



科学研究費補助金新学術領域研究

「光圧によるナノ物質操作と秩序の創生」

News Letter Vol. 10

March 10, 2020

Message to the “Nano-Material Optical Manipulation” project Johan Hofkens (KU Leuven, Belgium)

Among many other discoveries, the 20th century was the age of electronics, resulting in disruptive technological developments in fields as diverse as computation, telecom and biomedical analysis. Our digital society owes its existence to the clever scientists and engineers who identified the potential of semiconductors to manipulate charge transport and storage. As much as electronics was a breakthrough technology, it has become clear over the past decade that 'photonics' is the technology of the future. Photonics already permeates our everyday life in the form of the internet (datacom), biomedical analysis and displays. The use of light to transmit, store and acquire information offers several advantages such as reduced energy consumption, higher data bandwidth and switching speed, highly sensitive and direct identification of molecules, neural networks. In recent years, the advent of quantum optics has added a whole new chapter to the field of photonics. Disruptive applications such as quantum computers and unhackable cryptography are becoming a reality. At the root of photonics lies innovative materials science. Although this is a statement that might be applicable to many advanced technology platforms, it is particularly justified for applications that rely on absorption, modulation and emission of light, especially when going down to the level of a single quantum; the photon. It is precisely at this stage that nanotechnology comes into play. The ability to shape and control matter on the nanoscale brings about more performant and all-together new optical properties - such as multi-exciton generation, just to name one. The project Nano Material Optical Manipulation perfectly ties in with the aforementioned description and even aims at pushing the boundary of photonics / nanomaterials one step further by adding the dimension of manipulating optical properties! Hence the aim of the project is definitively timely and at the very forefront of modern optics and photonics research. The project has taken a leading role in the international research scene. The new research ideas put forward are very ambitious yet realistic in view of the past track record of the consortium. I was very happy to see the development of a theoretical framework in support of the new experimental data and observations that are expected in the



remainder of the project. This is a particular strength of the project. Also, the very ambitious plan of at least trying to exploit some of the new findings is something that I very much appreciated. This is a top-notch project at the fore front of modern optics and nanomaterials research that with the potential to redefine the international standards in the field.

共同研究紹介

ナノ流体デバイスと光圧の融合による単一ナノ粒子の精密操作

許 岩 (大阪府立大学工学研究科、公募研究)

細川 千絵 (大阪市立大学理学研究科、A01 班)

本共同研究では、新規 3D ナノ空間ケージ効果に基づくナノ粒子のトラップ法[1]に、光圧による力学操作を融合する斬新な手法を構築しました[2]。具体的には、独自のナノ流体力学操作と光圧の相乗効果を究明することにより、ナノ粒子に対するナノ流体力学操作の限界を超え、ナノ流体環境においてナノ粒子の 1 粒子精度・複合的な操作と精密な配置に成功しました。この成果は、光圧とナノ流体デバイスの初めての融合によるものであり、流体環境で単一ナノ物質を多様な形で精密に制御し、操作する道を開いたといえます。

微小粒子や物質の操作によく利用される光圧は、ナノ物質に働く力があまりに小さく、また環境との相互作用とも拮抗してしまうため、流体環境において光圧だけではナノ粒子の精密操作、配置が困難です。一方、近年、化学・バイオ技術にオーダーシフト革命をもたらすナノ流体デバイス技術 (図参照) が注目されています。ナノ流体デバイスとは、ナノメートルサイズの流路 (ナノ流路) が彫り込まれた数センチ四方のガラス板のことで、極微小流体実験環境が提供できます。ナノ流体デバイス内の制御されたナノ流体環境は、ナノ物質の可能性を探求し、新しい物質や機能を発現するための前例のない舞台となることが期待されます[3]。この舞台において、物質の機能をユニークなナノ流体の物理現象と巧みに接合し、同時にナノ物質の特性に直接影響を与える極微小空間の特徴を十分に活用することにより、様々な創造性をもたらします。そこで、本共同研究では、ナノ流体環境として Nano-in-Nano 構造[4]内のナノ粒子のブラウン運動が局所的に制限、抑制できる 3D ナノ空間ケージ効果といったナノ流体デバイスにある特別な物理現象と集光レーザービームの光圧とを融合し、上記の共同研究成果を生み出しました。

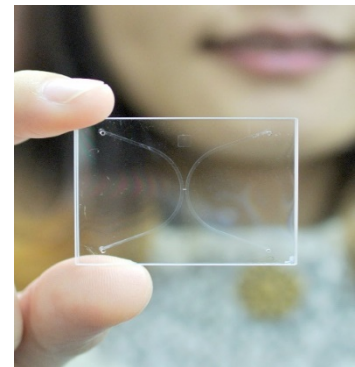


図 ナノ流体デバイス

ナノ粒子は様々な分野で広く利用されるナノ物質の代表であり、その操作と秩序の創生は本新学術領域の重要な課題です。上記の共同研究成果をさらに進展させることにより、光圧による単一ナノ粒子の選別的精密な操作という挑戦課題の解決が期待されます。ナノ流体デバイスと光圧との融合により、従来不可能であった液相においてナノ粒子の所望の秩序を人為的に創生したり、機能的現象を個別・選択的・自在に引き起こしたりすることができるようになり、ナノ粒子に基づく研究と応用の革新的な発展を導き、光圧ナノ物質操作領域の推進に大きく貢献できると考えています。

[1] Y. Shimatani, Y. Xu, *Proc. MicroTAS*, 1556-1558 (2018).

[2] S. Nishioka, T. Kishimoto, C. Hosokawa., T. Kawabata., T. Tsujikawa, T. Nomura, S. N. Kudoh, Y. Xu, *Proc. MicroTAS*, 416-418 (2018).



[3] Y. Xu, *Adv. Mater.*, 30, 1870019 (2018).

[4] Y. Xu, N. Matsumoto, Q. Wu, Y. Shimatani, H. Kawata, *Lab Chip*, 15, 1989-1993 (2015)

共同研究紹介

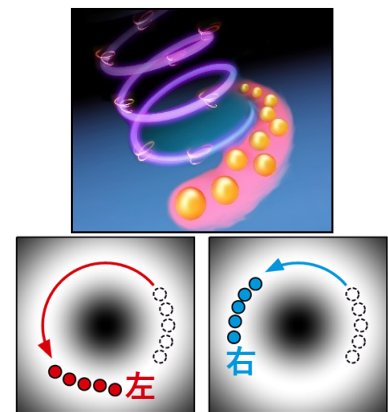
光のスピンと軌道角運動量によるナノ粒子集団の光圧誘起公転運動の制御理論

田村 守、飯田 琢也（大阪府立大学理学系研究科/LAC-SYS 研究所、A04 班）

我々のグループは、計画研究 A04「光圧で拓く：多粒子相互作用の選択的制御による構造と現象の創造」における尾松 G(千葉大)との共同研究により、スピンと軌道角運動量を持つレーザー光を照射されたナノ物質の集団的な公転運動の光圧による制御原理を解明しました[1]。

光の散乱や吸収を通じて運動量を転写することで物質を押し出すことができることは良く知られていますが、光の角運動量の転写によって物質を回転させることも可能です。これまで、スピン角運動量を持つ円偏光は微粒子の自転を、軌道角運動量を持つ光渦は微粒子の公転を誘起すると考えられてきました。一方で、光渦のスポットよりも大きな数ミクロン以上の単一粒子を光の軌道角運動量によって自転することも知られています。しかしながら、スピンと軌道角運動量の共存下でスポット径より十分小さなナノ粒子集団がどのように振舞うかは未知でした。

今回の研究では、このような背景の下、常温水中で周囲の水分子のランダムな衝突による熱揺らぎの下で、円偏光光渦により複数のナノ粒子を捕捉した場合のダイナミクスの解明を、我々が独自開発した「光誘起力ナノ動力学法(LNDM)」[2]を駆使して試みました。下段の図は 5 個の金ナノ粒子(直径 70 nm)に左・右円偏光の光渦を照射した際の動力学解析を実施した結果です。初期配置(破線)から、2 ms 後の配置を評価した結果です。明らかに、光渦の軌道角運動量と同符号のスピン角運動量を持つ左円偏光の方が、異符号の右円偏光よりも粒子の公転運動の同一時間での移動距離が長く、その回転速度が速いことを確認しました。ある特定の粒子数でこの加速現象が共鳴的に増大する条件も見出しており、粒子間相互作用により局在表面プラズモンの共鳴波長が、照射光の波長に近づくことで生じたと考えられます。



今回の研究は、過去に知られていなかったナノ粒子間の相互作用を介した光のスピン軌道相互作用に基づく非従来の光操作の新原理を解明したものであり、多彩なレーザー加工技術やナノ粒子を用いたバイオ分析技術などへの貢献が期待されます。特に、本新学術領域のキーワードの 1 つである「粒子間相互作用」による階層的構造作製に関する重要な知見であり、更に現在、尾松 G が推進する光渦によるカイラル構造形成の実験の機構解明[3]や、「共同研究 B 粒子間相互作用の制御と結晶等の階層構造創製」、「共同研究 C 分子の選択的力学操作を通じた化学過程の制御」に関連し、上述の LNDM を用いた坪井 G や鳥本 G との発展的な共同研究も推進しています。

[1] M. Tamura, T. Omatsu, S. Tokonami, T. Iida, *Nano Lett.*, 19, 4873 (2019).

[2] T. Iida, *J. Phys. Chem. Lett.*, 3, 332 (2012).; M. Tamura, T. Iida, *Nano Lett.*, 12, 5337 (2012).

[3] 田村守、尾松孝茂、飯田琢也、第 67 回応用物理学会春季学術講演会、14p-B408-10 (2020).



開催報告・活動報告

第4回公開シンポジウム（2020年1月27-28日）の開催

1月27-28日に大阪大学基礎工学研究科において本領域第4回公開シンポジウムを開催しました。

領域メンバーによる口頭発表、ポスター発表に加え、今回は石原領域代表とA03班班長笹木によるチュートリアル講演を行いました。

（チュートリアル講演） 「光圧の物理」 領域代表・A01計画研究代表者 石原 一

「光圧操作の基礎と応用」 A03計画研究代表者 笹木 敬司

領域メンバーによるアウトリーチ活動

A01班 石原 一（大阪府立大学 大学院工学研究科）

2019年5月2日 大阪大学いちょう祭において光ピンセットの実演を行いました。

2019年8月9日 大阪大学基礎工学部オープンキャンパスにおいて模擬講義を行いました。

2019年10月31日 岡山操山高校において模擬講義を行いました。

A03班 笹木 敬司（北海道大学 電子科学研究所）

2019年5月23日 ナレッジキャピタル超学校「日本の研究最前線」第17回において、「光ピンセットが拓く新しいナノ科学の世界」のタイトルで一般市民にむけた講義をおこないました。

2019年8月8日 第36回物理教育研究大会において、高校の物理の先生方にむけて「光のピンセット」のタイトルで特別講演を行いました。

A04班 坪井 泰之（大阪市立大学 大学院理学研究科）

2019年10月23日 SSH私立高槻高校において講演を行いました。

A04班 杉山 輝樹（奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科）

2019年11月9日 SSH大阪高槻高校2年生97名を台湾交通大にお迎えし、サイエンスの講義を行い、その中で新学術の研究成果について紹介しました。

2019年12月26日 大分県選抜SSH高校2年生18名を台湾交通大にお迎えし、サイエンスの講義を行い、その中で新学術について紹介しました。

A04班 鳥本 司（名古屋大学 大学院工学研究科）

2019年8月4日 トヨタ産業技術記念館（名古屋）において小中学生20名に対して小・中・高向け週末ワークショップを行い、光科学の基礎の授業と太陽電池について受講者による試作を行いました。

公募研究代表者 石坂 昌司（広島大学 大学院理学研究科）

2019年8月21日 第50回広島県私学教育研修会において「光ピンセットで雲をつかむ」のタイトルで講演を行いました。

公募研究代表者 西山 雅祥（近畿大学 理工学部）

2019年10月30日 大阪星陵高等学校において、「顕微鏡下で操る生命」のタイトルで講義を行いました。

発行 新学術領域研究「光圧ナノ物質操作」総括班
E-mail: secretariat@optical-manipulation.jp