

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25410091

研究課題名(和文) 液晶性秩序構造の次元性の光制御

研究課題名(英文) Control of Dimensionality of Liquid Crystalline Structure by Light

研究代表者

沓水 祥一 (KUTSUMIZU, SHOICHI)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：80214964

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：申請者らは最近、スメクチックC (SmC) 相から双連続キュービック (Cub_{bi}) 相への光誘起相転移を見出している。系はCub_{bi}相形成化合物とアゾ添加物との二成分系である。本研究の目的は(i)この光誘起相転移のメカニズムを解明することと(ii)ナノ構造と秩序の次元性が光によって制御可能な新しい系を開拓することである。成果：(1)斜入射小角X線散乱と複屈折性測定の時分解測定による光誘起SmC→Cub_{bi}相転移の定量的解析および分子レベルでのメカニズムの解明、(2)類似の光誘起相転移を示す三つの新しい系の開拓、さらには(3)Cub_{bi}相の物理化学の発展に貢献するいくつかの付随する成果。

研究成果の概要(英文)：Our group recently found a novel light-driven liquid crystalline phase transition of a one-dimensionally ordered smectic C (SmC) to a three-dimensionally periodic bicontinuous cubic (Cub_{bi}) phases for a binary mixture of a Cub_{bi}-phase-forming molecule with an azo adduct. This project has aimed at (i) revealing of the mechanism of the light-driven phase transition, and (ii) exploiting of new systems whose nano-structures and their structural dimensionalities can be controlled by light. Actually, the project has obtained the following outcomes: (1) Quantitative analysis of light-driven SmC to Cub_{bi} phase transition by time-resolved grazing-incidence small-angle X-ray scattering and birefringence measurements, and elucidation of the molecular-level mechanism, and (2) exploitation of three new systems exhibiting analogous light-driven phase transitions, and (3) additional accomplishments such as several fundamental contributions to physical chemistry of thermotropic Cub_{bi} phase.

研究分野：ソフトマター化学

キーワード：液晶 超分子化学 自己組織化 ナノ材料 複合材料・物性 双連結キュービック構造 光誘起相転移

1. 研究開始当初の背景

液体と結晶の中間の状態である液晶相は、流動性と分子配列の秩序性・周期性を併せ持つユニークな状態(相)である。液晶相はその流動性ゆえに種々の刺激(電場、光、外力など)に敏感に反応して分子配列を変えることができる。

申請者は、早くから棒状分子が形成するサーモトロピック双連続キュービック液晶相(以下、Cub_{bi}相と表記)に着目し、相中で形成される「相分離に基づく三次元のネットワーク構造」の分子配列を明らかにしてきた(S. Kutsumizu et al., *Chem. Mater.*, **20**, 3675 (2008); K. Ozawa et al., *J. Phys. Chem. B*, **112**, 12179 (2008); K. Saito et al., *J. Phys. Soc. Jpn.*, **81**, 094601 (2012)など)。Cub_{bi}相は、温度的にしばしばスメクチック C (SmC) 相と隣接する。両相間の転移エンタルピーは小さく、わずかに数 kJ mol⁻¹ である。その一方で、両相における分子コアの配列様式、すなわちナノ構造は大きく異なっている。SmC 相は層状構造であり、一次元の周期性を持つのに対し、Cub_{bi} 相は三次元の周期性を持つ。性質においても、Cub_{bi} 相が光学的等方性、高粘度(貯蔵弾性率 $\sim 10^6$ Pa)を示すのに対し、SmC 相は光学的異方性、低粘度($\sim 10^3$ Pa)という大きな違いがある。申請者はまた、両者の間の相転移が「分子の棒状形状からのわずかな変形がドミノ的に増幅されて駆動される」ことも明らかにしている。

申請者は、ごく最近、Cub_{bi} 相形成化合物のひとつに類似の分子構造を持つアゾ化合物を添加した二成分系において、紫外光のオンオフによる両相間のスイッチングに成功した(R. Hori et al., *Chem. Eur. J.*, **18**, 7346 (2012))。この SmC 相から Cub_{bi} 相への光誘起相転移は、秩序の次元性が一次元から三次元に増加する点でこれまでの光誘起現象とは異なっており、常識を打ち破る発見である。

本研究では、この挙動の詳細解明とこれを利用した新しい化合物群の創製を目指した。アゾ添加物の光異性化を利用した現象・材料についてはすでに膨大な数の報告がある。それらの現象はすべて、配列方向変化もしくは低秩序状態の誘起である(T. Ikeda, *J. Mater. Chem.*, **13**, 2037 (2003))。アゾ添加物の紫外光照射による直線形から屈曲形への分子変形は対称性の低下を引き起こすはずで、これはある意味、当然である。今回発見された光誘起 SmC-Cub_{bi} 相転移も、大雑把には「アゾ化合物の光異性化変形が最終的にナノ構造変化に増幅された結果」とみることができるが、秩序の次元性が一次元から三次元に増加する点でこれまでのアゾの光誘起現象とは異なる初めての例であり、分子レベルからの詳細なメカニズムの解明が不可欠である。そして解明の暁には、これまでになく新たな分野、すなわちアゾの光異性化を利用したナノ構造の次元性を自在に制御する材料学の創製への道が拓かれる。このように、アゾ光科学

への大きな波及効果は明確である。

一方、擬二成分描像モデルによれば、この相転移は、分子コアとアルキル鎖それぞれのエントロピーの減少と増加のバランスで起こり、その総和の符号により Cub_{bi} 相は SmC 相の高温側、低温側のどちらにもなりうることを説明されている(K. Saito, *Pure Appl. Chem.*, **81**, 1783 (2009))。今回の二成分系では、SmC 相の高温側に Cub_{bi} 相が存在するので、次元性が増加するとはいえ、アゾ添加物の光異性化は、系全体としては、乱れの増加(高エントロピー状態)を引き起こしているに過ぎないとの指摘もあろう。しかし、上記のモデルに基づき、もしアゾの光異性化をアルキル鎖のエントロピー増加にのみ結びつけることができれば、SmC 相から低温相である Cub_{bi} 相への光誘起も可能になると考えた。また、これらの調査を通して、これまで全く未解明であった SmC 相と Cub_{bi} 相の間の相転移を分子レベルから解明することにもつながると期待した。すなわち、ソフトマター分野、特にサーモトロピック Cub_{bi} 相の物理化学の発展に貢献できると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、(1) Cub_{bi} 相形成化合物とアゾ化合物の二成分系における光誘起 SmC \rightarrow Cub_{bi} 相転移を X 線回折、UV-Vis 測定、IR 測定等を駆使することでナノレベルならびに分子レベルから調査し、その物理化学を解明する。また、その知見を生かし、(2) ナノ構造の次元性を光で自在に制御する新しい材料学の創製を行う。

3. 研究の方法

実験的研究を主とし、試料を合成したのちの二成分系試料の評価手段としては、偏光顕微鏡観察、分子分光学(IR、UV-Vis)、熱測定(市販 DSC)、X 線回折(実験室ならびに放射光)を適宜採用した。

4. 研究成果

(1) 光誘起 SmC \rightarrow Cub_{bi} 相転移挙動の定量的解析とメカニズム解明

ビフェニルカルボン酸系 Cub_{bi} 相形成化合物とそれと相容するアゾ化合物の二成分系試料の光誘起相転移を斜入射小角 X 線散乱(GI-SAXS)、複屈折性測定、UV-Vis 測定、IR 測定等を駆使することで、ナノレベルと分子レベルの両面から詳細に追跡調査した。その結果、光誘起された Cub_{bi} 相の周期構造と分子の状態が、光誘起温度において仮想的に熱によって形成される、したがって本来は安定化されるはずのない Cub_{bi} 相の周期構造と分子状態によく対応していることが明らかになった。このことはアゾ添加物の光異性化が Cub_{bi} 相のナノ構造を直接誘起・安定化しているわけではなく、競合して形成する層状の SmC 相が不安定化される結果として、転移が駆動されるというメカニズムが明らか

になった。この成果は雑誌論文 11 として公表した。本成果に関して査水は 7th Italian-Japanese Workshop on Liquid Crystals (Ravenna, Italy, 2014 年 7 月 8 日)において、三輪は第 19 回液晶化学研究会シンポジウム(名古屋大学 ES 館ホール, 2015 年 5 月 15 日)において招待講演を行っている。

また、光誘起温度と二成分系におけるアゾ化合物の含有量が光誘起速度(光応答性)に及ぼす影響についても検討している。当然のことながら温度が SmC-Cub_{bi} 相間の(今は冷却過程の)熱による相転移温度に近いほど高い光応答性を示す。また光応答性はアゾ含有量が高い方が高いという結果であったが、紫外光オフにおける戻りの Cub_{bi}→SmC 相転移に対してはアゾ含有量依存性が見られなかった。これらの結果は光応答性が局所的な粘度の影響を大きく受けていることを示唆しており、それがこれまでのアゾの光誘起現象とは異なってかなり高いアゾ含有量を必要とする理由と考えられる。すなわち、アゾ化合物は光誘起相転移のトリガー分子の役割だけでなく、ホスト分子間に介在することで SmC 相の局所粘度を下げる役割も果たしている。すでに学会発表を行っており、目下論文を準備中である。

(2) 光誘起相転移を起こす新しい物質系の開拓

ナノ構造の次元性を光で自在に制御する新しい材料学の確立を目的に種々の物質開拓を行っており、注目すべき化合物系として以下の三化合物系が見出された。

(2-1) シアノ基を 3' 位に持つビフェニルカルボン酸系 Cub_{bi} 相形成化合物の光応答挙動

(1) において詳細な検討を行った Cub_{bi} 相形成化合物は 3' 位にニトロ基を持つビフェニルカルボン酸系化合物である。UV-Vis スペクトルを検討したところ、3' 位にシアノ基を持つ類似化合物は 3' 位にニトロ基を持つ化合物と異なり 350 nm 付近に強い吸収を持たず、スイッチングの持続性に優れることが予想された。実際、紫外光のオンオフに対する応答性およびスイッチング特性の持続性の両面で格段に優れていることが見出された。同条件下で 3'-ニトロビフェニルカルボン酸系と 3'-シアノビフェニルカルボン酸系の光応答挙動を比較したとき、アブラミ近似による時定数 τ は前者では $\tau = 10$ s であるのに対し後者では $\tau = 3$ s であった。本成果は 2016 年の液晶学会討論会にて発表予定であり、同時に論文として公表予定である。また、予備調査として、ビフェニルカルボン酸系の 3' 位がニトロ基とシアノ基の場合に熱相転移に伴う分子状態の変化がどう異なってくるかを IR 分光から比較・検討しており、雑誌論文 6 として公表した。

(2-2) アゾ基含有 Cub_{bi} 相形成化合物の開拓と光応答挙動

ベンゾイルヒドラジン系 Cub_{bi} 相形成化合

物にアゾ基を組み込んだ光応答性 Cub_{bi} 相形成化合物の開拓に成功した。(1) で詳細に検討した Cub_{bi} 相形成化合物と同様、層状の SmC 相と二種類の Cub_{bi} 相を発現する単一の化合物の SmC 相温度において光照射を行ったところ、これまでの光誘起挙動と比べると応答速度は遅いが、光照射により SmC からこれまでの 1a3d 型ではなく Im3m 型の Cub_{bi} 相への転移が誘起された。これらの結果は高分子学会などで発表した。

また、ごく最近、この Im3m 型 Cub_{bi} 相は、分子がアキラルであるにもかかわらずキラルなナノ構造を持つこと(C. Dressel, G. Ungar, C. Tschierske et al., *Angew. Chem., Int. Ed.*, **53**, 13115 (2014); C. Dressel, C. Tschierske et al., *Nat. Chem.*, **6**, 971 (2014); C. Dressel, W. Weissflog and C. Tschierske, *Chem. Commun.*, **51**, 15850 (2015))が報告され、“アキラル分子による鏡像対称性の破れ”現象として注目を浴びている。我々も雑誌論文 3 によりこの Im3m 型 Cub_{bi} 相に関する新しい構造モデルを提案している。上述の光誘起現象は光誘起によるキラリティーの誘起として今後さらに詳細な検討の価値がある。

(2-3) ベンゾイルヒドラジン系 Cub_{bi} 相形成化合物とそれと相容するアゾ化合物の二成分系試料における SmC 相から低温相である Cub_{bi} 相の光誘起の可能性検討

比較的短いアルキル鎖を持つベンゾイルヒドラジン系 Cub_{bi} 相形成化合物は、SmC 相の低温側に Cub_{bi} 相を発現し、それは上で述べたように擬二成分描像モデルで説明される。この短いアルキル鎖を持つベンゾイルヒドラジン系 Cub_{bi} 相形成化合物とアゾ化合物の二成分系試料の SmC 相温度において光照射を行ったところ Cub_{bi} 相の誘起が確認された。すなわち、擬二成分描像モデルが予想するように、アゾ添加物の光異性化がアルキル鎖のエントロピー増加のみを引き起こし低温相である Cub_{bi} 相の光誘起が実現した可能性がある。このベンゾイルヒドラジン系 Cub_{bi} 相形成化合物においては、一次元秩序の SmC 相と三次元秩序の Cub_{bi} 相は自由エネルギー的に極めて近接していると考えられ、そのためか今のところ紫外光オフによる戻りの転移が明確でない。しかし、新しいタイプの光誘起現象として引続き検討する価値があると考えている。

(3) その他の付随する成果

(3-1) ベンゾイルヒドラジン系 Cub_{bi} 相形成化合物の静水圧力下の相転移挙動の説明

光ではなく静水圧力という外的刺激を印加したときの Cub_{bi} 相が関わる相転移挙動の結果をまとめ、雑誌論文 10 として公表した。

(3-2) 3つのアームを持つ分子のナノ構造の光応答挙動

ベンゼン環から張り出した3つのアームに光応答性のアゾ基を組み込んだ分子が形成するトロイダル形状ナノ構造と光応答挙

動を偏光顕微鏡とX線回折により検討した。その結果、この分子は階層的な凝集構造を持つこと、二分子会合の積層からヘキサゴナルカラムナー構造を形成し、さらに凝集することで形成するシートは若干ゆがんでトロイダル形状となり、最終的には1ないし2 μm程度の大きさのリング状凝集体を形成すること、波長450 nmの光のオンオフによりリング状凝集体の分解・再生成を制御できることなどの興味深い性質を明らかにできた。雑誌論文2として公表した。

(3-3) サーモトロピック Cub_{bi} 相の物理化学における新しい知見の蓄積

本研究は直接には、(1) Cub_{bi} 相形成化合物とアゾ化合物の二成分系における光誘起 SmC→Cub_{bi} 相転移の解明とそれを一般化した形での(2) ナノ構造の次元性を光で自在に制御する新しい材料学の創製にあるが、その基盤としてのサーモトロピック Cub_{bi} 相の物理化学の構築は必要不可欠である。

雑誌論文13は(2013年の液晶学会論文賞の受賞に関連して)本研究を開始する時点でのサーモトロピック Cub_{bi} 相の物理化学をまとめたものであり、雑誌論文8,9は短いヘキサシル鎖を持つベンゾイルヒドラジン系 Cub_{bi} 相形成化合物の相転移挙動を詳細に調査した結果を報告している。雑誌論文5では擬二成分描像モデルの妥当性をIR分光法により検討した。雑誌論文1ではベンゾイルヒドラジン系 Cub_{bi} 相の安定化を末端にシロキサン鎖を付与することで達成できることを報告した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 15件)

- (1) S. Kutsumizu, I. Tokiwa, A. Kawafuchi, Y. Miwa, Y. Yamamura, and K. Saito, "Stabilization of Bicontinuous Cubic Phase in Siloxane-Terminated Mesogens, 1,2-Bis[4'-(*n*-oligodimethylsiloxyl)alkoxy]benzoyl]hydrazine," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **18**(13), 9013–9020 (2016). 査読有 DOI: 10.1039/C6CP00622A
- (2) H. Adachi, Y. Hirai, T. Ikeda, M. Maeda, R. Hori, S. Kutsumizu, and T. Haino, "Photoresponsive Toroidal Nanostructure Formed by Self-Assembly of Azobenzene-Functionalized Tris(phenylisoxisazolyl)benzene," *Org. Lett.*, **18**(5), 924–927 (2016). 査読有 DOI: 10.1021/acs.orglett.5b03622
- (3) K. Saito, Y. Yamamura, Y. Miwa, and S. Kutsumizu, "A Structural Model of the Chiral "Im3m" Cubic Phase," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **18**(4), 3280–3284 (2016). 査読有 DOI: 10.1039/c5cp06658a
- (4) K. Yamaguchi, T. Murai, S. Hasegawa, Y. Miwa, S. Kutsumizu, T. Maruyama, T. Sasamori, and N. Tokitoh, "5-*N*-Arylaminothiazoles as Highly Twisted but Efficient Fluorescent Monocyclic Heterocycles: Synthesis and Characterization," *J. Org. Chem.*, **80**(21), 10742–10756 (2015). 査読有 DOI: 10.1021/acs.joc.5b01963
- (5) R. Ogawa, Y. Miwa, and S. Kutsumizu, "FT-IR Study on Liquid Crystal Phase Transitions of Thermotropic Hydrogen-Bonded Cubic Mesogens, 1,2-Bis(4'-*n*-alkoxybenzoyl)hydrazines (BABH-*n*) and 4'-*n*-Alkoxy-3'-nitrophenyl-4-carboxylic acid (ANBC-*n*): Spectroscopic Evidence for Quasi-Binary Picture Model," *J. Phys. Chem. B*, **119**(31), 10131–10137 (2015). 査読有 DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b05498
- (6) R. Ogawa, Y. Miwa, M. Sumita, K. Saito, and S. Kutsumizu, "Effects of the Lateral Substituent on the Cubic Phase Formation of Two Analogous Compounds, 4'-*n*-Hexadecyloxy-3'-cyanobiphenyl-4-carboxylic Acid (ACBC-16) and Its 3'-Nitro Compound (ANBC-16)," *Liq. Cryst.*, **42**(2), 143–157 (2015). 査読有 DOI: 10.1080/02678292.2014.969342
- (7) M. Yoshioka, K. Ohta, Y. Miwa, S. Kutsumizu, and M. Yasutake, "Discotic Liquid Crystals of Transition Metal Complexes 51⁺: Synthesis and Mesomorphism of Flat-Pumpkin-Shaped Phthalocyanine-Fullerene Dyads," *J. Porphyrins Phthalocyanines*, **18**, 856–868 (2014). 査読有 DOI: 10.1142/S1088424614500643
- (8) M. Umeyama, S. Fujimura, Y. Yamamura, M. Hishida, S. Kutsumizu, and K. Saito, "Liquid-Crystallinity of Cubic Phase of BABH (6) through Thermal Analysis of Solid-Solid Phase Transitions," *Thermochimica Acta*, **590**, 160–164 (2014). 査読有 DOI: 10.1016/j.tca.2014.06.024
- (9) Y. Maeda, Y. Yamamura, S. Kutsumizu, and K. Saito, "Phase Behavior of a Thermotropic Cubic Mesogen of 1,2-Bis(4'-*n*-hexyloxybenzoyl)hydrazine under Pressure," *Liq. Cryst.*, **41**(5), 731–737 (2014). 査読有 DOI: 10.1080/02678292.2013.878963
- (10) Y. Maeda, S. Kutsumizu, and S. Sakurai, "Pressure Effect on Thermotropic Cubic Phases of 1,2-Bis(4'-*n*-alkoxybenzoyl)hydrazines," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **16**(9), 4329–4337 (2014). 査読有 DOI: 10.1039/C3CP54471K
- (11) R. Hori, Y. Miwa, K. Yamamoto, and S. Kutsumizu, "Phase Structure and Phase Transition Mechanism for Light-Induced *Ia3d* Cubic Phase in 4'-*n*-Docosyloxy-3'-nitrophenyl-4-carboxylic acid / Ethyl

- 4-(4'-*n*-Docosyloxyphenylazo)benzoate Binary Mixture," *J. Phys. Chem., B*, **118**(13), 3743–3749 (2014). 査読有 DOI: 10.1021/jp4127978
- (12) Y. Miwa, T. Udagawa, O. Urakawa, S. Nobukawa, and S. Kutsumizu, "Rapid Stretching Vibration at the Polymer Chain End," *ACS Macro Lett.*, **3**(2), 126–129 (2014). 査読有 DOI: 10.1021/mz400628b
- (13) 齋藤一弥, 山村泰久, 査水祥一, "サーモトロピックキュービック相における分子配列とリエントラント現象", *液晶*, **18**(2), 56–63 (2014). (査読有)
- (14) Y. Miwa, T. Kondo, and S. Kutsumizu, "Subnanoscopic Mapping of Glass Transition Temperature around Ionic Multiplets in Sodium-Neutralized Poly(ethylene-random-methacrylic acid) Ionomer," *Macromolecules*, **46**(13), 5232–5237 (2013). 査読有 DOI: 10.1021/ma401035r
- (15) K. Sakajiri, T. Hiram, K. Yasuda, S. Kutsumizu, and J. Watanabe, "Supramolecular Helical Columnar Structures Formed by Hydrogen-Bonded Disk-like (Phenylethynyl)benzene Derivatives with L-Alanine Pendant Groups: Helix Stability and Supramolecular Helical Sense Inversion," *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **86**(8), 940–946 (2013). 査読有 [Selected Paper] DOI: 10.1246/bcsj.20130105

〔学会発表〕(計 13 件)(特に重要な発表に限定した)

- (1) 水谷真理子, 三輪洋平, 査水祥一, "光誘起によるスメクチック-双連結キュービック液晶相転移に対するアゾベンゼン濃度と温度の影響", 日本化学会第 96 春季年会 (同志社大学京田辺キャンパス, 2016 年 3 月 26 日).
- (2) S. Kutsumizu, Y. Yamada, I. Tokiwa, A. Kawafuchi, T. Sugimoto, T. Udagawa, and Y. Miwa, "Rational Molecular Design for Bicontinuous Cubic Mesophases 1,2-bis(4'-*n*-alkoxyaryloyl)hydrazines," PACIFICHEM 2015 (Honolulu, USA, 2015 年 12 月 20 日).
- (3) 近藤秀昭, 三輪洋平, 査水祥一, "分子コア部にアゾ基を導入した新規双連結型キュービック液晶性化合物の熱相転移挙動および紫外光応答挙動", 第 46 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会 (三重大学, 2015 年 11 月 8 日).
- (4) 水谷真理子, 三輪洋平, 査水祥一, "光誘起によるスメクチック-双連結キュービック液晶相転移に対する組成および温度の影響", 第 46 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会 (三重大学, 2015 年 11 月 8 日).
- (5) 査水祥一, 三輪洋平, 水谷真理子, 永井彩, "アゾ分子の光異性化によるスメクチック C 相から共連続キュービック液晶相への光誘起相転移", 第 64 回高分子討論会 (東北大学川内キャンパス, 2015 年 9 月 15 日).
- (6) 査水祥一, "棒状液晶系キュービック相の分子凝集構造の解明と動的構造変化", (招待講演) (東京工業大学資源化学研究所, 2015 年 9 月 10 日).
- (7) 三輪洋平, 水谷真理子, 査水祥一, "斜入射 X 線回折と複屈折の時間分解測定によるスメクチック C 相と双連結型キュービック液晶相間の光誘起相転移速度の研究", 2015 年日本液晶学会討論会 (東京工業大学すずかけ台キャンパス, 2015 年 9 月 8 日).
- (8) 水谷真理子, 三輪洋平, 査水祥一, "アゾベンゼン誘導体の光異性化により誘起されるスメクチック C — 共連続キュービック液晶相転移挙動における組成と温度の影響", 第 64 回高分子学会年次大会 (札幌コンベンションセンター, 2015 年 5 月 28 日).
- (9) 三輪洋平, "光により誘起される双連結型キュービック液晶相", 第 19 回液晶化学研究会シンポジウム (招待講演) (名古屋大学 ES 館ホール, 2015 年 5 月 15 日).
- (10) S. Kutsumizu, R. Hori, and Y. Miwa, "Phase Structure and Phase Transition Mechanism in Azobenzene-Containing Bicontinuous Cubic Liquid Crystalline Systems," 7th Italian-Japanese Workshop on Liquid Crystals (招待講演) (Ravenna, Italy, 2014 年 7 月 8 日).
- (11) T. Sugimoto, Y. Miwa, and S. Kutsumizu, "Effect of Core Modification on Bicontinuous Cubic Phases in 1,2-Bis(4'-*n*-alkoxyaryloyl)hydrazines," 25th International Liquid Crystal Conference (Dublin, Ireland, 2014 年 7 月 3 日).
- (12) R. Hori, Y. Miwa, and S. Kutsumizu, "Phase Structure and Phase Transition Mechanism for Light-Induced *Ia3d*-Cubic Phase in 4'-*n*-Docosyloxy-3'-nitrobiphenyl-4-carboxylic acid / Ethyl 4-(4'-*n*-Docosyloxyphenylazo)benzoate Binary Mixture," 25th International Liquid Crystal Conference (Dublin, Ireland, 2014 年 6 月 30 日).
- (13) 査水祥一, "第 10 講 三次元周期構造を持つ液晶・キュービック相", 2013 年日本液晶学会サマースクール(招待講演) (埼玉県上尾市むさしのグラウンド, 2013 年 7 月 27 日).

〔その他〕

ホームページ等

査水祥一「図 1 液晶の周期構造を光で操る」
http://www.eng.gifu-u.ac.jp/busshitsu/staff/kutsumizu.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

沓水 祥一 (KUTSUMIZU SHOICHI)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：80214964

(2) 研究分担者

三輪 洋平 (MIWA YOHEI)

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号：10635692

(3) 連携研究者

山本 勝宏 (YAMAMOTO KATSUHIRO)

名古屋工業大学大学院・工学研究科・准教

授

研究者番号：30314082