

DHS リアクターを用いた中温バイオメタネーション

長岡技術科学大学大学院 (学) ○山田 光陽
(正) 幡本 将史, (正) 渡利 高大, (正) 山口 隆司

1. はじめに

エネルギー貯蔵が電気よりも容易な水素ガスに変換する Power to Gas という技術が注目されている。この水素ガスの高付加価値化として、メタンガスへの変換による体積エネルギー密度の向上が挙げられる。メタンは天然ガスの主成分であり、既存のガスインフラ設備を利用できる利点がある。水素ガスからメタンガスに変換する方法の一つとして、バイオメタネーション (BHM) が挙げられる。BHM では、水素資化性メタン生成古細菌の代謝によって水素と二酸化炭素からメタンが生成される。BHM を下水処理場の嫌気性消化槽に適用することで、バイオガス中のメタン濃度を増加させるバイオガスアップグレーディングが可能となる¹⁾。しかし、BHM には、触媒反応によるメタネーションと比べて低効率であること、水素ガスを溶解させるための電気エネルギーを必要とすることなどの課題が残されている。

本研究では、菌体保持担体が気相に配置され気液接触効率に優れた DHS リアクター技術を応用した BHM システムの構築に取り組んだ。性能評価および微生物群集の特徴把握を目的として、下水消化汚泥を初期汚泥としてラボスケールリアクターの連続運転を行った。

2. 実験方法

2.1 リアクター運転および分析方法

本研究の DHS 技術を応用した BHM リアクターの概要図を図-1 に示す。内径 0.2 m、高さ 0.8 m の塩ビカラムをリアクターとして使用し、恒温庫内に設置した。菌体保持担体として、G3 型担体をリアクター内に約 8 L をランダム充填した²⁾。汚泥の植種は、下水処理場の中温消化汚泥を Widdel 培地と体積混合比 1: 1 で混合し、その混合液にスポンジ担体を浸漬して行った。また、同様の Widdel 培地を NaOH, HCl で pH 調製し、Ullrich ら³⁾を参考に、 1 L min^{-1} の流量で設定したポンプを 1 時間のうち 1 分間稼働させることで断続的にリアクター

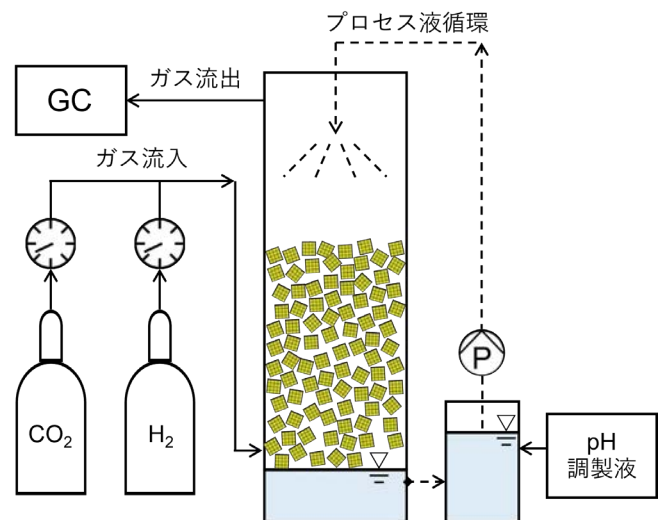


図-1 DHS-BHM システムの簡略化した模式図。実線矢印はガスの流入および流出、破線矢印はプロセス液の循環を表す。pH 調製液は、NaOH あるいは HCl を用いた。

上部から散水した。基質ガスは、水素からのメタン生成の化学量論比を参考に二酸化炭素: 水素 = 約 1: 4 で混合し、混合ガスをリアクター下部から連続的に供給した。ガスは、リアクター上部から流出させ、GC-TCD (GC-8A, Shimadzu) に供してガス組成を測定した。リアクター運転開始から 49 日目までを順養期間 (25°C) とし、50 日目から 69 日目の Phase 1 (25°C), 70 日目から 180 日目の Phase 2 (35°C) を連続で運転した。運転経過 160 日目から 165 日目にかけてプロセス液を交換した。

2.2 微生物群集構造解析

汚泥植種時の混合液およびリアクター連続運転中の中間瓶からプロセス液サンプルを採取した。サンプルから FastDNA SPIN Kit for Soil (MP Biomedicals) を用いて DNA を抽出し、Univ515F-Univ806R のプライマーセットを使用して PCR 増幅を行った。精製した PCR 産物はシーケンサー iSeq 100 (Illumina) によって塩基配列を決定した。16S rRNA 遺伝子配列の解析には QIIME2 を使用した。

キーワード メタン, 微生物群集構造, 嫌気消化汚泥

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 E-mail: hatamoto@vos.nagaokaut.ac.jp

3. 実験結果および考察

3.1 メタンガス生成結果

図-2 に運転開始 50 日目から 180 日目までの流出ガス中のメタン濃度およびメタン生成率 (MPR) を示す。MPR は、一日当たりに 1L の担体から生成されるメタンガスの体積を表す。

Phase 1 の最大メタン濃度および最大 MPR は、それぞれ約 5 %, $0.26 \text{ L}_{\text{CH}_4} \text{ L}_{\text{VR}}^{-1} \text{ d}^{-1}$ であった。Phase 2 の最大メタン濃度および最大 MPR は、それぞれ約 40 %, $1.83 \text{ L}_{\text{CH}_4} \text{ L}_{\text{VR}}^{-1} \text{ d}^{-1}$ であった。Phase 2 の最大メタン濃度は条件変更直後に確認し、その後メタン濃度は約 10 % まで徐々に減少したが、培地交換時に一時的にメタン濃度が上昇した。有機酸といった阻害物質の一時的低濃度化や、微量栄養素の枯渇が関連していると推察される。

既往の散水ろ床型 BHM の MPR は $0.8\text{--}1.2 \text{ L}_{\text{CH}_4} \text{ L}_{\text{VR}}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 、滞留時間は 2.9–4.0 h で報告されている⁴⁾。本リアクターの空塔容積に対する滞留時間 4.5 h は既報と同程度かつ最大 MPR は既報の数値を上回っており、DHS-BHM システムの可能性を示した。

3.2 微生物群集構造解析結果

図-3 に、初期汚泥、7 日目、69 日目に採取したプロセス液サンプルに対して行った微生物群集構造解析の結果を示す。順養期間中の 7 日目サンプルでは、Firmicutes 門の *Acetobacterium* 属、*Acetoanaerobium* 属が最も検出された。Phase 1 では、Euryarchaeota 門の *Methanobacterium* 属が最も検出された。運転経過に伴って優占する微生物種が減少し、水素資化性メタン生成古細菌が選択的に増殖したことが確認できた。

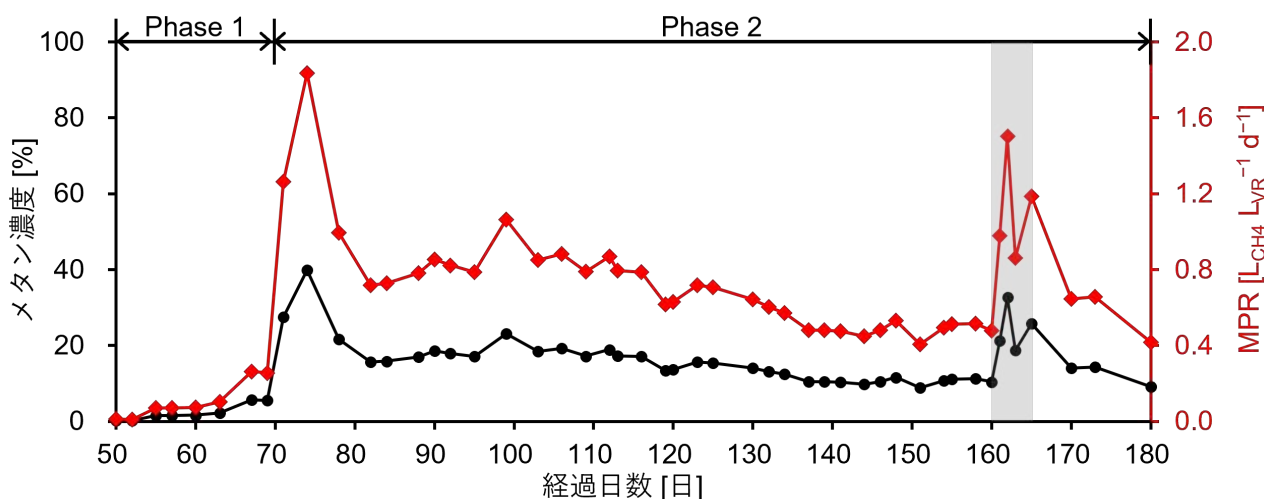


図-2 DHS-BHM リアクターの運転 50 日目から 181 日目までの流出ガスの経時変化。横軸に経過日数、縦軸左はメタン濃度 (黒丸)、縦軸右は MPR (赤菱形) を表す。灰色の背景部分は培地交換の実施時期にあたる。

4. まとめおよび今後の予定

中温消化汚泥を初期汚泥として用いた DHS リアクターによる連続バイオメタネーション実験において、最大メタン濃度 40 %, 最大 MPR $1.83 \text{ L}_{\text{CH}_4} \text{ L}_{\text{VR}}^{-1} \text{ d}^{-1}$ を確認した。これによって、バイオメタネーション装置としての DHS リアクターの可能性が示された。さらなるメタン生成率の向上のために、運転条件の最適化、微生物群集構造解析によりシステムの効率化を図る。

謝辞: 本研究の実施にあたり、長岡中央浄化センターより汚泥を提供頂いた。記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) L. Jürgensen, *et al.*, *Biomass Bioenergy*, **66**:126–132, 2014.
- 2) T. Okubo, *et al.*, *Water Research*, **102**(1):138–146, 2016.
- 3) T. Ullrich *et al.*, *GCB Bioenergy*, **11**(1):63–71, 2019.
- 4) D. Rusmanis, *et al.*, *Bioengineered*, **10**(1):604–634, 2019.

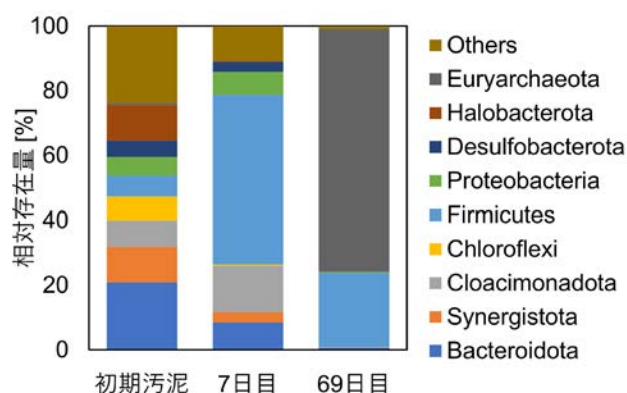


図-3 各サンプルにおける門レベルの相対存在割合。各サンプルのいずれかで 5% 以上優占したものを示し、その他を“Other”とした。