

(74) 下水処理UASBリアクターの処理特性 および保持汚泥性状評価

大矢 明子¹ 小野寺 崇¹ 山口 隆司^{1*} 珠坪 一晃² 荒木 信夫³
多川 正⁴ 山崎 慎一⁵ 米山 豊⁶ 大橋 晶良⁷ 原田 秀樹⁸

¹長岡技術科学大学大学院工学研究科 環境システム工学専攻 (〒940-2141新潟県長岡市上富岡町1603-1)

²国立環境研究所 水土壤環境領域 (〒305-8506茨城県つくば市小野川16-2)

³長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒940-8532新潟県長岡市西片貝町888番地)

⁴高松工業高等専門学校 建設環境工学科 (〒761-8058香川県高松市勅使町355番地)

⁵高知工業高等専門学校 環境都市デザイン工学科 (〒783-8508高知県南国市物部乙200-1)

⁶住原エンジニアリングサービス株式会社 (〒144-8610東京都大田区羽田旭町11-1)

⁷広島大学大学院工学研究科 社会環境システム専攻 (〒739-8527広島県東広島市鏡山1-4-1)

⁸東北大学大学院工学研究科 土木工学専攻 (〒980-8579宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

* E-mail: ecoya@vos.nagaokaut.ac.jp

本研究では温帯地域における実下水処理UASBの処理性能と保持汚泥性状の評価を行った。UASBには中温消化汚泥を植種とし、HRT 8時間、水温10-28℃で700日間の連続運転を行った。UASBの平均汚泥濃度は683日においてカラム平均で20.8 gVSS/l¹となった。COD汚泥負荷は0.05 gCOD-gVSS¹ day¹の低いレベルであった。平均全COD除去率は63%であった。除去CODに対するVSS転換率は全運転期間で0.020 gVSS-gCOD removed¹と低いレベルとなったが、これは汚泥が高濃度に保持されることより汚泥増殖が抑えられたためと考えられた。また、保持汚泥はグラニュール化したことから、SVI約50 ml/gSS¹以下の良好な沈降性を示した。SRTは約250日に達した。このため、UASBはセルロースなどの固形性有機物を汚泥に蓄積した後に分解させるメカニズムにより、安定した処理水質を獲得したと考えられた。

Key Words : municipal sewage, UASB, low temperature, particle matters accumulation, sludge property

1. はじめに

UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: 上昇流嫌気性汚泥床) 法は、エアレーション不要で省エネルギーであるなどの理由から産業廃水処理分野で広く普及している¹⁾。さらに近年、熱帯・亜熱帯地域 (平均気温: 20℃~) の途上国において下水処理への適用も進んでいる²⁾。

しかし一方で、温帯地域 (平均気温: 15-20℃程度) の下水処理を対象としたUASB法の検討事例は少ない。これは温帯地域下水処理にUASB法を適用する場合、冬期における処理性能の低下 (処理水質の悪化) が課題となるためである。低温条件では、メタン生成活性が低下し、また、加水分解が律速³⁾となるために下水に含まれる流入固形性有機物がUASB槽内に蓄積し、汚泥保持が困難となる。現在、下水処理UASBの保持汚泥量や性状に関

する定量的な知見は、乏しい状況にある^{4,5)}。

そこで本研究では、温帯地域での下水処理UASBにおける汚泥保持に関する基礎的知見の収集を目的として、パイロットスケールUASBリアクターによる都市下水の連続処理実験と保持汚泥性状の定量的評価を行った。

2. 実験方法

(1) 実験装置

図-1にUASBリアクターの概要を示す。UASBは高さ4.0 m、内径 0.56 m の金属製カラム上部に、GSS (Gas-Solid Separator) を備えた構造とした。UASBの全容積は1,148 l (カラム容量1,022 l, GSS容量126 l) であり、HRTの算出はUASB全容積を用いて行った。

(2) 実験方法および条件

UASBは長岡中央浄化センター内に設置した。供給下水は、本センターの分流・スクリーン通過後、容量約 1 m^3 のタンクに一時貯留（水理的滞留時間HRT：約 6 h）した下水とした。植種汚泥として、本センターの中温消化汚泥を約 500 l 用いた。UASBは、HRT 24~12 h で約 80 日間馴養運転後、HRT を 8 h に設定し、この時を連続処理実験開始日とした。UASBは通年で外気温下（10~28℃）で運転した。なお運転に際して、下水やUASBへのpH調整剤、SS凝集剤等の薬品投入は行わなかった。

(3) 分析方法

a) 連続処理実験

流入下水と処理水の水質分析用の試料採取は、24 h のコンポジットサンプリング（4℃保存）で行った。ただし、pH、ORP、水温の測定は、スポットサンプリングにより行った。SS、VSSの測定はADVANTEC-GB140ガラス繊維濾紙（0.45 μm ）を用いて行った。CODの測定はHACH社の重クロム酸カリウム法とし、全成分及び溶解性成分（濾紙を通過したもの）について行った。UASBからのガス発生量は水上置換法により連続的に記録し、ガス組成の測定はガスクロマトグラフ（島津、GC-8AIT）を用いた。

b) 汚泥濃度および性状のプロファイル試験

UASB高さ方向の汚泥濃度、汚泥容量指標（SVI）、セルロース含有等の分析は、約 1~2 ヶ月毎に行った。MLSSおよびMLVSSの測定は下水試験方法⁹⁾に準じた。SVIは汚泥サンプルを 10 倍希釈し、100 ml メスシリンダーを用いて測定を行った。セルロース含有量は、P.J.Van Soestらの方法⁷⁾に準じて分析した。セルロース分析には、

流入下水、処理水、保持汚泥を用いた。前処理として流入下水、処理水はそれぞれ200倍、400倍濃縮した。汚泥滞留時間（SRT）はUASBの保持汚泥量と流出SS量から算出した⁹⁾。

c) メタン生成活性試験

メタン生成活性は、734 日目のUASB汚泥について測定した。温度条件は一般的な中温菌の最適温度である35℃と平均処理水温である20℃に設定した。採取した汚泥に対して、水素、酢酸、プロピオン酸、セルロースをテスト基質としメタン生成活性を求めた。基質洗浄を行わないため、基質投入なしのコントロールを用意した。活性試験は 120 ml 容量のバイアル瓶を用い、50 mlの液相部（水素基質では 40 ml）には、還元剤（ $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, 250 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ）、酸化還元指示薬（レザズリン, 1 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ）、リン酸緩衝液（25 mM）、を投与した。各基質濃度は以下のように設定した； H_2/CO_2 ：80/20（V/V）で 1.4 atm、酢酸およびプロピオン酸：1000 $\text{mgCOD} \cdot \text{l}^{-1}$ 、セルロース 95 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ （約 1000 $\text{mgCOD} \cdot \text{l}^{-1}$ ）。水素基質以外は気相部を窒素ガスでパージした。バイアル瓶は35℃ 制御のロータリーシェーカー（120 rpm）で振とうし、経時的にガス組成、ガス生成量を測定した。

b) 16S rRNA遺伝子に基づいた微生物群集構造解析

16S rRNA遺伝子（16S rDNA）を標的とした群集構造解析は、運転336日目（流入水温 23.7℃）、500日目（12.4℃）の保持汚泥に対して行った。DNA抽出にはISOIL for Beads Beading（NIPON GENE CO., LTD.）を用いた。PCR増幅にはEUB8F（5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3'）とUNIV1500（5'-GGTTACCTTGTACGACT-3'）、ARC109F（5'-ACKGCTCAGTAACACGT-3'）とUNIV1500のプライマーセットを用いDomain BacteriaおよびArchaeaの16S rRNA遺伝子のほぼ全長を増幅させた。得られた増幅産物はMinElute PCR Purification Kit（QIAGEN）を用いて精製を行い、TOPO Cloning Kit（Invitrogen）によってクローン化した。抗生物質を含むLB培地上で形成したコロニーからランダムにクローンを選択し（Bacteria: 100 Archaea: 50）、プラスミドから単一の16S rRNA遺伝子断片を回収した後、ドラゴンジェノミクスセンター（Takara BIO）にてシーケンス解析を行った。

3. 実験結果と考察

(1) 連続運転下水処理性能

図-2に都市下水の連続運転における水温（A）、全COD（B）、SS（C）、メタン生成量（D）の経日変化を示す。UASB処理水温は、最高で28.0℃（375 日目）、最低で10.0℃（554 日目）となった。本稿では、水温が15℃以下の期間（130~215 日目、485~500 日目）を冬期と称し、水温

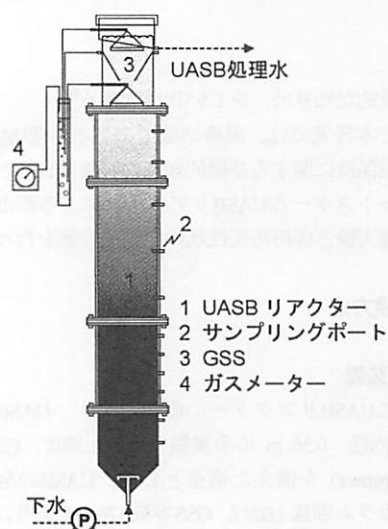


図-1 UASBリアクター概要図

が20℃以上の期間(0~81日目, 280~444日目, 641~700日目)を夏期と称する。全CODは流入下水で 360 ± 148 (平均 $\pm$ 標準偏差) $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, 処理水で平均 122 ± 41 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ となり, 全COD除去率は平均 63 ± 13 %となった。またSSは流入下水で平均 131 ± 74 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, 処理水で平均 39 ± 32 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ であり, SS除去率は平均 71 ± 21 %となった。Uemuraら(2000)の研究ではラボスケールUASBにおける都市下水の処理において, HRT 4.7 h, 水温 13℃の条件下で全COD除去率が 64%で安定していたことを報告している⁹⁾。本UASBにおいても冬期の処理水質は, 約 85日間にわたり10~15℃の水温が続いたにもかかわらず, 全CODで平均 123 ± 52 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, SSで平均 41 ± 38 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ と安定していた。このことから都市下水を対象としたUASBの水温に対する処理安定性については, 15℃以下の期間が 3ヶ月程度であれば 10℃程度までの低下にも対応可能であると考えられた。

通年運転におけるpHは, 流入下水で 7.2 ± 0.4 , 処理水で 6.9 ± 0.3 となった。ORPは流入下水で -192 ± 51 mV, 処理水で -240 ± 37 mVであった。得られたバイオガスの平均的な組成は, メタン 69 ± 8 %, 窒素 27 ± 8 %, 二酸化炭素 4 ± 1 %のレベルであった。

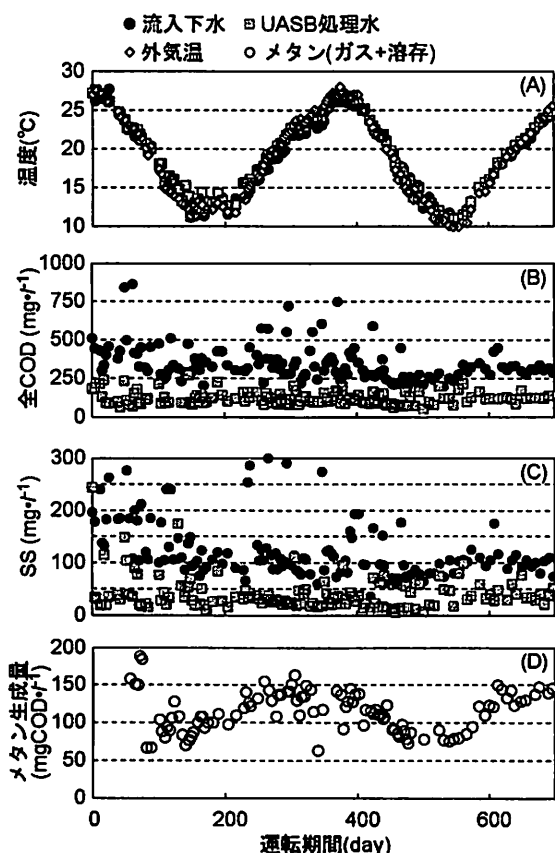


図2 UASB リアクターにおける水質の経日変化 (A)水温, (B)全COD, (C)SS, (D)メタン生成量

(2) 保持污泥濃度

a) 高さ方向のMLSSプロファイルの変遷

図3にUASBの高さ方向におけるMLSSプロファイルの変遷を示す。UASB最下部では, 連続運転に伴うMLSSの変動は少なく, 30~45 $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度で安定していた。一方, 中部(1~3 m)では, MLSSは変動し, 1年目の冬期(低水温期)に増加したが, 夏期(高水温期)には減少する傾向が見られた。その後, MLSSは再び処理水温の低下(冬期)に従い増加した。また最上部では, MLSSは運転開始時の約 6 $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ から17 $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ まで徐々に増加した。なお最上部のMLSSは17 $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ に達したが, GSSの気固液分離が効果的に機能したため, 処理水中に流出したSSは平均 0.040 $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ に抑えられた。また MLSSは, 45 $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度を上限として, 下部から上部に向かって徐々に増加した。

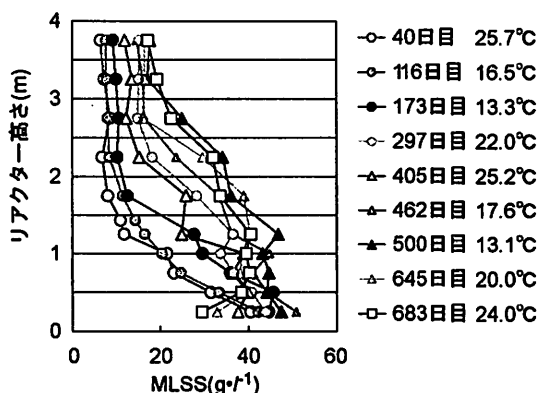


図3 UASB 高さ方向プロファイル (MLSS)

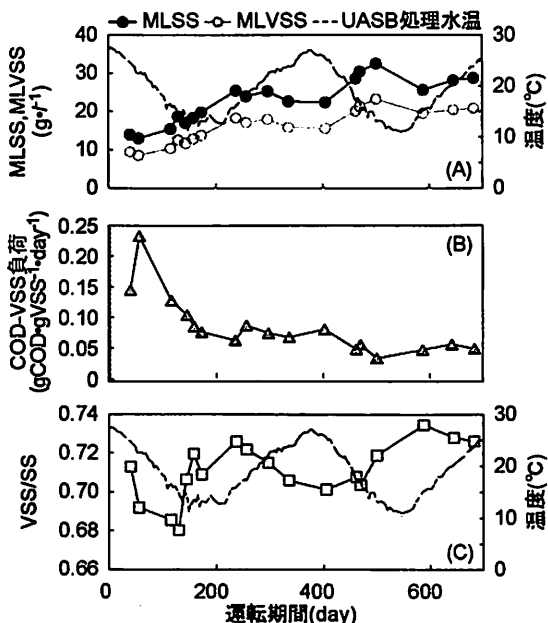


図4 UASB リアクターにおける汚泥の経日変化 (A)MLSS, MLVSS, (B)COD-VSS 負荷, (C) VSS/SS 比

図-4(A)に UASB カラム有効容積当りの平均 MLSS および MLVSS の経日変化を示す。平均 MLVSS は、全運転期間では徐々に増加する傾向を示した。また、1 年スパンでは、平均 MLVSS は、冬期に上昇し、夏期に低下する変動を見せた。除去 COD に対する VSS 転換率は、全運転期間で $0.021 \text{ gVSS} \cdot \text{gCOD removed}^{-1}$ ($0.027 \text{ gSS} \cdot \text{gCOD removed}^{-1}$) となった。

b) 汚泥負荷の経日変化

図-4(B)に連続運転における全COD汚泥負荷の経日変化を示す。全COD汚泥負荷の算出は、1日当りの流入全CODを保持汚泥量(VSS)で除して求めた。全COD汚泥負荷は、保持汚泥濃度の上昇に伴って低減し、運転期間後期には $0.05 \text{ gCOD} \cdot \text{gVSS}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ (容積負荷: $1.2 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$) 程度に低く維持された。高濃度汚泥保持による全COD汚泥負荷の低レベルでの維持は、水温低下に伴う単位汚泥当たりの加水分解速度の低下を補っていたと考えられる。また、この結果としてUASBは冬期においても安定したCOD除去性能を保持できたと考えられる。

(3) 保持汚泥性状

a) 保持汚泥の粒径分布

低濃度排水である都市下水 UASB の処理においても、分散状の中温消化汚泥から、優れた沈降性の鍵となるグラニュール汚泥が形成された。

図-5 に保持汚泥粒径分布およびグラニュールの写真を示す。粒径分布は、重量比率(%、 gVSS -各粒径範囲の汚泥・ gVSS -全汚泥 $^{-1}$)によって評価した。保持汚泥の分級は2.00, 0.85, 0.43 mm メッシュのフルイを用いて行った。またサンプルは、UASB 高さ(リアクター底部より) 3.25

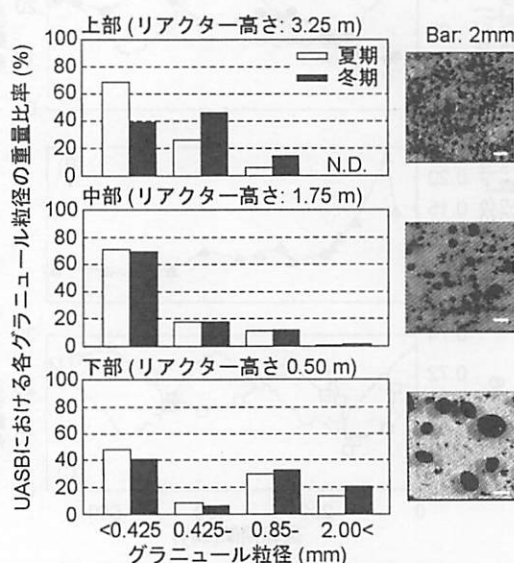


図-5、粒径分布およびグラニュール写真

m, 1.75 m, 0.50 m より引抜いた汚泥を用いた。UASB 下部では、粒径 2.00 mm 以上のグラニュール汚泥の重量比率は 13%であり、0.85 mm 以上のグラニュール汚泥は 41%を占めた。また上部では、2.00 mm 以上のグラニュール汚泥は存在しなかったが、0.43-0.85 mm のグラニュール汚泥の重量比率は約 26%を占めた。冬期と夏期を比較すると、中部および下部では、粒径分布の差はほとんど見られず、冬期においてもグラニュール汚泥が維持できることがわかった。

b) 保持汚泥の沈降性の変遷

図-6(A)にUASB保持汚泥のSVIプロファイルの変遷を示す。SVIは運転継続に伴って徐々に低下し、173 日目以降、20-60 $\text{mL} \cdot \text{gSS}^{-1}$ 程度となったが、これは植種した消化汚泥がグラニュール化したことによると考えられる(図-5)。保持汚泥は、運転初期を除けばSVIの変化が少なく、冬期に未分解有機物の蓄積は確認されるものの水温の上昇とともに分解し、スカムなどの蓄積は確認されなかったことから、UASB汚泥床全域で良好な汚泥性状を維持していたと考えられる。

c) 保持汚泥のVSS/SS比の変遷

図-4(B)に保持汚泥のVSS/SS比の経日変化を示す。VSS/SS比は温度下降時に増加し、上昇時には低下する傾向が見られた。流入下水のVSS/SS比は平均0.85と保持汚泥よりも高いことから冬期におけるMLSSの増加は流入固形物、特に有機物の蓄積によるものと考えられる。Seghezziら(2002)の報告では、下水処理UASB(アルゼンチン・Salta)を月平均温度が17.2-26.6°Cの条件下で運転したところ、保持汚泥に含まれる分解可能な有機物量(保持汚泥の全CODのうち分解可能なCODの割合)が、夏期では7%であったのに対し、冬期では10%に増加した¹⁰⁾と述べられており、冬期に未分解の有機物が蓄積するという同様の傾向が見られた。また、水温の上昇とともにVSS/SS比は低下することから未分解の有機物は、水温の上昇とともに分解することが示唆された。

d) 固形性有機物の分解

ここでは都市下水に含まれ、また比較的分解しにくいセルロースを流入水由来の固形性有機物の指標と見なし、UASB 内での蓄積、分解挙動の把握を行った。流入セルロース濃度は流入 SS 濃度に対して 6.3%、VSS 濃度に対して 8.3%であった。図-6(B)に UASB 高さ方向のセルロース濃度プロファイルを示す(ただし、検出限界以下である $0.5 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ 以下は0としてプロットした。)。336 日目のセルロースの理論蓄積濃度(流入総セルロース量と流出総セルロース量の差をカラム容積で除したもの)は $9.0 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ であるのに対し、UASB 内の蓄積セルロース濃度はカラム平均 $0.8 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ であった。セルロースは流入後、一時的に UASB 下部で蓄積する傾向はあるが、UASB 上部

に向かって濃度が減少し、約2 m以上の部分では検出限界以下となった。固形性有機物がUASB下部に一時蓄積する現象は、他の下水処理UASB⁹⁾においても確認されている。Zeemanら(1999)は、下水処理UASBにおいて保持汚泥の固形性有機物の加水分解速度とメタン生成活性を維持するためには、水温が25℃以上では15日以上のSRTを、15℃以下では100日以上SRTを維持することが求められると報告した¹¹⁾。実際に、温帯地域(水温:16~25℃)で優れた処理性能を発揮したUASBのSRTは450日確保されていた¹²⁾。なお、本UASBにおけるSRTは、実験期間を通じて約250日に達していた。UASBにおける長いSRTは、セルロースなどの固形性有機物の一時蓄積と分解に寄与し、処理水質の安定化を可能にしていることがわかった。

e) メタン生成活性

図-7にUASB保持汚泥の35℃および20℃におけるメタン生成活性を示す。35℃の条件においてメタン生成活性は、水素基質では0.31 gCOD・gVSS⁻¹・day⁻¹、酢酸基質では0.039 gCOD・gVSS⁻¹・day⁻¹であった。20℃におけるメタン生成活性は、35℃の活性の26~35%程度のレベルとなった。テスト基質間での活性低下割合に差は見られなかった。Seghezzoら(2004)は、亜熱帯地域(アルゼンチン・Salta)で800日以上運転した沈殿下水処理UASB(流入全COD 143.3 ± 6.8 mg・l⁻¹)保持汚泥のメタン生成活性について、0.098 gCOD・gVSS⁻¹・day⁻¹(30℃ 酢酸基質)¹³⁾であったと報告している。そのリアクター特性(HRT 6.3 h, 高さ 2.55 m 直径 0.5 m, ベッド高さ 1.69 m, 汚泥濃度 28.6 g VSS・l⁻¹・sludge)¹³⁾から算出した汚泥負荷は、0.03 gCOD・gVSS⁻¹・day⁻¹であった。このメタン生成活性レベルについては、本研究での活性値の約3倍程度であったが、いずれも消化汚泥と同レベル程度である。杉江ら(2008)の研究において、約1年間運転した都市下水処理UASB保持汚泥の水素基質からのメタン生成活性は、約0.2 gCOD・gVSS⁻¹・day⁻¹(35℃)であった¹⁴⁾。また、このときの汚泥負荷は、0.11 gCOD・gVSS⁻¹・day⁻¹(HRT 9.6 h, リアクター容積 20 m³, 汚泥量 114.4 kg VSS)であった。このことから、都市下水のような低濃度有機性排水を処理する長期連続運転の嫌気性反応槽保持汚泥のメタン生成活性は、汚泥負荷の低さの影響を受けるものと考えられる。また水素基質以外のメタン生成活性は、35℃, 20℃条件ともにコントロールとほぼ変わらない値となった。これは汚泥負荷が0.05 gCOD・gVSS⁻¹・day⁻¹と低く、常に基質供給律速による増殖抑制が起こり、微生物が失活状態もしくは休眠状態であったためと考えられる。

f) 保持微生物群集構造解析

図-8に、Domain Bacteriaを標的とした保持汚泥中に存在する微生物の系統分類の結果を示す(全クローンに対する割合:%)。検出されたFirmicutes門のうち全てのクロー

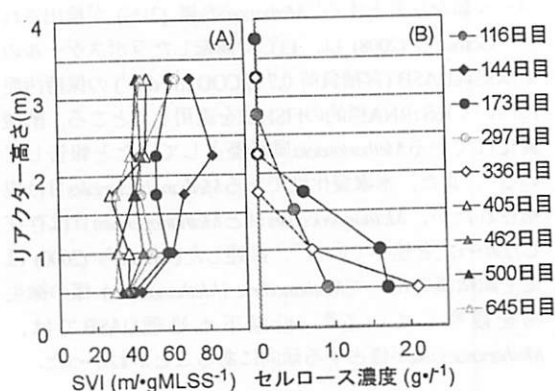


図-6 UASB 高さ方向プロファイル
(A)SVI, (B)セルロース濃度

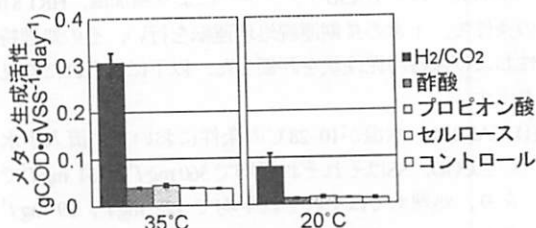


図-7 メタン生成活性

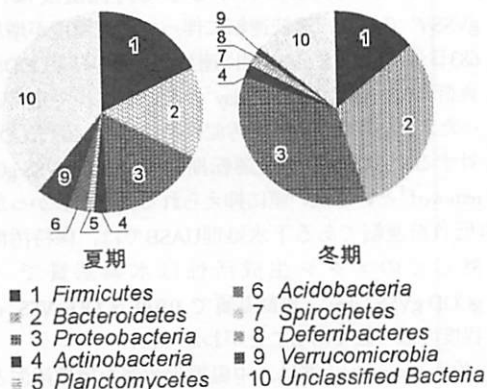


図-8 微生物群集構造解析

ーンはClostridia綱に属していた。Bacteroidetes門では、夏期に15%、冬期で32%の割合で検出された。Firmicutes門・Bacteroidetes門にはセルロース等を含む固形有機物の酸生成に寄与するClostridium属細菌、Bacteroides属細菌、Acetivibrio属細菌、など存在することが知られている。また、水温が低下する冬期ではProteobacteria門細菌の割合が36%まで増加した。そのうちの68%は硫酸塩還元菌などが属するDeltaProteobacteria綱であった。

Domain Archaeaを標的とした系統分類の結果、年間を通して酢酸酸化性メタン生成古細菌であるMethanosaeta属(夏期92%、冬期75%)が優占していた。夏期からは、Methanobacterium属(2%)、冬期からは水素、ギ酸、アル

コール類を基質とする¹⁹⁾*Methanofallis*属 (21%) が検出された。Gomecら (2008) は、13℃で運転したラボスケールの下水処理UASB (容積負荷 0.7 kgCOD・m⁻³・day⁻¹) の保持汚泥について16S rRNA標的のFISH法を適用したところ、酢酸資化性である*Methanosaeta*属が優占していたと報告している¹⁶⁾。また、水素資化性である*Methanobacteriales*目は観察されたが、*Methanococcales*目と*Methanogenium*目は存在しなかったと述べている¹⁶⁾。前述したUemuraら (2000) は電子顕微鏡を用いて*Methanorhiz* (*Methanosaeta*) 様の微生物を観察している⁹⁾。低温下水処理UASBでは、*Methanosaeta*属が優占する傾向にあることがわかった。

4. 結論

本研究では、UASBリアクターにより無加温、HRT 8 hの条件で、下水の長期連続処理運転を行い、その処理特性および保持汚泥性状を評価した。以下に得られた知見を示す。

- (1) UASBは、水温が10-28℃の条件において、流入下水の全COD、SSIはそれぞれ平均で 360 mg/l¹, 131 mg/l¹であり、処理水ではそれぞれ平均で 122 mg/l¹, 39 mg/l¹であった。UASBは安定した処理性能を発揮した。
- (2) 運転初期のUASBにおける平均汚泥濃度は、9.5 gVSS/l¹であり、連続運転に伴って汚泥濃度が増加し、683日目には 20.8 gVSS/l¹に達した。その結果COD汚泥負荷は0.05 gCOD・gVSS⁻¹・day⁻¹の低いレベルで定常となった。UASBでの高濃度汚泥保持により、除去CODに対するVSS転換率が全運転期間で 0.020 gVSS・gCOD removed⁻¹という低い値に抑えられることがわかった。
- (3) 低負荷運転である下水処理UASBでは、保持汚泥の35℃でのメタン生成活性は水素基質で 0.31 gCOD・gVSS⁻¹・day⁻¹、酢酸基質で 0.039 gCOD・gVSS⁻¹・day⁻¹程度の低い値であることがわかった。
- (4) グラニュール汚泥は、中温消化汚泥を植種汚泥として、都市下水処理のUASB処理においても形成されることが確認できた。UASB下部および中部における粒径分布は、冬期においても夏期と同程度であり、通年でグラニュール形状が維持された。保持汚泥のSVIは、約 50 ml/gSS⁻¹以下となり、良好な沈降性を示した。
- (5) 固形性有機物は、UASB下部に捕捉され、冬期に蓄積する傾向があるが、水温の上昇とともに分解が進むことが確認された。約 250日という長いSRTを保った本UASBは、セルロースなどの固形性有機物を一時蓄積するとともに分解することで、処理水質を安定させていると考えられた。また、固形有機物等の酸生成に寄与していると考えられる*Bacteroidetes*門、*Firmicutes*門のクローンが高い割合で検出した。

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) 研究開発プロジェクト『無曝気・省エネルギー型 次世代水資源循環型技術の開発』および、文部科学省の科学技術総合研究委託事業『国際共同研究の推進 途上国が適用可能な下水処理技術の創成』の一環として実施した。また長岡中央浄化センターの皆様には実験を行うにあたり、様々なご配慮を頂いた。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) Franklin, R. J. (2001). Full-scale experiences with anaerobic treatment of industrial wastewater, *Wat. Sci. Technol.*, 44(8), 1-6.
- 2) Monroy, O., Fama, G., Meraz, M., Montoya, L. and Macarie, H. (2002). Anaerobic digestion for wastewater treatment in Mexico: state of the technology, *Wat. Sci. Technol.*, 34(6), 803-1816.
- 3) Miron, Y., Zeeman, G., Van Lier, J.B. and Lettinga, G. (2000). The role of sludge retention time in the hydrolysis and acidification of lipids, carbohydrates and proteins during digestion of primary sludge in CSTR systems, *Wat. Res.*, 34(5), 1705-1713.
- 4) Lettinga, G., Rebac, S. and Zeeman, G. (2001). Challenge of psychrophilic anaerobic wastewater treatment. *Trends in Biotechnol.*, 19(9), 363-370.
- 5) O'Flaherty, V., Collins, G. and Mahony, T. (2006). The microbiology and biochemistry of anaerobic bioreactors with relevance to domestic sewage treatment. *Reviews in Environ. Sci. Bio/Technol.*, 5, 39-55.
- 6) 日本下水道協会 (1997), 下水試験方法
- 7) Van Sest, P. J. and McQueen, R. W. (1973). The chemistry and estimation of fibre, *Proc. Nutr. Soc.*, 32(3), 123-130
- 8) Elmitwalli, T., Sklyar, V., Zeeman, G., Lettinga, G. (2002). Low temperature pre-treatment of domestic sewage in an anaerobic hybrid or an anaerobic filter reactor. *Bioresource Technol.*, 82, 233-239.
- 9) Uemura, S., and Harada, H. (2000). Treatment of sewage by a UASB reactor under moderate to low temperature condition, *Bioresource Technol.*, 72, 275-282.
- 10) Seghezzezo, L., Cuevas, C.M., Trupiano, A.P., Guerra, R.G., Gonzalez, S.M., Zeeman, G., Lettinga, G. (2006). Stability and activity of anaerobic sludge from UASB reactors treating sewage in subtropical regions. *Wat. Sci. Technol.*, 54(2), 223-229
- 11) Zeeman, G. and Lettinga, G. (1999). The role of anaerobic digestion of domestic sewage in closing the water and nutrient cycle at community level, *Wat. Sci. Technol.*, 39, 187-194.
- 12) Seghezzezo, L., Guerra, R.G., Gonzalez, S.M., Trupiano, A.P., Figueroa, M.E., Cuevas, C.M., Zeeman, G., Lettinga, G. (2002). Removal efficiency and methanogenic activity profiles in a pilot-scale UASB reactor treating settled sewage at moderate temperatures. *Wat. Sci. Technol.*, 45(10), 243-248.
- 13) Seghezzezo, L. (2004). Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater in Subtropical Regions. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.

14) 杉江恒彦, 窪田恵一, Wilasinee Yoochatchaval, 對馬育男, 草野真一, 山口隆司, 米山豊, 珠坪一晃 (2008). 都市下水の嫌気処理における有機物分解特性の評価 第45回環境工学研究フォーラム講演集, 35-37

15) Zellner, G., Boone, D.R., Keswani, J., Whitman, W.B., Woese, C.R., Hagelstein, A., Tindall, B.J., Stackebrandt, E. (1999). Reclassification of *Methanogenium tationis* and *Methanogenium liminatans* as *Methanofollis tationis* gen. nov., comb. nov. and

Methanofollis liminatans comb. nov. and description of a new strain of *Methanofollis liminatans*. IJSEM, 49(1), 247-255

16) Gomec, C., Letsiou, I., Ozturk, I., Eroglu, V., Wilderer, P. (2008). Identification of Archaeal population in the granular sludge of an UASB reactor treating sewage at low temperatures. Environ. Sci. and Heal. Part A. 43(13), 1504-1510

(2009. 5. 22 受付)

Evaluation of the treatment characteristics and the retained sludge properties in an UASB reactor treating municipal sewage

Akiko OHYA¹, Takashi ONODERA¹, Takashi YAMAGUCHI¹, Kazuaki SYUTSUBO², Nobuo ARAKI³, Tadashi TAGAWA⁴, Shinichi YAMAZAKI⁵, Yutaka YONEYAMA⁶, Akiyoshi OHASHI⁷, and Hideki HARADA⁸

¹Dept. of Environmental Engineering, Nagaoka University of Technology

²National Institute for Environmental Studies

³Dept. of Civil Engineering, Nagaoka National College of Technology

⁴Dept. of Civil Engineering, Takamatsu National College of Technology

⁵Dept. of Civil Engineering and Architecture, Kochi National College of Technology

⁶Ebara Engineering Service Co., Ltd.

⁷Dept. of Social and Environmental Engineering, Hiroshima University

⁸Dept. of Civil and Environmental Engineering, Tohoku University

An upflow anaerobic sludge blanket (UASB) treating municipal sewage was monitored under moderate climate conditions in order to evaluate the process performance and sludge property. The UASB inoculated with digester sludge was operated at an HRT of 8 hr under the temperature ranging from 10 to 28°C over 700 days. The average concentration of the retained sludge increased to 20.8 gVSS·l⁻¹ of the column volume at the end of the experimental period. The average specific COD loading rate was 0.05 gCOD·gVSS⁻¹·day⁻¹ during the whole experimental periods. The average total COD removal was 63%. The sludge yield was 0.020 gVSS·gCOD removed⁻¹, which is the result of the effective sludge degradation due to long solids retention time (SRT). The calculated SRT was approximately 250 days, sufficient for complete mineralization of the sludge. Formation of granule was observed, which increased the settleability of the sludge bringing the SVI value below 50 ml·gSS⁻¹. It was confirmed that the UASB reactor effectively removed solids including cellulose by means of accumulation followed by degradation within the sludge bed, and producing satisfactory effluent quality.