

『最近の研究動向』 悪臭対策技術

(独)農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
畜産工学研究部 部長 道宗 直昭

1. はじめに

畜産は、「水質汚濁防止法」、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」、「悪臭防止法」など多くの法律によって厳しく環境規制を受けている。そのため農水省ではこれまでに各種の畜産環境保全対策事業で畜産農家等への環境対策をサポートしてきている。平成16年の「家畜排せつの管理の適正化及び利用の促進に関する法律」の本格施行後、たい肥舎や浄化槽等の家畜排せつ物処理施設の整備が積極的に行われ、現在では管理基準対象農家の99.9%が対応済みとなった。一方、農水省生産局畜産部調べによる畜産経営に起因する苦情発生件数（平成20年）では、悪臭関連が55.4%、水質関連が26.2%、害虫発生5.8%、その他（ふん尿の流出、騒音等）12.73%となっており、畜産経営にとって悪臭問題が依然として大きな問題となっている。悪臭は気体であり拡散しやすく苦情が発生する地域が広い、人の嗅覚によるため濃度差があっても苦情となる場合がある、安価で効果の高い脱臭技術が少ない、臭気対策が畜産経営にとっては生産につながらないため対策のためのコストをかけにくいなど臭気対策を行う上でも多くの難しい課題がある。苦情が発生している農家では臭気対策を行わないと経営基盤を揺るがしかねないところまで発展することがある。そのため畜産の最前線で活躍している普及センターの担当者や畜産環境アドバイザーにとっては悩みの大きい問題の1つとなっている。

畜産施設における臭気の発生源は、大きく畜舎内と堆肥化や乾燥処理施設などのふん尿処理施設に分けられる。畜舎内で発生する臭気は、濃度は低いが大風量の臭気を含んだ空気を対象にしなければならない。すなわち低濃度・大風量型の臭気を扱うことになる。畜産農家の大規模化、専門化と農村部の都市化への進行などによって生活になじまない臭気に対して周辺住民

は敏感になってきており、次第にこのタイプの臭気問題が増えつつある。一方、堆肥化施設などのふん尿処理施設から発生する臭気は、逆に臭気濃度は高いが、発生源が特定できるため比較的少風量である。臭気対策ではまずこの高濃度臭気の脱臭対策が行われてきた。臭気対策で重要なのは、ふん尿処理施設だけでなく畜舎やその周辺などの飼養管理方法の抜本的な改善により臭気の発生を抑制し苦情を発生させないようにすることであり、そのうえで脱臭装置が必要な場合は、その導入にあたり脱臭機能があり施設費、運転費が安価な装置であることなどが条件となる。

2. 臭気物質と臭気の発生

臭気の種類は数万種と言われるくらい多いが、そのうちどの物質が悪臭となるのかを定性・定量的に区別するのは大変難しい。現在、悪臭防止法で規制されている悪臭物質は22物質あり、そのうち畜産に関係の深い物質は、表1に示す10物質である。メチルメルカプタン、硫化水素、硫化メチル、二硫化メチルはイオウ系化合物であり、プロピオン酸以下の4物質は低級脂肪酸といわれる物質であり、これらの物質はそれぞれ発生源が異なる。

畜産における臭気的主要な発生源は、畜舎、堆肥化施設のようなふん尿処理施設および飼料畑等へのふん尿の散布時などである。家畜ふんは大きく分けると水分（尿も含む）、有機物、灰分とで構成されており、有機物には難分解性有機物と易分解性有機物（3～4割程度）とが含まれる。排泄された家畜ふんはまず易分解性の有機物が分解し始めるが、酸素（空気）が十分混合されている場合は好気性微生物によって好気分解する、すなわち堆肥化されるが、酸素が混ざらなかつたり消費されて不足した場合、嫌気性の微生物によって嫌気分解が始まる。堆肥化（好気性微生物によるふん

等の有機物分解) 処理や乾燥処理時に発生する臭気の主成分はアンモニアである。アンモニアは悪臭物質のなかでは私たちの生活の中で最も身近な物質であり、濃度の低いわずかに感じる程度のアンモニア臭ならば気になることは少ないが、濃度が高くなると刺激性が強くなり不快臭となる。アンモニアは毒性が強く毒物および劇物取締法においては劇物に指定されており、高濃度で曝露されると致死に至るなど生命に重大な危険をもたらす。また数十～数百ppmのアンモニアガスが大量に樹木と接すると樹木を枯らしてしまうこともある。したがってアンモニアと言えども濃度の高い臭気として発生する場合は脱臭することが必要となる。一方、酸素が混ざらなかつたり消費されて不足した場合、嫌気性の微生物によって嫌気分解が始まる。この嫌気分解時に硫化水素やメチルメルカプタンのようなイオウ系化合物の臭気やプロピオン酸、ノルマル酪酸、ノルマル吉草酸、イソ吉草酸のような低級脂肪酸の臭気が発生する。これらのイオウ系化合物や低級脂肪酸は空気中にわずかに含まれていても人の嗅覚では不快臭と感じる物質である。すなわち私たちの普段の生活の中にはない臭気であるため少しでも存在すると異様な臭いとして感じてしまうのである。家畜ふんを水分の高い状態で放置しておくとその内部はすぐに嫌気状態となって嫌気分解が始まり、上記の物質が発生しやすくなる。排せつ直後の家畜ふんは、例えば搾乳牛ふんでは約85%、肉用牛ふんでは約78%、豚ふんでは約72%あり、尿分が混じるとさらに高くなる。このような状態ではふんの表面は空気と接するが、内部は空気がなく酸素のない状態となっており、嫌気分解が始まり、不快な臭気の発生が始まる。特にスラリーや尿汚水が貯留槽で曝気をせずして貯留されている状

態において攪拌するとイオウ化合物を主とした強烈な不快な臭気が発生する。その原因は貯留物が極端な嫌気状態になっているからであり、嫌気状態とならないよう曝気をしておればこのような不快臭とはならないのである。曝気をすると好気分解が始まりアンモニアを主とする臭気が多くなる。

3. 臭気対策

1) 臭気対策の必要性

畜産農家の大規模化、専門化と農村部の都市化、農村部では耕畜の複合経営が激減し畜産農家以外では家畜の姿を見ることは極めて少なくなった。畜産農家の孤立化により畜産施設から発生する臭気に対して周辺住民にとっては普段慣れない臭気、異様な臭気と感じて敏感になってしまう。臭気は人の嗅覚による感覚的な問題として捉えられるため、周辺住民が直接的に嗅覚で判断し、生活が損なわれるような場合は「苦情」という形で行政に持込まれる。行政判断となる前に環境汚染とならないような臭気対策を行わないと、一旦、「苦情」という形になってしまうと感覚的な問題から感情的な問題へと発展してしまい、ときには畜産の経営基盤を揺るがしかねない事態を招くこともあり、まずは苦情とならないように臭気問題の兆候が見えた段階から何らかの対策を講じることが求められる。

2) 臭気対策の難しさ

臭気対策の難しさは、畜産の施設で発生する臭気は複合臭であること、臭気は人の嗅覚によって判断され人によってその感受性が異なること、人の感情が入りやすいため苦情内容に差が出やすいなど臭気の性質による問題、臭気対策が生産物の質、量に反映されず臭気対策費を生産物に乗せるという考え方が畜産には少ないため、対策費がそのまま出費となり所得減となるなどの畜産経営上の問題、などが挙げられる。また、臭気の性質からは、一般に人の嗅覚で感じる臭気強度 I と物質濃度 C との間には、Weber-Fechnerの法則

$$I = k \log C + a$$

k、a は物質により定まる定数

が成立つが、注意したいのは嗅覚として感じる時、臭気物質濃度を1/10にしなければ臭気強度を一段

表1 畜産に係わる規制悪臭物質と臭気強度別濃度

悪臭物質	物質濃度 (ppm)			におい
	臭気強度	2.5	3	
(1) アンモニア	1	2	5	し尿のようなおい
(2) メチルメルカプタン	0.002	0.004	0.01	腐ったたまねぎのようなおい
(3) 硫化水素	0.02	0.06	0.2	腐った卵のようなおい
(4) 硫化メチル	0.01	0.05	0.2	腐ったキャベツのようなおい
(5) 二硫化メチル	0.009	0.03	0.1	腐ったキャベツのようなおい
(6) トリメチルアミン	0.005	0.02	0.07	腐った魚のようなおい
(7) プロピオン酸	0.03	0.07	0.2	刺激的な酸っぱいにおい
(8) ノルマル酪酸	0.001	0.002	0.006	汗くさいにおい
(9) ノルマル吉草酸	0.0009	0.002	0.004	むねたくつ下のようなおい
(10) イソ吉草酸	0.001	0.004	0.01	むねたくつ下のようなおい

階落とすることができない、すなわち物質濃度が100ppmが10ppmに減少したとき、つまり9割減少して初めて感覚的に半分位減ったと感じる程度の感覚にしかならない点である。また、気象条件によっては臭気を含んだ空気は周辺空気と混合せず団塊となって数百mから数km移動して思わぬところで臭気の苦情となって現れることがある。

3) 臭気対策の考え方

臭気対策で重要なことは苦情を発生させないようにすることである。最初に苦情が出たときに、どのようなことが苦情の原因になったのか、臭気の発生源はどこかを特定しその発生源からできるだけ臭気を出さないようにすることが必要である。発生源の特定は当事者では難しい場合もあり、判らなければ苦情を言ってきた人に確認することも1方法である。苦情が発生したときなぜ苦情が発生したのかを考え、その原因がどこにあるかを把握するとともに、どのように対策すればよいかをすばやく考えて対応することが大事で、決して放っておかないことが重要である。苦情は感情的なもつれに変わりやすく、対応が遅れると技術的な問題より感情的な問題として発展することが多く、感情論は技術論を無視してしまうことが往々にしてある。もっとも簡単な臭気対策は発生源周辺の清掃であり、清掃によって臭気の発生をかなり抑制することができるので、費用をかけずに取り組むには時間をかけて清掃することが第一である。発生源が明確であり、どうしても臭気対策が必要となったときにはじめて脱臭装置の導入を考えなければならないが、脱臭装置を設置したからといって生産に寄与するわけではないので、できる限り安価で、特に運転コストが安価で性能の良い持続性のある脱臭装置が必要となる。

4. 臭気対策技術

1) 堆肥化施設における脱臭装置

堆肥化施設から発生する臭気はアンモニアを主体とする複合臭であり、この臭気を脱臭するために運転コストの最も安価な脱臭法として、微生物を利用した生物脱臭法がある。生物脱臭法以外の主な脱臭法には、燃焼法、薬液処理法、吸着法などがあり、これらの方

法はいずれも臭気濃度が高くても対応でき、臭気の温度に影響を受けず、設置面積も小さいので一般に多くの脱臭施設で採用される優れた脱臭方法であるが、化石燃料、薬液、吸着剤の交換などを必要とするため運転コストが高くなる。生物脱臭法は、脱臭能力に見合った臭気を脱臭装置に送れば、臭気に含まれる悪臭物質を微生物が分解するので、化石燃料、薬液、吸着剤の追加、交換の必要もなく長期間脱臭能力を維持できる。留意点は、微生物を利用するため、臭気の温度は10～50℃程度に維持することが必要で、10℃以下になると微生物の活動が鈍くなり脱臭能力は低下し、逆にあまりに高温になると死滅してしまう。また、燃焼法などに比べ広い設置面積が必要で、脱臭装置を設置する場所が小さいところでは工夫が必要である。生物脱臭法の原理は、臭気成分を脱臭材料（濾材）中の水分に溶解または材料への吸着でいったん脱臭材料に捕集・保持させ、これを材料中の微生物の働きで無臭の成分に分解して脱臭する。脱臭材料中で増殖する微生物の主なものは、アンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌などの硝化菌、脱窒菌、硫酸酸化細菌などである。生物脱臭法には、土壌脱臭法、ロックウール脱臭法、堆肥脱臭法活性汚泥脱臭法などがある。ロックウール（以下RW）脱臭装置（図1）の脱臭メカニズムは土壌脱臭法と概ね同様で微生物の臭気物質の分解能力を利用した方法であり、脱臭能力と持続性も土壌脱臭装置とほぼ同程度の能力がある。RWは無機物であり、基本的には疎水性で臭気成分の吸着能力はほとんどない。そこで脱臭材料とするために親水性に処理し、ある程度の保水性を保ち、有機物を混合し、脱臭に寄与する微生物の活性を高め脱臭材料として開発（生研センターと企業との共同開発）したものである。RW脱臭材料は、通気性にすぐれ、脱臭装置の設置面積は土壌脱臭装置の1/3～1/5程度である。RW脱臭装置では、脱臭槽にRW脱臭材料を2～2.5m堆積し、下部から臭気を見かけ風速で20～25mm/秒で送風している。対象とする臭気のアンモニアの平均濃度は200ppm以下とし、それを超えるときは臭気を空気で希釈する、あるいは見かけ風速を下げるなどの方法で対処する。堆肥化施設から発生する複合臭の脱臭効果は高く、生ゴミの堆肥化装置の脱臭例では、原臭の臭気濃度98,000が

脱臭後では74まで低下した例も報告されている¹⁾。脱臭装置の設置が不可欠な共同利用型の堆肥化施設では有効な脱臭装置となっており、現在、全国約60カ所に導入され稼働している。

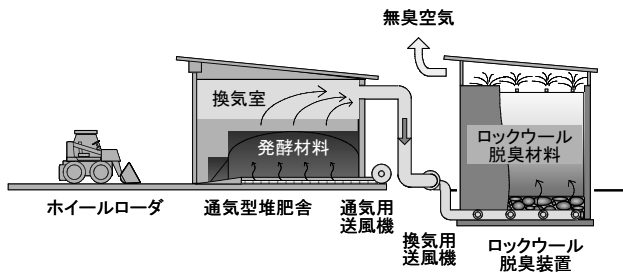


図1 通気型堆肥舎に設置したロックウール脱臭装置 (生研センター)

吸着法は臭気成分を吸着材に吸着させて脱臭する方法で、吸着材としてはおが屑、粉がら、くん炭、ゼオライトなどが用いられているが、入手しやすく取扱いやすいおが屑が主に使われている。これらの材料は臭気成分を物理的に吸着するため、臭気成分が吸着し飽和してしまうと吸着能力は急激に低下する。おが屑の吸着能力は、含水率64%のとき550mg/100gDM程度である。微生物分解による脱臭機能はなく、吸着能力の範囲内であれば臭気濃度が高くても吸着するがその分脱臭の持続性は短くなる。密閉縦型発酵装置に設置したおが屑脱臭装置では、おが屑の堆積高さは約1m、見掛風速は2mm/秒、臭気ガスとおが屑が接触する時間は500秒とした場合、臭気ガスのアンモニア濃度が500ppm程度あれば20日間以内にはおが屑表面からアンモニアが検出されはじめ、以後脱臭能力は低下する。脱臭能力が低下し、おが屑表面からアンモニアが検出されたときにおが屑表面に十分な散水をすれば脱臭能力は一時的に回復する。この操作の繰返しである程度の脱臭は可能であるが、排水に多量のアンモニアが溶解しているため排水規制のあるところでは注意が必要である。また、既に苦情が発生しているところでは、本脱臭装置ではおが屑の交換を頻繁に行わないと脱臭の持続性が維持できないので導入は避けるべきである。

薬液処理法は、希硫酸や木酢液などの酸液、あるいはカセイソーダなどのアルカリ液と臭気ガスを接触させて化学反応を利用して脱臭する方法で、密閉縦型発酵装置のようにアンモニアガス濃度が1,000ppmを越えるような高濃度の臭気ガスの脱臭に適しており、設置

面積が小さいことなどが特徴である。しかし、化学反応処理後の廃液処理対策が必要であること、酸液などの薬品代がかかるなどの問題がある。

燃焼法は臭気成分を650～800℃の高温で燃焼分解させて無機ガスとして脱臭する方法である。温度維持を確実に行えば高い脱臭効果が期待できるが、温度が低いと逆に強烈な臭気になって外に排出される。ふんの火力乾燥機や鶏ふんボイラーではこの燃焼法が採用されている。留意点は、脱臭用の炉内温度を安定的に確実に維持させて臭気成分を燃焼させることや煤じん量、ダイオキシンなどの放出量などである。触媒を使って燃焼温度を400℃程度に下げたり、蓄熱方式を組み込みランニングコストを低減している例もある。

2) 畜舎換気の脱臭装置

畜舎には開放型畜舎と無窓型（ウィンドレス）畜舎があり、我が国では酪農、肉牛農家は前者がほとんどで、養豚、養鶏は規模が大きくなるにしたがって後者になりつつある。なかでも子豚舎（離乳豚舎、4～10週齢）の無窓豚舎化が進んでいる。開放型畜舎の臭気対策は、臭気の捕集が難しいためまずは清掃することが第一である。無窓型畜舎では大型の換気扇を使い畜舎内の換気を行っており、換気扇から排気される臭気が発生源となるケースが多い。畜舎換気の臭気は低濃度、大風量であり、堆肥化施設の脱臭装置では高コストになるため、脱臭装置では送風による圧力損失が小さなもので大風量に適する条件が必須である。

無窓畜舎の換気空気を脱臭するために、換気扇側にハニカム構造（厚さ約10cm）のフィルタを壁状に2枚設置し、上部から水を垂らして湿潤状態にし、粉じ

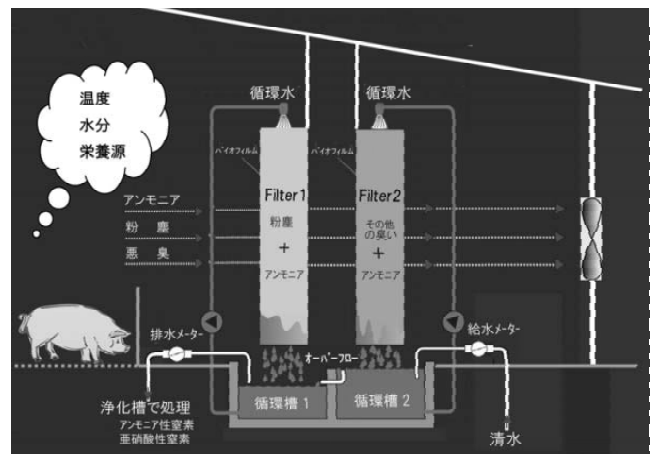


図2 ハニカム構造体のバイオフィルタ (ヨシモトポール(株))

んと臭気を含んだ換気空気をこのフィルタに通して除じん・脱臭する装置（図2）では、最初のフィルタで粉じんと大部分のアンモニアを除去し、2枚目のフィルタでアンモニアの除去率を上げる方式となっている。フィルタは開口幅が10mm程度のハニカム構造となっているため通気抵抗は低く、畜舎用の換気扇を利用できる。

通気抵抗の小さいヤシガラチップ混合物を脱臭材料（堆積高さ50cm）とした脱臭装置では、脱臭材料の水分を維持するための散水装置を設置しており、脱臭槽で蒸発した水のみを自動給水し、脱臭槽面積が25m²であれば毎分150m³の換気空気を脱臭できる。脱臭性能試験では、無窓豚舎から排出された換気空気に含まれる粉じん（最大7.9mg/m³）とアンモニア（最大26ppm）をほぼ除去することができた。この方式では、水洗だけでは脱臭できない低級脂肪酸やイオウ化合物なども脱臭されている（図3）²⁾。

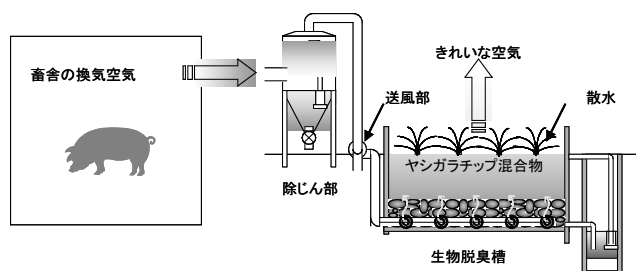


図3 ヤシガラチップ混合物による脱臭装置（畜舎の換気）

5. 最近の研究動向

臭気対策の最近の研究は、必要性は高いもののあまり活発な研究は行われていない。平成19年度家畜ふん尿処理利用研究会³⁾で最近の研究動向の紹介があったが、公立試験研究機関の現場と密着した独創的な研究が少ない。研究会での研究紹介をすると、畜産草地研究所では堆肥化装置の通気を吸引方式とすることで堆肥表面から発散するアンモニアを従来の圧送方式より1/10以下とし、吸引した臭気中のアンモニアをリン酸スクラバーを使ってリン酸アンモニウムとしてほとんど回収する装置を開発している。スクラバーではリン酸液のほか硫酸液も利用でき、回収したリン酸塩は肥料として活用できるとしている（図4）。このような

臭気中のアンモニアを脱臭を兼ねて回収し、肥料として利用する技術はこれからの臭気対策の1方法であろう。東北農業研究センターでは、モミガラ、オガクズ、爆砕剪定枝、林地残材、パークを脱臭資材として供試し、アンモニア、硫化水素、プロピオン酸の吸着能力を調査し、アンモニアの吸着能力はパークが他の資材よりも優れているとしている。群馬畜試では、軽石を脱臭濾材として使用し、濾床下部から臭気を濾材に通し、濾材上部表面に循環水を散水して臭気中のアンモニアを微生物の硝化作用により硝酸塩化して脱臭する生物脱臭装置を開発した。小規模（0.81m³）装置での検証を終え実証装置の段階に入っているが、冬期では送入される臭気の温度が低下するため脱臭能力が低下するので、加温をするなどの工夫を必要としている。また、循環水中の窒素濃度が高くなるため（濾材内での脱窒機能が低いと考えられる）循環水を一部引き抜き液肥利用を試みていることも特徴である。施設費が安価であるため個別農家の堆肥化装置等への適用が期待されるとしている。最近の公立試験研究機関の研究成果では、「豚房への浄化処理水散布による臭気低減効果の解明」（沖縄畜研）、「資源リサイクルを考慮した簡易・低コスト脱臭システムの確立」（栃木酪農試）、「生ゴミと鶏ふんとの混合堆肥化処理時における臭気発生状況」（鹿児島農総セ）、「豚ふんに散布した鶏ふん焼却灰の脱臭効果について」（岐阜畜研）などが報告されている。また、施設費が安価で個別農家の堆肥化装置へ適用できる脱臭装置の開発研究なども進められている。

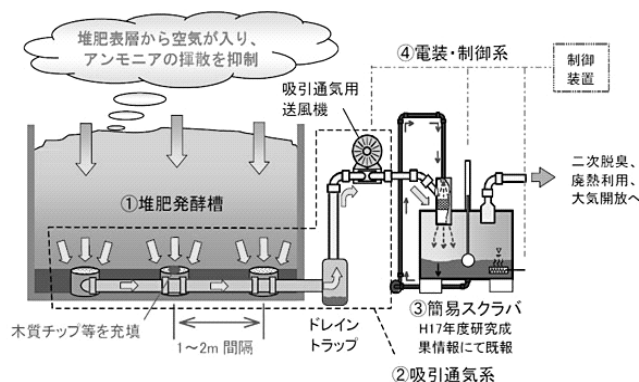


図4 吸引通気方式による薬液脱臭法
（出典：畜産草地研究所平成18年度成果情報）

6. これからの取り組みについて

畜産における臭気対策は、今後の畜産経営にとって避けて通れない課題といってもよい。堆肥化施設のように高濃度、小風量の臭気に対しては、共同利用型の堆肥化施設においてロックウール脱臭装置などの生物脱臭装置や薬液処理の脱臭装置などの導入が進んでいるものの、個別農家の施設に対して要望があるにもかかわらずその導入は極めて少ない。施設費や運転費のコスト問題が最大のネックであり、持続的な脱臭機能があり施設費と運転コストが安価な脱臭装置の出現が切望されている。許容できる範囲まで脱臭できることや稼働方法についても必要なときのみ運転することも考慮に入れた低コスト運転方法についても検討すべきであろう。ただし安かろう悪かろうのものは避けねばならない。

畜舎換気の臭気対策の要望は、今後ますます強くなると考えられ、いくつかの脱臭方法が提示されているが、大風量となると低コスト運転が課題となる。脱臭装置ありきではなく臭気が発生源において発生を抑制することも不可欠であり、この部分の研究は飼養管理

に係わる部分でもあり、今後、幅広く管理面とリンクさせながら臭気対策に取り組むべきであろう。脱臭装置にこだわらず、微生物資材といわれているもので効果のあるものについては効果の検証をしっかりと行い、実用化の可能性のあるものは普及に繋げることも必要である。臭気抑制のメカニズムの解明はあとからでもかまわない。まずは苦情が発生しないような対策、技術が必要である。

臭気対策は、リスクも大きい民間では対応が難しい課題であり、独立行政法人や公立の試験研究機関が取り組むべき課題といえる。それぞれが連携をとりながらよりよい技術を農家に提供することが我々の使命であると考えます。

参考・引用文献

- 1) 道宗直昭ら：におい・かおり環境学会第16回講演要旨集、(2003)
- 2) 原田泰弘ら：農業施設、36 (3)、11-18 (2005)
- 3) 畜産草地研究所編：平成19年度家畜ふん尿処理利用研究会、畜産環境の動向と汚水高度処理及び悪臭防除の新技術、45-73、(2007)

