

令和 3 年 4 月 12 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K14189

研究課題名（和文）環状オリゴ糖を基盤とする光捕集アンテナの創製と人工光合成への応用

研究課題名（英文）Development of light-harvesting antennas based on cyclic oligosaccharide and the application for artificial photosynthesis

研究代表者

重光 孟（Shigemitsu, Hajime）

大阪大学・工学研究科・助教

研究者番号：00791815

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、高効率で光を吸収する光捕集アンテナを合成し、その内部に光機能性分子を取り込んだ超分子複合体を創出し、光エネルギーの捕集・集約・変換を目指した。シクロデキストリンなどのホスト分子に、複数の有機色素を修飾した分子を設計、合成することに成功した。これらの光捕集アンテナとしての機能を評価した結果、特異な光物性を有する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

我々は、天然の光合成によって地球に蓄えられたエネルギーを消費して経済活動を行っている。太陽光エネルギーを化学や電気エネルギーへと変換可能なシステムの研究・開発は、今後も欠かすことができない。本研究によって創出した光捕集アンテナ分子は、光エネルギーの高効率変換へと繋がり、現状の化石燃料に依存した社会からの脱却を可能にすることが期待される。

研究成果の概要（英文）：We synthesized light-harvesting antennas consisting of cyclic oligosaccharide with high light absorption property and constructed supramolecular complexes with photo-functional molecules. In this study, the unique photophysical properties of the light-harvesting antennas were clarified.

研究分野：超分子化学、光化学、有機材料化学

キーワード：シクロデキストリン 光捕集 円偏光発光 エネルギー移動

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

石油の枯渇や二酸化炭素濃度上昇による地球温暖化が懸念され、化石燃料に変わるエネルギー資源の開発が急務となっている。太陽光エネルギーは、クリーンかつ莫大なエネルギー量を秘めているため、次世代エネルギーの有力な候補であり、人工光合成に関する研究が活発に行われている。しかしながら、地上に降り注ぐ太陽光は弱く、人工光合成を実用化するためには光捕集能の向上や効率的なエネルギー変換が必要である。天然の光合成では、この課題を『有機色素(クロロフィル・カロテノイド)が環状に配列した光捕集アンテナ』によって克服している(図1A)。このアンテナ構造は、『有効光吸収断面積の拡張』および『反応中心への100%近い効率でのエネルギー輸送』を実現し、光捕集やエネルギーの利用効率の向上に極めて重要な役割を果たしている。

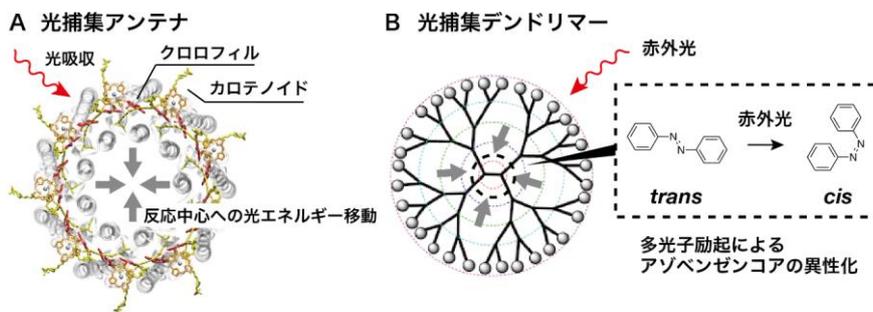


図1. (A) 天然の光捕集アンテナおよび (B) 光捕集デンドリマー

この優れた光合成システムに触発され、デンドリマーなどによる人工光捕集アンテナの研究が活発に行われてきた。これまでにデンドリマーの光アンテナ効果によって、赤外光による多光子励起が生じ、アゾベンゼンの異性化が誘起される、という驚くべき研究結果が報告されている(図1B)。この結果は、アンテナ構造は吸収した光エネルギーを一ヶ所に集めるだけではなく、多段階励起などの非線形光学現象を発生させることを示しており、低エネルギー光の有効利用に大きな可能性を秘めていることを示唆している。しかしながら、人工光捕集アンテナの非線形光学効果についての研究は大きく進展しておらず、人工光合成への応用は未開拓である。

本研究では、シクロデキストリン(CD)と有機色素分子からなる『人工光捕集アンテナ(ALH: Artificial Light Harvesting Antenna)』を構築し、ALHとゲスト分子の超分子複合体を用いて、光エネルギーの有効利用方法を開拓する。本研究で用いるALHは有機色素に囲まれたナノ空間を有し、様々な有機色素分子と超分子複合体を構築できる(図2右)。その空間内でゲスト分子は、『多数の有機色素と近接した多重共鳴エネルギー移動に理想的な環境』にあるため、複数のエネルギー移動が高速かつ高効率で起こり、多段階励起によるフォトン・アップコンバージョンなどの発生が期待される(図2)。その結果、有機薄膜太陽電池や酸化チタン(TiO₂)への修飾が容易となり、人工光合成の効率化に大きく寄与すると期待される。

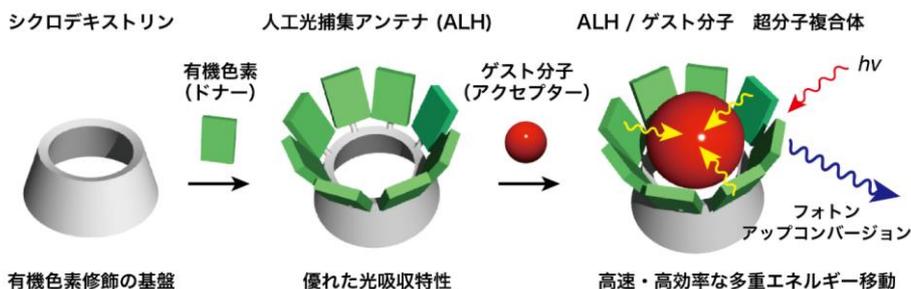


図2. 本研究の概要：人工光捕集アンテナの創製とフォトン・アップコンバージョン

2. 研究の目的

石油や天然ガスなどの有限のエネルギーに依存している人類にとって、太陽光などの新たなエネルギー源の開拓と利用は必須の課題である。そのため、太陽光を電気や化学エネルギーへと変換する『人工光合成』が活発に研究されている。しかしながら、その実用化に向けて、光の捕集能やエネルギー変換効率の向上が大きな課題となっている。本研究では、高効率に光を捕集し、そのエネルギーを一点に集約できる『人工光捕集アンテナ』を創出し、光エネルギーの革新的な利用技術を開拓する。本研究では、シクロデキストリン(CyD)を基盤とした光捕集アンテナの合成方法の確立に成功し、光物性を評価した。合成した光捕集アンテナは、優れた吸光特性を示し、円偏光発光特性を有していることが明らかとなった。また、クマリン色素であるパシフィ

ックブルー(PB)を修飾した CyD 誘導体は優れた耐光性を有しており、それらは細胞内でも良好な光耐性を示すことも明らかとなった。

3. 研究の方法

3. 1 人工光捕集アンテナの設計と合成

本研究では、種々の ALH を設計・合成して、光・電子物性の評価を行った。CyD は紫外・可視領域の光吸収がなく透明であるため、環状分子の中でも人工光捕集アンテナの基盤として非常に魅力的であり、安価で様々なサイズの CD が大量に入手可能である。さらに、CD は反応性の異なる修飾可能部位を複数有しているために、分子間距離や配向の異なる多様な ALH の合成も可能である。また、CD の分子包接能は十分に研究されており、ゲスト分子の取り込みも確実に見込める。上記の理由によって、CD を基盤とした ALH という、本研究の着想に至った。カリックスアレーンやピラーアレーンなど、数々の環状分子の研究が活発に行われているが、それらを光アンテナの基盤として用い、非線形光学現象の発現を目指した研究はほとんど報告されていない。Valeur らは、CD を基盤としてナフタレン型の人工光捕集アンテナを創出し、ゲスト分子への光エネルギー移動の効率がほぼ 100%であることを明らかにしているが、それらを利用したフォトン・アップコンバージョンの発生や人工光合成への応用は全く検討されていない。2001 年以降、彼らの研究グループからの報告はなく、研究は進展していない。

初めに、多環式芳香族化合物(ナフタレン・アントラセン・ピレンなど)やキサンテン色素(ローダミン・フルオレセインなど)などを基盤とする ALH を合成した(図 3)。6 位のヒドロキシ基をアミノ基に変換したアミノシクロデキストリンと色素分子のカルボン酸誘導体を縮合反応することで目的とする ALH を合成することに成功した。立体障害の大きな有機色素は修飾が不可能であるなどの欠点も明らかになったが、市販のシクロデキストリンから 1 段階で所望の光捕集アンテナを合成する合成手法を確立した。多環式芳香族化合物であるピレンやペリレンに加えて、イオン性色素であるパシフィックブルーを修飾した ALH の合成に成功した。また、環サイズやリンカー長の異なる CyD を基盤とした ALH も合成してライブラリーを拡充することができた。

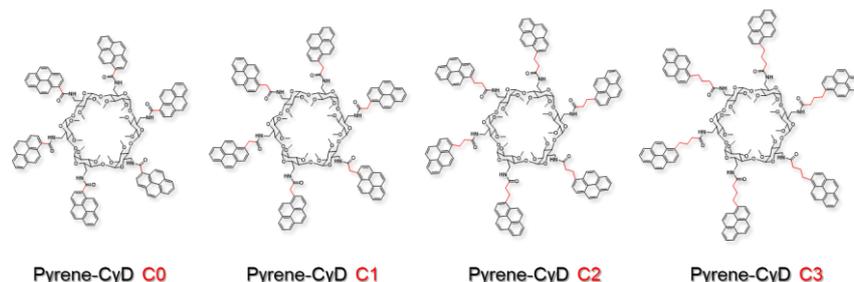


図 3. 様々なリンカー長を有するピレン修飾シクロデキストリン誘導体

3. 2 人工光捕集アンテナの光物性

合成した ALH の光吸収特性、蛍光量子収率・寿命および励起子の非局在化などの光・電子物性について各種分光装置を用いて詳細に評価した。また、PB 修飾シクロデキストリン(PB-CyD)は、PB が CyD 内部に包接されることで活性酸素の発生や高反応性の化学種から保護されるため、耐久性の高い色素となることも見出した(図 4)。研究の目的は異なるが、本研究結果についても報告する。

合成したピレン修飾シクロデキストリン(Py-CyD)の光物性(紫外可視吸収(UV-vis)、蛍光(PL)、円二色性(CD)、円偏光発光(CPL)スペクトル、蛍光量子収率、蛍光寿命)を評価した結果、非常に良好な光吸収および CPL 特性(quantum yield: 0.30, g_{lum} : 1.2×10^{-2})を示すことが明らかとなった。今回、観測された CPL は 2 つのピレンが形成するエキシマー由来であることが明らかとなった。CPL 特性を示すエキシマー種を明らかにするために励起スペクトルを測定した結果、吸収スペクトルとほとんど一致し、静的エキシマーと呼ばれる基底状態でのダイマー構造が重要であることが明らかとなった。基底状態でのダイマー構造を調べるために X 線構造解析を行った結果、シクロデ

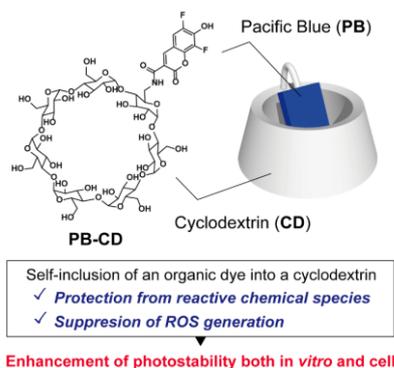


図 4. パシフィックブルー(PB)を修飾したシクロデキストリン(PB-CyD)

キストリン環状の2つのピレンのみがダイマーを組むコンフォメーションを有していることが明らかとなった。CPLの向きは、エキシマーCPL則と合致しており、溶液中においても類似のコンフォメーションを形成していることが示唆された。

空間的に制限されたエキシマーが高い異方性における重要な因子であることを確認するために、リンカー長を伸張したPy-CyD C1-C3も合成した(図3)。それぞれの分子の光物性を評価した結果、リンカー長が増加するにつれて、CPL異方性が低下し、発光団の固定化が非常に重要であることが明らかとなった(図5)。また興味深いことに、リンカー長が奇数か偶数であるかによってCPLの向きが反転する『偶奇効果』を発見した。これは、リンカー長の偶奇によってピレンの重なり方が変化したためである。以上の結果から、ピレン誘導体ALHの優れたキロプティカル特性が明らかとなった。

3.3 シクロデキストリン保護によるクマリン色素の耐光性向上

クマリンは優れた発光特性を有し、バイオイメージングやセンシングに欠かせない分子群である。しかしながら、有機蛍光色素は光照射によって生じる一重項酸素、スーパーオキシド、過酸化水素、ヒドロキシラジカルなどの活性酸素種(ROS: Reactive Oxygen Species)によって酸化されやすく、褪色するために長時間のイメージングや超解像イメージングへの応用が困難であることが課題となっている。

有機蛍光色素は一般に、基底状態にある色素が一重項励起状態に遷移し、景観交差によって三重項励起状態へと遷移する。この状態は、高い反応性とミリ秒オーダーの長い寿命を有するために近傍の化学種と反応する。特に、酸素分子と反応した場合にはROSが発生し、色素分子の褪色を引き起こす。光安定性の高い有機蛍光色素を開発するためにはROS発生および反応の抑制が必要である。

有機蛍光色素の光褪色を抑制するための戦略がいくつか報告されている。1つ目は、色素分子骨格への電子求引基の導入によるLUMO準位の低下である。例えば、トリフルオロメチル基やシアノ基などの電子求引基を分子内に導入することでROSとの反応性が低下し、光安定性が十数倍向上することが報告されている。2つ目は、三重項励起状態をクエンチする置換基の導入である。シクロオクタテトラエン(COT)などのクエンチャーをシアニン色素に導入してROS生成を抑制することで100倍もの光安定性を得ることに成功した例が報告されている。しかしながら、これらの分子は煩雑な合成や光物性の顕著な変化が懸念される。3つ目は立体保護による分子間衝突の抑制である。例えばクルビットウリルの内部空孔にローダミンを包接させることで光安定性が30倍向上することが報告されている。一方で、この超分子は非共有結合によって形成しているために様々な分子が混在する細胞内での利用は困難であることが予想され、実際に細胞内でのイメージング実験は報告されていない。保護の安定性を高めるためには、環状分子と色素を直接結合する必要がある。CyDとシアニン色素を結合した例が報告されているが、CyDの深さが8Åであるのに対してシアニン色素が17Åと大きく、完全に保護されていないため、光安定性の向上は8倍に留まっている。さらに、共焦点レーザー顕微鏡によるバイオイメージングは報告されていない。このような背景のもと、今回合成したクマリン/CyD複合体が優れた光耐性を有するバイオイメージングプローブになると期待して、光耐性を詳細に評価した。

まず、はじめに合成した複合体のクマリンがCyD内部に取り込まれているか、を評価するために2D-NMR測定を行った。その結果クマリンとCyD間に強い相関が観測され、PBがCD内部に包接されていることが示唆された。次に、基礎的な光物性に関する情報を得るために吸収および蛍光スペクトル測定を行った。この比較化合物にはパシフィックブルーエチルアミン(PB-EA)を用いた。これらのPB-EAおよびPB-CDはそれぞれ401 nm, 407 nmにピークを有していた。CyD内部の疎水的な環境が光物性に大きな影響を及ぼすことが知られており、PB-CDのレッドシフトは内部に取り込まれた結果を反映しているものと考えられる。さらに蛍光量子収率はPB-EAが0.98であったのに対して、PB-CDは0.91であり良好な量子収率を保っていた。

次に、光耐性を評価した390 nmの光を照射した後に蛍光強度を測定することで光耐性を評価した。90分間光を照射すると、PB-EAに対してPB-CDは明らかに褪色が抑制されていた(図6)。この分解速度を算出すると 2.0×10^{-2} および $7.3 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ であった。PB-CDは2.8倍耐性

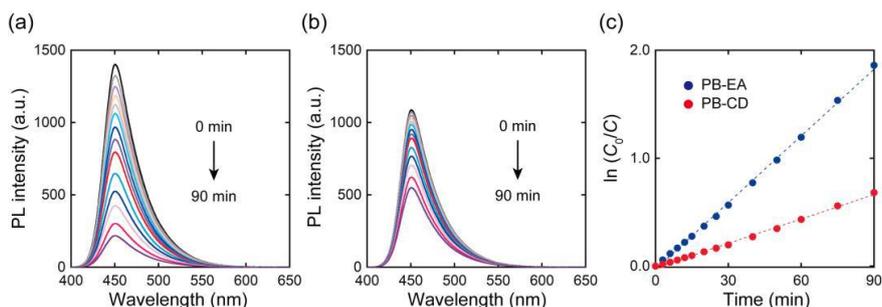


図6. (a) PB-EA および (b) PB-CD の光照射後の蛍光スペクトルと (c) 時間依存性

が向上していることが明らかとなった。この光物性向上の詳細を明らかにするために、様々な ROS を混合して評価を行った。一重項酸素を発生させるためにローズベンガルをもちいた。ローズベンガルは、光照射によって一重項酸素を良好な収率で発生させることを知られている。

(16) ローズベンガルと PB-CD を混合して、ローズベンガルのみを光を照射した結果、PB-EA と PB-CD の両方で光褪色が観測された。それらを速度論解析した結果、PB-EA と PB-CD の分解速度はそれぞれ 7.0×10^{-2} および $3.0 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$ であり 2.3 倍ほど耐性が向上していることが明らかとなった。また、過酸化水素を添加した場合には、 8.7×10^{-3} , $5.4 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ と 1.6 倍向上していた (図 7)。

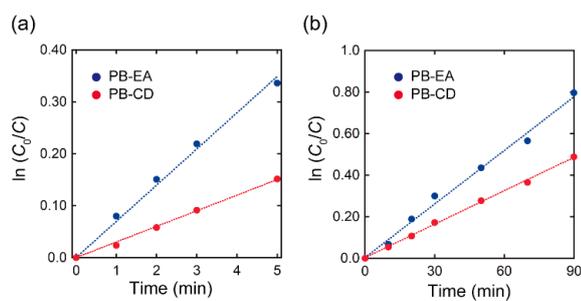


図 7. PB-EA および PB-CD の(a) H_2O_2 および (b) 一重項酸素との反応速度

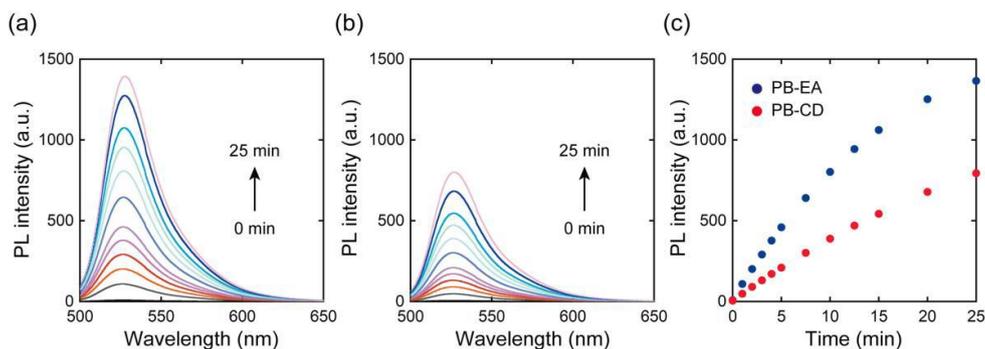


図 8. (a) PB-EA および (b) PB-CD の活性酸素発生評価と (c) 時間依存性

前述したように、有機色素は励起状態を介して ROS を発生させることが知られている。PB-CD においては、酸素との衝突が抑制されるために ROS の発生も抑制できることが期待される。これを評価するために ROS と反応することで蛍光を発する DHR 123 をもちいた。各プローブを混合した後に、光照射を行った後の蛍光強度をプロットした結果、PB-EA が 4.0×10^{-1} , $1.8 \times 10^{-1} \mu\text{mol}/\text{min}$ であった (図 8)。この結果は、CyD の被覆によって 2.2 倍ほど ROS の発生が抑制できたことを示している。CD の被覆は、ROS からの保護だけではなく、ROS の発生も抑制できることが明らかとなった。

3.4 PB-CyD の細胞内における光耐性評価

試験管内での光耐性の向上が確認できたので、次に細胞内部での光耐性を評価することとした。ヒト線維芽細胞 normal human dermal fibroblasts (NHDF) に、PB-EA および PB-CD を加えた結果、ともにエンドソームに集積することが明らかとなった。しかしながら、PB-EA は細胞内には入ることが出来なかった。そこで、ここでは比較化合物として PB-NHS をもちいた。PB-NHS は活性が高く、生体分子と反応して細胞内部に取り込まれることが期待される。実際に、細胞に添加した結果、細胞内に取り込まれてエンドソームに局在することが明らかとなった。

PB-NHS は 10 scan 後に蛍光強度が大きく低下した一方で、PB-CD は十分な蛍光強度を保っていた。PB-NHS は生体分子と反応しているために、厳密には PB-CD と同じ状態であるとは言えないが、生体内での光耐性の向上は、CyD に被覆によるものと考えられる。

4. 研究成果

本研究では、光エネルギーの有効利用を目指して CyD 型の光捕集アンテナの創製に取り組み、様々な光捕集アンテナの創出に成功した。合成した人工光捕集アンテナの光物性について詳細な評価を行ったところ、優れた光吸収特性を有していることが明らかとなった。特に、ある種の光捕集アンテナはエキシマー発光や優れた円偏光発光特性を示すことを明らかにした。さらに、クマリン/CyD 複合体が優れた光耐性を有することを示し、細胞内での挙動も評価することに成功した。

さらに、クマリン誘導体である PB を修飾した CyD は PB 部位が CyD によって保護され、耐久性が向上することが分かった。それらは試験管内だけではなく、細胞内においても可能であることが明らかとなった。一方で、目的とするエネルギーアクセプター分子の包接には至っていない。これらの課題を解決していくことが今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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 Shigemitsu Hajime, Tani Youhei, Tamemoto Tomoe, Mori Tadashi, Li Xinxi, Osakada Yasuko, Fujitsuka Mamoru, Kida Toshiyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Aggregation-induced photocatalytic activity and efficient photocatalytic hydrogen evolution of amphiphilic rhodamines in water	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 11843 ~ 11848
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0sc04285d	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 Shigemitsu Hajime, Matsuda Keigo, Mori Tadashi, Nakatsuji Hiroataka, Matsusaki Michiya, Kida Toshiyuki	4. 巻 9
2. 論文標題 Enhancing Photostability of a Coumarin Dye by Self inclusion into a Cyclodextrin Cavity in Aqueous Solution and Living Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Asian Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 2112 ~ 2115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajoc.202000365	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 Kalaw Justine M., Yamamoto Ryusuke, Kogame Asahara Chizuru, Shigemitsu Hajime, Kida Toshiyuki	4. 巻 85
2. 論文標題 Control of Guest Inclusion and Chiral Recognition Ability of 6-Modified Cyclodextrins in Organic Solvents by Aromatic Substituents at the 2-Position	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemPlusChem	6. 最初と最後の頁 1928 ~ 1933
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cplu.202000522	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 Shigemitsu Hajime, Kubota Ryou, Nakamura Keisuke, Matsuzaki Tomonobu, Minami Saori, Aoyama Takuma, Urayama Kenji, Hamachi Itaru	4. 巻 11
2. 論文標題 Protein-responsive protein release of supramolecular/polymer hydrogel composite integrating enzyme activation systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 3859
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-17698-0	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 Kida Toshiyuki, Teragaki Ayumi, Kalaw Justine M., Shigemitsu Hajime	4. 巻 56
2. 論文標題 Supramolecular organogel formation through three-dimensional α -cyclodextrin nanostructures: solvent chirality-selective organogel formation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 7581 ~ 7584
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0cc02112a	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 Chizuru Kogame-Asahara, Shogo Ito, Hitomi Iguchi, Ai Kazama, Hajime Shigemitsu, Toshiyuki Kida	4. 巻 56
2. 論文標題 Novel molecular tube fully modified at one end: Selective inclusion of cis-unsaturated fatty acid esters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 1353-1356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC08709E	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14件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 重光孟、谷陽平、為本智恵、木田敏之
2. 発表標題 有機色素の自己集合による光触媒機能の発現
3. 学会等名 高分子研究発表会 (神戸)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 重光孟、谷陽平、為本智恵、木田敏之
2. 発表標題 ローダミン誘導体の超分子集合体形成による光触媒機能の発現
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 Tomoe Tanemoto, Hajime Shigemitsu, Tohei Tani, Toshiyuki Kida
2. 発表標題 Development of a supramolecular photocatalyst by self-assembly of a carbocyanine dye
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 川上晃聖、重光孟、梶原陸生、森直、木田敏之
2. 発表標題 シクロデキストリン環上でのピレンエキシマー形成による円偏光発光特性の発現
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 山田慎太郎、重光孟、川上晃聖、森直、木田敏之
2. 発表標題 多環芳香族化合物を修飾したシクロデキストリン誘導体の円偏光発光特性
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 重光孟、谷陽平、為本智恵、木田敏之
2. 発表標題 有機色素の自己集合による光触媒機能の創発
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷陽平、重光孟、為本智恵、木田敏之
2. 発表標題 ローダミン誘導体の超分子集合体の光触媒機能
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 重光孟
2. 発表標題 超分子光触媒：有機色素分子の集合体形成が誘起する光触媒機能
3. 学会等名 グローバル若手研究者フロンティア研究拠点シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 重光孟、谷陽平、為本智恵、木田敏之
2. 発表標題 有機色素分子の自己集合による光触媒機能の発現
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 為本智恵、重光孟、谷陽平、木田敏之
2. 発表標題 超分子光触媒の疎水場を利用した水中におけるアントラセン酸化反応
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田慎太郎、重光孟、川上晃聖、森直、木田敏之
2. 発表標題 蛍光有機色素を修飾したシクロデキストリン誘導体の円偏光発光特性および置換位置効果
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋尾里美、重光孟、為本智恵、谷陽平、木田敏之
2. 発表標題 ローダミン分子の自己集合による超分子光触媒の創成と機能
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林真和、為本智恵、谷陽平、重光孟、木田敏之
2. 発表標題 フルオレセイン誘導体の自己集合による光触媒活性制御
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hajime Shigemitsu
2. 発表標題 Circular polarized luminescence induced by multivalent pyrenes assembly on a cyclodextrin
3. 学会等名 International symposium on circularly polarized luminescence and the related phenomena (ISCPL) 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 円偏光発光材料	発明者 重光孟・木田敏之	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-56572	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 円偏光発光材料	発明者 重光孟	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-56572	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------