

散水ろ床と人工湿地を組み合わせた難分解性有機物除去機能を強化した省エネルギー型下水処理システム

An Energy-saving Wastewater treatment system using trickling filters and constructed wetlands

立命館大学理工学部 教授 惣田 訓

（研究計画ないし研究手法の概略）

はじめに

先進国の汚水処理の主流である活性汚泥法は、大量の曝気電力を消費し、アジア新興国への導入には必ずしも適していない。そこで、散水ろ床法と人工湿地を組み合わせた省エネルギー型の下水処理システムを開発する。散水ろ床法では、担体を充填した反応塔の上部から下水を散水し、担体表面の生物膜で有機物を除去し、下部から処理水を得る。散水ポンプのための電力しか消費しない利点がある一方、有機物除去率は低く、窒素やリンの除去は、ほぼ期待できない。人工湿地では、充填担体に汚濁物質が吸着・ろ過され、さらに植物の根から窒素・リンが吸収除去される。散水ろ床の処理水を人工湿地に自然流下させれば、電力は不要である。付加価値の高い植物を植えれば、その維持管理と収穫のための雇用や利益も期待できる。また、植物の根圏には、難分解性のものも含む多様な有機物を分解する微生物が集積されることも期待される。本研究は、省エネルギーながら難分解性有機物、窒素・リンも除去する高機能性技術の開発を目標とた。ラボスケールの散水ろ床と人工湿地を組み合わせたシステムを構築し、ベトナムなどの東南アジア諸国で食用として栽培が盛んなエンツァイ (*Ipomoea aquatica*) を人工湿地に植栽し、難分解性成分として洗剤の主成分である直鎖アルキルベンゼンスルホン酸 (LAS) を含む模擬下水の処理実験を行った。また、散水ろ床と人工湿地の微生物の有機物分解能を 31 種類の炭素源に対して評価した。

実験方法

A系とB系の処理システムを用意した(図1)。両系の散水ろ床(φ140×H315mm×3層)の基質に廃棄物を原料とするガラス発泡体(10-20mm)を用いた。人工湿地(W470×L660×D330mm×2槽)の基質としてガラス発泡体(3-10mm)を用いた。人工湿地には、散水ろ床の処理水を重力流入させた。A系の人工湿地には、0日目にエンツァイ(79.5 g-wet)を植栽し、130日目にすべてをパセリ(140 g-wet)に植え替えた。

魚肉エキス、ペプトン、洗剤を主体とする合成廃水(全有機炭素 TOC 43.4 mg/L, T-N 29.6 mg/L, T-P 6.7 mg/L, LAS 0.04 mg/L)の処理実験を2022年6月30日(0日目)から12月19日(171日目)まで行った。処理水量を0~50日は5 L/日、50~71日は7.5 L/日、71~127日は10L/日に段階的に増加させた。週2回、合成廃水の貯留槽、散水ろ床の越流流水、人工湿地前段の越流水、人工湿地後段の越流水(処理水)の水試料が分析用に採取された。

洗剤の主成分は、アルキル基の炭素数が10~13のC₁₀LAS, C₁₁LAS, C₁₂LAS, C₁₃LASが含まれていた。LASの分析には、LC-MS8030(Shimadzu Corp.)を用いた。

散水ろ床と人工湿地のろ材の生物膜を回収し、31種類の炭素源に対する資化能を

EcoPlates (Biolog Inc., USA)で評価した。各ウェルの濁度を波長 595 nm で測定した (A_{595})。各炭素源の A_{595} の値から、炭素源が添加されていない対照ウェルの値を差し引き、その平均値を AWCD (average well color development) として算出した。また、炭素源資化能の多様性指数 H' も算出した。

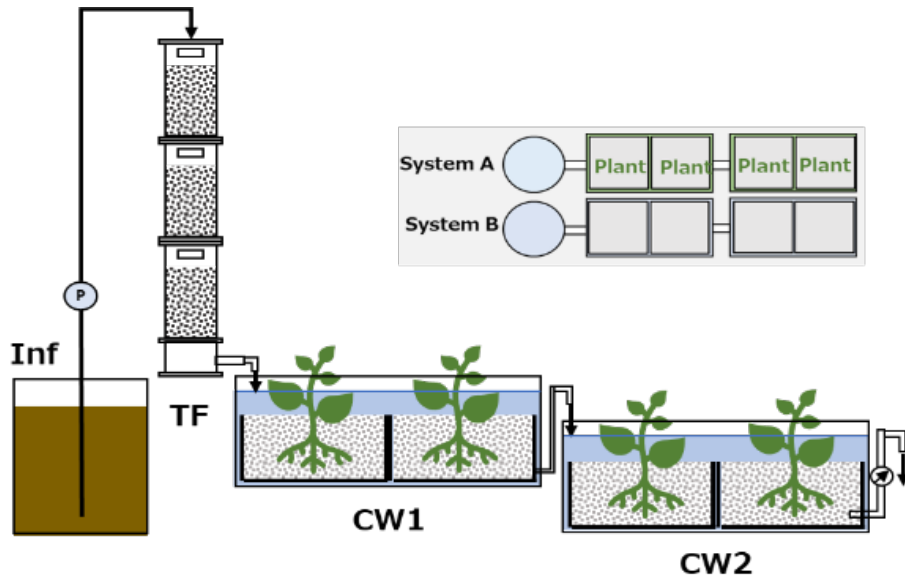


図 1 散水ろ床と人工湿地を組み合わせた廃水処理システム。

(実験調査によって得られた新しい知見)

結果と考察

処理システム内の水温は、0～約 100 日目 (10 月中旬) までは 25°C 以上であったが、それ以降は 18°C 以下となった。両系で共通の構造である散水ろ床は、TOC を平均 67% の除去率で中程度に除去した。人工湿地から流出する最終処理水の TOC 濃度は、両系とも平均 14mg/L 以下にまで良好に除去できた。

実験期間中の系内の窒素と TP の平均濃度を図 2 に示す。散水ろ床では有機態窒素の分解とアンモニウム態窒素の硝化により硝酸態窒素が生成された。しかし、散水ろ床では TP は、ほぼ除去できなかった。人工湿地に充填した発泡ガラスにおいて、A 系に植えられたエンツ

アイは順調に生育し、主に前段の人工湿地では合計 3.97kg-wet の収穫を得た。一方、130 日目に植えたパセリは、気温と水温が低いこともあり、収穫できるほどは成長しなかった。人工湿地では、TN 除去率は A 系が 85% となり、B 系の 53% を大きく上回った。処理水の TP 濃度は、A 系および B 系において、それぞれ 0.88 mg/L および 1.94 mg/L 以下に保たれた。エンツアイは養分の窒素とリンの吸収に貢献し、根からの分泌物を根圏微生物に供給し、脱窒を促進したと考えられる。

実験期間中の系内の LAS の平均濃度を図 3 に示す。合成廃水中の LAS は、アルキル基の炭素数が 13 個のものが多く、散水ろ床を通過することで、C₁₃LAS と C₁₂LAS の濃度はあまり減少しなかったが、C₁₁LAS と C₁₀LAS の濃度は 15~20% にまで低下した。人工湿地を通過しても、予想に反して C₁₁LAS と C₁₀LAS の濃度は有意には減少しなかった。

散水ろ床と人工湿地の微生物の炭素源資化性試験の AWCD と *H'* を図 4 に示す。A 系の人工湿地の微生物は、散水ろ床と人工湿地において AWCD が 0.73~0.98、*H'* が 3.05~3.13 と高い値を維持した。一方、B 系の微生物は AWCD が 0.41~0.95、*H'* が 2.62~3.04 となり、後段の人工湿地における炭素源資化性の低下が示された。エンツアイが植栽された A 系では、微生物の生育に好ましい条件が根圏に作り出され、炭素源資化能が高くなったと考えられる。

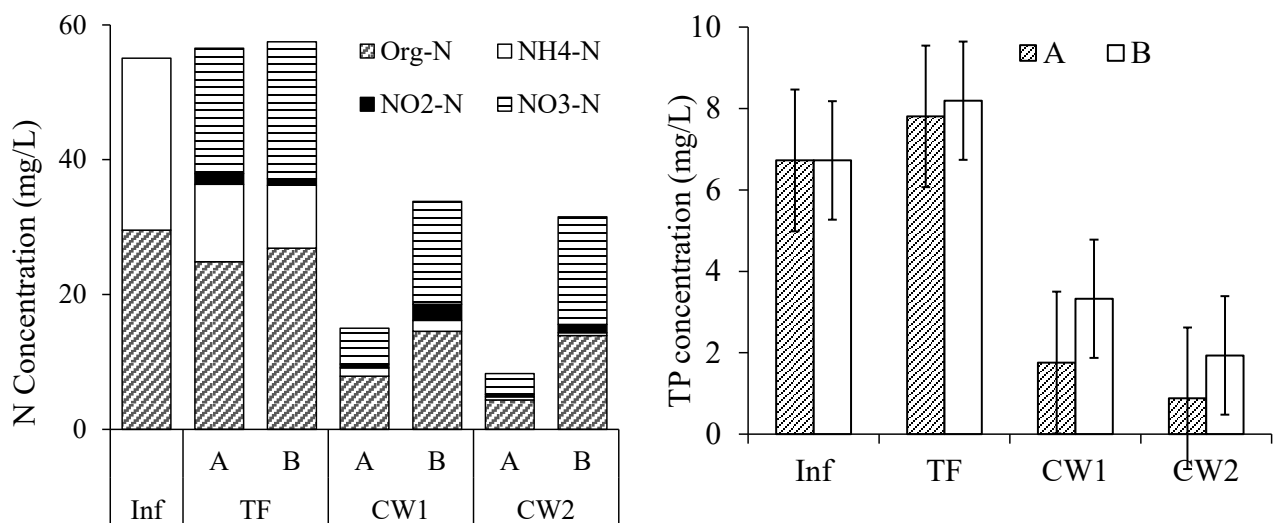


図 2 散水ろ床と人工湿地を組み合わせた廃水処理システムによる窒素とリンの除去. A 系 (エンツアイ植栽人工湿地)、B 系 (無植栽人工湿地)

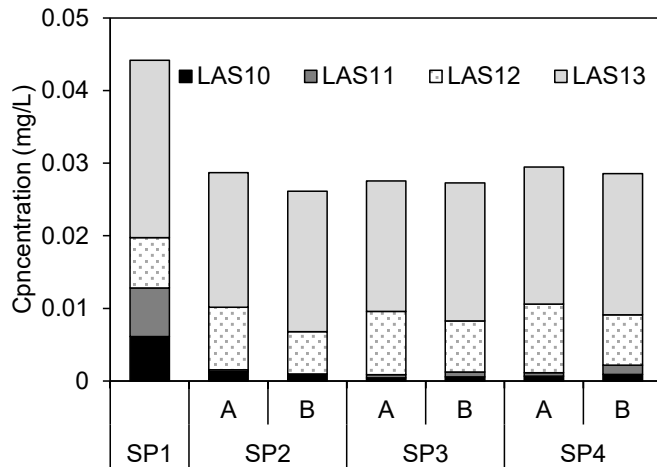


図 3 散水ろ床と人工湿地を組み合わせた廃水処理システムによる LAS の除去. A 系（エンツァイ植栽人工湿地）、B 系（無植栽人工湿地）

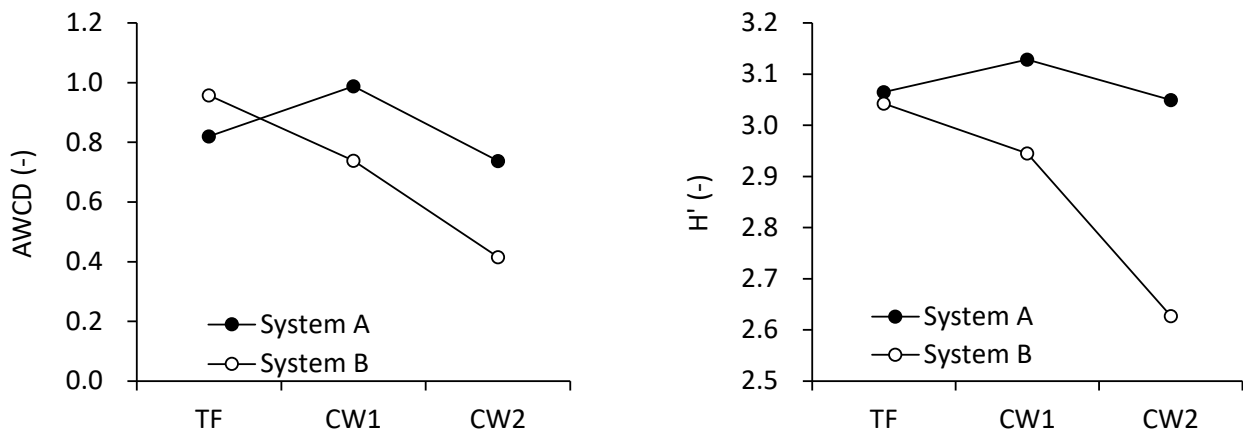


図 4 散水ろ床と人工湿地を組み合わせた廃水処理システムの微生物の炭素源資化能 (Average Well Color Development, 多様度指数 H') . A 系（エンツァイ植栽人工湿地）、B 系（無植栽人工湿地）

まとめ

散水ろ床と人工湿地を組み合わせた省塩ルギー型の処理システムは、4.5 か月の運用で模擬下水の有機物、窒素、リンの除去において高い能力を示した。廃棄物を原料とする発泡ガラスは、植物や微生物の育成に適しており、エンツァイを植えることで、栄養塩類除去を向上させ、食糧生産の付加価値を示した。LAS の除去率は期待よりも低かったが、植物を植えることで、人工湿地の微生物は、多様な有機物に対する潜在的な分解ポテンシャルを示した。

(発表論文)

1. Satoshi SODA, Zhuoan ZHANG, Haoquan YIN, Yoshinobu ODAGAKI (2022)
Wastewater treatment systems using trickling filters and constructed wetlands planted with ornamental and edible plants. Proc. of Water and Environment

Technology Conference 2022, p.8.

2. 張 卓安、尹 浩全、惣田 訓、小田柿 喜暢(2022) 散水ろ床と人工湿地を組み合わせた
廃水処理システムの処理性能の季節変化. 第 22 回環境技術学会年次大会予稿集, p.43-
44.
3. NGUYEN Thi Thuong, ZHANG Zhuoan, SAWADA Kazuko, SODA Satoshi (2023)
Greywater treatment by using trickling filters and constructed wetlands planted
with edible plants. Proc. of the 57th Ann. Conf. JSWE 2023, p.40.