

II-116

流動床における二次処理水の硝化について

岩手大学工学部 学生員 ○赤川和敏

正員 海田輝之 大村達夫 相沢治郎

1. はじめに

下水中に含まれる窒素は、通常の二次処理だけでは除去されず、放流水中に多量に含まれており、水域の富栄養化を防ぐためにも窒素除去は必要不可欠である。著者らは、硝化菌をイオン交換樹脂に固定化し、三相流動床による硝化について検討を重ねてきた。本研究では、同様の装置に流入水として実際の二次処理水を使用し、水温を変化させた場合の各態窒素およびTOCの除去特性について検討した。さらに、流出アンモニウム性窒素濃度の予測式を物質収支に基づく数理モデルから検討した。

2. 実験装置及び方法

実験に用いた三相流動床の概略を図-1に示す。まず、担体（アンバーライト：IRA-938）420ml（みかけ体積）と硫酸アンモニウムをエネルギー源とする培地、そして活性汚泥を植種として入れ、約1ヶ月間分培養を行い、その後二次処理水を通し、連続実験を開始した。実験に用いた二次処理水は、北上川上流流域下水道都南浄化センターの最終沈澱池からの越流水とした。pHの調整や薬品の添加は行わなかった。流動床は2槽使用し、水理学的滞留時間を2時間と4時間にした。水温は $20^{\circ}\text{C} \rightarrow 15 \pm 1^{\circ}\text{C} \rightarrow 10 \pm 1^{\circ}\text{C}$ と定常状態になった後に変化させていった。

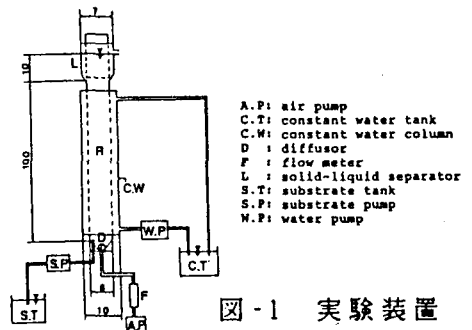


図-1 実験装置

3. 実験結果及び考察

図-2に流入水（二次処理水）及び流動床からの流出水中の各態窒素濃度の経日変化を、例として水理学的滞留時間を2時間とした場合の経過日数が50日以降について示す。流入水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は、水温の低下に従って 17mg/l から 30mg/l 程度まで上昇した。また、これに対応して流入水のpHも6.7~6.8から7.3程度まで上昇した。流入水中の $\text{NO}_2\text{-N}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は50~60日では共に $1.5 \sim 2\text{mg/l}$ であったが、60日以降は $\text{NH}_4\text{-N}$ が無機態窒素の95%以上を占めており、二次処理での硝化作用が水温によってかなり影響されることを示している。

次に、処理特性をみると二次処理水を基質とした場合でも薬品を添加しないで100日以上に渡って安定した硝化が充分に行えることが分かった。また、流出水のDOは 8.1mg/l 以上であった。流出水中の $\text{NO}_2\text{-N}$ は全期間を通じて 0.2mg/l 以下であり、水温低下時にも $\text{NO}_2\text{-N}$ の蓄積は認められなかった。流出 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は水温の低下と流入 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の増加のため、若干増加する傾向があるものの、全期間を通じて 8mg/l 以下であり、酸化率は水温 20°C で88%、 15°C で79%、 10°C でも76%程度であり、本装置では低水温時でも充分に対応できることが分かった。

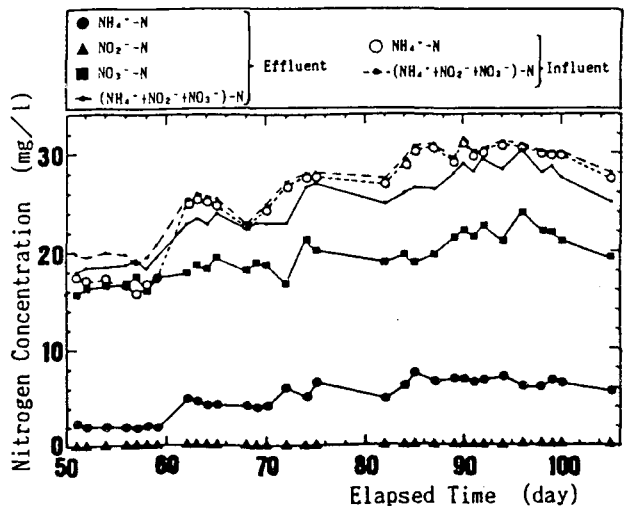


図-2 流出及び流入濃度の経日変化

また、無機態窒素の収支の合わない部分を脱窒とすれば、脱窒率はほぼ10%程度であり、担体内部で積極的に嫌気領域が存在することを示している。

図-3にTOC濃度の経日変化を示す。除去率は水温20~15℃で20%、水温10℃ではほとんど除去されていない。昨年度のグルコース流入させた場合に比較して、除去率は悪いがこれは本実験での流入水が二次処理水であるため、難生物分解性の有機物が流入しているためと考えられる。

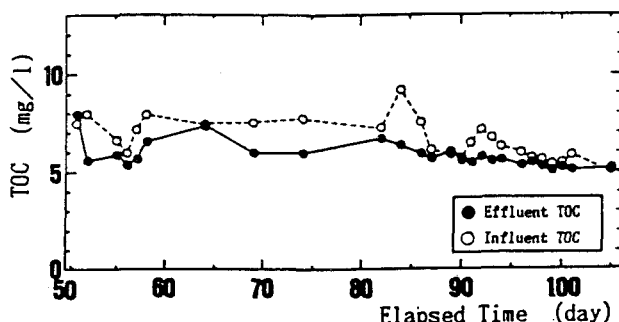


図-3 TOCの経日変化

次に、流動床での窒素の挙動をモデル化

する。実験結果より明らかのように、 $\text{NO}_2\text{-N}$ は蓄積せず、また、二次処理水中の有機態の窒素濃度は 1mg/l 程度であるため、流動床内での $\text{NH}_4\text{-N}$ への無機化は考えなくても良いので、ここでは $\text{NH}_4\text{-N}$ のみについて考える。担体の空隙率を ε とし、均一な半径 R_p を有する球とし、アンモニア酸化菌の担体内部の分布を、担体の中心で0で表面に行くにしたがって直線的に増加するとする。 $\text{NH}_4\text{-N}$ の移動が拡散のみにより生じ、基質の利用がMichaelis-Menten式に従うとすれば、担体内での $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 C_p は

$$\frac{\partial C_p}{\partial t} = \frac{D_w}{\tau} \left(\frac{\partial^2 C_p}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C_p}{\partial r} \right) - \left(\frac{4}{3} \right) \left(\frac{r}{\varepsilon R_p} \right) \frac{\nu_m + C_p}{K_m + C_p} \quad \text{----- (1)}$$

で表される。ここで、 ν_m は担体単位体積当りの最大基質利用速度である。流動床内の流体は完全混合と考えて良いので、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の物質収支より

$$V \varepsilon_1 \frac{dC_b}{dt} = F(C_{in} - C_b) - \left(\frac{3}{4} \right) \frac{\varepsilon_s}{\pi R_p^3} A J V \quad \text{----- (2)}$$

ここで、 V : 流動床の容積、 ε_1 : 流動床内の液体の体積比、 F : 流量、 C_{in} : 流入 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度、 C_b : 流出 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度、 ε_s : 流動床内の担体の体積比、 A : 境界膜の厚さを含めた1つの担体の表面積、 J : bulkから境界膜への $\text{NH}_4\text{-N}$ のフラックスである。シャープウッド数 Sh を用いれば、

$$J = \frac{D_w Sh}{R_p} F(C_b - C_{p0}), A = 4\pi R_p \left(1 + \frac{1}{Sh} \right)^2 \quad \text{ただし、} C_{p0} \text{は境界膜最深部での} \text{NH}_4\text{-N濃度}$$

境界条件として、 $r=0$ で $\frac{\partial C_p}{\partial r} = 0$, $r=R_p$ で $\frac{\partial C_p}{\partial r} = \left(\frac{\tau}{\varepsilon} \right) \left(\frac{Sh}{R_p} \right) (C_b - C_{p0})$ として、定常状態で

反応が1次として式(1)を解き、 $C_{p0} = \frac{1}{k} C_p|_{R_p}$ (k : 分配係数)を考慮すれば、式(2)より流出濃度は

$$C_b = \frac{C_{in}}{1 + 3\varepsilon_s \left(\frac{D_w}{R_p} \right) \left(\frac{V}{F} \right) \frac{(Sh+1)^2}{Sh} \left\{ \frac{1}{1 + \left(\frac{\tau}{\varepsilon k} \right) \left(\frac{Sh}{R_p} \right) X} \right\}} \quad \text{----- (3)}$$

で与えられる。但し、

$$X = \frac{1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{B^n R_p^{3n}}{3 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 7 \cdots 3n \cdot (3n+1)}}{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{3n B^n R_p^{3n+1}}{3 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 7 \cdots 3n \cdot (3n+1)}}, \quad B = \left(\frac{4}{3} \right) \left(\frac{\tau}{\varepsilon D_w} \right) \left(\frac{\nu_m}{k_m} \right) \left(\frac{1}{R_p} \right)$$

$\tau=4$, $Sh=7.3$, $R_p=0.03\text{cm}$, $\varepsilon=0.59$, $D_w=6.0 \times 10^{-6}\text{cm}^2/\text{s}$, $\varepsilon_s=0.114$, $\nu_m=0.149\text{mg/ml-media}$, $K_m=2.2\text{mg/l}$ として、式(3)より C_b を求めると 1.21mg/l となり、ほぼ実験に近い値が得られた。

4. おわりに 実際の二次処理水を基質として流動床による長期間に渡る硝化実験を行った。その結果水理学的滞留時間2時間で、水温10℃でも76%の酸化率が得られた。さらに水温を低下させた場合についても検討する予定である。