

# UASB - 接触酸化下水処理システムによる 有機物と窒素の同時除去特性

山崎慎一<sup>1</sup>・山口隆司<sup>2</sup>・荒木信夫<sup>3</sup>・原田秀樹<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 高知工業高等専門学校助手 建設システム工学科 (〒783-8508 高知県南国市物部乙200-1)

E-mail:syama@ce.kochi-ct.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 工博 呉工業高等専門学校助教授 環境都市工学科 (〒737-8506 広島県呉市阿賀南2-2-11)

<sup>3</sup>正会員 工博 長岡工業高等専門学校助教授 環境都市工学科 (〒940-8532 新潟県長岡市西片貝888)

<sup>4</sup>正会員 工博 長岡技術科学大学教授 環境システム系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

本研究では、高速嫌気性反応槽の一つであるUASB反応槽と接触酸化槽を組み合わせた室内実験装置を使用して、都市下水を想定した低濃度有機性廃水をHRT4.5hで214日間連続処理し、有機物と窒素の処理特性に及ぼす処理水循環と温度の影響について検討した。その結果、接触酸化処理水のCOD<sub>Cr</sub>濃度は、UASB反応槽6~3℃(接触酸化槽15~12℃)において平均30mg/l以下(COD<sub>Cr</sub>除去率平均92%以上)の良好な水質を得た。窒素除去については、循環比を2としたUASB槽内温度7℃以上でT-N除去率平均68%を得た。UASB反応槽内では、循環なしの場合は、硫酸還元菌がメタン生成菌より優先的にCOD<sub>Cr</sub>を利用し、循環比2の場合は、メタン生成菌、硫酸還元菌よりも脱窒菌が優先的にCOD<sub>Cr</sub>を利用していることが判明した。

**Key Words:** UASB, aerobic biofilm, sewage treatment, nitrogen removal

## 1. はじめに

下水道整備事業は、公共用水域の水質保全と健全な自然循環システムの保持を目指して、さらなる普及率の向上と富栄養化防止のための高度処理(窒素やリン除去)の積極的な推進が急務とされている。また、エネルギー問題に対応するための処理施設の機能性向上や維持管理の省力化も重要な課題となっている。このような課題に対して、著者らは、これまで下水処理に一般的に普及されてきた活性汚泥法などの好気性生物処理法に、省エネルギーかつ廃棄汚泥の処分量が少なく、またメタン回収による再資源化が可能な高速嫌気性生物処理法を適用する研究を行ってきた。これまでに著者らが得た知見として、高速嫌気性生物処理法の一つである上向流嫌気性スラッジブランケット法(以下、UASB法と称す)と接触酸化法を組み合わせた処理システムは、従来の好気性単独の処理システムと比較して、約半分の処理時間において、有機物と窒素の同時除去が可能であることを確認してきている<sup>1)~4)</sup>。

生活排水や下水の処理へUASB法を適用する研究は、1970年代後期からLettingaらを中心とする研究グ

ループによって始められた<sup>5)~7)</sup>。最近では、10~20℃程度の低い処理温度条件下において下水処理性能を確認した研究<sup>8)~15)</sup>や、下水処理が未整備で深刻な水質汚濁問題を抱える発展途上国において、有機物除去を目的に実装置化した事例<sup>16)~20)</sup>などが報告されてきている。しかし、下水などの低濃度有機性廃水にUASB法を適用する場合、適用可能な下水性状や処理温度の把握、処理性能の長期的安定性の問題、また窒素やリン除去まで含めた研究事例が少ないなど、未だ幾つかの検討課題が残され、今後のさらなる技術的進展が期待されている。

そこで本研究では、UASB反応槽と接触酸化槽を組み合わせた室内実験装置を使用して、都市下水を想定した低濃度有機性廃水を連続処理し、水理的滞留時間(以下、HRTと称す)4.5hの高速処理条件下での有機物、窒素、リン、硫黄の処理特性、UASB反応槽温度を25℃~3℃まで低下させた時の処理特性の変化、また、UASB反応槽内のメタン生成菌、硫酸還元菌、脱窒菌の基質競合関係について検討を行った。

## 2. 実験方法

図-1にUASB-接触酸化処理装置の概要を示す。原水は常時攪拌され、可変定量型の原水ポンプによりUASB反応槽に供給した。UASB反応槽はアクリル製で、下部反応槽の有効容量は7lとし、槽内の水温は、流入水を温水/冷却水循環装置によって加温あるいは冷却することによって調節した。UASB反応槽内には、本研究で使用する原水と同じ基質を用いて、無加温(20~25℃程度)、HRT数時間の条件下で1年間以上馴致されたグラニューール汚泥を植種し、実験開始時の反応槽内のMLVSS濃度を約80g/l(V/S比0.89)とした。発生ガスは、脱硫槽で硫化水素を除去した後、湿式ガスメータ(品川製WS-1A)で計量した。

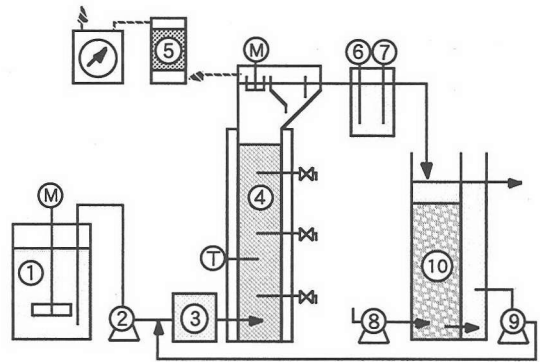
UASB処理水が流入する接触酸化槽(好気槽)は、有効容量を7lとし、槽内部にはPP製中空型生物付着担体(2mmφ×5mm)を充填率30%で投入した。なお充填担体は、予め本装置にK市下水処理場活性汚泥を植種して馴致を行った。反応槽は常時エアープンプで曝気し、曝気量は処理水DO濃度が1~3mg/l残存するように調整した。接触酸化処理水は、沈殿槽を経由して処理水として流出するが、その一部は、循環ポンプによりUASB反応槽流入部に返送させて循環を行った。

表-1に原水組成を示す。原水は、SS成分を除去した都市下水を想定して、主要炭素源としてしょ糖、窒素源としてポリペプトンとNH<sub>4</sub>Cl、リン源としてKH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、硫黄源としてNa<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>を使用し、CODcr 300mg/l(BOD180mg/l)、T-N 30mg/l(NH<sub>4</sub>-N 26mg/l)、PO<sub>4</sub>-P 23mg/l、SO<sub>4</sub>-S 33mg/lに調整した。また緩衝剤としてNaHCO<sub>3</sub>と微量の無機塩類も添加した。

原水、UASB処理水、接触酸化処理水は、週3回の頻度で採水し、各々pH、CODcr、BOD、Org-N(有機性窒素)、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P、SO<sub>4</sub>-Sの分析を行った(N、S、Pの分析については、5C濾紙でろ過したろ液を分析した)。CODcr、Org-N、NH<sub>4</sub>-Nの分析には吸光度分析計(HACH製DR2010)、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P、SO<sub>4</sub>-Sの分析にはイオンクロマトグラフィー(島津製LC-VP、Shim-pack IC-A3カラム)を使用した。また、UASB反応槽における発生ガス流量とガス組成も週3回測定し、ガス分析にはガスクロマトグラフィー(島津製GC-8A)を使用した。

## 3. 実験条件

図-2に原水量、循環量、HRT、槽内温度の変化を示す。本実験では、HRT(UASB反応槽と接触酸化槽



①原水槽 ②原水ポンプ ③温水/冷却水循環装置  
④UASB槽 ⑤脱硫槽 ⑥pH計 ⑦ORP計  
⑧エアープンプ ⑨循環ポンプ ⑩接触酸化槽

図-1 UASB-接触酸化処理装置

表-1 原水組成

しょ糖	200mg/l
ポリペプトン	100mg/l
NH <sub>4</sub> Cl	100mg/l
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	100mg/l
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	145mg/l
NaHCO <sub>3</sub>	1000mg/l
CoCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.5mg/l
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.5mg/l
FeCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	2mg/l
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	2mg/l
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	15mg/l
MnSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	5mg/l
CaCl <sub>2</sub>	10mg/l

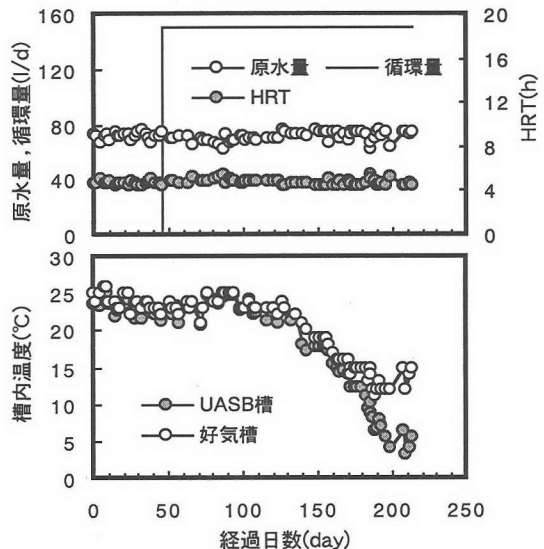


図-2 原水量、循環量、HRT、槽内温度の変化

を合計した水理的滞留時間) 4.5hの高速処理条件下で214日間の連続運転を行った。なお、2槽の反応槽に対する負荷は、CODcrが1.6g/l・d、T-Nで0.2g/l・dである。

運転0～135日目までは、UASB反応槽および接触酸化槽の槽内温度を25～21℃に維持して、0～46日目までは処理水循環を行わず、47日目以降は循環比(原水量に対する循環量の比)を2で運転を行い、処理水循環による処理性能の違いを確認した。また、運転136日目以降は、循環比2としてUASB槽流入水温度を徐々に低下させ、運転194日目以降はUASB槽内温度を6℃以下、接触酸化槽温度を15℃以下まで低下させ、処理性能に及ぼす槽内温度の影響を評価した。なお、循環比を2に設定した理由は、筆者らのこれまでの研究結果<sup>2), 3)</sup>から、循環比を上げると窒素除去率は向上するが、循環比2を越えると、本実験装置ではUASB槽内でORPが-300mV以上に上昇し、嫌気条件の安定的確保が難しいと判断したためである。

#### 4. 実験結果および考察

##### (1) UASB槽のORP、ガス発生、汚泥の状況

図-3にUASB反応槽におけるORP、メタンガス回収率、ガス組成の経日変化を示す。UASB反応槽のORPは、運転46日目以前の循環なしの場合において-400mV以下、47日目以降の循環比2の場合においても-300mV以下の嫌気的条件を維持した。

メタンガス回収率は、UASB反応槽への流入CODcr量に対するガスとして回収されたメタンのCODcr換算量を百分率で表した指標である。循環なしの場合、原水が低濃度でHRTが非常に短いために、メタンガスの回収率は10～20%程度であった。しかし、循環比2で処理水循環を行うと、回収率は1～2%以下に減少した。これは、メタンの処理水中への溶存流出量がさらに増加したことに加えて、循環水中のNO<sub>3</sub>-Nの脱窒によってメタン生成が低下したためと考えられ、循環比2では、メタンのガスとしての回収は期待できないと判断される。ガス組成については、循環なしの場合、メタン約65%、窒素約30%であったが、循環比2の場合は、窒素が90%以上、メタンが5%以下となった。なお、運転90日目と150日目でガス組成が変動しているのは、循環ポンプの故障で処理水循環量が一時的に減少したことが原因である。

UASB槽内のグラニュー汚泥は、発生ガス量が少ないために安定的に保持され、処理水へのSS流出は殆ど認められなかった。槽内汚泥量は、全運転期間を通じて著しい変動は見られず、植種時のグラニュー

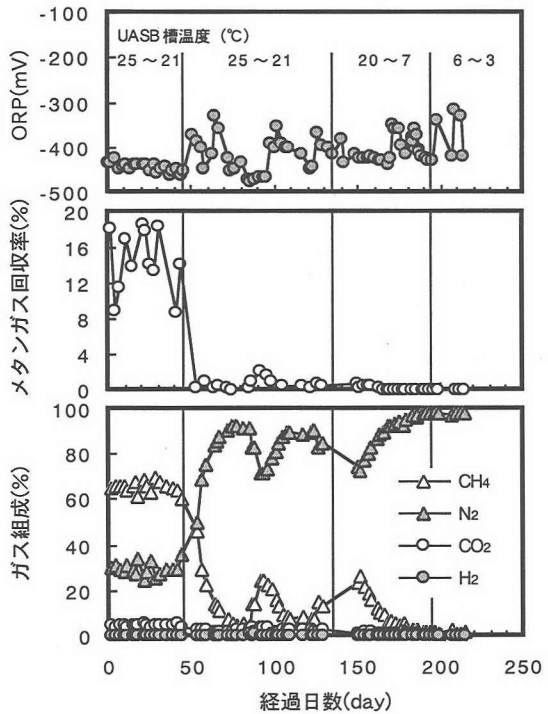


図-3 UASB槽のORPとガス発生状況

汚泥と比較して、形状及び粒径に変化は認められなかった。また、接触酸化槽においてもSS成分の流出は確認されず、約1ヶ月毎に槽内に沈殿した汚泥の引き抜きを行った。しかし、余剰汚泥量が非常に少なく、また、槽構造の問題で懸濁汚泥の一部が槽底部に蓄積して引く抜くことができなかったために、汚泥の増殖収率を正確に把握することはできなかった。

##### (2) 有機物、窒素の除去特性

図-4および図-5に原水、UASB処理水、接触酸化処理水(好気処理水)のpH、CODcr、T-N、Org-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-Nの経日変化を示す。また、表-2に各運転期間における処理性能を示す。pHは、全運転期間を通して、UASB処理水、接触酸化処理水ともに7.0～8.5を維持した。

UASB反応槽への処理水循環の効果を確認した運転0～135日における接触酸化処理水のCODcrは、原水200～350mg/lに対して、循環なし、循環比2ともに平均30mg/l以下(BODでは平均20mg/l以下)の安定した水質が得られ、CODcr除去率は平均92%以上の高い値を得た。また、循環比2でUASB槽内温度を20℃～3℃(接触酸化槽内温度では23℃～12℃)に低下させた運転136日目以降の接触酸化処理水CODcrにおいても、同等の水質を維持することができた。

接触酸化処理水のT-Nは、原水30～50mg/lに対し、循環なしの場合で平均19mg/l（T-N除去率で平均52%）であったが、循環比2の場合では平均13mg/lに減少し、T-N除去率は平均68%に向上した。槽内温度を低下させた運転136日目以降は、COD<sub>Cr</sub>と同様にUASB槽内温度が7℃程度までは25～21℃の場合と同等の水質を維持することができた。しかし、UASB槽内温度が6℃以下になると、平均18mg/lに上昇し、T-N除去率も平均56%に低下した。

図-6にUASB反応槽および接触酸化槽への各種窒素の流入量および流出量を示す。循環なし（UASB槽内温度25～21℃）の場合、原水中の窒素の34%を占める有機性窒素は、UASB反応槽内でNH<sub>4</sub>-Nに変換され、そのNH<sub>4</sub>-Nは後段の接触酸化槽内で良好に硝化されてNO<sub>3</sub>-Nに変換していることが確認できる。なお、接触酸化槽でT-Nが減少している原因には、好気性微生物の細胞合成による消費の他に、接触ろ材空隙に捕捉された汚泥塊内部で形成された微好気ゾーンでのNO<sub>3</sub>-Nの脱窒が考えられる。

一方、循環比2（UASB槽内温度25～7℃）の場合は、接触酸化槽のNO<sub>3</sub>-N流出量の2/3は、UASB反応槽に流入して、その98%が脱窒されているが、UASB槽内温度が6～3℃（接触酸化槽内温度では15～12℃）に低下すると、UASB槽内での脱窒率は77%に減少し、さらに接触酸化槽内での硝化機能も低下していることが確認された。

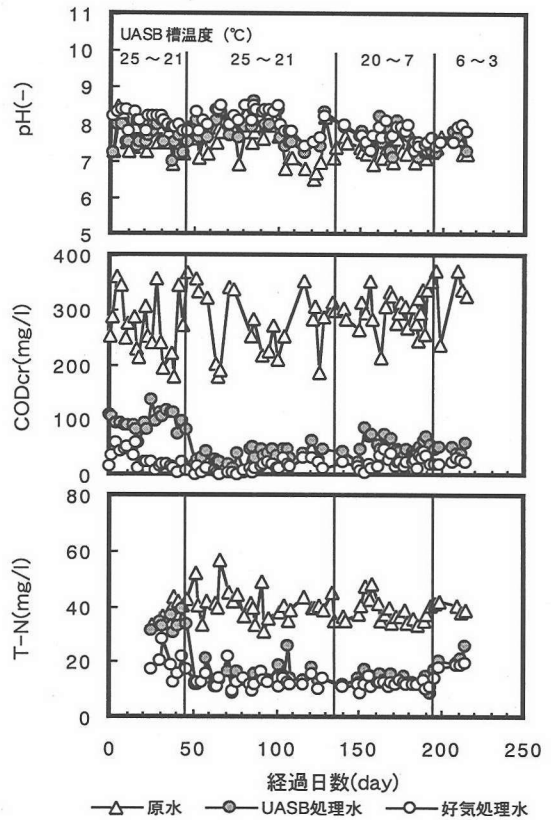


図-4 pH, COD<sub>Cr</sub>, T-Nの変化

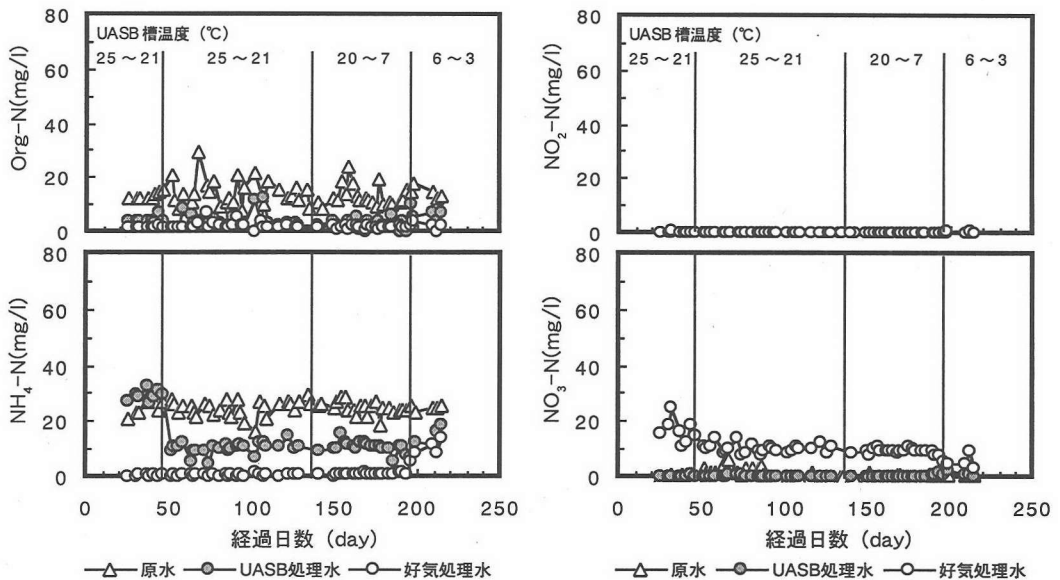


図-5 Org-N, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-Nの変化

(3) リン、硫黄の処理特性

図-7にUASB反応槽および接触酸化槽への $PO_4\text{-P}$ 、 $SO_4\text{-S}$ の流入量および流出量を示す。原水中の $PO_4\text{-P}$ 量は、循環比2におけるUASB槽内で若干のリンの摂取がみられるが、循環の有無どちらの場合において

も、処理水の $PO_4\text{-P}$ 量と比較して著しい減少傾向は確認されなかった。汚泥が両反応槽間を循環していない本システムでは、 $PO_4\text{-P}$ の除去はさほど期待できないと考えられる。

$SO_4\text{-S}$ についても $PO_4\text{-P}$ と同様に、循環の有無に関

表-2 各運転期間における処理性能<sup>1)</sup> (HRT4.5h)

運転期間 循環の有無 (循環比)		0~46日目	47~135日目	136~193日目	194~214日目
UASB槽温度	(°C)	23.0±1.0	23.1±1.2	12.9±3.9	4.8±1.1
接触酸化槽温度	(°C)	23.9±1.1	23.5±1.1	15.7±2.7	13.3±1.5
UASB処理水	pH (-)	7.6±0.3	7.9±0.4	7.6±0.3	7.6±0.3
	CODcr (mg/l)	97±17	34±14	52±15	47±7
	BOD (mg/l)	62±11	21±10	34±9	36±8
	T-N (mg/l)	34±3	15±3	14±2	21±3
好気処理水	pH (-)	8.1±0.2	8.1±0.3	7.7±0.2	7.7±0.2
	CODcr (mg/l)	26±17	13±9	23±11	25±5
	BOD (mg/l)	20±13	9±6	18±7	27±13
	T-N (mg/l)	19±5	13±3	12±1	18±2
除去率 <sup>2)</sup>	CODcr (%)	92±6	95±4	92±4	92±1
	BOD (%)	88±8	94±4	90±4	86±6
	T-N (%)	52±14	68±6	69±5	56±6

1) 表中のデータは平均値±標準偏差を示す。2) 原水に対する好気処理水の除去率

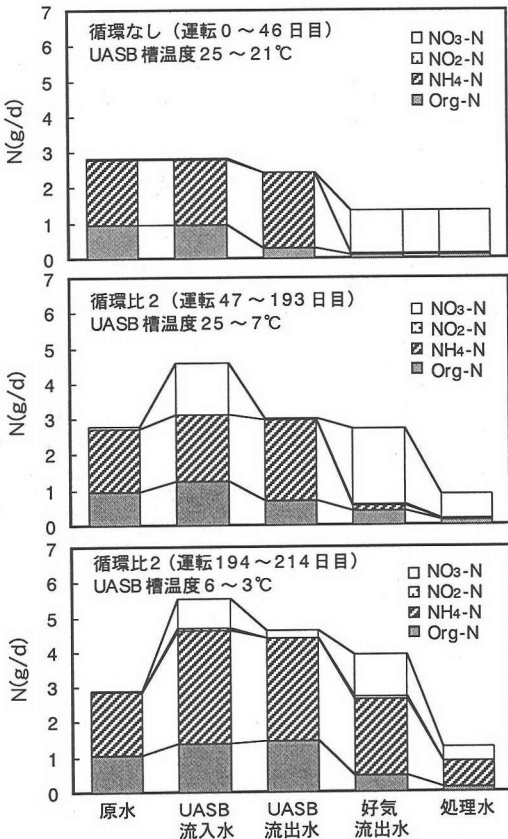


図-6 各種窒素の流入量および流出量

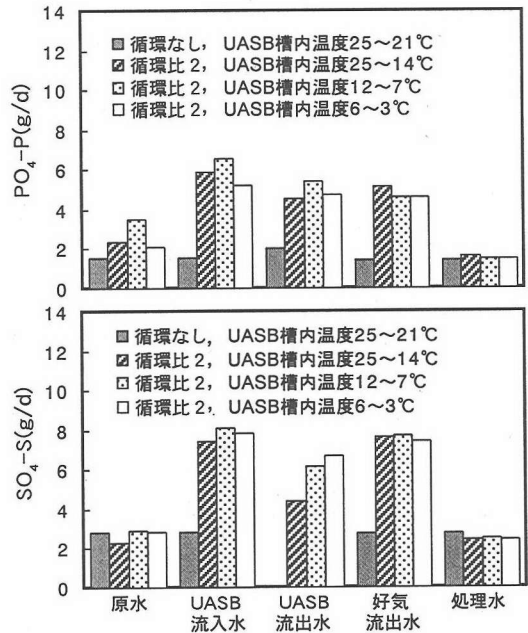


図-7  $PO_4\text{-P}$ 、 $SO_4\text{-S}$ の流入量および流出量

ならず、処理水への流出量に減少は見られなかった。しかし、UASB反応槽内では、流入水中の $\text{SO}_4\text{-S}$ が硫化物に還元され、その硫化物の殆どが溶存流出して後段の接触酸化槽で再び硫化物を $\text{SO}_4\text{-S}$ に酸化していることがわかる。UASB槽内の硫酸還元率は、循環なしの場合は処理水中に $\text{SO}_4\text{-S}$ が殆ど存在せず、平均99%であったが、循環比2の場合は硫酸還元率が低下し、槽内温度 $25\sim 14^\circ\text{C}$ で41%、 $12\sim 7^\circ\text{C}$ で24%、 $6\sim 3^\circ\text{C}$ で14%であった。

#### (4) UASB 槽内における基質競合関係

図-8および図-9にUASB反応槽（槽内温度 $25\sim 21^\circ\text{C}$ ）における循環なしと循環比2の場合のCODcr収率を示す。CODcr収率とは、流入CODcr量に対する流出CODcr量、あるいは微生物（循環なしの場合はメタン生成菌と硫酸還元菌、循環比2の場合はメタン生成菌、硫酸還元菌、脱窒菌）によって利用されたCODcr量の割合を百分率で表したものである。また、硫酸還元菌と脱窒菌のCODcr利用量は、各々 $2\text{gCODcr/gSO}_4\text{-S}$ 、 $2.857\text{gCODcr/gNO}_3\text{-N}$ （メタノールを水素供与体とした場合）の理論値を用いて算出した。

循環なし、循環比2ともにほぼ100%の収率がとれていることがわかる。循環なしの場合、流入水中のCODcrは、微生物の細胞成分を除いて、メタン生成菌が37%、硫酸還元菌が29%を利用し、両者の基質競合が示唆される。また、図-7で上述したように硫酸還元菌の硫酸還元率は99%であったことから、硫酸還元菌がメタン生成菌より優先的にCODcrを利用していることが推測される。

循環比2の場合については、流入CODcrは、メタン生成菌が14%、硫酸還元菌が27%、脱窒菌が22%を利用した。また、図-6で上述したように脱窒菌の脱窒率は98%と高く、図-7で上述したように硫酸還元菌の硫酸還元率は41%であったことから、脱窒菌が優先的にCODcrを利用して、その残りをメタン生成菌と硫酸還元菌が基質競合していると考えられる。さらに、メタン生成菌と硫酸還元菌との間の利用については、CODcr利用比がおよそ1:2であり、硫酸還元菌の方が優位的と判断される。

メタン生成菌と硫酸還元菌の基質競合関係については、これまで多くの研究者によって論じられてきており<sup>21)~26)</sup>、なかでも原田らは、UASB反応槽に硫酸塩を含有する低濃度有機性人工排水を供して汚泥を長期培養した結果、硫酸還元菌がメタン生成菌を徐々に駆逐して優勢になったことを報じている<sup>26)</sup>。硫酸還元菌が優勢になる理由としては、硫酸還元菌はメタン生成菌より高い基質親和性を有しているた

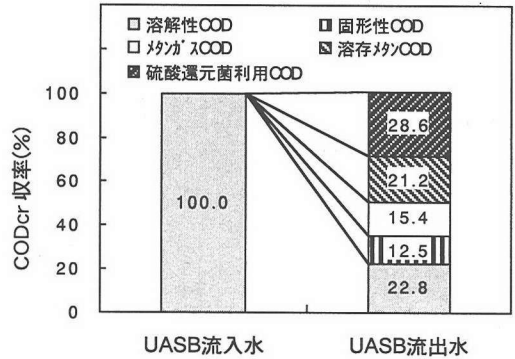


図-8 循環なしの場合のCODcr収率

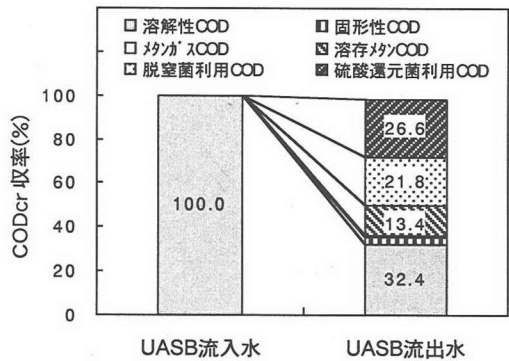


図-9 循環比2の場合のCODcr収率

めと考えられており、Speeceは、硫酸還元菌がメタン生成菌より優勢となる基質の $\text{CODcr}/\text{SO}_4$ 比は1~2程度以下であると論じている<sup>27)</sup>。またChoiらは、 $\text{CODcr}/\text{SO}_4$ 比が1以下では硫酸還元菌が主にCODcrを利用して、 $\text{CODcr}/\text{SO}_4$ 比が増加するとメタン生成菌のCODcr利用量が増加したと報じている<sup>28)</sup>。筆者らの研究グループにおいても、硫酸還元菌がメタン生成菌に代わって基質分解者としてのニッチを獲得する $\text{CODcr}/\text{SO}_4$ 比は、水素基質で3.3以下、酢酸基質で0.8以下と推論している<sup>29)</sup>。本実験における $\text{CODcr}/\text{SO}_4$ 比は、循環なしの場合は約2.3であり、循環比2の場合はUASB流入水で0.9~1.2であった。循環なしにおける $\text{CODcr}/\text{SO}_4$ 比は、上記研究報告の境界レベルにあり、また、循環比2ではメタン生成菌より硫酸還元菌が優勢となる条件であった。以上のことから、低濃度有機性排水を対象とした本排水処理システムにおいて、硫酸還元菌および脱窒菌はメタン生成菌よりも優先的に増殖し、高い割合でCOD分解に寄与することが分かった。



## 5. まとめ

高速嫌気性反応槽の一つである UASB 反応槽と接触酸化槽を組み合わせた室内実験装置を使用して、都市下水を想定した低濃度有機性廃水を HRT4.5h で連続処理した結果、以下の知見が得られた。

- (1) UASB 反応槽のメタンガス回収率は、循環なしの場合 10～20% 程度であったが、循環比 2 の場合は、メタンの溶存流出量の増加と、脱窒反応によるメタン生成の低下によって 1～2% 以下に減少した。また、UASB 反応槽内の汚泥量およびその性状については、全運転期間を通じて著しい変動は見られなかった。
- (2) 接触酸化処理水の COD<sub>Cr</sub> は、循環なし、循環比 2 とともに平均 30mg/l 以下 (BOD では平均 20mg/l 以下) の安定した水質を得た。また、UASB 槽内温度 6～3℃ (接触酸化槽内温度 15～12℃) においても同等の水質が得られ、COD<sub>Cr</sub> 除去率は平均 92% 以上の高い値を得た。
- (3) 接触酸化処理水の T-N は、循環なしの場合と比較して、循環比 2 の場合では、接触酸化処理水中に含まれる NO<sub>3</sub>-N が UASB 反応槽内で脱窒されて減少し、平均 13mg/l の値が得られ、T-N 除去率は平均 68% であった。しかし、UASB 槽内温度が 6～3℃ (接触酸化槽内温度が 15～12℃) になると、UASB 槽内の脱窒機能および接触酸化槽内の硝化機能が低下した。
- (4) 原水中の PO<sub>4</sub>-P、SO<sub>4</sub>-S は、循環の有無に関わらず著しい減少は確認されなかった。また、SO<sub>4</sub>-S の UASB 反応槽での硫酸還元率は、循環なしの場合で平均 99%、循環比 2 (槽内温度 25～14℃) の場合で平均 41% であった。
- (5) UASB 反応槽内のメタン生成菌、硫酸還元菌、脱窒菌の基質競合関係を COD<sub>Cr</sub> 収率によって検討した結果、循環なしの場合は、硫酸還元菌がメタン生成菌より優先的に COD<sub>Cr</sub> を利用し、循環比 2 の場合は、脱窒菌が優先的に COD<sub>Cr</sub> を利用して、その残りをメタン生成菌と硫酸還元菌が基質競合していることが推察された。

謝辞：本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金奨励研究 (A) (課題番号 12750503) および NEDO (新エネルギー産業技術総合開発機構) の産業技術研究事業費補助金 (課題番号 01B63001d) の助成を受けて遂行した。記して深謝いたします。

## 参考文献

- 1) 朝比奈尚, 松本徹, 山崎慎一, 山口隆司: UASB 反応槽

を用いた下水処理システムの有機物・窒素の除去特性, 平成 13 年度土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, pp. 478-479, 2001.

- 2) 松本徹, 朝比奈尚, 山崎慎一, 山口隆司: UASB 反応槽を用いた下水処理システムの窒素除去条件の検討, 平成 13 年度土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, pp. 480-481, 2001.
- 3) 山崎慎一, 桐島佳宏, 山口隆司, 原田秀樹: UASB-接触酸化処理システムによる低濃度有機物, 窒素の同時除去特性, 第 34 回日本水環境学会年会講演集, pp. 531, 2000.
- 4) 山崎慎一, 桐島佳宏, 原田秀樹, 山口隆司: UASB リアクターによる低濃度有機性廃水の処理特性, 第 54 回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp. 398-399, 1999.
- 5) Lettinga, G., Roesma, R., Grin, P., De Zeeuw, W., Hulshoff Pol, L., Van Velsen, L., Hobma, S. and Zeeman, G.: Anaerobic treatment of sewage and low strength wastewaters, In *Proc. 2nd. Int. Symp. on Anaerobic Digestion*, pp. 271-291, 1981.
- 6) Lettinga, G., Roesma, R. and Grin, P.: Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperature using a granular bed UASB reactor, *Biotechnol. Bioeng.*, 25, pp. 1701-1723, 1983.
- 7) De Man, A. W. A., Grin, P., Roesma, R., Grolle, K. C. F. and Lettinga, G.: Anaerobic treatment of sewage of at low temperature, In *Proc. Anaerobic Treatment a Grown-up Technology*, pp. 451-466, 1986.
- 8) Sanz, I. and Fdz-Polanco, F.: Anaerobic treatment of municipal sewage in UASB and AFBR reactors, *Environ. Tech. Letters*, 10, pp. 435-462, 1989.
- 9) Van der Last, A. R. M. and Lettinga, G.: Anaerobic treatment of domestic sewage under moderate climatic (Dutch) conditions using upflow reactors at increased superficial velocities, *Wat. Sci. Tech.*, 25(7), pp. 167-178, 1992.
- 10) Bogte, J. J., Breure, A. M., Van Andel, J. G. and Lettinga, G.: Anaerobic treatment of domestic wastewater in small scale UASB reactors, *Wat. Sci. Tech.*, 27(9), pp. 75-82, 1993.
- 11) Sayed, S. K. I. and Fergala, M. A. A.: Two-stage UASB concept for treatment of domestic sewage including sludge stabilization process, *Wat. Sci. Technol.*, 32(11), pp. 55-63, 1995.
- 12) Agrawal, L. K., Ohashi, Y., Mochida, E., Okui, H., Ueki, Y., Harada, H. and Ohashi, A.: Treatment of raw sewage in a temperate climate using a UASB reactor and the hanging sponge cubes process, *Wat. Sci. Tech.*, 36(6-7), pp. 433-440, 1997.
- 13) Elmitwalli, T. A., Zandvoort, M. H., Zeeman, G., Bruning, H. and Lettinga, G.: Low temperature treatment of domestic sewage in upflow anaerobic sludge blanket and anaerobic hybrid reactors, *Wat. Sci. Technol.*, 39(5), pp. 177-185, 1999.
- 14) Uemura, S. and Harada, H.: Treatment of sewage by a UASB reactor under moderate to low temperature conditions, *Bioresour Technol.*, 72(3), pp. 275-282, 2000.
- 15) Elmitwalli, T. A., Zeeman, G. and Lettinga, G.: Anaerobic treatment of domestic sewage at low temperature, *Wat. Sci. Technol.*, 44(4), pp. 33-40, 2001.

- 16) Collivignarelli, C., Urbini, G., Farneti, A., Bassetti, A. and Barbaresi, U. : Anaerobic-aerobic treatment of municipal waste waters with full-scale upflow anaerobic sludge blanket and attached biofilm reactors, *Wat. Sci. Technol.*, 22(1/2), pp. 475-482, 1990.
- 17) Schellinkhout, A. and Collazos, C. J. : Fullscale application of the UASB technology for sewage treatment, *Wat. Sci. Technol.*, 25(7), pp. 159-166, 1992.
- 18) Schellinkhout, A. : UASB technology for sewage treatment, experience with a full scale plant and its applicability in Egypt, *Wat. Sci. Technol.*, 27(9), pp. 173-180, 1993.
- 19) Vieira, S. M. M., Carvalho, J. L., Rech, C.M. and Barijan, F. P. O. : Application of the UASB technology for sewage treatment in a small community at Sumare, Sao Paulo State, *Wat. Sci. Technol.*, 30(12), pp. 203-210, 1994.
- 20) Florencio, L., Kato, M. T. and De Morais, J. C. : Domestic sewage treatment in full-scale UASBB plant at Mangueira, Recife, Pernambuco, *Wat. Sci. Technol.*, 44(4), pp. 71-77, 2001
- 21) Kristjansson, J. K., Schonheit, P. and Thauer, R. K. : Different K<sub>s</sub> values for hydrogen of methanogenic bacteria and sulfate reducing bacteria: An explanation for the apparent inhibition of methanogenesis by sulfate, *Arch. Microbiol.*, 131, pp. 278-282, 1982.
- 22) Robinson, J. A. and Tiedje, J. M. : Competition between sulfate-reducing and methanogenic bacteria for H<sub>2</sub> under resting and growing condition, *Arch. Microbiol.*, 137, pp. 26-32, 1984.
- 23) Ingvorsen, K., Zehnder, A. J. B and Jorgensen, B. B. : Kinetics of sulfate and acetate uptake by *Desulfovibrio postgatei*, *Appl. Environ. Microbiol.*, 47, pp. 403-408, 1984.
- 24) Isa, Z., Grusenmeyer, S. and Verstraete, W. : Sulfate reduction relative to methane production in high-rate anaerobic digestion: Microbiological aspects, *Appl. Environ. Microbiol.*, 51, pp. 580-587, 1986.
- 25) Yoda, M., Kitagawa, M. and Miyaji, Y. : Long term competition between sulfate-reducing and methane-producing bacteria for acetate in anaerobic biofilm, *Wat. Res.*, 21, pp. 1547-1556, 1987.
- 26) Harada, H., Uemura, S. and Momono, K. : Interaction between sulfate-reducing bacteria and methane-producing bacteria in UASB reactors fed with low strength wastes containing different levels of sulfate, *Wat. Res.*, 28, pp. 355-367, 1994.
- 27) 松井三郎, 高島正信 : 産業廃水処理のための嫌気性バイオテクノロジー, 技報堂, 1999.
- 28) Choi, E. and Rim, J. M. : Competition and inhibition of sulfate reducers and methane production in anaerobic treatment, *Wat. Res.*, 23, pp. 1259-1264, 1991.
- 29) 山口隆司, 原田秀樹, 山崎慎一, 曾怡禎 : 高級脂肪酸の嫌氣的分解過程における硫酸塩還元細菌とメタン生成細菌の基質競合, 水環境学会誌, 22(9), pp. 755-762, 1999.

(2002. 10. 4 受付)

## SIMULTANEOUS REMOVAL OF ORGANIC AND NITROGEN BY A COMBINED SYSTEM OF UASB REACTOR AND AEROBIC BIOFILM REACTOR

Shinichi YAMAZAKI, Takashi YAMAGUCHI, Nobuo ARAKI and Hideki HARADA

A novel wastewater treatment system was proposed by a combination of an UASB reactor and an aerobic biofilm reactor. A laboratory-scale combined system was operated for 214 days by feeding a synthetic low-strength wastewater (300 mg-COD<sub>Cr</sub>·L<sup>-1</sup>, simulating domestic sewage). The combined system exhibited a very satisfactory performance in organic removal, achieving above 92% COD<sub>Cr</sub> removal at a HRT of only 4.5 h under temperature range of 25°C through even 3°C. The system also accomplished a significant extent of nitrogen removal, more than 68% of T-N removal at above 7°C at a circulation ratio of 2 (the effluent from the aerobic biofilm unit was recycled to the UASB unit), and major organic removal can be attributed to denitrification, rather than to methane production or to sulfate reduction.