

令和 4 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H06035

研究課題名(和文)疎水界面における分子間相互作用の制御に基づく新規機能性材料の創成

研究課題名(英文) Materials Innovation by Manipulation of Intramolecular Interactions at Hydrophobic Interface

研究代表者

伊藤 喜光 (Itoh, Yoshimitsu)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授

研究者番号：00531071

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,700,000円

研究成果の概要(和文)：界面における分子間の相互作用がもたらす効果は材料物性に大きな影響がある。しかし、界面における分子間相互作用は溶液状態のそれとは大きく異なるため、界面における様々な現象の理解と制御は困難であった。我々は、生体分子を模倣した自己組織化単分子膜(SAM)を利用することによりイオン結合がナノスケールで近接する疎水界面によって増強され、かつこの結合を電場によって変化させる事にも成功している。本研究では、この知見を生かし、疎水界面における分子の遅いコンホメーション変化の発見、多重な応答性を示すハイブリッドカラムナール液晶の開発、世界初のヘテロキラル超分子ポリマーの開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は分子間相互作用に関わる種々の分野の基礎科学に対して大きく貢献するものである。自己組織化単分子膜を用いた研究では、疎水表面上の分子運動に対する新しい知見を与え、生体分子による会合のkineticsに対する新たな視点を与えた。また、これまで多機能液晶を実現するには一つの分子内に多機能性を持たせる必要があったが、本研究により単純な混合によってそれが実現可能であることが示された。これは液晶材料の可能性を大きく広げる成果である。ヘテロキラル超分子ポリマーの研究では、これまで限られた種類の結合様式しかなかった超分子ポリマーに対して、新たなパーツを提供した。これにより超分子ポリマーの多様性が向上した。

研究成果の概要(英文)：The effects of molecular interactions at interfaces have a significant impact on material properties. However, the molecular interactions at the interface are very different from those in the solution state, making it difficult to understand and control various phenomena at the interface. We have previously succeeded in utilizing bio-mimetic self-assembled monolayers (SAMs) to demonstrate the enhancement of ionic bonds in close proximity to hydrophobic interfaces at the nanoscale and modify these bonds by an electric field. In this study, we have applied this knowledge to discover the slow conformational change dynamics of molecules at hydrophobic interfaces, the development of hybrid columnar liquid crystals that exhibit multiple responsiveness, and the development of the world's first heterochiral supramolecular polymers.

研究分野：超分子化学

キーワード：自己組織化単分子膜 液晶材料 超分子ポリマー

## 1. 研究開始当初の背景

物質は他の物質との界面なしでは存在できない。物質の輸送や接着を考える時、界面の影響を無視することは出来ず、その精密制御が効率を決める大きな鍵となっている。しかしながら、界面における分子間相互作用は溶液状態のそれとは大きく異なり、この事実が界面における様々な現象の理解と制御を難しくしていた。

我々は、生体分子を模倣した自己組織化単分子膜 (SAM) を利用することによりイオン結合がナノスケールで近接する疎水界面によって増強される事を報告している (*Science* **2015**, *348*, 555–559)。増強の程度は水中で水が作る水素結合ネットワークの強さの二倍にも上る。さらに我々は、この結合を電場によって変化させる事にも成功している。これは、電場によってイオン結合形成を可逆的に変化させることができた初めての例である。本研究では、上記の研究を通じて確認した物質界面でのバルクとは異なる分子の挙動及び分子間相互作用の電極基板上の電場を利用した制御法を利用し、これまでこれまで達成が困難であった機能性材料の創成に挑戦する。

## 2. 研究の目的

本研究では、電位に応じて形成される電極表面上の pH 勾配・イオン結合の形成を利用した分子集合体の機能制御や、疎水表面における特異な水の状態を利用した物質透過チャンネルを開発することを目的としており、研究期間内で下記の重要な発見・開発を行うことができた。

- (1) 疎水界面における分子の遅いコンホメーション変化の発見
- (2) 多重な応答性を示すハイブリッドカラムナー液晶の開発
- (3) 世界初のヘテロキラル超分子ポリマーの開発

この中には当初目的とした成果とは異なるものも含まれるが、いずれも研究を進めていく過程において発見された知見に基づくものであり、当初の期待を上回る成果に繋がったと考えている。

## 3. 研究の方法

それぞれの研究項目について適切な手法を用いて研究を遂行した。

- (1) 用いた自己組織化単分子膜は我々がすでに報告しているもの (*Science* **2015**, *348*, 555–559) と同様のものを利用した。具体的には蛍光色素であるフルオレノン (疎水性) あるいはフルオレセイン (親水性) を TEG 鎖の一端に、もう一端にトリエトキシシリル基を有する分子を合成し、それをシランカップリング反応によりシリコンウエハ表面に結合させることで蛍光性の自己組織化単分子膜 (SAM) を合成した (図 1a,d)。蛍光分子はシリコンウエハ上で蛍光がクエンチされ、蛍光強度は蛍光分子とシリコンウエハ表面との距離の三乗に反比例することが知られている。従って、この単分子膜を乾燥状態から水中に浸漬させてからの蛍光挙動の時間変化を追跡することで、単分子膜が水和していく過程を追跡することが可能である。
- (2) 図 2a に示した分子群を合成し、図 2b に示した棒状ネマチック液晶分子と混合することでハイブリッドカラムナー液晶を得た。この液晶を ITO をコートした電極でサンドイッチし、電圧を印加することで液晶の配向を確認した。
- (3) 図 4a に示した分子を合成し、キラル HPLC による光学分割を行い、(+)体及び(-)体を得た。これらを非極性溶媒中に分散させ集合化させた。それぞれのエナンチオマー単体だけの時の集合挙動とラセミ体の時の集合挙動を比較し、ヘテロキラル配列になっていることが示唆された。最終的には電子線結晶構造解析によってヘテロキラル配列が得られていることを確認した。

## 4. 研究成果

- (1) 疎水界面における分子の遅いコンホメーション変化の発見 (*Chem. Asian. J.* **2020**, *15*, 3321–3325)

疎水表面上の水分子の挙動は生体分子認識との関係から大きな興味もたれている。以前は熱的挙動から疎水表面上の水分子が強い水素結合で結ばれた「氷」のような構造を取っているとされていたが、近年になり表面選択的な分光法 (SFG) の発展により、より分子論的な描像が明らかとなってきた。我々は、疎水表面上の自己組織化単分子膜 (SAM) をプローブとして利用することで、疎水界面に存在する分子の挙動について明らかにする研究を行ってきており、これまでにイオン結合がナノメートル以下の距離で疎水表面に接近するとその強さが増強されることを見いだしてきた (*Science* **2015**, *348*, 555–559)。本研究では、同様の SAM を用いて疎水表面上の水分子の運動が、バルクとは異なり極端に低下していることを見いだした。SAM としてはヘッドグループに疎水性であるフルオレノン (Fmoc-TEG (図 1a)) と親水性 (イオン性)

である

FITC-TEG (図1d)を用いた。それぞれのSAM分子の隙間は疎水性となるようにエチル基で覆っている(図1b,e)。本SAMを空气中から水中に浸漬させたときの蛍光強度の時間変化を観測したところ(図1c,f)、どちらのSAMも蛍光強度が徐々に強くなる現象が観察された。これは空气中ではヘッドグループがシリコンウエハ上に近接しているため基板による消光を受けていたものが、水中では水和により分子が伸びたコンホメーションをとりヘッドグループが基板から離れていったことを意味する(図1b,e)。興味深い事に、どちらのSAMも水に浸漬させてから蛍光強度が一定値に達するまでに約10時間かかっている点である。これはヘッドグループの親水性・疎水性によらず同様に見られた現象であるため、水分子による水和プロセスにかかる時間がであると考えられる。僅か~1 nm程度の長さの分子の水和がこれだけ長い時間かかっているとは驚きである。我々はこの現象に対して、疎水表面上の水分子が強い水素結合ネットワークを形成しており、水和のダイナミクスが遅くなっているためではないかと考えている。従来の分光法ではこのような現象は、起こっていても観測すること自体が困難であった。分子プローブを用いる本手法は表面分子の挙動を知る新たな方法論となることが期待される。

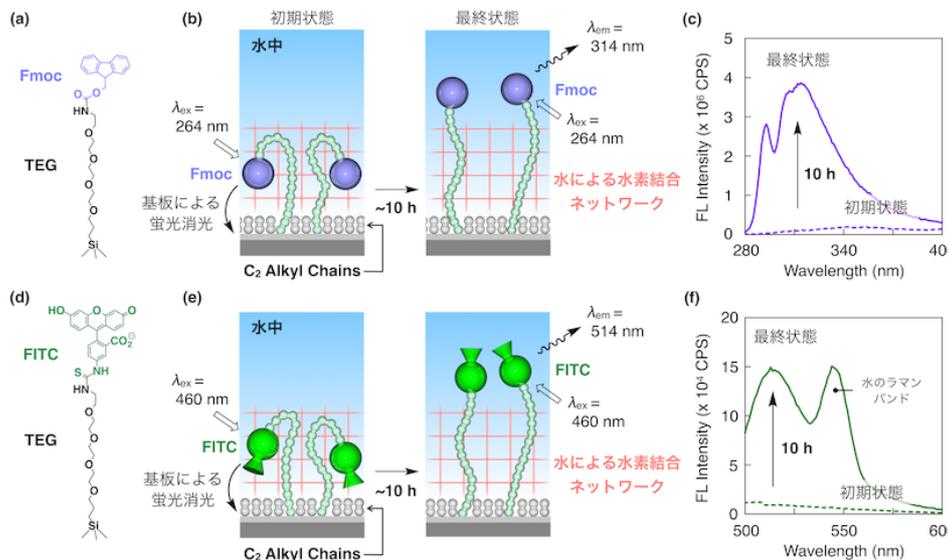


図1 自己組織化単分子膜による疎水界面上の分子挙動の解明

たところ(図1c,f)、どちらのSAMも蛍光強度が徐々に強くなる現象が観察された。これは空气中ではヘッドグループがシリコンウエハ上に近接しているため基板による消光を受けていたものが、水中では水和により分子が伸びたコンホメーションをとりヘッドグループが基板から離れていったことを意味する(図1b,e)。興味深い事に、どちらのSAMも水に浸漬させてから蛍光強度が一定値に達するまでに約10時間かかっている点である。これはヘッドグループの親水性・疎水性によらず同様に見られた現象であるため、水分子による水和プロセスにかかる時間がであると

考えられる。僅か~1 nm程度の長さの分子の水和がこれだけ長い時間かかっているとは驚きである。我々はこの現象に対して、疎水表面上の水分子が強い水素結合ネットワークを形成しており、水和のダイナミクスが遅くなっているためではないかと考えている。従来の分光法ではこのような現象は、起こっていても観測すること自体が困難であった。分子プローブを用いる本手法は表面分子の挙動を知る新たな方法論となることが期待される。

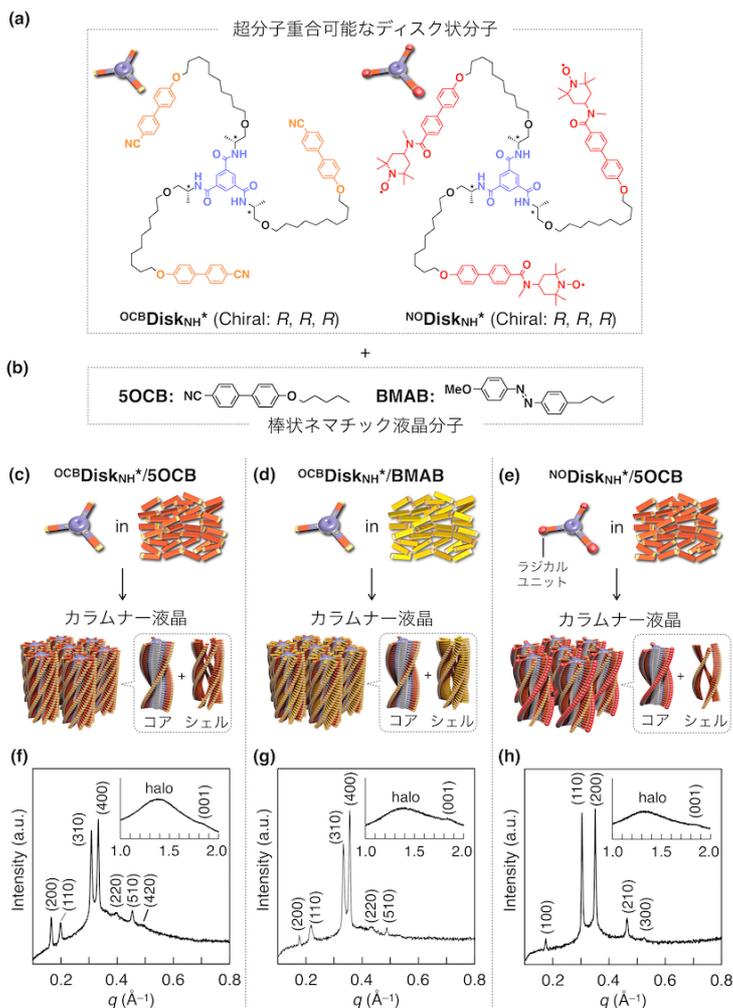


図2 円盤状分子と棒状分子によるハイブリッドカラムナー液晶

(2) 多重な応答性を示すハイブリッドカラムナー液晶の開発 (*Science* **2019**, *363*, 161–165, *J. Am. Chem. Soc.* **2019**, *141*, 10033–10038)

円盤状分子と棒状分子は、それぞれ面を合わせるように、互いに並行になるように集合するため、溶媒分子が仲介しないようなバルクでは一般に混合させることは大変困難である。我々は水

素結合によって1次元に集合化（超分子重合）する円盤状分子（図2a）とネマチック相を形成する棒状液晶分子（図2b）を、円盤状分子の末端に棒状分子と同様のユニットを導入することで分子レベルで階層的に集合化し、ハイブリッド化したコア-シェルカラムナー液晶を与える事を見いだした。用いた円盤状分子としては、末端にシアノビフェニル基を有する円盤状分子（ $^{OCB}Disk_{NH}^*$ ）と末端に有機ラジカル（TEMPO）を有する円盤状分子（ $^{NO}Disk_{NH}^*$ ）である（図2a）。対して、棒状液晶分子としては **5OCB** と **BMAB** を用いた（図2b）。 $^{OCB}Disk_{NH}^*$  は **5OCB** と 1:6 の比率で混合することでハイブリッド化したコア-シェルカラムナー液晶を与える事を見いだした（図2c,f）。

ここで、末端にシアノビフェニルを持たない円盤状分子を用いると相分離してしまいハイブリッド化しない。注目すべきは、棒状液晶分子単体の時は1次元の配向秩序を持つにもかかわらず、少量の円盤状分子と混合することで2次元秩序をもつカラムナー相に転移することである。

このような混合による高次の秩序への構造相転移はこれまで観測されたことはない。興味深いことに、円盤状分子の末端と棒状分子の化学構造が異なる場合でもハイブリッドカラムナー液晶が形成出来ることが明らかとなった。例えば、 $^{OCB}Disk_{NH}^*$  と **BMAB**（図2d,g）、 $^{NO}Disk_{NH}^*$  と **5OCB**（図2e,h）の組み合わせでもハイブリッドカラムナー液晶が形成する。

大変興味深いことに、これらのハイブリッドカラムナー液晶は円盤状分子と棒状分子も持つ機能までもがハイブリッド化された大変興味深い性質を持つ。 $^{OCB}Disk_{NH}^*/5OCB$  ハイブリッドカラムナー液晶は電場応答性を示すが、交流電場と直流電場で直交する二つの方向に配向スイッチングが可能である（図3a,b）。このような二周波応答性はカラムナー液晶としては初めての例である。また、 $^{OCB}Disk_{NH}^*/BMAB$  ハイブリッドカラムナー液晶では  $^{OCB}Disk_{NH}^*$  がもつ電場応答性と **BMAB** が持つ光応答性が同時に発現することで、電場と光を入力信号とした AND ロジックゲート応答が実現した。このロジックゲートは光を使って初期化することも可能である。書き換え可能な液晶性 AND ロジックゲートとしては初の例である。さらに、 $^{NO}Disk_{NH}^*/5OCB$  ハイブリッドカラムナー液晶では電場と磁場両方に応答する初めてのカラムナー液晶が誕生した。このように単に混ぜ合わせるだけで双方の機能がハイブリッド化したカラムナー液晶を得ることが可能である本系は、液晶性材料の新しい可能性を示している。

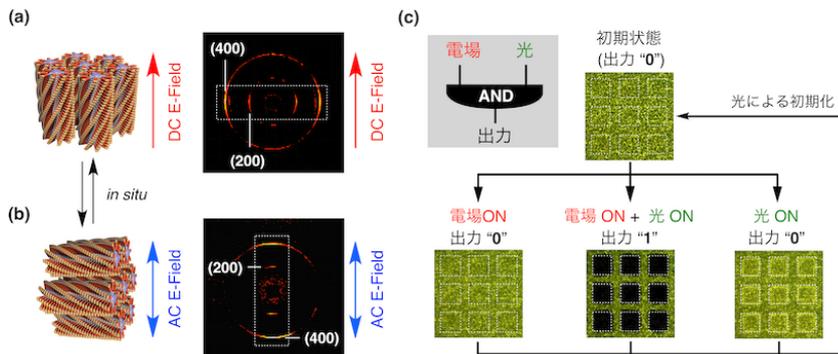


図3 ハイブリッドカラムナー液晶による多重応答性

(3) 世界初のヘテロキラル超分子ポリマーの開発 (*Nature Commun.* **2017**, *8*, 346, *J. Am. Chem. Soc.* **2021**, *143*, 5121–5126)

我々はチオフェンが縮環したキラルなシクロオクタテトラエン（図4a、コア部）を用いた研究を展開してきた。この分子はタブ型のコンホメーションを取っているが、環反転により逆のエナンチオマーに変換することが可能である。我々は環反転における平面状の遷移状態が光による励起状態芳香族性（Baird 芳香族性）の発現によって安定化される事を利用し、光学活性な異性体のラセミ化速度を暗所下と光照射下と比較することにより、初めて Baird 芳香族性のエネルギー的安定化効果を実験的に見積もることに成功した。我々はこのような興味深い光物性を利用して光応答性のある分子集合体を形成する目的でチオフェン縮環シクロオクタテトラエンの周囲にアミド基を有する分子 **COT** を合成した（図4a）。この分子の集合挙動を非極性溶媒中で確認したところ、興味深いことに光学分割した後の光学活性体では集合化せず、ラセミ体の時にしか集合体を与えない事が明らかとなった。例えば、(-)体と(+)体を 1:2 の混合比で集合化させ、生じる沈殿を遠心分離によって分離し

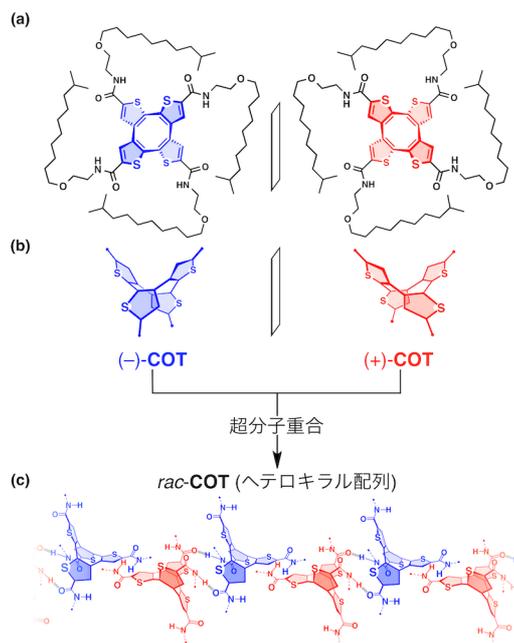


図4 ヘテロキラル超分子ポリマー

た後にキラル HPLC で光学異性体過剰率を調べたところ、沈殿はつねにラセミ体であり、上澄みは過剰に加えたエナンチオマーのみが観測される。このような状況証拠からエナンチオマーが交互に配列したヘテロキラル超分子ポリマーが形成していることが考えられたが、どのように結合形成しているかが長らく不明であった。最終的に側鎖を誘導化した化合物を超分子重合することで得られる数マイクロメートルの微小な結晶を利用した電子線結晶構造解析 (microED) によりヘテロキラル構造が明らかとなった。得られた結晶構造から、このポリマーは当初想定していた 4 つのアミド基が水素結合しコア同士が重なるようにして集合化した超分子ポリマーではなく、水素結合ユニットと  $\pi$  スタックユニットが交互に形成しながら集合化していることが明らかとなった (図 4c)。特に、超分子ポリマーの構造がたった一つの  $\pi$  スタックによって維持されていることは驚きである。この部分を詳しく検討したところ、チオフェンアミド基が持つ面内ダイポールがヘテロキラルにスタックすることでダイポールがキャンセルされており、その効果によ通常の  $\pi$  スタック構造よりも強固な結合となっていることが明らかとなった。面内ダイポールによる  $\pi$  スタックが多重水素結合と同様な強さで超分子ポリマー構造の維持に使えるという知見は、今後の分子界面の制御による集合体のデザインに新しい可能性を与えるものとして注目される。

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 1件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tomoki Miyakawa, Junichi Shiogai,* Sunao Shimizu, Michio Matsumoto, Yukihiro Ito, Takayuki Harada, Kohei Fujiwara, Tsutomu Nojima, Yoshimitsu Itoh, Takuzo Aida, Yoshihiro Iwasa, Atsushi Tsukazaki	4. 巻 2
2. 論文標題 Enhancement of superconducting transition temperature in FeSe electric-double-layer transistor with multivalent ionic liquids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Mater.	6. 最初と最後の頁 31801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.2.031801	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 Shoichi Tokunaga, Yoshimitsu Itoh,* Hiroyuki Tanaka, Fumito Araoka, Takuzo Aida*	4. 巻 140
2. 論文標題 Redox-Responsive Chiral Dopant for Quick Electrochemical Color Modulation of Cholesteric Liquid Crystal	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 10946-10949
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b06323	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 Yoshiki Shibuya, Yoshimitsu Itoh, Takuzo Aida	4. 巻 12
2. 論文標題 Jumping Crystals of Pyrene Tweezers: Crystal-to-Crystal Transition Involving / -to-CH/ Assembly Mode Switching	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chem. Asian J.	6. 最初と最後の頁 811-815
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201700083	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 Michihisa Ueda, Kjell Jorner, Young Mo Sung, Tadashi Mori, Qi Xiao, Dongho Kim, Henrik Ottosson, Takuzo Aida, Yoshimitsu Itoh	4. 巻 8
2. 論文標題 Energetics of Baird aromaticity supported by inversion of photoexcited chiral [4n]annulene derivatives	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Commun.	6. 最初と最後の頁 346
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-017-00382-1	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 Michio Matsumoto, Sunao Shimizu, Rina Sotoike, Masayoshi Watanabe, Yoshihiro Iwasa, Yoshimitsu Itoh, Takuzo Aida	4. 巻 139
2. 論文標題 Exceptionally High Electric Double Layer Capacitances of Oligomeric Ionic Liquids	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 16072-16075
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b09156	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 Yoshiki Shibuya, Yoshimitsu Itoh, Takuzo Aida	4. 巻 57
2. 論文標題 Columnar Liquid Crystalline Assembly of a U-Shaped Molecular Scaffold Stabilized by Covalent or Noncovalent Incorporation of Aromatic Molecules	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.	6. 最初と最後の頁 342-351
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pola.29186	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 Keiichi Yano, Yoshimitsu Itoh, Fumito Araoka, Go Watanabe, Takaaki Hikima, Takuzo Aida	4. 巻 363
2. 論文標題 Nematic-to-Columnar Mesophase Transition by in Situ Supramolecular Polymerization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 161-;165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aan1019	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 Keiichi Yano, Takahiro Hanebuchi, Xu-Jie Zhang, Yoshimitsu Itoh, Yoshiaki Uchida, Takuro Sato, Keisuke Matsuura, Fumitaka Kagawa, Fumito Araoka, and Takuzo Aida	4. 巻 141
2. 論文標題 Supramolecular Polymerization in Liquid Crystalline Media: Toward Modular Synthesis of Multifunctional Core-Shell Columnar Liquid Crystals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 10033-10038
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b03961	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 Tengfei Fu, Hao Xing, Eric S. Silver, Yoshimitsu Itoh, Shuo Chen, Takuya Masuda, Kohei Uosaki, Feihe Huang, Takuzo Aida	4. 巻 15
2. 論文標題 Anomalous Slow Conformational Change Dynamics of Polar Groups Anchored to Hydrophobic Surfaces in Aqueous Media	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chem. Asian. J.	6. 最初と最後の頁 3321-3325
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.202000742	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 Michihisa Ueda, Tsubasa Aoki, Takayoshi Akiyama, Takayuki Nakamuro, Keitaro Yamashita, Haruaki Yanagisawa, Osamu Nureki, Masahide Kikkawa, Eiichi Nakamura, Takuzo Aida, Yoshimitsu Itoh	4. 巻 143
2. 論文標題 Alternating Heterochiral Supramolecular Copolymerization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 5121-5126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c00823	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60件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 20件)

1. 発表者名 伊藤喜光、徳永翔一、相田卓三
2. 発表標題 Rapid and Reversible Modulation of Reflection Colors of Cholesteric Liquid Crystals by Electrochemical Reactions
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Michihisa Ueda, Kjell Jorner, Young Mo Sung, Tadashi Mori, Dongho Kim, Henrik Ottosson, Takuzo Aida, Yoshimitsu Itoh
2. 発表標題 Ring Inversion Kinetics of Photoexcited Chiral [4n]Annulene Derivatives: Energetic Impact of Baird Aromaticity
3. 学会等名 24th IUPAC Conference on Physical Organic Chemistry (ICPOC24) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimitsu Itoh, Shoichi Tokunaga, Takuzo Aida
2. 発表標題 Electro-Responsive Chiral Dopants for Color-Modulable Cholesteric Liquid Crystals.
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (ILCC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimitsu Itoh
2. 発表標題 Electrical Modulation of Liquid Crystalline Molecular Assembly.
3. 学会等名 International Conference on Emerging Advanced Nanomaterials (ICEAN2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimitsu Itoh
2. 発表標題 Energetic Impact of Baird Aromaticity on Molecular Dynamics.
3. 学会等名 Aromaticity 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimitsu Itoh, Shoichi Tokunaga, Takuzo Aida
2. 発表標題 Electrically Responsive Chiral Dopants for the Modulation of Cholesteric Reflection Colors.
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上田倫久、伊藤喜光、相田卓三
2. 発表標題 Supramolecular Polymerization of Chiral Antiaromatic Compounds and Their Light-induced Chiral Amplification.
3. 学会等名 日本化学会第99回春期年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青木翼、上田倫久、劉利明、伊藤喜光、石田康博、相田卓三
2. 発表標題 Crosslinkers for Construction of Superlattices Composed of Metal and Semiconducting Nanoparticles
3. 学会等名 日本化学会第99回春期年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢野慧一、伊藤喜光、荒岡史人、相田卓三
2. 発表標題 Modular Approach to Optoelectrically Responsive Columnar Coassembly
3. 学会等名 日本化学会第99回春期年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤喜光、Tengfei Fu、Xing Hao、Eric Silver、Shuo Chen、相田卓三
2. 発表標題 Effect of Nanoscale Interactions of Hydrophobic Functional Groups on Anomalous Molecular Dynamics in Water
3. 学会等名 日本化学会第99回春期年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上田倫久、伊藤喜光、相田卓三
2. 発表標題 キラルな[4n]アヌレンコアを有する一次元超分子集合体の設計と物性
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Hanebuchi, Keiichi Yano, Yoshimitsu Itoh, Takuzo Aida
2. 発表標題 Magneto-Responsive Hybrid Core-Shell Columnar Liquid Crystals Bearing Organic Radicals.
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (ILCC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keiichi Yano, Yoshimitsu Itoh, Fumito Araoka, Takuzo Aida
2. 発表標題 Hierarchical Coassembly of Rod and Disk Molecules into Hybrid Core-Shell Columnar Liquid Crystals.
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (ILCC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平原亮太、菅田剛士、佐藤浩平、伊藤喜光、相田卓三
2. 発表標題 フッ素化された自己組織化ナノチューブによる超高速水輸送
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石井大雅、伊藤喜光、相田卓三
2. 発表標題 多価大環状イオン液体の設計と合成
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tengfei Fu, Xing Hao, Eric Silver, Shuo Chen, Yoshimitsu Itoh, Takuzo Aida
2. 発表標題 Anomalously Slow Hydration Kinetics of a Hydrophobic Self- Assembled Monolayer in Water.
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Michihisa Ueda, Yoshimitsu Itoh, Takuzo Aida
2. 発表標題 Unique Chiroptical Properties of Helically Assembled Chiral [4n] annulenes.
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsubasa Aoki, Michihisa Ueda, Yoshimitsu Itoh, Takuzo Aida
2. 発表標題 Crown-Shaped Oligothiophenes as Potential Surface Modifiers.
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xujie Zhang, Keiichi Yano, Yoshimitsu Itoh, Takuzo Aida
2. 発表標題 Studies on optical behaviors of noncovalent columnar liquid crystalline co-assemblies of disc- and rod-shaped molecules.
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimitsu Itoh, Xing Hao, Eric Silver, Shuo Chen, Takuzo Aida
2. 発表標題 Unique Molecular Behaviors on Hydrophobic Surface: Investigations using Biomimetic Interface
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 矢野慧一、伊藤喜光、荒岡史人、相田卓三
2. 発表標題 速電場配向を実現するハイブリッドカラムナー液晶: (1) 棒状液晶分子から成るカラムナー液晶
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 矢野慧一、伊藤喜光、荒岡史人、相田卓三
2. 発表標題 高速電場配向を実現するハイブリッドカラムナー液晶: (2) 二方向への高速電場配向
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 羽根淵高弘、矢野慧一、伊藤喜光、荒岡史人、相田卓三
2. 発表標題 高速電場配向を実現するハイブリッドカラムナー液晶: (3) 異方的磁気物性に向けた有機ラジカルの導入
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上田倫久、Kjell Jorner、Young Mo Sung、森直、Dongho Kim、Henrik Ottosson、伊藤喜光、相田卓三
2. 発表標題 Accelerated Ring Inversion of a [4n]annulene Derivative by Photo-stabilization of its Planar Transition State
3. 学会等名 2017年光化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤喜光、上田倫久、Kjell Jorner、Young Mo Sung、森直、Dongho Kim、Henrik Ottosson、相田卓三
2. 発表標題 光励起状態におけるキラル[4n]アヌレン類の環反転挙動: Baird 芳香族性のエネルギー論
3. 学会等名 第28回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平原亮太、菅田剛士、佐藤浩平、伊藤喜光、相田卓三
2. 発表標題 フッ素化された超大環状化合物の合成と物質輸送を指向した一次元自己組織化
3. 学会等名 日本化学会第98回春期年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤喜光、Xing Hao、Eric Silver、Tengfei Fu、Shuo Chen、相田卓三
2. 発表標題 Unique Molecular Behaviors on Hydrophobic Interface: Investigations using Biomimetic Self-Assembled Monolayers
3. 学会等名 日本化学会第98回春期年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上田倫久、Kjell Jorner、Young Mo Sung、森直、Dongho Kim、Henrik Ottosson、相田卓三、伊藤喜光
2. 発表標題 Photo-responsive Chiral Inversion Behavior of [4n] annulene Derivatives based on Excited-state Aromaticity
3. 学会等名 日本化学会第98回春期年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢野慧一、伊藤喜光、荒岡史人、相田卓三
2. 発表標題 Integrated Supramolecular Polymerization in Liquid Crystalline Media (1): Emergence of Columnar Coassemblies and Chiral Self-Sorting Phenomena
3. 学会等名 日本化学会第98回春期年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 羽根淵高弘、矢野慧一、伊藤喜光、相田卓三
2. 発表標題 Integrated Supramolecular Polymerization in Liquid Crystalline Media (2): Emergence of Radical Columnar Coassemblies and their Magnetic Switching
3. 学会等名 日本化学会第98回春期年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimitsu Itoh, Shuo Chen, Takuzo Aida
2. 発表標題 Nanoscale Interactions at Self-Assembled Monolayers (1): Hydrophobic Modulation of Salt Bridges
3. 学会等名 第65回高分子学会年次大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Eric Scott Silver, Hao Xing, Shuo Chen, Yoshimitsu Itoh, Takuzo Aida
2. 発表標題 Nanoscale Interactions at Self-Assembled Monolayers (2): Investigation of Surface Wetting Kinetics
3. 学会等名 第65回高分子学会年次大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yoshimitsu Itoh, Shuo Chen, Takuzo Aida
2. 発表標題 Effect of Ion Pairing Strength by Hydrophobic Interface in Subnanoscale Distance
3. 学会等名 Biophysical Society 61st Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平原亮太、菅田剛士、佐藤浩平、伊藤喜光、相田卓三
2. 発表標題 フッ素化された超大環状化合物の合成と物質輸送を指向した一次元自己組織化
3. 学会等名 日本化学会第98回春期年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤喜光、Xing Hao、Eric Silver、Tengfei Fu、Shuo Chen、相田卓三
2. 発表標題 Unique Molecular Behaviors on Hydrophobic Interface: Investigations using Biomimetic Self-Assembled Monolayers
3. 学会等名 日本化学会第98回春期年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimitsu Itoh, Takeshi Konda, Kohei Sato, Takuzo Aida
2. 発表標題 Ultrafast Water Transport via Self- Assembled Fluorous Nanochannel
3. 学会等名 Gordon Research Conference (Liquid Crystals) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Michihisa Ueda, Kjell Jorner, Young Mo Sung, Tadashi Mori, Dongho Kim, Henrik Ottosson, Takuzo Aida, Yoshimitsu Itoh
2. 発表標題 Ring Inversion Kinetics of Photoexcited Chiral [4n]Annulene Derivatives: Energetic Impact of Baird Aromaticity
3. 学会等名 24th IUPAC Conference on Physical Organic Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimitsu Itoh
2. 発表標題 Electrical Modulation of Liquid Crystalline Molecular Assembly
3. 学会等名 International Conference on Emerging Advanced Nanomaterials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimitsu Itoh
2. 発表標題 Energetic Impact of Baird Aromaticity on Molecular Dynamics
3. 学会等名 Aromaticity 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上田倫久、伊藤喜光、相田卓三
2. 発表標題 Supramolecular Polymerization of Chiral Antiaromatic Compounds and Their Light-induced Chiral Amplification
3. 学会等名 日本化学会第99回春期年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢野慧一、伊藤喜光、荒岡史人、相田卓三
2. 発表標題 Modular Approach to Optoelectrically Responsive Columnar Coassembly
3. 学会等名 日本化学会第99回春期年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤喜光、Tengfei Fu、Xing Hao、Eric Silver、Shuo Chen、相田卓三
2. 発表標題 Effect of Nanoscale Interactions of Hydrophobic Functional Groups on Anomalous Molecular Dynamics in Water
3. 学会等名 日本化学会第99回春期年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤喜光、Tengfei Fu、Xing Hao、Eric Silver、Shuo Chen、相田卓三
2. 発表標題 Anomalous Wetting Behavior of Monolayers on Hydrophobic Surfaces
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平原亮太、誉田剛士、佐藤浩平、伊藤喜光、相田卓三
2. 発表標題 フッ素化内壁を有する自己組織化ナノチューブの超高速水輸送能
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshimitsu Itoh, Keiichi Yano, Yoshiki Shibuya, Takuzo Aida
2. 発表標題 Unusual Stabilization of Columnar Liquid Crystalline Assembly by Noncovalent Hierarchical Incorporation of Aromatic Molecules
3. 学会等名 The 18th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA-18) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshimitu Itoh
2. 発表標題 Effect of Excited State Aromaticity on Molecular Dynamics
3. 学会等名 International Conference on Excited State Aromaticity and Antiaromaticity (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshimitsu Itoh, Keiichi Yano, Takuzo Aida
2. 発表標題 Supramolecular Polymerization in Liquid Crystalline Media for Multifunctional Columnar Liquid Crystals
3. 学会等名 An International Conference on Colloid & Surface Science (OKINAWA COLLOIDS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤喜光、平原亮太、誉田剛、佐藤浩平、相田卓三
2. 発表標題 Ultrafast Water Transport by Self-Assembled Fluorous Nanochannel
3. 学会等名 日本化学会第100回春期年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Xujie Zhang、矢野慧一、伊藤喜光、相田卓三
2. 発表標題 Supramolecular Polymerization in Liquid Crystalline Media (1): Chirality Transfer from Chiral Rod-Shaped Liquid Crystalline Molecule to Achiral Supramolecular Polymer
3. 学会等名 日本化学会第100回春期年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森下大輝、Xujie ZHANG、矢野慧一、伊藤喜光、相田卓三
2. 発表標題 Supramolecular Polymerization in Liquid Crystalline Media (2): Formation of Supramolecular Copolymer
3. 学会等名 日本化学会第100回春期年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上田倫久、青木翼、秋山茂義、相田卓三、伊藤喜光
2. 発表標題 Supramolecular Polymerization of Chiral [4n]annulene Derivatives (1): Stereochemically Alternating Copolymerization
3. 学会等名 日本化学会第100回春期年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木翼、上田倫久、相田卓三、伊藤喜光
2. 発表標題 Supramolecular Polymerization of Chiral [4n]annulene Derivatives (2): Photo-Induced Supramolecular Polymerization based on Excited-State Aromaticity
3. 学会等名 日本化学会第100回春期年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤喜光、平原亮太、佐藤浩平、相田卓三
2. 発表標題 Anomalous Mass Transport Behavior through Fluorinated Nanochannels
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木翼、上田倫久、伊藤喜光、相田卓三
2. 発表標題 Stereochemically Alternating Supramolecular Copolymerization of Thiophene-Fused Chiral [4n]Annulenes and Their Photofunctions
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木翼、上田倫久、中室貴幸、中村栄一、相田卓三、伊藤喜光
2. 発表標題 Highly Selective Heterochiral Supramolecular Polymerization of Thiophene-Fused Chiral [4n]Annulenes
3. 学会等名 日本化学会第101回春期年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木翼、上田倫久、中室貴幸、中村栄一、相田卓三、伊藤喜光
2. 発表標題 Supramolecular Polymerization of Thiophene-Fused Chiral [4n]Annulenes: (1) Perfect Heterochiral Supramolecular Polymer with Unconventional Optical Activity
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋山茂義、青木翼、相田卓三、伊藤喜光
2. 発表標題 Supramolecular Polymerization of Thiophene-Fused Chiral [4n]Annulenes: (2) Effect of Side Chain Structures on Stereoselection
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木翼、上田倫久、中室貴幸、中村栄一、相田卓三、伊藤喜光
2. 発表標題 キラルなチオフェン縮環[4n]アヌレン類の高立体選択的ヘテロキラル超分子共重合と光機能
3. 学会等名 第31回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshimitsu Itoh
2. 発表標題 101)Multi-Responsive Liquid Crystalline Supramolecular Materials
3. 学会等名 International Conference on Materials Science and Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshimitsu Itoh
2. 発表標題 102)Dynamics and assembly of photoexcited thiophene fused [4n]annulene derivatives
3. 学会等名 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies
4. 発表年 2021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

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			
スウェーデン	ウプサラ大学			
韓国	延世大学			