

<報文>

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*

菅野 宏之**

キーワード ①人工湿地 ②直接浄化 ③リン ④除去率 ⑤湖沼の水質改善

要 旨

猪苗代湖のCOD（化学的酸素要求量）低減に向け、福島県環境創造センターでは、ヨシ人工湿地を用いて湖に流入する河川を直接浄化する実証試験を行っている。湿地の設置から2年目となる2023年度の試験の結果、浄化対象としたリンについて平均で4割を超える除去率であり、他の項目についても国内の他の施設と同程度の除去率であった。

1. はじめに

猪苗代湖は福島県のほぼ中央に位置し、面積は103.3km²と国内第4位の湖である。また、磐梯朝日国立公園の一角を占め、観光レクリエーションの場として、また水力発電やかんがい用、水道用の水源として利用されている。

水質に関しては、安達太良山西麓の旧沼尻硫黄鉱山の廃坑口からの強酸性の地下水や沼尻温泉と中ノ沢温泉の強酸性の源泉水が長瀬川を通じて流入するため、湖心のpHは1995年ごろまで5程度の酸性であった¹⁾。さらに、長瀬川の水中の鉄等が河口付近で凝集塊を形成し、リンを吸着する天然の浄化機構を有するため²⁾、湖心のCODは0.5mg/L未満の水質であった。しかし、1996年頃から徐々に中性化し、それに伴いCODが上昇し、2022年度のpHは6.8、CODは1.4mg/Lであった³⁾（図1）。

中性化の原因は、上流の安達太良山の火山活動との関連が指摘されているほか⁵⁾、旧沼尻硫黄鉱山内の硫酸イオンの供給量の減少が指摘されている⁶⁾。

また、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、植物プランクトンの細胞数が増加していることから、内部生産の増加による可能性が高いとされている⁷⁾。

湖水のCODがさらに上昇することが懸念されることから、福島県では、猪苗代湖の良好な水質を長期的に維持等するためとして、猪苗代湖及び裏磐梯湖沼水環境保全推進計画を策定し、湖の水質目標値を設定している（湖心のCODを1.0mg/Lなど）。また、水質の改善に向け、高度処理型浄化槽や下水道などの生活排水対策のほか、

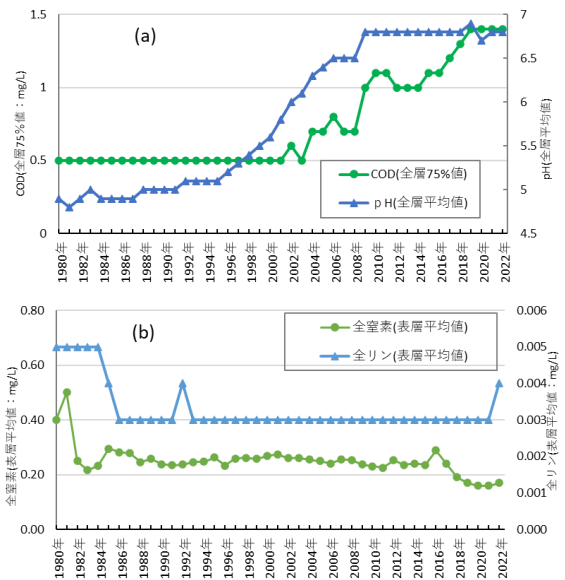


図1 猪苗代湖(湖心)のCODとpH(a), 全窒素と全リン(b)の経年変化^{3),4)}

刈取船等による水生植物の刈取り・回収などの対策を実施している。この他、福島県環境創造センターでは、湖に流入する河川の一つである赤井川を対象に、ヨシ人工湿地を用いた河川の直接浄化に関する実証試験を2022年度から実施している（図2）。

2年目となる2023年度の実証試験結果について報告する。

*Study on direct treatment of river by using reed constructed wetland in the Lake Inawashiro Basin

**Hiroyuki KANNO (福島県環境創造センター) Fukushima Prefectural Centre for Environmental Creation



図2 人工湿地周辺位置図

2. 試験方法

2.1 ヨシ人工湿地の概要

COD低減のためには、上記のとおり内部生産を減らすこと、リン制限湖沼である²⁾ため、植物プランクトンの増殖に必要な窒素、リンのうち、湖内又は湖へ流入するリンを削減することが有効な対策と考えられた。

植物が生育する湿地による水質浄化は、国内では1990年頃から取り組まれており⁸⁾、人工湿地による下水処理施設は世界中で稼働している⁹⁾。様々な浄化方式があり、リン除去に特に適した方法は植生基材に土壌を用いた浸透流れ方式とされているが、長期稼働により流入SSによる目詰まりが発生しやすい¹⁰⁾。

設置場所は、猪苗代湖の近くに立地する県立の会津レクリエーション公園内とし、将来の撤去を前提として鋼鉄製の水槽を地下に埋め込む構造とした。浄化対象は、同公園内を通り猪苗代湖に流入する赤井川である。赤井川は会津若松市湊土地改良区が管理する農業排水路であるため、水路わきに広がる水田からの落水時等にSSの増加が予想された。このため人工湿地は、浸透流れ方式の前に、SSの沈殿効果が大きいとされる¹⁰⁾表面流れ方式を、更にその前には沈殿池を置いて、予めSS分を沈殿・除去する対策を講じたこととした（複数の浄化方式を組み合わせたハイブリッド方式。図3）。

人工湿地の仕様を表1に示す。水面積は第1槽から第3槽までの合計11.9m²、設計流量は3.24L/分、湿地全体の

水面積負荷は0.39m³/m²/日とした。なお同じ仕様の湿地を2施設設置し、湿地への通水は、1つのポンプで赤井川から取水し2施設に分配して行った。

表1 人工湿地の仕様

槽	処理方式	大きさ(幅×長さ)(m)	深さ(m)	水面積負荷(m ³ /m ² /日)
第1槽	沈殿池	0.46×1.8	0.9	5.7(設計)
第2槽	表面流れ方式	1.1×3.8	0.9(うち植生基材0.4)	1.1(設計)
第3槽	浸透流れ方式	1.1×6.2	1.6(うち植生基材1)	0.68(設計)

第2槽、第3槽には植生基材として、安価で他の事例でリンの吸着効果が確認されている黒ボク土¹⁰⁾を、植生には、猪苗代湖岸に自生し、茎が中空で土壌へ空気を送り込むことや冬に立枯れするなどの特徴を持ち、他の事例でも多く利用されるヨシ¹⁰⁾を使用した。人工湿地は2022年3月に完成し、2022年度は湿地への通水を行いながらヨシの植え付けなどの作業を行い、冬期に植生基材上のヨシを刈り取った。

2年目となる2023年度は5月6日から通水を開始し、積雪前の12月24日に停止した。また植生基材上のヨシは11月27日に刈り取った。

2.2 水質等調査

水質調査の概要を表2に示す。

表2 水質調査の概要

	調査地点	調査時期	調査項目
定期調査	第1槽入口、各水槽出口	月1回(5月～12月)	SS, 全リン, 全窒素, COD, 全リン, 全窒素, CODは溶存態も実施
	赤井川(取水地点)	月1回(4月～3月)	
落水時調査	各水槽出口	代かき時(5月), 中干期(7月), 稲刈り前(9月)の3回。3日連続で実施。代かき時は河川の濁りの状況から汚濁のピークと思われる日を選定	SS, 全リン, 全窒素。全リン, 全窒素は溶存態も実施。
	赤井川(取水地点)	同上。ただし代かき時(5月)は10日連続で実施	

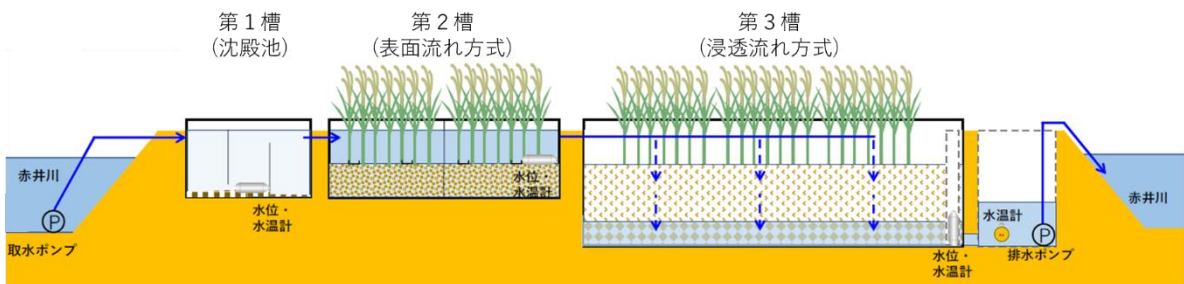


図3 人工湿地イメージ

いずれも1日1回採水を行った。試料をガラス繊維ろ紙GF/Bに通過させ測定した結果を溶存態とし、試料の測定値から溶存態の測定値を差し引いた結果を懸濁態とした。また、湿地への通水量については、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10分ごとにデータを収集した。

3. 調査結果

3.1 流入水質の状況

赤井川の水質調査結果を表3に示す。また、全リンの濃度変化を図4に示す。落水時、特に代かき時（5月）に濃度と懸濁態の割合が高かった。

表3 赤井川の水質（平均値）

項目	定期調査		落水時調査	
	溶存態	懸濁態	溶存態	懸濁態
全リン(mg/L)	0.075	0.031	0.30	0.070
SS(mg/L)	10	—	62	—
COD(mg/L)	8.2	7.1	—	—
全窒素(mg/L)	1.0	0.85	2.2	1.7

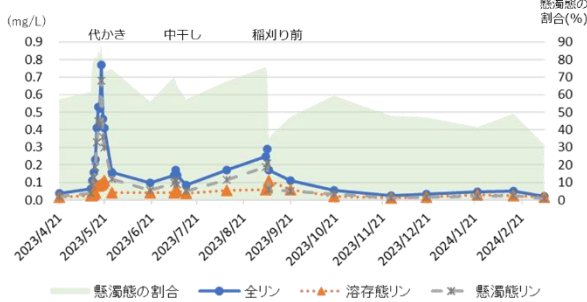


図4 赤井川における全リン濃度

3.2 人工湿地の稼働状況

人工湿地への通水量等を表4、表5に示す。河川を流れる葉等が取水ポンプに詰まり、湿地への通水が停止する状態が、2つの湿地のうち施設2では3割を超えるなど、通水は安定しているとは言えない状況であった。また、施設1では平均の通水量が設計の2倍以上であった。

表4 人工湿地への通水量

湿地名	通水量(L/分)					
	平均	最小	最大	標準偏差	データ数	0(L/分)の割合(%)
施設1	7.9	0.0	21	3.8	32817	8.0
施設2	1.9	0.0	14	2.3	29930	38

表5 人工湿地における水面積負荷

湿地名	水面積負荷(平均値, m ³ /m ² /日)			
	全体	第1槽	第2槽	第3槽
施設1	0.95	14	2.7	1.7
施設2	0.23	3.3	0.64	0.40

3.3 水質浄化特性の評価

3.3.1 水質項目毎の除去率等

2つの湿地の通水量が異なるため、各槽出口の水質について2施設で有意差がないか、両側t検定 (p=0.05) を行ったところ、全ての槽の出口の水質で有意差は認められなかった。このため、以下では2施設の水質調査結果をまとめて本施設の結果として評価した。

本施設における項目毎の除去率（(流入水質-流出水質)/流入水質×100）の結果を表6に示す。全リンは平均4割を超える除去率であった。

表6 項目毎の除去率

項目	全リン		SS	COD		全窒素	
	溶存態	懸濁態		溶存態	懸濁態		
平均(%)	43.6	12.4	61.6	25.3	12.0	33.1	24.9
最小(%)	-22.2	-65.0	-157	7.1	-11.4	-30.0	-18.3
最大(%)	90.4	72.8	96.8	50.0	46.8	71.7	63.3
標準偏差(%)	24.8	33.7	46.8	12.0	18.6	24.8	20.6
データ数	34	34	34	16	16	34	34

各槽出口における水質の平均値を図5に示す。懸濁態は各槽で減少していたが、溶存態については一部で増加する結果が見られた。

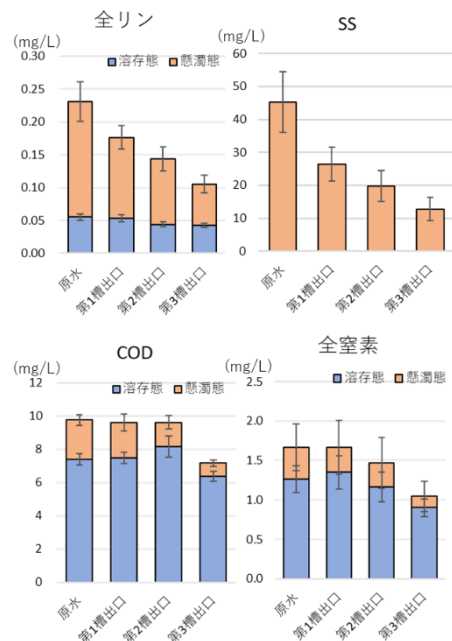


図5 各槽出口における水質（平均値。エラーバーは標準誤差を示す）

3.3.2 他施設との比較

文献¹⁰⁾で示された、国内の他の人工湿地等における調査結果との比較を以下に示す。流入水質について、赤井川の水質測定結果と、他施設の流入水質の年間平均値の分布を比較した結果を図6に示す。赤井川ではSSが高くなる時期を重点的に調査したこともあり、年間平均値は、他施設の流入水質の年間平均値の範囲内であったが高めになった。他の項目では大きな違いはなかった。

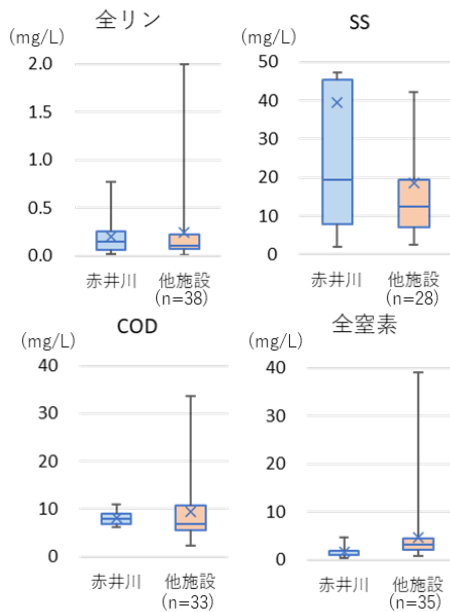
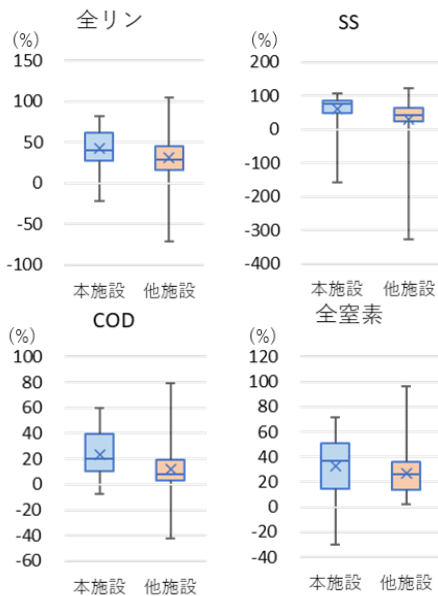


図6 流入水質の比較

(図のひげはデータ範囲、箱の上端は75%値、中線は中央値、下端は25%値、×は平均値を示す。以下同じ)

水質項目毎の除去率について、本施設の除去率と、他施設における平均除去率の分布と比較した結果を図7に示す。本施設の除去率の平均値は、他の施設の四分位範囲内またはより高い値であった。



項目	他施設の内訳
全リン	n=38(うち表面流れ方式17, 浸透流れ方式6, その他15)
SS	n=33(うち表面流れ方式13, 浸透流れ方式6, その他14)
COD	n=33(うち表面流れ方式14, 浸透流れ方式6, その他13)
全窒素	n=35(うち表面流れ方式15, 浸透流れ方式6, その他14)

図7 水質項目毎の除去率の比較

(本施設は2023年度のデータの分布を、他施設は各施設の平均除去率の分布を示す。以下同じ。)

処理方式毎の除去率について、第2槽(表面流れ方式)の除去率と、他施設(表面流れ方式)における通年の除

去率の分布とを比較した結果を図8に示す。第2槽の除去率の平均値は、他の施設の四分位範囲内であった。

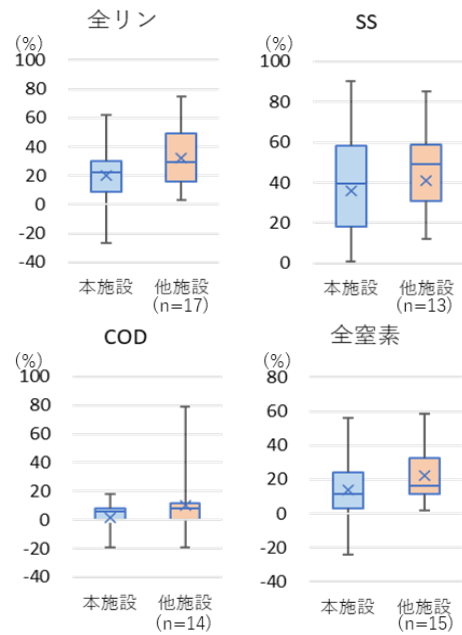


図8 水質項目毎の除去率の比較(第2槽(表面流れ方式))

第3槽(浸透流れ方式)の除去率と、他施設(浸透流れ方式)における通年の除去率の分布とを比較した結果を図9に示す。第3槽の除去率の平均値は、他の施設の25%値より低い結果となった。推定される原因としては、第3槽の前段までに処理が進んだ以外に、槽内の水位が一定以上に高くなると植生基材(黒ボク土)に水みちができることなどが考えられるため、2024年度は槽内に圧力センサー式の水位計を設置して連続的に水位データを収集する予定である。

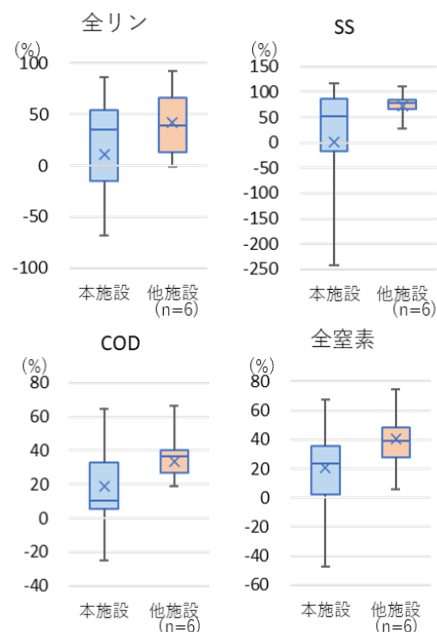


図9 水質項目毎の除去率の比較(第3槽(浸透流れ方式))

4. まとめ

ヨシ人工湿地を用いて河川の直接浄化の実証試験を行った。設置から2年目となる2023年度の試験結果は、浄化対象としたリンについて平均で4割を超える除去率であった。その他の項目も国内の他の施設と同程度の除去率であった。

2024年度は安定した通水を行うための対策を講じながら、いくつかの条件を変えた試験を実施し、猪苗代湖のCOD低減に向け検討を行う予定である。

5. 引用文献

- 1) 福島県：猪苗代湖及び裏磐梯湖沼水環境保全推進計画，2022
- 2) 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
- 3) 福島県水・大気環境課：環境等測定調査結果（令和4年度分），
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16035c/tyosakekka1.html>（2024. 3. 27アクセス）
- 4) 福島県：水質年報（昭和55年度～令和3年度），1981～2022
- 5) 酢谷大輔，加藤善盛，内海真生，杉浦則夫：安達太良山から湧出する硫酸酸性水の硫酸イオン濃度の将来動向推定．土木学会論文集G（環境），**69**，Ⅲ_265-Ⅲ_274，2013
- 6) 篠崎真希，林暁嵐，新井宏受：長瀬川の硫酸イオン起源解析，令和5年度環境創造センター成果報告会資料，<https://www.fukushima-kankyosozo.jp/2023seikahoukoku/page4.html>（2024. 3. 27アクセス）
- 7) 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-kankyosozo.jp/010520seikahoukoku.html>（2024. 3. 27アクセス）
- 8) 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．日緑工誌，**46**，57-62，2020
- 9) 吉野謙司，谷口崇至，中野和典：干満流と部分飽和を組み合わせたハイブリッドろ床を導入した多段人工湿地の下水浄化性能，水環境学会誌，**47**，27-35，2024
- 10) 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（2024. 3. 27 アクセス）