

脱気膜を用いたメタン発酵プロセスにおける高効率ガス回収

北海道大学大学院 正 ○佐藤久、高橋慶多、深澤達矢、正 高橋正宏、正 岡部聡
三菱レイヨン・エンジニアリング 中原禎仁、 笹川学

1. はじめに

有機性廃水のメタン(CH₄)発酵プロセスは省エネルギーかつエネルギー生産型の処理法として普及している。しかしながら、処理効率が低い、プロセスが不安定である、といった解決すべき課題が残されている。さらなるCH₄発酵プロセスの高効率化は環境低負荷・エネルギー生産型廃水処理システムの普及を促進するうえで重要である。本研究ではこれまでにCH₄微小電極を開発し、UASBグラニューール内部のCH₄濃度分布を測定してきた。これらの研究から、CH₄濃度はグラニューール中心において最も高いことが明らかとなった¹⁾。この結果は、微生物集合体内部からガスを回収できれば、メタン含有率の高いバイオガスを回収できることを示している。これを達成するために、本研究では脱気膜に着目した。脱気膜は様々な液体中に存在する多種多様な溶存ガスを除去するために用いられている、液体は通さず溶存ガスのみを透過する能力を持つ中空糸膜である。このような性質を有する脱気膜を既存のCH₄発酵リアクターに浸漬し、膜表面に生物膜を形成させることで、最もCH₄濃度が高いバイオガスを回収できると考えた。本研究の最終目的は脱気膜を備えた高効率CH₄回収型廃水処理リアクターを開発することである。今回は脱気膜のガス透過性および脱気膜を備えたCH₄回収型廃水処理リアクターのパフォーマンスについて報告する。

2. 実験方法

本研究室においてメタン発酵リアクター(6L)を水温約30°Cで80日間運転した。N₂脱気した人工廃水¹⁾を、COD負荷が約4,380 mg/L/day、HRTが約2 dayとなるようにリアクターに流入した。これに先立ち、脱気膜(三層複合中空繊維膜:三菱レイヨン・エンジニアリング社製)を都市下水の最初沈殿池流出水に約3ヵ月浸漬して膜面に生物膜を形成させた。生物膜が付着した脱気膜をリアクター内に浸漬した。膜面に流速を与えるため、リアクター内溶液をポンプを用いて1.0 L/minで循環した。流入水のT-COD(懸濁態および溶存態を含む全COD)、pH、処理水のT-COD、有機酸(ギ酸、酢酸、プロピオン酸、乳酸、n-酪酸)、pH、生成ガスの成分を測定した。運転期間中、ランダムに脱気膜内を負圧(0.05 MPa)にすることで、脱気膜を介して生物膜内のガスを回収した。膜からガスを吸引しない期間を通常運転時、吸引した期間を吸引運転時と定義する。吸引運転は24時間とした。脱気膜のガス透過性能を検討するため、CH₄または水素(H₂)を通気した蒸留水に生物膜が付着していない脱気膜を浸漬し、圧力0.03、0.05、0.07 MPaで吸引を行った。水中および吸引ガス中のガス量を測定し、ガスフラックスおよびガス透過性能を解析した。

3. 結果および考察

3.1. 脱気膜の性能評価

ガスフラックスは吸引圧力の増大に伴い増大し、0.07MPaの場合には420 mL/m²/hに達した。水中のCH₄またはH₂分圧はそれぞれ総溶存ガスの3%、5%であったのに対し、回収ガス中のCH₄またはH₂分圧はそれぞれ溶存ガスの71%、57%を占めた。このことは、使用した脱気膜がO₂やN₂に比べてCH₄やH₂を選択的に透過することを示している。今後は消化ガスの主要成分である二酸化炭素(CO₂)の膜透過性を検討する。

3.2. 脱気膜を備えたメタン発酵リアクターの性能

リアクター内のpH(平均±標準偏差)は6.9 ± 0.4、ORPは-274 ± 56 mVであった。人工廃水のT-CODは8100 ± 410 mg/L、処理水のT-CODは4300 ± 640 mg/Lであり、除去率は約47%であった。

通常運転時および吸引運転時の平均ガス生成および回収速度をFig. 1に示した。通常運転時では54 mL/L/dayのガスが生成した。吸引運転時には予想に反して通常運転時よりも多い80 mL/L/dayのガスが生成した。脱気膜を介したガス回収速度は69 mL/L/dayであった。すなわち、吸引運転時に回収した総ガス量は149 mL/L/dayであり、通常運転時(54 mL/L/day)の約2.8倍に達した。吸引運転時にガス生成量が高まったのは、T-COD除去速度が通常運転時(1940 mg/L/day)よりも吸引運転時(2560 mg/L/day)で高く、総有機酸濃度が通常運転時(833 mg-C/L)よりも

キーワード: 有機性廃水、メタン発酵、脱気膜、溶存メタン、メタン回収効率

連絡先: 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学工学部 衛生環境工学コース TEL:011-706-6277

吸引運転時(743 mg-C/L)で低かったことから、溶存ガスの吸引により有機物分解が促進されたためと考えられた。有機物分解が促進した理由の一つとして、吸引を行うことにより生物膜内の H_2 濃度が低下し、有機酸の分解および CH_4 の生成が促進されたことが考えられた。McCarty and Smith²⁾が、例えばプロピオン酸は H_2 濃度が 10^{-4} atm(0.08 μ M)以下の条件においてのみ熱力学的に分解可能であることを指摘しているように、水中の溶存 H_2 濃度が高い場合に有機物分解反応が抑制される場合がある。

Fig. 2 に通常運転時および吸引運転時における生成ガス中および吸引ガス中の平均 CH_4 濃度を示した。生成ガス中の CH_4 濃度を比べると、吸引により生成ガス中の CH_4 濃度が低下したことがわかる。また、通常運転時に 5 mL のみ吸引した吸引ガス中の CH_4 濃度が、24 時間連続吸引した吸引運転時の回収ガス中 CH_4 濃度よりも高いことは、吸引しない場合には生物膜やリアクター内溶液中に CH_4 が高濃度に蓄積していることを示している。これらの CH_4 は処理水中に残存して環境中に排出されることとなり、 CH_4 回収率の低下や温室効果ガスの放出につながる³⁾。

Fig. 3 には通常運転時および吸引運転時の平均 CH_4 生成および回収速度を示した。 CH_4 生成および回収速度は、Fig. 2 に示した各 CH_4 濃度と、Fig. 1 に示した各ガス生成または回収速度の積である。この結果から、総 CH_4 回収量は通常運転時では 13 mL/L/day、吸引運転時では 28 mL/L/day であり、脱気膜を用いることによりガス回収総量を高められることが明らかとなった。回収ガス量の内訳を見ても、吸引により生成ガス中の CH_4 濃度が低下するので CH_4 生成量は減少するものの、生物膜やリアクター内溶液中に残存する CH_4 を回収できたことにより、生成 CH_4 減少分を上回る CH_4 を脱気膜を介して回収できたことが明らかとなった。

4. 結論

本研究では、脱気膜を備えた CH_4 発酵リアクターを開発した。脱気膜内を負圧にすることでリアクター溶液中の CH_4 を回収できた。吸引により CH_4 生成量は減少するものの、溶液中に残存する CH_4 を回収できたことにより、総 CH_4 回収量を高めることが可能となった。今後は、新たに回収されたエネルギーと回収に要するエネルギーの差を求め、本システムの実現可能性を検討する。

参考文献

1. Satoh *et al.* 2007. Layered structure of bacterial and archaeal communities and their in situ activities in anaerobic granules. *Appl. Environ. Microbiol.*, **73**(22), 7300-7307.
2. McCarty and Smith 1986. Anaerobic wastewater treatment. *Environ. Sci. Tech.*, **20**(12), 1200-1206.
3. 大河原ら 2008. 第 42 回日本水環境学会年会講演集, 181.

謝辞

本研究の一部は国交省「建設技術研究開発助成制度」の支援を受けて実施されました。ここに記して感謝の意を表します。

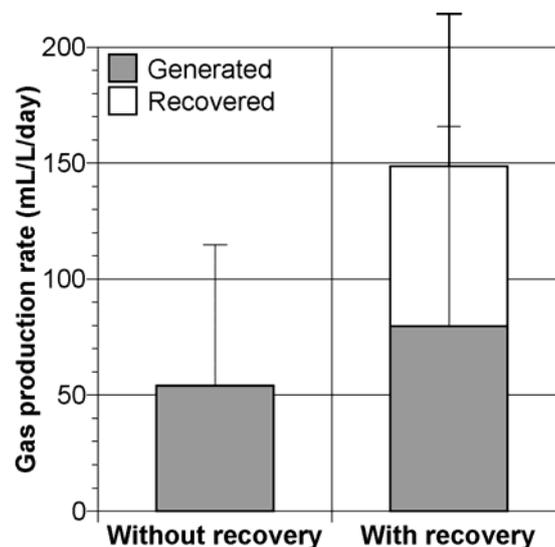


Fig. 1 通常運転時および吸引運転時の平均ガス回収速度

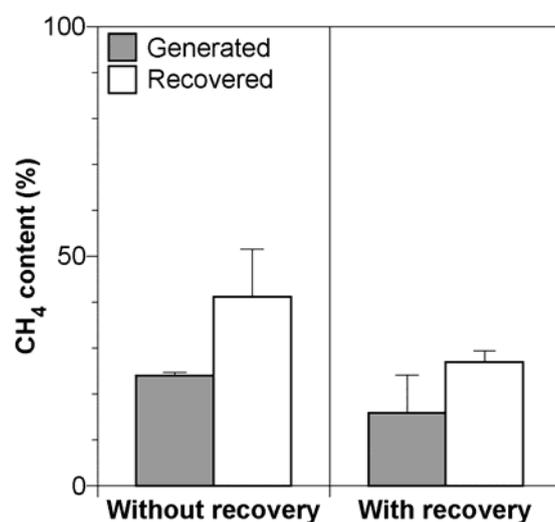


Fig. 2 通常運転時および吸引運転時における生成ガス中および吸引ガス中の平均 CH_4 濃度

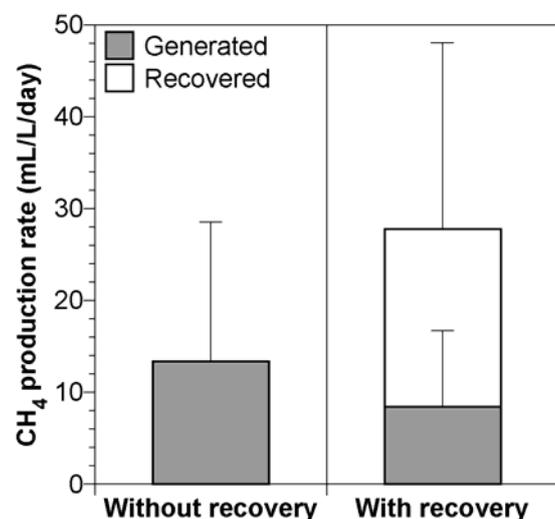


Fig. 3 通常運転時および吸引運転時の平均 CH_4 回収速度