

固形硫黄を用いた畜舎排水の硝酸性窒素等の低減技術

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 粉末状または粗砕状の固形硫黄を充填した水槽に硝酸性および亜硝酸性窒素を含む液を流入させると硫黄酸化脱窒細菌が増殖し、硝酸性および亜硝酸性窒素を窒素ガス化して除去できる。この脱窒法を簡易かつ低コストで実施する手法を検討した。結果として、処理槽には土木用のノッチタンクを利用し、タンク内の土砂沈殿用部位に硫黄を充填し、硝酸性および亜硝酸性窒素含有液を自然流下させるのが実用的であった。粗砕硫黄は水中で自然沈降するが、粉末硫黄は撥水性のため水面に浮上してしまう。このため、粉末硫黄を使用する場合には投入時に家庭用中性洗剤を添加し親水化処理を行う。この親水化効果は持続するので中性洗剤の使用は投入当初のみでよい。脱窒反応による硫酸イオン生成で処理水 pH が放流基準値以下になる場合、また脱窒反応に必要な炭酸が不足する場合には、飽和重曹溶液の添加が効果的である。重曹は仮に過剰添加になった場合も処理水の pH が 8.6 を上回ることがないため利用し易い。処理水の一部は、硫黄と液の接触促進と加温を目的に、ポンプで常時原水流入区画に返送し循環させた。この循環ラインの一部は、長さ 10m 程度の水道用ステンレス製フレキシブル管とし、既存浄化処理施設の曝気槽内にコイル状に巻いて浸漬させる。この循環ラインにより曝気槽混合液の熱を処理槽に移送することで冬期でも一定の水温維持が可能となる。さらに、太陽熱加温システムを設置すれば晴天時の水温上昇が期待できる。

キーワード: 固形硫黄、硫黄酸化脱窒細菌、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、低コスト手法

受領: 17.04.2015. 受理: 19.05.2015.

日本畜産環境学会 No14 (1) pp56-66. 2015

序 文

畜産排水の硝酸性および亜硝酸性窒素低減手法にはいくつかの選択肢があるが、このうちの硫黄脱窒法は管理が容易でしかも安定した性能が発揮される長所がある。しかし、現状の硫黄脱窒法に使用される専用資材は、硫黄と炭酸カルシウム等を混合し成形したもので、成形コストが加算されるため単価が割高である。より低単価の汎用的な資材を利用できれば脱窒コストが下がり、現実的な選択肢になる可能性がある。そこで、農業および工

業用に流通している固形硫黄の利用手法の検討に着手し、ほぼ実用化の目途をつけることができた[1, 2, 3, 7]。本報告では技術の概要を取りまとめて紹介する。本報告の裏付けとなるデータは、長谷川、田中[3]により詳細が示されている。

本技術は千葉県畜産総合研究センターと国立研究開発法人農研機構畜産草地研究所の共同研究で開発したものである。研究は継続中のため検証不十分な事項も残っているが、技術の基盤はほぼ確立されている。今後この基

固形硫黄を利用した排水脱窒技術

盤に基づき各方面で実証検討が進められれば、普及促進につながることを期待される。

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 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ と記載し、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ と $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の合計を $\text{NOx}^-\text{-N}$ とする。水質汚濁防止法の規制項目である「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物および硝酸化合物」については「硝酸性窒素等」と略記する。

1 技術の利用目的と原理

1.1 利用目的

工場および事業場から河川などの公共用水域に放流される排水の水質は、水質汚濁防止法により規制されている。本法律では、畜産から排出される水も対象であり、総面積 50m^2 以上の豚房、 200m^2 以上の牛房、 500m^2 以上の馬房を有する畜産経営（特定事業場）に適用され、排水量に応じて各項目の排水基準値が定められている。このうち、人の健康に影響を及ぼすおそれがある項目の一つとして硝酸性窒素等に関する規制がある。硝酸塩を一定濃度以上含む飲用水は、乳幼児に健康被害を生ずるリスクがあることから、この項目は水域や排水量に関係なく、すべての特定事業場に適用される。

硝酸性窒素等の排水基準値は、 $\text{NH}_4^+\text{-N} \times 0.4$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の合計値として定められており、一般基準値として 100mg/L が設定されている。しかし、畜産では一般基準値までの低減が困難であったことから、平成13年に $1,500\text{mg/L}$ の暫定基準値が設けられた。その後、平成16年に 900mg/L 、平成25年に 700mg/L に引き下げられており、今後も一般基準値に向けてさらなる規制強化が予想される（図1）。このため、畜産においても一般基準値を目標とした污水处理に取り組む必要がある。

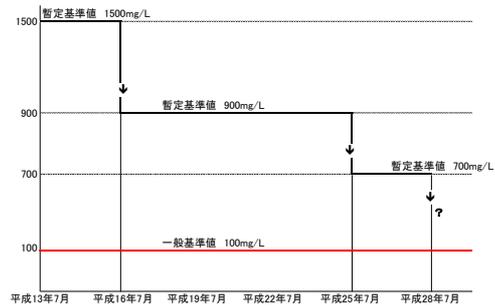


図1. 硝酸性窒素等の暫定基準値の推移

本技術は、この対応に資することを目的として開発したものであり、既設浄化処理施設で $\text{NO}_3^-\text{-N}$ または $\text{NO}_2^-\text{-N}$ が残留し、硝酸性窒素等が一般基準値を上回ってしまう場合に利用する。

1.2 原理

排水中の $\text{NO}_3^-\text{-N}$ および $\text{NO}_2^-\text{-N}$ を低減する方法には、従属栄養脱窒細菌を利用した生物学的脱窒法が一般的に利用されている。この方法では、脱窒細菌が有機物を利用して、無酸素条件下で $\text{NO}_3^-\text{-N}$ および $\text{NO}_2^-\text{-N}$ を窒素ガスにして低減する。この技術を適用する場合、汚水中の窒素と有機物の量的バランスを適切に維持する必要がある。通常、窒素量に対して約3倍量以上の生物化学的酸素要求量（BOD：易分解性有機物の指標）を要するとされている。そのため、窒素が過剰になりやすい畜産污水处理では有機物が不足し、十分な脱窒効果が得られない場合がある。

このような場合に、有機物の代わりに硫黄を用いる脱窒技術（硫黄脱窒法）がある（図2）。この方法は、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 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ および $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 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。
$$\text{NO}_3^- + 1.1\text{S} + 0.4\text{CO}_2 + 0.76\text{H}_2\text{O} + 0.08\text{NH}_4^+ \rightarrow 0.08\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_2\text{N} + 0.5\text{N}_2 + 1.1\text{SO}_4^{2-} + 1.28\text{H}^+$$

固形硫黄を利用した排水脱窒技術

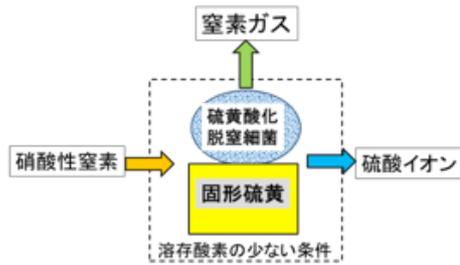


図2. 硫黄脱窒の原理

硫黄酸化脱窒細菌を用いる利点として、有機物を添加しないことから水質悪化の問題がないこと、またあらかじめ処理槽に多量の硫黄を充填するので窒素の変動が生じても特段の調整操作が不要で管理が容易なことがあげられる。流入窒素量に応じた分だけ硫黄が消耗するため、資材の無駄がなく、消耗した際の充填も容易である。ただし、 NO_3^- -N および NO_2^- -N しか低減できないことから、既存浄化処理施設でアンモニアの硝化が進行していることが必要不可欠である。

なお、硫黄脱窒は生物学的な反応のため、水温低下により速度が低下する。一般に硫黄酸化脱窒細菌は $10\sim 40^\circ\text{C}$ で活性を発現し、 10°C 以下では活性が顕著に低下することが報告されている[5]。従って、冬期の温度低下を防ぐことが通年利用の観点から重要である。硫黄脱窒法に関する従来の検討事例では、この面での対応方策の検討が不十分であり、普及を阻む壁となっていた。

2 硫黄資材

硫黄資材には2種類の選択肢がある。一つは粉末硫黄、もう一つは粗砕硫黄である。この2種類は流通形態、単価、性状等が大きく異なることから、状況に応じて選択する必要がある。以下、それぞれについて性状等の詳細を述べる。

2.1 粉末硫黄

粉末硫黄は、純度99%で、150または200



図3. 粉末硫黄の外観（上）と親水化処理の作業（下）

メッシュパスのものを用いる（図3上）。25kgの袋詰め（クラフト紙袋）で流通しており、農業分野でもブルーベリー栽培の土壌pH調整用に利用されている。クラフト紙袋は水に濡れると破れやすいので運搬時には水分が付着しないように注意が必要である。1袋の価格は約6500円であり、kg当りの単価は260円となる。

粉末硫黄は、撥水性のため、そのままでは水面に浮上してしまう。このため、処理槽に硫黄を投入する際は、あらかじめ半量程度まで水を流入させた後に硫黄を投入し、さらに100mL程度の家庭用中性洗剤（食器洗い用）を添加して、手持ち式攪拌機で十分攪拌することで硫黄を液に馴染ませる（図3下）。この際、攪拌をしても親水化が不十分な場合は、さらに洗剤を増量する。親水化された硫黄は、静置すると速やかに沈降する[7]。

中性洗剤はその組成により効果が異なるので、あらかじめ少量の硫黄をバケツに取り、水道水と洗剤を投入して効果を確認すると良い。稼働開始後に粉末硫黄を補充する場合には、大きめのバケツに粉末硫黄を投入し、水と中性洗剤を適量添加して手持ち式攪拌機で

固形硫黄を利用した排水脱窒技術



図4. 粗砕硫黄の外観（上）と水中での沈降状況（下）

充分混ぜ合わせた後、槽上部より投入する。

2.2 粗砕硫黄

粗砕硫黄は、微粉末に近いものから直径40mm程度の粗粒までを含む資材である（図4上）。粉末硫黄とは異なりそのままでも水中に沈降するので親水化処理は不要である（図

4下）。なお、粗砕硫黄は硫黄製造会社による受注生産品であり、詳細仕様および価格は会社との交渉となる。荷姿は25kg詰のクラフト紙袋が一般的であり、工場から使用現場までの輸送費が価格に上乗せされるため仕向地により価格は異なるが、70～150円/kg程度である。

3 装置の構成

3.1 装置全体の概要

装置全体の概要を図5に示した。装置は、既存浄化処理施設の後段に設置するもので、既存施設の放流水を対象として脱窒処理を行う。土木用可搬式角形沈殿槽（ノッチタンク）を処理槽とし、2槽の直列配置とする。各槽の内部は仕切り板により3つの区画に分けられる（第1～第3区画と称する）。処理槽の底部には固形硫黄を投入し、第1槽の第1区画に既存処理施設からの処理水を流入させ、第2槽の第3区画まで自然流下させる。液は、流下中に硫黄層を通過し、この際の硫黄脱窒反応により NO_3^- -Nおよび NO_2^- -Nが窒素ガスに変化し除去される。第2槽の第3区画に投入した水中ポンプ

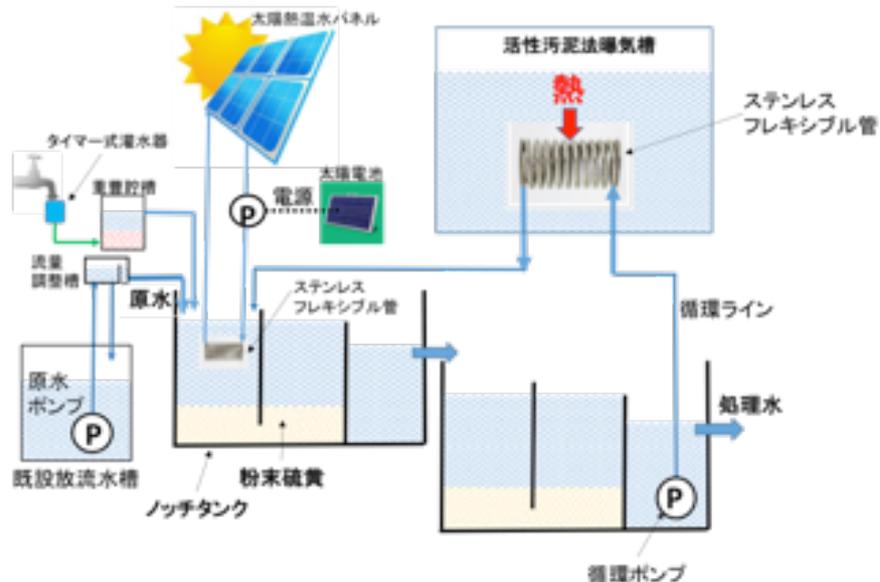


図5 硫黄脱窒素装置の概要

固形硫黄を利用した排水脱窒技術

(循環ポンプ)で第1槽の第1区画に一部の液を循環させる。この循環ラインの一部を水道用ステンレスフレキシブル管にして、既存浄化処理施設の曝気槽内液温を利用して処理槽の加温を行う。太陽熱加温システムを設置するとさらなる昇温が期待できる。また、処理水のpH低下を防止すると同時に反応に必要な炭酸イオンを供給するため、飽和重曹溶液の自動添加装置を設置する。

3.2 各部詳細

3.2.1 処理槽

土木工事で土砂を含む排水を河川などに放流する際に、土砂を沈殿分離するために使用されるノッチタンクを硫黄脱窒槽に転用する。ノッチタンクは、2枚の仕切り板で3区画に分けられている。図6(上)は試験で使用した容積 0.5 m^3 のポリエチレン製ノッチタンクの例である。鋼製では $1\sim 10\text{ m}^3$ 程度まで各種容積の市販品がある。これらの中から規模に適したタンクを選ぶ。ただし、メーカーによっては第1から第2区画への流路が下部ではなく上部に設けられているものがあり、このような仕様では流下液が硫黄層を通過し難くなるため、下部流路型を選定する必要がある。硫黄は各槽の第1および第2区画に充填する。第3区画には硫黄を充填せず硫黄の流出防止のための沈殿区画とする。最適な充填容積比は今後の検討課題である。

2槽の連結は、作り付けの接続口を利用して配管で接続することも可能である(図6下)。ただし、この場合は槽同士を離して置かねばならず施設全体の設置スペースが大きくなってしまう。槽の設置高さには差を持たせ、第1槽の流出口からオーバーフローした液を第2槽の第1区画に直接落下させる方がタンク同士を密接配置できるので省スペースとなる。

3.2.2 原水ポンプ

フロートスイッチ付水中ポンプを既存浄化



図6. ノッチタンクの外観(上)と連結状況(下)

処理施設の放流水槽に設置する。この放流水槽の液を脱窒処理に用いる原水として、硫黄脱窒槽に流入させる。流量の調整は堰式流量調整槽により行う。

3.2.3 循環ポンプ

第2槽第3区画の液の一部を第1槽の第1区画に循環させるために使用する。循環の目的は、硫黄と液の接触促進および後述の槽内加温のためである。適正循環流量に応じた能力の水中ポンプを用いる。万が一槽内水位が低下した場合を考慮してフロートスイッチ付にしたほうが確実である。

3.2.4 処理槽加温システム

3.2.4.1 曝気槽液温による加温

既述のように、第2槽第3区画から第1槽第1区画への循環ラインの一部を水道用ステンレスフレキシブル管とし、このフレキシブル管を曝気槽混合液中に浸漬して、曝気槽混合液の熱を処理槽に移行させる。フレキシブル管は 10m 程度とし、コイル状に巻いて曝気槽に投入する(図7)。フレキシブル管以外の

固形硫黄を利用した排水脱窒技術



図7. 曝気槽に浸漬させる水道用ステンレスフレキシブル管

ホース部分は保温材で被覆し、放熱を抑制する。

3.2.4.2 太陽熱による加温

設置場所で直射日光が受光可能な場合、太陽熱による加温も選択肢となる。図8の装置は、ポリカーボネート製の2枚の薄板の間を流れる清水を太陽光で加温し、その温水を太陽電池駆動のポンプで処理槽内に浸漬した水道用フレキシブル管に循環させ、熱を処理槽に移行させる。ポンプは直射日光の受光時にしか稼働しないので、曇天時や夜間は循環が停止する。このため、外気温が低下した場合に処理槽を冷却してしまうという逆効果の懸念はない。



図8. 太陽熱加温システムの一例

3.2.5 重曹添加装置

水質汚濁防止法では放流水の pH は 5.8～8.6 の範囲内と定められている。硫黄脱窒が活発化すると pH は低下傾向となる。pH が 6 以下に低下しそうな場合は、重曹添加を行う。重曹添加は、オーバーフロー流出口を備えた容積 70L 程度のタンク（タンクには水産用の濾過槽付 FRP 水槽などが利用可能、図9）に 25 kg 入り重曹 1 袋を投入し、タイマー式灌水器により水道水を 1 日 2 回、各 1 分間程度底部から給水する（図 10）。水道水が流入すると飽和重曹溶液が上部流出口から流出し、第 1 槽第 1 区画に流入する。数日に一度、処理水の pH をチェックし、pH が 6 以下になっている場合は各回の給水時間を延ばすことで対応する。タンク下部の重曹沈殿層の量を定期的に確認し、残量が僅かになった際は重曹を追加投入する。

なお、製品安全データシート（MSDS）によると、重曹溶液の pH は 5% 水溶液でも 8.35 であり、仮に過剰添加になった場合も水質汚濁防止法の pH 規制上限値 8.6（海域以外）を超える危険性は少ない。

取り扱い時の主な注意点としては、1) 粉塵の吸入を避ける、2) 取り扱い後はよく手を洗う、3) 眼に入った場合は水で 15 分以上注意深く洗い、眼の刺激が続く場合は医師の診断/ 手当を受けることである。

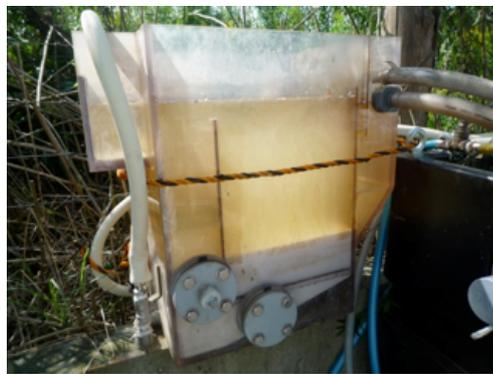


図9. 飽和重曹溶液タンク

固形硫黄を利用した排水脱窒技術



図 10. タイマー式灌水器

4 稼働方法

4.1 流量の調整

既述のように原水流量の調整は堰式流量調整槽で行う。また、原水流量と循環流量の合計流量は、ノッチタンクの三角堰液面レベルで読み取れる。ただし、三角堰の角度が 90° と 60° の場合では液面レベルと流量の関係が異なるので、使用しているノッチタンクの堰角度を確認し、該当する表を使用する。三角堰流量表はインターネットで入手できる。

試験では原水の流入量 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。なお、循環流量が過大になると、各槽の第 1 区画から第 2 区画へ液が移動する際の硫黄層の通水抵抗により、第 1 区画の水面が上昇し、隔壁を越流するようになる。こうなると、硫黄資材と液の接触効率が低下し性能が低下する。

4.2 硝酸性窒素等の濃度の簡易把握

原水および脱窒後処理水の硝酸性窒素等の濃度の簡易把握には、パックテスト（株共立理化学研究所）など市販の水質簡易測定キットが利用できる（図 11）。 NH_4^+-N 、 NO_2^--N 、 NO_3^--N のそれぞれが現場で容易に測定できるので、それらの測定値から硝酸性窒素等の濃度を計算で求めることができる。また、（一

財）畜産環境整備機構により、試験紙法による硝酸性窒素等の簡易測定キットも畜産排水用に開発されている。pH も同時に測定できるので日常管理には利便性が高い。



図 11. パック試薬法による硝酸性窒素の測定

4.3 処理水 pH のチェック

市販の pH 試験紙で簡単に測定が可能である（図 12）。また、上記の硝酸性窒素等の測定キットでも把握できる。これらの測定精度は低いものの pH7 を目標値とした管理を行えば、処理水の pH 値が $5.8\sim 8.6$ の範囲外になるリスクは小さいと思われる。ホームセン

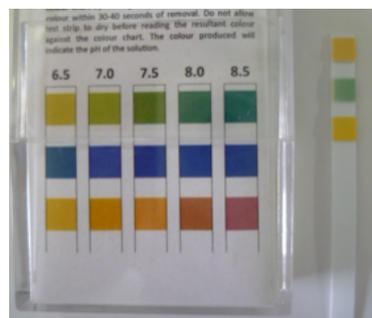


図 12. 試験紙法による pH の測定状況

ター等で簡易な pH メータを購入して利用すれば、より精度の高い測定ができるが、メータの更正操作を確実に行わないと実際とずれた値になるので注意が必要である。

4.4 硫黄層の閉塞防止

流入原水に活性汚泥由来の浮遊性懸濁物（SS）が多く含まれる場合は、硫黄層に混入

固形硫黄を利用した排水脱窒技術

し蓄積して硫黄層を閉塞させる懸念がある。閉塞が生じた場合は、ノッチタンクの第1区画の水位が上昇し、中央隔壁を越流するようになるので容易に確認できる。一旦越流が生ずるようになると流入水と硫黄資材との接触効率が低下し、脱窒性能が低下する。このような場合の対処手法として、あらかじめ硫黄層の底面全体に有孔塩ビ管（孔は下面に開ける）を配置しておき、閉塞が生じた際にはブローで通気して硫黄層を流動させ汚泥を懸濁状態にする（図 13）。通気停止後の硫黄が沈降した直後に上層の懸濁液を水中ポンプで排除する。この操作で蓄積した汚泥を選択的に排除すれば脱窒性能が復活する。ただし、必要以上に強力な曝気を行うと、舞い上がった硫黄が処理水側に流出する懸念がある。適切な曝気強度については今後の検討課題である。



図 13. 有孔塩ビ管を用いた曝気逆洗装置

5 所要槽容積の試算

5.1 目標処理能力

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濃度は 184 mg/L で、このうち NOx⁻-N 濃度は 113 mg/L であった[6]。この場合、法律に定められる硝酸性窒素等の一般基準値 100 mg/L をクリアするには、NOx⁻-N を 74%除去すればよいことになる。粉末硫黄での実証試験実

績値によれば、曝気槽液温による加温により水温が 14~17°C に維持されている場合で、NOx⁻-N 負荷が 0.6 kg-N/ton-S ・ 日であれば、70~80%の除去率（除去量 0.42~0.48 kg-N）を得ることができる[3]。よって、試算の前提となる流入 NOx⁻-N 濃度は 113 mg/L、設定 NOx⁻-N 負荷量は 0.6 kg-N/ton-S ・ 日とする。

なお、粗砕硫黄ではまだ十分な性能データが蓄積されていないが、水温 30.8°C、NOx⁻-N 負荷量 0.7 kg-N/ton-S で除去率 60%（除去量 0.42 kg-N）という実績事例が得られており[3]、粉末硫黄とほぼ同等な性能を有するものと予想される。

5.2 槽仕様

上記の諸元から計算すると、硫黄資材 1 トン当たりの処理可能水量は 5.31 m³ となる。農家の規模ごとの日排水量を、小規模の場合で 10 m³、中規模で 25 m³、大規模で 50 m³ とすると、それぞれの所要硫黄資材量は約 2 トン、5 トン、10 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、所要ノッチタンクは小規模の場合で 3 m³ タンクが 2 台、中規模では 6 m³ タンク 2 台、大規模では 10 m³ タンク 2 台の試算となる。

6 コストの試算

6.1 設置費

配管、配線資材類、および設置工事費は試算対象外とした。なお、硫黄資材費は維持管理費に含めることとした。

6.1.1 小規模（10 m³/日）の場合（肥育豚換算 1000~2000 頭）

機器名称	仕様	価格 (円)
処理槽	3 m ³ ノッチタンク 2 台	400000
原水ポンプ	フロートスイッチ付水中ポンプ	30000
循環ポンプ	フロートスイッチ付水中ポンプ	30000
灌水器	蛇口取付、タイマー式	10000
流量調整槽	FRP製汚水計量槽	200000
合計		670000

固形硫黄を利用した排水脱窒技術

6.1.2 中規模 (25 m³/日) の場合 (肥育豚換算 2500~5000 頭)

機器名称	仕様	価格 (円)
処理槽	6 m ³ ノッチタンク2台	760000
原水ポンプ	フロートスイッチ付水中ポンプ	30000
循環ポンプ	フロートスイッチ付水中ポンプ	30000
灌水器	蛇口取付、タイマー式	10000
流量調整槽	FRP製汚水計量槽	200000
合計		1030000

6.1.3 大規模 (50 m³/日) の場合 (肥育豚換算 5000~10000 頭)

機器名称	仕様	価格 (円)
処理槽	10 m ³ ノッチタンク2台	980000
原水ポンプ	フロートスイッチ付水中ポンプ	30000
循環ポンプ	フロートスイッチ付水中ポンプ	30000
灌水器	蛇口取付、タイマー式	10000
流量調整槽	FRP製汚水計量槽	200000
合計		1250000

6.1.4 単位処理量当たりの設置費

上記の試算値より処理水量 1 m³当たりの設置費を計算すると図 13 に示すようになり、規模が大きくなるほどスケールメリットにより設置費が低減する。

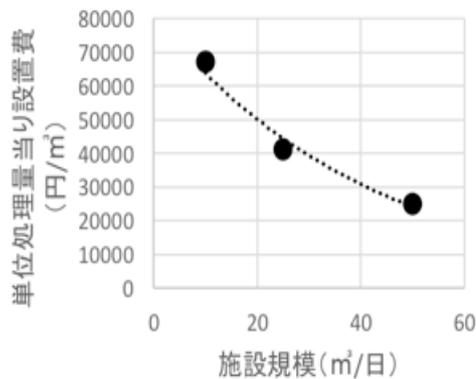


図 13. 施設規模による単位処理量当たりの設置費の変化

6.2 維持管理費

6.2.1 処理水量 1 m³当たりの消耗資材費

資材	単価 (円/kg)	使用量 (kg/m ³)	費用 (円/m ³)
粗碎硫黄	70~150	0.44	30~70
重曹	130	0.17	22
合計			55~92

6.2.2 所要電力

装置の電力費は各規模共通で以下のように試算される。

機器名称	定格容量 (kW)	日稼働時間 (h)	消費電力 (kW h)
原水ポンプ	0.4	24	9.6
循環ポンプ	0.4	24	9.6
合計			19.2

6.2.3 単位処理量当たりの維持管理費

処理水量 1 m³当たりの維持管理費は下表のように約 60~120 円と試算された。設置費ほどではないが、やはりスケールメリットがみられた。

規模 (m ³ /d)	資材費 (円/d)	電力費 (円/d)	合計 (円/d)	単位処理水量当たり維持管理費 (円/m ³)
10	550~920	288	838~1208	84~120
25	1375~2300	288	1663~2588	67~104
50	2750~4600	288	3038~4888	61~98

7 導入にあたっての留意点

7.1 ノッチタンクの選定

ノッチタンクの槽数は 2 個以上に増設することも可能である。ただし、槽数が多くなるほど投入硫黄量あたりの設置面積が大きくなるというデメリットがある。従って、槽数を増やすよりも各槽の容積を増やす方が現実的である。

7.2 装置の保温

冬期の水温を高く保持するため、処理槽表面および配管類は保温材でカバーし、上面は保温性のある板材で蓋をすることが望ましい。

7.3 原水の硝酸性窒素等の濃度が低下した場合

流入原水の硝酸性窒素等の濃度が規制値以下の場合、維持管理費の無駄を避けるために原水の流入を停止する。停止中に内部の液が黒ずんでかすかに硫黄臭が発生する場合もあるが、通水を再開すると元に戻るため特段

固形硫黄を利用した排水脱窒技術

心配はない。臭気が気になる場合は、一旦清水を流入させて内部の液を置換しておけば発生を防ぐことができる。

7.4 硫黄取り扱い時の注意点

硫黄は消防法において危険物(可燃性固体)に指定されている。自然発火することはないが、乾燥状態で火が近づくと着火しやすく、燃えると有毒の亜硫酸ガスが発生する。また乾燥粉末は気道、呼吸器系、皮膚への有害性もある。従って、利用に当たっては、消防法の規定を遵守するとともに、「化学品の分類および表示に関する世界調和システム(GHG)」に基づき製品に添付される「製品安全データシート(MSDS)」を熟読し注意書きに従って取り扱う必要がある。

特に、留意すべき点は、以下のとおりである。

- ・乾燥状態で1箇所に指定数量の100 kg以上を保管しないこと。指定数量以上を貯蔵し、取り扱う場合は消防法に基づく許可が必要になる。また、取り扱うときは、危険物取扱者免状を有する者が行うか、または危険物取扱者免状を有している者の立ち会いの下に行わなければならない。以上の点を勘案すると、購入した硫黄は入荷と同時に全量を水の張られた処理槽に投入し、乾燥状態での在庫は避けること。また購入にあたっての運搬は専門業者に委ねること。

- ・投入時に発生する粉塵は、火気により粉塵爆発を起こす危険性もある。従って、投入時には熱、火花、裸火、たばこ等の火気を遠ざけること。粗砕硫黄のフレコンバッグによる納品の場合には、納品直後にフレコンバッグ上部から清水を散水して湿潤状態にして投入時の粉塵発生を抑制すること。

- ・取り扱い時には保護手袋、保護眼鏡、保護面を着用すること。

- ・防塵マスクを着用し粉塵を吸引しないよう

にすること。

- ・皮膚に付着した場合、石鹼を使用して十分に水洗いすること。刺激が持続する場合は医師に連絡すること。

- ・目に入った場合、清浄な水で最低15分間刺激がなくなるまで注意深く洗うこと。

- ・口に入った場合、水で口の中をよくすすぐこと。

7.5 汚泥流入の防止

活性汚泥法浄化処理施設の沈殿槽から越流した汚泥が脱窒槽に流入すると、槽内で沈殿し、硫黄層の閉塞を生じさせる。このため、沈殿槽の汚泥管理には十分注意を払い、過剰に汚泥が蓄積しないよう汚泥返送量や汚泥引抜量を調整する。

7.6 発生硫酸イオン

硫黄脱窒に伴い硫酸イオン濃度が高くなるが、中和さえされていれば放流に支障は無い。ただし、硫酸イオン濃度の高い放流水が溜池のように水のよどんだ場所に流入すると、底泥中有機物により硫酸還元反応が進み若干の硫黄臭が発生する可能性がある。放流先がこのような場所でないことを確認し、懸念がある場合は硫黄脱窒の適用は避けた方が良い。

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(2015a) 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排水の脱窒処理技術：日本畜産学会報：86：45-51.

[3] 長谷川輝明、田中康男(2015b) 簡易加

固形硫黄を利用した排水脱窒技術

- 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：日本畜産環境学会会誌：14：47-55.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.