



研究領域名 光圧によるナノ物質操作と秩序の創生

大阪府立大学・工学研究科・教授 いしはら はじめ  
石原 一

研究課題番号：16H06503 研究者番号：60273611

【本領域の目的】

本領域は、光が物質に及ぼす力、すなわち光圧を用いて「分子や半導体微粒子などのナノ物質を、その性質ごとに『個別・選択的』に、また『直接』に運動操作（捕捉・輸送・配置・配向）する」技術を実現し、「極微質量の人為的力学操作を通じた秩序の創生」に結びつく学理の体系化を行うことを目的とする。量子力学的特性を顕す多様な物質に、光が持つ様々な自由度を線形・非線形に作用させて光圧をデザインし、ナノ物質を特性ごとに、多様な形で操るための技術を確立する。このことにより「量子力学的性質や共鳴条件の異なるナノ物質の、光による分別や空間隔離、配向制御による結晶化の誘起」、「選択的な拡散制御や分子濃縮などによる化学過程制御」等、光圧のみがなし得る秩序の創生を実現させる。

【本領域の内容】

上記の目標の達成を可視化するために本領域では三つの共同研究、[A]「特定ナノ物質の分離と精密配置、及び大面積化」、[B]「粒子間相互作用の制御と結晶等の階層構造創製」、[C]「分子の選択的力学操作を通じた化学過程の制御」に領域全体で取り組む。本領域では、これらの共同研究を支える柱として4つの要素研究：1. 光圧の理論と計測・観測技術開発による基礎の確立、2. 物質自由度を活用した操作の高度化、3. 局在電場等による分子操作の極限化と、個別操作のマクロ化、4. 多粒子相互作用の選択的制御による構造と現象の創造、を計画研究：A01「光圧を識る」、A02「光圧を創る」、A03「光圧を極める」、A04「光圧で拓く」として組織し、これらを融合・相乗させることにより、上記共同研究[A]～[C]における目標を達成する。

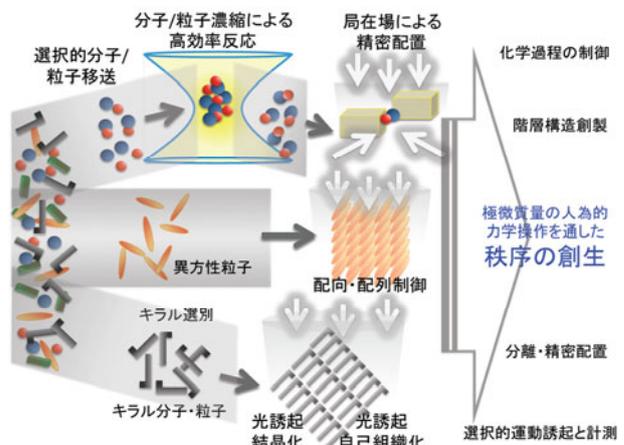
また本領域では、物理、化学、工学等、多様な分野の研究者が集結しており、異分野研究者による手法の交流を通して新奇な物質操作の実現に挑戦することも領域の重要な特徴である。これを実質化する仕掛けとして、若手を中心に人材交流を通して学び合う「異分野手法トレーニング道場」を開設し、異分野の実体験の中から共同研究を作り上げる体制を整えている。これにより本領域の将来の発展を支える次世代の研究者が育つことも期待される。

【期待される成果と意義】

本領域が目標とする学理と技術が実現すれば、1) 光との共鳴条件に応じた光圧によるナノ物質の選択的な運動誘起、分離、隔離、空間マッピング等が非接触に行えるようになる。さらに空間配置・配向などを分子サイズスケールで制御、観測できれば、他

のアプローチでは不可能な物性計測・観測・検出が可能となる。

2) 高濃度溶液系で、濃縮・配向制御等により粒子間相互作用が制御できれば、結晶化等の相転移や自己組織化を人為操作することによる（階層的）構造製手法が確立する。またそのような現象自体の研究の新奇な手法が開拓される。3) 多種分子が混在する系で、光圧により特定の分子を局所的に拡散制御・濃縮し、濃度勾配や配向を制御することが可能となる。これにより化学過程を、分子の力学的操作を通して制御する従来にない手法が実現し、分子プロセス（分子の力学的運動、及び化学過程）自体の研究をはじめ、センシングの分子種・場所選択性、各種化学反応の画期的高効率化などに結びつく可能性がある。このような学理と技術の総体として、「極微質量の人為的力学操作を通じた秩序の創生」が具現化すると期待される。



図：光圧によるナノ物質操作と秩序の創生の概念図

【キーワード】

光圧：光が物質に散乱、或いは吸収される際の、光から物質への運動量の移動や、電場と誘起分極の電磁氣的相互作用により物質に対して生じる力。  
局在電場：金属の微細構造等における局在した電子集団励起（プラズモン）に付随する振動電場。ナノメートルスケールで局在し、光で誘起した場合、入射光に比べて桁違いに高い強度で発現する。

【研究期間と研究経費】

平成 28 年度－32 年度  
1,049,900 千円



**Title of Project : Nano-Material Manipulation and Structural Order Control with Optical Forces**

Hajime Ishihara  
(Osaka Prefecture University, Graduate School of Engineering,  
Professor)

Research Project Number : 16H06503 Researcher Number : 60273611

**[Purpose of the Research Project]**

This project aims at the realization of optical force technologies for mechanical manipulation (trapping, transportation, positioning, and aligning) of individual nano-objects, such as molecules and quantum dots, in a direct and selective way according to their individual properties, leading to scientific principles of a novel scheme for creating structural order through the manipulation of microscopic substances. To achieve the technologies of manipulating the mechanical motion of individual nano-objects, we develop the design method for optical forces using linear and nonlinear optical responses of various targets exhibiting quantum mechanical properties. Our project will realize novel schemes to create structural order reached only by optical force technologies, e.g., optical sorting and isolation of targets in different quantum resonance conditions, manipulation of crystal morphology and alignment, and manipulation of chemical processes by selective control of molecular diffusion and condensation.

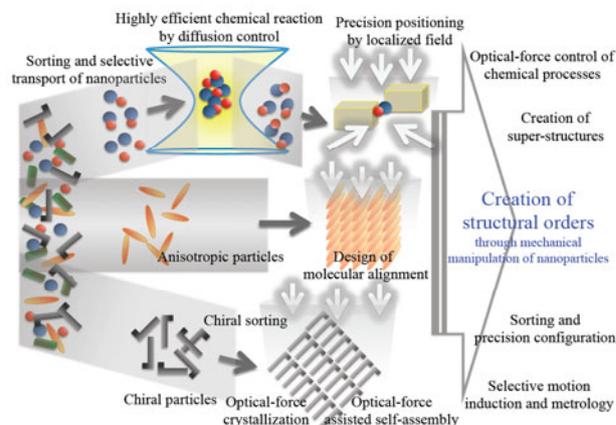
**[Content of the Research Project]**

To visualize the achievement of our goal, we will conduct the following three collaborative subprojects: [A] Isolation of particular kinds of nano-objects and their precision arrangement over a macroscopic region, [B] control of interparticle interactions for the creation of hierarchical structures including crystallizations, and [C] control of chemical processes through selective manipulation of molecules. Furthermore, we set four planned researches that are the bases of the above subprojects, i.e., A01: Theories, metrologies, and observations of optical forces for establishing basics of optical manipulation (“basics of optical forces”), A02: advancement of manipulation methods utilizing the microscopic degrees of freedom of matter systems (“creation of optical forces”), A03: single molecular manipulation on the nanometer scale by utilizing localized electric field, and the operation over macroscopic regions (“ultimate scheme of optical forces”), and A04: creation of superstructures and new phenomena by selective control of interparticle interactions (“exploitation of optical forces”). We will achieve these three subprojects by synergizing the four planned researches.

Because researchers from a variety of fields such as physics, chemistry, and engineering join this project, we manage several “training dojos” where young researchers can learn methods of different fields, which will strongly promote collaboration for the subprojects [A], [B], and [C], and build the ability of young researchers.

**[Expected Research Achievements and Scientific Significance]**

Scientific principles and technologies realized by this project will lead to the following achievements. (1) Selective motion-control and observation of spatial arrangement of nano-objects on the molecular scale enable technologies for unconventional metrology, screening, and visualization that cannot be performed using existing methods. (2) Control of interparticle interactions by manipulating the local density and orientation of particles in high-concentration solution enables novel design of crystallization and self-assembly of nanoparticles. (3) Manipulation of local diffusion and density of particular kinds of particles using optical forces enables unconventional schemes for studying and controlling chemical processes, novel types of position-selective molecular sensing, and technologies to dramatically improve efficiencies of chemical reactions.



**Figure:** Schematic image of structural order control using optical manipulation of nanoparticles

**[Keywords]**

**Optical force:** A force arising from either momentum transfer when light is scattered and/or absorbed by a matter system or the electromagnetic interaction between the applied field and the induced polarization.

**Localized electric field:** Oscillating electric field associated with localized plasmons sustained in metallic nano/microstructures, usually enhanced by several orders of magnitude compared with the incident field intensity.

**[Term of Project]** FY2016-2020

**[Budget Allocation]** 1,049,900 Thousand Yen