

## うどんゆで汁排水の処理技術に関する研究

### —上向流嫌気性汚泥床 (UASB) を用いた高速メタン発酵(2)—

#### Study on Treatment Technologies for Boiled "Udon" Wastewater

#### — High-speed Methane Fermentation using an Upflow Anaerobic Sludge Blanket(2) —

藤田 久雄                      安藤 友継                      藤岡 博文                      島田 昭博  
 Hisao FUJITA      Tomotsugu ANDOU      Hirofumi FUJIOKA      Akihiro SHIMADA

#### 要 旨

UASB槽(300L)と接触バッキ槽(200L)を組合せた実用規模の排水処理実験装置を試作し、ゆで汁を一日200~300玉製造しているうどん店から週5日全量採取して、7カ月間処理実験を行った。その結果、処理水のpH, BOD, COD, SSは、装置立ち上げ及びトラブル時を除いて、全て排水基準の一律基準以下であった。BODの平均値は容積負荷量が3.1 g/L/日、原水濃度が4,000 mg/L、UASB処理水濃度が150 mg/L、接触バッキ槽処理水濃度が19 mg/L、除去率が95%以上であった。BOD負荷量に対する汚泥発生量は5.2%、平均メタン生成量は370 L/日、月平均電力使用量は289 kWh/月であった。うどんゆで汁排水は、UASBを用いた小型高速メタン発酵装置で処理できることが確認できた。実用化には低コスト化・メンテナンスフリー化技術等が課題となる。

キーワード：うどん ゆで汁 UASB メタン発酵 排水処理

## I はじめに

小規模うどん事業所をはじめ多くのうどん店においても設置できる安価で維持管理の容易な小型排水処理装置の開発を目指して、高濃度のうどんゆで汁<sup>1)</sup>(湯煮排水)を高速メタン発酵で処理する技術を研究している。

前報<sup>2), 3)</sup>では、実験室規模のUASB排水処理装置を試作して高濃度ゆで汁排水の処理実験を行った。その結果、BOD容積負荷量は4g/L/日以上、BOD除去率は95%以上の高効率処理ができた。

本研究は、うどん300玉/日を製造している中規模のうどん店から発生するゆで汁排水が処理できる実用規模のUASB排水処理実験装置を試作して、7ヶ月間処理実験を行ったので報告する。

## II 方法

### 1 期 間

平成19年8月24日~平成20年3月31日

### 2 排水処理実験装置の原理及び構成

排水処理実験装置の概念図を図1に示す。UASB(上向流嫌気性汚泥床)方式と接触バッキ方式(好気性処理)を組み合わせる。UASB方式は嫌気性の反応槽内に微生物自体で形成する沈降性の良い粒状微生物群(グラニューク状汚泥)を保持し、排水をメタン等に分解する。高濃度・高負荷に対応でき、汚泥発生量が少なく且つエネルギー消費量が少ない特徴がある<sup>4)</sup>。接触バッキ方式は、好気性の反応槽内に充填材を入れ、その表面に微生物

物を付着させて生物膜を保持し、排水を二酸化炭素と水等に酸化分解し、良好な水質に処理できる。UASB方式で汚濁の大部分を除去した後、接触バッキ方式で浄化することで、装置を小型化できる。

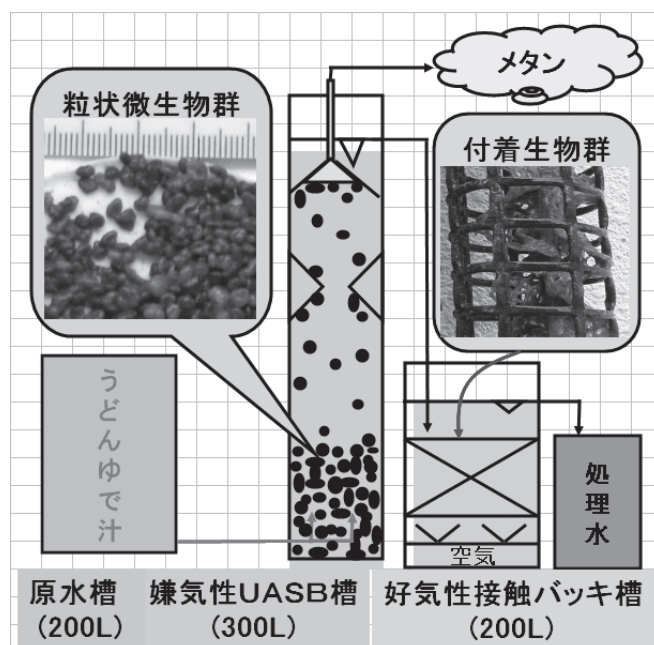


図1 排水処理実験装置の概念図

### 3 排水処理実験装置の仕様及び処理能力

排水処理実験装置のフロー図、仕様及び処理能力を図2及び表1に示す。

### 4 原水の採取及び供給方法

うどん店の湯煮釜から廃棄時に1日1回、ポンプで全

量のゆで汁約 110L を採取・運搬して、原水槽に導入した。原水の温度を下げるため、水道水を加え全量 200L とした。ゆで汁の供給は原則として月曜日から金曜日の週 5 日とした。

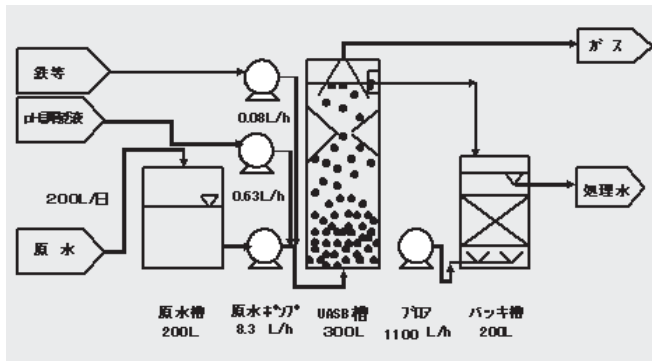


図2 排水処理実験装置のフロー図

表1 排水処理実験装置の仕様及び処理能力

項目	仕様及び処理能力など
<b>原水槽</b>	
大きさ	Φ=679, H=800mm, 25mmの断熱材で保温
実容量	200L
<b>UASB メタン発酵槽</b>	
大きさ	Φ=500mm, H=2,080mm
実容量	303L, 塩ビ, 25mmの断熱材で保温
容積負荷	BOD 容積負荷: 4.0g/L/日
種汚泥	グラニューク汚泥 122L (65,600 mgSS/L)
温度	約 36 度 温水をパイプに循環して制御
<b>接触曝気槽 (好気性処理)</b>	
大きさ	Φ=588, H=978mm
実容量	200L
生物担体	網目円筒バイオユニット 40 本使用 ポリエチレン網目円筒状接触材 (Φ=66mm, H=750mm) の中心にアクリマひも状生物担体を取り付けたもの
気量	1100L/h
<b>薬品槽 A</b>	
実容量	120L
濃度	炭酸水素ナトリウム 50g/L
添加量	原水に炭酸水素ナトリウム約 4g/L になるように添加 (15L/日, 0.63L/H)
<b>薬品槽 B</b>	
実容量	20L, 流量 1.87L/日 (0.078L/H)
濃度	鉄等微量元素 Fe200mg/L
添加量	原水に対して鉄等微量元素約 Fe2mg/L になるように添加 (1.87L/日, 0.078L/H)
<b>乾式脱臭装置</b>	
ガス量	27L/H (670 L/日)
実容量	7.2L (Φ=104mm, H=1030mm)
充填剤	TG リファイナー (株) テツゲン 6Kg

5 ゆで汁採取店舗の事業状況

うどんゆで汁採取店舗の事業状況等を表 2 に示す。

表2 ゆで汁採取店舗の事業状況

事業の種類	飲食店 (うどん店)
規模	うどん玉 200~300/日製造 湯煮施設: 120L
従業員数	6名

6 排水処理実験装置の立上げ

平成 19 年 8 月 24 日に環境保健研究センター敷地内に排水処理実験装置を設置して立上げ運転を開始した。UASB 槽はグラニューク汚泥 (65,600SSmg/L) を 122L 及び嫌気性処理水を入れた後、ゆで汁濃度及び水量を段階的に増加して馴化させた。接触バッキ槽は下水処理場の返送汚泥を 40 L (SS 7.5g/L) 加えて、UASB 処理水を供給して立ち上げた。

III 結果及び考察

1 全期間の経日変化

運転開始から 220 日間、概ね週 1 回の割合で測定した全実験期間の経日変化を図 4 に示す。装置は約 3 週間であち上がった。30 日後から、ゆで汁全量を処理する実証試験を行った結果、概ね安定した処理ができた。その間発生したトラブル事項は、97 日目の①UASB 槽の発泡と 157 日目の②UASB 槽の pH 低下に伴う処理機能の低下であったが、後述の対策により機能は速やかに回復した。

2 定期試験結果

処理が安定した 30 日目から 220 日目の試験期間において、水量、水質、発生ガスを定期的に 2 2 回測定した集計結果は次のとおりである。なお、pH 異常で処理機能が低下した週のデータは除いた。

(1) 処理水量

試験期間中における 1 日あたりの処理水量の変動を図 3 に示す。平均水量 (最高~最低) は 246 L/日 (200~316) であった。処理水量は、ゆで汁温度を下げるため、水道水を加え全量 200 L/日 で処理していたが、経過 103 日目以降は、ポンプで原水と水道水を混合導入して、約 280L/日 で処理した。

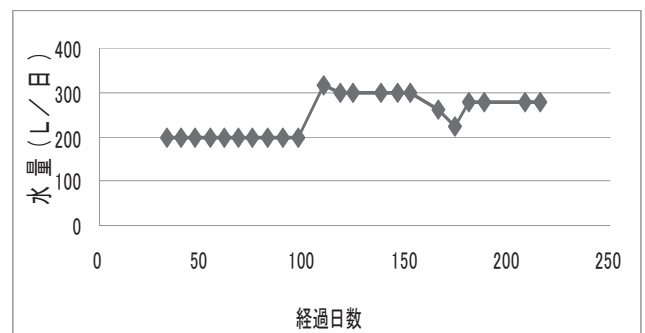


図3 1日あたりの処理水量の変動

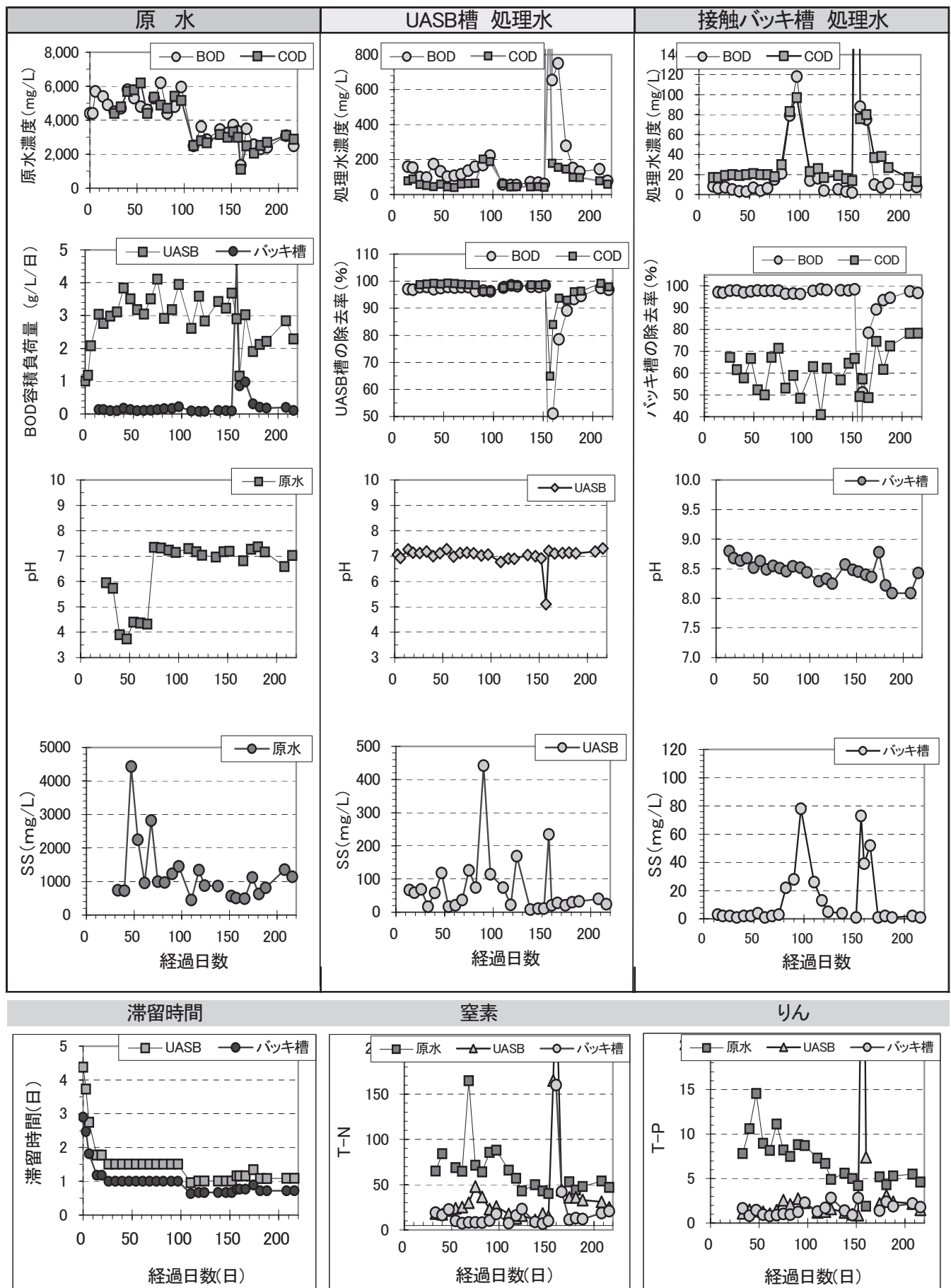


図4 全期間の経日変化

表3 水質測定結果(平均, 最小~最大, 中央値) N=22

項目	単位	原水				UASB 槽処理水				接触バッキ槽処理水			
		平均	最小	最大	中央値	平均	最小	最大	中央値	平均	最小	最大	中央値
pH		6.4	3.7	7.4	7.1	7.1	6.8	7.3	7.1	8.4	8.1	8.8	8.5
BOD	mg/L	4,000	2,300	6,200	3,700	150	54	750	120	19	2	118	7
COD	mg/L	3,900	2,100	6,200	3,200	79	40	200	61	31	13	97	20
SS	mg/L	1,200	450	4,400	980	68	8	440	32	12	1	78	3
T-N	mg/L	68	40	160	61	26	11	48	24	14	7	42	12
T-P	mg/L	7.2	4.2	14.5	7.0	1.7	0.9	3.1	1.5	1.6	0.8	2.8	1.4

表4 装置のBOD 負荷量及び容積負荷量

項目	N	BOD 負荷量 (g/日)				BOD 容積負荷量 (g/L/日)			
		平均	最小	最大	中央値	平均	最小	最大	中央値
UASB 槽	22	940	570	1200	950	3.1	1.9	4.1	3.1
バッキ槽	22	39	17	210	27	0.19	0.09	1.04	0.13

## (2) 水質測定結果

定期試験期間中の原水, UASB 処理水及び接触バッキ槽処理水(放流水)の水質測定結果を表3, 除去率を表5に示す。

接触バッキ槽処理水(流出水)のpH, BOD, COD, SSは, 装置立ち上げ及びトラブル時を除いて, 全て排水基準の一律基準以下であった。pHは22回測定中2回, 排水質基準pH8.6を超過した。超過は, 運転開始33日目のpH8.7と174日目のトラブル復帰過程のpH8.8であった。

BOD濃度の平均値は, 原水が4000mg/L, UASB処理水が150mg/L, 接触バッキ槽処理水が19mg/Lであった。BOD除去率はUASB槽が96%, 接触バッキ槽が88%であった。BOD負荷量の96%がUASB槽, 3.6%が接触バッキ槽で除去でき, 装置全体の除去率は99%であった。

表5 除去率

項目	除去率 (%)		
	UASB 槽	接触バッキ槽	装置全体
BOD	96	88 (3.6)	99
COD	98	62 (1.3)	99
SS	94	83 (4.8)	99
T-N	58	42 (18)	76
T-P	74	0.7 (0.2)	74

注: ( ) 内の数字は原水負荷量に対する割合

SS濃度の平均値は原水が1200mg/L, UASB処理水が68mg/L, 接触バッキ槽処理水が12mg/Lであった。

## (3) BOD 負荷量及び容積負荷量

装置に対する1日当たりのBOD負荷量及び容積負荷量を表4に示す。

平均BOD負荷量は940g/日であった。

UASB槽の1日当たりのBOD容積負荷量の平均値(最小~最大)は3.1g/L/日(1.9~4.1)で, 標準活性汚泥法のBOD容積負荷量0.3~0.8g/L/日<sup>5)</sup>と比較して約5倍の負荷量で処理できることが確認できた。

## (4) 発生ガス

UASB槽で発生するガス発生量, メタン濃度, 二酸化炭素濃度及び硫化水素濃度の測定結果を表6に示す。

表6 ガス発生量及び濃度(平均, 最低, 最高, 中央値)

項目	単位	N	UASB 槽				
			平均	最小	最大	中央	
ガス発生量	L/日	22	670	460	870	670	
濃度	メタン	%	22	56	52	61	56
	二酸化炭素	%	22	43	37	48	43
	硫化水素	ppm	9	840	570	1700	770

ガス発生量の平均値は670L/日で, 主成分はメタンが56%, 二酸化炭素が43%, 硫化水素840ppmであった。メタン発生量は370L/日であった。

## 3 週間試験の測定結果

原水槽への原水供給は月~金の週5日間であり, 原水槽から処理槽への送液は土曜日16時~月曜日16時まで停止している。週間変動及び原水供給停止後の立ち上がり調べるため, 連続7日及び供給開始0, 2, 4, 8, 16時間後に測定した結果を図5に示す。UASB槽及びバッキ槽の処理状況は, 原水供給停止後の立ち上げ時はBOD, SS, pHがやや高くなったが, 速やかに定常状態へ戻り, 安定した処理ができた。また, 接触バッキ槽のpHは, 送液が停止している日曜日9時から月曜日16時までpH8.6を超過していたが, 送液開始2時間後の18時にはpH8.6となり定常状態へ戻った。

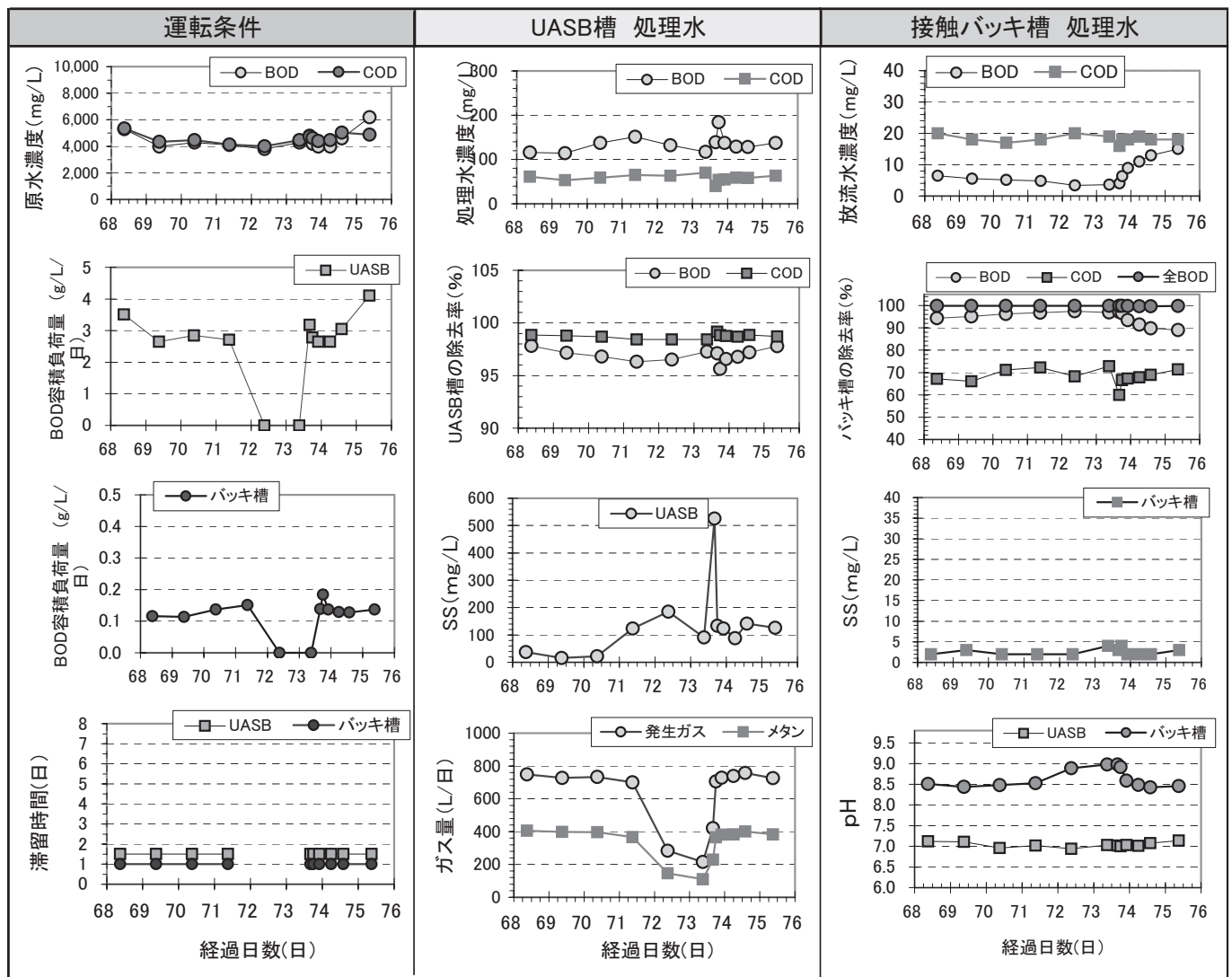


図5 週間変動 (68~75日目)

#### 4 トラブルと復帰

(1) 接触バッキ槽は、好気性汚泥の過剰引抜 (77日目 1.2Kg, 87日目 0.52Kg) に伴って処理が悪化し、97日目にはバッキ槽放流水が最高でBOD 118 mg/L, SS 78 mg/Lにもなった。対策として、102日目に下水道処理場の返送活性汚泥 40 Lを追加して、バッキ槽の再立ち上げを行った結果、110日目にはBOD 14 mg/Lまで回復した。

UASB槽は74日目から装置上部が発泡し、泡がガス出口より流出するようになった。それに伴って、UASB処理水のSS, BODが悪化し、最高で、90日目にSS 442 mg/L, 97日目に BOD 223 mg/Lまで悪化した。対策として、原水槽の底の汚泥の引抜 (87, 110日目 0.62Kg) 及びUASB処理水の循環使用を中止し、103日目から、原水(ゆで汁 110 L + 冷却水 40 L) に水道水を1 + 1で供給する方式に変更した。その結果、装置上部の発泡も少なくなり、処理水質も改善した。さらに、147日目を以降は原水槽をポンプで攪拌した結果、原水槽に汚泥が溜まらなくなり、発泡もしなくなった。これらのことから、発泡の原因は原水槽の底部に蓄積した汚泥が多量にUASB槽に入ったためと考えられる。

(2) UASB槽は運転157日目に、アルカリ剤である炭酸

水素ナトリウム溶液をポンプで供給するラインの閉塞に伴い、UASB槽の処理水はpHが5.1まで低下し、強烈な腐敗臭(酸敗臭)が発生した。また、ガス発生量が約1/2に低下し、処理水のBODが3600mg/Lまで上昇して処理ができなくなった。次の対策を実施することで、1週間には処理が可能になり、約3週間で完全に回復した。

対策として、UASB槽に0.4%炭酸水素ナトリウムを注入し、1日後(158日目)にはpHが6.9まで回復したが処理水のBODは3680mg/L、ガス発生量は223 L/日であった。その後3日間(159~161日目)は原水BOD約1000 mg/L、水量261 L/日で運転した結果、処理水はpH 7.1、BOD約607 mg/L、ガス発生量366 L/日まで回復した。pH低下8日後(165日目)から原水BOD約2680~3500 mg/L、水量261 L/日で運転した結果、11日後(168日目)にはpH 7.0、BOD 366 mg/L、ガス発生量543 L/日、除去率86%まで回復した。17日後(174日目)以降は、pH 7.1~7.3、BOD 90~278 mg/L、ガス発生量458~569 L/日、除去率89~96%で、ほぼ完全に回復した。

#### 5 汚泥発生量

実験期間中の汚泥発生量を表7に示す。運転開始から220日間で、原水 35m<sup>3</sup> BOD 負荷量 134Kg 処理した結果、

発生した汚泥は、乾燥質量で UASB 汚泥が 3.85Kg, 接触バッキ汚泥が 2.29Kg, 原水槽の底汚泥が 0.86Kg で計 7.0Kg あった。原水BOD 負荷量に対する汚泥発生量は UASB 汚泥が 2.9%, バッキ汚泥が 1.7%, 原水槽の底汚泥が 0.6% で計 5.2% であった。活性汚泥排水処理法の汚泥発生量 30~50%<sup>6)</sup> と比較して約 1/10 であった。

また、生成したグラニュール汚泥の粒径分布を表 8 に示す。粒径分布は >2mm 以上が 3%, 2~1mm が 54%, 1~0.5mm が 41%, 0.5~0.1mm が 2% であった。0.5mm 以上の沈降性の良い粒子が 98% 生成できた。

表 8 生成したグラニュール汚泥の粒径分布

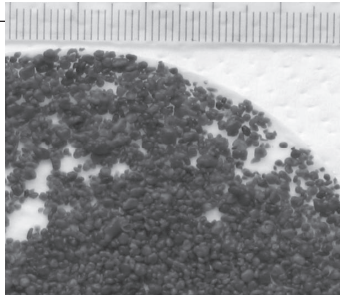
汚泥の粒径	単位	分布	写真	
>2	mm	%	3	
2~1	mm	%	54	
1~0.5	mm	%	41	
0.5~0.1mm	mm	%	2	
汚泥濃度	SSg/L		61	

表 7 汚泥発生量

項 目	UASB 汚泥		バッキ槽汚泥		原水槽の底汚泥	
	容 量	乾燥重量	容 量	乾燥重量	容 量	乾燥重量
	L	kg	L	kg	L	kg
汚泥発生量	72	3.85	139	2.29	69	0.86
BOD 当たりの汚泥発生量	2.9%		1.7%		0.6%	
積算 BOD 負荷量			5.2%			
			134Kg			

表 9 月別集計 (電力使用量, 薬品使用量, 温度)

項 目		月	9	10	11	12	1	2	3	平均値
電気	電力量	kWh/月	122	150	228	351	428	394	353	289
	薬品	炭酸水素ナトリウム	kg/月	17.7	18.0	19.8	16.4	18.0	22.9	19.5
微量栄養剤		L/月	41.1	41.1	39.3	37.4	39.3	37.4	35.5	38.7
温度	外気温	℃	27	21	15	11	8	7	11	14
	原水槽	℃	39	34	31	24	23	26	26	29
	UASB槽	℃	34	33	33	33	34	34	34	33
	バッキ槽	℃	26	23	20	23	23	23	24	23
コスト	電気代	円/月	2,800	3,500	5,200	8,100	9,800	9,000	8,100	6,600
	薬品代	円/月	3,600	3,600	3,800	3,300	3,600	4,100	3,600	3,700
	計	円/月	6,400	7,100	9,000	11,400	13,400	13,100	11,700	10,300

単価は電気 (23 円/kWh,) 炭酸水素ナトリウム (126 円/kg), 微量栄養剤 (33.5 円/L) で計算した。

## 6 電力, 薬品使用量の月別集計

電力使用量, 薬品使用量, 外気温, 原水槽温度, UASB 槽温度, バッキ槽温度の月別集計を表 9 に示す。

電力消費量は, 外気温の低下により, 9 月 122 kWh/月 (平均気温 27℃) に比べて 1 月 428kWh/日 (平均気温 8℃) が 3 倍以上に増加していた。薬品使用量はほぼ一定であった。

月当たりのコスト (電気代+薬品代) は 9 月が 6400 円, 1 月が 13,400 円であった。9 月から 3 月の平均値は電気代 6,600 円, 薬品代 3,700 円で計 10,300 円であった。

また, ゆで汁の熱量を利用するため, 装置は 25mm の断熱材で保温したが, 外気温が低下する 1 月は原水槽の平均温度 23℃ と UASB 槽平均温度 34℃ に差が生じ, 加温のため電力消費量が多くなった。ゆで汁は廃棄時に熱量があり, 冬季の保温対策を工夫することで低コスト処理ができると考える。

## 7 酸化鉄を使用した硫化水素の処理

発生ガスをフレーク状の乾式酸化鉄系脱硫剤 (TC リフアイナー) 6Kg を充填した円柱 ( $\Phi=104\text{mm}$ ,  $L=1.03\text{m}$ ) を通過させて, 発生ガス中の硫化水素を処理する検討を行った結果, 発生ガス中の硫化水素濃度 580~1,700ppm は, 処理後で <0.2ppm 以下, 装置境界で悪臭防止法基準である 0.02ppm 以下に処理できた。

表 10 硫化水素の処理結果

年月日	運転日数	ガス量 (L/日)	硫化水素 (ppm)		
			処理前	処理後	装置境界
1月17日	13	710	770	<0.2	-
2月6日	33	610	950	<0.2	-
2月26日	53	620	1700	<0.2	<0.02
5月9日	126	510	580	<0.2	<0.02

悪臭防止法基準 (住宅地) 硫化水素基準: 0.02ppm

#### IV まとめ

UASB 槽(300L)と接触バッキ槽(200L)を組合せた処理装置を試作し、うどん200~300玉/日製造しているうどん店から、週5日ゆで汁を全量採取して、7カ月間処理実験を行った結果、ゆで汁を処理できることが確認できた。

- 1) 接触バッキ槽処理水(流出水)のpH, BOD, COD, SSは、装置立ち上げ及びトラブル時を除いて、全て排水基準の一律基準以下であった。
- 2) BODの平均値は容積負荷量が3.1 g/L/日、原水濃度が4,000 mg/L, UASB 処理水濃度が150 mg/L, 接触バッキ槽処理水濃度が19 mg/L, 除去率が95%以上であった。
- 3) 発生ガス測定結果の平均値は、発生量が670L/日で、濃度はメタンが56%, 二酸化炭素が43%, 硫化水素840ppmであった。硫化水素は、発生ガスを酸化鉄系脱硫剤の吸収管(Φ=104mm, H=1030mm)を通過することで0.2ppm以下(装置境界0.02ppm)まで除去できた。
- 4) BOD 負荷量に対する汚泥発生量はUASB 汚泥が2.9%, バッキ汚泥が1.7%, 原水槽の底汚泥が0.6%で計5.2%であり、標準活性汚泥法の30~50%と比較して約1/10であった。
- 5) 電力使用量は月平均289kWh/月であった。
- 6) 薬品使用量は炭酸水素ナトリウム 18.9kg/月、微量栄養素38.7L/月であった。

今後、実用化には民間企業と連携した低コスト化・メンテナンスフリー化技術等が課題となる。

#### 文献

- 1) 藤田久雄, 三好益美 他: うどん湯煮廃液の処理技術に関する研究, 第16回廃棄物学会研究発表会講演論文集, p487-499, (2005)
- 2) 藤田久雄, 安藤友継 他: うどん等煮廃液の処理技術に関する研究(2), 第17回廃棄物学会研究発表会講演論文集, p501-502(2006)
- 3) 藤田久雄, 安藤友継 他: うどん湯煮廃液の処理技術に関する研究—上向流嫌気性汚泥床(UASB)を用いた高速メタン発酵—, 香川県環境保健研究センター所報, 6, 52-56(2006)
- 4) 宮 晶子: 21世紀の水処理技術, 環境研究, No. 137, 102-111 (2005)
- 5) 須藤 隆一: 水環境保全のための生物学, 産業用水調査会, 59-66 (2004)
- 6) 稲森修平: 食品工場排水の最適処理ハンドブック, 62-64(2002)

#### 謝辞

香川県環境保健研究センター顧問、香川大学名誉教授 岡市友利先生には、研究の実施の各段階においてご指導いただき御礼申し上げます。

うどんゆで汁を快く提供して下さった坪井文雄氏に御礼申し上げます。