

宮崎大学工学部 正員 〇 渡辺 義 公
モント王工科大学(タイ) C. Thanantaseth

1. はじめに 筆者ら(1)は単基質の生物膜内での拡散と反応にフリスの理論を提示しその回転円板法による硝化過程への適用について報告した。しかし、実処理では硝化のみが生ずるケースは稀であり硝化と有機物酸化が同一の生物膜内で進行する。同知の如く有機物酸化と硝化は栄養源とエネルギー源を異にする他栄養性細菌と自栄養細菌によって行われる。既往の研究には処理水中の残留BODと硝化率の間に強い相関がある事を示したものはあるが、生物膜内ミクロに解析した有機物酸化-硝化過程の理論的検討は筆者らの知る範囲ではほとんど無い。本文では好気性生物膜内では他栄養細菌と自栄養細菌(硝化菌)の酸素摂取速度の和が一定に保たれるとの仮定に基づき、有機物酸化-硝化過程の理論展開と実験による理論的検証を行う。

2. 理論的考察 理論の展開にあたり図-1のような回転円板法のモデル化を行う。他栄養細菌層が存在しない硝化菌生物膜で反応が酸素律速の場合、生物膜への $\text{NH}_4\text{-N}$ Flux ($F_{N, \max}$ と記す)は式-1で与えられる。

$$F_{N, \max} = F_0 / a_n \text{-----}(1) \quad \text{ここで, } F_0 \text{ は付着生物膜を通過して}$$

生物膜へ拡散する酸素 Flux (式-2), a_n は硝化反応における酸素消費量で硝化が硝酸型の場合には $\pm 3.3 \text{ g O}_2 / \text{g NH}_4\text{-N}$ である。

$F_0 = D_0 (C_0^* - C_{s0}) / L_w \text{-----}(2)$ ここで, D_0 は酸素分子が水中での分子拡散係数, C_0^* は飽和溶解酸素濃度である。 C_{s0} と L_w は実測がむずかしいのでシミュレーションにより水温 23°C , 円板周辺速度 7 m/min においてそれぞれ 2.5 mg/l , $50 \mu\text{m}$ と推定した。この場合 F_0 は $1.06 \text{ g O}_2 / \text{min}$

$F_{N, \max}$ は $0.244 \text{ g NH}_4\text{-N} / \text{m}^2 \text{h}$ となる。実測した $F_{N, \max}$ は約 $0.26 \text{ g NH}_4\text{-N} / \text{m}^2 \text{h}$ であった。生物膜への酸素供給速度は生物膜を構成する細菌の種類に依り付着水膜内の酸素分子の拡散速度により決まると仮定すると式-1は式-3のように有機物酸化-硝化過程に適用される。

$$F_0 = a_n F_{N, \max} = a_n F_N + a_c F_c = a_c F_{c, \max} \text{-----}(3)$$

ここで, a_c は有機物酸化反応における酸素消費量, F_c は有機物 Flux である。式-3を無次元化すると式-4となる。

$$F_N / F_{N, \max} = 1 - (a_c / a_n) (F_c / F_{N, \max}) \\ = 1 - 0.23 (a_c F_c / F_{N, \max}) \text{-----}(4)$$

他栄養細菌の細胞合成に利用される $\text{NH}_4\text{-N}$ と硝化により減少する $\text{NH}_4\text{-N}$ とを分離すると(2)式-5のようになる。

$$F_A = F_N + 0.11 a_c F_c \text{-----}(5) \quad \text{ここで, } F_A \text{ は有機物酸化-硝化過程における生物膜への } \text{NH}_4\text{-N Flux} \text{ である。式-4, 5}$$

より式-6のような無次元式を得る。

$$F_A / F_{N, \max} = 1 - (1/a_n - 0.11) (a_c F_c / F_{N, \max}) \\ = 1 - 0.12 (a_c F_c / F_{N, \max}) \text{-----}(6)$$

3. 実験による理論的検証 式-4, 6を証明するために有機物(グルコースとスターチ)と $\text{NH}_4\text{-N}$ を含む人工下水を用いて完全混合

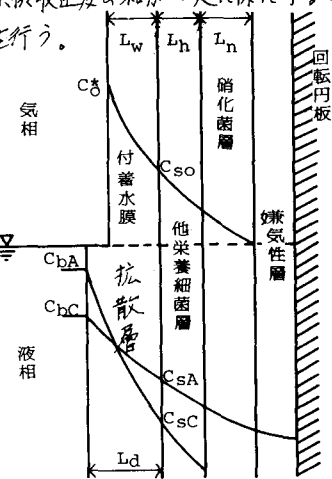


図-1 生物膜モデル

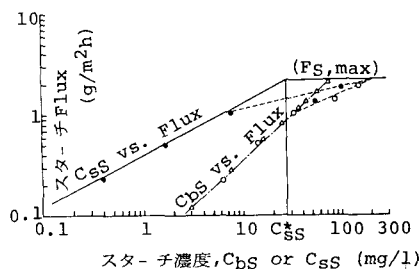


図-2 スターチ濃度とスターチ Flux

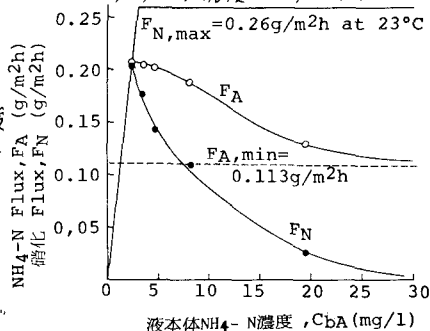


図-3 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度と $\text{NH}_4\text{-N}$ Flux

型回転円板装置による処理実験を行った。Run 1 (27°C), 2 (25°C) 3 (23°C) ではグルコースを有機源として原水の BOD / NH₄-N をそれぞれ 0.6, 1.2, 2.8 とし水量負荷が 4 ~ 21 l/m² の範囲で実験を行った。Run 4 (25°C) ではスターチを有機源とし水量負荷を 3 ~ 15 l/m² の範囲で変化させた。Run 5 (23°C) ではスターチを有機源とし水量負荷を 5 l/m² に固定し BOD / NH₄-N を 0.7 ~ 5.8 とした。Run 5 における平衡スターチ濃度 (C_{ss}) とスターチ Flux (F_s) の関係を図-2 に、平衡 NH₄-N 濃度 (C_{ss}) と NH₄-N Flux (F_N) および硝化 Flux (F_N) の関係を図-3 に示す。

硝化が生じない場合は図-2 の実線より C_{ss} と F_s の関係が与えられるが、実験データは C_{ss} が高くなるにつれて理論値より小さくなった。これは生物膜内の硝化菌により溶存酸素の一部が摂取される事による。Run 5 では C_{ss} が C_{ss} と共に増加したため有機物酸化に利用された酸素量が C_{ss} の増加に伴って多くなり図-3 のような結果が得られた。グルコースとスターチの a_c 値はそれぞれ 0.71 g O₂ / g グルコース, 0.55 g O₂ / g スターチと測定されたため、これらの値を用いて式-4, 6 に従って実験データをプロットすると図-4, 5 を得る。図-5 は同地下水の三次処理データもプロットしてある。Run 5 以外のデータは糸状菌の影響により理論値よりも大きいであるが、図-4 と 5 より式-4 と 6 が証明されたと考えて良いであろう。図-6 は EPA のデータと式-6 を完全混合4段菌列槽に適用した計算値とを比較したものである。処理水 BOD が 20 mg/l 以下で良く一致している。これら BOD が低くなるほど BOD と硝化率の間に一義的關係が成立する度合いが強くなる事による。詳細については参考文献 (2) を参照の事。

4. 有機物酸化-硝化生物膜モデル 図-1 のような単純化したモデルでは筆者らの生物膜理論により F_N は式-7 とする。

$$F_N = \frac{1}{a_n} \sqrt{2 a_n R_n D_o \left(C_{ss} - \frac{a_c D_o C_{ss}}{D_o} \right)} \quad \text{----- (7)}$$

ここで、R_n は生物膜内での硝化速度、D_o は膜内での有機物の分子拡散係数、C_{ss} は生物膜表面の有機物濃度である。式-7 に Run 5 における諸定数を代入して F_N を計算し実験値と比較すると図-7 のようである。モデルによる計算値の方が C_{ss} の低い所で硝化が停止するが、この点については図-8 のような生物膜モデルにより解決できる。図-8 は生物膜の任意断面における他栄養細菌と硝化菌による酸素摂取速度の和が一定に保たれるとしてモデル化したものである。詳細については講演時に述べる。

参考文献 (1) 渡辺他：回転円板法の浄化機構に関する研究 (I), (II) 下水協誌, No. 172 (1978), No. 195 (1980), (2) 渡辺他：回転円板法の浄化機構に関する研究 (III), 下水協誌, 投稿中

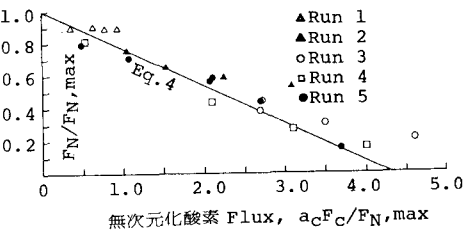


図-4 硝化 Flux と酸素 Flux の関係

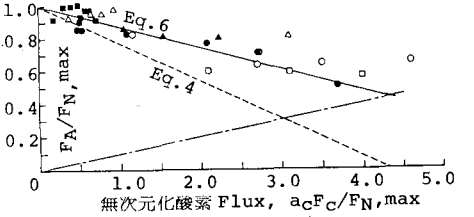


図-5 NH₄-N Flux と酸素 Flux の関係

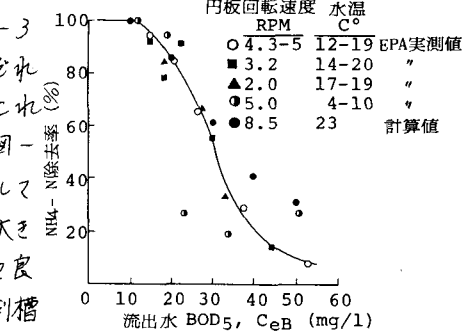


図-6 計算値と EPA データの比較

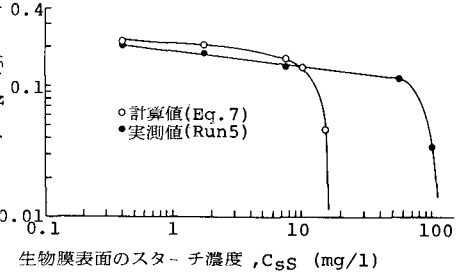


図-7 硝化 Flux の計算値と実験値の比較

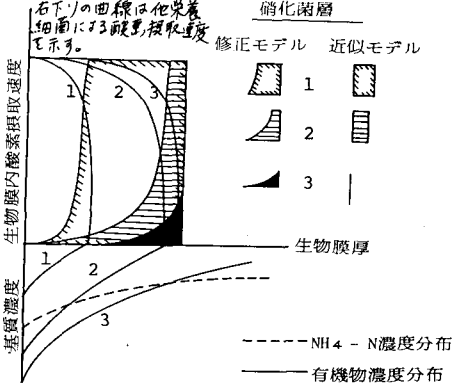


図-8 修正生物膜モデル