

泡沫分離法による重金属イオンの分離のための泡沫の構造評価

Structural evaluation of foam for separation of heavy metal ions by foam separation method

吉村 倫一¹⁾・矢田 詩歩^{1), 2)}・大野 正司³⁾

Tomokazu YOSHIMURA¹⁾・Shiho YADA^{1), 2)}・Masashi Oono³⁾

¹⁾奈良女子大学・²⁾東京理科大学・³⁾日産化学株式会社

(概要)

最近、申請者らは、金属イオンを用いた泡沫分離の高い回収率および濃縮比を目指して、多分岐2鎖構造を有するポリオキシエチレン (EO) 系非イオン界面活性剤を新規に開発した。この界面活性剤は対応する単鎖型 EO 系非イオン界面活性剤と比べて、高い界面吸着と泡沫特性を有することを見出した。本研究では、JRR-3 に設置された SANS-J を用いて、多分岐2鎖1親水基型 EO 系非イオン界面活性剤および単鎖型 EO 系非イオン界面活性剤の泡沫の構造と安定性をガリウムイオンの添加、無添加の両方で検討した。

キーワード：泡沫・中性子小角散乱・ポリオキシエチレン系非イオン界面活性剤

1. 目的

日本国内で原子力発電所の廃炉が進み、中間貯蔵施設に汚染物質の保管が行われると、汚染水処理や減容化問題は避けられない課題となる。泡沫分離は、界面活性剤が吸着した泡に溶液中の金属イオンが吸着し、その泡が上昇して泡沫となり目的の金属を回収する方法である。これまでに、ポリオキシエチレン (EO) 鎖を有するリン酸エステル型アニオン界面活性剤や EO 系非イオン界面活性剤、ドデシル硫酸ナトリウム系アニオン界面活性剤を用いた泡沫分離の研究が行われ、各種金属イオンの回収率 (30~80%) が報告されている。これらの先行研究は、装置を改良することで金属イオンの回収率の向上を目指したものがほとんどである。しかし、我々は、泡沫の特性を十分に生かすことで金属イオンの高い除去率が得られると考えている。泡の特性を知ることは泡沫分離の研究を進めるうえで重要であり、また泡沫を作る界面活性剤の物性を理解することも重要である。

本研究では、金属イオンを用いた泡沫分離の高い回収率および濃縮比を目指して、多分岐2鎖1親水基型 EO 系非イオン界面活性剤 (bC_7 - $bC_9EO_{16.0}$ 、 bC_7 と bC_9 はそれぞれ総炭素数7,9の分岐鎖、 $EO_{16.0}$ は平均EO鎖長16.0) および単鎖型 EO 系非イオン界面活性剤 ($C_{16.8}EO_{15.5}$) の泡沫特性を中性子小角散乱 (SANS) を用いて検討することを目的とする。SANS-J 装置を用いた泡沫の SANS 測定は、J-PARC の TAIKAN や i-MATERIA と比べて広い q 領域での実施が可能であり、高い精度で泡沫の構造 (泡膜の厚さやプラトーボーダー、界面の界面活性剤のパッキング状態、泡膜中のミセルの存在など) や安定性 (泡沫の破壊や排水の度合いなど) を明らかにできる利点がある。

2. 方法

SANS 測定は、JRR-3 に設置された中性子小角散乱装置 SANS-J を用いて、多分岐2鎖1親水基型 EO 系非イオン界面活性剤 bC_7 - $bC_9EO_{16.0}$ および単鎖型 EO 系非イオン界面活性剤 $C_{16.8}EO_{15.5}$ が重水でつくる泡沫の構造と安定性を室温で検討した。散乱ベクトル q の範囲は $0.005 \sim 2 \text{ nm}^{-1}$ の条件で試料-検出器間距離を変えて散乱プロファイルを得た。 bC_7 - $bC_9EO_{16.0}$ および $C_{16.8}EO_{15.5}$ の重水溶液にガリウムイオンを添加して、同様に泡沫を作り、SANS により泡沫の構造と安定性を評価した。

底部にフィルターを入れた試料セル (内径 30 mm、高さ=500 mm の円筒状) に界面活性剤の重水溶液 (30 mL) を注ぎ、電動エアポンプで一定流速 (25 mL s^{-1}) の空気をフィルターを介して起泡させた¹⁾。試料セルの窓には 1 mm の石英ガラスを用いた。試料セルが泡沫で満たされたことを確認し、エアポンプを止め、泡沫に中性子を1分間隔で15分間照射して SANS の測定を行った。セルの底部から高さ 180 mm で中性子ビームを照射し、散乱プロファイルを得た。

3. 結果及び考察

多分岐 2 鎖 1 親水基型 EO 系非イオン界面活性剤 $bC_7-bC_9EO_{16.0}$ と単鎖型 EO 系非イオン界面活性剤 $C_{16.8}EO_{15.5}$ のガリウムイオン添加および無添加の重水溶液 (10 mmol dm^{-3}) の高さ 180 mm における起泡直後から 30 分後までの 1 分毎の SANS の散乱プロファイルを得た。 $bC_7-bC_9EO_{16.0}$ のガリウムイオン無添加では、2 分後から $q = 0.02 \text{ \AA}^{-1}$ 付近 (q は散乱ベクトルの大きさ) に屈曲が現れ、時間とともに屈曲点における散乱強度を維持したまま、それ以外の q における散乱強度は徐々に減少した。この屈曲のさらに高 q で二つ目の屈曲が見られ、この二つの屈曲間の q の差 Δq より、泡の膜厚を見積もることができ、泡膜は 30~40 nm であることがわかった。この膜厚は約 30 分間安定に存在することがわかった。一方、 $C_{16.8}EO_{15.5}$ のガリウムイオン無添加では、起泡直後から 15 分後まで、 $q = 0.02 \text{ \AA}^{-1}$ 付近に屈曲が現れ、40~50 nm の泡膜を形成していることがわかった。20 分後には、散乱強度は全体的に減少し、25 分後以降の散乱はバックグラウンドとほぼ同じで、破泡していることがわかった。これより、多分岐構造の 2 鎖型構造にすることで、泡沫安定性が向上することが明らかになった。これらは、改良ロスーマイルズ法や溶液安定性評価による泡沫安定性の結果と同様の傾向であった。また、 $bC_7-bC_9EO_{16.0}$ と $C_{16.8}EO_{15.5}$ のガリウムイオン添加の泡沫についても同様に散乱プロファイルより調べ、ガリウムイオンの添加の影響について検討した。さらに、散乱プロファイルより、泡膜中のミセルの存在や、泡膜の厚みに加え、泡の総量、泡沫中の界面活性剤の体積分率などの時間に依存した情報を得ることができた。

4. 引用(参照)文献等

1. S. Yada, H. Shimosegawa, H. Fujita, M. Yamada, Y. Matsue, T. Yoshimura, Microstructural Characterization of Foam Formed by Hydroxy Group-Containing Amino Acid Surfactant Using Small-Angle Neutron Scattering, *Langmuir*, **2020**, *36*, 7808-7813.