

## 網状資材を利用した乾燥ハウス由来臭気の拡散抑制技術

星野佑太<sup>1)</sup>・日置雅之<sup>2)</sup>

**摘要:**乾燥ハウス内での乳牛ふん尿乾燥時の臭気、粉じん拡散を抑制する技術を開発するために、臭気、粉じんの発生を助長する要因と網状資材設置による臭気、粉じん拡散抑制効果を検証した。

- 乳牛ふん尿乾燥物の臭気指数（相当値）は堆積物水分率が25、30%で、また温度が高いほど強くなった。乾燥物由来の粉じん濃度は攪拌により高まり、水分率が低いほどその傾向が強かった。
- 実験室規模の装置による検証により、空隙率の低く、風速抑制率の高い網状資材は粉じんの飛散抑制に寄与することが示唆され、1種類の網状資材を乾燥ハウスへの臭気対策資材として選定できた。
- 乾燥ハウス側面に選定網状資材を設置し、ハウス内で乳牛ふん尿を乾燥させた場合、ハウス外部の臭気指数（相当値）および粉じん濃度はそれぞれ最大99%、92%低くなった。

**キーワード:**臭気、粉じん、乾燥ハウス、網状資材

### 緒言

臭気は、臭気物質単体による拡散の他、粉じん等の粒子状物質に臭気物質が付着して拡散する。畜産業では畜舎内外で多くの臭気、粉じんが発生する。本県の畜産現場で悪臭が問題となる施設の一つに乾燥ハウスがあり、乾燥ハウスでも粉じんが発生し得る。乾燥ハウスでは生ふんや堆肥の水分蒸発のため攪拌機を稼働させ乾燥させる。この過程で臭気だけでなく粉じんが飛散する状況が想定される。しかし乾燥ハウスは水分蒸発のために完全に密閉することはできず、臭気、粉じんの拡散対策には何らかの工夫が必要となる。

そこで、乳牛ふん乾燥物の粉末由来の臭気の強さや粉じん濃度が高まる要因と市販の網状資材を利用した臭気及び粉じん拡散抑制の効果について知見を得たので報告する。

### 材料及び方法

#### 1 乾燥乳牛ふん粉末の臭気、粉じん発生の助長要因調査

##### (1) 供試材量

乳牛ふんを乾燥ハウスの攪拌機で攪拌、乾燥させ、1 mm のふるいにかけた粉末を用いた。粉末の水分率は13%だった。

##### (2) 水分率による影響

乾燥乳牛ふん粉末の臭気、粉じんの発生に対し粉末の水

分率が与える影響について調査した。供試材量の粉末に蒸留水を添加し、水分率が15、20、25、30、40、50%となるように調整した。各水分率の粉末をにおい袋（近江オドエアサービス株式会社、近江八幡）に水分率調整前粉末で5 g相当量を投入した。空気ポンプで空気を入れ、密栓し、一定回数攪拌した。攪拌後直ちに畜環研式ニオイセンサ（XP-329IIIR-LK、春日工機株式会社、東京、以下ニオイセンサ）でにおい袋内の空気を90秒吸引し、次いで光散乱式デジタル粉じん計（MODEL3442、日本カノマックス株式会社、吹田、以下、粉じん計）で1分間吸引した。ニオイセンサは10秒間隔で記録した。値の反映にやや時間がかかることから、計測後30秒の値を切り捨て、後ろ60秒間の値を平均化した。各水分率で、攪拌と計測を3回繰り返した。

##### (3) 温度による影響

乾燥乳牛ふん粉末の臭気、粉じんの発生に対し周辺温度が与える影響について調査した。供試材量に蒸留水を添加し水分率20%に調整し、水分率調整前の粉末で5 g相当量をにおい袋に投入し、室内空気を空気ポンプで充填し栓をした。加温区と室温区を設け、加温区は40°Cの恒温槽へ、室温区は気温約10°Cの室内でそれぞれ5分間静置した。その後、におい袋内の空気をニオイセンサ、次いで粉じん計で吸引した。吸引条件、各機器の記録設定、ニオイセンサの記録の取り扱い(1)と同様とした。各区計測を3回繰り返した。

##### (4) 攪拌による影響

乾燥乳牛ふん粉末の臭気、粉じんの発生に対し攪拌行為が与える影響について調査した。供試材量5 gをにおい袋に

<sup>1)</sup>畜産研究部 <sup>2)</sup>畜産研究部(現環境基盤研究部)

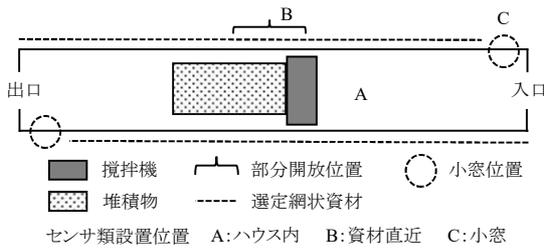


図1 乾燥ハウスとセンサ類設置位置の概要図

投入し、室内空気を空気ポンプで充填し栓をした。一定回数攪拌し(攪拌区)、攪拌後直ちににおい袋内の空気をニオイセンサ、次いで粉じん計で吸引した。対照として攪拌行為だけ行わない無攪拌条件(無攪拌区)で同様の操作を行った。ニオイセンサの使用条件は(1)と同様とした。粉じん計は記録間隔を10秒とし、60秒間に出る値を平均化した。その他条件は(1)と同様とした。各区測定を9回繰り返した。

2 網状資材の選定

乾燥乳牛ふん粉末由来の臭気、粉じん拡散を抑制させるため、乾燥ハウス側面に設置する網状資材を選定した。選定基準は空隙率、風速抑制率及び単価とした。候補とした網状資材は、目合い2 mm のネット(以下、2 mm ネット)、メッシュ状の防炎シート(株式会社ユタカメイク、岸和田)、寒冷紗(目合い1 mm×1 mm)の3種とした。

空隙率は、各網状資材を顕微鏡により拡大撮影し、その画像を白黒へ変換し、画像の白黒割合を算出して求めた。風速抑制率は、長さ1 m の単管パイプを用いて骨組みを組み立て、各網状資材を取り付け、各網状資材に向けて送風機で風を送りその反対側へ風速計(WS-02、株式会社カスタム、東京)を設置し風速を計測した。網状資材を外した状態の風速も計測し、以下の式により風速抑制率を求めた。

(1-網状資材をつけた状態での風速÷網状資材を外した風速)×100(%)

単価は算出に際し、実際の購入価格を参考とした。

3 実験室規模における選定網状資材の粉じん拡散抑制効果

網状資材の乾燥乳牛ふん粉末由来の粉じん拡散抑制効果を実験室規模で調査した。段ボール製の整流格子を取り付けた長方形の筒状の木箱(幅30 cm、高さ30 cm、奥行60 cm)の片側より送風機で送風した。風の出口側に網状資材を取り付けた。送風機から木箱まではビニールで囲い、送風する全量が装置に入るようにした。木箱の天井中央に穴を開け、ろうとを差し込み1と同じ供試材量を38 cm<sup>3</sup>投入した。木箱の風下1 m位置へ粉じん計および風速計を設置し、粉じん濃度と風速を計測した。

粉じん計の記録間隔は10秒とし、乾燥乳牛ふん粉末の投入開始から投入しきるまで計測した。投入しきるまでにかかる時間が状況により一定にならず計測時間にばらつきが生じたため、粉じん濃度は10秒間隔で記録された値の累計を利用した。風速は10秒間隔で記録し、投入開始後60秒間の平均風速を求めた。網状資材がない状態でも同様の計測を行

表1 異なる水分率の乳牛ふん粉末の攪拌が臭気及び粉じん濃度に及ぼす影響

区	臭気指数(相当値)	粉じん濃度(mg m <sup>-3</sup> )
15%	19.9 bc	1.309 a
20%	21.9 ab	0.264 b
25%	22.0 a	0.044 b
30%	22.0 a	0.004 b
40%	21.0 abc	0.000 b
50%	18.6 c	0.000 b

1) 臭気指数(相当値)、n=3、Tukey法、異符号間で有意差あり(p<0.05)  
2) 粉じん濃度、n=3、Tukey法、異符号間で有意差あり(p<0.01)

表2 乳牛ふん粉末の加温が臭気及び粉じん濃度に及ぼす影響

区	臭気指数(相当値)	粉じん濃度(mg m <sup>-3</sup> )
加温区	26.0 a	0.000 a
室温区	22.6 b	0.000 a

n=3、t検定、異符号間で有意差あり(p<0.01)

表3 乾燥乳牛ふん粉末の攪拌が臭気及び粉じん濃度に及ぼす影響

区	臭気指数(相当値)	粉じん濃度(mg m <sup>-3</sup> )
攪拌区	19.2 a	0.713 a
無攪拌区	11.3 b	0.031 b

n=9、t検定、異符号間で有意差あり(p<0.01)

い、網状資材による粉じん抑制効果を確認した。

4 乾燥ハウスの臭気、粉じん拡散に対する選定網状資材の影響

網状資材を実規模の乾燥ハウス側面開放部に設置し、乾燥、攪拌過程の乳牛ふんの臭気や粉じんの拡散抑制効果を調査した。乾燥レーン(間口3 m、高さ15 cm、長さ17 m)を有する乾燥ハウス側面開放部に網状資材を設置した。乾燥ハウスの扉を完全に閉じた場合でも風が流れるよう、1対の対角にあたる側面端の約1.5 mには網状資材を設置しなかった(この位置を以下、小窓と称する)。(図1)

乳牛ふん約1500 kgを乾燥ハウスに入れ、攪拌機移動距離を約4.5 mとし、攪拌機を往復運転させた。攪拌機の移動距離内に堆積物が収まるよう適宜堆積物を寄せた。攪拌機の稼働環境下における乾燥ハウス内外の臭気および粉じん濃度をそれぞれニオイセンサ、粉じん計で計測した。計測器の設置位置は、ニオイセンサをハウス内1か所、ハウス外2か所(網状資材直近および小窓)に同時に設置、粉じん計は上記3か所を順番に設置した(図1)。ハウス外の2か所はハウスから約50 cm離れた位置にニオイセンサ、粉じん計を設置した。堆積物の乾燥状況により、臭気や粉じんの飛散状況が異なることが想定されたため、乾燥開始から13日間での計測(高水分条件:堆積物の水分率83~69%)、乾燥開始から18~36日での計測(低水分条件:同24~10%)をそれぞれ実施した。網状資材直近位置では網状資材の有無の影響を調べるため、部分的に網状資材を約40 cm幅開放した。網状資材を開放した時の計測を網状資材の影響がない状態(資材直近(部分開放))、開放しなかった時の計測を網状資材の影

響がある状態(資材直近(未開放))として記録した。

計測はニオイセンサ、粉じん計ともに10秒間隔で記録した。攪拌機稼働から停止まで、続けて停止後3分経過するまでのデータを収集した。網状資材の影響の有無、ハウスの扉の開閉状況を変更し、各条件におけるデータを複数日で計測し、同条件におけるデータを平均化した。

## 結果及び考察

### 1 乾燥乳牛ふん粉末の臭気、粉じん発生の助長要因調査

#### (1) 水分率による影響

ニオイセンサにより測定した臭気指数(相当値)は水分率25%、30%で高く、15%、50%で低くなった(表1)。しかし、いずれの水分率においても敷地境界規制基準値(18)より高くなった。敷地境界規制基準値より高くなるのは、供試した粉末が生ふんを乾燥させふりにかけたただけのものであり、加水により臭気の揮散が活発になったことと、密閉状態による濃度上昇によるものと推察された。

一方、攪拌時の粉じん濃度は水分率が低いほど高まる傾向にあり、水分率15%で最も高く、30%以上の区ではほぼ数値が検出されなかった(表1)。このことから、粉末の水分率が低いほど空气中に粉じんが漂いやすくなると考えられた。

臭気指数(相当値)は粉末水分率が25%、30%の時をピークに、25%を下回るほど、また30%を上回るほど小さくなった。一方、粉じん濃度は粉末水分率が低くなるほど高まった。臭気指数(相当値)、粉じん濃度の数値の増減が連動していないように見えるが、原田ら<sup>1)</sup>も粉じんの日平均濃度と鶏舎内アンモニア濃度等の複数の項目で相関がなかった旨の報告をしている。単純な関係性ではないように見えることから、粉じんの発生要因、複合臭もしくは臭気物質ごとの発生要因が複数関与していると考えられた。

#### (2) 温度による影響

夏季、冬季環境下の乾燥乳牛ふん粉末を想定し、乾燥乳牛ふん粉末由来臭気、粉じんの発生に対し周辺温度が影響しているかどうかを調査した。その結果、加温区、室温区ともに臭気指数(相当値)は敷地境界規制値以上となったが、特に加温区の方が高かった(表2)。一方、粉じん濃度は攪拌行為がなかったことから両区とも検出限界以下となった。

#### (3) 攪拌による影響

臭気指数(相当値)および粉じん濃度は攪拌区の方で有意に高くなった(表3)。

以上の結果から、臭気は水分率が25~30%付近、高温、攪拌条件により発生が助長されることが示唆された。粉じんは堆積物の水分率が低いほどに、そして攪拌行為が加わることで発生が助長すると示唆された。乾燥、攪拌といった要素は乾燥ハウスで生じる現象そのもののためこの要素に対する対策はとりにくい。それ以外の観点で対策をして、臭気、粉じんの拡散を抑制する必要があると考えられた。

### 2 網状資材の選定

乾燥ハウスから乾燥ふん粉末の飛散を抑制することで臭気、粉じんの拡散抑制に寄与することが示唆された。そこ

表4 供試した網状資材の特徴

資材種	目合い(mm)	単価(円 m <sup>-2</sup> )	拡大図	空隙率(%)	風速抑制率(%)
2 mmネット	2	1690		32	100
防災シート	不明	502		41	98
寒冷紗	1	403		61	71

表5 実験室規模における選定網状資材の粉じん拡散に及ぼす影響

区	粉じん濃度(mg m <sup>-3</sup> )	風速(m sec <sup>-1</sup> )
網状資材設置区	4.8 a	1.0 a
網状資材無設置区	46.3 b	2.9 b

n=5、t検定、異符号間で有意差あり(p<0.01)

表6 高水分乳牛ふん由来の臭気指数(相当値)に対する防災シートの影響

出入口扉状況	ハウス内	ハウス外		
		資材直近(未開放)	資材直近(部分開放)	小窓
扉開き	20.0	3.5 (83)	6.0 (70)	5.5 (72)
扉閉じ	28.1	8.8 (69)	16.0 (43)	15.7 (44)

( )の値はハウス内臭気指数(相当値)からの減少割合(%)を示す。

表7 低水分乳牛ふん由来の臭気指数(相当値)に対する防災シートの影響

出入口扉状況	ハウス内	ハウス外		
		資材直近(未開放)	資材直近(部分開放)	小窓
扉開き	11.7	0.2 (99)	0.3 (98)	0.8 (93)
扉閉じ	14.3	0.4 (97)	0.4 (97)	2.1 (85)

( )の値はハウス内臭気指数(相当値)からの減少割合(%)を示す。

表8 低水分乳牛ふん由来の粉じん濃度(mg m<sup>-3</sup>)に対する防災シートの影響

出入口扉状況	ハウス内	ハウス外		
		資材直近(未開放)	資材直近(部分開放)	小窓
扉開き	0.239	0.026 (89)	0.033 (86)	0.040 (83)
扉閉じ	0.657	0.054 (92)	0.112 (83)	0.235 (64)

( )の値はハウス内粉じん濃度からの減少割合(%)を示す

で、乾燥ハウス側面開放部への対策を検討した。乾燥ハウスは乾燥目的の施設であり密閉化できないため、密閉させずに防風効果を見込める網状資材を設置することとした。網状資材による風の抑制効果は空隙率に関係し、空隙率は目合いと糸の太さに関係することから<sup>2)</sup>、仕様上の目合いが小さくても糸が細いために空隙率が高くなる網状資材もある。そこで網状資材を顕微鏡により拡大し撮影した写真を用いて空隙率を計算したところ、候補資材の中では2 mmネットと防災シートが低かった。同様に、風速抑制率もその2種が高かった(表4)。風速抑制率は2 mmネット、防災シートで極端に高かったが、これは網状資材に当たった風が網の目を通過するよりも横に逸れる様に流れたためと考えられた。これは、風が逸れる空間があれば網を通過しにくく、風の流れを誘導できるということであり、少なくとも寒冷紗よりは風速を抑制する傾向にあると考えられた。この結果は既報<sup>2)</sup>と同様の傾向に

なったことから、資材選定のための判断材料とした。

単価は、寒冷紗が最安値であったが、風速抑制効果の観点から2 mmネットもしくは防炎シートが候補となり、より安価な防炎シートを選定した(表4)。

### 3 実験室規模における選定網状資材の粉じん拡散抑制効果

2の結果から防炎シートを選定したため、防炎シートの粉じん拡散抑制効果を実験室規模で調査した。その結果、防炎シート設置区で装置の風下1 mにおける粉じん濃度が有意に低くなった。さらに、風速も防炎シート設置区で有意に低くなった(表5)。以上のことから、防炎シートは実験室規模において風速を抑制し、その影響により粉じんの拡散抑制に寄与することが明らかとなった。

### 4 乾燥ハウスの臭気、粉じん拡散に対する選定網状資材の影響

網状資材は風速抑制率等により選定され、実験室規模の試験で粉じんの飛散抑制効果が示唆された。これを受け、選定網状資材を実規模乾燥ハウス側面へ設置し、臭気、粉じんの拡散抑制効果を検証した。以下、その結果を臭気指数(相当値)と粉じん濃度別に記載する。

堆積物が高水分、低水分時の調査の結果、乾燥ハウス内の高い臭気指数(相当値)が防炎シートを介した位置では69~99%低減された(表6、7)。

高水分時では、扉が開状態では出入口間の風の流れが活発になり、シートを設置した側面方向の風の流れが抑制され、シート直近位置の臭気指数(相当値)が低い傾向になったと考えられた。扉が閉状態では空気が滞留するためハウス内の値は高くなる傾向にあった。そして、開放部を通る風が主になり、シート直近(部分開放)と小窓で比較的高い値が計測されたと推察された。どちらの条件もハウス内より防炎シートの外側位置で値が低いことから、防炎シートにより臭気拡散が抑制されたと判断した。低水分時は、扉条件に関わらずシート直近(未開放)とシート直近(部分開放)でほぼ同等の値となった。この要因として考えられるのは、風の流れが開放された出入口間または小窓間でほぼ固定され、シート開放部から風が行き来しなかったためと推察した。

いずれの水分、扉開閉条件においても防炎シートが介在する場所ではハウス内臭気の数値よりも低くなったことから、防炎シートは実規模乾燥ハウスにおいて臭気の拡散を抑制する効果が高いと判断した。

堆積物が高水分の時、いずれの場所でも粉じん濃度は検出下限値以下であった。堆積物が低水分の時、乾燥ハウスの扉の開閉に関わらずハウス内の高い粉じん濃度がシート直近(未開放)では89~92%低減された(表8)。これは、防炎シートの介在により風が抑制され、粉じんの拡散も抑制されたためと考えられた。また、小窓へ風が流れやすい扉閉じ条件下、小窓の値がシート直近(未開放)の約4倍高く、これは風が小窓方向へ流れていることを示唆した。つまり、防炎シートにより開放部へ風が誘導されていると考えられた。これにより防炎シートは風の動きを抑制することで、粉じんの拡散も

抑制する傾向にあることが分かった。

攪拌機カバー前後にゴムシートを取り付けることで粉じん飛散抑制できるという報告<sup>3)</sup>もあることから、本試験でも密閉することが粉じんの飛散抑制に繋がっていることが分かる。このことから、空隙率の低いメッシュ状のシートであれば密閉状態に近い環境を再現できると考えられ、粉じん拡散を抑制することになったものと推察された。

豚由来の積もった粉じんが吹き飛ぶ風速は、概ね1.4 m sec<sup>-1</sup>である<sup>4)</sup>と報告されており、乾燥ハウスで攪拌機が停止していたとしても、入り込む自然風で粉じんが飛散する可能性が考えられる。つまり、自然風が乾燥ハウス出入口から吹き込む場合には、常時粉じんが飛散する状況が想定される。防炎シートによりシート方向への拡散抑制を常に行い、出入口方向の風による飛散に対しては扉を閉じる等簡易な対応で拡散総量を減らすことが可能だと考えられた。

### 5 まとめ

乾燥乳牛ふん粉末は攪拌により臭気や粉じんが飛散すること、高温時ほど粉末の飛散先で臭気発生リスクが高まることが考えられた。これらは乾燥ハウスを日常的に運用するだけで生じ得るリスクであり、堆積物を過乾燥させることでそのリスクが高まると考えられた。

乾燥ハウスの臭気、粉じん拡散抑制対策として3種の網状資材を検討した。空隙率が低く、風速抑制率が高く、単価が安価な防炎シートが実験室規模で粉じんの飛散を抑制したため、実規模乾燥ハウスへの対策資材として選定できた。

乾燥ハウスの側面開放部分へ防炎シートを設置することにより、防炎シートの外側では乾燥ハウス内よりも臭気、粉じんを低減できた。このことから風速抑制率の高い網状資材を乾燥ハウス側面へ設置すると、網状資材を介した位置で臭気、粉じんの拡散を抑制できると示唆された。しかし、空隙率の低い網状資材は風通しが悪いため、開放部全面に設置した場合に堆積物の乾燥へ影響を及ぼす可能性があること、ふんを連続的に投入した場合の堆積物の乾燥状況は不明であるため、これらの点については今後検討が必要となる。

### 引用文献

1. 原田泰弘, 道宗直昭, 小竹雅人. 閉鎖型採卵鶏舎から発生する粉じん及びアンモニア. 農業施設. 38(4), 275-283(2008)
2. 森山友幸, 井手治, 龍勝利, 奥幸一郎. 微小目合い防虫網の昇温抑制効果からの選定指. 福岡県農林業総合試験場成果情報. <https://farc.pref.fukuoka.jp/farc/seika/h15b/06-26.pdf>
3. 阿部佳之, 小島陽一郎, 天羽弘一, 木下強, 高柳晃治. ロータリー式攪拌・切り返し装置を備えた堆肥化施設からの粉じんや悪臭の拡散抑制技術の開発. におい・かおり環境学会誌. 49(3), 174-179(2018)
4. 岡田光弘. 豚舎粉塵の理化学的性状について. 日本養豚学会誌. 28(2), 120-125(1991)