

## 旋回流型マイクロバブルジェットの特性と衝突圧力の可視化

### Characteristics of the swirling type microbubble jet and visualization of impingement pressure

○正 青木 克巳 (大生工業 (株))      加藤 克紀 (大生工業 (株))  
奥津 俊哉 (大生工業 (株))      正 沖 真 (東海大学)

Katsumi AOKI, Taisei kogyo Co., Ltd., 6F Imaimitsubishi Bldg, 3-53-11, Minamiotsuka, Toshima-ku, Tokyo 170-8428  
Katsunori KATO, Taisei kogyo Co., Ltd., 6F Imaimitsubishi Bldg, 3-53-11, Minamiotsuka, Toshima-ku, Tokyo 170-8428  
Toshiya OKUTSU, Taisei kogyo Co., Ltd., 6F Imaimitsubishi Bldg, 3-53-11, Minamiotsuka, Toshima-ku, Tokyo 170-8428  
Makoto OKI, Tokai University, 4-1-1 Kitakaname Hiratsuka, Kanagawa-ken 259-1292

In this study, the characteristics of the swirling flow type micro-bubble generating jet device has been developed for the purpose of cleaning of oil stains such as industrial products was demonstrated. Further, the impingement pressure of the micro-bubble jet was visualized. From these results, the bubble size distribution for the flow ratio of the microbubbles, chlorine concentration, PH distribution, etc. were shown. Moreover, the impingement pressure of the micro-bubble jet than impingement pressure of the water jet was a pressure value of about 1000-25000 times from visualization results using the pressure-sensitive paper.

**Key Words:** Microbubble, Impingement pressure, Swirling flow type generation jet, Visualization

#### 1. 緒言

気泡を微細な状態にすると通常の気泡とは異なった性質が現れることが明らかになってきた。これらは単にバブルのサイズの問題だけでなく、マイクロバブルやナノバブルという名前では呼ばれている。近年、これらのマイクロ・ナノバブルの様々な物理化学的特性に着目し水処理、洗浄、殺菌、水産、農業、食品工業など種々の分野での応用が期待されている<sup>(1)</sup>。微細気泡はバブル生成法によりバブル粒径も異なり物理化学的特性も異なる<sup>(2)</sup>。これまで洗浄に関しては種々報告されており油が除去されるメカニズムも高速顕微ビデオカメラにより観察されている<sup>(3)</sup>。本研究の目的はマイクロ・ナノバブルによる溶剤レスの洗浄装置を開発することであり、その第一歩として油脂等の洗浄を目的として、これまでの技術を構築し<sup>(4)</sup>、水噴射旋回流型のマイクロバブル生成ジェット装置を開発した。この装置の特徴は強い旋回流によりマイクロ・ナノバブルの生成と強い旋回流バブルジェットが得られる。また、このマイクロバブルジェット(MBJ)を洗浄物体に衝突させることによりその表面に高圧な圧力が生じ油膜剥離を増長させ洗浄効果が増すものとする。本報ではこの装置の特性とマイクロバブルジェットが洗浄物体に衝突したときの表面の衝突圧力を感圧紙法<sup>(5)</sup>により可視化し明らかにした。また、マイクロバブルジェットの経過時間に対する溶存酸素率、バブルの粒径分布、残留塩素濃度、PH等の特性を明らかにしている。

#### 2. 実験装置および方法

2-1 旋回流型マイクロバブル生成ジェット装置 図1に装置本体の構造の概要を示す。装置は①駆動ノズル、②気体吸引室、③加圧混合室、④エネルギー変換部からなる。圧力水を噴射するとノズル周囲から旋回しながら気体は外部より吸引室に誘引され、旋回しながら混合部で強いせん断力と加圧混合により気体を微塵化し、マイクロバブルが生成され、

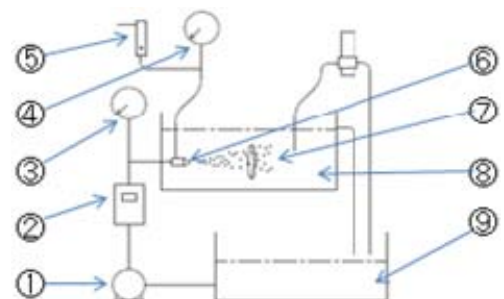
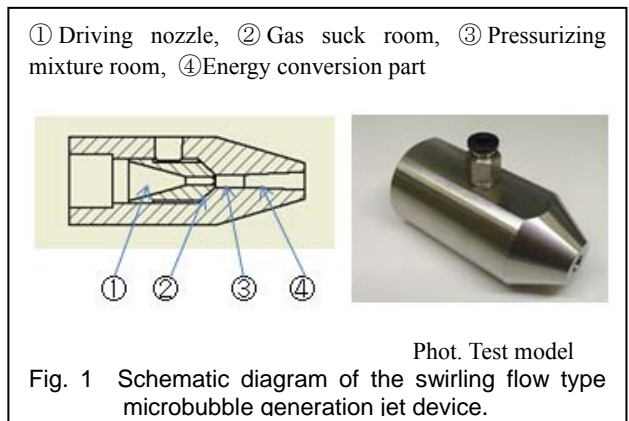


Fig. 2 Schematic of experimental apparatus.  
① Pump, ② Electromagnetic flowmeter [Qj: driving flow of nozzle], ③ Pressure gauge [Pj: driving pressure], ④ Vacuum gauge [Ps: suction pressure], ⑤ Flow meter [Qs: suction flow of air], ⑥ Test model, ⑦ Impingement pressure board, ⑧ Water tank I (200L), ⑨ Water tank II (200L)

マイクロバブルジェットとして流出する。図2は装置全体の概要である。

**2-2 衝突圧力の可視化<sup>(5)</sup>** 衝突圧力の測定には感圧紙(富士フィルム製 PRESCALE, 4LW)を用いて図2のような圧力測定板(直径80mm, 厚さ8mmの円盤)に固定し, 水槽内において装置出口を原点として, それより下流に50, 100, 150mmの位置において30分間の衝突圧力の最大圧力平均値を測定した。尚, データ処理は測定後30分以内に処理した測定値である。

**2-3 マイクロバブルの特性値の測定使用機器**

- ① 粒径分布微粒子計速器(HIAC) PARTICLEMATRIX (Electrophoresis & Brownian Motion Video Analysis Laser Scattering Microscopy)
- ② 溶存酸素: DO-5509 (佐藤商事)
- ③ 残留塩素濃度: EW-521(TANITA)
- ④ pH測定: EW-521(TANITA)

**3. 実験結果および考察**

**3-1 マイクロバブルの特性** 図3は実験中のノズルより下流の位置200mmの位置において取水したときのバブル粒径分布(a)に対し, (b)は実験終了後24時間経過後の静置した水槽より取水した粒径分布である。(a)は18 $\mu$ mで20 Particles/mL, (b)は粒径0.1 $\mu$ mで0.4 $\times 10^6$  Particles/mLである。この装置は2種の特異な粒径分布を生成することがわかった。図4は実験に水道水を使用したときの水槽内の経過時間に対する溶存酸素の変化である。水道水のみでの溶存率が80%程度であり, 約24%のマイクロバブルジェットを水槽内に噴出後15分で90%に達し, その後100%以上まで増加する。図5は水槽400L中の経過時間に対する残留塩素濃度とPHの変化を示している。水槽の水道水はそのまま静置した状態では24時間後でも塩素濃度は変わらないが, バブルジェットの噴出では $Q_s/Q_j=0.05$ において約2時間程度で塩素濃度は0になった。図6はマイクロバブルジェットの downstream 位置( $x=50, 100, 150$ mm)に衝突板を設置したときの衝突板表面の圧力を可視化により示した。水噴射の場合の表面圧力は感圧紙で可視化できなかった。これに対しMBJでは高圧な特徴的な圧力分布が得られている。 $x=50$ mmでは中心に近いところでは黄色(約0.24MPa)で, その周囲は濃赤色で外側に行くに従って薄赤色からグリーン色と変化し, 下図は中心を横切る圧力分布を示している。中心では可視化に対応したシャープな圧力分布を示していることがわかる。

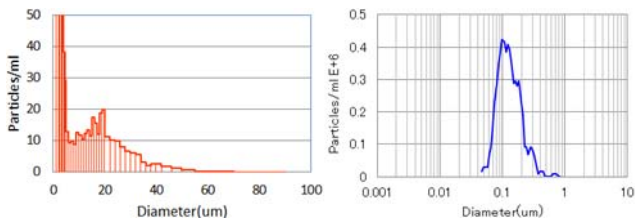


Fig. 3 Particles for diameter of bubble ( $P_j = 0.2$  MPa,  $Q_s/Q_j = 0.10$  (a),  $0.05$  (b))

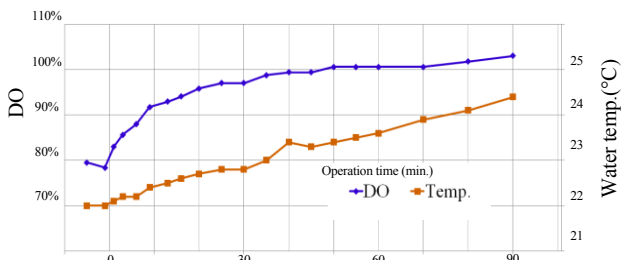


Fig. 4 Changes of dissolved oxygen with respect to the elapsed time ( $P = 0.2$  MPa,  $Q_s/Q_j = 0.24$ )

$x=100, 150$ mmでは扁平な圧力分布へと変化し, 下流に移行するに従い, 圧力低下の変化が可視化とグラフよりよくわかる。水噴射圧力の圧力を噴力より求めた平均圧力とCFDより求めた圧力をMBJの圧力と比較すると, 約1000~25000倍以上の圧力差が生じていることが推定される。これはマイクロバブル効果によるものと考えられる。

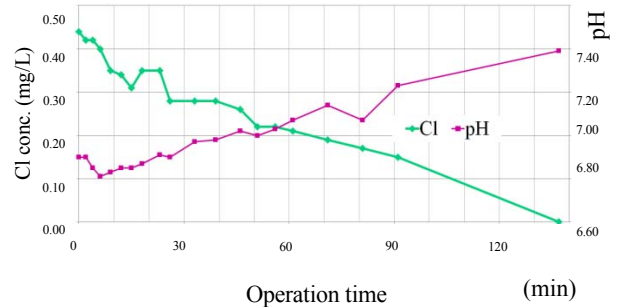


Fig. 5 Changes in residual chlorine concentration and PH with respect to the elapsed time ( $P = 0.2$  MPa,  $Q_s/Q_j = 0.05$ )

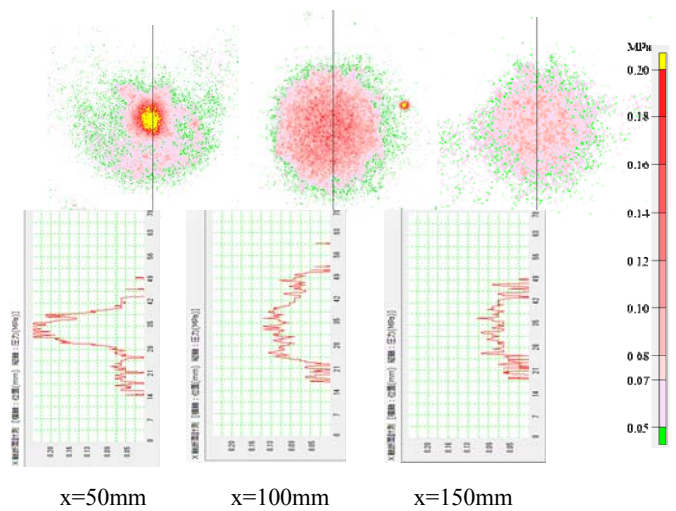


Fig. 6 Flow of MJB and Visualization of impingement pressure distribution for each distance from the nozzle  $P_j=0.2$ MPa,  $Q_s/Q_j=0.2$ ,  $x=50$ mm, 100mm, 150mm

**4. 結言**

①本装置のバブル粒径分布は0.1 $\mu$ m付近と18 $\mu$ m付近にピークを持つバブル分布領域が存在する。②本装置の特性により約1時間で溶存酸素100%に達する。また, 残留塩素濃度は短時間でゼロになる。③マイクロバブルジェットによる洗浄物体表面の衝突圧力を感圧紙により可視化にて明らかにした。これより, バブルジェットの圧力は水噴射圧力の約1000~25000倍以上であることが推定できる。このことは洗浄効果的にも優位に働くものと考えられる。

**引用文献**

- (1) 高橋正好, 微細気泡の最新技術, エヌ・ティー・エス (2006)
- (2) Takahashi, M., Food Technology Forum (JSAM 2006 symposium) (2006), 24-31.
- (3) 宮本誠ら, マイクロ・ナノ熱流体ハンドブック, エヌ・ティー・エス (2005), 340-347.
- (4) 青木, 興津, 水中噴射時における気泡生成と発振現象, 東海大学紀要工学部, 1969-1 (1969-1), 65-74.
- (5) 流れの可視化学会編, 新版可視化ハンドブック, 朝倉書店 (1986), 128-130.