

消臭型家畜ふん堆肥化ハウスの開発

(2) 畜産臭気脱臭システムの実証試験

田邊眞・川村英輔・齋藤直美¹・青木稔²・藤井八月・倉田直亮
(¹ 神奈川県畜産課、² 神奈川県東部家保)

Development of Composting House with Deodorization system
(2) Studies on Deodorization system

Makoto TANABE, Eisuke KAWAMURA, Naomi SAITO,
Minoru AOKI, Hazuki FUJII and Naosuke KURATA

当センターで開発した消臭型家畜ふん堆肥化ハウスには、微生物脱臭装置、除湿装置、酸化チタン脱臭装置からなる畜産臭気脱臭システムが組み込まれていて、堆肥化ハウスの排気を脱臭している。この畜産臭気脱臭システムの脱臭性能を調査した。各装置を改良した結果、アンモニア除去率は、微生物脱臭装置が 85.7~95.6%、除湿装置が 42.1~60.5%、酸化チタン脱臭装置が 18.2~41.2% となり、システム全体では 96.6~97.3% となった。畜産臭気脱臭システムは堆肥化ハウスに組み込まれた簡易な装置であるが、十分なアンモニア除去効果を示した。また、アンモニア除去効果を安定して発揮させるには、微生物脱臭装置脱臭液の定期的な交換や除湿装置による結露水の除去が必要であった。運転費用は電気代が乳牛 1 頭あたり約 1,700 円/月かかった。

キーワード：家畜ふん、堆肥化ハウス、微生物脱臭、酸化チタン脱臭

家畜ふんを堆肥化する際には、アンモニアを多量に含む臭気が発生し、悪臭問題や環境汚染の原因となっている。農林水産省によると畜産経営に起因する苦情のうち、悪臭関連は約 6 割となっている。そのため、神奈川県では都市と共存する畜産を実現するために消臭型の家畜ふん堆肥化施設の開発が求められている。

当センターでは、閉鎖型堆肥化処理施設での堆肥化技術¹⁾、微生物脱臭技術²⁾及び畜産臭気対策への酸化チタンの応用³⁾など、臭気対策を考慮した家畜ふん尿処理技術の研究を進めてきた。これらの基礎的研究成果をもとに、2001 年 4 月、園芸ハウス内に堆肥化攪拌装置を設置し、畜産臭気脱臭システムを組み込んだ消臭型家畜ふん堆肥化ハウスを開発した。

この畜産臭気脱臭システムは、閉鎖型の堆肥化ハウスから発生する臭気を、活性汚泥浄化槽の処理水を利用して脱臭する微生物脱臭と、太陽の紫

外線という自然の力を最大限に利用する酸化チタン脱臭の異なる 2 種類の方法を用いて脱臭するシステムである (図 1)。

本試験では、この畜産臭気脱臭システムの脱臭性能を調査した。

材料及び方法

1. 消臭型家畜ふん堆肥化ハウス

堆肥化ハウスは、間口 8m、奥行き 35m、中心高 4.8m、室内容積 806m³の透明樹脂フィルム張りハウスである。発酵乾燥床は堆積高 50cm で、当センターの乳用牛 20~30 頭を飼育しているフリーストール牛舎から排出されるふんを 1 日約 700 kg 処理した。堆肥化ハウスの扉は、通常は閉鎖し、ふんや堆肥の運搬時のみ開閉した。

堆肥化ハウスでは、送風機により強制的に入排気を行い、排気は畜産臭気脱臭システムにより処理した (図 2)。

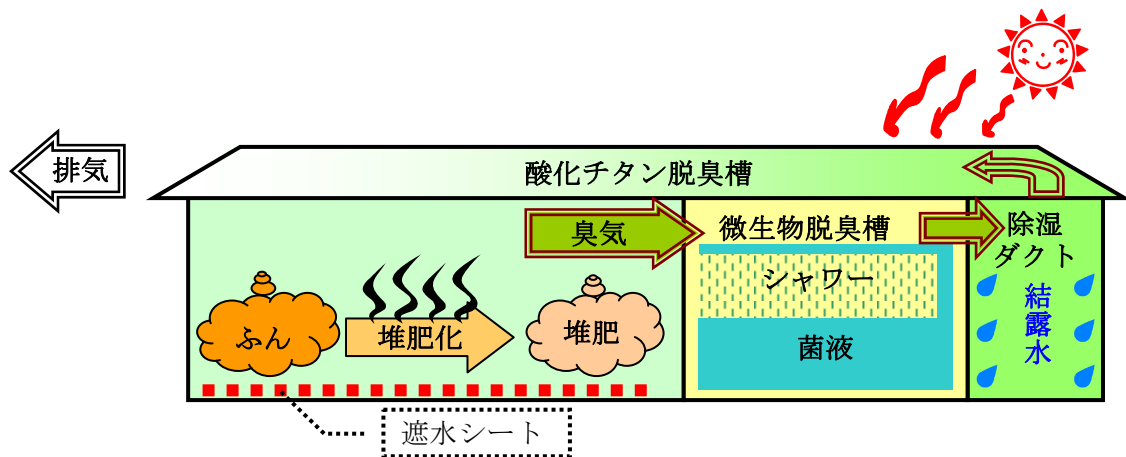


図1 畜産臭気脱臭システムを組み入れた消臭型家畜ふん堆肥化ハウス



図2 消臭型家畜ふん堆肥化ハウスにおける入排気の流れと畜産臭気脱臭システム

2. 畜産臭気脱臭システム

畜産臭気脱臭システムは、微生物脱臭装置、除湿装置及び酸化チタン脱臭装置で構成される。

(1) 微生物脱臭装置

微生物脱臭装置は、長さ 3.1m、幅 1.9m、高さ 2.7m で、下部の脱臭液槽と上部の気液接触槽からなる。脱臭液槽は、6m³の脱臭液を貯留し、エジェクターで攪拌した。脱臭液には、家畜用活性汚泥浄化槽の放流水または水道水を使用した。気液接触槽は、容積 8.8m³で、槽上部から脱臭液を散布し臭気と気液接触を図った。槽の内部は 4 区に分け滞留時間を確保し脱臭液と臭気の気液接触の効率を高めた。

当初、脱臭液の散布は塩化ビニル管にドリルで穴を開けたパイプ方式で行っていたが、気液接触の効率を上げるため、2001年9月にシャワーノズル（コーテック社製）によるシャワー方式に改修した。

また、脱臭液の硝化を促進するため、2004年8月に、1m³のタンク2個を用いた硝化槽を設置した（図3）。硝化槽には珪藻土を粒径4mmのペレット状に焼成した土壤改良資材をそれぞれ0.5m³、計1m³を投入した。脱臭液は約1ℓ/分の流速で硝化槽に流入させ再び脱臭槽に戻した。

(2) 除湿装置

ア 顕熱交換器

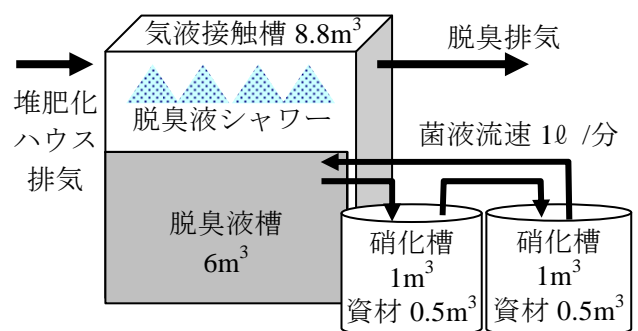


図3 微生物脱臭装置の概要

堆肥化ハウス内の温度を保つため、顕熱交換器を設置し入気の冷たい空気と排気の暖かい空気との熱交換を行った。当初は、ブリキ板を用いた手作りの熱交換器を使用したが高熱交換効率を上げるため、2003年3月、換気装置改修時にアルミプレート式静置型顕熱交換器（処理風量7,000m³/h）に交換した。

イ 除湿ダクト

当初、除湿ダクトは設置していなかった。堆肥化ハウスの排気は、微生物脱臭装置を通過後多量の水分を含み、酸化チタン脱臭装置のフィルム面に多量の結露が発生した。そこで、排気温度と気温の差により生じる結露を利用して、2001年12月に電柱を利用したビニールダクトによる空中遊離

型の簡易除湿装置を排気用送風機と酸化チタン脱臭装置の間に設置した（写真1）。強風等によりダクトが破損したため、2002年3月、堆肥化ハウスの外壁にビニールダクトをかまぼこ状に付着させた壁接着型の除湿装置に改善・改修した。設置したダクトは、直径60cm、長さ35m×2列×2面、ダクト内容積19.8m³、外気との接触面積は263.8m²である。



空中遊離型 壁接着型
写真1 除湿ダクトの概観

（3）酸化チタン脱臭装置

堆肥化ハウスの屋根を2重構造とし、酸化チタン脱臭槽とした。脱臭槽容積は166m³である。酸化チタン塗料は、ビストレイターL（株）日本曹達社製）を使用し、脱臭槽内側のフッ素フィルム面にスプレーで塗布し常温乾燥した。酸化チタン塗膜の推定膜厚は、保護接触層は2.5μm、触媒層3.4μmで、塗布面積は546m²であった。

施設使用1年後に、酸化チタンフィルム上の酸化チタン塗膜の状態を調べたところ、フィルム上に塗膜は残っていたものの密着性が低かった。そこで、ポリエチレンテレフタレートフィルム両面に酸化チタン塗料をマイクログラビアコーティングマシンにてコーティングしたフィルムを使用した。このフィルムの推定膜厚は、保護接触層3.0μm、触媒層3.0μmであった。2004年2月、改修を行い、脱臭槽の中央部に新たに塗膜面積540m²分を増設した。

3. 分析方法

微生物脱臭装置及び酸化チタン脱臭装置の入排気中のアンモニア濃度を検知管法及びホウ酸トラップによる滴定法で測定し、排気風量からアンモニア量を計算した。硫黄化合物と低級脂肪酸はガスクロマトグラフィー（FPD、FID）で分析した。

微生物脱臭装置の脱臭液及び除湿装置の結露水の性状は、pH、電気伝導度（EC）、イオンクロマトグラフ法によるアンモニア性窒素（NH₄-N）、亜硝酸性窒素（NO₂-N）、硝酸性窒素（NO₃-N）を測定した。

酸化チタンのアンモニア分解量は、測定した波長253nmの紫外線量と以下の定数をもとに推計した。使用した定数は、紫外線1mW/cm²=1.75×10¹⁵フォトン/秒、酸化チタン塗布した屋根の面積=275.2m²、アンモニア1mol分解量=5.42×10²⁴フォトン、フォトン利用率=50%（改修前）、90%（改修後）、光触媒活性効率=10%である。

フィルム面上の酸化チタン塗膜の状態を確認するため、施設使用1年後に天井部のフィルム60cm×500cmを採取し、顕微鏡による観察及びメチレンブルーによる肉眼的観察を行った。なお、酸化チタン塗膜の材料採取及び観察は、日本曹達（株）高機能材料研究所の協力を得て実施した。

結果及び考察

1. 堆肥化ハウス排気中のアンモニア量

夏期における排気中アンモニア量の時間ごとの変化を表1に示した。7～9時の平均アンモニア濃度は30.7ppmで、1時間あたりのアンモニア排出量は59.6gであった。アンモニアの排出は13～15時が最高となり、アンモニア濃度は151.4ppm、排出量は293.7g/時であった。

一方、19時から翌5時の夜間のアンモニア濃度は24.9ppm、排出量は48.3g/時と低かった。アンモニア排出量は、日内変動が大きく、昼間と夜間で約6倍も差があった。

表1 堆肥化ハウス排気中のアンモニア量

時刻	アンモニア		排気温度 ℃	気温 ℃
	濃度 ppm	排出量 g/時		
19～7時	24.8	48.1	30.3	25.4
7～9時	30.7	59.6	34.5	29.0
9～11時	45.3	87.9	47.2	35.1
11～13時	140.5	272.5	50.6	33.8
13～15時	151.4	293.7	49.9	31.5
15～17時	47.8	92.7	41.1	30.0
17～19時	39.8	77.2	37.7	28.3
19～5時	24.9	48.3	31.6	26.8

注) 2004年8月3～5日測定、晴天
排気温度と気温は各時刻の平均
15時前後に作業のため扉を30分程度開放

2. 畜産臭気脱臭システムの脱臭効果

（1）微生物脱臭装置

ア 菌液散布方法によるアンモニア除去効果
2001年7月の測定では、入排気中のアンモニア量は、それぞれ1日あたり2,417g、1,070gとなり、

除去率は 55.7%であった（表 2）。本多らの報告では²⁾、微生物脱臭装置のアンモニア除去率は 82～99%であり、これと比較するとかなり低い値であった。この原因は、パイプ方式での脱臭液散布は気液接触効率が悪いためと考えられた。

シャワー方式に変更後の 2001 年 9 月の測定では、アンモニア除去率が 88.2%に上昇した。脱臭液交換後の 2002 年 11 月から 2003 年 1 月にかけては、アンモニア除去率は 85.7%～95.6%と安定した高い値を示した。

アンモニアは水に極めて溶けやすく、気液接触効率が直接除去率に影響する。シャワー方式の脱臭液散布は気液接触効率がよく、簡易でかつアンモニアが効率的に除去されることが確認された。

イ 滞留時間によるアンモニア除去効果

微生物脱臭装置への入気量は、当初、21.6～27.7m³/分で、排気の滞留時間は 19.1～24.4 秒であった。2003 年 3 月に換気装置を改修した結果、入気量は 42.6～44.9m³/分と約 2 倍になり、滞留時間は 11.8～12.4 秒と約半分になった。2004 年 8 月の測定では、アンモニア除去率は 71.5%と低くなったが、これは滞留時間の短縮が原因と思われる。

良好な堆肥化発酵を確保するためには堆肥化ハウスの換気量を減らすことは難しい。微生物脱臭装置のアンモニア除去効率を上げるには、気液接触槽の容積を増やして滞留時間を長くする、散布する脱臭液量を増やす、あるいはシャワーの水粒子を細かくして気液接触効率を上げるなどの対応が必要である。

ウ 菌液性状によるアンモニア除去効果

2001 年度冬期は堆肥化発酵状態が悪く、2002 年

1 月のアンモニア排出量は 120g/日とかなり少なかった（表 2）。アンモニア除去率は-6.0%と負の値であった。さらに、2002 年 9 月の測定でも除去率は 1.7%とかなり低い値であった。

この時の脱臭液の NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N の合計（Total-N）は、2002 年 1 月が 6,707mg/l、2002 年 7 月では 7,681mg/l、8 月は 7,130mg/l であった（表 3）。本多らの報告では²⁾、脱臭液の Total-N が 5,000mg/l ではアンモニア脱臭性能の低下はみられていない。本成績から、Total-N が 7,000mg/l 前後でアンモニア捕集能力が限界となることが推察された。

2002 年 10 月に脱臭液を交換したが、この時は水道水に交換した。交換直後のアンモニア除去率は水道水を脱臭液に使用したため馴致期間であったことから 14.0%と低かったが、その後の 11 月、12 月にはアンモニア除去率は 95.6%、89.4%となった（表 2）。この時の脱臭液の Total-N は 2002 年 11 月で 822mg/l であった。微生物脱臭装置のアンモニア除去率を安定させるには、脱臭液の Total-N を 7,000mg/l 以下にするような管理が必要である。

エ 脱臭液の交換

脱臭液の交換頻度を試算した。脱臭液の脱臭能力限界を Total-N7,000mg/l とすると、脱臭液 6m³の微生物脱臭装置全体では、窒素量として 42kg、アンモニア量では 51kg まで負荷をかけることができる。堆肥化ハウスの排気中には、夏期で 1.1～2.4kg/日、冬期で 0.6～1.0kg/日のアンモニアが排出される。微生物脱臭装置のアンモニア除去率を 90%とすると、夏期では 1.0～2.2kg/日、冬期では 0.5～0.9kg/日のアンモニアが脱臭液に蓄積され、脱

表 2 畜産臭気脱臭システムにおけるアンモニアの除去効果

測定年月	天候	微生物脱臭装置			除湿装置	酸化チタン脱臭装置			全体
		入気 ①	除去率 ①-②	排気 ②	除去率 ②-③	入気 ③	除去率 ③-④	排気 ④	除去率 ①-④
2001/7	曇	2,417 ^{a)} (80) ^{b)}	55.7%	1,070 (41)	— ^{c)}	1,370 (37)	26.3%	1,010 (31)	58.2%
2001/9	晴	1,906 (63)	88.2%	226 (6)	—	226 (6)	16.0%	190 (6)	90.1%
2002/1	晴	120 (5)	-6.0%	127 (6)	-18.9%	151 (5)	25.4%	113 (5)	6.0%
2002/9	晴	1,159 (76)	1.7%	1,140 (50)	71.2%	329 (40)	38.7%	202 (39)	82.6%
2002/10	晴	1,111 (70)	14.0%	955 (40)	64.6%	338 (40)	61.7%	130 (20)	88.3%
2002/11	晴	1,034 (55)	95.6%	46 (2)	42.1%	26 (3)	18.2%	22 (4)	97.9%
2002/12	晴	902 (50)	89.4%	96 (4)	57.5%	41 (5)	41.2%	24 (4)	97.3%
2003/1	晴	636 (40)	85.7%	91 (4)	60.5%	36 (5)	40.0%	22 (4)	96.6%
2004/8	晴	2,347 (48)	71.5%	670 (19)	17.2%	554 (16)	67.5%	180 (12)	92.3%

注) a) 1 日あたりのアンモニア排出量 g/日

b) カッコ書きは日平均のアンモニア濃度 ppm

c) —は未設置

臭液のアンモニア捕集能は、夏期では1~1.5ヶ月、冬期では1.5~3ヶ月で飽和することとなる。

以上から、脱臭液の交換は、夏期では1~1.5ヶ月に1回、冬期では1.5~3ヶ月に1回行う必要があると考える。

オ 脱臭液での硝化

2001年6月の装置運転後、脱臭液中のTotal-Nは順調に蓄積し、2002年1月のTotal-Nは6,707mg/ℓとなった。イオン態窒素は、NH₄-Nが3,040mg/ℓ、NO₂-Nが3,011mg/ℓとほぼ1:1の割合であったが、NO₃-Nは657mg/ℓと少なく、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-Nの割合はおおよそ5:5:1であった。硝化反応のうちNH₄-NからNO₂-Nの反応は進むものの、NO₂-NからNO₃-Nの反応は進んでいなかった。

2002年6月、7月、8月では、Total-Nはそれぞれ6,321mg/ℓ、7,681mg/ℓ、7,130mg/ℓであったが、イオン態窒素はNO₂-Nは少なく、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-Nの割合は4.5:1:4.5の割合であった。この時点では、Total-N濃度がほぼ横ばいに推移している

ことから脱臭液のアンモニア捕集能はほぼ限界に達していると考えられるが、NO₂-NがNO₃-Nに酸化し硝化反応が進んでおり、この原因は不明であった。

2003年8月には脱臭液を家畜用浄化槽放流水に全部入れ替えた。2003年10月ではTotal-Nが6,954mg/ℓで、このうちNH₄-Nは1,617mg/ℓ、NO₂-Nは4,548mg/ℓ、NO₃-Nは789mg/ℓで、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-Nの割合は2:7:1であった。2003年11月では、Total-Nが8,627mg/ℓで、NH₄-Nは1,996mg/ℓ、NO₂-Nは2,340mg/ℓ、NO₃-Nは4,291mg/ℓとなり、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-Nの割合は2:3:5でNO₃-Nが全体の半分となった。

このように、脱臭液のTotal-Nが低い時は硝化反応が亜硝酸で止まるが、Total-Nの濃度が7,000mg/ℓ前後になると硝酸まで硝化が進んでいた。この硝化反応の進行程度に差がみられる原因については究明できなかった。亜硝酸は毒性が強いことから、脱臭液に捕捉されたアンモニアは迅速に硝酸

表3 脱臭液性状の推移

測定年月	脱臭液交換後日数	pH	EC mS/cm	NH ₄ -N mg/ℓ	NO ₂ -N mg/ℓ	NO ₃ -N mg/ℓ	Total-N mg/ℓ
2001年7月	30			10	9	1	20
2001年8月	50	5.8	6.2	464	799	0	1,263
2001年8月	64	5.8	7.8	870	1,174	15	2,059
2001年9月	85	6.1	12.2	823	1,020	11	1,854
2001年10月	112	6.4	4.3	2,199	2,593	21	4,812
2001年12月	168	6.5	4.8	2,596	3,016	52	5,664
2002年1月	203	6.9	6.2	3,040	3,011	657	6,707
2002年6月	356			2,661	0	3,660	6,321
2002年7月	399			3,033	423	4,225	7,681
2002年8月	421			3,143	749	3,238	7,130
2002年10月	1	6.6	0.2	2	1	3	6
2002年11月	29	6.7	3.8	346	449	27	822
2003年2月	114	6.6	15.4	1,743	1,672	121	3,535
2003年8月	6			4	0	50	54
2003年10月	80	7.4	13.0	1,617	4,548	789	6,954
2003年11月	101	7.0	16.1	1,996	2,340	4,291	8,627
2004年7月	353	6.1	62.9	2,930	338	2,903	6,170
2004年8月	9	4.5	31.1	186	0	192	378
2004年9月	28	4.7	67.1	4,428	127	4,319	8,873
2004年9月	37	4.8	90.7	6,615	212	6,926	13,754
2004年10月	57	5.3	89.5	6,325	405	7,181	13,911
2005年2月	18	7.7	4.9	19	0	21	40
2005年2月	28	6.9	2.8	253	0	307	560
2005年2月	36	4.9	3.7	339	0	411	751
2005年3月	50	6.3	4.4	461	0	536	997

にまで酸化する必要があると考える。

カ 土壤改良資材による硝化促進

2004年8月、脱臭液を家畜用浄化槽放流水に入れ替えた時に、硝化を促進させるため土壤改良材を投入した。

脱臭液交換後37日目にTotal-Nは13,754mg/ℓとなったが、イオン態窒素のうちNH₄-Nは6,615mg/ℓ、NO₂-Nは212mg/ℓ、NO₃-Nは6,926mg/ℓで硝化が進んでいた。冬期に脱臭液を入れ替えた場合も、2005年3月の脱臭液交換後50日目では、Total-Nが997mg/ℓ、このうちNH₄-Nは461mg/ℓ、NO₃-Nは536mg/ℓでNO₂-Nは検出されなかった。

脱臭液に土壤改良材を投入すると硝化反応が促進された。この理由として、微生物担体を脱臭液に入れることで脱臭液中の硝化菌数が増加するためではないかと考える。

(2) 除湿ダクト

ア 除湿ダクトの設置効果

除湿装置でのアンモニア除去率は、2002年1月には、-18.9%と負の値を示した(表1)。空中遊離型の除湿装置は、結露水の排水が難しくダクト内に結露水が貯留した。この結露水の性状は、pH7.6~7.7、EC2.5~4.4mS/cmでNH₄⁺は177~340mg/ℓであった。除湿ダクト内に貯留した結露水に含まれるアンモニアが、気温の上昇とともに揮散するために、アンモニア除去率が負の値になったと考えられた。

除湿ダクトを壁接着型に変更した2002年9月~2003年1月の測定では、アンモニア除去率は42.1~71.2%となった。2002年10~12月の除湿装置でのアンモニア除去率をみると、11月の除去率が42.1%と10月や12月と比べて低かった。結露水量も11月は48.5ℓ/日と10月、12月に比べて少なかった。このことから、除湿装置でのアンモニア除去は結露水によるものと考えられる。

2004年8月のアンモニア除去率は17.2%と低かった。これは、2003年3月に換気装置を改修し排気量が約1.8倍となったため、除湿ダクト内に結露水がほとんど発生しなかったためと思われた。

イ 結露水量

2002年10~12月に発生した結露水量は顕熱交換器で1日あたり22.3ℓ、除湿ダクトで36.2ℓ、計58.5ℓであった(表4)。換気装置改修後の2003年10~12月では、顕熱交換器で35.4ℓ、除湿ダクトで49.5ℓ、計84.9ℓと2002年に比べ、約1.5倍に増加した。これは、換気装置の改修により排気風量が約1.8倍になったためと考える。

顕熱交換器は、機器の購入費用は必要であるが、

表4 1日あたりの発生した結露水量(ℓ)

2002年	顕熱交換器	除湿ダクト	計
10月	15.2	49.5	64.7
11月	25.7	22.7	48.3
12月	26.1	36.4	62.5
平均	22.3	36.2	58.5
2003年	顕熱交換器	除湿ダクト	計
10月	34.6	42.0	76.5
11月	33.7	64.3	98.0
12月	38.0	42.1	80.1
平均	35.4	49.5	84.9



正常な状態
ダクトは膨らみ
張っている



ダクトの破損(矢印)
穴が開き萎んで
しまった

写真2 壁接着型除湿ダクトの破損状況

電気等のエネルギーは必要とせず運転経費はかからないので、低コストで除湿を行うには有用であると思われる。

ウ 除湿ダクトの耐久性

壁接着型の除湿ダクトは2004年9月、10月、12月に台風等の強風を受けて破損した(写真2)。壁設置型の除湿ダクトは、自家施工可能な簡易な装置であるものの、強風時には容易に破損してしまうことから、除湿ダクトの設置にあたっては堆肥化ハウスの壁を2重壁にして、その内側を除湿槽とするなど工夫が必要であることがわかった。

(3) 酸化チタン脱臭装置

ア アンモニア除去効果

酸化チタン脱臭装置における入排気中のアンモニア量は、2001年7月の測定では、それぞれ1,370g/日、1,010g/日となり、除去率は26.3%であった(表2)。しかし、菌液散布方法をシャワー方式に変更した後の2001年9月の測定では、2001年7月の測定時に比べ入気のアンモニア量が1/6倍の226g/日に減少しているにもかかわらず、除去率は16.0%に低下した。

2001年9月の入排気中の時間ごとのアンモニア量の推移を表5に示した。晴天時では9~13時、雨天時では9~11時と15~17時に、入気よりも排

気の方がアンモニア量は多く、アンモニア除去率は負の値となった。この原因として、①菌液散布方法の変更により、微生物脱臭装置の排気に含まれる水分が多くなったこと、②水分を多量に含む排気により酸化チタン脱臭装置内に多量の結露が生じ、この結露が酸化チタンと臭気物質との接触を妨げることにより脱臭効率が低下したことの2点が考えられた。

除湿ダクトを設置した結果、2002年1月の測定ではアンモニア除去率は25.4%に上昇した。

梅本らは、酸化チタンによる畜産臭気の脱臭効果を示し、畜産分野における酸化チタンの利用が期待されていることを報告した³⁾。酸化チタンを効率よく働かすためには、酸化チタンフィルム面の酸化チタンと臭気をいかに接触させるかが重要であることがわかった。

イ 紫外線量とアンモニア分解量

表6にアンモニア分解量の計算値と実測値を示した。実測値と計算値の比(実測/計算)は、2002年1月の測定では2.0~10.0、2004年8月の測定では0.9~8.6であった。

いずれも計算値に比べ実測値はかなり高い値を示した。この原因は、酸化チタンによるアンモニアの分解のほかに、結露水によりアンモニアが除去されているためと考えられた。

酸化チタンによる臭気成分の分解量は太陽の紫外線量、すなわち天候に強く影響を受ける。堆肥化ハウス排気中のアンモニアは夜間に比べ昼間の方が、雨や曇りより晴の方が排出量が多い。一方、アンモニアの排出量が多い昼間の晴の日には、屋根に当たる紫外線量も多く、アンモニアを分解するには好条件となる。今後、酸化チタンの分解能力を最大限に発揮できるよう装置への入気量の調整など運転方法を検討する必要がある。

ウ 酸化チタンフィルムの耐久性

写真3に酸化チタンフィルムの顕微鏡写真を示した。塗布直後のフィルムでは、通常の塗装でみられるひび割れ状やモザイク状の模様が観察された(写真3A)。

一方、塗装1年後のフィルムでは、モザイク状の模様は観察されたものの、一部では模様の欠落がみられた。一般に塗膜が剥離した場合は剥離面積が大きく全体に斑状になくなるが、今回観察された剥離面積は大きくないことから、使用中に剥離したというよりは、スプレー塗装時にできたものではないかと推定された。

写真4にメチレンブルーにより着色したフィルムを示した。写真4のA、Bは肉眼的な観察で色の

表5 酸化チタン脱臭装置入排気中のアンモニア量の推移

天候	時刻	アンモニア量		除去率
		入気 g/時	排気 g/時	
晴天	7時~9時	13.2	11.9	9.7%
	9時~11時	20.1	21.7	-8.2%
	11時~13時	15.8	16.0	-1.1%
	13時~15時	53.8	28.2	47.6%
	15時~17時	29.8	27.8	6.8%
	17時~9時	11.1	9.6	13.9%
雨天	7時~9時	11.1	9.6	13.9%
	9時~11時	11.2	12.8	-14.1%
	11時~13時	18.7	10.5	43.8%
	13時~15時	41.6	18.8	54.8%
	15時~17時	22.6	28.3	-25.4%
	17時~9時	12.3	11.5	6.3%

注) 2001年9月測定

表6 紫外線量とアンモニア分解量

	紫外線量 mW/cm ²	アンモニア分解量		
		計算値 g/時	実測値 g/時	実測値 /計算値
2002年1月 晴				
7~9時	0.11	0.3	1.4	4.8
9~11時	0.58	1.6	3.2	2.0
11~13時	0.92	2.5	6.4	2.5
13~15時	0.74	2.0	8.0	4.0
15~17時	0.25	0.7	6.7	10.0
2002年1月 曇				
7~9時	0.12	0.3	1.9	5.8
9~11時	0.23	0.6	2.6	4.3
11~13時	0.26	0.7	2.1	3.0
13~15時	0.32	0.9	2.4	2.8
15~17時	0.16	0.4	3.3	7.5
2004年8月 晴				
7~9時	1.02	5.0	6.0	1.2
9~11時	1.93	9.5	13.9	1.5
11~13時	2.13	10.4	34.7	3.3
13~15時	1.72	8.4	64.2	7.6
15~17時	1.50	7.3	32.4	4.4
2004年8月 曇				
7~9時	0.74	3.6	3.4	0.9
9~11時	1.27	6.2	6.4	1.0
11~13時	1.35	6.6	24.5	3.7
13~15時	1.10	5.4	46.5	8.6
15~17時	0.68	3.3	26.4	7.9

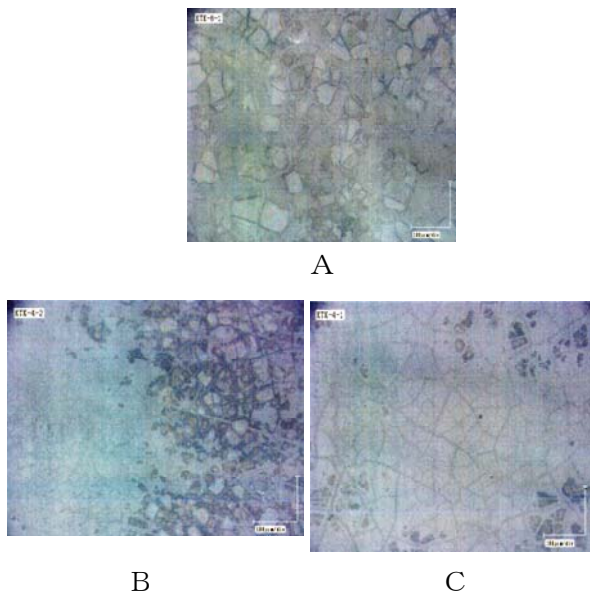


写真3 顕微鏡写真 (450倍)

- A ; 塗布直後 モザイク状の模様
- B ; 塗布1年後 左側の半面で剥離あり
- C ; 塗布1年後 ほぼ全面で剥離あり

濃淡はあるものの、着色していない部分はなかったことから、1年間の使用による大きな剥離はないと考えられた。メチレンブルーの色の濃さは酸化チタン塗膜の厚さに比例して色が濃くなる。濃い色の部分が観察されたことから、膜厚は厚いと推定された。

塗膜面を指で擦った後に着色したところ、擦った部分は着色しなかった(写真4C)。このことから、酸化チタン塗膜はフィルム基材との密着性は低いと推定された。酸化チタンフィルムは長期間使用されることを考えると、塗布方法などの改良が必要であると考えられる。

(4) システム全体の脱臭効果

ア アンモニア除去効果

畜産臭気脱臭システム全体におけるアンモニア除去率は、施設運転当初の2001年7月の測定では58.2%と低かった(表2)。

しかし、各装置の改良を行いシステム全体が効果的に稼動した2002年11月～2003年1月におけるシステム全体でのアンモニア除去率は、96.6～97.9%となり、脱臭後の排気中のアンモニア濃度は日平均で4ppmとなった。畜産臭気脱臭システムでは、アンモニア除去率を微生物脱臭装置で90～95%、酸化チタン脱臭装置で5～8%、全体で95～98%と想定し開発してきたが、2002年11月から2003年

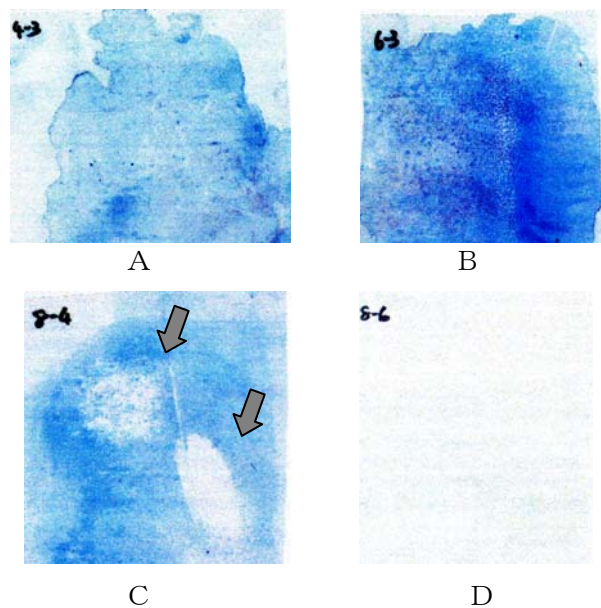


写真4 メチレンブルーによる着色

- A、B ; 着色フィルム
- C ; 指でこすり、酸化チタン塗膜がはがれた部分(矢印)
- D ; 未塗装フィルム

1月におけるアンモニア除去率は想定に近い数字となった。

以上から、堆肥化ハウスに組み込まれた畜産臭気脱臭システムは、アンモニア脱臭において十分な効果が認められたと考える。

なお、2004年8月の測定では、脱臭システム全体のアンモニア除去率が92.3%になり、特に微生物脱臭装置での除去率が71.5%に低下した。これは、菌液のアンモニア捕集能が限界になったためである。今後は、この脱臭システムの効果を安定して発揮できるような運転管理や維持管理の方法を検討していきたい。

イ 硫黄化合物及び低級脂肪酸類の除去効果

硫黄化合物及び低級脂肪酸の除去効果を表7に示した。畜産臭気脱臭システム全体での除去率は、硫黄化合物では硫化水素が57.4%、硫化メチルが60.9%で、低級脂肪酸類ではプロピオン酸が86.7%、ノルマル酪酸が72.2%であった。

低級脂肪酸類のプロピオン酸とノルマル酪酸は除湿装置での除去率が、それぞれ72.8%、54.5%と高かったが、これらの物質の水溶性が高いため結露水に溶け込み除去されると考えられた。

水溶性の低い硫黄化合物は、酸化チタンによる脱臭に期待していたが、除去率は硫化水素が30.5%、硫化メチルが46.6%とあまり高くなかった。酸化チ

表7 畜産臭気脱臭システムにおける硫黄化合物及び低級脂肪酸の除去効果

項目	微生物脱臭装置			除湿装置		酸化チタン装置		全体の除去率 ①-④
	入気 ①	除去率 ①-②	排気 ②	除去率 ②-③	入気 ③	除去率 ③-④	排気 ④	
硫化水素	1.1 ^{a)} (17) ^{b)}	26.7%	0.8 (16)	16.3%	0.7 (16)	30.5%	0.5 (16)	57.4%
硫化メチル	2.1 (18)	33.2%	1.4 (16)	-9.5%	1.6 (21)	46.6%	0.8 (16)	60.9%
プロピオン酸	5.5 (39)	39.7%	3.3 (31)	72.8%	0.9 (10)	18.8%	0.7 (12)	86.7%
ノルマル酪酸	3.2 (19)	21.6%	2.5 (20)	54.5%	1.1 (11)	22.1%	0.9 (12)	72.2%

注) 2004年3月、昼間に測定

a) 1分あたりの排出量 mg/分

b) カッコ書きは濃度 ppb

タンによる物質の分解は酸化チタンと物質が接触する頻度が影響する。硫黄化合物は ppb レベルの濃度であることから、酸化チタンと物理的に接触する頻度を上げる工夫が必要と思われる。

4. 畜産臭気脱臭システムの経済性

畜産臭気脱臭システムのイニシャルコストは、一部自家施工したものの、微生物脱臭装置1式(水中ポンプ等資材費のみ、自家施工)1,100,000円、酸化チタン脱臭装置(酸化チタン塗装代)1,500,000円、合計2,600,000円であった。乳牛1頭あたりの建設費は86,667円/頭(乳牛30頭)であった。

施設の運転にかかる電気代は、1ヶ月あたり送風機が約2.1万円、脱臭菌液ポンプが3.0万円、合計5.1万円となり、乳牛1頭あたりでは、約1,700円/月となった。

畜産臭気脱臭システムでは、高額な脱臭装置の設置に比べて、堆肥化ハウスの施設を利用し、一部自家施工することで安価に効果的に堆肥化ハウスの臭気を脱臭することができると思われる。

一方、ランニングコストでは電気代がかなりかかった。アンモニアの発生は昼間に多いことから、畜産臭気脱臭システムを昼間のみ運転するなど運転方法の検討により運転コストを下げる事が可能と思われる。

謝辞

本研究は、畜産環境整備機構の簡易低コスト家畜排せつ物処理施設開発普及促進事業の助成を得て実施したことを記して感謝いたします。

引用文献

- 1) 川村英輔・倉田直亮・田邊眞. 閉鎖複列発酵ハウスによる家畜ふん堆肥化処理試験. 神奈川県畜産研究所 平成12年度試験研究成績書(畜産環境・経営流通・企画調整), 1~6. 2000.
- 2) 本多勝男・川村英輔・倉田直亮. 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. 神奈川県畜産研究所研究報告, 第87号: 23~27. 1998.

3) 梅本栄一・田邊眞・浅見貴恵. 酸化チタンフィルム利用による畜産臭気の軽減. 神奈川県畜産研究所研究報告, 第89号: 50~56. 2002.

