

生物膜内における物質移動

広島大学工学部 学生員 ○ 橋 本 邦 彦
 斐 川 町 正 員 池 田 一 弘
 広島大学工学部 正 員 寺 西 靖 治

1. はじめに 生物処理における浄化速度は、一般に反応物質の輸送と生物反応速度によって左右されるが、生物膜法においては生物塊の大きさが分散生物フロックに比較して大きくなることから、膜内の物質移動過程が浄化能を支配する主要因の一つとなっていることが考えられる。本研究は、生物膜表面近傍の固液界面および生物膜をモデル化し、2槽式の実験装置を用いて拡散実験を行い、拡散層厚と膜内の拡散係数を求めたものである。そして攪拌速度が、拡散層厚と物質移動係数に及ぼす影響について検討を行ったものである。

2. 生物膜の作成 本実験で用いた生物膜は、デキストリン、ペプトン等を主体にしたBOD 50mg/lの合成下水を基質とし、接触時間が10時間(2時間×5槽)の接触エアレーション法で約4か月間培養したものである。拡散実験用のサンプルは、ゴム板に付着した生物膜をはぎとり、0.1%HgCl₂を1ml/g・SS添加した後、メンブランフィルターでろ過し作成した。作成した生物膜が不活性であることは、酸素消費がないことを調べることで確認した。

なお、生物膜は検鏡試験の結果、原生動物ではMicrothorax、Tetrahymena、Podophrya等の繊毛虫類が優先種となっており、膜の化学組成は C:N:P≒20:5:1で、膜量は13.3g/m²、平均膜厚は1900μmであった。

3. 実験装置と方法 拡散実験に用いた装置は図-1に示すように、直径200mmの亚克力製水槽(容量3.10ℓ)2基を連結し、その隔壁に直径36mmの穴をあけ、付着用材(メンブランフィルター、孔径0.45μm)で生物膜を固定したサンプルを設置したものである。溶液はマグネチックスターラーとトライアングル型の攪拌子を用いて攪拌し、攪拌速度はスターラーの回転計で読み取り調節した。膜厚はろ過後のサンプルについて図-2に示すとおり、顕微鏡の焦点を合わせダイヤルゲージを用いて測定した。拡散物質の初期濃度は表-1に示すとおりで、内部溶液は蒸留水を用いた。また実験は恒温室で行い、実験中の水温は20±2℃であった。なおグルコースはTOC(住友化学工業製モデルGCT-12)として分析した。

4. 拡散係数の算出方法 生物膜内の膜構造等は均一である、膜内の拡散はFickの第1法則に基づく、フィルターおよび膜内にsinkとsourceがなく各々の内部の拡散物質が無視できる、拡散層は液本体の乱流条件に基づくし、層と固相表面の特性に基づ

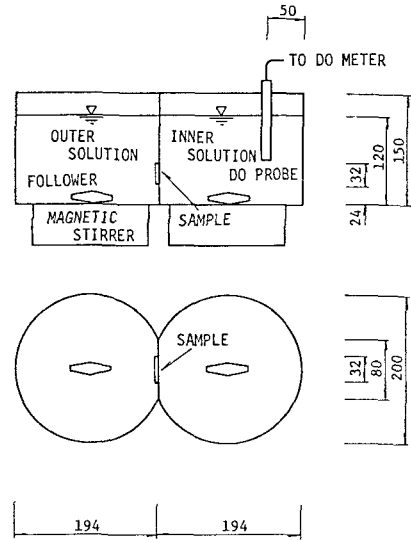


図-1 実験装置

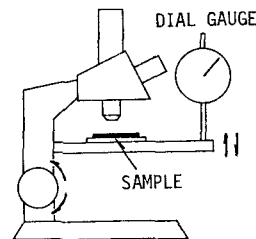


図-2 膜厚の測定方法

表-1 拡散物質の初期濃度

Species	Concentration in the bulk water (mg/l)	Chemicals
O ₂	Outer sol. ca. 40 Inner sol. ca. 0	aeration of O ₂ gases de-aerated by aeration of N ₂ gases
NO ₂ ⁻ - N	100	NaNO ₂
NO ₃ ⁻ - N	100	NaNO ₃
NH ₄ ⁺ - N	100	(NH ₄) ₂ SO ₄
PO ₄ ³⁻ - P	50	K ₂ HPO ₄
C ₆ H ₁₂ O ₆	1000	D-Glucose (anhydrous)

＜ L_2 層よりなる、拡散層における拡散係数は水中の拡散係数 D_w に等しい、と仮定すれば、図-3を参考にして次式が導かれる。

$$M_f = 1 / (2L_3/D_w + L_f/D_f) \quad (1)$$

$$M_b = 1 / \{ (2L_1 + L_2)/D_w + L_b/D_b + L_f/D_f \} \quad (2)$$

ここで、 M_f, M_b ; フィルターおよび生物膜の物質移動係数(cm/sec), D_f, D_b ; 拡散係数(cm^2/sec), L_f, L_b ; 膜厚(cm), $L_1 = L_3$ ($\therefore$ 外部および内部の搅拌条件は同じ)、である。

実験中の内部溶液の濃度変化は次式のようになる。

$$C_{if}(t) = C_i(0) + C_m - C_m \exp\{-2(M_f/V) \cdot A \cdot t\} \quad (3)$$

$$C_{ib}(t) = C_i(0) + C_m - C_m \exp\{-2(M_b/V) \cdot A \cdot t\} \quad (4)$$

ここで、 C_{if}, C_{ib} ; (フィルター)および(フィルター+生物膜)の実験中の内部溶液の濃度(mg/l), $C_m = \{C_o(0) - C_i(0)\}/2$, A ; フィルターおよび生物膜の拡散面積(cm^2), V ; 外部および内部溶液の量(cm^3), t ; 経過時間(sec), である。

5. 実験結果と考察 内部溶液の濃度測定結果を式-(3), (4)に従ってプロットすれば、フィルターの物質移動係数 M_f が求まる。この M_f と搅拌速度 λ の関係を NH_4^+-N について示したのが図-4である。 M_f は λ の増加とともに大きくなるが、 $\lambda > 300 \mu\text{m}$ ではほぼ一定値に近づいた。この関係と式-(1)を用いて、フィルター側の拡散層厚 L_3 を計算した結果も図中に示した。 λ の増加に伴い L_3 が急激に減少することが分かる。

M_f と同様にして、生物膜+フィルターの物質移動係数 M_b も求まる。 $1/M_b$ と膜厚 L_b の関係をプロットすれば図-5のようになる。式-(1), (2)より L_1 と L_3 ($L_1 = L_3$)を消去すれば、 $1/M_b = L_2/D_w + L_b/D_b + 1/M_f$ となるので、図-5の切片から、生物膜表面の粗さと弾力性に由来する L_2 層の厚さは $37 \mu\text{m}$ と求めることができた。

図-5の直線の傾きから膜内の拡散係数 D_b は求まる。このようにして求めた各拡散物質の D_b を表-2にまとめて示す。これらを見れば、本実験で求めた拡散係数は、 20°C における水中の分子拡散係数とほぼ等しいかやや小さい程度であることが分かる。また、生物膜内の拡散係数は分子量が大きくなると減少する傾向が推察される。

なお、拡散実験中の膜厚は、図-2に示した方法での測定値と異なることや、搅拌による微小な圧力変化が拡散係数に影響を及ぼすことが考えられるなど、さらに検討を行う必要がある。

《参考文献》

- (1) Williamson, K.J., and McCarty, P.L., "Verification studies of the biofilm model for bacterial substrate utilization" Journal WPCF Vol.48, No.2, 1976
- (2) 化学便覧, 丸善, 日本化学会編, 1958 ほか

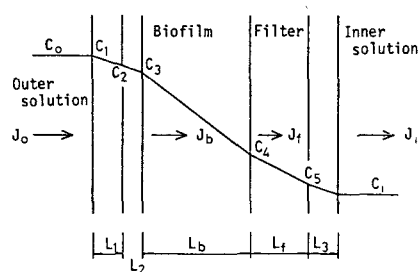


図-3 生物膜+フィルターの断面図

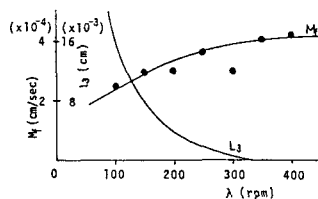


図-4 M_f および L_3 と搅拌速度 λ の関係 (NH_4^+-N)

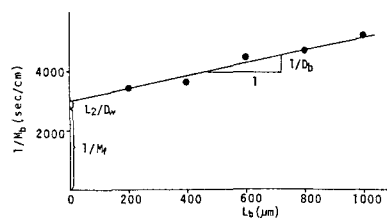


図-5 M_b と L_b の関係 (NH_4^+-N)

表-2 拡散係数の一覧表

Reactant	Diffusivity of Biofilm D_b ($10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$)	D_b/D_w (%)
O_2	2.1	100
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	1.6	100
$\text{NO}_2^- - \text{N}$	1.6	100
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	1.8	110
$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$	0.87	90
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	0.50	80