

乳牛ふんの吸引通気式堆肥化とリン酸スクラバ及び 地域未利用資源による簡易脱臭法

杉本清美・大泉長治・山口岑雄

A Composting System with a Vacuum-Type Aeration for Dairy Cattle Manure and
an Easy Deodorant System with a Phosphoric Acid Scrubber and Waste Materials

Kiyomi SUGIMOTO, Choji OIZUMI and Takao YAMAGUCHI

要 約

吸引通気式堆肥化により堆肥臭気を捕集し、スクラバと県内の未利用有機質資源を活用した簡易な脱臭技術を開発する目的で脱臭試験を実施したところ、以下の結果を得た。

1. 乳牛ふんを吸引方式で通気することにより順調に堆肥化が進行した。
2. 堆肥臭気成分のうちリン酸スクラバに流入したアンモニアは 96.7% 以上脱臭できた。
3. 残りの臭気をモミガラとパークで吸着脱臭すると、硫化水素の除去率が高いがメルカプタン類の除去率は低い場合があった。
4. 簡易吸着脱臭槽で使用したモミガラ・パークの両資材とも、堆肥化の副資材として再利用が可能であった。

緒 言

畜産経営の悪臭問題については、特に家畜排せつ物の堆肥化過程で発生するアンモニア等の臭気が問題になり、これを低減する脱臭装置はコストが高いため導入が進まず、低コストで確実に脱臭できる簡易な脱臭処理方法が求められている。現在多く行われている圧送通気式の堆肥化では、堆肥の底部からファンで空気を圧送し排気をそのまま堆肥表面から開放するので、堆肥中に含まれているアンモニアが大気中に揮散する。これに対し逆に堆肥の底部からファンで空気を吸引する吸引通気式堆肥化では、堆肥の表面から揮散するアンモニアを低減し、堆肥底部の吸引配管内にアンモニアを含んだ空気を収集できるため、その後の臭気対策が容易になる¹⁾²⁾。また、(独)農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所が現在開発中の溶液洗浄式の簡易スクラバ脱臭装置(以下「スクラバ」という。)は高濃度のアンモニアガスを効率よく回収する能力を有しており臭気対策にも活用できる³⁾。

一方、千葉県ではモミガラ等の水田残渣、製材残材等の未利用バイオマスが多く発生し、その有効利用が課題となっているが、密閉式堆肥発酵装置で利用されているオガクズ脱臭槽のように臭気吸着資材としての利用が考えられる。

そこで、これらの技術を組み合わせて、吸引通気式堆肥化により堆肥臭気を捕集し、スクラバと地域の未利用資源を活用した簡易な脱臭技術を開発する目的で脱臭試験を実施した。

材料及び方法

乾燥ハウスで予乾した当センターの搾乳牛ふんを堆肥発酵槽に堆積し、1週間毎に切り返しを行う約1ヵ月間の堆肥化試験を2006年3月と8月の2回実施した。その期間中、下部配管溝に設けた配管の通気口から空気を連続吸引し、リン酸水溶液を循環させているスクラバへ送り込み、排気中のアンモニアを捕集した。さらに、その後の排気をモミガラと製材残材(パーク)を充填した簡易吸着脱臭槽(以下「吸着脱臭槽」という。)2槽に送り込み、残臭の吸着を試みた。

1. 乳牛ふんの吸引通気式堆肥化と組み合わせ脱臭
(1) 供試装置

平成 19 年 8 月 31 日受付

試験施設・装置の概要・諸元は図1、図2及び表1のとおりである。

堆肥発酵槽において底部に設置した塩ビ管は、発酵槽後壁から2.0mの先端部と1.0mの側面部に直径75mmの吸引口を開けステンレスとナイロン製の網2種で覆い2カ所のスポット吸引方式として、モミガラを充填した配管溝に埋設し、発酵槽後部から吸引ファンへ接続した。堆肥からの吸引排気はれき汁を含む高湿度の空気のため、吸引ファンの手前に設けたドレインタンクで一旦れき汁と結露水を捕集した。

堆肥から吸引する通気量は、薬師堂ら⁴⁾の通気量を参考に表1の数値を目標値として風速計により換算し、インバータにより吸引ファンの回転数を変化させるとともにバルブ開閉により通気量を調整し、終日吸引ファンを稼動して吸引通気した。

スクラバは畜産草地研究所で開発されたもので、電気制御装置を持ち一式が市販の物置にコンパクトに収納されている。ドレインタンクを経過した排気は吸引ファンを通してスクラバ入り口から上部の筒内でノズルから噴霧されたリン酸水溶液に接触し、排気中のアンモニアはリン酸と反応してリン酸アンモニウムとして吸着溶解し脱臭され、残りの空気は排出口から排出される。スクラバ槽底部にはヒーターを有し、結露水の増加により水量が増加すると加温されて水分を蒸発させるよう水位センサーにより制御されている。ヒーターは液の溶解度を上げリン酸アンモニウムの結晶化を防ぐ役割もある。

さらにスクラバからの排気は、吸着脱臭槽の下部多孔塩ビ管から出て、コンテナパレットにより底上げされた床全面から充填資材を通過して上部表面から排気される仕組みである。

(2) 供試材料

供試した材料は表2及び表3のとおりである。

表1 試験施設・装置

項目	内容
堆肥発酵槽	間口2.7m、奥行3.7m(屋根付き)
ドレインタンク	容量300Lポリ製
吸引ファン	1.8kW リングブロー(畜産草地研究所貸与)
配管設備	75mm VP塩ビ管
スクラバ	容量700Lポリ製・ヒーター・循環用マグネットポンプ付き(畜産草地研究所貸与)
吸着脱臭槽	間口2.0m×奥行1.8m×高さ1.0m×2槽(屋根付き)
目標通気量(堆肥1m ² 当たり)	第1週80L/分 第2週46L/分 第3週33L/分 第4・5週30L/分

表2 試験材料

項目	冬期試験(2006年3月8日~4月5日)	夏期試験(2006年7月26日~8月30日)	
堆肥材料 乳牛ふん	水分68.3% 8.3t	水分72.8% 8.2t	
リン酸水溶液	75%リン酸 60.4kg使用 18.4%水溶液 246kg	85%リン酸 70.2kg使用 23.5%水溶液 254kg	
吸着脱臭資材	モミガラ	水分18.8% 430kg p H5.66	水分10.2% 568kg p H6.25
	パーク	水分45.4% 499kg p H4.29	水分21.3% 427kg p H4.68

表3 吸着資材の粒度分布(%)

粒度(mm)	7.89 <	4 <	2 <	1 <	0.5 <	0.25 <	0.105 <	0.105 >
モミガラ	0.0	0.1	83.8	12.5	2.7	0.5	0.1	0.2
パーク	78.1	0.8	5.7	7.6	3.8	1.7	1.2	1.1

(3) 測定項目及び方法

堆肥試料、脱臭資材、リン酸水溶液及びドレインについて重量を測定し、水分、有機物、灰分、pH、EC、窒素、リン酸、カリ、腐熟度等成分は、「堆肥等有機物分析法」⁵⁾に従い分析した。

堆肥試料の品温は、堆積中央部の吸引口1カ所において、下部から10cm、50cm、90cmの3カ所で測定した。

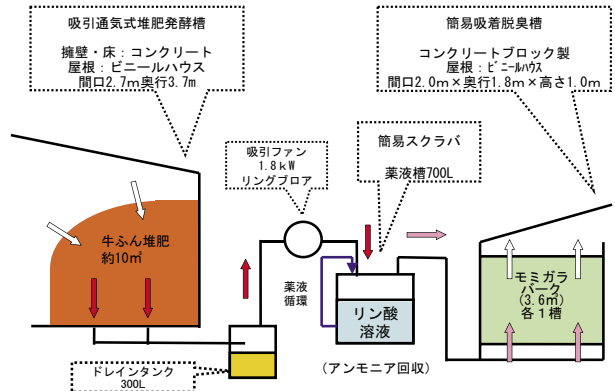


図1 施設の概要

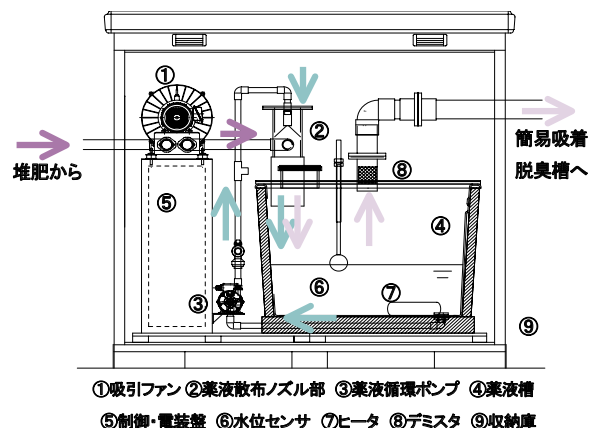


図2 スクラバの模型図(畜産草地研究所提供)

また、配管中の堆肥吸引排気部、ドレイントラップ後、スクラバ後の3ヵ所の空気温度とスクラバ水溶液温度及び吸着脱臭槽の空気温度を測定した。

臭気は毎日、ガステック社製ガス検知管でアンモニア、硫化水素、全メルカプタン類及び酢酸を、新コスモス社製ニオイセンサXP-329型で臭気全体を測定した。堆肥表面及び吸着脱臭槽表面は、それぞれ15Lと105Lのプラスチック製容器をかぶせ1分間密閉した後直径25mmゴム栓の測定口から、他は配管の途中の測定口で測定した。

2. 使用済み脱臭資材の堆肥化副資材利用

吸着脱臭槽に充填し1ヵ月間臭気を吸着させたモミガラとパークの両資材を乳牛ふんの堆肥化における副資材として利用するため、使用済み及び未使用のモミガラとパークをそれぞれ乳牛ふんと混合して水分70%程度に調整し、通気式小型堆肥化装置を使用して堆肥化試験を2週間実施した。その際、堆肥中央部の発酵温度を測定し、また、装置の排気部分においてガステック社製ガス検知管でアンモニア、硫化水素及び全メルカプタン類を毎日測定し、吸着した臭気が再揮散するかを未使用資材区と比較した。

結果及び考察

1. 乳牛ふんの吸引通気式堆肥化と組み合わせ脱臭

(1) 堆肥化試験

堆肥化の結果は表4のとおりであった。

吸引通気量は、堆肥の圧力とドレインタンクと吸引ファンの性能により実質通気量が設定通気量と異なった。

冬期試験では重量8.3tのふんが28日後4.0tに、夏期試験では8.2tが4.6tに減少した。水分は、冬期68.3%のふんが57.3%になり、夏期72.8%と高めのふんも28日後60.6%、35日後59.8%になった。ただし夏期において、当初高水分で容積重774kg/m³の時にドレインタンクが潰れかけ通気性が発現していないと思われたが堆肥温度が上昇したためそのまま試験を続行した。1週間後切り返した際の水分69.1%容積重652kg/m³の試料では通気性が発現した。有機物分解率も冬期40.7%、夏期25.1%となり、酸素消費量(コンポテスター)やコマツナ発芽率でも腐熟が確認され、堆肥化が進行した。

堆肥発酵温度は、最高温度が冬期80.8、夏期82.0に達し、1ヵ月間順調に推移した。場所別では、堆肥底部の吸引口付近が高温で推移し、逆に表面に近い部分で温度が低く推移した(図3、4)。堆肥からの吸引排気配管中では、冬期13.5~55.2、夏期47.8~69.8と推移した。スクラバの溶液温度は水量とヒータ作動により冬期21~57、夏期38~69に調整され、その排気が流入する吸着脱臭槽では冬期14.0~

38.2、夏期33.1~53.7が測定された。

1週間ごとの堆肥切り返しの際、配管溝にれき汁が溜まったため吸引口付近のモミガラを部分的に交換したところ目詰まりなく通気できた。また、堆肥表面20~30cmの部分と下部吸引口へ向かって逆三角形に白いカビ様のものが発生しており、通気のムラが観察された。

堆肥化の物質収支は図5のとおりであった。吸引口から吸引されドレイントラップで収集されたドレインは排気中の水分とれき汁が混合したもので、その量は初期堆肥重量の8.9%(冬期)、10.6%(夏期)であった。また、スクラバから吸着脱臭槽の間でもドレインが3.2%(冬、夏とも)発生した。

(2) 臭気発生と脱臭試験

臭気発生と除去は、表5のとおりであった。

アンモニアについては、堆肥表面では平均で冬期7.5ppm、夏期34.8ppm発生し、最高では冬期40ppm、夏期330ppmであった。堆肥吸引後の排気中では、平均では冬期328ppm、夏期2,530ppm発生し、最高では冬期1,120ppm、夏期16,000ppmに達した。ドレイントラップ後で濃度は低下した。吸引ファン後のスクラバ流入空気中のアンモニアは、高濃度であってもスクラバで96.7%~100%除去できた。リン酸水溶液はアンモニアと反応するとpHが上昇するが、冬期はアンモニア発生が少なくpHの上昇も緩やかで期間終了時もpH2.4にとどまり、アンモニアが漏れ出すには至らなかった。しかし夏期はアンモニアが多く発生しpHの上昇が著しく、途中でリン酸を追加したがpHが3以上に上昇すると少量のアンモニアの漏れ出しがあった。35日目の最終日にはpH4.8になり、除去率は97.6%となった。スクラバ後の吸着脱臭槽では、パークでは完全に除去できたが、モミガラでは低濃度の漏れ出しも除去できない時があった。

硫化水素については、切り返し後に吸引排気中に発生が多くなることが何回もあった。これは、堆肥中に嫌氣的発酵部分があり、そこに発生していた硫化水素が切り返し操作により通気部分に暴露されたためと思われる。また、堆肥表面では発生が測定されなかった。脱臭については、スクラバではほとんど除去できず、その後の吸着脱臭では、パークでの除去率は高かったものの、モミガラでは除去率が低かった。

全メルカプタン類についても、硫化水素と同様の傾向があり、モミガラ・パークともに全く除去できない場合もあった。

酢酸については、全期間全箇所発生が測定されなかった。

ニオイセンサでの測定は、堆肥吸引後の排気中が最高値を示し、計測不可能なほど数値が高かった時(数値2000以上)もあった。スクラバ後でも減少率が鈍く、また、吸着脱臭槽表面でも数百の数値が示され、何ら

表4 堆肥化の概要

経過日数(日)	冬期試験					夏期試験					
	0	7	14	21	28	0	7	15	21	28	35
通気量(L/分・堆肥1m ³)	78.0	46.9	33.9	40.2		27.2	44.4	56.9	41.3	43.5	
堆肥質量(t)	8.3	6.4	5.4	4.5	4.0	8.2	7.3	6.2	5.4	4.6	4.3
容積重(kg/m ³)	641	636	583	527	496	774	652	626	604	566	548
含水率(%)	68.3	66.1	60.7	58.3	57.3	72.8	69.1	68.9	64.3	60.6	59.8
pH	8.43	8.33	8.40	8.45	8.44	8.48	8.54	8.51	8.51	8.31	8.67
EC(mS/cm)	6.98	6.91	6.98	7.71	8.88	6.89	7.45	7.85	7.44	7.50	8.51
Kjel-N(%DM)	2.21	2.34	1.76	2.37	1.87	2.42	2.40	2.48	2.31	2.22	2.45
P ₂ O ₅ (%DM)	1.93	2.79	2.27	3.78	2.12	2.02	2.03	2.36	2.45	2.30	2.65
K ₂ O(%DM)	3.20	3.88	4.29	4.55	4.23	3.93	3.63	3.91	3.88	4.41	4.89
コンポテスター値(μg/g/分)	6.0	5.0	4.7	4.5	4.0	4.3	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0
発芽率(%)	71	81	88	87	90	77	83	85	94	97	97
有機物分解率(%)		19.4	23.0	32.7	40.7		2.1	16.9	18.3	25.1	30.1

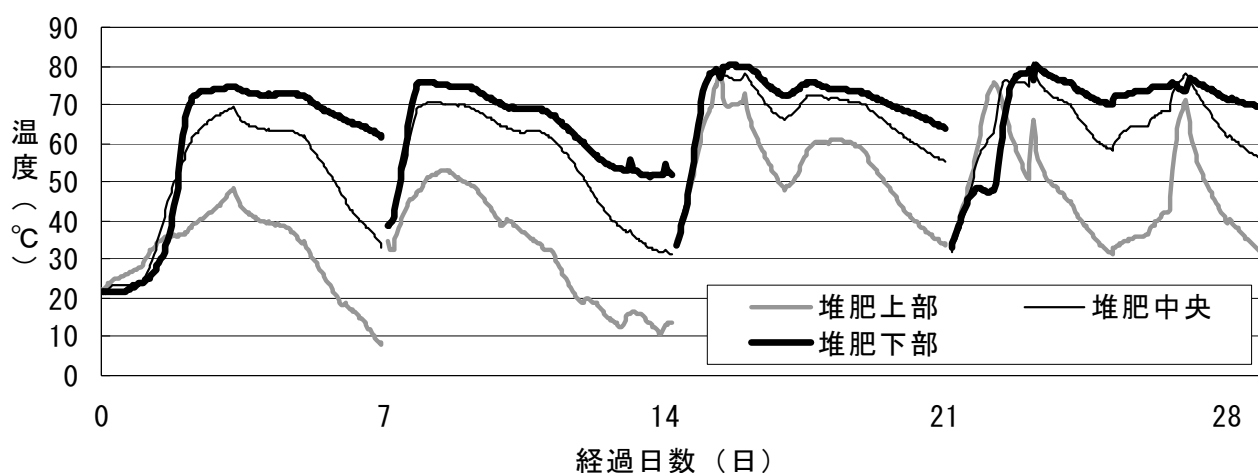


図3 冬期試験 堆肥化発酵温度の推移

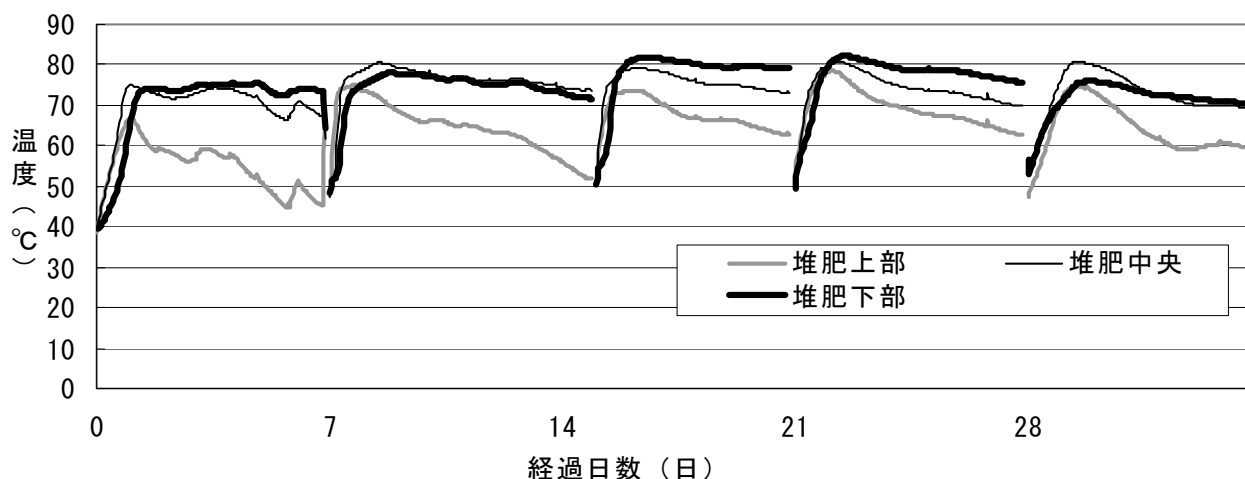


図4 夏期試験 堆肥化発酵温度の推移

かのおいが存在していたと思われた(図6、7)。

なお、吸着脱臭槽表面と配管中の臭気では測定方法が異なるため、それぞれの数値を用いて除去率を求めることには問題が残るが、試験期間中の推移を見るためには適当であると考えられる。また、吸着脱臭槽のみかけ通過速度は両資材とも143mm/秒、通過時間は7秒で接触時間の問題もあったが、モミガラのアムモニア除去率が低かった要因は資材の含水率の影響も考えられた。

(3) 窒素収支

各部位の測定・分析結果をもとに窒素の収支を算出したところ、表6のとおりであった。初期堆肥中の窒素量のうち、28日後には、堆肥中窒素は73.8～74.1%となり、ドレインに1.2～2.6%、リン酸水溶液に8.2～16.8%移行し、6.5～16.7%の行方は不明でありロードによる切り返し時を中心に空气中に揮散したものと推測される。

(4) コスト試算

クランプメータにより電流量を測定し電力使用量を推計したところ、一日当たり冬期22.3kWh、夏期

杉本ら：乳牛ふんの吸引通気式堆肥化とリン酸スクラバおよび地域未利用資源による簡易脱臭法

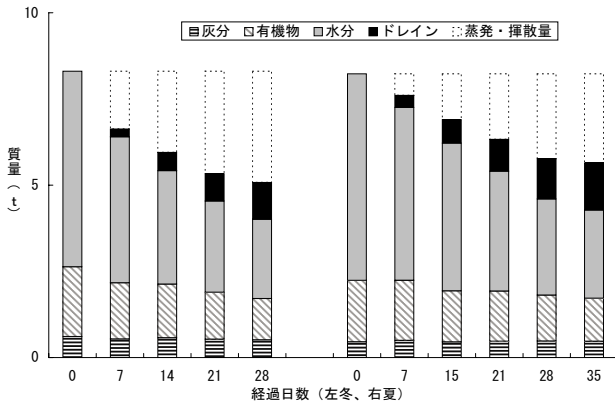


図5 堆肥化物質収支

17.2kWh で、28 日間ではそれぞれ 626kWh、482kWh であった。

リン酸溶液は、冬期は 75%液 60 kg、夏期は 85%液 70 kg を使用した。

この試験規模で処理費を試算したところ、生ふん 1 t 当たりリン酸 833 円、電気代冬期 727 円、夏期 665 円で、計 1,498 ~ 1,560 円となった。これを搾乳牛 40 頭規模に換算すると年間では 933 千円程度と試算された。

(5) 留意点

吸引通気式は、通気の流れを逆にするだけなので、既存の圧送通気装置があれば大幅に改修することなく導入でき、臭気を収集しやすいので臭気対策が行いやすい。

ただし、堆肥化に当たっては、堆肥中の水分が堆肥底部に集中しやすいこともあって、当初に適切な水分調整が必要であり、れき汁により配管が詰まりやすくなるので注意する。また、スポット式吸引口では発酵

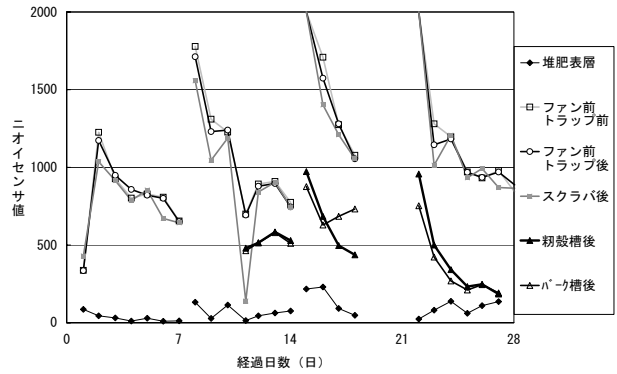


図6 冬期試験ニオイセンサ値の推移

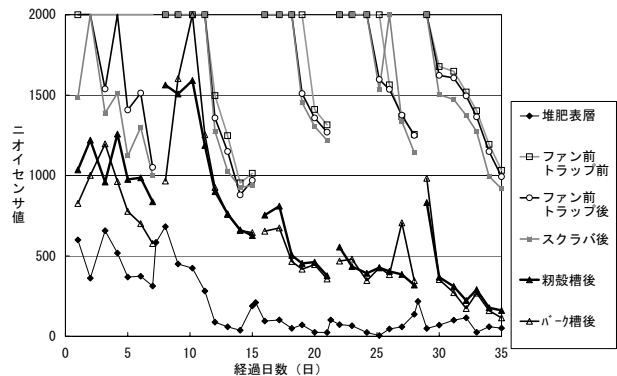


図7 夏期試験ニオイセンサ値の推移

ムラが生じるので、適宜切り返しが必要である。今後、さらに吸引口等の改良による効率的な通気方法や、切り返し時に発生する臭気の捕集方法の検討も必要である。配管内においては、ドレインが発生するため、発生した液分を水分の低下した堆肥に掛け戻すなどの処理利用方法を検討する必要がある。

表5 臭気発生・除去状況

物質名	区分	平均濃度 (ppm)						除去率		
		堆肥表面	吸引排気 トラップ前	吸引排気 トラップ後 A	スクラバ 排気 B	モミガラ槽 表面 C	バーク槽 表面 D	除去率	モミガラ槽 表面	バーク槽 表面
アンモニア	冬期	7.5	328	262	0.7	0	0	99.7 (96.7)	100 (100)	100 (100)
	夏期	34.8	2,530	1,343	2.2	0.1	0	99.5 (97.6)	97.1 (86.7)	100 (100)
硫化水素	冬期	0	9.3	9.0	12.5	0.1	0.6	8.9 (0)	99.8 (98.0)	98.8 (80.0)
	夏期	0	2.3	1.6	1.3	0.1	0	18.5 (0)	91.3 (66.7)	100 (100)
メル カブタン類	冬期	0	1.2	0.8	1.3	0.1	0.02	33.6 (0)	95.5 (66.7)	93.3 (0)
	夏期	0	9.2	5.9	1.6	0.6	0.2	74.7 (0)	57.7 (0)	94.2 (0)

注：除去率 = (A - B) / A × 100 (%)
 除去率 = (B - C または D) / B × 100 (%)
 除去率の下段 () 内は最低除去率

表6 窒素収支

窒素収支 (kg N、積算)	経過日数 (日)	冬期試験					夏期試験					
		0	7	14	21	28	0	7	15	21	28	35
堆肥中 -N		58.3	50.3	46.7	44.9	43.0	56.9	52.6	49.3	46.8	43.3	42.2
ドレイン -N			0.2	0.4	0.6	0.7		0.5	1.0	1.2	1.4	1.5
スクラバ -N			-	-	-	4.8		-	-	-	-	9.5
不明			7.8	11.2	12.8	9.7		3.8	6.6	8.9	12.2	3.7

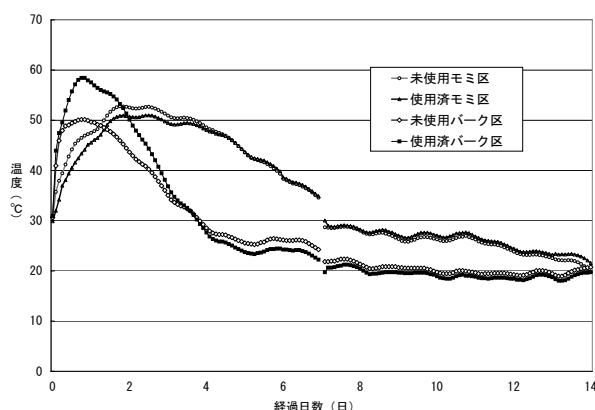


図8 副資材堆肥化温度の推移

表7 副資材の堆肥化と臭気発生状況

試料別	単位: kg, %, ppm				
	モミガラ		パーク		
	未使用	使用済	未使用	使用済	
開始時	重量	7.0	7.0	6.5	6.5
	含水率	70.5	70.3	70.0	70.2
2週間後	重量	5.4	5.4	4.8	4.8
	含水率	69.1	69.1	68.9	64.6
	有機物分解率	16.9	21.4	24.0	13.1
臭気発生 (期間平均)	アンモニア	23	20	30	35
	硫化水素	0	0	0	0
	メルカプタン類	0.0	0.3	0.3	1.4

さらに、アンモニア回収後のリン酸水溶液の処理利用方法を検討する必要がある。使用後の薬液を乾燥させたり水溶液を堆肥に掛け戻したりして肥料に自家利用することは法律的に問題はないが、経営外への販売は肥料取締法による肥料登録が必要となる。

2. 使用済み脱臭資材の堆肥化副資材利用

吸着脱臭槽で使用したモミガラとパークを副資材として利用し乳牛ふんを堆肥化したところ、温度は50以上に上昇して堆肥化が進行した(図8)。

また、アンモニア、硫化水素及びメルカプタン類の発生について、使用済み区と未使用区での発生の差を検定したところ差はなく(危険率1%)、再揮散もなかったと言えた(表7)。

以上のように、乳牛ふんの堆肥化に伴って発生する臭気に対し、吸引通気式堆肥化処理とリン酸スクラバ脱臭装置と資材吸着脱臭槽を組み合わせた簡易脱臭施設の実証試験を行ったところ、吸引通気により堆肥化が進行し、堆肥表面からのアンモニア揮散が低減され、スクラバでは高濃度のアンモニアが脱臭でき、スクラバで除去できない硫化水素もパークではある程度脱臭できることがわかった。

吸引通気方式は臭気を収集しやすく臭気対策を行いやすい方式であり、組み合わせ脱臭方式は、畜産臭気で最も多量に発生するアンモニアをスクラバでほぼ完全に回収でき、残臭を吸着脱臭槽で脱臭できる、畜産経営における適当な脱臭方式であると考えられる。今後は、装置の部分的改良や使用済みリン酸水溶液の利

用法を確立し、畜産経営での実用化が期待される。

また、吸着脱臭槽で使用したモミガラとパークの両資材とも、臭気の再揮散もなく堆肥化の副資材として利用できることがわかった。ただ、吸着資材の長期にわたる利用可能期間の実証試験を実施していないため、吸着破過あるいは飽和時点での副資材利用試験を実施する必要がある。

最後に、この研究は農林水産省委託金プロジェクト「農林水産バイオリサイクル研究」畜産エコチーム組み合わせ脱臭実用化サブチームに参画し、(独)農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所の委託を受けて、東北農業研究センター、栃木県畜産試験場、埼玉県農業総合研究センター畜産研究所、富山県農業技術センター畜産試験場と共同で研究を行ったものであり、この研究に当たり御指導・御協力をいただいた関係各位に感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 阿部佳之・福重直輝・伊藤信雄・加茂幹男、農業施設、(2003) No.33(4): 255 - 261
- 2) 阿部佳之・福重直輝・伊藤信雄・加茂幹男、農業施設、(2003) No.34(1): 21 - 30
- 3) 阿部佳之、畜産技術、(2006) No.615: 2 - 6
- 4) 薬師堂謙一・山本克巳・田中章浩・代永道裕、九州農試報告、(1999) No.36: 49 - 55
- 5) (財)日本土壌協会、(2000) 堆肥等有機物分析法