

nanoGALF 技術による直径 100nm のナノバブルの高密度・安定製造

The high-concentrated stable production of ID 100 nm - nano-bubbles by nanoGALF technology

○前田重雄 (IDEC,大阪大) 小林秀彰 (IDEC) 徳田潤 (IDEC) 柏雅一 (IDEC) 木村春昭 (IDEC)

石田芳明 (IDEC) 藤田俊弘 (IDEC) 寺坂宏一 (慶應大) 桑畑進 (大阪大)

○MAEDA Shigeo, TOKUDA Jun, KASHIWA Masakazu, KIMURA Haruaki

ISHIDA Yoshiaki, FUJITA Toshihiro, TERASAKA Koichi, KUWABATA Susumu

Abstract GALF is classified as a pressurized duct line method which is one of the pressurized dissolution methods. Recently, applications of the nano-bubble to various fields are expected, but the number of the nano-bubble in the water is not elucidated clearly so far. In this study, the existence and stabilization of nano-bubble after the generation of bubbles by GALF were investigated. The presence of nano-sized particles was detected through laser induced technique developed by NanoSight Ltd. The technique is based on the simultaneous tracking and analysis of trajectories of individual particles moving under Brownian motion when illuminated by a specially configured laser beam.

Keywords: Nano-bubble, Pressurized dissolution method, Tracking analysis, Particle size distribution, Bubble stability

1. 緒言

GALF (GAs Liquid Foam) は、加圧溶解方式の一種に分類され、気液混合、気体の液体への加圧溶解、減圧による溶解気体析出を一連の連続した配管の管路断面面積の増減で行う方式である。従来の超微細気泡生成 (microGALF) 技術は、平均直径 20 μ m のマイクロバブルを安定的に生成することができ、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、土壌浄化や農業応用、生物多様性への応用などにも利用されている[1]。

著者らは流体力学に基づいて気泡生成装置を最適設計することにより、ナノバブルを高密度・安定的に生成可能な極微細気泡生成 (nanoGALF) システムを開発した[2]。このナノバブル水は食品・化粧品・薬品・半導体・植物育成など幅広い分野での応用研究が期待される。またマイクロバブル発生装置で培った流量拡大の経験を生かしたナノバブル発生装置のスケールアップの検討も行っている[3]。

本研究ではレーザー光散乱を利用したトラッキング法 (追尾法) を用いて nanoGALF により生成したナノバブルの粒子サイズおよび粒子数の測定を行なうとともに、ナノバブルの粒子数、粒子サイズの経時安定性の評価を行った。

2. 実験方法

実験には流量 0.24m³/h のナノバブル発生装置を用いた。Table 1 には nanoGALF によるナノバブル水の製造時の操作条件を示した。ナノバブルを製造する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低くするために蒸留水を用いた。またナノバブルの計測には NanoSight 社の LM20 を用いた[4]。この装置では、Fig.1 に示すように液中を浮遊するナノバブルに水平照射したレーザー光の側方散乱光を対物レンズで捉えて撮影される。さらに動画上で認識された全ナノバブルをトラッキングし、ブラウン運動速度から粒子サイズと粒子数が同時に計測された。

また同一ロットのナノバブル水を毎日計測し、製造後 3

日間のナノバブルの粒子サイズと粒子数の変化を測定した。

Table 1 Operation conditions of nanoGALF

Gas	Air
Water	Distilled Water
Volume of water (L)	4
Pressure in mixing box (MPa)	0.3
Bubble generation time (min)	30
Water flow rate (L/min)	4

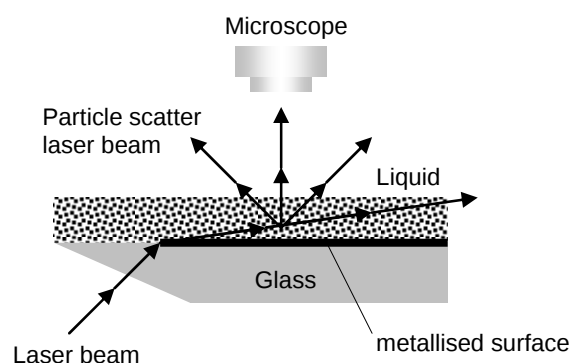


Fig.1 Principle of measurement system (LM20)

3. 実験結果および考察

予め準備した蒸留水 (ブランク) 中の総粒子数を測定し、 0.05×10^8 個/mL を得た。この蒸留水を用いて nanoGALF システムを使用して空気ナノバブル水を製造した。Fig.2 に LM20 により測定した製造直後のナノバブル水中の粒子個数分布を示した。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．これよりブランクに対して 28 倍の総粒子数である 1.42×10^8 個/mL の粒子が観測された．さらに同一のナノバブル水サンプルを 4 ヶ月間保管したのちに同一の計測を行ったところ、総粒子数は 0.05×10^8 個/mL まで減少した．粒子数が nanoGALF 通気前、通気直後、長時間経過後にしたがって大きく変化が観察されたことより、粒子は気体からなると推定した．

同一ロットのナノバブル水の総粒子数の経時変化の様子を Fig.3 に示す 4 ヶ月後にはナノバブルが消滅しているのに対して 3 日間程度であればナノバブルは約 1×10^8 個/mL の密度を保っていることがわかる．これは製造後しばらくの後に浮上により空气中に拡散してしまうマイクロバブルとは大きく異なるナノバブルの特長である．

LM20 によるナノバブルの粒子サイズの計測では、計測ごとに粒径分布が異なるプロファイルを示しており、ナノバブルが生成、消滅を繰り返している可能性を示唆する結果となっている．しかしながら、複数回の測定データを平均化することにより粒子サイズは比較的安定なプロファイルとなることを確認した．粒子サイズの測定データを平均化した場合の粒子サイズの経時変化を Fig.4 に示す．3 日間にわたり粒子サイズは約 100nm を保っていることが分かる．これはナノバブルが生成、消滅を繰り返している可能性を有しているものの、3 日程度の期間においてはナノバブルの生成、消滅が平衡状態となっていることを示しており、水中にはナノバブルが安定的に存在していることを示している．

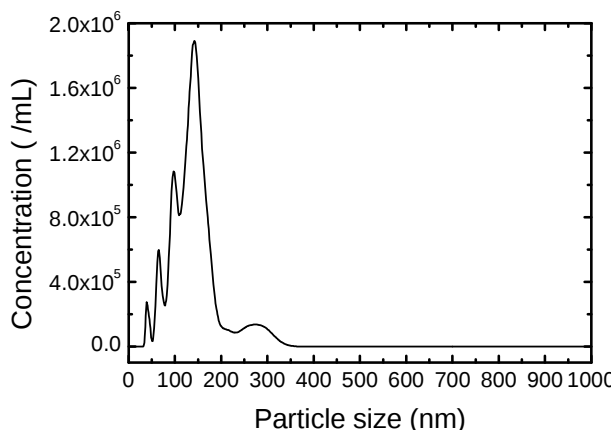


Fig.2 Particle size distribution of nano-bubble water

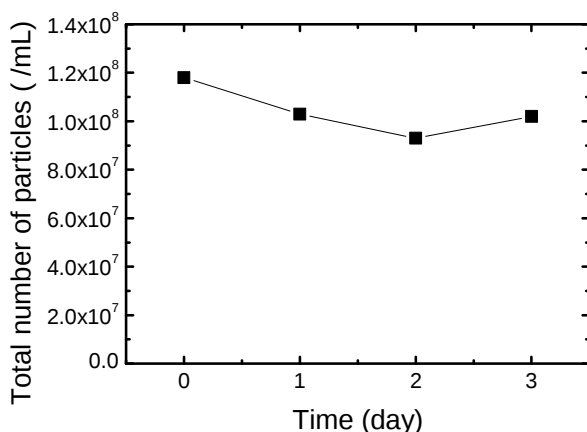


Fig.3 Time-dependence change of total number of particles

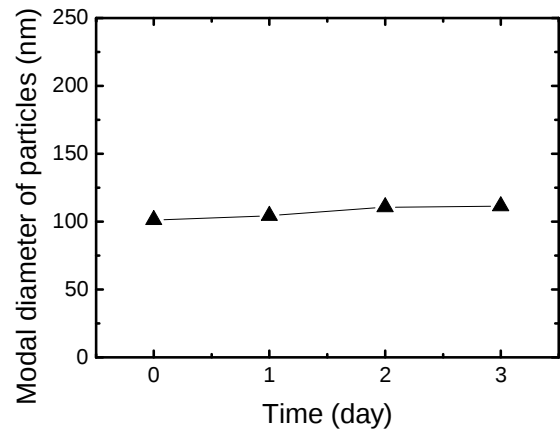


Fig.4 Time-dependence change of modal diameter of particles

4. 結言

nanoGALF により製造した水中には直径 100nm をモード径にもつナノバブルが 1 億個/mL 以上の数密度で存在することが確認された．またナノバブルの総粒子数や粒子サイズは製造後 3 日間は大きな変化が無く、ナノバブルが水中に安定に存在していることが確認された．また 4 ヶ月後にはこのナノバブルが消滅していることも確認した．

参考文献

- [1] 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).
- [2] http://www.idec.com/jpja/news_and_events/press_releases/11/PR110524.html.
- [3] 柏雅一ほか，日本混相流学会年会講演会 2011 講演論文集，nanoGALF 技術を用いた高密度極微細気泡生成システムの開発(2011).
- [4] マイクロバブル・ナノバブルの最新技術 II、(株)シーエムシー出版.
- [5] 前田重雄ほか，分離技術年会 2011 講演論文集，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)．
- [6] 前田重雄ほか，日本混相流学会年会講演会 2011 講演論文集，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)．