

微小粒子の光捕捉過程における周囲流体の大規模流れ

Large-scale convection of surrounding fluid in optical trapping

京大院情報¹, 阪市大院理², 産総研バイオ³, 関学大院理工⁴, 阪大院基礎工⁵

○辻 徹郎¹, 細川 千絵^{2,3}, 岸本 龍典^{2,4}, 大久保 匠⁵, 工藤 卓⁴, 川野 聡恭⁵

Kyoto Univ.¹, Osaka City Univ.², AIST³, Kwansai Gakuin Univ.⁴, Osaka Univ.⁵

○Tetsuro Tsuji¹, Chie Hosokawa^{2,3}, Tatsunori Kishimoto^{2,4},

Takumi Okubo⁵, Suguru N. Kudoh⁴, and Satoyuki Kawano⁵

E-mail: tsuji.tetsuro.7x@kyoto-u.ac.jp; hosokawa@sci.osaka-cu.ac.jp

集光レーザービームの光圧を用いた微小粒子の光捕捉ダイナミクスは、ナノ粒子や分子の光捕捉、集合体形成過程の理解において重要である。特に、粒子の光捕捉にともなう周囲流体の運動は、レーザー集光領域を大きく上回る影響範囲を持っているため、集合化現象の大規模化に利用できることが期待される。従来、レーザー照射時の周囲流体運動は、流体あるいは捕捉粒子の光熱効果による発熱とそれに起因する熱対流が原因であると考えられてきた。本研究では、粒子の光捕捉にともなう周囲流体の運動が、熱対流だけでなく、散乱力で光軸方向に輸送される粒子運動によって引き起こされることを、実験および単純な混相流モデルの数値解析により明らかにした結果について報告する。

試料として粒径 1 μm および 500 nm の蛍光性ポリスチレン粒子水分散液を用いた。試料溶液をホールスライドガラスに封入し、粒子の運動を倒立型蛍光顕微鏡で観察した。波長 1064 nm の Nd:YVO₄ レーザーを顕微鏡油浸対物レンズで試料溶液中に集光し[1], 133 \times 133 μm^2 の撮影領域の中心において粒子の光捕捉を確認した。対応する数値モデルとして、Boussinesq 近似下の Navier-Stokes 方程式とエネルギー方程式に、散乱力に起因する粒子運動由来の外力項を加えたモデルを用いた。このモデルを有限差分法で数値計算することで、レーザー照射時の流れ場および温度場を解析した。実験の結果、レーザー照射の開始後すぐに集光点に捕捉される粒子が観察されるが、同時に撮影領域全体にわたり集光点に向かう粒子の流れが見られた。集光領域の大きさは約 1 μm であるため、この大規模な流れは光圧のみでは説明できない。そこで、Particle Image Velocimetry (PIV) 法により流速場を可視化解析し、半径方向流れ場の空間構造に注目した。数値モデルの数値解析結果と実験結果を比較すると、周囲流体の流れ場のオーダーおよび空間スケールが熱対流のそれとは異なり、粒子運動に駆動される対流に近いことが分かった。レーザー光強度、粒子サイズ、粒子数密度などが異なる実験を行うことで、大規模流れの原因が散乱力による捕捉粒子の運動に起因することを明らかにした[2]。このような背景流体の大規模流れは粒子を集光点に集める効果を促進するため、集合化現象の高速化・大規模化に利用できると考えられる。

[1] I. Hanasaki, C. Hosokawa, *Jpn. J. Appl. Phys.* **58**, SDDK07 (2019)

[2] C. Hosokawa, T. Tsuji, et al., *J. Phys. Chem. C* **124**, 8323 (2020)