

事業場排水中の窒素化合物について (第 2 報)

宇高有美 正月吏一 福田行剛 山竹定雄

Status of Nitrogen Compounds Removal in Industrial Effluent (Part. II)

Yumi UDAKA, Riichi MASATSUKI, Yukitake FUKUDA, Sadao YAMATAKE

Polluted status of nitrogen compounds in both the effluent of small-scale factories and household effluents without regulation because of discharge volume less than 50 m³/day was reported. Results were as follows.

1. The nitrogen concentration was higher in independent septic tank than in merger processing septic tank.
2. As nitrogen concentration was lower in the septic tank with anaerobic treatment, nitrified or denitrified process might be occurred.
3. The nitrogen concentration of a small-scale food manufacturing industry and metal surface finishing industry was higher.
4. As nitrogen compounds of small-scale manufacturing industry was mainly contained in solids, it was important to remove solids for reducing nitrogen compounds.

Keywords: Industrial effluent, Nitrogen compounds, Septic tank

はじめに

瀬戸内海をはじめとする閉鎖性水域や湖沼等において、赤潮、貧酸素塊、アオコの発生といった富栄養化に伴う問題が頻発している。富栄養化の主な原因と考えられている窒素やりんによる汚染は、産業系排水や生活系排水をはじめ様々な汚染源が複合しており、しかもそれらを除去することは容易ではない。

水質汚濁防止法により、産業系排水の窒素に対する排水基準は、既に窒素含有量について適用されているところであるが、平成 13 年 6 月には、アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物 (以下「硝酸性窒素等」という。) が「人の健康に係る被害を生ずるおそれがある物質」(以下「有害物質」という。) に追加され、規制を受けるようになった。

また、これまで化学的酸素要求量についてのみ総量規制が定められていたが、平成 14 年「化学的酸素要求量、窒素及びりん含有量に係る総量削減計画」(愛媛県告示第 1321 号) が告示されたことに伴い、一日あたりの平均的な排出水の量が 50m³以上のもの(以下「指定地域内事業場」という。)に総量規制値が定められ、平成 14 年

10 月より施行されている。

このように、従来の濃度規制に加えて総量規制が行われることとなり、高度排水処理技術に対する期待が高まっている。排水中の窒素化合物の内訳を調べることは、排水処理の過程や効率、ひいては処理の問題点を知ることにつながり、排水処理技術指導に役立つと考えられる。

一方、「化学的酸素要求量、窒素含有量及びりん含有量に係る総量削減基本方針(瀬戸内海)」(平成 13 年 12 月)によると、瀬戸内海に排出される発生源別の窒素含有量は、総量 596 トン/日のうち、産業系排水 191 トン/日に対して生活系排水が 184 トン/日と、ほぼ同じ汚濁負荷量である(平成 11 年度)。生活系の合併・単独処理浄化槽については、設置基数は多いが窒素化合物についての報告は少ない。そこで第 1 報¹⁾に続き、指定地域内事業場に加え、日平均排水量 50m³未満の事業場(以下「小規模事業場」という。)の窒素化合物や家庭レベルの単独又は合併処理浄化槽排水の窒素化合物について調査したので報告する。

方 法

1. 調査期間：平成 13 年度及び 14 年度
2. 調査対象施設：水質汚濁防止法に基づく立入調査対

表1 業種別各態窒素濃度

単位: (mg/L)

業種	事業場数	検体数	T-N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		NO ₂ -N		その他N		主な処理方法
			最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	
			平均値		平均値		平均値		平均値		平均値		
食料品製造業等	13	21	0.7	71	<0.04	49	<0.02	66	<0.02	2.1	<0.02	5.3	活性汚泥法, 加圧浮上法
			15		4.0		9.7		0.1		1.1		
食料品製造業等 (小規模)	6	6	1.2	320	<0.04	172	<0.02	58	<0.02	0.5	<0.02	193	未処理,スクリーン, 沈殿槽のみ
			111		31		1.9		0.2		79		
繊維工業	8	15	<0.3	41	<0.04	31	<0.02	2.3	<0.02	2.8	<0.02	13	活性汚泥法, 加圧浮上法
			9.6		5.5		0.8		0.24		3.3		
パルプ、紙 紙加工品製造業	8	8	0.7	8.1	<0.04	7.8	<0.02	1.0	<0.02	0.1	0.2	2.4	凝集沈殿法,加圧浮上法, 加圧浮上+活性汚泥法
			2.7		1.5		0.3		<0.02		0.9		
化学肥料製造業	1	4	1.5	41	0.1	34	0.1	10	<0.02	0.6	<0.02	1.3	中和沈殿+活性汚泥法
			20		16		4.1		0.3		0.7		
無機化学製品製造業 合成ゴム製造業 石油化学工業	8	17	0.4	86	<0.04	48	0.2	47	<0.02	0.6	<0.02	2.3	浮上分離法,凝集沈殿法 加圧浮上+ばっ気+散水ろ床法
			11		6.5		5.5		0.2		0.6		
無機化学製品製造業 (小規模)	1	2	71	1400	58	1400	3.4	6.0	4.7	6.5	<0.02	0.5	凝集沈殿法
			736		730		4.7		5.6		0.3		
石油製品・石炭製品 製造業	1	6	0.8	18	<0.04	14	<0.02	0.4	<0.02	0.02	0.7	5.6	油水分離,凝集沈殿法, 活性炭法
			5.3		2.9		0.1		<0.02		2.3		
非鉄金属製造業 金属製品製造業 機械器具製造業	10	13	0.7	57	<0.04	63	0.03	14	<0.02	1.5	<0.02	2.9	凝集沈殿法,浮上分離法
			10		7.4		2.7		0.2		0.4		
酸又はアルカリによる 表面処理施設	5	8	2.9	47	1.9	37	0.1	3.4	<0.02	1.9	<0.02	6.5	凝集沈殿法,凝集加圧浮上法
			16		13		1.7		0.4		1.2		
酸又はアルカリによる 表面処理施設(小規模)	10	16	0.4	110	<0.04	110	<0.02	59	<0.02	4.4	<0.02	13	凝集沈殿法 還元処理+pH調整
			35		21		12		0.8		2.7		
し尿処理施設	14	13	1.5	37	<0.02	16	0.3	34	<0.02	0.6	<0.02	6.5	活性汚泥法+凝集沈殿法 +オゾン処理法
			14		3.0		11		0.1		1.4		
し尿処理施設 (小規模)	3	4	3.7	410	0.1	42	2.8	350	<0.02	15	<0.02	4.4	活性汚泥法+凝集沈殿法 +ろ過+活性炭法
			114		14		92		6.9		1.4		
その他のし尿処理施設	14	16	<0.3	101	<0.04	54	<0.02	54	<0.02	7.8	<0.02	91	活性汚泥法,接触ばっ気法, オキシデーションディッチ法
			30		7.6		16		0.6		6.7		
201人以上500人以下の し尿浄化槽	13	15	13	42	<0.04	27	<0.02	29	<0.02	1.0	<0.02	33	活性汚泥法,接触ばっ気法, 間欠ばっ気法
			24		11		9.9		0.2		3.7		
201人以上500人以下の し尿浄化槽(小規模)	31	33	1.5	140	<0.04	85	<0.02	28	<0.02	64	4.3	66	活性汚泥法,接触ばっ気法, 間欠ばっ気法
			52		22		2.1		23		48		
下水道終末処理施設	21	21	<0.3	10	0.04	19	<0.02	9.8	<0.02	2.2	<0.02	13	沈殿法+活性汚泥法 オキシデーションディッチ法
			21		3.4		3.7		0.3		3.2		
合併処理浄化槽	20	20	4.1	47	<0.04	29	<0.02	27	1.0	7.0	<0.02	12	嫌気ろ床接触ばっ気法, 接触ばっ気法
			19		7.5		8.9		1.4		1.7		
単独処理浄化槽	20	20	30	180	<0.04	90	1.0	120	<0.02	67	<0.02	8.0	全ばっ気法,分離ばっ気法, 分離接触ばっ気法
			78		31		44		6.4		0.9		
計	207	258											

※その他のし尿処理施設とは501人槽以上のし尿浄化槽を持つ各種商品小売施設や一般病院など

象施設及び「窒素及びその化合物並びに磷及びその化合物に係る削減指導方針」に基づく窒素・磷排出量調査対象施設

3. 調査事業場数及び検体数

事業場数 207 検体数 258

4. 試験項目及び試験方法: 試験は JIS K0102 の

42. 2 (NH₄-N: アンモニア性窒素)

43. 1. 1 (NO₂-N: 亜硝酸性窒素)

43. 2. 3 (NO₃-N: 硝酸性窒素)

45. 2 (T-N: 窒素含有量 (全窒素))

に準じて行った。

アンモニア性窒素, 亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素(以下「各態窒素」という。)については, メンブランフイ

ルター(ADVANTEC製 DISMIC-25cs 0.45 μm)でろ過したろ液を試験溶液に用いた。窒素含有量については, 試料をそのまま試験溶液に用いた。

結果及び考察

1) 業種別窒素化合物の排出状況

調査対象事業場数, 検体数, 測定結果及び主な排水処理方法を表1に示す。

ここで「その他N」とは, 窒素含有量から各態窒素を差し引いたものである。排出基準値は1日あたり排水量50m³/日以上事業場に適用され, 窒素含有量で最大120mg/L, 日間平均値60mg/L, また有害物質は特定施設を持つ全事業場に適用され, 硝酸性窒素等で100mg/L

(業種によっては平成16年6月まで暫定基準が適用される)である。その他のし尿処理施設とは501人以上のし尿浄化槽を持つ各種商品小売施設や一般病院などを含む。

第1報¹⁾と同様に、パルプ・紙・紙加工品製造業を始め、半数の業種の窒素含有量の最大値が排出基準の日間平均値60mg/Lを下回る値であったが、基準が適用される事業場であっても食料品製造業や無機化学製品製造業等の数ヶ所で日間平均値を超過するものが見られた。また、調査した小規模事業場の多くが高濃度の値を示した。以下、浄化槽と小規模事業場を中心に考察を行った。

2) 単独処理浄化槽

平成13年4月の浄化槽法改正により、単独処理浄化槽の新設は原則禁止されているが、現在愛媛県下に、単独処理浄化槽は約16万基(平成14年度)設置されており、1基あたりの排水量が少ないとはいえ、環境に対する負荷はかなり大きい。

そこで、単独処理浄化槽の各態窒素濃度について調べた(図1)。調査した浄化槽のほとんどが図2で示す分離接触ばっ気方式であった。分離接触ばっ気方式及び分離ばっ気方式は、汚水をまず沈殿分離室に流入させ、流入汚水中の浮遊物質を沈殿分離した後、ばっ気槽で活性汚泥処理を行う方式である。それに対し、図1中※で示す単独処理浄化槽は旧基準の全ばっ気方式浄化槽である(図2)。

全ばっ気方式浄化槽は沈殿分離槽がなく、直接ばっ気槽に流入させ処理を行う方式であり、ばっ気槽中に活性汚泥だけでなく処理に不必要な浮遊物質が存在するため、活性汚泥の処理効率が悪くなる上に汚泥量が増え、浄化槽管理も困難なため、昭和55年の建築基準法

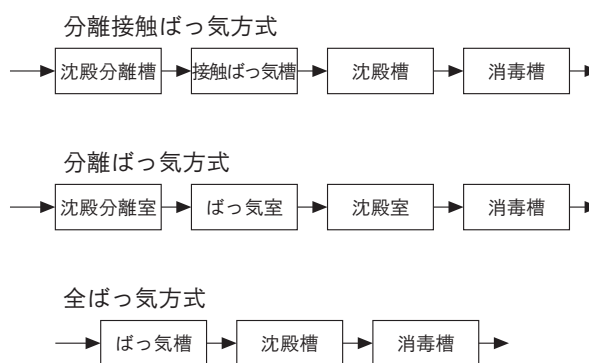


図2 分離接触ばっ気方式、分離ばっ気方式、及び全ばっ気方式のフロー図²⁾

の構造基準改正によって廃止されている²⁾。100人槽の全ばっ気単独処理浄化槽では窒素含有量のほぼ100%がNH₄-Nとして存在しており、酸化処理が完全に行われていないことがわかる。今回調査した20基の浄化槽の各態窒素存在割合は、浄化槽によって差が見られた。

水質汚濁防止法の排出基準にあてはめて考えると、窒素含有量の最大値120mg/Lを超えるものは4基、日間平均値60mg/Lを超えるものは9基あった。一方、有害物質として規制されている硝酸性窒素等の基準100mg/Lを超過するものは3基あった。人槽の違いによる放流水中の窒素含有量に着目すると、人槽の少ない浄化槽の方が高い傾向がみられた。これは、流入水量が少ないため、結果的に濃度が高くなったのではないと思われる。

単独処理浄化槽は窒素除去機能を有さず、その上汚濁負荷の大きい雑排水を未処理で放流するため、くみ取り

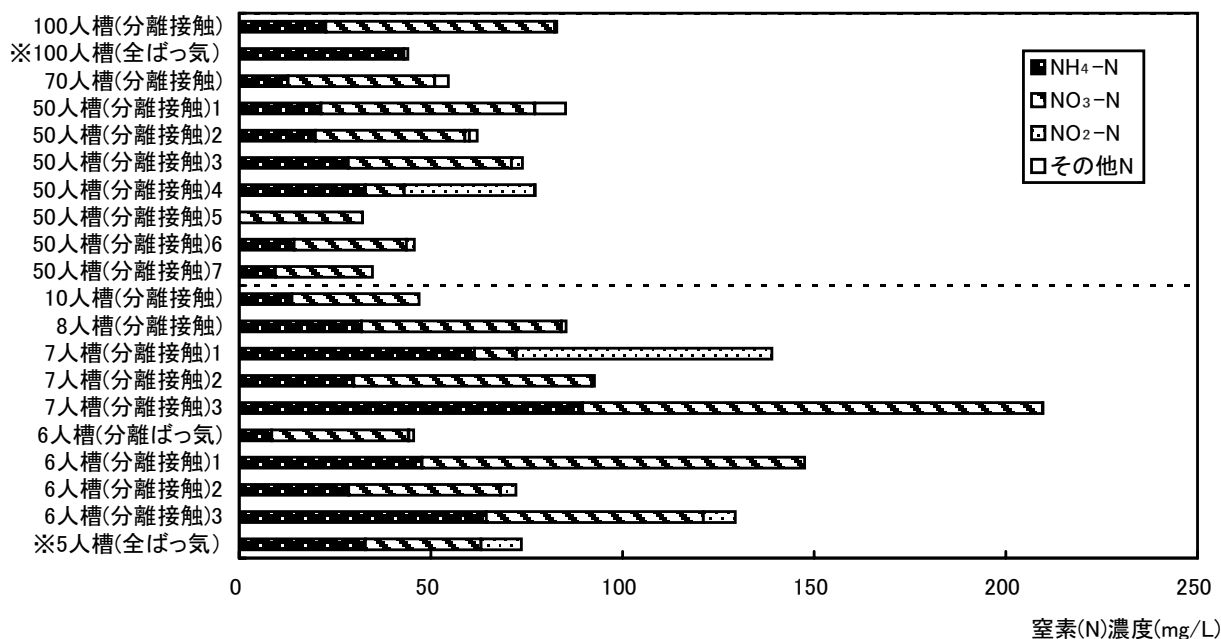


図1 単独処理浄化槽排水中の各態窒素濃度

便所を用いてし尿処理場で処理するよりも更に汚濁負荷を増大させる可能性がある。更なる水質の改善のためには、現存の処理に加え、3次処理の導入など今以上の工程が必要だといえる。

3) 小型合併処理浄化槽

小型合併処理浄化槽放流水の各態窒素濃度を調べたところ(図3)、すべて窒素含有量として50mg/Lを下回る結果であった。

5～18人槽までの合併処理浄化槽10基のうち、図3の※※で示す7人槽の浄化槽以外はすべて嫌気ろ床方式をとっていた。このうち、図4で示す嫌気ろ床接触ばっ気方式は、汚水をまず嫌気ろ床槽へ流入させ、浮遊物質を分離する。嫌気ろ床槽にはろ材が充填されているが、ばっ気は行わないため、嫌氣的となっており、ろ材の表面に固定された嫌気性微生物により処理が行われる。次の接触ばっ気槽では、槽内が好氣的に保たれており、接触材の表面の好気性微生物により処理され、沈殿槽、消毒槽を経由して放流される²⁾。

50人槽以上の合併処理浄化槽は、多くがマンションに設置されており、すべて接触ばっ気方式であった。人槽が大きい浄化槽は水の使用量が多く、個人宅に設置された浄化槽よりも必然的に窒素濃度が低くなると思われたが、結果では逆に窒素濃度が高くなる傾向を示した。図5で示すように嫌気性状態では、流入した排水中の有機体窒素が嫌気性微生物によってNH₄-Nへ変換され、好気性状態でNH₄-Nは硝化細菌の硝化反応によってNO₂-Nを経てNO₃-Nへの変換が起こる。NO₃-Nは脱窒細菌によって窒素ガスとして大気中に揮散する。今回放流水の水質を測定した20基の合併処理浄化槽のうち、嫌気処理方式浄化槽のほとんどの窒素濃度は20mg/L以下で比較的良好な水質が保たれていた。これら嫌気処理浄化槽



図4 嫌気ろ床接触ばっ気方式のフローシート²⁾

には3次処理的な脱窒機能を目的としたものではなかったが、嫌気処理に伴って脱窒反応が起こっている可能性も考えられた。一方、18人槽の浄化槽ではNH₄-Nの割合が高く、硝化反応が十分に進んでいないことがわかった。嫌気処理方式の浄化槽放流水の窒素成分割合には一定の傾向はなく、NH₄-Nの割合が多いものやNO₂-Nの割合が多いものなど、生物反応が十分に完了していないと思われるものも見られた。

窒素を除去する技術の最近の主流である生物学的窒素除去法は、先に窒素分を硝化細菌によってNO₃-Nに硝化させ、その排水を溶存酸素のない嫌气的条件下におき、脱窒細菌の硝酸呼吸あるいは亜硝酸呼吸を利用して、NO₂-N、NO₃-NをN₂ガスへ還元する方法である(図5)⁴⁾。嫌気ろ床槽は完全な嫌気状態ではなく、表面上は好気状態であり、処理が進むにつれ嫌気状態になっていくため、より脱窒の進みやすい状態になっていると考えられる。しかし、嫌気ろ床は窒素除去のためにつくられたものではない。合併・単独にかかわらず、窒素高度処理機能をもった家庭レベルの浄化槽は少なく、既存の浄化槽を使用しているのが現状である。

4) 201人以上500人以下のし尿浄化槽

瀬戸内海環境保全特別措置法施行令によって201人以上500人以下のし尿浄化槽は、みなし指定地域特定施設となっている。これらの放流水について調べた結果を図6に示す。

水質汚濁防止法で定められた水質基準が適用されるコミュニティプラントでは、平成13年度、平成14年度とも

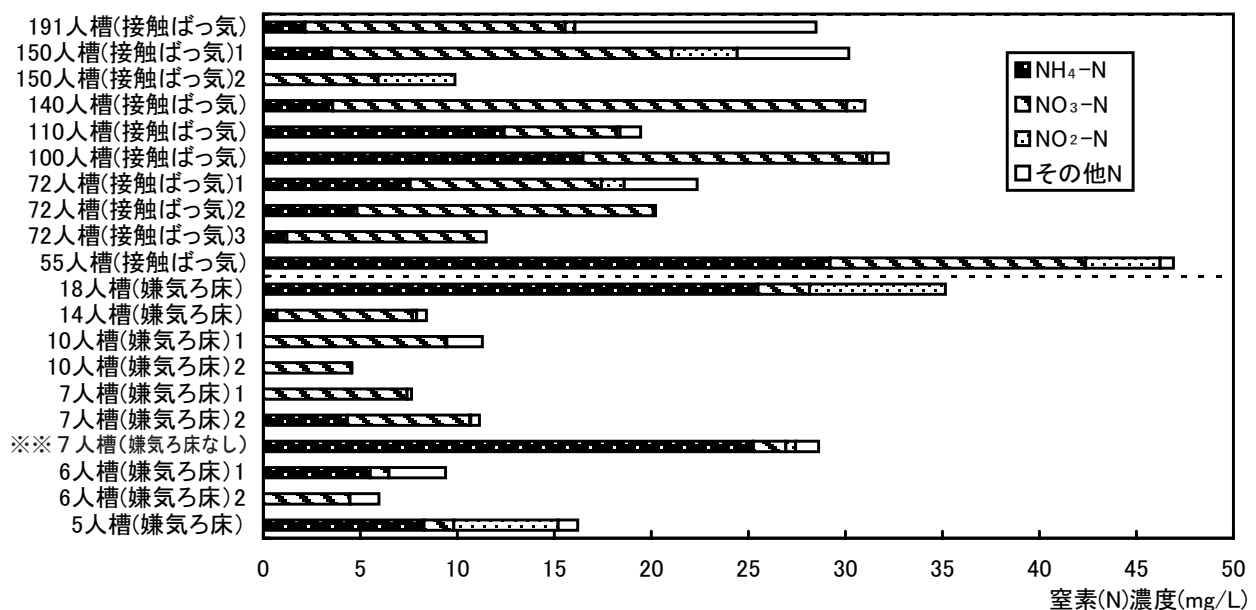


図3 合併処理浄化槽排水中の各態窒素濃度

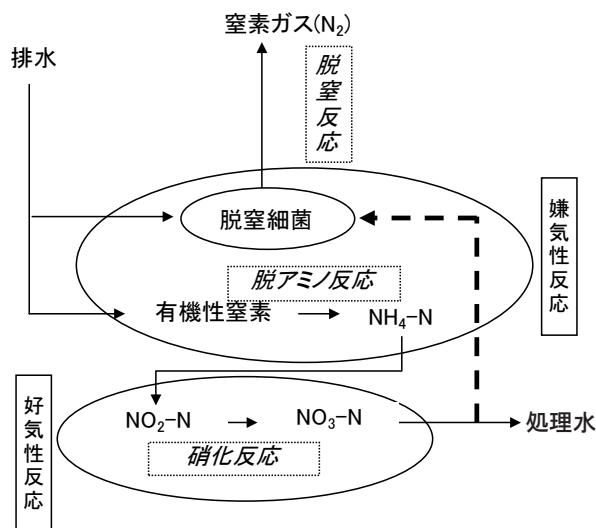


図5 生物学的硝化・脱窒反応における窒素除去メカニズム³⁾

にNH₄-Nがほとんどを占めている。平成13年度と比較して平成14年度が高い窒素含有量を示したのは平成14年度の採水時刻が14:00ごろで、昼時に使用された水が排水されたのではないかと考えられた。

日平均排出水量が50m³未満の水質基準が適用されない小規模のし尿浄化槽について調査を行った結果、窒素含有量としての平均濃度が52mg/Lと高濃度であり、140mg/Lという浄化槽もあった。中学校3の排水の主成分

はNH₄-Nとその他のNであった。これは中学校2でも見られた傾向で、NH₄-Nが多いことから硝化が進んでいないこと、更に、沈殿槽での分離が悪いため浮遊物質が流出しているのではないかと考えられた。

2年にわたって採水を行った小学校1と中学校1では水質に若干の差が見られた。中学校1では同じような成分割合であったが、小学校1では窒素含有量の濃度、成分共に大きく異なった。小学校1の平成13年度の採水は6月で、平成14年度の採水が2月であることから、季節による水の使用量が大きく関係していると思われる。このように、学校のような季節変動が大きい施設では、流入量によって処理を変化させる必要がある。

このように、コミュニティプラントのような毎日ほぼ一定の流量が見込める浄化槽に比べ、学校のように季節や時間によって負荷量や流入量に差がある浄化槽は、その変動のため処理効率が変わり、排水中の窒素の形態にも大きく影響を及ぼすことがわかった。

5) 食料品製造業

平成13年12月環境省告示第75号により、窒素含有量についての総量規制基準に係る業種その他の区分及びその区分ごとの範囲が規定されており、それによると食料品製造業にあたる業種は、肉製品製造業、乳製品製造業など42業種に区分されている。平成14年7月愛媛県告示第1322号により、これらの業種ごとに総量規制値が定められ、平成14年10月より施行されている。

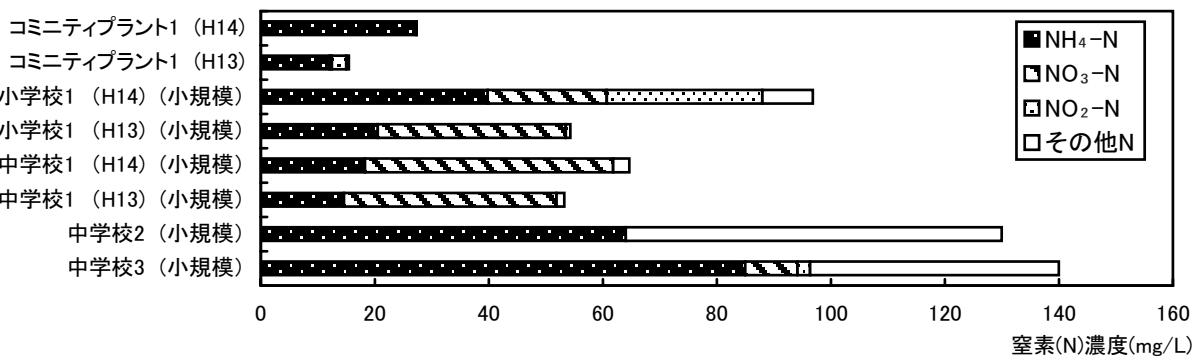


図6 201人以上500人以下のし尿浄化槽排水中の各態窒素濃度

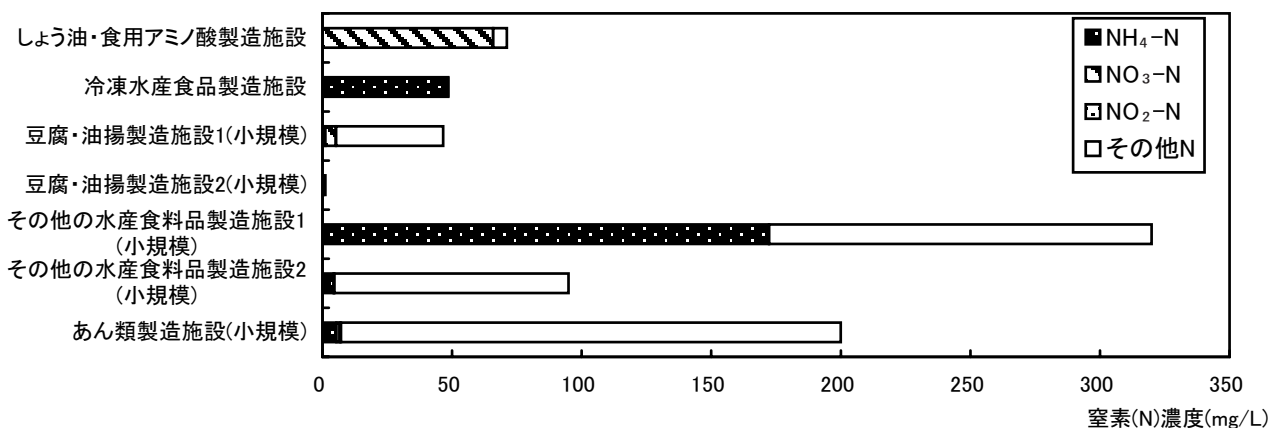


図7 食料品製造施設排水中の各態窒素濃度

図7に示すしょう油・食用アミノ酸製造施設の特定排水の窒素含有量は、窒素含有量71mg/Lで日間平均値60mg/Lを超過していた。第5次総量規制により、しょう油・食用アミノ酸製造施設においては、平成14年10月1日以前に許可された事業場(以後、既設事業場という。)で45mg/L、それ以降に許可もしくは変更された事業場(以後、新設事業場という。)で10mg/Lの規制を受けることとなっている。この施設は嫌気・好気処理を行い、窒素除去に努めているが、排水中窒素分の多くがNO₃-Nであったことから、窒素分は十分硝化されており、硝化反応は良好であるが脱窒過程に問題があることがわかった。その後、平成14年には窒素含有量として11mg/Lまで下がっている。

また冷凍水産食品製造施設の総量規制基準は、既設事業場で45mg/Lであるが、図7の施設は平成13年度の窒素含有量が46mg/Lで、既設事業場の基準にあてはめて考えると、わずかながら超過していることとなる。この排水施設はスクリーン、油分離槽、凝集沈殿で前処理をした後、嫌気処理、好気処理を行い放流することとなっているが、排水中のほとんどがNH₄-Nであったことから、不十分な好気処理のため硝化が十分に進まず、結果的に脱窒が起こらなかつたことがわかった。

更に、小規模の食料品製造業5施設について調査した。これらの小規模事業場の排水量は約10～30m³/日であった。豆腐・油揚げ製造施設2とあん類製造施設は沈殿槽を設けていたが、それ以外の施設は未処理のまま放流していた。結果から排水中の窒素分のほとんどがその他N、すなわち主に浮遊物質に含まれる窒素であることがわかった。同じ業種で異なる事業場の豆腐・油揚げ製造施設1と2では約50mg/Lほどの違いがあることから、採水時間や採水時の作業内容により排出される窒素分にはかなりの違いがあることがわかる。一方、その他の水産食料品製造施設1と2は共に小魚を塩茹でする事業場である。これらの業種は季節による変動が大きい上に、ゆで汁を主とする汚濁排水はバッチ式で排出されるため排水量の変動も大きい。

しかし今回の結果から、排水処理施設がない小規模事

業場でも網やスクリーン、沈殿処理を行うことで、排出される窒素量は十分削減されることがわかった。排水処理施設の増設が困難な小規模事業場に対して、窒素排出削減指導を行うには、事業場の排水特性を理解した上でその排水に見合った処理を行うことが重要である。

6) 酸又はアルカリによる表面処理施設

図8に酸又はアルカリによる表面処理施設の結果を示した。基準が適用される8事業場の平均は、約16mg/Lで排出基準の日間平均値60mg/Lを大幅に下回っている。これらの施設に係る総量基準値は、既設事業場で15mg/L(鍛鋼製造業)から30mg/L(表面処理鋼材製造業)と、業種によって幅があるが、新設事業場ではすべて10mg/Lとなっている。備考として窒素又はその化合物による表面処理施設を設置するものや、ステンレス硝酸酸洗工程を有するものにあつては、それより高濃度に規制を設けている。排出基準が適用される事業場の排水中の主な窒素形態はNH₄-Nで、原料に由来している可能性が考えられる。その処理は凝集沈殿が主で、特に窒素対策をしている事業場はなかつた。結果では排水基準値は遵守されているが、これから総量規制に向けて窒素を削減しなければいけない事業場も出てくると思われる。

図8の下には排水基準が適用されない16小規模事業場の平均と、その中で特徴的な2事業場について排水中の窒素形態を示した。16事業場の窒素含有量平均は35mg/Lで、基準が適用される8事業場の平均よりも高い値を示した。窒素形態は施設によってかなり差が見られた。図中に示した酸又はアルカリによる表面処理施設の工場例1はその他の金属表面処理施設で、窒素含有量濃度が110mg/Lと高濃度を示し、ほとんどがNH₄-Nであった。この事業場では排水中の金属処理のための凝集沈殿処理を行っているが、窒素対策は行われていない。酸又はアルカリによる表面処理業は金属表面洗浄に用いる硝酸が主たる窒素源であるが、その他にもアンモニウム塩などがめっき液に添加される場合があることが知られている⁵⁾。なお、有害物質としての硝酸性窒素等濃度は45mg/Lで基準(100mg/L)内であった。一方、工場例2は溶融めっき業で、そのほとんどがNO₃-Nであった。

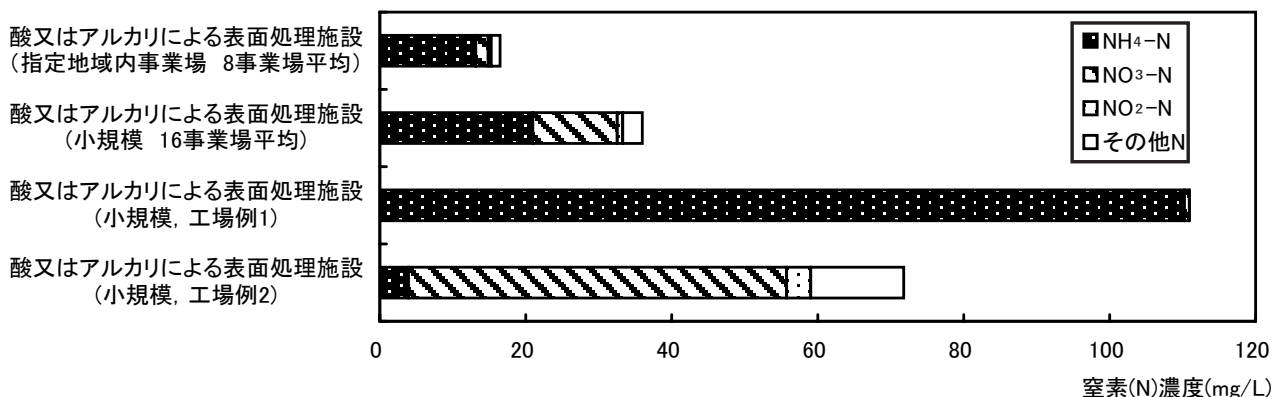


図8 酸又はアルカリによる表面処理施設排水中の各態窒素濃度

この事業場でも、排水中の金属処理のための凝集沈殿処理だけで、窒素対策は行われていない。

窒素処理を行うには生物処理を行わなければならない、各事業場の現状施設では限界がある。第1報¹⁾の指導事例のように、排水処理対策の前に排出対策や工程内対策を行い少しでも窒素分を軽減する工夫が必要である。

まとめ

平成13年度から14年度にかけて、規制のかかかっていない小規模事業場、浄化槽を中心に実施した排水調査結果から以下のことがわかった。

1. 単独処理浄化槽の排水は非常に高濃度の窒素分を含んでおり、最高濃度は窒素含有量として200mg/Lを超えていた。人槽が小さい浄化槽の方が、窒素濃度が高い傾向であった。各態窒素の割合は処理方式によらず、各浄化槽によって異なっていたことから、浄化槽の状態によって水質が変化することを示していた。
2. 小型合併浄化槽の排水は単独処理浄化槽に比べ、窒素濃度は低かった。人槽が小さい嫌気ろ床方式の浄化槽で低い値を示したことから、硝化が十分進んだ排水が嫌気状態に移行し、脱窒が起こっていると考えられた。生物反応が不十分で $\text{NH}_4\text{-N}$ が多い排水は、窒素含有量濃度が高い傾向であった。
3. 201人以上500人以下のし尿浄化槽について、コミュニティプラントのような毎日一定の水量が見込める施

設と季節によって流入量が異なる学校の施設の結果から、流入量の変動が処理効率を変化させ、結果的に窒素の形態にも大きく影響を及ぼしていることがわかった。

4. 食料品製造業では処理水の窒素形態から処理のどの工程に問題があるかがわかった。小規模食料品製造業では窒素含有量は非常に高濃度で、その成分の多くが浮遊物質に起因するその他のNに含まれていた。このことから、工程内において固形分を取り除くことで多くの窒素分を除去できることがわかった。
5. 酸又はアルカリによる表面処理施設ではほとんどの施設が金属処理のための凝集沈殿処理のみで、窒素対策を行っている施設はなかった。小規模施設では窒素含有量として100mg/Lを超えるものもあり、工程内対策や高度処理が必要であることがわかった。

文 献

- 1) 大野智也佳ほか：愛媛県立衛生環境研究所年報，3，62～69
- 2) 日本建築センター：し尿浄化槽の構造基準・同解説，1996年度版
- 3) 稲森悠平ほか：用水と廃水，41，10，891～898（1999）
- 4) 中島淳：用水と廃水，41，10，904～908（1999）