

## 立体型メッシュ担体を用いた回転ろ床リアクターによる都市下水処理及び菌叢解析

長岡技大・院 ○(学)明石拓己, 澗上俊次, (正)渡利高大, (正)幡本将史, (正)山口隆司

### 1. はじめに

回転円盤ろ床法 (Rotating Biological Contactor : RBC) は, 曝気を必要としない排水処理法であり, 小規模での都市下水や産業廃水の二次処理として利用されている. また近年, RBC の回転体に立体型のメッシュ担体を用いて保持汚泥量を増加させた Mesh Rotating Biological Reactor (MRBR) が開発されている. MRBR は保持汚泥量が RBC と比べて多いことから処理性能が高いとされているが, MRBR 単体での都市下水処理性能はほとんど把握されていない. 処理プロセスの最適化には MRBR の処理性能を把握することが重要である. そこで, 本研究では, 流入負荷及び水温が MRBR の都市下水処理性能とメッシュ担体内の微生物叢に及ぼす影響を調査することを目的とし, 水温と水理学的滞留時間 (HRT) の異なる 4 つの運転条件 (P1:HRT4 時間及び水温 20℃以上, P2:HRT2 時間及び水温 20℃以上, P3:HRT4 時間及び水温 15℃以下, P4:HRT2 時間及び水温 15℃以下) で得られた MRBR の都市下水処理結果と微生物叢解析結果を比較した.

### 2. 実験方法

#### 2.1 実験装置及び運転条件

実験に用いた MRBR を図 1 に示す. MRBR は, 長岡中央浄化センターに設置し, HRT4 時間で 1 年間運転を行った後, HRT2 時間で運転した.

また, 水槽容積は 40 L, 回転体は, 直径 55 cm, 厚さ 5 cm の塩化ビニリデン系合成繊維製 (空隙率 96%, 比表面積  $170 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$ ) を用い, 回転体の浸没率 40%, 回転速度 5 rpm の条件で運転を行った.

植種汚泥は都市下水処理標準活性汚泥を用いた. MRBR にはスクリーン及び沈殿槽通過後の都市下水を供給した.

#### 2.2 分析方法

水質分析項目は水温, DO, pH, sCOD,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  とした. sCOD は, HACH 社の水質測定キット,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  は, イオンクロマトグラフ (Shimadzu) を用いて測定した. また  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  の総和を T-N とした.

MRBR のメッシュ担体の保持汚泥中の微生物群集を調査するため, 16S rRNA 遺伝子を標的としたシーケンス解析を行った. 得られた配列データは科及び属レベルで解析を行った.

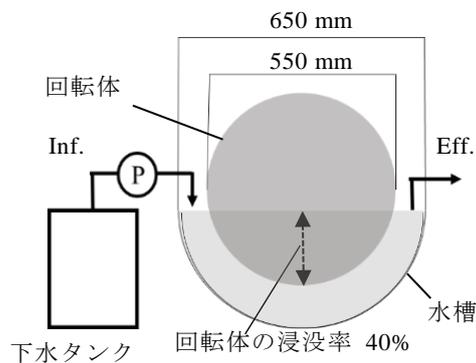


図 1 MRBR 概略図

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 都市下水処理結果

表 1 に MRBR の回転体の単位容積あたりの各種流入負荷及び除去量を示す. 水温 20℃以上 (P1, P2) において, HRT を 4 時間から 2 時間に短縮することで, MRBR の sCOD 容積負荷は 1.8 倍に増加したが, sCOD 除去量は, 1.6 倍の増加にとどまった. したがって, sCOD 除去率は 71% から 63% に低下した. また水温 15℃以下 (P3, P4) において, HRT を 4 時間から 2 時間に短縮した際, sCOD 容積負荷は 2.5 倍に増加したが, sCOD 除去量も 2.5 倍に増加し, sCOD 除去率はおよそ 50% でほとんど変化はなかった. よって, HRT を短縮して運転することで, sCOD の除去速度が向上した.

水温 20℃以上 (P1, P2) において, MRBR の回転体における  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  容積負荷は, HRT を 4 時間から 2 時間に短縮することで 2.4 倍に増加したが,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  除去量は  $210 \text{ g-N m}^{-3} \text{ day}^{-1}$  と一定であった. ここから, sCOD 容積負荷の増加により, 硝化は阻害されたことが推察された. 一方で, MRBR の T-N 除去量は, 1.5 倍に増加した. この HRT 2 時間の条件では, 硝化された窒素分のほとんどが除去された. よって, HRT2 時間では, 硝化が窒素除去における律速であることが推察された. これに対して, HRT4 時間では, MRBR の回転体における T-N 除去量が  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  除去量より  $60 \text{ g-N m}^{-3} \text{ day}^{-1}$  少なく硝酸が蓄積していたことから, 脱窒が窒素除去における律速であることが推察された.

また, 水温 15℃以下 (P3, P4) において, MRBR の回転体における  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  容積負荷は, HRT を 4 時間から 2 時間に短縮することで 2.1 倍に増加し,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  除去量は 1.3 倍に増加したが, P1, P2 と比較して著し

キーワード 回転円盤法, 都市下水処理, メッシュ担体  
連絡先 〒954-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻  
TEL 0258-47-1611-6646

く減少した。よって、MRBR では水温の低下に伴って、硝化が停滞した。また、HRT を 4 時間から 2 時間に短縮することで T-N 除去量が 1.5 倍に増加した。これにより、HRT2 時間では、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  除去量が T-N 除去量より  $9 \text{ g-N m}^{-3} \text{ day}^{-1}$  多く、HRT4 時間では、T-N 除去量と  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  除去量が同程度であった。よって、MRBR では、水温  $15^\circ\text{C}$  以下においても HRT2 時間では硝化、HRT4 時間では脱窒が、それぞれの窒素除去における律速であることが推察された。

### 3.2 微生物叢解析結果

図 2 に各運転条件における科レベルでの微生物叢解析結果、表 2 に各運転条件における硝化に関わる微生物の検出率をそれぞれ示す。

従属栄養脱窒細菌である *Comamonadaceae* 科の相対的存在量は、P1:23%、P2:27%、P3:45%、P4:67%であり、水温の低下に伴って増加した。また、従属栄養性微生物である *Thiotrichaceae* 科の相対的存在量は、P1:10.9%、P2:0.5%、P3:18.1%、P4:11.8%であり、sCOD 容積負荷の増加に伴い増加した。

また、独立栄養硝化菌の *Nitrospiraceae* 科と、*Nitrosomonadaceae* 科の検出率に大きな差は見られなかった。よって、独立栄養硝化菌の存在比に大きな変化はなかったため、MRBR 保持汚泥量に大きな差がないと仮定すると、MRBR では、水温の低下に伴って、独立栄養硝化菌 1 匹当たりの活性が低下したことが推察された。

しかしながら、従属栄養硝化菌の *Pseudomonas* 属と、*Acinetobacter* 属の検出率は、水温の低下に伴って増加した。よって、独立栄養硝化菌の活性が低い水温  $15^\circ\text{C}$  以下では、従属栄養硝化が起こっている可能性が考えられた。

### 4. まとめ

本 MRBR では、HRT を 4 時間から 2 時間に短縮した際、sCOD 除去量が、水温  $20^\circ\text{C}$  以上では 1.6 倍の  $3.9 \text{ kg-sCOD m}^{-3} \text{ day}^{-1}$ 、水温  $15^\circ\text{C}$  以下では 2.5 倍の  $2.8 \text{ kg-sCOD m}^{-3} \text{ day}^{-1}$  に増加した。よって HRT をさらに短縮することで、sCOD の除去速度が向上することが推察された。また、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  及び T-N 除去量の差から、HRT2 時間では硝化が、HRT4 時間では脱窒が、それ

ぞれの窒素除去における律速段階であることが推察された。

また、従属栄養脱窒細菌である *Comamonadaceae* 科は、水温の低下に伴って増加し、従属栄養性微生物である *Thiotrichaceae* 科は、sCOD 負荷量の増加に伴い増加した。また、水温の低下に伴って、独立栄養硝化菌 1 匹当たりの活性が低下したことが推察された。しかしながら、従属栄養硝化菌の *Pseudomonas* 属と *Acinetobacter* 属は、水温の低下に伴って増加したため、独立栄養硝化菌の活性が低い水温  $15^\circ\text{C}$  以下では、従属栄養硝化が起こっていることが推察された。

### 謝辞

本研究では、長岡中央浄化センターから研究場所を提供していただきました。記して謝意を表します。

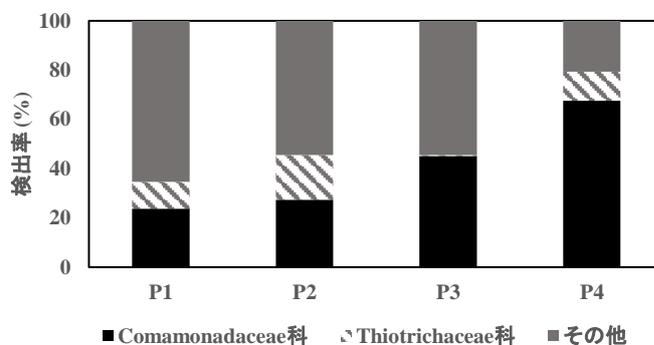


図 2 各運転条件における科レベルの微生物叢解析結果

表 2 各運転条件における硝化に関わる微生物の検出率(%)

運転条件	P1	P2	P3	P4
<i>Pseudomonas</i> 属	0.06	0.05	0.80	0.09
<i>Acinetobacter</i> 属	0.01	0	0.09	0.06
<i>Nitrospiraceae</i> 科	0.02	0.04	0.05	0
<i>Nitrosomonadaceae</i> 科	0.038	0.013	0.016	0.004

表 1 MRBR の回転体の単位容積あたりの各種流入負荷量及び除去量

運転条件		P1	P2	P3	P4
HRT		4 時間	2 時間	4 時間	2 時間
運転日数		97日	106日	120日	48日
水温	$^\circ\text{C}$	$23 \pm 2$	$24 \pm 2$	$11 \pm 1$	$14 \pm 1$
sCOD 容積負荷量	$\text{kg-sCOD m}^{-3} \text{ day}^{-1}$	$3.4 \pm 0.61$	$6.0 \pm 1.7$	$2.2 \pm 0.77$	$5.4 \pm 2.3$
sCOD 除去量		$2.5 \pm 0.54$	$3.9 \pm 1.7$	$1.1 \pm 0.60$	$2.8 \pm 1.6$
$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 容積負荷量	$\text{g-N m}^{-3} \text{ day}^{-1}$	$540 \pm 93$	$1300 \pm 210$	$460 \pm 100$	$970 \pm 210$
$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 除去量		$210 \pm 87$	$210 \pm 130$	$72 \pm 51$	$94 \pm 23$
T-N 除去量	$\text{g-N m}^{-3} \text{ day}^{-1}$	$150 \pm 84$	$220 \pm 130$	$63 \pm 32$	$94 \pm 24$