

大石健太, 田中大輔
(大分工業高等専門学校)

1. はじめに

近年, 光渦などのベクトルビームにより励起する局在プラズモン共鳴(LPR)とそれに由来したナノ構造の特異な光学特性が注目されている[1, 2]. また, LPRを駆動原理とした光ナノモータ(LPRモータ)への関心が高まっている. LPRモータは入射光の強度や波長による駆動制御が可能なナノサイズのモータで, 生体内でのDNAの巻取りや特定のウイルスのみに対する極狭領域内での薬物散布など, 既存の技術では実現が難しいユニークな分子操作やナノ空間への力学的なアプローチを可能とする[3]. 我々は, 光渦で励起したコアシェル型ナノモータのLPR由来の光学特性について, 離散双極子近似(DDA)シミュレーションから調査してきた[4]. 本研究では, 3次元の回転自由度をもつLPRモータの技術開発と原理構築を目的とし, サブシェル構造に誘起される光圧トルク及びモータの回転軌道について調査を行った.

2. 計算モデル

本研究では, 図1(a)のようなコア半径100 nmのSiO₂粒子の一部がシェル厚10 nmのAuで覆われたサブシェル構造に, トポロジカルチャージ $l = +1$ の直線偏光光渦を入射した際の, 入射角度に対する光圧トルクについて調査した. また, 構造の初期角度を $(\varphi, \theta) = (0, 120)$ にして同条件の光渦を入射した際のサブシェル構造の回転軌道について, 角度分解能1°で調査した. なお, 周辺媒質は水($n_{amb} = 1.333$)とし, Auの誘電率は文献値[5]を参照した. また, 計算構造の双極子要素は1 nm間隔とした.

3. シミュレーション結果

図1(b), (c), (d)に x, y, z 軸周りの角度ごとの光圧トルクのシミュレーション結果を示す. 入射光の波長はトルクスpektrumから750 nmを選択した. 縦軸は x 軸周りの回転角度 φ , 横軸は z 軸周りの回転角度 θ とし, それぞれ0°~360°の範囲で計算した. トルクスペクトルの正負はそれぞれ左回り及び右回りの回転トルクに対応する. 図から, x 軸周りのトルクは $\varphi = \theta = 180^\circ$ の点に対して点対称なトルク, y, z 軸周りはそれぞれ $\theta = 180^\circ, \varphi = 180^\circ$ に対して線対称なトルクが発生することが分かった. また, θ 方向に180°回転すると y, z 軸周りのトルクの大きさの正負が反転していることが分かり, 角度によって異なる回転軸のトルクが得られることが分かった. また, トルクの最大値はいずれの軸に対しても同程度であり, 3次元的な回転の実現可能性が示唆されている.

図1(e)に角度分解能1°のサブシェル構造の回転軌道と各角度における構造の向きを示す. 光渦入射直前の構造の初期角度が球座標基準で $(0, 120)$ のとき, 構造は図の①~④の順に3次元的な回転軌道を示すことが分かった. また, 構造の初期角度を変更した場合でも, 図のような回転軌道のループに収束する角度が複数あることが確認できた. これは, 初期角度にある程度の自由度が確保されている中で, 安定した3次元的な回転を発生させることが可能なことを示唆している. しかし, 図から分かるように構造の角度は

$(0, 180)$ 近傍に局所的に分散しており, 回転軌道は非常に限定的な歳差運動のように見える.

当日の講演では, 光圧トルクのスペクトルや入射角度依存性について述べるとともに, 実際のナノモータの回転軌道やその最適な初期角度の条件及び導出過程のシミュレーション結果について報告予定である.

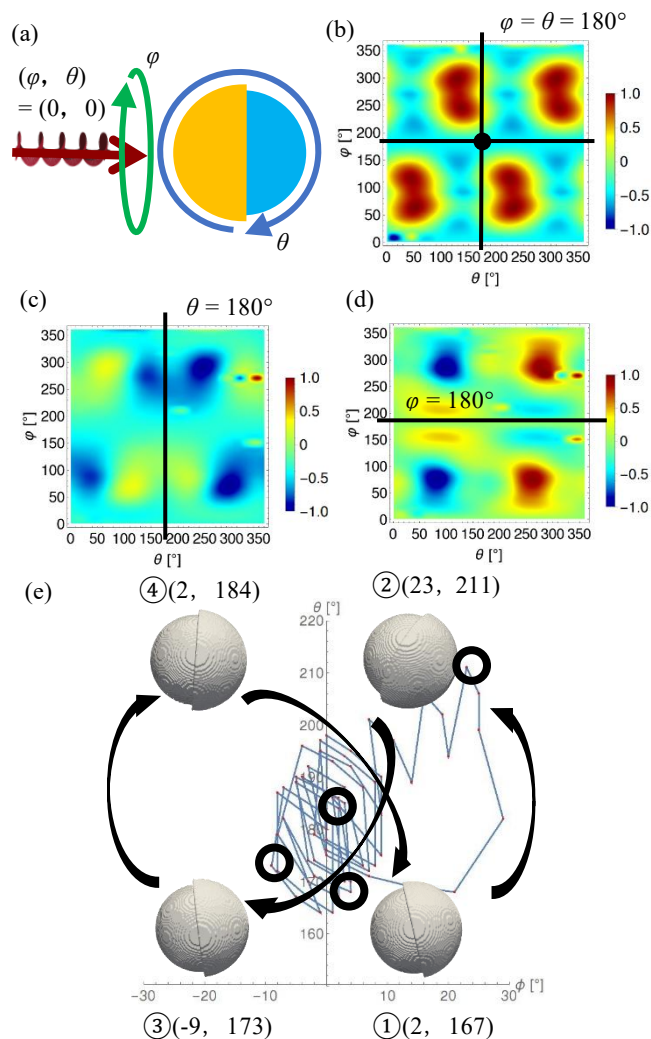


図1. 計算モデル及び構造の光圧トルクと回転軌道

謝辞

本研究の一部は, JSPS科研費(基盤C)22K04975及び永守財団 研究助成2020, 2021, 2022の助成を受けて実施した.

参考文献

- [1] T. Arikawa *et al.*, *Sci. Adv.*, **6**, eaay1977 (2020).
- [2] S. Hasegawa *et al.*, *J. Phys. Chem. C*, **128**, 2536 (2024).
- [3] O. Ilic *et al.*, *Sci. Adv.*, **3**, 1602738(2017).
- [4] D. Tanaka *et al.*, *Laser and Photonics Rev.*, **18**, 2300536 (2024).
- [5] P. B. Johnson and R. W. Christy, *Phys. Rev. B*, **6**, 4370 (1972).