

焼酎粕からの“世界最高速のメタン回収技術”の開発

山田真義¹, 山内正仁², 西本将明³, 北川政美³, 大橋晶良¹, 原田秀樹⁴

1. はじめに

焼酎粕の処理方法は海洋投棄, 農地還元, 飼料, プラント処理(肥料化・飼料化と生物処理, 焼却処理)などが挙げられるが^{1), 2), 3)}, コスト, 立地条件, 季節変動要因などの制約から九州地域で発生する本格焼酎蒸留粕の約25% (約21万トン) が海洋投棄処分されている⁴⁾. それぞれの処理方法にメリット, デメリットがあるが^{1), 5)}, 今後外的要因に操業やコストが左右されにくい自己完結型のプラント処理に移行すると考えられる. 焼酎粕は水分を90%以上含むため, 前処理で固液分離(凝集処理, 遠心分離処理, 蒸発法, 脱水機処理), 後処理で生物処理(活性污泥処理, 嫌気性生物処理(UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) 法, 嫌気性流動床法, 嫌気性回分処理法など))が有効であると考えられ, 固形画分と液画分に分離してから処理する研究が盛んに行われてきた^{6)~11)}. UASB法を代表とする嫌気性メタン発酵処理は省・創エネルギー型リアクターであり, 未利用資源のサーマルリサイクル手法として産業廃水処理分野において非常に注目されている^{12), 13), 14)}.

本稿では, 当研究室が行ってきたラボスケール及びパイロットスケールの高温多段型UASB(以下, MS-UASBとする.)リアクターによる焼酎粕の超高速メタン発酵処理特性を中心に報告する. パイロットスケール高温MS-UASBリアクターによる焼酎粕の超高速メタン発酵処理特性は経済産業省の地域新生コンソーシアム研究開発事業(平成14, 15年度)に採択された「焼酎蒸留粕からのエネルギー自立・資源循環型商品システムの開発」の液画分の高速メタン発酵処理の一部の実験結果である.

2. UASB プロセスによるメタン発酵技術の現状

嫌気性処理は好気性処理と比較し, 曝気動力が不要でエネルギー要求が少ない, 汚泥生成量が少ない, メタンガスとしてエネルギー回収が可能である等の利点を有

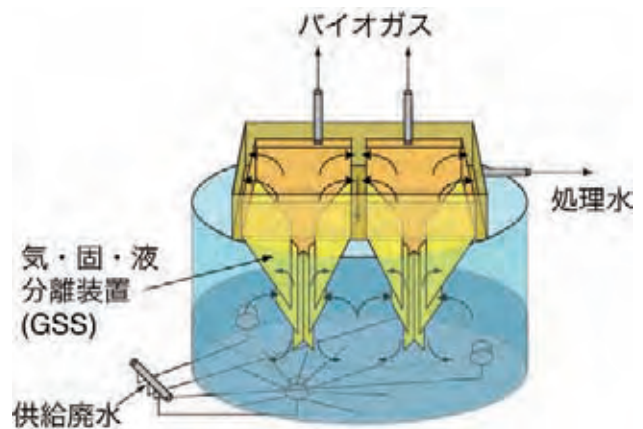


図-1 UASB リアクターの概念図

しているが, 嫌気性処理が飛躍的に発展したのはここ30年程度である. 特に嫌気性処理の代表的なUASBプロセス(図-1)は1970年代にオランダのWageningen農業大学のLettinga博士らの研究により開発された¹⁵⁾. 現在までにUASBリアクター(UASBリアクターを改良したものを含む.)は, 食品, 飲料廃水を代表とする多種多様な産業廃水に適用され, 約1,300基が世界各地で建設され稼働している¹⁶⁾. わが国においても, 食品産業廃水を中心に180基以上が稼働している実績がある.

2.1 UASB リアクターの改良型リアクターの出現

1990年代にUASBリアクターを改良した高速処理型リアクターであるEGSB(Expanded Granular Sludge Bed)リアクターとIC(Internal Circulation)リアクターが開発された(図-2)^{17)~19)}. EGSBリアクターは処理水循環を行うことによりリアクター内上昇線流速を4~10 m/hrに増大することによって, 廃水と汚泥の接触効率を増加させ高速処理を可能とする. ICリアクターはリアクター内で生成するバイオガスによるガスリフト効果を利用し, リアクター内に内部循環流を引き起こし,

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

²鹿児島工業高等専門学校 土木工学科 (〒899-5102 鹿児島県霧島市隼人町真孝 1460-1)

³株式会社荏原製作所 環境システム事業部 (〒104-8480 東京都港区港南 1-6-27)

⁴東北大学大学院 土木工学専攻 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6)

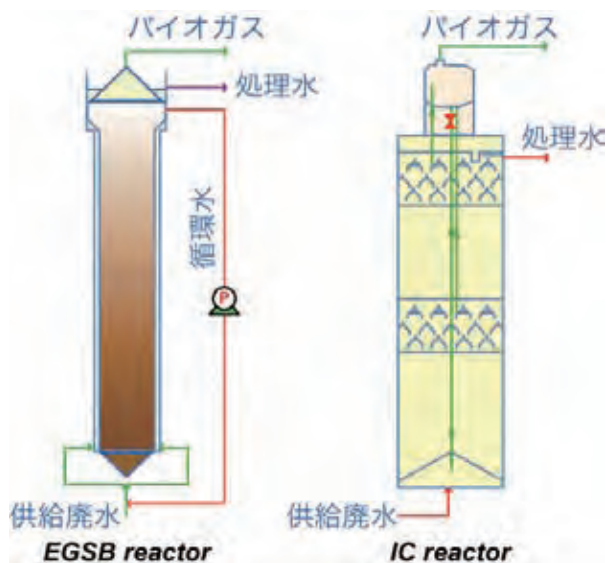


図-2 UASBリアクターの改良型リアクターの概略図

廃水と汚泥の接触効率を増加させ高速処理を可能とする。両リアクター共に COD_{Cr} 容積負荷で $20 \sim 35 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ を許容している。

2.2 高温 UASB プロセスによる高速処理

現在 UASB プロセスで処理されている廃水種にはアルコール蒸留廃水や製缶、パルプ製造工場廃水などの高温 ($70 \sim 90^\circ\text{C}$) で排出される廃水が少なくない。そこで、1980 年代に 55°C 付近でリアクターを運転する高温 UASB プロセスの研究が始まった。特にアルコール蒸留廃水を対象とした高温 UASB プロセスでは中温 UASB プロセスの 2～3 倍の高速処理が可能であることが分かったが^{20), 21), 22)}、その当時、高温 UASB プロセスはこれらの産業廃水に対し普及しなかった。これは、高温域におけるグラニュール形成に関する知見がほとんど無く、リアクターの運転管理手法が確立されていないことやスタートアップに時間がかかる問題があったことが考えられる。そこで、高温消化汚泥や中温グラニュールを植種汚泥に使用した高温 UASB プロセスのスタートアップの研究がされた^{21), 23), 24)}。なかでも中温グラニュール汚泥を植種源とした場合、高温 UASB プロセスが 100 日程度でスタートアップ可能であることが報告され²⁴⁾、今後高温 UASB プロセスのフルスケール化が期待されている。

2.3 高温多段型 UASB プロセスによる超高速処理の実現化

超高速処理である COD_{Cr} 容積負荷 $100 \text{ kgCOD}_{\text{Cr}} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ を実現化するには、技術的な課題がある。これは、リア

クター内にグラニュール汚泥を如何に保持できるかということである。 COD_{Cr} 容積負荷を高くするという事は、リアクター内で生成するバイオガスが増大することである。このバイオガス生成量は量論的に除去 COD_{Cr} 1 kg あたり約 0.5 Nm^3 に達し、リアクター単位容積当たりのバイオガス生成量による曝気強度は標準活性汚泥法の曝気強度よりも高くなり、リアクター内からグラニュール汚泥をウォッシュアウトさせ、プロセスの破綻を招く。このプロセスの破綻を回避するためには、リアクター内の生成バイオガスによる上昇線流速を低減させる必要がある。そこで、リアクター内の高さ方向に複数の気・固・液三相分離装置 (Gas Solid Separator; GSS) を設置し、バイオガスを生成原位置近くで速やかにリアクター系外に放出し、生成バイオガスの上昇線流速を低減させリアクター内にグラニュール汚泥を高濃度に保持することで、超高速処理を実現することが可能になる。

3. 焼酎粕処理への高速メタン発酵の適用例

焼酎粕処理では UASB リアクターを改良した高速処理型の IC リアクターを導入し嫌気性メタン発酵処理を行っている。この IC リアクターは中温 (35°C) メタン発酵処理で、概ね COD_{Cr} 容積負荷が $20 \sim 30 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 程度で運転している^{25), 26)}。

3.1 ラボスケール高温多段型 UASB リアクターによる焼酎粕の超高速処理

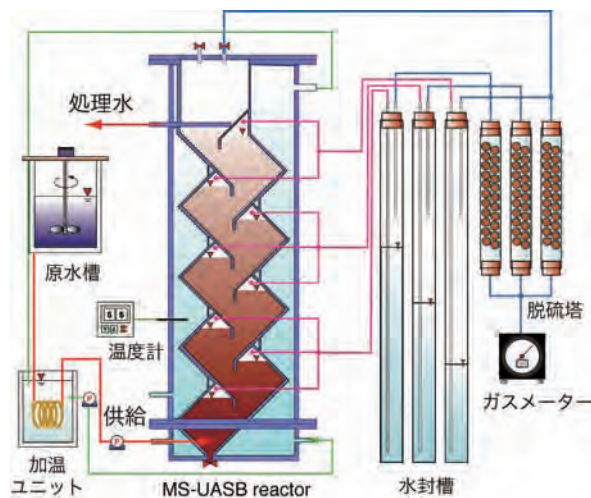
ラボスケール高温 MS-UASB リアクターで約 1,000 日間を超える連続処理実験は、甘藷廃液の単一基質を用いて長岡技術科学大学内で行った。この連続処理実験は、主に甘藷廃液の高温メタン発酵処理の安定性と最大許容 COD_{Cr} 容積負荷を追求した。

(1) ラボスケール MS-UASB リアクター

図-3 に本実験で用いたラボスケール MS-UASB リアクターのフローシートを示す。リアクターは、高さ 84.5 cm, 最大幅 15 cm, 最小幅 3.9 cm, 奥行き 10 cm の矩形断面が折れ曲がった階段状となっており、高さ方向 7.5 cm おきに 8 つの GSS が設置してある。有効容量 8 L (液浸総容積) である。リアクター内温度はリアクター外部に設置した加温ユニットとウォータージャケットにより、 55°C に制御した。 COD_{Cr} 容積負荷と液滞留時間 (HRT) の算定は液浸総容積を基準として行った。

(2) 供給廃水

本研究で使用した甘藷廃液組成を表-1 に示した。甘藷



図－3 ラボスケール MS-UASB リアクターのフローシート

廃水はデカンター式遠心分離機（遠心力 3,000 G）により遠心分離を行った甘藷焼酎粕の分離液を用いた。無機塩類及び微量元素を添加し、重炭酸ナトリウムで pH 6.8 付近に調整したものを供給廃液とした。

(3) 分析方法

COD_{Cr} 測定は HACH 法、pH 測定はハンディ pH メーター（TOA DKK HM-21P）、SS 及び VSS、アンモニア性窒素の測定は下水試験方法に準拠した²⁷⁾。VFA は FID 型検出器ガスクロマトグラフ（Shimadzu GC-14）、バイオガス組成（CH₄、CO₂）は TCD 型検出器ガスクロマトグラフ（Shimadzu GC-8A IT）により測定した。供給廃水及び処理水の溶解性試料は、ガラス繊維濾紙（ADVANTEC GB140）で濾過したものを分析に使用した。

(4) 実験結果

図4に甘藷廃液を対象としたラボスケール高温 MS-UASB による連続処理実験結果を示す。ここに示した連続処理実験結果は、約 150 日間運転を停止し再スタートアップ後の 700～1,110 日のデータである。再スタートアップ後、約 89 日程度で COD_{Cr} 容積負荷 100 kgCOD_{Cr}・m⁻³・d⁻¹ を許容し、速やかな COD_{Cr} 容積負荷の回復が可能であった。

その後、本リアクターの最大許容 COD_{Cr} 容積負荷を探るために徐々に COD_{Cr} 容積負荷を増加させ、96 日目には COD_{Cr} 容積負荷 120 kgCOD_{Cr}・m⁻³・d⁻¹ での約 1 ヶ月間の安定処理を行う間、COD_{Cr} 除去率は約 90%、処理水中の VSS 濃度は 200～300 mg・L⁻¹、処理水 VFA のほとんどを占めるプロピオン酸と酢酸はそれぞれ 80～200 mgCOD_{Cr}・L⁻¹、60～150 COD_{Cr}・L⁻¹ を示した。その後、COD_{Cr} 容積負荷を 140 kgCOD_{Cr}・m⁻³・d⁻¹ に増加させたところ、COD_{Cr} 除去率が徐々に減少したため、本プロセスの最大許容 COD_{Cr} 容積負荷は 120 kgCOD_{Cr}・m⁻³・d⁻¹ 程度で史上最速の超高速処理を達成した。

3.2 パイロットスケール高温多段型 UASB リアクターによる焼酎粕の超高速処理

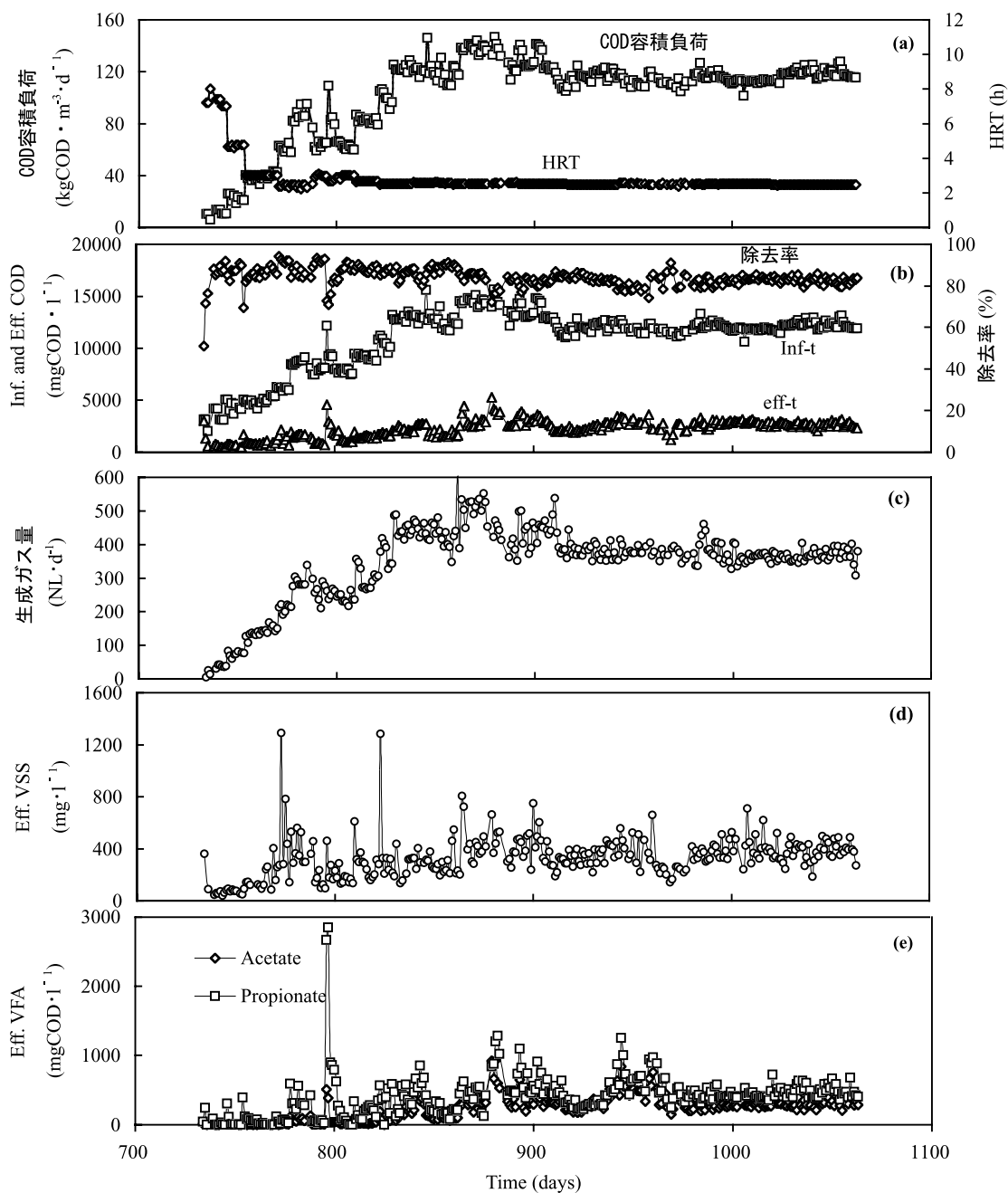
3.1 の結果をもとにラボスケールからパイロットスケールにスケールアップしたパイロットスケール高温 MS-UASB リアクターを鹿児島県内の焼酎メーカー（国分酒造協業組合）に設置し、季節稼働型実廃液（麦廃液及び甘藷廃液）を処理対象としてオンサイト実証実験を行った。

(1) パイロットスケール MS-UASB リアクター

図-5 に本実験で用いたパイロットスケール MS-UASB リアクターの外観写真、図-6 にフローシートを示す。MS-UASB リアクターは、高さ 6.3 m、内径 0.8 m、容量 2.5 m³（液浸総容積）である。リアクター内部には 5 段の GSS 装置と最上部に 1 段、計 6 基の GSS 装置を設置した。

表－1 ラボスケール MS-UASB リアクター供給した甘藷廃液組成

測定項目		単位
pH		[-]
SS		[mg・L ⁻¹]
全COD		[mgCOD・L ⁻¹]
溶解性COD		[mgCOD・L ⁻¹]
有機酸	酢酸	[mgCOD・L ⁻¹]
	プロピオン酸	[mgCOD・L ⁻¹]
	酪酸	[mgCOD・L ⁻¹]
	吉草酸	[mgCOD・L ⁻¹]
	カプロン酸	[mgCOD・L ⁻¹]
ケルダール窒素		[mgN・L ⁻¹]



図ー 4 甘藷廃液を対象としたラボスケール高温 MS-UASB による連続処理実験結果

生成バイオガス量は乾式ガスメーターにより測定した。リアクター内温度は原水希釈調整槽に設置したヒーターにより加温し、55℃付近に制御した。COD_{Cr}容積負荷と液滞留時間(HRT)の算定は液浸総容積を基準として行った。

(2) 供給廃水

本研究に用いた麦及び甘藷廃液は、スクリュウデカンタ型遠心分離機(遠心力 3,000 G)により、焼酎粕を無薬

注で遠心分離した分離液である。この廃液組成を表-2に示す。

(3) 分析方法

COD_{Cr}測定はHACH法、pH測定はハンディpHメーター(TOA DKK HM-21P)、SS及びVSS、アンモニア性窒素の測定は下水試験方法に準拠した²⁷⁾。VFAはFID型検出器ガスクロマトグラフ(Shimadzu GC-8A PF)、バイオガス組成(CH₄, CO₂)はTCD型検出器ガ

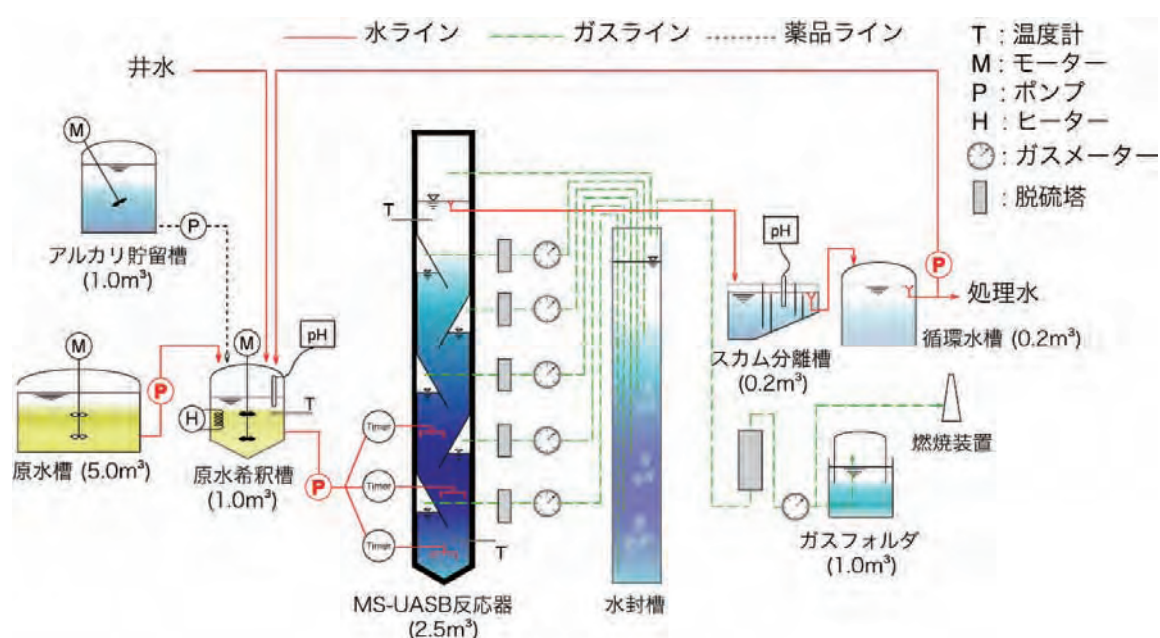
スクロマトグラフ（Shimadzu GC-8A IT）により測定した。供給廃水及び処理水の溶解性試料は、ガラス繊維濾紙（ADVANTEC GB140）で濾過したものを分析に使用した。

（4）リアクター運転条件

約 600 日間の連続処理実験は、供給廃液の種類によって、4つのフェイズに区分した。実験期間は1～79日目（Phase 1）、131～234日目（Phase 2）、263～468日目（Phase 3）、469～607日目（Phase 4）とした。Phase 1、3では麦廃液、Phase 2、4では甘藷廃液を対象に連続処理実験を行った。Phase 1、2では、スタートアップ処理特性、Phase 3、4では主に最大許容 COD_{Cr} 容積負荷の追



図－5 パイロットスケール MS-USBA リアクターの外観写真



図－6 パイロットスケール MS-USBA リアクターのフローシート

表－2 パイロットスケール MS-USBA リアクター供給した焼酎粕廃液組成

測定項目		単位	焼酎粕	
			麦廃液	甘藷廃液
pH		[-]	3.9	3.9
SS		[mg・L ⁻¹]	3,900	2,400
全COD		[mgCOD・L ⁻¹]	86,900	52,400
溶解性COD		[mgCOD・L ⁻¹]	79,600	49,800
TOC		[mgC・L ⁻¹]	26,300	15,700
有機酸	酢酸	[mgCOD・L ⁻¹]	5,170	4,980
	プロピオン酸	[mgCOD・L ⁻¹]	580	610
	酪酸	[mgCOD・L ⁻¹]	229	591
	吉草酸	[mgCOD・L ⁻¹]	103	N.D.
	カプロン酸	[mgCOD・L ⁻¹]	650	1,950
ケルダール窒素		[mgN・L ⁻¹]	4,100	900

求及び処理水循環による連続処理実験を行った。また、Phase 1 から Phase 2, Phase 2 から Phase 3 への廃液切り換え時にリアクターのシャットダウンを行った (Phase 1 → Phase 2 : 51 日間運転停止 (常温保存 : 約 30 °C), Phase 2 → Phase 3 : 28 日間運転停止 (常温保存 : 約 10 °C))。

(5) 実験結果

図-7 にスタートアップから約 600 日間のパイロットスケール高温 MS-UASB リアクターによる連続処理実験結果を示す。Phase 1 の麦廃液ではスタートアップから 58 日目まで HRT 固定 (8 hr), 流入 COD_{Cr} 濃度を高くすることで負荷を上昇させた。45 日目以降, 流入 COD_{Cr} 濃度を 14,000 mgCOD_{Cr} · L⁻¹ (40 kgCOD_{Cr} · m³ · d⁻¹) で, 処理水中の酢酸濃度が上昇し, COD 除去率が 80 % 程度まで

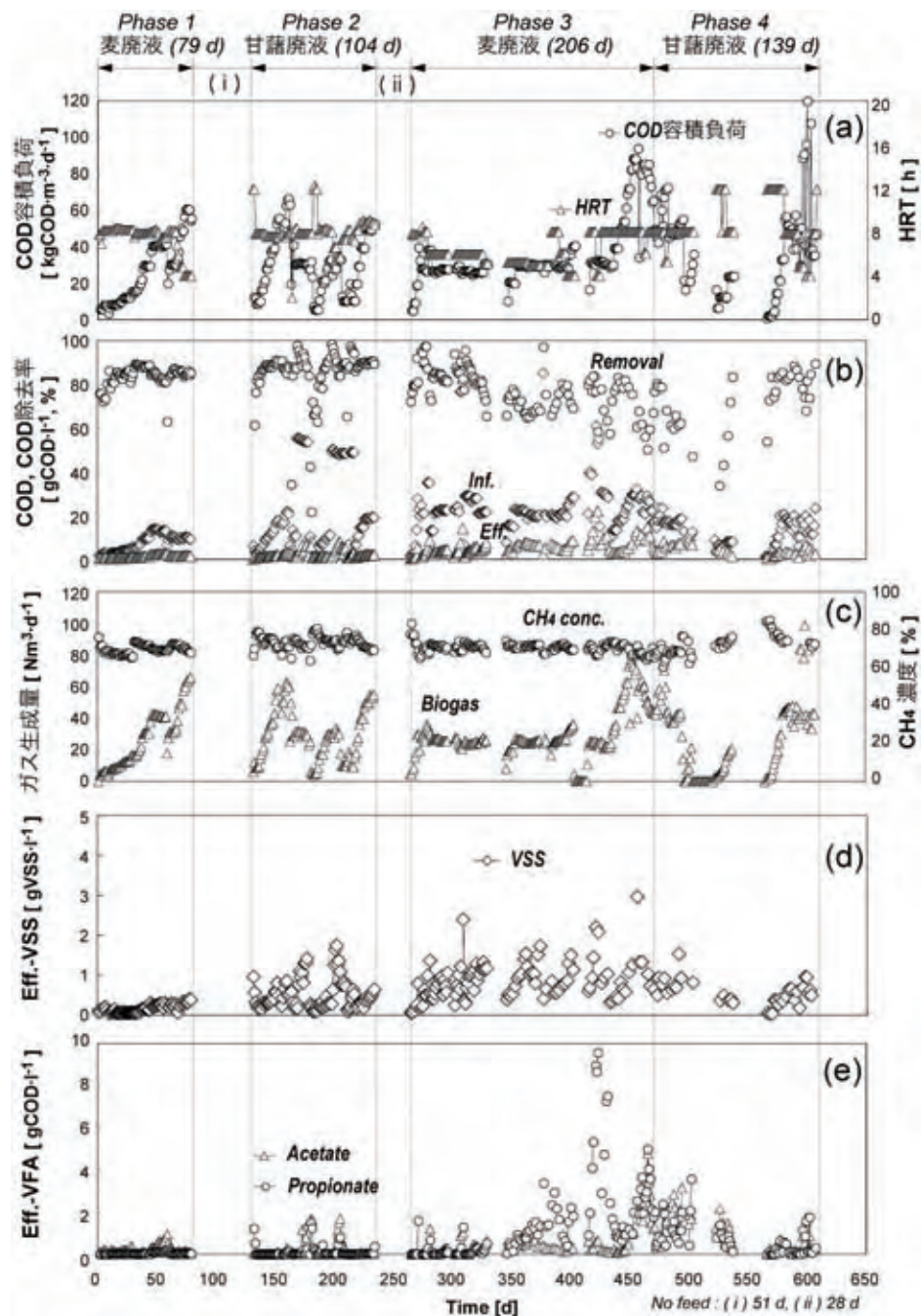


図-7 麦及び甘藷廃液を対象としたパイロットスケール高温 MS-USAB による連続処理実験結果

低下したことから、59日目以降は流入COD_{Cr}濃度を10,000 mgCOD_{Cr}・L⁻¹で固定し、HRTを短縮することで負荷上昇を試みた。その結果、74日目にCOD_{Cr}容積負荷60 kgCOD_{Cr}・m⁻³・d⁻¹ (HRT 4 hr) を達成し、COD_{Cr}除去率90%，処理水中の有機酸100 mgCOD_{Cr}・L⁻¹程度であった。

51日間シャットダウン後のPhase 2の甘藷廃液のスタートアップ（131日目）では、HRT固定（8 hr），流入COD_{Cr}濃度を高くすることで負荷を上昇させた。その結果、スタートアップ後29日間で流入COD_{Cr}濃度20,000 mgCOD_{Cr}・L⁻¹，HRT 8 hrで負荷60 kgCOD_{Cr}・m⁻³・d⁻¹を達成し、COD_{Cr}除去率90%，処理水中の有機酸濃度は200 mgCOD_{Cr}・L⁻¹程度であった。162日目から、甘藷廃液の発泡によりGSSに汚泥が流出したため、COD_{Cr}容積負荷30 kgCOD_{Cr}・m⁻³・d⁻¹に低下させ、一時的に消泡剤を添加し、連続処理実験を継続した。

28日間シャットダウン後のPhase 3の麦廃液を対象とした連続処理実験（263から387日目）では、短期間のシャットダウン後の再スタートアップにおいても速やかなCOD_{Cr}容積負荷上昇が可能であった。Phase 3ではCOD_{Cr}容積負荷を80～100 kgCOD_{Cr}・m⁻³・d⁻¹に急激に上昇させた結果、COD_{Cr}除去率は60%程度まで減少し、処理水中の有機酸の蓄積が観察され、急激にCOD_{Cr}容積負荷を増加させたのが原因であると考えられた。

甘藷廃液を対象としたPhase 4では、廃液の確保が困難になり、Phase 4の終了間際にCOD_{Cr}容積負荷を100 kgCOD_{Cr}・m⁻³・d⁻¹（流入COD_{Cr}濃度：17,000 mgCOD_{Cr}・L⁻¹，HRT 4 hr）に増加させた。その結果、処理水中にプロピオン酸が2,000 mgCOD_{Cr}・L⁻¹程度蓄積し、COD_{Cr}除去率は70%程度に減少した。

連続処理実験期間を通じて生成バイオガスのメタン濃度は70%程度で推移していた。メタンガス生成量はCOD_{Cr}容積負荷50 kgCOD_{Cr}・m⁻³・d⁻¹運転時に20 Nm³・CH₄・m⁻³・d⁻¹ (50 Nm³・CH₄・reactor-1) であり、創エネルギーリアクターであると考えられる。

4. おわりに

ラボスケールMS-UASBリアクターによる甘藷廃液の高温メタン発酵連続処理実験で検討した結果、約150日間運転を停止し、再スタートアップ後約89日程度でCOD_{Cr}容積負荷100 kgCOD_{Cr}・m⁻³・d⁻¹を許容し、速やかなCOD_{Cr}容積負荷の回復が可能であった。また、96日目にはCOD_{Cr}容積負荷120 kgCOD_{Cr}・m⁻³・d⁻¹を許容し史上最高の超高速処理を達成した。

パイロットスケールMS-UASBリアクターによる麦及

び甘藷廃液の高温メタン発酵連続処理実験で検討した結果、麦及び甘藷廃液ともに実規模におけるMS-UASBリアクターでは他に類を見ないCOD_{Cr}容積負荷60 kgCOD_{Cr}・m⁻³・d⁻¹を達成し、このCOD_{Cr}容積負荷は現在世界最高速のメタン発酵処理プロセスである。

謝 辞

ラボスケール高温MS-UASBリアクターの原水である焼酎粕は大口酒造協業組合殿から提供して頂いた。パイロットスケール高温MS-UASBリアクターによる焼酎粕のメタン発酵処理は経済産業省、地域新生コンソーシアム研究開発事業（平成14、15年度）として実施し、本実験設備の設置は国分酒造協業組合殿のご協力を得た。また、本研究を行うにあたり九州産業技術センターの吉田善樹氏、鹿児島県工業技術センターの神野好孝氏、新村孝善氏、国分酒造協業組合の皆様大変お世話になった。ここに記して感謝申し上げます。

文 献

- 1) 小幡孝之(1994), 甘藷焼酎蒸留粕の生物的处理方法の開発, 日本醸造協会誌, 89 (5), pp. 349-354.
- 2) 外川健一, 松永裕己(1996), 南九州における焼酎廃液処理の現状と課題, 50 (8), pp. 13-19.
- 3) 鹿児島県本格焼酎技術開発研究システム(1996), 平成7年度研究成果報告書, pp. 118-127.
- 4) 鹿児島県酒造組合連合会(2005), 平成16酒造年度本格焼酎原料別製成数量と蒸留粕の処理別・月別数量.
- 5) 鹿児島県農政部(1995), 焼酎廃液(粕)の農耕地施用のガイドライン, pp. 1-9.
- 6) 山内敏弘, 野田伸光, 藤岡哲雄, 小笠原尚夫(2000), 焼酎蒸留粕の高効率処理技術の開発, 造水技術, 26 (3).
- 7) 松本肇(1998), 焼酎蒸留残渣の最新処理技術について, 産業機械, pp. 68-70.
- 8) クーシヴィライ パイラヤ, 多川正, 関口勇地, 大橋晶良, 原田秀樹(2002), 多段型UASBリアクターによる焼酎蒸留粕廃液の超高速メタン発酵処理, 環境工学研究論文集, 39, pp. 77-85.
- 9) 原田浩幸, 塩道透(1997), 嫌気性回分処理法を用いた焼酎蒸留廃液処理に及ぼすF/M比の影響, 工業用水, 488, pp. 2-7.
- 10) 木田建次, 西村賢了, 矢北靖子, 森村茂, 園田頼和(1990), 焼酎蒸留廃液の活性汚泥法による好気性処理, 日本醸造協会誌, 85 (5), pp. 345-349.
- 11) 木田建次, 森村茂, 園田頼和, 大部正明, 種村公平(1990),

- 嫌気性流動床法による焼酎蒸留廃液の処理, 日本醸造協会誌, 85 (9), pp. 651-656.
- 12) 米山豊, 古田稔, 三田新, 中村寿実 (1988), UASB 法によるビール工場廃水の処理, 用水と廃水, 30 (12), pp. 28-35.
- 13) 尾崎忠雄 (1999), サントリーの廃棄物等への取り組み / 減量化・再資源化について, 食品工業, 42 (1), pp. 36-41.
- 14) Harada H., Uemura S., Chen A-C., Jayadevan J. (1996), Anaerobic treatment of a recalcitrant distillery wastewater by a thermophilic UASB reactor, *Bioresource Technology*, 55, pp. 215-221.
- 15) Lettinga, G., van der Geest, A. Th., Hobma, S. and V. D. Laan, J. (1979), Anaerobic treatment of methanolic wastes, *Wat. Res.*, 13, pp. 725-737.
- 16) Frankin, R. J. (2001), Full-scale experiences with anaerobic treatment of industrial wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, 44, pp. 1-6.
- 17) Pereboom, J. H. F. and Vereijken, T. L. F. M. (1994) Methanogenic granule development in full scale internal circulation reactors, *Wat. Sci. Tech.*, 30, pp.9-21.
- 18) Pereboom, J. H. F. (1994), Size distribution model for methanogenic granules from full scale UASB and IC reactors, *Wat. Sci. Tech.*, 30, pp.211-221.
- 19) van Lier, J. B., Boersma, F., Debets, M. M. W. H. and Lettinga, G. (1994), High rate thermophilic anaerobic wastewater treatment in compartmentalized upflow reactors, *Wat. Sci. Tech.*, 30, pp. 251-261.
- 20) Wiegant, W. M., Claassen, J. A., and Lettinga, G. (1985), Thermophilic anaerobic digestion of high strength wastewaters, *Biotechnology and Bioengineering*, 27, pp.1374-1381.
- 21) van Lier, J. B. (1996), limitations of thermophilic anaerobic wastewater treatment and the consequences for process design, *Antonie van Leeuwenhoek*, 69, pp.1-14.
- 22) Syutsubo, K., Harada, H. and Ohashi, A. (1998), Granulation and sludge retainment during start-up of a thermophilic UASB reactor, *Wat. Sci. Tech.*, 38, pp.349-357.
- 23) Fang, H. H. P. and Lau, I. W. C. (1996), Startup of thermophilic (55 °C) UASB reactors using different mesophilic seed sludges, *Wat. Sci. Tech.*, 34, pp. 445-452.
- 24) Syutsubo, K., Harada, H., Ohashi, A. and Suzuki, H. (1997), An effective start-up of thermophilic UASB reactor by seeding mesophilically-grown granular sludge, *Wat. Sci. Tech.*, 36, pp. 391-398.
- 25) 山下實 (1997), 焼酎蒸留廃液の処理について－固液分離, 濃縮, 焼却, 凝縮液の生物処理－, 日本醸造協会誌, 92 (8), pp. 563-572.
- 26) 鮫島吉廣 (2003), 焼酎副産物資源化システムの構築, 日本醸造協会誌, 98 (7), pp. 481-490.
- 27) 日本下水道協会 (1997), 下水試験方法 上巻