

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：32686
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2020～2022
課題番号：20K05653
研究課題名(和文) 顕微分光計測を駆使した三重項-三重項消滅アップコンバージョン固体系の空間分解分析

研究課題名(英文) Spatially-resolved analysis of triplet-triplet annihilation photon upconversion solid-state systems using spectromicroscopy

研究代表者
三井 正明(Mitsui, Masaaki)

立教大学・理学部・教授

研究者番号：90333038
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：三重項-三重項消滅アップコンバージョン(TTA-UC)は、太陽光程度の光強度でも機能する光エネルギー変換手法である。固体状態でUCの高効率化が実現できれば、太陽電池をはじめとする太陽光駆動デバイスの効率向上に繋がるものと期待されている。本研究では、このような課題に対して計測主導型のアプローチを試みた。具体的には、顕微分光計測に基づく空間分解分析を、TTA-UC現象を示す有機複合結晶や有機-無機複合結晶系に適用した。1分子計測によって装置の光子検出効率を精密評価し、増感剤と消滅体の存在量やTTA-UCに関わる素過程の時定数・効率の空間不均一性を可視化する方法論を確立することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
高効率かつ太陽光強度で機能するフォトンアップコンバージョン(PUC)固体材料の開発は、PUCにおける最重要課題の一つである。本研究では、顕微分光計測に基づく空間分解分析を、PUC現象を示す有機複合結晶や有機-無機複合結晶に適用することにより、微結晶中における増感剤と消滅体の存在量やPUCに関わる素過程の時定数・効率の空間不均一性を可視化する方法論を確立した。このような評価手法は、PUC固体内で起こるPUCの微視的理解を深化させる(=学術的意義)だけでなく、より優れたPUC固体系の開発を促進し、太陽駆動デバイスの高効率化やセンサーへの応用へと繋がっていくこと(=社会的意義)が期待される。

研究成果の概要(英文)：Triplet-triplet annihilation upconversion (TTA-UC) is a photoenergy conversion technique that can function even with light intensities as low as sunlight. If high UC quantum yields are achieved in solid-state samples, it is expected to improve the efficiency of solar-driven devices such as solar cells and photocatalysis. In this study, we attempted a measurement-driven approach to address this issue. Specifically, we applied spatially-resolved analysis based on emission spectromicroscopy to organic-organic/organic-inorganic composite microcrystals exhibiting TTA-UC emission. By precisely evaluating the photon detection efficiency of TTA-UC apparatus using single molecule measurements, the amounts of sensitizer/annihilator, the time constants and quantum yields of triplet energy transfer between sensitizer and annihilator in the microcrystals were successfully visualized for the first time.

研究分野：光物理化学

キーワード：フォトンアップコンバージョン 三重項状態 エネルギー移動 顕微分光分光 三重項-三重項消滅 項間交差

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

フォトンアップコンバージョン (UC) とは、試料に入射した光の波長をそれよりも短い波長へと変換する技術である。とりわけ、励起三重項状態間の三重項-三重項消滅 (TTA) 過程に基づく UC (TTA-UC) は、太陽光レベルの弱い光強度 ($<0.1 \text{ W/cm}^2$) でも高効率な UC を実現できる光エネルギー変換手法として注目を集めている。TTA-UC では、増感剤分子 (D) の強い光吸収と長寿命の励起三重項状態 ($^3\text{D}^*$, $^3\text{A}^*$) というエネルギーを蓄積できる状態の利用により高効率な UC を実現でき、脱気した溶液系においては UC 効率 (Φ_{UC}) が最大理論効率 50% に迫る系が報告されている。このような TTA-UC を利用して太陽光スペクトルの数 10% を占める近赤外領域の光を可視光に効率良く変換できれば、太陽電池や光触媒などの太陽光駆動デバイスの実効効率を向上させることができると期待されている。このような応用には、固体状態で高い変換効率を示す系の開発が必要不可欠であり、近年、TTA-UC を示す固体系に関する研究が活発化している。しかしながら、これまで報告されている近赤外光-可視光変換の効率はほとんど系において 1% にも達していないのが現状である。また、太陽光に含まれる近赤外光の強度 ($1\text{--}10 \text{ mW/cm}^2$) 条件で TTA-UC を誘起することはいずれの系においても実現できていない。TTA-UC を示す固体系として、高分子膜中に増感剤分子と発光体分子を分散させた系や発光体分子結晶に増感剤分子を分散させた系などが報告されているが、いずれの場合もマトリクス中に増感剤分子を分散させるため、その分散量や分散具合 (凝集の有無など) が Φ_{UC} や UC しきい励起強度 (I_{th}) に多大な影響を及ぼす。このように固体系では Φ_{UC} や I_{th} などの UC 特性に大きな空間不均一性が存在することが想定されるが、現状では溶液系 (均一系) の場合と同様の巨視的な評価が行われており、不均一性の影響が平均化されたデータをもとに議論が行われている。よって、

微視的スケールで UC 特性に影響を及ぼす要因を定量的に特定できれば、固体系の TTA-UC に対する理解がさらに進展し、高効率化へと繋げていくことができるはずである。固体 (凝集) 状態における TTA-UC では、図 1 に示すように三重項-三重項励起エネルギー移動 (TET)、三重項励起子拡散 (TED)、三重項-三重項消滅 (TTA) といった分子間過程が、空間不均一に競合・連動しながら起こっている。そのような不均一複雑系の光物理過程を理解していく上で、空間分解した分光分析が有効と考えられるが、研究開始当初の段階では、TTA-UC の評価法として全く活用されていなかった。

2. 研究の目的

上記の研究背景を踏まえ本研究では、研究代表者がこれまでに培ってきた顕微発光分光計測技術と発光解析技術を駆使して、TTA-UC を示す有機複合微結晶や有機-無機複合固体膜の空間分解分光分析を実施する。計測データの速度論・統計解析に基づいて、TTA-UC に関わる様々なパラメーター (増感剤分子および発光体分子の存在量、三重項エネルギー移動効率など) のマッピング化する方法を確立し、異なるパラメーター間の相関解析を実施することで、固体試料における UC 効率の空間不均一性がどのような要因に基づいて生じているかを明らかにすることを

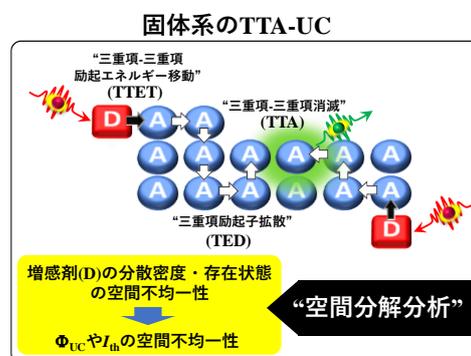


図 1. 固体系における三重項-三重項消滅フォトンアップコンバージョン (TTA-UC) の模式図の本研究の空間分解分析アプローチ

目的とした。

3. 研究の方法

(1) 研究対象とした系

本研究では、図2に示す金属ポルフィリンの1種である PdTPBP を三重項増感剤、9,10-ジフェニルアントラセン (DPA) または炭素数7つのアルキル鎖でアントラセン骨格が保護 (ストラップ) された C7-sDPA を消滅体 (発光体) として選択し、それらを混合させた微結晶試料の空間分解分析を、レーザー走査顕微発光分光装置を用いて行った。

(2) 固体試料作製

PdTPBP 増感剤と DPA (または C7-sDPA) 消滅体を物質量比 1:10⁵ で含んだ THF 溶液を調製した。その溶液を 100°C に加熱したカバーガラス基板の上に 5 μL 滴下し、瞬時に乾燥させることで微結晶を作製した。滴下キャストするという簡便な方法を採用した。

(3) 発光イメージング測定

図3に示すレーザー走査発光顕微分光計測のセットアップを用いて、試料基板の発光イメージング・発光スペクトル・発光寿命の測定を行った。また、本装置の検出感度を正確に評価するため、単一分子の蛍光計測も同一条件で行った。なお、励起光源には、PdTPBP 増感剤を励起するための連続 (640 nm)・パルス (634 nm) 光源あるいは DPA (または C7-sDPA) 消滅体を励起するための 405 nm の連続・パルス光源を用いた。発光イメージング測定では、連続レーザー光源を油浸対物レンズ (開口数: 1.4) で回折限界まで集光し、集光スポットを試料上でラスタースキャンすることで取得した。

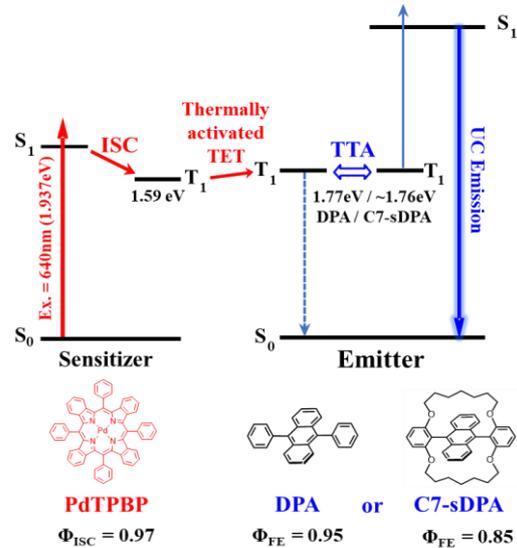


図2. PdTPBP 増感剤と DPA および C7-sDPA 消滅体のエネルギー準位図

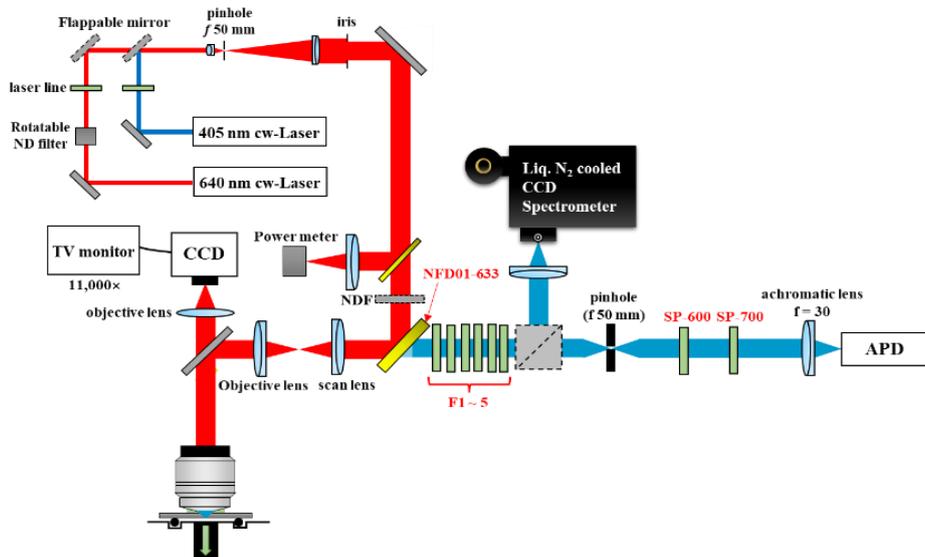


図3. 微結晶試料の空間分解分析のためのレーザー走査発光顕微分光装置のセットアップ。F1~5: 励起光の散乱をブロックするためのロングパスフィルターおよびノッチフィルター

(4) 速度論モデルの構築

本研究における顕微計測の条件では、通常の測定よりもけた違いに高い励起速度 ($k_{ex} = 10^5 \sim 10^6$ s^{-1}) で測定を行うため、このことを考慮して TTA-UC の速度方程式を解く必要がある。導出の詳細は割愛するが、このような高励起速度条件では単位時間あたりに試料から放出される UC 光子放出速度 (P_{UC}) は次式のように表される。

$$P_{UC} = \frac{1}{2} \Phi_{ISC} \Phi_{TET} \Phi_{TTA} \Phi_{FE} \frac{1}{\tau_{3S} \Phi_{ISC} + k_{ex}^{-1}} N_S \quad (1)$$

上式において、増感剤の項間交差量子収率 Φ_{ISC} 、消滅体の TTA 量子収率 Φ_{TTA} および蛍光量子収率 Φ_{FE} は既知の系を対象としているので、顕微光照射スポット (直径: ~ 200 nm) 内に存在する増感剤分子の個数 N_S および三重項エネルギー移動効率 Φ_{TET} のみをパラメーターとして取り扱うことができる。よって、式 1 を用いて UC 発光強度の励起速度依存性の実測データを最小二乗フィットすることで、微小領域の N_S 、 τ_{3S} および Φ_{TET} を決定することができる。一方、発光体を直接励起する場合、励起速度を $1 \sim 10$ s^{-1} という低い条件に設定すると、単位時間あたりに試料から放出される蛍光光子放出速度 P_f は次式のように表される。

$$P_f = \Phi_{FE} N_E k_{ex} \quad (2)$$

消滅体の蛍光量子収率 Φ_{FE} は既知なので、蛍光強度の励起速度依存性の実測データを式 2 で最小二乗フィットすることで、顕微光照射スポット内の発光体分子の個数 N_E を決定することができる。

4. 研究成果

PdTPTBP/DPA または C7-sDPA 混合微結晶の 10^{-9} cm^2 程度の局所領域において、増感剤の励起によって観測された UC 発光強度および発光体の直接励起によって観測された蛍光強度の励起速度依存性の測定例 (測定した箇所は図中の発光イメージにおける矢印部分) を図 4 示す。また、これらを式 1 および式 2 でそれぞれを最小二乗フィットした結果を実線 (赤) で示す。例示した 4 つのプロットはいずれも決定係数 R^2 が 0.99 以上で導出した式で良好に再現され、 N_S や N_E などの各パラメーターを精度よく決定することができた。一般的な UC 発光強度の励起速度依存性の両対数プロットでは、2 光子過程 (傾き 2) から擬 1 光子過程 (傾き 1) に変化する TTA 過程の励起速度依存性を反映した特徴的な挙動が観測される。しかしながら、顕微測定における高励起速度条件では、励起速度に対する依存性は傾き 1 の状態から観測され、次第に傾きが 1 よりも小さくなっていくことが確認された。この現象は、増感剤分子を励起する速度が、増感剤分子の基底状態への失活速度 ($\sim 10^4$ s^{-1}) に匹敵もしくはより大きく

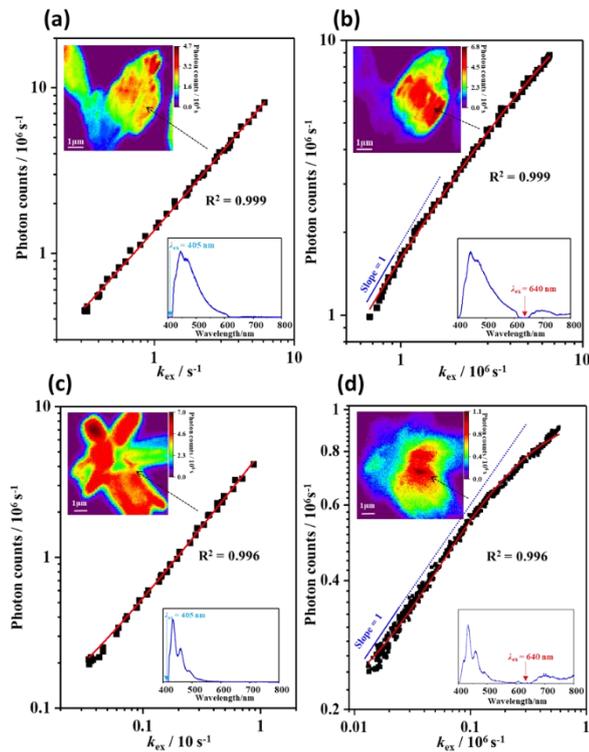


図 4. (a,b) PdTPTBP/DPA および (c,d) PdTPTBP/C7-sDPA 混合微結晶の局所位置における (a,c) 即発蛍光 ($\lambda_{ex} = 405$ nm) と (b,d) UC 発光 ($\lambda_{ex} = 640$ nm) の励起速度依存性。パネル a および b の挿入図は、即発蛍光および UC 発光の 2 次元マップとスペクトル。

から観測され、次第に傾きが 1 よりも小さくなっていくことが確認された。この現象は、増感剤分子を励起する速度が、増感剤分子の基底状態への失活速度 ($\sim 10^4$ s^{-1}) に匹敵もしくはより大きく

なることに起因した飽和挙動と考えられる。上記のような解析を微結晶全体に適用することで、結晶中の増感剤分子の個数 N_S と発光体分子の個数 N_E を 2 次元マッピングすることに成功した (図 5)。各混合微結晶の発光イメージを解析することにより得られた三重項エネルギー移動効率 Φ_{TET} は、どちらの微結晶でも全域にわたってほぼ 100%の効率で TET が起こっていることが確認された。溶液中での Φ_{TET} は PdTPBP/DPA 系では 47%、PdTPBP/C7-sDPA 系では 7%と小さいことを踏まえると、結晶中では発光体間の分子間相互作用によって発光体の T_1 状態が安定化するため、増感剤から発光体への TET がエネルギー的に起きやすくなったことや、増感剤が複数の発光体と常に接触していることなどが要因として考えられる。

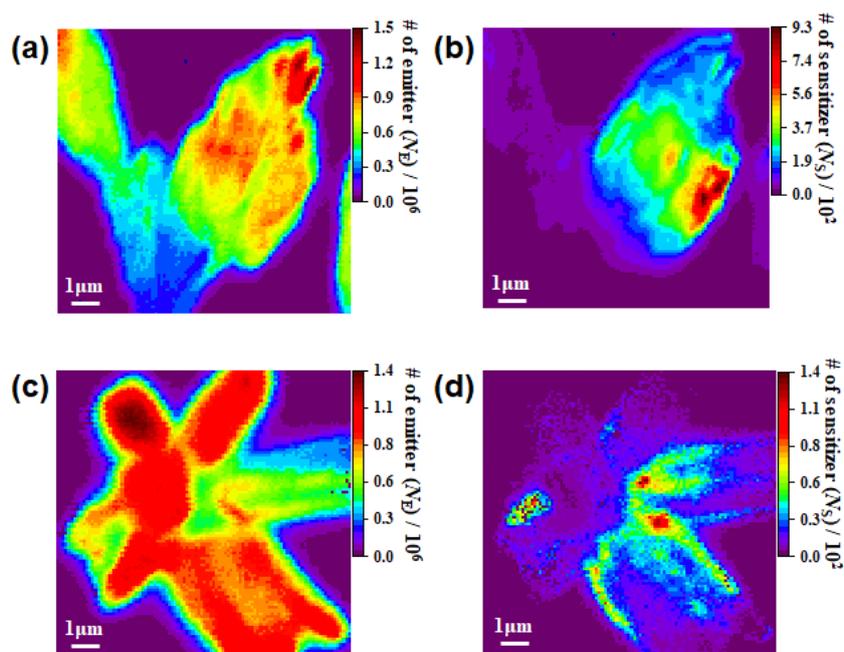


図 5. (a,b) PdTPBP/DPA 微結晶および(c,d) PdTPBP/C7-sDPA 微結晶における発光体分子と増感剤分子の個数の 2 次元マッピング。

以上のように本研究では、TTA-UC を示す固体材料をサブマイクロメートルの空間分解能で分光分析する方法論を新たに確立した。この手法は、TTA-UC 固体試料における増感剤・発光体分子の個数や三重項エネルギー移動効率を定量的に 2 次元マッピング化することを可能とし、それらのパラメーターのヒストグラム化やパラメーター間の相関を明らかにすることができる。このような試料の空間分解分析から得られる大量の微視的・統計的情報は、固体試料の作製条件の改善・最適化を進める上で非常に有益なものであり、UC 研究の最重要課題の 1 つである高効率な近赤外光-可視光変換を行う固体系の開発にも大いに貢献することが期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hironori Matsuki, Keisuke Okubo, Yuta Takaki, Yoshiki Niihori, Masaaki Mitsui, Eiichi Kayahara, Shigeru Yamago, Kenji Kobayashi	4. 巻 60
2. 論文標題 Synthesis and Properties of a Cyclohexa-2.7-Anthrylene Ethynylene Derivative	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 998-1003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202012120	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 Yoshiki Niihori, Yuki Wada, Masaaki Mitsui	4. 巻 60
2. 論文標題 Single Platinum Atom Doping to Silver Clusters Enables Near-infrared-to-Blue Photon Upconversion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 2822-2827
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202180661	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 Masaaki Mitsui, Yushiro Nakagome, Yoshiki Niihori, Shota Inoue, Yutaka Fujiwara, Kenji Kobayashi	4. 巻 13
2. 論文標題 Starburst-Shaped D - - A Chromophores Possessing a Hexaethynylbenzene Core for Dye-Sensitized Solar Cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials&Interfaces	6. 最初と最後の頁 35739-35749
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscami.1c08431	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 Masaaki Mitsui, Yasushi Takakura, Kazuya Hirata, Yoshiki Niihori, Yutaka Fujiwara, Kenji Kobayashi	4. 巻 125
2. 論文標題 Excited-State Symmetry Breaking in a Multiple Multipolar Chromophore Probed by Single-Molecule Fluorescence Imaging and Spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 9950-9959
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c04915	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 Daichi Arima, Yoshiki Niihori, Masaaki Mitsui	4. 巻 10
2. 論文標題 Unravelling the origin of dual photoluminescence in Au ₂ Cu ₆ clusters by triplet sensitization and photon upconversion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 4597-4606
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1TC04591A	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 Masaaki Mitsui, Yuki Wada, Ryoto Kishii, Daichi Arima, Yoshiki Niihori	4. 巻 -
2. 論文標題 Evidence for triplet-state-dominated luminescence in biicosahedral superatomic molecular Au ₂₅ clusters	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanoscale	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) 10.1039/D2NR00813K	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 新堀佳紀, 三井正明	4. 巻 52(2)
2. 論文標題 チオラート保護貴金属クラスターの光物理：その理解の現状と応用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 光化学	6. 最初と最後の頁 67-74
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 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 Hironori Matsuki, Keisuke Okubo, Yuta Takaki, Yoshiki Niihori, Masaaki Mitsui, Eiichi Kayahara, Shigeru Yamago, Kenji Kobayashi	4. 巻 60
2. 論文標題 Synthesis and Properties of a Cyclohexa-2,7-Anthrylene Ethynylene Derivative	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 998-1003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202012120	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 Masaaki Mitsui, Kyosuke Mori, Reina Kobayashi	4. 巻 13
2. 論文標題 Quantification of Dyes Generating Photocurrent and/or Photoluminescence in Dye-Sensitized Solar Cells Using Laser Scanning Microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 1866
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/en13081866	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 Mitsui Masaaki, Arima Daichi, Kobayashi Yuki, Lee Eunji, Niihori Yoshiki	4. 巻 10
2. 論文標題 On the Origin of Photoluminescence Enhancement in Bicosahedral Ag _x Au _{25-x} Nanoclusters (x = 0-13) and Their Application to Triplet-Triplet Annihilation Photon Upconversion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 2200864
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.202200864	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 Mitsui Masaaki, Arima Daichi, Uchida Atsuki, Yoshida Kouta, Arai Yamato, Kawasaki Kakeru, Niihori Yoshiki	4. 巻 13
2. 論文標題 Charge-Transfer-Mediated Mechanism Dominates Oxygen Quenching of Ligand-Protected Noble-Metal Cluster Photoluminescence	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 9272 ~ 9278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.2c02568	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 Arima Daichi, Mitsui Masaaki	4. 巻 145
2. 論文標題 Structurally Flexible Au ₂ Cu Alloy Nanoclusters Enabling Efficient Triplet Sensitization and Photon Upconversion	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 6994 ~ 7004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.3c00870	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 三井正明, 有馬大地、内田惇木、吉田航多、荒居大和、新堀佳紀	4. 巻 21
2. 論文標題 配位子保護貴金属クラスターにおける励起状態の三重項性と酸素消光	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ナノ学会会報	6. 最初と最後の頁 61 ~ 69
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 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 -

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 新堀佳紀, 和田悠幹, 三井正明
2. 発表標題 チオラート保護銀クラスターを三重項増感剤に用いた近赤外-青色光アップコンバージョン
3. 学会等名 ナノ学会第19回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 有馬大地, 新堀佳紀, 三井正明
2. 発表標題 配位子保護Au ₂ Cu ₆ クラスターにおける励起三重項状態生成に関する研究
3. 学会等名 ナノ学会第19回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 有馬大地, 新堀佳紀, 三井正明
2. 発表標題 配位子保護Au ₂ Cu ₆ クラスターの凝集誘起発光
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荒居 大和, 新堀 佳紀, 三井 正明
2. 発表標題 チオラート保護Ag ₂₅ クラスターの光アップコンバージョン特性に対する異原子ドーピング効果
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 直也, 新堀 佳紀, 三井 正明
2. 発表標題 チオラート保護Ag ₂₉ クラスターによる三重項増感と光アップコンバージョン
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三井 正明, 小林 有希, 有馬 大地, 新堀 佳紀
2. 発表標題 高発光性Ag ₁₃ Au ₁₂ クラスターの発光過程における三重項性の寄与
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新堀 佳紀, 内田 惇木, 三井 正明
2. 発表標題 白金ドープ銀クラスターの光アップコンバージョン特性に対する配位子の影響
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田 悠幹, 新堀 佳紀, 吉波 拓巳, 小林 健二, 三井 正明
2. 発表標題 配位子保護金クラスターを三重項増感剤に用いた光アップコンバージョン
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高山 竜一, 有馬 大地, 新堀 佳紀, 吉波 拓巳, 小林 健二, 三井 正明
2. 発表標題 蛍光性有機配位子保護Au ₂ Cu ₆ クラスターの創製と光アップコンバージョン
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 有馬 大地, 新堀 佳紀, 三井 正明
2. 発表標題 Au ₂ Cu ₆ クラスターの励起状態緩和過程に対するホスフィン配位子の影響
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林健二・永島広大・米谷樹・松木洋憲・河合信之輔・新堀佳紀・三井正明・茅原栄一・山子茂
2. 発表標題 環状ヘキサ-2,7-(4,5-ジアリール)アントリレンエチニレン誘導体の合成と性質
3. 学会等名 第52回 中部化学関係学協会支部連合秋季大会(静岡)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 米谷樹・松木洋憲・新堀佳紀・三井正明・茅原栄一・山子茂・小林健二
2. 発表標題 ブタジインで一部置換した環状ヘキサ-2,7-アントリレンエチニレン誘導体の合成と[10]CPP 包接
3. 学会等名 2021年日本化学会春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋直也、新堀佳紀、三井正明
2. 発表標題 Ag25クラスターの光物性に対するカウンターイオンの影響
3. 学会等名 ナノ学会第18回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高山竜一、新堀佳紀、三井正明
2. 発表標題 Ag29クラスターの発光性・平衡特性に対するホスフィン第二配位子の効果
3. 学会等名 ナノ学会第18回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 米谷樹、松木洋憲、新堀佳紀、三井正明、茅原栄一、山子茂、小林健二
2. 発表標題 ブタジインで一部置換した環状ヘキサ-2,7-アントリレンエチニレン誘導体の合成と[10]CPP包接
3. 学会等名 日本化学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 有馬大地、新堀 佳紀、三井 正明
2. 発表標題 配位子保護Au-Cu合金クラスターにおける励起状態緩和の全容解明 - 光アップコンバージョン解析によるアプローチ -
3. 学会等名 ナノ学会第20回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新堀佳紀、内田惇木、三井正明
2. 発表標題 配位子保護金属クラスターの励起状態の解明と三重項増感剤としての利用
3. 学会等名 ナノ学会第20回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 有馬大地、高山竜一、新堀佳紀、吉波拓巳、小林健二、三井正明
2. 発表標題 発光体配位子保護 Au-Cu 合金クラスターを増感剤に用いた高効率フォトンアップコンバージョン
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内田惇木、荒居大和、新堀佳紀、三井正明
2. 発表標題 正二十面体Pt@Ag ₁₂ コアを有する配位子保護銀クラスターによる三重項増感とフォトンアップコンバージョン
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 有馬大地、新堀佳紀、三井正明
2. 発表標題 Au-Cu合金クラスターにおける三重項生成とその光アップコンバージョン応用
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渋谷大志、有馬大地、吉波拓巳、小柳津竜一、小林健二、三井 正明
2. 発表標題 三重項トランスマッター配位子を導入したAu ₂ Cu ₆ クラスターによる固体系フォトンアップコンバージョン
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荒居大和、渋谷大志、新堀佳紀、三井 正明
2. 発表標題 配位子保護PtAg ₂₄ クラスターによる三重項増感とフォトンアップコンバージョン
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田航多、有馬大地、内田惇木、新堀佳紀、三井正明
2. 発表標題 三重項融合アップコンバージョン解析によるAu ₁₃ クラスターの三重項性の解明
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 米谷樹、新堀佳紀、三井正明、茅原栄一、山子茂、小林健二
2. 発表標題 環状ヘキサ-2,7-(4,5-ジアリール)アントリレンエチニレン誘導体による C60@[10]CPP の包接
3. 学会等名 第32回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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