

液中分散安定性評価装置を用いた ultrafineGaLF により生成した

ウルトラファインバブルの測定

Measurement of ultrafine bubbles generated by ultrafineGaLF using the reference stability analyser

小林秀彰(IDECC), 前田重雄(IDECC), 井田勝久(IDECC), 西原一寛(IDECC),

藤田俊弘(IDECC), Christelle Tisserand(Formulaction), Pascal Bru(Formulaction)

KOBAYASHI Hideaki, MAEDA Shigeo, IDA Katsuhisa, NISHIHARA Ikkan,
FUJITA Toshihiro, CHRISTELLE Tisserand, PASCAL Bru

Abstract The reference stability analyzer can evaluate the change of dispersed particles in a glass bottle. The combination of backscattering and transmission sensors with a vertical scanner enables to detect physical heterogeneities over the whole sample height with a vertical resolution up to 20 μ m. When the particles are uniformly dispersed in the liquid, the level of detection of the transmitted beam and backscattered beam remains the same. In this research, measurement of ultrafine bubble water generated by the ultrafineGaLF was successful. The results correlated with those obtained using particle tracking analysis, and therefore, measurements using the reference stability analyzer are validated.

Keywords: Ultrafine bubbles, ultrafineGaLF, Multiple light scattering, Reference stability

1. 緒言

ウルトラファインバブル (Ultrafine bubble: UFB) は植物育成促進・工業洗浄・食品洗浄・鮮度保持・生物ろ過など幅広い分野で効果が報告されており, 今後応用研究が期待されている[1][2]. UFB の産業応用を進めるためには, 特性を定量的に評価する手法が必要不可欠である.

当社はこれまで高精度測定技術の確立に向けた検討を行ってきた. 2009 年頃より GaLF (Gas Liquid Form) システムにより生成した UFB 径および個数濃度の測定を 5 種類 10 台の異なる計測装置を用いて行うことで, 直径 100~200 nm 程度で存在することを定量的に明らかにしてきた[3]. 粒子トラッキング解析法を用いることで 1 mL あたり 1×10^8 個以上の UFB が存在することを確認している[4]. また電気抵抗ナノパルス法を用いて個数濃度の測定を行い, 粒子トラッキング解析法による結果と正の相関があることを明らかにした[5]. レーザ回折・散乱法を用いて異なる濃度の UFB 含有水の個数濃度の測定を行い, 粒子トラッキング解析法による同一サンプルの測定結果と UFB 径分布および個数濃度がほぼ一致することがわかった[6].

本研究では液中分散安定性評価装置[7]を用いて ultrafineGaLF により生成した UFB の測定を行い, 分散状態の評価を行った. 液中分散安定性評価装置は, 分散状態の評価において目視や遠心沈降などの一般的な手法よりも実際の環境下で早く確実に実施できる. また簡単にサンプル間の分散状態の比較が可能である.

2. 測定原理

液中分散安定性評価装置による UFB 含有水の測定原理を Fig. 1 に示す. 本装置は分散体を含む液体をサンプリングしたボトルに外部から光を照射する. 透過光強度・後方散乱光強度を一定時間ごと, 高さ方向に測定することで分散体の濃度勾配の経時変化を評価することが可能である. 透過光および後方散乱光の両方を測定することで, 低濃度から高濃度までの幅広い濃度域のサンプルを測定できる. 液中に分散体が均一に存在している場合, 高さ方向のスキャンを繰り返しても透過光または後方散乱光の検出強度に変化はみられない.

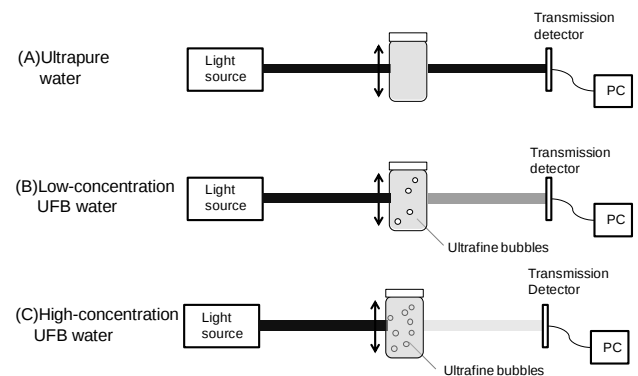


Fig. 1 Schematic image of stability analysis of ultrafine bubbles.

3. 実験方法

実験に使用する UFB は IDECC 製 ultrafineGaLF を用いて生成した. 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超純水 (Milli-Q 水) (Sample A) を用いた. バブルを生成するためのガスとしては空気を用いた. 生成条件を調整することにより個数濃度の異なる低濃度 UFB 含有水 (Sample B), 高濃度 UFB 含有水 (Sample C) の 2 種類を用意した. Sample A, B, C を Fig. 1 のように液中分散安定性装置で測定を行った. 液中分散安定性装置は Formulaction 製 TURBISCAN Lab を用いた.

Sample A, B, C の粒子トラッキング解析法[4]による UFB の散乱光画像, レーザ回折・散乱法[6]による UFB 径分布を Fig. 2 に表している. 散乱光画像の領域は $100 \times 80 \times 20 \mu$ m で, UFB 径分布は横軸がサイズ (nm), 縦軸が個数濃度 (E8/mL) である. 各々の原理の装置は NanoSight 製 NS500, レーザ回折・散乱法は島津製作所製 SALD-7500X10 を使用した. Fig. 2 より超純水 (Sample A) は散乱光がほぼ検出されず個数濃度も計測限界以下だった. UFB 含有水は UFB からの散乱光が検出され, 低濃度 UFB 含有水 (Sample B) よりも高濃度 UFB 含有水 (Sample C) の方が散乱光強度が大きいことがわかる.

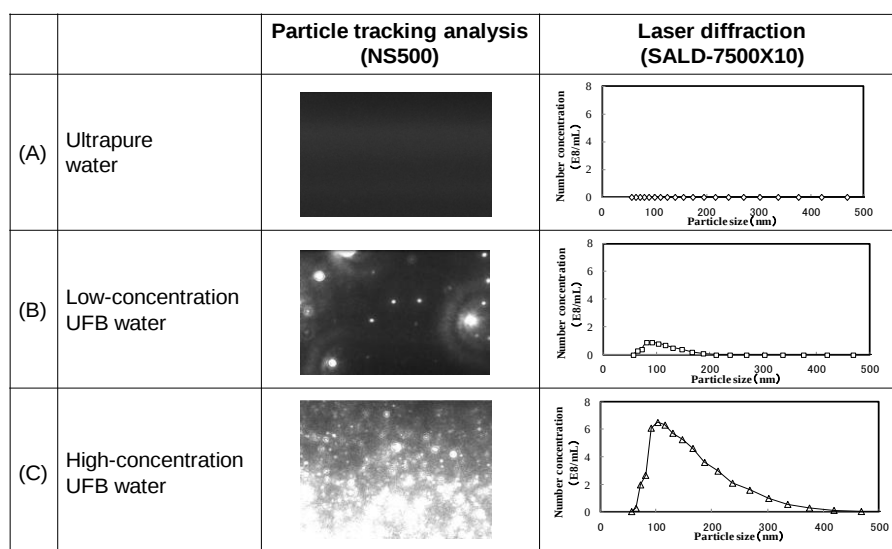


Fig. 2 Scattered-light image and size distribution of ultrafine bubbles by particle tracking analysis and laser diffraction methods.

3. 実験結果および考察

Fig. 3 は液中分散安定性評価装置による Sample A, B, C の測定結果である。横軸はサンプルの高さ (mm)，縦軸は透過率 (%) を示している。Fig. 3 より検出された UFB 含有水の透過率が超純水に比べて低く、低濃度 UFB 含有水の透過率は約 0.5 % 低いことがわかった。高濃度 UFB 含有水は超純水に比べて透過率が約 2.5 % 低かった。Fig. 1 および Fig. 2 に示した通り UFB 数濃度が高いほど散乱光強度が大きいため、透過光の検出強度が減少したと考えられる。また、サンプル高さに対して透過率が変化しておらず、測定された分散体の分散状態が高いことがわかった。

Fig. 4 は当社がこれまで 6 種類 13 台の計測装置で測定した ultrafineGaLF により生成した UFB 含有水のモード径を示している。液中分散安定性評価装置により測定されたモード径は 240 nm で、他の原理の計測装置によるモード径がほぼ一致した。以上の結果から、液中分散安定性評価装置を用いて ultrafineGaLF により生成した UFB を測定することに成功したといえる。

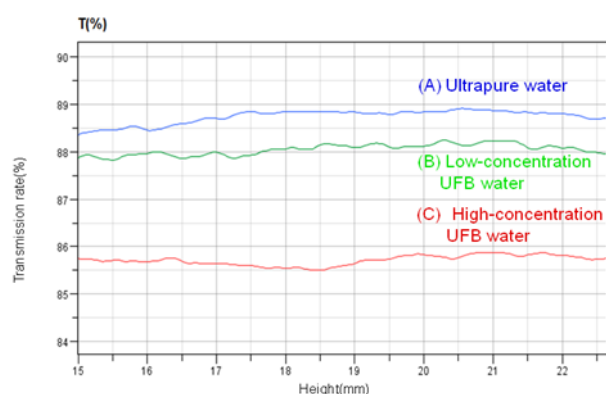


Fig. 3 Transmission rate of ultrapure water(A), Low-concentration ultrafine bubble water (B), High-concentration ultrafine bubble water(C) measured by the reference stability analyser.

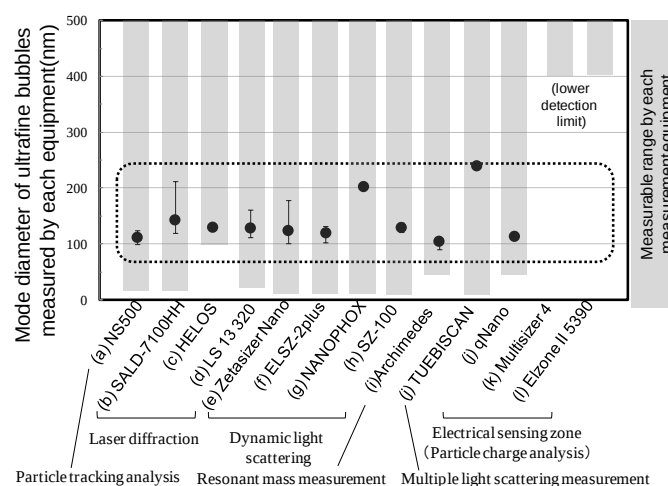


Fig. 4 Mode diameter of ultrafine bubbles measured by 6 principles of 13 equipments.

4. 結言

液中分散安定性装置を用いて ultrafineGaLF により生成した UFB の測定に成功した。他の原理の計測装置による測定結果と相関しており、液中分散安定性評価装置は UFB の経時変化の評価に非常に有効であることを示唆した。

参考文献

- [1] 阿波加和孝ほか, 日本混相流学会年会講演会講演論文集 pp.182-183 (2012).
- [2] 榎本直之ほか, 日本混相流シンポジウム講演論文集, E125(2015).
- [3] 前田重雄ほか, 日本混相流シンポジウム 講演論文集, D124 (2014).
- [4] 前田重雄ほか, 日本混相流学会年会講演会講演論文集, pp.430-431 (2011).
- [5] 前田重雄ほか, 日本混相流シンポジウム 講演論文集, D122 (2014).
- [6] 小林秀彰ほか, 日本混相流シンポジウム 講演論文集, E115 (2015).
- [7] Pascal. Bru, et al., ACS SYMPOSIUM SERIES, Vol. 881, pp.45-60 (2004)