

宮崎大学工学部 増田純雄 渡辺義公 石黒政儀

1. はじめに

固定生物膜を利用する回転円板法では、円板付着生物膜が空中と水中に交互に曝されるために、生物膜への酸素進入深さも生物膜の回転に伴って連続的に変化し、生物膜が空中から水中に入る瞬間に最大、水中から空中に入る瞬間に最小となる。この最大、最小の酸素侵入深さの差で与えられる生物膜厚部分では好氣的、嫌氣的雰囲気が周期的に繰り返され、微好気性状態（微好気性層と呼ぶ）となる。この部分では有機物酸化反応と硝化反応及び脱窒反応が進行する。しかし、低DO濃度のために、脱窒反応が卓越する。したがって、微好気性層よりも浅い生物膜部分は完全な好気性層となり、この部分では主に、硝化反応と有機物酸化反応が進行し、生物膜内で生成された硝酸性窒素の大部分は微好気性層で窒素ガスに還元される。

本論文では、回転円板法による硝化、脱窒、有機物酸化反応の実験により得られたデータを基にしたシミュレーションを行い、実験データから生物膜内の基質濃度分布及び生物膜内の微好気性層について明らかにし、その結果を報告する。

2. 実験装置と実験方法

実験装置は図-1に示すような完全密閉型のRBC装置（実水容量2.65L、空中部容量5.3Lの槽とアクリル製円板から成り、円板直径16cmφ、円板厚0.5cm、円板有効表面積0.41m²）である。実験装置を宮崎市の池田団地処理場に設置し、最初沈澱池流出水を原水として用い、円板上に生物膜が十分付着生育した時点で、原水中に有機炭素源として酢酸ナトリウムを添加する実験を行った。実験方法は円板カバーを取り付後、1時間毎に流出水およびカバー内の気体を注射器で採取し、水質と気体の分析を行う。なお、シミュレーションでは、先に報告¹⁾した生物膜の各種細菌活性度と本実験で得られた水質データを用いた。

3. 実験結果と考察

図-2(a), (b)に原水中の有機酸（酢酸ナトリウム）濃度が80, 40, 20mg/Lになるように酢酸ナトリウムを添加した場合の硝化、脱窒率と気相酸素分圧の関係を示す。実験条件は水温；22～23℃、NH₄-N負荷；0.7～1.0g/m²d、TOC負荷；1.0～2.9g/m²d、HRT；3.7～5.1時間の範囲で行ったものであり、流入TOC濃度とNH₄-N濃度比をC/N比で表すと図中のようになる。実験は2台の装置を用い、図(a)のHRTは3.7～4.9時間、図(b)のHRTは4.7～5.1時間の範囲で行った。図(a)から明らかなように、NH₄-N負荷が何れも1.0g/m²d以下と低いために、

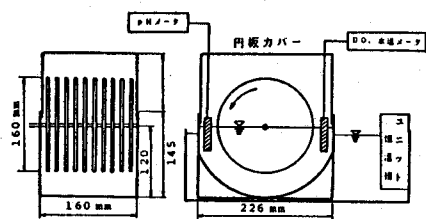


図-1 実験装置

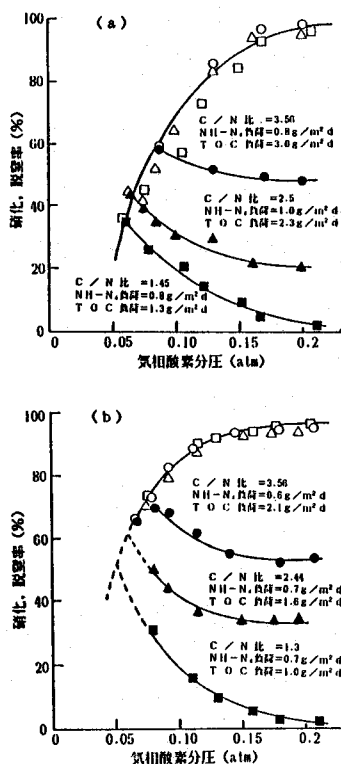


図-2 硝化、脱窒率と気相酸素分圧の関係

気相酸素分圧 0.21~0.15 atm の範囲では硝化が90%以上達成され、脱窒率はC/N比の増加により2, 20, 50 %と高くなる。気相酸素分圧の低下に伴い脱窒率は増加し、最大脱窒率 35, 45, 58 %が得られている。図 (b) も同様の結果が得られており、気相酸素分圧 0.21 atm での脱窒率は2, 35, 52%で、最大脱窒率は点線のように 50, 60, 75 %になると考えられ、硝化、脱窒パターンはA, B型²⁾となる。図 (a) より実験範囲内での最適C/N比は 3.56 である。この時、生物膜内に取り込まれた酢酸濃度をBOD値に換算すると 104 mg/ℓとなる。流入NH₄-N濃度が 18.1mg/ℓであることからBOD/NH₄-N濃度比は 5.7 と成る。一般的に、都市下水中のNH₄-N濃度は 20~30 mg/ℓであり、硝化・脱窒同時反応を効率よく運転するためには流入BOD濃度 110~170 mg/ℓが必要である。また、最大脱窒率が得られる気相酸素分圧は 0.05~0.1atm の範囲である。両図から最大脱窒率は 60, 78 %が得られており有機炭素源が十分に存在すれば、気相酸素分圧を適切に制御することにより効率的な硝化、脱窒同時反応が行えることが分かる。図-3に水温 22~23 ℃、C/N比; 3.5, NH₄-N負荷; 1.0 g/m²d の場合の気相酸素分圧と硝化、脱窒率の関係を示す。気相酸素分圧の低下に伴い脱

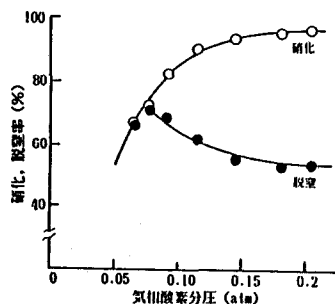


図-3 硝化、脱窒率と気相酸素分圧の関係

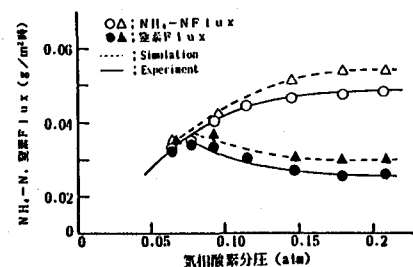


図-4 NH₄-N、窒素 Flux と気相酸素分圧の関係

窒率は増加、硝化は減少し、最大脱窒率 75 %が得られている。気相酸素分圧 0.075 atm以下では硝化と脱窒率が同じ減少パターンを示すB型となる。この実験結果を気相酸素分圧とNH₄-N、窒素 Fluxの関係に書換え、シミュレーションによる計算結果と比較したのが図-4である。図中の○●印がRBC装置で得られた実験データ、△▲印がシミュレーションにより得られた計算値である。図から明らかなように、実験値と計算値がほぼ一致していることが分かる。このことより、実測された生物膜内の各種細菌活性度の値が妥当であることが実証され、シミュレーションモデルが実廃水へ適用できることが明かとなった。生物膜内の基質濃度分布は生物膜内のD₀浸入深さによって、各基質の濃度分布が変化する。ここでは実験で得られたデータを用い、RBC法による硝化・脱窒同時反応のシミュレーションを行った場合の生物膜内の基質濃度分布について検討する。図-5, 6, 7に気相酸素分圧0.18atmの実験データを用いた場合の生物膜内D₀濃度分布を示す。図-5に生物膜内のD₀濃度分布を示す。生物膜が空中に出た瞬間D₀は生物膜深さ120 μmまで浸入し

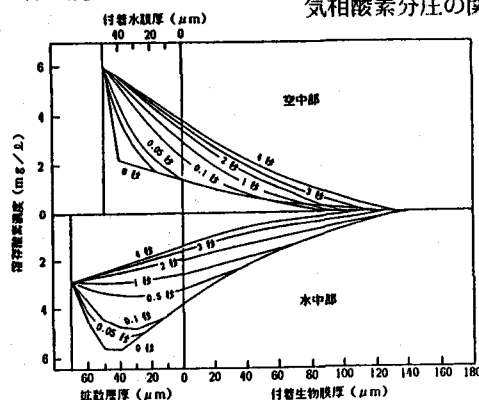


図-5 生物膜内の溶存酸素濃度分布

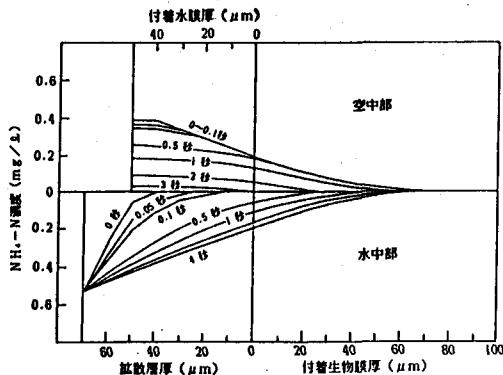


図-6 生物膜内のNH₄-N濃度分布

ている。0.1秒後には、D O浸入深さは85 μm となり、その後は生物膜の回転に伴って次第に生物膜内へ浸入し、4秒後には最大酸素浸入深さ(130 μm)に達する。逆に、生物膜が空中から水中に入ると、0から2秒の間、D O浸入深さは140 μm まで浸入しているが、その後は生物膜の回転に伴って、D O浸入深さは次第に浅くなり4秒後には110 μm となる。従って、生物膜が空中に存在する時には微好気性層は45 μm 、水中部では30 μm となる。図-6に生物膜内の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度分布を示す。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は生物膜内へ最大70 μm まで浸入し、空中部では時間の経過と共に $\text{NH}_4\text{-N}$ が酸化され、4秒後には完全に酸化される。水中部では時間の経過と共に $\text{NH}_4\text{-N}$ が生物膜内へ浸入し、4秒後には最大 $\text{NH}_4\text{-N}$ 浸入深さに達する。図-7に生物膜内の有機物濃度分布を示す。生物膜内への有機物浸入深さは最大100 μm となる。また、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は生物膜底部まで浸入しており、図-5のD O濃度分布と比較して考えると、生物膜 85~100 μm の微好気性層で脱窒反応が生じることが分かる。

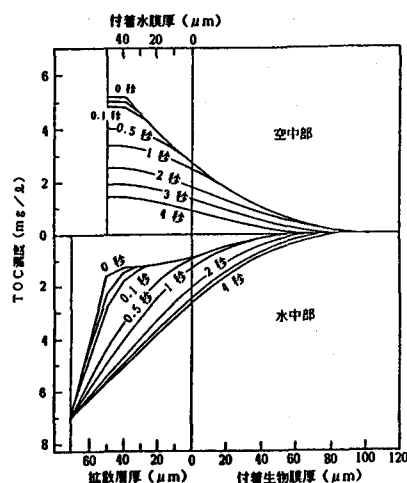


図-7 生物膜内の有機物濃度分布

4. おわりに

実廃水を用いたRBC法による硝化・脱窒同時反応の実験とシミュレーションを行い、次のような結果が得られた。

1) 硝化・脱窒同時反応を効率よく運転するためには、低濃度有機廃水の場合には有機源として他の有機物を添加する必要があり、流入 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の5.7倍のBOD濃度が必要である。また、最大脱窒率が得られる気相酸素分圧は0.05~0.1 atmの範囲である。2) 低濃度有機廃水においても有機炭素源を添加することにより、脱窒率が増加し、人工下水による実験結果と同様にC/N比、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 負荷、有機物負荷に影響される。3) 実験で得られた生物膜内の各種活性度を用いて、シミュレーションを行った結果、生物膜内の各種活性度の妥当性が明かとなり、シミュレーションモデルが実廃水へ適用できた。5) 生物膜内のD O濃度分布がシミュレーションの結果明かとなり、生物膜内のD O侵入深さによって生物膜内には微好気性層が形成される。

参考文献

- 1) 増田純雄, 渡辺義公, 石黒政儀: 回転円板付着生物膜内の細菌に関する研究, 下水道協会誌, Vol.24, No.278, 7(1987)
- 2) 増田純雄, 渡辺義公, 石黒政儀: 回転円板法による窒素除去に関する研究, 下水道協会誌, Vol.19, No.215, 4(1982)
- 3) 月足圭一, 川崎慎一郎, 増田, 石黒; 硝化・脱窒同時反応による都市下水処理に関する研究(2), 土木学会西部支部研究発表会講演集, 2(1986)
- 4) 川崎慎一郎, 月足圭一, 増田, 渡辺, 石黒; 回転円板法による都市下水の硝化・脱窒同時反応に関する研究, 土木学会第42回年次学術講演会講演, 概要集, 10(1987)
- 5) 増田, 渡辺, 石黒, 川崎慎一郎; 回転円板法による低濃度有機廃水の硝化・脱窒同時反応に関する研究, 土木学会第43回年次学術講演会講演概要集, 10(1988)