

大規模酪農家向け搾乳関連排水処理施設管理技術の確立

加藤大幾、福島正人¹⁾、前田綾子²⁾、黒澤良介³⁾、木下強

1) 現 畜産振興課、2) 現 那須農業振興事務所、3) 現 県南家畜保健衛生所

要 約

- (1) 酪農家 11 戸において搾乳関連排水の総排水量を調査したところ、搾乳関連排水の総排水量は『搾乳頭数×40+1,500』により算出することが可能であった。
- (2) 待機場の床洗浄水や廃棄乳を含む搾乳関連排水は含まないものと比べて BOD の値が高くなることが明らかになった。
- (3) 搾乳関連排水処理施設の曝気槽において酸化還元電位 (ORP) は曝気不足、廃棄乳の混入、次亜塩素酸ソーダの混入、曝気装置の故障などを把握できる指標となり得ることが明らかとなった。
- (4) 搾乳関連排水処理施設の曝気槽は曝気時間の ORP が 100mV 以上になるように運転することで適正な処理が行われることが確認された。

目的

近年、県内酪農家の飼養戸数は減少傾向にあるものの、1 戸当たりの飼養頭数は増加傾向にあり、更に酪農経営の大規模化が進んでいる¹⁾。大規模酪農経営の増加に伴い、作業の効率化や省力化のためにフリーストール・ミルクパーラーを導入する農家が増えている。

ミルクパーラーから排出される汚水 (以下、搾乳関連排水) は、バルククーラーやパイプラインなどの洗浄水、ストール床の洗浄水であり、そのまま放流すると BOD や SS 等が水質汚濁防止法に違反する濃度であることから²⁾、処理施設が導入されている。本県では活性汚泥法の搾乳関連排水処理施設が多く見られるが、施設設計や管理上の問題によって、適正な処理が行われていない例が見受けられる。

排水処理施設は、原汚水の「排水量」と BOD や SS などの「排水濃度」を基に設計される。搾乳関連排水の「排水濃度」については、岡山県、茨城県などで報告があり³⁾⁴⁾、「排水量」については大分県などで報告がある⁵⁾。しかし、本県においては、これまで調査がなされていない。

また、畜産における汚水処理施設の管理については、養豚排水処理施設では管理指標が確立されているが、搾乳関連排水処理施設ではそれが、確立されておらず、現地調査の結果から、養豚処理施設の管理指標とは異なった管理指標が必要なことが示唆された。乳牛舎からの汚水 (尿、搾乳関連排水などを含む) を処理する曝気槽の管理については、ORP による曝気量の調整で一定の効果が確認されている⁶⁾。

以上のことから、県内の搾乳関連排水処理施設における排水量および排水の性状を調査し、処理施設設計に必要な指標 (原単位) の設定を検討するとともに、データ記

録機能等がある水質 (pH 及び ORP) 測定機器を活用し、酪農家自身が容易に管理可能な方法を検討した。

試験 1 搾乳関連排水処理施設における排水量と性状の現地調査

材料及び方法

4 年間で 11 戸の県内酪農家の処理施設について、以下の項目について調査を行った。また、搾乳時に発生する様々な原汚水の量及び水質を把握するため、当センターの処理施設にて詳細な調査を実施した。

1. 処理施設の現地調査

- (1) 施設概要 (処理方式及び規模など)
- (2) 搾乳頭数及び搾乳作業状況
- (3) 1 日当たりの平均排水量及び 1 頭当たりの排水量
- (4) 排水及び処理水の水質分析 (BOD、COD、SS、pH、大腸菌群数)
- (5) 処理施設における曝気槽の状態 (MLSS、MLVSS、SV30、DO)

2. センターにおける排水量及び水質調査

搾乳時排水、バルク・パイプライン洗浄水、待機場洗浄水、搾乳室洗浄水の排水量及び水質分析について調査した。

なお、水質分析は下水道試験法に準じて行った。

結果及び考察

1. 処理施設の現地調査

平均搾乳頭数は約 120 頭であり、施設はパラレルダブルがほとんどであった。また、ストール数は 8～28 列と

様々であった(表1)。

表1 調査農家の施設概要

農家	搾乳頭数 (頭/日)	搾乳施設 種類(ストール数)	バルク 容量(L)	洗浄床面積(m ²) (うち待機場)
A	32	ヘリンボーンS (8)	2,600	0 (0)
B	46	パラレルW (16)	3,000	100 (0)
C	52	パラレルW (16)	8,000	41 (0)
D	80	パラレルW (8)	5,200	99 (0)
E	109	パラレルW (16)	5,200	97 (0)
F	120	パラレルS (10)	4,200	96 (62)
G	127	パラレルW (20)	6,000	116 (0)
H	140	パラレルW (20)	6,200	110 (0)
I	170	パラレルW (20)	6,000	83 (0)
J	195	パラレルW (28)	6,000	310 (163)
K	250	パラレルW (24)	8,400	143 (0)
平均値	120	(17)	5,527	109 (-)
±S.D.	67	(6)	1,801	77 (-)

11 戸の平均総排水量は 6,972L/日であった。また、搾乳

牛 1 頭あたりの排水量は 22~130L/日・頭であり、平均は 64L/日・頭であった。吉田・阿倍の報告では 33.3~115L/日・頭であり、同等の結果が得られた⁶⁾。洗浄床面積あたりの平均排水量は 77L/日/m²であった(表2)。

調査排水の BOD 濃度の平均は 1,129mg/L、COD 濃度の平均は 1,074mg/L、SS 濃度の平均は 1,400mg/L であり、井上らの報告と同様の値であった⁴⁾(表2)。BOD 濃度は処理対象の排水の内訳により様々であり、床の洗浄水が含まれていない農家Aでは 373mg/L であったが、待機場の洗浄水を含む農家Fと農家Jでは 2,000mg/L を超過していた(表2)。待機場を水洗する農家の排出汚水 BOD 濃度が高くなるという井上らの報告と同様の結果が得られた⁴⁾。

表2 処理施設からの排水量及び水質

農家	総排水量 (L/日)	排水の内訳			1頭あたり の排水量 (L/日/頭)	洗浄床面積 あたりの排水量 (L/日/m ²)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)
		バルク洗浄水 (L/日)	パイプライン洗浄水 (L/日)	その他※ (L/日)					
A	2,022	160 (7.9%)	960 (47.5%)	902 (44.6%)	63	-	373	210	219
B	1,884	220 (1.2%)	1,200 (63.7%)	464 (24.6%)	41	19	544	1,001	1,793
C	5,375	320 (6.0%)	960 (17.9%)	4,095 (76.2%)	103	131	1,818	1,337	2,175
D	10,400	420 (4.0%)	1,000 (9.6%)	8,980 (86.3%)	130	105	397	427	431
E	3,907	300 (7.7%)	1,800 (46.1%)	1,807 (46.2%)	36	40	736	708	1,140
F	7,240	500 (6.9%)	800 (11.0%)	5,940 (82.0%)	60	76	2,055	1,427	1,262
G	5,940	200 (3.4%)	800 (13.5%)	4,940 (83.2%)	47	51	951	713	1,293
H	8,500	420 (4.9%)	1,000 (11.8%)	7,080 (83.3%)	61	77	1,420	1,722	1,587
I	17,000	350 (2.1%)	1,771 (10.4%)	14,879 (87.5%)	100	206	335	128	153
J	8,856	294 (3.3%)	1,600 (18.1%)	6,962 (78.6%)	45	29	2,067	1,419	1,788
K	5,570	300 (5.4%)	2,400 (43.1%)	2,870 (51.5%)	22	39	1,718	2,726	3,562
平均値	6,972	317 (5.7%)	1,299 (26.6%)	5,356 (67.7%)	64	81	1,129	1,074	1,400
±S.D.	4,285	102	519	4,172	33	57	701	761	980

※その他としては、パーラー及び待機場洗浄水、パステライザー冷却水、プレートクーラー冷却水

排水の内訳は、バルク及びパイプライン洗浄水、パーラー及び待機場洗浄水がほとんどであったが、その他にパステライザー冷却水、プレートクーラー冷却水が入る事例が確認できた。

排水の内訳がバルク及びパイプライン洗浄水、施設及び待機場洗浄水のみの場合で、搾乳頭数と総排水量に高い相関(R=0.82)が見られた。また、この条件での総排水量は『搾乳頭数×40+1,500』により算出する事が可能であった(図1)。

2. センターにおける排水量及び水質調査

センターでは頻繁な除糞とその度ごとの高圧洗浄機による洗浄のため、排水の多くはバルク・パイプライン洗浄水であり、全体の約7割を占めていた。一回あたりの搾乳での糞の排泄状況は、パーラーと待機場での差はな

く、全体の約13%であった。排水の BOD 濃度は搾乳雑排水で 1,169mg/L であり、それ以外では 2,000mg/L を超過していた(表3)。

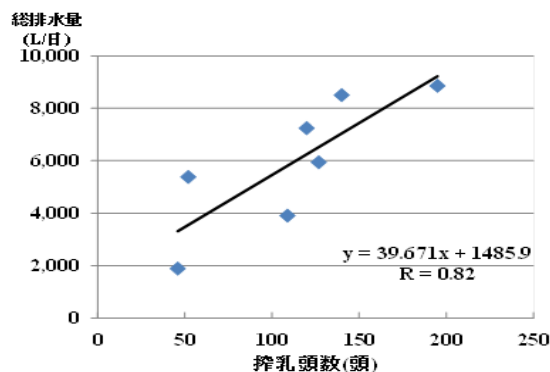


図1 総排水量と搾乳頭数の関係

表3 搾乳時に発生する汚水及び排泄物の量及び性状について

	排水量 (L/日)	水質			施設での排糞状況	
		BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	総量 (kg/回)	頭数(頭) (頭/回)
バルク・パイプライン洗浄水	1,528 (68%)	2,574	850	850	-	-
搾乳雑排水	256 (11%)	1,169	1,242	1,242	-	-
パーラー	268 (12%)	2,036	2,026	2,026	11	4 (12%)
待機場	190 (8%)	2,453	2,609	2,609	11	5 (13%)

調査は5月、8月、及び11月の計3回実施

試験2 廃棄乳及び次亜塩素酸ソーダの誤混入並びに曝気装置停止が排水処理に及ぼす影響

材料及び方法

1. 試験装置

現地実証農家で採取した活性汚泥を10Lの水槽に8L充填したものを曝気槽とした。回分式活性汚泥法の運転は曝気工程を19時間、沈殿工程を5時間とした。また、沈殿開始4時間後、処理水を1.4L/日引き抜き、その後、汚水を1.4L/日投入した。投入する汚水には、当センターで発生した搾乳関連排水を用いた。酸素供給量を3.2g/日、BOD容積負荷を0.18~0.27kg/m³/日とした。試験は、平成28年1月14日~2月5日、平成28年2月8日~3月9日、平成28年8月~9月1日に実施した。試験期間のうち1月28日に廃棄乳を原水に450ml混合し、曝気槽に投入した。また、2月16日~2月23日に曝気装置を停止した。更に、8月24日には次亜塩素酸ソーダ7mLを原水に混合し、曝気槽に投入した。

2. 水質分析

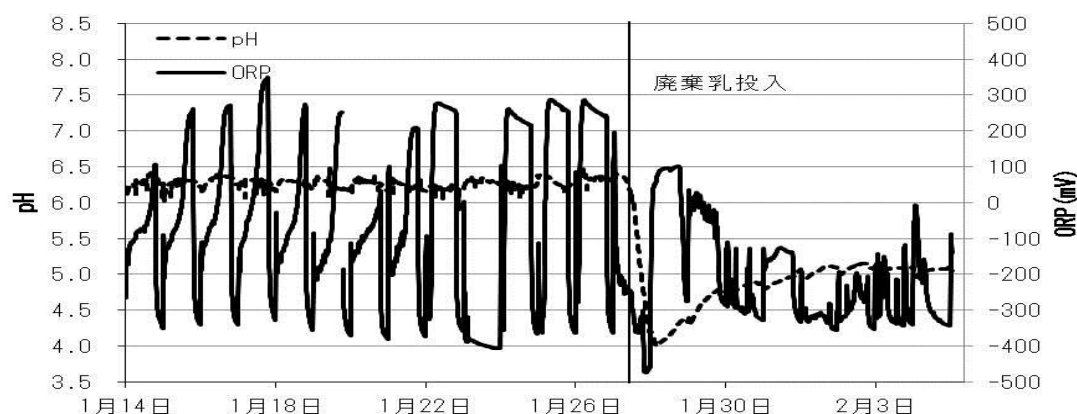
pH、ORPの測定機器とデータロガーを曝気装置に設置し、30分ごとのpHとORPの値を測定した。また、投入した原水、採取した処理水について、SS、BOD、pHを測定・分析した。測定・分析は下水道法に準じて行った。

結果及び考察

廃棄乳の投入によりpHおよびORPが低下し、その後低い値で推移した(図2)。また、廃棄乳投入後の処理水におけるSS、BOD、pHはいずれも排水基準値を満たさない値となった(表4)。廃棄乳はBODが非常に高く、今回用いた廃棄乳を投入した原水もBODが23,300mg/Lと非常に高い値であった。また、原水のSSも20,766mg/Lと非常に高い値であり、活性汚泥中の微生物がBODとSSを除去しきれなかったために今回の処理水質悪化につながったといえる。また、高BODの原水が投入されたことにより、曝気槽の中が嫌氣的な状態となったためにORPの低下が確認されたと考えられる。

図2 曝気槽における廃棄乳投入によるpHとORPの変化

表4 廃棄乳投入前後の小規模試験における処理水の水質



調査日	廃棄乳投入	SS (mg/L)	SS 除去率(%)	BOD (mg/L)	BOD 除去率(%)	pH
1月18日	9日前	9	99.1	28	97.3	6.8
1月27日	1.5時間前	51	93.5	14	98.9	7.5
1月28日	1日後	1,389	93.3	3,400	85.4	4.6
2月1日	5日後	704	32.0	21,100	ND	5.5

曝気槽への次亜塩素酸ソーダの投入により ORP が上昇し(図3)、次亜塩素酸ソーダ投入後の処理水におけるSS、BODは、いずれも排水基準値を満たさない値となった(表5)。これは、次亜塩素酸ソーダが酸化剤であるため、投

入後に ORP の上昇が確認されたと考えられる。また、次亜塩素酸ソーダの殺菌作用により活性汚泥中の微生物が減少し、その結果BODとSSの除去率が低下したものと考えられる。

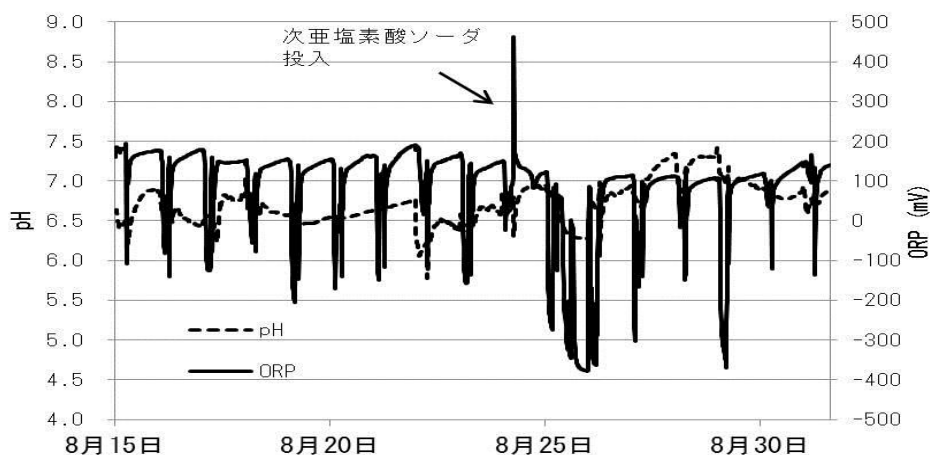


図3 曝気槽における次亜塩素酸ソーダ投入による pH と ORP の変化

表5 次亜塩素酸ソーダ投入による処理水水質への影響

調査日	次亜塩素酸ソーダ投入	SS (mg/L)	SS 除去率(%)	BOD (mg/L)	BOD 除去率(%)	pH
8月24日	1.5時間前	20	98.5	51	98.1	7.2
8月25日	1日後	397	69.8	220	ND	7.2
8月26日	2日後	113	91.4	134	95.0	7.3

曝気停止期間において ORP が-300mV 未満で推移し(図4)、曝気停止期間中及び曝気再開後 ORP が 100mV 未満で推移していた期間において、処理水の SS、BOD がいずれも排水基準値を満たさない値となった(表6)。曝気を停止し続けることにより、曝気槽が嫌気状態になったため

に ORP が-300mV 未満で推移したと考えられる。好気性微生物の活性が最大になる ORP は 100mV である言われている⁷⁾。そのため、ORP が 100mV 未満で推移していた期間は好気性微生物の活性が十分であるといえず、BOD と SS が十分に除去されなかったと考えられる。

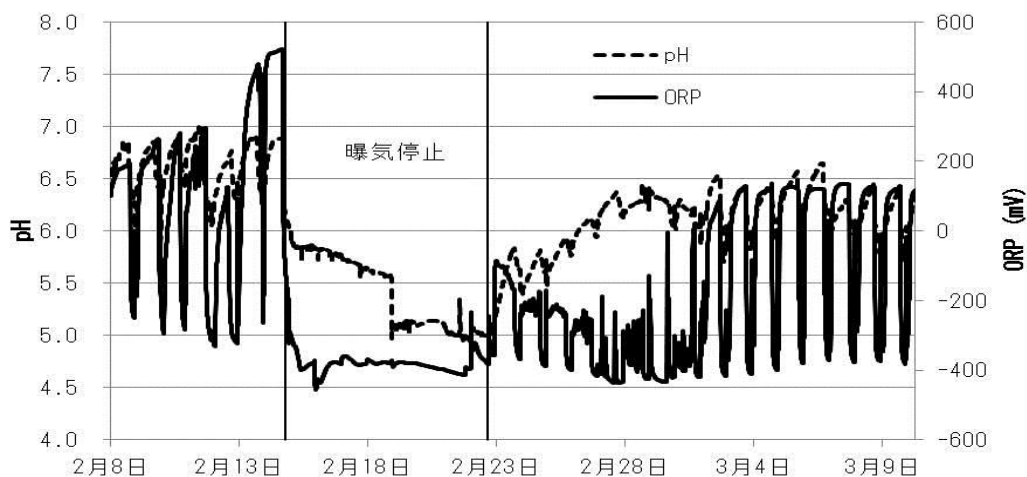


図4 曝気停止期間とその前後における pH と ORP の推移

表6 曝気停止期間とその前後における処理水の水質

調査日	曝気停止	SS (mg/L)	SS 除去率(%)	BOD (mg/L)	BOD 除去率(%)	pH
2月15日	1時間前	12	99.1	15	98.3	7.0
2月17日	2日目	15	98.7	187	89.7	6.8
2月23日	8日目	276	76.4	510	71.8	6.3
3月1日	再開7日後	312	69.9	190	86.1	7.1
3月8日	再開14日後	52	92.8	87	93.5	7.2

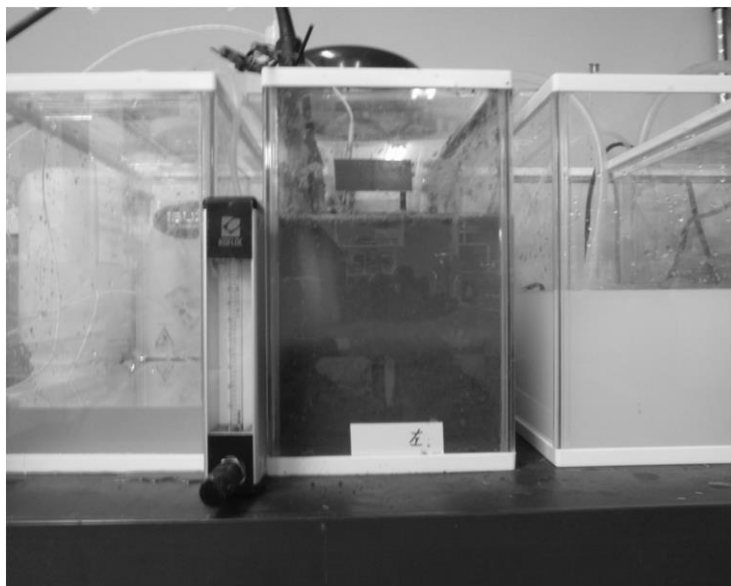


図5 試験2において用いた曝気装置

試験3 現地農場でのpH、ORP 測定機器の運用性の検討

結果及び考察

材料及び方法

1. 調査対象

栃木県内の酪農家に整備されている搾乳関連排水処理施設3戸（X農家、Y農家、Z農家）について、調査を行った。

2. 調査方法

(1) 曝気槽におけるpH、ORPの測定

施設の曝気槽にpH、ORPの測定機器とデータロガーを設置し、30分ごとのpHとORP値を測定した。

(2) 水質分析

原水のSS、BOD、COD、大腸菌群数、pH、硝酸性窒素等、処理水のSS、BOD、COD、大腸菌群数、pH、硝酸性窒素等、透視度、曝気水のSV30、MLSS、MLVSS、DOについて、下水道法に準じて水質分析を行った。

1. X農家の調査結果

調査期間中、搾乳関連排水処理施設からの処理水の水質は良好であった（表7）。X農家では、曝気槽の活性汚泥を年に2回抜き、汚泥抜き後1週間、曝気装置を停止し、通常の運転に戻すといった運用が行われていた。この汚泥抜きが調査期間中にも行われており、曝気槽のpHは調査期間中、6.4~7.7の間で推移していた。汚泥抜き後1週間の曝気停止期間において、ORPが-400mV付近で推移し続けることが確認された。また、曝気槽におけるORPの値は、汚泥抜き前より後の方が高い値で推移することが確認された（図5）。更に、汚泥抜き後には処理水の透視度の上昇、SV30、MLSSの低下が確認された（表7）。曝気停止期間のORPの値は、ベンチスケール試験と同様の結果が確認され、汚泥抜き前のMLSSは、10,749mg/Lと回分式活性汚泥法の施設では非常に高い値であり、微生物の量が多く、ORPの値からも、槽内が嫌気的な状態になっていたといえる。汚泥抜きによりMLSSが減少、つまり、活性汚泥の量が減少したことによって、活性汚泥中の微生物数が適正になり、槽内が好気的な状態に変化したことでORPが高い値で推移するようになったと考えられる。

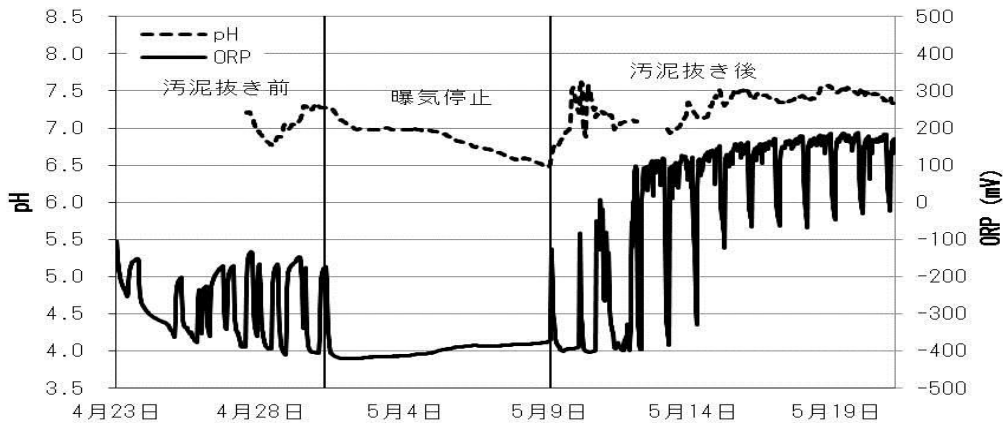


図6 X農家の曝気槽におけるpHとORPの推移

表7 X農家における汚泥抜き前後の水質の変化

調査日	汚泥抜き	排水				処理水				曝気水			
		SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	pH	SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	pH	透視度	大腸菌群数 (個/cm ³)	MLSS (mg/L)	SV30 (%)
4月28日	前	1,164	641	1,309	6.6	2	72	11	8.2	6	1,240	10,749	96
6月2日	後	1,357	822	1,259	6.8	18	64	9	8.1	22	930	2,984	23

2. Y農家の調査結果

Y農家では曝気槽のORPのモニタリング結果とDO、SV30などから曝気量の不足が明らかとなったため、曝気時間

を変更した。変更前は8時間曝気、4時間停止を1日に2回繰り返す工程であったが、変更後は20時間曝気、4時間停止とした。

調査期間中、曝気槽の pH は 6.3~7.7 の間で推移していた。また ORP は -500~200mV の間で推移しており、曝気時間を 4 時間延長したところ、曝気時間中 ORP の最大値が 100mV 以上で推移するようになった (図 6)。また、処理水の SS、BOD、COD と大腸菌群数の値が減少し、透視度

の向上が確認され、処理水の水質が改善された (表 8)。これらの結果は、曝気時間を延長したことによって、活性汚泥中の好気性微生物の活性が上昇したために、ORP の上昇が確認され、水質の汚濁物質が、より除去されるようになったと考えられる。

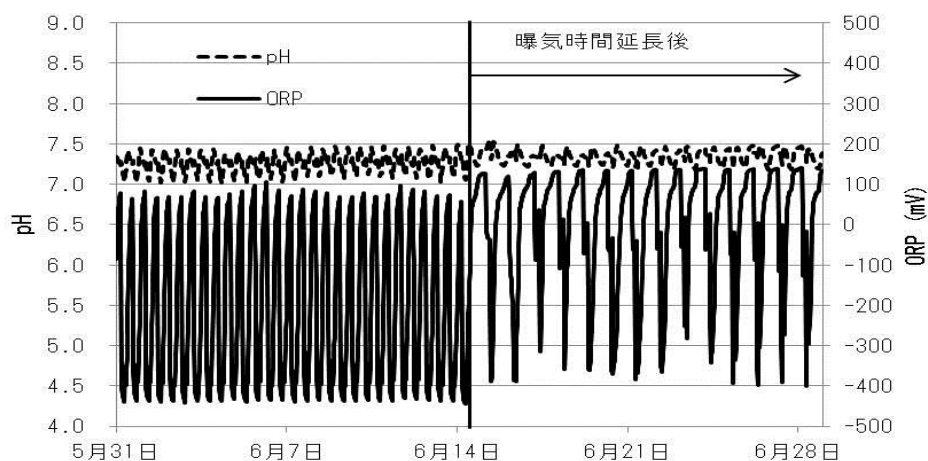


図 7 Y 農家の曝気槽における pH と ORP の推移

表 8 Y 農家における曝気時間延長前後の水質の変化

	曝気時間	SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	pH	大腸菌群数 (個/cm ³)	硝酸性窒素等 (mg/L)	透視度
原水	延長前	761	791	1,640	8.5	176,666	28	
	延長後	1,027	689	1,730	6.5	13,900,000	24	
処理水	延長前	35	116	122	7.6	6,333	4	6
	延長後	4	64	12	7.5	250	7	30

3. Z 農家の調査結果

調査期間中、曝気槽の pH は 7.2~7.7 の間で推移しており、ORP は曝気を実施している時間に 100mV 以上で推移し (図 7)、調査期間中、処理水の水質は適正な値を示していた (表 9)。Z 農家では曝気槽の容積が非常に大きいため、BOD 容積負荷が低くなるとともに滞留時間を長く確保することが出来たことが、これらの結果につながったと考えられる。

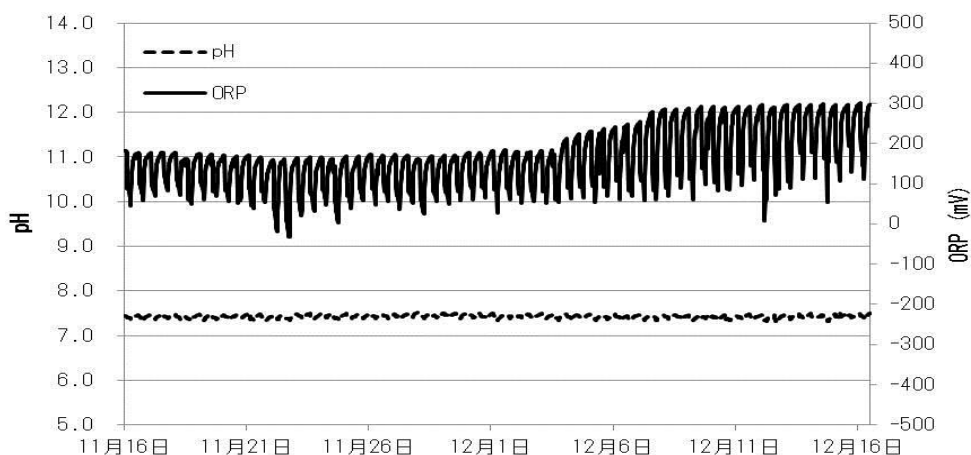


図8 Z農家の曝気槽におけるpHとORPの推移

表9 Z農家の原水と処理水の水質

	SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	pH	大腸菌群数 (個/cm ³)	硝酸性窒素等 (mg/L)
原水	4,401	1,928	796	7.8	8,677	13
処理水	13	61	3	7.7	235	3

3戸の農家での調査の結果、曝気時間中 ORP が 100mV 以上で推移している曝気槽においては、清澄な処理水が得られていた。また、ORP が 100mV 以上で推移するように運転方法を変更することで、処理水の水質改善が確認された。酸素が十分に供給されている活性汚泥法の曝気槽は 100~500mV の値を示すといわれており、ORP が 100mV

以上となるように曝気槽を管理することで、適正な運転を行うことが可能であると考えられた。

今回の調査期間は3~4か月/戸であり、調査後半では ORP の測定値の誤差が大きくなってきたことから、3か月に一度、センサーを洗浄・校正する必要があると考えられた。

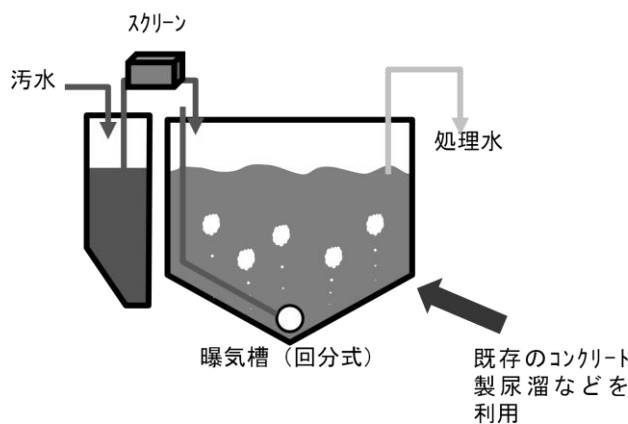


図9 X農家及びZ農家の搾乳関連排水処理施設のフロー図

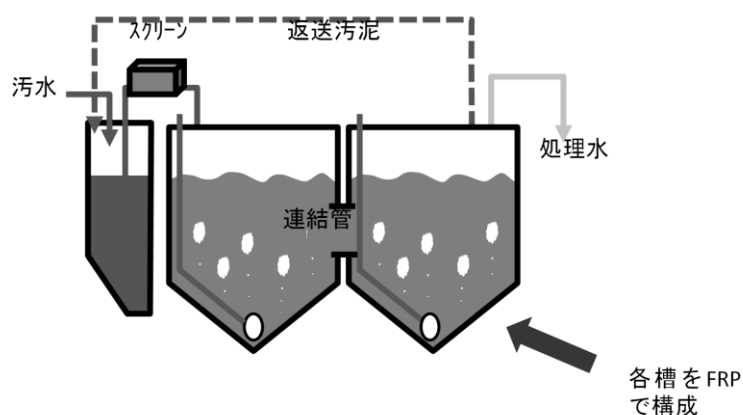


図10 Y農家の搾乳関連排水処理施設のフロー図

参考文献

- 1) とちぎの畜産 2016 栃木県(2016)
- 2) 本田勝男・倉田直亮・矢島潤 ミルキングパーラー排出汚水の処理に関する試験 神奈川県畜産研究所研究報告 86:37-40(1996)
- 3) 田原鈴子・白石 誠・光井 武・古川陽一・川尻鉄也 ミルキングパーラーにおける排出汚水処理技術の検討 岡山県総合畜産センター研究報告 8:49-56(1997)
- 4) 井上雅美・宇田三男・浅野博之・大垣 茂 新搾乳システムにおけるふん尿及び汚水処理に関する調査研究 茨城県畜産試験場研究報告第 26 号:21~28(1998)
- 5) 吉田 周司・阿部 正八郎 ミルキングパーラー排水の簡易浄化処理施設(第2報) 大分県畜産試験場試験成績報告書 35:39-42(2006)
- 6) 福尾憲久・高田 修・久米 治 高分子凝集剤を用いた酪農汚水浄化処理 兵庫県農業技術センター [畜産編] 34:54-58(1998)
- 7) W. N. Grue, J. H. Lofer:Water&Sewage Works, 105, 37(1958)