

II-97

加温担体を用いた低温汚濁水処理技術の開発

福島工業高等専門学校 正員 ○原田正光
(株) リョウショウ 正員 斎藤幸孝

1. はじめに

微生物を用いた水質浄化は、その活性に大きく依存していることから、低水温時には良好な処理性能が得られないという弱点がある。低水温対策については種々の方法があるが、ここでは従来法とは異なり、付着担体側からの加温によって、低水温原水と接する担体表面に微生物の付着・増殖が可能な microhabitat を形成し、これを活用することによって低水温原水中から汚濁物質の除去を行う処理技術の開発を目指している。これまで、加温担体表面の microhabitat の存在を確認し、その内部の温度は担体表面温度とほぼ等しく、一定であることを示してきた¹⁾。この処理技術は、加温担体の表面を微生物の付着・増殖に適した温度に設定することが重要である。そこで、本研究では、伝熱理論を用いて加温担体表面温度とこれを規定する装置特性や運転条件との関係を検討し、併せて加温担体を用いた水質浄化の室内実験を試みた。

2. 実験方法

2-1. 実験装置

Fig.1 に実験装置の概要を示す。反応槽には内径 73cm のカラム（水深 20cm）を用いて、この内部に直径 2.5mm、長さ 10m のヒータリングケーブルを 15cm の長さに折り畳んで束ねた加温担体を流れるように充填した。担体表面からの熱流束は、ヒータリングケーブルの両端を接続した電圧調整器により変化させた。また、担体比表面積はヒータリングケーブルの長さを調節することによって変化させた。尚、外部との熱交換を抑えるために、厚さ 2cm の断熱材で反応槽を覆った。

2-2. 温度測定

処理実験に先立ち、熱流束、流量、担体比表面積を Table 1 のように変化させて、流入水、流出水、及び担体表面の各温度を、直径 0.08mm の T 型熱電対センサーを用いて測定した。担体表面温度は、流下方向に 3 点で測定し、その平均値とした。

2-3. 処理実験

仙台市近郊にある A 下水処理場の二次処理水に、glucose 及び

(NH₄)₂SO₄ を添加し、水道水で希釈したものを原水として用いた。原水水質は、BOD10mg/l、NH₄-N3mg/l 程度になるように調整を行った。原水の温度は、温度調節器を用いて原水タンク内を水温 3℃ に保つようにした。処理実験では、熱流束を 700W/m² に調整した加温 (HM) 系と非加温 (M) 系の 2 実験系を運転させ、定期的に原水と各反応槽からの処理水の BOD、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N の各濃度を測定した。尚、処理流量は 1.8l/hr で通水を行った。

3. 結果及び考察

3-1. 加温担体の表面温度

加温担体が、その表面温度と異なる温度の流体に接しているとき、担体表面を通して移動する熱流束は Newton の冷却の法則²⁾ により、

$$q = h(\theta_s - \theta_b) \quad \dots\dots(1)$$

と表すことができる。一方、流体の熱伝達により移動する熱量と静止流体の熱伝導により移動する熱量の比

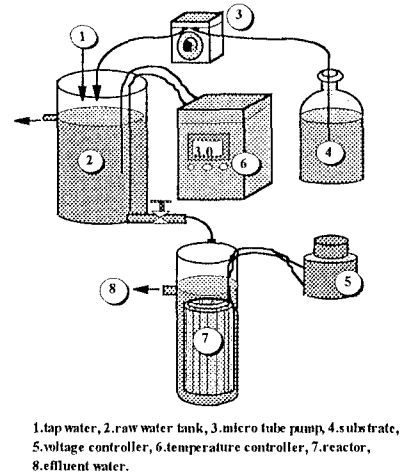


Fig.1 Apparances of experimental apparatus.

Table 1 Operational conditions for determination of coefficient k.

Parameter	Operational conditions	
Flow rate (l/h)	3.42, 6.48, 11.34	3.42, 8.10, 12.96
Heat flux (W/m ²)	76, 306, 688, 1222, 1910	
Specific surface area (m ² /m ³)	58.8	123.9

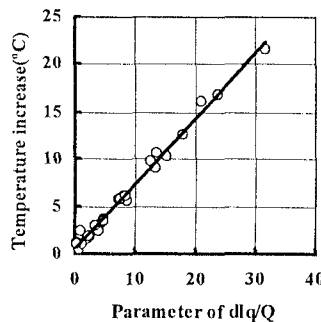
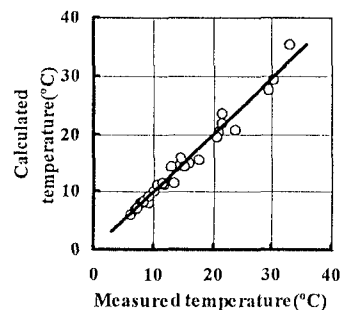
Fig.2 Relationship between dl/Q and temperature increase.

Fig.3 Relationship between measured and calculated surface temperature.

として、Nusselt 数 Nu は、次のように定義されている²⁾。

$$Nu = \frac{hd}{\lambda} \quad \dots\dots(2)$$

また、加温担体を充填することによる温度上昇は、担体の比表面積、担体からの熱流束及び処理水量を用いて表すことができる¹⁾。これを、様々な形状の担体に適用できるように、

$$\theta_s - \theta_a = \frac{\alpha V q}{Q} \quad \dots\dots(3)$$

と表すと、加温担体の表面温度の一般式は式(1)～(3)を用いて次のようになる。

$$\theta_s = \theta_a + \frac{\alpha V q}{2Q} + \frac{dq}{\lambda N_u} \quad \dots\dots(4)$$

式(4)を今回の反応槽に適用するとき、担体表面温度は、

$$\theta_s = \theta_a + \left\{ \frac{nkl}{2Q} + \frac{1}{\lambda N_u} \right\} dq \quad \dots\dots(5)$$

と表すことができる。尚、式(5)中の Nusselt 数は、担体が流れに対して平行に置かれている円管群であると仮定すると、次式³⁾で与えられることがわ

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{1/3} \left\{ 1 + \left(\frac{d_c}{L_w} \right)^{0.4} \right\} \quad \dots\dots(6)$$

以上のように、伝熱理論から得られた式(5)を用いて、低温水が加温担体に接して流れる場合の担体表面温度を計算することができる。また、式(5)は、加温担体の表面温度が担体の形状や寸法、担体表面からの熱流束、流入原水の温度や流量、担体表面の流況等によって決定されることを示している。

3-2. 係数 k の決定と表面温度の算定

式(5)から表面温度を計算するとき、予め係数 k の値を求める必要がある。式(3)を今回の反応槽に適用すると、加温担体による温度上昇はパラメータ lqd/Q を用いて表せる。Table 1 の条件の実験結果について、パラメータ lqd/Q と上昇温度との関係を示すと Fig.2 になり、直線の傾きから k を $2.2 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C m}^3/\text{J}$ と求めることができた。また、この値を用いて式(5)から加温担体の表面温度を求めて実測値との関係を示すと Fig.3 が得られた。図中の直線の傾きが 1:1 に近いことから、計算値と実測値が概ね一致していることが示され、伝熱理論からの式を用いて低温水と接する加温担体の表面温度の算出が概ね可能であることが示された。

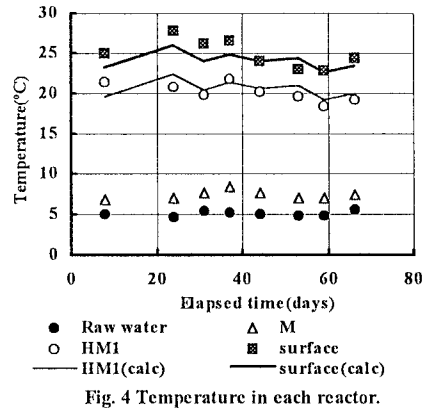
3-3. 水質浄化実験

実験期間中の原水、各反応槽からの流出水及び加温担体表面温度の実測値を Fig.4 に示す。図中には加温系の流出水と担体表面温度の計算結果を示す。担体に微生物膜が形成された後も概ね計算結果が実測値を反映しており、担体表面温度はおおよそ 25°C であることがわかる。この期間中の処理状況については、加温系では 1 週間で BOD 除去能の発現が見られ、50% 程度の BOD 除去率を示すことがあった。一方、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の除去率は BOD よりも低く 30～40% 程度であった。加温の効果は、BOD よりも $\text{NH}_4\text{-N}$ の除去においてより大きく現れる傾向を示した。これは、硝化細菌のほうが従属栄養細菌より温度の影響を強く受けるためであること、BOD 除去のために DO が消費されてしまうこと等が考えられた。加温担体の表面温度をより高く保つためには、曝気等による槽内流動は好ましくなく、この点からも本法が高濃度の BOD を含む原水を対象とした処理よりも、比較的濃度の低い原水への応用を考えるべきであることが示唆された。

4. おわりに

加温担体表面に形成される microhabitat を用いた低温汚濁水処理の検討を行い、低温水が接する加温担体の表面温度は担体の比表面積、担体表面からの熱流束、処理水量によって決定されることが明らかとなった。また、加温担体を用いた処理実験では、BOD や $\text{NH}_4\text{-N}$ の除去にある程度効果が見られた。今後は、低濃度原水への適用を検討するとともに、保温状態にある microhabitat の効果を定量的に把握する予定である。

(参考文献) 1) 原田他 (1995) 水環境学会年報, p.98, 2) 関 (1991) 伝熱工学, 森北出版, pp.42-47, 3) 同左, p.87



記号表

q :熱流束(W/m^2), h :熱伝達率($\text{W/m}^2/\text{K}$), θ_s :加温担体の表面温度($^\circ\text{C}$),
 θ_b :bulk水の温度($^\circ\text{C}$), θ_i :流入水温($^\circ\text{C}$), θ_o :流出水温($^\circ\text{C}$),
 λ :熱伝導率(W/m/K), d :代表長さまたは円管直径(m), V :装置の容積(m^3),
 Q :処理水量(m^3/s), α :加温担体の比表面積(m^2/m^3), k :係数,
 ρ :流体の密度(kg/m^3), μ :流体の粘性係数(mPas), v :流体の速度(m/s),
 c_p :流体の比熱(J/kg/K), L :円管総延長(m), v_{max} :最狭部の流速(m/s),
 Re :Reynolds数($= \rho v_{\text{max}} d / \mu$), Pr :Prandtl数($= c_p \mu / \lambda$), L_w :充填高さ(m),
 d_e :相当直径($= \pi D^2/4/n \pi d$), D :カラム直径(m), n :円管本数