光捕捉されたポリスチレン粒子による散乱電場増強とその配列自己形成

Enhancement of Scattered Electric Fields by Optically Trapped Array of Polystyrene Particles and Self-Organized Array

○ 横山 知大 [1]、松浦 朋輝 [2]、垰 幸宏 [1]、石原 一 [1,2] (1. 阪大院基礎工、2. 阪府大院工)
○T. Yokoyama[1], T. Matsuura[2], Y. Tao[1], and H. Ishihara[1,2]
(1. Grad. Sch. of Eng. Sci., Osaka Univ., 2. Grad. Sch. of Eng., Osaka Pref. Univ.)
E-mail: tomohiro.yokoyama@mp.es.osaka-u.ac.jp

光マニピュレーションによるサブマイクロスケール以下の微小粒子操作・選別・配列は機能性を材料表面へ非接触に付加する技術として期待される。光学的手法は化学的手法とも親和性が高く、光の自由度を用いることで複合的・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。我々の研究ではマイクロ・ナノ粒子の光捕捉による多数粒子の自己形成的な配列成長機構を理論的に明らかにする。

集光レーザーを照射すると、電場強度の大きな空間勾配によって微小粒子が光捕捉されるが、鋭い角度で集光するためにその照射領域は小さくなり、広域的な多数の粒子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]。このプラズモニッ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。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。

本研究では、集光レーザーの照射によって集光スポットよりも広域的に形成されたポリスチレン粒子配列による散乱光に着目する。ポリスチレン粒子は照射光によって広域的に配列したと想定し、その多数粒子配列への集光照射における散乱光の電場強度を T 行列に基づいた数値シミュレーションから求める。粒子間の多重散乱とそれらの散乱光の干渉によって光電場強度が空間構造を持つ（右図）。この空間構造は粒子配列の対称性によって異なり、六方格子配列の場合は６方向に四角格子配列の場合は４方向に散乱光の増強が得られる。一方で、照射光の偏光には強くは依存しない。しかし、粒子配列は照射光の偏光によって決まるため、結果として散乱電場の空間構造は偏光に依る。この振る舞いは実験結果 [4,5] と定性的に一致する。求めた光電場から各粒子にはたらく光圧を計算すると、散乱場の空間構造に沿った「角」の形成を支持する結果を得た。

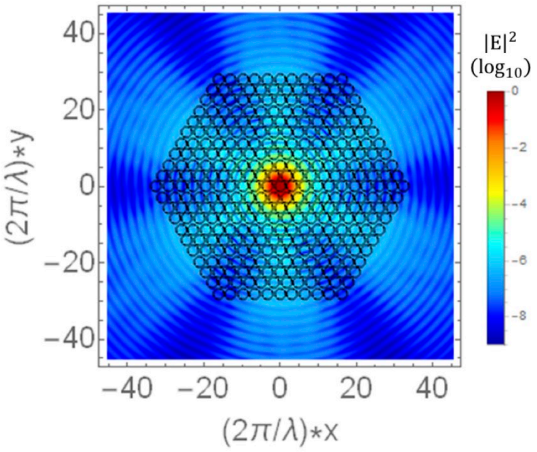

図 1: ポリスチレン粒子の六方格子配列における散乱光の電場分布。粒子の直径は 500nm、入射光の波長は 1064nm。

[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).