

II - 87

微視的保温領域における微生物膜形成に関する基礎的検討

福島工業高専 正員 ○原田正光
(株)小島製作所 正員 斎藤幸孝

1. はじめに

低水温期の生物処理は、微生物活性の低下により、一般に処理性能は低いと言われており、これを接触時間の確保や微生物の集積などによって補っている。本研究は、微生物が生息する限られた領域のみを保温することによって、反応槽中に活性の低下が起こりにくい環境を創造しようとするものである。低濃度原水を対象とする微生物膜処理においては、付着微生物膜は極めて薄いのが特徴であり、担体表面のごく近傍に形成される。この微視的な領域を微生物の活性が低下しない程度の温度に保てば、低水温原水中からでも汚濁物質の除去が可能ではないかと考えている。そこで、本研究では、微視的保温領域の存在について伝熱理論を用いた検討を行い、そこにおける微生物膜の形成について実験的検討を試みた。

2. 円管内壁面近傍の温度分布

担体表面近傍の温度分布については、微生物膜形成の実験を行ううえで比較的容易な円管を用いて検討を行った。円管内を流れる十分発達した流れにおいて、半径方向の速度分布、軸方向の熱伝導、粘性による発熱等は比較的小さいので省略すると、物性値一定の流体に対するエネルギー式は次のようになる。

$$u \frac{\partial \theta}{\partial x} = a \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) \quad \dots \dots \dots ①$$

円管内の十分発達した流れにおける速度分布は、次式の Poiseuille flow とした。

$$u = 2 u_m \left\{ 1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right\} \quad \dots \dots \dots ②$$

内壁面からの熱流束が一定であると仮定すると、境界条件は次のようになる。

$$\begin{aligned} x=0; 0 \leq r < r_0; \theta &= \theta_1 \\ x>0; r=r_0; \lambda \left(\frac{\partial \theta}{\partial r} \right) &= q \end{aligned} \quad \dots \dots \dots ③$$

これらの式を用いて、Crank-Nicolson による差分法で計算すると、温度分布が得られる。

壁面近傍の温度分布は放物線で近似されたとすると、 $r=r_0$, $r_0+\Delta r$, $r_0+2\Delta r$ の3点における温度 θ_0 , θ_1 , θ_2 を用いて次式で表される。

$$\theta = \theta_0 + \alpha (r_0 - r) + \beta (r_0 - r)^2 \quad \dots \dots \dots ④$$

ここで、 $\alpha = -(\theta_2 - 4\theta_1 + 3\theta_0) / 2(\Delta r)$ 、 $\beta = (\theta_2 - 2\theta_1 + \theta_0) / 2(\Delta r)^2$ である。従って、壁面から微小距離 δ における温度 θ_δ は、次式で求めることができる。

$$\theta_\delta = \theta_0 + \alpha \delta + \beta \delta^2 \quad \dots \dots \dots ⑤$$

また、各断面における混合平均温度 θ_0 は、次式で与えられる。

$$\theta_0 = \frac{2}{u_m r_0^2} \int_0^{r_0} u \theta r dr \quad \dots \dots \dots ⑥$$

3. 実験方法

実験に用いた円管は内径 6 mm、外径 8 mm、長さ 1 m のビニール管であり、これに 3 m のヒータケーブルを等間隔で巻き付け、更に厚さ 5 cm の断熱材で包んだものである。円管内壁面からの熱流束は、電圧調整器を用いて、 2000 W/m^2 に設定した。この円管内に、低温原水槽で水温 3°C 、アンモニア性窒素濃度 0.8 mg/l に調整した原水を、流量 180 ml/min で連続的に導いた。そして、定期的に流量、原水及び流出水の水温とアンモニア性窒素濃度の測定を行った。また、一定期間経過後、円管内壁面への微生物膜の付着について、SEM による観察や付着 S S 量の測定を行った。

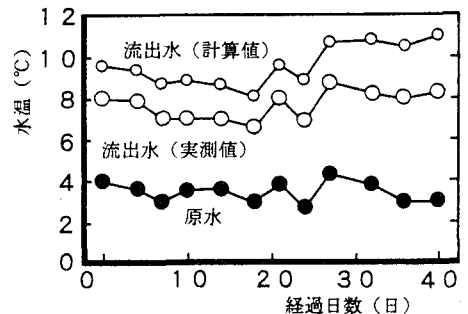


図-1 流出水温の実測値と計算値

4. 結果及び考察

4-1. 温度分布

図-1は実験期間中の原水温と流水水温の実測値及び円管内層流熱伝達理論に基づいた流水水温の計算値を示す。計算値より実測値が小さいことから、円管内壁面を通して、設定した熱流束が加わっていないかたものと考えられる。即ち、ヒーティングケーブルからの発熱量の一部が断熱材の加温や系外への放出によって失われたためであると考えられる。熱流束と流水水温とは比例関係にあるので、原水温及び流水水温の実測値から、実際に加えられたと考えられる熱流束を算出し、これを熱流束の補正值として用いて、以下の円管内温度分布を求めた。今回の実験系は、加熱始点からの流下距離に伴い内壁温が次第に増加する系となっており、加熱終点における内壁温が最も高くなる。実験期間中の加熱終点における内壁温は、図-2にも示すように、原水温よりも6~7℃高くなっていた。また、内壁表面から100 μm までの半径方向の温度分布を、実験開始40日目、加熱始点から0.9mの断面について求めると図-3のようになる。内壁表面温度は11.8℃であり、ここから100 μm 離れた位置で、0.2℃程度の水温低下があることが示された。

一般に、バクテリアの大きさが数 μm 程度であり、これらが集積したとしても、低濃度系における生物膜の厚さが数10 μm 程度であることを考慮すれば、内壁温からの水温低下は更に小さく、このような発熱担体表面近傍は、バクテリアの付着が可能な環境であることが示された。

4-2. 微生物膜の付着

実験期間中、原水及び流水中のアンモニア性窒素濃度の測定を行ったが、殆どその濃度差は見られず、アンモニア性窒素濃度の減少という点からの微生物の付着の可能性は見い出すことはできなかった。これに対して、図-4に実験期間中の流量の変化を示すが、原水槽は定水位であるにもかかわらず、実験開始20日目頃から流量の急激な低下が生じていた。40日目に行った内壁付着物の測定では、円管内壁には加熱始点から終点にかけて付着物が確認されたことから、この流量の低下は付着物の蓄積が原因となって起きていたものと考えられた。また、図-5に示すように、SEM観察の結果からも、この付着物は微生物膜であることが確認でき、壁面近傍に微生物の付着が起こることが明らかとなった。

5. おわりに

低水温原水と接する発熱担体表面近傍において、微視的保温領域が存在すること、また、そこで微生物が付着することが示された。今後は、低水温原水の処理について検討を行っていく予定である。尚、本研究は平成5年度文部省科学研究費補助金(奨励研究(A)、課題番号05855078)の援助を受けて行われたことを付記する。

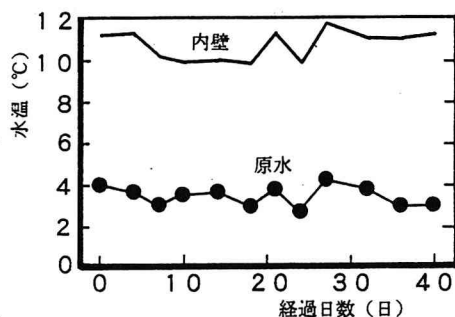


図-2 加熱終点の内壁表面温度

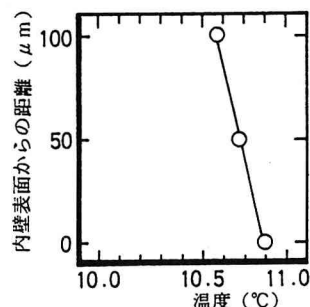


図-3 内壁表面近傍の温度分布

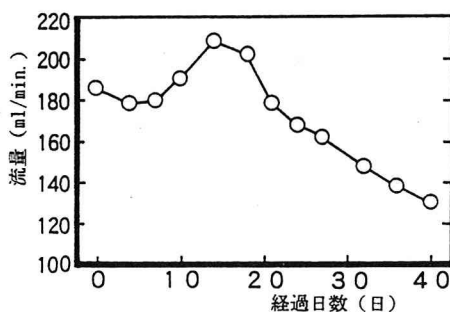


図-4 流量の変化

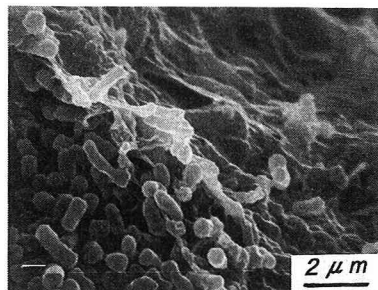


図-5 付着物のSEM写真

[記号] x : 加熱始点からの軸方向の距離[m], r : 中心軸からの半径方向の距離[m], r_0 : 円管の内半径[m]
 δ : 内壁面からの微小距離[m], θ : 流体中の温度[℃], θ_s : 円管内壁面の温度[℃]
 θ_1 : $r = r_0 + \Delta r$ における温度[℃], θ_2 : $r = r_0 + 2\Delta r$ における温度[℃], θ_δ : 壁面からの微小距離 δ における温度[℃]
 θ_b : 混合平均温度[℃], u : 円管内流速[m/sec], u_m : 円管内平均流速[m/sec]
 ρ : 流体の密度[kg/m³], λ : 流体の熱伝導率[W/mK], c_p : 流体の比熱[J/kgK]
 a : 温度伝導率[m²/sec]($=\lambda/c_p\rho$), q : 円管内壁面からの熱流束[W/m²], α, β : 定数