

浸漬式生物膜法による高度浄化に関する一考察

東北大学工学部 学生員 ○須藤 勝栄
東北大学工学部 正 員 佐藤 敦久
東北大学工学部 学生員 田中 裕一

1. はじめに

近年、固定材への付着生物膜を利用した浸漬式生物膜法に関して、諸々の形式のものが考察研究されてきている。この中で、生物膜が常に水中にあり、かつ縦方向のみに存在するハニカムチューブ充填物を用いて高度浄化、特に窒素形態の挙動に主眼を置いて回分実験と連続実験を行った。

2. 実験装置と実験方法

実験装置の概略を図-1に示す。槽は覆いによって遮光した。斜線部分にはセリサイズ2 (cm) のハニカムチューブを充填した。槽容量 (V) は 1.6×10^2 (m³)、生物膜の着生可能な表面積 (A) は 1.785 (m²)、供給空気量はフローメーターにより 14.4 (cc/sec)、水温は恒温槽により 26.5 ± 1 (°C) に制御した。また脱酸素後の溶存酸素回復過程より実測した再曝気係数は 5.10 (hr) である。

模範二次処理水は、下水道 (地下水) を一泊静置し残留塩素を除いたうえで、表-1に示すものゝ基質として加え使用した。

その他の微量栄養元素は水道水中に含まれている。アンモニア性窒素は NH_4Cl として加え、濃度は 5 (mg/l) から 25 (mg/l) まで5段階に変えた。

回分実験では アンモニア性窒素濃度の経時変化を測定した。

連続実験では、各アンモニア性窒素初濃度に対し、滞留時間 (C) が異なる4槽 (4 hr, 6 hr, 12 hr, 24 hr) を並行して連続培養し、水質の経日変化を測定した。その際、槽内への流入水は定量ポンプを用いて一定とした。

3. 回分式実験による結果と考察

アンモニア性窒素濃度の経時変化を図-2に示す。

ほぼ1%までは時間に対して直線的に除去されているが、それ以下の低濃度域では顕著な曲線となる。これはアンモニア性窒素の除去速度が生物膜への拡散輸送過程と硝化反応による除去過程により決定されるためである。

すなわち、アンモニア性窒素濃度が1 mg/l 以上では反応が律速となり、1 mg/l 以下では拡散が律速になっている。これは次式で近似できる。

$$\frac{dc}{dt} = - \frac{Kc}{C_m + c} \quad \text{--- ①}$$

$$\therefore t = \frac{1}{K} (C_0 - c) + \frac{C_m}{K} \ln \frac{C_0}{c} \quad \text{--- ②}$$

ここに、 C_0 : アンモニア性窒素初濃度, K , C_m : パラメータ定数
実測値から算定した C_m , K を図-2に示す。

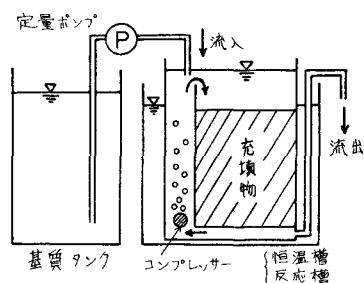


図-1 実験装置

表-1 基質組成

グルコース	18 mg/l
K_2HPO_4	13.5 mg/l
KH_2PO_4	2.64 mg/l
NaHCO_3	120 mg/l
NH_4Cl	変動

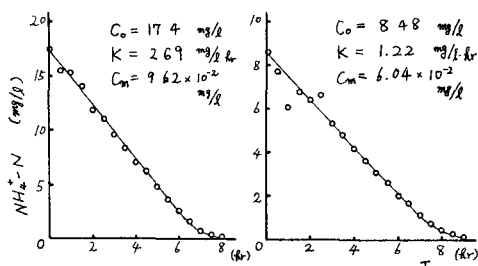


図-2 回分実験の NH_4^+-N の経時変化

4. 連続式実験による結果および考察

主には3形態の窒素濃度から判断した定常期の平均水質を表-2に示す。

硝化形式はアンモニア性窒素の初濃度には余り関係がなく、滞留時間により亜硝酸形と硝酸形にわけられた。アンモニア性窒素による酸素の消費と供給酸素量は、ほぼ収支が釣り合い、アルカリ度の消費もアンモニア性窒素1mg当り6.5~7.4mgであり、ほぼ理論値通りである。

COD(Cr), およびアンモニア性窒素の除去速度を次式で求め、供給酸素量との関係を示したのが図-3, 4である。

$$-r_{\text{COD(Cr)}} = \frac{1}{\theta} (\text{COD}_0 - \text{COD}), \quad -r_{\text{NH}_4\text{-N}} = \frac{1}{\theta} \{ (\text{NH}_4\text{-N}_0) - (\text{NH}_4\text{-N}) \} \quad \text{--- ②}$$

相関係数は $R_{\text{COD(Cr)}} = 0.748$, $R_{\text{NH}_4\text{-N}} = 0.705$ であった。図4の実験の濃度域においては、自酸化およびアンモニア性窒素の除去は、ほぼ同等率に依っていることがわかる。

生物膜表面には一定厚の付着水膜が存在するとし、硝化速度も付着生物膜単位面積当りで考えると、

$$\frac{1}{A} \cdot \frac{d(VC)}{dt} = \frac{Q C_0}{A} - \frac{Q C_b}{A} - \frac{D}{\delta} (C_b - C_s) \quad \text{--- ④}$$

ここに、A: 着生可能な固定材面積, Q: 流入および流出水量,
C₀, C_b, C_s: 流入、液本体、生物膜表面のアンモニア性窒素濃度,
D: 付着水膜でのアンモニア性窒素の拡散係数, δ: 付着水膜厚

定常状態では左辺=0であり、また図4実験の結果よりアンモニア性窒素の除去は低濃度域まで0次進行するとして、溶解酸素とアンモニア性窒素が生物膜の途中ないし最深部に到達するいずれの場合にもアンモニア性窒素濃度の流入と流出の関係は次式で表わすことができる。

$$\frac{C_0}{C_e} = 1 + \frac{A}{Q} K^* \quad \text{--- ⑤}$$

ここに、K*: 総括速度係数, C_e: 流出のアンモニア性窒素濃度,

式⑤に対しC₀/C_eとA/Qの関係を実測値より求めたのが図-5である。

図-5より、C_eが0.5, 1.0, 2.0, 4.0 (mg/l)の時のC₀/C_eとA/Qの関係を示したのが図-6であり、C_eとK*の値を表-3に示す。

これによって、定常状態でのアンモニア性窒素の所定の濃度に制御することが可能となる。

式④でQ=0とおいた時には、図4時の式を表わす。これより、C₀ ≫ C_sとすると付着水膜は約900μと推定できる。

表-3 C_eとK*

C _e	K*
0.5	1.8 × 10 ⁻²
1.0	1.2 × 10 ⁻²
2.0	6.7 × 10 ⁻³
4.0	3.5 × 10 ⁻³

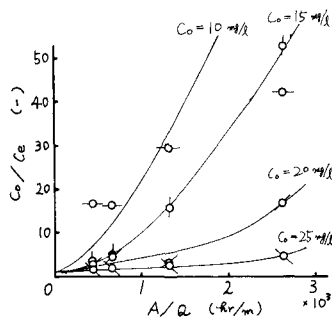


図-5 C₀/C_eとA/Qの関係

表-2 定常期の平均水質

滞留時間 hr	NH ₄ -N mg/l	NH ₄ -N mg/l	NO ₂ -N mg/l	NO ₃ -N mg/l	COD(Cr) mg/l	COD(Cr) mg/l
4	5.00	0.24	1.22	2.80	69.7	27.03
6	4.79	1.43	0.53	2.43	62.1	27.02
12	4.45	0.08	0.09	4.46	88.0	25.67
24	4.45	0.05	0.02	4.35	99.5	25.67
4	10.66	0.64	7.26	2.50	25.6	
6	10.41	0.65	5.30	4.40	45.0	
12	10.52	0.36	1.66	8.43	83.5	
24	10.52	0.25	0.26	1.93	97.4	
4	15.7	4.2	8.7	1.0	10.3	32.32
6	15.0	3.7	6.4	3.6	36.0	37.18
12	15.8	1.0	3.1	10.6	77.4	40.56
24	15.8	0.3	0.3	14.0	97.7	40.56
4	19.9	7.32	8.1	1.7	17.3	43.58
6	19.7	4.82	7.5	4.4	37.0	42.30
12	19.9	9.02	1.6	4.7	74.6	41.13
24	19.9	1.66	0.1	15.5	99.4	41.13
4	26.1	17.7	3.7	2.0	35.1	43.00
6	25.2	14.5	6.8	1.4	17.1	44.57
12	25.1	11.1	6.8	4.5	39.8	44.66
24	25.1	5.8	2.0	17.0	89.5	44.66

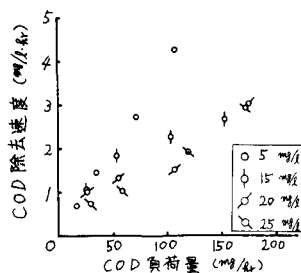


図-3 COD(Cr)の除去速度と負荷量の関係

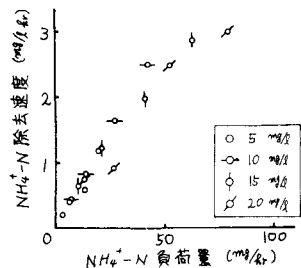


図-4 NH₄-Nの除去速度と負荷量の関係

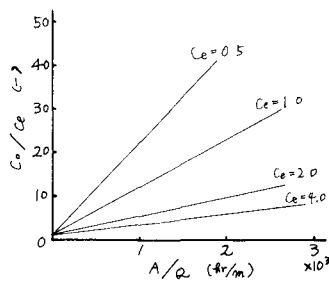


図-6 C₀/C_eとA/Qの関係