

II-16 回転円板法による有機物酸化・硝化に関する実験的研究

鹿児島工業高専 正員 西 留 清
正員 森 山 克美
学生員 ○本鍋田 栄作

1. はじめに 単一生物膜による完全混合回転円板反応槽全体の基質除去速度は、生物膜表面における平均基質フラックスと全浸漬円板面積の積で表わされ^{1,2)}、定常状態における平均基質フラックスは、流入、流出基質濃度と水量負荷によって決定できる。しかしながら、好気性他栄養性細菌と好気性自栄養性細菌が共存する回転円板付着生物膜による有機物酸化・硝化過程において有機物および $\text{NH}_4\text{-N}$ の除去速度が、液本体から生物膜への基質輸送過程に律速される場合、有機物および $\text{NH}_4\text{-N}$ のフラックスは主に基質の拡散係数と拡散層厚によって決まると考えられる。一方、有機物および $\text{NH}_4\text{-N}$ の除去速度が生物膜への酸素輸送過程に律速される場合、有機物および $\text{NH}_4\text{-N}$ フラックスは主に生物膜内の有機物酸化速度、硝化速度と生物膜内酸素浸入深さで決まると考えられる³⁾。そこで、本文では実廃水を半水没型回転円板法で処理する場合の有機物酸化・硝化過程を明らかにするために、中型および小型回転円板装置による実験を行った。また、その実験結果を一般的な有機物酸化・硝化過程に適用するために生物膜内への酸素供給量に着目した解析を行った。

2. 実験方法および実験装置 実験装置としては表-1に示すように2組の2槽直列型を用いた。鹿児島高専学内廃水処理施設への流入水を約10m³の貯留槽に常時2.5m³/時汲み上げ、これを実験装置への流入原水とした。この原水を定量ポンプにより中型2槽直列回転円板装置の第1槽に流入させた。第2槽流出水を沈殿池に流し、沈殿池流出水を小型2槽直列回転円板装置の原水として用いた。円板槽内水温は特に制御を行わなかったため10~30℃の範囲であった。

3. 実験結果とその考察 定常状態における $\text{NH}_4\text{-N}$ 平均フラックス(F_N)、硝化反応による $\text{NH}_4\text{-N}$ 平均フラックス(F_N)と有機物平均フラックス(F_C)は式-(1), (2), (3)で与えられる。

$$F_A = (C_{iA} - C_{eA}) Q / A_w \quad \text{----- (1)}$$

$$F_N = (C_{eN} - C_{iN}) Q / A_w \quad \text{----- (2)}$$

$$F_C = (C_{iC} - C_{eC}) Q / A_w \quad \text{----- (3)}$$

ここで、 Q : 流入水量 (m³/日) A_w : 円板浸漬面積 (m²)

C_i : 流入水基質濃度 (mg/l) C_e : 流出水基質濃度 (mg/l)

有機物酸化・硝化過程では他栄養性細菌の増殖速度は大きい⁵⁾ためその細胞合成に利用される $\text{NH}_4\text{-N}$ 量は考慮する必要がある。したがって、式-(4)で示される $\text{NH}_4\text{-N}$ フラックス(F_A)は、硝化によるフラックス(F_N)と細胞合成に利用されるフラックス(F_G)の和である。酸化された有機物量に対して一定割合の $\text{NH}_4\text{-N}$ が他栄養性細菌の細胞合成に使われるなら F_G は式-(5)で示される。

$$F_A = F_N + F_G \quad \text{---- (4)} \quad F_G = R \cdot F_C \quad \text{---- (5)} \quad \text{ここで、} R: \text{定数 (-)}$$

したがって、式-(1), (2), (4), (5)より式-(b)が得られる。

$$(C_{eN} - C_{iN}) / (C_{iA} - C_{eA}) = 1 - R (F_C / F_A) \quad \text{----- (b)}$$

式-(b)により実験データを整理すると図-1が得られ、 R の値は0.05と

表-1 実験装置の諸元

型 式	中 型		小 型	
円板直径 (cm)	5.0	5.0	3.0	3.0
円板枚数 (枚)	6.2	5.9	1.6	1.6
円板面積 (m ²)	22.7	21.6	1.13	1.13
円板回転数 (r/min)	3.3	3.3	5.0	5.0
円板回転数 (rpm)	1.2	1.2	7.5	7.5
流入水量 (m ³ /day)	148-145	148-146	006-042	006-042
水量負荷 (m ³ /day)	007-064	006-068	007-037	007-037
流入DO (mg/l)	154-108	170-737	128-945	900-694
流入 $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l)	225-845	135-810	176-878	620-725
水温 (°C)	156-296	157-280	130-295	113-273

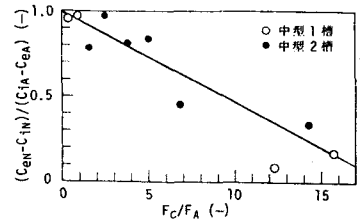


図-1 他栄養細菌の細胞合成に利用されるアンモニア量の推定

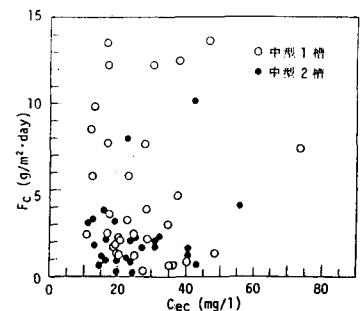


図-2 液本体DOC濃度とDOCフラックス

なる。渡辺等は有機物としてスターチを用いた実験から $F_a = 0.06 F_s$ (F_s :スターチフラックス)として表わしており、本実験により得られた値は渡辺等の実験値とほぼ一致していることがわかる。図-2,3は中型1槽,2槽における液本体溶解性DOC(DOC)濃度(C_{bc})とDOCフラックス(F_c),および液本体 NH_4-N 濃度(C_{ba})と硝化による NH_4-N フラックス(F_N)の関係である。本実験結果は水温,水量負荷(Q/A_w),有機炭素/T-Nが固定されていないため有機物酸化過程,あるいは硝化過程のみの解析はできない。そこで、本実験結果を一般的な有機物酸化・硝化過程に適用するために以下の解析を行った。生物膜への酸素供給量が付着水膜内の分子拡散過程に律速される場合、生物膜への酸素フラックスは式-(7)となる。⁵⁾

$$F_0 = Q_n \cdot F_{N, \max} = Q_n F_N + Q_c \cdot F_c = Q_c \cdot F_{c, \max} \quad \text{----- (7)}$$

ここで、 F_0 は生物膜への全酸素フラックス(g/m^2 時), Q_n は NH_4-N の生物化学的酸素要求量($9O_2/gNH_4-N$)で4.33とした。 Q_c はDOCの生物化学的酸素要求量($9O_2/gDOC$)で1.7とした。生物膜への全酸素フラックスは、 F_{0a} (空中部での生物膜への酸素フラックス)に F_{0w} (水中部での生物膜への酸素フラックス)を加えねばならないが F_{0w} は F_{0a} に比べ微少であることから式-(7)は式-(8), (9)で表わされる。 $F_{0a} = Q_n \cdot F_N + Q_c \cdot F_c$ ---- (8) $F_{0a} = Q_n \cdot F_{N, \max}$ ---- (9)

図-2, 3の F_N, F_c を用いて式-(8)から F_{0a} を求め、 F_{0a} と水温との関係を図-4, 5に示した。 F_{0a} は気相から付着水膜を通って生物膜へ輸送される酸素フラックスであり、付着水膜厚(L_w)はBintanja等によると、

$$L_w = K (\omega w r / \rho g)^{1/2} \quad \text{----- (10)}$$

ここで、 ω は円板回転速度(rps), ρ は水の密度(g/cm^3), r は円板半径(cm), K は定数である。硝化のみが生ずる小型1, 2槽においては、シミュレーションにより L_w を50 μm と推定した。⁸⁾ 中型の ωr は小型より2.7倍大きいので、式-(10)の K, μ, ρ が一定なら中型の L_w は80 μm と推定される。硝化のみが生じる場合、図-1から明らかなように $F_w = F_a$ である。酸素律速の場合、 F_a の温度依存性(15~30 $^{\circ}C$ の範囲)は渡辺、筆者等の実測データより式-(11)で表わされている。²⁾

$$F_{a, \max, t} / F_{a, \max, 20} = F_{N, \max, t} / F_{N, \max, 20} = 1.04^{20-t} \quad \text{----- (11)}$$

ここで、 $F_{N, \max, t}$ は水温 $t^{\circ}C$ における硝化による最大 NH_4-N フラックスであり、水温20 $^{\circ}C$, 付着水膜厚50 μm では $F_{N, \max, 20} = 3.0 g/m^2 day$ (全円板面積基準)である。式-(11)より水温10~30 $^{\circ}C$ の範囲の $F_{N, \max, t}$ を求め、 $L_w = 50 \mu m, 70 \mu m$ ($F_{N, \max, 20} = 2.4 g/m^2 day$)における最大酸素フラックスを式-(9)により求め、図-4, 5に実線で示した。本実験の有機物酸化・硝化過程において式-(8)より求めた酸素フラックスが図-4, 5中の実線で示す酸素フラックスにはほぼ等しいときは酸素フラックスは最大となる。このとき生物膜への酸素供給が付着生物膜内の生物学的反応を律速していることになる。一方、生物膜へのDOC, NH_4-N の輸送が拡散層内の分子拡散過程に律速されている場合、酸素フラックスは最大酸素フラックスより小さくなると考えられる。

参考文献

- 1) 渡辺義公, 石黒政儀, 西留清: 回転円板法の浄化機構に関する研究(I), 下水道協会誌, Vol.15, No.172, pp.24~34 (1978)
- 2) 渡辺義公, 石黒政儀, 西留清: 回転円板法の浄化機構に関する研究(II), 下水道協会誌, Vol.17, No.195, pp.14~23 (1980)
- 3) 西留清, 森山克美: 回転円板法による有機物酸化・硝化過程の生物膜モデル, 鹿児島工業高等専門学校 研究報告, 第18号 PP. 73~81 (1984)
- 4) 西留清, 森山克美, 藤田浩一, 内村昭利: 回転円板法によるBOD除去・硝化に関する研究, 昭和57年度西部支部研究発表会講演集, pp. 226~227 (1983)
- 5) 渡辺義公, Thanantaseth C.: 回転円板法における有機物酸化および硝化過程の解析, 下水道協会誌, Vol.19, No.221, pp.52~62 (1982)
- 6) Wezernak, C.T. and Cannon, J.J.: Oxygen Nitrogen Relationships in Autotrophic Nitrification, Applied Microbiology, Vol.15, No.5, pp.1211~1215 (1967)
- 7) H. H. J. Bintanja et al.: Oxygen Transfer in a Rotating Disc Treatment Plant, Water Research, Vol.9, pp. 1147~1153 (1975)
- 8) 渡辺義公, 西留清, 石黒政儀: 回転円板法による硝化過程のシミュレーション, 下水道協会誌, Vol.19, No. 233, pp.30~39 (1982)

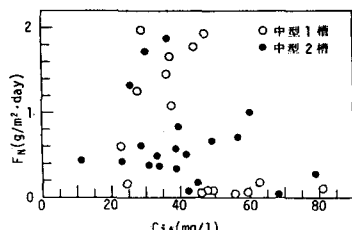


図-3 液本体 NH_4-N 濃度と硝化による NH_4-N フラックス

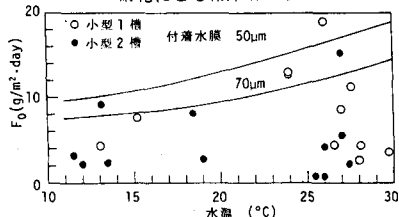


図-4 水温と酸素フラックスの関係(中型円板)

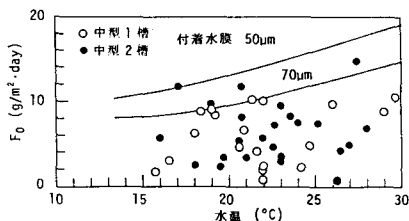


図-5 水温と酸素フラックスの関係(小型円板)