

熱揺らぎによる超高精度ナノ光スクリーニングの原理開拓

Development of Ultra-high-Accuracy Nano Optical Screening by Thermal Fluctuations

阪府大ナノ科学・材料セ¹, 阪府大院工², ○田村 守^{1,2}, 飯田 琢也^{1,*}N2RC¹ & Grad. Sch. Eng.² in Osaka Pref. Univ., ○Mamoru Tamura^{1,2}, Takuya Iida^{1,*}

*Email: t-iida@21c.osakafu-u.ac.jp

光ピンセットを用いた微小物質操作において常温媒質中での熱揺らぎは大敵と考えられてきた。一方で、ミオシンなどの分子モーターは、ATP 添加による構造変化を繰り返してアクチンフィラメントとの相互作用ポテンシャルの空間的対称性を時間的に変化させ、熱揺らぎを巧みに使って物質輸送を行うとの報告がある[1]。この仕組みからヒントを得て、光電磁場の偏光や時空間構造を変化させることで、ナノ粒子の配列・光機能制御[2,3]や光輸送の増強[4]に熱揺らぎを利用できる可能性を我々は示唆して来た。特に今回、多体効果を含めた理論的考察[3]や一般的な振幅関数の導入[5]により光ポテンシャルを適切にデザインすることで常温水中での熱揺らぎを積極利用して、幾何学的性質の異なるナノ粒子を高精度で選別できることを解明したので報告する。

光誘起力と揺らぎの下でのナノ粒子の運動評価には、我々が独自に開発した「光誘起力ナノ動力学法(LNDM)」[2,3]を用いた。図1(a)(b)のようにz軸上で対向して伝播するガウスビームを入射光として想定し、金ナノ粒子(図中NP)を操作対象とした。G1の振幅を固定したまま、G2の振幅関数を $f(\Omega t)=0.4(\cos[\Omega t]+1)+0.2$ ($\Omega=8\pi$)の形で与えて光電場の時空間変動をデザインした。強度の高低差は $\cos[\Omega t]=1$ の時に最大となり、 $\cos[\Omega t]=-1$ の時に最小となる。各々の数値実験では2000回の試行を繰り返し、粒子の輸送距離の統計平均を評価した。図1にあるように、 $\cos[\Omega t]=1$ では高強度の光電場によって粒子はトラップされているが、 $\cos[\Omega t]=-1$ におけるポテンシャル井戸の深さは数 $k_B T$ 程度なので、熱揺らぎの効果でトラップを抜け出し、散逸力で輸送されることになる。結果として、図2のように常温媒質中であってもレーザー出力を調節することで2nmの精度で直径の異なるナノ粒子をマクロな空間に渡って選別できることが分かった。本研究で得られた成果は光と揺らぎを組み合わせたバイオミメティックな光操作技術の開拓に繋がるものであり、ナノ粒子の分離・分析技術に新機軸を与えるものと考えている。

- [1] N. Kodera, et al., *Nature* **468**,72(2010).
 [2] T. Iida, *J. Phys. Chem. Lett.*, **3**, 332 (2012).;
Res. Chem. Intermed. **38**, 1215 (2012).
 [3] T. Iida, M. Tamura, *Phys. Stat. Sol. (c)* **9**, 2521 (2012).
 <Selected for the front cover>.
 [4] T. Iida, *Technical Digest of MOC2010*, WP123 (2010).
 [5] M. Tamura, T. Iida, *Nano Lett.* **12**, 5337 (2012)

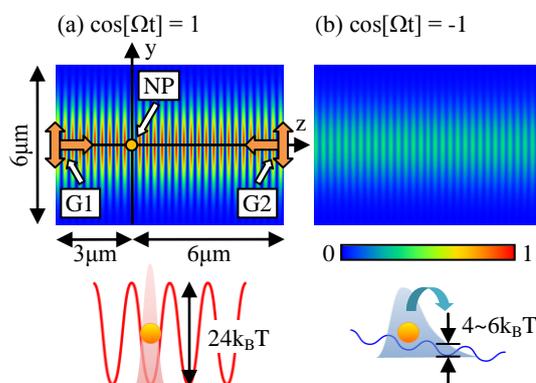


図1: (a)(b)対向して伝播するガウスビーム(G1,G2)が形成する定在波の強度分布((a)の最大値で規格化)と、レーザー出力が1Wの場合に直径40nmの金ナノ粒子が $z=0$ 付近で感じるポテンシャル。ビームの波長は780nm、スポット径は2.0 μm 、焦点は原点に設定。常温の水中を仮定。

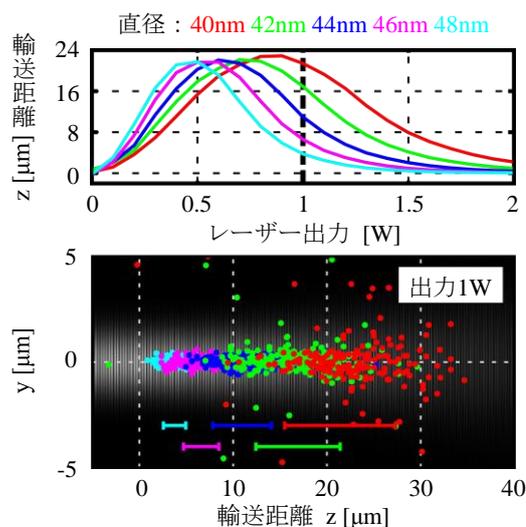


図2: 計算結果。(a)直径の異なる金ナノ粒子の平均輸送距離の出力依存性。(b)1Wの出力における5秒後の粒子の分布(3次元の結果をzy面に射影)。横棒は輸送距離 z の二乗平均平方根を示す。