

スクリー型接触材による搾乳関連排水処理

鈴木良地*・岡田康孝**・宮川 浩**・増田達明***・山田尚美***・
市川あゆみ***・榊原幹男***

摘要：維持管理が容易な搾乳関連排水の浄化処理装置を開発した。本装置はスクリー型の接触材を特徴としている。この接触材を回転円板法と同様に汚水に半分程度浸してモーターで回転させることで、ブローアでばっ気することなく、微生物を高密度で付着させ、長期間浄化機能を維持することができた。接触材上で過剰に増殖した微生物は自然に剥離し、スクリーのブレードに沿って搬送された。従って、接触材が微生物により閉塞することはなく、スクリーンの清掃と余剰汚泥の除去以外の維持管理は不要であった。約1年間の浄化試験では、BOD、COD_{Mn}、浮遊物質(SS)の除去率がそれぞれ90%、80%、77%であった。また、廃棄乳混入率1.9%までの搾乳関連排水のBOD、COD_{Mn}、SS及び窒素について、冬期の低水温時の一時期を除き、排水基準値以下まで浄化処理できた。

キーワード：搾乳関連排水、スクリー型接触材、回転円板法、廃棄乳

Purification of Wastewater from the Milking Parlor with Screw Contactor

SUZUKI Ryoji, OKADA Yasutaka, MIYAGAWA Hiroshi, MASUDA Tatsuaki,
YAMADA Naomi, ICHIKAWA Ayumi and SAKAKIBARA Mikio

Abstract: We developed the easy maintenance unit for purification of milking parlor wastewater. This unit is characterized by screw-shaped contactor. Motor-driven screw contactor was soaked transversely in wastewater by half and was rotated like the rotating disk contactor process. Biofilm densely adhered the surface of contactor and purification capacity was kept on long term without aeration. Over proliferate biofilm on contactor fell away by itself and moved along the blade of screw smoothly. No machinery obstruction had occurred and little maintenance was needed except cleaning of screen and removal of excess sludge. It was confirmed that rejection ratio of BOD, COD_{Mn}, and SS was 90%, 80%, and 77%, respectively. Wastewater which include up to 1.9% of waste milk could be treated to meet the guidelines described in Japanese water pollution control law except for a period of winter season.

Key Words: Milking parlor wastewater, Screw contactor, Rotating disk contactor process,
Waste milk

緒言

搾乳時に発生する洗浄水を主体とした汚水、いわゆる搾乳関連排水は、混入する牛乳の割合によって汚濁物濃度が高くなり、環境負荷量が増大する。搾乳関連排水に混入する牛乳は、前しぼりやバルククーラー等の搾乳器具類に残留している、いわゆる残乳と、初乳や乳房炎による治療などで出荷されない廃棄乳の2つに分けられる。後者は搾乳作業により意識的に排水から分離することが可能であるが、前者については、設備の改造を伴うことが多く、現状では排水中への混入を防ぐことは困難である。

これまでの搾乳関連排水の浄化処理に関する研究事例では、資材に中古のFRPサイロや酒樽を活用した活性汚泥法^{1,2)}、人工湿地による浄化方法³⁾など低コスト化に主眼を置いたものが多い。その理由として、ほとんどの事業体で、排出される搾乳関連排水量が少なく、浄化槽の整備を推進するためには、設置コストの低減が必要だからである。しかし、処理対象に残乳や廃棄乳を除外しており³⁾、牛乳の混入が不可避な現在の搾乳形態の実情に即応できる技術は少ないと考えられる。

残乳及び廃棄乳を処理できて、かつ維持管理が容易な浄化法として生物膜処理法に着目した。生物膜処理法は、接触材に微生物(汚泥)を付着増殖させて浄化処理を行うため、活性汚泥法で必要な活性汚泥浮遊物(MLSS)の管理が不要である。さらに微生物が高密度に集積しているため、装置のコンパクト化が可能であり、汚水濃度や水温等の変動にも強いという利点がある。一方で、高濃度の汚水には適さず、また過剰に付着した微生物により接触材間が閉塞し、著しく処理能力が低下する危険性もある⁴⁾。そこで、微生物による閉塞が生じ難い接触材を考案し、この接触材を用いた実験機を作成した⁵⁾。本報では、実験機による浄化試験を行い、その有用性を明らかにしたので報告する。

材料及び方法

1 考案した接触材の概要

浄化方法として、生物膜処理法の一法である回転円板法⁶⁾の原理を応用することとした。回転円板法における接触材は円板であるが、今回考案した接触材は、剥離した微生物が堆積せず、接触材が閉塞しないことを期待して、スクリー型とした。

直径15cmの市販のプラスチック製スクリーを用い、さらに表面積を増やすため、加工性及び作業性を考慮して、厚さ3mm、高さ30mmのゴム板をブレードに接着した(図1)。接着部位はスクリーの円周に平行とし、20mm間隔で2枚接着した。

2 実験機及び稼働の概要

図2の処理フローに示す実験機を作成した。実験機は汚水を1日当たり150L処理できるように設計した。こ



図1 スクリュー型接触材の写真
(ゴム板接着前(左) 接着後(右))

れは搾乳牛頭数に換算して約5頭分の汚水量に相当する。なお、実験機は当场パーラーに隣接して設置し、図3のタイムスケジュールで回分運転で稼働させた。

(1) 原水槽

容積150Lのプラスチックコンテナを原水槽とした。汚水管の途中にあるマンホール内の配管を加工し、1日分の搾乳関連排水をマンホール内で溜めた。毎朝一定時にポンプで150Lを原水槽に汲み上げた。原水槽では水中ポンプで攪拌しながら、別の水中ポンプで、スクリーンへ送液した。

(2) スクリーン(図4)

網目の異なるステンレスメッシュカゴを3段重ねた構造とした。最上段に2mm、中段に1mm、最下段に0.5mmの網目のカゴを設置し、上部から順番に汚水を通水させることで、目詰まりを回避するとともにSSを可能な限り除去した。

(3) 接触酸化槽(図5)

容積68Lのステンレス製水槽を3段重ね、それぞれに長さ2mのスクリー型接触材を2本ずつ設置した。接触材は汚水に半分程度浸した状態で、モーターで5rpmで回転させた。

(4) 沈殿槽

沈殿槽は接触酸化槽の下部に配置した。容積400Lのプラスチック水槽で、水中ポンプで攪拌しながら、別の送液ポンプで接触酸化槽と汚水を循環させた。循環ポンプ停止時に汚泥を沈殿させ、上澄みを処理水として放流した。

3 浄化試験

2009年3月から2010年3月まで、連続運転による試験を行った。原水は残乳または廃棄乳を含んだ当場の搾乳関連排水をそのまま無希釈で用いた。

試験に先立ち、予め当场養豚浄化槽の沈殿汚泥をスターターとして加え、MLSSを3000mg/Lに調整した後、3ヶ月間馴養した。

馴養後は、1ヶ月あたり2回から7回にわたり原水と処理水を採水し、合計44回の分析を行った。原水は原水槽から、処理水は沈殿槽の放流口から採水した。なお、分析に供した原水は、実験機の汚水滞留時間が4日間であることを考慮し、処理水採水前4日間分の原水を等量混合したものを用いた。原水、処理水ともに、生物化学的酸素要求量(BOD)、化学的酸素要求量(COD_{mn})、SS、全窒素(T-N)、アンモニア態窒素(NH₄-N)、

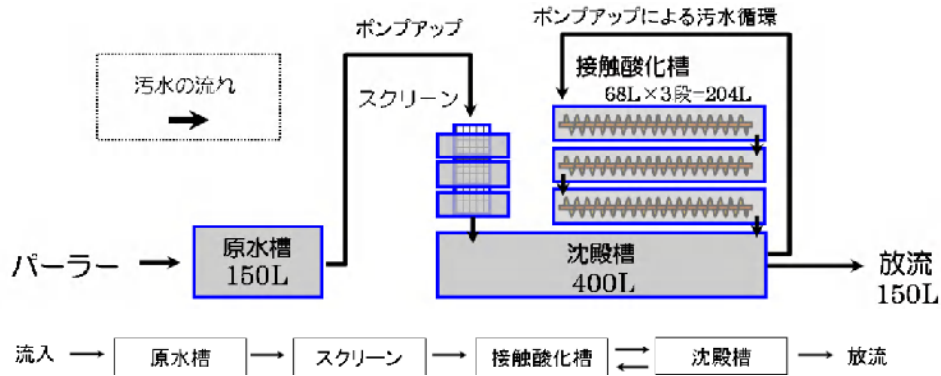


図2 実験機の処理フロー

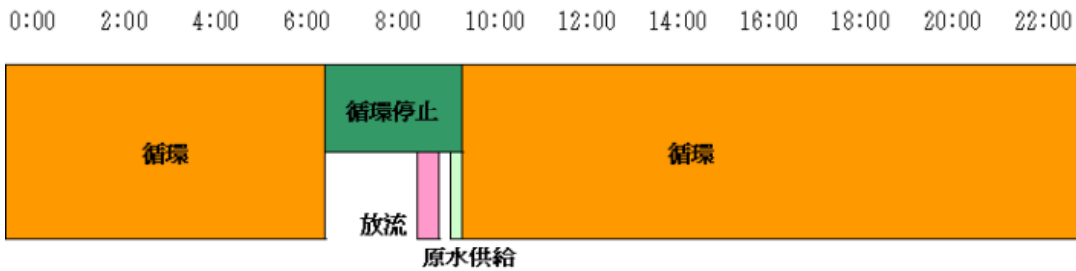


図3 実験機の稼働タイムスケジュール



図4 3段スクリーン（上段から網目2mm、1.5mm、0.5mm）



図5 接触酸化槽

硝酸態窒素（NO₃-N）、亜硝酸態窒素（NO₂-N）を測定した。BODの測定にはウインクラーアジ化ナトリウム変法⁷⁾、COD_{mn}は100 過マンガン酸カリウム法⁷⁾、SSはガラス繊維ろ紙法⁷⁾、T-Nは紫外線吸光度法⁷⁾、NH₄-Nはインドフェノール青吸光度法⁷⁾、NO₃-Nはブルシン法⁷⁾、NO₂-Nはスルファニルアミド-ナフチルエチレンジアミン吸光度法⁷⁾を用いた。

試験期間中は余剰汚泥の引き抜きを2回行い、スクリーンの残渣の除去を1週間に1回程度行った。これら以外は特にメンテナンスは行わなかった。なお、試験期間中に接触材の閉塞は確認されなかった。

試験結果

1 原水及び処理水の水質

(1) BOD、COD_{mn}、SS

原水及び処理水の水質を表1に示した。原水の平均値は、BODが1012mg/L、COD_{mn}が470mg/L、SSが430mg/Lで

あった。処理水の平均値は、BODが84mg/L、COD_{mn}が83mg/L、SSが70mg/Lであり、除去率の平均はBODが90%、COD_{mn}が80%、SSが77%であった。ただし、分析回数44回のうち、処理水の濃度が水質汚濁防止法の排水基準値（BOD160mg/L、COD_{mn}160mg/L、SS200mg/L）以上となった回数が、BODで4回、COD_{mn}で3回、SSで2回あり、いずれも冬期から春期にかけての低水温時であった（図6）。特に水温10℃以下で除去率の低下が顕著に見られた（図7）。

(2) T-N、NH₄-N、NO₃-N、NO₂-N

原水及び処理水の水質を表1に示した。原水のT-Nの平均値は76mg/Lであり、水質汚濁防止法の排水基準値（120mg/L）よりも低かった。同様にNH₄-N、NO₃-Nもそれぞれ16.7mg/L、2.1mg/Lであり、無機態窒素の一般排水基準値である100mg/Lよりもかなり低かった。処理水ではT-Nは11mg/L、NH₄-Nは5.8mg/L、NO₃-Nは1.0mg/Lといずれも原水より濃度が低かったが、T-Nの除去率が61%であったのに対して、NH₄-N及びNO₃-Nの除去率は46%

表1 原水及び処理水の水質

	(mg/L)						
	BOD	COD _{Mn}	SS	T-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N
原水	1012 (596)	470 (297)	430 (249)	76 (23)	16.7 (2.5)	2.1 (0.8)	0.1 (0.0)
処理水	84 (54)	88 (46)	70 (54)	11 (10)	5.8 (3.4)	1.0 (0.6)	0.1 (0.1)
(排水基準値)	160	160	200	120			
除去率	90%	80%	77%	86%	61%	46%	46%

* 2009. 6.17~2010. 3. 5までの分析値の平均値(標準偏差)
 BOD, COD_{Mn}, SSはn=44、T-N, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-Nはn=3

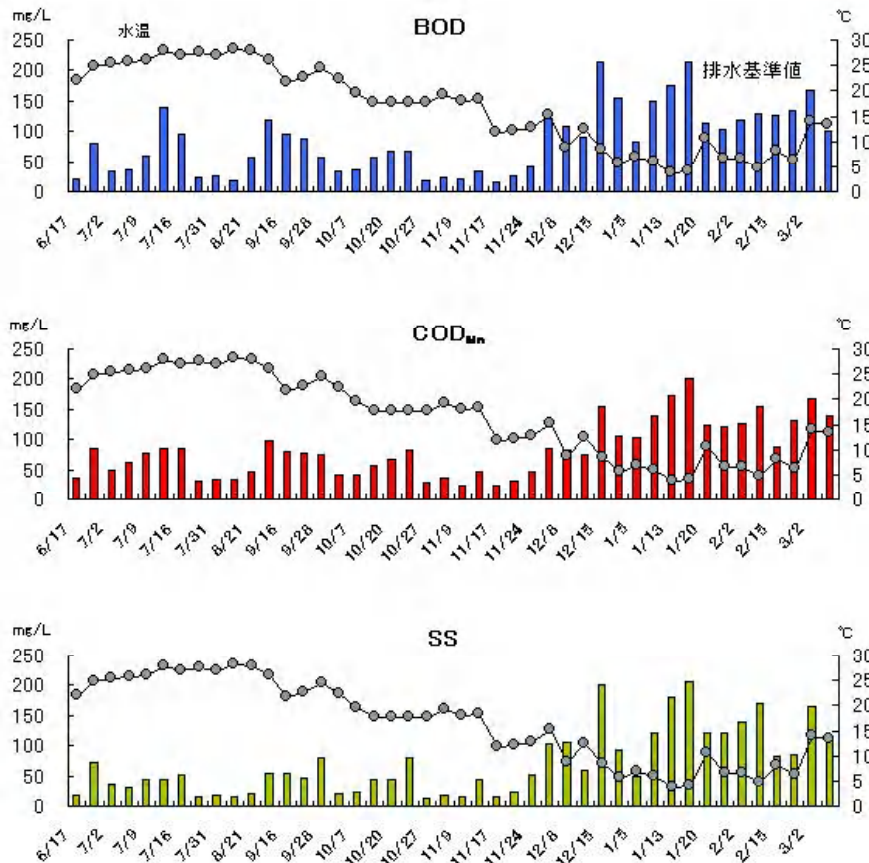


図6 処理水のBOD、COD_{Mn}、SS及び水温の推移
 (横実線は各項目の排水基準値)

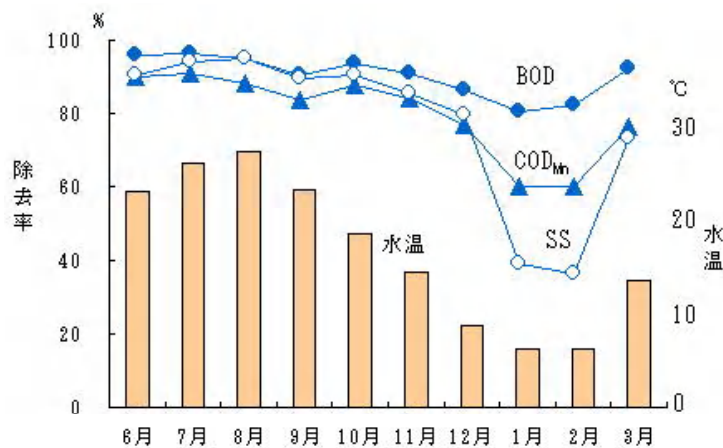


図7 月別のBOD、COD_{Mn}、SSの除去率及び水温の推移

及び48%と低かった。なお、NO₂-Nは原污水、処理水ともにほとんど含まれなかった。

(3) 廃棄乳の混入率

廃棄乳の発生量や洗浄水量は毎日一定ではないため、搾乳関連排水中の廃棄乳の混入率を廃棄乳の発生量から求めることは困難である。従って、本試験では、廃棄乳の混入率を下記式により原污水中のBOD濃度から算出した。その結果、混入率は平均で0.7%、最大で1.9%であった。

廃棄乳の混入率(%) = (原污水BOD - 廃棄乳無発生時の原污水BODの平均値) × 100 ÷ 廃棄乳のBOD*

*) 廃棄乳のBODは当場の実測値から110000mg/Lとした。

考 察

本研究において開発した実験機は、生物膜処理法の一法である回転円板法の原理を応用している。回転円板法は、接触材としての円板を污水に半分程度浸した状態でゆっくりと回転させ、空気と污水に交互に接触させることで、ばっ気することなく円板の表面を好氣的に保持し、微生物を付着増殖させて污水を浄化する方法である⁶⁾。このように生物膜処理法における接触材の役割とは、多量の微生物を閉塞させることなく好氣的に保持することにあるが、対象を畜産排水とした場合、畜産排水には有機物やSSが多量に含まれており、MLSSが増加し、接触材の閉塞が発生しやすい。そこで今回考案したスクリー型接触材は、剥離した微生物塊がスクリーのブレードに沿って押し出されるため、ブレード間が閉塞せず、常に浄化能力を一定に維持できる点で有効な方法であると考えた。実際、馴養期間を含めた約1年間の浄化試験期間中で、接触材の閉塞は発生しなかったことから、スクリー型接触材の有効性が示唆された。

浄化試験では、実験機が長期間安定した浄化機能を有することが明らかとなった。特に搾乳関連排水の最大の汚濁物であるBODを除去率90%と効率良く除去することが示された。また、浄化試験に用いた原水中の廃棄乳の混入率は、平均で0.7%、最大で1.9%であったが、廃棄乳の混入率が最大のときでも処理水は排水基準値以下まで浄化された。このことから、実験機は廃棄乳を含む搾乳関連排水を浄化できることが明らかとなった。廃棄乳の混入率については調査事例がないため、比較検討はできないが、当場は試験機関であり、実験等により発生する廃棄乳量が多い。従って一般的な酪農家の搾乳関連排水と比較して廃棄乳混入率は高いと推測される。

一方、処理可能な廃棄乳量については、浄化槽の処理能力が季節により変動するため、注意が必要である。今回の試験でも、BODの除去率が95%以上あった6月から8月にかけてならば、廃棄乳混入率が2.7%まで処理

可能であるが、除去率が80%まで低下した1月では、廃棄乳混入率が0.5%までしか処理できない。従って、特に低水温時の過剰な廃棄乳の投入は避けるべきである。廃棄乳の処理について、筆者らは、牛乳を酸凝固させて、汚濁物を凝縮して除去し、浄化槽の負荷を低減する手法を開発した⁸⁾。こうした手法を活用してもなお、浄化槽の処理能力を超える場合は、別の処理方法を考慮する必要がある。

低水温時の浄化能力の低下については、活性汚泥法で有機物分解を主に担う微生物の増殖適温が25 ~ 30度であり、低水温時、特に10度を下回ると増殖速度が低下する⁹⁾ことで説明可能である。今回は污水総量150Lという小規模な実験機を用いた試験であるため、外気温の影響を強く受けやすいということを考慮しなければならないが、実用規模まで装置を拡大したときの保温対策は検討する必要がある。

浄化槽の維持管理について、活性汚泥法ではスクリーン残渣の除去、余剰汚泥抜き、汚水量の調整、MLSSの適正管理、污水濃度とMLSSに合わせたばっ気量の調整などの作業がある。特にMLSSとばっ気量の調整には専門的な知識や技術を要し、毎日浄化槽の状態をチェックすることが不可欠であり、こうした作業が農家の負担となってきた。本実験機では、スクリーン残渣を1週間に1回程度除去することと半年に1回の余剰汚泥抜き以外は、メンテナンスは必要なかった。また、活性汚泥法に必要なMLSSとばっ気量の調整作業が不要であるため、日常的な作業量は大きく低減できると考えられる。

以上のとおり、実験機による試験の結果、スクリー型接触材を特徴とした浄化処理装置は、廃棄乳が最大1.9%混入した搾乳関連排水を概ね排水基準値以下まで浄化できることが明らかとなった。さらにこの装置は、接触材の閉塞がなく、維持管理が容易であることも明らかとなった。低水温時の保温対策及び過剰な廃棄乳の投入に注意すれば、現場に利用可能な技術であると考えられる。なお、本法以外にもBODの除去率に優れた方法はあるが、廃棄乳を含む污水を排水基準値以下まで浄化でき、かつ維持管理が容易であるという点で、本法の有効性が示されたと考える。

本試験に用いた接触材の耐久性、実験機の設置コスト及び維持管理コスト等の試算及び削減は今後の課題である。設置コストについては、本実験機の製作が初の試みでもあり、実用レベルまでは達していない。今後、必要資材の再検討を行い、低コスト化を図る必要がある。維持管理コストについては、電力試算や維持管理に係る労働時間等からコストを算出し、既存の装置との比較検討を行う必要がある。

引用文献

1. 小梨茂, 谷藤隆志, 川村輝雄, 高橋達典, 杉若輝夫. FRP製ミニサイロを利用したミルクパーラー排水

- 用低コスト浄化施設．岩手県農業研究センター研究報告．1, 31-38(2000)
2. 財団法人 畜産環境整備機構．開発された簡易低コスト家畜排せつ物処理施設報告書．p.274-283(2005)
 3. 加藤邦彦, 廣田知良, 木場稔信, 松本武彦, 家次秀浩, 井上京, プラディプシャルマ, 吉友郁哉, 富田邦彦. 搾乳牛舎パーラー排水処理のための伏流式人工湿地(ヨシ濾床)システム．北海道農業研究成果情報．(2008)
 4. 北尾高嶺．生物学的排水処理工学．コロナ社．p.206-226(2003)
 5. 鈴木良地, 岡田康孝, 宮川浩, 筒井博, 榊原幹男．生物膜を用いたパーラー排水処理装置の開発．東海畜産学会報．20, 39(2009)
 6. 和田洋六. 水のリサイクル(基礎編). 地人書館 . p. 137-149(1994)
 7. 下水道試験方法 下巻. 日本下水道協会. p.268-271 (1997)
 8. 鈴木良地, 榊原幹男, 増田達明, 中谷洋, 平山鉄夫．酪農における廃棄乳の堆肥化処理の検討．愛知農総試研報．37, 185-192(2005)
 9. 千種薫．図説 微生物による水質管理．産業用水調査会．p.58-60(1996)