

畜産農家にわかりやすい臭気の見える化及び低コスト臭気抑制技術の開発

前田綾子、加藤大幾、福島正人¹⁾、黒澤良介²⁾、木下強

1) 現 農業大学校、2) 現 県南家畜保健衛生所

要 約

農場内の臭気分布マップを作成することで、生産者・指導者が臭気発生場所・臭気の強さを視覚で確認でき、臭気低減が必要な場所が一目でわかる方法（臭気分布の見える化）を開発した。

なお6戸の養豚場で臭気分布マップを作成したところ臭気が強い主な場所は、豚舎内、豚舎換気扇排出口、堆肥化施設、糞尿が貯留されている場所であった。

豚舎の構造の違いにより発生する臭気成分に違いがあった。

次世代閉鎖型牛舎から発生する臭気は、アンモニア、メチルメルカプタンで、換気量が低下する秋から冬期に臭気濃度が増加する。

次世代閉鎖型牛舎に適した脱臭方法は、排気側に剪定枝や大谷石などを充填した脱臭装置を設置することで低下する。

目 的

本県において畜産経営に起因する苦情は、悪臭の割合が最も大きく、苦情全体の約67%¹⁾を占めている。特に養豚経営における悪臭に対する苦情の発生割合は、他の畜種と比較して大きい傾向にある。

悪臭苦情を受けた農家の大半は、臭気は見えないため、農場内の臭気の発生源や原因を特定できず、効果が不明確な脱臭資材を用いて対応をするなど、根本的な解決にまで至っていない。また、普及指導員などが悪臭低減対策の指導を行う場合についても、悪臭の発生場所、対策に関する客観的な判断材料がないことが多い。これまでの悪臭に関する研究では、農場全体の臭気を把握調査したものは少なく、さらに臭気は見えないため、また人それぞれ感じ方が違うため生産者、指導者で臭気発生場所及び臭気の強さなどに対する共通の認識を持つことが難しく、効果的な悪臭低減対策をとれてこなかった。そのため臭気低減の対策には、まずどこからどの程度臭気が発生しているか、生産者や指導者が共通の認識を持てる仕組み（臭気分布の見える化）が必要であると考え、畜産農家にわかりやすい臭気の見える

化について検討した。

また、見える化を実施した農家で臭気が強く発生している場所の臭気成分について調査し、それに対する臭気の高コスト脱臭資材の検討を行った。

また、近年、閉鎖型畜舎（ウインドレス畜舎）が増えてきているが臭気対策は十分でない場合が多い。県内に新たなシステムの閉鎖型プッシュ・プル横断換気搾乳牛舎（次世代閉鎖型牛舎）が建設されているが、臭気対策が確立されていない。そこで次世代閉鎖型牛舎から発生する臭気の季節変化を明らかにするとともに、適した脱臭技術について検討した。

試験1 養豚場における臭気分布の調査

材料及び方法

調査期間は、2011年～2013年、調査時期は年4～5回（春夏秋冬）、調査養豚場は、6戸で概要は表1、豚舎の配置については図1～6のとおりで実施した。

畜舎、強制発酵施設周囲など敷地内全体の25～50カ所（図1～6）を1m程度の高さで畜産研式ニオイ

表1 調査した養豚場の概要

農家名	母豚数	飼養形態	畜舎構造	ふん尿分離・混合	調査年度
TM養豚場	235	一貫	スノコ	分離	2011
HR養豚場	53,000	子取り	スノコ・平床・バイオベット	分離・混合	2011
UN養豚場	100	一貫	スノコ・平床	分離	2012
ZT養豚場	1,300	一貫	スノコ・平床	分離・混合	2012
KN養豚場	(2,000)*	肥育	バイオベット	混合	2013
KY養豚場	500	子取り	スノコ・バイオベット	混合	2013

* () 内は、肥育豚数

センサ（新コスモス電機株式会社 XP-329ⅢR）²⁾を使用し、臭気指数（相当値）を求めた。

畜環研式ニオイセンサで測定した臭気指数（相当値）を基に臭気の強さを色分けし、地図上に表示した（以下、臭気分布マップとする）。本県では、現在悪臭防止法により住居系地域や工業系地域で敷地境界線の臭気指数が 15～18 で規制されている³⁾ため、規制値を灰丸（●）、それ以下を白丸（○）、それ以上を黒丸（●）とした。

結果及び考察

表 2～7 は、各養豚場の測定場所の臭気指数（相当値）の値を示した。表では養豚場内の、どの場所から強い臭気が発生しているか、一目ではわかりにくいいため、臭気指数（相当値）を基に臭気の強さを色分けし、地図上に表示した（図 7～12）。これらの地図を臭気分布マップとして、各養豚場に配付した。

(1) TM 養豚場の臭気分布について（図 7）

5 月は、子豚舎の換気扇周辺及び堆肥化施設周辺で強い臭気が発生していた。7 月は、風下の方に強い臭気が発生していた。これは、堆肥化施設周辺の臭気が風下に移動していると考えられた。スクレーパー排出口で強い臭気が発生していた。

8 月は、調査時の天気が雨のため臭気が雨水に溶け、空気中の臭気が減少したと考えられ、他の月と比較して強い臭気は発生していなかった。

11 月は、他の月と比較して農場全体に強い臭気が発生していた。調査時は、堆肥の切り返し（ロータリー稼働中）作業が行われていた。強制発酵施設に壁がないため、農場全体に堆肥化の臭気が拡散したと考えられた。また、堆肥の切り返し中には強い臭気が発生することも確認できた。

2 月は、豚舎換気扇が稼働するたびに強い臭気が発生した。換気扇が稼働していないときは強い臭気が発生していなかった。豚舎を保温するため窓やカーテンは閉じられ豚舎内で発生した臭気が拡散されず、時折り稼働する換気扇によって外に排出されるため、強い臭気となって外に拡散されていたと推測される。

風向き、雨などで臭気の分布が変化する場所や常に臭気が発生している場所（豚舎換気扇周辺、スクレーパー排出口、堆肥化施設）を確認することができた。

この臭気分布マップを見た TM 養豚場は、堆肥を攪拌すると強い臭気が拡散してしまうことを確認

したため、強制発酵施設に簡易対応として、シートで覆うことを行った。また今後は強制発酵施設の代替として密封縦型コンポスト導入の検討を開始した。

豚舎から排出される臭気低減対策については、清掃をこまめに行うようになった。

(2) HR 養豚場の臭気分布について（図 8）

年間を通し、5 月の調査結果のように臭気発生場所にほとんど変化がなく、堆肥化施設やスクレーパー排出口、豚舎換気扇排気口で農場の中心に強い臭気が発生していた。

季節や風の影響を受けなかった理由は、堆肥化施設やスクレーパー排出口には、壁やカーテンが設置されており、臭気が拡散しにくい構造となっていたためと考えられた。

農場の中心に臭気が集まっていた理由は、臭気が発生する施設（堆肥化施設、スクレーパー排出口、豚舎換気扇）が敷地の中心部に配置してあり、敷地境界に強い臭気が移動しないように配置されていたためと考えられた。

しかし、5 月に工事中であった新豚舎については、7 月以降の調査で、豚が豚舎内に入り稼働し始めていた。この新豚舎の換気扇排気口は、敷地の外向きに配置されたため敷地境界の方に臭気が流れていた。

この臭気分布マップを見た HR 養豚場は、5 月に工事中であった新豚舎の排気口（図 2 の㉔）から敷地境界の方向に臭気の流れを確認したため、その換気扇からできるだけ臭気が拡散しないように覆いを設置する検討を開始した。

(3) UN 養豚場の臭気分布について（図 9）

豚舎周辺では、様々な場所で臭気に変化していた。6 月は、尿貯留槽付近（図 3-⑤、⑥）で強い臭気が発生していたが、これは尿貯留槽の蓋が開いている状態であったためと考えられた。8 月の調査では、この蓋を閉じることで尿貯留槽から強い臭気発生を抑えられた。

8 月は子豚舎の周りで強い臭気が発生していた。原因は暑さのため子豚が動き回り、糞尿が混合され広い範囲に存在し臭気が発生していたためと考えられた。

2 月は、寒さ防止のため豚舎のカーテンや窓が閉じられている状態だったため、豚舎周辺では臭気が発生していなかった。

水洗脱臭槽は、1年間を通して強い臭気が発生していた。

この臭気分布マップを見たUN養豚場は、6月の尿貯留付近の臭気が強かったため蓋をした。8月の子豚舎周りが強いということを確認したため、平床豚舎からスノコ豚舎に改築の検討を開始した。その他、豚舎周辺で臭気が強かったところは、そのたびに清掃を実施するようになり、臭気低減につながった。

水洗脱臭槽について、6月は水の交換を行っていなかったが、臭気が強いことを確認できたので速やかに水交換した。しかし、それでも水洗脱臭槽からの臭気は強いままだったため、脱臭資材の添加の検討を開始した。

(4) ZT養豚場の臭気分布について (図10)

6月は、肥育や離乳舎、強制発酵施設、水処理施設周辺で臭気が強かった。2月は、保温のためカーテンが閉められ、臭気は豚舎外に拡散されにくい状態であり、また、風が強かったため、豚舎外に排出された臭気は拡散され低下したと考えられた。

この臭気分布マップを見たZT養豚場は、強制発酵施設が閉鎖型の強制発酵施設だったが、両脇にあったカーテンが破れ開放型となっていたため、強制発酵施設から堆肥化時の臭気が外に拡散されないよう、ポリカーボネート製の壁面に改造した。

また、豚舎については、ふん尿混合を分離できる構造に徐々に改修するとともに、尿貯留槽の蓋をする検討を開始した。

(5) KN養豚場の臭気分布について (図11)

6月の豚舎周辺における臭気は、敷料が新しい場所は、臭気指数(相当値)が低く、古い場所は、臭気指数(相当値)が高くなった。また、他の月でも同様の傾向が見られた。

この臭気分布マップを見たKN養豚場は、さらに臭気を低減するため8月以降、オガクズのみを敷料をオガクズと戻し堆肥混合敷料に変更したり、脱臭資材添加を行うようになった。

(6) KY養豚場の臭気分布について (図12)

5月の調査では、豚舎や強制発酵施設から外に臭気はほとんど拡散されていなかった。

調査の2年程度前に全ての施設を新築した養豚場のため、5月の調査時では、カーテンの破れ等もなく、豚舎も汚れや埃等が蓄積していなかったため、他の養豚場と比較すると臭気発生は少なかったと考えられた。またストール舎の排気は屋根から出

るような構造だったため、調査高(地上1~2m)には臭気が拡散されていなかったと考えられた。しかし、8月、11月では、強制発酵施設の北側の扉が開いており、3月では、カーテンや扉が強風で壊れていたため、強制発酵施設から臭気が拡散されていた。

この臭気分布マップを見たKY養豚場は、改めて強制発酵施設のカーテンや扉は閉めておくべきと認識できた。

以上をまとめると臭気分布マップを用いることにより、いずれの養豚場でも、嗅覚のみで漠然と、とらえていた臭気を、その強弱や場所などより具体的に視覚でとらえることができ、臭気低減を行わなければならないという意識を高めることができた。

また、臭気発生場所に覆いが必要な場所、清掃が必要な場所などを視覚でとらえることができ、容易にできる対策で十分な改善効果を得ることができた。さらに、容易に改善できない豚舎や堆肥化施設についても根本的に改善するための建て替えや改修を検討するなど臭気分布マップにより臭気低減に取り組むための動機付けにつながった。

これらのことから、臭気分布マップを作成することで生産者・指導者が臭気発生場所を確認でき、共通の認識を持つことが可能となるため、効果的な臭気低減対策の資料として活用できるのではないかと考えられた。



図1 TM養豚場の臭気測定場所

表2 TM養豚場の臭気指数(相当値)

測定場所	調査日				
	2011		2012		
	5/24	7/7	8/5	11/15	2/17
1	2	10	4	16	16
2	1	7	1	17	10
3	21	16	14	22	8
4	18	16	15	17	9
5	8	6	14	16	9
6	5	4	2	14	8
7	3	0	0	14	5
8	11	0	14	20	1
9	12	0	14	14	1
10	10	23	14	17	1
11	2	9	16	19	0
12	0	18	12	19	1
13	13	21	13	22	14
14	27	30	16	31	25
15	23	26	15	27	24
16	21	23	10	27	22
17	3	23	13	25	17
18	0	6	6	16	15
21	-	1	14	13	3
22	-	0	11	17	13
23	-	1	10	14	13
24	-	9	11	14	11
25	-	14	12	-	-

※測定場所は図1参照

表3 HR養豚場の臭気指数(相当値)

測定場所	調査日				
	2011		2012		
	5/23	7/6	8/9	11/16	2/16
1	13	4	3	14	7
2	8	4	0	10	5
3	7	2	0	8	3
4	7	0	4	5	2
5	5	0	2	3	2
6	0	8	10	7	1
7	18	14	6	20	14
8	4	2	7	12	5
9	23	22	17	14	8
10	15	15	16	14	13
11	28	12	13	13	15
12	23	26	27	33	-
13	31	-	-	-	-
14	22	16	15	22	16
15	17	14	7	15	8
16	23	9	10	14	5
17	17	13	21	16	7
18	12	17	16	14	8
19	9	11	11	9	10
20	9	8	13	3	8
21	11	14	12	2	8
22	26	23	26	>40	30
23	20	17	28	15	23
24	18	16	15	29	29
25	15	17	17	3	17
26	15	16	16	6	17
28	1	14	13	1	5
29	6	5	7	0	1
30	5	15	4	0	0
31	14	6	4	2	0
32	10	23	1	19	15
33	0	13	6	7	1
34	21	15	20	19	24
35	-	23	22	13	14
36	-	21	22	8	6
37	21	22	24	25	29
38	30	26	27	33	35
39	-	16	-	-	-
40	-	-	-	19	18
41	-	-	-	-	23

※測定場所は図2参照

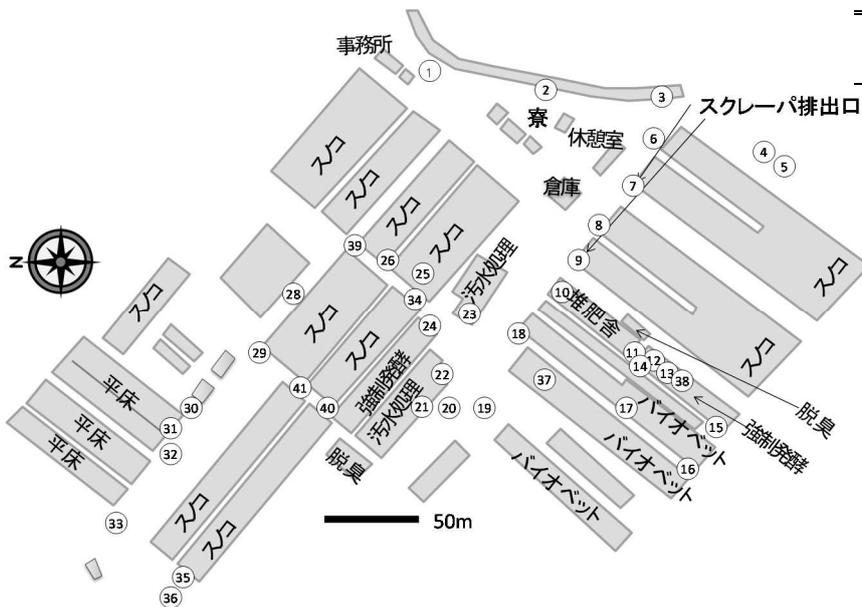


図2 HR養豚場の臭気測定場所

*スノコ・バイオベット・平床は豚舎の床の構造を表している



図3 UN 養豚場の臭気測定場所

表4 UN 養豚場の臭気指数 (相当値)

測定場所	調査日					
	2012		2013			
	6/7	7/11	8/29	11/15	2/15	5/23
1	0	0	2	0	3	7
2	0	11	22	0	2	8
3	0	13	25	5	4	16
4	2	13	24	4	5	21
5	26	17	15	6	4	5
6	22	17	11	3	2	3
7	18	16	8	2	1	3
8	18	8	4	1	0	2
9	12	12	14	1	0	2
10	14	14	14	16	2	4
11	26	25	26	27	22	23
12	10	9	16	14	26	7
13	14	0	15	14	23	6
14	11	4	14	14	13	14
15	0	0	7	5	6	3
16	0	9	5	3	5	9
17	0	19	9	3	3	8
18	0	5	6	6	3	9
19	0	15	6	5	2	11
20	0	0	12	15	3	12
21	15	3	15	13	3	16
22	19	17	10	22	4	18
23	17	16	13	22	5	15
24	6	18	13	9	6	4
25	0	0	1	3	5	3
26	0	0	4	6	5	3
27	1	0	0	1	5	3
28	0	0	11	6	4	7

※測定場所は図3参照

表5 ZI 養豚場の臭気指数 (相当値)

測定場所	調査日			
	2012		2013	
	6/6	8/28	11/13	2/5
1	1	3	12	2
2	0	8	8	9
3	1	4	4	7
4	20	0	2	6
5	24	0	2	11
6	21	0	0	10
7	22	2	0	8
8	7	3	1	7
9	13	3	2	6
10	0	1	0	4
11	0	0	0	4
12	5	1	1	4
13	0	3	1	1
14	1	1	1	1
15	0	1	5	1
16	0	5	4	2
17	0	6	6	1
18	0	5	4	0
19	1	6	7	0
20	2	8	7	0
21	4	6	7	6
22	2	4	6	6
23	0	7	8	16
24	28	16	8	15
25	12	15	11	14
26	6	14	12	12
27	27	23	27	18
28	18	20	15	13
29	21	21	14	11
30	21	16	14	10
31	3	13	13	5
32	1	9	12	4
33	2	5	12	3
34	0	1	13	4
35	0	3	13	4
36	-	18	5	1
37	-	-	-	4

※測定場所は図4参照

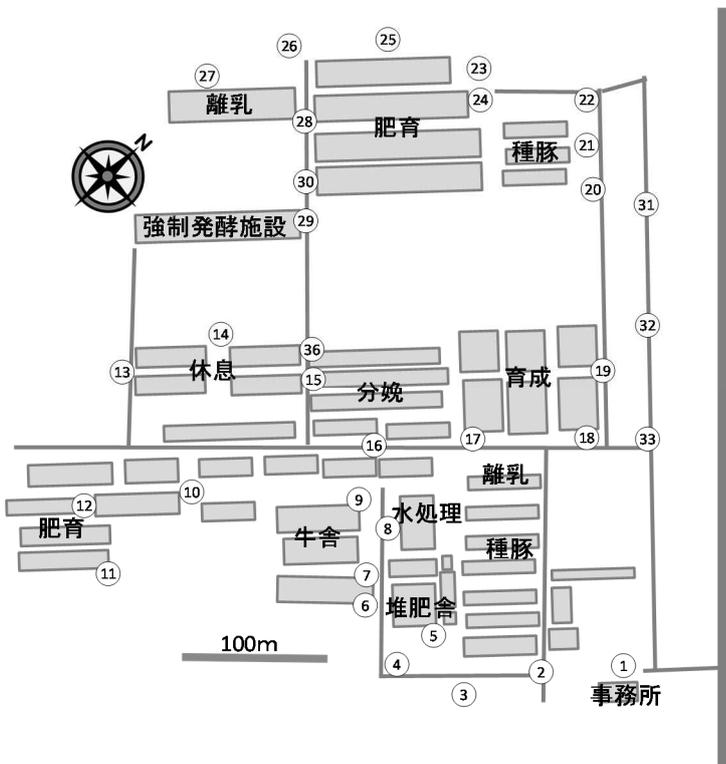


図4 ZI 養豚場の臭気測定場所

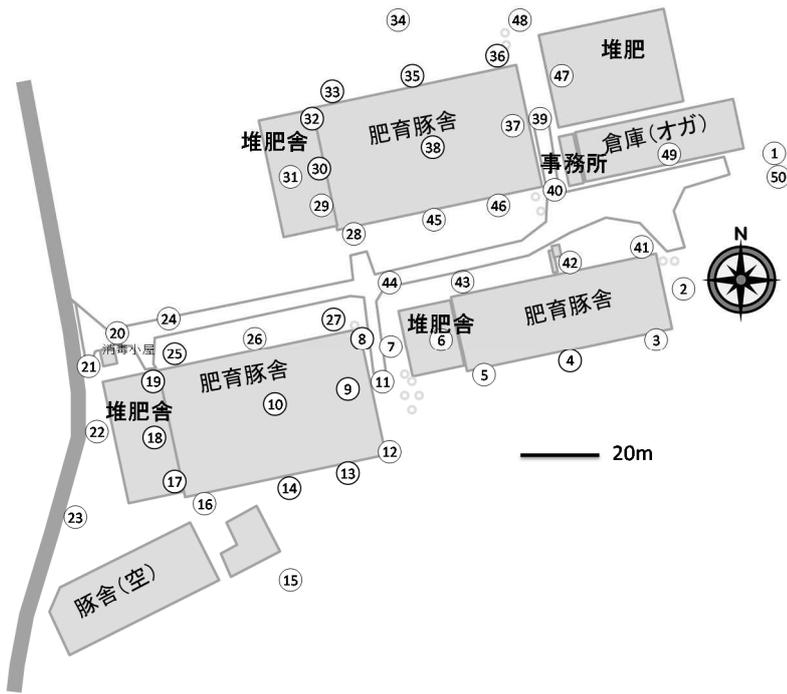


図5 KN養豚場の臭気測定場所

表6 KN養豚場の臭気指数(相当値)

測定場所	調査日				
	2013 6/4	2013 8/28	2013 11/13	2014 1/21	2014 3/6
1	0	2	3	5	4
2	16	8	3	4	3
3	3	13	3	6	5
4	17	4	6	15	6
5	8	2	18	21	15
6	5	2	14	22	14
7	10	2	4	13	9
8	23	2	6	7	7
9	24	18	19	24	25
10	22	20	25	26	26
11	3	5	5	7	14
12	1	2	7	3	10
13	21	14	5	9	8
14	22	13	5	24	13
15	2	1	11	3	5
16	1	1	25	19	21
17	26	14	19	23	7
18	21	15	14	22	18
19	23	14	7	22	4
20	7	2	1	14	2
21	14	1	1	2	1
22	5	1	1	1	0
23	4	0	2	1	0
24	3	0	0	0	0
25	21	15	1	23	4
26	8	18	22	24	2
27	22	14	14	2	10
28	5	14	13	20	24
29	12	16	17	15	23
30	16	15	11	8	19
31	8	16	12	4	21
32	20	18	14	7	25
33	24	24	6	14	16
34	5	8	3	13	4
35	22	25	2	18	3
36	22	8	1	15	2
37	10	5	16	25	26
38	20	18	23	-	29
39	5	4	0	8	9
40	3	1	15	1	14
41	3	2	6	18	6
42	4	1	3	8	5
43	3	2	2	11	3
44	8	2	4	6	2
45	4	2	9	4	2
46	4	2	6	4	1
47	3	2	0	16	13
48	3	4	0	0	0
49	3	0	2	0	5
50	3	0	0	1	1

※測定場所は図5参照

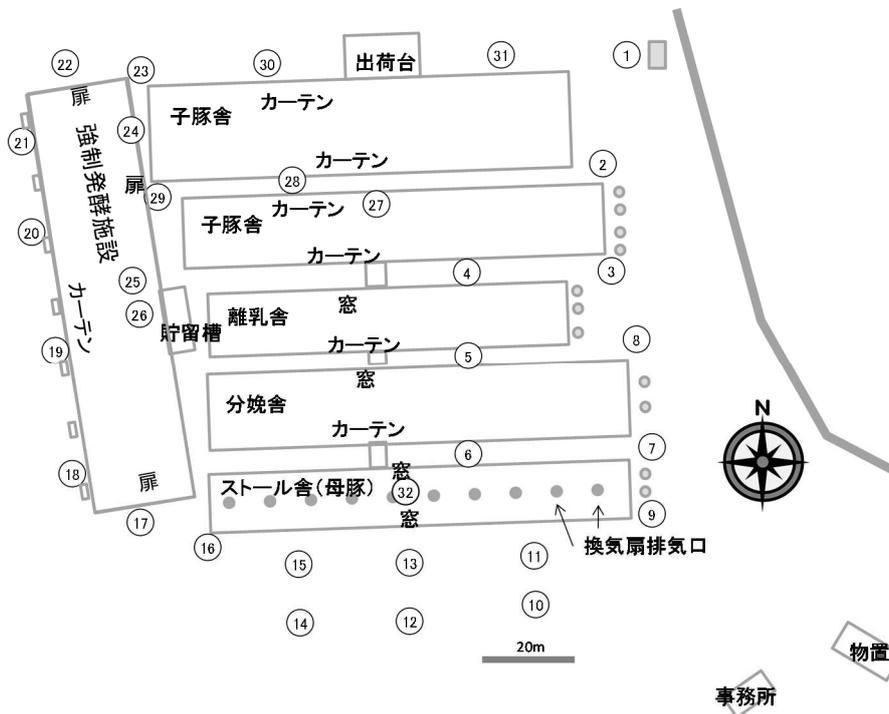


図6 KY養豚場の臭気測定場所

表7 KY養豚場の臭気指数(相当値)

測定場所	調査日			
	2013		2014	
	5/29	8/27	11/12	3/4
1	2	0	2	9
2	3	1	2	6
3	2	0	1	10
4	4	1	14	14
5	2	2	5	15
6	1	1	2	5
7	0	0	2	2
8	1	0	2	2
9	0	2	1	2
10	0	2	2	2
11	0	2	1	1
12	0	1	0	1
13	0	1	0	0
14	0	2	0	1
15	0	2	0	1
16	0	1	0	1
17	0	2	2	21
18	3	2	9	22
19	2	2	7	22
20	0	2	5	18
21	0	2	7	6
22	12	22	23	6
23	3	6	5	4
24	7	7	5	7
25	15	16	16	27
26	24	17	22	23
27	14	16	18	22
28	9	6	8	16
29	14	13	9	16
30	4	3	4	12
31	3	1	2	5
32	16	13	23	25

※測定場所は図6参照



臭気指数(相当値)
 ○ 0~14
 ● 15~18
 ● 19以上



図7 TM養豚場の季節別臭気分布マップ及び強制発酵施設の写真



図8 HR養豚場の季節別臭気分布マップ及び強制発酵施設とスクレーパー排出口の写真

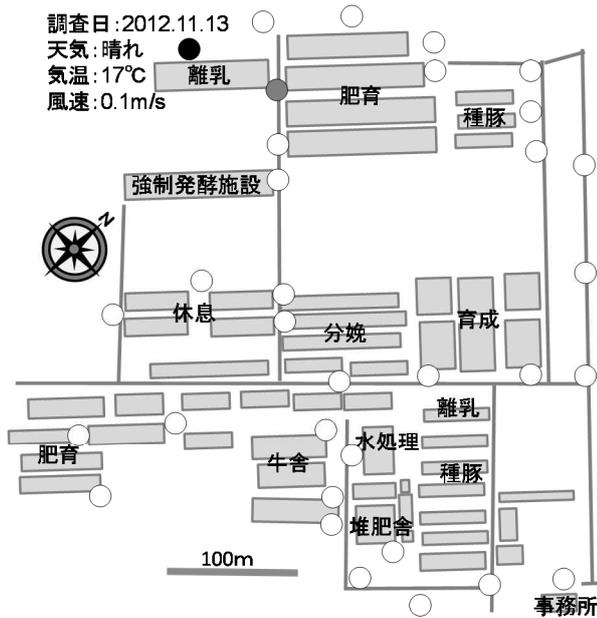
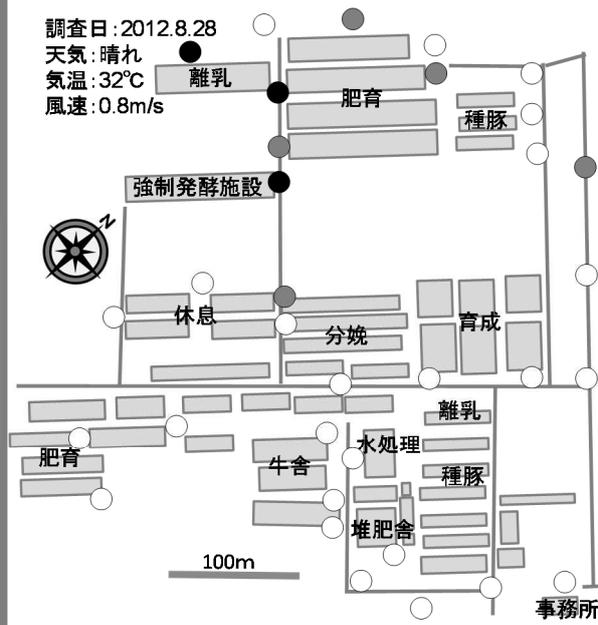
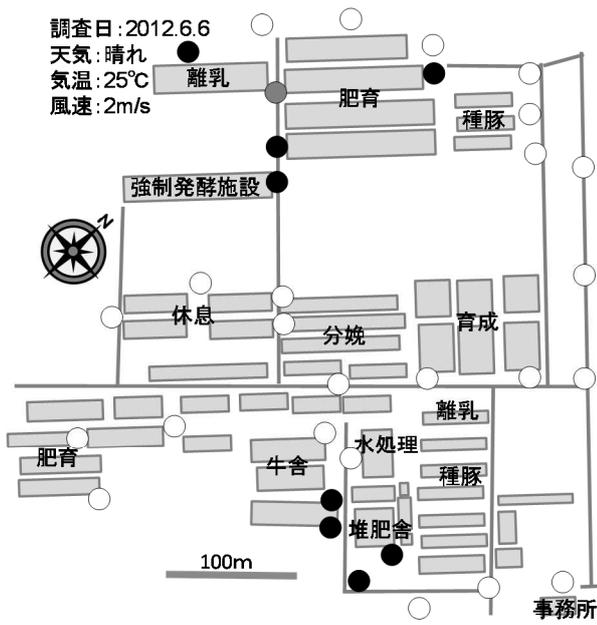


図 10 ZT 養豚場の季節別臭気分布マップ

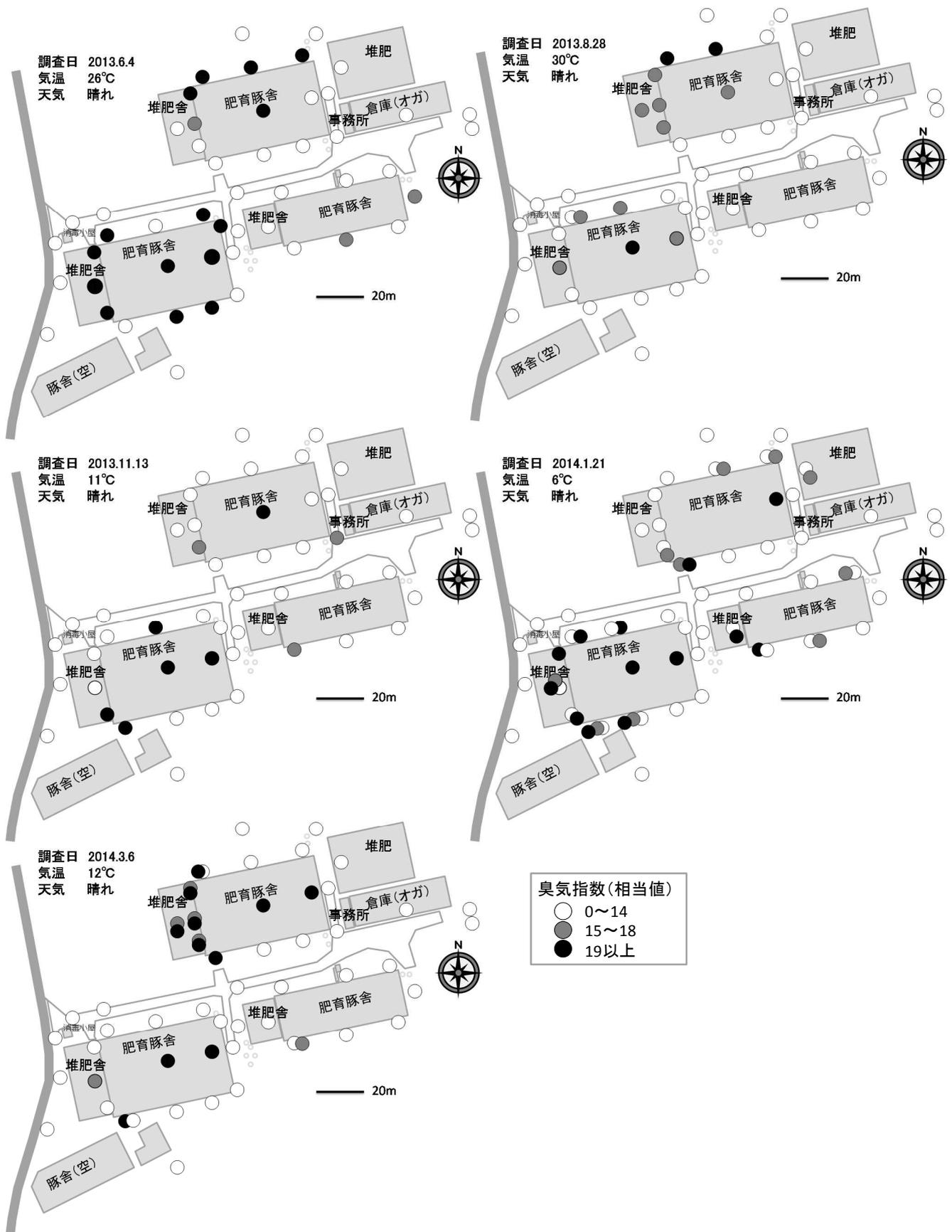


図 11 KN 養豚場の季節別臭気分布マップ

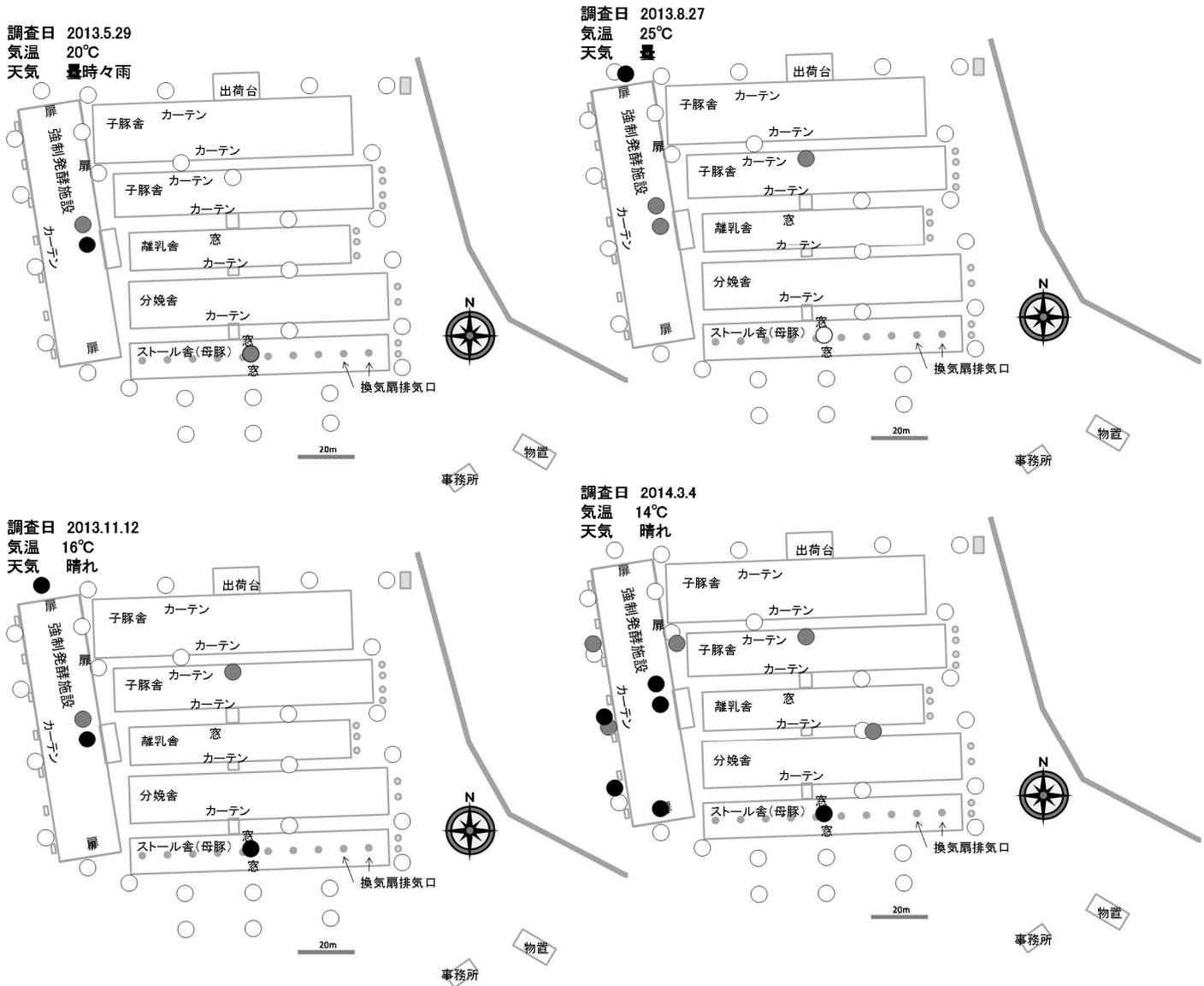


図 12 KY 養豚場の季節別臭気分布マップ

試験 2 養豚場における発生臭気成分及び臭気強度の調査

材料及び方法

試験 1 で臭気指数（相当値）が高かった豚舎や豚舎換気扇排出口、堆肥化施設について硫黄化合物（硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチル）、低級脂肪酸（プロピオン酸、ノルマル酪酸、イソ吉草酸、ノルマル吉草酸）の濃度をガスクロマトグラフィー、アンモニアをガス検知管で求め、濃度から臭気強度（表 8）に換算した。

測定場所は、表 9 のとおりで、調査期間、時期及び調査養豚場は試験 1 と同様に行った。

結果及び考察

図 13～17 はスノコ豚舎、図 18～21 はバイオベット豚舎、図 22 は平床豚舎から発生する臭気成分を月ごとに分けて示した。豚舎構造によって臭気の強さ、発生成分に違いが見られた。

スノコ豚舎は、低級脂肪酸の発生が臭気強度 3.5 以上となり、特にノルマル酪酸とノルマル吉草酸の発生が強かった。そして季節の変動は少なかった。図 17 の KY 養豚場のみ、ふん尿混合だったため、アンモニアの発生が多くなったと考えられた。

表 8 臭気強度について（参考 悪臭防止法より）

臭気強度	内容	
0.0	無臭	
1.0	やっと感知できるにおい(検知閾値濃度)	
2.0	何のにおいであるかがわかる弱いにおい(認知閾値濃度)	
2.5	やや弱いにおい	規制基準
3.0	楽に感知できるにおい	
3.5	やや強いにおい	
4.0	強いにおい	
5.0	強烈なにおい	

表 9 試験 2 の臭気成分の測定場所

農家名	測定場所	豚舎の床構造	備考
TM養豚場 図1	- 3 子豚舎換気扇排気口	スノコ	
	- 14 強制発酵施設	-	覆い無し
HR養豚場 図2	- 37 子豚舎内	バイオベット	
	- 32 子豚舎内	平床	
	- 38 強制発酵施設	-	覆い有り
UN養豚場 図3	- 22 肥育舎排気口	スノコ	
	- 10 ふん排出口	-	覆い無し
	- 12 堆肥舎	-	覆い無し
ZT養豚場 図4	- 24 肥育舎換気扇排気口	スノコ	
	- 27 離乳舎換気扇排気口	スノコ	ウインドレス
	- 29 強制発酵施設	-	覆い有り
KN養豚場 図5	- 9 肥育豚舎内	バイオベット	
	- 37 肥育豚舎内	バイオベット	
	- 18 堆肥舎	-	覆い無し
KY養豚場 図6	- 27 子豚舎内	バイオベット	
	- 32 母豚舎内	スノコ	
	- 26 強制発酵施設	-	覆い有り

バイオベット豚舎は、スノコ豚舎と比較して、低級脂肪酸の発生量は少なかったが、アンモニアは多くなった。このことは、ふん尿混合のためと考えられた。また KN 養豚場（図 19、20）は、11 月の調査以降、低級脂肪酸を抑制する脱臭資材を敷料に混合するようになり、低級脂肪酸の発生量は低下したと考えられた。

平床豚舎は、他の豚舎と比較して季節の変動がみられ、8 月に最も強くなった。夏場は豚が暑さで動くためふん尿が混合され豚舎及び豚が汚れるためではないかと考えられた。

図 23 の UN 養豚場のふん排出口の臭気は、図 14 の UN 養豚場のスノコ豚舎の臭気と似ている傾向にあった。このことから、豚舎から発生している臭気は、ほとんどがふんから発生している臭気ではないかと考えられた。

図 24～29 は、堆肥化施設から発生する臭気成分を月ごとに分けて示した。図 24～27 は強制発酵施設、図 28 と 29 は堆肥舎の臭気である。強制発酵施設と堆肥舎を比較すると、強制発酵施設の方が臭気の発生が強い傾向を示した。図 25 の 3.5 以上の発生臭気は、アンモニアのみで、水分調整をきちんと行い好気発酵しながら堆肥化させるとアンモニア以外の発生臭気は少なくなると考えられた。

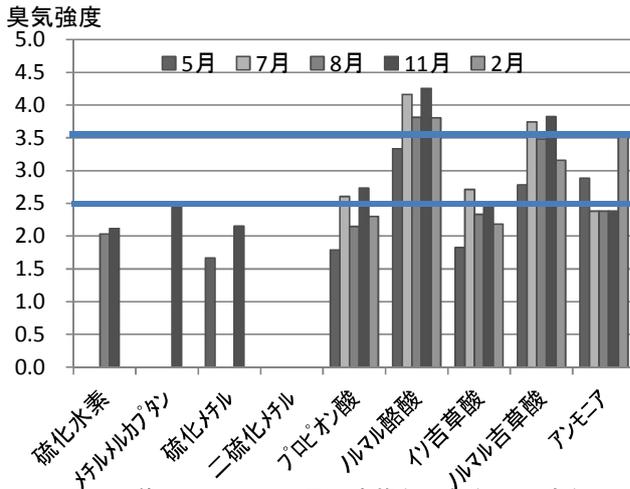


図 13 TM養豚場のスノコ子豚舎換気扇排気口の臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図 1-3

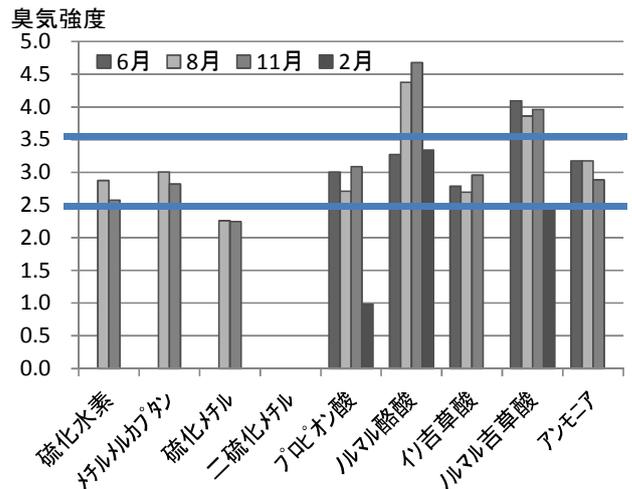


図 14 UN養豚場のスノコ肥育豚舎排気口の臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図 3-22

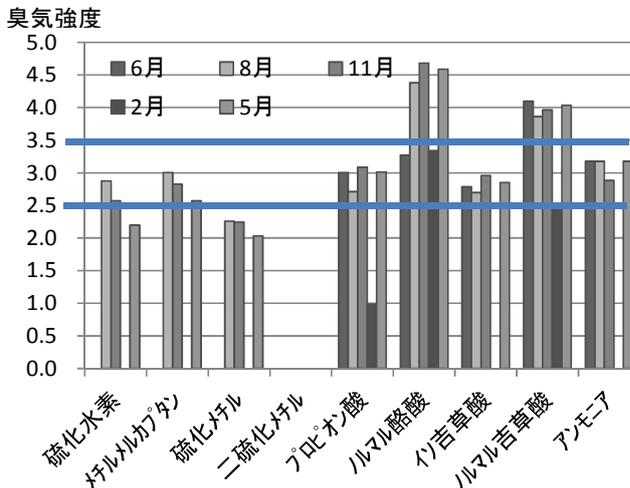


図 15 ZT養豚場のスノコ肥育舎換気扇排気口の臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図 4-24

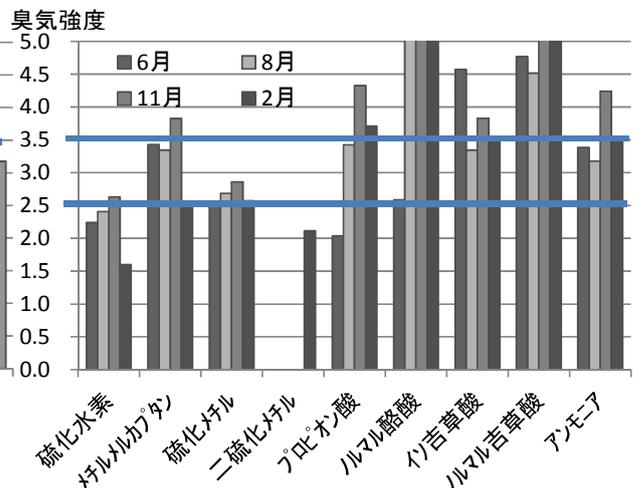


図 16 ZT養豚場のスノコ離乳舎（ウインドレス）換気扇排気口の臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図 4-27

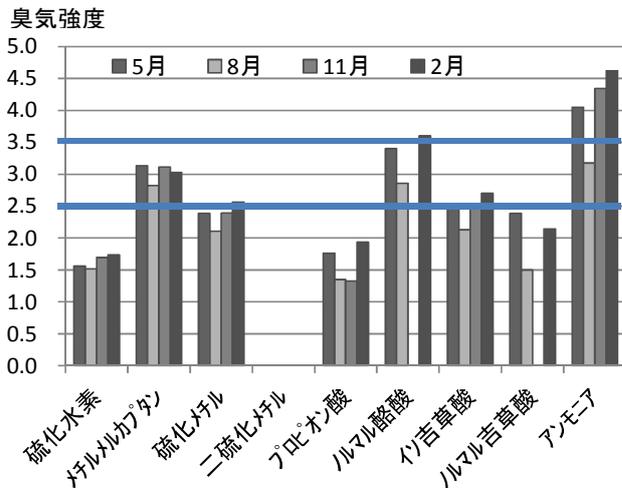


図 17 KY養豚場のスノコ母豚舎内の臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図 6-32

臭気強度

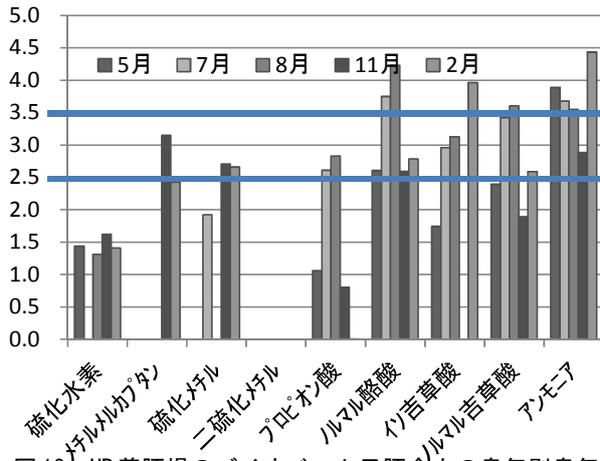


図18 HR養豚場のバイオベット子豚舎内の臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図2-37

臭気強度

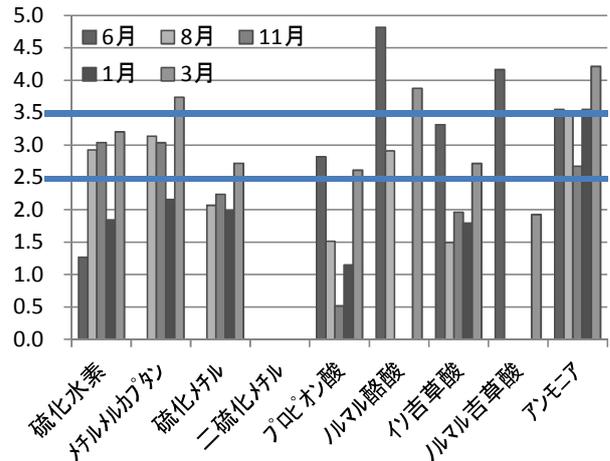


図19 KN養豚場のバイオベット肥育豚舎内の臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図5-9

臭気強度

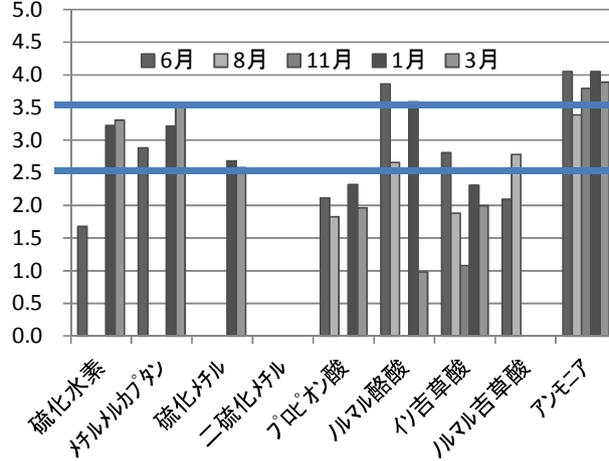


図20 KN養豚場のバイオベット肥育豚舎内の臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図5-37

臭気強度

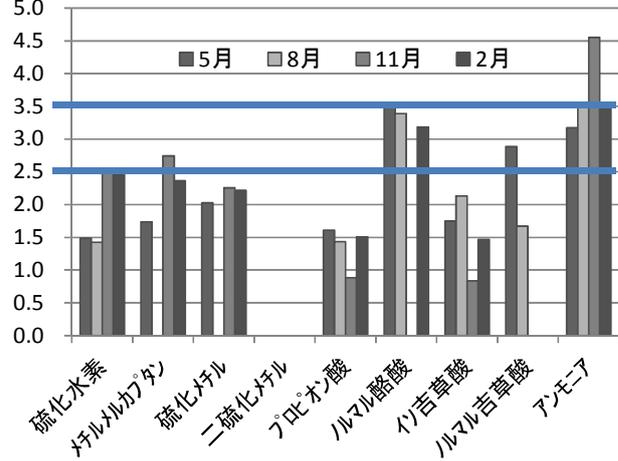


図21 KY養豚場のバイオベット子豚舎内臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図6-27

臭気強度

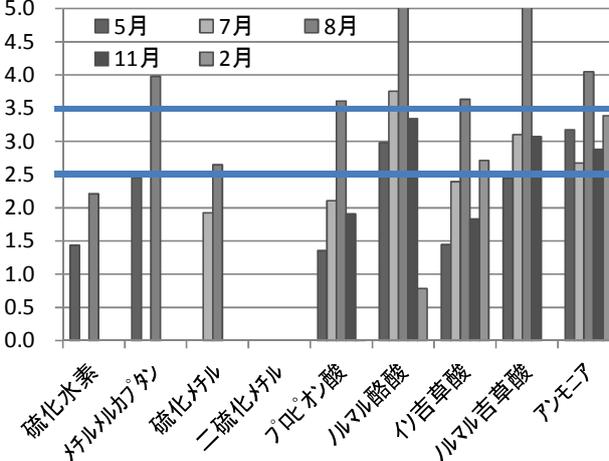


図22 HR養豚場の平床子豚舎内臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図2-32

臭気強度

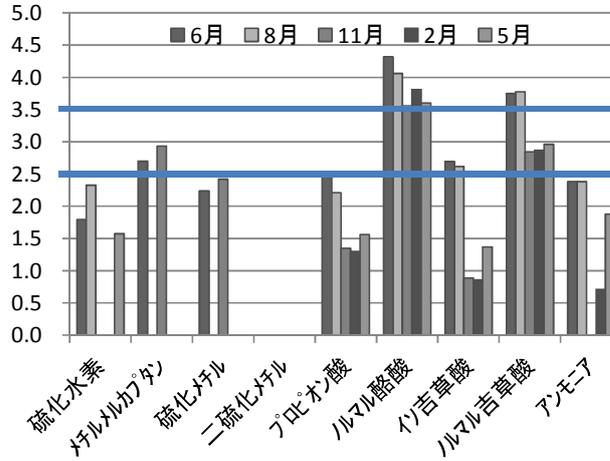


図23 UN養豚場のふん排出口臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図3-10

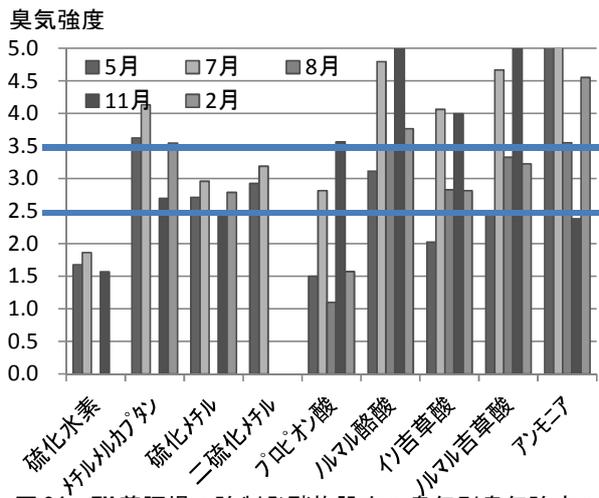


図 24 TM 養豚場の強制発酵施設内の臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図 1-14

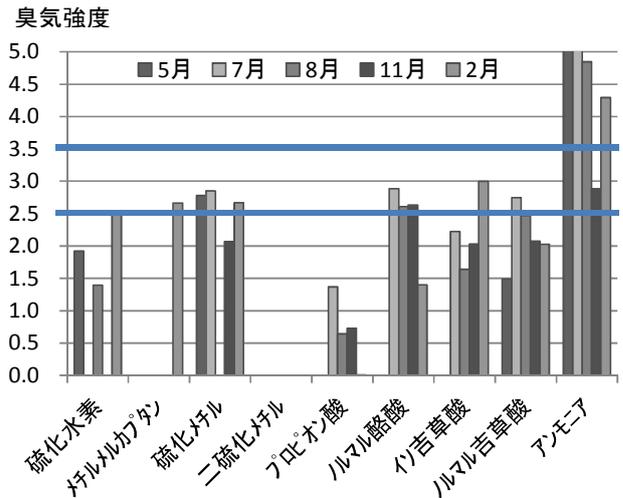


図 25 HR 養豚場の強制発酵施設内の臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図 2-38

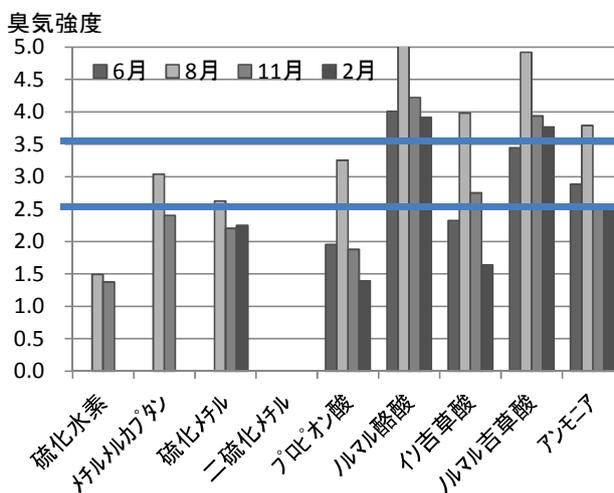


図 26 ZT 養豚場の強制発酵施設内の臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図 4-29

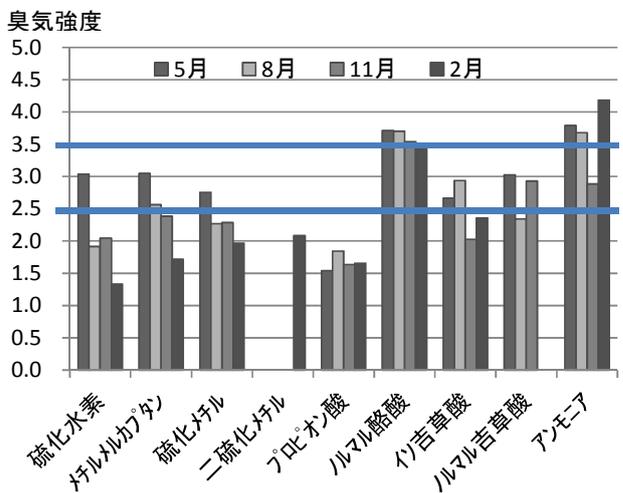


図 27 KY 養豚場の強制発酵施設内の臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図 6-27

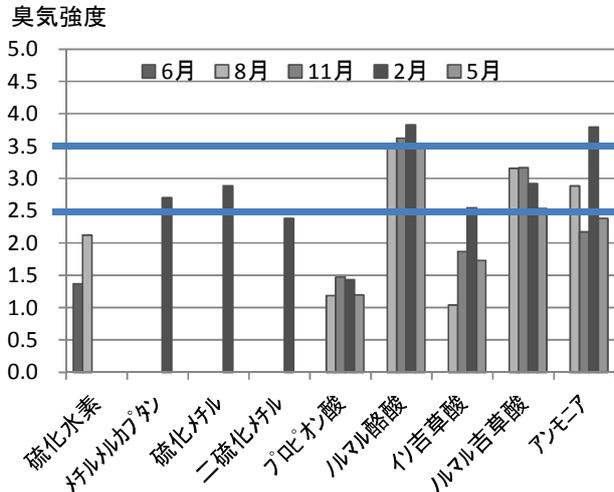


図 28 UN 養豚場の堆肥舎内の臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図 3-12

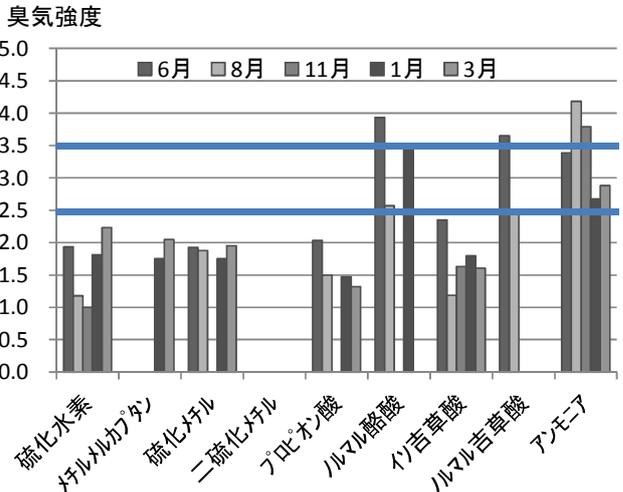


図 29 KN 養豚場の堆肥舎内の臭気別臭気強度の推移
※測定場所：図 5-18

試験3 脱臭資材の検討

材料及び方法

試験2の臭気成分調査結果から、堆肥化施設では、水分調整をきちんと行うことによりアンモニア以外の成分は臭気強度3.5以下に低下することが示唆された。アンモニアを対象とした堆肥化施設の脱臭技術については、実用化されている技術も多い。しかし、豚舎から発生する臭気はアンモニア以外の臭気成分を含む複合臭であり、大容量の空気処理できる脱臭技術が必要となることから、実用化されている技術は少ない。そこで豚舎脱臭装置の充填材に適した資材を検討することにした。

脱臭資材については、本県で入手可能な低コスト資材を供試した。

試験資材は、鉱物系資材の大谷石⁴⁾(2mm~20mmゼオライト含有)、鹿沼土(5mm~20mm)、バイオマス系資材の麦わら(切断長30~50mm)、剪定枝(切断長10~20mm)を使用した。対照区としてロックウール(市販の脱臭資材)、無処理区として資材無しで比較した。

臭気源は、試験2の結果よりスノコ豚舎の臭気は、豚ふんと似た傾向を示したので、当センターの豚ふん臭気実測濃度に基づき、低級脂肪酸(プロピオン酸 12.8g/L、ノルマル酪酸 10.7g/L、イソ吉草酸 1.8g/L、ノルマル吉草酸 2.7g/L)・アンモニア(1.3g/L)、pH6.2の液体を使用した。

分析項目は、低級脂肪酸(プロピオン酸、ノルマル酪酸、イソ吉草酸、ノルマル吉草酸)、アンモニアを測定し、分析方法は試験2と同様に行った。

試験期間は、1資材につき1週間(臭気測定1週間に3回)で行った。

試験装置^{5,6)}は、円筒容器(960ml、直径9.4cm)に

臭気源の溶液を100ml入れ、ヘッドスペース部分に通気量1L/分で空気を流して臭気を発生させた。試験区と対照区は、発生させた臭気を脱臭資材(円筒容器 直径8cm×30cm)に通して、脱臭性能を比較した(図30)。

結果及び考察

(1) 低級脂肪酸について

4つの資材を現在市販されている脱臭資材(ロックウール)を対照区として比較した。無処理区は、臭気強度4以上で常に強い臭いが発生していた。対照区、各資材は、両方ともほぼ2.5以下で、無処理区と比較してやや弱い臭いとなっており臭気の発生は抑制されていた。鹿沼土以外、対照区と同程度以上に臭気の発生は抑制されていた(表10~13)。

(2) アンモニアについて

臭気源を豚ふんの臭気実測濃度としたため溶液のpHが低く無処理区でもアンモニアがほとんど発生しなかった。そのため、資材の臭気発生抑制効果を確認することができなかった。

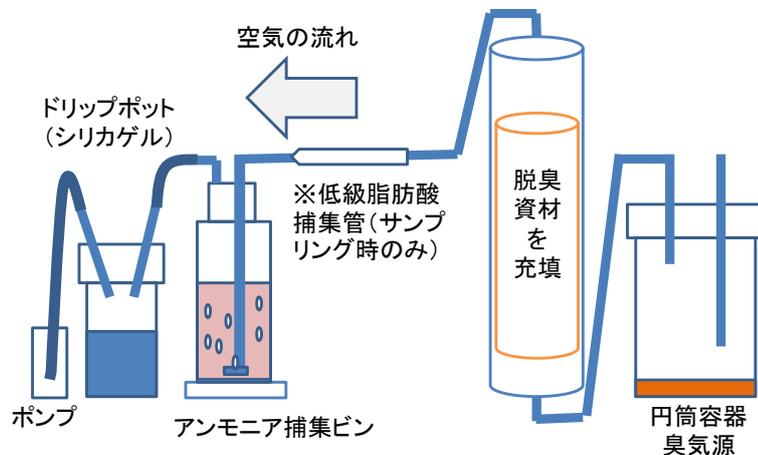


図30 脱臭資材試験装置の概要(左:略図、右:装置写真)

表 10 大谷石の臭気抑制効果について（臭気強度）

	プロピオン酸			ノルマル酪酸			イソ吉草酸			ノルマル吉草酸		
	大谷石区	対照区	無処理区	大谷石区	対照区	無処理区	大谷石区	対照区	無処理区	大谷石区	対照区	無処理区
1日目	0.0	1.5	4.5	ND	ND	>5	ND	1.9	4.7	ND	ND	>5
4日目	1.1	1.0	4.6	ND	ND	>5	ND	2.7	4.8	ND	ND	>5
7日目	0.4	0.3	4.6	ND	ND	>5	ND	ND	4.8	ND	ND	>5

表 11 鹿沼土の臭気抑制効果について（臭気強度）

	プロピオン酸			ノルマル酪酸			イソ吉草酸			ノルマル吉草酸		
	鹿沼土区	対照区	無処理区	鹿沼土区	対照区	無処理区	鹿沼土区	対照区	無処理区	鹿沼土区	対照区	無処理区
1日目	0.1	0.7	4.4	ND	ND	>5	2.4	ND	4.7	2.5	ND	>5
4日目	ND	0.3	4.4	ND	ND	>5	ND	ND	4.8	ND	ND	>5
7日目	0.9	1.0	4.6	2.8	ND	>5	2.4	ND	4.8	2.2	ND	>5

表 12 麦ワラの臭気抑制効果について（臭気強度）

	プロピオン酸			ノルマル酪酸			イソ吉草酸			ノルマル吉草酸		
	麦ワラ区	対照区	無処理区	麦ワラ区	対照区	無処理区	麦ワラ区	対照区	無処理区	麦ワラ区	対照区	無処理区
1日目	0.3	0.7	4.3	ND	ND	>5	ND	1.8	4.6	1.5	1.0	>5
4日目	0.1	0.0	4.5	ND	ND	>5	ND	2.0	4.7	ND	ND	>5
7日目	0.7	0.3	4.5	ND	ND	>5	ND	ND	4.8	ND	ND	>5

表 13 剪定枝の臭気抑制効果について（臭気強度）

	プロピオン酸			ノルマル酪酸			イソ吉草酸			ノルマル吉草酸		
	剪定枝区	対照区	無処理区	剪定枝区	対照区	無処理区	剪定枝区	対照区	無処理区	剪定枝区	対照区	無処理区
1日目	1.0	0.8	4.5	ND	3.0	>5	ND	2.2	4.8	ND	2.4	>5
5日目	0.9	1.0	4.5	ND	2.8	>5	ND	2.0	4.8	ND	2.0	>5
8日目	0.6	1.0	4.4	ND	ND	>5	ND	ND	4.8	ND	ND	>5

試験 4 長期間の脱臭資材の検討

材料及び方法

試験 3 の脱臭資材の中で効果が有り生物分解しない鉱物系の資材である大谷石について長期間効果があるか検討した。

試験区の設定は、大谷石区は、大谷石（粒径 5～10mm）のものを使用、ロックウール区は、市販の脱臭資材であるロックウールを対照区として使用、無処理区は、資材無しで行った。

臭気源は、試験 3 では、溶液の pH が低く、アンモニアが揮発しなかったため、アンモニアと低級脂肪酸の溶液を別々に作成した。

アンモニア溶液は、0.1mol/L、りん酸緩衝液 0.5mol/L、pH8.5、低級脂肪酸溶液は、プロピオン酸 12.8g/L、n-酪酸 10.7g/L、i-吉草 1.8g/L、n-吉草酸 2.7g/L、pH6.2 とした。

溶液の成分濃度は、当センターの豚ふん臭気実測濃度に基づき試薬を調整した。

分析項目は、低級脂肪酸（プロピオン酸、ノルマル酪酸、イソ吉草酸、ノルマル吉草酸）、アンモニアを測定し、分析方法は試験 1 と同様に行った。

実験室内温度を測温抵抗体型データロガーで測定した。

試験装置は、アンモニア溶液を容器（500ml）に 100ml 入れ、ヘッドスペース部分に通気量 0.1L/分の空気を流してアンモニア臭気を発生させた（20℃で保温）。アンモニア溶液は、また低級脂肪酸溶液を容器（940ml）に 100ml 入れ、ヘッドスペース部分に通気量 0.9L/分で空気を流して低級脂肪酸臭気を発生させた。それらの発生臭気を混合したのち脱臭資材（円筒容器 直径 8cm×30cm）に 1L/分の流量で流し、

循環水は、0.6ml/分で流し、資材の脱臭性能を比較した（図 31）。また 1 週間おきに臭気源の溶液を交換した。

結果及び考察

(1) アンモニアの脱臭効果について

無処理区のアンモニアの臭気強度は 3～5 の間で推移した。大谷石区とロックウール区では、すべての期間で無処理区と比較して、臭気強度は低い値で推移した。また大谷石区は、ロックウール区に比べ、短時間で臭気強度が低下し、長期間脱臭性能を持続した（図 33）。

(2) 低級脂肪酸の脱臭効果について

無処理区の低級脂肪酸の臭気強度は、4～5 で推移した。実験室内の平均温度が上がるにつれプロピオン酸とイソ吉草臭気強度も上昇した（図 32、34）。大谷石区とロックウール区では、すべての期間で無処理区と比較して、臭気強度は低い値で推移した。大谷石区は、ロックウール区に比べノルマル酪酸の脱臭効果が若干劣るが、その他のプロピオン酸、イソ吉草及びノルマル吉草酸の脱臭効果は同程度であった。

本成果の実用化にあたり、大谷石脱臭槽の実規模での脱臭効果や経済性について調査する必要があると考えられた。

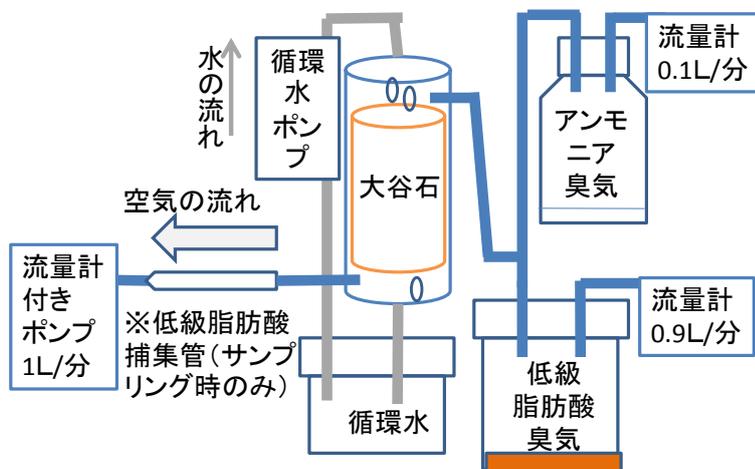


図 31 脱臭資材試験装置の概要（左：略図、右：装置写真）

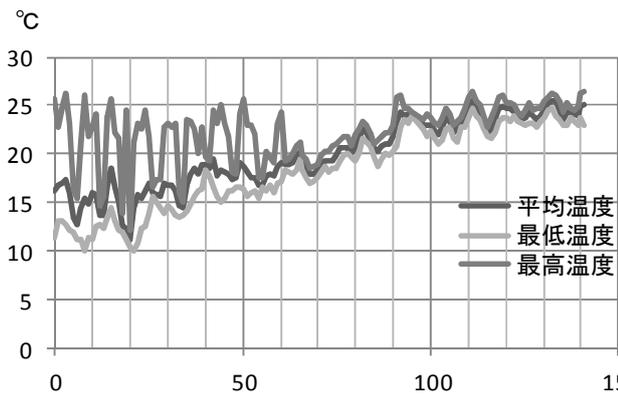


図 32 試験期間中の実験室内の温度の推移

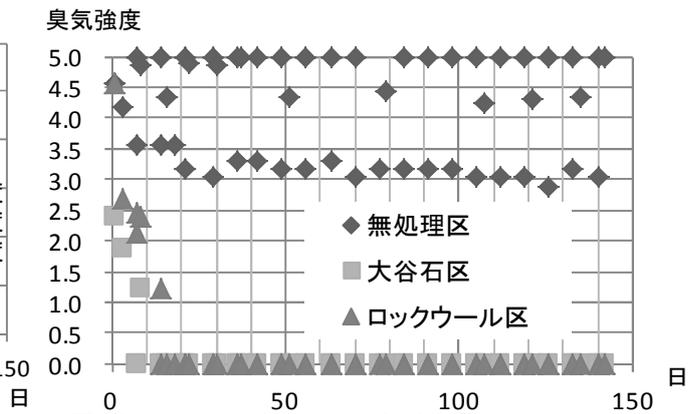


図 33 アンモニアの臭気抑制効果について

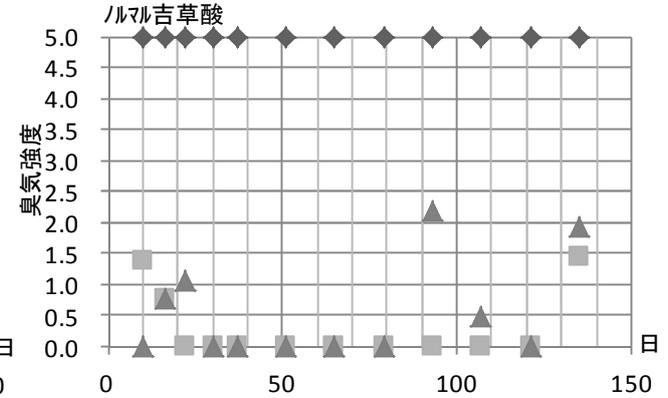
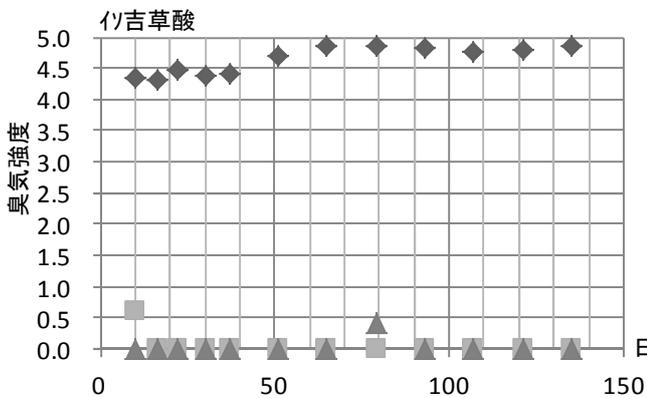
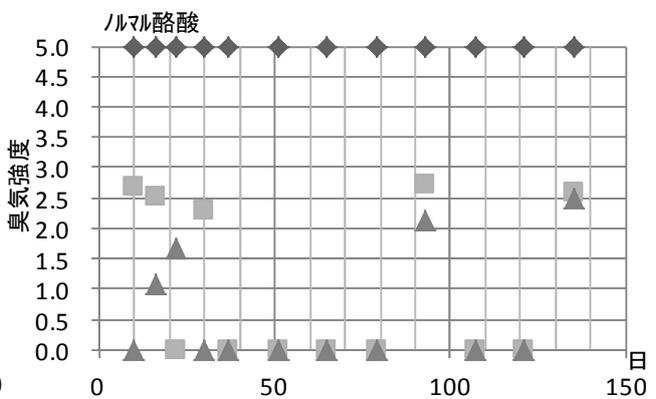
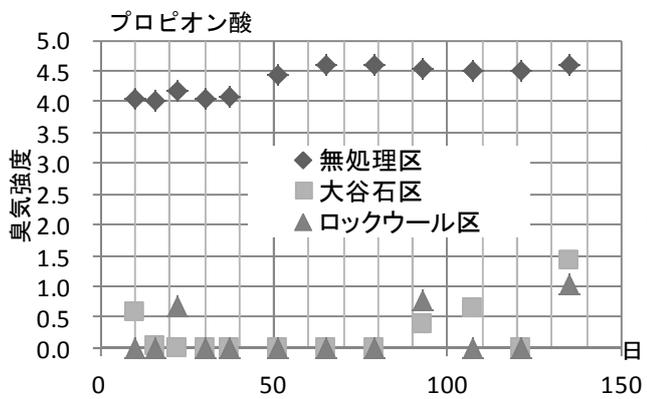


図 34 低級脂肪酸（プロピオン酸、ルマル酪酸、イ吉草酸、ルマル吉草酸）の臭気抑制効果について

試験5 次世代閉鎖型牛舎の発生臭気の検討

材料及び方法

試験場所は、栃木県大田原市に建設された次世代閉鎖型牛舎を使用して行った。

次世代閉鎖型牛舎の概要は、暑熱対策として、風速 2m/s の風を牛にあてるため、風が牛舎内を流れるよう図 35 のとおり吸気側の換気扇 66 台、排気側に 78 台を配置した閉鎖型プッシュ・プル横断換気の搾乳牛舎（フリーストール 80 頭規模）である（図 36）。排気側には、複数の試験区を設けられるように横壁及び屋根を配備した臭気拡散抑制室を設置した。

臭気拡散抑制室の排気側臭気を、次世代閉鎖型牛舎内から発生する臭気として測定し、吸気側と比較、また牛舎内の臭気として給餌通路の臭気も測定した（図 35、36）。

分析項目は、硫黄化合物（硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチル）、低級脂肪酸（プロピオン酸、ノルマル酪酸、イソ吉草酸、ノルマル吉草酸）、アンモニアを測定した。分析方法は試験 2 と同様に行った。

臭気指数（相当値）は、畜環研式ニオイセンサを使用して、1 分ごとに測定し、1 時間中の最大値をグラフにプロットした。

牛舎内の風速は、牛舎内の 4 カ所に設置された風速を平均した。

調査期間は、2015 年 4 月から 2016 年 1 月とした。なお搾乳牛は 5 月から導入された。

結果及び考察

次世代閉鎖型牛舎から排出される排気側の臭気は、アンモニア、硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチルであった（図 37、38、39、40）。牛が導入される前の 4 月は、それぞれ調査した臭気は発生していなかったことから、発生した臭気は、飼養管理により発生していると考えられた。また、それらの臭気強度は、夏が低く、冬が高いことが確認でき、牛舎内の風速が速くなるほど臭気強度は低下する傾向が見られた。他の測定した臭気物質（二硫化メチルと低級脂肪酸）の発生はほとんど無かった。低級脂肪酸が発生していなかった理由は、サイレージを給与していなかったためと考えられた。アンモニア及びメチルメルカプタンは冬に臭気強度 2.5 以上と高めの傾向を示した。給餌通路と排気側の臭気はほとんど変わらない傾向を示しており、給餌通路の臭気がそのまま排出されていると考えられた。

次世代閉鎖型牛舎から発生する臭気の臭気指数（相当値）は、朝、夕の TMR 給餌作業時に高くなり、この結果は年間を通じて同様の傾向であった（図 41）。

また、牛舎内の風速と臭気指数（相当値）との関係は、風速が速くなるほど臭気指数が低くなる傾向にあった（図 42）。

以上の結果から、夏は牛舎の換気量が多いため、臭気成分が希釈され臭気濃度（アンモニア、硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチル）及び臭気指数（相当値）が低下したと考えられた。しかし、アンモニアなどの濃度が低下する反面、次世代閉鎖型牛舎の排気口から大量の粉塵などが排出されるため、臭気よりも粉塵の拡散を抑制するフィルターが必要と考えられた。また、冬期は換気量が少なくアンモニアなどの濃度が上昇するため、牛の状態を考慮しながら、定期的な換気を行う必要があると考えられた。

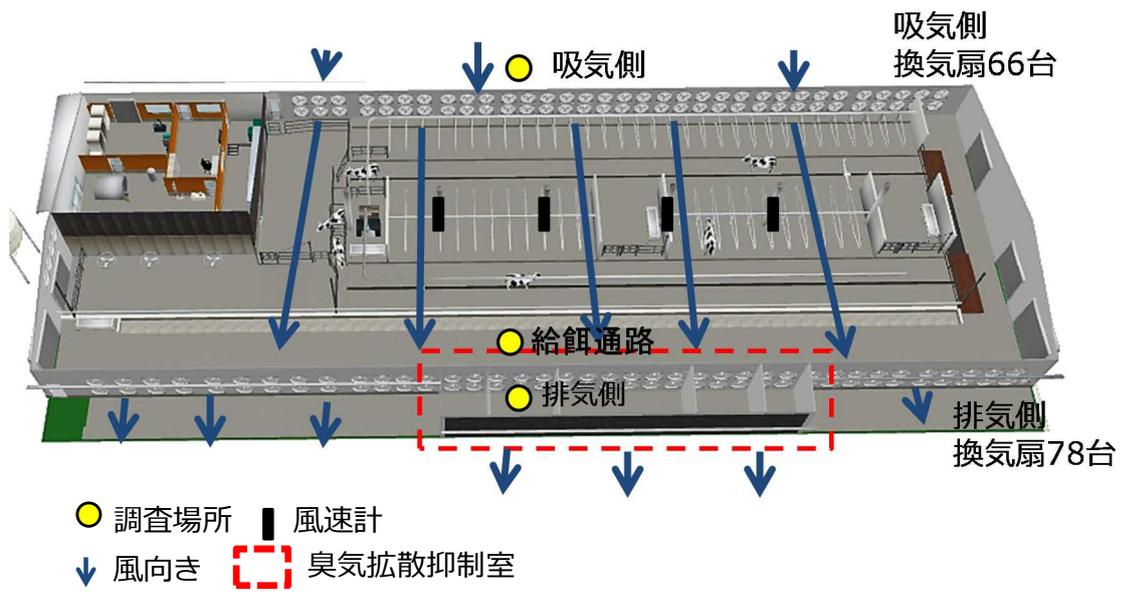


図 35 次世代閉鎖型牛舎の配置及び調査場所



次世代閉鎖型牛舎



臭気拡散抑制室



図 36 次世代閉鎖型牛舎及び臭気拡散抑制室の外観写真

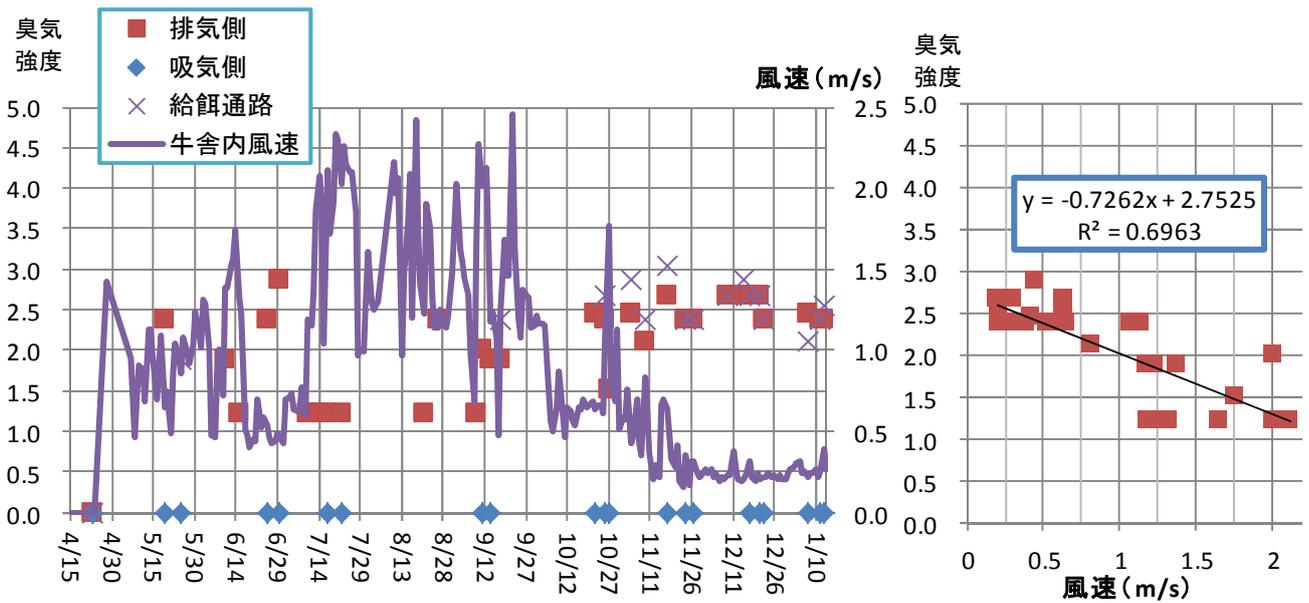


図 37 次世代閉鎖型牛舎から発生したアンモニア臭気強度及び牛舎内の風速（1日の平均値）の推移並びに臭気強度と風速の関係

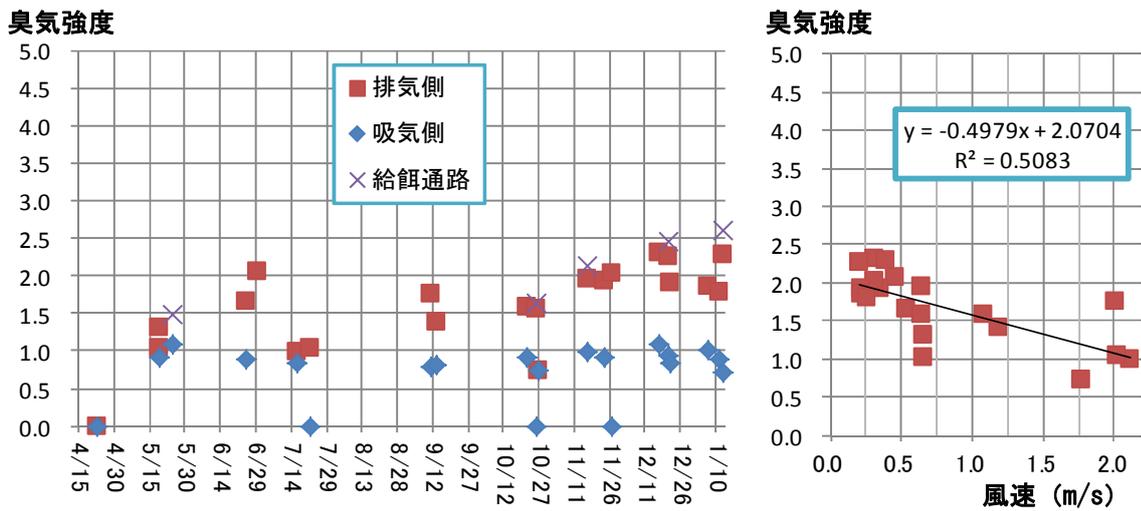


図 38 次世代閉鎖型牛舎から発生した硫化水素の臭気強度の推移及び牛舎内の風速（1日の平均値）の推移並びに臭気強度と風速の関係

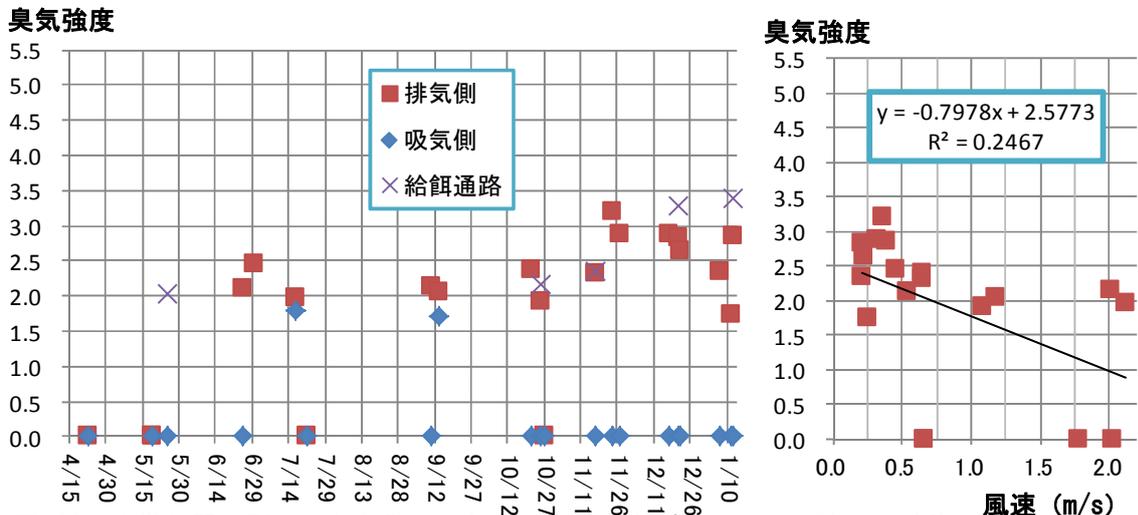


図 39 次世代閉鎖型牛舎から発生したメチルメルカプタンの臭気強度の推移及び牛舎内の風速（1日の平均値）の推移並びに臭気強度と風速の関係

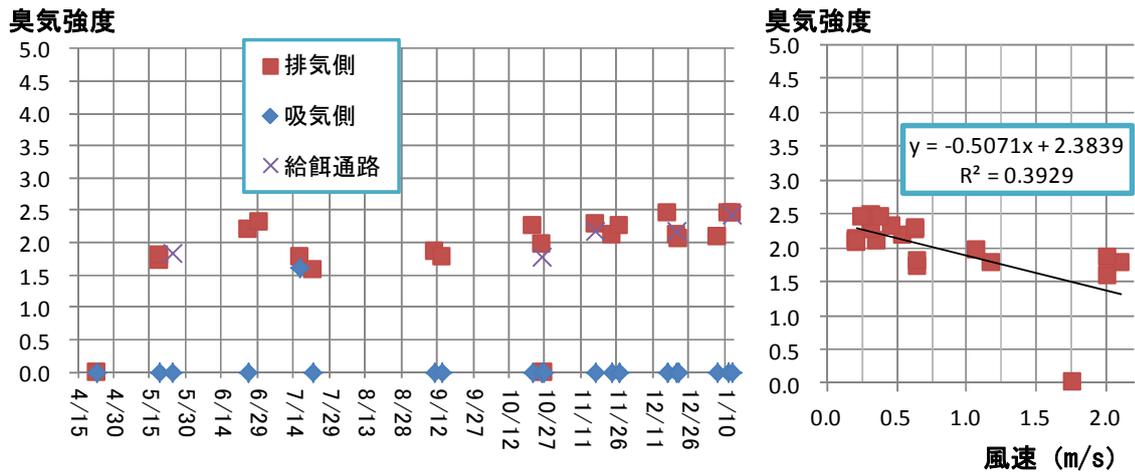


図 40 次世代閉鎖型牛舎から発生した硫化メチルの臭気強度の推移及び牛舎内の風速（1日の平均値）の推移並びに臭気強度と風速の関係

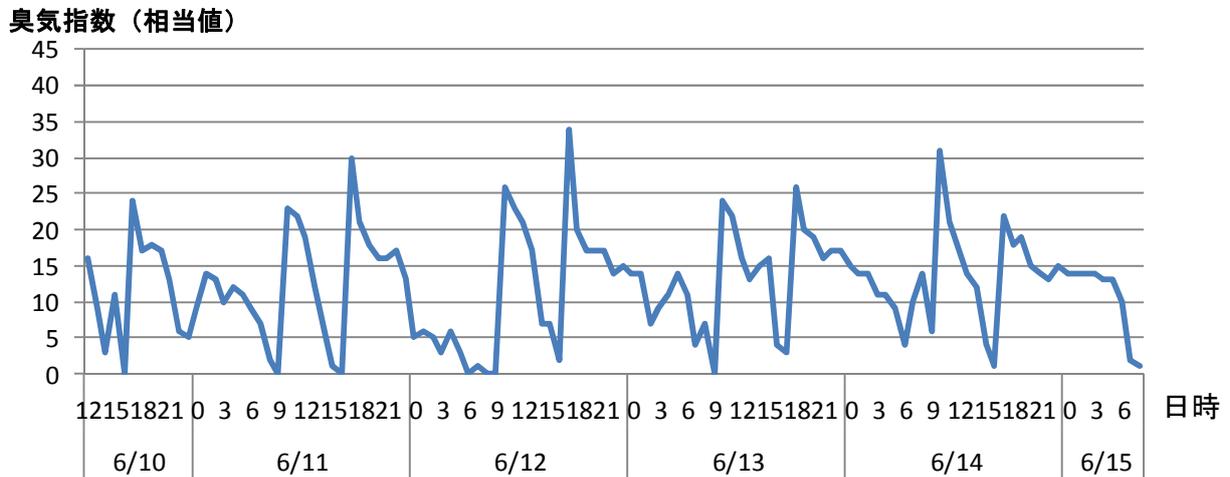


図 41 次世代閉鎖型牛舎の臭気指数(相当値)の推移
※10時、17時ごろにTMRミキサーで給餌

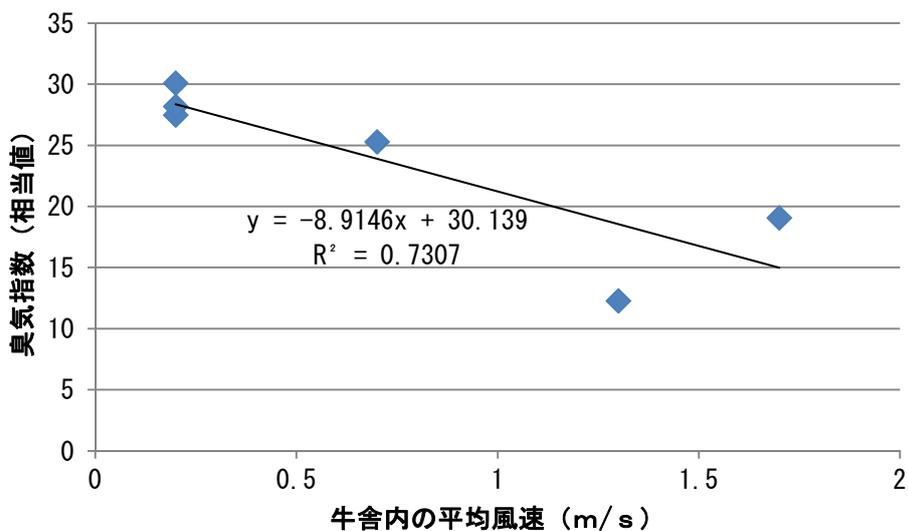


図 42 臭気指数(相当値)と牛舎内の風速の関係

試験 6 次世代閉鎖型牛舎の脱臭方法の検討

材料及び方法

栃木県大田原市に建設された次世代閉鎖型牛舎の臭気拡散抑制室に試作したフィルター型脱臭装置を設置し、脱臭効果や運転条件等について検討した(図 35、43)。

試験区は、フィルター型脱臭装置を設置した脱臭区、設置無しを無処理区として比較した。

なお脱臭区については、さらに脱臭装置に充填する資材の種類や散水の有無等、脱臭装置の運転条件についても検討した。試作した脱臭装置は、安価で簡易に制作可能な構造でありホームセンター等で購入できるものを材料として用いた。市販のスチール製ラック(幅915mm×高さ1,830mm×充填厚460mm)3台を横一列に結合し、コンパネを取り付けることで牛舎排気が全てラック内を通過するように設計した(図 44)。なお、ラック最上部には散水装置として水道栓に接続した農業用の灌水チューブを配置した。

充填材は、試験 3 で効果がみられた果樹剪定枝(切断長 10~20mm)、麦ワラ(切断長 100~200mm)、大谷石(粒径 5~10mm)の 3 資材について試験を実施した(図 45)。

剪定枝と麦ワラは、市販の野菜ネット袋(10kg 用)に適量を詰め込み、脱臭装置内に隙間なく充填した。

大谷石は野菜ネット袋に適量を詰め込んだものを、さらに円筒型ネット(PE 製 直径 80mm×長さ 1,800mm)に充填し、脱臭装置内に 1 列に配置した(幅 915mm×高さ 1,800mm×充填厚 80mm)。

充填材の設置期間は、表 14 のとおりで実施した。

脱臭効果の検証には、脱臭装置を通過した畜舎排気及び脱臭装置を設置していない無処理区の臭気及び風速を測定して、比較した。調査場所は、図 43 の位置で行った。

分析項目は、硫黄化合物(硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチル)、低級脂肪酸(プロピオン酸、ノルマル酪酸、イソ吉草酸、ノルマル吉草酸)、アンモニアを測定した。分析方法は試験 2 と同様に行った。

臭気指数(相当値)は、畜環研式ニオイセンサを使用して、1 分ごとに測定し、1 時間中の最大値をグラフにプロットした。

無処理区と脱臭区の風速は、図 43 の調査場所に風速計を設置し測定した。牛舎内の風速は、試験 5 と同様の方法で測定した。

結果及び考察

(1) 脱臭装置の臭気指数(相当値)低減効果

臭気指数(相当値)は、麦ワラの水有区を除いた各脱臭区で低くなった。臭気指数(相当値)の低減率が最も大きかったのは、剪定枝の水無区であり、麦ワラの水有区は脱臭効果が確認できなかった(図 46~51、表 15)。

(2) 脱臭装置のアンモニア低減効果

アンモニアは、大谷石の区で、47%の低減効果がみられた。なお、他の充填材では効果がみられなかったが、その理由としては、測定時期に牛舎からのアンモニア発生量が少ないため、差異が確認できなかった可能性も考えられた(表 16)。また硫黄化合物の低減はみられなかった。なお低級脂肪酸は、試験 5 の結果からほとんど発生していなかったため、低減効果も確認できなかった。

(3) 脱臭装置の接触時間

脱臭装置の接触時間について表 17 に示した。接触時間は、0.8~2.9 秒の間となった。

以上の結果から、剪定枝が臭気指数(相当値)の低減に有効であった。剪定枝は細かく切断されているため、麦ワラより表面積が大きく、大谷石より充填厚(460mm)が厚いためと考えられた。

一方で散水を行った場合は、麦ワラは有機物のため腐敗し、充填密度の低下に伴い効果が低下したと考えられた。このことから、分解しやすい充填材を使用する場合は、散水は行わない方が効果が持続すると考えられた。

大谷石は、アンモニア除去率が高いため充填剤として有効であったが、密度が高く重量があるため、簡易的な脱臭装置では、剪定枝や麦ワラのように多量の資材を詰めることができなかった。

これらのことから、臭気や粉塵など拡散防止のためには、剪定枝と大谷石を組み合わせることにより効果が高くなると考えられた。

充填材の密度や充填厚については、今回の試験では検討していないが、換気を妨げない密度や充填厚などについても引き続き検討する必要があると考えられた。

なお試験 5 及び 6 は、攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業(うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立)「次世代閉鎖型搾乳牛舎における省力・精密飼養環境制御、バイオセキュリティ向上技術の実証」の補助を受けて行った。

表 14 脱臭装置における充填材の設置期間

充填材	散水の有無	設置期間
剪定枝	無	2015年6月8日～7月7日
	有	2015年7月8日～8月3日
麦ワラ	無	2015年9月9日～11月8日
	有	2015年11月9日～11月30日
大谷石	有	2015年12月7日～12月22日
	無	2015年12月23日～

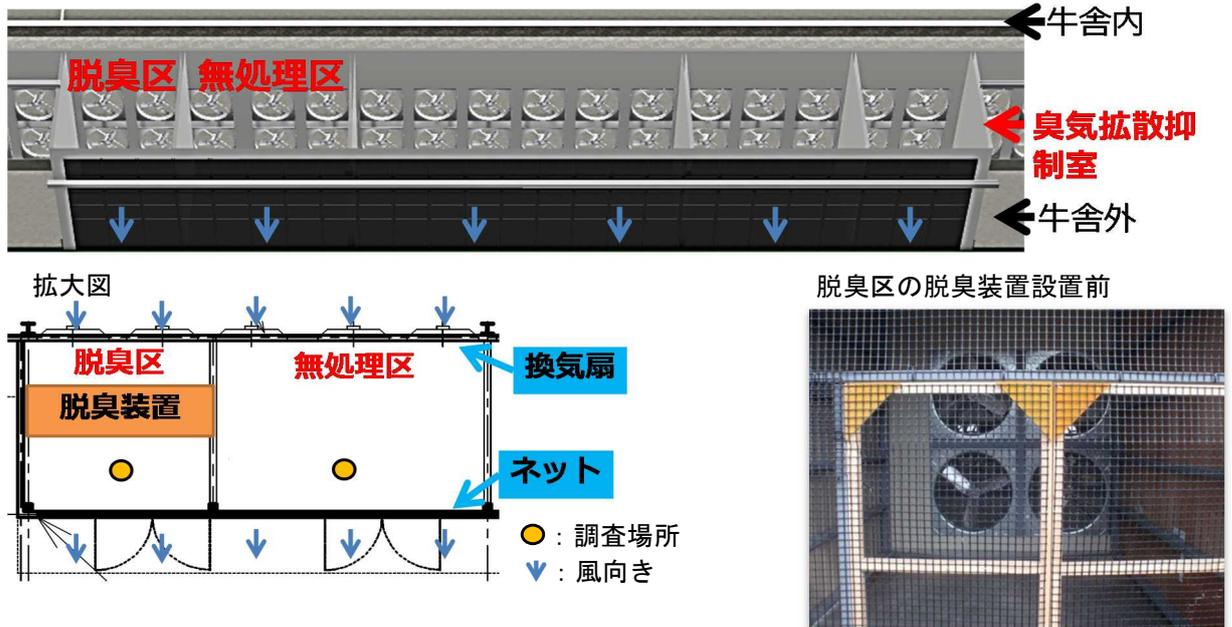


図 43 次世代閉鎖型牛舎臭気拡散抑制室の試験実施場所の配置及び脱臭装置設置前の写真

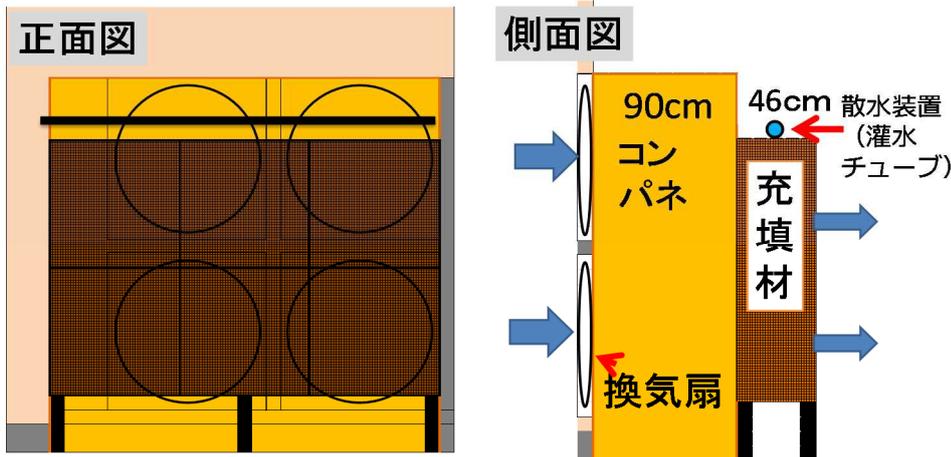


図 44 臭気拡散抑制室の脱臭区に設置した脱臭装置の模式図



図 45 充填材を充填した脱臭装置

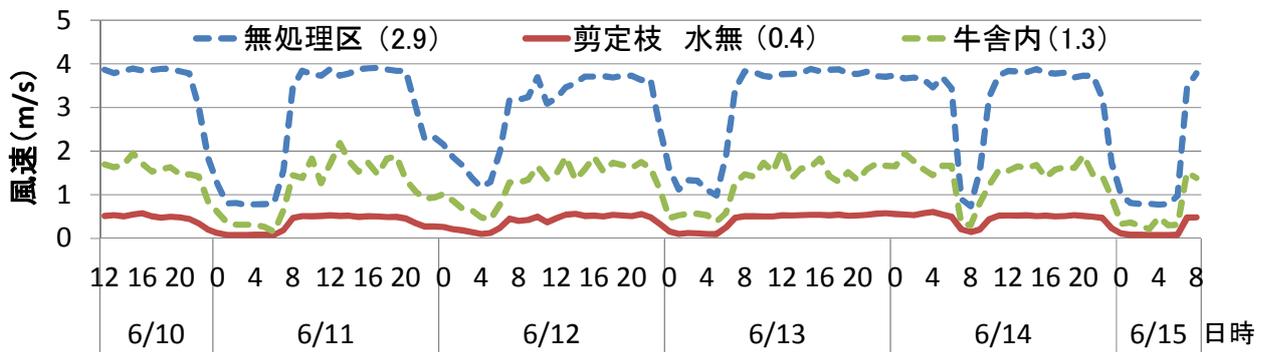
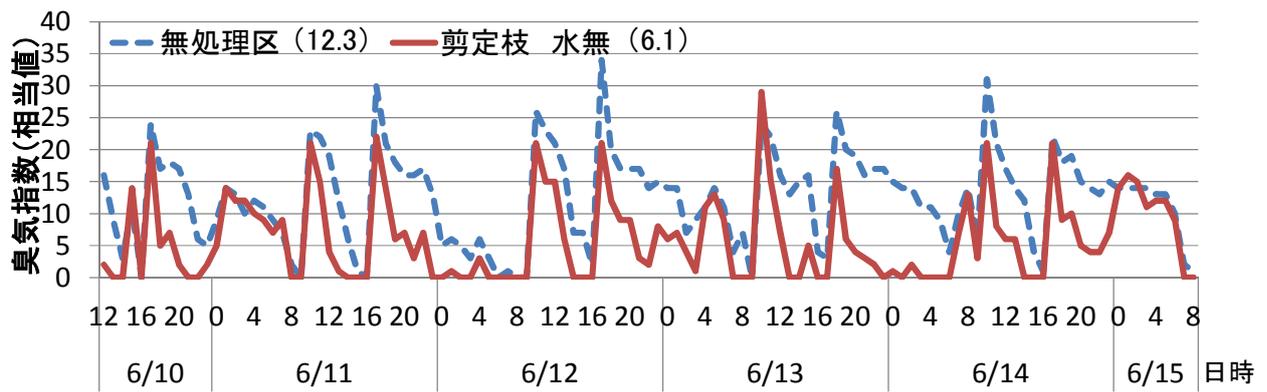


図 46 無処理区と脱臭区（剪定枝 水無）の臭気指数（相当値）及び風速の推移

※ () 期間の平均値

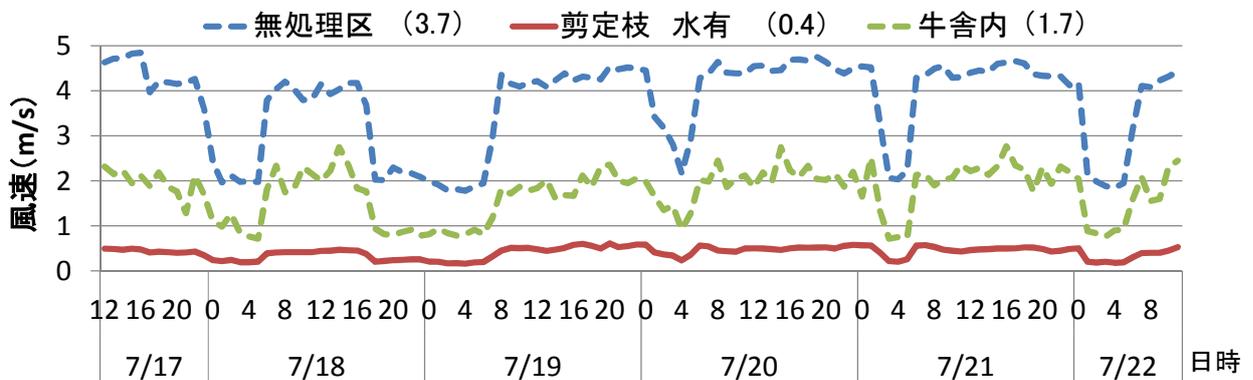
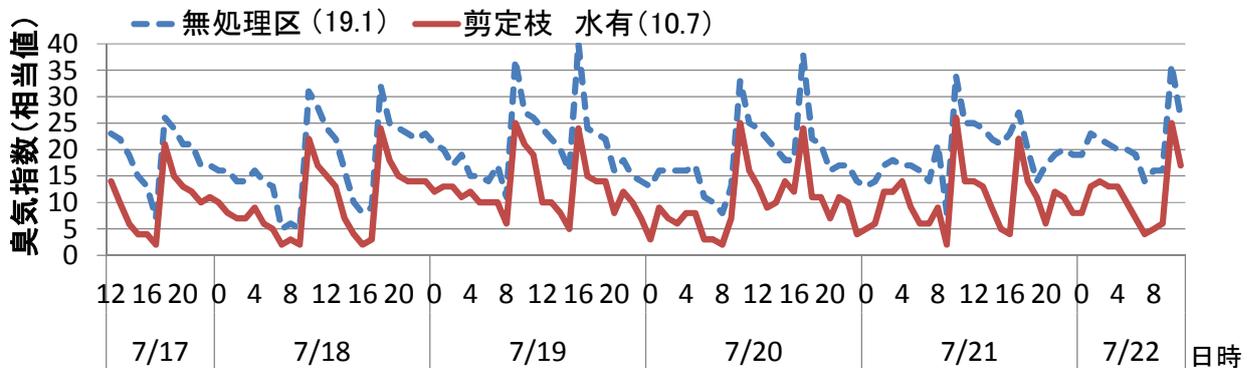


図 47 無処理区と脱臭区（剪定枝 水有）の臭気指数（相当値）及び風速の推移

※ () 期間の平均値

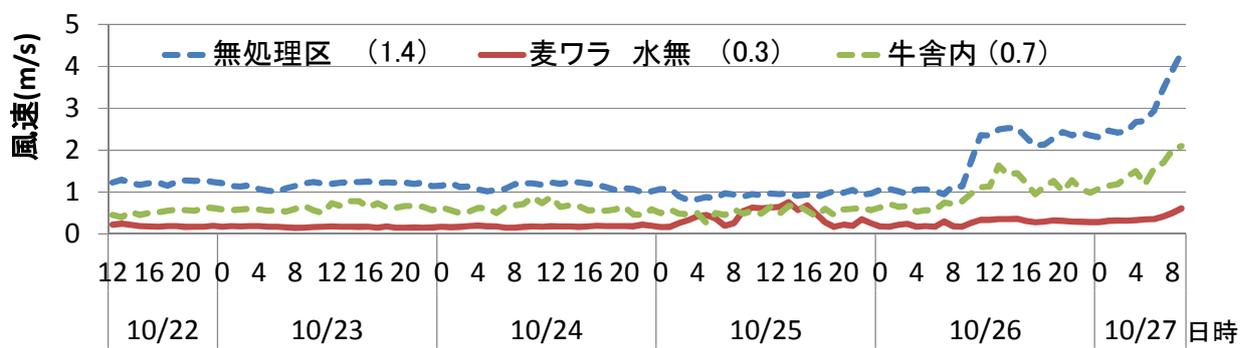
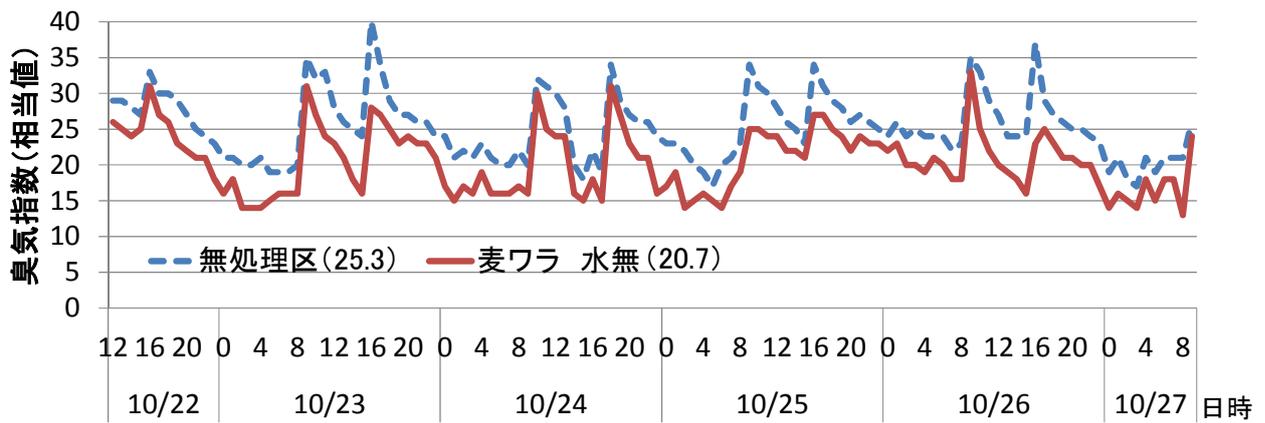


図 48 無処理区と脱臭区（麦ワラ 水無）の臭気指数（相当値）及び風速の推移

※ () 期間の平均値

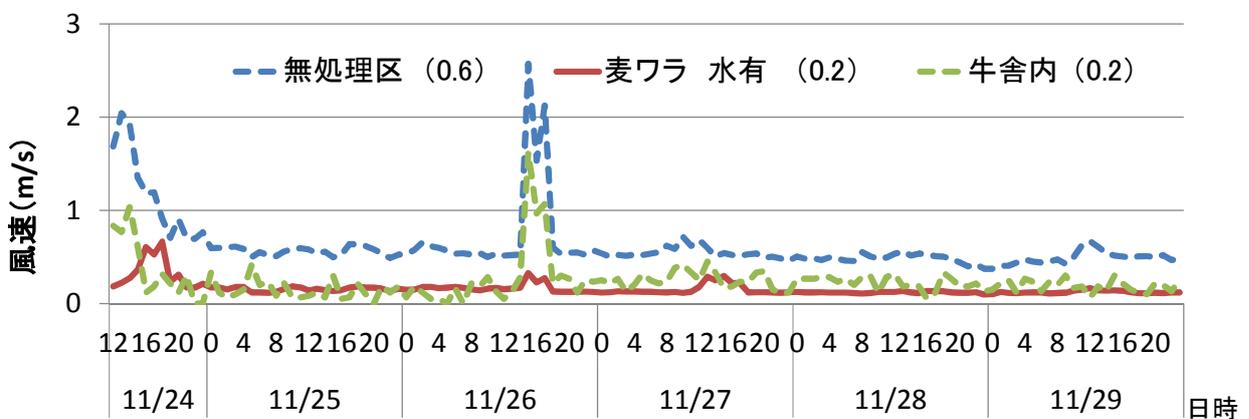
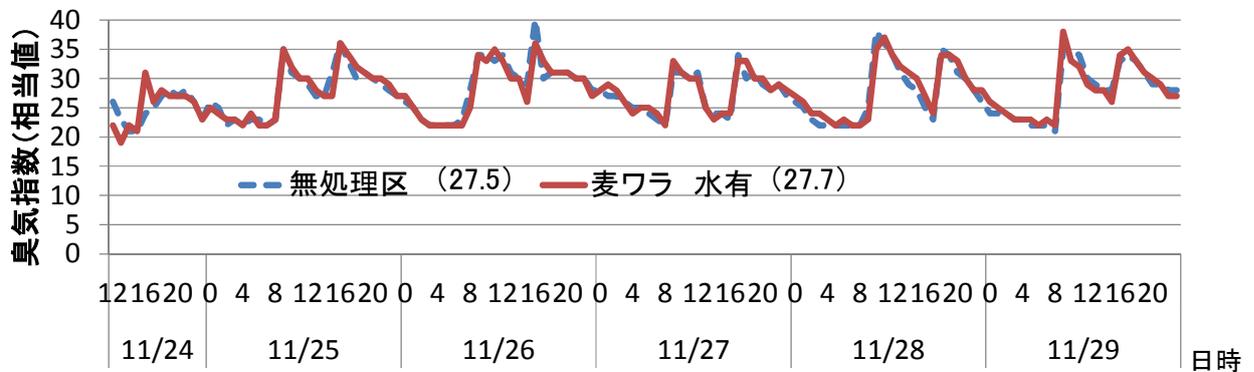


図 49 無処理区と脱臭区（麦ワラ 水有）の臭気指数（相当値）及び風速の推移

※ () 期間の平均値

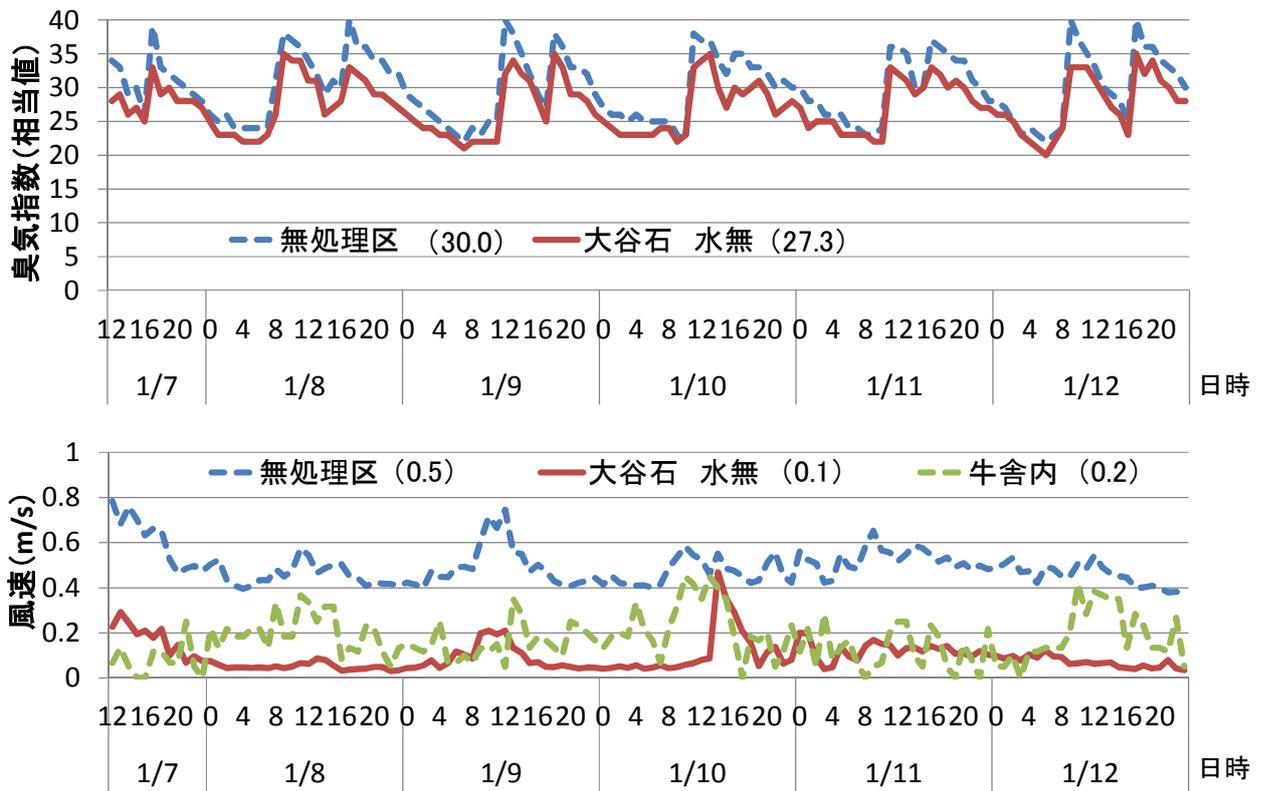


図 50 無処理区と脱臭区（大谷石 水無）の臭気指数（相当値）及び風速の推移
 ※（）期間の平均値

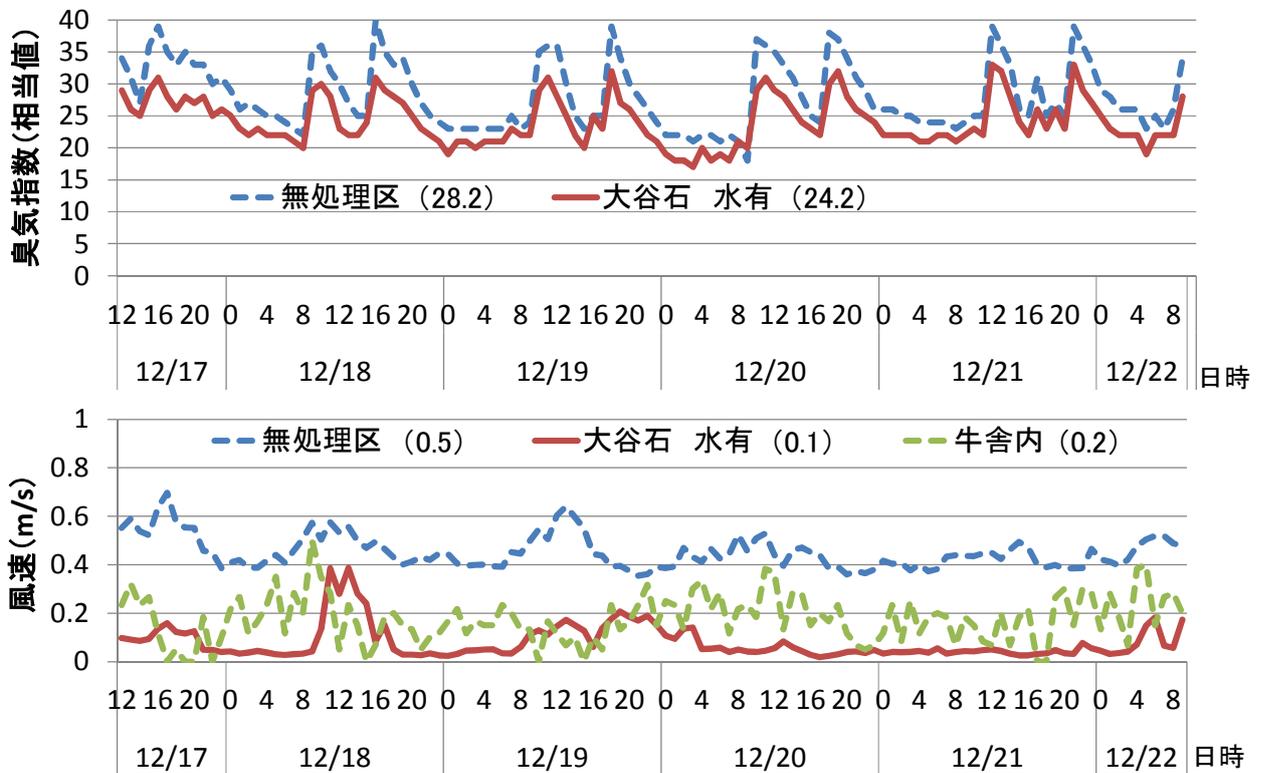


図 51 無処理区と脱臭区（大谷石 水有）の臭気指数（相当値）及び風速の推移
 ※（）期間の平均値

表 15 脱臭装置の臭気指数（相当値）低減率

充填材	調査期間	散水の有無	無処理区	脱臭区	低減率 (%)
剪定枝	6/10~15	無	12.3	6.1	50.8
	7/17~22	有	19.1	10.7	44.2
麦ワラ	10/22~27	無	25.3	20.7	18.4
	11/24~29	有	27.5	27.7	-0.5
大谷石	1/7~12	無	30.0	27.3	9.0
	12/17~22	有	28.2	24.2	14.0

※ 無処理区と脱臭区の値は、図 46~51 の期間の平均値

表 16 脱臭装置のアンモニア低減率

充填材	散水の有無	無処理区 (ppm)	脱臭区 (ppm)	低減率 (%)
剪定枝	無	0.9	0.6	32.4
	有	0.2	0.2	0.0
麦ワラ	無	0.6	0.6	2.3
	有	0.9	0.8	7.4
大谷石	無	1.0	0.5	48.4
	有	1.4	0.7	47.1

表 17 脱臭装置の風速及び接触時間

充填材	調査期間	散水の有無	風速 (m/s)			接触時間 (sec)
			無処理区	脱臭区	牛舎内	
剪定枝	6/10~15	無	2.9	0.4	1.3	1.2
	7/17~22	有	3.7	0.4	1.7	1.1
麦ワラ	10/22~27	無	1.4	0.3	0.7	1.8
	11/24~29	有	0.6	0.2	0.2	2.9
大谷石	1/7~12	無	0.5	0.1	0.2	0.8
	12/17~22	有	0.5	0.1	0.2	1.0

※ 無処理区、脱臭区及び牛舎内の値は、図 46~51 の期間の平均値

接触時間の計算式：接触時間 (sec) = 充填厚 (m) / 脱臭区風速 (m/s)

参考文献

- 1) 資源循環型畜産確立対策資料 平成 27 年 3 月 栃木県農政部畜産振興課
- 2) 山本朱美、古谷修、小堤恭平、小川雄彦比古、吉栄康城. 2008. 畜産臭気における臭気指数と市販ニオイセンサ指示値との関係. 日本畜産学会報 79(2), 235-238.
- 3) 栃木県環境森林部環境保全課 監修 環境保全ハンドブック平成 25 年 一般社団法人 栃木県環境技術協会
- 4) 前田綾子、安田知子、鈴木一好. 大谷石粉による豚糞臭気抑制効果の検討. 日本畜産学会第 116 回大会講演要旨 2013. 223
- 5) 畜産で利用される臭気対策資材の効果判定方法 (農林水産バイオリサイクル研究 畜産エコチーム微生物サブチーム) 平成 17 年 3 月 独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構 畜産草地研究所 畜産環境部 環境浄化研究室
- 6) 安田知子、和木美代子、福本泰之、前田綾子、下野衛. 大谷石およびロックウール生物脱臭装置の窒素回収に関する検討. 日本畜産学会第 119 回大会講演要旨 2015. 211