

# 既存し尿処理施設の機能改善による窒素・リンの除去について

## Effect of a Modified Process on Nitrogen and Phosphorus Removal in the Existing Sanitation Plant

野尻 喜好 山口 明男 鈴木 征  
清水 典徳 丹野 幹雄 谷口 通朗\*

### 要 旨

一段活性汚泥方式のし尿処理施設について、簡単な付加装置の設置と、運転操作の改善により、循環式硝化脱窒素プロセスとして施設の運転を行い、窒素とリンを中心とした処理効果の向上の検討を行った。その結果、総窒素について平均87%、総リンについて平均50%の除去率で施設の運転を行うことが可能であった。

### 1 はじめに

本県において、稼働しているし尿処理場は40処理場で、これを処理方式別にみると、60施設になる。そして、1日当たりし尿3350kl及び浄化槽汚泥1300klが処理されている。

近年、閉鎖性水域における水質汚濁の改善が重要な問題となっており、水質汚濁防止法においても、昭和55年に総量規制制度が追加され、さらに、昭和60年には、総窒素と総リンに対する規制も開始されている。

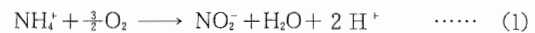
これらのことに伴い、新たに建設されるし尿処理施設は、ほとんど生物学的脱窒素方式で、かつ、高度処理施設（凝集沈殿処理、オゾン酸化処理など）を備えており、窒素、リン、CODなどの除去についても、対応が行われている。また、既存の施設についても、高度処理施設の増設が行われてきているが、これには多くの費用と時間とが必要とされるため、それ程改善は進んではない。

本研究においては、既存の一段活性汚泥方式<sup>2)</sup>の施設を利用して、施設の運転方法の変更と、簡単な設備の追加により、循環式硝化脱窒素プロセスとして運転を行い、窒素とリンの除去効果を向上させることを目的として、調査を行ったので、その結果をここに報告する。

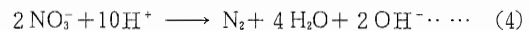
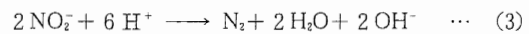
### 2 生物学的脱窒素法と脱リン法の概要

\* 埼玉県環境部 環境整備課

生物学的脱窒素法の原理は、微生物による硝化・脱窒素現象を利用するものである。好気性条件においては、活性汚泥中の亜硝酸菌及び硝酸菌の働きにより、排水中のアンモニア態窒素が硝化され、



(1)、(2)の硝化反応式に従い亜硝酸及び硝酸が生成する。次にこの硝化された硝化液を嫌気性条件にすると、活性汚泥中の脱窒菌の硝酸性呼吸又は亜硝酸性呼吸により、



(3)、(4)の脱窒反応式に従って亜硝酸及び硝酸は窒素ガスに還元され、除去される。ただし、この反応は、脱窒菌のエネルギー源としての有機炭素源が必要である。<sup>3), 4)</sup>以上の硝化反応、脱窒反応を循環して行う方法が、循環式硝化脱窒素法と一般に呼ばれている。

図1(1)に循環式硝化脱窒素プロセスの一例を示す。

生物学的脱リン法の原理は、微生物によるリン過剰摂取現象を利用するものである。溶存酸素及び硝酸、亜硝酸の存在しない完全嫌気性条件において、活性汚泥中の微生物は、体内からオルトリン酸を放出する。

この後、好気性条件にすると、嫌気性状態で放出した以上のオルトリン酸を体内に吸収する。このリンを過剰摂取した汚泥を、余剰汚泥として取り出すことによりリンを除去する<sup>4), 5)</sup>。このリン除去と循環式消化脱窒素法を組合わせたプロセスの一例を図1(2)に示す。

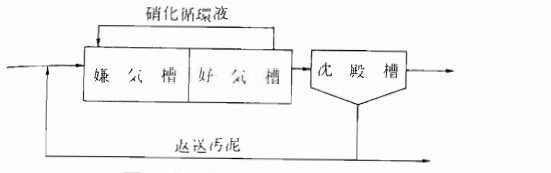


図1 (1)循環式消化脱窒素プロセス<sup>3), 7)</sup>

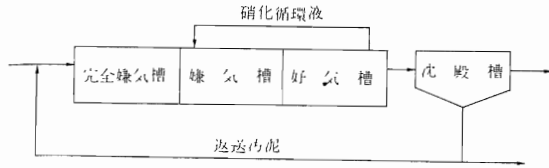


図1 (2)生物学的リン除去プロセス<sup>5), 8)</sup>

### 3 実験方法

#### 3.1 実験施設

実験施設の概略図は、図2に示す。基本構造は一段活性汚泥法に基づいている。除渣し尿は調整槽において、希釈水（井水）及び雑排水と混合され、曝気槽に流入する。曝気槽で2系列に分離し、No.1からNo.8及びNo.1'からNo.8'の方向へ流れる。表1に実験施設的设计仕様を示す。

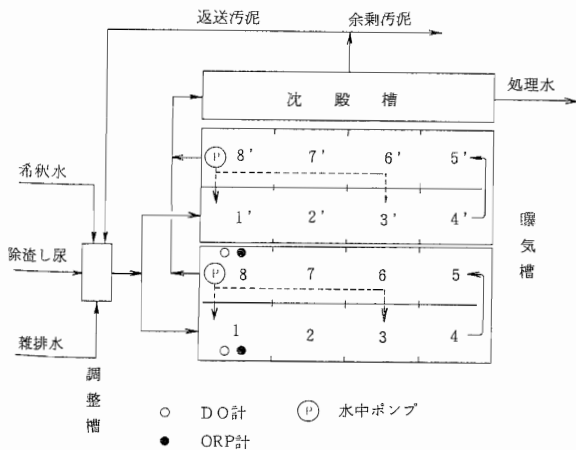


図2

表1 実験施設的设计仕様

装置	有効容積	寸法	
曝気槽	1670m <sup>3</sup>	巾 深さ 長さ (4m × 3.5m × 29m) × 4	
沈殿槽	280m <sup>3</sup>	巾 深さ 長さ 4.8m × 2.1m × 28m	表面積134m <sup>2</sup> 堰長28m
循環ポンプ			能力0.315m <sup>3</sup> /分 × 4台

主な運転方法の変更点については下記の(1)、(2)のとおりである。

(1) 曝気槽での曝気量が入口から出口まで均一であった点を、散気管の開度の調節により、曝気槽のNo.1からNo.4及びNo.1'からNo.4'の曝気を槽内の汚泥の混合のみが行える程度まで減少させ、曝気槽の前半を脱窒槽（嫌気性槽）とする。曝気槽の後半のNo.5からNo.8及びNo.5'からNo.8'では曝気量を増加し硝化槽（好気性槽）とする。

(2) 曝気槽のNo.8及びNo.8'の位置に循環用水中ポンプを設置し、硝化液の循環を行えるようにする。

#### 3.2 運転条件

曝気量、希釈倍率、除渣し尿量及び硝化液の循環位置を変更して運転を行い、各実験区画（Run）とした。

Run 1及びRun 2は循環ポンプは使用せず、曝気量の差による窒素の硝酸、亜硝酸への硝化の確認を目的として行った。

Run 3では、硝化液を曝気槽のNo.1及びNo.1'の位置に循環させ、図1(1)に示した循環式硝化脱窒素プロセスとして運転を行った。

Run 4では、希釈倍率を減少し、MLSSと硝化液循環比を増加させ、Run 3の脱窒効果を更に高めることを目的とした。

Run 5では、硝化液の循環を曝気槽のNo.3及びNo.3'の位置に変更し、曝気槽のNo.1、2及びNo.1'、2'の部分に絶対嫌気性の条件に近づけ、図1(2)の脱リンプロセスとして運転を行った。

表2に各Runの運転条件を示す。本表に示す各運転条件はどれも各期間の平均値である。

表2 処理施設運転条件

	期 間	除渣し尿量 (m <sup>3</sup> /日)	希釈倍率	余剰汚泥引 抜量(m <sup>3</sup> /日)	返送汚泥比 (%)	曝 気 量 (m <sup>3</sup> /分)	循 環 比 <sup>1)</sup>	循環位置 <sup>2)</sup>
Run 1	59. 10. 15 59. 11. 5	69	13.2	64	80	43	—	—
Run 2	59. 11. 21	69	13.3	90	100	55	—	—
Run 3	59. 12. 24	69	13.3	61	120	55	3.0	1, 1'
Run 4-1	60. 2. 17	69	10.6	51	120	75	3.6	1, 1'
Run 4-2	60. 5. 15	60	12.3	37	120	70	3.6	1, 1'
Run 5	60. 7. 23	60	12.5	25	120	70	3.6	3, 3'

1) 返送汚泥分を含む。  
2) 図1の各位置に対応する。

### 3.3 水質分析

水質分析は、週1回から2回の頻度で行った。分析方法は、JISK0102又は、下水試験法に準拠した。ただし、曝気槽の水質については、混合液を1μmGFBろ紙でろ過後分析を行った。また、曝気槽No.1及びNo.8の位置には連続浸漬型のDOとORPの自動計測器を設置し、DO及びORP値の連続測定も行った。

## 4 結果及び考察

### 4.1 除渣し尿の性状

図3に全実験期間での経日変化を示した。また、表3に各Runについての除渣し尿の水質及び曝気槽のMLSS負荷などの平均値を示した。Run 4-1で除渣し尿の水質が各項目について高くなったため、Run 4-2以後から除渣し尿の量を69m<sup>3</sup>/日から60m<sup>3</sup>/日として実験を行った。

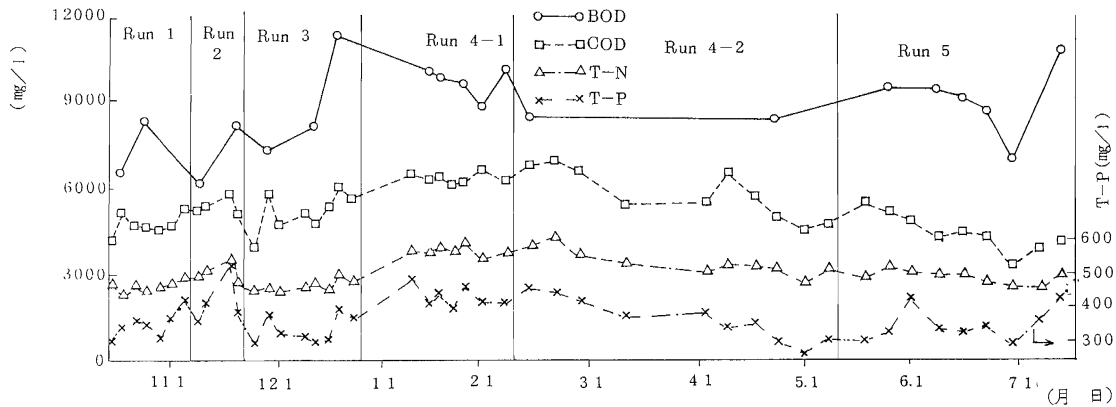


図3 除渣し尿の経日変化

表3 除渣し尿の水質及び各種負荷

	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	MLSS (mg/l)	BOD MLSS負荷	COD MLSS負荷	T-N MLSS負荷
Run 1	7,450	4,750	2,570	357	3,150	0.116	0.068	0.037
Run 2	7,170	5,400	3,030	421	3,050	0.101	0.076	0.043
Run 3	8,980	5,170	2,580	337	2,660	0.149	0.085	0.043
Run 4-1	9,720	6,350	3,780	434	3,750	0.112	0.074	0.044
Run 4-2	8,450	5,790	3,360	363	3,000	0.099	0.072	0.042
Run 5	9,100	4,430	2,840	349	3,010	0.103	0.056	0.036

#### 4.2 硝化

図4にRun 1及びRun 2処理水の形態別窒素の経日変化を示した。この図から明らかなように、曝気量を43m<sup>3</sup>/分から55m<sup>3</sup>/分に増加したことにより、総窒素(T-N)中の硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N)が増加し、アンモニア態窒素(NH<sub>3</sub>-N)が減少している。また、この硝化反応の増加は曝気量の増加とすみやかに対応した。

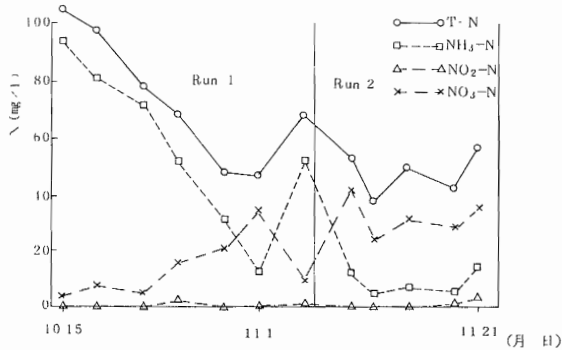


図4 処理水の形態別窒素の経日変化 (Run 1, 2)

図5、6にRun 1、Run 2の曝気槽各位置での形態別窒素と溶存酸素(DO)の変化を示す。ただし、亜硝酸態窒素(NO<sub>2</sub>-N)は各地点で1mg/l以下と低かったので省略してある。Run 1ではどの位置においてもDOが1mg/l以下であり、窒素の硝化反応が進行していないが、Run 2においては、曝気槽位置No.5からのDOの増加に伴い、硝化反応も進行している。このことより、Run 2の運転条件で曝気槽のNo.1からNo.4の部分では嫌気性、No.5からNo.8では好気性として曝気槽が働くことが可能であることがわかる。

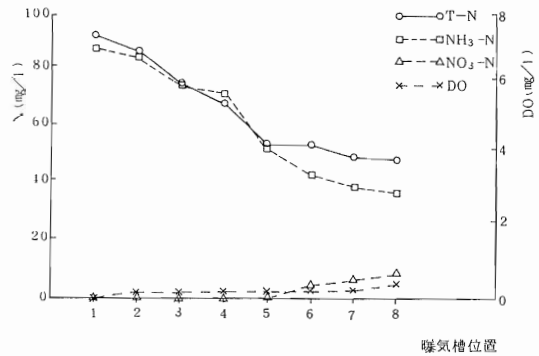


図5 曝気槽中の窒素の変化 (Run 1)

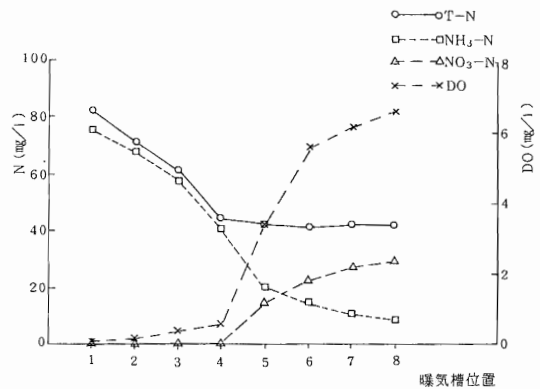


図6 曝気槽中の窒素の変化 (Run 2)

#### 4.3 脱窒

図7にRun 3からRun 5での処理水の形態別窒素の経日変化を示す。ただし、NO<sub>2</sub>-Nは全期間にわたって濃度が低かったため図中では省略した。Run 3では、硝化液の循環運転開始から約1か月後にT-Nが低下しはじめ、脱窒が開始されたと考えられるが、施設の正月休暇のために汚泥を多量に引き抜い

たことと、除渣し尿の濃度の上昇によってRun 4 - 1  
での処理水のT-Nは高くなり脱窒は良好に進行しな

かった。4月中旬以降、再びT-Nは低くなり、以後  
脱窒については良好な運転が継続した。

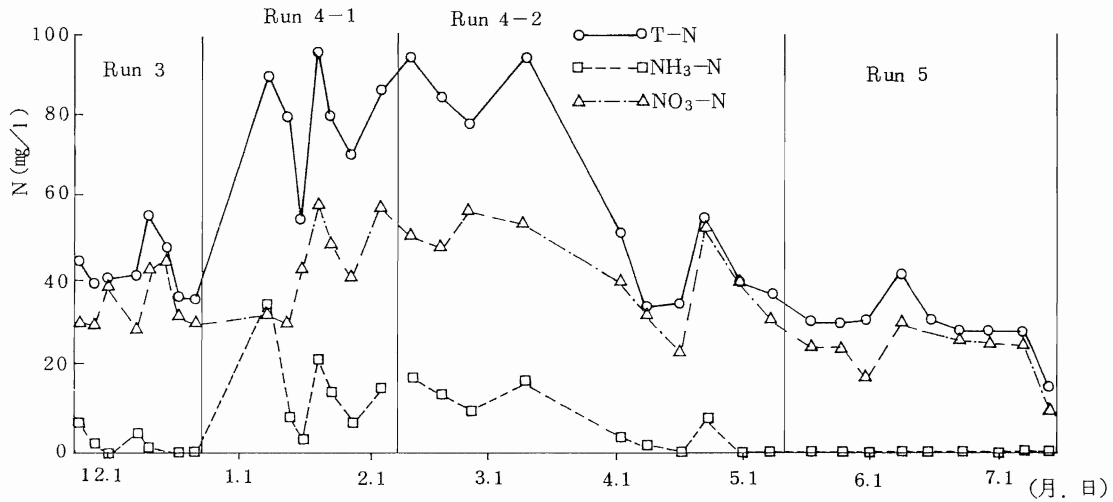


図7 処理水の形態別窒素の経日変化 (Run 3~5)

図8(1)、(2)にRun 3からRun 5での、曝気槽出口  
(No. 8の位置)のpH及びアルカリ度と処理水のT-N  
の関係を示した。これから、pH及びアルカリ度が低  
下していると、T-Nが高いことがわかる。これは、  
硝化反応式(1)、(2)の反応の進行により、硝酸イオ  
ンや水素イオン濃度が上昇したが、脱窒反応式(3)、  
(4)の反応が進行せず、水素イオン濃度及び硝酸イオ  
ン濃度が減少しなかったことによる。

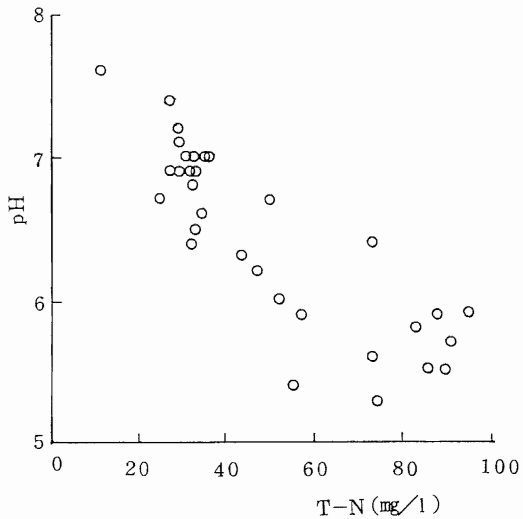


図8(1) 曝気槽出口のpHと処理水のT-N

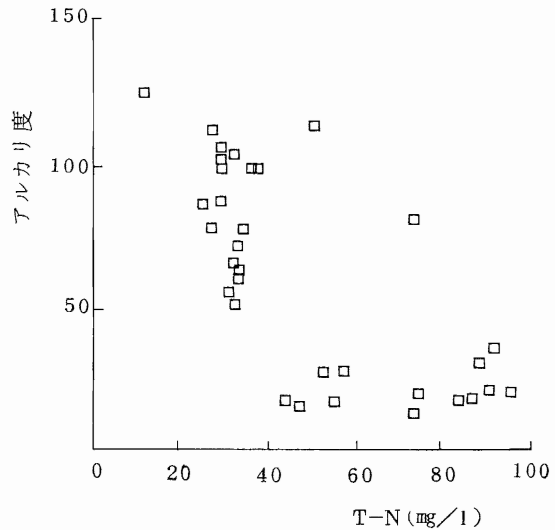


図8(2) 曝気槽出口のアルカリ度と処理水のT-N

この結果、Run 3以降でのT-Nの高かった原因  
は、硝化反応は進行したが、脱窒反応が不十分であ  
ったと考えられる。この現象は、Run 4 - 1からRun 4  
- 2の前半において顕著であった。

Run 3の後期及びRun 4 - 2の後半以降では、曝気  
槽出口のpH及びアルカリ度は上昇し、脱窒反応が良  
好となったことを示した。また本実験のプロセスでは、

脱窒反応が良好に進行する場合には、曝気槽出口において、pHで約6.5、アルカリ度で約50以上の値を示すことがわかった。

#### 4.4 脱リン

図9にRun 3からRun 5での、処理水の形態別リンの経日変化を示す。処理水においては、ほとんどが、リン酸態リン(PO-P)であった。Run 4-1から

Run 4-2の前半にかけて総リン(T-P)が高くなったのは、除渣し尿中の濃度が上昇したことによると思われる。

Run 5でのT-Pの減少は、硝化液の循環を曝気槽のNo.1からNo.3及びNo.1'からNo.3'の位置に変更したことにより、曝気槽のNo.3及びNo.3'より前の部分が絶対嫌気性に近い状態となり、図1(2)のプロセスとして施設が運転できたのではないかと考えられる。

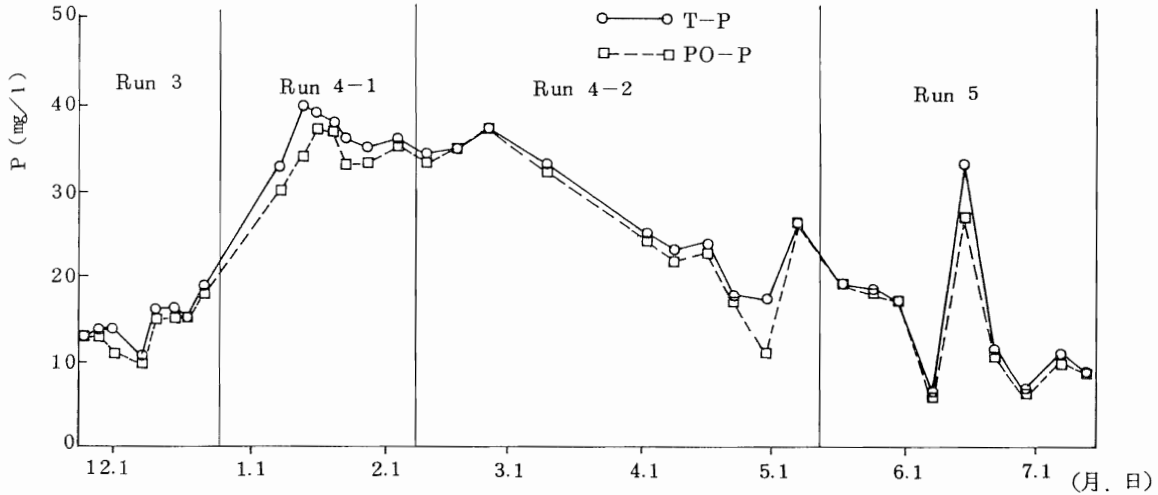


図9 処理水の形態別リンの経日変化

しかしながら、図10、11に示すRun 4-2及びRun 5の曝気槽各位置での調査結果においては、DOやNO<sub>x</sub>-N(NO<sub>3</sub>-NとNO<sub>2</sub>-N)の嫌気性及び絶対嫌気性としての差は明らかではなかった。

表4に余剰汚泥中のリン濃度を示す。この表からも、Run 5において、汚泥中にリンが取り込まれ、濃縮されていることが示された。

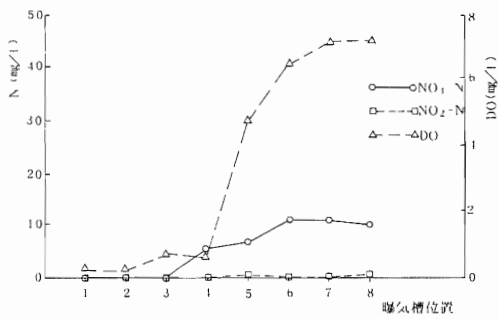


図10 曝気槽中のNO<sub>x</sub>, DOの変化 (Run 4-2)

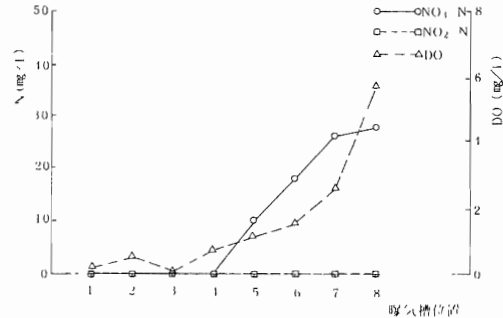


図11 曝気槽中のNO<sub>x</sub>, DOの変化 (Run 5)

表4 余剰汚泥中のリン含有量

	Run 3	Run 4-2	Run 5
T-P/MLSS (mg/mg)	0.028	0.024	0.047

(注) 各Runの最終日の分析値

#### 4.5 除去率

図12、13にRun 3からRun 5での各項目の除去率の

経日変化を示した。除去率の算出は式(5)に基づいて行った。

$$\text{除去率(\%)} = \frac{C_1 M_1 - C_2 M_2}{C_1 M_1} \times 100 \quad \dots\dots (5)$$

$C_1$  : 除渣し尿水中の濃度  
 $M_1$  : " の量 (m<sup>3</sup>/日)  
 $C_2$  : 処理水中の濃度  
 $M_2$  : " の量 (m<sup>3</sup>/日)

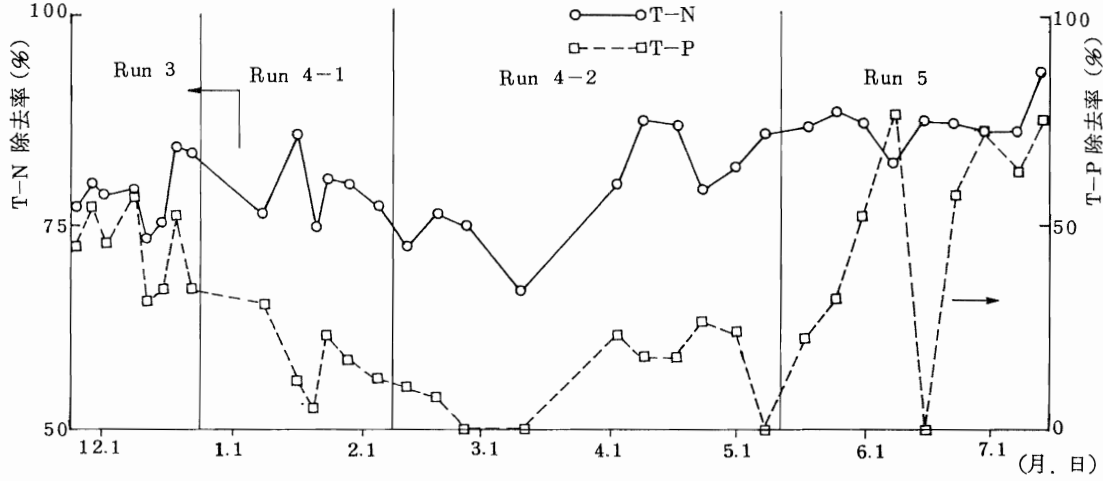


図12 T-N, T-P除去率の経日変化

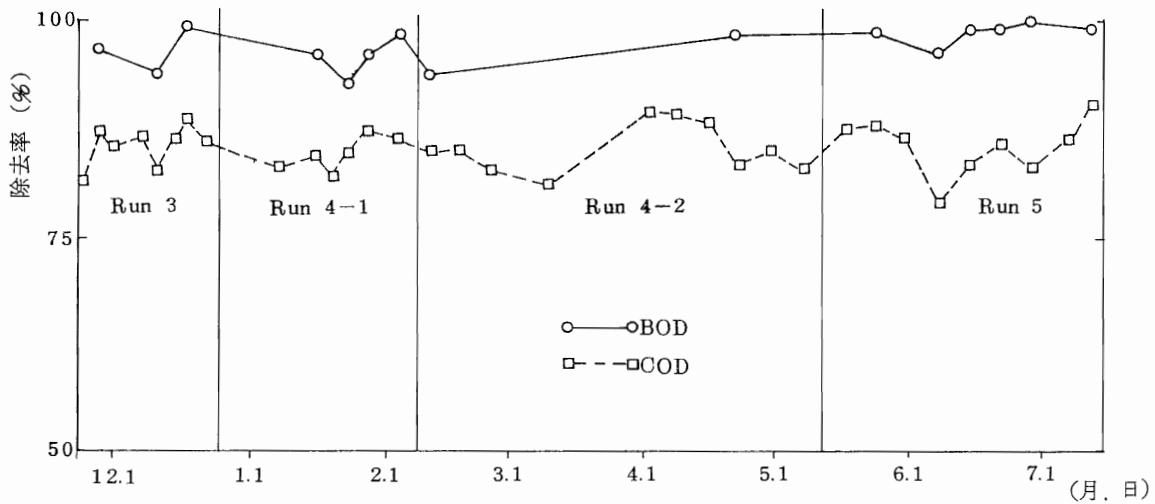


図13 BOD, COD除去率の経日変化

表5にRun 3からRun 5での各項目の除去率の平均値を示す。ただし、備考欄中の数値はし尿処理施設実態調査報告書に基づいたものである。T-Nについては、各Runにおいて約80%の除去率を示した。特に、脱窒が全期間安定して運転が行われたRun 5において

は、平均87%の値を示した。これは、従来の運転時での除去率と比較し約20%向上した。

T-Pについては、従来の除去率と比較すると、Run 4-1、-2において、かなり低くなった。このことから、Run 4のプロセスではリンの除去効果が悪

いことが示された。脱リンプロセスを含んだRun 5では、最終の1か月平均では60%の除去率までに上昇した。これは従来の除去率に比較し、約10%向上した。

BOD、CODの除去効果については、各Runについて従来の運転とほぼ同程度であった。

表5 窒素・リン及びその他の除去率

	Run 3	Run4-1	Run4-2	Run 5	備考
T-N	79	79	79 (84)	87 (88)	66
T-P	44	17	13 (17)	50 (66)	41
BOD	97	96	96 (98)	98 (99)	96
COD	85	85	85 (86)	85 (86)	88

(注) ( )は最終1か月間の平均値

## 5 まとめ

この研究によって得られた成果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 散気管の開度による曝気量の調節を行うことにより、一段活性汚泥方式の曝気槽中を嫌気性部と好気性部とに分けて利用することができた。
- (2) 循環式硝化脱窒素プロセスで運転を行う場合、処理水のT-Nと曝気槽出口のpH又はアルカリ度とは良い相関を示した。これは、脱窒反応と硝化反応に伴う水素イオンの減少又は増加と一致した。
- (3) 硝化液の循環位置を変更することにより、処理水のT-Pの減少と、余剰汚泥中のリン濃度の増加が認められた。
- (4) 本実験の処理プロセスでは、T-Nで平均87%、T-Pで平均50%の除去率で運転が可能であった。従来の運転条件と比較すると、T-Nで約20%、T-Pで約10%向上した。

なお、本研究のために処理施設の利用並びに、実験施設の運転管理に便宜をいただきました、北本地区衛生組合局長、高木良一氏、次長、熊井一氏及び開発係、石井等氏に感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 谷口通朗ら：し尿処理施設実態調査報告書，埼玉県公害センター（1985）
- 2) 厚生省：し尿処理施設構造指針（1979）
- 3) 活性汚泥循環変法研究会：循環式窒素除去プロセスの運転管理に関する技術調査，p.2（1982）
- 4) 桜井敏郎：活性汚泥による脱窒素，用水と廃水，20，（1），32～33（1978）
- 5) 生物学的高度処理法研究会：琵琶湖流域下水道浄化センター高度処理実施設計のための基本調査報告書，pp.3～6（1984）
- 6) 佐々木正一，明賀春樹：Anaerobic-Oxicシステムによる生物学的脱リン法，用水と廃水，24，（10），1158～1160（1984）
- 7) 松尾友矩：生物学的脱窒・脱リン技術の基礎と応用，19，（8），733（1983）
- 8) 稲森悠平，須藤隆一：生物学的リン除去の最近の動向，24，（10），1097（1982）