低有機物濃度排水対応型メタン発酵処理技術の開発

長岡技術科学大学　（学）○川崎達也（正）大橋晶良、（正）原田秀樹
独立行政法人国立環境研究所　（正）珠坪一晃

1. はじめに

近年、集塊化させた嫌気性微生物群(グラニュール汚泥)を装置内に形成・維持する UASB 法などの生物膜利用技術の開発により、産業排水の高速処理とメタン回収が可能になってきた。しかしこれらの処理プロセスは、生物膜の形成や維持のため、中・高濃度(1.5～10 gCODcr/L)の有機性排水に適用されることが多く、運転温度もメタン生成菌の至適温度である 37℃(中温)や 55℃(高温)に維持されるのが一般的である。しかし、実際には低有機物濃度(0.3～1.0 gCODcr/L)の排水の排出量が最も多く、水温も平均して 15～20℃と低い。そこで本研究では、EGSB (Expanded Granular Sludge Bed)リアクターによる低有機物濃度排水の連続処理実験を低温条件下(20℃)で行い、その排水処理特性、並びに保持汚泥の物理的、生態学的特性等を調査し、低濃度排水処理技術開発のための基礎的知見を収集した。

2. 実験方法

排水の連続処理実験は、全容積 16.8 L (GSS:5.1 L、Column:11.7 L)のラボスケールリアクターにより行った。Fig. 1 にリアクターの概略図を示す。植種汚泥として中温グラニュールを用いた(植種汚泥量：360 gVSS/reactor)。プロセス運転温度を 20 ℃、上昇線流速を 5.0 m/h に制御した。供試排水はスクロース、酢酸、プロピオン酸、酵母エキス(COD 比 4.5: 2.25: 2.25: 1)を主成分とする人工排水を用い、流入有機物濃度が 0.6～0.8 gCODcr/L となるように調整した。また流入水中の硫酸塩濃度は、水道水由来で 40～50 mgSO_4^{2-}/L であった。運転開始時の HRT (Hydraulic Retention Time) は 12 時間、有機物負荷は 1.6 kgCOD/m^3/day とし、処理の安定化とともに、HRT の短縮により負荷の上昇を行った。連続処理実験開始後、経日的に、流入、流出水の pH、CODcr (以下 COD に略す)、VFA (Volatile Fatty Acid)、硫酸塩、ガス生成量、ガス組成等の分析を行った。また、リアクター保持汚泥については、汚泥濃度(MLVSS)、沈降性 (SVI : Sludge Volume Index)等の物性を測定するとともに、全保持汚泥量及び SRT (Sludge Retention Time)を算出した。さらに保持汚泥メタン生成活性を、運転開始後 0 (種汚泥)、35、104、254 日目に、酢酸、水素 (80%:20%[v/v])基質について、10～45℃の温度条件下で測定した。

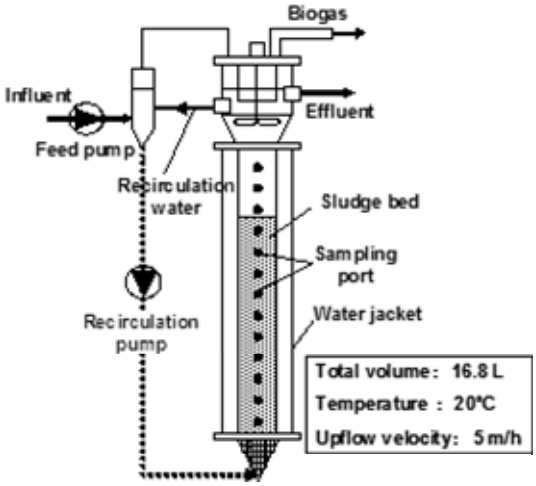

Fig. 1 Schematic diagram of EGSB reactor

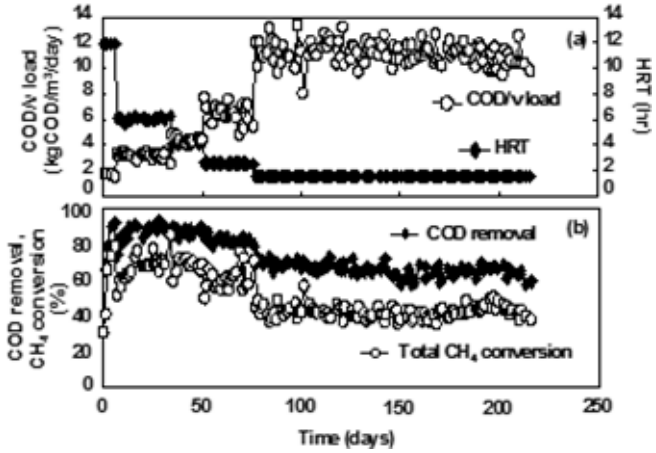

Fig. 2 Process performance of the EGSB reactor, (a) HRT and COD volumetric loading, (b) COD removal and total CH_4 conversion

3. 実験結果及び考察

連続排水処理実験における HRT、COD 容積負荷、COD 除去率及びメタン転換率を Fig. 2 に示す。運転開始後 75 日目までに、有機物負荷を約 7 kgCOD/m^3/day (HRT 2.5 時間)まで段階的に上昇させたが、COD 除去率は平均 80～90%、流入 COD に対するメタン転換率は平均 60～70%であり、安定した処理とメタン転換が行われた。

運転開始 76 日目以降は HRT を 1.5 時間にまで短縮し、有機物負荷は約 12 kgCOD/m^3/day に達した。この時

キーワード　グラニュール汚泥、低有機物濃度排水、低温、EGSB、メタン発酵、
連絡先　〒305-8506　茨城県つくば市小野川 16-2　(独)国立環境研究所　水土壌圏環境研究領域
Tel. 029-850-2412　Fax. 029-850-2576　E-mail: kawasaki.tatsuya@nies.go.jp, stubo@nies.go.jp

の COD 除去率は平均 65～70%、メタン転換率は 40%前後であり、COD 除去率、メタン転換率ともに低下するが、その後 4 ヶ月以上安定した処理が可能であった。実験期間中、処理水中の硫酸塩濃度は 0 $mgSO_4^{2-}$/L であり、硫酸塩は完全に消費されていた。除去 COD に対する硫酸塩還元の寄与は平均 3%(有機物負荷：1.6 $kgCOD/m^3/day$ 時)～5%(12 $kgCOD/m^3/day$ 時)であった。

保持汚泥の MLVSS 及び SVI の経日変化を Fig. 3 に示す。この結果から MLVSS は実験期間中平均 50 gVSS/L であり、高い濃度を維持していた。また植種汚泥の SVI は約 14 ml/gVSS 程度であり、運転経過に伴い若干の増減が見られたものの、平均 15～20 ml/gVSS で推移しており、優れた沈降性を維持していた。

リアクター全保持汚泥量の実測値と計算値、及び SRT の経日変化を Fig. 4 に示す。保持汚泥量は、ルーチン分析から得られた COD 除去量、流出 VSS 量より、保持汚泥の増殖収率(*Yg*)と死滅定数(*Kd*)を算出した。その結果、本実験期間中における増殖収率 (*Yg*) 及び死滅定数 (*Kd*) は、それぞれ 0.13 gVSS/gCOD、0.0001 /day となった。本実験における *Yg* 値は、中温・高温 UASB リアクター汚泥の値よりも高い値となった。求めた *Yg*、*Kd* 値を用いて各測定日の汚泥増殖量を計算し、全保持汚泥量の経日変化(計算値)を求めた(Syutsubo *et al.*, 1998)。保持汚泥の SRT は、HRT 2.5 時間で平均 83 day、HRT 1.5 時間では平均 38 day となった。負荷の上昇に従って SRT の減少が見られたが、プロセスの良好な運転に十分な値を維持していた。

保持汚泥の酢酸、水素資化性メタン生成活性の経日変化を Fig. 5 に示す。254 日目の 20℃における酢酸資化性メタン生成活性は 0.5 gCOD/gVSS/day、水素基質では 0.79 gCOD/gVSS/day であり、0 日目と比較してそれぞれ 35 倍、15 倍と顕著に増加し、35℃における活性増加率(酢酸: 16 倍、水素: 8 倍)よりも明らかに高かった。

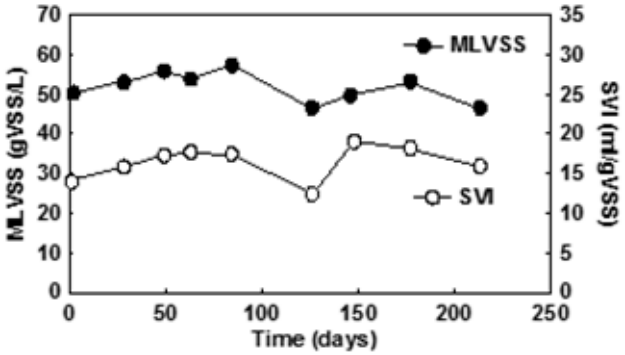

Fig. 3 Time course of MLVSS and SVI of the retained sludge

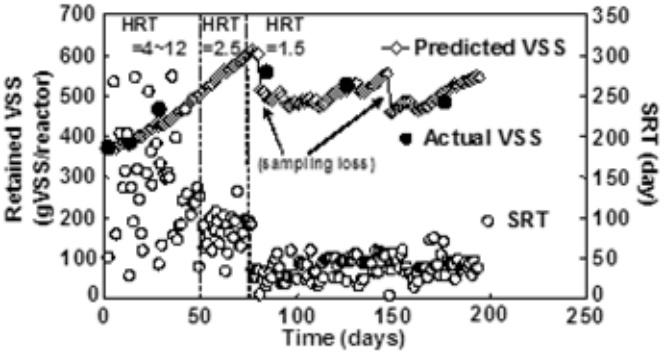

Fig. 4 Changes in total retained VSS and SRT

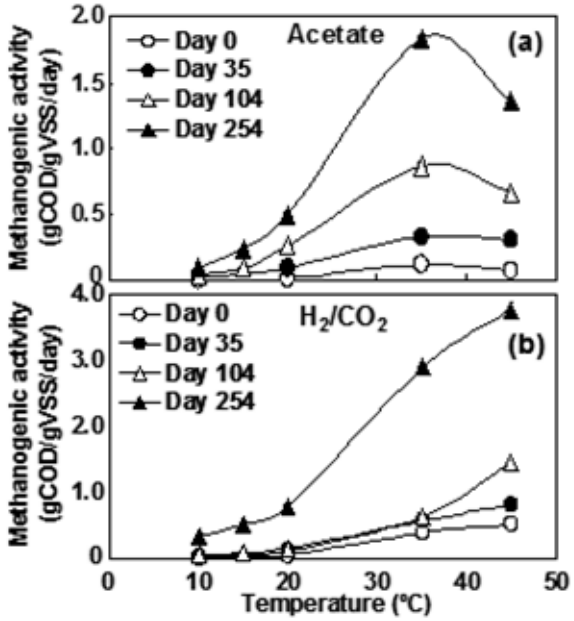

Fig. 5 Temperature dependency of methane producing activity of the retained sludge, testsubstrate: (a)acetate, (b)H_2/CO_2

4. まとめ

低有機物濃度排水の 20℃における EGSB 処理実験の結果、運転 76 日目には HRT 1.5 時間、容積負荷 12 $kgCOD/m^3/day$ を許容し、長期間安定した処理、メタン転換が可能であった。また保持生物膜は、良好な物性を維持しており、汚泥の高濃度保持が可能であった。保持汚泥の増殖収率は高く、SRT も平均 38 day (HRT 1.5 時間)を維持できた。保持汚泥のメタン生成活性は、酢酸、水素基質ともに 20℃の活性が顕著に増加していた。以上のことから、本プロセスでは高い活性を有する生物膜の高濃度保持の実現により、低有機物濃度排水の低温メタン発酵処理が可能であった。

謝辞

本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「産業技術研究助成事業費助成金」の助成を受け実施したものである。

参考文献

Syutsubo, K., Harada, H. and Ohashi, A. (1998), Granulation and sludge retainment during start-up of a thermophilic UASB reactor. *Wat. Sci. Tech.*, 38(8-9), 349-357.