

## 213 マイクロバブルの収縮・拡大特性

Shrinking/Expanding Characteristics of Micro Bubbles in Water

○学 箕輪聰 (室蘭工大院)  
山田高也 (室蘭工大・学)

正 戸倉郁夫 (室蘭工大)

### 1. 諸言

マイクロバブルは、その発生時において  $10\sim20 \mu m$  の気泡径を有する微細な気泡である。マイクロバブルの特徴として、

- ① 水中での上昇速度が非常に遅い。
- ② 発生気泡径ごとの寿命を有する。
- ③ マイクロバブルの発生で、水の様々な物理化学的変化が生じる。

などが現在わかっている<sup>(1)</sup>。通常のセンチメートルスケールの気泡と比べ、①の上昇速度が遅いことや、微小な気泡径による同一体積に対する表面積の増大から気泡内気体の液中への溶解速度を増大することができ、気液反応である浄化槽や化学プラントでの応用が期待できる。また、③に関連して、微小な気泡内の圧力は高いため、マイクロバブルの崩壊時には高圧・高温の場を生じさせることができることから、医療において結石を破碎する非侵襲治療などへの応用が考えられている。

本研究では、2種類の方法を用いてマイクロバブルを発生させ、生成気泡の観察を行なった。一つは旋回式微細気泡生成方式であり、液体を高速に旋回させることで液体旋回軸中心部に負圧を生じさせ、それによって気体を自吸し、せん断力によって気体を微細化する方式である<sup>(2)</sup>。もう一つの方法は、多孔質材に加圧した気体を通することで微細な気泡を生成する方式である。これら2種類の生成方式で作られたマイクロバブルをサンプリングし、顕微鏡を用いて気泡径の経時変化を調べた。両者を比較することにより、生成方法の違いによる気泡径変化に差異があるかを検討した。

### 2. 実験装置概要

Fig.1 に旋回式微細気泡生成装置を使用したシステムの概略図を示す。このシステムは水槽内の水を循環し、旋回式微細気泡生成器に圧送している。水の旋回流によって生じる中心部の負圧により、空気が自吸される。

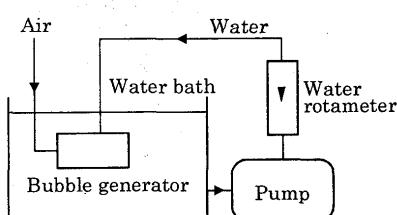


Fig.1 A system of micro bubbles generator  
(Suction air type).

Fig.2 に多孔質材を用いた加圧式微細気泡生成装置を使用したシステムの概略図を示す。このシステムは、多孔質材に疎水性素材であるPTFE製のエアフィルタを用いている。空気流量はマスフローコントローラを用いて制御している。多孔質材からの気泡の離脱を促すため、ポンプを用いて水流を多孔質材に当てている。

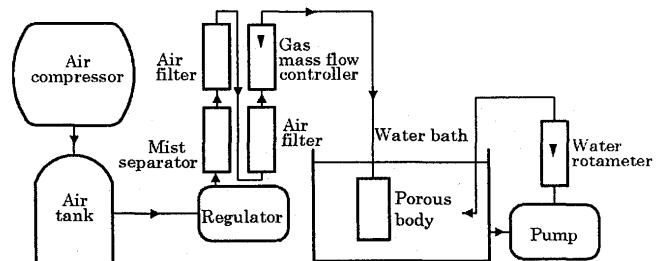


Fig.2 A system of micro bubbles generator  
(Compressed air type).

### 3. 実験方法

本実験において、気体は空気を、液体は水道水を用いた。気泡のサンプリングを行なう前に水槽内の水温を室温と同じにするため、また水中の溶存空気量を飽和させるため、バブリングを2時間以上行なった。

生成気泡の直径を測定するため、まず注射器を取り付けたサンプリング器具によって気泡を水と共に捕捉する。サンプリング器具は2枚のガラス板の間にφ1mmのワイヤでスペースを作り、点滴用の針(外径0.85mm)と熱電対を差し込んだものである(Fig.3)。

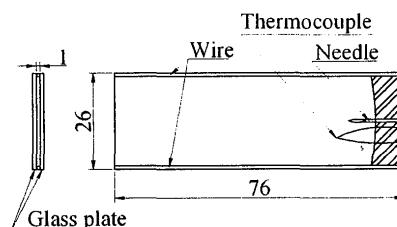


Fig.3 Sampling device

水槽内の気泡を捕捉し固定化を行なってから、顕微鏡で拡大撮影を行なった。捕捉、固定した気泡を顕微鏡に備え付けられたデジタルカメラを用いて気泡を撮影し、画像データをパソコンで取り込み、画像データより画像解析ソフトを用いて気泡径の測定を行なった。この方法は一度気泡を捕捉する手間は掛かるものの、気泡は捕捉後に固定されるため、ピントのあった撮影が長時間行なうことが容易である。気泡径測定に使用する機材は、顕微鏡、デジタルカメラ(CMOSカメラ)、画像・水温データを保存する為のパソコン用コンピュータ、およびサンプリング器具である。また、デジタルカメラと顕微鏡とは鏡筒アダプタで接続されている。

なお、サンプリング気泡を密封状態で測定する場合は、サンプリング器具の気泡取り入れ口にカバーを付けた。一方、溶存空気の出入りが可能な開放の条件で測定する場合は取り入れ口にはカバーを付けない。ここでカバーにはシールテープを用いた。

気泡をサンプリングする際の水槽内水温は  $20.5\sim26.5^\circ C$  の範囲であった。ただし、サンプリング器具内の水温は気泡を撮影する前と後では  $1.5^\circ C$  以上の変化は無かった。

#### 4. 実験結果

気泡を観察した結果、時間が経つにつれ気泡径に変化が生じた。Fig.4は旋回式微細気泡生成装置を用い、またサンプリング器具の気泡取り入れ口を開放の条件で実験した際の気泡写真を示したものである。写真から、左方2つの気泡は拡大するのに対して、右方2つの気泡は収縮し、最終的に消滅していることが分かる。

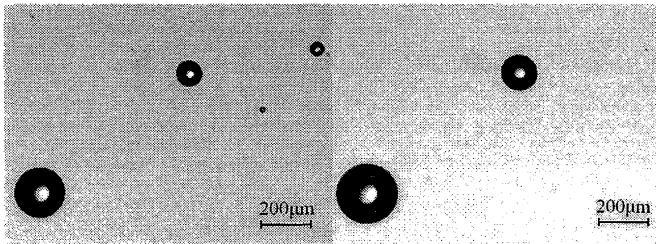


Fig.4 Photographs of micro bubbles in open sampling device

Fig.5に旋回式微細気泡生成装置による気泡の直径の経時変化を示したものである。この図から直径約 $80\mu\text{m}$ 以下の小さな気泡は径が収縮する。径が縮むにつれて収縮速度が増加することが分かる。また径が大きな気泡は拡大傾向にある。

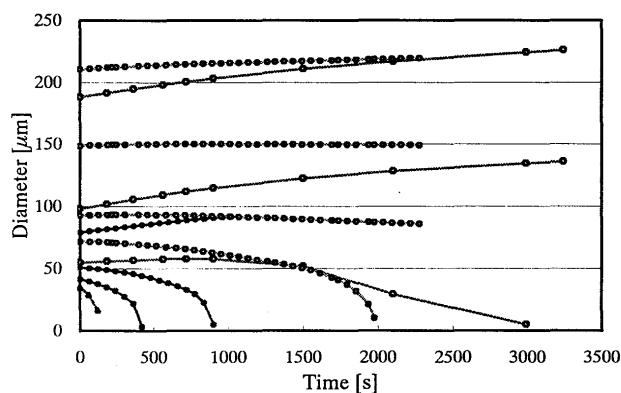


Fig.5 Diameter of bubbles in open sampling device  
(Suction air type)

Fig.6に加圧式微細気泡生成装置による気泡の直径の経時変化を示したものである。生成方法を変えた場合でも小さな気泡は収縮、大きな気泡は拡大する傾向にあることが分かる。

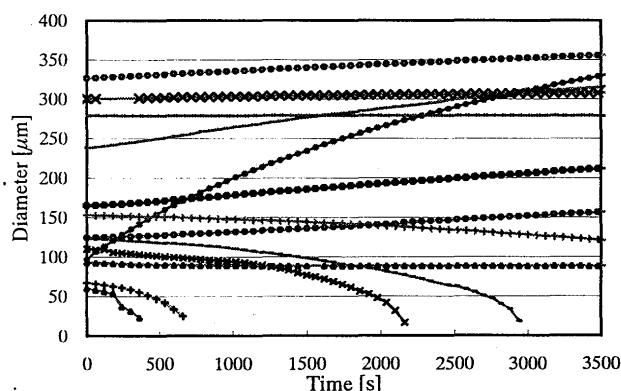


Fig.6 Diameter of bubbles in open sampling device  
(Compressed air type)

よって、負圧を利用した微細気泡生成方式と、加圧を利用した方式の違いによっての気泡径の変化傾向は大きな違いはない事分かる。

サンプリング器具の気泡取り入れ口を塞いた状態で気泡径の経時変化を調べた結果をFig.7に示した（旋回式微細気泡生成装置を用いた）。この図から特に小さな気泡の径変化がサンプリング器具を開放した場合より穏やかである。これは、サンプリング器具内が密閉であるため水中の溶存気体が外気に放出しにくい状態になり、溶存空気濃度が高い値で維持したためであると考えられる。

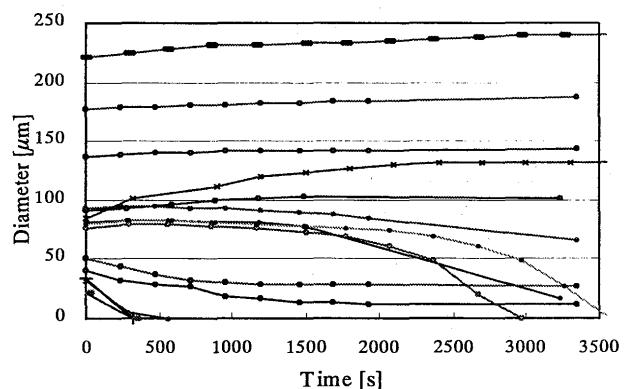


Fig.7 Diameter of bubbles in closed sampling device  
(Suction air type)

以上から気泡径が変化する原因としては、気泡内圧力と溶存気体濃度の影響が大きいと考えられる。これは、長時間における気体の液体へ溶解する現象が、Henryの法則とFickの拡散法則によって支配されることを示している。つまり、気泡壁における溶存気体濃度と気泡周辺の水中溶存気体濃度のバランスから、気泡壁における溶存気体濃度が高ければ気泡が収縮し、気泡周辺部の溶存気体濃度の方が高ければ気泡は拡大すると考えられる。

#### 5. 結論

二種類の方法で生成したマイクロバブルの収縮・拡大特性を調べた結果、以下の結論が得られた。

- (1) マイクロバブルの収縮は、直径が小さくなるほど収縮速度が増す。
- (2) 負圧を利用した微細気泡生成装置と、加圧を利用した生成方式の違いによる気泡径の変化傾向には、大きな差はない。
- (3) 気泡径変化の傾向は、気泡周辺の溶存気体濃度によって変化する。

#### 6. 参考文献

- (1) 大成博文、マイクロバブルの魅力と可能性、超音波 TECHNO, No.8, p.45, (2001).
- (2) 大成博文、旋回式微細気泡発生装置、特願 2000-61800.
- (3) 都並結衣、他3名、マイクロナノバブルの収縮過程、日本混相流学会年会講演会 2005 講演論文集, pp.323-324, (2005)
- (4) 竹野祐輔、マイクロバブル発生器と生成気泡径に関する研究、平成 17 年度室蘭工業大学学士論文, (2006).