# 高速度レーザーストロボビデオ撮影による液中レーザー アブレーションの可視化観察

Visualization of Laser Ablation in Liquid through High-speed

## Laser Stroboscopic Videography

# <sup>0</sup>伊藤 義郎,田辺 里枝(長岡技術科学大学)

## <sup>°</sup>Yoshiro Ito and Rie Tanabe (Nagaoka University of Technology)

E-mail: itoy@vos.nagaokaut.ac.jp

#### 1. 緒言

液中レーザーアブレーション(Laser Ablation in Liquids, 以 下 LAL) は、レーザーピーニングやナノ粒子生成など多方面 での応用で注目されている. LAL は、アブレーションプラズ マの生成、衝撃波の伝播、気泡の発生と膨張、収縮、生成物 の液中への拡散など、ナノ秒からミリ秒以上の時間領域にわ たる一連の高速現象であり、マルチスケール、マルチフィジ ックス現象である.ナノ秒からミリ秒にわたるその全体像を 理解するには、マルチタイムスケールの観察が必要である.

このような高速現象の可視化には、一般にはポンプープロ ーブ撮影法が用いられるが、通常は一つの事象毎に1枚の画 像を取得、これを時系列に並べる事で、ダイナミクスを再構 築している.この方法でLALの現象全体を観察するには、膨 大な数の実験を繰り返し行う必要がある.その上、LALは再 現性が高いとはいえ、事象毎の変動は避けられない.

我々は、この問題を克服し、LALのダイナミクスを高繰返 しパルスレーザーと高速度ビデオを組合せた撮影手法により、 ナノ秒からミリ秒の幅広い時間領域で可視化し、研究してき た. その中から、LALに関する2つの事例を紹介する.

#### 2. 高速度レーザーストロボビデオ撮影法<sup>1)</sup>

我々が開発した可視化法は,高繰り返しの短パルスレーザ ーを,高速度ビデオカメラ<sup>2)</sup>の光源として用い,単一事象の ダイナミクスを連続撮影する.撮影を,照明レーザー光の波 長だけで行うと,ストロボ撮影と同様に,実効のシャッター 速度がレーザーのパルス幅で決まり,ns あるいは ps での撮 影が可能である.また,プラズマの存在下でも,ブレのない 鮮明な動画が得られる,光学系が簡単にでき,多くの撮影モ ードに対応が容易である,等,レーザーを光源とする利点が 多くある.一方,レーザー光のコヒーレンスが良いため,回 折やスペックルが現れやすい,等の欠点もある.

### 3. LAL の可視化

## 3-1. 水中レーザーピーニング 4-7)

固体試料のLALによって、試料内部には応力が発生し、液 中には衝撃波が伝播、バブルが生成し、崩壊する.その一連 の変化を撮影した動画から抜粋した画像を図1に示す.10 ns,



図1. エポキシ樹脂のLALの際の気泡と内部応力波の時間 変化の例.光弾性明視野モードで撮影. 60 mJのYAG レーザーを水中のエポキシ樹脂のブロックに集 光照射し,明視野の光弾性モードで撮影した.アブレーショ ンによる衝撃波とバブルの生成が画面上部の水中に,試料内 部へ伝播する応力波が下部に其々観察され,その時間変化を 追うことができる.(a)にバブルの成長過程,(b)に崩壊と2次 の気泡の生成過程を示した.バブル崩壊の際に,再び固体中 に応力波が発生している事が明瞭に分かる.光弾性パターン から,固体中の応力の大きさの半定量的な議論も可能である. 3-2. LAL によるナノ粒子生成<sup>8)</sup>

LALによるナノ粒子生成に対して同様の撮影を行った.生 成するバブル径の時間変化を図2に示す.バブルの大きさは、 最初の照射パルスのものが最大で,照射パルス数の増加につ れて大きさが小さくなることが分かった.これは,先行する 照射によって生じた微粒子が,液中に懸濁しているため,そ れにより入射レーザーが吸収され,試料表面に到達するエネ ルギー量が減少したためであろう.懸濁粒子も2次的な影響 を受けていると思われる.また,バブル内部の撮影も試みた ので,これらの結果についても紹介し,ナノ粒子生成現象に ついて議論する.



図 2. 銅の LAL によるナノ粒子生成の際の, レーザー誘起バ ブル径の時間変化. 照射パルス数が増加すると生成するバブ ルは小さくなる.

#### 参考文献

R. Tanabe, H. Kusano, Y. Ito, SPIE **7126**, 71260M-1-9 (2009)
T. G. Etoh *et.al.* IEEE Trans. Electron Devices, **50**(1), 144-151 (2003)

3) Y. Ito et.al., Annal. CIRP 56/1, 229-232 (2007)

4) T. T. P. Nguyen, R. Tanabe, Y. Ito, Appl. Phys. Lett., **102**, 124103–1-4,(2013).

- 5) id., Appl. Phys. Express, 6, 122701-1- (2013),
- 6) T. T. P. Nguyen, R. Tanabe, Y. Ito, Appl. Phys. A 116, 3 (2014)
- 7) R. Tanabe, et.al., Rev. Laser Engin, **42** (6) 448-451 (2014)
- 8) R. Tanabe, et.al., Appl. Surf. Sci., 351, 327-331 (2015)