

# 光とナノ構造のスピン軌道相互作用制御とその活用

北海道大学 電子科学研究所  
笹木敬司

## 1. はじめに

近年のプラズモニクス技術や近接場光制御技術の進歩は、回折限界を遥かに超えてナノスケールまで光を絞り込むことを可能にし、最先端の光ナノイメージング・光計測・分光技術を生み出すとともに、光物理・光化学など光サイエンスの発展に貢献している。光と分子の相互作用は、分子の光消滅断面積 ( $\text{nm}^2$  オーダー) と光のモード面積 (回折限界として  $\sim \mu\text{m}^2$ ) の「サイズミスマッチ」により極めて低い効率であるのに対し、金属ナノ構造体の電子集団振動と光のカップリングにより生成する局在プラズモンは、光をナノサイズの空間に集光する機能 (光アンテナ効果) があり、分子の励起・散乱確率を 4 桁以上増強して発光過程、ラマン散乱、光反応プロセス、非線形光学過程、光圧発生等の超高効率化を実現することができる<sup>1,2)</sup>。

一方、集光スポットの「小ささ」だけでなく、局在プラズモン場における光電場の振幅・位相・偏光の空間分布をナノスケールで自在に成形する技術も開発されつつある。光と分子のサイズだけをマッチングしても、分子の光励起ダイナミクスを自在に制御することはできない。たとえば、電気双極子遷移はサイズマッチングした光によって高効率に誘起できる (許容遷移) が、電気四重極子遷移・磁気双極子遷移や高次多重極子遷移は、光と分子の「形状ミスマッチング」によって励起することはできない (禁制遷移)<sup>3,4)</sup>。最近、局在プラズモン場の急峻な電場勾配を利用して禁制遷移を励起することに成功した実験は報告されているが、勾配だけでは許容遷移を完全に抑制して禁制遷移を選択的に誘起することは不可能である。光の「形」を電子の波動関数や分子の立体構造とマッチングさせる技術により、電子遷移の選択則を完全に打ち破り、これまでの常識を超えた光物理現象や光反応プロセスが実現できれば、高機能光デバイス、光エネルギー変換材料、医療創薬の開発をはじめ様々な光物質科学においてブレークスルーとなりうる新しい展開が期待される。

ここでは、スピン・軌道角運動量を持つ光と金属ナノ構造体の多重極子プラズモンのカップリングについて説明するとともに、金属ナノギャップ構造の局在プラズモン場に光のスピン・軌道角運動量を転写してナノ空間における増強光電場の振幅・位相・偏光の自在な制御を実現する「光ナノシェーピング技術」の原理について概説する。また、ナノ成形光の角運動量が発生する光圧トルクを利用してナノ物質のナノ軌道回転運動を誘起する研究「光圧トルクナノ操作」やその応用について紹介する。

## 2. 光からプラズモンへの角運動量転写

金属ナノ粒子に形成する多重極子プラズモンモードは、ダークモードとも呼ばれ、双極子モードに比べて放射損失が小さい他、双極子モードとの干渉からファノ共鳴が現れるなどの特徴を有しており、光と分子の相互作用を増強することが可能である。しかし、入射平面波と多重極子モードの電場の対称性が異なるため、多重極子プラズモンを励振するためには、サンプル形状か照射光学系の対称性を崩す等の工夫が必要である。これに対して我々は、金属ナノディスクに光渦ビームを垂直照射することにより多重極子モードを選択的かつ効率的に励振する手法を提案している<sup>5-7)</sup>。