

[ 別紙 2 ]

## 論文審査の結果の要旨

申請者氏名 フェルナンダ ユミ ウシホ

マイクロ・ナノバブル含有水は、廃水の浄化、湖沼などの閉鎖性水域の水質汚染の改善、殺菌、脱色、洗浄などの応用や生物の生理活性の促進効果などの事例が報告され、近年になって、様々な分野において注目を集めている。しかし、マイクロ・ナノバブル生成後の水中におけるナノバブルの安定性やサイズなど、多くの不明な点が残されたままである。そこで、本論文では、マイクロ・ナノバブルおよびそれら含有水の特性、中でもナノスケールのバブルの存在と安定性の解明を目的とした。

第1章では、マイクロバブル・ナノバブルの定義と特性および応用事例について概観し、問題点を指摘すると共にナノバブルの存在や水中での安定性を検証することの意味を指摘した。

第2章ではマイクロ・ナノバブル発生装置と共に水および温度条件を明確にし、第3章では、酸素マイクロ・ナノバブル含有水の特性を顕微鏡観察、溶存酸素(DO)濃度、pH、ゼータ電位を測定することにより明らかにした。顕微鏡観察では、直径がおおよそ 100 $\mu\text{m}$  程度のバブルは数時間の単位でバブルの状態を維持するが突然崩壊するバブルもあること、50 $\mu\text{m}$  以下のマイクロバブルは収縮して視認できなくなる過程を捉えた。また、DO 濃度は、35 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ から45 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ という過飽和の状態まで上昇し、pH は 6.0~6.5 の範囲で安定していることを示した。一方、バブル生成直後の pH 6.2~6.4 の水中のナノレベルの酸素バブルのゼータ電位は-44~-40 $\text{mV}$  であり、時間の経過により-38~-33  $\text{mV}$  に変化することが示された。この結果、バブルが負のゼータ電位を有すことからバブル粒子は互いに反発し合い、ゼータ電位の絶対値が高いことが、水中におけるバブル粒子の安定性に寄与していることを指摘した。

第4章では、動的光散乱法によるバブル粒子のサイズ分布について検討した。バブル生成直後の酸素バブルの粒子サイズ分布は、幾何平均のピークを 137 $\text{nm}$  に有する典型的な単峰性の対数正規曲線であり、このことから、粒子サイズ分布が安定していることが示された。生成から 3 日後にも粒子が観測されたが、その幾何平均は 380 $\text{nm}$  以上に増大した。6 日後には、粒子サイズ分布は単峰性を示

さず、各粒子径における分散が増大した。これは、バブルから水へ酸素が溶解することによるナノバブルの消失を意味すると考えられた。

第5章では、NMR を用いたプロトン縦緩和時間( $T_1$ )よりバブル含有水の特性について検討した。10mM の塩化マンガン(II)四水和物( $Mn_2Cl \cdot 4H_2O$ , Kanto Chemical Co. Inc., Japan)溶液に酸素マイクロ・ナノバブルを生成させた結果、マイクロ・ナノバブル生成により  $T_1$ が増大することが確認された ( $p < 0.05$ )。これは、第3章で示したように、負のゼータ電位を持つバブル表面にマンガンイオンが吸着し、溶液中の見かけのマンガンイオン濃度が低下したためであると推察された。この事実は、酸素マイクロ・ナノバブル生成後も、水溶液中にナノバブルが安定して存在できる理由の1つであると考えられる。

以上、本論文は、様々な手法を用いて異なる視点から計測を行うことにより、マイクロ・ナノバブルおよびマイクロ・ナノバブル含有水の特性を明らかにする中で、ナノバブルが水中で安定に存在することを示したものであり、学術上・応用上貢献することが少なくないと考えられる。よって審査委員一同は、本論文が博士(農学)の学位論文として価値あるものと認めた。