

# メタン発酵処理後分離固分の 敷料利用技術

石田恭弘

2018 年度  
博士論文

メタン発酵処理後分離固分の  
敷料利用技術

21633001 石田恭弘

指導教員 動物資源生産学 教授 高橋 圭二

酪農学園大学大学院酪農学研究科

## 目次

第 I 章 序論	1
1. 研究の背景	1
1) 家畜排せつ物処理の現状	
2) 牛ふん尿の処理方法と課題	
3) メタン発酵の利点と残さの利用	
4) 北海道におけるバイオガスプラントの普及	
5) 敷料の役割と課題	
2. 既往の研究	11
1) 戻し堆肥	
2) 病原菌に対する衛生面の指標, 対策	
3) 分離固分の利用	
3. 研究の目的	16
4. 論文の構成	18
第 II 章 バイオガスプラント導入農家の敷料利用の実態解 明	20
1. 緒言	20
2. 材料と方法	20
1) プラントの特徴	

2)	敷料の種類と大腸菌数	
3)	計測・分析方法	
3.	結果と考察	23
1)	プラントの特徴	
2)	分離固分の発生量	
3)	有機物負荷と原料有機物	
4)	敷料の種類と処理方法	
5)	分離固分の水分と大腸菌数	
6)	平均気温と牛床敷料の大腸菌数	
7)	牛床敷料の水分と大腸菌数	
4.	小括	42
第Ⅲ章 分離固分の敷料調製時の大腸菌消長		44
1.	緒言	44
2.	材料と方法	45
1)	調査酪農場における敷料調製および管理方法	
2)	敷料調製過程の調査	
3)	計測・分析方法	
3.	結果と考察	50
1)	敷料調製過程における分離固分の温度推移と大腸菌数	

2 ) 敷料調製過程における留意点	
4 . 小括	56
第IV章 分離固分の敷料利用時の大腸菌消長	57
1 . 緒言	57
2 . 材料と方法	57
1 ) 調査酪農場における敷料利用および牛床管理方法	
2 ) 敷料利用過程の調査	
3 ) 計測・分析方法	
3 . 結果と考察	62
1 ) 連続調査における大腸菌数変化	
2 ) 牛舎内気温・THIと敷料大腸菌数	
3 ) 牛床敷料の水分と大腸菌数	
4 ) 敷料残存重量	
5 ) 乳牛行動と敷料大腸菌数	
6 ) 牛体の汚れスコアと飛節スコア	
4 . 小括	86
第V章 一般的敷料資材との比較検討と分離固分敷料の利用技術確立	88

1 . 緒言	88
2 . 材料と方法	88
1 ) 調査農場の概要	
2 ) 調査項目	
3 ) 計測・分析方法	
3 . 結果と考察	91
1 ) 牛舎内気温と敷料大腸菌数	
2 ) 牛床敷料の水分と大腸菌数	
3 ) 分離固分の敷料調製・利用時の技術的留意点	
4 . 小括	100
1 ) 一般敷料資材（麦稈，もみがら，おがくず）利用農場における大腸菌消長	
2 ) 分離固分の敷料調製・利用時の技術的留意点	
第VI章 総括	103
1 . 研究のまとめ	103
1 ) バイオガスプラント導入農家の敷料利用の実態解明（第二章）	
2 ) 分離固分の敷料調製時の大腸菌消長（第三章）	
3 ) 分離固分の敷料利用時の大腸菌消長（第四章）	

4) 一般的敷料資材との比較検討と分離固分敷料の利用技術確立 (第V章)

2. 今後の課題	110
謝辞	112
引用文献	114
Abstract	120

## 第 I 章 序論

### 1. 研究の背景

#### 1) 家畜排せつ物処理の現状

##### (1) 北海道の酪農

北海道は、生乳生産量 639,271 トン（都府県 299,598 トン，2018 年 3 月）と全国の約 70% を占める我が国最大の酪農地域である。北海道の酪農は、1970 年から 2017 年の推移をみると、乳牛飼養戸数は 39,290 戸から 6,310 戸と 16% に減少する中、飼養頭数は 489,200 頭から 779,400 頭と 1.6 倍に増加しており、1 戸当たり飼養頭数は 12.5 頭から 123.5 頭と約 10 倍に規模が拡大している（表 1.1）。

表 1.1 北海道と都府県における乳牛飼養頭数・農家数

年	飼養戸数 (戸)		飼養頭数 (めす)		1 戸当たり飼養頭数	
	都府県	北海道	都府県	北海道	都府県	北海道
1970	—	39,290	—	489,200	—	12.5
1976	121,900	25,200	1,187,000	623,800	9.7	24.7
1990	48,300	15,000	1,211,000	847,400	25.1	56.5
2000	23,700	9,950	897,400	866,900	37.9	87.1
2010	14,300	7,690	657,400	826,800	46.0	107.5
2017	10,100	6,310	543,700	779,400	53.8	123.5

農林水産省 2018. 畜産統計調査. <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tikusan/index.html>  
(accessed 2018-09-25)



(2) 規模拡大にともなう飼養管理方式の変化と牛ふんの性状

酪農家では、経営規模の拡大によりフリーストール方式が広く導入されている。2017年2月現在の北海道内のフリーストール牛舎導入戸数は1,563戸、普及率は27%（搾乳農家5,784戸）である（表1.2）。

表 1.2 北海道におけるフリーストール牛舎の導入戸数

年	フリーストール牛 入戸数 (戸)	普及率 (%)
2000	1,103	11.
2005	1,458	18.
2011	1,560	23.
2016	1,567	26.
2017	1,563	27.

北海道農政部酪農畜産課調べ 普及率：搾乳農家に対する比率

フリーストール方式では、乳牛を放し飼いで飼養し、乳牛が一頭ずつ横臥する牛床が用意される。同方式では、牛が自由に行動できるため牛のストレスが少なく、飼料給与、搾乳、ふん尿搬出等の作業が省力化できる。一方、通路が休息場からミルクングパーラに移動する空間になっているため、通路上に水分の高いふん尿が排せつされる。牛舎から搬出されるふん尿の性状は、飼養管理方式、敷料の種類と使用量、牛舎の換気などの影響を受ける。一般に、フリー

ストール方式では、繋ぎ飼い方式に比べて敷料使用量が少ないため、搬出されるふん尿は半固形（水分 84～87%）から固形（水分 84%未満）の割合は少なく、液状（水分 87%以上）の割合が多くなる（表 1.3）。

表 1.3 牛ふんの性状

性状		水分	状態
固形状	ソリッド	84%未満	敷料が十分混合されており、積み上げた時に堆積した状態での高さを維持できるもの
半固形状	セミソリッド	84～87%	積み上げても横に流れ出し、50cm くらいの高さにしかできないもの
液状	スラリー	87%以上	流動性がありポンプで移送できるもの

新・畜産環境保全マニュアル 社団法人 中央畜産会（2011）

## 2) 牛ふん尿の処理方法と課題

フリーストール牛舎から搬出されるふん尿は液状の割合が多く、敷料が多い場合はセミソリッド、少ない場合はスラリーとなる。山田（2010）は、セミソリッド状で排せつされるふん尿は堆肥化が進まないと報告している。このため、セミソリッドの処理では水分調整材が混合され高水分堆肥とし排汁除去・切り返しされ、スラリーの処理では固液分離後の固形分は切り返し、分離液はばっ気処理される。堆肥処理では切り返し時に、スラリーのばっ気処理では攪拌・ばっ気時に、それぞれ臭気が発生する。臭気の拡散は苦情の原因となるため、ばっ気や堆肥処理では臭気対策が必要となる。

畜産経営に起因する苦情発生状況（農林水産省生産局畜産部畜産振興課 2018年2月）によると、2017年の苦情発生戸数は1,559戸（表1.4）、苦情発生率（苦情発生戸数÷飼養戸数）は2.0%で近年横ばいで推移している。また、畜種別の苦情発生戸数の割合は乳用牛28.9%であった。内容別では、悪臭関連が53.4%を占め、これを畜種別にみると乳用牛が29.7%、次いで豚、肉用牛の順であった。また、乳用牛の飼養規模別の苦情発生率は飼養規模が大きくなるほど高くなる傾向にあった（表1.5）。地域における混住化が進む中、悪臭防止対策は重要な課題であると考えられる。

表 1.4 畜産経営に起因する苦情の畜種別・内容別発生戸数  
(2017年)

区分	悪臭関連		水質汚濁関連		害虫関連		その他		合計	
	戸	%	戸	%	戸	%	戸	%	戸	%
乳用牛	287	29.7	101	25.9	57	24.9	78	34.7	451	28.9
肉用牛	182	18.8	70	18.0	40	17.5	66	29.3	313	20.1
豚	268	27.7	154	39.5	22	9.6	33	14.7	409	26.2
採卵鶏	152	15.7	46	11.8	104	45.4	16	7.1	259	16.6
ブロイラー	53	5.5	11	2.8	2	0.9	7	3.1	70	4.5
馬	1	0.1	2	0.5	0	0.0	2	0.9	5	0.3
その他	24	2.5	6	1.5	4	1.7	23	10.2	52	3.4
合計	967	100.0	390	100.0	229	100.0	225	100.0	1,559	100.0
構成 (%)	53.4		21.5		12.6		12.5		100.0	

注1:「悪臭」関連には、悪臭単独の苦情に加え、悪臭以外の苦情(水質汚濁、害虫発生等)を併発しているものも含む(その他の分類も同様)。このため、各分類の戸数を合計した戸数と「合計」欄の戸数は一致しない。

注2:「その他」はふん尿の流出、騒音等である。

[http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/kujyou\\_29.pdf](http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/kujyou_29.pdf) (accessed 2018-09-25)

表 1.5 飼養規模別の苦情発生戸数(乳用牛)

飼養規模 <sup>1)</sup> (頭)	苦情発生戸数 (戸)	発生率 (%)	飼養戸数 (戸)
～29	94	1.8	5,370
30～99	241	2.9	8,420
100～299	88	5.3	1,676
300～	28	11.5	244
計	451	2.8	16,400

1)成畜(満2歳以上の牛)の頭数, 畜産統計, 農林水産省

[http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/kujyou\\_29.pdf](http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/kujyou_29.pdf)

(accessed 2018-09-25)

### 3) メタン発酵の利点と残さの利用

メタン発酵は液状ふん尿の処理方法の一つであり、メタン細菌の代謝作用により、家畜ふん尿や生ゴミ等の有機性廃棄物を嫌気状態で分解する反応である。バイオガスと呼ばれる、約60%のメタンと約40%の二酸化炭素の混合ガスが発生する。メタン発酵処理施設はバイオガスプラントとも呼ばれている。

メタン発酵の利点は四つある。一つ目は、バイオガスが発電機やボイラの燃料にできることから、電気や熱エネルギーとして利用できるため化石燃料を削減できることである。

二つ目は、発酵残さとして生成する原料と同量の消化液の肥効性が高いことである。横濱（2008）は、消化液は原料スラリーに比べて、乾物率が低いため流動性が高く散布作業性に優れ、アンモニア態窒素を多く含む液肥として評価できると報告している。農業面のメタン発酵の利点は還元できる農地を確保できれば消化液を液肥として利用できることである。既往の研究により、消化液は飼料作物、野菜類、畑作物、水稻に施用できることが示されており、地域環境資源センター（2010）、畜産環境整備機構（2011, 2013）、農研機構：農村研究部門地域エネルギーユニット（2012）にそれぞれまとめられている。

三つ目は、ふん尿中の有機酸、メチルメルカプタンといった悪臭

物質が分解し、アンモニアを消化液中に蓄えることで悪臭が低減することである。

四つ目は、メタン発酵では発酵槽が密閉構造であるため、大気開放下で反応が進む堆肥化にくらべて悪臭が施設外に拡散しないことである。「バイオガスプラントの稼働実績調査業務 概要版 帯広市（2012）」は、北海道内の家畜ふん尿を対象とするバイオガスプラント 42 施設に対するヒアリング調査の結果から、悪臭対策、消化液の自家利用、ふん尿処理作業の軽減がプラント導入後の効果として高く評価されていると報告している。

近年は、乳牛ふん尿の「メタン発酵消化液の固液分離固分」（以下：分離固分）が敷料として利用されるようになった。発酵残さである分離固分の敷料利用は、資源循環に貢献するとともに敷料購入費を削減できるため、バイオガスのエネルギー利用、消化液の液肥利用、臭気低減に加えた新たなバイオガスプラント導入効果の一つとして注目されている。

#### 4) 北海道におけるバイオガスプラントの普及

バイオガスプラントは、1999年の「家畜排せつ物の管理の適性化及び利用の促進に関する法律」の施行、2003年のバイオマスニッポン総合戦略の閣議決定を受け、導入が進められている。さらに、2012

年 7 月の固定価格買取制度（FIT：Feed-in Tariff）の開始以降は、エネルギー利用も目的とした発電設備のある施設が増加している。農林水産省は、「食料・農業・農村基本計画」（2015 年 3 月）において、「バイオガスの製造過程で発生する消化液等の副産物の有効活用、バイオガスの熱源利用による農業生産コストの削減等を促進する」としている。また、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」（2015 年 3 月）では、家畜排せつ物のエネルギーとしての利用の推進にあたり、家畜排せつ物のメタン発酵によるエネルギー利用を一層推進するとしている。

岩崎ら（2017）は、北海道における 1995 年以降の畜産系メタン発酵施設の推移について、2016 年まで計 86 基が建設され、これらの内 17 基が停止または撤去されており、17 基の内の多くは実験事業等で導入され事業が終了したものである。また、施設のほとんどは酪農用であると報告している。メーカーからの聞き取りによると 2017 年以降も 8 基の工事が完了しており、バイオガスプラントは十勝、根釧地域だけではなく、北海道全域に普及している。

##### 5) 敷料の役割と課題

酪農における敷料の役割は、①家畜の快適性を確保し、ストレスを軽減、②牛体汚染防止、③病原性細菌や寄生虫の増殖の抑制、④

悪臭の吸着，⑤液状ふん尿の固形化による取り扱い性の向上，⑥好気性発酵に適した水分調整と通気性の確保，⑦牛の乳房が清潔に保たれることによる搾乳作業の容易化等である．敷料の資材には，乾草，麦稈，おがくず，もみがら，古紙，砂などがある．なかでも，おがくずは敷料の他，ふん尿処理にも広く利用されてきた．これは，おがくずがどの地域でも入手しやすく，取り扱い性（投入・除去）が良いといった利点による．しかし，おがくずに適した木材は木質バイオマスとしてボイラ，発電などのエネルギー利用の需要が大きくなり，価格高騰のため入手が困難となっており，これらは農家経営を圧迫する要因のひとつとなっている（表 1.6）．

表 1.6 畜産農家におけるおが粉価格の変動状況

地 域 名	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
全 国	1,895	1,929	2,014	2,084
北 海 道	2,692	2,718	3,063	3,086

単位：円/m<sup>3</sup>

平成 27 年度 家畜排せつ物利活用事業に係る敷料（主におが粉）等の生産動向・利用実態報告書，平成 28 年 3 月，（公社）中央畜産会

樋口（2017）は，「乳房炎は乳頭から微生物が侵入することにより成立する乳腺組織の感染症である」としている．大腸菌やクレブシエラによる大腸菌性乳房炎は，甚急性の経過をとって症状が重篤となることが多く死亡・廃用となる危険性が高いだけでなく，罹患



後の乳量の低下，乳質の悪化など酪農家に与える被害は大きい．大腸菌性乳房炎はふんや汚れた敷料が感染源といわれている．久田ら（2016）は，未処理のおがくずには乳房炎原因細菌であるクレブシエラ属菌が含まれていると報告し，細田ら（1996）は，室内試験によりおがくずは堆肥の混合物に比べて大腸菌が増殖しやすいと報告している．

以上のように，おがくずは，入手しやすい，取り扱い性が良いなどの利点がある一方で，近年入手が困難になっている他，未処理のおがくずには大腸菌の含有，堆肥混合物に比べて大腸菌が増殖しやすいといった欠点がある．このため，おがくずの代替敷料が必要とされ，これまで述べたように普及が進んでいるバイオガスプラントで生産が可能な分離固分の代替敷料の重要性が増しており，その安全性確認が求められている．

## 2. 既往の研究

### 1) 戻し堆肥

これまでおがくずの代替敷料には，家畜ふん尿に敷料や水分調整材を混合して好気性発酵処理した堆肥を再び敷料とする「戻し堆肥」が広く利用されている．

平川ら（2010）は，戻し堆肥を敷料に利用した乳房炎が増加した酪農家において，敷料からの菌分離及び堆肥化技術の指導等を行い，戻し堆肥利用下での乳房炎の増加を抑制できた，としている．

細田ら（1997）は，おがくず敷料では乳房炎が多く発生していたが，一次発酵堆肥の混合物を敷料として使うと乳房炎の発生もなくなった．乳房炎に対して堆肥敷料が予防効果を持つとし，堆肥中の細菌が大腸菌やクレブシエラ属菌に対する抗菌物質を産生していると推察している．

仮屋ら（2003）は，戻し堆肥を敷料利用している農家の導入理由として乳房炎予防効果への期待が第一であり，また，導入後にその効果を認めた農家が多く，とくに，廃用になる悪性の乳房炎が減少したと報告している．また，大坪ら（1999）は，戻し堆肥は乳牛に対してストレス付加が少なく，衛生的にも安全で，おがくずの代替資材として利用価値が高いことを示唆した．

井上ら（2003）は，フリーストール牛舎の敷料に戻し堆肥を再利

用している事例を調査し、牛ふんと堆肥を混合し調整した試料中の大腸菌群数は牛ふんとおがくずを用いた場合よりも少なく推移したことから、十分に腐熟した堆肥の利用は衛生的に問題ないことを示している。三好ら（2009）は、堆肥化処理 20 日程度の堆肥でも大腸菌に対する抑制効果を認めたと報告している。

このように、戻し堆肥については、その製造方法、大腸菌・クレブシエラ菌に対する抑制効果、乳房炎発症の抑制効果などが明らかとなっている。また、短期間の発酵処理で大腸菌が検出できなくなった堆肥には、これらの抑制効果がないとしている。

以上から、戻し堆肥の敷料利用には、高温曝露により大腸菌が検出限界以下となっただけではなく、その後の堆積処理により大腸菌増殖を抑制する抗菌性を持ったものにすることが重要である。

## 2) 病原菌に対する衛生面の指標，対策

適正な好気発酵による堆肥化処理では、高温により病原性微生物が死滅することが知られている。USEPA（アメリカ環境保護庁）は病原性微生物を除去するためには、55℃以上を3日間持続させるとの指標を示している他、密閉式堆肥化、もしくは通気型堆肥化においては、55℃以上の温度を3日間保持すること、ウインドロー型堆肥化では55℃以上の温度を15日間以上保持し、少なくとも5回の

切り返しを行うこととしている。渡辺ら（1998）は、堆肥化処理過程の温度が 60℃前後に上昇すると直接培養では大腸菌群は検出されなくなったと報告している。

Iwasakiら（2011）は、メタン発酵消化液に含まれる大腸菌数と大腸菌群数を測定した結果、メタン発酵の処理温度の違いによる殺菌効果について、中温発酵（37℃）では大腸菌、大腸菌群ともに一部が残存したが高温発酵（55℃）では検出限界以下にまで減少したと報告している。

消化液の分離固分の敷料利用については、Okamotoら（2018）は、乳牛ふん尿のメタン発酵消化液分離固分を原料とした敷料の調製最終段階では夏季は *Enterococci* と *Streptococcus uberis* が検出限界以下、大腸菌が  $1 \times 10^1$  CFU/gDM、冬季は大腸菌が検出限界以下となったと報告している。

このように短期間であっても好気性発酵により高温感作を受けると、堆肥や分離固分の大腸菌を検出限界以下にまで低下させることができる。

### 3) 分離固分の利用

畜産系バイオガस्पラント導入ガイドブック 2015 北海道では、「消化液を固液分離した後、固形分を堆積・切り返すことにより、

70℃近くまで上がる好気性発酵が進み、『再生敷料（戻し堆肥）』が製造でき、この再生敷料は乳牛にとって有益な敷料として、近年北海道内の牧場で利用され始めている。牛体が清潔に保持され、乳房炎の発生が抑えられるなどの実例がある。また、敷料購入費を削減できる」と報告している。

北海道内では、江別市の小林牧場、士幌町の嘉藤牧場において、分離固分が牛舎の敷料として利用されている。また、関口（2015）は、別海町に建設された「別海バイオガス（株）」における発酵残さの利用について、消化液は固液分離機により液分と固形分に分けられ、固形分は衛生処理を兼ねた温風乾燥によって水分調整され、再生敷料として製品管理ヤードに保管されると報告している。

道外では、中村（2011）は、独立行政法人 農業・食品技術総合研究機構 農村工学研究所が千葉県香取市に試作・設置した山田バイオマスプラントにおいて、消化液に凝集剤を添加し脱水ケーキ（固分）を分離しており、固分は炭化、堆肥の原料になると報告している。

海外では、米国中西部において、乳牛のフリーストール牛舎における再生分離固分の敷料としての特徴について、敷料の管理方法、製法、設備を調査した事例がある。Husfeldtら（2012）は、再生分離固分の乾燥堆肥を使用している農家（38戸）を調査し、19戸が嫌

気性消化後に機械的固液分離をしている。また、再生分離固分が乳牛の敷料として利用されていると報告している。

また、米国では分離直後の分離固分を敷料に利用している例がある。Hause（2015）は、分離直後の分離固分をグリーンコンポストと呼び、分離後すぐに使用すること、牛床後端に敷料キーパーと呼ばれるボードを固定し、厚さ 7.6～10.2cm で投入すると報告している。

しかし、我が国は高温多湿であるため、乳房炎原因菌のひとつである大腸菌が増殖しやすい。このため、分離直後の分離固分を無処理で敷料として利用する米国の技術には乳房炎発症の不安が残ることから、適切な処理方式の検討が重要であると考えられる。

### 3. 研究の目的

これまで述べたように北海道では、酪農の経営規模拡大にともない発生する家畜ふん尿の処理方法のひとつとして発電や臭気低減が図られるメタン発酵処理が広く普及しており、消化液利用の有効性も認められている。一方、米国ではメタン発酵消化液の分離固分が代替敷料として利用されるようになった。我が国では、敷料としておがくずが広く利用されてきたが、価格高騰により入手が困難となっている。我が国でも分離固分が敷料として有効に利用できれば、その利点は極めて大きい。しかし、米国では利用されている技術ではあるが分離直後の固分を発酵処理せず無処理のまま利用することから、乳房炎の発症など安全性については不安が残る。類似した代替敷料として「戻し堆肥」の技術があるが、「戻し堆肥」についてはその調製法や大腸菌抑制効果が明らかとなっており、分離固分についても同様な検討が強く望まれる。

そこで、本研究では、高温多湿な我が国で消化液の分離固分が敷料として利用可能なのかを明らかにするとともに、利用技術を確立する。具体的には、①バイオガスプラント導入農家での敷料利用の実態調査から分離固分の利用可能量、分離固分利用時の問題点を把握し、②敷料調製時の大腸菌消長を解明し、③敷料利用時の大腸菌消長について、季節（気温）変化、水分変化および乳牛利用との関

係を明らかにし，④おがくず，もみがら，麦稈といった一般的な敷料利用農家との比較により，代替敷料資材としての分離固分の位置付けを明確にするとともに，その利用技術を確立する．



#### 4. 論文の構成

図 1.1 に本論文の構成を示した。第 I 章から第 VI 章で構成される。

第 I 章では、北海道酪農における家畜排せつ物処理の現状、飼養管理方式の変化にともなう牛ふん尿の処理方法、敷料の役割と課題、メタン発酵消化液の分離固分の敷料利用など、既往の研究を示すとともに本研究の背景と目的を述べた。

第 II 章では、北海道におけるバイオガスプラント導入農場における敷料利用の実態を調査し、分離固分の利用可能量、分離固分の敷料利用時の問題点を把握した。

第 III 章では、分離固分の敷料調製時の大腸菌消長から、適切な調製法について明らかにした。

第 IV 章では、第 III 章と同じ酪農場において敷料利用時の牛床敷料の大腸菌消長と牛舎内環境が敷料の大腸菌消長に及ぼす影響、敷料の水分、牛床利用と大腸菌数の関係について明らかにした。

第 V 章では、おがくず、もみがら、麦稈といった一般敷料の利用農場における季節的な大腸菌消長について調査し、これらと分離固分敷料を比較することでその特徴を示し、総合考察として敷料資材としての分離固分敷料の位置づけ、および利用時の技術的留意点を明らかにした。

第 VI 章では、本研究の成果を総括し、今後の課題を述べた。

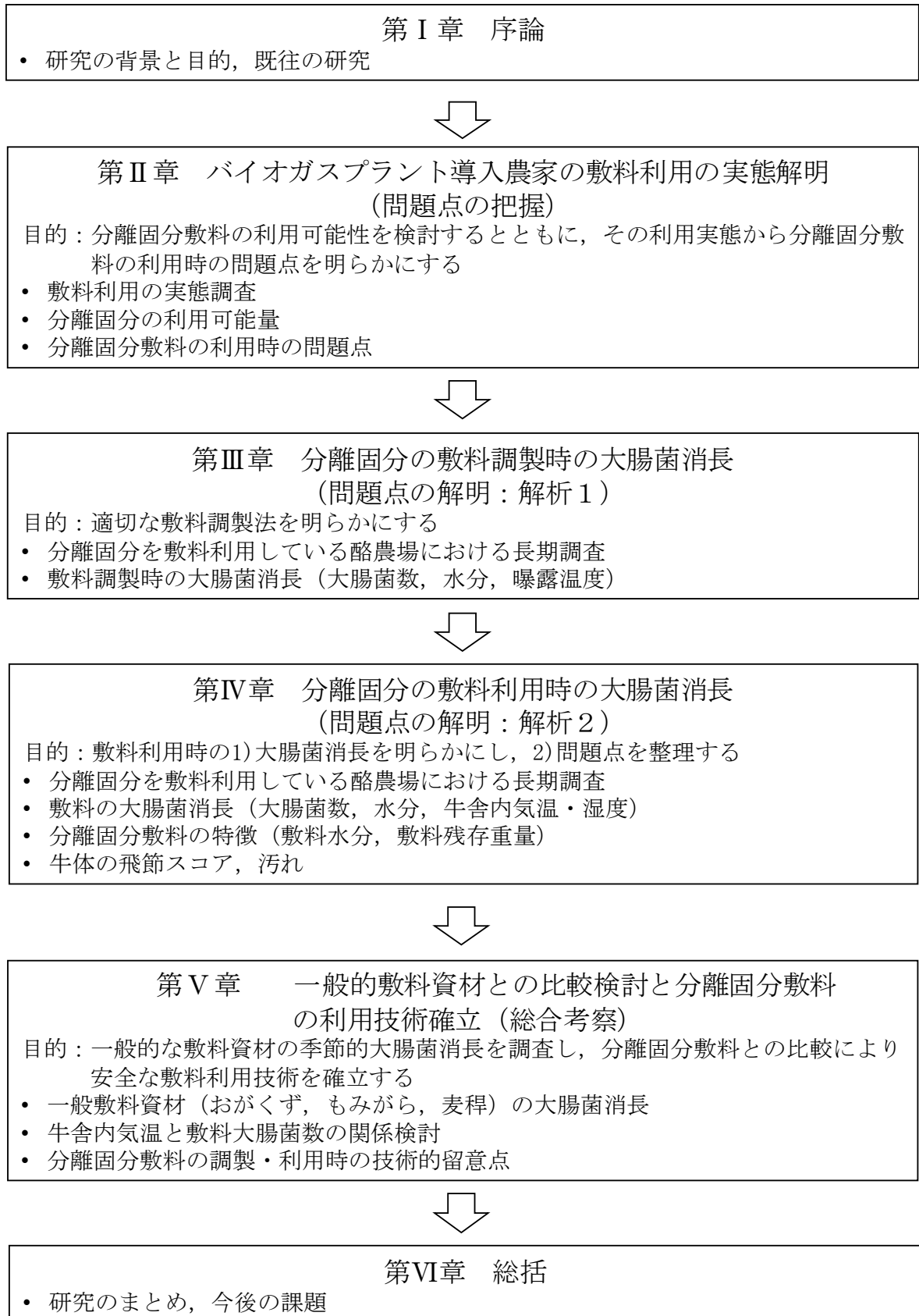


図 1.1 本論文の構成

## 第Ⅱ章 バイオガスプラント導入農家の敷料利用の実態解明

### 1. 緒言

近年、乳牛ふん尿のメタン発酵消化液分離固分がフリーストール牛舎の敷料に利用されるようになった。分離固分は発酵残さであることから、敷料利用できれば、資源循環を構築し敷料購入費を削減できるため、メタン発酵施設の導入効果として注目されている。しかし、敷料は乳房に接する頻度が高いため、ふん尿由来の分離固分を敷料に利用することによる乳房炎発症リスクが高まる可能性も考えられる。

そこで、本章では全道のバイオガスプラント導入農場における分離固分敷料の利用可能性と、敷料利用実態調査から、分離固分敷料の利用方法とその問題点を明らかにする。

### 2. 材料と方法

#### 1) プラントの特徴

プラントの概要は諸元と運転状況を調査し、発酵状況は原料スラリーと消化液を採取し、乾物重量と有機物重量を求めた。乾物重量は105℃、24h乾燥後の残さとし、有機物重量は600℃、12hの損失分とした。乾物重量＝有機物重量＋灰分である。試料採取は2017年6～11月に1回実施した。調査したプラントは24戸であり、株式会

社土谷特殊農機具製作所（本社：北海道帯広市）の施工によるものである。稼働状況は有機物負荷で、発酵状況は有機物量、その減少割合で示した。有機物負荷は、北海道バイオガス研究会監修（2002）を参考に次の式で求めた。

$$\begin{aligned} \text{有機物負荷 (kgVS/m}^3 \cdot \text{日)} &= \\ &= \frac{\text{1日当たりの投入原料 (kg/日)} \times \text{有機物濃度 (\%)} \times 0.01}{\text{発酵槽有効容量 (m}^3\text{)}} \end{aligned}$$

現地のプラントでは、原料投入は投入ピットが1箇所ではなく、複数の牛舎からのものもみられた。この場合、各牛舎の投入量が不明であったため、原料の採取は各プラント1箇所とした。また、ふん尿だけではなく長わらや収穫残さが混入する場合もあり、原料の採取が困難な場合にはこれらを除去した。消化液については、発酵槽からの排出液を直接採取したが、排出液を直接採取できない場合は消化液ピットから貯留している消化液を採取した。消化液ピットではスカムが発生している例もあったため、これを除いて採取した。

## 2) 敷料の種類と大腸菌数

バイオガスプラント調査にあわせて実施した。調査項目は敷料の

種類，分離固分の敷料利用状況（調製方法，混合資材），分離直後固分，分離固分堆積内部，敷料の大腸菌，水分および近傍 AMeDAS の気温であった．

農場 No.1，2 の分離固分については固液分離直後のものと切り返し処理しているものからそれぞれビニル袋に採取し，密封した．農場 No.1 では切り返し処理している 5 つ目の堆積物から採取した．

### 3) 計測・分析方法

大腸菌数の測定にはコンパクトドライ「ニッスイ」EC（日水製薬株）を用いた（35℃，24h 培養）．水分は試料を乾燥機で 105℃ 24h 法で測定した．

### 3. 結果と考察

#### 1) プラントの特徴

表 2.1～2.3 にバイオガスプラントの概要を示した。バイオガスプラントの運転開始日は 2012～2017 年であった。発酵温度は全て中温発酵（35～36℃：2 戸， 37～38℃：1 戸， 約 40℃：16 戸， 42℃：1 戸）であった。頭数規模（成牛）は 100～499 頭：12 戸， 500～999 頭：9 戸， 1000 頭以上：2 戸であった。

固液分離機を導入している農場は 21 戸あり，その内，分離固分を敷料利用している農場は 10 戸であった。また，固液分離機の導入実態をメーカーから聞き取りしたところ，固液分離機を導入している農場は 2018 年 12 月現在で，表 2.1 に記載した他に 29 プラント中 17 戸あった。

表 2.2 から，設計滞留日数は 35～40 日であった。しかし，実滞留日数（発酵槽容量÷実日投入量）は，20 日未満が 4 戸，20 日以上 25 日未満が 3 戸，25 日以上 40 日未満が 7 戸であった。これは，建設後，頭数が増加したにもかかわらず，発酵槽容量が増えていないことを示している。

表 2.3 から，原料の水分は，平均 92.18%，地域別では，根釧地域が 93.46%と高く，十勝が 91.28%と低かった。消化液の水分は，平均 94.25%であった。

表 2.1 バイオガスプラントの概要 ( 1 )

農場 No.	市町村	調査月日	成牛頭数 (頭)	プラント 稼働日	発酵温度 (℃)	発酵槽規模				滞留日数 (日)	ガス バッグ	発電機	固液 分離 ○：有		
						径 (m)	高さ (m)	基数	計算値 高さ：4.4m 容量					発酵槽 容量	発酵槽 容量1)
1	江別市	2017/6/15	430	2015年11月	40	22.5	6	1	1749	1709	1709	32	290	150kW-1	○
2	北広島市	-	-	2017年6月	-	21	6	1	1523	1523	1523	-	-	100kW-1	○
3	八雲町	2017/8/7	400	2014年11月	40	-	-	-	-	1985	1985	40	295	150kW-1	○
4	八雲町	2017/8/7	550	2014年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75kW-2 50kW-1	○
5	八雲町	2017/8/7	240	2017年6月	40	22	6	1	1672	1672	1672	35-40	295	150kW-1	○
6	士幌町	2017/9/1	171	2017年4月	42	21	6	1	1523	1524	1523	-	290	150kW-1	○
7	士幌町	2017/9/1	850	2015年4月	40	20	6	2	2763	1382	1382	-	280	150kW-2	○
8	士幌町	2017/9/1	400	2016年4月	40	20	6	1	1382	1382	1382	-	290	150kW-1	○
9	士幌町	2017/9/1	220	2016年4月	40	16.5	6	1	940	940	940	-	200	100kW-1	○
10	新得町	2017/9/2	700	-	40	21	6	2	3046	3046	3046	-	300*2	150kW-2	○
11	音更町	2017/10/16	280	2016年6月	40	22	6	1	1672	1672	1672	-	290	75kW-2	○
12	大樹町	2017/10/17	620	2014年	35.5	-	-	-	-	2073	2073	-	300	150kW-1	○
13	大樹町	2017/10/17	1100	2012年	1槽34.6 2槽40.3	-	-	2	-	3960	3960	-	300*2	150kW-2	○
14	広尾町	2017/10/17	200	2015年1月	-	20	6	1	1382	1413	1413	-	-	100kW-1	○
15	清水町	2017/10/17	1600	2016年11月	40	26	6	4	9340	9340	9340	-	-	375kW*2	○
16	弟子屈	2017/10/31	138	2012年	40.8	14	6	1	677	677	677	35	100	50kW-1	○
17	別海町	2017/10/31	500	2014年春	37~38	19.5	6	1	1313	1340	1340	35	200	100kW-1	○
18	別海町	2017/10/31	270	2017年8月	40	24	6	1	1990	1990	1990	-	-	150kW-1	○
19	別海町	2017/10/31	500	2014年	40	24	6	1	1990	1985	1985	-	-	150kW-1	○
20	標茶町	2017/11/1	280	2013年2月	40	15	6	1	777	777	777	-	100	50kW*1	○
21	下川町	2017/11/6	290	2015年10月	40	19	6	1	1247	1250	1250	-	200	100kW-1	○
22	西興部村	2017/11/6	700	2016年12月	40	27	6	1	2518	2518	2518	-	295	150kW-2	○
23	興部町	2017/11/6	650	2015年7月	40.5	24.5	6	1	2073	2100	2100	-	295	150kW-2	○
24	湧別町	2017/11/6	650	2013年5月	39.6	24	6	1	1990	1985	1985	-	-	150kW-2	○

1) 総容量が不明の場合は、有効高さ4.4mとして算出した。

表 2.2 バイオガスプラントの概要 ( 2 )

農場 No.	市町村	プラント 稼働日	成牛 頭数 (頭)	平均 日投入量 (m <sup>3</sup> /日)	実滞留 日数 (日)	原料 水分 (%)	消化液 水分 (%)
1	江別市	2015/11/28	430	53.2	32.1	92.50	95.08
3	八雲町	2014/11/26	400	49.2	40.3	92.19	94.60
5	八雲町	2017/06/01	240	75.1	22.3	93.91	95.84
6	士幌町	2017/04/05	171	40.0	38.1	92.67	94.56
7	士幌町	2015/04/07	850	43.0	32.1	91.68	93.63
8	士幌町	2016/02/24	400	26.3	52.5	92.40	93.51
9	士幌町	2016年4月	220	55.2	17.0	91.66	93.74
10	新得町	2016/04/08	700	87.0	35.0	89.86	92.75
11	音更町	2016/06/14	280	41.5	40.3	91.27	94.29
12	大樹町	2014/02/27	620	83.9	24.7	89.74	91.89
13	大樹町	2013/01/30	1100	226.4	17.5	92.35	94.80
15	清水町	2017/04/11	1600	102.6	91.0	89.93	92.14
16	弟子屈	2013/02/18	138	-	-	95.28	96.86
17	別海町	2014/02/13	500	70.3	19.1	92.83	94.11
18	別海町	2017/07/20	270	43.0	46.3	93.69	95.12
19	別海町	2014/03/07	500	64.6	30.7	92.23	94.68
20	標茶町	2014/02/06	280	39.5	19.7	93.27	94.81
21	下川町	2015/10/15	290	29.7	42.2	91.54	94.49
22	西興部村	2016/11/01	700	70.1	35.9	91.83	94.20
23	興部町	2015/07/16	650	63.3	33.2	91.69	93.56
24	湧別町	2013/05/21	650	97.0	20.5	93.18	93.47



表 2.3 バイオガスプラントの概要 ( 3 )

地域	原料 水分 (%)	消化液 水分 (%)
道南	93.05	95.22
十勝	91.28	93.48
根釧	93.46	95.12
道北・オホーツク	92.06	93.93
全体	92.18	94.20

## 2) 分離固分の発生量

表 2.4 に固液分離機を導入している農場における分離固分発生量を示した。発生量は原料，消化液，消化液の固液分離液および分離固分の各水分から算出した。No.12 を除いた，分離固分を敷料利用している農場における成牛 1 頭当たりの分離固分発生量は 4.4～13.2kg/日と算出された。

表 2.4 分離固分の発生量

農家 No.	成牛 頭数 (頭)	消化液	分離液	固分	固分率	液分率	原料 投入量	分離固分発生量		充足率	敷料
		水分 A	水分 B	水分 C				Y×G	成牛1頭 当たり		
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(kg/日)	kg/頭・日	(%)	
12	620	91.89	92.08	69.53	99.16	0.84	83.9	707	1.1	16	おがくず+もみがら
17	500	94.11	95.37	70.81	94.87	5.13	70.3	3607	7.2	104	分離固分
18	270	95.12	96.48	63.56	95.87	4.13	43.0	1776	6.6	96	分離固分
19	500	94.68	95.48	71.84	96.62	3.38	64.6	2186	4.4	64	分離固分
20	280	94.81	96.11	72.02	94.60	5.40	39.5	2132	7.6	110	分離固分+おがくず
24	650	93.47	96.70	60.28	91.13	8.87	97.0	8603	13.2	191	分離固分+おがくず

分離前（消化液）の水分：A %

分離後の液分 水分：B %

分離後の固分 水分：C %

液分率 :  $X = (A - C) / (B - C)$

固分率 :  $Y = (B - A) / (B - C)$

分離固分発生量 :  $Y \times \text{原料投入量} \times 1000$

### 3) 有機物負荷と原料有機物

表 2.5 にバイオガスプラントの有機物濃度と有機物負荷を示した。図 2.1 は表 2.5 に示したバイオガスプラント（19 戸）における有機物負荷と原料有機物濃度を示した。有機物負荷は  $0.9 \sim 3.7 \text{ kg VS/m}^3 \cdot \text{日}$  であった。とくに、 $3.0 \text{ kg VS/m}^3 \cdot \text{日}$  以上の農場については、消化液戻しが行われていた。消化液戻しは、発酵槽での処理の負荷を軽減するために消化液を希釈液として原料槽に戻すことである。ばらつきが大きいのは、消化液の戻しや残渣の投入が行われていたためと考える。

図 2.2 に原料有機物濃度と有機物減少割合を示した。原料有機物濃度は  $5 \sim 9\%$ 、有機物減少割合は  $10 \sim 50\%$  であった。

表 2.5 バイオガスプラントの有機物濃度と有機物負荷

農場 No.	市町村	原料 固形分 濃度 (%)	原料 有機物濃度 (%)	有機物 負荷 kgVS/m <sup>3</sup> ・日
1	江別市	7.50	6.4	1.99
3	八雲町	7.81	6.4	1.59
5	八雲町	6.09	5.0	2.25
6	士幌町	7.33	5.8	1.52
7	士幌町	8.32	6.7	2.08
8	士幌町	7.60	5.7	1.08
9	士幌町	8.34	7.4	-
10	新得町	10.14	8.2	2.34
11	音更町	8.73	7.5	1.86
12	大樹町	10.26	8.6	3.48
13	大樹町	7.65	6.5	3.72
15	清水町	10.07	8.0	0.88
16	弟子屈	4.72	-	-
17	別海町	7.17	5.6	2.94
18	別海町	6.31	5.3	1.14
19	別海町	7.77	6.5	2.12
20	標茶町	6.73	5.6	2.85
21	下川町	8.46	6.7	1.59
22	西興部村	8.17	7.1	1.98
23	興部町	8.31	7.0	2.11
24	湧別町	6.82	5.9	2.88

1) 日投入量が不明のプラントは除く

$$\text{有機物負荷 (kgVS/m}^3\text{・日)} = \frac{\text{1日当たりの投入原料 (kg/日)} \times \text{有機物濃度 (\%)} \times 0.01}{\text{発酵槽有効容量 (m}^3\text{)}}$$

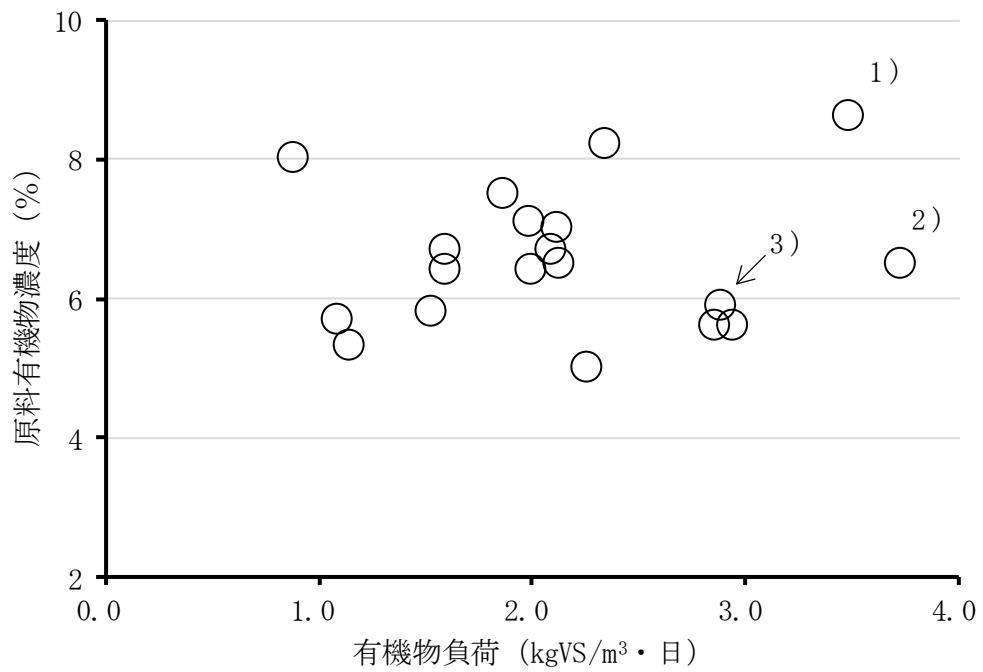


図 2.1 有機物負荷と原料有機物濃度の関係

- 1) : 消化液の戻し 39.4 m<sup>3</sup>/日を含む
- 2) : 消化液の戻し 24.0 m<sup>3</sup>/日を追加
- 3) : 残飼を 3~6t/日投入

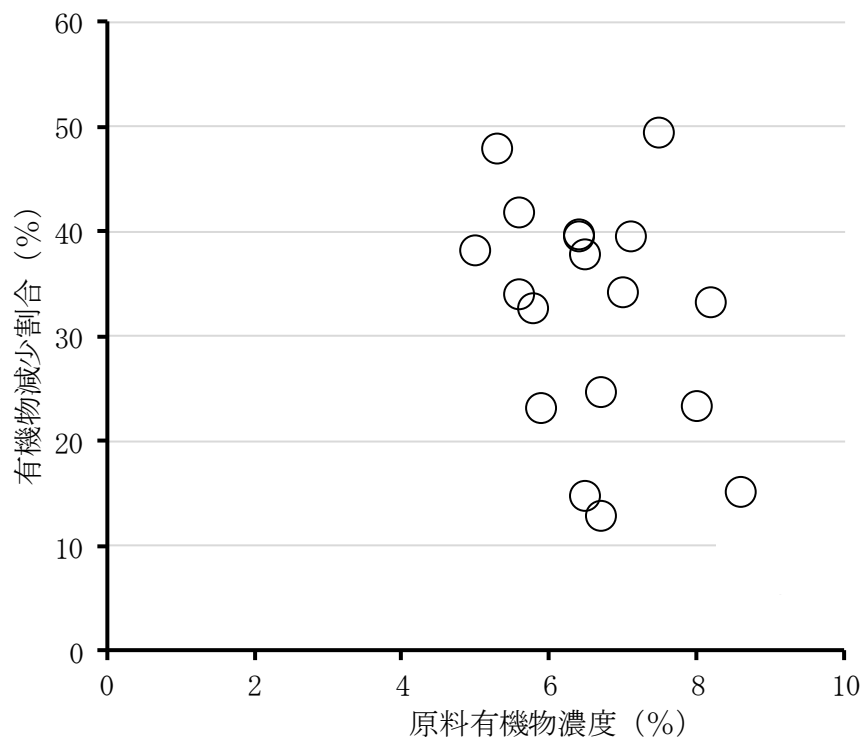


図 2.2 原料有機物濃度と有機物減少量割合の関係

#### 4) 敷料の種類と処理方法

表 2.6 に分離固分の敷料利用，大腸菌数および水分を，表 2.7 に敷料の種類，大腸菌数および水分をそれぞれ示した．敷料の種類別で見ると，消化液の分離固分が 10 戸，もみがらが 2 戸，おがくずが 2 戸，もみがら＋麦稈，おがくず＋消石灰，おがくず＋もみがら＋消石灰，おがくず＋紙，チップ，麦稈＋紙，無，不明が各 1 戸であった．農場 No.2 の敷料は調査対象としたロボット搾乳牛舎ではもみがら＋消石灰であった（12 回の調査中，2017 年 11 月 28 日だけ分離固分＋もみがら）．なお，分離固分をパーラー搾乳牛の敷料に利用していたため，敷料種類は分離固分＋もみがらとした．

分離固分を敷料利用している 10 戸の農場を調製方法，混合資材で分類すると，発酵処理が 3 戸，おがくず混合が 3 戸，かんなくず混合が 1 戸，混合物無しが 3 戸であった．発酵処理の方法は，No.4 は分離固分をヤード内に移動し 6 つの山に堆積，切り返し，No.6 は回転するドラム内で分離固分を堆肥化（クイックコンポスター，EYS 社，トルコ），No.2 は機械攪拌であった．

#### 5) 分離固分の水分と大腸菌数

分離固分の水分は No.6（機械処理後）と No.24（分離固分＋おがくず）を除いて 60～76%，大腸菌数は  $10^1 \sim 10^4$  CFU/g-wet であっ

た（堆肥化装置後，堆積固分内部を除く）．発酵処理後（No.4，6）  
と堆積固分内部（No.17，20）の試料は水分56～71％，大腸菌数は  
検出限界以下であった．



表 2.6 分離固分の敷料利用，大腸菌数および水分

農場 No.	市町村	調査月日	成牛 頭数 (頭)	固液分離機 ○：有	敷料種類	分離固分の大腸菌数と水分		
						大腸菌数 (CFU/g-wet)	水分 (%)	備考
1	江別市	17/06/30	430	○	おがくず	$1.64 \times 10^2$	75.60	
2	北広島市	17/06/29	-	○	分離固分+もみがら	$7.00 \times 10^2$	73.77	
3	八雲町	17/08/07	400	○	なし	-	-	
4	八雲町	17/08/07	550	○	分離固分	ND	65.52	堆積6山
						$4.45 \times 10^2$	67.98	
5	八雲町	17/08/07	240	○	おがくず	$1.39 \times 10^4$	75.71	
6	士幌町	17/09/01	171	○	分離固分	$1.06 \times 10^3$	61.58	
						ND	56.40	堆肥装置後
7	士幌町	17/09/01	850	○	もみがら+麦稈	$1.98 \times 10^2$	61.16	
8	士幌町	17/09/01	400	○	もみがら	$1.18 \times 10^4$	63.27	
9	士幌町	17/09/01	220	○	分離固分+かんなくず	$7.00 \times 10^1$	62.60	
10	新得町	17/09/02	700	○	もみがら	-	-	
11	音更町	17/10/16	280	○	麦稈	-	-	
12	大樹町	17/10/17	620	○	おがくず+もみがら	$1.27 \times 10^2$	69.53	
13	大樹町	17/10/17	1100	○	チップ	-	-	
14	広尾町	17/10/17	200	○	-	-	-	
15	清水町	17/10/17	1600	○	(肉牛)	-	-	
16	弟子屈町	17/10/31	138		麦稈+紙	-	-	
17	別海町	17/10/31	500	○	分離固分	$8.28 \times 10^3$	70.81	
						ND	67.11	堆積固分内部
18	別海町	17/10/31	270	○	分離固分	$1.18 \times 10^2$	63.56	
						$1.55 \times 10^4$	63.92	
19	別海町	17/10/31	500	○	分離固分	$1.10 \times 10^2$	71.84	
						$3.32 \times 10^2$	71.48	
20	標茶町	17/11/01	280	○	分離固分+おがくず	$5.23 \times 10^2$	72.02	
						ND	70.97	堆積固分内部
21	下川町	17/11/06	290		おがくず	-	-	
22	西興部村	17/11/06	700	○	分離固分+おがくず	$1.27 \times 10^2$	69.06	
23	興部町	17/11/06	650		おがくず+紙	-	-	
24	湧別町	17/11/06	650	○	分離固分+おがくず	$4.10 \times 10^2$	60.28	分離直後
						$1.80 \times 10^2$	37.00	分離固分+おがくず

1) ND : Not Detected

2) No. 2 の敷料は調査対象とした搾乳ロボット牛舎ではもみがら+消石灰  
パーラー搾乳牛舎の敷料は分離固分+もみがら

表 2.7 敷料種類，敷料利用時の大腸菌数および水分

農場 No.	市町村	調査月日	敷料種類	敷料		温度 (℃)	備考
				大腸菌数 (CFU/g-wet)	水分 (%)		
1	江別市	17/06/30	おがくず	$2.79 \times 10^5$	30.78	-	消石灰添加
2	北広島市	17/11/28	分離固分+もみがら	$8.94 \times 10^3$	50.29	0.7	機械攪拌
3	八雲町	17/08/07	なし	$2.29 \times 10^5$	40.15	21.1	牛床上の乾燥物
4	八雲町	17/08/07	分離固分	$2.38 \times 10^6$	53.26	21.1	分離固分、6山発酵後投入
5	八雲町	17/08/07	おがくず	$1.69 \times 10^5$	26.73	21.1	
6	士幌町	17/09/01	分離固分	$1.54 \times 10^5$ -	38.97	16.1	クイックコンポストで発酵処理
7	士幌町	17/09/01	もみがら+麦稈	$1.66 \times 10^5$	17.29	16.1	
8	士幌町	17/09/01	もみがら	$1.21 \times 10^6$	21.47	16.1	
9	士幌町	17/09/01	分離固分+かんなくず	$1.29 \times 10^7$	67.09	16.1	フリーバーンの試料
10	新得町	17/09/02	もみがら	$3.96 \times 10^4$	19.25	15.9	
11	音更町	17/10/16	麦稈	-	-	8.5	
12	大樹町	17/10/17	おがくず+もみがら	ND	27.80	5.4	消石灰添加，敷料交換直後採取
13	大樹町	17/10/17	チップ	$7.95 \times 10^4$	23.04	5.4	
14	広尾町	17/10/17	-	-	-	-	肉牛飼養農家を集糞
15	清水町	17/10/17	(肉牛)	-	-	-	
16	弟子屈町	17/10/31	麦稈+紙	$1.64 \times 10^5$	41.29	3.2	
17	別海町	17/10/31	分離固分	$1.00 \times 10^4$	42.85	4.3	分離後攪拌ほとんどなし
18	別海町	17/10/31	分離固分	$2.76 \times 10^4$	29.89	4.3	分離後攪拌ほとんどなし
19	別海町	17/10/31	分離固分	$1.25 \times 10^6$	54.94	4.3	分離後攪拌ほとんどなし
20	標茶町	17/11/01	分離固分+おがくず	$3.19 \times 10^5$	64.98	5.8	フリーバーンの試料
21	下川町	17/11/06	おがくず	$1.96 \times 10^3$	30.34	5.8	1日2回掃除後投入， 掃除直前の試料
22	西興部村	17/11/06	分離固分+おがくず	$6.61 \times 10^5$	68.41	5.8	フリーバーンの分娩房の試料
23	興部町	17/11/06	おがくず+紙	$4.25 \times 10^4$	39.59	6.9	
24	湧別町	17/11/06	分離固分+おがくず	$6.34 \times 10^5$	53.57	4.3	4日に1回敷料投入， 調査は3日目

1) ND: Not Detected

2) No. 2 の敷料は調査対象とした搾乳ロボット牛舎ではもみがら+消石灰  
12回の調査中，2017年11月28日だけ分離固分+もみがら

複数回の調査を実施した農場 No.1, 2 は、固液分離機を導入しており、分離固分を No.1 は搾乳牛ではなく育成牛の敷料に利用し、No.2 はフリーストール牛舎の搾乳牛の敷料に利用していた。

表 2.8 におがくずを利用した農場 No.1 の分離固分の大腸菌数と水分を示した。分離直後固分の水分は 61~77% で大腸菌数は  $10^2 \sim 10^4$ CFU/g-wet であった。堆積固分表層の水分は 70~77% で大腸菌数は  $10^2$ CFU/g-wet であり、堆積固分内部の水分は 63~75% で大腸菌数は検出限界以下であった。また、温度の高い箇所であっても、融雪水が混入していた固分は水分 77% で大腸菌数  $10^2$ CFU/g-wet であった。

表 2.9 にもみがらを利用した農場 No.2 の分離固分の大腸菌数と水分を示した。分離直後固分の水分は 70~75% で大腸菌数は  $10^1 \sim 10^2$ CFU/g-wet、堆積固分内部の水分は 51~75% で大腸菌数は検出限界以下であった。

以上から、分離固分の大腸菌数は  $10^1 \sim 10^4$ CFU/g-wet であり、第 IV 章 (p.45) で後述する酪農場 A ( $10^2 \sim 10^3$ CFU/g-wet) と同じレベルであったこと、また、堆積固分内部の温度の高い箇所では検出限界以下であり、酪農場 A における発酵処理による高温曝露後の結果と同じであることがわかった。

表 2.8 農場 No.1 の分離固分の大腸菌数と水分

調査日	分離固分		堆積部分		備考
	大腸菌数 CFU/g-wet	水分 (%)	大腸菌数 CFU/g-wet	水分 (%)	
2017/06/30	$1.64 \times 10^2$	75.60	$1.70 \times 10^2$	71.51	
2017/08/02	$2.76 \times 10^2$	76.63	$3.74 \times 10^2$	73.21	
2017/11/14	$4.70 \times 10^4$	73.13	ND	70.28	温度の高い部分
2017/12/05	$8.75 \times 10^2$	77.13	$8.39 \times 10^2$	76.88	温度の高い部分, 融雪水混入
2018/04/17	$1.93 \times 10^4$	72.21	ND	70.93	
2018/05/08	$2.50 \times 10^3$	71.85	ND	72.01	堆積内部
2018/06/05	$1.48 \times 10^4$	64.26	ND	63.16	堆積内部
2018/07/03	$4.38 \times 10^3$	73.00	ND	74.91	堆積内部
2018/07/24	$3.87 \times 10^3$	68.60	ND	68.04	堆積内部
2018/08/09	$1.09 \times 10^3$	61.21	ND	67.16	堆積内部

ND : Not Detected

おがくず+消石灰を敷料に利用

表 2.9 農場 No.2 の分離固分の大腸菌数と水分

調査日	分離固分		堆積固分 5山目		備考
	大腸菌数 CFU/g-wet	水分 (%)	大腸菌数 CFU/g-wet	水分 (%)	
2017/06/29	$7.00 \times 10^2$	73.77	-	-	
2017/08/02	$4.27 \times 10^2$	69.45	-	-	
2017/09/24	-	-	-	-	
2017/10/24	$5.00 \times 10^1$	74.66	ND	65.51	
	-	-	ND	66.38	
2017/11/28	-	-	ND	65.24	
	-	-	ND	55.73	
2018/04/19	-	-	ND	71.35	
	-	-	ND	74.81	
2018/05/10	-	-	ND	65.98	
	-	-	ND	69.84	
2018/06/07	-	-	ND	61.34	
	-	-	ND	63.44	
2018/07/09	-	-	ND	59.00	
	-	-	ND	61.45	堆積内部
2018/07/25	-	-	$1.38 \times 10^3$	54.90	堆積表面
	-	-	ND	51.94	
2018/07/31	-	-	ND	51.36	
	-	-	ND	58.34	堆積内部
2018/08/08	-	-	$7.75 \times 10$	64.34	堆積表面
	-	-			

ND : Not Detected

もみがら+消石灰を敷料に利用

## 6) 平均気温と牛床敷料の大腸菌数

図 2.3 に平均気温と牛床敷料の種類別の平均大腸菌数の関係を示した。平均気温は牛舎近傍の AMeDAS における前日から調査日までの 2 日間平均とした。平均気温が同じまたは低い温度でも大腸菌数にはばらつきがあり、これは、分離固分を発酵処理しているかなどの調製方法や敷料利用時の交換頻度の違いによると考える。

図 2.4 に平均気温と分離固分敷料の平均大腸菌数の関係を示した。No.4, 6 の農場では発酵処理（切り返し）後の分離固分を用いておりその大腸菌数は検出限界以下で、敷料利用後の大腸菌数は平均気温 16℃ のとき  $10^5$ CFU/g-wet で、21℃ のとき  $10^6$ CFU/g-wet を超えた。

これに対し、No.19, 20, 22, 24 の農場では分離固分は未処理で大腸菌数は  $10^2$ CFU/g-wet であった。敷料利用後の大腸菌数は No.19 では 4℃ でも  $10^6$ CFU/g-wet 以上であり、No.20, 22, 24 は 4～6℃ で  $10^5$ CFU/g-wet と高い値であった。とくに、No.24 は敷料交換が 4 日ごとで、試料は 3 日目の敷料であった。

以上から、平均気温の差が 10℃ 以上あるにもかかわらず敷料の大腸菌数が同じオーダーであった要因は分離固分を発酵処理しているかなどの調製方法や敷料利用時の交換頻度の違いであると考えられる。分離固分を敷料として安全に利用するためには、発酵処理により大腸菌を死滅させることなど、適切な処理・利用法を示す必要がある

ことが明らかとなった。

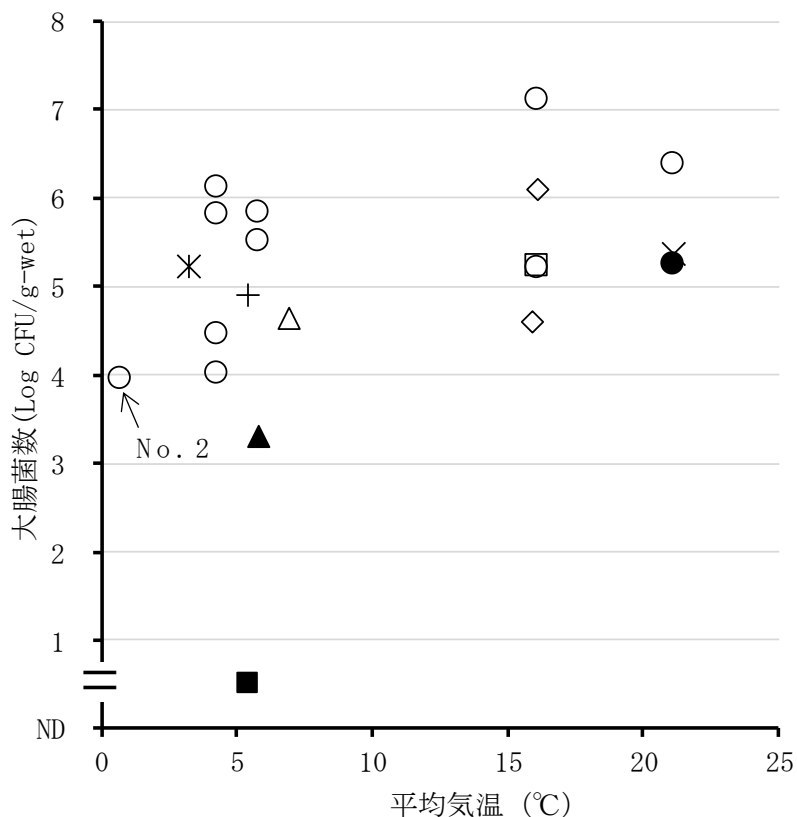


図 2.3 平均気温と牛床敷料の平均大腸菌数の関係

- 1) No. は表 2.7 の農場 No.
- 2) 大腸菌数は調査農場ごとの平均
- 3) 平均気温は調査農場の近傍 AMeDAS における前日から調査当日の 2 日間平均
- 4) No.2 の平均気温は牛舎内気温（12カ所の平均）の前日 17 時から調査日 09 時の平均

- 分離固分
- ◇もみがら
- もみがら+麦稈
- ▲おがくず
- おがくず+石灰
- おがくず+もみがら+消石灰
- △おがくず+紙
- +チップ
- \*麦稈+紙
- ×なし

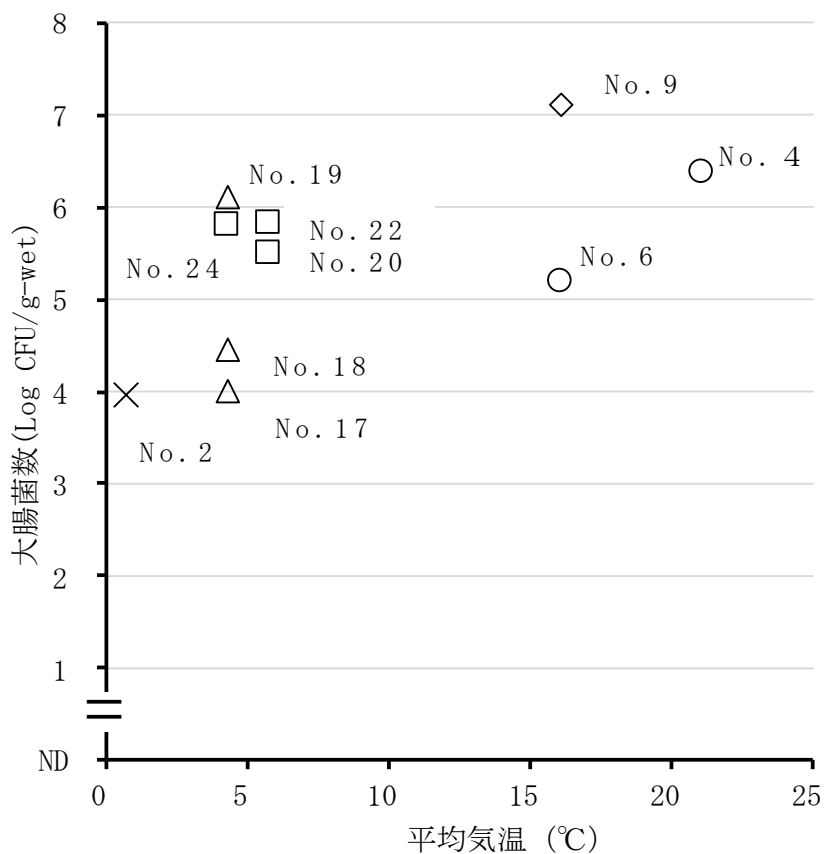


図 2.4 平均気温と分離固分敷料の平均大腸菌数の関係

- 1) No. は表 2.7 の農場 No.
- 2) 大腸菌数は調査農場ごとの平均
- 3) 平均気温は調査農場の近傍 AMeDAS における前日から調査当日の 2 日間平均
- 4) No.2 の平均気温は牛舎内気温（12カ所の平均）の前日 17 時から調査日 09 時の平均

- 分離固分（発酵処理）
- △分離固分だけ
- 分離固分+おがくず
- ◇分離固分+かんなくず
- ×分離固分（発酵処理）+もみがら

7) 牛床敷料の水分と大腸菌数

図 2.5 に牛床敷料の水分と大腸菌数の関係を敷料種類別に示した。大腸菌数は  $10^3 \sim 10^7$  CFU/g-wet であった。敷料の種類・水分と大腸菌数の間にはチップを除いて，有意な相関はなかった。おがくず+もみがら+消石灰は，消石灰の殺菌効果により大腸菌数が検出限界以下であった。

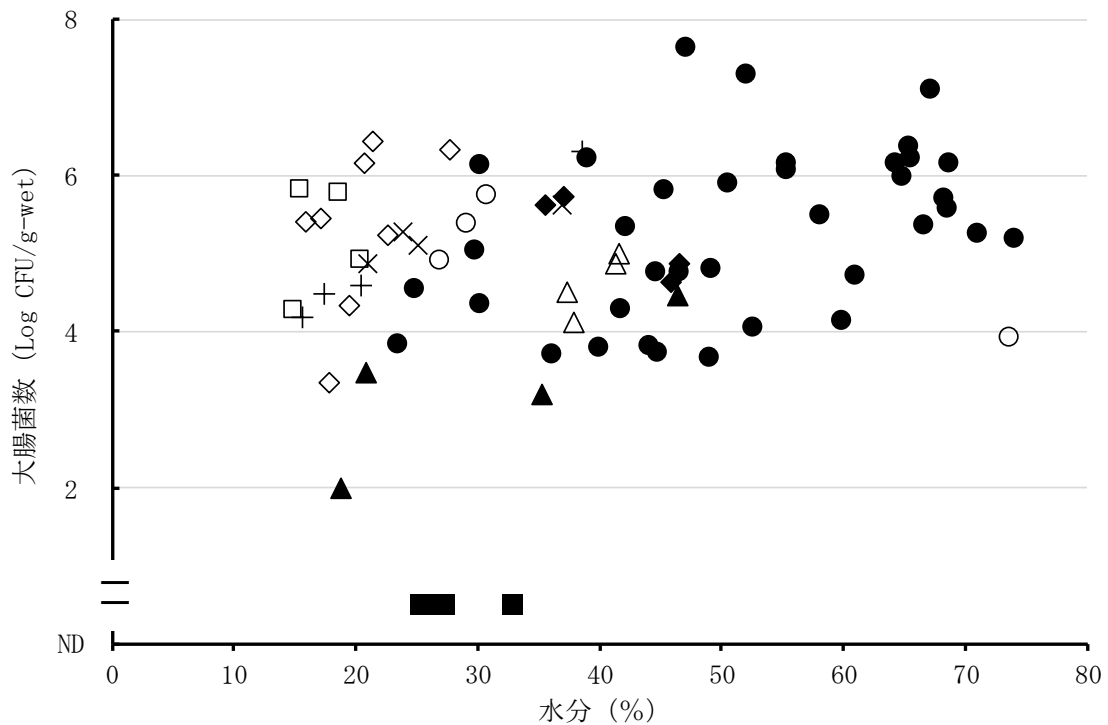


図 2.5 牛床敷料の水分と大腸菌数の関係

- 分離固分
- もみがら+麦稈
- おがくず+石灰
- △ おがくず+紙
- ◆ 麦稈+紙
- ◇ もみがら
- ▲ おがくず
- おがくず+もみがら+消石灰
- + チップ
- × なし

● : n = 37, $R^2 = 0.168$ , $p = 0.012$ ,	◇ : n = 8, $R^2 = 0.248$ , $p = 0.209$
□ : n = 4, $R^2 = 0.030$ , $p = 0.827$ ,	▲ : n = 4, $R^2 = 0.633$ , $p = 0.205$
○ : n = 4, $R^2 = 0.747$ , $p = 0.135$ ,	△ : n = 4, $R^2 = 0.744$ , $p = 0.137$
+ : n = 4, $R^2 = 0.994$ , $p = 0.003$ ,	◆ : n = 4, $R^2 = 0.915$ , $p = 0.044$
× : n = 4, $R^2 = 0.845$ , $p = 0.081$	



#### 4. 小括

第Ⅱ章では、同一メーカーにより設計・施工されたバイオガスプラントの施設概要、発酵状況などの実態を調査し、分離固分の発生量を算出した。このうち、分離固分を敷料利用している10戸について、分離固分・敷料の大腸菌数と処理方法、気温との関係を検討した。また、分離固分を育成牛やパーラ搾乳牛の敷料に利用している2戸について、分離固分の処理方法と大腸菌数との関係を検討した。

バイオガスプラントの運転開始日は2012～2017年で、発酵温度は全て中温発酵であった。原料の水分は平均92.02%、消化液の水分は平均94.25%であった。建設後、飼養頭数の増加にもかかわらず、発酵槽容量が増加していないことがわかった。

有機物負荷は、 $0.9\sim 3.7\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ で、消化液の戻しや残渣の投入が行われていたためばらつきが大きいと考える。

消化液、分離固分、分離液の水分から算出した分離固分発生量は $4\sim 13\text{kg}/\text{日}\cdot\text{頭}$ であった。

調査24プラントのうち固液分離機を導入している農場は21戸あり、このうち分離固分を敷料利用している農場は10戸であった。敷料投入前に発酵処理をしている農場が3戸、おがくずと混合が3戸、かんなくずと混合が1戸、無処理利用が3戸であった。

分離直後固分の水分は60～76%、大腸菌数は $10^1\sim 10^4\text{CFU}/\text{g-wet}$

であった。発酵処理後と堆積固分内部の試料の水分は 66～71%，大腸菌数は検出限界以下であり，発酵処理は分離固分の大腸菌除去に有効であると考えられる。また，農場 No.1，2 における数回にわたる試料採取では分離直後固分の大腸菌数は  $10^1 \sim 10^4$ CFU/g-wet で，堆積内部，温度の高い箇所では検出限界以下であり，いずれも酪農場 A における調査結果と同じであった。

調査農場全体の敷料の大腸菌数は  $10^3 \sim 10^7$ CFU/g-wet であった。敷料水分と大腸菌数の間には相関はなかった。平均気温と牛床敷料の平均大腸菌数の関係では，敷料の種類，調製方法，交換頻度の違いにより，同じまたは低い温度でも大腸菌数にばらつきがみられた。発酵処理（切り返し）後に牛床に投入された敷料の大腸菌数は，平均気温 16℃ のとき  $10^5$ CFU/g-wet，21℃ のとき  $10^6$ CFU/g-wet 以上であった。これに対し，切り返しをしていない場合は 4℃ でも  $10^6$ CFU/g-wet 以上で，4～6℃ では  $10^5$ CFU/g-wet であった。

以上から，分離固分を発酵処理しているかなどの調製方法や敷料利用時の交換頻度の違いが，平均気温の差が 10℃ 以上あるにもかかわらず敷料の大腸菌数が同じオーダーであった要因と考えられ，分離固分を敷料として安全に利用するためには，あらかじめ発酵処理などにより大腸菌を死滅させる処理が重要であることが明らかとなった。

### 第Ⅲ章 分離固分の敷料調製時の大腸菌消長

#### 1. 緒言

第Ⅱ章での検討から，分離固分を敷料として安全に利用するためには，あらかじめ発酵処理などにより大腸菌を死滅させる必要があることが明らかとなった．

病原性微生物を除去するためには，55℃以上を3日間以上持続させること（USEPA，1994）や，堆肥化処理過程の温度が60℃前後に上昇すると直接培養では大腸菌群は検出されなくなった（渡辺ら，1998）とされている．また，Okamotoら（2018）によると消化液の分離固分については，投入前に数回の切り返しを行うことで大腸菌が検出限界程度まで減少しているとされる．しかし，夏冬数回の試料採取による分析結果で，長期の安定した調製法は示されていない．

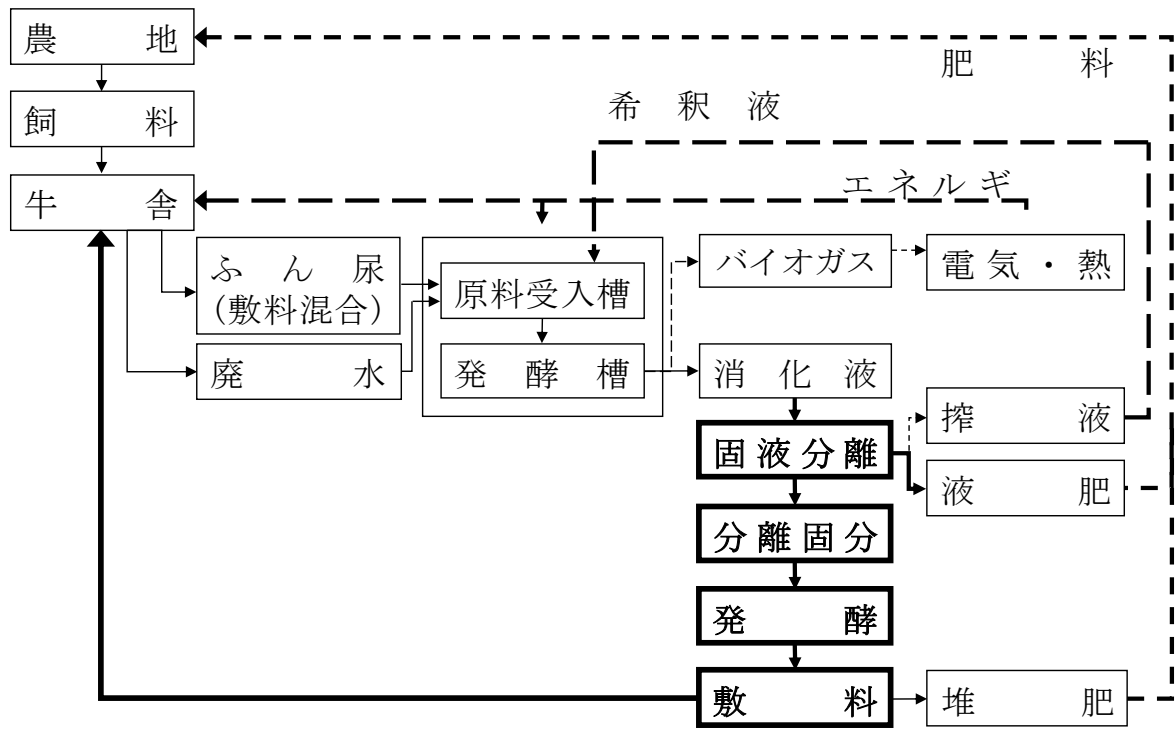
そこで，本章では，分離固分を安全な代替敷料として利用するための調製方法を明らかにするために，分離固分を敷料利用している酪農場において約24カ月の長期調査を実施し，敷料調製方法とその過程における分離固分の温度状況確認と，衛生状態について大腸菌数を指標に評価し，適切な敷料調製法を明らかにする．

## 2. 材料と方法

### 1) 調査酪農場における敷料調製および管理方法

調査は江別市の酪農場 A において実施した。調査時の敷料調製作業および牛床管理作業は次のとおりであった。

図 3.1 に酪農場 A のふん尿処理フローと施設、設備を、図 3.2 に敷料調製過程を、図 3.3 に敷料調製過程の分離固分、牛床敷料をそれぞれ示した。供試した分離固分は中温発酵（設計温度 42℃）後の消化液をスクリープレス式固液分離機（SEPCOM 065, WAMGROUP, Ponte Motta, Italy）で分離したものであった。固液分離後、分離機直下で 2 日間堆積し、その後ヤード内に移動し 2 日ごとに合計 4 回切り返し（合計 8～10 日間堆積）後、牛舎の敷料に利用していた。移動・切り返し時に用いたホイールローダは牛床資材専用であった。固液分離後の搾液は、一部をメタン発酵原料槽の希釈液に利用し、残りは貯留後に液肥として農地散布した。



a) プラント全景  
b) 固液分離機

図 3.1 酪農場 A のふん尿処理フローと施設，設備

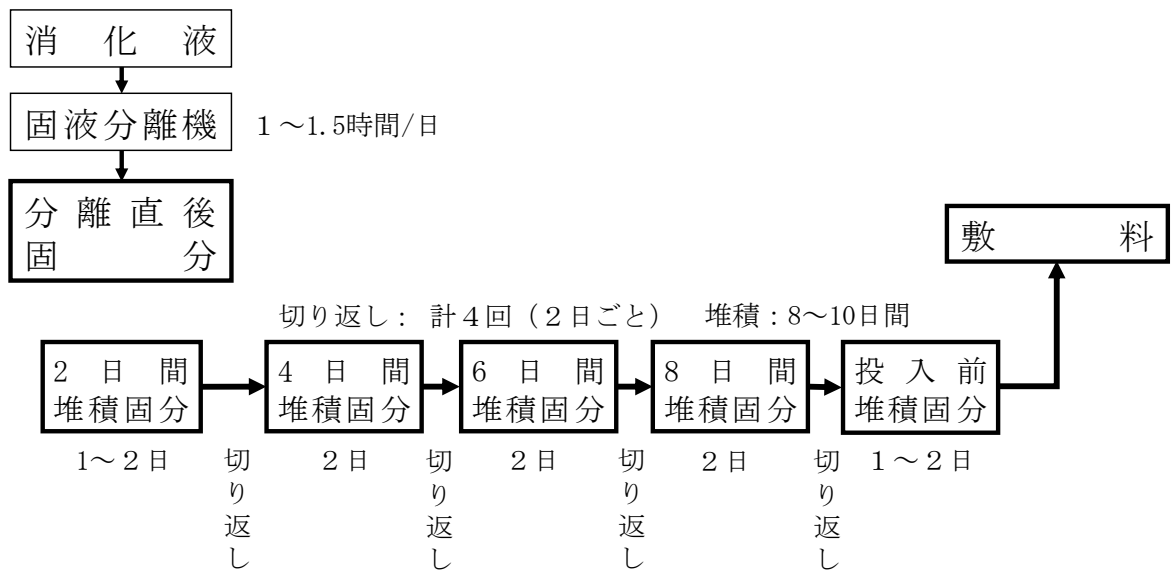


図 3.2 酪農場 A の敷料調製過程



図 3.3 酪農場 A の敷料調製過程の分離固分，牛床敷料

- a) 2日間堆積固分（堆積 1～2日分）
- b) 手前から 4日間堆積固分，6日間堆積固分，8日間堆積固分，投入前堆積固分
- c) 切り返し：2日ごと
- d) 牛床の敷料

## 2) 敷料調製過程の調査

調査は 2016 年 9 月 16 日～2018 年 9 月 15 日，2～4 週間ごとに 1 回実施した．試料採取した堆積固分の名称は，図 3.2 に示したように分離直後を分離直後固分とし，その後の堆積を 2 日間堆積固分，ヤード内に移動後の堆積をそれぞれ 4 日間，6 日間，8 日間および投入前堆積固分とした．

調査項目は分離直後固分～8 日間堆積固分の水分，大腸菌数，温度（分離直後固分は除く），外気温であった．試料採取は，分離直後固分は固液分離機稼働 20 分以上経過後に排出直後を分離機排出口から，2 日間堆積固分～8 日間堆積固分は専用ホイールローダで攪拌後，堆積固分の表面下 20～30cm の部位から，それぞれ 100～500g をビニル袋に採取し密封した．

## 3) 計測・分析方法

### (1) 大腸菌数

大腸菌は，菌数の分析が容易であることに加え，1)糞便中に安定した個体数で排出されている，2)国内外での環境関連法の衛生面における規制対象となっていることから，本研究では，敷料の衛生指標に大腸菌を用いた．

大腸菌数は，クロモカルト・コリフォーム寒天培地 ES (Merck)

で、希釈平板法により測定した。2017年8月以降は、コンパクトドライ「ニッスイ」EC（日水製薬㈱）を用いた。日本土壌協会（2010年版）を参考に、1平板に20～200個のコロニーが発生した希釈段階のサンプルについて計測した。平均大腸菌数は調査日ごとの調査牛床の平均である。

## （2）温度

固分の温度は堆積表層から約50 cmの位置を、サーミスタ（TR-5106, ㈱ティアンドデイ）で測定し、データロガー（RTR-502, ㈱ティアンドデイ）に10分間隔で記録した。外気温は高さ2 mの位置を小型百葉箱内で、サーミスタ（TR-3310, ㈱ティアンドデイ）で測定し、データロガー（RTR-503, ㈱ティアンドデイ）に10分間隔で記録した。

## （3）水分

20～250 gの試料を乾燥機で105℃ 24h法で測定した。



### 3. 結果と考察

#### 1) 敷料調製過程における分離固分の温度推移と大腸菌数

表 3.1 に敷料調製過程における分離固分の水分，大腸菌数と 55℃ 以上の持続時間を示した．分離直後固分の水分は 74.6～82.1%，8 日間堆積固分は 76.3～80.8% であった．大腸菌数は分離直後固分は  $2.3 \times 10^2 \sim 8.8 \times 10^3$  CFU/g-wet であったが，4 日間堆積固分，6 日間堆積固分は検出限界以下，8 日間堆積固分は 41 試料中 8 試料を除き 33 試料が検出限界以下であった．この 8 試料の大腸菌数は 7 試料が  $2 \times 10^2$  CFU/g-wet 未満，1 試料が  $2.3 \times 10^2$  CFU/g-wet で，堆積場内の未発酵固分の混入あるいは移動用バケットの汚染などが考えられる．外部からの汚染を最小限にするためにホイールローダを移動・切り返し専用にしたことにより，汚染が 41 試料中 8 試料に抑えられたと考えられることから，移動による汚染を抑制するためには作業機械の専用化が重要であると考えられる．

ほとんどの試料について 8 日間の堆積期間中に 55℃ 以上を延べ 100h 以上持続していた．

図 3.4 に夏期（2017 年 6 月 28 日から 7 月 6 日）の敷料調製過程における分離固分の温度推移を示した．外気温は 10～30℃ であった．堆積固分の温度は切り返しごとに直後に上昇し 2 日間堆積固分は 45～55℃，4 日間～8 日間堆積固分は 55～80℃ で推移した．この間，

55℃以上を最長約47h持続し、55℃維持時間は7～8日間で120h以上であった。

図3.5に冬期（2017年1月11日から1月20日）の敷料調製過程における分離固分の温度推移を示した。外気温は1月13日から15日の3日連続で最低気温-16℃以下であった。分離固分の温度は切り返しごとに直後に上昇し55～70℃で推移した。夏期に比べ最高温度は約10℃低下したが、調製期間では、55℃以上を最長47h持続し、55℃維持時間は7～8日間で130h以上であった。冬期間は2日間堆積固分の堆積する建屋1階の扉を閉めたことで外気温の影響が抑えられ、2日間堆積固分の温度は、夏期45～55℃に比べて40～60℃と低下することなく推移し55℃以上の時間を確保できたと考える。これらのことから、低温となる冬期間は分離固分の堆積場所の扉を閉めるなどの保温対策により堆積温度の維持を図ることが重要である。

一般に、スクリープレス式の固液分離機では、固液分離後の固分が低水分、膨軟になるといわれている。固分は、膨軟になると通気性が良くなるため、微生物の活性が高くなることで固分の堆積温度が高く維持するといわれている。本調査では分離固分の通気性の指標である容積重を測定していないが、スクリープレス式固液分離機の特徴から、その利用は分離固分の堆積温度の維持に有効であ

ったと考える。

## 2) 敷料調製過程における留意点

このように、①スクリュープレス式の固液分離機を用い、②分離固分の堆積温度が高い状態での数回にわたる全量移動・切り返しを行い、③専用のホイールローダによる移動・切り返しをすること、④分離固分堆積場所の扉を閉めるなど冬期間の保温対策、により牛床投入前の8日間堆積固分の大腸菌数は検出限界以下を維持できていた。これら①～④は分離固分の敷料調製法として重要な項目である。



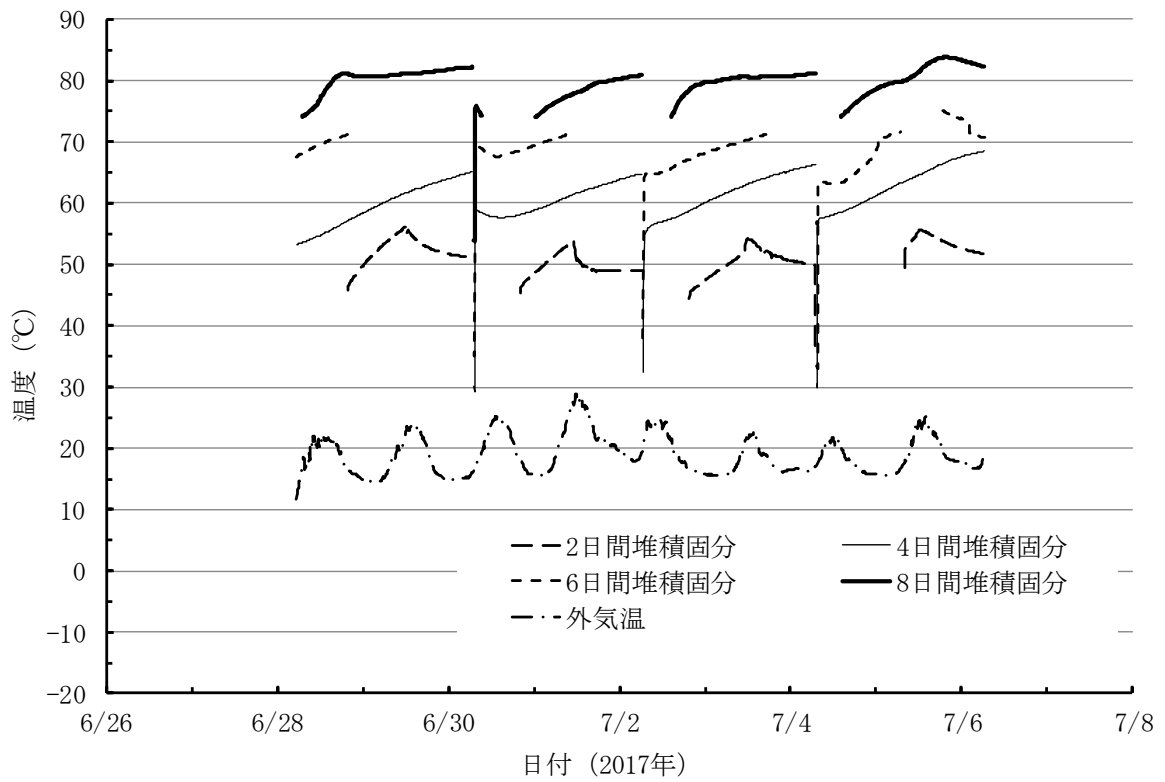


図 3.4 夏期の敷料調製過程における分離固分の温度推移

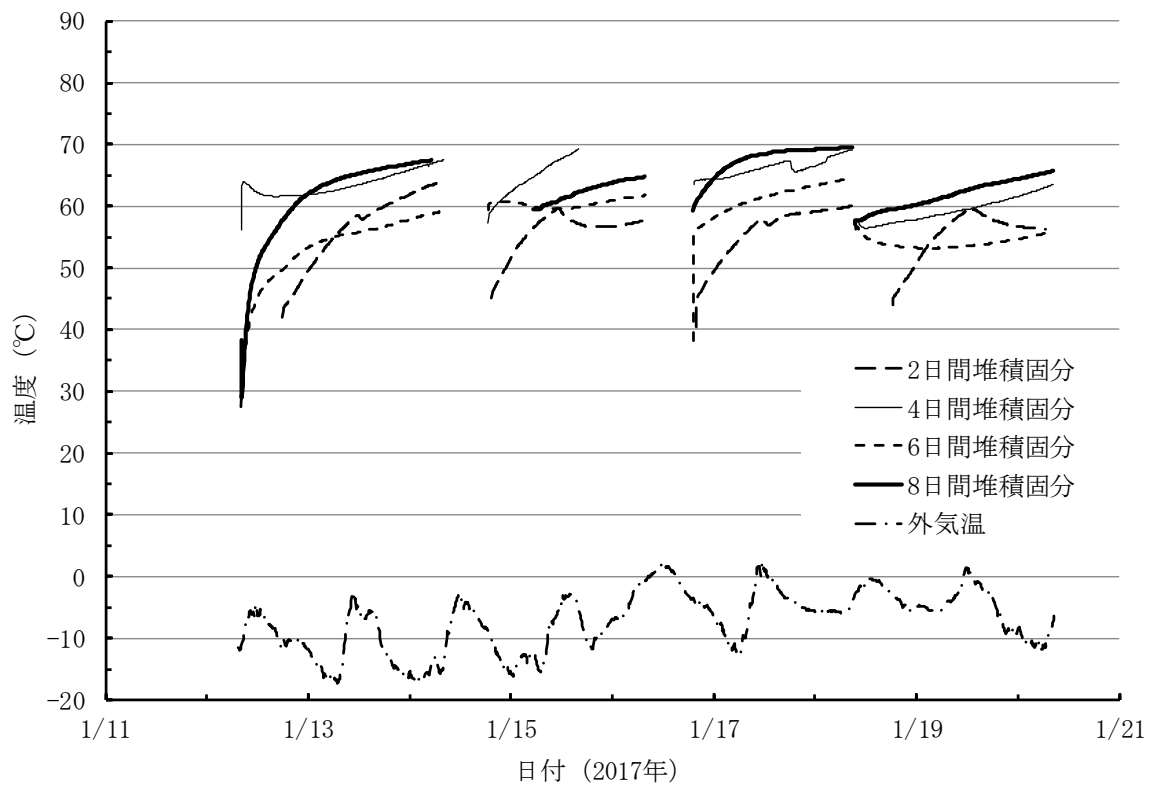


図 3.5 冬期の敷料調製過程における分離固分の温度推移

#### 4. 小括

分離固分を敷料利用している酪農場において敷料調製過程の分離固分の衛生状態について大腸菌を指標に評価した。

分離直後固分の水分は 74.6～82.1%，8 日間堆積固分は 76.3～80.8%であった。

2 日ごとの切り返しにより分離固分の堆積中の温度は夏期 45～80℃，冬期 40～70℃で推移し，年間を通して 4 回目の切り返し前までに 55℃以上を延べ 100 h 以上持続した。大腸菌数は分離直後の  $10^2 \sim 10^3$  CFU/g-wet から牛床投入前には試料の 8 割以上が検出限界以下まで減少した。以上から，分離固分の好気性発酵は，敷料の大腸菌除去に有効であることがわかった。

敷料調製過程の留意点は，55℃以上を維持するために分離固分の堆積温度が高い状態で専用のホイールローダによる数回にわたる全量移動・切り返しを行うことである。ホイールローダを切り返し専用とすることにより，外部からの汚染を最小限にすることができる。分離固分堆積場所の扉を閉めるなど冬期間の保温対策を行うことである。

## 第IV章 分離固分の敷料利用時の大腸菌消長

### 1. 緒言

大腸菌を好気発酵により検出限界以下まで低下させた分離固分の敷料としての安全性と適性を明らかにするために、第III章で調製した大腸菌数が検出限界以下となった分離固分を敷料として利用した場合の大腸菌消長について、約18カ月の長期調査から、季節(気温)の違いによる特徴、水分による影響、乳牛行動(牛床利用時間割合、牛床への出入り回数)による差異などを分析・検討し、分離固分敷料の特性と利用時の問題点を明らかにする。

### 2. 材料と方法

#### 1) 調査酪農場における敷料利用および牛床管理方法

調査時の敷料調製作業と牛床管理作業は次のとおりであった。敷料は毎日、夕方の搾乳時に敷料散布機で牛床に投入されており、投入量は敷料散布機(V-COMFORT 1700, BvLGROUP, Emsbüren, Germany)のバケット容量から求めると約6m<sup>3</sup>であった。牛床には毎日夕方(18時頃)に敷料を投入し、朝の搾乳時、夕方の敷料投入前にふんと牛床後端約50cmの範囲の敷料を除去した。朝だけブリケット部材(牛床前方に設置し横臥時に牛が前に出過ぎるのを防ぐ部材)前の一部と牛床前方の敷料を後方に移動し均した。



## 2) 敷料利用過程の調査

### (1) 連続調査

連続調査は2017年4月27～28日に壁側2列と同年5月15～16日に中央2列を対象に、2018年3月20～21日、8月22～23日にそれぞれ4列を対象に実施した。調査では、4列の牛床から各列1牛床を設定し、ふん塊を除去後、牛床後部90cmの範囲の敷料を採取した。敷料投入時に調査牛床と隣接牛床上の汚れが投入敷料に及ぼす影響を除くために、敷料投入前には、調査牛床とその両隣の計3牛床を対象にブリスケット部材後方の敷料とふん塊をすべて除去した。試料採取は新しい敷料投入後約2h、翌日朝の清掃前・後、清掃後約2h、6h、夕方の新しい敷料投入前をそれぞれ目安に6回実施した。2018年3月と8月の調査時の試料採取は朝の清掃後2h、6hを除く4回実施した。測定項目は敷料の水分・大腸菌数、牛舎内気温であった。

### (2) 定期調査

定期調査は2017年3月3日～2018年9月15日、2～4週間ごとに1回実施した。調査では、4列の牛床から各列1～3牛床を設定し、ふん塊を除去後、牛床後部90cmの範囲の敷料を採取した。試料採取は夕方の新しい敷料投入前に実施した。測定項目は連続調査と同じであった。

### (3) 牛床利用状況調査

調査は、定期調査牛床を対象にタイムラプスカメラで1分ごとに撮影した。調査は、定期調査を実施した2017年6月9, 23日, 7月7日, 8月3, 17日, 9月5, 15日, 10月6日を対象とした。敷料投入後の牛床利用状況を判別可能な時間帯について10分ごとにまとめた。牛床利用時間割合を次の式で求めた。

$$\text{牛床利用時間割合 (\%)} = \text{牛床にいた時間} \div \text{調査時間} \times 100$$

また、牛床への出入り回数を調査した。

### (4) 敷料残存量調査

調査は定期調査牛床を対象に、2017年7月7日～2018年9月15日（2017年12月22日以降は後半分だけ実施）に実施した。試料採取は大腸菌・水分の試料採取直後に実施した。牛床前方はブリスケット部材から後98cmの範囲、牛床後方は牛床後端から90cmの範囲の残存敷料の重量を測定した。

### (5) 牛体汚れ調査

調査は酪農場Aとフリーストール牛舎で敷料に麦稈を利用している江別市内の酪農場Bで実施した。牛体や牛床の衛生状態の指標として、北海道総合研究機構根釧農業試験場（現 北海道総合研究機構酪農試験場）で実施した方法を参考に牛体の汚れを調査した。対象部位は蹄，脛，腿下，腿上，尻，腹，乳房側望，尾の8か所であ

る。判断基準はスコア 1：ふんによる汚れがほとんどない，スコア 2：ふんによる汚れが 5 割以上ある，の 2 段階とした。

(6) 飛節調査

調査は酪農場 A と B で牛体の汚れ調査と同時に実施した。牛床の快適性の指標として牛の飛節スコアを調査した。飛節スコアは表 4.1 に示す 5 段階を用いた。

表 4.1 飛節スコアの定義

		スコア				
		1	2	3	4	5
被毛	毛がなめらか	毛が少し荒れ、擦れている	毛が擦れ、抜けている			
地肌	毛で覆われ、地肌が見えない	うっすらと見える	地肌が 3 cm 以上露出している	地肌が 5 cm 以上露出している	地肌が 8 cm 以上広く露出している	
腫れ	腫れていない		うっすらと腫れている	ピンポン球程度の腫れがある	野球ボール以上の腫れがある	

### 3) 計測・分析方法

#### (1) 大腸菌数

大腸菌数は、クロモカルト・コリフォーム寒天培地 ES (Merck) で、希釈平板法により測定した。2017年8月以降は、コンパクトドライ「ニッスイ」EC (日水製薬㈱) を用いた。日本土壌協会 (2010) を参考に、1平板に20~200個のコロニーが発生した希釈段階のサンプルについて計測した。平均大腸菌数は調査日ごとの調査牛床の平均とした。

#### (2) 温度・湿度

牛舎内の気温と湿度は、牛舎内8カ所を温湿度センサー (TR-3310, 温度 (サーミスタ), 湿度 (高分子膜抵抗式), ㈱ティアンドデイ) で測定しデータロガー (RTR-503, ㈱ティアンドデイ) に10分間隔で記録した。牛舎内平均気温は、敷料調査を実施した牛床のある牛舎西側の4カ所の平均とした。

また、温度に湿度を加えた THI (Temperature - Humidity Index) を以下の式で算出した。

$$THI = 0.8T + 0.01RH (T - 14.4) + 46.4$$

T: 牛舎内気温 (°C), RH: 牛舎内相対湿度 (%)

#### (3) 水分

20~250g の試料を乾燥機で 105°C 24h 法で測定した。

### 3. 結果と考察

酪農場 A の牛舎は東西方向に配置された 300 床の中央給餌通路方式で、休息舎は通路を挟んで尻を向けあう尻合せのフリーストールが配置されている。牛床は長さ 240cm、幅 120cm であり、床材はコンクリート+ゴムマットであった。

乳牛による牛床平均利用時間は、乳牛行動を確認できた時間において出入り 1 回当たり約 2.2h であった。また、延べ 75 床の調査のうち敷料投入後から大腸菌試料採取まで一度も利用されなかった牛床は確認できた時間内で 2 床あった。

#### 1) 連続調査における大腸菌数変化

図 4.1~4.3 に牛床投入後の敷料の大腸菌数の推移を示した。牛舎内平均気温は、敷料投入時から翌日、夕方の試料採取時までの平均とした。

図 4.1 は 2017 年 4、5 月の調査結果である。敷料として投入前の 8 日間堆積固分の大腸菌数は検出限界以下であった。投入後から翌日夕方までの牛舎内平均気温は 4 月 27~28 日が 11.3℃、5 月 15~16 日が 10.5℃であった。敷料の大腸菌数は投入後 2~2.6h には  $10^2$  ~  $10^4$ CFU/g-wet に増加した。その後の大腸菌数は緩やかに増加し、翌日の夕方清掃前の 22~23h 後には  $10^4$ ~ $10^5$ CFU/g-wet となった。牛

舎内平均気温が約 11℃と低いこともあり，投入後 22～23h においても大腸菌性乳房炎の問題が発生するとされる  $10^6\text{CFU/g-wet}$  以上には達しなかった．

図 4.2 は 2018 年 3 月の調査結果である．敷料として投入前の 8 日間堆積固分の大腸菌数は  $2 \times 10^2\text{CFU/g-wet}$  未満であった．投入後から翌日，夕方までの牛舎内平均気温は 5.0℃であった．敷料の大腸菌数は投入後 2.1～2.2h には  $10^3\text{CFU/g-wet}$  に増加した．その後の大腸菌数は横ばいで推移し，翌日の夕方清掃前の 23～24hr 後には  $10^4\text{CFU/g-wet}$  となった．牛舎内平均気温が 5.0℃と低いため，投入後 23～24h においても  $10^6\text{CFU/g-wet}$  以上には達しなかった．

図 4.3 は 2018 年 8 月の調査結果である．敷料として投入前の 8 日間堆積固分の大腸菌数は検出限界以下であった．投入後から翌日，夕方までの牛舎内平均気温は 24.3℃であった．敷料の大腸菌数は投入後 2.1～2.3h には  $10^3 \sim 10^4\text{CFU/g-wet}$  に増加し，翌日の朝清掃前の投入後約 12h には  $10^5\text{CFU/g-wet}$  以上に増加した．その後の大腸菌数は緩やかに増加したが，2 列目を除いて翌日の夕方清掃前には  $10^6\text{CFU/g-wet}$  以上には達しなかった．8 月 22～23 日の 2 列目は早朝の清掃前には  $10^6\text{CFU/g-wet}$  以上，早朝の清掃後には  $10^5\text{CFU/g-wet}$  と減少したが，夕方，清掃前には再び  $10^6\text{CFU/g-wet}$  に増加した．

3 回の調査から，投入翌日の夕方清掃前の大腸菌数は，牛舎内平

均気温が約 5℃（3月）では  $10^4$ CFU/g-wet, 10.5～11.3℃（4, 5月）では  $10^4 \sim 10^5$ CFU/g-wet, 約 24℃（8月）では,  $10^5 \sim 10^6$ CFU/g-wet であり, 牛舎内平均気温が高いほど, 大腸菌数の増加も速かった.

また, Smithら(2006)は, 多くの有機物敷料の乳房炎原因菌は, 敷料として使用する前は少ないが使用後 24h 以内で原因菌数が 100～1000 倍に増加することがあると報告している. 本研究では, 敷料の大腸菌数は投入前の検出限界以下あるいは  $2 \times 10^2$ CFU/g-wet 未満から, 投入後 2～3h で  $10^2 \sim 10^4$ CFU/g-wet まで牛舎内気温にかかわらず急激に増加することが明らかとなった.

さらに, 調査開始時に除去していないブリスケット部材前に堆積した未利用敷料の大腸菌数は投入後 12h では  $10^3 \sim 10^4$ CFU/g-wet まで増加していることが確認された(2017年4, 5月だけ実施). このように, ブリスケット部材前に堆積した未利用敷料でも汚れていることがわかった.

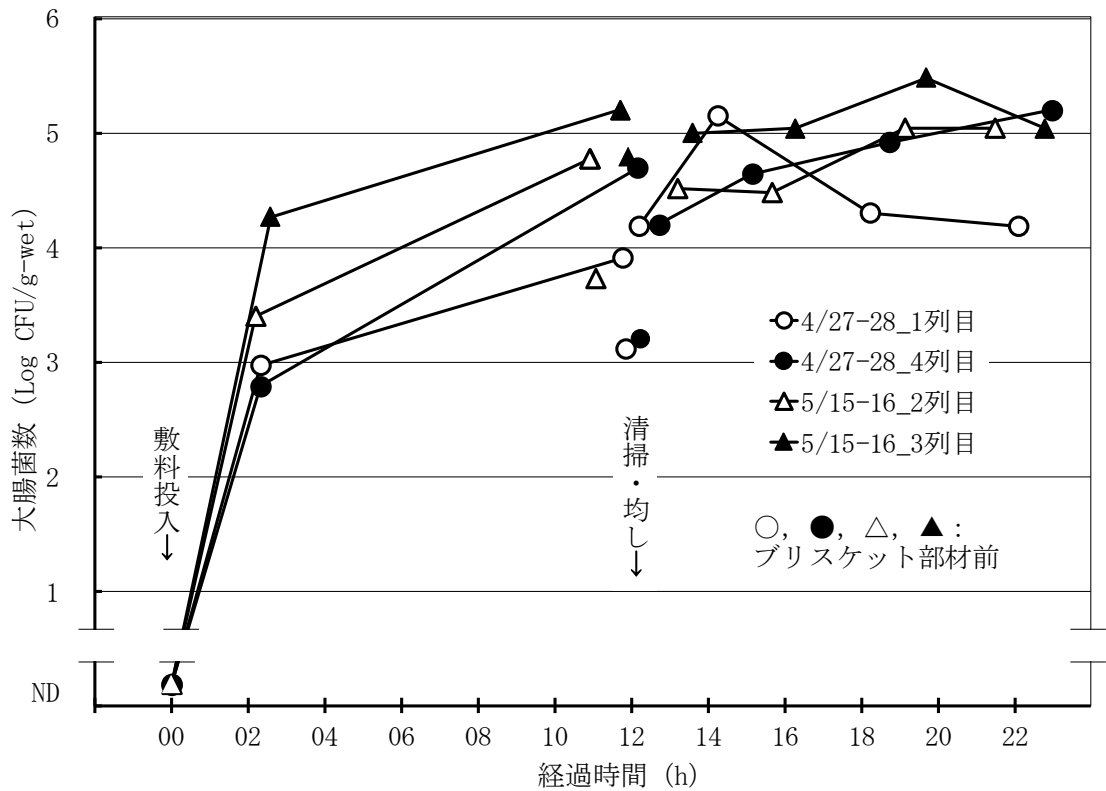


図 4.1 牛床敷料の大腸菌数の推移

調査日：2017年4月27～28日，5月15～16日

投入時のND：8日間堆積固分の大腸菌数

牛舎内平均気温：敷料投入～翌日夕方の清掃前

4月27～28日 11.3℃

5月15～16日 10.5℃

牛舎北側から1列～4列



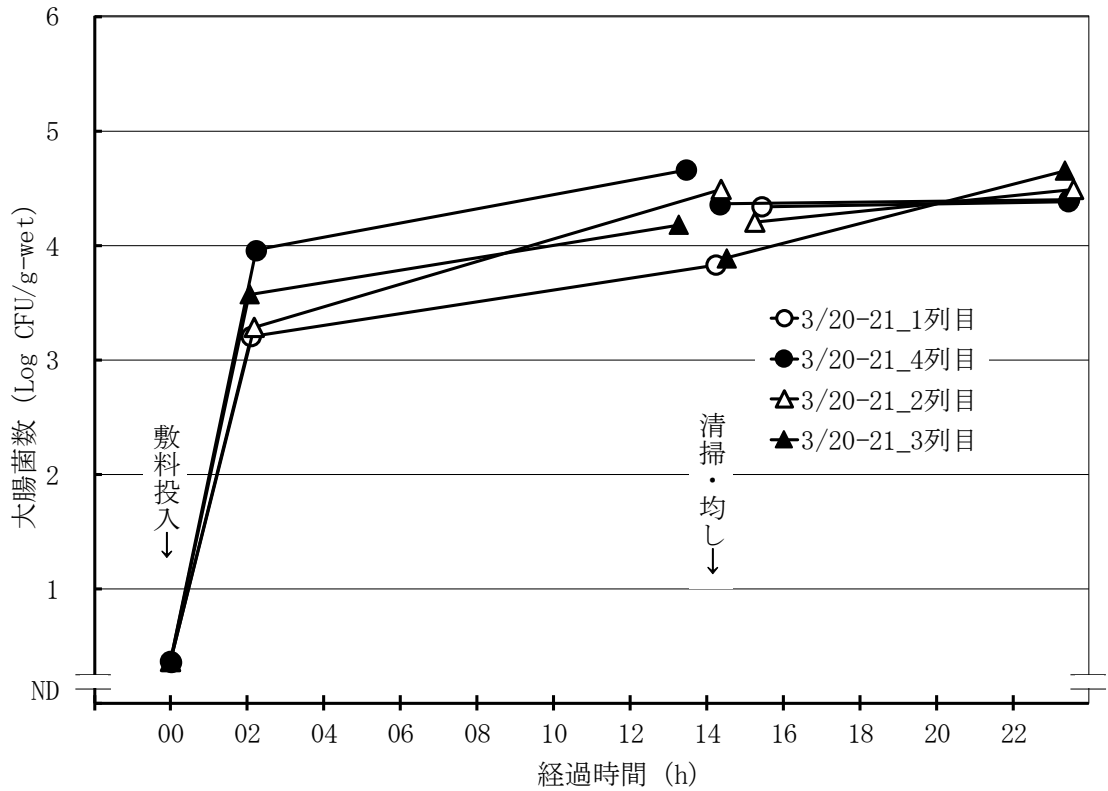


図 4.2 牛床敷料の大腸菌数の推移

調査日：2018年3月20～21日

投入時の大腸菌数  $< 2 \times 10^2$  CFU/g-wet：8日間堆積固分の大腸菌数

牛舎内平均気温：敷料投入～翌日夕方清掃前

3月20～21日 5.0℃

牛舎北側から1列～4列

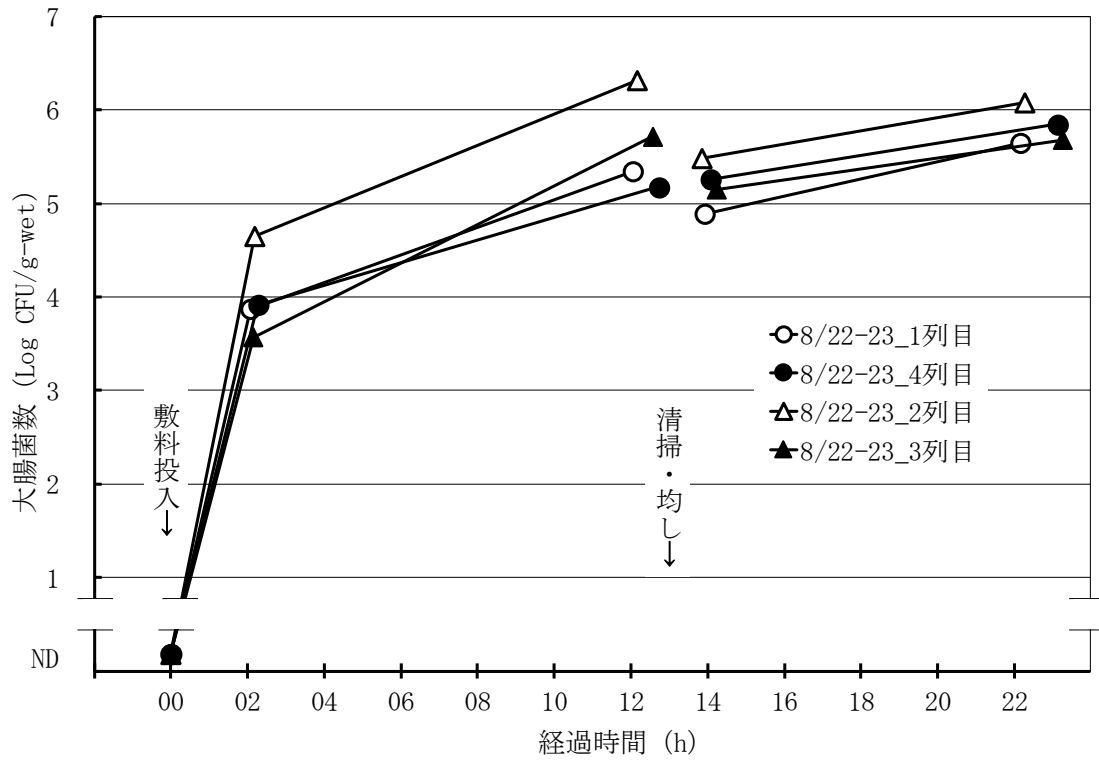


図 4.3 牛床敷料の大腸菌数の推移

調査日：2018年8月22～23日

投入時のND：8日間堆積固分の大腸菌数

牛舎内平均気温：敷料投入～翌日夕方清掃前

8月22～23日 24.3℃

牛舎北側から1列～4列

## 2) 牛舎内気温・THIと敷料大腸菌数

### (1) 牛舎内気温と敷料大腸菌数

図 4.4 に牛舎内平均気温と新しい敷料が投入される前の敷料平均大腸菌数の関係を示した。

牛舎内平均気温は、試料採取日の前日 18 時（敷料投入時間帯）から当日 15 時（試料採取時間帯）までの平均である。平均大腸菌数は調査日ごとの調査牛床（4～12 床）の平均である。牛舎内平均気温と敷料平均大腸菌数の関係は、牛舎内平均気温  $-0.8 \sim 23.7^{\circ}\text{C}$  の範囲で高い正の相関があり（ $R^2 = 0.783$ ,  $p < 0.01$ ）、直線回帰すると  $y = 0.07x + 4.46$  で示された。

気温と敷料大腸菌数について、Hogan ら（1990）は、ペレット状のトウモロコシの茎殻を原料とした敷料のグラム陰性桿菌数、大腸菌群数、クレブシエラ属菌数と試料採取前 24h の最高舎外気温の間に中程度から強い相関があったと報告している。本研究でも、同様に牛舎内平均気温と大腸菌数の間に分離固分敷料であっても高い正の相関があることが確認できた。

また、Bramley ら（1975）は、大腸菌性乳房炎の発生率とおがくず牛床の関係から、大腸菌群数が  $10^4$ ,  $10^5 \text{CFU/g-wet}$  では大腸菌の感染はなかったが、ほぼ  $10^7 \text{CFU/g-wet}$  のときに発生したと報告している。Jasper（1980）は、敷料の乳房炎原因菌が  $10^6 \text{CFU/g}$  以上になる

と乳腺内感染の危険性が増加すると報告している。

本研究では，牛舎内平均気温が 10℃ 以上では大腸菌数は  $10^5$  CFU/g-wet 以上となり，22℃ 以上では，乳腺内感染の危険性が増加するとされる大腸菌数  $10^6$ CFU/g-wet 以上になると推定された。

## (2) 牛舎内 THI と敷料大腸菌数

図 4.5 に牛舎内平均 THI と新しい敷料が投入される前の敷料平均大腸菌数の関係を示した。

牛舎内平均 THI は，試料採取日の前日 18 時（敷料投入時間帯）から当日 15 時（試料採取時間帯）までの平均である。THI は乳牛の暑熱ストレスを判定する指標として用いられている。暑熱ストレスは乳牛の体温上昇にともなう採食量の減少によって生産性，生理機能，繁殖性の低下の要因となる。生理機能の低下は抗病性を弱め各種の疾病を併発する要因となる。

牛舎内平均 THI と敷料平均大腸菌数の関係は，牛舎内平均 THI 36.3～70.4 の範囲で高い正の相関があり ( $R^2=0.761$ ,  $p<0.01$ )，直線回帰すると  $y=0.045x+2.81$  で示された。West (2003) は，乳牛は THI68～70 で暑熱ストレスを感じ始めるとしている。また，古村 (2006) は THI70～76 で軽度のストレス，77～89 で強いストレス，90 以上で非常に強いストレスと判定されるとしている。

本研究では，牛舎内平均 THI が 55 以上では大腸菌数は  $10^5$  CFU/g-

wet 以上で，70 以上では  $10^6$ CFU/g-wet 以上になると推定された．

THI70 は軽度の暑熱ストレスにさらされていると判定されるため，乳房炎の発症リスクを増大させる懸念がある．このため，暑熱時には牛床除ふんと敷料交換頻度を多くする牛床管理が乳房炎発症リスクを抑えるために必要である．

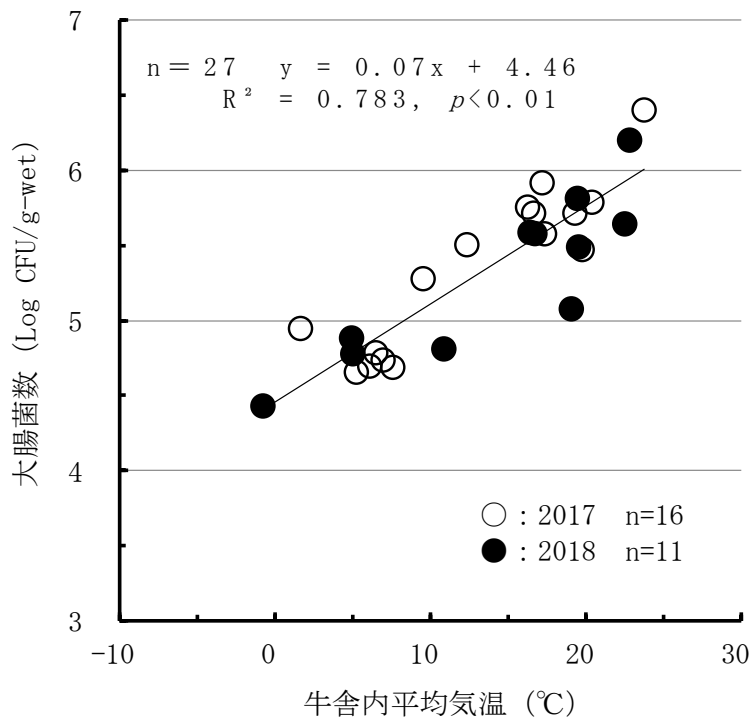


図 4.4 牛舎内平均気温と牛床敷料の平均大腸菌数

調査日：2017年3月3日～2018年9月15日の27回

牛舎内気温：試料採取日の前日18時（敷料投入時間帯）

から当日15時（試料採取時間帯）までの平均

大腸菌数：調査日ごとの平均（試料数は4～12）

回帰係数  $\beta$ ：95% CI 信頼区間（0.05～0.08）°C

切片  $\alpha$ ：95% CI 信頼区間（4.24～4.67）Log CFU/g-wet

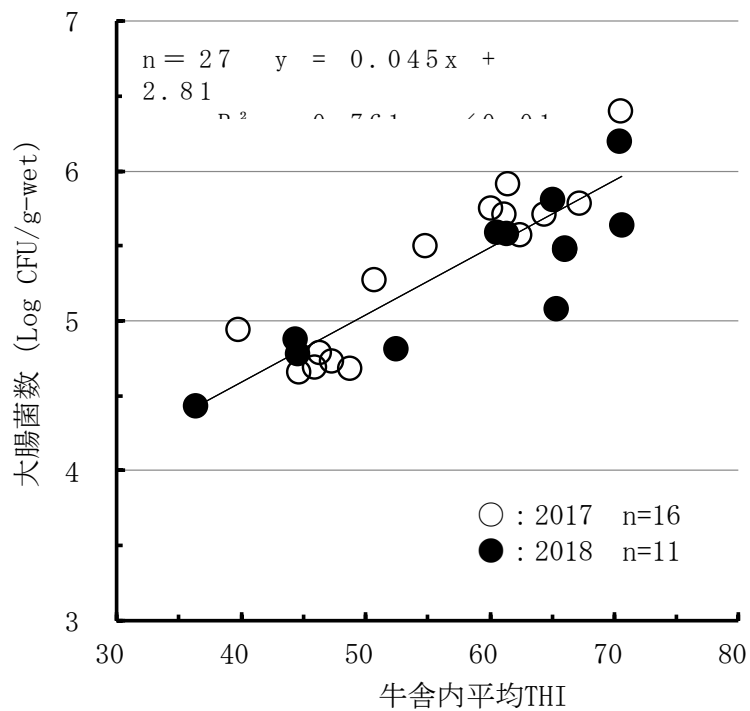


図 4.5 牛舎内平均 THI と牛床敷料の平均大腸菌数

調査日：2017年3月3日～2018年9月15日の27回

牛舎内気温：試料採取日の前日18時（敷料投入時間帯）

から当日15時（試料採取時間帯）までの平均

大腸菌数：調査日ごとの平均（試料数は4～12）

回帰係数  $\beta$ ：95% CI 信頼区間（0.03～0.06） $^{\circ}\text{C}$

切片  $\alpha$ ：95% CI 信頼区間（2.21～3.40）Log CFU/g-wet

### 3) 牛床敷料の水分と大腸菌数

図 4.6 に牛床敷料の水分と大腸菌数の関係を示した。

水分は 45～76% で敷料水分が高いほど大腸菌数が少ない傾向があった。牛舎内気温が 10℃未満と低い期間（2017年3～4月，10月中旬，12月～2018年2月）の水分は 66～76%，試料の約 8割が  $10^5$ CFU/g-wet 未満であった。牛舎内気温が 10℃以上と高い期間（2017年5～10月上旬，2018年6～9月）では，水分は 51～73%，試料の 9割以上が  $10^5$ CFU/g-wet 以上となった。

また，図 4.7 に牛舎内平均気温と敷料平均水分の関係を示した。敷料水分は気温が低いと高く，気温が高くなると低下することが示された ( $R^2=0.571$ )。これは，投入時には水分が高かった敷料が，気温の上昇とともに乾燥しやすくなることを示している。

図 4.4 と図 4.7 より，牛舎内平均気温と敷料水分および敷料大腸菌数の間には，牛舎内気温が低いと敷料水分は高く大腸菌数は少なく，牛舎内気温が高くなると敷料水分は低下し大腸菌が増加するという特徴のあることが示された。

これは，分離固分敷料では，敷料として投入前の 8日間堆積固分の水分が 76.3～79.8%とおがくずなどの一般的な敷料に比べ極めて高いため，牛舎内気温が低いときは敷料の乾燥と大腸菌の増殖の両者が抑えられたこと，また，牛舎内気温が高いときは，投入後の敷



料が乾きやすく水分が低下するとともに，大腸菌の活性が高く大腸菌数が増加するため，と考えられる．

以上のように，分離固分敷料は，①水分が約 78 % と高い，このことにより，②水分が高いほど大腸菌数が少ない傾向がある，③牛舎内気温が低いと水分が高く大腸菌数は少ない，④牛舎内気温が高いと水分が低く大腸菌数は多い傾向がある，という特徴が明らかとなった．

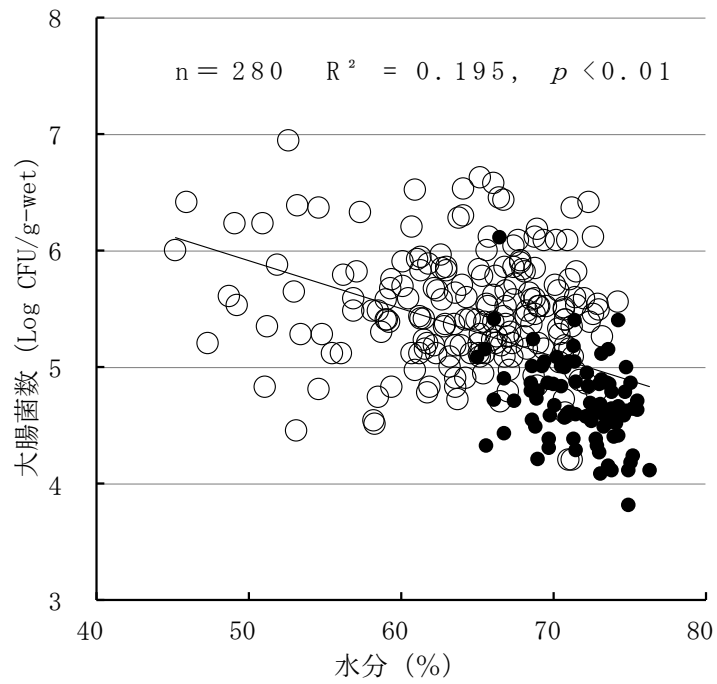


図 4.6 牛床敷料の水分と大腸菌数

- : 温暖期 牛舎内気温  $10^\circ\text{C}$  以上  
(2017年5月～10月上旬, 2018年6月～9月)
- : 低温期 牛舎内気温  $10^\circ\text{C}$  未満  
(2017年3月～4月, 10月中旬, 12月～2018年2月)

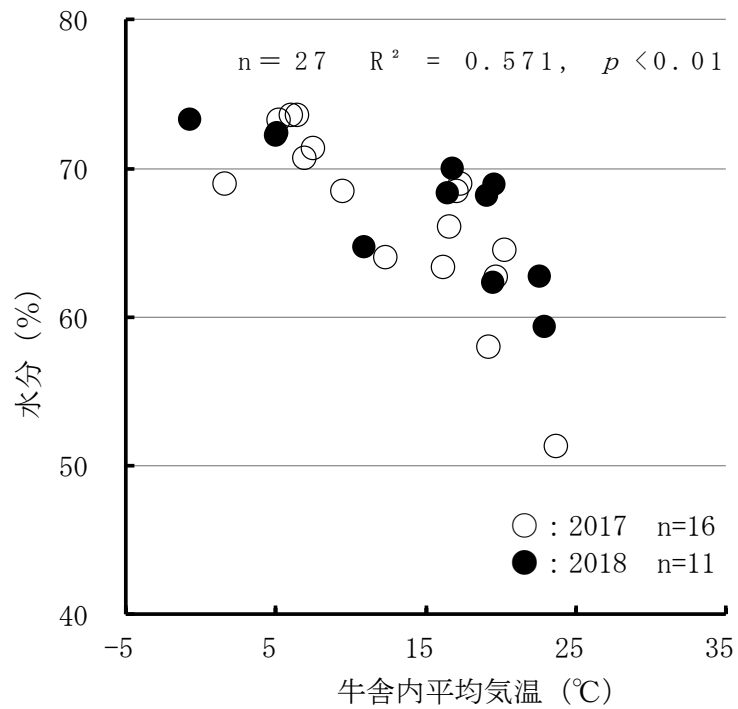


図 4.7 牛床内平均気温と敷料平均水分

調査日：2017年3月3日～2018年9月15日の27回

牛舎内気温：試料採取日の前日18時（敷料投入時間帯）

から当日15時（試料採取時間帯）までの平均

敷料水分：調査日ごとの平均（試料数は4～12）

#### 4) 敷料残存重量

一般に、乳牛は牛床上では後肢で敷料を蹴散らかすことが多い。このため、牛床後ろの敷料が少ないと、乳房の汚れも多くなることが予想される。

図 4.8 にブリケット部材の後方の敷料残存重量の頻度分布を示した。敷料残存重量は延べ 79 床の平均で 6.9kg/牛床であった。さらに牛床の部位別では、牛床の前方は平均 5.6kg、4～5kg が約 30%、後方は平均 1.3kg、1～2kg が約 50% を占めていた。

図 4.9 に牛床後方における敷料残存重量と大腸菌数の関係を示した。両者には有意な負の相関があり、敷料残存重量が多いほど大腸菌数は少なくなる傾向があった。これは、①敷料は投入後、牛の後肢で蹴散らかされ、清掃・均しにより投入時よりも減少する、②牛の利用にともないふん尿の混入が多くなると考えられる、といった要因が考えられ、牛床後方の敷料大腸菌数は残存敷料が少ないほど多く、残存敷料が多いほど希釈されて少なくなること示すものである。

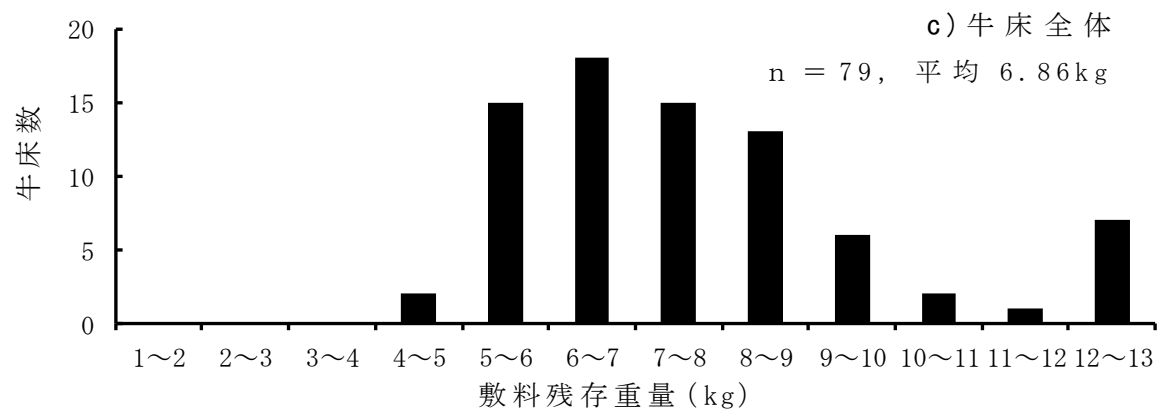
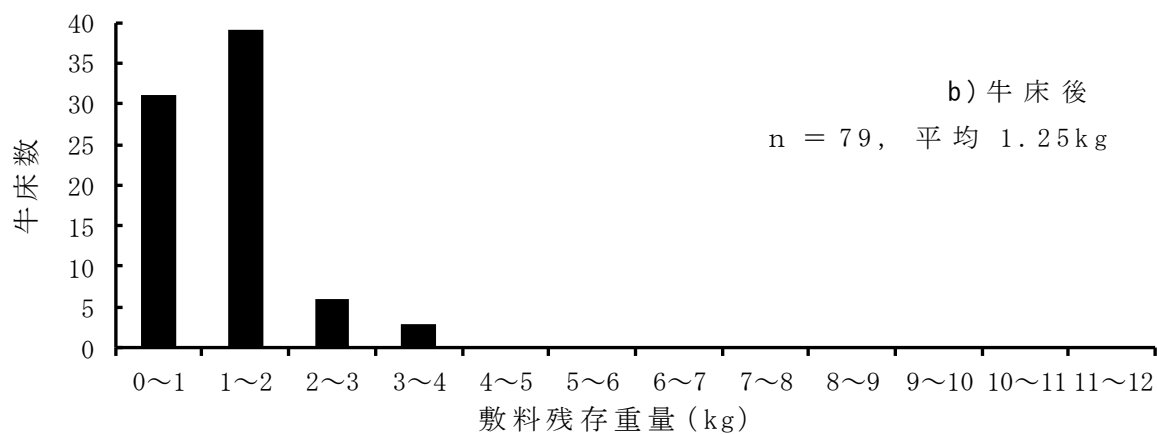
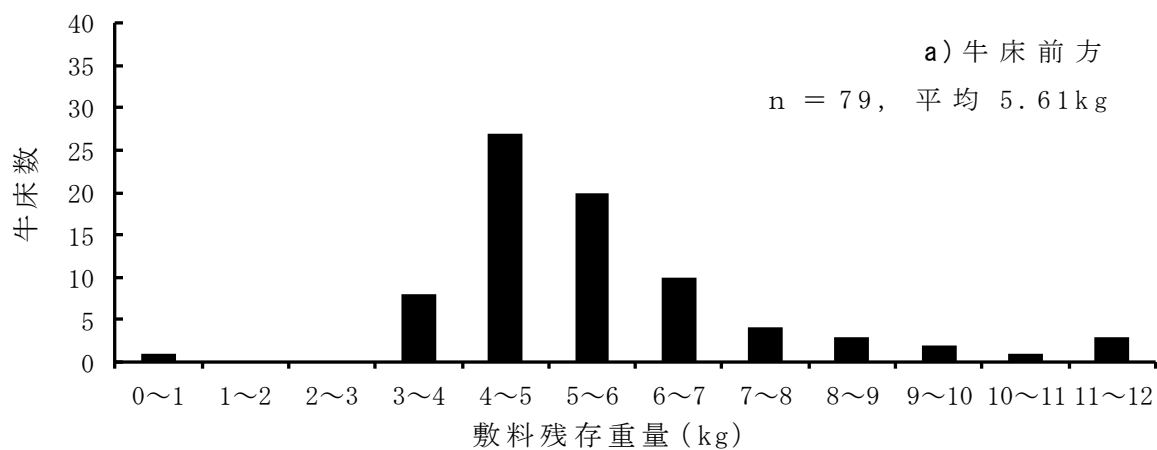


図 4.8 牛床の敷料残存重量の頻度分布

調査期間 : 2017年7月7日～2017年10月20日(7回)  
敷料重量測定 : 敷料の大腸菌数と水分の分析試料採取直後  
牛床前方 : ブリケット部材から後98cmの範囲

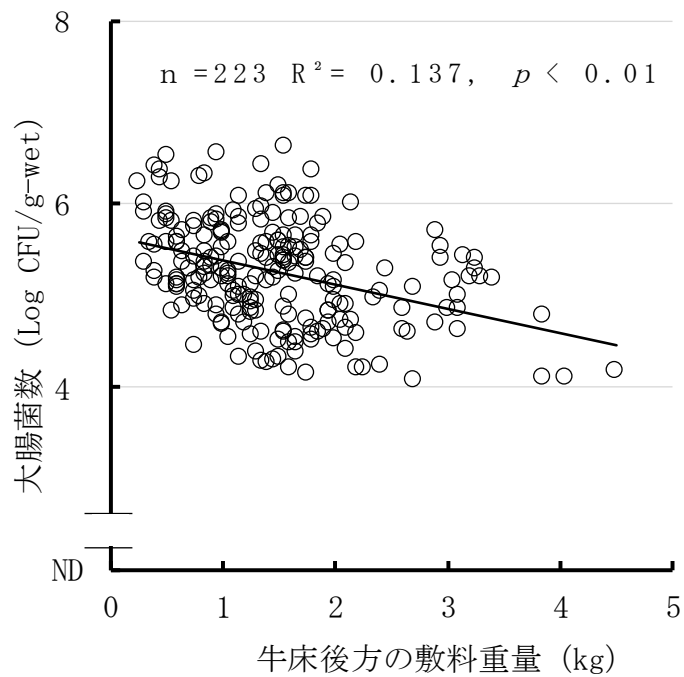


図 4.9 牛床後方の敷料残存重量と大腸菌数の関係

調査期間 : 2017年7月7日～2018年9月15日(18回)  
敷料重量測定 : 敷料の大腸菌と水分の分析試料採取直後  
牛床後方 : 牛床後端90cmの範囲

## 5) 乳牛行動と敷料大腸菌数

図 4.10 に牛床利用時間割合と敷料の大腸菌数の関係を、図 4.11 に牛床出入り回数と敷料の大腸菌数の関係を、図 4.12 に牛床出入り回数と敷料水分の関係をそれぞれ示した。両者の間に相関はなかった。

図 4.13 に横臥時間と敷料大腸菌数の関係を示した。牛床での横臥時間が長いほど、牛体と敷料が接触する時間が長くなり牛の体温により敷料が暖められるため敷料の大腸菌数は増加すると考えたが、両者には相関はなかった。

これらは、牛床利用状況調査がタイムラプスカメラで牛の行動を判別できる明るい時間帯に限られ、分析できない時間があったことが最も大きな要因であり、乳牛行動と敷料大腸菌数との関係については精確な調査による分析が必要である。

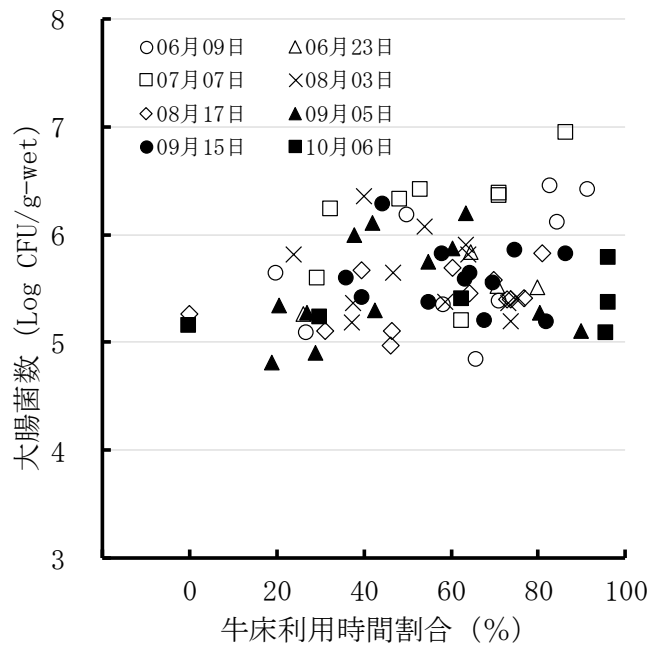


図 4.10 牛床利用時間割合と敷料の大腸菌数の関係

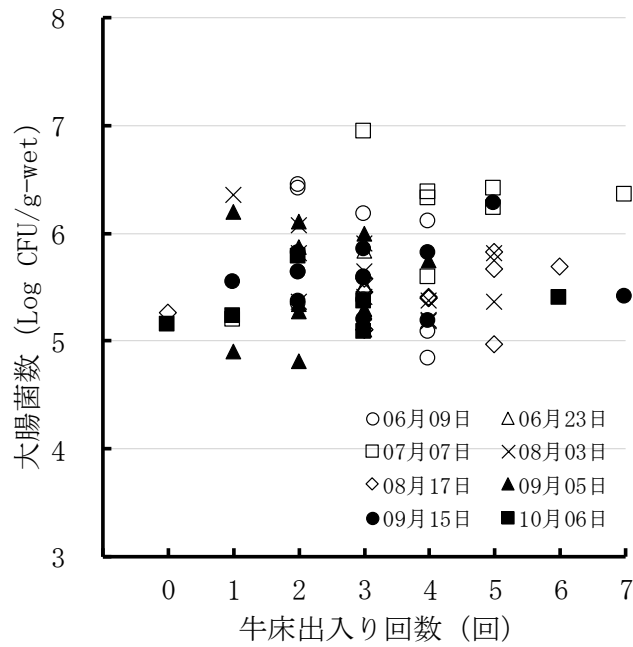


図 4.11 牛床出入り回数と敷料の大腸菌数の関係



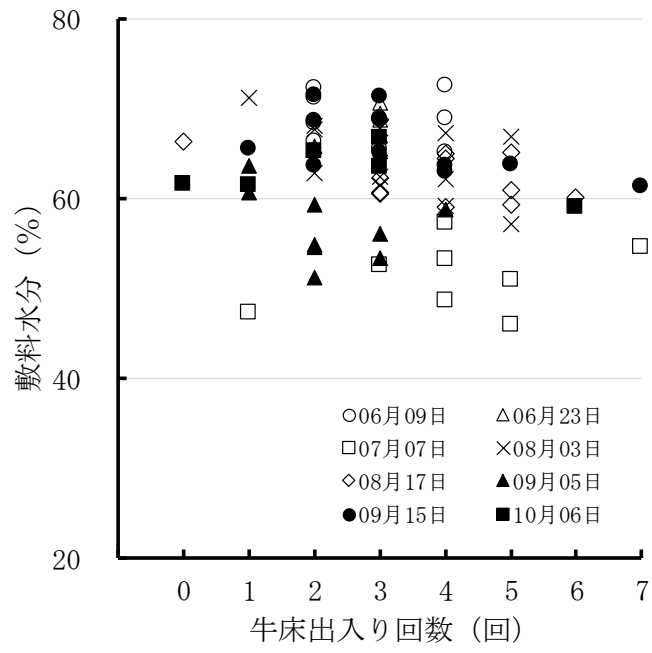


図 4.12 牛床出入り回数と敷料水分の関係

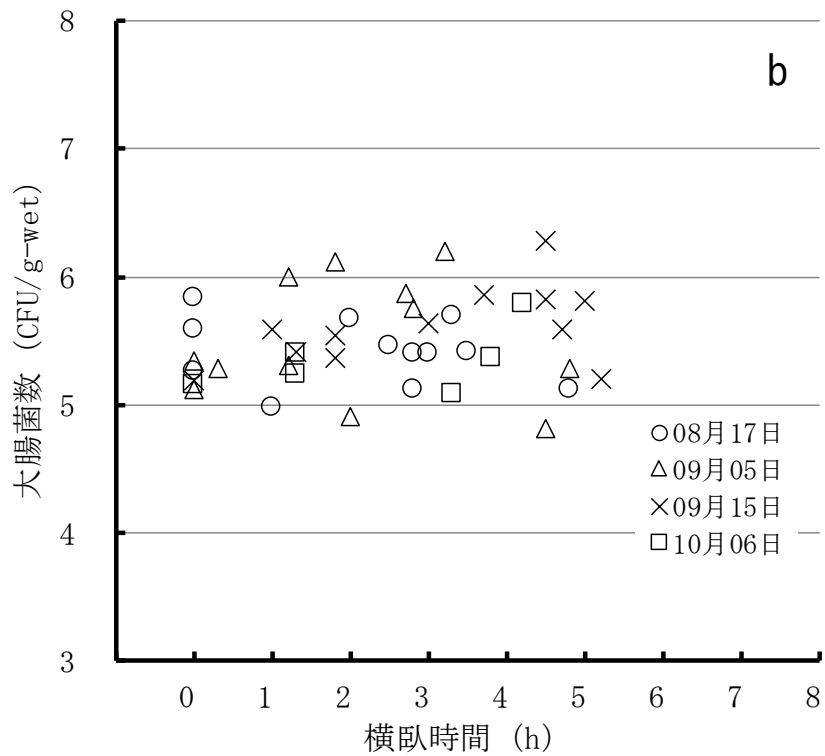
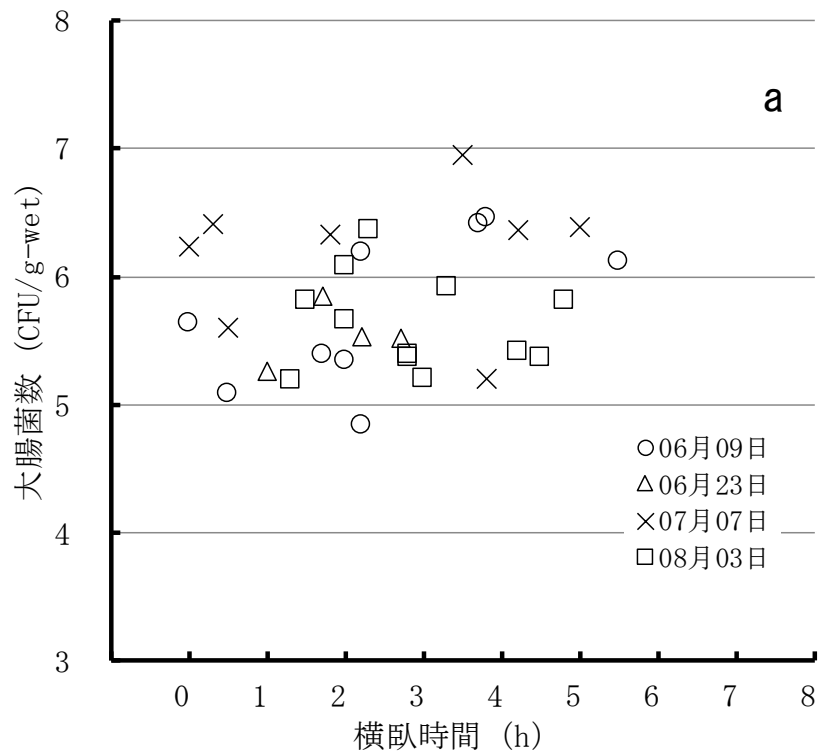


図 4.13 牛床横臥時間と敷料大腸菌数の関係

a) 6月 9日, 6月 23日, 7月 7日, 8月 3日

b) 8月 17日, 9月 5日, 9月 15日, 10月 6日

## 6) 牛体の汚れスコアと飛節スコア

表 4.2 に酪農場 A, B における牛体の汚れスコアを, 表 4.3 に飛節スコア発生割合を示した.

汚れスコアはすべての調査時で酪農場 A が酪農場 B に比べて低く, 酪農場 A の方が汚れが少なかった. 飛節スコアは状態の悪いスコア 3~5 の割合をみると酪農場 A は 30~45%, 酪農場 B は 21~45% と農場間で大きな差はなかった.

敷料の目的は牛により牛床に持ち込まれるふん尿の水分を吸収し, 牛床の乾燥と清潔を保つことで牛体の汚れを防ぐことであり, 飛節スコアは乳牛にとっての牛床の快適性を評価する指標である. 敷料の違いによる牛体の汚れ・飛節の状態に大きな差はなかったことから, 分離固分敷料は麦稈と同程度に牛床の清潔度を保ち, 快適性を保つものと考えられる.

表 4.2 牛体の汚れスコア

酪農場A				酪農場B			
調査日 2017年	牛群		平均	調査日 2017年	牛群		平均
	A1	B1			高泌乳	低泌乳	
03/08	6.2	4.5	5.4	03/22	9.2	8.3	8.8
04/20	4.5	4.4	4.5	04/24	5.1	5.4	5.3
06/20	5.4	5.6	5.5	06/29	8.6	6.3	7.5
08/28	6.3	6.5	6.4	09/02	8.5	6.2	7.4
11/02	6.1	5.6	5.9	-	-	-	-
12/25	5.4	6.4	5.9	12/26	6.6	8.6	7.6

表 4.3 牛の飛節スコア発生割合

酪農場A					酪農場B				
調査日 2017年	発生割合 (%)			調査 数	調査日 2017年	発生割合 (%)			調査 数
	1	2	3~5			1	2	3~5	
03/08	46	19	35	210	03/22	55	18	27	107
04/20	46	22	33	200	04/24	41	38	21	86
06/20	44	24	32	184	06/29	26	29	45	90
08/28	29	26	45	182	09/02	29	26	45	86
11/02	45	25	30	163	-	-	-	-	-
12/25	48	18	34	152	12/26	39	20	41	71

#### 4. 小括

第IV章では、分離固分を敷料利用している酪農場において、敷料利用時の衛生状態を牛舎内気温、敷料水分などと大腸菌数の関係をもとに評価した。

牛舎内平均気温と分離固分敷料の平均大腸菌数の関係は牛舎内平均気温  $-0.8 \sim 23.7^{\circ}\text{C}$  の範囲で高い正の相関があり ( $R^2 = 0.783$ ,  $p < 0.01$ ),  $22^{\circ}\text{C}$  以上では大腸菌性乳房炎の問題が発生するとされる  $10^6\text{CFU/g-wet}$  以上になると推定された。

敷料の大腸菌数は投入前の検出限界以下あるいは  $2 \times 10^2\text{CFU/g-wet}$  未満から、投入後  $2 \sim 3\text{h}$  で  $10^2 \sim 10^4\text{CFU/g-wet}$  に増加した。

牛舎内平均 THI と分離固分敷料の平均大腸菌数の関係は牛舎内平均 THI  $36.3 \sim 70.4$  の範囲で高い正の相関があり ( $R^2 = 0.761$ ,  $p < 0.01$ ),  $70$  以上では大腸菌数  $10^6\text{CFU/g-wet}$  以上になると推定された。

調査開始時に除去しなかったブリスケット部材前に堆積した未利用敷料の大腸菌数は  $10^3 \sim 10^4\text{CFU/g-wet}$  であった。

分離固分敷料は、①水分が約  $78\%$  と高い、このことにより、②水分が高いほど大腸菌数が少ない傾向がある、③牛舎内気温が低いと水分が高く大腸菌数は少ない、④牛舎内気温が高いと水分が低く大腸菌数は多い傾向がある、という特徴が明らかとなった。

敷料交換時に牛床上に残っていた敷料残存重量と大腸菌数には有意な負の相関がみられ、敷料残存重量が多いほど大腸菌数は少くなる傾向があった。これは、大腸菌数は残存敷料が多いほど希釈されて少なくなることを示すものである。

牛床利用状況調査が牛の行動を判別できる時間帯に限られたことから、牛床利用時間割合、牛床出入り回数と大腸菌数、および、牛床出入り回数と敷料水分の間に相関はなかった。

敷料の違いによる牛体の汚れ・飛節の状態に大きな差はなく、分離固分敷料は麦稈と同程度に牛床の清潔度を保ち、快適性を保つものとする。

## 第 V 章 一般的敷料資材との比較検討と分離固分敷料の利用技術確立

### 1. 緒言

高温多湿の我が国において，分離固分敷料の安全な利用技術を確立するため，第 V 章では，おがくず，もみがら，麦稈といった一般敷料の利用農場における季節的な大腸菌消長について調査し，総合考察として，これらと分離固分敷料を比較することでその特徴を明確化し，代替敷料資材としての分離固分敷料の位置づけ，および利用時の技術的留意点を明らかにする．

### 2. 材料と方法

#### 1) 調査農場の概要

表 5.1 に調査概要を，表 5.2 に調査農場の牛床管理をそれぞれ示した．調査農場は敷料に麦稈を利用した酪農場 B，もみがらを利用した酪農場 C，おがくずを利用した酪農場 D であった．

#### 2) 調査項目

調査項目は，牛床敷料の大腸菌数と水分，牛舎内気温であった．

敷料の採取は牛床の清掃直前（一部は清掃後）に牛床の後半分を対象にふん塊を除去して実施した．これらと同時に，ブリスケット

部材前の未利用敷料を対象に，酪農場 C では 2018 年 5～8 月に 6 回，酪農場 D では同年 6～8 月に 5 回，それぞれ 2 牛床を調査した．

### 3) 計測・分析方法

大腸菌数の測定にはコンパクトドライ「ニッスイ」EC（日水製薬株）を用いた（35℃，24h 培養）．水分は試料を乾燥機で 105℃ 24h 法で測定した．牛舎内気温は，酪農場 B は 1 カ所，酪農場 C は 12 カ所，酪農場 D は 16 カ所においてそれぞれサーミスタで測定しデータロガー（RTR-503，株ティアンドデイ）に 10 分間隔で記録した．牛舎内平均気温は酪農場 C，D では設置箇所の平均とした．



表 5.1 調査概要

酪農場	回数	調査期間	敷料	牛床数
B	5回	2017年 6~11月	麦稈 + 消石灰	7
C	11回	2017年6月~ 2018年8月	もみがら + 消石灰	4
D	11回	〃	おがくず + 消石灰	6~12

表 5.2 調査農場の牛床管理

酪農場	作業時間	作業内容	敷料調製・投入
B	5時半~6時頃	麦稈を加える 石灰+ゼオライト	
	9~10時頃	除ふん, 牛床均し	
	16~17時頃	麦稈加える	
C	8時頃清掃		2, 4日に1回
	16~17時頃	除ふん, 牛床均し	もみがら投入
D	7~8時頃		4日に1回
	17~18時頃	除ふん, 牛床均し	おがくず投入

### 3. 結果と考察

#### 1) 牛舎内気温と敷料大腸菌数

図 5.1 に牛舎内平均気温と牛床敷料の平均大腸菌数の関係を示した。牛舎内平均気温は、酪農場 B から D では試料採取日の前日 17 時（敷料投入時間帯）から当日 9 時（試料採取時間帯）までの平均である。平均大腸菌数は調査日ごとの調査牛床の平均である。

麦稈を利用した酪農場 B では、 $20^{\circ}\text{C}$  を境に  $20^{\circ}\text{C}$  未満では  $10^3\sim 10^4\text{CFU/g-wet}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$  以上では  $10^5\text{CFU/g-wet}$  であった。もみがらを利用した酪農場 C では有意な相関はみられないものの、気温が高いほど大腸菌数が多い傾向があった。おがくずを利用した酪農場 D では  $10^{\circ}\text{C}$  未満では  $10^4\text{CFU/g-wet}$  であり、 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$  では  $10^4\sim 10^5\text{CFU/g-wet}$  であった。

図 5.2 は、図 5.1 に第 III 章の分離固分を敷料利用した酪農場 A を加えて、牛舎内平均気温と牛床敷料の平均大腸菌数の関係を示したものである。酪農場 A における牛舎内平均気温は、試料採取日の前日 18 時（敷料投入時間帯）から当日 15 時（試料採取時間帯）までの平均である。酪農場 B から D の大腸菌数は大部分が  $10^3\sim 10^5\text{CFU/g-wet}$  と酪農場 A ( $10^4\sim 10^6\text{CFU/g-wet}$ ) に比べて 10 分の 1 と少ない傾向があり、牛舎内平均気温  $20^{\circ}\text{C}$  近傍では  $10^4\sim 10^5\text{CFU/g-wet}$  と酪農場 A に比べてばらつきが大きかった。

これは、酪農場 A では試料採取がほぼ同じ時間帯（牛床清掃後約 5h 以降）であったことに対して、酪農場 B から D ではできるだけ敷料交換前の採取としたが、①試料採取が牛床清掃直後の場合もあり牛の利用が少ないことが考えられること、②消石灰が混合されていること、の要因が考えられ、試料採取時間のばらつきと消石灰の殺菌効果のばらつきが重なって生じたものと考えられる。

このように、試料採取時の状況からみると好気処理により大腸菌数が検出限界以下となった酪農場 A および消石灰を混合し利用開始時の大腸菌数を検出限界以下とした酪農場 B から D における牛舎内平均気温と敷料の平均大腸菌数の関係は、第 III 章で示された酪農場 A における回帰式を上限とする範囲に平均大腸菌数は分布していると考えられ、酪農場 A の分離固分敷料の大腸菌数がとくに高い傾向にあるものではないと考える。

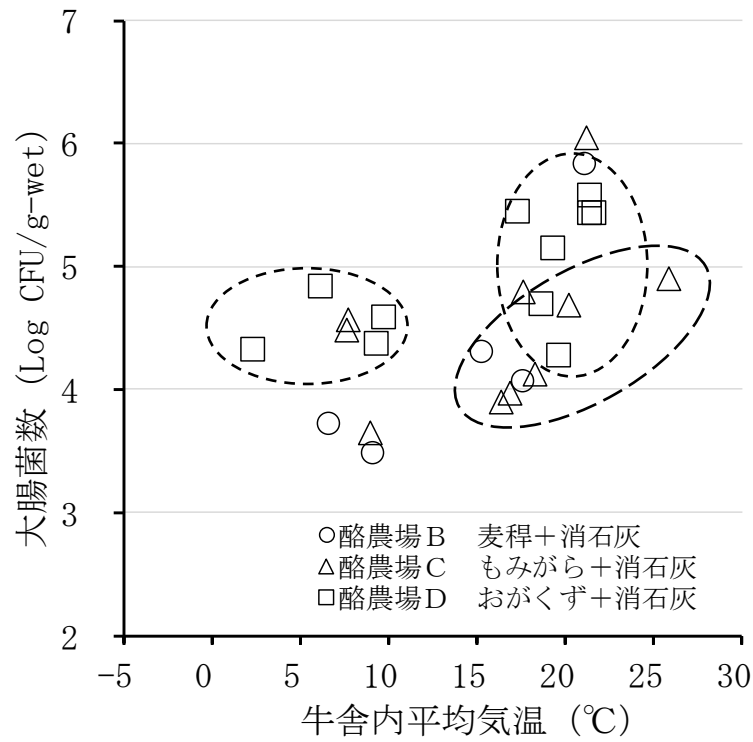


図 5.1 牛舎内平均気温と牛床敷料の平均大腸菌数の関係

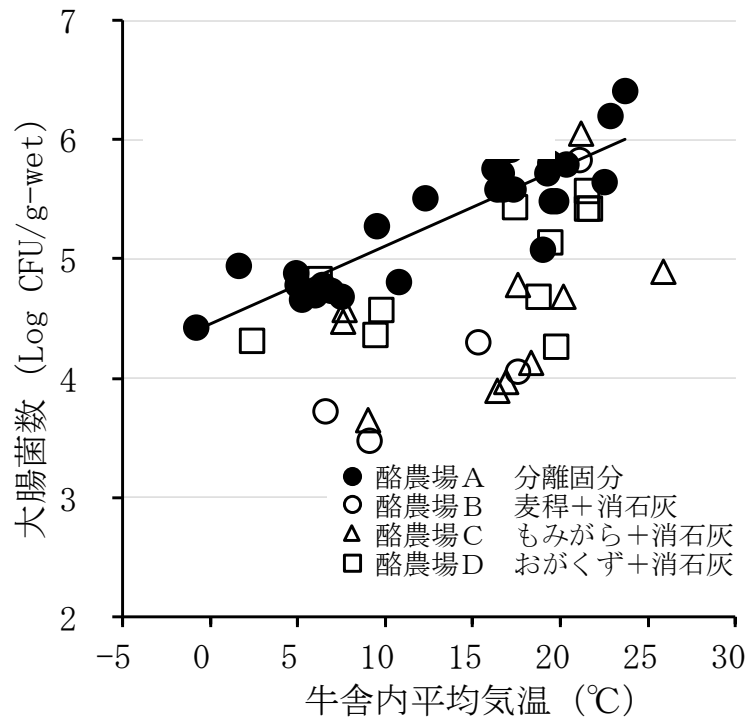


図 5.2 牛舎内平均気温と牛床敷料の平均大腸菌数の関係

牛舎内平均気温：酪農場 A 前日 18 時から調査日 15 時の平均  
 酪農場 B～D 前日 17 時から調査日 09 時の平均  
 △：温度欠測のためデータは 10

## 2) 牛床敷料の水分と大腸菌数

図 5.3～5.5 に牛床敷料の水分と大腸菌数の関係を示した。敷料の水分は、麦稈を利用した酪農場 B が 10～35% と低く、酪農場 C，酪農場 D では 15～60% と大きな差はなかった。敷料水分と大腸菌数の間には酪農場 C，D で有意な正の相関が認められた ( $R^2 = 0.198$ ,  $p = 0.002$ ,  $R^2 = 0.130$ ,  $p = 0.002$ )。

また、ブリスケット部材前に堆積した未利用敷料は、酪農場 C では  $10^2 \sim 10^5$  CFU/g-wet, 酪農場 D では  $10^2 \sim 10^4$  CFU/g-wet と第三章で示した分離固分敷料を利用した酪農場 A ( $10^2 \sim 10^4$  CFU/g-wet) と同じように汚れていることがわかった。

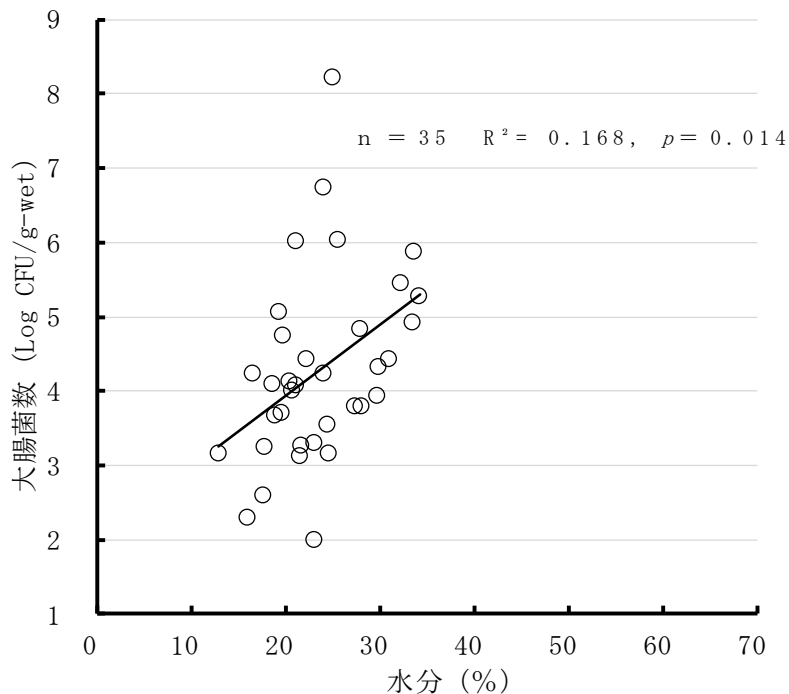


図 5.3 牛床敷料の水分と大腸菌数の関係 (酪農場 B)  
敷料は麦稈 + 消石灰

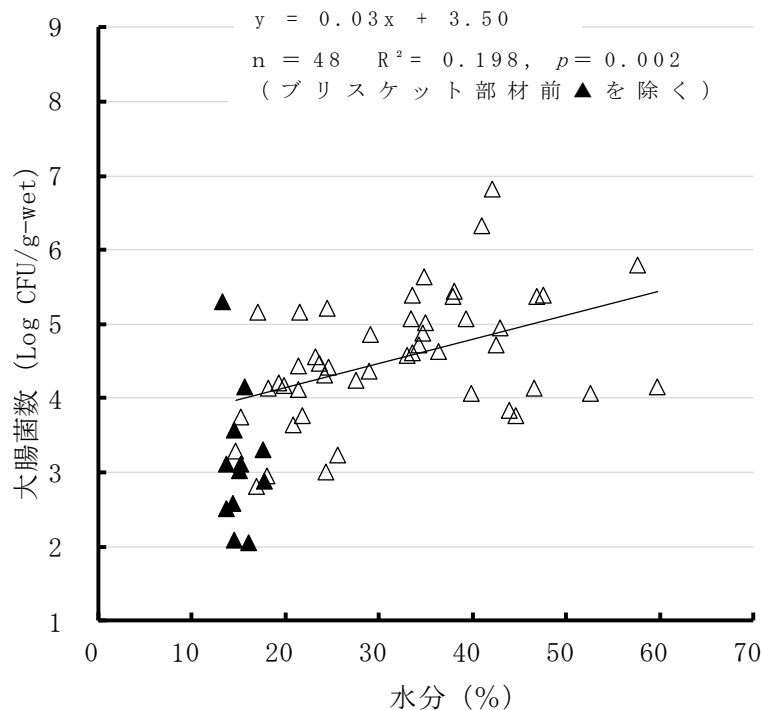


図 5.4 牛床敷料の水分と大腸菌数の関係 (酪農場 C)  
敷料はもみがら + 消石灰

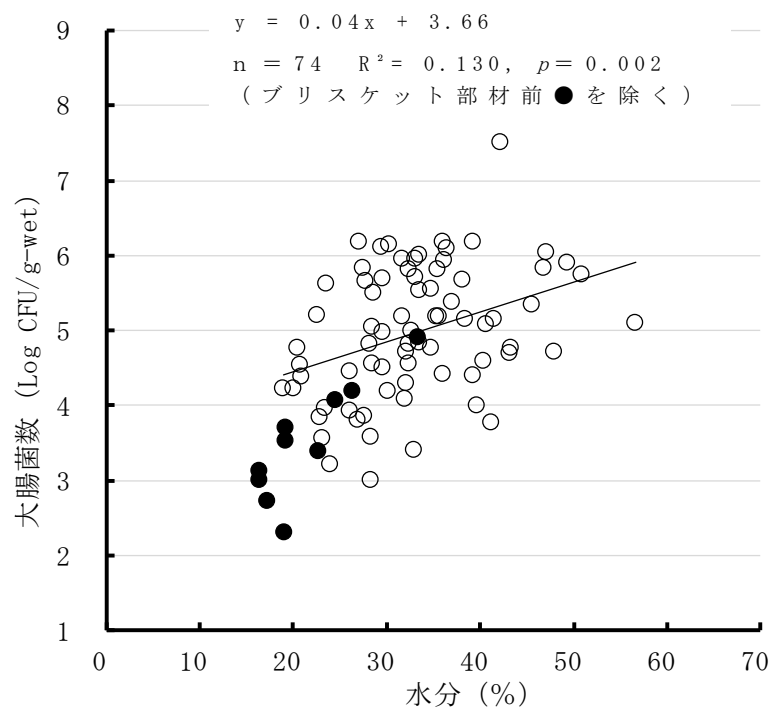


図 5.5 牛床敷料の水分と大腸菌数の関係 (酪農場 D)  
敷料はおがくず + 消石灰

### 3) 分離固分の敷料調製・利用時の技術的留意点

分離直後固分の大腸菌数は、酪農場 A で  $10^2 \sim 10^3$ CFU/g-wet (表 3.1), 全道の調査農場で  $10^1 \sim 10^4$ CFU/g-wet (表 2.6, 2.7), 農場 No.1 で  $10^2 \sim 10^4$ CFU/g-wet (表 2.8), 農場 No.2 で  $10^1 \sim 10^2$ CFU/g-wet (表 2.9) と, 調査全体で  $10^1 \sim 10^4$ CFU/g-wet であった。

このように発酵槽が 1 段のバイオガスプラントから生産される分離直後の分離固分は大腸菌で汚染されていることがわかった。

また, 敷料の大腸菌数は牛床投入前の検出限界以下または  $2 \times 10^2$  CFU/g-wet 未満と少ない場合でも牛舎内平均気温にかかわらず投入後 2~3h で  $10^2 \sim 10^4$ CFU/g-wet に増加した (図 4.1~4.3)。さらに, 牛舎内平均気温が  $10.5 \sim 24.3^\circ\text{C}$  では, 投入後 22~24h の清掃前には,  $10^4 \sim 10^6$ CFU/g-wet に増加した (図 4.1, 4.3)。

以上から投入時の分離固分の大腸菌数が  $10^1 \sim 10^4$ CFU/g-wet の場合は, 投入後 24h の敷料大腸菌数は大腸菌性乳房炎の問題が発生するとされる  $10^6$ CFU/g-wet 以上になると推察する。このため, 分離固分の敷料調製過程では大腸菌を死滅させる処理が必要である。

分離固分の堆積温度が  $55^\circ\text{C}$  以上を延べ 100h 以上持続したことにより, 大腸菌数は分離直後の  $10^2 \sim 10^3$ CFU/g-wet から投入前には試料の 8 割以上が検出限界以下まで減少した (表 3.1)。このように, 分離固分の敷料調製過程では好気性発酵による高温曝露が重要であ

り、その技術留意点は、①分離固分の堆積温度が高い状態で全量切り返しを行うこと、②外部からの汚染を最小限とするためにホイールローダを切り返し専用とすることである。

また、冬期間は2日間堆積固分の堆積する建屋1階の扉を閉めたことで外気温の影響が抑えられ、2日間堆積固分の温度は、夏期45～55℃に比べて40～60℃と低下することなく推移し55℃以上の時間を確保できた(図3.4, 3.5)。この技術的留意点は、低温となる冬期間は分離固分の堆積場所の扉を閉めるなどの保温対策により堆積温度の維持を図ることである。

戻し堆肥は堆肥化過程において高温曝露により大腸菌数が検出限界以下になっただけではなく、その後の1ヶ月以上の長期堆積により大腸菌増殖を抑制する抗菌性を持ったものである。これに対し、分離固分の敷料は第Ⅲ章で示したように8日間の短期堆積による発酵過程において大腸菌を $2 \times 10^2$ CFU/g-wet未満または検出限界以下にしたものであることから、戻し堆肥のような抗菌性は持っていないと考える。

このため、分離固分敷料の大腸菌数は図4.1に示したように牛舎内平均気温22℃以上では大腸菌性乳房炎の問題が発生するとされる $10^6$ CFU/g-wet以上になると推察され、大腸菌の増加が速いことが明らかとなったことから、暑熱時の分離固分敷料の利用ではその



交換頻度を多くする牛床管理が必要である。

以上をメタン発酵処理後分離固分の敷料調製・利用時の技術的留意点として表 5.3 に示した。

表 5.3 メタン発酵処理後分離固分の敷料調製・利用時の技術的留意点

調査結果 (調製過程)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・固液分離機はスクリープレス式</li> <li>・分離直後固分の大腸菌数は <math>10^1 \sim 10^4</math>CFU/g- wet, 水分は 60~80%</li> <li>・堆積固分の温度が 55°C以上, 延べ 100h 以上持続 (例: 2 日ごとに 4 回の切り返し) で大腸菌数は分離直後 <math>10^2 \sim 10^3</math>CFU/g- wet (水分約 80%) から投入前には試料の 8 割以上が検出限界以下</li> <li>・堆積温度が高い状態で全量の移動・切り返しにより, 分離固分の堆積温度は 55~70°Cで推移</li> </ul>
敷料調製時の留意事項	<p>分離直後固分の大腸菌数は <math>10 \sim 10^4</math>CFU/g- wet であるため, 牛床投入前の大腸菌数をできるだけ検出限界以下にする.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 曝露温度・時間: 55°C以上, 延べ 100h 以上 <ul style="list-style-type: none"> <li>・発酵処理方法: 堆積処理 (数回の切り返し)</li> <li style="padding-left: 20px;">: 機械処理 (ロータリ方式, スクープ方式, スクリー方式, ドラム回転式急速堆肥発酵装置)</li> </ul> </li> <li>(2) 堆積温度の低下を防ぐため, 外気温の影響を防ぐ <ul style="list-style-type: none"> <li>・分離直後固分の堆積時は, とくに冬期には外気温の影響で堆積温度の低下が懸念されるため, 堆積庫, 堆積ヤードに扉を設け, 開閉できるようにする.</li> </ul> </li> <li>(3) 均一な高温曝露 <ul style="list-style-type: none"> <li>・分離固分の堆積温度が高い状態で全量の移動・切り返しを数回行う. これにより, 分離固分全体が高温均一に曝露され, 大腸菌の死滅が期待できる.</li> </ul> </li> <li>(3) 外部からの汚染の最小化 <ul style="list-style-type: none"> <li>・移動・切り返しの機械・装置は専用とする.</li> <li style="padding-left: 20px;">例: ホイールローダ, ショベルローダ, バケットを専用とする.</li> </ul> </li> </ul>
調査結果 (利用過程)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大腸菌性乳房炎の問題が発生するとされる大腸菌数 <math>10^6</math>CFU/g- wet 以上となる牛舎内平均気温 (投入後 21h) は 22°C以上, 牛舎内平均 THI は 70 以上と推察</li> <li>・大腸菌数は投入後 2~3h で <math>10^2 \sim 10^4</math>CFU/g- wet に増加</li> <li>・投入後 22~24h (10.5~24.3°C) で <math>10^4 \sim 10^6</math>CFU/g- wet に増加</li> <li>・ブリスケット部材前の未利用敷料の大腸菌数は <math>10^3 \sim 10^4</math>CFU/g- wet</li> <li>・乳牛は後肢で敷料を蹴散らかすことが多く, 清掃・敷き均しにより牛床後方の敷料が少ないと乳房の汚れも多くなることが懸念</li> </ul>
敷料利用時の留意事項	<p>敷料の大腸菌数が <math>10^6</math>CFU/g- wet 以上にならないようにする.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 投入頻度 <ul style="list-style-type: none"> <li>・毎日投入が望ましい, 牛舎内平均気温 22°C以上, 牛舎内平均 THI70 以上では, 大腸菌数は乳房炎発症のおそれがあるため清掃回数, 投入頻度を増やす</li> </ul> </li> <li>(2) ブリスケット部材前の未利用敷料は暑熱時には利用しない <ul style="list-style-type: none"> <li>・大腸菌で汚染されているため, 清掃・敷き均し時には注意する.</li> </ul> </li> <li>(3) 牛床後方の敷料の追加 <ul style="list-style-type: none"> <li>・牛床後方の敷料は, 少なくなったら追加する.</li> </ul> </li> <li>(4) 短期間の発酵処理では大腸菌が増殖するおそれがある.</li> </ul>
注意	敷料調製時の処理時間が短い場合は, 戻し堆肥のような抗菌性は持たない

#### 4. 小括

第 V 章では，麦稈，もみがら，おがくずの一般敷料の利用農場における季節的な大腸菌消長について調査し，これらと分離固分敷料を比較することでその特徴を明らかにするとともに，総合考察として代替敷料資材としての分離固分敷料の位置づけ，および利用時の技術的留意点を明らかにした．

##### 1) 一般敷料資材（麦稈，もみがら，おがくず）利用農場における大腸菌消長

分離直後固分の大腸菌数は  $10^1 \sim 10^4$  CFU/g-wet であり，堆積内部，温度の高い箇所では検出限界以下であった．

牛床敷料の水分と大腸菌数の関係では，敷料水分は，麦稈では 10～35% と低く，もみがら + 消石灰，おがくず + 消石灰では大きな差はなかった．もみがらとおがくずの敷料水分と大腸菌数の間には有意な正の相関がみられた（もみがら： $R^2 = 0.198$ ， $p = 0.002$ ，おがくず： $R^2 = 0.130$ ， $p = 0.002$ ）．

牛舎内平均気温ともみがら敷料の平均大腸菌数の間には気温が高いほど大腸菌数が多い傾向があった．

麦稈，もみがら，おがくずの敷料の大腸菌数は，試料採取が牛床清掃直後の場合もあったこと，消石灰が混合されていたことから，

大部分が  $10^3 \sim 10^5 \text{CFU/g-wet}$  と分離固分敷料 ( $10^4 \sim 10^6 \text{CFU/g-wet}$ ) に比べて 10 分の 1 と少ない傾向があった。試料採取時の状況を加味すると、好気処理や消石灰混合により大腸菌数を検出限界以下とした分離固分敷料および麦稈、もみがら、おがくずの敷料における牛舎内平均気温と敷料大腸菌数の関係は、第 III 章で示された回帰式を上限とする範囲に大腸菌数は分布していると考えられ、分離固分敷料の大腸菌数がとくに高い傾向にあるものではないと考えた。

また、ブリスケット部材前に堆積した未利用敷料は、分離固分敷料と同じように汚れていることがわかった。

## 2) 分離固分の敷料調製・利用時の技術的留意点

分離直後固分の大腸菌数は、調査全体で  $10^1 \sim 10^4 \text{CFU/g-wet}$  であった。このように発酵槽が 1 段のバイオガスプラントから生産される分離直後固分は大腸菌で汚染されていることがわかった。

牛床投入前の分離固分の大腸菌数が検出限界以下または  $2 \times 10^2 \text{CFU/g-wet}$  未満と少ない場合では、牛舎内平均気温が  $10.5 \sim 24.3^\circ\text{C}$  で投入後 22~24h の清掃前には、 $10^4 \sim 10^6 \text{CFU/g-wet}$  に増加し、大腸菌性乳房炎の問題が発生するとされる  $10^6 \text{CFU/g-wet}$  以上になると推察する。このため、分離固分の敷料調製過程では大腸菌の死滅処理が必要である。

分離固分の敷料調製過程では好気性発酵による高温曝露とともに、分離固分の堆積温度が高い状態で全量切り返しを行うこと、外部からの汚染を最小限とするために切り返しに用いる農業機械を専用とすることが重要である。また、低温となる冬期間は分離固分の堆積場所の扉を閉めるなどの保温対策により堆積温度の維持を図ることが重要である。

分離固分の敷料は8日間の短期堆積による発酵過程において大腸菌を $2 \times 10^2$ CFU/g-wet未満または検出限界以下にしたものであることから、分離固分敷料は戻し堆肥とは異なり抗菌性をもたず大腸菌の増加が速いことが明らかとなり、これを敷料利用した場合には大腸菌数は牛舎内平均気温 $22^\circ\text{C}$ 以上では大腸菌性乳房炎の問題が発生するとされる $10^6$ CFU/g-wet以上になると推察された。以上から、暑熱時の分離固分敷料の利用ではその交換頻度を多くする牛床管理が必要である。

これらをまとめ、「メタン発酵処理後分離固分の敷料調製・利用時の技術的留意点」として示した。

## 第VI章 総括

### 1. 研究のまとめ

北海道では，酪農の経営規模拡大に伴い発生する家畜ふん尿の処理方法の一つとして発電や臭気低減も可能なメタン発酵処理が広く普及しており，消化液の利用の有効性も認められている．一方，米国ではこの消化液の分離固分が敷料に利用されている．我が国では，敷料としてはおがくずが広く利用されてきたが，価格高騰により入手が困難となっている．もし我が国でも分離固分が敷料として有効に利用できれば，その利点は極めて大きい．しかし，米国では利用されている技術ではあるが，分離直後の無処理での利用法であるため，高温多湿の我が国での利用に当たっては，乳房炎の発症など安全性に不安が残る．類似した代替敷料である「戻し堆肥」については，その調製法や大腸菌抑制効果が明らかとなっており，分離固分についても同様な検討が強く望まれる．

そこで，本研究では，高温多湿な我が国で消化液の分離固分が敷料として利用可能なのかを明らかにするとともに，利用技術を確立することを目的とした．具体的には，①バイオガスプラント導入農家の敷料利用実態調査により分離固分の利用可能量，敷料利用時の問題点を把握し，②敷料調製時の大腸菌の消長を解明し，③敷料利用時の大腸菌消長について，季節（気温）変化，水分変化および乳

牛利用との関係を明らかにし，④一般的敷料（おがくず，もみがら，麦稈）利用農家との比較により，代替敷料資材としての分離固分の位置付け，および，その利用技術を明らかにした．

#### 1) バイオガスプラント導入農家の敷料利用の実態解明（第Ⅱ章）

第Ⅱ章では，同一メーカーにより設計・施工されたバイオガスプラントの施設概要，発酵状況などの実態を調査し，分離固分の発生量を算出するとともに，分離固分を敷料利用している10戸について，分離固分・敷料の大腸菌数と処理方法，気温との関係を検討して敷料利用時の問題点を明らかにした．また，分離固分を育成牛やパーラ搾乳牛の敷料に利用している2戸について，分離固分の処理方法と大腸菌数との関係を検討した．

バイオガスプラントの運転開始日は2012～2017年で，発酵温度は全て中温発酵であった．原料の水分は平均92.02%，消化液の水分は平均94.25%であった．建設後，飼養頭数の増加にもかかわらず，発酵槽容量が増加していないことがわかった．

有機物負荷は， $0.9\sim 3.7\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ で，消化液の戻しや残渣の投入が行われていたためばらつきが大きいと考える．

消化液，分離固分，分離液の水分から算出した分離固分発生量は4～13kg/日・頭であった．

調査 24 プラントのうち固液分離機を導入している農場は 21 戸あり、このうち分離固分を敷料利用している農場は 10 戸であった。敷料投入前に発酵処理をしている農場が 3 戸、おがくずと混合が 3 戸、かんなくずと混合が 1 戸、無処理利用が 3 戸であった。

分離直後固分の水分は 60～72%，大腸菌数は  $10^1 \sim 10^4$ CFU/g-wet であった。発酵処理後と堆積固分内部の試料の水分は 66～71%，大腸菌数は検出限界以下であり、発酵処理は分離固分の大腸菌除去に有効であると考えられる。

また、農場 No.1, 2 における数回にわたる試料採取では分離直後固分の大腸菌数は  $10^1 \sim 10^4$ CFU/g-wet で、堆積内部、温度の高い箇所では検出限界以下であり、いずれも酪農場 A における調査結果と同じであった。

調査農場全体の敷料の大腸菌数は  $10^3 \sim 10^7$ CFU/g-wet であった。敷料水分と大腸菌数の間には相関はなかった。平均気温と牛床敷料の平均大腸菌数の関係では、敷料の種類、調製方法、交換頻度の違いにより、同じまたは低い温度でも大腸菌数にばらつきがみられた。発酵処理（切り返し）後に牛床に投入された敷料の大腸菌数は、平均気温 16℃ のとき  $10^5$ CFU/g-wet, 21℃ のとき  $10^6$ CFU/g-wet 以上であった。これに対し、切り返しをしていない場合は 4～6℃ でも  $10^5 \sim 10^6$ CFU/g-wet 以上であった。



以上から，平均気温の差が 10℃以上あるにもかかわらず敷料の大腸菌数が同じオーダーであった要因は分離固分を発酵処理しているかなどの調製方法や敷料利用時の交換頻度の違いであると考えられ，分離固分を敷料として安全に利用するためには，適切な処理・利用法が重要であることが明らかとなった．

## 2) 分離固分の敷料調製時の大腸菌消長 (第Ⅲ章)

第Ⅲ章では，分離固分を敷料利用している酪農場において敷料調製過程の分離固分の衛生状態について大腸菌を指標に評価し，敷料調製技術を明らかにした．

分離直後固分の水分は 74.6～82.1%，8日間堆積固分は 76.3～80.8%であった．分離固分の堆積中の温度は2日ごと合計4回の切り返しにより 55～70℃で推移し，牛床投入までに 55℃以上を延べ 100h 以上持続した．大腸菌数は分離直後の  $10^2 \sim 10^3$  CFU/g-wet から牛床投入前には試料の 8割以上が検出限界以下まで減少した．以上から，分離固分の好気性発酵は，敷料の大腸菌除去に有効であった．

敷料調製過程の留意点は，55℃以上を維持するために分離固分の堆積温度が高い状態で，専用のホイールローダによる全量切り返しを行うことである．分離固分堆積場所の扉を閉めるなど冬期間の保温対策を行うことである．ホイールローダを切り返し専用とするこ

とにより，外部からの汚染を最小限にすることができる．分離固分堆積場所の扉を閉めるなど冬期間の保温対策を行うことである．

### 3) 分離固分の敷料利用時の大腸菌消長 (第IV章)

第IV章では，分離固分を敷料利用している酪農場において敷料利用時の衛生状態について大腸菌を指標に評価し，適切な利用技術を明らかにした．

牛舎内平均気温と分離固分敷料の平均大腸菌数の関係は牛舎内平均気温  $-0.8 \sim 23.7^{\circ}\text{C}$  の範囲で高い正の相関があり ( $R^2 = 0.783$ ,  $p < 0.01$ )， $22^{\circ}\text{C}$  以上では大腸菌性乳房炎の問題が発生するとされる  $10^6\text{CFU/g-wet}$  以上になると推定された．敷料の大腸菌数は投入前の検出限界以下あるいは  $2 \times 10^2\text{CFU/g-wet}$  未満から，投入後  $2 \sim 3\text{h}$  で  $10^2 \sim 10^4\text{CFU/g-wet}$  に増加した．牛舎内平均 THI と分離固分敷料の平均大腸菌数の関係は牛舎内平均 THI  $36.3 \sim 70.4$  の範囲で高い正の相関があり ( $R^2 = 0.761$ ,  $p < 0.01$ )，70 以上では大腸菌数  $10^6\text{CFU/g-wet}$  以上になると推定された．

調査開始時に除去しなかったブリケット部材前に堆積した未利用敷料の大腸菌数は  $10^3 \sim 10^4\text{CFU/g-wet}$  であった．

分離固分敷料は，①水分が約 78 % と高い，このことにより，②水分が高いほど大腸菌数が少ない傾向がある，③牛舎内気温が低い

と水分が高く大腸菌数は少ない，④牛舎内気温が高いと水分が低く大腸菌数は多い傾向がある，という特徴が明らかとなった．

牛床後方の敷料残存重量と大腸菌数の間には有意な負の相関があり，敷料残存重量が多いほど大腸菌数は少なくなる傾向があった．

牛床利用状況調査が牛の行動を判別できる時間帯に限られていたことから，牛床利用時間割合・牛床出入り回数と大腸菌数の間，および牛床出入り回数と敷料水分の間に相関はなかった．

#### 4) 一般的敷料資材との比較検討と分離固分敷料の利用技術確立(第V章)

第V章では，麦稈，もみがら，おがくずの一般敷料の利用農場における季節的な大腸菌消長について調査し，これらと分離固分敷料を比較することでその特徴を明らかにするとともに，代替敷料資材としての分離固分敷料の位置づけ，および利用時の技術的留意点を明らかにした．

分離直後固分の大腸菌数は  $10^1 \sim 10^4$  CFU/g-wet であり，堆積内部，温度の高い箇所では検出限界以下であった．

牛床敷料の水分と大腸菌数の関係では，敷料水分は，麦稈では 10～35% と低く，もみがら＋消石灰，おがくず＋消石灰では大きな差はなかった．もみがらとおがくずの敷料水分と大腸菌数の間には有

意な正の相関がみられた。

牛舎内平均気温ともみがら敷料の平均大腸菌数の間には気温が高いほど大腸菌数が多い傾向があった。

麦稈，もみがら，おがくずの敷料の大腸菌数は，試料採取が牛床清掃直後の場合もあったこと，消石灰が混合されていたことから，大部分が  $10^3 \sim 10^5$ CFU/g-wet と分離固分敷料 ( $10^4 \sim 10^6$ CFU/g-wet) に比べて 1 オーダー少ない傾向があった。試料採取時の状況を加味すると，好気処理や消石灰混合により大腸菌数を検出限界以下とした分離固分敷料，および麦稈，もみがら，おがくずの敷料における牛舎内平均気温と敷料大腸菌数の関係は，第Ⅲ章で示された回帰式を上限とする範囲に大腸菌数は分布していると考えられ，分離固分敷料の大腸菌数がとくに高い傾向にあるものではないと考えた。

また，ブリスケット部材前に堆積した未利用敷料は，分離固分敷料と同じように汚れていることがわかった。

分離直後固分の大腸菌数は，調査全体で  $10^1 \sim 10^4$ CFU/g-wet であった。このように発酵槽が 1 段のバイオガスプラントから生産される分離直後固分は大腸菌で汚染されていることがわかった。

牛床投入前の分離固分の大腸菌数が検出限界以下または  $2 \times 10^2$ CFU/g-wet 未満と少ない場合では，牛舎内平均気温が  $10.5 \sim 24.3^\circ\text{C}$  で投入後 22～24h の清掃前には， $10^4 \sim 10^6$ CFU/g-wet に増加

し、大腸菌性乳房炎の問題が発生するとされる  $10^6\text{CFU/g-wet}$  以上になると推察する。このため、分離固分の敷料調製過程では大腸菌の死滅処理が必要である。

分離固分の敷料調製過程では好気性発酵による高温曝露とともに、分離固分の堆積温度が高い状態で全量切り返しを行うこと、外部からの汚染を最小限とするために切り返しに用いる農業機械を専用とすること、分離固分の堆積場所の扉を閉めるなど冬期の保温対策を行うことが重要である。

8日間の短期堆積による発酵過程において大腸菌を  $2 \times 10^2 \text{CFU/g-wet}$  未満または検出限界以下にしたものであることから、分離固分敷料は戻し堆肥とは異なり抗菌性をもたず大腸菌の増加が速いことが明らかとなり、これを敷料利用した場合には大腸菌数は牛舎内平均気温  $22^\circ\text{C}$  以上では大腸菌性乳房炎の問題が発生するとされる  $10^6\text{CFU/g-wet}$  以上になると推察された。以上から、暑熱時の分離固分敷料の利用ではその交換頻度を多くする牛床管理が必要である。

これらをまとめ、「メタン発酵処理後分離固分の敷料調製・利用時の技術的留意点」として示した。

## 2. 今後の課題

調査農家からは、分離固分敷料を利用してから乳房炎が増加して

いないと聞いているが、分離固分敷料利用と乳房炎発症との関係について、直接的に研究・解析することができなかった。このため、乳房炎発症との関係について疫学的研究が必要と考える。

また、分離固分敷料利用時の経済性の分析・検討もできなかったため、経済的な分析も必要と考える。

牛の飛節調査と汚れ調査では、比較対象が麦稈を敷料利用している1農場だけであったため、おがくず、もみがらをそれぞれ敷料に利用している農場を調査することにより分離固分敷料の適正をさらに評価できると考える。

本研究の結果から分離固分は代替敷料として利用価値の高いものであると考える。おがくずの代替敷料が求められている中、分離固分の敷料利用が普及していること、固液分離機の導入率が高いことも確認できた。そこで、今回の「メタン発酵処理後分離固分の敷料調製・利用時の技術的留意点」という成果を「分離固分敷料利用の手引き」として、畜産農家へ広く情報提供することが必要と考える。

## 謝辞

社会人の私を暖かく受け入れていただき、学会発表、学会誌投稿、本研究のまとめにあたり、ご多忙中にもかかわらず、終始、懇切丁寧なご指導とご助言を賜りました酪農学園大学農食環境学群循環農学類農業施設学研究室 高橋圭二 教授に心より深く感謝申し上げます。

酪農学園大学農食環境学群循環農学類家畜管理・行動学研究室 森田茂 教授、農業機械システム学研究室 小宮道士 教授、環境微生物学研究室 岡本英竜 准教授にはお忙しい中、副査の任を引き受けていただき、本論文のご校閲と多くのご指導、ご助言を賜りました。土壌環境学研究室 澤本卓治 教授には分析方法のご指導と機器の提供をいただきました。干場信司 博士には本論文のご校閲とご助言、励ましの言葉をいただきました。ここに心より深く感謝申し上げます。また、本論文を審査いただいた酪農学園大学大学院酪農学研究科の諸先生に感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたっては、江別市の有限会社小林牧場 小林紀彦 社長、小林智行 専務をはじめ牧場の方々には調査の場を提供いただくとともに、貴重なご意見をいただき、現地調査では数多くの酪農場の方々にご協力いただきました。株式会社 土谷特殊農機具製作所の齊藤光祐氏には現地調査、データ提供に協力いただきま

した．北海道大学農学研究院連携研究部門連携推進分野 王秀峰 准教授には，暖かい励ましの言葉をいただきました．ここに心より感謝申し上げます．

多くの方々の温かいご指導，ご支援，激励の言葉をいただき，本論文をまとめることができました．心よりお礼申し上げます．

最後に，博士課程在学中，辛抱強く修了を待つとともに支えてくれた妻香織に感謝します．



## 引用文献

Bramley, A.J. and Neave, F.K. (1975): Studies on the control of coliform mastitis in dairy cows, Br.Vet.J.131, 160-169.

地域環境資源センター(2010):メタン発酵消化液の液肥利用マニュアル.

畜産環境整備機構(2011):メタン発酵消化液の水田利用および堆肥の燃焼利用マニュアル.

畜産環境整備機構(2013):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.

中央畜産会(2011):新・畜産環境保全マニュアル.

中央畜産会(2016):平成27年度家畜排せつ物利活用事業に係る敷料(主におが粉)等の生産動向・利用実態報告書.

古村圭子(2006):乳牛管理の基礎と応用.第2章.乳牛と環境.第2節.環境に対する乳牛の適応.柏村文郎・増子孝義・古村圭子編.デーリィ・ジャパン社.東京.

Hause, H.K. (2015): Using separated manure solids for compost bedding, Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/15-019.htm>, (accessed 2018-12-25).

樋口豪紀(2017):乳房炎の基本的な考え方と正しい搾乳手順,ライ

フステージでみる牛の管理，（高橋俊彦・中辻浩喜・森田茂），  
緑書房，147.

平川素子・阿部正八郎・足立高士（2010）：敷料に戻し堆肥を利用し  
た場合の乳房炎対策の一考察，大分県家畜衛生並びに畜産関係  
業績発表会集録，59，24-27.

久田野歩・柄武志・尾崎弘一・村瀬敏之（2016）：岡山県内酪農場に  
おける使用前敷料からの大腸菌群分離と乳房炎発生状況，家畜  
診療，63(7)，415-419.

Hogan, J.S., Smith, K.L., Todhunter, D.A. and Schoenberger, P.S.  
(1990): Bacterial counts associated with recycled newspaper  
bedding, J. Dairy Sci., 73, 1756-1761.

北海道バイオガス研究会監修（2002）：バイオガスシステムによる家  
畜ふん尿の有効活用，24.

北海道経済部 産業振興局 環境・エネルギー室 編集（2015）：畜産系  
バイオガスプラント導入ガイドブック，p13.

細田紀子・吉川清人・渡辺工一・岡本達也（1996）：環境性乳房炎の  
防除法の検討，獣医畜産新報，49(2)，101-104.

細田紀子・渡辺工一（1997）：環境性乳房炎の予防 — 一次発酵堆肥の  
敷料利用 — ，畜産の研究，51(2)，60-64.

Husfeldt, A.W., Endres, M.I., Salfer, J.A. and Janni, K.A. (2012): Man-

agement and characteristics of recycled manure solids used for bedding in Midwest freestall dairy herds, J. Dairy Sci., 95, 2195-2203.

井上雅美・羽成勤・吉尾卓宏・相沢博美(2003): フリーストール牛舎における戻し堆肥の利用, 茨城県畜産センター研究報告, 35, 1-6.

岩崎匡洋・竹内良曜・梅津一孝(2017): 農業施設に関わる研究・技術の最近の展開－家畜ふん尿を主原料とするメタン発酵処理施設について－, 農業施設, 48(3), 123-130.

Iwasaki, M., Yamashiro, T., Beneragama, N., Nishida, T., Kida, K., Ihara, I., Takahashi, J. and Umetsu, K. (2011): The effect of temperature on survival of pathogenic bacteria in biogas plants, Anim Sci. J., 82(5), 707-712.

Jasper, D.E. (1980): The coliform mastitis enigma: Cows, sawdust, softwood shavings, bedding. In: Mayer E(ed), Proceedings of International Congress on Diseases of Cattle, Tel-Aviv, Israel, Bregman Press. Haifa, Israel, 23-24.

仮屋喜弘(2003): 戻し堆肥の敷料再利用技術, 畜産の研究, 57(1), 101-105.

三好里美・中嶋哲治・光野貴文(2009): 戻し堆肥の敷料利用による

乳房炎予防効果，平成 20 年度香川県家畜保険衛生所業績発表  
会。

中村真人(2011)：メタン発酵消化液の液肥利用とその環境影響に関  
する研究，農村工学研究所報告，50，13-14。

日本土壌協会(2010)：堆肥等有機物分析法(2010年版)(財)日本土壌協  
会，167。

農研機構：農村研究部門地域エネルギーユニット(2012)：メタン発  
酵消化液の畑地における液肥利用－肥料効果と環境への影響－，  
[http://www.naro.affrc.go.jp/nire/introduction/chart/0601/index.h-](http://www.naro.affrc.go.jp/nire/introduction/chart/0601/index.html)  
[tml](http://www.naro.affrc.go.jp/nire/introduction/chart/0601/index.html)，(accessed 2016-07-02)。

農林水産省(2015a)：家畜排せつ物の利用の促進を図るための基本方  
針，[http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/l\\_hosin/pdf/kati-](http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/l_hosin/pdf/kati-ku_haiset_u_kihon_hoshin_h27.pdf)  
[ku\\_haiset\\_u\\_kihon\\_hoshin\\_h27.pdf](http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/l_hosin/pdf/kati-ku_haiset_u_kihon_hoshin_h27.pdf)，(accessed 2018-10-18)。

農林水産省(2015b)：食料・農業・農村基本計画 [http://www.maff.go.jp-](http://www.maff.go.jp-j/keikaku/k_aratana/pdf/1_27keikaku.pdf)  
[/j/keikaku/k\\_aratana/pdf/1\\_27keikaku.pdf](http://www.maff.go.jp-j/keikaku/k_aratana/pdf/1_27keikaku.pdf)，(accessed 2018-12-  
19)。

農林水産省(2018)：畜産統計調査，[http://www.maff.go.jp/j/tokei-](http://www.maff.go.jp/j/tokei-kouhyou/tikusan/index.html)  
[/kouhyou/tikusan/index.html](http://www.maff.go.jp/j/tokei-kouhyou/tikusan/index.html)，(accessed 2018-09-25)。

農林水産省生産局畜産部畜産振興課環境計画班(2018)：畜産経営に  
起因する苦情発生状況，<http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kan->

kyo/taisaku/pdf/kujyou\_29.pdf, (accessed 2018-09-25).

帯広市(2012): バイオガスプラントの稼働実績調査業務 概要版

Okamoto,E., Miyanishi,H., Nakamura,A., Kobayashi,T., Kobayashi,N.,

Terawaki,Y.and Nagahata,H. (2018): Bacteriological evaluation of  
composted manure solids prepared from anaerobic digested slurry  
for hygienic recycled bedding materials for dairy cows,  
Anim.Sci.J., 89(4),727-732,doi:10.1111/asj.12962.

大坪裕子・山下大司・大崎浩尚(1999): V. フリーストール・ミルク  
キングパーラーの順応性ーフリーストール牛舎における敷料の  
検討ー, 佐賀県畜産試験場試験研究成績書, 36, 16-19.

関口健二(2015): 省力・自動化酪農の手引き, デーリィマン社, 84-  
85.

Smith, K.L. and Hogan, J.S. (2006): Bedding counts in manure solids.  
Proceedings of the 45 th Annual Meeting of the National Mastitis  
Council, Tampa, Florida, 161-167.

USEPA(1994): A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids  
Rule, EPA/832/R-93/003.Washington,DC,116,https://nepis.epa.gov  
/Exe/ZyPDF.cgi/200046QX.PDF?Dockey=200046QX.PDF, (access-  
ed 2018-05-01).

渡辺千春・布藤雅之・内藤慎吾・谷庸子・藤田耕(1998): 牛ふんの

堆肥化過程における大腸菌の消長と分離菌の性状，滋賀県畜産  
技術振興センター研究報告，5，27-30.

West, J.W. (2003): Effects of heat-stress on production in dairy cattle,  
J. Dairy Sci., 86, 2131-2144.

山田洋文(2010)：家畜ふん尿処理における新技術導入の経営的評価  
「セミソリッドふん尿用固液分離装置」を事例として，フロン  
ティア農業経済研究，15(1)，63-73.

横濱充宏(2008)：乳牛ふん尿メタン発酵消化液の特性，(一財)畜産  
環境整備機構，42，11-14. [http://www.leio.or.jp/pub\\_train/public-  
ation/tkj/tkj42/chiku\\_j1\\_42.pdf](http://www.leio.or.jp/pub_train/public-<br/>ation/tkj/tkj42/chiku_j1_42.pdf), (accessed 2016-05-27).

## Abstract

### Techniques for Utilizing Separated Solids after Methane Fermentation as Bedding Materials

#### Objectives

The spread of methane fermentation as a form of livestock manure treatment method that can generate electricity and reduce odor has accompanied the expansion of the dairy industry in Hokkaido. The effectiveness of digestive fluid has also been recognized. In the United States, separated solids from digestive fluid are used as bedding. In Japan, however, sawdust has been widely used as bedding, but recently has become difficult to obtain due to price increases. If separated solids can be effectively used as bedding in Japan, its advantages will be significant. However, although this technique is used in the United States, the separated solids are used with no treatment immediately after separation and there are some safety concerns with their use in Japan, such as outbreaks of mastitis, due high temperature and humidity.

Recycled compost is a similar alternative bedding, and its preparation method and its suppressive effect on *Escherichia coli* have been clarified, so an investigation of separated solids bedding is desirable.

In this research, we aimed to clarify what effects Japan's high temperature and humidity may have on the separated solids from digestive fluid for use as livestock bedding, and to establish utilization techniques. In particular, (1) by investigating the condition of bedding from biogas plants used by farmers, we identified problems with the use of separated solids as bedding, (2) we elucidated the fate of *E. coli* during bedding material preparation, (3) we clarified the relations between season (temperature) change, moisture change, and dairy cow utilization and their effect on the fate of *E. coli* during use as bedding, and (4) we compared common types of bedding used by farmers (sawdust, chaff, wheat straw) with separated solids bedding to determine the relative effectiveness of separated solids as an alternative bedding material and establish appropriate usage techniques.



## Methods

**1. Field study on actual conditions of utilizing separated solids as bedding materials on farms using biogas plants:** We investigated the actual state of 24 biogas plants, which were designed and constructed by the same manufacturer, calculated the amount of separated solids that were generated, and examined the relations between *E. coli* counts in the separated solids / bedding and temperature, treatment method, and other parameters. *E. coli* counts were measured by the dilution plate method using CompactDry EC (Nissui Pharmaceutical Co.).

**2. Fate of *E. coli* in separated solids during bedding material preparation:** The hygienic status of separated solids during bedding material preparation at a dairy farm was evaluated by measuring *E. coli* counts using the dilution plate method with Chromocult Coliform Agar ES (Merck) and CompactDry EC (Nissui Pharmaceutical Co.).

**3. Fate of *E. coli* during use of separated solids as bedding:** On the same dairy farm as above, the hygienic status of separated solids during use as bedding was evaluated using *E.*

*coli* counts as an indicator of its relations with temperature, moisture, and other parameters.

**4. General Consideration—Comparative study of *E. coli* fate in common bedding materials and effective techniques for using separated solids as bedding:** We investigated seasonal differences in the fate of *E. coli* in bedding commonly used on farms (sawdust, chaff, wheat straw), clarified their characteristics by comparing them with separated solids bedding, and explored technical considerations in the use of alternative bedding materials.

## Results

**1. Field study on actual conditions of utilizing separated solids as bedding materials in farms using biogas plants:** The amount of separated solids calculated from the moisture of the digestive juice, the moisture of the separated solids, and the moisture of separated liquid was 4 to 13 kg/day. Of the 24 biogas plants we investigated, 21 farms had introduced solid-liquid separators, and 10 of these were using separated solids as bedding.

Three farmers performed fermentation prior to placement in the stall, three farmers mixed sawdust and separated solids, one farmer mixed wood shavings and separated solids, and three farmers used no treatment.

Immediately after separation, the moisture of the separated solids was 60 % to 72 %, and *E. coli* counts were  $10^1$  to  $10^4$  CFU/g-wet. After fermentation treatment and placement in the stall the moisture of the separated solids was 66 % to 71 %, and *E. coli* counts were below the limit of detection. It was found that aerobic fermentation of the separated solids was effective in eliminating *E. coli*.

In addition, the *E. coli* counts in a sample of several solids immediately after separation were  $10^1$  to  $10^4$  CFU/g-wet, and they were below the limit of detection inside the pile and at high temperature.

*E. coli* counts in the bedding of all investigated farms were  $10^3$  to  $10^7$  CFU/g-wet. No correlation was observed between bedding moisture and *E. coli* counts. In the relation between the average temperature and the average *E. coli* counts of the bedding, *E. coli* counts varied at the same or lower

temperatures depending on the type of bedding, the preparation method, and the frequency of changing bedding.

*E. coli* counts in bedding placed in stalls after turning were  $10^5$  CFU/g-wet at an average temperature of 16 °C and more than  $10^6$  CFU/g-wet at 21 °C. On the other hand, when turning was not performed, the counts were  $10^5$  to  $10^6$  CFU/g-wet at 4 to 6 °C. Differences in preparation methods, such as whether fermentation treatment of separated solids is carried out and how frequently bedding is changed, are factors leading to large *E. Coli* counts in bedding even when the average temperature difference is 10 °C or more. In order to safely utilize separated solids as bedding, it is important to use proper treatment and utilization methods.

**2. Fate of *E. coli* in separated solids used in the preparation of bedding:** Two days' worth of separated solids were deposited in a pile. Then, every 2 days, 4 times in total, a new pile of separated solids was redeposited after each existing pile was turned and moved. This resulted in 4 piles, and the fourth pile was then used as bedding. Due to turning,

the temperature of the separated solids fluctuated between 45 °C and 80 °C in the summer and between 40 °C and 70 °C in the winter; throughout the year, the separated solids had experienced temperatures of 55 °C or greater for a total of 100 h by the time of the fourth turning. *E. coli* counts in the separated solids immediately after solid-liquid separation were  $10^2$  to  $10^3$  CFU/g-wet but decreased to below the limit of detection in 80 % of the samples prior to placement in stalls. These results indicate that aerobic fermentation of separated solids is effective for eliminating *E. coli*.

The main consideration when preparing bedding is to maintain a temperature of 55 °C or higher while turning the whole amount with a dedicated wheel loader in order to keep the deposition temperature of the separated solids high. In addition, it is important to implement heat retention measures during the winter, such as closing the door of the location where the separated solids have been deposited.

### **3. Fate of *E. coli* during use of separated solids as bedding:**

The relation between average barn temperature and average *E.*

*coli* counts in the bedding during use prior to the placement of new bedding in stalls had a high positive correlation ( $R^2 = 0.783$ ,  $p < 0.01$ ) in the range of  $-0.8$  °C to  $23.7$  °C. At temperatures of  $22$  °C or higher, *E. coli* counts reached a level estimated to be conducive to the outbreak of mastitis ( $10^6$  CFU/g-wet or greater).

Counts of *E. coli* in the bedding were below the limit of detection or  $2 \times 10^2$  CFU/g-wet prior to placement in stalls and then increased to between  $10^3$  to  $10^4$  CFU/g-wet within 2 to 3 h after placement. The relation between average barn temperature-humidity index (THI) and average *E. coli* counts in the bedding during use prior to the placement of new bedding in stalls had a high positive correlation ( $R^2 = 0.761$ ,  $p < 0.01$ ) in the range of 36.3 to 70.4. At THI of 70 or higher, *E. coli* counts reached a level estimated to be conducive to the outbreak of mastitis ( $10^6$  CFU/g-wet or greater).

*E. coli* counts in unused bedding that remained in front of the brisket locator from the start of the investigation were  $10^2$  to  $10^3$  CFU/g-wet before cleaning of the stalls.

A significant negative correlation was observed between

the residual weight of the bedding behind the stalls and *E. coli* counts; as the residual weight increased, *E. coli* counts tended to decrease.

The separated solids bedding was found to have the following characteristics. (1) The moisture at the time of placement in stalls was high, at about 78%, and because of this, (2) *E. coli* counts tended to be low when moisture was high; (3) moisture was high and *E. coli* counts were low when the barn temperature was low; and (4) moisture was low and *E. coli* counts tended to be high when the barn temperature was high.

**4. General Consideration—Comparative study of *E. coli* in common bedding materials and effective techniques for using separated solids as bedding:** Immediately after separation, the *E. coli* counts of separated solids were  $10^1$  to  $10^4$  CFU/g-wet, and were below the limit of detection inside the pile and at high temperature. Bedding moisture was as low as 10 % to 35 % in wheat straw bedding, but no large difference was observed between chaff and lime bedding and sawdust and lime

bedding. A significant positive correlation was observed between moisture and *E. coli* counts in chaff bedding and sawdust bedding. The average *E. coli* counts of chaff bedding tended to increase with increasing average temperature inside the barn.

The relation between separated solids bedding, which had *E. coli* counts below the limit of detection as a result of aerobic treatment or slaked lime mixing, and the average barn temperatures of wheat straw bedding, chaff bedding, and sawdust bedding as well as their respective *E. coli* counts, were distributed within the range whose upper limit was the regression equation indicated in section 3 of the results.

Additionally, unused sawdust bedding and unused chaff bedding deposited in front of the brisket locator were found to be as contaminated as the separated solids bedding. Technical considerations are summarized and reported for the preparation and utilization of separated solids bedding after methane fermentation treatment.