

確率共鳴に基づく新奇ナノ光マニピュレーションの創成

Creation of Novel Nano Optical Manipulation Based on Stochastic Resonance

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,*}

*E-mail: 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すことで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]。受賞対象の研究では、このような生命の仕組みからヒントを得て、揺らぎを味方とする逆転の発想に基づくバイオミメティック光マニピュレーションという新しいコンセプトを開拓した。すなわち光電磁場の時空間構造をデザインすることで、「揺らぎ」の効果を積極的に利用し、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[2,3]。更にその後の研究の進展により、これまでに見出してきた輸送距離の増強現象が非平衡物理の確率共鳴[4]と呼ばれる現象と対応付けられることを明らかにした。確率共鳴とはノイズに隠れた信号を逆に「揺らぎ」で増幅する現象で、ザリガニなどの小動物が天敵から逃れる際に利用するとの報告もある。特に今回、振幅関数の振動数をパラメータとして確率共鳴を制御し、粒子の輸送距離を調整することで、高精度選別の自由度を拡大できることも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は、我々が独自に開発した「光誘起力ナノ動力学法」[5]を用いた。前回同様に図1の様に対向して伝播するガウスビーム G1,G2 により光定在波を形成し、焦点 $z=0$ に初期配置した金ナノ粒子を常水中で輸送するモデルを想定したが、G2の振幅関数を $f(t)=0.425(\cos[N\pi t]+1)+0.15$ の様に与え、これまで固定していた変調振動数 N もパラメータとした。図2(a)は振幅関数の振動数 N の増加に従って、輸送距離の出力依存性のピークが低出力側にシフトすることを示す結果である。同様の傾向が確率共鳴[4]においても見られることが報告されており、我々が見出した効果と関連していることを裏付けている。特にある特定の振動数の時、例えば $N=200$ ではポテンシャルの変化と揺らぎの関係が最適化され、図2(b)に示す様に二乗平均平方根による評価では、2nm 以下の高精度で粒子を選別できることが分かった。これまで検討した光の自由度はポテンシャルの空間的対称性、変調振動数が中心だったが、光には更に多くの自由度があり、今後の検討課題である。これまで得られた成果とこれからの研究展開は、生命の仕組みからヒントを得て、ナノ光マニピュレーションを革新する原理を非平衡物理の観点から与え、ナノ粒子の分離・分析への応用を初めとした、医薬品の精製、触媒用粒子の抽出などの多くの分野に波及効果をもたらすと期待できる。

[1]N. Kodera, et al., *Nature* **468**,72(2010).

[2]M. Tamura, T. Iida, *Nano Lett.* **12**, 5337 (2012).

[3]田村守、飯田琢也、「光誘起力と揺らぎによるナノ粒子の分離抽出＝分子モーターの仕組みに学ぶ次世代ナノ光技術＝」、光アライアンス、印刷中(2013/6)

[4]L. Gammaitoni, et al., *Rev. Mod. Phys.* **70**, 223 (1998).

[5]T. Iida, *J. Phys. Chem. Lett.*, **3**, 332 (2012).

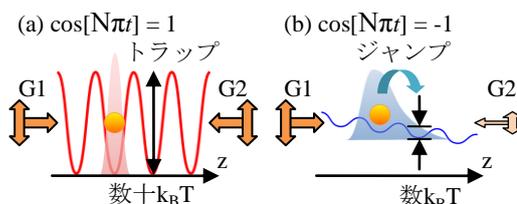


図1：金ナノ粒子が $z=0$ 付近で感じるポテンシャルの構造。(a)では数十 $k_B T$ のポテンシャル井戸に完全にトラップされる一方で、(b)では熱揺らぎによって井戸を抜け出し、G1の光圧により次の井戸へジャンプする。

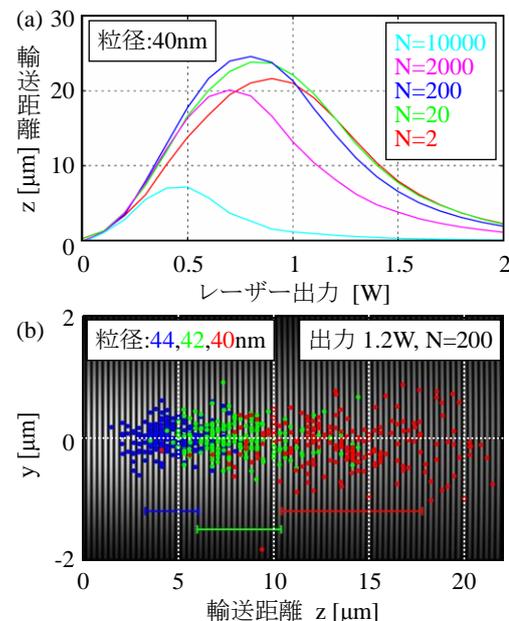


図2：(a)5秒後の平均輸送距離の出力依存性。Nは振幅関数の振動数を示す。(b)出力1.2W, $N=200$ における、粒径が異なる粒子の5秒後の分布。誤差棒は輸送距離 z の二乗平均平方根を示し、粒子を5~10 μm の空間に分離できる。