

海洋水族博物館における新規補給水低減循環システムの性能評価

長岡技術科学大学 学生会員 ○古川 斐人 阿部 憲一 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

従来、海洋水族館における飼育水の処理システムは、水生生物の排泄物や残餌を濾過装置により除去し、その処理水を再利用する閉鎖型（循環型）の処理システムが多く用いられている。この濾過装置内では硝化反応により水生生物にとって有害であるアンモニア態窒素 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) の処理が行われている。硝化により生成され、飼育水槽中に蓄積した硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)は、新鮮な海水での希釈により除去する事が一般的である。しかしながら、希釈による $\text{NO}_3\text{-N}$ 制御には、毎日水槽容量の 5~10%程度の海水の交換が必要であり、運搬・熱交換エネルギー消費、これらに伴う温室効果ガス排出の問題がある。また、従来の硝化システムである砂濾過装置は、水槽容量の 10~20%の容量を要し、大型の水槽では広大なバックヤードを必要とする問題がある。さらに、水生生物の排泄物や残餌により、濾過槽の目詰まりが発生するため、逆洗浄を必要とする。逆洗浄は、濾過時の水の流れと逆方向に洗浄水を通水し、詰まりを取り除く工程であり、多量の洗浄水を使用する。そのため、逆洗浄によって排出される廃水の処理が必要であり、さらに洗浄によって濾材表面に付着した硝化菌量が減少し、処理性能が低下するといった問題を有している。そこで従来の飼育水の処理システムを用いている海洋水族館では、運転管理が容易（逆洗浄不要）かつコンパクトで希釈に用いる補給水を低減可能な処理システムの導入が望まれている。

そこで、従来の処理システムに代わり本研究グループが開発した DHS (Down-flow Hanging Sponge) 槽と脱窒槽として知られる USB (Up-flow Sludge Blanket) 槽を用いることで、海洋水族館の硝化脱窒システムにおける、逆洗浄不要および省スペース、また、補給水の低減可能な新規システムを開発した。本稿では、開発した新規補給水低減循環システムの水族博物館での実証実験における硝化脱窒性能評価および USB 中脱窒細菌の微生物群集菌叢解析結果について記す。

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 μm)とした。DHS 槽内スポンジへの植種汚泥は、従来法である砂濾過装置内の濾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、pH8.0 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。

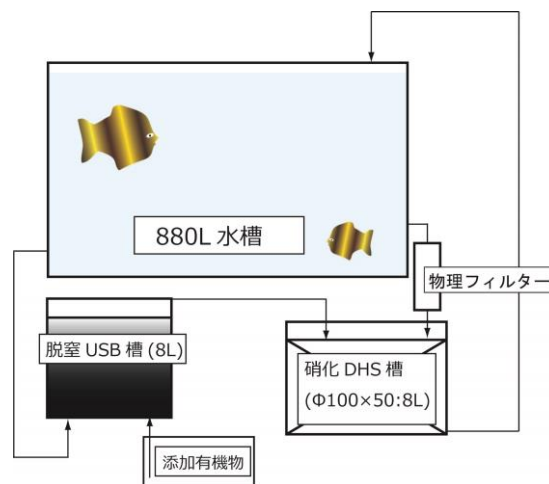


図 1 実験装置概要図

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)

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 880L/h とした(HRT:0.009h). 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(HRT:2.3h)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, 添加有機物量は前採水時の飼育水中 NO_3^- -N 濃度より C/N 比 1.3 として式(1)より算出した.

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

2. 3 実験方法

硝化脱窒性能は一般的な水族館での要求値(NH_4^+ -N:0.09, NO_2^- -N:0.1, NO_3^- -N:30[mg/L])を実験目標値として, 飼育水中の NH_4^+ -N, 亜硝酸態窒素(NO_2^- -N)および NO_3^- -N 濃度を分析し評価した.

微生物群衆解析は, 運転開始より約1年後の硝化型 DHS 内スポンジおよび脱窒 USB 内グラニュールを採取し, 抽出した DNA を精製した. 細菌および古細菌の 16rRNA 遺伝子を標的として PCR 反応を行い, 得られた PCR 増幅産物を基に Illumina Miseq によるアンプリコンシーケンシングを行った. 得られた遺伝子配列のデータ解析には QIIME を使用した.

3. 実験結果および考察

表1は水槽水の飼育環境および窒素成分の運転期間中平均値を示す. 飼育水中の pH は運転期間中概ね 7.8~8.3 を保ち, 平均 7.99 ± 0.19 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- O_2 /L)と, 魚の生育に適した環境を保った.

NH_4^+ -N 濃度および NO_2^- -N に関しても実験目標値(0.1, 0.09mg-N/L)以下を保ち, それぞれ平均値は NH_4^+ -N: 0.06 ± 0.03 (mg-N/L), NO_2^- -N: 0.04 ± 0.03 (mg-N/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.

NO_3^- -N 濃度は運転期間中概ね実験目標値 (30mg-N/L) 以下となった. 平均値は 18.3 ± 12.2 (mg-N/L) であり, 脱窒率 96%(HRT:2.3h, 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以下まで NO_3^- -N 濃度が除去された. 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.

脱窒 USB 中グラニュールの菌叢解析の結果, 耐塩性脱窒細菌として知られる *Sedimenticola* 種が確認された.

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 NH_4^+ -N ; 0.1 mg-N/L 以下, NO_2^- -N ; 0.09mg-N/L 以下, NO_3^- -N ; 30mg-N/L 以下であり実験目標値を満足した. また, 運転期間中(1年間)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

- ・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

表 1 飼育環境及び窒素成分(平均値)

	測定値	維持目標値
Temp.(°C)	24.1±0.6	-
pH	7.99±0.19	7.8~8.3
DO(mg- O_2 /L)	4.91±0.97	5.0以上
ORP(mV)	128±22	-
TAN(mg/L)	0.06±0.03	0.1以下
NO_2^- -N (mg/L)	0.04±0.03	0.09以下
NO_3^- -N (mg/L)	18.3±12.2	30以下