

## 純水中の Xe 微細気泡(ウルトラファインバブル)の特性評価 Analysis on XAFS for Xe Ultra Fine Bubble in Pure Water

上田 義勝<sup>a</sup>, 徳田 陽明<sup>b</sup>, 志田 裕昭<sup>c</sup>  
Yoshikatsu Ueda<sup>a</sup>, Yomei Tokuda<sup>b</sup>, Hiroaki Shida<sup>c</sup>

<sup>a</sup>京都大学, <sup>b</sup>滋賀大学, <sup>c</sup>(株)Ligatic  
<sup>a</sup>Kyoto University, <sup>a</sup>Shiga University, <sup>c</sup>Ligatic Co. Ltd.

水中の微細気泡は、滞留時間の長さや特有な物理化学的特性が着目され様々な利用が検討されているが、直接検出は未だなされていない。本申請では、Xe 微細気泡を XAFS(X 線吸収微細構造)分析を用いて観測し、その気泡状態を直接検出できるかどうか確認を行った。測定スペクトルにおいて Xe ガスと水中の溶存 Xe の違いについてははっきりした違いを確認できたが、微細気泡としての特性の違いについては今後の詳細な計測が必要であった。

**キーワード：** ウルトラファインバブル、XAFS、Xe

### 背景と研究目的：

マイクロ・ナノスケールサイズの水中の微細気泡は、滞留時間の長さや特有な物理化学的特性が着目され様々な実利用が研究されている。実利用の例としては、農業・水産業への応用や工業的な洗浄、環境改善など広く応用事例が提案され、既にいくつかは実用試験に至っている[1,2]。しかしながら、その作用についての原理解明はまだ研究途上である事と、基礎特性の中でも微細気泡そのものを直接観測する事が難しい事から、基礎と応用との相関を結びつけることは非常に難しいのが現状である。本申請課題では、Xe ガスにて生成された微細気泡の特性を浮遊状態で状態を変化させる事なく計測するため、XAFS(X 線吸収微細構造)分析を用いることを提案する。XAFS 分析により得られたスペクトルから、微細気泡の気液相の状態と、周辺の水分子との相互作用について検出を行う事で、その特性を明らかにしたい。Xe のスペクトル観測としては過去に K 吸収端に関する研究[3-5]や固体 Xe の測定例があるが[6]、ガス状態と溶存状態についての相関についての測定例がなく、新しい研究課題ともいえる。

### 実験：

ビームライン BL14B2 において、XAFS 分析を行った。対象とする元素は Xe であり、K 吸収端(34.597 KeV)のスペクトルを透過法により計測することで、Xe の気液状態について確認した。分析に用いる試料サンプルには、Xe ガス、Xe 飽和水(0.2 MPa 加圧)、Xe ウルトラファインバブル水(Xe UFB 水)を用意した。Xe UFB 水については、加圧せん断方式による微細気泡生成を行い、XAFS 測定前日(6/25)と、測定当日(6/26)に生成したサンプルを用いて測定を行った。気泡濃度測定のため、NanoSight LM-10 (Malvern Analytical) を用いて測定を行った。表 1 にその濃度値について記載するが、Xe UFB サンプルはほぼ  $0.1-0.2 \times 10^8$  個/mL 存在しており、また粒径はおよそ 200 nm から 400 nm 程度になっている。また、Xe 飽和水についてはほとんど気泡が存在しないことも分かっている。

Xe ガス及び Xe UFB 水は、専用の容器(25 mm×25 mm×150 mm)に封入・密閉した。また、Xe 飽和水については、加圧状態のまま測定を行うため、500 mL の PET 容器に保管し、2 気圧の加圧状態での測定を行った。XAFS 測定では 1 時間程度の積算時間による計測を行い、特に Xe-UFB 水については、1 時間ごとに状態変化を見るため、合計 6 時間の計測を行った。

表 1. 資料サンプル中に含まれる微細気泡濃度(トータル濃度と、ピーク値(最頻粒径およびその濃度))

	トータル濃度 ( $10^6/mL$ )	最も多い粒子半径 (最頻粒径, nm)	最頻粒径の濃度 ( $10^6/mL$ )
Xe UFB (6/25 生成 1 日後)	0.207	410	0.170
Xe UFB (6/25 生成 1 日後) <実験終了後測定>	0.123	236	0.128
Xe UFB (6/26 生成直後)	0.133	214	0.205
Xe UFB (6/26 生成直後) <実験終了後測定>	0.277	340	0.238
Xe 飽和水 (0.2MPa)	0.050	129	0.056

### 結果および考察：

XAFS 分析により得られたスペクトルを図 1, 2 に示す。図 1 のすべての資料サンプルにおいて Xe-K 吸収端におけるスペクトルの変化が見て取れる。また、ガス状態の Xe のピーク遷移が一番大きく、次に Xe 飽和水、続いて Xe UFB となっていることがわかる。ピークの傾向の違いから溶存状態の Xe がガスとして水中から抜けてきており、残存する UFB の効果が見えるかどうか判断したいが、現状の測定では図 2 に見られるようにピーク遷移が Xe UFB では非常に小さく、ノイズが大きくなりつつあるため、現状での確認は非常に難しい結果となった。

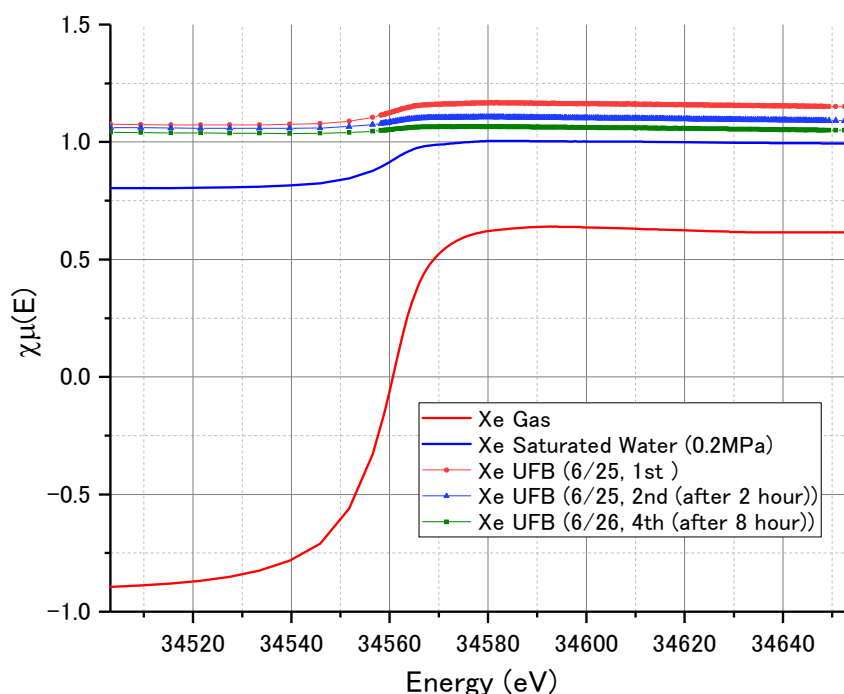


図 1. XAFS 分析で得られた Xe-K 吸収端スペクトル(Xe ガスと Xe 飽和水、Xe UFB)

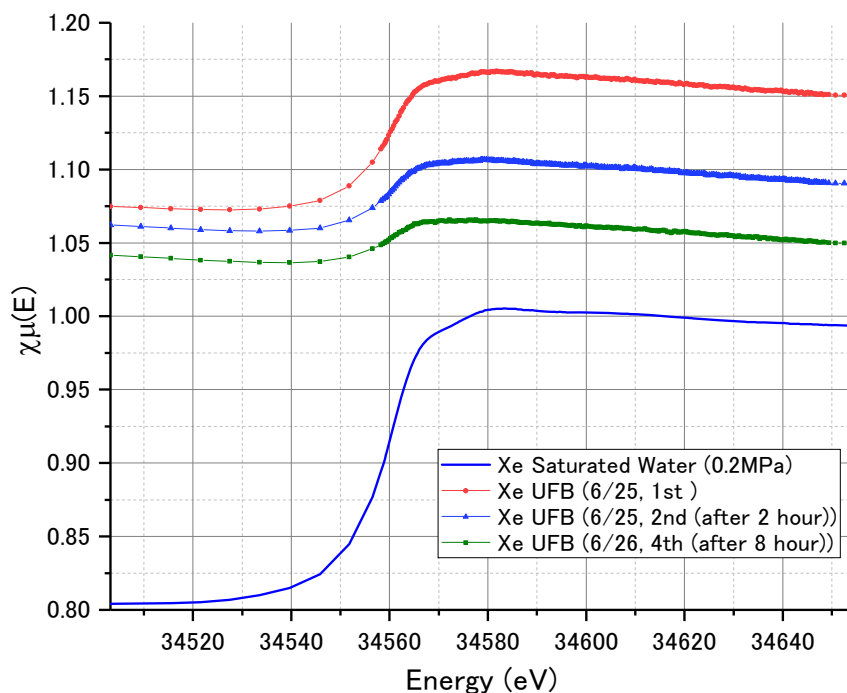


図 2. XAFS 分析で得られた Xe-K 吸収端スペクトル(図 1 を拡大: Xe 飽和水和 Xe UFB)

#### 今後の課題：

Xe ガスと Xe 飽和水のスペクトル形状が若干違う事から、エックス線吸収微細構造についてのデータ比較を行いたいが、現状では Xe UFB のデータに含まれるノイズが多く、Xe UFB のはっきりした特徴の違いについてはまだ未解明であった。そのため、今後の測定課題としては、より気泡濃度の高い Xe UFB の生成の他、XAFS 分析の計測時間をより多くとる(約 4 時間程度)などの工夫が必要と考えている。

#### 参考文献：

- [1] Y. Ueda, et. al. , *Water Science & Technology*, **Vol.67 No.5** pp. 996–999, 2013
- [2] 上田義勝他, 混相流, **Vol.28**,555-562, 2014
- [3] M. Deutsch, G. Brill, and P. Kizler, *Phys. Rev. A* **43**, 2591 (1991).
- [4] M. Deutsch and P. Kizler, *Phys. Rev. A* **45**, 2112 (1992).
- [5] J. Padežnik Gomilšek, et. al., *Phys. Rev., A* **68**, 042505, 2003
- [6] M. H. Oliveira Jr and F. C. Marques, *Brazilian Journal of Physics*, **vol. 36, no. 2A**, 2006