

大規模工場における窒素・りん排出量削減の可能性

嶋津 暉之 三好 康彦 木村 賢史

1 はじめに

東京湾の水質を改善していくためには、有機汚濁物質の流入量を削減するとともに、赤潮に代表される富栄養化現象への対策を講じていく必要がある。富栄養化現象を引き起こす窒素とりの発生源は工場、下水処理場、住宅団地污水处理施設、家庭用浄化槽、未処理の生活雑排水など、いくつかの種類があり、それぞれについて窒素とりの排出量を削減する技術とその適用の可能性を明確にしていかなければならない。筆者らは住宅団地污水处理施設、下水処理場、家庭用合併処理浄化槽について窒素とりの除去技術とその適用の可能性の研究を進め、その結果を報告してきた。今回は窒素・りんの排出量が大きい工場を取り上げて、窒素・りん排出の実態を調査し、その排出量削減の可能性と方法について検討を行った。その結果を報告する。

2 調査対象

水質汚濁防止法に基づく届出排水量が概ね500m³/日以上で、且つ、ここ数年は下水道へ切り換える予定のない工場を調査対象とした。ただし、昭和59年度以降の水質保全部の調査データにより、窒素排出量が8kg/日、またはりん排出量が1kg/日を越える可能性のない工場は調査対象から除外した。この線引きに用いた値は排水量500m³/日の住宅団地污水处理施設における平均的な窒素・りん排出負荷量である。

調査対象は28事業場である。その業種別内訳を表1に示す。主な業種は食品工業、製紙工業、化学工業、機械工業である。

3 調査方法

(1) 書面による調査

まず、各工場の生産内容、工程、窒素・りん含有薬品

表1 調査対象工場

		工場数
食品工業	市乳工場	4
	ビール工場	2
	清涼飲料工場	1
	油脂工場	2
	パン菓子工場	1
	水産物加工工場	1
	食肉工場	1
製紙工業	製紙工場	3
化学工業	化学品工場	1
	薬品工場	1
	顔料工場	1
機械工業	写真フィルム工場	1
	自動車工場	4
	電気機械工場	1
その他	航空機工場	1
	製鋼工場	1
	金属製品工場	1
	繊維工場	1

の使用状況、排水処理設備の施設諸元、運転状況、排水の水質等を知るため、所定の様式の調査表を各工場に配付し、記入を依頼した。この書面調査の調査項目を表2に示す。この書面調査は1988年9月初めから11月末にかけて実施した。

(2) 現場調査

次に、上記書面調査の結果を基にして、89年1月下旬から6月初めにかけて各工場の現場調査を行った。この現場調査の内容は次のとおりである。

- ① 調査表に記入した内容に漏れや誤りがないかどうかを聞き取りにより確認する。
- ② 工場内の主な窒素・りん排出個所の排出状況、排水処理設備の運転管理の状態等を把握する。

表2 書面調査の調査項目

工場の諸元	生産品目と生産量	
	従業員数, 寮入居者数	
	生産工程のフローシート	
窒素・りん含有物質	含有物質を使用する工程と用途	
	含有物質の使用量, 窒素・りん含有率	
	窒素・りん排出率	
窒素・りんの削減対策	今まで実施した対策, 実施時期, 窒素・りん削減量	
	今後実施する予定の対策, 実施時期, 窒素・りん削減量	
排水処理設備	排水処理と汚泥処理のフローシート	
	排水処理設備の各槽の容量	
	月別の処理水量, 汚泥搬出量, 汚泥含水率	
	汚泥脱水機の種類, 汚泥凝集剤の種類・使用量	
	生物学的処理	月別の水温, MLSS, SV ₃₀
		ブローの能力, 送風量, 散気装置の種類
		返送汚泥ポンプの能力と返送率
	凝集沈殿, 加圧浮上処理	栄養塩の種類・添加量・窒素りん含有率
		凝集剤の種類, 成分, 使用量
		凝集剤のAl, Fe, Caの含有率
原水と処理水の	pH, BOD, COD, SS	
水質分析値	T-N, NH ₄ -N, NO ₃ -N, T-P, PO ₄ -P	

表3 分析方法

項目	分析方法
T-N	ベルオキシ二硫酸カリウム溶液添加分解後、銅カドミウムカラム還元・ナフチルエチレンジアミン吸光光度法（オートアナライザー使用）
NH ₄ -N	インドフェノール青吸光光度法（オートアナライザー使用）
NO ₂ -N+NO ₃ -N	銅カドミウム還元・ナフチルエチレンジアミン吸光光度法（オートアナライザー使用）
T-P	ベルオキシ二硫酸カリウム溶液添加分解後、モリブデン青（アスコルビン酸）吸光光度法（オートアナライザー使用）
PO ₄ -P	モリブデン青（アスコルビン酸）吸光光度法（オートアナライザー使用）

③ 窒素・りんの排出量が大いと考えられる工程排水、排水処理設備の流入原水、中間処理水、最終処理水、搬出汚泥、使用前の用水等採取する。

(3) 窒素・りんの収支の検討

現場調査で採取した検体の窒素・りん濃度を表3の方法で分析し、その分析結果と書面調査で得たデータを用いて、各工場における窒素・りんの収支を検討した。すなわち、各工程からどれ位の量の窒素・りんが排出され、それらの窒素・りんが排水処理設備を経由してどの程度水域に排出されているか、また、排水処理設備で除去された窒素・りんのうち、どれ位が搬出汚泥に移行しているかを計算し、各工場の窒素・りんの収支を求めた。なお、従業員の勤務生活排水の窒素・りん発生負荷量はそれぞれ一人あたり6g/日、0.5g/日、また、寮の生活排水の窒素・りん負荷量はそれぞれ6g/日、0.7g/日として人数から計算した。

(4) 窒素・りん排出量削減方法の検討

以上の調査データに基づき、各工場の窒素・りん排出量を削減する方法を検討し、削減可能量を求めた。削減の方法は次の①～④のそれぞれについて検討した。ただし、④の排水処理の改善は大幅な施設改善を伴わない方法に限定した。

① 窒素・りん含有薬品の代替品（非含有または低含有

薬品）への転換

② 生物学的排水処理に用いる栄養塩の使用中止または使用量削減

③ 窒素・りん高濃度排水の分離処理（りん高濃度排水の石灰凝集処理等）

④ 排水処理の改善（凝集沈殿処理：凝集剤の種類の改善と注入量増加によるりん除去、活性汚泥処理：嫌気好気法または凝集剤添加法によるりん除去と循環式による窒素除去等）

4 調査結果と考察

(1) 窒素・りんの排出量とその収支

ア. 窒素・りんの排出量

放流水の全窒素(T-N)と全りん(T-P)の工場別分布を図1と2に示す。同図の各工場の値は昭和62年度以降の工場側の自主分析値に今回の分析データを加えて平均したものである。データ数はほとんどの工場が5～25の範囲にある。放流水T-Nの濃度は1工場を除き60mg/l以下である。更にそのうちの大半は25mg/l以下で、生活排水と同程度か、それ以下の水準にある。しかし、1工場はT-Nが極めて高く、約770mg/lという値を示している。その窒素の形態はほとんどが硝酸態である。

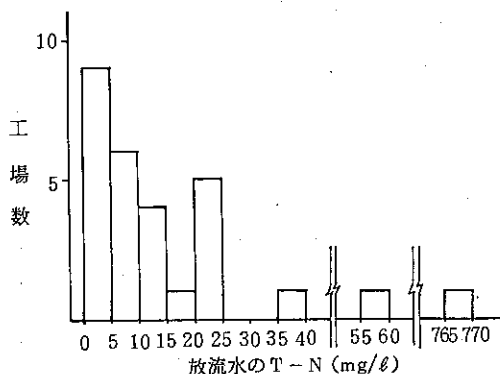


図1 放流水T-Nの分布

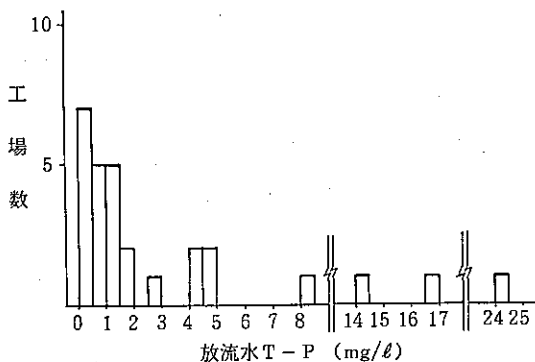


図2 放流水T-Pの分布

一方、放流水T-Pの濃度も20工場が3mg/l以下で、生活排水と同程度か、それより下の水準にある。T-Nのようにずば抜けて高い工場はないが、8工場が4mg/lから25mg/lの間のT-P値を示している。そのりんの形態はほとんどが正りん酸態である。

表4はこの窒素・りん濃度に各工場の日平均放流量を乗じて、窒素・りんの排出負荷量を求めたものである。28工場の合計放流量は約13万m³/日である。窒素とりんの排出負荷量はそれぞれ1954kg/日、114kg/日である。この値を住宅団地污水处理施設の排出負荷量に換算すると、それぞれ約50万人、25万人の施設に相当する。

1. 排水処理における窒素・りんの収支

調査対象工場は活性汚泥、接触酸化、塔型散水ろ床、凝集沈澱、凝集加圧浮上のいずれかを用いて、或いはそ

表4 窒素・りんの排出負荷量

	工場数	放流水の負荷量(kg/日)		排水量 (m ³ /日)
		窒素	りん	
市乳工場	4	25	14	5,180
ビール工場	2	21	3	6,950
その他食品工場	6	39	22	5,290
製紙工場	3	729	27	88,090
化学工場	4	1,012	24	12,290
自動車工場	4	61	20	8,160
その他の工場	5	67	4	4,170
計	28	1,954	114	130,130

(注) 上記の負荷量、排水量は年間値を365日で除したものである。

表5 排水処理における窒素・りんの収支

	窒素負荷量(kg/日)				りん負荷量(kg/日)			
	入		出		入		出	
	発生	排水	汚泥	その他	発生	排水	汚泥	その他
市乳工場	193	25	107	61	41	14	27	—
ビール工場	502	21	421	60	90	3	86	—
その他食品工場	161	39	99	23	46	22	22	2
製紙工場	1,458	729	658	71	184	27	144	14
化学工場	1,263	1,012	130	121	56	24	14	18
自動車工場	147	61	31	55	105	20	61	24
その他の工場	96	67	6	23	12	4	7	1
計	3,820	1,954	1,452	414	534	114	361	59

れらを併用して排水処理を行っている。各工場の排水処理における窒素・りんの収支を計算した結果を表5に示す。同表の発生負荷量は各工場の排水処理設備流入水の窒素・りん濃度と処理水量から計算したものである。ただし、放流水の負荷量と汚泥に移行した負荷量の和(A)、或いは上で述べる発生源別負荷量の計算値の和(B)が流入水質からの計算値を上回っている場合はA又はBを発生負荷量とした。

窒素の発生負荷量は合計3820kg/日で、そのうちの51%が水域に排出されている。この窒素除去率49%は大規模住宅団地污水处理施設の平均除去率(55%)とほぼ同じである。除去された49%の窒素のうち、38%が汚泥に移行している。残りの11%は生物学的排水処理の脱窒反応で大気中へ放出された分と不明分である。

りんの発生負荷量は合計534kg/日で、水域に排出さ

れるりん量はその21%である。このりん除去率79%は大規模住宅団地処理施設の平均除去率(53%)と比べて高い。汚泥移行分は68%で、残り11%が不明分である。

ウ. 発生負荷量とその発生源別内訳

窒素・りん²⁾の負荷量を発生源別に計算した結果を表6と7に示す。まず、窒素発生負荷量のうちの14%は用水に由来するものである。今回の調査対象工場は水源が工場により異なり、自家用の地下水、自家用の河川水、河川水を水源とする工業用水道・上水道、下水処理水を水源とする工業用水道のいずれか、或いはそのいくつかを使用している。地下水や河川水および河川水を水源とする工業用水道・上水道には0~5mg/ℓの硝酸性窒素

(NO₃-N)、下水処理水を水源とする工業用水道には5~15mg/ℓのT-Nが含まれており、或る程度の量の窒素が工場に持ち込まれる。特に、一日の使用水量が13000m³から40000m³の規模になる製紙工場の場合は用水に由来する窒素負荷量が大きく、発生負荷量の1/4を占めている。

窒素発生負荷量が最も大きいのは窒素含有薬品に由来するもので、38%を占めている。その主なものは製紙工場の紙力増強剤、化学工場の顔料製造で鉛の溶解に用いる硝酸、写真フィルムの製造で銀の溶解に用いる硝酸、メッキ等の表面処理に使うキリン液(硝酸と硫酸の混酸)、市乳工場の酸性洗剤等である。活性汚泥処理等の

表6 窒素発生量の発生源別内訳

	使用薬品に由来するもの							用水	排水処理 の栄養塩	従業員	その他 [原材料か らの抽出 等]	計
	洗剤	ボイラー 清浄剤	冷却水管 防食剤	表面処理	紙力 増強剤	その他	小計					
市乳工場	60	0.1	0	0	0	0	60	15	0	7	111	193
ビール工場	0	0	0.3	0	0	0	0.3	15	0	2	485	502
その他食品工場	2	0	0	0	0	0	2	9	3	18	129	161
製紙工場	0	0.1	0	0	220	0	220	400	401	9	428	1,458
化学工場	0	0	0	0	0	1,052	1,052	45	114	17	35	1,263
自動車工場	0	0.7	0.6	54	0	14	69	22	2	50	4	147
その他の工場	0	0.2	0.5	21	0	13	35	21	0	34	6	96
計	62	1	1	75	220	1,079	1,438	527	520	137	1,198	3,820

表7 りん発生量の発生源別内訳

	使用薬品に由来するもの							用水	排水処理 の栄養塩	従業員	その他 [原材料か らの抽出 等]	計
	洗剤	ボイラー 清浄剤	冷却水管 防食剤	表面処理	紙力 増強剤	その他	小計					
市乳工場	6	0.3	0	0	0	0	6	0	0	1	34	41
ビール工場	2	0.5	0	0	0	0	3	0	0	0.1	87	90
その他食品工場	2	0.6	0	0	0	15	18	1	1	2	24	46
製紙工場	0	0.2	0	0	3	0	3	0	106	1	74	184
化学工場	0	0.1	0	0	0	33	33	0	21	1	1	56
自動車工場	0	0.5	0.1	76	0	12	88	0	0	4	12	105
その他の工場	0	0.3	0.1	2	0	6	8	1	0	3	1	12
計	10	2	0.2	78	3	66	159	2	128	12	233	534

栄養塩として尿素や硫酸の形で用いる窒素の負荷量も比較的大きく、発生負荷量の14%を占めている。残りの34%は製造の過程で原材料等から溶出するものや従業員の勤務生活排水等によるものである。

次に、表7の発生源別りん発生負荷量を見ると、用水に由来するものは窒素と異なり、随分少なく、0.4%しか占めていない。地下水にはりんがほとんど含まれていないし、また、河川水は0.5mg/ℓ程度のT-Pを含有することはあるが、工業用水道・上水道の浄水場や自家用の浄水設備でそのほとんどが除去される。用水としてりんを含むのは、下水処理水を水源とする工業用水道である。そのT-P濃度は1mg/ℓ前後である。

使用薬品に起因するものがりん発生負荷量の30%を占めている。このうち、ボイラーの清缶剤、冷却水管の防食剤は予想外に少なく、合わせて1%以下であった。低りんまたは無りんの清缶剤や防食剤への転換が進められてきているからであると推測される。使用薬品の中で最も割合が大きいのは、自動車工場の塗装前処理に使う脱脂・化成処理剤である。その他に、化学品合成の触媒、油脂精製の脱ガム剤、製薬培養液のpH緩衝剤、染色の染料固着剤、食品工場の洗剤等としてりん含有薬品が使われている。食品工場の洗剤は無りん化が家庭用洗剤ほど進められていない。

りん発生負荷量の24%は生物学的排水処理の栄養塩としてりん酸又はりん酸アンモニウムの形態で使用されている。その主な使用工場は製紙工場と化学工場である。残りの46%は製造過程で原材料等から溶出するものと従業員の勤務生活排水等によるものである。

(2) 排出負荷量削減の方法とその効果

ア. 改善方法の検討

(ア) 使用薬品の転換

上述のように、使用薬品に由来する窒素・りん量が発生負荷量の3~4割を占めており、窒素・りんを含有しない薬品または含有率の低い薬品への転換を進めていく必要がある。今回の調査データの同業種間の比較及び今まで知られている転換の実例³⁾から判断して、現実性のある使用薬品の転換は次のようなものである。

- ① ボイラー清缶剤、冷却水管防食剤の無りん化または低りん化
- ② 食品工場の洗剤の無りん化
- ③ 食品工場の酸性洗剤を硝酸低含有洗剤へ

④ 表面処理工程の薬品転換（酸洗液の硝酸を硫酸へ、過硫酸やキリンスを用いた化学処理液を硫酸+過酸化水素の処理液へ、ピロりん酸銅メッキを硫酸銅メッキへ）

⑤ 油脂精製の脱ガム剤に使うりん酸を他の酸（リンゴ酸等）へ

⑥ 染色工場の染料固着剤に使うりん酸ソーダをソーダ灰へ

⑦ 製紙工場の紙力増強剤を窒素非含有薬品へ

このうち、④、⑤、⑥は適用の可否を判断するだけのデータが今回は得られなかったため、今後の課題とし、①、②、③、⑦を実施することにした。ただし、①と②は他の削減方法の効果と重複するので、削減可能量の計算には含めていない。

(イ) 注入栄養塩の削減

7工場が流入原水の栄養のアンバランスを補うため、活性汚泥等の生物学的処理に栄養塩を注入していた。一般に、活性汚泥処理の微生物の増殖をはかり、その活性を維持するためには、流入水のBOD（生物学的酸素要求量）と窒素とりんの比を100:4:1に保つ必要があるとされている。7工場もこれに近い比率で尿素や硫酸、りん酸、りん酸アンモニウムを注入していた。

しかし、この比率は絶対的なものではなく、汚泥発生率が小さければ、BODに対する窒素、りんの比を小さくすることができる。すなわち、ばっ気槽の滞留時間が長く、活性汚泥の自己酸化の進行で汚泥発生量が小さい処理施設は、その自己酸化で窒素・りんが再供給されるので、窒素・りんの供給必要量が小さくなる。脱窒反応による大気中への窒素ガスの放出がなければ、基本的には余剰汚泥の引き抜きによって排出される窒素とりんを供給すれば、微生物が増殖する状態は維持される。

栄養塩添加工場における余剰汚泥の窒素とりんの含有率は固形物量に対して4~5%、0.5~1%であった。また、それらの工場の汚泥固形物発生量/流入BOD負荷量は0.6前後であった。この条件でBOD100に対する窒素とりんの比を計算すると、2.4~3 (=4~5×0.6)と0.3~0.6 (=0.5~1×0.6)となり、一般にいわれている比率より小さくなる。実際にこれより窒素とりんの比率を小さくして、支障なく、活性汚泥処理設備を運転している工場もある。また、生物膜法（接触酸化、塔型散水ろ床等）は汚泥発生率が小さいので、同様な考え方を当てはめれば、栄養塩の注入必要量はかなり小さいと

判断される。

以上の考え方より、栄養塩の注入必要量を汚泥移行分プラスアルファとして、7工場の注入必要量を計算したところ、6工場で栄養塩の削減が可能であった。

(ウ) 高濃度排水の分離処理

ア) りん高濃度排水の分離処理

3工場が生産工程から高濃度のりんを含む排水を排出していた。それぞれの排水量とT-P濃度は $20\text{m}^3/\text{日}$ と $1400\text{mg}/\ell$ 、 $20\text{m}^3/\text{日}$ と $800\text{mg}/\ell$ 、 $70\text{m}^3/\text{日}$ と $100\text{mg}/\ell$ であった。これらのりん高濃度排水は水量が小さいので、単独の凝集処理設備を設置することが経済的に可能と考えられる。

凝集剤は経済性の面で硫酸ばん土、PAC等のA ℓ （アルミニウム）系凝集剤ではなく、消石灰を使用することにする。A ℓ 系凝集剤の場合は原水のリン濃度が高くなっても、処理水T-Pを $0.5\text{mg}/\ell$ 以下に落とすのに必要なA ℓ /Pのモル比があまり変わらず、2~3倍である。それに対して、消石灰はA ℓ 系凝集剤に比べて単価がかなり安く、りん濃度が $50\text{mg}/\ell$ 位になると、必要モル数（Ca/P）がA ℓ 系と同じ3倍程度で済むので、凝集剤の注入費用をA ℓ 系の1/5以下にとどめることができる（りん濃度が $\text{数mg}/\ell$ の場合はpHの上昇に石灰が必要なため、石灰の必要モル数が30~40倍以上になる）。また、汚泥の脱水性も消石灰の方が優れている。

3工場についてはりん高濃度排水の石灰凝集処理により、その処理水T-Pを $0.5\text{mg}/\ell$ まで落せるものとした。ただし、総合排水処理に栄養塩が必要な場合はその必要量は除外した。

イ) 窒素高濃度排水の分離処理

2工場は生産工程から極めて高濃度の窒素含有排水を排出していた。一工場は $\text{NO}_3\text{-N}$ を $6000\text{mg}/\ell$ 含む排水を $180\text{m}^3/\text{日}$ 、もう一工場はアンモニア性窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ） $5000\text{mg}/\ell$ の排水を $20\text{m}^3/\text{日}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ $8000\text{mg}/\ell$ の排水を $25\text{m}^3/\text{日}$ 排出していた。その他に、2工場が表面処理工程から $\text{NO}_3\text{-N}$ 500~1000 mg/ℓ の排水を5~10 $\text{m}^3/\text{日}$ 排出していた。

これらの窒素高濃度排水を他の排水と混ぜて、通常の生物学的脱窒素処理を行うのはかなりの設備投資が必要になるので、高濃度排水を分離して単独処理する方法を考えなければならない。

$\text{NH}_4\text{-N}$ 高濃度排水は、アルカリ剤を注入してpHを11

付近まで高め、アンモニアを放散させるアンモニアストリッピング法で処理するのが最も現実性が高い。放散したアンモニアをそのまま大気中に放出するわけにはいかないので、排気洗浄塔で硫酸液に吸収させ、硫酸として回収する装置を組み合わせる必要がある。

$\text{NO}_3\text{-N}$ 高濃度排水については、独立栄養性の脱窒菌、すなわち、有機物（水素供与体）なしで $\text{NO}_3\text{-N}$ を還元する硫黄酸化菌を利用した脱窒処理が有望である。筆者らは粒状の硫黄と炭酸カルシウムを充填した生物反応塔で $\text{NO}_3\text{-N}$ 高濃度排水の脱窒処理を行う実験を進めてきている。

今回はこれらの方法で窒素高濃度排水の分離処理が可能な場合も想定し、その窒素除去率を95%として高濃度排水の窒素削減量を求めた。

(エ) 排水処理の改善

上記（ア）、（イ）、（ウ）の方法の適用が困難か、またはそれらの方法で窒素・りんの排出負荷量が十分に小さくならない場合は、排水処理の方法を次のように改善することにした。

ア) りんの除去

① 凝集沈澱処理を行っている場合（改善対象6工場）

処理水のT-Pを $0.5\text{mg}/\ell$ 以下に維持するため、A ℓ 系凝集剤の注入量を増加する。すなわち、流入原水中のりんに対するA ℓ のモル比で3倍以上のA ℓ 系凝集剤を注入するように改善する⁶⁾。ただし、原水のリン濃度が大きく変動すると、りん除去率が低下するので、りん含有排水の排出の仕方を工夫して原水のリン濃度を平準化することが必要である。

② 生物学的処理の後で砂ろ過を行っている場合（改善対象1工場）

砂ろ過の前にA ℓ 系凝集剤を注入する。注入量は①と同じ。

③ 活性汚泥処理を行っている場合（改善対象7工場）

処理水のT-Pを $0.5\text{mg}/\ell$ 以下に保つため、流入原水中のりんに対してモル比で2倍以上のA ℓ 系凝集剤をばっ気槽に添加する⁷⁾。

又は、ばっ気槽を二つに区切って前段を弱ばっ気槽（嫌気槽）、後段を強ばっ気槽（好気槽）として嫌気好気法（生物学的脱りん法）を導入する。嫌気好気法の必要容量は下水処理場の場合、嫌気槽が1.5~6時間、好気槽が4.5~9時間以上である⁸⁾。工場の場合、処理の条件

がそれぞれ異なるが、一応、この数字を使うと、6工場ともばっ気槽の滞留時間が24時間以上あるので、容量には余裕がある。また、改善後の好気槽のBOD汚泥負荷は0.5kg/kg-MLVSS/日以下であるので、好気槽の縮小でBOD除去に支障をきたすことはない。よって、嫌気好気法の導入は可能と考えられる。ただし、嫌気好気法で生成されるりん高濃度汚泥はりんを溶出しやすいので、余剰汚泥を引き抜き後、すみやかに脱水するとともに、汚泥凝集剤としてA₂L系や鉄系のものを使用して汚泥中のりんを固定化する必要がある。この方法でも処理水T-Pを概ね0.5mg/l以下にすることができる。

イ) 窒素の除去

〔活性汚泥処理を行っている場合（改善対象5工場）〕

既設処理施設に導入しやすい生物学的脱窒素法としては間欠ばっ気式と循環式の二方式があるが、前者は送風ブロワの能力に1/2以上の余裕があることが必要である。5工場はブロワの能力にあまり余裕がないので、後者の循環式の導入を検討した。循環式とは、ばっ気槽を二槽に区切って、前段を弱ばっ気槽（脱窒槽）、後段を強ばっ気槽（硝化槽）とし、後段から前段へ処理水量の5倍以上の水量を循環する方式である。文献1)により、各工場の脱窒槽、硝化槽の必要容量を計算したところ、5工場

表8 窒素排出量削減の効果

	削減量 (kg/日)					改善後の 排出負荷量 (kg/日)
	薬品の 転換	栄養塩 の削減	循環式の導入	高濃度排水 の分離処理	計	
市乳工場	2	0	0	0	2	23
ビール工場	0	0	0	0	0	21
その他食品工場	0	3	15	0	18	21
製紙工場	182	154	0	0	336	393
化学工場	0	1	0	919 (0)	920 (0)	92 (1011)
自動車工場	0	2	15	0	17	44
その他の工場	0	0	15	13 (0)	28	39 (52)
計	184	160	45	932 (0)	1,321 (389)	633 (1,565)

〔注〕（ ）内は窒素高濃度排水の分離処理を行わなかった場合を示す。

表9 りん排出量削減の効果

	削減量 (kg/日)					計	改善後の 排出負荷量 (kg/日)
	栄養塩 の削減	高濃度排水 の石灰凝集 処理	〔凝集沈殿〕 A ₂ L系凝集剤 の注入量増加	〔砂ろ過〕 A ₂ L系凝集剤 の注入	〔活性汚泥〕 A ₂ L系凝集剤の添 加又は嫌気好気法		
市乳工場	0	0	0	0	12	12	2
ビール工場	0	0	0	0	0.2	0.2	3
その他食品工場	0.2	11	3	0	4	18	4
製紙工場	12	0	0	0	0	12	15
化学工場	1	19	0	0	0	20	4
自動車工場	0	0	16	0	0	16	4
その他の工場	0	0	0	1	1	2	2
計	13	30	19	1	17	80	34

とも循環式の導入が可能であった。この方式を導入すると、窒素除去率を90%まで高めることができる。

イ. 削減可能量

以上の方法で削減される窒素・りん排出負荷量を試算した結果を表8と9に示す。窒素は高濃度排水の分離処理を行うかどうかによって改善後の排出負荷量が大きく変わる。この分離処理を行った場合は、28工場の改善後の排出負荷量が633kg/日となり、現状値1954kg/日の32%まで減少する。分離処理を行わない場合は改善後の負荷量は1565kg/日で、現状値の80%にとどまる。この点で、窒素高濃度排水の処理技術を早急に確立していく必要がある。

一方、りんについては高濃度排水の処理に特に技術的な問題がないので、表9にはその効果も含めた数字のみを示した。28工場の改善後の排出負荷量は34kg/日で、現状値114kg/日の30%まで減少する。

改善方法別にみると、りんについては栄養塩の削減、高濃度排水の分離処理、排水処理の改善による削減効果が排出負荷量に対してそれぞれ11%、26%、33%である。窒素については薬品の転換、栄養塩の削減、排水処理の改善、高濃度排水の分離処理による削減効果がそれぞれ10%、8%、2%、48%である。

5 おわりに

大規模工場の窒素・りん排出の実態を調査し、その排出量削減の方法を検討したところ、次の諸点が明らかとなった。

- ① 調査対象28工場の窒素とりんの合計排出量は1954kg/日と114kg/日で、住宅団地汚水処理施設の排出負荷量に換算すると、それぞれ50万人と25万人の施設に相当する。
- ② 28工場における窒素・りん発生負荷量はそれぞれ3820kg/日、534kg/日である。工場内の排水処理により、窒素が49%、りんが79%除去されていた。
- ③ 発生負荷量を発生源別にみると、窒素については用水、使用薬品、排水処理の栄養塩、その他に由来するものがそれぞれ14%、38%、14%、34%、りんについては使用薬品、排水処理の栄養塩、その他に由来するものがそれぞれ30%、24%、46%であった。
- ④ 窒素排出負荷量の削減方法を検討したところ、窒素

非含有・低含有薬品への転換、排水処理栄養塩の削減、活性汚泥処理への循環式の導入で、20%の削減、更に、窒素高濃度排水の分離処理を行えば、合わせて窒素排出量を68%削減することが可能と推測された。

⑤ りんについては、排水処理栄養塩の削減、凝集沈澱処理のA₂O系凝集剤の注入量増加、活性汚泥処理へのA₂O系凝集剤の添加、りん高濃度排水の石灰凝集処理等により、りん排出負荷量を70%削減することが可能と推測される。

今回検討した改善方法のうち、窒素高濃度排水の処理技術は未だ実験段階にある。今後は硝酸高濃度排水の脱窒技術の開発に重点をおいて研究を進めていくことにしたい。

本調査は環境保全局N、P削減対策検討会の業務との関連で実施したものである。本調査を進めるにあたり、水質保全部水質規制課と多摩環境保全事務所水質保全課の職員の方々の多大な協力を得た。

参考文献

- 1) 嶋津暉之ら；住宅団地汚水処理施設への窒素・りん除去技術適用の可能性(その1)，東京都環境科学研究所年報1988，p.84.
- 2) 嶋津暉之ら；住宅団地汚水処理施設への窒素・りん除去技術適用の可能性(その2)，東京都環境科学研究所年報1988，p.98.
- 3) 東京都環境保全局：東京湾富栄養化対策技術手引，p.6(1987).
- 4) 深田哲右ら：りん酸塩と金属塩との沈澱生成反応，兵庫県公害研究所報告第9号，p.39，(1977).
- 5) 三好康彦ら：高濃度硝酸含有排水の脱窒実験，東京都環境科学研究所年報1990，p.113.
- 6) 東京都環境保全局：窒素・りん排水処理技術手引(2)，p.5(1986).
- 7) 嶋津暉之ら；既設処理施設の窒素・りん除去に関する研究(2)——りん除去の条件——，東京都環境科学研究所年報1986，p.94.
- 8) 嶋津暉之ら；下水処理場における生物学的脱りん法のりん除去率向上に関する研究，用水と廃水，31，3，p.25(1989).