

## 旋回流型マイクロ・ナノバブル生成ジェット装置の洗浄効果

大生工業株式会社 ○奥津俊哉、加藤克紀、篠原尚也、青木克巳

### 1. 緒言

近年、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となっている。微細な気泡はマイクロバブルやナノバブル等と呼ばれており、これら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、食品工業などの分野での応用が期待されている\*1。微細気泡は生成法により粒径が異なり、物理化学的特性も異なる\*2。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\*3。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\*4、水噴射旋回流型のマイクロバブル生成装置を開発した。本報では実際にその装置を用い、油系汚染物の、各被汚染物材質ごとにおける洗浄結果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、気体は外部よりノズル周囲から旋回しながら吸引室に誘引され、混合部で強いせん断力と加圧混合により気体をみじん化し、マイクロバブルが生成され、マイクロバブルジェット(MBJ)として流出する。

2-2 洗浄実施概要 図2に実験装置の概要を示す。それぞれの被洗浄物は10cm×10cmの平板型とする。これを50℃30分乾燥し、10分保冷後重量  $W_1$  を測定する。この被汚染物に汚染油を塗布し、50℃15分乾燥し、10分保冷後重量  $W_2$  を測定する。これを前述の装置のノズル先端より10cmの位置に固定し、水道水中に沈め、その水を循環させる方式で3分間洗浄する。終了後50℃30分乾燥し、10分保冷後重量  $W_3$  を測定する。これらより次式から洗浄率を求める。同じ実験を3回行い、再現性及び標準偏差を求める。

$$\text{洗浄率(\%)} = \left( 1 - \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1} \right) \times 100$$

- ① Driving nozzle
- ② Gas suck room
- ③ Pressurizing mixture room
- ④ Energy conversion part

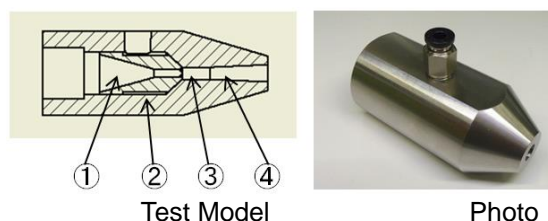


Fig.1 Schematic diagram of the swirling flow type microbubble generation jet device

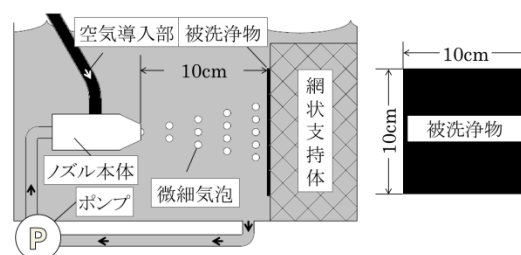


Fig.2 Overview of cleaning experimental apparatus

### 2-3 マイクロバブルの特性値の測定使用機器

- ① 粒径分布微粒子計測器 HIAC Royco (HACH Company) マイクロ領域 (2-100 $\mu\text{m}$ )の測定に使用
- ② ZETA VIEW(マイクロトラック・ベル) ナノ領域(最小 0.04 $\mu\text{m}$ )の測定に使用

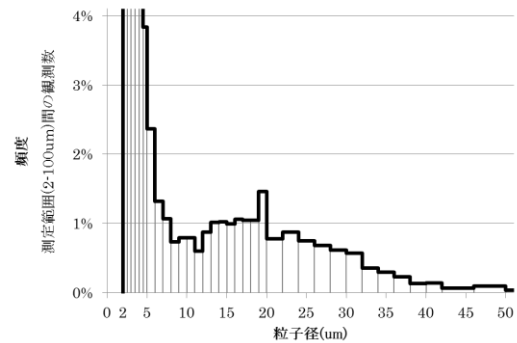
## 3. 実験結果及び考察

### 3-1 マイクロバブルの特性

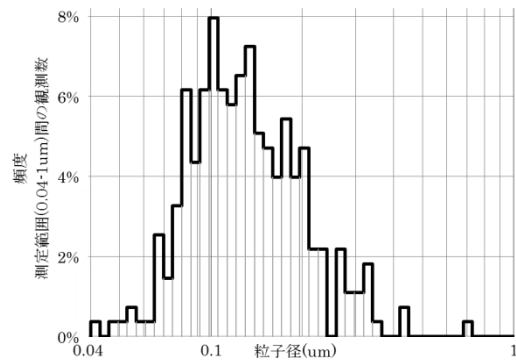
図3は、空気を水流量に対し5%導入しているときの、実験中のノズルより下流の位置180mmの位置において取水したときのマイクロバブル粒径分布(a)と、2時間運転後に採取したサンプルを約24時間後に測定したナノバブル粒径分布(b)である。マイクロ領域では19 $\mu\text{m}$ にピークが観察され、測定範囲内の観測個数の総数は $1.4 \times 10^2$ 個/mLであった。ナノ領域では約100nmにピークが観察され、測定範囲内の観測個数の総数は $6.2 \times 10^6$ 個/mLであった。

またこのノズルへ空気を導入しない場合でも、水中に溶存している空気を気泡として発生させることができ、その気泡がマイクロ領域で発生していることは明らかとなっており、この条件においては10-20 $\mu\text{m}$ の観測個数は(a)の条件の7倍を示す一方で、46 $\mu\text{m}$ 以上にはほとんど観測されたものがなくなった。

図4は、この装置を用いノズルより一定距離においての衝撃圧力の可視化を行ったものである。(A)は5cm/空気混入なし、(B-1)は5cm/空気混入あり、(B-2)は10cm/空気混入ありの条件であり、強い圧力が観測されるほど濃く表示される。この最小測定圧力は0.05MPaであるが、これは水噴射のみの圧力の1000倍以上の値であるものの空気導入時において測定がなされており、(B-1)については0.20MPa以上の測定面積が広がっている。空気を導入したMBJを用いると見た目の衝撃圧力を高めることができる。



(a) During the experiment



(b) After 24hours of the experiment

Fig.3 Bubbles diameter distribution

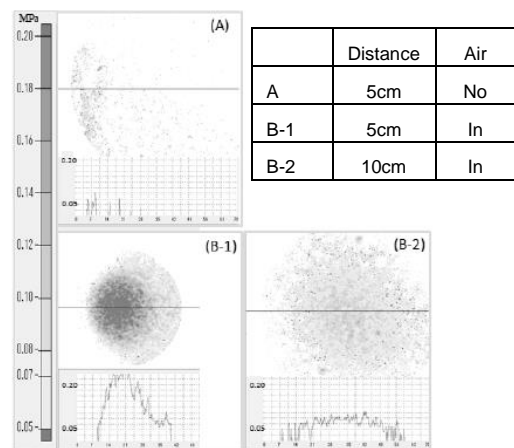
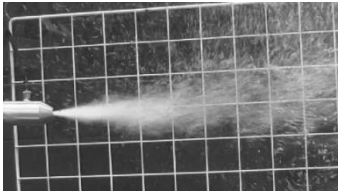


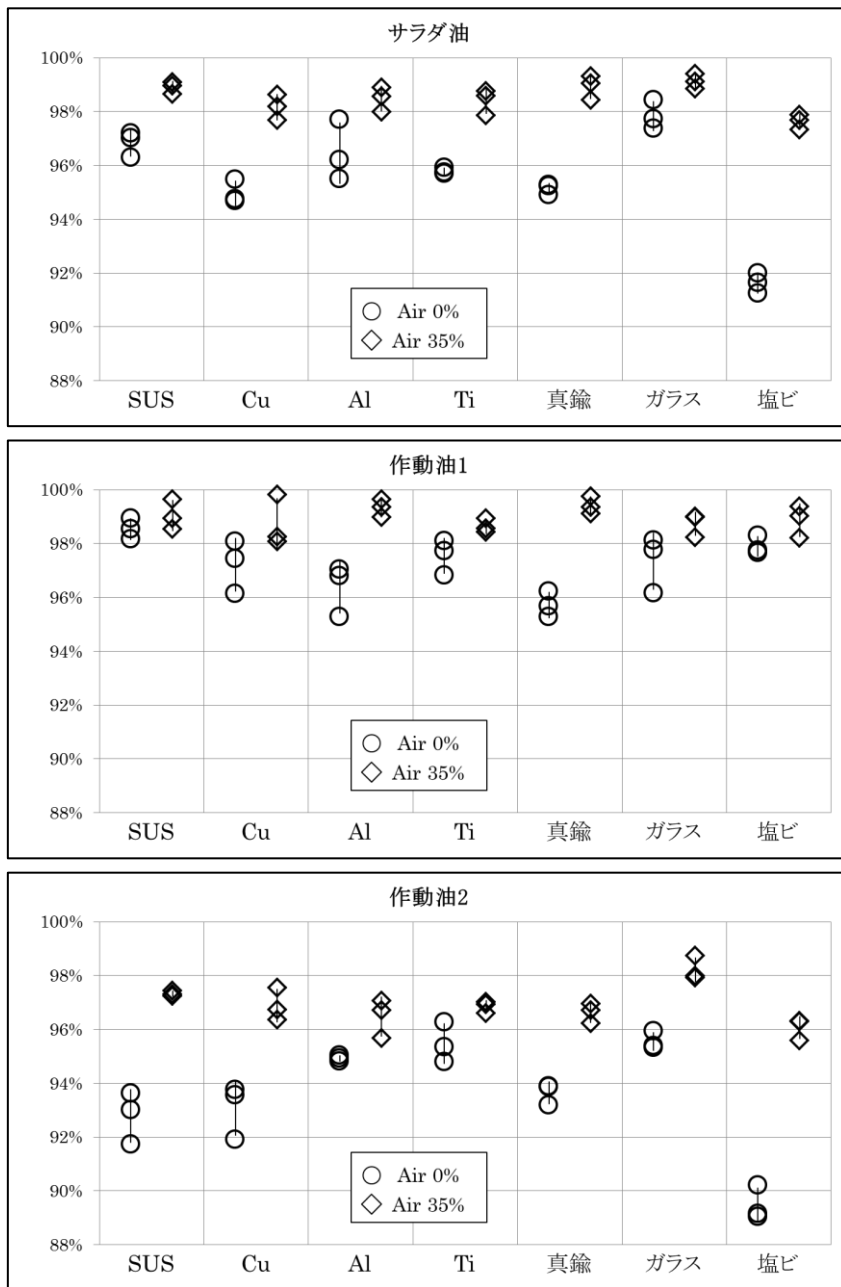
Fig.4 Flow of MJB and visualization of impingement pressure distribution for each distance from the nozzle\*5



**Fig.5** Running the nozzle with 35% Air

**Table 1** Experiment condition

	噴射水圧	水流量	空気流量	水に対する空気量
空気導入有	0.237MPa	9.5L/Min	3.3L/Min	35%
空気導入無	0.222MPa	10.4L/Min	0.0L/Min	0%



**Fig.6** Cleaning effect for various materials

**Table 2** Cleansing effect for various oil and materials

	サラダ油		作動油 1		作動油 2	
	空気無	空気 35%	空気無	空気 35%	空気無	空気 35%
SUS	96.8%	98.9%	98.5%	99.0%	92.8%	97.3%
Al	96.5%	98.5%	96.4%	99.3%	94.9%	96.5%
Cu	95.0%	98.2%	97.2%	98.7%	93.1%	96.9%
Ti	95.8%	98.4%	97.6%	98.6%	95.5%	96.8%
真鍮	95.1%	98.9%	95.7%	99.4%	93.6%	96.6%
ガラス	97.8%	99.1%	97.3%	98.7%	95.5%	98.2%
塩ビ	91.6%	97.6%	97.9%	98.9%	89.5%	96.1%

### 3-2 洗浄実験結果

これらの条件を示すノズルを含む装置にて、水に対し空気を 35%混入する場合と、空気を混入しない場合の 2 条件下において、被汚染物に対する汚染物ごとの洗浄率を測定した。この時の噴射水压、水流量、空気流量を表 1 に示す。この実験で使用したサラダ油は家庭用に市販されているもので、作動油 1 は AERO HF (エクソンモービル)、作動油 2 はダフニースーパーハイドロ 46A (出光興産) である。作動油 1 の粘度は ISO VG 14、作動油 2 は ISO VG 46 であり、後者の方が高い粘度である。

表 2 及び図 6 に結果を示す。被汚染物の材質は金属系 5 種及びガラス、塩化ビニルの計 7 種を用意した。空気導入が無い場合、金属系の洗浄では 92%以上の平均洗浄率を記録した。ガラスは 95%以上、塩ビの場合は 89%以上となった。空気を 35%導入すると、全ての汚染物種・被汚染物材質において洗浄率の増加が見られ、その値はサラダ油で 97%以上、作動油 1 で 98%以上、作動油 2 で 96%以上となった。

## 4. 結言

MBJ を使用することにより、溶剤を導入せずにも汚れを除去させることができる。また、空気を外部から導入させることにより見た目の衝撃圧力が高まり、洗浄効果が高まった。

今後、MBJ による溶剤レス洗浄のメカニズムを明らかにするとともに更なるノズル形状の最適化を行い、より高い洗浄技術の構築を目指していく。

## 引用文献

- \*1 高橋正好 (2006) 微細気泡の最新技術, エヌ・ティー・エス
- \*2 Takahashi, M., (2006) Food Technology Forum (JSAM 2006 symposium), 24-31
- \*3 宮本誠ら (2005) マイクロ・ナノ熱流体ハンドブック, エヌ・ティー・エス, 340-347
- \*4 青木克巳, 興津史朗 (1969) 水中噴射時における気泡形成と発振現象, 東海大学紀要工学部, 1969-1, 65-74
- \*5 加藤克紀, 奥津俊哉, 青木克巳 (2015) 旋回流型マイクロバブル生成ジェット装置の特性と衝突圧力の可視化, 日本混相流学会 混相流シンポジウム