

3つの実規模ハイブリッド伏流式人工湿地におけるリン除去特性

Phosphorus removal properties in three full-scale hybrid subsurface constructed wetland systems

○泉本 隼人* 井上 京** 加藤 邦彦*** 原田 純* 張 曉萌* 家次 秀浩**** 菅原 保英*****
 ○ IZUMOTO Hayato* INOUE Takashi** KATO Kunihiko*** HARADA June*
 ZHANG Xiaomeng* IETSUGU Hidehiro**** SUGAWARA Yasuhide*****

1. はじめに

伏流式の縦型と横型のヨシ濾床を組み合わせたハイブリッド伏流式人工湿地システムは、これからの普及が期待される汚水浄化技術である。このシステムでは汚水中のリンは主に濾材への吸着や濾床への蓄積によって除去される¹⁾。しかしこれらのリン除去プロセスには容量的な限界があるとされ、濾床が飽和することで浄化できなくなる懸念がある。濾材のリン吸着能に関する室内実験は多数行われているが、実規模のシステムを対象とした比較的長期の観測例はほとんどない。本報告では、汚水や濾材の種類が異なる3カ所のシステムについて、リン除去能力の経年変化と、成分毎・濾床毎の除去能を調べ、リン浄化能力の差異の原因を検討した。

2. 方法

2-1 調査地概要 対象とした北海道内3カ所(千歳、滝上、遠別)のシステムの概要を表1に示す。浄化効率を高めるため、千歳では3段目出口から1段目と2段目の入口へ、滝上では3段目出口から1段目入口へ、遠別では2段目出口から2段目入口へ、それぞれ汚水の一部を循環させている。縦型濾床の表面には、濾床の目詰りを軽減させるため水に浮かぶ資材(スーパーソル)を敷き詰めるとともに、湛水を次の濾床に流すバイパスを設置している²⁾。濾床表面にはヨシを植栽することで目詰りの軽減と、根群域の微生物活性の向上をはかっているが、ヨシは刈り出さず通年で残置している。

2-2 調査方法 ひと月~三ヶ月に一度、現地にて採水を行った。サンプルは現地で溶存酸素(DO)、電気伝導度(EC)、酸化還元電位(ORP)、水温を測定し、低温状態で実験室へ持ち帰った後、全リン(T-P)、リン酸態リン(PO₄-P)、懸濁態物質(SS)を測定した。有機態リン(Org-P)はT-PとPO₄-Pの差分として求めた。各縦型濾床前に設置されている水槽に水位計を設置し、水位変動量と水槽の容積から濾床への投入流量を求めた。水位計が設置できない箇所については降水量と推定蒸発散量(ペンマン法)から水収支により流量を算出した。流量と濃度から負荷を計算し、分析に用いた。

表1 各システムの概要 (V: 縦型、Vr: 縦型+循環、H: 横型)
Summary of each system

	稼働開始時期	汚水の種類	濾床の段数	濾床面積	主な濾材
千歳	2009年冬	養豚尿液	Vr-Vr-V-H-V 5段	1,472 m ²	火山礫 発泡コンクリート
滝上	2011年春	酪農パーラー排水	Vr-V-V-H-V 5段	3,048 m ²	砂利
遠別	2006年冬	酪農パーラー排水	V-Vr-H 3段	656 m ²	砂利、洗い砂 クリンカアッシュ

* 北海道大学大学院農学院 Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, ** 北海道大学大学院農学研究院 Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University, *** 農研機構東北農業研究センター NARO Tohoku Agricultural Research Center, **** 株式会社たすく Tusk Co. Ltd, ***** 農研機構北海道農業研究センター NARO Hokkaido Agricultural Research Center

[キーワード] 有機性汚水 ヨシ濾床 鉛直流型・水平流型湿地

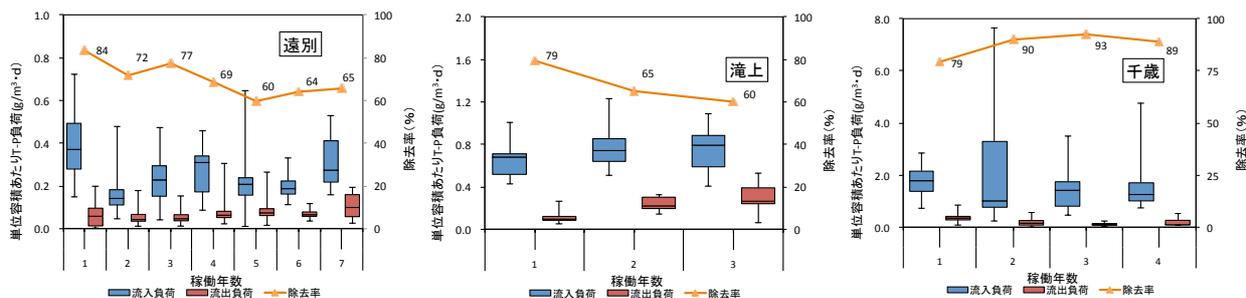


図 1 濾床単位容積あたり T-P の流入・流出負荷と除去率
Influent and effluent load per volume of bed material and removal efficiency for T-P

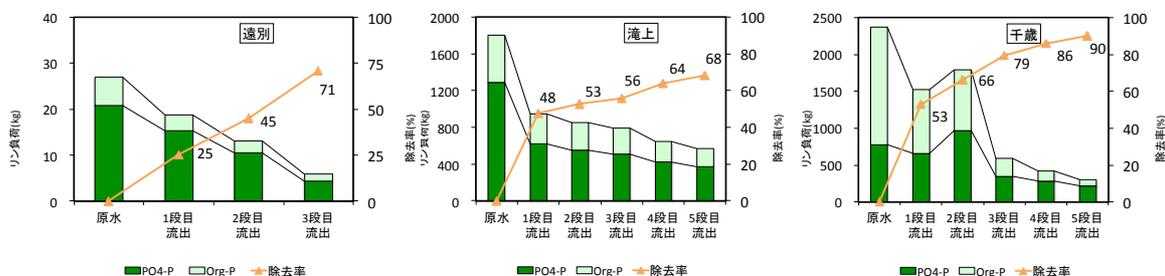
3. 結果と考察

3-1 リン除去能力の経年変化 3カ所のシステムについて、年ごとの濾床単位容積あたり T-P の流入・流出負荷と除去率を示す (図 1)。いずれも流入負荷は変動があるが、流出負荷は小さくかつ安定しており、稼働開始から現在まで良好に機能している。遠別と滝上は経年的に除去率が徐々に低下しているのに対し、千歳は除去率をほぼ維持している。排出される処理水中の T-P 濃度は排出基準を満たしており、除去率は 6 割以上を保持している。リンの成分別に見ると、遠別と滝上では $PO_4\text{-P}$ の除去率は低下気味であった。滝上と遠別では濾材にリン吸着能の小さい砂利を用いており、その能力が低下しつつあると考えられる。しかし Org-P の除去率は維持されていた。千歳のシステムでは $PO_4\text{-P}$ と Org-P とともに除去率低下が見られなかった。これは濾材に火山礫や ALC を用いているため、また 2 年目から汚水の循環を開始したためとも考えられる。 $PO_4\text{-P}$ は濾材への吸着や生物吸収、Org-P は懸濁態成分が多くを占め濾床への蓄積によって主に削減される。3カ所とも Org-P の除去率低下が認められないことから、濾床に蓄積されていることが考えられ、Org-P の蓄積量とその形態を評価する必要がある。

3-2 各リン成分の浄化能評価 稼働期間全体の成分別リン除去の状況および除去率の推移を、3カ所の各濾床ごとに示す (図 2)。酪農パーラー排水を処理する遠別と滝上の汚水は $PO_4\text{-P}$ の割合が大きく、千歳の養豚尿液は Org-P の割合と負荷そのものが大きい。滝上と千歳は 1 段階でのリンの除去率が高かった。これは投入される負荷が大きいためと考えられる。千歳では 3 段階から 1 段階・2 段階への汚水の循環が多くあるため、2 段階で増加しているように見えるが、3 段階通過後に大幅に減少している。

4. まとめ

全てのシステムにおいて、排出される処理水中の T-P 濃度は排出基準を満たし、除去率も 6 割を保持していた。しかし遠別と滝上では除去率が経年とともに低下しつつあった。これは主に吸着によって除去される $PO_4\text{-P}$ の浄化能が低下したためと考えられる。濾材に火山礫を用いている千歳ではそのような傾向は見られなかった。Org-P についてはどのシステムも除去率は低下していなかった。



[参考文献]

図 2 成分別リンの状況と除去率の推移 Phosphorus removal and removal efficiency

- 1) J. Vymazal (2007) Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, 380, 45-65
- 2) K. Kato, T. Inoue, H. Ietsugu, H. Sasaki, J. Harada, K. Kitagawa, P.K. Sharma (2013) Design and performance of hybrid constructed wetland systems for high-content wastewater treatment in the cold climate of Hokkaido, northern Japan. *Water Science & Technology*, 68 (7), 1468-1476