

海洋生物飼育水における新規補給水低減循環システムの水質維持性能評価

長岡技術科学大学 学生会員 ○古川 斐人

正会員 阿部 憲一 中村 明靖 山口 隆司

大成建設株式会社 川又 睦

横浜 MM 研究所 森 正人 長岡市寺泊水族博物館 青柳 彰

1. はじめに

海洋水族館における飼育水の維持管理は、水槽に対して 10~20%の容積の濾過装置を用いて、残餌や水生生物の排泄物、および水生生物にとって有害であるアンモニア態窒素 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) の除去 (硝化) を行い、その処理水を再利用する循環型システムが一般的である。硝化により生成される硝酸態窒素 ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) も高濃度に蓄積すると ($> 30 \text{ mg-N/L}$) 魚体に対し悪影響を及ぼすことから、水槽容量の 5~10%の海水交換が必要となる。また、濾過装置が目詰まりを起こした際には逆洗浄を行う必要があるが、これに伴う洗浄廃水の処理や、濾材表面に付着した硝化菌まで洗い流されることで硝化性能が低下する問題が生じる。

これらの問題を解消する新たな水質維持管理システムとして、我々は Down-flow Hanging Sponge (DHS) 法と Up-flow Sludge Blanket (USB) 法を組み合わせた硝化脱窒システムを開発した²⁾。スポンジ単体に水を掛け流す DHS 法は、微生物保持性能が高く、固形分もトラップできることから、硝化と濾過性能を有する逆洗浄不要のシステムである³⁾。USB 法も廃水処理で一般的に用いられる脱窒システムであるので、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の蓄積を抑えた水交換を必要としないシステムとして期待できる。本研究では、この新規硝化脱窒システムを用いた海洋生物飼育における実証実験を行い、その水質維持能力を評価した。

2. 実験方法

2. 1 実験装置概要

図 1 は実験装置概要図を示す。実験装置の構成は水槽 880L、硝化型 DHS 槽 (容積: 8L, スポンジ量: 4L)、脱窒 USB 槽 (容量: 8L, 脱窒グラニューロ量: 4L)、物理フィルター (粒径: $25 \mu\text{m}$) とした。DHS 槽内スポンジへの植種汚泥は、砂濾過装置内のろ材であるサンゴ砂に付着した汚泥 (硝化細菌) を用いた。USB 槽内脱窒グラニューロには、長岡下水処理場内活性汚泥とメタン発酵グラニューロ汚泥を用いた。馴養期間はそれぞれ 2 ヶ月とし、人工海水による通水を実証実験と同条件で行なった。飼育水は日本海より取水した海水を用いた。飼育水の管理項目は、 $\text{pH} 8.0$ および水温 25°C 、 $\text{DO} 5 \text{ mg-O}_2/\text{L}$ 以上とした。飼育魚体は、一般的な水族館における飼育量である魚体量 3 kg/m^3 とし、飼育魚はカゴカキダイとした。

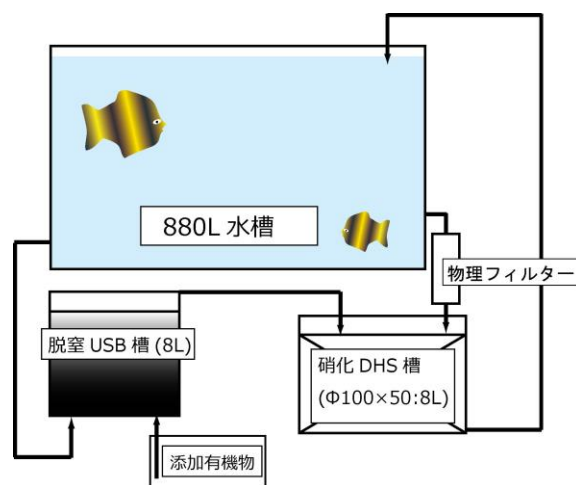


図 1 実験装置概要図

2. 2 実験条件

硝化 DHS 槽の流量は 1 時間に飼育水全量が通水する水量 880 L/h とした ($\text{HRT}: 0.009 \text{ h}$)。脱窒 USB 槽の流量は 1 日に飼育水槽全量の 10% を処理する流量 ($\text{HRT}: 2.3 \text{ h}$) とした。脱窒に用いる有機物源は酢酸と酢酸ナトリウムを使用し、水槽水中 pH が魚体および硝化脱窒を行う微生物に影響のない値を保つよう調整した。添加有機物量は前採水時の飼育水中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度より C/N 比 1.3 とし式(1)より算出した²⁾。硝化脱窒性能は一般的な水族館での要求値 ($\text{NH}_4^+\text{-N}: 0.1$, $\text{NO}_2^-\text{-N}: 0.09$, $\text{NO}_3^-\text{-N}: 30 [\text{mg/L}]$) を実験目標値として、飼育水中の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) および $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度を分析し評価した。

$$\text{添加有機物量 (mg-C/L)} = \text{gC/gN 比} \times \text{流入 } \text{NO}_3^-\text{-N 濃度} + 0.375 (\text{gC/gO}) \times \text{流入 DO 濃度} \quad \dots \text{式(1)}$$

キーワード 水族博物館, 硝化 DHS, 脱窒 USB, 生物膜,

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 環境システム棟 5 階 TEL 0258-47-1611(内線 6646)

3. 実験結果および考察

図2は飼育水中 pH および窒素成分の経日変化を示す。pH は硝化反応により低下し、脱窒反応によって上昇するが、代表的なアンモニア酸化細菌である *Nitrosomonas* の至適 pH は 8~9, 亜硝酸酸化細菌である *Nitrobacter* の至適 pH は 7 程度である⁴⁾。飼育水中の pH は運転期間中概ね 7.8~8.3 を保ち、平均 7.9 ± 0.1 であった。添加有機物によりアンモニア酸化、亜硝酸酸化それぞれ良好に行われる pH を保つことが可能であった。また、その他管理項目においても水温 24 (°C), DO:5.0 (mg-O₂/L) と、魚の生育に適した環境を保った。

NH₄⁺-N 濃度および NO₂⁻-N に関しても概ね実験目標値(0.1mg/L, 0.09mg/L) 以下を保ち、それぞれ平均値は NH₄⁺-N: 0.06 ± 0.03 (mg/L), NO₂⁻-N: 0.03 ± 0.02 (mg/L) であった。これらより硝化型 DHS 槽内で硝化反応が良好に行われていることが示唆された。また、DHS 槽内スポンジ担体表面には生物膜が形成されていたが、目詰りは起こらず、スポンジの交換は必要なかった。

NO₃⁻-N 濃度は運転期間中、実験目標値 (30mg/L) 以下となった。安定した期間 (運転開始 70~180 日目) での平均値は 14.8 ± 4.7 (mg-N/L) であり、脱窒率 96%(HRT:2.5h, C/N 比:1.3 の条件下での脱窒 USB 槽の脱窒率)での理論収束濃度 15mg-N/L に近い値であった。これより、脱窒 USB 槽内で脱窒反応が良好に行われていることが示唆された。また、C/N 比 1.3 での有機物添加により実験目標値の半分以下まで NO₃⁻-N 濃度が除去された。

また、連続運転期間中換水は一度も行われず、かつスポンジ担体の交換や洗浄も必要なかった。従来法では半年間運転すると 1t 以上の新鮮な海水による換水、24 回の砂ろ過槽逆洗浄が必要であるが、本システムではこれらにかかるコストが 0 になることが実証された。これらより水槽容量 880L に対し、8L の硝化型 DHS 槽、8L の脱窒 USB 槽(C/N 比 1.3 での有機物添加)で逆洗浄などの維持管理、希釈水無しの窒素除去システムの適応が可能であると判明した。

さらに、飼育魚体であるカゴカキダイは全匹順調に生育し、水質悪化を起因とするポップアイや白点病などの病気にはならず、本システムが希釈水無しでも飼育魚体の生育に悪影響を及ぼさないことが実証された。

4. まとめ

海洋生物飼育水を対象とした新規補給水低減型循環システムによる実証実験の結果、硝化 DHS 槽容量 1%, 脱窒 USB 槽容量 1%, 無希釈の条件下で安定した硝化脱窒性能を示し、飼育水は NH₄⁺-N; 0.1 mg/L 以下, NO₂⁻-N; 0.09mg/L 以下, NO₃⁻-N ; 30 mg/L 以下であり実験目標値を満足し、魚体への影響もなかった。また、運転期間中(6 ヶ月間)目詰まりはなく、スポンジの交換は不要であった。これらのことより、新規補給水低減型循環システムは従来の砂濾過および水交換による希釈法よりも低コスト、低スペース、運転管理が容易なシステムであることが実証された。

参考文献

- 1) Neori, A., Chopin, T., (他 6 名): Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture, *Aquaculture*, Vol.231,2004
- 2) 浜口威真, 山口隆司, (他 8 名): 海洋生物飼育を対象とした循環型窒素除去システムの開発, *環境工学研究論文集*, vol.47, 2010
- 3) 高橋優信, 山口隆司, (他 3 名): 発展途上国に適用可能なエネルギー最小消費型下水処理プロセスの開発〜スポンジ担体散水ろ床(DHS-G3)リアクターの処理性能〜, *環境工学研究論文集*, Vol.41, 2004
- 4) Guisasola, A., Petzet, S., (他 3 名): Inorganic carbon limitations on nitrification: Experimental assessment and modelling, *Water Res.*, Vol.41, 2007

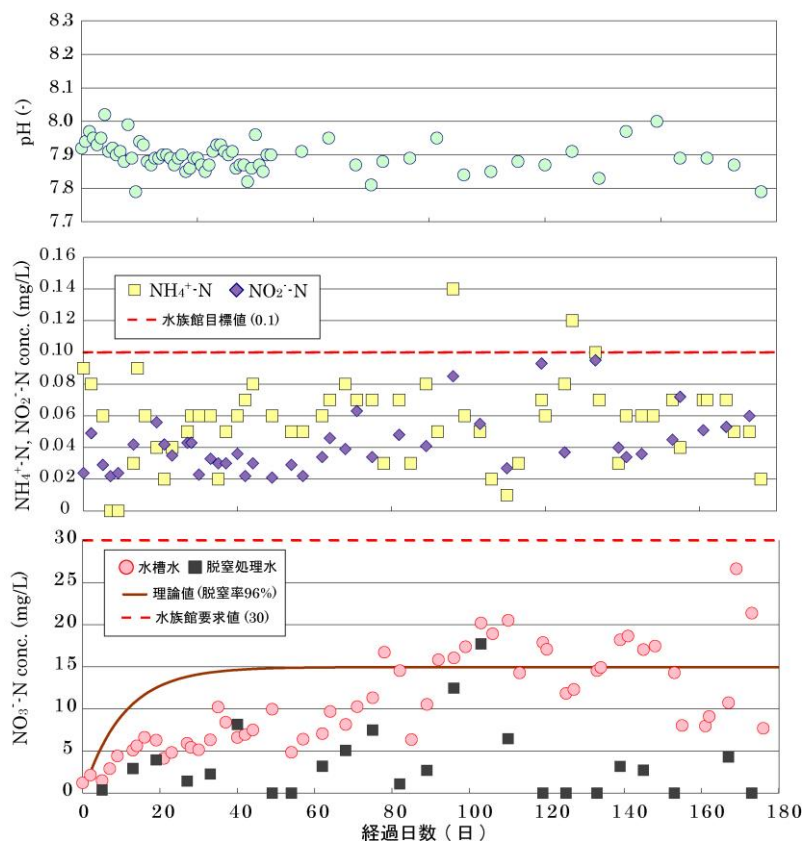


図2 飼育水中 pH および窒素成分の経日変化