

無加温条件下における生活排水のUASB処理

米 山 豊* 岡 田 滋** 松 本 直 秀**
五十嵐 理 子** 中 村 明 博**

Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Treatment of Municipal Wastewater under an Unheated Condition

by Yutaka YONEYAMA, Shigemi OKADA, Naohide MATSUMOTO, Ayako IGARASHI, & Akihiro NAKAMURA

In order to establish the feasibility of methane fermentation for treating low organic concentration wastewater, a pilot-scale UASB reactor was operated under an unheated condition over 631 days by seeding mesophilic sewage digested sludge and by feeding with a municipal wastewater. The pilot-scale UASB reactor had a treatment capacity of 50 m³/d, an effective capacity of 20.2 m³ and a net depth of 5 m. The result obtained from a continuous experiment indicated a stable treatment, i.e., between 397-631 days after the start-up. The mean values obtained during this time indicated a biogas generation of 2.4 m³/d, methane gas composition of 70.5%, COD_{Cr} removal of 63.8% at water temperature of 23.8°C, COD_{Cr} volumetric load of 0.99 kg-COD_{Cr}/(m³·d), and COD_{Cr} sludge load of 0.12 kg-COD_{Cr}/(kg-MLVSS·d).

Keywords: UASB, Unheated condition, Municipal wastewater, Sewage, HRT (Hydraulic Retention Time), COD_{Cr} (Chemical Oxygen Demand), Methane, Biogas production rate, Granule

1. はじめに

省エネルギー・省資源が強調される中、有機性排水のメタン発酵処理技術の一つとして、上向流嫌気性汚泥床法 (UASB) が有機物濃度 COD_{Cr} 2000 ~ 3000 mg/L 以上の有機性排水を対象に国内外において普及している^{1,2)}。しかし、UASB処理では、

①グラニュール汚泥をリアクタに維持するために一定通水量にする必要がある。

②リアクタ内の温度を 35°C に維持するために加温する必要がある。

等の制約があるため、低濃度有機性排水への適用例は少なかった。

低濃度有機性排水へのUASB処理の検討例としては、アクアルネッサンス計画における当社 (当時、(株)荏原製作所) が実施した流入下水を対象としたUASB処理実験があげられる³⁾。当時は、UASB槽内でグラニュール汚

泥の活性度低下や崩壊等の現象があり、実用化には至らなかった。近年では、グラニュール汚泥の生成にはこだわらず、沈降濃縮した汚泥を用いることで一定の成果をあげられ、インドやブラジル等の比較的気温の高い地域で採用されるケースが増えてきた^{4,5)}。しかし、無加温条件下における嫌気性微生物の有機物の分解及びメタン化に関する処理特性については十分把握できておらず、日本国内の様な流入水温が低い地域では、更なる技術開発が必要であった。

そのような背景のなかで、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) のプロジェクトとして平成18 ~ 20年度に行われた「無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発」に参加した。このプロジェクトでは、前段に嫌気性処理としてUASBを、後段に好気性処理として下降流懸架式スポンジリアクタ (DHS: Down-Flow Hanging Sponge reactor) を採用し、両者を組み合わせることによって、省エネルギー型の排水処理システムを構築することを目標とした。鹿児島県霧島市国分準人クリーンセンターにUASB+DHSのパイロットプラントを建設し、約2年間実証実験を行った。その結果、プロジェクト全体の成果として、当初の目標を達

* 荏原エンジニアリングサービス(株) 博士 (工学)

** 荏原エンジニアリングサービス(株)

** 風水力機械カンパニー カスタムポンプ事業統括 富津工場 大型ポンプ技術室 第二グループ

成できた⁶⁾。

前記プロジェクトで当社は、前段UASBの開発を(独)国立環境研究所及び長岡技術科学大学と協力して担当し、低濃度有機性排水の無加温メタン発酵技術を確立することを目的に、UASBパイロットプラントを用いて年間を通じた水温変化とUASB処理特性(バイオガス発生量、UASB槽内汚泥性状)の関係の把握を行った。

以下得られた知見を報告する。

2. 実験装置と実験方法

2-1 実験装置と処理フロー

図1にUASBパイロットプラントの処理フローを示す。写真にUASBパイロットプラントの全景を示す。また、表1に主要機器の仕様を示す。UASBパイロットプラントは寸法幅2.8 m×長さ1.5 m×高さ5.4 m、有効水深5.0 m、有効容量20.2 m³である。UASB槽下部に流入管、UASB槽上部に気固液分離部(GSS: Gas Solid Separator)を設置した。

UASBパイロットプラントからのバイオガス発生量は水封槽経由、脱硫後、ガス量を乾式ガスメータで測定した。その後、バイオガスは有水式ガスホルダに貯留し、バイオガス量が一定量以上になると、余剰ガス燃焼装置で焼却した。

冬季の低水温時対策の一環として、最初沈殿池で固液分離した濃縮汚泥を、可溶化槽で加温して酸発酵させた後に、分離水とともにUASB槽に供給できるようにした。

2-2 実験方法

2-2-1 UASBパイロットプラント実験

表2にUASBパイロットプラントにおける各実験期間の実験条件を示す。種汚泥にはK市下水処理場の中温消化汚泥を使用し、UASB槽に20 m³投入した。馴養期間には水量を段階的に上げるようにした。実験期間1以降はUASBの流入水量は原則として50 m³/d〔水理学的滞留時間(HRT: Hydraulic Retention Time) 10 h、通水速度(LV: Linear Velocity) 0.5 m/h〕と一定にし、流入下水の水温変化に対応したUASB処理成績の把握を行った。UASB処理後の処理水は全量を後段のDHS槽に移送した。

実験期間4～6は冬季の低水温対策の検討を行った。実験期間8以降の処理の安定した期間を評価期間とした。

2-2-2 試料のサンプリング方法及び分析方法

試料の採取は、原則として1時間ごとにオートサンプラを使用したコンポジットサンプリングによって行った。なお、サンプルは保冷剤を用いて冷却保存した。

分析方法は原則としてJIS K 0102⁷⁾、下水試験方法⁸⁾



10-101 01/229

写真 UASBパイロットプラント全景
Photo Overview of UASB pilot plant

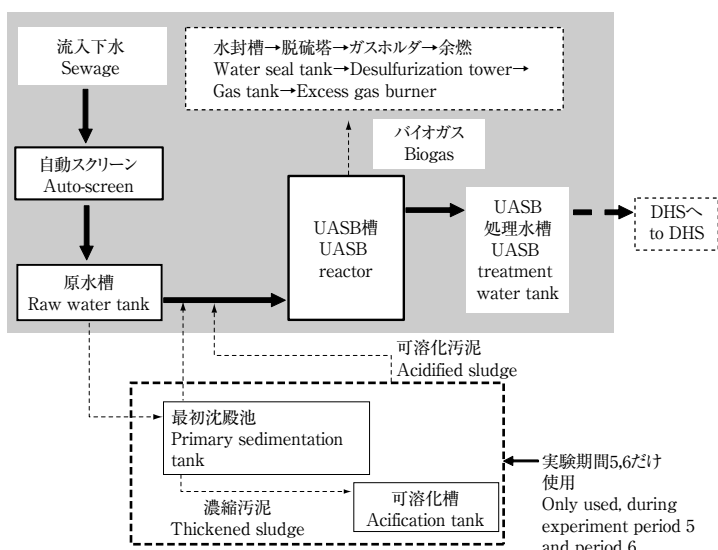


図1 UASB実験装置の処理フロー
Fig. 1 Flow sheet of UASB experimental apparatus

表1 UASB実験装置主要機器の概略仕様

Table 1 Specifications of main UASB experimental apparatus

機器名称 Name	概略仕様 Specifications
自動スクリーン Auto-screen	目開き 2.5 mm Opening
原水槽 Raw water tank	2 m ³ (有効容量1 m ³ :かくはん機付きタンク) Effective capacity of tank with stirrer
UASB槽 UASB reactor	W 2.8 m×L 1.5 m×H 5.4 m(有効水深5.0 m) Effective depth of the tank 有効容量20.2 m ³ (HRT:10 h LV:0.5 m/h) Effective capacity
UASB処理水槽 UASB treatment tank	2 m ³ (有効容量1 m ³ :かくはん機付きタンク) Effective capacity of tank with stirrer

表2 UASBパイロットプラントにおける各実験期間の実験条件
Table 2 Experimental conditions for each experimental period of UASB pilot plant operation

実験期間 Experimental period	期間 Period	実験経過日数 Elapse of time	設定流入水量 m ³ /d Influent flow rate	備考 Remarks
馴養 Acclimation	2007/6/1 ~ 10/5	1 ~ 127	5 ~ 50	
1	2007/10/6 ~ 10/29	128 ~ 151	50	
2	2007/10/30 ~ 12/9	152 ~ 192	50	
3	2007/12/10 ~ 2008/1/21	193 ~ 235	50	
4	2008/1/22 ~ 2/29	236 ~ 274	40	
5	2008/3/1 ~ 3/31	275 ~ 305	50	
6	2008/4/1 ~ 5/2	306 ~ 337	50	
7	2008/5/3 ~ 6/30	338 ~ 396	50	
8	2008/7/1 ~ 10/24	397 ~ 512	50	評価期間 Evaluation period
9	2008/10/25 ~ 12/5	513 ~ 554	50	
10	2008/12/6 ~ 2009/2/20	555 ~ 631	50	

表3 流入下水性状 (平均値)
Table 3 Characteristics of sewage (average)

	単位 Unit	範囲 Range	平均 Average
pH	-	7.1 ~ 7.8	7.5
M-アルカリ度 M-alkalinity	mg/L	143 ~ 220	187
SS (1.0 μm)	mg/L	115 ~ 243	162
SS (0.45 μm)	mg/L	151 ~ 312	208
SS (1.0 μm) /SS (0.45 μm)	-	0.63 ~ 0.97	0.82
COD _{Cr}	mg/L	315 ~ 520	402
S-COD _{Cr}	mg/L	39 ~ 158	96.3
S-COD _{Cr} /COD _{Cr}	-	0.09 ~ 0.4	0.24
BOD	mg/L	114 ~ 248	165
S-BOD	mg/L	18.2 ~ 73.9	38.5
S-BOD/BOD	-	0.1 ~ 0.36	0.24
COD _{Mn}	mg/L	52.5 ~ 127	87.6
S-COD _{Mn}	mg/L	13 ~ 38	28.7
S-COD _{Mn} /COD _{Mn}	-	0.13 ~ 0.45	0.33

に準拠した。溶解性成分 (S-COD_{Cr}: Soluble Chemical Oxygen Demand, S-BOD: Soluble Biological Oxygen Demand 等) の分析はろ紙孔径0.45 μmでろ過したろ液を用い、浮遊物質 (SS: Suspended Solid) の分析は原則として孔径0.45 μmのろ紙を使用して行った。なお、下水性状の比較においては孔径0.45 μmのろ紙によるろ過残渣〔以後SS (0.45 μm)〕とろ紙孔径1.0 μmによるろ過残渣〔以後SS (1.0 μm)〕との両者の分析値を区別して表示した。

3. 実験結果と考察

3-1 流入下水性状 (原水)

表3に流入下水の性状を示す。各水質項目ともに、年

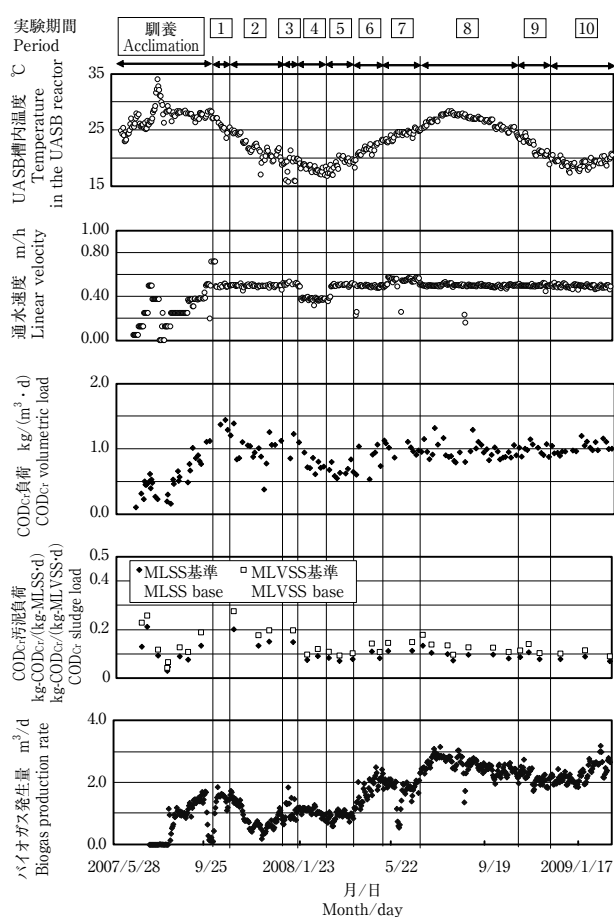


図2 UASBパイロットプラントの処理成績 (1) (2007 ~ 2009年)
Fig. 2 Treatment result of UASB pilot plant (1)

間を通じた大きな水質に差は少なかった。全期間における平均値は、pH 7.5, Mアルカリ度 187 mg/L, SS (1.0 μm) 162 mg/L, SS (0.45 μm) 208 mg/L, COD_{Cr} 402 mg/L, S-COD_{Cr} 96.3 mg/L, BOD 165 mg/L, S-BOD 38.5 mg/L であった。

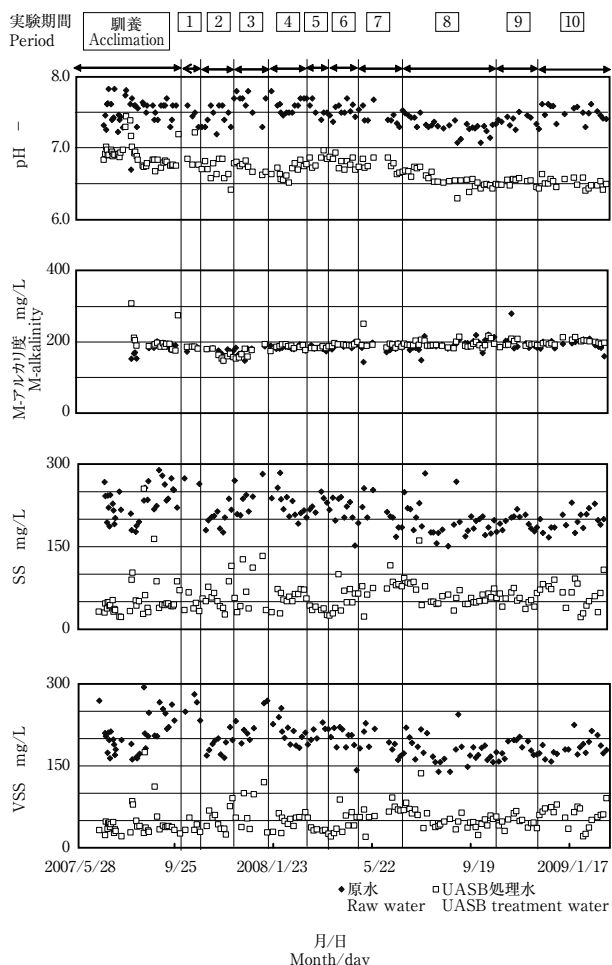


図3 UASBパイロットプラントの処理成績 (2) (2007 ~ 2009年)
Fig. 3 Treatment result of UASB pilot plant (2)

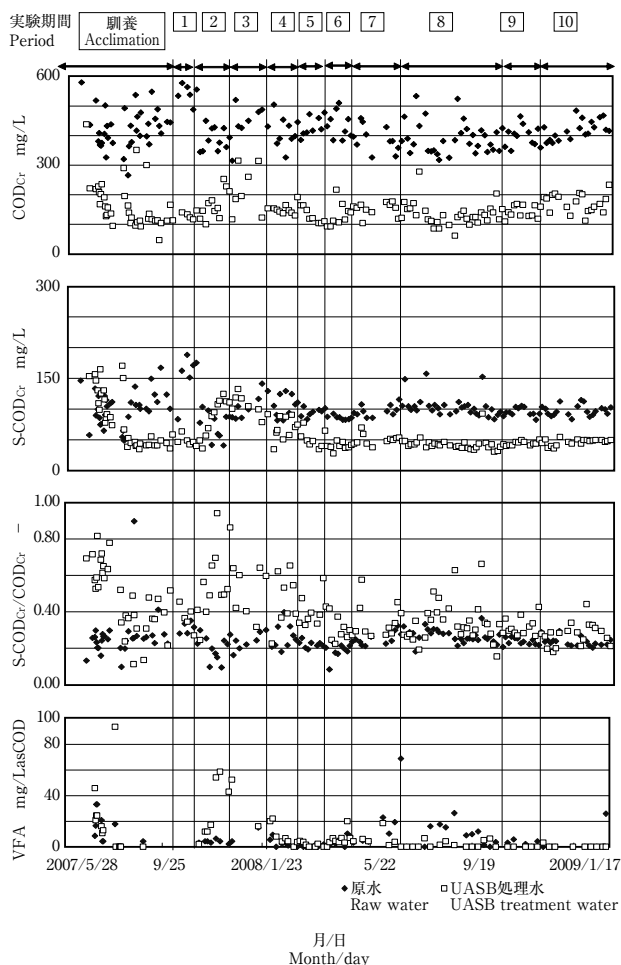


図4 UASBパイロットプラントの処理成績 (3) (2007 ~ 2009年)
Fig. 4 Treatment result of UASB pilot plant (3)

平成17年度下水道統計⁹⁾から、下水水量10000 m³/d以下の下水処理場における流入下水の平均SSは173 mg/Lである。したがって、国分準人流入下水SS (1.0 μm) 162 mg/Lは一般的な下水処理場の流入水質と考えられる。

3-2 UASBパイロットプラント実験結果

3-2-1 処理成績の概要

図2にCOD_{cr}負荷とガス発生量の変化、図3にpH、SS処理成績の変化、図4にCOD_{cr}処理成績の変化をそれぞれ示す。

(1) 馴養期間 (2007年6月1日～10月5日、実験経過後1～127日)

下水中温消化汚泥を種汚泥としてUASB槽に20 m³投入した後、原水水量を5～50 m³/dの範囲で運転を行った。その結果、実験経過後110日目に原水水量50 m³/dの定常運転を行うことができた。

(2) 実験期間1～3 (2007年10月6日～2008年1月21日、実験経過後128～235日)

水温25℃ (UASB槽内温度) 以上の定常運転期間ではCOD_{cr}容積負荷1.3 kg-COD_{cr}/(m³・d)、HRT10 hの条件で、バイオガス発生量1.5 m³/d、COD_{cr}除去率76%、SS除去率84%の安定した処理結果が得られた。この期間においてはUASB槽内でのSS蓄積はみられなかった。一方、2007年11月から12月の期間の水温低下 (25℃→20℃) に伴い、バイオガス発生量は0.5 m³/dまで低下するとともにCOD_{cr}除去率、SS除去率は低下する傾向にあった。

(3) 実験期間4～6 (2008年1月22日～5月2日、実験経過後236～337日)

実験期間4ではUASB槽内平均水温は18℃となり、水量50 m³/d (LV 0.5 m/h) でUASB槽内汚泥界面が上昇し、槽内汚泥維持が難しくなったため、水量を40 m³/d (LV 0.4 m/h) に下げた。その結果、UASB槽内汚泥界面は安定し、UASB処理水質は安定した。

実験期間5、実験期間6では、低水温時の対策として、流入下水を最初沈殿池に通し、最初沈殿池越流水を

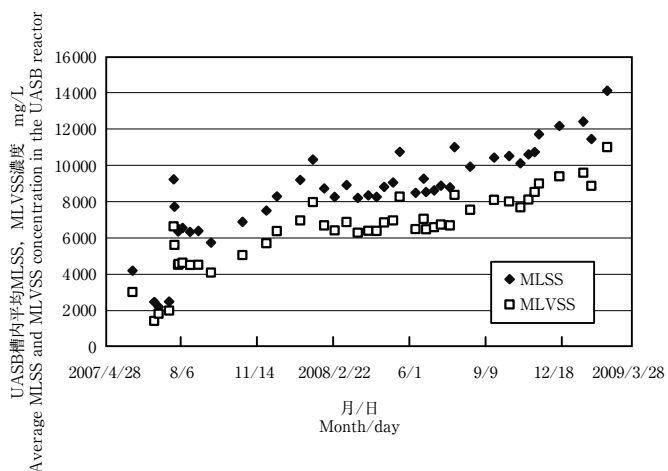


図5 UASB 槽内の MLSS, MLVSS 平均汚泥濃度変化 (2007 ~ 2009年)

Fig. 5 Change in average MLSS and MLVSS concentration in the UASB reactor

UASBに供給した。また、実験期間6では最初沈殿池汚泥を可溶化槽で酸発酵処理した後、最初沈殿池越流水と混合してUASBに通水した。

その結果、実験期間5では平均COD_{Cr}容積負荷0.66 kg-COD_{Cr}/(m³・d)でバイオガス発生量0.93 m³/d、処理水SS 35 mg/Lと安定した処理成績が得られた。実験期間6では平均COD_{Cr}容積負荷0.84 kg-COD_{Cr}/(m³・d)でバイオガス発生量1.66 m³/d、処理水SS 57 mg/Lでバイオガス発生量が増加した。

(4) 実験期間7～8 (2008年5月3日～10月24日、実験経過後338～512日)

実験期間7以降は流入下水をUASB槽に直接通水した(原水水量50 m³/d)。水温の上昇とともにバイオガス発生量は増加する傾向にあった。またこの時期になるとUASB槽内汚泥の沈降性も改善され、槽内MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids)濃度も高くなる傾向にあった(図5)。実験期間8ではUASB水温24℃、COD_{Cr}容積負荷0.96 kg-COD_{Cr}/(m³・d)、バイオガス発生量2.57 m³/dとなった。2007年度の同時期(実験期間1～2)に比べるとバイオガス発生量は1 m³/d増加した。

(5) 実験期間9～10 (2008年10月25日～2009年2月20日、実験経過後513～631日)

実験期間9ではUASB槽内水温は25℃から20℃に低下した。このため、COD_{Cr}容積負荷1 kg-COD_{Cr}/(m³・d)でバイオガス発生量は2.21 m³/dに低下したが、2007年度の同時期(実験期間3)に比べるとバイオガス発生量の低下は少なかった。

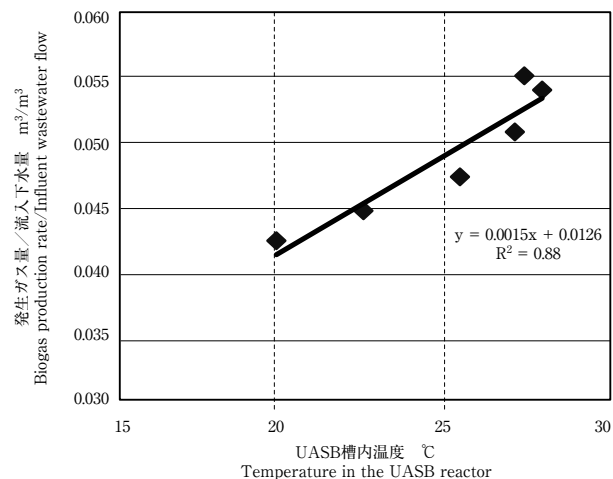


図6 UASB 槽内水温と流入下水あたりのバイオガス発生量の関係

Fig. 6 Correlation between temperature in UASB reactor and Biogas production rate per wastewater flow rate

実験期間10ではUASB槽内水温は20℃前後となった。2007年度の同時期(実験期間4)ではUASB槽内水温18℃であったが、2009年1月後半から2月の期間、鹿児島地区は温暖な気候であったため冬季において水温低下が顕著でなかった。このため、COD_{Cr}容積負荷1.02 kg-COD_{Cr}/(m³・d)でバイオガス発生量は2.25 m³/dとなり、冬季におけるガス発生量の低下は小さかった。

以上のように水温18℃以上ではHRT 10h, LV 0.5 m/hの条件で、安定したUASB処理結果が得られた。

3-2-2 バイオガス発生量と水温との関係

UASB処理の安定した2008年7～12月の期間におけるUASB槽の水温と流入下水当たりのバイオガス発生量の関係について検討した。なお、ここでのバイオガス発生量は溶存メタンガスが含まれておらず、GSSにて回収されたバイオガス量を意味する。図6にUASB槽内水温と流入下水当たりのバイオガス発生量の関係を示す。

流入下水当たりのバイオガス発生量は水温25℃で0.05 (m³-ガス/m³-下水)、水温20℃で0.043 (m³-ガス/m³-下水)であり、水温が5℃低下するバイオガス発生量は14%低下した。

3-2-3 UASB 槽内汚泥量, 汚泥性状の変化

図5にUASB槽内のMLSS, MLVSS平均汚泥濃度変化を示す。2008年6月1日(実験経過後361日目)以降になるとUASB槽内平均MLSSは8000 mg/L以上となり、2009年2月20日(実験経過後631日)にはUASB槽内平均MLSSは14000 mg/Lに増加した。

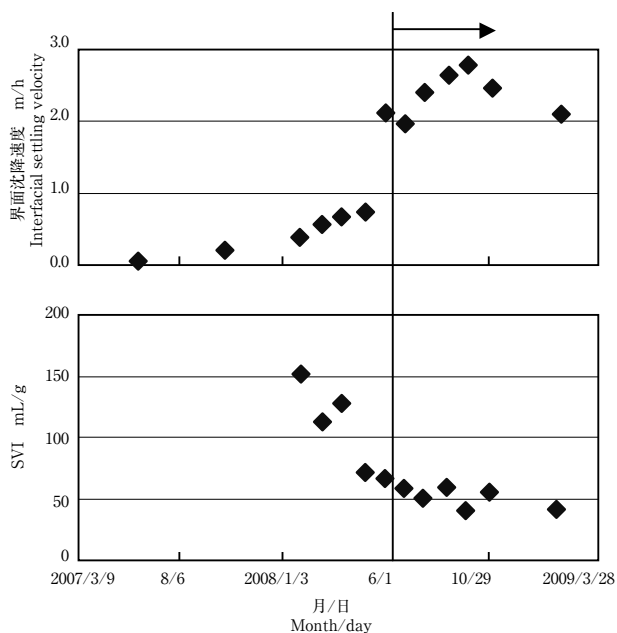


図7 UASBパイロットプラント下部汚泥の沈降速度, SVIの変化(2007~2009年)

Fig. 7 Change in settling velocity and SVI of bottom sludge in the UASB pilot plant

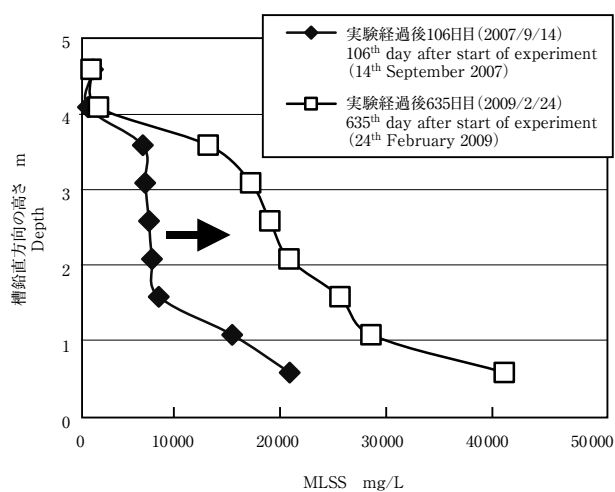


図8 UASBパイロットプラントの汚泥濃度分布の変化

Fig. 8 Change in sludge concentration profile in the UASB pilot plant

図7にUASB槽内下部汚泥の沈降速度, SVI (Sludge Volume Index) の変化を示す。2008年6月1日(実験経過後361日目)以降になると界面沈降速度の増加, SVIの低下がみられ, 汚泥沈降性の改善がみられている。このため, UASB槽内汚泥濃度が高くなったものと考えられる。

図8にUASB槽内汚泥濃度分布の変化を示す。2007年9月14日(実験経過後106日目)では, 槽底部汚泥のMLSS 10000~20000 mg/Lであったものが, 2009年2月24日(実験経過後635日目)では, 槽底部汚泥のMLSS 20000~

表4 UASB処理結果のまとめ
Table 4 Summary of UASB treatment results

	単位 Unit	範囲 Range	平均 Average	
UASB槽 平均水温 Average temperature in the UASB reactor	℃	17.9 ~ 28.5	23.8	
水量 Flow rate	m ³ /d	16 ~ 53.6	49.6	
HRT	d	9.4 ~ 31.2	10.1	
通水速度LV Linear velocity	m/h	0.16 ~ 0.53	0.5	
COD _{Cr} 容積負荷 COD _{Cr} volumetric load	kg-COD _{Cr} / (m ³ · d)	0.79 ~ 1.32	0.99	
COD _{Cr} 汚泥負荷 COD _{Cr} sludge load	kg-COD _{Cr} / (kg-MLVSS · d)	0.10 ~ 0.14	0.12	
SS容積負荷 SS volumetric load	kg/(m ³ · d)	0.37 ~ 0.7	0.48	
バイオガス 発生量 Biogas production rate	m ³ /d	1.36 ~ 3.19	2.4	
メタンガス濃度 Methane gas concentration	v/v%	54 ~ 77.1	70.5	
pH	流入下水 Sewage	-	7.1 ~ 7.6	7.4
	UASB 処理水 UASB treatment water	-	6.3 ~ 6.7	6.5
COD _{Cr}	流入下水 Sewage	mg/L	318 ~ 533	400
	UASB 処理水 UASB treatment water	mg/L	62 ~ 278	145
S-COD _{Cr}	流入下水 Sewage	mg/L	83 ~ 158	100
	UASB 処理水 UASB treatment water	mg/L	31 ~ 93	44.3
SS (0.45 μm)	流入下水 Sewage	mg/L	151 ~ 283	195
	UASB 処理水 UASB treatment water	mg/L	22 ~ 161	60.7

(2008/7/1 ~ 2009/2/20, 実験経過後397日 ~ 631日)
(from 397th to 631th day after start of experiment)

40000 mg/Lと約2倍の濃度となった。このようにUASB槽内汚泥濃度が改善されたことにより, 低水温において

も安定したUASB処理が得られたものと考えられる。

3-2-4 UASBパイロットプラント実験結果のまとめ

UASB槽内汚泥性状が改善され、UASB処理が安定した実験期間8～実験期間10（2008年7月1日～2009年2月20日、実験経過後397～631日目）についてUASB処理結果をまとめた。表4にその結果を示す。

UASB槽平均水温17.9～28.5℃（平均23.8℃）、COD_{Cr}容積負荷0.79～1.32 kg-COD_{Cr}/（m³・d）〔平均0.99 kg-COD_{Cr}/（m³・d）〕、COD_{Cr}汚泥負荷0.10～0.14 kg-COD_{Cr}/（kg-MLVSS・d）〔平均0.12 kg-COD_{Cr}/（kg-MLVSS・d）〕において、原水COD_{Cr} 318～533 mg/L（平均400 mg/L）に対しUASB処理水COD_{Cr} 62～278 mg/L（平均145 mg/L）、平均COD_{Cr}除去率63.8%であった。バイオガス発生量は1.36～3.19 m³/d（平均2.4 m³/d）、メタンガス濃度は54～77.1%（平均70.5%）、であった。

生活排水（下水）を対象とした実UASB処理のデータは少ないが、永田ら¹⁰⁾がインド ミルザプールで14000 m³/dの家庭下水をUASB処理したプラントの運転状況（1995年6月）を紹介している。その結果によると、COD_{Cr}容積負荷1.12 kg-COD_{Cr}/（m³・d）、HRT 6.1 h、LV 0.66 m/hの条件で、流入下水COD 388 mg-COD_{Cr}/Lに対しUASB処理水COD 133 mg-COD_{Cr}/L、COD_{Cr}除去率65%、バイオガス発生量は平均368 m³/d、下水水量当たり0.036 m³/（m³・d）である。

この結果は前記UASBパイロット実験結果とほぼ近い結果といえる。したがって、今回の実験データの妥当性が確認できた。

4. まとめと今後の課題

4-1 まとめ

無加温における生活排水を対象としたUASB現地実験を行い、次の知見が得られた。

(1) 実験全期間を通しての流入下水（UASB原水）性状は、pH 7.1～7.8（平均7.5）、SS（0.45 μm）151～312 mg/L（平均208 mg/L）、COD_{Cr} 315～520 mg-COD_{Cr}/L（平均402 mg-COD_{Cr}/L）、BOD 114～248 mg/L（平均165 mg/L）であり、年間を通して水質変化は小さかった（表3）。

(2) 原水水量50 m³/d（HRT 10 h）の処理条件で、UASB槽内汚泥濃度が高くなった期間（実験経過後397日目以降）の処理成績（平均値）は水温23.8℃、COD_{Cr}容積負荷0.99 kg-COD_{Cr}/（m³・d）、COD_{Cr}汚泥負荷0.12 kg-COD_{Cr}/（kg-MLVSS・d）においてCOD_{Cr}除去率63.8%、SS除去率68.9%の安定した処理結果が得られた（表4）。

(3) UASB槽下部汚泥（底部から0.75 m）の界面沈降速度（MLSS 4000～6000 mg/L）は実験開始後200日目で0.5 m/hであったものが、実験開始後400日目以降には2.0 m/hに改善され、UASB槽内汚泥濃度が高く維持できるようになった。また、槽下部には粒状化汚泥が増える傾向にあった。

4-2 今後の課題

本研究開発結果から、UASB汚泥濃度が確保できた1年後においては、低水温（18～20℃）で安定したUASB処理ができることが確認できた。ただし、低水温時ではUASB処理水SS濃度が高くなるため、後段好気性処理の安定性を考慮した対策が今後必要となる。

謝 辞

本論文の「無加温条件下における生活排水のUASB処理」は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発 実施期間平成18年～平成20年度」において実施した〔三機工業(株)、(株)荏原製作所、(独)土木研究所、(財)造水促進センターによる共同実験で荏原は前処理UASBを担当〕。また、実証試験フィールドは鹿児島県霧島市に御提供いただいた。関係者各位の御協力・御尽力に深く感謝する。更に、現場での分析、データ収集に御尽力いただいた山下ゆり氏、日高るみ子氏、楠崎貴庸氏にこの場をかりて感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 原田秀樹著、須藤隆一編著：微生物固定化法による排水処理 7章 スラッジブランケット（UASB）法、産業用水調査会 pp.235-254（1988）。
- 2) 本間康弘、鈴木利宏、磯崎裕一：最新の嫌気性排水処理技術 高効率・省エネルギー型嫌気性廃水処理システム 高負荷EGRでの有機廃水処理、環境浄化技術、Vol.5, No.3, pp.8-11（2006）
- 3) 森 勇、桐山光市著、アクアルネッサンス編集委員会編集：膜複合型嫌気方式による廃水処理技術、第3章 実証プラントによる運転結果 第1節 低濃度廃水（大規模下水） pp.294-306（1991）
- 4) Adrianus C. van Haandel, G.Lettinga: Anaerobic Sewage Treatment, John Wiley & Sons（1994）。
- 5) Marcos von Sperling and Carlos Augusto de Lemos Cherenicharo: Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions, Volume one, Volume two IWA Publishing（2005）。
- 6) 田中秀治、加藤薫、長野晃弘、米山豊、高橋優信、原田秀樹：無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発、第46回下水道研究発表会 pp.730-732（2009）
- 7) 詳細 工場排水試験方法 - JISK0102: 1998解説、日本規格協会出版（1999.1）
- 8) 下水試験方法、下水道協会編（1997）
- 9) 平成17年度版 下水道統計（第62版）
- 10) 永田伸之、鈴木薫：わが国およびインドにおける嫌気性処理法を用いた下水処理の実例とバランスシートを応用した運転データ解析、下水道協会誌、Vol.35, No.422, pp.66-77（1998）。