

光マニピュレーションにおける勾配力と熱泳動力の数値シミュレーション

Numerical simulation of gradient and thermophoretic forces in optical manipulation

兵県大工¹, 神戸高専², 京大情報³ ◯瀬戸浦 健仁¹, 出 康樹², 鈴木 隆起², 辻 徹郎³

Univ. Hyogo¹, Kobe City Col. Tech.², Kyoto Univ.³ ◯Kenji Setoura¹, Koki Ide², Takayuki Suzuki²,

Tetsuro Tsuji³

E-mail: setoura@eng.u-hyogo.ac.jp

光マニピュレーションにおいては、近赤外波長域における溶媒の光吸収や、近接場を発生させる金属ナノ構造の光熱変換のために、レーザー照射スポットの温度が数°Cから時には 100 °C程度まで上昇する。このような局所加熱が顕著な条件では、光圧に加えて熱対流および熱泳動など熱誘起の物質輸送現象が駆動される。近年では、これらの熱誘起の現象を光圧と併用して物質を捕捉および輸送する「Optothermal manipulation」の報告が増加している[1]。熱泳動を活用した Optothermal manipulation の開拓のためには、捕捉対象の微粒子に作用する光圧と熱泳動力を定量的に切り分ける必要がある。我々の研究グループでは、水中を拡散するポリスチレン微粒子の熱泳動挙動について、実験とよく一致するブラウン動力学計算のモデルを開発している[2]。そこで本研究では、この計算モデルを拡張して光ピンセットにおける勾配力を実装することで、近赤外波長の集光レーザービームによる水中の光ピンセット条件における、熱泳動の寄与を数値計算によって検証した。

Figure 1 に、水中の直径 500 nm のポリスチレンナノ粒子に光勾配力および熱泳動力が作用した際の拡散挙動を示す。まず Fig. 1a では、時刻 $t = 0$ s において 500 個のナノ粒子が $40 \times 40 \mu\text{m}$ の x - y 平面の二次元領域にランダムに配置されている。この系では、回折限界まで集光された波長 1560 nm のレーザーによって x - y 座標の原点に勾配力が発生しつつ、水の光吸収による局所加熱で熱泳動も同時に誘起される。Fig. 1b には、レーザー照射開始から 60 秒経過時点のナノ粒子の位置を示す。この $t = 60$ s では、数個のナノ粒子が勾配力で x - y 座標の原点付近に捕捉されつつ、その近傍では熱泳動によってナノ粒子が押し出された枯渇領域があることが確認できた。講演では、レーザー波長や集光スポットサイズを変数とした際の捕捉挙動について詳細に議論する。

[1] D. G. Kotsifaki and S. N. Chormaic, *Nanophotonics*, **2022**, 11, 2199–2218.

[2] K. Ide et al., *ChemRxiv*, **2024**, DOI: 10.26434/chemrxiv-2024-10n14.

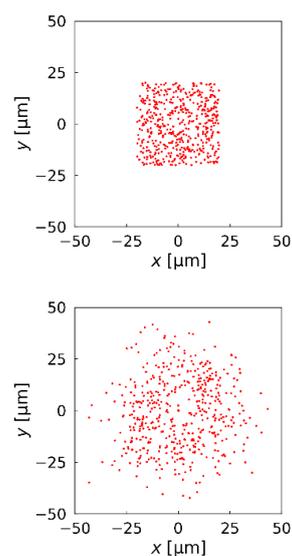


Figure. 1 (a) Initial positions of polystyrene nanoparticles. (b) Nanoparticle positions at $t = 60$ s.