

(16) 拡散層を考慮した網目構造回転翼による窒素除去の高効率化に

関する研究

The efficiency upgrading of denitrification device using rotating meshed plates reactor focusing the effect of diffusion layer

増田純雄*, 山内正仁**, Mohd Fauzi Bin Abdul Aziz***, 関戸知雄*, 藤本 健二****
Sumio MASUDA*, Masahito YAMAUCHI**, Mohd Fauzi Bin Abdul Aziz***,
Tomoo SEKITO* and Kenji FUJIMOTO****

ABSTRACT ; As the United States and Europe is limiting the discharge of nitrate, this steps will be definitely be followed by Japan. Nitrogen and Phosphorous in wastewater has been recognized to cause problems such as eutrophication and at present, there is no effective treatment method to treat such wastewater. A rotating meshed plates denitrification reactor was developed focusing on reducing liquid film diffusion layer that offers diffusional resistance from the bulk liquid to the biofilm surface.

Artificial wastewater and methanol as carbon source was used for this experiment and the following results were obtained : In experiment using wire rod with 3mm of diameter and 10 cm long; 1) At 30rpm of rotating speed and 40 min of retention time, above 90% of denitrification rate has been achieved. 2) Compare to other denitrification reactor, achievement of a high denitrification rate when using the developed reactor for this study was because the diffusional layer is very thin. 3) In low rotating speed, a microorganisms was prove to block the holes of the meshed plates. In experiment using wire rod with 1mm of diameter and 10 cm long; 4) At 15mg/L and 30mg/L concentration of nitrate nitrogen, denitrification ratio exceeding 90% in all rotating speed was obtained. 5) At 60mg/L concentration of nitrate nitrogen, denitrification ratio in 120rpm of rotating speed was 90%. Moreover, denitrification ratio in 90rpm of rotating speed was 85%. 6) High ratio of denitrification was obtained by controlling dissolved oxygen level to be under 1mg/L.

KEYWORDS ; Biofilm surface, Eutrophication, Biological denitrification, Reactor Using Rotating Meshed Plates, Diffusional layer,

1. はじめに

都市の人口増加、産業工業の発展および家畜の大規模化、農業地での過剰施肥等により、公共水域の水質汚濁を引き起こし、上水道水源、工業用水、農業、水産業に及ぼす被害はもちろん、自然環境、生活環境まで悪化させつつある。現在、下水処理法として主に活性汚泥法が採用されているが、この方法は処理水中の BOD と SS の除去を主目的としている。しかし、富栄養化の要因の 1 つである栄養塩類の

*宮崎大学工学部 土木環境工学科 (Dept. of Civil & Environmental Engineering, University of Miyazaki)

**鹿児島工業高等専門学校 土木工学科 (Dept. of Civil Engineering, Kagoshima National College of Tech.)

***辰星技研株式会社 (Shinseigiken Eng. Co., Ltd)

****清本鐵工株式会社 (Kiyomoto Co., Ltd.)

窒素、リンは、現状の下水処理システムでは除去されないまま公共水域に放流されている。このことが放流水域の富栄養化の1つの要因と考えられている。また、農業地での過剰施肥と畜産振興による家畜の集約化に伴い地下水の硝酸性窒素汚染が問題となっており、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素による井戸の汚染が全国的に基準値を超え、毎年5%以上の増加と報告¹⁾(平成14年度:5.9%)されている。その井戸の内、最高硝酸性窒素濃度が30mg/Lの井戸¹⁾も報告されている。これらの水を飲用水として利用した場合、血液中のヘモグロビンと結合し、酸素運搬機能に悪影響を及ぼし、幼児に対してはメトヘモグロビン血症と呼ばれる酸素欠乏症を引き起こすことが報告^{2~4)}されている。また、家畜の場合には、硝酸塩中毒^{5,6)}を起こすと言われており、さらに、受胎率や養鶏の孵化率の低下が危惧されている。このように、水道原水や飲料水として、地下水を利用する場合には硝酸性窒素除去対策が必要である。

現在、下・廃水中の窒素除去は、生物学的脱窒処理で行われているが、運転操作の煩雑さ、水理学的滞留時間(HRT)が長いなどの問題点を有している。また、アメリカ、ヨーロッパでは、排水基準の窒素規制が行われており、日本の水質汚濁の現状を考慮すると、今後、日本においても窒素規制が厳しくなることが予想される。この窒素規制に対応すべく、小規模装置で、維持管理が容易で、かつ高効率の窒素除去技術の開発が必要である。

本研究では、拡散層を考慮した網目構造回転翼による高効率な窒素除去装置の開発を行い、回転数と拡散層厚、回転数及びHRTと脱窒率の関係について若干の知見が得られたので報告する。

2. 固定生物膜における拡散層

生物学的処理である回転円板法では、回転数の増加と共に円板表面の拡散層が薄くなるが、実規模での回転数は2~3rpmである。通常、回転円板の周辺速度は18m/minが最適であることから、回転数が決定されている。したがって、この範囲の拡散層厚を Veniamin G. Levich⁷⁾の(1)式を用いて計算すると、拡散層厚は360~480 μ mとなる。また、回転円板法では円板間隔が20~30mm程度で、回転速度が遅いために、水没型回転円板(嫌気性回転円板)法では生物膜の増殖により円板と円板の間が生物膜で閉塞し、生物膜表面が有効に利用できない欠点がある。また、流動床法による実装置^{8,9)}における流速を用いて粒子表面の拡散層厚を計算すると、拡散層厚は54 μ m程度となる。このように、流動床法では拡散層厚が薄くなることと、ろ材粒子が小さく付着生物量が多いために、短いHRT(5~15分)で脱窒が行われている。

$$L_d = 1.61 \left(\frac{D}{\nu} \right)^{\frac{1}{3}} \sqrt{\frac{\nu}{\omega}} \quad (1)$$

$$L_d = \frac{1.15 \left(\theta - \frac{\sin 2\theta}{2} \right)^{\frac{1}{3}}}{\sin \theta} \sqrt[3]{\frac{4Da^2}{3u}} \quad (2)$$

ただし L_d : 拡散層厚 (m)、 D : 拡散係数 (m^2/s)、 ν : 動粘性係数 (m^2/s)、 ω : 角速度 (s^{-1})

a : 砂の半径: (mm)、 u : 流速 (m/s)、 θ : 水の流入角度 (90°)

したがって、物質輸送を律速する要因である拡散層厚を薄く制御することによって、HRTの短縮と低濃度の硝酸性窒素を除去することが可能であると考えられる。そこで、直径1mm、長さ10cmの針金と直径3mm、長さ10cmの亚克力棒を円筒の水中で回転させた場合、棒の断面部分を球状¹⁰⁾として表

面の拡散層厚⁷⁾を(2)式により計算した結果を図-1に示す。回転数により、回転軸からの距離(軸距離)の拡散層厚は図のように変化する。直径3mmの亚克力棒では、回転数90rpm以上では拡散層厚は54 μ m以下となる。軸距離が4、5cmではほとんど同じ拡散層厚となり、回転数90、120rpm以上では拡散層厚の差は僅かである。直径1mmの針金では、回転数30rpmでの拡散層厚は40 μ m以下となり、亚克力棒の120rpmの以下となる。さらに、回転数90、120rpmで、軸距離5、6cmにおける拡散層厚は13~15 μ mとなる。このように、付着生物膜のろ材として棒状の材料を利用し、網目構造の回転翼を作製することにより、付着生物膜への物質輸送を律速する要因である拡散層厚を制御することができると考えられる。

Veniamin G. Levich⁷⁾の(2)式から、回転円板法と本実験で用いた網目構造回転翼装置の拡散層厚と回転数の関係を図-2に示す。Jeannette Semon⁸⁾らは、流動床に砂の有効径0.46mmを利用した脱窒において、滞留時間(HRT)5.7分、硝酸性窒素除去率95%が得られたと報告している。この実験に用いられた砂粒子と流速を用いて、粒子の拡散層を計算すると54 μ mとなる。図のように、回転円板法と網目構造回転翼装置の拡散層厚は回転数の増加と共に減少する。しかし、実規模装置での回転円板の回転数は2~3rpmで運転されているため、このとき拡散層厚は360~480 μ mとなる。本装置の回転翼先端での拡散層厚は、亚克力棒で回転数30、60、120rpmの時、45、36、28 μ m、直径1mmの針金で回転数30、60、120rpmの時、22、17、14 μ mとなる。したがって、流動床法の拡散層厚が54 μ mであることから、回転翼の回転数が30rpm以上であれば、流動床法よりも拡散層厚が薄くなる。よって、流動床法と同程度の付着生物膜量が維持できれば、流動床法と同じように、HRTの短縮と脱窒装置の小型化が可能となる。

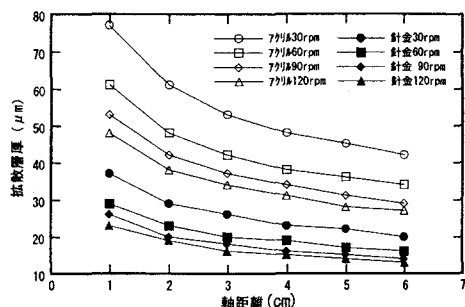


図-1 軸からの距離と拡散層厚の関係

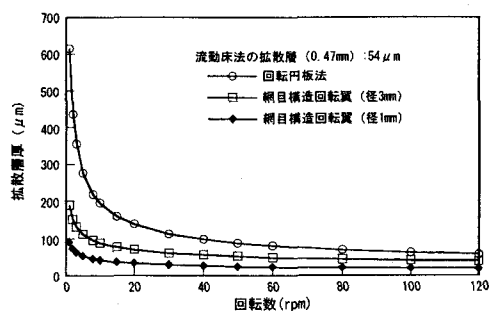


図-2 拡散層厚と回転数の関係

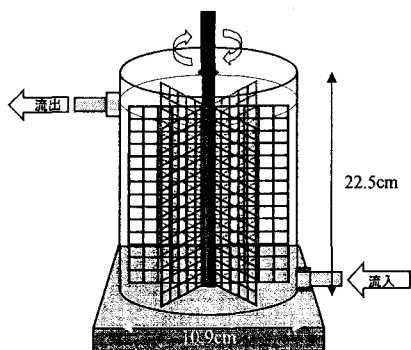


図-3 実験装置概要

3. 実験装置と実験方法

実験装置概要は図-3に示すように、内径10.9cm、高さ22.5cmの亚克力円筒の中に、直径3mmの亚克力棒と直径1mmの金網で作製した網目構造回転翼(回転翼)から構成されている。表-1に網目構造回転翼実験装置の諸元を示す。回転翼は8枚(系列1)と12枚(系列2)を取り付け、網目の大きさは5 $\times$ 5mm、5 $\times$ 10mm、10 $\times$ 10mmである。回転翼の大きさは系列1では、縦15.8cm、幅4.2cm、系列2では縦15.2cm幅4.0cm、系列3では縦15.3cm幅4.5cm

表-1 網目構造回転翼実験装置の諸元

	系列1	系列2	系列3
装置内径	10.7cm	10.7cm	10.7cm
装置高さ	22.5cm	22.5cm	22.5cm
網の目開き	5mm $\times$ 10mm	10mm $\times$ 10mm	5mm $\times$ 5mm
材料	3mmの亚克力棒	3mmの亚克力棒	1mmの金網
回転翼枚数	8枚	12枚	8枚
実容積	1.52L	1.33L	1.68L

である。実験は回転翼を完全に水中に水没させて行った。当初の実験では、下水処理場の最終沈殿池から採水した下水を人工基質に2割程混合し、1週間装置内に循環させ生物膜の培養を行った。次回は、下水を無添加で行い、人工基質とメタノールを別々のタンクからポンプで装置に供給し、回転翼の回転数 15~120rpm で攪拌混合して実験を行った。人工基質の成分は表-2 に示すとおりで、装置に流入する $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度は 15~60mg/L、C/N は 2.5 に固定した。

なお、付着生物膜の測定は、各実験終了時に回転翼と槽壁に付着した生物膜を剥ぎ取り、1L のメスシリンダーでメスアップした後、SS を測定し計算した。水質は DO : ウインクラー法-アジ化ナトリウム変法、 $\text{NO}_3\text{-N}$: カドミウム還元法 (HACH 社 DR2000)、TOC は全有機炭素測定器 (島津製作所 TOC-5000) を用いて測定した。また、実験室内の温度は 25℃ に固定した。

表-2 人工基質

成分	濃度 (mg/L)
KNO_3	180
KH_2PO_4	140
NaCl	120
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	60
NaHCO_3	400

4. 実験結果と考察

4. 1 回転数の影響

図-4、5、6、7に HRT:40 分、流入 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度:25mg/L を固定し、回転数を変化させた場合の脱窒率と経過日数の関係を示す。図-4 は回転数 15rpm であり、実験開始後 3 日目の脱窒率は 38, 52% となっている。その後、脱窒率は系列 1 (回転翼 8 枚) では 60%、系列 2 (回転翼 12 枚) では 50% と安定した値が得られている。このように、脱窒率が低い原因は、軸から回転翼先端で計算した拡散層厚が 100~60 μm と厚く、また、回転数が遅く槽内の攪拌が不十分なために、物質輸送律速になったためと考えられる。また、系列 2 による脱窒率が高い原因は、系列 2 の回転翼枚数が多く、回転翼の網目が 10×10mm と間隔が広いために、網目が生物膜で閉塞しないためである。

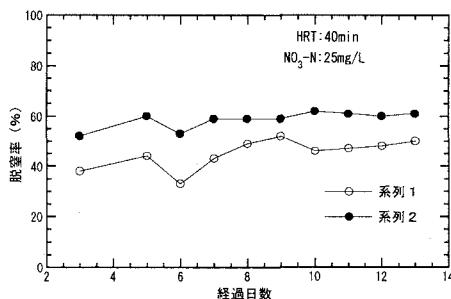


図-4 回転数15rpmにおける経過日数と脱窒率の関係

図-5 に回転数 30rpm における脱窒率と経過日数の関係を示す。実験開始後、4 日目に脱窒率は 70% となり、2 週間目には安定している。この時点での系列 1、系列 2 の脱窒率は、それぞれ 89%、92% となっている。回転数 30rpm の実験では、系列 1、系列 2 と共に脱窒率の安定した状態では回転翼の網目に生物膜が付着増殖し、閉塞した状態になった。そのため、回転翼は一枚の板のように観察された。よって、系列 1 と系列 2 の脱窒率の差は回転翼の枚数による付着生物膜量の違いによるものである。脱窒率が安定した状態での pH 値は、流入原水が 7.5~7.8、流出水が 8.0~8.7 の範囲であった。

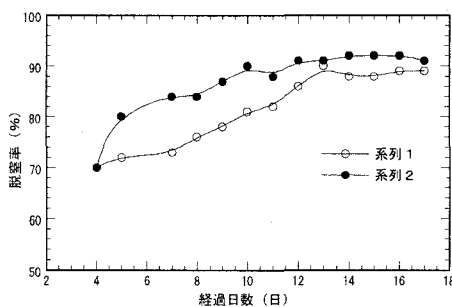


図-5 回転数30rpmにおける経過日数と脱窒率の関係

図-6 に回転数 60rpm における脱窒率と経過日数の関係を示す。系列 1 では、脱窒率が実験開始後 7 日目までは 60% 程度であるが、付着生物膜が安定した 14 日以降の脱窒率は 86~89% となる。このように、脱窒率の安定に時間がかかる理由としては、実験開始時に回転翼の網目に生物膜がほとんど付着していなかったためと考えられる。この場合の拡散層厚は 60~35 μm であり高脱窒率が得られると考えられたが、回転数 30rpm の方が若干高かった。これは回転数の増加により網目が閉塞し難くなるためであ

る。系列1では、脱窒率が実験開始後2日以降の脱窒率は86~90%となる。このように、回転翼の網目に生物膜が若干付着している場合には生物膜の増殖が容易になると考えられる。なお、回転数30, 60rpmで初期の脱窒率が高い原因は、前回の実験終了時に付着生物膜をブラシで洗い流したが、網目部分に生物膜が僅かに付着していたためである。

図-7に、回転数120rpmにおける脱窒率と経過日数の関係を示す。回転数が120rpmと高速になると、生物膜が付着し難くなるため、安定した脱窒率が得られるのに時間を要した。系列1、系列2の脱窒率は、実験開始後徐々に増加し、生物膜が安定した24日以降の脱窒率は81~86%となった。この場合の拡散層厚は50~30 μ mであり、回転数30, 60rpmに比べて高脱窒率となると考えられたが、殆ど差が見られなかった。これは、高回転数の場合には支持体に大きなせん断力が生じため、網目構造回転翼の付着生物量が減少すると共に、強い攪拌によって槽内表面から酸素が溶解し、DOが増加するために脱窒率が低下すると考えられる。

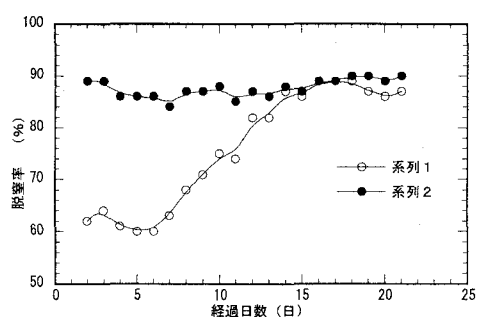


図-6 回転数60rpmにおける経過日数と脱窒率の関係

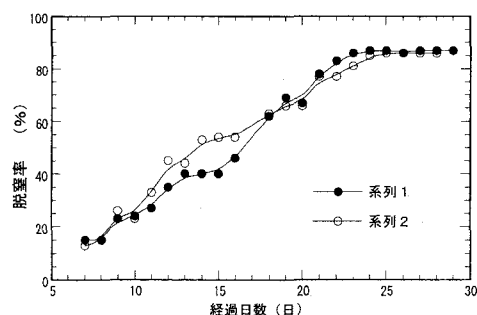


図-7 回転数120rpmにおける経過日数と脱窒率の関係

4. 2 溶存酸素の影響

生物学的脱窒反応は嫌氣的条件下のみで生じるが、回転円板法のように付着生物膜厚が数mmに達する場合には、液本体のDOがある濃度以下であれば生物膜内は嫌氣的状態に保たれているとされている。すなわち、回転円板法では、初期DO濃度を1~10mg/Lの範囲で変化させた回分実験結果では、脱窒速度がほぼ一定となり、DOの影響は無視できると報告¹¹⁾されている。

図-8に網目構造回転翼によるHRTを20分に固定し、回転数を変化させた場合の脱窒率と経日変化の関係を示す。実験は経過日数45日まで流入原水中のDO濃度を無調整の状態(DO: 8~10mg/L; 飽和状態)で行い、それ以降は、流入原水のDO濃度を1~3mg/Lの範囲に制御した。回転数30rpmにおける系列1の脱窒率は一週間後から徐々に増加し、2週間後に30%程度で一定となった。系列2の脱窒率は経過4日後から徐々に増加し、16日後には58%となった。回転数30rpmの実験終了後、すぐに回転数を60rpmにし、一週間後に水質分析を開始した。回転数の増加により、生物膜の一部が剥離したためか、回転数を変更した後の脱窒率が減少し、一週間後から徐々に増加し、系列1、2の脱窒率はそれぞれ50、40%とな

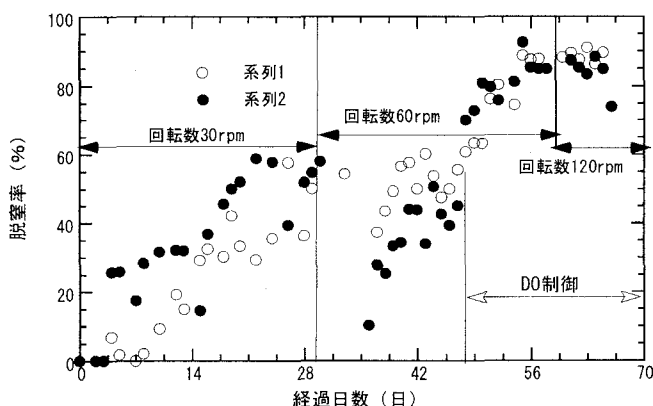


図-8 脱窒率と経過日数の関係

った。この結果は回転数 30rpm の場合より悪い結果であり、この原因は流入水中の DO 濃度が影響していると考え、DO 濃度の制御を行った。その結果、図に示すように、脱窒率は系列 1 で 89%、系列 2 で 85%まで増加した。DO 濃度を制御し、回転数 120rpm で一週間実験を行った。その結果、脱窒率は系列 1、2 で 85~89%が得られ、DO 制御を行なうことで高い脱窒率が得られることが判明した。回転円板法では DO 濃度の影響はほとんど無いと報告されているが、本実験のように、滞留時間が 20 分と短く、槽内の攪拌が大きくなると、大気中から溶解する DO 濃度が増加する。そのため反応槽内の微生物により、DO が消費されずに生物膜内が嫌気的狀態に維持できないために脱窒率が低下する。このように、HRT が短く、回転数が大きい場合には DO の影響が顕著に現れることが判明した。

図-9 に、系列 3 による回転数を変数とした時の脱窒率の経日変化を示す。この場合の流入 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は 15mg/L であり、実験開始 16 日目には全ての回転数で脱窒率が 60%前後まで達したが、それ以後の脱窒率は安定する傾向が見られなかった。これは流入原水中の DO 濃度が 6.5~6.8mg/L の範囲にあり、有機物が好氣的に酸化され、脱窒菌に利用されてなかったことによる。そこで、実験開始 37 日目に、原水貯留槽中に亜硫酸ナトリウムを混入し、流入原水中の DO 濃度を 1mg/L 以下に調整した。その結果、回転数 30, 60, 90, 120rpm での平均脱窒率がそれぞれ 92, 90, 96.7, 97.3%となった。これは脱窒菌が通性嫌気性菌であることが理由であり、流入原水の DO を調整することで高脱窒率を得られることが分かった。この場合の拡散層厚は回転数 30rpm で 40~22 μm 、120rpm で 23~14 μm であり、脱窒率と比較すると回転数が大きい程、高脱窒率を得られている。この原因は高回転数での回転翼の方が生物膜表面の流速が速くなり、拡散層厚が薄くなるからである。したがって、低濃度の $\text{NO}_3\text{-N}$ (15mg/L) 域では、回転数を大きくし、拡散層厚を薄くすることで高脱窒率を得られることが判明した。

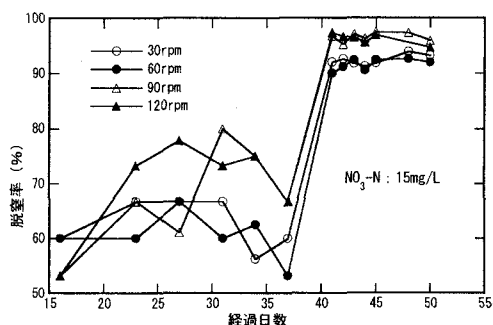


図-9 脱窒率と経過日数の関係

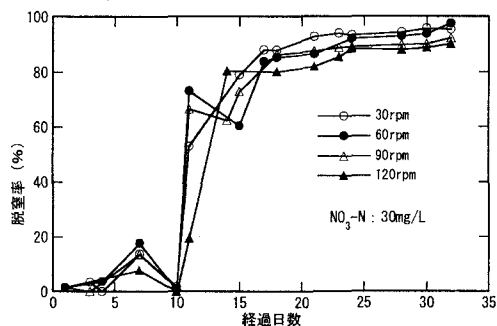


図-10 経過日数と脱窒率の関係

図-10に流入 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を 30mg/L とした場合の脱窒率の経日変化を示す。実験開始 10 日目に亜硫酸ナトリウムを混入し、DO 濃度を 1mg/L 以下に調整すると前回と同様に脱窒率が増加した。実験開始 24 日目には全ての回転数の脱窒率が 90%以上となり安定した。各回転数 30, 60, 90, 120rpm における脱窒率はそれぞれ、95, 93, 90, 88%となった。脱窒率の差は若干であるが、図 9 とは逆の結果となった。これは $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が 30mg/L と 2 倍となったために、拡散層厚の影響よりも、濃度勾配による物質移動の影響のほうが大きくなったためである。したがって $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度 30mg/L 程度になると、回転数は 30~60rpm が最適な範囲となる。

図-11に流入 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を 60mg/L とした場合の脱窒率の経日変化を示す。本実験ではスタート時から亜硫酸ナトリウムを混入し、DO 濃度は 1mg/L 以下に調整した。実験開始 5 日目には脱窒率が増加しはじめ、開始 14 日目には全ての回転数での脱窒率が安定した。安定後の脱窒率には回転数により大きな差がみられ、それぞれ 30rpm : 55%, 60rpm : 70%, 90rpm : 82%, 120rpm : 92%となった。これは図-9 の結果と同様であり、各回転数における脱窒率の差が大きくなった。この原因としては、1) 回転数

30rpm では、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の増加により、網目回転翼が付着した生物膜により閉塞し、表面積が減った事と基質が槽内で十分に攪拌されなかったためである。また、逆に高回転数の回転翼の脱室率が高かった原因として、2) 回転数が 90rpm 以上では、生物膜表面の流速が早いために回転翼の網目が生物膜で閉塞せず、槽内の攪拌が十分に行なわれた為と考えられる。したがって、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が 60mg/L の高濃度域では、回転翼を高速回転させる方が効率的であることが判った。

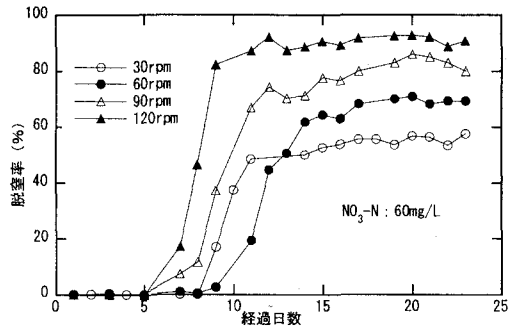


図-11 経過日数と脱室率の関係

4. 3 回転速度と脱室、付着生物膜の関係

図-1 2 に滞留時間を変数とした場合の回転数と脱室率の関係を示す。HRT20 分での脱室率は、系列 1, 2 とともに回転数に関係なくそれぞれ 76, 85% でほぼ一定となっている。HRT40 分では、回転数 15 rpm での系列 1, 2 の脱室率はそれぞれ、50, 62% となり、回転数 30 rpm では、最大脱室率がそれぞれ 89, 92% となった。その後、回転速度の増加により脱室率は減少し、120rpm ではそれぞれ 86, 87% となった。系列 3 では、流入 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が 30mg/L の場合には回転数 30, 60, 90, 120rpm でそれぞれ 95, 94, 90, 89% と数%減少するが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が 15mg/L の場合には回転数の増加によりそれぞれ 92, 92, 97, 97% となった。このように回転数の増加と共にやや脱室率が低下する原因は剪断力によって回転翼の生物量が減少する事と攪拌により槽内の DO 濃度が増加するために脱室率が若干低くなると考えられる。一方、脱室率の増加の原因は、拡散層が薄くなることと、槽内の攪拌が十分に行われるためである。しかし、低回転数の場合、系列 1, 2 共に脱室率が安定した時点での回転翼の生物量は多量に付着し、回転翼は一枚の板のようになってしまった。このような状態では、拡散層の効果はほとんど無く、攪拌のみによるため脱室率が低下すると考えられる。滞留時間 20 分の場合、DO 調整により脱室は 85% 以上が得られた。これは DO 制限を行ったことで生物膜表面でも脱室反応が起るためである。その後、回転速度の増加に従い脱室率は減少した。このことは、回転数が増加しても拡散層厚の減少がわずかであることと、せん断力による生物量の減少と攪拌による空気中の酸素の溶解込み量が増加するためである。

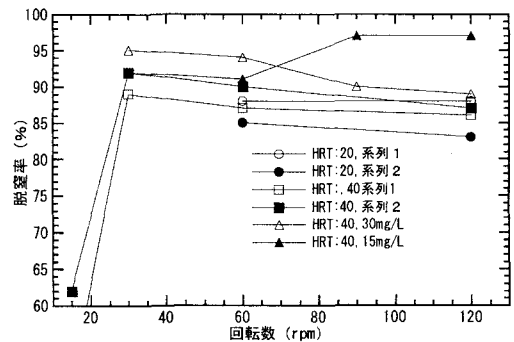


図-12 回転数と脱室率の関係

図-1 3 に、網目構造回転翼装置内の全生物膜と側壁に付着した生物膜乾燥重量と回転数の関係を示す。生物膜乾燥重量(生物重量)は流入各 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度で回転数の増加と共に生物重量が増加し、回転数 90rpm で最大となりその後減少している。このように、生物重量は回転数が 120rpm 以上になると、剪断力により減少する傾向にある。回転数

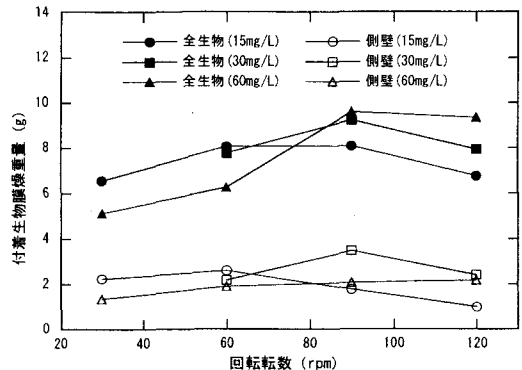


図-13 回転数と反応槽内の付着生物膜乾燥重量の関係

90rpm の時、流入 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度 15, 30, 60mg/L における最大生物重量を用いて、生物重量当たりの $\text{NO}_3\text{-N}$ 除去速度を計算すると、それぞれ、0.105, 0.180, 0.311g/d・Dry biomass となった。また、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度 15mg/L の時、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 除去速度は 120, 90, 60, 30rpm でそれぞれ 0.129, 0.105, 0.104, 0.121 g/d・Dry biomass となり、最大生物重量で $\text{NO}_3\text{-N}$ 除去速度が最大値とはならなかった。これは、付着生物膜の密度が回転速度の大小により変化することと、生物膜の脱窒活性が異なるためと考えられる。側壁の付着生物乾燥重量は、全生物量の 15～35%であり、回転数が大きくなると減少した。また、回転数 30rpm での回転翼が 1 枚の板のように観察されたが、生物膜乾燥重量は大きな値とはならなかった。このことより、生物膜の密度が小さいことが推察される。また、Jeannette Semon⁸⁾らの硝酸性窒素除去速度は 1.84kg/d・m³、本実験（流入 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度；15mg/L、HRT；40 分）では 0.522kg/d・m³ となった。しかし、本実験での HRT を 10～15 分程度にすることにより、同様の硝酸性窒素除去速度が得られると考えられる。

5. おわりに

本研究では、拡散層を考慮した網目構造回転翼による高効率な窒素除去装置の開発を行い、直径 3mm のアクリル棒と直径 1mm の金網で作製した網目構造回転翼装置を用いた硝酸性窒素除去の実験を行い、以下のような結果が得られた。直径 3mm のアクリル棒による網目構造回転翼では、1) 回転数 30, 60 rpm、HRT40、20 分の実験条件で、それぞれ 92、85%の最大脱窒率が得られた。2) 滞留時間が 20 分と短くなると、付着生物が D_0 を消費する以上に D_0 が供給されるために、脱窒反応に D_0 が影響することが判明した。3) 直径 3mm のアクリルによる回転翼では、回転翼枚数による脱窒率の差はほとんど見られなかった。直径 1mm の金網で作製した網目構造回転翼では、4) 低濃度 $\text{NO}_3\text{-N}$ (15mg/L) の場合には、拡散層厚が薄い方が脱窒率に有効であり、高濃度 $\text{NO}_3\text{-N}$ (60mg/L) の場合には拡散層よりも槽内の攪拌が有効であることが分かった。5) 硝酸性窒素濃度が 15, 30mg/L のとき、全ての回転翼で 90%を超える脱窒率が得られた。6) 硝酸性窒素濃度が 60mg/L のとき、120rpm の回転翼で 90%、90rpm の回転翼で 85%の脱窒率が得られた。7) 流入 D_0 濃度を 1mg/L 以下に調整することで高脱窒率を得ることができた。このように、拡散層を考慮した網目構造回転翼では、生物膜表面の拡散層厚を薄くでき、物質輸送が大きくなるため低濃度の硝酸性窒素除去に最適であることが明らかとなった。

今後は、地下水の硝酸性窒素や小規模下水処理施設への応用を進めていき、低濃度から高濃度の硝酸性窒素除去の実験を行う予定である。最後に、本研究は、平成 15 年度宮崎県「新産業創生共同研究委託事業」の助成を受け、その一部を使用して遂行されたことを付記し、関係各位に謝意を表します。また、本研究の遂行において、実験、データ整理のご協力頂いた本学卒業生の永田典子（現宇佐市役所）嬢、古賀 寛憲氏、甲斐 傑（現株式会社志多組）氏、安井堅太郎（宮崎大学大学院生）君に心から謝意を表する。なお、本研究の一部は参考文献 12～15) おいて一部発表済みである。

参考文献

- 1) 環境省環境管理局水環境部土壌環境課地下水・地盤環境室「平成 14 年度地下水質測定結果について、平成 15 年 11 月
- 2) 中村磐男；飲み水の硝酸塩汚染，聖マリアンナ医科大学雑誌，Vol. 18, 1990
- 3) 中村磐男；水質汚染と週産期（水道水・先天異常／硝酸塩と乳児メトヘモグロビン血症），週産期医学，Vol. 29, No. 4, 1994
- 4) 田中淳子，堀米仁志他；井戸水が原因で高度のメトヘモグロビン血症を呈した 1 新生児例，小児科臨床，Vol. 49, 1996

- 5) 篠崎謙一；乳牛の硝酸塩・亜硝酸塩による中毒、畜産の研究、Vol. 29, No. 3, 1975
- 6) 野本貞夫；牛の硝酸塩中毒、日本獣医誌、Vol. 30, 1977
- 7) Veniamin G. Levich ;Physicochemical Hydrodynamics, Prentice-Hall,Inch,1962
- 8) Jeannette Seamon;Biological upflow fluidized bed denitrification reactor demonstration project-Stamford,Ct, USA, Water Science Technology ,Vol.36,pp.139-146,1997.
- 9) Leo H.J. Vredenburg; Fluid bed biological nitrification and denitrification in high salinity wastewater, Water Science Technology, Vol.36, pp.93-100, 1997.
- 10) Robert L. Daugherty : Fluid Mechanics with Engineering Applications, McGraw-Hill 1989
- 11) 石黒政儀、渡辺義公、増田純雄；回転円板法による下水高度処理に関する研究（Ⅲ）、下水道協会誌、Vol. 14, No. 161, pp. 53～59, 1977
- 12) 永田典子、増田純雄、岩崎義彦、Mohad. Fauzi；網目構造回転翼による硝酸性窒素の除去に関する研究, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集 2002, 3
- 13) 増田純雄, 岩崎義彦, Mohad. Fauzi; 網目回転翼による脱窒に関する研究、第 57 回 土木学会全国大会研究発表会、2002, 9
- 14) 古賀寛憲, 増田純雄, 藤本健二; 網目構造回転翼による高濃度硝酸性窒素の除去に関する研究, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 2003, 3
- 15) 甲斐傑, 増田純雄, 藤本健二; 網目構造回転翼による硝酸性窒素除去に関する研究, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 2004, 3