

## 養豚汚水浄化処理施設の活性汚泥混合液を利用した 豚ふん堆肥化時発生臭気の簡易脱臭

杉本清美・大泉長治<sup>\*1</sup>・森貴之<sup>\*2</sup>・山口岑雄<sup>\*1</sup>

### Deodorization for Composting Swine Wastes Odor by an Eazy System Using Aeration Tank Liquid Mixture of Activated Sludge Plant in Swine Farm

Kiyomi SUGIMOTO, Choji OIZUMI<sup>\*1</sup>, Takayuki MORI<sup>\*2</sup> and Takao YAMAGUCHI<sup>\*1</sup>

#### 要 約

開放直線型攪拌発酵装置から発生する豚ふん堆肥化時の臭気を低減するため、浄化槽の活性汚泥液をタンク内でシャワー散布するタンク式装置と、ダクト内でシャワー散布するダクト式装置の2方式の脱臭装置を試作し、アンモニア濃度とニオイセンサ値の脱臭性能を測定した。

装置の内容を改修して設定した3期の試験期間における低減率の平均は、アンモニアは70.9～86.2%、ニオイセンサ値は29.7～50.0%であり、アンモニア濃度はある程度低減できたが、ニオイセンサ値では十分な低減は認められなかった。全期間中で最もアンモニア濃度の低減率が高かったのは、タンク式装置で接触充填材を充填した気液向流式の第1期であった。また、ニオイセンサ値の低減率が高かったのもタンク式装置の第1期であった。このことから、接触充填材と気液の接触方法が装置の性能に影響したと考えられた。

#### 緒 言

畜産における堆肥化時発生臭気の対策については様々な研究と対策が進められているが、市販の脱臭装置では設置費および維持管理費が高額であり畜産農家で導入している例は少ない。このため、経営負担が軽い自家施工を基本においた導入しやすい簡易で低コストな脱臭装置を検討した。

養豚経営の場合、農場に浄化処理施設が併設されていることが多いため、田中ら(1985)および本多ら(1998)により報告された活性汚泥脱臭装置を参考に、県内養豚農家の堆肥発酵ハウスと汚水浄化処理施設の間に、曝気槽活性汚泥混合液(以下、活性汚泥液という)をシャワー散布する実験装置を設置して、堆肥化時に発生する臭気の高減を試みた。

#### 材料および方法

##### 1. 現地状況調査

2005年に試験対象とした県内養豚農家において、養

平成27年8月31日受付

<sup>\*1</sup>元千葉県畜産総合研究センター

<sup>\*2</sup>森管工株式会社

豚の経営概況を経営主および後継者から現地で聞き取りした。

また、2005年～2008年の間に当該経営における臭気発生状況を延べ10日にわたり測定調査した。臭気発生状況は、農場内各所および敷地境界線において、ガステック社製ガス検知管により臭気成分濃度(アンモニア、硫化水素)を測定した。また、新コスモス電機社製ニオイセンサXP-329ⅢR型により臭気の強さ(1分間の最大レベル値)を測定した。なお、曝気槽以外はいずれも機械静置時に測定を行った。

##### 2. 脱臭装置の試作

豚ふん堆肥化時に発生する臭気に対して、養豚汚水浄化処理施設の活性汚泥液をシャワー散布する脱臭装置を試作した。対象経営において、開放直線型攪拌発酵装置(発酵ハウス建物間口6m×長さ60m×中央高さ4m、建屋容量約1,260m<sup>3</sup>)から発生する臭気を発酵ハウス上部から吸引ファンにより吸引し、汚水浄化処理施設主曝気槽(容量約120m<sup>3</sup>)から水中ポンプにより引き込んだ活性汚泥液を吸引臭気に対してシャワー散布する装置を、タンク内で行う「タンク式装置」とダクト内で行う「ダクト式装置」として2方式試作して、脱臭性能を調査した。装置の概要は表1、図1、図2のとおりであり、当該経営にとって金銭的、労力的負

担が少なくかつ効果的であると思われる脱臭装置の作成を目指した。稼働利便性と性能向上のため数回改修を行い、主な改修に合わせて試験期を次の(1)~(3)のとおりに3期に区分して整理した(表2)。なお、活性汚泥液の利用については、田原ら(1997)により活性汚泥液と水道水に臭気を通気した脱臭能力の比較試験において活性汚泥液の優位性が提示されている。また、装置の構造・能力等は、田中ら(1985)および本多ら(1998)が試験した活性汚泥脱臭装置を参考にした。

(1) 第1期

活性汚泥液をシャワー散布する脱臭槽として大型タンク(2.0m<sup>3</sup>)を利用したタンク式装置を試作した。発生臭気と活性汚泥液の接触は気体と液体が流れる方向が逆の気液向流式とし、シャワー部分のノズルは効果を見ながら直列に1個から3個まで増やした。シャワー部分の下部に気体と液体の接触・混合を促進させるポリプロピレン製接触充填材を装備した。シャワー散布した後の活性汚泥液は、タンク内水中ポンプにより汚水浄化処理施設主曝気槽に返送し循環利用した。

(2) 第2期

タンク式装置の接触充填材部分に汚泥の固形物が堆積し約5ヶ月間でタンク入気部への風速が2.5m/secから0.7m/secと70%以上低下し、数回清掃を行ったものの風速低下が改善されなかったため接触充填材を撤去して稼働させた。

(3) 第3期

活性汚泥液をシャワー散布する脱臭槽として薄い

鉄板の内外表面に塩ビコーティングした直径30cmの軽量ダクトを利用したダクト式装置を増設し、既設のタンク式装置と並列に並べ、2方式併用とした。第1~2期では、発酵ハウスからの臭気吸引ファンは仕様設定が小さく(0.75kW)発酵ハウス内空気全体を脱臭装置に導入するには風量不足であった。また、発酵ハウスの密閉度が低かったため臭気が吸引口よりも他へ流出していた。このため、発酵ハウス上部の通風開口部をポリカ波板で密閉し、吸引ファンを増設し吸引量を約2倍とした。これによりタンク式装置だけでは風量が処理できないため、ダクト式装置を増設した。ダクト式装置は、横に配置した軽量ダクトの上部にノズルを横並列に配置して気体の流れに対し垂直に液体を接触させる気液直交式にし、気液の接触・混合を促進するため第1期で使用した接触充填材をシャワーノズル下部に装備した。シャワー散布後の活性汚泥液はダクト勾配5%で排水し一時的に小型タンクに貯留した後、水中ポンプにより主曝気槽へ返送した。

一方、既設のタンク式装置は、排気部での装置周辺への液の飛散が激しく頻繁な清掃が必要であったため、管理の煩雑さが農家負担とならないよう気液向流式の一部(液体ノズル5個中3個)を気体と液体が流れる方向が同じ気液並流式に変更し、液の飛散を防止した。また、当期試験開始時に第1~2期の試験により配管内に汚泥や粉じんの堆積が認められたため、全配管を交換して試験を開始した。

表1 試験装置の概要

	方式別	
	タンク式装置	ダクト式装置
特徴	空気の流れが攪乱しやすく、気体と液体が接触しやすい	気体と液体の接触時間が長くできる 部品が安価
装置容量等	ポリエチレン製タンク 直径1.3m、肩口高さ1.5m、容量約2.0m <sup>3</sup>	鋼板製、両面塩ビコーティングスパイラルダクト 直径300mm、長さ4m×3本
臭気吸引ファン	フルタ社製0.75kWターボプロア 風量26m <sup>3</sup> /min	三貴製作所製(ぶらかい)1.5kWターボファン 風量25m <sup>3</sup> /min
臭気吸引ダクト	鋼板製、両面塩ビコーティングスパイラルダクト 直径250mm、長さ4m×6本	同左 同左
シャワーノズル	コーテック社製ノズレス® 5個 噴霧口部: 間隔0.5m全長1.5m	コーテック社製ノズレス® 5個 噴霧口部: 間隔1m全長5m
シャワー用ポンプ	新明和社製0.4kW0.16m <sup>3</sup> /min	同左
返送用ポンプ	新明和社製0.4kW0.16m <sup>3</sup> /min フロート自動排水 既設浄化槽へ返送 循環時間 約10分	同左 同左 返送用に0.5m <sup>3</sup> のポリエチレン製タンクに一時貯留して、その後既設浄化槽へ返送 同左
経路配管	塩ビ製・ポリエチレン製、直径50mm	同左
接触充填材	ポリプロピレン製、直径約100mm、3種	同左

表2 試験期間別装置の内容

	期間	方式	気液方向	接触充填材	ノズル噴霧口	ノズル並び配置
第1期	2007年10月～2008年12月(15ヶ月)	タンク方式	向流	有	3個	縦
第2期	2009年1月(1ヶ月)	タンク方式	向流	無	3個	縦
第3期	2009年4月～2010年1月(10ヶ月)	タンク方式	並流	無	3個	縦
		ダクト方式	向流	無	2個	タンク上部
		ダクト方式	直交	有	5個	横

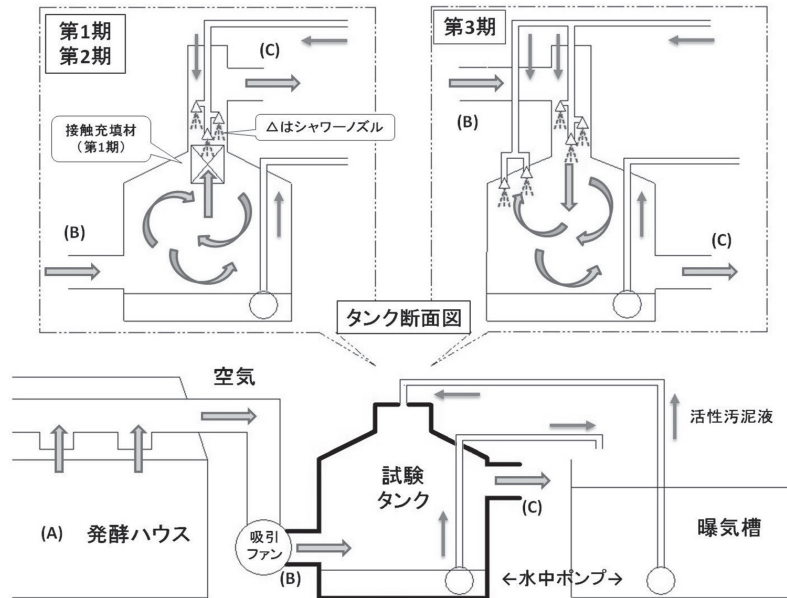


図1 試験脱臭装置の模式図(タンク式)

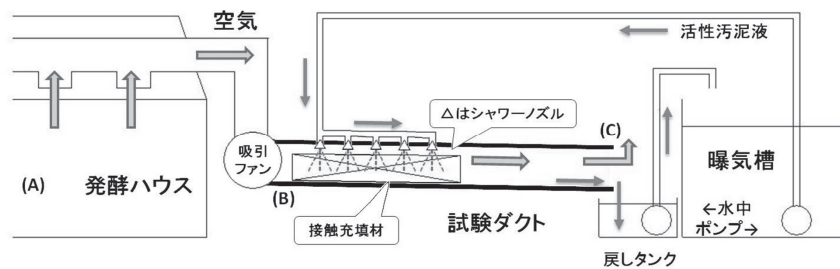


図2 試験脱臭装置の模式図(ダクト式)

### 3. 脱臭装置の脱臭性能試験

脱臭装置の脱臭性能を確認するため、表2の各期において3～10日間隔で臭気成分濃度等の測定を行った。測定箇所は、密閉した発酵ハウス内部(堆肥上高1.5mハウス中央付近、(A))、臭気吸引ファンから脱臭槽に至る入気部分の配管内中央(B)と、脱臭槽から大気に排気される排気部(C)で行った(図1、図2)。

臭気については、前記1の臭気発生状況調査と同様の方法で、臭気成分濃度(アンモニア、硫化水素)と臭気の強さを測定した。臭気成分は、天候や堆肥化作業状況、発酵装置の攪拌状況等によって大きく変動す

るため、調査時点での発生状況として測定調査し、脱臭槽入気部と脱臭槽排気部を比較し、低減率 $((\text{入気部値} - \text{排気部値}) \div \text{入気部値} \times 100)$ で表した。なおニオイセンサ値は、製作販売会社によると臭気物質の電気伝導度を数値化したものであって低減率は算出できないとされているが、本試験においては便宜的に数値が減少した割合を低減率とした。

配管内の風速は、testo社製ベーン式風速計416型で測定した。測定箇所は、臭気と同様の入気部配管内中央(B)と排気部(C)で行った。

## 結果および考察

### 1. 現地状況調査

対象経営の概況は、母豚150頭飼育の一貫経営で、肥育豚舎と育成豚舎はスノコ豚舎と平飼いの併用で、繁殖部門はストール式豚舎とプレハブ式離乳子豚舎を利用していた。作業労働人員としては、後継者と雇用3名であるが、雇用中2名はパート的な労働であった。

ふん尿処理については、固形物はスクレーパおよび人力で豚舎から搬出後、開放直線型攪拌発酵装置にモミガラ等副資材と共に投入して堆肥発酵処理、液状物は原尿槽に一時貯留し固液分離機にかけた後、浄化処理施設で処理していた。浄化処理施設は連続式の活性汚泥処理方式で、最終段階で限外ろ過膜処理を行った後、処理水を豚舎洗浄と液肥に利用していた。

臭気発生状況として測定調査した農場内の各所の平均値は、表3のとおりであった。豚舎内では分娩豚

舎、離乳子豚舎、育成豚舎、肥育豚舎のアンモニアとニオイセンサ値が高く、また、豚舎から排出した汚水の排水マスと全体の汚水が集中し間欠曝気している原尿槽のニオイセンサ値が高かった。特に原尿槽は曝気していない時でもアンモニアが16.6ppm、硫化水素が33.1ppmと非常に高く、農場内の豚飼養部分における臭気の主たる発生源と考えられた。また、原尿槽以降の浄化処理施設では、通常は目立った臭気は発生していなかったが、1日に1回流入汚水用の固液分離機が稼働する30分程度の時間に硫化水素が0.3ppm検出された。開放直線型攪拌発酵装置が設置されている発酵ハウス内では静置時でもアンモニアが平均27ppm程度測定された。さらに、攪拌機械の腐蝕防止のため攪拌時以外はカーテンを開放している状況で、臭気は発酵ハウスから漏れ出ており、発酵ハウス周辺各所での平均ではアンモニア4.0ppmが測定され、この場所も当該経営の大きな臭気発生源と考えられた。

表3 農場内臭気発生測定値 (測定回数平均)

測定場所	(測定回数)	アンモニア (ppm)	硫化水素 (ppm)	ニオイセンサ値
繁殖豚舎	(n=3,0,4)	3.3	-	58
分娩豚舎	(n=3,0,3)	9.3	-	155
離乳子豚舎	(n=9,0,6)	7.8	-	154
育成豚舎	(n=5,0,4)	5.0	-	140
肥育豚舎	(n=10,2,12)	9.0	0.00	217
豚舎排水マス	(n=2,2,2)	3.8	0.95	352
原尿槽	(n=9,11,9)	16.6	33.06	840
浄化槽	(n=5,5,4)	4.2	0.04	84
固液分離機稼働時	(n=1,1,1)	2.0	0.30	185
ふん堆積場	(n=3,3,3)	0.2	0.00	129
堆肥舎	(n=5,2,5)	5.0	0.00	40
発酵ハウス内	(n=27,8,20)	27.3	0.02	286
発酵ハウス周辺	(n=27,15,29)	4.0	0.00	97
敷地境界	(n=5,3,5)	0.8	0.00	41

注:nは、順にアンモニア、硫化水素、ニオイセンサの測定回数

表4 試験各期における堆肥発酵臭気発生状況と脱臭装置の臭気低減状況 (各期間平均)

臭気	アンモニア									
	発酵ハウス内		脱臭装置							
			タンク式				ダクト式			
濃度 (ppm)	測定回数	入気 (ppm)	排気 (ppm)	低減率 (%)	測定回数	入気 (ppm)	排気 (ppm)	低減率 (%)	測定回数	
第1期	29.8	46	26.1	3.0	86.2	58	-	-	-	0
第2期	60.4	5	35.3	10.7	70.9	6	-	-	-	0
第3期	31.1	43	27.4	7.5	75.3	44	24.7	6.6	72.4	44

臭気	ニオイセンサ値									
	発酵ハウス内		脱臭装置							
			タンク式				ダクト式			
値	測定回数	入気	排気	低減率 (%)	測定回数	入気	排気	低減率 (%)	測定回数	
第1期	188	33	208	106	50.0	33	-	-	-	0
第2期	309	5	324	204	45.3	5	-	-	-	0
第3期	202	39	234	164	30.4	40	228	163	29.7	40

2. 脱臭装置の脱臭性能試験

各試験期における堆肥発酵臭気の発生状況と脱臭装置の臭気低減状況の平均値は表4のとおりであった。

(1) 第1期

ノズル3個、気液向流式でのタンク式装置の入気部と排気部の測定結果を図3~7に示した。期間の平均では、アンモニアは発酵ハウスからの入気部では26.1ppmが排気部では3.0ppmとなり、86.2%低減できた(図3)。ニオイセンサ値は、入気部208が排気部106となり、低減率は50.0%と十分な低減は認められ

なかった(図4)。

また、開放直線型攪拌発酵装置の機械攪拌時において15分ごとに2時間測定した(攪拌前1回を含む)ところ、攪拌時にアンモニア濃度が高かったが約1時間後には臭気の発生は沈静化した。脱臭装置の性能としては、アンモニアは高濃度であっても60%以上の低減率を得た(図5、図6)。しかし、ニオイセンサ値の低減率は平均35.4%であり、低減は十分ではなかった(図7)。

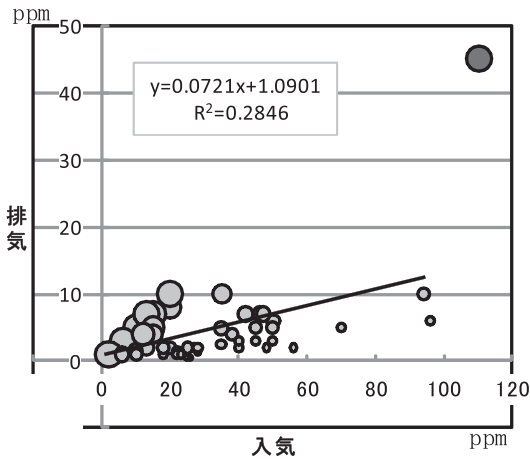


図3 タンク式装置のアンモニア濃度(第1期)

注:丸の大きさは、臭気残存率(排気部値÷入気部値×100)の大きさを表している  
右上の丸は臭気残存率50.0%の大きさ

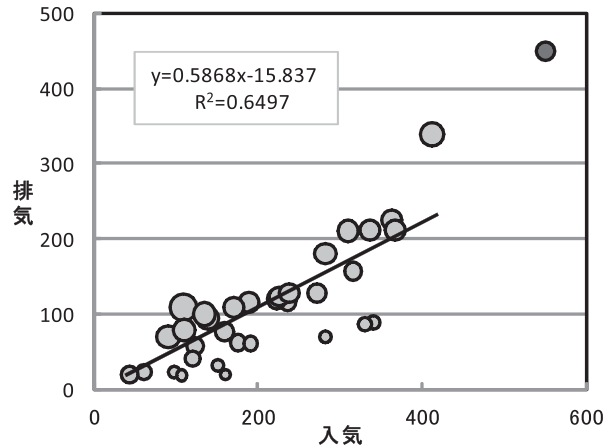


図4 タンク式装置のニオイセンサ値(第1期)

注:丸の大きさは、臭気残存率(排気部値÷入気部値×100)の大きさを表している  
右上の丸は臭気残存率50.0%の大きさ

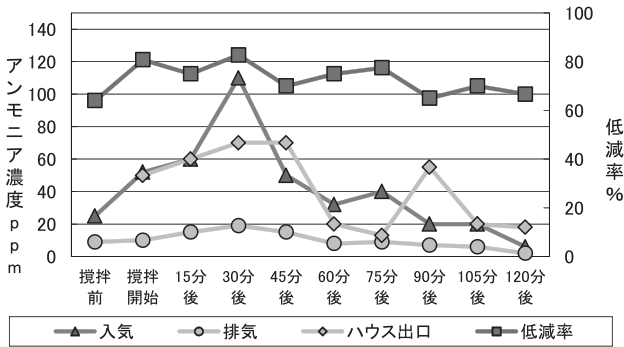


図5 堆肥化装置攪拌時のアンモニア濃度推移例(第1期・例1)

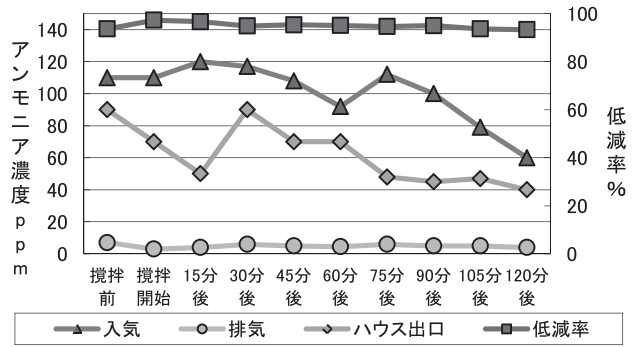


図6 堆肥化装置攪拌時のアンモニア濃度推移例(第1期・例2)

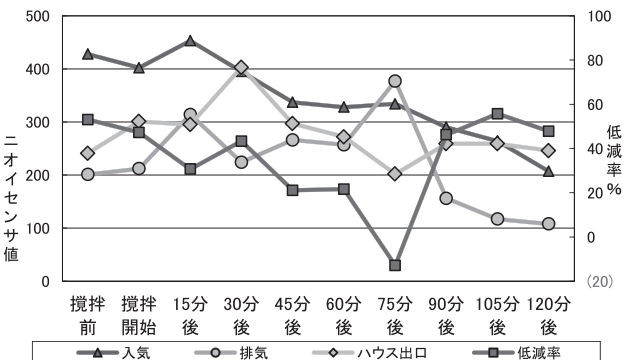


図7 堆肥化装置攪拌時のニオイセンサ値推移例(第1期・例2)

(2) 第2期

第1期のタンク式装置の接触充填材を撤去した場合の入気部と排気部の測定結果を図8、図9に示した。期間の平均では、アンモニアは入気部が35.3ppmで排気部は10.7ppmとなり、70.9%低減できたが、第1期に比較して性能は低下した(図8)。ニオイセンサ値でも、入気部324が排気部204と、低減率は45.3%で第1期より性能が低下した(図9)。

(3) 第3期

タンク式装置に加えダクト方式の装置を試作し、2方式併用での入気部と排気部の測定結果を図10～13に示した。期間の平均では、アンモニアについては、タンク式装置では、入気部が27.4ppmで排気部では7.5ppmとなり低減率は75.3%であった。ダクト式装置では、入気部が24.7ppmで排気部では6.6ppmとなり低減率は72.4%であり、両装置とも同程度の低減率であった(図10、図11)。タンク式装置はノズル噴霧口を増やしたため第2期より低減率は良かったものの、一部気液並流式に変更したため第1期よりは低下したと推察された。また、ニオイセンサ値については、

タンク式装置では、入気部234が排気部164と低減率は30.4%、ダクト式装置では、入気部228が排気部163と低減率は29.7%であり、両装置とも低減効果は小さかった(図12、図13)。

なお、ダクト式装置では、約10ヶ月24時間常時稼働でダクト内において接触充填材部分に限らず汚泥中の固形物が堆積し、排気風速が試験開始時の9.9m/secから3.1m/secへと68.7%低下した。タンク式装置内では接触充填材を装備しなかったこともあり目立った固形物の堆積は認められなかったが、排気風速が7.9m/secから3.5m/secと55.7%低下した。

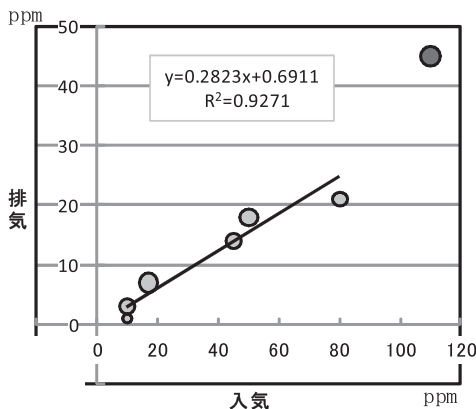


図8 タンク式装置のアンモニア濃度(第2期)  
注:丸の大きさは、臭気残存率(排気部値÷入気部値×100)の大きさを表している。右上の丸は臭気残存率50.0%の大きさ

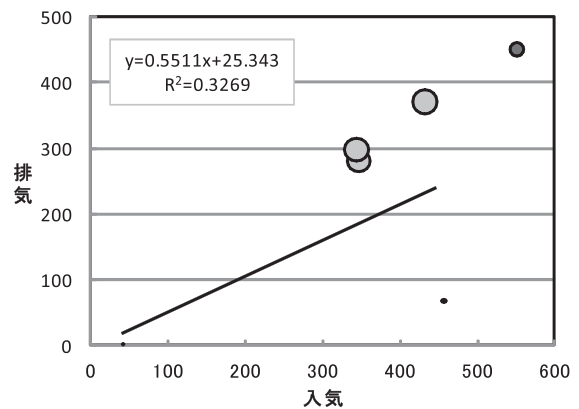


図9 タンク式装置のニオイセンサ値(第2期)  
注:丸の大きさは、臭気残存率(排気部値÷入気部値×100)の大きさを表している。右上の丸は臭気残存率50.0%の大きさ

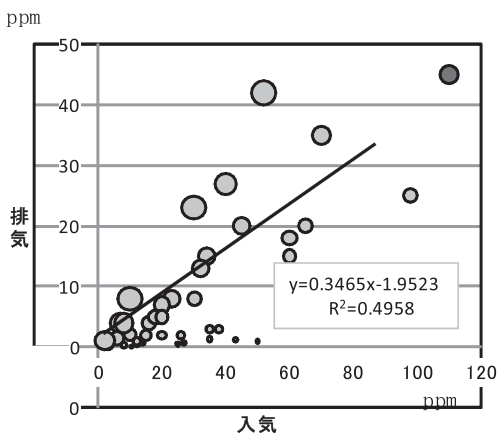


図10 タンク式装置のアンモニア濃度(第3期)  
注:丸の大きさは、臭気残存率(排気部値÷入気部値×100)の大きさを表している。右上の丸は臭気残存率50.0%の大きさ

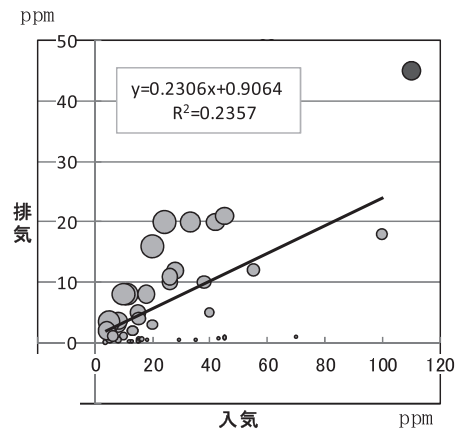


図11 ダクト式装置のアンモニア濃度(第3期)  
注:丸の大きさは、臭気残存率(排気部値÷入気部値×100)の大きさを表している。右上の丸は臭気残存率50.0%の大きさ

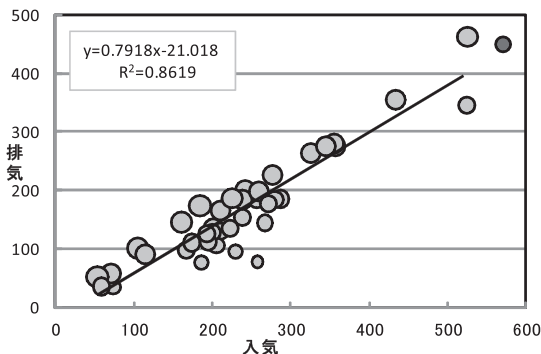


図12 タンク式装置のニオイセンサ値(第3期)  
注:丸の大きさは、臭気残存率(排気部値÷入気部値×100)の大きさを表している。右上の丸は臭気残存率50.0%の大きさ

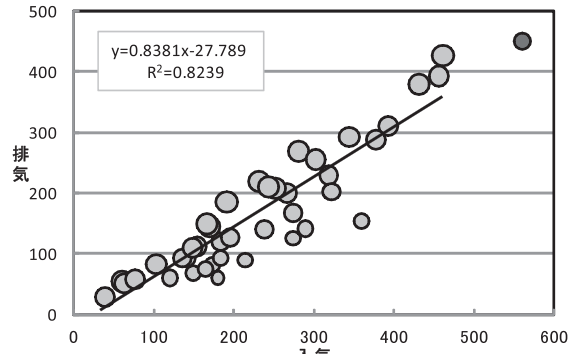


図13 ダクト式装置のニオイセンサ値(第3期)  
注:丸の大きさは、臭気残存率(排気部値÷入気部値×100)の大きさを表している。右上の丸は臭気残存率50.0%の大きさ

(4) 全期間のまとめ

全期間中で最もアンモニア濃度の低減率が高かったのは、タンク式装置で接触充填材を設置した気液向流式の第1期であった。また、ニオイセンサ値の低減率が高かったのもタンク式装置の第1期であった。このことから、接触充填材と気液の接触方法の影響が大きく、堆積固形物の除去清掃回数低減という管理利便性を優先して接触充填材の撤去と気液の接触方法の変更が性能の低下につながったと考えられた。

なお、図3において、丸の大きさは、臭気残存率(排気部値÷入気部値×100)を表しており、残存率0~100%の中間値50%を右上上部に大きさ(臭気残存率)の参考として例示した(図4、図8、図9、図10、図11、図12、図13も同様)。アンモニアでは入気部の値が大きい場合でも残存率が高いとは限らず、入気部の値が小さい場合でも残存率が低いとは限らなかった。以下、図8、図10、図11においても同様であった。ニオイセンサ値は、図4、図9、図12、図13のとおり入気と排気の値の相関が高い傾向が見られ、全期間において脱臭装置の効果は小さかった。しかし、活性汚泥液自体の浄化槽曝気時のニオイセンサ値は26(全期間平均n=52)であったため、排気部の堆肥発酵臭の値は実質としては低減されていると考えられる。実際、排気部においては常時活性汚泥液の臭いがしており、入気部で感じられた堆肥発

酵臭は確認できなかった。

硫化水素については、入気部において3回低濃度で検出されたが、脱臭装置通過後には全期間検出されなかった。

今回試験した実規模の脱臭装置において、活性汚泥液はアンモニアの低減にある程度効果があったが、ポンプやダクト等配管内に豚毛や汚泥・スケールが付着しやすく定期的かつ頻繁な清掃が必要であった。さらに、使用したノズルは試験期間中に活性汚泥液による詰まりはなかったが、浄化槽から流入した小枝や落葉が詰まることがあり、浄化槽の上部開放部分も網などで被う必要があったため、実際に活性汚泥液を利用するには注意が必要となる。

(5) 製作費用

脱臭装置の製作費用について概算集計したところ、表5のとおりタンク式装置で約195万円、ダクト式装置で約160万円となった。なお、装置は試験的な製作で何度も改修を行ったため、厳密な経費の積算ではなく必要費用のおおよその集計である。費用のうち、タンク式装置の吸引ファンは、試験期間中途に腐蝕し、長期使用に耐えられないと判断されたためダクト式装置で用いた耐蝕性ファンを計上した。労働費については、2007年度公共工事設計労務単価(基準額・千葉県・普通作業員)の値に製作作業時間の積算値を乗じて算出した。

表5 脱臭装置の製作費用試算(消費税別、単位:千円)

項目	タンク式装置		ダクト式装置	
	金額	備考	金額	備考
タンク	150		0	
ダクト	180		75	
返送タンク	0		20	0.5m <sup>3</sup>
ノズル	22	5個	22	5個
シャワー用ポンプ	60		60	
返送用ポンプ	60		60	
臭気吸引ファン	230	耐蝕性ファンとした	230	耐蝕性ファン
臭気吸引ダクト	230		230	
他配管材	240		123	
接触充填材	15		15	
労務費	497	13.8千円×2人×18日	497	13.8千円×2人×18日
電気工事	265		265	
合計	1,949		1,597	

最後に、本研究の実施に当たっては、試験協力養豚農家の方々ならびに管轄の市役所、家畜保健衛生所、農業事務所の皆様に多大なる御協力をいただきました。また、

試験装置の製作には、神奈川県畜産技術センターの田邊眞氏に的確かつ親切なアドバイスをいただきました。ここにお礼申し上げます。

引用文献

本多勝男・川村栄輔・倉田直亮、1998、バイオフィルターによる高濃度アンモニア臭気の脱臭試験、神奈川畜試研報87:23-27

田原鈴子・白石誠・川尻鉄也・光井武、1997、家畜ふん尿汚水・悪臭の同時処理システムの確立(Ⅱ)、岡山総畜七研報:43-48

田中博・代永道裕・中嶋吉郎、1985、畜試年報:87-88