

織細計測研究部門

岡本 裕 巳 (教授) (2000年11月1日着任)

吉澤 大智 (助教)
山西 絢介 (特任助教 (分子科学研究所特別研究員))
AHN, Hyo-Yong (特任助教 (新分野創成センター))
CHAKRABORTY, Ipsita (特任研究員)
成島 哲也 (特別訪問研究員)
石川 晶子 (技術支援員)
野村 恵美子 (事務支援員)
伊藤 敦子 (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。この他に主として所外の研究者と共同で、様々なキラルナノ物質の観察・同定に用いる研究を推進し、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も、医科学分野の研究者と共同で開始している。更に感度や測定速度を向上させる試み、波長範囲を拡張する試み等を推進している。
- 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)。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、理論的に解釈した。これにより、キラル物質の光マニピュレーションの基礎となる知見を得た。

B-1) 学術論文

J. YAMANISHI, H.-Y. AHN, H. YAMANE, S. HASHIYADA, H. ISHIHARA, K. T. NAM and H. OKAMOTO, “Optical Gradient Force on Chiral Particles,” *Sci. Adv.* **8(38)**, eabq2604 (2022). DOI: 10.1126/sciadv.abq2604

R. NAKAJIMA, D. HIROBE, G. KAWAGUCHI, Y. NABEL, T. SATO, T. NARUSHIMA, H. OKAMOTO and H. M. YAMAMOTO, “Giant Spin Polarization and a Pair of Antiparallel Spins in a Chiral Superconductor,” *Nature* **613(7944)**, 479–484 (2023). DOI: 10.1038/s41586-022-05589-x

B-3) 総説, 著書

H. OKAMOTO, “Optical Manipulation with Nanoscale Chiral Fields and Related Photochemical Phenomena,” *J. Photochem. Photobiol., C* **52**, 100531 (2022). DOI: 10.1016/j.jphotochemrev.2022.100531

岡本裕巳, 「光と物質の量子相互作用ハンドブック」, 荒川泰彦, 島野 亮, 金光義彦, 岩本 敏, 高原淳一, 立間 徹, 編, エヌ・ティー・エス (2023).

O. ÁVALOS-OVANDO, E. Y. SANTIAGO, A. MOVSESYAN, X.-T. KONG, P. YU, L. V. BESTEIRO, L. K. KHORASHAD, H. OKAMOTO, J. M. SLOCIK, M. A. CORREA-DUARTE, M. COMESAÑA-HERMO, T. LIEDL, Z. WANG, G. MARKOVICH, S. BURGER and A. O. GOVOROV, “Chiral Bioinspired Plasmonics: A Paradigm Shift for Optical Activity and Photochemistry,” *ACS Photonics* **9(7)**, 2219–2236 (2022). DOI: 10.1021/acsp Photonics.2c00445

B-4) 招待講演

岡本裕巳, 「光学遷移の選択律を破るナノ分光」, 森野ディスカッション, 岡崎 (オンライン開催), 2022年8月.

岡本裕巳, 「キラル光学効果による顕微イメージング」, 早稲田大学理工学術院大学院講演会, 東京, 2022年10月.

岡本裕巳, 「キラル光学効果によるイメージングとその展開」, カイラル物質科学の新展開, 柏, 2022年12月.

岡本裕巳, 「「ねじれた光」で見る鏡写しの世界」, 愛知県と自然科学研究機構岡崎3研究所との連携協定締結式 基礎科学講演会, 名古屋, 2022年12月.

H. OKAMOTO, “Imaging with Local Chiro-Optical Effects,” The 13th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics, Sapporo (Hybrid), July 2022.

H. OKAMOTO, “Chiro-Optical Microscopic Imaging of Nano- and Micro-Sized Materials and Analyses of Chiro-Optical Functions,” 12th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META2022), Torremolinos (Spain) (Hybrid), July 2022.

H. OKAMOTO, “Optical force arising from chiro-optical light-matter interaction,” Structured Light for Life, Adelaide (Australia), February 2023.

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

The 10th Optical Manipulation and Structured Materials Conference (OMC2023), Program committee member (2023).

The 31st International Conference on Photochemistry (ICP2023), National scientific committee member (2022–).

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 (2020–2023), 同化学委員会幹事 (2020–2023), 同化学委員会物理化学・生物物理化学分科会委員長 (2020–2023), 同化学委員会分析化学分科会世話人 (2020–2023).

B-8) 大学等での講義, 客員

総合研究大学院大学物理科学研究科, 集中講義「構造光科学」, 2022年6月–7月.

早稲田大学理工学術院, 集中講義「先端ナノ光物理化学特論」, 2022年4月–2023年3月.

早稲田大学理工学術院, 客員教授, 2022年4月–2023年3月.

B-10) 競争的資金

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年度–2024年度).

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年度–2022年度).

科研費学術変革領域研究(A), 「超螺旋光とナノレベル物質のキラルな動的相互作用」, 岡本裕巳 (2022年度–2026年度).

科研費基盤研究(B), 「シングル nm スケールでの物質の円偏光応答の解明」, 山西絢介 (2022年度–2025年度).

科研費学術変革領域研究(A), 「偏光近接場による星間塵ナノ微粒子のキラル分子科学」, 成島哲也 (2021年度–2022年度).

科研費学術変革領域研究(A) (総括班), 「光の螺旋性が拓くキラル物質科学の変革」(代表: 尾松 孝茂), 岡本裕巳 (研究分担者) (2022年度–2026年度).

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) (2020年度–2022年度).

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(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。円二色性顕微鏡を更に汎用性の高い装置とする開発を継続し, 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。微粒子の光による力学的マニピュレーションについても、キラル微粒子の光トラッピングに関する新たな成果が得られ、その展開も進めたい。これらを総合した新たな方向への展開として、キラルな光-物質相互作用による、物質キラリティの創出の試みを進める科研費学術変革領域研究(A)が今般採択され、これに貢献していきたい。