

## レーザー励起された溶液中の金ナノ粒子の観測

宇都宮大学 地域創生科学研究科 光システムデザイン研究室 修士1年  
城内裕翔（じょうないゆうと）

## 【概要】

集光されたフェムト秒レーザーパルスは、多光子吸収によって液体中にマイクロバブルを発生させる。また、溶液中に金ナノ粒子が存在すると、その特異な光学特性がパルスによる現象を増幅させるため、必要な励起エネルギーが劇的に減少することがわかった。本研究では、ポンプローブイメージングにより、金ナノ粒子とその周囲の液体のフェムト秒レーザー励起の初期過程を視覚的に明らかにする。

## 【栃木を元気にするには】

光工学に関する知見や技術は、情報通信・映像・自動車・医療・食品など、多様な産業の発展に必要であり、栃木県では、光産業が重点振興産業のうちの一つである。そのため、光工学に知見のある我々の研究成果や技術、ノウハウを企業が活用し、実用化や産業化へと発展することで、栃木県全体が活気づき、社会貢献に繋がると考える。

フェムト秒パルスレーザー励起現象の時間分解イメージングは、マイクロプラズマや衝撃波の形成等、ピコ秒からフェムト秒領域での超高速現象に役立つ。

金ナノ粒子は、集光点付近でフェムト秒レーザーパルスとの相互作用を増幅させる特定の光学特性を持っている<sup>1)</sup>。入射光と粒子内部の自由電子が共鳴振動することで得られる局在表面プラズモン共鳴と粒子近傍で集光する光アンテナ効果により、入射光の電場が飛躍的に増加される。パルスレーザー光と液体中の金ナノ粒子のとの相互作用では、金ナノ粒子はパルス光によって加熱され、粒子の周辺で爆発的に蒸発し、気泡の生成を促進させる<sup>2)</sup>。これらの光学的特性は、バイオセンサー<sup>3)</sup>や光ナノ加工<sup>4)</sup>などの広い分野で活用されている。

フェムト秒レーザーが溶液中で集光されると、多光子吸収とその後のレーザー誘起破壊によってマイクロバブルが生成される<sup>5)</sup>。我々はこの現象を利用して、高粘性なグリセリンを溶媒とした、マイクロバブルを画素とする体積的ディスプレイを開発し<sup>6)</sup>、画像拡大のために、グリセリンスクリーンに金ナノ粒子を含有させることで、バブル生成しきい値エネルギーが低下した<sup>7)</sup>。金ナノ粒子含有濃度を高くすると、バブル生成確率は上昇するが、しきい値エネルギーの低下には限界があり、原因は未解明であった。そこで、励起の際、集光点近傍での金ナノ粒子の励起過程、泡の発生過程を視覚的に理解し、定量的に評価することで、このディスプレイシステムの性能向上の手がかりになると考えた。

本研究では、ポンプ・プローブイメージングを用いて、金ナノ粒子の励起過程の観測を行う。

Fig. 1 に実験光学系を示す。光源は、波長 800nm、繰り返し周波数 1Hz、パルス幅 50fs を用い、ビームスプリッターにより、光路をポンプ光とプローブ光に分岐している。プローブ光は、NA0.058 のレンズでサンプルを励起し、プローブ光は、BBO 結晶で生成された波長 400nm の第二高調波であり、電動ステージによって光学的に遅延されてサンプルを照射する。サンプル通過後は、NA0.8 の対物レンズを用いたケプラー式光学系により 150 倍に拡大され、イメージセンサで撮影される。また、光学遅延装置は、最大移動量 1500mm、分解能 25 $\mu$ m と最大移動量 25mm、分解能 0.5 $\mu$ m のステージを組み合わせることにより、最小光路変位 1 $\mu$ m、最大光路変位 3050mm の制御が可能であり、約 3fs~10ns の遅延時間の制御が可能である。実験には、10 $\times$ 10 $\times$ 45mm の石英ガラスセルに金ナノ溶液 750 $\mu$ L、グリセリン 3mL を含有させたサンプルを用いた。

Fig. 2 は、金ナノ粒子の撮影像とレーザー誘起バブルの撮影像を示す。発表では、光学遅延時間の違いによる金ナノ粒子の励起過程、泡の発生過程について発表する。

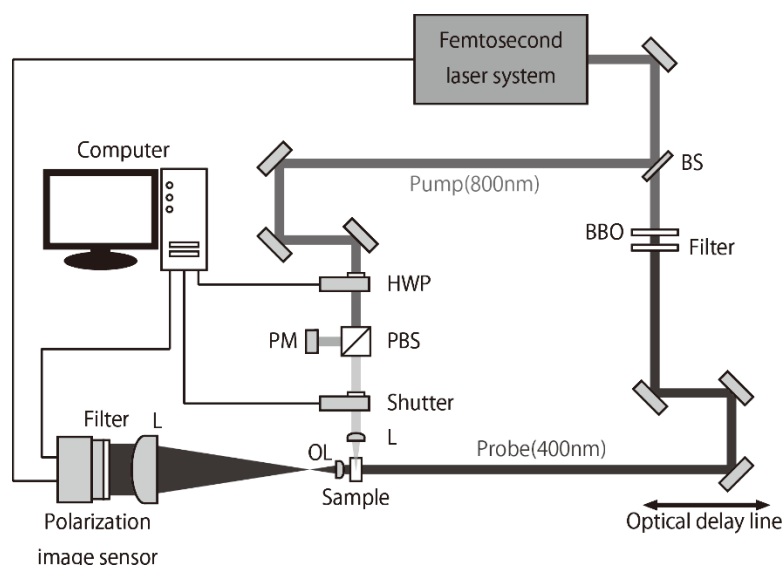


Fig. 1 Experimental setup; BS: beam splitter, BBO: BBO crystal, HWP: half wave plate, PM: power meter, L: lens, OL: objective lens, Filter: blue pass filter.

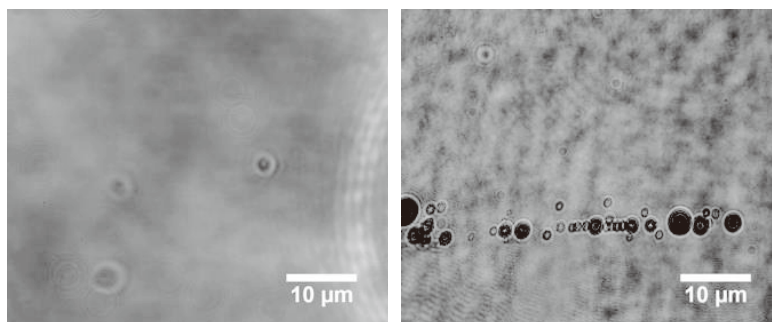


Fig. 2 Gold nanoparticles in glycerin sample and laser induced bubble.

#### 参考文献

- 1) S. Hashimoto, D. Werner, and T. Uwada: *J. Photochem. Photobiol. C*, **13**(2012) 28-54.
- 2) V. Kotaidis, C. Dahmen, G. von Plessen, F. Springer, and A. Plech: *J. Chem. Phys.*, **124**(2006) 184702.
- 3) K. A. Willets and R. P. Van Duyne: *Annu. Rev. Phys. Chemistry* **58**(2007) 267-297.
- 4) K. Yamada, T. Itoh and Y. Tsuboi: *Appl. Phys. Express* **1**(2008) 087001.
- 5) C. B. Schaffer, N. Nishimura, E. N. Glezer, A. M.-T. Kim, and E. Mazur: *Opt. Express* **10**, 196-203 (2002).
- 6) K. Kumagai, I. Yamaguchi, and Y. Hayasaki: *Optica* **4**, 298-302 (2017).
- 7) K. Kumagai, T. Chiba, and Y. Hayasaki: *Opt. Express* **28**, 33911-33920 (2020).