

# Press Release

プレスリリース

2021年5月17日

国立大学法人 神戸大学

国立研究開発法人 科学技術振興機構 (JST)

## 光の磁場成分を増強するナノアンテナで 未開拓な光学遷移の増強に成功

～新しい光化学反応経路の開拓に期待～

神戸大学大学院工学研究科の杉本 泰助教 (JST さきがけ研究員)、藤井 稔教授らの研究グループは、高い屈折率をもつ誘電体のナノアンテナを用いて、“磁気双極子遷移<sup>※1</sup>”による発光を大幅に増大する技術の開発に成功しました。

ナノアンテナは可視から近赤外領域に光学的な共鳴をもつ金属や誘電体のナノ構造であり、分子などの光吸収や光放出 (発光) を増強することができます。従来の金属材料からなるナノアンテナは光の電場成分に強く応答し、主に“電気双極子遷移”に対して増強効果を示します。しかしながら、もう1つの遷移過程である“磁気双極子遷移”については、微弱であるためこれまでほとんど考慮されませんでした。本研究では、“磁気双極子遷移”を大幅に増強する誘電体ナノアンテナを開発し、物質の光励起・緩和過程の新しい制御手法を実証しました。本研究グループは独自に開発したシリコンナノ粒子について、①直径を数ナノメートルの精度で制御する技術と②磁気双極子発光体を表面に付加する技術を開発し、10倍以上に増強された磁気双極子遷移発光を実現しました。

本成果は、これまで考慮されなかった光励起・緩和過程を可能にする新しい技術であり、今後、光の磁場成分を活用した新しい光化学反応経路の開拓につながると期待されます。この研究成果は、5月17日に、国際科学誌 *ACS Photonics* に掲載されます。

### 研究助成

本研究は、科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 さきがけ「電子やイオン等の能動的制御と反応」研究領域 (研究総括: 関根 泰) における研究課題「Mie 共鳴による磁場増強を利用した光化学反応プラットフォームの構築」(研究者: 杉本 泰) の支援を受けて行われました。

### ポイント

- ✓ 誘電体ナノアンテナの磁気的な光学共鳴を利用して“磁気双極子遷移”を増大する技術を提案し実証しました。
- ✓ 本技術により、微弱であるためこれまで無視されていた光応答を利用できるようになります。

- ✓ 本研究の成果は、光の磁場成分を活用した新しい光化学反応経路の開拓につながると期待できます。

## 研究の背景

---

持続可能な社会の実現に向けて、新しい概念で光エネルギーを最大限活用する技術が求められています。ナノアンテナは光学的な共鳴によって、光をナノスケール領域に集中したり、また効率的に放出する特性があるため、近くの物質の光吸収や光放出（発光）を著しく増強することができます。これにより、単分子の微小な信号を増幅した高感度センサーや、物質の反応性を高めた光反応系が実現されてきました。通常このようなナノアンテナは、光（電磁波）の電場成分に対して強く応答し、物質の“電気双極子遷移”を増強します。一方、物質には電気双極子遷移に加えて、“磁気双極子遷移”（図1左）が存在しますが、光応答が非常に小さいため従来はほとんど無視されてきました。光のもう一つの顔である磁場を活用できるナノアンテナが開発できれば、磁気双極子遷移の増強・制御が可能になり、全く新しい発光体開発や光反応技術につながります。しかしながら、磁気双極子遷移を大幅に増強するナノアンテナは実現されていませんでした。

## 研究の内容

---

誘電体のナノ粒子に電磁波（光）を照射すると、Mie共鳴<sup>※2</sup>と呼ばれる共鳴現象を示します。Mie共鳴には電氣的共鳴と磁氣的共鳴があり、本研究では磁氣的共鳴を利用すると、物質の“磁気双極子遷移”を大幅に増強できることを実証しました。図1に、最低次の磁氣的Mie共鳴である磁気双極子共鳴と高次の磁気四重極子<sup>※3</sup>共鳴の放射パターンを示します。これらの磁気共鳴と物質の磁気双極子遷移が結合すると、ナノ粒子がアンテナとして機能し、磁気双極子遷移の増強が期待されます。

ナノアンテナとして球状の結晶シリコン球を仮定し、近傍に置かれた磁気双極子の遷移レートを計算しました。磁気双極子としては、波長590 nmに磁気双極子遷移発光を示すユーロピウム（Eu<sup>3+</sup>）錯体<sup>※4</sup>を仮定しました。計算の結果、直径208 nmのシリコン球の磁気四重極子共鳴と結合した場合に、波長590 nmの磁気双極子遷移が最も増強されることを見いだしました。

実験的に高い増強度を得るためには、ナノアンテナの形状、サイズ、配置を上記の設計通りに制御する技術が不可欠です。今回は、独自に開発したほぼ完全に球形で、結晶性の高い球状シリコンナノアンテナ（図2(a))を用いて、磁気双極子遷移増強の実証を行いました。このシリコンナノアンテナの表面に、図2(a)の手法でユーロピウム錯体を付加しました。顕微分光法<sup>※5</sup>により作製した粒子の発光スペクトルを測定したところ、直径208 nmの粒子において、磁気双極子発光が電気双極子発光（610 nm）に対して1桁以上増強することが観測されました（図2(b))。また、Mie散乱特性の評価と理論計算により発光増強がナノアンテナの磁気四重極子共鳴との結合によるものであることを実証しました。

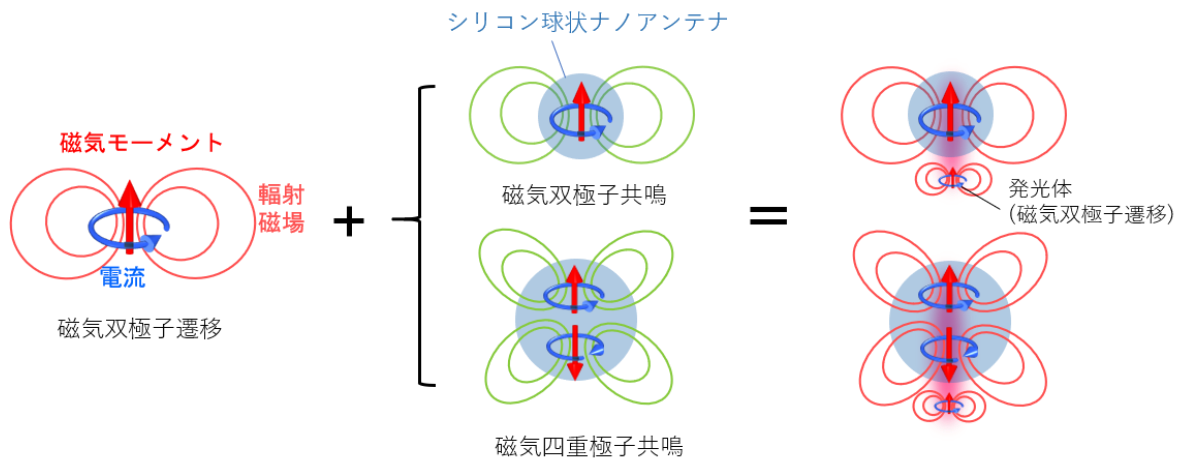


図 1. 磁気双極子(発光体)とシリコン球状ナノアンテナの磁気双極子共鳴の概念図。磁気双極子(発光体)とナノアンテナの磁気的な Mie 共鳴、特に磁気四重極子共鳴と結合した際に、磁気双極子遷移レートが増大する。

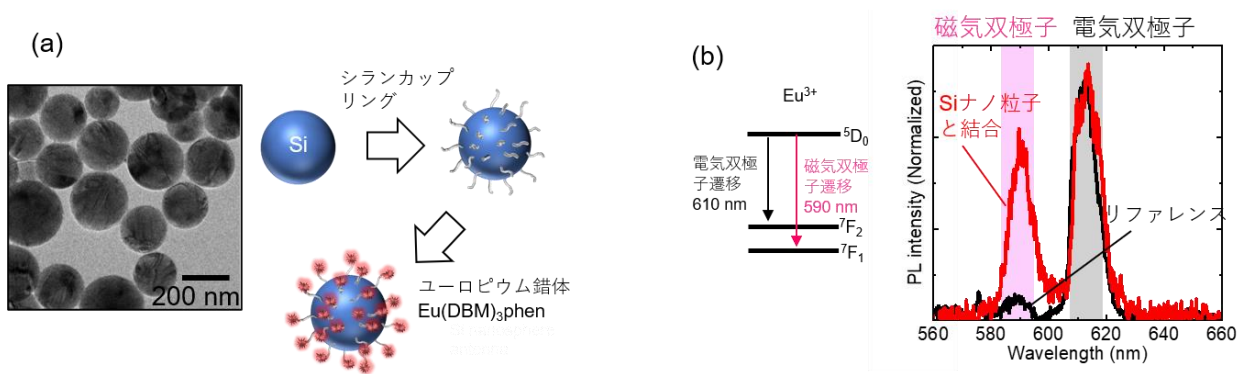


図 2. (a) 球状シリコンナノ粒子の透過型電子顕微鏡像 (左) とシリコンナノアンテナへのユーロピウム錯体の付加方法 (右)。 (b) ユーロピウムイオンの発光過程 (左) とシリコンナノアンテナによる磁気双極子遷移発光の増強。リファレンスに比べて、磁気双極子遷移発光が 1 桁増強している。

## 今後の展開

今回開発したナノアンテナはサイズにより共鳴波長が制御可能であるため、あらゆる分子に適用できます。また、本技術により、これまで見過ごされてきた電子遷移、例えば一重項-三重項間の遷移を大幅に促進することができます。今後、ナノアンテナを反応デバイスに組み入れることで、新しい光化学反応プロセスへの展開が期待されます。

## 用語解説

### ※ 1 磁気双極子遷移

物質内の電子と光（電磁波）との相互作用による光学遷移のなかで、磁気モーメントと光の磁場成分との結合が支配的であるもの。

※2 Mie 共鳴

1908年に Gustav Mie によりに厳密解が導かれた波長程度の大きさの球形の粒子による光の散乱現象のうち、高屈折率誘電体に見られる共鳴的な散乱現象。粒子サイズによって共鳴波長を制御できる。

※3 四重極子

大きさが等しく向きが反対の双極子モーメントが近くに並んでいる状態。

※4 ユーロピウム (Eu<sup>3+</sup>) 錯体

希土類金属イオンであるユーロピウムイオン (Eu<sup>3+</sup>) を含む金属錯体。蛍光標識として用いられる。

※5 顕微分光法

光学顕微鏡を用いて、微小な対象物の光学特性を測定する手法。

## 論文情報

---

・タイトル

“Magnetic Purcell Enhancement by Magnetic Quadrupole Resonance of Dielectric Nanosphere Antenna”

DOI : 10.1021/acsp Photonics.1c00375

・著者

Hiroshi Sugimoto and Minoru Fujii

・掲載誌

米国科学誌「*ACS Photonics*」(オンライン)

## 問い合わせ先

---

< 研究について >

■神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻

助教 杉本 泰 (すぎもと ひろし)

TEL : 078-803-6441 E-mail : sugimoto[at]eedept.kobe-u.ac.jp

< JST 事業に関すること >

■科学技術振興機構戦略研究推進部

グリーンイノベーショングループ 嶋林 ゆう子 (しまばやし ゆうこ)

TEL : 03-3512-3526 E-mail : presto[at]jst.go.jp

< 報道担当 >

■神戸大学総務部広報課

TEL : 078-803-6678 E-mail : ppr-kouhoushitsu[at]office.kobe-u.ac.jp

■科学技術振興機構広報課

TEL : 03-5214-8404 E-mail : jstkoho[at]jst.go.jp