

(70) 過負荷による高温UASBリアクター処理性能の破綻および回復

田村 英輔^{1*}・中村 猛利¹・河島 正明¹・Narin PATTANANUWAT¹
山口 隆司¹・井町 寛之²・原田 秀樹³・大橋 晶良⁴

¹長岡技術科学大学 環境・建設系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

²海洋研究開発機構 極限環境生物圏研究センター (〒237-0016 神奈川県横須賀市夏島町2-15)

³東北大学 土木工学専攻 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6)

⁴広島大学 社会環境システム専攻 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)

* E-mail: tamula@stn.nagaokaut.ac.jp

高温UASB法は環境変動に弱く、容易にプロピオン酸が蓄積しプロセス破綻に至ることが報告されている。しかし、破綻および回復過程は不透明である。そこで本研究は、高温UASB法の運転・維持管理において重要なプロセス破綻を解明するため、高温UASBリアクターに過負荷を与え、曝露後は定常時の基質に戻し、この間の水質・バイオガスを追跡した。その結果、10倍負荷で有機酸が蓄積してもpH低下しなければ基質の入替えにより即座に定常状態へ戻った。一方、pH低下が起こると曝露期間が長い程回復が長期化し、定常状態への回復に曝露3日では17日も要した。このことから、破綻は有機酸蓄積が直接的な要因ではなく、間接的なpH低下によりリアクター内微生物がダメージを受けたことが原因であると推察された。

Key Words : thermophilic UASB, shock loading, VFA accumulation, pH, deterioration, recovery

1. はじめに

中温 (35 °C 付近) UASB (Up-flow anaerobic sludge blanket) 法は、既に食品加工系廃水などの中・高濃度有機性廃水処理において広く普及しており、成功を収めている技術である。近年、中温UASBよりも更なる高速・高負荷処理が可能な温度域 (55 °C 付近) で運転する高温UASBの開発が進められている。高温UASBは、中温UASBと比較すると数段高い代謝活性を有するメタン生成古細菌をリアクター内に保持しているため、中温UASBよりも高い有機物負荷を許容することができる。実際に、100 kgCOD・m⁻³・day⁻¹の高COD容積負荷を達成した高温UASBの既報もある¹⁾。しかし、現在のところ高温UASBの工業規模での実用化数は極めて少ない²⁾。実用化を妨げる問題点は幾つか指摘されている。その最も大きな要因として、高温UASBは過負荷、温度変化、供給基質の変更といった環境変動に弱く、プロピオン酸がプロセス内に著しく蓄積し^{1), 3), 4), 5)}、良好な処理が望めなくなることが挙げられる。この問題は高温

UASBの開発以来指摘されているにも関わらず未だその原因および回避法は確立されていない。現在まで、プロピオン酸の蓄積を解明する手がかりとして高温嫌気環境下のプロピオン酸酸化細菌である *Pelotomaculum thermopropionicum* SI株が単離された⁶⁾。また、水素資化性メタン生成古細菌である *Methanothermobacter thermautotrophicus* ΔH株との共生関係におけるSI株の挙動⁷⁾およびゲノム解析⁸⁾が行われてきた。

以上のような解析によりプロピオン酸酸化細菌に関する知見は広がってきたが、リアクター制御およびプロセス破綻回避技術開発には至っていない。そこで、本研究はプロセス破綻を解明するため、スクロース・酢酸ナトリウム・プロピオン酸ナトリウムを主な炭素源とし、容積負荷7.3 kgCOD・m⁻³・day⁻¹、COD除去率90 %以上で運転しているラボスケールの高温UASBリアクターを意図的に過負荷状態に曝し、その後速やかに定常状態の基質に戻す実験を行い、pH、メタン生成速度、COD除去率、処理水中VFA濃度といった各パラメーターの挙動を解析した。

2. 実験方法

(1) 高温UASBリアクター

図-1に本実験で用いたラボスケール高温UASBリアクターのフローシートを示す。本リアクターは、高さ1000 mm、内径φ60 mmのガラス製で反応容積2.8 L、0.2 LのGSS (Gas-Solid-liquid Separator) を設けている。バイオガスは水封槽、脱硫塔を通過後、湿式ガスメーターを用いて全ガス量を測定した。リアクター内温度は、ウォータージャケットにより恒温水を循環させ55℃に制御した。COD容積負荷と水理学的滞留時間 (HRT) は反応容積を用いて算定した。

本リアクターへの植種汚泥は、焼酎蒸留粕廃液を1年以上に渡り良好に処理しているパイロットスケール高温UASBより採取したグラニュール汚泥を重力沈降して用いた。汚泥投入量は124 gVSS/reactor、汚泥のVSS/SS比は0.81であった。

(2) 定常時の基質

本実験に用いた人工基質の組成を表-1に示した。有機源はスクロース、酢酸ナトリウム三水合物、プロピオン酸ナトリウム、ペプトンを用い、COD比で2:1:1:0.5となるよう混合して濃度1700 mgCOD・L⁻¹とした。また、pH緩衝剤として重炭酸ナトリウムを1700 mg・L⁻¹添加した。人工基質は4℃の恒温室で保存し、供給する際には恒温槽を通過させて55℃に加熱した。

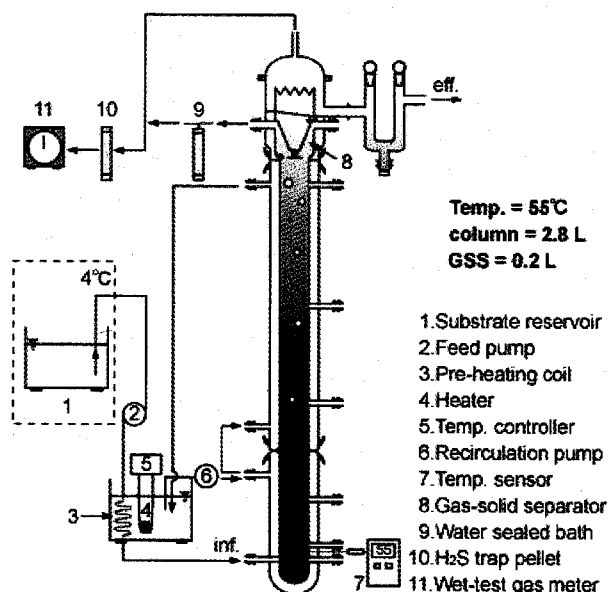


図-1 高温 UASB リアクターのフローシート

(3) 分析項目

基質並びに処理水中のCODcrはHACH法、pHはTOA DKK pH METER, HM30-Rで測定した。バイオガス組成はUnibeads C (60/80mesh) を充填した2 m×3 mm stainless steelカラムを搭載したTCD型検出器ガスクロマトグラフ (Shimadzu GC-8A) により測定した。VFAはThermon 3000 5%, Shincarbon-A (60/80mesh) を充填した3 m×2.6 mmガラスカラムを搭載したFID型検出器ガスクロマトグラフ (Shimadzu GC-1700) により測定した。人工基質、処理水の溶解性試料はADVANTEC MEMBRANE FILTERS (孔径0.2 μm) で濾過したものを分析に用いた。

(4) 過負荷試験

本研究で行った過負荷試験条件を表-2に示す。HRTは5.6 hと固定し、表-2に示した基質濃度の変更で容積負荷を調節している。

実験は、定常状態にあるリアクターを高濃度の基質で所定の時間曝露し、その後速やかに定常状態の基質に戻すことで自己回復を図った。なお、過負荷試験中は各パラメーターの変動が大きいと考えられる基質変更時には1時間ないし2時間毎、それ以外は4時間ないし6時間毎にガスおよび処理水をサンプリングした。また、過負荷試験中はpH計の電極をリアクターの流出口U字管に設置し、処理水中のpHをon-siteで測定した。データの記録にはデーターキーkeyence NR-1000を用い、10分毎のpHを記録した。

表-1 供給基質組成

carbon source	Conc. (mgCOD/L)
C12H22O11	763.6
CH3COONa·3H2O	392.3
CH3CH2COONa	386.1
Peptone	159.8
pH buffer	Conc. (mg/L)
NaHCO3	1700
mineral	Conc. (mg/L)
KH2PO4	11
CaCl2·7H2O	5
MgCl2·6H2O	33
KCl	16
NH4Cl	222
trace element	Conc. (mg/L)
FeCl2·4H2O	3.93
CoCl2·6H2O	0.17
ZnCl2	0.07
H3BO3	0.06
MnCl2·4H2O	0.50
NiCl2·6H2O	0.04
CuCl2·2H2O	0.03
Na2MoO4·2H2O	0.03

表-2 過負荷試験条件

実験	基質組成	容積負荷 ($\text{kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$)	pH Buffer ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	曝露時間(d)	流出水最低 pH	回復必要日数
1	COD源全て増量	36.5 (5倍)	1700 (1倍)	0.5	7.11	—
2	COD源全て増量	73.0 (10倍)	1700 (1倍)	0.25	6.80	—
3	COD源全て増量	73.0 (10倍)	170 (1/10倍)	0.25	6.99	—
4	sucroceのみ増量	73.0 (10倍)	170 (1/10倍)	1.0	4.95	1
5	sucroceのみ増量	73.0 (10倍)	170 (1/10倍)	2.0	4.36	9
6	sucroceのみ増量	73.0 (10倍)	170 (1/10倍)	3.0	4.42	17

3. 実験結果および考察

(1) スタートアップ期間

本リアクターは、スタートアップから負荷を段階的に上昇させて運転した。負荷の上昇は流入水のCOD濃度を $1700 \text{ mgCOD} \cdot \text{L}^{-1}$ と固定し、HRTを短縮することによって行った。なお、スタートアップから47日目以降は、スラッジベッド高さに変動はなく、容積負荷 $7.3 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ においてCOD除去率（ $[\text{Inf.COD濃度} - \text{eff.COD濃度}] / \text{inf.COD濃度} \times 100$ ）90%以上、酢酸およびプロピオン酸はほぼ検出されない状態が続き、定常状態に達したと考えられた。実験終了後の汚泥量は $50.2 \text{ gVSS/reactor}$ で、汚泥負荷としては $0.4 \text{ kgCOD} \cdot \text{kgVSS}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ での運転であった。

過負荷試験は、リアクターが十分に安定したスタートアップ88日目から開始した。

(2) 過負荷による処理性能の破綻および回復過程

実験1は、COD源全ての濃度を5倍にすることで、容積負荷 $36.5 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ （汚泥負荷 $2.0 \text{ kgCOD} \cdot \text{kgVSS}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ ）とした。過負荷曝露開始と共にpHの低下、VFA濃度の上昇が起こった。しかし、処理水のpHは7.0程度までしか減少しなかった。その後、過負荷曝露中にも関わらずpHは上昇をはじめた。また、メタン生成速度は過負荷開始と共に上昇をはじめ、定常状態のおよそ4倍にまで達し、過負荷曝露中維持していた。過負荷曝露が終了し、定常時の人工基質に戻すと、蓄積していたVFAや上昇していたメタン生成速度は即座に減少をはじめた。そして、2-3 HRTの間に各パラメーターは定常状態にまで戻った（図示せず）。

容積負荷5倍では、過負荷曝露中にpH低下せず、メタン生成速度も高い値を保ったため、実験2は容積負荷を10倍である $73 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ （汚泥負荷 $4.0 \text{ kgCOD} \cdot \text{kgVSS}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ ）まで上昇させた。しかし、過負荷曝露開始から定常状態に戻るまで、pHやメタン生成速度、VFA濃度といった各パラメーターは実験1とほぼ同じ挙動を示した（図示せず）。

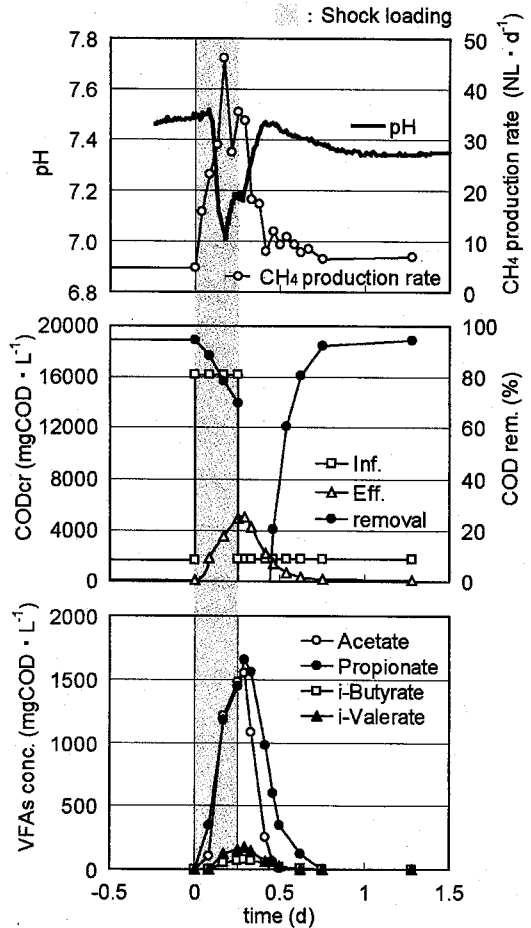


図-2 過負荷試験3の実験結果

実験2でもpH低下が起こらず、プロセス破綻に至らなかった原因としてpH緩衝剤である重炭酸ナトリウムの過剰な供給が考えられた。そこで、実験3では容積負荷10倍、重炭酸ナトリウムの供給量を1/10とした。しかし、図-2に示す通り、この実験条件下でも実験1および実験2と同様な結果となり、プロセス破綻に至らなかった。

以上の結果から、本実験条件下のような高濃度廃水の供給により、リアクター内にVFAが蓄積しても

pH低下が起こらなければ、リアクター内微生物はダメージを受けず、定常時の人工基質に変更することにより速やかに定常状態に戻ることが示唆された。そして、過負荷曝露中、メタン生成が活発に行われたことから、高温グラニュール汚泥はメタン生成速度測定値より $70 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ という高負荷も十分資化する能力を保持していることが示唆された。

pH低下しなければ遊離有機酸濃度が上昇することも無く、リアクターの破綻が起こらないことが分かったため、実験4から実験6では、糖の分解によるプロトン生成および糖から生成された酸によるpH低下を狙い、スクロース濃度のみを上昇させることで容積負荷を10倍にまで高めた。また、曝露時間の影響を見るために曝露日数をそれぞれ1日、2日、3日と変化させた。実験4および実験6の経日変化を図-3に示す。実験4の結果において3日目以降も線が結ばれているが、次のプロットは8日目に当たる。また、実験6の結果において曝露開始2.5日目に流入基質濃度が上昇している。これは曝露中に基質が足りなく

なり、再度調製したことによるものと考えられる。

実験4において、過負荷曝露を開始すると、pHは劇的に減少をはじめ、最終的にpH 4.99まで低下した。メタン生成速度は、過負荷曝露直後は急上昇したものの、pH 6.0以下となった辺りから徐々に減少していき、過負荷曝露終了時には定常状態と同程度になった。COD除去率は、過負荷曝露期間中減少を続け、過負荷曝露終了時には14 %程度となった。処理水中のVFAは、まず酢酸の蓄積からはじまった。酢酸は過負荷曝露開始から6時間で $1300 \text{ mgCOD} \cdot \text{L}^{-1}$ まで上昇し、曝露期間中 $1000\text{--}1300 \text{ mgCOD} \cdot \text{L}^{-1}$ の蓄積を続けた。過負荷曝露開始6時間後からプロピオン酸の蓄積がはじまった。プロピオン酸は、過負荷曝露期間中上昇を続け、曝露終了時には $900 \text{ mgCOD} \cdot \text{L}^{-1}$ 程度蓄積した。また、定常状態に全く検出されない酪酸や吉草酸も $100 \text{ mgCOD} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下と微量ながら検出された。しかし、定常時の人工基質に変更後、1日で定常状態まで回復した。このことから、リアクター内pHが5まで低下しても低pH期間が短ければ

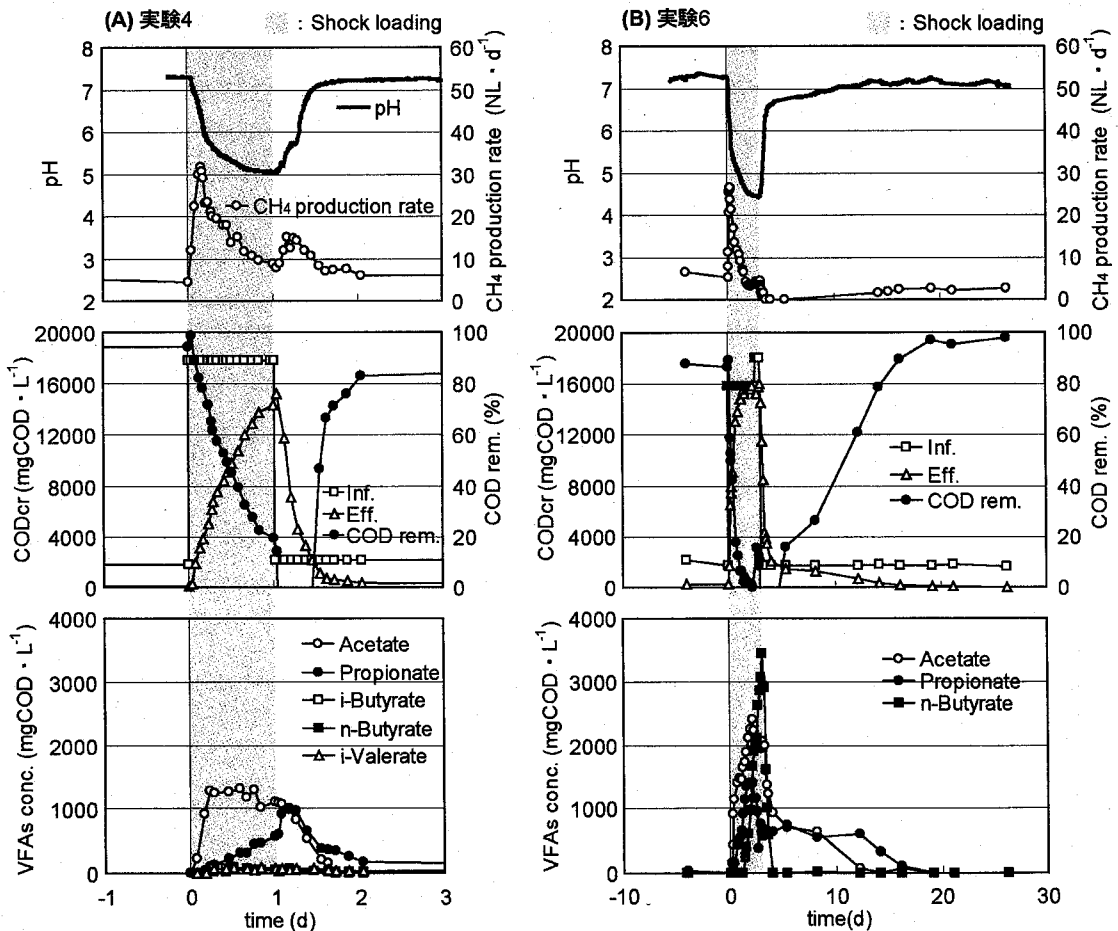


図-3 過負荷試験4，過負荷試験6の実験結果

リアクターは大きなダメージを受けず、早期回復を図れることが分かった。

そこで実験5では過負荷曝露期間を延長し、2日間とした。実験5における過負荷曝露開始から1日目までの各パラメーターの挙動は、実験4とほぼ同様になった(図示せず)。しかし、1日経過後、メタン生成速度が定常状態を下回り、処理水中の酪酸濃度が急激に上昇しはじめた。処理水中の酪酸濃度は、過負荷曝露終了時にはおよそ2000 $\text{mgCOD} \cdot \text{L}^{-1}$ にまで達した。この時、リアクター下部に存在するグラニューク汚泥の一部が、白く変色していることが確認された。これらのことから、過負荷曝露期間が1日を超えると、定常状態とは異なる微生物叢が形成されていることが考えられる。定常時の人工基質に変更後、酢酸、酪酸は速やかに減少した。しかし、プロピオン酸は500–800 $\text{mgCOD} \cdot \text{L}^{-1}$ の蓄積を続け、定常状態に回復するまで9日を要した。実験4と比較すると低pH期間が長くなることでリアクター内微生物のダメージが大きくなり、回復期間が更に長くなった。

さらに過負荷曝露によるpH低下期間が延長された場合、リアクターの定常状態への回復必要日数にどのような変化が現れるかを確認するため、実験6は過負荷曝露期間を3日に延長した。実験6における過負荷曝露開始から曝露2日目までの各パラメーターの挙動は、実験5とほぼ同様になった。メタン生成速度は、過負荷曝露中低下を続け、過負荷終了時にはほぼメタン生成が停止した。また、2日目以降も酪酸は更なる蓄積を続け、曝露終了時には3500 $\text{mgCOD} \cdot \text{L}^{-1}$ まで到達した。定常時の人工基質に変更後、酪酸は速やかに減少したが、ほぼ検出されない定常状態まで回復するのに酢酸は12日、プロピオン酸は17日かかった。実験6では、実験5よりも低pH期間が長くなり、リアクター内微生物がより大きなダメージを受けたことによって回復日数が更に長期化した。

(3) 回復期間におけるプロピオン酸の蓄積

図-4に実験4から実験6の酢酸とプロピオン酸の関係図を示す。過負荷曝露が開始されると、どの実験においてもまず酢酸が蓄積し、その後プロピオン酸の蓄積が起こった。過負荷曝露終了後、酢酸は速やかに減少した。しかし、プロピオン酸濃度はほぼ一定量の蓄積を続け、酢酸が定常状態まで低下した後には減少をはじめた。定常時の人工基質に変更後、酢酸は速やかに回復したにも関わらずプロピオン酸の蓄積が長期に渡ることから酢酸資化性細菌よりもプロピオン酸酸化細菌のダメージが大きく、定常状態

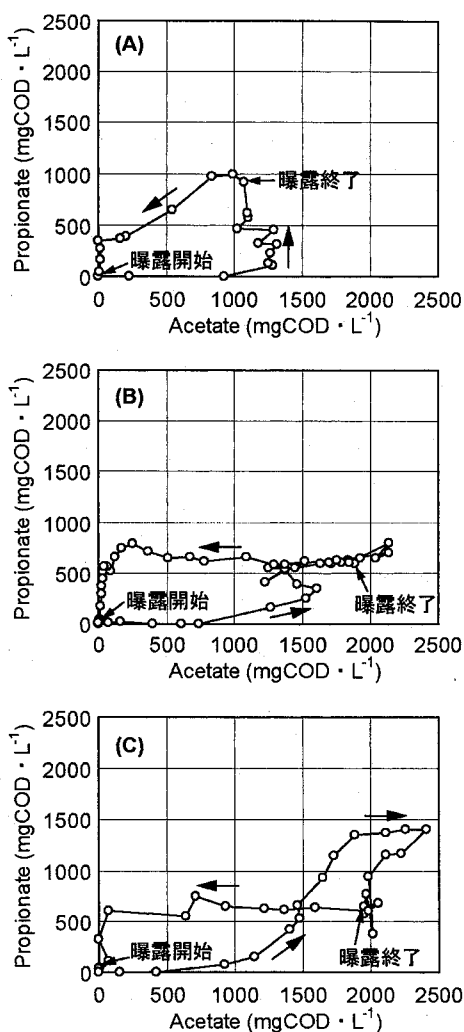


図-4 酢酸とプロピオン酸の関係図：(A) 実験4, (B) 実験5, (C) 実験6

まで回復するのに長期間を必要とすることが推測される。

スクロース単独基質で容積負荷10 $\text{kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$, HRT 24 hで運転している2台の高温 (55 °C) UASBリアクターを意図的に65 °C (8日間) と37 °C (16日間) の温度に曝してリアクター処理性能の挙動を追った既報⁵⁾では、定常状態に戻した後、速やかに回復する酢酸や酪酸と比較してプロピオン酸の蓄積が14–22日と長期に渡っている。本研究および既報の結果から、高温UASBリアクターに異なる環境変動が起こった場合でもプロピオン酸が鋭敏に反応し、プロセス内に蓄積しやすいことが分かる。

(4) pHと水素濃度の関係

水素濃度は、定常状態において0.01 %程度を保つ

ている。しかし、過負荷曝露中において大きな変化を確認することができた。

図-5に過負荷曝露中のpHと水素濃度の関係を示す。

実験4の結果を見ると、過負荷曝露が開始されpHが低下することで水素濃度が1オーダー上昇し、0.1 %以上となった。その後、水素濃度は低下をはじめ、過負荷曝露終了時には0.05 %となった。回復期間においては緩やかに減少している。

実験5は、曝露期間1日までは実験4と同じ挙動を示している。曝露1日を経過し、pH 5以下になってから水素濃度は急激な上昇をはじめ、曝露終了時には1.0 %まで上昇している。回復期においては、pH 6までは緩やかに減少しているが、pH 6以上になってからは急激に減少していった。

実験6は、曝露期間2日まで実験5と同じ挙動を示している。その後、実験5のpH 5以下における水素濃度の急上昇がそのまま継続し、過負荷曝露終了時には8.7 %まで上昇した。実験5および実験6で水素濃度が急上昇をはじめた地点は、酪酸の蓄積が開始した地点と一致する。また、実験4は即座に定常状態に回復したが、実験5および実験6は回復に長期間を要している。

高水素分圧下における高温UASBグラニュールのプロピオン酸酸化抑制⁹⁾、高温嫌気環境下におけるプロピオン酸酸化細菌SI株のプロピオン酸酸化が水素分圧40 Pa以上で停止する⁷⁾という既報がある。そこで、バイオガス中水素濃度のモニタリングが重要であると考えられる。過負荷曝露1日目は、バイオガス水素濃度は約0.05 %である。しかし、回復期間が長期化した2日曝露、3日曝露では、水素濃度がその後急上昇している。このことから、水素濃度0.05 %がキーとなり得る値と推察され、水素濃度のモニタリングが重要であると言える。すなわち、水素濃度が急上昇を開始する直前の0.05 %までにリアクター内pHを制御するといった対策を取ることで、リアクター処理性能の破綻を防ぐことができると考えられる。

UASBリアクターを容積負荷3倍で曝露した時、CODやVFA濃度より、バイオガス中の水素濃度が迅速に大きく変動するため、水素濃度が容積負荷変動のモニタリング指標となるといった既報¹⁰⁾もある。

(5) 過負荷曝露日数と回復必要日数

図-6に実験4から実験6までの過負荷曝露日数と回復必要日数を示す。なお、実験6で過負荷曝露後にガス漏れが発生したため、メタン生成速度は正確性を欠くと考えられる。そこで、回復必要日数の判断はCOD除去率90 %以上、VFAsはほぼ検出されない

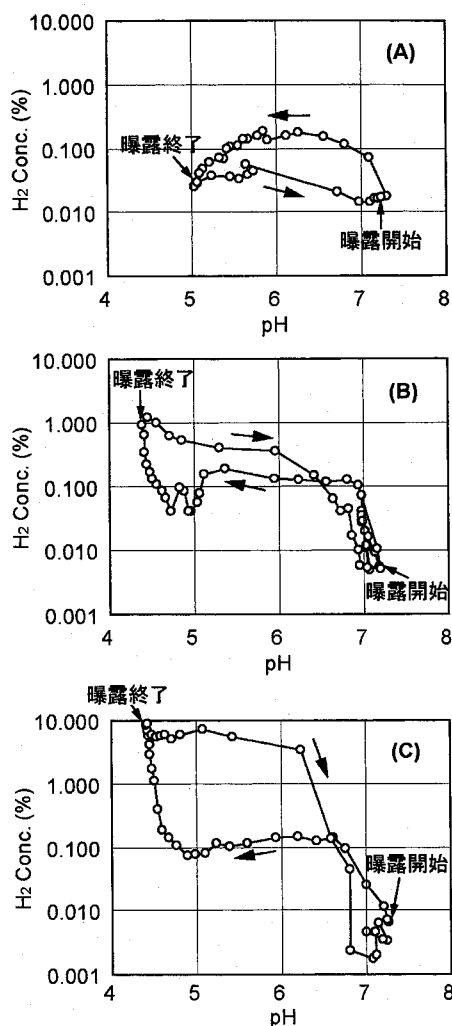


図-5 pHと水素濃度の関係：(A) 実験 4, (B) 実験 5, (C) 実験 6

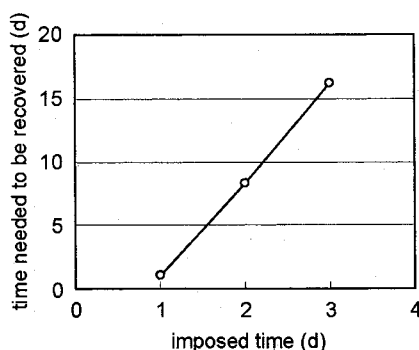


図-6 過負荷曝露日数と回復必要日数

状態を基準としている。過負荷曝露1日、2日、3日では、回復必要日数がそれぞれ1日、9日、17日となった。過負荷曝露日数が長くなるに従い、回復必要日数が長期化していったことが分かる。過負荷曝露

日数が1日長くなることで回復必要日数は8日長くなった。

実験4から実験6では、過負荷曝露中にリアクター内pHがpH 5.0以下まで低下している。しかし、高温嫌気環境下において凝集体を形成し、プロピオン酸酸化を行う重要な役割を持つプロピオン酸酸化細菌SI株および水素資化性メタン生成古細菌△H株の至適pHは、それぞれpH 7.0⁶⁾、pH 7.2 - 7.6^{11), 12)}と中性付近にある。また、生育可能なpHの下限はSI株でpH 6.5⁶⁾、△H株でpH 6.0^{11), 12)}となっている。

このことから、過負荷曝露によってリアクター内のpHが主要な微生物であるプロピオン酸酸化細菌SI株や水素資化性メタン生成古細菌△H株の至適pHを大きく下回る状態が継続されることで、リアクター内微生物群が受けるダメージが大きくなっていき、定常状態まで回復するために必要とする期間が長くなることが分かった。つまり、リアクター処理性能の破綻・回復には、リアクター内pHおよび低pH下に曝されている期間が大きく影響してくるといえる。しかし、pH低下が起こってしまった場合でも早期発見することで、プロセス破綻を回避できることが示された。

4. まとめ

本研究の結果から、リアクター処理性能の破綻に至る経過は、リアクター内にVFAが蓄積することにより間接的にpH低下が起こり、微生物群集がダメージを受けることに因る。そのため、処理性能の破綻から回復するために必要な期間は低pHに曝されていた期間に強く影響を受けることが分かった。

過負荷曝露中のVFA蓄積によるpH低下、メタン生成速度の低下、水素濃度の急上昇、曝露終了後の長期に渡るプロピオン酸蓄積といった様々な現象が見られた。そこで、プロセス内で重要な役割を担っているプロピオン酸酸化細菌やメタン生成古細菌の活性が一時的に低下したのか、もしくは死滅してしまったのかといった微生物への影響を今後分子生物学的手法などを用いて解析していくことが、処理性能の破綻の回避や早期回復への手がかりを得るために重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 原田秀樹, 珠坪一晃, 大橋晶良, 関口勇地, 多川正: 新規の多段型高温UASBリアクターによる超高速廃水処理装置の実現化, 環境工学研究論文集, Vol 34, pp.327-336, 1997.
- 2) 上村繁樹, 原田秀樹: 上向流嫌気性汚泥床 (UASB) 法

による高温・高濃度排水処理に関する研究現況, 用水と廃水, Vol. 37, No. 10, pp. 23-30, 1995

- 3) W.M.Wiegant, G.L.: Thermophilic anaerobic digestion of sugars in upflow anaerobic sludge blanket reactors, *Biotechnology and Bioengineering* Vol.27, No.11, pp.1603-1607, 1985
- 4) W.M.Wiegant, J.A.C., G.Lettinga.: Thermophilic anaerobic digestion of high strength wastewaters, *Biotechnology and Bioengineering*, Vol.27, No.9, pp.1374-1381, 1985.
- 5) Lau, I.W.C., H.H.P.Fang.: Effect of temperature shock to thermophilic granules, *Water Research*, Vol.31, No.10, pp. 2626-2632, 1997.
- 6) H.Imachi, Y.Sekiguchi, et al.: *Pelotomaculum thermopropionicum* gen. nov., sp. nov., an anaerobic, thermophilic, syntrophic propionate-oxidizing bacterium, *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, Vol.52, No.5, pp.1729-1735, 2002.
- 7) S.Ishii, T.Kosaka, et al.: Coaggregation facilitates interspecies hydrogen transfer between *Pelotomaculum thermopropionicum* and *Methanothermobacter thermautotrophicus*, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol.71, No.12, pp.7838-7845, 2005.
- 8) T.Kosaka, T.Uchiyama, et al.: Reconstruction and regulation of the central catabolic pathway in the thermophilic propionate-oxidizing syntroph *Pelotomaculum thermopropionicum*, *Journal of bacteriology*, Vol.188, No.1, pp.202-210, 2006.
- 9) Schmidt, J.E. and B.K.Ahring.: Effects of hydrogen and formate on the degradation of propionate and butyrate in thermophilic granules from an upflow anaerobic sludge blanket reactor, *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol.59, No.8, pp.2546-2551, 1993.
- 10) Huang, Y.H., G.H.Huang, et al.: Hydrogen as a quick indicator of organic shock loading in UASB, *Water Science and Technology*, Vol.42, No.3-4, pp.43-50, 2000.
- 11) Zeikus, J. G., Wolfe, R. S. : *Methanobacterium thermoautotrophicus* sp. n., an anaerobic, autotrophic, extreme thermophile, *Journal of Bacteriology*, Vol.109, No.2, pp.707-715, 1972.
- 12) Wasserfallen, A., J. Nolling, et al.: Phylogenetic analysis of 18 thermophilic *Methanobacterium* isolates supports the proposals to create a new genus, *Methanothermobacter* gen. nov., and to reclassify several isolates in three species, *Methanothermobacter thermautotrophicus* comb. nov., *Methanothermobacter wolfeii* comb. nov., and *Methanothermobacter marburgensis* sp. Nov., *Int J Syst Evol Microbiol*, Vol.50, No.1, pp.43-53, 2000.

(2007.5.25 受付)

The Effect of Shock Loading to the Performance of Thermophilic UASB reactor in terms of Deterioration and Recovery

Eisuke TAMURA¹, Taketoshi NAKAMURA¹, Masaaki KAWASHIMA¹,
Narin PATTANANUWAT¹, Takashi YAMAGUCHI¹,
Hiroyuki IMACHI², Hideki HARADA³ and Akiyoshi OHASHI⁴

¹Dept. of Environmental System Engineering, Nagaoka University of Technology

²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology Research

Scientist Extremobiosphere Research Center

³Dept. of Civil Engineering, Tohoku University

⁴Dept. of Social and Environmental Engineering, Hiroshima University

Since thermophilic UASB reactor is vulnerable to environmental variations, it has been widely reported that the treatment process could be easily deteriorated by the accumulation of propionic acid. However, the process of both deterioration and recovery derived from the accumulation has not yet been satisfactorily studied in details. To achieve the aim of elucidating the deterioration process, thermophilic UASB reactor has been conducted to study the performance before and after shock loadings in terms of effluent and biogas analysis. The analysis of the results indicates at 10 times of shock loading, even VFA accumulated but if pH was maintained at the regular level, the treatment process can be restored immediately. On the other hand, when pH dropped below an appropriate level, if shock loading period continues longer, the recovery rate will also be relatively extended. For example, it would take 17 days of recovery due to 3 days of shock loading. The experiment demonstrated that the VFA accumulation was not the direct cause of the process deterioration but indirectly decreasing in pH level could severely damage the microorganisms more in numbers.