

(20) 循環式活性汚泥法による脱窒素・脱リン法の研究

日本大学工学部 ○西 村 孝

〃 鈴木 雅 行

〃 中 田 尚 行

〃 平 松 良 文

1 はじめに

循環式活性汚泥法、もしくは循環式硝化脱窒素法においては、窒素とともにリンも除去されることが知られている。とりわけ、第1脱窒素槽の前に嫌気性槽を設け、そこで返送汚泥を原水と接触混合すると汚泥からリンが放出し、後段の槽におけるリン除去が顕著になる。筆者らは郡山市下水処理場で行っている硝化脱窒素のパイロットプラント実験、並びにし尿を対象とした室内実験で、この知見を確認したので報告する。

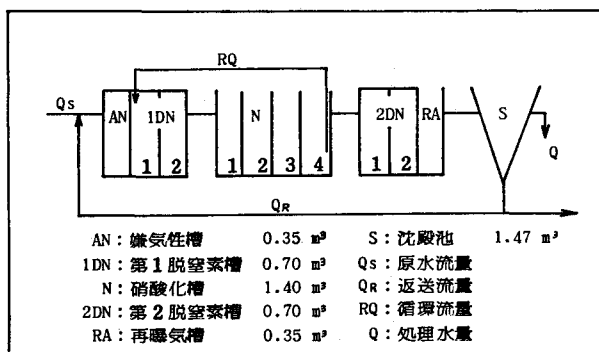


図-1 実験フロー

2 通常の循環式活性汚泥法による脱窒素・脱リン

昭和53年10月17日より郡山市下水処理場の返送汚泥を種汚泥として馴養を開始した。最初沈殿池越流水を原水としていた。ほぼ完全硝化が達成された11月21日より定常運転に入った。実験槽は10連セル形槽(幅1.2 m×長2.4 m×有効水深1.2 m)であり、各セル(0.35 m³/セル)は硝化、脱窒素の双方に使用できる。沈殿池は円形で汚泥かき寄せ機を有し、水容積は1.47 m³(直径1.2 m×有効水深1.3 m)である。原水および処理水は24時間連続的に採水したコンポジットサンプルについて分析した。余剰汚泥は1日ごとに計量し、処分した。

原水の水質はO-PO₄³⁻がやや低目のほか、地方都市の合流式公共下水道における最初沈殿池越流水を代表し得ると思われる。1月中旬にMLSS、原水T-N、O-PO₄³⁻

表-1 運転条件(総括)

NO.	運 転 期 間	Q _S (㎥/d)	Q _R (㎥/d)	RQ (㎥/d)	D.T. (Hr)						MLSS (㎏/㎥)	添加CH ₃ OH (g・d)
					AN	1DN	N	2DN	RA	S		
1	S.53.11.21～S.54.1.18	7.5	2.2	4 Q _S	—	3.4	4.5	2.3	1.1	4.7	7.0	256
2	S.54.1.19～S.54.6.22	5.6	1.6	4 Q _S	—	4.5	6.0	3.0	1.5	6.3	7.0	224
3	S.54.6.23～S.54.8.18	7.5	2.3	4 Q _S	—	3.4	4.5	2.3	1.1	4.7	7.0	147
4	S.54.8.19～S.54.11.22	7.5	2.6	4 Q _S	1.1	2.3	4.5	2.3	1.1	4.7	7.0	147
5	S.54.11.23～S.55.1.31	7.5	5.2	4 Q _S	1.1	2.3	4.5	2.3	1.1	4.7	10.0	147

注) 1. Phase 3 の運転は、原水に KHzPO₄ (6月26日より) を添加した。

2. Phase 4,5 の運転は、嫌気性槽 (AN) を設けた。

3. Phase 5 の運転は、MLSS を 10 kg/m³ にアップした。

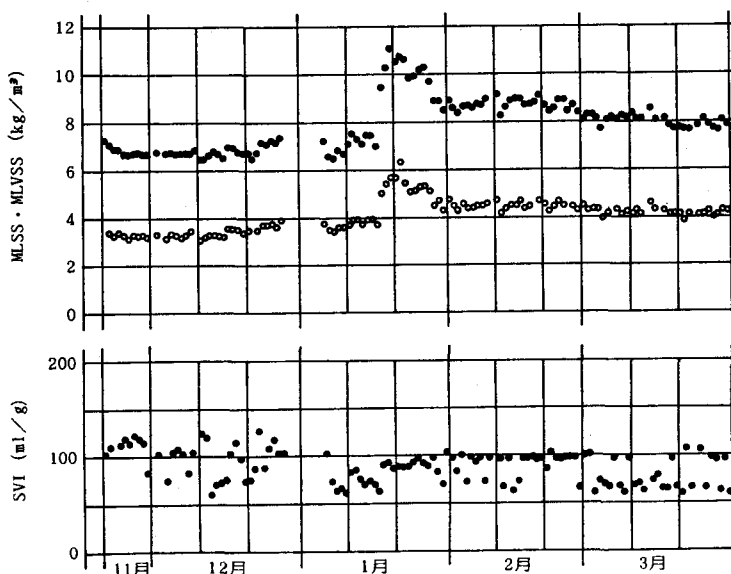


図-2 MLSS, SVI

が異常に高くなっているのは、下水処理場の汚泥処理が中断し、最初沈殿池に汚泥が過剰に貯留されたことによる。

冬期における郡山市下水処理場の流入水温は全国でも指折りの低温である。このため本実験の硝酸化槽水温は（この温度は処理場曝気槽水温にはほぼ等しい）は12月下旬より10℃以下となり、それとともに硝化が悪化してきた。このため汚泥滞留日数(SRT)を20日から30日に延長すべく、昭和54年1月19日より原水流量を7.5m³/dから5.6m³/dに減らした。それでも2月まで硝酸化槽末端には1~4mg/lのNH₃-Nが残留し、硝酸化槽で完全硝化が達成できるようになったのは、水温が10℃を越えるようになった3月下旬からである。SRTは次式により計算した。

$$SRT = \frac{(V_N + V_{RA}) X_s}{\Delta X_s + \Delta x} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、V_N：硝酸化槽容量(m³)
V_{RA}：再曝気槽容量(m³)、X_s：MLSS (kg/m³)、ΔX_s：余剰汚泥量(kg/d)
Δx：処理水SS量(kg/d)

一般に硝化が生じるためには、SRTは次の条件を満たさなければならない。

$$G = 1/SRT < \mu_M \dots\dots\dots (2)$$

ここで、G：汚泥生成率(d⁻¹)
μ_M：硝化菌の最大比増殖速度(d⁻¹)、μ_Mの値は温度の関数で、8℃のときμ_M = 0.05程度であり、本実験のSRTはこの温度での限界値に近かったと言える。

本実験では各槽混合液の上澄み液についても水質分析を行っている。その結果をもとに2月中旬における各槽での窒素収支をとると、表-2のようになる。施設全体での窒素除去率は74%で、窒素除去の64%は第1脱窒素槽で、残りは第2脱窒素槽で行われている。第2脱窒素槽での除去はほとんど脱窒素によるが、第1

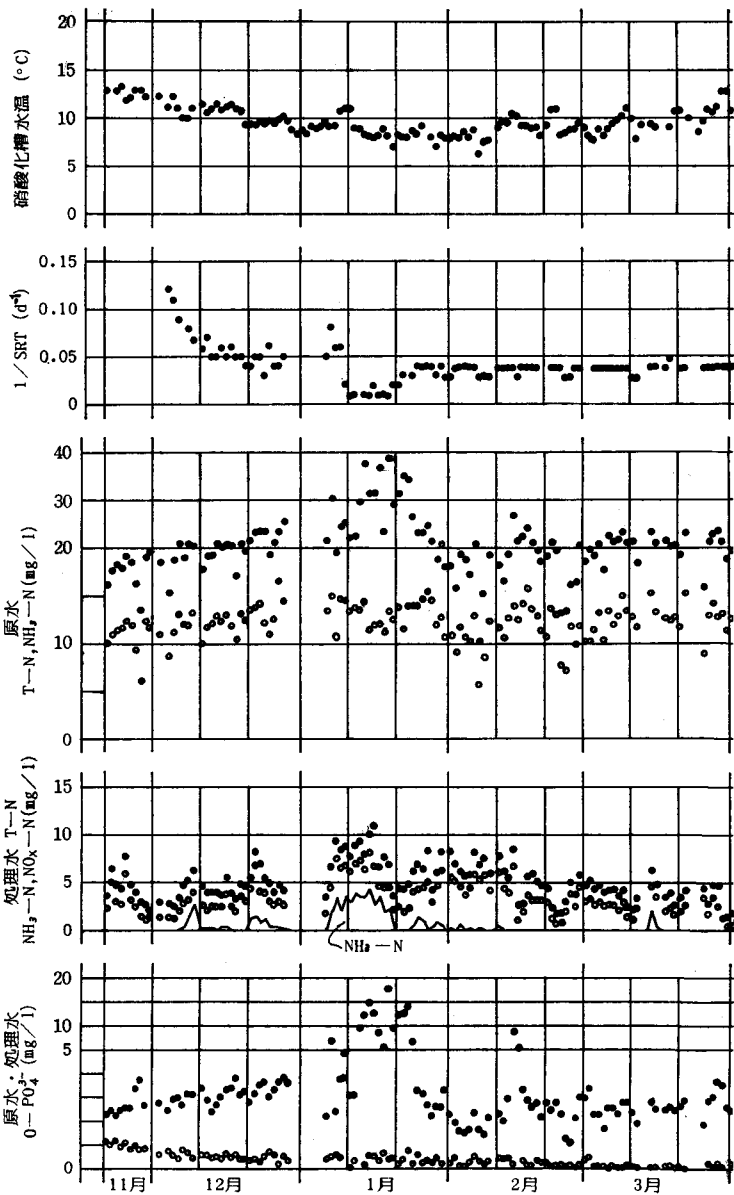


図 - 3 水温，SRT，T-N，O-PO₄³⁻

表 - 2 窒素収支 (g/d)

	原 水	1DN	N	2DN	処理水
T-N	119.3	-56.9	+ 0.1	-31.0	30.8
Org-N	49.3	-25.1	-17.8	+ 1.4	9.5
NH ₃ -N	73.4	- 7.3	-50.3	- 0.7	0
NOx-N	0	-27.9	+68.1	-31.7	21.3

注. 1) NOx-N循環量 N → 1DN 143.4 g/d
2) NOx-N移送量 N → 2DN 46.1 g/d
3) 引抜汚泥による窒素量
14 × 35 × 0.0463 = 22.7 g/d

脱窒素槽での除去は脱窒素によるところと汚泥同化によるところが半々である。

リン除去は最初沈殿池越流水に SS が激しく流出した1月期を除けば、本原水は O-PO_4^{3-} として $3\text{mg}/\ell$ 前後の濃度であったため、運転開始当初より50%以上の除去率が得られている。リン除去率はその後漸次上昇し、3月以降処理水 O-PO_4^{3-} は安定して $0.1\text{mg}/\ell$ 程度に維持された。活性汚泥の灰分が MLSS 中の50%にも達するため、この O-PO_4^{3-} 除去には化学的な現象も関与している可能性もあるが除去改善の速度が非常に緩やかなことから、この除去機構は主に生物学的な現象と推定される。

一般的な下水に比べこの原水の O-PO_4^{3-} 濃度はやや低目であるため、6月25日より原水に O-PO_4^{3-} として約 $10\text{mg}/\ell$ となるように KH_2PO_4 を添加したところ処理水に $1\sim4\text{mg}/\ell$ の O-PO_4^{3-} が残留するようになった。しかし日除去量としては大幅に増加し、このため汚泥中の T-PO_4^{3-} もそれに比例して増大した。

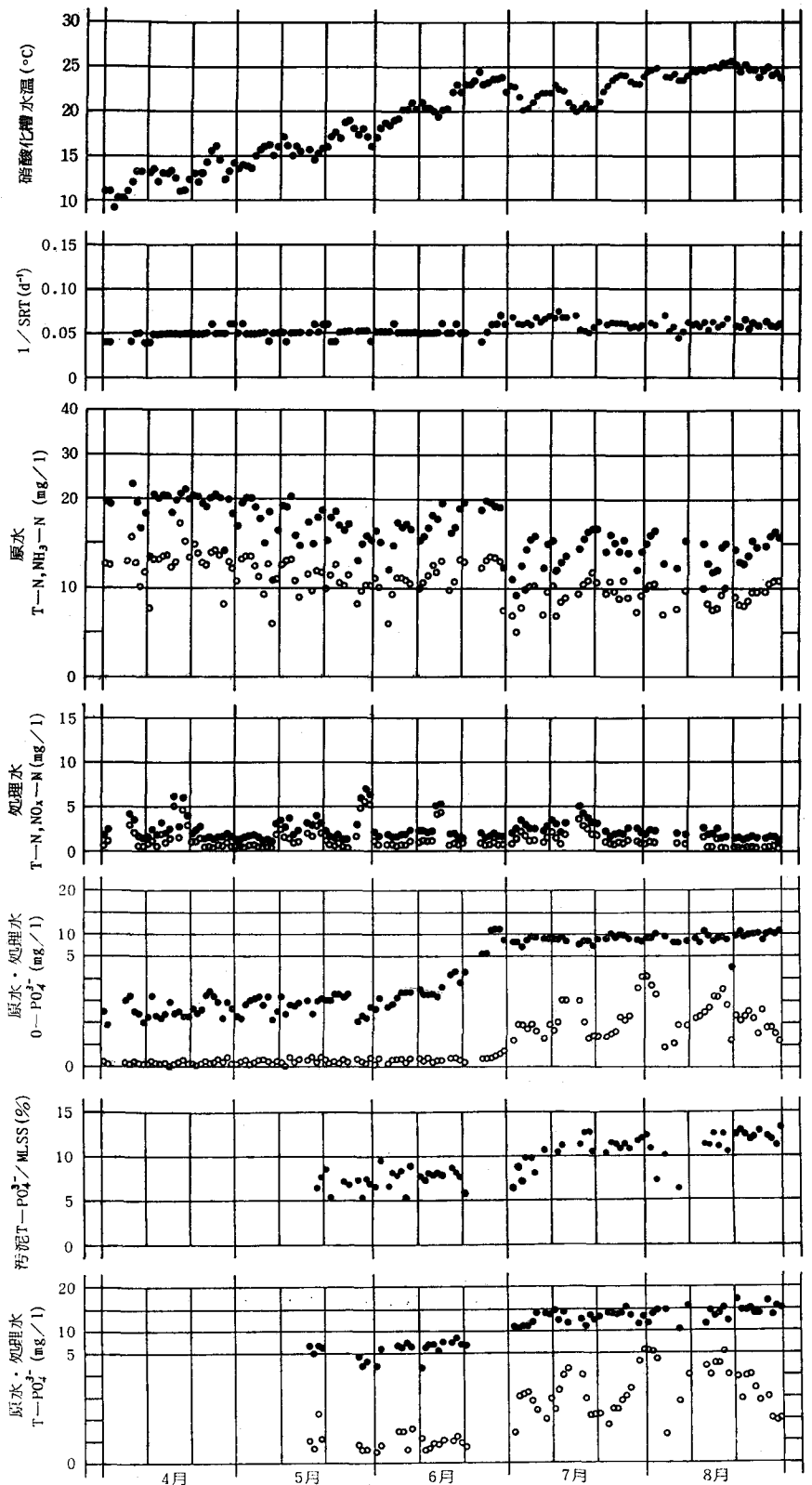


図 - 4 水温, SRT, T-N, O-PO_4^{3-} , T-PO_4^{3-}

3 嫌気性槽を付設した循環式活性汚泥法による脱窒素・脱リン

原水リン濃度が高い場合には、通常フローの循環式活性汚泥法では $O-PO_4^{3-}$ 、 $T-PO_4^{3-}$ 除去が不安定になることが確認されたので、8月19日より図-1のように第1脱窒素槽の一部を脱リン用の嫌気性槽に改造し、ここで返送汚泥を原水と接触混合させた。その結果次第にリン除去は改善され、1カ月後には嫌気性槽で汚泥からリンが放出し、後段の槽でのリン除去が顕著になった。これに伴い、9月18日には汚泥中のリン($T-PO_4^{3-}$ として)が15%に増加している。その後、相次ぐ台風による雨の影響で流入水質がみだれたため、処理水質も不安定になっている。しかし11月以降は処理水質も安定し $O-PO_4^{3-}$ は $0.5\text{mg}/\ell$ 程度、 $T-PO_4^{3-}$ で $1\text{mg}/\ell$ 程度の処理水が安定して得られた。

各槽混合液の上澄液を分析し、各槽ごとの $O-PO_4^{3-}$ および $T-PO_4^{3-}$ の物質収支をとったところ、図-6に示すように

(1) 嫌気性槽では流入 $O-PO_4^{3-}$ 以上の $O-PO_4^{3-}$

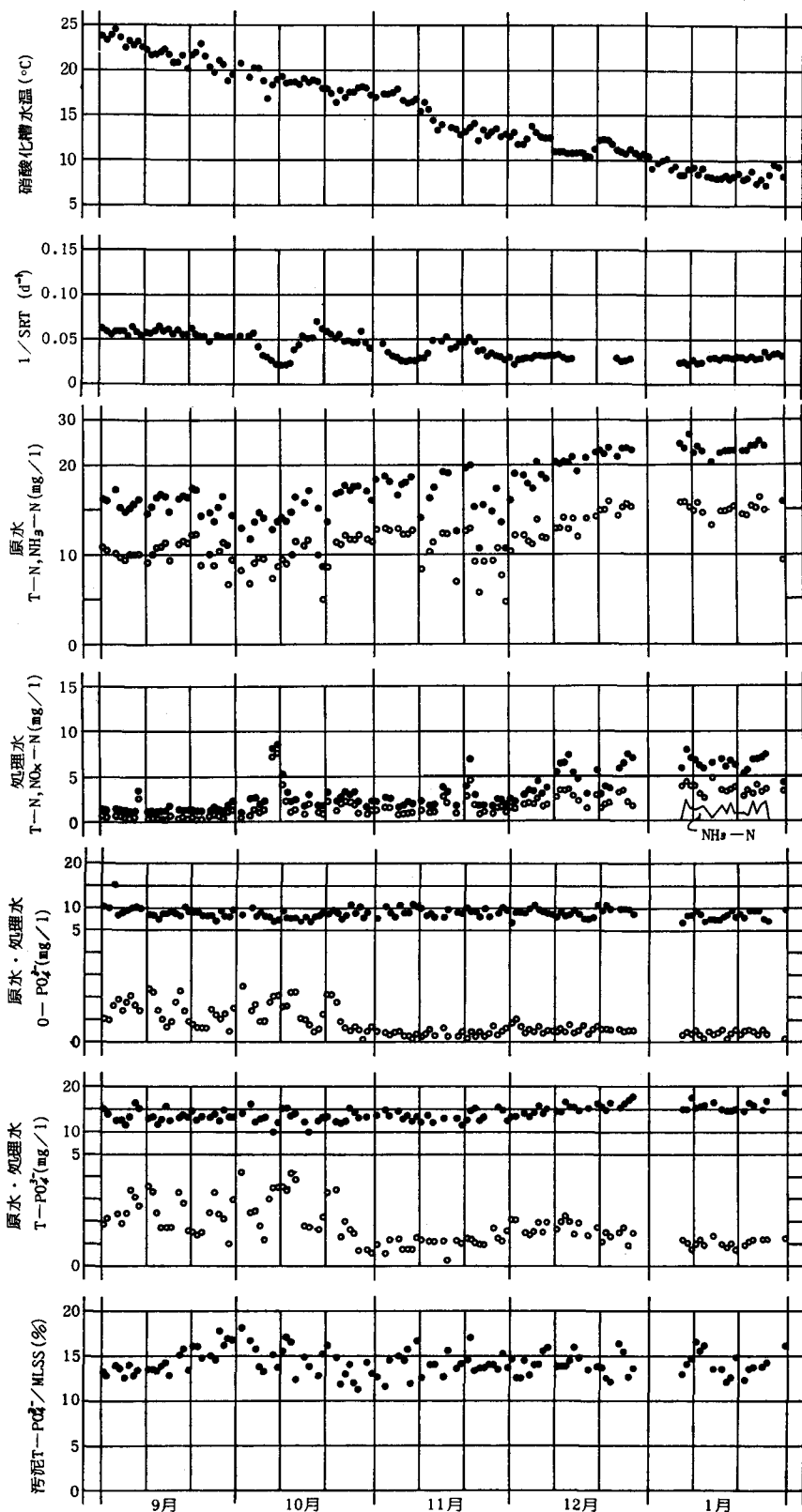


図-5 水温, SRT, T-N, $O-PO_4^{3-}$, $T-PO_4^{3-}$

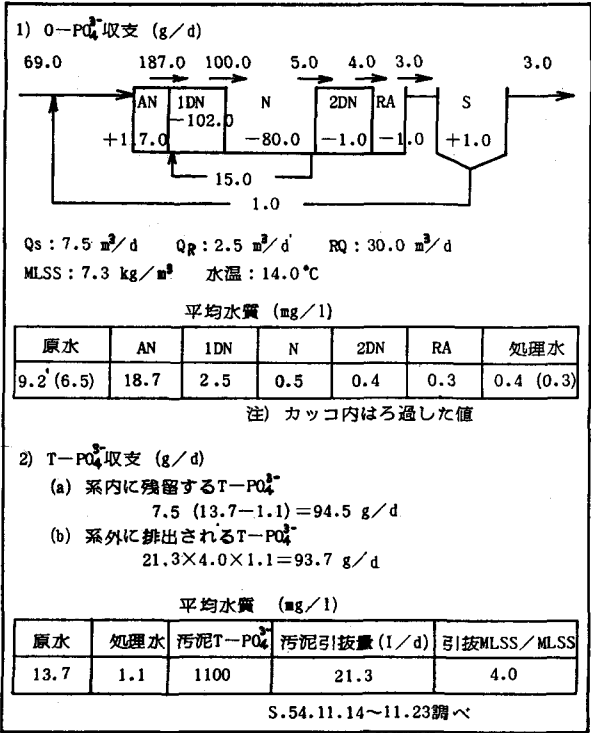


図 - 6 リン収支

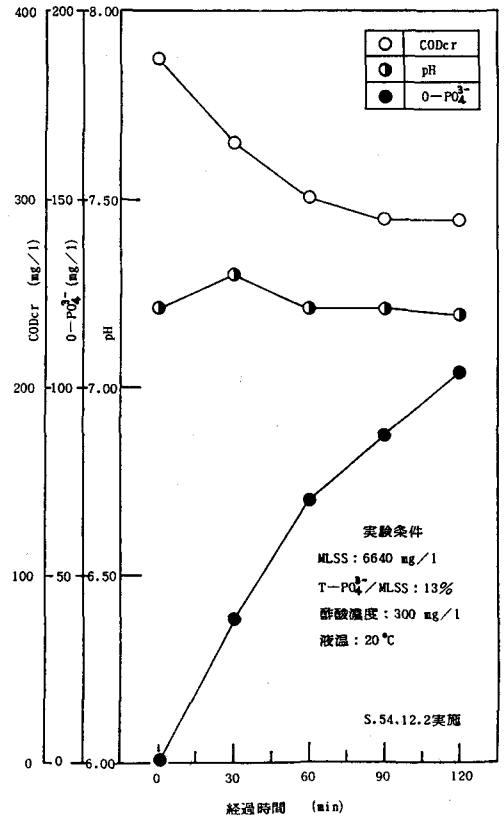


図 - 7 リンの吐出し実験

が汚泥から吐出される。

(2) しかし第1脱窒素槽、硝酸化槽で吐出し $O-PO_4^{3-}$ と原水 $O-PO_4^{3-}$ の大部分が除去される。

(3) 第2脱窒素槽、再曝気槽では取込みも吐出しもほとんど行われない。

(4) 沈殿池でもその底部は嫌氣的であるにもかかわらず、 $O-PO_4^{3-}$ の放出は行われない。

という知見が得られた。なお、このようにリン除去が行われても、BOD除去や硝化・脱窒素には全く影響がなく、良好であった。表-3に原水、硝酸化槽上澄液および処理水の平均水質を示す。

嫌気性槽において、原水中のどの成分が汚泥中からリン吐出しを促進させるかを回分実験により検討した。促進成分として酢酸を用いて図-7の結果を得た。この結果より嫌気性槽では有機物が取込まれる代りにリンの放出が行われている。すなわち、有機物(CODcr)の減少量とリン($O-PO_4^{3-}$)の吐出し量がほぼ比例している。なお、このような現象がリンの除去にどのように関係しているかはよくわからない。

4. し尿を対象とした循環式活性汚泥法による脱窒素・脱リン

都市下水の最初沈殿池には汚泥処理の滲液が流入してくるため、その越流水にはCa、Feの混入が考えられる。その結果、活性汚泥によるリン除去機構には化学的な面が関与する可能性がある。都市下水を対象と

表 - 3 平均水質 (mg/l)

	原 水	硝酸化槽	処理水
pH	7.24	6.96	7.31
アルカリ度	97.3	61.1	55.9
BOD	89.1	2.6	3.5
CODcr	170.2	18.5	16.3
CODmn	40.8	6.6	5.9
SS	89.3	—	5.3
T-N	18.6	8.3	3.8
NH ₃ -N	11.9	0.6	0
Org-N	6.7	2.8	1.3
NO ₂ -N	—	0.4	0.2
NO ₃ -N	—	4.6	2.3
$O-PO_4^{3-}$	9.2	0.5	0.4
T- PO_4^{3-}	13.7	—	1.1

S.54.11.14~11.23調べ

した脱リン実験で酢酸が有効な促進剤であることが確認されたので、化学的影響のない、しかも炭素源の少ない尿脱離液を対象に、酢酸を用いて生物学的な脱リン現象が生じるかどうか連続実験により検討した。その結果、再現性が確認されたので報告する。

実験装置の概要を図-8に示す。この装置は塩化ビニル製で有効水容積4.5ℓの矩形セルを10個連結した長方形槽で、全容積は45ℓである。最終セルは純酸素曝気を用いた再曝気槽とした。沈殿池は逆円錐形で有効水容積は8ℓである。実験装置は大型恒温水槽に設置し、混合液温を $27 \pm 1^\circ\text{C}$ に設定した。実験原水は郡山市し尿処理場の脱離液を10倍に水道水で希釈し攪拌機のついた原水貯留槽から実験装置に供給した。嫌気性槽には酢酸を80 ml/d、第2脱窒素槽にはメタノールを8 ml/d添加している。

運転当初は汚泥が酢酸に馴致していないため、運転状態やリン除去も不安定であったが、1カ月経過するころから次第にリン除去もよくなり、2カ月目にはリン除去率が95%まで改善された。MLSSは次第に10,000mg/ℓまで上げたが、汚泥返送率は馴養に従い汚泥の濃縮がよくなり、33%程度で安定した。平均水質を表-5に示す。

5 おわりに

循環式活性汚泥法におけるリン除去の機構は未解明であり、設計条件や運転条件の把握など実用化のためには数多くの課題が残されている。しかし、以上の処理結果をみる限り、優れたリン除去率が得られており循環式活性汚泥法にはBOD、窒素とともにリンを除去する技術として十分に検討する必要があると考えられる。また汚泥処理の汚液を含まないし尿脱離液を用いた実験では、この脱リン現象が生物学的なものであるという結論を与えた点で大きな意義をもつものと思われる。

本実験の実施に際し、場所の提供その他で多大な御協力をいただいた郡山市都市計画部に感謝申し上げます。

〔参考文献〕

1) H. A. Nicholls, D. W. Osborn: Bacterial stress: prerequisite for biological removal of phosphorus, Jour. WPCF (1979 - 3).

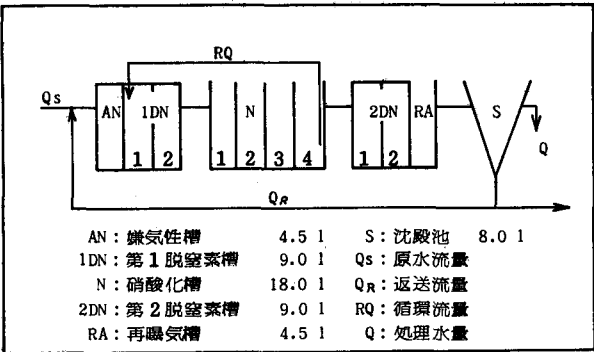


図-8 実験フロー

表-4 運転条件

曝気方式	Qs (ℓ/d)	Qr (ℓ/d)	Xs (Kg/ℓ)	DT (Hr)					
				AN	1DN	N	2DN	RA	S
N 酸素	36.0	4Qs	10	3.0	6.0	12.0	6.0	3.0	5.3

表-5 平均水質 (mg/l)

	W	AN	1DN	N	2DN	RA	S
pH	8.30	7.51	7.59	8.42	8.07	7.67	7.55
アルカリ度	1030.8	—	—	704.2	—	—	786.8
BOD	116.2	—	—	—	—	—	5.0
CODcr	696.7	140.0	127.0	104.3	—	—	111.5
CODmn	185.8	—	—	54.4	—	—	46.0
SS	162.6	—	—	—	—	—	13.8
T-N	296.2	187.1	48.4	40.6	6.7	—	6.9
NH ₄ -N	264.4	169.5	39.8	0	0	—	0
Org-N	31.8	17.6	6.3	5.8	5.1	—	5.4
NO ₃ -N	—	0	0	2.5	0	—	0
NO ₂ -N	—	0	2.3	32.3	1.6	—	1.5
O-PO ₄ ³⁻	79.5	193.0	122.1	3.5	6.5	1.2	9.2
T-PO ₄ ³⁻	114.5	—	—	—	—	—	13.5

S.55.8.26 ~ 8.31調べ