

畜産研究部門

平 30-1

資 料

平成 30 年度家畜ふん尿処理利用研究会

堆肥化装置からのエネルギー・資源回収と
その利用および畜舎衛生技術

平成 30 年 11 月

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
中央農業研究センター



農研機構

平成 30 年度家畜ふん尿処理利用研究会

「堆肥化装置からのエネルギー・資源回収とその利用および畜舎衛生技術」

目 次

1. 開催要領

2. 基調講演

- 「畜産環境対策の現状と行政の動向」・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
農林水産省 生産局 畜産部 畜産振興課 課長補佐 吉田 敏男

3. 堆肥化装置からのエネルギー・資源回収とその利用

- (1) 密閉縦型堆肥化装置の省エネ化技術『スマートコンポスト』・・・・・・・・・・ 11
農研機構 畜産研究部門 主任研究員 中久保 亮
- (2) 床暖房利用のための密閉縦型堆肥化装置からの安定熱回収について・・・・・・・・ 21
神奈川県畜産技術センター 主任研究員 高村 真由美
- (3) 離乳子豚への回収温水給与効果の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 27
農研機構 畜産研究部門 主任研究員 芦原 茜
- (4) 回収資材を用いた混合堆肥複合肥料の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 33
朝日工業(株) 農業資材本部 開発部 肥料開発課 松岡 英紀

4. 畜舎衛生技術

- (1) 日本型豚舎洗浄ロボットの開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 41
農研機構 農業技術革新工学研究センター 研究員 松野 更和
- (2) 日本型敷料散布機の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 55
オリオン機械(株) 酪農事業本部 川口 隆
- (3) 畜舎におけるエアロゾル制御技術・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 63
東京農工大学大学院 連合農学研究科 名出 貴紀
- (4) 農場衛生管理からみた家畜ふん尿処理とその利用・・・・・・・・・・・・・・・・ 69
東京農工大学大学院 農学研究院 教授 竹原 一明

平成30年度家畜ふん尿処理利用研究会
「堆肥化装置からのエネルギー・資源回収とその利用および畜舎衛生技術」
開催要領

1. 開催趣旨

家畜ふん堆肥の利用促進は、資源循環型・環境保全型の農畜産業を推進する観点から重要な位置づけとなっている。家畜排せつ物法に基づく「家畜排せつ物の利用の促進を図るための基本方針」が2015年3月に更新され、目標年度を2025年度とした新たな基本方針が示される中、低コストで実用的かつ効果的な技術向上による対応として「家畜排せつ物のエネルギーとしての利用の促進」があげられている。現在、日本国内において中小家畜を中心に普及している密閉縦型堆肥化装置は、良質な堆肥ができる、堆積型の堆肥化施設に比べて堆肥化期間が短いなどの利点を有するが、多量の電力を必要とするなど経営上の負担は大きいなどの課題もあるため省電力化やエネルギー回収技術の開発が求められている。また畜舎における衛生環境はふん尿処理との関係も深く、我が国に対応した自動化・ロボット化技術、環境情報などに注視する必要がある。これらの関連する最近の研究成果などについて話題提供を行い、情報交換を行う。

2. 開催日時 平成30年11月8日(木) 13:15~17:00、9日(金) 9:00~12:00

3. 開催場所 農研機構 畜産研究部門 大会議室(茨城県つくば市池の台2)

4. 主催 農研機構 畜産研究部門

共催 農研機構 中央農業研究センター

5. 内容

第1日目: 11月8日(木)

挨拶 13:15 - 13:25
基調講演「畜産環境対策の現状と行政の動向」

農林水産省 生産局 畜産部 畜産振興課 課長補佐 吉田 敏男 13:25 - 14:00

【堆肥化装置からのエネルギー・資源回収とその利用】

座長 農研機構 畜産研究部門 上級研究員 石田 三佳

(1) 密閉縦型堆肥化装置の省エネ化技術『スマートコンポスト』

農研機構 畜産研究部門 主任研究員 中久保 亮 14:00 - 14:35

(2) 床暖房利用のための密閉縦型堆肥化装置からの安定熱回収について

神奈川県畜産技術センター 主任研究員 高村 眞由美 14:35 - 15:10

休憩 15:10 - 15:20

(3) 離乳子豚への回収温水給与効果の検討

農研機構 畜産研究部門 主任研究員 芦原 茜 15:20 - 15:55

(4) 回収資材を用いた混合堆肥複合肥料の開発

朝日工業(株) 農業資材本部 開発部 肥料開発課 松岡 英紀 15:55 - 16:30

(5) 総合討論 16:30 - 17:00

第2日目: 11月9日(金)

【畜舎衛生技術】

座長 農研機構 畜産研究部門 研究領域長 鈴木 一好

(1) 日本型豚舎洗浄ロボットの開発

農研機構 農業技術革新工学研究センター 研究員 松野 更和 9:00 - 9:35

(2) 日本型敷料散布機の開発

オリオン機械(株) 酪農事業本部 川口 隆 9:35 - 10:10

休憩 10:10 - 10:20

(3) 畜舎におけるエアロゾル制御技術

東京農工大学大学院 連合農学研究科 名出 貴紀 10:20 - 10:55

(4) 農場衛生管理からみた家畜ふん尿処理とその利用

東京農工大学大学院 農学研究院 教授 竹原 一明 10:55 - 11:30

(5) 総合討論 11:30 - 12:00

6. 参集範囲: 農林水産省生産局、地方農政局、技術会議事務局、独立行政法人、国立研究開発法人、都道府県試験研究機関、普及指導機関、大学、民間団体、民間企業等

7. 事務局: 農研機構 畜産研究部門 企画管理部 企画連携室 運営チーム

〒305-0901 茨城県つくば市池の台2 Tel. 029-838-8593、 Fax. 029-838-8606

畜産環境対策の現状と行政の動向

畜産環境対策の現状と行政の動向

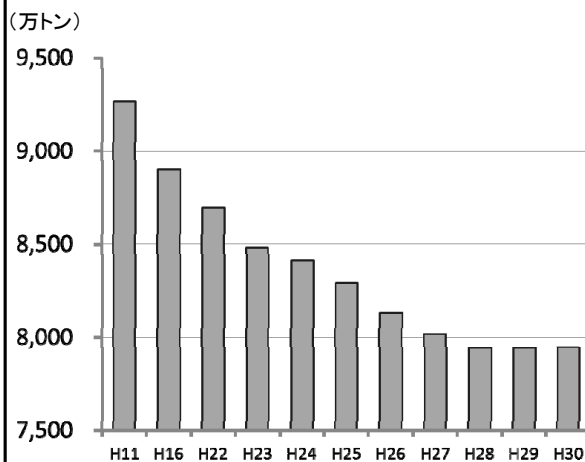
平成30年11月

農林水産省 生産局 畜産部 畜産振興課
環境保全班
吉田 敏男

家畜排せつ物の発生状況

- 全国で一年間に発生する家畜排せつ物の量は約7,900万トンであり、家畜飼養頭数の減少に伴い減少傾向にある。
- 畜種別では、乳用牛・肉用牛・豚がそれぞれ約3割を占める。

○家畜排せつ物発生量の推移



資料：農林水産省「畜産統計」から推計

○畜種別の家畜排せつ物発生量
(平成30年)

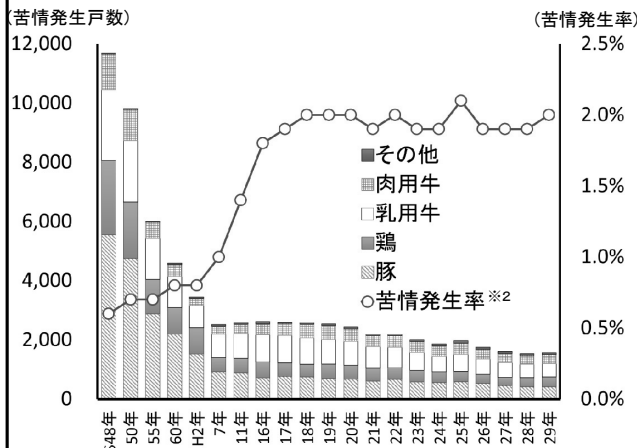
	発生量(万トン)
乳用牛	2,200
肉用牛	2,300
豚	2,100
採卵鶏	800
ブロイラー	500
合計	7,900

1

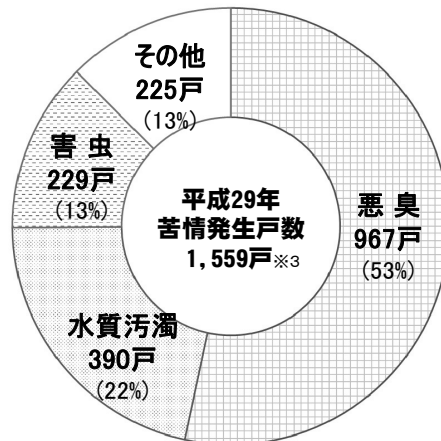
畜産経営由来の苦情発生状況（概況）

- 畜産経営由来の苦情発生戸数は減少傾向だが、畜産農家戸数当たりの発生戸数(苦情発生率)は、近年約2%で横ばいで推移。
- 悪臭関連の苦情が過半を占めている。

○ 苦情発生戸数・苦情発生率の推移※1



○ 苦情内容の内訳



※1 複数の畜種を飼養している農家において苦情が発生し、その苦情の原因畜種が特定できない場合は、主たる飼養畜種の農家として計上している。
 ※2 苦情発生率は、農家戸数が不明である「その他」(馬及びその他の家畜)を除いて算出している。
 ※3 複数種類の苦情を併発しているものは1戸として計上しているため、種類別発生戸数の合計とは一致しない。

資料: 農林水産省畜産部調べ、農林水産省「畜産統計」

2

家畜排せつ物法の管理基準

- 家畜排せつ物法施行規則第1条において、畜産業を営む者が家畜排せつ物の処理等に当たり遵守すべき基準(管理基準)を明示。

1 管理施設の構造設備に関する基準

- ① 固形状の家畜排せつ物の管理施設は、床を不浸透性材料(コンクリート等汚水が浸透しないもの)で築造し、適当な覆い及び側壁を設けること。
- ② 液状の家畜排せつ物の管理施設は、不浸透性材料で築造した貯留槽とすること。

2 家畜排せつ物の管理の方法に関する基準

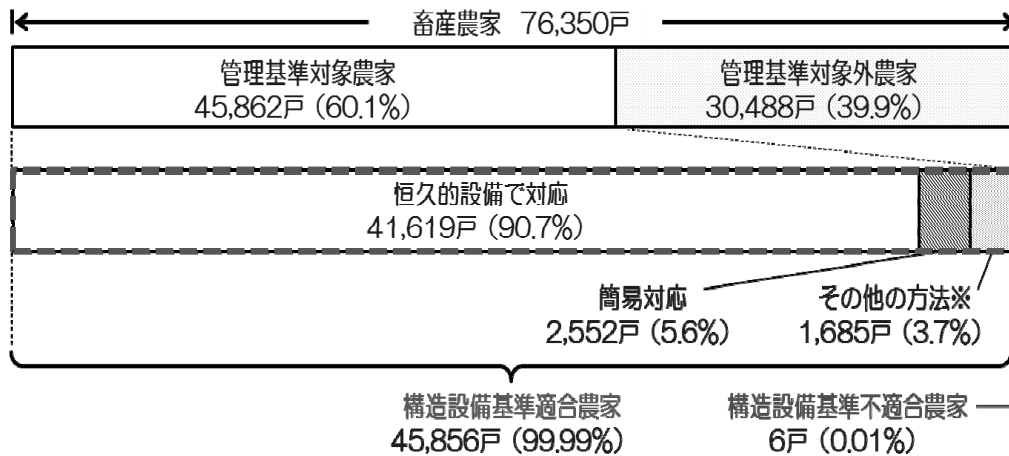
- ① 家畜排せつ物は管理施設において管理すること。
- ② 管理施設の定期的な点検を行うこと。
- ③ 管理施設の床、覆い、側壁又は槽に破損があるときは、遅滞なく修繕を行うこと。
- ④ 送風装置等を設置している場合は、当該装置の維持管理を適切に行うこと。
- ⑤ 家畜排せつ物の年間の発生量、処理の方法及び処理の方法別の数量について記録すること。

※管理基準の適用対象外 : 牛又は馬 10頭未満
 豚 100頭未満
 鶏 2,000羽未満

3

家畜排せつ物法施行状況調査の結果概要 (平成29年12月1日現在)

○ 家畜排せつ物法管理基準の対象農家のほぼ全てが、管理基準のうち、管理施設の構造設備に関する基準に適合している。



※「その他の方法」: 畜舎からほ場への直接散布、周年放牧、処理委託、下水道利用 等

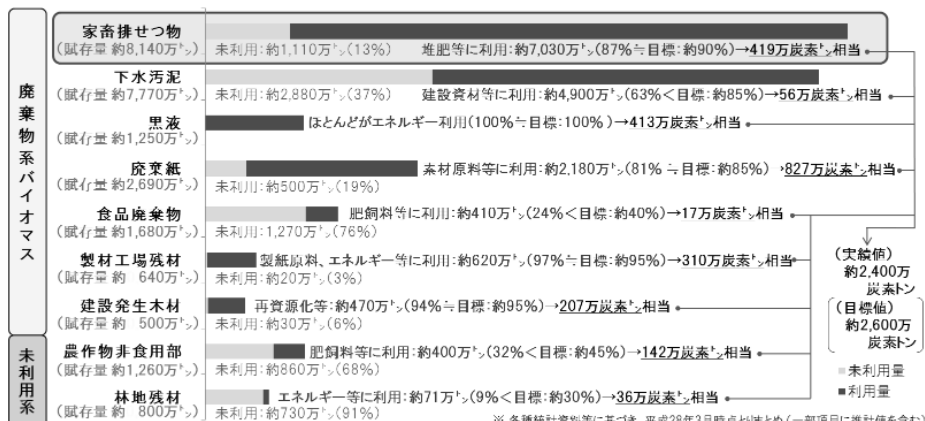
4

家畜排せつ物利活用の状況

- 「バイオマス活用推進基本法」に基づき、バイオマス活用推進基本計画を閣議決定(H28年9月に改定)。
- 家畜排せつ物については、現在87%の利用率を90%とする目標を設定。

▶家畜排せつ物の利活用に関する目標

物理的回収限界である約90%に近い水準で既に利用されていることから、引き続きその利用を図るとともに、堆肥等の利用に配慮しつつ、地域の実情に応じて炭化・焼却処理やメタン発酵ガス等による高度エネルギー利用を促進し、2025年に約90%が利用されることを目指す。

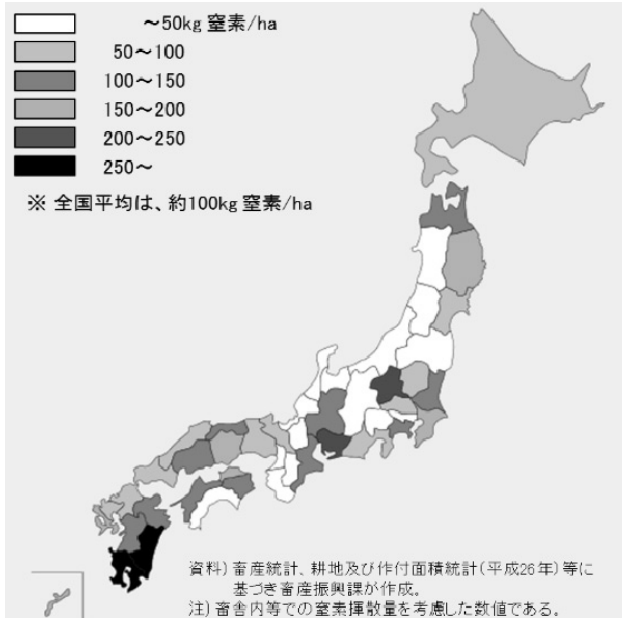


5

家畜排せつ物の発生量の偏在

- 耕地面積当たりの家畜排せつ物発生量は、都道府県間で大きな差。
- 必要に応じ、堆肥の広域利用や高度利用の推進も重要。

都道府県別耕地面積当たり
家畜排せつ物発生量
(窒素ベース)



6

家畜排せつ物の高度利用

- 家畜排せつ物を嫌気性発酵させ、発生したメタンガスにより熱利用や発電を行うメタン発酵を中心に、家畜排せつ物の高度利用も実施。

○メタン発酵施設



○焼却施設



○炭化施設



○高度利用施設数の推移

単位：か所

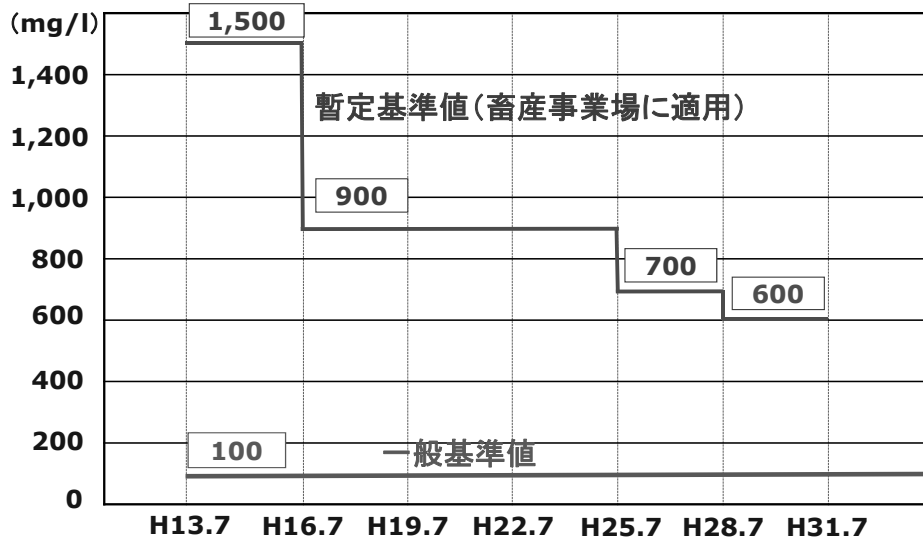
区分	H22年	H23年	H24年	H26年	H28年
メタン発酵処理	74	74	90	124	179 (39)
うち熱利用	64	61	61	71	73
うち発電利用	46	47	63	94	159 (39)
焼却処理	79	98	99	118	116 (0)
うち熱利用	32	45	47	72	70
うち発電利用	4	5	6	7	6 (0)
炭化処理	12	9	9	10	9
うち熱利用	0	0	0	1	1
うち発電利用	0	0	0	0	0
うち炭化物利用	10	9	9	10	9

資料：農林水産省畜産振興課調べ
注1：H24年度以降は、FITの認定を受け稼働予定である施設を含む。
注2：H28年の()内は、29年4月1日以降に稼働を予定している施設数である。
注3：熱利用と発電利用は重複がある。
注4：休止中又は廃止した施設は含まない。

7

硝酸性窒素等の暫定排水基準

- 畜産事業場について、硝酸性窒素等(アンモニア性窒素に0.4を乗じたもの、亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素の合計量)の暫定基準値を設定。
- 現在の暫定基準(600mg/L)は平成31年6月末まで適用(その後は未定)。



8

硝酸性窒素等の排水実態

- 硝酸性窒素等の暫定排水基準を超過している事例が一部存在。

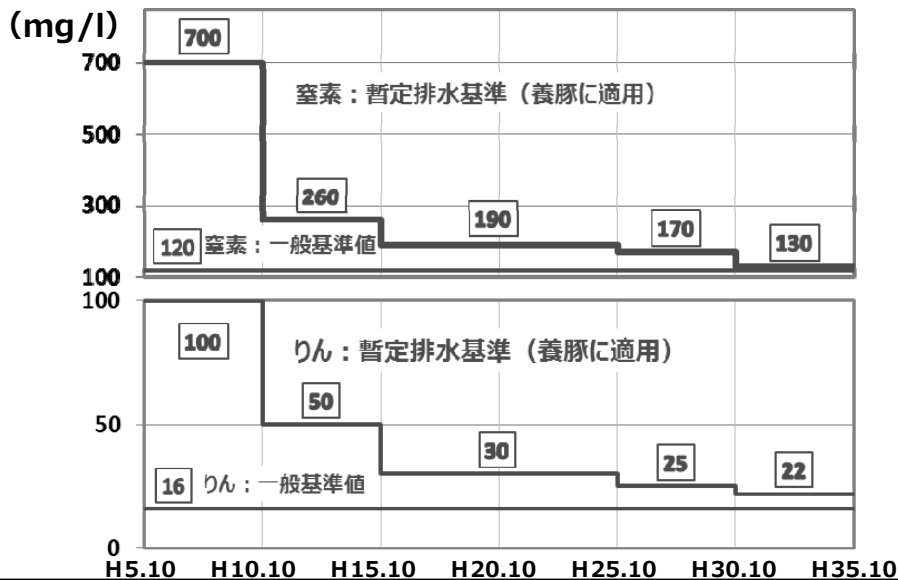
		該当農家の割合	備考
排水基準	一般排水基準達成	62%	~100mg/L
	一般排水基準超過~ 暫定排水基準達成	33%	~600mg/L
	暫定排水基準超過	5%	
調査事業場数		221	養豚農家のみ

出典：H28.5.15環境省中央環境審議会水環境部会(第41回)資料((一社)日本養豚協会等からの聞き取り調査結果)

9

窒素・リンの暫定排水基準

- 閉鎖性海域における富栄養化に対応するため、窒素・リンの排水基準が設定され、環境大臣が定める88海域に適用。
- 畜産事業場(養豚に限る)においては暫定基準値が設定され、平成30年10月に新たな暫定基準値が設定(期限:平成35年9月末)。



窒素・リンの排水実態

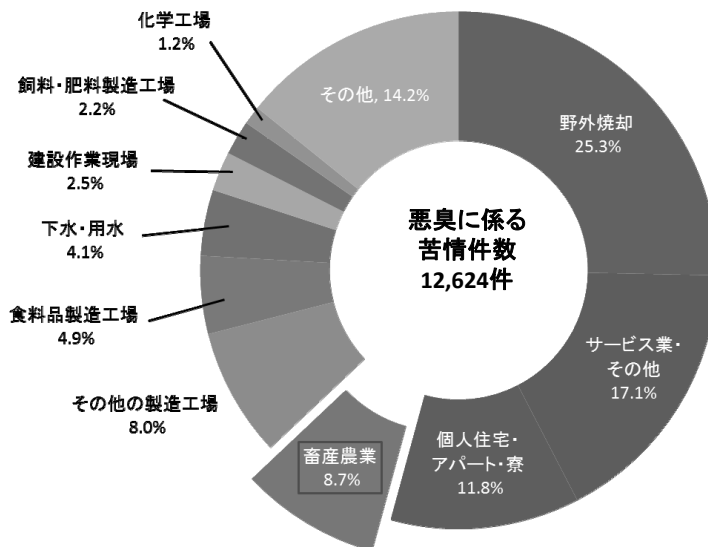
- 窒素・リンの暫定排水基準を超過している事例や、排出水の汚染状態の測定等を適正に実施していない恐れのある事例等がある。

		該当農家の割合		備考
		窒素	リン	
排水基準	一般排水基準達成	72%	54%	N: ~120mg/L P: ~16mg/L
	一般排水基準超過~ 暫定排水基準達成	14%	16%	N: ~170mg/L P: ~25mg/L
	暫定排水基準超過	14%	30%	
対象事業場数		120		閉鎖性海域にかかる排水量50m ³ 以上の養豚場
回答率		48%		

資料 環境省 平成27年度 畜産農業に係る海域の窒素・リン暫定排水基準適用事業場調査結果

悪臭に係る苦情の内訳（平成28年度）

○ 悪臭に係る苦情のうち、畜産農業由来のものが約1割を占める。



出典：環境省「平成28年度悪臭防止法施行状況調査の結果について」

12

特定悪臭物質による規制の限界

○ 個別物質の濃度規制では対応できない複合臭への対応として、臭気指数(人間の嗅覚を用いて、においの程度を臭気指数として数値化)による規制を導入。

- においを発生させる物質は40万種類以上
- においの相加・相乗効果
- 個々の物質濃度が基準値以下であっても臭う

物質濃度規制だけでは限界

臭気指数規制の導入(平成7年法改正)

○臭気指数とは○

もとのにおいを人間の嗅覚で感じられなくなるまで無臭空気で薄めたときの希釈倍数(臭気濃度)を求め、その常用対数に10を乗じた値。

$$\text{臭気指数} = 10 \times \text{Log}(\text{臭気濃度})$$



出典：環境省資料

13

臭気指数規制の導入状況

○ 規制地域を有する市区町村のうち、臭気指数規制を導入している市町村が 53.5% (455市区町村) であり、その数は増加。

	① 市区町村 数	② 規制地域を 有する 市区町村数 (②÷①)	③ 臭気指数規制を導入している 市区町村数 (③÷②)
市	740	455(61.5%)	285(62.6%)
区	23	23(100%)	23(100%)
町	463	335(72.4%)	128(38.2%)
村	57	38(66.7%)	19(50%)
計	1,283	851(66.3%)	455(53.5%)

出典：環境省資料

14

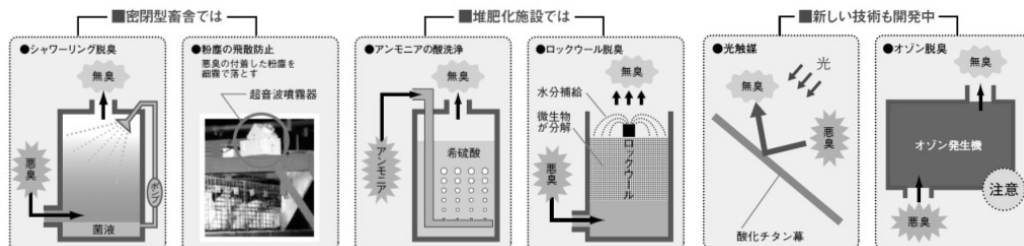
臭気対策の基本

- まずはこまめな清掃や適切な排せつ物管理により、臭気の発生を抑制することが重要。
- その上で、必要に応じ脱臭施設の導入を検討。

○ まずはこまめな清掃を



○ 脱臭施設の例



出典：(公社)畜産技術協会「やさしい畜産技術の話」より抜粋

15

日本型悪臭防止最適管理手法（BMP）のポイント

○（一財）畜産環境整備機構が、我が国の畜産経営の状況に沿った、日本型の悪臭防止最適管理手法（BMP=Best Management Practices）を策定。

畜舎	<ul style="list-style-type: none"> ・清掃と糞尿の速やかな除去 → 糞尿の嫌気性分解を防止 ・家畜の体表面を清潔に保つ → 悪臭や、悪臭を拡散するダストの発生を予防 ・乳化液の散布 → ダストを低減、バイオフィルター設置→ダスト拡散を防止 ・畜舎の風下や排気口への遮蔽壁の設置 → 臭気拡散を防止 ・飼料の改善（アミノ酸バランス飼料） → 窒素化合物の排せつ量を減少 ・畜舎周辺への植栽の設置 → 臭気低減と景観美化
運搬・貯留・処理施設	<ul style="list-style-type: none"> ・適切な規模の施設整備 ・ふん尿の積み込み、運搬時等における臭気拡散への配慮 ・処理装置の適切な稼働 → 臭気発生量の減少 ・臭気が拡散する固液分離機における対策（機器の洗浄、建屋内への設置など） ・堆肥化過程でのアンモニア対策（脱臭やアンモニア回収など） ・汚水貯留槽における対策（開口部の被覆など）
堆肥等施用	<ul style="list-style-type: none"> ・適量の施用、散布後の鋤込みや覆土、低圧散布やインジェクション（液肥） ・施用のタイミングの配慮（風向、午前中（上昇気流）の散布、高温高湿・人出の多い日の散布の回避など） ・散布のタイミング等について近隣住民等とのコミュニケーション
脱臭	<ul style="list-style-type: none"> ・（必要に応じ）適切な方式の脱臭装置の選択

出典：（一財）畜産環境整備機構「日本型悪臭防止最適管理手法（BMP）の手引き」

16

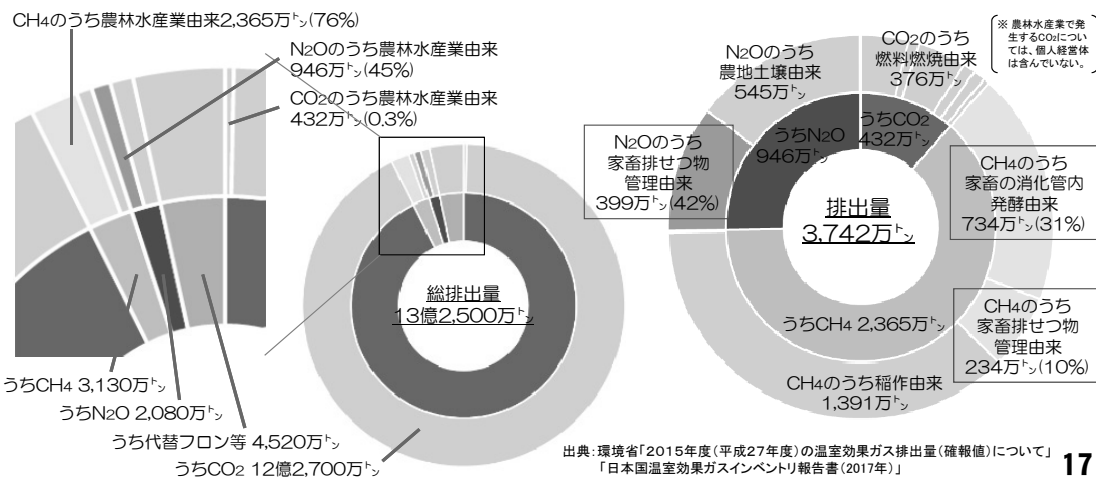
畜産分野由来の温室効果ガス（GHG）の排出

- 畜産業からは、主に家畜排せつ物管理に由来するCH₄及びN₂O、消化管内発酵に由来するCH₄を排出。
- これらを合計すると、我が国全体の総排出量約13億t/年（CO₂換算）の約1%（農林水産業由来の約1/3）を占めている。

○我が国の温室効果ガス排出量（平成27年度、全てCO₂換算）

(1) 我が国全体（うち農林水産業）

(2) 農林水産業全体（うち畜産業）



17

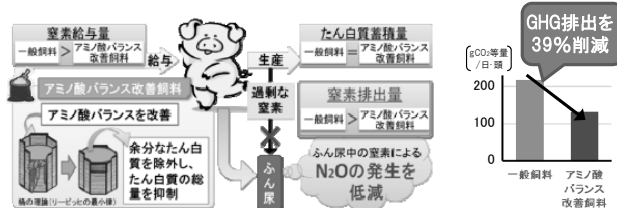
農林水産省地球温暖化対策計画の策定

○ パリ協定における世界共通目標や、我が国の中期目標の達成等に向け、H29年3月14日に「農林水産省地球温暖化対策計画」を策定、公表。

○「農林水産省地球温暖化対策計画」における畜産関係の主な内容

➤ 目標達成のための対策・施策

- ・ 堆肥の施用による土づくりの推進を通じた農地及び草地土壌における炭素貯留の促進
- ・ 家畜排せつ物処理方法の改善やアミノ酸バランス改善飼料の給餌等によるCH₄及びN₂Oの排出削減

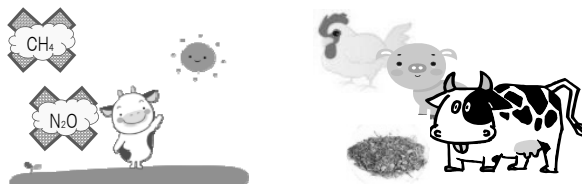


○アミノ酸バランス改善飼料の給餌の普及

豚のふん尿処理における温室効果ガス排出量の削減(長田ら, 2011)

➤ 研究・技術開発

- ・ 家畜の消化管内発酵や排せつ物からの排出など温室効果ガス排出量が大きく、現時点で実用的な技術が確立していない畜産分野における排出削減技術の開発。



○家畜由来の温室効果ガスの個体差等に関する研究開発

○温室効果ガスを低減する飼養管理技術に関する研究開発

出典:「農林水産省地球温暖化対策計画の概要(平成29年3月)」

密閉縦型堆肥化装置の省エネ化技術
『スマートコンポスト』

密閉縦型堆肥化装置の省エネ化技術『スマートコンポスト』

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 中久保 亮

はじめに

ふん尿処理は畜産経営を続けていく上で避けては通れない課題である。畜産農家にとって、ふん尿処理は履行すべき環境対策である反面、直接的なメリットの少ない経営コストといえる。しかし一方で、ふん尿由来の悪臭苦情は養豚経営の存続に関わる問題であり、ふん尿処理をないがしろにすることはあり得ない。適切な堆肥化を行うためには水分調整、切返し、ブローによる強制通気等、労力・経費が必要であり、これは堆肥の販売では到底賄いきれないコストである。

そこで筆者らは、ふん尿処理を経営負担から経営メリットへと転換する画期的な堆肥化関連技術として、堆肥発酵熱を活用した高度堆肥化システム『スマートコンポスト』を提唱し、実用化に取り組んでいる。その研究成果の中から、密閉縦型堆肥化装置の安定化・省エネ化を可能とする堆肥化関連技術として、堆肥発酵熱量を発酵指標とした通気制御システムについて紹介したい。

密閉縦型堆肥化装置の特徴および課題

密閉縦型堆肥化装置（図 1）は「コンポ」、「縦コン」といった通称で知られており、中小家畜を中心に広く全国に普及する堆肥化施設である（図 1）。密閉した装置内でふん尿を機械的に攪拌・強制通気するもので、従来の堆肥化方式と比較して発酵期間を短縮できること、縦型に設置するため省スペースであること、切返しや水分調整の手間を必要としないこと、密閉式であるため悪臭処理が比較的容易であること、といったメリットがあり、全国で 6000 基の普及実績を有する強制通気式堆肥化施設である。

堆積式堆肥施設がバッチ式（回分式）の堆肥化システムであるのに対して、密閉縦型堆肥化装置は水分の高い発酵原料を発酵槽内の水分 30～40%程度の乾燥堆肥と混合させることにより、発酵槽内で戻し堆肥による水分調整をしつつ堆肥化処理を行う、連続式の堆肥化システムである。発酵槽は断熱材で被覆されており、発酵熱を効率的に活用して高速度での発酵・乾燥処理を行うことが可能である。

高い処理能力の一方で、密閉縦型堆肥化装置のオペレータには高い管理能力が求められる。発酵槽内の堆肥水分が上昇すると、発酵原料の水分調整が不十分になる。その結果、通気性の低下に伴い好気性発酵速度が低下し、発酵熱量の低下により水分蒸発量が減少するため、さらに堆肥原料水分が上昇する、という悪循環に陥り、最悪の場合には発酵が停止する。また、堆肥水分の上昇により、発酵槽内で直径 10cm 程度の堆肥塊が形成されると、発酵槽下部の堆肥排出口からの堆肥排出が物理的に困難になり、連続式堆肥化が破綻する（図 2）。

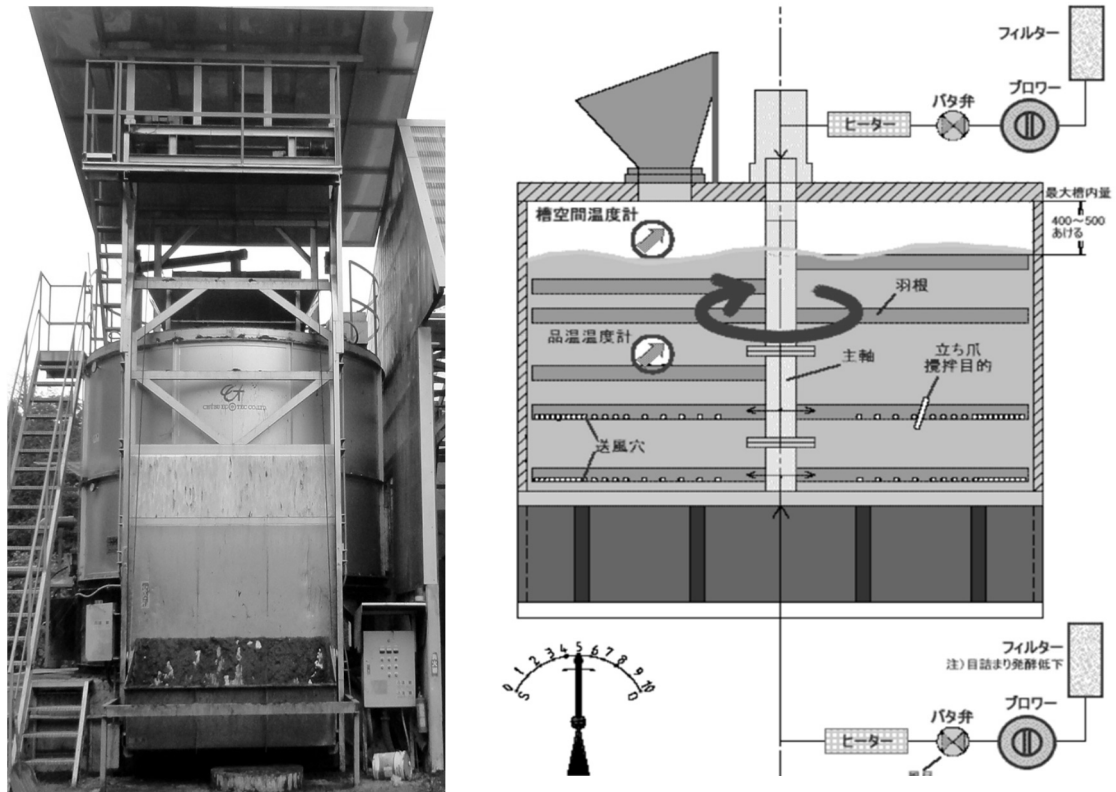


図 1 密閉縦型堆肥化装置の外観および構造（出典：中部エコテック株式会社 HP）



図 2 良好な発酵状態における排出堆肥（左図）
および発酵不良時に形成される堆肥塊（右図）

バッチ式の堆肥化では、発酵不良が次のバッチに悪影響を与えることはないが、連続式である密閉縦型堆肥化装置では、上述する悪循環から抜け出さなければ、一度発酵槽内の堆肥原料を全て排出し、再度発酵を立ち上げる必要があるが、オペレータの作業負担は非常に大きいことから、発酵不良を未然に防ぐ発酵管理が必要である。

一方で、良好な発酵状態においてもトラブルが発生する場合もみられる。発酵熱により発酵槽内の堆肥水分が一定以上に低下すると、過乾燥により堆肥粉塵が発生する場合がある。発酵槽への通気により舞い上がった堆肥粉塵が、結露水により泥濁化して排気配管経路を閉塞し、通気不良により発酵状態を悪化させる（図3）。粉塵閉塞によるトラブルは、発酵状態の良好な密閉縦型堆肥化装置において、入気空気や堆肥原料の温度が高くなる夏季に散見される事象である。

このように、連続式堆肥化である密閉縦型堆肥化装置では、日々の発酵状態の変動を発酵槽温度や完成堆肥の状態から判断し、発酵状態に応じて発酵促進材である廃白土や堆肥原料の投入量を調整し、発酵槽内の堆肥水分を適切に調整することが重要となる。しかし、14日前後の滞留日数を有するため発酵状態の変動は緩慢であり、発酵不良の顕在化にはタイムラグが生じる。そのため、発酵制御はオペレーターの経験に依るところが大きく、不適切な発酵制御による発酵不良の発生が技術的な課題となってきた。



図3 排気配管経路内に設置したステンレスメッシュ製の簡易除塵フィルターに付着した泥濁化した堆肥粉塵

高い消費電力もまた、密閉縦型堆肥化装置の課題といえる。省スペース化や重力沈降を活用して発酵槽を攪拌する設計のため、縦長の発酵槽形状を有しており、同程度の処理能力を有する堆積式堆肥化施設と比較して、攪拌羽の駆動やブロワ通気に多くの電力が必要となる。筆者らの調査では、母豚 200 頭一貫経営農場において、密閉縦型堆肥化装置に年間 150 万円程度の電気料金を支払っていた。高い省スペース性や省労力性、水分調整剤の購入が不要であること、などのアドバンテージを考慮すれば、消費電力の高さは大きなデメリットとは言えないものの、改善すべき課題ではあるだろう。

そこで筆者らは、密閉縦型堆肥化装置の高い消費電力の主要因であるブロワによる強制通気に着目し、ブロワ通気量を低減することにより、安定化・省エネ化を可能とする通気制御システムの開発を試みた。

既往の通気制御システムの課題

堆肥温度は既往研究において最も一般的に使用されている発酵指標であり、堆肥温度を指標として通気量を制御する「堆肥製造方法および装置（特許第 5565773 号）」等の従来技術があり、普及事例も存在する。堆肥温度は堆肥化過程での有機物の分解に伴って発生する発酵熱を間接的に評価可能な発酵指標である。安価かつ簡便に測定が可能であり、発酵指標として広く一般に活用されている優れた発酵指標といえるだろう。

しかし、堆肥温度は入気熱量、排気熱量、発酵熱量、堆肥熱容量、発酵槽放熱量からの熱収支により決定されるものであるため、通気量の変化に伴う排気熱量の変動や原料水分の変化に伴う堆肥熱容量の変動などの不確定要素による影響を受けやすく、発酵状態を正確に把握することは難しい。例えば、通気量の低減により堆肥温度が上昇した場合において、通気量の最適化による微生物活性の増加によるものなのか、排気熱量の減少による発酵槽内への蓄熱によるものなのかを堆肥温度変化から判別することは不可能である。このため、原料投入毎に堆肥温度が大きく変動する密閉縦型堆肥化装置では、堆肥温度を発酵指標とした通気制御は困難だと考えられる。

また、堆肥化装置の排気中の二酸化炭素濃度を発酵指標として通気量を制御する「改良型堆肥化装置（特表 2000-500429）」等の通気制御システムも考案されている。微生物による有機物分解過程で発生する二酸化炭素は発酵状態を直接的に評価可能な発酵指標といえる。しかし、アンモニアや粉塵を含有する劣悪な空気環境である堆肥化装置の排気を測定する場合、センサ耐久性と測定精度との両立は困難であり、またセンサ価格も高額であることから、現場普及は進んでいない。

排気発酵熱量を発酵指標とした通気制御システムの開発

筆者らは、発酵状態を直接的に評価可能であり、かつ比較的容易に測定可能な発酵指標として排気発酵熱量に着目し、これを発酵指標とした通気制御シス

テムを考案した（特願 2018-069588）。

上述のように、連続式の堆肥化システムである密閉縦型堆肥化装置では、発酵槽内の堆肥水分を適切に保つことが良好な発酵状態を維持する上で重要である。密閉縦型堆肥化装置は文字通り密閉されており、水分は排気中の水蒸気として排気配管を経由して発酵槽が排出されるため、排出される水蒸気量は排気量と排気温度により決定される。密閉縦型堆肥化装置の排気中の水蒸気量は飽和状態であることから^{1), 2)}、排出される水蒸気量は、相対湿度 100%の排気空気の有する排気熱量に比例して増大する（図 4）。排気熱量は、入気熱量と排気発酵熱量との和であることから、排気発酵熱量を最大化する通気制御を行うことにより、発酵槽内の堆肥水分を効率的に低減し、発酵状態を良好に維持可能と考えた。排気発酵熱量は発酵による有機物分解により生じる発酵熱量と正の相関を有するため、排気堆肥温度と比較して、より直接的に好気性微生物の活性を表す発酵指標だといえる。

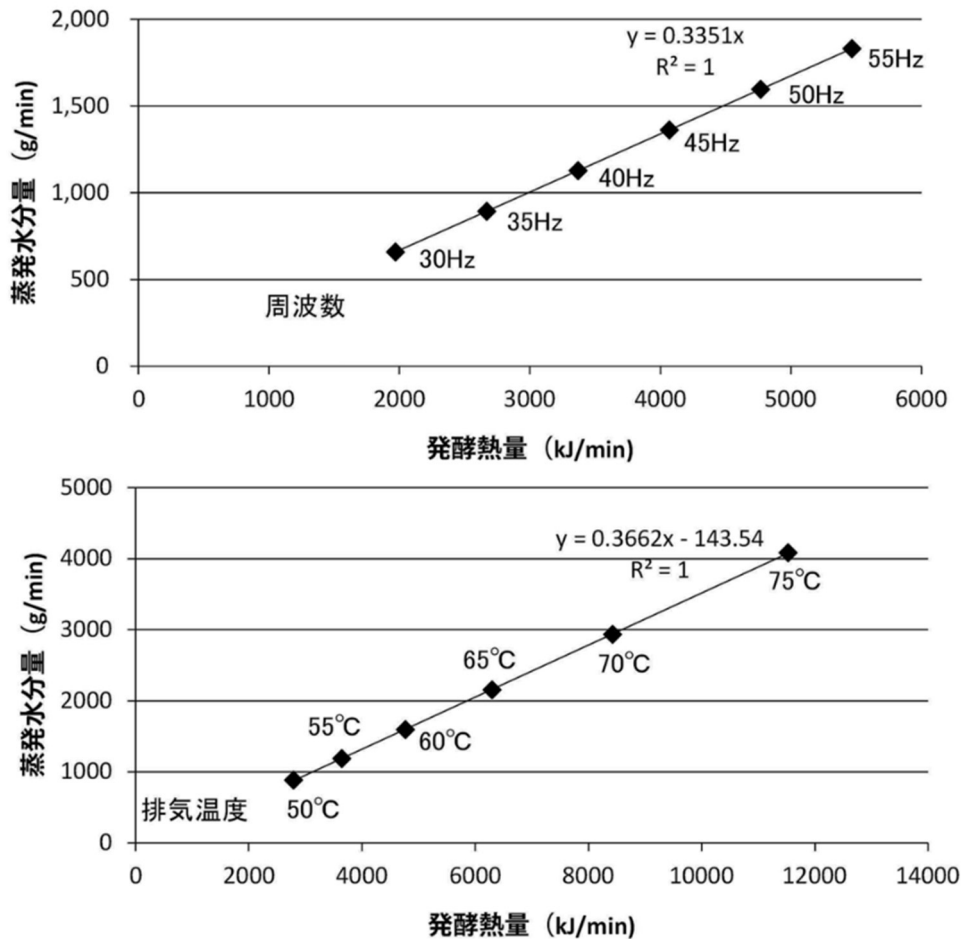


図 4 排気温度 60°Cにおいて周波数が変動（排気空気量変動）した場合の発酵熱量と蒸発水分量との関係（上図）、および周波数 50Hzにおいて排気温度が変動した場合の発酵熱量と蒸発水分量との関係（下図）
（実証農場に導入した伊藤鐵工所製ルーツブロワ IRS-125Rによる理論値）

そこで、図 5 に示した通気制御ロジックにより、ブロワ周波数を制御し、排気発酵熱量を最大化させるシンプルな通気性制御システムを考案した。

なお、排気発酵熱量は、既往の報告に基づく計算式により算出した^{2), 3)}。

①排気発酵熱量 H の算出

排気発酵熱量 H (kJ/min) を、ブロア周波数 R (Hz) (排気量はブロア回転数に比例)、排気温度 T_{out} および入気温度 T_{in} との関数として算出

②排気発酵熱量の現在値 $H(t)$ と過去値 $H(t-1)$ とを比較し、周波数変更幅 X を加減

$H(t)-H(t-1) > 0$ の場合は $R(t+1)=R(t)+X$ 通気量増加

$H(t)-H(t-1) < 0$ の場合は $R(t+1)=R(t)-X$ 通気量減少



図 5 排気発酵熱量を発酵指標とした通気制御ロジックの概要

排気発酵熱量を発酵指標とした通気制御システムの実証

考案した排気発酵熱量を発酵指標とする通気制御システムの実証試験を実施した。

【実験方法】

福島県の母豚 200 頭一貫経営の養豚場に既設の密閉縦型堆肥化装置（中部エコテック（株）S36 型）を使用した。通常時と同様の堆肥化条件で試験を実施し、発酵槽容積 39m³ に対して、豚ふんおよび浄化槽汚泥をそれぞれ 3 m³/day および 1 m³/day 投入した。

排気発酵熱量の算出には排気温度および排気量を測定する必要がある。しかし、堆肥粉塵を含有する排気量をリアルタイムに測定することは、実用上困難であるため、入気空気量と排気温度から、排気量を理論的に算出することとした。また、容易に入気空気量を算出するため、既往のリングブロワから回転数と入気空気量とに線形関係がなりたつルーツブロワ（伊藤鐵工所製ルーツブロワ IRS-125R）に送風機を変更し、ブロワ回転数を制御するためのインバータを導入した。PLC に上述の排気発酵熱量を発酵指標とした通気制御ロジックを実装し、消費電力量あたり排気発酵熱量で定義される堆肥化効率により、その効果を検証した。

ルーツブロワの周波数変更インターバル（排気発酵熱量の演算間隔）およびブロワ周波数変更幅の異なる 3 試験区を設定し（表 1）、通気制御システムによる安定化・省エネ化を評価した。

表 1 通気制御システムの実証試験におけるパラメータ設定

	対象区 (38Hz 固定)	通気制御区 1	通気制御区 2	通気制御区 3
周波数 (Hz)	38 (制御なし)	30～50	34～38	34～42
周波数変更 インターバル (min)	なし	3	2	2
周波数 変更幅 (Hz)	なし	1 (0.25m ³)	0.42 (0.1 m ³)	0.1Hz (0.025 m ³)

【結果と考察】

通気制御区 1 および 2 においては、発酵状態に追従した通気制御を行うことができず、周波数変更幅が不適切であると考えられた。それに対して、周波数変更インターバルを 2 分、ブロウ周波数変更幅を 0.1Hz に設定した通気制御区 3 では、発酵状態に追従して通気を制御可能であることが確認され（図 6）、また、堆肥化効率（排気発酵熱量／消費電力量）において、対象区と比較して約 8% の増加効果がみられ、開発した通気制御システムにより、密閉縦型堆肥化装置の発酵の効率化および省エネ化が可能であることが確認できた。また、ルーツブロウ換装前のリングブロウによる通気時の堆肥化効率との比較では、堆肥化効率は約 48% 増加した。既往のリングブロウによる通気には省エネ化の余地が大きく、開発された通気制御システムを導入することにより、発酵効率を大幅に改善可能であることが示唆された。

原料未投入時においては、設定された下限通気量近辺で通気制御されていることが確認された（図 7）。発酵熱量の減少に伴い適切に通気量が調整されたと考えられることから、粉塵発生の要因と考えられる過剰通気による過乾燥を未然に防ぐ上で、通気制御システムは有効である可能性が示唆された。

なお、本通気制御システムを導入した 2017 年以降、当該実証農場では密閉縦型堆肥化装置の不良発酵は発生しておらず、安定して稼働を続けている。

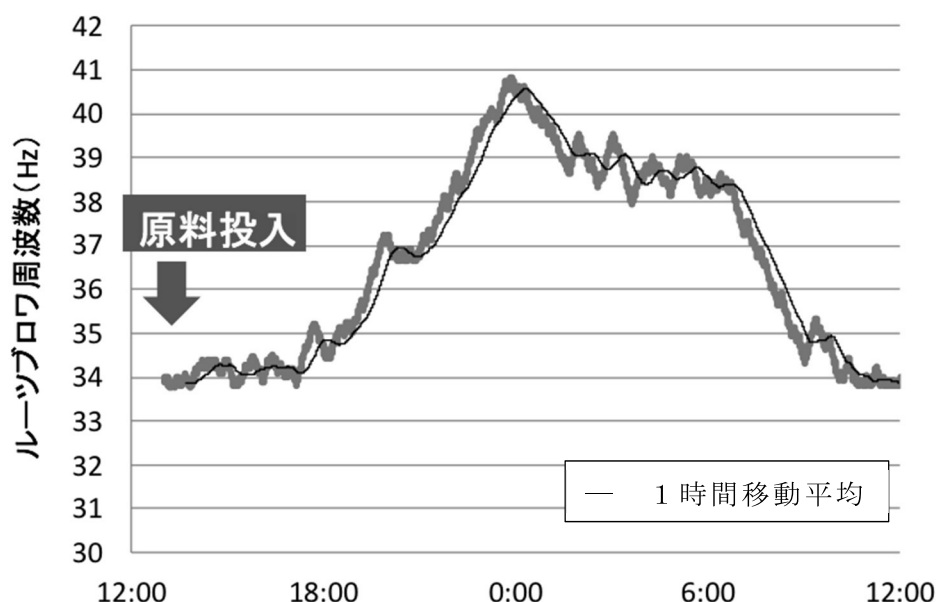


図 6 通気制御区 3 におけるブロウ周波数変化の実例
（周波数変更インターバル 2 分、ブロウ周波数変更幅 0.1Hz）

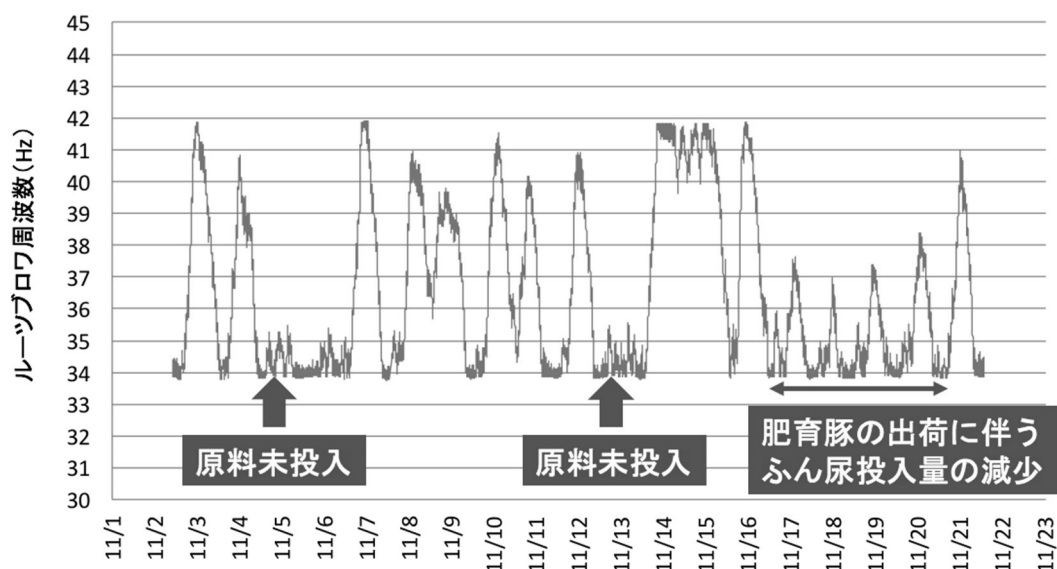


図 7 通気制御区 3 における原料未投入時および
ふん尿投入量減少時のブロワ周波数変化の実例

今後の展望

現在、中部エコテック株式会社と共同で通気制御システムの商品化を目指して研究開発を進めている。今後、周波数変更インターバルやブロワ周波数変更幅等の各種パラメータ設定をさらに詳細に検討することにより、通気制御システムの性能向上を図る計画である。

謝辞

堆肥発酵熱床暖房についての研究は、「イノベーション創出強化研究推進事業」による助成により実施されました（課題番号 28025C「畜産経営基盤強化に資する高度堆肥化システム（スマートコンポスト）の実証」）。心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小島陽一郎、阿部佳之. 2011. 吸引通気式堆肥化処理による発酵熱の回収と利用-異なる副資材の混合が熱の回収量および利用量に与える影響. 農業施設農業施設 42(2), 51-58.
- 2) 川村英輔、高田陽、小島陽一郎. 2016. 密閉縦型発酵装置の発酵熱と回収可能熱量. 日本養豚学会誌 53(2), 21-31.
- 3) 岩渕和則、木村俊範. 1994. 家畜糞の好気性分解反応特性第 1 報. 農業機械学会誌 56, 67-73.

床暖房利用のための密閉縦型堆肥化装置からの
安定熱回収について

床暖房利用のための密閉縦型堆肥化装置からの安定熱回収について

神奈川県畜産技術センター（環境グループ）主任研究員 高村真由美

1. はじめに

畜産経営において、温湯洗浄や保温ヒーター、床暖房など、化石燃料や電力を用いた熱を必要とする場面は多い。

一方、家畜ふん尿処理では、同じく化石燃料や電力を用いた機械・車両等が利用されているが、堆肥化過程で生じる発酵熱は、湯気と一緒に大量に放出されている実態がある。

家畜ふん尿処理は、コストや労力に見合った収入につながりにくいことから、経営にとってのマイナスイメージが常につきまとっているが、堆肥化過程の発酵熱を畜産経営の中で上手く利用することが可能になれば、低コスト化・省エネルギー化による経営プラス面への転換だけでなく、ふん尿処理に対するモチベーションの向上にもつながると考えられる。

そこで筆者らは、ボイラー等を用いて温湯床暖房を行っている養豚経営への提案を想定し、養豚経営でよく使用されている「密閉縦型堆肥化装置」の発酵熱を床暖房に利用することで化石燃料の削減を目指すこととし、県内の商業的養豚経営の施設を用いて実証試験を行った。

2. 密閉縦型堆肥化装置と熱交換器

密閉縦型堆肥化装置（以後、「コンボ」）は断熱材で覆われた円柱状の密閉できる装置で、バケットエレベータを用いて上部から投入された家畜ふんが、攪拌羽根で攪拌・通気される構造になっており、内容物と混合されることで水分・比重調整が行われるため、特に副資材を用いなくても速やかに発酵過程に進む。1～2週間で発酵を終えた製品は下部排出口に到達した時点ではさらさらした取り扱いやすい状態になっており、投入量に応じて排出し、堆肥として利用されている。



図1 実証農場の密閉縦型堆肥化装置

装置の設置面積が少ないことから、中小家畜を中心に全国、県内でも広く用いられている。容量も様々なものがあり、経営規模にあわせて複数台設置している農場も多い（図1）。

密閉型であることから、通気は入気ブロワと排気ブロワで調整されており、排気管は脱臭槽に接続されている。このとき、大部分の発酵熱は排気管から排気とともに放出されるため、熱エネルギーの回収に大変都合の良い装置であるといえる。

また、コンポの排気から熱を回収するために用いた熱交換器は、以下の試験すべて直交流プレートフィン型(セキサーマル㈱、CP シリーズ)を用いた(図2)。

当熱交換器は、ステンレス製の積層構造の伝熱版を介して高温側と低温側を直交させて熱を回収するもので、ガス×ガスやガス×水などでの利用も可能である。設置にあたっては、コンポと脱臭槽をつなぐ既存の配管に設置するが、コンポから発生する粉塵がプレートに付着することを考え、定期的な洗浄がしやすいように下方向から排気を導入し、上から排気するようになるとよい。

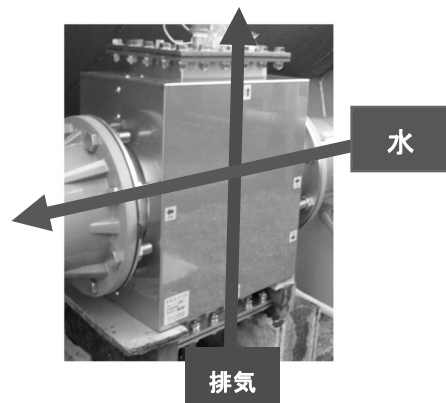


図2 熱交換器の使用例

3. 神奈川県畜産技術センター内での試験(コンポ1基での熱回収)

生産農場での実証試験に先立ち、当所内の発酵容量 10 m³のコンポ(中部エコテック㈱:S-8ET)1基を用いた小規模な熱回収・利用システムにより、コンポ排気温度と回収されるお湯の温度との関係を調査したので紹介する。

(1) 試験方法

システムは、図3に示すように温水の循環を熱回収系と熱利用系に分けた。

コンポからの製品出し・原料投入は、1日1回10~11時の間で行った。

熱回収系:熱交換器(セキサーマル㈱ CP150)を、コンポと脱臭槽を結ぶ排気配管の間に水平方向に設置し、循環水を直交するように導入して熱交換し、バルククーラーを利用した2m³の貯湯タンクと2L/分で循環した。

熱利用系:温湯タンク内の温水をパイプハウス内の模擬豚舎に設置した子豚暖房用の温湯マット(温水循環マットヒーター)に7L/分で循環した。

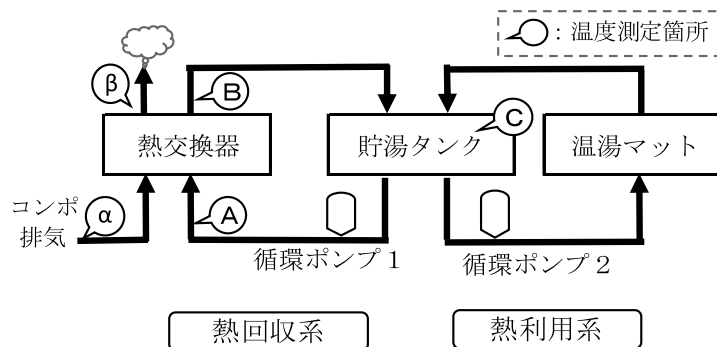


図3 熱回収・利用システムの概要及び温度測定箇所

(2) 試験結果及び考察

図4に示す通り、コンポの排気熱は一日一回の原料の投入に伴い最も低下し、その後発酵が進むとともに最高温度に達するというように一日の中で温度の山と谷が生じた。このため、排気温度が高いと貯湯タンクには床暖房に使用可能な40℃以上の温水が確保できるが、その後も連続して温水が循環しているため、排気温度がタンク内水温より低くなると反対に排気に熱を奪われてしまい、タンク内温度は一定でないことがわかった。

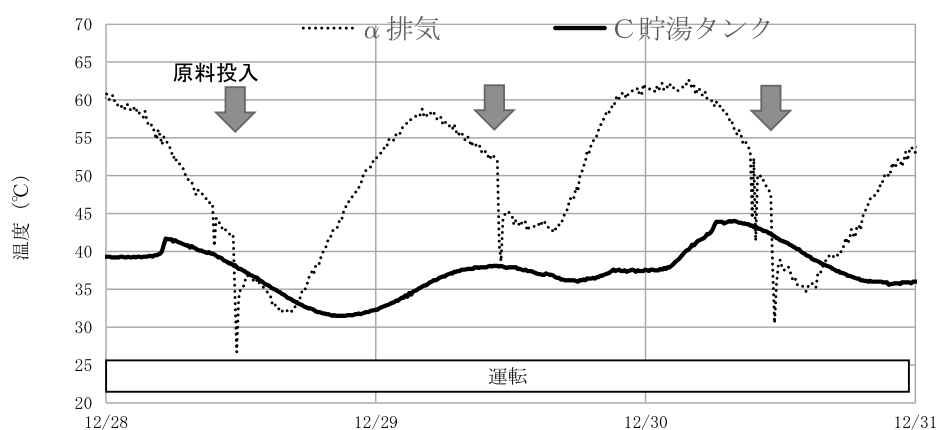


図4 排気温度と貯湯タンク水温の推移

4. コンポ2基による安定熱回収技術の実証に向けた検討

コンポ1基での熱回収は前述のように安定した熱回収ができないため、対策としては排気温度の低い時間帯を避けて間欠的に熱回収する、あるいは不足する温度をボイラー等で補完するなどの対応も考えられる。

一方で、養豚経営では複数台のコンポを持つ農場も多いことから、当試験では、排気温度の低下により貯湯タンク水温が低下することを防ぐため、コンポ2基を用い、原料投入時間を変える稼働方法を検討し、併せて排気温度の高いコンポを指定して熱交換する制御システムを組み合わせることで安定的に熱回収する技術を実証し、ボイラー使用量の削減を目指すこととした。

(1) コンポ2基の時間差稼働の検討

実証農場によるコンポ稼働方法は、一日一回、朝の時間帯に集中して製品の排出・原料の投入を行っていた（1号機・2号機とも中部エコテック(株)：S-18ET）。

そこで、効率的に熱回収でき、かつ農場の作業体系に無理のない投入時間を農場の方とともに検討し、2基への原料投入時間を約7時間ずらす変更を行った。

各コンポ1日1回投入のまま、投入時間を1号機は16時30分、2号機は9時30分としたところ、排気温度が上昇するピークがずれ、排気温度が低い時間を少なく

することができた (図 5)。

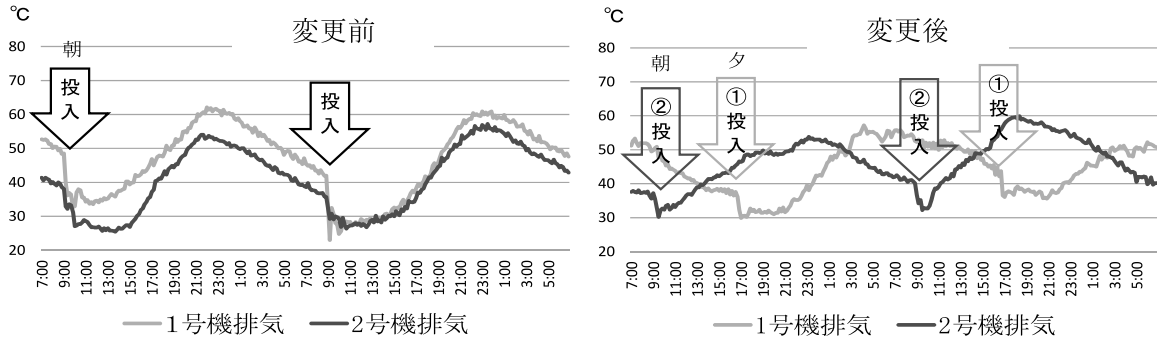


図 5 原料投入時間の変更前と変更後の排気温度推移

(2) 安定熱回収技術の検討

システム全体の概要を図 6 に示した (平成 29 年度は熱回収系の試験のみ実施)。

発酵容量 19 m³ のコンポ 2 基 (1 号機・2 号機) は原料投入時間に約 7 時間の差をつけて稼働し、それぞれの排気を別の熱交換器 (図 7、セキサーマル株、CP200 及び CP250) に通し、各熱交換器に直交させた循環水により熱回収した。

このとき循環水は、コンポ 2 基の排気温度を比較したうえで、温度が高い側の熱交換器にのみ循環するよう電磁弁を切り替える制御を行い (制御システム: 株中嶋製作所により作成)、循環水の水温を 40℃ 以上に保つことができる時間について、コンポ 1 基稼働で熱交換した場合と比べてどれだけ延長するかを比較した。

1 基稼働の試験については、同じシステムを用い、2 号機の熱交換器のみに循環水が循環するよう電磁弁を固定して調査した。

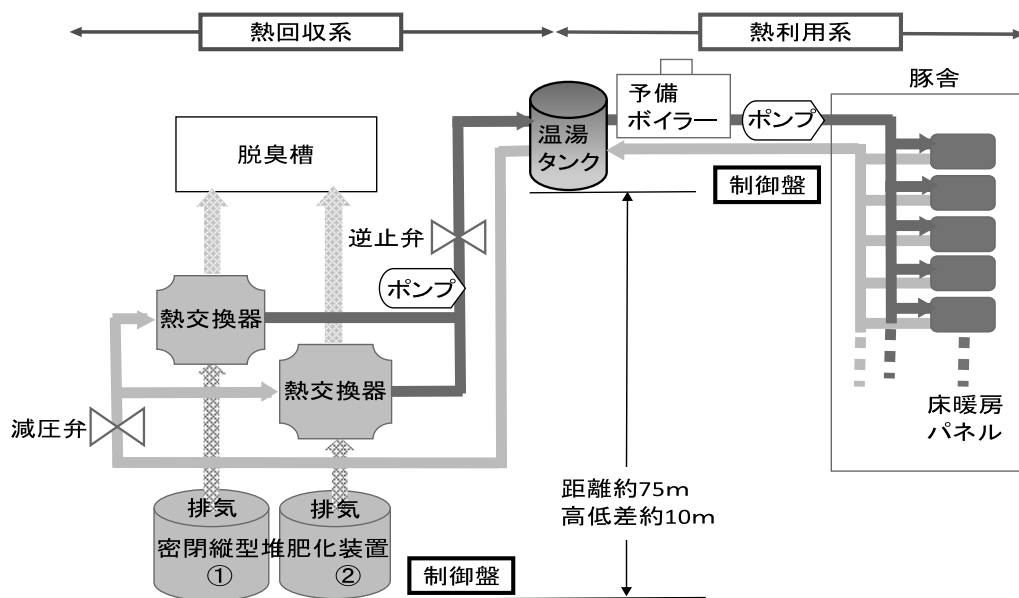


図 6 システム全体の概要 (H29 年度: 熱回収系のみ)



図 7 熱交換器設置の様子

コンポ 1 基稼働、及び 2 基時間差稼働時の各コンポの排気温度、熱交換後水温（熱交換器通過直後の水温）、タンク内水温を測定し各 3 日間の平均値を図 8 に示した。

熱交換後水温を比較したところ、2 基時間差稼働時に 40℃以上の水温を回収できた時間は、1 基稼働時の約 1.3 倍となった。また回収平均水温も 5.6℃高くなっており、今後、実証農場で使用する際に、不足する熱量をボイラーで補う場合の燃料使用量削減が期待できると考えられた（表 1）。

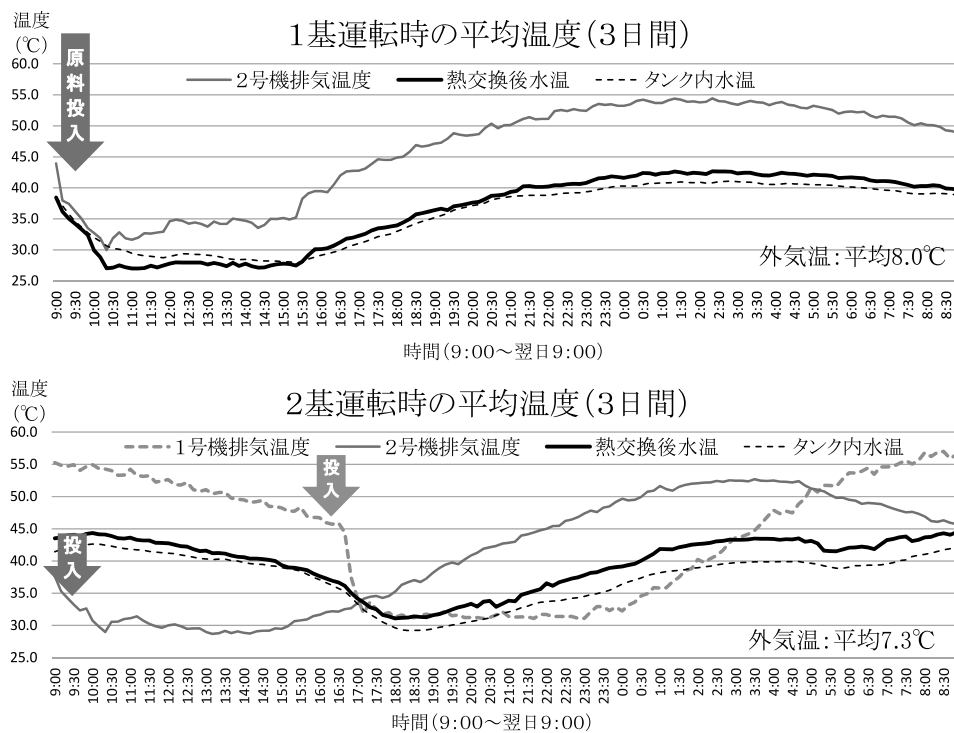


図 8 1 基稼働及び 2 基時間差稼働での排気温度と各水温の推移

表1 1基稼働及び2基時間差稼働での温水確保時間と平均水温

		熱交換後水温	タンク内水温
1基稼働	40℃以上の時間	10時間15分	6時間53分
	3日間平均水温	38.1℃	38.5℃
2基稼働	40℃以上の時間	13時間18分	6時間40分
	3日間平均水温	43.7℃	41.9℃

なお、実証に用いたコンポ2基（平成元年度設置）のうち1基については、試験実施前の調査で送風量の低下が確認されたため、入気ブロワの交換により設計入気風量（0.2～0.3 m³/m³・分）を確保したうえで試験を実施した。

コンポの排気から熱回収を行うにあたり、熱交換器の通気抵抗により排気の負荷が増大し、送風量が減少することも想定されるため、既存のコンポが正常に稼働しているかを事前に確認することは重要である。

5. 今後の展開

平成30年度は、床暖房パネルによる熱利用系を含めたシステム全体を稼働して実証試験を行っており、2基時間差稼働によるボイラー使用量の削減効果を検証している。

平成29年度までの結果では、本来目標としていた「タンク内水温」が40℃以上となる時間については、1基稼働と2基時間差稼働で差がなく、配管での放熱によるロスも考えられたため、平成30年度には実証試験と併せて配管被覆資材の効果なども検討する。

6. 謝辞

本研究については、農林水産省「イノベーション創出強化研究推進事業（旧：農林水産業・食品産業科学技術推進事業）」による助成により実施されました（課題番号：28025C「畜産経営基盤強化に資する高度堆肥化システム（スマートコンポスト）の実証」）。本研究にご協力いただきました関係諸氏にこの場をお借りして感謝申し上げます。

離乳子豚への回収温水給与効果の検討

離乳子豚への回収温水給与効果の検討

農研機構畜産研究部門 芦原 茜

1. はじめに

子豚は、消化生理機能が未発達であり、成豚と比較して体重あたりの体表面積が大きく体温維持が難しいことから、冬季においてその影響を受けやすい。暖房管理が不十分な場合は、体温を奪う飲水行為が減少し、その結果、飼料摂取量が減少するといわれている。飼料摂取量が低下すると発育が遅延することから、子豚の損耗を招く可能性が考えられる。離乳期における損耗は、その後の育成期や肥育期の発育にも影響を及ぼすため、環境温度を適切に保つなどの環境対策が必要である。適切な環境温度すなわち家畜の体表からの熱の損失が最小であり、かつ、エネルギーの蓄積が最大となる範囲の温度を保持できる環境温度のことを熱的中性圏という。豚の場合、出生時（体重 1～2kg）の熱的中性圏は 30～33℃、ほ乳期（体重 1～8kg）は 26～28℃、離乳後～育成期（体重 8～20kg）は 24～28℃、育成後期（体重 20～65kg）は 18～20℃、肥育期（体重 65kg 以上）は 15～20℃であるとされている。この範囲より低い気温になると、摂取した飼料エネルギーは体温維持のために消費されるため、飼料効率が下がり、生産性に影響を及ぼす。さらに気温低下が持続すると、体温保持のため飲水量が減少し、飼料摂取量も低下する。以上から、発育を維持するためには、体重に応じた環境温度の管理が必要である。出生時、ほ乳期から離乳期は熱的中性圏が高いため、特に冬季は、コルツヒーターや床マット、暖房器具などにより環境温度を上昇させるが、この手法では消費電力が大きくなり生産コストが高くなるため、別の対応策が必要である。

近年、密閉縦型堆肥化装置によって堆肥化处理された堆肥発酵廃熱（60℃以上）を回収して水と熱交換し、温水として床暖房システムに利用する取り組みが進められている。これまでに、小島ら（2014）はこのシステムによって産出した温水を搾乳牛に給与した場合、10℃以下の冷水を給与した場合に比べ、飲水量が 10%増加し、乳量も 3%増加したことを報告しているが、この温水を子豚の飲水として活用した知見はない。また、離乳子豚（6～7 週齢）は環境温度が 25℃未満の場合、室温より 10℃低い水や室温と同程度の水よりも、室温より 10℃高い温水を選択する（Hoeck et al., 2015）という報告もあるように、離乳後の子豚は熱的中性圏より低い環境温度下において温水を好む可能性が高い。以上のことから、母豚からの離乳や飼料切り替え、環境温度に伴うストレスがかかりやすい

離乳子豚に、環境温度を熱的中性圏以下である 20°C に設定した上で温水を給与することにより、飲水量の増加とともに消化機能の改善を目指し、飼料摂取量、増体量および消化率に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。なお、本試験は、農林水産省イノベーション創出強化研究推進事業（28025C）「養豚経営基盤強化に資する高度堆肥化システム（スマートコンポスト）の実証」の助成により実施した。

2. 実験方法

供試豚は三元交雑種(LWD)とし、21 日齢で離乳した後、平均 22 日齢で実験室に移動した。馴致を 3 日間設け、その後本試験を 3 週間行った。供試豚は 10 頭を 1 群として群飼し、6 反復を行った。給与試験中の環境温度は 20°C、湿度は 60% とし、コルツヒーターや床マットは使用しなかった。処理区は 2 区とし、対照区は 20°C の水道水を給与し、温水区は堆肥による発酵廃熱を想定して、約 37°C に加温した温水を給与した。飲水は、温水飲水装置で給与した（図 1）。試験期間中、飲水量はデータロガーで計測し、試験後データを回収した。飲水の流速は 0.85~0.88L/min とし、飲水器の下にこぼし水受けを設置し、回収したデータとこぼし水の差から実際の飲水量を計測した。1 週間に 1 回体重と飼料摂取量を測定した。飼料は不断給餌とし、飲水は自由摂取とした。また、飼料に酸化クロムを混合し、部分糞を採取することにより、見かけの消化率についても分析した。

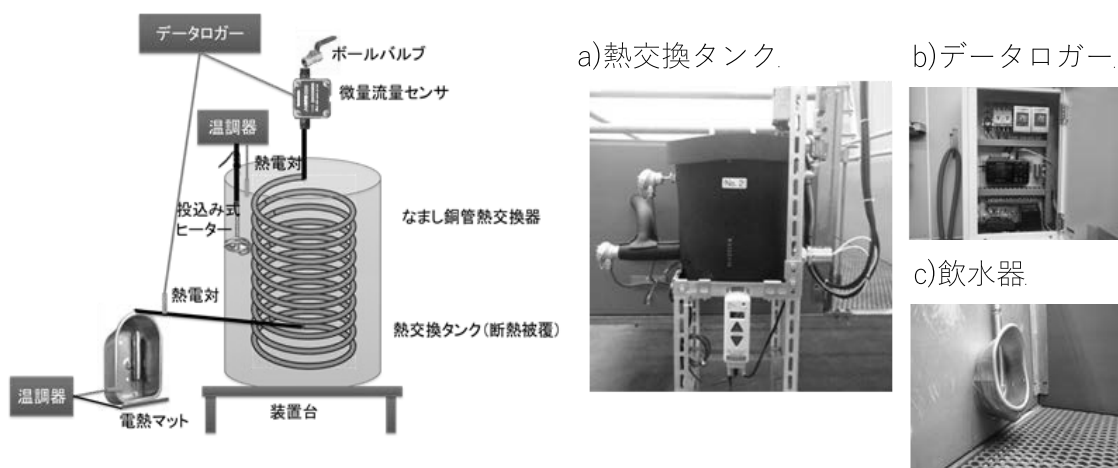
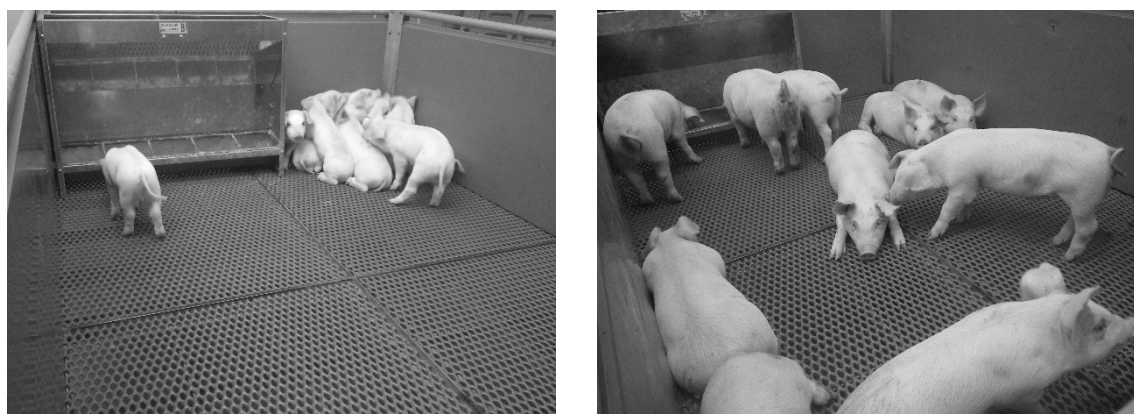


図 1. 子豚温水飲水装置の概要図



a)本試験 1 日目.

b)本試験 20 日目.

写真 1. 試験期間中の豚の様子.

3. 結果と考察

飼養環境は、室温 20.2℃、湿度 65.5%であり、飲水温度は対照区が平均 20.8 (19.9～22.0) °C、温水区が 37.0 (34.1～39.0) °Cであった。本試験開始後 1 日目は、写真 a)のように子豚はケージ内で重なり合うような体勢をとっていたが、本試験 20 日目には、写真 b)のようにケージ内で広がり休息する様子が観察された。これらのことから、本試験開始直後は、子豚は熱的中性圏より低い環境温度下で体熱を保持しようとする行動がみられたが、試験がすすむとともに成長し（試験開始時体重平均 7.2kg、試験終了時体重平均 14.3kg）、その影響が緩和されたと考えられた。この様子は、対照区と温水区の両処理区に同様に認められたことから、本研究の条件下では、飲水温度は豚の行動に影響しない可能性が示唆された。

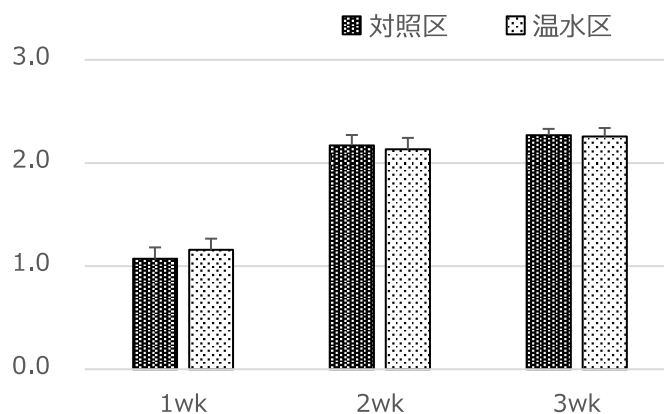


図 2 飲水量 (L/head/day)

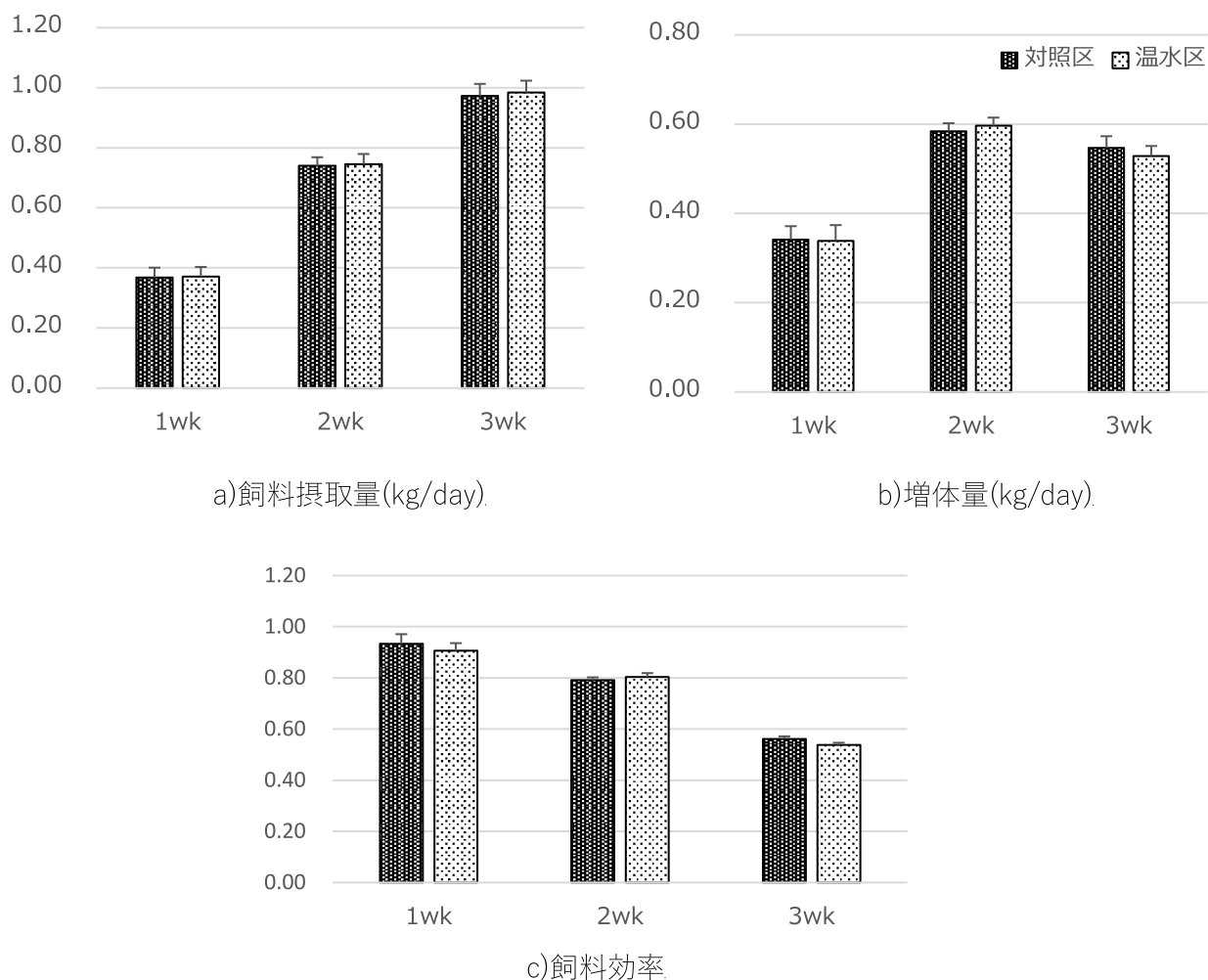


図 3. 飼養成績

図 2 には、1 週間ごとに 1 日 1 頭あたりの飲水量の平均値を示した。温水区の 1 日 1 頭あたりの飲水量は対照区と比較して差はなかった（3 週間の平均値：対照区 vs 温水区、1.89 vs 1.81 L）。本試験開始後 1 週間程度は、写真 1a) のような状態が持続し、熱的中性圏以下である環境温度 20°C 下では、温水区が多く飲水を摂取する動きが見られたが、平均値に有意差はなかった。図 3 は、1 週間ごとに、1 日 1 頭あたりの a) 飼料摂取量（3 週間の平均値：対照区 vs 温水区、0.69 vs 0.70 kg）、b) 増体量（0.49 vs 0.49 kg/day）、c) 飼料効率（0.76 vs 0.75）を算出したが、いずれも処理区間で差はなかった。また、乾物（3 週間の平均値：87.6 vs 87.0%）、粗灰

分(64.0 vs 62.8 %)、粗繊維(50.0 vs 49.8 %)、粗タンパク質(81.3 vs 80.6 %)、粗脂肪(85.8 vs 86.0 %)、総エネルギー(87.9 vs 87.4 %)の消化率は、いずれも処理区間で差がなかった。

4. まとめ

以上の結果から、20°Cの環境温度下における離乳子豚への温水の給与は、飲水量、飼料摂取量、増体量および消化率に影響を及ぼさない可能性が考えられた。しかしながら、東北や北海道における冬季（12月頃から3月頃）の環境の厳しい条件下では、舎内温度も低くなることから、温水が飲水として有効な可能性は考えられる。また、冬季は、舎内温度が熱的中性圏であっても飲水温度が10°C以下程度まで低くなる場合もあることから、今後は、環境温度や飲水温度がより低い条件下での検討が必要と考えられる。

5. 参考文献

- 小島陽一郎、阿部佳之、天羽弘一. 2014. 吸引通気式堆肥化施設で回収した発酵熱による水の加温—加温特性と実規模施設における乳牛への温水供給—、農業施設、45(3)、99-107.
- Hoeck J., Buscher W. 2015. Temperature-dependent consumption of drinking water in piglet rearing, Applied Animal Behaviour Science, 170, 20-25.

回収資材を用いた混合堆肥複合肥料の開発

回収資材を用いた混合堆肥複合肥料の開発

朝日工業株式会社 開発部 肥料開発課
松岡英紀

1. 概要

堆肥は土づくりに有効である比較的安価な有機物であるが、品質の不安定性など様々な課題があるため、施用することが難しいと考える農業経営者も少なくない。そのような中、混合堆肥複合肥料は堆肥を原料とした肥料であり、施肥と同時に堆肥も農地に入れることが可能なほか、肥料コストが一般的な有機複合肥料よりも安価であるため、有機物施用とコスト削減の両立に役立つ資材と考えられる。一方堆肥の発生元である畜産農家では、堆肥の発酵過程における悪臭が経営の負担になっている。この悪臭の原因物質は大部分がアンモニアであり、これを回収することは悪臭の低減につながるほか、回収したアンモニア（窒素成分）を肥料原料としても利用できる可能性がある。今回、農水省のイノベーション創出強化研究推進事業（課題番号 28025C「養豚経営基盤強化に資する高度堆肥化システム（スマートコンポスト）の実証」）の中課題「堆肥・回収アンモニアを活用した低コスト高機能肥料の開発」において、アンモニア回収液の肥料原料としての可能性を検証し、堆肥と回収液を使用した混合堆肥複合肥料を開発した。

2. 背景

（1）有機物の施用と堆肥の利用状況

近年流通している一般的な有機質肥料には、海外依存性の大きい原料・飼料と競合する原料が多く利用されている。それらには供給量の不安定性やコスト面などに課題があり、利用を躊躇う農家も少なくない。農地への有機物の施用量が低下し、さらに化成肥料を多用していると、土壌中有機物の減耗や土壌 pH の変動などの土壌環境の悪化を招き、作物の生育不良や環境汚染などを誘発することになる。特に近年では 2008 年から続く肥料価格高騰の影響により、資材コストの低減のために有機物施用がおろそかになっており、このような負のスパイラルに陥りつつある。

そのような状況の中、国内で大量発生する安価な有機質資材として、堆肥が挙げられる。堆肥は土づくり効果の高い特殊肥料であり、中でも畜産農家で発生する家畜ふん堆肥には、肥料成分も多く含まれている。2017 年 11 月には凝集促進剤を使ったし尿汚泥などを含む堆肥も特殊肥料（堆肥）として扱うことも可能となった（それまでは汚泥発酵肥料など普通肥料の扱いであり、特殊肥料よりも肥料登録が煩雑であるなど、畜産農家にとっても管理が複雑であった）ことから、堆肥としての発生量は今後さらに増える可能性が高い。一方、品質の不安定性、臭気、高水分によるハンドリングの悪さ、発生元の偏在による輸送面の課題、農家高齢化による施用のための労力不足など、堆肥を利用する際の障害

となる要因も多く存在する。そのため、堆肥の処理に苦勞している畜産農家も多く、そのような場合、農地への過剰投入（土壌の養分バランスの悪化を招く）や産廃処理（経済的な負担）などによって処分されることが多い。このように、堆肥は畜産農家からすれば「余っているため使ってほしい資材」であるが、耕種農家からすれば「使いたくても使いにくい資材」というイメージも強く、全国的に見ても需要と供給のバランスが取れているとは言い難いのが現状である。

また、国内には様々な産業廃棄物が発生しており、その中には肥料原料になりうる未利用資源と呼べるものも多く含まれている。先に述べた堆肥についても余剰分が多いため、未利用資源の一種という見方もできるかもしれない。それらの未利用資源をうまく活用していくことができれば、安価な肥料原料の安定確保につながられる可能性があり、同時に環境負荷を低減させることにもなりえる。

(2) 混合堆肥複合肥料

2012年9月に新設された「混合堆肥複合肥料」の規格（図1）は、堆肥を取り巻く課題を大きく緩和できる可能性がある。この規格では、一定以上の肥料成分を含む食品由来堆肥および家畜ふん堆肥を、普通肥料と混合することが可能となった。また成型・乾燥されているため、通常の粒状肥料と同様に流通・散布することが可能である。乾燥により製品臭気が低減しており、また肥料としての散布量（数十～数百 kg/10a）は堆肥の施用量（数 t/10a）に比べれば少ないため、農地投入後の臭気も軽減できる。さらに、肥料原料となる堆肥を選抜する時点で、品質や有害成分も細かく調査しており、使用する堆肥の品質にも安定性が担保される。これらのように、高品質の堆肥を肥料原料として使用することが可能となったため、堆肥の利用促進に貢献することが期待される。また、一般的な有機複合肥料よりも安価であるため、肥料コストの低減と有機物の施用の両立に役立つと考えられる。肥料的效果にも様々なものがあり、化成肥料や他の有機質肥料にはない特徴を多く有している（図2）。

<p>混合堆肥複合肥料 肥料取締法上の規格内容</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2012年9月に規格制定 ・製成品質: 窒素、リン酸、加里のうち二成分以上を1%以上保証 合計は10%以上 ※有害成分は各規定値以下 (硫黄酸化物・As・亜硝酸・ピロリト性窒素・スルファミン酸・Cd・Ni・Cr・Ti・Hg・Pb) ・堆肥品質: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <th rowspan="2">堆肥の種類</th> <th>TN</th> <th>NPK合計</th> <th rowspan="2">C/N比</th> </tr> <tr> <th colspan="2">乾物値</th> </tr> <tr> <td>家畜糞由来堆肥</td> <td>2%以上</td> <td>5%以上</td> <td>15以下</td> </tr> <tr> <td>食品由来堆肥</td> <td>3%以上</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> ・堆肥の使用量: 乾物で50%以下 ・製造方法: 各種肥料原料と堆肥を混合し、造粒または成形後、加熱乾燥したもの 	堆肥の種類	TN	NPK合計	C/N比	乾物値		家畜糞由来堆肥	2%以上	5%以上	15以下	食品由来堆肥	3%以上			<p>混合堆肥複合肥料の効果</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 肥料効果 既存肥料と遜色無い 窒素・・・硝化抑制傾向により溶脱抑制 リン酸・・・土壌に吸着されにくく、肥効率が高い カリ・・・堆肥の保水力によって溶脱抑制 2. 品質 成分品質管理し、土壌施用可(安全性向上) 3. コスト 同有機含量の有機複合肥料より安価(20～30%) 4. 省力性 粒状化→機械施肥可→施肥同時に有機供給 5. 有機(堆肥)効果 <ol style="list-style-type: none"> 1)化学性 養分供給能(TC、Ca)、緩衝能(pH・ECの変動少ない等) 2)生物性 微生物量増加の傾向あり、作物の持ちが良い傾向 3)発酵有機 ガス障害・虫害回避 → 播種同時施肥可 4)物理性 1回施肥当たりの有機投入量は少ないが、連用により土壌硬度の低減を確認中
堆肥の種類		TN	NPK合計		C/N比										
	乾物値														
家畜糞由来堆肥	2%以上	5%以上	15以下												
食品由来堆肥	3%以上														

図1 混合堆肥複合肥料の公定規格の内容

図2 混合堆肥複合肥料の効果

肥料原料となる堆肥には品質の安定性が求められる。この安定性とは肥料成分は当然ながら、物性面、例えば粒度が細かい・低水分・低臭気・異物が極力含まれないことなども要求事項として挙げられる。様々な発酵方式の中で、特に密閉縦型発酵装置（図 3）で生産された堆肥は肥料原料としての適性が高い。この理由として、副資材を使わずに攪拌発酵できるため、肥料成分が高くなること、粒度も細くなるため成型加工しやすいことが挙げられる。一方、堆肥の水分や臭気の低減は肥料生産上極めて重要な課題であり、堆肥を肥料工場に受け入れたのち、専用の保管ヤード（図 4）中で約一ヶ月間二次発酵させることで対策している。異物も木片・プラスチックごみ・金物・石など多種多様に存在し、篩やマグネットによる除去を行っているが、過去には除去しきれなかった異物が原因で、生産停止に追い込まれたこともあった。現在異物については、畜産農家との協議の中で極力混入しないよう要請している。このように、混合堆肥複合肥料の生産には、さまざまな工夫・対策を講じる必要がある。



図 3 密閉縦型発酵装置



図 4 堆肥専用の保管ヤード

（3）養豚経営におけるアンモニア発生

家畜ふん堆肥の中で、特に発生量が多いのは牛ふん堆肥・豚ふん堆肥・鶏ふん堆肥である。この中で、特に豚ふん堆肥が混合堆肥複合肥料の原料として比較的多く使用されている。この理由として、密閉縦型発酵装置の導入事例が多く、成分や粒度の点で有利であることがある。養豚農家にとって、密閉縦型発酵装置の利点は省スペース・短期間で豚ふんを発酵・堆肥化できる点である。一方、装置の構造上、排気が一つの配管に集約されることで、排気中の臭気が高濃度となるため、生物脱臭施設への負荷が大きくなり、脱臭施設中の微生物の死滅や能力低下による悪臭漏洩が懸念される。堆肥発酵過程における悪臭物質の大部分はアンモニアであるが、過去に(国研)農業・食品産業技術総合研究機構（以下、農研機構）の阿部・福重(2006)は、酪農向け技術として吸引通気式堆肥化方式に対応するア

ンモニア回収装置を開発した¹⁾(図 5)。これは装置内部に充填された酸性溶液によってアンモニアを回収する装置であり、酪農においてはアンモニア除去率 90%以上を達成し、アンモニア回収後の酸性溶液(回収液)の窒素濃度は 6~7%であった、という結果が得られている。



図 5 アンモニア回収装置

ところで、回収液にはアンモニアすなわち窒素成分が含まれており、肥料原料になりうる未利用資源という見方も可能である。そこで今回、農水省のイノベーション創出強化研究推進事業(課題番号 28025C「養豚経営基盤強化に資する高度堆肥化システム(スマートコンポスト)の実証」)の中課題「堆肥・回収アンモニアを活用した低コスト高機能肥料の開発」で、回収液の肥料原料としての可能性を検証し、堆肥と回収液を使用した混合堆肥複合肥料を開発した。本中課題は三つの機関が共同で実施しており、大きく以下のような役割分担となっている。

- ①アンモニアの回収による悪臭削減効果の実証(農研機構)
- ②アンモニア回収液および堆肥を原料とした混合堆肥複合肥料の開発(朝日工業(株))
- ③開発した混合堆肥複合肥料の肥効確認(福島県農業総合センター)

この中で、今回は主に②についての取り組みを紹介する。なお、本事業は福島県内の養豚農家(母豚 200 頭規模、豚ふん発生量 2~4t/日)で実証されており、その中に位置する密閉縦型発酵装置に設置したアンモニア回収装置より回収したアンモニアと、同発酵装置より発生する堆肥を肥料原料として使用した。

3. 開発までの経過

(1) 堆肥の評価

密閉縦型発酵装置を使用しており副資材が少ないため、堆肥の成分安定性や粒度に大きな問題は生じなかった。成分は水分 25%に換算すると、おおよそ窒素-リン酸-カリが 3.0

−4.5−2.0 (%) となったため、この値により肥料設計を検討した。また、臭気、嵩比重、重金属、異物等も確認したが、いずれもすでに混合堆肥複合肥料に使用しているほかの豚ふん堆肥と大きな違いはなく、肥料原料として十分使用できることを確認した。年間の成分変動を調査した結果、水分が高い (35%超) 時期があったが、農研機構の実施した堆肥の農場内通気処理 (図 6) によって二次発酵が進み、約一ヶ月で臭気低減および水分低減 (30%以下) が確認されたため、本試験では工場内での二次発酵を実施せず、肥料原料として用いることが可能となった。



図 6 堆肥の農場内通気処理 (穴をあけたパイプを突き刺して通気した)

(2) アンモニア回収液の評価

本事業では、アンモニアを回収する酸性溶液としてリン酸を使用した。濃度 30~40%、重量 300~400kg のリン酸溶液を用いて三日間アンモニアを回収すると、400~500kg の回収液が得られた。この回収液の肥料成分を数回分析したところ、水分は 55~70%、窒素は 4.8~5.5%、リン酸は 15~17%含まれていた。この分析結果に基づき、肥料設計に使用する成分は水分−窒素−リン酸を 70−4.5−15 (%) とした。粉じんの混入、沈殿や結晶の発生はなく、粘性も低いため物性面でも問題がないことを確認した。また、この回収液の公定規格上の取り扱いを FAMIC との協議により確認したところ、肥料取締法における「液状複合肥料 (窒素、リン酸、カリいずれか二つ以上の成分を 1%以上有し、かつそれらの合計が 8%以上)」に該当するため、回収液単体でも肥料登録することが可能であり、肥料原料として使用できることが明らかとなった。

(3) 福島県内農地の現状に合わせた肥料設計

2011 年に発生した東日本大震災 (地震および津波と、それに伴う福島第一原子力発電所事故) によって、福島県内の農地では土壌流出、冠水、放射性物質による汚染などの被害が発生した。農地復旧のために、がれきや汚染土壌の除去、除塩などが行われたほか、他

の地域から土壌を搬入して客土も実施された。しかし、この客土の多くは山土などの低地力土壌であり、農業を再開するには土づくりによって地力を回復させる必要がある。堆肥は福島県内でも発生元が偏在しており、労力などの問題もあるため、施用できない場合が多い。また、実際に農業を再開しても、土壌中の放射性セシウム濃度が高く、その作物吸収を抑制するために、カリ成分を多く施用するなどの対策も必要となっている。そこで、アンモニア回収液の利用も考慮しつつ、地力回復や高カリ成分をイメージした混合堆肥複合肥料の設計を検討した（図 7）。

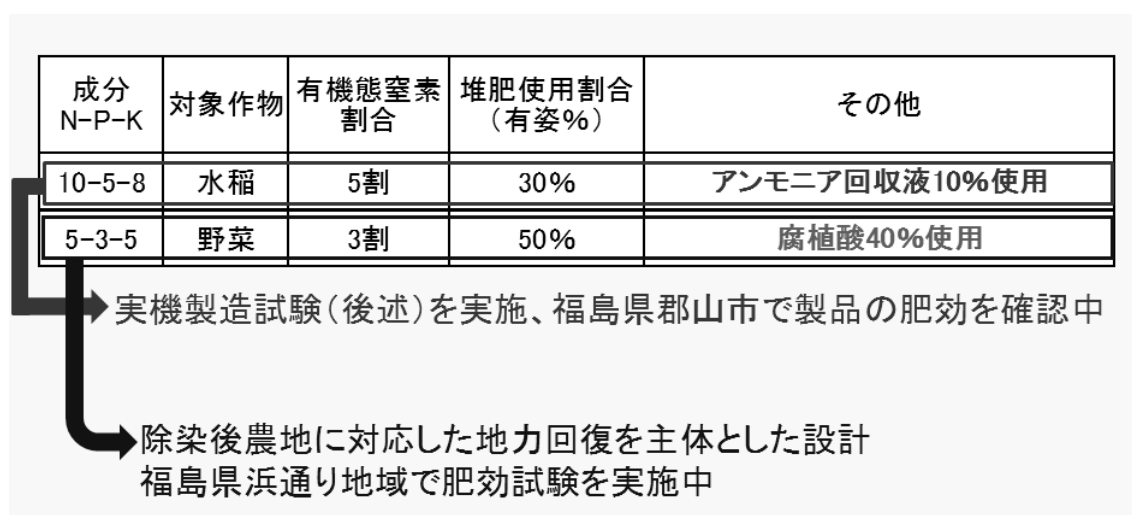


図 7 本事業における肥料設計の例

(4) アンモニア回収液の実機製造への利用

朝日工業(株)では、粒状有機複合肥料を生産・販売しており、中でも混合堆肥複合肥料の製品形状としては円柱状(ペレット)、扁平球状(ブリケット)、球状(アグレット)の3種類が存在する。この中で、アグレットが最も機械施肥への適応性が高く、水稻の側条施肥にも対応可能であるなど、高い機能性を有している。そのため、今回もアグレットによる粒状肥料の開発を目指し、肥料設計や生産条件を検討した。

検討した数種類の肥料設計に基づき、試験機を用いたアグレット製品での試作を数 kg のレベルで実施したところ、造粒性に関する問題は確認されず、試作品の製品品質(硬度、安息角、嵩比重など)も既存の混合堆肥複合肥料と同様の値を示したことから、堆肥、回収液ともに、実機製造ラインにおいても肥料生産に悪影響を及ぼさないことが示唆された。そのため、図 7 における 10-5-8 について、アグレットの実機製造ラインを用いた大規模製造試験を実施した。回収液の原料への投入は、既存設備に併設した専用ラインで実施したところ、特に問題はなく使用可能であった。生産状況や製品品質も既存の混合堆肥複合肥料と同等の結果であり、実機製造ラインでも回収液を肥料原料として使用できることが明らかとなった。

4. 課題

アンモニア回収およびその回収液は、従来悪臭物質として大気中に放出されていた窒素成分を回収し、肥料原料に利用できる点において、非常に画期的なものである。ただし、その利用についてはいくつか注意点がある。

- ・ 硫酸で回収すると肥料原料に使用できない

肥料成分が窒素のみとなってしまうため液状複合肥料に該当せず、ほかに該当する規格が現在のところ存在しないため、肥料原料として使用することができず、規格改正を行う必要がある。

- ・ 発生元の選定が必要

堆肥や他の肥料原料にも言えることであるが、原料コストには輸送するときのコストも影響する。肥料工場までの距離が長いと、輸送だけでコストが膨らむことになる。

- ・ 発生量と処理可能量のバランスに注意

回収液のような液体原料は、肥料設計の段階で使用割合に制限が生じる。そのため、発生量が多くても肥料工場では使い切れない可能性がある。

今回の回収液のように、未利用資源を検討するときは、肥料成分以外にもその利用方法・コスト・発生量・発生元・公定規格への適合性（場合によっては規格改正の申請）・製品の販売ルートなど、様々な事項を慎重に検討する必要がある。しかし、未利用資源の活用は肥料原料の安定確保以外にも、環境負荷の低減など重要な意味を持つため、今後ますます進めていく必要がある。

また堆肥は肥料原料としてはまだ課題の多い原料であり、肥料メーカーは様々な創意工夫を駆使し、苦労を重ねながら混合堆肥複合肥料を生産している。混合堆肥複合肥料は従来の有機質肥料とは異なる効果も多く有しており、農業生産に大きく貢献できる資材であると考えられる。今後さらに混合堆肥複合肥料を開発・拡大・普及させるためには、肥料メーカーや農業関係の研究機関が単独で努力していくだけでは限界がある。

国内農業の持続・発展のため、また堆肥を含めた未利用資源の利用を促進するためにも、畜産経営者、畜産関係の研究機関なども含めた、多くの機関の連携が重要である。

参考文献

- 1) 阿部佳之・福重直輝(2006) : 堆肥化処理に向けた簡易なアンモニアスクラバ, 農業機械学会誌, 68(4), 29-31.

日本型豚舎洗浄ロボットの開発

日本型豚舎洗浄ロボットの開発

平成30年度家畜ふん尿処理利用研究会

平成30年11月9日

農研機構 農業技術革新工学研究センター
次世代コア技術研究領域
松野更和

「農研機構」は国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネームです。

豚舎の洗浄作業は

- 排泄物が飛散する過酷な作業環境
- 農場の全労働時間の3割以上を占める重労働
- 一度の洗浄・消毒に4日を要する



若い従業員の離職が相次ぐ



労働力の確保と育成が困難



洗浄作業の重要性

大規模化の進捗に伴い、家畜伝染病のリスクが増大

- 離乳後の事故率が出生幼豚の約1割を占める
- 豚流行性下痢(PED)による死亡頭数(H26)

千葉 約43,000頭(2位)

➡ 関東地方全体で全国の36%



ブランドの信頼性の失墜に直結



- 洗浄・消毒の徹底
- 人・物の出入り管理

平成26～29年度千葉県農林水産業振興計画より

現在の機械化状況は

外国製洗浄ロボットが一部の大規模農家に導入

- 約8割を洗浄ロボットが作業
- 作業者は、残りの仕上げ作業のみ

➡ 洗浄作業の徹底化に寄与

しかし・・・

- 1000万円以上と高価
- 広い通路が必要
- 直進走行のみ、旋回は手動で操作
- ティーチングが難しい
- こみ入った箇所での洗浄は困難、等



開発目標

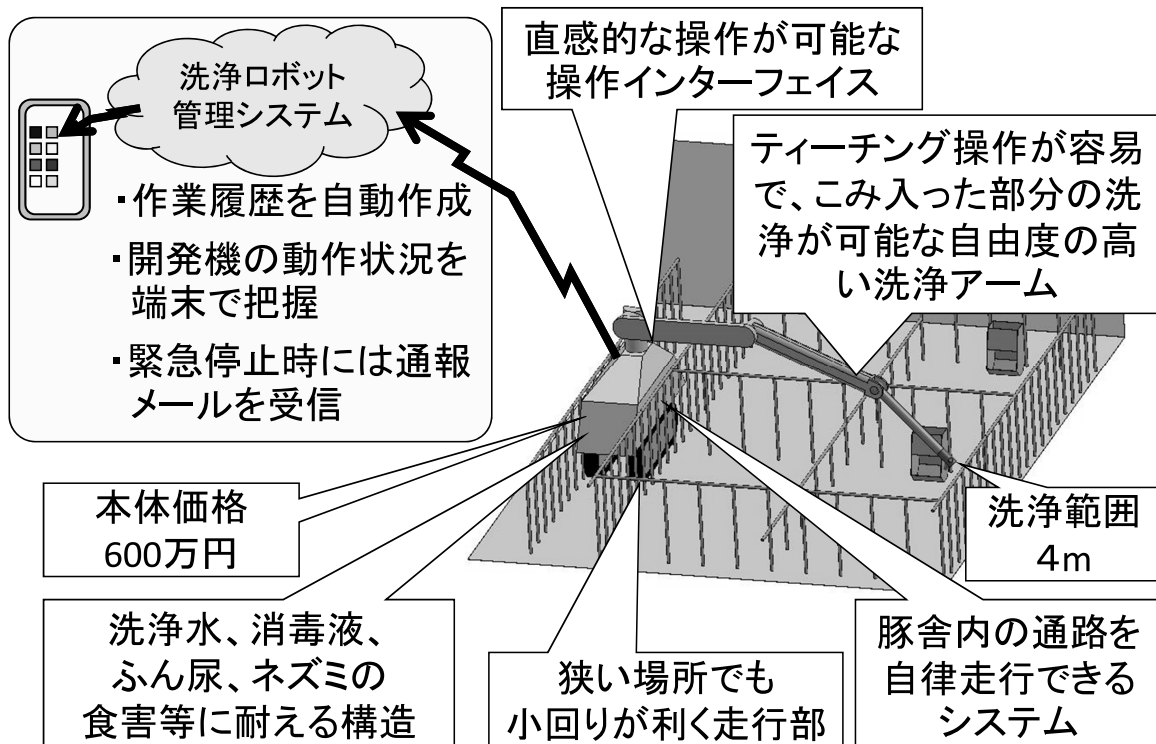
中小規模農家に適した
取扱性・操作性に優れていて低コストな
豚舎洗浄ロボットを開発する

- 本体価格は600万円以下
- 小型(機体幅650mm以下)
- 旋回性に優れ、操舵による旋回が可能
- ティーチング操作が容易

さらに・・・

- 動作状況の自動記録、作業履歴を端末で確認
- 緊急停止時は洗浄ロボットから使用者の端末へメールで通知

開発機のイメージ



開発体制

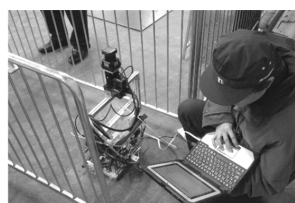
- 開発推進及び動作確認試験方法の立案・実施
農研機構・革新工学センター

- 開発機的设计・製作
(株)トピー工業
スキューズ(株)
(株)中嶋製作所



開発体制

- 自律走行システムの開発
岡山大学
香川大学



- 操作インターフェイス及び
フレキシブルアーム機構の開発
(独)国立高等専門学校機構
- IoTによる洗浄ロボット管理システムの開発
(株)NTTドコモ

開発体制

- 開発機のリスクアセスメント
(株)インターリスク総研
- 洗浄効果の微生物学的評価
農研機構・動物衛生研究部門
- 養豚農家の実態調査及び開発機の評価と普及推進
千葉県畜産総合研究センター
- 開発機の現地実証
(有)ブライトピック千葉
- 開発機の普及推進
(一社)日本養豚協会



使用環境について

肥育豚舎



広くてシンプル

分娩・育成豚舎



狭小、付帯設備 多



一つのアームで対応するのは困難

取組 肥育豚舎用の試作機の開発

- ・伸縮機能
- ・アーム長3.4m (4m範囲を洗浄)



機体安定用シリンダ

全方向移動クローラ

取組 肥育豚舎用の試作機による洗浄試験



取組 肥育豚舎用の試作機による洗浄試験

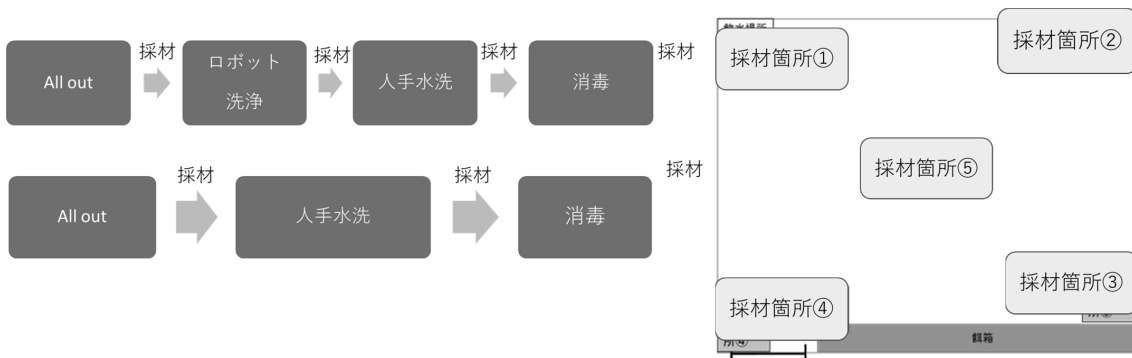


取組 タブレット入力によるロボット操作



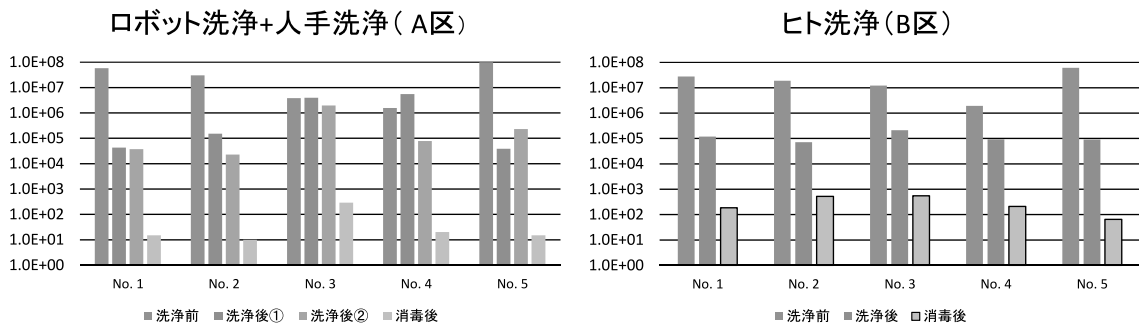
取組 洗浄効果の微生物学的評価

- 場所：千葉県畜産総合研究センター内豚舎
- 試験：ロボット洗浄+人手洗浄（A区）
- ヒト洗浄（B区）
- 拭き取り材料：豚房内5点（4角と真ん中）



取組 洗浄効果の微生物学的評価

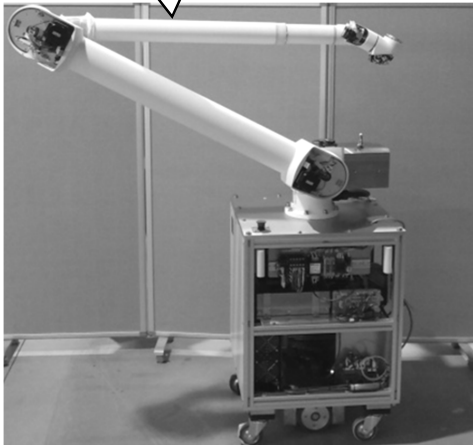
一般細菌数



- 細菌数の減少効果は、ヒトによる洗浄と同程度
- 大腸菌でも同様の傾向

取組 分娩・育成豚舎用アームの開発

- 6軸
- アーム長2.5m

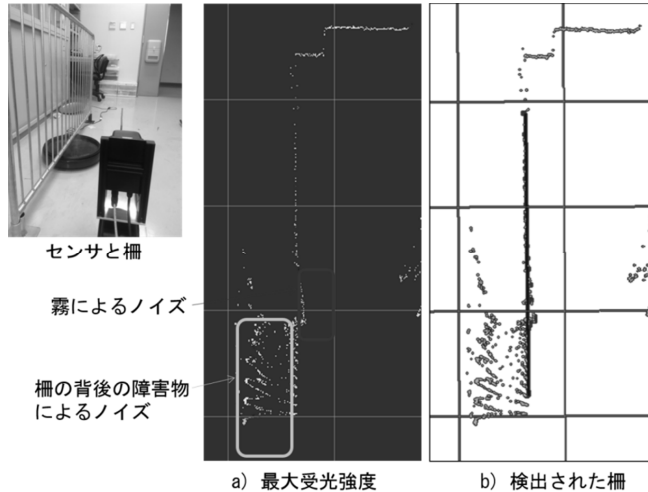


- 特徴
- 複雑な動きが可能
 - ダイレクトティーチング機能
 - 外力停止機能

取組 分娩・育成豚舎用アームの開発



取組 豚舎環境に適応した自律走行技術の開発

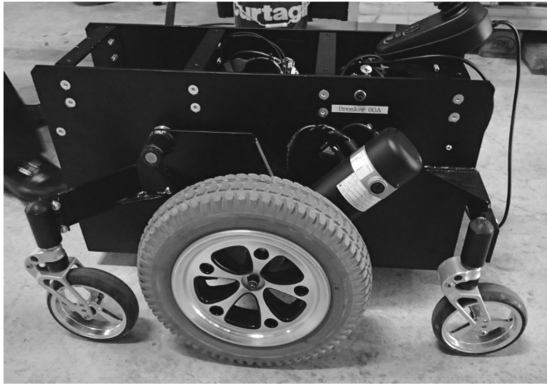


軽度の霧がかかった環境でも縦棒柵を検知する技術を開発
柵に沿った直進走行が可能に

取組 洗浄ロボット管理システムの開発



取組 低コスト化



低コストな6輪式走行部を試作、
700mm幅の通路で直進・旋回が可能

取組 養豚農家へのアンケートとお知らせ

養豚農家の皆様へ

豚舎洗浄ロボット

開発に関するアンケート調査のお願い

一般社団法人 日本養豚協会
千葉県畜産総合研究センター

日頃より、当協会、当センターの活動へのご理解、ご支援に感謝いたします。

養豚農家の皆様のご意見を取り入れた、使いやすい豚舎洗浄ロボットの開発をめざして、今回のアンケート調査を実施いたしますので、ぜひ、ご協力をお願いします。

ご回答は、速信用封筒にて、9月末までお願いします。
※提供いただいたデータは、本開発プロジェクトのみでの活用とし、他への流用、個人が特定されるような公表は一切行いません。

革新的技術開発・緊急展開事業（うち地域戦略プロジェクト）による
「豚舎用日本型洗浄ロボットを中核とした畜力的な衛生管理システムの開発」
(平成 28～30 年度)

生産効率の低下防止
豚舎衛生管理の徹底

豚舎の徹底した洗浄と消毒

水溜・薬液がさらされ、埃や糞がこまめなから作業

日本型豚舎洗浄ロボットの開発

アームの先に高圧洗浄ノズルをつけたロボットが豚舎内の通路を自動走行し、アームを動かし、ノズルの角度を変えて、豚舎の床面、壁面等を徹底洗浄していくタイプの小型軽量化したロボットです。

目標どおりのロボットの開発ができれば、
○洗浄作業時間の最大 80% 削減と労働力の最大 50% 削減が可能となり
○事故率の低減ならびに豚舎使用不可日数の削減（最大で半減）による生産性の向上に寄与します。

2019年の市販化を目指して開発中！
① 国際養豚展豚舎総合展2018にて展示予定

豚舎洗浄ロボット

POINT 1 中小規模農場にも導入可能

POINT 2 操作がカンタン!

POINT 3 価格は海外製の2/3以下

感染症の防止には
徹底した豚舎洗浄が不可欠
……でも

農場での労働時間の約3割を占める

海外製は大型で高価

洗浄作業は非定常的な状況が頻発する
厳しい環境

こんな問題を一手に解決!

農研機構 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
農業技術革新工学研究センター 総合機械化研究領域 畜産工学ユニット
農業技術革新工学研究センター
電話：048-654-7093 Eメール：hshito@affrc.go.jp

まとめ

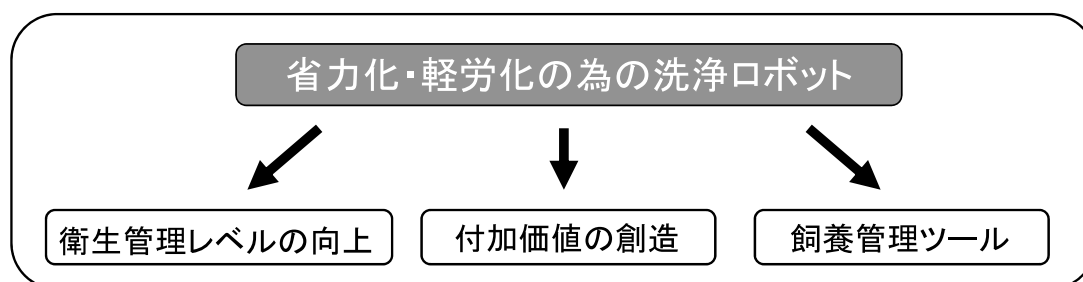
- 肥育豚舎で洗浄作業を行うロボットを試作し、豚舎にて洗浄試験を行った
- 分娩豚舎用のアーム、自律走行システム、洗浄ロボット管理システムなど、各種機能を開発中

今後の取り組みと展望

各機能の確認試験、洗浄効果の評価を行い、慣行手作業による洗浄・消毒作業と比較し、経済的効果を明らかにする



2020年度の市販化を目指す



おわりに



本研究は農研機構・生研支援センターの
地域戦略プロジェクトにて実施しました

日本型敷料散布機の開発

平成30年度家畜ふん尿処理利用研究会
「堆肥化装置からのエネルギー・資源回収とその利用および畜舎衛生技術」

日本型敷料散布機の開発

平成30年11月9日

オリオン機械株式会社
酪農事業本部 川口隆

ORION
R 牛床と畜舎のパートナー

Copyright 2018. 11.9.
Orion Machinery Co., Ltd

敷料の搾乳への貢献


1. 乳房炎防除・蹄病予防
 - ◇牛床の清掃が容易になる
 - ◇牛体、乳頭、乳房を綺麗に保ちます
2. 寒さから守ります
 - ◇断熱効果で冷えを防ぎます
3. 怪我を防ぎ、採食量を減らさない
 - ◇寝起きによる関節等への負荷を軽減します
4. 運搬の円滑化 と 堆肥化の促進
 - 好気性醗酵に適した水分調整と通気性を確保します

ORION
R 牛床と畜舎のパートナー


Copyright 2018. 11.9.
Orion Machinery Co., Ltd

自動化していない場合の 敷料散布は


おが粉



麦稈細断+ブロー




麦稈細断+ブロー




作業機を運転して散布 トラクタ牽引タイプと自走タイプあり
細やかな操作(低速走行、ブロー方向など)必要 また 細断型は塵埃が酷い


おが粉+マニアスプレッタ



おが粉



おが粉・粃殻




ORION
R 日本と世界でノーマライズ

Copyright 2018. 11.9.
Orion Machinery Co., Ltd


敷料散布機の普及状況 世界ではどうか？


麦稈コンパ外ハール用で日本導入が難しい




ヨーロッパでは
敷料の種類に応じた様々
な機種が存在する

自動給飼機のようなスタイル
おが粉・戻し堆肥・砂などを散布





麦稈細断を散布
舎外にコンパ外ハール貯留
+ 細断 + 空圧圧送装
置にて供給



戻し堆肥を散布。舎外
よりスクリーンにて圧送

ORION
R 日本と世界でノーマライズ

Copyright 2018. 11.9.
Orion Machinery Co., Ltd

敷料散布機の普及状況 では 日本では？

■ 日本ではどうか？

ほぼ作業機機での有人散布が実情

国内メーカーの自動散布機は若干はあるが

普及はしていない

ORION
R 牛乳と糞尿の処理

Copyright 2018. 11.9.
Orion Machinery Co., Ltd

搾乳ロボット牛舎への オリオンのシステム提案

■ 搾乳ロボット牛舎 と 敷料散布機 の相性

◎ 搾乳ロボット牛舎ではバーンに牛が常にいて空にならない。

作業機器での散布作業は手間がかかる！

◎ 無人搾乳であり、乳房・乳頭が綺麗であることが必須！

◎ ふん尿の取扱やすい状態への水分調整が必要！

◎ 搾乳・給飼・除糞 まで自動化が進んだ！ 残るは・次は
敷料散布作業の自動化である！

ORION
R 牛乳と糞尿の処理

Copyright 2018. 11.9.
Orion Machinery Co., Ltd

敷料散布機への ORIONの取組

■ ORION の取組み現状

2年までは、システム・機器の取扱は手付かず

昨年お客様からの要求にて「給飼機」の応用で実現

搾乳ロボット牛舎に設置

ORION
R₂ 牛舎と繋いでノバートライツ

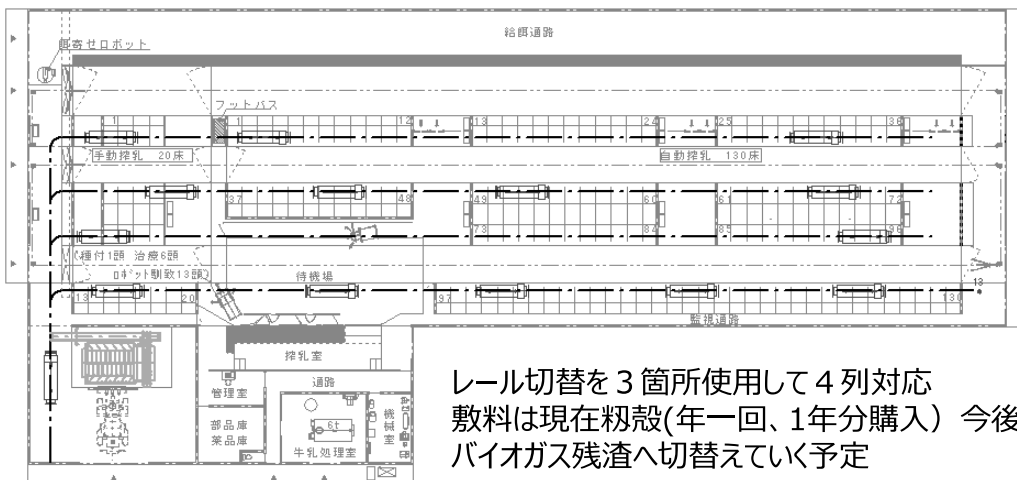
Copyright 2018. 11.9.
Orion Machinery Co., Ltd

敷料散布機への ORIONの取組

搾乳ロボット牛舎導入事例

北海道北広島市 牧場様の例

敷料散布機：3m³容量のTMR用自動給飼機を応用



レール切替を3箇所使用して4列対応
敷料は現在粉殻(年一回、1年分購入) 今後
バイオガス残渣へ切替えていく予定

敷料散布は1日1回、粉殻積載量は1列あたり数十kg程度

ORION
R₂ 牛舎と繋いでノバートライツ

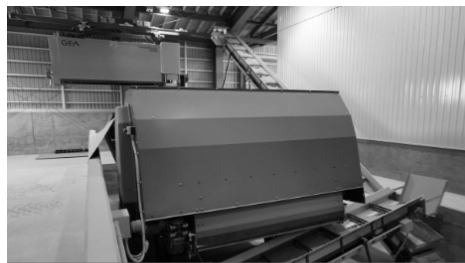
Copyright 2018. 11.9.
Orion Machinery Co., Ltd

敷料散布機への ORIONの取組

搾乳ロボット牛舎導入事例



敷料補給場所



飼料用貯留装置 + 搬送コンベア



レール切替 3箇所



TMR用自動給飼機 (容量 3 m³)

ORION
R₂ 牛舎と家畜ふん尿処理

Copyright 2018. 11.9.
Orion Machinery Co., Ltd

敷料散布機への ORIONの取組

- 日本型敷料散布機
専用機として開発

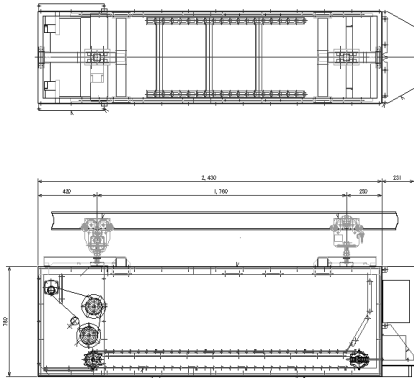
自動給飼機のコア技術を応用して、オリジナル設計

ORION
R₂ 牛舎と家畜ふん尿処理

Copyright 2018. 11.9.
Orion Machinery Co., Ltd

川口・日本型敷料散布機の開発

ORION 敷料散布機(開発中)



現在基本性能試験中
荷重試験(750kg)
おが粉散布試験

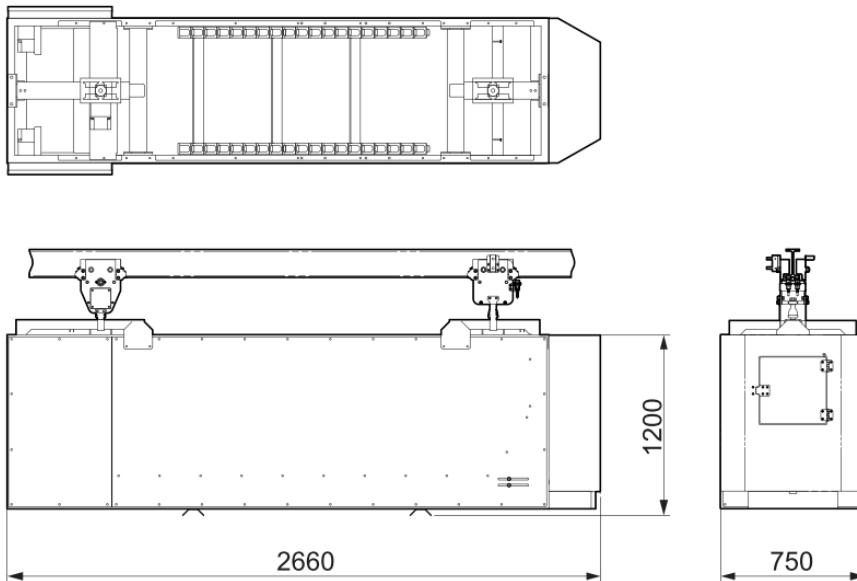


ORION製自動給飼機 マックフィーダーの機構がベース
おが粉・粉穀・麦稈細断・戻し堆肥
を扱うことができるように(付属品を使用し、対応)

ORION
R 牛と馬でノバートイン

Copyright 2018. 11.9.
Orion Machinery Co., Ltd

敷料散布機 外観図

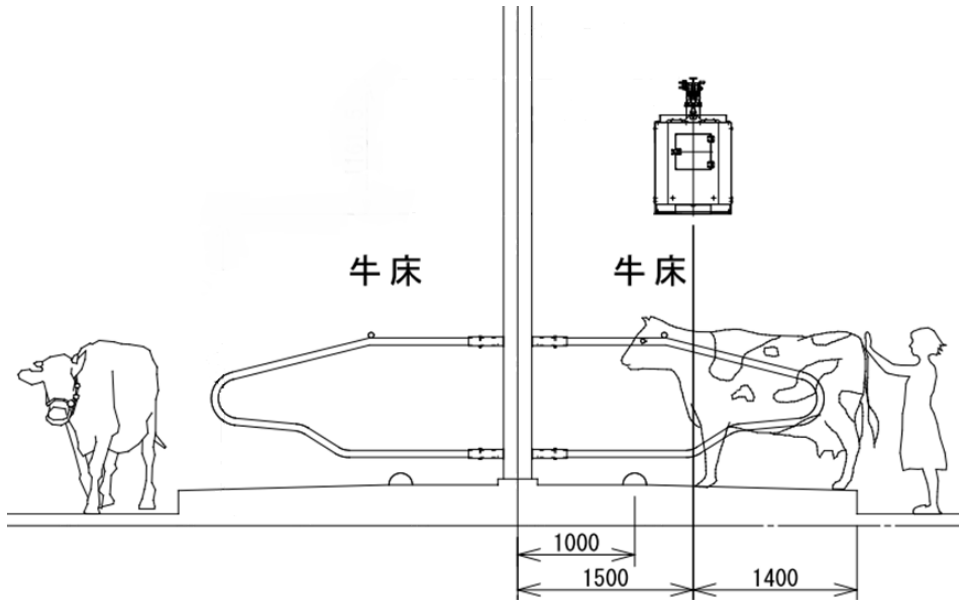


ORION
R 牛と馬でノバートイン

Copyright 2018. 11.9.
Orion Machinery Co., Ltd

川口・日本型敷料散布機の開発

敷料散布機 設置位置



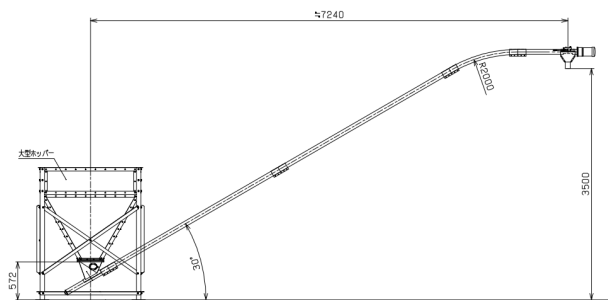
ORION
R_J 牛舎と畜産でノバール

Copyright 2018. 11.9.
Orion Machinery Co., Ltd

敷料 貯留・搬送装置

おが粉・ 粃殻 用として
スクルーオーガ式 貯留・搬送装置
専用設計

おが粉・ 戻し堆肥 用として
自動給飼機 粗飼料貯留・搬送
装置の流用



ORION
R_J 牛舎と畜産でノバール

Copyright 2018. 11.9.
Orion Machinery Co., Ltd

畜舎におけるエアロゾル制御技術

畜舎におけるエアロゾル制御技術

東京農工大学大学院連合農学研究科 名出貴紀

1. はじめに

畜舎内の環境は飼養している家畜の生産性を向上させるために適切な状態が提供される必要がある。畜舎内の環境要素として、熱環境と空気の衛生環境の2つに分けられる。熱環境の環境要因は、温度、湿度、放射等があり、空気の衛生環境は各種ガス、エアロゾル、微生物である。熱環境は家畜の成長や飼養に影響しており、暑熱による生産量低下が問題となっている。一方、空気衛生環境では臭気ガスや空气中微生物等が悪臭問題や防疫の課題の因子として挙げられる。特に、家畜感染症の発生は畜産業界への安全な畜産物の生産に対する消費者からの懸念や農場経営への壊滅的な打撃を与える。家畜感染症が発生した場合、移動制限や道路の各所に消毒ポイントが設置される等により人の流れや物流が滞り、観光業も含め地域経済全体に甚大な被害を及ぼす。病原微生物は感染動物や汚染媒介物を介して伝播するほか、エアロゾルに付着して空気伝播する。また、エアロゾルには臭気成分が付着しており、エアロゾルの拡散によって悪臭が拡散する。このようにエアロゾルは悪臭の拡散、家畜伝染病の伝播の重要な要因である。

養豚業において離乳後の死亡原因の多くは呼吸器病に起因するとも言われ、いかに畜舎内のエアロゾルを低減するかが重要になる。ここでは、畜舎におけるエアロゾルや低減方法として機能水噴霧によるエアロゾルや空气中微生物に及ぼす影響について紹介する。

2. 畜舎内環境の現状

家畜の種類、成育ステージ、畜舎のタイプ(開放型、閉鎖型)によって、舎内環境は大きく異なる。一般的に無窓鶏舎内のエアロゾル、ガス、空气中微生物濃度等は他の畜種と比較して最も高くなる。開放型牛舎は最も低くなる傾向がある。

(1) エアロゾル

エアロゾルとは気体中に浮遊する微小な液体または固体の粒子と定義されている。性状は、粒径や化学組成、形状、光学的・電気的特性など多くの因子によって表され、きわめて複雑である。分子やイオンとほぼ等しい $0.001 \mu\text{m} = 1 \text{ nm}$ 程度から花粉のような $100 \mu\text{m}$ 程度まで約 5 桁にわたる広い範囲が対象となる。濃度の表現方法は、単位容積あたりの質量で表す質量濃度、単位容積あたりの個数で表す個数濃度がある。

(2) バイオエアロゾル

バイオエアロゾルとは、生物に由来する浮遊粒子状物質のことであり、その中には真菌や細菌などの微生物、ウイルス、花粉、有機粉じん等が含まれる。微生物やウイルスはそのままの形で空气中に浮遊せず、エアロゾルに付着して浮遊・伝播している。主に疾病に関与するのはこのバイオエアロゾルであり、畜舎内でのバイオエアロゾルを低減することがバイオセキュリティ上重要な要因の一つとなる。

(3) 畜舎内のエアロゾル

畜舎内のエアロゾル研究は、約 30 年前に欧州で作業者の呼吸系の疾病と畜舎内のエアロゾルとの因果関係を調査するところから始まった。人体の影響として、10 μm のエアロゾルは換気による空気の流れに影響されにくく、重力で沈降し、鼻腔に堆積する。5~10 μm では気管に沈降する。5 μm 以下のエアロゾルは空気の流れと一緒に動き、肺まで到達する。エアロゾルの単位体積当たりの個数濃度は、2~5 μm 以下の粒径で全濃度の約 9 割近くを占めている。無窓鶏舎において空気中に浮遊する微生物濃度とエアロゾル濃度との間には高い正の相関関係があることが認められた¹⁾。これらのピークは、給餌やふんの搬出の鶏舎内作業管理と密接な関係があり、作業管理が行われる間と直後に濃度が高くなった。また、世界的に問題となっている離乳豚の多臓器発育不全症候群の原因ウイルスである豚サーコウイルス 2 型(PCV2)の濃度とエアロゾル濃度との間に正の相関があることが報告され、長距離(約 5 km 以上)を風で移動する可能性があることが指摘されている²⁾。筆者らも、国内養豚農場の離乳豚舎において、エアロゾル濃度と空気中の豚繁殖・呼吸器障害症候群ウイルス(PRRSV)に関係がある可能性が示唆されたと報告した³⁾。このように家畜感染症の一要因としてエアロゾルが関係していることを考慮すれば、畜舎内のエアロゾルを低減させることは防疫の観点から重要である。

3. 畜舎内のエアロゾル低減技術

畜舎の空気清浄化技術として欧米では、植物油を畜舎内に散布することでエアロゾルの低減が試みられている。噴霧方法は畜舎内で汚染物質を低減させながら周囲への拡散を防止することが可能であり、かつ低コストでメンテナンスが容易であるメリットが挙げられる。今回は、弱酸性水を噴霧することにより豚舎内のエアロゾル濃度及び空気中微生物濃度に及ぼす影響を調べた。

【実験方法】

福島県天栄村に位置する一貫経営農場の折衷型離乳豚舎で夏季の期間に噴霧試験を行った。噴霧資材として、pH: 6.0、有効塩素濃度:50 ppm の弱酸性水(ウェルクリンテ, OSG 社)を使用した。弱酸性水噴霧は室内試験において噴霧粒径: 100~200 μm に低減効果が見られたと報告がある⁴⁾ことから、本試験では噴霧粒径 100 μm 及び 200 μm とした。噴霧量は豚の健康の観点から、5.0 ml/m³・回、10.0 ml/m³・回とした。測定項目は、エアロゾル個数濃度(OPS3330, TSI 社)、エアロゾル質量濃度[PM10](HV500, 柴田科学)、空気中微生物[一般生菌, ブドウ球菌, 大腸菌]濃度(コリオリス μ , ベルタン社)、畜舎内温度・湿度とした。試験は、適切な噴霧条件(噴霧量、噴霧時間、噴霧間隔)を選定するため、空気中微生物濃度及びエアロゾル濃度の低減効果の持続時間を調べた。また、2 日間の連日噴霧による空気中微生物濃度及びエアロゾル濃度の低減効果を検証した。

【結果と考察】

I. 噴霧による空气中微生物及びエアロゾル濃度の低減効果持続時間の検証

噴霧量 5.0 ml/m³・回の場合、噴霧粒径 100μm、200μm とともにエアロゾル質量濃度の減少は見られたが、空气中微生物濃度の変化は見られなかった。噴霧量 5.0 ml/m³・回では弱酸性水により空气中微生物を低減・消毒するには量が少なかったと考えられる。一方、噴霧量 10.0 ml/m³・回の場合には噴霧粒径 100 μm 及び 200 μm においてエアロゾル濃度及び空气中微生物濃度に低減効果が見られた。空气中一般生菌濃度及びエアロゾル質量濃度の時間変化を図 1、表 1 に示した。空气中一般生菌濃度は噴霧粒径 100 μm と比べ、噴霧粒径 200 μm では噴霧の低減持続効果の時間が長かった。感染リスク低減を考える場合、低減持続時間が長い方が望ましいと考えられる。空气中ブドウ球菌及び大腸菌濃度においては粒径 100 μm 及び 200 μm とともに噴霧 30 分後においても低減効果が確認された。PM10 のエアロゾル質量濃度では粒径 100 μm 及び 200 μm とともに噴霧後 20 分に元の値に戻る傾向が確認できた。感染リスクの低減を考えた際、噴霧間隔は微生物及びウイルスが付着するエアロゾル質量濃度が元の値に戻る前に再度噴霧を行うことが望ましい。そのため、連日噴霧試験は噴霧間隔 15 分に設定した。

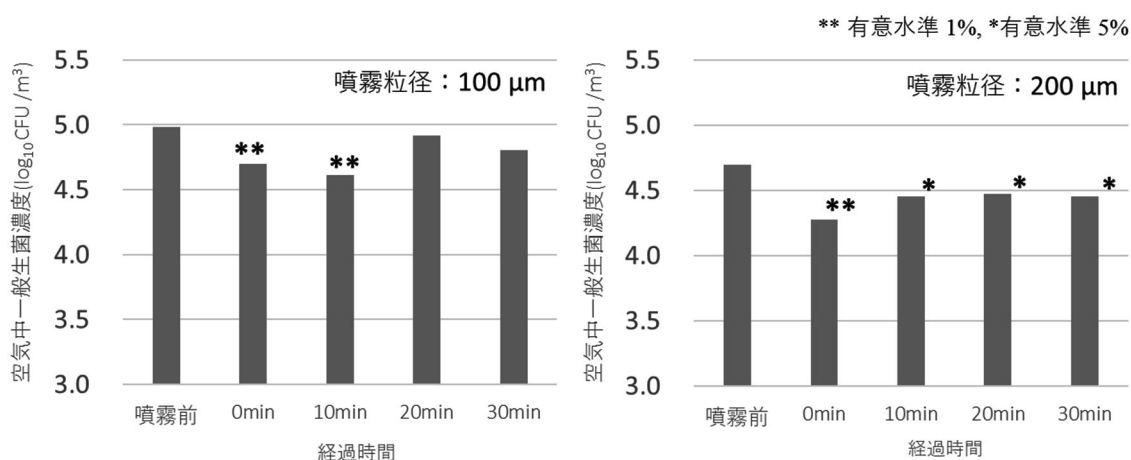


図 1 噴霧粒径における空气中一般生菌濃度の時間変化

表 1 噴霧粒径におけるエアロゾル質量濃度の時間変化

噴霧粒径	エアロゾル質量濃度 (mg/m ³)				
	pre	0min	10min	20min	30min
100 μm	0.52	0.44 (84.6%)	0.45 (86.5%)	0.51 (98.0%)	0.43 (82.6%)
200 μm	0.40	0.32 (80.0%)	0.25 (62.5%)	0.40 (100%)	0.36 (90.0%)

II. 連日噴霧による空气中微生物濃度及びエアロゾル濃度の低減効果

連日噴霧は、噴霧条件を噴霧量 10.0 ml/m²・回、噴霧粒径 200µm、噴霧間隔 15 分として 2 日間行った。噴霧処理の有無による効果を検証するため、離乳豚舎の 2 室を区分して、弱酸性水噴霧を行う試験区と何も散布しない対照区を設けた。散布ノズルは約 2.5 m の高さに設置した。夏季の離乳豚舎にて試験を行ったため、窓が開口され、換気扇が動いた状態において、弱酸性水の噴霧を行った。弱酸性水噴霧 1 日後において噴霧処理の有無による空气中微生物濃度及びエアロゾル濃度を表 2 に示す。空气中一般生菌濃度及び粒径 5.0-10.0 µm のエアロゾル個数濃度において減少傾向が見られ、粒径 5.0-10.0 µm のエアロゾル濃度は有意に低下した。弱酸性水噴霧 2 日後において噴霧処理の有無による空气中微生物濃度及びエアロゾル濃度を表 3 に示す。噴霧 1 日後に低減傾向が見られた空气中一般生菌濃度及び粒径 5.0-10.0 µm のエアロゾル個数濃度に加え、ブドウ球菌濃度及び PM10 のエアロゾル質量濃度に低減傾向が見られた。今回の試験では空气中微生物濃度に有意な低下が見られなかったが、微生物やウイルスを媒介するエアロゾル濃度を有意に低下しており、Alonso ら (2015) は豚インフルエンザウイルスや豚繁殖・呼吸器症候群ウイルス、豚流行性下痢ウイルスに関して大きい粒径のエアロゾルほどウイルス遺伝子量が多い⁵⁾と報告があることから、今回の試験で弱酸性水噴霧により粒径が大きい 5.0 - 10.0 µm のエアロゾル濃度及び PM10 のエアロゾル質量濃度に低減効果が見られたことから空気感染のリスク低下が期待できることが示唆された。また、換気量が少なくなる冬場ではエアロゾル濃度及び空气中微生物濃度が高くなる傾向があるため、夏場と比較して弱酸性水噴霧による低減効果が期待できる。

空气中の豚由来ウイルスとして、糞便由来の豚サペロウイルス濃度を調べた。試験区では全ての空気検体において検出限界以下であり、対照区では 8 検体中 7 検体検出された。しかしながら、試験区で噴霧処理前から検出限界以下であったことから今回の試験では弱酸性水噴霧による空气中ウイルス濃度の低減効果を検証するのは困難であった。

表 2 噴霧処理の有無による空气中微生物・エアロゾル濃度（噴霧後 1 日目）

		対照区	噴霧区	噴霧区/対照区
		** 有意水準 1%, *有意水準 5%		
空气中微生物濃度 (log ₁₀ CFU/m ³)	一般生菌	5.06	4.96	79.7%
	ブドウ球菌	4.28	4.39	129.1%
	大腸菌	3.74	4.05	201.1%
エアロゾル質量濃度 (mg/m ³)	PM 10.0	0.18	0.17	92.7%
エアロゾル個数濃度 (log ₁₀ 個数/m ³)	0.3 - 0.5 µm	7.73	7.99	203.9%
	0.5 - 1.0 µm	6.65	7.02	293.5%
	1.0 - 2.0 µm	5.76	5.90	154.9%
	2.0 - 5.0 µm	5.71	5.60	81.6%
	5.0 - 10.0 µm	5.29	4.89	41.2% **

表 3 噴霧処理の有無による空气中微生物・エアロゾル濃度（噴霧後 2 日目）

		** 有意水準 1%, *有意水準 5%		
		対照区	噴霧区	噴霧区/対照区
空气中微生物濃度(\log_{10} CFU/m ³)	一般生菌	5.08	4.88	62.9%
	ブドウ球菌	4.65	4.37	53.0%
	大腸菌	4.13	4.14	103.2%
エアロゾル質量濃度(mg/m ³)	PM 10.0	0.27	0.20	72.9% *
エアロゾル個数濃度(\log_{10} 個数/m ³)	0.3 - 0.5 μ m	7.48	7.71	166.4%
	0.5 - 1.0 μ m	6.30	6.56	177.3%
	1.0 - 2.0 μ m	5.47	5.55	117.7%
	2.0 - 5.0 μ m	5.62	5.56	86.8%
	5.0 - 10.0 μ m	5.30	5.04	55.8% *



写真 1 離乳豚舎における弱酸性水噴霧の様子

4. 参考文献

- 1) Ikeguchi, A. (2001). Relationship between airborne bacteria and dust concentration in layer house. Proceeding of Sixth International Livestock Environment Symposium.
- 2) Verreault, D., Letourneau, V., Gendron, L., Masse, D., Gagnon, C.A., Duchaine, C. (2010). Airborne porcine circovirus in Canadian swine confinement buildings. Veterinary Microbiology. 141, 224-230
- 3) 名出貴紀, 池口厚男, 中久保亮, 石田三佳, 宮崎綾子, 鈴木亨, 鈴木孝子, 高木道浩 (2015). 閉鎖型離乳豚舎内の空气中微生物濃度とエアロゾル濃度の関係, 農業施設, 46(1), 1-8
- 4) 横関正直, 影山吉壮, 村野祐司, 金子晴寿, 西芳秀(1982). 消毒液を噴霧するノズルの性能が消毒及び浮遊塵埃の除去効果に及ぼす影響, 鶏病研究会報, 18(2), p55-57
- 5) Alonso, C., Raynor, P.C., Davies, P.R., & Torremorell, M. (2015). Concentration, size distribution, and infectivity of airborne particles carrying swine viruses. PLoS ONE, 10(8)

農場衛生管理からみた
家畜ふん尿処理とその利用

農場衛生管理からみた家畜ふん尿処理とその利用

東京農工大学大学院農学研究院

教授 竹原 一明

家畜の 1 日あたりのふん量は、搾乳牛 (体重 700kg) で 65kg、肉用牛 (2 歳未満) で 23kg、豚 (肥育豚) で 1.5kg、採卵鶏 (成鶏) で 100g である。採卵鶏で、1 農場あたり 10 万羽規模は多くなっているため、それら大規模養鶏場では、1 日に 10 トン以上もの糞便が排出される。当研究室では、NMG 環境開発株式会社と共に家畜糞や農業副産物を還元焼結処理することにより、窒素と炭素を除去し、無機物、すなわち、バイオセラミック (BCX) を製造する装置 : BCX プラントを考案し、NMG が BCX の製造を行っている。高温での加熱 (焼却ではない) により、5 トンの鶏糞が約 10 分の 1 になり、500kg の BCX が得られる。得られた BCX は、様々な粒子の粉体であり、主として、家畜の餌の成分が最終産物の成分に近くなる。鶏糞由来 BCX の主な成分は、 P_2O_5 が 25%、 CaO が 24%、 K_2O が 22%、 MgO が 9.6%、 SO_3 が 5.3%、 Na_2O が 4.9%、 SiO_2 が 3.9% である。

鶏糞由来 BCX は、水に 10% で懸濁すると、上清は pH13.0 の強アルカリとなる。農林水産省のひなの成長試験において、農林水産省から家畜の餌として認可されている (家保衛飼 538 号)。粉体での利用になるが、エンベロープを有する鳥インフルエンザウイルス (AIV) やニューカッスル病ウイルス (NDV) の他、エンベロープを有さない伝染性ファブリキウス嚢病ウイルス (IBDV) やマウスノロウイルス (MNV) に対する不活化効果が認められている。サルモネラや大腸菌などの細菌に対しても、不活化効果を有する。屋外での散布により、長期間の病原体効果の不活化効果の持続が認められており、待ち受け消毒等への利用に用いられている。IBDV での試験では、水平感染による同居感染の抑制や、汚染敷料中の IBDV の不活化に成功している。同様に敷料に BCX を混合させた場合、2 日間は、サルモネラや大腸菌を不活化できた。

本資料より転載・複製する場合は国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構の許可を得てください。

畜産研究部門 平 30- 1 資料

平成 30 年度家畜ふん尿処理利用研究会資料

編集・発行 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
企画管理部企画連携室

Tel.029-838-8593、 Fax.029-838-8606

〒305-0901 茨城県つくば市池の台 2

発行日 平成 30 年 11 月 8 日

印刷所