

## 工場・事業場における窒素除去について

### Investigation on Denitrification of Industrial Waste Water

藤田 淳二            西原 幸一            三好 健治            美澤  勲  
 Junji FUJITA    Kouichi NISHIHARA   Kenji MIYOSHI   Takeshi MIZAWA

と場排水処理施設を対象に、槽内での生物学的脱窒の有無、若干の処理系の変更及び運転方法の変更によって窒素除去率を高める事ができるかどうかを見るため処理槽内における窒素の挙動を調査した。その結果現在の運転方法では、窒素除去率69.9%であり、この内汚泥引き抜きによるものは46.5%、生物学的脱窒は23.4%であった。また処理系及び運転方法を若干変更する事により窒素除去率を高める事が可能である事がわかった。

### はじめに

最近多くの閉鎖性水域で富栄養化が進み、赤潮の発生により魚介類への影響が生じている。また湖沼等においてはアオコの異常発生が多くみられ、水道水源にも悪影響を与えるようになってきている。すでに湖沼については全窒素・全りん的环境基準が定められ富栄養化防止がはかられているところである。本県においても一部事業場において脱窒施設を設置し窒素除去を行っている。しかし大半は脱窒処理を行っていないのが現状である。すでに所報第6号にて、県下における工場、事業場の窒素排出実態を把握したところであるが、その中で既存の活性汚泥処理においても良好な窒素除去が行われている工場、事業場が存在することがわかった。そこで今回と場排水処理施設を対象に曝気槽内での窒素の挙動について調査し、槽内での生物学的脱窒の有無、窒素除去をさらに高める事ができるかどうかについて検討を加えた。その調査結果について報告する。

### 調査方法

#### 1. 調査期間

昭和58年4月～昭和59年3月

#### 2. 調査対象処理施設概要

調査対象とした処理施設はと場排水を処理する活性汚泥処理施設である。処理水量は600～800 m<sup>3</sup>/日と日によって若干変動する。曝気槽流入水つまり処理原水は有効容量540 m<sup>3</sup>の貯留槽よりポンプアップして曝気槽に流入させる為大きな水質変動がない。つぎに処理施設の概

要を図1に示す。当事業場は図1に示す処理系列を二系列設置しており、今回はその内一系列について調査を行った。

処理フローであるが、排水はまず原水槽に貯留され、これより第1槽へポンプアップされる。第1槽より第4槽まではエアレーションタンクであり第1槽より順次処理液は移動していく、第5槽は汚泥濃縮槽として設計されており、したがってここではエアレーションを行っておらず、この槽では極めて緩慢な流れとなり底部に汚泥が濃縮されてくる、この底部よりエアリフトポンプにより第1槽へ返送する。第5槽を流出した水は第6槽へ入り第6槽から第8槽で再曝気され第9槽へ入る。第9槽は第5槽と同様に汚泥濃縮槽として設計されており、この底部からも第1槽へ返送されている。第9槽を出た処理液は沈殿槽へと導かれ固定分離され上澄水は放流され沈殿した汚泥は余剰汚泥として除去、脱水される。

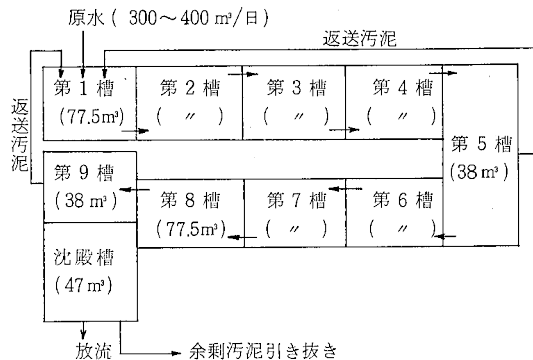


図1 処理施設概要

### 3. 調査項目及び測定法について

各測定点において表1に示す項目について測定調査を行い、調査は1回/月の割合で行った。曝気槽におけるCOD, BOD, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, T-Nはガラスフィルターろ紙GA-100を用い現場でろ過を行い、ろ液について測定したものである。なおNH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, T-NについてはJIS-K 0102により測定を行い、余剰汚泥中T-Nはケルダール分解法により測定した。DOについてはEIL-DOメーターを使用した。

表1 各測定点における測定項目

測定点	測定項目
流入原水	PH COD BOD NH <sub>4</sub> -N T-N 水量
処理水	PH COD BOD NH <sub>4</sub> -N NO <sub>3</sub> -N NO <sub>2</sub> -N T-N 水温
第1～第4槽	PH COD BOD NH <sub>4</sub> -N NO <sub>3</sub> -N
第6～第8槽	NO <sub>2</sub> -N T-N 水温 DO MLSS SV <sub>30</sub>
第5槽, 第9槽	PH DO 水温
余剰汚泥	T-N

### 調査結果及び考察

昭和58年4月より59年3月における各槽内の調査結果

を表2に示す。BOD, CODについては、2月を除き90%以上の除去率を示しており、有機汚濁物質処理としては良好な処理状態であった。T-Nについては平均で69.9%の除去率を示した。

表2 各槽内における窒素挙動

4月

	水温 (°C)	PH	COD (mg/l)	BOD (%)	NH <sub>4</sub> -N (%)	NO <sub>2</sub> -N (%)	NO <sub>3</sub> -N (%)	T-N (%)	DO (%)	MLSS (%)	SV <sub>30</sub> (%)
流入原水		7.23	396	840	33.0			112			
第1槽	24	7.26	35.2	21	35.2	0.132	0.59	41.3	0.1	3,000	77
2	24	7.23	32.0	22	35.0	0.150	0.32	41.3	0.2	2,950	76
3	24	7.21	30.6	13	33.7	0.090	0.50	41.3	0.1	2,890	77
4	24	7.22	30.7	14	35.2	0.110	0.03	39.7	0.1	2,990	75
5	24	7.26							0.0		
6	24	7.18	31.4	11	33.7	0.060	0.99	38.9	0.2	2,190	65
7	24	7.15	32.2	22	34.5	0.112	0.69	38.5	0.1	2,110	60
8	24	7.14	33.8	18	34.5	0.047	0.88	38.0	0.2	2,260	60
9	24	7.25							0.0		
処理水	24	7.22	34.9	19	34.0	0.041	0.86	38.7			

5月

	水温 (°C)	PH	COD (mg/l)	BOD (%)	NH <sub>4</sub> -N (%)	NO <sub>2</sub> -N (%)	NO <sub>3</sub> -N (%)	T-N (%)	DO (%)	MLSS (%)	SV <sub>30</sub> (%)
流入原水		7.24	386	836	33.0			120			
第1槽	25	7.25	36.2	28	38.2	0.131	0.55	44.3	0.1	3,060	85
2	25	7.24	32.3	15	38.2	0.146	0.32	44.3	0.2	3,000	87
3	25	7.23	30.6	13	37.7	0.086	0.40	43.3	0.1	2,890	86
4	25	7.20	30.7	14	38.2	0.110	0.03	42.7	0.1	2,990	87
5	25	7.26							0.0		
6	25	7.18	31.4	11	36.7	0.047	0.79	42.2	0.1	2,190	60
7	25	7.15	32.2	22	37.5	0.116	0.49	42.7	0.2	2,110	60
8	26	7.14	33.8	18	37.5	0.047	0.58	43.3	0.1	2,260	62
9	25	7.20							0.0		
処理水	25	7.42	34.9	25	36.0	0.041	0.38	41.7			

6月

	水温 (°C)	PH	COD (mg/ℓ)	BOD ( $\mu$ )	NH <sub>4</sub> -N ( $\mu$ )	NO <sub>2</sub> -N ( $\mu$ )	NO <sub>3</sub> -N ( $\mu$ )	T-N ( $\mu$ )	DO ( $\mu$ )	MLSS ( $\mu$ )	SV <sub>30</sub> (%)
流入原水		6.99	502	1,330	93.1			129			
第1槽	24	7.36	36.7	32	44.2	0.010	0.69	49.4	0.0	3,350	62
2	23	7.33	34.9	35	42.7	0.055	0.49	48.2	0.1	3,340	58
3	23	7.32	34.5	15	43.9	0.130	0.54	48.2	0.1	3,280	59
4	23	7.33	33.8	23	43.2	0.135	0.49	45.8	0.1	3,160	60
5	24	7.39							0.0		
6	25	7.35	35.2	24	42.5	0.069	0.38	45.0	0.1	2,670	50
7	25	7.32	34.3	24	42.6	0.102	0.54	44.2	0.2	2,600	48
8	24	7.33	34.3	21	42.2	0.015	0.48	44.5	0.2	2,650	49
9	24	7.36							0.0		
処理水	24	7.40	34.4	21	42.9	0.040	1.60	44.0			

7月

	水温 (°C)	PH	COD (mg/ℓ)	BOD ( $\mu$ )	NH <sub>4</sub> -N ( $\mu$ )	NO <sub>2</sub> -N ( $\mu$ )	NO <sub>3</sub> -N ( $\mu$ )	T-N ( $\mu$ )	DO ( $\mu$ )	MLSS ( $\mu$ )	SV <sub>30</sub> (%)
流入原水		7.49	556	1,330	43.1			145			
第1槽	27	7.82	32.1	22	25.1	0.005	0.41	30.8	0.0	3,500	62
2	26	7.80	24.5	12	24.1	0.100	0.22	27.0	0.1	3,310	60
3	26	7.79	23.4	15	22.3	0.592	0.06	26.3	0.1	3,240	65
4	26	7.80	23.3	10	23.3	0.473	0.65	25.8	0.1	3,440	80
5	25	7.99							0.0	3,380	
6	25	7.92	23.0	9	19.8	4.92	0.08	27.5	1.1	2,240	42
7	26	7.90	23.2	10	19.2	4.92	0.26	28.3	1.5	2,180	30
8	26	7.83	23.2	12	19.8	4.22	0.87	27.5	0.2	2,050	35
9	26	7.82							0.0		
処理水	26	7.77	24.5	12	19.0	4.82	0.69	27.5			

8月

	水温 (°C)	PH	COD (mg/ℓ)	BOD ( $\mu$ )	NH <sub>4</sub> -N ( $\mu$ )	NO <sub>2</sub> -N ( $\mu$ )	NO <sub>3</sub> -N ( $\mu$ )	T-N ( $\mu$ )	DO ( $\mu$ )	MLSS ( $\mu$ )	SV <sub>30</sub> (%)
流入原水		7.19	463	780	47.2			72.7			
第1槽	29	7.48	35.8	12.1	27.8	0.021	0.38	31.2	0.0	2,150	62
2	28	7.53	30.0	9.4	28.4	0.040	0.50	32.9	0.0	2,080	62
3	28	7.49	29.4	6.4	27.6	0.386	0.48	31.2	0.3	2,150	65
4	28	7.52	29.4	7.4	29.0	0.594	0.48	31.2	0.5	2,130	69
5	28	7.58							0.0		
6	29	7.54	29.5	5.1	22.0	5.90	0.56	30.1	2.2	1,490	25
7	28	7.60	28.2	8.9	21.2	6.90	0.61	29.5	3.1	1,380	24
8	28	7.60	27.4	5.3	21.1	7.16	0.61	29.4	1.2	1,390	26
9	28	7.71							0.0		
処理水	28	7.74	38.5	5.5	21.4	5.30	0.10	28.0			

9月

	水温 (°C)	PH	COD (mg/ℓ)	BOD ( $\mu$ )	NH <sub>4</sub> -N ( $\mu$ )	NO <sub>2</sub> -N ( $\mu$ )	NO <sub>3</sub> -N ( $\mu$ )	T-N ( $\mu$ )	DO ( $\mu$ )	MLSS ( $\mu$ )	SV <sub>30</sub> (%)
流入原水		7.18	403	780	48.2			120			
第1槽	26	7.49	35.8	12.1	25.9	0.016	0.18	30.8	0.5	4,130	72
2	25	7.51	30.0	9.4	24.2	0.042	0.23	27.3	0.1	4,280	67
3	24	7.48	29.4	6.4	22.2	0.382	0.16	26.0	0.1	4,160	70
4	24	7.47	29.4	7.4	23.4	0.591	0.18	26.8	0.1	4,300	65
5	23	7.59							0.0		
6	24	7.52	29.5	5.1	20.6	5.90	0.10	28.8	0.1	3,400	59
7	24	7.50	28.2	8.9	19.8	6.70	0.50	28.0	0.2	3,190	53
8	24	7.44	27.4	5.3	19.0	7.16	0.63	28.0	1.2	3,310	55
9	24	7.43							0.0		
処理水	24	7.55	28.5	6.0	18.7	4.3	2.65	27.5			

## 10月

	水温 (°C)	PH	COD (mg/ℓ)	BOD (“)	NH <sub>4</sub> -N (“)	NO <sub>2</sub> -N (“)	NO <sub>3</sub> -N (“)	T-N (“)	DO (“)	MLSS (“)	SV <sub>30</sub> (%)
流入原水		7.22	473	790	57.2			72.7			
第1槽	20	7.48	36.8	13.1	28.8	0.022	0.38	31.2	0.1	2,645	88
2	20	7.50	31.0	10.4	28.4	0.043	0.50	32.9	0.2	2,725	92
3	20	7.41	30.4	7.4	27.6	1.38	0.48	31.2	0.3	2,795	90
4	20	7.23	30.4	7.4	26.6	2.59	0.48	31.2	0.2	2,805	90
5	20	7.28	30.5						0.0		
6	20	7.11	39.2	6.1	23.0	5.90	0.66	30.3	2.2	1,895	60
7	20	7.04	38.2	8.9	21.2	6.90	0.61	29.3	3.1	2,005	69
8	20	7.02	37.2	5.3	20.1	7.16	0.61	29.0	1.2	2,025	65
9	20	7.16							0.0		
処理水	20	7.28	38.5	5.9	20.0	7.06	0.59	29.5			

## 11月

	水温 (°C)	PH	COD (mg/ℓ)	BOD (“)	NH <sub>4</sub> -N (“)	NO <sub>2</sub> -N (“)	NO <sub>3</sub> -N (“)	T-N (“)	DO (“)	MLSS (“)	SV <sub>30</sub> (%)
流入原水		7.24	303	860	31.9			78.5			
第1槽	16	6.96	32.0	8.8	15.8	1.08	3.1	23.2	2.6	3,720	59
2	16	6.91	28.0	7.6	0.60	2.92	16.8	22.6	3.2	3,740	53
3	16	6.88	28.3	6.4	0.35	2.43	18.4	22.2	3.5	2,760	55
4	17	6.87	29.0	5.4	0.29	2.15	19.1	22.4	3.7	3,840	63
5	17	6.88							0.0		
6	16	6.87	28.6	4.8	0.27	0.946	16.9	20.3	1.2	2,640	40
7	16	6.89	27.4	4.0	0.32	0.792	16.9	19.1	3.1	2,880	36
8	16	6.88	27.0	4.8	0.43	0.690	15.5	18.0	4.2	2,680	35
9	16	6.89							0.3		
処理水	16	6.81	29.6	5.6	0.33	0.554	14.2	16.2			

## 12月

	水温 (°C)	PH	COD (mg/ℓ)	BOD (“)	NH <sub>4</sub> -N (“)	NO <sub>2</sub> -N (“)	NO <sub>3</sub> -N (“)	T-N (“)	DO (“)	MLSS (“)	SV <sub>30</sub> (%)
流入原水		7.30	387	1,000	21.0			123		352	
第1槽	14	6.95	45.6	26	2.8	14.83	11.5	36.4	2.5	3,720	68
2	14	6.90	43.2	22	1.8	4.58	26.5	35.4	2.7	3,700	70
3	14	6.83	40.0	18	1.35	3.81	28.9	34.8	3.4	3,230	65
4	14	6.83	36.5	18	1.29	2.37	30.0	35.1	3.2	3,800	68
5	14	6.80							0.3		
6	15	6.84	34.1	17	1.27	1.49	26.5	31.8	2.2	2,690	50
7	15	6.84	32.6	18	0.65	1.24	25.9	29.9	1.5	2,880	43
8	15	6.83	32.5	16	0.43	1.08	26.5	28.2	0.5	2,680	42
9	15	6.84							0.0		
処理水	15	6.81	33.9	16	0.60	1.49	22.9	28.5			

## 1月

	水温 (°C)	PH	COD (mg/ℓ)	BOD (“)	NH <sub>4</sub> -N (“)	NO <sub>2</sub> -N (“)	NO <sub>3</sub> -N (“)	T-N (“)	DO (“)	MLSS (“)	SV <sub>30</sub> (%)
流入原水		7.43	456	1,232	50.2			133			
第1槽	13	7.25	46.7	42	26.3	0.011	0.23	33.8	0.0	3,200	85
2	13	7.26	43.9	45	25.2	0.032	0.29	29.3	0.1	3,300	80
3	13	7.24	44.5	25	22.5	0.283	0.34	28.0	0.1	3,280	89
4	13	7.21	40.8	33	20.8	1.00	0.29	26.5	0.2	3,200	84
5	13	7.20							0.0		
6	13	7.09	40.2	30	18.7	3.90	0.18	26.0	2.2	2,900	78
7	13	7.04	38.3	28	17.4	4.70	0.24	25.5	1.8	2,800	83
8	13	7.02	37.0	26	17.0	5.13	0.38	24.9	0.3	2,800	84
9	13	7.09							0.0		
処理水	13	7.18	38.0	26	17.0	4.00	0.40	25.4			

	水温 (°C)	PH	COD (mg/ℓ)	BOD (%)	NH <sub>4</sub> -N (%)	NO <sub>2</sub> -N (%)	NO <sub>3</sub> -N (%)	T-N (%)	DO (%)	MLSS (%)	SV <sub>30</sub> (%)
流入原水		7.70	370	597	38.2			71.7			
第1槽	12	7.46	49.5	35	25.9	0.163	0.18	30.3	0.0	3,250	95
2	12	7.45	47.8	32	24.2	0.042	0.20	30.5	0.1	3,150	96
3	12	7.44	45.1	30	22.2	0.583	0.19	29.8	0.1	3,200	95
4	12	7.45	43.5	31	23.4	1.20	0.19	29.0	1.2	3,000	90
5	12	7.47							0.1		
6	12	7.43	45.0	33	17.3	5.90	0.20	28.5	2.2	2,600	85
7	12	7.42	43.9	32	17.0	6.70	0.60	28.3	1.9	2,550	86
8	12	7.40	41.0	30	16.9	7.16	0.73	28.5	0.1	2,610	80
9	12	7.44							0.0		
処理水	12	7.60	45.1	34	17.0	7.20	0.62	29.0			

	水温 (°C)	PH	COD (mg/ℓ)	BOD (%)	NH <sub>4</sub> -N (%)	NO <sub>2</sub> -N (%)	NO <sub>3</sub> -N (%)	T-N (%)	DO (%)	MLSS (%)	SV <sub>30</sub> (%)
流入原水		7.45	453	1,144	44			110			
第1槽	17	7.26	42.8	18.8	38.0	0.132	0.70	42	0.0	3,450	87
2	17	7.26	38.4	17.6	38.2	0.146	0.65	41.0	0.1	3,450	65
3	17	7.24	38.2	16.4	37.0	0.096	0.54	39.0	1.2	3,350	67
4	17	7.23	39.0	15.6	38.2	0.120	0.49	39.4	1.1	3,350	65
5	17	7.24							0.0		
6	17	7.19	38.5	14.8	36.7	0.05	0.38	38.0	0.1	2,700	50
7	17	7.18	37.6	14.0	36.5	0.100	0.54	38.2	0.2	2,800	49
8	17	7.19	37.0	14.8	36.0	0.090	0.48	37.3	0.2	2,700	52
9	17	7.20							0.0		
処理水	17	7.63	37.4	15.9	36.0	0.040	0.60	37.5			

香川県下における活性汚泥処理によるT-N除去率は平均で66.4%であり、当処理施設でのT-N除去率は、この値より若干高い値であった。

当処理場における余剰汚泥中T-N濃度は平均で9.05%であり、日平均余剰汚泥引き抜き量は192.5kg/日であった。従って余剰汚泥と共に引き抜かれるT-N量は、17.42kg/日となる。一方流入T-N量は日平均37.45kg/日、放流水として流去するT-N量は11.27kg/日である。これらよりT-N量の収支をとると表3のとおりである。

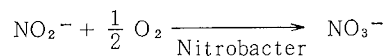
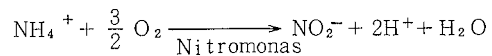
表3 T-N量の収支

	T-N (kg/日)	流入量に対する割合(%)
日平均流入量(A)	37.45	
〃 引き抜き量(B)	17.42	46.5
〃 流去する量(C)	11.27	30.1
A - (B + C)	8.76	23.4

表3よりわかるように除去率69.9%の内汚泥引き抜きによるものは46.5%である。残り23.4%は大気へ放散している事が予測される。当施設の曝気槽内PH域ではNH<sub>3</sub>としての放散は少なく、大半が窒素としての放散が考えられる。<sup>2)</sup>この窒素としての放散は石川らにより研究さ

れている好気性脱窒の寄与が大きいのか、従来より言われている好気嫌気による脱窒の寄与が大きいのかは今後の調査課題である。

つぎに、現在行っている処理系及び運転方法を若干変える事により窒素除去を高める事ができるかどうかであるが、すでに既存の施設及び運転方法を若干変える事により効率の良い窒素除去を行っている事例が報告されている。<sup>3)~5)</sup>まず除去率を高めるには、生物学的脱窒の寄与を大きくさせる必要がある。つまり現在の運転状態においても23.4%の生物学的脱窒が予測されており、この脱窒効率を良くする必要がある。この為には、処理系の中に硝化工程と嫌気脱窒工程を作る必要がある。硝化工程では生物酸化反応



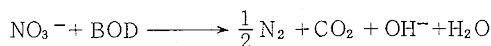
が生じる。生物学的脱窒の第1条件としてこの硝化が速やかに進行しなければいけない。当処理施設では全般的に低いDOレベルで運転しているため、NO<sub>2</sub>、NO<sub>3</sub>の生成が悪い。しかし11月、12月のようにDO濃度を上げて運転すると速やかに硝化が進む事がわかる。この生物酸

化反応に影響を与える要因としてDOのほかPH, 水温がある。硝化作用を行う硝化菌の最適PH域はNitromonasで7.0~8.5, Nitrobacterで6.5~8.0である事がすでに実験的に確認されており, 少なくともPHは6.5以上に保つ必要がある。当処理施設においては, 11月, 12月に98%以上の硝化は進んでおりこれに伴うPH低下がみられるが, 最低で6.83であり硝化阻害を生じるまでPH低下を起こさない事がわかる。つぎに水温であるが曝気槽内の水温が15℃以下になると急速に硝化速度が低下する事が認められている。当処理場でも冬期に12℃~13℃に水温低下をきたす。従ってこの時期における硝化速度の低下が予想される。

つぎに, 嫌気脱窒工程であるが, ここでは脱窒細菌による生物学的脱窒が起きるわけである。脱窒菌は通性嫌気性細菌に属し, 好氣的条件下でも, 嫌氣的条件下でも増殖が可能である。また溶存酸素, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-Nの共存下で有機物を同化する場合, 優先的に溶存酸素を利用する特性をもっている。しかし嫌氣的条件下におかれるとNO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-Nの結合酸素を利用して増殖し, 結合酸素の一部は水素受容体として使われ硝酸呼吸あるいは亜硝酸呼吸がなされる。したがって脱窒細菌による脱窒を行うには, まず嫌気状態におく必要があり, さらに嫌気槽内に充分硝化の進んだ水を送り込まなければならない。また有機炭素源を投入する必要がある。以上の事を考慮した場合図2に示す系が考えられる。図2の曝気槽には当処理施設の第1, 第2槽をあて, 硝化槽には第3, 第4槽をあてる。脱窒槽には第5の濃縮槽と第6槽を, 再曝気槽には第7, 第8槽をあてる。第9の濃縮槽はそのまま利用し現在返送汚泥用としてエアリフトポンプを利用しているがこれを循環用として使用する。

図2のように原水の一部を有機炭素源として使用する原水分注型脱窒処理はすでに研究が進められており, 当処理場においても充分適応が可能と考えられる。この系における脱窒率に影響を与える要因として循環比がある。理論的には循環比を大きくするに従って脱窒率が大きくなるわけであるが, 循環比を3.5程度<sup>10)</sup>に取るのが最適である。

つぎに脱窒槽への原水投入量であるが, 脱窒槽内での脱窒反応を



と考えると理論BOD必要量は, NO<sub>3</sub>-N 1 mg/l に対して3.43 mg/l となり, 運転に当っては<sup>11)</sup>この比が保たれる様に投入量を調節する必要がある。なお白石らの実験においても最適濃度比は3.77と理論値に近い値を示している。

これらの事より当処理系及び運転方法を変える事によ

り窒素除去率をあげる事が可能である。

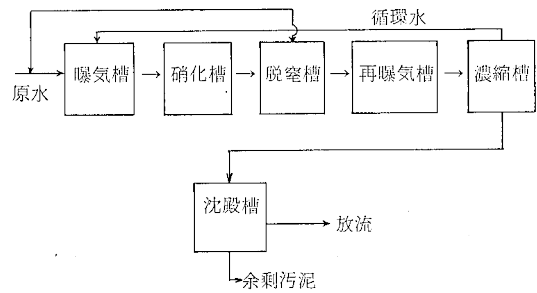


図2 脱窒フロー

## ま と め

- 1) 今回調査したと場処理施設における窒素除去率は69.9%であり, その内46.5%が汚泥引き抜きによるものである。残り23.4%は生物学的脱窒によるものである。
- 2) 既存の処理施設を利用し若干その系及び運転方法を変更する事により窒素除去率をさらに上げる事ができる。
- 3) 当処理場において脱窒処理を行った場合, 冬期においては除去率が低下する事が予想される。

## 文 献

- 1) 藤田淳二, 土取みゆき, 小坂紀生, 他: 香川県公害研究センター所報, 6, 11 (1981)
- 2) 石川宗孝, 中西 弘: 環境技術, 8, 11, 17 (1979)
- 3) 石川宗孝: 衛生工学研究論文, 18, 98 (1982)
- 4) 石川宗孝, 中西 弘, 水船清司: 衛生工学研究論文, 19, 196 (1983)
- 5) 石川宗孝, 村上定輝, 中西 弘, 他: 衛生工学研究論文, 20, 213 (1984)
- 6) 原田良誠, 太田 敏, 今道正弘, 他: 下水道協会誌, 21, 241, 54 (1984)
- 7) 原田良誠, 進士一男, 小堀和夫, 他: 衛生工学研究論文, 20, 203 (1984)
- 8) 竹山兵三, 小川喜三郎: 水処理技術, 20, 4, 45 (1979)
- 9) 宗宮 功, 河村清史, 上野正雄, 他: 水質汚濁研究, 3, 2, 33 (1980)
- 10) 渡辺沼二, 馬場研二, 野北舜介: 下水道協会誌, 21, 245, 66 (1984)
- 11) 白石皓二, 柴田正克: PPM, 15, 5, 50 (1984)