

## ナノバブルの生成及びその検証 [粒度分布測定] 及びナノバブルの用途実証事例

Nano-bubble generation, bubble size measurement and industrial applications of nano-bubbles

辻 秀泰 (株協和機設)

TSUJI Hideyasu

**Abstract** Nano-bubble generators using swirling flow were manufactured. The time dependence of bubble size distribution was investigated. The zeta potential of nano-bubbles was measured. In addition, the peak particle size in the particles size distribution was about 70 nm in ultra pure water. It was found in the experiment that the number of nano-bubbles decreased using ultrasonic wave.

**Keywords:** Nano-bubble, Bubble size distribution, Zeta potential, Ultrasonic wave

## 1. ナノバブル生成高速せん断装置の製作

ナノバブル生成方式としては、気液混合せん断方式を使用した。ナノオーダーのバブルを生成するに当たり最大の関門は、微細孔に高圧で加圧した生成方式は、加工された微細孔径以下のバブルを、発生させる事は難しいため、いかに小さくそして、バブル自身に帯電させる手段として、せん断方式を採用した。せん断応力を出来るだけ小さなエネルギーにて実現し、また、流体分離を形成し、さらに、流体分離層が、それぞれの密度差に基づくせん断によるはがれ現象を生じさせるような高速せん断装置を製作した。

高速せん断装置の概略図を Fig.1 に示すが、各部のサイズ選択の最適化を、試行錯誤に基づきながら実験的に実施した。開発の初期、高速せん断装置の製作にあたり市販鋼材肉厚 1.2mm~6.2mm ものにて、試作を開始した。また、下図の各 a ~ f の口径及び取り付け位置を実験的に検討した。

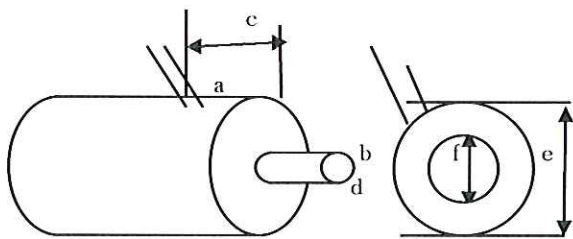


Fig.1 Schematic view of a nano-bubble generator

図説明 a 液体・気体流入口 b ナノバブル吐出口  
c 流入口と吐出口の距離 d 吐出口の口径  
e 外径寸法 f 内径寸法 (最重要)

高速せん断装置開発にあたり a より液体流入は、0.8Mp。気体は、毎分 0.6L 圧力 0.15Mp で初期試験に置いて円筒形内部に置いて十分な高速回転速度を得る事ができ b よりナノオーダーバブルが吐出するものと期待をして設定した。しかし前述した市販鋼材肉厚 1.2mm~6.2mm のステンレスでは、円筒形内部に置いて高速回転の運動エネルギーが円筒形内部より円筒形外部に振動波として伝わり、振動が生じて回転運動エネルギーが減少していたため、円筒形素材肉厚を 12mm に変更する事で回転運動エネルギーのロス

を防止できた。また、最重要な寸法として、記号 f の円筒形内部直径の決定のために、多数回の製作と実験を実施した。さらには、a の取り付け角度・c の取り付け位置 d の長さのすべての要素が整って気液分離層の形成とその分離層でのせん断に基づくはがれ現象が生じてマイクロオーダーバブルの引きちぎりが発生しているものと考えている。また、ナノバブル生成装置の開発にあたり出来るだけ小さいエネルギーでナノオーダーバブルの生成を実現することに取り組み、現在では、0.18kw~2.0kw の消費電力で、産業・工業に利用出来る装置が完成している。

## 2. 生成したナノバブルの粒径分布と特性

生成したナノバブルの計測は、BECKMAN COULTER 社のコールターカウンタを使用して実施した。Fig. 2 に、生成時の粒度分布と、生成から 42 時間後~三か月後の粒度分布を純水(野地元薬品製造)を用いて生成した空気バブルの実験について示す。バブル総個数の減少が確認されるが、粒径で小さい側の個数変化は見られない。このような長時間バブルとして存在できる要因があるものと思われる。

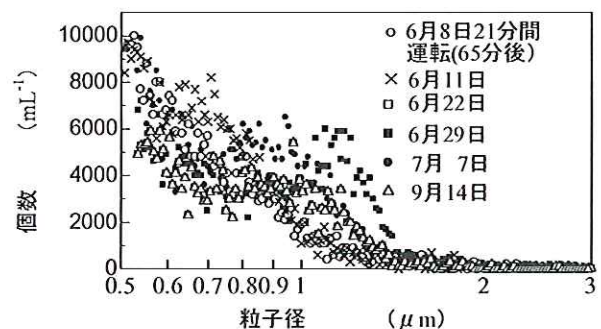


Fig.2 Time dependence of bubble size distribution

Fig.3 には、生成したバブルのゼータ電位を大塚電子製の測定器で測定した結果を示す。ゼータ電位は、生成場所の環境・使用液体・使用気体及び装置の材質その他と多くの条件設定の影響を受け、広い範囲に分布している。ゼー

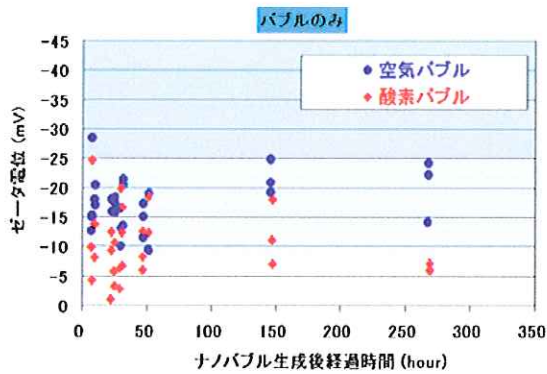


Fig. 3 Zeta potential of nano-bubbles

タ電位に再現性を持たせることは、もっとも重要な点の一つであるが、多くの用途を考えると、条件を特定できない。

通常環境での利用がもっとも多く、水道水・工業用水・井戸水でのナノオーダーバブルの生成を最重要な観点としている。次に、コールターカウンタで測定された粒度分布がバブルであるとの確証を得るため、以下の実験を行った。Fig.4 に示すように、純水にてナノバブルを生成し、粒径 500nm のピークが 10 万個/mL を持つ試料に約 10-40kHz の超音波を照射した直後の粒度分布測定では、個数が 8,000 個と減少したことから、何らかの粒子・細菌では個数の減少は無いものと考えられるので、バブルであると特定している。

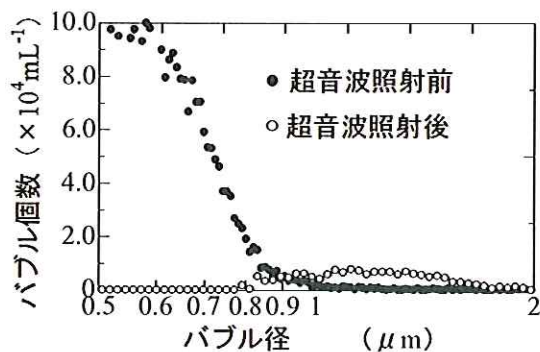


Fig.4 Effect of ultrasonic wave on bubble size distribution

本ナノバブル生成装置により実現しているバブルは、現在、Fig.5, Fig.6 に示すとおり、100nm をピークとする粒度分布を達成している。測定は、日本カンタムデザインにおいて、NANO.SIGHT の装置で測定実施し、70nm~90nm をピークとするバブルを検証し、1mm/L 中に約 400 万個~800 万個の存在を確認した。Fig.5 は、バブル生成後 24 時間後、Fig.6 は 48 時間後の測定結果である。なお、測定に使用したバブル水は 18.2MΩ/cm の純水である。

### 3. ナノバブルの用途実証事例

ナノバブルの活用用途としては、すでに応用されている、高速道路 SA のトイレ・尿石・臭気・洗浄。自動車産業ポリカーボネート洗浄・好気性微生物活性化があり、今後は、医療分野での応用が期待される。また、感染制御・水

耕栽培もすでに実用化を目指した開発を進めている。また、Fig.7 に写真を示すが、ナノバブルの応用として、NaCl の結晶は、通常立方体形状であるが、常温・常圧下でナノバブルを一滴添加すると針状結晶となることも見出している。

なお、今後の課題として、本ナノバブル生成高速せん断装置で実現しているナノバブルの物性及び特性の解明を、是非、各分野の研究者の方々をお願いしたいと考えている。

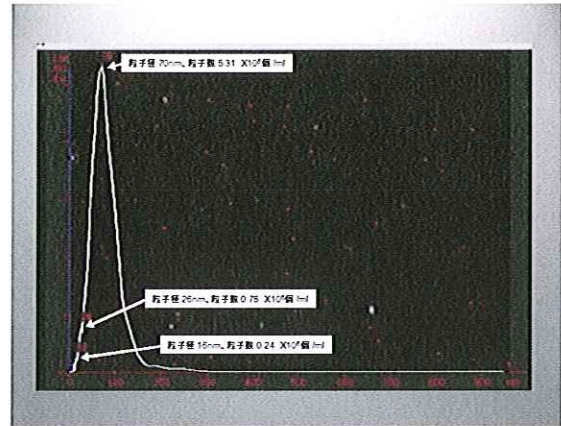


Fig.5 Bubble size distribution (24 hours after bubble generation)

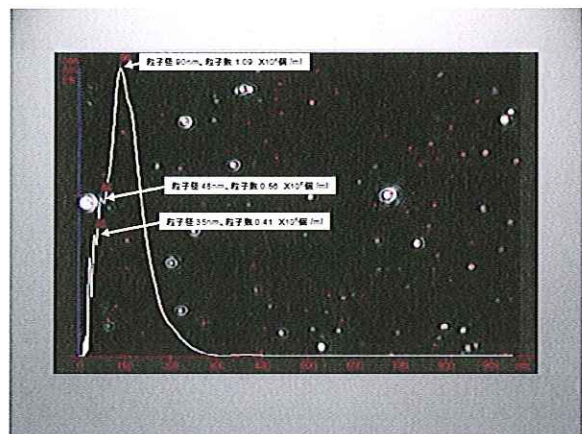


Fig.6 Bubble size distribution (48 hours after bubble generation)

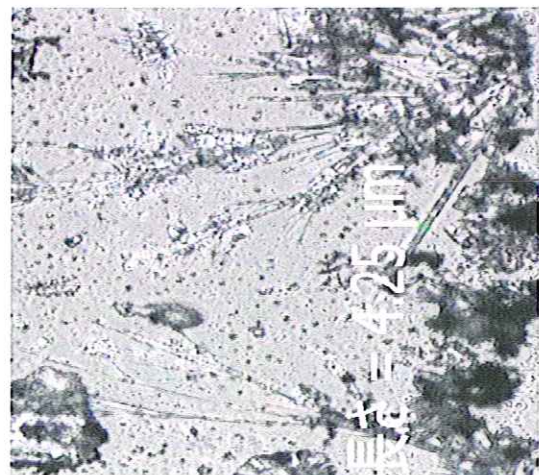


Fig.7 Needle crystal of NaCl