



さわかみ未来創造研究所 研究助成
2期選考会

持続可能な食料生産を支える 閉鎖循環型陸上養殖システムの開発

長岡技術科学大学大学院工学研究科
修士課程
環境社会基盤工学分野 1年
加藤由都

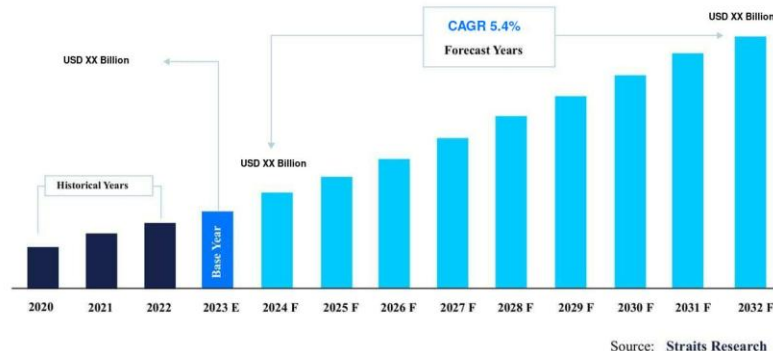
背景

- 世界的な人口増加と経済発展による世界的なタンパク質需要の増加
- 漁船漁業による生産量の頭打ち
- 海面養殖と陸上養殖の生産量増加（過去20年間で約4倍）
- 海面養殖による生産量の増加には限界

世界のタンパク質需要

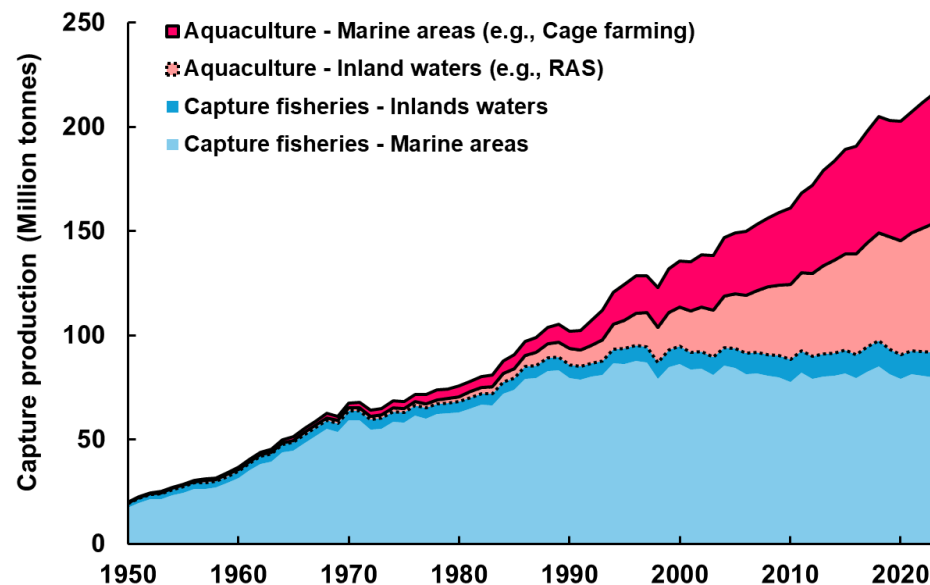
2021年に2,689億米ドル

4,095億6,000万米ドル



引用: straits research HP

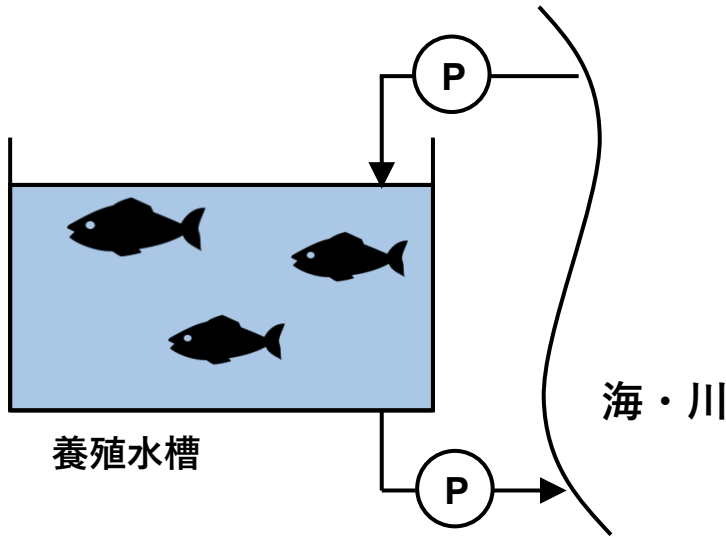
世界の漁業・養殖生産量の推移



原典: FAO2024

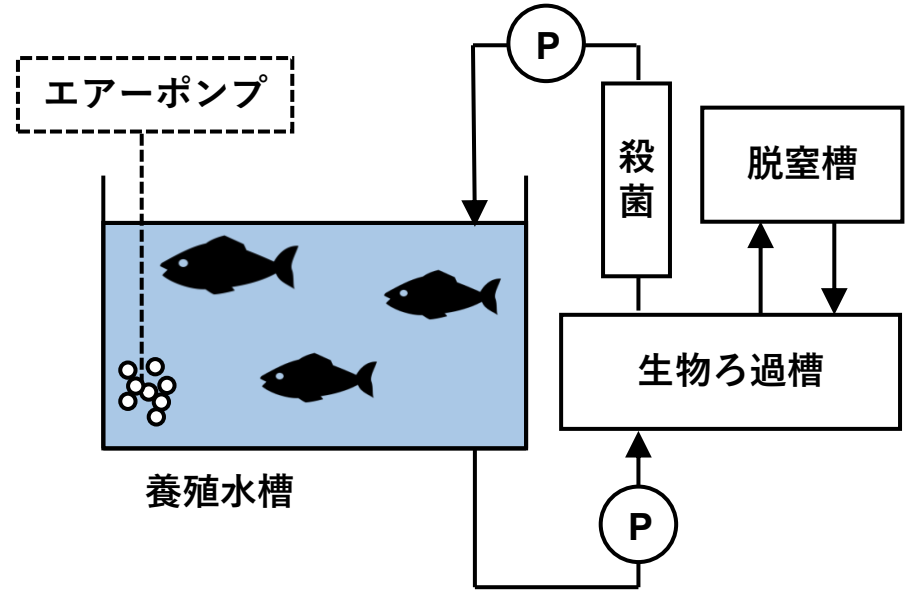
陸上養殖の需要拡大

かけ流し式養殖



- ✓ 水処理設備が不要でシステムが単純
- ✓ 水交換により水質が安定しやすい
- ✗ 立地条件に強く依存
- ✗ 排水による環境負荷が大きい

閉鎖循環型陸上養殖



- ✓ 水交換が不要で環境負荷が低い
- ✓ 環境条件を受けない
- ✗ 高効率な水質管理

閉鎖循環型陸上養殖の需要拡大

閉鎖循環型陸上養殖

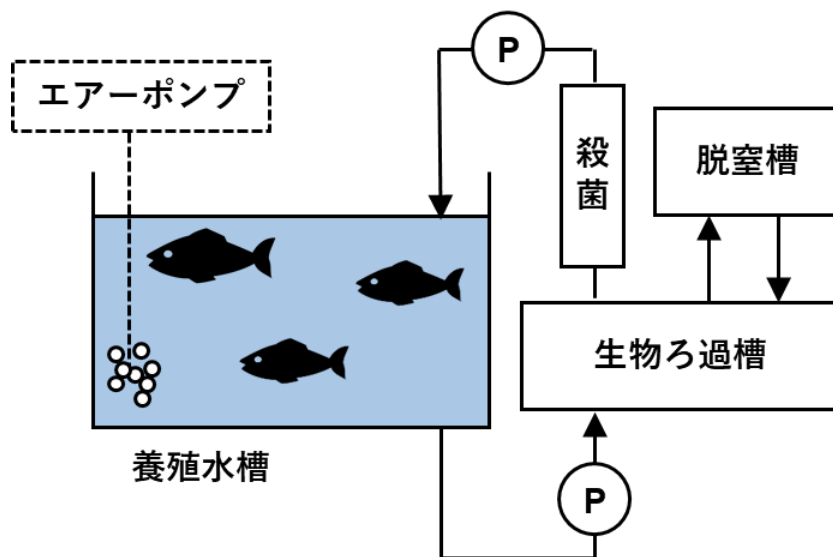
残渣や糞尿による養殖水槽内の水質悪化

水槽内の許容濃度

$\text{NH}_4^+ < 1.0 \text{ mgN/L}$, $\text{NH}_3 < 0.05 \text{ mgN/L}$
Losordo et al., (1998)

処理水の濃度

$\text{NH}_4^+ < 0.1 \text{ mgN/L}$



水処理における課題

① 低濃度の廃水処理の難しさ

NH_4^+ など低濃度窒素の除去が困難
濃度が低いほど処理効率が低下

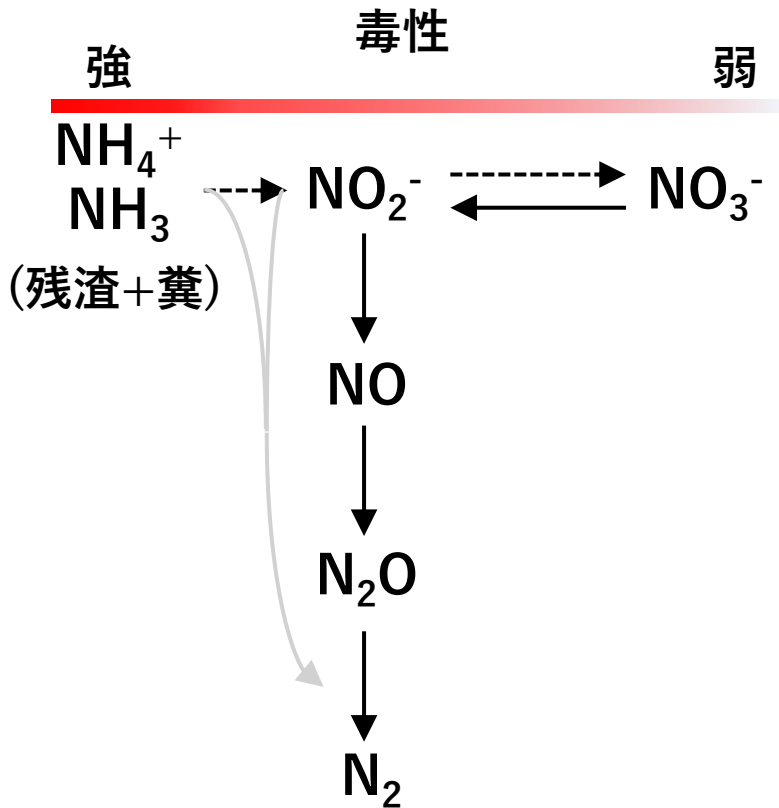
② 処理水基準の国際的な厳格化

EU, 中国, その他の国・地域で規制強化
(Ex. $\text{COD} < 50\sim 100 \text{ mg/L}$, $\text{TN} < 15\sim 40 \text{ mg/L}$)

現状技術の限界： 現在は薬品投入や膜処理が主流
コストやスケール面に課題

高効率な水質管理と技術開発が必要不可欠

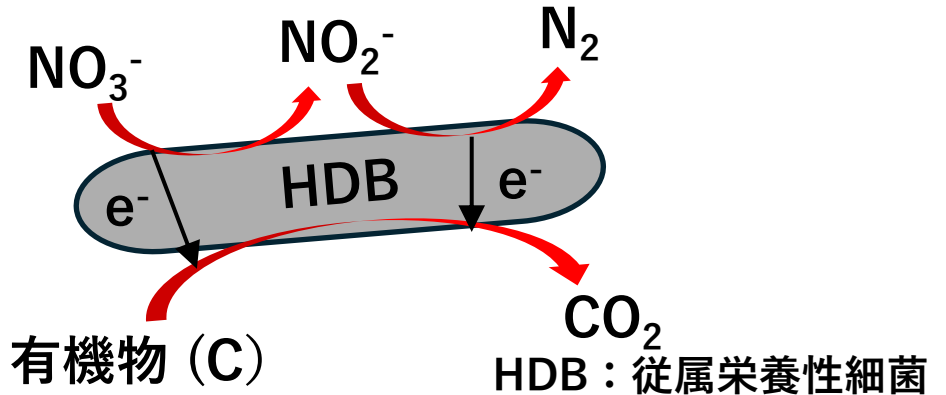
硝化(----->) + 脱窒(——>)による窒素除去



従来の脱窒方法：従属栄養性脱窒

電子受容体：

有機物（メタノールや酢酸ナトリウム）



利点

- ✓ 高い除去速度
- ✓ アルカリ度補給

欠点

- ✗ 処理コストの増大

課題

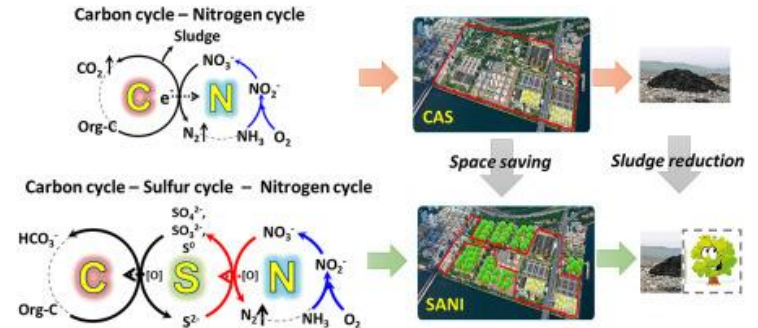
- ・ 有機物の供給コストが増加(養殖水は低C/N比のため)
- ・ 有機物の供給調整ミス・pH調整ミスによる養殖魚の斃死リスク

硫黄サイクルを活性化させた低コスト・低環境負荷の窒素除去

香港科学技術大学の研究グループ

硫黄サイクルにより、塩分・硫酸塩が高濃度で含まれる下水処理の社会実装に成功

- ✓ 省スペース (30-40%削減)
 - ✓ 省エネルギー (20-30%削減)
- D. Wu et al., (2016)
H. Lu et al., (2012)



国際共同研究

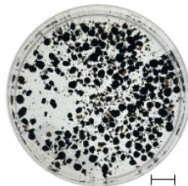
陸上養殖（低窒素濃度）を対象とした水処理技術の開発・社会実装

元素硫黄 (S^0)

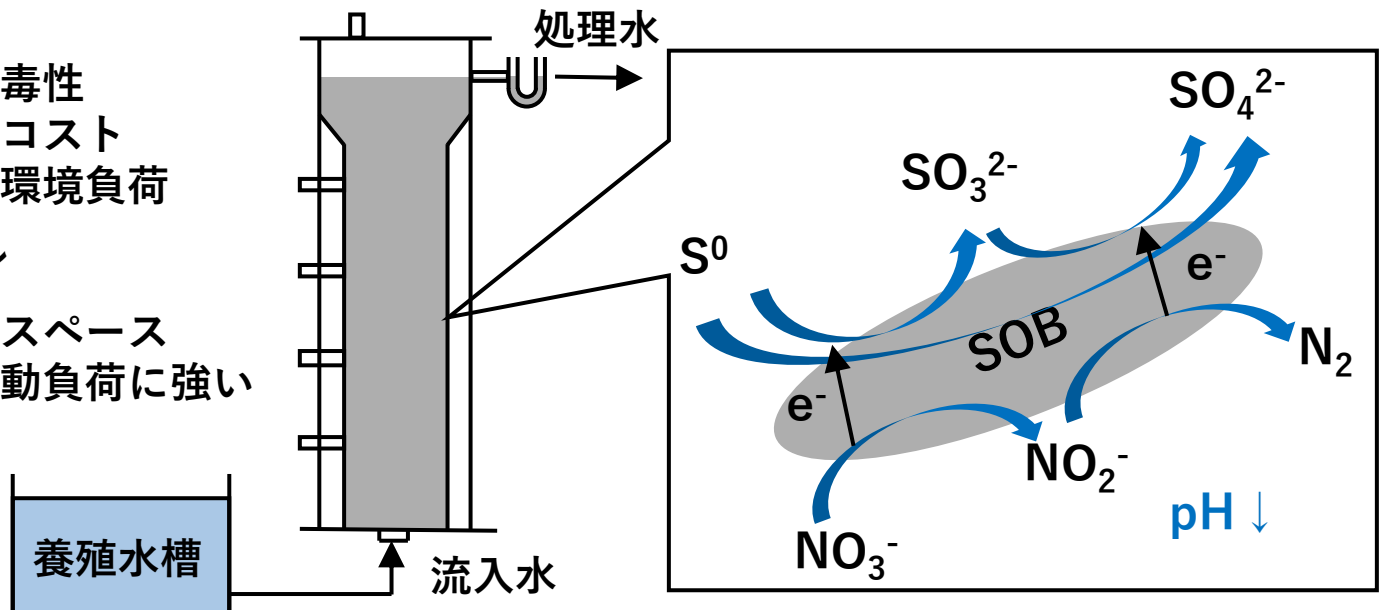


- ✓ 無毒性
- ✓ 低コスト
- ✓ 低環境負荷

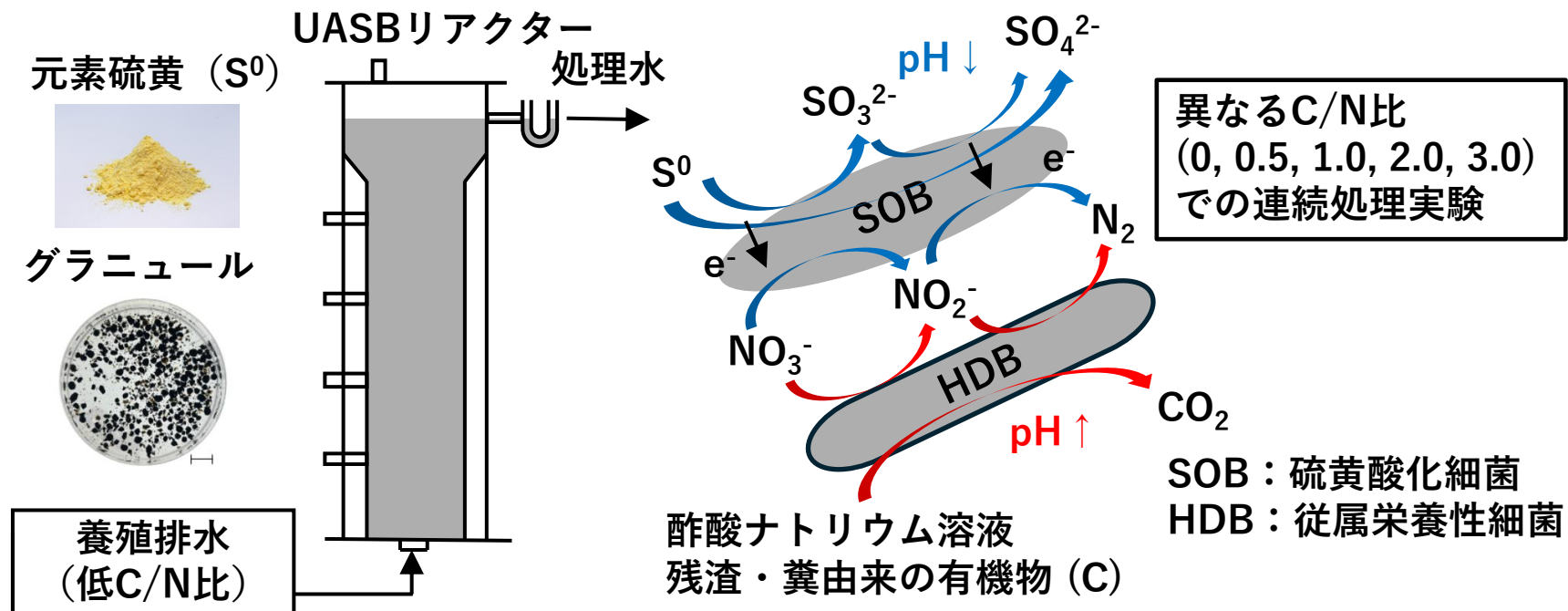
脱窒グラニューール



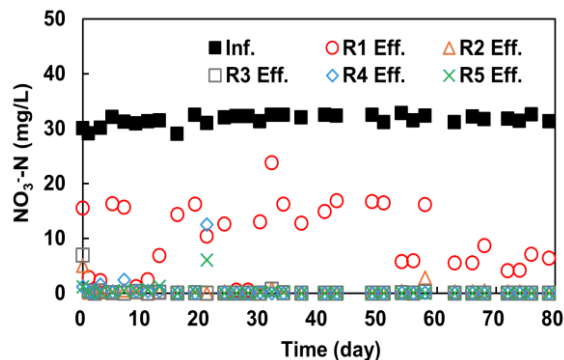
- ✓ 省スペース
- ✓ 変動負荷に強い



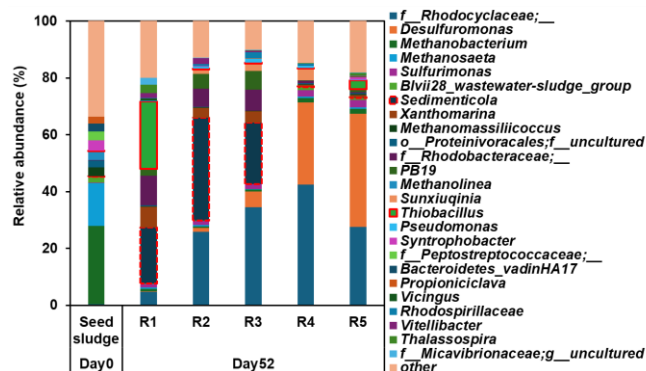
元素硫黄担体を用いた硫黄・有機物サイクルの共存による窒素除去の動態評価



リアクターの処理性能



硫黄・有機物サイクルに関与する微生物の共存実態



得られた成果

- ✓ C/N比の増加に伴う窒素除去性能の向上
- ✓ C/N比 0.5, 1.0におけるSOBとHDBの共存

電子伝達を促進する元素硫黄担体の材料・構造の最適化

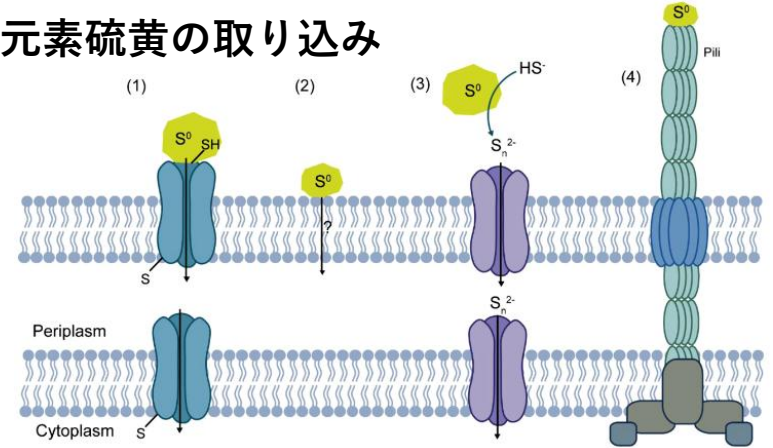
元素硫黄を電子供与体とする際の課題

- 水不溶 (25°Cで5 μ g/L)
- 疎水性
- 脱窒速度が遅い

研究アプローチ

- 電子伝達の高効率化
- 水理条件の最適化
- 元素硫黄および微生物の固定化

元素硫黄の取り込み

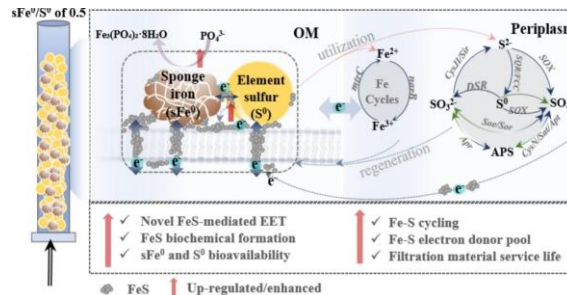


- (1, 2) 直接接触経路
- (3) ポリスルフィド経由の電子シャトル機構
- (4) 細胞外電子移動 (EET) L. Zhang et al., (2021)

元素硫黄 (S⁰)・ゼロ価鉄 (Fe⁰)・バイオチャー複合担体の開発

元素硫黄 (S⁰)

ゼロ価鉄 (Fe⁰)



バイオチャー

+



- ✓ Fe⁰の酸化による導電性鉱物 (FeS, FeS₂) の生成
- ✓ 外部電子シャトルとして機能
- ✓ バイオフィルム内での電子移動の加速 Miao et al., (2026)

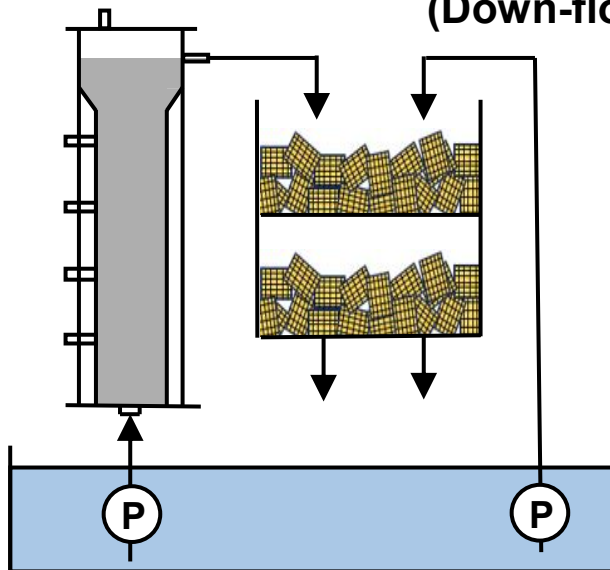
- ✓ 多孔質構造
- ✓ 表面官能基の存在
- ✓ 材料の導電性向上

実閉鎖循環型陸上養殖による実証実験



陸上養殖実証プラント

新規の脱窒システム 養殖用DHSによる硝化システム
(Down-flow Hanging Sponge)



適用する水処理システム



利点

- ✓ 高い汚泥保持能力
- ✓ 酸素供給能力
- ✓ 低コスト

(Watari et al., 2021)

(Akamine et al., 2024)

- ✓ 開発した脱窒技術の実養殖への適用・最適化
- ✓ 養殖生物の特性に応じた水質管理技術の最適化・確立
- ✓ 高魚体密度での長期間養殖

目標

低コスト，低環境負荷による維持管理不要の閉鎖循環型陸上養殖開発

本研究： 持続可能な食料生産を支える 閉鎖循環型陸上養殖システムの開発

硫黄・有機物サイクルを活性化させた脱窒技術を日本から

- ・ 低コスト
- ・ 低環境負荷

食料の安定供給による日本の魚食文化への貢献

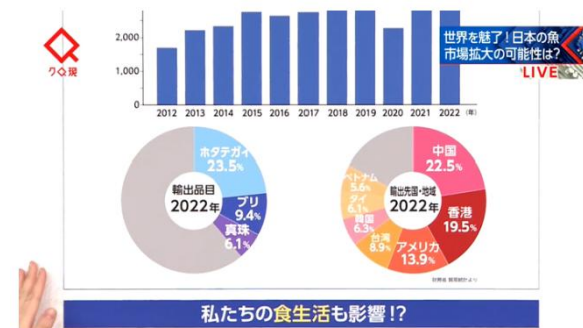
アメリカでブリア人気！

アメリカ・ロサンゼルス。今、ここで人気を集める魚があります。それは…



身近な魚があつた国へ？

世界に挑む日本の魚。その輸出先は世界中に広がっています。



引用: NHKクローズアップ現代

世界の食料生産に貢献!!

大学院在学中

- 学術的な専門知識を修得する
- 学会発表や論文投稿による国際的な対話を通じて、英語で議論する力を磨くとともに、ネットワークを構築する
- 国内外の研究機関、企業でのインターンシップを通じて、技術を社会実装につなげる実践的能力を養う
- 技術を社会実装に繋げる力（ファシリテーション力、マネジメント力、コミュニケーション力、マーケティング力）を修得する



博士号取得後

- アカデミアまたは、企業の研究者となる
- 世界の水環境問題にイノベーションを起こす技術開発をする
- 大学院で築いた人とのつながりを活かし、これまでにない視点から新たな研究分野を切り拓く