

氏名（本籍）	青野 恵太（和歌山県）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第101号
学位授与日付	令和3年3月25日
専攻	システム工学専攻
学位論文題目	Studies on Foam Control of Sulfate Ester and Sulfonate Type Anionic Surfactant Aqueous Solutions Based on Air-Water Interfacial Rheological Properties
学位論文審査委員	(主査) 教授 矢嶋 摂子 (副査) 教授 坂本 英文 准教授 中原 佳夫

## 論文内容の要旨

### 第一章 緒言

界面活性剤を使用することにより発生する泡沫の特性制御は、界面活性剤を利用する様々な産業分野においてはしばしば大きな課題となっている。そのため、泡沫の特性制御に関する研究には古くから多くの研究者の関心を集めている一方で、泡沫は熱力学的に不安定な現象のため解析が困難であり、完全に泡沫を制御するための知見は未だ十分とは言えない。泡沫特性は、動的表面張力、液膜からの排液、表面の粘弾性等さまざまな動的な要因によって決定づけられるが、これらの現象の多くは気-液界面のレオロジー特性と関係することが知られている。この研究では、汎用性が高い硫酸エステル塩型および硫酸塩型アニオン性界面活性剤として、直鎖状一鎖型のアルキル硫酸ナトリウム (AS) と、分岐状二鎖型の疎水基構造を有するビス(2-エチルヘキシル)スルホコハク酸ナトリウム (AOT) を用い、これらの単独および混合水溶液において、気-液界面レオロジー特性と泡沫特性の関係について検討した。さらに、極低濃度のポリプロピレングリコール (PPG) の添加が AOT 水溶液の泡沫特性に与える影響について評価した。

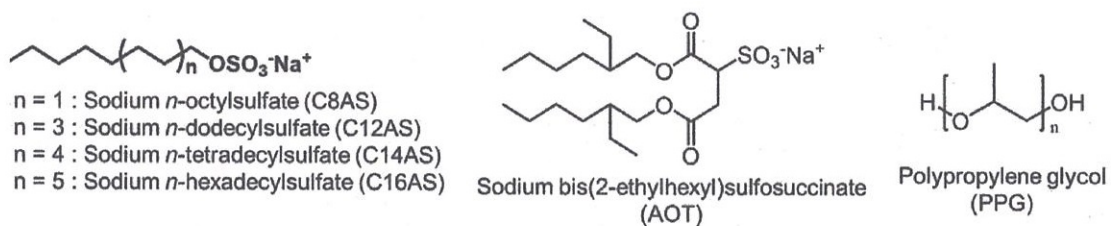


図 1. 本研究に用いた化合物の分子構造

### 第二章 異なる炭素数の直鎖 AS 単独水溶液における気-液界面レオロジー特性と泡沫特性の関係

異なる炭素数の直鎖状一鎖型の AS (C8AS, C12AS, C14AS, C16AS) の単独水溶液において、気-液界面レオロジー特性と泡沫特性の関係について調査した。直鎖 AS 単独水溶液は、疎水基の炭素数が増加するにつれて、より低濃度で気-液界面粘弾性率の最大値 ( $E_{max}$ ) を示し、その値は増加した。比較のために、分岐状二鎖型の疎水基構造を有する AOT の単独水溶液について検討したところ、結果は直鎖 AS で観察された傾向から逸脱し、より低濃度でより低い  $E_{max}$  を示した。さらに、動的表面張力と起泡性、 $E_{max}$  と泡安定性が互いに相関することを示した。

### 第三章 直鎖 AS と AOT の混合水溶液における気-液界面レオロジー特性と泡沫特性の関係

直鎖 AS と AOT の混合水溶液において、気-液界面レオロジー特性と泡沫特性の関係について調査した。これらの混合水溶液の気-液界面粘弾性率は、それぞれの単独水溶液における「 $E_{max}$  を示す濃度」と「表面張力勾配の緩和速度」によって決定された。AOT は  $E_{max}$  を示す濃度が直鎖 AS と比較して低く、表面張力勾配の緩和速度が速いことに基づいて、AOT の添加は直鎖 AS 水溶液の界面レオロジー特性と泡沫特性に大きな影響を与えた。具体的には、炭素数 14 以下の直鎖 AS と AOT の混合水溶液では、界面粘弾性率は水溶液の AOT 濃度に完全に依存し、さらに、C12AS と AOT の混合水溶液の泡沫特性は AOT 単独の泡沫特性とほとんど一致した。また、C16AS は AOT と混合することにより  $E_{max}$  および泡沫安定性が有意なレベルで低下した。

### 第四章 極低濃度の PPG が AOT 水溶液の気-液界面レオロジー特性および泡沫特性に与える影響

極低濃度の PPG が AOT 水溶液の界面レオロジー特性および泡沫特性に与える影響について調査した。極低濃度の PPG の添加は、AOT 溶液の気-液界面のレオロジー特性に大きな影響を与え、泡沫を有意なレベルで安定化した。PPG 添加による AOT 水溶液の気-液界面レオロジー特性の変化は、主に二つの要因に起因することを明らかにした。一つは、PPG と AOT の共吸着によって、AOT の低濃度領域においても表面被覆率が増加したことであり、もう一つは、バルク水溶液中での PPG と AOT 間の相互作用によって、界面とバルク水溶液間の AOT 分子の吸脱着頻度が減少したこと、界面張力勾配緩和が抑制されたことであった。この二つの要因はどちらも気-液界面粘弾性率を増加させるので、その結果、本質的には不安定な AOT 水溶液の泡沫が安定化された(図2)。

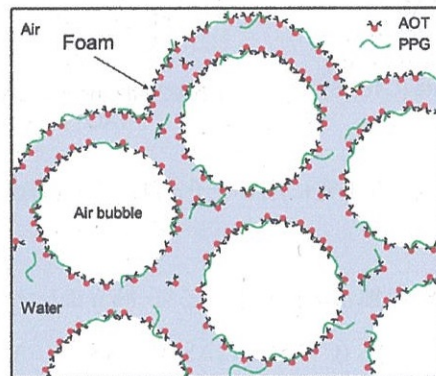


図 2. AOT/PPG 混合水溶液の泡沫の模式図

### 結論

この研究では、直鎖 AS 水溶液の泡沫特性は、AOT との混合により効果的に制御できることを示した。さらに、極低濃度の PPG の添加により、本質的には不安定な AOT 水溶液の泡沫を安定化できることを示した。これらの気-液界面のレオロジー特性の変化に基づく硫酸エステル塩型および硫酸塩型アニオン界面活性剤水溶液の泡沫特性制御に関する現象を、本研究で初めて明らかにした。今後、同種のアニオン界面活性剤を用いる様々な産業分野において、本手法の利用が期待される。



## 論文審査の結果の要旨

本論文は、泡沫の特性制御についての知見を得ることを目的とし、汎用性が高い硫酸エステル塩型および硫酸塩型アニオン界面活性剤を用いて、気-液界面のレオロジー特性と泡沫特性との関係について検討を行った内容をまとめたものである。内容に関しては既に掲載されている3報のジャーナル論文に基づいており、問題がなく、得られた結果に対して適切な議論がなされていると判断した。ただ、いくつかのタイプミスや図の修正の必要性などが指摘されたので、それに関して修正する必要がある。以上より、この研究は、気-液界面における泡沫制御の分野の発展に寄与するものであり、学位論文に値するものと結論づけた。

## 最終試験の結果の要旨

1月21日に審査委員全員による口頭試問(発表30分、質疑応答60分)を行った。研究の目的、意義、結果、考察について多くの質問がなされたが、申請者は、適切な回答および議論を行った。さらに、1月27日に公聴会(講演30分、質疑応答30分)を実施した。論文の内容および関連の事項に関する質問がなされ、適切な回答および議論を行った。以上のことから、審査委員会は、最終試験合格に値すると結論した。

論文審査および最終試験の結果を総合し、博士学位授与に値すると判断した。