



Title	微好気性生物膜による脱窒素に関する研究
Author(s)	渡辺, 義公; 増田, 純雄
Description	第1回衛生工学シンポジウム (平成5年11月17日 (水) -18日 (木) 北海道大学学術交流会館) . 6 水処理 . 6-2
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 1, 198-201
Issue Date	1993-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7449
Type	departmental bulletin paper
File Information	1-6-2_p198-201.pdf



微好気性生物膜による脱窒素に関する研究

北海道大学工学部 渡辺 義公
宮崎大学 工学部 増田 純雄

1. 研究の目的

既往の生物学的窒素除去プロセスでは、好氣的反応槽における硝化と嫌氣的反応槽における脱窒を組み合わせたシステム構成がもっとも一般的である。内生呼吸を利用する微好気性硝化・脱窒槽と嫌気性脱窒槽を組み合わせたシステムや、回分式活性汚泥法のように単一反応槽で硝化・脱窒反応を行う方法も開発されているが、ORP 制御が必要であったり、安定して高い硝化・脱窒効率が得にくいといった欠点も指摘されている。著者らは、下・廃水中の有機物を有効に脱窒の有機源として利用するために、半水没型回転接触体上に形成された生物膜への酸素供給量を制限し膜内を微好気性として、単一生物膜により硝化と脱窒を同時に行う研究^{1)~5)}を継続しており、気相酸素分圧を0.1気圧程度に制御すれば、硝化・脱窒同時反応が効率良く進行することを見いだした。さらに、同様の観点に立ち、好気性の硝化細菌と通性嫌気性の脱窒細菌を分別生育させ単一リアクター内で有機物と窒素を同時に除去する方法についての研究^{6)~8)}も行っている。この研究で用いている実験装置は、上部の硝化細菌を主体とする生物膜を形成させるための半水没型接触体と、下部の脱窒機能をもつ他栄養性細菌を主体とする生物膜を形成させるための全水没型接触体により構成される完全混合型バイオリアクターである。本文では微好気性バイオリアクター内での硝化・脱窒同時反応を利用した有機物と窒素の除去法について説明する。

2. 生物膜への酸素供給を制限した回転生物接触法

2.1 実験装置と実験方法

実験装置は図-1に示す完全混合密閉型の回転生物接触体(RBC)装置である。気相部の酸素分圧(P_0)は装置内への空気供給量により所定の値に制御した。原水の TOC 濃度と $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の比(C/N 比)

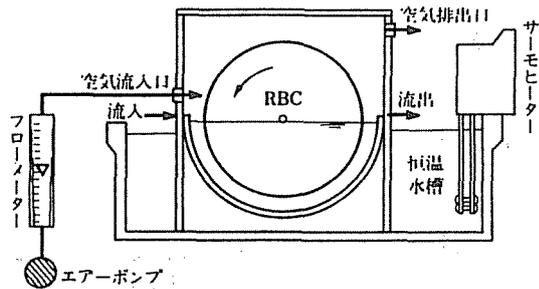


図-1 生物膜への酸素供給を制限したバイオリアクター

は微量元素と $\text{NH}_4\text{-N}$ を 25 mg/l の濃度で添加した水道水にメタノールまたは酢酸ナトリウムを加えて調整した。実験は、水温を 25°C 、流入 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を 25 mg/l 、水理的滞留時間を 5.5 時間、すなわち $\text{NH}_4\text{-N}$ 負荷を $0.7 \text{ g/m}^2/\text{日}$ に固定し、C/N 比と気相酸素分圧を変数として行った。接触体の一部を生物膜が付着した状態で抜き取り、生物膜をマイクロスライサーにより 20 から $50 \mu\text{m}$ の厚さに切断して生物膜深さ方向の有機物酸化活性、硝化(アンモニア酸化)活性および脱窒(硝酸還元)活性を測定した。切断した生物膜片をその外観により表層部、中層部、底層部に分けて、それぞれの部の活性度として表示したのが表-1であり、生物膜内に各種細菌が混在していることがわかる。

表-1 生物膜内活性度分布(1/日)水温 26°C

生物学的活性度	表層部	中層部	底層部
有機物酸化	0.736	0.644	0.598
硝化	0.223	0.193	0.209
脱窒	0.193	0.168	0.209

2.2 実験結果と考察

装置のカバーを外して($P_0=0.21 \text{ atm}$)有機源としてメタノールを添加して運転し処理水質が定常となった後、カバーをして外部からの酸素供給を絶った状態で時間の経過(すなわち、気相酸素分圧の減少)に伴う処理水質の変化を測定した結果が図-2である。いずれの C/N 比においても、気相酸素分圧の

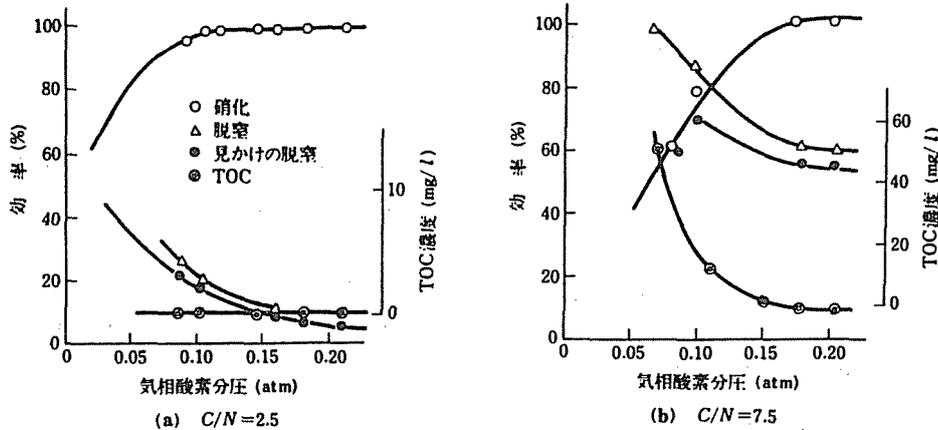


図-2 気相酸素分圧の低下に伴う処理効率の変化(有機源:メタノール)

減少に伴い、硝化効率は減少し見かけの脱窒効率(流入・流出窒素濃度からの計算値)は増加した。このような実験結果から、生物膜への酸素供給量を制限して膜内を好気性にする、生物膜内で硝化・脱窒同時反応が活発になることがわかる。硝化細菌が十分に付着生育した段階で装置にカバーをして外部から酸素(空気として)を供給して気相酸素分圧を0.1気圧に保ちながら、有機源を酢酸とした原水(C/N比=6)を供給して硝化・脱窒効率の経時変化を測定した結果が図-3である。実験開始後10日程度で硝化・脱窒率は90%を超えた。図-4は原水のC/N比と気相酸素分圧を変化させた同様の実験の結果を整理したものである。C/N比が2.5から6の範囲では、C/N比はほとんど硝化効率に影響しなかった。しかし、脱窒効率に及ぼすC/N比の影響は大きかった。

3. 好気性と微好気性の生物膜をもつ回転生物接触法

3.1 実験装置と実験方法

実験装置は図-5に示すように、矩形槽内に平行する上下2軸の回転接触体を有している。上下の接触体は交互に重複させ、装置のコンパクト化と半水没と全水没の生物膜の間の物質移動の促進を図った。回転軸を減速機を内蔵したモーターに直結させて、接触体を7rpmで回転させた。既報⁹⁾で詳細に解説したように、生物膜への酸素移動抵抗(酸素分子の拡散係数/濃度境界層厚)は水没型では半水没型よりは

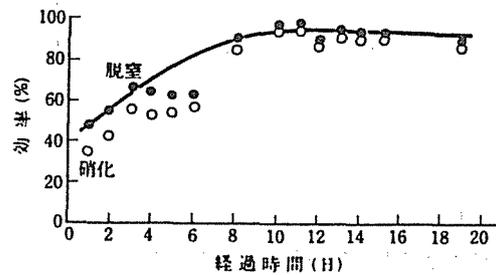


図-3 低酸素分圧下における硝化・脱窒効率($P_0=0.1$ atm, C/N=6)

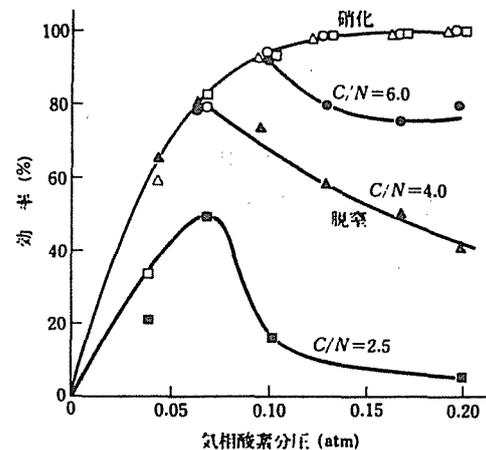


図-4 硝化・脱窒効率に及ぼす気相酸素分圧とC/N比の関係

るかに大きい。たとえば、今回の実験条件について考察すると、平板上の生物膜の場合の濃度境界層厚は回転速度7rpmの場合水没型で約250 μ m、半水没型で約100 μ mである。したがって、水没生物膜は溶存酸素の影響を受けにくく、そこでは脱窒反応が

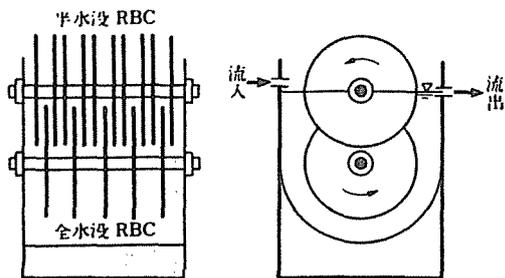


図-5 好気性と微小好気性の生物膜をもつバイオリアクター

生じやすい環境が形成される。実験では、10倍に希釈したし尿消化槽脱離液に易生物分解性有機物としての酢酸または難生物分解性有機物としてのエチレングリコールを添加してC/N比を調整した人工有機廃水を用いた。装置は25°Cの恒温室に設置しHRTを25時間に固定して、硝化・脱窒同時反応に及ぼす有機源とC/N比の影響と反応機構を検討するためのデータを収集した。

3.2 実験結果と考察

原水としての10倍希釈したし尿消化槽脱離液(平均水質は以下のようなものである: TOC=40~60 mg/l, NH₄-N=100~130 mg/l, alkalinity=300~400 mg/l, pH=8.4)と、脱窒の有機源として易生物分解性有機物の酢酸または難生物分解性有機物のエチレングリコールを用いた。流入水のC/N比は原水の0.4付近から有機源を添加して3.5程度まで徐々に増加させた。有機源としてエチレングリコールを添加したときの実験結果をC/N比と硝化・総括脱窒率の関係として示したのが図-6である。酢酸を有機

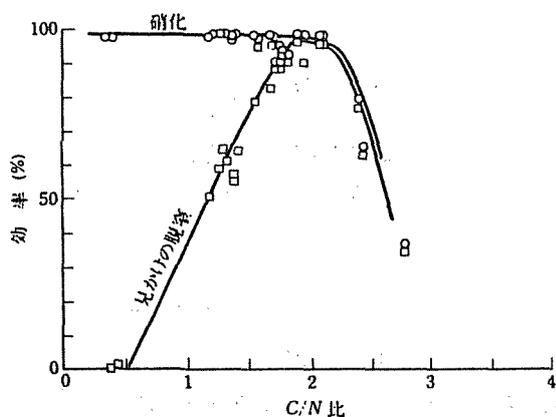
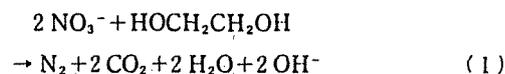


図-6 硝化・脱窒効率に及ぼすC/N比の影響(有機源:エチレングリコール)

源とした実験の途中で、回分実験により本法の硝化・脱窒効率を確認した結果が図-7である。接触時間の増加に伴い有機物とNH₄-Nの濃度は減少しているが、NO₂-NとNO₃-Nの濃度はほとんど増加していない。この事からも、本法による硝化・脱窒同時反応が効率的に進行していることが確認された。

NO₃-Nの還元反応の有機源としてエチレングリコールを用いた場合、細飽合成を無視した化学量論式は式(1)となる。



式から、NO₃-N 1gを還元するために必要なエチレングリコールの質量をTOC換算で計算すると0.86gとなる。図-8は有機源としてエチレングリコールを用いた場合に好氣的酸化(実測したTOC除去量と脱窒により消費されたTOC量の差)と脱窒反応により無機化された有機物の割合と脱窒窒素の関係である。図中の化学量論線は上述のようにして計算した。有機源が易生物分解性の酢酸の場合と比べると、難生物分解性のエチレングリコールのほうが好氣的に酸化されにくく、有効に脱窒反応に利用されたことが示されている。

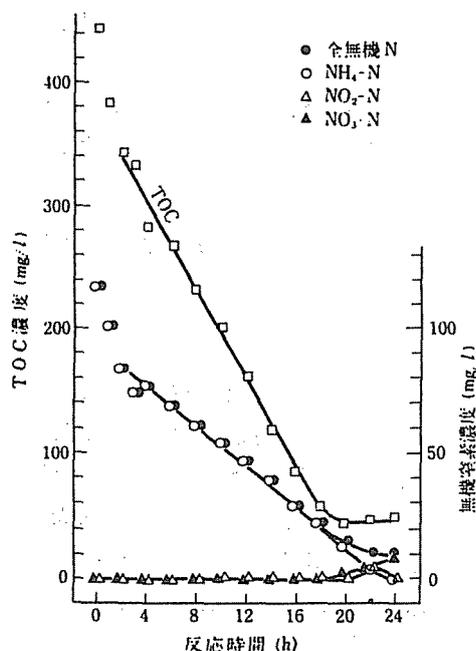


図-7 回分実験における水質変化(有機源:酢酸)

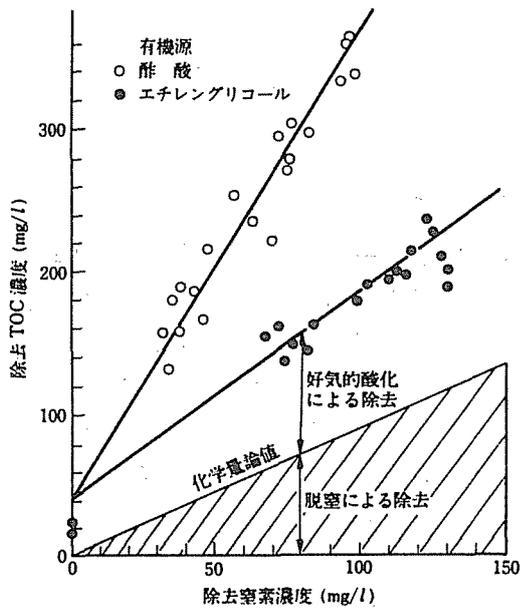


図-8 除去窒素濃度と除去 TOC 濃度の関係

4. 今後の課題

微好気性生物膜法による都市下水処理では、脱窒のための有機源が不足するので懸濁性有機物の有効利用を検討すべきである。微好気状態における他栄養細菌と硝化細菌のポピュレーションダイナミクスの研究、微好気性生物膜法による有機塩素化合物のような難生物分解性有機物の処理性についての研究も必要である。

参考文献

- 1) 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(1)・(2): 下水道協会誌, Vol.16, No.187, pp.24-32, 1979・Vol.19, No.215, pp.12-20, 1982
- 2) 増田純雄, 渡辺義公, 石黒政儀: 回転円板法における硝化・脱窒・有機物酸化同時反応のシミュレーション, 下水道協会誌, Vol.19, No.223, pp.49-57, 1986
- 3) 増田純雄, 渡辺義公, 石黒政儀, 楠田哲也: 回転円板法による硝化・脱窒同時反応に関する研究, 下水道協会論文集, Vol.27, No.316, 1991
- 4) Masuda, S., Watanabe, Y. and Ishiguro, M.: Biofilm Properties and Simultaneous Nitrification and Denitrification in Aerobic RBCs, Water Science & Technology, Vol. 23, No. 7-9, pp. 1355-1363, 1992
- 5) Watanabe, Y., Masuda, S. and Ishiguro, M.: Simultaneous Nitrification and Denitrification in Micro-aerobic Biofilms, Water Science & Technology, Vol. 26, No. 3-4, pp. 511-522, 1992
- 6) 伊藤和幸, 川上昌伸, 渡辺義公: 好気・嫌気式回転生物膜接触法による硝化・脱窒に関する研究, 土木学会第 46 回年次学術講演会講演概要集第 2 部, pp.374-375, 1991
- 7) 松井幸太郎, 伊藤和幸, 渡辺義公: 好気・嫌気式回転生物膜接触法による窒素除去, 平成 3 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.442-443, 1992
- 8) 渡辺義公, 伊藤和幸, 松井幸太郎: 半水没・全水没回転生物膜を持つバイオリアクターによる下・廃水の窒素除去に関する研究, 水環境学会誌, 投稿中
- 9) 渡辺義公, 西留 清: 物質移動モデルに基づく回転円板法の合理的設計, 下水道協会誌, Vol.26, No.301, pp.34-42, 1989