

宮崎大学工学部 正員 渡辺 義公 正員 石黒 政儀
 宮崎大学工学部 学員 岡部 聡 学員 田代 雄児

1 はじめに

回転円板法においては、生物膜と液体相との界面に濃度境界層(以下拡散層という)が存在し、生物膜への溶解性物質の拡散抵抗が生ずる。このため、拡散層厚は処理効率の重要な決定因子となる。通常の下水処理においては、BOD除去速度が生物膜への溶解性有機物の拡散過程に律速されている。既往の研究によると、拡散層厚は回転円板表面の物理的形状、円板回転速度及び円板浸漬率に依存することが知られている。本研究ではこれらの依存性を定量的に評価するために、硝化菌を優先的に付着生育させた回転円板実験装置による実験データを解析した結果について報告する。

2. 理論的考察

本研究では、回分硝化実験による液本体律速基質濃度の減少過程を、以下のように理論解析した。反応が生物膜への基質の拡散過程に律速されている場合($C_s/C_b \ll 1$)の液本体基質濃度減少速度は

$$-1/A_w \cdot d(C_b)/dt = K_d(C_b - C_s) \approx K_d C_b \dots\dots (1)$$

式(1)を積分した式(2)(3)から拡散層厚 L_d が求められる。

$$K_d = V/A_w \cdot \ln(C_{b0}/C_{bt})/t \dots (2) \quad L_d = D_w/K_d \dots (3)$$

ここで、 A_w = 浸漬円板面積 (m^2)、 K_d = 物質移動速度係数 (m/h)、 C_s = 生物膜表面の基質濃度 (mg/l)、 C_b = 液本体基質濃度 (mg/l)、 C_{b0} 、 C_{bt} = $t=0$ 、 $t=t$ における液本体基質濃度 (mg/l)、 D_w = 基質の分子拡散係数 (m^2/h)、 t = 反応時間 (h)。生物膜表面に基質が蓄積しない場合、 C_s は式(4)、(5)により計算できる。

$$C_s = (2C_b + \lambda - \sqrt{\lambda^2 + 4\lambda C_b})/2 \dots\dots (4)$$

$$\lambda = 2\alpha R L_d^2/D_w \dots\dots (5)$$

D_f = 生物膜内での基質拡散係数 (m^2/h)、 R = 生物膜内の0次反応速度 ($g/m^3 \cdot h$)。回分実験(非定常実験)において、上記の仮定が成立しうるかどうかわからないが、式(4)、(5)により計算すると、硝化反応がアンモニア性窒素に律速される場合 $L_d = 100 \mu m$ では、 $C_s/C_b = 0.1$ となる C_b の値は、 $5 mg/l$ 程度(水温 $20^\circ C$)となる。

3. 実験結果と解析

実験は以下の2通りについて行った。Run.1(浸漬率の影響) 密閉型RBCを用い、酸素律速状態における回分実験を行った。円板浸漬率100, 75, 50, 25, 10%に変化させ、液本体溶解酸素濃度の減少速度を測定した。気相酸素分圧を0にするために、気相部にヘリウムガスを充填させた。Run.2(円板表面形状の影響) 円板表面上に(図-1)に示すような微細突起を、0, 4,

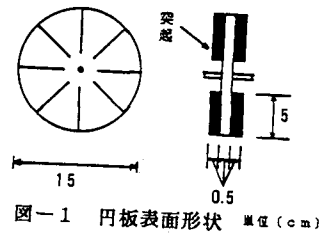


図-1 円板表面形状 (単位: cm)

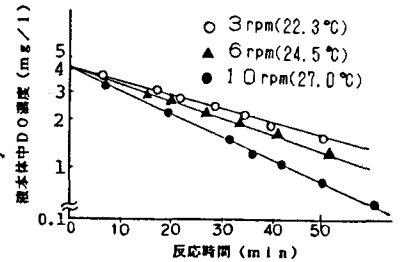


図-2 DOの経時変化

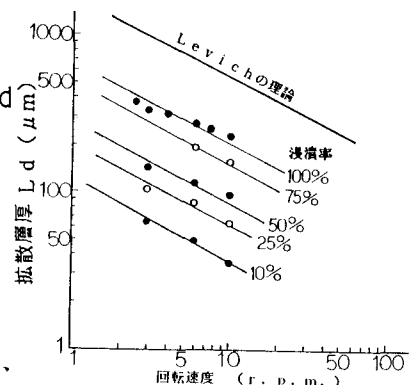


図-3 円板回転速度及び浸漬率と拡散層厚の関係

8枚取り付けられた円板浸漬率50%のRBCを用いて、 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 律速状態における回分実験を行い液本体 $\text{NH}_4 - \text{N}$ の減少速度を測定した。a) 円板浸漬率と生物膜表面突起の影響 Run.1により得られた実験データを、片対数グラフにプロットしたのが(図-2)である。図-3は、図-2に示した様なデータを式(2)、(3)により解析して求めた拡散層厚と、円板浸漬率及び円板回転速度の関係である。浸漬率の低下に伴い拡散層厚は低下している。これは、円板の水中回転時間が浸漬率に比例するので、半水没型では拡散層が十分に発達しないためであろう。全水没型回転円板に対してLevichが理論的に求めた拡散層厚は、本実験における全水没型回転円板の拡散層厚よりもはるかに大きい。これは、本実験では円板上に生物膜が付着し、その表面の凹凸により局所乱れが生じて拡散層厚が減少したものと考えられる。Levichは、微細突起を通過する流れのレイノルズ数が20~50を越えると、突起部に局所乱れが発生すると述べている。SiegristとGujerは、生物膜表面突起が物質移動に及ぼす影響を実験的に明らかにした。

b) 人工微細突起の影響 図-4、5には、Run.2で得られた液本体 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 濃度の経時変化を示す。これらのデータを式(2)(3)により解析すると、それぞれの実験条件下における拡散層厚がもとめられる(図-6)。図-7は、図-5のデータにより計算した C_s/C_b と C_b の関係である。図-7と図-5の直線部のデータから判断して、円板回転速度5rpmでは、 C_b が2mg/l程度以下において式(1)を適用できると考えられる。図-8は、連続実験(定常実験)において得られた $\text{NH}_4 - \text{N}$ Fluxと突起枚数の関係である。図-6、8より明らかなように、人工微細突起により生物膜への物質移動を著しく促進させることができる。

4. おわりに

本研究では、RBCにおける拡散層厚を決定する諸因子(円板回転速度、円板表面形状、浸漬率)の影響を定量的に明らかにした。特に、円板表面形状が著しく物質移動速度に影響した点を考慮して、今後、RBCにおける物質移動速度の向上方法について研究する予定である。

<参考文献> 1)渡辺: 下水処理場における省エネルギーとエネルギー生産に関する調査。昭和60年度報告書,土木学会。2)Y. Watanabe; Mathematical Modelling of Nitrification and Denitrification in RBC-s, <ELSEVIER>(1986)。3)Levich V.G.(1

962) Physicochemical Hydrodynamics, Printice Hall Inc. 4)Siegrist H. and Gujer W. (1985) Mass Transfer Mechanisms in a Heterotrophic Biofilm, Water Research, Vol.19, No.11, 1369-1378.

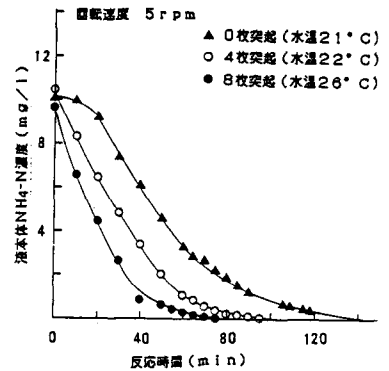


図-4 液本体 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 濃度の経時変化

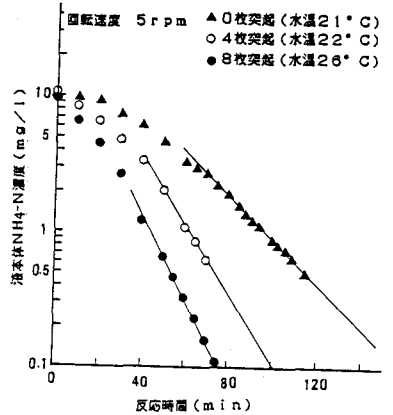


図-5 K_d の推定

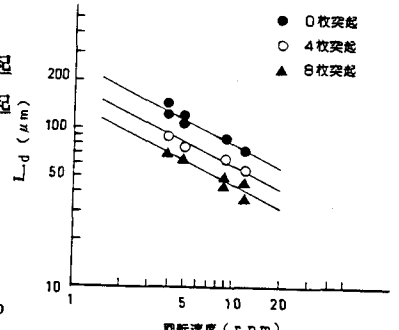


図-6 円板回転速度と拡散層厚の関係

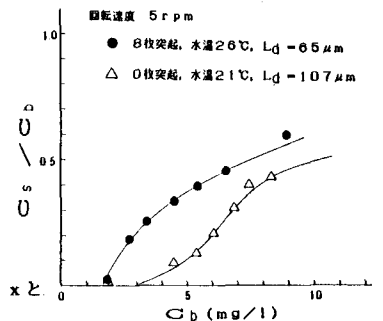


図-7 C_s/C_b と C_b の関係

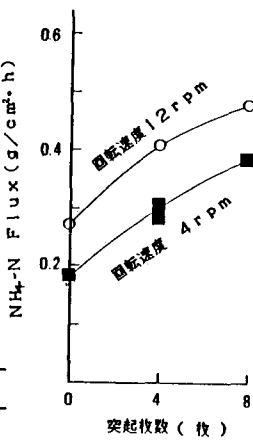


図-8 $\text{NH}_4 - \text{N}$ Fluxと突起枚数の関係