

国際科学技術協力基盤整備事業（日本－台湾研究交流）

1. 研究課題名：「局所表面プラズモンの飽和効果の探求と超解像顕微法への応用」
2. 研究期間：平成 24 年 1 月～平成 27 年 3 月
3. 支援額： 総額 14,766,400 円
4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め 6 名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	庄司 暁	電気通信大学 情報理工学研究科	准教授
研究者	藤田克昌	大阪大学 工学研究科	准教授
研究者	望月健太郎	大阪大学 工学研究科	博士後期課程
研究者	渡邊 梢	大阪大学 工学研究科	博士後期課程
研究者	牛場翔太	大阪大学 工学研究科	博士後期課程
研究者	米丸泰央	大阪大学 工学研究科	博士後期課程
ほか、研究期間中の全参加研究者数			7 名

相手側（研究代表者を含め 6 名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	Shi-Wei Chu	国立台湾大学 物理学系	准教授
研究者	Tung-Yu Su	国立台湾大学 物理学系	博士後期課程
研究者	Hsuan Lee	国立台湾大学 物理学系	博士後期課程
研究者	Ming-Ying Lee	国立台湾大学 物理学系	博士後期課程
研究者	Katie Huang	国立台湾大学 物理学系	博士後期課程
研究者	Mei-Yu Chen	国立台湾大学 物理学系	博士後期課程
ほか、研究期間中の全参加研究者数			8 名

5. 研究・交流の目的

本研究は、プラズモニックナノ粒子が有する新奇な光学特性に基づく超解像顕微技術を開発することを目的とする。金属ナノロッドのプラズモニック光吸収過程における飽和効果について異方性、発光特性も含めて評価し、さらにこの飽和効果を積極的に応用した超解像顕微法の新しい原理を創出する。研究代表者らは、1) 分子からの発光を周波数変調・スイッチングすること、2) 分子の発光特性に飽和効果を得ること、によって光の回折限界を超えた超解像を実現できることを見いだしている。本研究では、金属ナノロッドの光吸収過程における飽和効果について、異方性、発光特性も含めて評価し、この特性を超解像顕微法の新しい原理として応用することを目的とする。金属ナノ粒子の光輻射過程を詳細に評価し、金属ナノ粒子における光輻射の飽和現象の誘起とスイッチングの手法を確立する。この特性を原理とした金属ナノ粒子を用いた超解像イメージング技術を開発する。この原理は世界初であり、本研究は金属ナノ粒子のプラズモン特性における非線形光学効果を探求するという新奇性のみならず、空間分解能向上の新しい顕微法原理を生み出す。

## 6. 研究・交流の成果

### 6-1 研究の成果

金ナノ粒子にレーザー光を照射したときの局所プラズモンの誘起とそれに伴う光散乱過程に非線形な応答が現れることを系統的に明らかにした。この金ナノ粒子のプラズモニック光散乱における非線形性は、レーザー光強度の増加によって最初散乱光強度が飽和・減少 (saturable scattering) したのち、ある強度に到達すると再び散乱光強度が増加する (reverse saturable scattering) という特異な性質であることを見いだした。この現象は可逆であり、レーザー光を繰り返し照射しても同じ非線形性を再現することができる。このことは、この非線形散乱が金属ナノ粒子のプラズモニック効果によるものであり、強い光強度のレーザー光照射による金属ナノ粒子のダメージや遷移吸収過程によるものではないことを示した。

さらに、ナノ粒子の光散乱の非線形応答を原理とする、波長の回折限界をはるかに超えた超解像イメージング法を開発し、実験でそのイメージング特性を明らかにした。本手法によって、光の回折限界をはるかに超えた超解像イメージングが可能であることを示した。この結果は、ACS Photonics に掲載された。また、Nature Photonics (Nature Photon. 8, 92 (2014)) にもその内容のハイライトが紹介され、高い注目を集めている。

### 6-2 人的交流の成果

本プロジェクトの実験に携わったのは、日台側ともに、主に大学院博士課程の学生であり、日本側からは5名の博士後期課程学生が関わった。そのうち3名は、本プロジェクトの修了とともに博士の学位を取得した。研究装置の関係で、特に台湾側研究者である博士課程学生は、毎年のように大阪大学に長期滞在し、共同研究を行った。台湾側研究者の日本への滞在はのべ653日であった。また日本側からも1名、台湾に3ヶ月程度滞在し共同実験を行った。この間、日台側の大学院学生同士が深い友情をはぐくみ、多くの研究成果を生み出している。以上の研究交流により、特に、本プロジェクトに携わった大学院博士課程学生の国際交流の機会として極めて大きな役割を果たせたと考える。

研究代表者も台湾側研究グループを訪問し研究打合せを重ねたほか、毎年開催される国際会議にも出席し、その機会を利用して研究内容の議論を重ねることができたことは、両研究代表者、大学院学生ともに、国際的ネットワークを通じてお互いに深く学び合う環境であった。

## 7. 本研究交流による主な論文発表・主要学会での発表・特許出願

論文 or 特許	・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年、DOI ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、 出願番号、出願人、発明者等	特記事項
論文	S.-W. Chu, H.-Y. Wu, Y.-T. Huang, T.-Y. Su, H. Lee, Y. Yonemaru, M. Yamanaka, R. Oketani, S. Kawata, S. Shoji, and K. Fujita, "Saturation and reverse saturation of scattering in a single plasmonic nanoparticle," ACS Photonics, 1, 32-37 (2014)	Nature Photonics 8, 92 (2014) に紹介記事
論文	Shota Ushiba, Satoru Shoji, Kyoko Masui, Preeya Kuray, Junichiro	impact

	Kono, Satoshi Kawata, "3D microfabrication of single-wall carbon nanotube/polymer composites by two-photon polymerization lithography" CARBON 59, 283-288 (2013)	factor 5.4
論文	Shota Ushiba, Satoru Shoji, Kyoko Masui, Junichiro Kono, Satoshi Kawata, "Direct Laser Writing of 3D Architectures of Aligned Carbon Nanotubes"	impact factor 15.41
論文 (国際学会)	Yen-Ta Huang, Hsueh-Yu Wu, Hsuan Lee, Ryosuke Oketani, Yasuo Yonemaru, Tung-Yu Su, Masahito Yamanaka, Satoshi Kawata, Satoru Shoji, Katsumasa Fujita, Shi-Wei Chu, "Size and wavelength dependency of saturable and reverse saturable scattering by a single gold nanosphere embedded in dielectric material" SPIE Photonics West 2014, San Francisco, 2014/2/1-6	世界最大規模の超解像光学顕微鏡関連学会のひとつ
論文 (国際学会)	Hsuan Lee, Hsueh-Yu Wu, Yen-Ta Huang, Tung-Yu Su, Yasuo Yonemaru, Masahito Yamanaka, Ryosuke Oketani, Satoshi Kawata, Satoru Shoji, Katsumasa Fujita, Shi-Wei Chu, "Reverse saturable scattering of a single gold nanoparticle", SPIE Photonics West 2014, San Francisco, 2014/2/1-6	世界最大規模の超解像光学顕微鏡関連学会のひとつ