

# 家畜排せつ物処理過程における温室効果ガスの発生と抑制

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構  
畜産研究部門 畜産環境研究領域

長田 隆

## 1. 家畜排せつ物起源の温室効果ガス - 国内発生量と世界全体の発生量 -

最新の日本国温室効果ガスインベントリ報告書 (NIR-JPN 2016、2016年4月公表)によると、日本の年間の温室効果ガス総排出量 (13億6400万tCO<sub>2</sub>等量、2014年度)の約0.5%に当たる685万t (CO<sub>2</sub>等量、以下同様)が家畜排せつ物からの排出である。この排出量は農業系総排出量 (3937万t、CO<sub>2</sub>を含む)の約18%を占める。この家畜排せつ物起源排出の内訳は、一酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O) 449万tとメタン (CH<sub>4</sub>) 236万tを合わせた排出量である。これらの排出量は、主に畜種ごとの排せつ物管理区分割合の変化によって1990年の京都議定書の年次初頭の排出量 (760万t) に比べてわずかに減少している。

世界全体の農業起源温室効果ガス排出に関しては、最新のIPCC報告書においてきわめて大きな排出量が指摘されている。とりわけ、国際連合食糧農業機関 (FAO) の「家畜の長い影 2006」 (Livestock's long shadow) や「世界食料農業白書 2009」 (The State of Food and Agriculture) によれば、主要な温室効果ガスである二酸化炭素排出の9%、メタン排出の37%に加えて一酸化二窒素の65%が家畜生産に関わる排出であり、合計で世界の全排出温室効果ガスの18%もの寄与があると算定されている。増え続ける世界人口の食を満たすための畜産活動の拡大が森林伐採を伴う飼料生産圃場の拡大を必要条件とし

ているのであれば、この途方もない数字に、今、技術的解決策を講じ始めなければならない。

このような要請を背景に、2010年より取り組まれた農林水産省委託プロジェクトを中核研究課題として、自治体研究機関 (10機関)、大学 (2大学) と関連企業と行った共同研究により家畜排せつ物起源の温室効果ガス測定方法の精緻化と、温室効果ガス排出削減方策に関する多くの研究成果が得られた。本報告は、上記委託研究より成果として得られた情報を中心に、関連調査の成果を交えた日本の家畜排せつ物関連温室効果ガス事情をご紹介します。

## 2. 家畜排せつ物処理に関わる温室効果ガスの排出

家畜排せつ物起源の温室効果ガスは、5種の主要畜種、すなわち乳用牛、肉用牛、豚、採卵鶏とブロイラーのそれぞれの畜産経営で採用されている家畜排せつ物管理方法 (区分) を勘案して総排出量が算出されている (NIR-JPN 2016)。ここで言う家畜排せつ物管理方法の区分は、排せつ物分離状況 (ふん、尿とふん尿混合) に応じて25の処理区分に分かれている (表1)。

現在の家畜排せつ物管理方法の振り分け状況に関しては、農林水産省生産局畜産部畜産企画課「家畜排せつ物処理状況調査結果」 (2009) に基づいて、各畜種、各処理区分の排せつ物取扱量 (年間) が算

表 1 家畜排せつ物起源の温室効果ガスの区分 (NIR-JPN 2016 表 5-24)

我が国の区分		CRF における報告区分	排せつ物管理区分の概要
排せつ物分離状況	排せつ物管理区分		
ふん尿分離処理	ふん	天日乾燥	Solid storage and dry lot 天日により乾燥し、ふんの取扱性 (貯蔵施用、臭気等) を改善する。
		火力乾燥	Other system 火力により乾燥し、ふんの取扱性を改善する。
		強制発酵	Composting 堆肥化方法の一つ。開閉式または密閉式の強制通気攪拌発酵槽で数日～数週間発酵させる。
		堆積発酵	Composting 堆肥化方法の一つ。堆肥盤、堆肥舎等に高さ 1.5-2m 程度で堆積し、時々切り返ししながら数ヶ月かけて発酵させる。
		焼却	Burned for fuel or as waste ふんの容積減少や廃棄、及びエネルギー利用 (鶏ふんボイラー) のため行う。
		メタン発酵	Digesters スラリー状の家畜排せつ物を嫌気的条件下で発酵させる。発生したメタンガスはエネルギー利用する。
		公共下水道	- 浄化処理や曝気処理等を行わず、公共下水道へ放流する。排出量は廃棄物分野で計上。
		放牧	Pasture range and paddock 採食のための植生を有する土地で家畜を飼養する。N <sub>2</sub> O は「放牧家畜の排せつ物 (3.D.a.3)」で計上。
		その他	Other system 上記以外の処理を行っている。
	尿	強制発酵	Composting 貯留槽において曝気処理する。
		浄化	Aerobic treatment 活性汚泥など、好気性微生物によって、汚濁成分を分離する。
		貯留	Liquid system 貯留槽に貯留する。
		メタン発酵	Digesters 上記メタン発酵に同じ。
		公共下水道	- 上記公共下水道に同じ。
その他		Other system 上記以外の処理を行っている。	
ふん尿混合処理	天日乾燥	Solid storage and dry lot 天日により乾燥し、ふんの取扱性を改善する。	
	火力乾燥	Other system ふん尿分離処理の記述に同じ。	
	強制発酵	Composting 貯留槽において曝気処理する。	
	堆積発酵	Composting ふん尿分離処理の記述に同じ。	
	浄化	Aerobic treatment ふん尿分離処理の記述に同じ。	
	貯留	Liquid system 貯留槽 (スラリーストア等) に貯留する。	
	メタン発酵	Digesters ふん尿分離処理に同じ。	
	公共下水道	- 上記公共下水道に同じ。	
	放牧	Pasture range and paddock 上記放牧に同じ。	
	その他	Other system 上記以外の処理を行っている。	

出されている。さらに、この畜種毎に、処理区分毎の温室効果ガス排出係数が適応されて、各畜種のふん尿処理に伴う年間温室効果ガス排出量が算出される (CH<sub>4</sub> 排出係数 [g-CH<sub>4</sub>/g 有機物]、N<sub>2</sub>O 排出係数 [g-N<sub>2</sub>O-N/g-N])。

家畜排せつ物起源の温室効果ガス排出量は、京都議定書期間以降も改訂された「気候変動に関する国際連合枠組条約のインベントリ報告ガイドライン」(The United Nations Framework Convention on Climate Change Inventory Reporting Guidelines) の下での日本国インベントリ

として毎年報告する必要がある。

### 3. 乳用牛の排せつ物処理に関わる温室効果ガスの発生と抑制

乳用牛の排せつ物処理は、堆積方式の堆肥化処理でふんの 90%、ふん尿混合物の 51% が処理され、また、貯留 (スラリー貯留) で尿の 90% とふん尿混合物の 15% が管理された後に有機質肥料として有効利用されている。

- (1) 副資材投入による搾乳牛ふん尿堆肥化における温室効果ガス排出削減効果<sup>7)</sup>

堆積方式の堆肥化処理から排出する温

室効果ガスの測定方法<sup>3)</sup>に基づき、現在、当該区分の温室効果ガス排出量が算出されている。搾乳牛ふん尿(初発含水率80%)約4tの堆肥化過程において、2週間

に一度切り返しを行い、副資材投入による初発堆積混合物からの温室効果ガス排出抑制効果を検討した(写真1)。



写真1 乳牛ふんの堆肥化過程からの温室効果ガス抑制実証試験(北海道S町:各区10m<sup>3</sup>規模の乳牛ふん混合物を堆積/切り返して約6ヶ月間評価検証)

副資材投入に伴う発酵促進によって堆積物中心部の最高温度が比較的高くなり、メタン排出は単位有機物あたり5.4g/kgVS(74.3%減)、一酸化二窒素では初発全窒素あたり2.7gN<sub>2</sub>O-N/kgN(62.8%減)と大きな低減効果が認められた。搾乳牛ふん尿の堆積型堆肥化過程では、表層において硝化が活発に起こり、亜硝酸態および硝酸態窒素が蓄積する。これらの窒素酸化物は、切り返し後に主に細菌によって急激に還元(脱窒)され、N<sub>2</sub>O揮散の主要な要因となる知見に基づく削減方法である<sup>6)</sup>。

#### (2) 家畜排せつ物貯留の実施設における温室効果ガス排出精密測定システム<sup>4)</sup>

乳牛ふん尿の貯留のメタン排出は国内農業の主要な排出でありながら長期間に及ぶ貯留や気象条件を要因とした排出の変動が大きく、排出量の実測が難しい状況にあった。メタン排出実態の把握による国家インベントリ精緻化とともに、メタン排出削減方策の開発とその削減効果の検証に必要な測定システムが開発された。この測定システム(写真2)の測定結果から、貯留スラリーの温度、貯留期間とメタ



写真 2 貯留スラリーからの温室効果ガス発生測定システム（北海道 S 町：測定精度の検証のために、実際の酪農家のスラリートンクに複数の測定用チャンバーを設置／測定している）

ン排出の間には明確な相関が確認され、貯留スラリー起源のメタンと一酸化二窒素排出には明確な日間変動とアンモニアの排出の日照によるスラリー表層温度の上昇が深く関係している事が判明した。本測定システムにより道内複数の貯留施設において測定・評価した結果から、メタン排出係数( $\text{gCH}_4/\text{g}$ 有機物(VS))を算出すると、1.02～1.39%となる。この結果は日本国インベントリに反映されている(NIR-JPN 2015)。

#### 4. 豚の排せつ物処理に関わる温室効果ガスの発生と抑制

豚の排せつ物処理では、堆積方式の堆肥化処理でふんの 49%、ふん尿混合物の 51%が処理され、また、強制通気型の堆肥化処理でふんの 48%、ふん尿混合物の 21%が処理され、有機質肥料として有効利用されている。大半の養豚経営では飼料作物の生産を行わないため、液状の排

せつ物である尿の 90%とふん尿混合物の 15%が浄化された後に放流されている。

##### (1) 炭素繊維担体を利用した温室効果ガス排出量の少ない汚水浄化処理技術<sup>9)</sup>

汚水浄化処理過程においても硝化反応や脱窒反応が起きた場合にその一部が一酸化二窒素となって放出されることが知られている。微生物の付着性が高い炭素繊維担体を用いた生物膜法に着目し、汚水中に含まれるアンモニウムイオン( $\text{NH}_4^+$ )を窒素ガス( $\text{N}_2$ )に転換する過程で発生する一酸化二窒素を削減する処理方法を開発した(図 1)。曝気槽容積  $1\text{m}^3$  当たり炭素繊維として  $0.2\text{kg}$  の担体を活性汚泥処理施設の曝気槽に投入することにより、温室効果ガス排出量は標準的な活性汚泥処理に比べて 9 割以上温室効果ガスを削減することが確認された。現在、養豚汚水浄化施設でこの削減効果の確認を行っている(写真 3)。

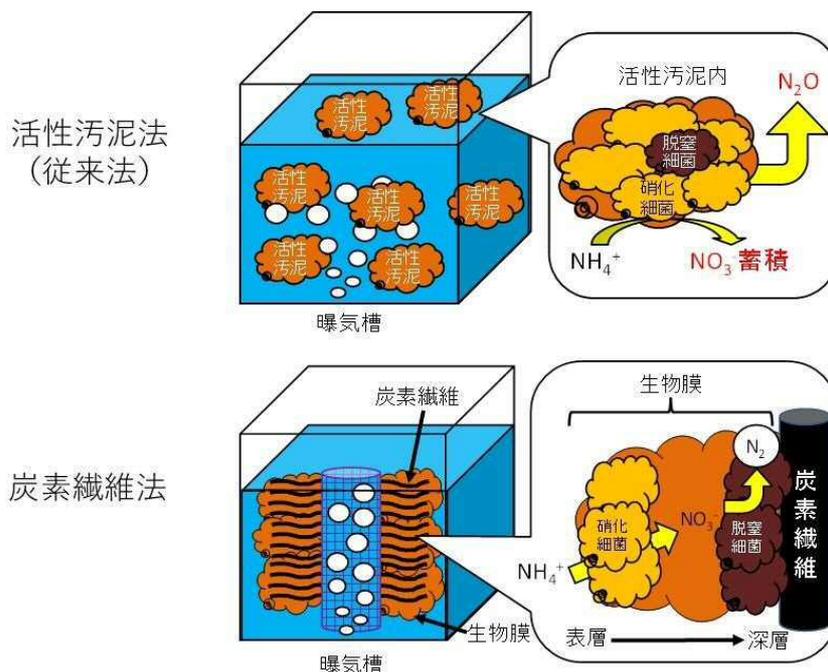


図 1 既存の活性汚泥法(上段)と炭素繊維法の違い (イメージ、農研機構 HP より)



写真 3 炭素繊維担体リアクターによる養豚排水浄化実証試験 (岡山県 N 市：畜舎汚水処理施設、100m<sup>3</sup>浄化槽への適応試験)

(2) アミノ酸添加低蛋白質飼料給与技術による肥育豚からの温室効果ガス排出削減<sup>2)</sup>

家畜排せつ物は畜種や飼養形態などによって様々な性状を呈し、それぞれの処理物の利用目的に合わせて管理等が行わ

れる。このように、ふん尿の管理条件は多岐にわたるため、技術改善による削減対策は容易ではない。窒素排せつ量低減技術である肥育豚への低蛋白質飼料給与の温室効果ガス削減ポテンシャルを、実測およびライフサイクルアセスメント

(LCA)により評価した(図2)。慣行飼料(蛋白質含量17.1%、アミノ酸無添加)に対しアミノ酸添加低蛋白質飼料(蛋白質含量14.5%、リジン、メチオニン、トレオニン、トリプトファン添加)を給与することで飼養成績に影響することなく肥育豚

の総窒素排せつ量が29%低減、温室効果ガス排出が39%低減された(写真4)。この削減技術は国内オフセットクレジット制度の方法論(AG-001 Ver.2.0)に選定され、実際に削減効果を反映したクレジットが養豚経営に発行された<sup>1)</sup>。

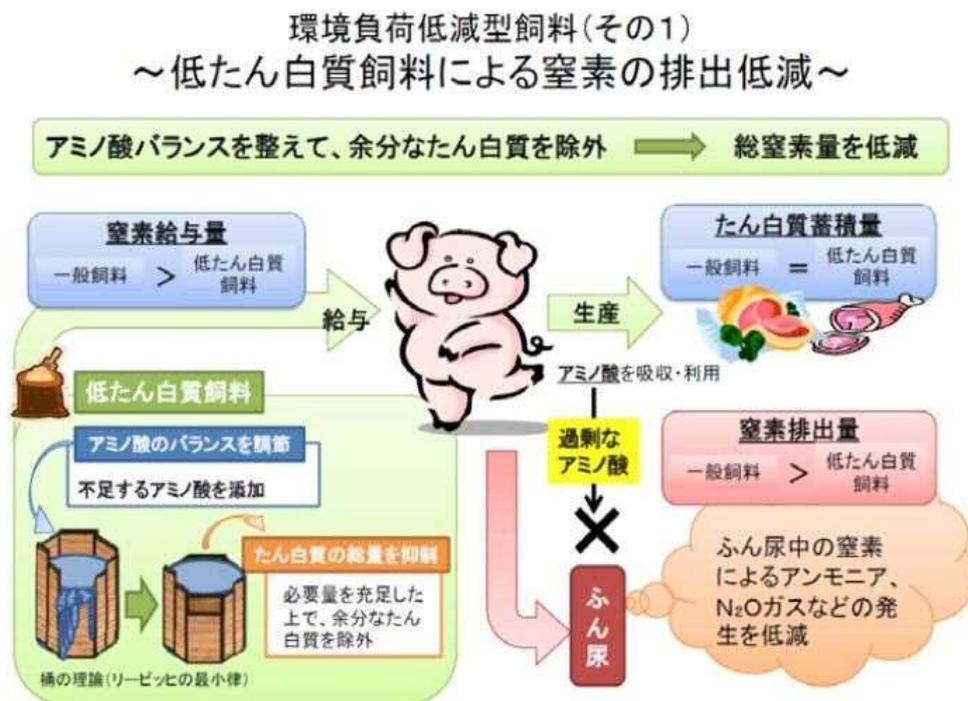


図2 アミノ酸のバランスを改善した飼料給与技術による肥育豚からの温室効果ガス排出削減(農林水産省HPより: [http://www.maff.go.jp/j/council/sizai/siryou/katiku\\_siryou/01/pdf/ref\\_data01.pdf](http://www.maff.go.jp/j/council/sizai/siryou/katiku_siryou/01/pdf/ref_data01.pdf))



写真4 アミノ酸のバランスを改善した飼料給与による肥育豚生産と排出ふん尿処理過程からの温室効果ガス抑制効果評価試験(茨城県畜産センタ養豚研究所、左:尿汚水貯留タンク、右:群飼肥育豚とふん回収スクレーパ)

### (3) 密閉縦型堆肥化装置および脱臭装置からの温室効果ガスの排出係数測定事例<sup>8)</sup>

家畜排せつ物の一般的な処理方法である堆肥化過程からの温室効果ガス排出は、日本国温室効果ガスインベントリ報告書で強制発酵と堆積発酵の2区分で排出係数が示されている。養豚農家では密閉縦型堆肥化施設が主要なふん尿処理方法の一つであるものの、排出実態については明らかとなっていない。さらに、堆肥化施設は悪臭苦情の対象となりやすく脱臭施

設を併設するケースが多いため、養豚農家で利用される密閉縦型堆肥化施設と後段の脱臭施設からの温室効果ガス排出量を把握した(写真5)。養豚農家で実稼働している密閉縦型堆肥化施設からの一酸化二窒素、メタン、アンモニアの排出係数は、調査平均で0.10%(g N<sub>2</sub>O-N/g N)、0.06%(g CH<sub>4</sub>/g 有機物)、9.44%(g NH<sub>3</sub>-N/g N)であった。併設する脱臭装置(木材チップ)からの排気ではメタンが減少する傾向であった。



写真5 縦型密閉堆肥化施設からの排気脱臭装置の評価(石川県H町)

## 5. 鶏の排せつ物処理に関わる温室効果ガスの発生と抑制

鶏の排せつ物処理では、採卵鶏ふんの約 50%が強制発酵、37%が堆積発酵で、ブロイラー鶏ふんでは強制発酵が約 20%、堆積発酵が 37%で焼却や乾燥処理導入事例も多い。

### (1) 鶏ふん乾燥処理実施施設の温室効果ガスの測定により精緻化された排出係数<sup>5)</sup>

乾燥処理技術は我が国の主な鶏ふん処理方式の一つであるが、排出係数に関し

ては IPCC のデフォルト値が採用されて算出が行われている。鶏ふん乾燥処理実施施設の温室効果ガス排出量の評価が、農家作業に支障ない測定機材の設置で可能であった(写真 6)。メタン排出は鶏ふん有機物の 0~0.25% (gCH<sub>4</sub>/g 有機物)であり一酸化二窒素排出は鶏ふん窒素の 0~0.58% (gN<sub>2</sub>O-N/g 全窒素)と実測データから算出された。本実測調査で得られたデータを根拠とし日本国インベントリの当該区分の排出係数に反映された (NIR-JPN 2015)。



写真 6 鶏ふん乾燥施設のアンモニアと温室効果ガス測定 (石川県 H 市 : 1512m<sup>3</sup> 幅 7.5m × 長さ 73.3m × 高さ 3.5m)

## 6. 残された問題と展望

ここで開発された測定手法は、家畜排せつ物管理起源の温室効果ガス実測調査に採用され、現在の日本国インベントリの根拠となる実測データの提出に貢献している。また、アミノ酸添加低蛋白質飼料

給与技術は、肥育豚経営で導入され、検証されてクレジットが発行される削減方法として認知されている。さらに削減方法の多くは農家実証の段階である。畜産農家への開発手法導入の方法に関する検討を進めていきたい。

## 7. 参考文献

試験結果は、下記の農研機構 HP 掲載物を参照いただければ研究内容が紹介され

ている。さらに詳細な論文等も記載してあるので、あわせてごらんいただけたら幸いです。

- 1) 農研機構季刊誌「なろ」  
温室効果ガス削減への NARO の貢献  
[http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/pub2016\\_or\\_later/laboratory/naro/quarterly-newsletter/071118.html](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/pub2016_or_later/laboratory/naro/quarterly-newsletter/071118.html)
- 2) 荻野暁史、長田隆(2012) 農研機構 HP  
アミノ酸添加低蛋白質飼料給与技術による肥育豚からの温室効果ガス排出削減  
[https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2012/210c0\\_01\\_45.html](https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2012/210c0_01_45.html)
- 3) 長田隆(2004) 農研機構 HP  
家畜ふん尿の堆積堆肥化処理に伴うアンモニア、メタンおよび亜酸化窒素の発生量  
<http://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/3010003660>
- 4) 湊啓子、長田隆(2012) 農研機構 HP  
家畜排せつ物貯留の実施設における温室効果ガス排出精密測定システム  
[https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2012/210c0\\_04\\_09.html](https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2012/210c0_04_09.html)
- 5) 長田隆、川瀬芳順(2013) 農研機構 HP  
鶏ふん乾燥処理実施施設の温室効果ガスの測定により精緻化された排出係数  
[https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2013/13\\_056.html](https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2013/13_056.html)
- 6) 前田高輝ら(2010) 農研機構 HP  
搾乳牛ふん尿の堆積型堆肥化過程における繰り返し直後の一酸化二窒素排出機構  
<https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/harc/2010/cryo10-09.html>
- 7) 前田高輝ら(2012) 農研機構 HP  
副資材投入による搾乳牛ふん尿堆肥化における温室効果ガス排出削減効果  
[http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/harc/2012/120c5\\_01\\_15.html](http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/harc/2012/120c5_01_15.html)
- 8) 安田知子ら(2014) 農研機構 HP  
密閉縦型堆肥化装置および脱臭装置からの温室効果ガスの排出係数測定事例  
[http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2014/nilgs14\\_s18.html](http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2014/nilgs14_s18.html)
- 9) 山下恭広(2014) 農研機構 HP  
炭素繊維担体を利用した温室効果ガス発生量の少ない汚水浄化処理技術  
[https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2014/14\\_056.html](https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2014/14_056.html)

## 8. 謝辞

本研究課題遂行に共同研究参画された各機関担当者各位に、末筆ながら感謝をします。

道総研農業研究本部・根釧農業試験場／中央農業試験場／畜産試験場、茨城県畜産センター、千葉県畜産総合研究センタ

ー、山梨県畜産試験場、石川県畜産総合センター、岡山県総合畜産センター、熊本県畜産研究所、佐賀県畜産試験場、酪農学園大学、東北大学農学部、ズコーシャ(株)、住友化学(株)、味の素(株)、三菱UFJリサーチ&コンサルティング(株)