

<報文>

猪苗代湖流域におけるヨシ人工湿地の河川水処理特性*

菅野宏之**

キーワード ①人工湿地 ②河川水処理 ③リン ④除去率 ⑤水面積負荷

要 旨

猪苗代湖の水質保全対策を検討するため、ヨシ人工湿地を用いた流入河川の水質浄化の実証試験を行った。令和5、6年度の試験の結果、年間を通じた除去率は、全リンについて5割以上であった。一方、除去率の変動は大きく、水面積負荷との相関も明確ではなかった。このような点を考慮しつつ、猪苗代湖の水質保全対策を検討していく予定である。

1. はじめに

猪苗代湖は平成7年ごろまではpH5程度の酸性湖沼であったが、以降中性化し、それに伴いCODが上昇傾向にある¹⁾。

本県では水質悪化を防止するため様々な対策を実施しており、当センターではこれまで流域で実施されてこなかった対策の中から、植生浄化施設による流入河川の浄化対策について検討することとし、流入河川の一つである赤井川を対象に令和4年にヨシ人工湿地を設置し試験を行ってきた。既報²⁾では、令和5年度の試験結果を紹介した。

本報では令和6年度の試験結果も含めて取りまとめたので報告する。

2. 試験方法

2.1 ヨシ人工湿地の概要

猪苗代湖のCOD上昇の原因は、河川からのCOD流入負荷は変化していない一方、光合成による湖内の有機物生産量は増加しており、内部生産の増加による可能性が高い³⁾。

猪苗代湖は天然の浄化機構により、リン濃度が低く維

持され、リン制限湖沼となっており⁴⁾、内部生産を減らしCODを低減させる対策として、湖内又は湖へ流入するリンの量をさらに削減することが効果的と考えられた。

これを踏まえ、当センターではリン削減に焦点を当て河川を人工湿地により直接浄化する試験を行ってきた。

人工湿地は、リン除去に効果的とされる浸透流れ方式⁵⁾を第3槽に、SS分による目詰まり対策として前段(第2槽)に表面流れ方式、更にその前(第1槽)に沈殿池を設置した(図1²⁾)。

第2槽、第3槽の植生基材はリンの吸着効果が確認されている黒ボク土⁵⁾、植生は猪苗代湖岸に自生し、他の事例でも多く利用されるヨシ⁵⁾である。人工湿地の仕様を表1に示す。なお同仕様の人工湿地を2列設置した(図2)。

表1 人工湿地の仕様

槽	大きさ(幅×長さ)(m)	深さ(m)	水面積負荷(m ³ /m ² /日)
第1槽	0.46×1.8	0.9	5.7(設計)
第2槽	1.1×3.8	0.9 (うち植生基材0.4)	1.1(設計)
第3槽	1.1×6.2	1.6 (うち植生基材1.0)	0.68(設計)

※設計流量は3.2L/分、湿地全体の水面積負荷は0.39m³/m²/日

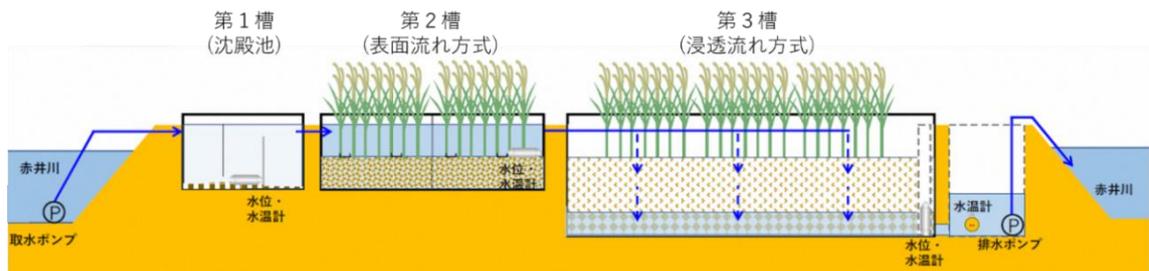


図1 人工湿地イメージ

*Characteristics of river water treatment using reed constructed wetland in the Lake Inawashiro Basin

**Hiroyuki KANNO (福島県中間貯蔵・除染対策課(元福島県環境創造センター)) Interim Storage Facility and Decontamination Management Division, Fukushima Pref.

[全国環境研会誌] Vol. 50 No. 2 (2025)

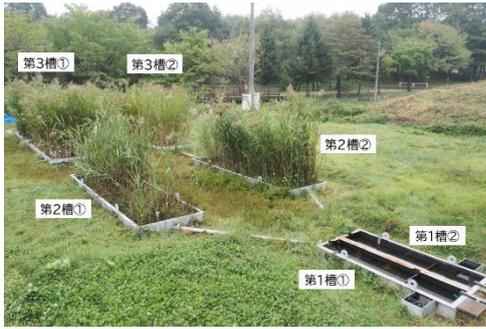


図2 人工湿地の状況(令和6年9月)

2.2 水質等調査

調査項目等を表2に示す。なお当該地域は豪雪地帯であるため冬期間は施設の稼働を停止した。停止の際、水槽内のヨシ等の植物(地上部分)の刈取りを行った。

表2 調査項目等

項目	時期	内容
水質	月1回(R5は5~12月, R6は5~11月)。 この他, R5は代かき, 中干, 稲刈り 期に各3日(いずれも1日1回)	全リン, SS, COD, 全窒素。全リン, COD, 全窒素は溶存 態も実施
流量	10分おきにデータ取得	—
植物	稼働停止直後(R5は12月, R6は11月) に地上部を刈取り, ヨシとそれ以外 に分離	重量, 含水率, 窒 素, リン
粒度分布	R6の代かき期(5/21), 非代かき期 (9/26)に各1回	—

採水は第1槽の流入部及び各水槽の流出部で実施した。水質の分析は昭和46年12月28日環境庁告示第59号又はJIS K 0102により, 代かき期等の判断は赤井川の管理者である会津若松市湊土地改良区への聴き取り及び現地確認(農作業の状況や川の濁り)により行った。

人工湿地の流量は第1槽流入前の配管に超音波伝播時間差検出方式の流量計((株)キーエンス製FD-H20K)を取付け計測した。

植物の含水率は, 通風乾燥機を用いて70℃で3日間乾燥し, 風乾後の重量から求めた。窒素は日本土壤肥料学会監修の土壤環境分析法, リンは(財)日本土壤協会の堆肥等有機物分析法2010年版により分析した。

粒度分布は予め試料1Lを60W/28kHzで10分間超音波分散処理した後, レーザー回折法(マルバーン社製レーザーマイクロサイザーLMS-3000)により実施した。

3. 調査結果

3.1 各項目の除去率

人工湿地全体の年間を通じた各項目の除去率等を表3に, 各水槽出口の年間の平均水質を図3に示す。除去対象とした全リンについては5割を超える除去率であった。また令和5, 6年度とも同様の傾向であった。第2

槽, 第3槽の除去率の変化を図4に示す。除去率の変動は大きく, 特に令和6年11月に第2槽②で除去率が大きく低下した。この原因として水槽内の植物(クログワイ等)の枯死による影響が考えられた。

表3 人工湿地の除去率等

		全リン		SS		COD		全窒素	
		R5	R6	R5	R6	R5	R6	R5	R6
人工 湿地 入口 (mg/L)	平均	0.231	0.234	45	49	10	13	1.70	1.38
	標準偏 差	0.20	0.38	54	93	2.1	5.8	1.2	1.0
	デー タ 数	34	7	34	7	16	7	34	7
人工 湿地 出口 (mg/L)	平均	0.105	0.110	13	16	7.2	9.2	1.05	1.00
	標準偏 差	0.086	0.11	21	25	1.3	2.7	0.82	0.93
	デー タ 数	34	14	34	14	16	14	34	14
除去率(%)		52.2	52.2	71.1	67.3	28.0	29.2	41.2	23.1

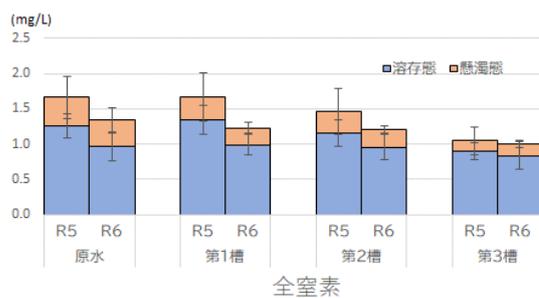
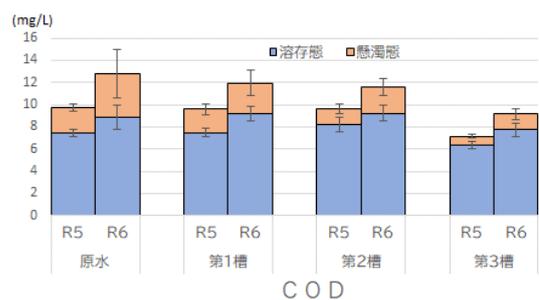
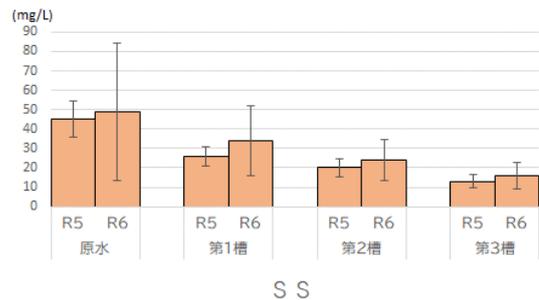
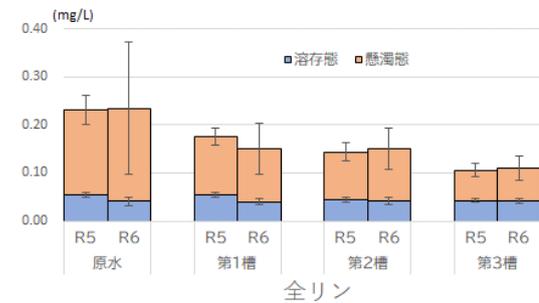


図3 各水槽出口における水質
(エラーバーは標準誤差を示す)

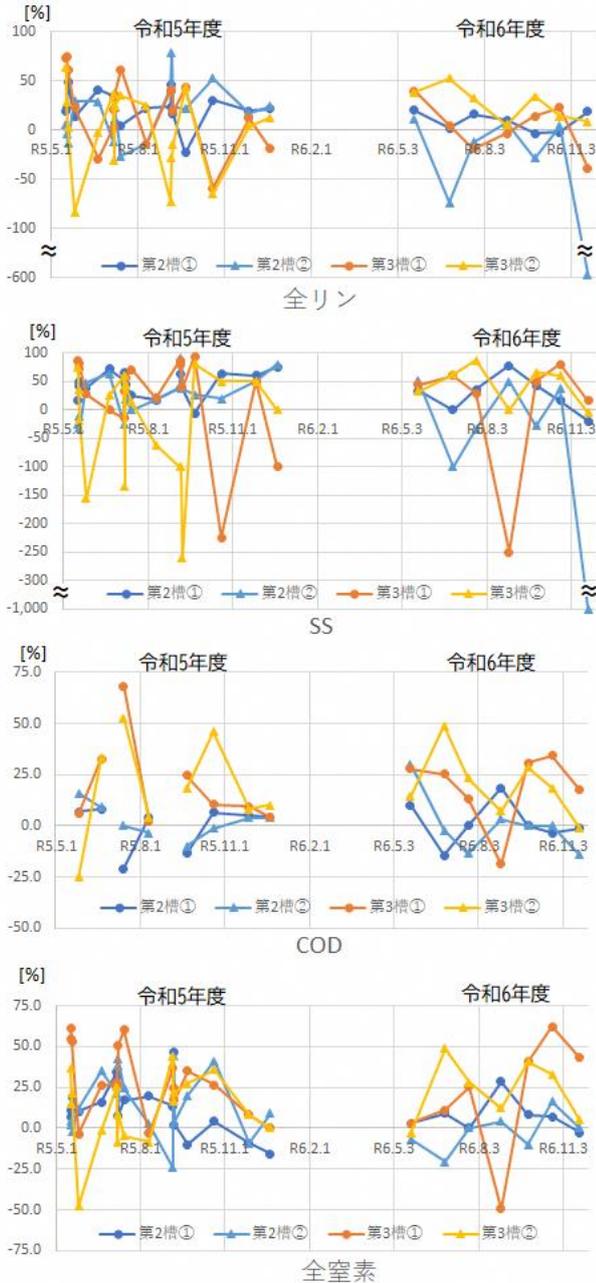


図4 第2槽及び第3槽の除去率の変化

3.2 水面積負荷と除去率の関係

各水槽の水面積負荷と全リンの除去率の関係を図5に示す。全リンは懸濁態の割合が多いため(図3), 水面積負荷が小さいほど懸濁物の沈降等が進み, 除去率が増加すると予想されたが, 令和5年度の第1槽②及び6年度の第3槽②では有意な相関が見られたものの, それ以外では見られなかった(p-value>0.05)。原因としては底泥からの溶出, 水槽内における植物プランクトンの増殖などが考えられた。

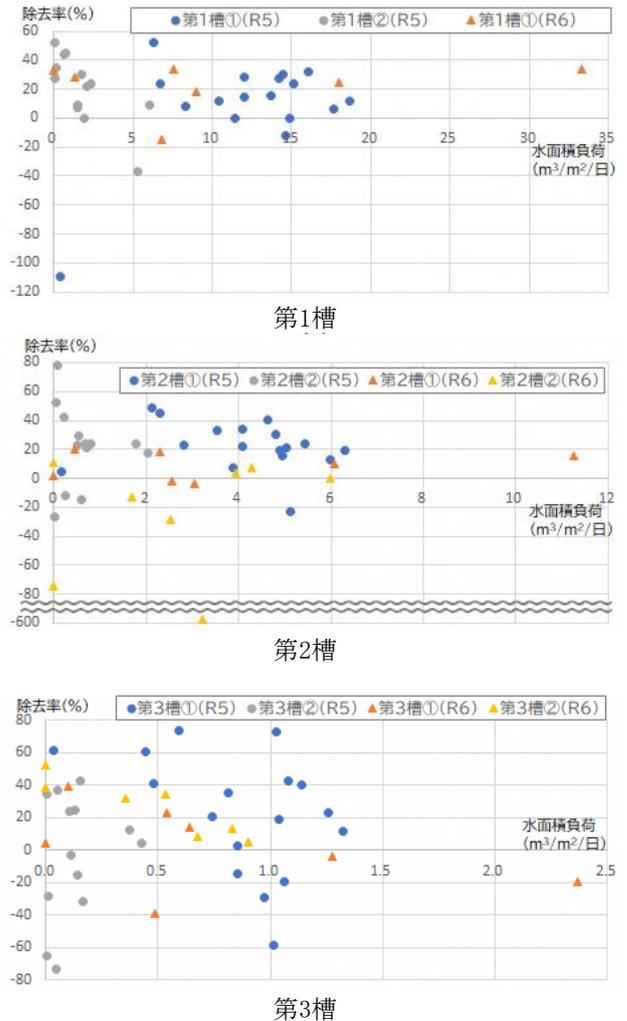


図5 水面積負荷と全リン除去率の関係

3.3 負荷量の推計

刈り取ったヨシ, その他の植物の重量等を表4に示す。この値と第2槽, 第3槽の全窒素, 全リンの平均濃度(表3)及び年間の通水量(①側(R5):3,013m³, ②側(R5):2,288m³, ①側(R6):2,074m³)から求めた負荷量の推計を図6に示す。他の人工湿地と同様⁵⁾, 除去の多くは底泥や土壌の蓄積によるものであり, 植物による吸収は少なかった。

表4 植物の重量等(カッコ内はヨシのみの値)

		①側(R5)	②側(R5)	①側(R6)
重量 (kg乾)	第2槽	3.1(0.33)	1.6(0.94)	2.5(2.0)
	第3槽	7.6(4.6)	6.7(5.7)	13(11)
含水率 (%)	第2槽	89(61)	80(65)	79(65)
	第3槽	75(65)	74(64)	64(55)
窒素 (g)	第2槽	47(4.6)	24(14)	46(35)
	第3槽	87(41)	34(20)	136(101)
リン (g)	第2槽	13(0.33)	3.6(1.1)	4.4(3.0)
	第3槽	15(3.2)	4.4(2.3)	14(9.8)

※令和6年度は②側の刈取りは実施しなかった。

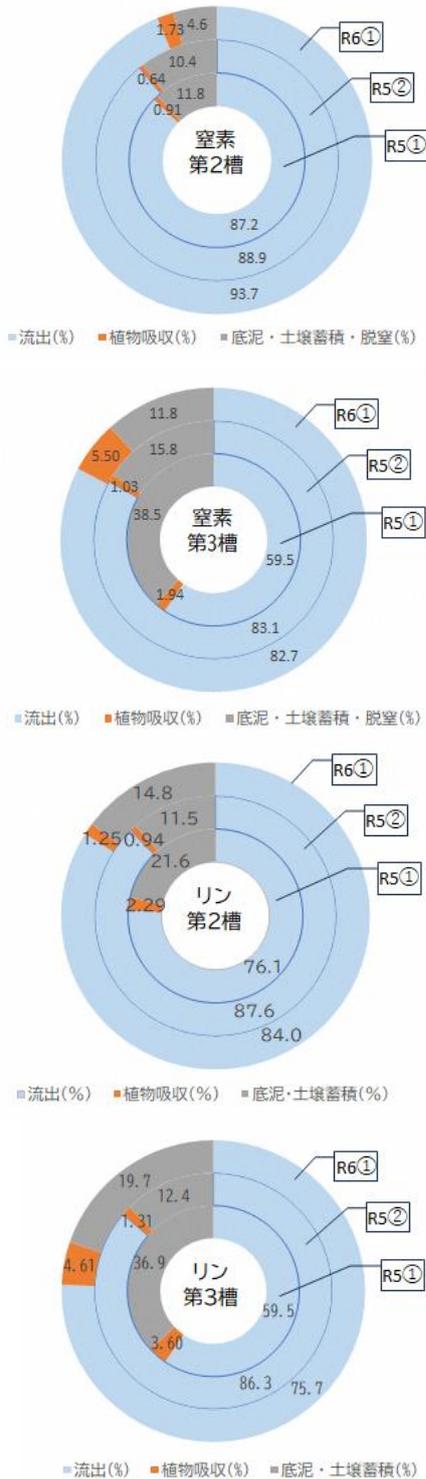


図6 第2槽及び第3槽の負荷量の推計

3.4 処理水の粒度分布

原水(第1槽流入部の水。赤井川の水質とほぼ同じと考えられる)の粒度分布を図7に示す。代かき期は粒径 $8\mu\text{m}$ 以下のシルト～粘土成分が多く、これは猪苗代湖流域の他地区における調査結果⁶⁾と同じであった。また代かき期とそれ以外では分布に違いが見られた。これは代かき時には、農業機械により攪拌された細粒分が流出⁷⁾して

いるためと考えられた。

各水槽の処理前後の粒度分布を図8～12に、各図の右上に処理前後のSSの値を示す。粒径の小さい粘土成分は除去されにくいと予想されたが、処理前後の分布はほぼ変わらず、どの水槽でも除去されていた。なお、各水槽の除去特性には若干の違いが見られた。第1槽では $60\mu\text{m}$ 以上の粒径が効果的に除去されていた。第2槽では代かき期は $1\sim 5\mu\text{m}$ 、非代かき期は $10\sim 50\mu\text{m}$ の粒径が除去されており、この違いは懸濁態を利用する水中の藻類の影響⁸⁾などが考えられた。第3槽では2つの水槽でやや異なる特性が見られ、ヨシの根の発達の差による土の透水性の違いなどが原因として考えられた。

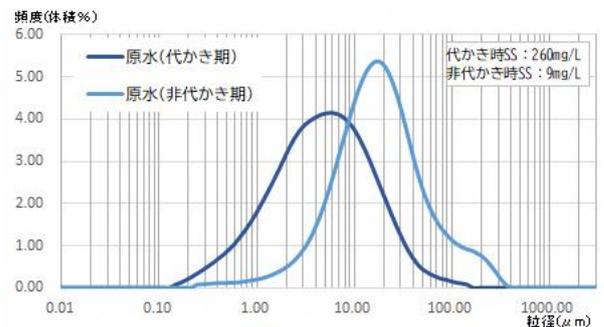


図7 原水の粒度分布

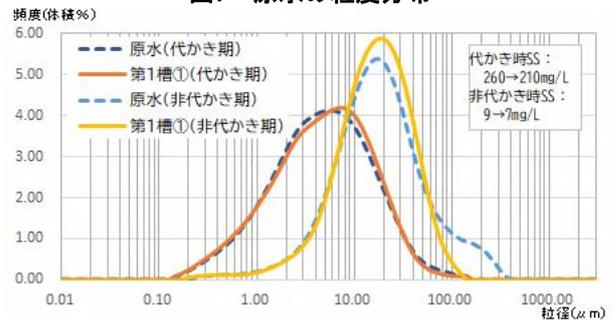


図8 第1槽処理前後の粒度分布

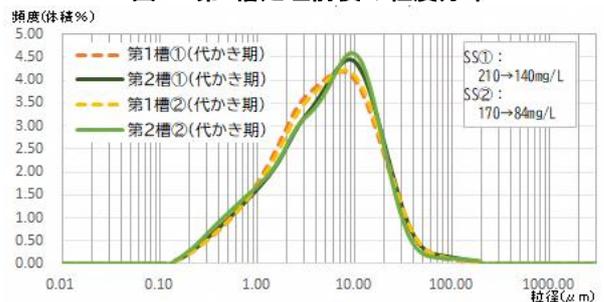


図9 第2槽処理前後の粒度分布(代かき期)

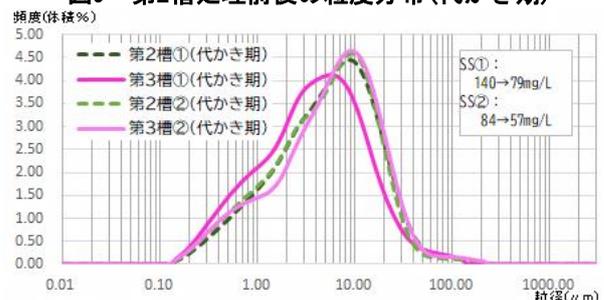


図10 第3槽処理前後の粒度分布(代かき期)

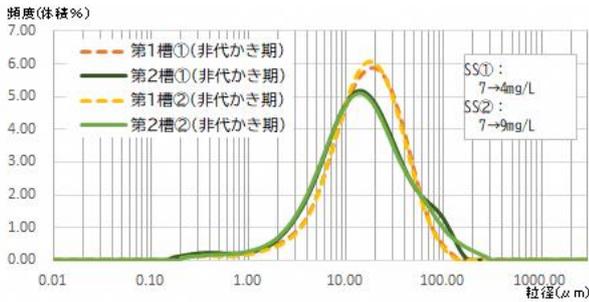


図11 第2槽処理前後の粒度分布(非代かき期)

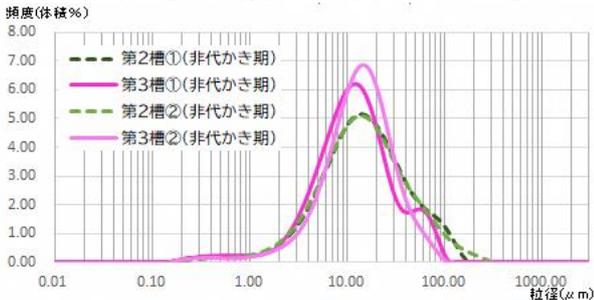


図12 第3槽処理前後の粒度分布(非代かき期)

4. まとめ

猪苗代湖の水質保全対策を検討するため、ヨシ人工湿地を用いた河川の水質浄化の実証試験を行った。

令和5、6年度の試験の結果、年間を通じた除去率は、全リンについては5割以上であった。一方、除去率は安定せず、水槽内の植物の腐敗によると見られる大きな負の除去率(水槽からの溶出)も認められた。

除去率と水面積負荷の相関はあまり明確ではなく、底泥からの溶出、水槽内の植物プランクトンの増殖などが原因として考えられた。

処理水の粒度分布については、第1槽(沈殿池)では想定どおり粒径の大きい粒子が効果的に除去された一方で、粒径の小さい粒子の除去も認められた。第2槽、第3槽では除去方式や調査時期によって除去特性に違いが見られ、人工湿地を使用した水質浄化の制御の複雑さの一端を示していると考えられた。

令和5年度の赤井川の水質、流速の測定結果、横断測定の結果から求めた年間の平均流量は0.22m³/sであった。3.2のとおり、今後の人工湿地の設計に資する水面積負荷と除去率の関係を求めるには至らなかったが、仮に本設置の設計に用いた水面積負荷0.39m³/m²/日の条件で、赤井川の河川水浄化に必要な人工湿地の水面積を算定すると約4.9haと見積もられた。人工湿地を使った研究では、維持管理が容易で低コストというメリット⁹⁾を活かせるよう、畜産排水や生活排水など比較的高濃度の排水を対象に、比較的小規模で処理する研究も行われている¹⁰⁾¹¹⁾。今後はこのような点も考慮しながら、猪苗代湖の水質保全の効果的な対策を検討していく予定である。

5. 引用文献

- 1) 福島県水・大気環境課：令和5年度猪苗代湖の水質測定結果等，
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/657186.pdf> (2025. 3. 31アクセス)
- 2) 菅野宏之：猪苗代湖流域におけるヨシ人工湿地を用いた河川の直接浄化に関する研究．全国環境研会誌，**49**(2)，12-16，2024
- 3) 佐藤貴之：猪苗代湖におけるpH中性化後のCOD上昇メカニズムについて．令和元年度環境創造センター成果報告会資料，
<https://www.fukushima-kankyosozou.jp/010520seikahoukoku.html> (2025. 3. 31アクセス)
- 4) 藤田豊，中村玄正：猪苗代湖の水質保全に寄与する酸性河川長瀬川の凝集塊によるリン除去効果．水環境学会誌，**30**，197-203，2007
- 5) (財)河川管理財団・河川環境総合研究所：植生浄化施設設計の技術資料[2007年版]．2007，
https://www.kasen.or.jp/Portals/0/pdf_kasen03/study02b_26.pdf (2025. 3. 31アクセス)
- 6) 佐藤紀男：猪苗代湖北岸地域における水田由来の環境負荷の実態と環境負荷低減技術．東京農工大学大学院連合農学研究科博士論文，18-28，2014
- 7) 須永吉昭，松井宏之，大澤和敏：水田排水に含まれる懸濁物質の粒度分布の経時変化に関する考察．農業農村工学会論文集，**85**，II_113-II_119，2017
- 8) 棚瀬真貴子，井上隆信，松井佳彦，松下拓：懸濁態リンの藻類増殖能の評価．土木学会第57回年次学術講演会(平成14年9月)講演概要集，VII-202，2002
- 9) 三輪耀大，遠山忠：Tidal flow人工湿地の酸素供給，有機物酸化と硝化・脱窒の特性．環境技術，**53**，72-75，2024
- 10) 辻盛生，加藤邦彦，佐々木理史，山田一裕，平塚明：伏流式人工湿地ろ過システムによる水質浄化能力の向上．日録工誌，**46**，57-62，2020
- 11) 矢野篤男：人工湿地による単独処理浄化槽を使用する家庭污水の高度処理．環境技術，**53**，60-65，2024