

## 圧電アクチュエータ振動ノズルを用いたナノ・マイクロバブルの発生

### Nano-micro-bubbles generated by utilizing a piezo-actuator vibrating nozzle

阿部 優凜<sup>1</sup>, 高橋 亮達<sup>1</sup>, 渡邊 学<sup>2</sup>, 皆藤 孝<sup>3</sup>, 胡桃 聡<sup>3</sup>, 松田 健一<sup>3</sup> 鈴木 薫<sup>3,4</sup>  
Yuri Abe<sup>1</sup>, Akihiro Takahashi<sup>1</sup>, Gaku Watanabe<sup>2</sup>, Takashi Kaito<sup>2</sup>, Satoshi Kurumi<sup>3</sup>, Ken-ichi Matsuda<sup>3</sup> and Kaoru Suzuki<sup>3,4</sup>

The purpose of this study is developing low power nano-micro bubble generator utilizing piezo-vibrating nozzle. This paper provides optical images of bubbles generated on the piezo nozzle.

#### 1. 研究背景

液体中の気泡は、その大きさによって挙動が大きく変わる特徴がある。径が数ミリメートル以上の気泡は浮力によって上昇し空気中に抜け出すが、径が数十マイクロメートル以下のマイクロバブル (MB : micro-bubble) になると上昇速度が減少し、液体中を上昇する過程で自己圧壊する。又、径が数百 nm 以下のナノバブル (NB : nano-bubble) になると、液体中を浮上することはなくなり、長い期間液体中を漂流した後に自己圧壊する。このナノ・マイクロバブル (NMB : nano-micro-bubble) 技術は、カキを養殖する際に NMB を散気することでカキの生育を促進させた成果や、水中の有害物質の分解事例などが発表されると共に世の中に普及・拡大し、現在では農作物の成長促進や水質浄化、医療機器や食材の洗浄・殺菌・脱臭など幅広い分野での応用が考えられ研究が進められている<sup>[1]</sup>。

しかし現在、産業用や研究用に市販されている NMB 発生装置は数 kW 程の電力を要し、発生効率も悪い。そこで当研究室では低電力で NMB を大量に発生させられる新たな方法として圧電アクチュエータ振動ノズルを用いた NMB 発生装置を開発した<sup>[2]</sup>。本稿では今回新たに用いる圧電アクチュエータ振動ノズルを組み込んだ NMB 発生装置によるバブル発生の様子を観察結果と、動的光散乱装置による液体中のバブルの径の測定結果について報告する。

#### 2. 実験方法

##### 2.1.NMB 発生装置

Fig. 1 に NMB 発生装置の概略図を示す。まず、管内に O<sub>2</sub> ガスを流入させる。管内気圧はガス圧計によりナノ・マイクロバブルが自然に発生する気圧付近に調節する。ノズル先端に取り付けられた圧電素子は、印加電力 (10 W, 67.6 kHz) が加わることで振動しバブルを発生させる。

Fig. 2 は圧電ノズルの概略図である。圧電ノズルは、円筒型圧電アクチュエータ (NEC TOKIN, AER13.6-10-10DF, 外形 : 13.6 mm, 内径 : 10.0 mm, 長さ : 10.0 mm) に 2.5 mm 径の穴の空いたワッシャを接着し、その上に径が 12 μm の穴が 40 μm ピッチで空いている厚さ 30 μm の Ni 薄膜を接着し、作製した。

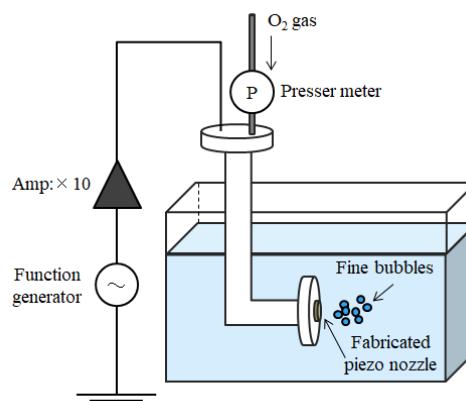


Figure 1. Experiment apparatus for generation of NMB

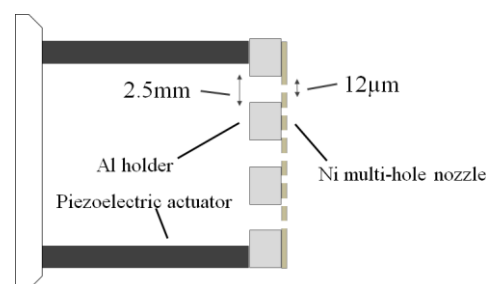


Figure 2. Component of piezo nozzle

##### 2.2.バブル径の見積もり

圧電ノズルにより発生された NMB の径は、実験後 60 min 経過時、120 min 経過時の段階で NMB を発生させた溶液中に波長 532 nm の半導体レーザー (laser diode : LD)

1 : 日本大学理工学部電気工学科, 学生 2 : 日本大学院理工学研究科電気工学専攻, 院生 3 : 日本大学理工学部電気工学科, 教員 4 : 先端材料科学・材料創造研究

を出力 0.5 mW で照射し、その時確認できる散乱光の様子を確認することで見積もりを行った。

実験終了後 5 日経過時に液体中に漂流しているバブルの径分布は動的光散乱装置 (Dynamic Light Scattering: DLS, 大塚電子, DLS-7000) により、測定された。

### 3. 実験結果

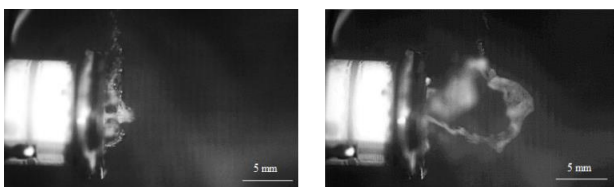
#### 3.1.NMB 発生観察

Fig. 3 はハイスピードカメラを用いて、ノズル付近を拡大して NMB 発生の挙動を撮影した画像である。圧電素子の振動の影響によりノズル先端の親気泡から子気泡の離脱が促されている様子が確認できる。



Figure 3. Optical image of bubbles generated piezo nozzle

Fig. 4 は圧電素子振動前後のノズル先端を、ハイスピードカメラを用いて撮影した画像である。圧電素子を振動させない状態では直径数百  $\mu\text{m}$  程度のバブルがノズル表面付近を上昇していくように発生しているが、圧電素子を振動させることで微小なバブルが指向性をもって発生している。



(a) Pre-operation (b) After operation

Figure 4. Comparison of optical image

Fig. 5 は NMB 発生実験前、実験後 60 min, 120 min, 5 日後にレーザ光を照射したときの光学写真である。60 min 後ではレーザ照射経路に帯状の散乱光とその周囲にもや状の散乱光が観測され、後者の散乱パターンから散乱体がレーザ波長より大きいミー散乱によるものと思われる。先行研究より、直径が 7  $\mu\text{m}$  のバブルが 8 cm 上昇するのにかかる時間は約 50 min と確認されており<sup>[3]</sup>、溶液中には径が 7  $\mu\text{m}$  以下で 532 nm 以上のバブルが滞留していることが考えられる。実験終了 120 min 後では帯状の散乱光のみが観測され、散乱体が光の波長より小さなレイリー散乱に基づく散乱パターンに類似しており、5 日後においても強度は低下するが、直径 532 nm 以下のナノバブル

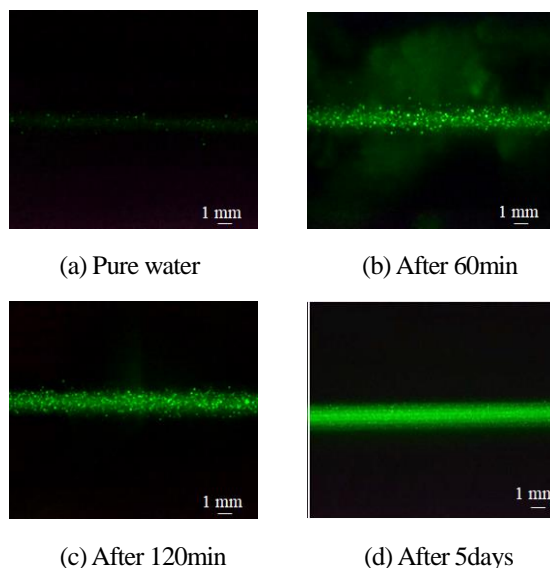


Figure 5. Observing of scattered light

が滞留し続けていると思われる。

Fig. 6 は動的光散乱装置を用いて実験終了後 5 日経過時の溶液中に漂流するバブルの径分布を測定した結果である。実験終了 5 日後であっても、溶液中には数百 nm のバブルが滞留していたことが確認できた。

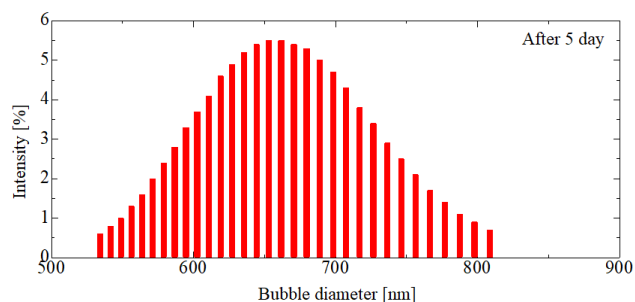


Figure 6. Distribution of bubble's diameter

### 4. まとめ

本研究では新たに作製した振動ノズルを用いて NMB を発生させ、バブル発生の様子の確認と溶液中のバブル径の測定を行った。ハイスピードカメラにより撮影した写真から、圧電素子の振動によりバブルの発生が促されていることが確認できた。加えて動的光散乱装置での測定から、今回用いた実験装置により 550 nm~800 nm ほどの NMB の発生が得られることが確認できた。

#### 参考文献

- [1] 高木 周, オレオサイエンス, vol.10, No.9, pp. 317-322, (2010)
- [2] 胡桃 聡 他, 電気学会, 平成 24 年基礎・材料・共通部門大会予稿集, pp. 157-162, (2012)
- [3] Y. Aoyagi et al., ICASS2015, P1.49, (2015)