

液相レーザーアブレーション誘起キャビテーションバブルの  
ダイナミクスとナノ粒子生成における役割  
Dynamics of cavitation bubble induced by liquid-phase laser ablation  
and its role in the synthesis of nanoparticles

佐々木 浩一

Koichi Sasaki

北海道大学 大学院工学研究院 量子理工学部門

Division of Quantum Science and Engineering, Hokkaido University

sasaki@qe.eng.hokudai.ac.jp

液相レーザーアブレーションは、液体中に設置した固体ターゲットに強力なレーザーパルス  
を照射することによりプラズマを生成する方法であり、結果として、固体ターゲットを構成  
する元素そのもの、または、固体ターゲットを構成する元素と液体を構成する元素との化合  
物のナノ粒子が形成される。ナノ粒子は液体中にトラップされ、懸濁液(コロイド)の状態にな  
ることから、真空およびガス中でのナノ粒子生成プロセスに比べてナノ粒子の回収が容易で  
ある。液相レーザーアブレーションに特化した国際会議が既に2回開催され(第3回は2014  
年に日本において開催予定)[1,2], 2012年には分厚い専門書が発刊されるなど[3], レーザー  
アブレーションによるナノ粒子生成プロセスの本流になる勢いで発展している。

液相レーザーアブレーションの研究を開始した当初からの我々の疑問は、プロセス空間の何  
処で何時頃ナノ粒子が形成されるのかという問題であった。液相レーザーアブレーション現  
象の時間発展は以下のとおりである。まず、レーザーパルスの照射によりターゲットが溶融・  
気化する。気化したターゲットは雰囲気液体に向かって飛散・膨張し、この時発光を伴うプ  
ラズマが観察される。発光を伴うプラズマの寿命は短く、レーザーパルスの持続時間と同じ  
かそれよりわずかに長い程度である。発光を伴うプラズマが消失した後、レーザー照射点  
を中心とした半球状のキャビテーションバブルが形成され、膨張・収縮・崩壊のダイナミクス  
を示す。レーザーフルエンスに依存するが、キャビテーションバブルの崩壊はレーザーパル  
ス照射後 200  $\mu$ s 程度において観測される。このように、固相(ターゲット)、液相、気相(キャ  
ビテーションバブル)、およびプラズマが混在する特異な反応場においてナノ粒子が生成され  
る。

以上の時間発展から、ターゲット起源の原子・分子は、最初、液体中に放出されると  
考えられる。液体中では粒子輸送が遅いと  
考えられ、液相レーザーアブレーションの  
研究者の多くが化学系の研究者であった  
こともあり、当初は、液相中において粒子  
の会合反応が生じ、分の時間オーダーを  
経てナノ粒子が形成されるとの意見もあ  
った。我々は、レーザーアブレーションに  
より誘起された反応場に別のレーザー光  
を照射し、その散乱光を撮影する方法で、  
ナノ粒子形成プロセスを調べる実験を行  
った[4]。この時、シャドウグラフ撮影も同  
時に行って、キャビテーションバブルの  
位置を確認した。その結果、図1に示す  
ように、レーザー散乱光はキャビテーシ  
ョンバブルの内部の空間で観測され、キャビテーシ

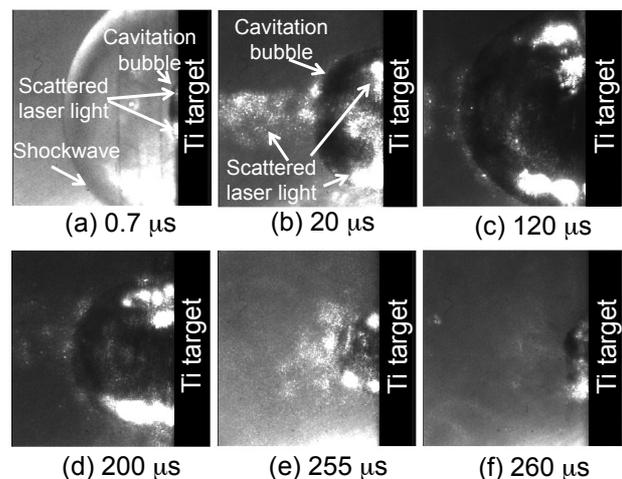


図1 アブレーション用レーザーパルス照射後の様々な時刻で撮影したレーザー散乱画像。シャドウグラフ撮影も同時に行われている。

オンバブルがナノ粒子形成の反応場であるとの結果が得られた。同様の結果は、最近、X線散乱実験によっても確認された[5]。一旦液相に放出された原子・分子はキャビテーションバブルの内部に輸送され、キャビテーションバブルの内部においてナノ粒子化すると考えられる。また、ナノ粒子が形成されるまでの時間は、従来のガス中でのレーザーアブレーションによるナノ粒子生成プロセスに比べて数桁早い。さらに、図1に示すように、キャビテーションバブルはナノ粒子を内部に抱いたまま崩壊に至ることがわかった。バブル崩壊時には内部が高温・高圧状態となることから、キャビテーションバブルのダイナミクスがナノ粒子の構造などに強く影響を与えることが示唆された。実際、アブレーション媒質液体の加圧によりキャビテーションバブルのダイナミクスを制御すると、ナノ粒子のサイズや構造が変化することが確かめられている[6,7]。

キャビテーションバブルのダイナミクスは、元来、流体力学、ソノケミストリー、超音波エレクトロニクスなどの分野で研究されてきた。液相レーザーアブレーションは、これらの分野に加え、プラズマ理工学、レーザープロセッシング、材料工学などの分野が融合した学際的研究分野であり、液相での放電プラズマ応用と相補的な新分野としてのますますの発展が期待される。

[1] <http://www.myeos.org/angel2010>

[2] <http://www.myeos.org/events/angel2012>

[3] *Laser Ablation in Liquids: Principles and Applications in the Preparation of Nanomaterials* (ed. Guowei Yang, Pan Stanford Publishing, 2012).

[4] W. Soliman, N. Takada, and K. Sasaki, *Appl. Phys. Express* **3**, 035201 (2010).

[5] S. Ibrahimkutty, P. Wagener, A. Menzel, A. Plech, and S. Barcikowski, *Appl. Phys. Lett.* **101**, 103104 (2012).

[6] W. Soliman, N. Takada, and K. Sasaki, *Jpn. J. Appl. Phys.* **50**, 108003 (2011).

[7] W. Soliman, N. Takada, N. Koshizaki, and K. Sasaki, *Appl. Phys. A, Online First Articles* (2012).