

光熱変換の分子流体力学への展開

Application of photothermal conversion to molecular fluid science

京大情報¹ ○辻 徹郎¹

Kyoto Univ.¹ ○Tetsuro Tsuji¹

E-mail: tsuji.tetsuro.7x@kyoto-u.ac.jp

物質に吸収された光が熱に変換される現象は光熱変換と呼ばれ、とくに近年では、集光レーザーや微小な吸収体を利用して発熱源を空間的に局在化する手法として注目を集めている。とくに流体中 (図 1a) あるいは流体に接した物体 (図 1b) の発熱は、発熱にともなう流体密度変化の浮力が駆動する熱対流を筆頭に、さまざまな熱流体現象を引き起こす。駆動される流れの強さは、熱源が局在化され微小であるため、日常のスケールで観察される一般的な流体現象に比べると弱い。しかし、マイクロ・ナノスケールの微小領域に注目すればこれらの熱流体現象は十分有意であり、マイクロ・ナノ物質輸送における新しい制御手法に関する種々の応用が提案されている。本研究ではとくに、分子流体力学およびマイクロ流体工学的な立場から、熱泳動と呼ばれる温度勾配に沿った物質輸送現象について、光熱変換を用いたアプローチにより基礎的な理解を深め応用展開する試みを紹介する。

熱泳動の速度 v_T は、 T を流体の温度、 D_T を熱泳動移動度として、経験的に $v_T = -D_T \nabla T$ と表すことが出来る。移動度 D_T の大きさは実験条件によって異なるが、ただだか $|D_T| < 10 \mu\text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{K}^{-1}$ であることが多くの実験で報告されており、これに基づくと、たとえば直径 $1 \mu\text{m}$ の粒子が $1 \mu\text{m} \text{s}^{-1}$ 程度の速さで熱泳動するためには温度勾配の大きさが $|\nabla T| > 0.1 \text{ K}/\mu\text{m}$ であることが求められる。このような急峻な温度勾配は、通常用いられるようなバルクの温度制御では形成することが難しいが、集光レーザーによる光熱変換を用いることで比較的容易に可能となる (T. Tsuji, et al., Phys. Rev. Appl. **10** (2018))。

図 1a のように光熱変換により局所的に流体を加熱すると、流体中に分散するポリスチレン粒子は熱泳動により高温部から離れ、レーザーの軸から遠ざかる方向に運動しようとする。しかし同時に流路の下半分の領域では図 1c のように発熱にともなう流体運動である熱対流が生じるため、粒子に働く熱泳動力と流体抵抗が打ち消しあう領域が生じる。本研究発表では、マイクロ粒子の熱泳動と熱対流の拮抗状態から生じる粒子分布のパターン形成について実験的に調べた文献 (T. Tsuji, et al., Electrophoresis **42** (2021)) を中心に、熱泳動現象を理解するためのより基礎的な最近の試みを紹介する。

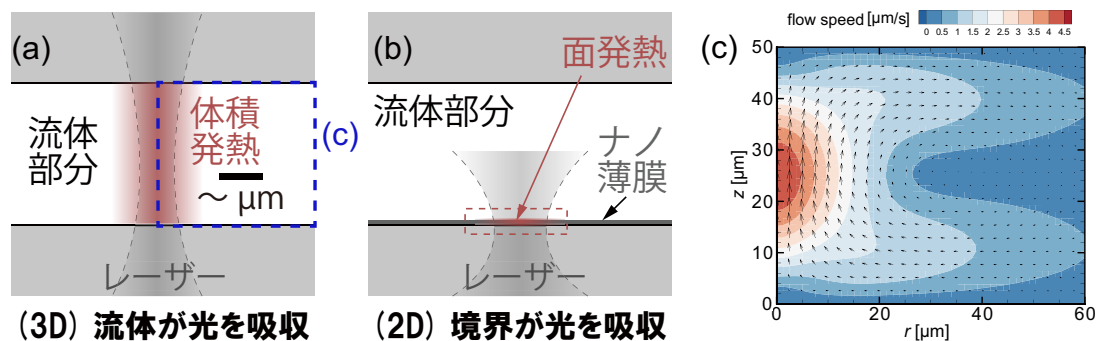


図 1: Schematic of photothermal conversion in (a) a fluid and (b) a solid boundary adjacent to a fluid. (c) An example of flow velocity field induced by the photothermal effect of a fluid.