

長岡技術科学大学 学 〇行方 寛

正 桃井 清至

正 原田 秀樹

1. はじめに 担体に付着成長する生物膜を利用した流動層型反応器は現在経済性にすぐれた廃水処理装置として注目されている。しかし、その挙動は浮遊増殖型反応器に比べ複雑であり設計、操作因子の詳細については未だ不明確な点が多い。そこで本研究は流動層型反応器を脱窒プロセスに適用し、反応器の設計、操作因子を記述する力学モデルを考える上で不可欠な生物膜厚の影響について実験的に検討したものである。

2. 実験条件および方法 圧損失 ΔP 、空隙率 ε 、流速 u の実験データは図-1に示す塔長 $2m$ 、内径 $30mm$ のカラムから得られた。表-1に充填粒子の物理特性を示す。粒径 D_p は各粒子について実体顕微鏡写真より求めた。活性炭密度は $0.71g/cm^3$ により求め、また、適当な密度に調整された塩水中に剥離ペレットを投入し、剥離ペレットが塩水中で鈎合状態を呈した時の塩水密度をもとて生物膜湿潤密度 S_{bw} とした。粒子沈降速度 u_t はガラスカラムを用いた沈降速度試験より求め、形状係数 ϕ_s は、 D_p 、 S_{bw} 、 u_t よりALLENの式を用い算出し、最粗空隙率 ε_{mf} は次式より求めた¹⁾。

$$(1 - \varepsilon_{mf}) / \varepsilon_{mf}^3 = 11.1 \phi_s^2$$

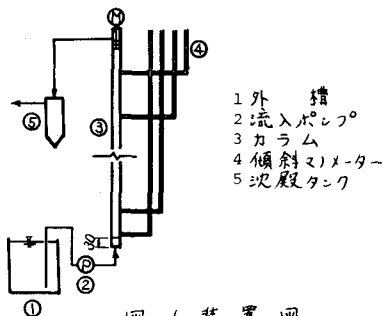


図-1 装置図

表-1 充填粒子の物理特性

経過 日数 (day)	粒径 D_p (mm)	生 物 膜 厚 δ (mm)	活性炭 密度 ρ_{pw} (g/cm ³)	沈 降 速 度 u_t (cm/s)	形状係数 ϕ_s	最粗空隙率 ε_{mf}	
RUN 1	0	0.334	0.000	1.316	1.888	1.00	0.382
RUN 2	16	0.527	0.097	1.085	1.026	0.82	0.426
RUN 3	20	0.442	0.054	1.141	1.236	0.83	0.423
RUN 4	24	0.720	0.193	1.043	1.075	0.97	0.389
RUN 5	28	0.847	0.257	1.032	1.174	1.00	0.382
RUN 6	32	1.166	0.416	1.027	1.350	1.00	0.382

3. 実験結果および考察

3-1 膜厚 δ の増加に伴う生物膜湿潤密度 S_{bw} の変化: 従来膜厚の増加に伴う生物膜密度の減少が報告されているが²⁾、図-2に示されるように膜厚と生物膜湿潤密度は正の相関を示し、最小二乗法によりその直線回帰式を求めると

$$S_{bw} = 1.0043 + 0.0382 \delta \quad \delta: mm \quad (1)$$

となる。相関係数 $r = 0.97$ であり δ のこの範囲ではおおむね直線近似が可能であることを示している。

3-2 膜厚の増加に伴う摩擦係数 f_w の変化: 固定層の圧降 ΔP により次式が導かれる³⁾ (L : 牀層床高 μ_f : 流体粘性係数)

$$\Delta P / L(1 - \varepsilon) = 2 f_w (u \mu_f / g_c D_p) \quad (2)$$

この関係を流動層状態まで拡張適用し、図示すれば図-3のような関係が得られる。流速を増加させていくと固定層とは曲線ABに沿い、さらに最小流動化速度 u_{mf} 以上とすると流動層へと移行し、直線AC, BDに示される関係となる。この直線の横軸投影長さ u_t / u_{mf} は流動層として存在できる範囲を表わし、 Re_p の増加に伴い減少していく。膜厚の増加に伴い $2 f_w - Re_p$ 曲線が右方へ移動していくことから、 u_t / u_{mf} は減少の方向にあると考えられる。そこで u_t / u_{mf} と吹降速度時レイノルズ数 Re_{pt} を図示すれば図-4のようである。図-4の理論曲線は、図-3の直線AC, BDと曲線AB, CDの交点より求め、実測値プロットはほぼこの曲線と一致した。したがって、 Re_{pt} の増加に伴い u_t / u_{mf} は減少するといえる。

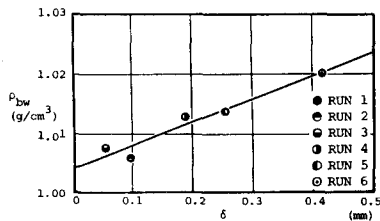


図-2 S_{bw} と δ の関係

3-3 膜厚の増加と U_t , U_{mf} : 従来膜厚の増加に伴ない U_t , U_{mf} が減少するという報告がされてきたが, U_t , U_{mf} 共に図-5, 6に示されるようなピークを持つ曲線であり, 膜厚がある値以上になると U_t , U_{mf} は上昇の傾向を示す。理論値の算出は次のような手順によった。まず膜厚より生物膜湿相密度を(1)式より算出し, 次にバイオペーティクル(担体+生物膜)密度を次式より求めた。

$$S_{pw} = (D_s/D_p)^3 S_s + \{1 - (D_s/D_p)^3\} S_{bw} \quad (3)$$

S_{pw} : バイオペーティクル湿相密度 S_s : 担体湿相密度 D_s : 担体直径
 U_t はこれをALLENの沈降速度式に代入することにより得られ,
 U_{mf} は次式より求められる。(S_f : 流体密度)

$$U_{mf} = (1/2 f_v) \{ g \cdot D_p^2 (S_{pw} - S_f) / \mu_f \} \quad (4)$$

このように U_t , U_{mf} は担体粒子の S_s , D_s をパラメータとし, 膜厚 δ との関係より求められる。

3-4 空隙率 ε と流速 u の関係: バイオペーティクルの流動層に於いて

u/U_t と ε の関係を両対数グラフにプロットすれば, 図-7に示されるように直線関係で表わされることを見出した。これを次式のように表現し

$$u/U_t = \varepsilon^n \quad (5)$$

n を最小二乗法により求め, $Re_{pt} = n$ を両対数グラフにプロットすれば図-8に示すようになる。この関係を求める

$$n = 7.20 Re_{pt}^{-0.292} \quad (6)$$

となり相関係数 $r = -0.92$ を得る。(E が, T , バイオペーティクルの物理特性と流速 u から空隙率 ε が求められ, ある流速における単位流動層当りの生物量 M も次式より算出できる。

$$M = S_{bd} (1 - \varepsilon) \{ 1 - [D_s / (D_s + 2\delta)]^3 \} \quad (7)$$

S_{bd} : 生物乾燥密度 (dry g / wet cm^3)

4. おわりに 本実験より以下の知見を得た。

1) 生物膜湿相密度は本実験の範囲では膜厚の増加と共に増し, 次式を得た。

$$S_{bw} = 1.0043 + 0.0382 \delta \quad \delta: mm$$

2) 膜厚の増加に伴ない流動層の存在範囲 U_t/U_{mf} は減少する。

3) U_t , U_{mf} は膜厚の増加と共に減少するが, 膜厚がある値で極小値をとり, 以後増加に転ずる。

4) 空隙率 ε と流速 u の関係は $u/U_t = \varepsilon^n$ という形で表わされ, 乗数 n と Re_{pt} の関係は次のようである, $T = 0$
 $n = 7.20 Re_{pt}^{-0.292}$

5. 参考文献 1) 白井 隆 “流動層” 科学技術社(1977) 2) Leo T. Mulcahy et al., Prog. Wst. Tech. Vol 12 p143 (1980)

3) 第18回衛生工学研究討論会 講演論文集 原田秀樹 p114 (1982)

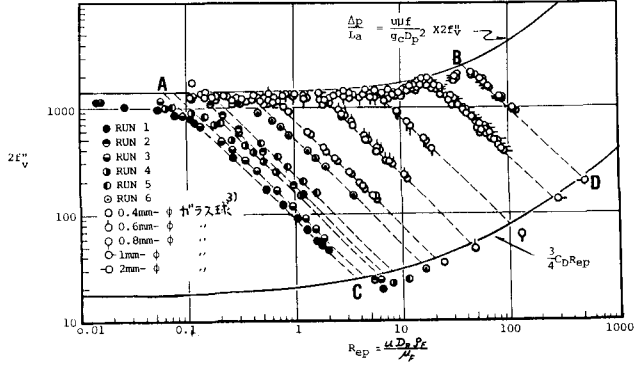


図-3 摩擦係数 f_v と Re_{pt} との関係

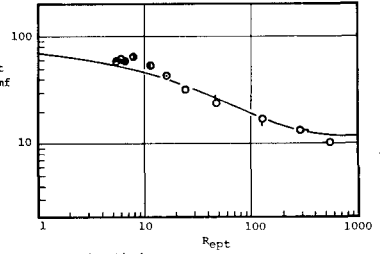


図-4 U_t/U_{mf} と Re_{pt} の関係

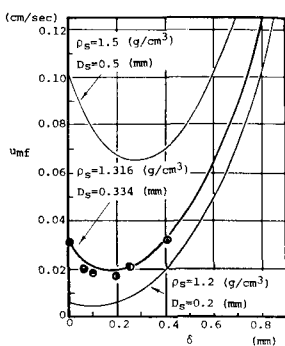


図-5 U_{mf} と δ の関係

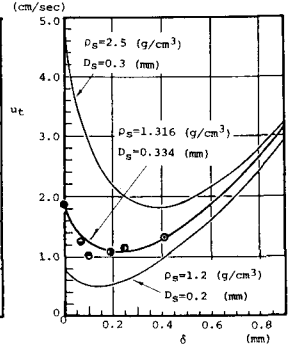


図-6 U_t と δ の関係

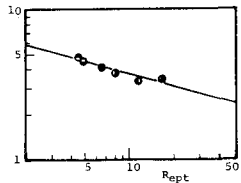


図-8 n と Re_{pt} との関係

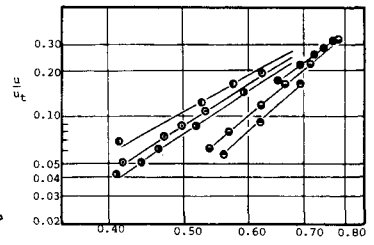


図-7 u/U_t と ε の関係