

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03107

研究課題名(和文)熱と光で自在に動くロボット結晶の開発

研究課題名(英文)Development of Robot Crystals freely moving by heat and light

研究代表者

小島 秀子(Koshima, Hideko)

早稲田大学・ナノ・ライフ創新研究機構・その他(招聘研究員)

研究者番号：20304644

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：光や熱などの外部刺激によってメカニカルに動く有機結晶材料は、ソフトロボットなどへの応用が期待されている。本研究の目的は熱と光で自在に動くロボット結晶の開発であった。研究成果は、熱相転移によりロボットのように移動する結晶の移動機構を解明したこと、結晶の新しい光トリガー相転移現象の発見し機構を解明したこと、光熱効果による結晶の高速屈曲の発見と機構解明、および固有振動による結晶の高速屈曲の発見である。これまでメカニカル結晶の駆動機構は光異性化、相転移に限られてきたが、新たな駆動機構として殆どの結晶に起きる光熱効果と固有振動を加えることができ、メカニカル結晶の可能性を大きく拡大できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱相転移による結晶移動、光トリガー相転移、光熱効果による高速屈曲、固有振動による高速屈曲はいずれも初めての発見である。これまでメカニカル結晶の大部分は光異性化に基づいていたが、光異性化は限られた結晶にしか起きない、分厚い結晶は屈曲しない、屈曲が遅いなどの難点があった。光熱効果と固有振動は共に殆どの物質に起きる物理現象のため、あらゆる結晶を高速で動かすことができ、光異性化、相転移では望めなかった多種多様なメカニカル結晶を開発できる可能性がある。将来、従来の金属部品を組み合わせた硬くて重いロボットではなく、柔らかくて軽いソフトロボットが実現し、人々の生活の向上に貢献できると期待される。

研究成果の概要(英文)：Mechanically responsive organic crystal materials that move macroscopically by external stimuli such as light and heat are expected to be applied to soft robots. The achievements of this study are the elucidation of the mechanism that crystals locomote by thermal phase transition, the discovery and mechanism elucidation of a new photo-triggered phase transition, the discovery and mechanism elucidation of high-speed bending by photothermal effect, and the discovery of high-speed bending by natural vibration. Until now, the driving mechanisms of crystal actuation have been limited to photoisomerization and phase transition, but this research has added photothermal effect and natural vibration as new driving mechanisms, greatly expanding the potential of organic crystals as mechanical materials.

研究分野：化学、材料化学、有機固体化学、光化学

キーワード：メカニカル結晶 有機結晶 光異性化 相転移 光熱効果 固有振動

## 1. 研究開始当初の背景

(1) エネルギーを「動き」に変換することは、自然界でも人間界でも大変重要である。生命体は、光・熱・化学エネルギーなどを利用して動くことで、生存・繁栄してきた。私たち人間は、電気を動きに変換する機械を発明し、多様な動きを生み出してきた。最近、これまでのエネルギー変換機構とは異なる新しい材料として、光や熱などの外部刺激によって動く材料が注目されている。このようなメカニカル材料を用いると、外部配線や電極が不要となり、機械の小型化・軽量化が可能となる。また、これまでの金属部品を組み合わせた機械とは異なり、材料自体が変形できるため、フレキシブルデバイスやロボットなどへの応用も可能である。このような材料として、光応答性液晶ポリマーネットワークが十数年前から開発されてきた。私は有機結晶の光反応を研究する中で「動く結晶」を作ることに着想し、この10年間、フォトメカニカル結晶の開発研究を行い、アゾベンゼン<sup>[1]</sup>、サリチリデンアニリン<sup>[2]</sup>、フリルフルギド<sup>[3]</sup>などの光で曲がる種々の結晶を開発した。またメカニカル結晶の研究は世界的にも盛んになり、この10年で急速に進展した。しかし、屈曲以外の動きはほとんど報告されておらず、より多様な動きを創出することが必要となっていた。

(2) 新たなメカニカル結晶について研究している時に、熱相転移するキララルアゾベンゼンの板状結晶は、相転移点前後で加熱冷却すると、屈曲を繰り返しながら尺取り虫のようにゆっくりと移動することを発見した。更に、より薄くて長い結晶は、加熱または冷却を1回行うだけで回転しながら高速で進んで行くという驚くべき現象も見だし、私たちはロボット結晶と名付けた。結晶が方向性をもって移動する現象はこれまで報告されておらず新発見である。しかし、この結晶移動の機構については未だ不明のため解明する必要があった。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、熱と光で自在に動くロボット結晶を開発することである。光や熱などの外部刺激によってメカニカルに動く材料は、ソフトロボットなどへの応用が期待されている。本研究では、最初に、私たちが見出した結晶が熱によって移動する現象の機構を解明する。

(2) 次に、新たな移動結晶の探索と創製を行い、その後、熱と光による結晶の多様な動きを創出する。最終的に、熱と光によって自在に動き回るロボット結晶の実現を目指す。

## 3. 研究の方法

次の順序で検討を進める。

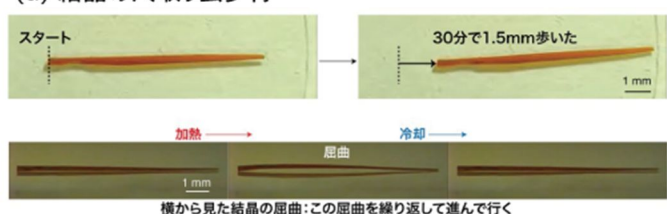
- (1) 熱相転移による結晶移動の機構解明
- (2) 新たなメカニカル結晶の探索
- (3) 結晶の作製とキャラクタリゼーション：光異性化特性の測定、熱分析、X線結晶構造解析、熱拡散率、熱伸長率、ヤング率、比熱などの測定
- (4) 結晶の動きの観察、動画撮影、動きの解析
- (5) 結晶の屈曲のシミュレーション

## 4. 研究成果

(1) 熱相転移による結晶移動の発現機構の解明<sup>[4]</sup>

用いたキララルアゾベンゼン結晶は、145℃で相転移し、しかも加熱・冷却を繰り返しても結晶が壊れない単結晶 - 単結晶相転移であることがわかった。細長い板状結晶をホットステージに置いて加熱していくとわずかに屈曲する。これは、結晶は熱伝導によって下から暖まるため、先に下部が相転移して結晶構造が変化し、結晶の長さが少し縮むのに対して、結晶の上部はまだ相転移温度に達しておらず、結晶の長さは元のままのために屈曲が生じる。左右で厚みが異なる板状結晶を、相転移点前後で加熱と冷却を繰り返すと、結晶は屈曲を繰り返す過程で推進力が発生し、尺取り虫のようにゆっくりと進んで行くことがわかった(図1a)。

(a) 結晶の尺取り虫歩行



(b) 結晶の高速走行

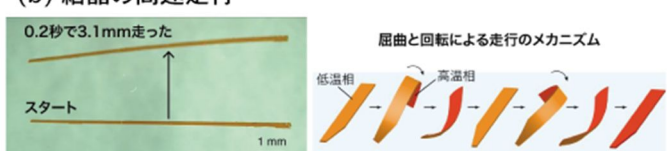


図1 熱相転移による結晶の移動

さらに、より薄くて長い板状結晶の場合、加熱あるいは冷却を1回行うだけで、結晶は高速

で走るように移動する(図 1b)。これは、結晶が曲がった時にバランスを保てずに傾いて倒れ込み、勢い余って加速度がつき何回も転がっていくためである。走る速さは秒速 15 mm で、歩く速さ(秒速 0.0008 mm)より 2 万倍も速い。結晶の形と動きとの関係を詳細に考察した結果、「歩く」、「走る」の推進力は、結晶の外形が非対称なことから発生することを明らかにした。

## (2) 光トリガー相転移の発見と機構解明<sup>[5]</sup>

用いたキラルサリチリデンナフチルアミン結晶は、光照射により enol-keto 光異性化を示し、且つ 40 °C で低温相から高温相へと単結晶状態を保持したまま熱相転移する結晶である。驚いたことに、この結晶に外光を照射すると、マイナス 50 °C の非常に低い温度から本来の相転移点 40 °C までの広い温度範囲にわたって、熱相転移と同様の相転移を起こすという、結晶の全く新しい「光トリガー相転移」現象を見いだした。DFT 計算の結果、trans-keto 光異性化体のコンフォメーションは、出発物質の enol 体と大きく異なっていることがわかった。このことより、結晶の照射表面で trans-keto 体が生成すると局所的な歪みが生じ、これが引き金となって周りの enol 分子がドミノ倒しのように動き、結晶全体が高温相に相転移すると説明できた。更に、光トリガー相転移と光異性化の複合による 2 段階屈曲も創出できた。

## (3) 光熱効果による高速屈曲の発見と機構解明<sup>[6,7]</sup>

別の新たな光トリガー相転移結晶を探索する研究を行っていた時、偶然、光熱効果によってサリチリデンアニリン結晶が屈曲することを発見した。光熱効果は物質の光励起により熱が発生する非常に速い現象である。光熱効果による屈曲は、厚さ方向の非定常な温度勾配により生じると考え、結晶内部の温度勾配を、一次元非定常熱伝導方程式を用いて算出し、屈曲角に変換することにより、光熱効果による屈曲のシミュレーションに成功し、提案した屈曲機構を実証できた。また 500 Hz の高速屈曲も達成した。

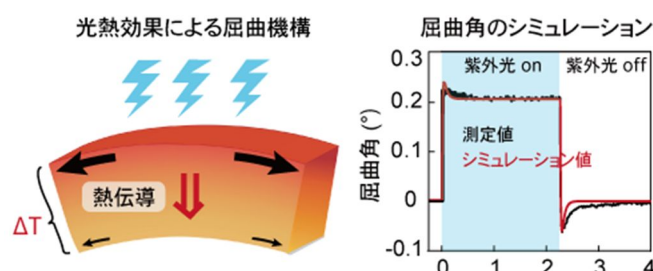


図 2 光熱効果による結晶の高速屈曲

## (4) 固有振動による高速屈曲の発見

さらに新たに、光熱効果による屈曲と同時に、より高速で微小な固有振動が誘起されることを初めて発見した。また固有振動数と同じ周波数のパルス光照射により共振し、屈曲角が大きく増幅されることもわかった。固有振動は、物体に外部から力が加わると、一定の固有振動数で振動し続ける物理現象である。固有振動による屈曲は、光熱効果による屈曲よりも更に高速である。今後、固有振動による高速屈曲は詳細な研究が必要である。

以上、研究を進める過程で、全く新しい光トリガー相転移現象を発見したこと、光熱効果による結晶の高速屈曲と固有振動による結晶の高速屈曲を発見し、新たな駆動機構を開拓できたことが本研究の大きな成果である。特に、光熱効果と固有振動は共にほとんどの物質に起きる現象のため、光熱効果と固有振動を用いればあらゆる結晶を高速で動かすことができ、光異性化、相転移では望めなかった多種多様なメカニカル結晶を開発できる可能性がある。メカニカル結晶の実用化も見据えた今後の研究の進展が望まれる。

## <引用文献>

- H. Koshima, N. Ojima, H. Uchimoto, Mechanical Motion of Azobenzene Crystals upon Photoirradiation, *J. Am. Chem. Soc.*, **2009**, *131*, 6890-6891.
- H. Koshima, K. Takechi, H. Uchimoto, M. Shiro, D. Hashizume, Photomechanical Motion of Salicylideneaniline Microcrystals, *Chem. Commun.*, **2011**, *47*, 11423-11425.
- H. Koshima, H. Nakaya, H. Uchimoto, N. Ojima, Photomechanical Motion of Furylfulgide Crystals, *Chem. Lett.*, **2012**, *41*, 107-109.
- T. Taniguchi, H. Sugiyama, H. Uekusa, M. Shiro, T. Asahi, H. Koshima, Walking and rolling of crystals induced thermally by phase transition, *Nat. Commun.*, **2018**, *9*, 538.
- T. Taniguchi, H. Sato, Y. Hagiwara, T. Asahi, H. Koshima, Photo-triggered phase transition of a crystal, *Commun. Chem.*, **2019**, *2*, 19.
- Y. Hagiwara, T. Taniguchi, T. Asahi, H. Koshima, Crystal actuator based on a thermal phase transition and photothermal effect, *J. Mater. Chem. C*, **2020**, *8*, 4876-4884.
- S. Hasebe, Y. Hagiwara, J. Komiya, M. Ryu, H. Fujisawa, J. Morikawa, T. Katayama, D. Yamanaka, A. Furube, H. Sato, T. Asahi, H. Koshima, Photothermally Driven High-Speed Crystal Actuation and Its Simulation, *J. Am. Chem. Soc.*, **2021**, *143*, 8866-8877.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Takuya Taniguchi, Ayumi Kubota, Tatsuya Moritoki, Toru Asahi, Hideko Koshima	4. 巻 8
2. 論文標題 Two-step photomechanical motion of a dibenzobarrelene crystal	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 34314-34320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8ra06639f	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 Takuya Taniguchi, Hiroyasu Sato, Yuki Hagiwara, Toru Asahi, Hideko Koshima	4. 巻 2
2. 論文標題 Photo-triggered phase transition of a crystal	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Takuya Taniguchi, Toru Asahi, Hideko Koshima	4. 巻 9
2. 論文標題 Photomechanical Azobenzene Crystals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst9090437	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 Takuya Taniguchi, Loic Blanc, Toru Asahi, Hideko Koshima, Pierre Lambert	4. 巻 8
2. 論文標題 Statistical Modeling of Photo-Bending Actuation of Hybrid Silicones Mixed with Azobenzene Powder	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Actuators	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/act8040068	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 Yuki Hagiwara, Takuya Taniguchi, Toru Asahi, Hideko Koshima	4. 巻 8
2. 論文標題 Crystal actuator based on a thermal phase transition and photothermal effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J.ournal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 4876-4884
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0tc00007h	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 Ishizaki Kazuki, Sugimoto Ryota, Hagiwara Yuki, Koshima Hideko, Taniguchi Takuya, Asahi Toru	4. 巻 23
2. 論文標題 Actuation performance of a photo-bending crystal modeled by machine learning-based regression	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 5839 ~ 5847
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1ce00208b	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 Hasebe Shodai, Matsuura Daisuke, Mizukawa Takaaki, Asahi Toru, Koshima Hideko	4. 巻 8
2. 論文標題 Light-Driven Crystal?Polymer Hybrid Actuators	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Robotics and AI	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/frobt.2021.684287	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 Hasebe Shodai, Hagiwara Yuki, Komiya Jun, Ryu Meguya, Fujisawa Hiroki, Morikawa Junko, Katayama Tetsuro, Yamanaka Daiki, Furube Akihiro, Sato Hiroyasu, Asahi Toru, Koshima Hideko	4. 巻 143
2. 論文標題 Photothermally Driven High-Speed Crystal Actuation and Its Simulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 8866 ~ 8877
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c03588	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 Koshima Hideko, Hasebe Shodai, Hagiwara Yuki, Asahi Toru	4. 巻 61
2. 論文標題 Mechanically Responsive Organic Crystals by Light	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Israel Journal of Chemistry	6. 最初と最後の頁 683 ~ 696
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ijch.202100093	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 Taniguchi Takuya, Ishizaki Kazuki, Takagi Daisuke, Nishimura Kazuki, Shigemune Hiroki, Kuramochi Masahiro, Sasaki Yuji C., Koshima Hideko, Asahi Toru	4. 巻 5
2. 論文標題 Superelasticity of a photo-actuating chiral salicylideneamine crystal	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-021-00618-8	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 Hasebe Shodai, Hagiwara Yuki, Takechi Kyoko, Katayama Tetsuro, Furube Akihiro, Asahi Toru, Koshima Hideko	4. 巻 34
2. 論文標題 Polymorph-Derived Diversification of Crystal Actuation by Photoisomerization and the Photothermal Effect	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 1315 ~ 1324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.1c04007	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 Takanabe Akifumi, Katsufuji Takuro, Johmoto Kohei, Uekusa Hidehiro, Shiro Motoo, Koshima Hideko, Asahi Toru	4. 巻 7
2. 論文標題 Reversible Single-Crystal-to-Single-Crystal Phase Transition of Chiral Salicylidenephenylethylamine	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst7010007	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 Takanabe Akifumi, Koshima Hideko, Asahi Toru	4. 巻 7
2. 論文標題 Fast-type high-accuracy universal polarimeter using charge-coupled device spectrometer	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4977440	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 Taniguchi Takuya, Sugiyama Haruki, Uekusa Hidehiro, Shiro Motoo, Asahi Toru, Koshima Hideko	4. 巻 9
2. 論文標題 Walking and rolling of crystals induced thermally by phase transition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-017-02549-2	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 朝日透、中川鉄馬、石川和彦、高鍋彰文、小島秀子	4. 巻 75
2. 論文標題 G-HAUPを用いた有機結晶のキラル光学的研究	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 有機合成化学協会誌	6. 最初と最後の頁 530 ~ 535
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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74件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 25件)

1. 発表者名 HASEBE, Shodai; HAGIWARA, Yuki; ASAHI, Toru; KOSHIMA, Hideko
2. 発表標題 Diverse Photomechanical Effects of Polymorphic Salicylideneaniline Crystals
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 HAGIWARA, Yuki; ASAH, Toru; KOSHIMA, Hideko
2. 発表標題 Photothermally Driven Bending of Salicylideneaniline Crystals
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 HIRATA, Kazuya; HAGIWARA, Yuki; HASEBE, Shodai; ASAH, Toru; KOSHIMA, Hideko
2. 発表標題 Photomechanical Effects of Isomorphic Crystals of Salicylideneaniline Derivatives
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 萩原佑紀・朝日透・小島秀子
2. 発表標題 光熱効果に基づく高速メカニカル結晶の開発
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長谷部 翔大・萩原 佑紀・朝日 透・小島 秀子
2. 発表標題 多形結晶を用いた多様な光屈曲運動の創出
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Yuki Hagiwara, Takuya Taniguchi Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Mechanical Motions of Photochromic Chiral Salicylideneamine Crystals Induced by Photo-triggered Phase Transition
3. 学会等名 Molecular Chirality Asia 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shodai Hasebe, Jun Komiya, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 High-speed Photomechanical Motion of Chiral Crystals Composed of an Achiral Salicylideneaniline
3. 学会等名 Molecular Chirality Asia 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷口卓也、朝日透、小島秀子
2. 発表標題 光トリガー相転移結晶の弾性率と発生力の測定
3. 学会等名 日本結晶学会70周年記念大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石崎 一輝・萩原 佑紀・小島 秀子・谷口 卓也・朝日 透
2. 発表標題 光屈曲結晶の変位と力の関係性
3. 学会等名 日本結晶学会70周年記念大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Hagiwara, Meguya Ryu, Hiroki Fujisawa, Junko Morikawa, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Photothermally driven actuation of anisole crystals
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shodai Hasebe, Yuki Hagiwara, Meguya Ryu, Hiroki Fujisawa, Junko Morikawa, Tetsuro Katayama, Akihiro Furube, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Diverse mechanical motions of polymorphic crystals based on photoisomerization and photothermal effect
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuya Hirata, Shodai Hasebe, Yuki Hagiwara, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Bending behavior of isomorphous salicylideneaniline crystals by photoirradiation
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 萩原佑紀・藤澤弘樹・森川淳子・劉芽久哉・朝日透・小島秀子
2. 発表標題 光熱効果によるアニソール結晶の高速屈曲
3. 学会等名 第21回光化学若手の会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長谷部翔大・萩原佑紀・小宮潤・劉芽久哉・藤澤弘樹・森川淳子・片山哲郎・山中大樹・古部昭広・佐藤寛泰・朝日透・小島秀子
2. 発表標題 結晶の光異性化と光熱効果による屈曲の比較とシミュレーション
3. 学会等名 第21回光化学若手の会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 HASEBE Shodai, HAGIWARA Yuki, KOMIYA Jun, RYU Meguya, FUJISAWA Hiroki, MORIKAWA Junko, KATAYAM Tetsuro, YAMANAKA Daiki, FURUBE Akihiro, SATO Hiroyasu, ASAH Toru, KOSHIMA Hideko
2. 発表標題 High-speed Bending of Salicylideneaniline Crystals based on Photoisomerization, Photothermal Effect, and Natural Vibration
3. 学会等名 International Union of Crystallography (IUCr 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 HAGIWARA Yuki, HASEBE Shodai, RYU Meguya, FUJISAWA Hiroki, MORIKAWA Junko, ASAH Toru, KOSHIMA Hideko
2. 発表標題 High-speed Bending of Anisole Crystals Based on Photothermal Effect and Natural Vibration
3. 学会等名 International Union of Crystallography (IUCr 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 HASEBE Shodai, HAGIWARA Yuki, KOMIYA Jun, RYU Meguya, FUJISAWA Hiroki, MORIKAWA Junko, KATAYAM Tetsuro, YAMANAKA Daiki, FURUBE Akihiro, SATO Hiroyasu, ASAH Toru, KOSHIMA Hideko
2. 発表標題 High-speed Bending of Salicylideneaniline Crystals based on Photoisomerization, Photothermal Effect, and Natural Vibration
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 HAGIWARA Yuki, HASEBE Shodai, RYU Meguya, FUJISAWA Hiroki, MORIKAWA Junko, ASAH I Toru, KOSHIMA Hideko
2. 発表標題 High-speed Bending of Anisole Crystals Based on Photothermal Effect and Natural Vibration
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 萩原佑紀, 長谷部翔大, 劉芽久哉, 藤澤弘樹, 森川淳子, 朝日透, 小島秀子
2. 発表標題 光熱効果による誘起・共振に基づく結晶の高速固有振動
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長谷部翔大, 萩原佑紀, 劉芽久哉, 藤澤弘樹, 森川淳子, 片山哲郎, 古部昭広, 朝日透, 小島秀子
2. 発表標題 光熱効果と固有振動を利用した高速結晶アクチュエータの開発
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長谷部翔大, 萩原佑紀, 劉芽久哉, 藤澤弘樹, 森川淳子, 片山哲郎, 古部昭広, 佐藤寛泰, 朝日透, 小島秀子
2. 発表標題 光異性化、光熱効果、固有振動に基づくサリチリデンアニリン結晶の高速屈曲
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 長谷部翔大、萩原佑紀、小宮潤、劉芽久哉、藤澤弘樹、森川淳子、片山哲郎、山中大樹、古部昭広、佐藤寛泰、朝日透、小島秀子
2. 発表標題 光異性化、光熱効果、固有振動を利用したサリチリデンアニリン結晶の高速アクチュエータ
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 萩原佑紀、長谷部翔大、劉芽久哉、藤澤弘樹、森川淳子、朝日透、小島秀子
2. 発表標題 光熱効果と固有振動を用いた高速結晶アクチュエータの開発
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 萩原佑紀、長谷部翔大、劉芽久哉、藤澤弘樹、森川淳子、片山哲郎、山中大樹、古部昭広、朝日透、小島秀子
2. 発表標題 光熱駆動結晶アクチュエーションとそのシミュレーション
3. 学会等名 2021熱物性シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shodai Hasebe, Yuki Hagiwara, Jun Komiya, Meguya Ryu, Hiroki Fujisawa, Junko Morikawa, Tetsuro Katayama, Daiki Yamanaka, Akihiro Furube, Hiroyasu Sato, Toru Asahi, and Hideko Koshima
2. 発表標題 High-speed Crystal Actuation by Photoisomerization, Photothermal Effect, and Natural Vibration
3. 学会等名 11th Asian Photochemistry Conference (APC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Hagiwara, Shodai Hasebe, Meguya Ryu, Hiroki Fujisawa, Junko Morikawa, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Photothermally Induced Fast Bending and Natural Vibration of Anisole Crystals
3. 学会等名 11th Asian Photochemistry Conference (APC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hideko Koshima
2. 発表標題 Mechanically Responsive Materials for Soft Robotics Innovation
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hideko Koshima
2. 発表標題 Crystal actuators driven by light and heat
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Hagiwara, Takuya Taniguchi, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Photothermally driven crystal actuators
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Hagiwara, Takuya Taniguchi, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Crystal motion induced by photo-triggered phase transition
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Hagiwara, Takuya Taniguchi, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Crystal actuation induced by thermal phase transition and photothermal effect
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shodai Hasebe, Yuki Hagiwara, Takuya Taniguchi, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Difference of photomechanical behavior of polymorphic crystals of salicylideneaniline with 3-carboxy substituent
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shodai Hasebe, Yuki Hagiwara, Takuya Taniguchi, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Photomechanical behavior of polymorphic crystals of salicylideneaniline with 3-amide substituent
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shodai Hasebe, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Photomechanical behavior of polymorphic crystals of salicylideneaniline with 4-fluoro substituent
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuki Ishizaki, Takuya Taniguchi, Hideko Koshima, Toru Asahi
2. 発表標題 Deflection and force of a photo-bending crystal modeled by machine learning-based regression
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shodai Hasebe,1 Yuki Hagiwara,1Toru Asahi,1 Hideko Koshima
2. 発表標題 High-Speed Bending of Salicylideneaniline Crystals by Photothermal-Induced Natural Vibration
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 Yuki Hagiwara, Shodai Hasebe, Meguya Ryu, Hiroki Fujisawa, Junko Morikawa, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 High-speed bending and the simulation of anisole crystals based on photothermal effect and natural vibration
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 小島 秀子
2. 発表標題 ソフトロボティクスに向けた有機メカニカル材料
3. 学会等名 2018年度日本IFTOMM会議 第24回シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuya Taniguchi, Haruki Sugiyama, Hidehiro Uekusa, Motoo Shiro, Hideko Koshima, Toru Asahi
2. 発表標題 Thermal Locomotion of Chiral Crystal by Phase Transition
3. 学会等名 4th Molecular Chirality Asia (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuya Taniguchi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Photomechanical and Thermomechanical Molecular Crystals
3. 学会等名 31st European Crystallographic Meeting (ECM31) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 HAGIWARA, Yuki; TANIGUCHI, Takuya; KOSHIMA, Hideko; ASAHI, Toru
2. 発表標題 Mechanical Motions of Salicylideneaniline Crystals Induced by Light and Heat
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷口 卓也・佐藤 寛泰・朝日 透・小島 秀子
2. 発表標題 サリチリデンナフチルエチルアミン結晶の光トリガー相転移
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 稲田 萌花・宇田川 瑛弘・齋藤 敬・小島 秀子・朝日 透
2. 発表標題 ビスチミン誘導体の自己集合体の光化学反応と形態変化
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideko Koshima, Takuya Taniguchi, Toru Asahi
2. 発表標題 Photomechanical Motion of Dibenzobarrelene Crystals
3. 学会等名 10th Asian Photochemistry Conference (APC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Hagiwara, Takuya Taniguchi, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Mechanical Motion of Photochromic Salicylideneaniline Crystals by Phase Transition
3. 学会等名 10th Asian Photochemistry Conference (APC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Hagiwara, Takuya Taniguchi, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Thermal phase transition of a photochromic salicylideneaniline crystal
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Taniguchi, Hiroyasu Sato, Yuki Hagiwara, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Photo-triggered phase transition of a photochromic crystal
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Hagiwara, Takuya Taniguchi, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Phase transition and mechanical motion of a salicylideneamine crystal induced by heat and light
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Hagiwara, Takuya Taniguchi, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Photo-triggered phase transition of photochromic salicylideneamine crystals
3. 学会等名 24th The International Conference on the Chemistry on the Organic Solid State (ICCOSSXXII) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 HAGIWARA, Yuki; TANIGUCHI, Takuya; ASAMI, Toru; KOSHIMA, Hideko
2. 発表標題 Photo-triggered Phase Transition and Mechanical Motion of Photochromic Salicylideneamine Crystals
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 HASEBE, Shodai; YAMAOKA, Yohei; HAGIWARA, Yuki; TANIGUCHI, Takuya; ASAMI, Toru; KOSHIMA, Hideko
2. 発表標題 Photomechanical behavior of polymorphic salicylideneaniline crystals
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideko Koshima
2. 発表標題 Mechanical Crystal Materials for Soft Robotics
3. 学会等名 2nd International Workshop on Active Matter for Soft Robotics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 萩原佑紀・谷口卓也・朝日透・小島秀子
2. 発表標題 サリチリデンアミン結晶の光トリガー相転移と多様なメカニカル運動
3. 学会等名 第28回有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷部翔大・萩原佑紀・谷口卓也・朝日透・小島秀子
2. 発表標題 サリチリデンアニリン多形結晶のメカニカル機能
3. 学会等名 第28回有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石崎一輝、杉本良太、萩原佑紀、小島秀子、谷口卓也、朝日透
2. 発表標題 フォトメカニカル結晶の屈曲挙動の統計モデリング
3. 学会等名 第28回有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Hagiwara, Takuya Taniguchi, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Actuation of salicylideneaniline crystal by heat and light
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 Shodai Hasebe, Yuki Hagiwara, Takuya Taniguchi, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Photomechanical Effect of Polymorphic Salicylideneaniline Crystals
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 Yuki Hagiwara, Takuya Taniguchi, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 Photo-triggered phase transition of salicylideneamine crystal
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 Takuya Taniguchi, Toru Asahi, Hideko Koshima
2. 発表標題 光トリガー相転移結晶における力学特性の定量解析
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 谷口卓也・萩原佑紀・長谷部翔大・石崎一輝・朝日透・小島秀子
2. 発表標題 スマートアクチュエータに向けた光・熱応答性メカニカル結晶の開発
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 石崎一輝・萩原佑紀・小島秀子・谷口卓也・朝日透
2. 発表標題 サリチリデンナフチルエチルアミン結晶の光屈曲の統計モデリング
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 小島 秀子
2. 発表標題 エステル化におけるマイクロ波効果
3. 学会等名 第7回京都大学先端素材開発解析システム(ADAM)シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Taniguchi Takuya, Sugiyama Haruki, Uekusa Hidehiro, Shiro Motoo, Asahi Toru, Koshima Hideko
2. 発表標題 Directional Locomotion of Chiral Azobenzene Crystals by Phase Transition
3. 学会等名 23rd The International Conference on the Chemistry on the Organic Solid State (ICCOSSXXII) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koshima Hideko, Taniguchi Takuya, Shiro Motoo, Asahi Toru
2. 発表標題 Photomechanical Motion of Chiral Azobenzene Crystals with Twisting
3. 学会等名 Chirality 2017, 29th International Symposium on Chirality (ISCD-29) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takanabe Akifumi, Tanaka Masahito, Koshima Hideko, Asahi Toru
2. 発表標題 Fast-type high-accuracy universal polarimeter using charge-coupled device spectrometer
3. 学会等名 Chirality 2017, 29th International Symposium on Chirality (ISCD-29) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Taniguchi Takuya, Sugiyama Haruki, Uekusa Hidehiro, Shiro Motoo, Koshima Hidkeo, Asahi Toru
2. 発表標題 Directional Locomotion of Chiral Azobenzene Crystals
3. 学会等名 Chirality 2017, 29th International Symposium on Chirality (ISCD-29) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Taniguchi Takuya, Sugimoto Ryota, Komiya Jun, Koshima Hideko, Asahi Toru
2. 発表標題 Photo- and Thermal-induced Mechanical Motion of Chiral Salicylideneaniline Crystals
3. 学会等名 2017年光化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Komiya Jun, Taniguchi Takuya, Yamanaka Daiki, Furube Akihiro, Koshima Hideko, Asahi Toru
2. 発表標題 Photo- and Thermo-induced Mechanical Motion of Aminosalicylideneaniline Crystals
3. 学会等名 2017年光化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Udagawa Akihiro, Inada Moeka, Ahmed Al-Shereiqi, Koshima Hideko, Saito Kei, Asahi Toru
2. 発表標題 Photochemical Reaction of Bis-Thymine Derivatives in Self-assembly
3. 学会等名 2017年光化学討論会
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 谷口卓也・杉本良太・小宮潤・小島秀子・朝日透
2. 発表標題 光および熱によるサリチリデンナフチルエチルアミン結晶の形状変化
3. 学会等名 第26回有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Taniguchi Takuya, Sugimoto Ryota, Komiya Jun, Sato Hiroyasu, Koshima Hideko, Asahi Toru
2. 発表標題 Thermal and Photo-triggered Phase Transition of Chiral Photochromic Salicylidene-naphthylethylamine crystal
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷口卓也・久保田あゆみ・守時達也・朝日透・小島秀子
2. 発表標題 ジベンゾバレレン結晶の光屈曲
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小宮 潤・谷口卓也・山中大樹・古部昭広・杉山晴紀・植草秀裕・佐藤寛泰・小島秀子・朝日透
2. 発表標題 サリチリデンアニリン結晶における光屈曲の高速化
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 稲田萌花・宇田川瑛弘・小島秀子・齋藤敬・朝日透
2. 発表標題 水素結合を有する両親媒性Bis-Thymine誘導体の自己集合と光化学反応
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 Hideko Koshima (Editor)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Wiley-VCH	5. 総ページ数 427
3. 書名 Mechanically Responsive Materials for Soft Robotics	

1. 著者名 Hideko Koshima, Takuya Taniguchi, Toru Asahi	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Wiley-VCH	5. 総ページ数 25
3. 書名 Mechanically Responsive Crystals by Light and Heat, in Mechanically Responsive Materials for Soft Robotics	

1. 著者名 小島秀子 (分担執筆)	4. 発行年 2017年
2. 出版社 株式会社 R & D 支援センター	5. 総ページ数 441
3. 書名 マイクロ波加熱の基礎と産業応用	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 光駆動装置	発明者 池滝慶記, 小島秀子, 朝日透, 高鍋彰文, 谷口卓也	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2017-501544	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 光駆動装置	発明者 池滝慶記, 小島秀子, 朝日透, 高鍋彰文, 谷口卓也	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、第6542349号	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

<p>歩き走るロボット結晶の開発に世界で初めて成功  <a href="https://www.waseda.jp/top/news/56656">https://www.waseda.jp/top/news/56656</a>                      世界初 結晶の新しい「光トリガー相転移」の発見と機構解明  <a href="https://www.waseda.jp/top/news/63659">https://www.waseda.jp/top/news/63659</a>                      光熱効果により高速で動く結晶の開発に成功  <a href="https://www.waseda.jp/top/news/73226">https://www.waseda.jp/top/news/73226</a></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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------