

## 〔技術報告編〕

## し尿処理施設による汚濁負荷の削減に関する研究

Comprehensive studies to improve collected night  
soil treatment plant performance日本環境衛生センター衛生工学部  
Department of Sanitary Engineering  
Japan Environmental Sanitation Center

## はじめに

わが国の公共下水道普及率は21.7%であり、下水処理地域以外の住民が排泄するし尿はし尿処理施設およびし尿浄化槽によって衛生的に処理されている。このうち、し尿処理施設は全国で1,251施設が設置され、その総計画処理能力は99,676 kl/日である（昭和53年度実績厚生省環境衛生局水道環境部環境整備課）。し尿処理施設は公共下水道が整備されるまでの過渡的な施設として扱われているが、次のような事情からみて公共用水域の水質保全に果している役割は大きい。

- 1) 下水道の整備には多額の投資と長い年月を要する。
- 2) し尿浄化槽は使用経過にもなつて蓄積する汚泥の引き出しまたは清掃を必要とするが、この引出しまたは清掃汚泥はし尿処理施設で処理しなければならない。

一方、公共用水域の水質汚濁状況は改善されてきているが、まだ、東京湾や瀬戸内海など閉鎖水域の富栄養化にともなう水質汚濁の問題が依然として残されている。これに対処するため、いわゆる総量規制が導入され、し尿処理施設に対しても処理水質の向上が要求されるようになった。

このような背景を受けて、既設し尿処理施設における汚濁物質除去能力をBODおよびSSのみならず、CODや栄養塩類についても評価し、さらにこれら汚濁物質の

除去技術開発を行い、あわせて、し尿処理施設の最適設計・操作条件を確立する目的の一環として次の研究を行った。

- 1) し尿処理施設の機能調査
- 2) し尿処理施設の実態調査（アンケート方式による）
- 3) 処理水の再利用によるし尿の低希釈処理

なお、本研究は国立公衆衛生院から委託された調査研究のうち、衛生工学部が分担したものである。

## 1 し尿処理施設の機能調査

## 1-1 調査目的

し尿処理の技術は、昭和30年代に開発されて以来、各種の処理方式が生まれた。

また近年処理水質が、各都道府県の上乗せ基準および地元住民等の要望により、さらに厳しくなったことに対応して、主処理工程の後に、凝集分離・浮過・オゾン・活性炭等の高度処理を付加した施設が増加している。

かかる状況において、本章では現在行われているし尿処理の方式の中から代表的な三つの方式を選択し、それらの施設について現地調査を実施し、各処理工程ごとに、COD、BOD、窒素等の汚濁物質の推移を比較し、あわせてその運転状況を調査することによって、処理方式および処理工程ごとの特性を把握した。

表1 調査対象施設の概要

方式	処理場番号	計画処理能力	処理率	建設年度	調査年月日	処理方式
嫌気性消化	A	300kl/日	101.8%	昭和40~45年度	昭和54年10月9日 11月6日	嫌気性消化→活性汚泥→凝沈→浮過→活性炭
	B	144	81.6	50~51	昭和54年10月16日 11月15日	同 上
好気性消化	C	50	72.1	51~52	昭和54年8月28日 9月26日	好気性消化→活性汚泥→加圧浮上→オゾン→浮過
	D	200	65.2	51~52	昭和54年9月18日 11月7日	噴霧酸化→接触酸化→活性汚泥→凝沈→浮過
脱窒素処理	E	100	63.9	51~52	昭和54年10月22日 11月19日	好気性循環消化→活性汚泥→凝沈
	F	20	69.8	52	昭和54年8月28日 9月26日	低希釈2段活性汚泥→凝沈→浮過

1.2 調査の方法

嫌気性・好気性および脱窒素処理方式の施設を各々2施設ずつ選出し、これらの施設について、機能調査を2回実施した。

調査対象施設の概要は、表1に示すとおりである。機能調査は各施設とも、処理工程への流入水および流出水を採取し、これらの試料について、水温・pH・蒸発残留物・SS・BOD・COD・TOC・T-N・NH<sub>4</sub>-N・NO<sub>2</sub>-N・NO<sub>3</sub>-N・Cl<sup>-</sup>・色度を測定した。試験方法は、下水試験法または、JIS K-0102によった。

1.3 調査結果と考察

調査対象施設の水質分析結果の中から各処理方式別に、濃度および除去率を示すと、表2のとおりである。この結果から、処理方式および処理工程の相違による各分析項目の特性を示すと、以下のとおりである。

(1) 処理方式および処理工程別の BOD 値特性

BOD 成分を除去対象とした場合、嫌気性、好気性および脱窒素法の各方式とも、凝集分離を終了した時点で、BOD 除去率97%を得ており、これ以後の工程を必要としない処理効果をあげていた。特に脱窒素法では、二次処理を終了した時点で99.6%を得ており、BOD 除去に対しては非常に有効な方式といえる。

また処理工程別に除去率を見ると、一次処理では嫌気性および好気性の間では、ほとんど差のない状況であり、また脱窒素法の場合、本工程において尿のBOD源を利用して脱窒素反応を行う関係上、ほとんどのBOD成分が除去されていた。

凝集分離工程の除去率は、嫌気性および好気性とも55%以上の除去率を得ているので、本工程も、BOD 除去に対しては有効な方法といえる。

(2) 処理方式および処理工程別の COD 値特性

COD 成分はBODの場合と比較して、どの処理方式でも除去率が低く、生物処理においては難分解性といえる。そこでCOD成分を除去対象物質とした場合、全体の除去率で90%以上を得るためには、生物処理の後に、凝集分離+オゾン処理あるいは活性炭処理等の工程を組み合わせることが必要であろう。

処理工程別にCOD除去率を比較すると、一次処理においては好気性のD処理場を除いて60%以上の除去率が認められ、本工程ではかなりの除去率が期待できる。しかし二次処理工程においては、過少負荷とこれにともなうNH<sub>4</sub>-Nの亜硝酸化がみられ、その結果生成したNO<sub>2</sub>-NがCOD値に関与しているために、除去率を低下させている。凝集分離工程では、COD除去率が嫌気性および好気性方式の場合37%、脱窒素法の場合は64%を示しており、有効な工程といえる。オゾン処理および活性炭処理によるCOD除去は、どちらも45%以上を得ており有効な工程であり、どちらも同様な処理効果であった。

(3) 処理方式および処理工程別の TOC 値特性

TOCの成分は、どの処理方式も二次処理の段階で、90%以上の除去率を得ており、BODの場合に類似している。また処理工程ごとにTOC除去率を比較すると、嫌気性および好気性処理法では、二次処理工程および凝集分離工程で非常に類似した結果を得た。活性炭処理工程ではTOC除去率が40%以上を得ており、COD除去率と比較した場合同程度の除去率となっている。活性炭処理工程では、COD値に起因するTOC成分が良く吸着するのではないかと推測した。

(4) 処理方式および処理工程別の T-N 値特性

T-Nの一・二次処理工程の除去率を見ると、嫌気性および好気性では、いずれも小さい値であり、また両方式間にはほとんど差は見られなかった。一方脱窒素法で

表2 し尿処理施設の工程別水質濃度と除去率

項目	処理方式	処理場名	投入し尿		一次処理水		二次処理水		凝集分離水		オゾン水		汚過処理水		活性炭水		放流水
			濃度	濃度	除去率	濃度	除去率	濃度	除去率	濃度	除去率	濃度	除去率	濃度	除去率		
			mg/l	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	
B	嫌気性	A	8,650	421	94.7	42	39.8	11	75.0	—	—	2.5	76.2	3.0	-23.4	6.7	
		B	5,950	1,054	80.8	38	22.9	19	77.3	—	—	25	-112.1	10.4	61.2	5.0	
		平均	7,300	736	87.8	65	31.4	15	76.2	—	—	14	-18	6.7	18.9	5.9	
O	好気性	C	9,110	434	95.3	39	-18	11	49.3	22	-117	11	48	—	—	8.3	
		D	6,870	1,630	75.9	23	85.8	7.6	61.7	—	—	11	-37.6	—	—	11	
		平均	7,990	1,030	85.6	31	33.9	9.1	55.5	22	-117	11	5.2	—	—	9.7	
D	脱窒素	E	7,260	4.1	99.9	2.8	99.7	2>	—	—	—	—	—	—	—	1>	
		F	6,250	9.4	99.9	27	99.5	2>	—	—	—	—	—	—	—	1>	
		平均	6,750	6.8	99.9	15	99.6	2>	—	—	—	—	—	—	—	1>	
C	嫌気性	A	4,090	725	80.5	64	46.3	38	41.7	—	—	33	13.3	16	48.5	16	
		B	5,420	1,180	74.6	157	9.2	106	32.6	—	—	99	1.2	45	52.9	16	
		平均	4,760	953	77.6	110	27.8	72	37.1	—	—	66	7.3	31	50.7	16	
O	好気性	C	4,700	434	69.4	63	54.0	25	43.7	15	46.4	14	17.0	—	—	12	
		D	3,010	2,090	29.8	42	68.0	29	30.9	—	—	24	17.6	—	—	24	
		平均	3,850	1,260	49.6	53	61.0	27	37.3	15	46.4	19	17.3	—	—	—	
D	脱窒素	E	3,390	116	91.2	38	90.8	14	64.0	—	—	—	—	—	—	7.3	
		F	3,150	207	91.3	243	89.8	23	63.9	—	—	23	-22.0	—	—	23	
		平均	3,270	162	91.3	141	90.3	18	64.0	—	—	23	-22.0	—	—	—	
T	嫌気性	A	7,620	1,150	83.5	55	71.2	29	46.9	—	—	25	15.3	13	44.7	11	
		B	8,210	1,640	74.6	105	55.9	53	41.5	—	—	42	15.8	9	80.0	—	
		平均	7,920	1,400	79.1	80	63.6	41	44.2	—	—	34	15.6	11	62.4	—	
O	好気性	C	7,730	1,540	76.8	95	46.8	20	63.1	16	19.9	13	12.9	—	—	11	
		D	7,350	3,050	53.7	24	86.3	17	26.6	—	—	17	-2.3	—	—	17	
		平均	7,540	2,300	65.3	60	66.3	19	44.9	16	19.9	15	5.3	—	—	—	
C	脱窒素	E	7,020	82	82.1	28	96.4	15	48.2	—	—	—	—	—	—	10	
		F	4,280	147	97.4	189	96.7	11	67.8	—	—	11	5.3	—	—	11	
		平均	5,650	115	89.8	109	96.6	13	58.0	—	—	11	5.3	—	—	—	
T	嫌気性	A	2,120	1,800	6.2	215	27.1	193	12.8	—	—	185	4.1	173	3.3	113	
		B	3,050	2,640	1.1	308	20.8	258	6.5	—	—	243	0.1	197	15.7	87	
		平均	2,580	2,220	3.7	261	24.0	226	9.7	—	—	214	2.1	185	9.5	100	
O	好気性	C	2,200	1,410	13.0	111	13.4	105	0.9	73	21.9	73	2.5	—	—	63	
		D	2,290	1,570	22.3	79	16.2	76	5.6	—	—	76	0.5	—	—	76	
		平均	2,250	1,490	25.1	95	14.8	91	3.3	73	21.9	75	1.5	—	—	—	
N	脱窒素	E	2,940	103	91.0	35	90.3	33	4.3	—	—	—	—	—	—	23	
		F	2,060	50	97.0	39	97.6	8.0	13.7	—	—	5.9	10.3	—	—	5.9	
		平均	2,500	77	94.0	37	94.0	21	9.0	—	—	5.9	10.3	—	—	—	

注 (1)各工程における除去率は各試料の塩素イオン濃度から求めた希釈倍率を用いて算出した

(2)脱窒素法の一次処理の各分析数値は、第1曝気槽液を遠心分離した試料で、二次処理工程での除去率は、投入し尿からの除去率として示した

は、一・二次処理の段階で、90%以上の除去率を得ている。また凝集分離以後の高度処理でのT-N除去率を見ると、どの処理方式も各々の工程において10%以下であり、窒素を除去対象物とした場合は、一・二次処理で脱窒素法の処理工程を適用しなければ、除去は困難と思われる。

1.4 考察と小括

6施設・3方式（1方式につき2施設）のし尿処理施設について機能調査を実施し、次の結果を得た。

(1) 投入し尿の性状が、計画濃度よりかなり低下している事実がみられた。これは、搬入し尿中に浄化槽汚泥の混入する割合が増加したこと、および水封式便器の使用による清水の混入などによるものと考えられる。

(2) 嫌気性および好気性処理法による一・二次処理工程では、近年の維持管理レベルの向上によって、一次処理工程での処理効率が良くなり、二次処理工程での汚濁物負荷が減少し、その結果NH<sub>4</sub>-Nの亜硝酸化が進み、生成されたNO<sub>2</sub>-Nが、COD値に関与している。またここで生成されたNO<sub>2</sub>-Nは、高度処理ではほとんど除去されず、放流水中に残存しCOD値を高くしている。ただし、オゾン処理の場合はNO<sub>2</sub>-NをNO<sub>3</sub>-Nに酸化するためCOD値として関与しない。

(3) 脱窒素処理法においては、一・二次処理の段階で、90%以上の窒素が除去されているため、他の方式と比較しNO<sub>2</sub>-Nの影響がほとんどなく、高度処理においても相当の除去率を得ている。このことから見て、し尿処理においてCODを除去対象とした場合、一・二次処理工程に窒素除去工程を含んでいる脱窒素法は、今後有効な方式と思われる。

(4) 処理水の性状および除去率を処理方式ごとと比較すると、嫌気性および好気性では各処理工程とも非常に類似した結果が得られている。また脱窒素法では、他の2方式と比較して各処理工程における分析値および除去率のどれもが他の2方式に比して、より良好な結果を示した。

2. し尿処理施設実態調査

2.1 調査方法

昭和30年頃より、急速な人口の都市集中に伴う環境汚染に対処するためにし尿処理施設が全国各地に建設され、その数は、昭和52年において1,200か所余りに達している（昭和54年版厚生白書より）。

本調査では、これら全国のし尿処理施設のうち、昭和46年度から昭和52年度の間に稼動を開始した計画処理能

表3 処理方式別

処 理 方 式	施 設 数	%
嫌気性消化	74	46.6
好気性消化	40	25.3
希釈曝気	26	16.3
一段活性汚泥		
二段活性汚泥		
湿式酸化	12	7.5
その他基準外	7	4.3
合 計	159	100.0

表4 計画処理能力別

計 画 処 理 能 力	施 設 数	%
100kl/日以下	92	57.9
101~150kl/日	31	19.5
151~200kl/日	21	13.2
200kl/日以上	15	9.4
合 計	159	100.0

力50kl/日以上施設について、昭和53年度における処理方式、運転管理方法、処理水質等に関する実態調査を行い、し尿処理施設から公共用水域へ排出される汚濁負荷量の実態を把握することとした。

調査は、施設概要、運転管理状況、運転管理実績に関する実態調査票を作成し、これを全国250か所の対象し尿処理施設に送付し、回答を得るアンケート調査方式によった。

2.2 調査結果と考察

(1) 対象施設数

調査票を送付した250施設のうち123施設から回答を得た。ただし、一つの施設で複数の処理系列を有する場合は、それぞれを一つの独立した施設として解析の対象とした。したがって、解析対象施設数は159となった。

(2) 処理方式および計画処理能力の状況

対象施設を処理方式別に分類すると、嫌気性消化処理方式46.6%、好気性消化処理方式25.3%、希釈曝気処理方式および一段あるいは二段活性汚泥処理方式16.3%、湿式酸化処理方式7.5%、その他基準外処理方式が4.3%であった（表3）。

各施設の計画処理能力は、100kl/日以下57.9%、101~150kl/日19.5%、151~200kl/日13.2%、201kl/日以上9.4%であり、100kl/日以下の施設が過半数を占めていた（表4）。これは、各処理方式それぞれについてもほぼ同じ傾向を示していた。

各施設の計画処理能力に対する実際の処理状況（以

表5 処理率別

処 理 率	施 設 数	%
50 % 以下	15	9.6
51 ~ 75 %	73	46.4
76 ~ 100 %	59	37.6
101 % 以上	10	6.4
合 計	157	100.0

表6 し尿浄化槽汚泥混入率

混 入 率	施 設 数	%
0 %	5	3.7
1 ~ 10 %	43	31.9
11 ~ 20 %	45	33.3
21 ~ 30 %	19	14.1
31 % 以上	23	17.0
合 計	135	100.0

下、処理率とする)は(表5)、処理率50%以下9.6%、処理率51~75%46.4%、処理率76~100%37.6%、処理率101%以上(計画処理能力以上処理している施設)6.4%であり、全般的には計画処理能力以下の処理量で運転していた。なお、し尿処理施設では、日曜・祭日等休日には汲取し尿の受入れを実施している例は少ないので、実稼動日負荷は計画処理能力に近い値となっている施設も多いと考えられる。

### (3) し尿浄化槽汚泥の混入率

し尿浄化槽汚泥は、汲取し尿に比べて有機物濃度が低く、これが過剰に投入されるとし尿処理施設の機能が十分に発揮されなくなるといわれている。各施設の総搬入量に対するし尿浄化槽汚泥量の比率(以下、混入率とする)は(表6)、平均16.9%であった。処理機能への影響を考慮しなければならないといわれている混入率30%(し尿処理施設の機能と管理・大野茂より)を越える施設は17%であった。し尿処理施設の機能向上を図るうえでは、このし尿浄化槽汚泥処理に対する適正な管理が不可欠であると示唆された。

### (4) 高度処理工程の設置状況

二次処理設備以降に凝集分離、急速汚過などの高度処理工程を単数あるいは複数の種類を設置している施設は36.5%である(表7)。これらの内訳は(表8)、凝集分離処理89.6%、急速汚過処理48.3%、活性炭吸着処理15.5%、オゾン酸化処理10.3%である。近年処理水質の向上をめざすうえから、これら高度処理工程を設置する傾向にあることが認められる。

### (5) 運転管理状況

#### 1) 希釈水について

表7 高度処理工程の設置

高度処理工程	施 設 数	%
有	58	36.5
無	101	63.5
合 計	159	100.0

表8 高度処理工程の設置の内訳

高度処理工程	施 設 数	%
凝 集 分 離	52	89.6
急 速 汚 過	28	48.3
活 性 炭 吸 着	9	15.5
オゾン酸化	6	10.3

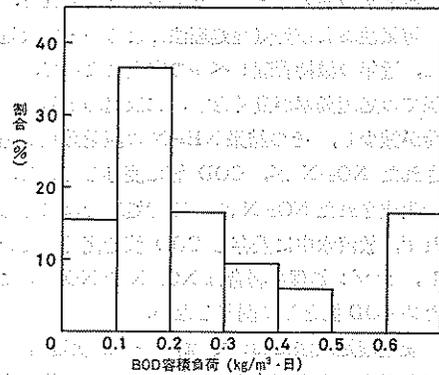


図1 曝気槽 BOD 容積負荷

し尿処理施設での希釈水使用量状況は、希釈倍数10倍未満3.3%、10~15倍未満12.9%、15~20倍未満22.0%、20~25倍未満38.0%、25~30倍未満13.3%、30倍以上10.7%の比率であり、収集し尿の15~25倍量の希釈水を用いている所が多い。

また、希釈水源としては、地下水、表流水が広く用いられている。

#### 2) 活性汚泥法処理について

し尿処理施設において、二次処理工程(活性汚泥法処理)の運転管理状況が、処理水質へ及ぼす影響は、大きいものと考えられるので、この工程の状況について調査した。

活性汚泥法処理の維持管理指標としては、曝気槽での BOD 容積負荷、BOD 固形物負荷、SVI、DO が用いられている。

BOD 容積負荷は、 $0.4 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ 以下(し尿処理施設構造指針)にすることが標準とされている。調査対象施設では、図1に示すように  $0.4 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ 以下で運転しているところが77.6%と大半を占めているが、

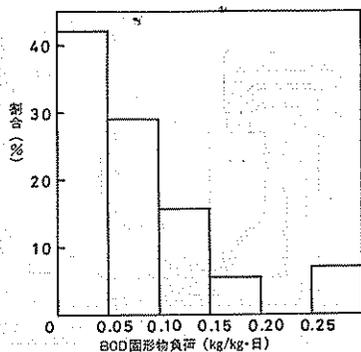


図2 曝気槽 BOD 固形物負荷

0.6kg/m<sup>3</sup>・日以上の過負荷運転を行っているところも16.5%あった。

また、図2に示すように、固形物負荷0.1kg/kg MLSS・日以下で運転しているところが71.0%あり、一般的に過少負荷運転の傾向がみられる。

活性汚泥の濃縮沈降性の指標であるSVIは、正常な範囲とされている50~150（し尿処理施設の機能と管理・大野茂）に60%の施設が入っている。しかし、SVIが200以上のいわゆるバルキング状態にある活性汚泥を用いて運転を行っている施設が全体の約20%もあることが認められた。

曝気槽の溶存酸素濃度（DO）は、2.0±1.5mg/lであり活性汚泥の生物を維持するうえで十分な値を示していた。

(6) 各処理工程における処理効果

各処理工程による処理効果は、次式によって求められる処理水中の残存BOD、COD、SS量で評価することとした。

$$\text{処理水中の残存BOD, COD, SS量 (kg/kl)} = \{ \text{濃度 (mg/l)} \times \text{処理水量 (kl/日)} \times 1000 \} \times \{ \text{汲取り尿量 (kl/日)} \}^{-1}$$

一次処理水中の残存BOD量は、調査対象施設平均値で1.8kg/klである。また、各処理方式別の平均を見ると嫌気性消化処理1.6kg/kl、好気性消化処理1.7kg/kl、希釈曝気処理5.2kg/kl、一段活性汚泥処理6.0kg/kl、湿式酸化処理7.6kg/klであり各処理方式による特性が認められた。

二次処理水中の残存BOD、COD、SS量の平均値は、表9に示すように嫌気性消化・活性汚泥法処理および好気性消化・活性汚泥法処理の間で顕著な差は見られなかった。

(7) 処理水質に影響を及ぼす要因の解析

表9 二次処理水の一般的性状(kg/kl)

	BOD	COD	SS
嫌気性消化・活性汚泥処理	0.6	1.2	0.8
好気性消化・活性汚泥処理	0.5	1.0	0.7
対象施設平均値	0.7	1.3	0.7

表10 処理率および浄化槽汚泥混入率の一次処理水質 BOD量への影響

処 理 率	データ数	BOD量平均値 (kg/kl)	標準偏差	95%信頼区間
51%~75%	39	2.84	2.62	1.99~3.69
76%~100%	43	1.92	1.24	1.54~2.30

(注) 処理率50%以下、101%以上についてはデータ不足のため省略した

浄化槽汚泥混入率	データ数	BOD量平均値 (kg/kl)	標準偏差	95%信頼区間
1%~10%	20	1.77	0.70	1.44~2.10
11%~20%	14	1.23	0.44	0.98~1.48

(注) 混入率0%、21%以上についてはデータ不足のため省略した

上記の施設実態の各要因が、処理水質に及ぼす影響について検討を加えた。

一次処理水質のBOD量に影響を及ぼす要因として明らかになったものは、処理率および浄化槽汚泥混入率であった（表10）。すなわち処理率が增大すると残存BOD量は減少、浄化槽汚泥混入率が増加しても残存BOD量は減少する傾向にあった。前者については、一般的に増加するものと考えられるが、その原因は明らかでない。後者については、浄化槽汚泥のBODが収集し尿のBODに比して低濃度であるためと考えられる。なお、SS量についてその影響は明らかでなかった。

二次処理水質については、処理方式、処理率による影響は認められなかった。一次処理水質に関しては、処理方式、処理率による影響は見られたが、二次処理水質にその影響が認められなかった理由は、処理率やBOD負荷などに応じた活性汚泥法処理工程の維持管理が行われているためと思われる。

浄化槽汚泥の混入率については、混入率30%までの範囲にあっては、混入率が高くなるほど残存BOD、SS量とも低下するが、混入率30%以上の範囲では混入率が高くなるほど残存BOD量が高くなる傾向がうかがわれた。

BOD容積負荷は、残存BOD、SS量について影響をほとんど及ぼさないが、残存COD量について影響を及ぼしており、容積負荷が低くなれば残存COD量が高く

表11 高度処理工程の有無と放流水質

高度処理	データ数	BOD/Q 平均値 (kg/kl)	標準偏差	95%信頼区間
有	50	0.272	0.172	0.18~0.28
無	79	0.464	0.258	0.41~0.52

高度処理	データ数	SS/Q 平均値 (kg/kl)	標準偏差	95%信頼区間
有	52	0.324	0.294	0.24~0.41
無	80	0.598	0.433	0.50~0.70

高度処理	データ数	COD/O 平均値 (kg/kl)	標準偏差	95%信頼区間
有	52	0.590	0.381	0.48~0.70
無	78	0.974	0.699	0.82~1.13

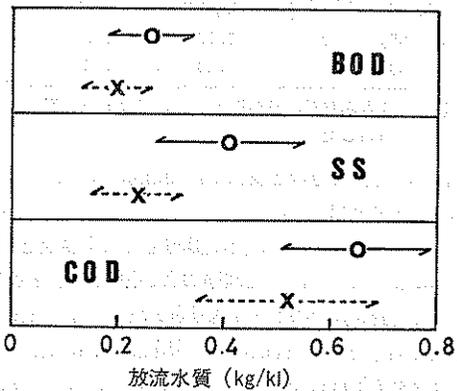


図3 放流水質に及ぼす高度処理工程数の効果  
(注) 図中矢印は95%信頼区間を示す

なる傾向が見られた。BOD 固形物負荷については、0.1 kg/kg MLSS・日以下の範囲の2水準で解析したため、固形物負荷が小さくなると残存BOD, COD量とも小さな値になるという一般的な傾向しか把握できなかった。

高度処理工程を設置することにより処理水中の残存BOD, COD, SS量は、減少することが表11のとおり明らかであり、また、その残存量も安定していることが認められた。これは、処理水中の汚濁負荷低減の安定化に高度処理工程の設置が、有効な手段であることを示している。なお、高度処理工程を複数種類組み合わせることが、図3のように処理水中の残存BOD, COD, SS量をより減少させる傾向にあることが見られるが、高度処理工程単数種類と複数種類の間には、統計的に有意な差(危険率5%において)は認められなかった。

なお、実態調査票には、放流水質に関して各態室素についても記入を求めたが、これに関する規定を実施して

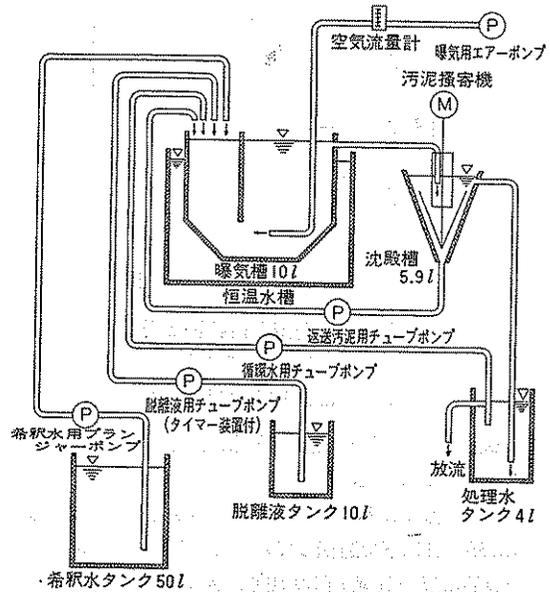


図4 実験装置

いる施設が少なく、解析の対象にできなかった。

### 3 処理水の再利用によるし尿の低希釈処理

#### 3.1 目的

既存のし尿処理施設のうち大部分は、し尿を地下水や河川水などの清水により20倍に希釈して処理する方式(標準希釈法)を採用している。しかし、立地条件等から20倍希釈に見合う希釈水が得られない施設がかなり多い。また通常の施設においても、希釈水を減らして処理が行えるならば、貴重な水資源を節約するうえで望ましいことである。

かかる状況を反映して、近年、低希釈による新処理方式が開発され、実施の稼働も増加してきている。しかし一方、既存の標準希釈法処理施設において希釈水を削減することについては、その処理機能への影響など不明な点が多い。

本研究では、標準希釈法処理施設における低希釈処理の処理機能への影響を明らかにして希釈水削減のための基礎資料を得ることを目的とし、異なる5条件の希釈処理とその処理機能についてベンチスケールでの実験的検討を行った。

#### 3.2 実験方法

実験は、有効容量10lの曝気槽、5.9lの沈殿槽からなる連続実験装置を用い、し尿の嫌気性消化脱離液を処

表12 実験区分ごとに設定された希釈条件

項目 実験区分	脱離液量	希 積 水 量		希 積 倍 率	清水のみによる希釈倍率
		清 水	処 理 水		
1	Q	19Q	0	20倍	20倍
2	Q	9Q	0	10倍	10倍
3	Q	4Q	0	5倍	5倍
4	Q	9Q	10Q	20倍	10倍
5	Q	4Q	15Q	20倍	5倍

表13 曝気槽の運転条件

項目	設 定 条 件
水 温	20℃
BOD容積負荷	0.4kg/m <sup>3</sup> ・日 (流入脱離液のみとし, 処理水循環分は含めない)
M L S S	2000mg/l (余剰MLSS引抜時)
D O	0.5~1mg/l
汚泥返送率	30~50% (全量返送)

理対象水として、希釈倍率を表12の5条件にして行った。実験装置のフローシートは図4に示すとおりである。その他の実験装置運転条件は表13に示すとおりとした。

各実験区分は各々2~3週間の馴致期間を置いたのち、約1か月間を本実験期間とした。馴致期間を含め、実験期間中余剰汚泥の引抜は毎日、また処理水は週3回採取を行った。なお各水質項目の分析方法は下水試験方法および JIS K 0102 (工場排水試験法) に準拠した。

3.3 実験結果

(1) 供試脱離液の性状ならびに曝気槽への供給量

各実験期間中の供試脱離液の性状をまとめると、表14のとおりである。供試脱離液のBOD値は実験の全期間をとおして平均1,330mg/lであり、処理施設での維持管理基準値2,500mg/lを大幅に下回るものであった。実験はBOD容積負荷を0.4kg/m<sup>3</sup>・日として行ったが、このため通常の活性汚泥法による脱離液処理設備に比べて脱離液量で約1.5~2倍の流量負荷となった。

表14 脱離液の性状および供給量

脱 離 液		実験区分				
		1	2	3	4	5
供 給 量 l/日		2.6±0.23	2.9±0.29	3.0±0.37	3.0±0.37	3.0±0.37
P H	濃 度	7.92±0.14	—	—	—	—
B O D	濃 度 mg/l	1430±266	1250±129	1440±250	1250±129	1440±250
	供 給 量 g/日	3.6±0.60	3.5±0.29	4.2±0.30	3.6±0.36	4.2±0.30
C O D	濃 度 mg/l	1680±239	1760±297	2080±627	1760±297	2080±627
	供 給 量 g/日	4.2±0.57	4.8±0.66	6.0±0.50	5.0±0.07	6.1±0.39
T O C	濃 度 mg/l	1660±231	1740±377	2470±1030	1740±377	2470±1030
	供 給 量 g/日	4.1±0.36	4.7±0.80	7.0±0.69	4.9±0.83	7.1±0.53
S S	濃 度 mg/l	1550±508	1490±920	2510±2390	1490±920	2510±2390
	供 給 量 g/日	4.0±1.3	3.6±1.9	6.8±2.2	3.8±1.8	6.8±2.1
蒸発残留物	濃 度 mg/l	9600±586	—	10800±2480	—	10800±2480
強熱減量	濃 度 mg/l	3550±394	—	4350±1540	—	4350±1540
T - N	濃 度 mg/l	2570±50	2710±137	3340±412	2710±137	3340±412
	供 給 量 g/日	6.5±0.64	7.7±0.66	9.9±1.1	8.1±0.89	10±1.1
N H <sub>3</sub> - N	濃 度 mg/l	2550±137	2260±80	2680±202	2260±80	2680±202
塩素イオン	濃 度 mg/l	2410±78	2240±88	2600±213	2240±88	2600±213
色 度	濃 度 度	5320±525	5890±712	4570±199	5890±712	4570±199

表中数値は平均及び95%信頼区間を示す

表15 曝気槽運転条件

実験区分		1	2	3	4	5
希 積 水 量	清 水 l/日	43.6±3.5	26.0±2.1	10±0.69	27.6±2.5	11.2±1.2
	循 環 処 理 水 l/日	—	—	—	31.3±2.8	42.9±3.5
希 積 倍 率	清 水 の み に よ る 倍 数	18.5±1.3	10.0±0.49	4.4±0.24	10.2±0.48	4.7±0.16
	清 水 + 処 理 水 に よ る 倍 数	—	—	—	20.6±1.4	19.0±0.90
曝 気 時 間	循 環 処 理 水 を 加 え ない 時 間	5.3±0.47	8.4±0.62	19±1.4	8.0±0.70	16±3.0
	循 環 処 理 水 を 加 え る 時 間	—	—	—	3.9±0.32	4.3±0.38
水 温	°C	20±0.4	19±0.6	18±0.2	19±0.6	18±0.2
PH		7.75±0.16	7.93±0.15	8.29±0.11	7.56±0.26	8.17±0.08
BOD容積負荷	脱離液のみによるkg/m <sup>3</sup> ・日	0.36±0.062	0.35±0.031	0.42±0.030	0.36±0.036	0.42±0.030
	循環処理水を加えるkg/m <sup>3</sup> ・日	—	—	—	0.61±0.064	0.91±0.14
BOD-MLSS 負荷	脱離液のみによるkg/kg・日	0.14±0.026	0.14±0.020	0.14±0.025	0.14±0.019	0.15±0.031
	循環処理水を加えるkg/kg・日	—	—	—	0.24±0.027	0.33±0.083
MLSS mg/l		2680±269	2580±290	3120±605	2540±223	2960±480
DO mg/l		0.6±0.5	0.8±0.3	0.6±0.1	0.5±0.3	0.5±0.2
SV %		13±1.1	15±0.1	12±2.6	13±1.1	15±2.3
SVI		48±5.0	56±5.8	40±6.8	53±4.0	50±4.1
平均汚泥日令 日		4.6	5.2	4.3	5.1	4.0

表中数値は平均および信頼区間を示す

## (2) 曝気槽の運転条件

各実験期間中の曝気槽運転条件をまとめると表15のとおりである。このうち、処理水を希釈水として循環使用した実験区分では、希釈倍率、曝気期間、BOD 負荷の項で、循環処理水を含めた場合および含まない場合について示した。なお表中の汚泥日令は、曝気槽全汚泥量÷引抜汚泥量として算出している。

## (3) 処理結果

処理結果をまとめると表16ならびに次のとおりである。

- 1) BOD, TOC, 強熱減量など有機物に対応する水項目成分は、希釈倍率を下げ曝気時間を長くすることによって除去機能が向上した。一方、処理水を希釈水の一部として循環使用した場合の上記除去機能は、同一清水量の循環を行わない低希釈処理に対し同等もしくはそれ以下であった。
- 2) COD, T-N, 色度については、希釈倍率および処理水循環による除去機能の増減はなく、処理水中濃度は清水による希釈倍率の低下に対応して増加した。
- 3) 処理水中の酸化型の窒素 (NO<sub>x</sub>-N) 濃度は清水による希釈倍率の低下に対応して増加する傾向がみ

られた。

## 3.4 考察ならびにまとめ

し尿処理の二次処理に広く適用されている標準希釈活性汚泥法処理について、低希釈処理を行った場合の処理機能への影響をベンチスケールの処理装置を用いて実験的に検討した結果は次のとおりである。

(1) 希釈倍率を下げ曝気時間を長くして処理することによって BOD, TOC, 強熱減量など有機物に対応する成分について除去機能の向上が認められた。一方、処理水を希釈水の一部として循環使用した場合の有機物の除去機能は、同一清水量で循環を行わない低希釈処理に対し同等もしくはそれ以下であった。

COD, T-N, 色度については希釈倍率および処理水循環による除去機能の増減はなく、処理水中濃度は清水による希釈倍率に対応し、単位脱離液量当りの排出量はほぼ一定であった。

実験は5倍希釈までであるが、これらの結果から、希釈倍率を低下させて活性汚泥法処理を行っても排出負荷には悪影響を及ぼすことはなく、有機物の除去機能はいくぶん向上することが明らかとなった。すなわち、公

表16 異なる希釈条件によって得られた処理水の水質比較

水質項目		実験区分				
		清水による希釈倍率				
		1	2	3	4	5
P	H	7.88±0.07	8.04±0.05	8.34±0.06	7.91±0.05	8.22±0.06
B	処理水濃度 mg/l	24±2.7	51±8.8	56±14	68±8.6	110±24
	20倍希釈換算濃度 mg/l	2.3±3.5	25±4.3	12±3.5	33±5.7	26±5.1
O	流出量 g/日	1.1±0.17	1.4±0.22	0.72±0.17	2.1±0.31	1.6±0.44
D	除去率					
	循環処理水の負荷を含めない %	67±5.4	58±7.6	83±3.8	42±8.2	63±9.0
	循環処理水の負荷を含める %	—	—	—	29±7.2	31±8.3
C	処理水濃度 mg/l	58±3.3	81±6.2	218±17	87±4.2	228±14
	20倍希釈換算濃度 mg/l	54±5.7	40±2.7	48±5.2	45±3.1	54±4.1
O	流出量 g/日	2.7±0.22	2.9±0.25	2.8±0.25	2.5±0.52	2.9±0.71
D	除去率					
	循環処理水の負荷を含めない %	33±12	50±6.6	53±3.6	45±8.3	43±11
	循環処理水の負荷を含める %	—	—	—	30±7.9	19±2.4
T	処理水濃度 mg/l	40±7.5	59±5.9	158±14	51±4.4	151±12
	20倍希釈換算濃度 mg/l	37±8.8	29±2.5	35±3.2	26±2.5	36±2.6
O	流出量 g/日	1.9±0.43	1.7±0.23	2.0±0.23	1.6±0.25	2.2±0.31
C	除去率					
	循環処理水の負荷を含めない %	50±20	62±6.8	71±3.5	66±6.4	69±5.6
	循環処理水の負荷を含める %	—	—	—	44±12	35±8.3
S	処理水濃度 mg/l	13±5.2	41±8.8	28±3.5	22±5.8	46±8.3
	20倍希釈換算濃度 mg/l	12±5.6	20±4.1	6.7±1.5	11±2.9	10±1.6
O	流出量 g/日	0.61±0.27	1.2±0.29	0.36±0.06	0.67±0.19	0.65±0.14
S	除去率					
	循環処理水の負荷を含めない %	86±17	53±18	94±3.1	75±10	88±6.0
	循環処理水の負荷を含める %	—	—	—	67±6.9	67±12
蒸発 残留物	処理水濃度 mg/l	551±57	805±31	1630±81	782±25	1680±185
	20倍希釈換算濃度 mg/l	509±57	402±19	359±12	399±23	396±46
硫酸 減量	処理水濃度 mg/l	186±37	274±16	325±22	175±14	355±50
	20倍希釈換算濃度 mg/l	171±34	137±20	71±4.8	119±15	84±13
T	処理水濃度 mg/l	131±9	271±16	568±36	253±23	544±21
	20倍希釈換算濃度 mg/l	121±11	136±11	125±3.7	129±14	128±4.0
O	流出量 g/日	6.1±0.60	7.7±0.86	7.4±0.90	7.7±0.83	7.7±0.90
N	除去率					
	循環処理水の負荷を含めない %	5.3±9.4	-1.4±12	25±3.9	4.0±12	23±4.4
	循環処理水の負荷を含める %	—	—	—	3.3±5.8	6.8±1.8
NH <sub>3</sub> -N	処理水濃度 mg/l	103±10	201±10	462±36	175±14	422±29
	20倍希釈換算濃度 mg/l	95±9.1	100±4.4	101±4.6	89±6.6	99±5.2
NO <sub>2</sub> -N	処理水濃度 mg/l	16±3.5	6.5±4.9	55±18	25±5.1	73±19
	20倍希釈換算濃度 mg/l	15±3.7	3.2±2.3	12±4.5	13±2.9	17±4.8
NO <sub>3</sub> -N	処理水濃度 mg/l	3.5±2.5	34±19	9.5±5.6	29±21	16±9.0
	20倍希釈換算濃度 mg/l	3.4±2.6	17±11	2.1±1.3	15±11	3.7±2.1
塩素 イオン	処理水濃度 mg/l	142±9.7	233±9	604±15	232±11	562±23
	20倍希釈換算濃度 mg/l	131±2.7	—	133±4.4	—	133±4.2
色度	処理水濃度 mg/l	273±31	412±23	924±56	406±29	863±63
	20倍希釈換算濃度 mg/l	251±30	207±20	204±18	207±20	204±17

表中数値は平均および95%信頼区間を示す

共用水域へ排出される汚濁負荷を著しく減少させることはさほど期待できないが、希釈水の節約は可能づけられたといえよう。

(2) なお、希釈倍率を低下させるのに対応して処理水中の酸化型の窒素濃度 ( $\text{NO}_x\text{-N}$ ) が増加する傾向がみられた。このことから、低希釈処理を行う場合には、沈殿槽での脱窒反応による汚泥の浮上流出がないよう十分注意した管理が必要とならう。

(3) 本実験結果から、低希釈処理水の特性として、処理水量および排出汚濁物濃度（とくに生物処理によって除去されにくい物質濃度）が希釈倍率低下に対応して前者は減少、後者は増加することが示された。これらの特性をもつ低希釈処理水に対しての高度処理の効果、さらに高度処理水を希釈水として循環使用したときの処理機能への影響等について、今後調査検討する予定である。

#### 4 まとめ

(1) し尿処理施設の機能調査から、標準的処理工程の処理方式施設（嫌気性消化方式および好気性消化方式）では BOD 除去については非常に効率的であるが、COD および窒素除去については効率が低いことが明らかになった。一方、脱窒素機能を有する処理方式施設（低希釈二段活性汚泥方式）では BOD、窒素、および COD 除去についていずれも非常に効率的であった。

前者の方式の機能を補完するために、あるいは後者の方式にあってはさらに機能向上を図るために、主処理工程に付加されている凝集分離工程は非常に効率的な成績を示していた。

(2) し尿処理施設の実態調査から、二次処理水中の残存汚濁物質量は BOD、COD、および SS それぞれ処理し尿量 1 kl あたり 0.7 kg、1.3 kg、および 0.7 kg であり、これら残存汚濁物質量に及ぼす要因としては処理率および浄化槽汚泥混入率の比重が大きいことが明らかになった。

(3) 処理水の再利用によるし尿の低希釈処理研究から、同処理負荷では清水の希釈倍率を下げて処理すると BOD および強熱減量の除去効率は向上する。一方、同じ清水の希釈倍率でこれに処理水をそのまま再利用して

合計の希釈倍率を上げて処理しても、除去効率は上述の場合と同等もしくはそれ以下であった。なお、COD、窒素および色度については上述の希釈倍率の低減あるいは処理水の再利用による処理効果の向上は認められなかった。

#### Summary

In Japan, approximately 70% of the night soil from the total population is treated in collected night soil treatment plants. Thus, the role played by those night soil treatment system is very important for the maintenance of healthy living environments. With the enactment of the effluent control system and the mounting public concern over the environmental conditions, it has become necessary to improve the performance of collected night soil treatment plant facilities. In order to reduce the pollutant load to public water bodies. Under these circumstances, this study intended to establish the optimum design and operational methods to reduce the environmental impact from the collected night soil treatment plant.

The results of the comprehensive studies were as follows; It was revealed that the conventional collected night soil treatment system was very effective in reducing BOD and suspended solids. But the removal efficiencies of COD and nitrogen were considerably lower than those of BOD and suspended solid matter.

The collected night soil treatment plant also treats the private night soil treatment tank sludge together with the collected night soil at the same time. The quality of the private night soil treatment tank sludge is different from that of the collected night soil. Thus it was revealed that the performance of the treatment plant greatly depends on the ratio of the private night soil treatment tank sludge to the collected night soil.

The conventional collected night soil treatment system at low dilution levels with fresh water shows a higher removal efficiency of BOD and volatile matter than that at high dilution levels.