

音響キャビテーションによるヒドロキシラジカルの生成に及ぼすアルキル硫酸ナトリウムの添加効果

松本大志*・徳岡由一*,**†

* 桐蔭横浜大学大学院工学研究科医用工学専攻 神奈川県横浜市青葉区鉄町1614 (〒225-8503)

** 桐蔭横浜大学医用工学部生命医工学科 神奈川県横浜市青葉区鉄町1614 (〒225-8503)

† Corresponding Author, E-mail: tokuoka@toin.ac.jp

(2020年8月20日受付, 2020年9月28日受理)

要 旨

n-アルキル硫酸ナトリウム (SAS) 水溶液に超音波を照射した際のヒドロキシラジカル (OHラジカル) の生成量と水溶液の気液界面物性との相関について検討した。SASとしては、ドデシル硫酸ナトリウム (SDS)、オクチル硫酸ナトリウム (SOS) およびエチル硫酸ナトリウム (SES) を用いた。また、OHラジカルの検出にはテレフタル酸二ナトリウム (TP) を用いた。TP-SAS水溶液に超音波 (47 kHz, 60 W) を照射したところ、TP-SDSおよびTP-SOS系ではTP単独系よりOHラジカルの生成が低下した。一方、TP-SES系は、SES低濃度においてOHラジカルの生成がTP単独系より増加した。また、動的表面張力の結果から、気泡の生成・成長のしやすさはTP-SDS系>TP-SOS系>TP-SES系≒TP単独系であることがわかった。さらに、ラメラおよび表面粘性の結果から、泡膜の安定性はTP-SDS系>TP-SOS系>TP単独系>TP-SES系であることが示唆された。これらの結果から、SESによるOHラジカル生成の増加は、泡膜の安定性の低下による気泡の圧壊の促進が寄与していると推察される。

キーワード：アルキル硫酸ナトリウム、音響キャビテーション、ヒドロキシラジカル、テレフタル酸二ナトリウム、界面化学的性質

1. 緒 言

化粧品分野において、超音波はさまざまな用途に用いられている。たとえば、エマルションや分散液の調製、顔料の粉碎、リポソームの調製、天然物からの活性成分の抽出などに利用されている。また、微細な振動を肌に与えることにより、毛穴に詰まった汚れや古くなった角質を落とすための超音波美顔器などが上市されている。

液体中に超音波が伝播する際、液体内の圧力低下により部分的に蒸発が起り、微小気泡が発生する。この現象を音響キャビテーション (Acoustic cavitation) という。音響キャビテーションにより発生した気泡は、超音波の音圧の変化に同期して膨張収縮を繰り返しながら成長する。そして、最終的に気泡は急速に圧縮されて潰される。このような気泡の急速な圧縮を圧縮破壊 (圧壊) という¹⁾。圧壊は断熱圧縮変化であり、気泡内部は瞬間的に高温高圧状態となる。その際、ヒドロキシラジカル (OHラジカル) が気泡内部の水分子の熱分解によって生成される²⁻⁴⁾。

OHラジカルは反応性がきわめて高い活性酸素種である。近年、音響キャビテーションによって生成されたOHラジカルがさまざまな分野で利用されている。たとえば、超音波洗浄、有機物質の分解⁵⁾、高分子の低分子化⁶⁾、微生物の殺菌処理⁷⁾、がん治療⁸⁾などに用いられている。

音響キャビテーションによるOHラジカルの生成には、発生する気泡の泡膜の界面化学的性質が直接寄与すると考えられる。実際、添加物による泡膜の界面化学的性質の変化によって、

音響キャビテーションによる気泡やOHラジカルの生成が変化することが知られている。たとえば、Leeらは、界面活性剤水溶液に超音波を照射した際、界面活性剤濃度の増加にともない生成する気泡の成長速度が増加することを報告している⁹⁾。さらに、Choiらは、界面活性剤水溶液に周波数108 kHzの超音波を照射した際、OHラジカルの生成量は界面活性剤濃度の増加にともない減少するが、1.0 MHzの超音波では増加することを見いだした¹⁰⁾。さらには、Kawabataらは、キサントン系色素であるローズベンガルやフロキシニンBが、キャビテーションを生じる音響強度閾値を低下させることを見だし、これはキサントン系色素による気泡の安定化に起因すると述べている¹¹⁾。しかし、音響キャビテーションによるOHラジカルの生成と添加物の界面化学的性質との相関を系統的に議論した報告はほとんどない。OHラジカルの生成と添加物の界面化学的性質との相関が明らかになれば、OHラジカルの生成を制御するための新たな添加物を探索するうえで有用な情報となる。

そこで本研究では、典型的なアニオン系界面活性剤であるドデシル硫酸ナトリウムを含む種々のn-アルキル硫酸ナトリウムを用いて調製した水溶液に超音波を照射した際のOHラジカルの生成量を測定するとともに、それら水溶液の気液界面における界面化学的性質、すなわち動的表面張力、ラメラ長および表面粘性を測定し、OHラジカル生成と界面化学的性質との相関について検討した。