

6-7 メゾスコピック計測研究センター

繊細計測研究部門

岡 本 裕 巳（教授）（2000 年 11 月 1 日着任）

A-1) 専門領域：ナノ光物理化学

A-2) 研究課題：

- a) 先端的な近接場分光法の開発とプラズモン物質の特性に関する研究への展開
- b) ナノ構造物質におけるキラリティと局所的な光学活性
- c) 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) 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の開発を行い、並行して試料の測定を行っている。着任後測定装置の構築に取り組み、基本的なシステムの完成後プラズモン物質を中心にナノ光学の研究に用いてきた。光学像の横方向分解能は 50 nm 程度である。各種形状貴金属ナノ構造体の分光及び超高速ダイナミクスの近接場分光イメージング計測を行い、プラズモンモードの波動関数の二乗振幅や微粒子周辺の増強電場のイメージング、プラズモン波束の運動の可視化等が可能であることを示した。電子線描画装置、フェムト秒広帯域波長可変光源等を導入し、体系的にナノ構造試料作製、光場の空間構造と分光特性の近接場測定を進めた。また近接場光学活性イメージング法を開発し、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研究に適用した。
- b) キラルな構造を持つ金ナノ構造体（主に2次元構造）を電子線描画法で作製し、開発した近接場光学活性イメージング装置を用い、局所的な光学活性を測定した。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を見出し、また局所的な強い光学活性がナノ構造内の遠隔的な電磁気学相互作用で現れていること、高い対称性を持つアキラルな金属ナノ長方形構造において、巨視的な光学活性は当然現れないが、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が得られている。これらの発展として、金属ナノ構造と分子とのキラルな光学的相互作用に関する研究を、国内外の幾つかの研究グループとの共同研究として開始した。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装置を開発し、微結晶試料、液晶、生体組織等へのその応用を、共同研究を通じて開始している。
- c) 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。また光と物質のキラリティもその挙動に影響を及ぼすことが予想される。この研究展開を図ることを、今後の研究の今一つの柱とする。

B-1) 学術論文

M. HOSHINA, N. YOKOSHI, H. OKAMOTO and H. ISHIHARA, “Super-Resolution Trapping: A Nanoparticle Manipulation Using Nonlinear Optical Response,” *ACS Photonics* **5**, 318–323 (2018).

S. HASHIYADA, T. NARUSHIMA and H. OKAMOTO, “Imaging Chirality of Optical Fields near Achiral Metal Nanostructures Excited with Linearly Polarized Light,” *ACS Photonics* **5**, 1486–1492 (2018).

K. MASUDA, R. SHINOZAKI, Y. KINEZUKA, J. LEE, S. OHNO, S. HASHIYADA, H. OKAMOTO, D. SAKAI, K. HARADA, K. MIYAMOTO and T. OMATSU, “Nanoscale Chiral Surface Relief of Azo-Polymers with Nearfield OAM Light,” *Opt. Express* **26**, 22197–22207 (2018).

K. Q. LE, S. HASHIYADA, M. KONDO and H. OKAMOTO, “Circularly Polarized Photoluminescence from Achiral Dye Molecules Induced by Plasmonic Two-Dimensional Chiral Nanostructures,” *J. Phys. Chem. C* **122**, 24924–24932 (2018).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

K. Q. LE and H. OKAMOTO, “Circular Polarization Dissymmetry of Two Photon-Induced Photoluminescence from Chiral Plasmonic Nanostructured Metasurfaces,” *Proc. SPIE* **10712**, 1071214 (3 pages) (2018).

S. HASHIYADA, T. NARUSHIMA and H. OKAMOTO, “Active Polarization Control of Optical Fields Localized on Gold Nano-Rectangles,” *Proc. SPIE* **10712**, 107121S (2 pages) (2018).

B-3) 総説, 著書

岡本裕巳, 「ナノ空間領域の構造と近接場光のキラリティ」, *レーザー研究* **46**, 187–191 (2018).

岡本裕巳, 「NEWS — ノーベル物理学賞：アーサー・アシュキン博士の業績」, *パリティ* **33(12)**, 40–42 (2018).

B-4) 招待講演

H. OKAMOTO, “Imaging and control of chiral plasmons,” The Second Symposium of Chiral Molecular Science and Technology ‘Advanced Materials Science, Biology & Nanophotonics,’ Chiba (Japan), January 2018.

岡本裕巳, 「物質の共鳴・非線形・偏光応答を活用した操作手法の拡張と高度化」, レーザー学会学術講演会第38回年次大会シンポジウムS04「光圧による物質操作の新展開」, 京都, 2018年1月.

H. OKAMOTO, “Imaging and control of chiral plasmons,” International Symposium on Plasmonics and Nanophotonics (iSPN 2018), Hangzhou (China), May 2018.

H. OKAMOTO, “Nanoscale Imaging and Control of Chiral Plasmons,” The 7th Hsinchu Summer Course and Workshop, Emergent Functional Matter Science, Hsinchu (Taiwan), June 2018.

H. OKAMOTO, “Imaging and Control of Chiral Plasmons,” 11th International Conference on Nanophotonics (ICNP 2018), Wroclaw (Poland), July 2018.

H. OKAMOTO, S. HASHIYADA, K. Q. LE and T. NARUSHIMA, “Detection and control of chiral optical near-field interaction,” The 12th International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed Matter and Nano Materials (EXCON 2018), Nara (Japan), July 2018.

H. OKAMOTO, S. HASHIYADA and T. NARUSHIMA, “Nanoscale imaging and control of chiral plasmons,” International Symposium on Chiral Magnetism (χ -mag2018), Nara (Japan), July 2018.

S. HASHIYADA, T. NARUSHIMA, H. OKAMOTO, K. ENDO and Y. TOGAWA, “Spectral properties of chiral optical fields localized on chiral metal nanostructures,” International Symposium on Chiral Magnetism (χ -mag2018), Nara (Japan), July 2018.

S. HASHIYADA, T. NARUSHIMA and H. OKAMOTO, “Mapping Polarization States of Plasmonic Fields,” 26th International Conference on Raman Spectroscopy (ICORS 2018), Jeju (Korea), August 2018.

H. OKAMOTO, Y. NISHIYAMA, K. IMAEDA and K. IMURA, “Plasmon Wave Dynamics Visualized by Femtosecond Near-Field Optical Microscopy,” TSRC Workshop on Molecular Videography, Telluride (U.S.A.), September 2018.

H. OKAMOTO, “Local optical activity of nanomaterials with nano-optics and chirality,” Department Colloquium, Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University, Seoul (Korea), December 2018.

岡本裕巳,「ナノ物質の局所光学活性とキラリティ」, 第 29 回光物性研究会, 京都, 2018 年 12 月.

H. OKAMOTO, “Nanoscale imaging and control of chiral optical fields,” Smart NanoMaterials 2018: Advances, Innovation and Applications (SNAIA2018), Paris (France), December 2018.

B-6) 受賞, 表彰

岡本裕巳, 光科学技術研究振興財団研究者表彰 (1994).

岡本裕巳, 分子科学研究奨励森野基金 (1999).

井村考平, 応用物理学会講演奨励賞 (2004).

井村考平, ナノオブティクス賞 (2005).

井村考平, 分子構造総合討論会奨励賞 (2005).

井村考平, 光科学技術研究振興財団研究者表彰 (2007).

井村考平, 日本化学会進歩賞 (2007).

井村考平, 日本分光学会賞(奨励賞) (2007).

原田洋介, ナノオブティクス賞 (2010).

岡本裕巳, 日本化学会学術賞 (2012).

成島哲也, Yamada Conference LXVI Best poster award (Young Scientist) (2012).

橋谷田俊, 日本光学会 OPJ ベストプレゼンテーション賞 (2013).

西山嘉男, 日本分光学会年次講演会一般講演賞 (2014).

橋谷田俊, 日本化学会第 95 春季年会学生講演賞 (2015).

橋谷田俊, 第9回分子科学討論会分子科学会優秀ポスター賞 (2015).

西山嘉男, The 3rd Optical Manipulation Conference Outstanding Award (2016).

橋谷田俊, The Best Poster Presentation Award, NFO-14 (2016).

橋谷田俊, OSJ-OSA Joint Symposia Student Award (2016).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等員

日本化学会トピックス小委員会委員 (1993–1996).

日本分光学会編集委員 (1993–2001).

日本分光学会東海支部幹事 (2001–2012).

日本化学会東海支部常任幹事 (2003–2005).

分子科学研究会事務局 (2004–2006).

分子科学会運営委員 (2006–2008).

学会の組織委員等

The International Symposium on New Developments in Ultrafast Time-Resolved Vibrational Spectroscopy (Tokyo), Organizing Committee (1995).

The Tenth International Conference on Time-Resolved Vibrational Spectroscopy (Okazaki), Local Executive Committee (2001).

The Twentieth International Conference on Raman Spectroscopy (Yokohama), Local Organizing Committee (2006).

International Workshop on Soft X-ray Raman Spectroscopy and Related Phenomena (Okazaki), Local Organizing Committee (2006).

The 12th Korea-Japan Joint Symposium on Frontiers of Molecular Science (Jeju), Co-chair (2007).

Japan-Korea Joint Symposium on Molecular Science 2009 “Chemical Dynamics in Materials and Biological Molecular Sciences” (Awaji), Co-chair, Secretary general (2009).

The 7th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics (Jeju), Technical Program Committee (2009).

Yamada Conference LXVI: International Conference on the Nanostructure-Enhanced Photo-Energy Conversion, Programming Committee (2012).

1st Optical Manipulation Conference, Optics & Photonics International Congress 2014, Program Committee (2014).

2nd Optical Manipulation Conference, Optics & Photonics International Congress 2015, Program Committee (2015).

3rd Optical Manipulation Conference, Optics & Photonics International Congress 2016, Program Committee (2016).

The 14th International Conference on Near-Field Optics, Nanophotonics and Related Techniques, Local Organizing Committee (2016).

4th Optical Manipulation Conference, Optics & Photonics International Congress 2017, Program Committee (2017).

The 24th Congress of the International Commission for Optics (ICO-24), Program Committee Subcommittee (2017).

The 12th International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed Matter and Nano Materials (EXCON 2018), Program Advisory Board (2018).

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

日本学術振興会科学研究費委員会専門委員 (2006–2007).

日本学術振興会特別研究員等審査会専門委員 (2008–2010).

日本学術振興会国際事業委員会書面審査員 (2008–2010).

文部科学省研究振興局科学研究費補助金における評価に関する委員会 (理工系委員会) 委員 (評価者) (2010–2012).

日本学術振興会学術システム研究センター専門研究員 (2013–2017).

日本学術会議連携会員 (2017–).

学術誌編集委員

Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, Advisory Board (2012–2018).

その他

スーパーサイエンスハイスクール(愛知県立岡崎高等学校)活動支援(2003, 2004).

総合研究大学院大学物理科学研究科副研究科長(2010–2012).

総合研究大学院大学物理科学研究科研究科長(2012–2014).

分子科学研究所運営会議議長(2014–2018).

自然科学研究機構教育研究評議員(2016–).

B-8) 大学での講義, 客員

総合研究大学院大学物理科学研究科,「構造光科学」,2018年7月18日,19日,23日,25日.

B-10) 競争的資金

科研費基盤研究(A),「ナノ微粒子系の波動関数と励起状態の動的挙動」,岡本裕巳(2006年–2010年).

科研費特定領域研究「光–分子強結合場」(計画研究),「近接場顕微分光に基づく光反応場の動的可視化・制御」,岡本裕巳(2007年–2011年).

科研費挑戦的萌芽研究,「ナノ円二色性イメージングの開発と分子集合体キラリティ」,岡本裕巳(2009年–2011年).

科研費基盤研究(S),「ナノドット配列における結合励起状態の時空間特性と励起場制御」,岡本裕巳(2010年–2015年).

科研費若手研究(B),「近接場光励起領域近傍の空間分解分光イメージング」,成島哲也(2011年–2014年).

二国間交流事業共同研究(英国との共同研究),「ナノフォトニック物質の光電場構造・ダイナミクス解析」,岡本裕巳(2012年–2014年).

光科学技術研究振興財団研究助成,「キラル物質に都合の良い光電場の発生とその相互作用に関する研究」,成島哲也(2013年–2015年).

科研費基盤研究(C),「局所的に発現するナノ構造の強い光学活性の実態解明と物質系との相互作用への展開」,成島哲也(2014年–2017年).

科学技術振興機構さきがけ研究,「強い局所光学活性を利用したキラル光デバイス」,成島哲也(2014年–2018年).

科研費基盤研究(A),「キラルなプラズモン励起による不斉光化学場の展開」,岡本裕巳(2015年–).

科研費挑戦的萌芽研究,「金属ナノ構造に誘起される局所的円偏光電場による磁性体中の磁化制御」,岡本裕巳(2015年–2017年).

科研費特別研究員奨励費,「金ナノ構造体の強い局所光学活性によるキラル光化学反応場の開拓」,橋谷田俊(2015年–2017年).

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–).

科研費基盤研究(B),「階層を越えた物質のキラリティの3次元分析:汎用偏光二色性分光分析イメージング」,成島哲也(2017年–).

科研費研究活動スタート支援,「対称金属ナノ構造体と直線偏光を用いた不斉分子の高感度検出」,橋谷田俊(2017年–).

C) 研究活動の課題と展望

近接場分光イメージングによる研究を推進し,分子研着任当初の数年間では金属ナノ構造体に関して波動関数や光電場の空間分布をイメージするという独自の研究領域を拓いた。金属ナノ構造による光の局在化や増強などの性質・機能に関する新たな情報と方法論を提供し,多くの追従研究を生んだと考えている。その後研究を次のフェーズに進め,時間分解近接場分光では,10fsレベルの時間分解能で近接場測定を実現し,金属ナノ構造の多モードコヒーレント励起後の時空間ダイナミ

クスのイメージングが可能となるなど、一つの山を越える段階に到達したと考えている。その更なる展開のアイデアもあるが、非常に高度な技術を要する実験であり、困難が大きい。今一つのベクトルとして進めているナノ物質のキラリティの研究では、金属ナノ構造の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、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。近接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いる。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つつあり、一部で成果が出始めた。通常の回折光学系による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。この実験手法で得られた成果をもとに、新たなキラル物質機能の研究へ展開することも、高いポテンシャルを持つものとして重点的に考えており、国内外との共同研究も開始している。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も検討を開始し、一部実際の共同研究も始めた。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)を見出し数年前に発表した。2016年度に関連する新学術領域研究が発足したことを契機に、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展開を図るべく、この研究領域にも注力していく計画である。