

回転円板付着生物膜内で消費される酸素量に関する研究

鹿児島高専 ○学 吉永和成 正 西留 清
宮崎大学 正 渡辺義公
九州大学 正 楠田哲也

1. はじめに 半水没型回転円板槽に流入した、あるいは槽内で溶解した溶解性基質(有機物、 $\text{NH}_4\text{-N}$)は付着生物膜内で酸化され、酸化基質量に相当する酸素量が生物膜内で消費される。生物膜内で消費される酸素消費量は、基質輸送律速では、主に液本体と生物膜表面に存在する拡散層厚、液本体基質濃度により決まる^{1,2)}。したがって、回転円板法の設計および運転を行うには基質除去量より酸素消費量に着目した方が合理的である。そこで、本文では回転円板付着生物膜に消費される酸素量を明らかにし、定常運転における基質除去量を酸素消費量に換算して表し、回転円板法による有機物酸化・硝化の合理的運転法に検討を加える。

2. 回転円板付着生物膜に消費される酸素量²⁾ 回転円板付着生物膜単位面積当りに輸送される酸素量は、気相および液相酸素Fluxで表される。

$$F_{t0} = F_{0a} + F_0 \quad (1) \quad F_{0a} = (C_{0*} - C_{0a})D_{w0}/L_w \quad (2) \quad F_{0w} = (C_{0o} - C_{so})D_{w0}/L_d \quad (3)$$

ここに、 F_{t0} :生物膜への酸素Flux($\text{gO}_2/\text{m}^2/\text{h}$)、 F_{0a} :空中を回転する生物膜への酸素Flux($\text{gO}_2/\text{m}^2/\text{h}$)、 F_{0w} :水中を回転する生物膜への酸素Flux($\text{gO}_2/\text{m}^2/\text{h}$)、 C_{0*} :付着水膜表面の飽和 DO 濃度(g/m^3)、 C_{0a} :空中を回転する生物膜表面 DO 濃度(g/m^3)、 D_{w0} :水中の O_2 の分子拡散係数(m^2/h)、 L_w :付着水膜厚(m)、 C_{0o} :液本体 DO 濃度(g/m^3)、 C_{so} :水中を回転する生物膜表面 DO 濃度(g/m^3)、 L_d :拡散層厚(m)

液本体律速基質濃度が定常の場合、拡散層を通過する基質Fluxに相当する酸素Fluxと生物膜表面を通過する酸素Fluxは等しくそれぞれ式-4, 5により与えられる。

$$F_{00} = F_0 R/R_0 = a(C_b - C_s)D_w/L_d \quad (4) \quad F_{so} = \sqrt{2DrC_sR/a} \quad (5)$$

ここに、 F_{00} :拡散層を通過する基質Fluxに相当する酸素Flux($\text{gO}_2/\text{m}^2/\text{h}$)、 F_0 :拡散層を通過する基質Flux($\text{gO}_2/\text{m}^2/\text{h}$)、 R :生物膜内基質酸化速度($\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$)、 R_0 :生物膜内酸素消費速度($\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$)、 a :基質酸化酸素消費速度比(gO_2/g 基質)、 C_b :基質律速領域における液本体基質濃度(g/m^3)、 C_s :基質律速領域における生物膜表面基質濃度(g/m^3)、 D_w :水中の基質分子拡散係数(m^2/h)、 F_{so} :生物膜表面を通過する酸素Flux($\text{gO}_2/\text{m}^2/\text{h}$)、 D_r :生物膜内の基質分子拡散係数(m^2/h)

液本体律速基質濃度が定常の場合、式-1, 4, 5で表される酸素量は等しい。したがって、酸素消費量の増大すなわち基質除去量を高めるためには、酸素律速領域においては、式-1から明らかなように主に付着水膜表面の飽和 DO 濃度(C_{0*})を高めるか、あるいは付着水膜厚(L_w)を小さくする必要があり、基質律速領域においては、式-4より明らかなように主に拡散層厚(L_d)を小さくする必要がある。

3. 回転円板法による有機物酸化・硝化における酸素消費量 定常運転における完全混合型回転円板法による有機物酸化・硝化の付着生物膜単位面積当りの酸素消費量は式-6により与えられる。

$$F_0 = F_{0c} + F_{0n} \quad (6) \quad F_{0c} = F_0 R_c/R_{0c} = F_0 a_c = a_c(C_{ic} - C_{ec})Q/A \quad (7) \quad F_{0n} = F_0 R_n/R_{0n} = F_0 a_n = a_n(C_{in} - C_{en})Q/A \quad (8)$$

ここに、 F_0 :定常運転における完全混合型回転円板法による有機物酸化・硝化の付着生物膜単位面積当りの酸素消費量($\text{gO}_2/\text{m}^2/\text{h}$)、 F_{0c} :有機物酸化による酸素消費量($\text{gO}_2/\text{m}^2/\text{h}$)、 F_{0n} :硝化による酸素消費量($\text{gO}_2/\text{m}^2/\text{h}$)、 F_0 :有機物酸化量(g 有機物/ m^2/h)、 R_{0c} :有機物酸化による生物膜内酸素消費速度($\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$)、 R_c :生物膜内有機物酸化速度($\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$)、 a_c :有機物酸化酸素消費速度比(gO_2/g 有機物)、 C_{ic} :回転円板槽流入有機物濃度(g/m^3)、 C_{ec} :回転円板槽流出有機物濃度(g/m^3)、 Q :回転円板槽流入汚水量(m^3/h)、 A :付着生物膜面積(m^2)、 F_n : $\text{NH}_4\text{-N}$ 酸化量($\text{gNH}_4\text{-N}/\text{m}^2/\text{h}$)、 R_{0n} : $\text{NH}_4\text{-N}$ 酸化による生物膜内酸素消費速度($\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$)、 R_n :生物膜内 $\text{NH}_4\text{-N}$ 酸化速度($\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$)、 a_n : $\text{NH}_4\text{-N}$ 酸化酸素消費速度比($\text{gO}_2/\text{gNH}_4\text{-N}$)、 C_{in} :回転円板槽流入 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度(g/m^3)、 C_{en} :回転円板槽流出 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度(g/m^3)

表-1はWeng等³⁾の回転円板定常運転条件である。表-1, 式-6~8を用いて回転円板付着生物膜面積当りの酸素消費量を図-1に表した。ただし有機物(BOD)の酸素消費速度比(a_c)は0.5、 $\text{NH}_4\text{-N}$ Hydraulic loading rate($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$)

表-1 定常運転条件³⁾

Parameter	Inf.	1	2	3	4	5	6
temperature($^{\circ}\text{C}$)	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6
BOD conc. (mg/l)	98	68	36	14	10	6	2
$\text{NH}_4\text{-N}$ conc. (mg/l)	8	12.8	12.5	12.2	10.0	6.9	3.1
$\text{NO}_2\text{-N}$ conc. (mg/l)	0	0	0	0.6	3.0	5.5	8.9
$\text{NO}_3\text{-N}$ conc. (mg/l)	0	0	0	0.1	0.2	0.4	0.6
Hydraulic loading rate($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$)							1.10

-NからNO₂-Nへの酸素消費速度比は3.2, NO₂-NからNO₃-Nへの酸素消費速度比は1.0とした。前段(1~3)で主にBOD成分が除去され、後段(4~6)で硝化が起きている。酸素消費量はいずれも10(gO₂/m²/d)以上であり、ほぼ酸素律速領域で運転されていると考えられる。表-2はPano等⁴⁾の回転円板定常運転条件である。図-2は表-2と式-6~8($a_c=0.5, a_n=4.2$)を用いて計算した各段の酸素消費量である。全酸素消費量(各段酸素消費量と)が高い程合理的運転が行われていると言えるが、流入基質(NH₄-N, COD)濃度が低く、初段基質濃度も低くなったためUnit Aでは基質律速のために各段全酸素消費量とも低い。この様な場合、流量負荷を高めて、初段基質濃度を高める必要がある。また、Unit Bの様に基質濃度が低下すると、基質拡散律速となり、酸素消費量は後段ほど低くなる(図-3)。しかし、図-4に示すようにUnit Dは流入基質濃度が高く、各段基質濃度も高いが、各段および全酸素消費量とも低い。このことは、基質律速および酸素律速とも言えず、式-5に示す生物膜内基質酸化速度が低い

めと考えられる。この様な場合、付着生物膜が最適状態になるよう流量負荷等を調整する必要がある。

4. おわりに 本文では半水没型回転円板付着生物膜内で酸化された基質量に相当する酸素量が生物膜内で消費されることに着目し、回転円板法による有機物酸化・硝化の合理的運転法に若干の検討を加えた。その結果以下の結論を得た。(1)酸素律速領域で運転されている半水没型回転円板の酸素消費量は水温約20℃で約10(gO₂/m²/d)である。(2)流入基質(NH₄-N, COD)濃度が低く、初段基質濃度も低い基質律速領域で運転されている場合、流量負荷を高めて、初段基質濃度を高める必要がある。(3)液本体基質濃度は高く、酸素消費量が低い基質律速あるいは酸素律速でもない場合、生物膜内基質酸化速度が最適状態になるよう流量負荷等を調整する必要がある。

参考文献

- 1) 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. 223, pp. 30-39, 1982(12)
- 2) 渡辺義公, 西留清: 物質移動モデルに基づく回転円板法の合理的設計法, 下水道協会誌投稿中
- 3) C. Weng and A. H. Molf: Nitrification in the Biological Fixed-film Rotating Disk System, WPCF, Vol. 46, No. 7, July, 1974, pp. 1674-1685
- 4) Abraham Pano, E. Joe, Middlebrooks: Kinetics of carbon and ammonia nitrogen removal in RBCs, WPCF, Vol. 55, No. 7, July, 1983, pp. 956-965

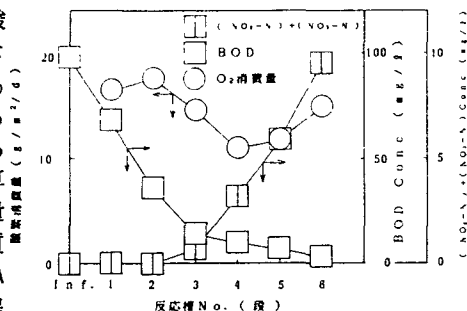


図-1 各段酸素消費量³⁾

表-2 定常運転条件⁴⁾

Parameter	Unit A	Unit B	Unit C	Unit D
temperature(°C)	15	15	15	15
Influent NH ₄ -N conc.(mg/l)	7.7	14.8	22.3	29.8
Influent COD conc.(mg/l)	79.3	144.5	192.6	265.2
Hydraulic loading rate(m/d)	0.20	0.208	0.204	0.212

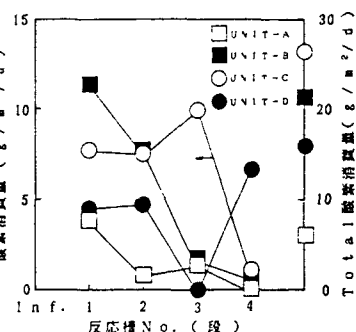


図-2 各段および全酸素消費量⁴⁾

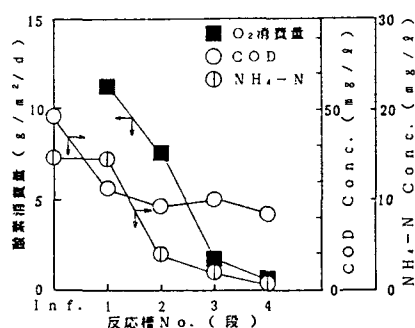


図-3 各段基質濃度および酸素消費量(Unit B)

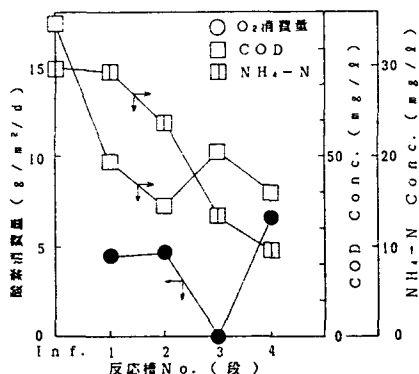


図-4 各段基質濃度および酸素消費量(Unit D)