

2021 年度 永守財団 研究助成 研究報告書

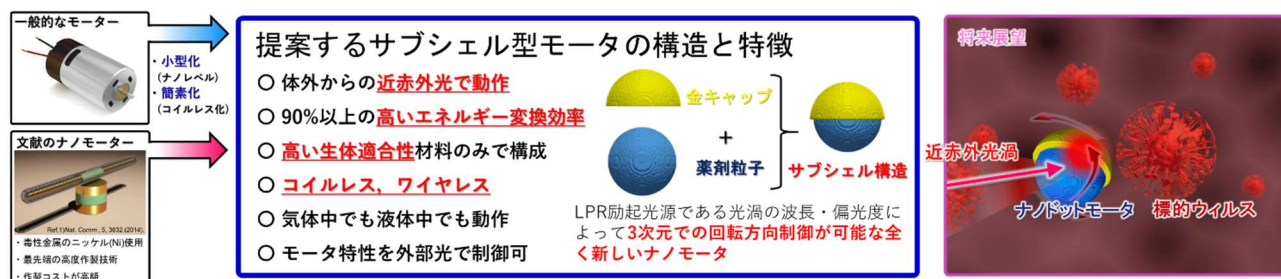
所 属 機 関	大分工業高等専門学校 電気電子工学科
職 位 または 役 職	准教授
氏 名	田中 大輔

1. 研究題目

スマート医療用ロボットのための光ナノモーターの設計

2. 研究目的

本研究では、毛細血管内などの人間の体内で動作するスマート医療ロボットのための光ナノモータ(下図)の基礎技術の確立に関する研究を継続し、「私たちの豊かな生活」に貢献する。今年度は提案する光渦励起プラズモン共鳴によるサブシェル型ナノモータの構造最適化(トルクの最大化と動作の安定化)を実現する。また、液中におけるナノモータの動作評価システムの設計および構築を行う。



3. 研究内容及び成果

(研究目標)

i. サブシェル型光駆動ナノモータの最適設計

ii. 溶液中でのナノモータの動作評価システムの設計と構築

(研究成果 i)

研究目標の i については、励起光源である光渦からサブシェル粒子に遷移した増強回転トルクと構造の関係、およびコア材料やシェル金属の被覆状態を変えた場合の特性について調査し、構造の最適化を目指した。図 1 に回転角度ごとの消光スペクトル、図 2 に直角座標系 3 軸に対するトルクスペクトルを示す。横軸が波長、縦軸が構造の回転角度、色調で消光効率とトルクをそれぞれ示した。図 2(a)より x 軸に対するトルクは 700 nm、900 nm 及び 1300 nm 付近で正(左回り・赤)及び負(右回り・青)のピークをもち、その傾向は図 1 の消光スペクトルとよく一致することがわかる。左円偏光/右円偏光で励起すると、回転方向が一方向になることもわかった。図 2(b) y 軸及び(c) z 軸に対するトルクは消光スペクトルと関連しないピークも現れた。縦軸の構造角度に対して対称性を示しているため、回転動作は一見“ランダム”に見える(実際は規則的)可能性が高い。コア材料を変えると、ピーク波長とトルクが変化することがわかったため、材料とコアシェル比で所望する波長での回転動作を実現できることがわかった。

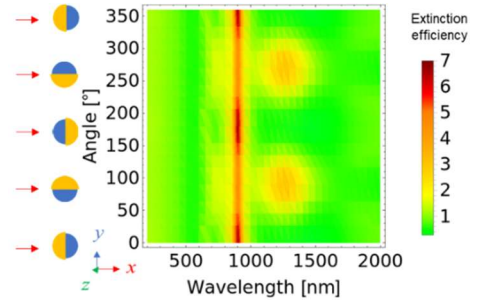


図 1. 回転角度と消光スペクトルの関係

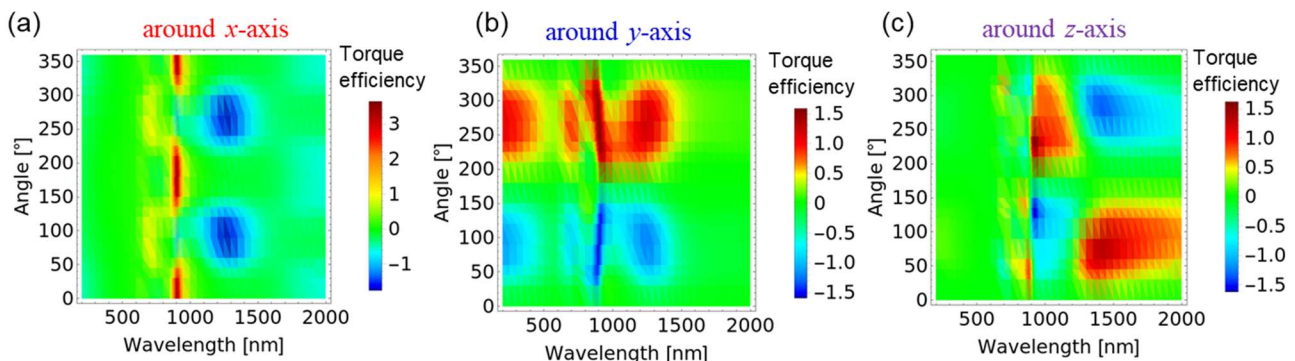


図 2. 各軸に対する回転トルクスペクトル

図 3 に金ナノキャップの被覆状態とトルクについて調査した結果を示す。金ナノキャップの被覆状態でトルクの最大値やピーク波長に大きな変化は見られなかった。このことは、回転特性はナノモータ粒子の金属キャップにばらつきがあっても大きく変わらず、モータの作製条件がシビアでないことを示唆している。よって、金薄膜を制御された膜厚で製膜することで、所望する回転動作が可能であることがわかった。以上の結果より、本研究では、近赤外域で強い回転特性を示す粒径 200 nm のポリスチレン球に金薄膜を 20 nm 積層したサブシェル構造を採用する。

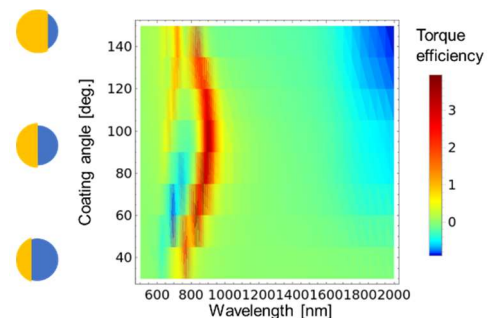


図 3. 被覆角度と消光スペクトルの関係

(研究成果 ii)

研究目標の ii については、ガラス基板上での分光評価を実施した。複数粒子からの光学応答であるにも関わらず、S/N 比が低く、粒子単体からの光学特性を調査するには分解能が不十分であった。現在、粒子単体の光学特性評価のためのナノ位置制御可能な分光システムを再構築中である。一部は産業科学技術センターに協力を仰ぐ。

4. 今後の研究の見通し

(現在の進捗状況)

昨年度から継続して、ナノモータ粒子 1 個の回転特性を評価するための光学系の構築を行っており、入射レーザーのナノメートルオーダーの位置制御に必要な XY 方向のピエゾステージを選定・購入した。また、励起光源である近赤外領域(発光波長 910 nm)のレーザーについても選定・購入し、動作を確認した。液中での測定よりも難易度が低い、固体基板上での測定を実施したが、S/N 比が低かった。それを改善するために本予算で受光素子(フォトマルチチューブ)を購入するが、半導体不足により納品が遅く、光学系の構築が進まない理由の一つとなっている。現在は、大分高専内で全ての実験を実施しておらず、一部を大分県産業科学技術センターで実施している。光学系についても既に技術員に相談しており、分光測定やモータ粒子作製の一部を行った。成果として例えば、図 4 に示すナノモータ粒子のコアとなる誘電体粒子を凝集させずに吸着密度を上げることが可能となった。これによりモータ粒子の作製効率が大きく向上した。

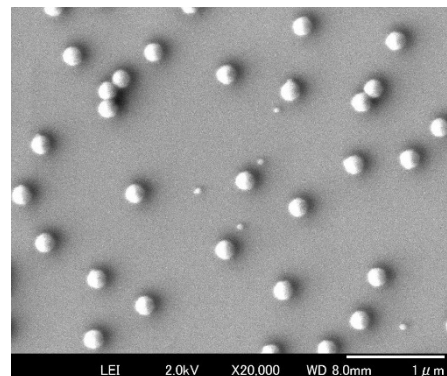


図 4. PS 粒子の分散基板の SEM 像

(次年度以降の予定)

3 年目も継続して産業科学技術センターと大分高専の設備を併用しながら図 5 の測定系を完成させ、サブシェル粒子の分散水溶液中に光渦を入射し、入射光渦の条件(偏光、ねじれの数、波長)に即したコアシェル粒子の 3 次元軸に対する回転動作を光学顕微鏡に設置したカメラを用いて観測する。

当初の予定よりも実験系の構築や測定が進んでいないが、一つずつ課題をクリアしながら最終年度に測定評価システムの構築と実際のナノモータの動作評価を行う予定である。

最終的に知的財産化を目指す。

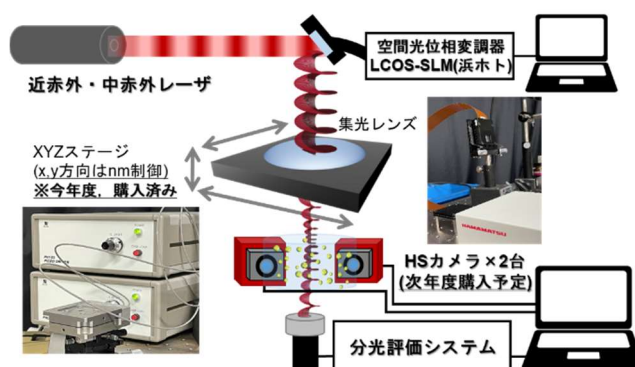


図 5. 光ナノモータの回転動作評価システム

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

国際会議

- 1) ○Daisuke Tanaka, Yuto Fujita, Shungo Harajiri, "Proposal of the optical nanomotor with 3D of freedom excited by an optical vortex beam", The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22), Thu-F1-3, Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan, September 11- September 16, 2022 (口頭・査読あり)

国内会議

- 2) 田中 大輔, 浜本 貴一, 姜 海松, 「光渦励起 SLPR を利用したディスク型光ナノメモリの提案」, 第 18 回プラズモニクスシンポジウム(本申請の研究成果の一部が発表内容の要素技術になっている)
- 3) 藤田 悠斗, 田中 大輔, 「光渦励起 LPR によりサブシェル構造に誘起される回転トルク」2022 年第 83 回 応用物理学会秋季学術講演会, 21p-A404-8, 2022 年 9 月 21 日