

高温 UASB リアクタースタートアップ期間における保持微生物叢の構造解析

長岡技術科学大学 学○多川 正、正 関口勇地、大橋晶良、原田秀樹
長岡高専 正 荒木信夫

1. はじめに

高温嫌気性微生物群は、中温と比較して数倍高い活性を持つことから、高温メタン発酵プロセスの導入により廃水などの高速処理が可能である。中でも高温 UASB 法は、沈降性の優れた高活性なグラニュールが形成できれば、容積負荷 100kgCOD/m³/d といった超高速処理も可能である。しかしながら高温条件下ではグラニュールの形成が困難で、そのメカニズムは未だ不明な点が多い。これまでの知見では、高温 UASB 法の最適なスタートアップ方法として、中温グラニュール汚泥を植種源と用いることによりスタートアップの期間が大幅に短縮できることが判明しているが、植種された中温グラニュールが高温条件下でどのようにして高活性な高温グラニュールへと変遷していくかについての知見は未だ不十分である。そこで本研究では、中温条件で運転を行っている UASB 反応器を急激に高温条件にシフトさせ、高温 UASB スタートアップ期間の処理特性及び保持グラニュール汚泥の構造解析を行った。

2. 実験方法

高温への温度シフト実験は、約1年間中温 (35℃) 条件で安定的に運転されている人工廃水処理中温 UASB (COD 強度 3000mgCOD/L (シュクロース：酢酸：プロピオン酸：ペプトン=1350：675：675：300mgCOD/L)、容積負荷 10kgCOD/m³/d、COD 除去率 98%以上) を用い、急激 (12 時間) に温度を高温 (55℃) に上昇させた。また反応器には平均粒径 1.5mm 程度の良好なグラニュール汚泥が保持されていた。温度上昇後、容積負荷は処理状況に応じて HRT を操作することにより変動させた。温度上昇後、反応器保持汚泥を定期的にサンプリングし、メタン生成活性 (中温時保持汚泥、以下同様に温度上昇後 3 日目、20 日目、36 日目、56 日目および 97 日目) を酢酸、プロピオン酸及び水素 (H₂/CO₂) 基質について、35℃、55℃条件にて測定を行った。FISH 法はグラニュールを固定、パラフィンにより包埋後マイクロトームにより切片を作成しハイブリダイズを行い、共焦点レーザー顕微鏡により空間分布を観察した。

3. 実験結果及び考察

Fig.1 に COD 容積負荷及び COD 除去率、Fig.2 に処理水中の VFA 濃度の経日変化を示した。(図中点線は、温度を上昇させた日を示した) 温度上昇後容積負荷を 10kgCOD/m³/d から 3kgCOD/m³/d まで低下させたが、温度上昇後 8 日間で COD 除去率は 98% から 39% まで急激に低下し、ガスの生成もほとんど停止した。処理水中にはプロピオン酸、酢酸の高濃度の蓄積が観察された。これは急激な温度上昇により中温性細菌群およびメタン生成細菌が死滅したものと考えられる。そのため容積負荷を 1.6kgCOD/m³/d まで低下させたところ徐々に COD 除去率は回復し、温度上昇後わずか 43 日で温度上昇前の容積負荷である 10kgCOD/m³/d まで回復し、その後は COD 除去率 98% 以上を維持することが可能であった。

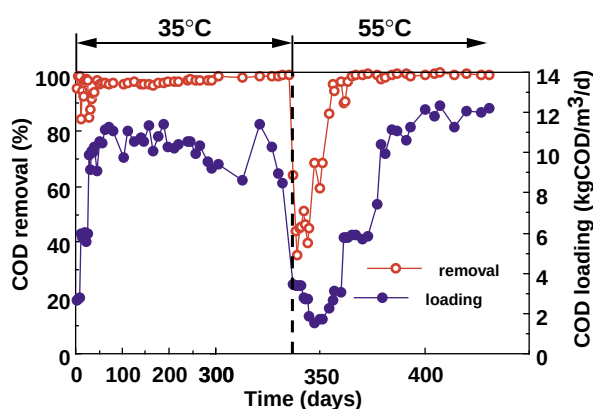


Fig.1 Time course of COD removal and loading.

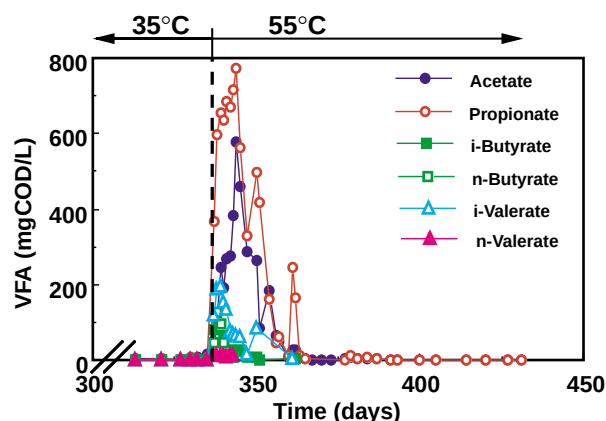


Fig.2 Time course of VFA in the effluent. (since 300th day)

キーワード：高温 UASB、グラニューレーション、メタン生成活性、DNA プローブ、FISH

連絡先：〒940-2128 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 環境システム

TEL:0258-47-1611 ext.6313 FAX:0258-47-9600 E-mail:taga@stn.nagaokaut.ac.jp

Fig.3に反応器保持汚泥の各基質におけるメタン生成活性（55℃条件下）の推移を示す。中温時保持汚泥のメタン生成活性は酢酸 0.73, 水素 3.53gCOD/gVSS/d (Fig.4 参照) と、中温（35℃）培養にもかかわらず55℃条件下においても活性を保持していたが、温度上昇後3日目、20日目には、バイアル試験温度 35℃及び 55℃いずれの条件においてもメタン生成活性が失活した。中温性の細菌群は温度上昇により死滅し、まだ高温性の細菌群も優占していないためであると考えられ、この期間は反応器の運転も不安定であったことを裏付ける結果であった。その後高温条件下において培養がすすむにつれ次第に活性値は上昇し、97日目には酢酸 2.88, プロピオン酸 0.22, 水素 6.5gCOD/gVSS/d と、高活性な高温グラニュール汚泥が形成された。

Fig.4に中温保持汚泥及び97日目の保持汚泥のメタン生成活性の温度依存性の推移を示した。中温汚泥はいずれの基質についても45～50℃付近に至適温度を有しているが、高温培養97日目には酢酸基質は45℃から60℃に、プロピオン酸基質は45℃から55℃、水素基質は50℃から65℃へと至適温度がすみやかに高温側へとシフトした。培養容積負荷は同じである場合高温培養汚泥の方が数倍高い活性を有しているが、プロピオン酸基質に関しては中温培養汚泥の半分以下と非常に低い活性値であった。

高温培養97日目のグラニュール切片のSEM及びFISH解析結果をFig.5に示す。FISH解析には、メタン生成細菌に特異的なプローブのARC915と、高温培養グラニュールでよく観察されるGreen non-sulfur bacteriaに属する糸状性細菌を検出するGNSB633プローブを用い、二重染色を行った。中温培養汚泥では、GNSB633プローブではほとんど検出されなかったのに対し、高温培養汚泥では、表面を覆う形で高頻度に検出された。また、メタン生成細菌は高温培養汚泥の内部ではシグナルが検出されず、糸状性細菌に挟まれるような形で、表層付近で多く検出された。SEM観察結果からも表層は糸状性細菌が優占しており、近傍（白線枠内）には酢酸資化性メタン菌の*Methanosaeta*様の菌が多く観察された。このことより培養温度を高温条件へシフトしても中温グラニュール汚泥は崩壊することなく、高温性メタン生成細菌の付着担体的役割を果たし、糸状性細菌はそれら付着・増殖菌体が剥ぎ取られるのを防ぐのに役立つように推察された。

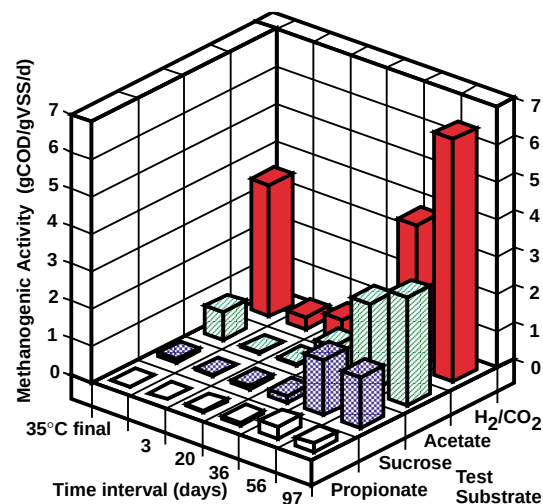


Fig.3 Time course of methanogenic activities of the retained sludge after cultivation temperature had changed from 35℃ to 55℃.

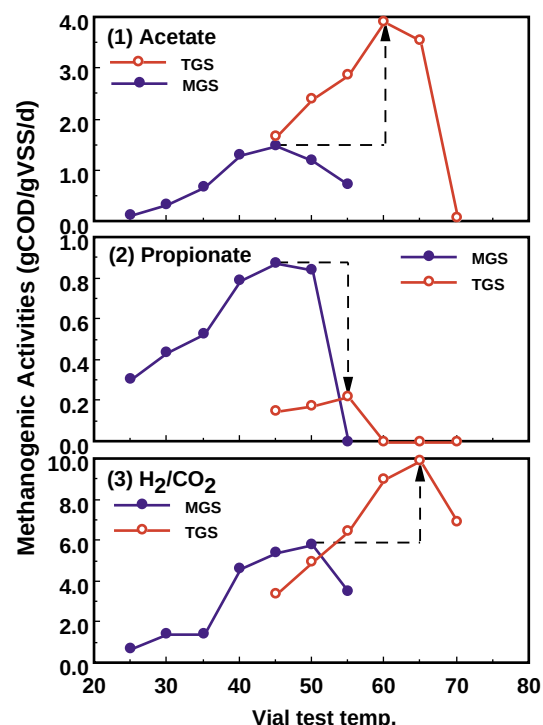


Fig.4 Temperature dependency of methanogenic activity of the retained sludge.

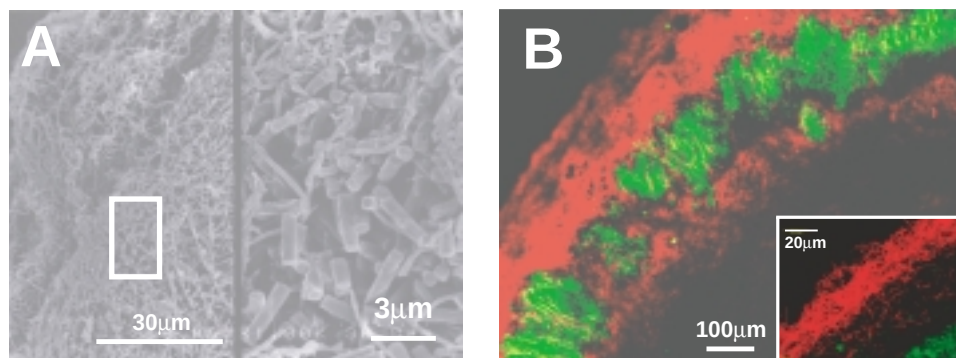


Fig.5 SEM and in situ hybridization of section from thermophilically-grown granular sludge viewed by CLSM.

(A) cross sectional view around outer surface (magnification left:x1000 and right:x5000) by SEM. (B) cross sectional view of thin section which was hybridized with Cy-5 labeled archaeal domain probe (ARC915, green) and TRITC-labeled green non-sulfur bacteria targeting probe (GNSB633, red).