

## 光の力でナノ粒子をホールインワン

～ナノサイズの電子デバイス・光デバイス開発への道を拓く～

### ポイント

- ・ ナノサイズのすき間に閉じ込めた光の力を利用してナノ粒子を非接触で捕集・固定する技術を開発。
- ・ 様々な機能を持つナノ粒子に用いることで、分子エレクトロニクス素子、光量子コンピュータ素子、超高感度分子検出器などへの応用を期待。

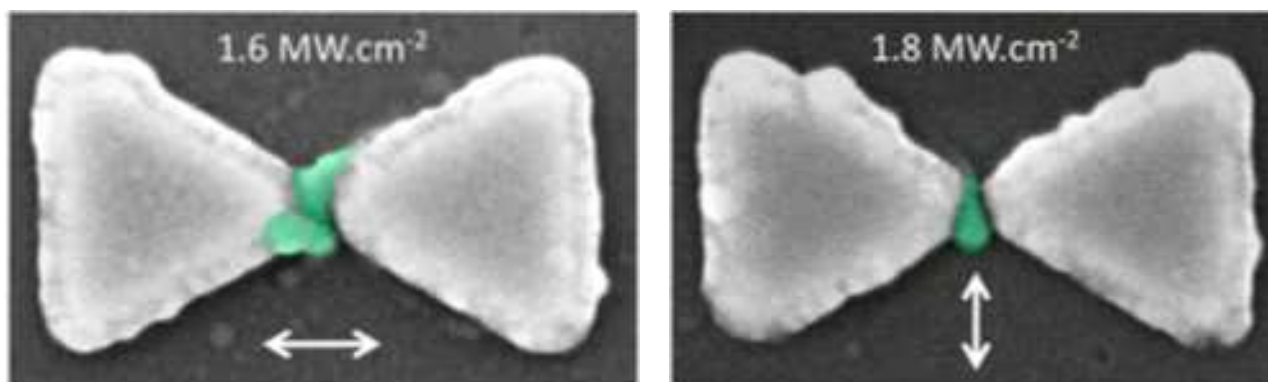
### 概要

北海道大学電子科学研究所の笹木敬司教授らの研究グループは、熊本大学の深港 豪准教授との共同研究で、金属のナノサイズ空隙（すきま）にナノ粒子を非接触で捕集し、ワンステップで配置・固定する新技術を開発しました。

金属のナノ空隙には光を閉じ込める効果（光ナノアンテナ効果）があり、この閉じ込めた光は物質を引き寄せる力（光圧）を発生させます。このナノ空隙の光の力を利用して、様々な機能を持つ分子で作ったナノ粒子を液体中で空隙に捕集し、金属で発生した熱によって固定することを実現しました。

光る分子や電気整流作用のある分子のナノ粒子を金属のナノ空隙に配置することによって、ナノサイズの分子エレクトロニクス素子、ナノ粒子の量子効果を用いた光演算素子、分子の特性を超高感度に検出する装置などへの応用が期待されます。

本研究は、科学研究費助成事業・新学術領域研究「光圧ナノ物質操作」の助成を受けた成果です。なお、本研究成果は、2018年5月3日（水）公開の米国化学会専門誌 ACS Omega 誌にオンライン掲載されました。



金のナノ空隙に発光分子のナノ粒子を捕集・固定した写真（三角形の一片は250ナノメートル）

## 【背景】

ナノ粒子は、医薬品、化粧品、食品、触媒（燃料電池、抗菌性コーティング等）に広く利用されていますが、特に、有機分子で作ったナノ粒子は電氣的、光学的に有用な機能があることから最近注目を集めています。しかし、ナノ粒子を有効に機能させるためには、作製したナノ粒子を微細な電気配線や光回路の上にナノメートルの精度で配置する技術が必要です。笹木教授らの研究グループは、微粒子に光を照射すると力（光圧）が発生して光の強い方向に引き寄せられる現象を利用して、マイクロメートル（100 万分の 1 メートル）サイズの粒子を光で自在に操作する技術を開発してきました。しかし、マイクロメートルより更に小さいナノメートル（10 億分の 1 メートル）サイズの粒子では発生する光の力が極めて弱いため、捕集することは困難とされてきました。

## 【研究手法・研究成果】

今回新たに開発した技術では、まず、ナノサイズの金の空隙（図 1）を最先端微細加工技術により作製します。この金ナノ空隙構造はレンズの働きを持っており、光を照射すると光がナノ空隙に絞り込まれ閉じ込められて、極めて強い光のスポット（絞り込む前の 1 万倍以上の明るさ）を形成します（図 2）。強力なナノ光スポットは、液体中に漂うナノ粒子を引き寄せるのに十分な力（光圧）を発生させることができ、ナノ粒子をナノ空隙に非接触で捕集することが実現できました（図 3）。さらに、光の照射で温度が上昇した金ナノ空隙構造は、光圧で捕集したナノ粒子をわずかに溶かして接着し固定することを可能としました。今回の実証実験では、深港准教授の研究グループが作製した極めてよく光る有機分子のナノ粒子を、金のナノ空隙にワンステップで捕集・配置・固定することに成功しました（前頁図）。電子顕微鏡で観察したところ、金のナノ空隙にナノ粒子が固定されており、この分子特有の色をした強い光を発することが確認されました。

## 【今後への期待】

光る分子のナノ粒子を金属のナノ空隙に配置すると発光が増強される効果が報告されており、本手法によりナノサイズの強力な光源を開発することができます。また、ナノ空隙を周期的に並べると、光の波が揃う超放射と呼ばれる現象が起こり、さらに強力な発光源としての応用が期待されます。分子の数を減らして 1 個の分子をナノ空隙に捕集・固定することが実現できれば、単一分子エレクトロニクス素子の作製や、分子の量子特性を利用した光量子情報処理・通信デバイスとしての応用も可能です。また、極微量の分子・ナノ粒子でも捕集してナノ空隙の強力な光スポットで分析することができるため、超高感度分子センサーとしての実用化も期待されます。

## 論文情報

論文名	Trapping and Deposition of Dye-Molecule Nanoparticles in the Nanogap of a Plasmonic Antenna（プラズモニックアンテナのナノ空隙への色素分子ナノ粒子の捕集と固定）
著者名	Christophe Pin <sup>1</sup> , 石田周太郎 <sup>1</sup> , 高橋玄太 <sup>1</sup> , 須藤広太 <sup>1</sup> , 深港 豪 <sup>2</sup> , 笹木敬司 <sup>1</sup> （ <sup>1</sup> 北海道大学電子科学研究所, <sup>2</sup> 熊本大学大学院自然科学研究科）
雑誌名	ACS Omega（米国化学会の専門誌）
DOI	10.1021/acsomega.8b00282
公表日	2018 年 5 月 3 日（木）（オンライン公開）

## お問い合わせ先

北海道大学電子科学研究所 教授 笹木敬司（ささきけいじ）

T E L 011-706-9396 F A X 011-706-9390 メール sasaki@es.hokudai.ac.jp

U R L <http://optsys.es.hokudai.ac.jp>

## 配信元

北海道大学総務企画部広報課（〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目）

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール kouhou@jimuhokudai.ac.jp

## 【参考図】

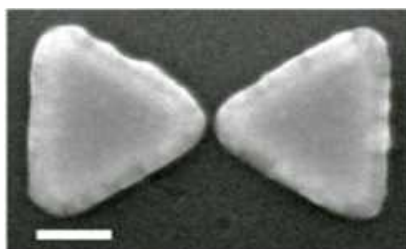


図 1 金のナノ空隙構造の電子顕微鏡写真。白線は 100 ナノメートルのスケール。一辺 250 ナノメートル、厚さ 30 ナノメートルの金のナノ三角形 2 個を、先端を 10 ナノメートルだけ離して配置しナノ空隙(すき間)を作っている。この金ナノ空隙構造に光をあてると、中心の 10 ナノメートルの空隙に光が集められて、ナノサイズの強力な光スポットが形成される。このようなナノ空隙構造は、最先端の超微細加工技術によって作製が可能となった。

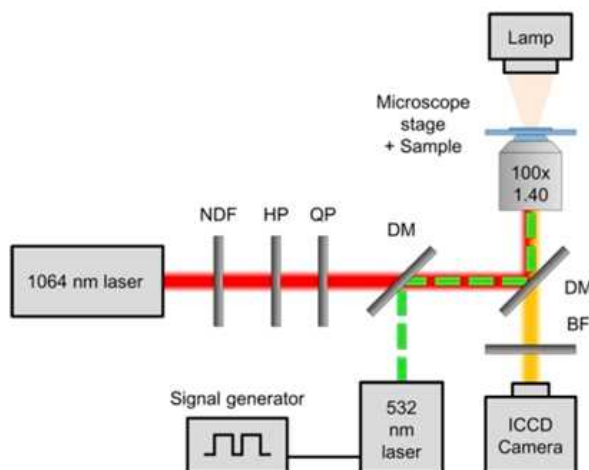
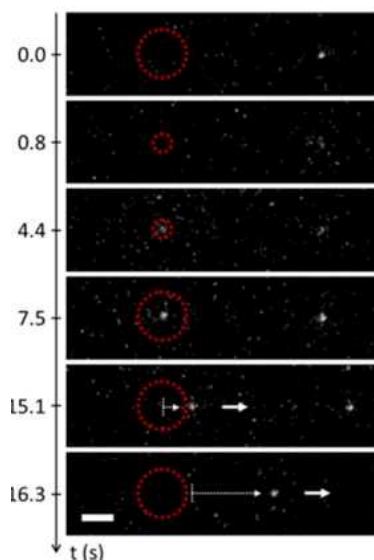


図 2 金ナノ空隙構造にレーザー光を照射して、発光分子のナノ粒子を捕集・配置・固定する実験装置。近赤外レーザー光、光学顕微鏡、高感度カメラ、特殊光学系で構成されている。



**図 3** 高感度カメラで観測した発光分子ナノ粒子の動き。縦軸は時間の流れ（秒），白線は 2 マイクロメートルのスケールを表す。最初の数秒間にワンステップで捕集・固定が実行され，残りの数秒でステージを動かすと，固定された発光ナノ粒子が移動する様子が確認できた。