様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　４ 年　５ 月 １６ 日現在

機関番号：１４１０１
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2018～2021
課題番号：１８Ｈ０１８０８

研究課題名（和文）プラズモニック金属ナノ構造体の化学的環境制御と新規な磁気円二色性応答の発現

研究課題名（英文）Novel magnetic circular dichroism in chemically-modified plasmonic nanostructures

研究代表者
八尾　浩史（Yao, Hiroshi）

三重大学・工学研究科・教授

研究者番号：２０２６１２８２

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　13,900,000円

研究成果の概要（和文）：プラズモン性ナノ構造体近傍の化学的環境を精密に制御して新規なMCD応答の発現や増強・変調を目指すと共に、そのメカニズムの解明を目的として研究を行った。主要な成果を以下に挙げる：(1)磁性を持つマグネタイトFe3O4とAuを接触させたナノヘテロダイマーを作製し、MCD応答に現れるマグネトプラズモンの磁気遮へい効果を見出した。(2)Ag-Auコアシェルナノ粒子をシェル厚を制御して作製し、プラズモン混成に起因するMCD応答のシェル厚依存性を見出した。(3)直径90 nmを超えるAgナノ粒子を精密作製し、通常の光学測定では見えない高次モードが、MCDでは高分解能かつ高感度に検出できる事を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義
本研究成果の最も重要な学術的意義は、ナノ粒子（ナノ構造体）の化学的合成法の進展とナノフォトニクスの発展が好ましい形で相互作用し、化学屋が化学的な視点でプラズモニクスに積極的に関わる事ができる事を明確に提示する事ができた点にある。リソグラフィーを主体とする物理的研究と対比して、ものづくりを得意とする化学者が様々な合成技術・表面処理技術によって次世代のプラズモニクスを発展・牽引しようとする試みは大いに創造的であり、その社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：This study mainly focused on controlled synthesis and detection/modulation of MCD responses of chemically-modified plasmonic nanostructures as well as on their relevant mechanism elucidations. Consequently, we found that MCD responses of Au-Fe3O4 (gold-magnetite) nanoheterodimers were overwhelmingly dominated by magnetite counterparts, and no LSPR-enhancement was observed, suggesting a reduction of the effective magnetic field to the Au counterparts that can be due to the magnetic shielding by magnetite. In Ag@Au core-shell nanoparticles, the MCD signal with a bisignate response was more distinct than the extinction signal but strong damping was found upon the thin shell formation, which was due to the spectral inhomogeneity. Moreover, in Ag nanoparticles larger than 90 nm, although the higher-mode octupolar plasmonic extinction was unresolved, its MCD clearly showed a very sharp and intense peak, meaning its unique properties with high sensitivity and enhanced spectral resolution.

研究分野：ナノ物質化学

キーワード：磁気円二色性　局在表面プラズモン　金属ナノ構造体　化学合成　マグネトプラズモン

※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

(1) 磁気光学効果、あるいは磁気光学活性とは、物質の光応答に磁気が関与する現象の総称である。特に、磁場の影響下で円偏光が物質中を進む時に受ける様々な変調が、左／右円偏光に対する物質の吸収応答に違いをもたらす事がある。これは「磁気円二色性（Magnetic Circular Dichroism: MCD）」と呼ばれ、一般には磁性を有する材料で大きな効果（応答）を発現する。一般的には、物質の基底状態や励起状態が磁場とどの様に相互作用するかで MCD 応答が決まるため、目的物質の電子構造を高精度に求めるための手法として良く知られている。本研究代表者は、表面がチオレート（SR）で保護された金や銀の魔法数クラスターの光学特性・電子状態に興味を持ち、例えば、様々なチオレートで保護された魔法数クラスター$Au_{25}(SR)_{18}$の作製、及び MCD 測定によって Au25 量体の HOMO や LUMO 等の詳細な電子構造を明らかにした。

ところで、金や銀などの金属クラスターのサイズがおよそ 2 nm 程度より大きくなると、金属的振る舞いをする「ナノ粒子」となり、通常、ナノ粒子内部の自由電子の共鳴振動に起因する「局在型表面プラズモン共鳴（LSPR）」が発現する。LSPR が発現する波長（周波数）は、金属の種類やサイズ、形状や周りの媒体の誘電率などに大きく依存し、最近ではナノ粒子近傍の電場増強現象の興味も加わって、金属ナノ構造を利用したプラズモニクスの研究が、基礎・応用の両面から非常に勢いよく発展している。

自由電子の光による共鳴振動である金属ナノ粒子の LSPR は別の見方をすると、左円偏光と右円偏光での共鳴応答である「circular plasmonic mode」の周波数が全く同じである事に対応する。もしこの状況下で磁場をかけたらどうであろうか。左回りの電子は円周の外側にローレンツ力を受け、右回りの電子は内側に力を受ける。その結果、共鳴応答の復元力に差が現れるため、２つの circular plasmonic mode の周波数は分裂する（ω_+とω_-）。これが「マグネトプラズモン」ある（図１）。本研究代表者は、特に Ag ナノ粒子の LSPR が極めて大きな MCD 応答を示す事、表面状態がその磁気光学活性性能に重要である事を世界に先駆けて明らかにした。Ag ナノ粒子はプラズモニクスの立場からも、実用への期待が非常に大きな金属ナノ構造体の一つである。

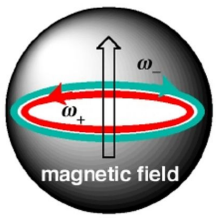

図1. 磁場印加で円偏光によって誘起される plasmon circular modes（マグネトプラズモン）

(2) 金属ナノ粒子・ナノ構造体が関わるプラズモニック材料を利用してのアクティブデバイス開発のためには、様々な条件で LSPR 応答をコントロールする事が、マグネトプラズモニクスの立場からも重要である。そのためには、金属ナノ粒子と光、あるいは磁場とのより広範な相互作用の誘起が必須となる。これを目的とする研究が近年、芽を吹き始めている。その一例が「plasmon hybridization」である。これは、２つのナノ構造体を近接相互作用させ、その距離をコントロールする事により LSPR の発現位置を任意に制御しようとするものである。通常はリソグラフィーを用いた手法によって達成され、化学的な手法を基軸としてこれらを構築する術はほとんど無い。また一方、磁性 Co ナノ粒子と Ag ナノ粒子を近接させる事により、その相互作用によって発現するプラズモン等も見出されている。これもリソグラフィーに基づいた研究例である。従って、本研究代表者を含めた化学者が、この種の新しい問題に「化学的合成」を通して取り組む価値は大いにあると考える。当然、これらにかかわる現象についての磁気光学応答の研究はほぼ見あたらない。

２．研究の目的

上記の研究背景を踏まえ、プラズモニックナノ粒子と印加磁場との相互作用に更なる「化学的任意性」を持たせて MCD 応答を制御する事が重要であると考え、本研究の目的を「金属ナノ構造近傍の環境を化学の力を駆使して広範に変調し、円偏光が関わる LSPR 特性（マグネトプラズモン）・磁気円二色性をコントロールする事」と定めた。

金属ナノ粒子近傍の環境を化学的にコントロールする手法としては、①磁性物質を近接させる、②光機能性物質を近接させる、事を考える。具体的には、(i) 金属ナノ粒子の周りを磁性体で被覆したナノ構造体（コアシェル型／ヘテロダイマー型ナノ粒子）を化学合成によって作製し、金属内部の自由電子が感じるローレンツ力に一層の変調を誘起させ、その MCD 応答を調べる事で構造体自身の磁気光学活性機能に変調を与える。また、(ii) 様々な大きさや形状（キューブ等）を持った Ag や Au 等の金属ナノ構造体に分子高次会合体（Ｊ会合体やＨ会合体）を形成させて「プレキシトン」の発現を目指すと共に、その MCD 効果を解明する。金属ナノ構造体と磁性体や光機能性物質との広範な相互作用を通して発現する新しい MCD 応答の解析を通して、ナノ物質の構造、磁性、サイズ、組成、形態や表面状態との関連等を明らかにする。

３．研究の方法

様々なナノ構造体試料の作製、とりわけ、金属ナノ構造体を取り巻く化学的環境制御は湿式的手法、即ち、溶液化学の手法を駆使して行った。例えば、Metal@Fe_3O_4 コアシェル／ヘテロダイマー型ナノ粒子の作製は、高沸点有機溶媒中での高温還元法やポリオール法によった。これらの手法は還元的雰囲気だけでなく、溶媒組成などのコントロールによってある程度の酸化的雰囲気をも作り出す事ができる特徴があり、コアシェルナノ構造形成に好ましい。また、濃度や温度、表面保護剤をコントロールしてサイズやシェル層の厚みを変えて合成する事も可能である。また plasmon hybridization にかかわるナノ粒子の作製も、metal-1@metal-2 コアシェル型ナノ粒子が好ましいと思われ、これらも化学的手法によって作製を検討した。尚、作製においては、そのクオリティを上げる点に注力した。

化学合成したナノ粒子は、X 線回折（XRD）分析でその組成・相・結晶性を、透過型電子顕微鏡（TEM）観察でそのサイズやコアシェル構造を評価した。また、本科研費で購入した走査型電子顕微鏡（SEM）に付属のエネルギー分散型 X 線分光（EDS）装置によって、微小領域の元素分析を行った。コアシェル構造の元素分布状態や不純物含有の有無などが効果的に調べる事ができた。更に、吸収分光特性や表面（吸着）特性は、UV-Vis、あるいは FT-IR 分光計を用いて行った。本研究で最も重要である磁気円二色性（MCD）測定及びその解析においは、本研究代表者が応用する「同時デコンボルーション法」により、プラズモン信号の高精度解析を行った。尚、研究を展開する人的環境としては、常に大学院博士前期課程の学生数名と共同的に研究を進めた。

４．研究成果

本研究の端緒は、局在表面プラズモン共鳴（LSPR）を発現する金属ナノ粒子、特に Ag ナノ粒子が極めて大きな微分型の磁気円二色性（MCD）応答を示し、それが自由電子のローレンツ力に起因して生成するマグネトプラズモン由来である事を明らかにした実験にある。その様なマグネトプラズモンが関わる金属ナノ構造体と光（円偏光）、及び磁場とのより広範な相互作用を誘起するために「ナノ構造体近傍の化学的環境を精密に制御」して、新規な MCD 応答やその増強・変調を目指す事、またその応答発現のメカニズムを明らかにする事、その現象を金属以外の物質系に応用できるかを検討し、プラズモニクスの発展に資する事を目的と定めて研究を遂行した。以下にその研究成果を記述する。

(1) 化学的に安定な LSPR を発現する Au ナノ粒子に、磁性材料であるマグネタイト Fe_3O_4 ナノ粒子を近接させるヘテロダイマーの作製を試み、その磁気円二色性応答を研究した。Au-Fe_3O_4 ナノヘテロダイマーの作製に於いては、有機溶媒中での高温反応を適用した。種々の作製条件を検討した結果、安定したヘテロダイマーの形成に成功し、その試料の MCD 応答を評価した。Au の LSPR が示す MCD 応答に Fe_3O_4 が与える影響は小さく、逆に、Fe_3O_4 の MCD 応答が支配的であった。残念ながら Fe_3O_4 接近による Au の LSPR に対する磁気光学応答の増強効果は見られず、逆にマグネトプラズモンの磁気遮へい効果的な現象、即ち、Au 自身の LSPR が関わる MCD 応答の減衰が観測された。この結果はかつて報告されていたものとは明らかに対照的であり、プラズモン性物質と磁性物質の相互作用のより精密な制御の必要性を物語った。

(2) ナノ構造体の形のコントロールによってプラズモンの変調を誘導し、その MCD 応答を調べた。特に、Ag ナノ 10 面体に注目した。Ag ナノ 10 面体作製では、シードを用いての光照射成長法を適用した。形状のバラツキを制御する点においては苦労したが、逆に、僅かな形状のバラツキにおいては、通常の吸収分光測定に見られる LSPR にほとんど影響が見られなかったが、MCD 応答においては、極めて大きな影響が観察され、10 面体のクオリティ（生成率や形の規則性など）が MCD 応答には敏感に反映する事が明らかとなった（図２）。即ち、MCD がナノ 10 面体のクオリティ評価に極めて有効である事を見出した。

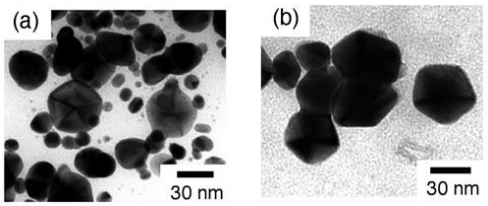

図2. Auナノ10面体の電子顕微鏡画像：
(a)クオリティが悪い試料 (b)高品質試料

(3) 縮退型半導体ナノ粒子にも LSPR 発現が示唆されるものがあり、これらは安価である点や触媒的利用価値の観点から貴金属の代替となりうるプラズモニック物質としての期待が大きい。これらの材料は一般に元素欠損型の化合物が多く、本研究では酸素欠損モリブデン酸化物（MoO_{3-x}）のナノ構造体を対象として、これらをハイドロサーマル法によって作製した。その結果、温度の精密制御によってナノシートやナノドットの作製に成功、その MCD 応答を詳しく調べた所、これまで LSPR と断言されてきた光応答が、恐らくはスモールポーラロンとし

て解釈される事、また、その磁気円二色性が微分型となる事を見出した。尚、決定的な結論とまでには至っていないものの、本研究は元素欠損型半導体系においては安易に LSPR と帰属する事に対する危険性を提案するに至った。

(4) Ag ナノ粒子は可視–紫外の境界領域である 400 nm 付近に、また Au ナノ粒子は 520 nm 付近に特徴的な LSPR を発現する。Ag についてはバンド間遷移が LSPR と離れているため強度の大きな LSPR 応答を示すが、Au についてはバンド間遷移とそのエネルギー領域が重なるためにダンピングを起こし、Ag に比べてその信号は弱い。しかしながら安定性・耐候性は Au が格段に勝る。そこで Ag をコアとする Ag@Au コアシェルナノ粒子を、シェル厚を変化させながら作製し、そのプラズモン及びマグネトプラズモン応答を調べた。単体金属ナノ粒子の時とは異なった MCD 応答強度の LSPR 吸収線幅依存性が見られ、コアシェル構造の境界に存在する自由電子の散乱が影響している事を明らかにした。またこれらの系は plasmon hybridization を示し、単純なプラズモンの足し合わせとならない特徴があり（図３）、LSPR のエネルギー位置に関わるチューニングに極めて有用であった。

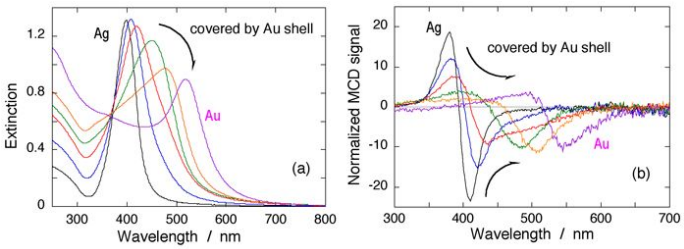

図3. Ag@Auコアシェルナノ粒子の (a) 吸収分光特性と (b) 磁気円二色性：
LSPRの変調は顕著であるが、規格化MCD応答自体はAuの被覆により弱くなった

(5) 金や銀では見られない紫外(UV)領域にその LSPR 発現が期待されているロジウム(Rh)ナノ構造体（ナノキューブ・ナノマルチポッド）の作製とその MCD 応答を中心に研究を展開した。Rh については、球状のナノ粒子では LSPR 発現位置は真空紫外となるために、本研究で測定を行うためには異方性を有する形状の粒子を作製する必要があり、その形状コントロールに努力した。その結果、キューブやマルチポッド型のナノ構造体の作製に成功した。吸収スペクトルは明瞭な極大こそ示さないものの、ブロードな吸収極大を示し、これが LSPR だと期待された。しかしながらその MCD 応答は通常の自由電子による LSPR が発現する微分型の応答とは全く異なり、これまでの報告で提唱されてきた LSPR を否定する結果となった。より詳しい検討の結果、このブロードな吸収は Rh が関わる LMCT 型の遷移であると思われた。この様に、MCD 応答によって LSPR かどうかを明確に判定できた意義は大きい。

(6) 金属ナノ粒子の LSPR による近接電場の増強効果に注目が集まっている。この近接電場は、ある種の分子集合体が示すエキシトンと強く相互作用して新たな状態（プレキシトン）を発現する可能性があるが、そのシステム構築は極めて限られている。本研究では、プラズモン性 Au ナノ８面体をサイズ制御しながら作製し、カルボシアニン色素を吸着させることでその高次会合体がもつエキシトンを形成させ、プラズモン–エキシトン相互作用の有無の観測を試みた。その結果、吸収分光特性においては、色素会合体（Ｊ会合体）の極大エネルギー位置に特徴的なディップが観測され、プラズモン–エキシトン結合による新規なプレキシトン系となった。しかしながら色素吸着によって吸収スペクトルに変化が生じ、更にディップの存在故に LSPR 自身の吸収極大位置決定に不確定さが生じた。一方、MCD 応答においても明瞭なディップが観測されたが、マグネトプラズモンの特徴として LSPR 極大位置が MCD 信号０を横切る特徴があるため、MCD では吸収に見られた不確定さは無く、プラズモンとエキシトンの離調を定量的に見積もる事に極めて威力を発揮する事が明らかとなった。

(7) 粒子直径が数十 nm 程度の球状 Ag ナノ粒子が発現する LSPR は双極子モードのみであるが、約 60 nm を超えると四重極子以上の高次モードの応答が現れる。本研究では、直径 60 nm を超える球状 Ag ナノ粒子を精密に種々作製し、その光学特性・MCD 応答を詳しく調べた。粒子はシード成長法により段階的に成長させ、平均直径が約 191nm までに至った。例えば、直径 145 nm の Ag ナノ粒子の吸収は、双極子モードの LSPR に起因する 670 nm 付近のブロードなピーク以外に、四重極子（450 nm）や八重極子モード（390 nm）の LSPR が観測される。興味深い点は、八重極子モードの MCD 応答は鋭いピークを示す点であり（図４）、MCD は八重極子モードの LSPR 応答を高分解能かつ高感度に検出できるという重要な結果を得た。

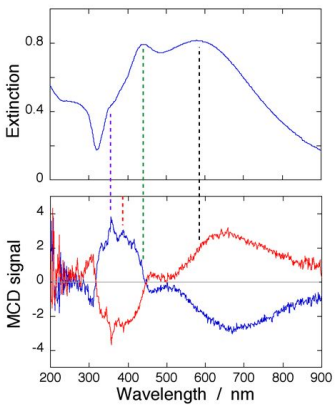

図4. 直径145 nmのAgナノ粒子の (a) 吸収 と (b) MCD スペクトル
高次モードのLSPRに対する特徴的なMCD信号が観測された

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計21件（うち査読付論文　20件／うち国際共著　0件／うちオープンアクセス　0件）

１．著者名 Munakata Taku、Yao Hiroshi	４．巻 125
２．論文標題 Fluorescent Organic Lewis-Pair Nanoparticles: Excited-State Intramolecular Proton Transfer Molecule 2-(2′-Hydroxyphenyl)benzothiazole Undergoes GSIPT Reactions To Be a Solid-State Nanoemitter	５．発行年 2021年
３．雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	６．最初と最後の頁 13937～13945
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcb.1c09665	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 Masuda Taichi、Yao Hiroshi	４．巻 15
２．論文標題 Sensitive detection of small polaron transitions in cesium-doped tungsten bronze CsxWO3 nanostructures using magnetic circular dichroism spectroscopy	５．発行年 2021年
３．雑誌名 Journal of Nanophotonics	６．最初と最後の頁 46008
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/1.JNP.15.046008	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 Nagumo Yuki、Yao Hiroshi	４．巻 12
２．論文標題 Magnetic Circular Dichroism Responses with High Sensitivity and Enhanced Spectral Resolution in Multipolar Plasmonic Modes of Silver Nanoparticles with Dimensions between 90 and 200 nm	５．発行年 2021年
３．雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	６．最初と最後の頁 9377～9383
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpclett.1c02230	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 Sato Yasuhiko、Yao Hiroshi	４．巻 23
２．論文標題 Mixed-diphosphine-protected chiral undecagold clusters Au11(S,S-DIOP)4(rac-/R-/S-BINAP): effect of the handedness of BINAP on their chiroptical responses	５．発行年 2021年
３．雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	６．最初と最後の頁 16847～16854
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D1CP02106K	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 Mizuno Shotaro、Yao Hiroshi	4．巻 517
2．論文標題 On the electronic transitions of α-Fe2O3 hematite nanoparticles with different size and morphology: Analysis by simultaneous deconvolution of UV-vis absorption and MCD spectra	5．発行年 2021年
3．雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6．最初と最後の頁 167389～167389
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmmm.2020.167389	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 Wakita Takuma、Yao Hiroshi	4．巻 779
2．論文標題 Optical and magneto-optical properties of rhodium nanostructures with different morphologies: Insight into the absorption bump in the UV region	5．発行年 2021年
3．雑誌名 Chemical Physics Letters	6．最初と最後の頁 138866～138866
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cplett.2021.138866	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 Sato Yasuhiko、Mitani Masaki、Yao Hiroshi	4．巻 124
2．論文標題 Chiral-Achiral Ligand Synergy in Enhancing the Chiroptical Activity of Diphosphine-Protected Au13 Clusters	5．発行年 2020年
3．雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6．最初と最後の頁 25547～25556
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcc.0c07064	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 Nashimoto Takumi、Yao Hiroshi	4．巻 22
2．論文標題 Strong chiroptical activity in Au25 clusters protected by mixed ligands of chiral phosphine and achiral thiolate	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6．最初と最後の頁 15288～15294
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D0CP02543G	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 Masuda Taichi、Yao Hiroshi	4．巻 124
2．論文標題 Intense Plasmon-Induced Magneto-Optical Activity in Substoichiometric Tungsten Oxide (WO3-x) Nanowires/Nanorods	5．発行年 2020年
3．雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6．最初と最後の頁 15460～15467
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcc.0c02579	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 Yao Hiroshi、Shiratsu Taisuke	4．巻 14
2．論文標題 Magnetic circular dichroism in plasmonic Ag-Au core-shell nanoparticles: how does the magneto-optical activity tune?	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Journal of Nanophotonics	6．最初と最後の頁 1～1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/1.JNP.14.026009	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 Ito Daichi、Yao Hiroshi	4．巻 500
2．論文標題 Dominant role of iron oxides in magnetic circular dichroism of plasmonic-magnetic Au-Fe304 heterodimer nanostructures	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6．最初と最後の頁 166385～166385
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmmm.2019.166385	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 Yokoi Yuma、Yao Hiroshi	4．巻 1200
2．論文標題 Organic nanoparticles of anion-based fluorophore 8-anilino-1-naphthalenesulfonate (ANS): Effects of ion-association and post-dilution	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Journal of Molecular Structure	6．最初と最後の頁 127122～127122
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.molstruc.2019.127122	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 Ishikawa Takenori, Yao Hiroshi	4．巻 48
2．論文標題 Amplified Near-IR Fluorescence in Organic Rhodamine-800 Nanoparticles under the Efficient Control of Aggregation-caused Quenching	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Chemistry Letters	6．最初と最後の頁 1339-1342
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1246/cl.190612	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 Sato Hiroaki, Yao Hiroshi	4．巻 732
2．論文標題 Application of magnetic circular dichroism (MCD) to morphological quality evaluation of silver nanodecahedra	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Chemical Physics Letters	6．最初と最後の頁 136637
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cplett.2019.136637	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 Kimura Taisei, Yao Hiroshi	4．巻 123
2．論文標題 Magnetic Circular Dichroism of Substoichiometric Molybdenum Oxide (MoO3-x) Nanoarchitectures with Polaronic Defects	5．発行年 2019年
3．雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6．最初と最後の頁 18620-18628
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcc.9b03225	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 Sato Yasuhiko, Mitani Masaki, Yao Hiroshi	4．巻 21
2．論文標題 Chirality in Au9 clusters protected by chiral/achiral mixed bidentate phosphine ligands: influence of the metal core and ligand array	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6．最初と最後の頁 14984-14991
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/c9cp02341k	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 八尾浩史	4．巻 44
2．論文標題 異型金属ナノ粒子の磁気円二色性	5．発行年 2019年
3．雑誌名 C & I Commun.	6．最初と最後の頁 27-30
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 Hiroshi YAO, Shuhei TSUBOTA, Rena NOBUKAWA	4．巻 122
2．論文標題 Water-Soluble Mixed-Phosphine-Protected Gold Clusters: Can a Single Axially-Chiral Ligand lead to Large Chiroptical Responses?	5．発行年 2018年
3．雑誌名 J. Phys. Chem. C	6．最初と最後の頁 1299-1308
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcc.7b08528	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 Taisuke SHIRATSU, Hiroshi YAO	4．巻 20
2．論文標題 Size dependence of magneto-optical activity in silver nanoparticles with dimensions between 10 and 60 nm studied by MCD spectroscopy	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Phys. Chem. Chem. Phys.	6．最初と最後の頁 4269-4275
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/C7CP07695A	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 Taisuke SHIRATSU, Hiroshi YAO	4．巻 706
2．論文標題 Magnetic circular dichroism (MCD) in silver nanocubes with different sizes	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Chem. Phys. Lett.	6．最初と最後の頁 607-612
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cplett.2018.07.015	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 Hiroshi YAO, Hikaru MINAMI, Tomohito FUNADA	4．巻 17
2．論文標題 Organic nanoparticles based on Lewis-pair formation: Observation of prototropically controlled dual fluorescence	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Photochem. Photobiol. Sci.	6．最初と最後の頁 1376-1385
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/C8PP00256H	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33件（うち招待講演　1件／うち国際学会　15件）

1．発表者名 増田泰治・八尾浩史
2．発表標題 セシウムタングステンブロンズCsxWO3ナノ構造体の作製と近赤外磁気円二色性
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
4．発表年 2021年

1．発表者名 南雲雄希・八尾浩史
2．発表標題 高次の局在表面プラズモン共鳴を発現する銀ナノ粒子の作製と磁気円二色性
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
4．発表年 2021年

1．発表者名 藤田昭太・八尾浩史
2．発表標題 アニオン性ピレン誘導体ナノ粒子の作製と強発光特性
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
4．発表年 2021年

１．発表者名 脇田拓磨・八尾浩史
２．発表標題 様々なRhナノ構造体の光学・磁気光学特性
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
４．発表年 2021年

１．発表者名 柴田泰明・八尾浩史
２．発表標題 Auナノ8面体と吸着色素会合体の相互作用によるプレキシトン発現と磁気円二色性
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
４．発表年 2021年

１．発表者名 棟方拓・八尾浩史
２．発表標題 ルイスペア形成に基づく有機ナノ粒子の作製とその分光特性
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
４．発表年 2021年

１．発表者名 Shota Fujita, Hiroshi Yao
２．発表標題 Preparation and Spectroscopic Properties of Organic Nanoparticles of Anion-based Fluorophore 1-Pyrenebutyric acid (PyBA)
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience（国際学会）
４．発表年 2021年

１．発表者名 Yuki Nagumo, Hiroshi Yao
２．発表標題 Higher-Order Magnetoplasmonic Modes in Silver Nanoparticles with Dimensions between 90 and 200 nm
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience（国際学会）
４．発表年 2021年

１．発表者名 Yusuke Kitagawa, Hiroshi Yao
２．発表標題 Ni3S4 Polydymite Nanoparticles: Solvothermal Synthesis, Characterization, Optical and Magneto-Optical Properties
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience（国際学会）
４．発表年 2021年

１．発表者名 Yasuaki Shibata, Hiroshi Yao
２．発表標題 Fabrication of Plexcitonic Nanosystems based on Au Nano-octahedra and Dye J-Aggregates
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience（国際学会）
４．発表年 2021年

１．発表者名 Takuma Wakita, Hiroshi Yao
２．発表標題 Optical and Magneto-Optical Properties of Various Rhodium Nanostructures
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience（国際学会）
４．発表年 2021年

１．発表者名 Daiki Naito, Hiroshi Yao
２．発表標題 Multi-Chromophore Organic Nanoparticles Synthesized by the Ion Association Approach: FRET-Assisted Near-IR Emission
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience（国際学会）
４．発表年 2021年

１．発表者名 江城樹・三谷昌輝・八尾浩史
２．発表標題 [Au9(PPh3)8]3+及び[PdAu8(PPh3)8]2+の安定構造と溶媒効果に関する理論的研究
３．学会等名 2020 日本化学会中国四国支部大会
４．発表年 2020年

１．発表者名 Shota Sakai, Hiroshi Yao
２．発表標題 Water-Soluble Phosphine-Protected Au9 Clusters: Ligand Substituent Dependence of Gel-Electrophoretic and Spectroscopic Behaviors
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience
４．発表年 2020年

１．発表者名 Taku Munakata, Hiroshi Yao
２．発表標題 Tautomerically-Controlled Dual Fluorescence in Organic Nanoparticles based on Lewis Pair Formation
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience
４．発表年 2020年

１．発表者名 Taichi Masuda, Hiroshi Yao
２．発表標題 Intense Plasmon-Induced Magnetic Circular Dichroism (MCD) in One-Dimensional Substoichiometric Tungsten Oxide (WO3-x) Nanostructures
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience
４．発表年 2020年

１．発表者名 佐藤安彦、三谷昌輝、八尾浩史
２．発表標題 (S)-BINAP/Xantphos混合ホスフィン配位子によって保護された魔法数Au9クラスターの作製とキラリティ
３．学会等名 シンポジウム モレキュラー・キラリティー2019
４．発表年 2019年

１．発表者名 梨本拓海、八尾浩史
２．発表標題 双20面体型キラルAu25ナノクラスターの作製と不斉光学応答
３．学会等名 第50回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
４．発表年 2019年

１．発表者名 基村泰生、八尾浩史
２．発表標題 酸素不足型モリブデン酸化物MoO3-xの水熱合成と磁気光学応答
３．学会等名 第50回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
４．発表年 2019年

１．発表者名 横井裕磨、八尾浩史
２．発表標題 アニオン性クロモフォアに基づく発光性有機ナノ粒子の作製とその分光特性
３．学会等名 第50回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
４．発表年 2019年

１．発表者名 佐藤寛晃、八尾浩史
２．発表標題 光化学的手法によって作製されたAgナノ10面体の磁気円二色性によるクオリティ評価
３．学会等名 第50回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
４．発表年 2019年

１．発表者名 岩本海大，藤井拓斗，小山岳秀，白津太助，上田光一，中井祐介，水戸毅，八尾浩史
２．発表標題 金属ナノ粒子における量子サイズ効果の研究
３．学会等名 日本物理学会2019秋季年会
４．発表年 2019年

１．発表者名 Daichi Ito, Hiroshi Yao
２．発表標題 Magneto-optical responses of plasmonic-magnetic Au-Fe3-x04 heterodimer nanostructures
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 Taisei Kimura, Hiroshi Yao
２．発表標題 Synthesis and magnetic circular dichroism (MCD) of substoichiometric molybdenum oxide nanoarchitectures
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 Tatsuki Eshiro, Masaki Mitani, Hiroshi Yao
２．発表標題 Theoretical study on the stability for isomers of [Au9(PPh3)8]3+ and [PdAu8(PPh3)8]2+
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 Hiroaki Sato, Hiroshi Yao
２．発表標題 Morphological quality evaluation of silver nanodecahedra by magnetic circular dichroism (MCD) spectroscopy
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 Yasuhiko Sato, Hiroshi Yao
２．発表標題 Chiroptical activity in small Au clusters protected by chiral/achiral mixed phosphine ligands
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 Takumi Nashimoto, Hiroshi Yao
２．発表標題 Influence of chiral BINAP ligation on the chiroptical activity of bi-icosahedral Au25 nanoclusters
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 Yuma Yokoi, Hiroshi Yao
２．発表標題 Preparation and spectroscopic properties of fluorescent organic nanoparticles based on anionic chromophores
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 佐藤安彦、八尾浩史
２．発表標題 キラル‐アキラル混合ホスフィン配位子で保護されたAuクラスターの不斉光学応答
３．学会等名 第49回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
４．発表年 2018年

１．発表者名 Yuma Yokoi, Hiroshi Yao
２．発表標題 Fluorescent organic nanoparticles of anionic 1-anilino-8-naphthalenesulfonate (ANS) dye: Synthesis and spectroscopic properties
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience (Division E)（国際学会）
４．発表年 2018年

１．発表者名 Taisei Kimura, Hiroshi Yao
２．発表標題 Magnetoplasmonic behaviors of sub-stoichiometric molybdenum oxide (MoO3-x) nanostructures: MCD spectroscopic study
３．学会等名 Mie University Symposium on Nanotechnology and Nanoscience (Division E)（国際学会）
４．発表年 2018年

１．発表者名 八尾浩史
２．発表標題 円偏光で機能する金属ナノ材料
３．学会等名 東海コンファレンス 2018（招待講演）
４．発表年 2019年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

教員情報 https://kyoin.mie-u.ac.jp/profile/3173.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