

## 3種の粒径計測法を用いた nanoGALF により生成したナノバブルの測定

Measurement of nano-bubble generated by nanoGALF using three types of particle size measuring equipment

前田重雄 (IDEC,大阪大)、小林秀彰 (IDEC)、徳田潤 (IDEC)

藤田俊弘 (IDEC)、寺坂宏一 (慶應大)、桑畑進 (大阪大)

MAEDA Shigeo, TOKUDA Jun, FUJITA Toshihiro,  
TERASAKA Koichi, KUWABATA Susumu

**Abstract** We measured nano-bubble water manufactured from nanoGALF by three kinds of methods consisting of the laser diffraction scattering, the electrical resistance method and the tracking analysis. The detection of the nano-bubble was possible by two kinds of methods of the tracking analysis and the laser diffraction scattering. Laser scattering were detected depending on the nano-bubble concentration measured by the tracking analysis. In addition, both measurements showed good correlation in the comparison between electrical resistance method and tracking analysis using the standard solution.

**Keywords:** Nano-bubble, Brownian motion, Tracking analysis, Laser diffraction scattering, Electrical resistance method

## 1. 緒言

我々が GALF (GAs Liquid Foam) を開発し始めた 1990 年代前半の頃から、微細気泡の気泡径と気泡数密度は大いなる関心事であった。これまでに我々は画像処理装置を用いた超微細気泡計測装置を製作し、実際に様々な方式と併せて網羅的に計測を行った[1]。気泡計測は奥行き長 (0.15mm ~ 10mm) の固定された透明アクリル製の計測セルに GALF で発生させた超微細気泡水を通させ、通過中の微細気泡水を CCD カメラで撮影することにより行った。気泡径は、CCD カメラで撮影した画像を元に画面内の長さを計測する画像解析ソフトにより測定し、気泡の密度は、画面で計測した視界の横幅、高さでセルの奥行きから撮影部分の体積を導き出し画面上の個数を用いて算出した。その結果、1995 年当時の GALF システムによる気泡は、気泡径が約 20 $\mu$ m 程度と安定して小さく、気泡数密度が  $5 \times 10^6$  個/mL と高いことが分かった。このことは、他方式に比べてユニークな特徴であり、GALF システムがより微細な気泡を安定した気泡径で高密度に生成できる優れた方法であることを示している[2]。

現在、サイズが 1 $\mu$ m 以下のナノバブル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、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システム (nanoGALF: ナノギャルフと呼称) を開発した[3]。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[4]。

nanoGALF により発生した気泡水のトラッキング法による計測では、多数のナノバブルが発生できていることを確認している[5],[6]。ただ、複数の計測装置によるデータの整合性に厳密な一致を見ることが現時点では出来ておらず、現在その定量化に取り組んでいるところである。今回は nanoGALF により製造したナノバブル水をレーザ回折散乱法、電気抵抗法、トラッキング法の 3 種類の粒径計測法により測定し比較検討を行った。それぞれの粒径計測法の代表的な機種仕様を Table 1 にまとめた。

Table 1 Comparison of three kinds of measurement methods

	計測方法		
	レーザ回折散乱法	電気抵抗法	トラッキング法
粒径計測範囲(nm)	10 ~ 1,000,000	400 ~ 12,000	30 ~ 1000
計測結果	粒子径分布	粒子径・個数	粒子径・個数
計測サンプル量(mL)	7	10 ~ 30	0.5
測定用溶媒	不要	電解質溶液	不要
測定結果	Fig.1(a)	Fig.1(b)	Fig.1(c)

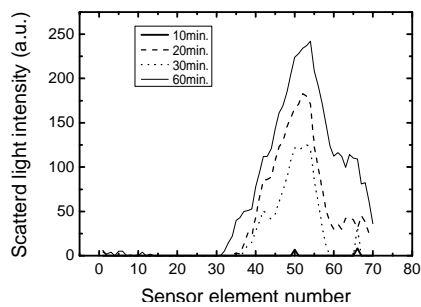
↑ ↑ ↑  
両方法の定量性を確認  
測定データの関係性を確認

## 2. 測定結果

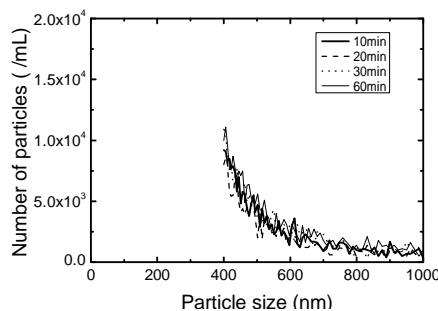
製造時間を 10, 20, 30, 60 分としたナノバブル水を Table 1 に示す 3 種類の方法で測定した結果を Fig.1 に示す. Fig.1(a)のレーザ回折散乱法では光源のレーザ出力を調整することにより製造時間に応じて散乱光強度が増加する結果を得ることが出来た. この散乱光強度分布は  $1\mu\text{m}$  以下の粒子の存在を示唆する結果であったが、正確な粒径分布を特定するには至らなかった. また Fig.1(b)に示す電気抵抗法では製造時間の違いによる粒径分布の差が観察できなかった. これに対して Fig.1(c)のトラッキング法では、製造時間に応じて粒径分布や粒子数が変化するナノバブルの特徴を測定することが可能であった. このようにナノバブルの計測においては方式によって計測範囲、得られる粒径分布データなどが異なることがわかる.

## 3. 考察

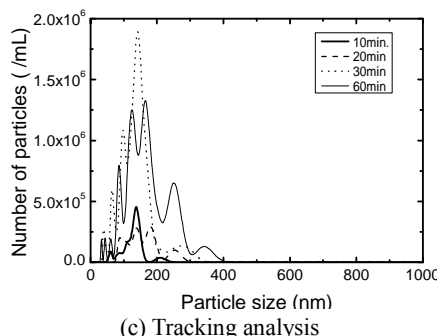
Fig.1(a)から得られた散乱光強度をトラッキング法から求めた粒子数に対してプロットした結果を Fig.2 に示す. 粒子数の増加とともに散乱光強度が増加する傾向が見られ両測定結果に関係性が認められた Fig.3 に示す電気抵抗法とトラッキング法の測定結果の重ね合わせでは、粒径  $400\text{nm}$  における両者の粒子数は比較的良い一致が見られた. またポリスチレン標準粒子を用いた粒子数の測定によっても両測定方法の定量性の確認を行った.



(a) Laser diffraction scattering



(b) Electrical resistance method



(c) Tracking analysis

Fig.1 Results of measurement by three kinds of methods

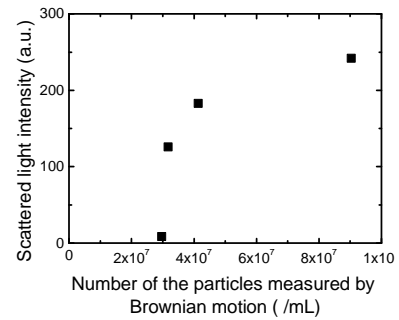


Fig.2 Intensity of laser scattering depending on number of particles measured by Brownian motion

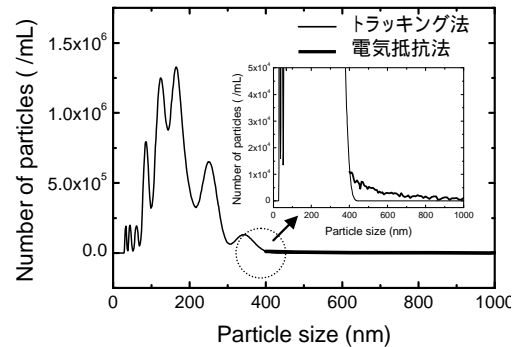


Fig.3 Comparison of the spectra measured by electrical resistance method and by tracking analysis.

## 4. 結言

レーザ回折散乱法では粒子径に対する個数データが得られない点と、電気抵抗法では  $400\text{nm}$  以下の粒子の測定ができない点から、nanoGALF により製造したナノバブルの粒径と粒子数の測定にはトラッキング法が最も適していると考えられる. ナノバブルの計測方法は重要で、世界的に標準化していくことも重要な時期であり、我々も今後は高精度計測方法の確立に向け研究開発を進めていく予定である.

## 参考文献

- [1] 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.72. 4.9-4.10 (1997).
- [2] 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, pp.29-40 (2010).
- [3] [http://www.idec.com/jppa/news\\_and\\_events/press\\_releases/11/PR110524.html](http://www.idec.com/jppa/news_and_events/press_releases/11/PR110524.html).
- [4] 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).
- [5] 前田重雄ほか, 日本混相流学会年会講演会 2011 講演論文集, nanoGALF 技術による直径  $100\text{nm}$  のナノバブルの高密度・安定製造(2011).
- [6] 前田重雄ほか, 分離技術年会 2011 講演論文集, nanoGALF による直径  $100\text{nm}$  のナノバブルの高密度・安定構造と粒子数の測定(2011).