

ナノ構造に働く光圧の精密測定に向けた光補足ポテンシャルデザイン

Design of optical trap potential for optical force measurement on nanoparticles

東大生研¹, JST さきがけ² ○福原 竜馬¹, 田中 嘉人^{1,2}, Vantasin Sanpon¹, 志村 努¹IIS, the Univ. of Tokyo¹, JST PRESTO²○Ryoma Fukuhara¹, Yoshito Tanaka^{1,2}, Sanpon Vantasin¹, Tsutomu Shimura¹

E-mail: fukuhara@iis.u-tokyo.ac.jp

光圧を利用したマイクロ粒子の回転操作に関して数多くの研究開発が進められ、粘度計やマイクロポンプなど様々な分野に応用されてきたが、光波長スケールより小さいナノ粒子に対しては、回折限界のために回転操作の自由度は光軸方向のみに限定されていた。そこで我々は、光と局在プラズモンモードの相互作用に着目し、V字型のプラズモニックナノ構造に光軸方向とは異なる新しい回転軸の光トルクが発生することを数値シミュレーションにより見出してきた[1]。従来は、光捕捉した微粒子のブラウン運動による位置揺らぎ情報を測定することで、ポテンシャル解析から fN オーダーの力検出感度で光圧を定量的に求めてきたが[2]、ナノ粒子に対して 3 軸方向の回転揺らぎを直接測定することは極めて難しい。そこで我々は、ナノ粒子に働く光トルクの精密測定に向け、マイクロマシンのポテンシャル解析によってナノ粒子に働く光圧を測定する手法を開発してきた[3]。

ポテンシャル解析の力検出感度の向上は、光トラップに使用するレーザーの強度を低くすることによって達成できる。一方、トラッピングのレーザー強度の低下は、マイクロマシンがトラップポテンシャルの外に飛び出す確率の上昇も招く。光トラップの感度と安定性に対するこのトレードオフの関係を解消するために、マイクロマシンのリアルタイムな位置に応じて、トラッピングのレーザー強度に時間的な変調をかけることによりポテンシャルの形状をデザインする手法 (Fig. 1) の開発を行った。CMOS イメージセンサーを利用した高フレームレート (> 100Hz) の撮像を行い、その画像処理結果をもとに、応答速度の高い (< 1 μ s) 電気光学変調器 EOM を用いて強度の変調を行うことで、Brown 運動に追従した Feedback を実現する。具体的には、光トラップを低いレーザー強度で行い、トラップ中心からの変位が閾値を超えたときに、EOM によってレーザー強度を上昇させる (Fig. 2) ことで、トラップの強度を低く保ちつつ、安定性の向上を行う。

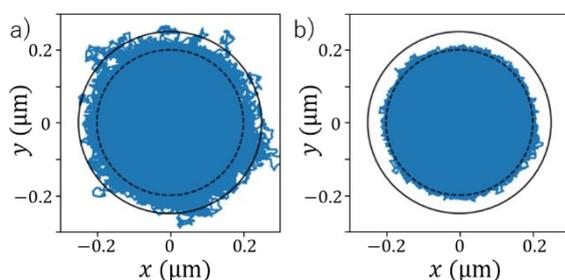


Fig1 The scatter plot of the particle position in the optical trapping in the finite difference simulation. a) and b) is a result of non-feedbacked and feedbacked situation.

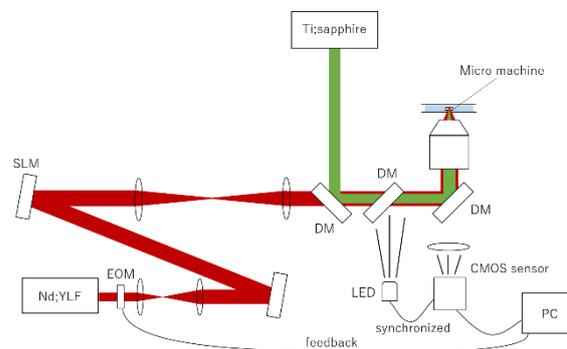


Fig2 The Schematic view of experimental system. The trapping laser source is Nd:YLF (1053nm), and the CMOS sensor takes reflection images.

[1]福原竜馬 他, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会 (2018)

[2] Y. Tanaka, et al. Nano Lett., 13(5), 2146 (2013)

[3]福原竜馬 他, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 (2017)