

垂直気泡流の気液界面構造に及ぼす重力の影響

東京海洋大学 賞雅寛而、波津久達也、大久保ユリ子、Purdue University 日引俊

Effect of Gravity on Gas-liquid Interface in Vertical Bubbly Flow

Tomoji Takamasa, Tatsuya Hazuku, Yuriko Okubo and Takashi Hibiki

Tokyo University of Marine Science and Technology, Koto-ku, Tokyo, 135-8533

E-Mail: takamasa@kaiyodai.ac.jp

Abstract: In relation to the development of the interfacial area transport equation, axial developments of void fraction profile, interfacial area concentration and Sauter mean diameter of adiabatic nitrogen-water bubbly flows in a 9 mm-diameter pipe were measured by using a stereo image-processing method at normal- and micro-gravity conditions. The effect of gravity on radial distribution of bubbles and the axial developments of two-phase flow parameter was discussed in detail based on the obtained data and the visual observation.

Key words: Gas-liquid Two-phase Flow, Microgravity, Interfacial Area Transport

目的と実験装置

一般的に、浮力が作用しない無重力下もしくは微小重力下では、相間相対速度差に起因した気泡の合体や管断面方向の揚力は生じないと考えられてきたが、ごく最近の研究によれば、微小重力下においても、摩擦圧力損失勾配による擬似的な浮力が形成し、それにより相間相対速度差が生じることが示されている⁽¹⁾。したがって、気泡流の界面輸送項のモデル化において、重力および摩擦圧力損失の効果は、重要な評価項目になることが予想される。

本論文では、重力の作用を厳密に考慮に入れた高精度な界面積濃度輸送方程式の開発を最終目的とし、その第一段階として、通常重力および微小重力下における垂直管上昇気泡流の界面積濃度輸送に関するデータベースを整備した。また、得られた実験結果から、気泡流の管軸方向発達過程および気泡の管断面分布に与える重力の影響を評価した。

図 1 に本実験に用いた窒素-水系垂直上昇気泡流ループの概略を示す。微小重力下の実験は、(株)日本無重量総合研究所 (MGLAB) の落下塔施設 (落下

長さ 100 m、微小重力精度 10^{-5} G、微小重力保持時間 4.5 秒) を用いて行われた。微小重力下における気液各相の分離は非常に困難である。したがって、本実験装置において落下 20 秒前から落下中および落下後 7 秒のテスト時間内は、二つのタンクを用いた非循環のワンスルー方式を採用した。気液混合器にて二相流となった気液混合体は、内径 9 mm、長さ 720 mm のテスト管を経て気液リザーブバッグに蓄えられる。テストに入る前までは液相のみを循環させ、電磁弁 A、B にてこれら二方式の切替えを行う。

本実験ループでは重力下での静圧の影響を少なくするために系全体に 0.35 MPa の圧力がかけられている。

表 1 に実験条件を整理する。尚、表中の気液の見かけ速度 ($\langle j_g \rangle$, $\langle j_f \rangle$) は、ゲージ圧力 0.35 MPa における体積流量から算出された値を示している。

Table 1 Experimental settings

Series #	$\langle j_f \rangle$ [m/s]	$\langle j_g \rangle$ [m/s]	Re_f [-]	T [°C]	P [MPa]	Symbols in Fig.2 μ -G	
A	1	0.146	0.00840	1080	16.4	0.370	●
	2	0.157	0.0118	1330	20.9	0.360	▲
	3	0.138	0.0205	1120	19.6	0.370	■
B	1	0.191	0.0125	1610	20.8	0.370	●
	2	0.206	0.0208	1710	20.3	0.370	▲
	3	0.218	0.0291	1680	17.9	0.380	■
C	1	0.308	0.0121	2610	21.0	0.380	●
	2	0.284	0.0211	2340	20.1	0.370	▲
	3	0.288	0.0283	2110	16.1	0.360	■
D	1	0.485	0.0117	4040	20.5	0.380	●
	2	0.504	0.0187	4110	19.8	0.380	▲
	3	0.496	0.0285	3770	17.4	0.380	■
E	1	0.899	0.0147	6520	15.9	0.350	●
	2	0.914	0.0232	7580	20.3	0.380	▲
	3	0.904	0.0298	7740	21.5	0.390	■

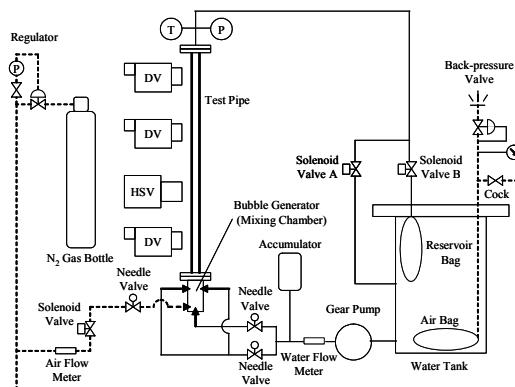


Fig. 1 Schematic diagram of flow loop

二相流の局所流動パラメータの測定には、短時間で軸方向および管断面方向の気液界面情報を収集できるステレオ画像処理法（SIM: Stereo Image-Processing Method）を用いた。SIMは、2台の面発光ライトおよび4枚の表面反射鏡を用いて、2方向からの管内流動画像を同時に入手し、それぞれの画像中の界面位置情報から気泡の管断面位置を再構築することで、気相体積率、界面積濃度などの局所分布情報を得る測定方法である^{(2), (3)}。SIMは、管内の流れを乱さず気液界面の管断面情報を入手できるため、短時間に管内流動の空間情報を得なければならない落下塔実験に適している。

結果と考察

微小重力では（図2）、 $z/D = 5$ では全ての気液流量条件において壁面ピーク分布は形成せず、中間ピーク分布もしくはコア型分布を形成している。液相が層流となる $\langle j \rangle \leq 0.220$ m/s（ $Re_f \leq 1760$ ）の条件では、通常重力下と比較してボイド率が大きく増加した。これは、微小重力への移行に伴って浮力による気液の相対速度差が減少することで、特に低液流速条件では、二相混合体の平均流速 $\langle j \rangle$ に対する気泡の上昇速度 v_g の比率が通常重力のそれと比較して大きく減少するためである。 z/D の増加に伴って管中心近傍のボイド率は徐々に増加し、通常重力下よりも z/D が短い区間においてコア型分布を形成するようになり、 $z/D = 60$ では全ての条件において通常重力下よりも強いボイドピークを有するコア型分布を形成している。

本実験の結果から、微小重力下においても、流れ

の発達に伴いコア型分布から壁面ピーク分布へと移行することが確認されたことから、気泡を壁面方向へと移動させる力が作用していることになる。この微小重力下の気泡に作用する揚力には、式(1)に示す壁面摩擦損失勾配 $M_{F_{\infty}}$ による相間相対速度 $v_{r\infty}$ の生成^{(1), (4)}が寄与していると考えられる。

$$v_{r\infty} | v_{r\infty} | = \frac{8}{3} \frac{r_b}{C_{D\infty} \rho_f} (\Delta \rho g + M_{F_{\infty}}) \quad (1)$$

すなわち、微小重力下においても、壁面摩擦損失によって気泡の運動量バランスから決定される管軸流れ方向の力が気泡に作用することで、気液の相間相対速度差が生成し、式(1)に示すかたちの壁面方向への揚力が気泡に作用して、壁面ピーク分布が形成したものと考えられる。通常重力下では、この壁面摩擦損失による相間相対速度差は浮力によるそれと比較して小さいことから無視されてきたが、浮力が働かない微小重力下では、管断面相分布の予測やドリフトフラックス相関によるボイド率の予測において、この効果を厳密に見積もる必要がある。

参考文献

- (1) Tomiyama, A., et al., JSME Int. J. Series B, 41 (2) (1998), pp. 472-479.
- (2) Takamasa, T. and Miyoshi, N., Trans. JSME, B, 59-564 (1993), pp. 2403-2409.
- (3) Yu, X., et al., J. Visualization Society of Japan, 27-1 (2007), pp. 261-262.
- (4) Hibiki, T., et al., Trans. JSME, B, 70-694 (2004), pp. 1481-1488.

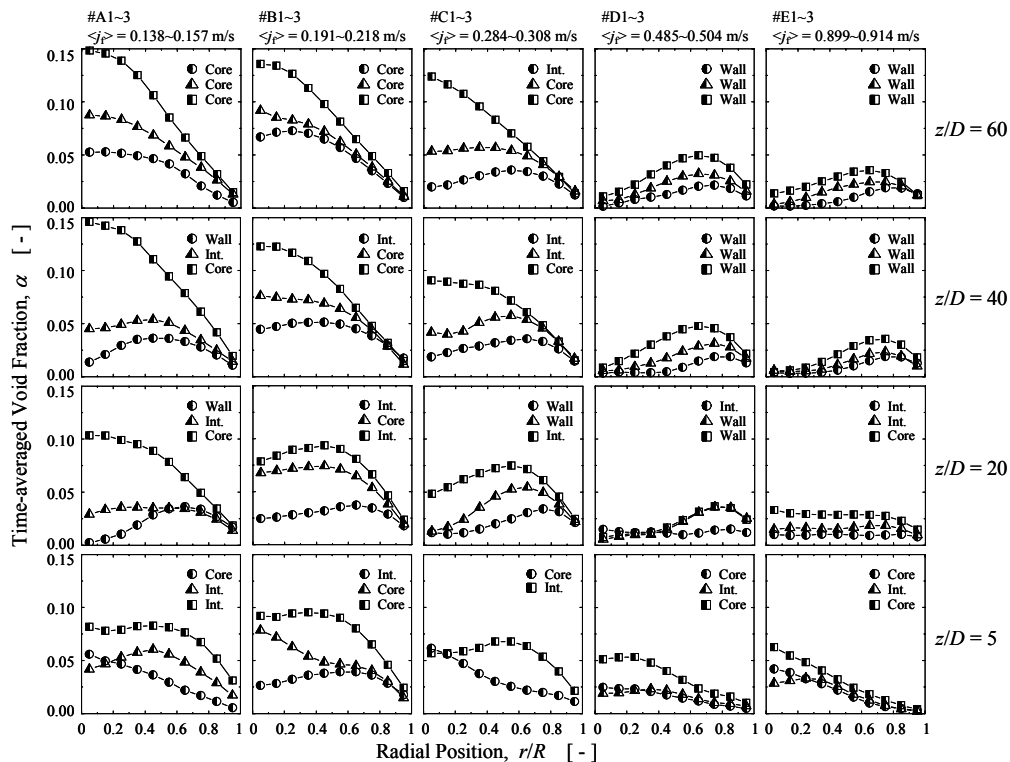


Fig. 2 Axial development of void fraction distribution at microgravity condition