

# nanoGALF 技術を用いた高密度極微細気泡生成システムの開発

Development of high density nano-bubbles generation system by nanoGALF technology

○ 柏雅一 (IDEC)、木村春昭 (IDEC)、石田芳明 (IDEC)、

徳田潤 (IDEC)、藤田俊弘 (IDEC)、寺坂宏一 (慶應大)

○ KASHIWA Masakazu, KIMURA Haruaki, ISHIDA Yoshiaki,  
TOKUDA Jun, FUJITA Toshihiro, TERASAKA Koichi

**Abstract** Fine bubble generation system (microGALF) can make micro bubbles which have diameter of about 20 $\mu$ m. The Micro bubbles were used dissolved air flotation, lake water purification, agriculture, soil treatment and biodiversity. We developed high density nano-bubbles generation system redesigning fine bubble generation system and extended flow rate of nano-bubbles generation system to 6.0 m<sup>3</sup>/h.

**Keywords:** Microbubble, Nanobubble, Bubble, Dissolved gas, Bubbles generation

## 1. 緒言

GALF (Gas Liquid Form) 方式は、加圧溶解法による気泡生成方式の一種である。この GALF 方式は、Fig. 1 に示したような構成で、以下の管路断面積の増減作用により超微細気泡を生成する。[1]-[4]

- ポンプなどの圧送手段で、ベンチュリー管状の流路に形成されたのど部に液体を圧送し液体の静圧を低下させる。

- ベンチュリー管路出口付近の拡大管路でまだ静圧が十分低い部分に設けられた気体吸引口から気体を吸引させ気液混相流を形成させる。

- 気液混相流は、加圧部で管路を徐々に拡大することにより、流速が減少し静圧が上昇する。静圧が上昇した気液混相流は、下流の加圧部で気体が液体に溶解することで加圧水を形成する。

- 加圧水は、管路出口に設けられた減圧部で流速が上昇し静圧が減少することで、溶解している気体が過飽和状態となり、平均気泡径 20 $\mu$ m の超微細気泡として析出する。

GALF 方式の超微細気泡発生装置は、0.24 m<sup>3</sup>/h ~ 120 m<sup>3</sup>/h の各流量仕様が開発され、排水処理や湖沼浄化のための加圧浮上分離装置としての応用だけでなく、土壌浄化、農業分野、太陽電池製造過程、生物多様性などに幅広く使用されている[5]。

最近、直径 1 $\mu$ m 以下のナノバブルの存在が確認され、ナノバブルを含んだ水が植物栽培、医療、食品、薬品、半導体製造、太陽電池製造などの幅広い分野で効果をもたらすことが予測され、今後これらの分野での応用研究が期待されている。

著者らは、流量 0.24 m<sup>3</sup>/h の GALF 方式において Fig. 2 に示したように気体吸引部分を拡大管路から平行管路への変更、気液溶解管路の流速・圧力などの最適化、管路出口の減圧部分に平行部を設けて減圧時の流速を安定させるなどの改良を行い、GALF 方式を応用したナノバブル発生装置 (nanoGALF) を開発した。このナノバブル発生装置において、1mL あたり 1.0 $\times$ 10<sup>8</sup> 個以上のナノバブルの発生が確認された [6]-[8]。

## 2. 目的

先に開発した流量 0.24 m<sup>3</sup>/h のナノバブル発生装置は、研究室レベルでの実験・検証に適した容量と考えられるが、実際の生産設備、排水処理設備、土壌浄化設備などに使用されるナノバブル発生装置は、1.0 m<sup>3</sup>/h 以上の大流量が要

求されることが予測される。

そこで、本研究では、超微細気泡発生装置で培った流量拡大の経験を基に、流量 0.24 m<sup>3</sup>/h のナノバブル発生装置をスケールアップした 1.0 m<sup>3</sup>/h、6.0 m<sup>3</sup>/h ナノバブル発生装置を製作し、これらの装置でナノバブルを発生させそれらの計測を行いスケールアップの検証を行う。

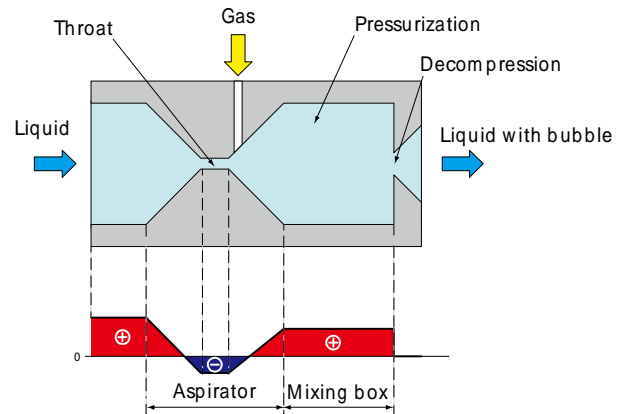


Fig.1 Schematic diagram of microGALF system

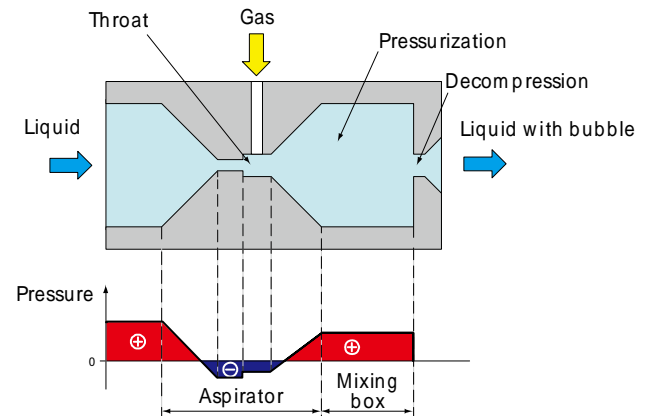


Fig.2 Schematic diagram of nanoGALF system

### 3. 実験方法

Table 1 にナノバブル製造時の操作条件を示す。ナノバブル製造の原料水としては、バックグラウンドとして検出される粒子数をできるだけ少なくするために蒸留水を用いた。

液体圧送方法として、0.24 m<sup>3</sup>/h は、ロータリーベーンポンプを使用し、1.0 m<sup>3</sup>/h と 6.0 m<sup>3</sup>/h は、それぞれの流量に適合した縦型多段渦巻きポンプを使用した。

また、ナノバブルの計測には、NanoSight 社の LM20 を使用した。LM20 は、ナノ粒子の側方散乱光を動画撮影し、粒子のブラウン運動速度の解析から粒子径を求め、同時に被写界の粒子数を解析して単位体積あたりの粒子数を求めることができる装置である。

Table 1 Operation conditions of nanoGALF

Gas	Air
Water	Distilled Water
Pressure in mixing box (MPa)	0.3
Recurrence rate	30

### 4. 実験結果および考察

Table 2 に液流量 0.24 m<sup>3</sup>/h、1.0 m<sup>3</sup>/h、6.0 m<sup>3</sup>/h の各ナノバブル発生装置で製造したナノバブル水の計測結果を示す。ここに示したナノ粒子数は計測器で求められた 1~1000 nm の粒子の合計であり、ナノ粒子分布は計測器で求められた 1nm 間隔に含まれるナノ粒子数を示したものになる。

Table 2 の気泡数密度によるとすべての流量において、1.0 mL あたりのナノバブル数が 1.0×10<sup>8</sup> 個以上となっている。これは、スケールアップを行ってもナノバブル発生能力が維持されているためと考えられる。

Table 2 の気泡径分布によると全ての流量において、100 nm 付近をピークとした分布になっている。これは、本ナノバブル発生装置で発生させたナノバブルが 100 nm 付近に収束する性質を持っているためと考えられる。また、この性質からもスケールアップ後もナノバブル発生能力が維持されていることが確認される。

これらのことから、超微細気泡発生装置で経験した流量拡大技術を基にしたスケールアップがナノバブル発生装置のスケールアップにも応用できることを示していると考え

られる。

また、0.24 m<sup>3</sup>/h と 1.0 m<sup>3</sup>/h、6.0 m<sup>3</sup>/h はポンプ形式が異なるが同様の計測結果が得られていることから、ナノバブル生成にポンプの形式が関係なくナノバブル発生装置の構造のみが関係することが確認された。

### 5. 結言

本研究によって、ナノバブル発生装置に対しても、超微細気泡発生装置で培った流量拡大の経験を基にしたスケールアップが可能であることがわかった。今後、この結果を基に更にスケールアップした装置や今回製作した装置の隙間流量のナノバブル発生装置の開発を推進していく。

### 6. 参考文献

- [1] IDEC REVIEW1993 和泉電気株式会社 p 8-p 18 (1993)
- [2] 柏雅一ほか 日本機械学会関西支部定時総会講演会講演論文集 vol. 72nd, 4. 9-4. 10 加圧管路方式による微細気泡の生成 (1997)
- [3] 中山正明ほか 日本機械学会創立 100 周年記念北陸信越支部記念式典・講演会・公開シンポジウム講演論文集 p 237-238 (1997)
- [4] 柏雅一ほか 日本機械学会創立 100 周年記念北陸信越支部記念式典・講演会・公開シンポジウム講演論文集 p 235-236 (1997)
- [5] 石田芳明ほか, 混相流学会 第 2 回マイクロバブル・ナノバブル技術講習会, p29-40 (2010)
- [6] 前田重雄ほか, 分離技術会年会 2011 講演会 nanoGALF による直径 100nm のナノバブルの高密度・安定構造と粒子数の測定(2011)
- [7] 前田重雄ほか, 日本混相流学会年会講演会 nanoGALF 技術による直径 100nm のナノバブルの高密度・安定構造(2011)
- [8] 前田重雄ほか, 日本混相流学会年会講演会 3 種の粒径計測法による nanoGALF により生成したナノバブルの測定(2011)

Table 2 Results of the experiment

Water flow rate	0.24 m <sup>3</sup> /h	1.0 m <sup>3</sup> /h	6.0 m <sup>3</sup> /h
Pump type	Rotary vane	multiple centrifugal	multiple centrifugal
Bubble number density	1.17×10 <sup>8</sup> mL <sup>-1</sup>	1.43×10 <sup>8</sup> mL <sup>-1</sup>	1.17×10 <sup>8</sup> mL <sup>-1</sup>
Particle size distribution in nano-bubble water			