

気液二相噴流中の気泡分裂現象

学籍番号 80022482 富所 尚史 指導教員 菱田 公一 教授

1. 緒言

近年、微細気泡群を用いて水質改善や水質浄化を行う技術が注目されている。微細気泡群は体積あたりに対し表面積が大きく、浮力の影響が小さいため液体中での滞留時間が長い、そのため反応ガスの溶解促進やゴミ吸着率の向上が期待できる。微細気泡群を発生させる方法としてはこれまで大成ら⁽¹⁾などを含め様々な方法が考案されているが、本研究においては気液二相噴流を用いて流動場中に大きなせん断を作り、それによって気泡を分裂させる方法を用いた。この方法は水噴流によって気泡径を簡単に制御でき、サブミリオーダーの気泡を大量に発生させることが可能である。

現在まで本手法による微細気泡発生過程を詳細に研究した例は少ない。そこで本研究では本手法を用いた2種類の微細気泡群発生装置の生成気泡に関する比較から微細気泡群の生成メカニズムの比較、検討をし、また微細化を引き起こす気泡分裂現象の解明を行うことで本装置の実用化に向けた知見を導き出すことを目的とする。

2. 実験装置および方法

本研究で用いる実験装置は600mm×400mm×600mmの亚克力槽であり、底面中心部に気泡の分裂を促すためのノズルが設置してある。本研究では微細気泡群発生装置の比較のために2種類のノズルを使用した。各ノズルの出口形状を図1に示す。どちらのノズルも中心部に空気供給ノズル、それを囲むように外側に水供給ノズルが設置してある。水供給ノズルの本数の違いからそれぞれを4本ノズル、8本ノズルと呼ぶこととする。この独特な形状により、気泡が水噴流の影響を受けて分裂し微細気泡群が生成される(図2)。

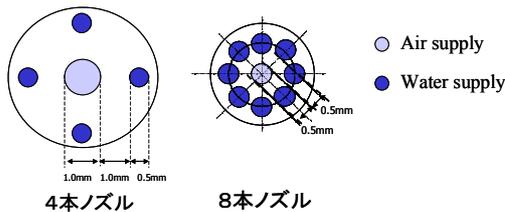


図1 ノズル出口形状

微細気泡群発生装置から生成される気泡の測定は高速度 CCD カメラ(解像度 512×480pixel)を用い、バックライト法で撮影した。また撮影した気泡画像にコンピュータ上で画像処理を施すことによって気泡径を抽出した。



図2 分裂現象イメージ図

本装置における微細気泡群の発生メカニズムを検証するにあたり実験方法としては水噴流のレイノルズ数を操作し、そして生成される微細気泡群の径の変化を調査した。実験条件としては注入する空気供給量(Q_w)は20ml/minで統一し、水噴流は表1に示すような条件とした。尚、レイノルズ数の代

表の長さを水供給ノズルの全本数の面積から求めた面積等価直径(D)とし、代表速度は水供給量(Q_w)とノズル出口面積から導き出される水噴流の出口速度(V_0)とした。

表1 実験条件

(a) 4本ノズル			(b) 8本ノズル		
Q_w [ml/min]	V_0 [mm]	Re [-]	Q_w [ml/min]	V_0 [mm]	Re [-]
100	2.12	2100	100	1.06	1500
300	6.36	6300	300	3.18	4500
500	10.60	10500	500	5.30	7500

3. 微細気泡群発生メカニズムの解明

各ノズルにおいて生成気泡径に体積換算を施し求めた確率密度分布を図3に示す。まず4本ノズルの場合、レイノルズ数の変化によって生成気泡の平均径(d_{ave})は最大 4.39mm、最小 0.55mm まで制御することが可能であった。そして $Re=10500$ ではほぼすべての気泡径が1mm以下となる。ここで注目したいのは中 Re 数領域 ($Re=6300$) である。生成される気泡の径が1mm付近と4mm付近に二分化されている。

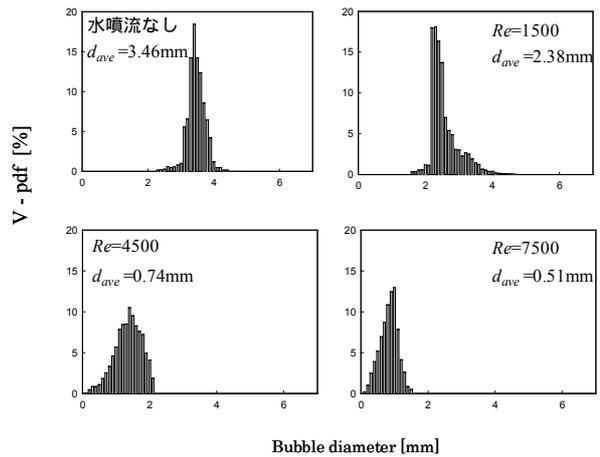


図3 気泡径体積換算確率密度分布 (4本ノズル)

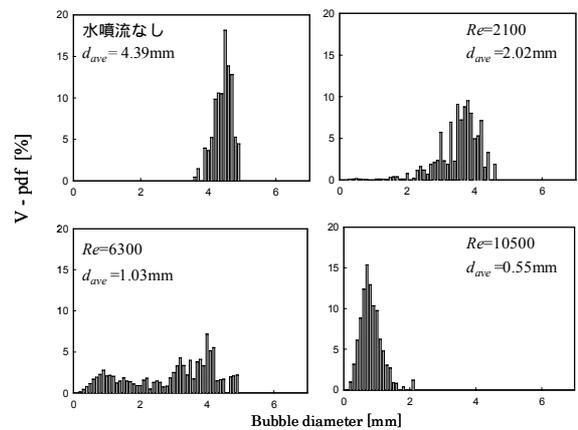


図4 気泡径体積換算確率密度分布 (8本ノズル)

次に8本ノズルの場合について検証を行う。レイノルズ数の操作によってこちらは気泡群の平均径が最大 3.46mm 最小 0.51mm まで制御することが可能であった。また中 Re 数領域において気泡径分布は二分化されることがなく、均一な気泡群が形成されていることがわかる。これらの特徴を解明する

ために各ノズルにおけるノズル近傍の気泡の分裂を高速度 CCD カメラで撮影した。(図 5)

4 本ノズルの場合、生成気泡群の支配的な径が二分化されている中 Re 数領域ではノズル下流(y)10mm 以内において気泡の先端部分が細かく多数に分裂するが、気泡の後方では分裂現象は起きておらず大気泡のままである。よって気泡の先端と後方での分裂の有無が確率密度分布に現れている。また高 Re 数領域($Re=10500$)において、気泡はノズル近傍から下流に進むに従って分裂が先端から後方まで徐々に起こり微細気泡群が形成されていることが観察された。

8 本ノズルの場合は気相が周囲の水噴流によって棒状に引き伸ばされている状態である気柱が形成され、分裂はこの先端部分で起こっていることがわかった。そのためどのレイノルズ数領域においても先端部分でのせん断力の大きさに比例した径をもつ気泡群が生成され、結果として均一な径をもつことが考えられる。またレイノルズ数の増加に伴って気柱の高さが低くなっていることもわかる。

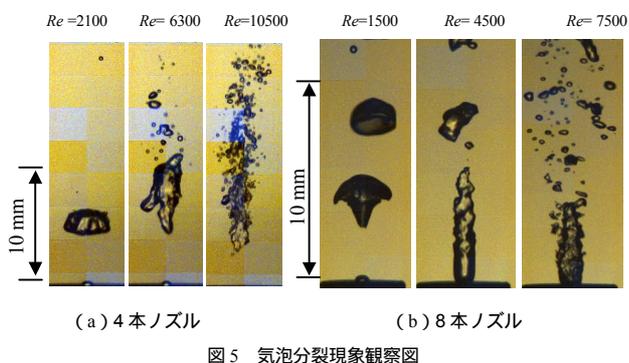


図 5 気泡分裂現象観察図

以上のような結果から本研究で用いた各ノズルの比較を行う。図 6 に各ノズルにおけるレイノルズ数と生成気泡の平均径の関係を示す。これによると各ノズルとも傾向としてはレイノルズ数の増加に伴って平均径が小さくなっていく様子が見取れる。微細気泡群の生成という点に注目すると 8 本ノズルは $Re=4000$ 以上で平均径が 1mm 以下になるのに対して 4 本ノズルでは $Re=6000$ 以上において達成していることがわかる。8 本ノズルにおいて低レイノルズ数で微細気泡群が生成されている。これは水ノズルの数が増えることでせん断を与えることのできる気泡の表面積が増しているためと考えられる。また気泡の分裂形態からも 8 本ノズルにおいて均一な気泡群が生成されることから、8 本ノズルは有効な微細気泡群発生装置になり得ることがわかる。

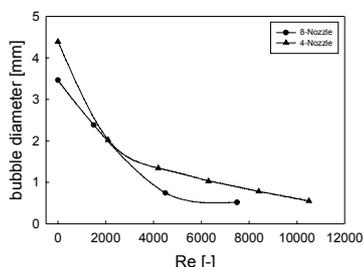


図 6 レイノルズ数と生成気泡群平均径の関係

4. 分裂現象の検証

本研究での気泡分裂現象と実際の流動場との関係を確認するために分裂の有無を生じさせた流動場の検定を行う。用いたノズルはシンプルな形状で流動構造の把握が比較的容易な 4 本ノズルである。そして気泡の分裂現象が活発に行われて

いる高 Re 数領域 ($Re=10500$) と分裂現象の起こらない低 Re 数領域 ($Re=2100$) との流動構造の比較を行う。

まず、図 7 にノズル下流 10mm における気泡注入前の平均速度分布を示す。尚、この測定はレーザドップラ流速計 (LDV) を用いて行った。低 Re 数領域では左右の水噴流が混合すること無く大きな平均せん断率をもっていることがわかる。また高 Re 数領域では水噴流の混合が活発に起こっており、その結果平均せん断率では低 Re 数領域のほうが大きくなっていることがわかる。

そこで次に局所的な瞬時のせん断率の測定を粒子画像流速計 (PIV) を用いて行った。尚ここでは気泡の影響を考慮するため気泡を注入した。図 8 に局所的な瞬時のせん断率の変動を示す。測定場所はノズル下流 10mm におけるノズル中心から 5mm の地点とした。結果を比較すると活発な分裂が起こっている高 Re 数領域においてはせん断率の変動が大きいことがわかる。すなわちこの領域においては気泡表面に働くせん断の方向・大きさが多様であり、気泡表面を引っ張ったり延ばしたりと様々な力を加えることが可能となる。その結果、気泡が複雑に変形し、分裂を起こす。それに対して低 Re 数領域では気泡表面に働くせん断の方向、大きさが多様でないために気泡表面を複雑に変形させることができず、結果として分裂が起こらないことがわかった。

以上のように本装置における気泡分裂は局所的なせん断率の変動が大きい領域で起こっていることが明らかになった。

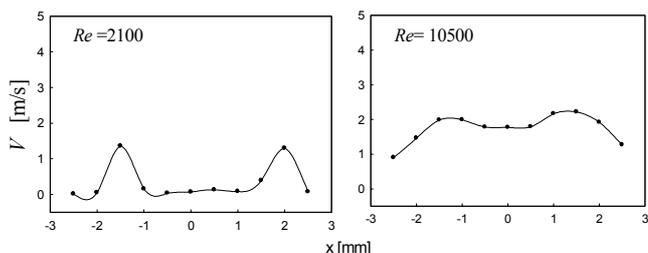


図 7 平均速度分布 (y=10mm)

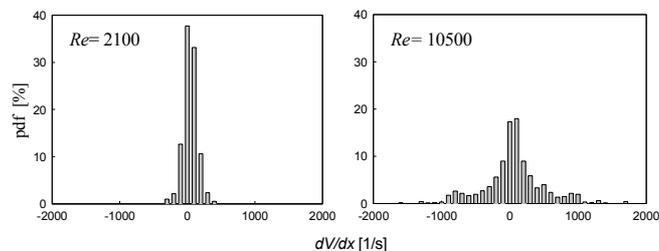


図 8 瞬時速度勾配の変動 (x=5mm, y=10mm)

5. 結言

本研究では気泡径を容易に制御できる気液二相噴流を用いた微細気泡群発生装置においてその発生要因である気泡分裂現象の解明を行い、また形状の異なる 2 種類の装置の比較、検討をすることで本手法に関する以下の知見を得た。

微細気泡発生装置から生成される気泡は平均径が最大 4.5mm 最小 0.5mm の間で制御することが可能であった。また水ノズルの数を増やすことにより低レイノルズ数領域でも微細気泡群を発生させることが明らかになった。さらに分裂現象に注目するとノズル近傍の局所的な瞬時の速度勾配の変動が大きな値を有している領域において活発に引き起こされていることが確認できた。

6. 参考文献

(1)大成ら、資源処理技術 (1999), Vol.46, No4, pp238-244