

多段人工湿地の8年間の畜産排水浄化性能

○中野和典(日大工・土木) 山寄元気(日大工・土木・院生)

1. はじめに

家畜排せつ物法における管理基準対象農家は約51%に過ぎず、小規模経営体における家畜糞尿の処理は法令の適用外となっており、適正な汚水処理が長年未解決の課題となっている。

畜産廃水は一般的な下水と比較するとBODで約7.4倍、T-Nで約4.6倍、T-Pで約8.2倍の汚濁濃度を有しており、高度な廃水処理技術が必要とされる。また、畜産経営における廃水処理費用は総費用の12%に、廃水処理労働は総労働の13%に上ると試算されており、低コストで簡易な技術が求められる¹⁾。しかし、現在の畜産現場で主に用いられている曝気式ラグーン法に代表される活性汚泥法は、維持管理費が高く、運転・維持管理技術も煩雑であるため、小規模経営体にはほとんど普及していない^{2,3)}。

このような背景から本研究では、経済的に小規模経営体においても運用が可能で、低炭素・グリーン化と高度処理の両立が期待でき、近年世界各国での導入が進んでいる水質浄化法である人工湿地に着目した。本稿では、わが国では数少ないフルスケールの人工湿地を対象として行った中長期的な運用における畜産廃水の処理性能の調査結果を報告する。

を目的とした最終段の面積は1段目と同じ面積となっている。流入させた汚水は30頭の乳牛に由来する畜産排水であり、8年間の流入水量は4927m³、日流入水量の平均値は1.70m³であった。

5段の人工湿地ろ床は、それぞれ異なる条件に設定された3区画に分画されている。本稿では、ヨシを植栽した植栽区の水質浄化性能に焦点を当てる。1段目から4段目の人工湿地のろ床厚は約0.7mであり、表層0.05mにはリンの保持とアルカリ度の安定を目的とした粒径約10mmのALCが敷き詰められている。下層の0.65mには汚濁成分の捕捉を目的としたろ材が充填され、下流の人工湿地ろ床ほどろ材の粒径が小さくなるように材料を選択した。ポリッシングを目的とした5段目の人工湿地のろ床厚は0.15mであり、ろ材には粗砂を使用した。5段目にはALCの敷設は行わなかった。

BOD・窒素・リンの浄化処理原単位の解明のための水質モニタリングは、2009年9月より毎月1回、流入水と流出水(処理水)を採水して実施した。サンプル水のBOD濃度、全窒素(TN)濃度、全リン(TP)濃度、懸濁物質(SS)濃度は、下水試験方法に従って測定した。人工湿地の原

2. 調査対象とした多段人工湿地

本研究で調査対象とした多段人工湿地は5つの人工湿地ろ床で構成されている。その概要を図-1に示す。5つの人工湿地ろ床はすべて好氣的処理に有利とされる鉛直流型のろ床である。総有効面積は111m²であり、上流から4つ目までの湿地面積は下流ほど小さく、ポリッシング

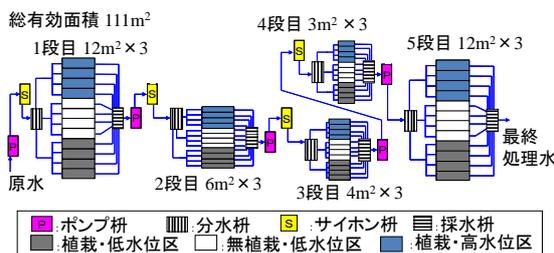


図-1 本研究で調査対象とした多段人工湿地の概要

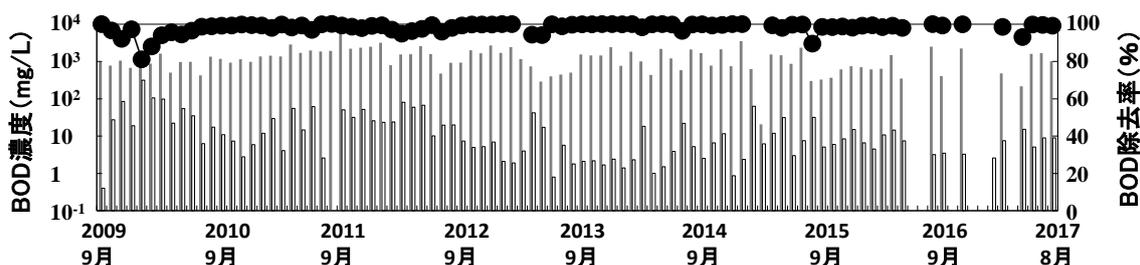


図-2 8年間のBOD除去性能の推移。■,流入水濃度; □,最終処理水濃度; ●,除去率

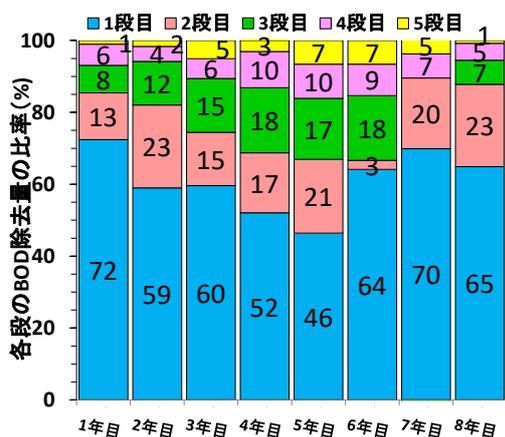


図-3 各段でのBOD除去量の割合の8年間の推移

水ポンプ稼働回数をデータロガーにより自動計測し、ポンプ稼働回数とポンプ稼働1回あたりの排出水量から人工湿地への流入水量を計算した。処理運転に要した電力は、電気メーターの数値を毎月1回記録することで把握した。

3. 結果と考察

3-1 中長期的なBODの浄化処理成績

畜産排水原水（流入水）と5段目の人工湿地ろ床からの流出水（最終処理水）のBOD濃度とこれらの濃度から算出した除去率の8年間の推移を図-2に示す。8年間の流入水および最終処理水のBOD濃度および除去率の平均値は、それぞれ1353mg/L、21mg/L、98.0%であった。8年程度の中長期的なBOD浄化性能は非常に安定しており、95%を超える高い浄化性能が持続することを実証することができた。

5段の人工湿地の各段におけるBOD除去量の割合の8年間の推移を図-3に示す。1段目のBOD除去量の割合は、最初の5年間は経年により低下し、5年目では50%以下となったが、それ以降は増加して65%前後で落ち着く傾向が示された。8年間の傾向として、下流の人工湿地の除去量が占める割合は8年間の畜産排水処理

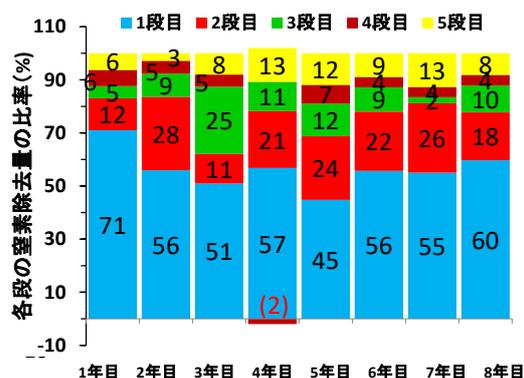


図-5 各段での全窒素除去量の割合の8年間の推移

を経ても低く、余裕を持ってBOD除去が行えていることが示された。

3-2 中長期的な窒素の浄化処理成績

1段目の人工湿地ろ床への流入水と5段目の人工湿地ろ床からの流出水の全窒素濃度とこれらの濃度から算出した全窒素の除去率の8年間の推移を図-4に示す。8年間の流入水および最終処理水の全窒素濃度および除去率の平均値は、それぞれ87.5mg/L、7.5mg/L、88.6%であった。BODほどではないが、8年程度の中長期的な窒素浄化性能は高いレベルで安定しており、85%を超える高い浄化率が持続することを実証することができた。

5段の人工湿地の各段における全窒素除去量の割合の8年間の推移を図-5に示す。全窒素除去量の割合は1段目が最大であるが、その割合は経年により低下し、5年目では50%未満となったが、それ以降は落ち着き、55%前後で安定する傾向となった。これはBODとほぼ同じ傾向であり、下流の人工湿地の除去量が占める割合は8年間の畜産排水処理を経ても低く、余裕を持って窒素除去が行えていることが示された。しかし、4年目の4段目では溶出量が除去量を上回り、負の値となった。

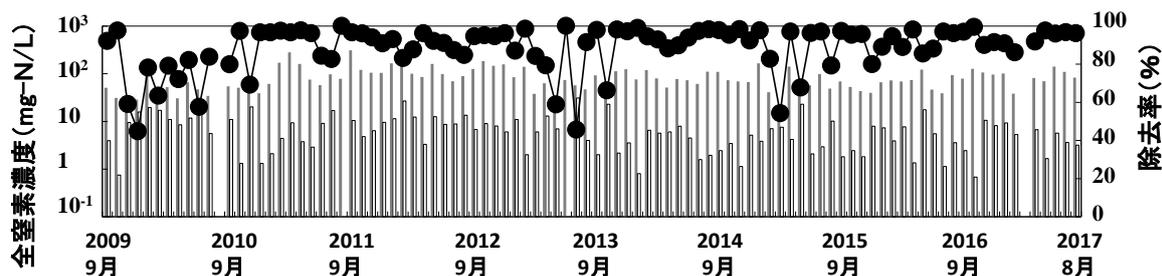


図-4 8年間の窒素除去性能の推移。■, 流入水濃度; □, 最終処理水濃度; ●, 除去率

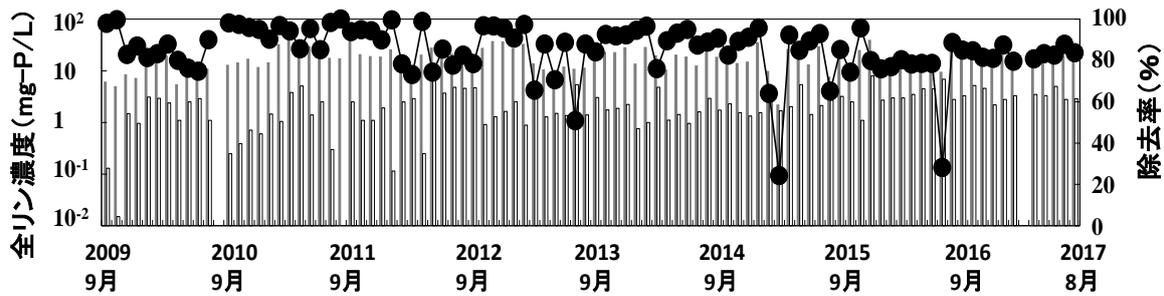


図-6 8年間のリン除去性能の推移。■,流入水濃度; □,最終処理水濃度; ●,除去率

3-3 中長期的なリンの浄化処理成績

1 段目の流入水と 5 段目の流出水の全リン濃度とこれらの濃度から算出した全リン除去率の 8 年間の推移を図-6 に示す。8 年間の流入水および最終処理水の全リン濃度および除去率の平均値は、それぞれ 19.8mg/L、2.5mg/L、85.1%であった。リン除去率は低下傾向にあるものの、平均では 80%以上を維持しており、8 年程度の期間であれば 80%前後の浄化率の持続が可能であることを実証することができた。

5 段の人工湿地の各段における全リン除去量の割合の 8 年間の推移を図-7 に示す。BOD や全窒素での傾向と異なり、下流の段の除去量が占める割合が経年とともに増加する傾向が顕著であり、経年に伴う浄化処理性能の低下を、各段における除去量の変化の推移により説明することができた。

3-4 多段人工湿地の中長期的な浄化原単位およびエネルギー消費原単位

8 年間の処理水量 (4927m³)、処理日数 (2893day)、人工湿地面積 (111m²) 及び 8 年間の原水および処理水の平均濃度より算出した中長期的な BOD、窒素およびリンの浄化処理原単位は、それぞれ 20.4g-BOD/d/m²、1.20g-N/d/m² および 0.27g-P/d/m² となった。

多段人工湿地は 5 つの人工湿地ろ床で構成されており、それぞれの人工湿地ろ床へ送水する合計 5 基の揚水ポンプの稼働に要した電力が処理運転に要したエネルギーであり、その平均消費電力 (0.53kWh/d) と各水質項目に対する浄化処理原単位より、人工湿地の処理運転に要するエネルギー原単位を求めた結果、BOD では 0.23Wh/g-BOD、全窒素では 4.0Wh/g-N、全リンでは 18.7Wh/g-P となった。

これらの値の相対的な位置づけを評価する

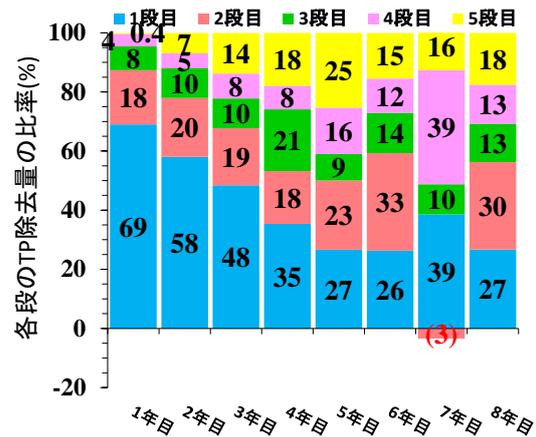


図-7 各段での全リン除去量の割合の8年間の推移

ため、高度処理型浄化槽のエネルギー消費原単位 (BOD:9.2Wh/g-BOD、全窒素:50.1Wh/g-N、全リン:405Wh/g-P) と比較すると、BOD ではマイナス 97.5%、窒素ではマイナス 92%、リンではマイナス 94.5%の低炭素化が達成できることになり、人工湿地が極めて省エネルギーな汚水処理法であることが示された。

一方、本研究で明らかにした人工湿地の BOD の浄化処理原単位 (20.4g/d/m²) に基づくと、1 日当たりの BOD 処理負荷量は 2264g-BOD であり、ひとりが排出する生活排水の BOD 原単位を 40g/d とすると、約 57 人分の生活排水に相当する。そこで、処理規模が同等の 50 人槽の通常型浄化槽の消費電力 (10.6kWh/d) と本研究で調査対象とした多段型人工湿地の平均消費電力 (0.53kWh/d) を比較評価すると、多段型人工湿地の消費電力はマイナス 95%となり、高度処理型浄化槽との比較評価結果と同様に、従来技術である浄化槽と比較して人工湿地が極めて省エネルギーな汚水処理法であることを示すことができた。

3-5 中長期的な人工湿地による排水処理において期待できる処理水質

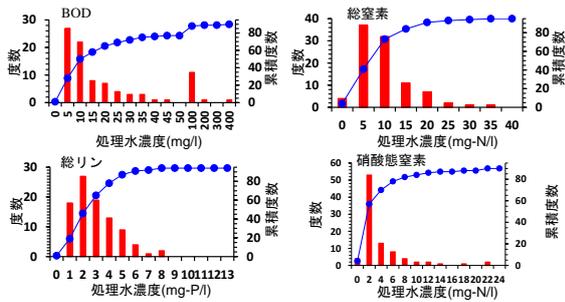


図-8 8年間の処理水質の分布と累積度数

環境基準や排水基準は、各水質項目の濃度で規制されている。そこで、人工湿地による中長期的な浄化処理における処理水の水質レベルを各水質項目の濃度に基づき評価した。8年間の処理水質の分布と累積度数を図-8に、全データの上位から25、50、75%の順位における濃度を表-1に示す。BOD、全窒素、全リンの各濃度に加えて、人の健康の保護に関する環境基準の水質項目のひとつである硝酸態窒素の濃度についても示した。BODに着目すると、一律排水基準の日間平均濃度120mg/lを超えたデータが8年間で1回あったが、それを除けば一律排水基準を満足する濃度が得られていた。75%値の濃度が22.4mg/lであったことから、通常型浄化槽で目標としている濃度レベル(20mg/l)とほぼ同等の処理水質が得られることが示された。全窒素に着目すると、一律排水基準の日間平均濃度60mg/lを超えたことは1回もなく、一律排水基準を余裕を持って満足する処理水質が得られていたことが示された。75%値の濃度が9.5mg-N/lであったことから、高度処理型浄化槽に匹敵するレベル(20mg-N/l)の処理水質が得られていたと言える。全リンにおいても、一律排水基準の日間平均濃度8mg/lを超えたことは1回もなく、一律排水基準を満足する水質が得られていたことが示された。75%値の濃度が3.3mg-P/lであったことから、高度処理型浄化槽に近いレベル(1mg-P/l)の処理水質が得られていたと言える。硝酸態窒素に着目すると、人の健康の保護に関する環境基準(硝酸イオンの濃度に換算係数0.2259を乗じた値)を十分に満足する水質であり、75%値の濃度でも2.6mg-N/lと非常に低いレベルであったことから、畜産排水に由来する地下水の硝酸態窒素濃度の増加の問題解決にも資するものとなる。人

表-1 8年間の処理水質レベル

	25%値	50%値	75%値
BOD (mg/l)	3.3	7.5	22.4
硝酸態窒素 (mg-N/l)	0.4	1.3	3.2
全窒素 (mg-N/l)	2.4	5.7	9.5
全リン (mg-P/l)	1.1	2.0	3.3

工湿地は経済的に小規模経営体においても運用が可能であり、人工湿地の導入によって一律排水基準を満足する適正な汚水処理が、法令の適用外である小規模経営体においても可能になることが期待できる。

4 まとめ

8年間の中期的な処理運転期間におけるBOD・窒素・リンの処理性能の推移を明らかにしたことで、BOD、窒素、リンそれぞれについて、人工湿地の処理性能がどの程度変動し、どのレベルで安定的処理が行われ、どの程度の処理水質が期待できるのかを明らかにすることができた。

8年間の処理運転で得られたデータをもとに算出したBOD・窒素・リンの浄化処理原単位(単位面積・時間あたりの浄化処理性能)は、8年間の人工湿地の水質浄化性能の季節変動や年変動を包括したものであり、わが国の気象条件下における人工湿地の中長期的な浄化処理原単位として意義がある。

8年間の処理運転における消費電力をもとに算出したBOD・窒素・リンの浄化処理におけるエネルギー原単位(単位処理負荷量あたりに必要な電力)は、同レベルの汚濁負荷量を浄化処理する浄化槽のマイナス95%であり、人工湿地法が極めて省エネルギーな汚水処理法であり、汚水処理の低炭素化、省エネルギー化に大きく貢献するものであることを示すことができた。

謝辞：本研究は環境省の環境研究総合推進費(5-1504)により実施した。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 農林水産省：畜産物生産費調査報告，1997
- 2) (社)中央畜産会：畜産環境保全マニュアル改訂版，pp. 38-39，2003
- 3) 農山漁村文化協会：尿污水处理の技術課題，畜産環境対策大辞典，pp. 547-551，1995