

超音波/マイクロバブル併用プロセスで生成する活性酸素種の測定

(長岡高専) 増田七恵・(正)○村上能規

1. はじめに

近年、マイクロバブルによる超音波場の反射増強作用を活用した医療応用が盛んに研究されている。¹⁾ 一方で、超音波照射によりマイクロバブルが消滅する現象を報告した例²⁾もあり、超音波とマイクロバブルの相互作用については未解明の部分も多い。特に、超音波を照射下において、マイクロバブルが存在することで、超音波キャビテーションの数および超音波キャビテーションが崩壊することにより生成するOHラジカル量がどのような影響をうけるのかについて研究した例は存在しない。本研究では、加圧溶解式マイクロバブル発生器(平均泡径 1 μm)を水中に発生させ、3つの異なる周波数(28 kHz, 45 kHz, 100 kHz)の超音波において、マイクロバブルによる超音波強度の変化、OHラジカル量の变化をそれぞれKI法、クマリン蛍光プローブ法で測定し、超音波とマイクロバブルの相互作用に関する考察を行った。

2. 実験方法

実験はガラス容器に水を所定量(300~400 mL)入れた後、加圧溶解方式でマイクロバブルを水中に発生させた(平均粒子径 1 μm、~10¹¹ 個/s)。マイクロバブルが十分に生成したのを目視により確認した後、ガラス容器の底部に配置した超音波振動子により、マイクロバブル水に超音波振動を30分間照射、照射後の水溶液を各種分析(吸光度測定、蛍光測定)により分析した。ガラス容器中の水は恒温槽に入れることで、一定温度(約10℃)を保つようにした。

3. 実験結果および考察

Kodaらの研究³⁾によると、0.1 MのKI水溶液に超音波照射して生成するI₃⁻の量は超音波強度に比例する。そこで、マイクロバブル存在下、超音波を30分照射し、生成するI₃⁻を350 nm付近の紫外吸収で測定、超音波強度がマイクロバブルにより、どのように変化するかを測定を行った。I₃⁻の生成量は350nmの吸収強度から求めた。その結果を図1に示す。

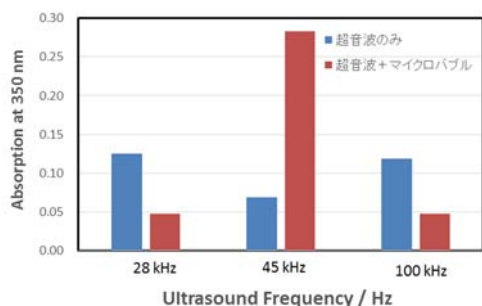


図1. KI法により測定された超音波照射により生成するI₃⁻のマイクロバブルのによる影響

図1に示すように、超音波の周波数が45 kHzの時のみにおいてI₃⁻の生成量が増大した。

ひきつづき、この効果を検証するために、1 mMクマリンを超音波照射して生成する7-ヒドロキシクマリンを350nmの励起光における蛍光スペクトルの測定で検討することを試みた。その結果、KI法と同様に、28 kHz, 100kHzにおいては450nmの蛍光強度がマイクロバブルにより減少したのに対して、45 kHzにおいては7-ヒドロキシクマリンに基づく蛍光強度の増大が確認された。この結果はKI法での超音波増強効果の周波数依存と同様の結果となった。生成した7-ヒドロキシクマリンの量を検量線の作成により定量し、1.4 × 10¹³ 個/sと求めることができた。

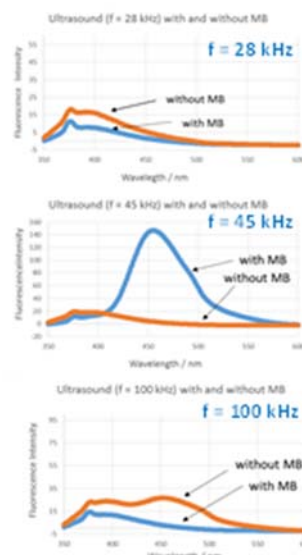
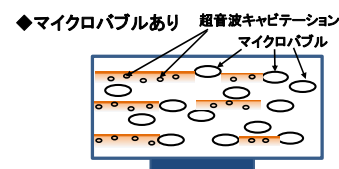


図2. マイクロバブルの有無による超音波照射後における350nm励起蛍光スペクトルの変化

◆ 28 kHz, 100 kHz



◆ 45 kHz

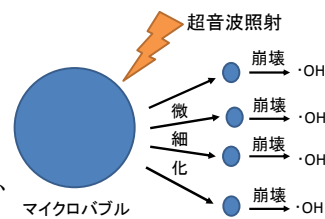


図3. 超音波とマイクロバブルの相互作用の周波数依存性に関する概略図

以上の結果から、マイクロバブルと超音波の相互作用について、図3に示すように、28kHz および100kHzにおいてはマイクロバブルによる超音波の反射、擾乱の効果が優位に、45kHzにおいては超音波がマイクロバブルと直接相互作用し、マイクロバブルをさらに小さな気泡に圧壊、そのようにしてできた気泡がさらに超音波による衝撃波圧縮を起こし、最終的に、生成するOHラジカルが増加するというメカニズムを考えている。

4. 参考文献

- (1) E.G. Schutt et al., Angew. Chem, Int. Ed. 42, 3218 (2003)
- (2) 小林ら、化学工学論文集、37, 291 (2011)
- (3) S.Koda et al., Ultrasonic Sonochem. 10,149(2003)

*E-mail: murakami_mb@nagaoka-ct.ac.jp