

多様なサイズ・形状の粒子操作に向けた輪郭トラッキング光ピンセット における付与力の光線追跡による解析

Analyses of applied forces with ray tracing simulation on contour-tracking optical tweezers toward manipulation of particles of diverse size and shape

東京大工¹ ○大峰 遼平¹, 増井 周造¹, 道畑 正岐¹, 高橋 哲¹

The Univ. of Tokyo¹, ○Ryohei Omine¹, Shuzo Masui¹, Masaki Michihata¹, Satoru Takahashi¹

E-mail: takahashi@nanolab.t.u-tokyo.ac.jp

集光ビームにより微小物体を捕捉する光ピンセット[1]は、微小物体の操作において非常に有望な技術である。しかしながら従来の光ピンセットは、10 μm を超える大きな物体に対して捕捉力が不足する[2]ことや、複雑形状物体への照射時に不規則に回転し[3]安定捕捉（位置・姿勢固定）が難しいことが課題である。このサイズ・形状の制約を打破するため、筆者らは輪郭トラッキング光ピンセットと題する手法を提案している。この手法では、対象物体の輪郭をリアルタイム画像処理で取得し、その輪郭上の各点に集光するビームを時間平均で重ね合わせた照射パターンを物体に照射することで安定捕捉を実現する。筆者らはこの手法を用い、従来法では実現不可能であったサブ mm 級 ($\sim 120 \mu\text{m}$)・不規則形状ポリスチレン粒子の安定捕捉を実験的に実現した[4,5]。

輪郭トラッキング光ピンセットによる安定捕捉は、粒子の輪郭付近が球に近似する光学応答を示すため、外向き・上向きの力が付与されることが原因と考えられている（図 1）[4]。しかしながら現時点ではこれは仮説であり、実際の付与力は不明であった。そこで、 μm -mm スケールの物体の光学応答解析に適した光線追跡シミュレーションを構築し、不規則形状粒子（Gaussian Random Ellipsoids [6]）に対する付与力を解析した（図 2）。その結果、確かに輪郭への照射時に法線方向および鉛直上方向の成分が支配的に働くことが確かめられ、仮説の妥当性が検証された。

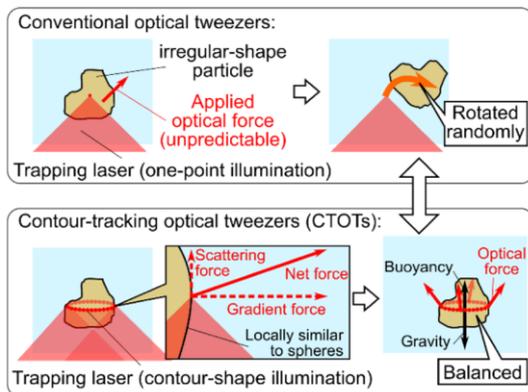


図 1 輪郭トラッキング光ピンセットによる付与力の仮説 [4]

対象粒子：
(等価半径 10 μm)

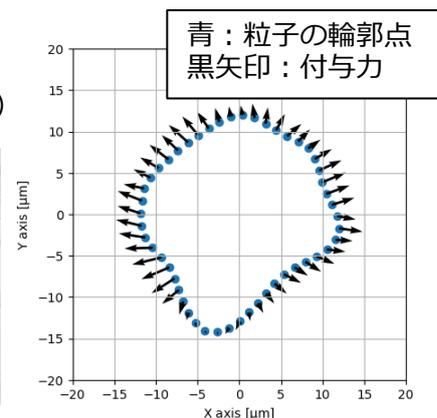
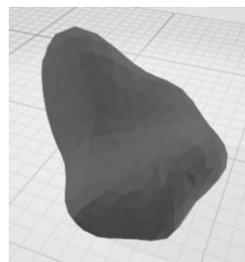


図 2 輪郭トラッキング光ピンセットによる不規則形状粒子への付与力のプロットの例

謝辞 本研究は里見奨学会の支援を受けて行われた。

[1] A. Ashkin *et al.*, *Opt. Lett.*, vol. 11, no. 5, pp. 288–290, 1986. [2] I. A. Favre-Bulle *et al.*, *Nanophotonics*, vol. 8, no. 6, pp. 1023–1040, Jun. 2019. [3] E. Higurashi *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 64, no. 17, pp. 2209–2210, Apr. 1994. [4] R. Omine *et al.*, *Opt. Lett.*, vol. 49, no. 10, pp. 2773–2776, 2024. [5] 大峰遼平ら, 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会, Sep. 2024. [6] K. Muinonen and T. Pieniluoma, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, vol. 112, no. 11, pp. 1747–1752, Jul. 2011.