

(資料)

排水処理施設における窒素、リンの処理実態、および硝化が窒素の処理効率に及ぼす影響

Present State of Nitrogen and Phosphorus Removal, and Effects of Nitrification on the Rate of Nitrogen Removal.

谷口通朗 石山栄一

要 旨

昭和57年7月、「東京湾富栄養化対策指導指針」が施行され、窒素、リンの処理技術の確立が重要な課題となってきた。

本報では、食料品製造業と繊維工業について、既存処理施設の窒素、リンの排出実態および処理実態を明らかにした。

また、硝化の実態、および硝化が窒素の処理効率に及ぼす影響について調査した。その結果、繊維工業では硝化はほとんどみられず、窒素の処理効率は有機態窒素の処理効率とほぼ一致する結果を得た。食料品製造業においては、BODの除去に伴い硝化のみが進み、(脱硝を生じていないため)硝酸態窒素の増加をもたらし、窒素の処理効率に悪影響を及ぼしていることが明らかとなった。

1. はじめに

近年、東京湾等の閉鎖性水域においては、窒素、リン等の栄養塩類が大量に流入しており、その水質は富栄養の状態となっている。このため、特に夏期においては、これに起因するプランクトンの大量発生——二次汚濁の発生——が慢性化し、水質を著しく悪化させている。また、これらの栄養塩類は河川上流をも汚染し、上水道源をおびやかしている。

昭和54年12月、東京湾の富栄養化を防止するため、東京湾の水質汚濁に関係のある六都県市の水質担当者によって、「東京湾二次汚濁問題広域連絡会」が設置された。これを受けて、57年7月、本県においても河川の窒素、リン削減のための「東京湾富栄養化対策指導指針」が施行され、窒素、リンの処理技術の確立が重要な課題となってきた。

窒素、リンを含有する排水は産業系、生活系ともにきわめて多岐にわたっているが、これらの処理を目的として処理プロセスを設置している例はきわめて少ない。しかし、既存の処理施設で、BOD、SSの除去に伴う、窒素、リンの除去効果があることが認められている¹⁾。したが

って、既存の処理施設における窒素、リンの排出実態、処理実態を調査することはきわめて重要な課題であるが、これらの報告例²⁾³⁾はまだ少ない。

本県では、的確な排水処理の方式、施設の構造改善、および維持管理等の指導のための基礎資料を得る目的で、昭和53年度から排水処理施設の実態調査を行っている。本稿は、このうち食料品の製造業と繊維工業における既存処理施設の窒素、リンの排出実態と、処理実態についてとりまとめたものである。また、実施施設における硝化の実態、および硝化が窒素の処理効率に及ぼす影響について調査した結果についても、併せて報告する。

2. 調査方法

2・1 調査対象工場

昭和54年度から昭和56年度にわたり、食料品製造業20工場、繊維工業15工場を調査した。調査した工場の内訳および排水処理の方式は、表1に示すとおりである。

2・2 調査内容

調査対象工場について、年2回、処理工程の前後で採水を行い、T-N、T-P、BODおよびCODを測定し、おのおの処理効率(除去率)を算定した。また窒素については、各形態別窒素を測定し、硝化の実態と硝化がT-Nの処理効率に及ぼす影響について調査した。さら

表1 調査対象工場

中分類*	小分類*	工場数	排水処理の方式
18, 19 食料品製造業	181 畜産食料品製造業	4	標準活性汚泥法6, 回分式活性汚泥法4
	182 水産食料品製造業	1	長時間曝気活性汚泥法3, 散水ろ床法2
	183 野菜・果実の保存	5	浸漬ろ床法1, 単純曝気法1
	食料品製造業		標準活性汚泥法—浸漬ろ床法1
	184 調味料製造業	2	散水ろ床法—回分式活性汚泥法1
	187 パン・菓子製造業	1	
	191 動植物油脂製造業	1	
	192 その他の食料品製造業	6	
	合計	20	
20 繊維工業	206 染色整理業	14	標準活性汚泥法2, 二段活性汚泥法1 浸漬ろ床法1, 加圧浮上法2
	209 その他の繊維工業	1	凝集沈殿法2, 凝集ろ過法1 標準活性汚泥法—浸漬ろ床法1 浸漬ろ床法—回転円板法1 浸漬ろ床法—凝集沈殿法1 散水ろ床法—長時間曝気活性汚泥法1 加圧浮上法—標準活性汚泥法1 加圧浮上法—浸漬ろ床法1
		合計	15

* 日本産業分類による。

に、各施設について BOD 負荷(容積負荷, MLSS 負荷)および SRT (汚泥滞留時間)を求め、これらの運転条件が硝化に及ぼす影響について検討を行った。

2・3 分析方法

分析方法は次のとおりである。

BOD : JIS K0102⁻¹⁹⁷⁴, 16

COD : JIS K0102⁻¹⁹⁷⁴, 13

NH₄⁺-N : 下水試験方法⁻¹⁹⁷⁴, 26.2.3 付

NO₂⁻-N : 下水試験方法⁻¹⁹⁷⁴, 27.2 付

NO₃⁻-N : カドミウム—銅カラム還元法

Org-N : 下水試験方法⁻¹⁹⁷⁴29.2

T-N : [NH₄⁺-N] + [NO₂⁻-N] + [NO₃⁻-N] + [Org-N]

T-P : 上水試験方法⁻¹⁹⁷⁸37.4 およびオートクレーブ

表2 処理前廃水および処理水の水質

業種 (中分類番号)	検水 の種類	T - N		T - P		B O D		C O D		データ数
		幾何平均値 (mg/ℓ)	変動係数 (CV.%)	幾何平均値 (mg/ℓ)	変動係数 (CV.%)	幾何平均値 (mg/ℓ)	変動係数 (CV.%)	幾何平均値 (mg/ℓ)	変動係数 (CV.%)	
18, 19	処理前	39.7	39.3	7.73	48.5	565	37.8	359	43.9	T-N38, BOD38, T-P10, COD10, T-N24, BOD37, T-P10, COD10,
	処理後	16.9	52.5	2.71	67.3	18.0	71.9	18.6	42.1	
20	処理前	28.1	35.1	6.69	62.0	284	36.0	374	24.6	30
	処理後	11.7	45.6	1.75	65.7	61.7	46.8	111	38.4	

分解モリブデン青法

3. 調査結果

3・1 処理前廃水と処理水の水質

まず、処理前廃水および処理水について、項目別に濃度別相対度数分布図を作成した。相対度数分布図は横軸に濃度の常用対数を、縦軸には相対度数をとった。この結果、各項目ともほぼ対数正規分布を示すことが認められた。そこで、各項目について幾何平均値および変動係数を求め、表2に示した。処理前における幾何平均値は、CODを除く各項目とも食料品製造業が繊維工業より高い。データのバラツキを示す変動係数は、両業種とも T-P が最も高い。

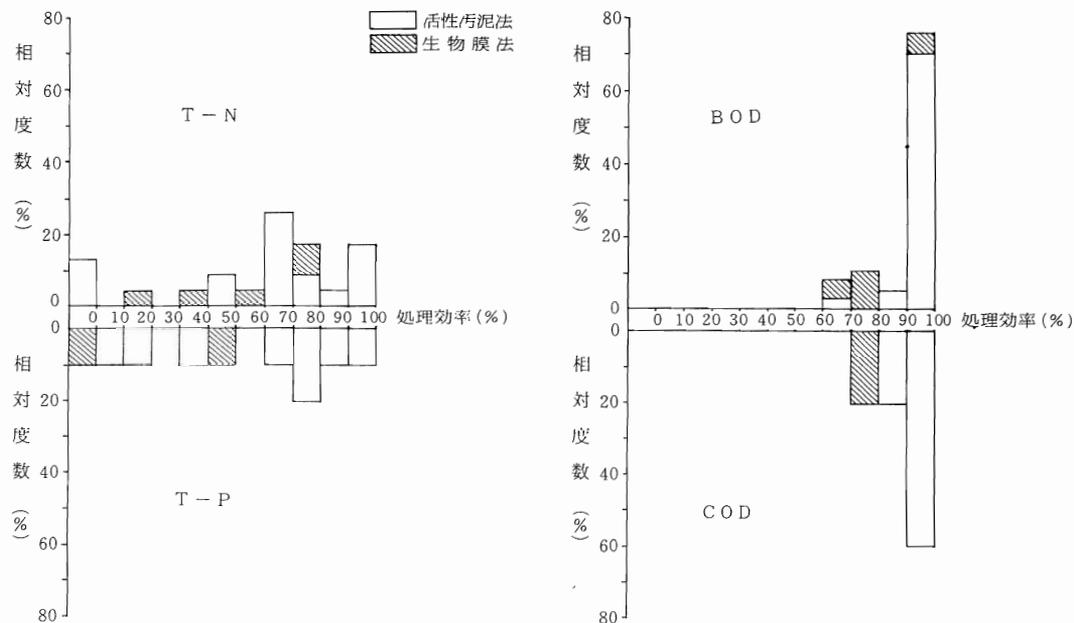


図1 単位処理工程別処理効率分布図（食料品製造業）

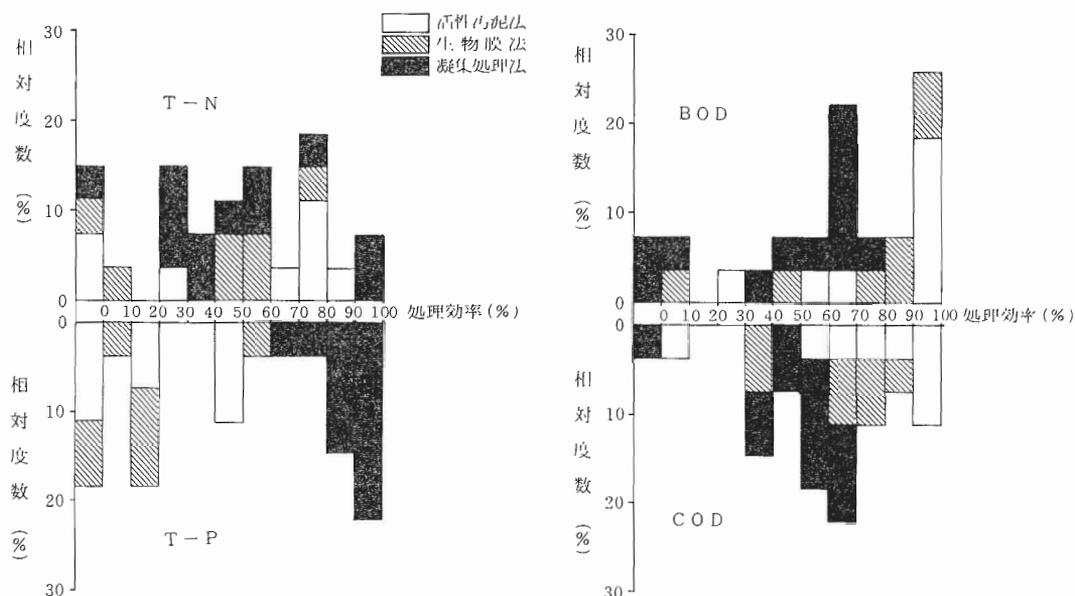


図2 単位処理工程別処理効率分布図（繊維工業）

処理後における各項目の幾何平均値は、BOD、CODについては繊維工業が高く、特にCODは食料品製造業の6倍高い値を示した。しかし、T-N、T-Pについては、食料品製造業が高い値を示した。また、変動係数は一般に処理を行うことにより、高くなる傾向がみられた。

3・2 単位処理方式別処理実態

各工場について、項目別に処理効率を求め、図1および図2に示す単位処理工程別処理効率分布図を作成した。この場合のデータは二次処理工程に限った。BOD、CODの処理効率は食料品製造業が優れ、両業種間

表3 単位処理工程別処理効率 (平均値) (%)

業種 (中分類番号)	処理方法	T-N	T-P	BOD	COD
18, 19	活性汚泥法	61.2	56.4	95.9	92.6
	生物膜法	52.2	31.2	76.7	76.2
	総合**	57.3	64.9	96.8	94.8
20	活性汚泥法	49.7	20.7	79.3	69.8
	生物膜法	39.9	15.0	71.2	62.3
	凝集処理法	46.5	87.8	45.1	42.1
	総合**	58.4	73.8	78.3	70.3

* 処理効率か負のものは0として算出。
** 総合処理効率は処理前後の幾何平均値から算出。

表4 処理前廃水および処理水の各形態別窒素濃度 (幾何平均値) (mg/l)

業種 (中分類番号)	検水の種別	Org-N	NH ₄ ⁺ -N	NO _x ⁻ -N*	データ数
18, 19	処理前	37.2	1.37	1.12	25
	処理後	4.2	0.44	1.48	24
20	処理前	23.2	1.32	0.82	25
	処理後	9.32	1.16	0.49	24

* NO_x⁻-NとはNO₂⁻-NとNO₃⁻-Nとの和。

表5 処理方式による各形態別窒素の処理効率 (平均値) (%)

業種 (中分類番号)	処理方式	Org-N	NH ₄ ⁺ -N	NO _x ⁻ -N	データ数
18, 19	一段生物処理 (連続式) 活性汚泥	93.9	64.9	-138	13
	" (回分式) 活性汚泥	82.7	81.7	-33.0	5
	" (生物膜)	52.8	13.7	88.6	5
	二段生物処理	95.0	55.9	-117	4
20	一段生物処理 (活性汚泥)	56.1	19.0	80.3	8
	" (生物膜)	27.8	27.9	65.4	5
	二段生物処理	78.1	81.9	-131	8
	凝集処理+生物処理	45.0	17.5	74.2	6
	凝集処理	64.2	24.8	58.9	7

に明らかな違いがみられた。処理方式では、活性汚泥法が高い値を示した。しかし、繊維工業における凝集処理法は、高い処理効率を示していない。

T-N, T-Pについては、両業種ともにその処理効率分布は広い範囲にわたっており、両業種間に明らかな違いはみられない。処理方式では、凝集処理法におけるT-Pの処理効率が高い。しかし、T-Nについては処理方式別の違いはみられない。

次に、各項目について単位処理工程の平均処理効率を求め、表3に示した。生物処理方式は、各項目ともに食料品製造業の方が優れている。しかし、総合処理効率は、BOD, CODについては食料品製造業の方が優れ、T-Nではほぼ同じであり、T-Pでは繊維工業の方が優れている。

3.3 窒素の各形態別排出実態とその処理効率

処理前後それぞれについて、T-Nの場合と同様に、各形態別窒素の幾何平均値を求め、表4に示した。NO₂⁻-Nは検出された場合でも、NO₃⁻-Nに比べてその割合が小さいため、NO₂⁻-NとNO₃⁻-Nを合わせてNO_x⁻-Nとして示した。両業種とも、処理前におけるOrg-Nの占める割合が高く、Org-Nの処理効率がT-Nの処理効率に最も寄与していると思われる。幾何平均値から求めたOrg-Nの処理効率は食料品製造業で88.7%、繊維工業で59.8%であった。NH₄⁺-Nの幾何平均値は、両業種とも処理後に減少しているが、その処理効率は食料品製造業の場合は高く、繊維工業では低かった。NO_x⁻-Nの幾何平均値は、繊維工業では処理後に減少している。しかし、食料品製造業では逆に増加し、その処理後の値はOrg-Nに比べて低いが、個別にみるとNO_x⁻-NがOrg-Nより高いものも多くみられた。これは、食料品製造業ではBODの除去に伴い硝化を起し、NO_x⁻-Nが生成される施設が多くみられるためである。

次に、処理方式別に各形態別窒素の平均処理効率を表5に示した。Org-Nの処理効率は、両業種間での違いはあるが、二段生物処理方式および活性汚泥方式が優れた結果を示した。しかし、NO_x⁻-Nの処理効率は、食料品製造業の二段生物処理方式と活性汚泥方式および繊維工業の二段生物処理方式が負となった。

3.4 硝化がT-Nの処理効率に及ぼす影響

今までの結果から、T-Nの処理効率はBOD除去に伴うOrg-Nの減少量と、硝化に伴うNO_x⁻-Nの生成量とに大きく支配されることが予想できる。そこで、処理水のBODとT-NおよびOrg-Nの関係を図3、図4に示した。食料品製造業の場合、BODの減少に伴いOrg-Nも減少し、両者の間に相関が認められた。しかし、BODとT-Nの間には相関は認められなかった。これは、BODの除去に伴って進行する硝化によるNO_x⁻-Nの生成量が大きいためである。このように、硝化がT-Nの処理効率に及ぼす影響は、脱硝を伴わない場合には、悪い結果をもたらす。したがって、T-Nの処理効率を高めるためには、BODの処理効率を高めるだ

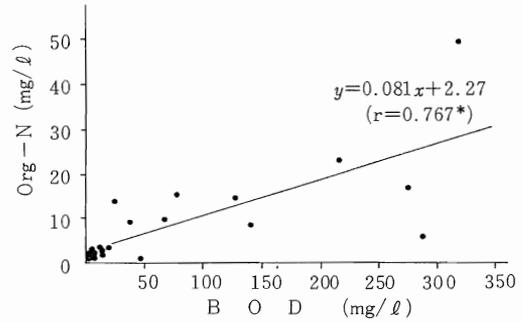
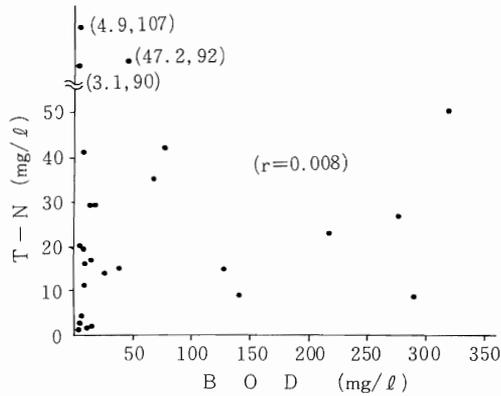


図3 処理水のBODとT-NおよびOrg-Nの関係(食品品製造業)
* 1%有意水準 有意

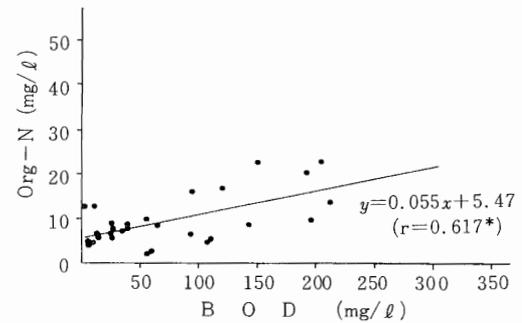
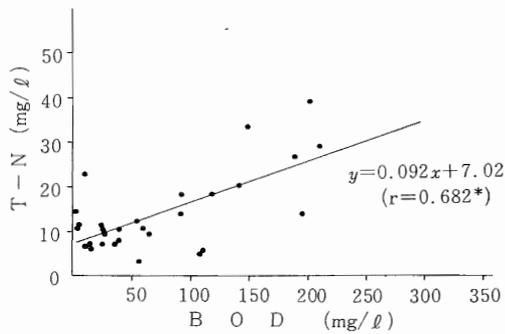


図4 処理水のBODとT-NおよびOrg-Nの関係(繊維工業)
* 1%有意水準 有意

けでは不十分で、硝化の抑制または脱硝を併せて考えなければならないことがわかる。繊維工業の場合には、硝化を起こしている例が少なく、また硝化に伴う NO_x^- -Nの生成量も小さいために、BODとOrg-NおよびT-Nの間にも相関が認められた。

3・5 硝化とBOD負荷およびSRTの関係

活性汚泥処理施設について、BOD-MLSS負荷と処理水の NO_x^- -Nとの関係を図5に示した。BOD-MLSS負荷が小さいほど、処理水の NO_x^- -Nが高く、硝化が進んでいることがわかる。特に、BOD-MLSS負荷が $0.1\text{kg/kgSS}\cdot\text{日}$ 以下において、その傾向が顕著であった。

生物膜処理施設における硝化は、二段生物処理の後段の浸漬床施設でわずかに認められたが、その処理水の NO_x^- -Nはわずかであった。二次処理としての生物膜処理施設は、BOD容積負荷が高い条件で運転されている例が多いため、BOD除去が不十分であり硝化はみられなかった。

また、硝化は活性汚泥の滞留時間に影響される。活性汚泥の滞留時間を示す指標として、SRT(Solid Retention Time)が考えられている。このSRTと処理水中の NO_x^- -Nとの関係を図6に示した。SRTが10日を越える付近から NO_x^- -Nの高いものが認められている。通常、硝化は $\text{SRT}>6.0(\text{日})$ でなければ完全には進行しないといわれている⁴⁾。

このように、BOD負荷が小さく、SRTが大きい場合に硝化が進行することが認められた。これらの条件で運転されるものは、長時間曝気活性汚泥法、回分式活性汚泥法等の余剰汚泥発生量の少ない処理方式である。これら硝化を起こしている処理方式のT-N削減対策としては、脱硝を行うことが最も有効である。方法としては、循環曝気硝化脱窒法⁵⁾⁶⁾および間欠曝気式硝化脱窒法⁷⁾⁸⁾等がある。これらの方法は、比較的軽微な付加施設の設置により、大幅なT-Nの除去が可能となるため、硝化を起こしている処理施設に対して、特に有効となり得よ

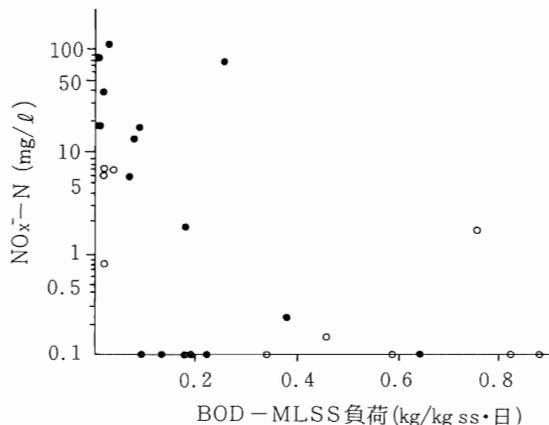


図5 BOD-MLSS 負荷と処理水の $\text{NO}_x\text{-N}$ の関係
● 食料品製造業 ○ 繊維工業

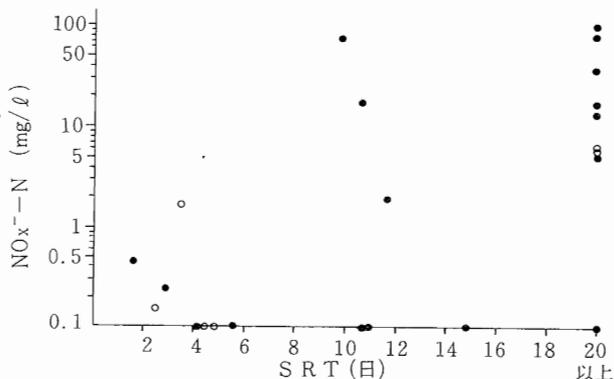


図6 SRT と処理水の $\text{NO}_x\text{-N}$ の関係
● 食料品製造業 ○ 繊維工業

う。

4. ま と め

食料品製造業と繊維工業について、既存処理施設の窒素、リンの排出実態と処理実態について調査した。さらに、実施設における硝化の実態と硝化が窒素の処理効率に及ぼす影響について調査を行い、次の結果を得た。

- 1) 処理水の水質(幾何平均値)は、BOD, COD については繊維工業の方が高く、T-N, T-P については食料品製造業の方が高い値を示した。
- 2) BOD および COD の平均処理効率は、食料品製造業では両者とも 95%前後と高く、繊維工業では BOD 78%, COD 70%であった。しかし、T-N は両業種ともに 58%程度であり、業種間に差はみられなかった。T-P は凝集処理が行われている繊維工業で 74%, 食

料品製造業では 65%であった。

- 3) 単位処理工程別の平均処理効率は、業種間での違いはあるが、BOD, COD の処理効率の高い活性汚泥法が T-N についても高い値を示した。繊維工業における凝集処理法は、BOD, COD の処理効率ではともに 50%以下であったが、T-P は 88%と高い値を示した。
- 4) T-N の処理効率は、BOD の除去に伴う Org-N の減少量と硝化に伴う $\text{NO}_x\text{-N}$ の生成量とに支配されることがわかった。
- 5) 繊維工業の場合には、硝化がほとんどみられないため、T-N の処理効率は Org-N の処理効率とほぼ一致する結果を示した。食料品製造業の場合には、硝化のみが進行し脱硝を伴っていないため、処理水中に多量の $\text{NO}_x\text{-N}$ を含むものがみられた。このため、Org-N の処理効率が高いにもかかわらず、T-N の平均処理効率は繊維工業の場合と同程度の結果となった。
- 6) 硝化は、長時間曝気活性汚泥法、回分式活性汚泥法等の低負荷活性汚泥法において認められ、特に BOD-MLSS 負荷 $0.1 \text{ kg/kg ss} \cdot \text{日}$ 以下および SRT 10 日以上という運転条件において、その傾向は顕著であった。

文 献

- 1) 東京湾二次汚濁問題広域連絡会：東京湾富栄養化対策技術手引 昭和 57 年 7 月
- 2) 小倉光夫, 岡敬一, 井上充, 野崎隆夫：工場排水中の総リン濃度と排水処理過程での除去率について、水処理技術 Vol. 21 No. 9 1979
- 3) 佐藤正光ほか：排水処理施設による栄養塩類の処理実態およびリンの凝集処理実験、用水と廃水 Vol. 23 No. 7 1981
- 4) 土木学会編：衛生工学実験指導書(現場調査編)
- 5) 関川泰弘：生物的窒素除去プロセス、造水技術 Vol. 6 No. 4 1980
- 6) 久保田宏, 宮地有正：循環方式による廃水中の窒素除去プロセス、水処理技術 Vol. 18 No. 2 1977
- 7) 松並壯, 真柄泰基, 中野孝二, 岡庭良安：間欠ばつ気方式によるし尿中の窒素の除去に関する実験的研究、水質汚濁研究 Vol. 5 No. 1 1982
- 8) 岩井重久, 大森英昭, 山本康次：長時間曝気法における連続曝気時と断続曝気時との脱窒効率、水処理技術 Vol. 22 No. 8 1981