

日本下水道事業団 若山正憲 碓井次郎
月島機械(株) 中林昭 角田明彦
○早川智基

1. はじめに

近年は、生活を取巻く水環境や水道水源の保全等への関心が高まり、下水処理場の放流水に求められる水質も厳しくなっている。特に、閉鎖性水域では水質に対する要求が高く、こうした水域に立地する処理場では生物学的窒素・リン除去をはじめとした高度処理が行われている。しかし、現在の高度処理は水処理が中心であり、今後更に高度化すると予想される放流水質への要求に応えるためには、汚泥処理からの返流負荷を考慮した総合的な対応が求められる。日本下水道事業団と月島機械(株)は、この総合的な対応の一方策として、汚泥処理の中で最も返流負荷が大きい嫌気性消化返流水からの窒素・リン除去技術の開発を共同で実施した。本報告は、開発に際して行ったパイロットプラントによる実証実験をとりまとめたものである。なお、当該技術の開発目標は窒素除去率75%、リン除去率90%以上とした。

2. 実験

2.1 実験装置

実験は、パイロットプラントを、分流式で汚泥処理に嫌気性消化を採用している処理場内に設置して行った。また、処理対象は返流水のうち最も窒素・リン濃度、負荷が高い脱水ろ液とした。

本システムは、生物学的脱窒・化学的リン固定化及び固液分離を担う化学凝集バイオリアクター¹⁾

(以下、CCBR) とひも状担体を投入した硝化槽で構成されており、脱窒源として必要となる有機分を初沈汚泥投入により補っている。パイロット実験装置のフローを図-1、装置概要を表-1に示す。

原水とした脱水ろ液は脱水機ドレン管から、また初沈汚泥は重力濃縮引き抜き管から採取したものを、前処理を行わずそのまま CCBR に投入した。原水および初沈汚泥中の SS は、PAC およびポリマーによ

表-1 パイロット実験装置概要

	CCBR	硝化槽
容量	19.6m ³ 2.2m□×4.5mH	18.4m ³ 2.2m□×4.3mH 4.6m ³ ×4槽 直列に接続
設備	・緩速攪拌 0.03~0.05rpm ・汚泥排出 槽側壁バルブより排出	・固定床(紐状)担体 45φ 充填量 200m ³ ・pH調整 第2,4槽(苛性ソーダ)

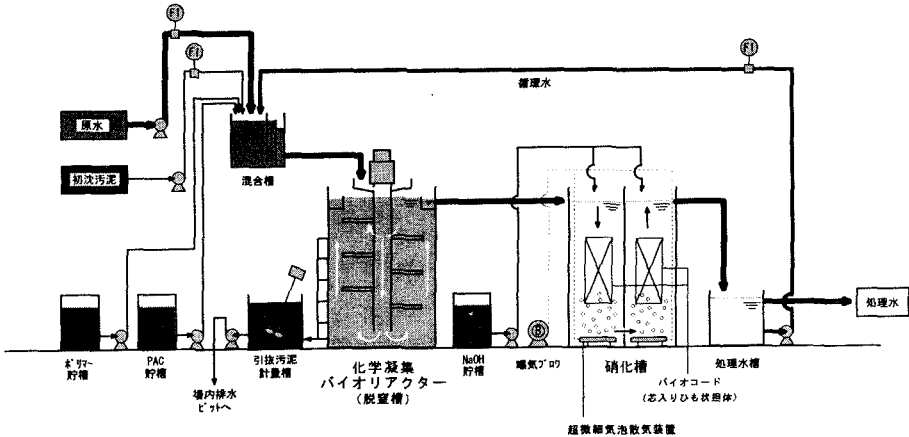


図-1 汚泥返流水からの窒素・リン除去パイロット実験フロー

り凝集・沈殿分離され、CCBR 下部に高濃度の汚泥ゾーンを形成する。またリンは、PAC により固定化される。硝化槽からの循環水中に含まれる硝酸態、亜硝酸態窒素は、この汚泥ゾーンにおいて有機物を利用して脱窒される。脱窒に利用された汚泥は、固定化されたリンとともに CCBP から引抜かれ、系外へ排出される。CCBR 後段に設置された硝化槽には固定床担体が充填され、増殖が遅い硝化細菌を高濃度集積することにより、窒素の効率的な硝化が行われる。

2.2 原水・初沈汚泥性状

実験に供した脱水ろ液（原水）および初沈汚泥の性状を表－2、3に示す。実験期間中に脱水機種がベルトプレスから遠心へと更新されたため、両脱水ろ液についてデータを採取した。

原水水質の変動は大きく、ベルトプレスろ液の NH₄-N で、200～400mg/L と広い範囲に分布していた。なお、原水の BOD/N 比は1以下であり、必要とする理論的な BOD/N 比=3 を満足していなかった。また、遠心ろ液の窒素・リンはベルトプレスろ液の 2.5 倍の濃度であったが、これは脱水工程における洗浄水の有

表－2 原水平均水質

脱水機種	ベルトプレス	遠心
採水期	H11.1～12	H12.1～3
pH	7.7	7.9
TKL 濃度	1,080	2,610
SS	256	252
T-P	63	161
PO ₄ -P	51	131
T-N	351	931
NH ₄ -N	300	979
NO ₃ -N	<1.6	0
NO ₂ -N	<9.0	0
T-BOD	195	169
S-BOD	152	146
CODmn	150	140

表－3 初沈汚泥性状平均値

	通期 H11. 1～ H12. 4	高温期 H11. 6～ H11. 10	低温期 H11. 12～ H12. 3
TS	20,100	24,300	14,400
SS	13,900	15,900	9,500
T-BOD	9,300	15,700	4,700
S-BOD	4,500	8,100	1,300
T-N	1,110	1,640	690
T-P	153	209	87

単位は[mg/L]

無によるものである。

初沈汚泥の性状についても変動が大きく、高温期と低温期でやや濃度変化が見られた。

3. 結果

3.1 処理結果（窒素）

(1) 運転条件と窒素除去率

各runの運転条件と処理結果を表－4に示す。

run1,2,5,6の窒素除去率は目標値である75%に達しており、この条件で窒素除去が可能であることを実証した。また、遠心ろ液はベルトプレスろ液より若干高い窒素負荷での運転が可能であった。

run3,4 は水温低下期のデータである。運転条件はrun1 とほぼ同等であるにもかかわらず、窒素除去率は目標値を下回った。これはこの期間に、急激な水温低下、PAC 供給ポンプ故障による過剰添加、初沈汚泥濃度低下に伴う BOD 投入量減少などが重なり、こ

表－4 運転条件と窒素除去率

	run1	run2	run3	run4	run5	run6
期間	H11 7/9- 8/14	8/20- 9/22	10/28- 11/18	11/23- 12/27	H12 1/1- 2/5	2/22- 3/4
供試原水	ベルトプレスろ液			遠心ろ液		
HR T [h]	60	45	61	62	106	128
循環比 [Q]	3	2	2	3	3	2
水温 [°C]	23～29	26～30	18～23	18～20	19～23	15～18
初沈汚泥投入量 vs 原水	1.3	0.4	1.0	1.2	3.1	7.7
T-N 負荷	0.15	0.21	0.16	0.16	0.20	0.19
溶解性N負荷	0.12	0.16	0.13	0.14	0.19	0.19
原水水質						
T-N	381	416	414	417	860	1,020
NH ₄ -N [mg/L]	297	305	333	345	831	1,020
T-N 除去率	80	85	61	56	75	81
溶解性N除去率	82	76	66	63	77	84
調査因子	高水温期 処理特性	高水温期 最大負荷	水温低下期 処理特性		低水温期 遠心ろ液	

れらが硝化の不安定化、および脱窒量の減少につながったと考えられる。

なお、システム全体の窒素収支の結果、脱窒は硝化槽内でも発生しており、その脱窒量は CCBR と同等以上であった。このため run2,6 のように、循環比が 3Q 以下でも窒素除去率が 75% 以上となることがあった。また、初沈汚泥投入が脱窒に対する有機分として有効に活用していたことも確認できた。

(2) 硝化、脱窒活性

図-2 に硝化、脱窒活性と窒素基質濃度の関係を示す。窒素基質濃度が高いほど、活性が高い傾向があった。よって本システムは、返流水のような高濃度排水処理に適していると考えられる。

また、硝化槽各段における硝化活性を図-3 に示す。前段は硝化活性が高く、後段は低い傾向が見られた。これは後段のほうが、窒素基質濃度および窒素負荷が低いためであると考えられる。

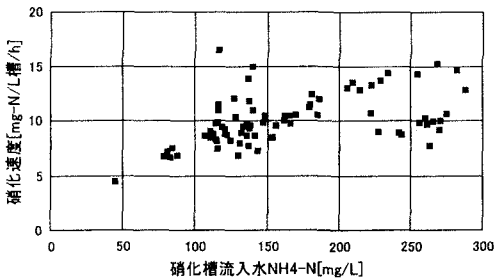


図-2(1) 硝化槽流入基質濃度と硝化速度(run4~6)

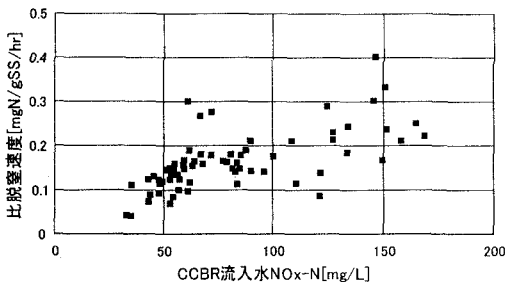


図-2(2) 脱窒槽流入基質濃度と脱窒速度(run4~6)

3.2 処理結果 (リン)

表-5 に PAC 添加量とリン除去率を示す。PO₄-P は 90% 以上除去された。但し、T-P 除去率は処理水 SS と関連して変動し、80% 程度で目標除去率を達成できなかった。しかし、ここで流出する SS は、凝集剤を含んだものであり、水処理系におけるリン再溶出が考えられないため、PO₄-P の除去で目標は達成されたと考えられる。なお、実績値よりリン除去には、PAC 添加量を Al/P=3 [mol/mol] とすることが適切と判断できた。

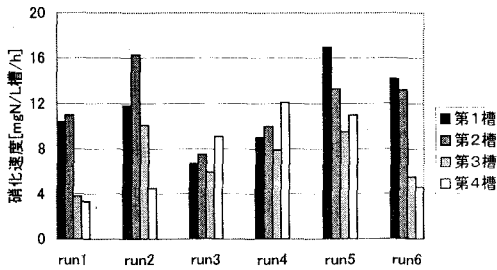


図-3 各段毎の硝化速度

表-5 PAC 添加量とリン除去率

		run1	run2	run3	run4	run5	run6
PAC 添加量	[molAl/molP]	3.2	2.7	3.9	3.2	1.9	2.6
処理水							
T-P	[mg/L]	8	14	14	15	25	52
PO ₄ -P	[mg/L]	2.3	3.2	1.8	2.3	12.4	2.1
SS	[mg/L]	147	170	256	168	182	854
T-P 除去率	[%]	85	81	81	79	84	70
PO ₄ -P 除去率	[%]	95	93	96	96	91	99

4. まとめ

CCBR プロセスを組み込んだシステムにより、嫌気性消化返流水からの窒素・リン除去に関する実証実験を行った。その結果、窒素・リンとも目標除去率の達成を実証し、最適運転条件を把握した(表-6)。

但し、システム全体の滞留時間が長いことから、硝化・脱窒双方の効率化と CCBR における汚泥界面管理手法などに対し、さらなる検討が必要である。

表-6 最適運転条件

		ベルトプレス	遠心
HRT	[h]	60	128
循環比	[-]	3Q	
初沈汚泥投入量	[vol.% vs 原水]	1	8
T-N 負荷	[kgN/m ³ /d]	0.15	0.20
PAC 添加量	[molAl/molP]	3	

参考文献

- 1) 清水他; 化学凝集バイオリアクター・接触曝気槽を用いる新しい高度処理システム, 環境技術, vol.23, pp95-102, 1993.