

P49 自己駆動する非対称粒子の運動と相互作用

東京大学 理学系研究科 鈴木 量, 佐野 雅己

コロイド粒子のブラウン運動がどのように自己駆動運動に変化するかを調べることは、非平衡統計力学の問題として興味深い。実際ここ十年ほどで、いろいろなサイズや形状、非対称性をもつ粒子を生成する技術が大いに発展したため [1]、多種多様な自己駆動粒子を作ることができるようになった。そのため、自己駆動運動の詳細を理解するにあたって、ミクロな系におけるさまざまな実験的研究が行われてきた [2, 3, 4]。しかし、これらの実験においては、粒子は直線運動もしくは3次元的運動を見せ、運動あるいは得られる運動の情報が制限されるという問題点があった。

本実験で用いた非対称なコロイド粒子は交流電場によって自己駆動することが知られている [4]。この非対称な粒子 (Janus 粒子) はポリスチレン粒子に金属を半球コートした、数ミクロンの大きさのものであり、金属でコーティングされていない方を頭として電場と垂直の方向に動く。駆動するメカニズムとして、交流電場をかけることにより、Janus 粒子のポリスチレン部分と金属部分の周りに生じる流れの非対称性が知られている (図 1) [5]。今回、図 2 のように、Janus 粒子に上下方向の交流電場を与えることにより、粒子の平面運動が見られた。そのため、運動が制限されることなく、その上運動の情報も失わないような実験系を得ることができた。また、粒子速度は電場の二乗に比例し、溶液の塩濃度に依存することもわかった。

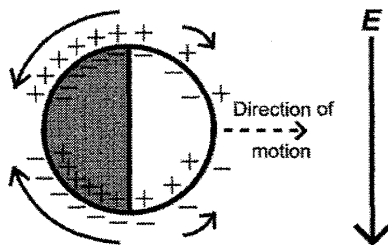


図 1: Janus 粒子の周りの非対称な流れ

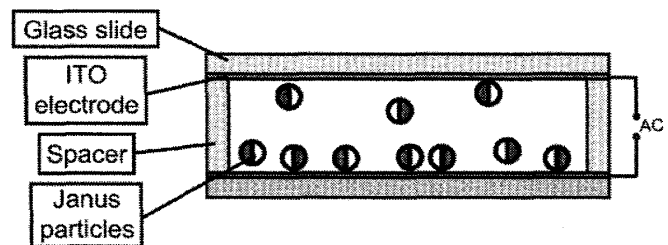


図 2: 実験系

これらの粒子は周りの粒子と相互作用しながらさまざまな興味深い振る舞いを見せる。粒子間の相互作用を理解することを目的として、上記のような2次元系で数ミクロンの非対称粒子を用いて実験を行った。粒子の周りに生じる非対称な流れは交流電場の周波数によって異なり、結果として3つの特徴的な領域が見られた。これらの領域において、粒子の運動方向の変化に加えて、周波数が粒子周辺の流れに影響を与えることにより、粒子間相互作用も変わるという事実がわかった。まず初めに、低周波数領域 ($\sim 500\text{Hz}$) では粒子が互いを引付け合い、クラスターを作る。しかし、ここでは粒子間に相互作用は見られず、集合するものの、粒子同士の結合はない。次に、中

間周波数領域（500Hz～100kHz）では上記のような、この系で典型的に見ることのできる、金属でコーティングされていない方を頭として粒子が駆動する状態が観測される。ここでは、粒子同士の反発が確認できた。最後に、高周波数領域（100kHz～）では駆動方向の逆転が観測できた。即ち、中間周波数領域の場合と異なり、粒子は金属でコーティングされている方を頭として駆動する（図3）。その上に、この領域では図3のように、粒子同士が結合してチェーンを形成し、駆動する。

さらに、粒子が自己駆動する際に受ける力を測定するため、回転する Janus 粒子（図4 inset）を用いた実験も行った。直接力を測定できないため、Fluctuation theorem (FT) を用いることにより、回転情報のみで力を推定することができる [6]。実際、Janus 粒子が受ける力は電場に依存することがわかった（図4）。また、FT から得られた結果の妥当性を確認するため、回転速度とストークスの式を用いて力のオーダーを推定した。ストークスの式に、壁に近い場合の補正を入れることにより、両結果が一致した（図4）。

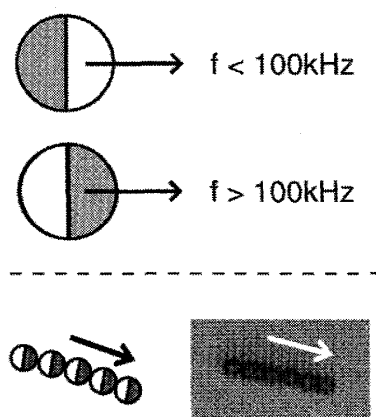


図3: 駆動方向の逆転及びチェーン構造

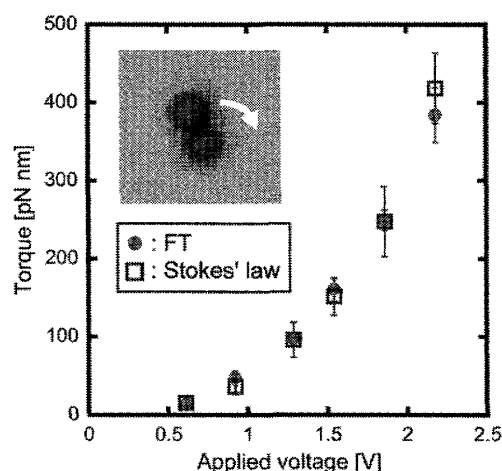


図4: 回転する Janus 粒子及び測定したトルク

参考文献

- [1] A. Walther and A. H. E. Muller, *Soft Matter* **4**, 663 (2008).
- [2] W. F. Paxton *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **126**, 13424 (2004).
- [3] J. R. Howse *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **99**, 048102 (2007).
- [4] S. Gangwal *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **100**, 058302 (2008).
- [5] T. M. Squires and M. Z. Bazant, *J. Fluid Mech.* **560**, 65 (2006).
- [6] K. Hayashi, H. Ueno, R. Iino, and H. Noji, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 218103 (2010).