

宮崎大学工学部 正員 石黒政儀

宮崎大学工学部 正員 森田義公

国立鹿児島高専 正員 ○西留 清

1. はじめに 固定生物膜による汚水処理では生物膜へのあるいは生物膜内での基質の拡散過程が重要であり、活性汚泥法とはかなり異質の理論展開が必要である。すなわち、固定生物膜による汚水処理過程は不均一反応として取扱わねばならない。本文では固定生物膜内の好気性生物反応に関する基礎式を提示し、その基礎式が回転円板法による硝化機構を十分に説明できる事を実験により証明する。

2. 固定生物膜理論 生物膜による基質除去過程は二相以上が関与する不均一反応であり、着目基質の除去速度は次の3つの過程により決定される。(1)液本体から生物膜表面への基質の輸送過程。(2)生物膜内の基質の拡散過程。(3)生物膜内での生物化学的反応による基質除去過程。そこで、システムを液本体、生物膜および液本体と生物膜の間の拡散層の3つに分割する(図-1参照)。先に報告した生物膜内基質濃度分布に関し、定常状態では拡散層内の基質濃度分布は直線となり、単位生物膜表面積当りの基質除去速度(V_r)は生物膜表面におけるFluxに等しくなるので式-1と得る。^{1), 2)}

$$V_r = -\left(\frac{1}{K_d} + \frac{1}{K_r}\right)^{-1} C_b = -K^* C_b \quad \text{----- (1)}$$

生物膜内の一部のみが好気性の場合の生物膜内基質濃度分布について K_d と K_r の大小関係から式-(2)、(3)を得る。

(1) $K_d \ll K_r$ の場合 (拡散層内の拡散律速、 $C_b/C_s \cong 0$)

$$V_r \cong -K_d C_b = -D_d \delta \cdot C_b : C_b \text{ に関する1次反応} \quad \text{---- (2)}$$

(2) $K_d \gg K_r$ の場合 (溶存酸素不足による生物膜内の反応律速、 $C_s/C_b \cong 1$)

$$V_r \cong -K_d C_b = -(R_d L_a / C_s) C_b = -R_d L_a : 0 \text{ 次反応} \quad \text{---- (3)}$$

式-(2)は液本体の平衡基質濃度 C_b が低い場合に成立し、式-(3)は C_b が高い場合に成立する。式-(1)を定常状態における完全混合反応槽の物質収支式に代入し、整理すると式-(4)を得る。

$$C_b/C_e = 1 + K^* (A_w/Q) \quad \text{----- (4)}$$

式-(4)は固定生物膜を利用した完全混合反応槽の基質除去率は槽容量とは直接的には関係せず、 K^* と A_w/Q のみにより決まる事を意味する。完全混合槽では $C_b = C_e$ であり、 K_d と R_d が一定の場合には K^* は C_e のみの関数となる。式-(2)、(3)の関係を考慮すると生物膜内の一部のみが好気性の場合の K^* と C_b の関係は図-2のように定量化される。

3. 実験による固定生物膜理論の検証 本節では前節で展開した固定生物膜による基質除去過程の動力学モデルを完全混合型回

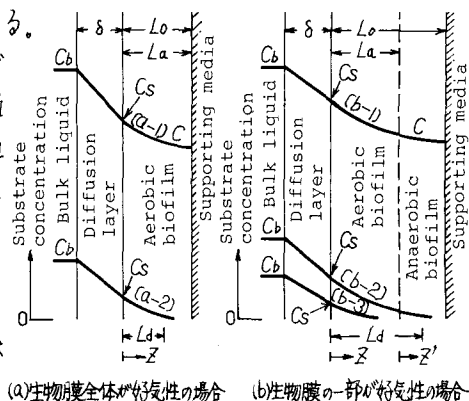
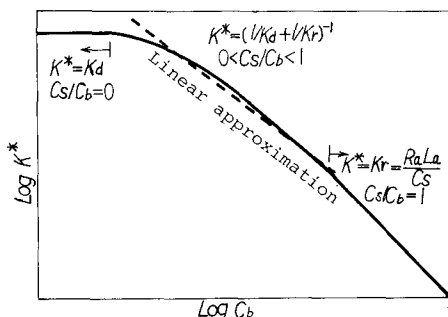
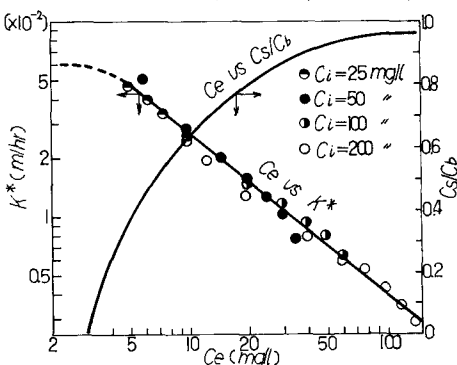


図-1 生物膜モデル

図-2 C_b と K^* の関係(b-1, b-2分布)

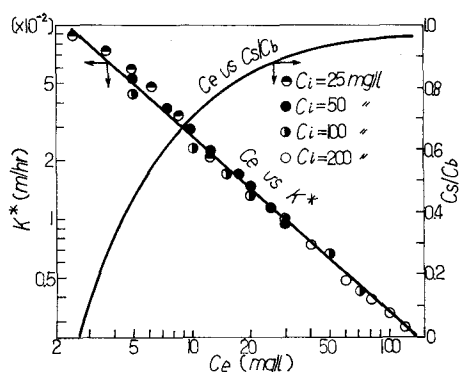
$A_w/A_0 = 0.5$, $Re_v = 3.0$ rpm, $T = 28.5^\circ\text{C}$
図-3 C_e と K^* の関係(Run I)

転円板硝化槽の実験による検証を行う。実験装置の諸元や実験方法については別文を参照されたい。^{1),2)} Run I、II、IIIにおける C_e と K^* 、 C_e と C_s/C_b の関係が図-3、4、5である。これらの図から円板回転速度と水温が等しければ K^* は C_e のみにより決まる事が分かる。 C_s/C_b が1に近い程硝化速度は生物膜内の硝化反応過程に律速され、 C_s/C_b が0に近い程硝化速度は拡散層内の拡散過程に律速される。図-2と図-3、4、5より考察すると K^* は C_e のみの関数であり、拡散層内の拡散律速領域と生物膜内の拡散・硝化反応律速領域ではそれぞれ K_d と K_r に等しいが、その中間領域では近似的に $K^* = \alpha(C_e)^{-\beta}$ のような指数関数により表現可能である。 K_d は D_a が物理定数であり、もし拡散層厚(δ)を求める事ができれば定量可能である。先に報告した2方法により行った K_d の評価よりRun I、II、IIIの δ はそれぞれ約130 μm 、70 μm 、77 μm となる。^{1),2)} K_d の値が分かると K_r の値を計算でき、その計算結果を両対数紙上にプロットすると図-6のようになり、 C_s と K_r の間にはいずれの場合も勾配が約-1の直線関係が成立する。Run I、IIIでは水温が等しいので R_d は同一値となり、回転速度とは無関係にデータはほぼ同一直線上に並んでいる。Run IIでは水温の低い分だけ同一の C_s における K_r が小さくなっている。生物膜内の基質濃度分布は生物膜内の一部のみが好気性と推定されるので、 R_d/L_a が一定ならば $K_r \propto C_s^{-1}$ となり、図-6によっても本理論の妥当性が証明される。酸素浸入深さ $L_a = (2DeaC_{sa})/R_d/R_a K_r C_s$ より本実験条件における L_a は150 μm 以下と推定され、生物膜厚 L_b が1000~2000 μm である事から、生物膜内の基質濃度分布は生物膜の一部のみが好気性であったと考えられる。従って、気相に純酸素を用いて L_a を大きくすると C_e が高い場合の硝化反応速度を上げる事ができる。

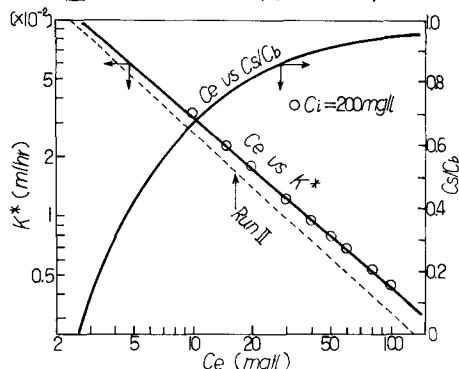
4. おわりに 本研究では固定生物膜による基質除去過程を不均一反応として取扱い、生物膜への基質輸送過程と生物膜内の拡散・反応過程を明確に分離した定常動力学モデルを提示し、その動力学モデルが好気性回転円板法による硝化過程にも十分適用可能であることを証明した。その2つの過程を定量化する係数とその中に含まれる諸定数の詳細については今後の研究課題としたい。

記号表 A_w : 円板浸漬面積 (m^2)、 C_b : 液本体の定常基質濃度 (mg/l)、 C_e : 流出水の基質濃度 (mg/l)、 C_s : 生物膜表面の定常基質濃度 (mg/l)、 C_{sa} : 生物膜表面の定常溶解酸素濃度 (mg/l)、 D_a : 水中での基質の分子拡散係数 (m^2/hr)、 Dea : 生物膜内での酸素の分子拡散係数 (m^2/hr)、 K_d : 拡散項 (m/hr)、 K_r : 反応項 (m/hr)、 K^* : 総括反応速度係数 (m/hr)、 L_a : 酸素浸入深さ (m)、 Q : 流入水量 (m^3/hr)、 R_a : 生物膜内での酸素消費速度 ($\text{g/m}^2\cdot\text{hr}$)、 R_d : 生物膜内好気部での基質除去速度 ($\text{g/m}^2\cdot\text{hr}$)、 V_r : 単位生物膜表面積当りの定常基質除去速度 ($\text{g/m}^2\cdot\text{hr}$)、 d : 定数 (m/hr)、 β : 定数(-)、 δ : 拡散層厚 (m)

参考文献 1) 渡辺義公、石黒政義、西留清; 回転円板硝化槽の動力学の解析、第14回衛生工学研究討論会論文集、pp.15~20、1(1978)、2) 渡辺義公、石黒政義、西留清; 回転円板法の浄化機構に関する研究(II)、下水道協会誌投稿中



$A_w/A_b = 0.5$ $Rev = 7.5 \text{ rpm}$ $T = 23.5^\circ\text{C}$
 図-4 C_e と K^* の関係 (Run II)



$A_w/A_b = 0.5$ $Rev = 7.5 \text{ rpm}$ $T = 28.5^\circ\text{C}$
 図-5 C_e と K^* の関係 (Run III)

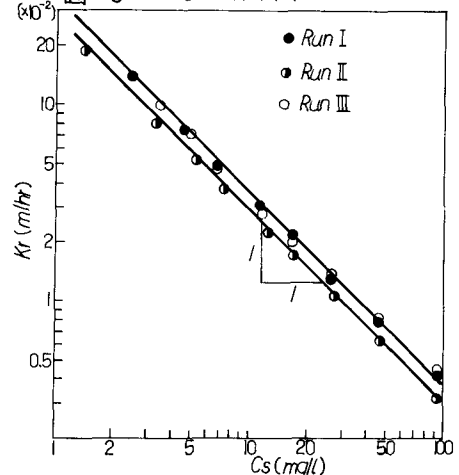


図-6 C_s と K_r の関係