平成30年3月9日
環境研究総合推進費
平成29年度終了課題成果報告会

課題番号 5-1504

小規模畜産農家のための
低コスト・低炭素・グリーン化
高度処理システムの構築に関する研究

日本大学工学部
中 野 和 典

研究実施期間　平成27－29年度
累積予算額　38,163,000 円

課題番号 5-1504

小規模畜産農家のための
低コスト・低炭素・グリーン化
高度処理システムの構築に関する研究

研究体制
中 野 和 典（日本大学工学部工学研究所）

サブテーマ①
小規模畜産農家のための低コスト・低炭素・
グリーン化高度処理システムの構築に関する研究

研究開発の背景
小規模畜産農家の畜産液状廃棄物の現状①

家畜排せつ物法

全農家に対する**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**となっている.

水質汚濁防止法

対象となる畜産農家は，豚房50m^2，牛房200m^2，馬房500m^{2}以上を有する農家であり，この法令においても**小規模経営体が適用外**となっている

小規模経営体での適正な汚水処理が長年未解決の課題となっている.

研究開発の背景
小規模畜産農家の畜産液状廃棄物の現状②

畜産廃水の性状

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**

畜産経営における廃水処理費用

経営**総費用**の**12%**を占め、廃水処理労働は**総労働**の**13%**に上る

畜産廃水処理には高度な技術が求められるが、その一方で、現在の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り，**小規模経営体への普及が難しい**のが現状

研究開発の目的

本研究開発の目的は、経済的に小規模経営体に普及可能かつ畜産廃水処理の低炭素・グリーン化を推進する処理システムを確立することであり、畜産由来の液状廃棄物の適正処理の徹底化を目指す。

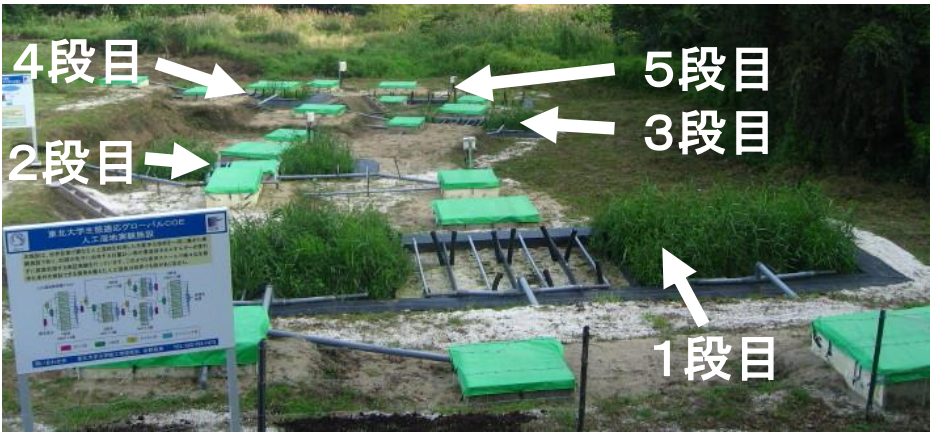
研究開発のアウトプット

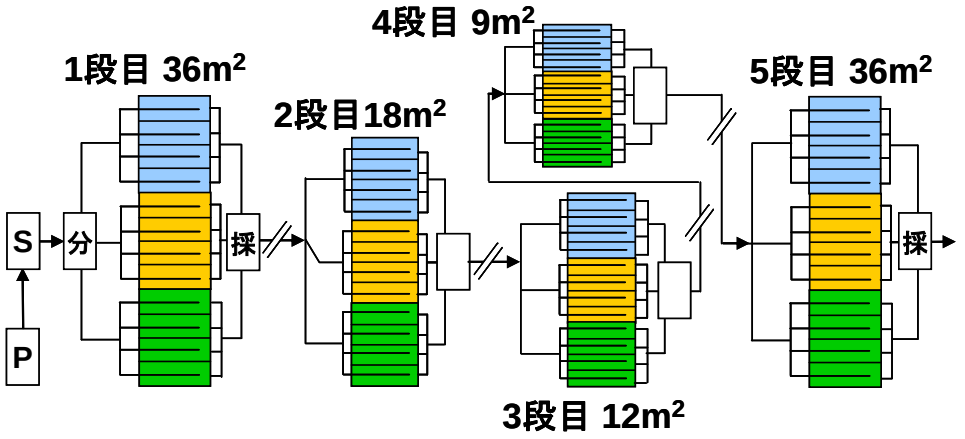
①8年間の畜産排水処理実績を土台とした原単位、人工湿地の構造基準及び運転・維持管理手法の提案

- BOD・窒素・リンの除去性能の原単位
- 処理運転・維持管理に要するエネルギー原単位
- 中長期的な運用における堆積汚泥の生成原単位
- 経年に伴い低下するリンの除去性能の維持手法の開発
- 殺菌機能を有するろ材の開発と応用

②法令適用外の小規模畜産農家への導入の助けとなるユーザー向けの人工湿地ガイドラインを作成する

研究対象とした多段処理型人工湿地の構造





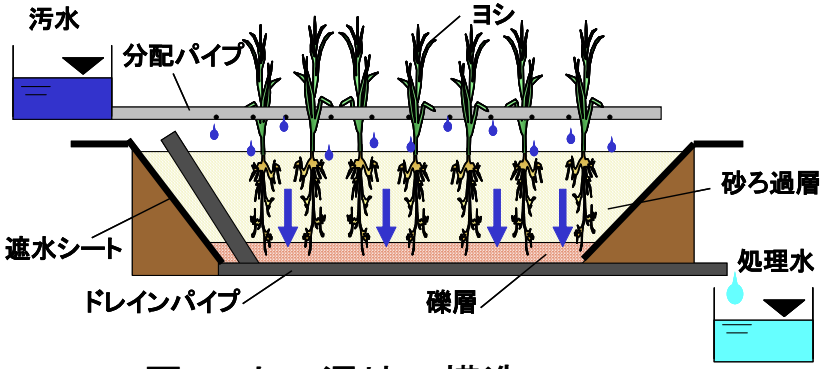


図1　人工湿地の構造

- 5段の多段処理
- 下段ほど ろ床面積が小さい（5段目を除く）
- 5段目以外にはALCを投入

表-1　多段型人工湿地の各段のろ床の構成

	1段目	2段目	3段目	4段目	5段目
表層ろ材（層厚0.05m）	ALC*（粒径3-15mm）	ALC*（粒径3-15mm）	ALC*（粒径3-15mm）	ALC*（粒径3-15mm）	–
メインろ材（層厚0.65m）	頁岩（粒径5-10mm）	頁岩（粒径1-5mm）	粗砂	粗砂	粗砂**

*軽量気泡コンクリート（Autoclaved lightweight aerated concrete）　**5段目の層厚は0.15m

人工湿地に流入させた畜産排水の水質

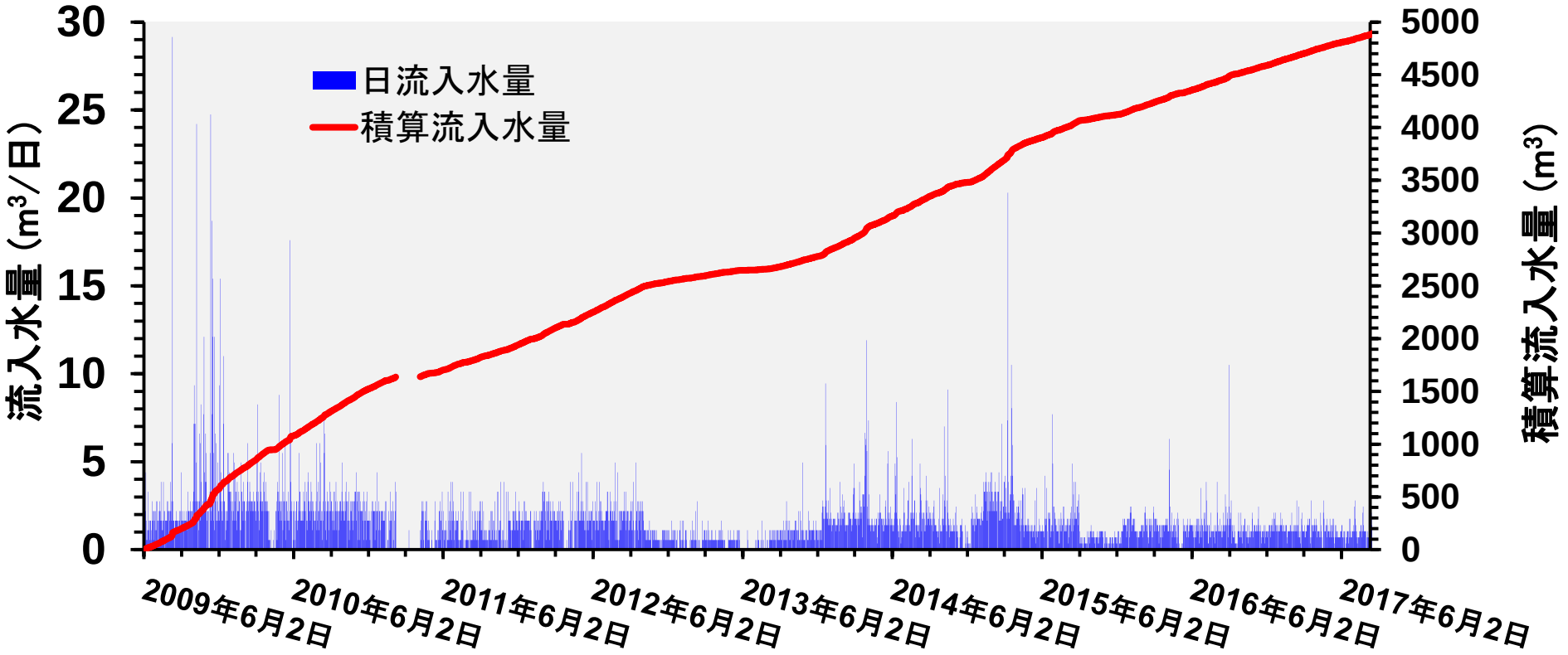
乳牛30頭に由来する畜舎排水（搾乳排水）を処理

30頭の乳牛由来の搾乳排水と雨天時パドック流出水を浄化対象とした

人工湿地に流入させた畜産排水の水質
（8年間の平均値、最大値、最小値）

	Ave. (mg/l)	Max (mg/l)	Min (mg/l)
BOD	1353	6950	21
SS	1170	7095	116
TN	89	346	17
TP	19.6	80.3	2.2

8年間の実験期間における処理水量

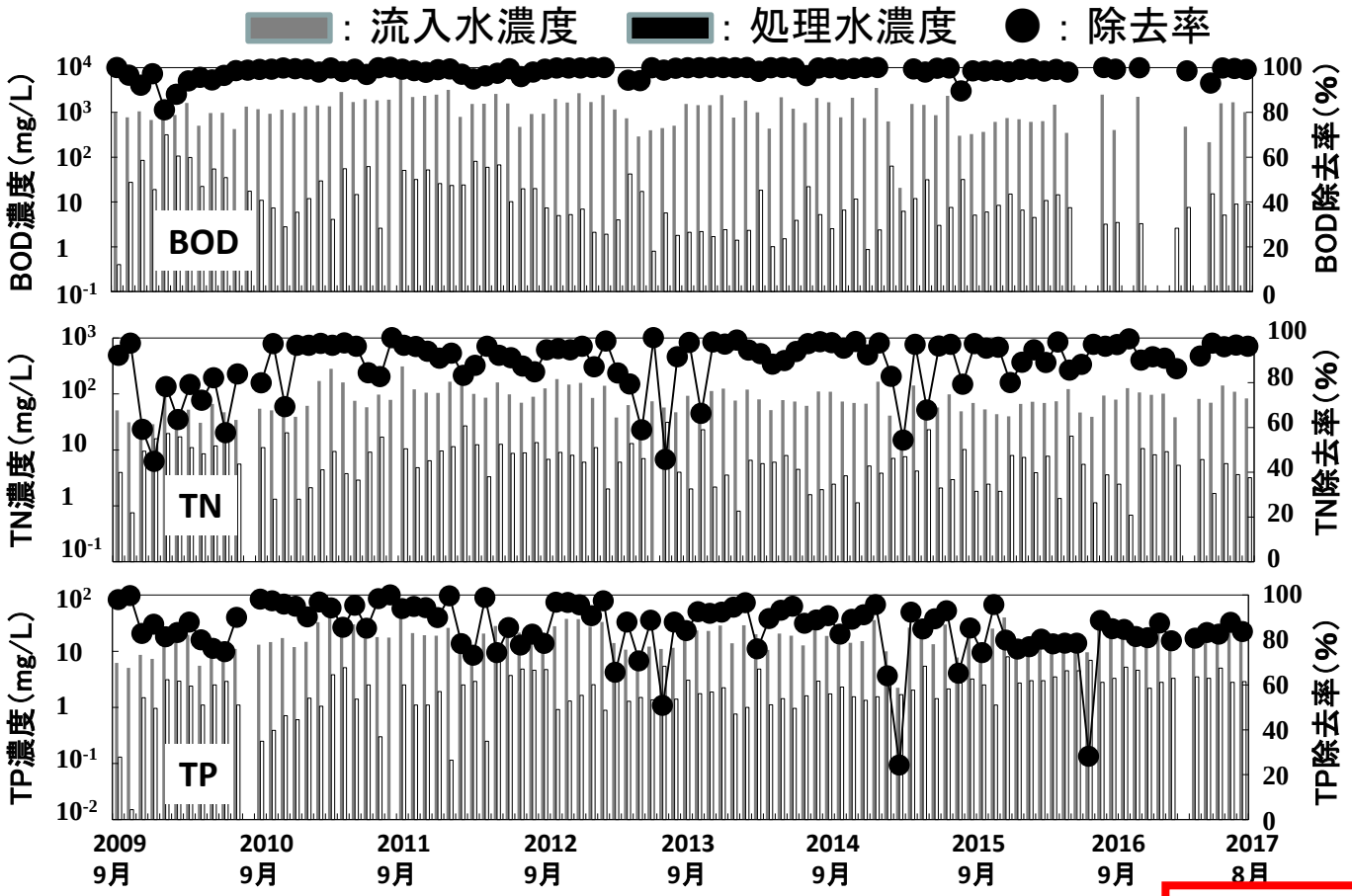


各年における流入水量

1年目:1308㎥	2年目:512 ㎥	3年目:610 ㎥	4年目:250㎥
5年目:667 ㎥	6年目:718㎥	7年目:423㎥	8年目:439㎥

8年間の処理水量:4927 m³　日平均処理水量1.70m³

成果①：中長期的な処理性能と安定性の実証



8年間の傾向

BOD：常に安定
TN：経年に伴い安定化
TP：経年に伴い低下傾向

8年目の除去率

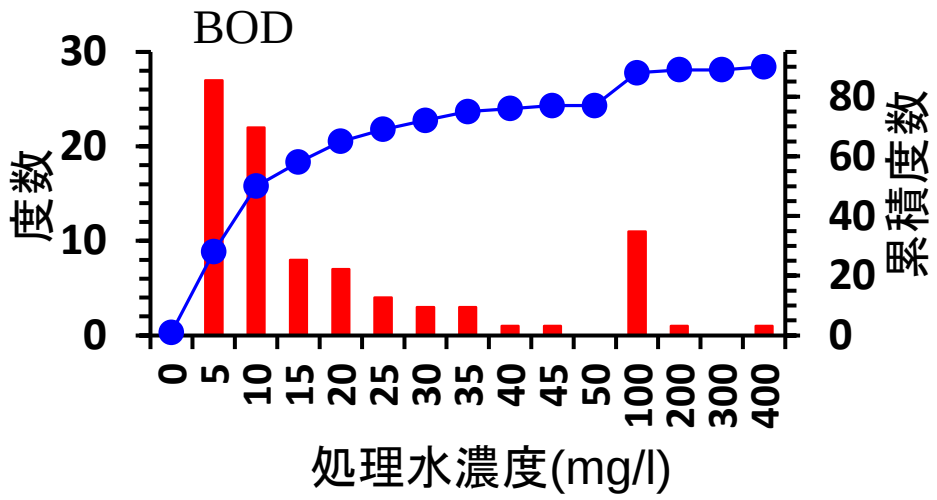
BOD:98.8%
TN:93.9%
TP:83.2%

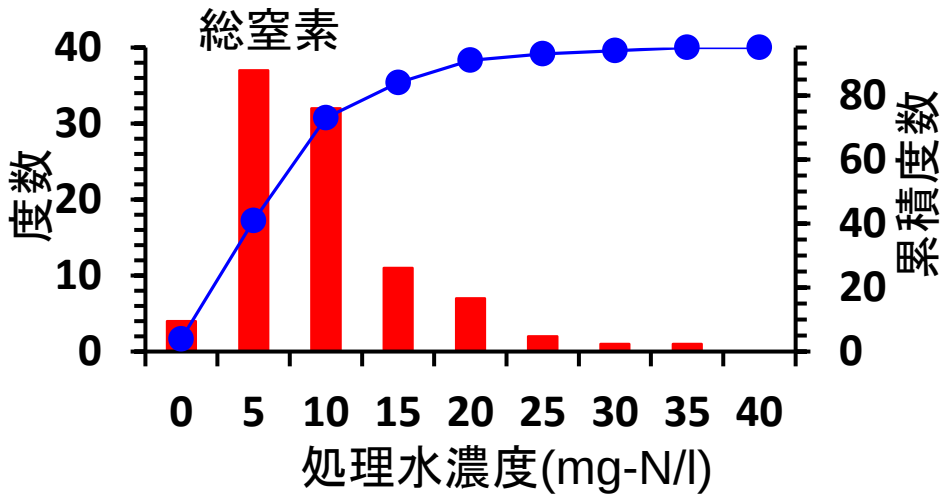
BODとTNでは、90%以上の除去率が持続可能なことを、TPでは、8年程度の期間は除去率80%の維持が可能なことをユーザー向けガイドラインに明記

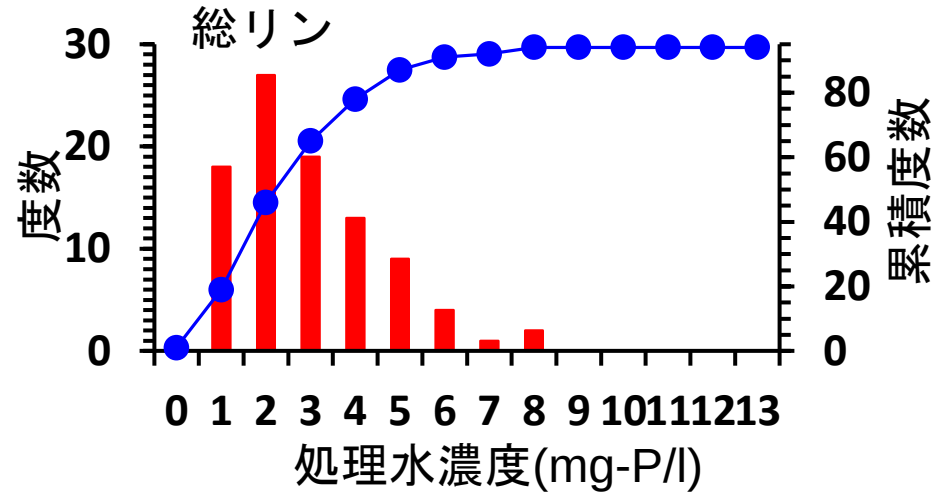
表　8年間の処理性能

	流入濃度(mg/l)	流出濃度(mg/l)	除去率(%)
BOD	1353	22	98
総窒素	87	7.5	91
総リン	20	2.5	88

成果②：達成可能な処理水質







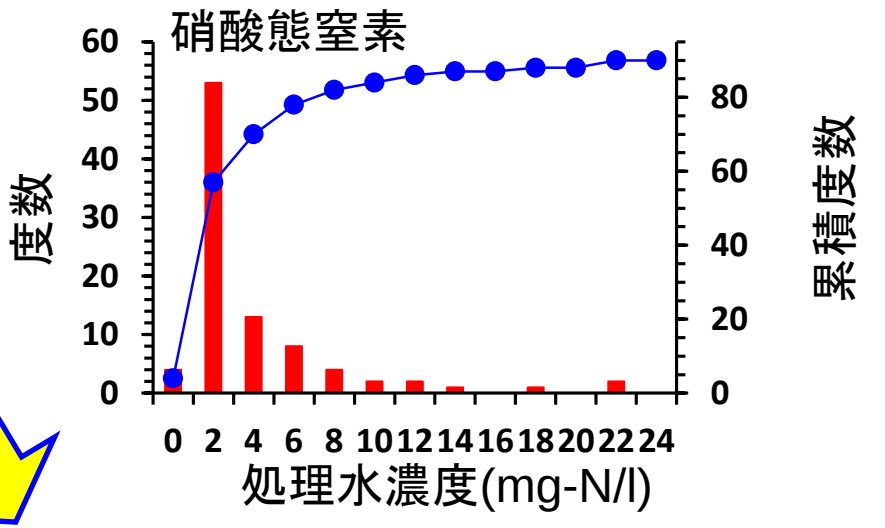


表　8年間の処理水質の75%値(mg/l)

BOD	総窒素	硝酸性窒素	総リン
22.4	9.5	2.6	3.3

搾乳排水でも一律排水基準を満たす処理が可能なことをガイドラインに明記

成果③：8年間の実績に基づく浄化原単位

8年間の処理実績に基づく浄化原単位

BOD：20.4 g-BOD/m²・d

TN:1.2 g-N/m²・d

TP:0.27 g-P/m²・d

浄化原単位としてユーザー向けガイドラインに明記

浄化原単位の算出に用いたデータ

- 8年間の処理水量：4927 m³
- 8年間の処理日数：2893 day
- 人工湿地面積：111m²
- 原水濃度：BOD 1353 mg/l、TN 87 mg-N/l、TP 20 mg-P/l
- 処理水濃度：BOD 22mg/l、TN 7.5mg-N/l、TP 2.5 mg-P/l

$$\text{必要面積}(m^2) = \frac{\text{目標除去率}(-) \times \text{排水濃度}(g/m^3) \times \text{排水量}(m^3/d)}{\text{浄化原単位}(g/m^2 d)}$$

上式のように浄化原単位を用いて人工湿地の必要面積が計算可能なことをユーザー向けガイドラインに明記

成果④:8年間の実績に基づくエネルギー原単位

8年間の処理に基づく浄化に要するエネルギーの原単位

BOD:0.23Wh/g-BOD、TN:4.0Wh/g-N、TP:18.7Wh/g-P

＊参考値（高度処理型浄化槽の報告値）

BOD:9.2Wh/g-BOD、TN:50.1Wh/g-N、TP:405Wh/g-P

⇒ 高度処理型の浄化槽に比して97.5%の低炭素化

処理運転における消費エネルギー

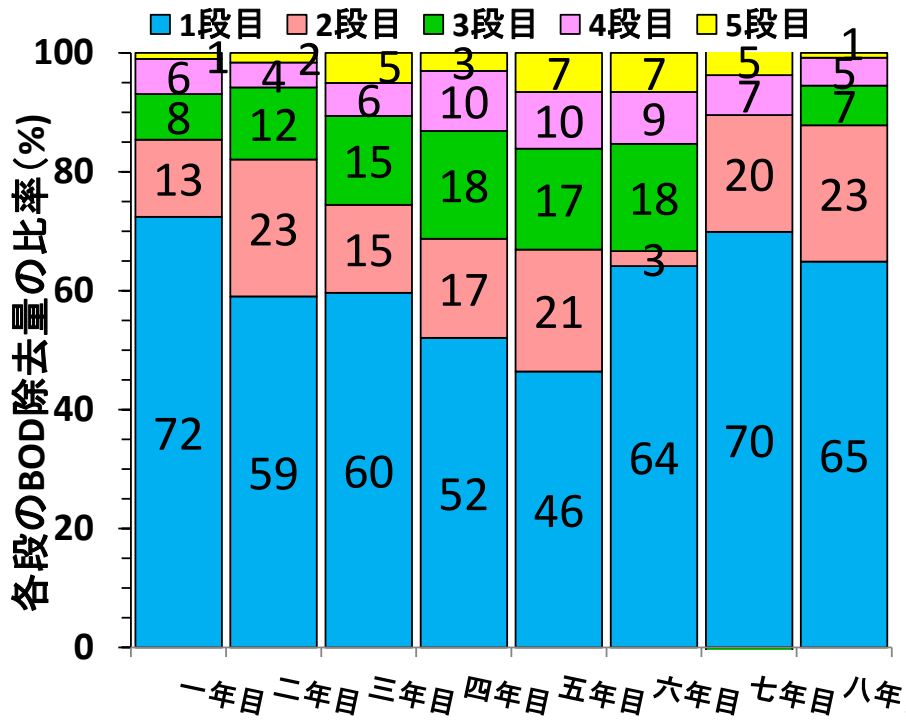
65人分に相当する有機汚濁処理の消費電力：0.53kWh/d

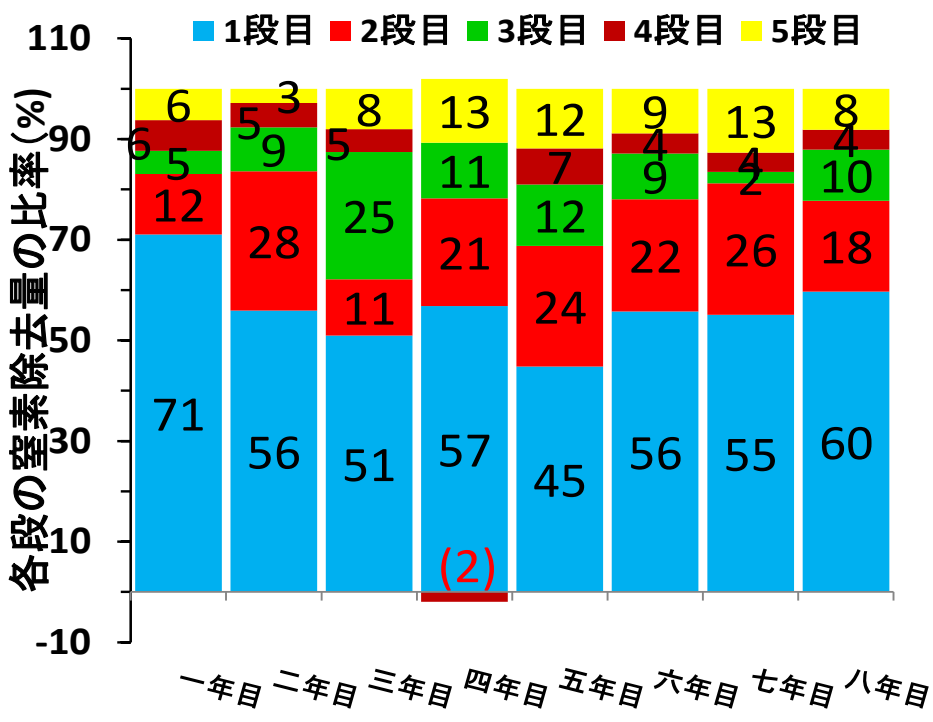
＊参考値（浄化槽システム協会、平成29年度版浄化槽普及促進ハンドブック）

50人槽の浄化槽（通常型）の消費電力 ：10.6kWh/d

⇒ 処理規模が同等の浄化槽に比して95%の低炭素化が可能なことをユーザー向けガイドラインに明記

成果⑤：BOD・窒素処理性能の安定性の裏付と面積配分の提案

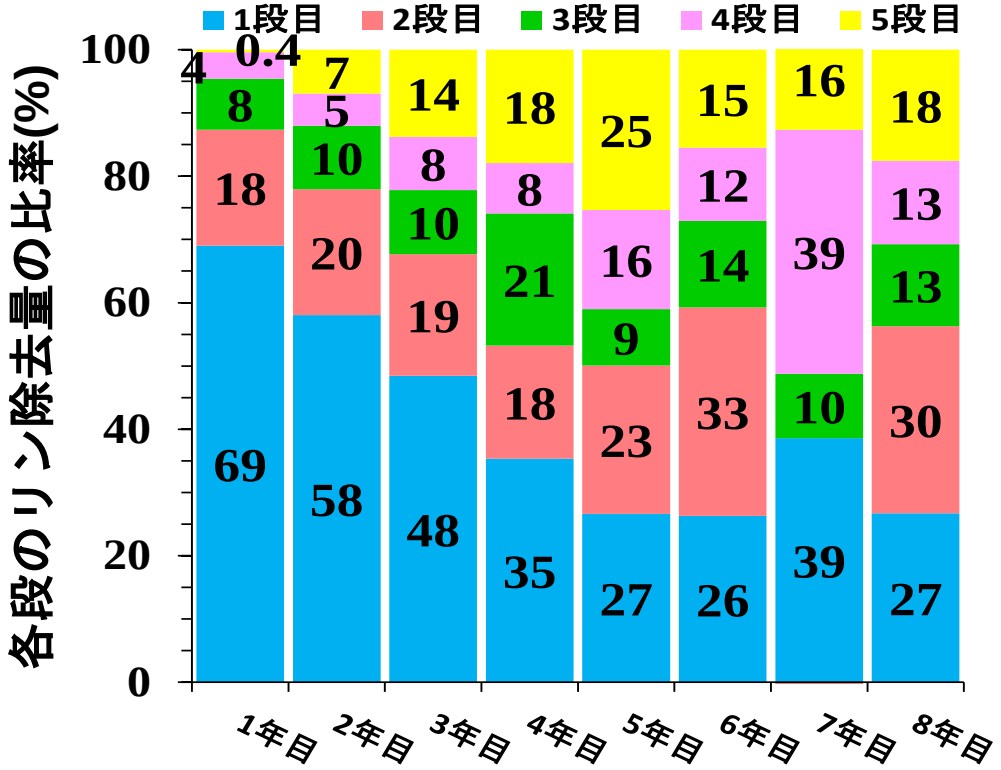




BODと窒素とも、4段目以降の人工湿地が除去に寄与する割合が低い状況が処理開始8年後でも継続 ➡ 処理性能に余裕がある

BOD・窒素除去の観点からは、4段目以降を設置するより、3段目までの面積配分を増加すべきであることをユーザー向けガイドラインに明記

成果⑥：リン処理性能の低下傾向の裏付



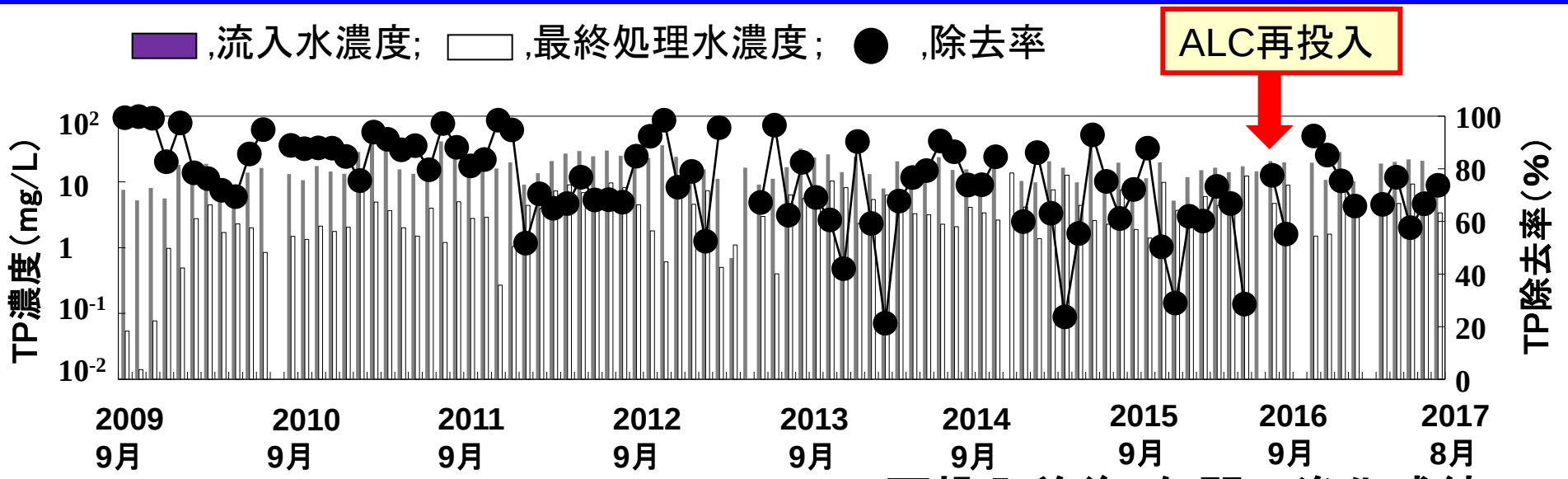
リンでは、**上流の人工湿地が除去に寄与する割合が経年に伴い低くなる**状況が、**処理開始2年目から現れている**

➡ リン除去の観点では多段式がメリットとなる

➡ 経年に伴い処理性能に余裕がなくなる

➡ リン除去性能を維持するためには対策が必要であることをユーザー向けガイドラインに明記

成果⑦：リン除去性能の維持手法の提案



写真：リン除去性能の低下が著しい無植栽区にALCを再投入し、リン除去性能の再生を試みた

ALC再投入前後1年間の浄化成績

平均値	流入 (mg-P/l)	流出 (mg-P/l)	除去率 (%)
投入以前	14.4	5.7	60.1
投入以後	18.2	4.9	73.2

ALC再投入により除去性能が改善

リン除去性能の維持手法としてALCの再投入をユーザー向けガイドラインに明記

堆積物コアサンプルの採取作業

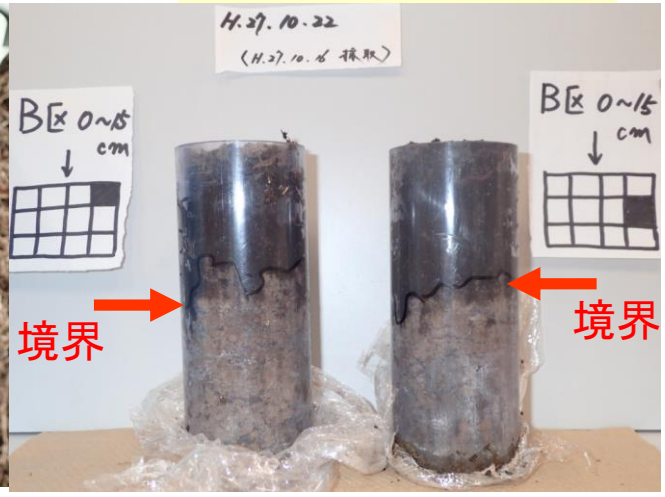
堆積層を破壊しないように板上で作業

塩化ビニル製パイプを打ち込む

コアサンプルを破壊せずに取り出す

取り出したコアサンプル

堆積層の様子



2015年10月16日撮影

成果⑧:BOD除去量あたりの堆積物生成原単位

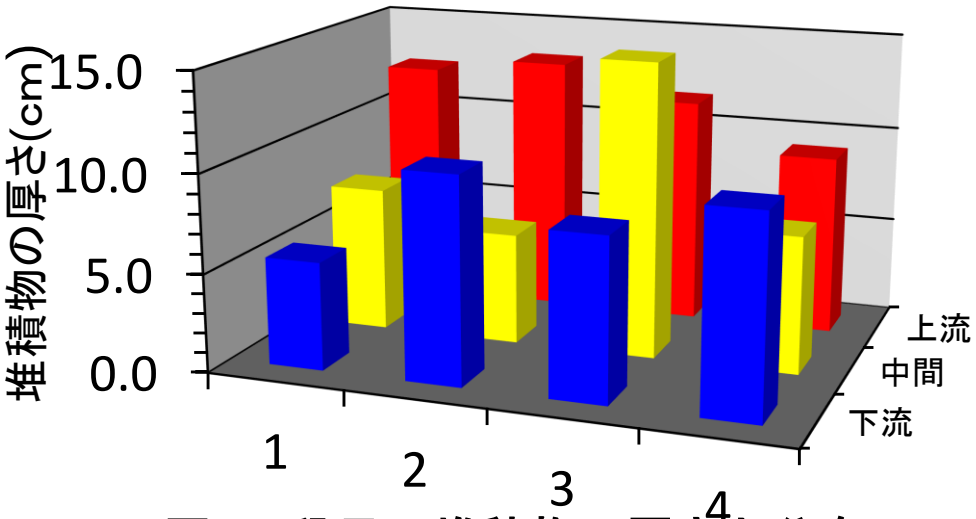


図　1段目の堆積物の厚さと分布

堆積物の生成量

6年間の堆積物厚さ:9.7cm

堆積物の体積:1.164m^3

6年間の堆積物の生成速度

1.62cm／年

参考値:下水処理を14年間行ってきた
フランスの人工湿地の値　1.5cm／年

除去BODあたりの堆積物生成量

・全BOD除去量の47-71%が1段目

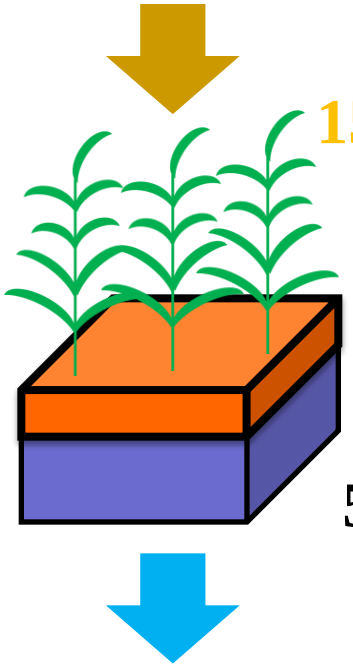
・1段目のBOD除去量:1036kg

BOD除去量あたりの堆積物生成原単位　1124cm^3/kg-BOD

原単位に基づいた処理では、1年間の堆積物生成速度が2cm未満となること、2段目以降のろ床には堆積物が生成しないこと、堆積物が20cm程度溜まるまでの約10年間は堆積物を取り除く必要はないことを、ガイドラインに明記

成果⑨:中長期的な有機物の物質収支

	植栽区	無植栽区
流入負荷量	1718.8kg-BOD (100)	1544.7kg-BOD (100)
植物体量	18.02kg-VSS	0kg-VSS
堆積層内蓄積量	11.30kg-VSS	10.53kg-VSS
ろ床内蓄積量	72.00kg-VSS	53.50kg-VSS
流出負荷量	40.0kg-BOD (2.3)	58.0kg-BOD (3.8)



残留量／除去負荷量 比 （余剰汚泥生成率に相当）

植栽区: 0.060kg-VSS/kg-BOD　　無植栽区: 0.043kg-VSS/kg-BOD

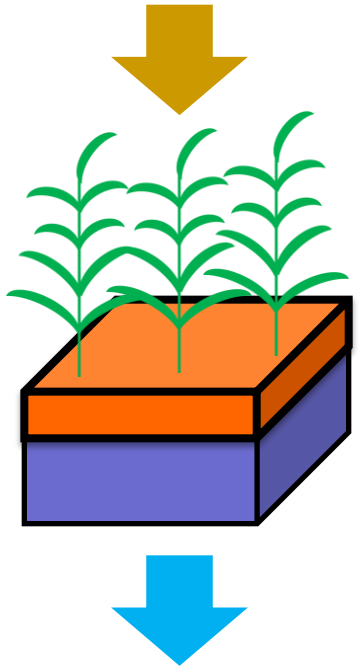
➡ 植物がない方が余剰有機物の生成は少ない

＊参考値：活性汚泥での値 0.25kg-VSS/kg-BOD

➡ 余剰汚泥の生成率が活性汚泥法の30%未満であることをユーザー向けガイドラインに明記

成果⑩：中長期的な窒素・リンの物質収支

	窒素	リン
流入負荷量	97.8kg-N (100)	22.54kg-P (100)
植物体量	0.5kg-N (0.5)	0.11kg-P (0.5)
堆積層内蓄積量	9.00kg-N (9.2)	1.33kg-P (5.9)
ろ床内蓄積量	12.70kg-N (13.0)	8.04kg-P (35.7)
流出負荷量	11.0kg-N (11.2)	2.58kg-P (11.4)



残留量／除去負荷量 比

窒素：0.26（消失率74%）

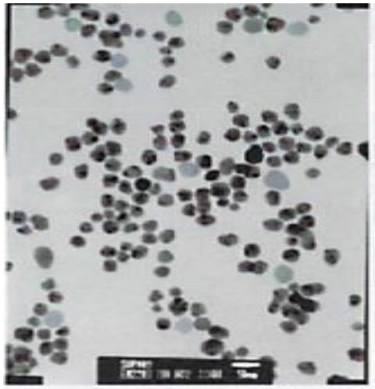
リン：0.47（消失率53%）

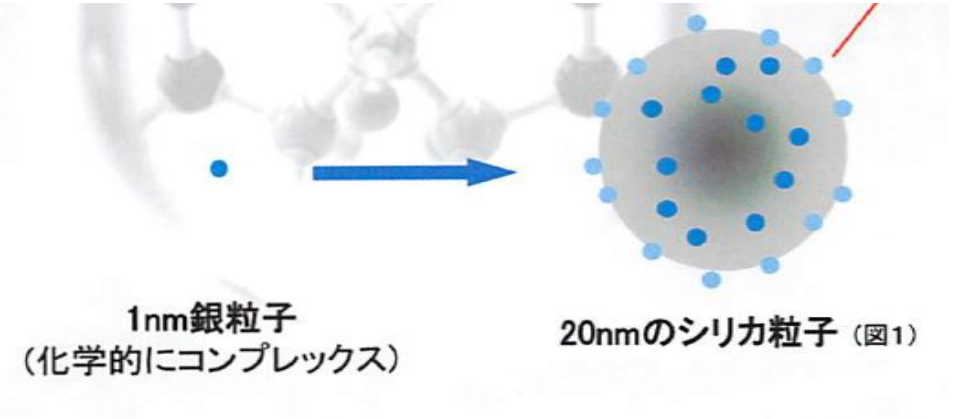
・除去された窒素の多く（74%）が脱窒等により消失する
・除去されたリンの40%程度が生物により系外排出される
以上の2点をユーザ向けガイドラインに明記

成果⑪：殺菌機能を付加したろ材の開発と応用

殺菌作用を有するナノ銀を担持させたろ材を開発して、塩素フリーの殺菌処理手法を確立する.

ナノ銀をシリカ粒子に固定して使用





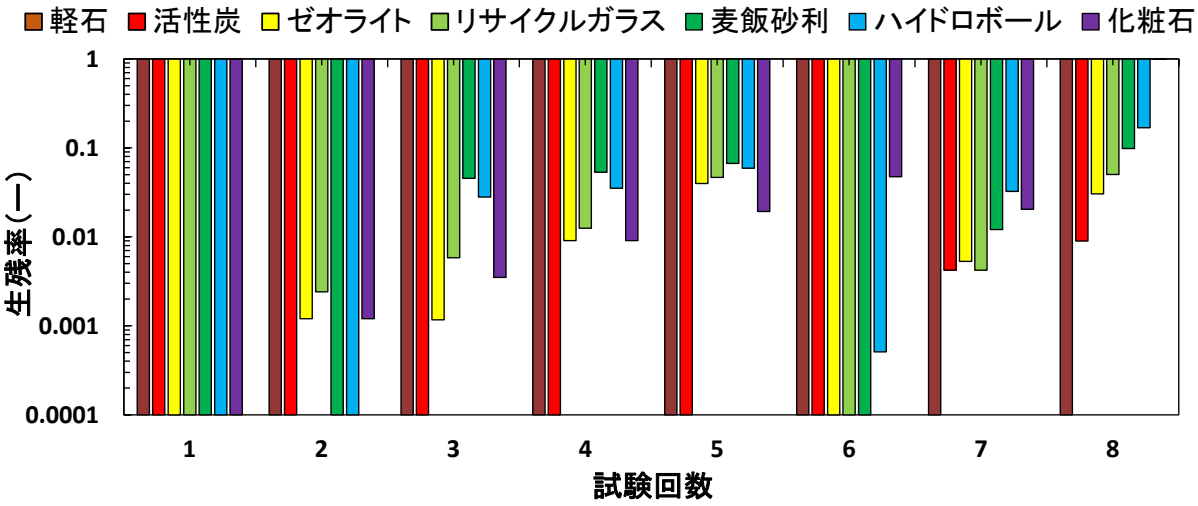
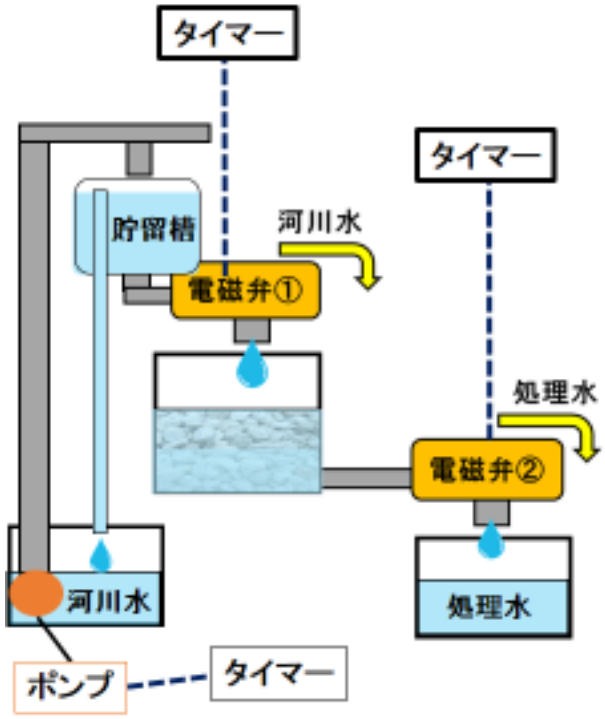
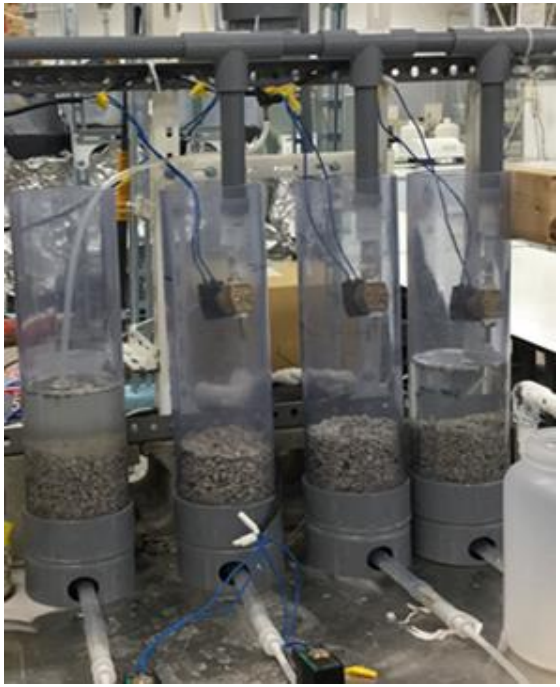


図　ろ材乾燥時間を24時間として繰り返し8回使用した場合の殺菌性能の比較

4log (大腸菌群生残数を4桁低下させる)の殺菌性能が持続するろ材として、軽石を見出すことができた

ナノ銀付加軽石による連続殺菌試験





ろ材の乾燥（干潮）とろ材との接触（満潮）を繰り返すタイダルフローを導入した実験装置により連続殺菌試験を実施した

図・写真　ナノ銀担持軽石による連続殺菌試験に用いた試験装置とその概要

接触・乾燥条件

接触時間+乾燥時間＝12時間とし、両者の時間比率を変化させて接触・乾燥時間の比率と殺菌性能の関係について検討した

	接触：乾燥
Run1(～24日目)	1 ： 1
Run2(～53日目)	3 ： 1
Run3(～66日目)	5 ： 1
Run4(～69日目)	1 ： 1

成果⑫:ナノ銀付加軽石とタイダルフローによって100回の連続殺菌が可能なろ過処理法を開発

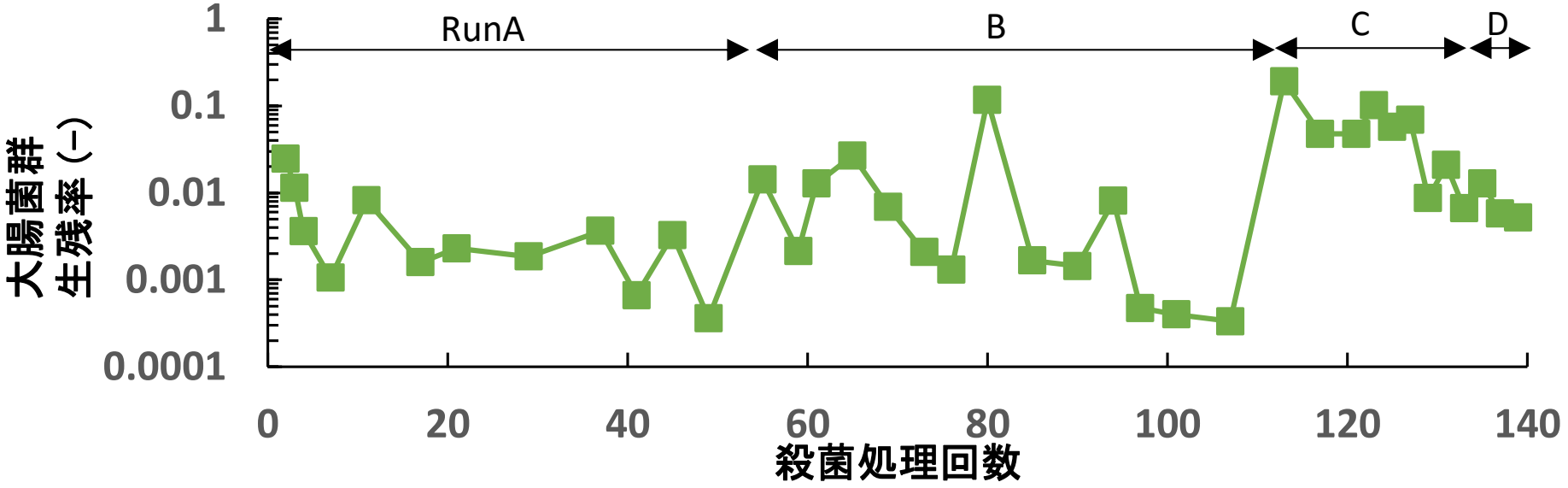


表　接触・乾燥時間条件と殺菌性能の関係

処理条件	接触:乾燥の時間比率(接触:乾燥)			
	RunA (1:1)	RunB (3:1)	RunC (5:1)	RunD (1:1)
12hサイクル	2.56Log	2.47Log	1.41Log	2.14Log

- 100回を超える処理回数でも2.47logの大腸菌群低減が可能
- 接触時間を増加させるよりも乾燥時間を増加させる方が、ナノ銀の殺菌効果の発揮には効果的

成果⑬：ユーザー向けガイドラインのフレーム

1．人工湿地の水質浄化機構

ろ過・吸着（物理化学的作用）と生物学的分解の2段階の機構であることを解説する

2．人工湿地の水質浄化性能

期待できるBOD・窒素・リンの除去率と処理水質を排水基準や高度処理水質と対比することで解説する

3．人工湿地の必要面積と消費エネルギー

BOD・窒素・リンの除去に係る原単位をもとに必要面積と運転に必要なエネルギーを試算する手法を解説する

4．人工湿地の設計

多段処理（各段の役割）、ろ材の選択、ろ床の構造、ろ床上部の構造、植物の役割について解説する

5．人工湿地の維持管理

水質浄化性能の持続性、季節性および維持手法、堆積汚泥の生成と対策について解説する

謝　辞

環境研究総合推進費により、運用開始から5年を経た人工湿地を対象とした調査研究を実施できたことに謝意を表します。
今後は、3年間の本研究によって蓄積した8年間の知見を土台とした小規模畜産農家向けのガイドラインの社会発信に努める所存です。
ありがとうございました。