

1 新技術情報

ふん尿混合汚水の高度処理システムの開発

共和化工株式会社技術研究所 畠中 豊

1. はじめに

近年、環境保全意識の高揚と共に畜産環境問題に係る要求も年々厳しいものとなってきている。閉鎖性水域における窒素、リン規制の問題の他、最近では地下水の硝酸性窒素汚染や水道水源のクリプトスポリジウム汚染が社会問題となり家畜ふん尿がその一因であると言われ、家畜ふん尿処理の現場においても新たな対応が必要となっている。また、昨年は農業環境三法の成立に伴い家畜排泄物の「野積み」や「素掘り」に対する規制が強化されることとなった外、環境基準項目に硝酸性・亜硝酸性窒素、ホウ素、フッ素が追加されている。更に、年内には窒素、リンの総量規制(第5次総量規制)が施行され、硝酸性・亜硝酸性窒素他2項目の排水基準が定められる予定である。

家畜排泄物の管理の適正化、利用の促進が図られる一方で、殆どの養豚場においてはふん尿を土地還元する農地を確保していないことから前述の問題をクリアーできる適切なふん尿污水处理技術の開発が喫緊の課題である。

本稿では、本年3月に終了した(財)畜産環境整備機構との交流共同研究での実証試験を通して得られた成果を基に、豚舎ふん尿混合汚水の高度処理システムについて紹介する。

2. 開発の背景

ふん尿污水处理技術としては一般的には活性汚泥法等が用いられている。活性汚泥法は処理効率が高い反面、糸状性バルキング等による固液分離障害が発生し正常な処理ができなくなることがあり、維持管理に熟練を要した。今後、規制が益々厳しくなる中で、大規模な企業養豚は例外として、中小規模の養豚場においては専任の熟練技術者を確保することは難しく、省力的で省コストかつ運転管理の容易な高度処理システムの開発が必要である。比較的小規模な養豚場のふん尿混合汚水を対象として、“スクリュープレス脱水機による前処理・汚泥処理”と“膜分離活性汚泥法”を組み合わせた高度処理システムのパイロットプラントを福島県白河市の〇養豚場に設置し、平成9年から本年3月まで実証試験を行なった。試験には500頭規模の肥育豚舎から排出されるふん尿混合汚水を供した。

3. システムの特徴

本システムは、図1のパイロットプラントフローに示すようにスクリュープレス脱水機による豚舎ふん尿混合汚水と余剰汚泥の混合液の〈前処理行程〉と、スクリュープレス脱水機からの脱離液を処理する膜分離活性汚泥法による〈本処理行程〉の2つに大別される。

豚舎からスクレーパーにより掻き出されたふん尿混合汚水は、原水ピットに入りタイマー制御により1日1回原水槽に送水され、原水槽において膜分離槽から引き抜かれた余剰汚泥と攪拌混合された後、スクリュープレス脱水機で脱水処理される。凝集剤を用いている為、BOD、SSを除去すると共に窒素及びリンも併せて除去される。エマルジョンタイプの高分子凝集剤自動溶解装置を設け、一連の操作を自動化することによって省力化を図っている。脱水機の脱離液は調整槽へ、脱水ケーキは脱水ケーキヤードへ送られる。

本処理行程は脱窒リアクター、硝化リアクター、膜分離槽の3槽からなり、運転操作は自動化されている為、細かい調整を行わずにBODと窒素の同時除去が可能となっている。また、硝化リアクターは間欠曝気も可能な設備となっている。脱窒及び硝化リアクターで生物処理された汚水は、膜分離槽に浸漬した精密ろ過膜(平膜)によって処理水と汚泥に分離される。処理水中のSS

は殆どゼロとなり、大腸菌やクリプトスポリジウム等の病原性微生物の除去も期待できる。更に、SSが極めて少ない為に色度やCODの高度除去への対応も容易になる。系外への汚泥の流出が無くなり汚泥管理が容易になる。また、汚泥濃度を通常の活性汚泥法の2倍以上高く維持出来る為、高負荷処理が可能となり施設のコンパクト化が達成できる。

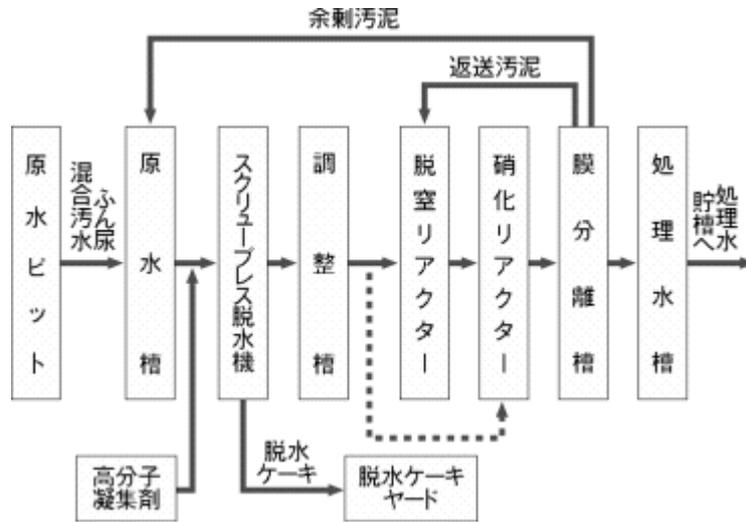


図1 パイロットプラントフロー

4. パイロットプラントの概要

計画条件を表1に、主要機器の仕様を表2に、パイロットプラントの写真を写真1～3に示す。図2には配置図を示す。パイロットプラントの水槽は工場生産型のRCユニットを用い施工期間の短縮を図った。原水槽、調整槽は既存の水槽を活用した。

表1 計画条件

処理対象液： 豚舎ふん尿混合汚水				
計画水量： 5[m ³ /日] (肥育豚500頭規模を想定)				
	BOD[mg/L]	SS[mg/L]	T-N[mg/L]	T-P[mg/L]
原水(設計値)	18,200	33,000	4,000	1,000
処理水(目標値)	20	1	40	5

表2 主要機器仕様

機器名称	仕様
原水ピット	SUS製、3.7[m ³]
原水槽	RC製(既設)、22[m ³]
スクリーンプレス脱水機	KPS-II-2、～30[kg ^{-SS} /hr]
調整槽	RC製(既設)、22[m ³]
脱窒リアクター	RCユニット、5[m ³]
硝化リアクター	RCユニット、22[m ³]
膜分離槽	RCユニット、3[m ³]
膜モジュール	平膜、0.4[μm]、0.81[m ² /枚]
処理水槽	SUS製、0.8[m ³]

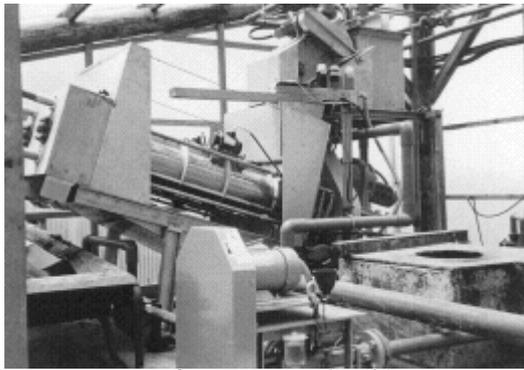


写真1 脱水機

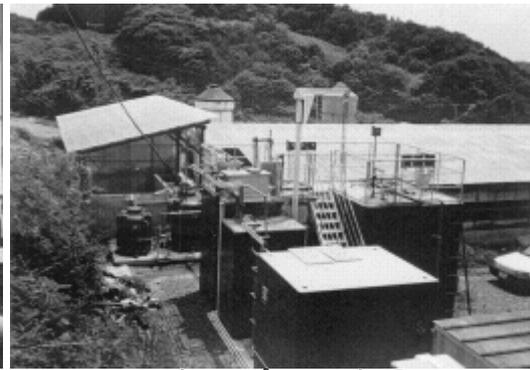


写真2 プラント全景

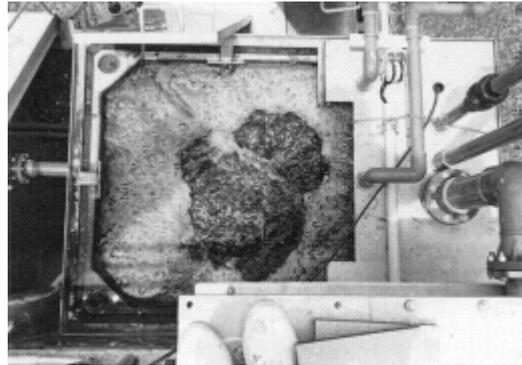


写真3 膜分離槽

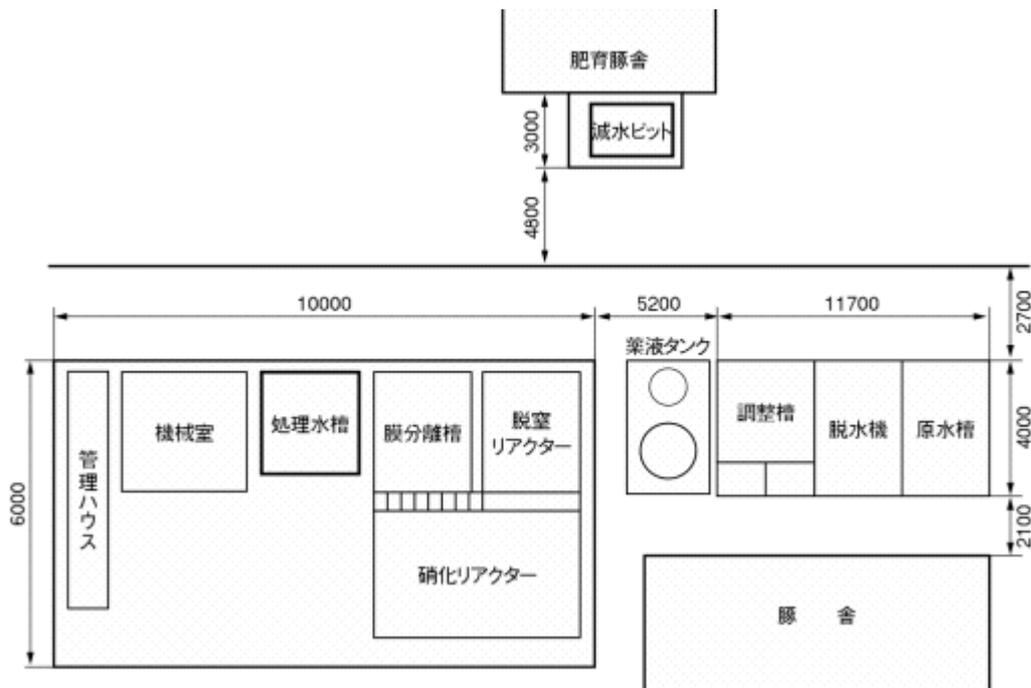


図2 パイロットプラント配置図

5. 結果概要

(1) ふん尿混合汚水の性状と排出量について

表3にふん尿混合汚水の調査結果例を示す。調査時の頭数は平均で513頭と計画の500頭にほぼ等しかったが、排出量は計画の $5\text{m}^3/\text{日}$ に対して $1.8\text{m}^3/\text{日}$ と少なく、汚濁負荷量も計画値に比べて低い値となった。計画では平均体重を 70kg (母豚一貫経営)として負荷量の算定を行なった。一方、本養豚場では繁殖豚は別棟の豚舎で飼育されている為、体重 $30\sim 110\text{kg}$ の肥育豚が排泄するふん尿のみが処理対象であり、肥育豚の体重別頭数の計測により平均体重は約 50kg となり、これが少水量、低汚濁負荷量の要因と推測された。負荷変動試験の際には負荷量の不

水 質	SS	[mg/L]	[mg/L]								
		除去率 [%]		91.3		94.0		96.0		94.2	
	T-N	原水 [mg/L]	脱離液 [mg/L]	6,400	3,500	5,340	2,500	5,070	2,650	4,950	2,610
		除去率 [%]		45.4		53.2		47.8		46.8	
	T-P	原水 [mg/L]	脱離液 [mg/L]	1,340	137	1,510	90.4	1,290	67.0	1,290	60.7
		除去率 [%]		89.7		94.0		94.8		95.4	

表5は古紙を用いた場合の試験結果である。凝集剤使用量の低減をねらいとして試験を行なったが、回数が少なく良否の判定を出すまでには至っていない。更に精査する必要がある。

表5 スクリュープレス脱水機による性能試験結果
(古紙併用での試験)

		試験区1	試験区2	
運転条件	原水供給量[m ³ /hr]	0.7	0.7	
	添加率 [% ^{T-S}]	高分子凝集剤	1.6	0.8
		古紙	0	8
処理性能	処理量[kg ^{SS} /hr]	31.6	31.6	
	脱水ケーキ水分[%]	78.8	80.9	
水 質	BOD	原水[mg/L] 脱離液[mg/L]	15,900 8,440	15,900 10,500
		除去率[%]	46.9	34.0
	SS	原水[mg/L] 脱離液[mg/L]	30,500 4,450	30,500 15,300
		除去率[%]	85.4	49.8
	T-N	原水[mg/L] 脱離液[mg/L]	4,060 2,230	4,060 2,860
		除去率[%]	45.1	29.6
	T-P	原水[mg/L] 脱離液[mg/L]	1,120 215	1,120 650
		除去率[%]	80.8	42.0

(3) 本処理行程について

——膜分離活性汚泥法の処理成績——

【連続曝気と間欠曝気の違い】

実証試験の全期間を通して膜処理水のBOD、SSの値は目標値20mg/l、1mg/lを下回った。また、試験開始後数ヶ月間は硝化リアクターの曝気は連続曝気とした。この間のBOD、SSの値は夫々目標値の20mg/l、1mg/lをクリアできたが、窒素とリンは目標値を達成できず、窒素の除去率を上げる為に曝気方法を間欠曝気に変更し試験を継続した。この変更によって処理水中の窒素濃度は50mg/l前後まで低減可能となり、以後の試験は間欠曝気により行なうこととした。連続曝気と間欠曝気の運転条件を表6に、その時の処理成績を表7に示す。連続曝気でのT-N除去率は83.7%にとどまったが、1サイクル(曝気:攪拌=1hr:1hr)2時間の間欠曝気に変更することによりT-N除去率は97.3%へと大きく改善された。

表6 連続曝気と間欠曝気と比較(運転条件)

	連続曝気	間欠曝気
投入汚水量 [m ³ /日]	4.9 (2倍希釈)	2.5
循環比	20	20

	除去率[%]	99.9	96.9	97.9	99.6	—	46.4	100
3	流入原水	8,440	1,970	1,970	1,690	—	144	2,520
	膜処理水	10.1	54.0	41.8	9.2	12.3	35.3	0.4
	除去率[%]	99.9	97.3	97.9	99.5	—	75.8	100

試験区1: 硝化リアクター (水温) 21.6~41°C (MLSS) 9,850~18,700 [mg/L]
(DO) 曝気時 1.0~2.9 [mg/L]、停止時 0.0 [mg/L]

試験区2: 硝化リアクター (水温) 22~37°C (MLSS) 8,720~14,200 [mg/L]
(DO) 曝気時 1.0~3.6 [mg/L]、停止時 0.0 [mg/L]

試験区3: 硝化リアクター (水温) 22~30.5°C (MLSS) 14,200~15,900 [mg/L]
(DO) 曝気時 1.1~3.8 [mg/L]、停止時 0.0 [mg/L]

【リン除去対策】

リン除去対策として、膜分離槽に鉄系凝集剤(ポリ硫酸第2鉄)をFe/Pモル比で1程度添加することにより処理水のT-Pを5.0mg/l以下にすることが可能であった。この方法は確実にリン濃度を低減することができるが、ランニングコストが過大となる為、費用の低廉な技術の開発が必要である。当社では特殊吸着材によるリンの除去/回収技術について、早期の実用化を目指して実証試験を行なっているところである。【膜の運転結果】

本試験で使用した精密ろ過膜はポリオレフィンを原料にした微多孔性(孔径0.4 μm)の平膜で1枚当りの面積は0.81m²である。膜ろ過法はポンプによる吸引ろ過を採用し、運転は実透過流束を0.5m³/m²・日(平均透過流束 0.4m³/m²・日)に設定し、吸引ポンプの運転サイクルを〈吸引:停止=5分:3分or 8分:2分〉として行なった。

膜分離法においては膜透過流束に係る性能が極めて重要であり、安定した膜透過流束を維持できる運転条件の確立が必要となる。その条件の一つである膜洗浄は、エアバブリングによる膜面洗浄と吸引配管を使った定期的薬液洗浄及び槽外のタンクを使った薬液浸漬により実施した。使用した薬液は0.5%の次亜塩素酸ナトリウム及び0.5%の塩酸である。

以下に、膜分離活性汚泥法の運転を通して得られた知見について列記する。

- ① 試験開始当初は、実透過流束0.5m³/m²・日の条件で4ヶ月間安定した処理が可能であった。
- ② 最も効果的な薬液洗浄方法は次亜塩素酸ナトリウムの後に塩酸による洗浄であり、膜間差圧は洗浄前0.5kgf/cm²が洗浄後0.2kgf/cm²以下となった。
- ③ 薬液洗浄の頻度は、次亜塩素酸ナトリウムが2週間に1回程度、塩酸は膜間差圧が0.5kgf/cm²付近まで上昇したら実施することにより1ヶ月以上運転可能であった。
- ④ 膜の目詰まり物質の主体はリン酸カルシウム等のカルシウム化合物であり、膜の内外に付着・閉塞しているものと推測された。
- ⑤ リン除去対策として膜分離槽にポリ硫酸第2鉄を添加処理すると膜間差圧の低下が見られ、目詰まり対策について薬液洗浄以外の方法も示唆された。
- ⑥ 運転開始から3年を経過し、試験途中で膜ユニットの出し入れ時の取り扱いミスや膜の固定不良による破損、目詰まり状態確認の為に膜解体等で一部膜の入れ替えを行なったが、最初から使用している膜も未だ十分透過性能を保持している。このことより、本試験で使用した平膜は、ふん尿混合汚水という極めて汚濁度が高く且つ過酷な運転条件下でも3年間の耐久性を有することが確認された。現在、本パイロットプラントは畜産農家の現場において実装置として稼働中であり、今後も引き続き膜の透過性能や耐久性の確認を行なうこととしている。

6. おわりに

畜産を取り巻く環境は今後益々厳しくなる一方であり、排水処理の重要性も増してくると思われる。一方、畜産農家にとって排水処理施設は利益を生み出さないばかりか、管理の手を抜けば即刻その影響が処理水質の基準超過となって現れる厄介な代物であり、できれば持ちたくない施設である。集約処理を除けばこれが実現可能となるのは、家畜排泄物の全量(ふん、尿とも)が回収⇒資源化⇒再利用のラインからはみ出すことなく処理される場合のみであり、それ以外の場合に

は何らかの排水処理の設置が必要となる。

スクリープレス脱水機と膜分離活性汚泥法の組み合わせによる実証試験を終了し、実用化に向けて仕様等の細部の検討が完全に終わっていない為、本稿ではイニシャルコスト、ランニングコストまで言及できなかった。これらについては改めて紹介することにした。

当社では、生研機構との共同研究において『固液分離のされた尿汚水を対象とした“畜舎排水浄化処理装置”の開発』を終え、神奈川県下の某養豚場において実用化促進事業の一貫として実規模の膜分離活性汚泥処理装置の設置が完了し運転を開始している。今後は、白河と神奈川の実装置の運転を通して装置全般のデータを収集・解析を行ない、畜舎排水における膜分離技術の一層の進展を図って行く所存である。

【問い合わせ先】

共和化工株式会社 技術研究所

畠中 豊、志村 有通、木本 博志

〒194-0035 東京都町田市忠生2-15-5

TEL 042-791-2115 FAX 042-791-2117