

令和 6 年 4 月 16 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H02016

研究課題名（和文）有機フォトクロミック結晶の特異なフォトメカニカル現象の解明と新たな材料設計

研究課題名（英文）New material design for peculiar photomechanical phenomena of organic photochromic crystals

研究代表者

小畠 誠也（Kobatake, Seiya）

大阪公立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：00325507

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、有機結晶のフォトメカニカル現象のうち、特異な変形挙動の解明とフォトメカニカル現象への新規な材料設計を進めた。これまで研究してきたフォトメカニカル挙動は伸縮、屈曲、ねじれなど単純な動きであった。本研究により、屈曲の往復運動、非対称屈曲、非連続性屈曲など、相転移を伴う現象あるいは結晶外形に由来する特異な現象を明らかにした。また、昇華による結晶成長制御についても検討し、効率の良い中空結晶の作製に成功し、中空結晶のフォトメカニカル挙動についても検討した。さらに、ジアリールエテンだけでなく、他の有機化合物単結晶の光異性化反応における特異なフォトメカニカル挙動についても明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

外部刺激によって変形するアクチュエータが世の中での機械部品の一つになっているが、そのほとんどは熱や電気によって作用するアクチュエータである。光によって機械的な動きをするフォトアクチュエータは材料的にも珍しく、将来は様々な微小領域でのアクチュエータとして利用されることが期待できる。その一方で、材料の特性評価や機械的な動きのメカニズム解明などを明らかにすることが重要である。本研究での成果により、特異なフォトメカニカル挙動を示す有機結晶材料の特徴とメカニズムが明らかになり、このような材料は将来的にマイクロメカニクス分野、フォトニクス分野、エレクトロニクス分野、医療分野などで利用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we elucidated the unique deformation behavior of photomechanical phenomena in organic photochromic crystals and proceeded with the design of new materials for photomechanical phenomena. The photomechanical behavior studied so far has been simple movements such as expansion, contraction, bending, and twisting. Through this research, we have clarified phenomena that involve phase transitions or unique phenomena that originate from crystal external shapes, such as reciprocating bending motion, asymmetric bending, and discontinuous bending. We also investigated crystal growth control by sublimation, succeeded in producing efficient hollow crystals, and also investigated the photomechanical behavior of hollow crystals. Furthermore, the unique photomechanical behavior of not only diarylethene but also single crystals of other organic compounds was revealed.

研究分野：機能材料化学

キーワード：フォトクロミズム 結晶 フォトメカニカル 相転移 光異性化反応 結晶成長 アクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

光を外部刺激として柔軟に駆動するフォトメカニカル結晶は、まさしく高秩序で柔軟な光応答を示す材料であり、その挙動は伸縮、屈曲、ねじれなどの動きがある。フォトメカニカル材料の中でも、アゾベンゼン液晶エラストマーの複雑な動きと有機結晶の高速な動きを兼ね備えることができれば、新しい機能開拓が可能となる。さらに、光だけでなく熱の利用により複合的な動きを捉えることができれば、結晶特有の新規な機能を創出できる。このような観点から、熱的相転移挙動を示す光応答性分子結晶に着目している。

我々はこれまでにジアリールエテン結晶のフォトメカニカル挙動について研究を進めており、最近、特異な屈曲挙動を示すジアリールエテンを見出している。図1には、その特異な光誘起屈曲挙動の例を示す。紫外光照射により、棒状結晶は一旦屈曲挙動を示すが、紫外光照射を続けると屈曲の加速が起こった後、元のまっすぐな結晶に戻る。次に、可視光照射すると再び屈曲挙動を示し、照射し続けると再び元に戻る。この不思議な現象が可逆な結晶-結晶相転移とフォトメカニカル挙動の相乗効果によるものである。開環体結晶を加熱すると、結晶は38 付近で結晶長さ方向に約2%伸長する。冷却過程では25 付近で収縮が起こり元に戻る。この現象にはヒステリシスを有しており、完全に可逆でマルテンサイト変態に類似の相転移と考えられる。有機結晶でこのような現象は珍しく、新機能創出への第一歩である。この相転移とフォトメカニカル挙動の相乗効果により、上述の不思議な現象を説明できる。特異なフォトメカニカル挙動には、様々な因子が影響しており、それぞれを明らかにすることにより、有機結晶のフォトメカニカル挙動のメカニズムの全容解明が可能になる。メカニズムが明らかになれば、フォトアクチュエータとしての新しい応用に生かすことができる。

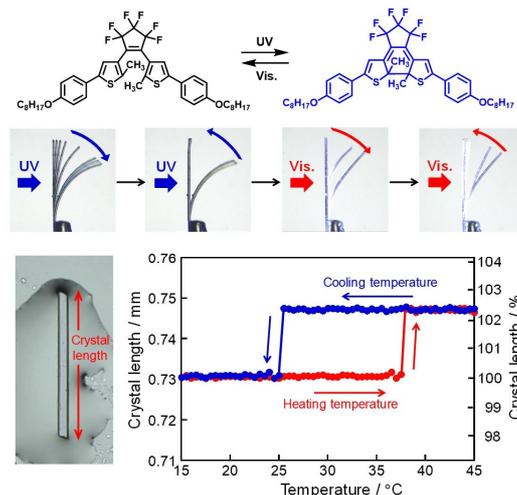


Figure 1. Unique photomechanical behavior and phase transition behavior of diarylethene crystals exhibiting reversible crystal-to-crystal phase transition.

2. 研究の目的

本研究では、特異なフォトメカニカル挙動の解明を目的として、可逆な熱的相転移を示す光応答性分子結晶の探索およびそのフォトメカニカル挙動、ならびに異なる結晶外形のフォトメカニカル挙動について検討し、これまでにない新しいフォトメカニカル挙動の創出と実用性の観点からの有機結晶の新機能創出を目指した。

3. 研究の方法

本研究では、主に、ジアリールエテン分子の探索、相転移を伴う分子の設計と熱的挙動、結晶外形結晶に依存したフォトメカニカル挙動の解明、ジアリールエテンポリマー系におけるフォトメカニカル挙動について検討した。まず、ジアリールエテン分子の設計と合成に着手し、結晶作製、X線構造解析、フォトクロミック反応挙動解析、示差走査熱量分析とX線回折による相転移挙動の解明を行い、特異なフォトメカニカル挙動の創出とメカニズムの解明を行った。

4. 研究成果

本研究期間において、主に、ジアリールエテン双晶の異方的な光屈曲および光ツイスティング、ジアリールエテン結晶の光誘起高速ピーリング、ジアリールエテン結晶を含むメンブランフィルムのメカニカル挙動、昇華による結晶成長と中空結晶の作製およびそのフォトメカニカル挙動、9-メチルアントラセン結晶の特異なフォトメカニカル挙動、2,5-ジスチリルピラジン結晶の特異なフォトメカニカル挙動 などの特異なフォトメカニカル現象に関する多数の研究成果が得られた。これらについて、以下にまとめる。

(1) ジアリールエテン双晶の異方的な光屈曲および光ツイスティング [1]

1,2-ビス(2-メチル-5-(4-ウンデシルオキシフェニル)-3-チエニル)ペルフルオロシクロペンテンからなる結晶が異常なフォトメカニカル屈曲を示すことを見出した。紫外光を照射すると、結晶は入射光に向かって屈曲したが、その曲がりの速度は照射方向に依存した。図2に示すように、結晶の左側からの照射と右側からの照射によって、屈曲速度が異なった。X線結晶構造解析により、この結晶が「双晶」であることがわかった。双晶のフォトメカニカル挙動のメカニズム

は、双晶成分の含有量およびジアリールエテン分子の吸収異方性が関与しており、また結晶のねじれにも影響していることが明らかとなった。本論文の内容は、The Royal Society of Chemistryの”Crystal Growth”および”Mechanically Responsive Crystalline Materials”のテーマコレクションに選ばれた。

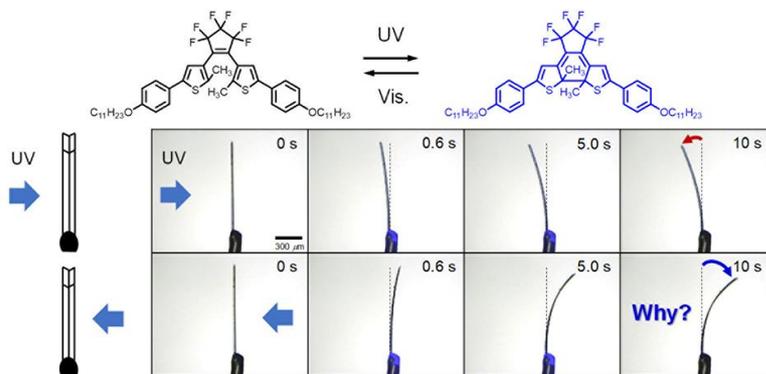


Figure 2. Anisotropic photoinduced bending behavior of diarylethene twin crystals with long alkyl chains.

(2) ジアリールエテン結晶の光誘起高速ピーリング [2]

生物学の分子モーターのような巨視的な変化は、外部刺激による分子の化学反応を利用してタンパク質を変化させることによってもたらされる。フォトメカニカル現象におけるナノメートルからマイクロメートルサイズの機械要素に実現できれば、電気的接点を持たずに駆動するマイクロマシンやナノマシンの駆動デバイスとして応用できる可能性がある。光は外部刺激に直接触れることなく動作させることができ、光化学反応が速やかに起こるため、高速な動作が期待できる。本研究では、フォトクロミックジアリールエテンの結晶に紫外光を照射することによって、ジャンピングやクラックなどの挙動に加え、驚くべき速度で剥離挙動を示すことを新たに見出した。急速な光応答性剥離の詳細を分子パッキングと結晶サイズおよび光照射条件への依存性に基づいて議論した。これらの結晶は、分子機械に基づいて高速に駆動される巨視的なフォトアクチュエータに応用できる可能性がある。本論文の内容は雑誌のCover picture (図3)に採用され、日刊工業新聞などで紹介された。



Figure 3. Cover picture of photoinduced rapid peeling of a photochromic diarylethene crystal.

(3) ジアリールエテン結晶を含むメンブランフィルムのメカニカル挙動 [3]

フォトメカニカル挙動を巨視的な材料に応用するために、ジアリールエテン結晶が埋め込まれた有機-無機ハイブリッド材料のフォトメカニカル挙動について研究した。これまでに酸化アルミ膜内で結晶成長させたジアリールエテンナノワイヤ結晶が可逆的な光誘起屈曲を示すことを報告している。本研究では、多孔質シリカ膜に拡張した有機-無機ハイブリッド材料について検討した。この新しい有機-無機ハイブリッドアクチュエータでもフォトメカニカル挙動が観察され、繰り返し使用できる。光による屈曲は、性能を損なうことなく最大150サイクル繰り返すことができ、優れた耐疲労性を示した(図4)。本研究の成果は、有機-無機ハイブリッドの本アプローチが他のホスト材料やテンプレートの形状にも拡張できることを意味している。また、有機化合物の充填とテンプレートの厚さを最適化することで、フォトメカニカル挙動の改善がさらにできる。

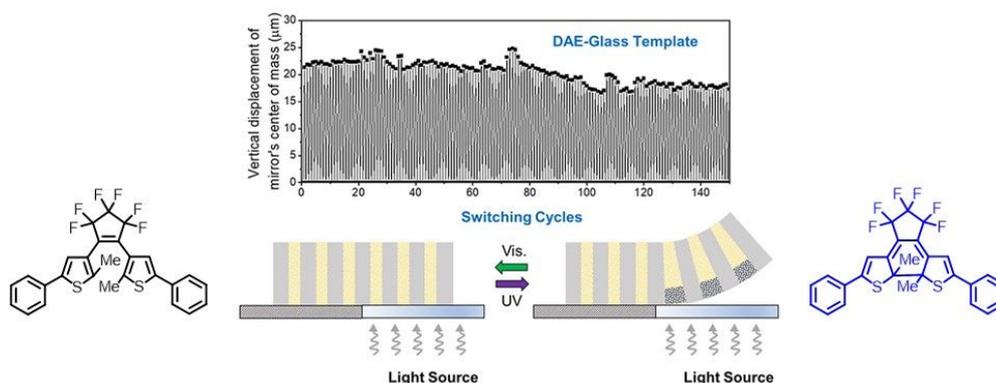


Figure 4. Composite glass-diarylethene crystal photomechanical actuator.

(4) 昇華による結晶成長と中空結晶の作製およびそのフォトメカニカル挙動 [4,5]

基板表面の状態は、有機化合物の昇華法によって生成する結晶の形態を制御するのに重要な要素の1つである。本研究では、1,2-ビス(2,5-ジメチル-3-チエニル)ペルフルオロシクロペンテンの棒状結晶を中空結晶と羽根状結晶に作り分けることに成功した。ガラス基板の親水性と疎水性の違いにより、生成する結晶の携帯が異なり、各表面における結晶成長過程を明らかにすることができた。昇華初期に基板表面に付着した結晶面のミラー指数と結晶成長方向を調べ、X線回折測定および偏光顕微鏡観察によりこれらの結晶面から棒状結晶の成長を明らかにした。昇華の初期段階とその後の段階で生成される結晶面間ではヘテロ接合により2つの異なる結晶形態が生じることが明らかになった。また、これらの結晶面の格子点はよく一致しているため、これらの結晶面間には特定の方角でヘテロ接合が生じていることが確認できた。さらに、球状ガラス基板の凹面上に昇華させることにより、多分岐中空結晶が作製でき、そのフォトメカニカル挙動についても観察した。本論文の内容は雑誌のCover picture (図5)に採用された。

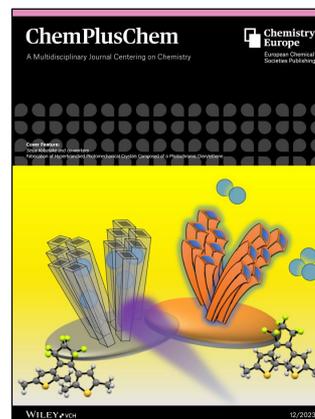


Figure 5. Cover picture of fabrication of hyperbranched photomechanical crystals.

(5) 9-メチルアントラセン結晶の特異なフォトメカニカル挙動 [6]

光照射下で膨張するフォトメカニカル分子結晶は光駆動アクチュエータとして使用できる可能性がある。本研究では、9-メチルアントラセンの高品質な単結晶を使用すると、多結晶サンプルに比べて光異性化反応が均一に進行することがわかった。それは欠陥部分が少ないためと考えられる。さらに、単結晶の吸光度と形状変化を同時に観察したところ、反応の進行に伴い結晶サイズが変化し、反応の進行とサイズ変化が直線的に相関していることがわかった。そのような膨張の変化は、異なる単結晶サンプル間でもよく再現できた。有機単結晶は100%光変換中に明確な線膨張を示し、この固相変化材料はアクチュエータとして使用できる。本論文の内容は雑誌のInside back cover picture (図6)に採用された。



Figure 6. Cover picture of photomechanical crystals composed of 9-methylanthracene molecules.

(6) 2,5-ジスチリルピラジン結晶の特異なフォトメカニカル挙動 [7]

フォトメカニカル分子結晶はフォトアクチュエータの有望な材料である。フォトメカニカル応答を明らかにするには、分子構造、分子パッキング、照射条件、結晶形態、結晶サイズなどに加えて、結晶内の光化学反応生成物の時空間分布が重要な役割を果たす可能性がある。本研究では、2,5-ジスチリルピラジンの単結晶がフォトメカニカル膨張を示し、光化学反応が単結晶の端から中心まで伝播することを見出した。光化学反応が端から中心まで伝播するためには、協調効果に加えて、表面効果が不可欠であることを明らかにした。本論文の内容は雑誌のInside cover picture (図7)に採用された。



Figure 7. Cover picture of the photochemical reaction of 2,5-distyrylpyrazine single crystals.

References

- [1] T. Higashiguchi, D. Kitagawa, S. Kobatake, "Anisotropic bending and twisting behaviour of a twin crystal composed of a diarylethene"
CrystEngComm, **23**(34), 5795-5800 (2021).
Selected as the themed collections: "Crystal Growth" and "Mechanically responsive crystalline materials".

- [2] M. Tamaoki, D. Kitagawa, S. Kobatake, "Light-driven rapid peeling of photochromic diarylethene single crystals"
Cryst. Growth Des., **21(5)**, 3093-3099 (2021).
Selected as the cover in this issue.
- [3] X. Dong, T. Guo, D. Kitagawa, S. Kobatake, P. Palfy-Muhoray, C. J. Bardeen, "Performance of composite glass-diarylethene crystal photomechanical actuator membranes"
ACS Appl. Mater. Interfaces, **14(23)**, 27149-27156 (2022).
- [4] M. Isobe, D. Kitagawa, S. Kobatake, "Effect of substrate surfaces for crystal growth of a photochromic diarylethene by sublimation"
Cryst. Growth Des., **22(9)**, 5489-5496 (2022).
- [5] M. Isobe, D. Kitagawa, S. Kobatake, "Fabrication of hyperbranched photomechanical crystals composed of a photochromic diarylethene"
ChemPlusChem, **88(12)**, e202300428 (8 pages) (2023).
Selected as the cover in this issue.
- [6] K. Morimoto, D. Kitagawa, F. Tong, K. Chalek, L. J. Mueller, C. J. Bardeen, S. Kobatake, "Correlating reaction dynamics and size change during the photomechanical transformation of 9-methylanthracene single crystals"
Angew. Chem. Int. Ed., **61(2)**, e202114089 (10 pages) (2022).
Selected as the inside back cover in this issue.
- [7] K. Morimoto, D. Kitagawa, H. Sotome, S. Ito, H. Miyasaka, S. Kobatake, "Edge-to-center propagation of photochemical reaction during single-crystal-to-single-crystal photomechanical transformation of 2,5-distyrylpyrazine crystals"
Angew. Chem. Int. Ed., **61(52)**, e202212290 (7 pages) (2022).
Selected as the inside cover in this issue.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Awad Wegood M., Davies Daniel W., Kitagawa Daichi, Kobatake Seiya, et al.	4. 巻 52
2. 論文標題 Mechanical properties and peculiarities of molecular crystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemical Society Reviews	6. 最初と最後の頁 3098 ~ 3169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CS00481J	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 該当する
1. 著者名 Hamatani Shota, Kitagawa Daichi, Nakahama Tatsumoto, Kobatake Seiya	4. 巻 96
2. 論文標題 Prediction of Half-Life Time in Thermal Back Reaction of Photochromic Diarylbenzenes by Screening Approach	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 496 ~ 502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20230074	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 Isobe Mami, Kitagawa Daichi, Kobatake Seiya	4. 巻 88
2. 論文標題 Fabrication of Hyperbranched Photomechanical Crystals Composed of a Photochromic Diarylethene	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ChemPlusChem	6. 最初と最後の頁 e202300428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cplu.202300428	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 Hamatani Shota, Kitagawa Daichi, Kobatake Seiya	4. 巻 14
2. 論文標題 Diarylethene Photoswitches Undergoing 6 Azaelectrocyclic Reaction: Disrotatory Thermal Cycloreversion of the Closed-Ring Isomer	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 8277 ~ 8280
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.3c02207	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 Morimoto Yusuke, Kitagawa Daichi, Hamatani Shota, Kobatake Seiya	4. 巻 53
2. 論文標題 Solvent dependence on the thermal cycloreversion reaction of photochromic diarylbenzene derivatives	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 upad023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/chemle/upad023	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 Suganuma Misato, Kitagawa Daichi, Hamatani Shota, Sotome Hikaru, Ito Syoji, Miyasaka Hiroshi, Kobatake Seiya	4. 巻 8
2. 論文標題 Suppression of Photocyclization of an Inverse Type Diarylethene Derivative by Inclusion into Cyclodextrin	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 ChemPhotoChem	6. 最初と最後の頁 e20230024
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cptc.202300244	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 Ito Fuyuki, Mochiduki Yoshifumi, Fujimoto Yushi, Kitagawa Daichi, Kobatake Seiya	4. 巻 128
2. 論文標題 Effect of -Substitution on Dibenzoylmethanatorboron Difluoride on Evaporative Crystallization	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 1469 ~ 1476
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.3c07353	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 Miyamoto Ryotaro, Kitagawa Daichi, Kobatake Seiya	4. 巻 95
2. 論文標題 Fatigue Resistance of Photochromic Diarylethene in the Presence of Cyclodextrins with Different Pore Sizes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 639 ~ 645
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20220012	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 Dong Xinning, Guo Tianyi, Kitagawa Daichi, Kobatake Seiya, Palffy-Muhoray Peter, Bardeen Christopher J.	4. 巻 14
2. 論文標題 Performance of Composite Glass-Diarylethene Crystal Photomechanical Actuator Membranes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 27149 ~ 27156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.2c04112	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 Li Wangxiang, Kitagawa Daichi, Kobatake Seiya, Bekyarova Elena, Bardeen Christopher J.	4. 巻 7
2. 論文標題 Patterning submicron photomechanical features into single diarylethene crystals using electron beam lithography	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanoscale Horizons	6. 最初と最後の頁 1065 ~ 1072
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2NH00205A	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 Isobe Mami, Kitagawa Daichi, Kobatake Seiya	4. 巻 22
2. 論文標題 Effect of Substrate Surfaces for Crystal Growth of a Photochromic Diarylethene by Sublimation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 5489 ~ 5496
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.2c00581	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 Morimoto Kohei, Kitagawa Daichi, Sotome Hikaru, Ito Syoji, Miyasaka Hiroshi, Kobatake Seiya	4. 巻 61
2. 論文標題 Edge to Center Propagation of Photochemical Reaction during Single Crystal to Single Crystal Photomechanical Transformation of 2,5-Distyrylpyrazine Crystals**	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 e202212290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202212290	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 Morimoto Kohei, Kitagawa Daichi, Bardeen Christopher J., Kobatake Seiya	4. 巻 29
2. 論文標題 Cooperative Photochemical Reaction Kinetics in Organic Molecular Crystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 e202203291
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202203291	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 Higashiguchi Takuya, Kitagawa Daichi, Kobatake Seiya	4. 巻 23
2. 論文標題 Anisotropic bending and twisting behaviour of a twin crystal composed of a diarylethene	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 5795 ~ 5800
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/DOCE01705A	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 Tamaoki Masato, Kitagawa Daichi, Kobatake Seiya	4. 巻 21
2. 論文標題 Light-Driven Rapid Peeling of Photochromic Diarylethene Single Crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 3093 ~ 3099
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.1c00270	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 Maegawa Rikuto, Kitagawa Daichi, Hamatani Shota, Kobatake Seiya	4. 巻 45
2. 論文標題 Rational design of photochromic diarylbenzene with both high photoreactivity and fast thermal back reactivity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 New Journal of Chemistry	6. 最初と最後の頁 18969 ~ 18975
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1NJ04047B	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 Morimoto Kohei, Kitagawa Daichi, Tong Fei, Chalek Kevin, Mueller Leonard J., Bardeen Christopher J., Kobatake Seiya	4. 巻 61
2. 論文標題 Correlating Reaction Dynamics and Size Change during the Photomechanical Transformation of 9 Methylanthracene Single Crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 e202114089
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202114089	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 Ito Syoji, Hiratsuka Kengo, Takei Satoshi, Nishi Hiroyasu, Kitagawa Daichi, Kobatake Seiya, Miyasaka Hiroshi	4. 巻 21
2. 論文標題 Spatial distribution of single guest molecules along thickness of thin films of poly(2-hydroxyethyl acrylate)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Photochemical & Photobiological Sciences	6. 最初と最後の頁 175 ~ 184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s43630-021-00147-2	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 Hamatani Shota, Kitagawa Daichi, Maegawa Rikuto, Kobatake Seiya	4. 巻 3
2. 論文標題 Photochromic behavior of diarylbenzene nanoparticles prepared by top-down and bottom-up approaches	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Advances	6. 最初と最後の頁 1280 ~ 1285
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1MA00972A	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計69件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Shota Hamatani, Daichi Kitagawa, Seiya kobatake
2. 発表標題 Photochromic Diarylethenes Undergoing 6 Azaelectrocyclic Reaction
3. 学会等名 The 31st International Conference on Photochemistry (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mami Isobe, Daichi Kitagawa, Seiya Kobatake
2. 発表標題 Effects of substrate surfaces on vapor phase crystal growth of a photochromic diarylethene
3. 学会等名 International Symposium of the Graduate School of Engineering, Osaka Metropolitan University: World-Leading Engineering Research (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mami Isobe, Daichi Kitagawa, Seiya Kobatake
2. 発表標題 Effect of Substrate on Vapor Phase Crystal Growth of Diarylethene and Photomechanical Behaviors of Rod Crystals
3. 学会等名 Twenty-Sixth Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography (IUCr 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Seiya Kobatake
2. 発表標題 Usual and unusual photomechanical behaviors of photochromic diarylethene crystals
3. 学会等名 10th International Symposium on Photochromism (ISOP2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shota Hamatani, Daichi Kitagawa, Seiya Kobatake
2. 発表標題 Diarylethene photoswitches undergoing 6 azaelectrocyclic reaction: disrotatory thermal cycloreversion
3. 学会等名 10th International Symposium on Photochromism (ISOP2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keita Shimizu, Daichi Kitagawa, Seiya Kobatake
2. 発表標題 Elucidation of the mechanism of unique photoinduced two-step bending behavior of diarylethene crystals
3. 学会等名 10th International Symposium on Photochromism (ISOP2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yusuke Morimoto, Daichi Kitagawa, Seiya Kobatake
2. 発表標題 Acceleration of thermal bleaching reaction of a diarylbenzene having methoxy groups by proton coordination
3. 学会等名 10th International Symposium on Photochromism (ISOP2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masashi Araki, Daichi Kitagawa, Seiya Kobatake
2. 発表標題 Isolation and structure determination of minor byproducts produced by photochromic reaction of a diarylethene
3. 学会等名 10th International Symposium on Photochromism (ISOP2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sogo Kataoka, Daichi Kitagawa, Hikaru Sotome, Syoji Ito, Hiroshi Miyasaka, Seiya Kobatake
2. 発表標題 Microscopic observation of the photochemical reaction of anthracene derivatives in single crystals
3. 学会等名 10th International Symposium on Photochromism (ISOP2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Daichi Kitagawa, Misato Suganuma, Shota Hamatani, Hikaru Sotome, Syoji Ito, Hiroshi Miyasaka, Seiya Kobatake
2. 発表標題 Relationship between photocyclization reactivity and dihedral angle of aryl group in inverse type diarylethenes
3. 学会等名 10th International Symposium on Photochromism (ISOP2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 清水啓太, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ジアリールエテン結晶における光誘起屈曲挙動の光照射波長依存性
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塚本侑佳, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ジアリールエテン結晶の特異的なフォトメカニカル挙動のメカニズム解明
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 片岡壮吾, 北川大地, 五月女光, 宮坂博, 小島誠也
2. 発表標題 アントラセン誘導体単結晶における光反応の時空間解析
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 荒木雅史, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ジアリールエテンのフォトクロミック反応における副生成物の単離と構造決定
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 亀田瑞季, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ジアリールエテンを用いた光開始型温度センサーの高分子固体媒体中での熱退色反応挙動
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小石真士郎, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ジアリールエテンポリマーを用いた光誘起変形材料の設計と合成
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 片岡壮吾, 北川大地, 五月女光, 宮坂博, 小島誠也
2. 発表標題 アントラセン誘導体単結晶の光反応進行過程の顕微鏡観察
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 清水啓太, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ジアリールエテン結晶の特異的な光誘起二段階屈曲挙動のメカニズム
3. 学会等名 第31回有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 片岡壯吾, 北川大地, 五月女光, 宮坂博, 小島誠也
2. 発表標題 拡張型Finke-Watzkyモデルを用いたアントラセン誘導体単結晶における光反応の速度論解析
3. 学会等名 第31回有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塚本侑佳, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ジアリールエテン結晶の特異的なフォトメカニカル挙動のメカニズム
3. 学会等名 第31回有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 磯辺 茉実、北川 大地、小島 誠也
2. 発表標題 フォトクロミックジアリールエテン薄膜の球晶における中空ロッド結晶の生成機構の解明
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会(2024)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 友田 怜、北川 大地、小島 誠也
2. 発表標題 1,4-フェニレンジアクリル酸ジメチルの単結晶における協同的光化学反応と結晶形状変化
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会(2024)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 濱谷 将太、北川 大地、小島 誠也
2. 発表標題 熱閉環反応を示すアザジアリールエテンのフォトクロミック反応挙動
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会(2024)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小島誠也
2. 発表標題 フォトクロミック分子を用いた分子センサーとフォトアクチュエーター
3. 学会等名 第175回ラドテック研究会講演会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂東志保, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ドデシル基を持つジアリールエテン結晶の光誘起往復屈曲挙動
3. 学会等名 第43回光化学若手の会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 亀田瑞季, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 チオフェン酸化型ジアリールエテンのポリマーフィルム中での熱退色反応性
3. 学会等名 第43回光化学若手の会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水啓太, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 結晶中でのジアリールエテン開環体の吸収異方性
3. 学会等名 第43回光化学若手の会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森本悠介, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ジアリールベンゼンの熱退色反応における溶媒依存性
3. 学会等名 第43回光化学若手の会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 濱谷将太, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ジアリールベンゼンナノ粒子のフォトクロミック反応挙動
3. 学会等名 第43回光化学若手の会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 磯辺茉実, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 フォトクロミックジアリールエテンの気相結晶成長により得られる球面基板上のロッド結晶集合体のフォトメカニカル挙動
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水啓太, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 結晶中におけるジアリールエテン開環体の特異な吸収異方性とフォトクロミック反応挙動
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森本晃平, 北川大地, 五月女光, 宮坂博, 小島誠也
2. 発表標題 数値シミュレーションによる2,5-ジスチリルピラジン単結晶の不均一光化学反応の解析
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森本悠介, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 メトキシ基を有するジアリールベンゼンの熱退色反応におけるプロトン付加の影響
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 濱谷将太, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 フォトクロミックジアリールベンゼンの熱戻り反応半減期の予測
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森本晃平, 北川大地, 五月女光, 宮坂博, 小島誠也
2. 発表標題 複屈折を利用した2,5-ジスチリルピラジン単結晶における不均一光化学反応の定量的評価
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 濱谷将太, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 T型フォトクロミックジアリールベンゼンの熱戻り反応半減期の予測
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 片山紗稀, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ジアリールエテンの開環反応量子収率の媒体および反応率依存性
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小島誠也
2. 発表標題 光化学の応用
3. 学会等名 光化学基礎講座24: 光化学の基礎概念と実験技術2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小島誠也
2. 発表標題 光や熱に応答するフォトクロミック分子センサー
3. 学会等名 第90回オープン・ラボラトリー (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森本晃平, 北川大地, 五月女光, 伊都将司, 宮坂博, 小島誠也
2. 発表標題 2,5-ジスチリルピラジン単結晶の不均一光化学反応に伴うフォトメカニカル挙動
3. 学会等名 第30回有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 片岡壮吾, 森本晃平, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 種々のアントラセン誘導体の多結晶薄膜における協同的光反応
3. 学会等名 第30回有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂東志保, 北川大地, 小島 誠也
2. 発表標題 ドデシル基を持つジアリールエテン結晶の光誘起往復屈曲のメカニズムの解明
3. 学会等名 第30回有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菅沼美里, 北川大地, 小島 誠也
2. 発表標題 シクロデキストリンへの包接による逆さ型ジアリールエテンのフォトクロミック反応挙動
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 濱谷将太, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 6 アザ電子環状反応を示すジアリールエテンの合成とフォトクロミック特性評価
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 亀田瑞季, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ジアリールエテンを用いた光開始型温度センサーのポリマーフィルム中での熱退色挙動
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀本侑佳, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 新規ジアリールエテンモノマーの合成と結晶フォトメカニカル挙動
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荒木雅史, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ジアリールエテンのフォトクロミック反応における微小副生成物の単離と構造決定
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 流谷健太, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 酸存在下におけるジアリールエテンの熱開環反応機構の解明
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 四方翔一朗, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ジアリールエテンの光開環・光開環反応量子収率と分子構造の相関
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水啓太, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ジアリールエテン結晶の特異的な光誘起 2 段階屈曲挙動のメカニズム解明
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 片岡壯吾, 森本晃平, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 9-アントラルアルデヒド結晶における協同的光反応の評価
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 磯辺菜実, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 フォトクロミックジアリールエテンの気相結晶成長における中空結晶の枝分かれ形状に与える基板曲率および相対湿度の影響
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masato Tamaoki, Daichi Kitagawa, Seiya Kobatake
2. 発表標題 Light-driven rapid peeling of photochromic diarylethene single crystals (英語ポスター発表, 1P62)
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 磯辺茉実, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 1,2-ビス(2,5-ジメチル-3-チエニル)ペルフルオロシクロペンテンの気相結晶成長に及ぼす基板の影響 (ポスター発表, 2P72)
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森本晃平, 北川大地, Fei Tong, Christopher J. Bardeen, 小島誠也
2. 発表標題 9-メチルアントラセン単結晶の協同的光反応過程とフォトメカニカル挙動の定量的評価 (ポスター発表, 2P84)
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shota Hamatani, Daichi Kitagawa, Seiya Kobatake
2. 発表標題 Fast T-type photochromic diarylbenzenes with various alkyl substituents in crystalline state (英語口頭発表, 3D03)
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森本晃平, 北川大地, Fei Tong, Christopher J. Bardeen, 小島誠也
2. 発表標題 9-メチルアントラセン薄膜結晶における協同的光反応の量子収率の測定とその評価 (口頭発表, 0-4)
3. 学会等名 第29回有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小島誠也
2. 発表標題 フォトクロミック材料が使えるのか？ 紫外線センサー・温度センサー・フォトアクチュエーター
3. 学会等名 センサネットワークによるスマートソサエティの実現に向けて、近畿化学協会機能性色素部会・同 エレクトロニクス部会 合同公開講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 磯辺茉実, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 1,2-ビス(2,5-ジメチル-3-チエニル)ペルフルオロシクロペンテンの気相結晶成長に及ぼす基板表面の濡れ性の影響 (口頭発表, 29a-A01)
3. 学会等名 第50回結晶成長国内会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 磯辺茉実, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 1,2-ビス(2,5-ジメチル-3-チエニル)ペルフルオロシクロペンテンの気相結晶成長に及ぼす基板表面の濡れ性の効果 (ポスター発表, PB-I-22)
3. 学会等名 令和3年(2021年)度日本結晶学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山内裕介, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 新規ジアリールエテン結晶の特異的な2段階フォトメカニカル屈曲挙動 (ポスター発表, 1B07)
3. 学会等名 第40回固体・表面光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 玉置将人, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ジアリールエテン単結晶の光誘起屈曲挙動における温度依存性 (ポスター発表, 1B08)
3. 学会等名 第40回固体・表面光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daichi Kitagawa, Seiya Kobatake
2. 発表標題 Recent progress in photomechanical diarylethene crystals
3. 学会等名 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Seiya Kobatake
2. 発表標題 Photochromic molecular crystals: From color change to photoactuator
3. 学会等名 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Seiya Kobatake
2. 発表標題 Photochromic diarylethene crystals for photoresponsive actuators
3. 学会等名 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Morimoto, Daichi Kitagawa, Seiya Kobatake
2. 発表標題 Photoinduced birefringence change of photoreactive organic crystals (Poster)
3. 学会等名 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森本晃平, 北川大地, 五月女 光, 宮坂 博, 小島誠也
2. 発表標題 2,5-ジスチリルピラジン単結晶の不均一光化学反応 (口頭発表)
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 根来弥優, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 ジアリールエテン光異性化を利用した光誘起変形を示すポリマーフィルム材料の作製と解析 (ポスター発表)
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 磯辺菜実, 北川大地, 小島誠也
2. 発表標題 1,2-ビス(2,5-ジメチル-3-チエニル)ペルフルオロシクロペンテンの気相結晶成長における中空結晶の形態形成機構 (ポスター発表)
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Seiya Kobatake; Eds.: Y. Ooyama, S. Yagi	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer, Singapore	5. 総ページ数 601
3. 書名 Chapter 7. Photochromism; in Progress in the Science of Functional Dyes	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>大阪公立大学大学院工学研究科物質化学生命系専攻化学バイオ工学分野有機材料化学研究グループ https://www.omu.ac.jp/eng/kobatakelab/index.html</p>
--

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	北川 大地 (Kitagawa Daichi) (50736527)	大阪公立大学・大学院工学研究科・講師 (24405)	

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		
米国	カリフォルニア大学リバーサイド校		