

学 位 論 文 要 旨

非晶質ケイ酸カルシウム水和物資材ならびに硫黄脱窒法を利用
した養豚排水の高度処理技術に関する研究

Advanced treatment technique for swine wastewater using two
agents: thermally polymerized amorphous silica and hydrated lime
for color and phosphorus removal and sulfur for nitrogen removal

長谷川 輝明

Hasegawa Teruaki

平成 28 年度

2016

家畜排せつ物処理のうち、家畜ふんは堆肥化して肥料として利用することが基本である。この堆肥化処理は法整備により大幅に促進されたが、耕種農家からはハンドリングの悪さや、品質および肥効性の不安定さが指摘され、地域によっては利用が停滞している状況にある。また、我が国は肥料原料の多くを海外に依存している。近年のリン鉱石の急騰に見られるように、国際市場の影響を受けやすいことから資源の回収・循環利用は極めて重要な課題といえる。一方、畜舎から排出される污水は、活性汚泥法污水处理施設で浄化処理後、河川などに放流することが基本である。特に、尿の排せつ量が多い養豚事業場では污水处理は必須である。また、活性汚泥処理水を河川などの公共用水域に放流する場合は、水質汚濁防止法で定められた排水基準を遵守する必要がある。このうち、硝酸性窒素等、全窒素および全リンの項目に関しては、既存施設だけでは十分な対応が難しいため暫定基準が適用されている。また、規制はないものの活性汚泥処理水の着色問題も深刻化していることから、これら問題に対処できる低コストで省力的な技術開発が求められている。そこで本研究では、養豚污水处理施設の活性汚泥処理水を対象に、脱色、リン除去、消毒および窒素除去の同時処理を行うとともに、除去したリンは回収して資源として利活用するシステムを開発した。本論文は全編 7 章よりなる。

第 1 章「緒論」では、本研究の背景、目的について述べた。

第 2 章「養豚場における污水处理施設の実態調査」では、技術開発を検討するにあたり、養豚污水浄化に資する基礎データを把握するための水質の実態調査を行った。その結果、活性汚泥処理

水を放流している施設では、いずれも排水基準以内で適切に管理されていたが、着色の指標となる色度は平均 528 度であり、低減目標とされる 100 度以下を維持するにはさらに 80% 程度の除去が必要であった。硝酸性窒素等、全窒素および全リンも同様に、一般基準をクリアするには 46～85% の除去を要し、今後の規制状況によってはその低減対策に問題を抱えていることが明らかとなった。

第 3 章「非晶質ケイ酸カルシウム水和物を利用した養豚排水の脱色、リン除去、消毒の同時処理技術の開発に関する研究」では、排水中の脱色、リン除去および消毒の同時処理が可能な資材として、非晶質ケイ酸カルシウム水和物（CSH）に着目し、養豚排水向けに改良した CSH（M-CSH-lime）を用いて、実際の処理を想定した実験装置による処理効果を検討した。その結果、活性汚泥処理水に対して M-CSH-lime を 0.15wt/v% 以上の割合で添加することで、80% 程度の色度低減が可能であった。また、添加率 0.1wt/v% 以上では、リン、大腸菌群および E.Coli の 100% 近い除去が可能となり、効率的に処理できることが明らかとなった。

第 4 章「養豚排水の硫黄脱窒処理に関する研究」では、活性汚泥処理水からの窒素低減手法として、硫黄を脱窒の基質とする硫黄酸化脱窒細菌を利用した硫黄脱窒法に着目した。脱窒に必要な硫黄には、農業用に土壌改良材として流通している安価な粉末硫黄を選定し、市販の水産用水槽などを転用したバッフルドリアクターと組み合わせることで、養豚排水への適用可能性について検討した。このリアクターは仕切板により 3～7 区画に分かれており、流入水は上下迂流方式で自然流下することから、リアクター

底面に粉末硫黄を充填しておくことで、流入水との効率良い接触が可能となる。一方、粉末硫黄は疎水性を有するためこの状態では使用できないが、家庭用中性洗剤を添加し混合することで親水化し、水処理に利用できることを明らかにした。本技術の導入により、窒素負荷量 $0.55\text{kg-N/ton-S}\cdot\text{日}$ で窒素除去率は 80% 程度まで高めることが可能であった。ただし、留意点として、水温を 15°C 以上に常時維持する必要があったことから、低温期の水温対策として以下の簡易加温システムを開発した。

リアクターの最終区画に液循環用の水中ポンプを設置し、ポンプに接続した循環ラインの一部をステンレス製のフレキシブル管に置き換えた。それを汚水処理施設の曝気槽に浸漬させることで、曝気槽内の液温がフレキシブル管を通じて循環ラインの中の水を温め、その水をリアクターに循環させることで加温に利用する。このシステムの導入により、通年で脱窒処理できることが明らかとなった。

第5章「非晶質ケイ酸カルシウム水和物資材と硫黄脱窒資材を組み合わせた養豚排水の高度処理技術の実用化に関する研究」では、第3章と第4章で開発した技術を組み合わせて、活性汚泥処理水の脱色、リン除去、消毒および窒素除去の同時処理を可能とする高度処理プロセスの実証試験を行い、処理効果および経済性について評価した。処理プロセスは、M-CSH-lime 処理槽

(PVC600VU加工；直径 63cm 、容積約 0.8m^3) と脱窒リアクター(水産用水槽を3槽連結；容積約 0.9m^3 、粉末硫黄 40kg 充填)からなる。この現地検証から以下の結論を得た。M-CSH-lime 添加率 $0.055\text{wt/v}\%$ 以上で脱色率は約 78% 、 $0.023\text{wt/v}\%$ 以上でリン

は 100%近い除去が可能であった。処理水の pH は M-CSH-lime の添加割合に応じて上昇し、最大 12.7 まで高まったことから、アルカリ性に弱い病原性微生物等の消毒に有効と推測された。さらに、高まった pH の中和は炭酸ガスを通気することで簡易に対応できることを確認した。また、M-CSH-lime 処理槽の後段に脱窒リアクターを設置することで、窒素負荷量 0.1kg-N/ton-S・日程度で 80%程度の除去率が得られることを明らかにした。なお、この技術を導入した場合、50m³/日の処理規模で、設置費は約 7,520 千円、ランニングコストは 1 日あたり約 5,900 円となる。既存技術（オゾン酸化法、MAP 結晶化法およびメタノール添加脱窒法）の組み合わせと比較しても、設置費は約 1/6、ランニングコストは約 1/2 に節減でき、経済的にも有利であることが明らかとなった。

第 6 章「高度処理に使用後の回収非晶質ケイ酸カルシウム水和物資材の肥料化に関する研究」では、高度処理に使用後の M-CSH-lime を回収し、資源としての活用手法について検討した。回収した M-CSH-lime は、可溶性リン酸を約 20%含有し、植害試験でも有害性は認められなかったことから、リン酸質肥料としての利用可能性が示唆された。さらに、回収した M-CSH-lime を堆肥に添加し、汎用攪拌機の中で攪拌することで、粒径 5～30mm の造粒堆肥の作出を可能とした。この造粒堆肥のリン濃度は約 1.3 倍に高まり、肥料成分の向上にも寄与することが明らかとなった。

第 7 章「結論」では、本研究で得られた成果を総括した。

本研究成果は、放流水の外観改善や法規制の対応に悩む多くの養豚事業場にて経営の安定化および環境保全を図ることができ、養豚産業全体の発展に寄与する。さらに、排水処理に使用した資材の肥料等への二次的利用は、堆肥の付加価値を高めるとともに、耕畜連携を促進させ、資源循環型社会を築く礎となるものである。