

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02818

研究課題名(和文) 外部刺激応答性キラル液晶場でのヘリカル共役ポリマーの合成とその電子・光特性の制御

研究課題名(英文) Synthesis of Helical Conjugated Polymers in External Force-Responsive Chiral Liquid Crystal Field and Control of Their Optoelectronic Properties

研究代表者

赤木 和夫 (Akagi, Kazuo)

立命館大学・総合科学技術研究機構・教授

研究者番号：20150964

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、温度や光などの外部刺激に応答して可逆的にキラル反転するキラル化合物を合成し、これをキラルドーパントとしてネマチック液晶に添加することで、外部刺激応答性キラル液晶を調製した。このキラル液晶を不斉反応場として、電子・光機能性を有するヘリカル共役ポリマーを創成した。本研究により、外部刺激によりキラリティを動的に制御できる不斉反応場の構築とともに、共役ポリマーの不斉合成の学術的展開を図った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究において、化学的にも光照射に対しても捻れ力を安定的に保持し、不斉重合溶媒として使用に耐え得る、新規の外部刺激応答性キラル液晶を合成した。また、キラル液晶を用いた不斉反応場を構築することで、一次構造から高次構造に至るまで精緻に制御されたヘリカルポリマーを得ることを可能とした。基礎および応用上の観点からキラリティやらせん構造を有する高機能性共役ポリマーの合成法を開発し、その進展を図ったことに意義がある。

研究成果の概要(英文)：We synthesized chiral compounds that reversibly invert chirality in response to external stimuli such as temperature and light, and subsequently prepared chiral liquid crystals responsive to external stimuli by adding them to nematic liquid crystals as chiral dopants. Using the chiral liquid crystal as an asymmetric reaction field, helical conjugated polymers with electronic and optical functions were synthesized. This study has led to the construction of an asymmetric reaction field in which chirality can be dynamically controlled by external stimuli, as well as the academic development of the asymmetric synthesis of conjugated polymers.

研究分野：高分子化学、液晶化学、物質化学

キーワード：キラル液晶 不斉反応場 外部刺激応答 共役ポリマー ヘリシティ制御

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

(1) デオキシリボ核酸(DNA)の二重らせんやタンパク質の α ヘリックス構造に代表されるとおり、らせん構造に基づくキラリティは、生体の遺伝情報伝達において重要な役割を果たしている。また、低分子有機化合物における薬理作用や、ポリマー材料における電子・光機能の発現においても、キラリティが本質的な役割を果たすことが知られている。特に、 π 電子が鎖上に非局在化している共役ポリマーにおいては、キラリティやらせん構造を付与させることで、誘起ソレノイド磁性、円偏光発光、あるいは非線形二次高調波発生などの特異な機能が発現することが知られており、基礎および応用上の観点からキラリティやらせん構造を有する高機能性共役ポリマーの合成法の開発と進展が望まれている。

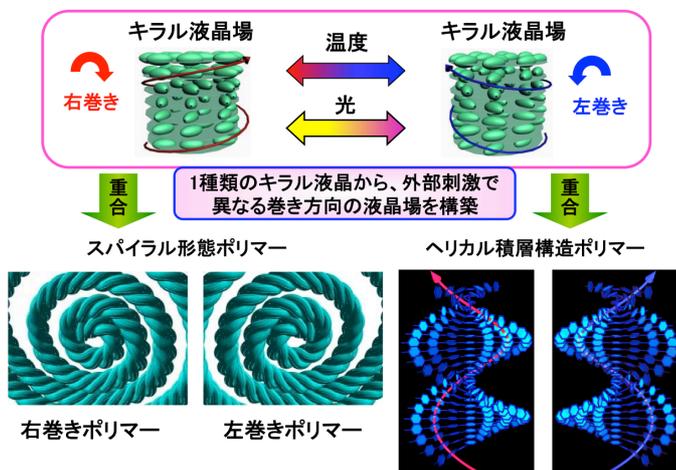


図1 温度や光で可逆的にキラル反転する液晶と、スパイラル形態あるいはヘリカル積層構造を有するヘリカル共役ポリマーの合成とヘリシティ制御

一方、キラルポリマーを合成する不斉重合反応は、次の3つに大別される。(i)キラル化合物

をモノマーとして、アキラルな触媒を用いて重合する。(ii)モノマーはアキラルであるが、触媒にキラル金属錯体などのキラル化合物を用いる。(iii)モノマーも触媒もアキラルであるが、溶媒にキラル化合物を用いる。従来、(i)および(ii)の手法が多用されてきたが、キラルモノマーやキラル触媒の合成に多くの時間と労力がかかり、市販品を購入するとしても高価であるため多額の費用がかかる。他方、通常の有機溶媒にキラリティを付与しただけではキラルポリマーは得られないが、(iii)の手法ではキラル液晶を用いて不斉反応場を構築することで、高次構造に至るまで精緻に制御されたヘリカルポリマーを得ることができる(図1)。しかも、キラル液晶を溶媒として用いた場合、重合後にキラル液晶を回収・精製することで、繰り返し重合溶媒として使用できるため、経済的な利点もある。

(2) 本研究者らは、キラル液晶を不斉重合場として用いることで、らせん状導電性高分子であるヘリカルポリアセチレンを世界で初めて合成した (*Science*, 282, 1683, 1998)。さらに、キラル液晶場で種々のらせん状芳香族共役ポリマーやコポリマーの合成に成功し、キラル液晶場での不斉重合法を開発・展開した (*Angew. Chem. Int. Ed.*, 53, 1659, 2014; *Angew. Chem. Int. Ed.*, 44, 4322, 2005) (図2)。さらに、同研究者らは、キラル液晶場の動的制御を目指して、光応答性キラル液晶が合成され、キラリティの光反転が実現している (*J. Am. Chem. Soc.*, 134, 3758, 2012)。

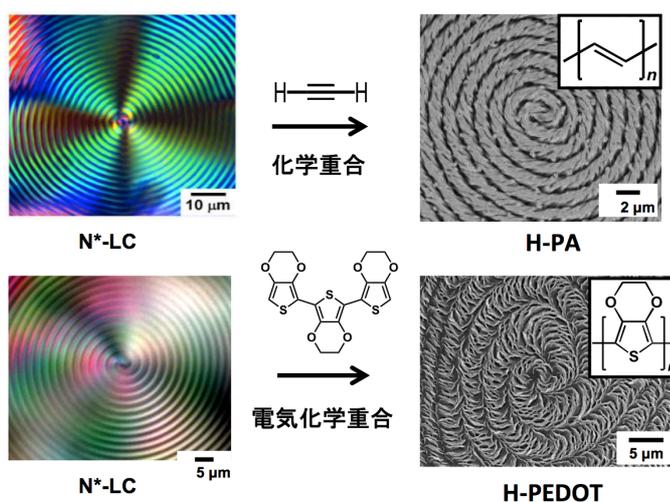


図2 キラル液晶場 (N*-LC: 偏光顕微鏡写真) での化学重合および電気化学重合で合成したヘリカルポリアセチレン (H-PA) とヘリカルポリエチレンジオキシチオフェン (H-PEDOT) のスパイラル形態

しかしながら、これらの外部摂動応答性キラル液晶は、重合用モノマーや触媒の添加に際して、捻れ力の著しい減少とともにキラル液晶相の安定性も低下し、光反転に対する繰り返し耐久性も低く、汎用性の不斉重合溶媒として使用するまでには至っていない。そのため、化学的にも光照射に対しても捻れ力を安定的に保持し、不斉重合溶媒として使用に耐える、新規の外部刺激応答性キラル液晶の構築が望まれている。

2. 研究の目的

キラル液晶場での不斉重合では、ヘリシティが左右逆の共役ポリマーを合成するには、キラリティが真逆の二種類のキラル化合物を合成して、それぞれを母液晶に添加することで、左右逆のキラリティをもつ液晶場を調製する必要がある。すなわち、キラリティが異なる二種類のキラルドーパントが必須となる。もし、温度あるいは光などの外部刺激をキラル液晶場に印加することで、そのキラリティを可逆的に反転させることができるなら、一種類のキラルドーパントを調製するだけで済み、合成時の労力や時間、経済的コストを格段に抑えることができる(図1)。加えて、キラル化合物のキラリティを自在に反転させることは、キラル物質を扱う研究者にとって究極目標のひとつである。キラル化合物を用いて化学的にも安定したキラル液晶場を構築し、そのキラリティを外部刺激で自在に制御することは基礎研究において挑戦すべき課題である。外部刺激として温度変化あるいは光照射により、キラル液晶場の左右の捻れ方向を可逆的にスイッチング制御すること、また、キラル液晶場での重合により共役ポリマーのヘリシティを間接的に自在制御することは、本研究の核心をなす学術的動機である。

そこで、本研究では、(i) 高温および低温の温度変化に応じてキラル反転する温度応答性キラル化合物を合成する(図3、4)。(ii) 次に、紫外光および可視光の照射によりキラル反転する光応答性キラル化合物を合成する(図5)。(iii) これらのキラル化合物をそれぞれ相溶性のあるネマチック液晶に添加して、外部刺激によりキラリティが反転するキラル液晶を調製する。(iv) このキラル液晶を重合反応の溶媒として用いることで、らせん構造やスパイラル形態を有するヘリカル共役ポリマーを合成し、外部刺激により間接的にキラリティを制御できる電子・光機能性ポリマーを創製する(図3~8)。本研究を通じて、動的にキラリティを制御できる液晶反応場を開発するとともに、液晶反応場の学理の進展を図る。

3. 研究の方法

(1) 化学反応や重合反応などの厳しい化学的環境下でも、分子構造や液晶性が壊れない、化学的に安定したキラル液晶場を構築することに加え、キラル液晶場のキラリティを外部刺激(温度、光)によりスイッチング制御し、さらに、生成物であるポリマーのキラリティを外部刺激で間接的に制御しようとする研究は、他に例はなく全く独自の取り組みである。

(2) 温度応答性キラル化合物の分子設計では、温度依存性が逆のキラル部位二つ(軸不斉ピ

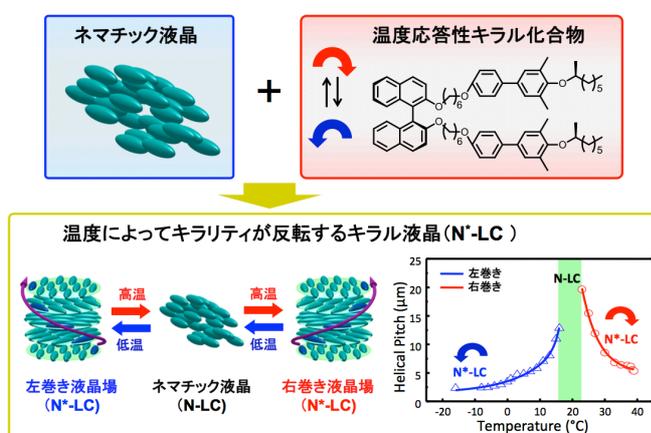


図3 温度応答性キラルドーパント(上図)からなるキラル液晶(左下図)とそのヘリカルピッチの温度依存性(右下図)

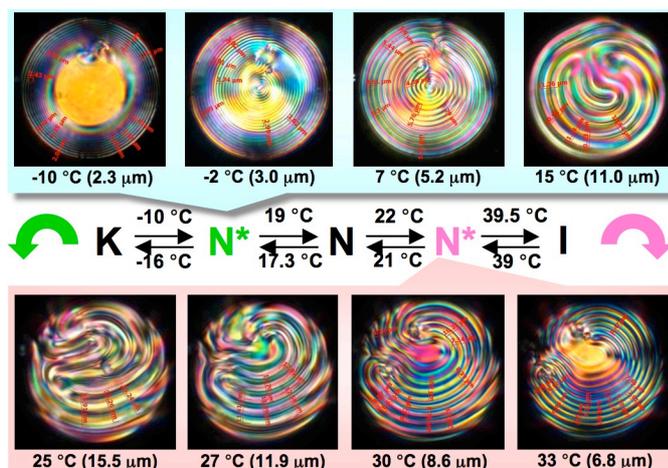


図4 温度により可逆的にキラル反転するキラルネマチック液晶の偏光顕微鏡写真

ナフチルと不斉中心型アルキル基)を一分子内に組み込むことで、低温と高温でキラリティが反転することを独自に考案し、既の実証済みである(図4)。

(3) 光応答性キラル化合物の分子設計では、ベンゾチオフェン部位からなるジチエニルエテン光応答性化合物と、軸不斉ビナフチル化合物を環状に連結させることで、開環と閉環という光異性化に伴うキラル反転の繰り返し耐久性を飛躍的に向上させることを考案した(図5:左上図)。環状構造をとることにより、ジチエニルエテンの開環時、二つのベンゾチオフェン部位はアンチパラレル構造のみしかとれないため、閉環反応は確実に進行する。(パラレル構造では閉環反応は進行しない。)さらに、閉環から開環への異性化反応は容易に進行し、かつアンチパラレル構造の開環状態のみが生成する。

上記の分子設計と着想は、これまでの研究活動で得た知見と新たな創造性に基づいている。

(4) ヘリカル共役ポリマーのヘリシティは、円二色性スペクトルおよび円偏光蛍光スペクトルのコットン効果の符号に基づいて判定する。吸収および発光過程における非対称性因子を明らかにし、ヘリシティを定量的に評価する。

化学重合あるいは電気化学重合という重合手法にかかわらず、生成物である共役ポリマーのキラリティが、外部刺激応答性キラル液晶場によって自在に制御できることを明らかにする。

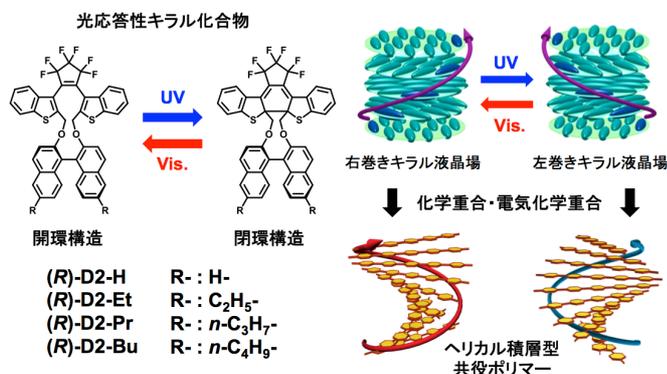


図5 光応答性キラルドーパント(左図)からなるキラル液晶場(右上図)での化学重合あるいは電気化学重合による、ヘリカル共役ポリマーの合成(右下図)

4. 研究成果

(1) 温度応答性キラル液晶の合成

① 軸不斉ビナフチル部位と不斉中心型アルキル部位は、キラリティ変化の温度依存性が逆であることを確認した。これら二つのキラル部位を一分子内に組み込むことで、他に例のない温度応答性キラル化合物を創製した(図3)。

② 上記のキラル化合物をフェニルシクロヘキシル系あるいはシアノビフェニル系ネマチック液晶に添加してキラルネマチック液晶を調製した。引き続き、この温度応答性キラル液晶が、高温と低温でキラリティが可逆的に反転することを明らかにした(図4)。

③ キラル液晶にアセチレンモノマーおよびチーグラー・ナッタ(チタン-アルミニウム系)触媒を加えた後も、温度変化に応じてキラリティの可逆反転が保持されることを確認した。キラリティ反転の有無は、偏光顕微鏡観察および円二色性スペクトル測定を通じて判定した。

(2) 光応答性キラル液晶の合成

① 光応答性部位として、光異性化の繰り返し耐久性が高いと期待されるジベンゾチエニルエテン部位を用いた。このジベンゾチエニルエテン部位と軸不斉ビナフチル部位とを環状に連結させた新規光応答性キラル化合物を合成した(図5)。

② このキラル化合物の軸不斉ビナフチル部位の6, 6'位にアルキル基(エチル基、プロピル基、ブチル基)を導入して、光反転スイッチングの挙動と繰り返し耐久性を系統的に検証し、最適のキラル化合物を決定した。

③ 閉環および開環の可逆性を保つには、ジアリールエテン部位がアンチパラレル構造を有することが必須であるため、¹Hおよび¹³C-NMR(核磁気共鳴スペクトル)の測定を通じて、開環および閉環状態における分子構造を解明した。

④ 光応答性キラル化合物を相溶性のあるシアノビフェニル系ネマチック液晶に添加して、キラル液晶を調製した。光照射による開環および閉環に伴って、キラル液晶のキラリティが可逆的に反転することを示した。さらに、光スイッチングの繰り返し耐久性を紫外可視吸収スペクトルの吸収強度から定量的に評価した。

(3) 外部刺激（温度、光）応答性キラル液晶場でのポリマー合成

① 温度応答性キラル液晶場で、無置換アセチレンをモノマーとして界面化学重合を行い、ヘリカルポリアセチレン（H-PA）薄膜を合成した。キラル液晶場のキラリティを温度で制御することで、H-PA のスパイラル形態およびフィブリルの捻れ方向を間接的に制御できることを明らかにした（図6）。

② 光応答性キラル液晶を電気化学重合の溶媒に用いて、エチレンジオキシチオフェン(EDOT)二量体の不斉重合を行い、ヘリカル積層型 PEDOT を合成した。キラル液晶のヘリシティを紫外および可視光線を照射することで制御するとともに、合成した PEDOT のヘリシティを間接的に制御できることを明らかにした（図7）。

③チオフェン二量体の 2,2' 位にトリメチルスズ基を導入したピチオフェン誘導体、およびベンゼンの 1, 4 位に臭素、2 位にオクチルカルボキシル基を導入したモノフェニレン誘導体をそれぞれ合成した。外部刺激（紫外・可視光照射）により左右の捻れを制御したキラル液晶場で、ピチオフェン誘導体とモノフェニレン誘導体との Stille クロスカップリング重合を行い、ヘリカル積層型共役コポリマーを合成した（図8）。この共役コポリマーのヘリシティも、光で制御された不斉反応場のヘリシティによって制御できることを明らかにした。

本研究により、『外部刺激で巻き方向の制御が可能な不斉重合場』を構築し、同時に、ヘリカル共役ポリマーおよびコポリマーのヘリシティの温度や光の外部刺激によって制御できることを明らかにした。

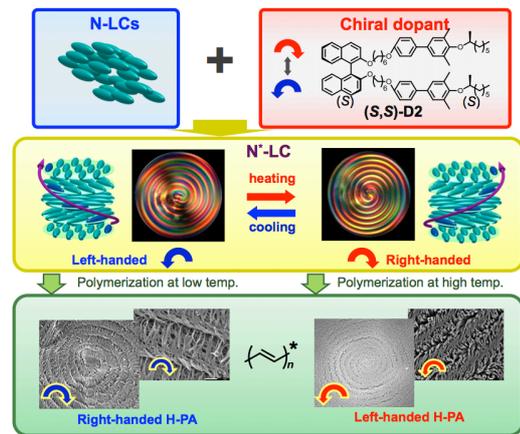


図6 逆の温度依存性を示す二種類のキラル部位からなるキラル化合物を含むキラルネマチック液晶（N*LC）（上段、中段）と、これを不斉反応場とする化学重合により合成したヘリカルポリアセチレン（H-PA）（下段）



図7 光応答性部位と軸不斉部位からなるキラル化合物を含むキラルネマチック液晶（N*LC）（中央図）と、これを不斉反応場とする電気化学重合により合成したヘリカルポリエチレンジオキシチオフェン（H-PEDOT）（両側の図）

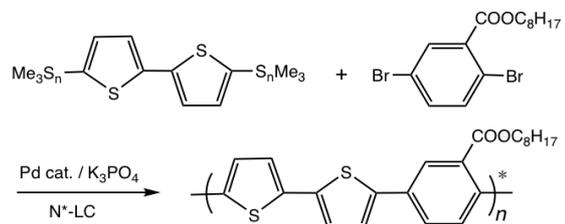


図8 光応答性キラル液晶場でのピチオフェン誘導体とモノフェニレン誘導体とのクロスカップリング重合によるヘリカル共役コポリマーの合成

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Satoru Yoshida, Hiroki Emi, Hiromasa Yamamoto, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi	4. 巻 3
2. 論文標題 Chiroptical Properties of Helical Aromatic Conjugated Polymers Synthesized by Electrochemical Polymerization in Chiral Nematic Liquid Crystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J. Adv. Mater. Sci. Eng.	6. 最初と最後の頁 1~10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Yoshida Satoru, Morikawa Santa, Ueda Kenta, Kaneko Kosuke, Hanasaki Tomonori, Akagi Kazuo	4. 巻 16
2. 論文標題 Helicity Control of Circularly Polarized Luminescence from Aromatic Conjugated Copolymers and Their Mixture Using Reversibly Photoinvertible Chiral Liquid Crystals	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials&Interfaces	6. 最初と最後の頁 3991~4002
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsami.3c15512	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 Keita Horie, Shunsuke Kondo, Kazuo Akagi	4. 巻 11
2. 論文標題 Particle dispersion system consisting of helically assembled liquid crystalline poly(para-phenylene)derivatives with reproducible chiroptical properties	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 943~952
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/d2tc03747e	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 Yamamoto Hiromasa, Inagaki Takuya, Park Jinwoo, Yoshida Satoru, Kaneko Kosuke, Hanasaki Tomonori, Akagi Kazuo	4. 巻 54
2. 論文標題 Helical Network Polymers Embodying High Dissymmetry Factors in Circularly Polarized Luminescence: Photocrosslinking Polymerization of Acrylate Derivatives in Chiral Smectic Liquid Crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 8977~8986
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.macromol.1c01146	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 赤木和夫	4. 巻 70
2. 論文標題 超階層構造制御で伝える、伝わる	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 高分子	6. 最初と最後の頁 592
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 堀江慶太, 山下智弘, 赤木和夫	4. 巻 26
2. 論文標題 温度によるキラル反転が可能な不斉反応場を用いた共役系高分子のらせん構造制御	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 液晶	6. 最初と最後の頁 46-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Kazuo Akagi, Tomohiro Yamashita, Keita Horie, Munju Goh, Masaharu Yamamoto	4. 巻 32
2. 論文標題 Chiral Reaction Field with Thermally Invertible Helical Sense that Controls the Helicities of Conjugated Polymers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 1906665 (1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.201906665	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 Yoshida Satoru, Morikawa Santa, Ueda Kenta, Hidaka Masatomo, Kaneko Kosuke, Kaneko Kimiyoshi, Hanasaki Tomonori, Akagi Kazuo	4. 巻 8
2. 論文標題 Photoinvertible Chiral Liquid Crystal that Affords Helicity Controlled Aromatic Conjugated Polymers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 2000936 (1-10)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.202000936	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 -

〔学会発表〕 計46件（うち招待講演 15件 / うち国際学会 23件）

1. 発表者名 Kazuo Akagi
2. 発表標題 Brief introduction of the JST-CREST project "Creation of Innovative Basic Technologies for Circularity Polarized Luminescence Materials Development"
3. 学会等名 JST-01ST Joint Symposium on Circularly Polarized Luminescence and the Related Phenomena (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuo Akagi
2. 発表標題 Synthesis and Chiroptical Properties of Helical Conjugated Polymers
3. 学会等名 Symposium on Molecular Chiralit (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuo Akagi
2. 発表標題 Synthesis and Morphological Control of Helical Polymers
3. 学会等名 Annual World Congress of Smart Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤田悠希、堀江慶太、金子光佑、花崎知則、赤木和夫
2. 発表標題 キラルネマチック液晶場で誘起する円偏光発光性蛍光物質の合成とキラル光学特性
3. 学会等名 日本液晶学会討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本大誠、吉田悟、堀江慶太、金子光佑、花崎知則、赤木和夫
2. 発表標題 キラル液晶場でのRGB円偏光発光特性を有するらせん状架橋ポリマーの合成と そのキラル発光特性
3. 学会等名 日本液晶学会討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 堀江慶太、赤木和夫
2. 発表標題 液晶性カルバゾール誘導体を用いた誘起円偏向発光特性
3. 学会等名 第7回CREST研究推進会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiromasa Yamamoto, Satoru Yoshida, Keita Horie, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi
2. 発表標題 Synthesis of Helical Network Polymers Exhibiting RGB Circularly Polarized Luminescence in Chiral Liquid Crystals
3. 学会等名 20th Optics of Liquid Crystals Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Satoru Yoshida, Santa Morikawa, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi
2. 発表標題 Helicity Control of White Circularly Polarized Luminescence of Mixed Aromatic Conjugated Polymers by Photoresponsive Chiral Nematic Liquid Crystals
3. 学会等名 20th Optics of Liquid Crystals Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuo Akagi
2. 発表標題 Synthesis and Chiroptical Properties of Helical Conjugated Polymers
3. 学会等名 Synthesis and Chiroptical Properties of Helical Conjugated Polymers Kazuo Akagi Joint France-Japan Symposium on Circularly Polarized Luminescence and Related Phenomena (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuo Akagi
2. 発表標題 Synthesis and Chiroptical Properties of Helical Conjugated Polymers
3. 学会等名 International Symposium on Circularly Polarized Luminescence and Related Phenomena 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiromasa Yamamoto, Satoru Yoshida, Keita Horie, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi
2. 発表標題 Synthesis of RGB fluorescent helical network polymers in chiral liquid crystals and evaluation of their circularly polarized luminescence
3. 学会等名 Pure and Applied Chemistry International Conference 2024 (PACCON 2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yuki Fujita, Keita Horie, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi
2. 発表標題 Synthesis of Achiral Fluorene Derivatives Exhibiting Circularly Polarized Luminescence Induced in Chiral Nematic Liquid Crystal Medium
3. 学会等名 Pure and Applied Chemistry International Conference 2024 (PACCON 2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Satoru Yoshida, Santa Morikawa, Kenta Ueda, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi
2. 発表標題 Mechanism of chirality induction in photoresponsive chiral nematic liquid crystals
3. 学会等名 28th International Liquid Crystal Conference (ILCC2022)(Online) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤木和夫
2. 発表標題 究め極めたい螺旋の道 -らせん状共役ポリマーと円偏光発光
3. 学会等名 ミニシンポジウム「分子の形と機能」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤木和夫、堀江慶太
2. 発表標題 キラル液晶を不斉場とする円偏光発光体の合成と展開
3. 学会等名 第4回CREST研究推進会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田悟、森川陽太、金子光佑、花崎知則、赤木和夫
2. 発表標題 光応答性キラル反転液晶を用いた共役ポリマーの誘起円偏光発光の光制御
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会 (オンライン発表)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 江見大樹、吉田悟、山本大誠、金子光佑、花崎知則、赤木和夫
2. 発表標題 キラル液晶場での芳香族ヘリカル共役ポリマーの合成と円偏光発光特性
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会 (オンライン発表)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤木和夫、堀江慶太
2. 発表標題 キラル液晶場でのヘリカルネットワークポリマーの合成とその円偏光発光特性
3. 学会等名 第5回CREST研究推進会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本大誠、稲垣拓也、Park Jinwoo、吉田悟、堀江慶太、金子光佑、花崎知則、赤木和夫
2. 発表標題 キラル液晶場に基づくらせん状凝集構造を有する架橋ポリマーの合成とその円偏光発光特性の評価
3. 学会等名 日本液晶討論会 (オンライン発表)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤木和夫
2. 発表標題 円偏光発光材料の開発に向けた革新的基盤技術の創成
3. 学会等名 JST-CREST「革新光」領域会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀江慶太、赤木和夫
2. 発表標題 高分子ネマチック液晶を用いたCPL フィルムの開発
3. 学会等名 第6回CREST研究推進会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤木和夫
2. 発表標題 分子相互作用系における電子・振動状態の化学的描像化と分光学的性質
3. 学会等名 立命館大学公開セミナー（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuo Akagi
2. 発表標題 Chiroptical Helical Conjugated Polymers synthesized in Chiral Liquid Crystal Field
3. 学会等名 International CPL and CPEL Conference 2023 (ICCC 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Satoru Yoshida, Santa Morikawa, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi
2. 発表標題 Helicity Control of White Circularly Polarized Luminescence of Mixed Aromatic Conjugated Polymers by Photoresponsive Chiral Nematic Liquid Crystals
3. 学会等名 International CPL and CPEL Conference 2023 (ICCC 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiromasa Yamamoto, Satoru Yoshida, Keita Horie, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi
2. 発表標題 Synthesis of Helical Network Polymers in a Chiral Nematic Liquid Crystal and Evaluation of Luminescence Dissymmetry Factors
3. 学会等名 International CPL and CPEL Conference 2023 (ICCC 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroki Emi, Satoru Yoshida, Hiromasa Yamamoto, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi
2. 発表標題 Synthesis of Helical Aromatic Conjugated Polymers in Chiral Liquid Crystal Reaction Fields and Circularly Polarized Luminescence
3. 学会等名 International CPL and CPEL Conference 2023 (ICCC 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuki Fujita, Keita Horie, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi
2. 発表標題 Synthesis of Fluorescent Fluorene Derivative Exhibiting Circularly Polarized Luminescence Induced by Chiral Nematic Liquid Crystals
3. 学会等名 International CPL and CPEL Conference 2023 (ICCC 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤田悠希、堀江慶太、金子光佑、花崎知則、赤木和夫
2. 発表標題 蛍光性フルオレン誘導体の合成とキラルネマチック液晶により誘起される円偏光発光の特性
3. 学会等名 日本化学会第103春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 赤木和夫
2. 発表標題 らせん状共役ポリマーの合成とキラル光学特性
3. 学会等名 日本磁気学会・第87スピントロニクス専門研究会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuo Akagi
2. 発表標題 Synthesis and Chiroptical Properties of Helical Conjugated Polymers
3. 学会等名 International CREST-CPL Conference (ICCC)-2022（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuo Akagi
2. 発表標題 Helical Conjugated Polymers Synthesized in Chiral Liquid Crystal Reaction Field with Thermally Invertible Helical Sense
3. 学会等名 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤木和夫
2. 発表標題 円偏光発光(CPL)とヘリカル共役ポリマー
3. 学会等名 立命館大学・公開セミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤木和夫
2. 発表標題 外部刺激応答性キラル液晶場でのヘリカル共役ポリマーの合成
3. 学会等名 CREST研究推進シンポジウム〔オンライン〕(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤木和夫
2. 発表標題 外部刺激応答性キラル液晶場でのヘリカル共役ポリマーの合成
3. 学会等名 CREST研究討論会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本大誠, 稲垣拓也, Jinwoo Park, 吉田 悟, 金子光佑, 花崎知則, 赤木和夫
2. 発表標題 キラルスメクチック液晶場でのヘリカルネットワークポリマーの合成とその円偏光発光特性の評価
3. 学会等名 日本液晶学会・液晶討論会(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Inagaki, Ken Kusunoki, Jinwoo Park, Hiromasa Yamamoto, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akag
2. 発表標題 Synthesis of Helical Network Polymers Exhibiting Circularly Polarized Luminescence through Photo-crosslink Polymerization in Chiral Liquid Crystal Field
3. 学会等名 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem) 2021(On-line)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名	Satoru Yoshida, Masatomo Hidaka, Santa Morikawa, Kosuke Kaneko, Kimiyoshi Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi
2. 発表標題	Helicity Control of Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)s using Photo-Invertible Chiral Liquid Crystal Field
3. 学会等名	International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem) 2021(On-line) (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Hiroki Emi, Satoru Yoshida, Hiromasa Yamamoto, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi
2. 発表標題	Circularly Polarized Luminescence of Helical Aromatic Conjugated Polymers Synthesized in Chiral Liquid Crystal Field
3. 学会等名	International CREST-CPL Conference (ICCC)-2022 (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Hiromasa Yamamoto, Takuya Inagaki, Jinwoo Park, Satoru Yoshida, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi
2. 発表標題	Chiroptical and Helical Network Polymers Synthesized through Photocrosslinking Polymerizations in Chiral Smectic Liquid Crystals
3. 学会等名	International CREST-CPL Conference (ICCC)-2022 (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Satoru Yoshida, Santa Morikawa, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi
2. 発表標題	Photocontrol of Circularly Polarized Luminescence induced in Aromatic Conjugated Polymers using Photoinvertible Chiral Liquid Crystals
3. 学会等名	International CREST-CPL Conference (ICCC)-2022 (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名 Kana Matsuki, Kosuke Kaneko, Satoru Yoshida, Kazuo Akagi, Tomonori Hanasaki
2. 発表標題 Synthesis and Photophysical Properties of Anthracene Derivatives
3. 学会等名 International CREST-CPL Conference (ICCC)-2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤木和夫
2. 発表標題 外部刺激によりキラル反転する液晶場でのヘリティ制御型共役ポリマーの合成とそのキラル光学特性
3. 学会等名 日本化学会・第101春季年会シンポジウム (オンライン) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoru Yoshida, Santa Morikawa, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi
2. 発表標題 Helicity control of white circularly polarized luminescence of mixed aromatic conjugated polymers by photoresponsive chiral nematic liquid crystals
3. 学会等名 第7回CREST研究推進会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本大誠, 吉田 悟, 堀江慶太, 金子光佑, 花崎知則, 赤木和夫
2. 発表標題 キラル液晶場でのRGB円偏光発光特性を有するらせん状架橋ポリマーの合成とそのキラル発光特性
3. 学会等名 第7回CREST研究推進会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤田悠希, 堀江慶太, 金子光佑, 花崎知則, 赤木和夫
2. 発表標題 キラル液晶により誘起円偏光発光を示す蛍光物質の合成と特性
3. 学会等名 第7回CREST研究推進会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 来守谷 亮, 山本大誠, 稲垣拓也, 金子光佑, 花崎知則, 赤木和夫
2. 発表標題 RGB発光性ヘリカルネットワークポリマーの多重テンプレート重合による合成とその性質
3. 学会等名 第7回CREST研究推進会議
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計7件

1. 著者名 Kazuo Akagi (編集)、チャプター 9 Keita Horie, Kazuo Akagi (分担執筆), チャプター 16 Kosuke Kaneko, Hiromasa Yamamoto, Satoru Yoshida, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi (分担執筆)	4. 発行年 2024年
2. 出版社 Wiley VCH	5. 総ページ数 992
3. 書名 Chiral Luminescence: From Molecules to Materials and Devices	

1. 著者名 Kazuo Akagi(分担執筆)	4. 発行年 2023年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 -
3. 書名 Encyclopedia of Polymers, Polymeric Materials, and Polymer Technology	

1. 著者名 赤木和夫	4. 発行年 2022年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 630
3. 書名 高分子材料の事典 (分担執筆 pp.586-587)	

1. 著者名 赤木和夫 (分担執筆)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 1570
3. 書名 2020版薄膜作製応用ハンドブック	

1. 著者名 赤木和夫 (分担執筆)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 東京化学同人	5. 総ページ数 496
3. 書名 「基礎高分子科学 第2版」, 1章 高分子 歴史と展望	

1. 著者名 赤木和夫 (分担執筆)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 -
3. 書名 高分子学会 (編) 基礎編 (機能) 電気・電子機能	

1. 著者名 Kazuo Akagi	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer Nature	5. 総ページ数 21
3. 書名 Polymers and Polymeric Composites: A References Series	

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室HP https://www.ritsumeai.ac.jp/~akagi/akagi_hp_2014_ritsumeai/member.html
--

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