

酸化チタンフィルム利用による畜産臭気の軽減 (2) 酸化チタンフィルムと微生物脱臭または低蛋白質飼料 との組み合わせによる畜産臭気の軽減

梅本栄一・田邊眞・折原惟子・松井正敏・和泉屋公一

Deodorization of Livestock Order by TiO₂ coated plastic film
(2) Deodorization of Livestock Order by microbiological deodorization
or feeding a lower protein diet and TiO₂ coated plastic film using together

Eiichi UMEMOTO, Makoto TANABE, Yuiko ORIHARA, Masatoshi MATSUI
and Kimikazu IZUMIYA

畜産臭気の実確な脱臭技術を開発するため、最近工業方面や環境改善に使用されはじめた酸化チタンの脱臭機能の畜産への応用方法を、微生物脱臭法及び低蛋白質飼料との組み合わせにより検討した。

家畜ふんの堆肥化発酵過程で揮散する臭気と豚舎発生臭気を処理対象臭気とし、そのモデルとして人工気象室内に模型堆肥化ハウスと肥育豚4頭収容の試験豚房を設置し、ここから発生する臭気を試作酸化チタン・微生物併用脱臭装置に導入し脱臭効果を確認した。

家畜ふん堆肥から発生するアンモニアは微生物脱臭の菌液がアンモニアの硝酸化により酸性化すると、95%以上の高率で脱臭した。また、微生物脱臭槽で吸着処理できなかった低濃度のアンモニアや、水難溶性の硫化メチルなどは人工紫外線ランプ（ブラックライト）で活性化した酸化チタン脱臭槽で効果的に分解された。

豚舎から発生するアンモニアや低級脂肪酸臭は微生物脱臭槽で効果的に脱臭され、微生物脱臭で効果の少なかった含硫臭気については酸化チタン脱臭槽で有効に脱臭できた。この試作微生物脱臭槽と酸化チタンの脱臭槽を組み合わせた併用脱臭槽は畜産臭気を高率に脱臭できた。

さらにアミノ酸添加低蛋白質飼料でアンモニア揮散量を抑制された試験豚房からの臭気を、屋根上に設置した酸化チタン脱臭槽で脱臭すると、終日、3 ppm以下のほぼ問題の無いアンモニア濃度に脱臭できた。

キーワード：豚舎、家畜ふん堆肥、アンモニア、酸化チタン脱臭、微生物脱臭、低蛋白質飼料

都市と調和した畜産経営の実現を図るため、畜産臭気の脱臭方法を検討した。畜産臭気のうち、ふん処理施設から発生する臭気は高濃度で発生量も多く、数種の脱臭方法が試みられているが^{1) 2)} ³⁾、農家に受け入れられる低コストで確実な脱臭方法は開発されていない。また畜舎から発生する臭気の濃度は低いが換気量が多いので、臭気量としては多く、捕集が困難なうえ安価で効果的な脱臭技術が無いため、その開発と実用化が望まれている。そこで最近工業方面や環境改善の応用開発

が検討されはじめた酸化チタン⁴⁾の畜産臭気への応用方法を検討した。

酸化チタンは波長400nm以下の紫外線を吸収し光触媒作用を起こす半導体で強い酸化力と還元力を持ち、臭気等の成分を分解し脱臭することが知られている⁵⁾。しかし、その分解量は吸収した紫外線量に比例し、低コストの紫外線源として太陽光の利用を想定した場合は、短時間に多量の臭気を分解することは不向きである。

畜産から発生する臭気のうち、堆肥化過程で発

生ずる臭気や豚舎から発生する臭気には多量のアンモニアと少量ではあるが低い濃度で認知される（認知閾値の低い）低級脂肪酸臭や硫化水素などの含硫臭気が含まれる。そこで多量のアンモニア脱臭に効果のある微生物脱臭と⁶⁾、微生物脱臭では効果の少ない水難溶性の含硫臭気⁷⁾に効果が期待される、酸化チタンの脱臭槽を組み合わせた脱臭技術を検討した。

また、豚舎から発生する臭気についても同様にこの微生物脱臭槽と酸化チタン脱臭槽を連結して組み合わせた併用脱臭槽（以下併用脱臭槽）による効果を検討した。さらに、畜舎からのアンモニア揮散量を抑制できるアミノ酸添加低蛋白質飼料^{7) 8)}と酸化チタン脱臭槽を組み合わせた効果の確認も行った。

試験1 堆肥化過程で発生する臭気の脱臭性能の検討

堆肥化過程で発生する臭気は大量で、特に発酵促進のための送風や切り返しを行う時には高濃度の臭気が多量に揮散することは良く経験しているところである。密閉型の強制発酵槽（コンポスト）などの捕集しやすい高濃度臭気は土壌脱臭¹⁾やロックウール脱臭²⁾ 活性汚泥脱臭³⁾が検討され一部で設置されているが、設置費用やランニングコストが高く、広く農家に普及していない。そこで費用のかからない自然エネルギーである太陽光を利用した試作酸化チタン脱臭とその前処理としての微生物脱臭を併用した脱臭システムの実用化の可能性を検討した。

材料及び方法

1. 試験期間

平成12年12月から13年3月まで

2. 供試施設

供試脱臭施設は図1に示す、酸化チタン脱臭槽（65×390cm）は二重構造とし、上部はPETフィルムの内面に、下部はポリカーボネート波板上面に酸化チタン光触媒を塗布（日本曹達製ビストレーター 300 C）し、上部から太陽光の紫外線量（平均紫外線強度を 1.1mw/cm²）に近い紫外線をブラックライト（東芝 FL40BLB）により照射した。

微生物脱臭槽は菌液槽（30 l）、気液接触槽（180 l 上部に漏れ棚を設置）とその上部に熱交換器（気液熱交換機 2,500Kca l/h）を設置し除湿を行い酸化チタン脱臭槽のチタン表面の結露の防止を図った。

処理対象臭気は工業用ファン（12w）を塩化ビニール製ダクト内に組み込み、スライダックスにより流量調節し毎秒5 lを送気した。

3. 供試臭気

試験は図1に示すように、当所人工気象室内に堆肥化ハウス（650×3,900×高さ1,000～2,000 mmの片流れのPETフィルム張り屋根の模型ハウス）に家畜ふん（牛ふんに一部豚ふんが混入、以下牛ふん）を容量70 lのプラスチック容器4個に毎日約5 kgの牛生ふんを発酵乾燥済み堆肥で水分調整し順次入れた。堆肥化は下部から送風し好気発酵を促進し、約4週間で取り出す方式で、そこから発生する臭気を処理対象臭気とした。

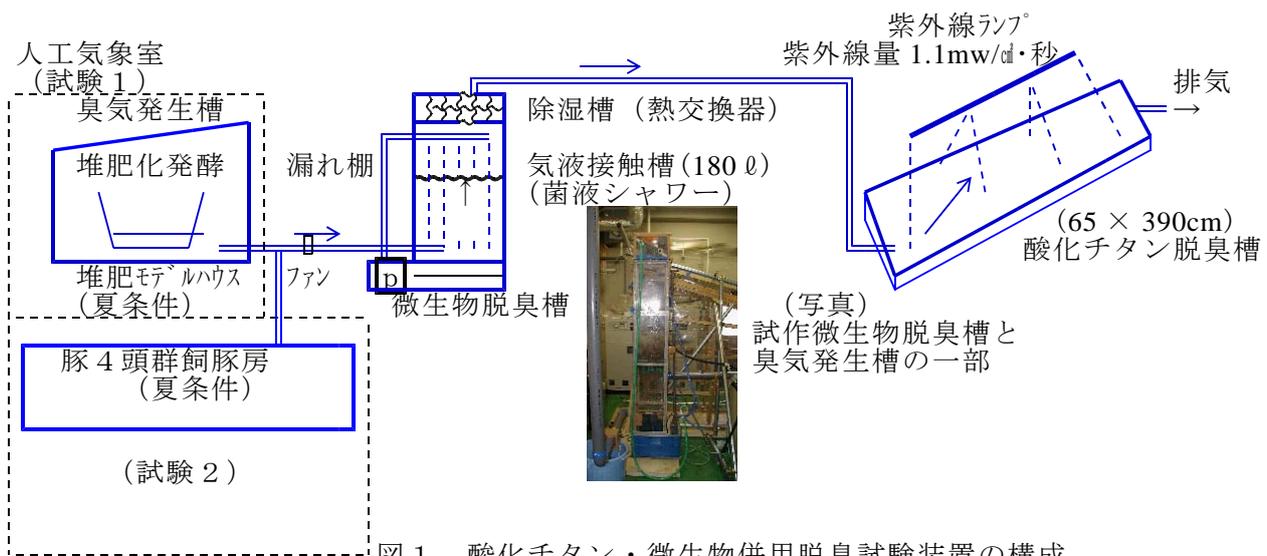


図1 酸化チタン・微生物併用脱臭試験装置の構成

4. 測定項目と方法

臭気成分の測定はアンモニア、含硫臭気、低級脂肪酸の悪臭防止法で濃度規制された成分とし、アンモニアは紫外線及び赤外線吸収型の連続分析計（理研計器製）を用い5秒間隔で測定し1日平均の濃度を求めた。また適時アンモニア検知管により測定した。

含硫臭気は適時ガスバックに採取しガスクロマトグラフ法で、低級脂肪酸は吸着管に捕集しガスクロマトグラフ法で分析した。

微生物脱臭槽の脱臭菌液の性状の評価はpH、ECは専用メーターで、アンモニアイオン(NH₄)、亜硝酸イオン(NO₂)、硝酸イオン(NO₃)はイオンクロマトグラフにより測定した。

結果及び考察

1. 除湿器と酸化チタン脱臭槽の組み合わせによる脱臭効果

まず酸化チタン脱臭槽の能力を把握するため、微生物脱臭槽を使用せず、除湿槽と酸化チタン脱臭槽との組み合わせによる脱臭効果を検討した。

除湿槽（器）として使用した気液熱交換器（冷媒として水道水（水温5～10℃）をかけ流し、室内温度は20～32℃の夏条件で日内変動した排気を接触除湿）と酸化チタン脱臭槽の組み合わせによるアンモニアの脱臭効果を調査したところ表1の結果を得た。

表1 酸化チタン槽と除湿器による堆肥化過程で発生するアンモニア臭気の脱臭効果（平均アンモニア濃度：ppm）

測定	堆肥化ハウス内	除湿後	酸化チタン脱臭槽通過後
1	28	23	16
2	40	30	20
3	50	40	25
4	16	10	2
5	26	20	8
平均	32	24.5	14.2
差（脱臭率）	7.5（23%）	10.3（42.0%）	計（55.6%）

酸化チタンを塗布した脱臭槽には太陽光の紫外線強度(1.1mw/cm²・秒)を想定してブラックライトにより24時間照射した。この除湿器と酸化チタン脱臭槽とを併用すると、牛ふんの堆肥化過程で発生するアンモニア臭気は、除湿器では23%が除去された。酸化チタン脱臭槽では平均アンモニア濃度で24.5ppmを入気した場合、脱臭槽通過後のアンモニア濃度は14.2ppmと10.3ppm減少し、酸化チタン脱臭槽での入排気の濃度比率から、42%が脱臭された。

1日当たりの分解アンモニア量としては3.38g(10.3/10⁶ × 5 l/秒 × 1日(秒)/22.4 × 17g)であった。除湿と脱臭槽を併せても、約55%の脱臭に止まり、これだけでは満足すべき脱臭効果は得られなかった。また、試作酸化チタン脱臭槽の分解能力は次のように試算される。

本試験では紫外線量1.1mw/cm²・秒で照射することにより脱臭槽が受光する光子量は次式で推定した。

①供給総光子量は次式で、5.7 × 10¹⁹ 個・cm²/秒とした。

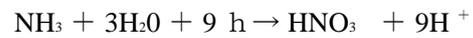
$$\frac{1.1 \times 2 \times 10^{15}}{\text{cm}^2} \times \frac{2.6 \times 10^4}{\text{cm}^2}$$

光強度(光子) 脱臭槽面積

供給光子(紫外線量に含まれる光子数)が図2の紫外線透過状況に示すように約50%が吸

収されたので、利用可能光子量は 5.7 × 10¹⁹ × 0.5 = 2.8 × 10¹⁹ 個・cm²/秒と推計される。

②一方アンモニアガスの分解に必要な光子量は次式で試算される。



(アンモニア1分子分解に9光子が必要)

分解可能アンモニアのモル数は次式により 5.2 × 10⁻⁶ モル/秒と算出された。

$$\frac{2.8 \times 10^{19}}{9 \times 6 \times 10^{23}}$$

利用可能光子 1モル分解に必要な光子量

この脱臭槽の1日分解可能アンモニア量は次式により7.6g/日と算出された。

$$\frac{5.2 \times 10^{-6} \times 17\text{g} \times 60 \times 60 \times 24}{1\text{日}}$$

分解可能アンモニア

5 l/秒の通気をした場合の理論的な分解可能濃度は次式により23.2ppmと試算された。

$$\frac{7.6/17 \times 22.4 \text{ l} / 5 \text{ l} \times 60 \times 60 \times 24}{\text{cm}^3} = 23.2 \times 10^{-6}$$

ここでは酸化チタンが受けたすべての光子の100%が光触媒活性に利用されるとした場合であるが、一般的にはその利用効率は10～30%程度と見込まれ、これを量子効率⁹⁾として乗じる。この量子効率を考慮するとこの脱臭槽では2.3～6.9ppm濃度のアンモニアの分解が限度と試算されるが、本試験では表1に示すように10.3ppmが脱臭され、実量としては3.33g、脱臭槽の面積

1 m²当たり 1.3g と高率に分解できた。一般的な量子効率 0.1 では 0.3g と推定されることから、本試

の改善や酸化チタンの臭気分解を妨害する水分等の除去方法の検討が必要と考えられる。

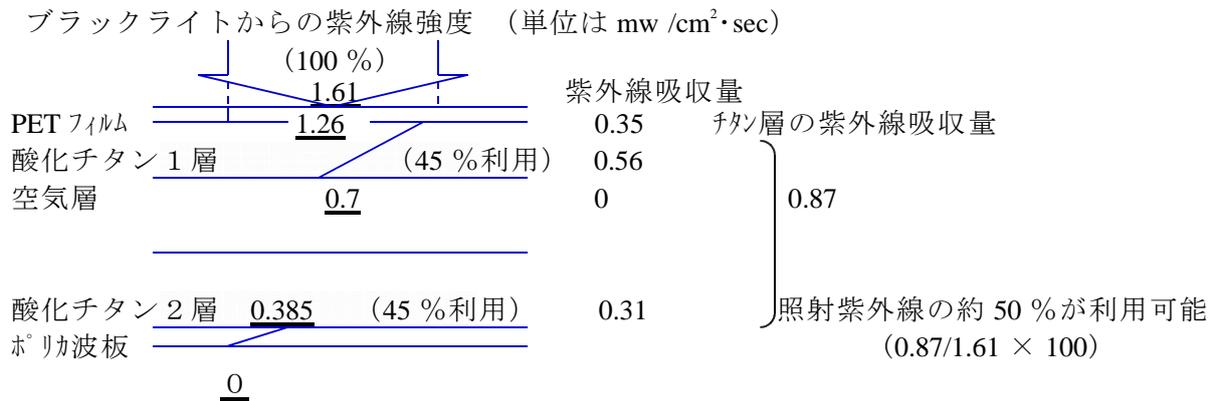


図 2 酸化チタン塗布フィルムの紫外線の吸収状況

験ではかなり高率に分解されたことになる。しかし、脱臭槽への吸着や酸化チタン表面に付着した結露水への吸着なども考慮する必要がある。

酸化チタンのアンモニア分解をより高めるためには、臭気の酸化チタン脱臭層表面への接触方法

また実用化に向けて紫外線透過効率が良く耐抗性に優れ、酸化チタンの定着性の良い表面被服フィルムの使用や分解効率の良い酸化チタンの利用で、脱臭効率の改善が出来るものと考えられる。

2. 微生物脱臭

(1) 脱臭菌液の馴養とアンモニアの脱臭

微生物脱臭菌液を馴養するため栄養源として、堆肥発酵時に発生する臭気のみを供給し、気液接触槽で菌液とシャワー方式でまたは漏れ棚上で揮散したアンモニアを接触したところ、菌液槽の pH、通気した 1 日平均アンモニア濃度、菌液槽への 1 日当たりのアンモニア負荷量、アンモニアの脱臭率の経時変化を表 2 に示した。

豚浄化槽の活性汚泥液 20 l (表中①) に対しアンモニア量で 1 日に 7~9g を供給し馴致運転

したところ、4 日目で pH 8.36 と過負荷でアルカリ化し、5 日目にはアンモニアを吸収しなくなった。さらにこの菌液の 30% を残し清水を加え菌液を 20 l (表中②) としアンモニアを低負荷で馴養を続けたところ 4 日目には菌液は酸性化しアンモニアの脱臭 (吸収) は 100% となった。

さらに、ばっ気を中止し臭気供給を停止した状態で約 1 月を経過した菌液 (表中③) をもとに同様の馴致操作を行ったところ、11 日目には酸性化し高率にアンモニアを吸収脱臭できた。

表 2 脱臭菌液の馴致とアンモニア除去 (脱臭) 率の変化

経過日数	①浄化槽汚泥で開始				②浄化槽汚泥30%添加で開始				③菌液再利用で開始			
	pH	アンモニア日平均濃度 (ppm)	負荷量 (g/日)	除去率 (%)	pH	アンモニア日平均濃度 (ppm)	負荷量 (g/日)	除去率 (%)	pH	アンモニア日平均濃度 (ppm)	負荷量 (g/日)	除去率 (%)
1	7.5	21.5	7.1	100.0	8.5	16.8	3.3	46.7	8.4	120.0	23.7	0.0
2	6.9	28.4	9.3	95.2	8.0	7.5	1.5	66.7		68.3	13.5	-19.4
3	7.5	23.4	7.7	77.6	7.1	4.4	0.9	83.3		54.3	10.7	
4	8.4	24.4	8.0	32.3	6.7	1.8	0.4		8.6	47.2	9.3	0.0
5	8.4	26.9	8.9	0.0	6.4	4.0	0.8	100.0		39.1	7.7	
6									7.9	34.5	6.8	-16.7
7					6.1	3.2	0.6	75.0	7.8	33.1	6.5	-25.0
8					7.2	4.7	0.9	95.3	7.7	33.0	6.5	-7.1
9					6.7	14.3	2.8	97.2	7.5	67.5	13.3	-14.3
10					6.6	16.0	3.2	98.6		43.7	8.6	
11					6.2	8.4	1.7	100.0	6.5	29.2	5.8	28.6
12					6.1	2.8	0.6	100.0	6.4	26.6	5.3	94.7
13					5.8	6.0	1.2	96.7	6.4	47.5	9.4	92.0
14					7.3	39.7	7.8	96.6	6.1	32.6	6.4	95.2
15					6.7	40.0	7.9	97.9		24.3	4.8	
16					6.7	35.5	7.0	99.2	5.9	19.2	3.8	100.0
17					6.6	23.6	4.7	100.0				
18						16.8	3.3					
19					6.4	39.2	7.7	100.0				
20												

表3 牛ふんの発酵乾燥過程で発生するアンモニア臭気の

微生物脱臭槽による脱臭効果と窒素関連イオン類の蓄積

経過日数	pH	EC	アンモニア濃度 日平均ppm	微生物脱臭槽 脱臭率(%)	NH ₄ イオン (ppm)	NO ₂ イオン (ppm)	NO ₃ イオン (ppm)
1	6.13	198	3.16	98.4	203.0	259.2	56.7
2	7.21	225	4.75	97.9	283.0	367.1	216.0
4	6.57	245	16.00	93.5	357.5	378.5	279.0
7	5.83	270	6.00	97.8	405.0	363.0	495.0
10	6.66	368	35.50	90.4	448.2	521.2	815.7

(2) 脱臭微生物の馴養後の脱臭効果と菌液中の窒素化合物イオン濃度の変化

脱臭菌液の馴養後のpH、EC、アンモニアの脱臭率や窒素を含むイオン類の菌液中の濃度変化を表3に示した。脱臭菌液のpHは中性からpH6程度の弱酸性で推移し、アンモニア負荷量(濃度)に伴い菌液中のEC、アンモニア、亜硝酸、硝酸イオン濃度は上昇した。

脱臭菌液に溶解したアンモニア態の窒素は微生物により亜硝酸、硝酸化され蓄積されることがイオン濃度の変化で確認された。本多らによると堆肥化過程で発生する臭気の微生物脱臭装置で脱臭菌液中の硝酸イオン濃度が2,120ppmとなっても高率にアンモニア脱臭が可能であったと報告¹⁰⁾している。

(3) 微生物脱臭と酸化チタン脱臭を組み合わせた併用脱臭槽の効果

脱臭微生物馴養後の微生物脱臭槽と酸化チタン脱臭槽を併用した場合のアンモニアの脱臭効果を示した。

アンモニアは微生物脱臭槽で97.5%と高率に

脱臭できるが、微生物脱臭槽では処理できなかった数ppmの低濃度のアンモニアは酸化チタン脱臭槽で完全に脱臭することが出来た。

アンモニア臭以外の臭気の脱臭効果は表5に硫化物臭気を、表6に低級脂肪酸臭を示すように、水に溶解しやすい硫化水素では微生物脱臭槽で100%脱臭できた。しかし、水に解けにくい硫化メチル、二硫化メチルでは微生物脱臭槽での脱臭率はそれぞれ40.4%、12.5%と低く、酸化チタン脱臭槽ではそれぞれ100%、85.7%と高率に脱臭できた。

好気性発酵により堆肥化される過程で発生する低級脂肪酸臭気は表6に示すようにプロピオン酸では認知閾値0.01ppmに近い低濃度であった。この低級脂肪酸臭気は微生物脱臭槽ではほとんど脱臭できなかったが、酸化チタン脱臭槽では69.2~100%と高率に脱臭できた。

このことから堆肥化過程で発生する臭気について、この2種類の脱臭装置を組み合わせることでより高率に脱臭でき、満足すべき結果が得られた。

表4 堆肥化発酵過程で発生するアンモニアの

微生物・酸化チタン併用脱臭の効果 (濃度ppm、脱臭率%)

測定	堆肥化ハウス内	微生物脱臭後	酸化チタン脱臭後
1	14.5	0.5	0
2	44.0	1.5	0
3	38.0	2.0	0
4	38.0	0.5	0
5	35.0	0.5	0
平均	33.9	1	0
効果(脱臭率)	32.9	(97.5%)	1 (100%)

注) 酸化チタン脱臭槽への照射紫外線強度は1.1mw/cm²

表5 酸化チタン、微生物脱臭の組み合わせによる牛ふんの発酵乾燥過程で発生する硫化物臭気の脱臭効果 (濃度 ppm、脱臭率%)

臭気成分	堆肥化ハウス内	微生物脱臭後	酸化チタン脱臭後	合計脱臭率
硫化水素 (脱臭率)	H ₂ S 0.009	0 (100)	0 (-)	(100)
硫化メチル (脱臭率)	DMS 0.047	0.028 (40.4)	0 (100)	(100)
二硫化メチル (脱臭率)	DMDS 0.008	0.007 (12.5)	0.001 (85.7)	(87.5)

注) 酸化チタン脱臭槽への照射紫外線強度は 1.1mw/cm²

表6 酸化チタン、微生物脱臭組み合わせによる牛ふんの発酵乾燥過程で発生する低級脂肪酸臭気の脱臭効果 (濃度 ppm、脱臭率%)

臭気成分	堆肥化ハウス内	微生物脱臭後	酸化チタン脱臭後	合計脱臭率
プロピオン酸 (脱臭率)	0.012	0.013 (0)	0.004 (69.2)	(67)
n-酪酸 (脱臭率)	0.016	0.014 (12.5)	0 (100)	(100)

注) 酸化チタン脱臭槽への照射紫外線強度は 1.1mw/cm²

試験2 豚舎から発生する臭気の微生物・酸化チタン併用脱臭槽の脱臭性能の検討

豚舎施設から揮散する臭気で問題となるのは、本多らの報告¹¹⁾ではアンモニアと低級脂肪酸である。筆者は夏期の肥育豚舎でのアンモニアの揮散量は飼料蛋白質水準により異なり、通常肥育後期豚飼料で使用されているCP16%の飼料では、筆者らは夏期1日1頭当たり12gのアンモニアが揮散すると報告¹²⁾した。またYamamoto⁸⁾ら畜産環境整備機構と筆者らとの共同研究で育成期の豚(平均体重40kg)にCP16.6%の飼料を不断給与した場合に1日1頭当たり約7g揮散した。

一方、酸化チタンの有機物分解量は吸収した紫外線量に比例し、冬季の太陽光に含まれる紫外線によるアンモニアの分解試験から、1日1m²当たり0.67g分解できると報告¹³⁾したが、これら豚舎から揮散する多量のアンモニアを脱臭するためには、肥育豚1頭当たり約18m²(12g/0.67g)と広大な面積が必要である。通常の肥育豚舎の収容密度は床面積で1頭当たり0.8~1m²で飼育され、屋根全面を酸化チタン脱臭槽としても発生臭気の20分の1しか分解されないことになる。従って、酸化チタン脱臭槽単独では十分な脱臭効果が期待できない。そこで、アンモニア吸収効率の良い微生物脱臭槽を前処理として使用し、水不溶性の臭気を中心に酸化チタン脱臭槽を組み合わせその脱臭効果の実用性を検討した。

材料及び方法

1. 試験期間
平成12年12月から13年3月まで
2. 供試施設
上記試験1で使用した図1に示す、酸化チタン脱臭槽と微生物脱臭槽を組み合わせた併用脱臭槽を使用して行った。
3. 供試臭気
人工気象室内の温度を20~32℃に日内変動する夏条件で一部スノコ式の群飼育豚房を設置し、体重100kgの当所産、大ヨークシャー種4頭を収容した。CP15%、TDN75%の豚肥育用飼料を不断給餌、不断給水で飼育し、1日1回スノコ下の除ふん、清掃を行った。室内は1時間当たり113m³で約2回転の換気(室内容積56m³)とした。ここで発生した臭気の一部を処理対象臭気(以下対照臭気)とした。
4. 測定項目と方法
試験1の4に記載した項目と方法で行った。

結果及び考察

1. アンモニアの脱臭効果
豚舎から発生する臭気モデルとして対照臭気を試験1の図1に示す併用脱臭装置に3.0ℓ/秒導入して検討した。アンモニアについて併用脱臭装置での脱臭効果は表7に示した。

表7 豚舎で発生するアンモニア臭気（日最高値）の酸化チタン、微生物脱臭併用による脱臭効果（濃度 ppm、脱臭率%）

測定回次	豚舎内	微生物脱臭後	酸化チタン脱臭後
1	22	2	1
2	24	0.5	0
3	30	4	2
4	28	2	1
5	24	0.5	0
6	30	4	2
平均	26.3	2.1	1.0
脱臭効果（脱臭率）	24.2（92）	1.1（52）	計（96.2）

注）臭気負荷量（3.01 l/秒）、脱臭菌液量を 30 l に調整

注）酸化チタン脱臭槽への照射紫外線強度は 1.1mw /cm²

6日間の1日平均アンモニア濃度は21.5ppmで、アンモニア濃度が日最大となる午後3時の各槽のアンモニア濃度を検知管で測定した。表7に示すように6日間の豚舎内のアンモニア濃度は22～30ppm、の範囲であった。このときの微生物脱臭槽を通過したアンモニア濃度は平均2.1ppmでアンモニア濃度の減少は24.2ppmと豚舎内アンモニアの92%が脱臭された。さらに酸化チタン脱臭槽通過後のアンモニア濃度は1ppmとな

り、この併用脱臭装置により豚舎発生臭気は96.2%と高率に脱臭された。

2. 含硫臭気の脱臭効果

豚舎で発生する含硫臭気の脱臭効果は表8に示した。

含硫臭気のうち水難溶性のメチルメルカプタン、硫化ジメチルについては微生物脱臭槽では脱臭されず酸化チタン脱臭槽で高率に分解、脱臭された。

表8 豚舎で発生する流化合物の酸化チタン、微生物脱臭併用による脱臭効果（臭気成分 ppm、脱臭率%）

臭気成分	豚舎内	微生物脱臭後	酸化チタン脱臭槽通過後	合計脱臭率
メチルメルカプタン （脱臭率）	0.0012 ppm	0.0012 (0)	0 (100)	(100)
硫化メチル （脱臭率）	0.0051	0.0052 (0)	0.0005 (90.4)	(90.2)
2 硫化メチル （脱臭率）	0.0009	t (-)	0 (-)	

注1）臭気負荷量（3.01 l/秒）

注2）酸化チタン脱臭槽への照射紫外線強度は 1.1mw /cm²

注3）tは極微量検知出来た

3. 微生物、酸化チタン併用脱臭槽への負荷量と脱臭効果

併用脱臭槽の最大処理能力を検討するため、豚舎から発生するアンモニアと低級脂肪酸臭気の脱臭槽への負荷量を送風量を変えて検討した。

(1) アンモニアの負荷量と脱臭効果

図1に示す併用脱臭装置へのアンモニア負荷を2.36gから9.55g/日まで、風量で1.5ℓ/秒から7.28ℓ/秒まで変えたところ、アンモニアの脱臭の状況は図3に示す結果となった。

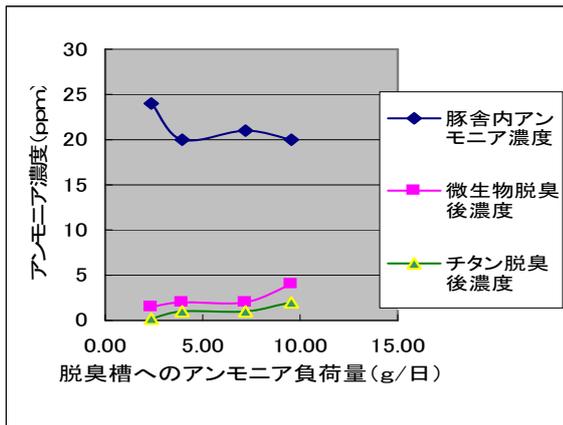


図3 豚舎発生アンモニア臭気の脱臭槽への負荷量と脱臭効果

豚舎内でのアンモニア濃度は24～20ppmであったが、微生物脱臭槽通過後は1.5～4ppmで、酸化チタン脱臭槽通過後は0.2～2ppmとなった。

1日当たりアンモニア負荷量7.19gでは酸化チタンによる脱臭後脱臭率は95%となり、9.55g負荷した時は90%に低下した。

このことから、95%以上の高率でアンモニアを脱臭する場合には、この併用脱臭装置へのアン

モニア負荷量は1日7g程度と考えられる。

(2) 豚舎発生低級脂肪酸臭気の脱臭効果

豚舎から発生する低級脂肪酸臭は表9に示すように、プロピオン酸は0.0045ppmと認知閾値0.01ppmの約2分の1、ノルマル酪酸は0.005ppmと認知閾値0.0004ppmの約10倍と比較的多く、臭気の負荷量を変えて低級脂肪酸臭気の脱臭率を検討した。

低負荷時(1.5ℓ/s)の低級脂肪酸臭は表9に示すように微生物脱臭槽の脱臭率はプロピオン酸の58%、n-酪酸では88%の脱臭効果があった。酸化チタン脱臭槽通過後の併用脱臭の脱臭率はプロピオン酸で91%となり、他の低級脂肪酸臭は100%と高い脱臭効果が得られた。さらに併用脱臭装置への風量負荷を7.3ℓ/秒にした場合の低級脂肪酸の脱臭効果は表10に示すとおりである。ノルマル酪酸の豚舎内の濃度は0.0283ppmは酸化チタン脱臭槽通過後は0ppmで100%の脱臭効果があった。他の低級脂肪酸についてもほぼ100%脱臭できたことから、風量負荷を7.3ℓ/秒程度では十分な脱臭が可能であった。

豚舎臭気の微生物、酸化チタン併用脱臭効果を実規模の肥育豚舎に応用するための試算を行った。

人工気象室に収容した4頭の肥育豚の排泄ふん尿から揮散するアンモニア量は日平均アンモニア濃度の測定と換気量から次式により53.5g(1頭1日当たり約13.4gのアンモニアが揮散)と推計された。

$$\frac{26 \times 10^{-6}}{26\text{ppm}} \times \frac{60 \times 60 \times 24 \times 31.4}{22.4 \times 17} \times \text{1日の換気量(ℓ)標準容積} = 53.5\text{g}$$

表9 豚舎臭気の高負荷時(1.5ℓ/s)の低級脂肪酸臭の脱臭効果(濃度ppm、脱臭率%)

臭気成分	豚舎内	微生物脱臭後	酸化チタン脱臭槽通過後	(合計脱臭率)
プロピオン酸 (脱臭率)	0.0045	0.0019 (58)	0.0004 (79)	(91)
n-酪酸 (脱臭率)	0.0050	0.0006 (88)	0 (100)	(100)
i-吉草酸 (脱臭率)	0.0054	0 (100)	0 (-)	(100)
n-吉草酸 (脱臭率)	0.0053	0 (100)	0 (-)	(100)

注) 酸化チタン脱臭槽への照射紫外線強度は1.1mw/cm²

表 10 豚舎臭気の高負荷時 (7.3 l/s) の低級脂肪酸臭の脱臭効果

臭気成分	豚舎内	微生物脱臭後	酸化チタン脱臭槽通過後 (合計脱臭率)	
			(濃度 ppm)	(脱臭率%)
プロピオン酸 (脱臭率)	0.0623	0.0005 (99)	0.0005 (0)	(99)
n-酪酸 (脱臭率)	0.0283	0.0004 (99)	0 (100)	(100)
i-吉草酸 (脱臭率)	0.0119	0 (100)	0 (-)	(100)
n-吉草酸 (脱臭率)	0.0098	0 (100)	0 (-)	(100)

注) 酸化チタン脱臭槽への照射紫外線強度は 1.1mw/cm²

一方微生物脱臭槽の処理能力は本稿の試験2の負荷試験から、30 l の菌液槽で 95% 以上のアンモニア脱臭を期待する場合の負荷量が 7g と推計されたことから、1 頭当たり 57.3 l (13.4g/7g × 30 l) の菌液槽が必要と試算された。

酸化チタン脱臭槽のアンモニア脱臭能力は(試験1)で行った 1 m² 当たり 1 日に約 1.3g/日・m² (3.28/(0.65 × 3.9) = 1.29) と試算された。

微生物脱臭槽で約 90% のアンモニア臭の脱臭が可能なることから肥育豚 1 日 1 頭当たり発生するアンモニア 13.4g のうち 1.34g を酸化チタン脱臭層で分解できれば良く、必要面積は約 1 m² (1.34/1.3) と試算される。肥育豚舎の飼養密度は 1 頭当たり床面積 1 ~ 1.2 m² が標準と考えられ、豚舎屋根全面を太陽光による酸化チタン脱臭槽の設置場所と仮定すると、この試算で十分足りることになる。しかし、太陽光の紫外線を利用する場合、酸化チタンが光触媒効果を示し、臭気を分解できるのは太陽の出ている約 8 時間で、夜間は完全に酸化チタンの光触媒効果は無くなる。

併用脱臭装置の豚舎臭気脱臭への応用は微生物脱臭槽に蓄積される窒素化合物の脱窒方法と共に、酸化チタン層でのアンモニア臭気の効率的な分解方法、夜間の対策、経済性の検討が残されている。

試験3 アミノ酸添加低蛋白質飼料の利用と酸化チタン脱臭槽による豚舎臭気の軽減方法の検討

試験2では、豚舎から発生する臭気の脱臭を微生物脱臭槽により 90% 以上脱臭し、残った 10% 程度のアンモニアと水不溶性の硫化物臭気や低級脂肪酸臭気を酸化チタン脱臭槽で脱臭する方法で、問題とならない臭気の水準まで抑制できることを示した。本試験では通常の肥育豚飼料では豚舎から多量に発生するアンモニアを、飼料の低蛋白質化により揮散量を 10 分の 1 以下に抑制し、残る少量の硫化物や低級脂肪酸臭を含む排気を豚舎屋

根上に設置した酸化チタン脱臭槽により誘導し脱臭する方法を検討した。

材料及び方法

1. 試験期間

平成15年8月18日~平成16年3月31日

2. 飼育環境及び管理方法

人工気象室内 (5 × 5 m 高さ 2.4 m) に一部スノコ式豚房 (間口 1.3 m × 奥行 3.1 m) を 1 台設置した 2 室を使用した。ここに大ヨークシャー種肥育豚 4 頭を体重 65 ~ 100kg の間群飼育し、換気回数 2 回/時 (120 m³/時)、環境温度は図 1 に示す 23 ~ 32 °C に日内変動する夏条件で行った。

肥育豚の管理は午前 9 時 ~ 11 時の間に人工気象室を開放し除ふん、水洗い清掃を行う以外は閉鎖し人工換気、自動温度調整を行った。

3. 供試飼料

給与飼料は、表 1 に示す CP10.5% の低蛋白質化飼料 (低蛋白質区) と CP15.0% の対照飼料 (対照区) について検討した。

配合原料はトウモロコシを主体に CP 原料として大豆粕、魚粉を組み合わせ合わせて配合した。

低蛋白質化に伴う必須アミノ酸の不足は、単体の L リジン、DL メチオニン、L トレオニンを添加し肥育豚後期要求量を満たした。

表1 飼料配合表 (%)

飼料原料	低蛋白質飼料	対照飼料
さつま	10	2
マイロ	0	12
トウモロコシ2混	75.2	55
大麦	5	12
リンゴシユース粕	4.6	0
大豆粕	0	16
魚粉	2.9	0
リジン	0.25	0.11
DLメチオニン	0.1	-
Lトレオニン	0.05	-
粉末茶	0	0.31
第2リンカル	1.4	0.8
炭酸Ca	0	0.6
食塩	0.3 ~ 0.4	0.4
VMプレミクス	0.1	他 0.78
CP分析値	10.5	15.0

4. 測定項目と方法

人工気象室内と酸化チタン脱臭槽（以下脱臭槽）通過後のアンモニア濃度を堀場アンモニア連続測定器（赤外線吸収式）で測定した。

結果及び考察

1. 豚飼料の低蛋白質化が畜舎発生臭気に及ぼす影響

試験開始10日後のアンモニアの室内濃度は図1に示すように、給与飼料のCP水準によって大きく影響し、午前10時のアンモニア濃度のピーク時には対照区28ppmに対し低蛋白質区は3ppm程度と約10分の1の濃度であった。人工気象室を開放し除ふんと清掃を行った後閉鎖し、ふんが堆積し室内温度が上がった状態となっても低蛋白質区は5ppmを超えることはなく推移した。

2. 酸化チタン脱臭槽（脱臭槽）による豚房臭気の脱臭効果

写真1に示す人工気象室屋上に設置した酸化チタン脱臭槽（約10㎡）に人工気象室で飼育した肥育豚4頭からの排気を誘導し、アンモニアと低級脂肪酸の脱臭効果を検討した。

CP15%の対照飼料を給与し、室内アンモニア濃度が概ね20ppmを超えた高濃度アンモニア排気を10月3日に脱臭槽に導入し脱臭効果の日内変動を測定したところ、図2の結果を得た。図中10時から12時までは清掃のため人工気象室を開放したため、室内及び脱臭槽通過後のアンモニア濃度は大きく減少した。



写真1 酸化チタン脱臭槽

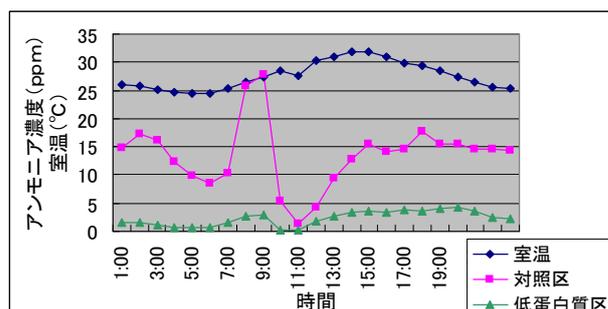


図1 飼料の蛋白質水準と室内アンモニアの日内変動

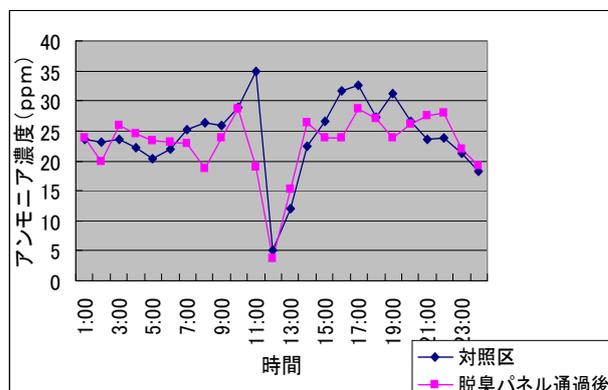


図2 対照区の室内アンモニア濃度と酸化チタン脱臭槽通過後のアンモニア濃度

午前7時頃から午後6時頃までは脱臭槽通過後のアンモニア濃度は清掃時の濃度変化を除き、約0～5ppm程度低い値を示し、太陽光に含まれる紫外線による脱臭効果が見られるが、夜間排気中のアンモニア濃度は室内とほとんど変わらず、脱臭効果は見られなかった。

図3は9月3日の低蛋白質区飼料を給与した室内排気の日内濃度変化を示しもので、室内のアンモニア濃度はピーク時でも7ppm程度と低かった。

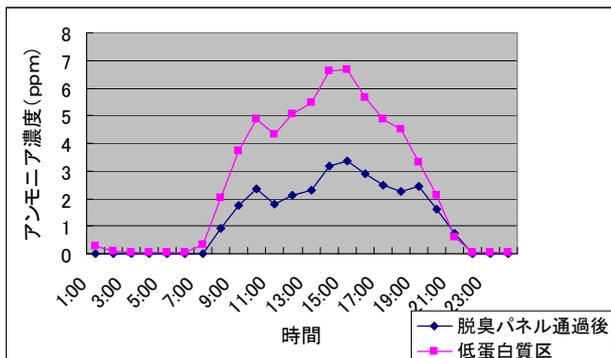


図3 低蛋白質区の室内アンモニア濃度と酸化チタン脱臭槽通過後のアンモニア濃度

この排気の酸化チタン脱臭槽による脱臭効果は午前9時から午後5時の間では約2～3 ppmが脱臭分解され、脱臭槽通過後の濃度は3 ppm程度となった。夜間は室内の温度を20℃程度と低く設定したためアンモニアの揮散はほとんど無く、脱臭パネ通過後のアンモニア濃度は飼料の低蛋白質化による発生抑制と酸化チタン脱臭の併用で図3に示すように最大で3 ppm程度と終日ほぼ問題の無い濃度に保つことが出来た。

表2 豚舎内低級脂肪酸の発生濃度と脱臭槽の脱臭効果

		プロピオン酸	n酪酸	I吉草酸	n吉草酸	計
対照区 (cp15)	室内	0.0039	0.0027	0.0006	0.0009	0.0080
	脱臭後	0.0016	0.0016	0.0004	0.0007	0.0043
低蛋白質区 (cp10.5)	室内	0.0265	0.0100	0.0014	0.0014	0.0394
	脱臭後	0.0184	0.0076	0.0010	0.0011	0.0282
	脱臭率	30.5	23.9	30.7	18.9	28.4

次いで発生量は僅かであるが、豚舎臭気の問題となる閾値の低い低級脂肪酸は、表2に示すように、脱臭率は概ね20～60%程度であった。低級脂肪酸の脱臭率がアンモニアに比べ高くないのは、光触媒効果による脱臭は酸化チタン表面への臭い成分の接触が必要である。しかし、低級脂肪酸の濃度はアンモニア濃度の100分の1から1,000分の1であるため、接触率が低く、分解の効率が上がらなかったものと考えられる。

まとめ

酸化チタンの脱臭機能は紫外線強度に比例し、低コストの紫外線として太陽光を利用する場合は短時間に多量の臭気を分解処理することは不向きである。一方、畜産臭気は多量のアンモニアと少量でも臭気のきつい（認知閾値の低い）低級脂肪酸臭や含硫臭気を含んでいる。酸化チタンの脱臭機能を畜産臭気に利用する場合には、多量に発生するアンモニアを前処理し、酸化チタン脱臭槽で

完全脱臭する方法が効果的である。

本試験では家畜ふんの堆肥化過程で揮散する高濃度のアンモニア臭は微生物脱臭槽で10分の1以下に脱臭できた。また豚舎から発生するアンモニアは換気量が多く低濃度であるが、総揮散アンモニア量としては多い。この脱臭にも気液接触を効果的に行えば、微生物脱臭槽で90%以上の脱臭が可能であった。また、飼料蛋白質水準を下げ、不足するアミノ酸の添加で揮散アンモニア量を10分の1以下に抑制できた。

このような前処理をし、酸化チタン脱臭槽と組み合わせることにより畜産臭気で問題となる、アンモニア、低級脂肪酸、含硫臭気をほぼ問題の無い濃度に脱臭できた。

引用文献

- 1) 古山隆司. 畜産環境対策大辞典. 農文協編. 土壤脱臭装置. 377-382. 1995.
- 2) 古山隆司. 畜産環境対策大辞典. 農文協編. ロックウール脱臭装置. 383-389. 1995.
- 3) 崎元道男. 畜産環境対策大辞典. 農文協編. 活性汚泥脱臭方式. 397-401. 1995.
- 4) 藤島 昭・橋本和仁・渡辺俊也. 光触媒のしくみ. 日本実業出版社. 80-82. 2000.
- 5) 藤島 昭. 酸化チタン光触媒による脱臭, 臭気の研究, 120: 26-60. 1995.
- 6) 本多勝男・宮崎光加・石川嘉彦・米持勝利. 活性汚泥微生物による脱臭技術に関する研究. 神奈川県畜産試験場研究報告, 83: 71-86. 1993.
- 7) 梅本栄一・倉田直亮・浅見貴恵. アミノ酸添加低蛋白飼料による畜舎発生臭気の高減. 神奈川県畜産研究所研究報告, 89: 36-42. 2002.
- 8) Yamamoto A., Umemoto E., Itou M., Matui M., Fujimura N. and Furuya S., Reduction of ammonia emission from growing pig rooms by feeding a lower protein diet supplemented with apple pomace. Anim. Sci. j., 73: 505-508. 2002.
- 9) 藤島 昭・橋本和仁・渡辺俊也. 光触媒のしくみ. 日本実業出版社. 120-121. 2000.
- 10) 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. 神奈川県畜産試験場研究報告, 87: 23-27.
- 11) 本多勝男・石川嘉彦・米持勝利. 飼養管理技術の改善による臭気軽減に関する試験. 神奈川県畜産試験場研究報告, 82: 1-27, 1992.
- 12) 梅本栄一. 関東畜産学会報, 55: 86-91, 2005.
- 2) 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高減. 神奈川県畜産研究所研究報告, 89: 50-56. 2002.