

バイオエタノール製造工程廃水の生物学的処理に関する研究

長岡技術科学大学 修士 2 年 学籍番号 06330181 平岡大雅

1 はじめに

近年、バイオエタノールは石油の代替燃料や地球温暖化の対策として注目されている。バイオエタノールは植物を原料とした燃料用エタノールであり、再生可能な自然エネルギーであること、燃焼により大気中のCO₂を増やさないうカーボンニュートラルであるといった利点がある。しかしながら、バイオエタノールは製造工程において発酵廃液や蒸留廃液、洗缶廃水（洗浄廃水）といった製造廃棄物が大量（約 8L-洗缶廃水/L-EtOH）に発生するという問題がある。廃液・廃水の特徴として高濃度の有機物や窒素を有していること、メラノイジンやカラメルなどの生物難分解性の色素物質を含み、黒褐色を呈していることがあげられる。この廃液の処理は高濃度の有機物を含むことからメタン発酵処理が用いられてきた。しかし、メタン発酵法は単独では十分な処理水質が得られないといった問題があり、また後段処理として活性汚泥法等を用いて排水基準を満たす処理水質を得ようとした場合、廃水処理コストが嵩むと言った問題があった。昨今のバイオエタノール普及の取り組みにより高濃度の発酵廃液や蒸留廃液については飼料化や肥料化といった道が見いだされてきた。しかし、洗缶廃水については従来と同じく廃水処理が必要となる。これらのことから、バイオエタノールの普及において廃水の低コスト型処理システムの確立は大きな課題といえる。一方、UASB などの嫌気性処理法は活性汚泥法等の好気性処理と比べ曝気電力が要らず、余剰汚泥の発生量が少ないといった利点から、低濃度の廃水処理への適用が研究されている。バイオエタノール製造工程廃水の処理においては高濃度の有機物や窒素の除去と生物難分解性の色素物質の除去が課題となる。本研究室では生物処理と膜処理を組み合わせた処理プロセスに着目した。本研究ではバイオエタノール製造工程廃水の有機物と窒素の除去を行う生物処理システムとして、UASB（Upflow Anaerobic Sludge Bed；上昇流嫌気性汚泥床）、DHS

（Downflow Hanging Sponge；下降流懸架式スポンジ）及び脱窒槽として ASB（Anaerobic Sludge Bed；嫌気性汚泥床）を組み合わせた UASB/UASB/DHS/ASB システムについて、有機物処理性能及び窒素処理性能の把握および洗缶廃水への適用性の検討を行った。

2 基礎実験による研究成果

基礎実験はバイオエタノール製造工程において発生する洗缶廃水を対象とした処理実験を行うに当たり、処理装置として UASB、DHS 及び AFB（Anaerobic Fixed Bed；嫌気性固定床）を作製し、糖蜜や蒸留廃液をベースとした基質を用いて処理特性の把握を行った。基礎実験でわかった処理特性として、1）UASB/DHS/AFB システムは本廃水に対し高い BOD 除去性能を有する。2）本廃水は生物難分解性の色素物質を含むことからこれに由来する COD 及び有機性窒素が残留する。3）UASB では廃水中の糖を利用した微生物による脱色が起るが、DHS においてポリフェノールが酸化されてメラニン様物質が生成される（長野、2000）ため着色を生じる。そのためシステム全体としては殆ど脱色できない。4）着色に伴い pH が上昇するという事が上げられる。これらの結果をもとにラボリアクターを作製し、大学内において模擬廃水を用いて処理実験を行った。

3 実験方法

2-1 実験装置

図-1 は UASB/DHS/ASB システムの概略図を示す。本システムは酸生成槽、pH 調整槽、メタン発酵によるエネルギー回収を目的とした 1st UASB(U1)、残存有機物の除去を目的とした 2nd UASB(U2)、硝化槽の DHS(D1 及び D2) 及び脱窒槽の ASB より構成される。酸生成槽は容積 200L のタンクを用いた。pH 調整槽は 50L のタンクを用いた。pH の制御は 2N の

NaOHを使いpHコントローラにより行った。U1 は有効容積 20.6L , U2 は 17.8L とした。植種汚泥は糖蜜廃液を用いて馴養したグラニューール汚泥を用いた。DHS は D1, D2 共にスポンジ容積 4.7L とした。カラムはφ3.3×3.3cm のポリウレタンスポンジ担体を充填率 45.8%(165 個)で充填した。植種汚泥は長岡中央浄化センターの活性汚泥を用いた。ASB は有効容積 17.8L とした。植種汚泥は糖蜜廃液を用いて馴養した汚泥に中温嫌気性処理のグラニューール汚泥を混ぜて植種した。脱窒のため電子供与体はメタノールを用いた。表-1 は実験条件を示す。実験は 25°Cに設定したプレハブ内で行い U1 のみ 35°Cに加熱した。基質は糖蜜、蒸留廃液、発酵廃液を COD_G 比 1:1.51:1.17 で混合・希釈して模擬洗缶廃水とした。

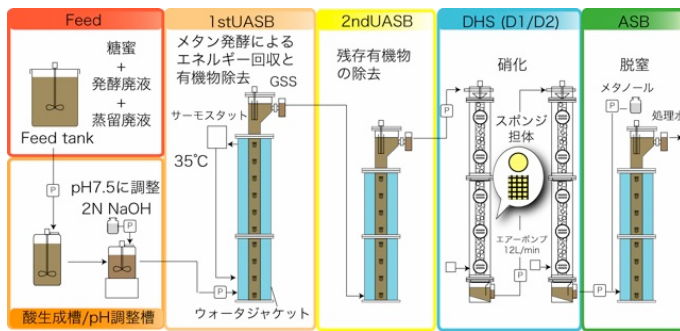


図-1 UASB/DHS/ASB システム概略図

表-1 実験条件

	U1	U2	D1	D2	ASB
温度 (°C)	35.0		25.2±0.7		
供給基質 (-)	糖蜜:蒸留廃液:発酵廃液=COD比1:1.51:1.17				
流量 (L/day)	循環比1:1		24.0±1.8		
有効容積 (L)	20.6	17.8	4.7	4.7	17.8
HRT (h)	20.6	17.8	4.7	4.7	17.8
流入COD _G 濃度 (mg/L)	8240	1550	1350	934	811
COD容積負荷 (kg・m ⁻³ ・day ⁻¹)	9.6	2.1	7.0	4.8	1.1
流入T-N濃度 (mgN/L)	305	254	238	173	145
窒素容積負荷 (kg・m ⁻³ ・day ⁻¹)	0.36	0.34	1.23	0.89	0.20

2-2 測定項目

水質分析は基質、酸生成槽、U1 処理水、U2 処理水、D1 処理水、D2 処理水及び DN 処理水に対して行った。分析項目は有機物量として COD_G 及び C(硝化抑制)-BOD, ガス量, ガス組成の測定を行った。窒素量として TKN, NH₄-N, NO₃-N 及び NO₂-N を測定した。

4 結果及び考察

3-1 有機物処理性能

表-2 は基質及び各処理水の T-COD と T-BOD 濃度及び除去率の平均値(運転開始 13~34 日)を示す。図-2 は流入水及び処理水の T-COD と T-BOD の経日変化を示す。図-3 は運転 16 日目における 1stUASB の S-COD, S-BOD 及び汚泥量として MLVSS のプロファイルを示す。本システムは BOD 除去率 99.3%と非常に高い BOD 除去率が得られた。また最終処理水は一律排水基準を満たす処理水質が得られた。COD_{Cr} 除去性能は 90.1%を有していたが流入に対し 1 割程度の COD の残留が見られた。また、プロファイルから、高さ 80cm まで UASB 内に汚泥が保持されているのに対し、50cm より上では COD が殆ど除去されていない、これらの事から生物難分解性由来の COD が残留していると考えられる。

3-2 窒素処理性能

図-4 は窒素のマスバランスを示す。図-5 は運転 16 日目における DHS の無機性窒素のプロファイルを示す。Org-N は UASB において分解され NH₄-N になった。NH₄-N は DHS において硝化され NO₂-N, NO₃-N に酸化された。DHS は流入水に BOD が 170mg/L 程度含まれていたため流入から port1 までは有機物酸化がおり硝化が抑制された。しかし port2 以降では有機物が除去されたため硝化が良好に進んだ。また、pH が 8.5 以上と高いことから NH₄-N は硝化以外に揮散により減少していると考えられる。ASB において NO₃-N は脱窒反応により除去された。本システムによる T-N 除去率は 81.1%であった。また、処理性能は排水基準 60mg/L を満たす値を得られたが、色素に由来すると考えられる有機性窒素が分解されず残留した。

表-2 濃度及び除去率の平均値

平均濃度(mg/L) (運転開始13-34日)	平均除去率(%)	
	T-COD _{Cr}	T-BOD
UASB流入水	8240	6880
1stUASB処理水	1550	289
2ndUASB処理水	1350	269
DHS処理水	811	33.8
最終処理水	812	47.3

平均濃度(mg/L) (運転開始13-34日)		平均除去率(%)	
T-COD _{Cr}	T-BOD	T-COD _{Cr}	T-BOD
1stUASB	81.2	95.8	
2ndUASB	12.9	6.9	
DHS	39.9	87.4	
T-System	90.1	99.3	

一律排水基準 BOD : 日間平均120mg/L

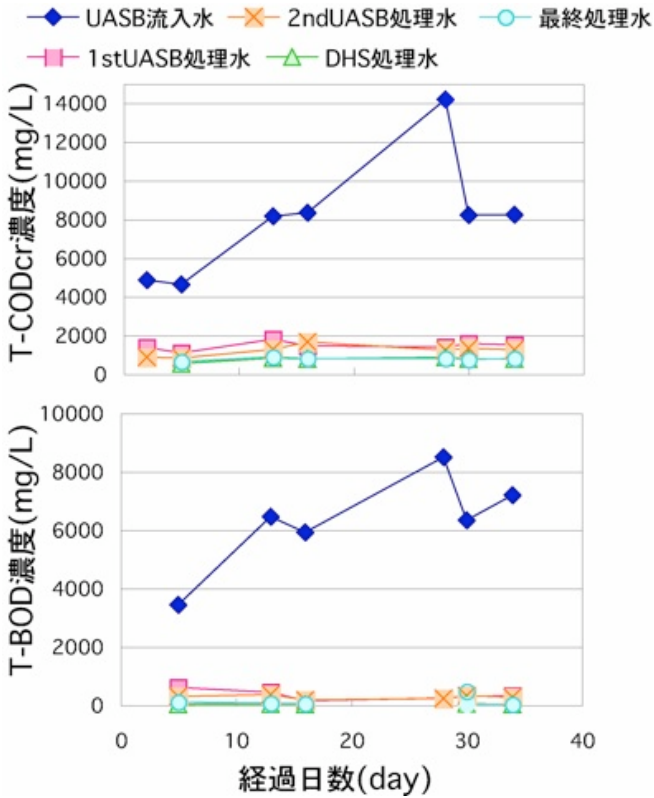


図-2 流入水及び処理水のCOD・BODの経日変化

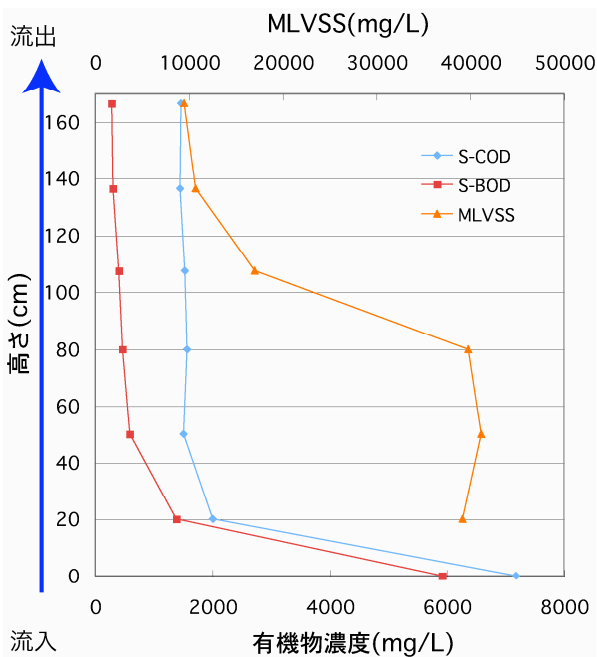


図-3 1stUASBの有機物及び汚泥量プロファイル(運転16日目)

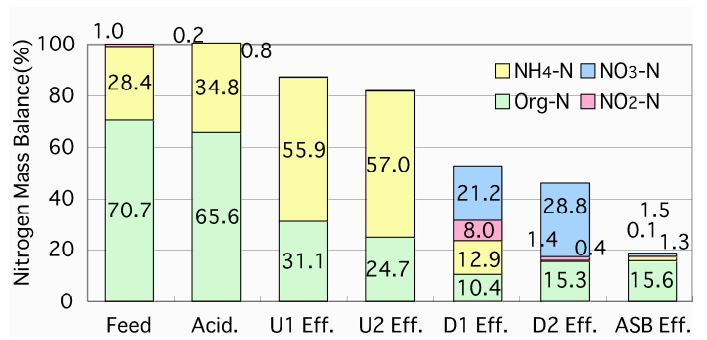


図-4 窒素マスバランス

表-3 基質及び各処理水のT-N濃度(運転13~34日)

	Feed	Acid.	U1 Eff.	U2 Eff.	D1 Eff.	D2 Eff.	ASB Eff.	排水基準
T-N	292	305	254	238	173	145	55	60

(mgN/L)

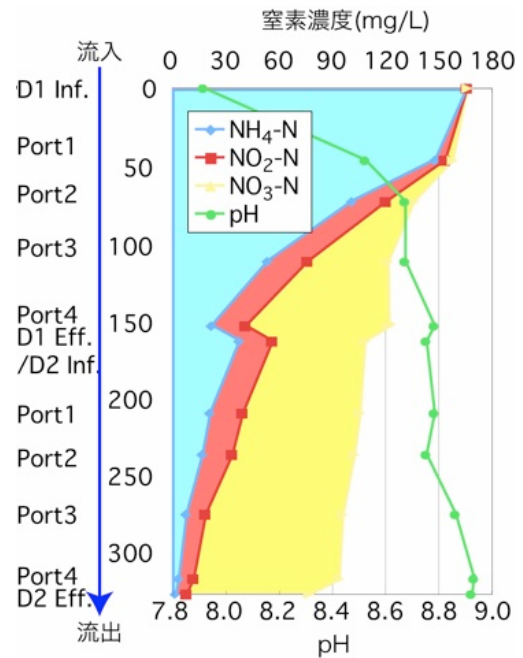


図-5 DHSのIno-Nプロファイル(運転16日目)

5 まとめ

- 1) 本システムは模擬洗缶廃水に対し排水基準を満たす十分なBOD除去性能を有する。
- 2) 本システムは模擬洗缶廃水の窒素を81.1%除去する事ができる。

参考文献

- ・長野晃弘, 糖蜜廃液の脱色処理に関する研究, 長岡技術科学大学博士論文, 2000