

(29) 循環式硝化脱窒法における結合固定化担体の応用

Application of Immobilizing Pellets to Nitrification-Denitrification Process
with Nitrified Liquor Recycling

滝沢 智*、高橋正宏**、波多野伸***、原田良誠***
S.Takizawa, M.Takahashi, S.Hatano, Y.Harada

ABSTRACT; In order to evaluate the effect of bacteria-immobilizing pellets in oxic tank, two experimental wastewater treatment processes, namely Process-1 and Process-2, were compared. In Process-1, the hollow immobilizing pellets (O.D. 4mm, I.D. 3mm, density 1.001g/cm³) were dosed into the oxic tank up to 20% of the reactor volume. Process-2 was operated as a control experiment without pellets. Process-1 showed superiority in suspended solid removal, BOD removal, phosphorus removal, and nitrogen removal over Process-2 especially during winter season, namely, nitrogen removal rate above 70% was maintained at 14°C, with HRT of 6hours and flow rate fluctuation between 0.5 to 2.0 times of the average wastewater flow rate. By further investigating the mechanism of nitrogen removal enhancement by immobilized bacteria, it was concluded that immobilized bacteria not only promoted nitrification and decomposition of organic nitrogen, but they were able to enhance denitrification in the oxic tank.

KEY WORDS; nitrogen removal, bacteria immobilization, polypropylene pellets, wastewater treatment

1 はじめに

1993年より閉鎖性海域における窒素・リンの環境基準が定められ、排水規制が開始されたことから、規制対象海域につながる下水処理場では将来の規制強化を想定して早急に技術開発を行う必要に迫られてきた。現在我が国で実用化されている窒素除去法には循環式硝化脱窒法（循環法）、硝化内生脱窒法と、前者の変形である嫌気-無酸素-好気法があるが、これらの処理法では12時間から24時間程度の長い処理時間が必要とされている。また、小規模の下水処理施設で採用されているオキシゲーションディッチ法や回分式活性汚泥法でも標準活性汚泥法に比べて高い窒素除去率が期待できるが、処理に要する時間は循環法等に比べてもさらに長くなるのが一般的である。このため、大都市地域などで既存の活性汚泥処理施設を改造して窒素除去を行う場合には、これらのいずれの方法も採用することができない。

生物学的な窒素除去法において長い処理時間を必要とする主な理由は、低水温期に活性汚泥中の硝化細菌を高濃度に保持することが困難なことにある。下水中の窒素除去プロセスにおいて、好気反応槽に固定化担体を投入する方法は、硝化細菌が担体内部または表面において付着増殖することにより、硝化細菌の系外流出防止と高濃度保持を可能にする。このため、従来下水中の窒素除去に必要とされていた処理時間を、大幅に短縮できる処理法として注目されている。微生物の固定化法には結合固定化法と包括固定化法があり、包括法については既に実規模施設への応用が試みられているが、本研究は結合固定化法の応用に関するものである。

筆者らは、これまで、硝化内生脱窒法や、汲み取りし尿を受け入れている下水処理施設において、固定化担体法が有効であることを示してきた¹⁾²⁾。本研究では、住宅団地下水を処理する下水処理施設内に設置した循環式硝化脱窒法パイロットプラントを用いて、結合固定化担体添加系と無添加系の処理結果を比較することにより、担体添加の効果を検討した。

2 実験方法

図・1にパイロットプラント実験装置の構成を示す。処理場流入下水は滞留時間約4時間の流量調整池に蓄えられ、そこからポンプにより目幅1.5mmのスクリーンを通過した後、反応槽に送られる。反応槽は50Lの無酸素槽

* 東京大学工学部附属総合試験所、Engineering Research Institute, Faculty of Engineering, University of Tokyo

** 建設省土木研究所三次処理研究室、Advanced Waste Treatment Division, PWRI, Ministry of Construction

*** 浜松市下水道部、Sewage Works Department, Hamamatsu-City

(Run-1の期間のみ100L)、100Lの好気槽、56Lの沈殿池からなり、実験装置第1系(Process-1)では好気槽に見かけ容積(空隙部分を含む)20Lの結合固定化担体加えられている。担体の充填率を(担体見かけ容積/反応槽容積)で定義すると、本実験での充填率は20%であるが、ここで充填した担体の実容積は12Lであった。担体はポリプロピレン製の中空筒状担体で、外径4mm、内径3mm、長さ5mm、比重1.001g/cm³であり、好気槽流出部分に目開き1.5mmのウェッジワイヤスクリーンを設けることにより、同槽内に保持される仕組みとなっている。1系、2系ともに、無酸素槽にはモーター式攪拌装置が、好気槽には槽内のORPを設定値に保つよう送風量を調節する機構を備えた曝気装置が設けられている。ORP計は東亜電波HM-5S型、ORP電極はAUS-338型Au-AgCl電極であった。

実験装置の諸元と運転条件を表-1に示す。反応槽内滞留時間(HRT)は、Run-1での8時間からRun-2では6時間へ短縮し、水温が低下する12月以降のRun-3ではHRT6時間のまま図-2に示した変動パターンで3台の原水ポンプをON-OFF制御することにより流量変動をかけた。ただし、この期間も返送汚泥ポンプならびに循環ポンプの流量は一定とし、一日の平均原水流量に対して100%の流量で運転した。Run-4では流量変動をかけたままHRTを8時間とし、処理水質の改善効果を調べた。

水質分析項目ならびに分析頻度は表-2に示すとおりであり、分析は全て下水試験方法(84年版)に準拠して行った。流入水ならびに処理水の採水は24時間コンポジットサンプルを、その他の試料については午前10時ごろのグラブサンプルを用いた。

担体に付着した汚泥量は、始めに超音波処理

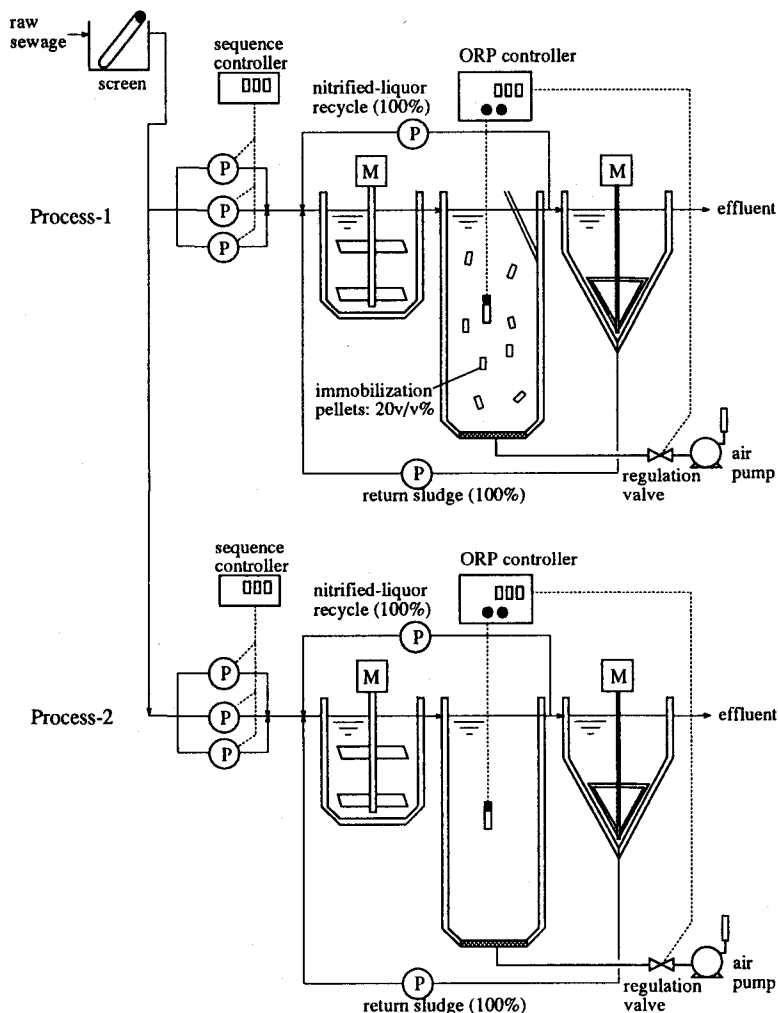


Fig.1 Schematic of Experimental Apparatus

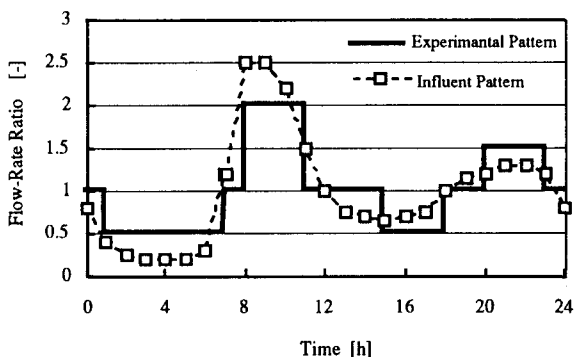


Fig.2 Flow-Rate Fluctuation Pattern

(出力100W×5分)により汚泥を担体から剥離させ、得られた汚泥につき活性汚泥と同様の方法により測定した。測定結果は、好気槽容積あたりの汚泥濃度で表わした。

硝化活性試験はRun-4の中で行った。まず反応槽から活性汚泥混合液を採取し、1系では活性汚泥混合液と担体とを分離した後、それぞれ3L三角フラスコに投入し、担体は実処理装置からの処理水中に浮遊させた。これに塩化アンモニウムを115mg/L(=30mgNH₄-N/L)、炭酸水素ナトリウムを360mg/Lとなるように添加し、エアポンプにより曝気攪拌した。実験開始以後、30分ごとに4時間目までフラスコ内の水を採水し、アンモニア性窒素濃度の減少速度を計って、これをフラスコ内の生物量で除することにより硝化活性を求めた。

脱窒活性試験では、無酸素槽内の活性汚泥混合液と実験装置流入水とを等量で混合し、三角フラスコの開口部を密閉した後、スターラーで攪拌した。実験開始時に硝酸ナトリウムを170mg/L (=28mgNO₃-N/L)になるように投与し、30分間隔で硝酸性窒素濃度の減少速度を測定した。最終的には減少速度を微生物濃度で割ることにより、生物量当たりの脱窒活性を算出した。

Table 1 Experimental Conditions

	Run-1	Run-2	Run-3	Run-4
Reactor Volume [L]				
Anoxic Tank	100	50		
Aerobic Tank	50	50		
Clarifier	56	56		
HRT [h]				
Anoxic Tank	4	2		2.66
Aerobic Tank	4	4		5.34
total	8	6		8.00
ORP objective	100	100-120	120-140	140
flow-rate fluctuation	none	none	0.5-2.0	0.5-2.0
MLSS [mg/L]	4000			
pellets [v/v%]	Process-1: 20 Process-2: 0			

Table 2 Water Quality Analysis and Frequency

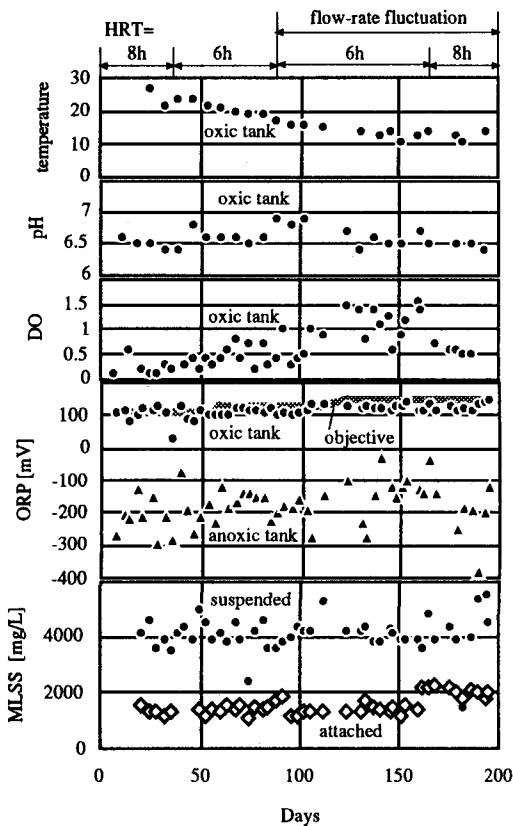
item	frequency
temperature	continuously monitored
pH	continuously monitored
alkalinity	2/week
transparency	2/week
DO	continuously monitored
ORP	continuously monitored
suspended solids	2/week
BOD	total 1/week dissolved 1/week
nitrogen	total 1/week total dissolved 1/week organic 2/week ammonia 2/week nitrite 2/week nitrate 2/week
phosphate	total 2/week orth phosphate 2/week
MLSS	2/week
attached solids	2/week
SV,SVI	2/week

3 結果と考察

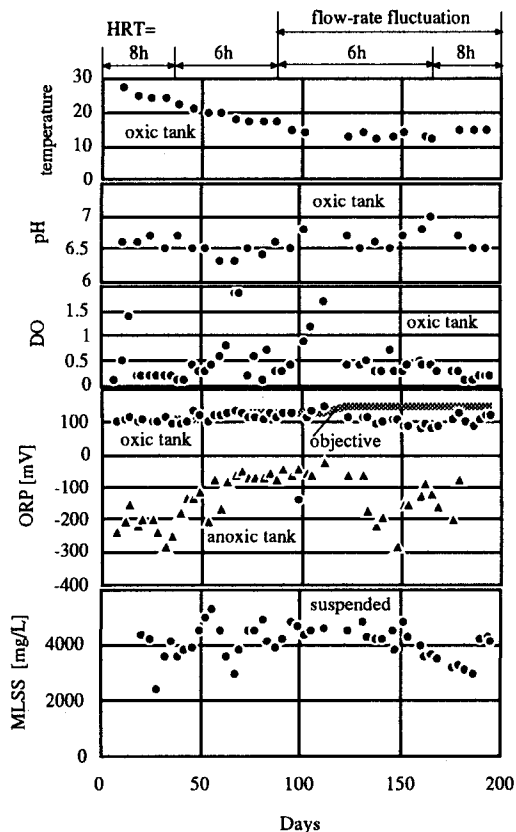
3. 1 実験装置の運転経過

図 - 3 に運転管理項目の経日変化を示す。水温は実験開始から徐々に低下し、100日を経過したところから15℃以下となった。好気槽内のpHは6.5を中心として比較的安定していた。流入水のpHが6.8から7.0の間であったので、硝化反応にともない0.3から0.5程度のpH低下があった。

1系好気槽内の溶存酸素濃度(DO)は、同槽内の設定ORPを100mVから120mV、140mVと段階的に上昇させるに連れて、0.2mg/Lから約1.5mg/Lまで上昇していった。これに対して2系のDOは、好気槽の設定ORP値にはかわらず、わずかな例外を除いて0.5mg/L以下であった。ORPに関しても、1系では設定値の上昇に連れて高くなるものの、2系では流量変動時のRun-3とRun-4で負荷の変動に追従できず、設定値よりも30mVから40mV低い値となった。図 - 3 に示したデータは午前10時ごろのスポット測定値であり、流量変動をかけた場合には、この時間に好気槽に最大の負荷が流入する。本実験装置は、曝気量を自動調節することにより溶存酸素濃度を変化させて設定ORP値を保つような構造となっているが、溶存酸素は同時にBOD除去や硝化反応によって消費される。このため流量変動等によって溶存酸素の供給能力を超えた負荷が流入した場合、溶存酸素濃度は上昇せずORPも設定値が維持できなくなる。循環法における好気槽への流入負荷は、前段の無酸素槽での脱窒にともなう有機物除去などの影響を受け、同じ流入原水でも装置の運転状況に応じて異なったものになる。一般に、担体なしの好気槽では担体を添加した場合に比べて高い酸素移動速度を示すが、それにもかかわらず2系で最大負荷時にDOが上昇せずORPが設定値以下であったのは、脱窒反応にともなう有機物除去が十分でなく、好気槽への負荷上昇に対して酸素供給が追従できなかったためである。ただし、2系でも最大負荷時を除いては設定ORPが維持されていた。



(a) Process-1 (20v/v% pellets)



(a) Process-2 (no pellets)

Fig.3 Time Course of Operational Indexes

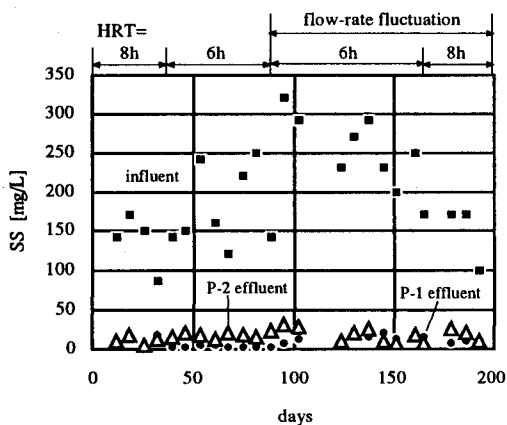


Fig.4 Time Course of Suspended Solids

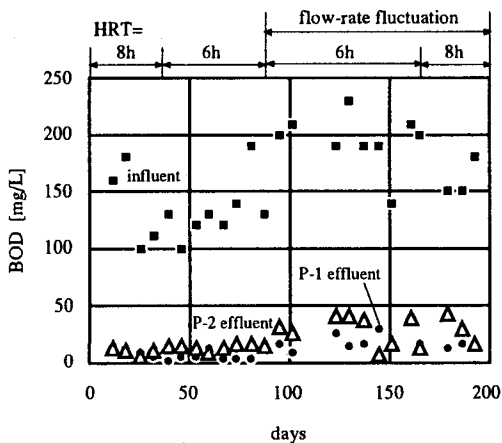


Fig.5 Time Course of BOD

活性汚泥濃度は1系、2系とも設定値の4000mg/Lを維持することができた。担体への付着微生物量については、Run-1からRun-3の間は1300mg/Lから1600mg/Lへとまでは穏やかに増大していたが、Run-4では急激に2000mg/Lとなった。

3. 2 SS、BOD、窒素濃度の経日変化

図 - 4 から図 - 6 に、SS、BOD、全窒素濃度の経日変化を示す。これらの水質指標に関しては、1系と2系とで、全て同様な傾向を示している。すなわち、高水温期のRun-1では両系の処理水質にほとんど差がないが、処理時間を6時間に短縮したRun-2以降では、担体を添加した1系の方が全ての項目で良好な処理水質であった。ただし、1系においても低水温期にHRT6時間で、流量変動をかけたRun-3では明らかに処理水質は悪化し、BODについては時折20mg/Lを上回ることがあった。このような1系の処理状態は、処理時間を6時間から8時間に変更したRun-4では改善されたが、2系に関しては処理時間の延長による改善はほとんど見られなかった。同様に処理水窒素濃度についても、1系ではRun-3からRun-4にかけて処理時間を長くすることで改善しているが、2系では逆に安定性が低下してしまった。

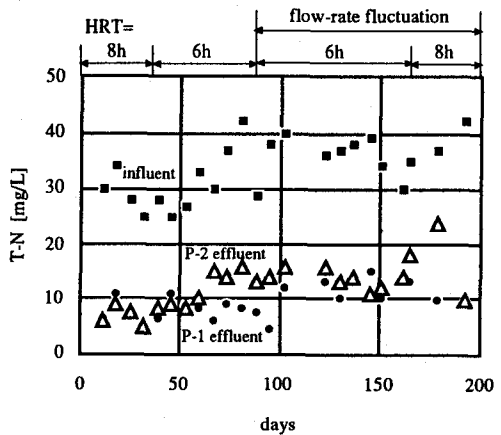


Fig.6 Time Course of Total Nitrogen

3. 3 各Runの処理成績の比較

表 - 3 に各Runの処理成績の比較を示す。BOD、SS、T-Nの各指標は既に3. 2 で説明したとおりの結果であったが、特に2系の処理水BODは、Run-3、Run-4では平均値でも20mg/Lを超える結果となった。

窒素除去率は、Run-1では両系とも約75%の高い値を示しているが、Run-2では処理時間を短縮したため、2系の除去率が64%に低下した。Run-3およびRun-4でも担体を添加した1系の方が、常に70%以上の除去率を保っており、担体添加の効果が確認された。処理条件が最も厳しかったRun-3では、平均水温14℃、HRT6時間、流量変動率0.5-2.0の運転条件で、処理水の平均全窒素濃度は10.9mg/L（除去率70%）であった。

Table 3 Summary of Experimental Result

	Run-1			Run-2			Run-3			Run-4		
	influent	P-1 eff.	P-2 eff.	influent	P-1 eff.	P-2 eff.	influent	P-1 eff.	P-2 eff.	influent	P-1 eff.	P-2 eff.
temperature [℃]	23.7	23.3	22.0	20.4	18.9	19.0	14.7	13.5	13.6	14.7	14.7	14.7
pH	7.0	6.7	6.8	7.0	6.8	6.6	6.9	6.6	6.7	6.8	6.5	6.7
SS [mg/L]	137	10.0	11.8	183	1.9	16.7	239	11.6	17.8	147	7.7	18.3
BOD [mg/L]	130.0	7.3	9.9	132.9	4.6	13.8	189.0	17.7	26.6	160.0	13.7	29.3
T-N [mg/L]	28.8	7.1	7.3	31.7	8.2	11.5	35.6	10.9	14.1	39.5	9.6	16.8
PO4-P [mg/L]	1.0	1.2	1.1	1.0	0.9	1.3	1.3	1.5	1.7	1.5	1.8	2.1
T-P [mg/L]	5.0	1.5	2.1	5.9	1.2	1.9	6.2	1.9	2.4	5.7	2.3	3.0
T-N removal rate [%]		76	75		73	64		70	60		76	56
T-P removal rate [%]		70	58		67	56		69	61		60	47

また、本プロセスはりん除去を目的としたものではないが、1系（担体添加法）では70～76%、2系では47～61%のりんが除去されており、りん除去率に関しても担体を添加した方が高い値を示した。1系のりん除去率が高かった原因は、表-3に示した1系と2系の処理水中のT-P濃度とPO₄-P濃度の差から、処理水中のSSに伴う有機性のりんが低く抑えられたためである。また、処理水中のPO₄-P濃度も1系の方が若干低く、生物学的な脱りんも寄与していた。生物脱りんにもなって汚泥中のりん含有率は1系で2.2～2.9%、2系で2.1～2.7%と1系がやや高く、汚泥引き抜き量は1系で34～52g/d、2系で24～43g/dと1系の方が多かった。このように1系の方が汚泥引き抜き量が多かったのは、1系の方が2系よりBOD、SS除去率が高く、汚泥転換率もやや高かったためである。

3. 4 担体添加による処理成績の改善効果に関する考察

(1) 処理水中の窒素成分の比較

図-7に各Runごとの処理水中の窒素成分を示す。Run-1では1系、2系とも処理水全窒素濃度には差が見られないが、成分ごとに比較すると、1系では2系に比べてアンモニア性窒素濃度が高く、溶解性の有機窒素濃度が低かった。Run-2では、処理水全窒素は1系の方が3.3mg/L程度低く、この差は1系の処理水中の硝酸性窒素濃度と有機性窒素が低いことに由来している。しかし、アンモニア性窒素濃度は1系の方が高く、これは担体添加系では好気槽の設定ORPが100～120mVでは低過ぎたためである。Run-3でも処理水全窒素濃度は1系の方が低いが、硝酸性窒素、アンモニア性窒素濃度は1系と2系とで余り差が見られない。両系で差があるのは溶解性および固形性の有機窒素である。Run-4では1系と2系の処理水全窒素濃度には7.3mg/L程度の差がある。この違いは2系でアンモニアと有機性窒素濃度が高かったためであり、特に有機性窒素濃度はRun-3よりも高くなって窒素除去を妨げている。

反応装置の硝化速度を比較するには、処理水中のアンモニア性窒素と溶存有機態窒素の濃度の合計値を比較すればよい。図-7に基づいて1系と2系の硝化速度を比較すると、Run-1ではほぼ同じ、Run-2では2系の方が高いが、水温が低下したRun-3とRun-4では1系の方が硝化が進んでいる。Run-2において1系の硝化が進まなかったのは、処理時間を短縮して負荷を高めたにもかかわらず担体添加装置の設定ORPが低すぎたためであり、図-7に示した結果から、水温低下時における担体添加による硝化促進効果が認められた。

下水中の窒素除去反応は、有機性窒素の分解によるアンモニアの生成→アンモニアの硝化→脱窒の順に進むが、これまで有機性窒素の分解過程は他の反応速度に比べて十分早いものと考えられてきた。しかし、本実験のように循環法の処理時間を短縮した場合には、水温の低下時に有機性窒素の分解が進まず窒素除去率を低下させる要因となることがわかった。このような場合でも、図-7のRun-3およびRun-4から、担体を添加することにより、有機性窒素の分解が促進されることが示された。

以上の結果から、担体添加による効果として、

1) 有機性窒素の分解促進効果

2) 硝化反応の促進効果

が確認された。ただし、担体添加時には無添加の場合

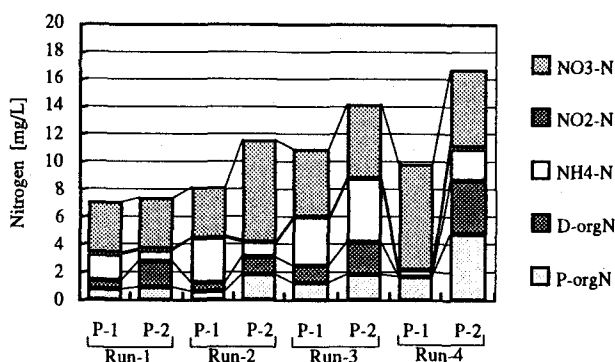


Fig.7 Composition of Effluent Nitrogen

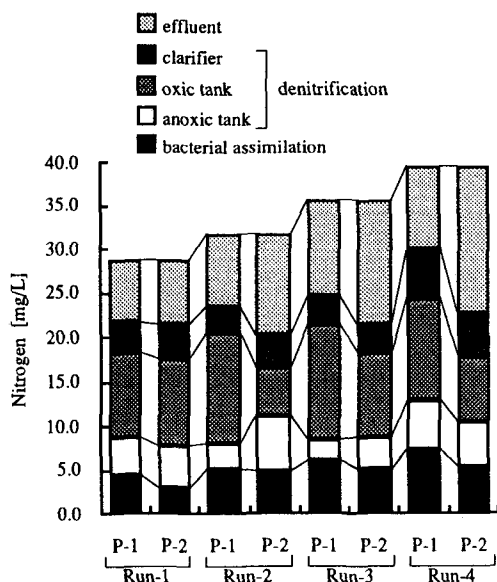


Fig.8 Nitrogen Balance

Table 4 Bacterial Assimilation and Contribution of Each Reactor to Nitrogen Removal

		Process-1				Process-2			
		Run-1	Run-2	Run-3	Run-4	Run-1	Run-2	Run-3	Run-4
bacterial assimilation	% of inf. TN	16	16	17	19	11	15	14	14
denitrification	% of inf. TN	60	58	52	57	64	48	46	44
contribution of each reactors (total=100%)	anoxic tank	25	17	13	25	26	41	23	29
	oxic tank	55	68	69	50	54	36	58	43
	clarifier	20	16	18	25	21	23	19	28

に比べて設定ORPを高めにする必要があり、本実験では+140mVで完全硝化が可能であった。

(2) 窒素収支

図・8に各Runごとの窒素収支を濃度で表現したものを、表・4には流入全窒素に対する微生物同化と各反応槽における脱窒量をパーセント表示したものを示す。このうち微生物同化量および好気槽脱窒量は以下の計算式により求めた。

微生物同化量＝汚泥引き抜き量×窒素含有率

好気槽脱窒量＝流入水窒素量－（処理水窒素量＋微生物同化量＋無酸素槽脱窒量＋沈殿池脱窒量）

表・4から、微生物同化による窒素除去量は常に1系の方が多く、1系で16～19%、2系では11～16%であった。各槽での脱窒量の絶対量を比較すると、Run-1を除くすべてのRunで1系の方が好気槽内脱窒量が多く、逆に無酸素槽内での脱窒量は少ない。沈殿池での除去量は1系、2系ともほぼ同じであった。全脱窒量に対する各槽の反応割合を表・4から比較すると、1系では無酸素槽で13～25%であるのに対して、好気槽では50～69%の脱窒が行われている。2系では無酸素槽での脱窒割合が増加するものの全脱窒量に対して23～41%であり、好気槽では36～58%と高い割合となった。

森山らは硝化・内生脱窒法実処理施設における好気槽での脱窒量を約47%と推定した³⁾。筆者らは、担体添加の効果により好気槽脱窒率がさらに高まるものと想定して、好気槽に固定化担体を投入した硝化・内生脱窒法パイロットプラント実験を行った¹⁾。その結果、当初の予想とは異なり、好気槽脱窒率は最大でも34%であり、水温低下時は好気槽での脱窒が全く起こらなかった。下水のような混合液のORPは、水中の還元性物質と酸化性物質との割合によって決まる。筆者らの用いた実験装置では、下水中の有機物濃度（還元性物質）が高ければ溶存酸素濃度（酸化性物質）を高めるために曝気量を増やすように自動制御が行われ、ORPが一定に保たれる。硝化・内生脱窒法パイロットプラント実験では、好気槽のORPを140～160mVに設定し、完全硝化を維持した。硝化・内生脱窒法では好気槽に流入下水が直接入るために、同じORP設定値でも溶存酸素濃度が高くなる。特に水温が低下した冬期は流入水中の有機物濃度も上昇するため、溶存酸素濃度が5.5mg/Lにまで上昇したことが好気槽脱窒を妨げた原因であった。

これに対して今回の実験では、ORPを+140mVに設定した場合でも、好気槽の溶存酸素濃度は、担体を添加した1系でも最高で1.5mg/L、平均0.5mg/L～1.0mg/Lであった。また、担体無添加の2系では平均0.2mg/L～0.6mg/Lであった。この結果から、担体を添加した好気槽において硝化と脱窒反応をともに進めるには、高いORPと低いDOを同時に保たねばならず、好気槽に多くの有機物が流れ込む硝化・内生脱窒法よりも循環式硝化脱窒法の方が適していることがわかった。

本研究の結果から、循環法においても好気槽のORPならびにDOの管理を適切に行えば、高い好気槽脱窒率を得られ、担体添加により好気槽脱窒率はさらに上昇することが明らかとなった。

従来、循環法における窒素除去率は循環比をRとした場合、 $R/(1+R)$ で制約されており、本研究のように循環比2.0の場合には、流入水中の全窒素から汚泥転換分を除いた窒素量の67%にあたる窒素の脱窒反応を無酸素槽で行いうように、反応槽容積が決定されていた。この割合を本実験に当てはめて計算すると、流入全窒素40mg/L、汚泥転換率20%、脱窒速度定数を回分実験の結果から1.05mgN/gSS/h、MLSSを4000mg/Lとした場合には、

$$40 \times (1 - 0.2) \times 0.67 / (1.05 \times 4) = 5.1 \text{ h}$$

であるから、5.1時間の無酸素槽滞留時間が必要であり、同じくMLSS2500mg/Lならば8.2時間の滞留時間が必要である。しかし、本実験では無酸素槽滞留時間は2～2.7時間であるにもかかわらず、無酸素槽内で硝酸性窒素が残留することはなかった。本研究のように、好気槽における脱窒量を高く維持することにより従来必要と考えられていた脱窒槽容量を小型化できるだけでなく、処理水中への硝酸性窒素の流出を抑制するため良好な処理水質を得ることができる。

(3) 硝化、脱窒速度

表 - 5 に本研究および他の研究例から求めた、硝化速度の一覧表を示す。同表に示した中で、反応槽混合溶液あたりの硝化速度が最も高いのはPEG法による包括固定化担体であり、反対に担体サイズの大きい担体は接触面積が少なくなることから硝化速度を高めるためには不利である。ただし、担体付着生物による硝化速度は、培養時の窒素およびBOD負荷条件にも支配されることから⁸⁾、表 - 5 に示した硝化速度の違いは微生物の固定化方法だけでなく、馴養方法の違いにも影響を受けたものと考えられる。

Table 5 Summary of Nitrification Rate Measurement

Immobilization Method	Pellet Material	Pellet Size	Pellet Volume	temp. °C	Nitrification Rate,		Experimental Condition	Ref. No.
					Volumetric mgN/L/h	Specific mgN/gSS/h		
attached	polyurethane	2cm cu.	10%	---	4.1	---	cultured in sewage for 40days measured by batch exp. in NH ₄ Cl	4
		1cm cu.	10%	---	4.1	---		
entrapped	PVA-boric acid	φ 5mm, L5mm	10%	15	13.7	---	measured by batch exp. in secondary effluent with addition of NH ₄ Cl	5
			10%	25	12.4	---		
	PEG	3-4mm cu.	10%	15	21.6	---		
			10%	25	22.2	---		
entrapped	PEG	3-4mm cu.	10%	35	15	---	scrubber wastewater	6
attached	sponge	15×12×12mm	10%	---	9.3	---	sequential batch process, synthetic WW nitrified liquor recycling, synthetic WW	7
			10%	---	11.8	---		
attached	polypropylene	φ 5mm, L5mm	30(18)%	20	14.1	6.25	cultured in synthetic WW with night soil, measured by batch exp. in NH ₄ Cl	2
attached	polypropylene	φ 5mm, L5mm	20(12)%	20	6.9	4.46	nitrification-denitrification pilot plant, measured by batch exp. in NH ₄ Cl sol.	1
			40(24)%	13	8.6	2.4		
attached	polypropylene	φ 5mm, L5mm	20(12)%	14.5	6.3	3.6	measured by batch exp. in NH ₄ Cl sol.	
activated sludge	---	---	---	14.5	6.6	1.5	at the end of this study	

*numbers in parenthesis indicate the actual pellet volume

表 - 5 の最下段に示した本研究での硝化速度測定結果から、担体付着汚泥は浮遊汚泥に比べて単位重量あたりの硝化速度が2.4倍であり、硝化促進に寄与している。

比脱窒活性は活性汚泥で1.05mgN/gSS/h、担体付着汚泥で0.55mgN/gSS/hであった。当然ながら好気槽の担体付着汚泥の脱窒活性は無酸素槽から採取した浮遊汚泥よりも小さいが、好気槽での脱窒が全く起こらなかった硝化・内生脱窒法では好気槽担体の付着汚泥比脱窒活性が0.20mgN/gSS/hであった²⁾のに比べると約2.7倍の高い活性であるといえる。

活性汚泥の比脱窒活性にRun-4のMLSS濃度4000mg/Lと原水流量基準の無酸素槽滞留時間2.7時間を掛けると、無酸素槽で脱窒により除去しうる最大の窒素濃度が $1.05 \times 4.0 \times 2.7 = 11\text{mgN/L}$ と求められる。この値は1系のRun-4における全脱窒量23mgN/Lよりも少ないが、このうち無酸素槽で除去されているのは6mgN/L程度なので回分実験結果との矛盾はない。むしろ、脱窒活性試験から期待される無酸素槽での脱窒量が、実際の全脱窒量よりも少ないということは、本実験では無酸素槽以外で脱窒が進んでいたことを裏付けるものといえる。

4 まとめ

本研究の結果から、以下の知見が得られた。

(1) 循環式硝化脱窒法の好気槽に微生物固定化担体を投入した処理プロセスを、担体を添加しない従来の処理プロセスと比較することにより、SS、BOD、りん、窒素除去促進効果が確認された。

(2) 見かけ担体添加率20v/v%、水温14℃、HRT6時間、流量変動率0.5～2.0の場合において、窒素除去率70%が得られた。

(3) 担体添加が窒素除去を促進するメカニズムとして、以下のものが明らかとなった。

1) 有機性窒素の分解によるアンモニア生成促進効果

2) 硝化促進効果

3) 好気槽内脱窒反応促進効果

(4) 以上の結果から、結合固定化担体添加型循環式硝化・脱窒法の設計、運転に関して以下の事柄が明らかとなった。

1) 本研究で用いた担体添加法では好気槽での脱窒が促進されるため、処理水中に流出する硝酸性窒素の量も減り良好な処理水水質を得られるとともに、必要空気量の低減にもなる。この特徴を生かすには脱窒槽を相対的に小さく、好気槽を大きく設計することが合理的であり、本研究では脱窒槽容量：好気槽容量＝1：2であった。

2) 結合固定化担体を添加した好気槽において硝化と脱窒を同時にすすめるためには好気槽の適正な管理が重要であるが、本研究ではORPを120～140mVに、DOも0.5mg/L～1.0mg/Lにした場合に硝化・脱窒ともに進めることができた。

(5) 本研究で得られた以上の結果は、硝化促進の原理を同じくする他の結合固定化担体についても当てはまるものと考えられる。ただし担体の大きさや構造が本研究で用いたものと大きく異なる場合、或いは原水水質が著しく異なる場合には、本調査結果の適用に際しては慎重を期する必要がある。

<参考文献>

- 1) 滝沢 智、高橋正宏、珠坪一見；生し尿受け入れ下水中の難分解性有機物除去に関する研究、環境工学研究論文集、第29巻、pp.59-66、1992
- 2) 滝沢 智、鈴木 穰、高橋正宏、波多野伸、宮田 純；硝化・内生脱窒法における固定化微生物の応用、環境工学研究論文集、第29巻、pp.275-286、1993
- 3) 森山克美、北村武之、鷺山和男、北村裕一；硝化脱窒同時反応に関する研究、土木学会第45回年次学術講演集、pp.1060～1061、1990
- 4) 津野 洋、宗宮 功、松本信之；ウレタンフォーム付着微生物の硝化活性とそれに及ぼす有機物の影響、第29回下水道研究発表会講演集、pp.64-66、1992
- 5) 高木良治、荒井均、野村隆夫、高橋伸一；包括固定化担体を用いた硝化性能実験、第29回下水道研究発表会講演集、pp.480-482、1992
- 6) 中村芳男、川口幸男、江森弘祥、磯崎猛夫；包括固定化細菌を用いた高濃度アンモニア排水の処理について、第29回下水道研究発表会講演集、pp.489-491、1992
- 7) 柏谷衛、出口浩、田中育、大久保泰宏；スポンジキューブ固定化担体を用いる高濃度微生物処理、第29回下水道研究発表会講演集、pp.492-495、1992
- 8) 宮田 純、高橋正宏、鈴木 穰、滝沢 智；固定化微生物の硝化活性に対する有機物負荷および窒素負荷の影響、第28回水環境学会年回講演集、pp.54-55、1994