

集光サイズを超えたマイクロ粒子光捕捉のモデル化

Modeling of optical trapping of microparticles over the size of focal spot

○横山 知大¹、石原 一^{1,2} (1. 阪大院基礎工、2. 阪府大院工)

○Tomohiro Yokoyama¹ and Hajime Ishihara^{1,2} (1. Osaka Univ., 2. Osaka Pref. Univ.)

E-mail: tomohiro.yokoyama@mp.es.osaka-u.ac.jp

光による微小物質の操作・選別は様々な応用上の観点から注目されている。マイクロ、ナノスケールの微小粒子を規則的に配列・集積させ、その構造を自在に制御できれば、その構造自体がフォトニック結晶やメタマテリアルとして新奇光学応答を示す機能材料として期待される。その様な粒子の配列化を光学的手法で実現できれば、直接的な力学的操作より効率的であり、化学的手法とも親和性が高いことから、複合的・多様で素速い制御が可能な微小粒子の秩序化につながると考えられる。我々はその実現に向けた複数のマイクロ粒子の光補足とその規則的な配列について理論的な側面から調べる。

微小粒子を光で捕捉するためには、光電場の大きな空間勾配を得るために、照射するレーザー光を鋭い角度で集光する必要がある。しかし、その鋭い集光のために照射領域は小さくなり、広い領域での光捕捉は難しくなる。最近の実験では、レーザー光を集光するのではなく、金属ナノ構造の表面に誘起される表面プラズモンを利用して強い電場勾配を得る光捕捉が注目されている [1,2]。このプラズモニク光捕捉を用いることで、広範囲での微小粒子配列や回折限界を超えた分解能での光捕捉 [3] が期待される。しかし、金属による発熱や、ナノ構造の精度良い大規模化、捕捉粒子の操作性、などの課題がある。一方、工藤らはガラス基板と水の界面におけるポリスチレンマイクロ粒子の光捕捉実験を行い、レーザーの集光サイズを超えた範囲でマイクロ粒子が捕捉される挙動を観測した [4,5]。その際、マイクロ粒子は規則的な2次元配列やそこから角の様に伸びた粒子列を形成する。また、以前の応用物理学会で、金微粒子に対しても集光サイズより広範囲での光捕捉を報告している [6]。

本研究では、レーザー光の集光スポットより広範囲のマイクロ粒子捕捉について理論的に調べる。特に、粒子間の多重散乱に着目する。つまり、集光スポット内で捕捉された粒子に対して、その捕捉粒子による入射光の散乱、その散乱光によるスポット外の粒子との間での光電場の多重散乱に着目する。T行列に基づいた複数粒子による散乱電場を解析して、集光スポットの内、および内外間の粒子にはたらく輻射力を議論する。マイクロ粒子が三角格子などで密集した状態を考え、その状態が粒子間多重散乱による光捕捉に対してどの様に安定的であるかを明らかにする。粒子間の輻射力は集光スポットから離れるほど弱くなる。その集光スポットの捕捉粒子からの距離で粒子間の輻射力を分類し、その距離と粒子間距離などの少数パラメータを用いて現象論的なモデルを構築する。溶媒中での微粒子は溶媒分子のランダムな衝突によってブラウン運動する。このランダム力と輻射力が同程度になる程度まで粒子の配列は広がることができる。その特徴的な長さとしてコヒーレンス長を導入し、入射強度や溶媒温度に対してどの程度の長さとなるかを見積もる。以上の議論から、適切な広域光捕捉の条件を提示する。

[1] Y. Tsuboi, *et al.*, J. Phys. Chem. Lett. **1**, 2327 (2010). [2] Y. Tanaka and K. Sasaki, Opt. Express **19**, 17462 (2011). [3] M. Hoshina, *et al.*, ACS Photo. **5**, 318 (2018). [4] T. Kudo, *et al.*, Nano Lett. **16**, 3058 (2016). [5] S.-F. Wang, *et al.*, Langmuir **32**, 12488 (2016). [6] S.-J. Yang, *et al.*, 2017 年応用物理学会秋季学術講演会 7a-PA2-9.