

# 旋回流型マイクロバブルジェット洗浄装置の特性と衝突圧力の可視化

加藤 克紀 (大生工業), 奥津 俊哉 (大生工業), 篠原 尚也<sup>○</sup> (大生工業),  
沖 真 (東海大学), 青木 克巳 (大生工業)

## Visualization of a Characteristic and the Impingement Pressure of the Swirling Type Microbubble Jet Device

Katsunori KATO, Toshiya OKUTSU, Naoya SHINOHARA, Makoto OKI, Katsumi AOKI

### ABSTRACT

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. The bubble size distribution for the flow ratio of micro-bubbles was shown. From the results, we have shown that this device is to form a two specific particle size distribution. Moreover, the impingement pressure of the micro-bubble jet than impingement pressure of the water jet was a pressure value of about 1,000-2,500 times from visualization results. In addition, the cleaning effect for various materials has been examined.

**Keywords:** Micro-bubble, Impingement pressure, Visualization, Swirling flow, Cleaning

## 1. 緒 論

近年、マイクロ・ナノバブルがもつ様々な物理化学的特性が注目されている。マイクロ・ナノバブルとは気泡粒径が  $100\ \mu\text{m}$  以下の微細気泡であり、その物理化学的特性から洗浄、水処理、農業、養殖業など様々な分野での応用が期待されている<sup>1)</sup>。微細気泡の生成方法はいくつかあるが、生成方法によって粒径、物理化学的特性が異なる<sup>2)</sup>。これまでマイクロバブルによる洗浄に関しては油膜剥離効果などが報告されており、油が除去されるメカニズムも高速顕微鏡カメラにより観察されている<sup>3)</sup>。本研究はマイクロ・ナノバブルの特性を利用し、環境に配慮した溶剤・洗剤レスの洗浄装置の開発を目的としている。ここではこれまでの技術を構築し<sup>4)</sup>、油脂等の洗浄を目的とした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。この装置では強い旋回流によるマイクロ・ナノバブルの生成とマイクロバブルジェット (MBJ) が得られる。この MBJ を洗浄物に衝突させることにより洗浄物表面に高い衝突圧力が生じ、油膜剥離を増長させることが考えられる。本報ではこの装置の特性と MBJ が洗浄物に衝突した時の洗浄物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、種々の材質に対して洗浄試験を行い、その結果を比較した。

## 2. 実験装置及び方法

### 2.1 旋回流型マイクロバブル生成ジェット装置

Fig.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の気体は旋回しながら吸引室に誘引され、混合部で旋回による強いせん断力と加圧混合により微塵化し、マイクロバブルを生成する。この時マイクロバブルジェットエネルギーは漸次圧力エネルギーに変換され強い噴流となる。Fig.2 は装置全体の概要である。

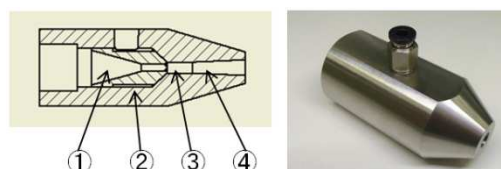


Fig. 1 Schematic diagram of the swirling flow type micro-bubble generation jet device ①Driving nozzle ②Gas suck room ③Pressurizing mixture room ④ Energy conversion part, Phot.: Test model

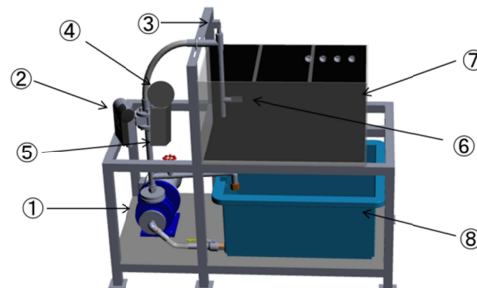


Fig. 2 Schematic of experimental apparatus ① Pump ② Electromagnetic flowmeter [Qj: driving flow of nozzle] ③ Pressure gauge [Pj: driving pressure] ④ Vacuum gauge [Ps: suction pressure] ⑤ Flow meter [Qs: suction flow of air] ⑥ Test model ⑦ Water tank I (500×500×900mm) ⑧ Water tank II (600×400×840mm)

## 2.2 マイクロ・ナノバブル特性

本装置によって発生したマイクロ・ナノバブルの個数を粒径ごとに測定した。測定に用いた装置は微粒子計測器 (BECKMAN COULTER 製, HIAC 液中微粒子計測器), 画像解析式ゼータ電位測定装置 (PARTICLE METRIX 製, ZetaView) である。

## 2.3 衝突圧力の可視化

衝突圧力の測定には感圧紙 (富士フイルム製, PRESCALE, 4LW) を用いた。感圧紙を Fig.3 のように圧力測定板に固定し, 水槽内において装置出口を原点として, それより下流に 50,100,150 mm の位置において吸気量 ( $Q_s/Q_j$ ) 0, 0.30 での 30 分間の衝突圧力の最大圧力平均値を測定した。データの解析には圧力画像解析システム (富士フイルム製, FPD-8010J) を用いた。尚, データ解析は測定後 30 分以内に行った。

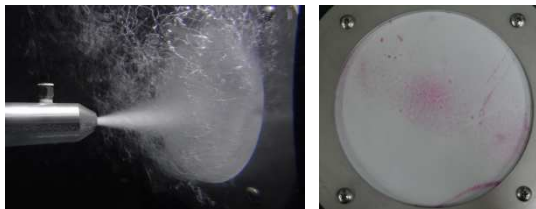


Fig.3 Visualization of impingement pressure ( $Q_s/Q_j=0.30$ ,  $x=100\text{mm}$ )

## 2.4 洗浄効果の比較

本装置による洗浄効果の測定を行った。100 mm 四方の各種金属板 (SUS, Al, Cu) に作動油を塗布したものをノズルから 100 mm の位置で 1 分間洗浄し, 洗浄後の残油量を測定して洗浄効果を求めた。 $Q_s/Q_j$  は 0, 0.3 で測定した。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 マイクロ・ナノバブル特性

ノズルから 200 mm の位置において取水したときのバブル粒径分布(a)と実験中に取水し, 24 時間経過後の粒径分布(b)を測定した。(a)のピークは粒径 18  $\mu\text{m}$  で 20 Particles/10mL, (b)は粒径 0.1  $\mu\text{m}$  で  $0.4 \times 10^6$  Particles/mL となった。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。

### 3.2 衝突圧の可視化

Fig.4 はノズルから下流 ( $x=50,100$  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表示したものである。水のみでの衝突圧力はほぼ 0 MPa に近い値となった。これに対し MBJ では高圧な特徴ある圧力分布が得られた。 $x=50$  mm では圧力範囲は狭いが中心では衝突圧 0.20 MPa 以上となっている。また,  $x=100$  mm では圧力範囲は広がるが衝突圧は約 0.10MPa となった。これらの結果から MBJ により衝突圧は大幅に上昇することが分かった。

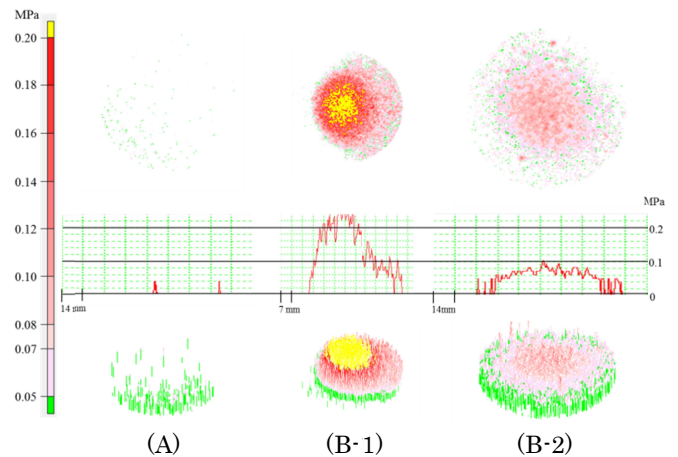


Fig.4 Flow of MBJ and Visualization of impingement pressure distribution for each distance from the nozzle (A:  $P_j=0.2\text{MPa}$ ,  $Q_s/Q_j=0$ ,  $x=50\text{mm}$ , B-1:  $P_j=0.2\text{MPa}$ ,  $Q_s/Q_j=0.3$ ,  $x=50\text{mm}$ , B-2:  $P_j=0.2\text{MPa}$ ,  $Q_s/Q_j=0.3$ ,  $x=100\text{mm}$ )

### 3.3 洗浄効果の比較

Fig.5 は本装置による洗浄効果の比較である。 $Q_s/Q_j=0$  では各材質で約 95%の洗浄効果であった。 $Q_s/Q_j=0.3$  ではいずれの材質でも 99%以上の洗浄効果となった。強い旋回流による衝突圧の上昇により洗浄効果が向上したと考えられる。

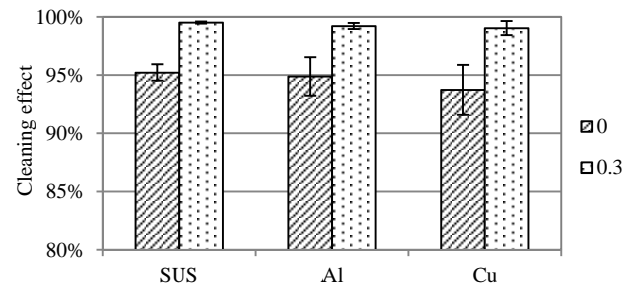


Fig.5 Cleaning effect for various materials

## 4. 結言

本装置によるバブルには 0.1  $\mu\text{m}$  で  $0.4 \times 10^6$  Particles/mL, と 18  $\mu\text{m}$  で 20 Particles/mL の分布領域が存在することが分かった。また, 本装置の MBJ による洗浄物表面の衝突圧力を可視化にて明らかにした。MBJ の圧力は水噴射の圧力の約 1,000-2,500 倍であった。このことは洗浄効果的にも優位に働くと考える。

## 参考文献

- 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), 24-31 (2006)
- 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, 340-347 (2005)
- 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, 65-74 (1969-1)
- 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 128-130 (1986)