

繊細計測研究部門

岡 本 裕 巳（教授）（2000 年 11 月 1 日着任）

成島 哲也（助教）

吉澤 大智（助教）

AHN, Hyo-Yong（特任助教（新分野創成センター））

山西 絢介（学振特別研究員）

石川 晶子（技術支援員）

野村 恵美子（事務支援員）

A-1) 専門領域：ナノ光物理化学

A-2) 研究課題：

- a) キラルナノ・マイクロ物質における局所的な光学活性とその応用
- b) 光によるナノ物質の力学操作手法の開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 光学活性分光手法と顕微イメージングを組み合わせた新手法を開発し、それらを用いたナノ・マイクロ物質の局所光学活性に関する基礎研究、及び応用研究を推進している。ナノレベルの空間分解能での測定が可能な近接場光学顕微鏡による光学活性イメージングでは、主にキラルな構造を持つ金ナノ構造体を対象とし、局所的な円二色性信号が巨視的な円二色性信号に比べて極めて大きくなること、高い対称性を持つアキラルな金属ナノ構造においても局所的には強い光学活性を示すこと、局所的な誘起双極子が局所的な円偏光場の起源になること等、幾つかの基礎的に重要な結果を得た。その成果を基礎として、蛍光分子とキラルな金属ナノ構造の組み合わせにより、高い円偏光度を示す蛍光が得られ、その起源をプラズモンモードとの関連において明らかにした。通常の遠方場の顕微鏡においても光学活性によるイメージングは未開拓であるが、我々は高い精度・確度で顕微光学活性イメージングを可能とする実験手法を開発し、微結晶試料、液晶、生体組織等への応用を、共同研究を通じて推進している。キラルな構造を持つ金属有機構造体（MOF）微結晶の掌性同定に成功しており、多数の微結晶の掌性同定に有効であることを示した。液晶分子集合体をテンプレートとした螺旋状金微粒子集合体では、螺旋の掌性による円二色性信号の差を検出することに成功した。また、円二色性イメージングの医療応用を想定した基礎研究を、医科学分野の研究者と共同で開始している。また更に感度を向上させる試み、波長範囲を拡張する試みを行っている。
- b) レーザー光を強く集光すると、その焦点に微粒子がトラップされる（光トラッピング）。この時入射光にフェムト秒レーザーパルスを用いることで、非線形誘起分極によって、従来の光トラッピングとは全く異なる挙動を示すことを、数年前に報告した。非線形効果、共鳴効果、偏光を有効利用することで、このような光による力学的マニピュレーションの自由度が格段に広がることが予想される。この研究展開を図ることを、現在の研究活動の今一つの柱としている。キラルな物質においては、左右円偏光に対する力学的な作用が異なることが期待され、我々はキラル金ナノ微粒子の円偏光による光トラッピングを行いその挙動を調べた。その結果、光トラッピングのキラル挙動の起源に関する重要な基礎的知見が得られた。その起源を解析する中で、光トラッピングに関する従来知られている機構では説明困難な部分が見いだされ、理論解析を進めている。

B-1) 学術論文

S. MATOBA, C. KANZAKI, K. YAMASHITA, T. KUSUKAWA, G. FUKUHARA, T. OKADA, T. NARUSHIMA, H. OKAMOTO and M. NUMATA, “Directional Supramolecular Polymerization in a Dynamic Microsolution: A Linearly Moving Polymer’s End Striking Monomers,” *J. Am. Chem. Soc.* **143**(23), 8731–8746 (2021). DOI: 10.1021/jacs.1c02644

B-2) 国際会議のプロシーディングス

J. YAMANISHI, H.-Y. AHN, S. HASHIYADA and H. OKAMOTO, “Optical Gradient Force on Chiral Nanoparticles,” *Proceedings of SPIE—The International Society for Optical Engineering* **11522**, 115220E (2020). DOI: 10.1117/12.2573513

J. YAMANISHI, H.-Y. AHN, S. HASHIYADA, K. T. NAM and H. OKAMOTO, “Optical Gradient Force on Gold Chiral Nanoparticles,” *Proceedings of SPIE—The International Society for Optical Engineering* **11926**, 119260K (2021). DOI: 10.1117/12.2616111

H. OKAMOTO, “Chemical and Mechanical Dissymmetries in Chiral Plasmonic Interactions,” *2021 IEEE Research and Applications of Photonics in Defense Conference (RAPID)*, **2021**, WE4.3 (2021). DOI: 10.1109/RAPID51799.2021.9521413

B-3) 総説, 著書

岡本裕巳, 「キラル光学効果(光学活性)の常識と常識はずれ 初心者による, 初心者のための(Conventional and Unconventional View of Chiro-Optical Effects (Optical Activity)—for beginners, by a beginner)」, *Mol. Sci.* **15**, A0119 (2021). DOI: 10.3175/molsci.15.A0119 (in Japanese)

Y. CHEN, W. DU, Q. ZHANG, O. ÁVALOS-OVANDO, J. WU, Q.-H. XU, N. LIU, H. OKAMOTO, A. O. GOVOROV, Q. XIONG and C.-W. QIU, “Multidimensional Nanoscopic Chiroptics,” *Nat. Rev. Phys.* **4**, 113–124 (2021). DOI: 10.1038/s42254-021-00391-6

岡本裕巳, 「光圧における非線形光学現象」, 「光圧 物質制御のための新しい光利用」, 石原 一, 芦田昌明 編, 朝倉書店, 138–146 (2021). ISBN: 978-4-254-13139-0

B-4) 招待講演 (* 基調講演)

H. OKAMOTO, “Chiral Near-Field Properties of Plasmonic Nanomaterials: Imaging and Functions,” The 11th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META 2021), Warsaw (Poland) (online), September 2021.*

H. OKAMOTO, “Chemical and Mechanical Dissymmetries in Chiral Plasmonic Interactions,” The 2021 IEEE Research and Applications of Photonics in Defense Conference (RAPID), Florida (USA) (online), August 2021.

H. OKAMOTO, “Chemical and Mechanical Dissymmetries in Chiral Interaction of Plasmonic Materials,” 11th Asian Photochemistry Conference (APC2021), Daejeon (Korea) (online), November 2021.

岡本裕巳, 「キラルな光-物質相互作用の計測, 化学効果, 力学効果」, *Molecular Chirality* 2021, 東広島, 2021年11月.

H. OKAMOTO, S. HASHIYADA, K. Q. LE and T. NARUSHIMA, “Imaging chiral plasmons and chiral near-field interactions,” The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021 (Pacifichem 2021), Honolulu (USA) (online), December 2021.

H. OKAMOTO, J. YAMANISHI, H.-Y. AHN, S. HASHIYADA and K. T. NAM, “Chiral field effects in optical manipulation,” Pacifichem 2021, Honolulu (USA) (online), December 2021.

B-5) 特許出願

国際出願

2021-029181,「円偏光照射器, 分析装置及び顕微鏡」, 岡本裕巳, 成島哲也(自然科学研究機構), 2022 年.

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

プラズモニク化学研究会副会長 (2020-).

学会の組織委員等

光科学異分野横断萌芽研究会アドバイザリーボード (2015-). (成島哲也)

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

日本学術会議会員 (2020-), 同化学委員会幹事 (2020-), 同化学委員会物理化学・生物物理化学分科会委員長 (2020-), 同化学委員会分析化学分科会世話人 (2020-).

その他

自然科学研究機構教育研究評議員 (2016-).

日本表面真空学会出版委員 (2014-). (成島哲也)

B-10) 競争的資金

科研費特定領域研究(計画研究),「光圧を創る:物質自由度を活用した捜査の高度化」, 岡本裕巳 (2016 年-2022 年).

科研費基盤研究(A),「高精度円偏光二色性イメージングによるキラリティ時空間構造の可視化」, 岡本裕巳 (2021 年-).

科研費挑戦的研究(萌芽),「キラルな光によるプラズモン物質の不斉誘起」, 岡本裕巳 (2021 年-).

新分野創成センター先端光科学研究分野共同研究プロジェクト,「キラル物質が示す円二色性のイメージング分析と微視的な起源構造解析」, 成島哲也 (2021 年).

新分野創成センター先端光科学研究分野共同研究プロジェクト,「光誘起力顕微鏡によるナノスケールでの光学キラリティの観測」, 山西絢介 (2021 年).

アストロバイオロジーセンタープロジェクト研究,「星間塵ナノ微粒子のナノ光科学に基づくホモキラリティ発現に関する研究」, 成島哲也 (2020 年-2021 年).

自然科学研究機構若手研究者による分野間連携研究プロジェクト,「ナノスケールでの局所光学キラリティ顕微技術の確立と生体分子のキラリティ構造解析」, 山西絢介 (2021 年).

科研費基盤研究(B),「スピン流駆動型アインシュタイン・ドハース効果の理論構築と実証実験研究」(代表:松尾 衛), 成島哲也(研究分担者) (2010 年-2022 年).

C) 研究活動の課題と展望

着任以来, ナノ構造物質の観察と, 特徴的な光学的性質, 励起状態の超高速ダイナミクス等を探るための, 近接場分光イメージング装置を開発し, 試料の測定を行ってきた。その中で近接場光学活性イメージング法を開発して金属ナノ構造の局所光学活性, キラルな光場の空間構造の解析に用い, そこからグループの主要な研究内容をキラル物質の局所光学活性のイメージングにシフトした。金属ナノ構造の近接場光学活性イメージングによって, 独自の実験的情報を得ることができ, プラズモン由来の強くねじれた局所光場の存在, また対称性の高いアキラルな構造で

も局所的に強い光学活性を示すという、ユニークな成果も得られた。これらの研究から得られたプラズモンのキラリティに関する性質を基礎として、キラルプラズモンが分子の特性に及ぼす効果に関する研究にも展開し、高い円偏光度を示す発光物質系を見出しその起源を解明するなど、成果が得られるようになってきた。通常の回折光学系による(遠方場)顕微鏡で精度の高い円二色性イメージングを可能とする装置開発も行い、これは物質開発、生物科学、結晶学等の様々な分野の研究者から興味を持って頂いている。これらの近接場及び遠方場円二色性イメージングは、今後様々なナノ構造光学活性物質の機能解明のための有力な実験手法になることを期待しており、国内外との共同研究を数件行っている。円二色性顕微鏡の開発で企業との協力も視野に入れている。また物質および光のキラリティは磁性との相関においても興味を持たれ、ナノ光学の観点からこの方向への研究展開について実際の共同研究も行っている。更に、円二色性イメージングの医療応用に関する共同研究も開始している。これらとは異なる研究課題として、微粒子の光トラッピングに関わる独自の研究萌芽(非線形共鳴光トラッピング)を見出したことを契機に、光圧(勾配力、散乱力)によるナノ物質・分子の力学操作に関する新たな研究展開にも注力している。キラル微粒子の光トラッピングに関する新たな成果も出つつ、まもなく成果を公表する予定である。