

2024 年度
創発的研究支援事業 年次報告書【公開版】

研究担当者	田中嘉人
研究機関名	北海道大学
所属部署名	電子科学研究所
役職名	教授
研究課題名	ナノ構造が拓くマクロな物体の光マニピュレーション
研究実施期間	2024 年 4 月 1 日～2025 年 3 月 31 日

研究成果の概要

ナノ構造に働く光トルクによりマクロな物体の姿勢を効率的に制御するためには、ナノ構造と光の相互作用に伴うスピンと軌道の角運動量変換を保存則より定量的に解析する必要がある。従来の光のスピン角運動量と軌道角運動量の保存則はゲージを固定する必要から横波成分に限られており、それゆえに縦波と横波の両方が存在する物質系を取り扱うことはできず真空中でのみ有効であった。そこで、電場と磁場の時間微分項を用いて表したスピン角運動量と軌道角運動量に着目することにより、光と物質との相互作用におけるスピン角運動量保存則と軌道角運動量保存則を導出することに世界で初めて成功した(arXiv:2410.13135)。これにより、縦波も含めた任意の電磁場と、本プロジェクトで扱う異方性が高く複雑なナノ構造を含めた物質との相互作用に伴う、スピンと軌道の角運動量変換を定量的に解析することが可能になった。特に、マクロな円板の姿勢を制御するためには入射光に垂直な横軸の光トルクのエンジニアリングが不可欠であり、縦波成分を含めたスピン軌道角運動量変換が解析できる本方法は極めて重要になる。

開発した理論解析法により、横軸の新奇な光トルクを高効率に生み出すことができる V 字形のプラズモニックナノ構造を見出した。さらに、この横軸トルク現象を双極子モデルで近似して解析することにより、入射光の角運動量ではなくキラルな電磁場と V 字ナノ構造の固有プラズモンモードとの相互作用が横軸トルク発生において重要であることを明らかにした。さらに、昨年度に開発したナノ光圧計測法を用いることにより、V 字ナノ構造に働く横軸光トルクを実証した。その際に、入射光の角運動量とキラリティを分離して議論できる 2 つの対向ビーム系を提案し、角運動量ではなく電磁場キラリティの符号によりトルクの向きが逆転することを明らかにした。これにより、ナノ構造光圧アクチュエータの操作自由度を大きく拡張することができた。