

# ジグザグ上昇運動する単一気泡の三次元形状変化とその周囲液相運動 Tree-Dimensional Deformation of a zigzag-rising Bubble, and Motion of its surrounding Liquid

○学 榊原和也(静大工) 学 安間 優(静大院)  
学 宮本悠樹(静大院) 正 齋藤隆之(静大工)

Kazuya SAKAKIBARA, Suguru AMMA, Yuki MIYAMOTO, Takayuki SAITO,  
Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Shizuoka, 432-8561

**Key Words:** single rising bubble, liquid motion, bubble shape

## 1. 緒言

気液二相流の階層構造に着目した解明が幅広い分野で必要とされている。本研究では、単一気泡の界面運動と周囲液相運動のローカルな流動メカニズムの解明を目的とする。気液二相流の特徴は気相と液相の自由界面が多数分散して存在することであり、これらが互いに大きく干渉することにある。Brücker は粒子画像流速計 (PIV: Particle Image Velocimetry) を用いて気泡周囲の液相運動を考察し、気泡の重心軌道と液相運動との関係を論じた<sup>(1)</sup>。本研究では、同様に PIV を用いて気泡周囲液相運動を可視化、CCD カメラにより気泡形状を同時撮影して、これらの相互関係を明らかにする。互いに直交する2方向から可視化することにより、擬似的な3次元情報を得ることを特長とする。

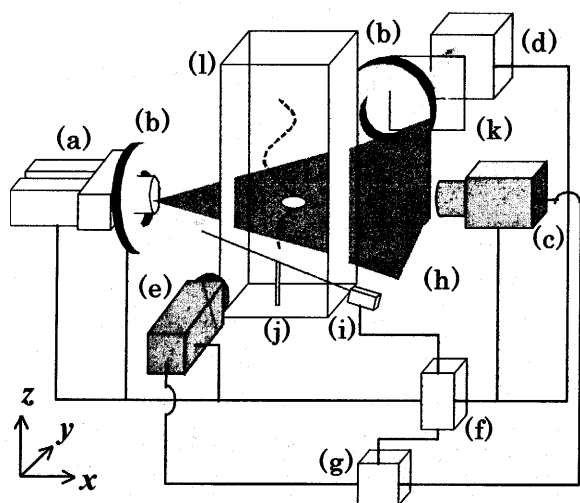
## 2. 実験装置および方法

図1に使用した装置を示す。アクリル製矩形水槽(150×150×300mm<sup>3</sup>) (l)は沸騰脱気したイオン交換水で満たされ、水槽底中央に設置された注射針(j)から約3秒間隔で平均球等価径 2.66mm の気泡を射出した。ジグザグ上昇運動する単一気泡を対象とし、注射針を使用することによって高い再現性を可能にした。気泡形状の撮影には CCD カメラ(e)の露光時間を 200 $\mu$ として、光源には赤色 LED(660nm) (b)を使用し、

液相運動の測定には PIV 用 CCD カメラ(d)を使用し、300 $\mu$ s 間隔で撮影された2枚の粒子画像の輝度分布から速度ベクトルを算出した。PIV の光源にはパルス YAG レーザー(532nm) (a)を用いて、測定領域をシート状に照射する。可視化トレーサには励起波長 532nm、発光波長 570nm の蛍光粒子を使用した。赤色 LED による気泡散乱光と YAG レーザーによる粒子散乱光が発生するために、光学フィルタ(k)を使用してこれらの散乱光を除去し、より鮮明な PIV 画像を得た。また、気泡形状と液相運動の撮影を同期させるために通過センサー(i)を併用し、信号はシンクロイザー(f)を経由してそれぞれの CCD カメラと YAG レーザー発生装置にトリガーとして入力される。液相運動の擬似3次元情報を得るために、レーザーシート光の位置を1mm 間隔で移動させて測定領域とし、測定した。気泡とレーザーシート光の位置関係を確認するために CCD カメラ(c)を使用し、光源には赤色 LED(660nm)を使用した。これらの測定では、注射針先端を座標原点((x,y,z)=(0,0,0))として、P1(z=12.0mm), P2(z=22.2mm), P3(z=36.7mm), P4(z=48.1mm), P5(z=65.1mm), P6(z=77.1mm)の6点で、互いに直交する2方向から可視化・撮影した。これらの気泡画像からその三次元形状を再構成した。

## 3. 結果と考察

図2に気泡の位置とその形状を示す。撮影した原画像を二値化処理したもので、形状変化が明確に分かるように拡大して示した。気泡位置から、気泡はほぼジグザグ上昇運動をしていることが確認できる。気泡形状については x-z 平面において明らかに左右非対称であり、y-z 平面において



(a)YAG laser, (b)Red LED, (c)CCD camera for laser position, (d)CCD camera for PIV, (e)CCD camera for bubble shape, (f)Synchronizer, (g)PC, (h)mirror, (i)Optical laser sensor, (j)Needle, (k)Optical filter, (l)Acrylic water vessel.

Fig. 1: Experimental setup.

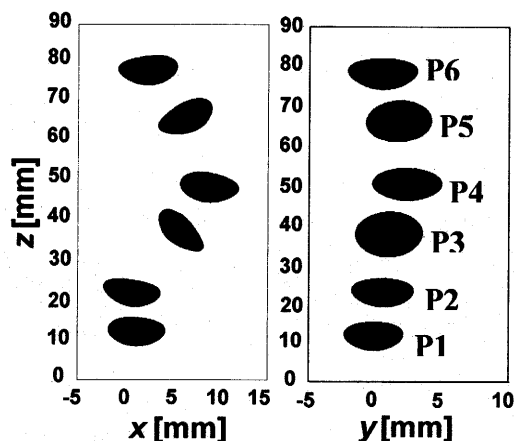
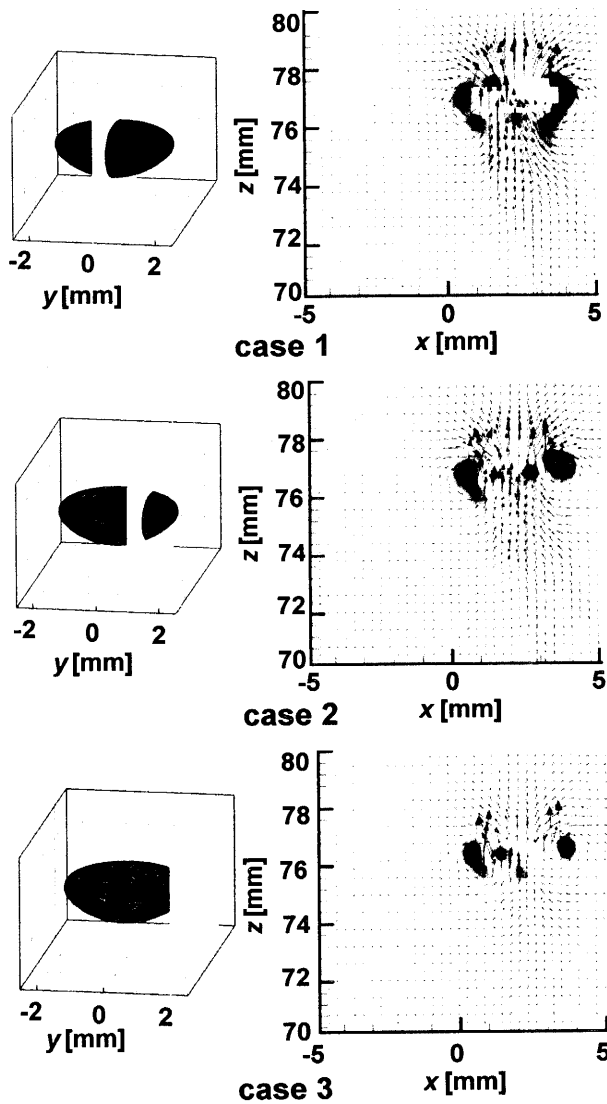


Fig. 2: Bubble positions and shapes.

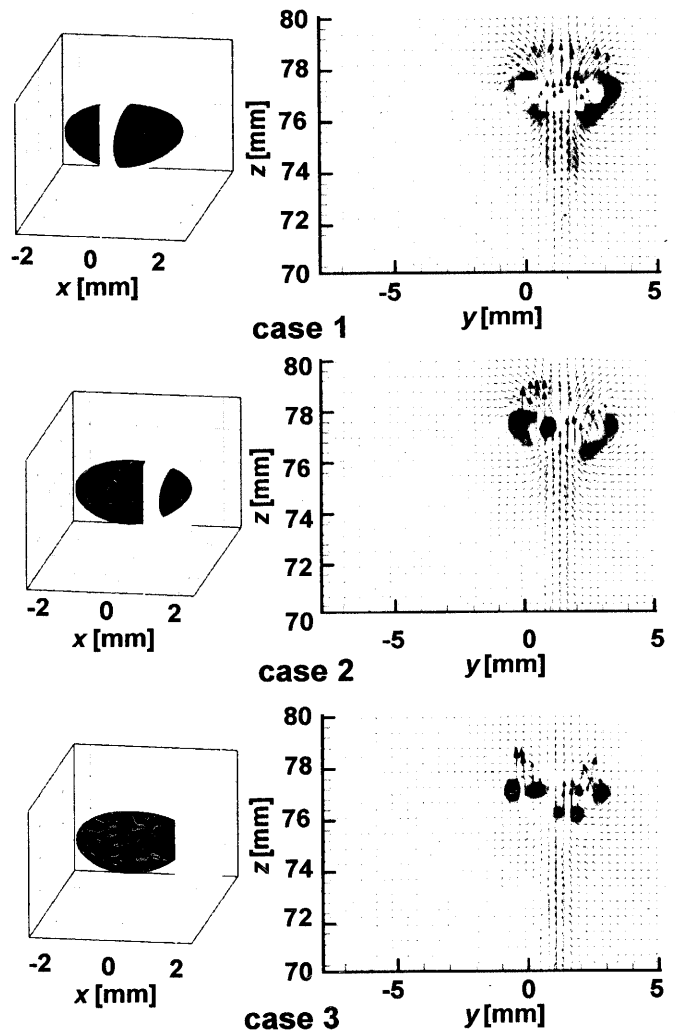


The positional relationship between a bubble and a laser sheet, and profile of vector field of velocity and contour of vorticity.

Fig. 3: Flow structure on the x-z plane at P6.

は左右対称である。y-z 平面での気泡の大きさが異なるのは x-z 平面で確認されるように気泡が傾いている (チルト) ためである。

軌道の 2 回目の変向点になる P6 での特徴的な液相運動を図 3, 図 4 に示す。x-z 平面上の速度ベクトルと渦度分布, ならびに対応する気泡の再構成 3 次元形状とレーザーシート位置を図示した。なお, 気泡形状の座標原点は気泡重心に合わせてある。case 1 はレーザーシート光が気泡重心に照射されている場合を示している。速度ベクトル分布から, 気泡上部に液相を排除しようとする流れと, 気泡底部で液相が気泡直下に入り込む流れが観測される。これらの流れによって気泡上部では動圧により圧力が増加して気泡形状は球形を保てなくなっている。これは, 全ての測定点で観測された。気泡軌道の外側にあたる気泡左側で, 大きな渦度を示す範囲が縦に長く広がっている。気泡右側とは左右非対称であることが確認できる。この傾向は, レーザーシート光を気泡重心から 1 mm 移動させた case 2 でも観測されるが, その渦度は小さくなっている。さらにレーザーシート光を 1 mm 移動した case 3 では, 渦度はかなり小さくなっている。1 回目の変更点である P4 の x-z 平面上でも同様に, 軌道の外側で強い渦度の範囲が広がっており左右非



The positional relationship between a bubble and a laser sheet, and profile of vector field of velocity and contour of vorticity.

Fig. 4: Flow structure on the y-z plane at P6.

対称であった。y-z 平面上における液相運動を図 4 に示す。x-z 平面上と同様に, 気泡中心から離れるにつれて渦度は小さくなっている。しかし, いずれの case も x-z 平面上とは異なり, 左右対称な渦度分布が観測された。この左右対称な液相運動は全ての測定点における y-z 平面上で観測された。

#### 4. 結言

ジグザグ上昇運動する単一気泡の形状変化と周囲液相運動の相互関係を明らかにするために可視化技術として PIV を用いて解析を行った。結果として, 気泡形状と周囲液相運動の x-z 平面での左右非対称性と y-z 平面での左右対称性を確認した。これらはジグザグ上昇運動する気泡の特徴であり, 気泡挙動のメカニズムに大きく影響していると考えられる。

#### 参考文献

- (1) Christoph Brüker, 1999 Structure and dynamics of the wake of bubbles and its relevance for bubble interaction, PHYSICS OF FLUIDS, Vol. 11, No.7, pp1781-1796.