

II-508

循環式硝化脱窒法における溶存酸素濃度と硝化速度定数の関係

大 阪 市

色 摩 勝 司

樽 谷 隆 雄

大阪ガス(株) 正会員

○村 上 嘉 孝

木 本 和 雄

1. はじめに

循環式硝化脱窒法において、安定した処理を行なうためには好気槽における硝化菌の活性をいかに維持するかが最大の課題である。我々は、図-1に示すフローを用いて高濃度酸素曝気による循環式硝化脱窒法の実験を行ってきたが¹⁾、その中で溶存酸素濃度 (MLDO) が 1~6 mg/l の範囲では、活性汚泥単位重量、単位時間あたりの硝化量を表わす硝化速度定数は MLDO にほぼ比例するという結果を得た。MLDO と硝化菌の増殖速度 μ の関係については一般に $\mu = \mu_{max} \cdot MLDO / (K + MLDO)$ 、

$K = 1.3 \sim 2.0$ であるとされている²⁾。しかしながら、硝化速度定数がこの式と同じ型で MLDO の影響を受けるとすると、この関係式だけでは今回得られた $MLDO < 6 \text{ mg/l}$ の範囲で硝化速度定数が MLDO に比例するという実験結果を表現することはできない。そこでこの原因を検討するため、以下の実験を行なった。すなわち $MLDO 4 \text{ mg/l}$ で十分馴致した活性汚泥を用いて回分テストを行ない、非定常状態における MLDO と硝化速度定数の関係を求めた。その結果、MLDO を馴致濃度よりも高い 6、7 mg/l にしても硝化能力の向上は見られなかった(図-2)。この実験結果から、定常状態において $MLDO < 6 \text{ mg/l}$ の範囲で硝化速度定数が MLDO に比例したのは、高 MLDO において硝化菌あたりの硝化速度が増加したためではなく、硝化菌数の増加によりみかけ上の硝化速度が増加したためと考えられた。以上のことから今回、汚泥フロック内の硝化菌数に着目して、フロック内の酸素濃度、アンモニア性窒素濃度、硝化菌数の分布をシミュレーションし、これから求めた硝化速度定数と MLDO の関係について、実験データとの対比を行なった。

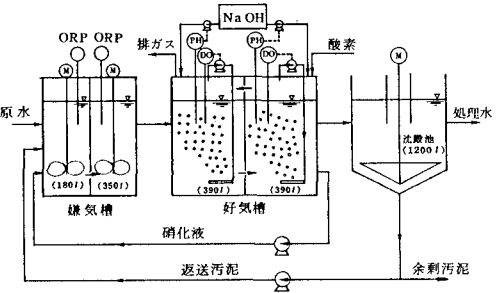


図-1 酸素曝気による循環式硝化脱窒法 フロー図

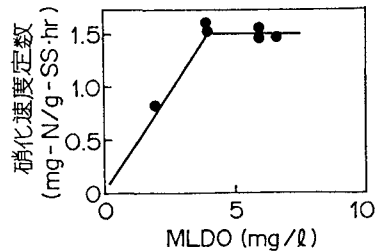


図-2 硝化速度定数とMLDOの関係 (MLDO 4mg/l で馴致した汚泥による回分テスト結果)

2. 生物反応モデル

汚泥フロックを球状であるとし、表-1に示すようにフロック内における酸素とアンモニア性窒素の拡散方程式をたてた。すなわち、図-3のように汚泥フロックの液境膜部とフロック内に、物質移動に対する抵抗が直列に存在する。基質及び酸素は、液本体から界面の外側

表-1 フロック内の拡散方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_o}{\partial t} &= D_{o0} \left(\frac{\partial^2 C_o}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C_o}{\partial r} \right) - U_{r0} \\ \frac{\partial C_N}{\partial t} &= D_{oN} \left(\frac{\partial^2 C_N}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C_N}{\partial r} \right) - U_{rN} \\ U_{r0} &= U_{r01} + 4.67 \times U_{rN} \\ U_{rN} &= U_{rN}^* \cdot \rho_N \\ \rho_N &= K \cdot \left[\frac{DO}{DO + K_{O_2}} \right] \cdot \left[\frac{NH_4-N}{NH_4-N + K_N} \right] \\ C & : \text{酸素、アンモニア性窒素濃度} \\ D_o & : \text{酸素、アンモニア性窒素の拡散係数} \\ U_{r0} & : \text{酸素消費速度} \\ U_{rN} & : \text{フロック単位容積当りの硝化速度} \\ U_{rN}^* & : \text{硝化菌1g当りの硝化速度} \\ \rho_N & : \text{フロック単位容積当りの硝化菌量} \end{aligned}$$

表-2 諸定数表

フロック径	: 150 μm ³⁾
フロックの密度	: 1.25 g/cm ³ ³⁾
D_{o0}	: $8.2 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sec}$ ³⁾
D_{oN}	: $2.3 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sec}$ ³⁾
K_{O_2}	: 2.0 mg/l ²⁾
K_N	: 1.0 mg/l ³⁾
U_{r01}	: 15.0 mg-O ₂ /cm ³ ・hr
K	: 130 mg-硝化菌/cm ³
U_{rN}^*	: 41.7 mg-N/g-硝化菌・hr

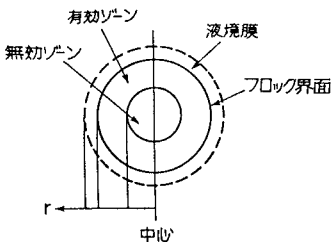


図-3 汚泥フロックモデル

の拡散層を通して汚泥界面に到達し、さらに界面内側を拡散しつつ反応により消費される(このゾーンを有効ゾーンという)。基質及び酸素濃度が低下し、ある値以下になると反応は起こらないので、この点から内側ではアンモニアの酸化は起こらない(無効ゾーン)。なお、フロック内各点における硝化速度は硝化菌数に比例し、その硝化菌数はMLDO、アンモニア性窒素濃度に関するMonod型の式で表わされるとした。本拡散方程式は、フロック表面の酸素濃度、アンモニア性窒素濃度、及びフロック内で酸素が0となる点またはフロックの中心で $dC/dr=0$ という境界条件と、表-2に示す定数を与えて差分陰解法により解き、フロック内の酸素及びアンモニア性窒素濃度、硝化菌数の分布、硝化速度定数を求めた。

3. モデルのシミュレーション結果

フロック内の酸素濃度、アンモニア性窒素濃度、硝化菌の分布を図-4、5、6に示す。図-4でフロック内に酸素が存在しないゾーンが見られるのに対し、図-5ではMLDOにかかわらず NH_4-N がフロック中心まで存在しており、フロック内の反応は酸素拡散により制限されていることがわかる。また、図-6にはMLDO 4 mg/lと6 mg/lにおける硝化菌分布の差が示されているが、この差から図-3の実験で、MLDO 4 mg/lで馴致した汚泥をMLDO 6 mg/lにさらしても硝化速度定数がすぐには増加しないことが説明できる。また同じく図-3の実験で、MLDOを2 mg/lに下げた場合硝化速度定数が低下したが、これは図-4に示すようにフロック内の酸素濃度が制限因子となったためと考えられる。

4. 実験結果との比較

定常状態におけるMLDOと硝化速度定数の関係について、実験結果とシミュレーション結果の比較を図-7に示す。シミュレーション結果は、MLDO 6 mg/l以下の範囲で硝化速度定数がMLDOに比例したという実験結果とよく一致している。

5. まとめ

硝化速度定数はフロック内の硝化菌数に比例し、その硝化菌数は、MLDOとアンモニア性窒素濃度に関してMonod型の式で表わされるという仮定により、硝化速度定数とMLDOの関係について検討を行なった。その結果、定常状態では硝化速度定数はMLDOに比例するが、非定常状態では馴致濃度以上のMLDOに活性汚泥をさらしても、すぐには硝化能力は向上しないという実験結果を支持する結果が得られた。

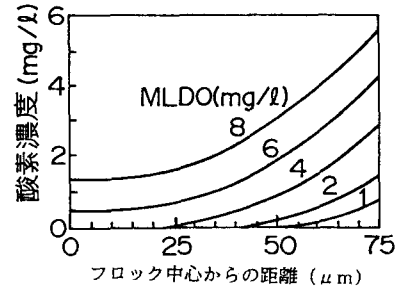


図-4 フロック内の酸素濃度

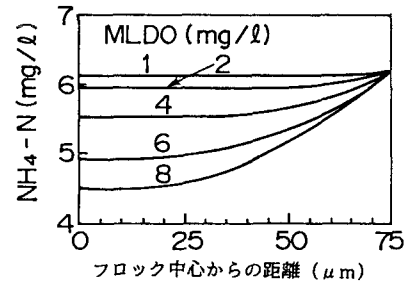


図-5 フロック内のアンモニア性窒素濃度

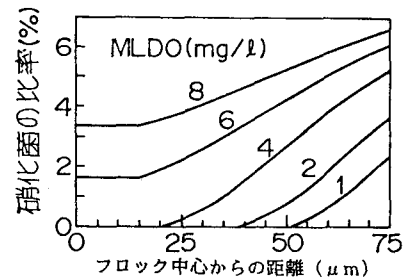


図-6 フロック内の硝化菌の比率

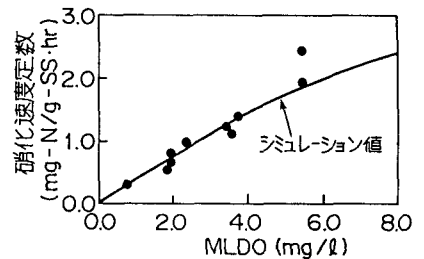


図-7 硝化速度定数とMLDOの関係
(アバントテスト値と計算結果の比較)

- <参考文献> 1) 樽谷他, 第25回下水道研究発表会講演集 (1988).
2) U.S.E.P.A., Process Design Manual for Nitrogen Control (1975).
3) L.Benefield et al., Biotechnol. and Bioengi., 18, 352 (1984).