

目 次

一般論文

【肉用牛】

加速度センサを用いたウシの行動判別技術の開発

杉野文章・李根浩・石本篤史・緒方孝起・岡部光汰・坂口聖弥・相澤綾一 ----- 1

【乳用牛】

乳用牛（ホルスタイン種）における性選別精液を用いた人工授精適期の検討（第2報）

松尾麻未・小仲瑠偉・亀樋成美・須崎哲也・杉野文章・北野典子・黒木幹也・鍋西久 ----- 9

【養 豚】

多産系産子の肉質向上試験（第2報）

壱岐侑祐・岩切正芳・岐本博紀 ----- 1 3

繁殖母豚の繁殖成績に乾燥ニンジン粕給与が及ぼす影響

壱岐侑祐・岩切正芳・岐本博紀 ----- 1 7

機能性焼酎粕の繁殖母豚への給与が繁殖成績に及ぼす影響

壱岐侑祐・岩切正芳・岐本博紀 ----- 2 0

中ヨークシャー種の育成試験（第2報）

岩切正芳・壱岐侑祐・岐本博紀 ----- 2 3

種雄豚への冷風が精液性状に及ぼす影響

岩切正芳・壱岐侑祐・岐本博紀 ----- 2 6

繁殖母豚への散水が繁殖成績に及ぼす影響

岩切正芳・壱岐侑祐・岐本博紀 ----- 3 0

【環境衛生】

紙シュレッダー資材による養豚排水脱窒試験（第2報）

柴田翔平・甲斐敬康・鍋倉弘良 ----- 3 4

「臭気マップ」を用いた畜産農場臭気低減対策の検証（第1報）

柴田翔平・甲斐敬康・鍋倉弘良 ----- 4 0

「BOD監視システム」によるスマート養豚排水処理の実証 甲斐敬康・柴田翔平・長峰孝文・横山浩	50
地域資源を活用した環境負荷低減型配合飼料の効果実証(第1報) 柴田翔平・甲斐敬康・鍋倉弘良	64

加速度センサを用いたウシの行動判別技術の開発

杉野 文章・李 根浩¹⁾・石本 篤史¹⁾・緒方 孝起¹⁾・岡部 光汰¹⁾

坂口 聖弥¹⁾・相澤 綾一¹⁾

¹⁾宮崎大学工学部

Single Acceleration Sensor Based Behavioral Determination Scheme for Cows

Fumiaki SUGINO, Geunho LEE, Atsushi ISHIMOTO, Kouki OGATA, Kota OKABE
Seiya SAKAGUCHI, Ryoichi AIZAWA

<要約>加速度センサのみでウシの行動判別を行うシステムの開発および評価試験を行った。加速度センサとPC間の通信には回線を用いず、Bluetooth Low Energy 通信を用いた。これによりセンサモジュールを小型化することができ、ウシへの装着が容易となった。また、体位遷移を加速度変化のみから検知するアルゴリズムを考案し、PC内で解析を行うシステムを試作した。評価試験ではセンサモジュールを黒毛和種雌牛の頸部へ取付け、得られたデータから起立・横臥・マウンティングの検知が可能か検証を行ったところ、起立・横臥の一致率が95.9%、マウンティング検知の感度および精度がそれぞれ57.1%、55.2%であり、加速度センサのみでウシの行動判別が可能であることが明らかとなった。このことから、既存の加速度センサシステムに開発した検知アルゴリズムを組み込むことで、詳細な行動解析が可能であることが示唆された。しかしながら、今回の試験ではマウンティング検知において、偽陰性数および偽陽性数が多く、さらなる検討および改良が必要である。

近年、全国的な素牛不足の影響から子牛価格の高騰が続いており、繁殖基盤および生産性の強化が喫緊の課題となっている。

本県における繁殖雌牛の平均分娩間隔は410.3日となっており（公益社団法人宮崎県畜産協会 2020年分娩牛データ）、目標とされている1年1産とは大きくかけ離れている。分娩間隔を短縮するためには妊娠率を向上させることが必要であり、そのためには適正な飼養管理、特に十分な発情観察が重要である。しかし、近年の繁殖経営体は大規模化が進んできており、労力不足により十分な発情観察時間が確保されていない。また、竹之内ら（2013）は、ウシの発情持続時間が短くなっていることも報告しており、発情の見逃しに

よる生産性の低下が大きな課題と考えられる。

このような中、ICTやロボット等の技術が畜産分野に活用され、発情発見の補助や分娩監視などに応用が進められている。このような技術を活用した畜産は「スマート畜産」と呼ばれ、農家の労力負担軽減や生産性向上対策として期待されている。しかしながら、このような技術は未だ発展途上であり、検知精度や検知項目に課題がある。既存の技術では主に行動量を検知するものが多く、重要なカウシグナル（横臥や起立、採食などの行動）が検知できていないものが多い現状である。

そこで、本研究では加速度センサのデータから行動量だけでなく、詳細な行動判別が可能かを検証することとした。なお、本研究で

はカウシグナルの基本である「起立」「横臥」に加え、「マウンティング発情」の検知を目的とした。

試験方法

1 加速度センサモジュールの開発

3軸加速度センサモジュール（以下、加速度センサ）を開発するにあたり、回線を用いず Bluetooth Low Energy 通信を用いる方式を採用した。また、電源をボタン電池（CR2032）とすることで、加速度センサを大幅に小型化した（図1）。

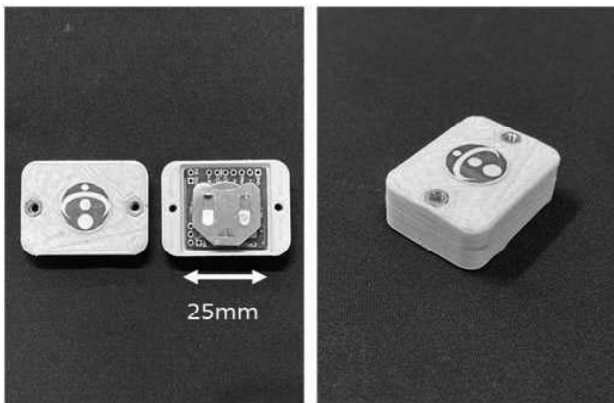


図1 開発した加速度センサモジュール

2 加速度センサの取付け位置の検討

加速度センサの取付け位置を検討するため、鼻・耳・頸部の3カ所に加速度センサを取付け、加速度の違いを分析した。加速度センサ

は布製の袋に入れ、鼻部および頸部は頭絡、耳部は耳標を利用し、加速度センサを結びつけた（図2）。なお、加速度の軸方向はウシから見て横方向をX軸、前後方向をY軸、上下方向をZ軸とした。

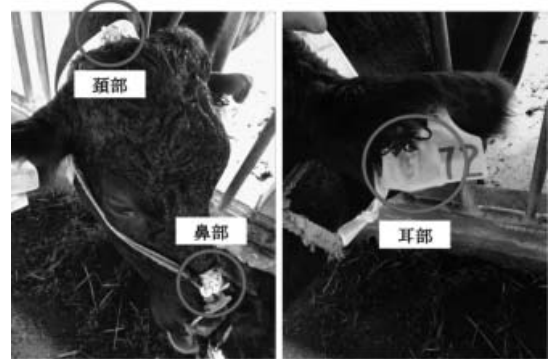


図2 加速度センサの取付け位置

その結果、加速度の絶対値はZ軸を除き耳部で最も大きくなり、バラツキも大きかった（表1および図3）。頸部と鼻部では加速度は同等の値となり、バラツキは耳部より小さかった。そのため、行動解析を行うには耳部よりも頸部や鼻部で行うことが適切であると考えられた。しかしながら、鼻部では飲水などにより加速度センサが破損する可能性があったため、頸部に加速度センサを取付け、試験を実施することとした。

表1 取付け位置による加速度（絶対値）の比較

装着部位	n	加速度 (m/s ²)		
		X軸	Y軸	Z軸
鼻部	30,747	15.6 ± 11.3	67.1 ± 22.3	85.8 ± 16.7
頸部	32,887	26.2 ± 17.6	59.1 ± 22.1	69.8 ± 13.7
耳部	28,229	39.2 ± 89.9	115.7 ± 138.3	43.8 ± 121.5

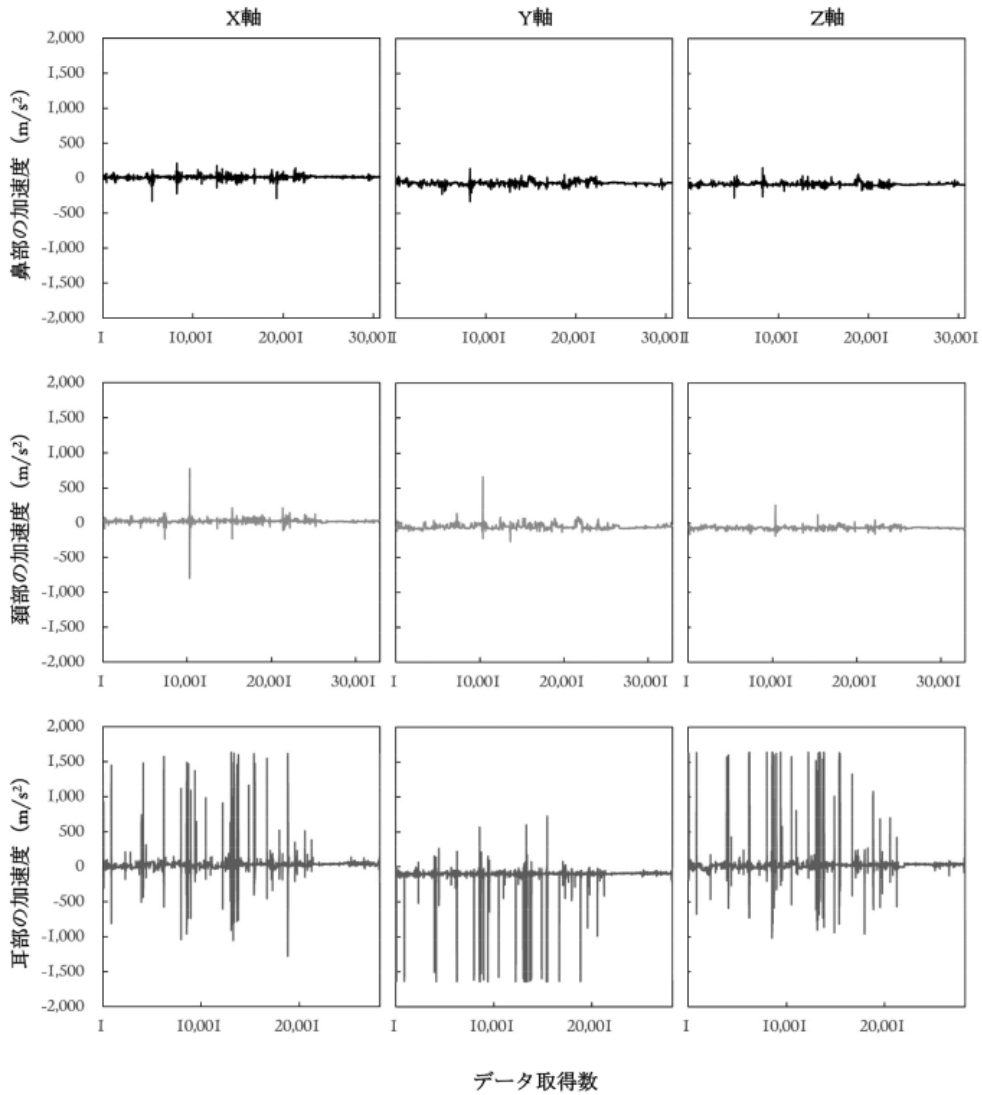


図3 取付け位置による加速度の比較

3 検知アルゴリズムの検討

加速度センサは、重力検知機能により重力方向を算出する。そして、算出された重力方向に対し、縦向きに平行な平面（S平面）と垂直な平面（T平面）を創出する（図4）。この平面にウシの行動時の加速度を当てはめることにより、動きの可視化が可能となると考えられる。図5にウシから見た軸方向、角度および加速度を示した。例えば、S平面の角度であれば θ_s 、T平面の加速度であれば A_T となる。

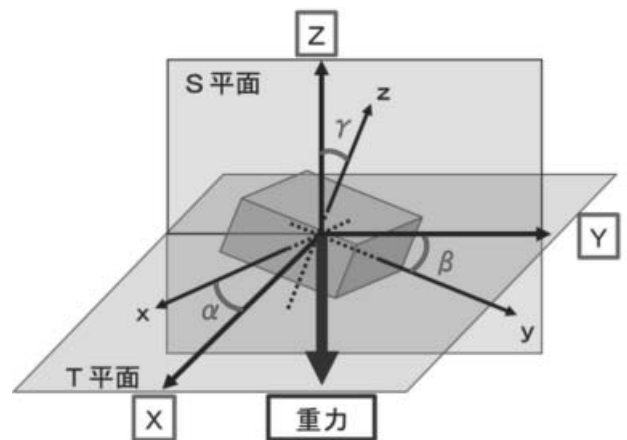
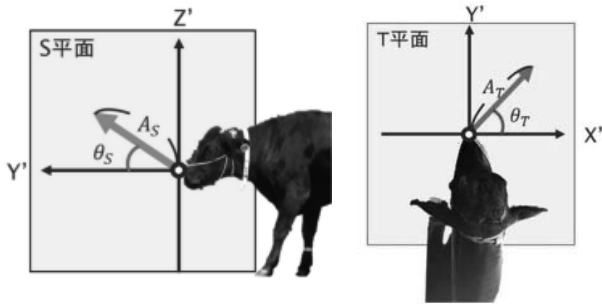


図4 加速度センサの傾きと重力方向による平面の創出



※ A : 加速度、 θ : 角度

図5 ウシから見た軸方向・角度

検知アルゴリズムの作成にあたり、ウシをビデオカメラで撮影し、加速度センサ取付け位置である頭頸部の軌跡を画像解析にて取得した (図6)。



図6 起立動作時の頭頸部の軌跡

また、起立動作、着座動作、マウンティング動作をそれぞれ分析し、頭頸部に注目した動作ルーティンをまとめた (表2~4)。動作ルーティンは、佐藤と長谷川 (1991) や阿部ら (1998) も報告しており、今回作成した動作ルーティンはこれらの

報告のものと類似していた。このことから、作成したルーティンがウシの起立・横臥動作の検知基準として活用できると考えられた。

4 検知アルゴリズムの作成

作成したルーティンから起立、横臥およびマウンティング開始時にYZ軸方向の加速度変化があることが明らかとなった。そこで、ウシの体位遷移について、YZ軸方向における加速度の変化に着目した検知アルゴリズムを作成した (図7)。起立および横臥の検知については、まず、X軸方向にフィルターを設け、首振りの動作を除外した。そして、S平面上のYZ軸方向における加速度の変化に着目し、特異的な変化があった場合、姿勢変化があったと判断することとした。そして最後にS平面上の角度によって起立状態と横臥状態の区別を行った。

次にマウンティングの検知方法について検討した。マウンティング時は頸部が重力方向に対し、上方向に移動することにより、XY軸方向に大きな加速度が発生する。そこで、マウンティングについては、S平面上で大きな加速度変化があった場合に検知することとした。しかし、上方向への加速度のみを検知項目とした場合、横臥から起立状態への遷移や首を振る動作が誤検知される恐れがあった。従って、まず、横臥から起立に遷移した場合に発生する誤検知への対応策として、マウンティングは起立状態からのみ検知することとした。また、首振りの際に発生する誤検知への対応策としては、起立・横臥のアルゴリズムと同様にX軸方向にフィルターを設け、首振り動作を除外することとした。

なお、特異的な変化はすべて 3σ 法を用い、検知することとした。

表2 着座時の動作ルーティン

行動順	頭頸部の位置	頭頸部以外の動作	動作に係る時間 (sec)	動きの有無		
				Y軸	Z軸	角度
1	下げる		0.25	+	-	+
2	下げる	前膝をつく	0.20	-	+	+
3	下げたまま維持	前軀を下げる	0.20	+	-	+
4	3より上げる	後軀をつく	0.20	-	+	-
5	4より下げる	前軀をつく	0.30	-	+	+
6	完全に下げる	(着座完了)	0.30	+	-	+

表3 起立時の動作ルーティン

行動順	頭頸部の位置	頭頸部以外の動作	動作に係る時間 (sec)	動きの有無		
				Y軸	Z軸	角度
1	上げる		0.25	-	+	+
2	斜め下に突き出す	前膝立ちになる	0.10	+	-	-
3	上げる	後軀を上げる	0.20	-	-	-
4	3より下げる		0.20	+	+	-
5	下げたまま維持	片前足を立てる	0.20	+	-	+
6	上げる	両前足を立てる	0.10	-	-	+

表4 マウンティング時の動作ルーティン

行動順	頭頸部の位置	頭頸部以外の動作	動作に係る時間 (sec)	動きの有無		
				Y軸	Z軸	角度
1	上げる	頭を被乗駕牛へ乗せる	0.25	+	-	-
2	上げる	前軀を上げる	0.10	-	+	+
3	上げる	乗駕	8s程度			
4	下げる	降りる	0.20	-	+	-

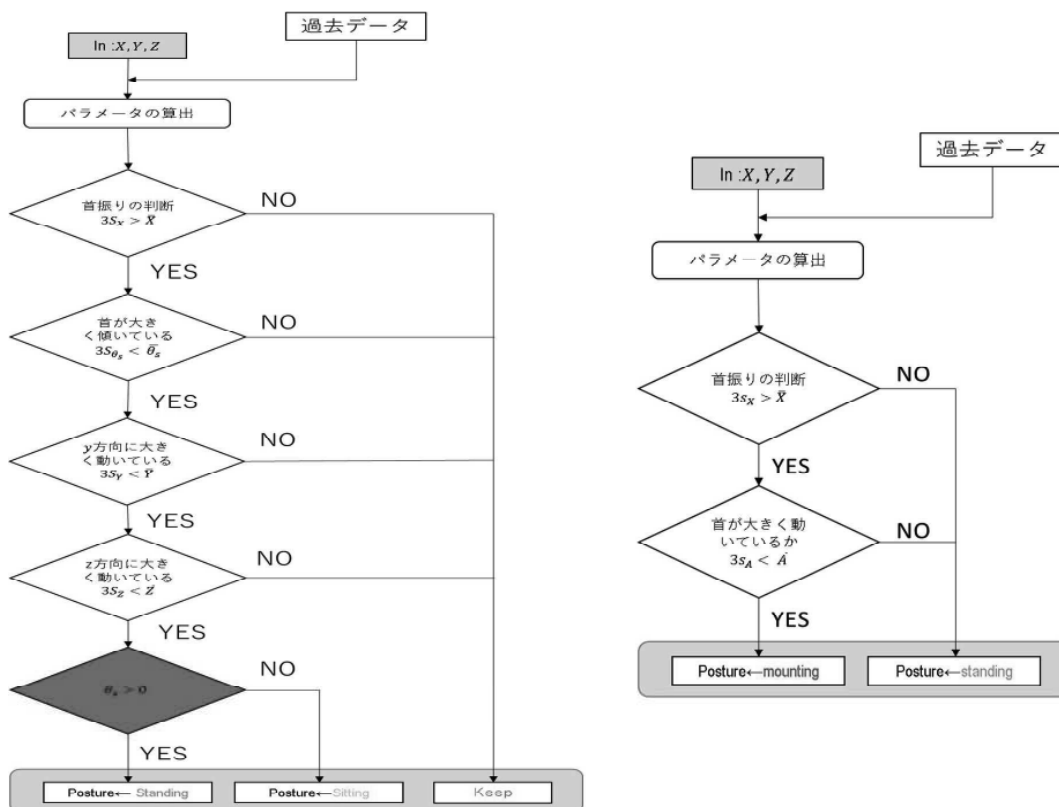


図7 作成した検知アルゴリズム

5 供試牛および試験方法

作成した検知アルゴリズムについての評価試験を行った。試験では当場のパドック付きのフリーバーン牛舎で飼養されている黒毛和種雌牛を供試した。供試牛は起立・横臥検知試験では非発情牛を用い、マウンティング判別の評価試験では、ホルモン処置により発情を同期化させたウシを用いた。

試験では雌牛の頸部に加速度センサを取付け、モニタリングPCに0.1秒ごとにデータを送信し、検知プログラムで判別した姿勢状態をリアルタイムで表示させた(図8)。また、供試牛の行動をビデオカメラ撮影により記録し、試験後に実際のウシの行動とプログラム判別結果との比較分析を行った。評価試験は午前中の採食終了後から実施した。



図8 モニタリングの様子

なお、評価試験はそれぞれ2回ずつ実施し、起立・横臥の判定試験では実際の起立および横臥時間とプログラム判別されたデータとの一致時間を求め、一致率を算出した。マウンティングの判定試験については、システムでマウンティングと判定したものの内、実際にマウンティングがあったものを真陽性、実際にマウンティングがあったものの、システムで検知できなかったものを陰陽性、システムで検知したが、実際のマウンティングがなかったものを偽陽性とし、そこから感度と精度

を算出、システムの正確度を評価した。なお、マウンティングは乗駕しようとして立ち上がったものをすべてマウンティングと見なした。

結果および考察

図9に発情牛および非発情牛における加速度の3軸合成値(以下、合成値)を示した。なお、このデータは予備試験の際のデータを分析したものである。発情牛は非発情牛と比べ有意に合成値が増加し、活動量が活発となる。非発情牛では、その時間のほとんどを起立休息・起立反芻・横臥休息・横臥反芻に当てており、合成値に大きな変動はなかった。本試験では明瞭な発情兆候を示している時間にしか加速度データを採取していないため、このような極端な値となったが、このデータからも合成値を用いることにより発情牛の検知は可能であると考えられた。

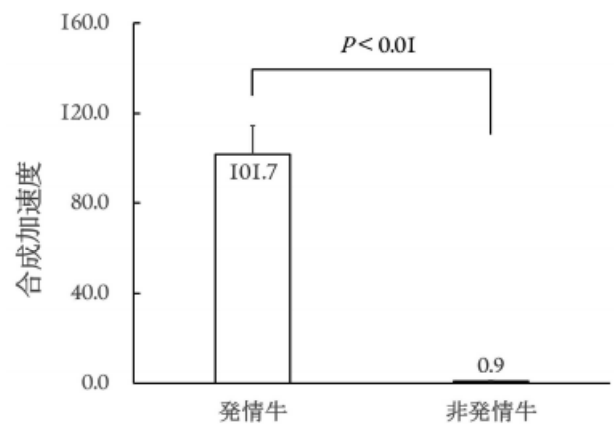


図9 発情牛および非発情牛における加速度(3軸合成値)の比較

起立・横臥判定プログラムの評価試験の結果を表5に示した。データが欠損していた時間を除いた評価試験の記録時間は3時間16分48秒であった。試験の結果、実際の横臥時間(若しくは起立時間)とプログラムで判定した横臥時間(若しくは起立時間)の差は8分37秒で

あった。ここから算出した起立および横臥時間の一致率は95.9%であり、高精度で検知できる結果となった。鍋西（2019）は気圧センサと加速度センサを組み合わせることにより91.6%の精度で立位・横臥を判別できたと報告している。今回の試験では加速度センサのみでこれと同等の一致率を得ており、加速度センサのみでも起立・横臥姿勢の判定は可能であることが示唆された。

次にマウンティング判定プログラムの評価試験結果を表6に示した。試験中にマウンティングは28回確認され、システムでは29回のマウンティングと判定していた。システム判定の内訳は、真陽性

が16回、偽陰性が12回、偽陽性が13回であり、感度が57.1%、精度が55.2%であった。このことから、今回の判別アルゴリズムを用いることによりマウンティングについても一定程度の検知が可能であると考えられた。

しかしながら、マウンティングについては、偽陰性および偽陽性数が多かった。これらの要因として、ウシが動かない状態から反芻や歩行、体を舐めるといった行為を行った場合、瞬間的に大きな加速度が生じ、マウンティングと誤検知したことや、瞬間的な加速度変化を捉え切れていないことが原因と考えられた。

表5 起立・横臥検知アルゴリズムの評価試験結果

試験番号	記録開始時間	記録終了時間	データ欠損時間	記録時間 ¹⁾	記録時間の内横臥していた時間	記録時間の内起立していた時間	システムで横臥と判定した時間	システムで起立と判定した時間	不一致時間 ²⁾	一致率(%) ³⁾
1	11:00:00	13:04:34	0:08:45	1:55:49	0:26:04	1:29:45	0:33:21	1:22:28	0:07:17	93.7
2	10:27:00	12:09:14	0:05:27	1:36:47	0:38:30	0:58:17	0:39:50	0:56:57	0:01:20	98.6
合計	—	—	—	3:32:36	1:04:34	2:28:02	1:13:11	2:19:25	0:08:37	95.9

¹⁾ 記録時間：記録終了時間－記録開始時間－データ欠損時間

²⁾ 不一致時間：実際の横臥（もしくは起立）時間とシステムで横臥（もしくは起立）と判定された時間の差

³⁾ 一致率 = (記録時間－不一致時間) / 記録時間 × 100

表6 マウンティング検知アルゴリズムの評価試験結果

試験番号	記録開始時間	記録終了時間	データ欠損時間	記録時間 ¹⁾	実際のマウンティング回数	システムによりマウンティングと検知された回数	真陽性数 ²⁾	偽陰性数 ³⁾	偽陽性数 ⁴⁾	感度(%) ⁵⁾	精度(%) ⁶⁾
1	10:28:35	13:40:16	0:42:35	2:29:06	17	20	9	8	11	52.9	45.0
2	10:14:00	11:07:30	0:05:48	0:47:42	11	9	7	4	2	63.6	77.8
合計	—	—	0:48:23	3:16:48	28	29	16	12	13	57.1	55.2

¹⁾ 記録時間：記録終了時間－記録開始時間－データ欠損時間

²⁾ 真陽性：システムにより検知されたものの内、真にマウンティングであったもの

³⁾ 偽陰性：真にマウンティングがあったものの、システムで検知されなかったもの

⁴⁾ 偽陽性：システムにより検知されたものの内、実際のマウンティングでなかったもの

⁵⁾ 感度 = 真陽性数 / (真陽性数 + 偽陰性数) × 100 : マウンティングが真にマウンティングと判定される率

⁶⁾ 精度 = 真陽性数 / (真陽性数 + 偽陽性数) × 100 : マウンティングでないものが真にマウンティングでないとして判定される率

以上により、加速度センサのみでもウシの行動解析は可能であることが明らかとなった。既存の技術は複数のセンサを組み合わせることにより行動解析を実施している例が多く、この技術を用いセンサ数を減らすことにより、センサの小型化やバッテリーの長寿命化が期待される。Jorge Aら (2015) も3軸加速度センサを用いることにより起立・横臥・採食を正確に検知できると報告しており、今回の試験ではこれと同様の結果となった。しかしながら、マウンティングについては偽陰性や偽陽性数が多かったため、今後のさらなる検討および改良が必要である。

参考文献

- 竹之内直樹, 福重直輝. 2013. 発情行動・微弱発情.
日本胚移植学雑誌35(3) : 97-108
- 佐藤義和, 長谷川三喜. 1991. 乳牛用の起立・横臥動作に関する運動力学的分析. 農業施設21(3) : 167-174
- 阿部榮, 小屋正人, 酒井淳一, 酒井健夫. 1998.
乳牛の起立様式と間接周囲炎への影響. 日本獣医師会雑誌51(2) : 70-75
- 鍋西久. 2019. つなぎ飼い式牛舎におけるICTを活用した高精度発情検知技術の検討. 畜産の情報2019(1) : 52-61
- Jorge A. Vázquez Diosdado, Zoe E. barker, Holly R. Hodges, Jonathan R. Amory, Darren P. Croft, Nick J. Bell, Edward A. Codling. 2015.
Classification of behaviour in housed dairy cows using an accelerometer-based activity monitoring system. Animal Biotelemetry 3:15

乳用牛（ホルスタイン種）における性選別精液を用いた人工授精適期の検討（第2報）

松尾 麻未¹⁾・小仲 瑠偉¹⁾・亀樋 成美²⁾・須崎 哲也・杉野 文章
・北野 典子³⁾・黒木 幹也⁴⁾・鍋西 久⁵⁾

(¹⁾ 畜産振興課・²⁾ 兵庫県淡路県民局洲本農林水産振興事務所

³⁾ 都城家畜保健衛生所・⁴⁾ 宮崎家畜保健衛生所・⁵⁾ 北里大学獣医学部)

Consideration in artificial insemination opportunity using
sexed semen in dairy cow (holstein-friesian) (Vol. 2)

Mami MATSUO, Rui KONAKA, Narumi KAMEBI, Tetsuya SUZAKI, Fumiaki SUGONO,
Noriko KITANO, Mikiya KUROKI, Hisashi NABENISHI

<要約>ホルスタイン種雌性選別精液を用いた人工授精（AI）の受胎率向上を目的として、性腺刺激ホルモン放出ホルモン製剤（GnRH）投与から AI までの時間が受胎率に及ぼす影響を調査し、性選別精液に適した AI 適期を検討した。GnRH 投与 24 時間後に AI を実施した「24h 区」および 30 時間後に AI を実施した「30h 区」の 2 区の受胎率を比較したところ、24h 区で 43.5%（n=23）、30h 区で 29.4%（n=17）の受胎率が得られ、本定時 AI プログラムを用いて排卵を同期化することで、通常精液と遜色ない受胎率を得る可能性が示唆された。

本県における酪農家の戸数は 229 戸で、飼養頭数が約 13,600 頭（令和 2 年度畜産統計調査）であるが、担い手の高齢化や人口減少により、酪農家戸数は平成 24 年度以降年々減少しており、酪農の生産基盤は弱体化している。

そのような中、酪農経営において、意図的に雌産子を得ることは、計画的な交配を行う上で重要な課題となっており、近年では性選別精液の利用が拡大している。しかしながら、性選別精液は通常精液と比較して、人工授精受胎率や採胚成績が低いことが問題となっている（木村, 2009）。また、近年では黒毛和種子牛の価格高騰により、黒毛和種由来受精卵を乳用種へ移植する酪農家も増えており、乳用後継牛不足に拍車がかかっている。

そこで、性選別精液の AI 受胎率向上を目的とし

て、GnRH 製剤投与から、AI までの時間が受胎率に及ぼす影響を調査し、性選別精液に適した AI 時期を検討した。なお、本研究は本県の他、山梨県および栃木県、静岡県、愛知県、岐阜県、滋賀県、愛媛県の 8 県の試験研究機関が参画する雌雄産み分け共同試験グループ（グループ C）の取り組みのうち、本県実施分を集計したものである。

試験方法

1 調査期間および供試牛

調査は平成 27 年 11 月から令和 2 年 11 月に実施した。

供試牛は、県内酪農家 2 戸および当場で飼養しているホルスタイン種経産雌牛で、試験開始前に

直腸検査により機能性黄体の形成が確認された、40 頭を供試した。

2 定時AIプログラム

発情日および発情直後を避け、夕方に膈内留置型プロゲステロン製剤 (CIDR; イージーブリード; サージミヤワキ株式会社) を挿入し、同時に EB (動物用オバホルモン; あすかアニマルヘルス) 1ml を筋肉内投与した。CIDR 挿入日を Day0 とし、Day8 の 17 時にプロスタグランジン (PG) (ダルマジン; 共立製薬) 3ml を筋肉内投与、Day9 の 9 時に CIDR を抜去し、Day10 の 9 時に GnRH (スポルネン; 共立製薬) 3ml を筋肉内投与した。Day11 の 9 時または 15 時に AI を 1 回のみ実施した (図 1)。

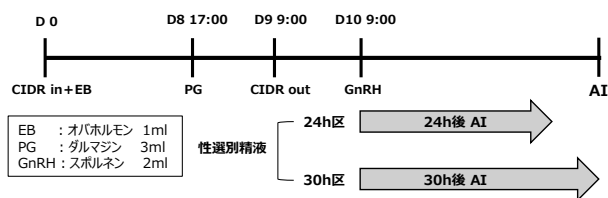


図1 定時AIプログラム

3 試験区分およびAI方法

試験区分は、GnRH 投与 24 時間後に AI を実施する「24h 区」および 30 時間後に AI を実施する「30h 区」の 2 区分に設定した。供試牛は、24h 区が 23 頭、30h 区が 17 頭で無作為に割り当てた。

性選別精液は国産および輸入精液を用い、卵胞側の子宮角浅部あるいは子宮体に 1 本のみ注入し、注入にはストロー注入器 (NFA174; FHK 社製) を用いた。

4 調査項目

供試牛の履歴として、生年月日および産歴、最終分娩日、BCS、AI 回数、処理開始日、処理開始日乳量、AI 時の卵胞サイズ、分娩日、産子の性別を記録した。また、AI については、種雄牛名、製造年月日を記録した。

5 統計処理

受胎率はカイ二乗検定、その他の項目は student の t 検定で統計処理を行った。

結果

各区の受胎率は表 1 に示した。24h 区では 23 頭中 10 頭が受胎し、受胎率は 43.5%、30h 区では 17 頭中 5 頭が受胎し、受胎率が 29.4%で 2 区間において有意な差はなかった。

供試牛の履歴を表 2 に示した。すべての履歴で有意な差はなかったが、AI 時卵胞サイズは 30h 区が 24h 区に比較して大きい傾向があった。

妊娠期間を表 3 に示した。妊娠期間は 24h 区が 278.0 日で、30h 区が 281.8 日で 2 区間において有意な差はなかった。また、全体の妊娠期間は 279.4 日であった。

生産状況を表 4 に示した。24h 区では♀が 9 頭、♂が 0 頭で♀率は 100.0%、30h 区では♀が 4 頭、♂が 1 頭で♀率は 80%であった。全体では♀が 13 頭、♂が 1 頭で♀率は 92.9%であった。なお、24h 区で流産が 1 頭、母牛 1 頭が死亡し、全体の生産率は 85.7%であった。

表1 各区の受胎率

	実施頭数 (頭)	受胎頭数 (頭)	受胎率 (%)
24h区	23	10	43.5
30h区	17	5	29.4

表2 供試牛の履歴

	24h区		30h区		P値
年齢（歳）	3.6 ±	1.2	3.8 ±	1.5	ns
産歴（産）	2.0 ±	0.8	2.3 ±	1.2	ns
分娩後日数（日）	206.4 ±	100.3	258.4 ±	138.0	ns
BCS	2.7 ±	0.4	2.7 ±	0.2	ns
処理開始日乳量（kg）	26.7 ±	10.8	23.0 ±	6.7	ns
分娩後AI回数（回）	1.4 ±	0.8	1.6 ±	0.8	ns
AI時卵胞サイズ（mm）	12.6 ±	3.9	16.4 ±	3.8	†

†= P<0.1

表3 妊娠期間

	妊娠期間（日）
24h区	278.0 ± 8.8
30h区	281.8 ± 6.9
全体	279.4 ± 8.3

表4 生産状況

	♀頭数（頭）	♂頭数（頭）	♀率（%）
24h区	9	0	100.0
30h区	4	1	80.0
全体	13	1	92.9

※ 24h区で流産が1頭、母牛1頭が死亡した

考 察

性選別精液を用いた AI 受胎率は通常精液に比べ低いとされていることや、通常精液と比較して受精能獲得に要する時間が短いとされている報告（Moce E at.al, 2006）もあり、通常精液に比べ、授精適期が遅いともされているため、性選別精液の授精適期を把握することは重要である。

共同試験グループ内で、超音波画像診断装置により排卵時間を調査したところ、GnRH 投与 24 から 27 時間後に 15.6%、27 から 30 時間後に 50.8%が排卵しており（岐阜県ら, 2020）、本研究においても 24h 区に比べ、30h 区の方が卵胞サイズが大きい傾向があることから、24h 区は排卵前、30h 区は排卵と同時に AI を実施したことが推測される。24h 区および 30h 区の 2 区間では有意な差はなかったものの、24h 区の方が受胎率が高かったことから、排卵と同時である 30h 区では人工授精するタイミングが遅い可能性があることが示唆された。この結果は、同 AI プログラムを用いて受胎率を調査した他県の報告ともほぼ一致していた（青木, 2020. 閏間

ら, 2019)。

また、本研究では通常精液との比較を行っていないが、ホルスタイン種経産牛の通常精液 AI 受胎率は 30 ~ 40%とされており（Norman at al, 2010. Schenk at al, 2009. 木村ら, 2009）、本定時 AI プログラムは通常精液と同程度の受胎率であることがわかった。

以上の結果から、本定時 AI プログラムを用いて、排卵を同期化することで、通常精液と遜色ない受胎率を得る可能性が示唆された。

参考文献

- 木村博久. 牛 XY 選別精液の生産とその課題. 家畜人工授精. 2009. 251, 1-16.
- Moce E, Graham JK, Scehnik JL. Effect of sex-sorting on the ability of fresh and cryopreserved bull sperm to undergo an acrosome reaction. 2006. *Theriogenology*, 66: 929-936.
- 岐阜県, 山梨県, 栃木県, 静岡県, 愛知県, 滋賀県, 愛媛県, 宮崎県. 雌雄産み分け技術共同試験取り組み状況報告. 2020 年度受精卵移植関連新技術全国会議 (第 24 回) .
- 青木 亜紀子. ホルスタイン種経産牛における性選別精液の人工授精適期の検討. 2020 年 5 月号 (第 780 号) 畜産技術, 16-20.
- 関間英之, 瀬戸隆弘, 大村学海, 赤松裕久, 齋藤美英. 性選別精液に適した経産牛定時人工授精法の検討 (最終報) . 2019. 静岡県畜産技術研究所研究報告第 12 号, 1-2.
- Norman HD, JL Hutchison & RH Miller. 2010. *J Dairy Sci*, 93: 3880-3890.
- Schenk JL, DG Cren, RW Everett & GE Seidel Jr. 2009. *Theriogenology*, 71: 717-728.

多産系産子の肉質向上試験（第2報）

壺岐 侑祐・岩切 正芳・岐本 博紀

Meat quality improvement test for prolific pigs of growing finishing pigs (Vol.2)

Yusuke IKI, Masayoshi IWAKIRI, Hironori KIMOTO,

<要約>多産系母豚（LW）に中ヨークシャー種（Y）を止め雄として交配した LWY 種は、デュロック種（D）を止め雄として掛け合わせた LWD 種に比べて、1 日増体重が低く、出荷日齢が延長した。枝肉は脂肪が厚くなりやすく、被覆による格落ちが増加した。肉質では、脂肪色で整形後 72 時間で L 値が高く、b 値が低くなった。また、官能評価に差はなかった。

以上の結果から、多産系母豚への中ヨークシャー種の交配は、LWD に比べて発育が劣り、肉質では、脂肪色の改善がみられるものの官能評価はいくつかの項目で LWD が好まれており、肉質改善効果も期待できない。

緒言

近年、我が国の養豚業は労力低減や出荷頭数の増加を目的に多産系母豚の導入が進んでいる。多産系母豚とは、母豚1頭当たりの年間離乳頭数が 30 頭以上の海外品種を指し、その繁殖能力が注目される。一方で、産子における発育や肉質についての報告は少ない。

これまでに、多産系母豚に家畜改良センターで育成されたユメサクラエースを止め雄に利用することで、肉質などの向上がみられることを報告しており（壺岐ら 2020）、多産系産子でも止め雄により肉質の改善が可能と考えられる。

本試験では、筋線維が細やかで肉質が柔らかい中ヨークシャー種を止め雄とすることで、肉質の柔らかい豚肉生産が可能か試験を行った。

材料および方法

1 供試豚

宮崎県畜産試験場川南支場で飼育している肥育豚を供試した。供試豚は、多産系母豚に対して、デュ

ロック種を掛け合わせた LWD 種および中ヨークシャー種を掛け合わせた LWY 種を用いた。なお、供試豚は、同一の止め雄から生まれた産子を用いた。

2 飼養方法

試験区分を表 1 に示した。多産系母豚から生まれた LWD と LWY の去勢雄 10 頭、雌 10 頭ずつを用いて、品種と性別による 2 水準を設けた。

各区 1 豚房当たり性別ごとに 5 頭の群飼とした。

試験開始は 31.3kg ± 4.42kg とし、試験終了は 112.9 ± 4.50kg で出荷するまでとした。

給与飼料は、30kg から 70kg は市販飼料の肥育前期飼料を用いた。70kg から 115kg は市販飼料の後期飼料を用いた。飼料は不断給餌、自由飲水とした。

表 1 試験区分

品種及び性別	給与飼料	供試頭数
LWD (去勢)		10頭
LWD (雌)	前期 (TDN: 78%, CP: 15.5%)	10頭
LWY (去勢)	後期 (TDN: 77%, CP: 13.5%)	10頭
LWY (雌)		10頭

3 調査項目

発育は、試験開始時の日齢および体重、試験終了時の日齢および体重を測定し、1日増体量を推定した。飼料給与量は毎日計量し、食べこぼしなどを減

し算出した。試験期間中の増体量を試験期間中の飼料摂取量で除して飼料要求率を求めた。

枝肉は、日本食肉格付協会の格付に準じて格付、枝肉重量および背脂肪厚を調査した。

肉質は、と畜 2 日後の左側ロースを用いて測定した。ロース肉中の水分含量は加熱乾燥法 (135℃、2 時間)、粗脂肪含量はエーテルによるソックスレー抽出法で測定した。ドリップロス、入江 (入江 2002) のナイロンバック法を参考にした。ロース肉の筋線維に沿って立方体状にサンプルを切り出し、重量測定後、サンプルをナイロンネットに入れ、紐で結び、ビニール袋に入れ密封した。この際、袋の中に空気を入れ、サンプルと袋が触れないようにした。約 5℃の冷蔵庫内に紐で吊し、48 時間後のサンプル重量を測定してサンプル作成時に対する重量の減少から割合を求めた。加熱損失は、冷凍状態でロース肉の線維が縦に走るように 2cm × 2cm × 5cm にカットしたサンプルを 70℃で 60 分湯煎し、30 分放冷後、紙タオルで表面のドリップを拭き取り、拭き上げ後の重量を測定、重量減少率で示した。剪断力価は、加熱損失測定後のサンプルを 1cm × 1cm × 5cm に切り出し、Texture Analyser (TA-xT2i) を用いて pre test 4.2 mm/秒、test 4.2 mm/秒、post test 10.0mm/s 秒、Rupture test Dist 48.0mm、Distance 50.0mm に設定して測定した。脂肪融点は、脂肪を 105℃で 3.5 時間加熱抽出したサンプルを用い、ガラス毛细管を用いた常法により測定した。

官能評価は、川南支場で実施した。試験場職員延べ 55 名をパネリストとして評価した。室温 25℃に設定した部屋で、サンプルの提供時および評価時に「評価に関する情報交換を行わないよう」事前に説明を行った上で実施した。サンプルの調理は、去勢の腰椎部のロースを厚さ 5mm にスライスし、脂肪 1cm、高さ 3cm、幅 3cm に成形後 1.5%食塩水中に 10 分浸漬した。230℃のホットプレートで表面 30 秒、裏面 30 秒加熱した。

評価方法は 2 点嗜好法を用いた。評価項目は、柔

らかさ、噛み切りやすさ、ジューシーさ、旨味、あっさり感、甘さ、脂臭さおよび総合評価とした。

データ処理は、発育および肉質は統計ソフト R を用いて二元配置分散分析を実施した後、多重比較分析を行った。官能評価は統計ソフト R を用いて 2 項検定を行った。

結果および考察

1 発育成績

発育成績を表 2 に示した。試験開始日齢および終了日齢は、LWD に比べて LWY で有意に長くなった。1 日増体量は、前期 (30kg から 70kg)、後期 (70 から 115kg) および全期 (30 から 115kg) の全てで LWD に比べて LWY で低くなった。中ヨークシャー種は、LWD と比べて出荷日齢が長いことが報告されている (宮崎ら 2018)。第 1 報では、止め雄にデュロック種を用いて、LWD のみで比較しても発育に止め雄の影響はみられなかった (老岐ら 2020)。

今回の試験では、中ヨークシャー種とデュロック種で止め雄を比較しており、止め雄の品種の違いが 1 日増体量に影響したと考えられる。

性別間差は、1 日増体重では前期および全期で去勢雄が雌に比べて有意に高くなった。

2 枝肉成績

枝肉重量では、品種間と性別間およびその交互作用に有意差はみられなかった。

一方で、背脂肪は LWD に比べて LWY で厚くなった。性別間では去勢雄で雌に対して有意に背脂肪が厚くなった。

これは、中ヨークシャー種は、背脂肪が厚くなりやすいことが知られており、その影響を LWY が受けたこと。さらに去勢雄は雌に比べて背脂肪が厚くなりやすいことが関与していると推察される。

上物頭数は、LWD に比べて LWY が少なくなった。また、雌に比べて去勢雄で上物頭数が少なくなった。

表2 発育成績

	LWD	LWY	去勢雄	雌	品種	性別	品種×性別
開始日齢 (日)	68.5 ± 1.00 ^a	71.6 ± 6.13 ^b	69.2 ± 3.77	71.0 ± 5.27	p<0.05	ns	ns
終了日齢 (日)	147.4 ± 12.02 ^a	169.6 ± 14.60 ^b	154.4 ± 15.06	162.7 ± 18.82	p<0.01	P<0.05	ns
開始体重 (kg)	32.0 ± 4.64	30.6 ± 4.18	31.3 ± 4.52	31.3 ± 4.44	ns	ns	ns
終了体重 (kg)	113.0 ± 2.84	112.8 ± 5.78	113.5 ± 3.12	112.3 ± 5.58	ns	ns	ns
一日増体量 前期 (g/日)	1,063.2 ± 119.45 ^b	874.32 ± 100.83 ^a	1,010.0 ± 145.68 ^b	927.5 ± 135.66 ^a	p<0.01	p<0.05	ns
後期 (g/日)	1,025.1 ± 139.28 ^b	846.5 ± 217.66 ^a	979.9 ± 198.38	891.7 ± 200.26	p<0.01	ns	ns
全期 (g/日)	1,041.1 ± 114.08 ^b	853.3 ± 133.76 ^a	987.1 ± 140.88 ^b	907.3 ± 162.10 ^a	p<0.01	p<0.05	ns
飼料摂取量 前期 (kg)	511.0 ± 22.50	649.9 ± 71.72	578.8 ± 82.77	582.1 ± 107.98	-	-	-
後期 (kg)	621.3 ± 108.80	711.7 ± 81.92	622.4 ± 94.54	710.6 ± 99.32	-	-	-
全期 (kg)	1,132.3 ± 94.00	1,361.6 ± 86.47	1,201.2 ± 122.21	1,292.8 ± 175.63	-	-	-
飼料要求率 前期	2.6 ± 0.16	3.1 ± 0.34	2.8 ± 0.21	2.9 ± 0.48	-	-	-
後期	2.9 ± 0.50	3.6 ± 0.46	3.0 ± 0.45	3.5 ± 0.61	-	-	-
全期	2.8 ± 0.23	3.3 ± 0.36	2.9 ± 0.28	3.2 ± 0.48	-	-	-
枝肉重量 (kg)	74.9 ± 2.89	75.3 ± 2.96	75.4 ± 3.14	74.8 ± 2.66	ns	ns	ns
背脂肪 (cm)	1.8 ± 0.53 ^a	2.5 ± 0.65 ^b	2.40 ± 0.74 ^b	1.9 ± 0.52 ^a	p<0.01	p<0.01	ns
上物頭数	15/20	5/20	7/20	13/20			

注：飼料摂取量および飼料要求率は、群飼育での給与量から試算

注：肩文字の異符号間に P < 0.05 で有意差あり

3 肉質成績

表3 肉質成績

	LWD	LWY	去勢雄	雌	品種	性別	品種×性別
水分 (%)	73.3 ± 1.03	72.4 ± 1.97	72.4 ± 1.95	73.4 ± 0.98	ns	ns	ns
粗脂肪 (%)	3.0 ± 0.86	3.0 ± 0.94	3.2 ± 0.82	2.8 ± 0.91	ns	ns	ns
ドリップロス (%)	5.7 ± 1.99	5.7 ± 1.58	5.5 ± 1.64	5.9 ± 1.91	ns	ns	ns
加熱損失 (%)	27.3 ± 2.17	25.8 ± 3.46	26.2 ± 2.24	26.9 ± 3.57	ns	ns	ns
剪断力価 (g)	5,494.4 ± 857.71	5,596.7 ± 1,716.20	5,289.0 ± 743.14	5,802.1 ± 1,730.57	ns	ns	ns
脂肪融点 (°C)	34.5 ± 3.51	35.5 ± 2.75	35.4 ± 3.20	34.5 ± 3.13	ns	ns	ns
肉色	L値 54.1 ± 2.31	54.5 ± 3.36	54.0 ± 3.19	54.6 ± 2.52	ns	ns	ns
	a値 11.8 ± 1.07	12.3 ± 1.48	11.9 ± 1.34	12.3 ± 1.27	ns	ns	ns
	b値 11.2 ± 0.62	11.2 ± 0.83	11.1 ± 0.69	11.2 ± 0.76	ns	ns	ns
脂肪色	L値 73.6 ± 2.36 ^a	75.2 ± 1.72 ^b	74.9 ± 1.97	73.9 ± 2.33	p<0.05	ns	ns
	a値 5.0 ± 1.05	4.5 ± 1.02	4.8 ± 0.84	4.7 ± 1.25	ns	ns	ns
	b値 7.8 ± 1.18 ^b	6.8 ± 0.72 ^a	7.0 ± 0.97	7.5 ± 1.19	p<0.01	ns	ns

注：ドリップロス、肉色および脂肪色は、整形後 72 時間後

注：肩文字の異符号間に P < 0.05 で有意差あり

肉質成績を表 3 に示した。LWD に比べて LWY で脂肪色の L 値が有意に高く、b 値が有意に低くなった。性別間では全ての調査項目で有意な差はなかった。このことから、中ヨークシャー種を止め雄にしても肉質の柔らかさに関連する剪断力価や脂肪交雑などに止め雄による影響はなく、肉質の柔らかい豚肉としての肉質向上は認められなかった。

4 官能評価

官能評価成績を表 4 に示した。官能評価では、柔らかさ、噛み切りやすさ、ジューシーさ、旨味および総合の評価項目で LWY に比べて LWD が有意に好まれた。

表4 官能評価成績

	全体	LWD	LWY	p値
柔らかさ	55	35 ^a	20 ^b	p<0.05
噛み切りやすさ	55	35 ^a	20 ^b	p<0.05
ジューシー	55	37 ^a	18 ^b	p<0.01
旨味	55	37 ^a	18 ^b	p<0.01
あっさり	55	26	29	ns
甘い	55	26	29	ns
脂臭い	55	31	24	ns
総合	55	38 ^a	17 ^b	p<0.01

注：肩文字の異符号間に P < 0.05 で有意差あり

以上の結果から、多産系母豚に止め雄として中ヨークシャー種を用いるとデュロック種と比べて、1日増体量が低下し、出荷日齢が延長することから発育成績が低下する。また、背脂肪厚が厚くなりやすく、この傾向は、雌よりも去勢雄で多くみられる。

肉質には品種による差はなく、官能評価では LWD で LWY に比べていくつかの項目で有意に好まれる

このことから、止め雄として中ヨークシャー種を用いると発育が低下し厚脂などによる上物率の低下を招き、また肉質が柔らかくなるなどの肉質向上は見込めない可能性がある。

参考文献

壺岐侑祐, 岩切正芳, 岐本博紀. 2020. 多産系産子の肉質向上試験 (第 1 報). 宮崎県畜産試験場研究報告 30, 26-28.

家畜改良センター. 2010. 「食肉の理化学分析および官能 評価マニュアル」

公益社団法人日本食肉格付協会. 1996. 豚枝肉取引規格の概要

宮崎涼子, 内山伸二, 西礼華, 竹之山慎一. 2019. 新生みやざき豚の創出試験 (第 1 報). 宮崎県畜産試験場研究報告 29.38-45.

繁殖母豚の繁殖成績に乾燥ニンジン粕給与が及ぼす影響

壺岐 侑祐・岩切 正芳・岐本 博紀

Effect of dried carrots feeding on sowa reproductive performance

Yusuke IKI, Masayoshi IWAKIRI, Hironori KIMOTO.

＜要約＞繁殖母豚に乾燥ニンジン粕（以下、「ニンジン粕」）を給与した。市販飼料に 1 % および 5 % で添加したところ、対照区で血中ビタミン A 濃度は直線的に減少したが、ニンジン粕を添加した区では、添加後にビタミン A 濃度の増加がみられた。そこで、繁殖成績に及ぼす影響を評価するため、交配日から 42 日間、ニンジン粕を市販飼料に 3 % 添加したところ、総産子数が増加する傾向がみられた。しかし、黒子や白子の増加により、哺乳開始頭数に差はなかった。

このことから、妊娠前期における繁殖母豚へのニンジン粕の給与は、総産子数の増加による生産性の向上に付与する可能性が示唆された。

緒言

本県では、約 1 万 4 千 t のニンジンが生産（平成 28 年度、国内第 11 位）されており、そのうち約 61 % が県内で野菜ジュースなどに加工されている。この野菜ジュース製造時には大量の絞り粕が発生するが、絞り粕の中には β -カロテンに代表されるビタミン A が含まれている。ビタミン A は、発育、繁殖や各種器官の上皮組織の機能維持に必要なビタミンとされ、 β -カロテンは、産子数を高めることが知られている（日本飼養標準・豚 2013）。

しかし、ニンジン粕等の未活用資源を用いた、 β -カロテンやビタミン A の摂取は、ほとんど検討がされていない。

そこで、本試験ではまず、試験 I ではニンジン粕添加量の違いが血中のビタミン A 濃度に及ぼす影響を検討し、次に試験 II では、ニンジン粕の添加が母豚の繁殖成績と血液性状に及ぼす影響を検討した。

併せて、ニンジン粕の給与が繁殖母豚の繁殖成績に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

1 供試豚

宮崎県畜産試験場川南支場で飼育している繁殖母豚を供試した。供試した繁殖母豚の平均産歴は、試験 1 で 2 産、試験 2 では 3 産のものを用いた。品種は LW 種を用いた。

2 飼養方法

(1) 試験 I

市販飼料の給与量は、離乳から交配まで 3.0kg、維持期で 2.5kg、妊娠後期で 3.0kg とした。

試験区分は、市販飼料を給与する対照区、ニンジン粕を市販飼料の現物量に対して 1 % を添加する 1 % 添加区およびニンジン粕を市販飼料の現物量に対して 5 % を添加する 5 % 添加区とした。給与期間は、交配後 14 日間とした。

供試頭数は、各区それぞれ 2 頭ずつとした。

交配は、人工授精で許容時、12 時間後および 24 時間後の 3 回とした。交配舎および分娩舎はストール形式とした。

(2) 試験 II

試験区分は市販飼料を用いた対照区とニンジン粕

を市販飼料の現物量に対して 3 % を添加する試験区とした。

給与期間は交配 1 日後から交配後 42 日間給与した。他の飼養方法は、試験 I と同様とした。供試頭数は、対照区、試験区それぞれ 5 頭ずつとした。

3 調査項目

(1) 試験 I

血中のビタミン A 濃度を測定するため、全ての区で交配日、交配を 0 日として 14 日後および 30 日後の 3 回採血を行った。血液は、採血後直ぐにアルミホイルで遮光して輸送した。輸送した血液は遠心分離により血清を分離し (3000 回転/min、10 分間)、 -28°C で冷凍保存した上で一括してビタミン A 濃度を測定した。

(2) 試験 II

調査項目は分娩前の体重、分娩前 P2 点、総産子数、哺乳開始頭数、白子、黒子の数を調査し、繁殖成績を評価した。

交配日、交配日を 0 日として 42 日後の 2 回採血を行った。また血液検査は、対照区の繁殖母豚は別試験と共有する必要があるため、ストレスを与えられないため、試験区の 5 頭のみで実施した。

採血した血液は、試験 I と同様に処理を行った。検査項目は、血中総コレステロール (t-col)、血中総タンパク質 (TP)、血中尿素態窒素 (BUN)、ビタミン A 含量を調査した。

データは、試験 I は、統計ソフト R を用いて t 検定を行った。試験 II は、統計ソフト R を用いて分散分析を行った。

結果および考察

1 飼料成分

飼料成分を表 1 に示した。ニンジン粕は、日本標準飼料成分表 2009 に記載されているミカンジュース粕と比べて粗タンパク質が高く、粗脂肪、粗繊維が同程度であった。総カロテン含量は、トウモロコシ等と比べて多く含有されていた。

このことから、ミカンジュース粕と同様の利用が

可能ではないかと考えられる。また、ニンジン粕は、粗脂肪が高いことから、脂溶性ビタミンであるビタミン A を効率的に吸収できる可能性がある。

表 1 飼料成分

成分項目	ニンジン粕	トウモロコシ	ミカンジュース粕
水分 (%)	14.4	14.5	9.7
粗タンパク質 (%)	8.3	7.6	6.1
粗脂肪 (%)	4.8	3.8	1.5
粗繊維 (%)	10.9	1.7	10.0
粗灰分 (%)	4.4	1.2	6.1
総カロテン (mg/100g)	46.4	5	不明

2 試験 I の結果

血中ビタミン A 濃度を図 1 に示した。

ビタミン A 濃度は、対照区は交配日で最も高く、その後、直線的に減少した。1 % 添加区は対照区に比べて交配日から 14 日後までは緩やかな減少を示した。一方で、5 % 添加区では 14 日後に増加しており、添加をやめた 30 日後でも交配日より増加しており、添加の効果が 1% 添加よりもあったと考えられる。

しかしながら、ビタミン A は不足または過剰給与により催奇形性があることが知られており (渡邊 1995) 給与量を検討する必要がある。

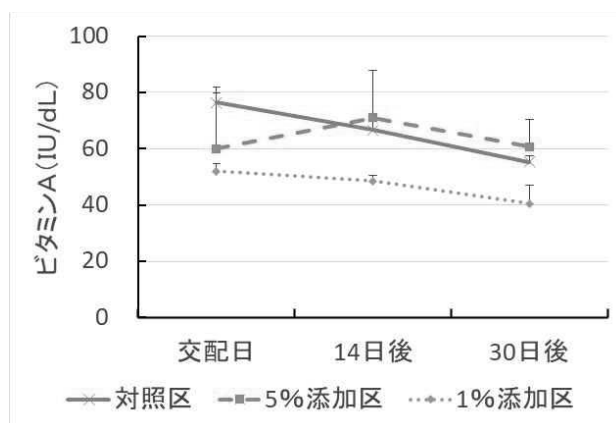


図 1 血中ビタミン A 濃度

3 試験Ⅱの結果

繁殖成績を表 2、血液分析結果を表 3 に示した。

繁殖成績では、分娩前の体重および P2 点に差はなかった。対照区に比べ試験区で約 3.2 頭増加した。

一方で、哺乳開始頭数は対照区および試験区で差はなかった。これは対照区に比べ試験区で白子や黒子が多かったことに起因すると考えられる。総産子数が増加することで分娩時間が延長し、死産数が増えることが知られている(今枝ら 2005 ; 丸山 1990)。今回の試験では、娩出時間を調査していないが、総産子数の増加に伴い、娩出時間が延長したため死亡頭数が増加したと考えられる。

表 2 繁殖成績

	分娩前体重	分娩前P2点	総産子数	哺乳開始頭数	白子	黒子
対照区	270.4 ± 17.81	16.0 ± 1.58	11.4 ± 2.70	10.4 ± 2.30	1.0 ± 1.73	0.2 ± 0.00 ^a
試験区	269.6 ± 19.87	18.2 ± 4.15	14.6 ± 3.21	11.2 ± 2.59	2.8 ± 2.28	0.8 ± 0.45 ^b

肩文字の異符号間にp<0.01の有意差あり

ニンジン粕を添加することで、AST およびγ-GT の増加がみられた。これらは、肝機能に障害が起こることで増加することが知られている。これまで筆者は肥育豚で飼料中にニンジン粕を 10 %添加して給与すると肝機能が低下する可能性があることを報告している(壱岐 2019)。今回の試験でもニンジン粕を給与することで肝機能が低下した可能性があると考えられる。

また、血中ビタミン A は、給与前に比べて給与後で減少した。これは、添加量 3 %では、添加量 5 %ほどビタミン A が増加しなかったためと考えられる。しかし、試験Ⅱで総産子数の増加がみられていたことから 3 %添加で十分な効果があったと考えられる。

以上より、繁殖雌豚にニンジン粕を給与する際は、総産子数の増加を増加させ、生産性を向上させる可能性がある。

表 3 血液成績

	TP	A/G比	AST	γ-GT	BUN	t-cho	ビタミンA
	g/dl		U/L	U/L	U/L	mg/dl	IU/dl
交配日	7.87	0.87	33.00	61.43	10.36	70.29	73.00
交配42日後	8.69	0.82	33.00	63.14	8.37	67.14	67.57
正常範囲	7.5-8	0.37-0.51	32-84		10-30	35-55	

参考文献

- 丸山淳一. 1990. 産子数と出生時の子豚との関係について. 日豚会誌 27,135-139.
- 壱岐侑祐, 宮本佳奈, 内山伸二. 2019. 肥育豚へのニンジン粕給与試験. 宮崎県畜産試験場研究報告第 30 号, 51-55.
- 今枝紀明, 吉岡豪, 島本安男. 2005. 胎子娩出所要時間(娩出時間)に關与する要因分析と娩出時間が死産数,1 週齡時の子豚体重および育成率に及ぼす影響. 日豚会誌 42, 1-7.
- 中央畜産会. 2009. 日本標準飼料成分表(2009 年版)
- 中央畜産会. 2013. 日本飼養標準豚(2013 年版)
- 丹羽太左衛門. 1994. 養豚ハンドブック. 株式会社, 養賢堂, 東京.
- 渡辺敏明.1995.胎児および新生児の發育における母体ビタミン A の役割. ビタミン 69, 345-346.

機能性焼酎粕の繁殖母豚への給与が繁殖成績に及ぼす影響

壺岐 侑祐・岩切 正芳・岐本 博紀・喜田 珠光¹⁾・山本 英樹¹⁾・水谷 政美¹⁾
¹⁾ 食品開発センター

Effect of Functionality Shochu Distillery By-product on sowa reproductive performance

Yusuke IKI, Masayoshi IWAKIRI, Hironori KIMOTO,
Tamami KIDA, Hideki YAMAMOTO and Masami MIZUTANI

<要約>繁殖母豚に交配から離乳までの間、市販飼料にオルニチンを高含有する焼酎粕（以下、「機能性焼酎粕」）を 10 % 添加して給与したところ、総産子数、哺乳開始頭数および離乳頭数に影響はないが、1 頭当たりの離乳時体重が増加した。血液性状では、給与を行っていない交配前に比べて、給与を継続した分娩 7 日前および離乳後に肝機能と関係する AST、ALP および γ -GP が減少した。

以上の結果から、繁殖母豚に機能性焼酎粕を 10 % 添加して給与すると肝機能が改善するとともに、離乳子豚の体重を増加させることが示唆された。

緒 言

本県の焼酎出荷量は、約 15 万キロ^{リットル}（平成 26 年酒造年度）で全国 1 位となっている。一方で、焼酎粕も約 27 万キロ^{リットル}排出されている。

麦焼酎粕では、水分含量が高く腐敗しやすい特徴を持つが、乳酸菌添加と糖蜜を添加し、発酵サイレージ化することで焼酎粕の保存性を高めること知られている（吉田ら 2011）。

近年、宮崎県食品開発センターで作出された特殊な乳酸菌を発酵焼酎粕の調製時に用いることでオルニチンを生産することが報告されている（須崎ら 2018）。また、この機能性焼酎粕を肥育豚に市販飼料の 30 % 代替として利用しても発育に影響を及ぼさないことを報告している（壺岐ら 2020）。

しかし、繁殖母豚への給与に関する知見はない。

そこで、本試験では繁殖母豚への機能性焼酎粕給与が、繁殖成績に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

1 供試豚

宮崎県畜産試験場川南支場で飼育している繁殖母豚で、産歴 2 産目の繁殖母豚を用いた。品種は中ヨークシャー種を用いた。供試頭数は 4 頭とした。なお、繁殖成績の評価をする際に、同時期に分娩した中ヨークシャー種の繁殖母豚 4 頭のデータを活用した。

2 飼養方法

市販飼料の給与量は、離乳から交配まで 3.0kg、維持期で 2.5kg、妊娠後期（分娩 30 日前）で 3.0kg とした。

試験区分は機能性焼酎粕を市販飼料の現物量に対して 10 % を添加する試験区とした。授乳期は、残餌が発生するまで 1 日 1kg で飼料給与量を増加させ、残餌が発生してからは、給与量を調整し、繁殖母豚が食べきれる量を給与した。

交配は、人工授精で許乗時、12 時間後および 24

時間後の3回とした。交配舎および分娩舎はストール形式とした。

3 調査項目

(1) 繁殖能力

繁殖能力は、白子および黒子を含めた全ての娩出された子豚を総産子数とした。総産子数のうち、哺乳を開始した豚を哺乳開始頭数とした。分娩1日後に鉄剤投与、切歯および断尾を行う際に、1頭ずつ体重を測定し、生時体重とした。分娩から3週間後に、生存する全ての子豚の体重を1頭ずつ測定し、離乳時体重とした。哺乳中事故率は、(哺乳開始頭数－離乳頭数) / 離乳頭数 × 100 で求めた。なお、離乳頭数は、分娩後3週間の生存頭数とした。

(2) 血液性状

交配前、分娩1週間前および離乳後の3回採血を行った。血液は遠心分離により血清を分離(3000回転/min、10分間)し、-28℃で冷凍保存後、血液分析に用いた。分析項目は、AST、ALP、 γ -GT、血中総コレステロール(t-cho)、血中総タンパク質(TP)、血中尿素態窒素(BUN)とした。

(3) 統計処理

データの統計処理は、エクセルを用いて行った。

結果および考察

1 飼料成分

給与飼料の飼料成分を表1に示した。機能性焼酎粕を10%添加すると水分含量が20.3%となった。

一般的に飼料中の水分含量が15%以上でカビが発生しやすくなることから、市販飼料に機能性焼酎粕を10%添加する際は食べさせるだけ混合し、調整後は直ちに利用する必要があると考えられる。飼料中のタンパク質含量は、17.3%と市販飼料に比べて高くなった。これは、機能性焼酎粕の調製時に、タンパク質含量の高い、おからなどを加えているためと考えられる。

表1 飼料成分 (単位：%)

成分項目 / 飼料名	機能性焼酎粕 10%添加配合飼料	種豚用 市販飼料
水分	20.3	—
粗タンパク質	17.3	14.5以上
粗脂肪	2.9	3.0以上
粗繊維	7.9	10.0以下
粗灰分	5.7	10.0以上

注：粗繊維は、ADF含量を示した。

2 繁殖成績

繁殖成績を表2に示した。試験区の総産子数は8.5頭、哺乳開始頭数は8.3頭、離乳頭数は7.8頭であった。同時期の繁殖母豚の繁殖成績と比べて差はなかった。中ヨークシャー種の総産子数は9から10頭と報告されている(丹羽1994)当試験場で実施された試験でも総産子数7.3頭、離乳頭数5.9頭と報告されており(宮崎ら2018)、今回の試験における総産子数や離乳頭数は、一般的な中ヨークシャー種と同等の結果となった。

試験区の生時体重は、1頭当たり1.6kg、1腹当たり13.9kgであった。また離乳時体重は1頭当たり7.3kg、1腹当たり57.3kgであった。離乳時体重では、同時期の繁殖母豚に比べて有意に重くなった。

表2 繁殖成績

	同時期の繁殖母豚	試験区
総産子数(頭)	9.0 ± 2.71	8.5 ± 2.65
哺乳開始頭数(頭)	8.8 ± 2.50	8.3 ± 2.22
離乳頭数(頭)	8.5 ± 2.38	7.8 ± 1.71
哺乳中事故率(%)	2.5 ± 5.00	5.1 ± 5.89
生時体重(kg)		
1腹	13.8 ± 2.13	13.9 ± 5.07
1頭	1.7 ± 0.38	1.6 ± 0.18
離乳時体重(kg)		
1腹	51.5 ± 10.44	57.3 ± 15.63
1頭	6.3 ± 1.44 ^b	7.3 ± 0.58 ^a

注：肩文字の異符号間に p < 0.05 で有意差あり

3 血液性状

血液性状を表3に示した。TPおよびBUNは、タンパク質代謝の指標の一つである。交配前、分娩7日前および離乳後のTPは8.6から7.7の間、BUNは9.2から9.8の間であった。これらの正常値はTP

で、7.5 から 8.0、BUN で 10.0 から 30.0 で、今回の試験では、タンパク質代謝に機能性焼酎粕の給与は影響を及ぼさなかったと考えられる。t-cho は、エネルギー充足の指標とともに肝機能障害の評価する指標の一つである。分娩 7 日前に t-cho が低下したが、一般的な血液性状で t-cho は 33.0 から 50.0 であり、範囲を上回った。

AST、ALP、 γ -GT、は、交配前に比べて分娩 1 週間前および離乳後に低下した。肝機能に関連するこれらの数値が低くなっていることから、機能性焼酎粕の給与が繁殖母豚の肝機能を改善させている可能性がある。

表 3 血液性状

	T P	BUN	t-cho	HDL-C
交配前	8.6 ± 1.34	9.2 ± 0.88	75.5 ± 8.70	32.8 ± 4.35
分娩7日前	8.6 ± 0.50	9.9 ± 3.12	67.0 ± 8.41	25.8 ± 3.30
離乳後	7.7 ± 0.59	9.8 ± 1.53	75.8 ± 9.22	31.3 ± 7.41
正常範囲	7.5-8	10-30		
	A S T	A L P	γ -G T	A/G比
交配前	88.0 ± 53.25	171.3 ± 42.66	74.3 ± 36.51	0.8 ± 0.07
分娩7日前	36.0 ± 7.35	142.5 ± 36.12	37.3 ± 2.99	0.8 ± 0.06
離乳後	23.8 ± 8.06	130.8 ± 32.93	39.3 ± 2.87	0.8 ± 0.05
正常範囲	32-84			0.37-0.51

以上の結果から、機能性焼酎粕の給与は、肝機能改善とともに、1 頭当たり離乳時体重を増加させる可能性がある。今後、さらに添加量を増やすことで、繁殖成績に及ぼす影響を評価していく。

参考文献

- 宮崎涼子, 内山信二, 西礼華, 竹之山慎一. 2018. 新生みやざき豚の創出試験 (第 1 報). 宮崎県畜産試験場研究報告第 29 号, 38-45.
- 須崎哲也, 黒木幹也, 山本英樹, 藤田依里. 2018. 未利用資源 (焼酎粕) に含まれる機能性成分が牛の生産性に及ぼす影響について. 畜産の情報 43-50.
- 丹羽太左衛門. 1994. 養豚ハンドブック. 株式会社養賢堂, 東京.
- 吉田周司, 秋好禎一, 手島久智. 豚における麦焼酎粕の給与法および肉質に及ぼす影響. 2011. 大分県農林水産研究指導センター研究報告第 1 号, 21-25.

中ヨークシャー種の育成試験（第2報）

岩切 正芳・壺岐 侑祐・岐本 博紀

Examination of the growth of Middle White(Vol.2)

Masayoshi IWAKIRI, Yusuke IKI, Hironori KIMOTO

＜要約＞中ヨークシャー種の育成期は体重 50kg までは通常の子豚育成飼料を不断給餌して必要な栄養分を十分に摂取させる。50kg 時点で繁殖候補豚を選抜し、50～100kg では低 TDN の育成専用飼料を不断給餌し、100kg 以降は繁殖用飼料を制限給与する。この給与方式により無駄な脂肪が蓄積することなく骨格が大きく体積のある繁殖素豚にすることが可能となる。

中ヨークシャー種はF 1種に比較して体脂肪の蓄積が多く、体格は劣り分娩頭数が少ない。このため、中ヨークシャー種の特性を生かした育成手法を確立することにより、繁殖能力を最大に発揮させることが重要である。そこで、骨格・筋肉・内臓の発達を十分に促す最も重要な体重 30kg から初回交配までの育成期間における飼料給与方式を確立するための育成試験を行なった。

100kg で低 TDN の育成用飼料を不断給餌、体重 100kg 以降から種豚用飼料を制限給与した。これに対して、試験区①では体重 30～50kg で子豚育成用飼料を不断給餌、体重 50～100kg で低 TDN の育成用飼料を不断給餌、試験区②では体重 30kg～100kg で低 TDN の育成用飼料の不断給餌とした。なお、給与飼料は養豚現場で利用しやすいように市販の配合飼料を用いた。

試験方法

1 試験期間

令和2年10月16日～令和3年6月18日

2 材料および方法

(1) 供試豚および試験区分

平成27年2月に中ヨークシャー種を導入し、維持群の母豚15頭と種雄豚4頭を交配し生産された体重30kgの雌子豚21頭を供試した。

試験区分を表1に示した。各区7頭ずつ対照区、試験区①、試験区②の3区分とし、対照区では体重30～70kgで子豚育成用飼料を不断給餌、体重70～

(2) 供試豚の飼養方法

子豚舎で選定した雌子豚を検定豚舎（カーテン式開放豚舎）に移動し、体重30～100kgまで約5㎡の豚房にて2頭飼育した。また、体重100kg以降は制限給餌のため1頭飼育とした。

供試豚から各区5頭ずつ計15頭を選抜し、約7カ月齢で種豚舎に移動した。

3 調査項目

(1) 発育および体型成績

体重30～100kgでは毎週、体重測定しDGを調査した。体重100kg時点で各部位の体型とP2点背脂肪厚を測定した。

(2) 交配成績

種豚舎のストールで飼育し、月齢毎に体重を測定 人工授精を行なった。
 した。初回発情から2~3回目の発情で自然交配また

表1 試験区分

区分	30~50kg	50~70kg	70~100kg	100kg~7カ月齢	7カ月齢以降
対照区	子豚育成用飼料 不断給餌 TDN78 CP15.5 雌7頭		育成用飼料 不断給餌 TDN70 CP14.0 雌7頭	種豚用飼料 2.0kg/日 TDN72 CP14.5 雌5頭	種豚用飼料 2.4kg/日 TDN72 CP14.5 雌5頭
試験区①	子豚育成用飼料 不断給餌 TDN78 CP15.5 雌7頭	育成用飼料 不断給餌 TDN70 CP14.0 雌7頭		同上	同上
試験区②	育成用飼料 不断給餌 TDN70 CP14.0 雌7頭			同上	同上

結果

1 発育成績

体重30~100kgにおける発育成績を表2、月齢体重の推移を図1に示した。発育成績では試験区間に有意差は見られなかったが、DGは対照区、試験区①、試験区②の順に低下し、体重100kgの平均到達日齢は対照区176.7日、試験区①184.5日、試験区

②192.4日の順に長く、子豚育成飼料を給与しない試験区②の発育性が劣った。月齢別体重の推移を見ると、特に試験区①は8カ月齢からの増加が大きく、9カ月齢時の平均体重は141.3kgで対照区と大差なかった。

表2 発育成績 (30~100kg)

	対照区 (6頭)	試験区① (6頭)	試験区② (7頭)
日数	98.5±14.5	100.5±18.6	108.6±11.4
増体量(kg)	71.2±1.4	68.8±3.6	70.6±2.4
DG(g)	735±103	701±112	655±55
体重100kg日齢	176.7±16.1	184.5±21.3	192.4±10.7

※対照区と試験区①の各1頭は発育不良で除外

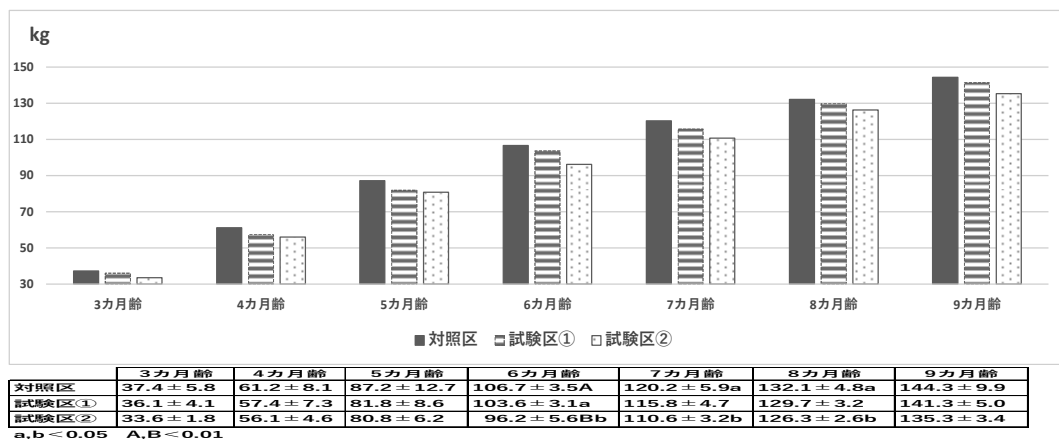


図1 月齢体重の推移

2 体型成績

体重 100kg 時点の体型を表 3 に示した。各区の体型に有意差は見られなかったが、試験区①の体高と体長は他区をわずかに上回った。P2 点背脂肪厚は試験区①が最も薄くなり、試験区②との間に有意差が見られた。

表 3 体型 (100kg時点)

	対照区 (6頭)	試験区① (6頭)	試験区② (7頭)
体高 (cm)	61.6±1.1	62.2±2.5	61.2±1.5
体長 (cm)	111.2±2.0	112.3±3.1	110.7±2.6
胸囲 (cm)	107.3±1.0	107.5±2.5	107.2±2.7
胸深 (cm)	35.2±1.7	34.9±1.0	35.1±1.4
前幅 (cm)	30.7±0.8	30.6±0.9	31.1±1.1
後幅 (cm)	29.3±2.4	29.2±1.4	29.1±1.2
P2点背脂肪厚 (mm)	27.8±2.4	25.7±2.3 a	28.1±1.7 b

a,b<0.05

3 交配成績

交配成績を表 4 に示した。初回発情は全区間ともほぼ 7 カ月齢から見られた。2~3 回目の発情で 8~9 カ月齢を目安に交配した結果、試験区①は全頭とも発情が来て受胎しており、最も交配成績が良かった。

表 4 交配成績

	対照区 (5頭)	試験区① (5頭)	試験区② (5頭)
8カ月齢体重 (kg)	132.1±4.8 a	129.7±3.2	126.3±2.6 b
8カ月齢P2点脂肪厚	29.4±2.2 a	27.2±2.7	25.4±1.9 b
初回発情月齢 (月)	7.5±0.7	7.8±0.9	7.7±0.9
初回交配月齢 (月)	8.6±0.4	8.5±0.5	8.7±0.4
交配頭数/全頭数	4/5 (1頭無発情)	5/5	5/5
受胎頭数/交配頭数	3/4	5/5	4/5

a,b<0.05

考 察

以上の結果から、中ヨークシャー種の雌豚は体重 50kg~100kg で低 TDN の育成用飼料を不断給餌し

た方が、交配成績は良好で、無駄な脂肪が蓄積することなく骨格が大きく体積のある繁殖素豚になると思われる。

前年度の試験結果も含めて、中ヨークシャー種の雌豚の育成期は体重 50kg までは通常の子豚育成用飼料を不断給餌し、必要な栄養分を十分に摂取させる。そして、50kg 時点で繁殖候補豚を選抜し、50~100kg では低 TDN の育成専用飼料を不断給餌し、100kg 以降は繁殖用飼料を制限給与する。この給与方式により無駄な脂肪が蓄積することなく骨格が大きく体積のある繁殖素豚にすることが可能となる。

参 考 文 献

1. 宮崎涼子、内山伸二、西礼華、竹之山慎一：新生みやざき豚の創出試験,宮崎県畜産試験場研究報告第 29 号, (2018)
2. 岩切正芳、老岐侑祐、岐本博紀：中ヨークシャー種の育成試験（第 1 報）,宮崎県畜産試験場研究報告第 31 号,(2020)

種雄豚への冷風が精液性状に及ぼす影響

岩切 正芳・壺岐 侑祐・岐本 博紀

Effect of Cold wind to Sire pig on semen properties

Masayoshi IWAKIRI, Yusuke IKI, Hironori KIMOTO

＜要約＞雄豚房をコンパネと農業用ビニールで覆い、ウインドエアコンで連続冷房した。冷房区は 1 日最高気温の平均が対照区より 1.3℃低下した。冷房による温度低下が十分でなかったため精子数は減少傾向が見られた。しかし、精子活力と奇形精子率には冷房効果は見られ、冷房区の雄豚を採精した人工授精の不受胎が少なく良好な成績であった。種雄豚房を低コストで簡易なエアコン冷房室にして暑熱期の人工授精の不受胎を改善することが可能となる。

種雄豚は夏期の高温により精液性状が悪化して不受胎が多くなるという問題が見られる。大規模な種豚場では大型のエアコン等を完備して暑熱対策による効果が見られているが、多くの養豚場では大型ファンをフル稼働するなどの対策を行っている。中小規模の農場で豚舎に見合うエアコン等を設置するのはコスト的に困難であるため、種雄豚房を低コストで簡易なエアコン冷房室にした試験を行った。

試験方法

1 試験期間

令和 2 年 7 月 7 日～令和 2 年 9 月 30 日

2 材料および方法

(1) 供試豚と飼育方法

供試した種雄豚はデュロック種 3 頭と中ヨークシャー種 1 頭を用いた。種豚舎は開放豚舎のスノコ式平飼い、15 m² (4.4m×3.4m) の豚房に 1 頭ずつ飼養し、飼料は種豚用配合飼料を 1 日 2.4kg (朝夕半量) を給与した。豚舎には大型ファンが 3 豚房間隔に設置され、豚舎内温度により回転量が自動調節されている。

(2) 試験区分

試験区分を表 1 に示した。対照区は通常飼養 (開放豚舎、大型ファン) の 2 豚房 (D 種 3 歳と Y 種 1 歳)、冷房区は通常飼養の豚房をエアコンで冷房した 2 豚房 (D 種 3 歳と D 種 1 歳) とした。

(3) 冷房雄豚房の製作方法

冷房雄豚房の構造を図 1、外観を写真 1、内部を写真 2 に示した。冷房区は雄豚房の鉄柵をコンパネで囲み、その上を天井から 45cm 開けて農業用ビニールで張り、145cm の高さにウインドエアコン (625 W) を 1 台設置し、20℃設定で連続冷房した。

3 調査項目

調査項目は、(1)豚房温度、(2)精液量、(3)精子活力、(4)総精子数、(5)奇形精子率、(6)人工授精の受胎率とした。

4 調査方法

豚房温度は冷房雄豚房 2 室 (冷房区) と豚舎中央部 (対照区) にデータロガを設置し、試験期間中の温度を測定した。

雄豚を 1 週間に 1 回、擬牝台から降りるまで採精

し、直ちに精液性状を検査した。総精子数は分光光度計で測定し、3回の平均値を総精子数とした。精子活力は顕微鏡で運動が激烈で、最活発な前進運動を行うもの(Ⅲ)の割合を示した。奇形精子数は3%食塩水で希釈した精液を顕微鏡でトーマの血球計算

板により算出し、2回の平均値を奇形精子数とした。

人工授精の受胎率は、冷房区の種雄豚2頭の希釈精液を7月26日から8月31までの期間、LW母豚18頭に1発情3回の人工授精を行ない、受胎した割合とした。

表1 試験区分

区分	内容	試験期間	雄豚房数	1豚房面積	雄品種	採精間隔
対照区	通常飼養(開放豚舎、大型ファン)	7~9月	2	15m ² (4.4×3.4)	D, Y	1週間
冷房区	通常飼養+ウインドエアコン	7~9月	2	15m ² (4.4×3.4)	D, D	1週間

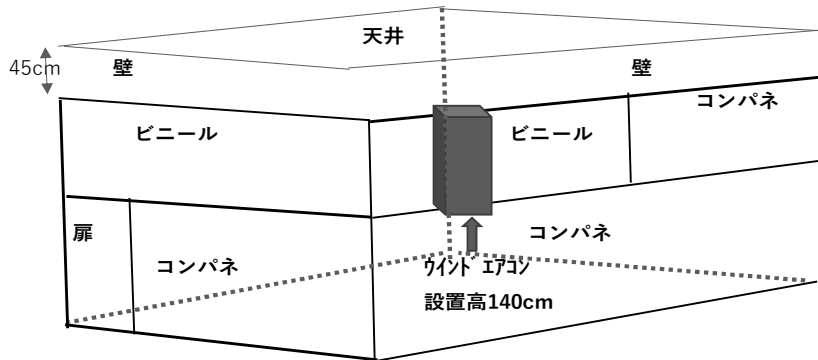


図1 冷房雄豚房の構造



写真1 冷房雄豚房の外観



写真2 冷房雄豚房の内部

結果

1 豚房温度

冷房雄豚房と豚舎内温度(対照区豚房)における1日最高温度を図2および表2に示した。期間中(7/7~9/10)の最高温度は冷房区31.5℃、対照区33.9℃で、1日最高温度平均は冷房区が対照区より1.3℃低下した。

冷房雄豚房は9月10日以降、天井までビニールを張り隙間をなくしたことにより、対照区との1日最高温度平均は2.2℃低下した。

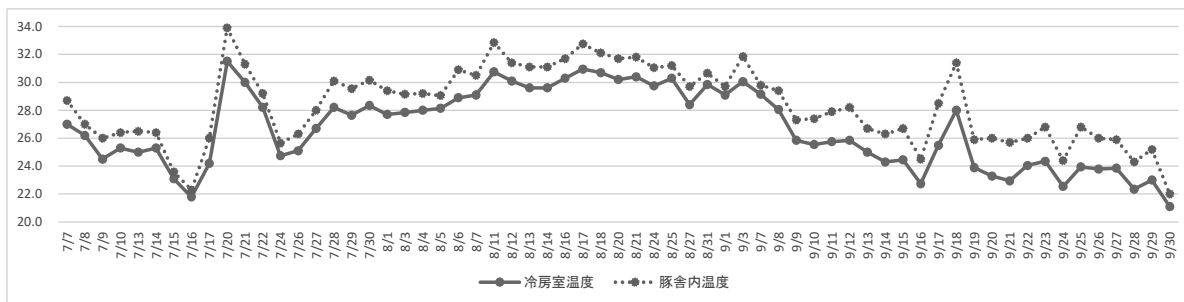


図2 1日最高温度の変化(°C)

表2 豚房内の1日最高温度

	最高気温	32℃以上日数	30℃以上日数	平均気温 ①7/7~9/10	②9/10~9/30
対照区	33.9	3	18	28.0	24.1
冷房区	31.5	0	11	29.3	26.3

①7/7~9/9 天井から45cmまで開ける ②9/10~9/30 天井までビニールで覆う

2 精液量

精液量を図3に示した。全期間とも対照区が冷房区を上回ったが、冷房区は変動幅が小さく安定していた。

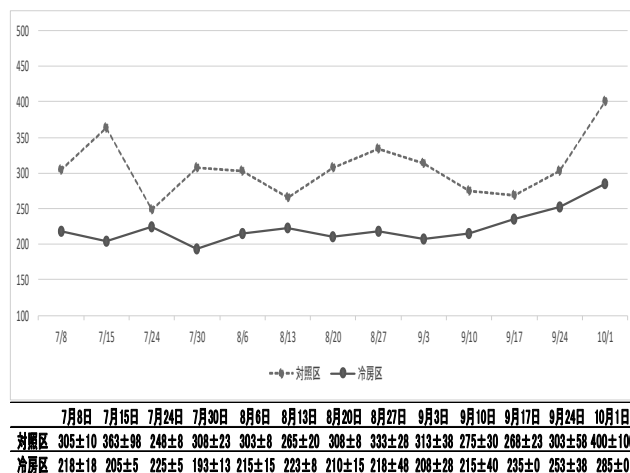


図3 精液量(ml)

3 総精子数

総精子数を図4に示した。対照区は7月24日、冷房区も7月30日に急激に減少した。それ以降は両区に大きな差はなく低い値で推移した。

4 精子活力

精子活力を図5に示した。冷房区は≧92%以上の割合が全期間とも高い活力を維持したが、対照区は7月30日から9月17日まで冷房区より低く、8月6日には85%まで低下した。

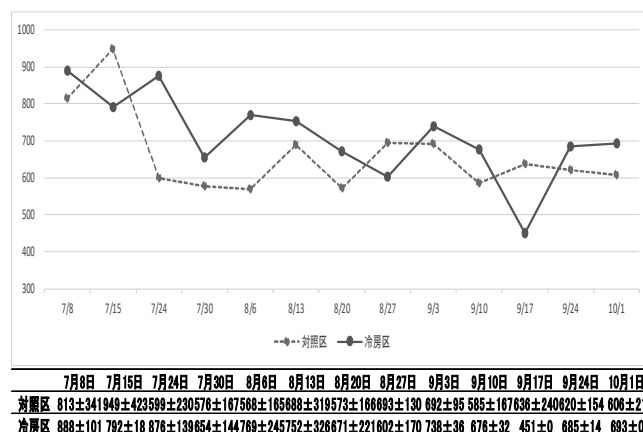


図4 総精子数(億個)

5 奇形精子率

奇形精子率を図6に示した。冷房区は7月24日から9月10日まで対照区より低い値で推移した。

6 人工授精の受胎率

冷房区種雄豚の交配成績を表3に示した。7月26日から8月31日までに18頭の雌豚に交配した結果、15頭が受胎し受胎率は83%と良好であった。

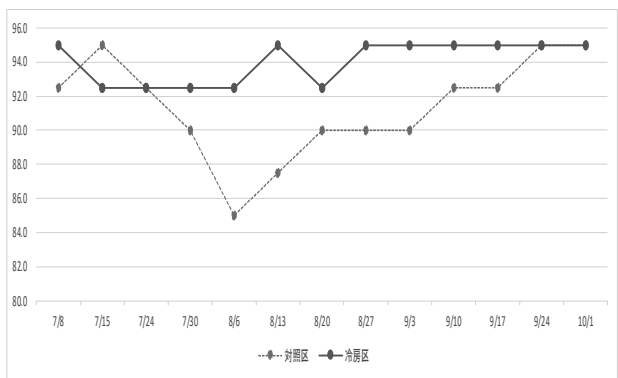


図5 精子活力Ⅲ(%)

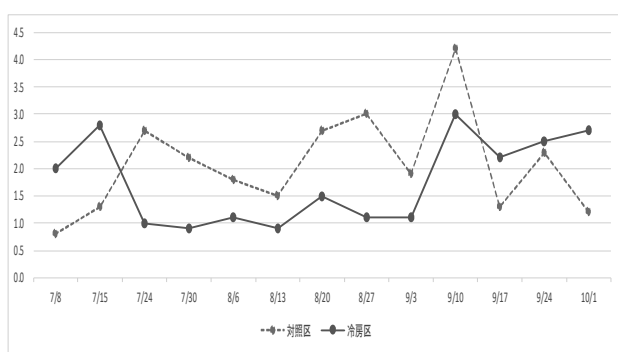


図6 奇形精子率(%)

表3 冷房区種雄豚の交配成績

交配期間	7/26~8/31
交配雌頭数	18頭
受胎頭数	15頭
不受胎頭数	3頭
受胎率	83%
※離乳後最初の発情で交配、1発情3回AI	

考察

冷房雄豚房で発生したアンモニアガス等を排出する隙間から冷気が逃げたため、豚房内は最高 31.5℃まで上昇したが、冷房しない通常の雄豚房より 1 日最高温度平均は 1.3℃低下した。このため冷房雄豚房の種雄豚を採精した精液は、暑熱の影響で総精子数が減少したが、精子活力と奇形精子数まで影響は見

られず、人工授精した不受胎豚の発生は少なかった。

冷房施設設置にかかる資材費は 1 室当たり 5 万 6,484 円 (表 4) となり、比較的低コストで簡単に製作できた。課題としては、冷房雄豚房内をこまめにボロ出しを行うことでアンモニアガス等の発生を抑制し、冷房室の隙間を小さくして豚房内の温度を下げる必要がある。また、さらに冷房能力の高いエアコンも検討する必要がある。

表 4 冷房施設の資材費(1室当) (円)

コンパネ	6枚	1.2×90×180cm	11,616
角材	4本	4.5×4.5×400cm	2,156
農業用ビニール	10m	1.85×10m	2,912
ウインドエアコン	1台	(高)75×(幅)33.5×(奥)24cm	39,800
合計			56,484

※ウインドエアコンの消費電力625W、連続運転20℃設定

参考文献

- 1 桑原康：雄豚の繁殖障害—現場における症例とその対策—：JASV会報,2007年5月,12-17
- 2 家畜人工授精講習会テキスト,一般社団法人日本家畜人工授精師協会
- 3 須崎哲也・松尾麻未・北野典子・河村隆介：簡易冷却施設を用いた黒毛和種供胚豚の暑熱ストレス軽減と採杯成績の向上：宮崎県畜産試験場研究報告 第31号(2020)、5-13
- 4 岩切正芳・壺岐侑祐・岐本博紀：種雄豚への散水頻度が精液性状に及ぼす影響,宮崎県畜産試験場研究報告 第 31 号(2020)、38-42

繁殖母豚への散水が繁殖成績に及ぼす影響

岩切 正芳・壺岐 侑祐・岐本 博紀

Effect of watering frequency to Sows on Reproductive performance

Masayoshi IWAKIRI, Yusuke IKI, Hironori KIMOTO

<要約>低コストで効果的な暑熱対策法を開発するため、離乳直後から繁殖母豚へ直接散水することにより、暑熱期の繁殖成績を改善することができないか検討した。繁殖豚舎のストール上に散水ホースを設置し、水道水が母豚の首から尾まで十分にかかるように散水タイマーによる間欠散水を行なった。その結果、暑熱時に離乳直後から母豚へ直接散水することにより受胎率が向上する傾向が見られた。

近年は高温の日が長期間継続することが多く、繁殖豚舎では従来の大型換気扇に加えて低コストで効果的な暑熱対策法を開発し、養豚における生産性の向上を図る必要がある。暑熱期の種雄豚への直接散水が精液性状に効果があることが昨年度の試験で確認された。そこで本試験では、離乳母豚でも直接散水が繁殖成績の向上に有効であるかの試験を行なった。

試験方法

1 試験期間

令和 2 年 7 月 22 日～令和 2 年 9 月 30 日

2 材料および方法

(1) 供試豚と飼育方法

供試した繁殖母豚は 3～5 産した LW 種 12 頭を用いた。分娩豚舎で離乳した繁殖母豚を種豚舎のストールで飼養して交配し、分娩予定日約 1 週間前に分娩豚舎に移動した。種豚舎は開放式で夏期には大型ファンを稼働している。

(2) 試験区分

試験区分を表 1 に示した。1 週間ずつ 3 回に分け

て離乳し、母豚に直接散水する「散水区」、散水しない「対照区」に区分し、離乳母豚の BCS が均等になるように 6 頭ずつ配置した。

(3) 散水内容

散水区における散水内容を表 2、散水の様子を写真 1～3 に示した。簡易散水装置として、繁殖母豚が 6 頭並んだストール上部 (豚上 125cm) に長さ 5m の多方面に散水する散水ホースを設置して水道蛇口から引いたホースに接続し、ホースの途中に散水タイマーを取り付けた。水道水が母豚の首から尾まで十分にかかるように、1 回の散水時間を 20 分間 (散水量 158.5ℓ) とし、1 日に 11 回の散水 (散水時間帯 9 時～19 時) を行なった。散水期間は離乳直後 (7 月 22 日、7 月 30 日、8 月 6 日) から 9 月 30 日 (妊娠 44～66 日目) まで行なった。

なお、豚舎の大型ファンによる風の影響を受けないように散水ホース付近の大型ファンを停止し、繁殖母豚の後方に壁掛扇風機 2 台を設置して風を当てた。

3 調査項目

調査項目は、(1)豚舎内温度および水道水温度、(2)繁殖成績とした。

4 調査方法

(1) 豚舎内温度および水道水温度

種豚舎の中央部にデータログ（おんどとり）を設置して試験期間中の豚舎内温度を測定した。水道水温度は散水中の水道水を容器に取り、棒状温度計で測定した。

(2) 繁殖成績

離乳時に体重と BCS を測定し、毎日 2 回の発情観

察を行なって、再帰発情日数を調査した。離乳後の最初の発情で人工授精(精子活 90%以上、精子数 80 億以上の精液) を 3 回行い、受胎するまで交配し受胎率を算定した。分娩予定日 1 週間前に体重測定して分娩豚舎に移動し、分娩直後に総産子数、死産頭数および哺乳開始頭数を調査した。

表 1 試験区分

区分	内容	試験期間	経産豚			ストール面積（種豚舎）
			頭数	品種	産次	
対照区	通常飼養（開放豚舎、大型ファン）	7～9月	6	LW	3～5	1.15㎡(1.82×0.63)×6列
散水区	通常飼養+間欠散水(豚上125cm)	7～9月	6	LW	3～5	1.15㎡(1.82×0.63)×6列

※散水施設付近の大型ファンを停止したため、豚の後方に壁掛扇風機2台を設置した

表 2 散水内容（散水区）

散水期間	離乳当日（別々）～ 9月30日（一斉）
散水時間	水道水を20分間/時間（散水タイマー付き）
散水回数	11回（9時～19時） 最初9:00～9:20 最後19:00～19:20
散水ホース	マルチ散水ホース（融雪・灌水用）長さ5m、幅5cm 線状に多方向へ散水
散水量	158.5ℓ/20分間→1日1,743.5ℓ
水道水温度	7/30→27℃、8/11→28℃、9/23→25.5℃、9/30→24℃



写真1 散水施設の様子



写真2 散水時の散水ホース



写真3 散水タイマーと壁掛扇風機(豚の後方)

結 果

(1) 豚舎内温度および水道水温度

豚舎内温度の1日最高温度および水道水温度を図1に示した。豚舎内の1日最高温度は8月上中旬には連日30℃以上となり、期間中の最高温度が32.9℃に達した。散水した水道水の温度は24～28℃の範囲内にあり、散水後は扇風機の風により体表の乾きが早く、豚には汚れがほとんどなく清潔であった。

(2) 繁殖成績

1頭ごとの交配成績を表3、繁殖成績を表4に示した。再帰発情日数は、対照区の1頭を除き3～6日で発情が来た。対照区の1頭は離乳後10日目にPMSG

を接種して翌日に発情が来た。許容確認後に精子活力90#以上および精子数80億個以上の精液を3回人工授精したところ、対照区では6頭のうち4頭が受胎し、不受胎豚は3回および5回目の発情で受胎した。一方、散水区では6頭のうち5頭が受胎し、不受胎豚は2回目の発情で受胎しており、対照区よりも交配成績が良好な結果となった。

総産子数は、対照区が7～14頭、散水区が8～18頭の範囲となり、平均値で散水区が1.9頭多くなったが、両区に有意な差は見られなかった。

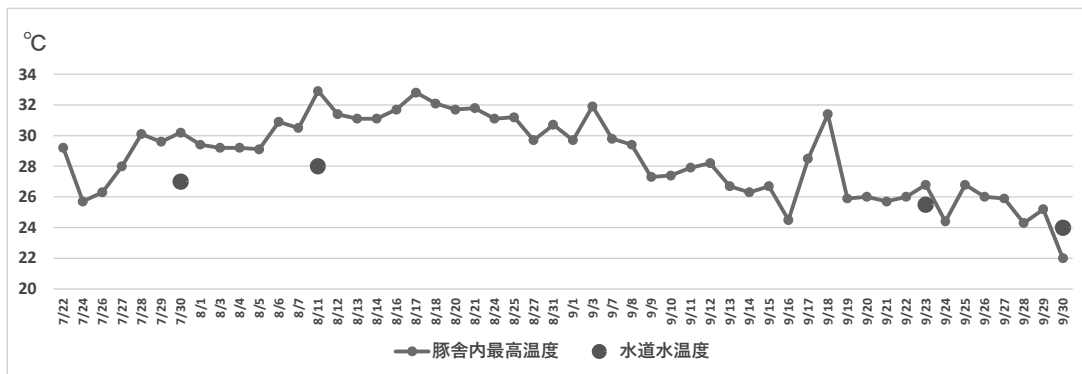


図1 豚舎内の1日最高温度および水道水温度

表3 1頭毎の交配成績

	母豚	離乳日	散水開始	散水終了	交配日	最終交配日	分娩日	備考
対照区	1	7月22日	散水なし		7月26日	—	11月20日	
	2	7月22日	散水なし		7月27日	10月19日	2月12日	5回目発情で受胎
	3	7月30日	散水なし		8月10日	—	12月5日	8/9にPMSG接種
	4	7月30日	散水なし		8月3日	—	11月24日	
	5	8月6日	散水なし		8月9日	9月28日	1月21日	3回目発情で受胎
	6	8月6日	散水なし		8月9日	—	12月5日	
散水区	1	7月22日	7月22日	9月30日	7月26日	—	11月19日	
	2	7月22日	7月22日	〃	7月26日	8月17日	12月11日	2回目発情で受胎
	3	7月30日	7月30日	〃	8月4日	—	11月28日	
	4	7月30日	7月30日	〃	8月3日	—	11月29日	
	5	8月6日	8月6日	〃	8月10日	—	12月5日	
	6	8月6日	8月6日	〃	8月9日	—	12月5日	

表 4 繁殖成績

	対照区	散水区
供試頭数 (頭)	6	6
離乳時体重① (kg)	214.4±24.3	218.1±29.1
離乳時BCS	2.3±0.5	2.5±0.5
発情再帰日数 (日)	5.2±2.9	4.0±0.6
受胎率 (%)	66 (4/6)	83 (5/6)
再発豚の受胎率 (%)	0 (0/2)	100 (1/1)
分娩前体重② (kg)	264.8±21.0	263.8±31.2
増加体重②-① (kg)	50.4±16.8	45.8±8.7
総産子数 (頭)	11.3±2.4	13.2±3.4
哺乳開始頭数 (頭)	10.5±2.1	12.0±3.2
死産頭数 (頭)	0.8±1.6	1.0±1.1

考 察

試験の結果、市販の散水タイマーと散水ホースを取り付けて、水道水を暑熱時の朝9時～夕方19時に離乳直後から母豚へ1時間おき20分間の間欠散水することで、人工授精の受胎率が向上することが確認された。この散水装置は低コストで簡単に取付け取外しができるものであり、離乳母豚の暑熱対策への現場普及が期待できる。

散水に要する水道使用量は $122 \text{ m}^3(1,743.5\text{l}/\text{日} \times 70 \text{ 日})$ で1頭当たり290.60、水道料金は22,330円(319円×70日)で1頭当たり3,722円になる。農場の浄化施設の処理能力に応じて①散水期間を離乳直後から受胎確認までに短縮(70日→32.6日)、②気温が高くない雨天時に散水を中止、③1回当たりの散水時間(20分間)の短縮を検討し、散水による排水量を抑制することが必要である。

参 考 文 献

1. 曾根 勝：繁殖豚に対する暑熱の影響とその対策：日豚会誌32巻2号(1995) ,6月,136-139
2. 岩切正芳・壱岐侑祐・岐本博紀：種雄豚への散水頻度が精液性状に及ぼす影響,宮崎県畜産試験場研究報告 第31号(2020)、38-42

紙シュレッダー資材による養豚排水脱窒試験(第 2 報)

柴田翔平¹⁾・甲斐敬康・鍋倉弘良
東臼杵農林振興局¹⁾

Denitrification test of pig farm wastewater with shredder dust (Vol.2)

Shohei SHIBATA, Noriyasu KAI, Hiroyoshi NABEKURA

＜要約＞冬期における養豚排水処理水の硝酸性窒素等濃度の低減化対策を目的として、泥水や濁水の排水処理で用いられるノッチタンクで脱窒装置を制作し、紙シュレッダーを脱窒資材とした試験を実施した。また、処理水温低下に伴う脱窒率低下の対策として、ビニールハウスで装置を覆った状態で試験を実施し、その効果についても検証した。その結果、NO_x-N 負荷率を 0.05kgN/m³・日に設定した試験では、脱窒率は、通水開始 16 日目頃より上昇し、24 日目から 30 日目まで 55 %前後で推移した後、32 日目に 32 %に低下した。また、ビニールハウスによる脱窒槽水温の上昇効果は認められたものの、夜間は水温が低下するため、低温期におけるさらなる脱窒率の向上を図るためには、他の対策も組み合わせることが必要と考えられた。

畜産業における硝酸性窒素等の排水基準は、今後さらに厳しさを増す可能性があり、従来以上に窒素除去に考慮した汚水処理が重要になってきている。このような背景を踏まえ、前回の試験(柴田ら 2020)では、低コストな脱窒資材としての利用が検討されている紙シュレッダー(田中 2019)と土木工事などで利用されるノッチタンクの模型を用いて脱窒試験を行ったが、脱窒槽内水温が 20℃以上の場合、50%以上の脱窒率を得られるが、10℃以下ではほとんど脱窒が期待できないといった結果であった。また、前回の試験では 0.5 m³前後の脱窒槽で行ったため、規模を大きくした脱窒槽を用いての検証を実施する必要があった。

本試験では、前回試験の課題解決のため、低温対策と実際のノッチタンクを用いた試験装置を作成し、その脱窒効果を検証した。

試 験 方 法

1 供試汚水と脱窒資材

場内の養豚処理水に硝酸ナトリウムを加え、硝酸・亜硝酸窒素(NO_x-N)濃度を約 200mg/L に調整し、

供試汚水として用いた。脱窒資材である紙シュレッダーは、場内の事務所で発生したものを用いた。

2 試験装置

試験装置を図 1 に、脱窒槽フロー図を図 2 に示した。3 m³規模のノッチタンクを脱窒槽として用い、2.5 m³程度の FRP 製の槽に供試汚水を貯留し、ポンプで脱窒槽第 1 区画に投入した。また、供試汚水の流量はコンセントタイマーを用いてポンプへの通電時間を制限することで調整した。

3 試験 I

令和 2 年 11 月から 12 月に約 1 カ月間実施した試験を試験 I とし、試験条件を表 1 に示した。FRP 槽内の供試汚水および脱窒装置を通過して排出された汚水を「脱窒処理水」として 2 日ごとにサンプリングし、分析に供した。また、紙シュレッダーはネットに 3kg ずつ包み、脱窒槽の第 1 区画および第 2 区画へ投入した。

4 試験 II

令和 3 年 1 月から 2 月に約 1 カ月間実施した試験を試験 II とし、試験条件を表 2 に示した。なお、試験 II の試験条件は後に示す試験 I の結果を踏まえて設定した。サンプリングおよび分析は、試験 I と同

様に行った。また、紙シュレッダーはネットで包まず、直接脱窒槽第1区画および第2区画へ投入した。試験Ⅱでは冬期の低温対策として、図1に示した装置全体を覆うようにビニールハウスを設置した。

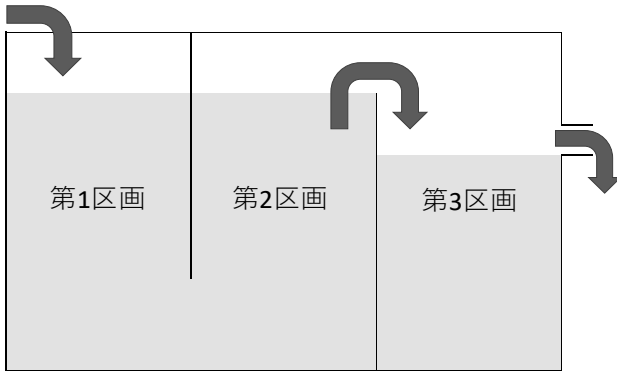


図1 試験装置

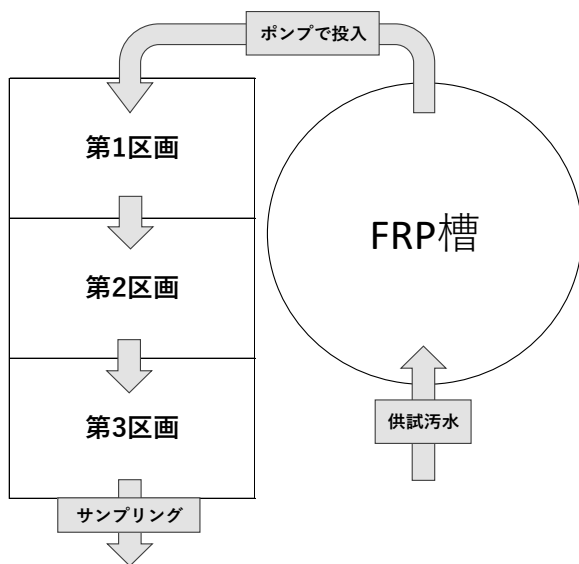


図2 脱窒槽フロー図

表1 試験Ⅰの試験条件

ノッチタンク 容積 (m ³)	滞留時間 (日)	処理量 (m ³ /日)	NO _x -N濃度 (ppm)	NO _x -N負荷率 (kgN/ m ² ・日)	NO _x -N量 (g/日)	流量 (L/min)	シュレッダー量 (kg)
3	2	1.5	200	0.1	300	1.04	9

表2 試験Ⅱの試験条件

ノッチタンク 容積 (m ³)	滞留時間 (日)	処理量 (m ³ /日)	NO _x -N濃度 (ppm)	NO _x -N負荷率 (kgN/ m ² ・日)	NO _x -N量 (g/日)	流量 (L/min)	シュレッダー量 (kg)
3	4	0.75	200	0.05	150	0.52	13

5 低温対策の効果検証

試験Ⅱで実施したビニールハウス設置による脱窒槽内水温の保温効果を検証するため、ビニールハウス外の気温（以下「ハウス外気温」、ビニールハウス外の水温（以下「ハウス外水温」、ビニールハウス内の気温（以下「ハウス内気温」）およびビニールハウス内に設置した脱窒槽内の水温（以下「ハウス内水温」）についてモニタリングした。

なお、ハウス外水温は供試汚水を満たした 300L のローリータンクをビニールハウス横に設置し、水温を測定した。また、温度のモニタリングの期間は 2 月上旬の 7 日間とし、記録間隔は 1 時間とした。

6 分析項目

pH、電気伝導度（EC）、溶存酸素量（DO）、着色度、濁度、生物化学的酸素要求量（BOD）アンモニア性窒素（NH₄-N）、硝酸性窒素および亜硝酸窒素合計値（NO_x-N）および脱窒率とした。

なお、脱窒率は、以下の式を用いて算出した。
脱窒率（%）= (1 - 処理水の NO_x-N 濃度) / 試験期間中の供試汚水の NO_x-N 濃度平均値 × 100

7 統計処理

統計解析は、Microsoft Excel for Microsoft 365 MSO を用いて行った。平均値間の差の検定は、F 検定により 2 標本が等分散であるかを検定した上で、t 検定により行った。

試験結果

1 試験Ⅰ

試験Ⅰの分析結果平均値を表3に示した。試験期間中の供試汚水の水質は大きな変動もなく、安定した値で推移していた。また、供試汚水および脱窒処理水の分析値は、pHが供試汚水と比較して脱窒処理水で有意に低かったが、その他の項目については有意な差は認められなかった。

供試汚水と脱窒処理水の NO_x-N 濃度の推移および脱窒率を表4に示した。NO_x-N 濃度については、供試汚水と脱窒処理水の間に有意な差は認められなかった。脱窒率については、最大で 13 % と低く、十分な脱窒反応は認められなかった。

期間中の平均気温（気象庁データ参照）は、11.6℃であり、脱窒槽内水温は 6.1 から 23℃（平均 14.9℃）であった。これらの結果を踏まえ、試験Ⅱでは、脱窒率を改善するため、供試汚水の脱窒槽への流入量を半分程度に低下させ、NO_x-N 負荷率を 0.05 まで低下させた。また、紙シュレッター投入量は、13kg に増量し、3kg 程度は試験Ⅰ同様ネットで包み、残りの 10kg は供試汚水との接触効率を上げるため、ネットで包まずにそれぞれ直接脱窒槽第 1 区画および第 2 区画へ投入した。

2 試験Ⅱ

試験Ⅱの分析結果（平均値）を表 5 に示した。試験期間中の供試汚水の水質は、試験Ⅰと同様に安定した値で推移した。また、供試汚水および脱窒処理水の分析値は、pH、DO および NO_x-N 濃度について

供試汚水と比較して脱窒処理水で有意に低かったが、その他の項目については、有意な差は認められなかった。

供試汚水および脱窒処理水の NO_x-N 濃度と脱窒率の推移を表 6、図 3、図 4 に示した。期間中の NO_x-N 濃度は、供試汚水に対して脱窒処理水で有意に低かった。脱窒率については、14 日目の 11% から 16 日目には 38% と上昇し、その後 30% 以上で推移した。特に 24 日目は 60% と最も高く、30 日目まで 55% 以上と高い脱窒率を示した。

なお、期間中の平均気温（気象庁データ参照）は 7.3℃、ビニールハウス内気温は -3.3 から 45.8℃（平均 14.7℃）、脱窒槽内水温は 5.9 から 20.8℃（平均 13.7℃）であった。また、試験Ⅰおよび試験Ⅱの脱窒槽内水温の推移を図 5 に示した。

表3 試験Ⅰの分析結果

	pH	EC	DO	着色度	濁度	BOD	NH ₄ -N (mg/L)	NO _x -N (mg/L)
供試汚水	7.9 ± 0.2 ^a	2.6 ± 0.2	7.5 ± 1.2	383.6 ± 146.9	25.9 ± 32.5	15.4 ± 14.6	6.2 ± 11.0	177.0 ± 20.2
脱窒処理水	7.8 ± 0.1 ^b	2.6 ± 0.2	6.8 ± 1.5	368.0 ± 62.4	15.7 ± 12.5	8.5 ± 4.6	3.6 ± 6.5	174.0 ± 11.6

※同区分異符号間において有意差あり (p<0.05)

表4 試験ⅠでのNO_x-N濃度および脱窒率の推移

経過日数	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
供試汚水	168.7	170.8	141.4	217.7	170.8	175	186.9	131.6	202.3	185.5	175.5	162.4	186.2	186.2	189.7	181.3
脱窒処理水	172.9	191.8	175.7	202.3	191.1	163.1	167.3	172.2	165.9	167.3	167.3	154	172.2	172.2	172.2	177.1
脱窒率	2%	0%	1%	0%	0%	8%	5%	3%	6%	5%	5%	13%	3%	3%	3%	0%

表5 試験Ⅱの分析結果

	pH	EC	DO	着色度	濁度	BOD	NH ₄ -N (mg/L)	NO _x -N (mg/L)
供試汚水	7.9 ± 0.1 ^a	2.6 ± 0.2	7.3 ± 1.1 ^a	383.7 ± 66.8	24.1 ± 25.0	10.1 ± 4.2	3.5 ± 3.4	182.5 ± 16.4 ^a
脱窒処理水	7.7 ± 0.1 ^b	2.7 ± 0.2	5.7 ± 1.4 ^b	374.3 ± 55.1	12.9 ± 6.2	12.6 ± 6.8	1.4 ± 1.7	134.1 ± 42.8 ^b

※同区分異符号間において有意差あり (p<0.05)

表6 試験Ⅱでの NO_x-N 濃度および脱窒率の推移

経過日数	1	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
供試汚水 ^a	193.2	180.6	180.3	170.1	179	182	189.2	238	171.5	172.9	170.1	172.5	170.2	170.1	189.2	191.1
脱窒処理水 ^b	194.4	180.1	183.2	188.3	170.5	169.4	162.4	113.4	121.8	128.1	100.8	72.1	77.7	77	82	124.6
脱窒率	0%	0%	0%	0%	7%	7%	11%	38%	33%	30%	45%	60%	57%	58%	55%	32%

※異符号間において有意差あり (p<0.05)

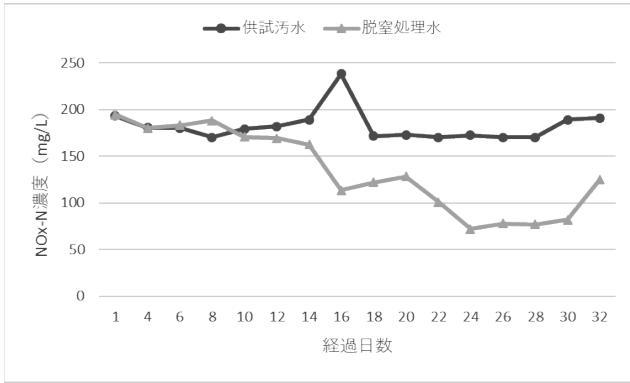


図3 試験ⅡにおけるNOx-N濃度の推移

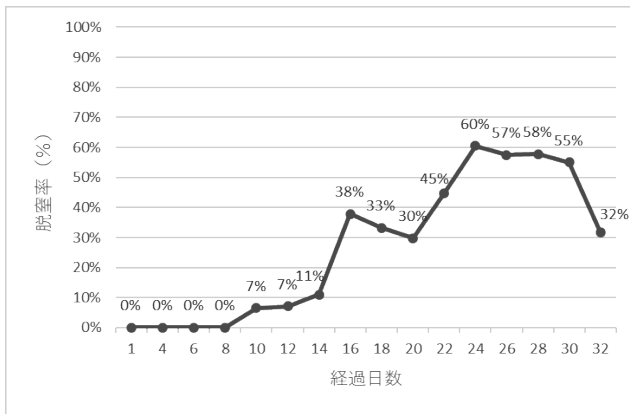


図4 試験Ⅱにおける脱窒率の推移

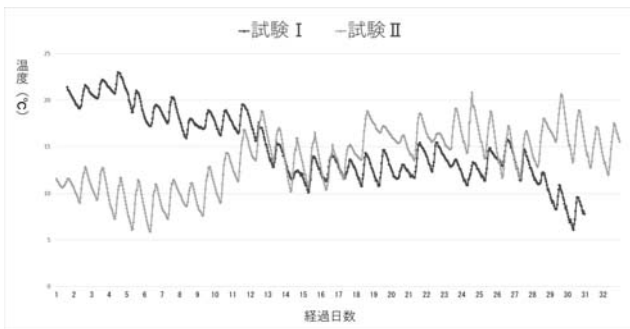


図5 試験Ⅰおよび試験Ⅱにおける脱窒槽内水温

3 低温対策の効果検証

モニタリング期間中のハウス外気温、ハウス外水温、ハウス内気温およびハウス内水温について、最大値、最小値および平均値を表7に、温度の推移を図6に示した。また、気象庁発表の高鍋町の日照時間を図7に示した。期間中の平均ハウス外気温は、約8.7℃、平均ハウス内気温は約16.3℃と7.6℃の差が認められ、ハウス外気温に対してハウス内気温は有意に高かった。また、平均ハウス外水温は、約9.8℃、平均ハウス内水温は約15.6℃と5.8℃の差が認められ、ハウス外水温に対してハウス内水温は、有意に高かった。

温度の推移は、ハウス外気温およびハウス内気温については12時前後に最大値を示し、18時付近まで急激に低下した後緩やかに低下を続け、6時前後で最低値を示した。その後は急上昇し、再び12時前後に最大値を示した。また、期間中はどの日も同様の推移を示したが、2月6日は、他の日と比較してハウス外気温およびハウス内気温が低い値で推移した。

表7 ビニールハウス内外の気温および水温

	最大	最小	平均
ハウス外気温	23.1	-0.9	8.74 ^a ± 5.36
ハウス内気温	34.2	6.3	16.28 ^b ± 8.48
ハウス外水温	14.3	5	9.80 ^a ± 2.15
ハウス内水温	19.6	12	15.58 ^b ± 1.89

※同区分異符号間において有意差あり (p<0.05)

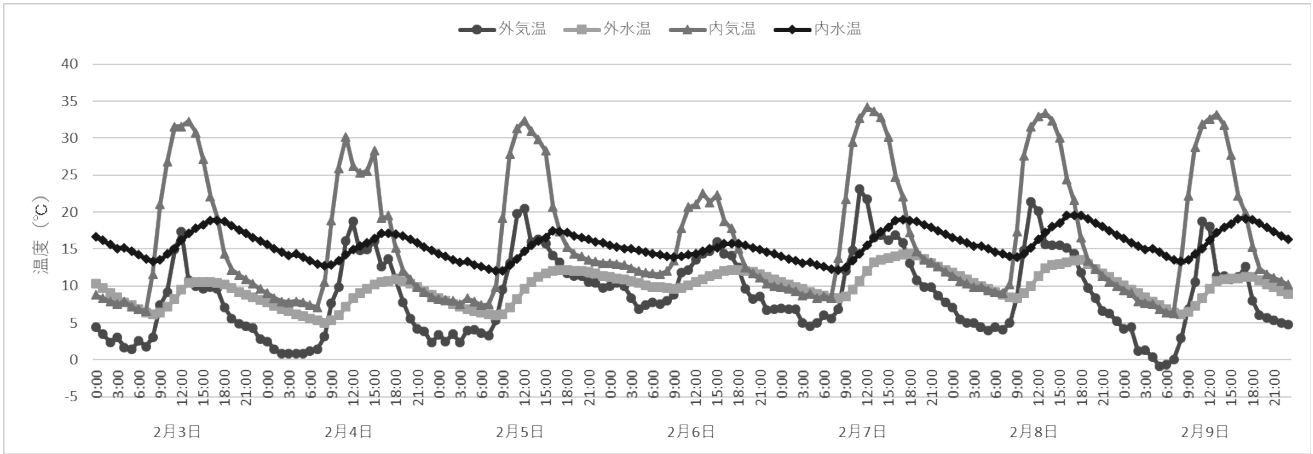


図6 モニタリング期間中の温度の推移

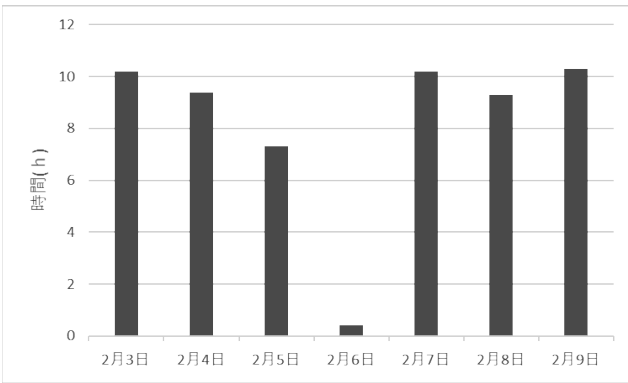


図7 モニタリング期間中の日照時間

考 察

1 試験 I

分析値は、pH について供試汚水と比較して脱窒処理水で有意に低かったが、これは NH₄-N 濃度の差に起因するものと考えられ、NH₄-N の平均濃度が供試汚水は、約 6.2mg/L であるのに対し、脱窒処理水は、約 3.6mg/L と低い値であるためであると推察された。また、その他の分析項目については、大きな差は認められなかったことから、今回の試験装置を通して水質にはほとんど影響を及ぼさないと考えられた。

脱窒率が最大で 13 % と低かったことから、試験 I では十分な脱窒反応は起きなかったと推察されたが、脱窒に影響を及ぼした要因としては、脱窒槽内水温、紙シュレッターの投入方法および供試汚水流量などが考えられた。脱窒槽内の水温については、

安定した脱窒を得るには、水温を 15 °C 以上に保つ必要があるとされているが、今回の試験では、水温が平均で 15 °C 未満と低かったため、十分な脱窒反応が認められなかったと推察された。また、紙シュレッターの投入方法および供試汚水流量について、紙シュレッターをネットで包んだことに加え、供試汚水の流量も大きかったため、紙シュレッターと供試汚水の接触時間が十分確保できなかったことも、脱窒率が低かった要因であると考えられた。

2 試験 II

分析の結果、pH、DO および NO_x-N 濃度については、供試汚水と比較して脱窒処理水で有意に低く、pH については、試験 I と同様に、NH₄-N 濃度の差によるものと推察された。DO については、試験 II では供試汚水の流量を試験 I の約半分に設定しており、その結果、滞留時間も増加しているため、大気中に揮散する量が多かったと推察された。NO_x-N 濃度については、脱窒槽内で一定水準以上の脱窒が行われたためであると考えられた。

脱窒反応については、試験 I ではほとんど脱窒が認められなかったのに対し、試験 II では脱窒処理水中の NO_x-N 濃度の減少に伴い徐々に脱窒率は上昇し、最大で 60 % の脱窒率を得たが、この要因としては脱窒槽内水温、紙シュレッターの投入方法および供試汚水流量など、いくつか考えられた。脱窒槽内水温については、試験 I で平均 14.9 °C、試験 II で平均 13.7 °C といずれも 15 °C 未満であり、むしろ試験 II の方が低い値であるが、図 5 に示すとおり、試験 II では 15 日目前後から脱窒槽内水温が上昇し、

15日目以降の脱窒槽内水温の平均値は15℃以上であった。また、これまでの試験の傾向から、紙シュレッターが分解され、電子供与体として利用されるには、投入してから1から2週間程度かかると考えられ、今回、15日目頃に紙シュレッターが電子供与体として利用される状態となったタイミングで水温も上昇したことから、脱窒細菌の働きが活発になり、脱窒が行われたと推察された。しかし、試験Ⅱの脱窒槽内水温は15日以降も夜間等は15℃未満に低下していたため、脱窒率を維持することができなかつたと推察された。

紙シュレッターについては、試験Ⅰではネットに包んで脱窒槽へ投入したのに対し、試験Ⅱでは脱窒槽に直接投入したことで、紙シュレッターが攪拌され、供試汚水と十分に接触できたことが脱窒率の向上に寄与したと考えられた。

供試汚水流量については、試験Ⅱでは供試汚水の流量を試験Ⅰの半分程度に調整したことで、NO_x-N負荷率が低下し、脱窒が促されたと推察された。

3 低温対策の効果検証

モニタリング期間中の気温については、ハウス外気温に対してハウス内気温は有意に高く、最大値および最小値のどちらの値についても、ハウス外気温と比較してハウス内気温で高かったことから、ビニールハウスを設置することで、設置箇所の空間の温度を高めたと推察された。また、水温についても、ハウス外水温に対してハウス内水温は有意に高く、最大値および最小値のどちらの値についても、ハウス外水温と比較してハウス内水温で高かった。

以上のことから、脱窒装置をビニールハウスで覆うことによって、脱窒槽内の供試汚水の加温および保温が可能であることが明らかとなった。

2月6日は、ハウス外気温およびハウス内気温が比較的低い値で推移したが、これは図7に示すとおり、この日の日照時間が期間中の他の日と比べて著しく少ないためであると推察された。期間中の水温については、気温の変化に影響を受けて推移したと考えられたが、ハウス外水温およびハウス内水温は、2月6日もその他の日と同様に推移していることや、気温に比べて水温の変化の振れ幅が小さいことなどから、一定水準以上の温度・時間でなければハ

ウス内気温は、ハウス内水温には影響を与えないと考えられた。2日以上ビニールハウスに日が当たらなければ、脱窒槽内水温に影響を及ぼすと想定されるため、ビニールハウスによる低温対策を用いる脱窒槽は、日当たりの良い場所に設置することが重要であると考えられた。

参 考 文 献

- 柴田翔平、森弘、諏佐尚哉. 2020. 紙シュレッター資材による養豚排水脱窒試験. 宮崎県畜産試験場研究報告第31号. 57p-60p
- 田中康男. 2019. シュレッター古紙による畜舎排水中硝酸性窒素の脱窒処理. 日本畜産環境学会会誌. No18 (1) 20p-28p

「臭気マップ」を用いた畜産農場臭気低減対策の検証 (第1報)

柴田翔平¹⁾・甲斐敬康・鍋倉弘良

¹⁾ 東臼杵農林振興局

Verification of farm odor improvement measures by visualization

Shohei SHIBATA, Noriyasu KAI, Hiroyoshi NABEKURA

＜要約＞本県の畜産経営における臭気低減対策の一助とするため、場内の家畜排せつ物処理施設周辺において、臭気センサーを用いた臭気調査を実施し、そのデータを基に臭気マップを作成した。その結果、特に臭気の発生が強かった箇所は、堆肥化処理施設の開口部、養豚・養鶏エリアからの排水流入槽である最初沈殿槽、移送槽の周辺および原水槽、流量調整槽の開口部であることが明らかとなった。次に、上記の堆肥化処理施設、最初沈殿槽、移送槽において、蓋やカーテンなどによる簡易な臭気低減対策を実施し、対策実施前後の臭気低減効果を検証したところ、すべての箇所で臭気指数相当値の平均値は、10 以下に低減した。また、調査を複数回実施し、測定値の平均値および最大値で評価することにより、1回の調査で評価した場合に比べ、環境要因による影響などを考慮した、より総合的な評価ができると考えられた。

本県における畜産苦情発生の約半数を悪臭関係が占め、苦情・相談発生率が増加していることから、簡易かつ効果的な臭気低減対策技術が求められている。臭気対策を行うには、まず臭気の発生状況を把握することが重要であり、併せて、臭気低減対策についてもその効果を事前に確認しておく必要がある。他県では臭気の発生箇所と強弱を可視化できる「臭気マップ」を作成することで、臭気発生状況の把握および臭気低減対策の評価を行っており（木下ら 2019）、また、本県の川南町においても、令和元年度から、臭気マップを活用した養豚場の臭気対策事業に取り組んでいる。そこで、当該において、臭気マップを用いた臭気対策を実証し、市町村や農家などが臭気対策に取り組む際に、参考となるような事例作成を目的に本試験に取り組んだ。

本試験は、宮崎県畜産試験場川南支場の堆肥化処理施設および排水処理施設周辺において実施した。

2 臭気調査の方法

(1) 臭気調査 I

臭気調査票および臭気測定箇所を図 1、表 1、図 2 に示した。まず、臭気の発生状況および発生箇所を大まかに把握するため、図表に示した 36 箇所の地点において、気温、湿度、風向、風速および臭気指数相当値を測定した（実施日：令和 2 年 8 月 12 日）。

なお、気温、湿度、風向および風速は、地面から約 1m の高さで測定し、風速は 1 分間の平均風速を測定した。気温、湿度および風速の測定には「Nielsen-Kellerman」社の「Kestrel : TA411RB」を、風向の測定には、「太田商事株式会社」の「OT-1004」を用いた。臭気指数相当値の測定は、農家の自主管理を目的とした臭気評価に適しているとされている（におい・かおり環境協会測定評価部会 2003）「新コスモス電機株式会社」の「畜環研式ニオイセンサー」を用い、測定者の顔の高さ（地面から約 1.5m）で測定

試験方法

1 試験場所

し、測定を開始してから 30 秒間臭気指数相当値が 0 であった場合は 0 を記録し、1 以上の数値を示した場合は 60 秒間のピーク値を記録した。

測定場所：

測定日（ ） 天気（ ） 時間（ ）

	気温	湿度	風向	風速	臭気指数	備考
①						
②						
③						
④						
⑤						
⑥						
⑦						
⑧						
⑨						
⑩						
}						

図1 臭気調査票（臭気調査Ⅰ・Ⅱ）

表1 臭気調査Ⅰの測定箇所

区分 NO.	調査箇所	区分 NO.	調査箇所	区分 NO.	調査箇所	区分 NO.	調査箇所
堆 ①	堆肥舎ゲ-ン入口	排 ⑮	浄化槽入口	堆 ⑳	浄化槽ゲ-ン入口	排 ㉔	浄化槽 前
肥 ②	南側入口中央	水 ⑯	沈殿槽 北	肥 ㉑	堆肥置場 西①	水 ㉕	汚泥排出口
化 ③	洗浄場所	処 ⑰	沈殿槽 東	化 ㉒	堆肥置場 西②	処 ㉖	分離機排出口
施 ④	西側入口	理 ⑱	沈殿槽 南	施 ㉓	堆肥置場 西②内部	理 ㉗	処理水槽
設 ⑤	西側排水口①	施 ㉔	沈殿槽 西	設 ㉘	堆肥置場 東	施 ㉙	流量調整槽
周 ⑥	西側排水口②	設 ㉕	尿溜槽・移送槽 北	周 ㉙	堆肥置場 東内部	設 ㉚	原水槽
辺 ⑦	西側排水口③	周 ㉖	尿溜槽・移送槽 東	辺 ㉚	尿溜槽・移送槽 南	Ⅱ	
Ⅰ ⑧	北側攪拌口 西側	辺 ㉗	尿溜槽・移送槽 西	Ⅱ		Ⅱ	
⑨	北側攪拌口 中央	Ⅰ ⑲	尿溜槽・移送槽 西				
⑩	北側攪拌口 東側						
⑪	北東側角						
⑫	東側Ⅰ①						
⑬	東側Ⅰ②						
⑭	東側Ⅰ③						

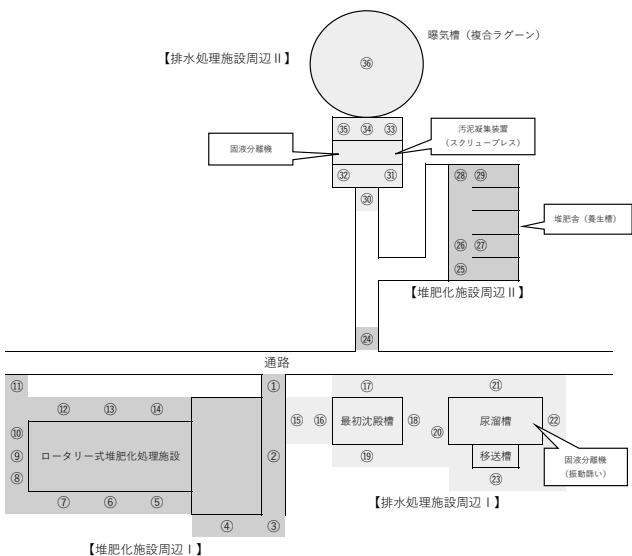


図2 臭気調査Ⅰの測定箇所

(2) 臭気調査Ⅱ

臭気測定箇所を表 2、図 3 に示した。臭気調査Ⅱでは、臭気調査Ⅰの結果を踏まえて、測定箇所を 28 箇所に絞り込み、臭気調査Ⅰと同様の方法で、4 日間、1 日午前・午後の 2 回、計 8 回測定した（実施日：令和 2 年 8 月 18 日、8 月 20 日、8 月 25 日、8 月 27 日）。

表2 臭気調査Ⅱの測定箇所

区分 NO.	調査箇所	区分 NO.	調査箇所	区分 NO.	調査箇所	区分 NO.	調査箇所
堆 ①	堆肥舎ゲ-ン入口	排 ⑨	沈殿槽 北	堆 ⑰	堆肥切り返し場①	排 ㉘	脱水ケ-キロボ-スト
肥 ②	南側入口中央	水 ⑯	沈殿槽 東	肥 ⑱	堆肥切り返し場②	水 ㉙	残渣コ-ドスト
化 ③	西側入口	処 ⑰	沈殿槽 南	化 ㉒	堆肥切り返し場②内部	処 ㉚	流量調整槽
施 ④	西側排水口①	理 ⑱	沈殿槽 西	施 ㉓	堆肥切り返し場②内部	理 ㉜	原水槽
設 ⑤	西側排水口③	施 ㉔	尿溜槽・移送槽 北	設 ㉘	堆肥置場 東①	施 ㉝	
周 ⑥	北側攪拌口 中央	設 ㉕	尿溜槽・移送槽 東	周 ㉙	堆肥置場 東②	設 ㉞	
辺 ⑦	東側Ⅰ①	周 ㉖	尿溜槽・移送槽 南	辺 ㉚	堆肥置場 東①内部	周 ㉟	
Ⅰ ⑧	東側Ⅰ③	辺 ㉗	尿溜槽・移送槽 西	Ⅱ ㉛	堆肥置場 東②内部	Ⅱ	

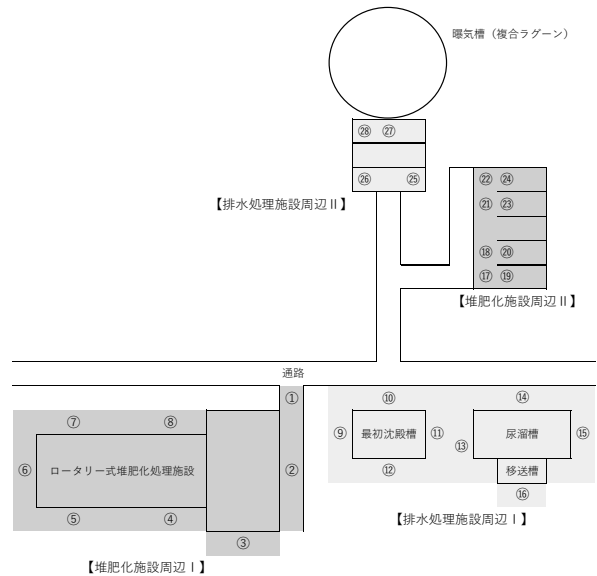


図3 臭気調査Ⅱの測定箇所

(3) 臭気調査Ⅲ

臭気調査票と臭気測定箇所を図 4、5 に示した。臭気調査Ⅲでは、臭気調査Ⅱで明らかとなった臭気発生箇所（臭気指数相当値が 10 以上の地点）について、簡易な臭気低減対策を施し、対策実施前後の臭気指数相当値について、臭気調査Ⅰ・Ⅱの方法に準じて、7 日間、1 日午前・午後の 2 回、計 33 回測定した。

なお、対策の効果検証は、測定値のうち、対策実施前の臭気指数相当値が 10 以上のものについて行った（実施日：令和 3 年 2 月 8 日、2 月 9 日、2 月 10 日、2 月 15 日、2 月 16 日、2 月 18 日、2 月 19 日）。また、排水処理施設周辺Ⅱの臭気発生箇所について

は、汚水の固液分離し渣や汚泥をこまめに搬出することで臭気の発生を低減できること、原水槽および流量調整槽の臭気については、開口部が少なく拡散効果が期待できることから、本調査では対象箇所としなかった。具体的な対策内容については、図6、7および写真1に示すとおり、最初沈殿槽と移送槽は塗装コンパネやベニヤ板などで蓋をし、一部開口部分は寒冷紗で塞ぐとともに、最初沈殿槽の寒冷紗部分には細霧装置(株式会社いけうち COOL KIT-C)を設置して細霧の効果についても検証した。堆肥化処理施設の対策については、既存のカーテン(エステル帆布)を簡易的な対策とした。

臭気対策 (前・後)
測定日 () 天気 () 時間 ()

	気温・湿度・風向・風速			臭気指数			備考
	1回目	2回目	3回目	1	2	3	
①	() °C	() °C	() °C				
②	() %	() %	() %				
③	() 向	() 向	() 向				
④	() m/s	() m/s	() m/s				
⑤	() °C	() °C	() °C				
⑥	() %	() %	() %				
⑦	() 向	() 向	() 向				
⑧	() m/s	() m/s	() m/s				
⑨	() °C	() °C	() °C				
	() %	() %	() %				
	() 向	() 向	() 向				
⑩	() m/s	() m/s	() m/s				

図4 臭気調査票(臭気調査Ⅲ)

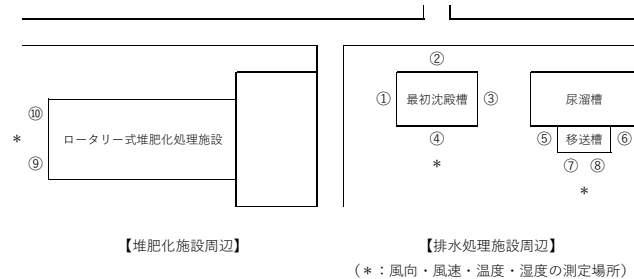


図5 臭気調査Ⅲの測定箇所

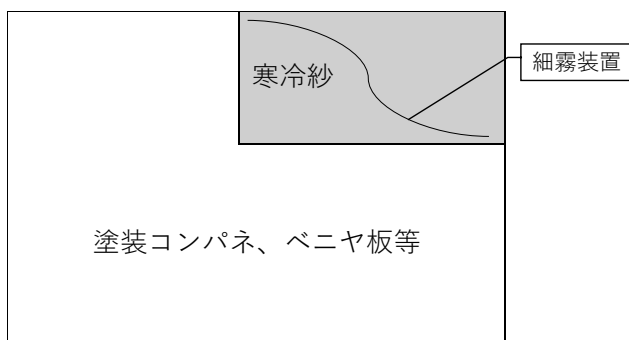


図6 簡易的な臭気低減対策(最初沈殿槽)

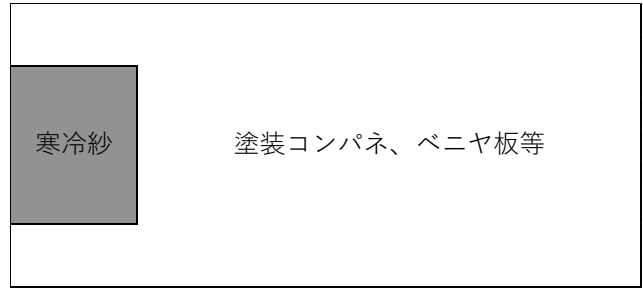


図7 簡易的な臭気低減対策(移送槽)

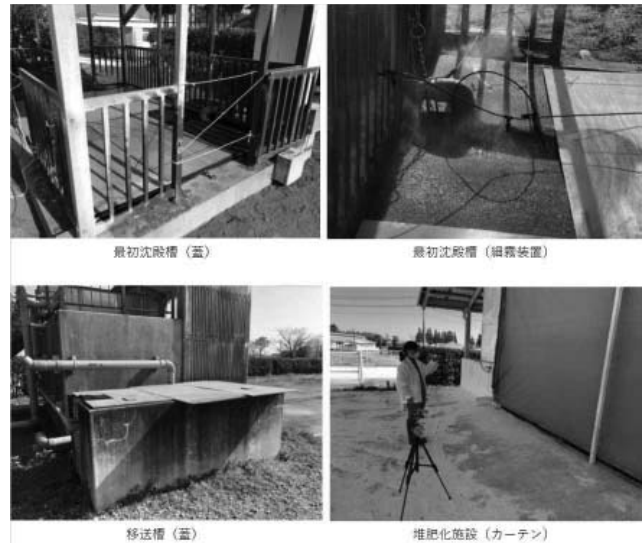


写真1 簡易的な臭気低減対策

3 臭気マップの作成

臭気発生量および臭気低減対策の効果を検証するため、臭気調査Ⅰ～Ⅲの測定値を基に臭気マップを作成した。

試験結果

1 臭気調査Ⅰ

臭気調査Ⅰの結果を表3に、臭気マップを図8に示した。これにより、臭気発生の比較的強い箇所(臭気指数相当値の平均値が10以上の測定箇所)は、最初沈殿槽、移送槽、堆肥化処理施設の北側開口部および排水処理の前処理周辺であることが明らかとなった。

2 臭気調査Ⅱ

臭気調査Ⅱの結果を表4から7に、各箇所ごとの臭気指数相当値の最大値を用いて作成した臭気マップを図9に示した。臭気が比較的強い箇所(臭気指

表3 臭気調査 I の測定結果

測定時間 9:25~				測定時間 10:05~			
気温(°C)		湿度(%)		気温(°C)		湿度(%)	
33.7		66.5		34.0		73.2	
測定箇所	風向	風速	臭気指数相当値	測定箇所	風向	風速	臭気指数相当値
堆 ①	南南東	1.2	0	排 ⑮	東北東	0.3	0
肥 ②	北東	0.5	0	水 ⑯	—	0	14
化 ③	東北東	0.6	0	処 ⑰	—	0.0	18
施 ④	東南東	0.3	0	理 ⑱	—	0.0	15
設 ⑤	南西	0.8	0	施 ⑲	—	0	17
周 ⑥	南南西	0.7	0	設 ⑳	—	0	0
辺 ⑦	西南西	0.7	0	周 ㉑	—	0	0
I ⑧	西	0.7	21	辺 ㉒	南東	0.5	0
⑨	北西	0.4	23	I ㉓	南南東	1.4	10
⑩	西	0.8	22	II			
⑪	東	0.4	0				
⑫	西南西	0.2	0				
⑬	—	0	0				
⑭	南南東	0.6	0				

注) □は臭気指数相当値が10以上の測定箇所

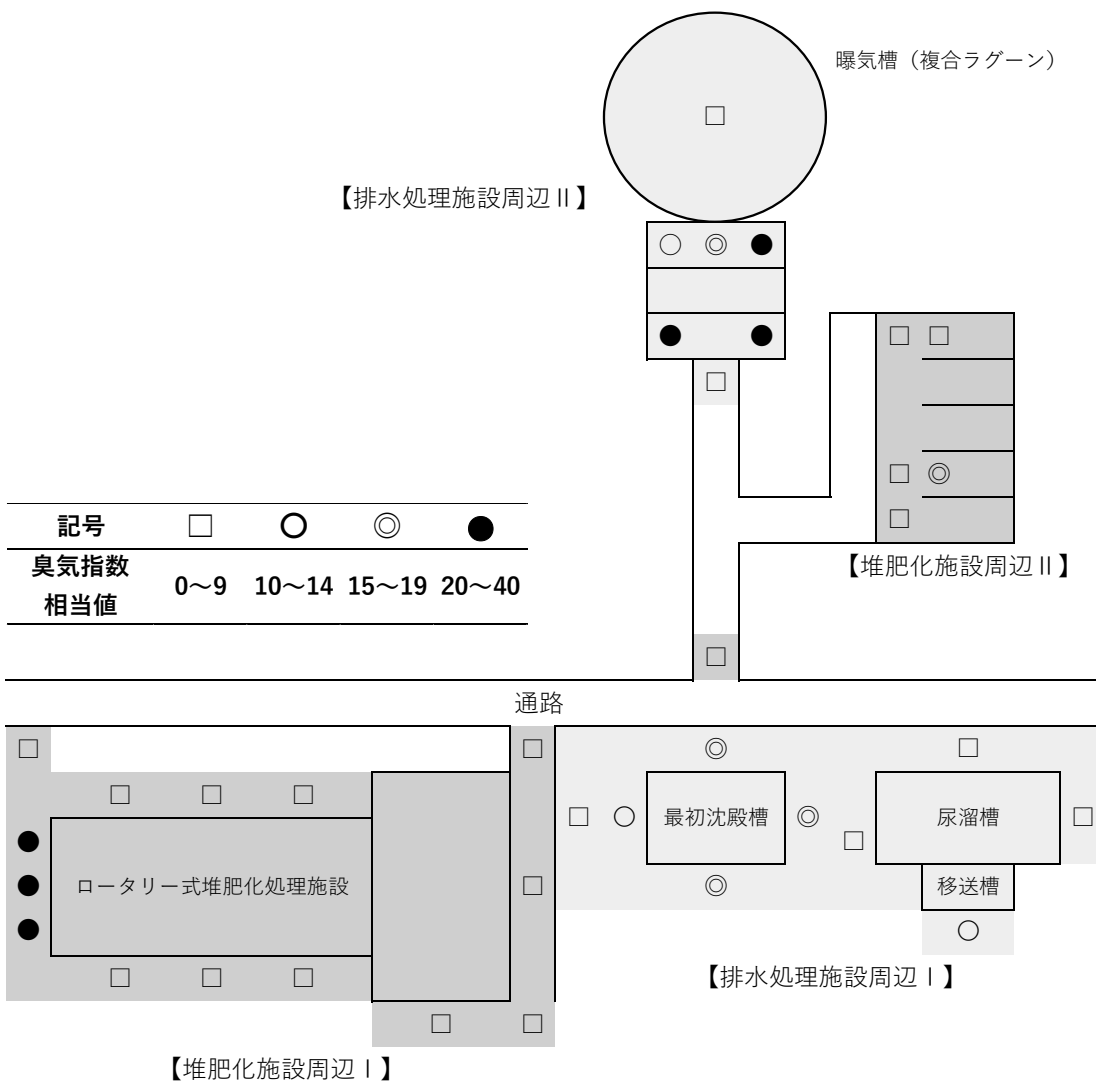


図8 臭気マップ（臭気調査 I）

表4 臭気調査Ⅱの測定結果（堆肥化施設周辺Ⅰ）

測定箇所	8月18日						8月20日						計			
	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)				
	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値	最大	最小	平均	
堆肥化施設周辺Ⅰ	①	南東	0.5	0	南東	0.7	0	南東	0.7	0	西	0.5	0			
	②	東	0.7	0	東	0.7	0	南東	0.4	0	東	1.8	0			
	③	-	0	0	南東	0.8	0	南東	0.5	0	南	0.6	0			
	④	南	0.5	0	南南東	0.8	0	南	0.5	0	南	0.8	0			
	⑤	南	0.7	0	南南東	1.3	0	南	0.8	0	南	1.1	0			
	⑥	北	0.4	21	西北西	0.6	14	西	1.3	22	-	0	28			
	⑦	南東	0.6	0	南東	0.6	0	-	0.3	0	-	0	0			
	⑧	南東	0.7	0	南	0.6	0	南南東	1.3	0	南東	1	0			

注) □は臭気指数相当値が10以上の測定箇所

表5 臭気調査Ⅱの測定結果（排水処理施設周辺Ⅰ）

測定箇所	8月18日						8月20日						計			
	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)				
	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値	最大	最小	平均	
排水処理施設周辺Ⅰ	⑨	-	0.3	18	南東	0.4	1	北東	0.6	18	-	0	9			
	⑩	-	0.3	21	南	0.7	2	-	0.3	17	南東	0.4	9			
	⑪	東	1	22	南	0.5	15	南東	1	16	南東	0.6	12			
	⑫	東南東	0.5	20	東	0.6	1	-	0.5	15	-	0	4			
	⑬	南東	0.8	6	東	0.8	0	東	0.6	10	南東	0.4	17			
	⑭	東	0.9	0	南東	0.9	0	東	1.2	0	南東	1.5	0			
	⑮	東	0.9	0	南	0.7	0	南	0.7	0	南	1.6	0			
	⑯	南東	0.7	0	南東	1.2	0	南	1.8	17	西南西	0.9	13			

注) □は臭気指数相当値が10以上の測定箇所

「臭気マップ」を用いた畜産農場臭気低減対策の検証（第1報）

表6 臭気調査Ⅱの測定結果（堆肥化施設周辺Ⅱ）

測定日		8月18日						8月20日						計		
測定箇所	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	臭気指数相当値	最大	最小	平均
	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値				
堆肥化施設周辺Ⅱ	⑰	-	0.3	4	北	0.7	0	北	0.7	0	東	0.8	0			
	⑱	北東	0.6	2	-	0.4	0	-	0.4	0	北	1.0	0			
	⑲	-	0.3	0	-	0.0	0	-	0.0	0	-	0.0	0			
	⑳	北西	0.5	2	-	0.0	0	-	0.0	0	北	0.3	0			
	㉑	-	0.0	0	北北東	0.7	0	北北東	0.7	0	東	0.9	0			
	㉒	南東	0.8	0	南東	1.3	0	南東	1.3	0	東南東	2.5	0			
	㉓	-	0.0	0	-	0.0	0	-	0.0	0	-	0.0	0			
	㉔	-	0.0	0	-	0.0	0	-	0.0	0	-	0.0	0			
測定箇所	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	臭気指数相当値	最大	最小	平均
	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値				
堆肥化施設周辺Ⅱ	⑰	-	0.0	0	東	0.4	0	南西	1.1	0	西	0.5	0	4	0	0.5
	⑱	北東	0.6	0	-	0.0	0	北西	1.0	0	東南東	0.7	0	2	0	0.3
	⑲	-	0.0	0	-	0.0	0	-	0.0	0	-	0.0	0	0	0	0.0
	⑳	-	0.0	0	-	0.0	0	-	0.0	0	-	0.0	0	2	0	0.3
	㉑	-	0.0	0	北東	0.3	0	西	1.5	0	北東	1.3	0	0	0	0.0
	㉒	-	0.0	0	東	1.0	0	北西	0.5	0	東	0.8	0	0	0	0.0
	㉓	-	0.0	0	-	0.0	0	-	0.0	0	-	0.0	0	0	0	0.0
	㉔	-	0.0	0	-	0.0	0	-	0.0	0	-	0.0	0	0	0	0.0

注) □は臭気指数相当値が10以上の測定箇所

表7 臭気調査Ⅱの測定結果（排水処理施設周辺Ⅱ）

測定日		8月18日						8月20日						計		
測定箇所	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	臭気指数相当値	最大	最小	平均
	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値				
排水処理施設周辺Ⅱ	㉕	北北西	0.7	14	南西	0.4	0	-	0	13	-	0	0	14	0	3.4
	㉖	西	0.6	25	南西	0.4	23	-	0.3	29	-	0.4	0	29	0	9.6
	㉗	南	0.5	40	-	0	40	南	0.9	40	南東	2.8	0	40	0	25.3
	㉘	南	0.6	38	南東	0.5	37	南	1	40	南東	2.9	2	40	2	27.1
測定箇所	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	測定時間	気温(°C)	湿度(%)	臭気指数相当値	最大	最小	平均
	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値	風向	風速	臭気指数相当値				
排水処理施設周辺Ⅱ	㉕	-	0	0	-	0	0	-	0	0	南東	1.5	0	14	0	3.4
	㉖	南	0.4	0	-	0	0	南東	1.1	0	南西	1.2	0	29	0	9.6
	㉗	南東	1.5	24	南東	0.8	4	-	0	14	-	0	40	40	0	25.3
	㉘	南東	1	22	-	0	22	-	0	23	南東	1.5	33	40	2	27.1

注) □は臭気指数相当値が10以上の測定箇所

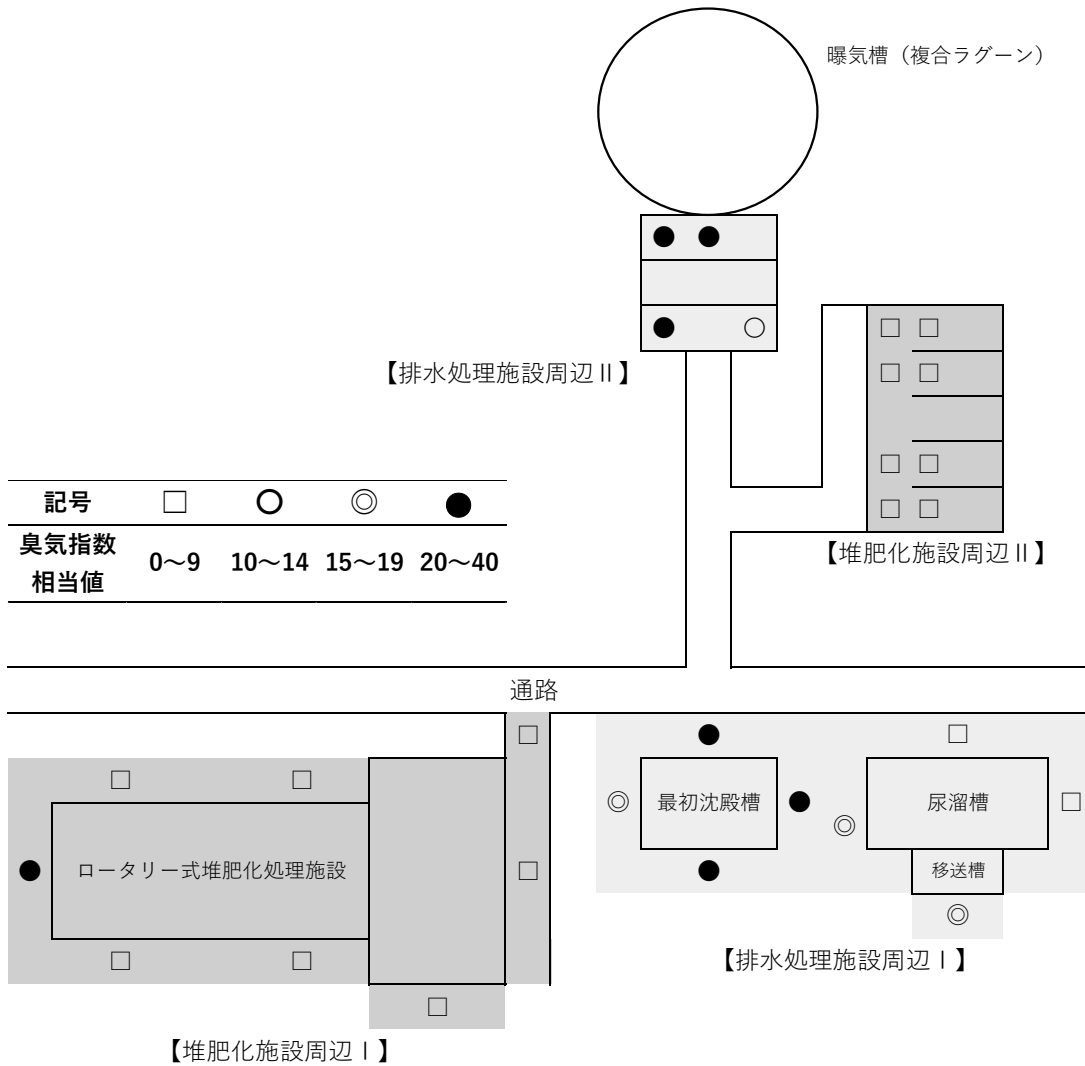


図9 臭気マップ (臭気調査Ⅱ : 最大値)

数相当値の最大値又は平均値が 10 以上の測定箇所は、臭気調査Ⅰとほぼ同様の結果であった。

3 臭気調査Ⅲ

簡易的な臭気低減対策実施前後の測定結果を表 8 から表 10 に、これにより作成した臭気マップ (平均値、最大値) を図 10、11 に示した。対策の実施により、すべての箇所において顕著な臭気低減効果が得られ、対策実施後の臭気指数相当値の平均値は 10 以下となった。しかし、最大値で見ると、一部の箇所においては高い数値の箇所も見られた。これは、簡易的な対策である蓋やカーテンからの臭気の漏れ、風向、風速による影響などが考えられた。

なお、最初沈殿槽の寒冷紗上に設置した細霧装置の臭気低減効果については、今回の試験では蓋の設

置だけで十分な効果が得られたため、確認できなかった。

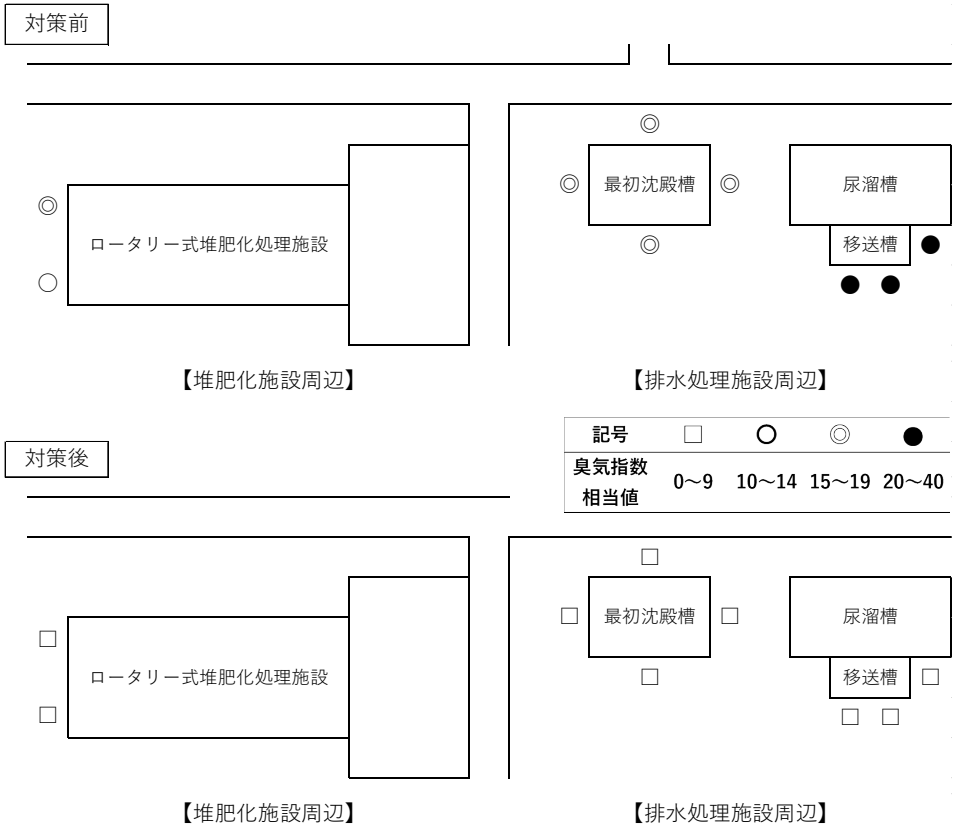


図10 臭気低減対策実施前後の臭気マップ（臭気調査Ⅲ：平均値）

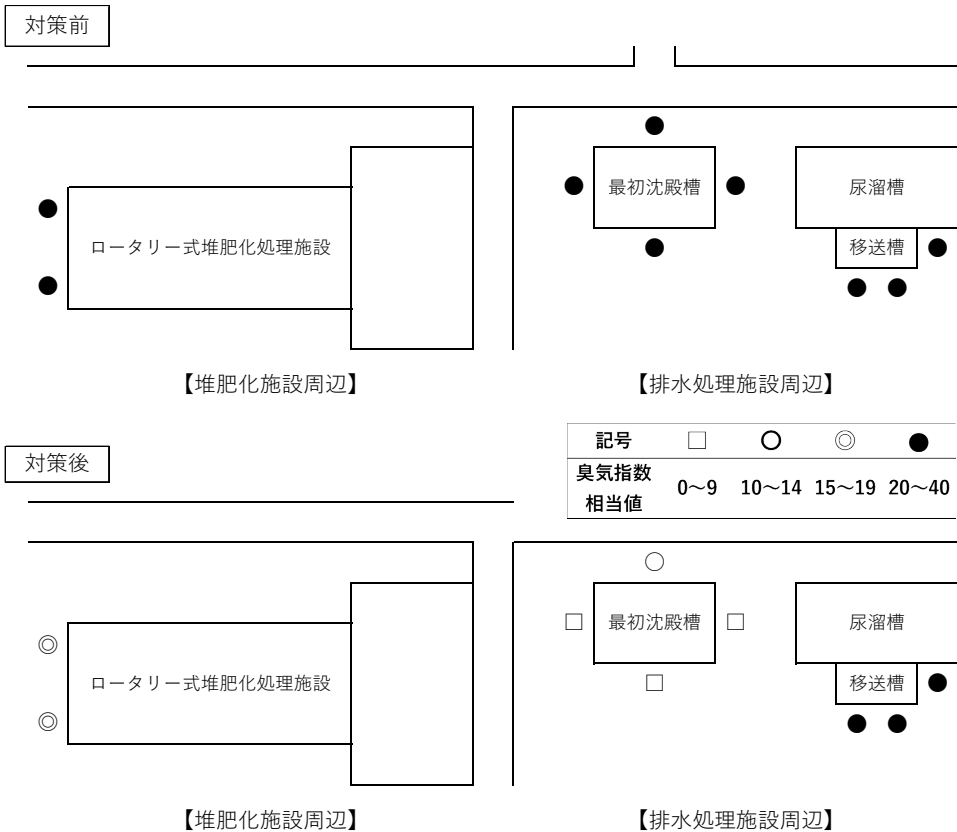


図11 臭気低減対策実施前後の臭気マップ（臭気調査Ⅲ：最大値）

考 察

養豚農家などで臭気調査を実施する際は、対策前後の1回の調査結果で評価をせざるを得ないことが多いため、誤った評価をしてしまう可能性が高いと考えられるが、本試験のように数日間にわたって複数回測定した臭気指数相当値の平均値を確認することで、多くの環境要因を含んだ形で、より総合的な評価ができると推察された。また、平均値だけでなく最大値についても併せて評価することで、より適切な評価ができると考えられた。特に、敷地境界線上など臭気発生要因から遠い箇所を調査をする際は、風速などの影響を受けやすいため、本試験で用いた手法が有効であると考えられた。

参考文献

- 木下強，高柳晃治，加藤大幾，前田綾子．2019．
Microsoft Excel による臭気マップの作成方法と
指導への応用．栃木県畜産酪農研究センター研
究報告第6号，30-35
- （社）におい・かおり環境協会測定評価部会（臭気
簡易評価技術標準化研究会）．2003．臭気簡易評
価技術の活用に関する報告書．3-26
- 環境省 水・大気環境局大気環境課大気生活環境室．
2018．悪臭対応参考事例集．8-67

「BOD監視システム」によるスマート養豚排水処理の実証

甲斐敬康・柴田翔平¹⁾、長峰孝文²⁾、横山浩³⁾

¹⁾ 東臼杵農林振興局・²⁾ 三桜電気工業株式会社・³⁾ 農研機構畜産研究部門

Demonstration of Smart pig farm wastewater treatment by 「BOD monitoring system」

Noriyasu KAI, Shohei SHIBATA, Takahumi NAGAMINE, Hiroshi YOKOYAMA

＜要約＞養豚排水処理については、硝酸性窒素等の規制強化に伴い、一層の窒素除去の効率化と適正処理が求められており、また、経営基盤強化の観点からも、処理の高度化、省力化およびコスト低減は、益々重要な課題となっている。そこで、本研究では、横山らが近年開発した「BOD監視システム」を設置してある都城市内の養豚場において、年間を通じた現地実証を実施し、同農場の他の処理施設では、pH測定値のみでの曝気制御についても、その可能性調査を行った。その結果、「BOD監視システム」は、運転管理のトラブルにより大きな曝気時間の削減効果は得られなかったものの、年間を通じて効率的な自動運転ができることが明らかとなった。また、pHのみの制御を行った施設でも、大きな曝気削減効果が得られたことから、処理条件次第では、pHのみの曝気制御は可能であることが示唆された。

養豚排水処理においては、環境規制の強化や地域環境との調和の観点から、より高度かつ安定的な処理が求められている。特に畜産排水における硝酸性窒素等濃度の排水基準は年々厳しくなっており、令和元年7月の改正により暫定排水基準は500mg/Lに引き下げられた。さらに、将来は一般排水基準である100mg/Lまで引き下げられる可能性があり、養豚排水の窒素除去は重要な技術となっている。硝酸性窒素等の規制が強化されたことにより、浄化槽の運転管理については、窒素除去の原理と手法を確実に理解した上で、従来の浄化槽管理より高度な操作を行う必要がある。

そこで本研究では、新しく開発された「BOD監視システム」を設置している都城市内の実証施設において、原水、曝気槽水および処理水の水質モニタリングを週2回の頻度で実施し、年間を通じて効率的な処理が可能であるかなどについて、検証した。

試 験 方 法

1 調査方法

(1) 「BOD監視システム」

「革新的技術開発・緊急展開事業（うち経営体プロジェクト、2016～2019）」で開発されたBOD監視装置を用いた。発電細菌が汚水中のBODと反応して発生する電流により直接BOD値へ変換するリアクター部と、汚水中のpH計と測定されるBOD値とpHにより曝気装置を制御する。また、IoT機能により、スマートフォンやPCで、BOD、pHおよび水温を常時把握できる。

(2) 実証施設

「BOD監視システム」を設置してある都城市内の養豚農場の連続式活性汚泥処理施設および膜分離活性汚泥処理施設において、原水、曝気槽水および処理水のモニタリングを行い、BOD、窒素の浄化能力および曝気時間の削減効果等について検証した。

【処理施設概要】

① 鹿児島県側施設

飼養頭数：母豚500頭一貫

処理対象：肥育豚4,000頭（2021.4.1現在）

豚舎タイプ：糞尿分離（スクレッパー）

1次処理法：固液分離機（振動型スクリーン、

ベルトスクリーン)

処理方式：連続式活性汚泥法（循環式）

原水槽容積：64.8 m³

曝気槽数：4 槽

曝気槽総容積：637.5 m³

処理水量：47.5 m³/日

滞留時間：16.3day

BOD容積負荷：0.3kg/m³/day

「BOD監視システム」のタイプ：3号機

曝気制御方式：BOD推定値および pH 値による制御

② 宮崎県側施設

飼養頭数：母豚 500 頭一貫

処理対象：繁殖豚 500 頭、子豚 3,000 頭、肥育豚 2,000 頭（2021.4.1 現在）

豚舎タイプ：糞尿分離（スクレッパー）

1 次処理法：固液分離機（振動型スクリーン、スクリュープレス）

処理方式：連続式活性汚泥法（膜分離式）

原水槽容積：12.0 m³

曝気槽数：4 槽＋膜分離槽 2 槽

曝気槽総容積：526 m³

処理水量：40.0 m³/日

滞留時間：7day

BOD容積負荷：0.3kg/m³/day

「BOD監視システム」のタイプ：2号機

曝気制御方式：pH 値による制御

(3) 供試サンプル

令和 2 年 4 月から令和 3 年 3 月までの間、週 2 回（原則として第 2・第 4 火曜日）サンプリングした。

なお、サンプリングは、共同研究者（当該施設のメンテ契約者）である三桜電気工業株式会社が行い、分析用サンプルは、原水、曝気槽内水、最終処理水を 1 セットとし、採水当日にクール宅急便で当場に送付し、翌日、当場に到着後、水温を 20℃前後に調節し、分析に供した。

2 調査項目

(1) 原水（曝気槽への流入水）および処理水

pH、EC、透視度、着色度、濁度、BOD、COD、SS、TN、リン、BOD/N 比（原水のみ）、NH₄-N（処理水のみ）、NO_x-N（処理水のみ）、

硝酸性窒素等（処理水のみ）、大腸菌数（処理水のみ、消毒前）

(2) 曝気槽水

MLSS 濃度、SV₃₀、F₅（ろ紙ろ過量）

(3) その他

日々の選択された曝気パターン、BOD と pH の計測値（IoT）、曝気時間

なお、BOD 監視装置では、毎日午前 10 時時点の水温、BOD、pH を自動的記録した。

3 測定機器および方法

pH：pH メーター（TOA 社製 HM-30G）

EC：EC メーター（TOA 社製 CM-20S）

透視度：透視度計（IWAKI 社製 5930TO-SET30 および SET50）

SS：ガラス繊維ろ紙法

COD：過マンガン酸カリウム法

BOD：TN、NH₄-N、NO_x-N：ケルダール法およびブレンナー法

濁度および着色度：濁度・色度計（日本電色工業社製 Drainage Analyzer NDR2000）

大腸菌数：3M Petrifilm（SES）

4 各施設の制御および曝気パターン

各施設の曝気制御条件および曝気パターンは、表 1 および図 1 に示すとおりである。

表1 曝気制御パターン（年間）

【鹿児島県側施設】

BOD (mg/L)	pH	曝気パターン	4/1~	7/10~	1/4~	3/9~
all range	>7.7	A	24	23	23	23
>60	7.0-7.7	B	18	18	18	20
<60	7.4-7.7	C	18	18	18	18
<60	7.0-7.4	D	16	16	16	16
all range	6.5-7.0	E	14	14	14	14
all range	<6.5	F	12	12	12	12
	>9.9	G (故障時)	20	20	22	22

【宮崎県側施設】

BOD (mg/L)	pH	曝気パターン	4/1~	7/10~
-	>8.3	A	24	24
-	8.0-8.3	B	20	22
-	7.6-8.0	C	18	20
-	7.2-7.6	D	16	16
-	6.8-7.2	E	14	14
-	<6.8	F	12	12
-	>11	G (故障時)	22	22

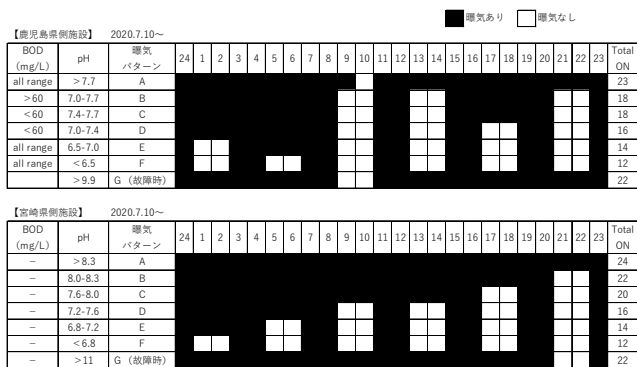


図1 曝気制御パターン (例)

試験結果

1 年間の主な運転管理内容

(1) 鹿児島県側施設

4月25日：2021年2月に実施した制御設定の誤りにより処理水質が不良となり、「BOD監視システム」制御を中止していたが、水質が改善されたため、再びBOD監視システム制御に設定変更（三桜電気工業株式会社）。

7月10日：原水槽に設置してあった第2水中ポンプをBOD濃度調整のため曝気槽に移設し、作動時刻、条件等を横山氏（農研機構）の指示により、下記のとおり設定変更（三桜電気工業株式会社）。

曝気パターンA：24時間→23時間

第1水中ポンプ作動時刻：4:00、10分間

エアポンプ作動時刻1：4:00、10分間

エアポンプ作動時刻2：10:51、20秒

第2水中ポンプ作動時刻：10:50

第2水中ポンプ作動条件：初期値60秒、最小20秒、最大300秒

8月1日：高温対策のため、「BOD監視システム」本体に遮光ネット取り付け、第2水中ポンプが水平になるように調整（三桜電気工業株式会社）。

9月10日頃（推定）：曝気槽前半のブロアの電磁開閉器故障により一部の曝気が停止状態となる。

10月9日：電磁開閉器を交換し、一部停止していた曝気が約1カ月ぶりに再開。

1月4日：年末年始に一時的に汚水量が増加したことが原因と思われる曝気槽の発砲が発生。消泡材で対処したが、最終沈殿槽に曝気槽の泡を巻き込ん

で汚泥が流出。

1月12日：pH電極交換、アノード（作用電極）洗浄を実施（三桜電気工業株式会社）。

1月26日：曝気槽のブロア1台が不調のため、風量が低下。手動の連続曝気に設定変更（三桜電気工業株式会社）。

2月2日：「BOD監視システム」の曝気制御に設定変更。

(2) 宮崎県側施設

7月10日：pH制御試験開始。横山氏（農研機構）の指示により、曝気パターンを設定変更。

8月1日：横山氏（農研機構）の指示により、pH制御パターンを設定変更（三桜電気工業株式会社）。

12月22日：第2水中ポンプの投入量設定（倍率）変更（三桜電気工業株式会社）。

2月2日：曝気ブロア3台のうち1台が故障。2台のみで曝気を継続。

2 原水、曝気槽水および処理水の水質

各処理施設の原水、曝気槽水および処理水の水質分析値、年間の推移、年平均値を表2、表3、図2から図8に示した。鹿児島県側の原水は、宮崎県側の原水と比べ高い負荷となっており、また、1で示したトラブル等を反映して、BOD除去率、SS除去率およびTN除去率の低下など、時期的な処理水質の悪化が確認された。一方、pH制御のみで曝気制御した宮崎県側の施設では、大きなトラブル等もなく、年間を通じて安定的な運転となっており、処理水質についても特に問題は確認されなかった。硝酸性窒素等については、鹿児島県側の処理施設で、最大値157.9mg/L、最小値0.0mg/L、年平均42.7mg/L、宮崎県側の処理施設で、最大値101.1mg/L、最小値21.0mg/L、年平均46.8mg/Lという成績であった。

なお、BOD/N比は、鹿児島県側の処理施設で、最大値11.5、最小値5.3、年平均値8.9、宮崎県側の処理施設で、最大値10.3、最小値3.0、年平均値7.5と、年間通じていずれも3.0以上の適正值であった。

3 月ごとの曝気時間と曝気削減時間の推移

月ごとの曝気時間と曝気削減時間の推移を表4、図9に示した。汚水の負荷が高く、運転管理面で問題のあった鹿児島県側の処理施設では、それを反映して曝気時間が長くなり、曝気制御前の曝気時間と比べ、

表3 水質分析データ (令和2年度) : 宮崎県側施設

区分	サンプリング日	4月9日	4月23日	5月12日	5月27日	6月10日	6月24日	7月8日	7月31日	8月6日	8月26日	9月9日	9月24日
原水	pH	6.65	6.54	6.44	6.91	6.61	6.72	6.83	6.88	7.00	7.06	6.83	6.92
	EC	ms/cm	5.12	4.66	4.57	4.73	5.10	4.07	2.77	3.54	2.97	3.75	2.89
	透視度	度	3.8	2.6	5.0	3.9	1.9	4.2	8.2	3.8	3.1	4.7	4.5
	着色度		618	983	527	663	1,692	522	273	486	779	423	458
	濁度		143.8	212.1	109.4	142.8	262.4	103.7	50.8	107.6	156.4	87.3	89.0
	SS	mg/L	1,800	3,400	1,367	200	700	900	600	1,250	3,050	867	1,550
	COD	mg/L	593	830	588	720	1,200	506	260	487	633	400	109
	BOD	mg/L	4,810	5,470	4,300	4,180	6,820	3,130	1,790	3,350	3,100	2,500	2,240
	T-N	mg/L	546.1	530.4	572.1	465.0	737.3	463.7	590.8	574.2	394.9	372.8	276.9
	リン	mg/L	118.8	109.1	76.5	70.0	120.9	65.7	40.3	36.9	69.2	59.2	41.4
	BOD/N比		8.8	10.3	7.5	9.0	9.2	6.8	3.0	5.8	7.9	6.7	8.1
	曝気槽水	MLSS濃度	mg/L	7,750	5,500	6,075	6,600	4,875	4,725	2,900	4,800	3,350	3,975
	SV30	%	98.0	97.0	99.5	99.0	98.0	98.0	99.5	99.5	40.0	60.0	97.0
	F5	ml	9.0	12.2	7.3	7.3	7.4	20.0	20.3	21.5	19.5	18.3	23.5
処理水	pH	7.06	7.08	7.56	7.82	7.09	7.31	7.48	7.24	7.27	7.25	7.45	7.50
	EC	ms/cm	2.00	1.90	0.92	2.48	2.03	1.50	1.10	1.18	1.58	1.27	1.03
	透視度	度	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
	着色度		379	409	476	551	521	458	308	385	484	416	323
	濁度		1.4	0.2	1.6	0.8	0.3	0.3	0.5	0.7	0.4	0.3	0.2
	SS	mg/L	0	0	9	0	0	2	0	0	0	0	1
	COD	mg/L	77	60	57	72	109	44	33	32	43	36	9
	BOD	mg/L	7	5	3	7	11	8	4	5	6	4	4
	T-N	mg/L	99.0	89.5	92.3	105.4	101.9	57.2	27.4	47.2	69.1	99.3	34.9
	NH ₄ -N	mg/L	8.8	0.6	1.9	110.4	9.1	0.8	0.0	0.9	0.6	0.2	0.0
	NO _x -N	mg/L	96.0	97.3	70.2	18.1	97.4	47.9	22.3	35.6	35.0	38.3	32.1
	硝酸性窒素等	mg/L	99.5	97.5	71.0	62.3	101.1	48.2	22.3	35.9	35.2	38.4	32.1
	リン	mg/L	20.1	25.4	16.0	12.3	14.8	30.5	44.3	29.2	28.1	25.0	20.8
	大腸菌	個/cm ³	6	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0
	SS除去率	%	100.0	100.0	99.4	100.0	100.0	99.8	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9
	BOD除去率	%	99.9	99.9	99.9	99.8	99.8	99.7	99.8	99.9	99.8	99.8	99.8
	T-N除去率	%	81.9	83.1	83.9	77.3	86.2	87.7	95.4	91.8	82.5	73.4	87.4
区分	サンプリング日	10月14日	10月28日	11月11日	11月25日	12月9日	12月23日	1月13日	1月27日	2月10日	2月24日	3月10日	3月24日
原水	pH	6.83	6.81	6.59	6.56	6.82	7.60	7.00	6.77	6.61	6.47	6.75	6.84
	EC	ms/cm	2.89	3.91	2.91	4.19	3.32	3.60	2.88	4.51	4.20	3.85	3.35
	透視度	度	4.5	4.2	6.2	1.5	4.6	4.6	4.4	3.0	3.5	3.9	3.6
	着色度		458	477	331	1,812	412	521	426	645	588	524	579
	濁度		89.0	111.5	78.2	271.6	99.8	117.4	107.1	141.2	141.3	120.4	129.4
	SS	mg/L	1,550	1,025	600	11,100	750	1,533	800	1,900	1,800	1,633	3,000
	COD	mg/L	109	435	332	1,313	416	575	470	647	5,882	518	870
	BOD	mg/L	2,240	3,080	1,680	7,070	2,950	2,920	2,410	4,750	4,450	4,350	7,460
	T-N	mg/L	276.9	407.4	291.7	747.1	396.8	461.5	295.6	754.2	492.5	578.1	840.3
	リン	mg/L	41.4	71	51.7	114.8	60.6	49.4	45.0	78.6	78.3	76.2	90.0
	BOD/N比		8.1	7.6	5.8	9.5	7.4	6.3	8.2	6.3	9.0	7.5	8.9
	曝気槽水	MLSS濃度	mg/L	2,775	2,125	2,550	3,675	5,350	5,250	8,725	9,750	10,175	7,925
	SV30	%	60.0	43.0	37.0	97.0	98.0	99.0	99.0	97.0	99.0	98.0	
	F5	ml	23.5	30.8	33.5	19.0	11.3	20.0	20.6	21.3	8.0	7.2	
処理水	pH	7.45	6.93	7.32	7.25	7.06	7.24	7.90	7.85	8.08	7.63	7.50	
	EC	ms/cm	1.03	1.39	1.08	1.70	1.09	1.26	1.34	1.51	2.26	1.28	
	透視度	度	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	16.0	30.0	30.0	30.0	
	着色度		323	483	366	458	305	393	499	401	612	401	
	濁度		0.2	1.4	0.9	1.2	0.3	4.8	41.7	1.0	1.3	0.1	
	SS	mg/L	1	1	0	0	1	3	0	0	1	3	
	COD	mg/L	9	42	29	42	28	36	46	47	59	48	
	BOD	mg/L	4	5	2	5	1	1	24	3	3	4	
	T-N	mg/L	34.9	64.1	70.0	81.1	61.0	71.0	24.6	29.2	100.1	27.2	
	NH ₄ -N	mg/L	0.0	0.0	0.0	28.4	0.0	0.0	5.2	8.2	121.1	8.8	
	NO _x -N	mg/L	32.1	28.8	45.2	42.6	53.0	55.2	18.9	22.1	1.4	19.7	
	硝酸性窒素等	mg/L	32.1	28.8	45.2	54.0	53.0	55.2	21.0	25.4	49.8		
	リン	mg/L	20.8	27.5	25.2	28.7	23.7	24.4	9.2	3.6	0.6		
	大腸菌	個/cm ³	0	0	0	12	0	0	410	14	0		
	SS除去率	%	99.9	100.0	100.0	100.0	99.9	99.8	100.0	100.0	99.9		
	BOD除去率	%	99.8	99.9	99.9	99.9	100.0	100.0	99.0	99.9	99.9		
	T-N除去率	%	87.4	84.3	76.0	89.2	84.6	84.6	91.7	96.1	79.7		

※ 透視度30<は、「30.0」とした。

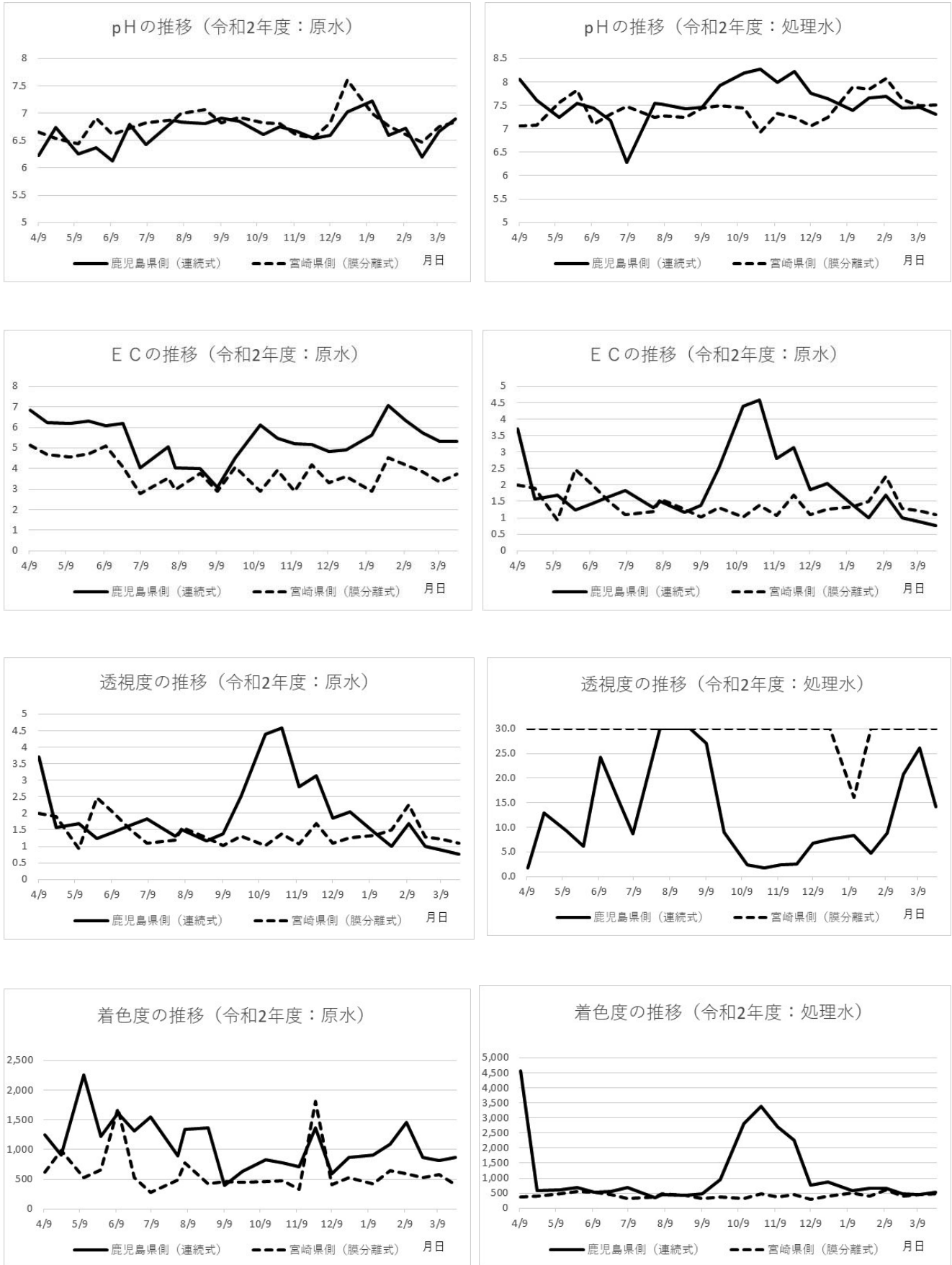


図2 各処理施設における水質の推移 (その1)

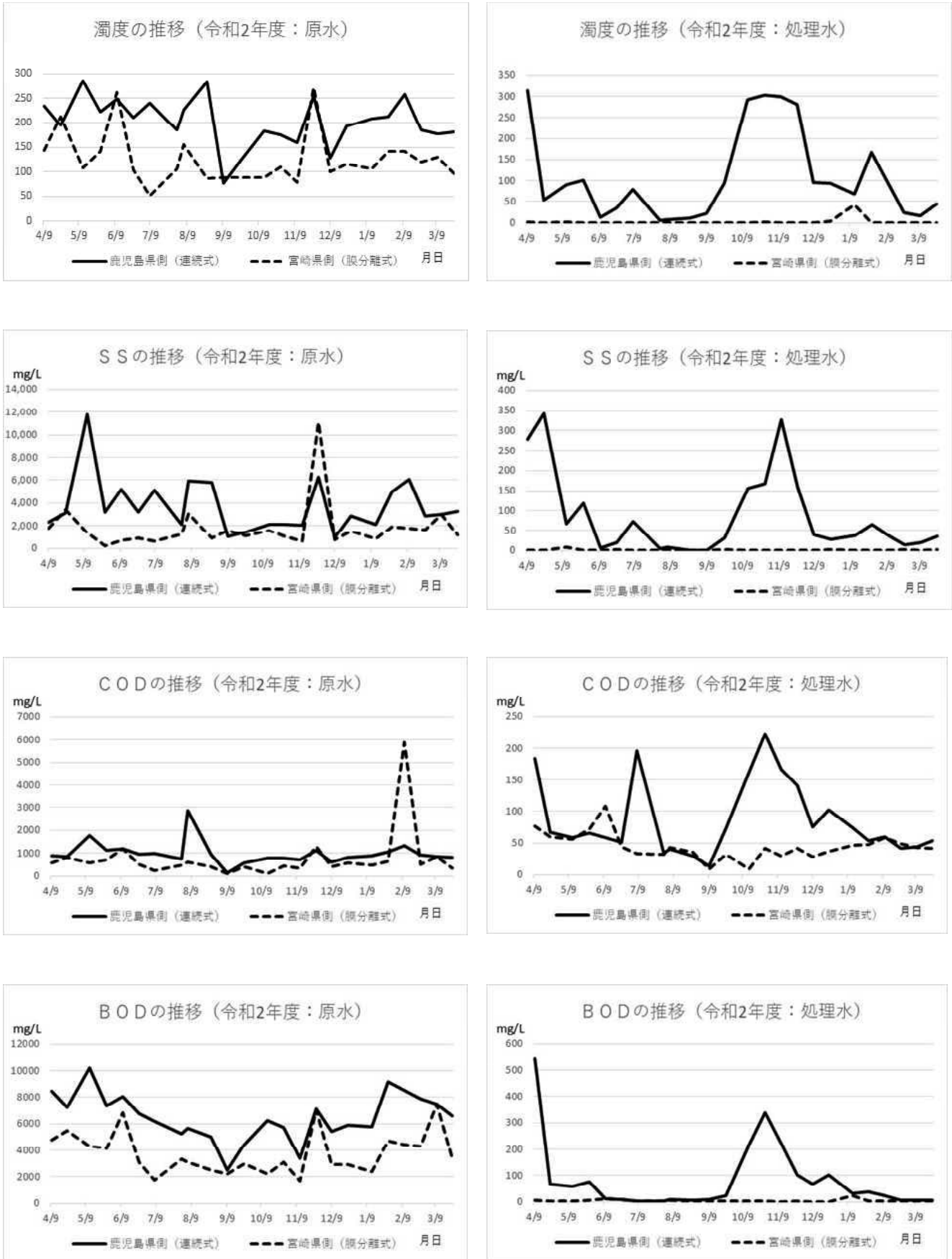


図3 各処理施設における水質の推移 (その2)

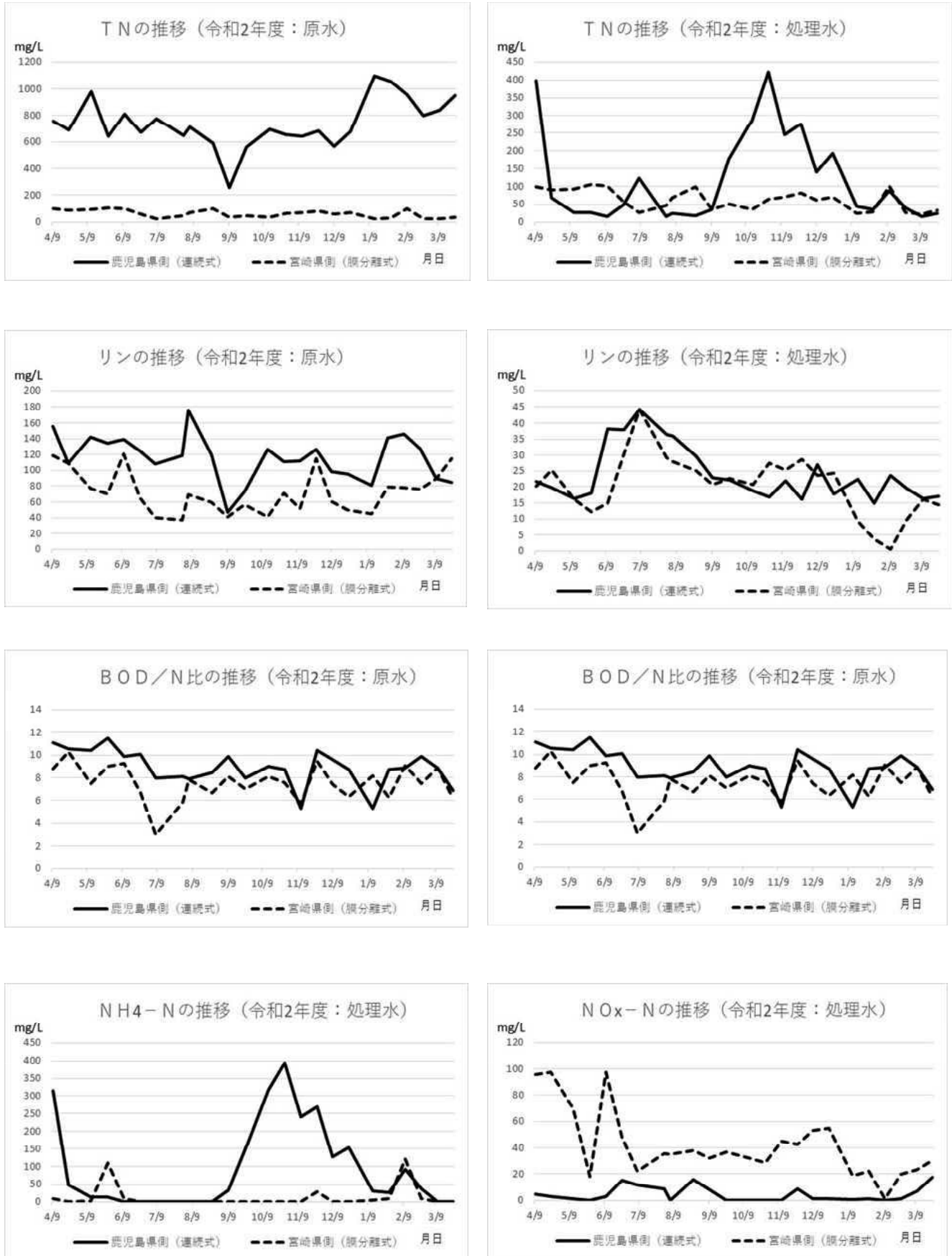


図4 各処理施設における水質の推移 (その3)

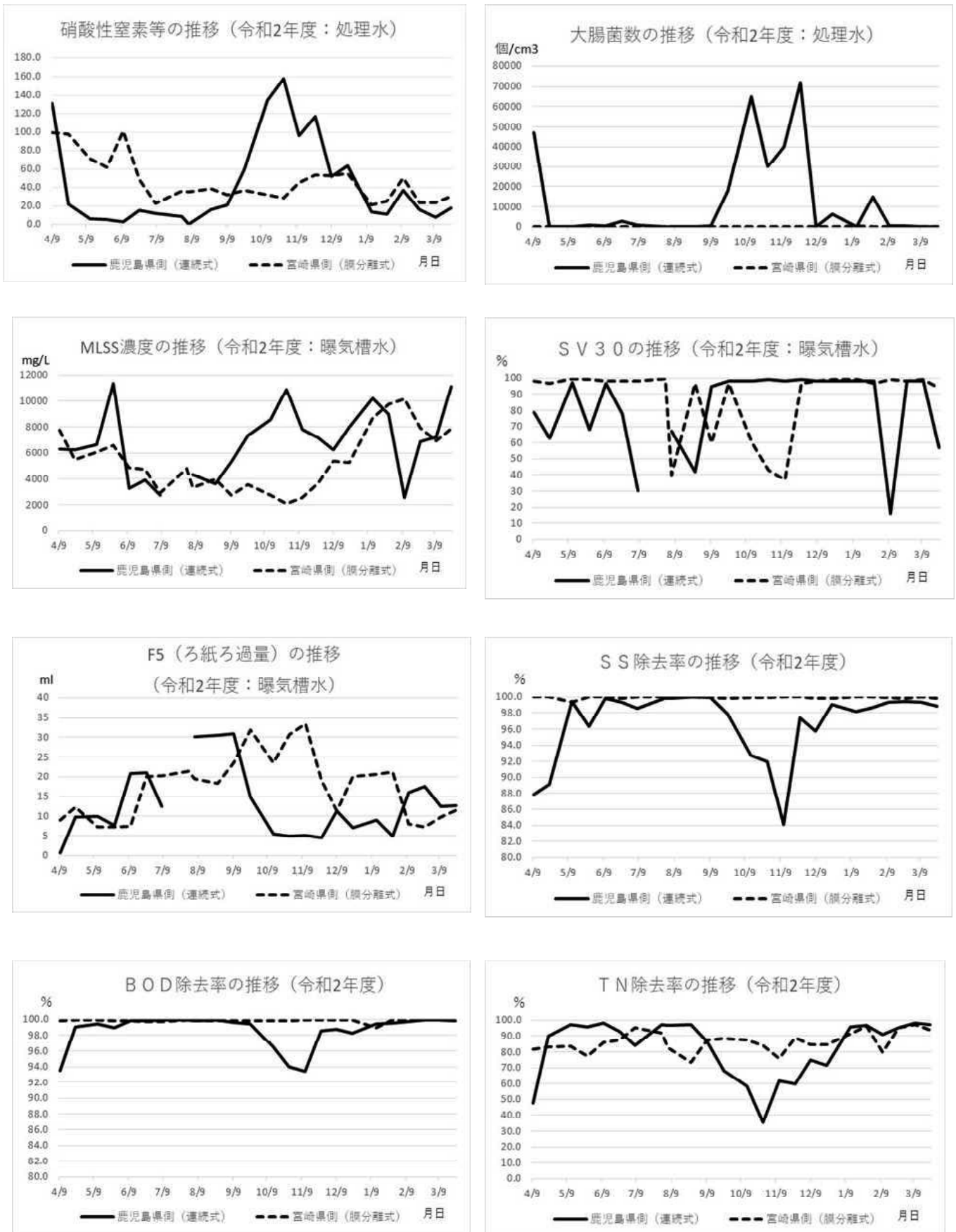


図5 各処理施設における水質の推移 (その4)

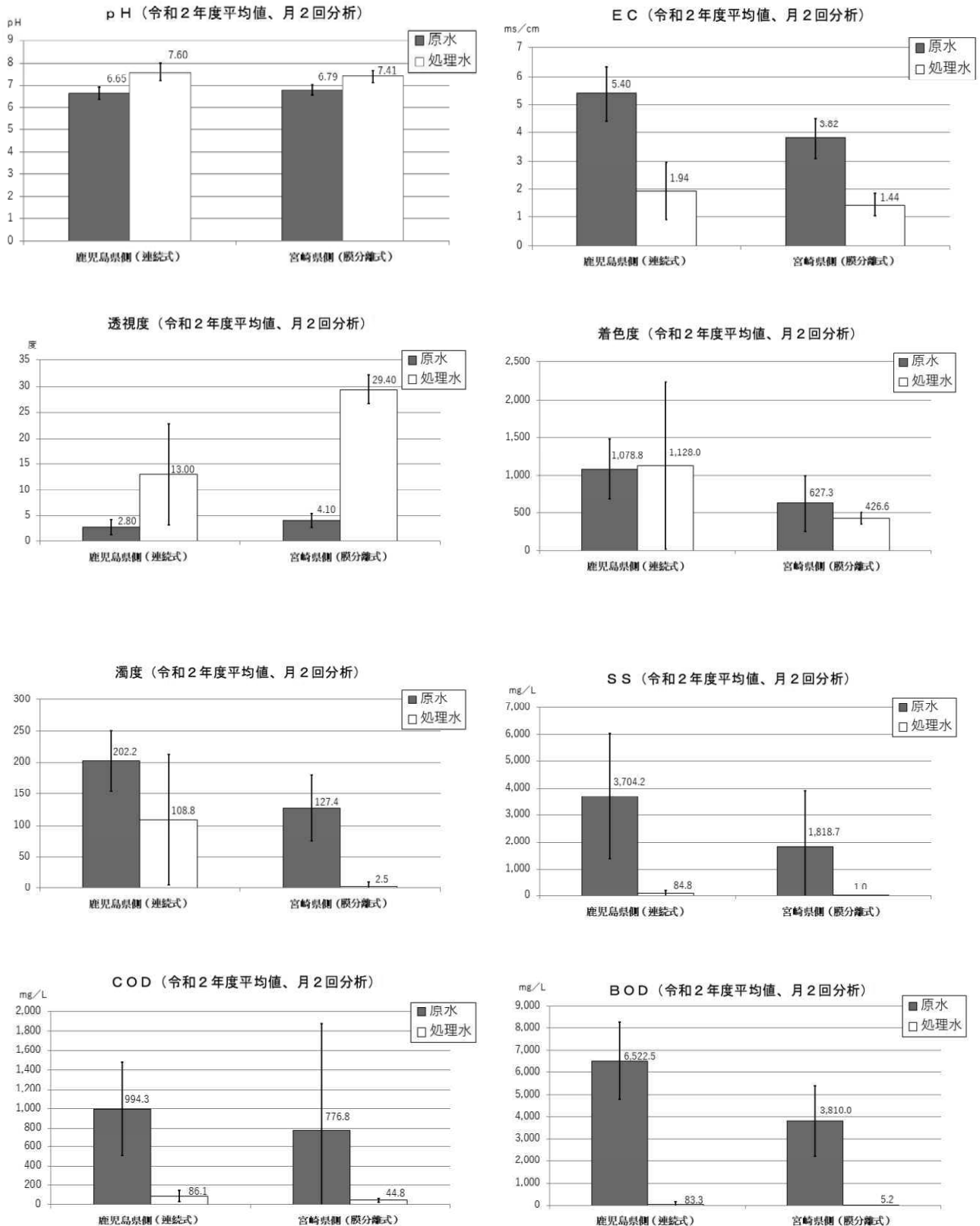


図6 各処理施設における年平均水質 (その1)

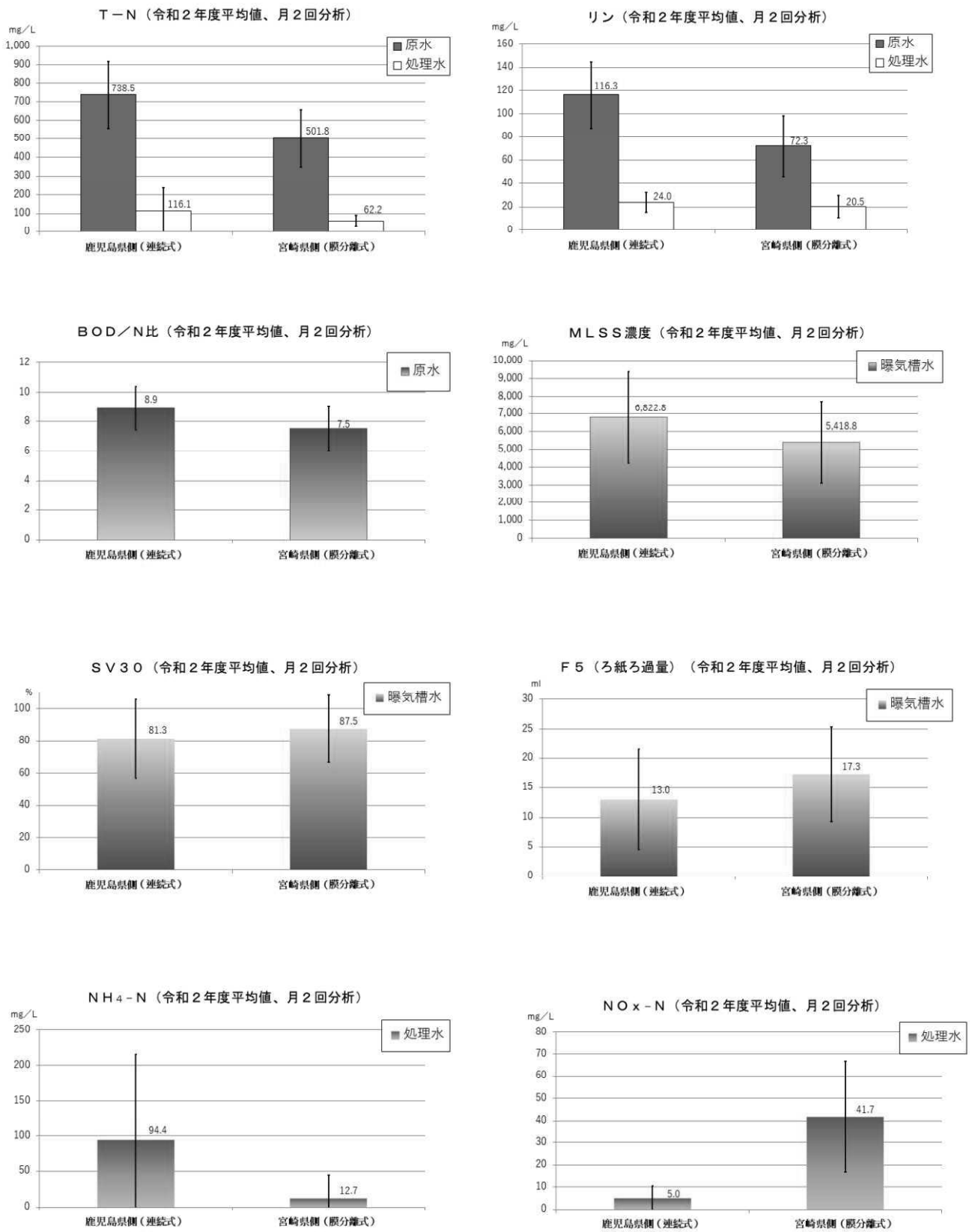


図7 各処理施設における年平均水質 (その2)

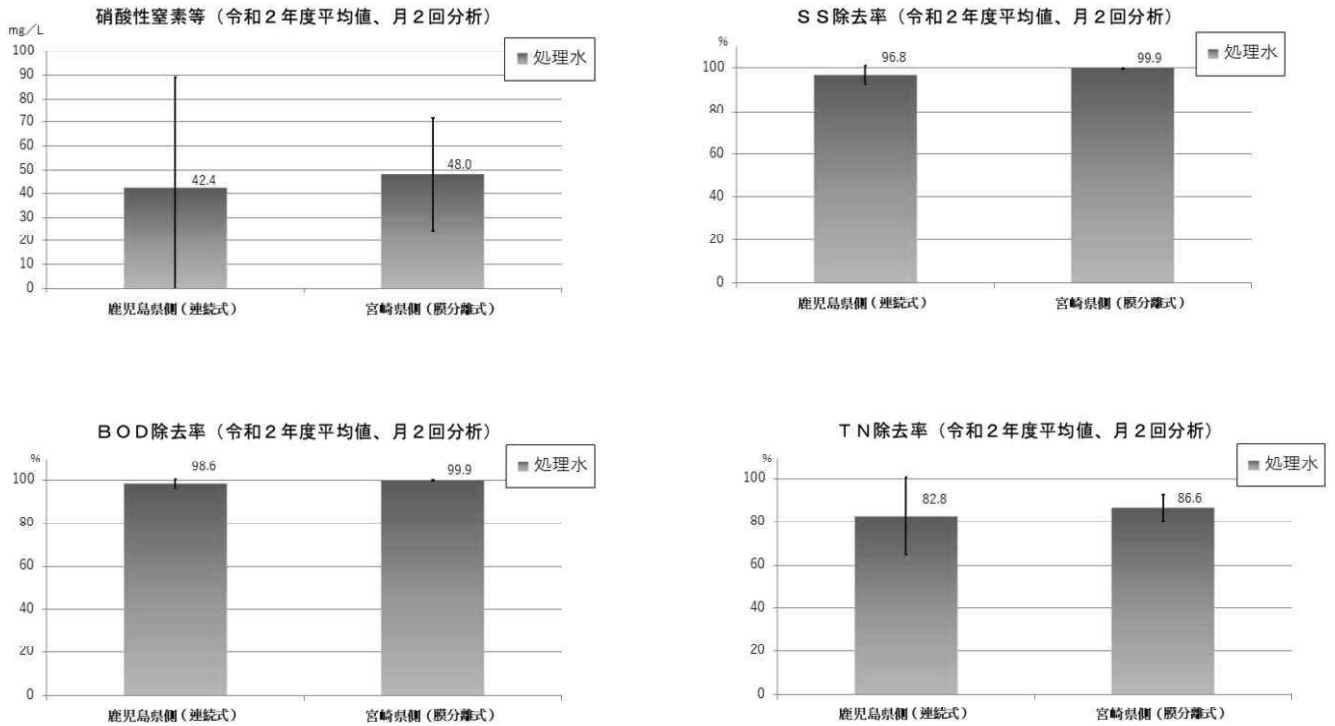


図8 各処理施設における年平均水質 (その3)

表4 各処理施設における月ごとの曝気時間と曝気削減時間 (令和2年度)

月	連続式活性汚泥施設 (鹿児島県側)					膜分離式活性汚泥施設 (宮崎県側)				
	曝気時間		曝気削減時間 (h)			曝気時間		曝気削減時間 (h)		
	制御前 (20h/日)	制御後	月当たり	1日当たり	年間	制御前 (22h/日)	制御後	月当たり	1日当たり	年間
4	600.0	672.0	▲ 72.0	▲ 2.4		660.0	600.0	60.0	2.0	
5	620.0	618.0	2.0	0.1		682.0	620.0	62.0	2.0	
6	600.0	528.9	71.1	2.4		660.0	604.0	56.0	1.9	
7	620.0	432.0	188.0	6.1		682.0	614.0	68.0	2.2	
8	620.0	540.0	80.0	2.6		682.0	602.9	79.1	2.6	
9	600.0	618.3	▲ 18.3	▲ 0.6		660.0	566.0	94.0	3.1	
10	620.0	713.0	▲ 93.0	▲ 3.0		682.0	656.1	25.9	0.8	
11	600.0	690.0	▲ 90.0	▲ 3.0		660.0	738.1	▲ 78.1	▲ 2.6	
12	620.0	646.2	▲ 26.2	▲ 0.8		682.0	744.0	▲ 62.0	▲ 2.0	
1	620.0	608.1	11.9	0.4		682.0	735.8	▲ 53.8	▲ 1.7	
2	560.0	526.9	33.1	1.2		616.0	493.7	122.3	4.4	
3	620.0	642.4	▲ 22.4	▲ 0.7		682.0	727.1	▲ 45.1	▲ 1.5	
月平均	608.3	603.0	5.3	0.2		669.2	641.8	27.4	0.9	
年間計	7,300.0	7,236.0	64.0	2.1	64.0	8,030.0	7,701.7	328.3	11.2	328.3

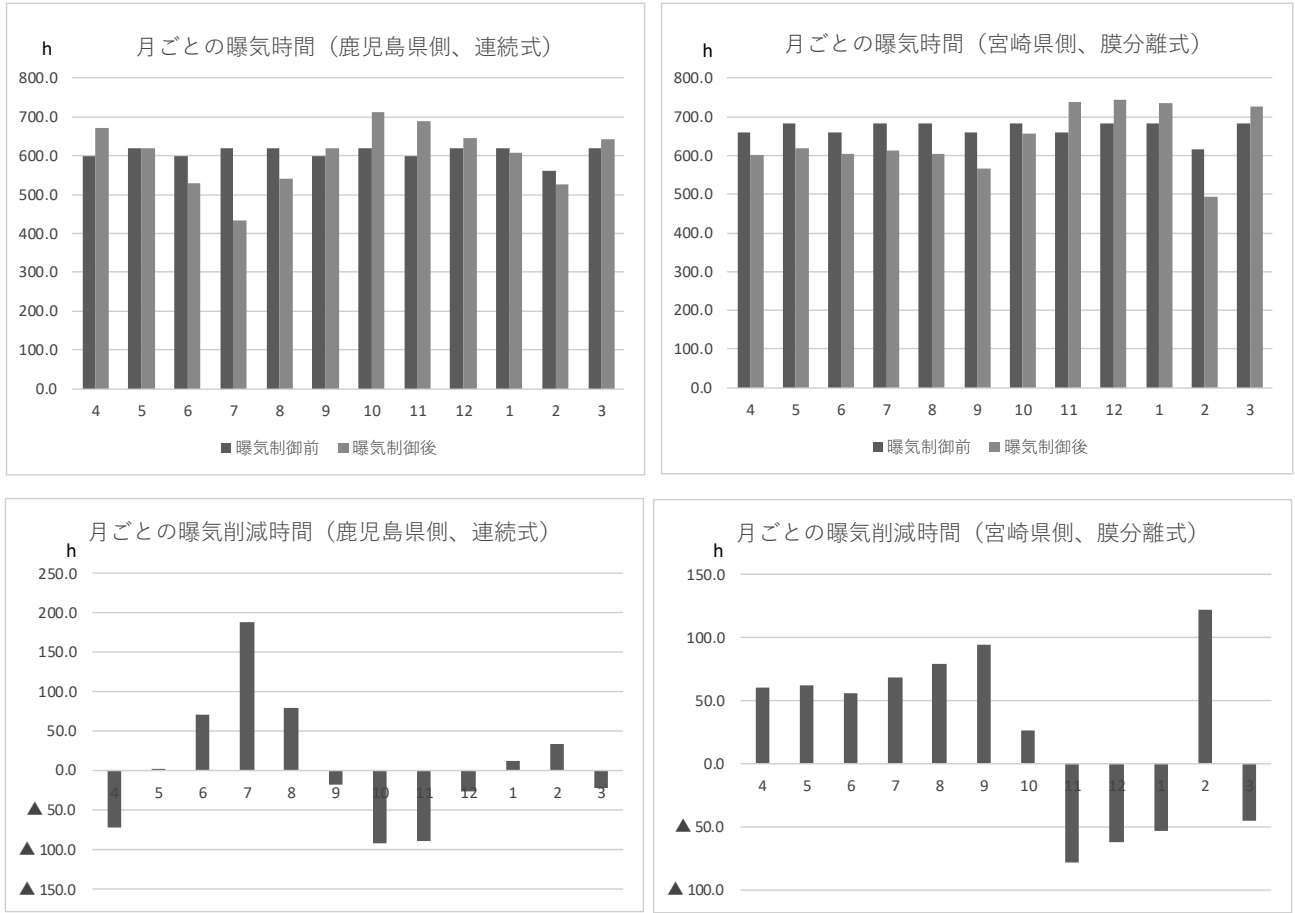


図9 各処理施設における月ごとの曝気時間と曝気削減時間の推移 (令和2年度)

表5 月ごとの「BOD監視システム」の測定値 (評価値) ※ IoTデータからの月平均集計値

【鹿児島県側施設】							【宮崎県側施設】						
月	測定値 (評価値)						月	測定値 (評価値)					
	BOD	pH	曝気 パターン	気温 ℃	処理槽 水温℃	培養槽 水温℃		BOD	pH	曝気 パターン	気温 ℃	処理槽 水温℃	培養槽 水温℃
4月	245.8	8.0	0.3	14.4	26.0	29.8	4月	10.3	8.3	1.0	14.3	27.4	29.9
5月	74.3	7.7	0.8	20.9	26.0	29.9	5月	26.0	8.4	1.0	20.8	30.0	30.0
6月	26.7	7.5	2.2	24.1	30.0	30.2	6月	27.8	8.4	1.0	24.0	30.8	30.2
7月	19.6	6.6	4.0	25.6	30.2	30.5	7月	27.3	8.3	1.1	25.6	31.0	30.5
8月	26.9	7.4	2.3	29.0	31.7	31.5	8月	32.5	8.1	1.2	28.9	33.0	31.8
9月	78.7	7.7	1.1	24.4	30.2	30.1	9月	31.4	7.9	1.6	24.0	30.7	30.2
10月	287.9	8.3	0.0	20.1	30.0	30.1	10月	32.9	8.0	0.8	19.5	29.0	30.0
11月	181.7	8.2	0.0	15.6	27.1	29.9	11月	33.1	7.7	0.0	15.3	26.3	29.9
12月	193.9	7.9	4.3	8.2	23.1	29.7	12月	35.0	7.5	0.0	8.0	21.1	29.7
1月	157.7	7.8	2.6	7.7	24.2	29.7	1月	37.9	7.9	0.3	7.5	21.4	29.7
2月	138.6	7.7	0.6	10.5	22.9	29.7	2月	30.6	7.1	1.7	10.2	23.2	29.8
3月	97.7	7.7	0.6	14.6	24.3	29.8	3月	11.0	6.9	1.0	14.2	27.1	29.9
平均	127.5	7.7	1.6	17.9	27.2	30.1	平均	28.0	7.9	0.9	17.7	27.6	30.1
(SD)	84.71	0.41	1.43	6.82	3.03	0.48	(SD)	8.37	0.47	0.51	6.86	3.76	0.53

考 察

「BOD監視システム」は、南九州地域における連続活性汚泥処理施設および膜分離活性汚泥処理施設で、年間を通じて、窒素除去と無駄な曝気の削減によるランニングコストの低減（省エネ）が可能であることが実証されたが、一方では、機器の故障等により処理に不具合が生じると、期待する曝気時間削減効果は得られなくなることも明らかになった。また、曝気時間の削減効果は、冬期よりも水質が安定する夏期に大きくなることも明らかになった。このため、「BOD監視システム」の能力を発揮するためには、IoT 機能により日々の運転状況を確認し、トラブル時に速やかに対応することが重要と考えられた。

今後も、データの蓄積を行い、さらに効率的な制御プログラムの改善や監視装置の低コストを図ることにより、畜産経営での有効利用が図られると考えられる。

参 考 文 献

Yamashita et al, Sci Rep. 2016 Dec 5;6:38552. doi:

10.1038/srep38552.

農研機構 2018 年普及成果情報「排水処理に役立つ

BOD (生物化学的酸素要求量)監視システム」

地域資源を活用した環境負荷低減型配合飼料の効果実証 (第1報)

柴田翔平¹⁾・甲斐敬康・鍋倉弘良

¹⁾ 東臼杵農林振興局

Examination of pig farming compound feed that reduces odor and environmental load

Shohei SHIBATA, Noriyasu KAI, Hiroyoshi NABEKURA

<要約> 本県産の地域資源を活用した「環境負荷低減型配合飼料」(アミノ酸バランス改善飼料)を設計・製造し、肥育豚(肥育前期)に給与したところ、対照区、試験区間の発育成績に差は認められず、対照区に対して試験区で1日1頭当たりの糞中窒素排せつ量、尿中窒素排せつ量および総窒素排せつ量が有意 ($P < 0.05$) に低下することが認められた。また、当场で考案した独自の糞尿採取装置を用いた採取法において、糞では、酸化チタンを指示物質としたインデックス法と同様な結果が得られ、また、尿でも、対照区に対して試験区が有意 ($P < 0.05$) に低かったことから、今回考案した装置を用いれば、消化試験用の代謝ケージを用いない条件下でも、糞尿中排せつ窒素量の評価が可能であることが示唆された。

養豚排水処理においては、環境規制の強化や地域環境との調和の観点から、より高度かつ安定的な処理が求められている。特に畜産排水における硝酸性窒素等濃度の排水基準は年々厳しくなっており、令和元年7月の改正により暫定排水基準は500mg/Lに引き下げられた。さらに、将来は一般排水基準である100mg/Lまで引き下げられる可能性があり、養豚排水からの窒素除去は大きな課題となっている。また、本県における畜産経営に起因する苦情の発生要因の約半数が悪臭関係であり、家畜排せつ物に由来するアンモニア(NH₃)は、苦情の要因となる悪臭物質であるため、その発生量の低減が求められている。

粗タンパク質(CP)含量を低減させた低蛋白(アミノ酸バランス改善)飼料を給与することで、糞尿由来の窒素排せつ量が低減し、養豚排水処理における負荷軽減や臭気低減効果が期待できることが報告されているが(山本ら2002、尾上ら2010、須藤ら2016)、南九州でその効果を検証した事例はない。

そこで本試験では、本県産の地域資源(食品残さ混

合飼料)を活用した「環境負荷低減型配合飼料」(アミノ酸バランス改善飼料)を設計・製造し、肥育豚に給与した場合の発育性、糞尿排せつ量および糞尿中窒素排せつ量の低減効果を検証した。

試験方法

1 試験期間

試験期間は、1週間の予備飼育、1週間の本試験とし、これを2反復行った(試験1および試験2)。

なお、予備飼育期間を含めた全試験期間は、令和2年9月28日から令和2年10月26日までの28日間であった。

2 供試豚および試験区分

場内で飼育されたLWD去勢豚8頭を用い、対照区と試験区の予備飼育開始時の平均体重が均等になるように、3腹の同腹子豚を用いて、表1、図1のように配置した。

3 供試飼料

対照区では、県内の養豚農場が実際に自家配合し

表1 試験区分

区分	供試頭数	試験開始		供試飼料
		体重 (kg)	日齢 (日)	
対照区	4	49.0	86.5	食品残渣を活用した肥育前期配合飼料・・・A
試験区	4	49.0	86.5	A飼料をベースとした低蛋白（アミノ酸バランス改善）肥育前期配合飼料

※ 供試豚は全て去勢雄

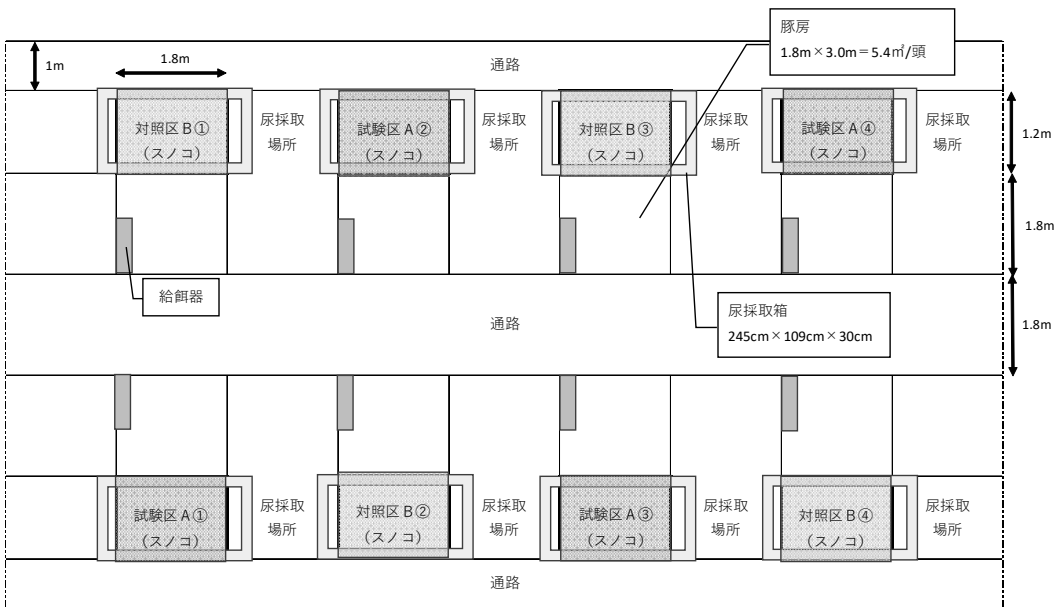


図1 供試豚の配置

で使用している食品残さを活用した肥育前期用配合飼料を給与し、試験区では、対照区の飼料をベースに、大豆粕とトウモロコシの配合割合を変更することによって、飼料設計値のCP含量を原物で1.6%（乾物で1.9%）低減させ、不足するアミノ酸を充足した飼料を設計・製造し、給与した。

なお、飼料給与方法は、制限給餌とし、予備飼育開始時の体重の4.2%量を毎朝1回給与し、翌日の朝残餌の計量を行った。飲水は自由摂取とした。

4 飼料成分分析

飼料は、十勝農業協同組合連合会農産化学研究所（北海道帯広市）に一般成分分析を依頼した。

なお、エネルギー関係〔総エネルギー（GE）、可消化エネルギー（DE）、可消化養分総量（TDN）〕は、豚用エコフィード設計プログラム「使用マニュアル記載の表2に示す式を用いて算出した。

5 調査項目

調査項目は、飼料費（円/kg）、日増体量（DG）（g/日）、飼料摂取量（g/日）、飼料要求率、糞排せつ量（g/頭/日）、尿排せつ量（L/頭/日）、糞中窒素排せつ量（g/頭/日）、尿中窒素排せつ量（g/頭/日）および糞尿中窒素排せつ量（g/頭/日）とした。

なお、日増体重（DG）、飼料摂取量および飼料要求率の調査は、試験1、試験2および全体の予備飼育期間、本試験期間および全期間について実施した。

6 消化試験

糞尿は、本試験期間中の4日間分を採取し、クロスオーバー法を用いて2反復行った。

尿中窒素は、全尿採取法、糞中窒素は全糞採取法およびインデックス法により行い、7日間の予備飼育の後、本試験4日間の糞および尿を全量採取した。糞尿の採取は、図2に示すような装置を製作し、スノコの下に設置して行った。また、窒素の揮散を防

表2 エネルギーおよび可消化養分総量の算出式

項目	算出式
総エネルギー (GE(kcal/kgDM))	$4,143 + 56 + \text{粗脂肪 (EE) \%} + 15 \times \text{粗蛋白質 (CP) \%} - 44 \times \text{粗灰分 (Ash) \%}$
可消化エネルギー (DE(kcal/kgDM))	$949 + (0.789 \times \text{GE}) - (43 \times \text{粗灰分 (Ash) \%}) - (41 \times \text{中性デタージェント繊維 (NDF) \%})$
可消化養分総量 (TDN(%))	$\text{DE} / 4.41 / 10$

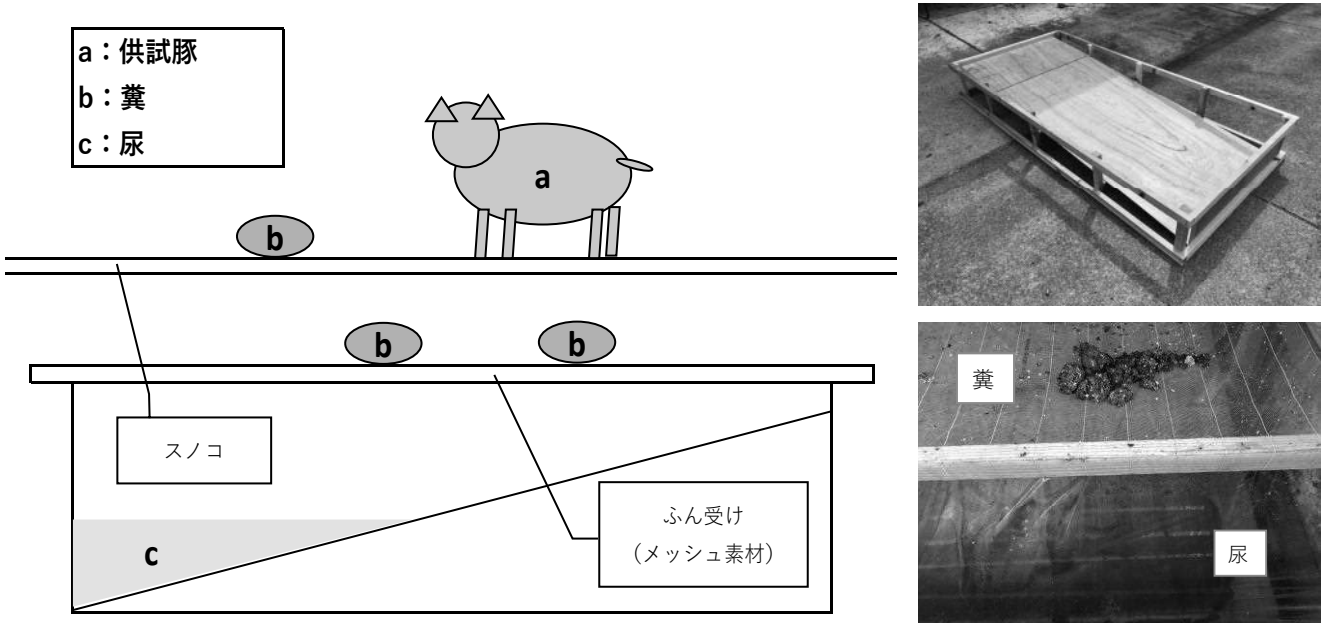


図2 糞尿採取装置

ぐため、糞尿採取装置内にあらかじめ 5 % 硫酸を 200ml 投入した。インデックス法の指標物質として酸化チタンを用い、飼料中に 0.1 % 添加した。採取した糞は、十分均質化した後、4 日間の重量比率により混合し、分析に供するまで冷凍保存した。採取した尿は、毎日の総量を計量、十分攪拌した後、200ml 程度分析用としてサンプリングし、分析に供するまで冷凍保存した。

7 糞尿の化学分析

糞中窒素の分析は、十勝農業協同組合連合会農産化学研究所 (北海道帯広市) へ、尿中窒素の分析は、クリタ分析センター (茨城県つくば市) へ依頼した。

なお、糞尿中窒素の分析はケルダール法を用い、1 日 1 頭当たりの糞尿中の窒素排せつ量は、表 3 に示す計算式により求めた。また、尿については前処理として 3,000rpm で 20 分間遠心し、上澄みを分析に供した。糞中酸化チタンの分析は、糞を 60 °C で 24 時間風乾し、微粉碎したものを分析に供した。分析は、大森ら (2013) の方法を参考に行い、乾式灰化を行った後、30 % 過酸化水素溶液で発色させ、吸

光波長 408nm で比色定量した。

表3 糞尿中窒素排せつ量の算出式

項目	方法	算出式
尿中窒素排せつ量	全尿採取法	尿量 × 尿中窒素濃度
糞中窒素排せつ量	全糞採取法	糞量 × 糞中窒素濃度
	インデックス法	摂取窒素量 × (1 - 窒素消化率%※)

※ 窒素消化率 (%) = (1 - 飼料中酸化チタン% / 糞中酸化チタン% × 糞中窒素% / 飼料中窒素%) × 100

8 統計解析

統計解析は、インデックス法と全糞採取法の比較は F 検定を用いて 2 標本が等分散であるかを検定した上で、対応のある t 検定により行い、その他の比較は SAS を用いて分散分析 (クロスオーバー法) で実施した。

試験結果

1 供試飼料の配合割合、飼料費および成分分析値

供試飼料の配合割合と飼料費を表 4 に、供試飼料の成分分析値を表 5 に示した。1kg 当たりの飼料費

は、対照区で 37.91 円/kg、試験区で 38.41 円/kg と、ほぼ同額であった。また、給与した飼料中の CP 含量の分析値は、原物で対照区の 15.5 %（乾物で 18.3 %）に対し、試験区は 13.7 %（乾物で 16.2 %）（原

物で 1.8 ポイント減、乾物で 2.1 %減）であり、設計値（原物で 1.6 ポイント減、乾物で 1.9 %減）と、ほぼ同水準の CP 低減率であった。

表4 供試飼料の配合割合と飼料費

飼料名	単価 (円/kg)	対照区		試験区	
		配合割合 (%)	飼料費 (円/100kg)	配合割合 (%)	飼料費 (円/100kg)
トウモロコシ	27	65.77	1,776	70.44	1,902
大豆粕	46	15.00	690	10.00	460
食品残さ混合	32	5.00	160	5.00	160
菓子粉	29	5.00	145	5.00	145
油揚げ乾燥	41	5.00	205	5.00	205
魚粉 (CP65%)	200	2.00	400	2.00	400
食塩 (上質塩)	51	0.30	15	0.30	15
炭酸カルシウム	18	0.50	9	0.50	9
第二リン酸カルシウム	76	0.70	53	0.70	53
塩酸L-リジン	168	0.20	34	0.37	62
L-トレオニン	372		0	0.08	30
DL-メチオニン	660		0	0.05	33
L-トリプトファン	2,100		0	0.03	63
VMプラス子豚用	425	0.20	85	0.20	85
クエン酸モラントル	1,300	0.03	39	0.03	39
エンザエムプラス	600	0.30	180	0.30	180
計		100.0	3,791	100.0	3,841
CP%	原物		16.0		14.4
	乾物		18.3		16.4
TDN%	原物		79.6		80.1
	乾物		90.9		91.6
地域資源割合 (%)			15.0		15.0

表5 供試飼料の成分分析値（設計値と分析値の比較）

区分		水分	乾物	TDN	DE	CP	EE	粗繊維	NDF	Ca	P	非フィチンP	リジン	Thr	Met+Cys	Trp	
		(%)	(%)	(kg)	(Mcal)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	
設計値 ①	試験区	原物	12.6	87.5	80.1	3.53	14.4	5.9	2.2	12.1	0.61	0.48	0.28	0.96	0.60	0.52	0.18
		乾物	-	-	91.6	4.04	16.4	6.7	2.6	13.8	0.70	0.55	0.32	1.10	0.69	0.59	0.20
	対照区	原物	12.5	87.5	79.6	3.51	16.0	5.8	2.4	12.3	0.63	0.50	0.29	0.96	0.60	0.52	0.18
		乾物	-	-	90.9	4.01	18.3	6.6	2.8	14.0	0.72	0.58	0.33	1.10	0.68	0.59	0.20
分析値 ②	試験区	原物	15.1	85.0	84.0	3.70	13.7	4.5	-	13.0	0.81	0.58	-	0.74	-	-	-
		乾物	-	-	98.8	4.36	16.2	5.3	-	15.3	0.95	0.69	-	0.87	-	-	-
	対照区	原物	15.5	84.5	83.1	3.66	15.5	3.8	-	14.9	0.46	0.49	-	0.85	-	-	-
		乾物	-	-	98.3	4.33	18.3	4.5	-	17.7	0.55	0.58	-	1.01	-	-	-
差 ①-②	試験区	原物	▲2.6	2.5	▲3.9	▲0.17	0.7	1.4	-	▲0.9	▲0.20	▲0.10	-	0.22	-	-	-
		乾物	-	-	▲7.2	▲0.32	0.2	1.5	-	▲1.5	▲0.25	▲0.14	-	0.23	-	-	-
	対照区	原物	▲3.0	3.0	▲3.5	▲0.15	0.5	2.0	-	▲2.6	0.17	0.01	-	0.11	-	-	-
		乾物	-	-	▲7.4	▲0.33	▲0.1	2.1	-	▲3.7	0.17	▲0.00	-	0.10	-	-	-

2 発育成績

供試豚の発育成績を表 6 に示した。試験期間中、残飼はほとんど認められず、良好な発育を示し、1 日当たりの増体量と飼料要求率は、予備飼育、本試験および全期間の各期間においても、有意な差は認められなかった。

3 糞尿排せつ量および糞尿中窒素排せつ量

1 日 1 頭当たりの糞尿排せつ量および糞尿中窒素排せつ量を表 7 に示した。糞尿排せつ量は、両区間に有意な差は認められなかったが、糞中窒素排せつ量は、全糞採取法、インデックス法ともに、対照区に比べ、試験区が有意に低い値を示した ($P = 0.028, P$

= 0.023)。また、1日1頭当たりの尿中窒素排せつ量および全糞尿採取法における総窒素排せつ量についても、対照区に比べ試験区が有意に低い値を示した ($P = 0.047$, $P = 0.032$)。なお、手法別 (全糞採

取法、インデックス法) の糞中窒素排せつ量の評価で手法間に有意な差が認められた (図3, $P = 0.005$)。これは、全糞採取法での糞の回収量が完全ではなかったためであると推察された。

表6 発育成績

区分		対照区	試験区
試験Ⅰ	開始体重 (kg)	49.0 ± 2.4	49.0 ± 2.2
	終了体重 (kg)	52.4 ± 3.4	53.3 ± 1.0
	予備飼育 期間 (日)	7	7
	予備飼育 一日当たり増体量 (g/日)	482.1 ± 137.2	607.1 ± 163.7
	予備飼育 飼料摂取量 (g/日)	2,058.0 ± 102.9	2,058.0 ± 90.3
	予備飼育 飼料要求率	4.51 ± 0.88	3.77 ± 1.42
	本試験 開始体重 (kg)	52.4 ± 3.4	53.3 ± 1.0
	本試験 終了体重 (kg)	57.5 ± 1.2	58.5 ± 2.9
	本試験 期間 (日)	7	7
	本試験 一日当たり増体量 (g/日)	732.1 ± 204.4	750.0 ± 107.1
	本試験 飼料摂取量 (g/日)	2,058.0 ± 102.9	2,058.0 ± 90.3
	本試験 飼料要求率	3.02 ± 0.77	2.81 ± 0.50
試験Ⅱ	予備飼育 期間 (日)	14	14
	予備飼育 一日当たり増体量 (g/日)	607.1 ± 214.4	678.6 ± 155.7
	予備飼育 飼料摂取量 (g/日)	2,058.0 ± 102.9	2,058.0 ± 90.3
	予備飼育 飼料要求率	3.77 ± 1.11	3.29 ± 1.17
	本試験 開始体重 (kg)	57.5 ± 1.2	58.5 ± 2.9
	本試験 終了体重 (kg)	66.8 ± 0.8	65.3 ± 3.5
	本試験 期間 (日)	7	7
	本試験 一日当たり増体量 (g/日)	1,178.6 ± 79.9	1,107.1 ± 234.2
	本試験 飼料摂取量 (g/日)	2,457.0 ± 49.2	2,415.0 ± 120.6
	本試験 飼料要求率	2.10 ± 0.18	2.31 ± 0.61
	本試験 開始体重 (kg)	66.8 ± 0.8	65.3 ± 3.5
	本試験 終了体重 (kg)	72.8 ± 0.7	71.5 ± 4.9
全体 (I + II)	予備飼育 期間 (日)	14	14
	予備飼育 一日当たり増体量 (g/日)	1,019.0 ± 204.3	998.9 ± 258.6
	予備飼育 飼料摂取量 (g/日)	2,454.1 ± 44.8	2,390.5 ± 116.1
	予備飼育 飼料要求率	2.53 ± 0.65	2.57 ± 0.69
	試験期間 (日)	28	28
	試験期間 一日当たり増体量 (g/日)	813.1 ± 293.6	838.7 ± 266.8
	試験期間 飼料摂取量 (g/日)	2,256.1 ± 213.4	2,224.3 ± 196.1
	試験期間 飼料要求率	3.15 ± 1.10	2.93 ± 1.03

考 察

今回供試した低蛋白 (アミノ酸バランス改善) 飼料の単価は、対照区とほぼ同額となったが、単価の高い魚粉などの配合割合を調整すれば、単価低減の可能性はあると考えられた。発育成績では、試験区間に差が認められなかったことから、地域資源である食品残さを活用した肥育前期用配合飼料の低蛋白化は可能であることが明らかとなった。1日1頭当たりの糞中窒素排せつ量は、全糞採取法およびインデックス法のどちらの手法においても対照区に対して試験区で有意に低い値となったことから、本試験で設計した「環境負荷低減型配合飼料」を給与することで、糞中窒素排せつ量を低減させる効果があることが認められた。また、1日1頭当たりの尿中窒素排せつ量についても、対照区に対して試験区で有意に低い値を示し、今回供試した低蛋白 (アミノ酸バランス改善) 飼料の給与により、糞尿双方において、排せつ窒素量の低減効果があることが明らかとなった。

代謝ケージを用いずに糞尿を完全に回収することは非常に困難であるが、今回の試験で、豚房のスノコ面の下部に独自に考案した糞尿回収装置を設置して全糞尿を採取する方法でも一定水準以上の回収率があったものと推察され、糞尿中窒素排せつ量の評価を行うことは可能であることが示唆された。しかしながら、先の報告 (山本ら 2002、尾上ら 2010、須藤ら 2016) にあるような尿排せつ量の低減効果は今回の試験では認められず、これは、全糞採取法での糞の回収量が完全ではなかったためであると推察された。また、個体間に尿回収量のバラつきが認められたことから、尿排せつ量を正しく評価するためには、糞尿の採取ロスを少なくし、回収率をさらに高める工夫が必要であると考えられた。

表7 1日1頭当たりの糞尿排せつ量および糞尿中窒素排せつ量

項目	方法	対照区	試験区
糞排せつ量 (g/頭/日)		774.0 ± 93.5	737.7 ± 109.1
糞中窒素排せつ量 (g/頭/日)	全糞採取法	10.9 ± 1.5 ^a	9.9 ± 1.4 ^b
	インデックス法	11.5 ± 1.6 ^a	10.4 ± 1.8 ^b
尿排せつ量 (L/頭/日)		1.50 ± 0.87	1.34 ± 0.49
尿中窒素排せつ量 (g/頭/日)	全尿採取法	11.0 ± 6.2 ^a	7.4 ± 3.7 ^b
総窒素排せつ量 (g/頭/日)	全糞採取法	22.0 ± 6.6 ^a	17.3 ± 4.5 ^b

※ 異符号間に有意差あり ($P < 0.05$)

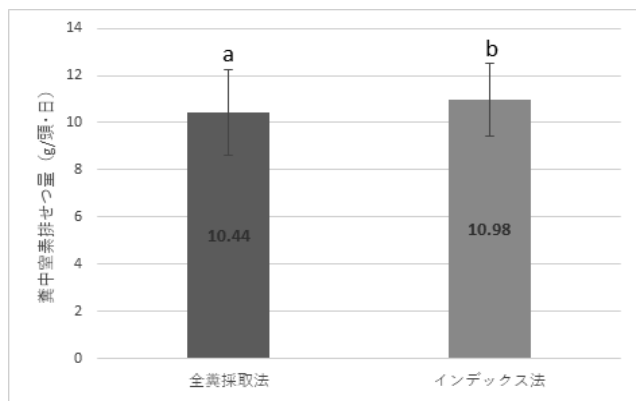


図3 手法別の糞中窒素排せつ量

※ 異符号間に有意差あり ($P < 0.05$)

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、供試材料の調整や調達に御協力いただいた農事組合法人綾豚会理事江島鉄郎氏、試験分析方法等について親切なる御助言や御指導をいただいた農研機構畜産研究部門家畜代謝栄養研究領域豚代謝栄養ユニット主任研究員大森英之氏に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 山本朱美, 高橋栄二, 古川智子, 伊藤稔, 石川雄治, 山内克彦, 山田未知, 古屋修. 2002. 肉豚へのアミノ酸添加低タンパク質飼料の給与による尿量, 窒素排せつ量およびアンモニア発生量の低減効果. 日本養豚学会誌 39 巻, 1-7.
- 尾上武, 立花文夫, 鮫ヶ井靖雄, 小山太, 手島信貴, 山口昇一郎, 浅田研一. 2010. アミノ酸添加低タンパク質飼料の肥育豚への給与が季節別の尿量および窒素排せつ量に与える低減効果. 日本養豚学会誌 47 巻, 1-7.
- 須藤立, 長田隆, 荻野暁史, 羽成勤. 2016. アミノ酸添加低タンパク質飼料を給与した肥育豚尿の汚水処理過程から発生する環境負荷ガスの排出量低減効果. 日本畜産学会報 87 (4), 373-380.
- Ohmori H, Nonaka I, Ohtani F, Tajima K, Kawashima T, Kaji Y, Terada F. 2013. An improved dry ash procedure for the detection of titanium dioxide in cattle feces. *Animal Science Journal*, 84:726-731
- 中央畜産会. 日本標準飼料成分表(2009年版). 3章 3.2