

酪農経営における活性汚泥法牛舎汚水浄化処理に関する考察

(1) 家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術による 乳用牛ふん尿処理コストのシミュレーション

恩田寛

I 要 約

沖縄県内の酪農経営における活性汚泥法牛舎汚水浄化処理の可能性を提示することを目的に、「家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術（以下、設計・審査技術）¹⁾」の設計諸元および設計計算方法により乳用牛ふん尿処理コストをシミュレートしたところ、以下のとおりであった。

1. 「牛舎内ふん尿分離・汚水浄化処理」は、回分式活性汚泥法で、乳用牛ふん尿処理コストは「牛舎内ふん尿混合・堆肥化処理」および「牛舎内ふん尿混合・液肥化処理」に比べ、1.0～1.1倍と大きな差はなかった。また、放流水水質は水質汚濁防止法の一律排水基準以下での放流が可能で、「牛舎内ふん尿混合・堆肥化処理」に比べ堆肥化処理必要量が25%減少し、堆肥化処理が必要な牛舎内分離ふん、篩別固形物、余剰汚泥は水分84.4%の半固形状になると試算された。

2. 「牛舎内ふん尿混合・汚水浄化処理」は、膜分離活性汚泥法で、乳用牛ふん尿処理コストは「牛舎内ふん尿混合・堆肥化処理」および「牛舎内ふん尿混合・液肥化処理」に比べ、4.2～4.9倍大きかった。いっぽう、放流水水質は本県でもっとも厳しい上乘せ排水基準以下での放流が可能で、「牛舎内ふん尿混合・堆肥化処理」に比べ堆肥化処理必要量が41%減少し、堆肥化処理が必要な分離固形物および脱水固形物は水分82.3%の固形状になると試算された。

以上のことから、「牛舎内ふん尿分離・汚水浄化処理」は、酪農経営における新たな乳用牛ふん尿処理方式になりえることが示唆された。

II 緒 言

近年、本県の酪農経営において飼養戸数は減少傾向にあるが、1戸あたりの飼養頭数は増加し、経営規模は拡大傾向にある²⁾。経営規模の拡大により、1戸あたりの乳用牛ふん尿量は必然的に増加することになる。また、乳用牛ふん尿量およびその水分は、平均乳量により異なる³⁾。さらに、牛舎から排出される乳用牛ふん尿の水分は、牛舎の構造により異なり、自然流下式牛舎やフリーストール式牛舎は、牛舎内ふん尿混合で排出されるため、尿が含まれるだけその水分は高くなる。

牛舎から排出される乳用牛ふん尿は、その水分により、固形状（水分84%未満）、半固形状（水分84%～87%）、スラリー状（水分87%以上）の3種類に分類される。固形状はそのまま積み上げることが可能であるが、半固形状は高水分のため、積み上げても50cm程度の高さにはしかない。スラリー状はきわめて高水分で、流動性が高いため、ポンプでの搬送が可能である⁴⁾。本県の酪農経営は、自然流下式牛舎やフリーストール式牛舎が多いことから、スラリー状で排出されるケースが多いと推察される。

乳用牛ふん尿は、その水分が高いため、堆肥化処理には水分調整材として多量の副資材が必要になる。副資材をオガコにする場合、本県は島しょ県のため、流通するオガコ量が限られていることに加え、昨今の資材価格高騰にともないオガコの販売価格が上昇しているため、オガコの安定確保と購入コストが課題となる。また、副資材を戻し堆肥にする場合、戻し堆肥の水分を50%以下⁵⁾に低下させるための天日乾燥ハウスが必要となり、施設スペースの確保が課題となる。さらに、天日乾燥ハウスでの水蒸発量を1.0kg/m²・日以上に設定し、水蒸発量が低下する冬期の手段や施設を具備しない場合は、戻し堆肥の循環サイクルが成立しなくなることが懸念される⁶⁾。液肥化処理は、乳用牛ふん尿をスクリーンプレスやローラープレスなど固液分離機で固液分離するため、分離固形物の水分が低下し、副資材量が減少するメリットがあるが、分離液を液肥としてほ場に還元する必要がある。そのため、狭あいな県土で混住化が進む本県では、液肥を散布するほ場の周年確保が課題となる。また、施用基準を超えた過剰な液肥散布や、曝気処理をしない液肥散布による悪臭発生など環境への悪影響が懸念される。

このように乳用牛ふん尿は、その水分の高さゆえに堆肥化処理、液肥化処理いずれにも課題が存在する。そのため、乳用牛ふん尿処理が酪農経営の経営規模拡大を妨げる要因になっていると推察される。

いっぽう、養豚経営においても豚舎から豚ふん尿および豚房洗浄水がスラリー状で排出されるため、その処理が課題になっていた。しかし「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律（家畜排せつ物法）」が平成11年に制定された後は、活性汚泥法豚舎汚水浄化処理が普及しており、現在では豚舎汚水を活性汚泥法により浄化処理し、処理水を河川に放流するのが一般的になっている。そこで本稿では、本県の酪農経営における活性汚泥法牛舎汚水浄化処理の可能性を提示することを目的に、「設計・審査技術」の設計諸元および設計計算方法により乳用牛ふん尿処理コストのシミュレートを試みたので報告する。

Ⅲ 材料および方法

1. 想定する酪農経営

想定する酪農経営の諸元は、「沖縄県畜産経営技術指標（以下、県指標）⁷⁾」に準じ、平均乳量8,800kg/年・頭、経産牛90頭規模、フリーストール式牛舎とした。牛舎構造は、牛舎床にバーンスクレーパーおよび尿溝を設置して「牛舎内ふん尿分離」で排出する方式と、慣行の「牛舎内ふん尿混合」で排出する方式を設定した。

2. 設計諸元

乳用牛ふん尿浄化処理施設の規模算定に用いる設計諸元数値⁸⁾を表1に示した。設計諸元数値には、牛乳処理室の排水が含まれている。

乳用牛ふん尿堆肥化処理施設の規模算定に用いる設計諸元数値³⁾を表2に示した。堆肥化処理対象ふん量は乳量によって異なり、1頭あたり年間乳量7,600kg程度の場合36kg/日、10,000kg程度の場合50kg/日、10,000kg以上の場合54kg/日で設定する。本稿では「県指標」に準じて1頭あたり年間乳量8,800kgで設定し、ふんの水分、尿量は設定した処理対象ふん量に連動させて設定した。また、牛舎内ふん尿混合の場合は、尿量をふん尿量に加算して処理対象ふん尿量とするため、本稿の「牛舎内ふん尿混合」の水分は尿量を加えて計算した。なお、堆肥化処理の副資材はオガコと戻し堆肥を設定し、オガコ水分25%、戻し堆肥水分40%でそれぞれ試算した。

表1 乳用牛ふん尿汚水浄化処理施設の規模算定に用いる設計諸元数値

	汚水量 (ℓ/頭・日)	BOD量 (g/頭・日)	SS量 (g/頭・日)	BOD濃度 (mg/L)	SS濃度 (mg/L)
牛舎内ふん尿分離	60	350	350	5,834	5,834
牛舎内ふん尿混合	80	1,140	5,475	14,250	68,438

表2 乳用牛ふん尿堆肥化処理施設の規模算定に用いる設計諸元数値（年間乳量8,800kg/頭）

	ふん量 (kg/頭・日)	ふん水分 (%)	尿量 (kg/頭・日)	ふん尿混合物 水分(%)
搾乳牛	45.0	85.3	15.5	89.1
育成牛	16.0	78.0	7.0	84.7

3. 乳用牛ふん尿処理方式

本稿でシミュレートした乳用牛ふん尿処理方式を図1から図4に示した。

「牛舎内ふん尿分離・汚水浄化処理」は回分式活性汚泥法で、「牛舎内ふん尿混合・汚水浄化処理」は膜処理活性汚泥法で、それぞれ牛舎汚水と牛乳処理室から排出される排水を合わせて浄化処理し、放流水水質は水質汚濁防止法の一律排水基準以下になる設定とした。回分式活性汚泥法は沖縄式酸化溝型浄化槽⁹⁾を想定し、膜分離活性汚泥法は全国で導入実績がある牛舎内ふん尿混合汚水の排水処理システ

ム¹⁰⁾を想定した。また「牛舎内ふん尿分離・汚水浄化処理」は、牛舎内分離ふんに加え、浄化処理工程で発生する篩別固形物、余剰汚泥を堆肥化処理し、「牛舎内ふん尿混合・汚水浄化処理」は、浄化処理工程で発生する分離固形物および脱水固形物を堆肥化処理する設定とした。

慣行の乳用牛ふん尿処理方式は、「牛舎内ふん尿混合・堆肥化処理」および「牛舎内ふん尿混合・液肥化処理」とした。「牛舎内ふん尿混合・堆肥化処理」は、発酵槽の堆積厚 0.5m で堆積物表面からの水蒸発量を 1.5kg/m²・日とし、ブローアによる通気は無し、天日乾燥ハウスの堆積厚 0.3m で堆積物表面からの水蒸発量を 3.0kg/m²・日とし、副資材を戻し堆肥にする場合、冬期 3 ヶ月は戻し堆肥の全量を夏期に貯蔵していた乾燥堆肥でまかなうことにした。「牛舎内ふん尿混合・液肥化処理」は、ふん尿混合物をローラープレス（固形物回収率 60%、分離固形物水分 80%）で固液分離し、分離液は液肥化処理、分離固形物は堆肥化処理する処理方式を設定した。また、液肥からの悪臭発生防止、浮遊物や沈殿物を粉碎攪拌するため、スラリーポンプで 24 時間連続曝気処理する設定とした。

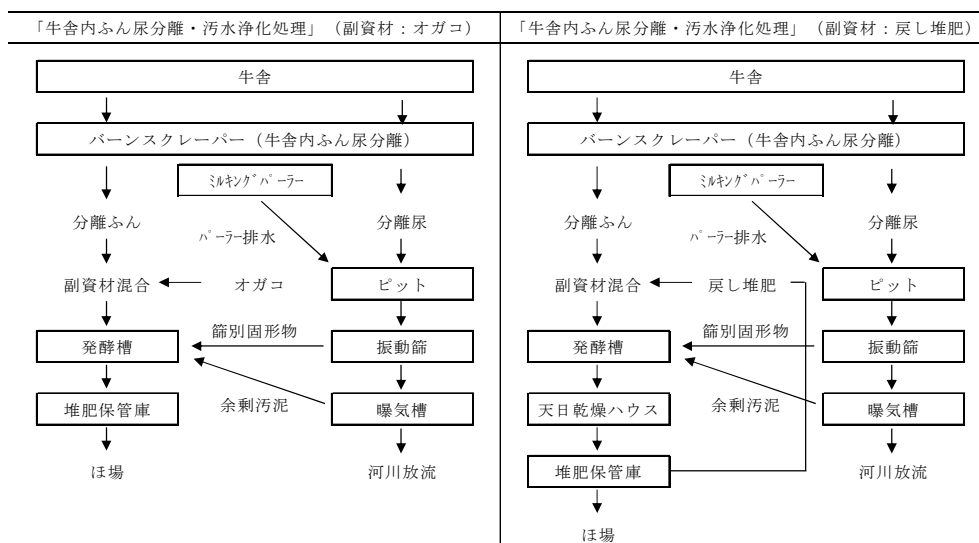


図 1 「牛舎内ふん尿分離・汚水浄化処理」フロー図

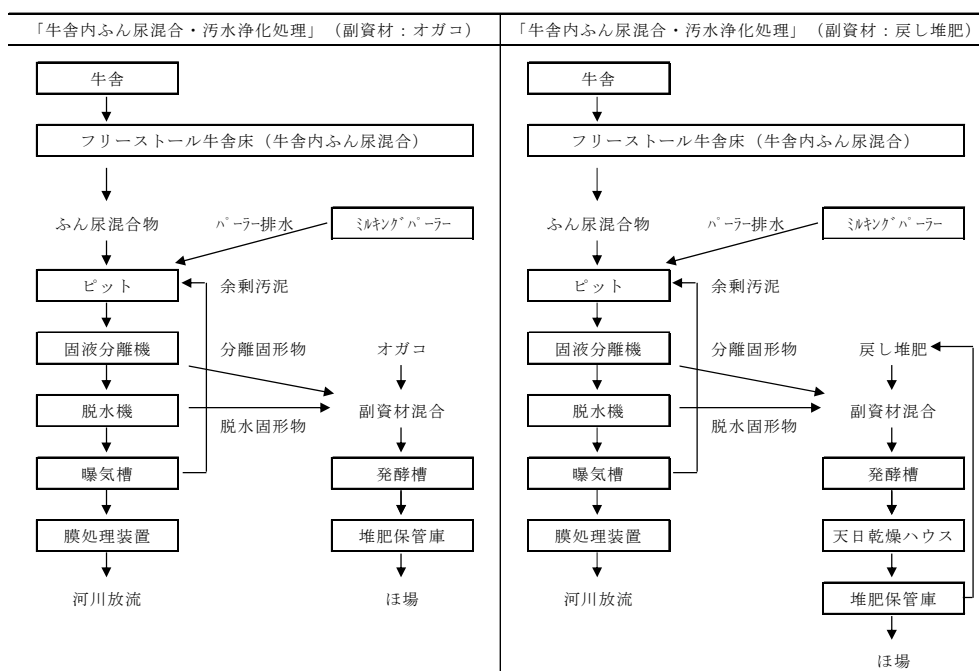


図 2 「牛舎内ふん尿混合・汚水浄化処理」フロー図

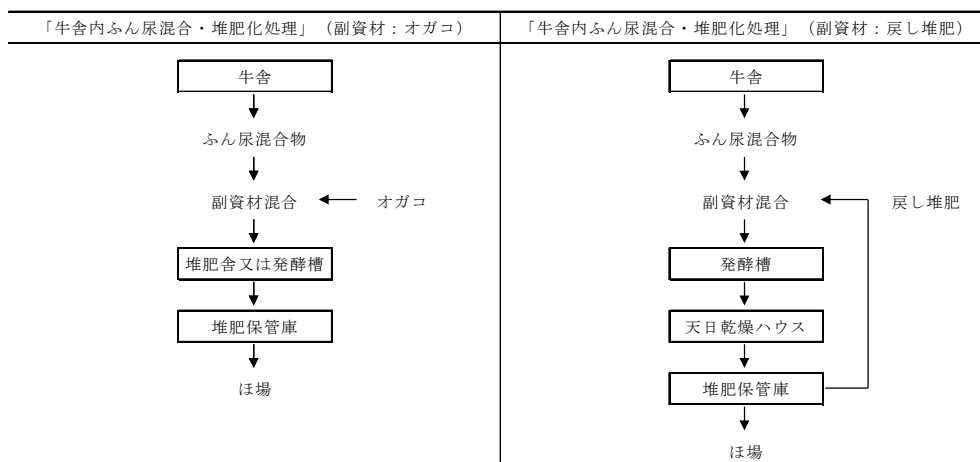


図3 「牛舎内ふん尿混合・堆肥化处理」フロー図

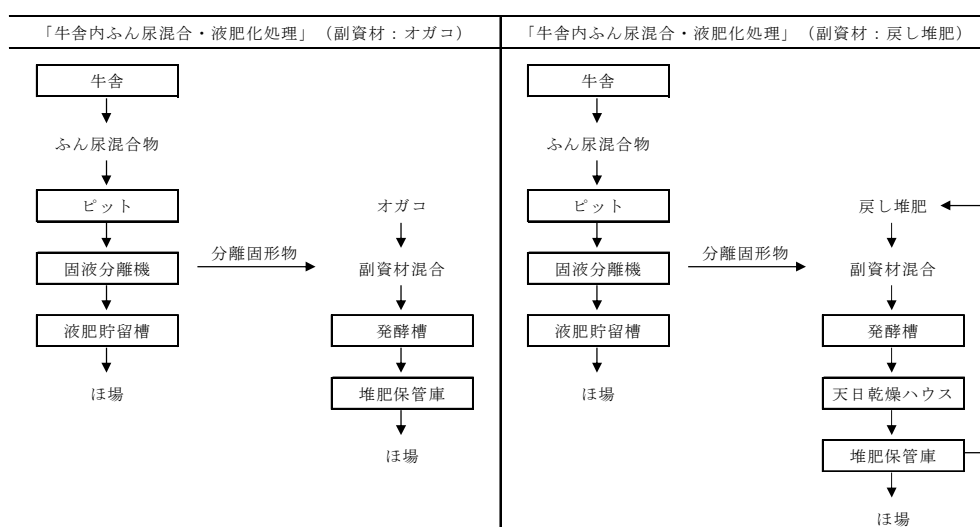


図4 「牛舎内ふん尿混合・液肥化处理」フロー図

4. 試算方法

乳用牛ふん尿処理コストは、「県指標」の積算方法に準じ、農薬衛生費(消毒薬)、諸材料費(オガコ)、修繕費、動力光熱費(電気)、減価償却費(施設・機械)を試算した。膜分離活性汚泥法牛舎汚水浄化処理施設の農薬衛生費(凝集剤、消毒薬、メタノール)、減価償却費(施設・機械)は、全国で導入実績がある牛舎内ふん尿混合汚水の排水処理システムを開発した企業に調査して試算した。なお、乳用牛ふん尿処理コストには、堆肥運搬用ダンプカーおよび液肥運搬用バキュームカーの修繕費、減価償却費(機械)を含めているが、運搬に要する動力光熱費(軽油)は含めていない。

回分式活性汚泥法牛舎汚水浄化処理施設の放流水水質および曝気槽容積、堆肥化处理施設の堆肥化处理必要量とその水分、施設必要面積、副資材量は、「設計・審査技術」の設計計算方法に基づき試算した。また、膜分離活性汚泥法牛舎汚水浄化処理施設の放流水水質および曝気槽容積は、全国で導入実績がある膜分離活性汚泥法牛舎汚水浄化処理施設の設計計算方法¹⁰⁾に基づき試算した。

IV 結果および考察

1. 乳用牛ふん尿処理コスト

試算した乳用牛ふん尿処理コストを表3に示した。

「牛舎内ふん尿分離・汚水浄化処理」の乳用牛ふん尿処理コストは、「牛舎内ふん尿混合・堆肥化处理」および「牛舎内ふん尿混合・液肥化处理」に比べ、1.0~1.1倍と大きな差はなかった。大きな差がなか

った要因として、回分式活性汚泥法は沈殿槽を必要とせず、構造がシンプルであるため牛舎汚水浄化処理施設の初期投資コストが小さくなることが挙げられる。

いっぽう、「牛舎内ふん尿混合・汚水浄化処理」の乳用牛ふん尿処理コストは、「牛舎内ふん尿混合・堆肥化処理」および「牛舎内ふん尿混合・液肥化処理」に比べ、4.2～4.9倍大きかった。牛舎内ふん尿混合汚水は濃度が濃いため、経済性の面から「牛舎内ふん尿混合・汚水浄化処理」は避けるべきとされている¹¹⁾。「県指標」の経産牛90頭規模の生乳年間販売収入105,336千円⁷⁾で、本稿で試算された「牛舎内ふん尿混合・汚水浄化処理」の乳用牛ふん尿処理コストをまかなうのは難しいと示唆される。また、全国の膜分離活性汚泥法による排水処理システム導入事例は、経産牛1,000頭規模クラスのメガファームが多いことから、本県における現状の酪農経営規模では費用対効果が合わないと推察される。

表3 乳用牛ふん尿処理コスト（経産牛90頭規模）

（単位：千円/年）

	牛舎内ふん尿分離 汚水浄化処理		牛舎内ふん尿混合 汚水浄化処理		牛舎内ふん尿混合 堆肥化処理		牛舎内ふん尿混合 液肥化処理		
	オガコ	戻し堆肥	オガコ	戻し堆肥	オガコ	戻し堆肥	オガコ	戻し堆肥	
浄化 処理	農薬衛生費	219	219	3,465	3,465	—	—	—	—
	修繕費	140	140	2,079	2,079	—	—	—	—
	動力光熱費	371	371	10,056	10,056	—	—	—	—
	減価償却費	1,787	1,787	22,622	22,622	—	—	—	—
	うち施設	778	778	3,655	3,655	—	—	—	—
	うち機械	1,009	1,009	18,967	18,967	—	—	—	—
	諸材料費	2,113	0	1,378	0	3,738	0	622	0
堆肥 化 処理	修繕費	393	526	361	490	430	689	201	376
	動力光熱費	394	439	285	369	500	519	121	185
	減価償却費	4,938	6,871	4,299	6,155	5,669	9,427	2,311	4,376
	うち施設	2,010	3,228	1,370	2,512	2,741	5,070	596	1,233
	うち機械	2,928	3,643	2,929	3,643	2,928	4,357	1,715	3,143
液肥 化 処理	修繕費	—	—	—	—	—	—	423	423
	動力光熱費	—	—	—	—	—	—	958	958
	減価償却費	—	—	—	—	—	—	4,389	4,389
	うち施設	—	—	—	—	—	—	318	318
	うち機械	—	—	—	—	—	—	4,071	4,071
合計	10,355	10,353	44,545	45,236	10,337	10,635	9,025	10,707	

2. 放流水水質

試算した牛舎汚水浄化処理後の放流水水質を表4に示した。

「牛舎内ふん尿分離・汚水浄化処理」は、回分式活性汚泥法で、放流水水質は水質汚濁防止法の一律排水基準（BOD濃度：日間平均120mg/L，SS濃度：日間平均150mg/L）以下での放流が可能であった。

「牛舎内ふん尿混合・汚水浄化処理」は、膜分離活性汚泥法で、放流水水質は本県でもっとも厳しい上乗せ排水基準（BOD濃度：日間平均20mg/L，SS濃度：日間平均70mg/L）以下での放流が可能であった。

表4 牛舎汚水浄化処理後の放流水水質（経産牛90頭規模）

処理方法	放流水水質 (mg/L)		曝気槽容積 (m ³)	曝気槽水深 (m)
	BOD濃度	SS濃度		
牛舎内ふん尿分離 回分式活性汚泥法	72	99	169	1.5
牛舎内ふん尿混合 膜分離活性汚泥法	5	1	260	4.0

3. 堆肥化処理必要量

試算した堆肥化処理必要量およびその水分を表5に示した。

「牛舎内ふん尿混合・堆肥化処理」の堆肥化処理必要量に比べ、「牛舎内ふん尿分離・汚水浄化処理」

は25%減少し、「牛舎内ふん尿混合・汚水浄化処理」は41%減少すると試算された。

また、「牛舎内ふん尿分離・汚水浄化処理」の牛舎内分離ふん、篩別固形物、余剰汚泥の水分は84.4%の半固形状になると試算され、「牛舎内ふん尿混合・汚水浄化処理」の分離固形物、脱水固形物の水分は82.3%の固形状になると試算された。いずれも「牛舎内ふん尿混合・堆肥化処理」のふん尿混合物の水分88.5%に比べ水分が低下し、積み上げや搬送は容易になると推察される。

なお、「牛舎内ふん尿混合・液肥化処理」は堆肥化処理必要量がもっとも少なく、その水分はもっとも低い、いっぽうで、分離液を液肥としてほ場に還元する必要がある。牛ふん尿の液状きゅう肥を暖地型牧草の採草地に還元する場合、年間15t/10aが施用基準となっている^{1,2)}。本稿では、経産牛90頭規模は1日あたり3,792kg、年間1,384tの液肥が発生すると試算しており、その全量を採草地に還元するには、923aが必要になる。「県指標」の酪農経営における採草地面積は260a⁷⁾で設定されており、液肥の全量を還元するには十分な面積ではないことから、液肥化処理を選択する場合は耕種農家との連携が不可欠になることが示唆される。

表5 堆肥化処理必要量および水分（経産牛90頭規模）

処理方法	堆肥化処理 必要量 (kg/日)	水分 (%)	形状	備考
牛舎内ふん尿分離	浄化処理	4,344	84.4 半固形状	牛舎内分離ふん 篩別固形物 余剰汚泥
	浄化処理	3,424	82.3 固形状	分離固形物 脱水固形物
牛舎内ふん尿混合	堆肥化処理	5,779	88.5 スラリー状	ふん尿混合物
	液肥化処理	1,987	80.0 固形状	分離固形物

4. 堆肥化処理施設必要面積および副資材量

試算した堆肥化処理施設必要面積および副資材量を表6に示した。

「牛舎内ふん尿混合・堆肥化処理」の堆肥化処理施設必要面積に比べ、「牛舎内ふん尿分離・汚水浄化処理」は副資材がオガコの場合27%、戻し堆肥の場合36%縮小し、「牛舎内ふん尿混合・汚水浄化処理」は副資材がオガコの場合50%、戻し堆肥の場合50%縮小すると試算された。

「牛舎内ふん尿混合・堆肥化処理」の副資材量に比べ、「牛舎内ふん尿分離・汚水浄化処理」はオガコの場合44%、戻し堆肥の場合40%減少し、「牛舎内ふん尿混合・汚水浄化処理」はオガコの場合63%、戻し堆肥の場合59%減少すると試算された。

表6 堆肥化処理施設必要面積および副資材量（経産牛90頭規模）

処理方法	副資材	必要面積 (㎡)	副資材量 (kg/日)
牛舎内ふん尿分離	オガコ	699	1,149
	戻し堆肥	1,143	2,550
	オガコ	424	750
	戻し堆肥	839	1,748
牛舎内ふん尿混合	オガコ	1,011	2,034
	戻し堆肥	1,865	4,239
液肥化処理	オガコ	235	338
	戻し堆肥	425	852

注)副資材量はオガコ水分25%、戻し堆肥水分40%で積算

以上のことから、「牛舎内ふん尿分離・汚水浄化処理」は、回分式活性汚泥法で、乳用牛ふん尿処理コストは、本県の慣行の乳用牛ふん尿処理方式である「牛舎内ふん尿混合・堆肥化処理」および「牛舎内

ふん尿混合・液肥化処理」に比べ、1.0～1.1倍と大きな差はなく、放流水水質は水質汚濁防止法の一律排水基準以下での放流が可能で、堆肥化処理必要量は25%減少した。いっぽう、堆肥化処理が必要な牛舎内分離ふん、篩別固形物、余剰汚泥は水分84.4%と高水分な半固形状であるが、きわめて高水分で流動性が高いスラリー状に比べ積み上げや搬送は容易になると推察されることから、「牛舎内ふん尿分離・汚水浄化処理」は、酪農経営における新たな乳用牛ふん尿処理方式になりえることが示唆された。ただし、本県の酪農経営で多くみられる自然流下式牛舎やフリーストール式牛舎など牛舎内ふん尿混合で排出される牛舎は、牛舎内ふん尿分離に構造を改修する必要がある。今後は、県外における「牛舎内ふん尿分離・汚水浄化処理」の事例調査や、牛舎の構造を牛舎内ふん尿混合から、牛舎内ふん尿分離に改修する手法について検討する必要がある。

「牛舎内ふん尿混合・浄化処理」は、膜分離活性汚泥法で、乳用牛ふん尿処理コストは「牛舎内ふん尿混合・堆肥化処理」および「牛舎内ふん尿混合・液肥化処理」に比べ、4.2～4.9倍大きかった。いっぽう、放流水水質は本県でもっとも厳しい上乗せ排水基準以下で放流することが可能で、堆肥化処理必要量が41%減少し、分離固形物、脱水固形物は水分82.3%の固形状になるメリットがあることから、今後は、施設機械の量産化による価格低下や、膜分離で厳格な上乗せ排水基準以下まで浄化処理をせず、水質汚濁防止法の一律排水基準以下に浄化処理する低処理コストな排水処理システムの開発が期待される。

V 引用文献

- 1) 財団法人畜産環境整備機構(2004)家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術, 財団法人畜産環境整備機構
- 2) 沖縄県農林水産部畜産課(2022)おきなわの畜産, 4, 沖縄県農林水産部畜産課
- 3) 財団法人畜産環境整備機構(2004)家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術, 10, 財団法人畜産環境整備機構
- 4) 田中稔(2019)北海道酪農における乳牛ふん尿の処理及び利用技術, 寒地土木研究所月報, 799, 41
- 5) 中央畜産会(2000)堆肥化施設設計マニュアル, 7, 社団法人中央畜産会
- 6) 財団法人畜産環境整備機構(2004)家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術, 17, 財団法人畜産環境整備機構
- 7) 沖縄県農林水産部(2023)沖縄県畜産経営技術指標(第7版), 沖縄県農林水産部
- 8) 財団法人畜産環境整備機構(2004)家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術, 121-122, 財団法人畜産環境整備機構
- 9) 伊禮判(1999)畜産公害対策試験(6)酸化溝型回分式活性汚泥法による高濃度豚舎汚水の低コスト処理試験, 沖縄畜試研報, 37, 78-83
- 10) 一般財団法人畜産環境整備機構(2022)家畜汚水処理施設設計・維持管理マニュアル, 225-230, 一般財団法人畜産環境整備機構
- 11) 財団法人畜産環境整備機構(2004)家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術, 122, 財団法人畜産環境整備機構
- 12) 沖縄県農林水産部畜産試験場(1996)家畜ふん尿の施用基準, 4, 沖縄県農林水産部畜産試験場