

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04896

研究課題名(和文)円偏光レーザー発振と磁気円二色性を利用した三次元非相反素子の実現

研究課題名(英文)Three-dimensional non-reciprocal optical elements using circular polarized
lasing and magnetic circular dichroism

研究代表者

内田 幸明(Uchida, Yoshiaki)

大阪大学・基礎工学研究科・准教授

研究者番号：60559558

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,100,000円

研究成果の概要(和文)：コレステリック液晶(N*)シェルの全方位円偏光レーザー発振の効率化と、磁気円二色性(MCD)の増強のための液晶に特有の磁気特性の起源の解明について、研究を行った。まず、ニトロキシドラジカル(NR)液体のMCDスペクトルの測定とその帰属を行い、液晶相においてもMCDを検出することに成功した。また、MCDの増強に寄与するNR液晶の磁気特性の起源を明らかにした。さらに、レーザー色素をNRN*液晶に添加することでレーザー発振が起こることを明らかにした。これに加えて、室温域における非含金属液晶材料の光磁気効果の検出に初めて成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光導波路内で逆行する戻り光が光源を不安定化することを抑えるために、戻り光を抑制する非相反性素子「光アイソレータ」が用いられる。一方、量子情報技術で必須となる単一光子で動作する光スイッチやレーザー光源などの極限デバイスには微小球共振器が重要な役割を果たすと考えられている。本研究の成果を応用して、三次元全方位レーザー素子である微小球を光アイソレータで包めば一体型の三次元光導波路のレーザー光源となり、デバイスの軽量化・省スペース化に寄与すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We studied the improvement of the efficiency of omnidirectional circularly polarized laser oscillation of cholesteric (N*) liquid crystalline shells and the origin of the magnetic properties unique to liquid crystalline materials for the enhancement of magnetic circular dichroism (MCD). We measured and assigned the MCD spectrum of nitroxide radical (NR) liquid and succeeded in detecting MCD in liquid crystalline phases, and clarified the origin of magnetic properties of NR liquid crystal that contributes to the enhancement of MCD. Moreover, we found that laser oscillation occurs by adding a laser dye to NRN* liquid crystal. In addition, we first succeeded in detecting the magneto-optical effect of non-metallic liquid crystalline materials at room temperature.

研究分野：材料有機化学

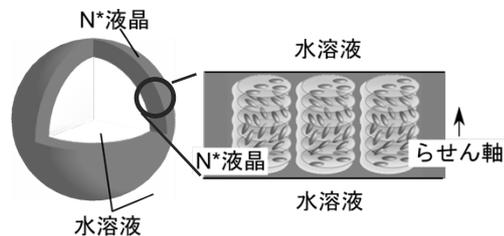
キーワード：液晶 非相反性 有機ラジカル レーザー発振 エマルション

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

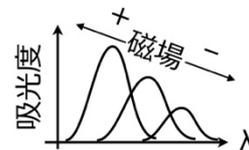
(1) 通常、光が媒質を伝播するとき、前向きと後向きの光の透過率や旋光度、二色性などは全く同じになる(相反性)。光導波路内で逆行する戻り光が光源を不安定化することを抑えるために、戻り光を抑制する非相反性素子、「光アイソレータ」が用いられる。最近では、デバイスの軽量化・省スペース化のために、光導波路内でレーザーと光アイソレータの一体化が試みられている。一方、量子情報技術で必須となる単一光子で動作する光スイッチやレーザー光源などの極限デバイスには微小球共振器が重要な役割を果たすと考えられている。三次元全方位レーザー素子である微小球を光アイソレータで包めば三次元光導波路のレーザー光源として利用できると考えられる。

(2) 微小球共振器の素材はガラスやポリマーなどが一般的であるが、屈折率分布を導入することでさらに機能を付与することができる。例えば、液晶の微小球を作ると、自己組織的に屈折率分布が生成し、レーザー発振の電場制御が可能になる。研究代表者は、コレステリック(N*)液晶のシェル(N*シェル, 右図)が三種類の全方位レーザー発振を起こす共振器になることを見出した[*Adv. Mater.*, **25**, 3234-3237 (2013).]。



(3) N*相は構成分子のキラリティーに起因する可視光波長程度の周期のらせん構造を持ち、周期に対応する波長(フォトリックバンドギャップ, PBG)のらせんと同じ向きの円偏光を100%反射する。PBG内の波長の発光を示す色素をN*相内で励起すると、PBG端の波長のN*相のらせんと同じ向きの円偏光レーザーがらせん軸方向に発振する。

(4) 磁気円二色性(MCD)は、光の伝播方向に磁化された物質が示す円二色性である。つまり、MCDを示す物質は円偏光の吸光度の磁場依存性を示す(右図)。研究代表者は、らせん軸方向の磁場中に置かれたN*液晶がMCDを示すとき、磁場方向のN*液晶レーザーの閾値と逆方向のその間で差が生じ、一方にのみレーザー発振を起こす非相反性が現れ、光アイソレータと一体化したレーザー素子と同様の機能を持つと着想した。



(5) 一般には磁化が大きくなるほどMCDは強くなり、強磁性体は非常に大きなMCDを示す。研究代表者は、有機常磁性体であるニトロキシドラジカル(NR)が、液晶相の温度領域(300~450 K程度)で強磁性的相互作用(磁気液晶効果)を発現し、磁化率が増加することを初めて報告した[*J. Am. Chem. Soc.*, **132**, 9746-9752 (2010); *J. Mater. Chem.*, **18**, 2950-2952 (2008).]。また、磁気液晶効果の起源について、キラリティー、分子配向秩序、スピンの密度の観点から研究してきた[*Chem. Commun.*, **52**, 3935-3938 (2016); *J. Phys. Chem. B.*, **116**, 9791-9795 (2012); *J. Mater. Chem.*, **22**, 6799-6806 (2012).]。そして、N*相を示すNR液晶(NRN*液晶)が、上記の三次元的非相反レーザー光源を実現する低環境負荷・生体適合性の純有機材料になると考え、予備研究を開始した。

(6) 今までに、シェルの成形に必要な、室温域でN*相を示すNR化合物の合成と、シェルの作製を行い[特願2016-055812]、このNRN*シェルを配列する足場として光導波路の構造を支える多孔フィルムの作製にも成功した[*Macromol. Rapid Commun.*, **38**, 1600502 (2017).]。また、NRN*シェルの光伝播解析にも利用可能な、時間領域差分(FDTD)法を用いたN*液晶滴中の光伝播挙動の解析法を確立した[*Jpn. J. Appl. Phys.*, **55**, 082001 (2016).]。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、レーザー発振方向の磁場による制御が可能なNRN*シェルの作製を目的として、研究を進めてきた。

① NR化合物のMCDスペクトルの温度依存性を測定して、そのメカニズムを解明する。

② 直線二色性や複屈折性を示す異方性媒質である液晶の正確なMCDスペクトルを求める手法を開発する。

③ NRN*液晶中で色素が発光する分布帰還型(DBF)レーザーとN*シェルのコアで色素が発光する分布Bragg反射型(DBR)レーザーの両方の発振が可能か、明らかにする。

④ NRN*液晶レーザーの閾値の磁場依存性を明らかにする。

⑤ 磁場中におけるNRN*シェルのレーザー発振の方向依存性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) NRN*液晶のMCDスペクトルを測定する前段階として、ベンゼン環由来のMCDとNR部位由来のMCDが重なることを防ぎ、液晶の異方性による複屈折性の影響を防ぐため、NR部位のみでMCDシグナルを示す化合物のMCDスペクトルを測定した。具体的には、ポリマーに分散させたNR液体のMCDスペクトルの温度依存性を測定し、スピンハミルトニアンを用いて計算したMCDスペクトルと比較し、遷移の帰属を行った。

(2) NRN*液晶がレーザー共振器として働くためには、NR部位が発光を阻害しないことが重要である。そこで、レーザー色素をNRN*液晶に添加しDFBレーザーの共振器として機能するか確かめた。

(3) 内水相を色素水溶液としたN*シェルを作製し、DBRレーザー発振を行う際、内水相が小さいほど、光閉じ込め効率が上昇することが予想される。そこで、浸透圧差を用いた内水相の縮小により、内水相を微小共振器にすることで、発振閾値が低下するかを確かめた。

(4) NRN*液晶のMCDスペクトルを測定するには、液晶の直線二色性と複屈折を除く必要がある。水平配向N*液晶が誤差を抑える配置である。また、水平配向N*液晶ではCDが発生すること、及び、MCDとCDが共存することでMChDが発生することが知られている。そこで、水平配向NRN*液晶セルを作製し、液晶相におけるMChDスペクトルを測定した。

(5) NR液晶が示す磁気液晶効果を大きくすることは、磁気光学効果を増強することに寄与する。そのため、種々の類縁体を合成して、磁気液晶効果のメカニズムについて、検討を行った。具体的には、分子の電気双極子と分子運動のそれぞれが磁気液晶効果に与える影響を調べた。

(6) 当初の予定にはなかったが、予定より研究が進んだため、磁気光学効果とは逆に、光で物質の磁気特性を制御する光磁気効果の検出を試みた。具体的には、液晶等方相転移において大きな磁化率変化を起こすNR液晶を合成して、光異性化反応を起こす化合物を添加することで、液晶状態にある混合液晶に光を当てると等方相に相転移して磁化率が変化するかどうか確かめた。

(7) 本研究は純有機化合物の常磁性液晶における磁気光学効果に関するものであるが、当初の予定にはなかったが、予定より研究が進んだため、比較のために、液晶に強磁性無機ナノプレートを分散して得られる強磁性液晶における磁気光学効果についても評価した。具体的には、ランダムレーザー発振の磁場依存性を測定した。

4. 研究成果

(1) NR液体のMCDスペクトルの測定とその帰属を行うことができた。純有機化合物の常磁性に起因するMCDシグナルを検出した初めての例であり、今後、基礎的には理論の発展への寄与が考えられる一方、応用面では本研究の目指す磁気光学素子の実現に繋がる成果と言える。現在、投稿論文を準備中である。

(2) レーザー色素をNRN*液晶に添加することで、NRN*液晶中で色素が発光する分布帰還型(DFB)レーザーが可能であることを明らかにした。これは、NR部位の消光剤としての機能が無いことを示唆している。今後、この材料を共振器として応用することが可能であると言える。現在、投稿論文を準備中である。

(3) レーザー色素水溶液を内水相とするN*シェルを作製し、浸透圧差によって、内水相の縮小に成功した。さらに、内水相の縮小によって、レーザー発振のしきい値が大きく低下することを見出した。これらの成果について論文を出版した [*Adv. Opt. Mater.*, **8**, 1901363 (2020).]. 今後、内水相を色素水溶液としたNRN*シェルを作製できれば、三次元レーザー発振の効率化が可能であると期待される。種々の用途に用いられる微小共振器は元々効率が高いことが知られているが、本手法を用いることでさらに効率が向上すると期待される。

(4) 水平配向NRN*液晶セルを作製し、異方性の影響を受けない磁気キラル二色性(MChD)を測定することで、液晶相においてもMCDが存在すること、つまり、非相反性が現れることを確かめた。現在、投稿論文を準備中である。この成果を上記(2)、(3)と組み合わせることで、本研究の目標である三次元レーザー発振の磁場による制御が可能な素子が実現できると考えられる。

(5) 末端に大きな電気双極子を持つシアノ基を修飾したNR液晶は、分子長軸方向の電気双極子が増大したことにより、大きな負の磁気液晶効果が現れることを見出した [*J. Mater. Chem. C*, **5**, 12457-12465 (2017).]. 一方で、冷却過程で液晶の構造を保ったままガラス化するNR液晶が、ガラス転移点を超えると理論値より磁化率が大きくなることがわかった。これは分子の回転や並進によって磁化率が上昇することを示唆している [*J. Phys. Chem. B*, **122**, 7409-7415

(2018).]. これらの成果から、磁気液晶効果の起源についてモデルを構築し、現在、論文を投稿中である。今後、このモデルを用いて、液晶の磁性の設計が可能になれば、種々の磁気光学素子への応用も可能になると考えられる。

(6) 室温域において非含金属液晶材料の光磁気効果を初めて検出した。液晶-液体相転移点において常磁性磁化率が大きく上昇する分子を設計し、合成した。電子常磁性共鳴 (EPR) 分光法を用いる磁化率温度依存性の高精度解析法を開発した。これらの成果について論文を出版した [*Commun. Chem.*, **2**, 64 (2019).]. この材料は、材料特性の光による遠隔操作と磁場による遠隔検出が可能なソフトマターとしての応用が期待される。

(7) 強磁性液晶をレーザー媒質とするランダムレーザー発振に初めて成功した。10 mT 程度の非常に弱い磁場で on/off を制御可能なランダムレーザーを実現した。新しい磁気光学効果であると考えられる。これらの成果について論文を出版した [*Opt. Express*, **27**, 24426-24433 (2019).]. この材料は、材料特性の磁場による遠隔操作と光による遠隔検出が可能なソフトマターとしての応用が期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

| | |
|--|-----------------------------|
| 1. 著者名 Naruta Takuya, Akita Takuya, Uchida Yoshiaki, Lisjak Darja, Mertelj Alenka, Nishiyama Norikazu | 4. 巻 27 |
| 2. 論文標題 Magnetically controllable random laser in ferromagnetic nematic liquid crystals | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Optics Express | 6. 最初と最後の頁 24426 ~ 24426 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.27.024426 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 Suzuki Shuichi, Maya Ryochi, Uchida Yoshiaki, Naota Takeshi | 4. 巻 4 |
| 2. 論文標題 Strategy for Stimuli-Induced Spin Control Using a Liquescent Radical Cation | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 ACS Omega | 6. 最初と最後の頁 10031 ~ 10035 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.9b00982 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Akita Takuya, Sugiyama Yuki, Yamazaki Taira, Nakagami Sho, Kiyohara Daichi, Uchida Yoshiaki, Nishiyama Norikazu | 4. 巻 2 |
| 2. 論文標題 Photomagnetic effects in metal-free liquid crystals | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Communications Chemistry | 6. 最初と最後の頁 64 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-019-0165-9 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Nakagami Sho, Akita Takuya, Kiyohara Daichi, Uchida Yoshiaki, Tamura Rui, Nishiyama Norikazu | 4. 巻 122 |
| 2. 論文標題 Molecular Mobility Effect on Magnetic Interactions in All-Organic Paramagnetic Liquid Crystal with Nitroxide Radical as a Hydrogen-Bonding Acceptor | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B | 6. 最初と最後の頁 7409 ~ 7415 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b03839 | 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 H. Ueda,* T. Akita, Y. Uchida, T. Kimura, | 4. 巻 111 |
| 2. 論文標題 Room-temperature magnetoelectric effect in a chiral smectic liquid crystal | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Applied Physics Letters | 6. 最初と最後の頁 262901 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5007317 | 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 T. Akita, D. Kiyohara, T. Yamazaki, Y. Uchida,* N. Nishiyama | 4. 巻 5 |
| 2. 論文標題 Large negative magneto-LC effects induced by racemic dimerization of liquid crystalline nitroxide radicals with terminal cyano group | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C | 6. 最初と最後の頁 12457 ~ 12465 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7TC04699E | 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 Iwai Yosuke, Iijima Ryosuke, Yamamoto Kaho, Akita Takuya, Uchida Yoshiaki, Nishiyama Norikazu | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 Shrinkage of Cholesteric Liquid Crystalline Microcapsule as Omnidirectional Cavity to Suppress Optical Loss | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Advanced Optical Materials | 6. 最初と最後の頁 1901363 ~ 1901363 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.201901363 | 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34件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 19件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 内田幸明 |
| 2. 発表標題 液晶の機能化の場としてのマイクロカプセルの開発~分業を超えた異分野融合~ |
| 3. 学会等名 講演会（招待講演） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yoshiaki Uchida |
| 2. 発表標題 Importance of Molecular Mobility of Nitroxide Radical Liquid Crystals |
| 3. 学会等名 The 6th Awaji International Workshop on “Electron Spin Science & Technology: Biological and Materials Science Oriented Applications” (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuki Sugiyama, Takuya Akita, Daichi Kiyohara, Yoshiaki Uchida, Norikazu Nishiyama |
| 2. 発表標題 Azobenzene Nitroxide Radical Liquid Crystal with Reversible Changes of Magnetic Properties |
| 3. 学会等名 Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takuya Naruta, Takuya Akita, Yoshiaki Uchida, Darja Lisjak, Alenka Mertelj, Norikazu Nishiyama |
| 2. 発表標題 Magnetically controllable random laser action in dye-doped ferromagnetic nematic liquid crystals |
| 3. 学会等名 Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuki Sugiyama, Takuya Akita, Daichi Kiyohara, Yoshiaki Uchida and Norikazu Nishiyama |
| 2. 発表標題 Photomagnetic Effects of Nitroxide Radical Liquid Crystals |
| 3. 学会等名 EUROISMAR2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山中輝, 鳴田拓弥, 内田幸明, 西山憲和 |
| 2. 発表標題 光硬化性液晶モノマーによるコレステリック液晶エマルジョンの安定化とレーザー発振挙動 |
| 3. 学会等名 日本液晶学会討論会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 鳴田 拓弥, 秋田 拓也, 内田 幸明, Darja Lisjak, Alenka Mertelj, 西山 憲和 |
| 2. 発表標題 強磁性液晶ランダムレーザー |
| 3. 学会等名 日本液晶学会討論会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 杉山佑樹、清原大知、秋田拓也、内田幸明、西山憲和 |
| 2. 発表標題 アゾベンゼンニトロキシドラジカル液晶の磁気特性の光応答 |
| 3. 学会等名 日本液晶学会討論会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 内田幸明, 秋田拓也, 杉山佑樹, 西山憲和 |
| 2. 発表標題 有機常磁性液晶の光磁気効果 |
| 3. 学会等名 日本液晶学会討論会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 杉山佑樹, 秋田拓也, 清原大知, 内田幸明, 西山憲和 |
| 2. 発表標題 液晶中の光磁気効果 |
| 3. 学会等名 電子スピンサイエンス学会年会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 内田幸明 |
| 2. 発表標題 液晶の新しい物性を引き出すための階層間接続に基づく分子設計 |
| 3. 学会等名 液晶交流会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 鳴田拓弥, 秋田拓也, 内田幸明, Darja Lisjak, Alenka Mertelj, 西山憲和 |
| 2. 発表標題 強磁性液晶ランダムレーザーの磁場応答性 (Magnetically controllable random laser in ferromagnetic nematic liquid crystal) |
| 3. 学会等名 日本液晶討論会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 杉山 佑樹・清原大知・秋田拓也・内田幸明・西山憲和 |
| 2. 発表標題 アゾベンゼン骨格を有するニトロキシドラジカル液晶の磁気特性 |
| 3. 学会等名 日本液晶学会討論会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|-----------------------------|
| 1. 発表者名 内田幸明, 秋田拓也, 西山憲和 |
| 2. 発表標題 磁性担体としての有機ラジカル液晶 |
| 3. 学会等名 日本液晶学会討論会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|-----------------------------|
| 1. 発表者名 内田幸明, 秋田拓也, 西山憲和 |
| 2. 発表標題 磁場応答性フォトニックカプセル |
| 3. 学会等名 日本液晶学会討論会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 杉山佑樹・清原大知・秋田拓也・内田幸明・西山憲和 |
| 2. 発表標題 アゾベンゼンニトロキシドラジカル液晶の磁気特性 |
| 3. 学会等名 第57回電子スピンスイエンズ学会年会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takuya Naruta, Takuya Akita, Yoshiaki Uchida, Darja Lisjak, Alenka Mertelj, Norikazu Nishiyama |
| 2. 発表標題 Magnetic control of random laser in ferromagnetic nematic liquid crystal |
| 3. 学会等名 International Liquid Crystal Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takuya Akita, Ma Xiaoqian, Yoshiaki Uchida, Norikazu Nishiyama |
| 2. 発表標題 Photonic Properties of Liquid Crystalline Nitroxide Radical |
| 3. 学会等名 International Liquid Crystal Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kenta Watanabe, Yoshiaki Uchida, Norikazu Nishiyama |
| 2. 発表標題 Dependence of Conductivity of Nanoconfined Ionic Liquid Crystal on Pore Size |
| 3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuuki Sugiyama, Takuya Akita, Daichi Kiyohara, Yoshiaki Uchida and Norikazu Nishiyama |
| 2. 発表標題 Magnetic Properties of Photo-responsive Liquid Crystalline Nitroxide Radicals |
| 3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yoshiaki Uchida, Takuya Akita and Norikazu Nishiyama |
| 2. 発表標題 Stimuli-responsive Non-metal Magnetic Liquid Crystal |
| 3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yoshiaki Uchida, Takuya Akita and Norikazu Nishiyama |
| 2. 発表標題 Magnetic properties of nitroxide radicals in liquid crystalline phases |
| 3. 学会等名 256th ACS National Meeting in Boston (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yoshiaki Uchida |
| 2. 発表標題 Photonic Microcapsule with Magnetic LC Shell |
| 3. 学会等名 SPIE Photonics West 2019 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 H. Ueda, T. Akita, Y. Uchida, and T. Kimura |
| 2. 発表標題 Magnetic control of electric polarization in chiral liquid crystal |
| 3. 学会等名 Chirality (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 T. Akita, T. Yamazaki, Y. Uchida, N. Nishiyama |
| 2. 発表標題 Chiral Nitroxide Radical Liquid Crystals as Novel Magneto-Optical Soft Materials |
| 3. 学会等名 Liquid Matter Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takuya Akita, Taira Yamazaki, Yoshiaki Uchida, and Norikazu Nishiyama |
| 2. 発表標題 EPR Study on Magnetic Properties of Nitroxide Radical Liquid Crystals |
| 3. 学会等名 ISMAR2017 (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yoshiaki Uchida |
| 2. 発表標題 Magnetically Controllable Liquid Crystalline Shell |
| 3. 学会等名 Invited Seminar at the CNR Institute of Membrane Technology (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takuya Akita, Taira Yamazaki, Yoshiaki Uchida, Norikazu Nishiyama |
| 2. 発表標題 Liquid Crystalline Chiral Nitroxide Radicals as Novel Magneto-Optical Soft Materials |
| 3. 学会等名 Spin (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 T. Yamazaki, T. Akita, Y. Uchida and N. Nishiyama |
| 2. 発表標題 Synthesis and Magnetic Properties of Nitroxide Biradical Liquid Crystal |
| 3. 学会等名 Spin (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yoshiaki Uchida, Takuya Akita and Norikazu Nishiyama |
| 2. 発表標題 Nitroxide Radical Liquid Crystal as Magnetic Carrier |
| 3. 学会等名 Spin (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山崎泰良, 秋田拓也, 内田幸明, 西山憲和 |
| 2. 発表標題 液晶性モノラジカル化合物の液晶性ピラジカル化合物ドーブによる磁性の変化 |
| 3. 学会等名 化学フェスタ |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|-----------------------------|
| 1. 発表者名 内田幸明, 秋田拓也, 西山憲和 |
| 2. 発表標題 ニトロキシドラジカル液晶シェル |
| 3. 学会等名 ソフトマター研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山崎泰良, 秋田拓也, 内田幸明, 西山憲和 |
| 2. 発表標題 ピラジカル液晶の添加によるモノラジカル液晶の磁性の変化 |
| 3. 学会等名 電子スピンスイセンス学会年会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Taira Yamazaki, Takuya Akita, Yoshiaki Uchida and Norikazu Nishiyama |
| 2. 発表標題 Synthesis and Magnetic Properties of Nitroxide Biradical Liquid Crystal |
| 3. 学会等名 豊田理研国際ワークショップ(国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

〔図書〕 計0件

〔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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|