閉鎖循環式養殖における飼育水脱窒処理の省リソース化や完全自立化に資する、水素ガス利用微生物脱窒反応を用いた新規脱窒処理システムの開発

山梨大学　国際流域環境研究センター

1.背景

閉鎖循環式陸上養殖の課題

- ❖ NO_3^--Nの蓄積による魚類成長への悪影響
- ❖ 生体親和性の高い脱窒処理技術の開発
- ❖ 養殖に要するエネルギー等の**“外部依存”**

閉鎖隔離環境（月面基地等を含む）でも持続的に稼働可能な脱窒処理技術の開発が必要

水素ガス利用脱窒（HD）反応の利用

水素ガスを利用する**微生物の硝酸性窒素除去反応**

$NO_3^- + 3.03H_2 + H^+ + 0.229HCO_3^- \rightarrow 0.48N_2 + 3.60H_2O + 0.0458C_5H_7O_2N$

・$NO_3^- + H_2 \rightarrow NO_2^- + H_2O$ （硝酸還元反応）
・$2NO_2^- + 2H^+ + 3H_2 \rightarrow N_2 + 4H_2O$ （亜硝酸還元反応）
（亜酸化窒素、一酸化二窒素の還元反応を含む）

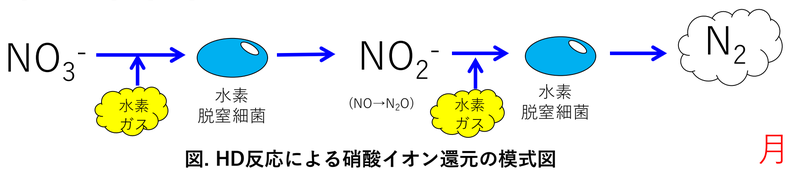


図. HD反応による硝酸イオン還元の模式図

H_2ガスとCO_2ガスで脱窒処理が可能

月面探査基地でも陸上養殖を実施可能に

既存養殖飼育水脱窒処理に比べ優位性をもつ

環境汚染リスク：低　生体親和性：高　処理装置の自立稼働性：高

2.研究目的

- ❖ HDシステム開発と最適運転方法の数値化
- ❖ HDシステムを用いた養殖飼育水脱窒処理の実証試験
- ❖ HDシステム導入による省リソース効果の評価

3.研究成果

- ❖ ポリオレフィン製スポンジを用いる**常圧密閉・散水型脱窒システムを開発（脱窒能力：1.4 g-N/日）** 特許出願済み
- ❖ 脱窒処理導入による**飼育体への悪影響なし（100日間の養殖実験中の死亡率0%）**
- ❖ 現行技術に対し脱窒処理に要する**炭素量を最大83%削減できることを実証**

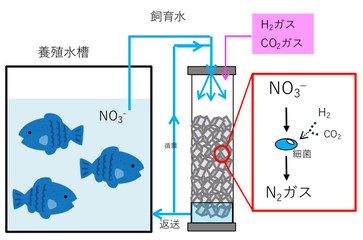


図. 常圧密閉・散水式水素酸化脱窒（HD）システムの運用予想図

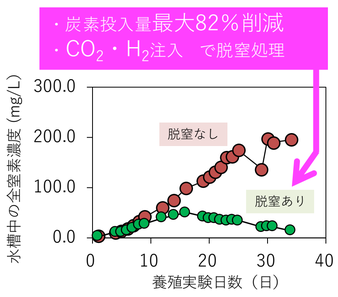


図.養殖水槽の窒素濃度の変化

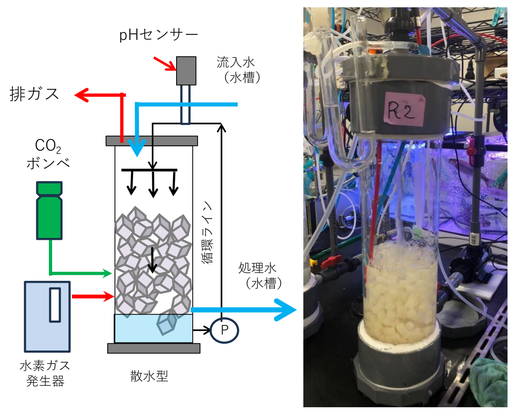
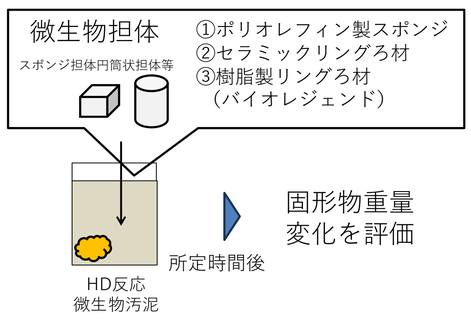


図.脱窒処理装置の模式図（左図）と装置外観（右図）

研究結果の概要

常圧密閉式脱窒システム開発

②-1：微生物担体の選定



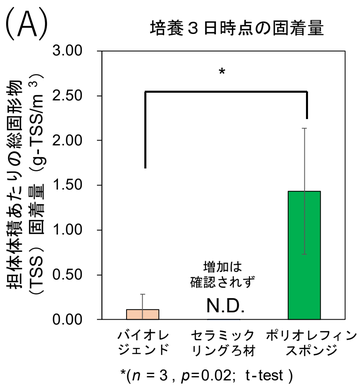


図. 微生物担体上の固着量の比較

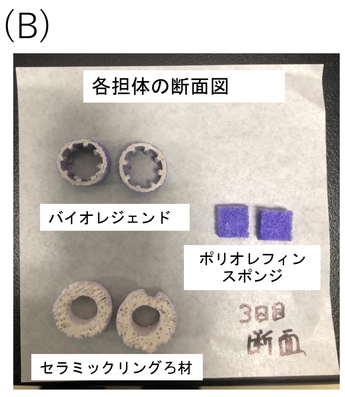


図. 担体内部に固着した汚泥の観察結果
汚泥が固着すると青紫色に染色される薬品（0.1%クリスタルバイオレット）を用い染色

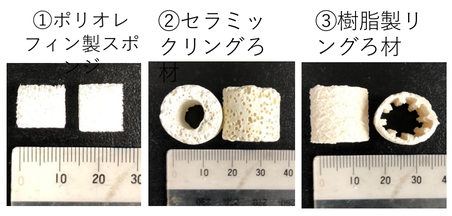


図.実験に使用した微生物担体

結果

微生物保持担体を選定（図A&B）

- ・ポリオレフィンスポンジ：**汚泥固着量最大1.43g / m³**（図A）
- ・スポンジ内部への**汚泥固着が汚泥保持性向上**に貢献（図B）
- ・宇宙輸送を考慮しても**スポンジは最適微生物担体**

②-2：最適運転方法の選定

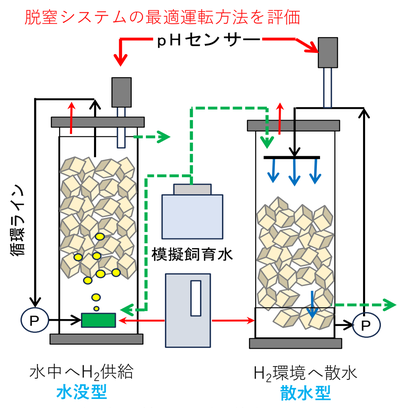


図.実験に使用した脱窒システム

装置運転条件（共通）

- ・容積5.2L
- ・担体：ポリオレフィンスポンジ
- ・充填率：嵩体積20%
- ・模擬飼育水
  HCO_3^-：160 mg/L
  NO_3^--N: 40 mg/L
  を**水道水に添加し作成**
- ・水素ガス添加量：**10 mL/min**
- ・**内部の水を循環：23 L/min**

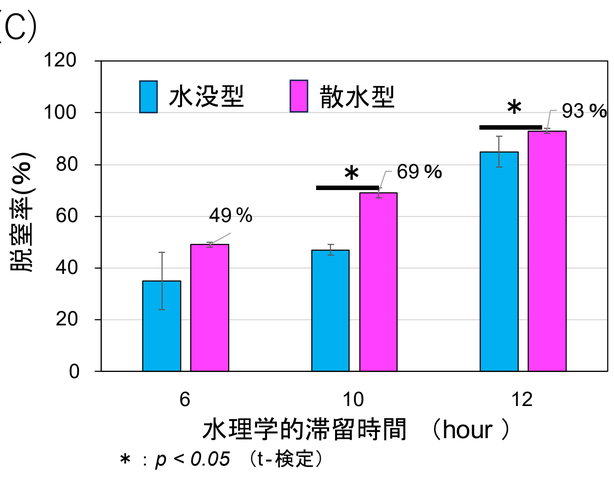


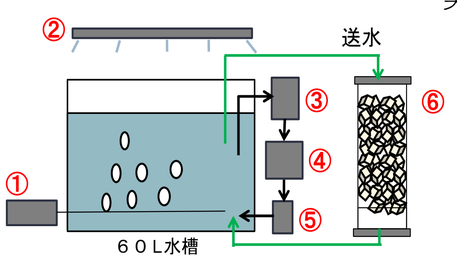
図. 水没型および散水型装置の脱窒素率の変化

結果

常圧密閉式・散水型脱窒システム開発（図C）

- ・散水型装置：水没型に比べ最大1.5倍高い脱窒能力
- ・散水型装置が脱窒性能面からもより効率的な運転方法

閉鎖循環式養殖飼育水の脱窒処理実証試験



①エアレーター, ②LEDライト,③濾過フィルター
④冷却機, ⑤UV殺菌灯, ⑥脱窒処理装置

図.養殖システムの概要

実験条件

水槽NO1（コントロール）：適時換水
水槽NO2（低濃度処理区）：NO_3^--N 50 mg/L到達時脱窒処理
水槽NO3（高濃度処理区）：NO_3^--N 200 mg/L到達時脱窒処理
→ 水槽NO2 ＆NO３：換水せず(採水・蒸発分は補充)

各水槽には総重量1,042±17gのニジマスを投入
給餌：平日に総体重あたり1.3%の人工餌を添加

図.実際の養殖システム(左図)、飼育したニジマス（右図）

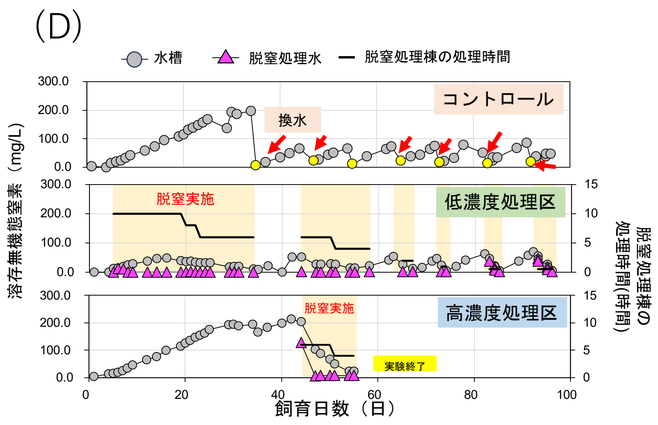


図. 閉鎖循環式陸上養殖飼育水の中の溶存無機態窒素濃度の経日変化

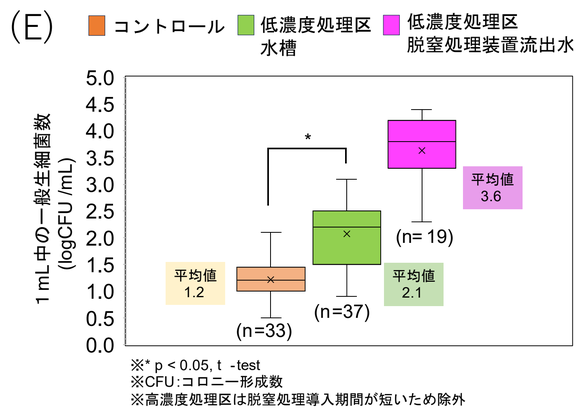


図. 飼育水の中の一般性細菌の変化

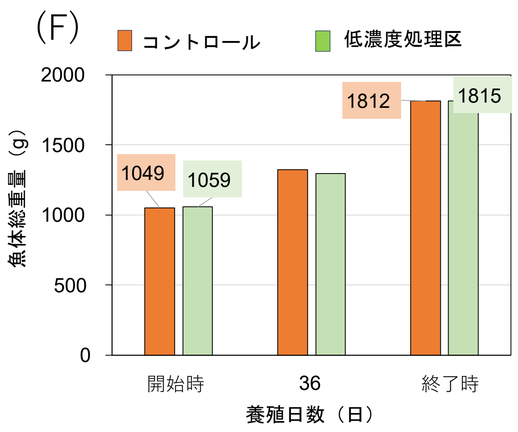


図. 実験期間中の魚体総重量の変化

結果

脱窒システムの性能評価（図D）

低濃度処理区：処理時間0.5時間、最大1.8 g/日の脱窒速度
高濃度処理区：処理時間4時間、最大0.46 g/日の脱窒速度

システム導入による水質影響評価（図E）

水槽中の細菌数微増（平均2.1 logCFU/mL;低濃度処理区）

飼育魚類への影響評価（図F）

コントロール/低濃度処理区：約100日間の飼育体死亡率は0%

脱窒処理に要する省リソース効果計算

1日、1gの窒素除去に水素ガス約8.1Lを要した。
１日、1gの窒素除去に炭酸ガス由来の炭素0.2gを要した。
->既存技術利用脱窒反応に比べ炭素投入量最大82%削減 *

*：メタノール資化脱窒反応（1gの窒素除去に1.1gの炭素が必要）[1)]

1）芳倉ら、1999　生活衛生 Vol.43No2. PP49-64