

金属ナノ微粒子の非線形光学トラップ

Nonlinear Optical Trapping of Metal Nanoparticles

分子科学研究所 ○岡本 裕巳

Inst. for Molecular Sci., ○Hiromi Okamoto

E-mail: aho@ims.ac.jp

集光レーザービームによる光トラッピングは、微粒子を操作するために広く用いられている手法である。光の電場によって微粒子上に誘起された双極子が光の電場と相互作用して安定化することが、その基本原理となっている。相互作用ポテンシャルエネルギーは通常光の強度に比例するため、集光レーザービームではその集光スポットの中心で最もポテンシャルが低くなり、そこに微粒子が捕捉される（勾配力）。我々は金微粒子をフェムト秒パルスレーザーで捕捉すると、分極の非線形性に基づく特異なトラッピング挙動が起ることを見いだした[1]。これは光トラッピングが共鳴非線形条件下ではバラエティーに富んだ挙動を示すことを示唆するものである。

実験では直径 60 nm の金微粒子（コロイド水溶液）を捕捉する対象とし、光源には波長 800-920 nm, パルス幅約 80 fs の Ti:sapphire レーザー光（TEM₀₀ モード）を、開口数（NA）0.85 の対物レンズで照射して用いた。レーザーは外部からパルスモードと CW モードを切り替えることができる。粒子の捕捉の状況は、暗視野条件で波長 532 nm の光を微粒子に照射し、散乱光によるイメージをビデオカメラでモニターした。金微粒子水溶液は、捕捉位置に一度に多数の粒子が捕捉されることのないよう、十分低い濃度に調製した。

図 1 にトラップされた粒子のイメージの例を示す。レーザーが CW モードのとき、焦点位置に一つの微粒子が捕捉される。しかしレーザーをパルスモードに切り替えると、捕捉される位置が焦点の中心から若干変位し、状況により焦点の中心を挟んで 2 カ所にそれぞれ 1 個ずつの微粒子が捕捉される。またその二つの捕捉点の配向は入射レーザーの偏光方向に平行で、偏光を回転させると捕捉点の位置を回転させることができる。入射レーザー光の平均パワーに対して二つの捕捉点の間の距離を測定してプロットしたところ、ある閾値パワー以下では捕捉点間の距離は 0 であるが、閾値を超えたところで急激に間隔が開き、その後徐々に弱い依存性に移行する。光強度を調整することで二つの捕捉点間距離を制御することも可能である。

これらの観察結果を解釈するため、3 次の非線形分極を考慮した勾配力を定式化し、結果を解析したところ、見出された特徴的な挙動を全て定性的に説明できることが分かった。微粒子に誘起される分極は、入射光のピーク強度が高くなると飽和し、ある閾値以上になると、却って小さくなると考えられる。その結果、勾配力ポテンシャルは、光強度が最大の焦点の中心ではなく、中心から若干変位した位置に極小を持ち、そこに微粒子が捕捉されると考えられる。金微粒子では波長 550 nm 付近に強いプラズモン共鳴があり、それによって高強度のレーザー場中で大きな共鳴非線形分極が生じ、上記のような特異なトラッピングの挙動が観察されたと解釈される。

[1] Y. Jiang, T. Narushima, H. Okamoto, *Nat. Phys.* **6** (2010) 1005.

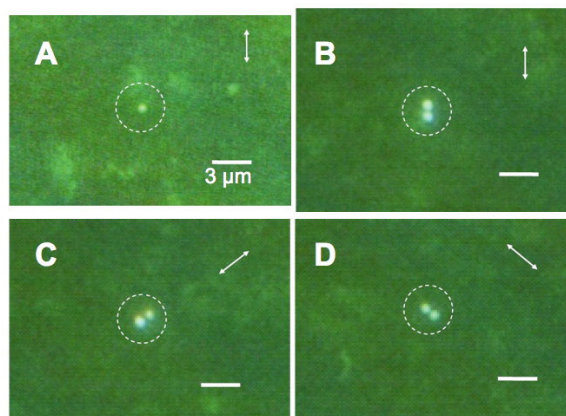


図 1 Ti:sapphire レーザー（波長 850 nm, 強度 150 mW）による金微粒子（直径 60 nm）のトラッピング。A: レーザーが CW モードの場合, B~D: レーザーがフェムト秒パルスモードの場合。矢印は偏光方向。