

5 種類 10 台の異なる計測装置を用いた ultrafineGALF により生成した ウルトラファインバブルの粒子径測定とその相関性

Measurement and correlation of size distribution of ultrafine bubbles generated by ultrafineGALF
using ten measuring instruments with five different measurement principles

○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)

○MAEDA Shigeo, KOBAYASHI Hideaki, KASHIWA Masakazu, IDA Katsuhisa, NISHIHARA Ikkan, FUJITA Toshihiro

Abstract Ultrafine bubble water generated by ultrafineGALF were measured using: particle tracking analysis method, laser diffraction scattering method, dynamic light scattering method, resonance mass measurement method and electrical sensing zone method to examine the existence of ultrafine bubble in liquid during the period between 2009 and 2013. The result shows, for the first time in the world, that ultrafine bubbles in diameter of around 100 to 200 nm can be measured by any method. The results also suggest the possibility of determining the number density of ultrafine bubbles using the laser diffraction scattering method.

Keywords: Ultrafine bubble, Pressurized dissolution method, Dynamic light scattering method, Particle tracking analysis method, Laser diffraction scattering method, Resonance mass measurement method, Electrical sensing zone method

1. 緒言

ウルトラファインバブル (Ultrafine bubble : UFB) は、サイズが 1 μm 程度以下の微細気泡であり、食品への香り付加・化学合成・半導体洗浄・植物育成など幅広い分野での応用研究が期待されている。

当社は 1990 年頃から微細気泡に関する基礎研究を開始し、マイクロバブルについては 200 例を超える様々なアプリケーションに装置を適用してきた[1]。2009 年頃よりバブル発生装置の GALF (GAs Liquid Foam)で生成した UFB を複数の原理の方式で計測することに成功し、概ね 100~200 nm 程度の直径の UFB が存在することを定量的に確認した[2][3]。

その後、GALF 方式の構造設計を最適化することにより、UFB を高密度に生成可能な技術の開発に成功している。昨今、計測技術の進歩により、多様な原理の計測法で UFB の計測を行うことが可能になっている。本研究では、5 種類 10 台の異なる計測装置で UFB の測定を行った結果を示す。

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。製造した UFB の計測には Table 1 に示す 5 つの原理の 10 の装置を用いた。

粒子トラッキング解析法は液中を浮遊する UFB 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した後、動画上で認識された全ての UFB 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を同時に計測するものである。レーザー回折・散乱法は粒子からの散乱光パターンが粒子径に依存して異なることを用いた原理である。また、動的散光法は、粒子のブラウン運動の様子を散乱光強度の揺らぎとして観測することを測定原

理とした方式である。昨今、これらの光計測装置においては光源のレーザーの高出力化やセンサの高感度化を実現することで、UFB の測定が可能となっている。

共振式質量測定法は、マイクロ流体チャンネルが埋め込まれた共振式カンチレバーを持つ MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) センサにより微粒子を検出してカウントし、粒子径と質量、およびその分布を測定する手法である。電気抵抗法 (電氣的検知帯法) は粒子が細孔を通過する際に生じる、2 電極間の電気抵抗の変化を測定する原理である。

Table 1 Instruments used to measure ultrafine bubbles in this study, and the measuring principles involved

	Measurement methods	Product Name	Manufacturers/ Dealers	Measured by IDECC in
(a)	Particle tracking analysis	LM20/ NS500	NanoSight	Jun., 2010
(b)	Laser diffraction scattering	SALD7100HH	Shimadzu	May., 2011
(c)		HELOS	Sympatec	Dec., 2012
(d)	Dynamic light scattering	Zetasizer Nano	Malvern Instruments	Nov., 2011
(e)		ELSZ-2plus	Otsuka Electronics	Sep., 2012
(f)		NANOPHOX	Sympatec	Dec., 2012
(g)	Resonance mass measurement	Archimedes	Malvern Instruments	Oct., 2012
(h)	Electrical sensing zone	qNano	IZON	Dec., 2013
(i)	(Particle charge analysis)	Multisizer 4	Beckman Coulter	Nov., 2009
(j)		Elzone II 5390	Micromeritics	Jul., 2013

3. 実験結果および考察

Fig. 1-5 は異なる原理の計測法により測定された UFB の粒径分布であり横軸は粒子径を示している。原理の異なる計測法の計測範囲と UFB の計測結果を Fig. 6 にまとめる。原理の異なる全ての計測手法において、直径 100~200 nm 程度の UFB が測定された。

一般的にレーザ回折・散乱法や動的散乱法は UFB の数密度を測定することが出来ないが、数密度を計測可能な粒子トラッキング法の測定値との関係性を評価することにより定量測定の可能性を検討した。Fig. 7 に NS500 で計測した UFB の数密度と SALD7100HH で計測した UFB からの散乱光強度の積算値との関係を示す。Fig. 7 より、数密度の増加とともに散乱光強度が増加することが確認されており、レーザ回折・散乱法による数密度計測の可能性を示唆している。また、同様の傾向は動的散乱法においても確認されている。

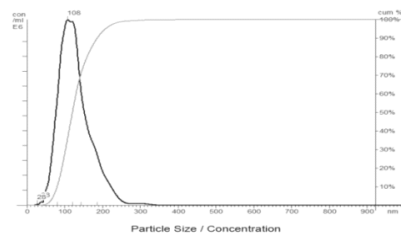


Fig. 1 Measurement results obtained by particle tracking analysis method (NS500 (a))

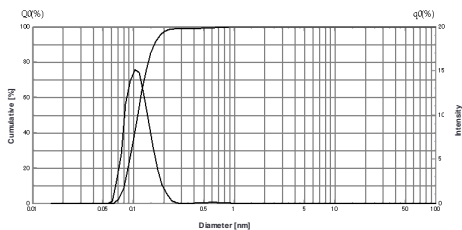


Fig. 2 Measurement results obtained by laser diffraction scattering method (SALD7100HH (b))

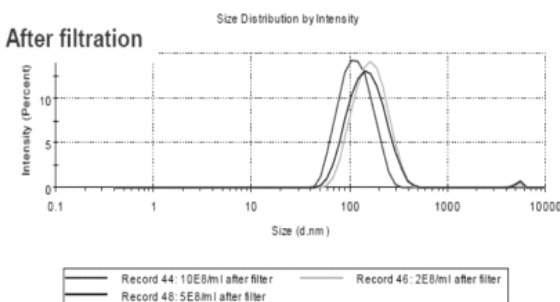


Fig. 3 Measurement results obtained by dynamic light scattering method (Zetasizer Nano (d))

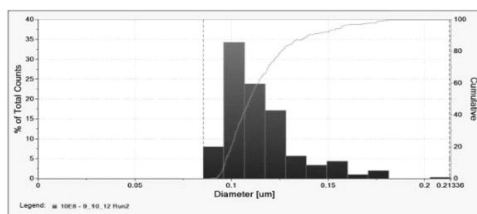


Fig. 4 Measurement results obtained by resonance mass measurement method (Archimedes (g))

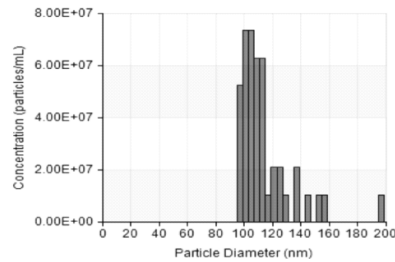


Fig. 5 Measurement results obtained by electrical sensing zone method (qNano (h))

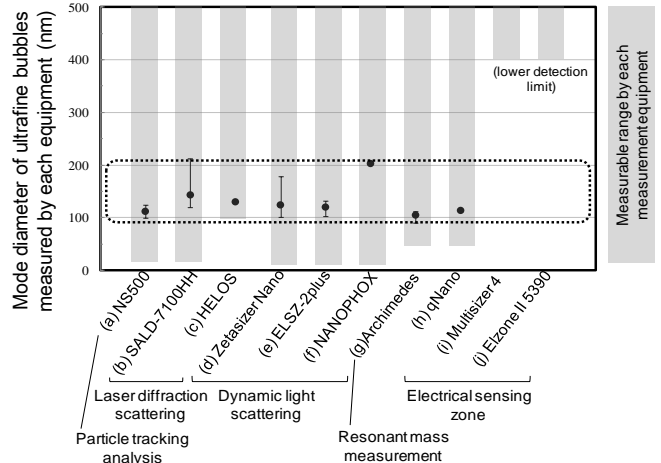


Fig. 6 Mode diameter of ultrafine bubbles measured by each measurement equipment and the measurable range involved

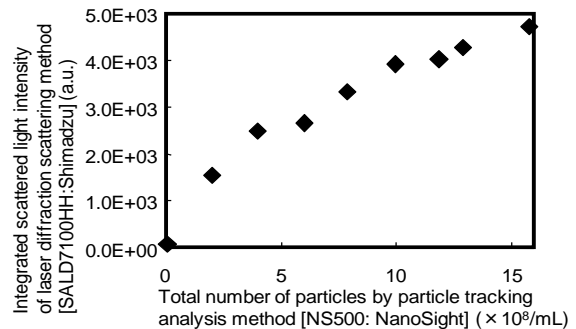


Fig. 7 Relationship between the number density of ultrafine bubbles measured by NS500 and the integrated value of light scattered using SALD7100HH

4. 結言

ultrafineGALF により生成した UFB 水を計測原理の異なる 5 種類 10 台の計測装置で計測した。結果、原理が異なる計測方法で測定を行っても、概ね 100~200 nm 程度の径の UFB が計測されることを世界で初めて明らかにした。

謝辞

本研究の遂行にあたり各計測器メーカーに多大なるご協力をいただきました。ここに記し心より謝意を表します。

参考文献

[1] 石田芳明ほか, 日本混相流学会第 2 回マイクロバブル・ナノバブル技術講習会, 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] 小林秀彰ほか, 日本混相流学会年会講演会 2012 講演論文集, pp.38-39 (2012).