

マイクロ/ナノバブルの応用について

関西オゾン技術研究会

www.k-ozone.org/

マイクロバブルあるいはナノバブルという言葉をよく目にしたり聞いたりするし、家庭用品として市販されている。しかし、独り歩きした誤った記述や誤解も多々見受けられるように思われる。そこで、入手可能な資料の範囲で、マイクロあるいはナノバブルについてどのようなことがいわれているかを調べてみた。

バブルは気泡のことである。オゾン水処理では、気泡塔などでオゾンを含む気体を気泡の形で水中に分散させて気体のオゾンに水を移動させる。気泡を造る手段は多孔質のディフューザーを用いるのが一般で、発生した気泡の径は3mm前後である。マイクロバブルやナノバブルと比べると、気泡径は3～6桁と格段に大きい。

気泡径が小さくなると次のような現象が表れるとしている。

●液中の上昇速度が遅い¹⁾

通常の気泡は、0.3 m/sec程度で水中を上昇し液面で消滅する。しかし、マイクロバブルは気泡体積が微小であるため上昇速度が遅く、長い間水液中に滞在する。例えば、直径10 μ mの気泡は一分間に3mm程度しか上昇しない。マイクロバブルの上昇速度はほぼストークスの式で再現できるとされている。

●自己加圧効果¹⁾

気泡は気液界面により取り囲まれており、その界面では液相の表面張力が作用する。液体が水の場合は表面張力は界面の表面を小さくするように作用するため、球形の界面を持つ気泡では表面張力はその内部の気体を圧縮する力となる。

環境圧と気泡内部の圧力の差 ΔP はYoung-Laplaceの式により求められる。

$$\Delta P = 4\sigma/D$$

ここで σ は表面張力、Dは気泡直径である。直径が数mmの通常の気泡では、この圧力上昇は極わずかで無視できる程度あるが、直径10 μ mの気泡になれば媒体が水の場合約0.3気圧、1 μ mでは約3気圧になる計算になる。

●帯電電位¹⁾

マイクロバブルはコロイド粒子と同様に負に帯電をしているとされている。このため、マイクロバブル同士は反発し合い、マイクロバブル同士の合一が妨げられる。微細粒子は表面の性質が顕著になるためである。

●自己圧壊¹⁾

気泡は気泡径に反比例して気泡内の圧力が上昇するのは、既に述べたとおりである。加圧された気体の溶解度は圧力とともに高くなるので、マイクロバブルは水中で縮小を続けて、理論上水中で消滅することになる。これを自己圧壊という。

圧壊の瞬間は気泡径がゼロに収斂するので、気泡内の圧力は無限大に発散する。圧壊に到らなくても気泡径の現象速度が速いと、断熱圧縮的になり気泡内の温度も急激に高くなる。その結果、気泡内部は高温高压になり、気泡内や界面の分子の化学結合が切れてフリーラジカルが生成されるとしている²⁾。

●ナノバブル^{2, 3)}

マイクロバブルは水中で縮小して消滅するが、水質によっては気泡径が数 μ mから数百nmあたりで

縮小が停止されて安定化するとされる。寿命は水質に依存するが、半減期として数時間から数日程度になるといわれる。これがナノバブルと呼ばれる気泡で、マイクロバブルよりさらに小さい。電解質などが気泡界面で濃縮されて気体の液相への移動がブロックされるためとしているが、まだ確認されていないようである。

通常酸素バブリングではDO(溶存酸素)値は飽和値で9mg/L程度であるが、マイクロバブルでは12mg/L程度になるとしている。また、バブリングを停止すると、DO値は飽和値になるが、その低下速度が極めて遅く、暫くの間は高いDO値が維持されとしている。ナノバブルが崩壊しながらDO値を維持されると考えられている。

以下は筆者の私見である。三菱電機は、マイクロバブルを使った電子部品の洗浄技術を実用化した²⁾。マイクロバブルは微細な部分に侵入できると考えられるので、微細な部分にける油脂等の疎水性成分の洗浄効果が期待できることは科学的にみても納得できる現象である。

液中に長時間ナノバブルが安定に存在するとすれば、いろいろな応用が考えられる。ナノバブル生成に必要な添加物の種類や量によっては実用が妨げられる。今後は現象の科学的な解明が望まれる。実用上もう一つ考慮しなければならないことは、他の技術との比較評価である。例えば、ラジカル生成は効率が問題で、オゾン/過酸化水素がOHラジカル発生技術として既に実用化されている。

筆者の住居の近所にオゾンナノバブルシャワーを売り物にしているペットを扱う店がある。店員に聞いてみると、ユーザーの評判はいいそうである。使用の始めは若干オゾンの臭いがするが、すぐに消えるので問題ないといっていた。幅広い応用が期待できるのではなかろうか。

中山繁樹