

令和 3 年 5 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01952

研究課題名(和文) 励起状態芳香族性を活用した新しい光機能材料の創出

研究課題名(英文) Photofunctional materials based on excited-state aromaticity

研究代表者

齊藤 尚平 (SAITO, Shohei)

京都大学・理学研究科・准教授

研究者番号：30580071

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：独自の羽ばたく分子FLAPについて、以下の知見を得た。1) テトラセンやペンタセンを翼にもつFLAPは、高速の一重項分裂を示す。2) 高高い置換基をもつFLAPは柔軟なメカノフォアとして働き、結晶中における相転移を蛍光で可視化できる。3) 親水基と疎水基をもつ両親媒性のFLAPは気水界面で単分子膜を形成し、分子集合による圧力応答を示す。4) ベンゾペリレンイミドを翼にもつFLAPは、極めて低い粘度範囲でも敏感に応答する発蛍光性の粘度プローブとして無類の光安定性を示す。5) S1エネルギープロフィールの形をデザインする新たな手法として、励起状態芳香族安定化エネルギーを分子設計で調整できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

励起状態芳香族性は、通常のヒュッケル則に反して光励起状態の環状 $[4n]pi$ 共役系で発現して分子骨格の平面化やエネルギー低下をもたらすことで知られ、近年注目が集まっているが、励起状態芳香族性の概念を光機能材料の設計指針として積極活用した例は申請時点ではほとんど報告がなかった。今回、研究代表者が独自に開発した多機能性の羽ばたく分子FLAPをプラットフォームとして、特に過去の報告が少ないS1芳香族性の発現条件を解明するとともに、その知見を光機能材料の設計として応用し、優れた蛍光粘度プローブや接着性の光応答液晶を開発することができた。

研究成果の概要(英文)：The following findings were obtained for the unique flapping molecules (FLAP). 1) FLAPs bearing tetracene or pentacene wings exhibit fast singlet fission; 2) FLAPs with bulky substituents act as flexible mechanophores and phase transitions in crystals can be visualized by fluorescence; 3) amphiphilic FLAPs with hydrophilic and hydrophobic groups form monolayers at the air-water interface and exhibit pressure response by molecular assembly; 4) FLAP bearing benzoperyleneimide wings exhibits remarkable photostability as a fluorescence viscosity probe that shows a sensitive response even in the extremely low viscosity range; 5) As a new method to design the shape of S1 energy profile, the excited state aromatic stabilization energy can be tuned by molecular design.

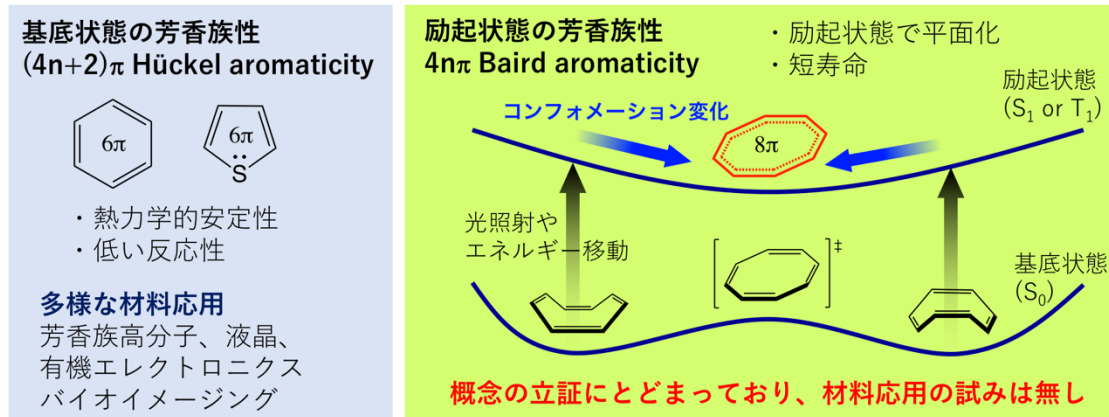
Translated with [www.DeepL.com/Translator](http://www.DeepL.com/Translator) (free version)

研究分野：光化学、構造有機化学、有機材料化学

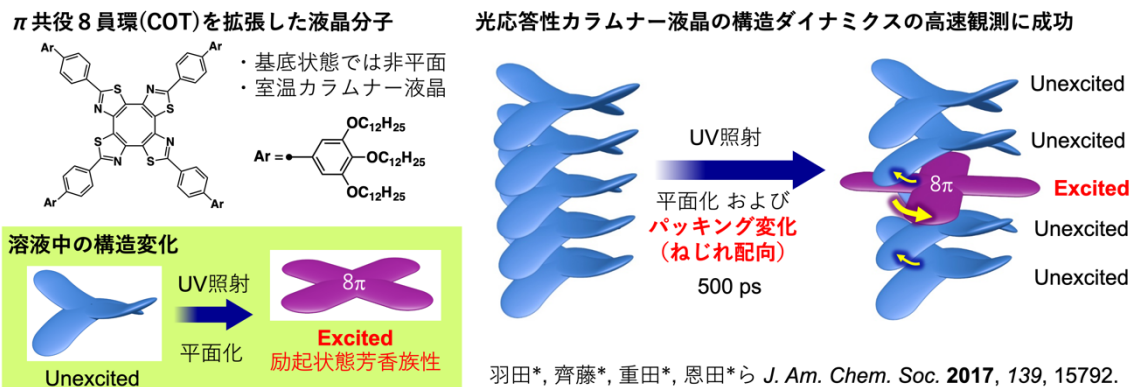
キーワード：羽ばたく分子 励起状態 芳香族性 蛍光粘度プローブ 一重項分裂 接着 液晶 光剥離

### 1. 研究開始当初の背景

励起状態芳香族性は、通常のヒュッケル則に反して光励起状態の環状  $4n\pi$  共役系で発現して分子骨格の平面化やエネルギー低下をもたらすことで知られ、近年注目が集まっている。1972年に最低三重項状態 ( $T_1$ ) で発現することが提唱されて以降、励起状態芳香族性は光反応の実験結果を解釈するために有用な概念として、主に理論家を中心として研究が進められた。その後、光励起された化学種を高速で追跡する時間分解スペクトル技術の発展に伴い、直接的に励起状態芳香族性の発現を証明する研究が盛んに行われている。しかし、励起状態芳香族性を光機能材料の設計指針として積極活用した例は研究開始時点では全く報告がなかった。



このような背景のなか、研究代表者らは、光応答  $8\pi$  共役系分子 ( $\pi$ -COT) のコラムナー液晶を合成し、連携研究者の協力を得てフェムト秒レーザーを用いた時間分解計測を実施することで、世界ではじめて液晶材料中における励起状態芳香族性の発現を構造解析することに成功した (齊藤・羽田・恩田・重田ら, *J. Am. Chem. Soc.* **2017**, *139*, 15792)。本報告では、分子のコンフォメーション変化だけでなく、励起分子近傍の液晶パッキング構造の変化まで解析できた。これはすなわち、光に応答して材料が機能する際の構造変化を凝集系のまま明らかにし、より優れた光機能材料の設計に活かす道筋を示したことを意味する。



学術的問い：励起状態芳香族性を積極的に活用することで、新しい動作原理に基づく光機能材料を創出できないか？

また、こうした芳香族研究の盛り上がりと並行して、最低励起一重項状態 ( $S_1$ ) で V 字型から平面型へとコンフォメーション変化を起こす新しいタイプの光応答分子が俄かに注目を集めている。そのような光応答分子として、研究代表者は柔軟な  $\pi$  共役 8 員環 (COT) と剛直な  $\pi$  共役骨格をハイブリッドさせた一連の分子群 FLAP を独自に開発し、FLAP 骨格を基盤とした光機能材料を創出してきた。具体的には、光で剥がせる液晶接着材料 (*Nature Commun.* **2016**, *7*, 12094) や高感度の蛍光粘度プローブ (*J. Mater. Chem. C*, **2017**, *5*, 5248) が挙げられる。しかしながら、これらの分子群が  $S_1$  状態で平面化するドライビングフォースとして  $S_1$  芳香族性が関与しているのかは未解明であり、 $S_1$  芳香族性を意識した材料開発は研究開始時点では行われていなかった。そこで代表者は、これを解明するだけでなく、理論的に  $S_1$  芳香族性を示すと期待される分子骨格を新たに設計・合成し、積極的に機能材料開発に活用することを考えた。同時に、従来の光応答材料における課題を克服し、過去にない動作原理 ( $S_1$  状態における構造平面化) に基づく、より優れた光機能材料の創出に挑戦してきた。

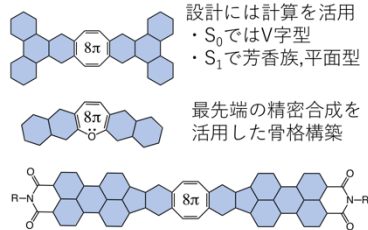
## 2. 研究の目的

本研究の目的は  $S_1$  芳香族性の発現条件を解明するとともに、 $S_1$  状態における構造平面化を光機能材料の設計として応用し、蛍光プローブ分子や光応答液晶の新たな設計指針を提示することである。励起状態芳香族性を応用した材料展開は、極めて限られている。稀有な例として、環状  $8\pi$  共役系である COT 分子の三重項状態が  $T_1$  芳香族性により低いエネルギー準位をもつことに基づき、COT を三重項クエンチャーとして発光色素に連結し、発光色素の光耐久性を高める応用例 (*Photochem. Photobiol. Sci.*, **2016**, *15*, 196) が知られているが、この場合も  $S_1$  ではなく従来の  $T_1$  芳香族性を利用している。本研究のように分散系のみならず分子凝集系で機能する光応答材料の設計指針として  $S_1$  芳香族性を活用する試みは過去に前例がなく、将来の光機能物質の創造に向けて普遍性の高い知見を提供する。

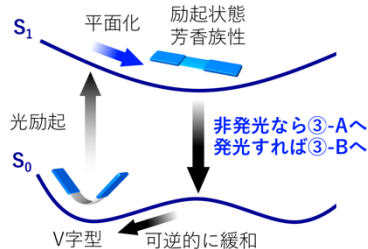
## 3. 研究の方法

本研究では、 $S_1$  芳香族性を活用した新しい光機能材料を創出するとともに、励起状態の構造変化と光機能性の相関を明らかにした。まず、基底状態では V 字型であり、 $S_1$  励起状態では平面型へコンフォメーション変化する  $\pi$  共役骨格 FLAP の新規ライブラリーを構築した。柔軟部位は 8 員環 ( $8\pi$  COT) だけに限定せず、7 員環 ( $8\pi$  oxepin) も検討した。量子化学計算を行うことで、励起状態の平面化および  $S_1$  芳香族性の発現に関する予備的な知見を得ておき、効率的に機能分子を探索した。次に、得られた光応答骨格のライブラリーの中で、A) 蛍光を発しないものは光応答液晶材料、特に光剥離可能な液晶接着材料へ、B) 蛍光を発するものは蛍光粘度プローブ、特に細胞イメージング可能な水溶性プローブへと展開することを目指した。

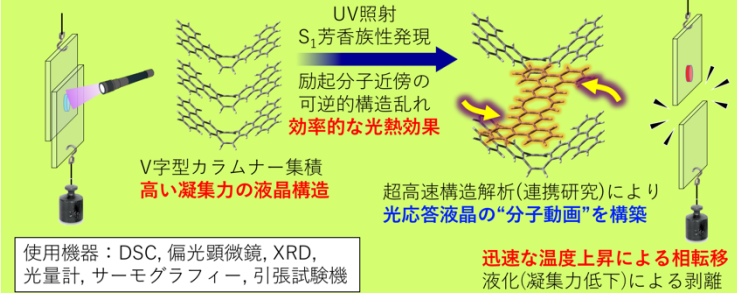
### ① 新しい $S_1$ 芳香族骨格を設計・開発



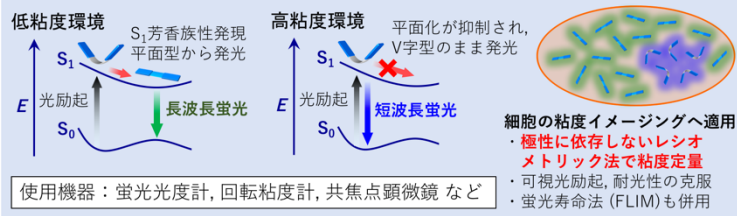
### ② 励起ダイナミクスと蛍光特性の解明



### ③-A) 光照射により融解して剥がせる液晶接着材料の創出



### ③-B) 分子の羽ばたきで局所粘度を感じる水溶性蛍光プローブの創出

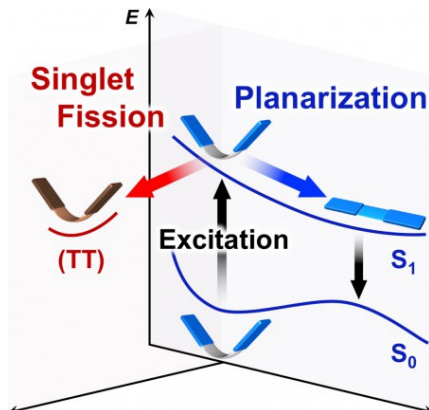


## 4. 研究成果

羽ばたく機能分子 FLAP のシリーズ化を進めるとともに、主に下記に示す研究成果を得た。ただし、上記 3-A に示す液晶接着材料の開発については特許出願中であるため省略する。

### 1) テトラセンやペンタセンを翼にもつ FLAP は、高速の一重項分裂を示す

(*Angew. Chem. Int. Ed.* **2018**, *57*, 5438)



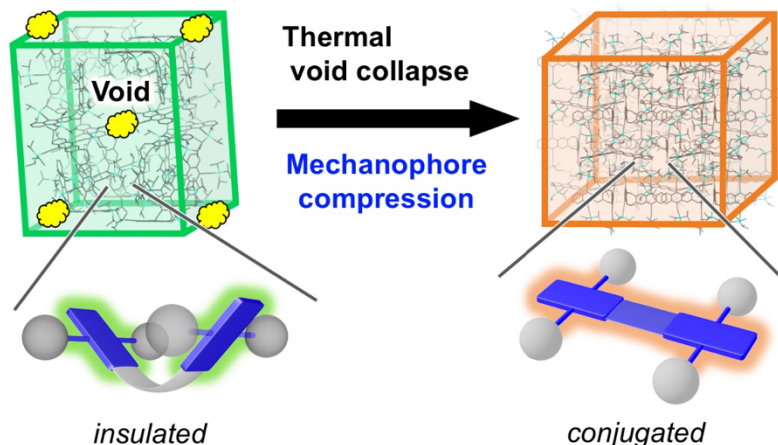
シクロオクタテトラエン (COT) 環と融合した一連の羽ばたくアセン二量体は、溶液中で異なる励起状態ダイナミクスを示した。アントラセン二量体では、最低励起一重項状態で 10ps 以内に V 字型から平面型への高速コンフォメーション変化が見られたが、テトラセン二量体とペンタセン二量体では、分子内一重項分裂 (Singlet Fission) が異なる様式で起こる。すなわち、テトラセン二量体では特徴的な遅延蛍光を伴う高速かつ可逆的な一重項分裂が観察されたのに対し、ペンタセン二量体では高速かつ定量的な一重項分裂が観察された。これらの超高速ダイナミクスには、縮環した COT のコンフォメーションの柔軟性が重要



な役割を果たしており、FLAP 分子シリーズが光機能システムを設計するための汎用プラットフォームとして有用であることを示している。

2) 嵩高い置換基をもつ FLAP は柔軟なメカノフォアとして働き、結晶中における相転移を蛍光で可視化できる (*J. Am. Chem. Soc.* **2018**, *140*, 6245)

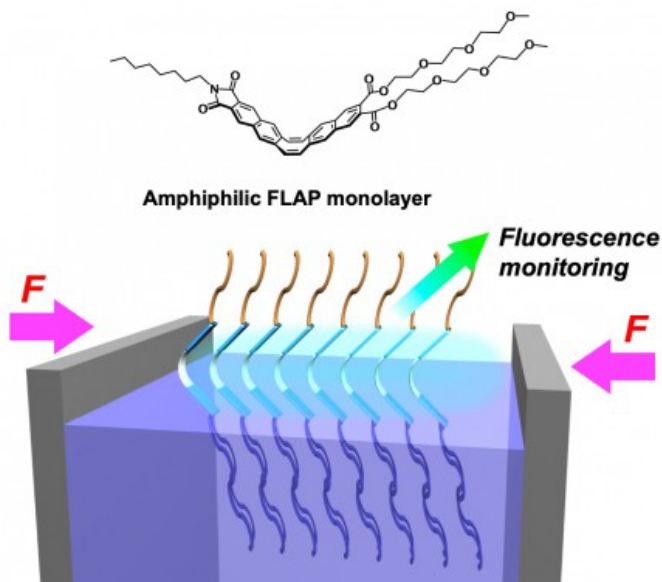
分子のエネルギーランドスケープを機械的に制御することは、現代の材料科学において重要な課題である。メカノフォアは、外力の助けを借りてエネルギー的に上り坂の分子内変換を行うことで、力学的な反応を引き起こすというユニークな役割を果たしている。ここでは、柔軟な羽ばたき型 FLAP メカノフォアの前例のない活性化プロセスを報告した。すなわち、結晶状態における温度相転移に伴う空隙の崩壊が、一定の割合でメカノフォアの圧縮を引き起こすのである。この FLAP メカノフォアのコンフォメーション平面化は孤立分子で計算するとエネルギー的に



不利な構造変化であるが、結晶状態ではパッキングフォースによって強制的に誘発され、系全体で考えるとトータルエネルギーの低下につながる。蛍光クロミズムは、FLAP メカノフォアの圧縮による共役の拡大を示し、圧縮されていない V 字型コンフォマーから圧縮された平面型コンフォマーへのエネルギーの移動を生じさせた。

3) 親水基と疎水基をもつ両親媒性の FLAP は気水界面で単分子膜を形成し、分子集合による圧力応答を示す (*Chem. Asian J.* (VIP) **2019**, *14*, 2869)

気水界面は、極性の異なる 2 つの相の境界であり、バルクの水や空気とは異なる環境を与える。界面は、さまざまな生体分子が働く場となるため、界面での分子挙動を理解することは重要である。ここでは、疎水性/親水性の置換基を備えた極性に依存しない FLAP 粘度プローブを合成し、空気と水の界面での挙動を調べた。3 種類の FLAP について、界面での内部運動や配向に関する蛍光をその場観察したところ、界面では分子の内部運動が抑制されることが示された。また、従来の粘度プローブ (分子ローター) と比較したところ、分子の動きだけでなく、分子の配向が異なるために FLAP の挙動が異なることがわかった。圧力応答としては、V 字型 FLAP の分子集合による蛍光変化が観察された一方で、FLAP の平面化による蛍光変化は観察されなかった。しかしながら、FLAP 骨格の非対称な分子修飾法を確立し、気水界面で単分子膜を形成することを示した意義は大きい。

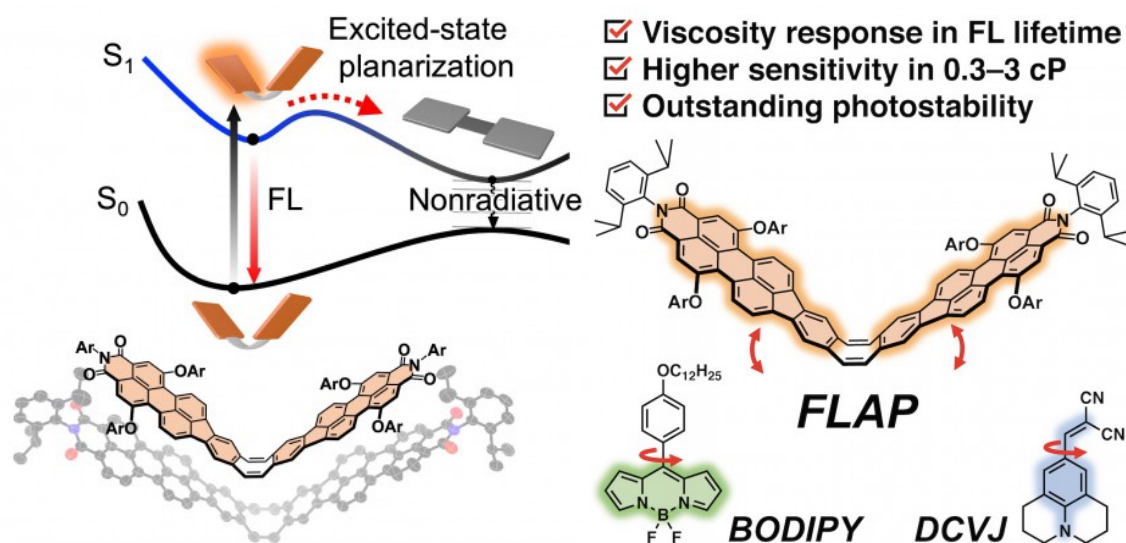


4) ベンゾペリレンイミドを翼にもつ FLAP は、極めて低い粘度範囲でも敏感に応答する発蛍光性の粘度プローブとして無類の光安定性を示す

(*Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, *59*, 16430 ; *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2020**, *93*, 1102)

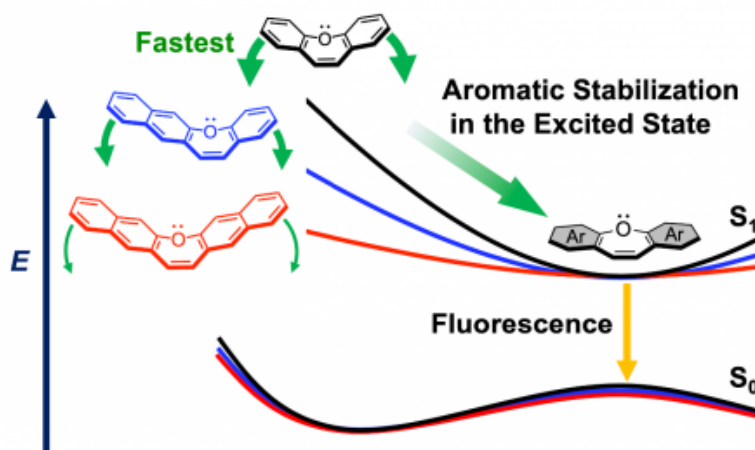
光安定性の高い「羽ばたくペリレンイミド」を開発した。S<sub>1</sub> 状態における平面化は、電子的な Configuration のスイッチを誘発し、ペリレンイミド骨格が本来示す蛍光をほとんど消光させた。しかし、わずかな環境変化により、蛍光の量子収率が著しく向上し、寿命が延長されることがわかった。このような蛍光機能は、 $\pi$  共役長さの設計を工夫することで実現した。

また、「羽ばたくペリレンイミド」の粘度応答機能を、代表的な分子ローターである DCVJ および BODIPY と比較して報告した。この比較では、「羽ばたくペリレンイミド」の蛍光の極性依存性は無視できないものの、低粘度領域 (0.3-30 cP) ではより敏感な蛍光応答を示し、蛍光寿命測定による異なる *n*-アルカンの識別が可能である。非常に高い光安定性も確認されており、可視光を強く吸収し、柔軟な羽ばたき動作と同期した蛍光寿命応答は、FL lifetime imaging microscopy (FLIM) などの最新の光学技術に有用である。



5) S<sub>1</sub> エネルギープロフィールの形をデザインする新たな手法として、励起状態芳香族安定化エネルギーを分子設計で調整できる (*J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *142*, 14985)

最低一重項励起状態 (S<sub>1</sub>) のエネルギープロフィールの形状は、光化学および関連する材料科学分野において非常に重要である。ここでは、励起状態芳香族性 (ESA) を調整することで、S<sub>1</sub> エネルギープロフィールの形状を制御する新しい手法を報告した。一連の蛍光性  $\pi$  拡張オキセピンでは、S<sub>1</sub> 状態における折れ曲がり型から平面型へのコンフォメーション変化に伴うエネルギーの安定化は、ESA の度合いが大きいほど顕著であることがわかった。ESA による安定化エネルギーは、光吸収および蛍光スペクトルの波長に基づいて 10-20 kcal/mol と定量的に推定された。また、時間分解蛍光分光法により、S<sub>1</sub> の非常に速い平面化ダイナミクスが確認された。この時定数は、分子の大きさや ESA のレベルにかかわらず、1 ps よりも短いと推定され、オキセピン系では S<sub>1</sub> の平面化がエネルギー障壁をもたないバリアレスな過程であることが示された。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kimura Ryo, Kitakado Hidetsugu, Osuka Atsuhiko, Saito Shohei	4. 巻 93
2. 論文標題 Flapping Peryleneimide as a Fluorescent Viscosity Probe: Comparison with BODIPY and DCVJ Molecular Rotors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1102 ~ 1106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20200117	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 Kimura Ryo, Kuramochi Hikaru, Liu Pengpeng, Yamakado Takuya, Osuka Atsuhiko, Tahara Tahei, Saito Shohei	4. 巻 59
2. 論文標題 Flapping Peryleneimide as a Fluorogenic Dye with High Photostability and Strong Visible Light Absorption	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 16430 ~ 16435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202006198	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 Kotani Ryota, Liu Li, Kumar Pardeep, Kuramochi Hikaru, Tahara Tahei, Liu Pengpeng, Osuka Atsuhiko, Karadakov Peter B., Saito Shohei	4. 巻 142
2. 論文標題 Controlling the S1 Energy Profile by Tuning Excited-State Aromaticity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 14985 ~ 14992
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.0c05611	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 Karadakov Peter B., Saito Shohei	4. 巻 59
2. 論文標題 Can Anti Aufbau DFT Calculations Estimate Singlet Excited State Aromaticity? Correspondence on "Dibenzoarsepins: Planarization of 8 Electron System in the Lowest Singlet Excited State"	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 9228 ~ 9230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202001934	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 木村僚、齊藤尚平	4. 巻 2020
2. 論文標題 羽ばたく蛍光プローブ「Perylene FLAP」- 高い感度で微視的な粘度変化を検出	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 academist Journal	6. 最初と最後の頁 14139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-5451-3	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 Nakanishi Waka, Saito Shohei, Sakamoto Naoki, Kashiwagi Akihiro, Yamaguchi Shigehiro, Sakai Hideki, Ariga Katsuhiko	4. 巻 14
2. 論文標題 Monitoring Fluorescence Response of Amphiphilic Flapping Molecules in Compressed Monolayers at the Air/Water Interface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 2869-2876
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201900769	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 Hada Masaki, Saito Shohei, Sato Ryuma, Miyata Kiyoshi, Hayashi Yasuhiko, Shigeta Yasuteru, Onda Ken	4. 巻 135
2. 論文標題 Novel Techniques for Observing Structural Dynamics of Photoresponsive Liquid Crystals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Visualized Experiments	6. 最初と最後の頁 e57612
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3791/57612	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 Yamakado Takuya, Takahashi Shota, Watanabe Kazuya, Matsumoto Yoshiyasu, Osuka Atsuhiko, Saito Shohei	4. 巻 57
2. 論文標題 Conformational Planarization versus Singlet Fission: Distinct Excited-State Dynamics of Cyclooctatetraene-Fused Acene Dimers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 5438 ~ 5443
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201802185	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 Ema Fumitoshi, Tanabe Mana, Saito Shohei, Yoneda Tomoki, Sugisaki Kenji, Tachikawa Takashi, Akimoto Seiji, Yamauchi Seigo, Sato Kazunobu, Osuka Atsuhiko, Takui Takeji, Kobori Yasuhiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Charge-Transfer Character Drives M <sup>2+</sup> bius Antiaromaticity in the Excited Triplet State of Twisted [28]Hexaphyrin	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 2685 ~ 2690
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcclett.8b00740	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 Yamakado Takuya, Otsubo Kazuya, Osuka Atsuhiko, Saito Shohei	4. 巻 140
2. 論文標題 Compression of a Flapping Mechanophore Accompanied by Thermal Void Collapse in a Crystalline Phase	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 6245 ~ 6248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b03833	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 Carbone II-Sanrom? Eduard, Garcia-Lekue Aran, Corso Martina, Vasseur Guillaume, Brandimarte Pedro, Lobo-Checa Jorge, de Oteyza Dimas G., Li Jingcheng, Kawai Shigeki, Saito Shohei, Yamaguchi Shigehiro, Ortega J. Enrique, S?nchez-Portal Daniel, Pascual Jose Ignacio	4. 巻 122
2. 論文標題 Electronic Properties of Substitutionally Boron-Doped Graphene Nanoribbons on a Au(111) Surface	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 16092 ~ 16099
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b03748	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 Saito Shohei	4. 巻 3
2. 論文標題 Flapping Molecules for Photofunctional Materials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Wiley Online Library: Molecular Technology	6. 最初と最後の頁 17 ~ 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/9783527823987.vol3_c2	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71件（うち招待講演 19件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 柴田祐貴・山角拓也・木下智和・福原学・齊藤尚平
2. 発表標題 三角形ベルト型分子の結晶構造と溶液中の圧力応答
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会（2021）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小西智暉・中池由美・原 光生・矢嶋 渉・四方 諒・羽田真毅・齊藤尚平
2. 発表標題 励起状態芳香族性を示す新型ライトメルト接着材料の開発と光応答メカニズムの解明
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会（2021）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安藤北斗・DEY Nilanjan・木下智和・福原学・齊藤尚平
2. 発表標題 水溶性の羽ばたく蛍光粘度プローブの開発と圧力応答
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会（2021）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川 豊・山角拓也・齊藤尚平
2. 発表標題 ピレン骨格をもつ羽ばたく蛍光団の合成と光物性
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会（2021）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小谷 亮太・齊藤 尚平
2. 発表標題 複線架橋によるエラストマーの高強度化
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 須賀 健介・山角 拓也・齊藤 尚平
2. 発表標題 光軟化する高分子材料を目指した新しい光応答V字型分子骨格の開発
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hidetsugu Kitakado, Shohei Saito
2. 発表標題 Mechanoresponsive PDMS that Reversibly Changes Fluorescence in Sub-MPa Stress
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Yamakado, Shohei Saito
2. 発表標題 Ratiometric fluorescent force probe that works in gels
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村 僚・齋藤 尚平
2. 発表標題 ペリレンイミド骨格をもつ羽ばたく蛍光粘度プローブの水溶性化と光物性
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤尚平・後藤祐真・佐藤竜馬・DEY Nilanjan・阿知波亮・山角拓也・大曲 駿・VACHA Martin
2. 発表標題 羽ばたく分子の時間依存 1 分子蛍光スペクトルを利用した高分子の動的な自由体積の評価
3. 学会等名 2020年web光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴田 祐貴・山角 拓也・齋藤 尚平
2. 発表標題 多重 スタックによる平面充填を目指した三角形ベルト型分子の合成と光物性
3. 学会等名 2020年web光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 SUGA, Kensuke; YAMAKADO, Takuya; SAITO Shohei
2. 発表標題 Flapping molecular unit for creating photomelting physical crosslinks in polymers
3. 学会等名 2020年web光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 KIMURA, Ryo; KURAMOCHI, Hikaru; TAHARA, Tahei; SAITO, Shohei
2. 発表標題 Viscosity probing function of flapping peryleneimide fluorophore: Comparison with BODIPY
3. 学会等名 2020年web光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安藤北斗・DEY Nilanjan・齊藤尚平
2. 発表標題 水溶性の羽ばたく蛍光分子の合成とフルオロジェニック特性
3. 学会等名 2020年web光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 DEY, Nilanjan; ACHIWA, Ryo; SAITO, Shohei
2. 発表標題 Long-time and Multiple Fluorescence Change in Coordination-Driven 2D Assembly of Nitrogen-Doped Flapping Fluorophores
3. 学会等名 2020年web光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小谷亮太
2. 発表標題 Controlling the S1 Energy Profile by Tuning Excited-State Aromaticity
3. 学会等名 2020年web光化学討論会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山角拓也・齊藤尚平
2. 発表標題 高分子ゲルの局所応力解析に向けたピレン型蛍光メカノフォアの開発
3. 学会等名 第69回高分子討論会（オンライン）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryota KOTANI, Atsuhiko OSUKA, Yuichi MASUBUCHI, and Shohei SAITO
2. 発表標題 Local stress concentration of cross-linked polymers studied by mechanophores and MD simulation
3. 学会等名 第69回高分子討論会（オンライン）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nilanjan DEY, Ryo Achiwa, Shohei SAITO
2. 発表標題 Coordination-Driven Polymerization of Nitrogen-Doped Flapping Fluorophores: Monitoring the Long-time Process by Fluorescence
3. 学会等名 第69回高分子討論会（オンライン）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北鹿渡秀嗣・齊藤 尚平
2. 発表標題 レンオメトリック蛍光メカノフォアによるPDMS延伸時の局所応力評価
3. 学会等名 第69回高分子討論会（オンライン）
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 木村 僚・倉持 光・田原太平・齊藤尚平
2. 発表標題 羽ばたくペリレンイミドの粘度プローブ特性：BODIPYとの比較
3. 学会等名 基礎有機化学会 若手オンラインシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齊藤尚平
2. 発表標題 柔軟なメカノクロミック分子を用いて高分子の局所応力集中を理解する
3. 学会等名 高分子加工技術研究会第92回例会（オンライン）（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齊藤尚平
2. 発表標題 パタバタ分子FLAPが開拓する新しい有機材料化学
3. 学会等名 東海高分子学生研究会（オンライン）（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齊藤尚平
2. 発表標題 高分子鎖の局所応力集中を蛍光メカノフォアで理解する
3. 学会等名 日本MRS年次大会（オンライン）（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齊藤尚平
2. 発表標題 紫外光で剥がせるライトメルト接着材料の最前線
3. 学会等名 JACI・新素材分科会勉強会（オンライン）（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齊藤尚平
2. 発表標題 Flapping Molecules for Functional Materials
3. 学会等名 第69回高分子討論会 日台若手高分子シンポジウム（オンライン）（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齊藤尚平
2. 発表標題 分子で接着は可能なのか？光で剥がせるライトメルト接着材料の挑戦
3. 学会等名 接着学会若手の会（オンライン）（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齊藤尚平
2. 発表標題 羽ばたく分子が創り出す新しい光科学技術
3. 学会等名 Chem-Station 第2回ケムステVシンポ（オンライン）（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安藤北斗・山角拓也・大須賀篤弘・齊藤尚平
2. 発表標題 水溶性の羽ばたく発光団の合成と光物性の解析
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 SUGA, Kensuke; YAMAKADO, Takuya; OSUKA, Atsuhiko; SAITO, Shohei
2. 発表標題 Fluorescent flapping mechanophore bearing phenazineimide groups
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会, 東京理科大学 野田キャンパス
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小谷亮太・増淵雄一・大須賀篤弘・齊藤尚平
2. 発表標題 柔軟な蛍光メカノフォアをもちいたポリウレタンの局所応力集中の評価
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会, 東京理科大学 野田キャンパス
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村 僚・倉持 光・田原太平・劉 鵬鵬・大須賀篤弘・齊藤尚平
2. 発表標題 羽ばたき運動で微小粘度変化を感じとるペリレンイミド2量体の蛍光解析
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会, 東京理科大学 野田キャンパス
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山角拓也・大須賀篤弘・齊藤尚平
2. 発表標題 ビレン骨格をもつ柔軟なV字型メカノフォアの合成と二重蛍光特性
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会, 東京理科大学 野田キャンパス
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本多 翔・山角拓也・櫛田亜希・大須賀篤弘・齊藤尚平
2. 発表標題 配位子dppzを翼にもつ羽ばたく蛍光分子の開発
3. 学会等名 2019年光化学討論会, 名古屋大学 東山キャンパス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村僚・倉持光・田原太平・劉鵬鵬・大須賀篤弘・齊藤尚平
2. 発表標題 フルオロジェニック粘度プローブとして働く赤色蛍光FLAPの 励起状態ダイナミクス
3. 学会等名 2019年光化学討論会, 名古屋大学 東山キャンパス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryo Kimura, Liu Pengpeng, Atsuhiko Osuka, Shohei Saito
2. 発表標題 Red Flapping Fluorophore as a Photostable Viscosity Probe
3. 学会等名 The 18th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA-18), Sapporo Hokkaido Japan
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidetsugu Kitakado, Atsuhiko Osuka, Shohei Saito
2. 発表標題 Rh Complex of Flapping Fluorophore: Controlling Flapping Motion
3. 学会等名 The 18th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA-18), Sapporo Hokkaido Japan
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryota Kotani, Pengpeng Liu, Atsuhiko Osuka, Shohei Saito
2. 発表標題 Fluorescent -Expanded Oxepins: Conformational Planarization in the Excited State
3. 学会等名 The 18th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA-18), Sapporo Hokkaido Japan
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齊藤尚平
2. 発表標題 羽ばたく光機能分子FLAPを活用した高分子の局所応力解析と新型ライトメルト接着材料の開発
3. 学会等名 第68回高分子討論会, 福井大学 文京キャンパス (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北鹿渡秀嗣・大須賀篤弘・齊藤尚平
2. 発表標題 FLAP金属錯体を導入した刺激応答性高分子の合成および蛍光スイッチング機能
3. 学会等名 第68回高分子討論会, 福井大学 文京キャンパス
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 齊藤尚平, 小谷亮太, 増淵雄一
2. 発表標題 力に応答する発光分子 FLAP をもちいて架橋高分子の局所応力集中を理解する
3. 学会等名 第66回レオロジー討論会、滋賀県立大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小谷亮太・大須賀篤弘・齊藤尚平
2. 発表標題 局所の力に応答する蛍光分子FLAPを化学導入したポリマーの合成とその場顕微観察
3. 学会等名 第66回レオロジー討論会、滋賀県立大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryota Kotani, Pengpeng Liu, Atsuhiko Osuka, Shohei Saito
2. 発表標題 Excited-State Aromaticity and Antiaromaticity of $\pi$ -Expanded 7-Membered Oxepins
3. 学会等名 International Conference on Excited State Aromaticity and Antiaromaticity, Sigtuna, Sweden
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shohei Saito
2. 発表標題 Flapping Molecules That Work By Excited-State Aromaticity
3. 学会等名 International Conference on Excited State Aromaticity and Antiaromaticity, Sigtuna, Sweden (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齊藤尚平
2. 発表標題 紫外光で剥がせるライトメルト液晶接着剤の開発
3. 学会等名 ニューガラスフォーラム ガラス科学技術研究会（東京 新宿 日本ガラス工業センター）（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齊藤尚平
2. 発表標題 光で剥がせるライトメルト液晶接着材料の最新展開
3. 学会等名 第3回超分子研究会・精密ネットワークポリマー研究会合同講座（早稲田大学 西早稲田キャンパス）（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Flapping molecules for photo- and mechanoresponsive materials
2. 発表標題 Shohei Saito
3. 学会等名 2019 US-Japan Polymer Symposium(Stanford, California)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齊藤尚平
2. 発表標題 パタパタ分子FLAPで理解し制御するナノ、メゾ、マクロのカ
3. 学会等名 光化学若手の会 八王子 大学セミナーハウス（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shohei Saito
2. 発表標題 Development of Flapping Molecules and Photofunctional Materials
3. 学会等名 The 10th Asian Photochemistry Conference APC 2018, Taipei (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shohei Saito
2. 発表標題 Excited State Aromaticity of Flapping Materials
3. 学会等名 Aromaticity2018, Cancun, Mexico (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shohei Saito
2. 発表標題 Flapping Molecule as a Key Structure for Light-Melt Adhesive and Ratiometric Force Probe
3. 学会等名 2018 MRS Fall Meeting, Boston, Massachusetts (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shohei Saito
2. 発表標題 Flapping Fluorophores and Photofunctional Soft Materials
3. 学会等名 Kyoto University Germany International symposium KUGIs (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齊藤尚平
2. 発表標題 局所的な力を測る光分子力学
3. 学会等名 化学フェスタ2018 "メカノバイオロジーと光科学、分子技術 ~未来を拓くトライアングル~" タワーホール船堀, 東京(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齊藤尚平・小谷亮太・北鹿渡秀嗣
2. 発表標題 高分子の応力集中を蛍光メカノフォアで解析する
3. 学会等名 第67回高分子討論会, 北海道大学, 札幌
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山角拓也・大坪主弥・大須賀篤弘・齊藤尚平
2. 発表標題 羽ばたく蛍光団のメカノフォア機能: 結晶構造中の空隙の崩壊に伴う活性化と高分子鎖への導入
3. 学会等名 第67回高分子討論会, 北海道大学, 札幌
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北鹿渡秀嗣・横山創一・大須賀篤弘・齊藤尚平
2. 発表標題 レンゾメトリック蛍光応力プローブの各種高分子への化学的導入
3. 学会等名 第67回高分子討論会, 北海道大学, 札幌
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小谷亮太・大須賀篤弘・齊藤尚平
2. 発表標題 力に应答する蛍光色素を用いたエラストマーの応力集中の化学的評価
3. 学会等名 第66回レオロジー討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齊藤尚平・小谷亮太・北鹿渡秀嗣
2. 発表標題 蛍光張力プローブを用いて、高分子の応力集中を化学構造から理解する
3. 学会等名 第66回レオロジー討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北鹿渡秀嗣・横山創一・大須賀篤弘・齊藤尚平
2. 発表標題 レンゾメトリック蛍光応力プローブによる高分子中の局所歪みの可視化
3. 学会等名 第66回レオロジー討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryota Kotani, Atsuhiko Osuka, Shohei Saito
2. 発表標題 Chemical Evaluation of Stress Concentration in Elastomers Incorporating Fluorescent Flapping Mechanophores
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018), Hiroshima, Japan
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Shohei Saito
2. 発表標題 Functional Photoactive Materials Based on Flexible Molecules
3. 学会等名 新学術領域研究「高次複合光応答」第2回国際会議・第7回公開シンポジウム・第8回若手セミナー，大阪大学 豊中キャンパス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齊藤尚平
2. 発表標題 多分子協調場としてのフレキシブル光応答分子の機能集合システム構築
3. 学会等名 新学術領域研究「高次複合光応答」第8回公開シンポジウム，大阪大学 豊中キャンパス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小谷亮太・Liu Pengpeng・大須賀篤弘・齊藤尚平
2. 発表標題 拡張された発光性7員環オキセピンの光物性と励起状態芳香族性
3. 学会等名 新学術領域研究「高次複合光応答」第8回公開シンポジウム，大阪大学 豊中キャンパス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小谷亮太・劉鵬鵬・齊藤尚平・大須賀篤弘
2. 発表標題 拡張した発光性7員環オキセピンの励起状態における構造平面化
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会2019，甲南大学 岡本キャンパス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村僚・劉鵬鵬・倉持光・田原太平・齊藤尚平・大須賀篤弘
2. 発表標題 ペリレンイミド骨格をもつ羽ばたく蛍光分子の開発と励起状態ダイナミクス
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会2019, 甲南大学 岡本キャンパス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山角拓也・後藤祐真・VACHA Martin・齊藤尚平・大須賀篤弘
2. 発表標題 単一分子蛍光による力解析に向けた柔軟なV字型メカノフォアの開発
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会2019, 甲南大学 岡本キャンパス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北鹿渡秀嗣・齊藤尚平・大須賀篤弘
2. 発表標題 羽ばたく蛍光分子の金属錯体形成および刺激応答性
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会2019, 甲南大学 岡本キャンパス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shohei Saito
2. 発表標題 Luminescent molecular force probe for rheology and mechanobiology
3. 学会等名 OPTICS&PHOTONICS International Congress (OPIC) 2018 Biomedical Imaging and Sensing Conference, パシフィコ横浜 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryota Kotani, Atsuhiko Osuka, Shohei Saito
2. 発表標題 Strain-induced Fluorescence Response of Mechanophore-doped Polyurethane Dependent on Chemical Structures
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会, 名古屋国際会議場
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北鹿渡秀嗣・横山創一・齊藤尚平・大須賀篤弘
2. 発表標題 PEG修飾した蛍光粘度プローブの環境応答機能
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会, 名古屋国際会議場
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuya Yamakado, Kazuya Otsubo, Atsuhiko Osuka, Shohei Saito
2. 発表標題 Activation of a Flapping Fluorescent Mechanophore Accompanied by Void Collapse and Energy Transfer in a Crystalline Phase
3. 学会等名 2018年光化学討論会, 関西学院大学 上ヶ原キャンパス
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計5件

1. 著者名 木村僚、齊藤尚平	4. 発行年 2020年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 6
3. 書名 月刊機能材料 2020年12月号「わずかな粘度の違いを定量する『羽ばたく蛍光分子』の開発」	

1. 著者名 木村僚、齊藤尚平	4. 発行年 2020年
2. 出版社 加工技術研究会	5. 総ページ数 6
3. 書名 コンバーテック 2020年9月号「蛍光粘度プローブで局所粘度を定量化」	

1. 著者名 Shohei Saito	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Pan Stanford Publishing	5. 総ページ数 29
3. 書名 "Rigid-flexible hybrid design for photofunctional molecules and materials" as a Chapter in "Light-Active Functional Organic Materials"	

1. 著者名 Shohei Saito	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Wiley-VCH	5. 総ページ数 35
3. 書名 "Flapping molecules for photofunctional materials" as a chapter in "Molecular Technology: Materials Innovation"	

1. 著者名 Shohei Saito	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 12
3. 書名 "Functional Photoactive Materials Based on Flexible Molecules" as a chapter in "Photosynergetic Responses in Molecules and Molecular Aggregates"	

〔出願〕 計6件

産業財産権の名称 接着方法及び構造体	発明者 中川修士・中島毅 彦・新宅裕二・齊藤 尚平	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-153602	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 化合物および該化合物を含む高分子化合物	発明者 齊藤尚平・藪浩・阿部博弥	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-505023	出願年 2020年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 トリフェニレン型液晶性化合物並びにトリフェニレン型液晶性化合物を用いた接着剤及び粘着体	発明者 齊藤尚平・廣瀬由美・稲葉恵・谷川貴子・後藤慶次	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-154772	出願年 2019年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 化合物および該化合物を含む高分子化合物	発明者 齊藤尚平、藪浩、阿部博弥	権利者 JST
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-39162	出願年 2018年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 粘着体、粘着剤、接合体の製造方法及び粘着体の剥離方法	発明者 齊藤尚平、廣瀬由美、星野貴子、稲葉恵、後藤慶次、渡辺	権利者 京都大学・デンカ株式会社
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-196928	出願年 2018年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 化合物および該化合物を含む高分子化合物	発明者 齊藤尚平、藪浩、阿部博弥	権利者 JST
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2019/008463	出願年 2019年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

齊藤尚平 個人ホームページ <a href="https://shohei-saito.webnode.jp/">https://shohei-saito.webnode.jp/</a> 京都大学大学院理学研究科 化学専攻 集合有機分子機能研究室 ホームページ <a href="http://kuchem.kyoto-u.ac.jp/shuyu/">http://kuchem.kyoto-u.ac.jp/shuyu/</a>
---

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
研究協力者	倉持 光  (KURAMOCHI Hikaru)  (40709367)	分子科学研究所・協奏分子システム研究センター・准教授    (63903)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	田原 太平 (TAHARA Tahei)  (60217164)	国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・主任研究員  (82401)	
研究協力者	中西 和嘉 (NAKANISHI Waka)  (20401010)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主任研究員  (82108)	
研究協力者	有賀 克彦 (ARIGA Katsuhiko)  (50193082)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点・MANA主任研究者  (82108)	
研究協力者	渡邊 一也 (WATANABE Kazuya)  (30300718)	京都大学・理学研究科・教授  (14301)	
研究協力者	松本 吉泰 (MATSUMOTO Yoshiyasu)  (70181790)	公益財団法人豊田理化学研究所・フェロー事業部門・フェロー  (73903)	
研究協力者	羽田 真毅 (HADA Masaki)  (70636365)	筑波大学・数理物質系・准教授  (12102)	

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

英国	University of York	Department of Chemistry	Dr. Peter B Karadakov	
----	--------------------	-------------------------	-----------------------	--