

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月 15日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2012

課題番号：21245037

研究課題名（和文） フラストレート液晶相の本質の理解、新規相の探索、デバイス材料への応用

研究課題名（英文） Understanding basic nature, investigation of new phases and applications to device materials of frustrated liquid crystals

## 研究代表者

菊池 裕嗣 (KIKUCHI HIROTSUGU)

九州大学・先導物質化学研究所・教授

研究者番号：50186201

## 研究成果の概要（和文）：

フラストレート相の1種である液晶ブルー相の温度範囲とブラッグ波長の電場によるシフト範囲を同時に広げる新しいアプローチについて研究し、デンドロン分子がこの両者を同時に広げることを見出した。そのメカニズムを分子形状と弾性理論から考察した。また、ブルー相および高分子安定化ブルー相の格子構造を共焦点レーザ走査顕微鏡により直接観察し、その構造を詳細に調査した。得られた成果は、ブルー相の発現メカニズムと自己組織構造の理解、さらに工学的応用に極めて有用な知見を与える。

## 研究成果の概要（英文）：

A new approach to simultaneously extend the wavelength range of field-induced Bragg diffraction shift and the temperature range of thermodynamically stable BPs has been studied in this project. A new liquid crystal blue material system was shown using a dendron molecule to extend simultaneously the two blue phase ranges. One is the temperature range of thermodynamically stable blue phases. The other is the reversible maximum shift range of Bragg wavelength on the electric field. The physical mechanism of the dendron-stabilizing effect in blue phases is discussed in terms of elastic property and orientational order of liquid crystal molecules. The lattice structure of the blue phases and polymer-stabilized blue phases were closely investigated using confocal laser scanning optical microscope.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	15,100,000	4,530,000	19,630,000
2010年度	10,900,000	3,270,000	14,170,000
2011年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2012年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
年度			
総計	36,800,000	11,040,000	47,840,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・機能物性科学

キーワード：液晶、フラストレーション、ブルー相、電気光学デバイス、表示素子

## 1. 研究開始当初の背景

液晶相の1種であるブルー相は、分子配列と空間トポロジーの「フラストレーション」（異なる階層における安定構造が同時に満足されない状態）が発現に本質的に係わっていることなど、基礎科学の対象として興味深い、発現温度範囲の狭さから応用上の観点で着目されることは最近までなかった。研究代表者らは、少量の高分子をブルー相中でテンプレート重合により生成させることでブルー相の発現温度範囲が数十℃以上に劇的に広がることと、そうやって安定化したブルー相（高分子安定化ブルー相）が高速の電気光学効果を示すことを見出し（Kikuchi et al., *Nature Materials*, Vol.1, 64,2002）、ブルー相の実用材料としての突破口を開いた。高分子安定化ブルー相の表示方式は、高速応答、配向処理不要などの優位性を有し、液晶ディスプレイの究極の方式として期待されている。一方で、基礎研究の遅れから、応用上発生する様々な課題の解決の糸口がつかめず、ブルー相の本質的理解が産業界からの強い要望となっている。そこで、申請者は魅力的な特徴をもつフラストレート液晶相を有用材料として大きく発展させるには、フラストレート液晶相の根本からの理解を深めることが学術上最も重要であると考え、本申請の着想に至った。

## 2. 研究の目的

ブルー相などのフラストレート液晶相の分子レベルの局所的構造から可視光波長オーダーに及ぶ巨視的構造のそれぞれの安定性とそれらの拮抗状態を詳細に検討し、基本的・根源的な問題の解明を中心にこれまでと異なる視点と切り口で以下の項目について取り組む。

### 1) ブルー相を発現するための分子設計

一般にねじれのピッチ長が 500nm 以下のときブルー相が発現されると考えられているが、申請者らは多くの例外を見いだしている。ブルー相発現に及ぼす分子構造、分子運動、分子間相互作用の影響を詳細に調査する。

### 2) ブルー相における分子凝集状態

ブルー相は秩序相と無秩序相の共存状態である。それにもかかわらずブルー相を多相系として扱った例はこれまで少ない。ブルー相発現に及ぼす混合、二相共存、相分離の影響を明らかにする。

### 3) ブルー相の制御

フラストレート相の構造や物性に及ぼす電場、磁場、力学場、など外場の影響を調べる。

### 5) 電気光学デバイスへの応用

フラストレート相のダイナミクス、刺激応答性を評価し、フラストレート相の電気光学

デバイスへの応用を検討する。

## 3. 研究の方法

### (1) ドーパントの開発

ブルー相を発現させる液晶組成物としてネマチック液晶混合物 (50CB (Aldrich)/ JC1041-XX (chisso)) にキラルドーパント 2,5-bis-[4-(hexyloxy)-phenyl-4-carbonyl]-1,4;3,6-dianhydride-D-sorbitol を加えたものを使用した。セルは厚さ 13 μm の ITO サンドイッチ型セルを使用した。ブルー相の発現温度範囲およびブラッグ反射波長のシフト幅は、デンドロン分子 (ArG2-6-LC) を添加した系と添加していない系で比較した。液晶の弾性定数は電気容量-電圧 (C-V) 測定装置 (東陽テクニカ) で測定した。K22 の twist 弾性定数は次式から求めた。

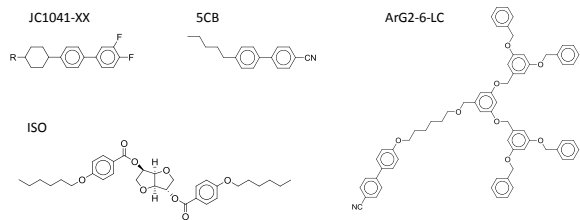


図1 試料の化学構造

### (2) 共焦点レーザー顕微鏡 (CLSM) を用いた高分子安定化ブルー相の観察

調製した高分子安定化ブルー相を、共焦点レーザー顕微鏡 (A1, Nikon) を用いて観察を行った。観察光源には、488 nm (固体レーザー) のレーザーを用い、対物レンズには、×20, ×40, ×100 に Nikon のレンズを用い、×100 には Zeiss の油浸レンズを用いた (油浸レンズは Nikon, Zeiss とともに×100 にのみ使用可)。CLSM は、標本を破壊することなく焦点面の画像のみを観察できる方法である。光学系を下図に示す。得られた画像は、フリー画像解析ソフト Image J を用いて解析を行った。

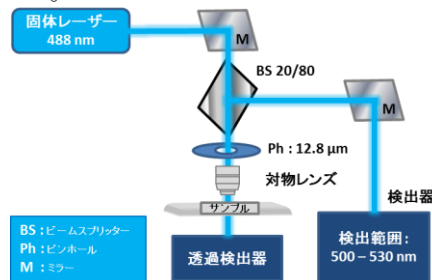


図2 共焦点レーザー顕微鏡 (CLSM) の光学系

#### 4. 研究成果

(1) デンドロン分子添加によるブルー相の温度範囲およびブラッグ回折シフト範囲の拡大

電場印加によるブラッグ反射波長のシフト幅とその温度依存性を測定した。測定には過冷却を防ぐため昇温過程で温度制御し所定の温度で十分保持時間をおいた。デンドロン ArG2-6-LC を添加していない系と添加した系を比較すると、添加した系は発現温度範囲が拡大したことが明らかとなった。このことから熱力学的に安定な状態でブルー相の発現温度範囲が拡大され、チューナブルフォトリックバンドの波長-温度領域が拡大されたことが明らかとなった。また、電場により BP I~III のいずれにも当てはまらない BP X への転移が確認された。

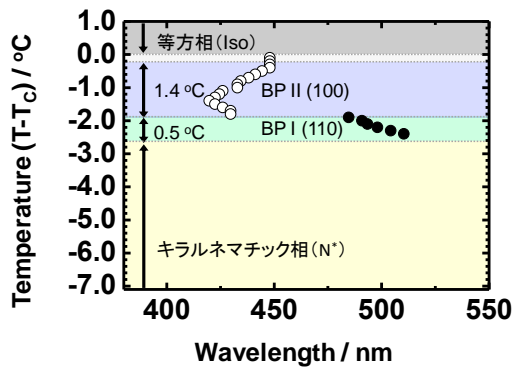


図3 デンドロン ArG2-6-LC を含まないブルー相での温度-波長マップ

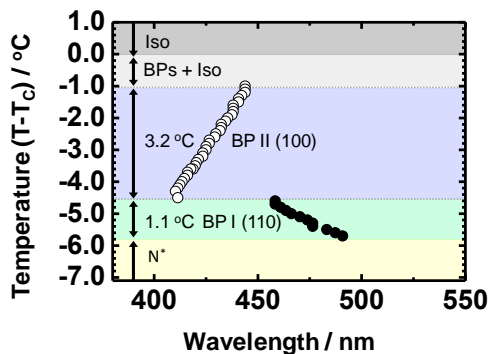


図3 デンドロン ArG2-6-LC を含まないブルー相での温度-波長マップ

#### (2) 共焦点顕微鏡観察

ブルー相を発現する液晶は、ネマチック液晶と液晶の分子配列にねじれを誘起するカイラル剤の均一混合により調製される。高分

子安定化ブルー相は、モノマーと液晶の混合溶液がブルー相を発現する温度領域内に保ち紫外光を照射する in-situ 光重合を行うことにより調製した。これらの操作により得られた各液晶相を偏光顕微鏡(POM) (Nikon Co., Ltd.) および共焦点レーザー顕微鏡 (CLSM) (Nikon) により観察した。

キラル剤濃度を変化させた場合における共焦点レーザー顕微鏡像の変化を図 32 に示す。格子面(111), (100)面における CLSM 画像に、Image J を用いてフーリエ変換(FFT)を行い、格子定数の変化を測定した。キラル剤濃度が高くなるにつれて格子定数が小さくなっていくことが CLSM 観察によって確認された。FFT では、周期的構造に対応するドットが広がっていくことが確認された。この結果は、反射スペクトル測定や超小角 X 線回折測定の結果とよく一致した。

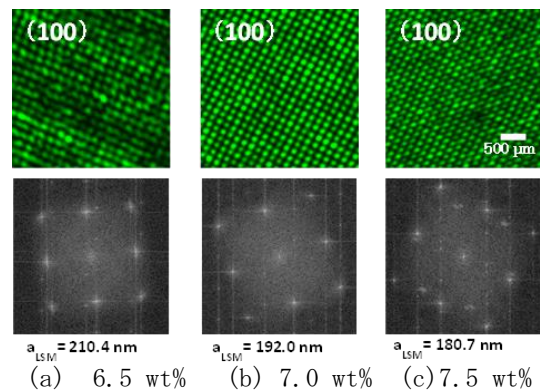


図4 種々のキラル剤濃度のブルー相の共焦点顕微鏡観察写真とそのフーリエ変換像

以上より、フラストレーション相の代表的な液晶相であるブルー相の安定性に敏感に影響を与える分子として分岐構造を有するデンドロン分子が見出され、その安定化のメカニズムとして分子形状とネマチック配向秩序の弾性率が影響していることを初めて明らかにした。デンドロン分子を添加したブルー相では、安定な温度範囲と電場によって誘起されるブラッグ回折のシフト範囲が同時に拡がり、チューナブルフォトリック液晶デバイス材料への応用の可能性が示された。また、電場により新たなフラストレーション相への転移が示唆された。さらに、共焦点レーザー走査顕微鏡により、ブルー相の格子構造が非破壊で直接観察され、ブルー相の格子構造の実像としての観察が初めて詳細に行われた。これらの結果は、ブルー相の発現メカニズムと自己組織構造の理解に極めて有用な知見を与える。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 23 件)

1. Satoshi Niyama and Hirotsugu Kikuchi, "Observation of Transient Phase Separation Progress of Liquid Crystal/Polymer Composites Obtained by Photo-Polymerization Induced-Phase Separation and their Electro-Optical Properties", Engineering Sciences Reports, Kyushu University, 34, 1-7, (2013). (査読あり)
2. Sung-Kyu Hong, Choonghwan Kim, SangJin Park, and Hirotsugu Kikuchi, "Blue Phase Stability of n-OCB Homologue Chiral Nematic Liquid Crystal Mixtures", Liq. Cryst., in press. (査読あり)
3. Seishi Shibayama, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, and Hirotsugu Kikuchi, "Dendron-Stabilized Liquid Crystalline Blue Phases with an Enlarged Controllable Range of the Photonic Band for Tunable Photonic Devices", Adv. Funct. Mater., in press. (査読あり)
4. Shin-ichi Yamamoto, Yasuhiro Haseba, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, and Hirotsugu Kikuchi, "Lattice plane control of liquid crystal blue phase", Liq. Cryst., in press. (査読あり)
5. Satoshi Niyama and Hirotsugu Kikuchi, "Optical Microscopic Observation of Morphology in Liquid Crystal/Polymer Composites and their Electro-Optical Properties", Mol. Cryst. Liq. Cryst., accepted. (査読あり)
6. Shin-Ichi Yamamoto, Takashi Iwata, Yasuhiro Haseba, Dong-Uk Cho, Suk-Won Choi, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, "Improvement of Electro-Optical Properties on Polymer-Stabilized Optically Isotropic Liquid Crystals", Liq. Cryst., 39, 487-491 (2012). (査読あり)
7. Kenji Higashiguchi, Kei Yasui, Masaaki Ozawa, Keisuke Odoi, and Hirotsugu Kikuchi, "Spatial Distribution Control of Polymer Nanoparticles by Liquid Crystal Disclinations", Polymer Journal, 44, 632-638 (2012). (査読あり)
8. Hyunseok Choi, Hiroki Higuchi, Yukiko Ogawa, and Hirotsugu Kikuchi, "Polymer-Stabilized Supercooled Blue Phase", Appl. Phys. Lett., 101, 131904/1-131904/5 (2012). (査読あり)
9. Hyunseok Choi, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, "Fast Electro-Optic Switching in Liquid Crystal Blue Phase II", Appl. Phys. Lett., 98, 131905/1-131905/3 (2011). (査読あり)
10. Jae Jin Lyu, Hirotsugu Kikuchi, Dae Hyun Kim, Jun Hyup Lee, Kyeong Hyeon Kim, Hiroki Higuchi, and Seung Hee Lee, "Phase Separation of Monomer in Liquid Crystal Mixtures and Surface Morphology in Polymer-Stabilized Vertical Alignment Liquid Crystal Displays", J. Phys. D: Appl. Phys. 44, 325104/1-325104/5 (2011). (査読あり)
11. Hyunseok Choi, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, "Electrooptic Response of Liquid Crystalline Blue Phases with Different Chiral Pitches", Soft Matter, 7, 4252-4256 (2011). (査読あり)
12. Yasuhiro Haseba, Shin-ichi Yamamoto, Takafumi Kuninobu, Kohki Sago, Yasutomo Nagano, and Hirotsugu Kikuchi, "Optically Isotropic Liquid Crystals for Electrooptical Devices", Digest of Technical Papers - Society for Information Display International Symposium, 42, 206-209 (2011): SID 2011, Los Angeles, May 17-20, 2011. (査読あり)
13. Hyunseok Choi, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, "Chiral Pitch Dependence of Electro-Optic Kerr Effect in Polymer Stabilized Blue Phase", Digest of Technical Papers - Society for Information Display International Symposium, 42, 1658-1660 (2011): SID 2011, Los Angeles, May 17-20, 2011. (査読あり)
14. Jais Bin Lias, Hirotsugu Kikuchi, Munehiro Kimura, and Tadashi Akahane, "Determination of Polar Anchoring Strength for Polymer-Stabilized Blue-Phase Liquid Crystal Device", Jpn. J. Appl. Phys., 50, 081607/1-081607/5 (2011). (査読あり)
15. Shuhei Yabu, Yuma Tanaka, Kenji Tagashira, Hiroyuki Yoshida, Akihiko Fujii, Hirotsugu Kikuchi, and Masanori Ozaki, "Polarization-Independent Refractive Index Tuning Using Gold Nanoparticle-Stabilized Blue Phase Liquid Crystals", Opt. Lett., 36, 3578-3580 (2011). (査読あり)
16. Shuhei Yabu, Hiroyuki Yoshida, Gihwan Lim, Kosuke Kaneko, Yasushi Okumura, Noboru Uehara, Hirotsugu Kikuchi, and Masanori Ozaki, "Dual Frequency Operation of a Blue Phase Liquid Crystal", Opt. Mater. Express, 1, 1577-1584 (2011). (査読あり)
17. Tatsuhiro Mizunuma, Thet Naing Oo, Yasutomo Nagano, Hengyi Ma, Yasuhiro Haseba, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, and Hirotsugu Kikuchi, "Electro-Optical Properties of Polymer-Stabilized Blue Phase with Different Monomer Combination and Concentration", Opt. Mater. Express, 1, 1561-1568 (2011). (査読あり)
18. Thet Naing Oo, Tatsuhiro Mizunuma, Yasutomo Nagano, Hengyi Ma, Yukiko Ogawa, Yasuhiro Haseba, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, and Hirotsugu Kikuchi, "Effects of Monomer/Liquid Crystal Compositions on Electro-Optical Properties of Polymer-Stabilized Blue Phase Liquid Crystal", Opt. Mater. Express, 1, 1502-1510 (2011). (査読あり)
19. Sung-Kyu Hong, Hyeon Suk Choi, Seishi Shibayama, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi, "Blue Phase Temperature Range at n-Cyanobiphenyl Homologue Chiral Nematic Liquid-Crystal Mixtures", Mol. Cryst. Liq. Cryst., 528, 32-37 (2010). (査読あり)
20. Seishi Shibayama, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi, "Synthesized Novel Dendritic Molecules and Broadening of Temperature Range in Liquid Crystalline Blue Phases", Proceedings of 17th International Display Workshops, 41-44 (2010): IDW '10, Fukuoka, Japan, December 1-3, 2010. (査読あり)
21. Hyunseok Choi, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi, "Electro-optic Response of Blue Phases", Proceedings of 17th International Display Workshops, 41-44 (2010): IDW '10, Fukuoka, Japan, December 1-3, 2010. (査読あり)
22. Suk-Won Choi, Shin-ichi Yamamoto, Yasuhiro Haseba, Hirotsugu Kikuchi, Correlation between the electro-optical Kerr effect and physical parameters of nematogens, Optical Materials, 32(1), 190-193 (2009). (査読あり)
23. Masayoshi Ojima, Takeshi Noma, Hiroaki Asagi, Akihiko Fujii, Masanori Ozaki, Hirotsugu Kikuchi, Pinning effect of mixed cellulose ester membrane on appearance of cholesteric blue phases, Applied Physics Express, 2(2), 021502/1-021502/3 (2009). (査読あり)

## [学会発表] (計 71 件)

(国際会議招待講演)

1. Hiroki Higuchi, Takanori Suzuki, and Hirotsugu Kikuchi, "Control of Helical Structure in Chiral Lyotropic Liquid Crystal by Electrochemical Reaction", 1st NUS-IMCE Workshop in Kyushu, Fukuoka, Japan, June 18, 2012.
2. Hirotsugu Kikuchi, "Interaction between Polymer and Disinclination of Liquid Crystals", Japanese-German Satellite Meeting of ILCC 2012, Mainz, Germany, August 25, 2012.
3. Yasuhiro Haseba, Shin-ichi Yamamoto, Takafumi Kuninobu, Kohki Sago, Yasutomo Nagano, and Hirotsugu Kikuchi, "Optically Isotropic Liquid Crystals for Electro-optical Devices", SID 2011, Los Angeles, USA, May 17, 2011.
4. Hirotsugu Kikuchi, "Polymer-stabilized Blue Phases", 23rd International Liquid Crystal Conference, Krakow, Poland, July 13, 2010.
5. Hirotsugu Kikuchi, Seishi Shibayama, Hyunseok Choi, Yasuhiro Haseba, Shin-ichi Yamamoto, Hiroki Higuchi, "Liquid Crystalline Blue Phases for Electro-optical Devices", 10th International Meeting on Information Display, Seoul, Korea, October 10, 2010.
6. Hiroki Higuchi, Daigou Mochizuki, Hirotsugu Kikuchi, "Control of chirality in liquid crystal blue phase by photoisomeric chiral dopant", 5th Italian-Japanese Workshop on Liquid Crystals, Cetraro, Italy, July 9, 2010.

(国内会議招待講演)

7. 菊池裕嗣, "フラストレーションとブルー相", 第 11 回ソフトマターフォーラム講演会: ソフトマターフォーラム・勉強会「ブルー相を語り合う」, 東京, 2012 年 6 月 26 日.
8. 菊池裕嗣, "液晶と高分子の複合による機能発現", 2012 年日本液晶学会講演会, 千葉, 2012 年 9 月 4 日.
9. 樋口博紀, 堀之内智弘, 石垣侑祐, 鈴木孝紀, 菊池裕嗣, "酸化還元型キラル分子によるリोटロピック液晶相のらせん構造制御", 第 2 回ソフトマター研究会, 福岡, 2012 年 9 月 25 日.
10. 菊池裕嗣, "転移前駆現象としての不均一性から学ぶこと", ソフトマターフォーラム 第 2 回 勉強会「液晶の不均一性を考える」, 弘前, 2012 年 10 月 19 日.
11. 樋口博紀, 菊池裕嗣, "高分子安定化ブルー相と駆動電圧", 第九回超分子構造科学フォーラム 第九回有機薄膜研究会 ジョイントフォーラム in 九州 有機エレクトロニクスの近未来, 熊本, 2011 年 3 月 7 日.
12. 樋口博紀, 菊池裕嗣, "高分子安定化ブルー相と駆動電圧の低減化", 山口東京理科大学 第 11 回液晶研究所シンポジウム 第 8 回先進材料研究所シンポジウム 合同シンポジウム, 山口, 2011 年 3 月 9 日.
13. 菊池裕嗣, "高分子/液晶複合系の相挙動制御と高速電気光学デバイスへの応用", 第 60 回高分子学会年次大会, 大阪, 2011 年 5 月 26 日.
14. 菊池裕嗣, "界面配向と高分子安定化", 2011 年日本液晶学会サマースクール, 東京, 2011 年 7 月 15 日.

15. 菊池裕嗣, 崔玟碩, 樋口博紀, “コレステリックブルー相の電気光学効果”, 第1回ソフトマター研究会, 京都, 2011年8月3日.
16. 菊池裕嗣, “高分子安定化ブルー相の次世代液晶ディスプレイへの応用”, セミコン・ジャパン 2011, 千葉, 2011年12月9日.
17. 菊池裕嗣, 岩田崇, 山本真一, 長谷場康宏, 樋口博紀, “高分子安定化ブルー相による高速液晶表示デバイス”, 高分子学会・ポリマー材料フォーラム, 名古屋, 2010年12月3日.  
(国際口頭発表)
18. Hirotsugu Kikuchi, Hengyi Ma, Thet Naing Oo, Tatsuro Mizunuma, Yukiko Ogawa, Yasutomo Nagano, Yasuhiro Haseba, Hyunseok Choi, Takahiro Ashimine, Hiroki Higuchi, and Yasushi Okumura, “Improved Electro-Optical Properties of Polymer-Stabilized Blue Phases”, 24th International Liquid Crystal Conference, Mainz, Germany, August 20, 2012.
19. Seiji Fukushima, Koki Yoshinaga, Tomohiro Hachino, Yasutaka Igarashi, Shinji Noguchi, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi, “Polarization-Independent Variable Optical Attenuator Employing Dye-Doped (Polymer/Liquid-Crystal) Composite Film for 1.5- $\mu$ m Optical Fiber Communication”, 2012 Asia Communications and Photonics Conference, Guangzhou, China, November 10, 2012.
20. Gihwan Lim, Yasushi Okumura, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, “Temperature Dependence of Dielectric and Electro-optical Properties of Polymer-Stabilized Blue Phases”, The 1st Asian Conference on Liquid Crystals, Fujiyoshida, Japan, December 17, 2012.
21. Yasushi Okumura, Takahiro Ashimine, Ryoichi Saito, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, “Observation of Lattice Structures in Liquid Crystalline Blue Phases by Confocal Laser Scanning Microscope”, The 1st Asian Conference on Liquid Crystals, Fujiyoshida, Japan, December 17, 2012.
22. Seishi Shibayama, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi, “Liquid Crystalline Blue Phases for Tunable Photonic Device Application”, 11th European Conference on Liquid Crystals, Maribor, Slovenia, February 8, 2011.
23. Hyunseok Choi, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi, “Electro-Optic Response of Chiral Liquid Crystals”, 23rd International Liquid Crystal Conference, Krakow, Poland, July 15, 2010.
24. Hyunseok Choi, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi, “Electro-Optic Response of Blue Phases”, The 17th International Display Workshops, Fukuoka, Japan, December 3, 2010.  
(国際ポスター)
25. Seishi Shibayama, Hiroki Higuchi, Okumura Yasushi, Hirotsugu Kikuchi, “Dendron-Stabilized Liquid Crystalline Blue Phase for Tunable Photonic Device Applications”, 6th Japanese-Italian Workshop on Liquid Crystals, Tokyo, Japan, July 26, 2012.
26. Seiji Fukushima, Koki Yoshinaga, Shinji Noguchi, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi, “1.5- $\mu$ m Optical Attenuation in a Dye-Doped (Polymer/Liquid-Crystal) Composite Film”, 6th Japanese-Italian Workshop on Liquid Crystals, Tokyo, Japan, July 26, 2012.
24. Tatsuro Mizunuma, Oo Thet Naing, Yukiko Ogawa, Hengyi Ma, Hyunseok Choi, Yasutomo Nagano, Yasuhiro Haseba, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, and Hirotsugu Kikuchi, “Optimization of the Polymer-Stabilizing Technique of the Liquid Crystal Blue Phase”, The 9th SPSJ International Polymer Conference, Kobe, Japan, December 12, 2012.
25. Thet Naing Oo, Tatsuro Mizunuma, Yasutomo Nagano, Hengyi Ma, Yukiko Ogawa, Yasuhiro Haseba, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, and Hirotsugu Kikuchi, “Effect of UV Curing Condition on Electro-Optical Properties of Polymer-Stabilized Blue Phase”, The 9th SPSJ International Polymer Conference, Kobe, Japan, December 12, 2012.
26. Kosuke Kaneko, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, “Liquid Crystalline Blue Phases Dispersed with Gold Nanoparticles”, The 9th SPSJ International Polymer Conference, Kobe, Japan, December 12, 2012.
27. Shinji Kawazu, Yasushi Okumura, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, “Unidirectional Translational Motion of Magnetic Particles Induced by Alternating Magnetic Fields under Earth's Magnetism”, The 9th SPSJ International Polymer Conference, Kobe, Japan, December 12, 2012.
28. Hiroya Nishikawa, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, and Hirotsugu Kikuchi, “Synthesis of Chiral Dopants Having Anthracene Moiety to Control Phase Transition Behavior of Chiral Liquid Crystals by External Stimuli”, The 9th SPSJ International Polymer Conference, Kobe, Japan, December 12, 2012.
29. Manabu Taniguchi, Yasushi Okumura, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, “Development of Electroosmotic Pump Using Porous Polymer Membranes Modified with Microbeads”, The 9th SPSJ International Polymer Conference, Kobe, Japan, December 13, 2012.
30. Yuma Takeuchi, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, Mitsuhiro Kouda, Ryoichi Akaishi, Takanori Matsuyama, Jun-ichi Matsumoto, and Hirotsugu Kikuchi, “Phase Stability and Electro-Optical Properties of Polymer-Stabilized Liquid Crystal Blue Phase Affected by Chemical Structure of Bifunctional Monomer”, The 9th SPSJ International Polymer Conference, Kobe, Japan, December 13, 2012.
31. Gihwan Lim, Yasushi Okumura, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, “Structure and Dynamics of Polymer-Stabilized Blue Phases at Low Temperature”, The 9th SPSJ International Polymer Conference, Kobe, Japan, December 13, 2012.
32. Hiroya Nishikawa, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, and Hirotsugu Kikuchi, “Synthesis of Chiral Dopants having Anthracene Moiety to Control Phase Transition Behavior of Chiral Liquid Crystals by External Stimuli”, The 1st Asian Conference on Liquid Crystals, Fujiyoshida, Japan, December 17, 2012.
33. Hiroki Tone, Shuhei Yabu, Hiroyuki Yoshida, Hirotsugu Kikuchi, and Masanori Ozaki, “Polymer-Stabilization of a Blue Phase Liquid Crystal Deformed by Electrostriction”, The 1st Asian Conference on Liquid Crystals, Fujiyoshida, Japan, December 17, 2012.
34. Munehiro Kimura, Norihiro Nagumo, Thet Naing Oo, Hirotsugu Kikuchi, and Tadashi Akahane, “Cholesteric Blue Phase Liquid Crystal for Flexible Display”, The 1st Asian Conference on Liquid Crystals, Fujiyoshida, Japan, December 17, 2012.
35. Kosuke Kaneko, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, “Liquid Crystalline Blue Phases Dispersed with Gold Nanoparticles”, The 1st Asian Conference on Liquid Crystals, Fujiyoshida, Japan, December 17, 2012.
36. Yuma Takeuchi, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, Mitsuhiro Kouda, Ryoichi Akaishi, Takanori Matsuyama, Jun-ichi Matsumoto, and Hirotsugu Kikuchi, “Influence of Bifunctional Monomer Structure on Phase Stability and Optical Properties of Polymer-Stabilized Blue Phase”, The 1st Asian Conference on Liquid Crystals, Fujiyoshida, Japan, December 17, 2012.
37. Shuhei Umeno, Thanh Nguyen, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi, and Hiroshi Moritake, “Polymer Stabilized Nematic Liquid Crystal with Thermal Polymerization for Microwave Application”, The 1st Asian Conference on Liquid Crystals, Fujiyoshida, Japan, December 17, 2012.
38. Hiroki Higuchi, Tomohiro Horinouchi, Yusuke Ishigaki, Yasushi Okumura, Takanori Suzuki, Hirotsugu Kikuchi, “Control of Helical Structure in Chiral Lyotropic Liquid Crystal by Redox Reaction”, 6th Japanese-Italian Workshop on Liquid Crystals, Tokyo, Japan, July 26, 2012.
39. Hyojin Kim, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, Kenji Higashiguchi, Hirotsugu Kikuchi, “Diffusion Behavior of Polymers upon Photopolymerization Process in Chiral Nematic Phases”, Pacificchem 2010, Honolulu, USA, December 18, 2010.
40. Gi-hwan Lim, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, and Hirotsugu Kikuchi, “Polymer Stabilized Birefringence in Liquid Crystal Blue Phases”, The 7th International Symposium on “Novel Carbon Resource Sciences, Seoul, Korea, June 23, 2011.
41. Kota Kakisaka, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, and Hirotsugu Kikuchi, “Synthesis of Novel Fluorinated Chiral Dopants and Properties in Liquid Crystals”, The 7th International Symposium on “Novel Carbon Resource Sciences, Seoul, Korea, June 23, 2011.
42. Hyunseok Choi, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, “Chiral Pitch Dependence of Electro-optic Kerr Effect in Polymer Stabilized Blue Phase”, SID 2011, Los Angeles, USA, May 19, 2011.
43. Hyunseok Choi, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, “Electrooptic Properties of Polymer-Stabilized Blue Phase I without Hysteresis in Voltage-Transmittance curve”, Gordon Research Conferences, South Hadley, USA, June 23, 2011.
44. Hyunseok Choi, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, “Electrooptic Kerr Effect of Polymer Stabilized Blue Phases with Different Chiral Pitch”, ADMD 2011, Kumamoto, Japan, June 30, 2011.
45. Kota Kakisaka, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, and Hirotsugu Kikuchi, “Development of Fluorinated Chiral Dopants for Liquid Crystal Blue Phases”, ADMD 2011, Kumamoto, Japan, June 30, 2011.
46. Yusuke Ishigaki, Yuuki Hoshiyama, Hidetoshi Kawai, Kenshu Fujiwara, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi, and Takanori Suzuki, “A Novel  $\pi$ -Extended Redox Systems Based on the Bis(diaryl-ethenyl)thiophene Framework Exhibiting Electrochromism”, ISNA-14, Eugene, USA, July 25, 2011.
47. Shouta Daiki, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, and Hirotsugu Kikuchi, “Crystallization of Calcium Carbonate in Thermotropic Liquid Crystalline Phases by Use of New Crown Ether Complex with Calcium Cation”, ASAM-3, Fukuoka, Japan, September 20,

- 2011.
48. Jushin Bai, Yasushi Okumura, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, "Optical Shutter Based on Labyrinthine Pattern Formation of Magnetite Nanoparticles", ASAM-3, Fukuoka, Japan, September 20, 2011.
  49. Aya Jinnouchi, Yasushi Okumura, Nobuyoshi Miyamoto, Sunao Yamada, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, "Large Electrooptic Property in Aqueous Dispersions of Non-Organic Nanoparticles with High-Aspect Ratio", ASAM-3, Fukuoka, Japan, September 20, 2011.
  50. Kota Kakisaka, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, and Hirotsugu Kikuchi, "Chiral Liquid Crystal Phases Induced by Novel Fluorinated Chiral Dopant", ASAM-3, Fukuoka, Japan, September 20, 2011.
  51. Takahiro Ashimine, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, and Hirotsugu Kikuchi, "Structural Analyses of Lattice Structure of Polymer-Stabilized Blue Phase by Confocal Laser Scanning Microscope", ASAM-3, Fukuoka, Japan, September 20, 2011.
  52. Gihwan Lim, Yasushi Okumura, Hiroki Higuchi, and Hirotsugu Kikuchi, "Electro-Optical Properties of Blue Phase Liquid Crystal by Dual Frequency Driving", ASAM-3, Fukuoka, Japan, September 20, 2011.
  53. Hyojin Kim, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, Kenji Higashiguchi, and Hirotsugu Kikuchi, "Diffusion and Trap of Polymers in Disclinations of Liquid Crystal", The 1st International Symposium on Fusion Materials, Toba, Japan, October 17, 2011.
  54. Hiroki Higuchi, Tomohiro Horinouchi, Yusuke Ishigaki, Yasushi Okumura, Takanori Suzuki, and Hirotsugu Kikuchi, "Control of Helical Structure in Chiral Lyotropic Liquid Crystal by Redox Active Chiral Dopant", The 1st International Symposium on Fusion Materials, Toba, Japan, October 17, 2011.
  55. Shouta Daiki, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, Tatsuya Nishimura, Takashi Kato, and Hirotsugu Kikuchi, "Crystallization of Calcium Carbonate in Thermotropic Nematic Liquid Crystal", The 1st International Symposium on Fusion Materials, Toba, Japan, October 17, 2011.
  56. Kota Kakisaka, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, and Hirotsugu Kikuchi, "Chiral Liquid Crystalline Phase of Fluorinated Nematic Liquid Crystal Material Doped with a Fluorinated Binaphthyl Chiral Dopant", CSS-13, Fukuoka, Japan, November 24, 2011.
  57. Hiroki Higuchi, Ikuo Mitani, Hirotsugu Kikuchi, "Liquid Crystallinity and Redox Properties of Amphiphilic Molecules with Tetraarylethylene Skeleton", 23rd International Liquid Crystal Conference, Krakow, Poland, July 12, 2010.
  58. Hiroyuki Yoshida, Kosuke Kawamoto, Yuma Tanaka, Hitoshi Kubo, Akihiko Fujii, Hirotsugu Kikuchi, Masanori Ozaki "Expansion of temperature range in nanoparticle-dispersed cholesteric blue phases", 23rd International Liquid Crystal Conference, Krakow, Poland, July 12, 2010.
  59. Masanori Ozaki, Masayoshi Ojima, Hiroyuki Yoshida, Hiroaki Asagi, Yuma Tanaka, Kosuke Kawamoto, Hitoshi Kubo, Akihiko Fujii, Hirotsugu Kikuchi, "Blue Phase Stabilization Based on Introduction of Nano-scale Network Surfaces and Metal Particles", 23rd International Liquid Crystal Conference, Krakow, Poland, July 12, 2010.
  60. Sung-Kyu Hong, Boram Choi, Choongwan Kim, Chaesung Lee, Hirotsugu Kikuchi, "Electro-Optical Property of Blue Phase at n-CyanoBiphenyl Homologue Chiral Nematic Liquid Crystal", 23rd International Liquid Crystal Conference, Krakow, Poland, July 13, 2010.
  61. Seishi Shibayama, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi, "Dendritic Molecule-induced Broadening of Temperature Range in Liquid Crystalline Blue phases", 23rd International Liquid Crystal Conference, Krakow, Poland, July 13, 2010.
  62. Hyunseok Choi, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi, "Electro-optical Kerr effect of Liquid Crystalline Blue Phases", Korea-Japan Forum International Conference 2010 on Organic Materials for Electronics and Photonics, Fukuoka, Japan, August 23, 2010.
  63. Seishi Shibayama, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi, "Liquid Crystalline Blue Phases Doped with Novel Dendritic Molecule for Electro-optical Device Applications", Korea-Japan Forum International Conference 2010 on Organic Materials for Electronics and Photonics, Fukuoka, Japan, August 23, 2010.
  64. Seishi Shibayama, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi, "Enlargement of Temperature Ranges in Liquid Crystalline Blue Phases for Device Applications", The 6th International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences, Fukuoka, Japan, November 13, 2010.
  65. Seishi Shibayama, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi, "Synthesized Novel Dendritic Molecules and Broadening of Temperature Range in Liquid Crystalline Blue Phases", The 17th International Display Workshops, Fukuoka, Japan, December 1, 2010.
  66. Gihwan Lim, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, Hirotsugu

- Kikuchi, "Appearance and electro-optical properties of blue phases using dual frequency liquid crystals", Pachifichem 2010, Honolulu, USA, December 18, 2010.
67. Hiroki Higuchi, Yoko Tanaka, Hirotsugu Kikuchi, "Charge-transfer complex formation of linear-shaped molecules having intramolecular electron-donor-acceptor interaction", Pachifichem 2010, Honolulu, USA, December 18, 2010.
  68. Tomohiro Horinouchi, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, Takanori Suzuki, Hirotsugu Kikuchi, "Chiral nematic phases induced by redox active chiral dopants", Pachifichem 2010, Honolulu, USA, December 18, 2010.
  69. Keita Mine, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, Hirotsugu Kikuchi, "Influence of elastic constants of host liquid crystal upon blue phases", Pachifichem 2010, Honolulu, USA, December 18, 2010.
  70. Kota Kakisaka, Hiroki Higuchi, Yasushi Okumura, Hirotsugu Kikuchi, "Synthesis and properties of fluorinated binaphthyl chiral dopants", Pachifichem 2010, Honolulu, USA, December 18, 2010.
  71. Hirotsugu Kikuchi, Hiroki Higuchi, "Structure and electro-optic response of liquid crystal blue phases and polymer-stabilized blue phases", Pachifichem 2010, Honolulu, USA, December 18, 2010.

〔図書〕 (計 3 件)

1. 菊池裕嗣, "高分子", "力学", 最先端材料システムワ  
ンポイントシリーズ「自己組織化と機能材料」, 執筆代表  
者/†加藤隆史, 共立出版 (2012).
2. 菊池裕嗣, "液晶ブルー相の安定化とその応用", 液晶 -  
構造制御と機能化の最前線-, 監修/†加藤隆史, pp.  
231-240, シーエムシー出版 (2010).
3. 菊池裕嗣, 金子光佑, 樋口博紀, "液晶と高分子", 高  
分子, 59, 465-468 (2010).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菊池 裕嗣 (KIKUCHI HIROTSUGU)  
九州大学・先導物質化学研究所・教授  
研究者番号：50186201

(2) 研究分担者

樋口 博紀 (HIGUCHI HIROKI)  
九州大学・先導物質化学研究所・助教  
研究者番号：50432951

(3) 連携研究者

山本 潤 (YAMAMOTO JUN)  
京都大学・理学部・教授  
研究者番号：10200809

(3) 連携研究者

佐々木 園 (SASAKI SONO)  
京都工芸繊維大学・大学院工芸科学研究  
科・准教授  
研究者番号：40304745