

## 畜産悪臭問題への研究サイドからの取り組みについて

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構  
畜産草地研究所 畜産環境研究領域

福本 泰之

### はじめに

畜産経営に起因する苦情発生戸数は農家戸数の減少にも関わらずここ20年間ほぼ横ばいで推移しているが、なかでも悪臭は苦情件数の約6割を占めており、場合によっては経営を継続することが困難になる等、畜産農家を悩ませる深刻な問題の一つとなっている。

畜産経営における悪臭は畜舎や家畜ふん処理施設から発生する。畜舎からの発生は速やかな除ふんや清掃の徹底等により発生量自体を低減することは可能であるが、ふん尿処理過程からは必然的にある程度の量の臭気物質が発生してしまうことから、脱臭装置等、臭気物質を分解・除去する機構が必須となっている。

農林水産省は委託プロジェクト研究「生産システム革新のための研究開発」において平成27年度(2015年度)から3年間の予定で家畜排せつ物の処理過程から発生する悪臭物質を低減する研究事業「**家畜ふん尿処理過程からの悪臭低減技**

**術の高度化」を開始している。**

このプロジェクト研究では家畜ふん尿の堆肥化過程から発生する悪臭を低減するための臭気物質の拡散を防止する技術の開発や、豚及び鶏に臭気原因物質の含有率が少ないふん尿を排泄させるための新たな飼料の開発等が目標に定められており、農研機構畜産草地研究所等が現在研究開発に取り組んでいるところである。

悪臭は古くて新しい問題と言われており、これまでも委託プロジェクト研究等において数多くの研究開発が行われてきた。そこで本稿では主に**農林水産省のプロジェクト研究を対象とし、畜産悪臭問題に対して研究サイド**がどのような取り組みを行ってきたのかを振り返り、現行プロジェクト研究を進める上での参考としたい。なお、参考資料はプロジェクト研究成果シリーズとしていることから、取り上げる研究成果は1960年(昭和35年)以降のものとなっている。

## ① 家畜ふん尿の処理・利用に関する研究

(昭和43～46年度)

プロジェクト研究成果シリーズから入手できる資料のうち、家畜排せつ物の処理に関するもので最も古い共同研究成果である。本研究においては**悪臭防除を主目的とした課題はない**ものの、家畜ふん

尿処理の基本となる固液分離技術、活性汚泥処理の有効性の実証が行われており、現在における家畜排せつ物処理技術の根幹となる多くの研究が実施されている。

## ② 農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究

(昭和48～52年度)

名前の通り農林漁業をめぐる環境に関する諸問題の解決を総合的に行うことを目的に実施されたプロジェクト研究であり、畜産に関するものは「家畜排泄物の処理利用技術の開発」で行われている。

悪臭をはじめとする畜産環境問題がピークを迎えた時期であり、**悪臭防止技術について課題化**が行われている。またふん尿の処理利用を促進するための技術として、堆肥化における腐熟化促進技術の開発、肥料価値の検証、また現在ではあまり取り組まれていないが家畜排せつ物の飼料化に関する検討も行われている。

悪臭防止技術ではそれまでの知見の蓄

積が少なかったことからまず**悪臭成分の測定法の研究**から始められており、アンモニアが家畜排せつ物からの悪臭動向の指標となることが推定された。

次いで**防臭効果を謳った各種薬剤等の防臭試験**が行われ効果があるものも存在していたが一時的なものであり、経済面からも適当な防止策ではないとしており、それよりは悪臭の発生原因の除去に重点をおくべきであると指摘されている。また土壤脱臭法等、コスト面で有利な**生物学的脱臭法**についても検討が行われている。

### ③ 家畜尿汚水中の窒素、りんの高効率・低コスト除去技術の

#### 開発に関する研究

(昭和59～63年度)

家畜の尿汚水の処理において問題となる高濃度の窒素、りんの効果的除去技術の開発を目的として取り組まれたプロジェクト研究である。そのため**悪臭低減に関する課題は設定されていない**が、本プ

ロジェクト研究においては活性汚泥処理における窒素、りん除去能向上のための制限曝気、間欠曝気方式の検証、土壌カラム方式による高効率脱窒・除りん技術の開発等が行われている。

### ④ 屠場油脂排水の浄化及び有機性廃棄物の処理利用に関する研究

(平成7～9年度)

家畜の屠殺解体にともない排出される高濃度油脂排水や消化管内容物、排水処理汚泥などの有機性廃棄物は水質汚濁や悪臭の原因となることから、本プロジェクト研究において高濃度油脂排水の簡易かつ高効率な排水処理技術、また、有機性廃棄物と回収油脂を混合して堆肥化することによる環境保全型の有効利用技術の開発が行われた。

高濃度油脂排水については酵母による処理、固形化しやすい動物性油脂をエマルジョン化するための最適方法の検討が行われた。また、消化管内容物、廃棄油脂、排水処理汚泥などは**腐敗しやすく臭**

**気の原因**となるため、堆肥化処理後に資源利用するのが有効である。通気量や廃棄油脂の混合率等が堆肥化発酵に及ぼす影響を検討するために、小型堆肥化実験装置を開発して堆肥化試験が行われた。

油脂等の炭素源の添加は堆肥化過程においてアンモニアの微生物菌体への資化量を増加させて大気中への揮散量を低減する効果があるが、余剰汚泥と牛脂、及びオガクズ、モミガラ、豚ふんオガクズ堆肥の混合物を堆肥化した試験においては、**牛脂の添加量が10%を超えてくるとアンモニアの揮散抑制効果**はそれ以上高まらないことが示された。

## ⑤ 農林水産バイオリサイクル研究 -畜産エコチーム-

(平成12～16年度)

農山漁村において循環型社会を構築するために家畜排せつ物等の有機性資源の適正処理及びリサイクル技術を開発することを目的に行われたプロジェクト研究である。本プロジェクトでは大きく3つの柱(1. 家畜排せつ物の革新的処理技術の開発、2. 家畜排せつ物の利用拡大技術の開発、3. 環境負荷評価技術の開発および地域リサイクル計画法の開発による環境調和型畜産の構築)が設定された。

本プロジェクト研究が開始される前年にはいわゆる「環境三法」が施行され、中でも「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」(「家畜排せつ物法」)の猶予期間(5年間)と本研究期間が一致しており、国や地方の行政や、農業経営者などからも注目される中で研究が推進された。

本プロジェクト研究では畜産環境問題について非常に幅広く課題が設定されており、**臭気低減関係も多岐にわたる研究**が行われている。臭気低減関係の研究が主に行われた家畜排せつ物の革新的処理技術の開発では、これまでの圧送通気式の堆肥化処理法から**吸引通気式**に変更した堆肥化処理法が検討され、堆肥表層からのアンモニア揮散が大幅に低減されるとともに、吸引した空気中の**アンモニア**を回収して肥料利用するためのリン酸スクラバが開発され、生成物の組成と作物

施用の安全性が確認されている。

また悪臭拡散を抑制するためのコンテナを利用した**密閉堆肥化技術**の検討が行われ、通気方式を排気中の酸素濃度により制御することで、コンテナに充填した原料を攪拌することなく十分に有機物が分解されることが確認された。牛ふん・オガクズ混合物に**ユズの搾り滓と炭酸カルシウム**を添加することで、アンモニアの急激な発生を抑えつつ施用効果の高い牛ふん堆肥が製造された。

家畜排せつ物の臭気低減を謳う微生物資材は多数存在しているが、それらを客観的に評価する標準手法が存在していなかった。そこで、本プロジェクト研究の中で主に豚・鶏ふんを対象として各種臭気成分(アンモニア、硫黄化合物、低級脂肪酸)の**発生量を評価する実験室規模の試験装置が考案**された。ある**市販微生物資材を用いて行われた評価試験**では、鶏ふんにおいてアンモニアの揮散抑制、低級脂肪酸の揮散増加、硫黄化合物は差異無しといった結果が得られ、開発された装置を用いることで各種悪臭成分の発生量の違いを確認できることが示された。

臭気低減を目的に添加される微生物の動態を把握するために、リボソームDNA塩基配列情報等を活用して迅速に解析する手法の開発が行われ、堆肥より分離された**臭気低減活性を持つ細菌グループ**(硫化水素臭気低減細菌株、低級脂肪

酸・硫黄化合物類臭気低減細菌株、メチルメルカプタン臭気低減細菌株、トリメチルアミン臭気低減細菌株、アンモニア臭気低減細菌株)について、各グループ内の相同性が極めて高いこと、また、特異的なプライマーを用いたPCR増幅手法によって各菌株を迅速・高感度で検出できることが示された。

さらに悪臭成分を特異的に分解する微生物の生理的特性の解明も行われた。単離した高温・高アンモニウム環境下で増殖可能で**高いアンモニア資化能を持つ微生物**

**生物**(*Bacillus* sp. TAT105株)を利用した堆肥化過程からのアンモニア発生および窒素損失低減効果の検証が行われ、当該菌株の添加によるアンモニア発生量の低減、またコマツナに対する植害作用やマウスに対する経口急性毒性は無いことが確認された。

無窓畜舎内の臭気低減のため自立走行可能な超音波噴霧装置と定置式の**超音波噴霧システム**を試作し、希酢酸の間欠噴霧でアンモニアと粉塵揮散を低減できることが確認されている。

## ⑥ 農林水産バイオリサイクル研究 -畜産エコチーム-

(平成17～18年度)

前年度までのバイオリサイクル研究の流れを汲み、さらに2年間の短期集中型で推進されたプロジェクト研究である。本プロジェクト研究でも前回同様に家畜排せつ物からの臭気低減技術は大きな柱の一つに設定されており、これまでに開発された技術の高度化や、新たな資材・技術を活用した臭気低減手法の開発が行われた。

酸化チタン**光触媒フィルター**と**バイオフィルター**を併用した**脱臭システム**を考案してウインドウレス豚舎および密閉式堆肥舎から排出される臭気について実証試験が行われ、アンモニアを常に2 ppm以下に抑え、さらに低級脂肪酸類にも90%以上の除去効果があることが確認された。光触媒ではバイオフィルターでと

れない硫黄系臭気物質も90～99%除去する結果も得られた。またより耐久性の高い低コストな新素材の開発も行われた。

木質系の**敷料をオゾン処理**することでアンモニア吸着能を向上させる試験では、オゾン処理によるリグニン分解量とアンモニア吸着能の関係が明らかにされるとともに、堆肥化の副資材としてスギオガクズをオゾン処理したものを利用することでアンモニア発生量を無処理のものに比べて最大70%低減できることが確認された。

**高温性硝化細菌による脱臭**では、高温性硝化細菌の分離・同定と増殖条件を明らかにし、高温硝化細菌の入った堆肥を戻し堆肥とすることで、堆肥化開始から1週目のアンモニア発生量が抑制されるこ

とが確認された。

悪臭を可視光で発生する**一重項酸素により分解させる脱臭法**の開発では、光増感色素ローズベンガル液を用いた光・色素触媒（一重項酸素発生）による酸化分解で、鶏ふんから発生する硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチルのほとんど、二硫化メチルおよびスカトールの一部が分解可能であることが確認された。

**電解水循環脱臭塔**による堆肥舎からの各種臭気成分低減効果の検証では、アンモニアは電解により生成した次亜塩素酸によって効率よく除去され、さらに硫化水素、メチルメルカプタンについても電解により無臭物質に分解できることが明らかとなったが、イソ吉草酸等の有機酸系臭気は通常の電解処理では分解できず、オゾン生成効率の高い「白金-タンタル被服チタン電極」を用いた場合のみ可能であることが確認された。

**吸引通気方式**の堆肥化処理では好気発酵を長期間維持するための配管、ブローア、アンモニア回収装置等の最適仕様について検討が行われ、長期間目詰まりせず、

れき汁等の混入が少ない配管方式、腐食しにくいブローア、効率的にアンモニアを回収する装置等の仕様が得られた。

**メタン発酵消化液**を圃場に施用した際に発生するアンモニア揮散を抑制するためには消化液を溝施用した後に覆土することが有効であると確認された。逆に表面施用ではアンモニア揮散量が多く、それらは気温の影響を強く受けた。

堆肥化処理から発生するアンモニアを低減するため、**アンモニアを結晶の形で保持する方法**の検討が行われた。具体的には、リン酸マグネシウムアンモニウム（ $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , MAP）の結晶形成を促進するため、堆肥原料に塩化マグネシウムとリン酸を添加して発生するアンモニア量を対照区と比較検討したところ、薬剤の添加量に比例してアンモニア発生量が低減することが確認されたが、主にリン酸の影響により有機物分解が阻害されたことから、有機物分解を大きく阻害せずアンモニア揮散を低減できる薬剤添加率が示された。

## ⑦ 地域活性化のためのバイオマスの利用技術の開発（バイオマス・

### マテリアルの製造技術の開発)

(平成19～23年度)

本プロジェクト研究はバイオマス資源、エタノール変換技術、バイオマス利用モデル、バイオマス・マテリアル製造技術

等の開発を目的に行われたものであり、家畜排せつ物処理技術においても肥料的価値を高めることを目的とした課題が設

定された。

堆肥化過程で発生する**アンモニアを完成堆肥に吸着して脱臭**を行う堆肥脱臭法の高度化が試みられ、古紙添加による窒素回収向上、アンモニアモニター、pHおよびECによる窒素増加予測システムが確立され、高窒素濃度堆肥の製造が可能となり、窒素1kg当たり450円の有機質肥料製造の目標が達成された。

**吸引通気方式**堆肥化による高窒素濃度堆肥の製造技術開発では、吸引した空気中に含まれる**アンモニアの回収技術**の高度化、戻し堆肥による堆肥化後熟期の窒素損失抑制、ペレット成型等が検討され、堆肥50kg施用で窒素1kgという目標に対して、窒素0.7~0.9kgの代替まで到

達している。

**MAP形成**による高窒素濃度堆肥の製造技術開発では、薬剤添加効果が1トン規模の堆肥化試験で検証され、**薬剤添加によりアンモニアの発生量が大きく減少**し、窒素損失量も対照区に比べて約54%低減したことが確認された。また、薬剤添加によるMAP形成と戻し堆肥による後熟期の窒素損失抑制法の併用が可能であることが示され、さらに資材吸着-硝化反応を一体化した**ロックウールを微生物担体とする窒素回収装置**の長期運転試験では、装置の循環水中の無機態窒素濃度が2%を超えても硝化活性が維持され、アンモニアの吸着が可能であることが確認されている。

## 時代の流れと畜産環境技術開発について

### 日本の食生活と畜産物

畜産環境をめぐる時代背景と技術開発、及びプロジェクト研究期間との関係について、新編畜産環境保全論を参考にして作成したものを図に示した。

日本における食肉の歴史は古く、縄文時代には狩猟によってイノシシやシカといった獣肉を食し、弥生時代にはすでにブタやニワトリが飼育されていた。しかし四方を海に囲まれ豊富な海産資源に恵まれていたことや仏教伝来による肉食禁忌の風習などから食肉の習慣は長らく定

着することはなかった。

日本で食肉が本格的に一般の食生活に導入され始めたのは文明開化以降であり、戦後の高度経済成長期から肉や卵、乳製品といった畜産物消費量が急激に増加していった。農林水産省の統計によれば2014年度(平成26年度)の畜産物年間消費量は国民1人あたり136.5kgであり、1965年(昭和40年)(55.9kg)の2.4倍となっている。畜産物需要への急激な高まりを受け、日本の畜産業は他国に類を見ないほど急速な発展を遂げた。

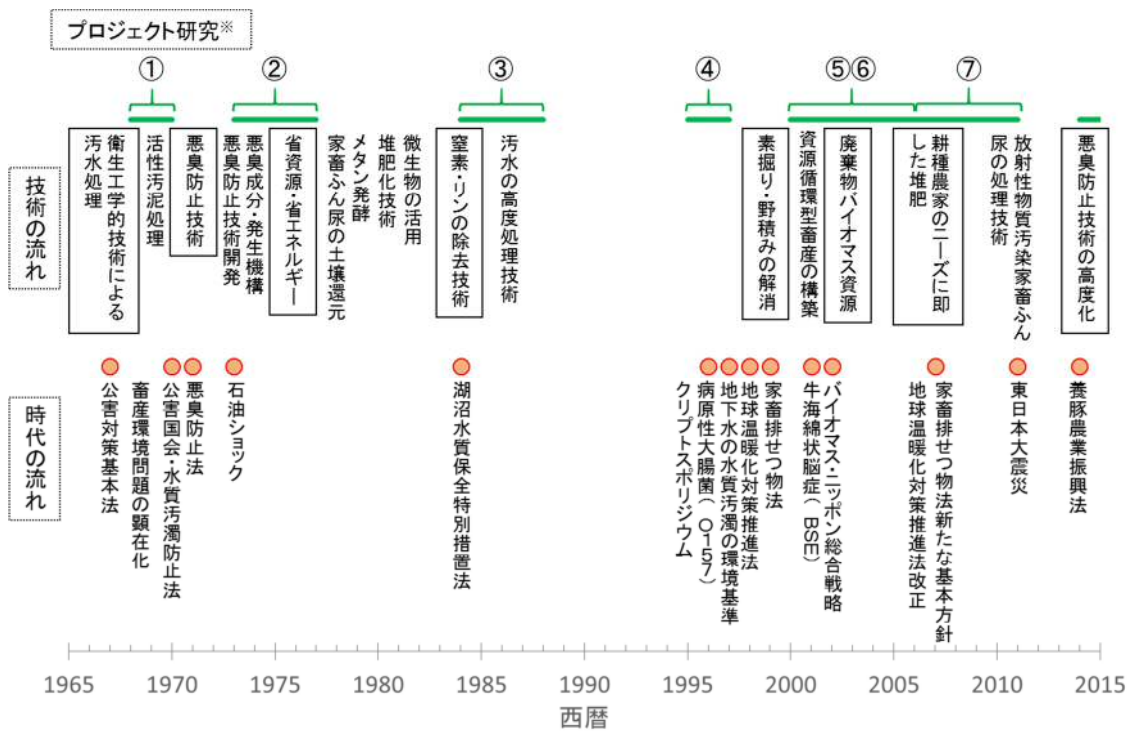


図. 時代の流れと畜産環境対策技術 (新編畜産環境保全論より引用・加筆)  
 ※プロジェクト研究の番号は本文中の各プロジェクト名に付した連番に対応。

### 畜産農家戸数の推移

畜産農家はより効率的な家畜生産を可能にするために大規模化が進行した。豚を例に挙げると、農家戸数は1960年(昭和35年)に約100万戸あったものが1970年(昭和45年)には約40万戸、さらに2014年(平成26年)には約5千戸と1960年当時の0.5%まで農家戸数が減少した一方で、飼養頭数は1960年に全国で約190万頭だったものがピーク時の1989年(平成元年)には約1,190万頭まで増加した。(その後は若干減少して約1,000万頭付近で推移している。)そのため、1戸あたりの飼養頭数は1970年の14頭から2014年には1,810頭まで増加している。

### 畜産環境問題の発生

畜産経営に起因する苦情発生戸数は飼

養頭数の増加と農家規模の拡大が急速に進行していた1973年(昭和48年)にピークの年間11,676戸を記録し、その後苦情発生戸数は急激に減少して平成に入ってからほぼ横ばいで推移しているのにも関わらず畜産農家戸数はその間も減少しつづけていることから、環境問題に関する畜産農家への風当たりは厳しさを増していると考えられる。

### 環境関係の法整備

畜産環境問題が顕在化し始めた1960年代後半には環境保全の中心となる公害対策基本法が制定され、その後も関連の深い水質汚濁防止法や悪臭防止法などの法律が次々と制定された。法律はその後も内容の改正を経てきており、悪臭防止法では規制対象物質が拡大し、濃度規制に



加えて人間の嗅覚による臭気指数の規制が導入された。

水質汚濁防止法では窒素化合物の規制値強化が行われ、畜産を含む直ちに対応困難な業種については暫定基準値が設定されたが、見直し毎に適用業種は減少し、暫定基準値は引き下げられている。さらに平成16年には家畜排せつ物法が完全施行された。

### 研究開発の流れ

研究開発もこのような情勢の変化を受け、初期のプロジェクト研究で行われたような基幹技術の開発から、より高度な環境対策技術の開発へと研究トレンドがシフトしてきている。また資源やエネ

ギー源としての価値を与えるような研究開発や、地球規模の環境問題である温室効果ガス緩和対策に関する研究開発、さらには東京電力福島第一原子力発電所事故による放射性物質汚染への対策技術等、時代の要請を受けた研究開発を推進してきた。

今後、様々な国内・国際的情勢の変化により日本の農業形態はさらに変貌・進化していくこと想定されるが、畜産業にとって悪臭防除や水質浄化等の環境対策は経営を維持するための必須項目であることから、基本は守りつつ、新たな展開を可能にするような技術開発が研究サイドには期待される。

### おわりに

畜産経営に起因する悪臭問題について、これまで研究サイドがどのような取り組みを行ってきたのかを委託プロジェクト研究の歴史から振り返ってみた。急激な畜産業の発展により畜産環境問題が顕在化した1960年代後半から、畜産農家戸数の減少と農家単位の家畜飼養頭羽数が拡大した現代に至るまで、その時代時代の要請を受け研究開発が着々と行われてきた様子が伺えた。また、冒頭でも触れたように、現在畜産からの悪臭防除のため

の新たなプロジェクト研究が進行中である。畜産由来の悪臭苦情件数はほぼ横ばいで推移している厳しい現状ではあるが、畜産業の発展に資するためにも、これまでの研究成果を踏まえた不断の努力を続けていく必要がある。

※本稿は筆者の平成27年度家畜ふん尿処理利用研究会の資料に加筆したものである。

### プロジェクト研究成果シリーズ：(本文中における①～⑦各見出しに対応)

- ① 家畜ふん尿の処理・利用に関する研究、1974年3月、プロジェクト研究成果シリーズ73号、農林水産技術会議事務局
- ② 農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究、1980年2月、プロジェクト研究成果シリーズ122号、農林水産技術会議事務局

- ③ 家畜尿汚水中の窒素、りんの高効率・低コスト除去技術の開発に関する研究、1991年9月、プロジェクト研究成果シリーズ257号、農林水産技術会議事務局
- ④ 屠場油脂排水の浄化及び有機性廃棄物の処理利用に関する研究、2000年3月、プロジェクト研究成果シリーズ356号、農林水産技術会議事務局
- ⑤ 農林水産バイオリサイクル研究-畜産エコチーム-、2007年2月、プロジェクト研究成果シリーズ440号、農林水産技術会議事務局
- ⑥ 農林水産バイオリサイクル研究-畜産エコチーム-2005年度～2006年度、2008年3月、プロジェクト研究成果シリーズ463号、農林水産技術会議事務局
- ⑦ 地域活性化のためのバイオマスの利用技術の開発(4)(バイオマス・マテリアルの製造技術の開発)、2014年3月、プロジェクト研究成果シリーズ501号、農林水産技術会議事務局

参考文献：押田敏雄，柿市徳英，羽賀清典共編．新編 畜産環境保全論，2012年3月，養賢堂，p.34.