

令和 5 年 6 月 30 日現在

機関番号：13102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K23362

研究課題名（和文）水交換不要な水槽システム；持続可能で低管理の水槽システムへの新アプローチ

研究課題名（英文）Zero water exchange aquarium system; A new approach towards a sustainable and low management aquarium system

研究代表者

NUR・ADLIN・BINTI ABU・BAKAR (NUR ADLIN BINTI, ABU BAKAR)

長岡技術科学大学・工学研究科・助教

研究者番号：70883958

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は窒素およびリン化合物の同時除去を目指した閉鎖循環型養殖システムを開発した。具体的な成果は水槽水中のアンモニア・亜硝酸および硝酸性窒素を高効率に除去することが可能となり、魚にとって安全で生存できる環境を保つことができた。飼育水槽水のアンモニア対窒素濃度、亜硝酸対窒素濃度、及び硝酸対窒素濃度の平均はそれぞれ $0.10 \pm 0.04$  mg-N/L,  $0.14 \pm 0.02$  mg-N/L,  $9.00 \pm 1.00$  mg-N/Lであり、目標値を満たした。水槽内のリン濃度は平均 $17.8 \pm 0.76$  mg-P/Lであった。リン吸着が確認されたが、リン吸着量の向上にはさらなる研究が必要と考える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水資源を富む国では養殖によって水産物を生産することが出来るが、水交換が必要であることから水不足の国々及び内陸での養殖は困難を極める。今後10年で水不足の問題はより深刻になると考えられている。本研究は、省エネルギー型生物学的処理技術であるDHS-USBシステムを陸上養殖に導入により窒素およびリン化合物を同時除去によって目指した閉鎖循環型養殖システムの構築ができ、水交換の必要性を減らすことができた。本システムの成功は水産養殖業界に計り知れない利益をもたらす。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a closed circulation aquaculture system capable of conducting a simultaneous removal of nitrogen and phosphorus compounds. The system has successfully removed ammonia, nitrite and nitrate nitrogen from the aquaria. Hence, maintaining a safe and viable environment for fish to survive despite limited water exchange was performed. The average ammonia-nitrogen, nitrite-nitrogen, and nitrate-nitrogen concentrations in the breeding tank were  $0.10 \pm 0.04$  mg-N/L,  $0.14 \pm 0.02$  mg-N/L, and  $9.00 \pm 1.00$  mg-N/L, respectively. The average phosphorus concentration in the aquarium was  $17.8 \pm 0.76$  mg-P/L. Phosphorus adsorption was confirmed, but further studies is required to improve the amount of phosphorus adsorption.

研究分野：環境解析評価、環境保全対策およびその関連分野

キーワード：窒素除去 リン除去 生物学的水処理 閉鎖循環型養殖システム

## 1. 研究開始当初の背景

生物にとって水は必要不可欠である。水資源を富む国では養殖によって水産物を生産することが出来るが、水交換が必要のため水不足国々及び内陸での養殖は困難を極める。今後10年で水不足の問題はより深刻になると考えられている。さらに、養殖場からの排水には、多量の有機物、窒素およびリン化合物が含まれているため、未処理で放流することは富栄養化などの環境悪化につながる。そこで、我々はこの問題を克服するべく、水中の有機物および窒素成分を高度に除去するシステムとして硝化反応を担う好気性生物処理プロセス(Down-flow Hanging Sponge: DHS)と脱窒反応を担う無酸素性生物処理プロセス(Up-flow Sludge Blanket: USB)を開発した。本 DHS-USB システムにより、アクアリウム水槽水中の窒素成分の十分な除去が実施され、排水の再利用および完全閉鎖循環システムの構築が示唆された(Furukawa et al., 2016)。一方で、本システムにおいてもリン化合物の残存が依然として大きな課題であった。したがって、本研究では、養殖水槽における窒素・リン化合物の同時除去を達成しうるシステムとして、DHS-USB システム後段に炭酸カルシウム槽を導入した新規水再生システムを提案した。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、養殖水槽内汚染水を再生し、再循環することで水交換なしで持続的な水産養殖技術を開発することである。これまで申請者が開発した DHS-USB システムにリン化合物吸着を目的とした炭酸カルシウム槽を組み合わせることで、窒素とリン化合物を同時に除去するシステムを創出する。本研究の目標水質は、pH 6.5~8.5 (1), DO > 5 mg/L (1), NH<sub>3</sub>-N < 0.44 mg/L (2), NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N < 0.3 mg/L (1), NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N < 90 mg/L (1), TP < 1.0 mg/L とした。本研究成果によって、リン除去の影響による微生物変更及び硝化細菌の生理生態学のさらなる理解が可能となり、高魚体密度養殖水槽への応用・展開も期待される。

## 3. 研究の方法

図 1. に本研究の装置概略図を示す。タンクの容積は 800 L である。DHS リアクターは流量 800 L/h, USB リアクターは高さ 70 cm, 内径 10cm, 流量 2.4L/h とした。OSP (Oyster Shell Powder) 浸漬槽は USB の後段に設置した。

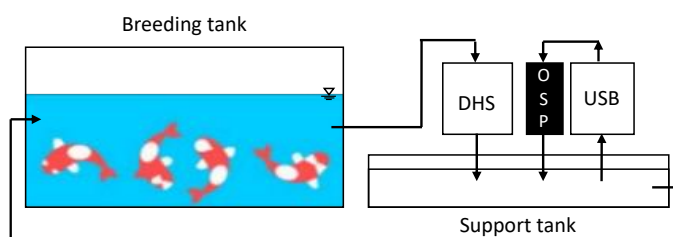


図 1. 装置概略図

OSP は有機石灰(かきがら工業協同組合)を 600°C で 3 時間燃焼し、容積 1.0L の容器中に 500g 浸漬させた。水槽内の水温は 25°C~28°C を維持し、pH は 6.5~8.5 を維持した。採取したサンプルは温度、pH、溶存酸素を計測した後、0.22 μm フィルターに通しネスラー法(DR2800, HACH)によってアンモニア濃度の測定を行った。硝酸、亜硝酸の測定は、オートアナライザ(QuA Atro39, BLTEC)によって測定した。TP は過硫酸カリウム分解法(DR2800, HACH)を用いて測定を行った。OSP は実験開始前と実験開始 2 週間後にサンプリングし、SEM 解析を行った。本システムをさらに理解するために微生物群集分析が実行された。

#### 4. 研究成果

$\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ の平均はそれぞれ  $0.05 \pm 0.06 \text{ mg-N/L}$ ,  $0.04 \pm 0.05 \text{ mg-N/L}$ ,  $10.5 \pm 1.46 \text{ mg-N/L}$  であり, 目標値を満たした(図1)。したがって,DHS-USBは十分な窒素除去性能を示した。また,OSP浸漬槽での平均リン吸着量は  $0.72 \pm 0.82 \text{ mg-P/L}$  であった。水槽内のリン濃度は平均  $17.8 \pm 0.76 \text{ mg-P/L}$  であり、目標水質を満たせなかったが、SEM解析による元素マッピングの結果、未浸漬のOSP表面にはリンがほとんど付着していないのに対し、14日間浸漬させたOSP表面にはリンの付着が確認された(図2)。したがって、浸漬によるリン酸カルシウムの生成は行われている可能性が示唆された。しかし、リンの吸着量は微量であり、水槽内のリン濃度は目標値を満たせなかった。リン吸着量が微量だった要因は pH、牡蠣殻浸漬量,OSP浸漬槽中の  $\text{Ca}^{2+}$ 濃度等が考えられる。特にpH,  $\text{Ca}^{2+}$ はリン酸カルシウムを形成する重要な要素であるため、今後その関係性を明らかにする必要がある。本研究では、16S rRNA 遺

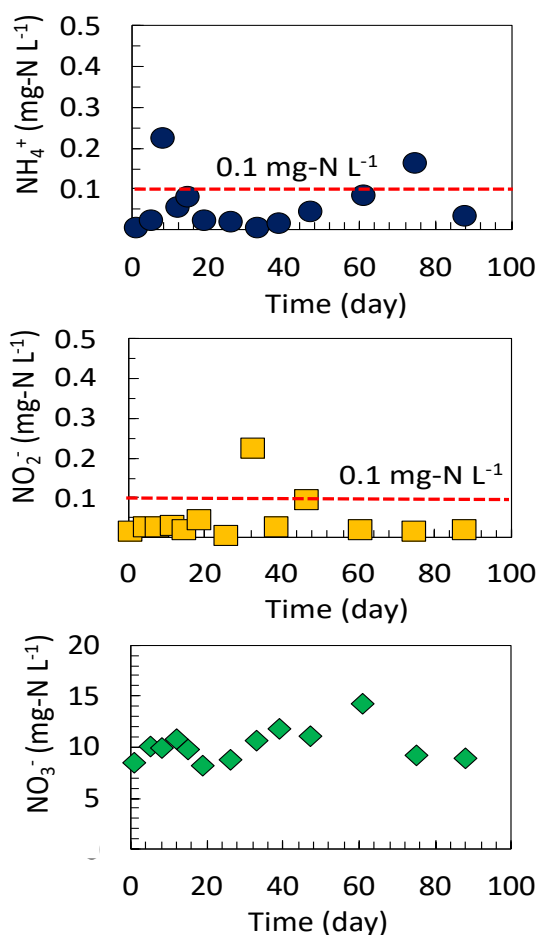


図 1 水槽内の  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  の濃度

伝子配列に基づいてリアクター内の微生物群集分析を行った。DHS リアクターで検出された最も豊富な門はプロテオバクテリアであった。硝化菌 AOA および NOB を検出されたが AOB は検出されなかった(図3)。AOA は、低濃度 アンモニア対窒素の環境と温度を好むことが報告されています (Hugoni et al., 2013)。水槽内の低濃度アンモニアおよび適度な水温が AOA を促進したと考えられる。その結果もは、AOA が DHS リアクターの アンモニア除去に重要な役割を果たしていると示唆した。水の交換は行われなかったにもかかわらず、すべての魚は生存した。

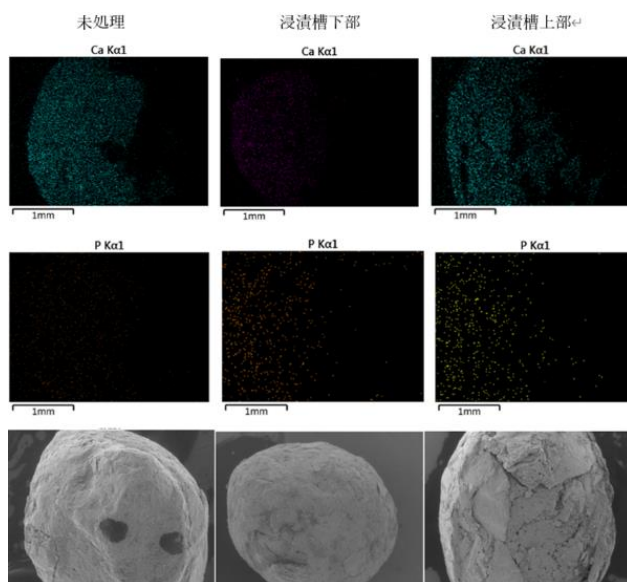


図 2. Day 0 と Day 14 の浸漬タンク内の OSP の SEM 画像の変化

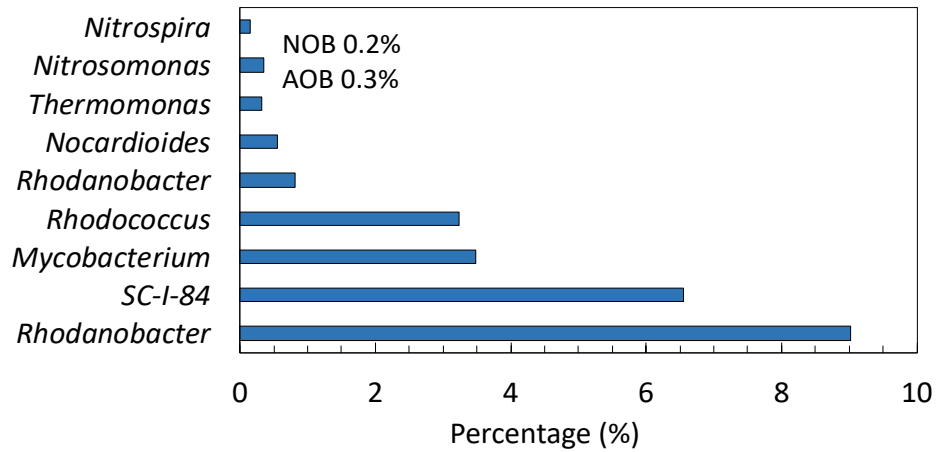


図 3. DHS リアクターに検出された AOA および NOB

#### 4.まとめ

実験期間中、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ は基準値を満たした。したがって、本システムは十分な窒素除去性能を有した。リン吸着が確認されたが、リン吸着量の向上にはさらなる研究が必要と考える。この研究の成功は、水族館と水産養殖の繁殖に計り知れない利益をもたらす。

参考文献：

1. Hugoni M, Etien S, Bourges A, et al. Dynamics of ammoniaoxidizing Archaea and Bacteria in contrasted freshwater ecosystems. Res Microbiol. 2013;164(4):360–370.
2. Furukawa, A., Matsuura, N., Mori, M., et al. (2016). Development of a DHS-USB recirculating system to remove nitrogen from a marine fish aquarium. Aquaculture Engineering, 74, 174–179.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Wilasinee Kotcharoen, Takahiro Watari, Nur Adlin, Yoshinobu Nakamura, Penpicha Satanwat, Wiboonluk Pungrasmi, Sorawit Powtongsook, Yutaka Takeuchi, Masashi Hatamoto, Shinichi Yamazaki, Takashi Yamaguchi	4. 巻 164
2. 論文標題 Effect of salinities on nitrogen removal performance of DHS-USB system and growth of <i>Epinephelus bruneus</i> in closed recirculating aquaculture system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Biodeterioration & Biodegradation	6. 最初と最後の頁 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ibiod.2021.105299	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nur Adlin, Masashi Hatamoto, Shinichi Yamazaki, Takahiro Watari, Takashi Yamaguchi	4. 巻 0
2. 論文標題 A potential zero water exchange system for recirculating aquarium using a DHS-USB system coupled with ozone	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Technology	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09593330.2020.1784295	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 浜浦 裕晃*, Nur Adlin, 渡利高大, 幡本将史, 山口隆司
2. 発表標題 DHS-USBシステムと牡蠣殻を用いた錦鯉飼育水槽における窒素・リン同時除去技術の開発
3. 学会等名 第56回日本水環境学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nur Adlin, Takahiro Watari, Masashi Hatamoto and Takashi Yamaguchi
2. 発表標題 The development of a prospective zero-water exchange system for aquaria using the ozone-DHS-USB system
3. 学会等名 International Conference on Sustainable Agriculture and Aquaculture (ICSAA), Thailand (online) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Adlin*, W. Kotcharoen*, L. S. Wandana*, T. Watari**, M. Hatamoto**, T. Yamaguchi *
2. 発表標題 Simultaneous N and P removal for aquaria; A new approach towards eliminating water exchange in recirculating aquaria system
3. 学会等名 IWA Agro (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Namita maharjan, Nur Adlin, Thao Tran P., Masashi Hatamoto, Takashi Yamaguchi, Yuki Murakami, Nobuo Araki	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 17
3. 書名 Clean Energy and Resource Recovery: Wastewater Treatment Plants as Biorefineries, Volume 2	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------