

牡蠣殻を担体として用いた窒素負荷低減型生物脱硫システムの提案

呉工業高等専門学校 正会員 ○谷川 大輔

呉工業高等専門学校 非会員 上原 大希

1. 研究背景

日本における下水処理法の主流となっている活性汚泥法は、短い処理時間で高い処理水質が得られるという特徴を有している一方で、曝気によるエネルギー消費や大量の余剰汚泥発生という課題を抱えている。これらの問題を解決する方法の1つとして、余剰汚泥の嫌気性消化によるエネルギー回収が挙げられるが、バイオガスの脱硫や、消化脱離液の返送による下水処理場における窒素負荷の増加が、その導入の妨げとなっている。湿式脱硫による硫化水素の除去、および消化脱離液中のアンモニアの酸化反応では、液中のアルカリ度が律速因子となることが知られている。そこで本研究では、アルカリ度供給源、兼微生物保持担体として、広島県の地域廃棄物である牡蠣殻に着目し、牡蠣殻を補助担体とした2槽式散水ろ床による窒素除去一体型の生物脱硫システムの提案を目的として実験をおこなった。

2. 実験方法

図1に本研究で用いた2槽式散水ろ床（Two Stage Trickling Filter: TSTF）の概略図を示す。TSTFは、前段の閉鎖型牡蠣殻散水ろ床（Oyster Shell Trickling Filter: OSTF）と、後段の開放型牡蠣殻-下降流懸垂型スポンジ（Oyster Shell - Downflow Hanging Sponge: OS-DHS）リアクターで構成した。OSTFでは、下部よりバイオガスを供給、上部から消化脱離液を散水し、バイオガス中の硫化水素を消化脱離液中に溶解させることで除去することを目的とした。OS-DHSでは、OSTF処理水中のアンモニアおよび硫化水素の生物酸化、および硫黄脱窒反応による窒素除去を目指した。担体として、OSTFには牡蠣殻を、OS-DHSには牡蠣殻とポリウレタンスポンジを50%ずつ充填した。OSTFの脱硫時間は14分、OS-DHSの水理学的滞留時間は23時間とした。実験開始から約2ヶ月間は準備期間とし、研究室の嫌気性消化槽から生成

したバイオガスを、その後は下水汚泥の嫌気性消化槽を想定した模擬バイオガス（硫化水素濃度：800 ppm）を供給した。消化脱離液には、下水処理場内に設置された下水汚泥の嫌気性消化槽から採取したものをを用いた。

本研究では、牡蠣殻担体の形状（OSTF）および配置方法（OS-DHS）により、2つの期間に分けて実験をおこなった。期間1（運転60～154日目）では、OSTF、OS-DHS共に未加工の牡蠣殻を充填した。OS-DHSでは、上段に牡蠣殻、下段にスポンジをそれぞれ配置し、最終処理水の一部を循環比1:1で循環させた。期間2（運転154日目以降）では、OSTFの脱硫性能を向上させるため、破碎した牡蠣殻担体に変更し、担体充填率を向上させた。また、最大脱硫速度を評価するため、模擬バイオガスの供給量を増加させながら運転をおこなった。OS-DHSでは、牡蠣殻のアルカリ度供給機能を向上させるため、担体の配置を上下段共に、スポンジ、牡蠣殻の順に変更し、処理水循環を停止した。

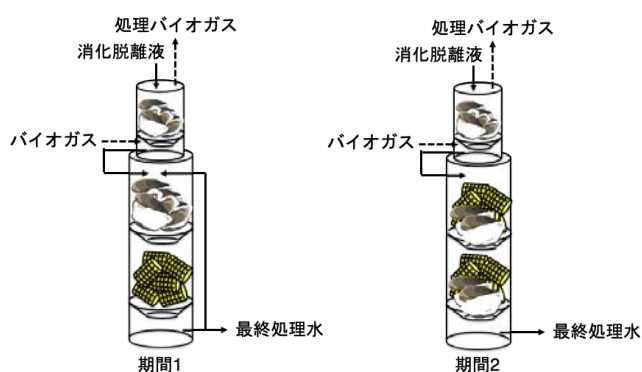


図1 2槽式散水ろ床の概略図

3. 実験結果

図2にOSTFの流入、流出硫化水素濃度の経日変化を、図3にOSTFの硫化水素除去速度および硫化水素除去率の経日変化をそれぞれ示す。模擬バイオガスの供給を開始した期間1では、流出の硫化水素

キーワード 2槽式散水ろ床、牡蠣殻、下水汚泥、嫌気性消化、生物脱硫

連絡先 〒737-8506 広島県呉市阿賀南2-2-1 1

呉工業高等専門学校 環境都市工学科 TEL0823-73-8955

濃度は期間初期から検出限界値以下を維持しており、良好な硫化水素除去性能が確認された。牡蠣殻担体の充填率を上げ、バイオガス供給量を増加させた期間2では、硫化水素除去速度が $20 \text{ gS}/(\text{m}^3 \cdot \text{hr})$ までは硫化水素除去率 100% を達成し、その後、硫化水素除去率の低下が確認された。当該除去速度時の OSTF の脱硫時間は 4.4 分であり、当初の設計条件に対して約 1/3 まで短縮することが可能となった。したがって、牡蠣殻の脱硫担体としての適用可能性が示唆された。

図4に OS-DHS 内での窒素濃度の経日変化を示す。期間1では消化脱離液を4~5倍に希釈して供給しており、平均アンモニア除去率は 32.9% であった。処理水中に亜硝酸と硝酸が検出されていたことから、OS-DHS 内での硝化反応の進行が確認されたが、処理水の pH が 5.9 まで低下しており、牡蠣殻によるアルカリ度の供給が機能していなかったことが示唆された。一方、担体の配置を変更した期間2では、OS-DHS 処理水の pH は 7.8 と硝化反応に適切な pH を維持できしており、担体配置の変更によって牡蠣殻のアルカリ度供給機能が発揮されていたことが考えられた。

期間2の後半では、消化脱離液の希釈倍率を徐々に低下させ、最終的に消化脱離液原液を供給した。当該期間におけるシステム全体での窒素バランスを図5に示す。消化脱離液原液を供給した際の、システム全体でのアンモニア除去率と全無機態窒素除去率はそれぞれ、22.0%と 2.5% であった。したがって、硝化反応によるアンモニア除去は進行しているものの、硫黄脱窒反応による窒素除去はほとんど進行していないことが示唆された。また、最終処理水中の亜硝酸濃度が硝酸濃度を上回っていたことから、亜硝酸酸化が硝化反応の律速段階となっていたことが考えられた。一方で、OS-DHS におけるアンモニア除去速度は $0.17 \text{ kgN}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ と、消化脱離液を処理する DHS と同程度となっており、担体の 50% を牡蠣殻に置き換えても、硝化性能が維持可能なことが示唆された。

4. まとめ

本研究により、下水汚泥の嫌気性消化を対象とした、牡蠣殻の脱硫担体、兼アルカリ度供給源としての適用可能性が確認された。当該システム内では、牡蠣殻は完全に溶解し、消失することを想定しているため、廃棄物処理を兼ねた持続可能な下水処理技術の

一部として、適用可能となることが期待された。

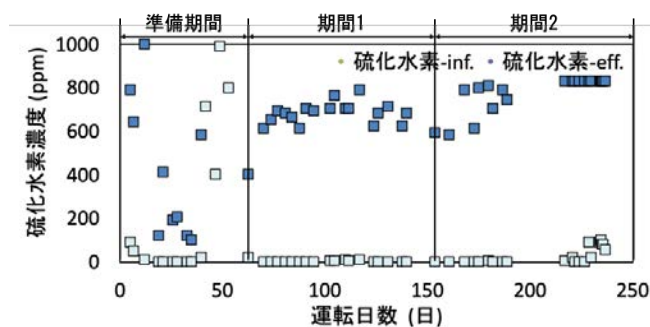


図2 硫化水素濃度の経日変化

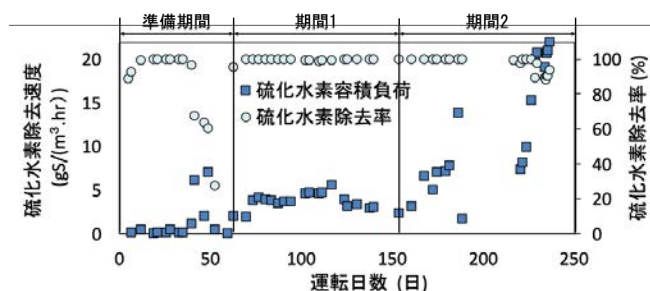


図3 硫化水素除去速度および硫化水素除去率の経日変化

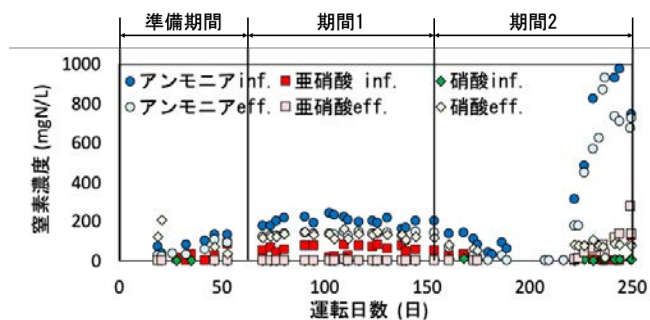


図4 OS-DHS 内での窒素濃度の経日変化

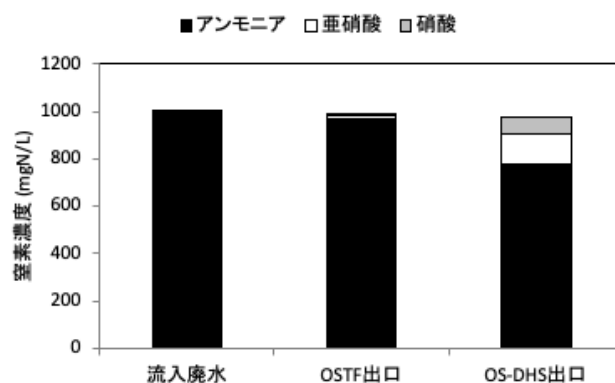


図5 システム全体での窒素バランス（原液供給時）

【謝辞】

本研究は2021年度フソウ技術開発進行基金の研究助成を受けたものである。