

環境負荷軽減技術の確立

1 3. 焼酎製造後の凝縮液を利用した豚汚水の脱窒処理技術の開発

Development of Removing Technic of Nitrogen using Condensation Solution recovered from Liguor in Pig Waste Water

阿部正八郎・吉田周司・山下 實¹⁾・豊田大賀²⁾・中野健治³⁾

要 約

焼酎製造後の凝縮液を利用して、豚汚水中の窒素を高率に除去するシステムを開発し、現地実証試験を実施し以下の結果を得た。

1. 膜分離活性汚泥法では窒素濃度が 400 ~ 1100mg/L と高濃度で且つ変動を示したが、硝化率は安定して流入窒素の 80 % 以上 (pH調整により 90 % 以上) 硝化出来ることを確認した。
2. USB装置は窒素負荷 1.6 ~ 4.1kg/m³/日の負荷で変動内でも凝縮液を適切量添加することで、脱窒率 95 % 以上が得られた。
3. 凝縮液のBOD濃度は平均で 8600mg/L であり、性状変動も少なく、適切な保管をすることで性状が安定することを確認した。また、窒素処理における必要量は 250kg/kg-Nであることを明らかにした。

(キーワード：凝縮液、膜分離活性汚泥法、USB、脱窒処理)

背景及び目的

本県を代表する地場産品の一つである焼酎の製造で生じる焼酎粕は、海洋投棄の禁止等により家畜の飼料や堆肥化で資源としての再利用を図ってきたが、その過程で発生する凝縮液（再蒸留液）は浄化処理や産業廃棄物として排出されている。しかし、この凝縮液は、不純物が少なく高濃度炭素源を有しているため、その有効利用が要望されている。

一方、本県の豚飼養頭数は、135,400 頭 (H17 年) で 1 戸当たりの飼養規模は全国第 9 位と規模拡大が急速に進み、それに伴ってふん尿の排泄量も増大し、「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」にそった尿污水处理施設が必要となっている。また、平成 13 年の「水質汚濁防止法」の改正により、窒素の総量として規制が強化され、適正な処理が益々求められるようになった。

豚は、他の家畜に比べ浄化処理しなければならない尿汚水の量が多いうえ、高濃度に窒素（アンモニア分）を含有しており、この窒素規制をクリアするためには、脱窒処理施設を増設して、かつ薬剤等を使用した高度な処理が必要となり、養豚農家は設備費と維持管理に大きなコスト負担を強いられることとなる。

こういう情勢にあって、有用資源としての凝縮液を利用した豚の污水处理水から窒素除去技術を含めた污水处理システムの開発が資源循環型農業の確立のために取り組まなければならない課題となっている。このため焼酎粕の凝縮液（再蒸留液）を利用した窒素の高度処理ができる豚舎尿污水处理システムの技術開発を図ることとした。

試験方法

膜分離活性汚泥法および上向流式脱窒素処理装置を組み込んだ実証機を農家に設置し汚水を用いた硝化速度、脱窒速度凝縮液添加量等の解析を行い実用化に向けたシステム開発および污水处理技術の確立のため下記の項目について試験を実施した。(写真 1)

1) 南九州大学 2) (KK) 日鉄環境エンジニアリング 3) 三和酒類(kk)

1. 豚尿污水处理システムの確立

- 1) 膜分離活性汚泥法を組み込んだ污水处理技術の確立
- 2) 上向流式脱窒素処理装置を組み込んだ污水处理技術の確立

2. 事業化の条件確立に関する検討



写真1 膜分離槽及び凝縮液利用型USBシステムの概略

前段の既設及び膜分離活性汚泥槽で有機物処理及び硝化進行後、膜ユニットにて固液分離を行う。膜分離水（固液分離水）は途中凝縮液と混合され、USB槽下段より流入し、USB処理水（最終処理水）はUSB上部よりオーバーフローして系外に排出される。USBは処理水循環により汚泥に効率よく接触させ、処理効率を高めている。

結果及び考察

1. 豚尿污水处理システムの確立

1) 膜分離活性汚泥法を組み込んだ污水处理技術の確立

- (1) 窒素負荷 0.25kg/m³/日において、豚尿污水中のアンモニア性窒素及び有機性窒素は硝酸性窒素まで硝化が進行することを明らかにした（図1、表1）。
- (2) BOD負荷約1kg/m³/日においても良好な処理結果が得られ、通常の活性汚泥法で用いられる0.3～0.5kg/m³/日と比較し、大きな値を採用できることを明らかにした（表2、3）。
- (3) 活性汚泥法の重要な運転因子である汚泥濃度は、安定して10000mg/L程度を維持可能である。
- (4) 運転条件として排泥量は流入BOD量の約40%相当量であることを明らかにした。

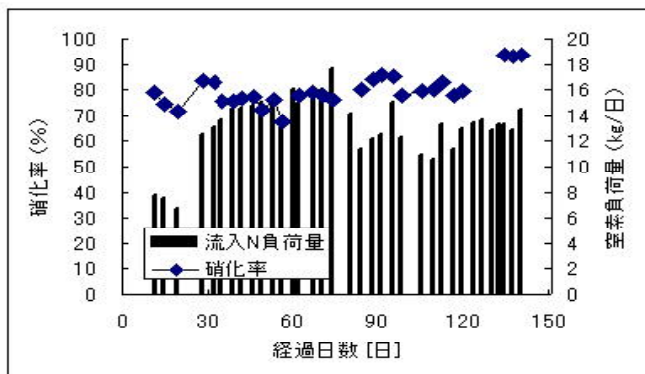


図1. 窒素負荷量に対する消化率

表1. 流入原水と膜分離処理水の窒素性状

	K-N mg/L	NH4-N mg/L	NO2-N mg/L	NO3-N mg/L
流入原水	平均	530	410	0
	中央値	500	390	0
	最小値	390	260	
	最大値	750	600	
	標準偏差	108.102	80.7729	
	n数	17	17	17
膜分離処理水	平均	11	3.2	1.3
	中央値	13	1.6	1.2
	最小値	2.6	0.13	<0.05
	最大値	19	13	3.7
	標準偏差	6.1	4.3	1.2
	n数	8	8	8

表2. 膜分離槽のBOD負荷及び窒素負荷量

	項目	BOD負荷 [kg/m ³ /日]	窒素負荷 [kg/m ³ /日]
実験Ⅰ	平均値	0.26	0.07
	中央値	0.23	0.06
	最小	0.12	0.05
	最大	0.47	0.09
実験Ⅱ	平均値	0.41	0.12
	中央値	0.39	0.12
	最小	0.22	0.07
	最大	0.84	0.16
実験Ⅲ	平均値	0.85	0.25
	中央値	0.86	0.23
	最小	0.51	0.18
	最大	1.16	0.35

表3. 実験Ⅲにおける膜分離処理水の性状

	pH	BOD mg/L	COD mg/L	K-N mg/L	NH ₄ -N mg/L	NO ₂ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L	T-N mg/L
平均	6.8	<5	91.0	11.1	3.2	1.3	408.8	422.2
中央値	6.8	<5	93.0	13.3	1.6	1.2	409.0	-
最小値	5.9	<5	77.0	2.6	0.1	<0.05	370.0	-
最大値	7.2	5	102.4	19.0	13.0	3.7	440.0	-
標準偏差	0.41	-	11.0	6.1	4.3	1.2	27.3	-

2) 上向流式脱窒素処理装置を組み込んだ汚水処理技術の確立

- (1) 窒素負荷 1.6 ~ 4.1kg/m³/日においても凝縮液を適切量添加することで、95%以上の脱窒率が得られ、処理水T-Nを100mg/L以下まで低減できることを明らかにした(図2、表4)。
- (2) 汚泥はグラニュールの形成がみられ、SSは最大50000mg/Lと高濃度に保持されることを確認した(図3)。
- (3) 脱窒速度は0.255kg-N/kg-VSS/日(20℃)と一般的な脱窒処理に用いられる硝化液循環型脱窒システムよりも2倍以上高いことを確認した(表5)。
- (4) 凝縮液の性状は平均BOD8600mg/L、平均TOC3400mg/Lであり、保管中の劣化も少なく、安定した利用ができることを明らかにした(表6)。
- (5) 凝縮液必要量は流入する窒素の形態により異なり、硝酸性窒素の場合250kg/kg-N、亜硝酸性窒素の場合160kg/kg-Nであることを明らかにした(表7)。

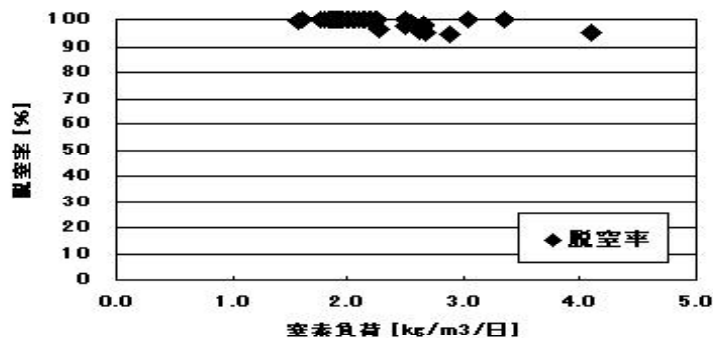


図2 USBの窒素負荷と脱窒率

表4 USB処理水の水質検査結果

項目	pH	SS [mg/L]	BOD [mg/L]	COD [mg/L]	K-N [mg/L]	NH ₄ -N [mg/L]	NO ₂ -N [mg/L]	NO ₃ -N [mg/L]	T-N [mg/L]
平均	8.3	52.1	9.6	133.3	39.2	33.3	20.7	<0.5	59.9
中央値	8.4	50.0	8.5	130.0	40.0	34.0	20.0	<0.5	55.0
最小値	8.2	20.0	7.8	130.0	30.0	25.5	5.0	<0.5	45.0
最大値	8.4	100.0	15.0	140.0	50.0	42.5	50.0	<0.5	100.0

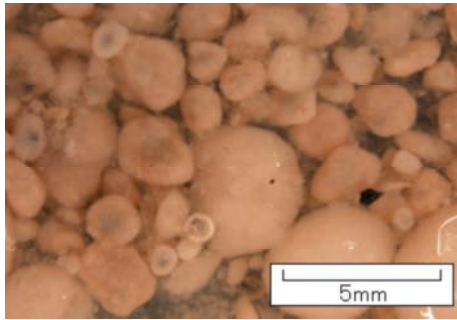


図 3 USB の窒素負荷と脱窒率

USB 定常運転における脱窒率は、9 割以上となり、USB の窒素処理の有効性と凝縮液の窒素処理に対する有用性が示された。

表5 USB汚泥内の脱窒速度(kg-N/kg-ss/日)

水温(°C)	10	15	20	30
脱窒速度	0.103	0.179	0.278	0.339
	0.125	0.134	0.242	0.410
			0.217	0.383
			0.283	
平均値	0.114	0.1565	0.255	0.377
文献値	0.048	0.072	0.12	-

表 6 凝縮液の性状分析結果

項目	pH	BOD mg/L	COD mg/L	TOC mg/L
平均	3.4	8,600	3,600	3,400
中央値	3.3	8,280	3,400	3,300
最小値	3.1	6,670	2,900	2,600
最大値	4.3	13,000	4,950	4,770
標準偏差	0.23	1,651	552	553
標本数	29	29	29	29

表 7 窒素処理に必要な凝縮液量

	USB流入		凝縮液 使用量 kg	N処理量 kg	消費率 kg/kg-N	消費率 (平均) kg/kg-N
	NO ₂ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L				
実験1	<0.5	470	650	2.6	250	250
実験2	<0.5	510	700	3.0	240	
実験3	<0.5	500	1200	4.8	250	
実験4	460	6.8	400	3.3	147	160
実験5	530	6.6	480	3.7	146	
実験6	480	5.8	550	3.4	169	
実験7	490	5.6	550	3.4	168	
実験8	490	5.4	550	3.5	167	

2. 事業化の条件確立に関する検討

1) 普及化に向けた経費、利用率等の評価

- (1) 実験により窒素 1kgを処理するのに必要な凝縮液は 250kgであることを明らかにした。母豚 250 頭規模で脱窒しなければならない窒素量は暫定基準値 900mg/Lを上限とした場合 22.5kg/日となり、このと

きの凝縮液の必要量は5,625kg/日であることを明らかにした。

- (2) 県下大規模養豚場における窒素の発生量と凝縮液の必要量について、母豚250頭（常時飼養頭数2,500頭）規模から排泄される窒素量は年間239トンでありこれを県内での凝縮液発生量27,000トンで約45.2%処理することが可能であることを明らかにした。（図4、表8）
- (3) 凝縮液の輸送について、大分県内では平均2時間程度で輸送することが可能であり、凝縮液に濃縮液を一定量添加すれば有効炭素源体濃度が高くなり輸送コストの低減につながることを明らかにした。
- (4) 技術開発したシステムを利用した新たな浄化処理施設について、母豚250頭規模において、今回開発した技術を取り入れた汚水処理施設の建設費は73百万円で一般的な施設より水槽容積で65%、面積で47%コンパクトになることを明らかにした。（表9）

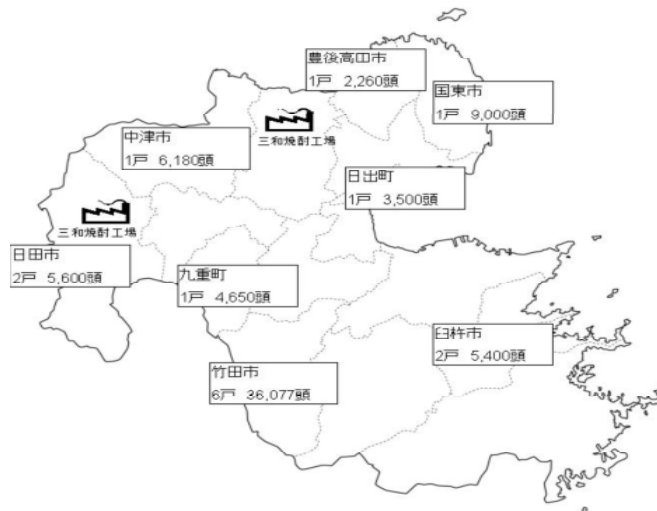


図4 大分県内の大規模養豚場配置図

表8 県内大規模養豚場の排泄量と必要凝縮液量

市町村名	戸数 (戸)	肥育豚換算 (頭)	総排出窒素量 KgN/日 (注1)	汚水量 m3/日 (注2)	処理水中窒素量 KgN/日 (注3)	必要凝縮液量 m3/日 (注4)
中津市	1	6,180	175.5	61.8	55.6	13.9
豊後高田市	1	2,260	64.2	22.6	20.3	5.1
国東市	1	9,000	255.5	90.0	81.0	20.3
臼杵市	2	5,400	153.3	54.0	48.6	12.2
日出町	1	3,500	99.4	35.0	31.5	7.9
日田市	2	5,600	159.0	56.0	50.4	12.6
九重町	1	4,650	132.0	46.5	41.9	10.5
竹田市	6	36,077	1,024.2	360.8	324.7	81.2
合計	15	72,667	2,063.0	726.7	654.0	163.5
					年間 239t	年間 59,714t

注1: 肥育豚1頭当たりふん中の窒素量を8.3gN/頭/日、尿中の窒素量を25.9gN/頭/日とし、糞尿分離率を70%とした

注2: 肥育豚1頭当たりの汚水量を10L/頭・日とした

注3: 処理水の窒素濃度を暫定値である900mg/Lとした

注4: 注3の処理水中窒素量について、試験結果より窒素1kgを脱窒するのに必要な凝縮液を250kgとし算出

表9 脱窒施設の違いによる施設経費等の比較表（当社比）

処理方式	特徴・性能	水槽容量(m ³)	敷地面積(m ²)	設備費(百万円)	
標準活性汚泥法+生物脱窒処理	<処理水水質>				
	BOD	60mg/L以下	695	225	79.0
	SS	60mg/L以下			
	T-N	100mg/L以下	(100%)	(100%)	(100%)
膜分離活性汚泥法+USBシステム	<処理水水質>				
	BOD	60mg/L以下	236	115	73.0
	SS	60mg/L以下			
	T-N	100mg/L以下	(36%)	(52%)	(93%)

*母豚250頭一貫経営規模農家における処理設備比較

*()内%は標準活性汚泥法+生物脱窒処理施設に対する割合

参考文献

- 中央畜産会：家畜尿汚水の処理利用技術と事例（1989）
- 井出哲夫：水処理工学—理論と応用—（1976）
- 田中康男：畜産業における汚水処理技術の現状と今後の展望，水環境学会誌，26(9)，557-562(2003)
- 徐開欽，李●（王偏に賛）雨，全惠玉，須藤隆一：畜舎排水の処理対策とその高度化，用水と廃水，40(2)，133-141(1998)
- 亀岡俊則：家畜排泄物の適正処理技術，用水と廃水，46(4)，320-326(2004)
- 酒村哲郎，金主鉉，西村修，千葉信男，須藤隆一：実プラントにおける豚尿汚水処理の窒素除去特性，日本水処理生物学会誌，18,73(1998)
- Sang-Min Lee, Jin-Young jung, Yun-Chul Chung, Jeong-Hun Shin：Inhibition of Free Ammonia on Biological Nitrogen Removal Process，日本水環境学会講演集，34，560(2000)
- KIN D J, KIM T K, CHOI E J：Fluorescence in situ hybridization analysis of nitrifiers in piggery wastewater treatment reactor，Water Sci Technol，49(5)，333-340(2004)
- CHOI Euiso, KIM Daehoon, EUM Youngjin, YUN Zuwhan：Full-Scale Experience for Nitrogen Removal from Piggery Waste，Water Environ Res，77(4)，381-389(2005)
- KAKIICHI N, ISHIZAKI Y, TOMITA S, ITO O, MATSUNAGA T, KAMATA S, HAYASHI M, UCHIDA K,
- OSHIDA T：Denitrifying Bacterial Isolation from Activated Sludge of Swine Waster Water Treatment and Carbon Source and Temperature Demanded for Denitrification，Anim Sci Technol，63(1)，38-46(1992)
- E.Choi, Y.Eum：Strategy for nitrogen removal from piggery waste，46(6/7)，347-354(2002)
- A.Tilche, G.Bortone, F.Malaspina, S.Piccinini, L.Stante：Biological nutrient removal in a full-scale SBR treating piggery wastewater:results and modelling，Water Sci Technol，43(3)，363-371(2001)
- H.Kim, H.-S.Kim, I.-T.Yeom, Y.-B.Chae：Application of membrane bioreactor system with full scale plant on livestock wastewater，Water Sci Technol，49(5/6)，381-388(2004)
- 渡邊祐治，八木広幸，遠藤敏章，河嶋典夫：豚舎汚水の簡易な処理装置に関する研究（短報），鳥取県中小家畜試験場研究報告，54，18-20(2002)
- 環境エンジニアリング：高効率豚舎排水処理装置「バイオアタック・バイオサイクルシステム」，月刊養豚情報，30(5)，94-99(2002)
- 小林貞仁，渡邊方親：畜舎汚水成分の経時的な変動と養豚場の汚水成分調査，長崎県家畜保険衛

平成 18 年度試験成績報告書 : 35(2006)

- 生業績発表会集録, 43, 58-61(2001)
- 18 畜産環境整備機構 : 高濃度畜舎污水の低コスト処理・利用技術の開発, 畜産環境保全経営技術開発普及促進事業報告書 平成 15 年, p13-25(2003)
- 19 吉田健一, 西和枝, 神野好孝 : USB 法による排水処理技術の研究, 鹿児島県工業技術センター研究報告, 16(2002)
- 20 新村孝喜, 松永一彦, 西和枝 : 生物処理の効率化に関する研究ー USB リアクターによるグラニキュールの脱窒試験ー, 鹿児島県工業技術センター研究報告, 13(1999)
- 21 吉田健一, 西和枝, 神野好孝 : 凝縮水を活用した汚水中の窒素及びリン除去, 鹿児島県工業技術センター研究報告, 18(2004)
- 22 蔵田信也, 小山修 : 「新しい窒素処理技術」ー USB 型高速脱窒装置ー, 産業と環境, 26(1), 83-85(1997)
- 23 古宮紀之, 本啓二 : 高効率窒素処理設備 USB システム, 産業機械, 571, 14-16(1998)
- 24 横幕豊一 : 硝酸含有排水の脱窒素処理, 月刊地球環境, 31(4), 142-143(2000)
- 25 横幕豊一 : 「USB リアクター : 高効率硝酸体窒素含有廃水処理装置」, 産業と環境, 29(9), 73-75(2000)
- 26 KRISHNAMACHARI S, OLARKSON W W : Nitrite accumulation in the effluents from high-strength denitrification of industrial wastewater, Proc Ind Waste Conf, 47, 383-392(1993)
- 27 友沢孝, 齊藤祐二, 帆秋利洋 : USB 法を用いた脱窒素処理特性, 用水と廃水, 31(1), 35-41(1989)
- 井村正博, 後藤雅司, 山下近六 : 膜分離活性汚泥方式による豚舎排水の高度処理, 日本水環境学会年会公演集, 34, p268(2000)
- 28 和泉清司, 師正史 : 膜分離高負荷脱窒素処理, Kubota Technical Report, 24, 126-133(1992)
- 29 畜産環境整備機構 : 畜産環境アドバイザー養成研修会資料【污水处理施設の設計・審査技術研修】(1999)