

【特別推進研究】

光圧によるナノスケール量子個性の識別・分離・分析技術の創出



研究代表者	立命館大学・総合科学技術研究機構・教授	
	石原 一(いしはら はじめ)	研究者番号:60273611
研究課題情報	課題番号:26H00005	研究期間:2026年度～2030年度
	キーワード:光圧、蛍光ナノダイア、多元素量子ドット、誘導反跳力	

なぜこの研究を行おうと思ったのか(研究の背景・目的)

●研究の全体像

物質を性質の違いに応じて識別し、分離・選別する技術は、材料開発、医療、化学分析などを支える重要な基盤である。これまで、クロマトグラフィーをはじめ、粒子サイズ、質量、電荷、あるいは媒体との相互作用の違いを利用した種々の物質選別法が開発されてきた。しかし、量子ドットや蛍光ナノダイアのようなナノ粒子（10億分の数メートル程度のサイズの粒子）について、発光波長、発光効率、量子的性質など、粒子ごとの特性に基づいて、一粒子レベルで識別し、選別・濃縮・回収するための実用的手法はなかった。本研究では、光の圧力で粒子ごとに異なる運動が生じることに着目し、その運動の差から粒子の性質を識別し、選別・濃縮・回収する原理を確立する。特に、研究代表者がこれまで開拓してきた「誘導反跳力」を鍵として、従来の光圧では困難であった「粒子ごとの性質に応じた選別」を、「回収・利用を視野に入れた実操作的操作」へと発展させることを目指す。さらに、この原理を日本発の先端ナノ粒子技術へと結実させることで、材料科学、量子技術、医療応用への技術基盤構築を目指す。

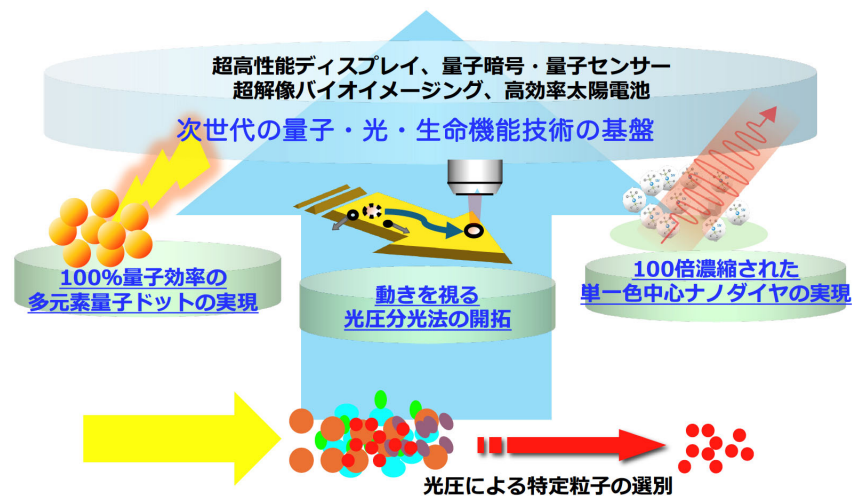


図1 光圧によるナノ粒子選別のイメージ、及びそれを基礎に発展させる本研究の内容と目指す将来技術。

●本研究を行うことの意義

現在のナノ材料開発では、同じ材料で出来ていても、発光の効率や発光波長の異なる粒子が混ざってできることが大きな課題となっている。特に量子ドットや蛍光ナノダイアは、次世代の光源、量子技術、医療・生命計測への応用が期待される一方で、性能の揃った粒子だけを高精度に選り出す方法が未開拓である。本研究は、粒子の大きさや質量ではなく、その粒子がもつ「光学特性の個性」を利用して選別・濃縮・回収する新しい原理を切り拓くものであり、高性能ナノ材料を必要な性質ごとに使い分けるための基盤技術につながる。

●研究の学術的独自性と創造性

本研究の独自性は、ナノ粒子の性質を「光らせて測る」だけでなく、「光で動かし、その個性を見分ける」点にある。代表者らはこれまで、光の圧力によって粒子の量子的な違いを力学的運動の差として引き出せることを示してきた。さらに本研究では、代表者らが独自に提案してきた、誘導放出にともなう生じる光の力「誘導反跳力」（図2）を用い、従来の光圧では難しかった10nm程度のナノ粒子の高効率輸送と選別を実現しようとする。これは、分光、選別、回収を一体化した、世界でも例のない新しいナノ材料創製手法である。

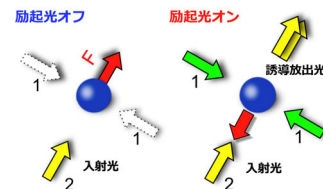


図2 誘導反跳力のイメージ。左：通常的光圧。光が微粒子に運動量を与え、光の照射方向と同じ向きに力が働く。微粒子による光の吸収は飽和するため、小さな微粒子に対して十分な力が働きにくい。右：励起光1によって高いエネルギー状態になった電子を入射光2によって誘導的に放出させる。一つ的光子吸収して同じ運動量を持つ光子を2つ放出するため、運動量保存則により微粒子は光源側に引き寄せられる。飽和しないため強い力が働く。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●研究の手法

本研究では、レーザー導入型マイクロ流路の中でナノ粒子に光圧を作用させ、粒子ごとに生じる運動の違いから、その性質を識別・選別する手法を構築する。選別過程では、蛍光と干渉散乱顕微鏡(iSCAT)でナノ粒子の運動を計測し（図3）、さらに捕捉・回収した粒子を走査電子顕微鏡で観察する（図4）ことによって、発光特性、構造、運動の対応を一粒子レベルで明らかにする。特に、選ぶことと観測することを相互にフィードバックしながら効果を最適化することにより（図5）、選別・濃縮・回収を一体化した実用的技術へ発展させる。

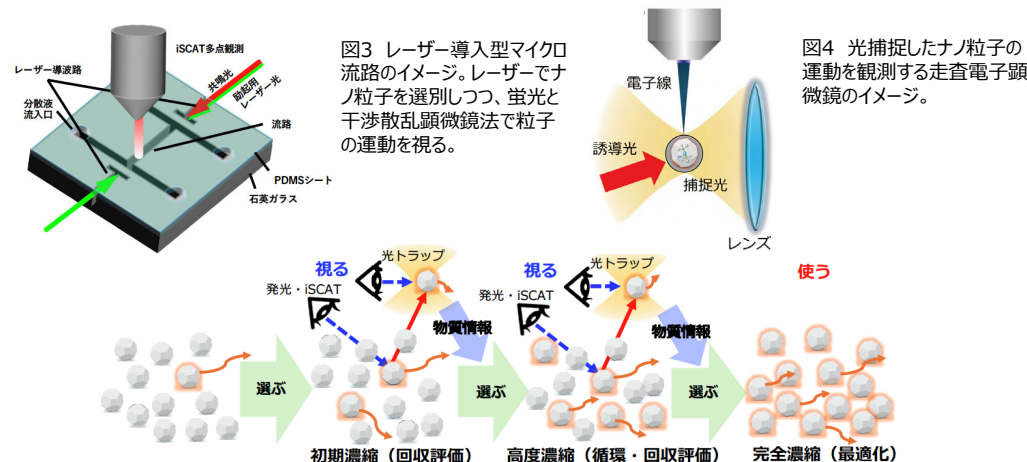


図5 「選ぶ」技術と「観測」技術が相互フィードバックして目標を達成する。

●期待される成果

成果として、SiV センター等含有蛍光ナノダイアの100倍濃縮・回収と、多元素量子ドットから無発光粒子を除去した量子効率ほぼ100%の高品質発光材料の実現を目指す。これにより単一光子源、量子センシング、バイオイメージング材料への展開が期待される。また、動きを観測することで、個々のナノ粒子の光学機能や量子力学的個性を明らかにする光圧分光法が確立する。

ウェブサイト等

<https://research-db.ritsumeai.ac.jp/rihph/k03/resid/S002876?lang=ja>