

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：32641

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2020

課題番号：19K22220

研究課題名（和文）ポラス型フォトクロミック液晶高分子の創出と光運動材料の自在スケーリングへの展開

研究課題名（英文）Fabrication of Photomobile Materials into Any Size with the Aid of Porous Liquid-Crystalline Polymers

研究代表者

池田 富樹（Ikeda, Tomiki）

中央大学・研究開発機構・機構教授

研究者番号：40143656

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：高分子光運動材料への多孔構造の導入と自在成形の手法を開拓した。主鎖にアゾベンゼンを含むポリウレタンを合成し、溶融および溶媒プロセスによる成形加工を可能にした。フィルムに紫外光・可視光を照射すると可逆的な屈曲を示した。またポラス型架橋液晶高分子の作製においてマクロモノマーを用いることにより多孔構造を制御することができた。以上の成形加工性向上や空間構造制御手法の開拓により、ポラス型光運動材料の多様な設計が可能になった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高分子光運動材料は、次世代アクチュエーター材料として国内外で盛んに研究が進められており、ソフトロボットなどへの応用が期待されている。本研究では高分子光運動材料の成形性向上とポラス構造制御に取り組み、高分子光アクチュエーターの多様な設計を可能にした。これにより、光アクチュエーターの力学特性・光応答性向上や新たな運動・機能の発現が期待できる。また、非架橋系における可逆応答の実現は、形状記憶材料や自己修復材料などの高性能・高機能化においても重要な知見であると考えている。

研究成果の概要（英文）：We developed photomobile polymer materials with porous structures to control mechanical and photoresponsive properties. Polyurethanes containing azobenzene moieties in main chains were synthesized through polyaddition. These polymers exhibited high processability both in melt and solution processes. The films of these polymers showed reversible bending behavior upon irradiation with UV and visible light. In addition, porous structures in crosslinked liquid-crystalline polymers were controlled by applying macromonomers for polymerization and crosslinking. These achievements in enhancing processability and controlling porous structures enable various designs of photomobile polymer materials.

研究分野：高分子化学・材料化学・光化学

キーワード：液晶高分子 アゾベンゼン 光運動材料 フォトクロミック分子 ポラス構造

### 1. 研究開始当初の背景

液晶高分子はメソゲンの配向と高分子鎖の形態との間に強い相関を持つため、熱・電場・光などの外部刺激によりメソゲンの配向を変化させると高分子鎖が変形する。研究代表者は、架橋フォトクロミック液晶高分子を開発し、照射による高分子フィルムの3次元運動を可能にした (Nature 2003)。特に光プラスチックモーター (Angew. Chem. Int. Ed. 2008) や光ロボットアーム (J. Mater. Chem. 2009) の開発は世界中に大きなインパクトを与えた。この光運動材料は軽量・フレキシブルでありながら哺乳類の骨格筋と同等の発生応力を示すことから、ソフトアクチュエーターとして期待されている。光運動材料における変形の基礎様式は屈曲であるが、その剛性(曲がりにくさ)は厚さの3乗に比例する。従来の架橋フォトクロミック液晶高分子は高密度クロモフォア系であり、光吸収が試料表面のみで起こるため力発生部位が表面近傍に限られていた。このため、光運動材料では必然的に厚さの限界が生じ、大スケール化が困難であった。研究代表者は以前の研究において、架橋アゾベンゼン液晶高分子に非晶高分子を導入して相互侵入高分子網目 (IPN) 構造を形成することにより、力学特性・光応答性を飛躍的に向上させることに成功した (J. Mater. Chem. C 2015, Soft Matter 2017)。さらに、空隙を内包する架橋アゾベンゼン液晶高分子が、空隙のない従来フィルムに比べて数倍速く屈曲することを見出した。このことは、多孔構造(ポーラス構造)の導入によりフォトクロミック液晶高分子の光機能を格段に向上し得ることを示している。

### 2. 研究の目的

本研究は、ポーラス型フォトクロミック液晶高分子の創出と、空間構造制御を目的とした。一般にポーラス材料においては全体積の90%以上を空隙にすることも容易であり、空間構造を活かした柔軟な材料設計が可能である。光運動材料に空間構造を導入することにより、剛性制御や光侵入長増大を可能にし、自在スケーリングへの展開をめざした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 主鎖骨格にアゾベンゼンを有するポリウレタンの開発とポーラス化の検討

発泡法によるポーラス型光運動材料の創出をめざし、アゾベンゼンを主鎖骨格に含むポリウレタンを設計した(図1a)。一般に、ポリウレタンの物性はウレタン結合間の鎖長や分岐構造に依存するため、原料モノマーであるジオールおよびジイソシアネートの選択により力学特性を制御できる。また、ジオール成分を複数用いることによりソフトセグメントとハードセグメントが形成され、ハードセグメントの凝集により擬似架橋を構築することが可能である。これにより、高い成形性を有する光運動材料を作製することができ、ポーラス構造の導入も容易になると期待できる。アゾベンゼンを含む二官能モノマーを合成し、ジイソシアネートおよびジオールと重付加することによりポリウレタンを得た。ゲル浸透クロマトグラフィー (GPC)・核磁気共鳴 (NMR)・赤外吸収 (IR) によりポリマーの分子量と化学構造を評価した。また示差走査熱量測定 (DSC) により熱物性を評価した。得られたポリウレタンを溶媒および溶融プロセスにより成形し、フリースタANDINGフィルムを作製した。引張試験機によりフィルムの力学物性を測定し、伸長による分子配向変化を偏光顕微鏡観察および偏光吸収スペクトル測定により評価した。さらにフィルム成形時に発泡剤を添加することによりポーラス構造の導入を検討した。得られた試料の紫外光・可視光に対する応答を評価した。

#### (2) ポリアクリレート型光運動材料における空間構造制御

従来の光運動材料の主流である架橋液晶高分子について、ポーラス構造の導入を検討した。溶媒存在下においてポリマーを架橋してゲル化した後、適切な条件下で溶媒を除去するとポーラス構造が得られる。本研究では、アクリレート基をもつ液晶モノマーを液晶溶媒存在下、セル中で重合した後、液晶溶媒を除去することによりポーラス構造を得た。液晶モノマーとして、従来型のジアクリレートモノマーおよびマクロモノマーを用い(図1b)、モノマーの構造によるポーラス構造の変化を探究した。

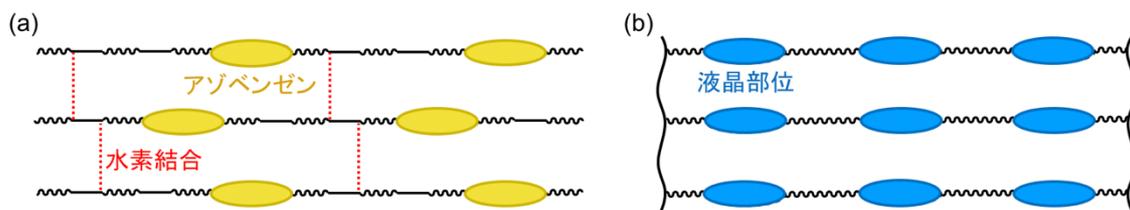


図1 ポリマーの模式図. (a) アゾベンゼン含有ポリウレタン. (b) マクロモノマーから得られる架橋液晶高分子.

#### 4. 研究成果

##### (1) 主鎖骨格にアゾベンゼンを有するポリウレタンの開発とポーラス化の検討

従来の光運動材料は架橋系が主流であり、ポリマーの熔融および溶解による成形加工は困難であった。本研究で合成したアゾベンゼン含有ポリウレタンは非架橋高分子であり、ジメチルホルムアミドなどの有機溶媒への溶解や、約 180°C における熔融が可能であった。まず、熔融プロセスによりフリースタANDINGフィルムを作製し、力学特性や光応答性を評価した。フィルムの一軸伸長試験により力学特性を評価したところ、重合に用いるジオール成分により弾性率が大きく変化した。ジオール成分としてアルカンジオールを用いたものは室温においてもガラス状態であり、高い弾性率を示した。このフィルムを加熱下で伸長することにより、アゾベンゼンが伸長方向に配向したフィルムを得ることができた (図 2 a)。一軸配向フィルムに紫外光を照射すると、フィルムが光源に向かって屈曲した (図 2 b)。これはフィルム表面近傍でアゾベンゼンのトランス-シス異性化が起こり、高分子鎖の収縮が起こるためであると考えている。その後、可視光を照射すると元の形状に復元した。従来の架橋液晶高分子においては、初期形状が架橋によって記憶されるため復元が起こる。本系は化学架橋を持たないが、水素結合を介するハードセグメントの凝集により擬似架橋が形成され、復元が可能であると考えている。紫外光・可視光照射を繰り返して耐久性を評価したところ、100 サイクル後においても可逆的に変形することが分かった。ポリウレタンの光応答性はアゾベンゼン周囲の化学構造に強く依存し、アゾベンゼンとウレタン結合の間に適切なアルキルスパーサーを導入することにより光屈曲速度や可逆性を改善することに成功した。また、作製したフィルムはガラス転移温度以上において3次的に成形することが可能であり、成形後の試料に光を照射すると初期形状に応じて様々な変形を示した (図 2 c)。さらに、フィルム作製時に発泡剤を添加することにより、ポーラス構造を導入することができた。

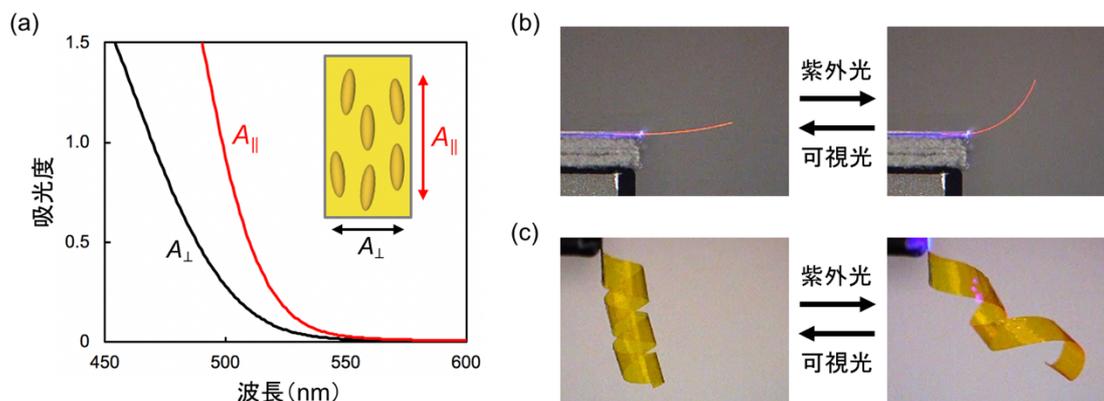


図2 アゾベンゼン含有ポリウレタンの配向フィルム. (a) 偏光吸収スペクトル. (b) 光屈曲挙動. (c) 成形フィルムの光変形.

##### (2) ポリアクリレート型光運動材料における空間構造制御

メソポーラス光運動材料の創出を目的とし、アクリレート系架橋液晶高分子への空間構造導入を検討した。アゾベンゼンモノマーと架橋剤を液晶溶媒存在下において重合し、スメクチック相を示すフィルムを作製した。その後、液晶溶媒を除去することにより空孔を有する架橋アゾベンゼン液晶高分子フィルムを得た。このフィルムは従来系と同様の光屈曲挙動を示し、空間構造を有する系において光運動を誘起できることが明らかになった。

また、アクリレート系架橋液晶高分子における空間構造制御を検討した。二官能性ネマチック液晶モノマーとジチオールとの付加反応によりマクロモノマーを合成し、液晶溶媒中で重合・架橋することによりポーラス構造が得られた。走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察から、ネマチック液晶モノマーを直接重合した場合と比較して凝集体の形成が抑制されることが分かった (図 3)。すなわち、マクロモノマーの利用によりポーラス構造を制御できることが明らかになった。

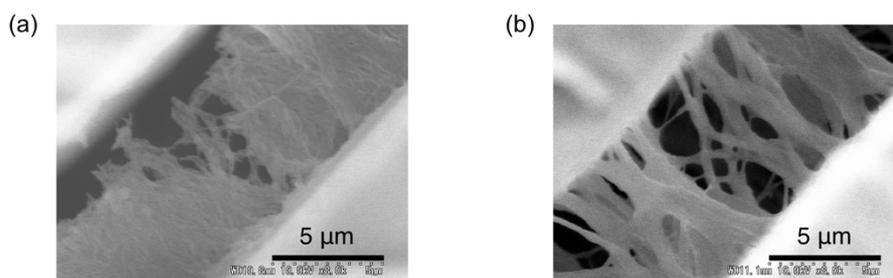


図3 架橋液晶高分子の SEM 像. (a) ネマチック液晶モノマー重合体. (b) ネマチック液晶マクロモノマー重合体.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件/うち国際共著 10件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 T. Ube and T. Ikeda	4. 巻 7
2. 論文標題 4. Photomobile Polymer Materials with Complex 3D Deformation, Continuous Motions, Self-Regulation, and Enhanced Processability	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Adv. Opt. Mater.	6. 最初と最後の頁 1900380
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/adom.201900380	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 該当する
1. 著者名 C. Zou, J. Sun, M. Wang, J. Wang, Y. Wu, L. Zhang, Z. Zhu, G. Xiong, L. Jiang, T. Ikeda and H. Yang	4. 巻 31
2. 論文標題 A UV-Responsive Multifunctional Photoelectric Device Based on Discotic Columnar Nanostructures and Molecular Motors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Adv. Mater.	6. 最初と最後の頁 1806016
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/adma.201806016	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 該当する
1. 著者名 C. Zou, N. Yanahashi, Y. Wu, J. Wang, C. Zhang, G. Xiong, H. Yang, L. Jiang and T. Ikeda	4. 巻 29
2. 論文標題 Patterning Smectic Liquid Crystals for OFETs at Low Temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Adv. Funct. Mater.	6. 最初と最後の頁 1804838
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/adfm.201804838	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 該当する
1. 著者名 J. Yang, W. Zhao, Z. Yang, W. He, J. Wang, T. Ikeda and L. Jiang	4. 巻 11
2. 論文標題 Photonic Shape Memory Polymer Based on Liquid Crystalline Blue Phase Films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Appl. Mater. & Interfaces	6. 最初と最後の頁 46124-46131
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsami.9b14202	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 該当する

1. 著者名 J. Yang, W. Zhao, Z. Yang, W. He, J. Wang, T. Ikeda and L. Jiang	4. 巻 7
2. 論文標題 Printable Photonic Polymer Coating Based on a Monodomain Blue Phase Liquid Crystal Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Mater. Chem. C	6. 最初と最後の頁 13764-13769
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9tc05052c	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 該当する

1. 著者名 J. Yang, J. Liu, B. Guan, W. He, Z. Yang, J. Wang, T. Ikeda and L. Jiang	4. 巻 7
2. 論文標題 Fabrication and Photonic Applications of Large-Domain Blue Phase Films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Mater. Chem. C	6. 最初と最後の頁 9460-9466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9tc02938a	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 該当する

1. 著者名 YY. Shang, J. Wang, T. Ikeda, and L. Jiang	4. 巻 7
2. 論文標題 Bio-inspired Liquid Crystal Actuator Materials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Mater. Chem. C	6. 最初と最後の頁 3413-3428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9tc00107g	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 該当する

1. 著者名 M. Matsushita, K. Kawasaki, T. Ube and T. Ikeda	4. 巻 676
2. 論文標題 Remolding of Photoresponsive Polymer Materials by Means of Dynamic Covalent Bonds in a Main Chain	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mol. Cryst. Liq. Cryst.	6. 最初と最後の頁 17-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15421406.2019.1595482	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 該当する

1. 著者名 R. Nakayama, T. Ube, K. Katayama, M. Haga and T. Ikeda	4. 巻 676
2. 論文標題 Supramolecular Assemblies Composed of Polymer Brushes and Conjugated Molecules for Organic Photovoltaics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mol. Cryst. Liq. Cryst.	6. 最初と最後の頁 24-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15421406.2019.1595484	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 該当する

1. 著者名 S. Ogikubo, G. Hashimoto, T. Ube, M. Suda, H. Yamamoto and T. Ikeda	4. 巻 676
2. 論文標題 Photoinduced Deformation and Isomerization of Azobenzene Liquid-Crystalline Polymer Films at Cryogenic Temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mol. Cryst. Liq. Cryst.	6. 最初と最後の頁 30-35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1018/15421406.2019.1595490	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 該当する

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Tomiki Ikeda, Kyohei Kawasaki, Toru Ube
2. 発表標題 Photomobile Soft Materials: Processing with Adaptable Networks
3. 学会等名 10th International Liquid Crystal Elastomer Conference (ILCEC 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shunya Ogikubo, Gaku Hashimoto, Toru Ube, Masayuki Suda, Hiroshi Yamamoto, Tomiki Ikeda
2. 発表標題 Photoresponsive Behavior of Crosslinked Liquid-Crystalline Polymer Films Containing Various Azobenzene Derivatives at Cryogenic Temperature
3. 学会等名 10th International Liquid Crystal Elastomer Conference (ILCEC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Romu Nakayama, Toru Ube, Kenji Katayama, Tomiki Ikeda
2. 発表標題 Photoresponsive Properties of Azobenzene-Containing Polyurethane Films with Different Chemical Compositions
3. 学会等名 10th International Liquid Crystal Elastomer Conference (ILCEC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaya Matsushita, Kyohei Kawasaki, Toru Ube, Tomiki Ikeda
2. 発表標題 Remoldable Photomobile Materials with Adaptive Networks by Means of Dynamic Covalent Bonds in a Main Chain
3. 学会等名 10th International Liquid Crystal Elastomer Conference (ILCEC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomiki Ikeda, Kyohei Kawasaki, Haruna Tsunoda, Masaya Matsushita, Toru Ube
2. 発表標題 Photomobile Smart Materials: Adaptable Networks
3. 学会等名 14th Mediterranean Workshop and Topical Meeting "Novel Optical Materials and Applications" (NOMA 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junpei Imai, Takaya Suzuki, Toru Ube, Toru Fujisawa, Hiroshi Hasebe, Haruyoshi Takatsu, Tomiki Ikeda
2. 発表標題 Change in Transmittance of Polymer/Liquid Crystal Composite Films Induced by Photochemical Reactions
3. 学会等名 14th Mediterranean Workshop and Topical Meeting "Novel Optical Materials and Applications" (NOMA 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Urazoe, Toru Ube, Tomiki Ikeda
2. 発表標題 Preparation of Light-Driven Fibers Composed of Azobenzene Liquid-Crystalline Polymers
3. 学会等名 14th Mediterranean Workshop and Topical Meeting "Novel Optical Materials and Applications" (NOMA 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomiki Ikeda, Kyohei Kawasaki, Haruna Tsunoda, Masaya Matsushita, Toru Ube
2. 発表標題 Photomobile Soft Materials: From Covalent Crosslinks to Adaptable Networks
3. 学会等名 8th International Symposium on Liquid Crystal Photonics (SLCP2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今井 順平・鈴木 貴也・宇部 達・藤沢 宣・長谷部 浩史・高津 晴義・池田 富樹
2. 発表標題 可視光応答アゾベンゼンを導入した調光フィルムの光応答性
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浦添 直紀・宇部 達・池田 富樹
2. 発表標題 直鎖アゾベンゼン液晶高分子を用いた光駆動フィルムの創製
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荻久保 俊哉・橋本 岳・宇部 達・須田 理行・山本 浩史・池田 富樹
2. 発表標題 極低温における光運動材料中のアゾベンゼンの異性化に伴う巨視的な変形
3. 学会等名 2019年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松下 将也・川崎 恭平・宇部 達・池田 富樹
2. 発表標題 共有結合の交換を利用した主鎖型架橋アゾベンゼン液晶高分子の再成形と光屈曲挙動
3. 学会等名 2019年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中山 路夢・宇部 達・片山 建二・池田 富樹
2. 発表標題 ポリウレタンを基材とした光運動材料における分子構造と機能評価
3. 学会等名 2019年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今井 順平・鈴木 貴也・宇部 達・藤沢 宣・長谷部 浩史・高津 晴義・池田 富樹
2. 発表標題 可逆的に透過率変化が誘起される光応答性フィルムの開発
3. 学会等名 2019年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浦添 直紀・宇部 達・池田 富樹
2. 発表標題 物理架橋可能なアゾベンゼン液晶高分子の光応答性
3. 学会等名 2019年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中山 路夢・宇部 達・片山 建二・池田 富樹
2. 発表標題 ポリウレタンを基材としたアゾベンゼン含有フィルムにおける光応答性の評価
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浦添 直紀・宇部 達・池田 富樹
2. 発表標題 異なる主鎖構造を持つアゾベンゼンホモポリマーの光応答挙動
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今井 順平・鈴木 貴也・宇部 達・藤沢 宣・長谷部 浩史・高津 晴義・池田 富樹
2. 発表標題 フォトクロミック分子を有する液晶/高分子複合材料の光散乱特性
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松下 将也・川崎 恭平・宇部 達・池田 富樹
2. 発表標題 主鎖に組み替え可能な架橋を有する架橋液晶高分子の光応答性の評価
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荻久保 俊哉・橋本 岳・宇部 達・須田 理行・山本 浩史・池田 富樹
2. 発表標題 極低温における架橋液晶高分子の光運動に対するモノマーの分子構造の影響
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 須賀郁美・宇部達・池田富樹
2. 発表標題 異なるメソゲンを有する光運動材料の駆動特性
3. 学会等名 日本液晶学会オンライン研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松田光成・今井順平・鈴木貴也・宇部達・藤沢宣・長谷部浩史・高津晴義・池田富樹
2. 発表標題 高分子ネットワークを用いた液晶デバイスの電気光学特性
3. 学会等名 日本液晶学会オンライン研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 須賀郁美・宇部達・池田富樹
2. 発表標題 アゾベンゼン架橋剤を組み込んだビシクロヘキシルポリマーの光応答性
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松田光成・今井順平・鈴木貴也・宇部達・藤沢宣・長谷部浩史・高津晴義・池田富樹
2. 発表標題 マクロモノマーを用いた液晶表示デバイスの創製
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 宇部 達・池田 富樹	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 15
3. 書名 光応答性液晶高分子アクチュエーター 市村國宏監修「光機能性有機・高分子材料における新たな息吹」	

1. 著者名 Toru Ube and Tomiki Ikeda	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer, Singapore	5. 総ページ数 28
3. 書名 Photomechanical Effects in Crosslinked Liquid-Crystalline Polymers with Photosynergetic Processes In "Photosynergetic Responses in Molecules and Molecular Aggregates", Hiroshi Miyasaka, Kenji Matsuda, Jiro Abe, Tsuyoshi Kawai, eds.	

1. 著者名 Toru Ube and Tomiki Ikeda	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Wiley, Inc., Hoboken, New Jersey, USA	5. 総ページ数 25
3. 書名 Cross-Linked Liquid-Crystalline Polymers as Photomobile Materials In “Mechanically Responsive Materials for Soft Robotics”, Hideko Koshima, ed.	

〔産業財産権〕

〔その他〕

池田研ホームページ <a href="http://c-faculty.chuo-u.ac.jp/~tikeda/ikedalab/index.html">http://c-faculty.chuo-u.ac.jp/~tikeda/ikedalab/index.html</a>
--

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
研究協力者	宇部 達 (Ube Toru)		
研究協力者	浦添 直紀 (Urazoe Naoki)		
研究協力者	今井 順平 (Imai Junpei)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	須賀 郁美  (Suka Ikumi)		
研究協力者	松田 光成  (Matsuda Kousei)		

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