

1 新技術情報  
その2

## 簡易ばっ気式家畜ふん尿処理システム

静岡県畜産試験場 遠藤 悟・芹澤駿治・藤井信吾・大庭芳和

### はじめに

平成10年度に静岡市の酪農家に導入された家畜尿の自然浄化処理法は簡易ばっ気処理法のひとつに位置づけられ、その後、県内各地に設置され比較的安価な污水处理システムとして普及している。

本装置は、土壤菌群の生育環境を整えるためのバイオリアクター（土壤ペレット、セラミックが封入され、散気装置からの通気で大量の酸素を水に溶かし込む装置）、土壤ペレット（菌群の誘導剤として用いる）、自然石（花崗岩、溶岩等のミネラルで水質浄化を促す）から構成されるものである。

平成16年度までに本県では60戸に導入されているが、当场でも県内事例を調査（芹澤ら2002）したところ、土壤微生物による浄化処理法である本システムは、処理効果の発現に大きなバラツキがあった。設置した農家は悪臭の低減効果に満足していたが、浄化処理能力等の指標はなかった。そこで、簡易低コスト家畜排せつ物処理施設開発普及促進事業により、当场に実証施設を設置し、検証と効果的な利用方法を検討した。

検討した項目は、1. 実証規模での浄化能力、2. 石と微生物資材の効果、3. 処理液による脱臭効果、4. 本処理システムでの脱窒法である。

### 材料及び方法

#### 1. 実証規模における家畜尿の浄化処理能力調査

実証規模での浄化処理能力の調査は図1のような5tタンク6基を並べた実証施設で行った。タンクは醤油醸造工場の中古ホーロー製であり、1～6槽のタンク内に自然石（花崗岩、安山岩）を吊り下げ、1槽にはバイオリアクターを設置した。すべてのタンクで曝気し、曝気量は1～3槽を100L/min、4～6槽を60L/minに調整した。

実証施設は2003年3月に完成し、スラリーを水中ポンプにより毎日250～400L（休日は除く）を投入したが、各槽が満水になったのが6月上旬であった。（写真1）

6月中旬から毎日500Lを一度に投入したが、発泡が起こったので、8月から電気タイマーにより500Lを毎日3～4回に分けて投入したところ、泡の発生は少なくなった。

調査項目は、各槽の処理液を毎月1回、pH、電気伝導率（EC）、酸化還元電位（ORP）、亜硝酸態窒素（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）、硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）、アンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）を測定し、6月、9月、12月、3月にはBOD、COD、透視度（Tp）を測定した。大腸菌数は11月に調査した。

1月になり気温の低下とともに浄化処理能力の低下が見られたため、ハウス内温度の上昇を目的として、実証施設を鉄波板から透明度の高いアクリル製波板に屋根を取替え、施設全体をハウス用ビニールで密閉式ビニールハウスとして囲った。

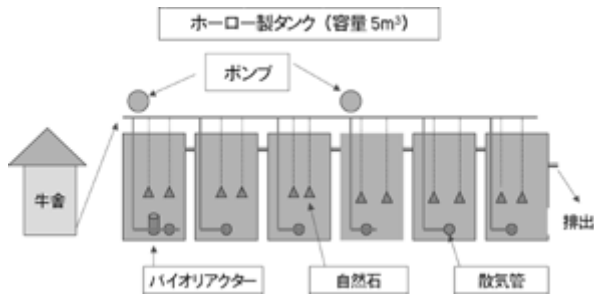


図1 簡易曝気家畜ふん尿処理実験施設



写真1 施設の全景

## 2. 微生物資材及び岩石の添加効果

試験期間は平成14年11月15日から平成15年1月10日までの60日間を試験期間(システムに投入後6槽から流出するまでの理論値)とした。区の構成は5Lのガラスビン9基に畜産試験場で固液分離したスラリーを投入し、熱帯魚用エアープンプとエアーストーンで24時間連続曝気(曝気量は0.75L/min)し、汚水成分としてBODの変化を確認した。区の構成は次のとおりとした。

区	添加微生物資材	岩石等の添加	曝気
1	市販微生物資材150g	花崗岩100g	○
2	市販微生物資材150g	粉碎木炭30g	○
3	市販微生物資材150g	なし	○
4	完熟堆肥300g	花崗岩100g	○
5	完熟堆肥300g	粉碎木炭30g	○
6	完熟堆肥300g	なし	○
7	無し	花崗岩100g	○
8	無し	粉碎木炭30g	○
9	無し	なし	○

統計処理は、繰り返しのない二元配置の分散分析で行ない、微生物資材の添加効果と岩石等の添加効果について確認した。

調査項目はpH、EC、NO<sub>3</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N、BODとした。

## 3. 脱臭効果の検討

スラリータンクに対する処理液還元による臭気低減効果

設置した実証システムから発生する500L/日の処理液のうち、全量500Lを当場のスラリータンク(300t×2)の一方の東側タンクへ7月から毎日還元した。11月末に処理液を500gバットにとり、無添加の西側タンクのスラリー液を対照として臭気調査を実施した。(放置期間3日間)

## 4. 簡易曝気処理における脱窒試験

### 4.1 実験室規模での水素供与体の比較試験

試験期間は11月11日から11月18日の一週間とし、ガラス瓶に硝化が終了した処理液5Lを入れて静置し、水素供与体としてアルコール5ml、牛乳36g及び生ふん29g(有機炭素源としてほぼ同量=炭素源として2.1g相当量)を添加し脱窒効果について検討した。各区はそれぞれ3反復で行なった。調査項目はpH、EC、ORP、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、NH<sub>4</sub>-Nとした。

### 4.2 実証規模での脱窒試験

試験期間は10月20日から10月30日の10日間とし、実証施設の硝化の終了した第6槽目を曝気せず嫌気状態とし、水素供与体としてアルコール5L(0.1%添加)を投入し脱窒効果を確認した。試

験期間中は5槽から6槽のバルブを閉じ、処理液の流入がないようにした。調査項目は4.1と同様であった。

## 結果

### 1. 家畜尿の浄化処理能力調査

BOD,CODの季節ごとの浄化能力を表1に示した。

BOD,CODの浄化能力は、季節変動が大きく高濃度のスラリーでは十分な浄化ができなかった。BOD容積負荷は気温が確保できる条件という前提で0.1~0.2kg/m<sup>3</sup>程度(平成16年5月のBOD容積負荷が0.106 kg/m<sup>3</sup>)と考えられる。

大腸菌数は図2に示したが、1槽で激減し4槽以降ではゼロとなった。

曝気を続けることで硝化が進み、ふん尿中のNH<sub>4</sub>-NはNO<sub>3</sub>-Nに変化することはよく知られているが、代表的な硝化反応として平成15年8月の例を図3に示した。

4槽で硝化反応が起こり、NH<sub>4</sub>-Nが減少しNO<sub>3</sub>-Nが増加した。しかし、12月には気温が低下し、タンク内水温も5℃以下となり硝化反応が起こらなかった。このため、施設を鉄波板を透明度の高いアクリル製の波板に取替え、密閉式ビニールハウスとして囲った結果、気温が上昇しタンクの水温も10℃前後と上がり、本機能の回復が認められた。(写真2)



写真2 屋根の取替えとビニールで囲う

表1 BODとCODの季節ごとの浄化能力(平成15年6月から平成16年5月)

(mg/L)

	6月		9月		12月		3月		5月	
	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD
貯留槽	4,460	6,310	18,300	12,800	4,930	11,500	1,420	5,920	6,380	4,688
1槽	937	2,240	9,490	5,640	1,880	4,840	972	6,220	2,210	4,435
2槽	420	1,530	2,830	3,160	1,410	3,730	806	5,240	1,560	3,608
3槽	120	690	2,100	2,740	1,100	3,760	876	3,880	1,560	3,076
4槽	47	390	1,010	1,090	1,560	4,030	717	3,750	1,180	2,158
5槽	21	260	2,220	1,700	1,210	3,930	695	3,500	970	1,716
6槽	18	200	991	1,280	964	3,460	691	3,239	750	1,331

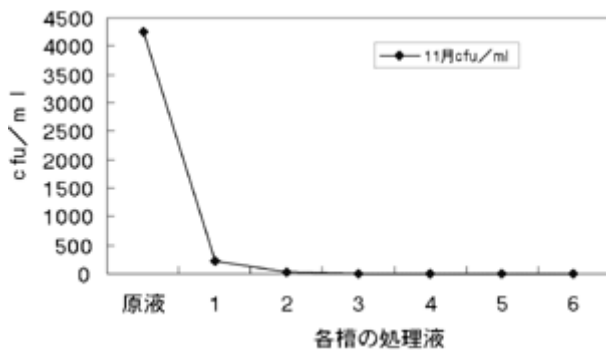


図2 各槽の大腸菌群数

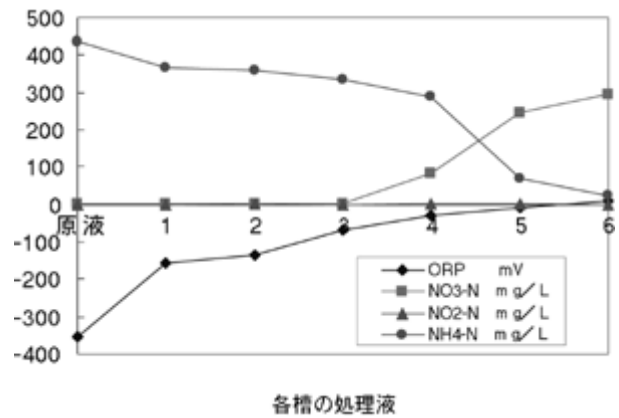


図3 各槽の窒素成分変化(平成15年8月)

## 2. 微生物資材及び岩石の添加効果

BODの浄化効果は、微生物資材の添加及び石の添加とも処理間に有意な差は認められなかった。(表2)

窒素成分のNH<sub>4</sub>-Nへの移行は、市販微生物資材を添加した区で早まる傾向が認められたが、石の添加については差が認められなかった。(表3)

硝化細菌によるNO<sub>3</sub>-Nへの硝化は、一週間目に微生物資材添加区で高くなったがその後有意な差は認められなかった。石の添加については差が認められなかった。(表4)

表2 簡易曝気におけるBODの浄化効果

(mg/L)

要因	微生物の添加効果			石の添加効果		
	微生物資材区	畜試堆肥区	無添加区	花崗岩区	木炭区	無添加区
11月15日	5600	5600	5600	5600	5600	5600
11月22日	2733±1119	2740±320	2760±231	2150±437	3230±376	2853±81
12月06日	1856±709	2150±306	1733±546	1867±536	2027±217	1847±579
12月20日	511±79	1015±254	1130±628	791±259	843±276	1022±594
1月10日	477±223	593±228	704±302	542±216	646±175	586±267

(P<0.05)

表3 簡易曝気によるNH<sub>4</sub>-Nの変化

(mg/L)

要因	微生物の添加効果			石の添加効果		
	微生物資材区	畜試堆肥区	無添加区	花崗岩区	木炭区	無添加区
11月15日	138	138	138	138	138	138
11月22日	133±18a	106±6	88±3b	108±22	117±25	101±12
12月06日	324±16	281±22	299±22	304±38	293±17	307±18
12月20日	263±13A	185±13B	161±8B	205±31	209±49	196±52
1月10日	245±19	219±74	188±52	236±75	194±52	222±32

異符号間に有意差 (A:B P<0.01, a:b P<0.05)

表4 簡易曝気によるNO<sub>3</sub>-Nの変化

(mg/L)

要因 日付	微生物の添加効果			石の添加効果		
	微生物資材区	畜試堆肥区	無添加区	花崗岩区	木炭区	無添加区
11月15日	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
11月22日	3.9±0.5A	2.0±0.2B	1.9±0.1B	2.8±0.9	2.6±1.2	2.3±0.7
12月06日	5.7±0.4	4.4±0.7	4.8±0.9	4.7±1.0	4.7±0.8	5.6±0.4
12月20日	6.2±0.5	4.9±0.4	4.6±1.0	4.9±0.5	5.3±1.3	5.5±0.7
1月10日	8.2±1.0	6.1±1.6	4.9±2.1	6.7±2.4	6.0±2.4	6.6±1.2

異符号間に有意差 P<0.01

### 3. 脱臭効果の検討

スラリータンクに対する処理液還元による臭気低減効果

処理液を毎日500Lづつ西側タンク(No2)に還元した結果、9月頃からのスラリーは液色が緑黄色から茶褐色となり、発泡しスラリー臭が低減する傾向が確認された。

三点比較式臭袋法で臭気低減効果を調べた。(表5)

臭気濃度は処理液還元区では40に対し、無添加区では115と高かった。臭気濃度は、悪臭を何倍に清浄な空気で薄めた時に人間が臭いを感じなくなるかを示す値であるが、無添加区ではパネル一間のバラツキが大きかった。処理液還元区で臭気濃度、臭気指数とも低減していた。

表5 スラリータンクに対する処理液還元による臭気低減効果

	無添加区	処理液還元区
臭気濃度	115±71	40±22
臭気指数	19.6±3.0	15.1±3.1

パネル12名で上下4名カットした8名の平均

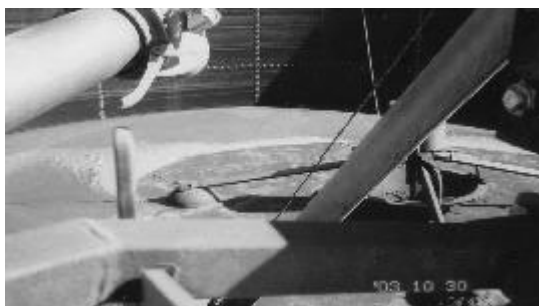


写真3 東側タンク 処理液無添加



写真4 西側タンク 処理液還元

### 4. 簡易曝気処理法における脱窒試験

#### 4.1 実験室規模での水素供与体の比較試験

試験におけるORPの変化を図4に、NH<sub>4</sub>-Nの変化を図5に、NO<sub>3</sub>-Nの変化を図6に示した。水素供与体の比較試験ではpH,ECは大きな差がなかったが、ORPは、各区とも還元反応が進み減少した。ORPが-100Ehを越えるあたりからNO<sub>3</sub>-Nの脱窒が終了したがNH<sub>4</sub>-Nは減少が認められなかった。水素供与体としての脱窒の効果は、牛乳、エタノール、生ふんの順であった。炭素源としてエタノールを基準に調整したが、生ふんは粗飼料残渣由来の難分解性の炭素源も多く、これが脱窒効率の差につながった。脱窒は各区とも効率良く行えたが、嫌気条件で炭素源を添加することに

より生ふん区や牛乳区では腐敗臭が出てきたが、エタノール区では腐敗臭の発生はなかった。

#### 4.2 実証規模での脱窒試験

実証規模の試験結果を図7に示した。

アルコール添加後4日後、ORPが酸化から還元に移行し、 $\text{NH}_4\text{-N}$  が減少し、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ も低減して脱窒が確認された。

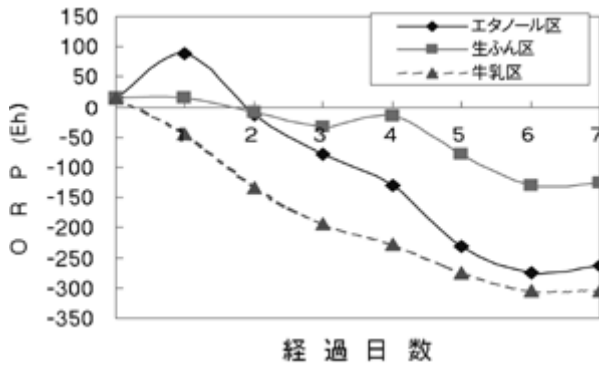


図4 脱窒試験におけるORPの変化

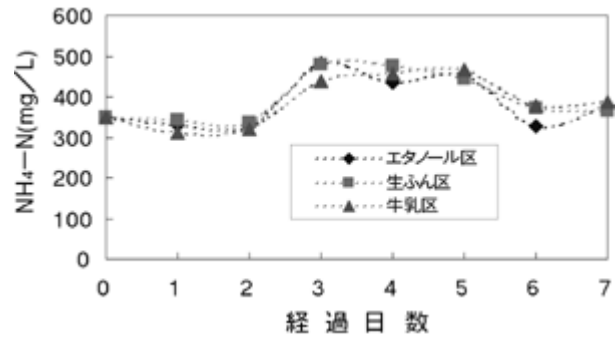


図5 脱窒試験における $\text{NH}_4\text{-N}$ の変化

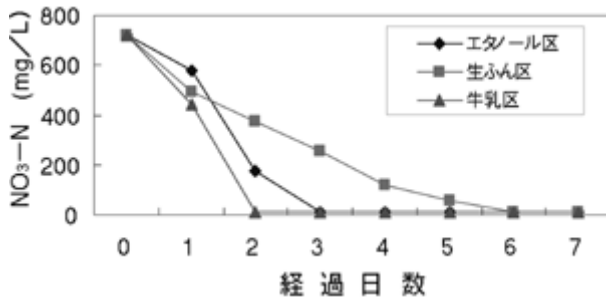


図6 脱窒試験における $\text{NO}_3\text{-N}$ の変化

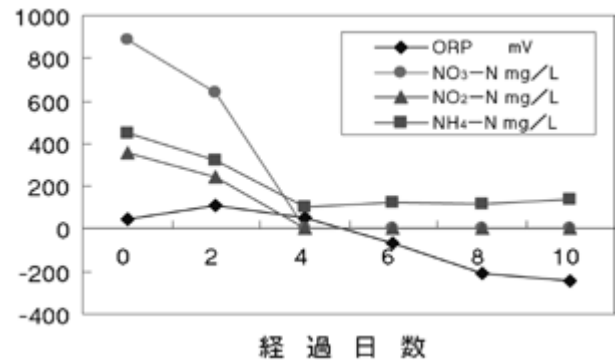


図7 実証規模での脱窒試験

### 考察

自然浄化処理法は簡易ばっ気処理方式のひとつだが、本県でも悪臭に苦慮する酪農家及び養豚農家を中心に普及しており、平成10年にはじめて導入されて以来60戸まで増加した。処理液は液肥として作物栽培に利用したり、悪臭防止を目的とし畜舎に散布利用している。

本施設は、中古のホーロータンクを利用してコスト低減に努めた結果、約300万円程度で設置でき尿処理施設として比較的簡易かつ安価に対応できるシステムであり、BOD、CODの浄化と臭気の低減に期待できる。さらに、硝化の終わった最終槽で曝気を止め嫌気状態とし、水素供与体として0.1%程度のアルコールを添加することで脱窒が可能であり、液肥として窒素成分を期待し農用地に還元する場合は硝化が終わった処理液を利用し、逆に窒素規制をクリアするために脱窒を行なうというように利用目的に合わせて窒素のコントロールを行なうことができる。以上のような点が、本県の畜産農家に広く受け入れられた要因と考えられる。

しかし、BODの浄化も季節を通じて放流基準をクリアできないことや腐植物質に由来する処理液の茶褐色の色が落ちないことから、河川等への放流は難しく圃場に液肥として散布する利用法が基本である。季節間の変動については、タンクを半地下式とし、温室ビニールハウスで囲うこと等により、冬期間は水温を上げることで対応が可能である。

また、羽賀ら(1992, 1993)は、自然浄化処理法の数量的な設計内容や制御指標が未成熟であることを指摘している。したがって、自然浄化処理法は、管理指標として従来のpH、ECに加え $\text{NO}_3\text{-N}$ も硝酸試験紙で測定して浄化処理の状態を確認すべきであると考えられる。