

最近米国で開発された豚舎排水処理システム

ラグーン排除、環境影響低減及び水質改善のための豚排せつ物処理

畜産環境整備機構 渡邊昭三

はじめに

本技術システム（固液分離／硝化－脱窒／溶解性リン除去／固形物処理システム）の基礎開発は、米国サウスカロライナ州フロレンスにあるUSDA-ARS Coastal Plains Research CenterのDr. Matias B. Vanotti等によって行われ、2004年4月21日に米国特許No.09/903,620をとっている。そして2001年ノースカロライナ州との契約により、2000年に同州法務長官とSmithfield他2社との研究資金民間負担合意による養豚のための環境的に優れた技術（EST）緊急開発事業18候補の一つとなった。数年前この基礎研究の初報がARSの広報誌に発表されたとき、当時日本の畜産分野の污水处理では意識されていなかった、硝化－脱窒細菌の固定化モジュール、それも日本の水処理分野で開発された方法が用いられていたことに驚かされた。

研究協力は、固液分離についてスペインのSELCO社、生物学的アンモニア除去（バイオグリーン固定化細菌モジュール）について日立プラントエンジニアリング株式会社及び環境に優しい技術で生産された豚肉の国際市場開発について、三井商事株式会社によって行われた。

設置した実用施設の性能評価は、2003年4月15日から2004年3月1日まで、調査試料を連続的に採取して行われた。また、引き続き、詳細な経済性の評価も行われた。詳細はhttp://www.cals.ncsu.edu:8050/waste_mgt/smithfield_projects/smithfieldsite.htmを開き、更に画面のPhase 1（2004）、Phase 2（2005）を開いて得られる。

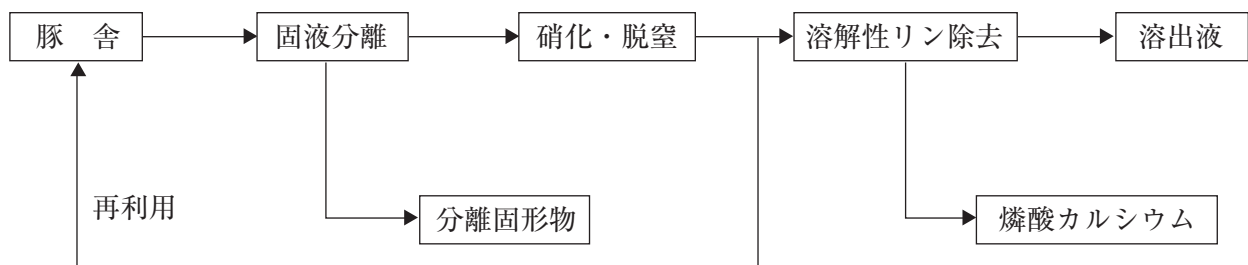
1. 本処理システムの概要

1. 本処理システムの概要

ふん尿処理システムには、栄養素を捕捉し、アンモニアと悪臭の放出を低減し、そして有害病原菌を消毒することが要求される。今回これらの諸要求を満足することを目指して豚の污水处理システムが開発された。このシステムでは、固形物のフロッキュレーションを増進するためにポリマーを注入することによって固液分離の効率が大きく向上した。アンモニア放出を低減するための窒素管理は、溶液を固定化細菌が窒素に転換するモジュールを通過させることにより達成した。窒素モジュール処理後の液は、豚舎の床下のふん尿貯留槽の充填水に再利用した。次にリンモジュール中の廃水をアルカリ処理することにより燐酸カルシウムを沈殿させ、そして病原菌を消毒した。処理水は作物の灌漑に用いる。このシステムをパイロットプラントで実証の後、養豚農場に実用規模の施設を設置し、ESTの評価組織による評価を受け、技術の性能、農場導入可能性が証認された。

実用規模施設はノースカロライナ州デュプリン郡にある肥育豚4,400頭規模のゴーシェンリッジ農場に設置された。施設はノースカロライナ州クリントンのSuper Soil System USAにより建設され運営されて

図-1 ゴーシェンリッジ農場の処理システムの概念図



いる。プロジェクトは、サンプルの同社本部における集中型固形物処理施設での実証と併せて完了した。分離された固形物は好気性の堆肥化後、有機肥料・土壌改良材及び園芸資材市場の高級土壌資材として付加価値のある生産物を製造するためブレンドを行った。

2 Ecopurin 固液分離モジュール

1) システムの概要

固液分離システムにはスペインのSELCO MC社が開発したEcopurin固液分離装置を採用した。このモジュールはプログラム制御盤により24時間の自動運転ができる完全自動化となっている。ポリマー添加率、原水流量及び混合強度は、運転者に

よって制御盤の操作スクリーンを通してセットされる。モジュール本体では、液体ふん尿はポリマーと反応し、自動清掃式回転スクリーンで分離される。引き続き、小型の濾過加圧機が脱水する間、空気溶解浮遊装置が液体を攪拌し、液分から固形分を除く。脱水された固形物は120立方フィートのトレーラーに落下し、毎日集中処理場に移送される。分離された液分はコンクリート槽に排出され、連続的に次の生物学的窒素除去モジュール処理に送られる。

2) 固液分離モジュールの分離効率

実証評価期間10.5カ月間の固液分離モジュールの性能評価は表-1のとおりである。

表-1 Ecopurina 固液分離モジュールの各水質項目の分離効率

水質項目	原料豚液体 ふん尿 mg/L (± s.d)		固液分離後 処理液 mg/L (± s.d)		低減効率 %
TSS	11,072	(5,660)	766	(392)	93
VSS	8,100	(4,804)	448	(282)	93
COD	16,881	(9,058)	3,957	(2,390)	77
粒子COD	13,321	(8,119)	1,252	(838)	91
BOD ₅	3,405	(2,495)	1,311	(1,244)	61
TKN	1,617	(557)	988	(322)	39
有機窒素	714	(314)	112	(88)	84
全リン	573	(215)	170	(44)	79
有機リン	436	(189)	45	(32)	90
硫黄	142	(62)	27	(12)	81
カルシウム	269	(123)	60	(24)	78
マグネシウム	198	(88)	24.5	(20.3)	88
亜鉛	25.9	(11.3)	1.5	(1.9)	94
銅	26.2	(11.5)	1.5	(1.7)	94
鉄	90.4	(40.5)	6.4	(6.5)	93
pH	7.60	(0.19)	7.91	(0.15)	
電気伝導度	10.44	(3.09)	10.39	(2.88)	

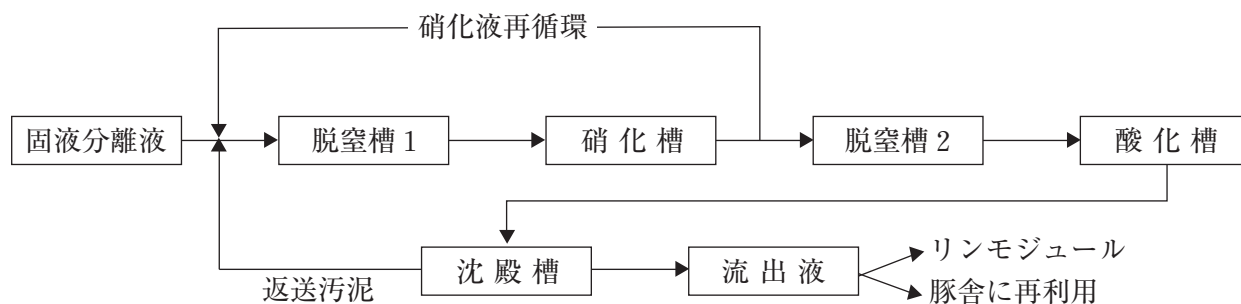
3 バイオグリーン窒素除去モジュール

1) システムの概要

固形物が除去された溶液中の相対的に少量の懸濁有機物が硝化脱窒反応で処理されることになる。処理される液体はかなりの量のアンモニアとリンを含んでいる。この実証プラントではバイオグリーン方式（日立プラントエンジニアリング・建設株

式会社、日本・東京）により生物学的にアンモニア性窒素を除去する。この処理方式は前脱窒槽を配置し、そこに硝化した溶液が脱窒サイクルを通じて送られ、硝化・固液分離後の溶液に含まれる溶解性炭素（COD）をエネルギーにして大部分の硝酸塩（>80%）が除去される。この処理方式のユニークな特徴は硝化タンクにおける微生物バイオマス濃度をポリマーゲルの中に硝化細菌を封入したものを利用

図-2 設置した生物学的窒素除去モジュールの説明図



（この5槽構成は、後に性能を変えず脱窒槽2と酸化槽を省略、3槽構成となった。）

表-2 バイオグリーンシステムの窒素除去効率：暖季において第2脱窒槽にメタノールを添加しない場合

水質項目	固液分離後 処理液後 (mg/L)	生物学的脱窒 の処理液 (mg/L)	濃度低減 効率 (%)
アルカリ度 (mg/L)	4,564	459	90
VSS	637	82	87
COD	4,404	672	85
BOD ₅	1,520	27	98
溶解性BOD ₅	813	6	99
TKN	1,005	28	97
NH ₄ -N	887	16	98
酸化された窒素*	1	237	-
全窒素**	1,006	265	74
pH	7.88	7.17	-

*酸化された窒素 = NO₃-N + NO₂-N

**全窒素 = TKN + 酸化された窒素

して増加していることである。これらのペレットは硝化細菌に必要なアンモニアと酸素を透過し、スクリーン構造をもってタンクの中に保持されている。ゴーシェンリッジ農場の反応タンクは硝化ペレット12m³を収容している。システムには第2脱窒槽が配置されており、ここでメタノールをエネルギーとして注入して溶液中の硝酸塩の残りを還元することができる。タンクの有効体積は：第1脱窒槽=263m³、硝化タンク=110m³、第2脱窒槽110m³、酸化槽23m³、沈殿槽=33m³、流出処理水貯留タンク=200m³である。(図2)

2) 生物学的窒素除去モジュールの性能確認

水及び大気温度：生物学的処理は多くの場合低温によって影響を受ける。評価期間中寒冷期(2003年12月と2004年1月)の月平均水温は11.9から13.0℃で日平均気温より4.2℃高かった。対応する期間の月平均大気温度は4.8から6.7℃であった。生物学的窒素除去モジュールの性能はこれらの低温によって実用上問題になる影響を受けなかった。

窒素負荷率：窒素モジュールへの窒素負荷率は生産サイクルに伴って大きく変動した(150%)。固定化細菌システムは実績が示したように、大きく変動する条件によく反応した。予測アンモニアの日負荷量は63kgから73kgの間を変動した。

細菌の高いアンモニア濃度に対する順応：システムの処理液流量が定常化してから、硝化細菌が高濃度の豚ふん尿液に十分順応するのに4週間かかった。順応手続きは、固液分離性能の100%に対して25%づつ段階的に流量を増加して負荷を増加して行った。

4 溶解性リン除去モジュール

1) システムの概要

生物学的窒素処理の後処理液は重力でUSDA-ARSが開発したリン分離モジュールに流入する。ここではリンは磷酸カルシウムとして回収され、そして病原菌はアルカリ性pHで破壊される。処理液は加水された石灰と反応槽の中で混合される。石灰注入器にはpH制御が連結され、pHを10.5~11.0に維持する。液と沈殿物は沈殿槽で分離される。沈殿した磷酸カルシウム泥は更に50ポンド容量の濾

過バッグで脱水される。沈殿物にポリマーを添加しリン分離を促進する。この全システムはセンサーによる24時間運転のプログラムで自動化されている。この制御プログラムは窒素モジュールと共用されており、処理pHが設定され制御スクリーンに表示される。

2) 溶解性リン除去プログラムの性能評価

溶解性リン除去の効率：リンモジュールの評価は、前駆するシステムが定常状態に入ってから開始された。溶解性リンの除去効率はPO₄-P濃度77~191mg/Lの処理液について平均94%であった。なおBOD₅の除去効率は70%であった。

磷酸カルシウムの生産：9ヵ月間に磷酸カルシウム285袋、P₂O₅が1,160ポンド、カルシウムが1,450ポンド生産された。1袋の平均は34.8kg(±6.5kg)で、8.1kgの乾燥物(23.3%固形物、76.7%水分)を含んでいた。リンは肥料工業の標準クエン酸溶性分析によると90%(±2.5%)の植物利用性であった。

5 全廃水処理システムの性能

システムの性能は実施で10.5カ月にわたり、全3モジュールを作動させて検討した。確認されたシステムの性能は表-3に示すとおりである。

臭気物質の低減：処理システムは臭気発生物質の低減にも効果的である。処理液に含まれるこれら物質の低減を測定した結果、フェノール81.3%、P-クレゾール99.8%、エチルフェノール99.8%、4-プロピルフェノール98.9%、インドール93.5%、スカトール98.7%の低減効率であった。

ふん尿の細菌汚染指標の低減：調査の結果、各段の処理により指標値が低減し、特にリン回収のアルカリ処理による沈殿が消毒効果を示した。全グラム陰性菌、ふん性大腸菌、*E.coli*及び腸球菌が検出限界以下となった。

電力消費量：運転時の処理システム全35の電気機器の消費電力を275日間調査した。総消費電力は1日当たり466.22kWで、そのうち生物学的窒素処理266.18kWが最も大きかった。

経済性の評価は詳細に別の報告に示され、本システムがノースカロライナの養豚の現場に導入可能なことが示されている。

おわりに

これまで米国畜産の排せつ物処理の主流であった嫌気性ラグーン-圃場散布方式が畜産濃密州においては環境保全上限界に達したと考えられている。このUSDA-ARSの豚舎污水处理システムの開発は、まったく発想の転換に立って、畜産固有の污水处理体系を、最新の技術要素で構成し実用化した点、我

が国の研究開発戦略にとって今後大いに参考になるものと思われる。

また、ノースカロライナ州において、差し迫った畜産環境問題について、行政が主導し、民間研究資金を導入し、これに議会が対応して方針を設定し、具体的な技術開発の候補と開発期限を定めて、州の研究機関総動員で対策研究を推進した行き方も事例研究に値すると思われる。

表-3 確認された実施設の性能 (2003年4月15日-2004年3月1日)

水質項目	フラッシュ 原水 (mg/L)	固液分離後 (mg/L)	生物学的 窒素除去後 (mg/L)	リン除去 処理後 (mg/L)	システム の効率 (%)
TSS	11,051	823	122	264	97.6
VSS	8,035	591	77	85	99.0
COD	16,138	3,570	617	445	97.4
BOD ₅	3,132	1,078	33	10	99.7
TKN	1,584	953	34	23	98.5
NH ₄ -N	872	835	23	11	98.7
有機N	712	111	12	11	98.5
酸化されたN*	1	1	224	224	-
全窒素**	1,584	954	258	247	84.4
全リン	576	174	147	29	95.0
溶解性リン	135	121	134	8	94.1
銅	26.8	1.54	0.53	0.36	98.7
亜鉛	26.3	1.47	0.40	0.25	99.0
pH	7.60	7.91	7.24	10.49	-
EC	10.44	10.39	5.13	4.86	-

*酸化された窒素=NO₃-N+NO₂-N

**全窒素=TKN+酸化されたN

マス・バランスベースの全窒素除去のシステム効率=89.4%。このことは窒素処理の溶出液の33%が閉鎖系で貯留槽充填のため豚舎に再利用され、そこで酸化された窒素が脱窒されたことを意味する。