

織細計測研究部門

岡 本 裕 巳（教授）（2000 年 11 月 1 日着任）

山西 絢介（特任助教）

AHN, Hyo-Yong（特任助教（新分野創成センター））

CHENG, An-Chieh（特任助教）

成島 哲也（特別訪問研究員）

石川 晶子（技術支援員）

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キラル光学効果とその応用
- 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国際的にも未開拓であるが、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、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。所内の共同研究で、有機スピントロニクス物質のキラル結晶の掌性同定にも有効に活用された。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。また、それらの基盤的情報に基づき、円偏光によるキラル構造物質の創出に関する研究展開も進めている。
- 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。また現在、このような光の力学作用を利用した、原子間力顕微鏡の原理に基づく顕微イメージング法（光誘起力顕微鏡）でナノ構造上のキラルな光場を可視化する手法の開発も行っている。

B-1) 学術論文

K. ENDO, S. HASHIYADA, T. NARUSHIMA, Y. TOGAWA and H. OKAMOTO, “Circular Dichroism of Pseudo-Two-Dimensional Metal Nanostructures: Rotational Symmetry and Reciprocity,” *J. Chem. Phys.* **159(23)**, 234706 (2023). DOI: 10.1063/5.0178943

J. YAMANISHI, H.-Y. AHN and H. OKAMOTO, “Nanoscopic Observation of Chiro-Optical Force,” *Nano Lett.* **23(20)**, 9347–9352 (2023). DOI: 10.1021/acs.nanolett.3c02534

B-2) 国際会議のプロシーディングス

J. YAMANISHI, H.-Y. AHN and H. OKAMOTO, “Nanoscopic Visualization of Chiro-Optical Field in Photoinduced Force Microscopy,” *Proc. SPIE* **12606**, 126060P (2023). DOI: 10.1117/12.3008343

B-4) 招待講演

H.-Y. AHN, “Chiroplasmonic nanoparticle for strong chiral light emission,” 物質・デバイス領域共同研究セミナー, 札幌, 2023 年 11 月.

岡本裕巳, 「キラルな光－物質相互作用によるイメージング計測, 物理的・化学的効果」, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 熊本, 2023 年 9 月.

岡本裕巳, 「局所的なキラル光学効果を観測する顕微イメージング」, 第 24 回プラズモニク化学シンポジウム, 東京, 2023 年 6 月.

H. OKAMOTO, “Chiro-Optical Effects of Nano-/Micro-Materials: Microscopic Imaging and Chiral Light-Matter Interaction,” 19th International Conference on Chiroptical Spectroscopy (CD2023), Hiroshima (Japan), September 2023.

H. OKAMOTO, S. HASHIYADA and T. NARUSHIMA, “Chiro-Optical Microscopic Imaging of Nano-/Micro-Materials,” International Conference on Materials Science, Engineering and Technology, Singapore 2023, Singapore (Singapore), September 2023.

H. OKAMOTO, “Chiro-optical effects of plasmonic materials: Microscopic imaging and chiral near-field interaction with molecules,” The 31st International Conference on Photochemistry (ICP2023), Sapporo (Japan), July 2023.

H. OKAMOTO, J. YAMANISHI and H.-Y. AHN, “Chiro-optical gradient forces in chiral nanomaterials,” 13th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META2023), Paris (France), July 2023.

H. OKAMOTO, “Imaging with Local Chiro-Optical Effects and Chiral Light-Matter Interaction,” Department Seminar, Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University, Seoul (Korea), July 2023.

J. YAMANISHI, T. TORIMOTO, H. ISHIHARA, H. OKAMOTO and Y. SUGAWARA, “Nanospectroscopy of Optical Force,” The 14th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics (APNFO14), Busan (Korea), June 2023.

H. OKAMOTO, “Imaging with Local Chiro-Optical Effects and Chiral Light-Matter Interaction,” Open Seminar, The University of Glasgow, Glasgow (U. K.), June 2023.

H. OKAMOTO, “Chiro-optical microscopic imaging of plasmonic materials and chiral near-field interaction with molecules,”
9th International Conference on Antennas and Electromagnetic Systems (AES2023), Torremolinos (Spain), June 2023.

B-5) 特許出願

特願 2022-120944, 「光誘起力測定装置, 光誘起力顕微鏡及び光誘起量測定方法」, 山西 絢介, 岡本 裕巳 (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

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

14th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META2024), Organizing Committee (2023–).

34th International Symposium on Chirality, Local Organizing Committee (2024–).

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 (2020–2026), 化学委員会幹事 (2020–2023), 化学委員会物理化学・生物物理化学分科会委員長 (2020–2023), 化学委員会分析化学分科会世話人 (2020–2023), 化学委員会委員長 (2023–2026).

東京大学アト秒レーザー科学研究機構 連携協議会委員 (2023–2024).

B-8) 大学等での講義, 客員

早稲田大学理工学術院, 客員教授, 「先端ナノ光物理化学特論」, 2023 年 9 月–2024 年 3 月.

早稲田大学理工学術院, オムニバス講義のコマ担当, 「理工文化論」, 2023 年 4 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).

科研費学術変革領域研究(A), 「超螺旋光とナノレベル物質のキララな動的相互作用」, 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) (総括班), 「光の螺旋性が拓くキララ物質科学の変革」 (代表: 尾松 孝茂), 岡本裕巳 (研究分担者) (2022 年度–2026 年度).

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, キララ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ラ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。