

2種類の原理の計測法を用いた ultrafineGALF により生成した

ウルトラファインバブルの数密度測定

Measurement of number density of ultrafine bubbles generated by ultrafineGALF using two types of measurement methods

○前田重雄(IDECC), 小林秀彰(IDECC), 柏雅一(IDECC), 井田勝久(IDECC), 西原一寛(IDECC), 藤田俊弘(IDECC),

後藤邦彰(岡山大), 綾信博(産総研), 寺坂宏一(慶應大)

○MAEDA Shigeo, KOBAYASHI Hideaki, KASHIWA Masakazu, IDA Katsuhisa, NISHIHARA Ikkan, FUJITA Toshihiro, GOTO Kuniaki, AYA Nobuhiro, TERASAKA Koichi

Abstract We have developed an ultrafine bubble generating system, ultrafineGALF, upgrading the microGALF system. Quantitative measurement of ultrafine bubbles is very important for the research and development of ultrafine bubbles. The ultrafineGALF system can generate a dense population of more than 1×10^9 ultrafine bubbles per ml. The measurement of the number of ultrafine bubble density was limited to particle tracking analysis method until now. We report a result of the number of ultrafine bubble density using the electrical resistance zone method in this paper. The results from the electrical resistance zone method were compared, in terms of particle size distribution and number density, with those from the particle tracking analysis method, which uses a different measurement principle. The particle size distributions yielded by both methods were almost the same, and showed a moderate correlation between the number density results obtained by each.

Keywords: Ultrafine bubble, Pressurized dissolution method, Electrical sensing zone method, Particle tracking analysis

1. 緒言

現在、サイズが $1 \mu\text{m}$ 以下のウルトラファインバブル (Ultrafine bubble: UFB) にも大いに関心が集まっている。1990年代には、計測方法も確立していなかったが、昨今いくつかの計測装置がこの気泡径領域で存在するようになった。我々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、UFBを高密度・安定的に生成可能なUFB生成システム (ultrafineGALF) を開発した[1]。

ultrafineGALFにより生成したUFBはNanoSight (粒子トラッキング解析法)により10億個/mL以上の数密度で存在していることが確認されているが、これまでUFBの数密度測定は粒子トラッキング解析法に限られていた。今回、電気抵抗パルス法を用いて、UFBの数密度測定を行った結果について報告する。

2. 実験方法

UFBの製造に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。UFBの製造にはultrafineGALF (IDECC製)を使用し、バブルを製造するためのガスとしては空気を用いた。UFBの数密度測定に用いた2種類の計測装置の仕様をTable 1にまとめる。粒子トラッキング法はFig. 1に示すように液中を浮遊するUFBにレーザー光を水平照射することで側方散乱光を検出し、ブラウン運動速度から粒子径・数密度を計測する革新的手法であり、その先駆的な方法により多くのUFB計測に用いられてきた[2]。Table 1に示した通り、粒子トラッキング法の粒径計測範囲は30~1000 nmである。

qNanoは電気抵抗ナノパルス方式を採用しており、Fig. 2に示すようにナノポアを挟んだ溶液中に電圧を印加し、溶液中に含まれるナノ粒子が細孔を通過する際に発生する電気抵抗ナノパルスを計測する原理である。ナノパルスは粒子の体積を示しており、長いパルスほど体積の大きい粒

子となり、ナノ粒子を1個ずつ絶対値で計測することが可能である。従来の電気抵抗法においては、粒径の計測下限が400 nmであったために、粒子トラッキング法で得られた粒径分布の一部しか観測することができなかった[3]。これに対してqNanoは粒径の計測下限が50 nmであり、UFBの粒径分布を測定することが可能である。

Table 1 Comparison of particle tracking analysis and electrical sensing zone method

Measurement methods	Particle tracking analysis	Electrical sensing zone method (Particle charge analysis method)
Product name	NS500	qNano
Manufacturer	NanoSight	IZON
Measurable size	10-1,000 nm	50-10,000 nm
Measurable number	10^7 - 10^{10} /mL	10^5 - 10^{10} /mL
Necessary pre-treatment	No need	Electrolyte addition

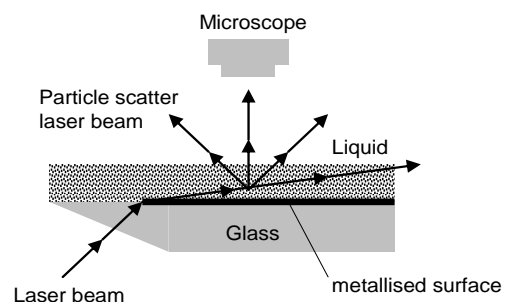


Fig. 1 Principle of particle tracking analysis method

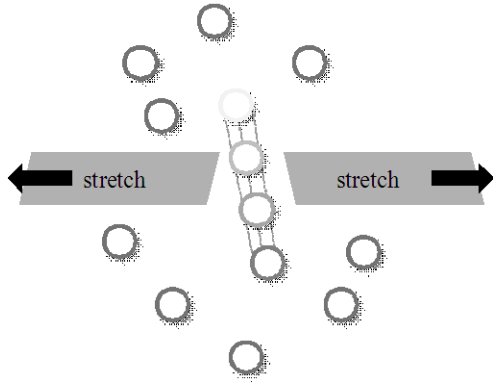


Fig. 2 Principle of electrical sensing zone method (Particle charge analysis method)

3. 実験結果および考察

数密度の異なる 2 種類の UFB 水を粒子トラッキング法 (NS500) および電気抵抗法 (qNano) で計測した結果を Fig. 3 に示す。これまで用いていた粒子トラッキング法と同様に電気抵抗法 (qNano) においても直径 100~200nm 程度の UFB が測定された。

粒子トラッキング解析法で数密度が 41 E8/ml と計測されたサンプルは電気抵抗法では 4.5 E8/ml であった。同様に粒子トラッキング解析法で数密度が 1.1 E8/ml と計測されたサンプルは電気抵抗法では 0.40 E8/ml であった。

今回の結果より電気抵抗法により UFB の数密度測定が可能であるものの、両者の測定結果には 1 桁程度の違いがあることがわかった。両者の数密度が異なる原因としては、

電気抵抗法での計測時に添加する KCl (100mM) による UFB の数減少などが考えられる[4]。このため、今後の更なる検討が必要である。

4. 結言

ultrafineGALF により生成した濃度の異なる 2 種類の UFB 水の数密度を計測原理の異なる測定法で計測した。電気抵抗法による数密度の測定は粒子トラッキング法と 1 桁程度値が異なるものの、両者の計測結果には相関があり電気抵抗法による数密度測定が可能であることが分かった。今後は、電気抵抗法による測定条件の検討など定量測定の精度向上に向けたより慎重な検討が必要である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、電気抵抗ナノパルス法による測定はメイワフォーシス株式会社西村俊祐氏に行っていた。ここに記し心より謝意を表す。

参考文献

- [1] 石田芳明ほか, 第 2 回マイクロバブル・ナノバブル技術講習会, Nov.12, pp. 29-40 (2010).
- [2] 前田重雄ほか, 日本混相流学会年会講演会 2011 講演論文集, pp. 430-431 (2011).
- [3] 前田重雄ほか, 日本混相流学会年会講演会 2011 講演論文集, pp.432-433 (2011).
- [4] Wu, C. et al., Advances in Colloid and Interface Science, Vol. 179-182, 123-132 (2012).

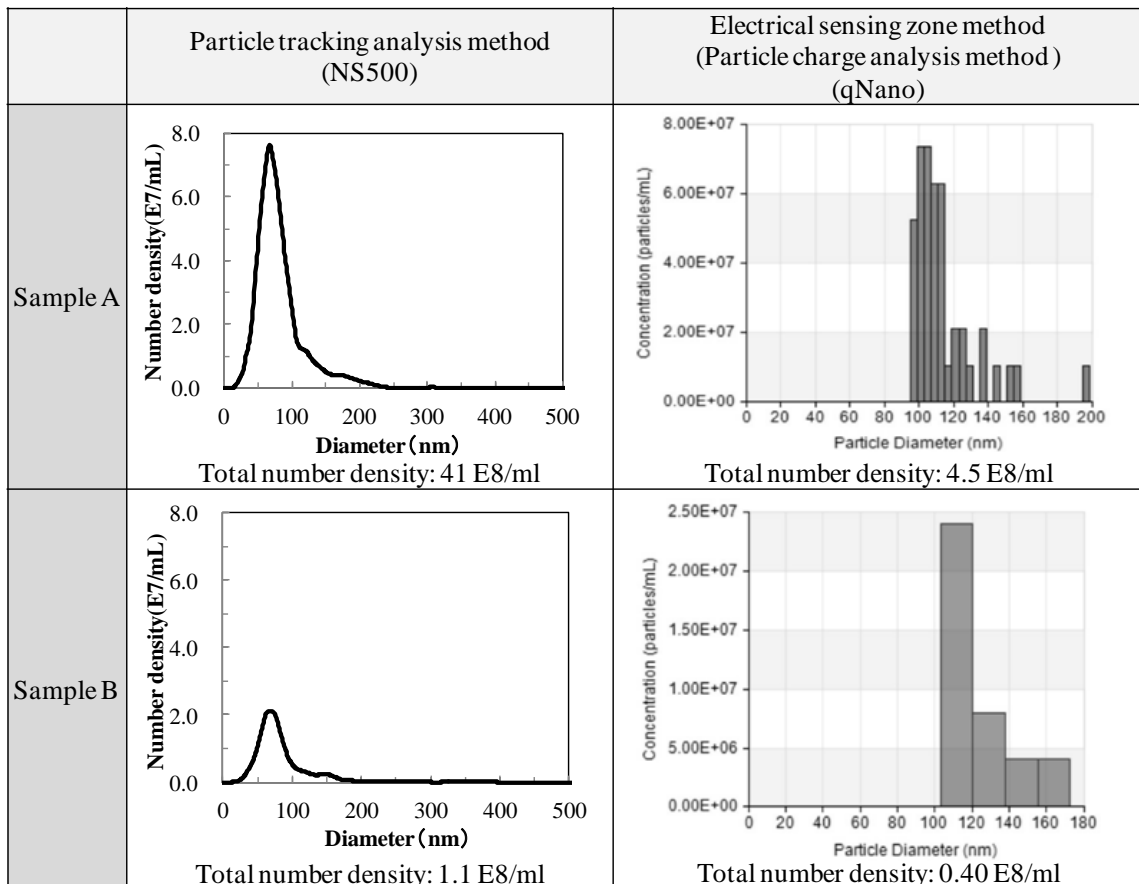


Fig. 3 Particle size distribution and total number density of UFB obtained by the particle tracking analysis method (NS500) and electrical sensing zone method (particle charge analysis method) (qNano).