

## 20301 静止流体中の単一上昇気泡の重心運動に及ぼす界面活性剤の影響 The Influence of a Surface Active Surfactant on the Center-of-gravity Motion of a Single Bubble Rising in the Rest Water

○学 山田雅人(静大工) 学 宮本悠樹(静大院) 正 齋藤隆之(静大院)

Masato YAMADA

Yuki MIYAMOTO

Takayuki SAITO

Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University,  
3-5-1 Johoku, Hamamatsu, Shizuoka, 432-8561 Japan

The center-of-gravity and interface motion of a bubble are essential for deep understanding of mass transfer mechanism between gas and liquid phases in a bubble column, a gas-lift reactor, and so on. The aim of the present study is to quantitatively clarify the effect of a Surface Active Surfactant on the center-of-gravity motion of a single rising bubble. The single bubbles of about 2.7 mm in equivalent diameter were examined. The center-of-gravity motion of the single bubbles has been visualized from two directions intersecting perpendicularly mutually, using two sets of high-speed video camera. In change of the zigzag cycle and amplitude of the rising motion, singular points have been discovered at a certain concentration. At the concentration, the amplitude of the zigzagging motion increases; while the frequency decreases.

**Key words:** Single Bubble, Center-of-gravity Motion, Surface Active Surfactant

### 1. 緒言

液体中に多くの気泡を含む気液二相流は化学反応器や熱交換器などさまざまな工業分野で応用されている。これらに見られる微小な気泡群を含む流れは、気泡界面への界面活性剤の吸着などさまざまなスケールの現象に支配されている<sup>(1)</sup>。

静止流体中を上昇する単一気泡は、特有のジグザグ、らせん軌道を呈する。本研究では、精製水に界面活性剤を添加し、汚濁系における気泡重心運動を高速ビデオカメラを用いて可視化した。その運動を詳細に解析して、界面活性剤の影響を論ずる。

### 2. 実験装置および方法

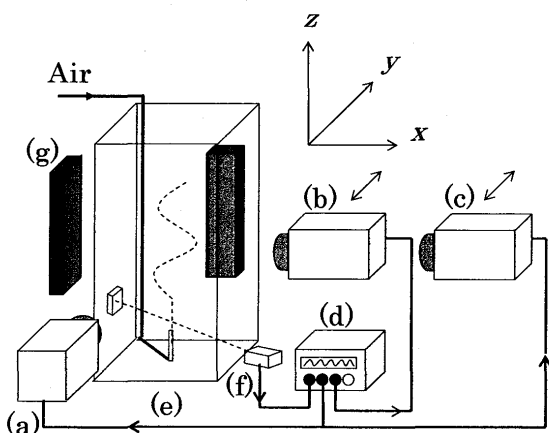
Fig. 1 に実験装置の概略を示す。アクリル製矩形水槽に煮沸脱気したイオン交換水を満たし、中央底に設置された注射針(テルモ製、内径 0.37mm)(e)から純空気を抽入する。圧力および流量を、気泡がジグザグ上昇運動を呈するように適切に調整し、約 3 秒間隔で気泡を射出した。赤色 LED(660nm)(g)を気泡の上昇軌道に沿って長方形に配置し、二台の高速ビデオカメラ(露光時間 200 $\mu$ s, フレームレート 4000pps, 1632 $\times$ 296pixels, 空間分解能 約 100 $\mu$ m/pixel)によって Front(x-z)面(a), side(y-z)面(b)の二方向から可視化・撮影した。気泡の軌道にレーザー通過センサ(f)を設置し、シンクロナイザー(d)を介して撮影開始のトリガーとして、2台の高速ビデオカメラを同期させた。界面運動を表すために得られた気泡画像から左右エッジ部の曲率を算出する。また、球等価径算出用として高解像度カメラ(c)(1024 $\times$ 1024pixels, 空間分解能 約 3.5 $\mu$ m/pixel)を併用する。界面活性剤(1-ペンタノール, トリトン X-100)を種々の濃度で添加した。気泡が注射針から離脱した瞬間を  $t=0$  として、撮影区間は注射針先端から約 160mm とした。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 気泡重心運動

Fig. 2 にジグザグ運動周波数と界面活性剤濃度との関係を示す。精製水で 7Hz のジグザグ運動周波数が、1-ペンタノール濃度の増加に伴い 4.7Hz (約 200ppm)まで減少し、その後 1-ペンタノール濃度の増加とともに増加した。さらに 1-ペンタノール濃度を増加させるとジグザグ運動周波数は 7.4Hz 付近まで増加し、600ppm 以降はほぼ一定値を示した。トリトン X-100 の場合には、1-ペンタノールよりも低濃度で同様の現象が見られた。濃度の増加に伴って、5.06Hz (0.05ppm)に減少するが、それ以降では増加傾向を示し、6.8Hz (0.25ppm 付近)で一定になった。

Fig. 3 に気泡重心運動のジグザグ運動振幅と界面活



(a) High-speed camera for x-z plane,  
(b) High-speed camera for y-z plane,  
(c) CCD camera for bubble diameter,  
(d) Synchronizer, (e) Needle,  
(f) Optical laser sensor, (g) Red LED,

Fig. 1: Experimental setup

性剤濃度との関係を示す。周波数の結果と強い相関性が見られた。1-ペンタノール, トリトン X-100 とともに, 周波数が減少する濃度領域において Front 面, side 面の振幅が増加し, 周波数が増加するにしたがって振幅が減少し, その後一定となることが確認できる。

Fig. 4 に気泡重心速度ベクトルの絶対値と界面活性剤濃度との関係を示す。界面活性剤濃度の増加とともに一定の割合で気泡速度が低下している。この結果から気泡重心運動は界面活性剤濃度の増加に伴って, ジグザグ軌道かららせん軌道へ移行し, さらに濃度が増加するとジグザグ軌道に移行することが確認された。また, 速度に特異な変化点はないため, 気泡重心運動がらせん軌道に移行する際, 見かけ上ジグザグ運動の周波数が低下すると考えられる。

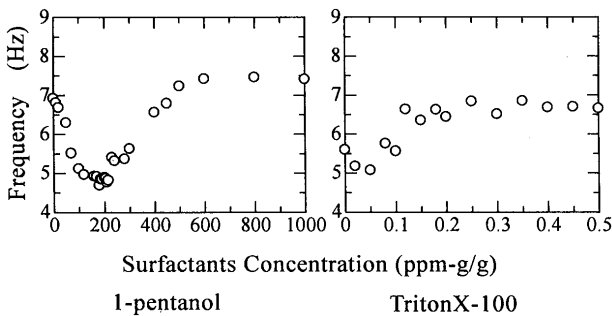


Fig. 2: Frequency of zigzag motion

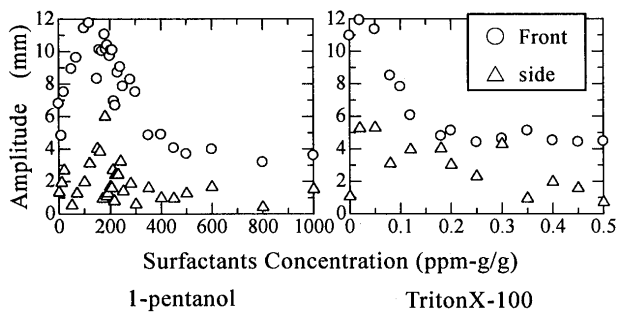


Fig. 3: Amplitude of zigzag motion

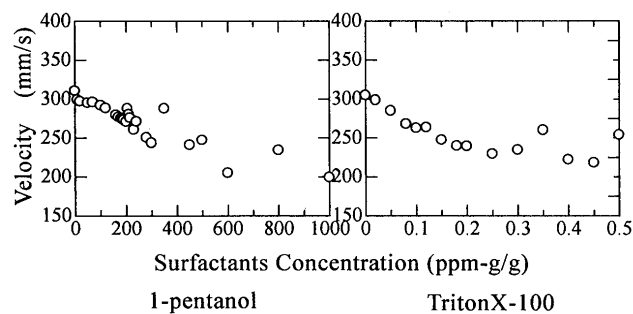


Fig. 4: Velocity of bubble motion

### 3. 2 気泡界面運動

精製水とペンタノール濃度 150ppm とトリトン X-100 濃度 0.5ppm の場合について, 気泡の左右エッジ部の曲率  $\kappa_R, \kappa_L$  の経時変化を Fig. 5 に示す。宮本ら<sup>(2)(3)</sup>は左右エッジ部の曲率変動にジグザグ運動の半周期に相当する位相差が存在し, 界面活性剤の添加によって界面運動が減衰することを示している。今回の実験でも界面活性剤の添加によって界面運動が減衰していること

がわかる。さらに, 気泡重心運動において, 周波数, 振幅に変化が現れた 1-ペンタノール, トリトン X-100 の濃度を比較すると, 射出後ジグザグ運動の二周期程度までは高周波な界面運動が見られるが, その後は見られなくなり, とともに精製水からの減衰の過程が類似していることが確認できる。この結果から, 重心運動の変化に沿って界面運動の減衰が起こっていることがわかる。

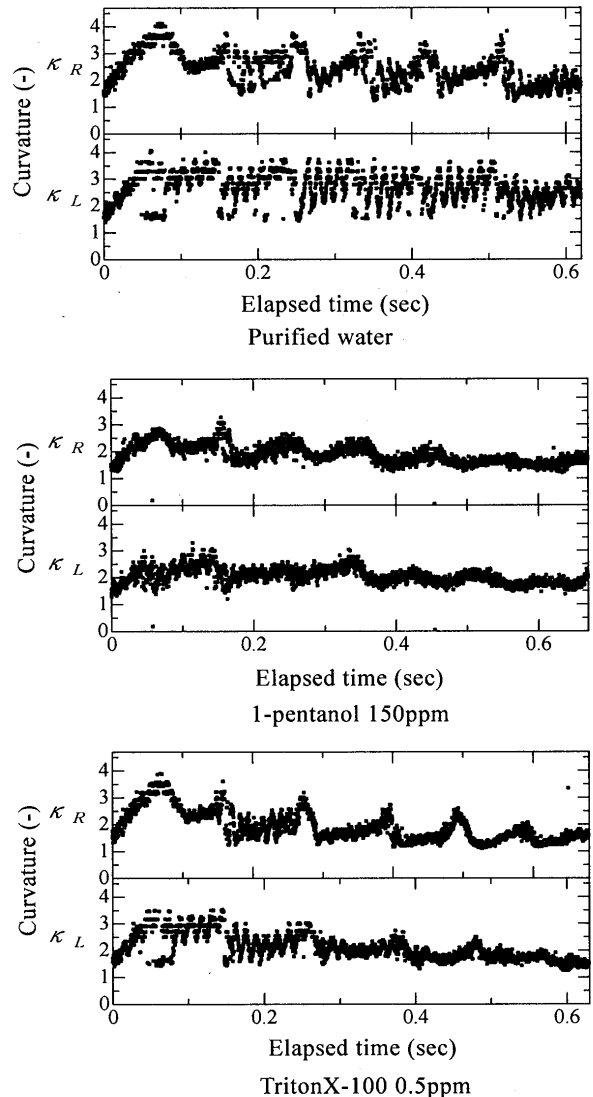


Fig. 5: Curvature fluctuation

### 4. 結論

本研究では界面活性剤が気泡重心運動に与える影響を定量的に捉えた。界面活性剤の添加は, 気泡界面の性状を変化させ, 気泡重心運動の周波数, 振幅に変化が現れることが確認された。また, 界面活性剤の添加によって界面運動が減衰され, 減衰過程が重心運動の変化に沿っていることが確認された。

### 参考文献

- [1]高木周, 宇田東樹, 渡邊祐二, 松本洋一郎, 機論 69-686, B(2003), 2214-2220.
- [2]宮本悠樹, 齋藤隆之, 機論 71-705, B(2005), 1307-1313
- [3]宮本悠樹ら, 混相流学会 年会講演会 講演論文集(2005).