

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420114

研究課題名(和文) 渦輪による気泡群の生成と輸送に関する研究

研究課題名(英文) Control of air bubble cluster by a vortex ring launched into still water

研究代表者

内山 知実 (Uchiyama, Tomomi)

名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授

研究者番号：90193911

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：渦輪による気泡群の生成と輸送の可能性を探るため、渦輪射出装置を底面に備えた水槽を用いて実験を行った。射出口端に設置した細管から気泡を渦輪の射出とともに連続的に水中に注入した。研究の結果、以下の結論が得られた。渦輪強度が低い場合には、気泡は渦輪に巻込まれずに独立に上昇する。渦輪強度がある値よりも増した場合には、気泡は渦核内部に巻込まれながら上昇する。巻込まれた気泡は渦核中心に沿って周方向に分布する。渦輪の上昇につれて、巻込まれていた気泡が上部へ離脱する。渦核内に巻込まれた気泡は、渦輪変位に影響をほとんど及ぼさない。しかし、局所的に渦輪の半径をやや増大させる。

研究成果の概要(英文)：An experimental study searching for the possible generation and transport of a bubble cluster by a vortex ring in water is performed. A vortex ring is launched vertically upward into a water tank by discharging the water from a cylinder mounted at the bottom of the tank with a piston. Air bubbles are successively injected into the vortex ring from a needle attached to the cylinder outlet. The generation of bubble cluster and transport of the cluster by the vortex ring can be classified according to the strength of the vortex ring and the air volumetric flow rate. When the strength of the vortex ring is low, the bubbles are less affected by the vortex ring and instead rise with the buoyant force at a higher velocity than the vortex ring. With an increase in the strength of the vortex ring, the bubbles are entrained in the vortex core and form a cluster. The convection velocity of the vortex ring is scarcely affected by the entrained bubbles, but the radius is enlarged slightly.

研究分野：流体力学

キーワード：流体力学 混相流 気泡 操縦 渦輪 可視化

1. 研究開始当初の背景

従来の数値解析によれば、液中の微小な気泡は、高渦度領域に選択的に分布することが知られている。これは、渦を利用すれば気泡を自在に操縦できることを示唆している。一方、シリンダから水中に水が瞬間的に噴出するとリング状の渦すなわち渦輪が発生する。渦輪は断面が渦を形成しており、自己誘起速度で水中を推進する。以上より、渦輪の強度と規模を適切に制御すれば、渦輪は必要な体積の気泡群 (Bubble cluster) を渦核内部に生成でき、所望の位置まで輸送できるものと考えられる。これが本研究の着想にいたった経緯である。

2. 研究の目的

本研究の最終目的は、渦輪による気泡群の操縦を可能にすることである。目的は、以下の3項目に要約される。

- (1) 渦輪の渦運動による渦核内部における気泡群の生成の解明
- (2) 渦輪の並進運動による気泡群の輸送の解明
- (3) 任意の体積の気泡群の生成および所望の位置への輸送を可能にする、渦輪による気泡群の操縦方法の確立

3. 研究の方法

実験装置の概略を図1に示す。透明アクリル製のタンクが用いられ、底面中央にシリンダとピストンからなる渦輪発射装置が設置されている。シリンダ内の水がピストンにより押出されることにより、渦輪がタンク内に射出される。押し上げはスライダによる。押し上げストローク  $L_0$  は 100 mm、シリンダの内径  $D_0$  は 42.5 mm である。シリンダ出口の外側面には、気泡を水中に注入するための細管 (内径 0.26 mm) が接着されている。この気泡注入管はシリッジに接続されている。プランジャの押し上げにより、シリッジ内の空気が注入管に送られ、気泡がタンク内に注入される。この押し上げにもスライダが用いられる。

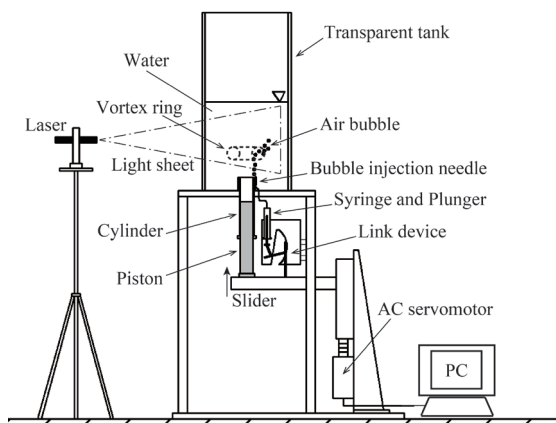


図1 実験装置の概略

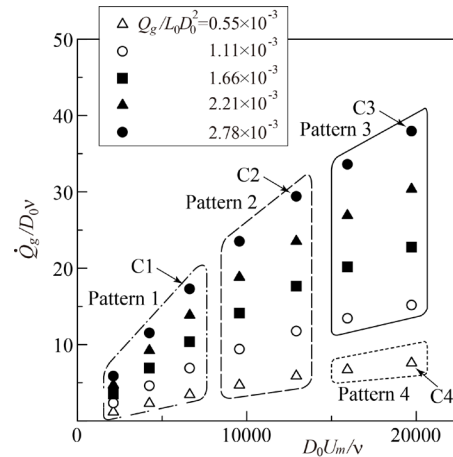


図2 実験条件

実験条件を図2に示す。ピストン速度  $U_m$  と気泡注入量  $Q_g$  を実験パラメータとする。層流渦の条件である。なお、気泡直径は注入条件にほとんど依存せず、平均値は 3.2 mm である。

4. 研究成果

渦輪と気泡の運動を可視化した結果、図2に示すように、4種類 (Pattern 1~Pattern 4) に分類された。条件 C1~C3 の可視化画像を以下に示す。なお、渦核断面を水性塗料で可視化してある。Pattern 4 は、気泡の体積が小さい特徴を除いて Pattern 3 と同じであるため省略する。

図3は条件 C1 の結果である。渦輪強度が低いため、気泡は巻込まれることなく、渦輪とは独立して浮力により上昇する。

渦輪射出のピストン速度を増した、条件 C2 の結果を図4に示す。時刻  $t^* = 0.73$  では、注入開始時の気泡が渦輪よりも高い位置にある。その後注入される気泡は、渦核内部に巻込まれながら渦輪とともに上昇する。巻込みは、渦運動の遠心力に起因する圧力勾配力が気泡に作用して生起する。巻込まれた気泡は、渦核中心に沿って周方向に分布する。 $t^* = 5.36$  では注入後半時の気泡は巻込まれず渦核断面を通過したのち、 $t^* = 10.6$  では渦輪の上方を上昇していく。渦核へ達するまでの時間内に浮力により加速されて高い上昇速度をもつためである。 $t^* = 17.9$  では、渦核内部の気泡が上方へ離脱していく。気泡を渦核内部に保持する圧力勾配力よりも浮力が優位になるからである。

図5は、ピストン速度をさらに増した条件 C3 における結果である。気泡が渦核中心に沿って広く分布している。ただし、 $t^* = 4.96$  において、注入後半時の気泡の一部が渦核中心からやや離れた位置に存在している。 $t^* = 8.22$  では、これらの気泡が渦核から上方に離脱する。その後の変位では、渦輪の上昇につれて離脱する気泡は見られず、渦輪とともに上昇していく。すなわち、注入された多くの気泡が渦輪により水面まで輸送される。

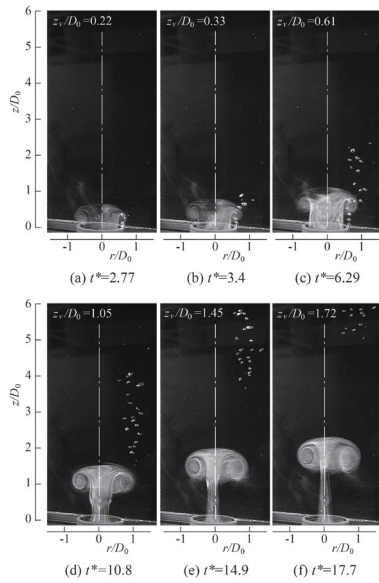


図3 条件C1における渦輪と気泡

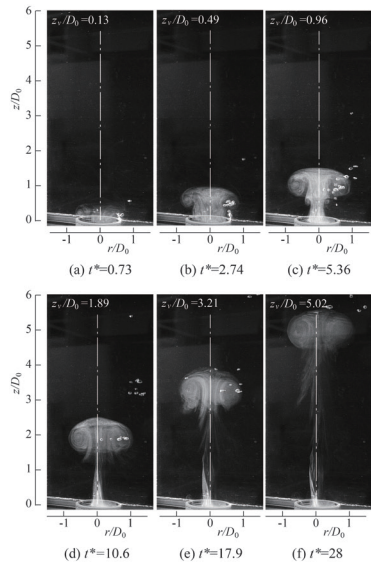


図4 条件C2における渦輪と気泡

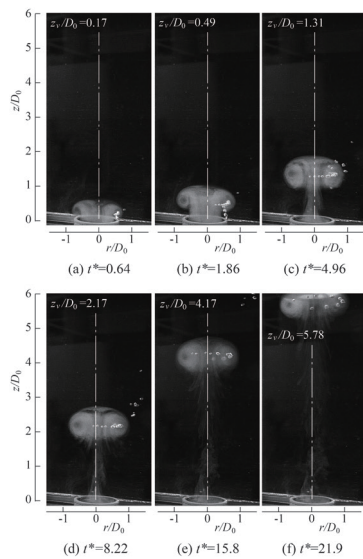


図5 条件C3における渦輪と気泡

条件C1からC3において渦核内部に存在する気泡の個数  $n$  を測定し、渦輪変位  $z_v$  に対して示すと図6のようになる。ただし、水中に注入されたすべての気泡の個数  $n_0$  に対する比が示してある。条件C3では、気泡の巻き込みと輸送が効率よく達成されている。注入された気泡の60%以上が渦輪に巻き込まれ、かつシリンダ直径  $D_0$  の5倍以上の距離を輸送される。

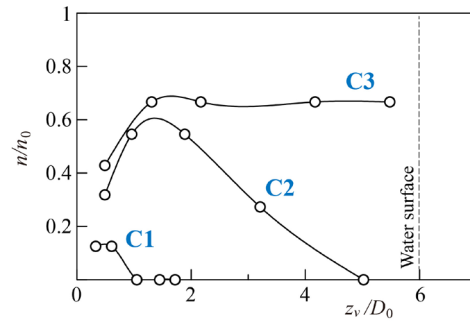


図6 渦核内部の気泡数の変化

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計1件)

Uchiyama, T., Control of air bubble cluster by a vortex ring in water, Proc. Int. Conf. Jets, Wakes and Separated Flows, 2015, (on USB flash drive).

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 出願年月日：  
 国内外の別：  
 ○取得状況 (計0件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 取得年月日：  
 国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内山 知実 (UCHIYAMA, Tomomi)  
名古屋大学・未来材料・システム研究所・  
教授

研究者番号：90193911

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：