

乳牛ふん尿の無希釈・無薬注生物処理の実証研究

東北大学大学院 学生会員 ○宇佐見 心, 正会員 堆 洋平, 李 玉友, 原田 秀樹
(株) ユアテック・技術開発センター 菅野 草平, 守山 寛

1. はじめに

日本全体で発生するバイオマス量は平成18年度で約2億トンであり、その内家畜排せつ物は約8900万トンを含んでいる。その中で乳牛ふん尿は約2600万トンである。家畜排せつ物法の完全施行により、ふん尿の野積み・素掘りが禁止され、家畜排せつ物の適切な処理が義務付けられ、畜産農家は早急な対策が必要となった。

本研究は、乳牛ふん尿の低コスト・省エネルギーの簡易処理システムの開発を目的として、「無希釈メタン発酵」+「無薬注脱水」+「高濃度縦型OD反応槽」というプロセスを構築した。そして牛30頭分の乳牛ふん尿(2トン/日)に対応した実証プラントを建設し、223日間の連続処理による実証試験を行い、プロセスの評価を行った。

2. 実験方法

2.1 実験装置

図-1に本プロセスの処理フローを示す。メタン発酵は有効容量50m³の横型反応槽を用いた(図-2)。攪拌には横型パドル方式を採用し、中温条件で実験を行った。メタン発酵の植種源には、乳牛ふん尿の嫌気性自己分解汚泥を用い、植種源の自己調達による低コスト化を図った。

無薬注脱水は、1mmメッシュのローラープレス式固液分離装置を用いた。

縦型OD反応槽の有効容量は50m³であり、反応槽の下部は地中に埋設させている(図-3)。酸素供給は回転ロータ方式により行った。運転期間中、温度調整は行わなかった。また縦型OD反応槽は沈澱池一体型で沈澱汚泥は槽内へ返送される。

2.2 実験材料

実験材料は、宮城県M牧場内で発生する乳牛ふん尿を用いた。牛から排出されるふんと尿はスクレーパーと一緒に搬出され、スラリー状となってふん尿貯留槽へ移送される。この無処理・無希釈のふん尿は、TS13.6%、TN5g/L以上の固形分・窒素分を多く含有する高濃度有機性廃水種である(表-1)。

2.3 実験条件

乳牛ふん尿は、ふん尿貯留槽からのポンプ移送により2回/dメタン発酵槽へ自動投入した。メタン発酵排液である消化液は、固液分離装置によって脱水ケーキ(固形分)とろ液(液分)に分離される。その希釈したろ液を縦型OD反応槽の流入水とした。希釈ろ液は1回/hで自動投入した。全運転期間を通して、各ユニットでのpH調整等、薬品添加は一切行わなかった。

2.4 メタン生成活性試験

再スタートアップ後の活性挙動を把握するためメタン

生成活性試験を行った。試験基質は酢酸、H₂/CO₂、乳牛ふん尿(3mmメッシュ通過後)を基質とし、115、142、158、217日目のメタン発酵槽保持汚泥を使用し試験を行った。使用バイアル容量は122mLで液相体積は50mL、ガス相体積は72mLとした。各基質2本ずつ行い、35℃、100rpmで振とう培養を行った。経時的にメタンガス生成量を測定し、Monod式より活性値を評価した。

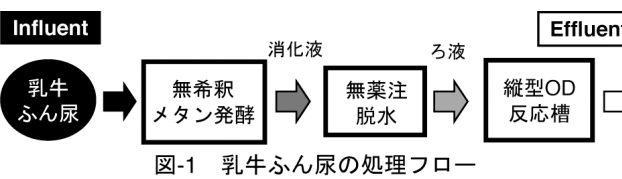


図-1 乳牛ふん尿の処理フロー

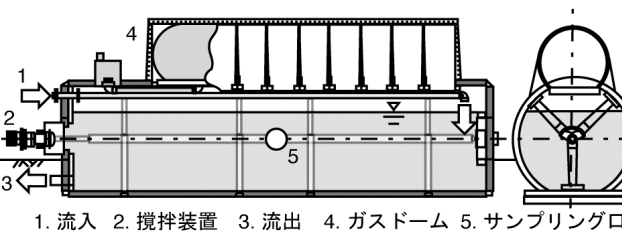


図-2 横型メタン発酵槽の概略図

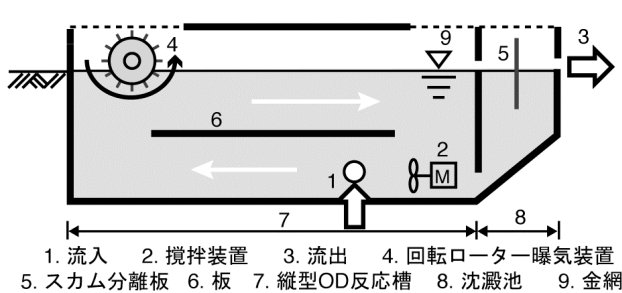


図-3 縦型OD反応槽の概略図

表-1 乳牛ふん尿(メタン発酵槽供給基質)の組成

Parameter	Unit	Average	SD
pH	-	7.70	0.10
Alkalinity (pH=4.8)	mgCaCO ₃ /L	6650	534
COD _{Cr}	total	mgCOD/L	162000
	soluble	mgCOD/L	29500
	solid	mgCOD/L	137000
Protein	mgCOD/L	43300	4840
Carbohydrate	mgCOD/L	49600	14800
Lipid	mgCOD/L	32800	4840
TS	%	13.6	0.98
VS	%	11.6	0.93
SS	mg/L	126000	13000
VSS	mg/L	109000	10900
VFA	total	mgCOD/L	7110
	C ₂	mgCOD/L	4420
	C ₃	mgCOD/L	1400
	C ₄	mgCOD/L	870
	C ₅	mgCOD/L	170
TN	mg/L	5350	508
NH ₄ ⁺	mg/L	1480	158

SD : standard deviation

キーワード:乳牛ふん尿, メタン発酵, 無薬注脱水, 縦型OD反応槽

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科 環境保全工学研究室 Tel.:022-795-3584

3. 実験結果および考察

3.1 連続運転結果

表-2 に各ユニットの定常状態時の運転条件と処理結果を示した。メタン発酵槽の pH はメタン生成古細菌に最適な範囲であった。有機物負荷 $7.2 \text{ kgCOD/m}^3/\text{d}$ において、COD, TS 除去率はそれぞれ 42.5%, 31.4%であった。

無薬注で行った固液分離装置では、COD, VS および SS の除去率はそれぞれ 44.5%, 47.6%および 48.9%であった。これは消化液に含まれる、飼料由来の未分解粗大繊維が除去された事に起因すると考えられる。

縦型 OD 反応槽では、BOD, 総窒素 (TN) および SS の除去率はそれぞれ 93.8%, 87.7%および 97.0%であった。そして無加温ながら、外気温の低下に伴う反応槽の顕著な温度低下は見られなかった (図-4)。これは反応槽下部を地中に埋設したことによる保温効果と、MLSS を高濃度 ($11,000 \text{ mg/L}$ 以上) に保持したことによる、微生物代謝の活性化に伴う発熱量の増大が考えられる。

本研究では良好な窒素除去が行えたが、脱窒反応に最適な $\text{BOD}_5:\text{N}$ は $2.5:1$ と言われているが、本基質 (ろ液) は $0.75:1$ であり条件に当てはまらない。そこでろ液の UOD (究極酸素要求量) を測定した。UOD の結果を図-5 に示す。結果から、 BOD_5 ($4,900 \text{ mg/L}$) では、UOD ($11,500 \text{ mg/L}$) の約 40%しか評価できないことが分かった。UOD : N は $2 - 2.65:1$ となり脱窒反応に十分な基質であると判断できた。さらに UOD/COD が 0.18 と低く、消化液のろ液は難分解性および遅分解性有機物で構成されていた。

表-3 に定常状態におけるプロセス全体での乳牛ふん尿の処理性能を示した。全ての項目において 96%以上を除去することが出来た。

以上、本プロセスは高濃度有機性廃水種である乳牛ふん尿に対して有効な処理プロセスであると実証できた。

3.2 メタン生成活性値

メタン発酵槽の再スタートアップ後、負荷の増大に伴い活性は徐々に回復し、約 4 週間で最大活性値の約 50% に達した (図-6)。酢酸および H_2/CO_2 の活性値は最大でそれぞれ 0.47 , $0.12 \text{ kgCOD/kgVSS/d}$ であり、酢酸基質の活性が高い傾向にある。また乳牛ふん尿を基質とした活性値は、最大で $0.15 \text{ kgCOD/kgVSS/d}$ となり、許容最大容積負荷は $6.5 \text{ kgCOD/m}^3/\text{d}$ と算出できた。

4. 結論

パイロットスケールの「無希釈メタン発酵」+「無薬注脱水」+「高濃度縦型 OD 反応槽」プロセスによって、無希釈乳牛ふん尿の高効率処理が可能であった。各ユニット毎の処理性能は以下の通りである。

- ・メタン発酵では、有機物負荷 $7.2 \text{ kgCOD/m}^3/\text{d}$ での定常運転が可能であった。
- ・消化液の無薬注脱水における COD, VS および SS の除去率はそれぞれ 44.5%, 47.6%, 48.9%であった。
- ・縦型 OD 反応槽における BOD, TN および SS の除去率はそれぞれ 93.8%, 87.7%, 97.0%であった。

表-2 定常状態における各ユニットの運転条件と処理結果

Parameter	Methane fermentation unit	Dewatering unit	Oxidation Ditch unit
Operational condition			
HRT (day)	25	Digested sludge was filtrated with a roller press with 1mm mesh	16.7
Temperature (°C)	36 ± 0.6		28 ± 3.7
pH	7.8 ± 0.1		7.9 ± 0.1
COD loading (kgCOD/m ³ /day)	7.2 ± 0.5		1.0 ± 0.3
BOD loading (kgBOD/m ³ /day)	-		0.091 ± 0.022
TN loading (kgN/m ³ /day)	-		0.081 ± 0.017
Removal efficiency(%)			
COD _{Cr}	42.5 ± 4.9	44.5 ± 5.1	85.6 ± 1.1
BOD ₅	-	-	93.8 ± 1.5
TS	31.4 ± 3.1	38.8 ± 2.9	68.7 ± 3.7
VS	37.7 ± 2.9	47.6 ± 2.8	83.9 ± 1.7
SS	35.6 ± 8.5	48.9 ± 4.1	97.0 ± 0.5
VSS	40.6 ± 7.0	57.3 ± 3.6	97.6 ± 0.6
TN	3.6 ± 4.1	7.7 ± 2.1	87.7 ± 5.0

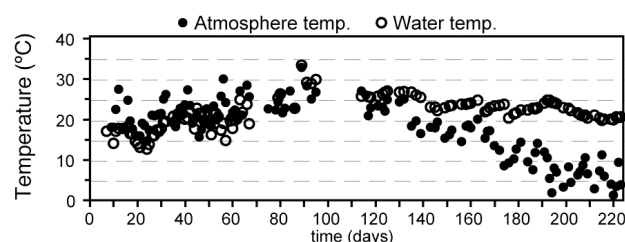


図-4 外気温とOD反応槽水温の経日変化

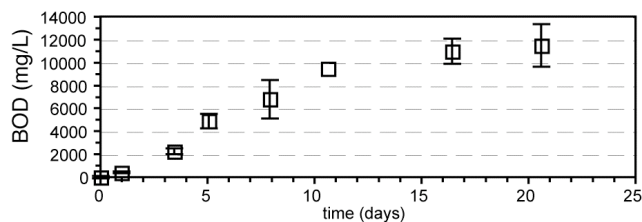


図-5 ろ液のUOD(ultimate oxygen demand)

表-3 プロセス全体での乳牛ふん尿の処理能力

Parameter	Influent Cattle manure	Effluent from OD unit	Removal efficiency(%)
COD_{Cr} (mg/L)	162000 ± 33600	2390 ± 496	98.5
TS (%)	13.6 ± 0.98	0.50 ± 0.08	96.3
VS (%)	11.6 ± 0.93	0.17 ± 0.05	98.5
SS (mg/L)	126000 ± 13000	283 ± 104	99.8
VSS (mg/L)	109000 ± 10900	181 ± 51.3	99.8
TN (mg/L)	5350 ± 508	174 ± 73.4	96.7

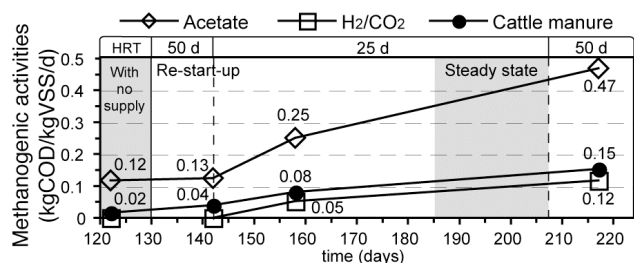


図-6 メタン生成活性値

参考文献

- ・安田大介, 小林拓郎, 李玉友, 原田秀樹, 岡庭良安 乳牛ふん尿の嫌気性自己分解によるメタン発酵スタートアップ方法およびその過程における微生物群集構造の変化, 廃棄物学会論文誌, Vol.19, No.6, 2008, pp 373-381