

極低温で光ピンセットを実現 —非常に低い温度下でも微粒子を遠隔操作可能な技術—

【研究成果のポイント】

- ◆ 超流動ヘリウム^{*1} という特異かつ非常に低い温度環境中で、光ピンセット技術^{*2} により微粒子の捕捉を実現した。
- ◆ これまで光ピンセット技術は、常温付近でしか行われてこなかったが、複数の実験技術を統合することで、世界ではじめて 1.4 K(マイナス 271.75℃)という非常に低い温度下で、光ピンセット技術が適用可能であることを実証した。
- ◆ 光ピンセット技術は、医学・生物・化学・物理など幅広い分野ですでに使われている。今回の研究により、この光ピンセット技術が極低温という新しいフロンティアに拓かれる。また、今回実証された光ピンセット技術を用いることで、光を用いて超流動ヘリウム中の量子化された渦(量子渦)を操作する応用研究も期待される。

❖ 概要

名古屋大学大学院工学研究科の亀山達矢准教授、鳥本司教授らは、大阪大学大学院基礎工学研究科の蓑輪陽介助教、芦田昌明教授らの研究グループと共同で、極低温下(1.4 K = マイナス 271.75℃)での光ピンセットによる微粒子の捕捉を世界で初めて実現しました(図 1)。光ピンセットとは、レーザー光を用いて微粒子を捕捉・固定する技術です。これまで微粒子の光ピンセット技術は、常温付近でしか行われておらず、異なる温度領域への適用が課題となっていました。

今回、蓑輪陽介助教らの研究グループは、複数の実験手法を統合することにより、**世界で初めて、光ピンセット技術が極低温という環境に適用可能であることを証明しました**。これにより、医学・生物・化学・物理で幅広く利用されてきた光ピンセット技術の低温環境への新たな展開が期待されます。

本研究成果は、米国科学誌「Optica」に、1月21日(金)午前0時(日本時間)に公開されました。

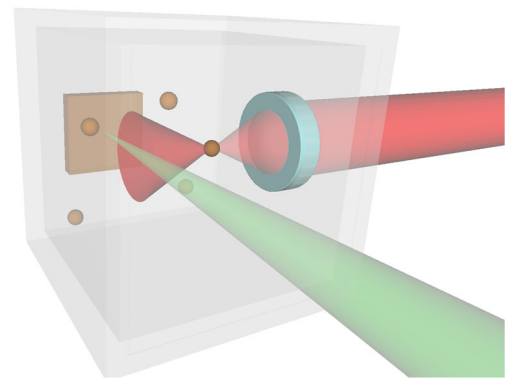


図 1

極低温での光ピンセットの模式図。
緑色のレーザー光を用いて微粒子を作製。近赤外レーザー光による光ピンセットで微粒子を捕捉。

❖ 研究の背景

微粒子の光ピンセット技術は 2018 年にノーベル物理学賞を受賞するなど、革新的な技術として半世紀に亘って、医学・生物・化学・物理など様々な分野で使われてきました。その適用範囲は非常に広く、水溶液中や細胞中、真空中や超高圧下など、多様な環境で、光ピンセット技術を用いた研究が行われてきました。一方で、光ピンセットを非常に低い温度領域に適用した例はなく、さらなる応用展開への障害となっていました。

❖ 研究の内容

本研究では、レーザーアブレーション^{※3}という光を用いて微粒子を作製する技術を、超流動ヘリウムという低温である液体中に導入し、さらに一体成型非球面レンズを用いることで、世界で初めて 1.4 K(マイナス 271.75℃)という非常に低い温度でも微粒子を光ピンセットで捕捉できることを示しました。本研究グループは、レーザーアブレーションを用いることにより、これまで難しかった、超流動ヘリウム中への大量のナノ微粒子の直接導入を実現し、その一部を光によって捕捉することに成功しました。特に、金という、常温の光ピンセットで標準的に用いられる材料と、酸化亜鉛という透明かつ光ピンセット捕捉力が強いと期待される材料について、極低温での光ピンセットを実証したことは、様々な温度環境において光ピンセット技術を適用できることを示す、重要な成果です。さらに、光ピンセットによって捕捉された固体ナノ微粒子の運動状態を観測することで、超流動ヘリウムという粘性が非常に低く量子的な性質を持つ特殊な液体の性質を解明することも可能である、ということが示されました。

❖ 本研究成果が社会に与える影響(本研究成果の意義)

本研究成果により、様々な分野で長年蓄積されてきた光ピンセット技術の知見・ノウハウが極低温で適用可能となり、光ピンセット技術が新たなフロンティアに拓かれます。また、超流動ヘリウムという特殊な液体の基礎的な性質を調べるための新しいツールとしても期待されます。超流動ヘリウムは、粘性が非常に低く量子的な性質を持つ液体として、物性科学や流体力学の重要な研究対象です。

特に、超流動ヘリウム中には、量子化された渦である「量子渦」と呼ばれる 1 次元的な位相欠陥が存在します。これまでの研究により、超流動ヘリウム中の量子渦は周囲に存在する微粒子を中心(渦芯)に引きつけることが分かっています。引きつけられた微粒子は量子渦の渦芯上に安定して存在し続けます。そこで、このような量子渦と微粒子群の複合的構造に、本研究によって実証された光ピンセット技術を用いることで、量子渦を光で捕捉・操作するような研究が可能になるのではないかと考えられます。このような量子渦の研究によって、乱流や渦の性質の普遍的理解が進むことが期待されています。

❖ 特記事項

本研究成果は、2022 年 1 月 21 日(金)午前 0 時(日本時間)に米国科学誌「Optica」(オンライン)に掲載されます。

タイトル:“Optical trapping of solid nanoparticles in superfluid helium”

著者名:Yosuke Minowa, Xi Geng, Keisuke Kokado, Kentaro Sato, Tatsuya Kameyama, Tsukasa Torimoto, and Masaaki Ashida

DOI:<https://doi.org/10.1364/OPTICA.447557>

URL:<https://www.osapublishing.org/optica/abstract.cfm?doi=10.1364/OPTICA.447557>

なお、本研究は、科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業個人型研究(さきがけ)「革新的光科学技術を駆使した最先端科学の創出」研究領域(研究総括:田中耕一郎)における研究課題「光トラップ技術による量子流体力学の開拓」(課題番号:JPMJPR1909、研究者:蓑輪陽介)の一環として行われました。

❖ 用語説明

※1 超流動ヘリウム

液体ヘリウムを 2.1 K 以下に冷やすことで現れる量子的な液体。粘性は非常に小さく、熱伝導性が非常に高いなどの性質を持つ。

※2 光ピンセット技術

レーザー光を急峻に集束することで、その集光点周りに微粒子を捕捉・固定することのできる技術。

※3 レーザーアブレーション

高強度レーザーパルス光を固体に照射することで、瞬間的に対象固体を熔融・蒸発・プラズマ化させる手法。基板の微細加工や薄膜製作・微粒子生成など様々な目的に用いられる。

【蓑輪助教のコメント】

光ピンセットという非常に長い研究の歴史のある技術が、最近いくつもの新たな展開をみせはじめています。本研究も、その新展開の一端を担うことが出来ているのであればと、この研究成果を出せたことを嬉しく思っています。

❖ SDGs 目標

