

(22) 高温・好気法による豚ふん尿の完全処理

Complete Decomposition of Swine Wastes by Thermophilic Oxidic Process

劉 宝鋼*, 蔡 惠良*, 森 忠洋*

Liu Bao Gang*, Huiliang Cai*, Tadahiro Mori*

ABSTRACT; A swine waste which included both urine and feces mixed with waste food oil was treated by Thermophilic Oxidic Process. The optimum mixing ratio of waste to the oil was investigated. When the ratio was 10 : 1 (v/w), no oil was accumulated in the medium. It was shown that 70 % of calorie was produced from oil and 30 % came from organic matter in swine waste. The long period continuous running test showed that when the BOD load was $12.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ and aeration rate was $200 \text{ l} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$ organic carbon was decomposed and no drain water obtained. Also, a minute amount of excess sludge was formed during this period.

KEYWORDS; Swine wastes, Thermophilic oxidic process, Evaporation of water.

1. はじめに

近年、食肉の消費量が高まり、飼育される家畜の頭数が急増した¹⁾。家畜ふん尿は水分が多く、BODやアンモニアの濃度が高いため、通常の方法、すなわち、ふんと尿を別々に処理する方法では、うまく処理できない。したがって、余剰汚泥を処理したり、悪臭問題が発生したり、深刻な水質汚濁を引き起こしている。

これまでの豚ふん尿処理はふんと尿を分離して処理をしていた。本研究では豚ふん尿を分離せずに、高濃度有機排水処理に有効な高温・好気処理^{2, 3, 4)}を適用して、処理を行うことにした。

本研究の目的は、豚舎のふん尿を高温・好気処理法で処理するための操作条件の確立にあるが、特に“完全処理”を指向した。完全処理とはは全有機炭化物の無機化と、発生熱による全排水の蒸発と定義する。

2. 材料および方法

(1) 装置及び運転条件

実験に用いたプロセスを図1に示す。反応器は内径30cmのポリエチレン製容器(体積20l)である。この反応器は保温のため厚さ20cmの発泡スチレン製の箱に入れた。容器の底には多孔性の鉄製の盤を敷き、その上に担体を10l充填した。多孔質である杉細片を1~5mm程度の粒状にした物75%(v)と粒径は約2~5mmである島根県産の天然ゼオライト25%(v)を担体として用いた。この担体はコンポストに添加剤として使用する木質粒径よりも大きく、且つ、担体とふん尿の混合比を約10:1(v:w)にすることで、通気性を改良し完全酸化しやすい条件にした。空気のヒーターは反応器の底盤の中心に設置した。通気量はフローメーターで制御した。担体の重量を測定するために、反応器を重量計の上に載せた。熱電対を担体の中心部に設置した。豚ふん尿と廃油を反応器の上部から入れ、手で十分に担体と混合した。試料は

*島根大学農学部環境生物工学研究室 (Laboratory of Environmental Biotechnology, Shimane University)

2日1回設定したBOD容量負荷のなるように添加した。BOD容量負荷はふん尿と廃油とを合計した値である。Run1では廃油を熱発生源として用いた。廃油添加効果を評価するために、80℃温風を用いたRun2を設けた。Run1とRun2の運転条件を表1に示す。

Run1でBOD負荷と通気量との相関を調べるために、表2に示すBOD負荷と通気量の組合わせを用いた。豚ふん尿の添加量を変化させることによりBOD容量負荷量を変化させ、それに対応して通気量を変化させる。各BOD負荷と通気量の条件下での温度上昇と担体の重量変化を比較し、適するBOD負荷と通気量の組合わせを求める。

Table 1 Operational Conditions

	Run 1	Run 2
Amounts of Added Oil(g/2d)	100	0
BOD Load(kg・m ⁻³ ・d ⁻¹)	11.7-12.7	1.5-1.8
Added Water Load(kg・m ⁻³ ・d ⁻¹)	30-80	50-60
Aeration Rate(l・m ⁻³ ・min ⁻¹)	150-300	800
Temperature of Air(℃)	Room Temp.	80

Table 2 Aeration Rates and BOD Loads

Aeration rate (l・m ⁻³ ・d ⁻¹)	150		200		300	
	Swine Water and (Oil)	BOD Load	Swine Water and (Oil)	BOD Load	Swine Wate and (Oil)	BOD Load
	470(100)	11.7	730(100)	12.1	1000(100)	12.5
	730(100)	12.1	1000(100)	12.5	1130(100)	12.7
	1000(100)	12.5	1130(100)	12.7	1500(150)	18.8

Note:1. Unit of BOD load: kg・m⁻³・d⁻¹; 2.Unit of Swine water and oil: g.

(2) 分析方法：

BOD、TOC、SS、担体のn-ヘキサン抽出物、担体の電導率、二酸化炭素の発生量及びふん尿と廃油の熱発生量を測定した。BOD、TOCの測定は、50gのサンプルをホモジナイザーと超音波処理で均一化してから分析に供した³⁾。BODはJIS-0102に規定される方法により測定されている。TOCは全有機炭

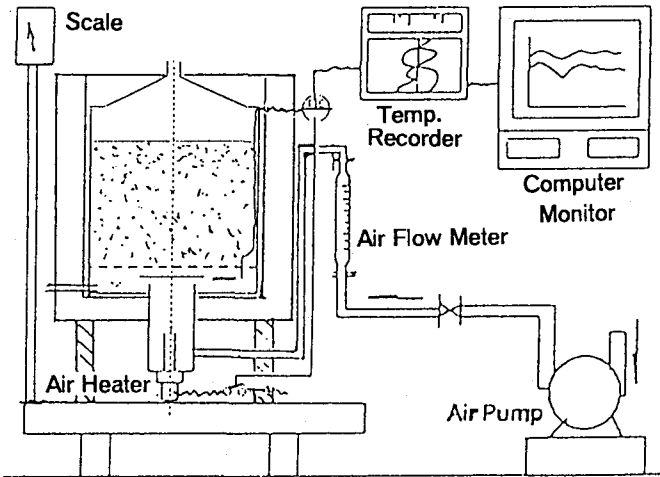


Fig. 1 The Flowchart of Thermophilic Oxidic Process

素計（株）島津製作所製、TOC-5000）を用いた。n-ヘキサン抽出物は、下水試験方法（1984年版）で規定される方法により測定されている。担体の電導率の測定は0.5gの乾燥サンプルを粉末状にし、100gの蒸留水に溶解させてからS-C-T meter (YSI, Model 33, U. S. A) で測定した³⁾。排気中の二酸化炭素の測定はガスクロマトグラフ（株）島津製作所製、GC-14A）で分析した²⁾。ふん尿と廃油の熱発生量の測定はcalorimeter（株）吉田製作所製）を用いた³⁾。

3. 結果及び考察

(1) 豚ふん尿および廃油の性質

実験に用いた豚ふん尿の水質および廃油の性質を表3に示す。豚ふん尿のBODは30,000mg/l程度、TOCは13,000mg/l程度、SSは34,000mg/l程度であった。これらの値からわかるように豚ふん尿は高濃度の有機物を含んでいる。廃油のBODは2,200,000mg/kg程度、TOCは660,000mg/kg程度であった。

Table 3. The Quality of Wastes

Items	Concentration	
	Swine(mg/l)	Waste food oil(mg/kg)
BOD	30,000	2,200,000
COD	20,100	
TOC	13,200	660,000
SS	34,000	
TS	39,000	
VS	32,500	

(2) 最適廃油投入量

豚ふん尿に含まれる有機物BODが30,000mg/lで、これが分解される際に発生する熱のみにより投入した豚ふん尿の水分を完全に蒸発されることは不可能であるが³⁾、高濃度の有機物含む植物廃油をふん尿に添加することより、完全に蒸発されることを調べた。三台の反応器を用いて、豚ふん尿と廃油の混合比（v/w）をそれぞれ10：1（廃油添加量100g、BOD負荷12、5kg・m⁻³・d⁻¹）、10：2（廃油添加量200g、BOD負荷23、5kg・m⁻³・d⁻¹）、10：3（廃油添加量300g、BOD負荷34、5kg・m⁻³・d⁻¹）としたときの温度及び担体中の油の蓄積量を検討した。混合比が10：2、10：3の場合、温度は2日間55℃を維持したままで低下しないので、二日間有機物が完全分解できずに残存していることがわかる。混合比10：1の場合、温度は2日間で45℃から55℃までに上昇した後、徐々に45℃まで減少した（図2-1）。これは2日間で投入した廃油100gが分解したと考えられる。ところで、10：1の混合比で2日に

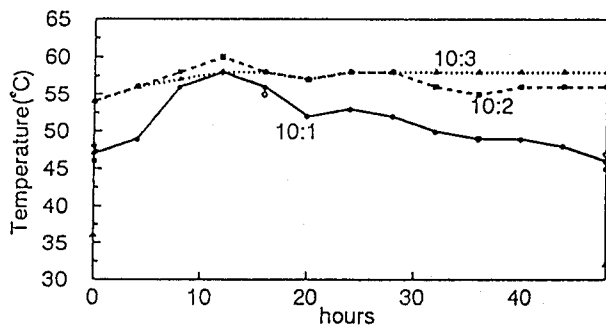


Fig.2-1 The Addition of Oil and Temperature Increase
(Aeration rate: 200 l·m⁻³·min⁻¹ ; The wastes were added every other days)

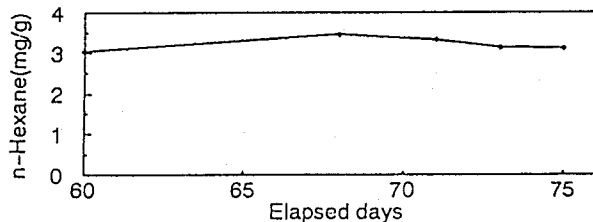


Fig.2-2 Concentration of Oil in Cedar chips
at a ratio of Swine waste(10) to Waste oil(1)
(The quantity of oil added was 100 g·2d⁻¹)

1 回廃油を連続投入し、担体中のノルマルヘキサン抽出物質を調べた結果を図2-2に示す。15日間検討した結果、変化が見られなかったことから担体中に油が蓄積していないことが証明された。

廃油添加効果を比べるために、廃油を添加したRun1と80℃温風を用いたRun2の水と熱収支を求めた。表4に示すようにRun1とRun2に投入したふん尿中の水分は1.0kgですべての水は蒸発した。Run1には、ふん尿と廃油の添加比10:1、水量投入負荷（単位容量の担体に毎日に投入する水量である）は55kg・m⁻³・d⁻¹では廃油の添加量は100gであった。廃油の発熱量は900kcalで、ふん尿中の有機物の発熱量は370kcalであった。反応器の壁からの熱損失は470kcalであった³⁾。約70%の熱は廃油を分解する際に得られた。この結果から、廃油の添加を用いて、投入した水を完全に蒸発されることができた。高温・好気処理法では、好気状態を維持するために担体中の含水率を70%以下に維持することが重要である³⁾。一方、ふん尿中には多量のSSがふくまれているため担体からの排水が困難で

Table 4. Water and Thermal Balance

	Water			Thermal						
	Added (kg)	Evapo. (kg)	Drain (kg)	Input (kcal)			Output (kcal)			
				Oil	Swine	Total	Lost	Temp. increase	Evapo.	Total
Run 1	1.1	1.1	0.0	900	370	1270	470	36	660	1166
Run 2	1.0	1.0	0.0	470	370	840	350	30	600	980

Note: Aeration rate 200 l・m⁻³・min⁻¹

ある。したがって、投入した水を蒸発させないと、嫌気状態になり、効率的な処理ができない。Run1で、廃油をふん尿に添加することは、Run2でヒーターによる80℃温風（通気量800l・m⁻³・min⁻¹）を用いることと同じ効果が得られた。すなわち、Run1のランニングコストが大幅に安いと言える。

(3) BOD負荷及び通気量

表2に示したBOD負荷と通気量の条件を用いて、反応器中の温度上昇及び担体の重量変化率を調べた結果を図3に示す。まず、通気量を150 l・m⁻³・min⁻¹に設定して、混合物の重量変化率と温度変化を求めた。BOD負荷が12.1 kg・m⁻³・d⁻¹の場合、2サイクル（四日間）に重量は変化せず、温度は56℃で維持できることから、この負荷量が通気量150 l・m⁻³・min⁻¹での適するBOD負荷であると考えられる。次に、通気量を200 l・m⁻³・min⁻¹にした場合、適するBOD負荷は12.5 kg・m⁻³・d⁻¹であった。通気量を300 l・m⁻³・min⁻¹にすると、温度は低下した。これらの結果から、運転条件としてはBOD負荷は12.5 kg・m⁻³・d⁻¹、通気量は200 l・m⁻³・min

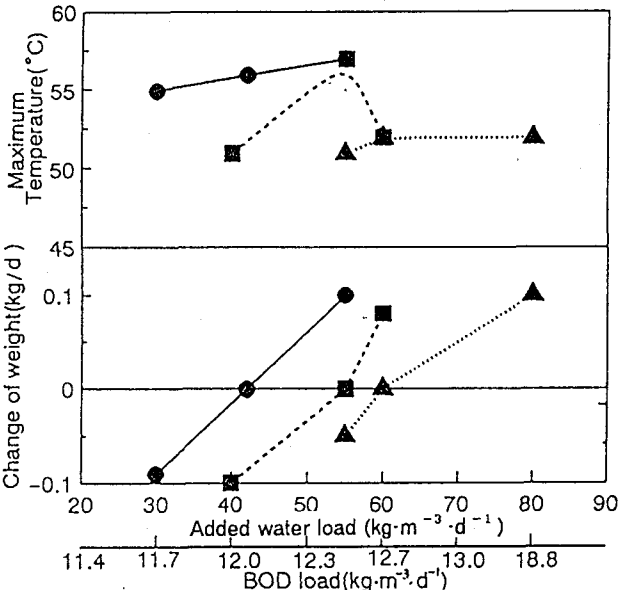


Fig.3 Effect of added water load and aeration rate on temperature and change rate of weight increasing at the aeration rate of 150(●), 200(■) and 300(▲) l・m⁻³・min⁻¹. Cedar chips were used as medium and oil was added.

$^{-1}$ が適していると考えられる。

温風を用いた場合は、適するBOD負荷は $1.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 、通気量は $800 \text{ (80}^\circ\text{C) } 1 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$ であることがわかった。

(4) 長期運転結果

Run 1に豚ふん尿に廃油を投入して、水量投入負荷を 30 から $80 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ までに变化させ、同時に通気量は 100 から $300 1 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$ まで变化させ、約 120 日間温度、含水率及び混合物の重量变化を検討した(図4)。それぞれの通気量とBOD負荷の条件での温度上昇を図3に示しているが、実験の初めから終わりまで(第 80 日目から 112 日目までは投入が止まって通気のままで運転した)を見ると、含水率は 55% から 66% の範囲にあり、反応器中の温度はいずれも 50°C 以上になったことから、有機物は活発に分解したことがわかった。また、 120 日間における混合物の重量はほぼ一定であった。炭素収支により、投入した炭素の約 $94 \pm 1\%$ ($n=3$)の量は排気中の二酸化炭素として検出された。これは、投入したふん尿は完全に分解したことを示す。すなわち、余剰汚泥は発生しなかったことを明らかにした。排水はいずれも排出されないことから投入した水は微生物反応熱により 100% 蒸発された。一方、 100% の水蒸発率に伴い、無機塩は担体に蓄積された。図4に示すように電導率が $240 \mu\text{MHOS}$ まで上がっても、高温発酵に対して影響は出てないことがわかった。

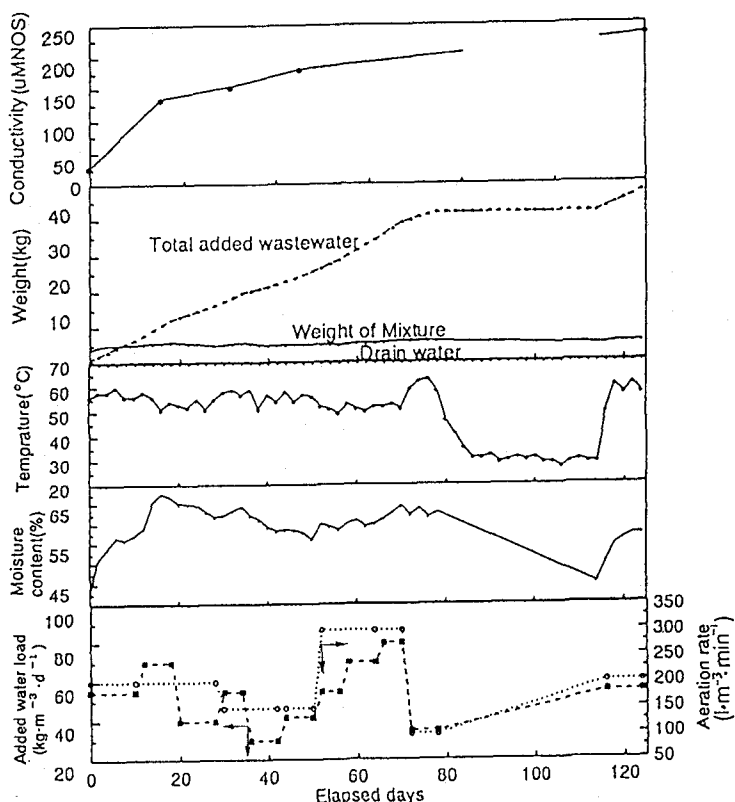


Fig.4 Changes in Temperature, Moisture Content and Weight of Mixture
(Cedar chips were used as a medium and waste food oil was added as energy source.)

4. まとめ

以上の実験結果からまとめると以下のことがわかった。

(1) 廃油を添加する場合は、水量負荷 $55 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ (BOD負荷 $12.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)、通気量 $200 1 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$ の条件下、豚ふん尿の完全処理ができた。温風を用いた場合は水理学的負荷 $55 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ (BOD負荷 $1.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)、通気量を $800 1 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$ (80°C の温風)で豚ふん尿の完全処理ができた。

(2) 余剰汚泥が発生しない。

参考文献

- 1) 羽賀清典, 長田隆, 原田靖生: 豚舎排水の実態調査と窒素・リン対策, 環境情報科学, 18巻1号, p57-64, (1989)
- 2) Liu Bao Gang, Shuji Noda and Tadahiro Mori "Complete Decomposition of Organic Matter in High BOD Wastewater by Thermophilic Oxidic Process". Proc. of Environmental Engineering research, Vol. 29, 1992 p. 77-84
- 3) Liu Bao Gang and Tadahiro Mori "Complete Treatment of Shochu Processed Wastewater by Thermophilic Oxidic Process". Proc. of Environmental Engineering research, Vol. 30, 1993 p. 165-174
- 4) 森忠洋, 劉宝鋼, 趙敬淑: 高温・好気法による高濃度有機廃水処理--有機物の完全酸化と蒸発-- 化学工業, Vol44, P. 52-58 (1993)