

高分子凝集剤を用いた酪農汚水浄化処理施設の性能調査

高田 修*・香川裕一**・久米 治*

要 約

乳牛舎から排出される汚水を放流することを目的として浄化処理施設を設置し、これの性能調査を実施した。飼養規模は成牛25頭、育成牛約5頭である。処理方式は、高分子凝集剤による凝集分離処理と生物膜法処理とを組み合わせたものである。

- 1 凝集剤溶解液の使用濃度は、高濃度原水に対しては25%前後、低濃度原水に対しては8%前後が適当であった。凝集剤による除去効果は、SSとCODにおいて高い効果が見られた。
- 2 施設運転経費は、高濃度原水の場合で約6,500円/日、低濃度原水の場合で約3,700円/日であった。
- 3 短期間運転での浄化成績では、CODが放流基準値より高く、問題が残った。
- 4 施設管理においては、凝集槽への原水投入方法と、生物膜処理槽の曝気管理に工夫を要した。

The Performance Survey of Water Treatment Systems Using Polymeric Coagulant for Dairy Farms

Osamu TAKATA, Yuichi KAGAWA and Osamu KUME

Summary

A water treatment system was built in order to treat waste water out of cowpens and discharge. The farm had 25 cows and 5 heifers. This system was comprised of two methods. One was agglutination and separation using polymeric coagulant. Another was filter by biological membrane.

- (1) The adequate rate of liquid polymeric coagulant for high concentrated water and for low concentrated water is approx. 25% and 8%, respectively. The removal effect by polymeric coagulant of SS and COD was very good.
- (2) The running cost of this system for high concentrated water and for low concentrated water was approx. 6500yen/day and approx. 3700yen/day, respectively.
- (3) As a result of this survey, COD of treatment water exceeds the determined level of discharge, so there still remains some problems.
- (4) How to convey waste water to a coherence tank and how to adjust the amount of air to biological filter tank needs some consideration.

キーワード：酪農汚水，浄化処理，高分子凝集剤，放流

緒 言

酪農経営は多頭化傾向が続いており、糞尿やミルクカー洗浄水等牛舎からの排出汚水が多量化している。糞等の固形物は堆肥化処理により土地還元が容易であるが、尿やミルクカー洗浄水等は土地還元も容易でなく、処理に苦慮している。地域によっては下水道への放流も実施されている¹⁾が、多くの地域では認められていない。また、土地還元する場合においても、地下浸透による地下水の

汚染等の問題が生じており、適切な浄化処理対策が緊急の課題となっている。

そこで、家畜糞尿処理実用化調査事業にかかる汚水処理実証展示施設を設置し、施設の管理面を主として性能調査を実施した。

材料及び方法

1 施設の概要

対象汚水は当センター試験乳牛舎からの排水で、飼養規模は乳牛成牛25頭、育成牛約5頭であり、ミルクカーはパイプライン方式、糞搬出はバーンクリーナ方式である。

1996年8月30日受理

* 淡路農業技術センター ** 現洲本家畜保健衛生所

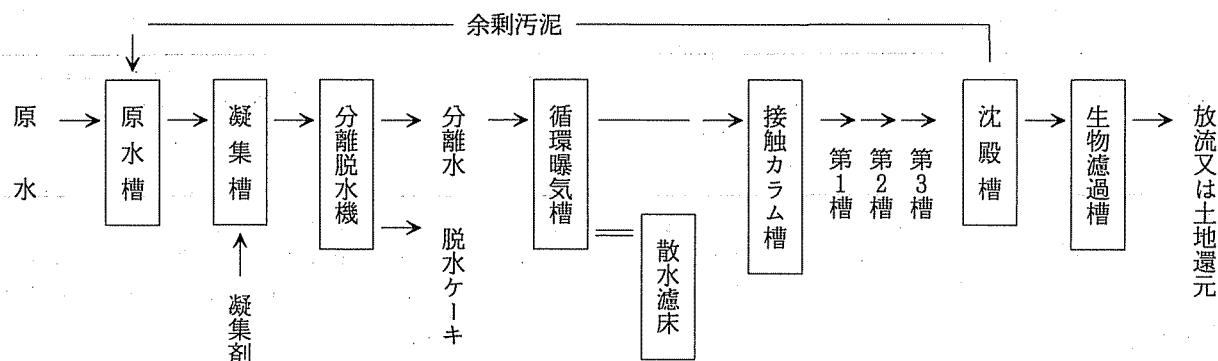


図1 汚水処理フローシート

処理方式は、高分子凝集剤による凝集分離処理の一次処理と、散水濾床と接触カラム槽による生物膜処理の二次処理とを組み合わせたもので、放流水は既設の尿貯留槽に投入し、ほ場に土地還元した。施設の処理フローシートを図1に、施設各槽の容積を表1に、施設に設置した主な機械類の電気出力を表2に示す。

凝集剤はカチオン性高分子凝集剤（主体はポリアクリルアミド）で、水道水で100倍希釈したものを使用し、一定量を原水とともに凝集槽に投入、攪拌し、スクリュ一型分離脱水機（ウエッジロールシリンダ方式）で凝集

物を脱水、除去した。

生物膜濾材として、散水濾床は材質PVC、表面積100 m²/m³のものを100%充填、循環曝気槽及び接触カラム槽は材質PVCの波形状接触材を55%以上充填、生物濾過槽は牡蛎殻を65%充填した。

2 施設運転方法

原水として、バーンクリーナ糞尿溝での分離尿、ミルカー洗浄水、廃棄乳、牛舎内雑排水が混入したものを低濃度原水とし、これにバーンクリーナでの除抽糞を固液分離機（回転スクリーン方式）で搾った搾汁液を加えたものを高濃度原水とした。

施設は平成7年3月に設置し、試運転を4月に行い、本運転は5月より実施した。5月～8月は高濃度原水で運転、9月～3月は低濃度原水で運転した。その間に凝集剤の供給濃度や原水供給方法等の条件を変更しながら、運転経費及び浄化処理能力等の性能を調査した。

3 調査方法

原水処理量、凝集剤供給量、電気使用量、水道水使用量は日量積算計を設置し、施設運転の所要経費を算出した。

運転管理及び水質検査として、溶存酸素（DO）、水温、水素イオン濃度（pH）、導電率は水質チェッカーU-10で、浮遊物質（SS、ガラス繊維濾紙法）、生物化学的酸素要求量（BOD）、化学的酸素要求量（COD、100℃30分）、窒素（N、ケルダール窒素法）、透視度、活性汚泥沈澱率（SV）は下水試験方法²⁾により測定した。

結 果

1 施設管理

原水槽管理としては、稲ワラ等の長い物を除去するために原水流入口に濾過かご（ステンレス製、メッシュ0.5）を設置し、1日1回清掃した。また、汚泥等の沈澱と浮遊を防止するため水中攪拌ポンプを設置し、原水供給時に稼働するようにした。

表1 処理槽の容積（m³）

処理槽名	容 積	有効容積
原水槽	7.26	4.36
凝集槽	1.0	0.77
凝集剤供給槽	1.25	1.0
凝集剤溶解槽	0.64	0.5
循環曝気槽	10.4	8.47
散水濾床	3.0	2.5
接触カラム槽	32.5	26.1
沈澱槽	3.0	1.8
生物濾過槽	4.9	3.68

表2 機械類の電気出力（kW）

機 械 名	出 力
原水可変ポンプ	0.4
水中攪拌ポンプ	1.5
原水供給ポンプ	0.1
凝集剤溶解攪拌機	0.75
凝集剤供給ポンプ	0.2
凝集可変攪拌機	0.2
分離脱水機	0.2
洗浄水ポンプ	1.5
散水ポンプ	3.7
ベルトコンベア	1.0
曝気用ブロワー	2.2
消泡ポンプ	0.75

表3 凝集剤使用濃度による分離水性状の比較
(高濃度原水の場合：ppm)

項目	原水	凝集剤溶解液使用濃度 (%)		
		40	25	20
SS	33,200	—	184 (99)	1,363 (96)
BOD	5,650	2,028 (64)	2,700 (52)	3,250 (42)
COD	11,100	1,280 (88)	1,140 (90)	2,160 (81)
N	1,190	626 (47)	672 (44)	770 (35)

() は除去率%を示す

原水の凝集槽への供給は、原水可変ポンプ（モノポンプ）で約7mの高さにある凝集槽へ送水していたが、流速が極度に小さいため敷料として使用したおが粉等の固形物がパイプ内に残り、配管詰まりを生じた。このため、凝集槽の高さに原水中継槽を設け、原水槽から水中ポンプで中継槽に供給し、中継槽から原水可変ポンプで一定量を凝集槽へ供給するように改善した。

分離脱水機は高圧水による自動洗浄になっているが、酪農汚水の場合は繊維類が多く、また牛乳成分も多く含まれているため、目詰まりが生じやすい。このため、手動による洗浄が3日に1度程度必要であった。

生物膜法による曝気槽は4槽に区分されており、1機の曝気用ブローで空気を供給しているが、各槽における負荷状況が異なるため、曝気量を各槽ごとにコックで調整しなければならない。コックによる曝気量の微調整は難しく、運転条件を短期間に変えながらの試験であったため、各槽の良好管理が十分には行えなかった。

2 凝集剤の使用濃度

凝集剤の効率的な使用量を検討するため、高濃度原水及び低濃度原水において凝集試験を実施した。凝集剤は本施設で使用している溶解液を使用し、原水と凝集剤溶解液とを容器内で混合、攪拌し、分離水の性状を測定した。この結果を表3、表4に示す。

高濃度原水の場合、原水に対し溶解液40%量では完全凝集はするが分離水の粘度が高くなり、凝集剤が分離水中に残留する。20%量では分離水の濁りが多く、SS、CODも高くなる。このことから、高濃度原水における経済的で効果の高い使用濃度は25%前後と思われた。低濃度原水の場合、13%量ではやや粘度があり凝集剤が分離水中に残留した。10%量では粘度もなく完全凝集し、7%量と比べても分離水の性状は大差がない。このことから、低濃度原水における経済的で効果の高い使用濃度は8%前後と思われた。

凝集剤使用による効果³⁾は、SSの除去効果が非常に高く、CODにおいても70~90%の除去が可能であるが、

表4 凝集剤使用濃度による分離水性状の比較
(低濃度原水の場合：ppm)

項目	原水	凝集剤溶解液使用濃度 (%)		
		13	10	7
SS	6,364	—	34 (99)	240 (96)
BOD	5,750	2,938 (49)	3,151 (45)	3,524 (39)
COD	3,313	1,024 (69)	998 (70)	1,268 (62)
N	798	630 (21)	637 (20)	672 (16)

() は除去率%を示す

BODでは50~60%の除去が限度のようである。Nの除去効果はさらに低かった。

3 高濃度原水の浄化成績

凝集剤の使用濃度を変えて試験を実施した。試験では凝集剤溶解液の濃度を38%前後に設定し6月に、試験では濃度を24%前後に設定して7月に実施した。この結果を表5、表6に示す。

1日当たりの原水量は2.5~3m³で、1日当たりの処理経費は試験Iで6,961円、試験IIで6,427円であり、成牛1頭当たりになると試験Iで278.4円、試験IIで257.1円であった。試験IIでは凝集剤費が多少節約出来たが、原水処理量が多くなった分だけ電気代が高くなっている。

原水の性状としては、SSとCODの濃度が高いが、これは糞の搾汁液によって敷料材のおが粉や糞成分が多く

表5 高濃度原水の処理成績（試験I：1日当たり）

項目	使用量	単価* (円)	所要経費 (円)	
			施設当たり	1頭当たり
凝集剤	12.2 kg	300	3,660	146.4
電気	206.9 kW	14.35	2,969	118.8
水道	1.22 m ³	272	332	13.3
計			6,961	278.4

月日	項目	原水槽	凝集分離水	沈澱槽	生物濾過槽
6	SS ppm	22,000	234	80	20
	BOD ppm	5,530	2,520	63	41
22	COD ppm	11,436	835	328	318
	N ppm	1,314	673	134	80
	pH	6.7	—	8.1	7.9
	透視度 cm	—	—	5	15
6	SS ppm	25,875	154	34	16
	BOD ppm	6,938	2,937	70	63
29	COD ppm	9,538	798	339	308
	N ppm	1,330	665	252	197
	pH	6.7	—	8.2	8.2
	透視度 cm	—	—	6	11

* 凝集剤単価は当所購入価格とした

* 電気単価は夏季・その他の季の平均とした

* 水道単価は三原町の単価の平均とした

表6 高濃度原水の処理成績(試験Ⅱ:1日当たり)

項目	使用量	単価* (円)	所要経費(円)	
			施設当たり	1頭当たり
凝集剤	10.1 kg	300	3,030	121.2
電気	217.2 kW	14.35	3,114	124.6
水道	1.04 m ³	272	283	11.3
計			6,427	257.1

月日	項目	原水槽	凝集分離水	沈澱槽	生物濾過槽
7	SS ppm	33,400	365	—	22
	・ BOD ppm	5,850	2,306	—	22
12	COD ppm	11,245	1,051	—	331
	N ppm	1,423	651	—	252
	pH	6.8	—	8.0	8.1
	透視度 cm	—	—	—	9
7	SS ppm	33,200	413	166	58
	・ BOD ppm	5,650	2,553	34	12
19	COD ppm	11,100	1,148	500	437
	N ppm	1,190	627	35	28
	pH	6.8	—	7.8	8.1
	透視度 cm	—	—	4	9

*凝集剤単価は当所購入価格とした
 *電気単価は夏季・その他の季の平均とした
 *水道単価は三原町の単価の平均とした

混入したことで、ミルカー洗浄水等による牛乳の混入が考えられる。放流水の性状としては、COD濃度が高く水質汚濁防止法による排水基準値より高い値であった。また、Nの濃度幅が大きかったが、これは曝気各槽における微生物管理⁴⁾が一定しなかったことによると考えられる。

4 低濃度原水の浄化成績

凝集剤使用濃度、原水供給方法、浄化方法を変えて試

表8 低濃度原水の処理成績(試験Ⅳ:1日当たり)

項目	使用量	単価* (円)	所要経費(円)	
			施設当たり	1頭当たり
凝集剤	2.02 kg	300	606	24.2
電気	206.6 kW	14.35	2,965	118.6
水道	0.37 m ³	272	101	4.0
計			3,672	146.8

月日	項目	原水槽	凝集分離水	沈澱槽	生物濾過槽
12	SS ppm	2,625	217	29	68
	・ BOD ppm	2,682	1,710	39	52
1	COD ppm	1,958	918	208	159
	N ppm	756	602	20	6
	pH	8.1	—	7.9	8.4
	透視度 cm	—	—	18	16

*凝集剤単価は当所購入価格とした
 *電気単価は夏季・その他の季の平均とした
 *水道単価は三原町の単価の平均とした

表7 低濃度原水の処理成績(試験Ⅲ:1日当たり)

項目	使用量	単価* (円)	所要経費(円)	
			施設当たり	1頭当たり
凝集剤	1.89 kg	300	567	22.7
電気	214.5 kW	14.35	3,078	123.1
水道	0.36 m ³	272	98	3.9
計			3,743	149.7

月日	項目	原水槽	凝集分離水	沈澱槽	生物濾過槽
11	SS ppm	3,632	88	58	41
	・ BOD ppm	4,708	2,625	25	18
1	COD ppm	2,359	582	408	129
	N ppm	574	336	7	5
	pH	7.8	—	7.9	8.5
	透視度 cm	—	—	11	15
11	SS ppm	5,067	120	62	54
	・ BOD ppm	2,462	1,875	35	14
8	COD ppm	1,988	715	175	116
	N ppm	700	490	5	3
	pH	8.0	—	8.0	8.3
	透視度 cm	—	—	10	19

*凝集剤単価は当所購入価格とした
 *電気単価は夏季・その他の季の平均とした
 *水道単価は三原町の単価の平均とした

験を実施した。試験Ⅲでは凝集剤溶解液の濃度を8%前後に設定し10月に、試験Ⅳでは凝集剤溶解液の濃度は同様の8%前後で、原水供給量を時間当たり約3倍量として稼働時間を1/3とした間欠運転方法に設定し11月に、試験Ⅴでは凝集剤溶解液の濃度を6.6%前後に下げ、原水供給量を時間当たり約2倍量として稼働時間を1/2とした間欠運転方法で、処理経費を出来るだけ節減する目的から散水濾床を省いた処理工程で2月に実施した。

表9 低濃度原水の処理成績(試験Ⅴ:1日当たり)

項目	使用量	単価* (円)	所要経費(円)	
			施設当たり	1頭当たり
凝集剤	1.61 kg	300	483	19.3
電気	91.5 kW	14.35	1,313	52.5
水道	0.34 m ³	272	92	3.7
計			1,888	75.5

月日	項目	原水槽	凝集分離水	沈澱槽	生物濾過槽
2	SS ppm	8,160	200	26	40
	・ BOD ppm	3,041	2,146	41	136
19	COD ppm	2,889	1,075	291	350
	N ppm	1,309	1,022	595	451
	pH	8.3	—	8.6	8.7
	透視度 cm	—	—	8	9

*凝集剤単価は当所購入価格とした
 *電気単価は夏季・その他の季の平均とした
 *水道単価は三原町の単価の平均とした

この結果を表7, 表8, 表9に示す。

1日当たりの原水量は1.4~1.8 m^3 で, 1日当たりの処理経費は試験Ⅲで3,743円, 試験Ⅳで3,672円, 試験Ⅴで1,888円であり, 成牛1頭当たりになると試験Ⅲで149.7円, 試験Ⅳで146.8円, 試験Ⅴで75.5円であった。試験Ⅴでは散水ポンプの電気使用量が節約できたことにより電気経費は44%になった。

原水の性状は, 高濃度原水に比べSSとCODが1/5程度に低下し, BODとNは1/2程度に低下していた。放流水の性状は, 高濃度原水の場合と同様にCOD濃度は水質汚濁防止法による排水基準値より高い値であり, 試験ⅤにおいてはN濃度も高かった。試験Ⅴは冬期で水温が5 $^{\circ}\text{C}$ 前後と低く, 温度による影響も考えられる。

5 曝気槽ごとの浄化状況

接触濾材利用による生物膜法としての曝気槽は連続した4槽が設置されているため, これらの各槽ごとの浄化状況を調査した。この成績を表10に示す。分析に用いたサンプルは2時間沈澱後の上澄み液を使用した。

1槽目の循環曝気槽では浄化程度はまだ低いが, 2槽目の接触カラム第1槽ではこの施設としての浄化はほとんど終了しているようであり, それ以後の槽においてはほとんど浄化機能を果たしていない。このことから3, 4槽目にあたる接触カラム第2, 第3槽は不要か, あるいはさらに浄化効力を発揮する管理法の検討が必要である。また, 接触カラム槽を適切な1つの槽とすることにより管理が容易になると考える。

6 散水濾床バイパス試験

処理経費としては凝集剤費と電気代がほとんどを占めており, 電気代は施設の維持経費となっている。容量の大きい散水ポンプを休止することで電気代が約半分となり処理経費が大幅に節約できるため, 低濃度原水で散水

濾床をバイパスさせた場合の浄化試験を1月29日より3週間実施した。この成績を表11に示す。

循環曝気槽は各項目ともしだいに濃度が高まり, これに伴って接触カラム第1槽も濃度が高まっている。しかし接触カラム第3槽ではN以外は変化が見られず, 全体の浄化能力は維持されていた。槽の有効容積は34.6 m^3 あり, 濾材を除くと容積は約半分となる。この時の原水量は1.9 m^3 であるため約9日間で通過することになる。これより, 3週目での浄化状態は安定期にあると考えられるが, Nの濃度が次第に高まっていったため, さらに長期間の試験と夏季における試験とにより, 散水濾床バイパスの可能性を検討する必要がある。

考 察

酪農排水としては糞尿, 廃棄乳, ミルカー洗浄水, 雑排水等があるが, 一般的には糞尿のみが処理対象となっている。しかし, 大型化された酪農経営においては, 糞尿以外の排水処理も考慮しておかなければならない。そこで, 堆肥化処理する糞を除いた全ての酪農排水を対象として, 最終処理水を放流するという目的で処理施設を設置し, 施設の運転経費を主とした性能を調査した。

施設設置においては土地の高低差を上手く利用することが効率を高める。酪農排水は糞中の不消化物や敷料のおが粉等の固形物を大量に含んでいるため, 原水槽と凝集槽の高低差を出来る限りなくすることである。原水の凝集槽への供給は少量ずつの定量供給となるため, 上部

表11 散水濾床バイパス試験 (ppm)

項目	時期	凝 集 分離水	循環* 曝気槽	接触カラム槽*		沈澱槽
				第1槽	第3槽	
SS	試験前	152	66	66	103	110
	1週目	375	52	25	50	29
	2週目	340	95	68	78	37
	3週目	200	173	393	52	26
BOD	試験前	2,529	71	61	77	63
	1週目	2,140	—	59	65	55
	2週目	3,380	1,137	92	79	59
	3週目	2,146	740	55	53	41
COD	試験前	859	292	291	311	300
	1週目	989	565	283	293	285
	2週目	1,015	717	330	322	289
	3週目	1,075	713	315	323	291
N	試験前	714	453	286	279	265
	1週目	840	658	414	414	391
	2週目	952	756	525	525	497
	3週目	1,022	840	613	613	595

試験期間：1月29日~2月19日

表10 槽ごとの性状比較 (2時間沈澱後)

原水	項目	循環* 曝気槽	接触カラム槽*		生 物 濾過槽
			第1槽	第3槽	
高濃度原水 (7/12)	SS ppm	213	47	51	22
	BOD ppm	82	26	28	22
	COD ppm	575	429	359	331
	N ppm	392	242	238	252
	pH	8.3	8.1	8.1	8.1
	透視度 cm	2	6	7	9
低濃度原水 (12/1)	SS ppm	465	48	70	68
	BOD ppm	186	55	68	52
	COD ppm	326	232	232	159
	N ppm	330	27	28	6
	pH	8.7	8.0	8.0	8.4
	透視度 cm	2	11	11	16

への供給は配管詰まりの原因となる。当施設では中継槽を新たに設置し、槽内を空気攪拌するように改善したが、槽底部に堆積する砂等は定期的に除去しなければならない。また、分離脱水機においては目詰まりを生じるため、週2回程度の洗浄が欠かせない。高圧水による外面からの自動洗浄装置を設置しているが、目詰まり防止には内面からの洗浄も必要であり、ウェッジロールシリンダが簡易に脱着できる方式が望まれる。管理上のその他の労力としては曝気量の調整がある。浄化効率を高く維持するためには曝気量調整による生物膜微生物の良好管理が重要であるが、1機の曝気用ブローでの4槽管理は微調整が困難であり、全槽を良好に管理することは難しい。現在、曝気管理はORP計を設置して酸化還元電位を測定しながら曝気量を自動制御するシステムが普及しており、これの利用が良好管理をするためには必要であると思われる。

施設の運転経費においては、電気と凝集剤に要する経費がほとんどである。電気使用量は、施設が24時間運転であるため、装置あるいは運転方法を変更しないかぎり同一使用量となり、1日約210KWであった。散水濾床のための散水ポンプの電気容量が最も大きいため、これのバイパス試験を実施したところ、電気使用量は半以下となった。しかし、Nが蓄積される傾向があったため、夏期での試験を含めてさらに改善のための試験が必要である。原水槽の水中攪拌ポンプと脱水ケーキ搬出用のベルトコンベアも電気容量が大きい。水中攪拌ポンプは間欠運転することにより、ベルトコンベアは分離脱水機の設置場所を工夫することにより不用となるため、さらに電気使用量の節約が可能である。

原水の1日処理量は季節による差が大きかった。7月の高濃度原水において3.05 m^3 、2月の低濃度原水において1.43 m^3 であった。ミルカー洗浄水量の季節差はないと考えられるため、糞尿及び雑排水量の季節差が大きいようである。季節に伴う状態の変化については、さらに調査を継続していきたい。

一次処理として採用した高分子凝集剤による凝集分離処理の凝集効果は、凝集剤の使用濃度により変化する。

凝集剤が多くなると分離水中に残留し、分離水の粘度が高まる。凝集条件(添加量・攪拌)が良い場合の凝集剤の残留率は1%以下であり、効率利用が期待出来るものであるが、凝集剤の使用量が少なくなると凝集が不完全となり、分離水の濁度が高まる。凝集剤による除去効果はSS、CODにおいて高く、従来の振動篩、沈澱槽⁵⁾によるものより高い除去効果が得られる。特にSSではほぼ100%の除去が得られる。凝集剤溶解液の使用濃度は、高濃度原水で25%、低濃度原水では8%前後が適当であったが、原水性状により変化するため日常のチェックが必要である。また、脱水分離後の脱水ケーキは堆肥化処理しては場還元するため、凝集剤による堆肥化への影響⁶⁾も検討しておかねばならない。

施設設置の目的は浄化処理水の放流であるが、今回は運転経費を主とした性能調査であるため、種類の条件で施設運転し、同一条件での安定運転が出来なかった。このため、浄化処理成績は短期間の参考成績に留まった。水質汚濁防止法による総理府令の排水基準は、pHが5.8~8.6、BODが120ppm、CODが120ppm、SSが150ppmと定められている。この基準値に対し、CODは高濃度原水及び低濃度原水ともに上回り、現状では放流出来ないことになる。今後は同一条件での安定運転で浄化成績を検討するとともに、COD低下対策としてC/N比の影響と脱色を、散水濾床バイパス時におけるN態の変化等を検討していきたい。

引用文献

- (1) 押田敏雄(1992): 養豚排水の公共下水道への直接放流に関する調査研究: 畜産の研究 46, 998-1002
- (2) 下水道試験方法(1984): 日本下水道協会
- (3) 亀岡俊則(1993): ふん尿分離とその処理システム: 北海道家畜管理研究会報 29, 11-20
- (4) 代永道裕(1990): 汚水処理対策の基本: 畜産の研究 44, 289-297
- (5) 浅尾常久・高田 修・浜野 孝・岡 義美・大杉敏男(1972): 散水濾床による豚舎汚水浄化について(第2報): 兵庫畜試研報 9, 130-135