

工場・事業場による窒素・リン排出の実態*

中 島 淳**・小 倉 久 子**

1. 緒 言

人為的富栄養化の進んだ湖沼，内湾の水質改善には，栄養塩流入負荷の低減が必要であり，琵琶湖および霞ヶ浦の富栄養化防止条例にみられるように，工場・事業場からの窒素・リン排出負荷削減は，重視すべき対策の一つである。

千葉県においても印旛沼および手賀沼の水質浄化を早期に図るため，「水質管理計画」を策定し実施可能な対策を推進することとしているが，流域の窒素・リン排出負荷量は75%以上が生活系排水に起因し，中でも各家庭から排出される負荷量の割合が高い現状にあることから，生活系排出負荷削減対策が急がれる¹⁾²⁾。他方，工場・事業場排水の窒素・リン削減も欠くことのできない対策であり，特に生活系処理場対策は重要な課題である。

工場・事業場の窒素・リン排出実態については，これまでに報告例が少なく，基礎データの不足は有効な対策の遅れを招いていると考えられる。そこで本報では，これまでに千葉県で実施してきた工場・事業場排水の窒素

・リン調査結果を整理し考察を加えて，窒素・リン対策の基礎資料とすることにした。データの収集に協力を得た千葉県環境部水質保全課には，深く謝意を表するものである。

2. 調査方法

千葉県内の水質汚濁防止法に定める工場・事業場（特定事業場）の窒素（全窒素）・リン（全リン）排出等実態については，昭和49，55，56年度調査において延227事業場の放流水260試料と排水処理原水150試料が測定されている³⁻⁵⁾。

これらの測定値を表1に示した業種別に分類し，平均値と相対度数分布からそれぞれの特徴を考察した。また，排水処理過程における除去率を，（原水濃度－処理水濃度）／原水濃度×100（%）として計算し，処理方法および業種別の相対度数分布を求めた。

3. 窒素・リン排出の実態

放流水の窒素・リン濃度の濃度範囲，平均値，標準偏差を業種別に求め，表2に示した。

3・1 放流水の窒素濃度

平均値が20 mg/lを越えるものは，下水道終末処理場（28 mg/l），小規模下水処理施設（23 mg/l），し尿処理場（110 mg/l）といった生活系処理場であり，中でもし尿処理場がきわめて高い。次いで，金属・機械製造業（17 mg/l），食料品製造業（13 mg/l）の順であり，これらの業種には高濃度排水を有する事業場がいくつかみられた。その他の業種では10 mg/l以下と低かった。

図1に放流水窒素濃度の相対度数分布を示した。合計についてみると，10 mg/l未満が約50%と最も多く，濃度が高くなるにつれて度数は減少するが，50 mg/l以上も13%みられた。

業種別にみると製造業では10 mg/l未満の度数が高く，濃度が高くなるにつれて度数は減少している。しかし，食料品製造業，化学工業，鉄鋼業，金属・機械製造

表1 業種の分類と調査試料数

業 種 名	特定施設番号	調査試料数	
		放流水	原 水
食 料 品 製 造 業	2～18	42	37
紙・繊維製造業	19～23	2	2
化 学 工 業	24～50	46	18
石 油 精 製 業	51	11	4
ガ ラ ス 製 造 業	53～55	2	—
鉄 鋼 業	61	31	9
金属・機械製造業	62, 63, 65, 66	16	13
下水道終末処理場	73	24	20
小規模下水処理施設	72（し尿処理場を除く）	37	33
し 尿 処 理 場	72	28	5*
病 院	68-2	11	9
ご み 焼 却 場	71-3	10	—
合 計		260	150

*投入し尿（浄化槽汚泥を含む）

* Nitrogen and Phosphorus in Industrial Wastewater.

** Jun NAKAJIMA, Hisako OGURA（千葉県水質保全研究所）Chiba Prefectural Laboratory of Water Pollution.

表2 放流水の窒素、リン濃度

業種名	窒素濃度 (mg/l)			リン濃度 (mg/l)		
	濃度範囲	平均値	標準偏差	濃度範囲	平均値	標準偏差
食料品製造業	1.1 ~ 64	13	15	0.11~61	6.0	12
紙・繊維製造業	4.6 ~ 9.4	7.0	2.4	0.49~3.0	1.8	1.8
化学工業	0.6 ~ 88	7.9	14	<0.08~34	2.5	6.4
石油精製業	0.5 ~ 20	5.6	6.9	0.10~0.84	0.30	0.28
ガラス製造業	1.4 ~ 2.3	1.9	0.6	0.14~0.25	0.20	0.08
鉄鋼業	0.4 ~1200	6.5*	9.6*	<0.08~1.0	0.18	0.23
金属・機械製造業	4.4 ~69	17	20	<0.08~2.2	0.45	0.62
下水道終末処理場	9.2 ~58	28	9.5	0.35~6.6	2.6	1.7
小規模下水処理施設	1.9 ~120	23	19	0.45~13	3.8	2.6
し尿処理場	20~270	110	67	2.0 ~31	9.4	6.6
病院	1.4 ~29**	10**	9.7**	1.2 ~5.2	2.9	1.4
ごみ焼却場	0.06~39**	9.1**	13**	0.08~32	1.4***	1.5***

*安水を除いた値 **ケルダール窒素 ***1施設(32mg/l)を除いた値

業では、一部に高濃度事業場がみられた。一方、生活系の処理場では、正規分布的であり、また、し尿処理場は50 mg/l以上の度数が多かった。

3・2 放流水のリン濃度

平均値は、し尿処理場(9.4 mg/l)がもっとも高く、次いで食料品製造業(6.0 mg/l)、小規模下水処理施設(3.8 mg/l)、病院(2.9 mg/l)、下水道終末処理場(2.6 mg/l)、化学工業(2.5 mg/l)の順であり、金属・機械製造業、石油精製業、ガラス製造業および鉄鋼業では0.5 mg/l未満と低かった。

図2に放流水リン濃度の相対度数分布を示した。合計についてみると、1 mg/l未満が47%と最も多く、1~5 mg/lでは濃度が高くなるにつれて度数が減少しており、5 mg/l以上の度数が20%で高濃度の事業場も多かった。

業種別にみると、平均値が高い生活系の処理場、病院および食料品製造業では、度数が全濃度にわたって分布しており、その他の業種では一般に1 mg/l未満の度数が高く、化学工業、ごみ焼却場、紙・繊維製造業で高濃度の事業場がいくつかみられた。

3・3 放流水濃度による業種の種類

放流水の窒素・リン濃度平均値と度数分布形から、各業種を次のように分類した。

- ①比較的低濃度の業種
- ②全体としては低濃度だが高濃度の事業場を有する業種
- ③全体的に高濃度の業種
- ④きわめて高濃度の業種

窒素・リンそれぞれについて各業種をこの分類にあてはめたところ、表3のとおりであった。これから、特定

事業場の窒素・リン対策では、④および③の業種と②の高濃度事業場から重点的に取り組む必要があることが示唆され、生活系の処理場と食料品製造業、病院等で対策が急がれる。

4. 既存排水処理による窒素・リン除去

4・1 原水の窒素・リン濃度

業種別にみた排水処理原水の窒素・リン濃度は表4のとおりであり、各業種とも広い濃度範囲に分布し、放流水質が低いにもかかわらず原水濃度の高い業種もみられた。

窒素の平均値は、紙・繊維製造業(85 mg/l)、化学工業(69 mg/l)、食料品製造業(43 mg/l)等の製造業で高く、生活系の下水道終末処理場および小規模下水処理施設は40 mg/l程度であった。

リンの平均値は紙・繊維製造業(54 mg/l)および食料品製造業(9.0 mg/l)で高く、次いで下水道終末処理場(5.7 mg/l)、小規模下水処理施設(5.5 mg/l)の順であった。一方、平均値の低い化学工業、鉄鋼業および金属・機械製造業では、高濃度の事業場もみられた。

し尿処理場の投入し尿(浄化槽汚泥も含む)の窒素・リン平均値は、それぞれ2200 mg/l、180 mg/lときわめて高濃度であった。

また、各特定事業場の原水濃度から、高濃度廃水を発生する施設もしくは工程等は、以下のようにまとめられた。

- ①魚肉加工、惣菜、醤油等の食料品製造廃水(窒素・リン)
- ②牛乳工場等の食料品容器洗浄廃水(リン)
- ③紙・繊維製造廃水(窒素・リン)

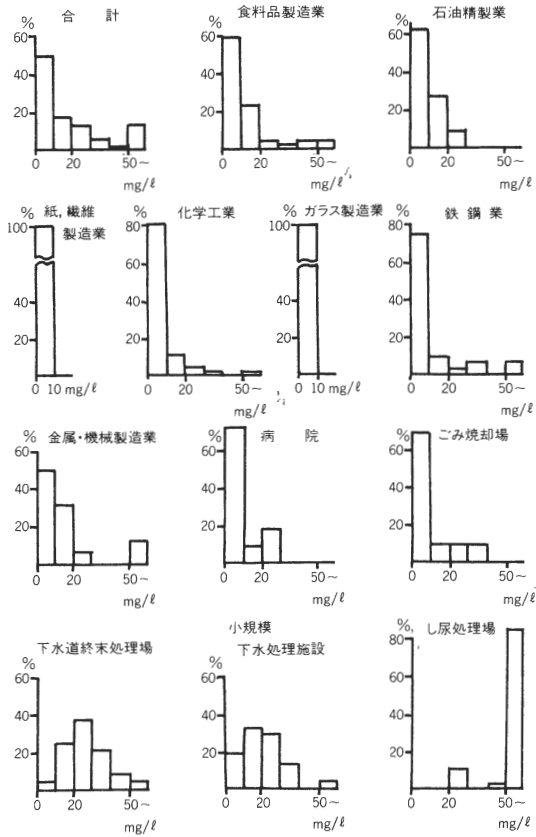


図1 放流水窒素濃度の相対度数分布

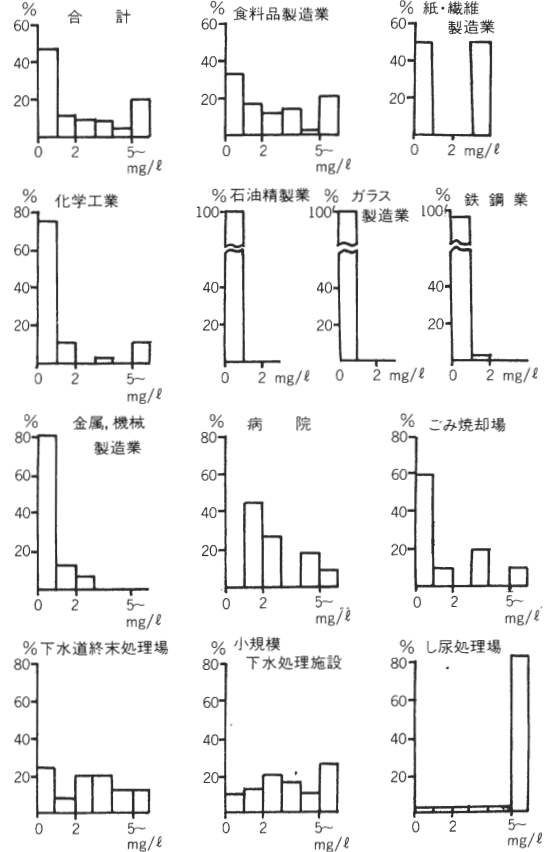


図2 放流水リン濃度の相対度数分布

- ④肥料工場等の窒素・リン使用化学工場廃水（窒素・リン）
- ⑤鉄鋼業における安水（窒素）
- ⑥金属のめっき、酸洗廃水（窒素・リン）
- ⑦し尿（窒素・リン）
- ⑧生活系廃水（窒素・リン）

4・2 排水処理方法

現在特定事業場に設置されている排水処理施設は、有害物質や BOD, COD, SS 等排水規制項目の濃度低減を目的としたものであり、窒素・リンの除去について考慮されていない。原水の水質調査を実施した特定事業場の排水処理方法は表5のとおりであり、食品製造業、紙・繊維製造業、病院および生活系処理場では生物処理、鉄鋼業および金属・機械製造業では物理化学処理がそれぞれ主となっており、その他の業種では事業場により様々であった。

4・3 処理方法と窒素・リン除去率

処理方法別窒素・リン除去率の相対度数分布を図3に示した。

簡易処理には中和施設や沈殿池あるいは油水分離の施設があり、窒素はほとんど除去されていないが、リンは沈殿池で高除去率の施設がみられ、浮遊物質の除去や中和に伴ってリンが沈殿除去されていた。

活性汚泥法には標準活性汚泥方式のほか回分式、長時間曝気方式、ラグーン等の各種変法の施設も多くみられた。窒素・リンの除去率は高いものから低いものまであり、除去率80%以上の事業場が窒素で18%、リンで19%みられた。このような除去率のパラツキは、施設の運転条件により除去率の変動が大きいのことを示し、既存施設の改善によって除去率を向上させることが可能と考えられる。

生物膜法の多くは三次処理として窒素の硝化や COD 低減を目的としたものであったが、窒素・リン除去率は低かった。

凝集処理（凝集沈殿法及び加圧浮上法）では窒素除去率は低いリン除去率は高く、約5割の施設で除去率80%以上を得ていた。これらの凝集処理施設は主に重金属類の除去を目的としているが、小倉ら⁶⁾も報告してい

表3 放流水の窒素、リン濃度からみた業種の種類

	窒素	リン	平均値	度数分布の形	対策と効果
①型	紙・繊維製造業、石油精製業、ガラス製造業、病院、ごみ焼却場	石油精製業、ガラス製造業、鉄鋼業、金属・機械製造業	低		比較的急がない 効果は小さい
②型	食料品製造業、化学工業、鉄鋼業、金属・機械製造業	紙・繊維製造業、化学工業、ごみ焼却場	低 中		一部事業場については急ぐ
③型	下水道終末処理場、小規模下水処理施設	食料品製造業、病院、下水道終末処理場、小規模下水処理施設	高		全体的に急ぐ 効果は大きい
④型	し尿処理場	し尿処理場	最高		きわめて急ぐ 効果は大きい

表4 原水の窒素、リン濃度

業種名	窒素濃度 (mg/l)			リン濃度 (mg/l)		
	濃度範囲	平均値	標準偏差	濃度範囲	平均値	標準偏差
食料品製造業	1.7~440	43	77	0.11~120	9.0	21
紙・繊維製造業	45~130	85	57	42~65	54	16
化学工業	0.9~960	69	220	<0.08~35	3.8	8.2
石油精製業	5.2~27	16	12	0.56~1.2	0.8	0.29
鉄鋼業	1.2~2800	15*	28*	0.13~47	1.4***	2.5***
金属・機械製造業	2.9~110	30	34	0.10~21	2.7	5.7
下水道終末処理場	19~60	36	11	3.2~30	5.7+	2.0+
小規模下水処理施設	11~125	39	20	2.1~13	5.5	2.1
病院	14~69**	25**	18**	1.2~5.6	3.2	1.6
し尿処理場**	590~3900	2200	1300	47~300	180	120

*安水を除いた値 **ケルダール窒素 ***1施設(47mg/l)を除いた値

+1施設(30mg/l)を除いた値 **投入し尿(浄化槽汚泥を含む)

表5 業種別排水処理方法の割合 (%)

業種名	簡易処理	生物処理	物理化学処理
食料品製造業	2.8	94.4	2.8
紙・繊維製造業	0.0	100.0	0.0
化学工業	12.5	50.0	37.5
石油精製業	0.0	50.0	50.0
鉄鋼業	0.0	22.2	77.8
金属・機械製造業	13.3	20.0	66.7
下水道終末処理場	0.0	100.0	0.0
小規模下水処理施設	0.0	100.0	0.0
し尿処理場*	0.0	100.0	0.0
病院	0.0	100.0	0.0
ごみ焼却場	37.5	25.0	37.5

*二次処理方法

るようにリン除去にも有効であるといえる。

ろ過は浮遊物質とそれに伴った有機物質の除去を目的としたものが多く、ほとんどが無薬注の急速砂ろ過であり、窒素・リン除去率は低かった。

活性炭吸着は処理水の再利用を目的としたものが多い

が、窒素・リン除去率は低かった。

以上から処理方法と窒素・リン除去の特徴は次のようにまとめられる。

- ①活性汚泥法で除去率80%以上の施設は、窒素・リンともに約2割みられた。
- ②凝集処理では約5割の施設がリン除去率80%以上であった。また、簡易沈殿でもリン除去率の高い施設がみられた。
- ③その他の処理方法で窒素・リンの高い除去率の施設は少なかった。

4・4 業種別窒素・リン除去率

業種別にみた窒素・リン除去率の相対度数分布は、図4、5のとおりで、合計でみると除去率60%以上の事業場の相対度数は窒素29%、リン41%と、リンの方が除去率の高い事業場が多かった。

各業種とも排水処理方法による窒素・リン除去の特徴が反映していた。すなわち、凝集処理が多い鉄鋼業および金属・機械製造業ではリン除去率が高く、また、活性汚泥法が主である食料品製造業、紙・繊維製造業および

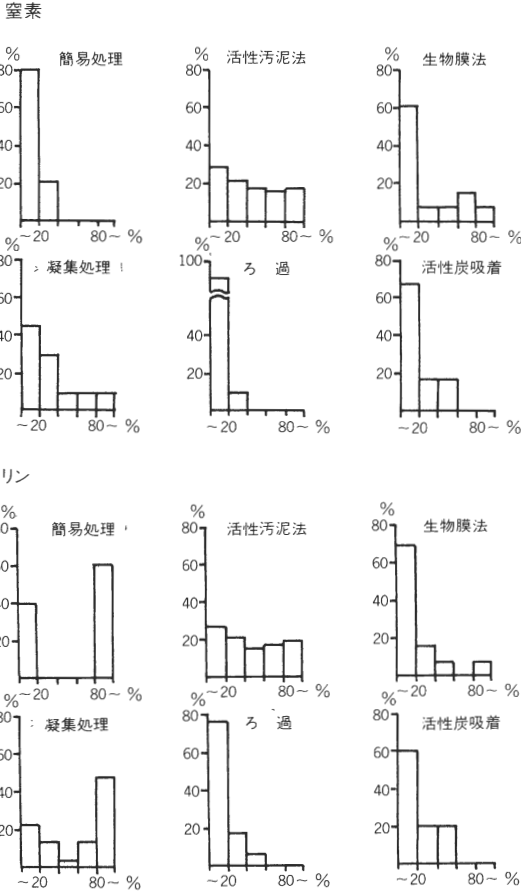


図3 処理方法別窒素、リン除去率の相対度数分布

生活系処理場では窒素あるいはリン除去率が高い施設が多い。

特に食品品製造業では窒素除去率の高い施設が多かった。食品品製造業原水はBODに対する窒素含有量の比が低い場合が多く、このため活性汚泥に移行する窒素の割合が高いためと考えられる。原水のN/BODと窒素除去率との関係をプロットすると図6のようになり、N/BODが低い原水で窒素除去率が高く、N/BODが増加するにしたがって窒素除去率は低下していた⁵⁾。

また、下水道終末処理場と小規模下水処理施設の除去率の間には差がみられ、前者ではリン除去率が高いのに対し、後者ではリン除去率は低いが窒素除去率が高い施設が多かった。これは前者が標準活性汚泥方式や分注曝気方式、後者が長時間曝気方式をそれぞれ主な処理方式とするためと考えられる。すなわち、長時間曝気方式では汚泥日令が長いため硝化が進行し、一部の施設ではそれに続いて脱窒が起きていること、また、汚泥発生量が少ないためにリン除去量は少ないことを指摘できる。硝

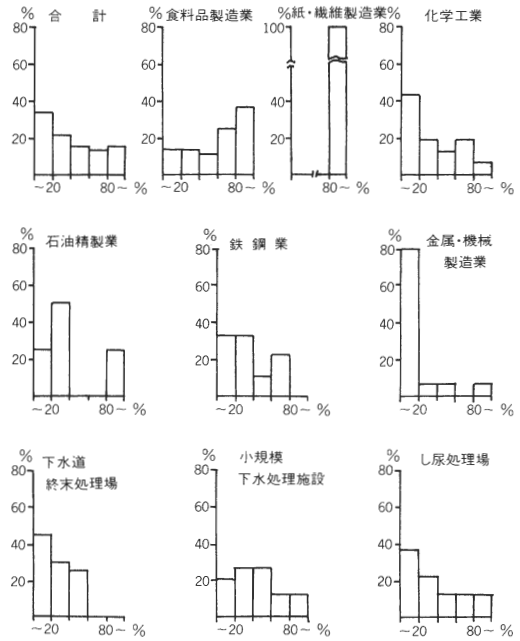


図4 業種別窒素除去率の相対度数分布・処理場は二次処理過程での除去率を示す

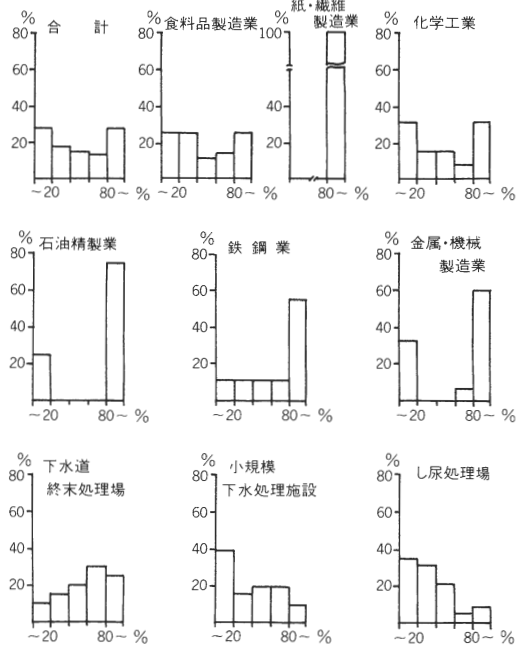


図5 業種別リン除去率の相対度数分布・処理場は二次処理過程での除去率を示す

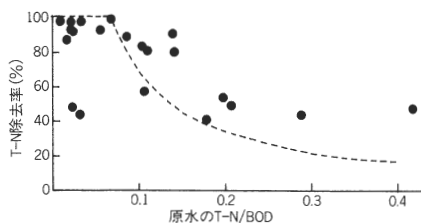


図6 食品製造業排水処理(活性汚泥法)における原水 T-N/BOD と T-N 除去率との関係。破線は BOD : N = 100 : 6.8 (活性汚泥構成比) で除去を仮定した時の除去率を示す

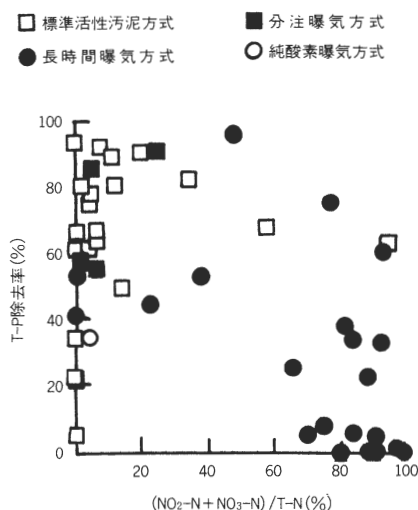


図7 下水道終末処理場と小規模下水処理施設における処理水の $(\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}) / \text{T-N}$ と T-P 除去率との関係

の進行度合とリン除去率との関係は図7のように示さし、硝化の進行および低いリン除去率は、長時間曝気方式の特徴となっている⁷⁾。このことから、長時間曝気方式の施設では、循環方式⁸⁾や断続曝気方式⁹⁾への改善により、窒素除去率の向上が比較的容易であると考えられる。

結 語

千葉県内の工場・事業場における窒素・リン排出の実態について報告した。放流水の窒素・リン濃度から各業種は4群に分類され、生活系の処理場や食品製造業等対策が急がれることが示された。また、排水処理原水濃度から窒素・リンの主要な発生源が明らかにされ、既排水処理においても凝集処理でリン、活性汚泥法で窒素あるいはリンが、それぞれ高い除去率を示す施設があることがわかった。

湖沼、内湾の富栄養化による水質汚濁防止のために、工場・事業場における窒素・リン対策は不可欠であり、本報で明らかになった特定の業種を中心に負荷量削減を進めることが効果的であると考えられる。そのためには生産工程の改変や窒素・リン除去を目的とした排水処理の実施が求められるが、既存施設の改善も現実的な対応として有効であろう。特に既存の活性汚泥法による施設で窒素・リンの高除去率を得ている例は、同法の施設改善による窒素・リン対策の可能性を示唆している。

一引用文献一

- 1) 千葉県水質保全研究所：印旛沼の水質，p. 127, 1980.
- 2) 千葉県環境部：手賀沼水質総合診断結果（第1部），p. 43, 1980.
- 3) 千葉県環境部：東京湾岸特定事業場の水質調査（栄養塩類）報告書，1975.
- 4) 千葉県環境部：未発表資料.
- 5) 千葉県水質保全研究所：昭和55，56年度特定事業場排水処理施設調査報告書，1982.
- 6) 小倉光夫他：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, pp. 877～881, 1979.
- 7) 中島 淳，小倉久子：下水二次処理における窒素，リン除去の実態，第16回水質汚濁学会講演集，pp. 108～109, 1982.
- 8) 宗宮 功他：改良型活性汚泥法による都市下水の窒素除去，水質汚濁研究，Vol. 3, pp. 85～94, 1980.
- 9) 岩井重久他：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, pp. 665～672, 1981.