

原 著

簡易加温システムを備えた土砂沈殿分離タンク転用リアクターによる養豚排水用硫黄脱窒処理技術の開発

長谷川輝明¹・田中康男²

1)千葉県畜産総合研究センター, 千葉県八街市, 289-1113

2)国立研究開発法人農研機構畜産草地研究所, 茨城県つくば市, 305-0901

要 約 土木工事用土砂沈殿分離タンクを転用したリアクターと粉末硫黄を利用した脱窒技術の実用化に向けた試験を行った。タンクは水有効容積 500L で、仕切板により上下迂流方式で流下する。このタンクを2槽連結したリアクターに、中性洗剤で親水化処理した粉末硫黄を 200kg 充填して、養豚汚水の浄化処理水（硝酸性窒素濃度約 160mg/L）を原水として通水した。また、脱窒反応に伴う処理水の酸性化を防ぐために飽和重曹溶液を適宜添加した。冬期にも実用的な脱窒能力を発揮させるため、リアクターの加温対策の試みも行った。加温法として、実験区1では水中ポンプを循環ポンプとしてリアクター内に設置し、液を循環させることでポンプ稼働熱による加温を図った。実験区2では、その循環ラインの一部をステンレスフレキシブル管とし、既存浄化処理施設の曝気槽に浸漬することで曝気槽混合液の熱をリアクターの加温に利用するシステムとした。実験区1（窒素負荷 0.26～2.0kg-N/ton-S・日）の水温は7～13℃で外気温と比較して顕著な温度上昇は見られず、窒素除去率は平均29%と低かった。実験区2（窒素負荷 0.51～0.95kg-N/ton-S・日）ではリアクター内水温が13.5～17.7℃で外気温よりも1.7～9.5℃高まり、平均除去率も66.5%にまで高まった。以上から、簡易加温システムを備えた土砂沈殿分離タンクと粉末硫黄を利用した処理システムにより、通年で脱窒を行える可能性が示唆された。

キーワード: 養豚排水、脱窒技術、硫黄酸化脱窒細菌、硫酸イオン、バフフルト型リアクター

受領: 17.04.2015. 受理: 22.05.2015.

日本畜産環境学会 No14 (1) pp47-55. 2015

序 文

畜産排水を公共用水域などに排出する場合は、水質汚濁防止法により各種項目の排水基準値が定められている。その中の一つに「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物」（以後、硝酸性窒素等と称す。なお、本報告では、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素をそれぞれ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ とする。

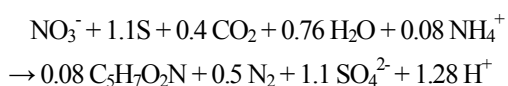
$\text{NO}_2^-\text{-N}$ と $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の合計量は $\text{NO}_x^-\text{-N}$ と示す。）に関わる項目があり、人の健康に影響を及ぼす恐れがあるとして規制されている。この項目の一般基準値は100mg/Lであるが、畜産では達成が困難なことから、平成13年に1500mg/Lの暫定基準値が設けられた。しかし、近年、700mg/Lにまで強化された（2016年6月に見直し予定）。我々の調査では、千葉県内の養

簡易加温システムを備えた硫黄脱窒技術

豚排水浄化処理施設35箇所の硝酸性窒素等の平均濃度は184mg/L (0.4~765mg/Lの範囲)であった[5]。全ての農家で調査時点の暫定基準値をクリアしていたものの、一般基準値にまで達していない農家も少なくない。今後は、畜産においても一般基準値を目標とした汚水処理に取り組む必要がある。

現場での取り組みにおいては、既存の浄化処理施設の能力を最大限発揮させる維持管理を実施することが重要であり、これによって目標を達成できるケースも多いと推定される。維持管理を改善してもなお排水基準値に対応できない場合は、何らかの脱窒処理技術を付加する必要がある。

排水中の NO_2^- -N および NO_3^- -N を除去する方法には多くの選択肢があるが、生物学的脱窒法が最も一般的に利用されている。その中の一つに、硫黄を脱窒の電子供与体に用いる硫黄脱窒法が知られている。この方法は、*Thiobacillus denitrificans* などの独立栄養細菌の一種である硫黄酸化脱窒細菌が、無酸素条件下で硫黄を酸化しながら NO_2^- -N や NO_3^- -N を窒素ガスに還元する働きを利用したもので、以下の反応式に従い排水中の窒素が低減される[3]。



硫黄酸化脱窒細菌は、 NO_2^- -Nや NO_3^- -Nを窒素ガスに還元すると同時に、硫黄から硫酸イオン (SO_4^{2-}) を生成する。 SO_4^{2-} はpHを低下させるが、それ自体は無害であり、水質汚濁防止法による規制は受けない。また、脱窒反応による余剰汚泥の生成量も比較的少ないことから、維持管理面でも有利である。

我々は、簡易で実用的な窒素低減技術の開発を目指して、農業用に市販されている粉末硫黄を利用した硫黄脱窒法について検討を行ってきた[1、2、6]。これまでに、市販の水産用水槽 (有効容積311L) をバッフルド型リア

クターに転用した脱窒リアクターに粉末硫黄を充填することで、 NOx^- -N 負荷量 0.4kg-N/ton-S・日以下の条件で 78%以上の NOx^- -N の除去性能を確認している[2]。そこで今回、この形式のリアクターをさらにスケールアップして実規模化を試みるとともに、従来の硫黄脱窒法の弱点であった低温期の性能低下の回避手法を検討した。

材料と方法

1. 試験場所

千葉県内の養豚組合保有の浄化処理施設で試験を実施した。浄化処理施設へ流入する汚水量は 37m³/日で、膜分離活性汚泥法により浄化処理を行っている。この施設の膜分離槽から流出する処理水の一部を試験の原水として、リアクターに流入させた。

2. リアクターおよび硫黄資材

脱窒リアクターには、有効容積 500L の市販の角形土砂沈殿分離タンク (ノッチタンク) (スイコー株式会社、尼崎) を用いた。試験ではノッチタンクを2槽連結して、水有効容積 1000L のリアクターとして使用した。各タンクの内部は仕切板で3区画 (第1~第3区画) に分けられ、第1区画から流入した水は仕切板と底面の間隙を通過し、第2区画の上部より第3区画に越流し処理水として排出される (図1)。そのため、各タンクの第1区画と第2区画に粉末硫黄を投入することで、硫黄資材と流下水の効率良い接触が可能である。

硫黄資材には、ブルーベリー栽培などで使用される土壌 pH 調整用粉末硫黄 (硫黄分 99%以上、200メッシュパス、株式会社自然の休憩所、香川) を用いた。粉末硫黄は撥水性のため、そのままでは脱窒処理に使用不可能であるが、家庭用中性洗剤を適量添加し攪拌することで、親水化し水中に沈降するようになる[6]。親水化処

簡易加温システムを備えた硫黄脱窒技術

理した粉末硫黄を、ノッチタンク 1 槽あたり 100 kg (層厚 23.2cm)、合計 200 kgを投入した。また、予備的な試験として粗砕硫黄についても利用可能性を検討した。この資材は粒径 40 mm から微粉末までの不均一な粒度分布であるが親水性であるため、親水化処理が不要という長所を有する。

原水は既存浄化処理施設の処理水貯留槽から、チュービングポンプにより流入量 336~1460mL/分、水有効容積あたり水理学的滞留時間 (HRT) 0.5~2.1 日でリアクターへ連続投入した。なお、試験開始後に原水の $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度が 100mg/L 以下に低下したため、硝酸ナトリウム溶液貯留タンクを設置し薬注ポンプで溶液を原水に添加することで、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を 200mg/L 程度に高めて試験を行った。硫黄酸化脱窒細菌の植種は行わなかった。

リアクターの運転は、水温が最も低下する冬期 (2014 年 12 月 18 日から 2015 年 3 月 3 日) の 75 日間行った。

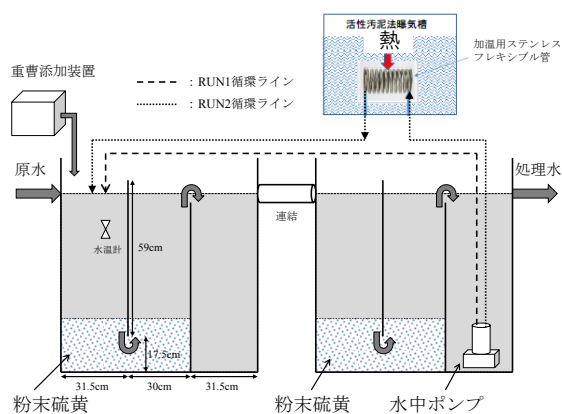


図1 脱窒リアクターの概要

2. 重曹添加装置

脱窒反応で生成する SO_4^{2-} により、処理水が酸性化することを防ぐとともに脱窒反応に必要な炭酸イオンを供給するため、リアクターには適宜飽和重曹溶液の添加を行った。重曹添加装置には、上部開放式で角型のプラスチック製

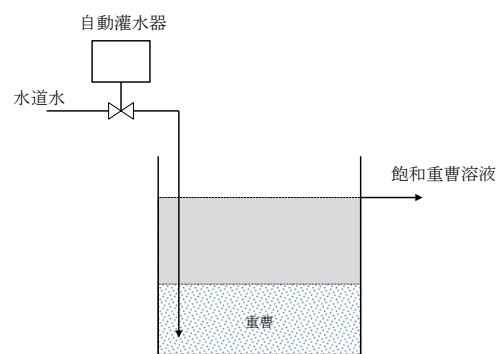


図2 重曹添加装置の概要

容器 (水有効容積約 68L) (図 2) を用い、一般工業用重曹 25 kg を投入した。この投入量は飽和濃度を大きく上回るため大部分は溶解せずに容器下部に沈殿した。この容器の底部から水道水をタイマー式自動灌水器 (G225 (株) タカギ、北九州) により 12 時間ごとに 1 分間、流入量約 0.8 L/分で通水し、飽和重曹溶液を上部より流出させた。沈殿重曹は徐々に減少するので、消失前に重曹を補充した。

3. 水中ポンプと活性汚泥曝気槽の熱を活用した加温システム

リアクター内の加温対策として、第 2 槽目の第 3 区画に水中ポンプを循環ポンプとして設置し、液を第 1 槽目の第 1 区画に返送するラインを組み込んだ (図 1)。リアクター内で液を循環させ硫黄との接触を促進させると同時にポンプ稼働熱による加温を図った。このフローでの運転を 2014 年 12 月 18 日から 2015 年 2 月 5 日までの 50 日間 (RUN1) 行った。

51 日目以降の 2015 年 2 月 6 日から 2015 年 3 月 3 日までの 25 日間 (RUN2) は、循環ラインの一部をステンレスフレキシブル管 (2 月 18 日まで 5m、その後 10m に延長) とし、コイル状に巻いたフレキシブル管を既存浄化処理施設の曝気槽混合液中に浸漬させ、曝気槽混合液の熱をリアクターに移行させる方法について

簡易加温システムを備えた硫黄脱窒技術

検討した。

4. ソーラーパネルを活用した加温の予備検討

ソーラーパネルを用いた加温についても予備的な検討を行った。内部が中空のポリカーボネート製ボード（長さ 1.8m×幅 0.9m×厚さ 4.5mm、6L 容量、ソフト・エネルギー研究所、柏）2 枚をホースで繋げてソーラーパネルとした。パネル内部で太陽光により温められた水は、直射光受光時にのみ太陽電池駆動のポンプにより、パネルとステンレスフレキシブル管（長さ 10m）の間を循環する。このフレキシブル管をリアクター液中に浸漬させることで、太陽光熱をリアクターに移行させた（図 3）。

前項の水中ポンプを活用した加温システムと併用した運転を 2015 年 3 月 4 日から 3 月 13 日までの 9 日間行った。

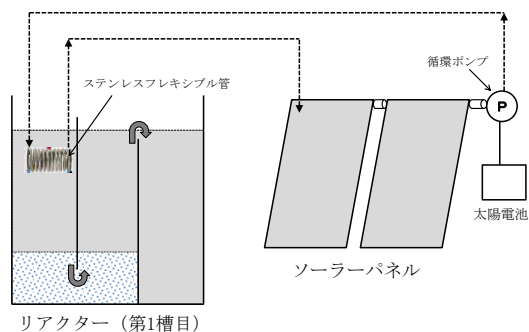


図3 ソーラーパネルを活用した加温システム

5. 分析方法

pH はガラス電極法によって測定した。生物化学的酸素要求量 (BOD) は自動測定装置 (BOD センサーシステム、(株) アクタック、東京)、浮遊物質 (SS) はガラス繊維ろ紙法でそれぞれ測定した。NH₄⁺-N は蒸留滴定法 (ベーパデス 50s オートサンプラー、ゲルハルトジャパン、東京) で測定した。また、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、硫酸態硫黄 (SO₄²⁻-S)、リン

酸態リン (PO₄³⁻-P) は、陰イオンクロマトグラフ (IC-2010、東ソー、東京) によりそれぞれ測定した。

結果および考察

試験期間中の原水の NO₃⁻-N は 72.3 ~ 220.0mg/L の範囲で変動し、NO₂⁻-N は 0 ~ 42.2mg/L の範囲で検出された (図 4)。

RUN1 の NO_x⁻-N 負荷量は 0.26 ~ 2.0kg-N/ton-S・日であった (図 5)。原水の NO₃⁻-N が 155.4±43.3mg/L (平均±標準偏差) に対して、処理水の NO₃⁻-N は 112.9±41.5 mg/L と大きな変化は見られず (表 1)、NO_x⁻-N 除去率は平均 29% と低かった。この期間中のリアクター内水温は 7~13°C であり、外気温とほぼ同レベルであった (図 5)。よって、水中ポンプによる加

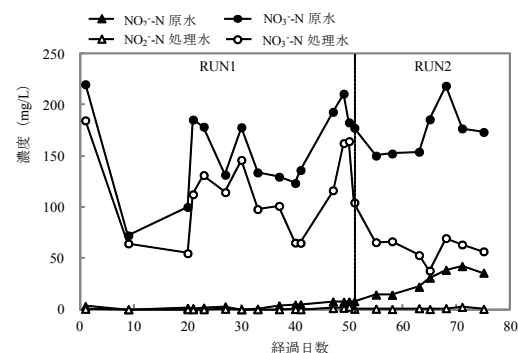


図4 試験期間中の原水と処理水の NO₂⁻-N、NO₃⁻-N の推移

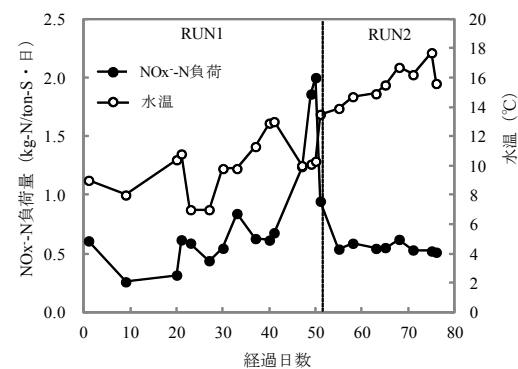


図5 試験期間中のリアクター内水温と NO_x⁻-N 負荷量の推移

簡易加温システムを備えた硫黄脱窒技術

表1 試験期間中の原水と処理水の性状

	RUN1		RUN2	
	原水 (平均±標準偏差)	処理水 (平均±標準偏差)	原水 (平均±標準偏差)	処理水 (平均±標準偏差)
pH	6.9~8.2	6.7~7.9	7.5~8.0	6.7~7.2
BOD(mg/L)	23.7±15.6	34.2±13.1	14.0±7.8	42.2±8.9
SS(mg/L)	16.4±20.1	94.8±52.0	5.0±2.5	59.5±34.5
NH ₄ ⁺ -N(mg/L)	92.7±51.9	90.2±50.8	87.0±45.9	88.0±40.6
NO ₃ ⁻ -N(mg/L)	155.4±43.3	112.9±41.5	166.9±28.8	62.4±19.0
NO ₂ ⁻ -N(mg/L)	3.4±2.7	0.5±0.8	26.9±12.5	0.9±0.7
SO ₄ ²⁻ -S(mg/L)	53.3±13.7	149.8±48.2	57.7±4.6	340.0±95.4
PO ₄ ³⁻ -P(mg/L)	15.7±7.7	15.8±7.2	32.2±13.5	29.4±14.0

pHはMin. ~Max.を示す

温効果は期待できないことが判明した。なお、一般に硫黄脱窒は、10°C未満で活性が顕著に低下することが確認されている[4, 7]。よって冬期に脱窒活性を維持するためには加温が必要不可欠である。RUN2 では、NO_x⁻-N 負荷量は 0.60±0.14kg-N/ton-S・日 で推移した (図 5)。処理水の NO₃⁻-N は徐々に低下し、65 日目には NO_x⁻-N 除去率で 82.4%まで上昇した (図 4)。RUN2 の処理水の硝酸性窒素等の平均濃度は 98.1mg/L であり (表 1)、一般基準値である 100mg/L 以下まで低下させることができた。この期間中の水温は 13.5~17.7°Cであり、RUN1 の平均水温 10.0°Cに比べて平均水温は 15.4°Cにまで高まった。このことが脱窒活性上昇の要因と考えられる。

RUN2 期間中の外気温は 6.1~14.4°Cであったが、既存浄化処理施設の曝気槽内の液温は 14.6~18.1°Cと外気温より高めであった (図 6)。活性汚泥法の曝気槽混合液は、低温期でもプロ

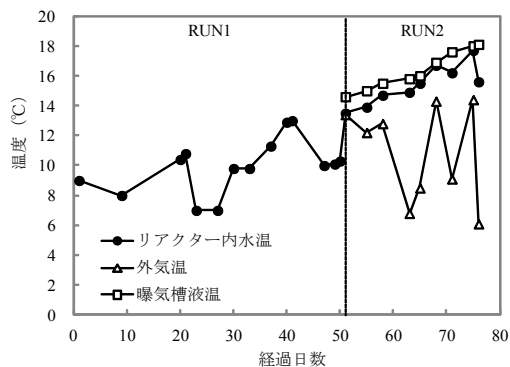


図6 リアクター内水温と外気温および曝気槽液温の推移

アの熱によって外気温より高く保持されていたと推察される。この曝気槽混合液の熱がステンレスフレキシブル管を備えた循環ラインにより、リアクター内に効果的に移送されたと考えられる。なお、リアクター内の水温は、曝気槽液温に対して $-1.0\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ の差で追従したことから、本システムにより低温期でも曝気槽内の液温と同程度まで加温可能といえる。なお、試験では原水の平均流入量 0.58 L/分に対して 4.7 L/分で液を循環させたが (循環比 8 倍)、適正循環比に関しては今後の検討課題である。

水温と NO_x⁻-N 除去率の関係はおおむね直線的で、水温が上昇するほど除去率は高くなる傾向を示した (図 7)。水温 15.5°Cで 82.4%の除去率が得られたことから、リアクター内の水温を 15°C以上に保持することが目標といえる。逆

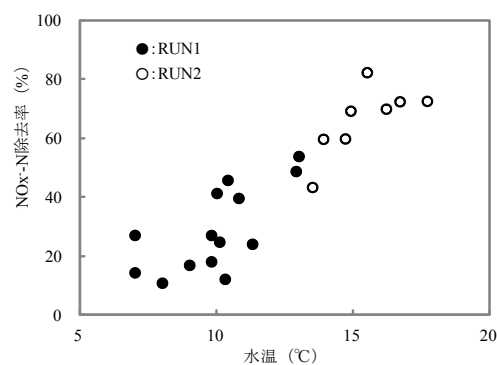


図7 水温と NO_x⁻-N 除去率の関係

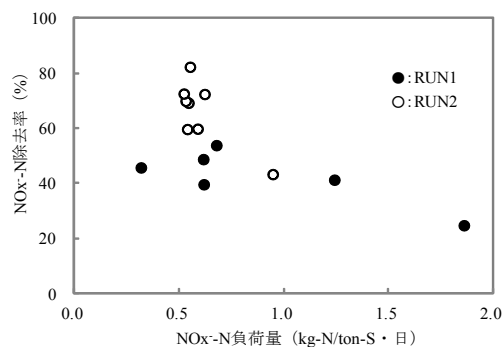


図8 NO_x⁻-N 負荷量と NO_x⁻-N 除去率の関係 (リアクター内水温 10°C以上)

簡易加温システムを備えた硫黄脱窒技術

に、水温 10°C 未満では実用的な性能は発揮されなかった。

水温 10°C 以上における NO_x^- -N 負荷量と NO_x^- -N 除去率の関係をみると、 NO_x^- -N 負荷量が低くなるほど除去率は高くなる傾向を示した (図 8)。水温を 15°C 以上に保持できれば、 NO_x^- -N 負荷量 0.55kg-N/ton-S・日で除去率を 80% 程度まで高めることができる。以上のことから、硫黄脱窒の通年利用の可能性が確認された。

試験期間中の NO_x^- -N 除去量と SO_4^{2-} -S 生成量には、相関関係が見られた (図 9)。この関係から、除去窒素量 1 kg あたりの硫黄消費量は約 1.6 kg と推定された。この硫黄消費量は、硫黄脱窒の理論式から推定される 2.5 kg より少ない [3]。原水には低濃度の BOD が検出されているが、処理による BOD の減少がほとんど見られなかったことから、脱窒への有機物の寄与は小さかったと考えられる。理論値との相違の原因は今後の検討課題だが、処理に伴う硫黄消費量が少なくなれば資材コストの低下が図れ、装置の維持管理に有利となる。

なお、BOD と SS は、いずれも処理水の方が濃度の高い傾向があった (表 1)。BOD の上昇については、硫酸酸化脱窒細菌の増殖にともなう有機物量の増加が影響したと考えられる。SS については、増殖菌体の流出に加えて、親水化処理が不十分な粉末硫黄が脱窒による窒素ガ

ス泡の上昇に伴い浮上し流出したためと推測される。稼働前に資材を確実に親水化処理することが重要である。粗砕硫黄は水中での沈降性が良好であることから、硫黄流出はかなり抑制されると予想される。この点については今後実証試験を行う予定である。

前報[2]で報告した水産用水槽転用リアクターの試験では、硫黄層の圧密化や短絡流の形成を防ぐために逆洗を実施したが、今回使用したノッチタンクの場合は逆洗時の微細硫黄流出が多かったため逆洗は行わなかった。しかし、試験期間中に硫黄層の閉塞は生じなかった。処理規模が大きくなった場合の逆洗の要否については今後の検討課題である。

試験期間中の原水の pH は 6.9~8.2 であったのに対して、処理水の pH は 6.7~7.9 で推移した (図 10)。硫黄脱窒に伴い処理水の SO_4^{2-} -S 濃度は上昇したが、pH は水質汚濁防止法の排水基準値 (5.8~8.6、海域を除く) 以内であった。飽和重曹溶液の添加により、酸性化が防がれたものと思われる。重曹の適正添加量については明らかでないが、今回の場合 1 日あたり 1.6 L 程度の添加で安全に中和できたといえる。

今回の試験から、加温システムを備えたノッチタンクと粉末硫黄を利用した脱窒処理の実用性が示唆された。本技術の特徴は主に以下の 3 つである。大量に流通している硫黄資材およびノッチタンクの利用、既存浄化処理施設の保

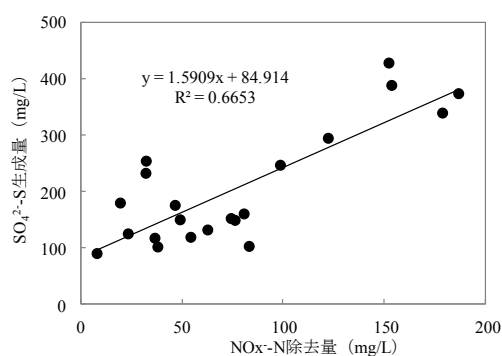


図 9 NO_x^- -N 除去量と SO_4^{2-} -S 生成量の関係

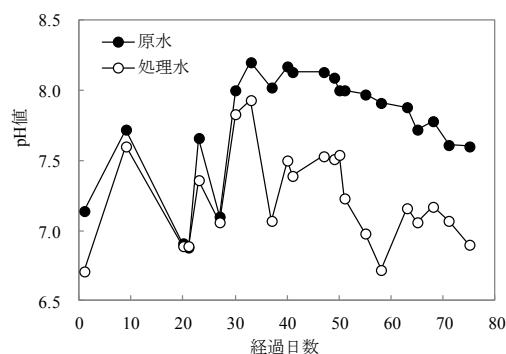


図 10 試験期間中の原水と処理水の pH の推移

簡易加温システムを備えた硫黄脱窒技術

有熱を利用した加温システム、重曹添加による計装システム不要の中和法である。これらはいずれもコスト低減に寄与する特長である。また、運転にあたっては硫黄と重曹の減耗分を槽上部から投入するだけと省力的であることから、維持管理は容易である。特に、加温システムにより通年での処理が可能となったことは、現場に導入するうえでの意義が大きい。

ソーラーパネルを活用した加温装置と併用するとさらに水温の上昇が期待できる。試験では外気温 13.8℃、曝気槽液温 18.9℃の晴天時に、リアクター内の水温が 23.4℃まで上昇した（図 11）。曝気槽液温より 4.5℃も高く、太陽光熱による加温効果の高さが実証された。ただし、ソーラーパネルの効果は、天候に左右されるうえに、夜間は停止するという限界はある。低温期の補助的な加温対策である。

硫黄脱窒技術の導入に向けて、試験結果を基に所要容積の算出を行った。千葉県内養豚場の浄化処理施設 35 箇所の調査結果では、処理水の硝酸性窒素等の平均値は 184mg/L であり、このうち NO_x^- -N は 113mg/L、 NH_4^+ -N は 176mg/L であった[5]。従って、硝酸性窒素等の一般基準値 100mg/L をクリアするには NO_x^- -N を 74% 除去すればよいことになる。本試験結果から、加温システムにより水温が 15℃以上に維持されている場合、 NO_x^- -N 負荷量が 0.6kg-N/ton-S・日以下であれば 70～80%の除去率が得られる。これにより、流入 NO_x^- -N を 113mg/L、 NO_x^- -N 負荷量を 0.6kg-N/ton-S・日に設定した場合、硫黄資材 1 トンあたりの処理可能水量は 5.31m³ と試算された。処理水量約 10m³/日（肥育豚約 1000 頭規模）を目標とした場合、所要硫黄資材量は約 2 トンとなる。ノッチタンクへの硫黄充填容積割合をおよそ 40～50%とすると、3m³容量のタンク 2 基を連結して利用することが適当と思われる。今後は大規模経営への導入も視野に入れて、容量の大きいノッチタンクを利用した試験についても実証

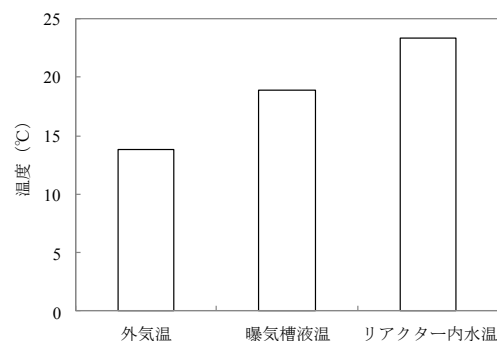


図 11 ソーラーパネルによる加温効果例

する必要がある。

なお、硫黄資材に関しては、粉末硫黄の他に粗砕硫黄を利用する選択肢もある。粗砕硫黄は、既述のように親水化処理不要という大きな長所があり、運転管理における利便性が大幅に向上する。また、粉末硫黄より安価であり、コスト面でも有利である。脱窒性能に関しては現在データ蓄積中であり評価は今後の課題であるが、水温 30.8℃、 NO_x^- -N 負荷量 0.7kg-N/ton-S で除去率 60% という実績事例も得られており、粉末硫黄とほぼ同等な性能を有する可能性がある。今後は技術の普及に向けて、粗砕硫黄の利用についても詳細な検討を行う予定である。

謝 辞

水質分析を担当された国立研究開発法人農研機構畜産草地研究所の男山啓子氏に感謝いたします。

文 献

- [1] 長谷川輝明、杉本清美、山下恭広、田中康男 (2013) 土壌 pH 調整用粉末硫黄を利用した畜舎排水の脱窒処理実証試験：日本畜産学会報：84：459-465.
- [2] 長谷川輝明、田中康男 (2015) 水産用水槽を転用したバツフルドリアクターと土壌 pH 調整用粉末硫黄を利用した畜舎

簡易加温システムを備えた硫黄脱窒技術

- 排水の脱窒処理技術：日本畜産学会報：86：45-51.
- [3] Sierra-Alvarez R, Beristain-Cardoso R, Salazar M, Gomez J, Razo-Flores E, Field JA. (2007) Chemolithotrophic denitrification with elemental sulfur for groundwater treatment : Water Science : 41 : 1253-1262.
- [4] 新日鐵化学株式会社技術開発本部開発企画部編 (2004) 硫黄カルシウム剤による脱窒法：化学工業日報社、東京.
- [5] 杉本清美、長谷川輝明、山下恭広、田中康男 (2013) 千葉県内養豚場における汚水処理施設の実態調査：千葉県畜産総合研究センター研究報告：13：77-78.
- [6] 田中康男、長谷川輝明、杉本清美、山下恭広 (2013) 硫黄酸化脱窒細菌による畜舎排水窒素除去への微粉末硫黄の利用可能性：日本畜産学会報：84：383-388.
- [7] 手島信貴、水田一枝 (2009) 硫黄-カルシウム資材および独立栄養細菌を用いた脱窒法 (SLAD 法) による畜舎排水中の硝酸性窒素除去技術：福岡県農業総合試験場研究報告：28：79-83.

Original Article

Development of a sulfur denitrification process for swine wastewater using sand settling tanks attached with a simple heating system

Teruaki HASEGAWA and Yasuo TANAKA

Chiba Prefectural Livestock Research Center, Yachimata 289-1113, Japan
National Institute of Livestock and Grassland Science, Tsukuba 305-0901, Japan

An innovative denitrification process equipping simple collection systems of heat from aeration tanks of activated sludge process and sunlight for enhancing denitrification activity has been developed. The reactor consisted of commercially available sand settling tanks filled with sulfur powder as electron donors of denitrification. Serially-cascaded two 500L tanks, each consisted of three chambers separated with a series of vertical baffles that direct the wastewater under and over the baffles as it passes from the inlet to the outlet, were used as the reactor. The sulfur powder of 200 kg was filled in the tanks. Swine wastewater purified with activated sludge process was fed to the reactor with hydraulic retention time of 0.5 to 2.1 days. Saturated sodium bicarbonate solution was periodically added to the reactor for neutralization and carbonate ion supply. A stainless steel flexible tube was immersed in an activated sludge process aeration tank in the farm and liquid in the final chamber was circulated through the tube to the first chamber. By this way, the heat of the aeration tank was transferred to the reactor effectively. Water temperature of the reactor rose to 13.5 - 17.7°C, that was 1.7 - 9.5°C higher than atmospheric temperature. Concentration of nitrate nitrogen of influent was approximately 160 mg/L (NO_3^- -N loading rate 0.51 to 0.95 kg-N/ton-S · d). An average removal rate of NO_3^- -N was 66.5% after the temperature rise. It was suggested that the reactor filled with sulfur powder equipped with the simple heat collection system would be effective for denitrification of swine wastewater throughout the year.

Key words: swine wastewater, denitrification, autotrophic bacteria, elemental sulfur, baffled reactor

Corresponding: Yasuo Tanaka (e-mail : osuya@affrc.go.jp)