

## 圧電アクチュエータ振動ノズルを用いたプラズマ封入ファインバブルの発生

### Generation of plasma enclosed fine-bubbles by utilizing a piezo-actuator vibrating nozzle

佐藤 敬和<sup>1</sup>, 岡村 晃<sup>1</sup>, 高橋 渉<sup>2</sup>, 胡桃 聡<sup>3</sup>, 松田 健一<sup>3</sup>, 鈴木 薫<sup>3,4</sup>

Takato Sato<sup>1</sup>, Akira Okamura<sup>1</sup>, Wataru Takahashi<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 improvement of water quality by generating O<sub>2</sub> plasma enclosed fine-bubbles(FB) utilizing a piezo-actuator vibrating nozzle. A FB with a diameter of 175 μm was released into a solution with a spread of 2 mm in width, contracted to 52.5 μm to 70 μm at a position about 10 mm away from the nozzle. In the same way, diameter of FB contracted to less at 50 μm about 20 mm away. The pH of a solution was decreased from 6.7 to 6.6 within ten minutes by plasma enclosed FB.

#### 1. 研究背景

液体中のバブルは、その大きさによって挙動が大きく変わる特徴がある。バブル径が数ミリメートル以上のバブル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。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自己圧壊する。又、MB と NB を合わせてファインバブル(FB: Fine-Bubble)と呼ばれている<sup>[1]</sup>。この FB の特性を利用しバブル中に気体を封入することで水溶性の低い気体でも水中にとどめることができると考えられる。そこで我々は産業排水の処理に用いられているオゾン水の生成工程におけるオゾン溶解を改善するため、FB にオゾンを流入できないかと考えた。またオゾンは酸素のプラズマ処理を行うことで発生するため、本稿ではプラズマの発光から分光スペクトルを観察し、FB 発生状態の観察とオゾンの持つ酸化力による pH への影響を測定し、その結果について報告する。

#### 2. 実験方法

##### 2.1. FB 発生装置

Fig. 1 に FB 発生装置の概略図を示す。図中のバリア放電を行う電極の先にバブル発生のためのノズル部分(Fig. 2)が付いている。また水槽には純水(1 l)に界面活性剤(100 ppm)を混入している。

まず Fig. 1 の管内に He, O<sub>2</sub> ガスを流入し、放電管にパルス電圧(10 kV, 10 kHz)を印加して放電させ、オゾンを発生させる。その発生したオゾンを管内に流し、管内気圧を FB が自然に発生する直前に設定したのちノズル先端の圧電アクチュエータに交流信号(1.6 W, 46 kHz)を加えて駆動することによって表面張力から脱したバブルのみ放出する<sup>[2]</sup>。

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 薄膜を接着して、作製した。

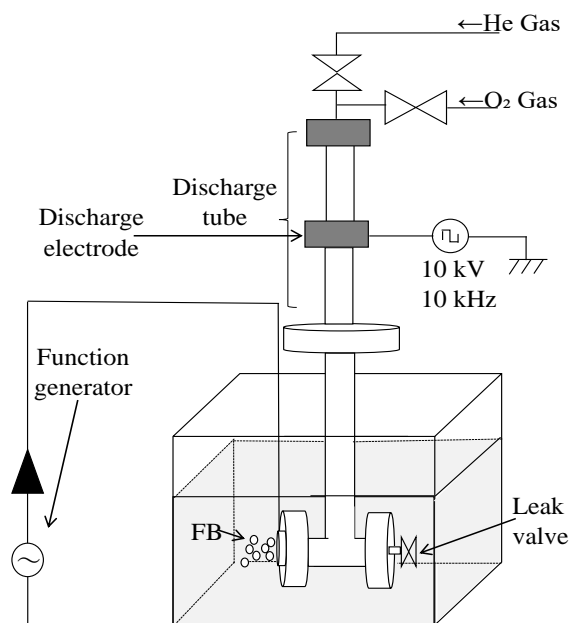


Fig 1. Experiment apparatus for generation of FB

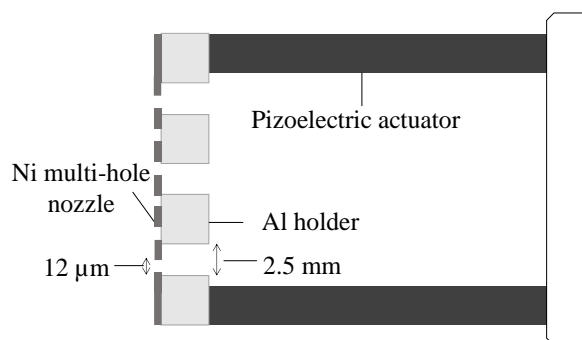


Fig 2. Component of piezo nozzle

## 2.2. プラズマのスペクトルの測定方法

装置内で放電させたプラズマのスペクトルを分光器 (StellarNet, EPP2000-UVN-PR-50) で測定した。

## 2.3. pH の測定方法

O<sub>2</sub> ガスのプラズマ処理前後のものそれぞれを FB に封入し放出させ、pH 計 (SAGA, PH-201) を用いその時間変化を測定した。

## 3. 実験結果

### 3.1. プラズマの分光スペクトル

Fig. 3 は分光スペクトルによってプラズマを観察したものである。また横軸は波長を縦軸は放出スペクトルの相対強度を表しており 800, 850, 950 nm 付近で波形がピークを迎えていることから酸素のプラズマ処理に成功し、オゾンの発生が示唆された。

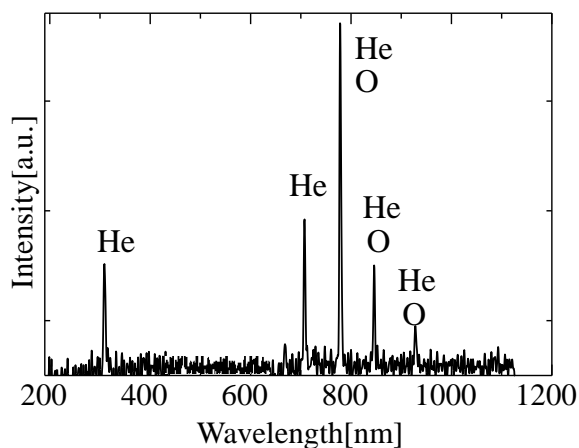


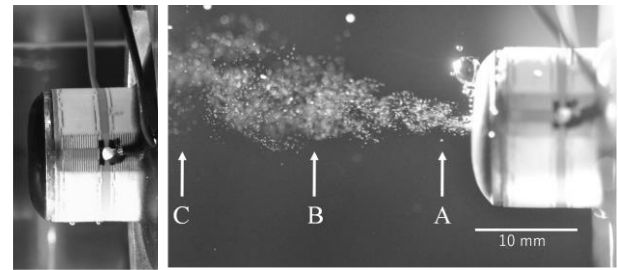
Fig 3. Emission spectra of ejected plasma plums

### 3.2. バブル発生の様子

Fig. 4 は圧電アクチュエータ振動前後のノズル先端を、拡大して撮影したものである。圧電アクチュエータを振動させていない状態では、FB は発生せず、圧電アクチュエータを振動させた状態では、バブルがわずかに浮上しながら水中に拡散していることがわかる。また噴出直後の A の領域では直径 175  $\mu\text{m}$  程度のバブルが約 2.10 mm の範囲から噴出されている。これが B 領域では約 6.0 mm の範囲に拡がり、バブル直径は 52.5 ~ 70  $\mu\text{m}$  へと減少し、一部はモヤ状になっている。C の領域ではバブルは 50  $\mu\text{m}$  以下に縮小しほぼモヤ状となり観測が困難になった。

### 3.3. プラズマ処理による pH の変化

Fig. 5 は時間経過における pH の変化を表しており、プラズマ処理の有無による変化の差異を比較測定したものである。



(a) (b)  
Fig 4. State of bubble generation by vibration

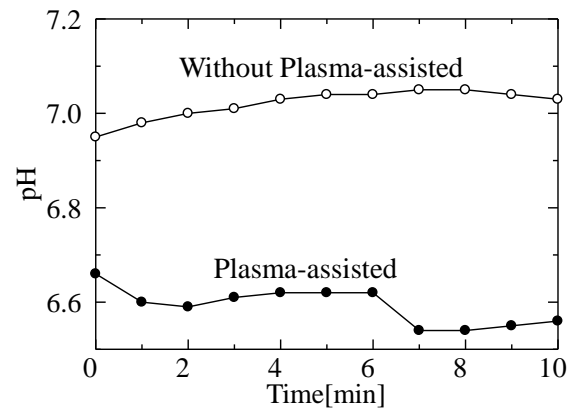


Fig 5. Effect of Plasma-assisted

まずプラズマ処理が無い場合、pH の値は徐々に上昇し飽和するような曲線を描いている。プラズマ処理が有る場合の pH 値であるが、前者の飽和曲線とは異なり、pH の段階的な減少がみられる。これはオゾンの持つ酸化力の影響であると考えられる。

## 4. まとめ

本研究では酸素のプラズマ処理を行い、圧電アクチュエータ振動ノズルを用いて FB を発生させ、スペクトルやバブル発生状態の確認と溶液中の pH の測定を行った。これらによりプラズマ処理によるオゾンの生成、振動ノズルによる FB の発生、pH の値がオゾンをつま封入することで影響を受けたことが確認できた。

## 5. 参考文献

- [1] 日本機械学会：「マイクロバブル最前線」, 3-4(2009)
- [2] S. Kurumi, K. Suzuki, M. Shiono, H. Miura, T. Ono, M. Tanabe, K. Yoshida, M. Kimura, H. S. Lee, Y. Umemura ; "Generation of Unifor Diameter Micro-Bubbles Using a Piezo-Vibration Assisted Capillary Nozzle " Advanced Materials Research, 871, 338-341(2014)