



# 早稲田大学 先進理工学部 化学・生命化学科 井村研究室（光物理化学研究室）



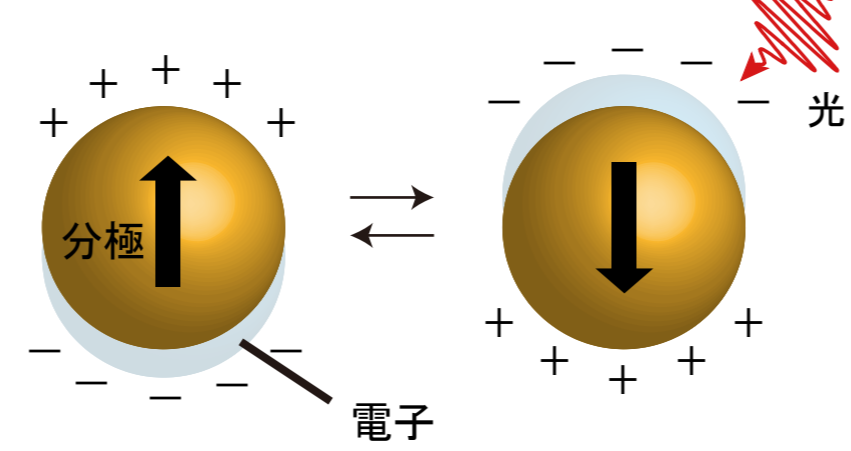
## 研究の概要と研究対象

貴金属ナノ物質（ナノメートル： $10^{-9}$  m）は、バルク固体とは異なる光特性を示します。例えば、金はバルク固体では金色をしています、サイズがナノスケールになると、形や形状によって赤や緑、紫色を示します。こうした光特性の起源になっているのが、自由電子の集団的運動であるプラズモンです。プラズモンはナノ物質の色調を変化させるだけでなく、その周りに強い光電場を発生させます。この増強光電場は、高感度分光法やナノ光デバイスへの応用が期待されています。ナノ物質の応用を進めるためには、ナノ物質の光学特性を本質的に理解する必要があります。井村研究室では、貴金属だけでなく、半導体や有機のナノ物質を研究対象として、その光学特性の解明と制御に向けた研究を進めています。

金ナノ物質



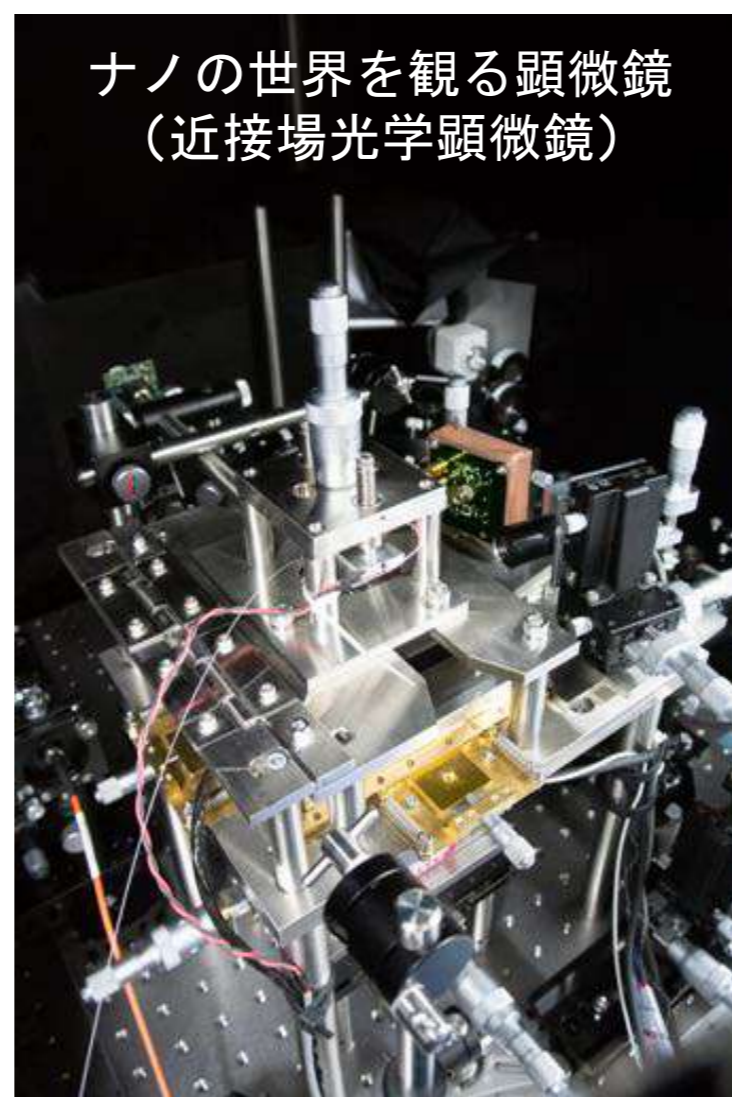
プラズモンモード図



## 近接場光学顕微鏡

ナノ物質の光学特性を理解するには、ナノ物質の内部の様子を観察することが有効です。しかし、通常の顕微鏡では、原理的に200~300 nm程度よりも小さい物を観察することができません。そこで、研究室では、50 nm程度の非常に小さいものまで観察することができる顕微鏡「近接場光学顕微鏡」を使い、ナノ物質の内部の様子を観察を行っています。また、一瞬だけ光るレーザーと近接場光学顕微鏡を組み合わせることで、数十フェムト秒（フェムト秒： $10^{-15}$  s）の非常に高速で起こる現象を観測することを可能にしました。これらの装置を活用し、ナノ物質が示す興味深い現象を追跡することで、その起源を明らかにするための研究を行っています。

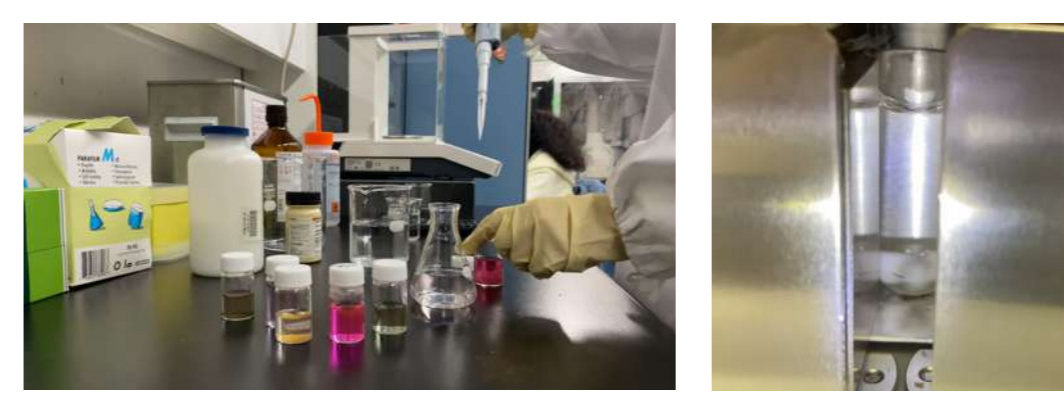
ナノの世界を観る顕微鏡（近接場光学顕微鏡）



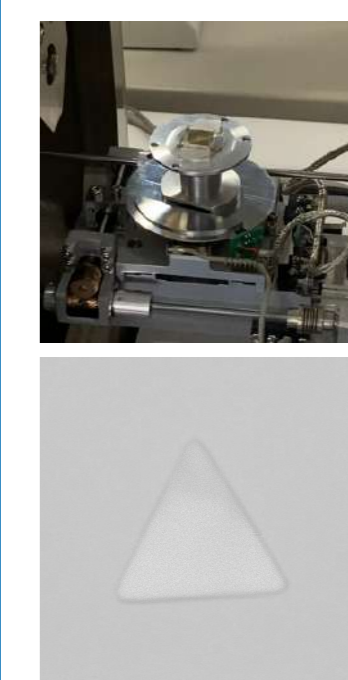
## 研究室での活動

### 合成

研究室にある装置を用いて、測定に使用するナノ物質の合成を行います。



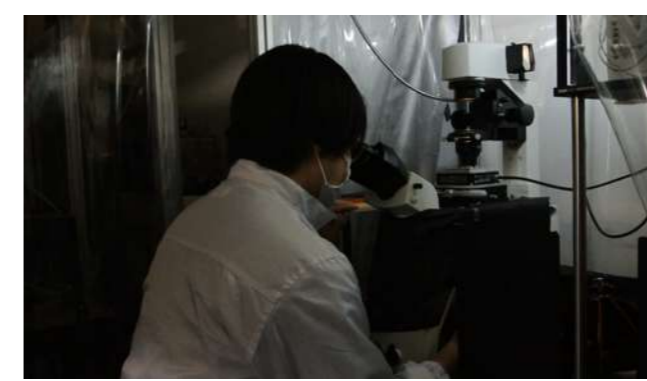
### 評価



電子顕微鏡や原子間力顕微鏡を使って、合成したナノ粒子の形やサイズを調べます。また、吸光度分析などを通じて所望のナノ物質が合成できているかを調べます。

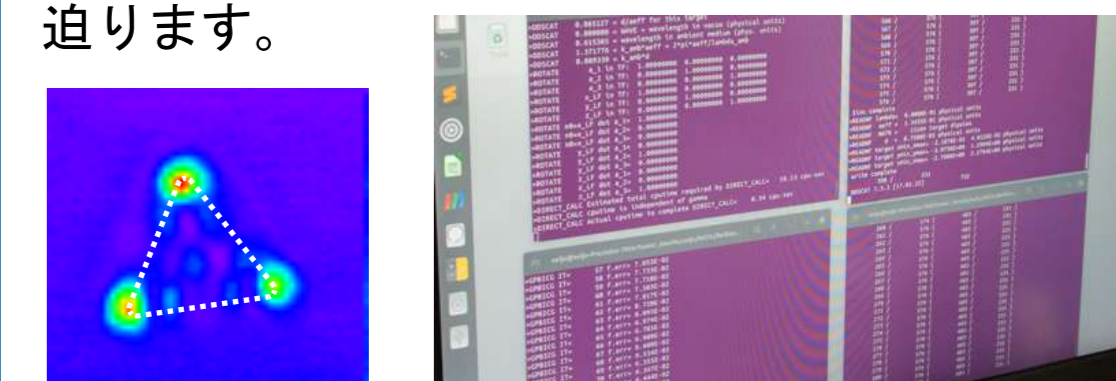
### 測定

研究室で開発した顕微鏡を用いて、ナノ物質の光学特性を調べます。ナノ物質からの発光や散乱、消衰などを高い空間分解能で調べること、ナノスケールの世界で何が起きているかを明らかにすることを目指しています。



### 解析

測定で得られたデータを解析して、情報を抽出したり、比較したりします。また、シミュレーションの結果と比較することで、現象の起源に迫ります。



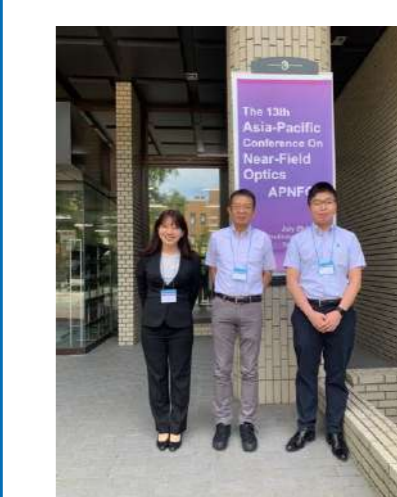
### 報告会

研究活動を通じて得られた結果を定期的に研究室内で発表します。異なる研究テーマに取り組むメンバーや教員からのコメント、質問を通じて新たな視点で研究を観ることが出来ます。



### 学会発表

研究成果がまとまったら、それを国内外の学会で発表します。また、他大学で研究をしている人たちの発表を聴くことで大きな刺激を受けます。

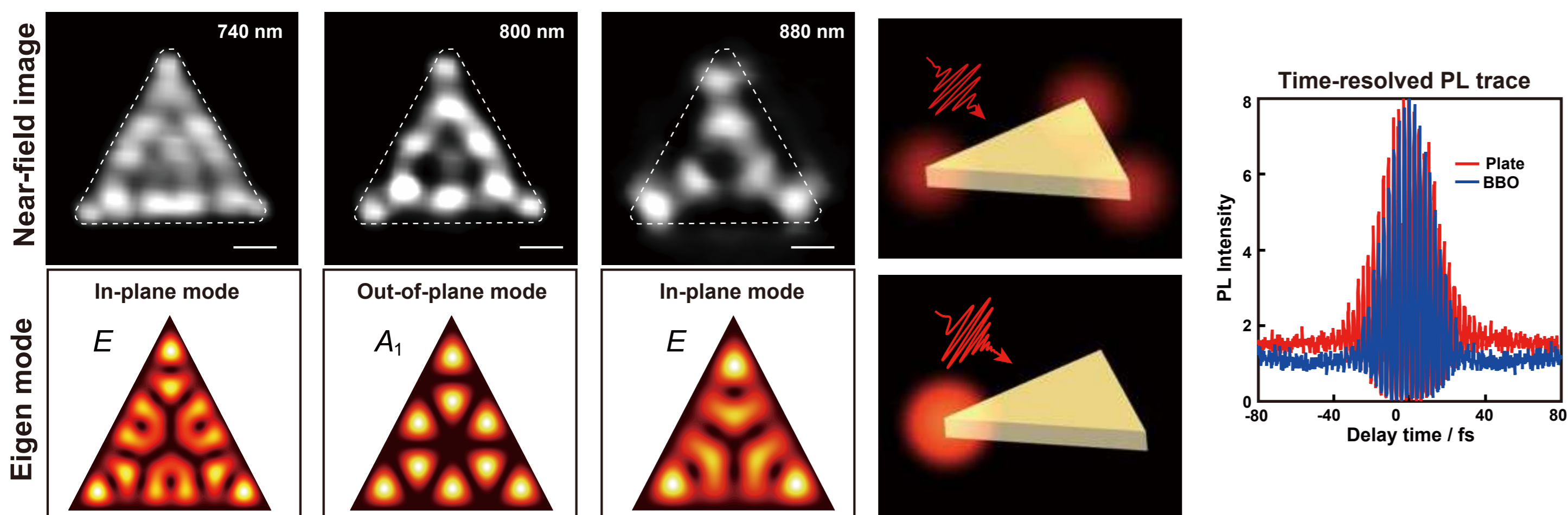


## 研究紹介

### プラズモンの可視化と制御

自由電子の集団的振動であるプラズモンには、自由電子の振動の空間的な分布や、エネルギーが異なるものが存在します。これらを総称してプラズモンモードと呼びます。井村研究室では、これらのプラズモンモードを開口型近接場光学顕微鏡を用いて、可視化することに成功しました。また、プラズモンモードの空間分布が簡単な量子モデルで再現できることを発見しました。さらに、プラズモンモードによって振動の継続時間が変わることも明らかにしました。最近では、特殊な光を使って、特定のプラズモンモードだけを選択的に引き起こす研究を進めています。

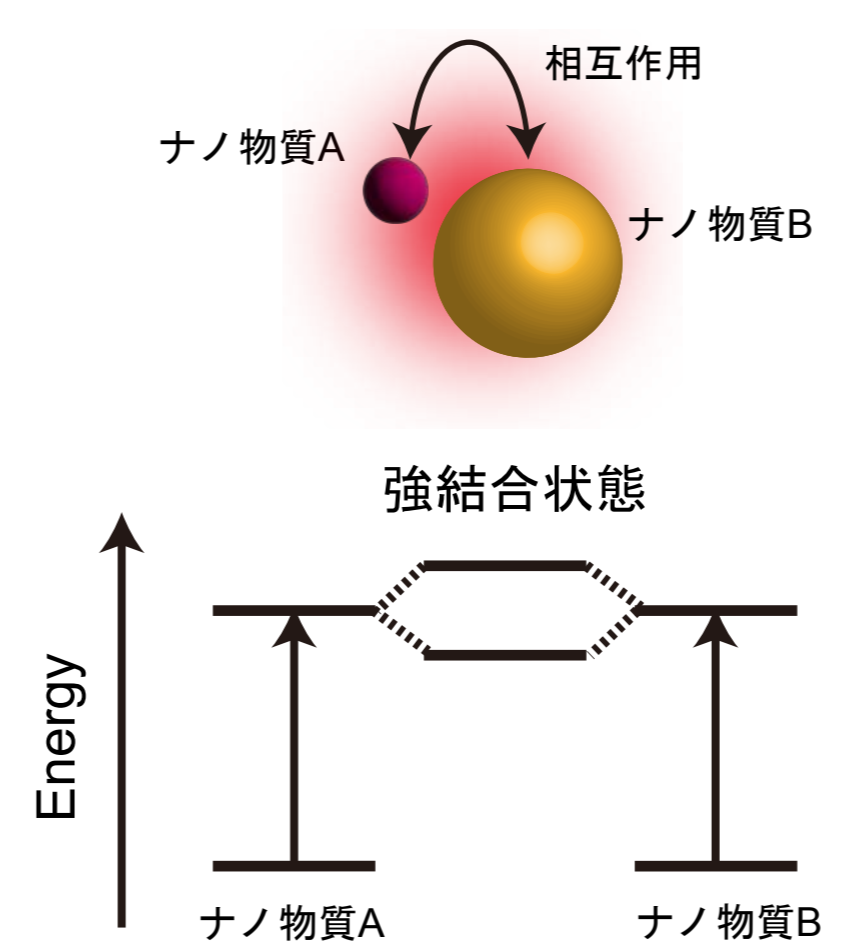
プラズモンの可視化と制御



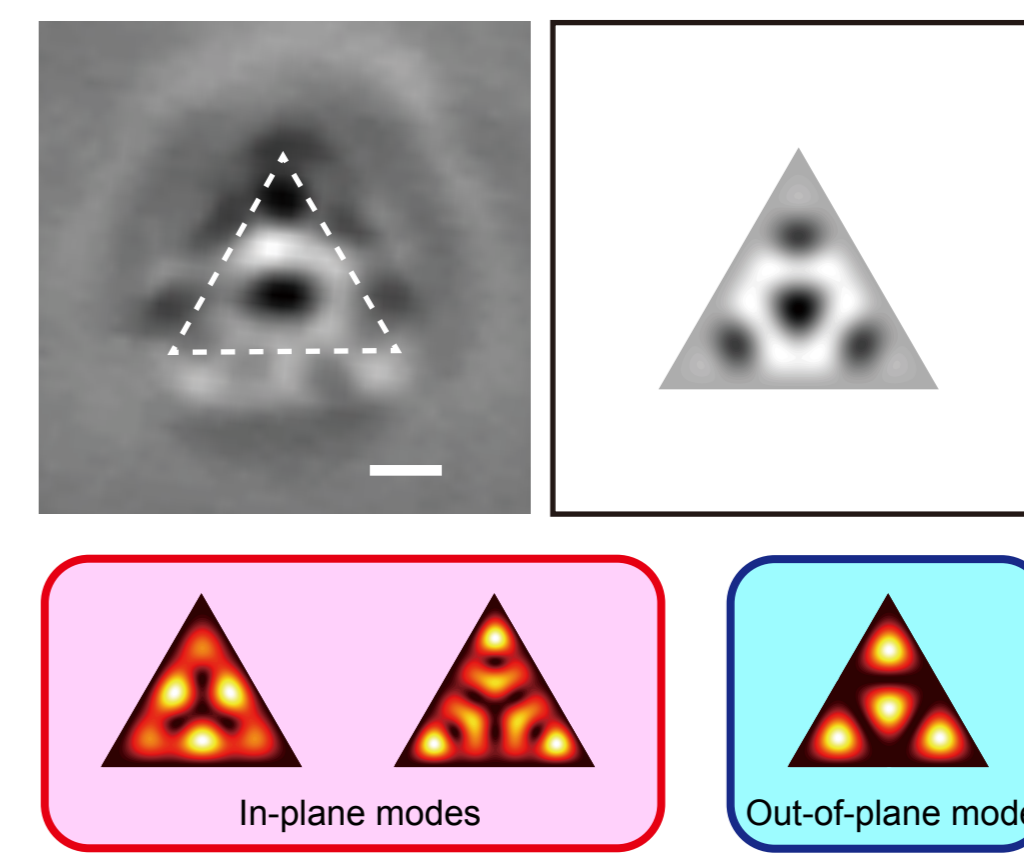
### 強結合状態の解明

ナノ物質とナノ物質が近接して強く相互作用すると、両者がまるで1つ物質であるかのように振る舞います。これを強結合状態と呼びます。強結合状態は、元の物質とは異なる特性を示します。強結合状態の特性は、結合強度に依存し、これを利用した化学反応速度の制御や量子コンピューティングへの応用が期待されています。井村研究室では、強結合系の1つ1つを研究対象として、光学特性を評価することで、その特性解明を目指して研究を進めています。

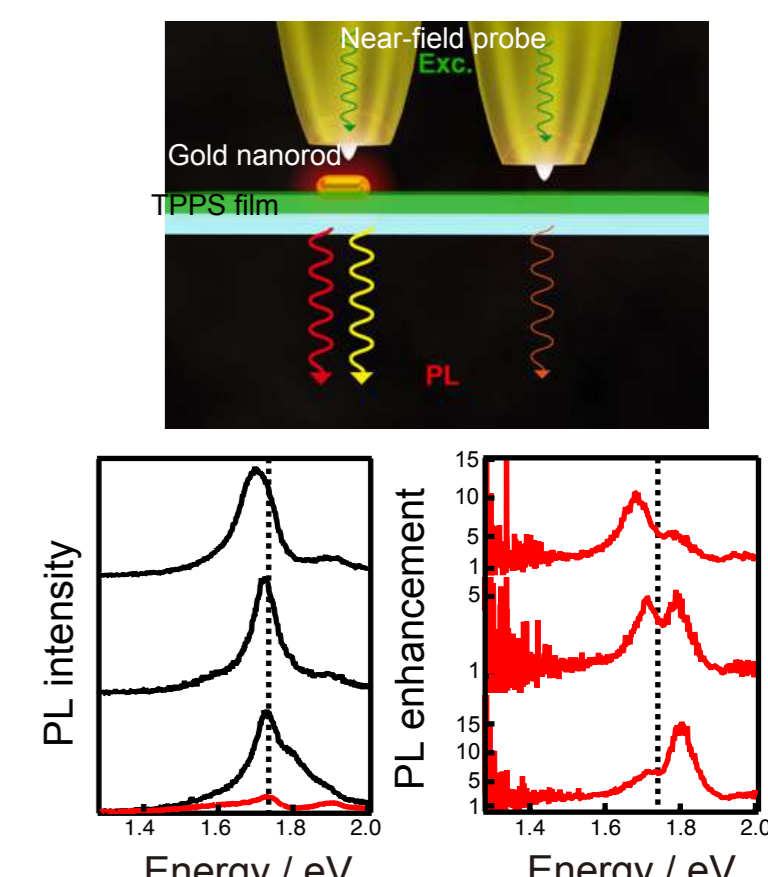
強結合モード図



強結合状態の空間特性



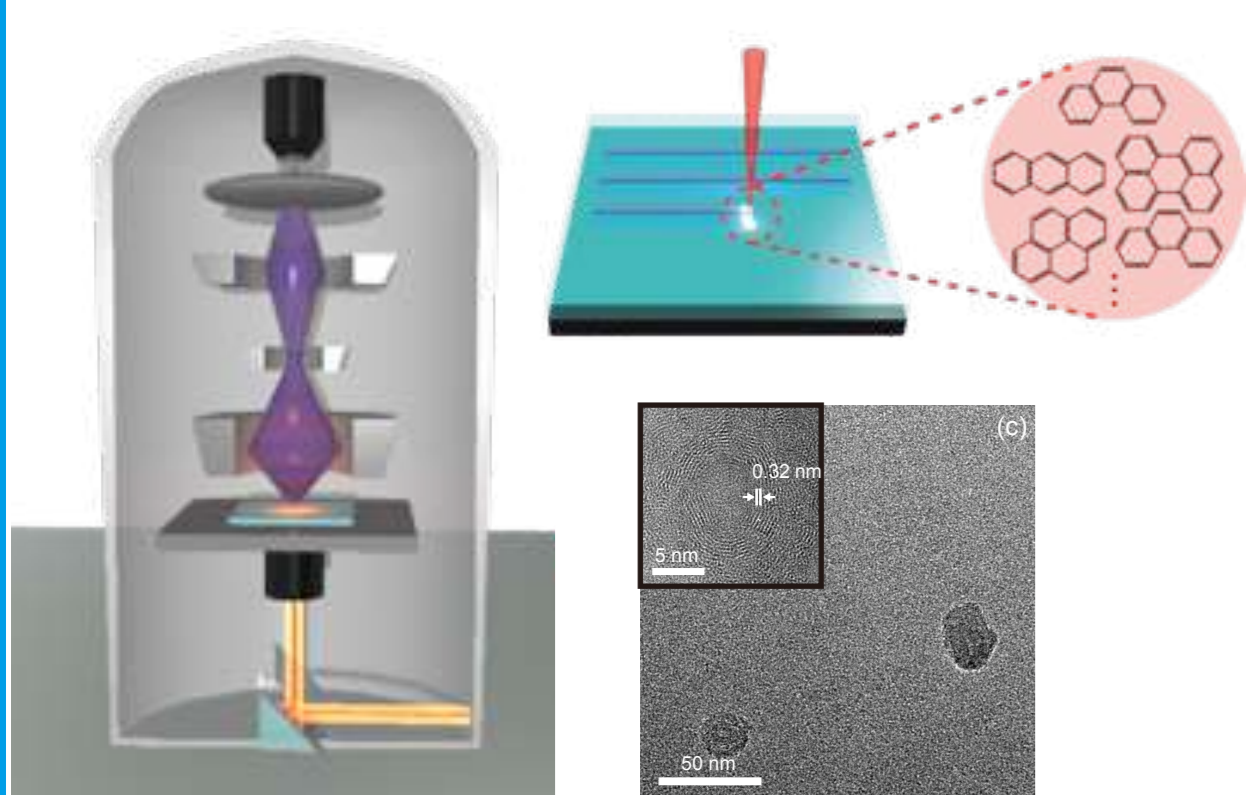
強結合状態からの発光



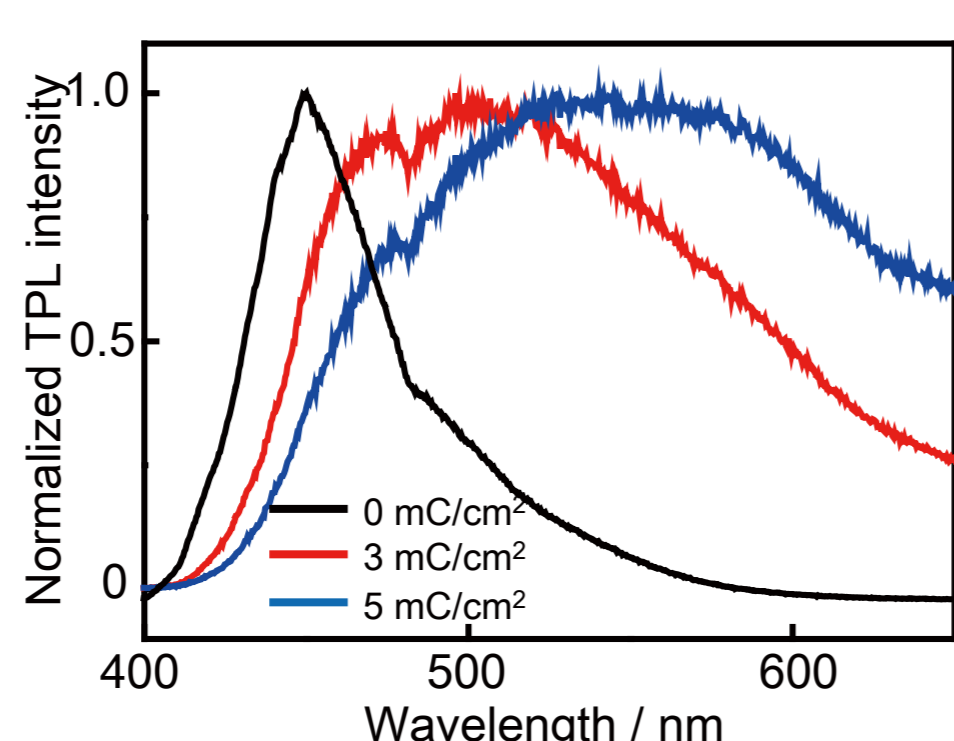
### 炭素ナノ物質の空間選択的作製

炭素の有名なナノ物質には、グラフェンやカーボンナノチューブが挙げられます。これらのナノ物質は、柔軟性や高い電気伝導性を示すことから、導電性材料として利用されています。近年注目されている炭素ナノ物質の一つがカーボンドットです。カーボンドットは、化学的に安定であり、生体への毒性も低いことから、バイオイメージングへの応用が期待されています。カーボンドットを任意の位置に、任意の量だけ作製することが可能になるとその応用の幅が広がります。研究室では、電子線を用いた空間選択的な反応を使って、好きな特性のカーボンドットを簡単に、好きな位置に、好きな量だけ作製することに成功しました。

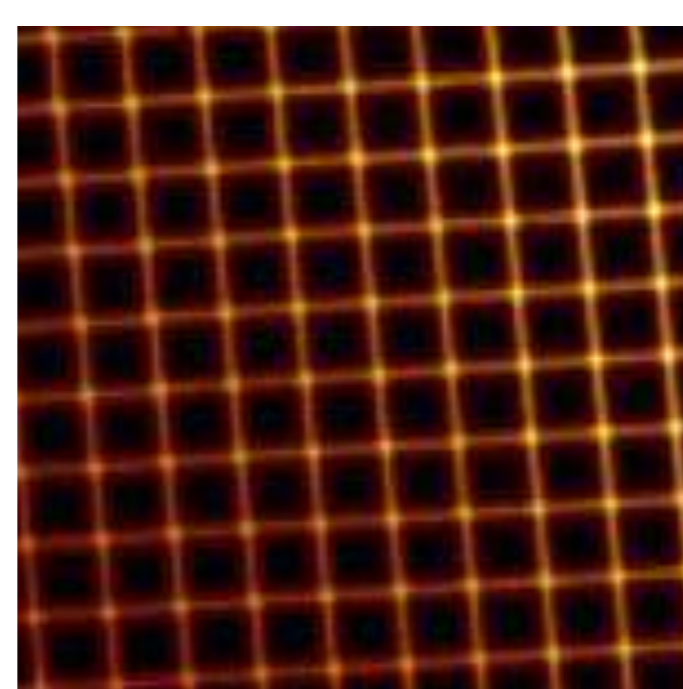
電子線描画の模式図



発光特性制御



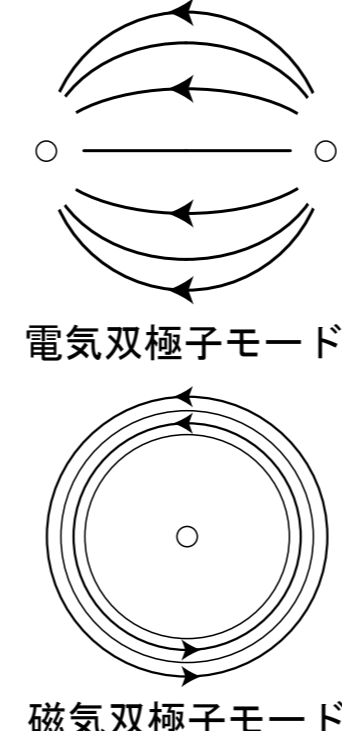
空間選択的作製



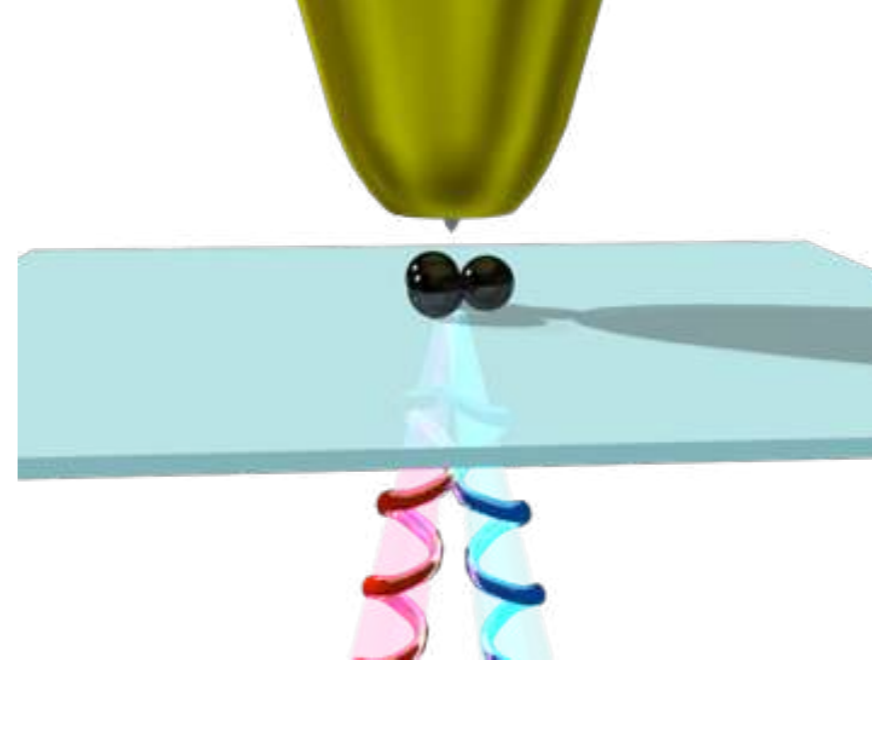
### 半導体ナノ物質の光電磁場増強の解明

シリコンに代表される半導体は、サイズがサブ波長になるとその内部に光の電磁場を閉じ込めるようになります。これを、Mie（ミー）共鳴と呼びます。半導体ナノ物質は、Mie共鳴に由来する面白い特性を示します。その1つが、光キラル場の増強です。光キラル場は、光の電場と磁場のねじれに由来します。この光のねじれを利用することで、キラル結晶化などにつながることを期待されます。また、半導体ナノ物質を金属ナノ物質と組み合わせることで、それぞれの単体では示さないような興味深い特性を示します。研究室では、Mie共鳴による光キラル場の増強とその利用や、Au-Si ナノハイブリッド体の光学特性の究明を目指して研究を進めています。

Mie共鳴モード図



Mie共鳴によるキラル場の増強



Au-Siハイブリッド体

