

Ⅶ-198

高温UASB反応器による廃水処理特性と保持汚泥の生態学的構造

長岡技術科学大学 正 珠坪一晃、原田秀樹、大橋晶良、学 多川 正

1. はじめに 高温培養汚泥は中温汚泥より数倍高いメタン生成ポテンシャル ($3 \sim 6 \text{ gCOD} \cdot \text{gVSS}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) を持っていることが知られている¹⁾。つまり高温UASB法においても、良好なグラニュールが形成され、反応器容積当たり $30 \text{ gVSS} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度の汚泥が保持出来れば、COD容積負荷 $100 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ の超高速廃水処理装置の実現が可能となる。しかし、現在までの高温UASB実験では高負荷運転による、過大なバイオガス生成により、保持汚泥のウォッシュアウトが生じたため、 $30 \sim 45 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 程度の負荷を許容するにとどまった¹⁾²⁾。そこで本研究では、多段型高温UASB反応器を開発し、アルコール蒸留廃水を供した連続実験により、本装置の有効性を評価した。また同時に、保持汚泥のメタン生成活性の測定、顕微鏡観察(SEM、FISH)等により、高温グラニュールの生態学的構造の調査を行った。

2. 実験装置及び方法 UASBによる廃水の連続処理実験には、全容積 8.0 l の多段型UASB反応器を用いた。反応器内の温度は、 55°C に制御し、供給廃水には、アルコール蒸留廃水を用いた ($\text{COD} = 3000 \sim 10000 \text{ mgCOD} \cdot \text{l}^{-1}$)。なお、157日目以降は供給廃水種が変更されている。植種汚泥は、高温培養 (55°C) グラニュール汚泥 (4°C で約1年間保存) を用いた。COD容積負荷の上昇は、HRTの短縮と、流入廃水濃度の増加により行った。

メタン生成活性は、 55°C 温度条件下において、植種汚泥、運転開始後51日目 ($53 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)、131日目 ($100 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)、254日目 ($100 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$) の汚泥サンプルについて、酢酸、プロピオン酸、 H_2/CO_2 の各基質を供給し、測定した (各2本ずつ測定)。供試汚泥は、予め基質洗浄、分散処理したものをを用いた。蛍光顕微鏡観察 (FISH: Fluorescence In-situ Hybridization) のための試料は、あらかじめ分散・固定処理を施したものをスライドガラス上に塗布し、古細菌 (Archaea bacteria) を特異的に検出するArch915プローブでハイブリダイズを行った。なお、全菌の存在を確認するために、DAPIとの2重染色を施した。

3. 実験結果及び考察 Fig.1 に反応器の連続運転結果を示した。容積負荷は、 $6.7 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ から $100 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ という高負荷まで、約80日間という短期間で上昇させることが出来た。最終的なHRTは、2.4時間であり、廃水の超高速処理が可能であった (Fig.1(a))。また $100 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 許容後も、約6ヶ月もの長期間、COD除去率82-93%の安定的な運転が可能であり、本装置の有効性が示された。なお、157日目以降のCOD除去率の低下は、供給廃水中の色度成分が増加したためである。Fig.1(b)、Fig.1(c)には、それぞれ連続実験期間中の流出VFA濃度、及び流出VSS濃度の経日変化を示した。流出VFA濃度は、 $100 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 許容時においても、酢酸、プロピオン酸共に、 $200 \text{ mgCOD} \cdot \text{l}^{-1}$ 前

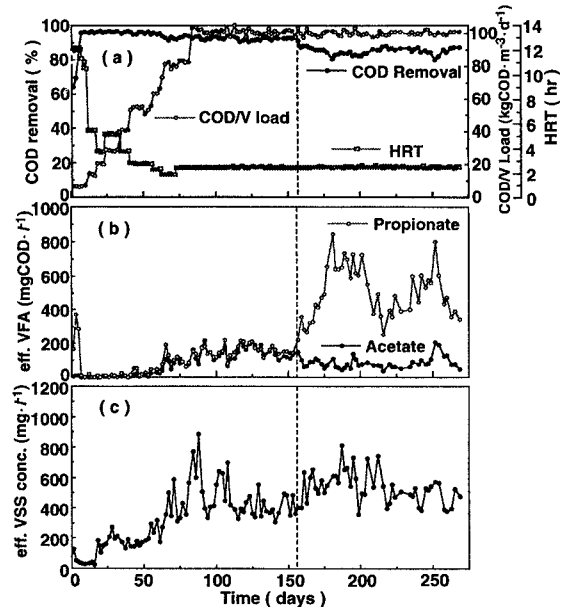


Fig. 1 Changes in process performance of thermophilic UASB reactor receiving alcohol distillery wastewater.

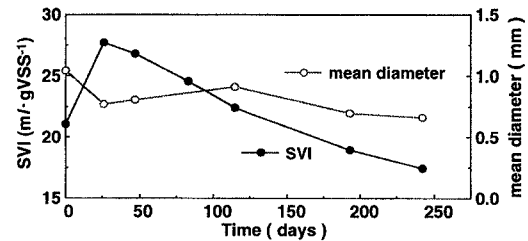


Fig. 2 Changes in SVI and mean diameter of the retained sludge. (port No.3, 23.5cm from the bottom)

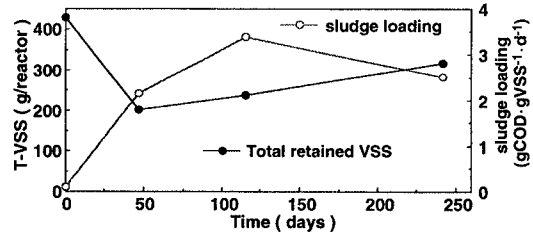


Fig. 3 Changes in total retained VSS and sludge loading.

キーワード：高温UASBプロセス、アルコール蒸留廃水、高温グラニュール、メタン生成活性、FISH
〒940-21 新潟県長岡市上富岡町1603-1 長岡技術科学大学 環境・建設系 TEL 0258-46-6000 (6313)

後と低濃度で維持された。廃水種の変更後（157日目以降）は、流出プロピオン酸濃度は $300\text{--}700\text{mgCOD}\cdot\text{l}^{-1}$ にまで上昇した。流出VSS濃度は、反応器の運転開始後、負荷の上昇に伴い徐々に増加し、90日目頃には $600\text{--}800\text{mgVSS}\cdot\text{l}^{-1}$ に達している。しかし、最終的には、保持汚泥の沈降性向上により、流出VSS濃度は、 $400\text{--}600\text{mgVSS}\cdot\text{l}^{-1}$ 前後で安定した。これらの流出VFA、VSS濃度の値は、 $30\text{kgCOD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ を許容するにとどまった、従来型高温UASB反応器（同一のアルコール蒸留廃水を供した）と同じレベルであった²⁾。これは、本装置ではGSSの多段化により、反応器上部での上昇線流速と、水素分圧の低減が可能であったためと考えられる。

Fig.2 に、反応器保持汚泥のSVI及び平均粒径の変化を示した。SVIは、運転開始後いったん上昇するが（26日目）、それ以降は運転の継続に伴い徐々に沈降性は改善され、最終的には約 $17\text{ml}\cdot\text{VSS}^{-1}$ に達した。植種時の、保持汚泥の平均粒径（個数基準）は、 1.0mm 程度であったが、運転開始後26日目には、保持汚泥の一部が崩壊したことにより、 0.77mm 前後にまで減少した。それ以降は、グラニュレーションが進行したことにより、平均粒径は $0.7\text{--}0.9\text{mm}$ とほぼ一定で推移した。

Fig.3には反応器保持汚泥量と、COD汚泥負荷の経時変化を示した。反応器保持汚泥量は、保持汚泥の沈降性の悪化等によりいったん減少するが、最終的にはグラニュレーションの進行により反応器容積当たり $39.7\text{gVSS}\cdot\text{l}^{-1}$ と高濃度に汚泥を保持することが可能であった。COD汚泥負荷は、容積負荷の上昇と保持汚泥量の減少により、運転開始後115日目には $3.4\text{gCOD}\cdot\text{gVSS}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ にまで上昇するが、最終的に、保持汚泥量が増加したことにより $2.5\text{gCOD}\cdot\text{gVSS}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ となった。

反応器保持汚泥のメタン生成活性は、全ての基質条件下で反応器運転の継続に伴い、徐々に増加し、最終的には酢酸基質では $2.9\text{gCOD}\cdot\text{gVSS}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ （対植種汚泥で約1.7倍）、プロピオン酸基質では $0.69\text{gCOD}\cdot\text{gVSS}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ （14倍）、 H_2/CO_2 基質では $16\text{gCOD}\cdot\text{gVSS}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ （3.3倍）に達した（Fig.4）。これらの活性値は、中温培養グラニュールよりも数倍高い。

Fig.5には、高温グラニュールのSEM観察結果を示した。高温グラニュール表面は、ほぼ糸状増殖菌のみによって高密度に覆われていた（Fig.5(a)）。この糸状増殖菌は、フラットエンドセプタムを持たず、明らかに*Methanothrix* (*Methanosaeta*)とは異なる形態であった。Fig.6に蛍光顕微鏡観察結果を示した。Fig.6(a)には、DAPI染色の結果を、Fig.6(b)には同一視野におけるArch915プローブの適用結果を示した。DAPIによる観察結果では、明らかに糸状増殖菌の存在が確認できるが（Fig.6(a)、図中矢印）、Arch915プローブでは糸状増殖菌の蛍光は観察できない。これより、グラニュール表面の糸状増殖菌は、酸生成細菌等の非メタン生成細菌（非古細菌）であることが分かった。

4. まとめ

(1)多段型高温UASB反応器を開発し、アルコール蒸留廃水を供した連続運転を行った結果、運転開始後80日程度で容積負荷 $100\text{kgCOD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ を許容し、約6ヶ月もの長期間、COD除去率82-93%の安定的な運転が可能であった。本UASB反応器では、高い活性を持つ高温グラニュール汚泥を、高濃度に保持出来たことにより、廃水の超高速処理が実現可能であった。

(2)顕微鏡観察結果より、高温グラニュールは、表面を糸状増殖菌によりコーティングされるかたちで形成されており（SEM観察）、糸状増殖菌は酸生成菌などの非メタン生成細菌であることが分かった（FISH）。

参考文献 1) 珠坪、原田ら：高温UASBリアクター保持汚泥のグラニュール形成過程における構造的特性とメタン生成活性の推移、環境工学研究論文集、第31巻、P57-67、1994。

2) 珠坪、原田ら：高温UASBリアクターによるアルコール蒸留廃水処理特性と保持微生物群の生態学的挙動、環境工学研究論文集、第32巻、P201-212、1995。

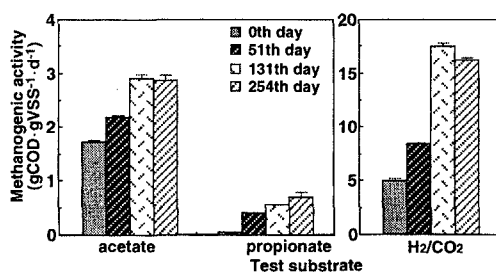


Fig. 4 Changes in methanogenic activities of the retained sludge cultivated in thermophilic (55°C) UASB reactor.

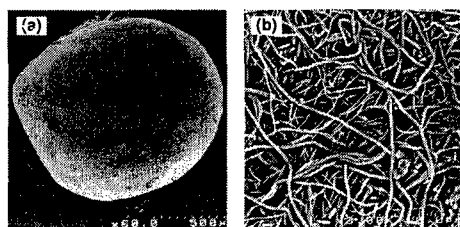


Fig. 5 SEM photographs of thermophilic granular sludge. (a); Whole view ($\times 60$), (b); Surface ($\times 4000$)

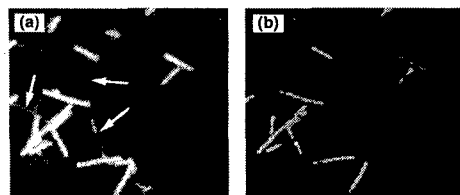


Fig. 6 Fluorescence micrographs of thermophilic granular sludge: (a) dyed with DAPI, (b) hybridized by Arch915 probe.