

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04416

研究課題名（和文）バイオガスによる阻害物除去が可能な新規嫌気処理リアクターの開発

研究課題名（英文）Development of novel anaerobic treatment reactor for removing inhibitors using produced biogas

研究代表者

小野寺 崇（Onodera, Takashi）

国立研究開発法人国立環境研究所・地域環境研究センター・主任研究員

研究者番号：30583356

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、新規な嫌気性処理リアクターの開発を目指して、主にリアクターの連続実験による処理性能の評価を行った。新規技術は、前段（阻害物除去）と後段（メタン生成）が上下に半連結した構造により、後段の発生ガスが前段に無動力で供給される仕組みとした。本リアクターは、模擬廃水を用いた運転試験によって、バイオガスによる硫化水素のストリッピング除去により、下段（メタン生成）に流入する廃水の硫化物濃度が低下することが示された。このストリッピング機能によって嫌気性処理の安定化に寄与することが示唆された。また、本リアクターの実用化に向けて、リアクター構造や運転条件の決定に向けたデータやノウハウの蓄積を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

嫌気性処理法による有機性廃水・廃棄物の処理は、好気性処理法に比べて運転コストが安価で、バイオガスとしてエネルギーを獲得可能な特長があるため脱炭素社会を目指すための重要な技術となる。しかしながら、嫌気性処理は好気性処理と比較して処理が不安定であるという欠点がある。この一つの大きな要因は嫌気性処理において生成する阻害物によってメタン生成菌の活性が低下することである。本研究では、この阻害物の除去のために、メタン生成菌自身が生成するバイオガスを利用することで性能の安定化を図るユニークな技術を提案して、本研究を通じてその効果の証明に成功しており、新たな基盤的技術となりうることを示すことができた。

研究成果の概要（英文）：In this study, we proposed a novel anaerobic reactor and evaluated the process performance based on reactor monitoring data. The proposed reactor was consisted of a first segment (inhibitor stripping) and a second segment (methane fermentation). The unique concept of the reactor system is the fact that the first segment was supplied with biogas produced from second segment. Reactor experiment showed that H₂S stripping in first segment reduced sulfide concentration in influent of second segment. This stripping feature may attribute to stable process performance for anaerobic digestion. In addition, the data and technical know-how on reactor configuration and operating condition suitable for reactor application.

研究分野：環境工学

キーワード：メタン発酵 阻害物 バイオガス ガスストリッピング 硫化物 嫌気性リアクター

1. 研究開始当初の背景

嫌気性処理法による有機性廃水・廃棄物の処理は、好気性処理法に比べて運転コストが安価で、バイオガスとしてエネルギーを獲得可能な特長がある。現在、エネルギー安全保障や地球温暖化問題への関心が集まっており、電源の多様化が求められる日本を初めとして、メタン発酵施設 11,000 基の建設を予定する米国、2020 年までにバイオガスエネルギー施設 1200 箇所を建設予定のドイツ、経済成長の著しい開発途上国などでは、嫌気性処理技術へのニーズが高まると予測される。そのなかで我が国は、高い技術力を活かして、優れた環境技術の普及を促進し、水環境の改善、創エネルギー、気候変動への緩和策などへの貢献とともに、技術の世界展開により市場を獲得して、経済成長に寄与していくことが求められている。

しかしながら、既存の嫌気性処理技術は欧米で開発されたものであり、日本発のオリジナル技術はない²⁾。実際に、Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)、Expanded Granular Sludge Blanket (EGSB)、Internal Circulation (IC)などの高速処理型リアクターがシェアの大半を占めている。そのため独創的な基盤的技術の研究開発に挑戦することが必要であると考えた。

嫌気性処理法の課題は、処理性能の不安定性である。処理性能の不安定性は、阻害物(硫化水素、アンモニア、水素、陽イオンなど)に対する脆弱性が一因である。阻害物除去には、希釈水や薬品を加えるため、ランニングコストの増大につながる。そこで、リアクター自体から生成するバイオガスを利用した阻害物除去の方法も提案されている。しかし、メタン生成反応とガスストリッピングの至適 pH が異なり、前者は中性付近であるのに対して、後者では、硫化水素除去は酸性 (<6)、アンモニア除去はアルカリ性 (>8) であるため、単独槽で効率的に両反応を行うことは困難である(図 1 A&B)。一方、複数の反応槽により pH を別々に管理すると、メタン生成槽(後段)で生成したバイオガスを、前処理槽(前段)に導入する必要があるため、ばっ気装置の設置やランニングコストが課題となる。

そこで、本研究では前段(前処理)と後段(メタン生成)が上下に半連結した構造により、後段で発生したバイオガスが酸生成相に無動力で供給される仕組みを提案した(図 1C)。これにより、ガス攪拌による汚泥と廃水の接触効率の向上とともに、阻害物(硫化水素、アンモニア、水素など)をガスストリッピングで除去し、後段のメタン生成反応の効率化・安定化を図る。前段(上)と後段(下)の境界面には、特許技術である「気体式液体仕切弁」を用いることで、酸生成相とメタン生成相の水は混合せずに、下段のバイオガスが仕切弁を通過して上段に供給される(図 1D)。仕切弁は、上下の分離板に穴を空けて煙突状にして、その上に隙間を設けてキャップをかぶせた構造である。ここで、キャップ内にガスが溜まると上段と下段の液体は混合されない。同時に、下段からバイオガスが発生すると、キャップに貯留されているガスが溢れて、上段に無動力で供給される。

2. 研究の目的

本研究では、新しい技術コンセプトを基にした技術によって、高効率・高安定型の嫌気性廃水処理リアクターの開発を目的とした。本研究期間には、ラボスケールでのリアクターを用いた処理性能の評価試験を実施した。具体的には、バイオガスによる阻害物除去機能の有するリアクター(実験系)と対象系を準備して、阻害物を含む模擬排水を供給して連続運転試験を実施し、バイオガス中の阻害物濃度と処理水質の比較を実施した。これにより、阻害物除去機能が及ぼすガス組成と処理水質に与える影響を評価した。

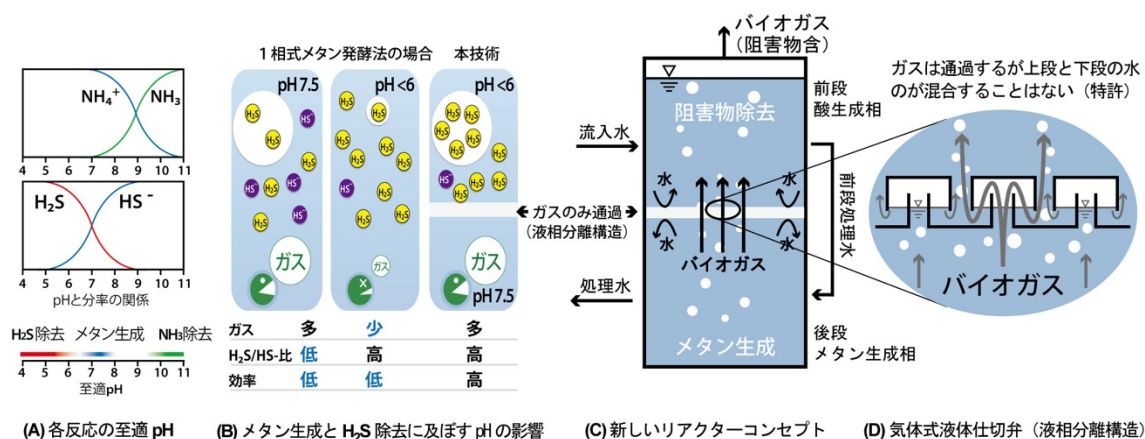


図 1 本研究における提案技術の概要

3. 研究の方法

本リアクターは、前段（上段）と後段（下段）に分かれており、後段から発生したバイオガスが、中間に位置する相分離部に導入され、前段に無動力で導入されるシステムとした。流入水は前段の下部に導入されて上部から排出された後、後段の下部に供給されて上部から排出される。リアクター前段（上段）の容量は 5.35 L、後段（下段）は 5.15 L とした。また、相分離部の有効容量（ガス貯留部を除く）は 0.74 L とした。これらの総リアクター有効容量は 10.78 L とした。リアクターの高さは 2.20 m とした（上段部: 1.00 m、相分離部: 0.15 m、下部: 1.05 m）。温度調整はリアクターのウォータージャケット部に定温水を供給して行った（外部開放系循環装置クーライン CLH302, ヤマト科学）。流入水供給には、送液ポンプ（ポンプヘッド: 77201-62, イージーロードポンプヘッド, 送液ポンプ: 7528-30, Master flex）を用いた。酸生成槽内の廃水の pH は約 6 以下となるように調整した。リアクターは実験系と対照系の 2 台を並列で運転した。リアクターの温度は 35~36°C とした。

流入水として用いた模擬廃水の COD を 10000 mg/L とした（スクロース 4000 mg/L; 酢酸ナトリウム 3000 mg/L; プロピオン酸 1500 mg/L; ペプトン 1000 mg/L）。硫黄源として Na_2SO_4 を用いて、濃度は実験期間において 400 から 800 mgS/L とした。また模擬廃水には栄養塩および微量元素を加えた (KH_2PO_4 150 mg/L; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 150 mg/L; $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 400 mg/L; KCl 300 mg/L; NH_4Cl 110 mg/L; $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 3.93 mg/L; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.17 mg/L; ZnCl_2 0.07 mg/L; H_3BO_3 0.06 mg/L; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.5 mg/L; $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.04 mg/L; $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.03 mg/L; $\text{NaMoO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.03 mg/L)。

本リアクターの下段の植種汚泥には UASB 汚泥を用いた。植種汚泥の投入量は 3.5 L とした (82.5 gSS/L, 69.3 gVS/L, SVI 1.5 ml/g)。後段（下段）の処理水の半量を前段（上段）に返送した（返送率 100%）。処理性能を比較評価する際の下段（メタン生成反応）における HRT は 24 時間、COD 負荷を 10 kgCOD/m³ day とした。

4. 研究成果

本連続実験では、実験系および対象系リアクターを並列で運転し、同一の運転条件（流入水の組成、有機物負荷、返送率）で実験を行い（COD: 10,000 mgCOD/L、 SO_4^{2-} : 800 mgS/L）、両リアクターにおける硫化物の除去量と水質の比較を行った。

本リアクターでは、上段に模擬廃水が供給されるとともに、硫化物を含む下段の処理水が循環して供給された。ここに下段で生成したバイオガスが相分離部を通じて供給されたことから、本研究で開発したリアクターが適切に機能することが確認された。ストリップング後の上段の処理水を下段に供給し、メタン発酵を進行することでバイオガスを生成し、硫酸還元が進行することで硫化物が生成された。硫化物の一部は下段においてバイオガスによって除去された。また、硫化物の一部は上段に循環されることで、ガスストリップングによる除去が進行した。

実験系と対象系における有機物と硫化物の除去性能を比較するためマスバランスを図 2 に示した。流入 COD の 10000 mg/L のうちメタンに転換された COD は約 8000 mg/L であった。残りは硫酸還元反応により消費されたと考えられ、処理水に残存する COD は僅かであった。また、実験系および対象系において処理水質に顕著な差は得られなかった。一方、硫化物の除去に関しては、処理水に含まれる硫化物濃度が 400 mgS/L 以下に低下しており、対象系と比較して優れた硫化物除去性能が発揮されることが確認された。

本結果から本研究によって開発されたリアクターにおいてバイオガスによる阻害物除去能を有することが明らかとなった。

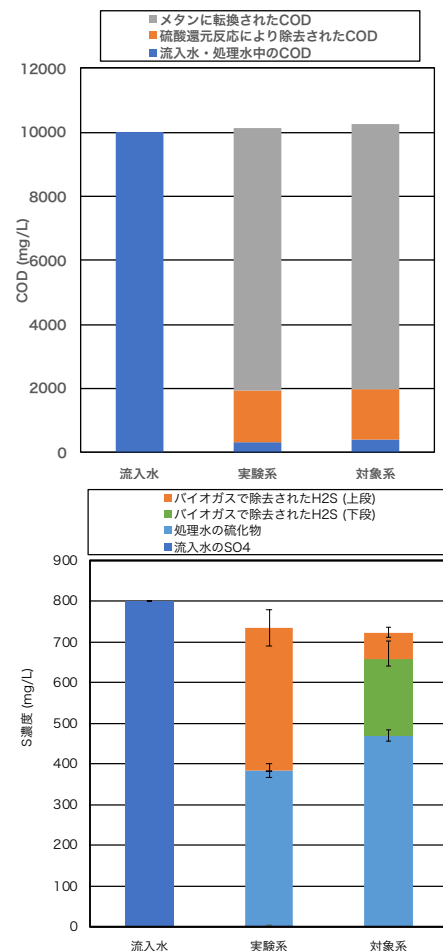


図2 マスバランス (上: COD、下: 硫黄)

<参考文献>

- 1) 李玉友, 小林拓朗, 世界の嫌気性消化とバイオメタンの新技術の研究開発と実用化, 水環境学会誌, 38 (8), 273-278, 2015
- 2) Frankin, R.J., Full-scale experiences with anaerobic treatment of industrial wastewater. Wat. Sci. Technol., 44 (8), 1-6, 2001

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小野寺崇, 珠坪一晃, 水落元之
2. 発表標題 バイオガスによる阻害物除去機能を有する新規嫌気処理リアクターの開発～阻害物除去に及ぼす各因子の影響評価～
3. 学会等名 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計2件

産業財産権の名称 Wastewater treatment system and gas liquid partition valve	発明者 T Onodera et al.	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、US Patent 10,407,329	取得年 2019年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 Wastewater treatment system and gas liquid partition valve	発明者 T Onodera et al.	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、17741491.9	取得年 2021年	国内・外国の別 外国

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関