

令和 2 年 5 月 22 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05777

研究課題名(和文) 構造変化型強発光性スイッチ材料の開発

研究課題名(英文) Development of highly emissive switching materials with structural changes

研究代表者

前多 肇 (Maeda, Hajime)

金沢大学・物質化学系・教授

研究者番号：40295720

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：外部環境や外部刺激にตอบสนองして構造が変化する強発光性スイッチ材料の開発を行った。(1,3)および(1,8)ピレノファン類は溶媒と温度に応じて蛍光色が変わる分子として働くことが分かった。ピレンまたはペリレンとクラウンエーテルを連結した化合物は、金属イオンを認識して錯形成し、強発光性を保ったまま蛍光色が変わる、もしくはturn-OFF型、turn-ON型の蛍光センサーとして働くことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高性能な発光材料の開発は、有機EL、照明、発光ダイオード、インクなどの分野にとって重要である。それぞれの分野で発光材料に求められる性能は異なるが、より強く光る材料の開発が常に求められている。本研究は溶媒、温度、添加物によって可逆的に強い蛍光の色が変わる、色が消える、色がつくという材料の開発を扱ったものであり、工業的に意義深い。また、蛍光強度の増大と長波長化をもたらす分子設計指針を提供するものとして学術的にも意義がある。

研究成果の概要(英文)：We have developed strong fluorescent switching materials whose structures change in response to the external environment and external stimuli. It was found that (1,3) and (1,8)pyrenophanes act as molecules whose fluorescent colors change depending on the solvent and temperature. Crown ether-linked pyrene and perylene formed complexes by recognizing metal ions, and the fluorescent colors changed while maintaining strong fluorescence emission, or they acted as turn-OFF or turn-ON type fluorescent sensors.

研究分野：有機化学

キーワード：ピレン ピレノファン ペリレン クラウンエーテル 金属イオン 蛍光 エキシマー スイッチ材料

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高性能な発光材料の開発は、有機 EL、照明、発光ダイオード、インクなどの分野にとって重要である。それぞれの分野で発光材料に求められる性能は異なり、多様化しているが、多くの分野において、より強く光る材料の開発が常に求められている。我々の研究グループではこれまで、芳香族化合物にケイ素官能基を導入することにより、芳香族化合物の蛍光強度が著しく増大する現象を見出すとともに、その発光機構の解明と応用研究に取り組んできた。そこで得られた知見を元に、外部環境や外部刺激に応答する強発光性スイッチ材料を開発すれば、機能的な発光材料として有用であると考えた。

2. 研究の目的

有機分子の可逆的な変化によって蛍光色や強度が変化する、あるいは蛍光の ON-OFF が達成できる例として、水素または水素イオンの結合位置が変化するケト-エノール互変異型や、アゾベンゼンなどのシストランス光異性化型、ジアリールエテンのフォトクロミズムに代表される光環化-開裂型などが開発されている。より劇的に構造が変化するスイッチ分子を開発すれば、多様な物性を示す、あるいは多段階スイッチが可能になるなど、応用範囲が広まるだけでなく、有機構造化学的な観点からも興味深い。そこで本研究では、極めて強い発光を示す構造変化型蛍光スイッチ分子の開発に焦点を絞り、高性能な蛍光スイッチ材料を設計・合成することを目的とした。

3. 研究の方法

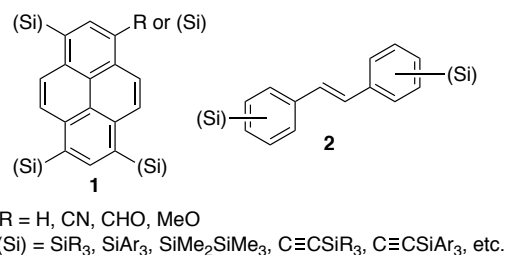
蛍光発色団として、比較的強い蛍光を示し、光安定性が高いことが知られている、ピレンおよびペリレンを選んだ。逆に、ほとんど蛍光を出さないことが知られている芳香族化合物として、スチルベンを選んだ。蛍光強度を増大させるための置換基として、ケイ素官能基を用いた。まずはケイ素官能基をこれらの芳香族化合物に導入した時の蛍光強度の増大の効果を調べた。また、ピレンの励起二量体(エキシマー)は比較的長波長側に蛍光を示すことが知られているが、そのさらなる長波長化と蛍光強度の増大を狙った。次に、構造変化型分子として2枚のピレンを2カ所で架橋したシクロファン(ピレノファン)および、金属イオン認識部位であるクラウンエーテルを取り付けたピレン誘導体またはペリレン誘導体を合成し、外部環境が変化した際または添加物を加えた際の蛍光の変化について検討した。

4. 研究成果

(1)ケイ素官能基の導入による蛍光強度の増大効果の検証と利用

ピレンの1,3,6,8位にシリル基、ジシリル基、シリルエチニル基を導入した化合物 **1** を合成し、吸収・蛍光特性を調べた。無置換のピレンの蛍光量子収率はシクロヘキサン中、室温で 0.32 であるが、ペンタメチルジシリル基を4つ導入すると 0.79 にまで増大した。シリルエチニル基を導入した場合は、いずれの化合物も極めて高い蛍光量子収率(0.9~1)を示した。ピレンの1位にシアノ基、ホルミル基、メトキシ基を導入し、3,6,8位にシリルエチニル基を導入した化合物の蛍光量子収率は 0.63~0.92 であり、ケイ素を炭素に置き換えた化合物(0.53~0.88)よりも高い蛍光量子収率を示した。また、ケイ素官能基は炭素官能基と比べて電子供与性が高く、特に1-ホルミルピレンの遷移の $\pi-\pi^*$ 性を高めることが分かった。無置換のピレンの高濃度溶液の蛍光を測定するとエキシマー発光のみが観測されるが、ケイ素官能基は嵩高いため、シリル基を4つ導入したピレンの高濃度溶液の蛍光を測定しても、ほとんどエキシマー発光は観測されなかった。これに対し、シリルエチニル基を3つまたは4つ導入したピレンは立体障害が緩和されており、高濃度溶液中で強いエキシマー発光を示した。

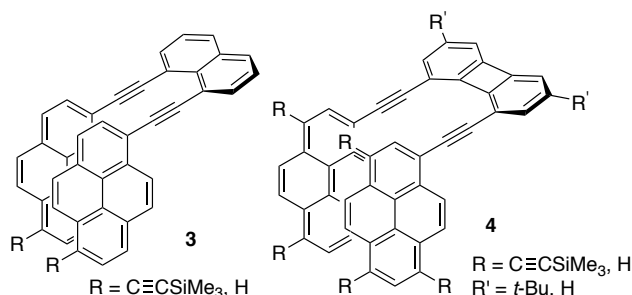
スチルベンはほとんど蛍光を出さない化合物であることが知られており、溶液中での蛍光量子収率はトランス体で 0.04、シス体で 0.001 以下である。トランス-スチルベンのオルト位、メタ位、パラ位にトリメチルシリル基を導入した化合物 **2** の吸収・蛍光特性を調べたところ、蛍光量子収率は 0.05~0.08 へと増大した。4カ所のオルト位すべてにトリメチルシリル基を導入した化合物はシリル基の嵩高さにより構造がねじれており、例外的に溶液中、室温では全く蛍光を示さなかった。両方のパラ位にペンタメチルジシリル基およびシリルエチニル基を導入した場合は、どちらも高い蛍光量子収率(0.44、0.95)を示した。トランス-スチルベンの片方のパラ位にシリルエチニル基、もう一方のパラ位にジフェニルアミノ基を導入した化合物は、比較的高い蛍光量子収率(0.50)を保ったまま、溶媒によって蛍光色が変わるソルバトフルオロクロミック特性を示した。



(2)ピレンのエキシマー発光の最適化と長波長化

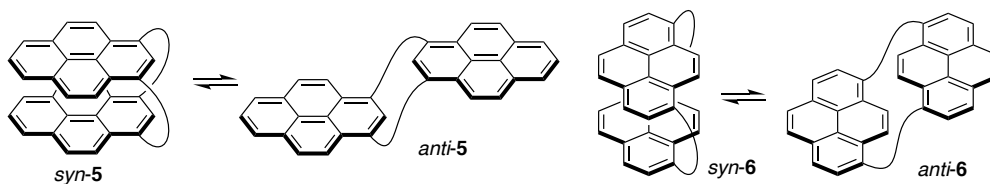
低濃度でも分子内エキシマー発光のみを示す物性を期待して、2枚の1-エチニルピレンをナフトレンの1,8位で剛直に連結した化合物 **3** を合成した。蛍光スペクトルを測定したところ、469

~474 nm を発光極大とする分子内エキシマー発光が観測された。しかしながらその蛍光量子収率は 0.013~0.014 と低く、単結晶 X 線結晶構造解析によると構造が開き気味であり、また、有機溶媒への溶解度が低いという問題があることが分かった。そこで、よりピレン間の距離を大きくすることができるビフェニレンの 1,8 位で架橋した化合物 **4** (R=R'=H) を合成して蛍光特性を調べたところ、極大蛍光波長は 506 nm へと長波長化し、蛍光量子収率は 0.078 へと増大した。この波長は、1-エチニルピレンの分子間エキシマー発光の極大波長 (505 nm) とほぼ同じであるため、エキシマーとしての最適距離を実現できたものと考えられる。ビフェニレンの 3,6 位に *t*-Bu 基を導入し、ピレンの 3,6,8 位にシリルエチニル基を順次導入したところ、極大蛍光波長は 566 nm に達し、蛍光量子収率は 0.164 にまで増大することが明らかになった。



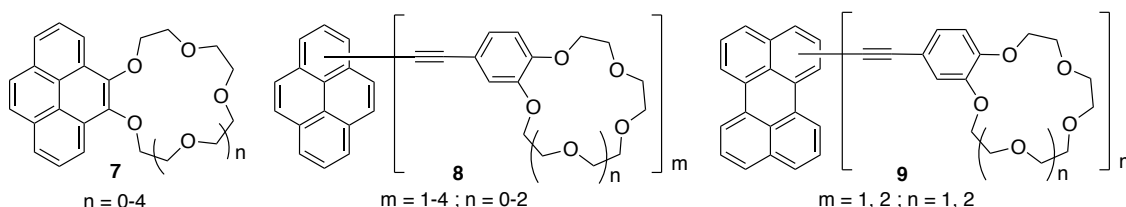
(3) 溶媒と温度を認識する構造変化型強発光性スイッチ材料の開発

構造変化型強発光性スイッチ材料として、エーテルまたはオリゴエチレングリコール鎖で連結した(1,3)ピレノファン(**5**)および(1,8)ピレノファン(**6**)を開発した。これらの化合物は、溶媒の極性が高いほどシン体、溶媒の極性が低いほどアンチ体に平衡が片寄り、シン体からは緑色の分子内エキシマー発光を、アンチ体からは青紫色のモノマー発光を示した。また、蛍光の温度依存性を調べたところ、高温ほどシン体が増えて分子内エキシマー発光を、低温ほどアンチ体が増えてモノマー発光を強く示した。この溶媒と温度による平衡の片寄りは、温度可変 1H NMR および分子軌道計算の結果からも支持された。シン体は双極子モーメントが増幅する方向でピレンが配置されるため極性溶媒中で有利であるが、アンチ体は双極子モーメントを打ち消しあう方向なので非極性溶媒中で有利であると考えられる。また、温度効果については、分子の表面積の違いによりアンチ体→シン体は溶媒排除の方向である。 $\Delta\Delta G = \Delta\Delta H - T\Delta\Delta S$ により、高温ほどエントロピー項が効いてくるため、高温ほどシン体に片寄るものと推定した。



(4) 金属イオンを認識する強発光性スイッチ材料の開発

金属イオンを認識する部位としてクラウンエーテル、蛍光発光部位としてピレンまたはペリレンを持つ化合物 **7~9** を合成し、その吸収・蛍光特性を調べた。ピレノクラウンエーテル **7** がモノマー発光とエキシマー発光の両方を同程度の強度で示す濃度 (10^{-2} M アセトニトリル溶液) に調整し、 Li^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ba^{2+} をそれぞれ添加したところ、クラウンエーテルと金属イオンのサイズに応じてモノマー発光とエキシマー発光の比が変化し、**7**: M^{n+} =1:1 錯体は紫色、2:1 錯体は緑色の蛍光を発することが分かった。**7** ($n=1, 2$) に Pb^{2+} を添加すると蛍光強度は単調に減少した。これは、錯形成による重原子効果に起因するものであり、強発光性 turn-OFF 型の蛍光センサーが開発できたことになる。アセチレンとベンゼン環を介して連結した化合物 **8** のアセトニトリル溶液に金属イオンを添加したところ、吸収・蛍光波長は短波長側にシフトし、蛍光強度が増加することが分かった。特に **8** ($m=4, n=1$) に Mg^{2+} を加えた場合に著しく蛍光強度が増大し、turn-ON 型の強発光性蛍光センサーとして有用であることが分かった。ペリレンにベンゾクラウンエーテルを連結した化合物 **9** を合成し物性を調べたところ、特に **9** ($m=2, n=1$) の溶液に Ba^{2+} を 1 当量添加したところ、吸収帯の長波長シフトと蛍光強度の減少が起こり、それ以上加えると蛍光強度は逆に増大することが明らかになった。これは、**9**: Ba^{2+} =2:1、2:2、1:2 錯体が順に生成し、2:1、2:2 錯体はペリレンのエキシマーを形成するため蛍光強度がいったん減少したものと考えられる。すなわち、**9** は多段階蛍光スイッチ材料の母骨格として有効であることを示すことができた。**7~9** を含む溶液に対してそれぞれ金属イオンの添加と除去を 3~5 回程度繰り返す実験を行ったところ、蛍光色の変化および ON-OFF 応答における蛍光強度はほとんど変化しないことから、十分な繰り返し耐久性を有していると言える。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hajime Maeda, Ryota Ueno, Taniyuki Furuyama, Masahito Segi	4. 巻 392
2. 論文標題 Effects of substituents on absorption and fluorescence properties of trimethylsilylethynyl- and tert-butylethynyl-pyrenes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 112428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2020.112428	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 Hajime Maeda, Makoto Geshi, Kenji Hirose, Taniyuki Furuyama, Masahito Segi	4. 巻 75
2. 論文標題 Synthesis, fluorescence properties, and conformational analysis of ether-linked (1,8)pyrenophanes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tetrahedron	6. 最初と最後の頁 130512
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tet.2019.130512	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 Hajime Maeda, Masayuki Iida, Daisuke Ogawa, Kazuhiko Mizuno	4. 巻 24
2. 論文標題 Enantioselective Protonation of Radical Anion Intermediates in Photoallylation and Photoreduction Reactions of 3,3-Diaryl-1,1-dicyano-2-methylprop-1-ene with Allyltrimethylsilane	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 2677
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules24142677	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 Hajime Maeda, Keigo Nakamura, Taniyuki Furuyama, Masahito Segi	4. 巻 18
2. 論文標題 (1,3)Pyrenophanes containing crown ether moieties as fluorescence sensors for metal and ammonium ions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Photochemical & Photobiological Sciences	6. 最初と最後の頁 2397-2410
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9PP00239A	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 Hajime Maeda, Kazuhiro Tanaka, Mona Aratani, Masahito Segi	4. 巻 95
2. 論文標題 Ethynylpyrene Linked Benzocrown Ethers as Fluorescent Sensors for Metal Ions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Photochemistry and Photobiology	6. 最初と最後の頁 762-772
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/php.13071	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 Hajime Maeda, Kouhei Enya, Naoki Negoro, Kazuhiko Mizuno	4. 巻 374
2. 論文標題 Intramolecular photocycloaddition reactions of 2- and 4-(5-arylpent-4-enyl)-1-cyanonaphthalenes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 173-184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2019.01.033	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 Hajime Maeda, Kenji Hirose, Masahito Segi	4. 巻 204
2. 論文標題 Synthesis of pyrenocrown ethers as fluorescent sensors and their recognition ability of metal ions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Luminescence	6. 最初と最後の頁 269-277
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jlumin.2018.08.032	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 Hajime Maeda, Hiroshi Takayama, Masahito Segi	4. 巻 17
2. 論文標題 Photoinduced three-component coupling reactions of electron deficient alkenes, dienes and active methylene compounds	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Photochemical & Photobiological Sciences	6. 最初と最後の頁 1118-1126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8PP00239H	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 Hajime Maeda, Ko-ichi Nishimura, Ryu-ichiro Hiranabe, Kazuhiko Mizuno	4. 巻 364
2. 論文標題 Synthesis of silicon-containing macrocyclic compounds by using intramolecular [2+2] photocycloaddition reactions of bis-dimethylsilyl-linked styrenes and stilbenes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 472-477
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2018.06.038	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 Hajime Maeda, Tsubasa Suzuki, Masahito Segi	4. 巻 17
2. 論文標題 Effects of Substituents in Silyl Groups on the Absorption, Fluorescence and Structural Properties of 1,3,6,8-Tetrasilylpyrenes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Photochemical & Photobiological Sciences	6. 最初と最後の頁 781-792
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8pp00135a	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 前多 肇	4. 巻 76
2. 論文標題 エキシプレックス	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 有機合成化学協会誌	6. 最初と最後の頁 259-259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5059/yukigoseikyokaishi.76.259	査読の有無 無
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 前多 肇, 水野一彦	4. 巻 76
2. 論文標題 芳香環への光環化付加反応による多環式化合物の合成	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 有機合成化学協会誌	6. 最初と最後の頁 241-254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5059/yukigoseikyokaishi.76.241	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 Hajime Maeda, Hisashi Sakurai, Masahito Segi	4. 巻 2
2. 論文標題 Intramolecular Photoreactions of 9-Cyanophenanthrene-Linked Arylcyclopropanes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 8697-8708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.7b01439	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 Hajime Maeda, Tomomi Akai, Masahito Segi	4. 巻 58
2. 論文標題 Photo-Fries rearrangement of 1-pyrenyl esters	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 4377-4380
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tetlet.2017.10.007	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 Hajime Maeda, Tomokazu Shoji, Masahito Segi	4. 巻 58
2. 論文標題 Effects of substituents on silicon atoms upon absorption and fluorescence properties of 1,3,6,8-tetrakis(silylethynyl)pyrenes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 4372-4376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tetlet.2017.10.008	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 Hajime Maeda, Norihiro Koshio, Yuko Tachibana, Kazuhiko Chiyonobu, Gen-ichi Konishi, Kazuhiko Mizuno	4. 巻 349
2. 論文標題 Diastereoselective photocycloaddition reactions of 2-naphthalenecarboxylates and 2,3-naphthalenedicarboxylates with furans governed by chiral auxiliaries and hydrogen bonding interactions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 7-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2017.08.052	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 Hajime Maeda, Shinsuke Endo, Takashi Ouchi, Kazuhiko Mizuno, Masahito Segi	4. 巻 46
2. 論文標題 Synthesis and Conformational Analysis of 2,11-Dioxo[3.3]metacyclophanes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1357-1360
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.170527	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28件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 橋本陽奈, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 ペリレンとベンゾクラウンエーテルを連結した分子による金属イオン認識型蛍光センサーの開発
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 松原良太郎, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 ピレンとアルケンをオリゴエチレングリコール鎖で連結した化合物の蛍光と光反応
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 柳本雅也, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 3位にアルケニル基を有する2-シアノナフタレン誘導体の分子内光環化付加反応
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 松原良太郎, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 ピレンとシナモニトリルをオリゴエチレングリコール鎖で連結した化合物の蛍光と光反応
3. 学会等名 日本化学会近畿支部2019年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中田梨香子, 松野 佑, 濱塚明宣, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 並列構造の制御によるピレンの分子内エキシマー発光の最適化と長波長化
3. 学会等名 2019年度有機合成化学北陸セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柳本雅也, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 3位にオキサアルケニル基を導入した2-シアノナフタレン誘導体の分子内光環化付加反応
3. 学会等名 2019年度有機合成化学北陸セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山先健太, 國松祐希, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 ナフトニトリル誘導体と電子求引基を有する芳香族アルキンとの光環化付加反応
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中田梨香子, 松野 佑, 濱塚明宣, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 ピレンの並列構造の制御による分子内エキシマー発光の最適化と長波長化
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本陽奈, 田中一弘, 荒谷萌菜, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 エチニルピレン ベンゾクラウンエーテル連結系分子による金属イオン認識型蛍光センサーの開発
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松原良太郎, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 ピレンとアルケンをオリゴエチレングリコール鎖で連結した化合物の蛍光と光反応
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柳本雅也, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 3位にオキサアルケニル基を有する2-シアロナフタレン誘導体の分子内光環化付加反応
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 二重作亮太, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 メチレン鎖で架橋した(2,7)ピレノファンの合成、蛍光、分子認識
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 中田梨香子, 松野 佑, 濱塚明宣, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 1,8-ビス(ピレン-1-イルエチニル)ピフェニレン類の合成とその分子内エキシマー発光
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 山先健太, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 シアノナフタレン類への芳香族シアノアルキンの光環化付加反応
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 二重作亮太, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 メチレン鎖で架橋した(2,7)ピレノファンの合成、蛍光、分子認識能
3. 学会等名 平成30年度有機合成化学北陸セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 飯井滉也, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 フェナントリルエステルの光フリース転位反応
3. 学会等名 平成30年度有機合成化学北陸セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 工保優太, 中嶋亮太, 水野一彦, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 ナフタレン環の1,8a位へのアルケンの分子内光環化付加反応の開発
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 二重作亮太, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 メチレン鎖で架橋した(2,7)ピレノファンの合成と蛍光特性
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 飯井滉也, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 フェナントリルエステルの光フリース転位
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中田梨香子, 松野 佑, 濱塚明宣, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 1,8-ビス(ビレン-1-イルエチニル)ピフェニレン類の合成とその分子内エキシマー発光
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山先健太, 國松裕希, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 シアロナフタレン類への芳香族シアノアルキンの光環化付加反応
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 工保優太, 中嶋亮太, 水野一彦, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 ナフタレン環の1,8a位へのアルケンの分子内光環化付加反応の開発
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 飯井滉也, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 フェナントリルエステルの光フリース転位
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 Kazuhiko Mizuno, Jiro Noguchi, Momoe Nakano, Yasuhiro Nishiyama, Hajime Maeda, Kiyomi Kakiuchi
2. 発表標題 Regioselective Intramolecular [2+2] Photocycloaddition of 1-Cyanonaphthalenes Bearing Cycloalkenyl Groups Using Flow Microreactor
3. 学会等名 The First International Conference on Automated Flow and Microreactor Synthesis (ICAMS-1) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 斉藤元暉, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 オリゴエチレングリコール鎖で架橋した(1,6)ピレノファン類の合成と蛍光特性
3. 学会等名 平成29年度有機合成化学北陸セミナー
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 斉藤元暉, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 オリゴエチレングリコール鎖で架橋した(1,6)ピレノファン類の合成と蛍光特性
3. 学会等名 第34回有機合成化学セミナー
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 瀬川健太, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 3-(ピレン-1-イル)アクリル酸エステルの分子内および分子間光二量化反応
3. 学会等名 第28回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 工保優太, 中嶋亮太, 水野一彦, 古山溪行, 千木昌人, 前多 肇
2. 発表標題 ナフタレン環の1,8a位へのアルケンの分子内光環化付加反応の開発
3. 学会等名 第28回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 前多 肇, 他42名	4. 発行年 2018年
2. 出版社 (株)化学同人	5. 総ページ数 436
3. 書名 光化学フロンティア: 未来材料を生む有機光化学の基礎	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>金沢大学理工研究域物質化学系応用化学コース精密有機合成化学研究室ホームページ http://kohka.ch.t.kanazawa-u.ac.jp/lab4/lab4.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
研究分担者	千木 昌人 (Segi Masahito) (90135046)	金沢大学・物質化学系・教授 (13301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	古山 溪行 (Furuyama Taniyuki) (30584528)	金沢大学・物質化学系・准教授 (13301)	削除：2018年2月22日