

# 高温多段型 UASB リアクターを用いた焼酎蒸留粕廃液処理

水圏土壌環境制御研究室 中村玲美

指導教官 原田秀樹、大橋晶良

## 1. はじめに

九州地区では、年間 48 万 ton もの焼酎蒸留粕が排出され、3 割以上が海洋投棄処分されている。今後、ロンドン条約の意向により天然由来の焼酎蒸留粕もその制約を受けることになり、海洋投棄に替わる実現可能な陸上処理技術を開発する必要に迫られている。焼酎蒸留粕は固液分離することにより固形部は蘇生紙、飼料・肥料に有効利用する手段があるが、液部は効率の良い処理方法が確立されていない。そこで、本研究では、高温多段型 UASB リアクターを焼酎蒸留粕廃液処理に適用して連続処理実験を行った。しかし、UASB リアクターの問題点の 1 つに膨大なアルカリ剤の添加コストが挙げられる。UASB リアクター内では Fig 2-3-1 のように、リアクターの最下部（廃水供給口）付近では、有機物が揮発性脂肪酸（VFA）に変換され、VFA がリアクター上部と比べて極端に蓄積する現象が見られる。この様に廃水流入部では VFA の蓄積により局所的に pH が低下する傾向にあるが、処理の安定性を維持するためにはメタン菌の至適 pH である 6.5~7.5 に保つ必要がある。よって過剰なアルカリ剤を添加せざるを得なくなり、処理コストが高くなってしまっているのである。リアクター内ではメタン生成反応に伴い VFA などの酸度がアルカリ度へ再生される。この処理水を循環させることでアルカリ度をリアクターへ供給し、高いアルカリ剤添加コストの削減を試みた。

## 2. 実験方法

### 2.1 供給廃水

酒造より排出された焼酎蒸留粕をデカンター式遠心分離機（遠心力 3,000G）により遠心

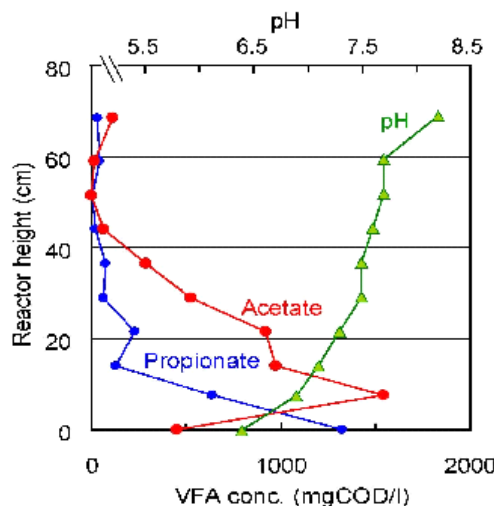


Fig.1 pH and VFA profile of multi-staged UASB reactor treating Shochu distillery wastewater at 100 kg COD/m<sup>3</sup>/d

分離を行った分離液（COD<sub>Cr</sub>濃度：46,000 mgCOD/L）を供給廃水とした（Table 1 参照）。また、アルカリ剤には重炭酸ナトリウム（NaHCO<sub>3</sub>）を選択した。リアクターへの供給時には水道水で希釈を行い、流入COD濃度を 2,000 から 18,000mgCOD/Lの範囲に調整した。なお、天然由来の焼酎蒸留粕廃液には多くの栄養分が含まれているため無機塩類、微量元素の添加は一切行わなかった。

### 2.2 実験装置

Fig.2 に本実験に用いた多段型 UASB リアクターシステムの概略図を示す。リアクターには 3 段の GSS（Gas-Solid separator：気・固・液三相分離装置）が設けてある。また、有効容積は 9.6L であり、容積負荷と HRT にはこの値を基準に算出した。リアクターの温度はウォータージャケットの温水循環により 55°C に設定した。処理水の循環には SS 分離機能を持つ循環水槽を通過させたものを循環水として用いた。

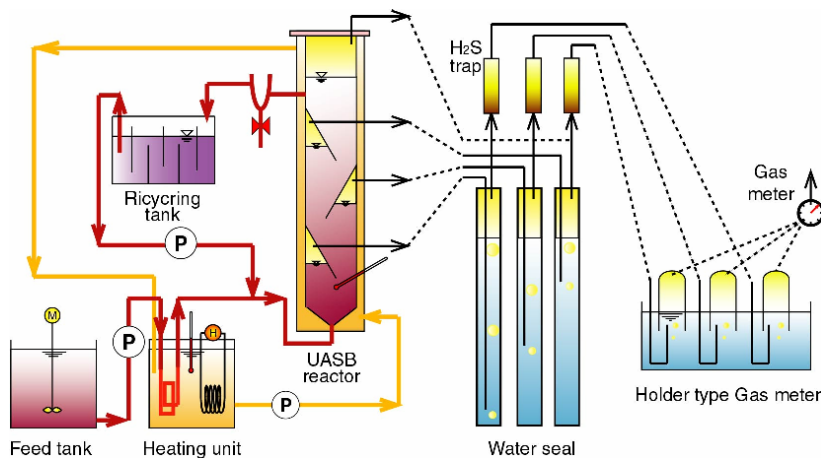


Fig.2 Flow diagram of multi-staged UASB process

Table 1 Characteristic of Shochu distillery wastewater

pH	-	4.6
SS	[mg/L]	2,435
VSS	[mg/L]	2,050
COD <sub>cr</sub>	total	49,800
	soluble	46,800
TOC	[mg/L]	13,000
VFA	Acetate	5,750
	Propionate	801
	i-Butyrate	211
	n-Butyrate	5,277
	i-Valerate	325
	n-Valerate	446
	i-Caproic acid	-
	n-Caproic acid	5,171
Ethanol	[mgCOD/L]	11,779
Protein	[mgCOD/L]	5,369
Carbohydrate	[mgCOD/L]	1,494
Lipid	[mgCOD/L]	53
T-N	[mg/L]	975

## 2.3 運転条件

運転期間を大きく3期間に分け、処理水の循環を行わない通常運転期間を Run a、処理水循環運転期間を Run b、再スタートアップ期間を Run c とした。(Table1 参照)

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 連続処理特性

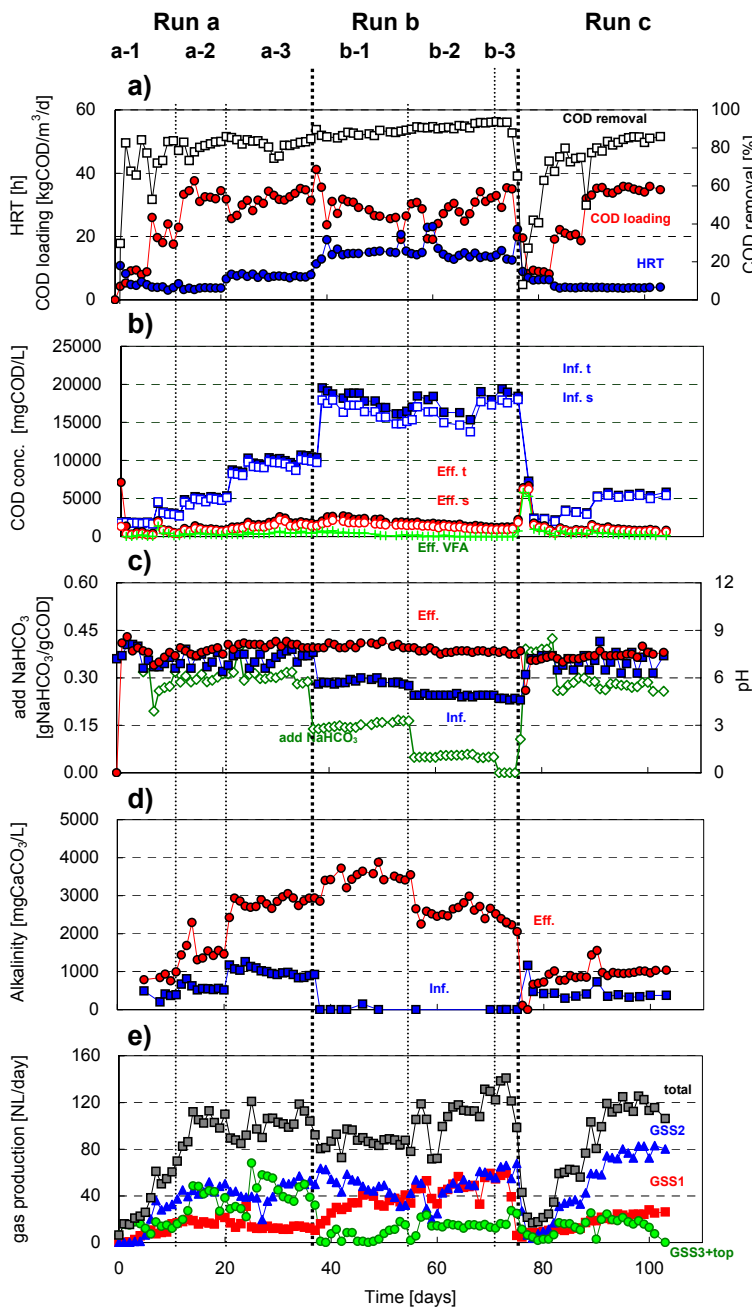
運転条件および結果を Table2 および Fig.3 に示した。

処理水循環を行っていない期間 (Run a) ではCOD容積負荷 30kgCOD/m<sup>3</sup>/d(アルカリ剤添

加量 0.3gNaHCO<sub>3</sub>/gCOD) を許容し、COD除去率 80%以上、アルカリ度生成能 : 1,000mgCaCO<sub>3</sub>/L、処理水中のVFA濃度 : 200~500mgCOD/Lの安定した処理が可能であった。また、処理水循環を行ったRun bではCOD容積負荷 27kgCOD/m<sup>3</sup>/d、流入 COD : 18,000mgCOD/L、HRT : 4hの設定で、アルカリ剤添加量 0.15gNaHCO<sub>3</sub>/gCODおよび 0.05gNaHCO<sub>3</sub>/Lの条件のもと、COD除去率 88%以上、処理水中のVFA濃度 200mgCOD/L程度と良好で安定した処理が可能であった。

Table 2 Reactor operation condition and process performance

period	Recycling	Run	COD loading [kgCOD/m <sup>3</sup> /d]	HRT [h]	Reactor bed temp. [°C]	Recycling rate Inf: recycle	Influent conc. [mgCOD/L]	Adding NaHCO <sub>3</sub> [NaHCO <sub>3</sub> /gCOD]	Adding NaHCO <sub>3</sub> [mgCaCO <sub>3</sub> /L]	COD-t removal [%]	COD-s removal [%]	Inf. pH [-]	Eff. pH [-]	Inf. Alk [mgCaCO <sub>3</sub> /L]	Eff. Alk. [mgCaCO <sub>3</sub> /L]	Inf VFA [mgCaCO <sub>3</sub> /L]	Eff VFA [mgCaCO <sub>3</sub> /L]
day 0-2	non	a-1	5	9.6	42-43	1:0	2000	0.30	0.36	56	85	7.7	8.4			382	6
day 3-6			10	4.8	44-46	1:0	2000	0.30	0.36	74	85	7.5	7.7	495	789	365	40
day 7-11			20	3.6	46	1:0	3000	0.30	0.54	73	77	6.8	7.2	344	882	696	238
day 12-20		a-2	30	4.0	47-52	1:0	5000	0.30	0.90	80	84	7.1	7.7	593	1565	1004	154
day 21-37			30	8.0	44-48	1:0	10000	0.30	1.80	82	86	6.3	8.0	981	2753	2335	236
day 38-55			Recycling	b-1	27	16.0	43-52	1:1	18000	0.15	1.62	88	90	5.7	8.0	25	3470
day 56-71	27	16.0			51-53	1:1	18000	0.05	0.54	91	93	4.9	7.7	0	2594	4131	18
day 72-74	b-3	27		16.0	52-54	1:1	18000	0	0	94	95	4.7	7.6	0	2303	4083	4
day 75		27		16.0	46	1:1	18000	0	0	88	90	4.7	7.5	0	2057	3462	329
day 76		17		24.0	45	1:1	18000	0	0	65	66	4.7	7.5	0	113	3462	329
day 77	non	c	23	8.0	50	1:0	6000	0.40	1.44	8	15	6.2	5.2	1167	0	1367	3174
day 78-82			8	6.4	47	1:0	2500	0.40	0.60	55	63	7.3	7.2	445	807	622	240
day 83-88			20	4.0	50	1:0	3000	0.30	0.54	75	79	6.9	7.2	356	834	752	211
day 89-103			30	4.0	50	1:0	5000	0.30	0.90	85	88	7.0	7.5	413	1054	1091	151



**Fig.3** Process performance of UASB reactor

- a) COD loading, COD removal, HRT
- b) COD concentration of influent and effluent
- c) pH and add NaHCO<sub>3</sub>
- d) Alkalinity of influent and effluent
- e) Bio gas production

しかし、アルカリ剤の供給なしで処理水循環運転を行ったRun b-3 では、開始後 3 日目までは非常に良好な処理結果が得られた (COD除去率 94%以上、処理水中のVFA3~6mgCOD/L) が、4 日目のday75には急に処理水中に 724 mgCOD/LのVFAが検出されたため、

COD容積負荷 20kgCOD/m<sup>3</sup>/d (HRTを 8hから 12hに変更)に負荷を下げプロセスの回復を試みた。しかし、プロセスの回復は見られず完全に破綻した。急激に処理が悪化した時期にリアクター温度の低下が確認されたため、プロセスの破綻はアルカリ度不足によるものか温度の低下によるものか断定できなかった。

### 3.2 バイオガス生成量の推移

バイオガス生成量の推移を Fig.3 e)に示した。処理水循環を行っていない Run aの期間では GSS1でのバイオガス生成量が 20NL以下で、GSS2および3+topでは 40~60NLのあたりを推移していることから、リアクター中上部でメタン生成反応が行われていたと推測される。これに対し処理水循環運転を行った Run bの期間では GSS3+topでのガス生成量が 20NL以下と少なく、GSS1および2でのガス生成量が 40NL以上で推移していることからリアクターの底部および中部でほぼメタン生成反応が完了していたと推測された。

### 3.3 リアクター高さ方向アルカリ度推移

Run aおよびRun bにおける全てのプロファイル結果より、リアクター上部へ行くに従いpHとアルカリ度の挙動は上昇している傾向が、VFA濃度は減少していく傾向が見られた。このことから、リアクター内では流入基質が分解されVFA塩となり、アルカリ度を消費しているが、メタン生成反応により再生されたアルカリ度の増加によってアルカリ度が上昇し、pHも上昇していることがわかる。

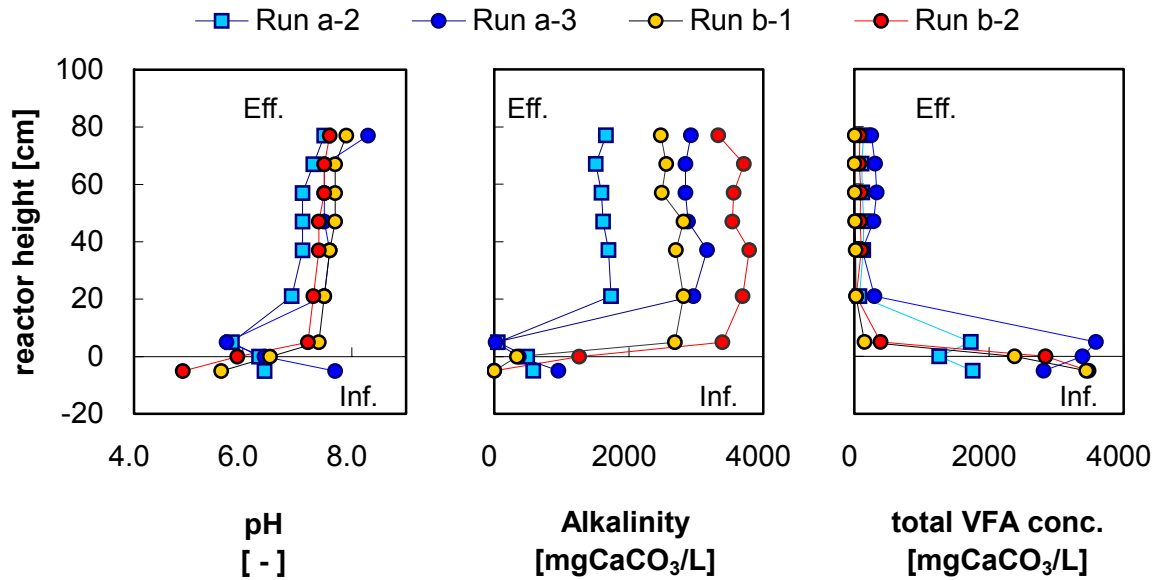


Fig.4 Reactor profile of pH and alkalinity

処理水循環運転を行った期間において、供給された基質は直ちに分解されており VFA の蓄積は見られず、リアクター下部においても十分なアルカリ度が確保されていることが確認された。また、リアクター上部へ向かうに従いアルカリ度も生成され、処理水中には利用可能なアルカリ度が十分存在していることが確認された。

Run aの処理水循環を行っていない期間では、廃水流入部であるリアクター下部でVFAの蓄積が見られ、アルカリ度が 50mgCaCO<sub>3</sub>/L以下まで消費されつくしていたためpHも 6.0 以下まで低下していた。これに対し、Run bの処理水循環を行った期間ではVFAの蓄積は見られず直ちに消費されており、アルカリ度、pHも直ちに上昇していることが確認できる。このことから、処理水循環運転期間ではVFAの蓄積、pHの低下なしで良好に処理が行われており、供給基質の有機物は直ちにメタン生成反応に利用され消費されていることが判明した。

#### 4. まとめ

高温多段型UASBリアクターを用いた焼酎蒸留粕廃液の処理結果より、処理水循環運転では、アルカリ剤として用いた重炭酸ナトリウムの添加量を 0.3gNaHCO<sub>3</sub>/gCOD から 0.05gNaHCO<sub>3</sub>/gCODまで削減しても良好な処理結果が得られた。また、良好に処理が行われたリアクターでは処理水循環運転による供給廃水へのアルカリ剤添加量の削減は可能であったが、アルカリ剤を添加しない運転はいったん処理が不安定になるとプロセスの破綻を招くこともあるリスクの高いものであることが確認され、処理が不安定になった場合は供給廃水への十分なアルカリ剤の添加が望ましい。また、処理水循環運転では、アルカリ剤として用いた重炭酸ナトリウムの添加量を 0.3 gNaHCO<sub>3</sub>/gCODから 0.05 gNaHCO<sub>3</sub>/gCODまで削減しても良好な処理が可能であった。以上のことよりアルカリ剤添加コストも 1/6 に削減できることが証明された。