

## ナノ・マイクロバブルの発生と応用に関する研究 Research on Generation and Application of Nano-Micro Bubbles

○鈴木 薫<sup>1</sup>, 胡桃 聡<sup>1</sup>, 塩野 光弘<sup>1</sup>, 三浦 光<sup>1</sup>, 小野 隆<sup>1</sup>, 田辺 光昭<sup>2</sup>,  
吉田 幸司<sup>3</sup>, 木村 元昭<sup>3</sup>, 李 和樹<sup>3</sup>, 梅村 靖弘<sup>4</sup>

Kaoru Suzuki \*, Satoshi Kurumi , Mitsuhiro Shiono, Hikaru Miura, Takashi Ono, Mitsuaki Tanabe,  
Koji Yoshida, Motoaki Kimura, Hwa-Soo Lee, Yasuhiro Umemura

Abstract: We introduced the generation technique of nano-micro bubbles by planar and needle-shaped vibration piezo-nozzles which had a micro size hole. The hole of piezo-nozzles were fabricated by YAG laser etching and focused ion beam deposition or etching. This nozzle dipped in the pure water and applied pressure. In this research , we successfully develop the growth and control system of uniformly-sized bubble by optimization of nozzle diameter, voltage and frequency of piezo-actuator, and atmosphere pressure.

### 1. はじめに

マイクロバブルは数十マイクロメートル以下の微小気泡である。通常水中で発生する気泡サイズは数ミリ程度の直径で、電荷を帯びながらかつ水中で滞在し、自己消滅するなどの奇抜な能力を利用して、その応用例は水質改善や毛細血管の造影剤、細胞活性化などあげられる[1]。マイクロバブル発生法について、我々は微細ノズルからの発生について着目した。微細ノズルからバブルを発生させる時の問題は、ノズル先端の液面に働く表面張力によってバブルが離脱するのが難しい点である。そこで圧電素子にミクロンサイズの穴を貫通させた圧電素子ノズルを作製した[2]。ノズル部位を圧電材料とし、ノズル全体を振動させることで、ノズル先端部のバブル離脱効率向上を狙っている。穴の微細加工はレーザーの照射と集束イオンビームによる 2 つの加工を行った。本稿では、この圧電素子ノズルから放出される気泡とその特徴について報告する。

### 2. 実験方法

円板状圧電ノズルは圧電ユニモルフ素子（村田製作所：7BB-12-9）をレーザー（LOTIS 社製：TII LS2147）照射と、集束イオンビーム（セイコーインスツルメンツ：SMI2200）によるカーボンデポジションで図 1 のように作製した。また、石英円筒管を加熱後引延し先端を集束イオンビームで針状に加工し、円筒型圧電アクチュエータ素子（NEC TOKIN 社製、AER13.6-10-10DF）に取付けた針状圧電ノズルも作製した。圧電ノズルは図 2 のように純水で満たされた水槽中に設置した。圧電素子ノズルへ窒素ガスで 5~200 kPa の圧力を加える。同時に、圧電素子へ V : ~ 150 V

及び  $f : 10 \sim 100 \text{ kHz}$  を印加し、バブルを噴出させる。またそのバブルの挙動をハイスピードカメラ（KEYENCE 社製：VW50）で観測している。

### 3. 実験結果

図 3 (a)にガス圧力を 200 kPa に設定し、穴径  $80 \mu\text{m}$

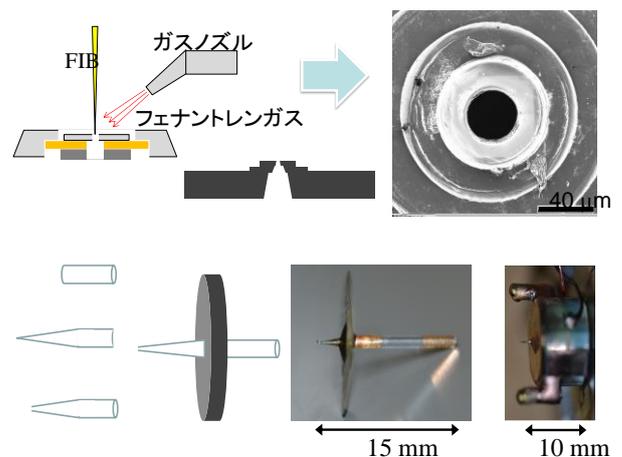


図 1 円板状・針状圧電ノズルの加工

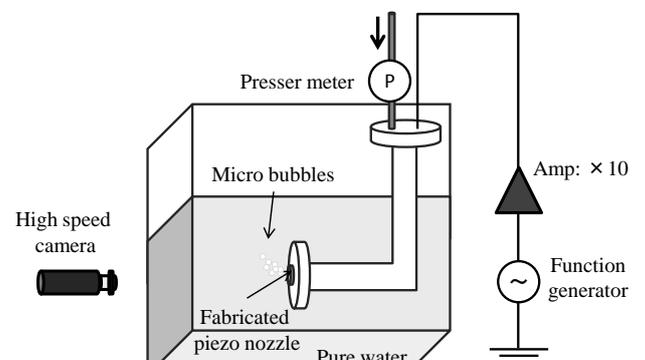


図 2 ナノ・マイクロバブル発生装置図

の円板状圧電ノズルへ電圧 4 V 周波数 6 kHz を印加した時のハイスピードカメラ画像によるマイクロバブルの振舞いを示す。圧電素子に電圧を印加していないときには数百  $\mu\text{m}$  のバブルが分布を持って発生している。電圧を印加後には、これに加えて微細な数十  $\mu\text{m}$  程度のバブルが更に遠方に噴出している。ノズルの穴径を  $1.7 \mu\text{m}$  に狭めると (図 3 (b)) バブル粒径の均一化に成功し、電圧非印加時や 10 kHz 付近ではバブルの上昇速度が  $55.7 \text{ mm}$  で、Stokes 則から粒径は  $320 \mu\text{m}$  が求められる。顕微鏡による観察では  $300 \sim 480 \mu\text{m}$  が得られており、ほぼ一致している。周波数を変化させると粒径と繰り返し速度が制御でき、特に 13 kHz 付近で粒径が  $40 \mu\text{m}$  の微細なバブルが観測された。更にガス圧力を  $5 \text{ kPa}$  に下げて電圧を  $150 \text{ V}$  まで高めると、ノズルから垂直方向へ粒径が数  $\mu\text{m}$  のバブル粒子群が確認され、指向性を有することや、先頭の粒子群が滞留・拡散していることが分かる。このバブルは  $60 \text{ s}$  後も水面に浮上することなく、水槽内を漂い続けている。

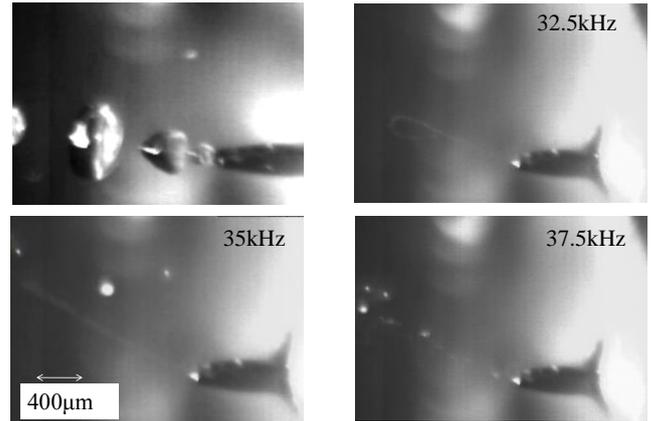


図 4 針状圧電ノズルにおける均一な泡の制御

ノズル先端の観測とバブルの離脱を容易にするために針状圧電ノズルを用いると、ノズル径は  $10 \mu\text{m}$  と大きいにもかかわらず、 $2 \text{ V}$  の低電圧駆動でノズルから垂直方向へ粒径が数  $\mu\text{m}$  のバブル粒子群が指向性を有しながら直進することや、先頭の粒子群が滞留・方向変換していることが分かる。

#### 4. まとめ

レーザー照射及び集束イオンビーム加工によって作製した円板状と針状の圧電ノズルを利用して発生させたナノ・マイクロバブルの挙動について調査した。ガス圧力が  $10 \text{ kPa}$  以下の時に、円板状圧電ノズルでは周波数  $10 \sim 100 \text{ kHz}$  において粒径  $40 \sim 320 \mu\text{m}$  の均一なバブルの制御に成功した。特に、周波数  $13 \text{ kHz}$  程度で比較的高い電圧 ( $150 \text{ V}$ ) を印加することで、針状圧電ノズルでは周波数  $35 \text{ kHz}$  程度で低い電圧 ( $2 \text{ V}$ ) を印加することで、指向性を有した粒径が数  $\mu\text{m}$  の均一なマイクロバブル粒子群の発生が確認できた。

#### 謝辞

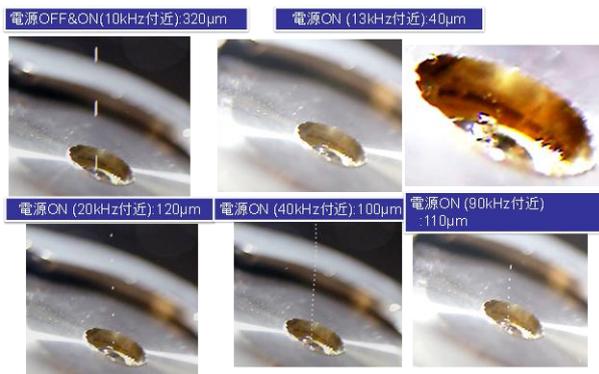
本研究は平成 23-24 年度日本大学理工学部、理工学部プロジェクトの“ナノ・マイクロバブルの発生と応用に関する研究”の成果である。

#### 参考文献

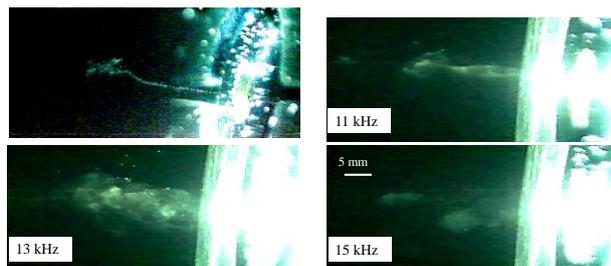
- [1] 日本機械学会：「マイクロバブル最前線」, pp. 3-4 (2009).
- [2] M.Takahashi et.al.:J. Phys. Chem. B, 107, 10, pp.2171-2173 (2003)
- [3] 胡桃 聡 他：「FIB マイクロ加工した圧電振動子ノズルによるマイクロバブル発生」, 平成 24 年基礎・材料・共通部門大会予稿集, pp. 157-162 (2012)



(a) 大きな泡と小さな泡が混在



(b) 均一な粒径の泡が発生



(c) 均一な数  $\mu\text{m}$  の粒径の泡が発生

図 3 円板状圧電ノズルにおける均一な泡の制御