

## し尿処理施設による汚濁負荷の削減に関する研究 (II)

Comprehensive studies to improve collected night  
soil treatment plant performance [II]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

公共用水域保全のため、し尿処理施設による汚濁負荷を削減することが要求されている。とくに、水質総量規制制度の実施にともない、汚濁負荷を一層削減しなければならない。汚濁負荷を削減するためには、処理水水質の向上と放流水量の削減の両面が必要である。そのため、COD 等を含めた汚濁負荷の効率的除去方法を開発するとともに、処理水の再利用による希釈水量の低減化を図ることにより、し尿処理施設の機能向上と汚濁負荷の削減をめざした処理システムを確立する研究を昭和54年度より実施してきた。

昭和55年度は、前年度に引きつづき次の研究を実施した。

- 1) し尿処理施設の機能向上に関する研究
- 2) 処理水の再利用によるし尿の低希釈処理の研究

なお、本研究は国立公衆衛生院から委託されたもので、この機会に厚く謝意を表する。

## 1 し尿処理施設の機能向上に関する研究

## 1.1 研究目的

し尿処理施設構造指針に示されている低希釈二段活性汚泥法は、従来の標準希釈 (20倍) の好気性処理方式と比較して、希釈水量を半分以下にでき、同時に、窒素除去効率の向上が期待できる半面、曝気槽等の容量が大きくなったり、運転管理に高度な技術を要するなどの問題があるとされている。この低希釈二段活性汚泥法は、生物学的脱窒法であり、処理対象のし尿の BOD と N の比、硝化菌及び脱窒素菌をも含めた増殖速度恒数が、その除去効果に大きく影響すると考えられ、また、この処理効率は、処理施設の基本的な設計及び操作因子である希釈率と循環比にも支配されるものと考えられる。

そこで、これらの因子のうち、増殖速度恒数および、

循環比と処理効率の関係を明らかにする目的で室内実験を行った。

また、低希釈二段活性汚泥法の後段を省略した低希釈一段活性汚泥法による処理の可能性についても検討した。

## 1.2 実験方法

除渣し尿を試料とし、低希釈二段活性汚泥法 (A 系列) 及び低希釈一段活性汚泥法・接触曝気法 (B 系列) の二方式による連続実験を行った。

実験には、図 1~2 に示す実験装置を用い、それぞれ表 1 に示す実験条件を定めた。

槽内水温はそれぞれ 20°C に設定した。

また、硝化速度、脱窒速度の回分試験を随時行った。

## 1.3 結果及び考察

各実験条件における処理水の性状、有機物及び窒素の除去率等を表 2 に示す。

## (1) 循環比の影響

第一攪拌槽における NO<sub>x</sub>-N/MLSS 負荷及び BOD/NO<sub>x</sub>-N 比と NO<sub>x</sub>-N 除去率の関係を図 3、4 に示す。また、10倍希釈条件における循環比と BOD/NO<sub>x</sub>-N 比との関係を図 5 に示す。また、NO<sub>x</sub>-N/MLSS 負荷と BOD/NO<sub>x</sub>-N 比の関係を図 6 に示す。

第一攪拌槽における NO<sub>x</sub>-N 除去率は、NO<sub>x</sub>-N 負荷が 0.05 kg/kg・日以下までは 84.9~98.0% と一定であり、また、0.05~0.12 の範囲で BOD/NO<sub>x</sub>-N 比が 2~3 を保持している場合には、NO<sub>x</sub>-N 除去率は 80% 程度であった。これらのことより、NO<sub>x</sub>-N 除去率は NO<sub>x</sub>-N 負荷の影響を受けることがわかる。また、BOD/NO<sub>x</sub>-N 比は循環比が高くなるほど小さくなり、それとともに NO<sub>x</sub>-N 除去率が低下する。これらのことより、循環比は処理効率に影響を与えることがわかる。

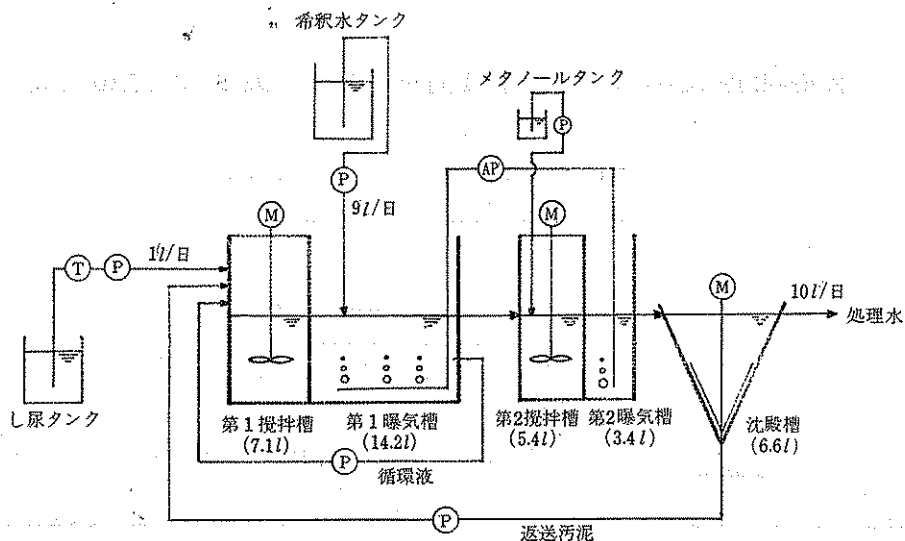


図1 A系列(低希釈二段活性汚泥法)フローシート

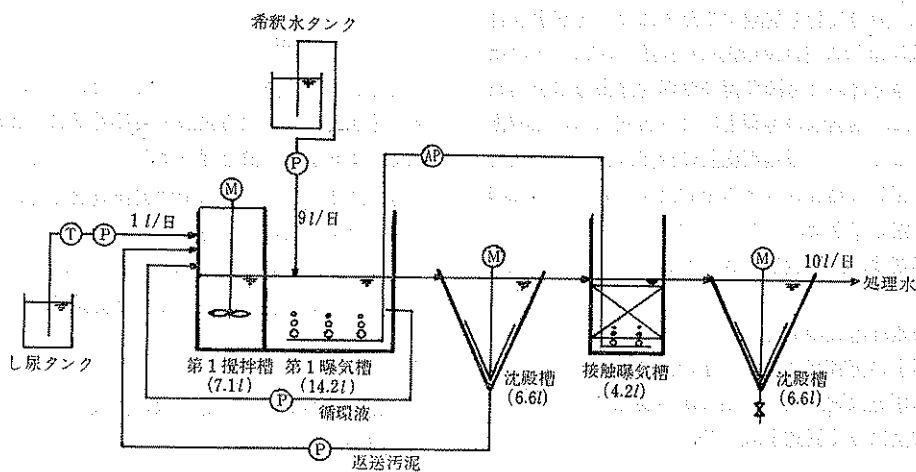


図2 B系列(低希釈一段活性汚泥・接触曝気法)フローシート

表1 実験条件

項目	A 系列				B 系列		
	1	2	3	4	1	2	3
し尿量	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q
希釈水量	9Q	9Q	9Q	3Q	9Q	9Q	9Q
返送汚泥	36Q	36Q	36Q	10Q	36Q	36Q	36Q
循環液量	20Q	30Q	50Q	30Q	20Q	30Q	50Q
し尿BOD(mg/l)	9200	7800	6200	6400	11000	11100	9400
し尿T-N(mg/l)	3600	4100	4900	4100	4600	4600	4000

第一曝気槽において、T-N 負荷率が 0.030~0.054 kg/kg・日の範囲では、NH<sub>4</sub>-N の硝化率は 90% 以上を得ており、脱窒反応ほど循環比の影響を強く受けない。

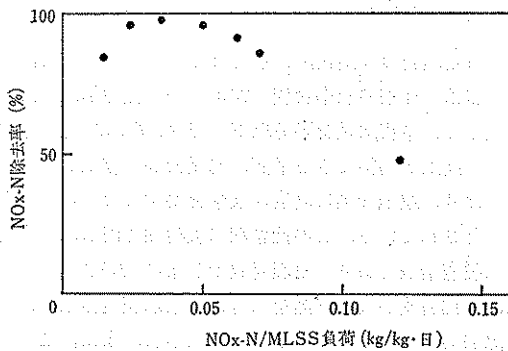


図3 NO<sub>x</sub>-N/MLSS 負荷率と NO<sub>x</sub>-N 除去率の関係

表 2 実験結果

項 目	運 転 区 分	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	B-3
処 理 水 BOD (mg/l)		15	15	18	34	16 (42)	4.2(26)	7.4(80)
BOD 除 去 率 %		97.5	98.4	96.8	96.8	98.7	99.4	99.3
処 理 水 COD (mg/l)		73	64	68	130	75 (90)	69 (80)	87 (91)
COD 除 去 率 %		83.1	83.0	85.8	90.4	85.7	86.5	72.6
処 理 水 TOC (mg/l)		49	53	63	87	55 (52)	47 (58)	57 (62)
TOC 除 去 率 %		93.7	93.2	92.9	95.9	94.9	93.7	88.7
処 理 水 SS (mg/l)		29	15	38	34	12 (38)	4.8(45)	10 (63)
SS 除 去 率 %		91.0	91.9	95.3	98.2	97.1	99.2	94.4
処 理 水 T-N (mg/l)		10	11	8.4	12	71 (80)	78 (82)	123 (119)
T-N 除 去 率 %		96.8	97.3	98.1	98.5	84.1	83.8	71.6
第 1 攪拌槽 NOx-N 汚泥負荷 kg/kg・日		0.015	0.023	0.050	0.031	0.062	0.070	0.11
第 1 攪拌槽 BOD/NOx-N 比 kg/kg		11.3	7.7	3.1	4.7	4.4	3.9	1.3
第 1 攪拌槽 NOx-N 除 去 率 %		84.9	96.7	96.2	98.0	90.1	88.5	48.2
第 1 曝気槽 NH <sub>4</sub> -N 汚泥負荷 kg/kg・日		0.030	0.035	0.054	0.032	0.049	0.044	0.034
第 1 曝気槽 NH <sub>4</sub> -N 転 換 率 %		99.1	99.4	99.8	99.4	97.5	96.5	90.9

注) ( ) 内数値は沈殿槽溢流水質

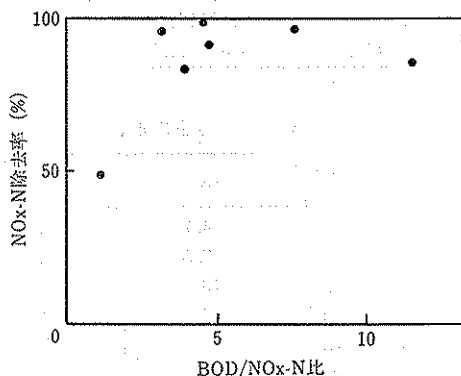


図 4 BOD/NOx-N 比と NOx-N 除去率の関係

(2) 低希釈一段活性汚泥法と低希釈二段活性汚泥法の比較

低希釈二段活性汚泥法の A 系列と低希釈一段活性汚泥法・接触曝気法の B 系列の結果を検討すると、BOD 除去率はいずれの条件においても 96% 以上であり有意な差は認められなかった。しかしながら、窒素除去率は A 系

表 3 硝化速度及び脱窒速度

(硝化速度)		
水 温	速度恒数 (g-N/g・SS・日)	
10°C	5.04×10 <sup>-3</sup>	
15°C	30.0×10 <sup>-3</sup>	
25°C	62.4×10 <sup>-3</sup>	
(脱窒速度)		
基 質	速度恒数 (g-N/g・SS・日)	
メ タ ノ ー ル	37.0×10 <sup>-3</sup>	
エ タ ノ ー ル	49.7×10 <sup>-3</sup>	
酢 酸	10.7×10 <sup>-2</sup>	
消 化 脱 離 液	46.6×10 <sup>-3</sup>	
し 尿	20.5×10 <sup>-2</sup> (前期), 31.9×10 <sup>-3</sup> (後期)	

列で 97~98% であったのに対し、B 系列では 71~84% と処理方式による差が認められた。

(3) 硝化速度と脱窒速度

硝化速度及び脱窒速度の測定結果を表 3 に示す。硝化

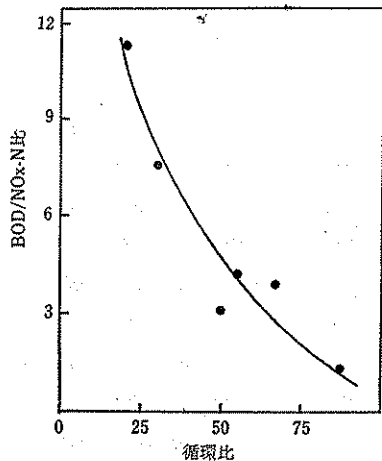


図5 循環比とBOD/NO<sub>x</sub>-N比の関係

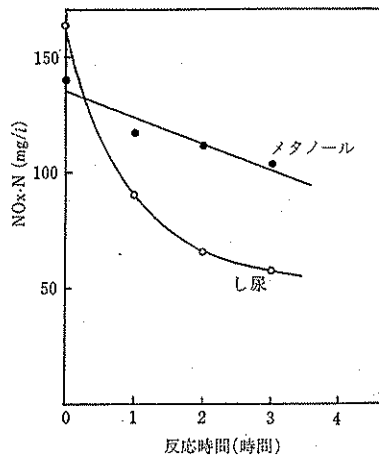


図7 NO<sub>x</sub>-N 経時変化

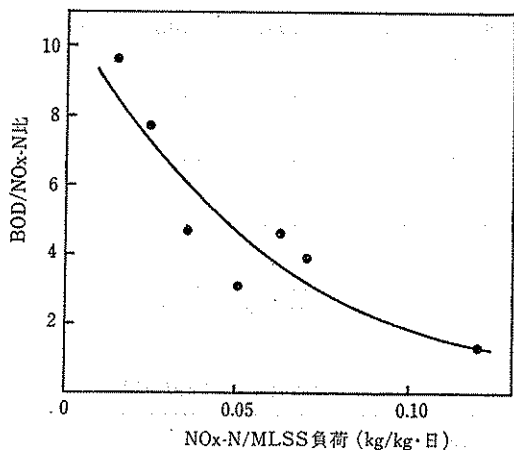


図6 NO<sub>2</sub>-N MLSS 負荷とBOD/NO<sub>x</sub>-N比の関係

表4 活性汚泥法処理装置運転条件

項目	設定条件
水温	20°C
BOD 容積負荷	0.3 kg/m <sup>3</sup> ・日
MLSS	2000 mg/l (余剰汚泥引抜時)
DO	0.5~0.1 mg/l
汚泥返送率	30~50%

表5 回分式凝集沈殿処理条件

項目	設定条件
硫酸バンド添加率	25~1500 mg/l (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ・18H <sub>2</sub> Oとして)
pH	4~7
急速搅拌	80 rpm, 5分間
緩速搅拌	30 rpm, 25分間
沈降分離時間	1時間

表6 希釈条件

流入液 実験区分	脱離液量	清水量	循環水量 (凝集沈殿 処理水)
Run-1	Q	4Q	—
Run-2	Q	4Q	15Q

表7 連続式凝集沈殿処理条件

項目	設定条件
硫酸バンド添加率	800 mg/l (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ・18H <sub>2</sub> Oとして)
搅拌時間	30分以上
沈殿時間	3時間以上

表8 活性汚泥法処理水

項目 実験区分	No. 1	No. 2
希釈倍率 (倍)	4.5	16.3
pH	7.74	7.44
Mアルカリ度 (mg/l)	140	107
COD (mg/l)	147	110
TOC (mg/l)	71	51
T-P (mg/l)	37	9.4
色度 (度)	965	260
NO <sub>2</sub> -N (mg/l)	46	62
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	524	153

速度は、表3に示すように水温の影響を強く受け 10°C では 25°C の約 1/10 の値となる。また、脱窒速度は基質の種類により大きく変化し、酢酸が最も速く通常第二搅拌槽の基質として用いられているメタノールが最も遅かった。また、し尿については、図7に示すように1次反

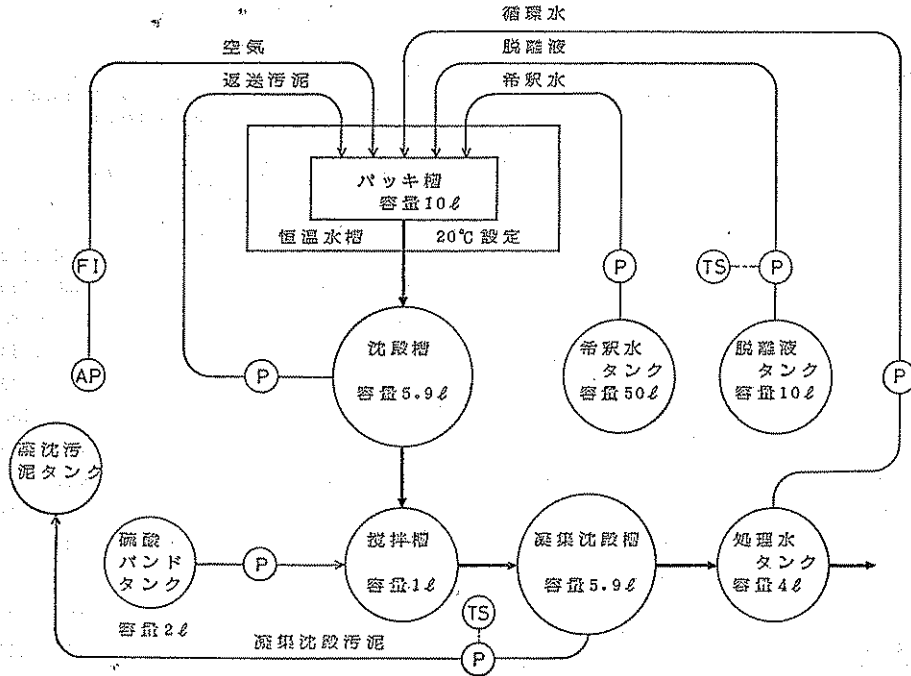


図 8 凝集沈殿連続運転装置

応で脱窒が進行し、このことからし尿は脱窒菌により利用されやすい有機物と利用され難い有機物から成っていることが推測された。

2 処理水の再利用によるし尿の低希釈処理

2.1 研究目的

既存のし尿処理施設のうち大部分は、し尿を清水で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、これら標準希釈法処理施設のうち、所要の希釈水が得られず、低希釈運転を余儀なくされている例は少なくない。また一般的にみても希釈水を減らして処理が行えるならば、水資源の節約等の面で有利と考えられる。

これらの観点から、標準希釈処理方式によるし尿処理施設において、低希釈処理を行った場合の処理機能への影響を、ベンチスケールで実験的に検討した。本研究の第1報<sup>1)</sup>では、標準活性汚泥法処理装置における低希釈運転の影響について検討し、同処理負荷では清水の希釈倍率を下げるとBOD及び強熱減量についての処理効果は向上すること、一方、COD、窒素及び色度については処理効果の向上は認められず、清水の削減分濃縮された形で排出されることを明らかにした。また二次処理水をそのまま希釈水の一部として再利用した場合の除去効率は、清水による希釈倍率が同一の低希釈運転と

同等、もしくはそれ以下であることを明らかにした。

本報告は、前報に引き続き、低希釈運転で得られた活性汚泥法処理水に対する凝集沈殿処理の効果及び凝集沈殿処理水を希釈水の一部として循環再利用した場合の処理機能への影響について検討したものである。

2.2 実験方法

20倍希釈標準活性汚泥法処理に基づく室内実験装置を用い、し尿の嫌気性消化脱離液を処理原水として、次の二つの実験について検討した。

1) 回分式凝集沈殿処理実験

活性汚泥法処理装置を5倍希釈及び20倍希釈で運転し、得られた各処理水について、回分式凝集沈殿処理実験により薬剤の添加率及びpHの影響を比較検討した。希釈倍率以外の活性汚泥法処理装置の運転条件は表4のとおり、また、回分式凝集沈殿実験は真柄ら<sup>2)</sup>の方法に準じて表5の条件で行った。

(2) 凝集沈殿処理連続実験

活性汚泥法処理装置に凝集沈殿処理装置を組み込み、次の2条件で処理を行い、結果を比較検討した。

i) 清水による5倍希釈運転

ii) 4倍量の清水希釈でさらに15倍量の凝集沈殿処理水を希釈水として循環使用し、合計の希釈倍率を20倍とした運転

表 9 凝集沈澱処理水循環使用実験結果

項目		Run-1 (清水による5倍希釈運転)		Run-2 (清水による5倍希釈および凝沈、 処理水循環運転)	
		試料数 (n)	平均および95%信頼区間	試料数 (n)	平均および95%信頼区間
供 試 液	pH	14	8.11±0.02	13	8.11±0.02
	SS (mg/l)	"	1010±154	"	994±162
	蒸発残留物 (mg/l)	"	8840±153	"	8820±160
	強熱減量 (mg/l)	"	3240±73	"	3230±80
	BOD (mg/l)	"	1000±52	"	993±53
	COD (mg/l)	"	1710±30	"	1710±30
	TOC (mg/l)	"	2440±170	"	2430±180
	T-N (mg/l)	"	2600±30	"	2560±40
	NH <sub>3</sub> -N (mg/l)	"	2200±30	"	2250±40
	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	"	2330±20	"	2330±20
	T-P (mg/l)	"	220±5	"	220±5
	Mアルカリ度 (mg/l)	"	8960±10	"	8960±10
	色度 (度)	"	4700±90	"	4690±90
脱離液供給量 (l/日)		"	2.14±0.19	"	2.34±0.15
希釈水量 (l/日)		"	9.65±0.37	"	10.9±0.4
清水による希釈倍率		"	5.6±0.4	"	5.7±0.2
凝沈処理水循環量 (l/日)		—	—	"	30
清水+循環水による希釈倍率		—	—	"	18.6±1.0
曝 気 槽	曝気時間 (hr)	14	20.4±0.7	"	5.6±0.1
	水温 (°C)	13	21±0.4	"	21±0.4
	DO (mg/l)	12	0.7±0.4	11	0.7±0.2
	MLSS (mg/l)	13	2410±220	12	2210±220
	SV (%)	14	11±0.8	13	10±0.8
	BOD容積負荷 (kg/m <sup>3</sup> ・日)	"	0.21±0.03	"	0.23±0.02
	BOD-MLSS負荷 (kg/kg・日)	13	0.090±0.017	12	0.11±0.01
活 性 汚 泥 法 処 理 水	pH	14	7.32±0.17	13	7.28±0.19
	SS (mg/l)	"	46±9	"	79±11
	蒸発残留物 (mg/l)	"	1350±72	"	1410±65
	強熱減量 (mg/l)	"	346±40	"	445±56
	BOD (mg/l)	"	57±26	"	80±13
	COD (mg/l)	"	274±19	"	191±20
	TOC (mg/l)	"	97±9	"	85±8
	T-N (mg/l)	"	450±20	"	430±10
	NH <sub>3</sub> -N (mg/l)	"	200±20	"	210±10
	NO <sub>2</sub> -N (mg/l)	13	190±10	"	100±15
	NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	"	62±5	"	100±20
	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	14	443±28	"	412±15
	T-P (mg/l)	"	36±2	"	16±6
	Mアルカリ度 (mg/l)	"	192±65	"	146±56
色度 (度)	"	803±73	"	462±61	

表 9 つづき

項 目		実験区分	Run-1 (清水による5倍希釈運転)		Run-2 (清水による5倍希釈および凝沈、 処理小循環運転)	
			試料数 (n)	平均および95%信頼区間	試料数 (n)	平均および95%信頼区間
硫酸バンド注入率		(mg/l)	14	612±76	13	178±15
脱離液 1 l 当り注入量		(g/l)	"	3.38±0.44	"	3.31±0.34
凝 集 沈 殿 処 理 水	pH		"	5.24±0.55	"	6.75±0.50
	SS	(mg/l)	13	11±5	12	14±9
	蒸発残留物	(mg/l)	"	1430±90	"	1440±110
	強熱減量	(mg/l)	"	340±70	"	384±102
	BOD	(mg/l)	14	6.3±3.4	13	7.1±3.8
	COD	(mg/l)	"	186±16	"	140±15
	TOC	(mg/l)	"	32±6	"	41±13
	T-N	(mg/l)	"	420±20	"	430±10
	NH <sub>3</sub> -N	(mg/l)	"	200±20	"	210±10
	NO <sub>2</sub> -N	(mg/l)	13	150±20	"	100±16
	NO <sub>3</sub> -N	(mg/l)	"	72±14	"	110±21
	Cl <sup>-</sup>	(mg/l)	14	421±30	"	411±14
	T-P	(mg/l)	"	2.7±1.6	12	4.0±1.8
Mアルカリ度	(mg/l)	—	—	"	87±53	
色度	(度)	14	210±46	13	303±69	
全 工 程 除 去 率	SS	(%)	13	93.2±3.5	12	92.6±4.2
	強熱減量	(%)	"	41.1±15.4	"	33.3±18.9
	BOD	(%)	14	96.6±1.7	13	95.8±2.1
	COD	(%)	"	39.8±4.6	"	53.6±4.7
	TOC	(%)	"	92.6±1.0	"	90.6±2.7
	T-N	(%)	"	8.8±3.5	"	6.1±4.1
	T-P	(%)	"	93.0±4.1	12	90.8±3.9
色度	(%)	"	75.8±3.4	13	63.8±7.0	

実験装置のフローシートは図8に示すとおりである。また、各実験区分における希釈条件を表6に示した。曝気槽の運転条件は表4のとおりとし、凝集沈殿処理条件は回分式実験の結果をもとに表7のとおり設定した。

### 2.3 結果及び考察

#### (1) 回分式凝集沈殿処理結果

5倍希釈運転及び20倍希釈運転で得られた活性汚泥法処理水の性状を表8に、またこの活性汚泥法処理水に対する凝集 pH 及び薬剤添加率の影響をまとめ、図9、10に示した。5倍希釈運転及び20倍希釈運転の二次処理水とも、凝集 pH と各除去率の関係は同様であり、pH 4~8の範囲で一般的に pH が低いほど除去率が向上する傾向がみられた。各水質項目除去の最適 pH 域は、COD、TOC、色度については pH 4~6であり、また

T-P については pH 4~8の生領域で除去が期待できるが pH 4以下では除去率が低下した。これらの傾向は、真柄ら<sup>2)</sup>によって報告されたし尿の20倍希釈運転二次処理水についての結果とほぼ一致するものであった。

5倍希釈運転及び20倍希釈運転の二次処理水について、凝集 pH を同一としたときの硫酸バンド添加率と各除去率の関係を図11に示す。処理原水(脱離液)当りの硫酸バンド添加率に対する各除去効果は5倍希釈運転及び20倍希釈運転の二次処理水で著しい差はなく、希釈倍率にさほど影響されないことが示された。なお、本実験における効率的な硫酸バンド (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>・18H<sub>2</sub>O) 添加率の上限值(最適注入率)は処理原水当り約 4 g/l であり、この値を次の連続実験における硫酸バンドの注入率として設定した。

#### (2) 凝集沈殿処理水循環使用実験結果

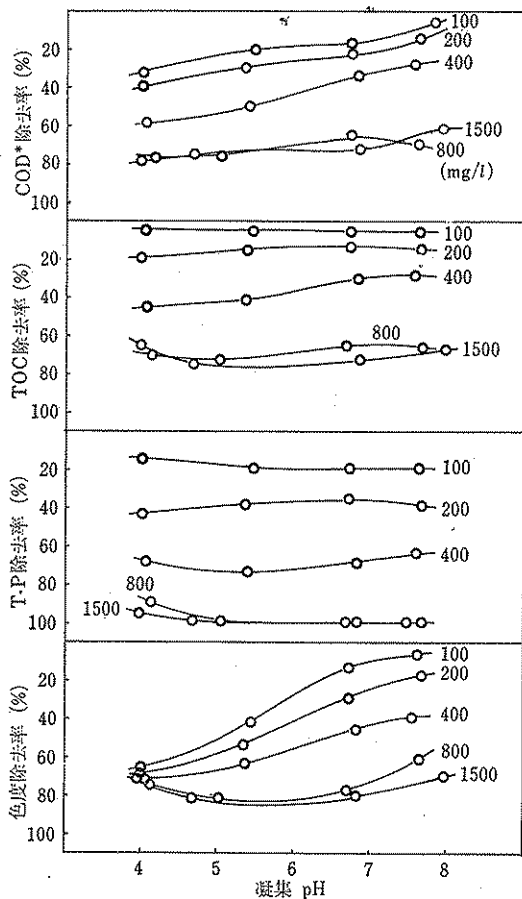


図9 硫酸バンド添加率及び凝集 pH による除去率の変化 (5倍希釈運転処理水)

\* COD は NO<sub>2</sub>-N による分を除いて示した

実験期間中の処理条件と処理効果をまとめると表9のとおりである。5.6倍希釈の活性汚泥法処理+凝集沈殿処理 (Run-1) において、処理水質は BOD 6.3 mg/l, COD 186mg/l, SS 11mg/l, T-P 2.7mg/l, 色度 210度であり、し尿処理施設の維持管理基準に示される放流水質の BOD 30 mg/l 以下, SS 70 mg/l 以下を満足する結果が得られた。この結果は、標準希釈法し尿処理施設において希釈水を削減し、かつ総排出負荷を削減するうえで、凝集分離工程を組込むことの有効性を示すものといえよう。

4倍量の清水希釈でさらに15倍量の凝集処理水を希釈水として循環使用し、合計の希釈倍率を20倍とした運転 (Run-2) の処理水質は、BOD, TOC, SS, T-P について清水による5倍希釈運転とほぼ同様であった。COD及び色度については差が見られたが、CODについてはNO<sub>2</sub>-Nによる分を補正し、また色度については凝集 pH

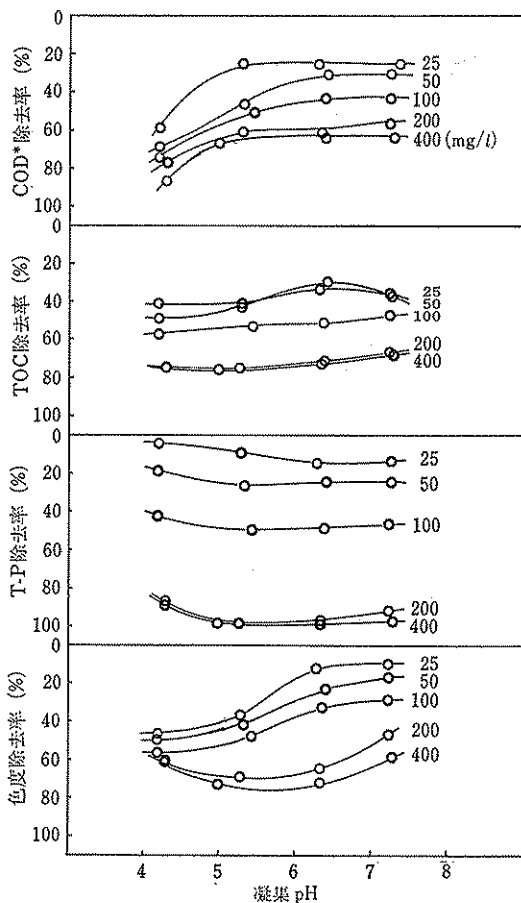


図10 硫酸バンド添加率及び凝集 pH による各除去率の変化 (20倍希釈運転処理水)

\* COD は NO<sub>2</sub>-N による分を除いて示した

の条件を同一にすると、その差は見られなくなった。これらの結果から、凝集沈殿処理水を希釈水の一部として循環使用することについては、とくに処理効果に影響しないことが示唆された。

なお、本実験の処理フローにおいては、活性汚泥法処理装置の低希釈運転に伴い硝化が進行するが、この生成された NO<sub>2</sub>-N により COD 除去効果が低下する傾向がみられた。このため、当処理フローで COD 排出量を削減するためには、今後 NO<sub>2</sub>-N 生成の抑制、あるいは生成された NO<sub>2</sub>-N の除去などについて検討が必要であろう。

### 3 まとめ

し尿処理施設の機能向上と汚濁負荷の削減を目的とした研究を行った結果、次の知見を得た。

- (1) 本研究のために製作された実験装置によれば、低



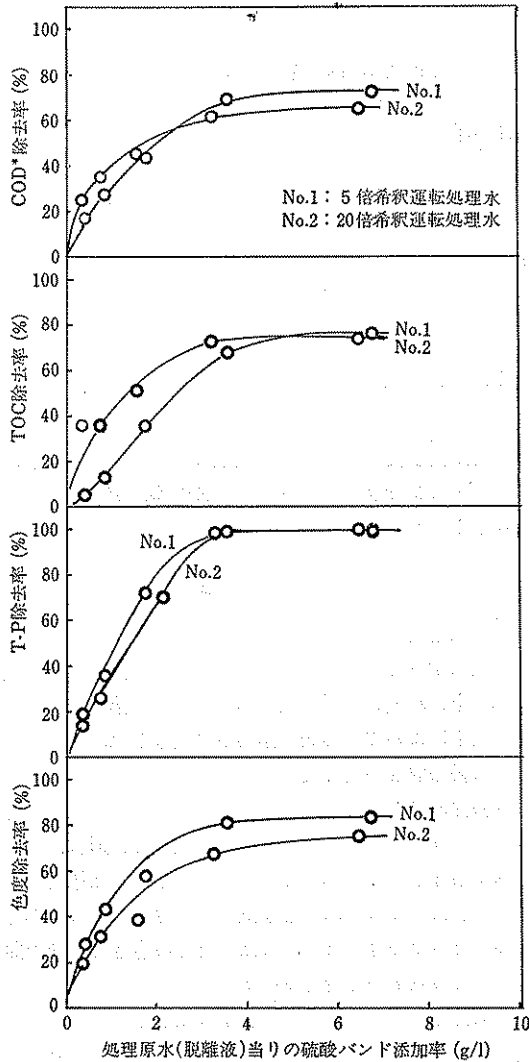


図11 硫酸バンド添加率と各除去率の変化 (pH 6)  
 \* COD は NO<sub>2</sub>-N による分を除いて示した

希釈二段活性汚泥法と低希釈一段活性汚泥法・接触曝気法ともに BOD 除去率96%以上が得られた。ただし、窒素除去率は二段処理で97~98%であったのに対し、一段処理では71~84%と処理方式による差が認められた。また、窒素除去率は循環比が過大になると低下することが明らかとなった。

脱窒速度は、基質により異なることが明らかとなった。

(2) し尿の嫌気性消化脱離液を処理原水とした標準活

性汚泥法処理+凝集沈殿処理による室内実験装置を製作して検討した結果、凝集沈殿処理工程の機能は活性汚泥法処理工程の希釈倍率にさほど影響されないこと、また希釈水を削減しかつ総排出負荷を削減するうえで凝集分離処理を組み込むのが有効であることを明らかにした。上記処理フローにおいて凝集沈殿処理水を希釈水の一部として循環使用したときの除去効率は、循環を行わない運転時のそれとほぼ同様であり、有意な差は認められなかった。

引用文献

- 1) 日本環境衛生センター：し尿処理施設による汚濁負荷の削減に関する研究，日環七所報 No. 7：38~48, 1980.
- 2) 国立公衆衛生院：し尿処理施設による汚濁負荷の削減に関する研究報告，1980.

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 the 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 overall 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 result obtained was as follows; It was revealed that the excessive circulation ratio of nitrified mixed liquor from nitrification tanks to denitrification tanks reduced the denitrification efficiency. This phenomenon is caused by increasing the nitrified nitrogen load to mixed liquor suspended solids, and decreasing the ratio of BOD to nitrified nitrogen.

It was revealed that the conventional collected night soil treatment system with the coagulation process at low dilution levels is very effective to reduce BOD and suspended solids as at conventional dilution levels.