effects of Cross-linker Geometries on the Orientation Coupling between Dangling Mesogens and Network Backbones in Side-Chain Type Liquid Crystal Elastomers", *Polymer*, **61**, 29-35(2015). DOI:10.1016/j.polymer.2015.01.069 査読あり.

〔学会発表〕(計 6件)

(1) Urayama, K., "Periodic Surface Modulation in Cholesteric Elastomers" The 8th International Liquid Crystal Elastomer Conference (ILCEC15) 2015年10月3日 Elice (イタリア)

(2) 浦山健治, "配向制御された液晶エラストマー/ゲルの多様な外場応答特性" 2015年応用物理学会秋期講演会 2015年9月13-16日, 名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)

(3) 浦山健治, "液晶性が付与されたエラストマー・ゲルの新奇な刺激応答特性" 液晶化学研究会 2015年5月15日, 名古屋大学(愛知県名古屋市)

(4) 浦山健治, "液晶性エラストマーの刺激応答特性" 第23回ポリマー材料フォーラム 2014年11月7日, 奈良県新公会堂(奈良県奈良市)

(5) Urayama, K., "Actuation of Liquid Crystal Elastomers and Gels" The IUMRS International Conference in Asia 2014 2014年8月25日, 福岡大学(福岡県福岡市)

(6) Urayama, K., "Actuation of Liquid Crystal Elastomers with Various Types of Director Configuration" NIMS Conference - A Strong Future from Soft Materials 2014年7月1日, つくば国際会議場(茨城県つくば市)

〔図書〕(計 1件)

(1) 浦山健治, "液晶エラストマー・液晶ゲルの刺激応答特性" ゲルテクノロジーハンドブック, 第1編第4章 NTS出版, 2014年 pp.132-137.

〔産業財産権〕

出願状況（計 0件）

取得状況（計 0件）

〔その他〕

研究代表者のホームページ：

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)

京都工芸繊維大学・材料化学系・教授

研究者番号：20263147

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：