

ふん尿分離とその処理システム

亀岡 俊 則

大阪府立農林技術センター，大阪府羽曳野市尺度442 〒583

1. はじめに

元来、家畜ふん尿はその地域内で肥料として利用され、農業をとりまく生態系のサイクルの一環として重要な位置づけのものであった。それが、専門化や規模拡大により、排出するふん尿量の増大から次第に地域内での利用量には限界が生じ、不要物となって地域の調和が崩れ苦情発生や様々な環境問題の原因となってしまった。

この解決に当たっては、EC諸国でみられるように耕地面積に合わせた飼養頭数の制限によって地域内の生態系の維持を図る方法。あるいは、きっちりふん尿処理を行なって、地域内の環境保全を図るとともに、流通にのせて広域的な資源の分散と利用を図る方法のどちらかと思われる。

わが国の畜産は、今後さらに規模拡大化による生産性の合理化や低コスト化のための経営振興の展開が図られるものと思われ、後者のふん尿処理によって問題の解決に当たる方向がより必要になってくるものと考えられる。

以下に、大阪の大規模酪農団地に設置されているふん尿処理施設の実態を踏まえ、環境保全型乳牛ふん尿処理システムについて検討を加えたので報告する。

2. ふん尿処理システム

2-1 ふん尿分離と処理条件

ふん尿処理の原点は、固形物と水分とを分離することが基本であり、それには経済性や処理性能、

処理面積などの条件がマッチすることが重要であり、自ずと条件が定まることによって処理方式は決まってくるものと考えられる。この条件とは、まず畜舎から排出される時点でふん尿は混合状態か、分離された状態のものかで処理方式および処理条件が大きく異なってくる。

図1に処理方式とその条件整備の関係を示している。排出される糞尿が混合状態であればその水分は約89%であり、粘性の高い泥状のものである。この水分値と物性から考えられる適当な処理の方法はまずスラリー処理があげられる。スラリー処理の目的は液肥利用であり、乳牛1頭当たりの糞尿に含まれる窒素量が約170kg/年であるから、施用基準に合わせた耕地面積は約74aが必要になってくる。そのため、飼養頭数に合わせて、しかも液肥利用ができる条件の耕地面積の確保が可能であるかどうかの検討が必要である。次に、液肥利用ができないとしたら、流通型の堆肥化処理があげられ、これにはオガ屑などの水分調整資材(オガ屑18kg/(頭・日))が入手できるのか、またはハウス乾燥(約13m²/頭)の予乾を行なって堆肥化の処理を行う方法である。さらにこうした条件が整備できない場合は、機械脱水によって固液を分離しそれぞれの処理を行う方法がある。機械脱水した固形物についてはほぼそのままの状態での堆肥化が可能の水分値までに低下している。ところがこの液状物は、水分約92%で、固形濃度が高く、分離されたものの重量比では「固20%」に対し、「液80%」であり、液に含まれる窒素量は約136kg/年で、液肥施用に伴う面積は1頭当たりほぼ

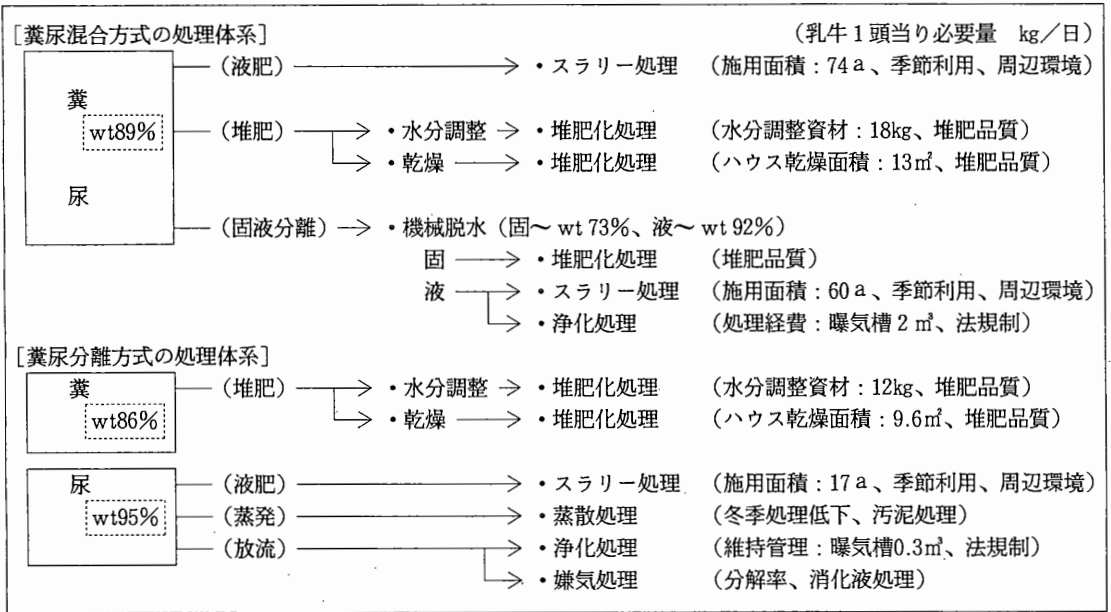


図1 糞尿の形態による処理方式と条件整備の関係

60 aが必要である。また、活性汚泥法で浄化する場合は、乳牛1頭当たりBOD量は約1 kg/日の負荷量となり、約30倍の希釈水、約2 m³の曝気槽が必要である。なお、牛糞尿の污水処理は性的にも生物処理の効率が非常に低く、処理設計に当たっては十分な検討が必要である。

次に、糞尿分離方式は図2の例に示すように、床面は傾斜構造にして排水溝を設け速やかに尿は流出し、糞はスクレーパーなどで排出する構造である。この場合、排尿構造や清掃などの管理状態にもよるが、糞と尿はそれぞれにほぼ5%程度が混ざり合って、糞の水分が約86%、尿汚水の水分が約95%程の性状として排出される。糞の処理は、前述の水分調整により堆肥化の処理が適当であり、この場合オガ屑の必要量は約12kg/(頭・日)で、ハウス乾燥の場合はハウス面積9.6m²/頭の条件整備が必要となる。また、尿汚水の処理は、スラリー処理では約39kg/(頭・年)の窒素量になるため、ほぼ17 a/頭の耕地面積が必要となる。蒸散処理では、仮にディスク蒸発法では円板有効面

積約7.4m²/頭が必要で、3~4カ月に1度濃縮汚泥の引き抜きが必要である。活性汚泥法の処理では、BOD負荷量は約0.13kg/(頭・日)であり、15倍の希釈水、約0.3m³の曝気槽が必要である。嫌気性処理の場合は、消化槽の容積は約220 l/頭が必要であるが、牛糞尿の有機物分解率は低く、特に冬季の消化速度は非常に遅いことを考慮する必要がある。

以上のように、糞と尿の混合と分離では処理方式とその条件整備はかなり異なっており、各々の環境条件に合った処理方式の設定が重要である。また、本課題のフリーストールの場合は、パーラーから乳房や床の洗浄水として40~100 l/(頭・日)程度の排水が見込まれ、これらの処理を含めた糞尿処理システムが環境保全上必要と考えられる。そこで本稿は、これまで述べた糞尿処理の条件整備を踏まえ、糞と尿は畜舎内で分離し、固と液はそれぞれの処理を行うことを基本として、糞は「乾燥・発酵堆肥処理」、尿汚水は「ディスク蒸発処理」と「凝集・カラム浄化処理」について各処

ふん尿分離型式と尿汚水中の固形物濃度	
ふん尿混合	11%
バーンクリーナー	3~5%
牛床の傾斜構造	3~4%

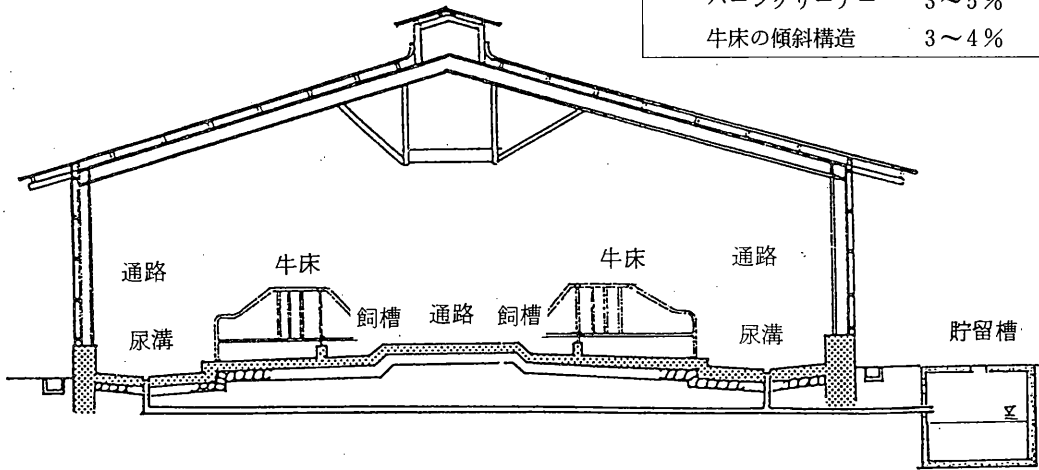


図2 ふん尿分離式牛舎構造

理事例に基づいて、以下に処理システムの検討を行なった。

2-2 牛糞の乾燥・発酵堆肥化処理

図3に堺市内の約1,000頭規模の酪農団地に設置された糞尿処理施設の配置図を示した。昭和56年に設置された当初の糞の排出量は約30kg/(頭・日)で、天日乾燥施設と堆積発酵施設で処理は可能であった。しかし、その後の牛の資質向上と乳質改善対策により飼料の給与量が増加し、糞の排出量は40kgから50kg以上へと増大した(現在はほぼ45kg/(頭・日)に安定)ため、平成2年には発酵乾燥施設の部分が増築された。この処理施設は市内広域処理施設として設置されており、団地以外からも約9t/日の牛糞が搬入され、団地内を合わせて約55t/日の牛糞と、団地内の尿汚水約11t/日が約3.8ha(増設部分0.7ha)の面積の中で処理されている。

糞尿処理のフローシートを図4に示した。牛舎での糞尿の分離はバーンクリーナーと尿溝を設け

ることにより行われているが、より尿分解を図るためバーンクリーナーの溝の部分に鉄板を加工して二段のロストルに改良する対策が構じられている。牛舎から排出した糞は、各農家が各戸定まった混合槽に投入する。混合槽では処理の効率化と

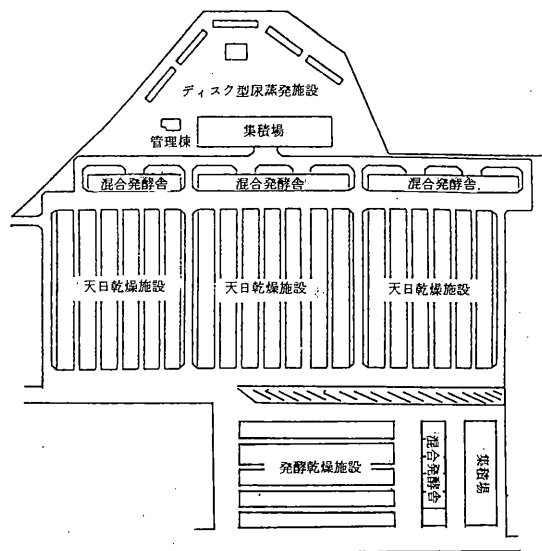


図3 酪農団地のふん尿処理施設(配置図)

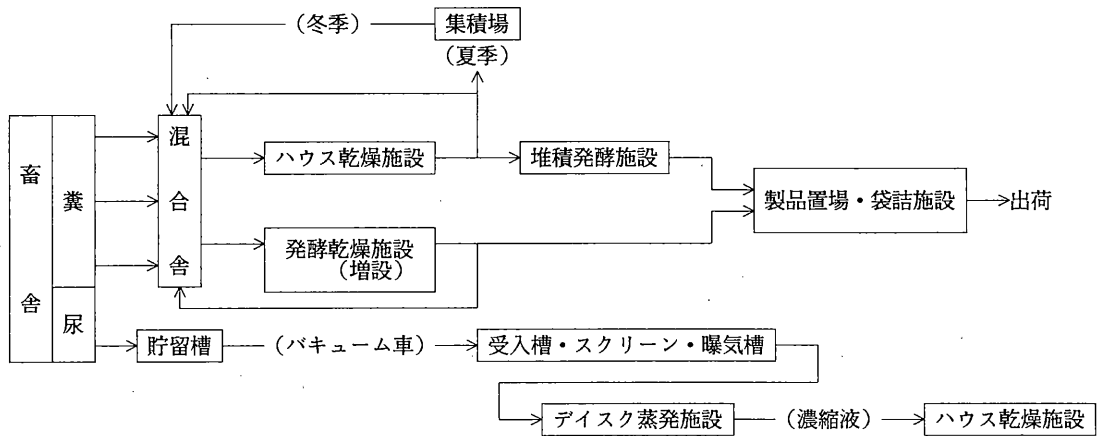


図4 酪農団地のふん尿処理施設フローシート

悪臭防止を図るため、水分約86%の生糞と乾燥糞や発酵糞、ストック糞を混合して、水分約73%に調整する。年平均の調整糞は約86 t/日になり、高比重0.8ではほぼ108^mの容積になり、これをハウス乾燥施設に約81^m、増設された発酵乾燥施設に約27^mを分配し投入する。

ハウス乾燥施設の処理は、ハウスの有効幅6m、長さ66mの面積のものが19棟あり、1棟約4.3^mの調整糞を投入し、厚さ約8cmに引き伸ばし、タイヤ型攪拌走行機により1日9~12時間、30~40往復の攪拌運転で、投入から7~10日間の乾燥処理により水分40~55%程度の乾燥糞として排出する。この乾燥糞の処理工程は季節によって異なっている。本処理体系は牛糞単一の高品質発酵堆肥の製品作りを目指しており、冬季の乾燥効率の低下に備え、夏季の乾燥糞はすべてストックする方法としている。すなわち、5~10月の乾燥糞は生糞の水分調整に用いる他はすべてストック舎に貯留し、また11月からは水分調整に使用した残りのものはすべて堆積発酵を行う方法である。

ハウス乾燥の処理性能を表1に示した。単位面積当りの水分蒸発量は、月平均では2月の1.8 l/(^m・日)が最も低く、最高は6月の4.1 l/(^m・日)であり、年平均では3.7 l/(^m・日)の実測であっ

た。ただし、夏季の成績は乾燥糞の水分が20%程度までに低下するため、攪拌時間を短縮するなど調整された実測値である。

一方の発酵乾燥施設の処理は、有効幅6m、長さ66m、深さ1mの透明ハウスの発酵槽が5棟あり、1棟約5.4^m/日の調整糞を投入、深さ0.7mに堆積し、攪拌機により1日1回(季節変動は2/3~3/2回)を基準にして繰り返し、投入からほぼ30~70日間の発酵と乾燥処理により水分40~55%程度の発酵糞として排出する。この処理の特徴は、微生物発酵と乾燥処理を1工程で行う方法であり、図5に示すように、単位面積当りの水分蒸発量はハウス乾燥法の約1.5倍程度の性能があり、発酵熱と自然エネルギーの組み合わせ効果によるところが明瞭である。また、堆積の深さが厚く、処理日数が長いことから気候変化に対する影響が少なく、安定処理と言える。

ハウス乾燥糞を約1カ月間堆積(約0.1^m/(^m・分)の送風堆積発酵法)した発酵堆肥の肥料組成を表2に示した。乾物当りの窒素は約3%、リン酸2.4%、C/N比は12.0まで低下し、糞臭などもなく良好な堆肥に仕上がっている。また、この堆肥はオガ屑などの混ぜ物がなく、牛糞単一堆肥ということもあって有機質肥料として大変好評であり、

表1 ハウス乾燥施設による牛糞の乾燥処理

月	実 測 値						乾燥ふん		水分蒸発量		製 品 出 荷 量 (m^3 /月)
	生ふん 重 量 (t /日)	重 量 (t /日)	含水率 (%)	固形物 (t /日)	容 積 (m^3 /日)	1棟当 り容積 (m^3 /日)	含水率 (%)	重 量 (t /日)	$\frac{\ell}{m^2 \cdot 日}$	蒸 発 量 (t /日)	
1	35.5	43.5	73.9	11.4	53.0	2.9	61.6	29.6	1.9	14.0	638
2	38.5	47.3	73.7	12.4	57.7	3.0	62.8	33.4	1.8	13.9	516
3	39.9	(90.7) 62.3	73.1	24.4 16.8	11.1 76.0	(5.8) 4.0	63.0	45.3	2.3	17.1	392
4	41.7	(81.4) 62.3	74.0	21.2 16.2	99.3 76.0	(5.2) 4.0	61.4	42.0	2.7	20.4	380
5	39.7	58.1	74.0	15.1	70.9	3.7	48.1	29.1	3.9	29.0	714
6	40.5	55.3	73.6	14.6	67.4	3.5	39.7	24.2	4.1	31.1	136
7	38.9	59.1	69.4	18.1	72.1	3.8	37.0	28.7	4.0	30.4	38
8	37.1	52.4	71.0	15.2	63.9	3.4	34.5	23.2	3.9	29.2	8
9	38.8	57.4	71.6	16.3	70.0	3.7	41.6	27.9	3.9	29.5	-
10	38.1	75.0	70.5	22.1	91.5	4.8	54.5	48.6	3.5	26.5	-
11	40.6	73.0	74.2	18.8	89.0	4.7	59.4	46.4	3.5	26.7	27
12	39.0	48.7	72.9	13.2	59.2	3.1	59.0	32.2	2.2	16.5	504
平均	39.0	57.9 64.0*	72.7	15.8 17.5	70.6 78.0	3.7 4.1	51.9	32.9 36.3	3.3 3.7	25.0 27.7	計3,353

注) 生糞の水分は86%、ハウス投入糞の高比重0.82とし、() は未処理分との合計で、冬季ハウス投入分以外は別途堆積とする。★は年平均の含水率から計算。

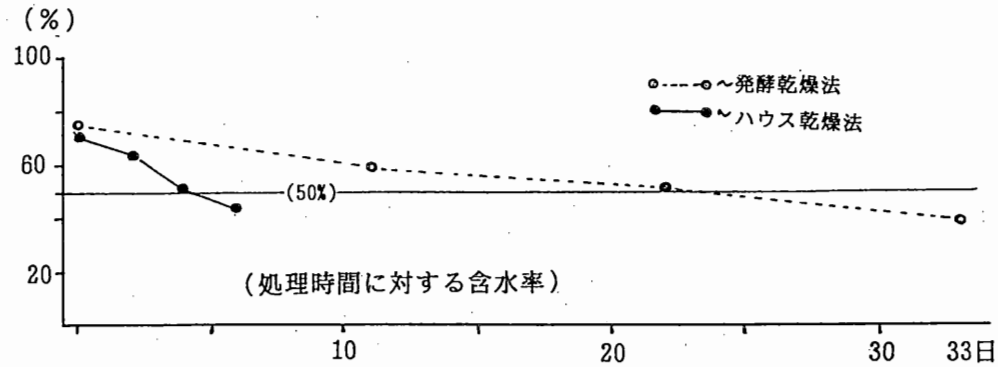
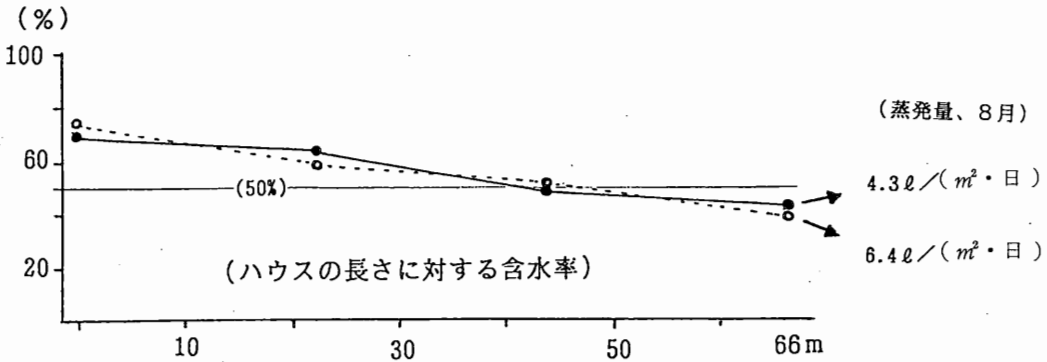


図5 ハウス乾燥法と発酵乾燥法の含水率の推移

表2 発酵牛糞の肥料組成

項目	発酵牛糞
水分 %	45.9
pH	8.3
EC	5.1
全窒素 %	2.95
リン酸 %	2.41
カリ %	2.09
全炭素 %	35.3
有機物 %	79.2
C/N 比	12.0

水分、PH、EC は原物、他は乾物当りの組成を示す。

農協等を中心に販売され、品不足の状況もある。生産された堆肥はほぼ3,400 m³/年で、この内袋詰め堆肥70%などの販売収益を、専門の運転管理者3名の人件費など処理経費および併設されている尿汚水のディスク蒸発処理経費を相殺して約19円/(頭・日)の処理経費を必要としているが、大規模処理の有利性が表われている。

2-3 尿汚水のディスク蒸発処理

図4および図6に尿汚水のディスク蒸発処理のフローシートを示した。この処理は尿汚水の水分を蒸発させ、固形分を濃縮して減量化させることを目的にした処理方法である。そのため、洗浄水などの混入による水量増、また糞の混入による固形物量の増加は処理設備および処理経費上大きなマイナス要因となる。反面、水質汚濁への影響や維持管理技術は極めて軽減される特長があり、条件整備を十分に行うことにより処理の目的が達成される。この条件整備では、畜舎内で糞と尿は分離し、洗浄水などの混入も極力少なくすることが必要であり、尿汚水中の固形物は5%以下が望ましい。また、尿を主体とした汚水の生物処理は水質性状の関係から浄化性能が低く、また無放流地域の条件などでは本法のような蒸発処理が適当と考えられる。

ディスク蒸発処理法は、蒸発表面積を回転円板にして立体化しており、蒸発量の効率化を図るた

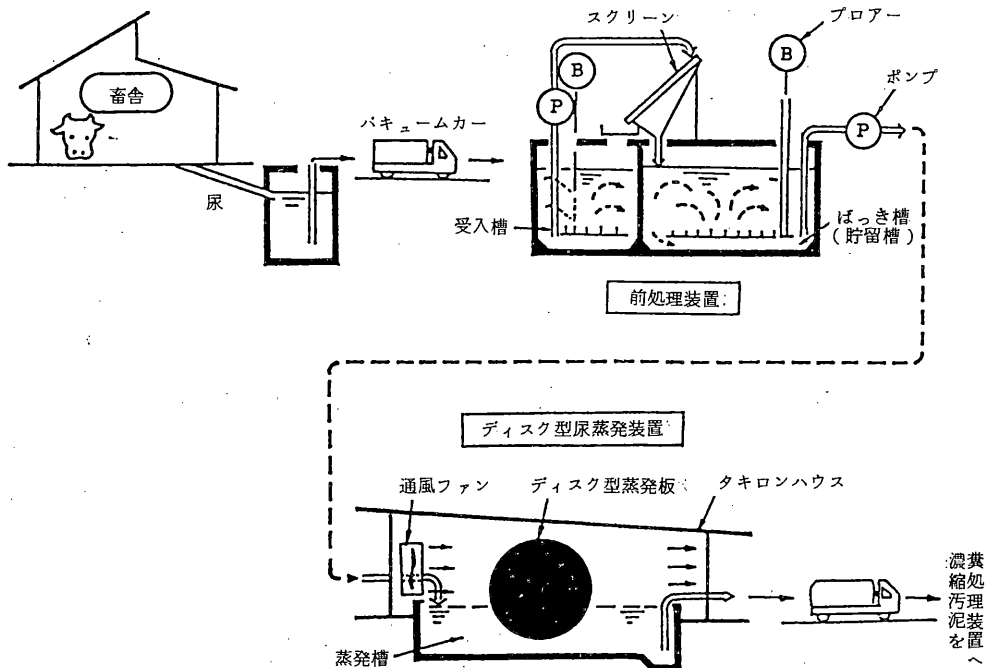


図6 円盤蒸発方式の実用施設フローシート

め送風用のファンを設置した構造である。蒸発の仕組みは、回転円板蒸発槽に円板支持体の約1/3が浸漬する程度に汚水を投入し、円板体が回転することによって支持体に付着した尿汚水は水膜として空中に持ち上げられ、この時点で温度、湿度、風速のエネルギーによって水の蒸発作用が生じる。一方、尿汚水中の有機物は、円板の回転により槽内汚水は好気状態に保たれ、有機物の生物消化が促進される処理機構となっている。

水の蒸発は、蒸発面の温度に対する飽和水蒸気圧と、その表面に近い空気の水蒸気圧の差が大きくなるに従って蒸発量は多くなる。蒸発量はこの飽差が直接関係しており、空気及び水の温度と蒸発面に近い空気中の湿度が大きく影響してくる。また、蒸発面の空気の移動が少ないと次第にその付近は飽和状態となり飽差は小さくなる。この飽

差を大きくするためには空気の移動が必要であり、風速によって蒸発量は大きく影響することになる。これら蒸発作用の関係から、できるだけ投入エネルギーを少なくして最大の処理効果が得られる構造としたものである。

尿汚水の蒸発処理の基本フローは図6に示すとおりで、畜舎→(汚水)→スクリーン→貯留曝気槽→ディスク蒸発槽→(濃縮汚泥)→ハウス乾燥あるいは液肥利用、の工程で行なわれる。尿汚水中の粗大物はスクリーンで分離し、濃縮汚泥の発生量をできるだけ少なくする必要がある。また、ディスク蒸発の際に臭気の発生があるため、貯留曝気槽では5日間以上の間欠曝気により、汚水の消化を十分図って蒸発処理を行なう必要がある。

大阪府と茨城県のディスク蒸発の処理成績を図7に示した。年平均気温は大阪が15℃、茨城13.7℃で、湿度の年平均は73.2%、75.7%であり、自然条件の気候の関係からみると蒸発効果は大阪が有利である。ディスク蒸発の成績は、年平均の蒸発量は大阪が2.5 l/(m²・日)、茨城1.6 l/(m²・日)で、その差は0.9 l/(m²・日)と大きくなっている。成績の中で、大阪の場合は湿度との関係から4~10月の蒸発量が3 l/(m²・日)以上に達しており、これが年平均値を押し上げていることになっている。

また、効果的な処理条件を設定する上で、日間の経時的蒸発量の変化を図8に示す。3月の測定値であるが、朝の気温の上昇と湿度低下に伴って蒸発量は次第に増加し、13時ごろがその最高となる。その後、蒸発量は次第に低下し、17時以降気温の低下および湿度の急上昇から蒸発量も大きく減少傾向を示す。21時から4時ごろまでは湿度90%以上であり、蒸発量は極めて少なく、処理の上ではロスタイムといえる。例えば、湿度80%以上では送風用ファンの運転を停止し、停止した11時間には約5 cmの水位の減少が見込まれることから、

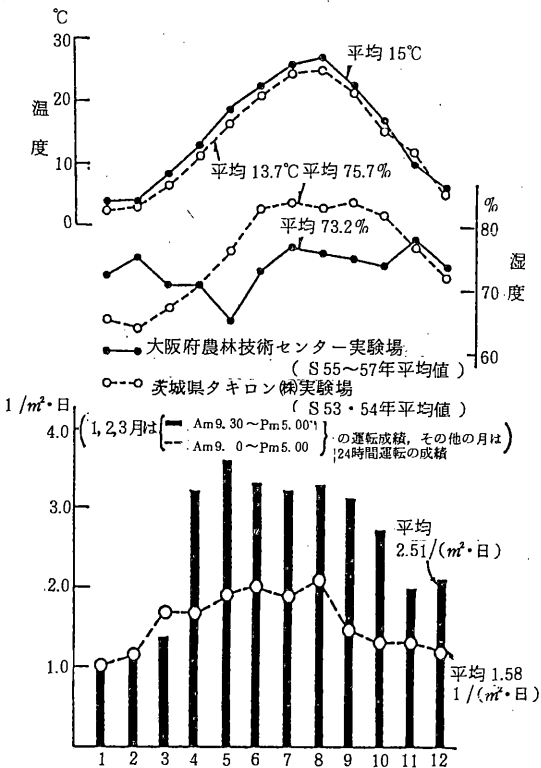


図7 月別気候変化に伴う蒸発量の関係

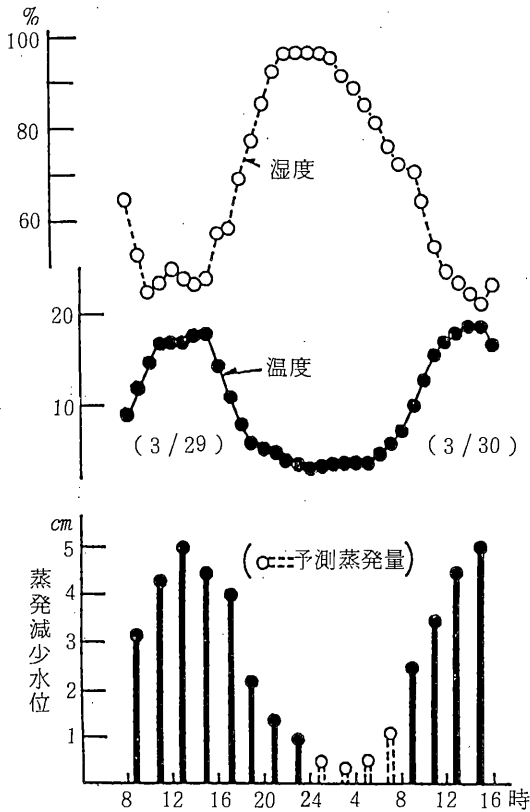


図8 気候及び蒸発量の日間経時変化

1日当たりでは約18%の蒸発量の減少に相当する。しかし、運転エネルギーは約46%が節約され、少ないエネルギーで効率の良い処理効果が期待できる。

酪農団地に設置されているディスク蒸発の処理成績を表3に示す、朝6時から夕方20時の14時間運転の蒸発量は年平均1.54 $l / (m^2 \cdot 日)$ であった。ただし、蒸発効率の高い夏季は運転時間を短く調整している。また、冬季は気温低下と夜間の凍結事故防止のため8~18時の運転としている。冬季は蒸発量の低下から未処理の尿汚水が蓄積する心配があったが、実際は季節により排尿量が異なり、1頭当たりの年平均は11 $l / 日$ であるが、1月が最も少なく約6 $l / 日$ で、最高は6月の約18 $l / 日$ であり、処理能力に対する冬季の未処理

表3 牛尿の月別排出量と平均円板蒸発処理量

月	排出量 $l / 日$	蒸発量 $l / (m^2 \cdot 日)$	11 $m^3 / 日$ 基準の 蒸発過不足量 $m^3 / 月$
1	5,931	0.83	- 157
2	6,877	0.96	- 155
6	6,539	0.92	- 138
4	11,126	1.56	+ 38
5	16,698	2.34	+ 177
6	18,096	2.53	+ 220
7	14,453	2.02	+ 107
8	17,306	2.42	+ 195
9	12,132	1.70	+ 34
10	9,467	1.33	- 48
11	6,148	0.86	- 146
12	7,250	1.02	- 166
平均	11,002	1.54	(- 720) (+ 771)

乳用牛1,080頭、ファン6~20時間運転(冬期8~18時)

分は累積ではほぼ21日分であった。

また、ディスク槽内で濃縮される汚泥の引き抜きは、有機物の消化率は約23%であり、投入汚水の固形物濃度により引き抜きの間隔が決まってくる。酪農団地の場合は、スクリーンを通過した投入汚水の固形物は3.4%、またディスク槽液の引き抜き時点の固形物濃度は約11%であり、その間はほぼ3~4カ月で引き抜きが行なわれ、ハウス乾燥の牛糞に散布して乾燥処理が行なわれている。

2-4 畜舎汚水の凝集・カラム浄化処理

フリーストールではパーラーから多量の洗浄水が排出されることが想定される。この洗浄水と糞尿分離によって排出した尿汚水を含めた污水处理システムの設定も地域環境保全上必要なことと考えられる。そこで、比較的小規模で簡易的な畜舎汚水の浄化処理システムについて検討した。

牛舎汚水の場合には、活性汚泥法などの生物処理は汚水性状などの関係から浄化効率が低く、こ

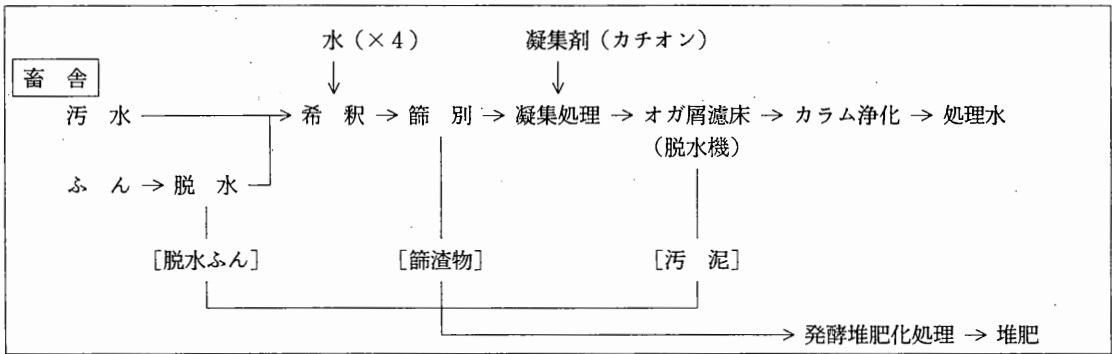


図9 凝集処理とカラム浄化による牛舎汚水の処理フローシート

表4 凝集処理と碎石カラム法による牛舎汚水の処理試験

		固液分離		カラム浄化		
		篩別調整液	凝集濾液(※)	5h	10h(※※)	24h
水温	℃	28	28	30	28	26
pH		7.4	7.8	7.8	7.6	7.8
SS	mg/ℓ	10,400	65 (99.4)	26	4.0 (93.8)	15
COD	"	2,700	181 (93.3)	129	101 (44.2)	85.6
BOD	"	2,760	461 (83.3)	47.0	11.8 (97.4)	2.9
NH ₄ N	"	84.8	21.7 (74.4)	7.08	2.77(87.2)	ND
AlbN	"	106	17.0 (84.0)	7.08	4.6 (72.9)	3.0

循環水量 : 0.7m³/(m³・h)

BOD 容積負荷 : 0.46kg/(m³・日)

() 除去率, (※) : 篩別液に対する凝集液, (※※) : 凝集液に対する10h 処理液

れまでも低濃度・低負荷条件での対応により処理設備や処理経費に大きな負担を要していた。そのため、豚舎汚水の処理で行なわれているように、高分子凝集剤により汚水中の汚濁固形物をあらかじめ除去し、生物処理し易い汚水性状に改善して浄化処理を行う方法について実験を行なった。この処理フローシートを図9に示した。畜舎汚水は前述の尿汚水や洗浄水が加わったもので、処理工程では希釈調整、そして篩別処理となっているが、排出の汚水濃度により希釈水量は加減され、SSで10,000mg/ℓ程度に調整する。また、図では牛糞の脱水処理による搾汁液が含まれることになっているが、この搾汁液は前述したとおり多量の固形物が含有しており、後の凝集処理に伴う凝集剤

の消費量が増加するため、搾汁液の処理は極力避ける方が望ましい。次に、凝集処理は高分子凝集剤が効果が高く、SS当りに2～3%を添加し、ほぼ15分程度の攪拌により汚濁物質は凝集する。凝集汚泥の分離は、小規模の場合はオガ屑や砂濾床により、ほぼ10cm/時の濾過速度が得られる。規模の大きい場合は多重円板型脱水機などの機械脱水が必要である。汚泥分離された濾液の浄化処理は、活性汚泥法や接触酸化法など多様の浄化法で処理は比較的容易にできるが、ここではさらに簡易法として従来の散水濾床法を応用して図10に示す循環カラム式浄化法の処理方法とした。この方法は処理槽に大きき5cm程度の碎石を詰め、ポンプにより上部から散水し、碎石に付着した微生物

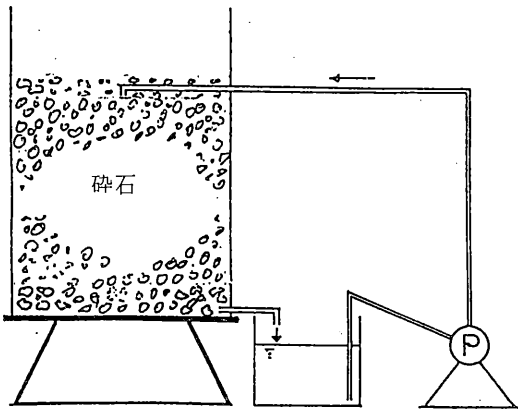


図10 碎石カラム方式による汚水浄化処理

物により汚濁物質は分解され、流下した汚水はさらにポンプにより循環して浄化効果を高める方法である。濾床の高さが1 m以上では送風が必要であるが、省エネルギー型で微生物管理を不要とする浄化方法といえよう。

牛舎汚水の浄化成績を表4に示した。篩別調整液の水質性状はSS 10,400mg/l、BODは2,760mg/lで、汚濁物質中に占めるBOD比が低いのが特徴である。高分子凝集剤で汚濁物質を除去した濾液の性状は、SSは65mg/l、BODは461mg/lに、それぞれ低下し、その除去率は99.4%、83.3%と非常に高い処理効果が得られている。また、汚濁物質中の大部分はBODであり、浄化処理し易い性状に改善されている。

次に、この濾液をBOD容積負荷 $0.46\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{日})$ の処理条件によりカラム浄化した成績は、10時間の接触によりSSは4mg/l、BODは11.8mg/lで、除去率は93.8%、97.4%と非常に高い浄化効果であった。また、CODは高濃度の無希釈処理

の影響と思われるが $101\text{mg}/\text{l}$ で、除去率は44.2%とやや低い成績を示した。

以上、高濃度汚水の効率的な一処理事例を示したが、畜舎汚水は各々の条件により汚水量や濃度および性状が異なり、またN、Pを含めた水質規制、地域規制など、様々な点を考慮した適切な処理システムの検討が必要である。

3. おわりに

わが国の畜産はさらに規模拡大化による経営効率の進展が図られ、その反面糞尿処理問題は一層深刻な事態に発展することが予想される。例えば、乳牛1頭当りの糞尿のBOD量は人のほぼ100人分に相当しているように、家畜糞尿は局所的な環境汚染として多量の汚濁源を有している。地域に調和した健全な畜産経営の推進のためには、こうした環境保全への配慮と資源の有効利用のための処理・利用システムの確立が急務と考えられる。

参 考 文 献

- 1) 亀岡俊則・因野要一・埜元道男・三浦正信、畜産の研究、第37巻、第7号、1983。
- 2) 亀岡俊則・埜元道男・豊永真自・多田正治・三浦正信、畜産の研究、第18巻、第8・9号、1984。
- 3) 亀岡俊則、畜産の研究、第44巻、第1号、1990。
- 4) 亀岡俊則・因野要一、日豚会誌、第25巻、第1号、1988。