

回転円板への物質移動の促進

宮崎大学工学部 学○上水流宏美 学 田代 雄児 学 岡部 聡
宮崎大学工学部 正 渡辺 義公 正 石黒 政儀

1. はじめに

回転円板法による汚水処理において、その処理効率は液本体から付着生物膜への物質移動に大きく依存する。既往の固定生物膜動力学モデルでは、拡散層内及び生物膜内部での基質の輸送機構は、基質の分子拡散のみを考慮している。しかし、濃度勾配のみによる物質移動は、液本体基質濃度が低濃度領域になるとこの値は非常に小さくなる。そこで、分子拡散よりも数段大きな物質移動量を与える移流の効果を輸送機構に組み込みこめば、物質移動を促進させることができる。本論文では、移流項を組み入れた拡散方程式を解き、移流項の効果を検討した結果及び、昨年度行った、外部渦による物質移動の促進効果についてのデータより、生物膜内の硝化反応速度を求め、既往の連続流実験データとの比較検討を行う。

2. 外部渦による物質移動の促進効果の検討

液本体から付着生物膜への物質移動が、移流を伴わずに分子拡散のみに依存する場合、拡散層厚は、物質移動に対して重要な決定要因となる。著者らは、昨年の研究において、回転円板表面上に人工的に突起を取り付けることにより、拡散層厚を軽減することが可能であるという結果を得た。図-1には、求められた拡散層厚と突起枚数及び、回転速度の関係を示している。次に図-2に示す昨年度得られた回分硝化実験によるアンモニア性窒素の経時変化より、律速基質の生物膜内反応速度 R ($\text{g}/\text{m}^3\text{h}$) を求める。定常状態における生物膜への律速基質 Flux は式-(1)で表される。

$$F_b^* = \sqrt{2 \alpha D_w R C_s^*} \quad (\because \alpha = D_f/D_w) \quad \text{--- (1)}$$

$$C_s^* = C_b^* - F_b^* \cdot L_d / D_w \quad \text{--- (2)}$$

ここで、 F_b^* : 完全基質浸透状態における最大律速基質 Flux ($\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)、 C_b^* 、 C_s^* : 不完全基質浸透状態から完全基質浸透状態への遷移点における液本体及び生物膜表面の律速基質濃度 (mg/l)、 D_w 、 D_f : 水中及び生物膜内部での律速基質の分子拡散係数 (m^2/h)、 L_d : 拡散層厚 (m)。図-2において、見かけの律速基質除去速度が0次反応に従うと仮定しうる直線部の勾配より、 C_b^* 、 F_b^* を求める。 D_w 、 L_d が既知であるならば、式-(1)、(2) より R は、式-(3) で求まる。

$$R = F_b^{*2} / 2 D_w C_s^* \quad \text{--- (3)}$$

表-(1) には、各条件において求められた L_d 、 C_b^* 、 F_b^* 、 R を示している。図-3は、求められた R の値と水温の関係を示したものである。図-1より L_d を決定し、回分実験から推定された R (図-3) から計算された円板回転速度 7.5rpm の場合のアンモニア性窒素 Flux F_b^* と既往の連続実験からの実験値の温度依存性を図-4に示している。両図より明らかなように、計算値と

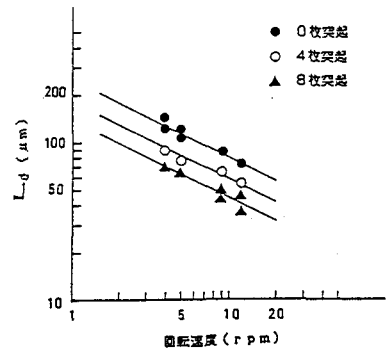


図-1 拡散層厚と円板回転速度及び浸せき率の関係

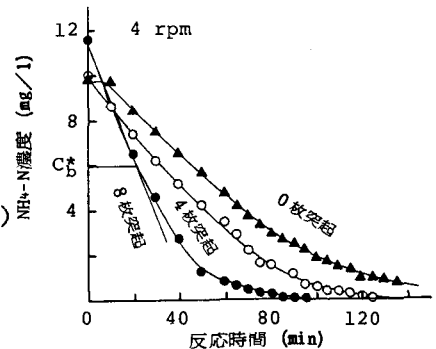


図-2 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の経時変化

表-1 求められた C_b^* 、 L_d 、 F_b^* 、 R

ω (rpm)	実験温度 $M.T$ ($^{\circ}\text{C}$)	L_d (μm)	C_b^* (mg/l)	F_b^* ($\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)	R ($\text{g}/\text{m}^3\text{h}$)
4	8	25	70	6.0	0.40
	4	15	90	4.5	0.20
	0	20	120	3.5	0.16
5	8	26	60	5.5	0.41
	4	22	70	5.5	0.32
	0	21	110	5.0	0.23
9	8	25	45	6.0	0.45
	4	23	60	4.0	0.30
	0	27	90	3.0	0.32

実験値はよく一致している。このことより、昨年度の回分実験より求めた L_d の値は十分信頼できるものであり、同時に L_d の測定法についても妥当であるといえる。

3. 移流による物質移動の促進効果

液本体から付着生物膜への物質移動が分子拡散のみでなく、移流を伴う場合、例えば、透水性の多孔体内に微生物が固定されているような反応器の場合、多孔体内部を通過する流れを生じさせることにより、分子拡散に移流を加味した多孔体内部の律速基質に関する定常拡散方程式が成立する。

$$v \frac{\partial C}{\partial x} = D_f \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - R \quad \text{--- (4)}$$

$$F = - D_f \left[\frac{\partial C}{\partial x} \right]_{x=0} + v C \quad \text{--- (5)}$$

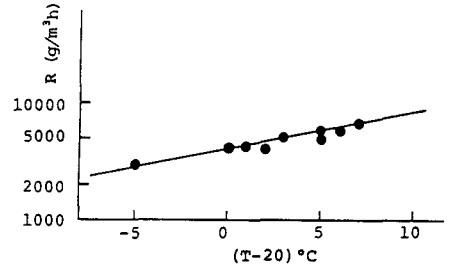
ここで、 x ：多孔体表面からの距離(m)， v ：移流速度(m/h)
 C ：多孔体内部の律速基質濃度(mg/l)。境界条件 $x=0$ で
 $C=C_s, X=L$ で $C=0, \partial C / \partial x = 0$ を用いて式(4)を解くと、

$$C = C_s - \frac{D_f}{v^2} R e^{-\frac{v}{D_f} L_a} + \frac{D_f}{v^2} R e^{\frac{v}{D_f} L_a (x-L_a)} - \frac{R}{v} x \quad \text{--- (6)}$$

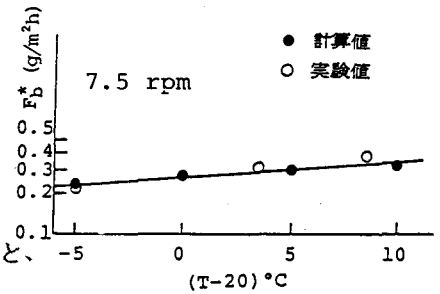
L_a ：多孔体内部の深さ方向の律速基質の浸入深さ(m)。図一5は、式(5)、(6)より計算した律速基質 Flux と v の関係を示したものである。図一6は、多孔体表面基質濃度と律速基質 Flux の関係を示したものである。両図より明らかなように、多孔体内に極めてわずかな流速が存在すれば、律速基質 Flux は飛躍的に大きくなる。

4. おわりに

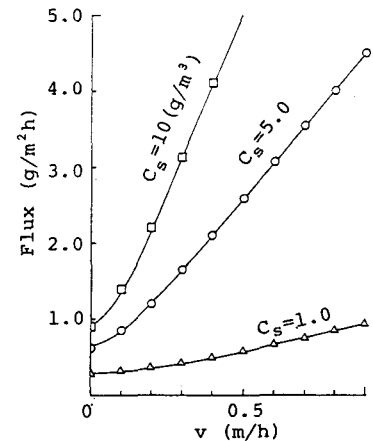
昨年得られた回分硝化実験データと既往の連続実験データとの比較により、 L_d の値及び算出理論の信頼性・妥当性が確認された。また、移流を考慮に入れたモデルを提示し、移流の効果について検討した。この結果より、極くわずかな移流速度であっても、律速基質 Flux は、飛躍的に増大することが確認された。今後、モデルに準じた実験装置を作製し理論値との比較検討を行う予定である。なお現在、一般細菌を付着させた回転円板において、外部渦による物質移動の促進効果について実験中である。本研究の一部は文部省科研費（一般研究B，課題番号60480028，代表 石黒政儀）の助成により遂行された。
 参考文献1) 渡辺、岡部、田代：微細突起による回転円板への物質移動の促進：昭和60年度土木学会西部支部講演集。2) 渡辺、岡部、田代：回転円板法(RBC)における物質移動：土木学会第41回年次講演集pp807-pp808.3) Mathematical Models in Biological Waste Water Treatment. "Mathematical Modeling of Nitrification and Denitrification in Rotating Biological Contactors." ELSEVIER, pp419-pp471.



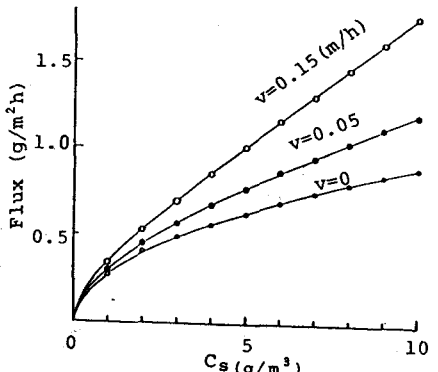
図一3 R の温度依存性



図一4 F_b^* の温度依存性



図一5 移流速度とFluxの関係



図一6 多孔体表面基質濃度と Flux の関係