

## マイクロバブルを利用した環境浄化技術

産業技術総合研究所 高橋 正好

マイクロバブルとは直径が50  $\mu\text{m}$ 以下の微小な気泡であり、水中で消滅することが特徴である。消滅過程においては内部の気体が非常に効率的に水中に溶解されるため、例えば天然水域の環境浄化に利用できる。低層部の酸欠環境を改善することで健全な生態系を復活させ、その結果として水域を浄化させる。また、興味深い特性として消滅時におけるフリーラジカルの発生がある。水酸基ラジカルなどのフリーラジカルは酸化能力が非常に高いため水中における有機汚染物質を効果的に分解できる。これを利用することで従来は不可能であった難分解性の高濃度有機排水の処理が可能となった。

気泡は我々に馴染みの深い存在であり、水中をス～と浮上して表面でパチンとはじいて消える。ところがこれを小さくしていくと通常の気泡とは異なった特性が表れ始める。すなわち水中における縮小と消滅である。水中の気泡は表面張力の作用により加圧されている。この圧力は気泡径に反比例しており10  $\mu\text{m}$ の気泡では環境圧に比べて約0.3気圧、1  $\mu\text{m}$ では約3気圧の上昇となる。加圧された気体は効果的に水中に溶解されるため微小な気泡はますます縮小していき、ついには水中で消滅する。消滅する瞬間には理論的に無限大の圧力を作り出す。これにより例えばガスハイドレートの効率的な生成などが可能であるが、それ以外にも非常に興味深い現象につながる事が分かってきた。

図1に示すのは電気泳動場におけるマイクロバブルの挙動である。両側に電極を置いてその中でマイクロバブルを浮遊させると、気泡は上昇しながら電極の方に引き寄せられる。プラスとマイナスを切り替えると気泡はジグザグ運動を行う。この気泡の帯電は水のpHに大きく依存しており、中性やアルカリ性ではマイナスに帯電、強い酸性条件ではプラスに帯電している。これは気液界面にイオン類が濃縮

しているためである。図は3秒間程度の気泡の動きを表示したものであるが、一つの気泡に着目すると非常に面白い動きが認められる。すなわち縮小するほど電極方向に動く速度が増加するという現象である。これは電荷が高まっていることを意味しており、現象としては狭い範囲にイオン類が濃縮していることを示している。この様なイオン類はそこに気液界面があるために存在しているため、界面が消滅した瞬間にバルク中に解放される。これは一種のエネルギーの濃縮と解放を意味している。そのためある種の条件を与えてやると高まったエネルギーにより気泡内や周囲の水分子が強制的に分解されてフリーラジカルを発生させる。また、内部の気体としてオゾンを供給した場合には、オゾンの強制的な分解につながり、非常に多量のフリーラジカルを発生できる。

有機系の排水を処理する場合にオゾンを利用することがある。これはオゾンの酸化力に期待しているためであるが、オゾンは反応の選択性が高いため、難分解性の化学物質を対象とする場合には紫外線や過酸化水素と組み合わせて利用される。これによりオゾンは強制的に分解されて、水酸基ラジカルが発生する。水酸基ラジカルはほぼ全ての有機系物質を分解可能であるが、この様な促進酸化方法はコストが高く、利用の制限も多い。ところがマイクロバブルを利用するとこれらを必要とすることなく大量の水酸基ラジカルを発生することが可能である。

我々はこの特性を利用して革新的な排水処理技術を確立した。現在は重合トナーの排水を対象として実用化に取り組んでいる。これは既存の技術では対処できずに焼却処理を余儀なくされていたものであるが、CODが4万mg/Lを超えていたものを低コストで100mg以下に低下させることに成功した。これにより工場内における水の完全循環に道が開かれた。

イオン類の濃縮は反応場の形成にも役立っている。上記の排水処理でもこのメカニズムを利用しているが、濃縮したイオン類が関与することで化学合成やナノバブル（極微小気泡）の安定化にもつながると考えている。

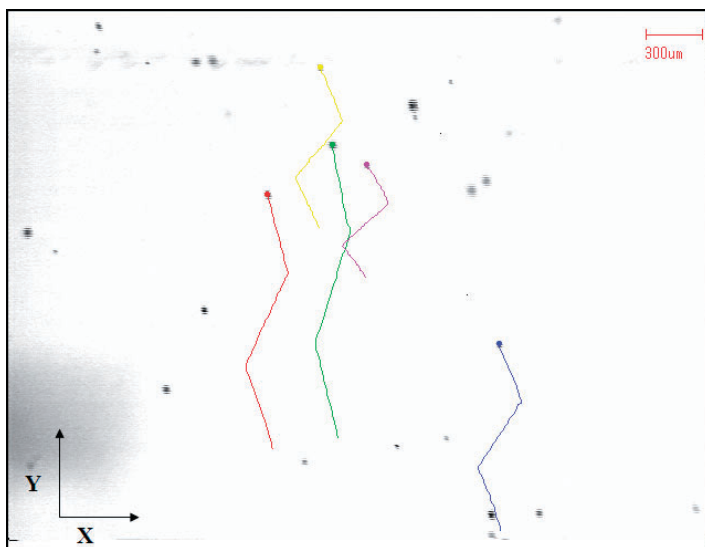


図1 電気泳動セル中におけるマイクロバブルの挙動