

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05645

研究課題名(和文) 高速メカノクロミズムを実現する革新的有機発光材料の開発

研究課題名(英文) Development of Innovative Organic Luminescent Materials for Rapid Mechanochromism

研究代表者

伊藤 傑 (Ito, Suguru)

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：80724418

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、アルキル鎖を有するピレン誘導体により、機械的刺激を加えた際に発光色が変化し、室温下で速やかに元の発光色に自己回復するメカノクロミック発光を実現することに成功した。また、二成分系発光材料によるメカノクロミック発光に関する研究を広く展開し、発光色が段階的に変化するメカノクロミック発光や、機械的刺激付与時の波長変化量を増大するための新手法を開発するとともに、発光色の高速回復を実現するための指針を得た。さらに、複数の刺激に応答する有機発光材料や発光性高分子ゲル材料を創製した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

こするなどの機械的刺激により発光色が変化するメカノクロミック発光材料は、高感度な圧力センサーなどへの応用が期待されているが、その設計指針は十分に確立されていない点が課題であった。本研究では、発光色が室温下で速やかに回復するメカノクロミック発光を実現する上で、非晶質状態における分子運動性が重要であることを明らかとしており、学術的に意義深い。本成果は高速メカノクロミック発光材料を用いた実用的な発光センサーの開発に活用可能であり、社会的にも意義深い。

研究成果の概要(英文)：In this study, the self-recovering mechanochromic luminescence has been achieved utilizing pyrene derivatives containing alkyl chains, which exhibited a change in emission color upon mechanical stimulation and promptly restore the original emission color at room temperature. Extensive research has also been conducted on mechanochromic luminescence with two-component luminescent materials, and new methods have been developed for mechanochromic luminescence with stepwise color change and for increasing the magnitude of wavelength change upon mechanical stimulation, along with guidelines for facilitating rapid recovery of luminescent color. Furthermore, multi-stimuli-responsive luminescent organic materials and luminescent polymer gel materials have been developed.

研究分野：有機合成化学、光化学、超分子化学

キーワード：メカノクロミズム 有機結晶 固体発光 自己回復材料

1. 研究開始当初の背景

「こする(摩擦)」や「つぶす(圧迫)」などの機械的刺激に反応してフォトルミネッセンス(光励起による発光)の発光色が可逆的に変化する現象は、メカノクロミック発光と呼ばれる。メカノクロミック発光材料は、次世代のスマート材料として期待されており、近年活発に研究されているが、多くの場合、機械的刺激により変化した発光色を元に戻すために「加熱」や「有機溶媒の曝露」などの第二の刺激が必要となる(*Adv. Mater.* **2016**, *28*, 1073)。一方、研究代表者は、摩擦刺激付与後に発光色が室温下で自己回復するメカノクロミック発光性結晶を報告している(*Chem. Asian J.* **2016**, *11*, 1963; *RSC Adv.* **2017**, *7*, 16953)。さらに、ピレニルチオフェン誘導体と *N,N'*-ジメチルキナクリドン(DMQA)を混合することで、波長変化量の大きな自己回復性メカノクロミック発光を達成している(*Chem. Commun.* **2019**, *55*, 12296)。本系では、ピレニルチオフェン結晶と DMQA 結晶を混合しても、ピレニルチオフェンからの紫色発光が観測されたが、摩擦刺激を加えると非晶質化し、ピレニルチオフェンからのエネルギー移動による DMQA からの橙色発光が観測された。また、ピレニルチオフェンがヘキシル基をもつと、非晶質状態からの結晶化(相分離)が室温下で起こることで自己回復性が発現した。自己回復性メカノクロミック発光材料は、非自己回復性材料と異なる用途への応用が期待されているが、メカノクロミック発光を合理的に制御する手法は十分に確立されておらず、自己回復挙動の合理的な制御は困難である。

2. 研究の目的

本研究では、研究代表者がこれまでに「自己回復性メカノクロミック発光材料」に関する研究で得た知見を基盤として、機械的刺激の付与時に変化した発光色が迅速に回復する高速メカノクロミック発光材料を開発することを目的とした。具体的には、機械的刺激を加えた際に分子間エネルギー移動が起こることで発光色に変化する二成分系色素を用い、「摩擦刺激付与後、迅速に相分離・再結晶化する結晶材料」や「圧迫刺激付与後、迅速に形状回復する高分子ゲル材料」を創製することで、機械的刺激付与後、室温下で速やかに発光色が自己回復するメカノクロミック発光を達成することを目指して研究を開始した。

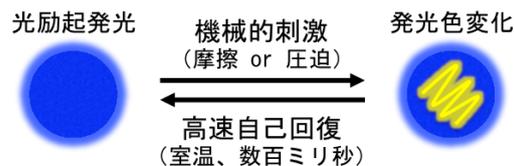


図1. 高速メカノクロミック発光

3. 研究の方法

本研究では、(1)置換基が自己回復性メカノクロミック発光に与える影響の評価、(2)二成分系有機発光材料によるメカノクロミック発光の制御、(3)多彩な刺激に反応するメカノクロミック発光材料の開発、(4)ピレン担持高分子ゲルの創製について検討した。

4. 研究成果

(1)置換基が自己回復性メカノクロミック発光に与える影響の評価

機械的刺激付与後の非晶質状態における分子運動性を高める目的で、鎖長の異なるアルキルアミド鎖やエチレングリコール鎖を置換したフェニルピレン誘導体を合成した。各種誘導体はピレンのエキシマー発光に由来する青緑色発光を良好な蛍光量子収率で示す結晶または油状物質として得られた。例えば、アニルピレンの場合、*o*-アニル体 **1a** と比べて *m*-アニル体 **1b** や *p*-アニル体 **1c** は固体状態で高い蛍光量子収率(0.93)を示したが、融解するといずれも蛍光量子収率は同程度(0.84)となった(図2a)。結晶状態において **1a** はピレン環同士が十分に重なった構造であったが、**1b** と **1c** は一部のみが重なった構造であり、積層構造の違いが蛍光量子収率に影響を与えたと考えられる。一方、エチレングリコール鎖を有する **2a** は室温下で液体であり、良好な蛍光量子収率で発光する分子液体となることを見出した(図2b)。

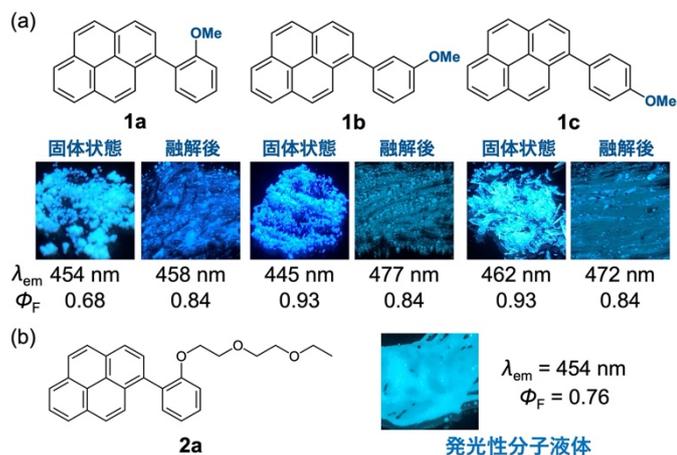


図2. (a) アニルピレン **1a-c**、(b) 発光性分子液体 **2a**

各種置換基を有する結晶性のフェニルピレン誘導体に機械的刺激を加えると、多くの場合、発光色の有意な変化が見られたが、発光色の回復には加熱を要した。そこで、結晶および油状物質として得られた二種類のピレン誘導体を混合したところ、自己回復性メカノクロミック発光を示すことを見出した。また、ピレンに直接アルキル基を置換した誘導体についても検討し、アルキル鎖長を変更すると機械的刺激付与後の発光色の自己回復挙動が異なることを明らかとした。

(2) 二成分系有機発光材料によるメカノクロミック発光の制御

メカノクロミック発光における発光波長や機械的刺激付与後の回復挙動を合理的に制御する手法を確立するため、分子間エネルギー移動を制御可能な二成分系色素について検討したところ、機械的刺激の強さに応じて段階的に発光色が変化するメカノクロミック発光を示すことを見出した (図3)。すなわち、ジベンゾフラン型ビス(ピレニルメチル)ジアミン誘導体 **3** を 9,10-アントラキノン (**AQ**) と混合した二成分系色素は、発光波長 429 nm で青紫色に発光したが、薬さじで弱くこすると、発光極大波長 490 nm の青緑色発光を示す状態に変化した。さらに強くこすると、発光極大波長 583 nm の橙色発光に変化した。青紫色発光の状態では、**3** と **AQ** は相分離状態で独立した結晶を形成しているため、**3** のピレン環によるモノマー発光が観測されるが、弱くこすると一部が非晶質化することで、**3** がエキシマー発光を示し、さらに、強くこすった後の非晶質状態では **3** と **AQ** によるエキサイプレックス発光が観測されることを明らかとした (*Chem. Eur. J.* **2021**, *27*, 13982、表紙に選出)。

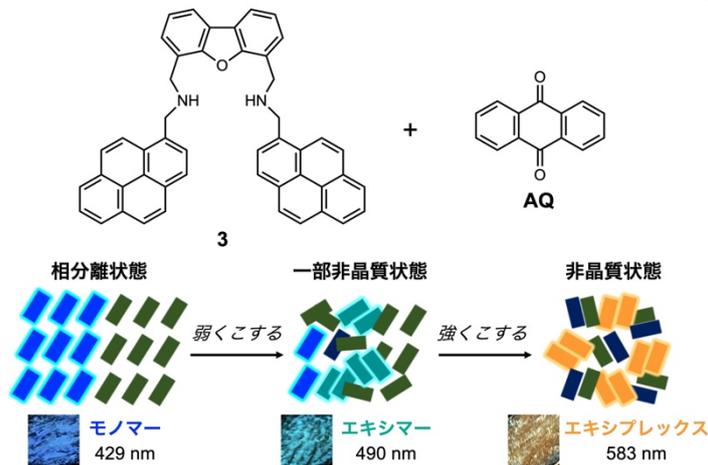


図3. **3** と **AQ** による二段階メカノクロミック発光

微量異分子をドーブした二成分系有機結晶を創製することで、機械的刺激付与時の波長変化量を制御することにも成功した (図4)。緑色 (発光極大波長: $\lambda_{em} = 502$ nm) に発光するチエニルベンゾチアジアゾール **4** の結晶は、薬さじでこすることによる機械的刺激を加えても発光極大波長はわずかに変化するのみであった (発光極大波長変化量: $\Delta\lambda_{em} = 10$ nm)。また、**4** の結晶は、機械的刺激付与後も結晶性が維持されているものの、加熱や有機溶媒の曝露では元の結晶状態に戻らず、柔軟な置換基を持たない場合には機械的刺激付与後の回復性が低いことが分かった。ごく微量 (250 ppm) のジチエニルベンゾチアジアゾール **5** を含む **4** のシクロヘキサン溶液から再結晶したところ、**5** をドーブした **4** の板状結晶が得られた。ドーブ後の混晶 **4**・**5** の発光色は黄色 ($\lambda_{em} = 559$ nm) であり、薬さじでこすると発光波長は短波長化し、水色発光を示した ($\lambda_{em} = 490$ nm)。すなわち、**5** をドーブすることで、**4** の $\Delta\lambda_{em}$ は 10 nm から 69 nm に大きく拡張された。機械的刺激付与後の発光スペクトルは、**4** のみの結晶に機械的刺激を付与した後のスペクトルと良く一致しており、蛍光減衰分析から、混晶 **4**・**5** で生じる **4** から **5** へのフェルスター共鳴エネルギー移動 (FRET) の効率が、こすった後の状態では劇的に減少することで、発光波長が大きく変化したことが明らかとなった (*Chem. Commun.* **2022**, *58*, 6781、表紙に選出)。

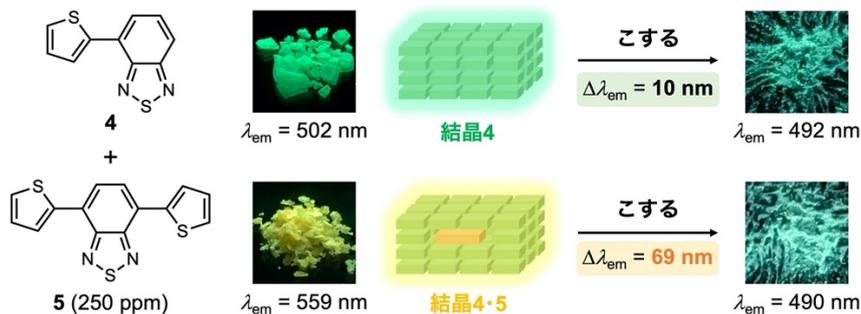


図4. **4** に **5** をドーブすることによる機械的刺激付与時の波長変化量拡張

(3) 多彩な刺激に応答するメカノクロミック発光材料の開発

メカノクロミック発光における自己回復挙動を制御する目的でジアルコキシ基を導入したフェナントロイミダゾール誘導体を合成したところ、ジメトキシ基を有する **6** が種々の溶媒分子を取り込むことで発光波長が異なる溶媒包接結晶を形成することを見出した (図5)。溶媒分子を含まない **6** の結晶は黄色に発光 ($\lambda_{em} = 550$ nm) したが、溶媒包接結晶は溶媒分子の種類に応じて、青緑色～黄色の発光色 ($\lambda_{em} = 508$ – 565 nm) を示した (図5a)。溶媒包接結晶の構造は単結晶 X 線構造解析により明らかとなり、例えば、**6**・ CHCl_3 は、結晶格子中で二分子ずつ孤立したク

ロロホルム分子が **6** に取り囲まれる構造、**6•Benzene** は、一次元チャンネル構造内に溶媒分子が包接された構造であった (図 5b)。全ての溶媒包接結晶において、近接した 2 分子の **6** が窒素原子上のアニシル基同士で積層し、一方のアニシル基のメトキシ基が他方のベンゾチアジアゾール環と CH- π 相互作用を形成していた (図 5c)。各種溶媒包接結晶に機械的刺激を付与すると、結晶中の溶媒分子を放出しながら非晶質化し、発光色はいずれも黄色に変化した。非晶質状態の **6** は、溶媒蒸気に応答して異なる発光色を示す溶媒包接結晶に再結晶化した。さらに、ピリジン分子を含む **6•Pyridine** は塩酸蒸気に応答し、発光色は緑色 ($\lambda_{em} = 522 \text{ nm}$) から橙色 ($\lambda_{em} = 586 \text{ nm}$) に変化した。以上のように、機械的刺激と溶媒蒸気、塩酸蒸気に応答して多彩な発光色に変化する発光性有機結晶を得ることに成功した (*CrystEngComm* **2023**, *25*, 2379)。

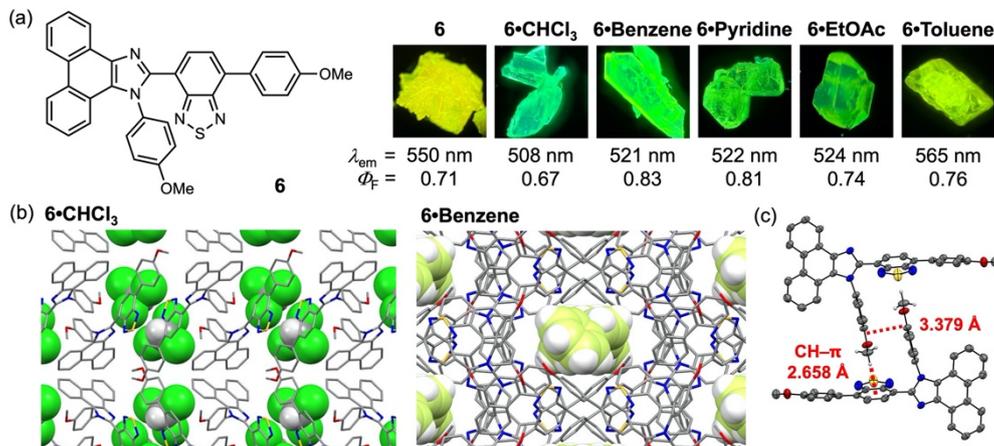


図 5. (a) **6** の溶媒包接結晶による発光、(b) **6•CHCl₃** および **6•Benzene** の結晶構造、(c) 結晶状態における **6** の分子間相互作用

(4) ピレン担持高分子ゲルの創製

単分散シリカ粒子の合成法として、オルトケイ酸テトラエチル (TEOS) をエタノール溶液中で加水分解および縮合する手法が知られている (*J. Colloid Interface Sci.* **1968**, *26*, 62; *J. Nanopart. Res.* **2008**, *10*, 1225; *J. Sol-Gel Sci. Technol.* **2019**, *91*, 44)。本手法を参考に、*N*-[3-(トリエトキシシリル)プロピル]ピレン-1-カルボキシアミドと TEOS をエタノール/アンモニア水中、室温で攪拌した後、遠心分離することで、発光性のピレンを担持したシリカ粒子を合成した。反応条件を適切に設定することで、粒径が約 200 nm のピレン担持シリカ粒子が得られた (図 6a)。ピレン担持シリカ粒子は構造色を示すと同時に、ピレン環に由来する青色発光を示した (図 6b)。すなわち、紫外線を照射すると蛍光極大波長を 405 nm に示し、493 nm にもピークをもつスペクトルが観測された。それぞれの発光極大波長は、ピレン環のモノマー発光とエキシマー発光に由来すると考えられる。調製条件を変更することで、主にモノマー発光を示すピレン担持シリカ粒子を得ることも可能であった。また、ピレン担持シリカ粒子とポリ(エチレングリコール)メタクリレートとを混合し、光重合を行うことで、青色発光性の高分子ゲルを作製した (図 6c)。ピレン担持シリカ粒子を用いてフォトニック結晶ゲルを得る手法を確立し、二成分系色素化することで、圧迫刺激に応答する高分子ゲル材料が得られると期待できる。

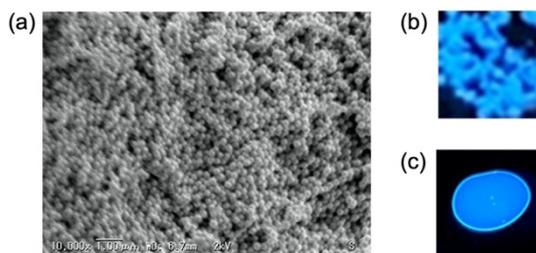


図 6. (a) ピレン担持シリカ粒子の SEM 画像 (b) 青色発光性シリカ粒子、(c) 青色発光性高分子ゲル

以上のように、本研究では、種々の置換基を有するピレン誘導体の発光特性に関する研究や二成分系有機色素によるメカノクロミック発光に関する研究を幅広く展開することで、メカノクロミック発光における発光色や波長変化量、自己回復挙動を制御するための要件についての知見を得た。特に、機械的刺激付与後に発光色が高速回復するメカノクロミック発光を実現する上で、非晶質状態における分子運動性が重要であることを明らかとした。本成果は、高速メカノクロミック発光材料を用いた実用的なセンサー材料を開発する上で重要な知見となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Suguru Ito, Ryohei Sekine, Masayasu Munakata, Masatoshi Asami, Takashi Tachikawa, Daiki Kaji, Kohei Mishima, Yoshitane Imai	4. 巻 5
2. 論文標題 Mechanochromic Luminescence and Solid State Circularly Polarized Luminescence of a Chiral Diamine Linked Bispyrene	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ChemPhotoChem	6. 最初と最後の頁 920-925
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cptc.202100087	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 Suguru Ito, Sayaka Nagai, Takashi Ubukata, Takashi Tachikawa	4. 巻 23
2. 論文標題 Multi-color mechanochromic luminescence of three polymorphic crystals of a donor-acceptor-type benzothiadiazole derivative	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 5899-5907
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CE00445J	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 Maho Yamashita, Sayaka Nagai, Suguru Ito, Takashi Tachikawa	4. 巻 12
2. 論文標題 In Situ Exploration of Stimulus-Induced Emission Changes in Mechanochromic Dyes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 7826-7831
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.1c02015	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 Suguru Ito, Ryohei Sekine, Masayasu Munakata, Maho Yamashita, Takashi Tachikawa	4. 巻 27
2. 論文標題 Mechanochromic Luminescence (MCL) of Purely Organic Two Component Dyes: Wide Range MCL over 300 nm and Two Step MCL by Charge Transfer Complexation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 13982-13990
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202102700	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 Toyotaka Nakae, Masaki Nishio, Tsukasa Usuki, Minako Ikeya, Chika Nishimoto, Suguru Ito, Hiroshi Nishihara, Mineyuki Hattori, Shigenobu Hayashi, Teppei Yamada, Yoshinori Yamanoi	4. 巻 60
2. 論文標題 Luminescent Behavior Elucidation of a Disilane Bridged D-A-D Triad Composed of Phenothiazine and Thienopyrazine	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 22871-22878
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202108089	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 Ryohei Yoshida, Takashi Tachikawa, Suguru Ito	4. 巻 22
2. 論文標題 Mechano- and Thermo-responsive Luminescence of Crystalline Thienylbenzothiadiazole Derivatives: Stepwise Hypsochromic Switching of Near-Infrared Emission	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 547-558
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.1c01128	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 Suguru Ito	4. 巻 51
2. 論文標題 Mechanochromic luminescence of soft crystals: Recent systematic studies in controlling the molecular packing and mechanoresponsive properties	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews	6. 最初と最後の頁 100481
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochemrev.2021.100481	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 Suguru Ito	4. 巻 24
2. 論文標題 Luminescent polymorphic crystals: mechanoresponsive and multicolor-emissive properties	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 1112-1126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CE01614H	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 Yuki Matsuura, Masatoshi Asami, Suguru Ito	4. 巻 46
2. 論文標題 Dual-channel recognition of Al ³⁺ and Cu ²⁺ ions using a chiral pyrene-based fluorescent sensor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 New Journal of Chemistry	6. 最初と最後の頁 7864-7871
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2NJ00801G	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 Suguru Ito	4. 巻 50
2. 論文標題 Recent Advances in Mechanochromic Luminescence of Organic Crystalline Compounds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 649-660
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200874	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 Shohei Takahashi, Sayaka Nagai, Masatoshi Asami and Suguru Ito	4. 巻 1
2. 論文標題 Two types of two-step mechanochromic luminescence of phenanthroimidazolylbenzothiadiazoles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Advances	6. 最初と最後の頁 708-719
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0MA00198H	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 Suguru Ito, Sayaka Nagai, Takashi Ubukata, Takuya Ueno, and Hidehiro Uekusa	4. 巻 20
2. 論文標題 Relationship between Crystal Structure, Crystal Morphology, and Mechanochromic Luminescence of Triphenylimidazolylbenzothiadiazole Derivatives	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 4443-4453
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.0c00253	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 Ryohei Yoshida, Takashi, Tachikawa, Suguru Ito	4. 巻 58
2. 論文標題 Extension of the mechanoresponsive luminescence shift via formation of a doped organic crystal	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 6781-6784
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CC00741J	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 Rikuto Kubota, Yanqiu Yuan, Ryohei Yoshida, Takashi Tachikawa, Suguru Ito	4. 巻 3
2. 論文標題 Tunable mechanochromic luminescence via surface protonation of pyridyl-substituted imidazole crystals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Advances	6. 最初と最後の頁 5826-5835
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2MA00256F	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 Masayasu Munakata, Suguru Ito	4. 巻 52
2. 論文標題 Wide-range Tricolor Mechanochromic Luminescence of Organic Two-component Dyes: Different Responses Toward Thermal and Solvent Treatments	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 276-279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.230067	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 Takumi Yagi, Takashi Tachikawa, Suguru Ito	4. 巻 25
2. 論文標題 Solvates of a dianisyl-substituted donor-acceptor-type benzothiadiazole: mechanochromic, vapochromic, and acid-responsive multicolor luminescence	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 2379-2389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CE01705A	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 Rikuto Kubota, Shohei Takahashi, Sayaka Nagai, Suguru Ito	4. 巻 18
2. 論文標題 Mechanoresponsive Fluorescence On off Switching of Two component Emitters Composed of Mechanochromically Luminescent Dyes and Non emissive Pigments	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	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) 10.1002/asia.202300124	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46件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 窪田陸人、袁燕秋、吉田遼平、伊藤傑
2. 発表標題 ピリジル置換イミダゾール誘導体の固体発光スイッチング
3. 学会等名 第42回光化学若手の会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宗像元康、関根涼平、立川貴士、伊藤傑
2. 発表標題 ビス(ピレニルメチル)基を有するジアミン誘導体とアントラキノンからなる混合色素の二段階メカノクロミック発光
3. 学会等名 第18回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松浦侑希、池谷美菜子、淺見真年、伊藤傑
2. 発表標題 ピレニル基を有するキラルなジエチレングリコール誘導体によるカチオンセンシング
3. 学会等名 第18回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Suguru Ito
2. 発表標題 Mechanochromic luminescence of organic two-component luminophores
3. 学会等名 International Conference on Photochemistry (ICP2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryohei Yoshida, Suguru Ito
2. 発表標題 Tuning the Mechanochromically Luminescent Properties of Thienylbenzothiadiazole by Forming Mixed Crystals
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masayasu Munakata, Ryohei Sekine, Takashi Tachikawa, Suguru Ito
2. 発表標題 Two-step mechanochromic luminescence based on the formation of charge-transfer complexes within a two-component dye
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 窪田陸人、袁燕秋、吉田遼平、伊藤傑
2. 発表標題 ピリジル基をもつイミダゾール誘導体によるメカノクロミック発光特性制御
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 伊藤傑、関根涼平、宗像元康、浅見真年、立川貴士、楯大輝、三嶋康平、今井喜胤
2. 発表標題 キラルなビスピレン誘導体によるメカノクロミック発光と固体円偏光発光
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 松浦侑希、池谷美菜子、浅見真年、伊藤傑
2. 発表標題 ピレン修飾キラルエチレングリコールのエキシマー発光制御に基づくカチオンセンシング
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 窪田陸人、袁燕秋、吉田遼平、伊藤傑
2. 発表標題 ピリジル基のプロトン化を利用したメカノクロミック発光特性の制御
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 宗像元康、関根涼平、山下真帆、立川貴士、伊藤傑
2. 発表標題 ビス(ビレニルメチル)基を有するジアミン誘導体の二成分化によるメカノクロミック発光特性制御
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 吉田遼平、立川貴士、伊藤傑
2. 発表標題 チエニルベンゾチアジアゾール誘導体の段階的刺激応答発光
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 Suguru Ito, Ryohei Sekine, Masayasu Munakata, Maho Yamashita, Takashi Tachikawa
2. 発表標題 Wide-Range and Two-Step Mechanochromic Luminescence of Organic Two-Component Dyes
3. 学会等名 11th Asian Photochemistry Conference (APC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Suguru Ito
2. 発表標題 Mechanochromic luminescence of two-component solid-state fluorophores
3. 学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Suguru Ito, Ryohei Sekine, Masayasu Munakata, Maho Yamashita, Takashi Tachikawa
2. 発表標題 Tunable mechanochromic luminescence of organic two-component dyes composed of dibenzofuran-based bispyrene and electron-deficient dyes
3. 学会等名 ACS Spring 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 八木匠、伊藤傑
2. 発表標題 フェナントロイミダゾリルベンゾチアジアゾール誘導体の擬多形結晶形成とメカノクロミック発光
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 西本千華、伊藤傑
2. 発表標題 置換フェニルピレン誘導体の凝集状態における高効率発光
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 伊藤傑
2. 発表標題 機械的刺激に応答する発光性ソフトクリスタルの合理的創製と定量解析
3. 学会等名 ソフトクリスタル第6回公開シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Suguru Ito
2. 発表標題 Crystal-to-Amorphous Phase Transitions of Mechanochromically Luminescent Organic Molecules
3. 学会等名 The 101st CSJ Annual Meeting, Luminescence Chemistry Ensemble: From the Aggregate Model to Amorphous Solid (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤傑
2. 発表標題 有機結晶の精密構造制御に基づく高機能性発光センシング材料の開発
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会 若い世代の特別講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤傑、永井彩香、池谷美菜子、眞下峻希、関朋宏、伊藤肇、相良剛光、務台俊樹、大山陽介、中野健
2. 発表標題 メカノクロミック発光性結晶材料に対する定量的な機械刺激応答性解析
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 Ryohei Yoshida, Hayato Suzuki, Minako Ikeya, Shohei Takahashi, Suguru Ito
2. 発表標題 Sequential Mechano- and Thermo-responsive Tricolor Switching of Luminescence for Thienylbenzothiadiazole Derivatives
3. 学会等名 Online Annual Meeting on Photochemistry
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宗像元康、関根涼平、池谷美菜子、淺見真年、伊藤傑
2. 発表標題 ジベンゾフラン型ビス（ピレニルメチル）ジアミン誘導体の二成分系二段階メカノクロミック発光
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 吉田遼平、鈴木颯人、池谷美菜子、高橋昌平、伊藤傑
2. 発表標題 機械的刺激と熱に段階的に応答するドナー・アクセプター型色素の三色間発光スイッチング
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 吉田遼平、伊藤傑
2. 発表標題 チエニルベンゾチアジアゾール誘導体の結晶構造とメカノクロミック発光
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 窪田陸人、袁燕秋、吉田遼平、伊藤傑
2. 発表標題 ピリジル置換イミダゾール誘導体の酸応答型メカノクロミック発光
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 八木匠、伊藤傑
2. 発表標題 ドナー・アクセプター型ベンゾチアジアゾール誘導体の溶媒包接結晶によるメカノクロミック発光
3. 学会等名 第19回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松浦侑希、浅見真年、伊藤傑
2. 発表標題 ビレンセンサーの蛍光スイッチングによるデュアルカチオンセンシング
3. 学会等名 第19回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 脇山晋、池村僚矢、今井喜胤、伊藤傑
2. 発表標題 ビレン環をもつプロリンアミド誘導体のラセミ結晶とキラル結晶によるメカノクロミック発光
3. 学会等名 第19回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 八木匠、伊藤傑
2. 発表標題 擬多形結晶を形成するドナー・アクセプター型ベンゾチアジアゾール誘導体のメカノクロミック発光
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 森山裕歩、窪田陸人、伊藤傑
2. 発表標題 非共役型ドナー・アクセプター分子の合成とメカノクロミック発光特性
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 Suguru Ito
2. 発表標題 Tunable mechanochromic luminescence of organic two-component dyes
3. 学会等名 28th IUPAC Symposium on Photochemistry (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Rikuto Kubota, Shohei Takahashi, Sayaka Nagai, Suguru Ito
2. 発表標題 Mechano-responsive Fluorescence ON/OFF Switching of Two-component Organic Emitters
3. 学会等名 Annual Meeting on Photochemistry 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田遼平、立川貴士、伊藤傑
2. 発表標題 チエニルベンゾチアジアゾール結晶のメカノクロミック発光制御
3. 学会等名 第32回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 脇山晋、池村僚矢、今井喜胤、阿部倉優人、植草秀裕、伊藤傑
2. 発表標題 ピレン環をもつキラルなプロリンアミド誘導体の結晶構造とメカノクロミック発光
3. 学会等名 第32回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森山裕歩、窪田陸人、伊藤傑
2. 発表標題 非共役型ドナー・アクセプター色素のメカノクロミック発光
3. 学会等名 第32回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 窪田陸人、高橋昌平、永井彩香、伊藤傑
2. 発表標題 機械的刺激に応答する二成分系有機色素の蛍光ON/OFFスイッチング
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 八木匠、伊藤傑
2. 発表標題 ドナー・アクセプター型ベンゾチアジアゾール誘導体の擬多形結晶形成と刺激応答発光
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 八木匠、立川貴士、伊藤傑
2. 発表標題 ドナー・アクセプター型ベンゾチアジアゾール誘導体の擬多形結晶による発光クロミズム
3. 学会等名 第1回ソフトクリスタル研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 脇山晋、池村僚矢、今井喜胤、阿部倉優人、植草秀裕、伊藤傑
2. 発表標題 ピレン環を有するキラルなプロリンアミド結晶のメカノクロミック発光と円偏光発光スイッチング
3. 学会等名 第1回ソフトクリスタル研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Suguru Ito
2. 発表標題 Rational Control of Mechanochromic Luminescence by Two-Component Donor-Acceptor Dyes
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry Kota Kinabalu (ICPAC Kota Kinabalu 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤傑
2. 発表標題 結晶性有機 電子化合物の多彩なメカノクロミック発光
3. 学会等名 第15回有機 電子系シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 窪田陸人、高橋昌平、永井彩香、伊藤傑
2. 発表標題 ドナー・アクセプター型有機 電子系色素の二成分化によるメカノ応答蛍光強度スイッチング
3. 学会等名 第15回有機 電子系シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 隅田彩佳、高橋昌平、八木匠、伊藤傑
2. 発表標題 分子内C-Hアリール化によるイミダゾ[1,2-f]フェナントリジン誘導体の合成と発光特性
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村田帆奈美、伊藤傑
2. 発表標題 結晶性ビスイミダゾリルBINOL誘導体の外部刺激応答発光
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 脇山晋、池村僚矢、今井喜胤、阿部倉優人、植草秀裕、伊藤傑
2. 発表標題 ピレン環をもつキラルなプロリンアミド誘導体のメカノクロミック発光と円偏光発光
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 インドリルベンゾチアジアゾール誘導体、有機蛍光材料および硬化膜	発明者 森永貴大、伊藤傑、 高橋昌平	権利者 国立大学法人横 浜国立大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-172831	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

有機化学研究室(伊藤傑研究室)
<https://ito-lab.ynu.ac.jp>
横浜国立大学 研究者総覧(伊藤傑)
https://er-web.ynu.ac.jp/html/ITO_Suguru/ja.html

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