

鹿 児 島 高 専 正 員 ○ 西 留 清 森 山 克 美

宮 崎 大 学 工 学 部 正 員 渡 辺 義 公 石 黒 政 義

1. はじめに 回転円板法の浄化機構の解明にあたっては、これまでは主に人工下水を用いた硝化菌、あるいは脱窒菌の単一生物膜による研究がなされてきた。しかしながら、渡辺等はこれまでの回転円板法に関する一連の研究成果を基礎にして付着生物膜内に好気性他栄養細菌と硝化菌が共存する場合の有機物酸化速度と硝化速度の関係について生物反応が酸素輸送律速の場合におけるモデル式を提案し、人工下水による有機物酸化・硝化過程の解析を行っている。本報では回転円板法による実廃水中の有機物酸化・硝化に関する基礎的実験と渡辺等のモデルを用いて行った有機物酸化・硝化過程の酸素供給量の評価について報告する。

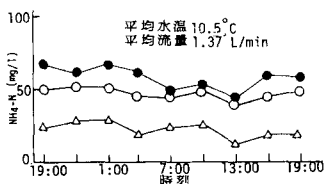
2. 実験装置と実験方法 実験に使用した回転円板装置は鹿児島高専下水処理場に設置された。円板槽は鋼板製で2段直列、円板本体はPVC製、水の流しは軸直角流、円板浸漬率は33%である。実験用原水は前記処理場への流入水を約10³lの貯留槽に汲み上げた下水を用いた。

回転円板装置の諸元は表-1に示す。

表-1 回転円板装置の諸元

	1槽	2槽
円板直径 (cm)	500	500
円板厚 (mm)	3.0	3.0
円板有効面積 (m ²)	22.7	21.6
円板枚数 (枚)	62	59
円板槽容積 (l)	147	130

3. 回転円板法による実廃水の処理特性 図-1は図中に示す条件でのNH₄-Nの通日試験の結果である。流入下水の水質変動が処理水水質に影響を及ぼしていることが認められたため解析には通日試験の平均値を用いた。図-2はTOCとSSの平均値である。流入下水で59 mg/lの溶解性TOC(以下、DOCという)は円板1段で23 mg/l、2段で21 mg/l残存した。付着生物膜からはく離れた大きな生物膜は円板1段に設けたイムホフ槽へ沈殿するのでSSの付着生物膜表面への吸着による除去と付着生物膜のはく離が平衡している

図-1 NH₄-Nの経時変化

と考えられる。図-3はNH₄-Nと酸化態窒素(NO₂-N, NO₃-N)の平均値である。NH₄-Nは円板1段で12 mg/l、2段で25 mg/l除去されるが、NH₄-Nは増殖速度の大きい他栄養細菌の細胞合成にも利用されるため、酸化態窒素は円板1段で7 mg/l、2段で19 mg/l増加した。これらの事実から本実験条件下では円板1段の付着生物膜は他栄養細菌が優占し、2段の付着生物膜は硝化菌が優占していることがわかる。

4. 有機物酸化・硝化過程の酸素供給量 硝化菌のみの単一生物膜内での硝化反応がDO濃度(C₀)に影響され、その反応速度(R_n)がMonod型で近似できると仮定すれば式-1が成立する⁵⁾。

$$R_n = R_m \cdot \frac{C_0}{K_D + C_0} \quad (1)$$

R_m:最大硝化速度(g/g_{hr}) K_D:DOに関する飽和定数(mg/l) 式-1において硝化反応が酸素輸送律速の場合、半水没型回転円板法の電算機による数値計算の結果、K₀がゼロ(0次反応)に比べてK₀が2.0の方が酸素浸入深さは大きい⁶⁾。しかし、図-4に示すように生物膜内への酸素供給量(F₀:気相から生物膜表面への平均酸素Flux (F_{oa})と液本体から生物膜表面への平均酸素Flux (F_{ow})の和)はさほど変わらない。また、酸素供給量は液本体から生物膜表面へのNH₄-N Flux (F_a)に硝化により消費されるNH₄-Nの4.33 (Q_n) 倍を乗じた値(●印:Q_n・F_a)と良く一致している。したがって、硝化反応が酸素輸送律速の場合、生物膜内で硝化により消費された酸素量と等

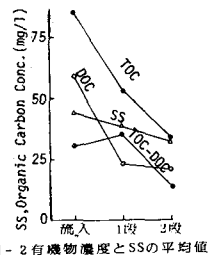


図-2 有機物濃度とSSの平均値

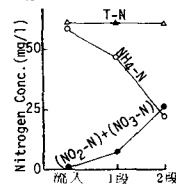
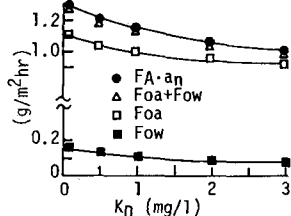


図-3 窒素濃度の平均値

図-4 酸素FluxとK_Dの関係

量の酸素が生物膜内へ移動するので半水没型回転円板法による付着生物膜表面への酸素供給量は式-2となる。

$$F_o = F_{oa} + F_{ow} = a_n \cdot F_{N, \max} \text{ -----(2)}$$

$F_{N, \max}$: 最大 NH_4-N Flux ($g/m^2 \cdot hr$)

他栄養細菌と硝化菌が共存する生物膜の場合、一方もしくは両方の生物反応が酸素輸送律速となるとき生物膜への酸素供給量は生物膜内での硝化に起因する酸素Flux ($a_n F_N$) と生物膜内での有機物酸化に起因する酸素Flux ($a_c F_c$) で決まるので式-3が成立する。

$$F_o = a_n F_N + a_c F_c \text{ -----(3)}$$

5. 渡辺等のモデルによる解析とその応用 式-3

の硝化に起因する NH_4-N Flux (F_N) と有機物酸化に起因する有機物Flux (F_c) の反応槽全体についての定常物質収支式はそれぞれ式-4, 5となる。

$$F_N = (C_{en} - C_{in}) Q / A_w \text{ -----(4)}$$

$$F_c = (C_{ic} - C_{ec}) Q / A_w \text{ -----(5)}$$

C_{in} : 流入酸化態窒素濃度 (g/m^3) C_{en} : 流出酸化態窒素濃度 (g/m^3)

C_{ic} : 流入有機物濃度 (g/m^3) C_{ec} : 流出有機物濃度 (g/m^3)

Q : 流入下水量 (m^3/hr) A_w : 円板浸漬面積 (m^2)

式-3の a_n は化学量論的には硝化が硝酸型の場合には $4.57(a_n')$ 、亜硝酸型の場合には $3.47(a_n')$ である。本実験では平均 $NO_2-N/NO_3-N = C_n = 0.56$ だったので、 $a_n = (a_n' + C_n \cdot a_n') / (1 + C_n) = 4.2$ となる。 a_c は溶解性有機物の指標として $D O C$ 、有機物酸化により消費された酸素量として $B O D$ を用いると、図-5から $a_c = B O D / D O C = 1.7$ となる。したがって、本実験では式-3は式-6となる。

$$F_o = \{4.2(C_{en} - C_{in}) + 1.7(C_{ic} - C_{ec})\} Q / A_w \text{ -----(6)}$$

図-2, 3の実験データから式-6を用いて溶解性有機物の酸化に由来する全円板面積基準酸素Flux ($a_c F_c$) と硝化に由来する全円板面積基準酸素Flux ($a_n F_N$) およびその和を表-2に示す。他栄養細菌と硝化菌が混在する本実験で求めた F_o' (円板1段で $0.32 g/m^2 hr$ 、2段で $0.31 g/m^2 hr$) は筆者等の硝化菌

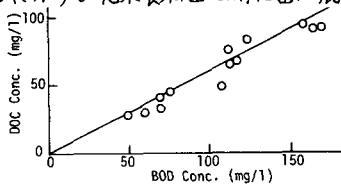


図-5 DOCとBODの関係

表-2 酸素Flux (全円板面積基準)

	C_{en} (g/m^3)	C_{in} (g/m^3)	C_{ic} (g/m^3)	C_{ec} (g/m^3)	$a_n F_N$ ($g/m^2 hr$)	$a_c F_c$ ($g/m^2 hr$)	F_o ($g/m^2 hr$)
1段	7.5	0.5	59	23	0.10	0.22	0.32
2段	26.0	7.5	23	21	0.30	0.01	0.31

の単一生物膜による実測値と数値計算から求めた $a_n F_N', \max$ ($10^\circ C$ 全円板面積基準で $0.32 g/m^2 hr$) にほぼ一致している。したがって、両段とも生物反応が酸素輸送律速であると考えられ、生物反応が酸素輸送律速の場合、生物膜への酸素輸送速度は単一生物膜 (自栄養細菌もしくは他栄養細菌)、あるいは自栄養細菌と他栄養細菌が混在する生物膜でも式-7の渡辺等のモデル⁴⁾が成立すると考えられる。

$$F_o = a_n F_N, \max = a_n F_N + a_c F_c = a_c F_c, \max \text{ -----(7)}$$

$F_c, \max$: 最大有機物Flux ($g/m^2 hr$)

図-6は水温 $10 \sim 20^\circ C$ における $a_c = 1.7$ としたときの $D O C$ に起因する酸素Flux と液本体 $B O D$ 濃度との関係である。硝化反応が酸素輸送律速となる NH_4-N が液本体に含まれる場合、図中に示す斜線 (水温 $10^\circ C$) は硝化に起因する酸素Flux と考えられる。水温 $10^\circ C$ で $D O C$ に起因する液本体 $B O D$ 濃度がおよそ $50 mg/l$ 以上になると好気性生物膜は他栄養細菌により構成され、酸素はほとんど有機物酸化により消費され、それ以下の $D O C$ に起因する液本体 $B O D$ 濃度になると付着生物膜には他栄養細菌と硝化菌が混在し、酸素は有機物酸化と硝化により消費されると考えられる。

b. おわりに 本報では実廃水を半水没型回転円板法で処理した場合、有機物酸化および硝化過程の酸素供給量についての数値計算と実験データの解析を行った。その結果、生物反応が酸素輸送律速の場合、半水没型回転円板法では自栄養細菌もしくは他栄養細菌の単一生物膜あるいは自栄養細菌と他栄養細菌が混在する生物膜でも生物膜内への酸素輸送速度は操作条件が等しければ一定となることが実廃水を用いた実験結果からも証明された。

一参考文献一

- 1) 渡辺, 石黒, 西留: 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, 9 (1978)
- 2) 渡辺, 石黒, 西留: 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, 8 (1980)
- 3) 渡辺, 石黒, 西留: 回転円板装置槽の動力学的解析, 土木学会論文集, 第276号, PP. 25-33, 8 (1978)
- 4) 渡辺, C. Thanantaseth: 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
- 5) 森山, 栗谷, 楠田: $B O D$ 除去-硝化混合プロセスに関する基礎的研究, 第18回衛研論文集, PP. 22-27, 1 (1980)
- 6) 西留, 島田, 東: 回転円板法の浄化機構に関する研究, 昭和57年度土木学会西部支部講演集, PP. 220-221, 2 (1983)

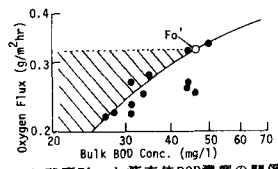


図-6 酸素Fluxと液本体BOD濃度の関係