

## 高分子凝集剤を用いた酪農汚水浄化処理

福尾憲久\*・高田 修\*・久米 治\*

### 要 約

乳牛舎から排出される尿汚水を放流可能な水質まで処理することを目的とした浄化処理施設を同一の条件下で運転し、処理水の性状や処理経費などを平成8年6月～12月までの間で約5ヶ月間調査した。飼養規模は成牛25頭、育成牛5頭程度である。処理方式は、カチオン性高分子凝集剤（以下、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 原水に対して6.8～11.8%の凝集剤の使用で浮遊物質は92～99%除去できた。
- 2 試験期間中に行った6回の検査での処理水の水質はいずれも放流基準を満たしていたが、薄褐色に着色しており、放流の際には問題になると思われた。
- 3 施設運転経費は平均で3,604円/日、成牛1頭当りに換算すると約144円/日であった。
- 4 施設の運転においては凝集剤の使用濃度の調節に問題が残った。また酸化還元電位による曝気管理は一定の効果をあげたが、曝気槽の数と容量、曝気量の管理方法には更に検討を要する。

### Waste Water from Cowpens Treated with Polymeric Coagulant and biological membrane

Norihisa FUKUO, Osamu TAKATA, Osamu KUME

### Summary

A water treatment system attached to cowpens was run under fixed conditions, during which water qualities and treatment cost were measured. During the period, there were 25 cows and 5 heifers in cowpens. At the system, polymeric coagulant was added to waste water followed by separation using biological membrane with aeration.

- 1 At 6.8% to 11.8% of coagulant to waste water, removal ratios of SS (suspended solid) were 92% to 99%.
- 2 Treated water had satisfied the quality standards of discharge, but was light brown. the coloring of treated water will be a serious problem.
- 3 Treatment cost was 3,604 yen per day, and 144 yen per head per day.
- 4 Aeration with the biological membrane using ORP (oxidation reduction potential) was effective, but control of anticoagulant content, size and number of biological membrane tanks and daily tank management continue to be problems.

キーワード：酪農汚水、浄化処理、放流、高分子凝集剤、酸化還元電位

### 緒 言

乳牛舎から排出される尿汚水を放流可能な水質まで処理することを目的とした浄化処理施設を平成7年3月に当センターに設置し、4月より調査試験を実施している。前報<sup>1)</sup>では、凝集剤の使用濃度や原水供給方法などの条件を様々に変更しながら運転を行い、それぞれの条件での運転経費や浄化処理能力などを報告した。しかし、い

ずれも短期間での調査のみであり、安定な条件下での処理能力などについては不明であった。そこで今回は、前報<sup>1)</sup>の結果を基にして運転条件を設定し、同一の条件下で長期間の運転を行い、処理水の水質や処理経費などを調査した。また、新たに酸化還元電位（以下、ORP）計を設置し、ORPによる曝気槽の自動管理を試みた。

### 材料及び方法

#### 1 調査期間

平成8年6月5日～8月29日、11月1日～12月21日

1997年8月29日受理

\*淡路農業技術センター

2 供試汚水

供試尿汚水(以下、原水)は当センター試験乳牛舎からの排水で、この牛舎では成牛25頭、育成牛5頭程度を飼養している。ミルカーはパイプライン方式、ふんの搬出はバーンクリーナ方式である。排水には、バーンクリーナふん尿溝での分離尿、ミルカー洗浄水、廃棄乳、牛舎内雑排水が含まれる。

3 施設の概要

本施設による汚水処理の流れ図を図1に示した。原水はいったん原水中継槽にくみ上げ、カチオン性高分子凝集剤(主成分はポリアクリルアミドで、水道水で100倍に希釈して使用した。以下、凝集剤)とともに一定量を凝集槽に投入し、混合・攪拌した後、スクリュウ型分離脱水機(ウェッジロールシリンダ方式)で凝集物を脱水・除去した。分離水は散水濾床と接触カラム槽で生物膜処理を行い、処理水は既設の尿貯留槽で保管し、圃場に還元した。生物膜濾材は、散水濾床に材質塩化ビニル(以下、PVC)、表面積100m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>のものを100%充填、循環曝気槽と接触カラム槽に材質PVCの波状形接触材を55%以上充填、生物濾過槽に牡蠣殻を65%充填した。施設各槽の容積、施設に設置した主な機械類の出力は前報<sup>1)</sup>のとおりである。

4 施設の運転方法

原水と凝集剤の凝集槽への投入は50分運転、10分休止のサイクルで行い、基本的には24時間の連続投入としたが、原水量が少なくなり原水中継槽の水位が一定以下になると自動的に一時停止させた。散水濾床のポンプ(以

下、散水ポンプ)と曝気プロア-は24時間の連続運転とした。曝気量の調節は、接触カラム第2槽に設置したORP計で自動的に行った。ORPの設定値は予備試験の結果より145mvとし、これを越えた場合は25HZで、これより低下した場合は60HZで曝気プロア-を稼働させた。

5 施設の日常管理

原水槽の原水流入口に粗大物を除去するための濾過かご(ステンレス製、メッシュ0.5cm)を設置し、1日1回清掃した。また、汚泥などの沈殿や浮遊を防ぐために水中攪拌ポンプを原水供給時に稼働させた。

分離脱水機には自動洗浄装置がついているが、原水には繊維分や牛乳成分など目詰まりの原因になる物質が多く含まれており、これらを取り除くために手動による洗浄を3日に1回程度行った。また、凝集剤と原水の凝集槽への流入速度を随時調節して凝集状態を良好に保つようにした。

6 調査方法

水質検査は6/25, 7/29, 8/29, 11/7, 11/26, 12/11の6回行い、下水試験方法<sup>2)</sup>に基づき、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°C30分)、ケルダール態窒素(Kj-N, ケルダール窒素法)を測定した。また、水温、溶存酸素(DO)、水素イオン濃度(pH)は水質チェッカー(HORIBA U-10)で、透視度は透視度計で、ORPは接触カラム第2槽に設置したORP計で測定した。

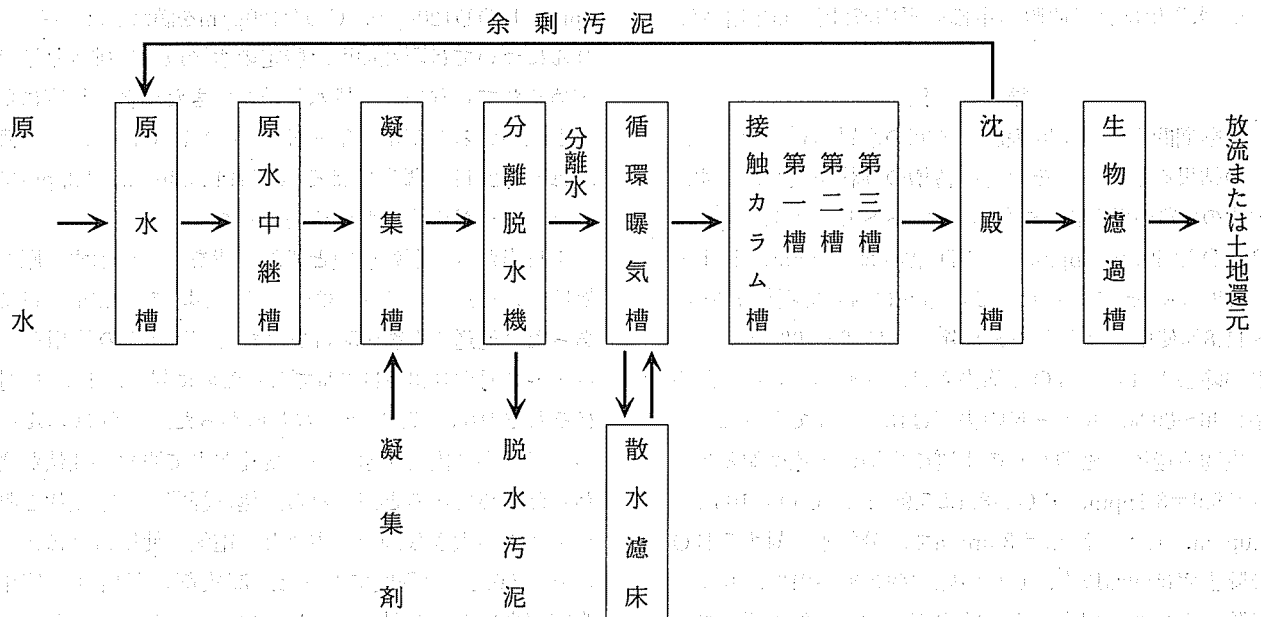


図1 汚水処理の流れ図

表1 水質検査成績 (ppm)

測定月日	項目	原水 槽	凝集分離水	沈 殿 槽	生物濾過槽
6/25	S S	7,000	49 (99) <sup>1)</sup>	42.0 (14) <sup>2)</sup>	13.3 (73) <sup>3)</sup>
	B O D	3,936	2,145 (46)	45.2 (98)	9.6 (99)
	C O D	2,251	799 (65)	156.0 (80)	97.9 (88)
	K j - N	875	735 (16)	10.5 (99)	7.0 (99)
7/29	S S	3,067	124 (96)	43.9 (65)	9.3 (93)
	B O D	2,685	1,893 (29)	9.3 (99)	3.3 (99)
	C O D	1,382	741 (46)	160.8 (78)	100.5 (86)
	K j - N	828	724 (13)	ND (99)	ND (99)
8/29	S S	4,150	106 (92)	15.2 (86)	6.6 (94)
	B O D	—	1,304 (—)	5.3 (99)	ND (99)
	C O D	2,533	774 (69)	116.2 (85)	99.5 (87)
	K j - N	705	574 (19)	7.0 (99)	4.9 (99)
11/7	S S	3,833	313 (92)	13.0 (96)	3.6 (99)
	B O D	2,580	2,066 (20)	6.0 (99)	2.8 (99)
	C O D	2,074	987 (52)	108.7 (89)	91.1 (91)
	K j - N	847	699 (17)	3.5 (99)	ND (99)
11/26	S S	5,467	49 (99)	137.5 (—)	10.0 (80)
	B O D	—	— (—)	22.7 (—)	4.8 (—)
	C O D	1,261	631 (50)	130.9 (97)	118.3 (81)
	K j - N	800	593 (26)	7.1 (99)	ND (99)
12/11	S S	4,300	45 (99)	65.0 (—)	10.6 (76)
	B O D	2,995	1,692 (44)	50.0 (97)	17.8 (99)
	C O D	1,938	631 (67)	118.0 (81)	111.0 (82)
	K j - N	753	589 (22)	5.9 (99)	5.5 (99)

1) 凝集分離水の ( ) 内は原水に対する除去率

2), 3) 沈殿槽と生物濾過槽の ( ) 内は凝集分離水に対する除去率

原水処理量, 凝集剤供給量, 電気使用量, 水道使用量は日量積算計より求め, 施設運転の所要経費を算出した。また算出の根拠として, 凝集剤単価は当所購入価格300円/kg, 電気単価は夏季・その他の季の平均14.35円/kw, 水道単価は三原町の単価の平均272円/m<sup>3</sup>を用いた。

## 結 果

試験期間中に月1回程度計6回の水質検査を行った。その結果を表1に, その時の各槽の性状を表2に示す。原水の水質の平均値と標準偏差は, S S 4,163±1,274ppm, B O D 3,049±534ppm, C O D 1,907±453ppm, K j - N 828±58ppmであった。この原水に対して凝集剤を6.8~11.8%使用したときのS S除去率は92~99%とほとんどが除去された。B O D除去率は20~46%, C O D除去率は46~69%, K j - N除去率は13~26%であった。

生物濾過槽(処理水)の水質の平均値と標準偏差は, S S 8.9±3.1ppm, B O D 8.4±5.9ppm, C O D 103.1±9.0ppm, K j - N 2.9±3.0ppmで, 分離水に対するB O D除去率は99%以上, C O D除去率は81~91%, K j - N除去率は99%以上, S S除去率は73~99%と極めて高く, 生物膜処理の浄化効率は非常に良好であった。また,

6回の検査でのそれぞれの項目の最大値は, S S 13.3ppm, B O D 17.8ppm, C O D 118.3ppm, K j - N 7.0ppmであり, C O D濃度が他の項目に比べるとかなり高いものの, 水質汚濁防止法による総理府令の基準値, S S 150ppm, B O D 120ppm, C O D 120ppmを満たした。窒素・りんについては現在の所, 特定の水域以外に排水基準は定められていないが, 排水基準ができた場合の尺度になると思われる全窒素(T-N), 全りん(T-P)の濃度は8月29日の調査ではそれぞれ145.3ppm, 22ppmであり, T-Nの濃度がやや高かった。

1日当たりの運転成績と処理経費を表3に示す。原水処理量は1.94m<sup>3</sup>/日~2.32m<sup>3</sup>/日, 平均では2.2m<sup>3</sup>/日であった(返送汚泥約0.56m<sup>3</sup>を含む)。凝集剤の使用濃度は6~8月が10.3~11.8%であったのに対し, 11, 12月はそれぞれ6.8, 7.4%とかなり低かった。これはふん尿の状態や牛舎内雑排水の量の変化などで原水の性状が変わったためであると思われる。処理経費では電気代と凝集剤費用が大きな割合を占めた。電気の使用料はほぼ一定で2,700円/日程度であった。凝集剤の費用は, 使用濃度が高い6~8月が11~12月に比べて多くなった。水道の使用は分離脱水機の洗浄と凝集剤の希釈のみでその

表2 水質検査時の各槽の性状

測定月日	項目	原水槽	循環曝気槽	接 触 槽			沈殿槽	生物濾過槽
				第1	第2	第3		
6/25	水温 (°C)	35.2	29	26.7	26.8	26.7	26.9	26.9
	DO (ppm)	0.01	0.17	1.15	1.43	1.02	0.16	4.70
	PH	7.65	7.92	7.42	7.44	7.49	7.50	7.74
	ORP (mv)				175			
	透視度						14.5	35.0
7/29	水温 (°C)	39.8	32.9	32.0	32.2	32.2	32.6	32.0
	DO (ppm)	0.03	4.40	5.01	4.50	3.8	0.27	3.63
	PH	7.97	7.84	8.02	8.02	8	7.91	8.03
	ORP (mv)				108			
	透視度						12.5	38.0
8/29	水温 (°C)	36.5	28.7	27.1	27.2	27.1	27.2	27.0
	DO (ppm)	0.01	2.28	5.25	5.20	4.95	1.60	6.00
	PH	7.93	8.31	8.42	8.50	8.50	8.51	8.56
	ORP (mv)				149			
	透視度						30.1	50<
11/5	水温 (°C)	22.5	22.0	19.7	19.8	19.6	20.1	19.6
	DO (ppm)	0	1.39	6.95	6.20	6.00	3.20	7.90
	PH	8.27	7.59	8.19	8.19	8.20	8.17	8.36
	ORP (mv)				172			
	透視度						50<	50<
11/26	水温 (°C)	27.4	17.2	15.5	15.4	15.3	15.0	14.5
	DO (ppm)	0	3.2	3.45	3.60	4.95	1.55	7.41
	PH	8.42	7.94	7.78	7.81	7.87	7.82	8.03
	ORP (mv)				152			
	透視度						7.7	34.5
12/11	水温 (°C)	25.0	14.6	10.9	10.7	10.6	10.6	10.1
	DO (ppm)	0	8.24	9.20	8.15	6.59	4.00	6.30
	PH	8.30	8.65	8.35	8.34	8.31	8.32	8.05
	ORP (mv)				124			
	透視度						17.0	50.0

表3 1日当たりの運転成績と処理経費

項目		6月	7月	8月	11月	12月
運 転 成 績	原水処理量 (m³)	2.32	2.37	2.01	1.94	2.30
	凝集剤使用量 <sup>1)</sup> (kg)	3.25	3.06	2.46	1.70	1.87
	凝集剤/原水 <sup>2)</sup> (%)	11.8	10.8	10.3	7.4	6.8
	電気使用量 (kw)	174.6	208.2	189.8	185.8	200.6
	水道使用量 (m³)	0.47	0.46	0.41	0.34	0.36
処 理 経 費 (円)	施設当たり					
	凝集剤	975	918	738	510	561
	電気	2,506	2,988	2,724	2,666	2,879
	水道	128	125	112	92	98
	合計	3,609	4,031	3,574	3,268	3,538
	一頭当たり					
凝集剤	39.0	36.7	29.5	20.4	22.4	
電気	100.2	119.5	109.0	106.6	115.1	
水道	5.1	5.0	4.5	3.7	3.9	
合計	144.3	161.2	143.0	130.7	141.4	

1) 凝集剤原液の使用量

2) 凝集剤100倍希釈液と原液の体積比

\* 凝集剤単価は当所購入価格とした (300円/kg)

\* 電気単価は夏季・その他の季の平均とした (14.35円/kw)

\* 水道単価は三原町の単価の平均とした (272円/m³)

費用は少なかった。平均すると処理経費は3,604円/日で、成牛1頭当たりに換算すると144円/日であった。

考 察

凝集剤による凝集分離処理ではSSのほとんどを分離除去できた。BODの除去率は50%以下であったが、散水濾床と接触カラム槽を組み合わせた生物膜法処理はBOD除去率が99%以上と極めて高く、処理水の濃度は10ppm程度になった。亀岡ら<sup>3)</sup>は、養豚排水中の固形物は粒度によって生物処理での分解性が異なり、粒度の大きい固形物ほど分解に時間がかかることを明らかにした。本施設においても、生物膜処理の処理効果が高かったのは、原水に含まれる固形分の多くを分離除去したためであると思われる。一方、COD除去率は81~91%にとどまり、処理水の濃度も100ppm前後であった。これは、生物処理では除去できないりん酸化合物や無機塩類など

が残留していたためであると思われる。窒素については、K<sub>j</sub>-Nは生物膜処理でほとんどが除去されたが、硝酸態窒素は処理水中に130ppmとやや高い濃度で存在していた。これは、有機態あるいはアンモニア態の窒素が硝化細菌によって酸化されたため、アンモニア態窒素と亜硝酸態窒素はわずかしかな存在しないことから、硝化はほとんど終了していると思われる。間欠曝気などの曝気管理によって生物学的脱窒が高い効率で行えることが報告<sup>4, 5)</sup>されており、処理水の硝酸態窒素濃度を下げするためにはこれらの方法を検討する必要がある。また、処理水の性状は排水基準を満たしているが、薄褐色に着色しており、実際に放流する場合にはこの点も問題になるであろう。しかし、生物処理で色素成分をこれ以上除去することは難しいと思われた。

凝集剤によって凝集分離処理を行った場合、取り除いた脱水汚泥は堆肥化して処理することになるが、脱水汚泥中には凝集剤が残留しているため、作物の生育への影響が懸念される。これについては現在調査中であるが、小松菜の発芽率とトウモロコシの生育を比較した試験では、脱水汚泥の作物への生育阻害作用は認められなかった。

施設の維持管理面では凝集状態の調整に問題が残った。高田ら<sup>1)</sup>が指摘しているように、凝集剤の凝集効果はその使用濃度によって変化し、凝集剤が多くなると分離水の粘度が高くなり、少ないと凝集が不完全になる。したがって、凝集効果を安定させるためには原水の性状を一定にする必要があるが、原水の性状はパイプライン洗浄時など1日の中でも大きく変化する。これを均一化させるためには、当施設で取り入れているように、原水を1日分以上貯留し、十分に混合・攪拌することが有効である。

しかし、このような作業を行っても、原水の性状は日によってある程度変動する。また原水の性状の変動にあわせて凝集剤の使用濃度を調節することは困難である。そこで分離脱水機は、凝集剤の使用濃度が高すぎるあるいは低すぎる場合でも固液分離が行える構造であることが必要である。本施設の分離脱水機は試験期間中に数度目詰まりを起こしたので、さらに改善が必要であると思われた。

曝気槽における曝気量の調整はORP計で自動的に行った。試験期間中に過曝気や酸素不足で生物膜が剥離することはなく、浄化能力も比較的安定していたことから、ORPでの曝気量調整には一定の効果が確認された。しかし、循環曝気槽、接触カラム第1・第2・第3槽のう

ちでORP計が設置されているのは接触カラム第2槽のみであり、しかも4つの槽の曝気を1つのブローアで行っており、槽ごとの曝気量の微調整ができないため、4槽を同時に良好な状態に保つのは難しかった。槽の数を多くすると、曝気量の調整は難しくなるが、それぞれの槽の環境によって異なった微生物相が形成されるため、浄化能力は高くなると思われる。しかし高田ら<sup>1)</sup>は、接触カラム第1槽で浄化はほぼ終了しているようであり、それ以降の槽はほとんど浄化機能を果たしておらず、第2・第3槽は不要か、あるいはさらに浄化能力を発揮する管理法の検討が必要であるとしている。溶存酸素の濃度、櫛材の材質・形状などを検討することにより第2槽以降でもさらに浄化を行えるかもしれない。しかし現状の施設では第2・第3槽を省略するのが最も実用であろう。現在の浄化能力を維持しながらブローアの電気代を削減でき、曝気管理も容易になるとと思われる。

処理経費は成牛1日1頭当たりで換算すると144円程度であった。実際の施設維持経費には施設の原価償却や消耗品の交換費などが加わるため、これよりもかなり高くなる。処理経費の内、水道代と凝集剤費用を節減することは難しいが、浄化能力の発揮されていない接触カラム第2・第3槽をなくすなど処理過程を改善することにより電気代を節減することが可能であると思われる。容量の最も大きい散水ポンプを停止させた短期間の試験<sup>1)</sup>では電気代が約半分になり、浄化能力も維持できる可能性が示された。

今後は、散水ポンプを停止した状態で長期的に浄化能力が維持できるか、また、処理水のCOD除去と脱色のための3次処理方法について検討していきたい。

#### 引用文献

- (1) 高田 修・香川裕一・久米 治 (1997)：高分子凝集剤を用いた酪農汚水処理施設の性能調査：兵庫農技研報 (畜産) 33, 48-53
- (2) 日本下水道協会 (1984)：下水道試験法
- (3) 亀岡俊則・因野要一 (1987)：豚舎汚水の微細粒子の分離とその浄化処理：日畜会報 58, 721-729
- (4) 井上祥一郎 (1996)：養豚排水を対象とした運転条件による窒素除去特性比較：日本畜産技術士会報 47, 19-26
- (5) 柿市徳英・鎌田信一・小林 茂・内田和夫 (1986)：ばっ気式ラグーン脱窒変法による豚糞処理：日畜会報 57, 649-653