

VII-6

UASB反応器スタートアップ期間における植種乾燥消化汚泥の生態学的構造の推移

長岡技術科学大学

学 珠坪一晃、正 原田秀樹

学 星 伸吾、正 大橋晶良

工技院 生命研

正 中村和憲

1. はじめに

UASB法のスタートアップでは、一般的にグラニュール汚泥、消化汚泥などの植種が行われている。しかし、これらの植種源を用いた場合、運転開始初期における反応器からのウオッシュアウトが起り易い（消化汚泥）、そのほとんどが水分であるため運搬、保管などが困難である（消化汚泥、グラニュール）、高コスト（グラニュール）などの問題点がある。そこで本研究では、消化汚泥脱水ケーキを含水率10%程度にまで乾燥させ、粒状に成形した乾燥消化汚泥（粒径 $0.425 \sim 1.18\text{mm}$ 、真密度 $1.85\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、VSS/SS比0.41）を作成し、UASBリアクタースタートアップ期間における生態学的構造推移の様相をメタン生成活性の推移、メタン生成細菌数の測定、SEMによる形態学的観察により調査し、乾燥消化汚泥の植種源としての有効性を評価した。

2. 実験条件及び方法

2.1 乾燥消化汚泥の生態学的構造の調査

メタン生成細菌数の測定は、乾燥消化汚泥（含水率：8.8%）とその作成に用いた消化汚泥脱水ケーキ（含水率：74.2%）および消化汚泥について、MPN法（3本法）により、酢酸（20mM）と H_2/CO_2 （80/20v/v）の各基質について行った。なお、培養期間は3カ月とした。また、乾燥消化汚泥のメタン生成能の発現の様相を調査するために、バイアル試験を行った。乾燥汚泥は、リン酸緩衝液内で膨潤させたものをホモジナイズし、バイアル液相部濃度で $12300\text{mgVSS}\cdot\ell^{-1}$ となるように添加した（ H_2/CO_2 基質のみ $6400\text{mgVSS}\cdot\ell^{-1}$ ）。試験基質には、酢酸、プロピオン酸、 H_2/CO_2 の各基質を用い、 35°C 温度条件下で経時的に生成したメタン量を測定した。また、酢酸基質については、汚泥無添加のブランク試験を行い、バイアル外部からの菌の侵入の影響を評価した。

2.2 UASBスタートアップ期間の保持汚泥性状の推移

人工廃水（ショ糖、酢酸、プロピオン酸： $\text{COD}_\alpha=2000\text{mg}\cdot\ell^{-1}$ ）の連続処理実験には、全容積 12.8ℓ のUASB反応器を用いた。反応器内の温度は 35°C に制御し、植種汚泥には、本研究において作成した乾燥消化汚泥を用いた。メタン生成活性は、植種汚泥、運転開始後25日目（ $0.75\text{kgCOD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ ）、62日目（ $4.0\text{kgCOD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ ）、105日目（ $6.0\text{kgCOD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ ）、145日目（ $6.0\text{kgCOD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ ）の反応器保持汚泥サンプルについて 35°C 温度条件下で測定した。試験基質には酢酸、プロピオン酸、 H_2/CO_2 （80/20v/v）の各基質を用いた。

3. 実験結果及び考察

Fig.1に乾燥汚泥の作成に用いた消化汚泥脱水ケーキ（含水率40%）、及び乾燥消化汚泥（含水率8.8%）表面のSEMによる観察結果を示した。含水率40%の消化汚泥脱水ケーキ（Fig.1(a)）では、乾燥により菌体の収縮が起っていることが確認できるが、一部菌体の構造が保持されている部分も存在しているのが分かる。含水率が8.8%にまで低下すると細胞の収縮、破壊が更に進行し、汚泥は一部ガラス状の構造を獲得しているのが確認できる（Fig.1(b)）。これより、乾燥消化汚泥中では、ほとんどの菌体が乾燥により収縮、崩壊していることが明らかになった。Fig.2に消化汚泥の乾燥状態の違いによるメタン生成細菌数の測定結果を示す。生菌数は、酢酸、水素の両メタン生成細菌ともに、汚

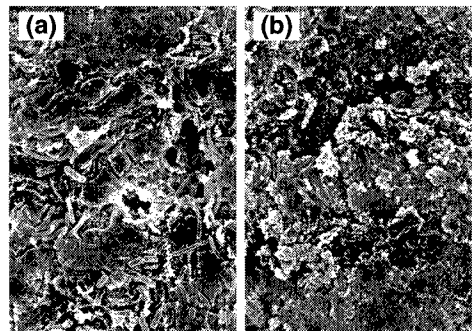


Fig.1 Scanning electron micrographs of cake sludge.

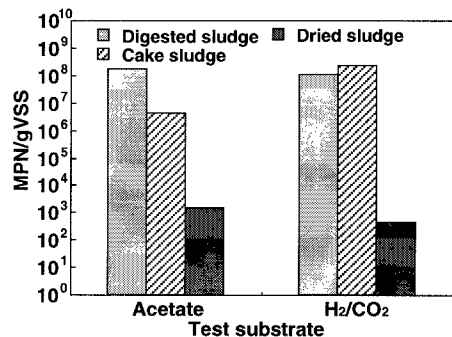
(a) Water content 40% ($\times 3000$)(b) Water content 8.8% ($\times 3000$)

Fig.2 Comparison of viable cell numbers of methanogens on various water content of digested sewage sludge.

Water content : Cake sludge 74.2%, Dried sludge 8.8%

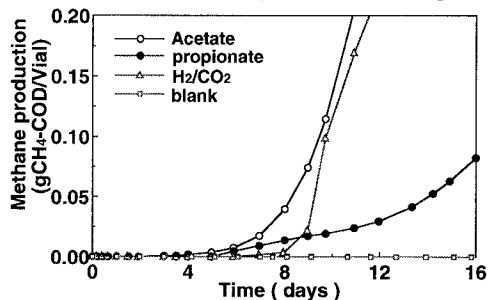


Fig.3 Cumulative methane production of dried digested sludge using as a seed.

泥の含水率の低下により徐々に減少する傾向にあった。乾燥消化汚泥中の生菌数は消化汚泥に比べ約5オーダー減少するものの、酢酸資化性メタン生成菌で 1.4×10^3 MPN/gVSS、水素資化性メタン生成菌で 2.4×10^2 MPN/gVSS程度の菌の存在が確認出来た。Fig.3に乾燥消化汚泥の、バイアル実験における累積メタン生成量の経日変化を示した。全ての基質において、メタン生成が始まるまでのタイムラグは、6～8日程度であった。また、同時に行った汚泥無添加のブランク（試験基質：酢酸）では、試験期間を通じて全くメタン生成は起こらなかった。以上の結果より、乾燥汚泥からのメタン生成は、乾燥消化汚泥中にわずかではあるが存在している嫌気性菌によるものであることが明らかになった。

Fig.4にUASB反応器保持汚泥のメタン生成活性の推移を示した。運転開始後25日目までは、ほとんど活性値の増加は見られなかったが、それ以降は、全ての基質において良好に活性値が増加する傾向を示した。最終的なメタン生成活性は、運転開始後25日目の活性を基準にすると、全ての基質において約95～165倍に増加しており、実験期間を通じて保持汚泥中での菌の増殖および集積が活発に行われたことが明らかになった。

各基質における活性値の増加の傾向を比較してみると、酢酸基質では62日目の時点ですでに最終的な活性値の55%以上の活性値を示しており、プロピオン酸（約32%）、水素基質（約27%）よりも活性値の増加が速かった。Fig.5にUASB反応器の流出VFA濃度の経日変化を示した。運転開始初期の約28日間は、死滅菌体の分解等により処理水中へのVFA蓄積が観察された。ここで、プロピオン酸は24日目頃まで500～700mgCOD $\cdot$ ℓ⁻¹の高い濃度で残存するのに対し、酢酸は12日目以降は50mgCOD $\cdot$ ℓ⁻¹以下の低い濃度にまで低下しており、このことから酢酸資化性メタン生成菌の保持汚泥中での増殖、集積は比較的スムーズに行われることが明らかになった。

Fig.6(a)に、運転開始後84日目の反応器保持汚泥（粒状乾燥消化汚泥）表面のSEMによる観察結果を示した。保持汚泥表面では、短桿菌や糸状増殖の*Methanosaeta*が優占菌種となっており、菌の集積が活発に行われていることが確認できた。Fig.5(b)には、断面の観察結果を示した。保持汚泥内部でも、球菌や短桿菌の集積が確認されたが、菌の存在率は表面部分よりも少なかった。これは、粒状乾燥汚泥中心付近では、汚泥の密度が非常に高く、基質の拡散等が律速になり易いためと推測される。また、汚泥中心部では無機元素の沈積物の存在も観察された。

4. まとめ

- (1) 乾燥消化汚泥中のメタン生成細菌数の測定を行ったところ、 $10^2 \sim 10^3$ MPN/gVSS程度の菌が存在することが確認出来た。最終的な反応器保持汚泥のメタン生成活性は、運転開始後25日目の活性を基準にすると、全ての基質において約95～165倍に増加しており、実験期間を通じて保持汚泥中での菌の増殖および集積が活発に行われたことが明らかになった。
- (2) SEMによる保持汚泥の観察結果より、植種乾燥消化汚泥の表面および内部において、嫌気性菌の集積が活発に行われ、最終的にグラニュール汚泥様の構造を獲得していることが分かった。以上の実験結果より、本研究で作成した乾燥消化汚泥は、UASBプロセスの植種源として有効であることが分かった。

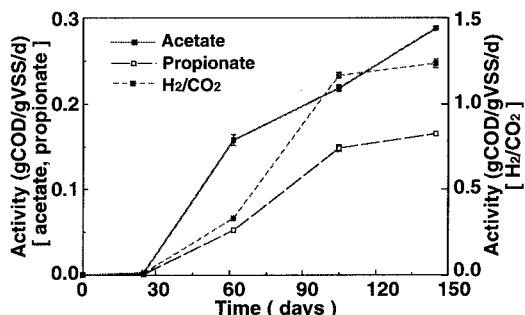


Fig.4 Changes in methanogenic activities of the retained sludge. Bars show standard deviation, and data-points with no appearance of bar signify the magnitudes of SD are negligibly small.

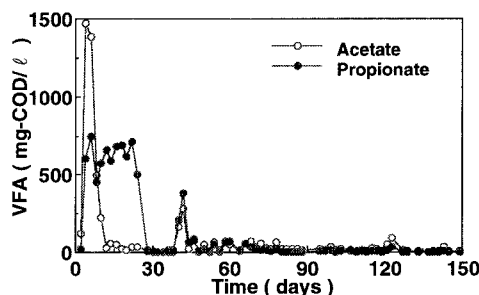


Fig.5 Changes in effluent VFA concentration.

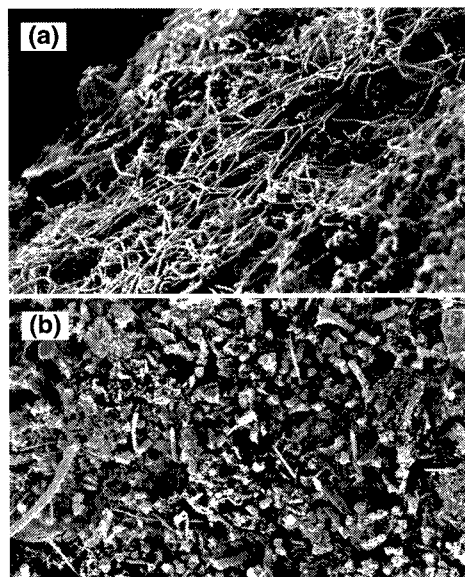


Fig.6 Scanning electron microscopic observation of retained sludge developed in UASB reactor (84th day). (a) The outer surface structure of retained sludge (×700) (b) Interior structure of retained sludge (×1000)