

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02770

研究課題名(和文) ブロック共重合体マイクロ相分離を利用したモノドメイン液晶エラストマーの新規調製法

研究課題名(英文) Monodomain Liquid Crystal Elastomers Prepared Using Microstructure Forming Block Copolymers

研究代表者

戸木田 雅利 (Tokita, Masatoshi)

東京工業大学・物質理工学院・教授

研究者番号：30301170

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は液晶性高分子に普遍的に適用可能なMDLCEの調製法と設計指針の確立である。非晶セグメントが結合した液晶性高分子からなるLCBCPをマイクロ相分離させ、非晶セグメントに架橋を施す。この手法では液晶性高分子に架橋可能な非晶鎖を結合してマイクロ相分離させ、その構造を配向させることでMDLCEが簡便に調製できる。架橋は非晶部にのみ施されるので液晶構造に欠陥が生じることはない。上記の簡便な方法で調製されるBBx-BrAy-CLが、降温に伴い可逆に伸縮、張力を生じるMDLCPとなることを確認した。伸縮は1.4倍、張力は200 kPaであり、それぞれヒトの筋肉と心筋に匹敵するものであった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢化社会では多種多様な人体の動作を支援する細やかかつしなやかに動作する機器の需要が見込まれ、その機械要素として、外部刺激で形状がコントロールできる材料が注目を浴びている。そのような材料の1つにモノドメイン液晶エラストマー(MDLCE)がある。MDLCEは、一様に配向した高分子液晶に架橋を施したエラストマーである。その調製法は複雑で煩雑なものである。本研究では、液晶性高分子に架橋可能な非晶鎖を結合してマイクロ相分離させ、その構造を配向させたのちに架橋することでMDLCEが簡便に調製できる方法を確立した。

研究成果の概要(英文)：Monodomain liquid crystal elastomers (LCEs) have been prepared using liquid crystal block copolymers (LCBCPs) consisting of a nematic liquid crystal (NLC) main-chain polyester linked to cross-linkable polymethacrylate (PMA) at both ends. The LCBCPs were stretched in one direction and illuminated by UV light, yielding strips of monodomain LCEs composed of the LCBCP with the PMA blocks crosslinked via the thiol-ene reaction between the allyl moieties incorporated in the PMA segments and the thiol moieties. The NLC polyester with the LC director lying along the stretching direction (SD) was segregated from the crosslinked PMA block to form a lamellar microstructure. Raising the temperature caused the strips to decrease the LC orientational order. The strips fixed at one end contracted reversibly by a factor of 1.2-1.4 along the SD, deforming the microstructure. Those fixed at both ends increased the tensile stress to ~200 kPa while maintaining the microstructure unchanged.

研究分野：高分子科学

キーワード：液晶性高分子 エラストマー ブロック共重合体

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高齢化社会では握力が低下した人の指先の動きなど多種多様な人体の動作を支援する細やかかつしなやかに動作する機器の需要が見込まれる。このような機器の機械要素として、外部刺激(温度・光・電場・pH など)で形状がコントロールできる高分子ゲルや導電性高分子、エラストマーなどを応用した人工筋肉が考えられている。人工筋肉への応用を視野に活発に研究されている材料の1つにモノドメイン液晶エラストマー(MDLCE)がある。MDLCEは、単結晶のように一様に配向した高分子液晶に架橋を施したエラストマーで、液晶→液体相転移に伴う高分子鎖の形態変化によって液晶配向方向に大きく可逆に伸縮するのが特徴である。例えば、主鎖型液晶性高分子は、液晶状態では主鎖中にあるメソゲンの配向により液晶配向方向に伸長し、液体状態では系まり状の形態をとる(図1)。

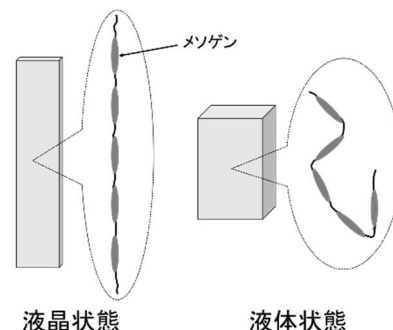


図1 液晶状態、液体状態での液晶エラストマーの試料形態と高分子鎖の形態

したがって、主鎖型液晶性高分子で調製した MDLCE は、液晶→液体相転移で液晶配向方向に大きく収縮し、液体→液晶転移で元の形態に戻る。報告されている MDLCE の調製法は大きく次の 3 つに区別される。液晶性モノマーを配向させて紫外線を照射、光化学反応で重合・架橋する方法 ある程度架橋した高分子液晶に荷重をかけてさらに架橋反応させる 2 段階架橋法 結合交換可能な架橋部位を液晶性高分子に導入し、伸張配向させた状態で結合交換させる方法。いずれの方法にも制約がある。厚さが十分に薄い試料にしか適用できないうえ、モノマーが液晶性でなければならない。手順が煩雑であるうえ、制御困難な 1 段階目の架橋度が MDLCE の伸縮挙動に影響する。特別な結合部位の導入が必要である。今のところ、簡便な MDLCE の調製法は見当たらない。

2. 研究の目的

本研究の目的は液晶性高分子に普遍的に適用可能な MDLCE の調製法と設計指針の確立である。非晶セグメントが結合した液晶性高分子からなる LCBCP をマイクロ相分離させ、非晶セグメントに架橋を施す。この手法では液晶性高分子に架橋可能な非晶鎖を結合してマイクロ相分離させ、その構造を配向させることで MDLCE が簡便に調製できる。架橋は非晶部にのみ施されるので液晶構造に欠陥が生じることはない。

LCBCP の 1 つに、ピフェニルジカルボン酸をメソゲンとした液晶性ポリエステル

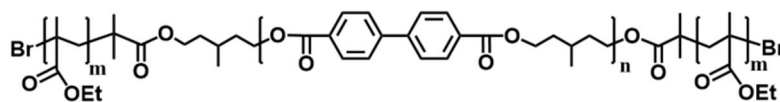


図2 液晶ブロック共重合体(LCBCP1)の化学構造

トが結合した LCBCP1 (図2)がある。我々は、LCBCP1 について次の 3 つの特徴を明らかにしてきた。2 種のセグメントが偏析してラメラ状マイクロ相分離(Lam)構造を形成する。延伸/熱処理で Lam 構造と液晶が配向したモノドメイン試料が調製できる。液晶セグメントの液晶→液体相転移でラメラ間隔が可逆に減少する。そこで、LCBCP1 をベースとして MDLCE の調製法を確立しようと考えた。

3. 研究の方法

LCBCP1 をベースとして, BB x -BrA y (x は液晶セグメントの数平均分子量 (kg/mol), y は非晶の重量分率(%))LCBCP2(図 3a)を設計した. BB x -BrA y の特徴は, 中央 B ブロックはネマチック液晶を形成する主鎖型液晶性高分子であること

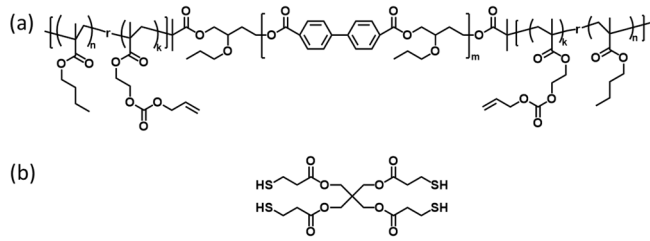


図 3 (a) BB x -BrA y と (b) pentaerythritol tetra(3-mercaptopropionate) (PETHTMP)の化学構造.

非晶性 B ブロック中にアリル基を有し, チオール基を持つ架橋剤 pentaerythritol tetra(3-mercaptopropionate) (PETHTMP) (図 3b) とクリック反応をして架橋ができることにある. BB x -BrA y を溶媒に溶解させ, PETHTMP と微量の光ラジカル発生剤 2-methyl-4'-(methylthio)-2-morpholinopropiophenone を添加したのち, 溶液をキャストしてフィルムを調製, そのフィルムを延伸させたのち, 紫外光を照射, ラジカルを発生させて架橋反応を進行させ, 液晶エラストマー BB x -BrA y -CL を調製した.

4. 研究成果

上記の簡便な方法で調製される BB x -BrA y -CL が, 降温に伴い可逆に伸縮, 張力を生じる MDLCP となることを確認した. 伸縮は 1.4 倍, 張力は 200 kPa であり, それぞれヒトの筋肉と心筋に匹敵するものであった.

BB x -BrA y -CL は構成セグメントを分離して微細構造を形成した. 電子顕微鏡 (TEM) 像 (図 4a, 4d) では, LC セグメントはアモルファスセグメントよりも優先的に染色され, 暗く見える. BB11-BrA36-CL は, 伸長方向に垂直なジグザグな縞を示した (図 4a). TEM 像右下に示した TEM 画像の高速フーリエ変換 (FFT) パターンは, 右側に示した小角 X 線散乱 (SAXS) パターン (図 4b) と同様, 内側に 4 点の極大を示した. 以上から BB11-BrA36-CL は図 4c に示すようなジグザグラメラ構造を形成していることが分かった. BB38-BrA27-CL の TEM 像

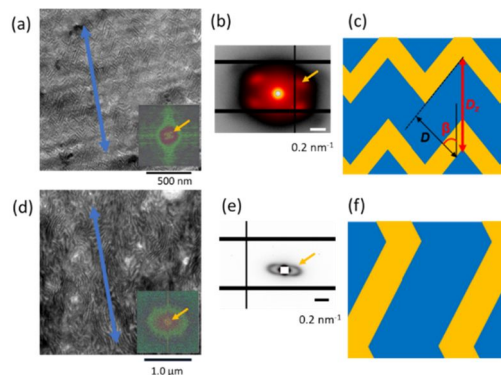


図 4. (a) BB11-BrA36-CL の TEM, (b) SAXS 像, (c) 微細構造の模式図. (d), (e), (f) は BB38-BrA27-CL のもの. TEM 像の青矢印は, 試料の長さ方向を示す. SAXS パターンは, 試料の長さ方向を垂直にして測定した.

には, 伸長方向に沿ってうねったストライプがあった. その FFT パターンは楕円体状の極大を示す. SAXS パターンは, 輪郭に沿って 4 つの極大値を持つ同様の楕円体型の散乱を示し, この散乱パターンを試料の長さ方向にうねったラメラと関連付けることができる. 散乱極大の方位角方向は, 山と谷の間のラメラの法線方向に対応している.

片端(両端)固定の BB x -BrA y -CL 試料短冊を液晶-液体相転移温度(T_i)以上に昇温していくと, 試料は長さ方向に収縮(張力を発生)するとともに, 液晶配向秩序を減少させた. BB x -BrA y -CL の配向秩序は, 液晶ポリエステル中のピフェニルに帰属される波数 1606 cm^{-1} のピークのラマン散乱二色比 R によって評価した. 図 5a および 5b に BB11-BrA36-CL の R の温度依存性を示し, 同じパネルに, BB11-BrA36-CL の DSC サーマグラムを追記した. 片端と両端を固定した短冊はいずれも, DSC の吸熱ピークの温度領域よりも広い温度領域で, R 値を 50°C の 7 から 105°C の

1 まで減少させている．以上からネマチック配向は短冊長さ方向に平行であり，試料固定の種類に関係なく， $T > T_i$ で完全に消失した． R 値の可逆性は， 50°C に冷却した短冊試料の R 値で確認した．

図 5a の下側に 片端を固定した BB11-BrA36-CL 短冊試料の昇温過程で測定した長さ (L) を， $T > T_i$ で測定した L_{iso} の値で除してプロットしている．この短冊は，ネマチック配向に平行な長さに沿って収縮し， L は元の長さの $1/1.4$ 倍まで減少し，ヒトの筋肉の収縮に匹敵した．図 5b の下部には，両端を固定した BB11-BrA36-CL ストリップについて測定した収縮応力 (σ) を温度に対してプロットしてある．この短冊は温度の上昇とともに σ を増加させ，ヒトの心筋で生じる σ に匹敵する 160 kPa に達した． σ は 3 回の加熱-冷却サイクルにわたって温度の上昇とともに可逆的に増加した．BB38-BrA27-CL 短冊についても， L/L_{iso} および σ の同様の温度依存性が測定された(図 5c)．BB38-BrA27-CL は BB11-BrA36-CL よりも 200 kPa 大きな σ を示す一方，収縮は $1/1.2$ と小さかった．

温度上昇による片端固定試料短冊の長さの減少と両端固定試料短冊の収縮応力の増加は，ネマチック配向秩序の減少とよく相関していた．図 6 に R に対して片端固定と両端固定短冊試料について測定した L/L_{iso} と σ をプロットした． L/L_{iso} と σ はそれぞれ， R の増加に伴って直線的に増加，減少する． R が同様の範囲にある場合のこれらの変化について 2 つのエラストマーを比較すると，BB38-BrA27-CL では σ の変化が大きく， L の変化が小さいことがわかる． σ の変化が大きいのは，ブロック共重合体の LC 分率が大きいためと考えた． L の変化は，ネマチックダイレクタに沿って測定した LC セグメントの末端間距離の変化に関連する．長い輪郭長を持つ主鎖 LC セグメントは，液晶状態でも折りたたまれているため，末端間距離を有意に減少させることなく，等方性液体へと転移できることが，長さ変化を小さくしていると考えた．

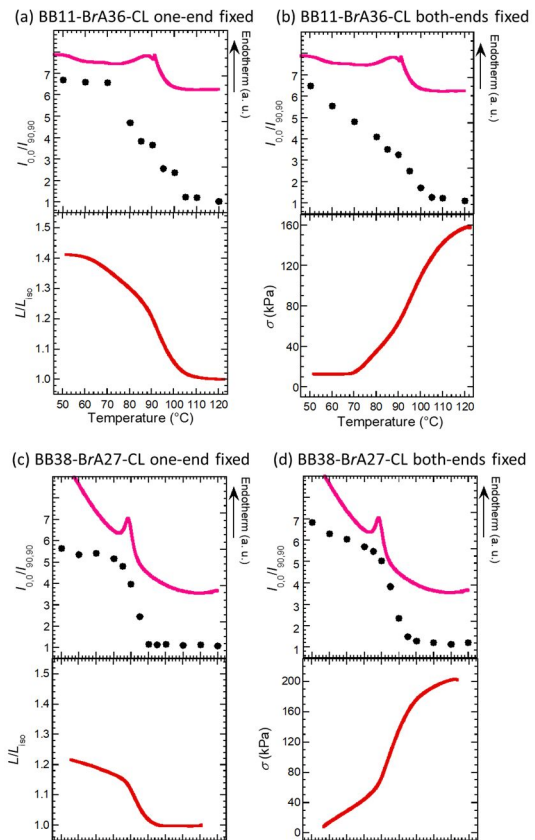


図 5. (a)片端固定および(b)両端固定の BB11-BrA36-CL 試料短冊，(c)片端固定および(b)両端固定の BB38-BrA27-CL 試料短冊について測定したラマンピークの二色比 ($R = I_{0,0}/I_{90,90}$ @ 1606 cm^{-1}) の温度依存性．各パネルの上部には，未固定試料の DSC サーマグラムを示した．(a)と(c)，(b)と(d)の下部はそれぞれ，各試料短冊の長さおよび引張応力の温度依存性．

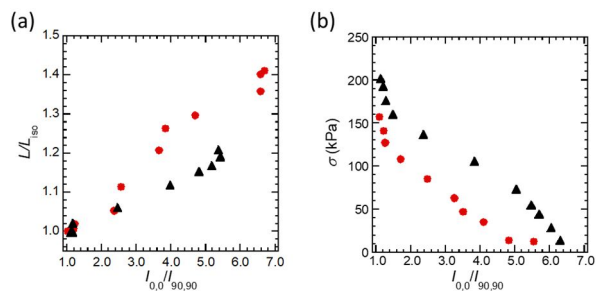


図 6. BB11-BrA36-CL (丸印) と BB38-BrA27-CL (三角印) のラマン散乱二色比 ($R = I_{0,0}/I_{90,90}$) に対する (a) 短冊試料の長さおよび (b) 収縮応力の変化．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kawahara Katsuki, Suzuki Ryoji, Tokita Masatoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of Smectic Layer Deformation on Mechanical Properties of Glassy Liquid Crystal Polymer Fibers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Macromolecular Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/macp.202300032	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 Sugita Yuki, Aoki Daisuke, Tokita Masatoshi, Otsuka Hideyuki	4. 巻 58
2. 論文標題 Mechanochromic cyclodextrins	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 3067 ~ 3070
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/d2cc00363e	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 Ishikawa Shinpei, Kawahara Katsuki, Tomizawa Shoki, Watanabe Yusuke, Tokita Masatoshi	4. 巻 4
2. 論文標題 Thermal Conductivity Enhancement of Liquid Crystal Polymer/Solid Particle Composites by Grafting a Main-Chain-Type Liquid Crystal Polymer onto Particle Surfaces	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Polymer Materials	6. 最初と最後の頁 6908 ~ 6915
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsapm.2c00845	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 Harada Hirofumi, Saito Takeshi, Tokita Masatoshi	4. 巻 55
2. 論文標題 Effect of Smectic Layers on Thermal Diffusivity of Side-Chain Polymer Liquid Crystals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 1178 ~ 1184
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.macromol.1c02222	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 Yagi Seiichiro, Oguro Masaaki, Tokita Masatoshi	4. 巻 223
2. 論文標題 Stress Response and Deformation of Block Copolymer Lamellae on Stretching in Normal Direction: Effects of Lateral Size of Lamellae	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Macromolecular Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 2100399 ~ 2100399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/macp.202100399	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 Hayashi Mikihiro, Kuribayashi Junpei, Tokita Masatoshi	4. 巻 211
2. 論文標題 Long-range lamellar formation in blends of divided-lamellar-forming liquid crystal block copolymers with liquid crystal homopolymers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 123086 ~ 123086
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2020.123086	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 Kuribayashi Junpei, Ishige Ryohei, Hayashi Mikihiro, Tokita Masatoshi	4. 巻 221
2. 論文標題 Deformation of Hierarchical Lamellar Structure Formed by a Liquid Crystalline Block Copolymer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Macromolecular Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 2000042 ~ 2000042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/macp.202000042	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 Hayashi Mikihiro, Kuribayashi Junpei, Tokita Masatoshi	4. 巻 178
2. 論文標題 Lamellar structures in blends of amorphous-block-main-chain liquid crystal-block-amorphous copolymers and amorphous homopolymers: Effects of the amorphous homopolymer molecular weight	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 121555 ~ 121555
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2019.121555	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 -

〔学会発表〕 計30件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 戸木田雅利
2. 発表標題 液晶性高分子の高次構造と機能物性
3. 学会等名 令和4年度後期CERI寄付講座（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 戸木田 雅利, 河原克紀, 鈴木 亮之
2. 発表標題 Effect of Smectic Layer Deformation on Mechanical Properties of Glassy Liquid Crystal Polymer Fibers
3. 学会等名 LPS0/MFS2022（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊悠介, 戸木田雅利
2. 発表標題 ポリマーグラフトナノ粒子の粘弾性特性
3. 学会等名 2022年 繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 戸木田雅利, 河原克紀, 鈴木亮之
2. 発表標題 主鎖型高分子スメクチック液晶の層変形と応力-ひずみ挙動
3. 学会等名 2022年繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柿澤勇介, 渡邊悠介, 戸木田雅利
2. 発表標題 板状粒子にグラフトしたポリアクリロニトリルの炭化
3. 学会等名 繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 束明華, 清浦正道, 戸木田雅利
2. 発表標題 磁性イオン液体側鎖を有するシンジオタクチックポリ置換メチレン
3. 学会等名 繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 下平遼太, 山岸さやか, 戸木田雅利
2. 発表標題 メソゲンが Spacer と側部で結合した側鎖型液晶性高分子の構造と相転移挙動
3. 学会等名 2022年度繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 富澤昇輝, 齋藤威, 戸木田雅利
2. 発表標題 オクタデシル側鎖ユニット導入による液晶性ポリメタクリレートの熱拡散率の増大
3. 学会等名 2022年繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊原花奈, 清浦正道, 山岸さやか, 戸木田雅利
2. 発表標題 主鎖炭素5個ごとにメソゲンが1つ結合した側鎖型液晶性高分子の液晶相挙動
3. 学会等名 繊維学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清浦正道, 相澤洋介, 戸木田雅利
2. 発表標題 側鎖にメソゲンを有するポリ置換メチレンの液晶相挙動に対するテール炭素数の影響
3. 学会等名 2022年繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清浦正道, 吉武彩乃, 戸木田雅利
2. 発表標題 イオン液体側鎖を有する液晶性ポリ置換メチレン
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清浦正道, 相澤洋介, 戸木田雅利
2. 発表標題 Liquid crystalline structures of poly(substituted methylene)s bearing 4-butoxyphenyl benzoate moieties at the side-chain ends
3. 学会等名 The 16th Asian Textile Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 戸木田雅利, 河原克紀, 鈴木亮之
2. 発表標題 Effect of Smectic Layer Deformation on Mechanical Properties of Glassy Liquid Crystal Polymer Fibers
3. 学会等名 The 16th Asian Textile Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 富澤昇輝, 齋藤威, 戸木田雅利
2. 発表標題 ビフェニルベンゾエイトをメソゲンに有する側鎖型高分子スメクチック液晶の構造と熱拡散率
3. 学会等名 2022年繊維学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木亮之, 河原克紀, 戸木田雅利
2. 発表標題 主鎖型高分子スメクチック液晶の一軸延伸による構造変化と応力応答
3. 学会等名 2022年繊維学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清浦正道, 相澤洋介, 戸木田雅利
2. 発表標題 側鎖末端にフェニルベンゾエイトを有するポリ置換メチレンの液晶構造
3. 学会等名 2022年度繊維学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山岸さやか, 塩田怜音, 戸木田雅利
2. 発表標題 メソゲンが側部でスペーサーと結合したブロック共重合体のマイクロ相分離挙動
3. 学会等名 繊維学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 戸木田雅利
2. 発表標題 高次構造の解析
3. 学会等名 高分子キャラクタリゼーションセミナー2021 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 戸木田雅利
2. 発表標題 高次構造の解析
3. 学会等名 高分子キャラクタリゼーションセミナー2021 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小黒聖明, 戸木田雅利
2. 発表標題 ブロック共重合体ラメラ状マイクロ相分離構造の伸長による変形と応力ひずみ挙動との相関
3. 学会等名 2021年繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小黒聖明 , 矢木誠一郎 , 戸木田雅利
2. 発表標題 液晶ブロック共重合体の単一ドメインラメラ状マイクロ相分離の 一軸延伸による変形と応力~非晶セグメント種と分子量の影響
3. 学会等名 2021年繊維学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山岸さやか , 塩田怜音 , 戸木田雅利
2. 発表標題 Side-on型メソゲンを有する液晶ブロック共重合体のマイクロ相分離構造
3. 学会等名 2021年繊維学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小黒聖明 , 矢木誠一郎 , 戸木田雅利
2. 発表標題 液晶ブロック共重合体が形成する単一ドメインラメラ状マイクロ相分離の一軸延伸による変形と応力~非晶セグメントと分子量の影響
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塩田怜音 , 戸木田雅利
2. 発表標題 Side-on側鎖型液晶性高分子を一成分としたブロック共重合体のマイクロ相分離構造と液晶配向
3. 学会等名 繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塩田 怜音, 戸木田 雅利
2. 発表標題 side-onメソゲンを有する液晶ブロック共重合体のミクロ相分離構造
3. 学会等名 繊維学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢木 誠一郎, 戸木田 雅利
2. 発表標題 液晶ブロック共重合体が形成するシェブロン構造と力学物性
3. 学会等名 繊維学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉武 彩乃, 戸木田 雅利
2. 発表標題 フルオロアルキル側鎖を有するポリ置換メチレンの構造と物性
3. 学会等名 繊維学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 栗林 純平, 戸木田 雅利
2. 発表標題 一軸延伸した液晶ブロック共重合体のミクロ相分離ラメラと液晶層構造
3. 学会等名 繊維学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塩田怜音, 戸木田雅利
2. 発表標題 side-onメソゲンを有する液晶ブロック共重合体のマイクロ相分離構造
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 矢木誠一郎, 戸木田雅利
2. 発表標題 液晶ブロック共重合体が形成するシェブロン構造と力学物性
3. 学会等名 高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 戸木田雅利	4. 発行年 2022年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 2
3. 書名 高分子材料の事典(4-18 液晶構造)	

1. 著者名 戸木田雅利	4. 発行年 2022年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 2
3. 書名 高分子材料の事典(6-17 液晶高分子)	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------