

ナノバブルと紫外線照射を併用した水溶液中の界面活性剤の分解

久木崎 雅人^{*1}・鳥越 清^{*2}・和田 翼^{*3}・大榮 薫^{*4}・大島 達也^{*4}・馬場 由成^{*4}

Degradation of an Anionic Surfactant by an Integrated Nanobubbles/UV Irradiation Technique

Masato KUKIZAKI, Kiyoshi TORIGOE, Tsubasa WADA, Kaoru OHE,
Tatsuya OHSHIMA and Yoshinari BABA

従来の生物処理法では処理が困難である界面活性剤の高度水処理を目的に、SPG 膜により生成したナノバブルに紫外線を照射して、界面活性剤の分解を行った。濃度が 1000 ppm のドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム (SDBS) 水溶液に空気を内包した気泡径 720 nm のナノバブルを生成し、これに波長 185 nm と 254 nm に極大ピークを有する紫外線を照射した場合、24 h 後の SDBS の分解率は 99.8 % に達し、76.8 % の SDBS が炭酸ガスと水に分解された。SDBS の分解速度は、気液界面積に依存し、ナノバブルの表面近傍で SDBS が分解されていることが示唆された。

キーワード：ナノバブル、紫外線、界面活性剤、シラス多孔質ガラス (SPG) 膜

1 はじめに

現在、排水中の有機塩素化合物、色素化合物および界面活性剤等の難分解性物質の処理については、酸化分解力が非常に強いヒドロキシラジカルを何らかの方法で生成させ、これを用いて酸化分解する方法が知られている。この手法は、促進酸化法と呼ばれ、ほとんどの有機物を水や二酸化炭素まで分解することができる。ヒドロキシラジカルを効率よく生成するため、通常、オゾンガス、過酸化水素、および紫外線等を組み合わせた方法が採用されている。しかしながら、促進酸化法は、オゾンガス生成や過酸化水素等の薬剤を用いるため、ランニングコストが高いことなどの問題点が指摘されている。本研究は、このような問題の改善を図り、効率的な難分解性物質の水処理プロセスを開発することを目的に、安価な空気を用いてナノバブルを生成し、これに紫外線を照射して、難分解性物質の分解を実験的に検

討した。

2 実験方法

難分解性物質として試薬グレードのドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム (SDBS)、ドデシルスルホン酸ナトリウム (SDS) およびベンゼンスルホン酸ナトリウム (BS) を用いた。SDBS と SDS は界面活性を有し、BS は有しない。各溶液の濃度と体積は、それぞれ 1000 ppm および 150 mL とした。図 1 に UV 照射型有機物分解の実験装置の概念図を示す。平均孔径 80 nm の管状 SPG 膜を装着したステンレス製の膜モジュールを反応器の下部に取り付け、高圧ポンプより供給した高圧空気を膜モジュールの外側に導き、紫外線を照射しながら水溶液に気泡径 720 nm のナノバブルを生成させた¹⁾。空気の通気速度は 10 mL/min、水溶液の循環速度は 500 mL/min に設定した。紫外線ランプは出力 8 W で、その波長は 185 nm と 254 nm に極大ピークを有した。難分解性物質の分解は、分解率と無機化率により評価した。分解率

*1 材料開発部

*2 材料開発部 (現 企画・デザイン部)

*3 JST イノベーションサテライト宮崎

*4 宮崎大学工学部物質環境化学科

(degradation ratio) は、難分解性物質がどれだけ分解したかを示す指標で、高速液体クロマトグラフ ((株)島津製作所製、LC Prominence) により求めた。無機化率 (mineralization ratio) は、難分解性物質がどれだけ無害化されたか、すなわち炭酸ガスと水に分解された割合を示す指標で、TOC 計 ((株)島津製作所製、TOC-V) を用いて水溶液の TOC 濃度を測定することにより求めた。

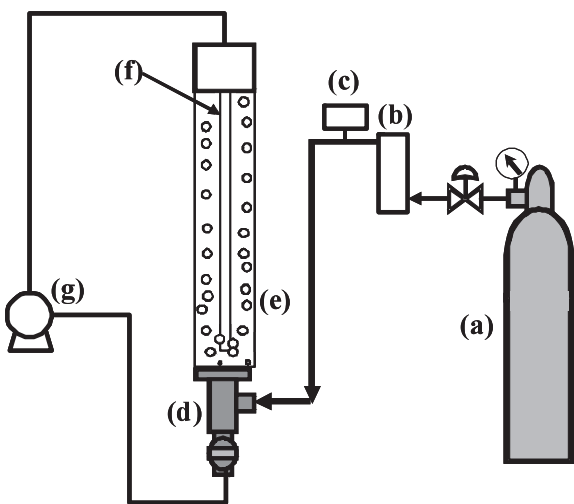


図1 実験装置の概念図

(a) ガスボンベ (b) ガス流量計 (c) 圧力計 (d) 膜モジュール (e) 分解カラム (f) UV ランプ (g) 送液ポンプ

3 結果および考察

3-1 SDBS の分解に及ぼすナノバブルの影響

図2にSDBS濃度とTOC濃度の経時変化を示す。SDBS水溶液に紫外線のみを照射した場合に比較して、紫外線を照射しながら酸素を内包したナノバブルを介在させることによりSDBSの分解速度や無機化速度が上昇した。24h後においてSDBSは99.8%分解され、TOCは76.8%低減した。図3に分解液の液体クロマトグラムの経時変化を示す。溶離時間10.2minにSDBSに一致するピークが認められ、分解に伴いSDBS濃度が減少することがわかる。溶離時間6.8minには副生成物と思われるピークが時間と共に増大することが認められた。図2、3の結果からSDBSは速やかに分解されるが、無機化には時間を要することが明らかである。これらの結果は促

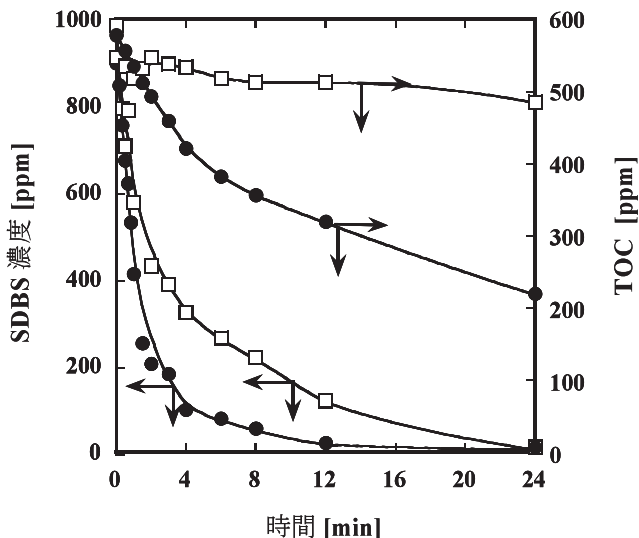


図2 SDBS濃度とTOCの経時変化：(□) 紫外線照射のみ、(●) 紫外線とナノバブルの併用

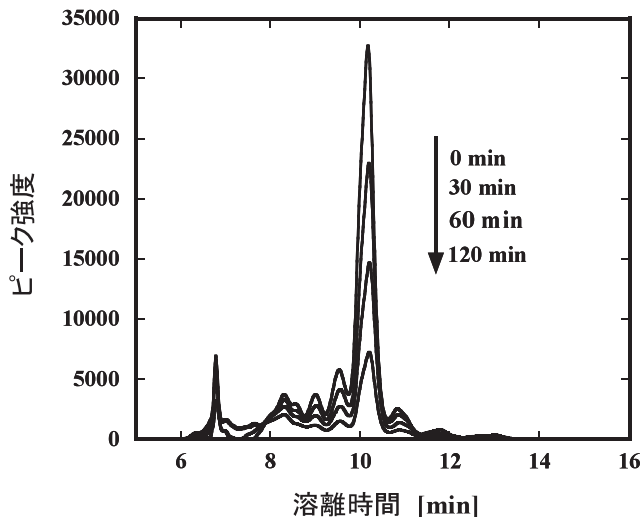


図3 SDBS分解液の液体クロマトグラムの経時変化

進酸化法による既往の研究の結果²⁾と一致する。

3-2 SDBS、SDS および BS の分解特性の比較

難分解性物質がナノバブル表面で分解されるかどうかを調べるため、界面活性を有するSDBSおよびSDS、ならびに界面活性を有しないBSの3種類の物質を用いて分解実験を行い、原液中の物質がどれくらい残存しているかを、TOCを指標として経時的に調べた。その結果を図4に示す。SDBSおよびSDSの無機化はBSのそれより促進されることが明らかである。この結果は図5に示す表面張力の経時変化と良く対応した。すなわち、SDBSおよびSDSの無機化の進行に伴い、水溶液の表面張力が上昇した。これは気泡表面に吸着するSDBSおよびSDSイオ

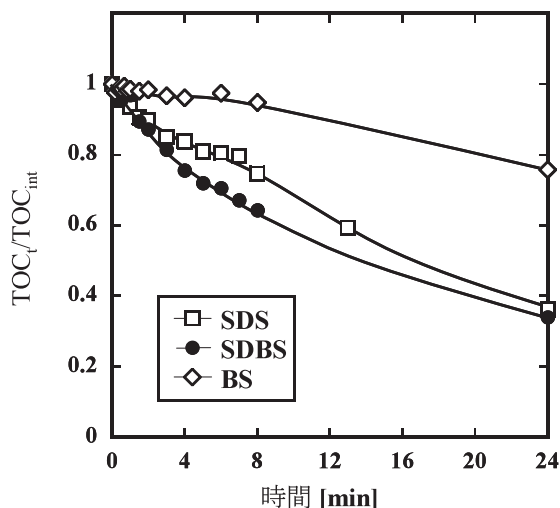


図4 SDBS、SDS および BS の TOC 残存比率の経時変化

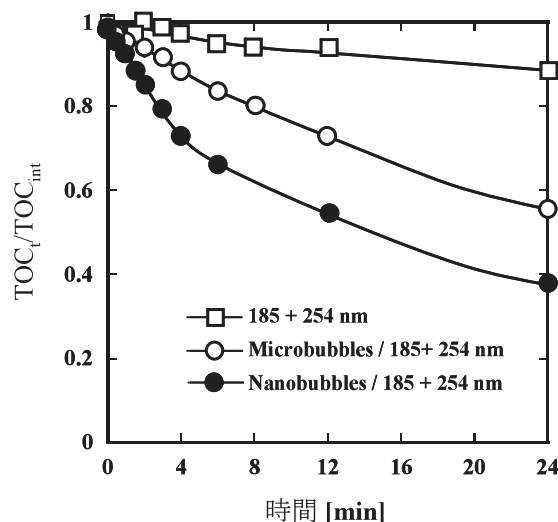


図6 SDBS の分解に及ぼす気泡サイズの影響:
(□)紫外線のみ、(○)紫外線+マイクロバブル、(●)
紫外線+ナノバブル

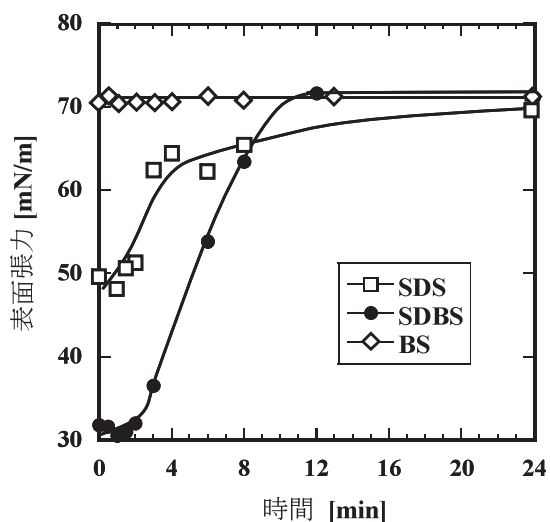


図5 SDBS、SDS および BS 水溶液の表面張力の経時変化

ンの量が無機化に伴い、低減したことを示している。これに対して、BSは気泡表面に吸着せず、分解もほとんどしないために表面張力の変化は認められなかった。これらの結果から、界面活性物質の分解はナノバブルの表面近傍で進行することが示唆された。

3-3 SDBS の分解に及ぼす気泡サイズの影響

界面活性物質の分解が気液界面（気泡表面）で進行すれば、気液界面積が増大するほど分解速度は上昇すると予想される。このため、気泡径 76 μm のマイクロバブルと気泡径 720 nm のナノバブルを用いて、気泡サイズが SDBS の分解に及ぼす影響を調べた。その結果を図6に示す。マイクロバブルよりナノバブルを用いた方が無機化速度は増大し、気液界面積の増大により無機化が促進されること

が示された。

4 まとめ

安価な空気を用いたナノバブルに紫外線を照射させるだけで、水中の界面活性物質を効率良く分解できることが示された。当該技術は、排水中に含まれる難分解性物質の処理に応用できる可能性がある。

5 参考文献

- 1) 久木崎雅人, 中島忠夫, 宋 軍, 小濱泰昭, 化学工学論文集, **30**, 654 (2004).
- 2) H. Hidaka, J. Zhao, E. Pelizzetti, N. Serpone, *J. Phys. Chem.*, **96**, 2226(1992).