

6 畜産環境保全技術における課題と対応

一般財団法人 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所 研究統括監 道宗 直昭
一般財団法人 畜産環境整備機構 顧問 羽賀 清典

1. 畜産環境の現状と課題

畜産経営に起因する苦情発生戸数は、平成2年（1990年）には3,443戸あったが、令和2年（2020年）では1,386戸と半分以下に減少している（図1）。しかし畜産農家戸数あたりの発生率は0.8%から2.0%へと2倍以上増加し、個々の畜産農家にとっては重大問題となっている。苦情内容の中では悪臭関連が半分以上を占め、畜産業が付近住民と協調していくためには悪臭問題の解決が重要である。次いで水質汚濁関連が20数%あり、とくに硝酸性窒素等の排水基準（図1）の達成が課題である。

家畜排せつ物の処理・利用技術としては、堆肥化技術が主要技術となっており、牛、豚、鶏の各畜種とも排せつ物の90%近くを堆肥化処理している。平成11年（1999年）施行の家畜排せつ物法の基本方針に沿って、堆肥化施設等の整備が進み、令和元年（2019年）には管理基準適合農家の施設整備率は100%に達した。堆肥化施設は整備されたが、生産された堆肥の利用促進を図る必要が出てきて、耕種ニーズに即した堆肥の品質向上が重要な課題となっている。

以上の現状を踏まえると、畜産環境に関する当面の技術的課題は、堆肥の生産と利用技

術、悪臭ならびに水質などの畜産環境問題への対応技術が重要となっている。畜産環境整備機構では畜産環境技術研究所を中心に、日本中央競馬会（JRA）の事業を活用し、堆肥、悪臭、水質の3つの技術的課題などに取り組み、成果を上げてきた。

2. これまでの畜産環境保全技術

概ね最近10年間に実施されたJRA事業の概要について述べる（図1）。

1) 堆肥化関連技術

「高肥料成分堆肥調製利用技術開発普及事業（平成22～24年度）」を実施し、「堆肥のリン酸、カリの肥効を考慮した施肥設計－考え方とシステムの操作手順－」（44頁）と「高肥料成分ペレット堆肥の調製と安定貯蔵に関するマニュアル」（32頁）を発行した。堆肥中のリン酸とカリの肥効率を簡易に推定する方法を開発し、肥効率に基づいた施肥設計による作物栽培試験を行い、施肥設計の有効性を検証した。堆肥及び鶏ふん焼却灰を用いて、通常の堆肥に比べて高肥料成分のペレット堆肥を調製する技術を開発し、その貯蔵条件と成分変動を明らかにした。

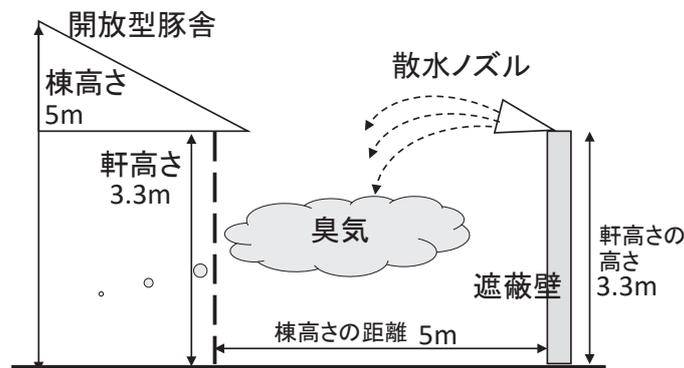
「高機能型異種堆肥造粒物の調製・混合利用技術の開発普及事業（平成29～令和元年度）」を実施し、「家畜ふん堆肥の簡易造粒・

(図1) JRA事業における畜産環境に関する課題の変遷 (令和3年6月現在)

年度	平成19年度	20年度	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度	31年度	令和2年度	3年度	4年度	5年度	
JRA事業における畜産環境に関する課題	悪臭防止技術 水質汚濁防止技術 堆肥化技術				畜産排水中の硝酸性窒素低減技術開発普及事業 家畜排せつ物の低コストエネルギー・副産物利用技術開発普及事業 高肥料成分たい肥調製・利用技術開発普及事業		BMP(農道管理手法)活用畜産悪臭苦情軽減技術開発普及事業 持続的な畜産経営確立のための環境対策等調査事業		硝酸性窒素等規制強化対応畜産悪臭苦情軽減技術開発普及事業 畜産臭気における軽労働環境改善技術開発普及事業		畜産臭気防止量適管理手法を用いた畜産臭気苦情軽減技術開発普及事業 畜産臭気における軽労働環境改善技術開発普及事業							
	畜産環境をめぐむる状況	耕種農家による肥料の過剰利用、連作障害、二酸化窒素に即した堆肥、			畜産環境への対応(悪臭、水質)	真堆肥等による放射性セシウム汚染	畜産排せつ物堆肥活用による農地地力回復等技術開発普及事業 牛由来堆肥被災地水田施用実証等事業		堆肥利用の困難な馬ふん燃焼利用調査事業		堆肥施用による被災地の畑地・水田の地力回復等効果の持続性追跡調査事業							
硝酸性窒素等排水基準	900mg/L			700mg/L			600mg/L						500mg/L					
苦情戸数	2,541戸	2,433戸	2,192戸	2,185戸	2,004戸	1,862戸	1,970戸	1,751戸	1,604戸	1,532戸	1,559戸	1,480戸	1,491戸	1,386戸				

(図2) 遮へい壁の上部に散水ノズルを設置して豚舎臭気を低減
(出典：畜産悪臭苦情軽減技術の手引き、令和2年)

開放型豚舎



配合利用技術に関する手引き」(110頁)を発行した。肥料成分や肥効が異なる牛・豚・鶏の畜種別堆肥を簡易・低コストに造粒調製する技術を開発した。化学肥料を使用せず、畜種別の造粒堆肥を混合利用する施肥設計及び作物栽培試験を実施し、化学肥料や従来の有機農家の慣行施肥法と比べて同等かそれ以上の収量を得た。

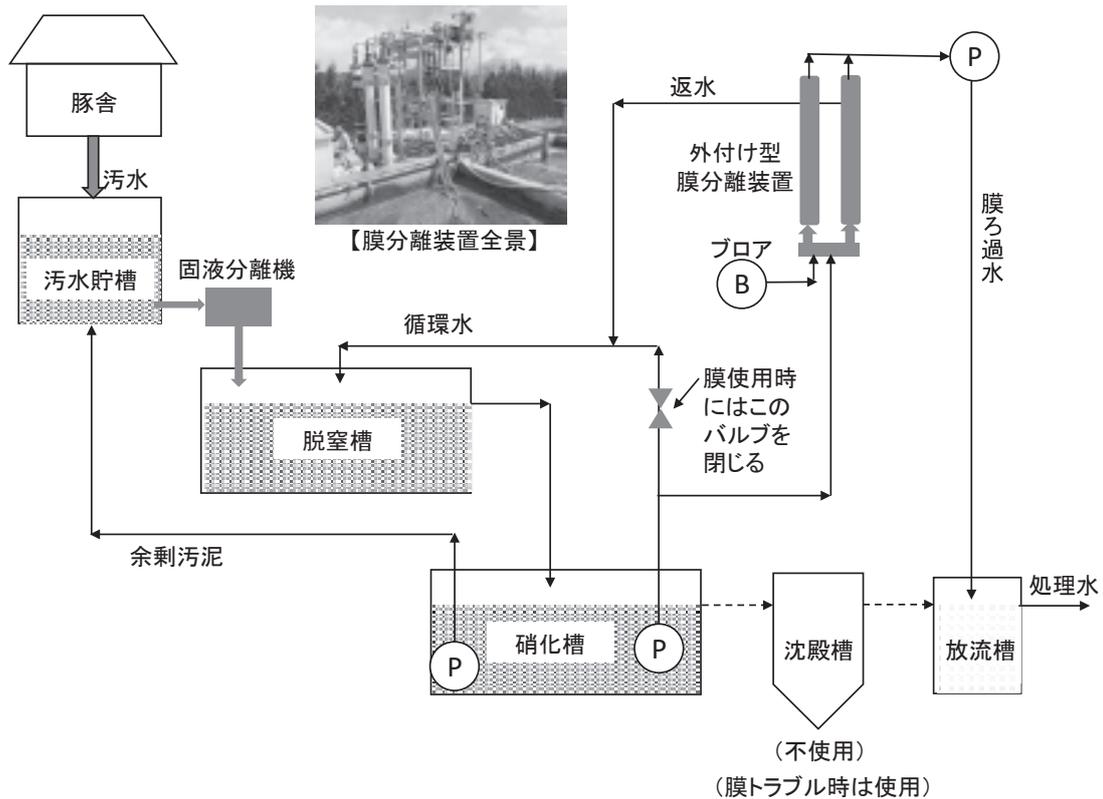
2) 悪臭防止関連技術

「BMP(最適管理手法)活用畜産悪臭苦情軽減技術開発普及事業(平成26~28年度)」を実施し、「日本型悪臭防止最適管理手法(BMP)の手引き」(61頁)を発行した。畜舎等から発生する臭気を防止するために、畜舎内のダストを植物油混合の乳化液のミスト噴霧で1/3に低減し、畜舎換気の臭気をヤシガラハスク等の材料を用いたバイオフィルターで長期にわたり低減するとともに、畜舎の軒高さの遮へい壁を畜舎から棟高さ分離れた位

置に設置することで畜舎から排出されるダストと臭気の拡散を抑制する技術を開発し、また、30種類の微生物資材の臭気低減効果を調査した。これらの開発した技術を活用し、米国の代表的なBMP(最適管理手法)を参考にしつつ、わが国独自の気象条件等を踏まえた日本型の悪臭防止のBMP(最適管理手法)を策定し、わが国の臭気対策の指標とした。

「日本型悪臭防止最適管理手法を用いた畜産悪臭苦情軽減技術開発普及事業(平成29~31年度)」を実施し、「畜産悪臭苦情軽減技術の手引き」(50頁)を発行した。前事業の畜産悪臭軽減のための基礎的な技術開発の成果をもとに、本事業では日本型悪臭防止最適管理手法による技術の実証を行った。畜舎の軒高さの遮へい壁を畜舎から棟高さ分離れた位置に設置した遮へい壁に散水ノズルを組み合わせるとノズルの粒径が200 μ m以上で豚舎臭気が低減できる(図2)、ヤシガラハスク

(図3) 既設プラントに外付け型膜分離装置を設置したフロー例
(出典：畜環研式 膜分離活性汚泥法, 平成30年)



を主材としたバイオフィルターによって豚舎内臭気の不快臭の原因である低級脂肪酸やイオウ化合物が脱臭でき、養豚施設にマスキング型資材を散布することで不快度が軽減されることなどを明らかにした。さらに密閉縦型堆肥化装置などの堆肥化装置に設置された優良脱臭装置を調査し、これらの成果を手引き書として取りまとめ、畜産農家、関係団体、行政機関等に配布した。

3) 水質汚濁防止技術

「畜産排水中の硝酸性窒素低減技術開発普及事業（平成22～24年度）」を実施し、「畜産のための污水浄化処理施設窒素対応管理マニュアル」（88頁）を発行した。畜産農家の硝酸性窒素等（アンモニア性窒素×0.4+亜硝酸性窒素+硝酸性窒素の合量）の排水基準の改定を平成25年7月に控え、豚の飼養管理方式別、污水浄化処理方法別に硝酸性窒素等低減のための対処方法を示した。また、畜産

排水の硝酸性窒素等を測定するために、簡易測定キットを開発した。

「硝酸性窒素等規制強化対応高度浄化処理技術開発普及事業（平成27～29年度）」を実施し「畜環研式 膜分離活性汚泥法」（7頁）と「畜産污水の処理技術マニュアルー処理の基本から高度処理までー」（153頁）を発行した。高濃度で夾雑物が多い畜産の污水に対し、他分野の污水処理技術で開発が進んでいる膜処理技術を活用し、既存施設を活用しつつ低コストで効率的・安定的に処理する外付け型膜分離装置を開発して（図3）、処理水質を向上できる成果を得た。畜産污水の処理技術マニュアルには、従来の基本的な処理技術はもちろんのこと、新しい高度処理技術として本事業の成果である膜分離活性汚泥法や窒素除去対応活性汚泥法のほか、リン除去法、色度除去などの技術が収録されている。

「畜産污水の発生・浄化における軽労型窒

素低減システムの開発・普及事業（平成30～令和2年度）」を実施し「確実な養豚污水处理を目指して－硝酸性窒素等の低減化に向けた簡易水質推定法と浄化性能向上技術－」（35頁）を発行した。この冊子を活用することによって、簡易な方法で豚舎排水の水質を推定することができる。誰でも簡単に購入できるデジタル糖度計、ポケット型のpH計、EC（電気伝導度）計を使って豚舎から出る汚水の量、BOD（生物化学的酸素要求量）濃度、全窒素濃度、アンモニア性窒素濃度を簡易に推定することができる。浄化処理水の硝酸性窒素等濃度を推定するためには、pH計とEC計を用いる方法を考案した。以上、水質を簡易に測定し、その測定値を浄化処理装置の運転管理に生かし、硝酸性窒素等の低減に向けた確実な養豚污水处理ができる。

4) 放射性セシウム汚染対策

東日本大震災によって放射性セシウムに汚染した堆肥が発生し、その対策事業に取り組んだ。

「家畜排せつ物堆肥活用による農地地力回復等技術開発普及事業（平成24～26年度）」を実施し「家畜排せつ物堆肥を用いた天地返し後の地力回復と農産物への放射性セシウムの移行」（40頁）を発行した。東日本大震災の原発事故による放射性セシウムによって汚染された農地を天地返しし、その農地へ堆肥を多量施用することにより、黒ボク土では2年、褐色森林土では1年で地力が回復することを実証した。また、地力回復後の園芸作物栽培においてミネラルバランスの調整、化学肥料による養分調整を行った施肥設計により堆肥多量施用の悪影響が回避できること、暫定許容値以下の放射性セシウムを含む堆肥を施用しても生産物へ移行しないこと及びカリウムや吸収抑制剤の添加により放射性セシウ

ム吸収抑制効果が見られた。これらの成果については、印刷物として福島県をはじめ近隣の各県の行政、試験研究機関へ配布し、説明会において十分な理解を得た。

「牛由来堆肥被災地水田施用実証等事業（平成25～26年度）」を実施し「暫定許容値（400ベクレル/kg）以下の牛ふん堆肥の水田施用調査」（47頁）を発行した。放射性セシウムによって汚染された被災地の水田において、食用品種及び飼料用品種に対し低汚染堆肥、非汚染堆肥、化学肥料（無堆肥）を施用した結果、放射性セシウム濃度は、堆肥施用区では食用品種の精玄米が1.3～2.5ベクレル/kg現物、ワラが5.2～12.7、飼料用品種の粃米が4.6～6.3、ワラが11.1～16.7であり、いずれも化学肥料区よりも低い値であった。食用品種の屋内ポット試験で、非汚染土壌を用いて、堆肥の汚染度別（非、低、中、高）による放射性セシウムの精玄米への移行を調査した結果、いずれの区においても精玄米の放射性セシウムは検出限界以下であり、堆肥からの移行は認められなかった。これらの結果から、400ベクレル/kg以下の牛ふん堆肥を施用しても、安全な米や稲ワラ等の生産に問題のないことが実証された。福島県ではこの結果をパンフレットにして県内の農家に配布した。

「堆肥施用による被災地の畑地・水田の地力回復等効果の持続性追跡調査事業（平成28～29年度）」を実施し「堆肥施用による被災地の畑地・水田の地力回復等効果の持続性追跡調査事業成果報告書」（57頁）を発行した。天地返し後の畑地や水田へ暫定許容値以下の家畜排せつ物堆肥を継続して施用した際の地力回復効果並びに放射性セシウムの作物への移行抑制効果の持続性について、平成24～26年度に続いて追跡調査を行った。天地返し後、牛ふん堆肥の多量施用で地力を回復させた農

地において、土壌のセシウム濃度は無堆肥区に比べて高くなる傾向はあったが堆肥による影響ではないこと、野菜（10品目）のセシウム濃度は非常に低く、堆肥区と無堆肥区で差はないこと、飼料作物（2品種）では、堆肥施用により土壌中の交換性カリ含量が高まり、土壌からのセシウムの吸収を抑制できたこと、水田への堆肥施用は水稻の生産物のセシウム濃度を低下させる効果が見られた。これらの成果を印刷し生産者等の関係者に配布した。

5) その他の畜産環境関連事業

「家畜排せつ物の低コストエネルギー・副産物利用技術開発普及事業（平成22～24年度）」を実施し「メタン発酵消化液の濃縮・改質による野菜栽培利用マニュアル」（86頁）「堆肥発酵熱の回収・利用技術の実例集」（34頁）を発行した。メタン発酵処理システムの低コスト化を目指した消化液の調製・利用技術開発・普及事業では、バイオガスで発生する熱を利用したメタン発酵消化液の濃縮及び、リン酸、カリ、アンモニア等の肥料成分を含む液肥の調製技術を開発し、消化液の運搬及び排水処理コストの低減を図るとともに、消化液を利用した調製液肥の野菜等への施用効果を明らかにし、利用マニュアルを作成した。堆肥発酵熱を回収し、ヒートポンプを用いてより高温に転換などし、この熱源を堆肥の水分調整等に利用する技術の開発・普及事業では、吸引式堆肥発酵槽で得られた発酵熱をクロスパイル式熱交換器及びヒートポンプで回収し、その熱を戻し堆肥槽に送り、戻し堆肥を乾燥する実証試験を行った。戻し堆肥の乾燥により副資材の消費量を約3割低減することをねらいとした施設設計によるコスト計算を行った。

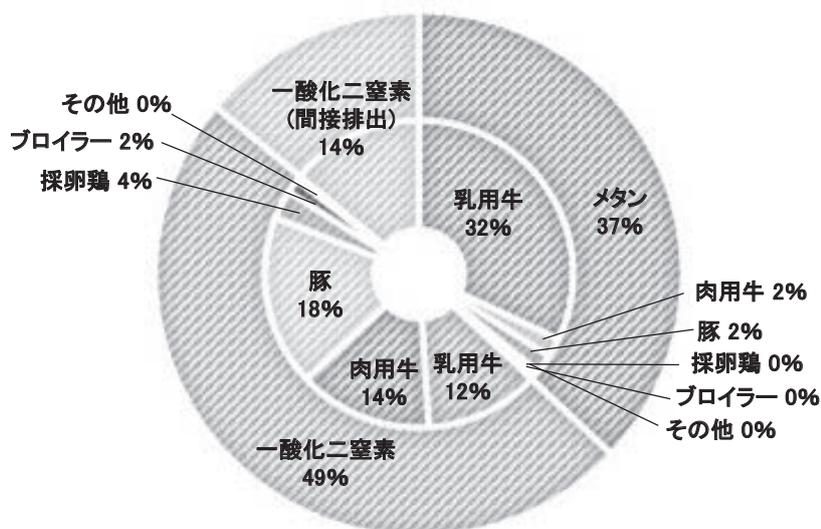
「堆肥利用の困難な馬ふんの燃焼利用調査

事業（平成27～29年度）」を実施し「馬ふん燃焼利用マニュアル」（47頁）を発行した。稲ワラ混合馬ふん堆肥とウッドシェーブ混合馬ふんをペレット化し、ロータリーキルン式燃焼炉で燃焼温度を変えながら燃焼試験を行い、ダイオキシン類を含む燃焼ガス成分、燃焼灰成分を測定し、馬ふんペレットが熔融しにくくダイオキシン類の発生の少ない最適燃焼条件を把握するとともに燃焼熱による利用可能エネルギーを推定した。また、燃焼灰の有害重金属が少なく肥料成分が多いことを確認した。本成果を馬ふん燃焼利用マニュアルとして取りまとめ、関係者に配付するとともに、説明会を開催した。

「畜産分野における地球温暖化緩和技術の調査普及事業（平成29年度）」を実施し「畜産分野における地球温暖化緩和技術レビュー報告書」（136頁）を発行した。畜産分野における平成27年度の温室効果ガスの発生量は、家畜の消化管内発酵から約730万トン（二酸化炭素換算）、家畜排せつ物処理から約630万トンと算定した。日本全体の温室効果ガス発生量は13億トン以上に上るので、畜産からの温室効果ガス発生量はその1%程度にしかない。家畜別の内訳については、**図4**に示すようにメタンが37%、一酸化二窒素が49%であり、メタンの発生源のほとんどは乳用牛である。一酸化二窒素の発生源は乳用牛と肉用牛と豚だが豚がもっとも多い。報告書では延べ324件の内外の関連文献をレビューし、温暖化緩和につながる温室効果ガス発生制御技術について多くの情報を提供している。巻末には、それら温暖化緩和技術のうち技術面・コスト面ですぐに取り組める9つの事項が示されている。

「持続的な畜産経営確立のための環境対策等調査事業（平成28～30年度）」を実施し「持

(図4) 家畜排せつ物の処理利用における家畜別のGHG排出量 (平成27年度)
 (出典：畜産分野における地球温暖化緩和技術レビュー報告書, 平成30年)



持続的な畜産経営確立のための環境対策等調査事業成果報告書」(188頁)を発行した。持続的で安定的な畜産経営を確立するためには、高機能畜産排水処理施設導入と活用が必要であり、設備投資の軽減を図るためには、畜産中古機械の活用が必要である。そのため、排水処理については、高機能畜産排水処理施設導入の手引きを作成し、酪農及び養豚排水処理の先進10事例の調査を行った。中古機械については、畜産中古機械活用の手引きを作成し、中古機械導入に対する調査アンケート(平成29年)を行うとともに、酪農及び肉牛関係の中古機械活用の9事例の調査を行った。酪農、肉牛、養豚農家100戸のアンケート結果では、中古機械を導入したことがあると回答した農家は68%に上り、また、導入したことがない32%の農家の中でも47%が中古機械に関心ありと回答したことから、関心度の高さがうかがえた。

以上の事業成果として発行したマニュアル・手引き・報告書類は、畜産環境整備機構畜産環境技術研究所のホームページに、すべてPDFファイルとしてアップされており、自由に閲覧することができる。

3. これからの畜産環境保全技術

これからの畜産環境保全技術として、現在進行中の事業の概要について述べる(図1)。家畜排せつ物処理技術及び処理施設設計マニュアルの作成のために「畜産環境対策技術総合設計基準調査普及事業(平成31年度から3年間)」を実施している。現在使われている畜産環境関係の技術マニュアルは、平成11年頃の家畜排せつ物法施行時のものである。その後年数が経過し、家畜飼養規模の拡大、飼養方式・技術開発の進展、給与飼料の改善・多様化、家畜能力の向上、新たな家畜排せつ物処理技術の導入等、大きな変化がみられる。そのような情勢に対応して、堆肥化、汚水処理、悪臭防除の処理技術ならびに処理施設の規模算定等を収録する新訂マニュアルを作成する事業を進めている。

堆肥化関連技術として「混合堆肥の利用拡大普及事業(令和2年度から3年間)」を実施している。令和元年10月に肥料取締法が改正され、堆肥と化学肥料を混合した混合堆肥が届出のみで生産できるようになり、堆肥を

使った肥料の開発利用がより一層見込めるようになった。そのため、混合堆肥の肥効特性を明らかにし、それに基づいた施肥設計の確立と作物栽培による検証を進めている。

悪臭防止関連技術として「畜産臭気の不快度軽減技術開発普及事業（令和2年度から3年間）」を実施している。本事業では、新たに開発した各種の悪臭苦情軽減技術により畜産農家での実証試験等を行い、その成果及び優良事例について畜産技術者及び生産者への説明会を開催し、苦情の発生している農家における悪臭苦情の低減とその悪臭苦情軽減技術の普及を図ることを達成目標としている。

水質汚濁防止関連技術として「畜産污水浄化施設のAI支援型リモート管理技術開発・普及事業（令和3年度から3年間）」を実施している。養豚農家の污水浄化処理施設の多くは、勘に頼った施設調整を行っており、適正管理が実現されているとは言いがたい状況にある。そこで、污水浄化施設における水質データを遠隔から収集し、AI技術により高度な解析を行い、遠隔操作によって污水浄化施設を制御する高度管理技術システムの構築を進めている。そのことによって、養豚排水の硝酸性窒素等の濃度を安定的に低下させる技術の開発と普及につなげる。