

金沢大学 建設工学科 正員 ○松井 三郎

金沢大学 大学院 学生員 今井 章雄

金沢大学 大学院 学生員 大滝 裕一

1. はじめに 流動床方式脱窒素を用いて、非定常状態実験を行なつた。

図1に示したように、流入 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を一定に保ち、一方、水素供与体である都市下水中の有機炭素源(TOC)を定常状態時の一定濃度から急激に0付近におよぼす条件(feed stop)、及び急激に高濃度とする条件(feed up)を与えて、その条件に対する反応系の動的応答を捉え、脱窒素反応機構を探究する実験を行なつた。

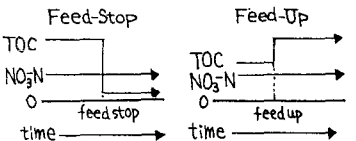


図1 Feed-Stop及びFeed-Upのモデル図

2. 実験装置及び方法 実験装置等については、研究その1と同様のものを用いた。3. 反応動力学モデル及び解析 モデルの構築にあたり

次のような仮定を行なう。(1)Z軸方向のみ解析を考慮する。(2)液相はZ軸方向の混合拡散を伴う押し出し流れとみなす。(3)固相における粒子の混合拡散項は小さいものとして無視する。(4)液相から固相への基質移動は、生物学的吸着貯蔵によるのみ行なわれる。(5) $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ は細胞膜透過が容易であると考えられるため、生物学的吸着貯蔵を受ける対象は有機炭素源のみとみなす。(6)生物学的吸着貯蔵段階での脱窒素反応は無視する。(7)固相に存在するVSSは、活性微生物 X_a 、微生物として貯蔵された X_s 、補足的貯蔵物質 X_{sc} 、不活性物質 X_i から成るものとする。本モデルの特徴として、(i)反応系を固相と液相に分離して考えること。(ii)貯蔵物質として、 X_s と異なる補足的有機炭素源貯蔵物質 X_{sc} を導入することがあげられる。以上の事柄を考慮して、図2にあるようなZ軸方向の微小部分 Δz において微分物質収支をとると次のようになる。

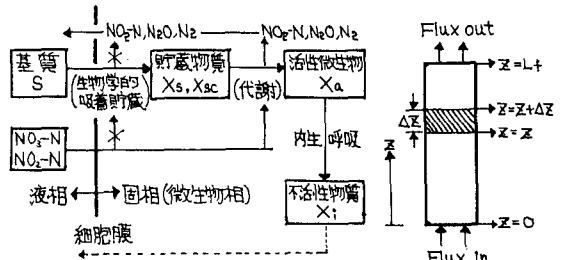


図2 本モデルの概念図

図3 モデル図

【固相モデル】

微生物として貯蔵される基質、 X_s ($\text{mg VSS}/\ell$):

$$\frac{\partial X_s}{\partial t} = K_S X_a \left(f - \frac{X_s}{X_a} \right) \frac{1}{P} - \frac{K_m X_s P}{K_s + X_s P} X_a \frac{1}{P} \quad (1)$$

(生物学的吸着貯蔵項) (代謝項)

活性微生物、 X_a ($\text{mg VSS}/\ell$):

$$\frac{\partial X_a}{\partial t} = Y \frac{K_m X_s P}{K_s + X_s P} X_a - b X_a \quad (2)$$

(増殖項) (内生呼吸項)

不活性物質、 X_i ($\text{mg VSS}/\ell$):

$$\frac{\partial X_i}{\partial t} = f b X_a \quad (3)$$

f: 活性微生物のうち生物分解可能な部分(-)

補足的貯蔵物質、 X_{sc} ($\text{mg VSS}/\ell$): (但し、有機炭素源律速の場合は考慮しない)

$$\frac{\partial X_{sc}}{\partial t} = -b_{sc} X_a \quad (4)$$

b_{sc}: X_{sc} の分解速度(1/hr)

【液相モデル】

有機炭素源(基質)、 S ($\text{mg COD}/\ell$):

$$\frac{\partial S}{\partial t} = D \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} - U_z \frac{\partial S}{\partial z} - K_S X_a \left(f - \frac{X_s}{X_a} \right) \quad (5)$$

(混合拡散項) (対流項) (生物学的吸着貯蔵項)

硝酸性窒素、 N_s ($\text{mg NO}_3\text{-N}/\ell$):K: 生物学的吸着貯蔵係数(1/ $\text{mg VSS} \cdot \text{hr}$), S: 液相中の基質($\text{mg COD}/\ell$)f: 最大貯蔵容量(-), K_m : 脱窒素最大速度(代謝)(1/hr)K_s: 脱窒素における半飽和定数($\text{mg COD}/\ell$), P: 換算係数(-)

Y: 収率係数(-), b: 内生呼吸速度(1/hr)

f: 活性微生物のうち生物分解可能な部分(-)

b_{sc}: X_{sc} の分解速度(1/hr)D: Z軸方向混合拡散係数(m^2/hr), U_z : Z軸方向流速(cm/hr)

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N_2}{\partial z^2} - U_s \frac{\partial N_2}{\partial z} - \frac{K_{N2}(X_s + X_{sc})P}{K_s + (X_s + X_{sc})P} X_a \quad (6) \quad K_{N2}: NO_2-N \text{の最大消失速度}(1/hr)$$

石灰性窒素, $N_2(mg NO_2-N/L)$; (脱窒素反応項) (酸素阻害項として拮抗的酸素阻害を採用した)

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N_2}{\partial z^2} - U_s \frac{\partial N_2}{\partial z} - \frac{K_{N2}(X_s + X_{sc})P}{K_s + (X_s + X_{sc})P} \left(\frac{1}{1 + \frac{N_2}{K_i N_2}} \right) X_a + Y_N \frac{K_{N3}(X_s + X_{sc})P}{K_s + (X_s + X_{sc})P} X_a \quad (7) \quad K_{N2}: NO_2-N \text{の} N_2 \text{への最大転化速度}(1/hr), Y_N: \text{消失} NO_2-N \text{の} NO_2-N \text{へ転化する割合}(-), K_i: \text{拮抗的酸素阻害係数}(-)$$

4. 実験結果及び考察

以上のモデルを用い非定常状態時実験の結果を

予測した。非定常状態時実験のシンボルについては表-1に示した。(1)図-4は十分な有機炭素源供給により良好な脱窒素反応を行なっている定常状態系にfeed stopをかけた場合の典型例である。トレーサー実験により、feed stop後10分程でTOCはほとんど消失することが確認されている。それに

水にもかわらず、図より明白にfeed stop後10分以降において脱窒素反応は持続されている。これ程大きな脱窒素速度を内生呼吸型の脱窒プロセスで説明することはできない。又、液中中にすでに有機炭素源が存在しないことを考慮すると、微生物は定常状態時に有機炭素源をその細胞内に貯蔵し、feed stop後にそれをすみやかに利用していると考えられる。従って、本実験により、従来の定常状態時実験ではその存在を認識できなかった脱窒素菌の貯蔵現象を確認位置づけることができた。図-4に実線で示した NO_3-N 及びTOC理論値は実験値と良く一致しており、 NO_2-N 理論値は、挙動傾向は一致しているが、ピーク出現時刻及び値自体の相違がみられる。

(2)図-5は有機炭素源供給が不十分で反応律速を受けている定常状態系にfeed stopをかけた場合の典型例である。この場合、feed stop後の NO_3-N 増大が急なものであり、脱窒素現象が短時間で終了していると言える。よって、定常状態時に有機炭素源律速を受ける場合、微生物の有機炭素源量は非常に小さいものと考えられる。この図も、 NO_3-N 及びTOC理論値は実験値と良く一致しており、 NO_2-N 理論値は実験値とかなり相違した結果となった。(3)図-6は、有機炭素源供給が十分な定常状態系に約4倍に相当する有機炭素源feed up(shock load)をかけた場合のものである。図より、定常状態時に有機炭素源律速でない場合、反応系は有機炭素源負荷変動の影響を全く受けないことが確認される。最初に得られた理論値は実験値と全くかけ離れたので、feed upの場合に特に大きく影響を与える因子である生物学的吸着貯蔵係数 K の値を%として計算すると、図-6の実線が得られた。 NO_2-N 理論値を除いて、 NO_3-N 及びTOC理論値は実験値と良く一致している。以上の結果より、本モデルによるfeed stop及びfeed up条件下における予測は、 NO_3-N 及びTOCについては良好であり、 NO_2-N についてはあまり良好ではなかったと結論される。

表-1 シンボルの説明

- Feed Stop及び Up 前流入TOC Conc.
- Feed Stop及び Up 後流入TOC Conc.
- △ Feed Stop及び Up 前流入 NO_3-N Conc.
- ▲ Feed Stop及び Up 後流入 NO_3-N Conc.
- Feed Stop及び Up 前流入 NO_2-N Conc.
- Feed Stop及び Up 後流入 NO_2-N Conc.
- 流出TOC
- ▲ 流出 NO_3-N
- 流出 NO_2-N

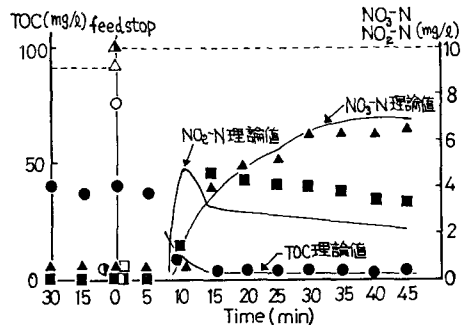


図-4 有機炭素源供給が十分な定常状態系にfeed stopをかけた場合における理論値と実験値の比較

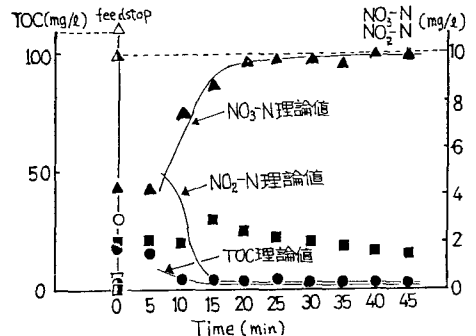


図-5 有機炭素源供給が不十分な定常状態系にfeed stopをかけた場合における理論値と実験値の比較

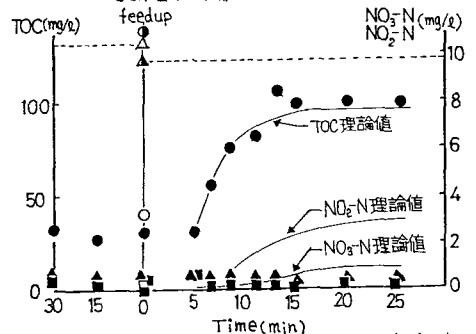


図-6 有機炭素源供給が十分な定常状態系にfeed upをかけた場合における理論値と実験値の比較

最後に、本研究に対する喜多慎一氏の御協力に謝意を表し、結びと至します。