

# 論文

# 1. 不織布接触材方式浄化実験（その3）

## 1. 目的

生活排水や面源汚濁負荷等に含まれる窒素・リン等が、河川水への流入により下流の河川や湖沼の富栄養化を生じさせる一因となることは知られており、これら汚濁物質の河川への流入量を削減すべく早急な対策を講じることが必要である。

大きな接触面積と適当な空隙率を持つ不織布は、微生物の安定した生育環境を提供するとともに、短時間に効率良く懸濁物質を除去できる特徴を持つ。

'98年度よりこの不織布を接触材とした「不織布接触材方式浄化実験」を行ってきた。'98年度は曝気運転にて、'99年度は無曝気運転にて浄化効率及び脱リン材の検討を行ったが、'00年度は、曝気運転による浄化効率の再現性を検討するとともに、別種脱リン材の検討を行った。

## 2. 実験施設の諸元

### 2.1 施設概要

図2-1に水路型浄化実験施設のE水路に設けた不織布接触材方式浄化施設の全景写真を、図2-2に施設の構造図を示す。開孔径の異なる不織布接触材（菊花断面棒状不織布）a～cを接触材槽1、2及び放流槽に吊り下げるとともに、脱リン材としてハイドロタルサイト系吸着材を脱リン槽へ配置した。また、1日1回各槽毎に午前0時から4分間の強曝気を行い、接触材の逆洗を行った。

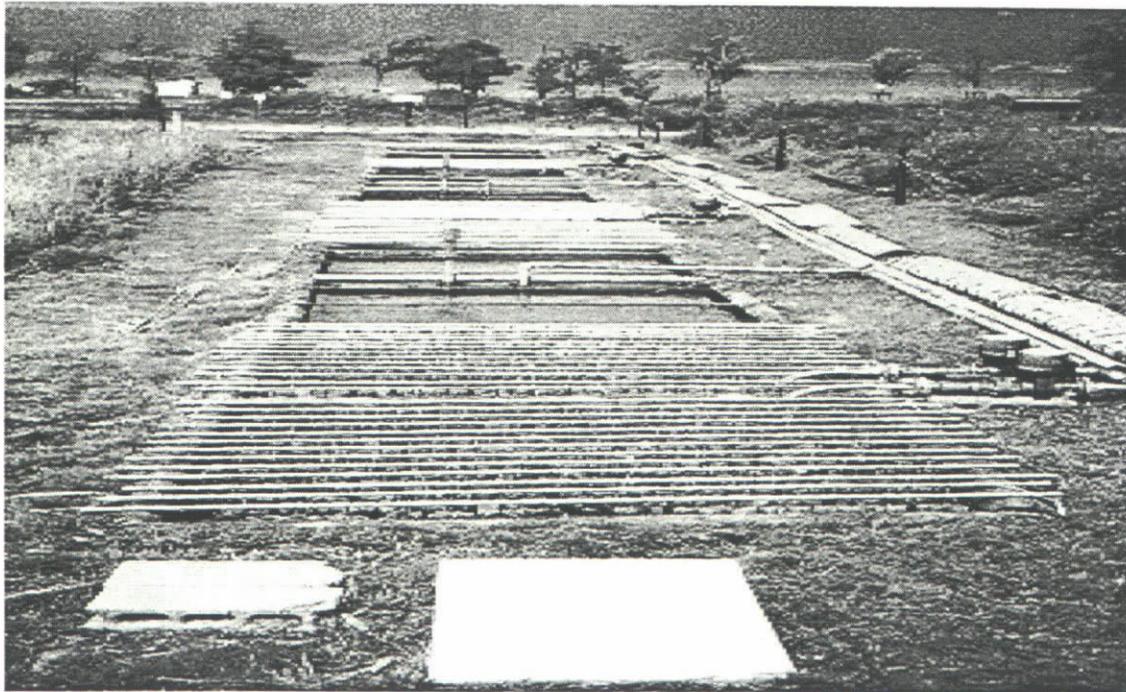
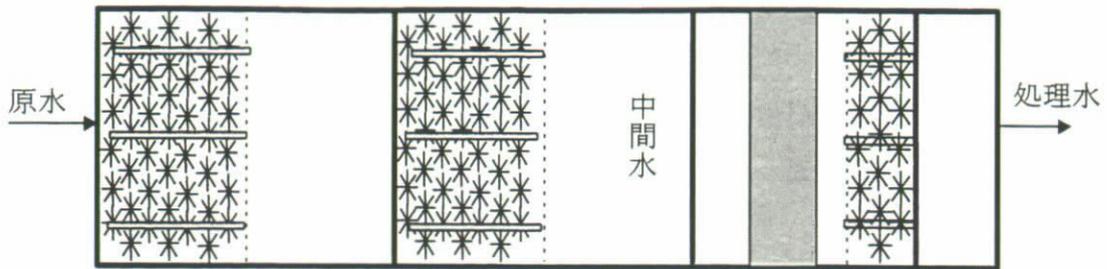


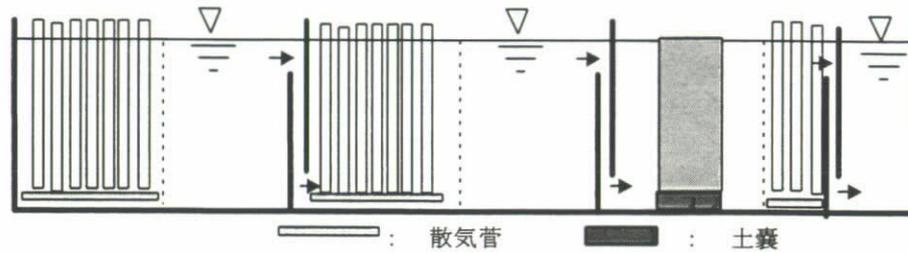
図2-1 不織布接触材方式の施設全景写真

平面図



接触材槽1 沈澱槽1 接触材槽2 沈澱槽2 脱リン槽 放流槽

断面図



- 接触材槽 1：接触材 a (開孔径 $620\mu\text{m}$ )BF (144本) + 接触材 b (開孔径 $500\mu\text{m}$ )BF (324本)
- 接触材槽 2：接触材 b (開孔径 $500\mu\text{m}$ )BF (144本) + 接触材 c (開孔径 $250\mu\text{m}$ )BF (324本)
- 放流槽：接触材 b (開孔径 $500\mu\text{m}$ )BF (208本)
- 脱リン材：ハイドロタルサイト系吸着材

図2-2 施設構造図

図2-3に接触材の概要図及び写真を示す。

不織布接触材の大きさは直径10cm、長さ72cm、花卉数8枚で、水の流れを考慮して適当な間隔を開けた配置とし、'98、'99年度と同一の接触材及び配置である。

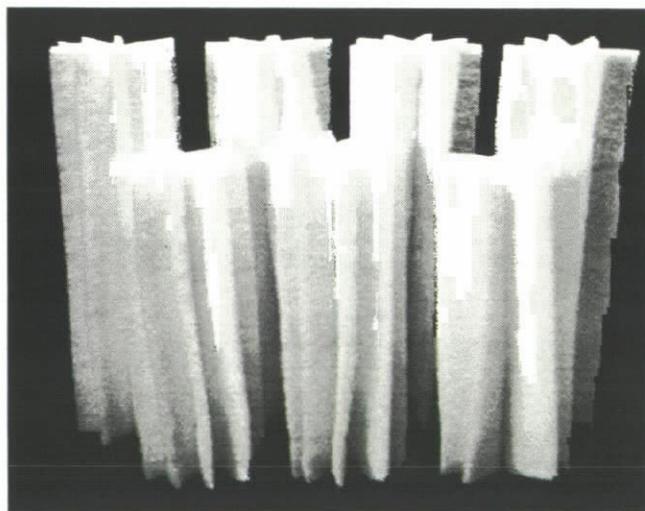


図2-3 接触材の概要図及び写真

図2-4に脱リン材の概要を示す。

脱リン材は、'99年度と同様な $40\text{cm}$ 、 $30\text{cm}$ 、 $19.5\text{cm}$ のステンレスケースに、粒径約 $5\text{mm}$ のハイドロタルサイト系脱リン材 ( $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 等の金属水酸化物の造粒焼結体) を $0.61\text{g}/\text{cm}^3$ の見掛け密度で充填し、5月11日に18個設置した。尚、ステンレスケースが網状カゴのため60メッシュの樹脂製ネットを脱リン材の脱落防止材として用いた。

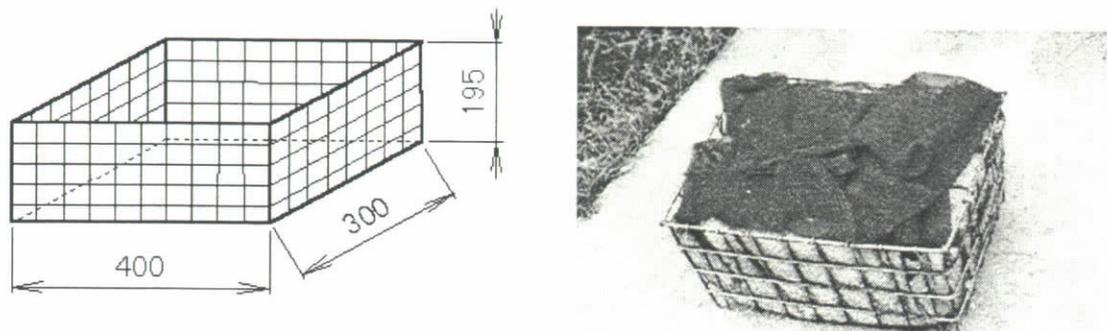


図2-4脱リン材概要図及び写真

## 2.2 施設の諸元及び運転条件

本施設の諸元及び運転条件を表2-1に示す。脱リン材の種類以外は'98年度と同一条件である。

表2-1 施設の諸元及び運転条件

	接触材槽1	沈澱槽1	接触材槽2	沈澱槽2	脱リン槽1	放流槽	合計
長さ	4.00m	4.00m	4.00m	4.00m	4.00m	4.00m	24.00m
施設容積	$6.24\text{m}^3$	$6.24\text{m}^3$	$6.24\text{m}^3$	$6.24\text{m}^3$	$6.24\text{m}^3$	$6.24\text{m}^3$	$37.44\text{m}^3$
施設面積	$7.80\text{m}^2$	$7.80\text{m}^2$	$7.80\text{m}^2$	$7.80\text{m}^2$	$7.80\text{m}^2$	$7.80\text{m}^2$	$46.80\text{m}^2$
通水量	$150\text{m}^3/\text{日}$						
滞留時間	1.0hr	1.0hr	1.0hr	1.0hr	1.0hr	1.0hr	6.0hr
充填材	BF468本	—	BF468本	—	ハイドロタルサイト系	BF208本	—
充填率 *1	47%	—	47%	—	44%	27%	—
曝気量(常時)	240l/分	—	240l/分	—	—	—	480l/分
(逆洗時) *2	480l/分	—	480l/分	—	—	480l/分	480l/分

\*1 充填率は、接触材を円筒状、脱リン材の見掛け比重より算出した。

\*2 逆洗の曝気は、1槽毎に1日1回行った。

## 3. 実験内容

### 3.1 調査期間

(1)2000年4月28日～2001年1月15日

葉山川河川水・・・・・・・・・・採水10回

(2)1999年4月20日～2000年3月17日

葉山川河川水・・・・・・・・・・採水12回

代掻き・田植え時の農業排水・・・・・・・・採水 4回

(3)1998年4月21日～1999年1月20日

葉山川河川水・・・・・・・・・・採水16回

代播き・田植え時の農業排水・・・・・・・・採水 4回

(4)期間の名称

全期間・・・・・・・・葉山川及び農業排水より導水した全採水期間

通常期・・・・・・・・葉山川より導水した採水期間

3.2 調査内容

3.2.1水質

(1) 測定項目

水温、pH、DO、SS、COD、BOD、T-N、D-T-N、T-P、D-T-P(外部分析)

(2) 調査及び採水方法

図2-2の平面図に示す原水、処理水の地点で、滞留時間を考慮した時間の間隔にて採水を行なった。

3.2.2 堆積汚泥

(1) 測定項目

堆積汚泥容量、固形分濃度、堆積汚泥乾燥重量、有機分比率、含有N量、含有P量

(2) 調査及び採取方法

施設内の水を抜き、1槽につき幅方向に5箇所、長さ方向に3箇所で堆積高さを物差しで測定した。また、汚泥はひしゃくにて採取した。

3.2.3 接触材付着物(SS)

(1) 測定項目

付着物(SS)乾燥重量、有機分比率、含有N量、含有P量

(2) 調査及び採取方法

設置していた接触材a～cの中からランダムに各々1本を回収し、純水でよく洗浄し、その洗浄水について付着物重量SS、有機分比率、含有N量、含有P量を測定した。

4. 実験結果

4.1水質調査

4.1.1 水温、pH、DO

図4-1、2、3に水温、pH、DOの結果を示す。

水温は気候の変化に伴い変化した。原水、処理水で差は見られなかった。pHは原水、処理水で大きな変化を示さなかった。DOは、曝気運転を行ったにもかかわらず、処理水DO値が原水DO値を下回ることがあった。

表4-1に'98年度の各平均値との比較を示す。尚、'99年度は代播き期間だけの測定値のために除外した。水温、pHとも'00年度と'98年度は同等であった、DOは'00年度にて処理水が原水濃度に比べて低かった。

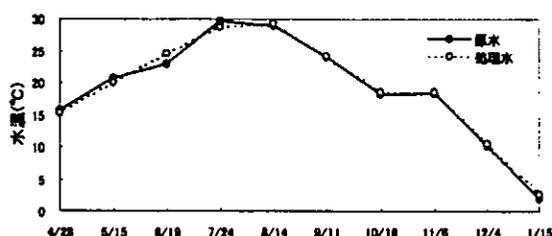


図4-1 水温変化

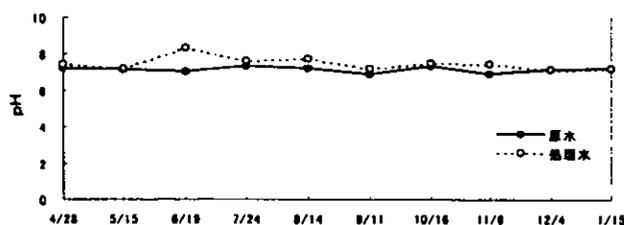


図4-2 pH変化

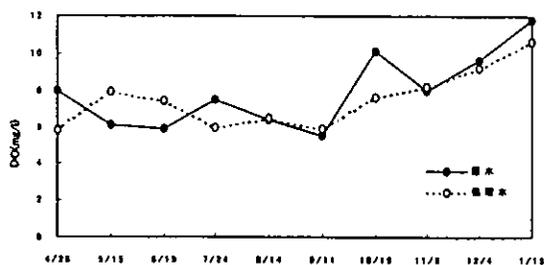


図4-3 DO変化

表4-1 '00年度と'98年度の比較

平均値	水温 (°C)		pH		DO (mg/l)	
	原水	処理水	原水	処理水	原水	処理水
'00年度	19.1	19.3	7.1	7.5	7.9	7.5
'98年度	20.2	20.6	7.7	7.8	7.3	7.8

#### 4.1.2 S S

SS濃度と除去率の経時変化を図4-4、5に、'98年度、'99年度の平均除去率との比較を表4-2に示す。

原水濃度は、8.0~86.5mg/lにて変化し、9月及び1月に高値を示した。平均原水濃度は31.7mg/lを示し、'98年度通常期の平均濃度19.6mg/l及び'99年度通常期の平均濃度13.0mg/lと比較し高値を示した。

SS除去率は、8.7~79.7%と大きくバラツキ、平均除去率は52.9%と'99年度無曝気運転より向上したが、'98年度曝気運転の通常期と比較して低下した。低下要因として'00年度の実験では、逆洗時間帯の狂い及びフロアーの異常停止などの頻発が認められた。尚、10月と11月の採水時は、フロアーの異常停止が認められた為、平均除去率の計算値より除外した。

以下各水質項目に付いても平均除去率算出には、10月と11月の数値を除外した。

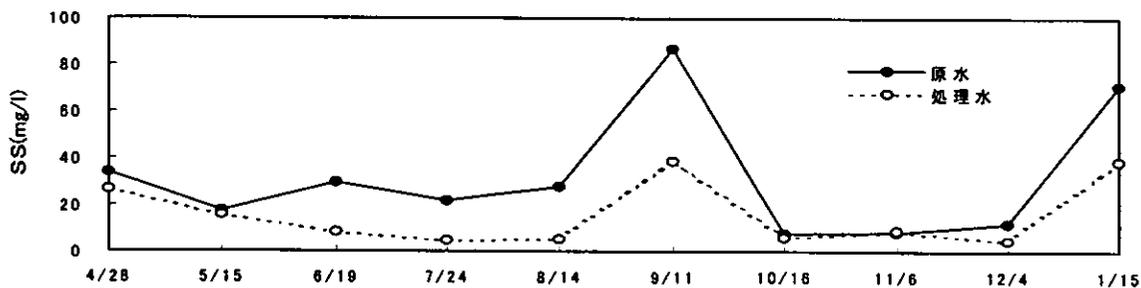


図4-4 SS濃度の経時変化

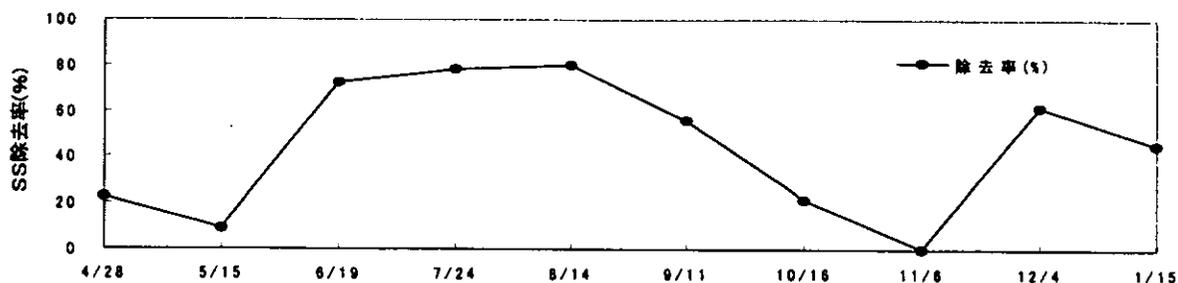


図4-5 SS除去率の経時変化

表4-2 SSの平均除去率

期間		平均除去率
'00年度	全期間	52.9%
'99年度	全期間	36.9%
	通常期	37.3%
'98年度	全期間	75.6%
	通常期	83.3%

#### 4.1.3 COD

COD濃度と除去率の経時変化を図4-6、7に、各年度の平均除去率の比較を表4-3に示す。

原水のCOD濃度は3.2~13.6mg/lにて変化し、平均原水濃度は6.2mg/lと、'98年度通常期の4.4mg/l及び'99年度通常期の5.0mg/lと比較して高値を示した。CODの平均除去率は25.0%と'98年度曝気運転の通常期平均除去率と比較して低下したが、'99年度の無曝気運転と比較し約2倍向上した。

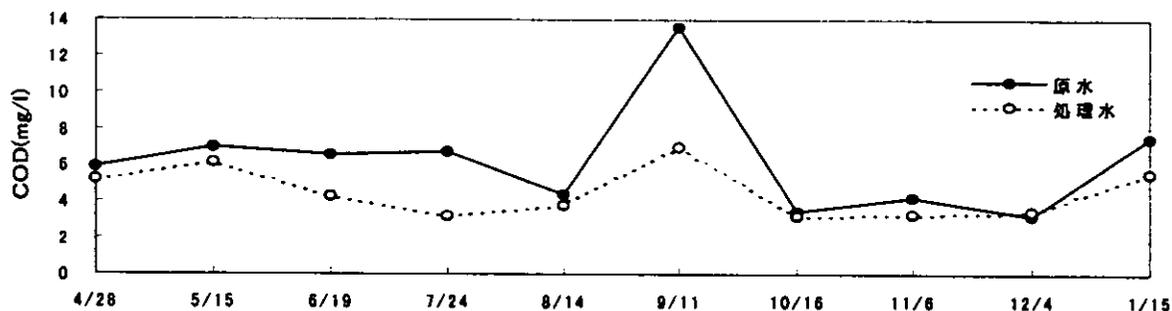


図4-6 COD濃度の経時変化

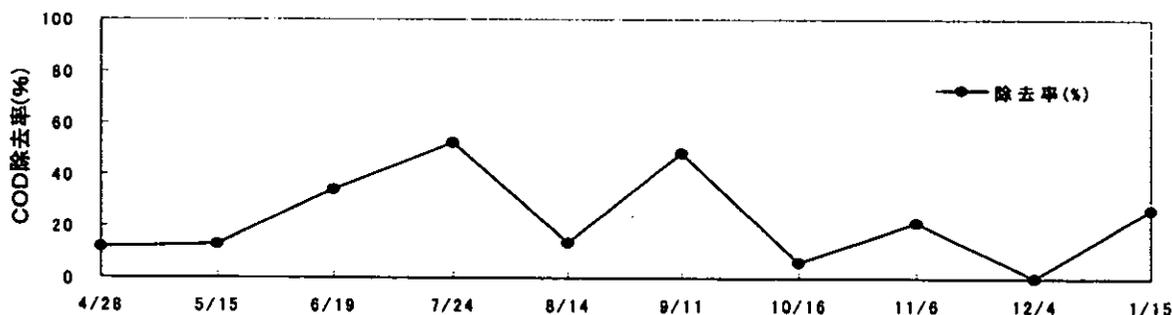


図4-7 COD除去率の経時変化

表4-3 CODの平均除去率

期間		COD除去率
'00年度	全期間	25.0%
'99年度	全期間	12.9%
	通常期	13.3%
'98年度	全期間	30.6%
	通常期	30.3%

#### 4.1.4 BOD

BOD濃度と除去率の経時変化を図4-8、9に、各年度の平均除去率の比較を表4-4に示す。

原水のBOD濃度は1.0～11.3mg/lと大きく変化し、平均原水濃度は3.8mg/lと'98年度通常期の2.4mg/l及び'99年度通常期の2.2mg/lと比較して高値を示した。

BOD除去率は2.9%～65.5%と大きく変化し、平均除去率は32.7%と'98年度と同等であり、'99年度の無曝気運転と比較し向上した。

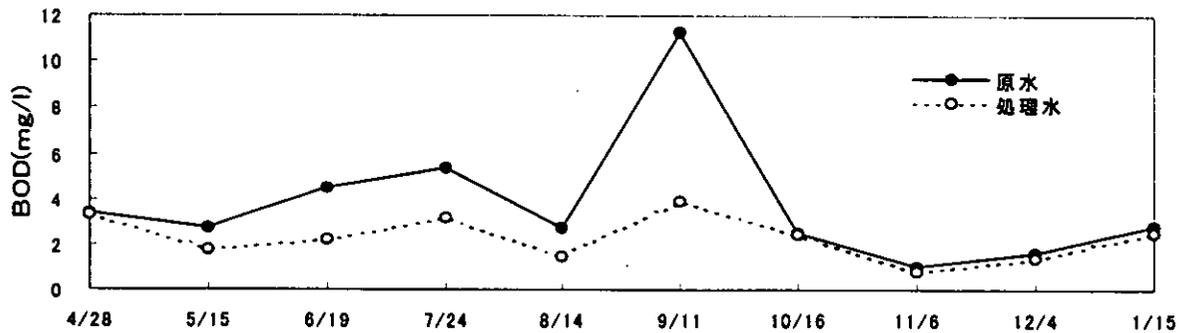


図4-8 BOD濃度の経時変化

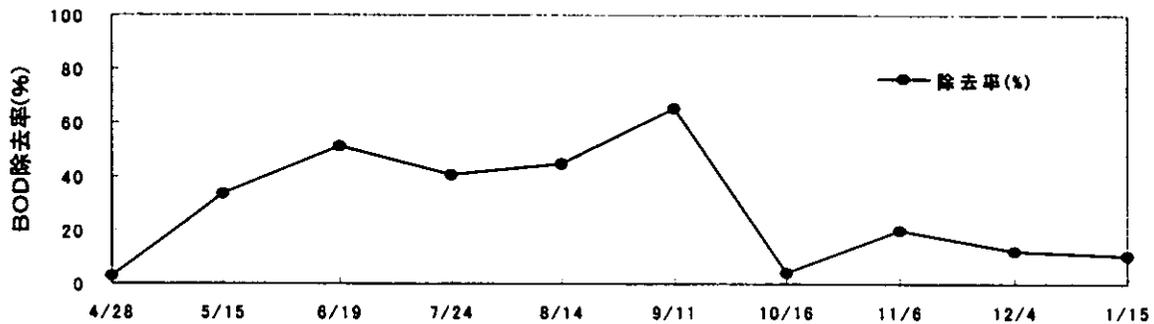


図4-9 BOD除去率の経時変化

表4-4 BODの平均除去率

期間		BOD
'00年度	全期間	32.7%
'99年度	全期間	20.0%
	通常期	17.4%
'98年度	全期間	31.5%
	通常期	31.8%

#### 4.1.5 窒素

##### (1) T-N

T-N濃度と除去率の経時変化を図4-10、11に、各年度の平均除去率の比較を表4-5に示す。

原水のT-N濃度は0.91~2.29mg/lと変化し、平均原水濃度1.51mg/lと'98年度通常期の1.51mg/l及び'99年度通常期の1.72mg/lと同等であった。

T-N除去率は、全期間で0.0~38.1%と変化し、平均除去率が10.4%と'98年度と同等であり、'99年度の無曝気運転と比較し向上した。

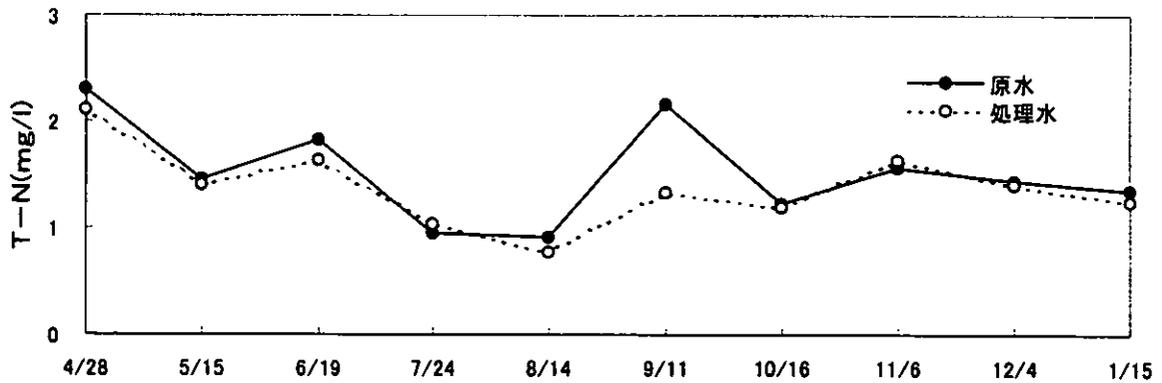


図4-10 T-N濃度の経時変化

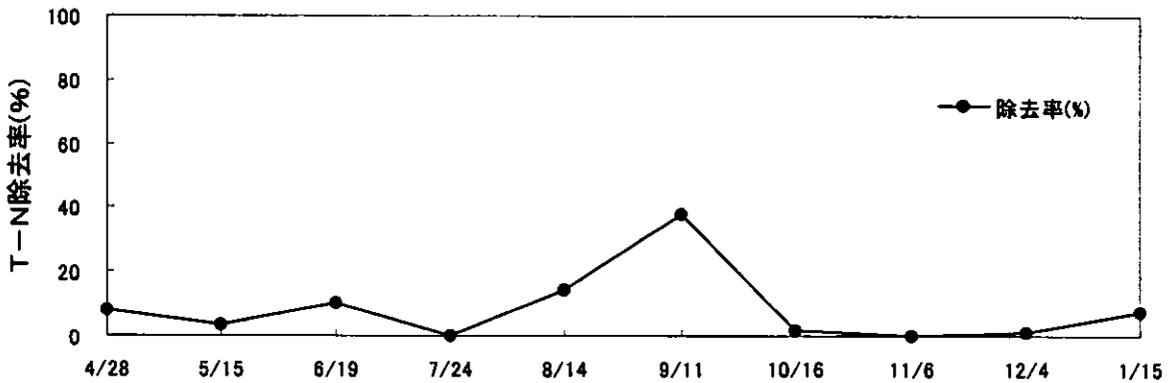


図4-11 T-N除去率の経時変化

表4-5 T-N、D-T-Nの平均除去率

期間		T-N	D-T-N
'00年度	全期間	10.4%	1.1%
'99年度	全期間	3.4%	1.6%
	通常期	4.3%	2.0%
'98年度	全期間	9.2%	5.3%
	通常期	9.0%	4.5%

##### (2) D-T-N

D-T-Nの濃度と除去率の経時変化を図4-12、13に、各年度の平均除去率の比較を表4-5に示す。

原水のD-T-N濃度は0.68~2.06mg/Lにて変化し、平均原水濃度は1.25mg/lと'98年度通常期の1.34mg/l及び'99年度通常期の1.40mg/lに比べ若干低下した。T-NとD-T-Nは連動して変化した。またD-T-N/T-Nの比は全期間平均81.0%で、'98年度通常期の88.7%及び'99年度通常期の90.4%と比較し低い傾向を示した。

D-T-Nの除去率は、全期間で0.0~6.7%と変化し、平均除去率1.1%とほとんど除去しておらず、'98年度通常期及び'99年度通常期と比較し低下した。

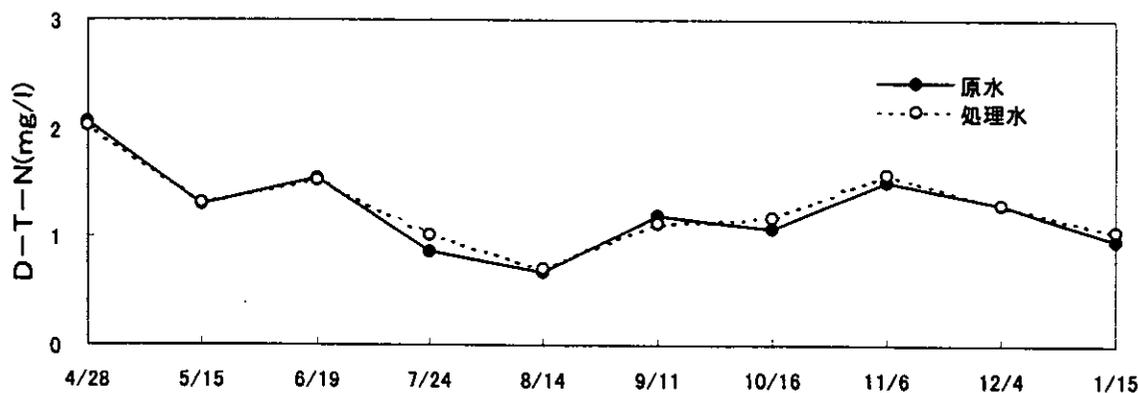


図4-12 D-T-N濃度の経時変化

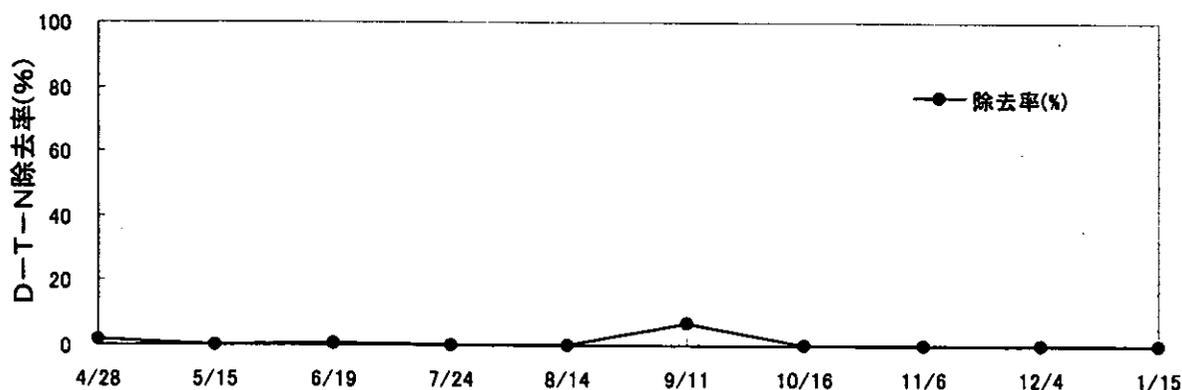


図4-13 D-T-N除去率の経時変化

#### 4.1.6リン

'00年度は、粒径約5mmの hidroタルサイト系脱リン材を使用した。

##### (1) T-P

T-Pの濃度と除去率の経時変化を図4-14,15に、各年度の平均除去率の比較を表4-6に示す。また表4-6には、T-P、D-T-Pより算出した懸濁成分(P-T-P)の平均除去率も示す。

原水のT-P濃度は0.091~0.339mg/lと変化し、平均原水濃度は0.188mg/lと'98年度通常期の0.145mg/l及び'99年度通常期の0.141mg/lに対し30%高い値を示した。

T-P全期間の除去率は、21.9~59.3%にて変化し、平均除去率36.3%を示し、'98年度通常期の約20%減、'99年度通常期の約1.8倍増であった。

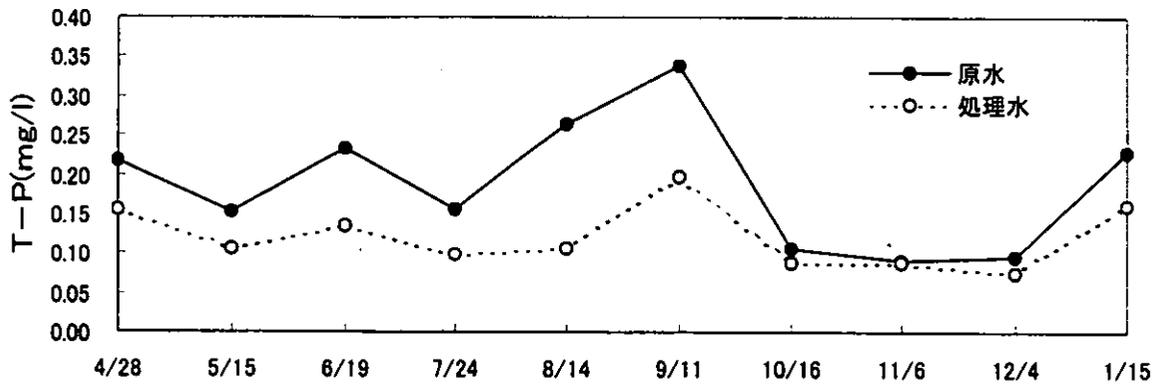


図4-14 T-P濃度の経時変化

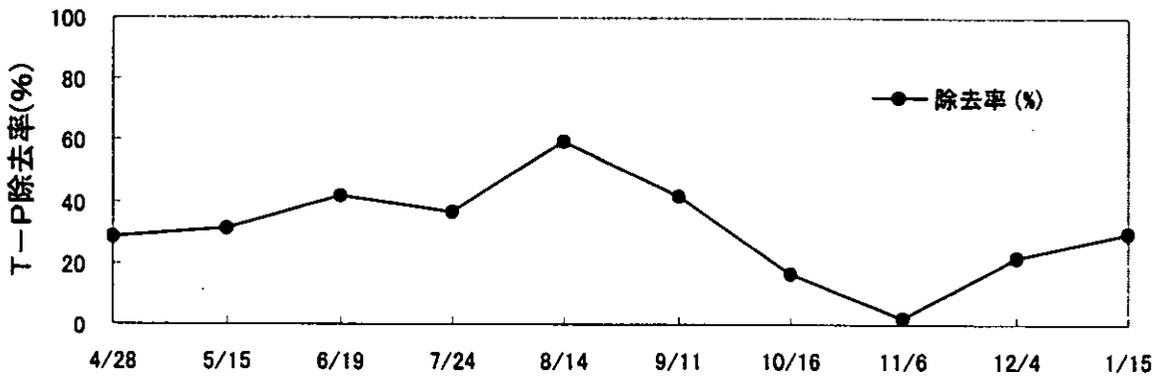


図4-15 T-P除去率の経時変化

表4-6 T-P、D-T-P、P-T-Pの平均除去率

期 間		T-P	D-T-P	P-T-P <sup>*1</sup>
'00年度	全期間	36.3%	7.0%	50.5%
'98年度	全期間	20.9%	17.5%	25.7%
	通常期	20.6%	15.0%	27.1%
'98年度	全期間	44.9%	19.0%	66.4%
	通常期	44.8%	17.7%	72.0%

\*1 T-P, D-T-P値より計算

(2) D-T-P

T-P、D-T-Pの濃度と除去率の経時変化を図4-16,17に、各年度の平均除去率の比較を表4-6に示す。

原水のD-T-P濃度は0.014~0.051mg/lにて変化し、平均原水濃度は0.034mg/l、'98年度通常期の0.045mg/l及び'99年度通常期の0.040mg/lと比較し低い傾向を示した。

除去率は、ほとんどの期間で原水より処理水が高値を示し、除去効果が認められたのは4月、1月のみであった。

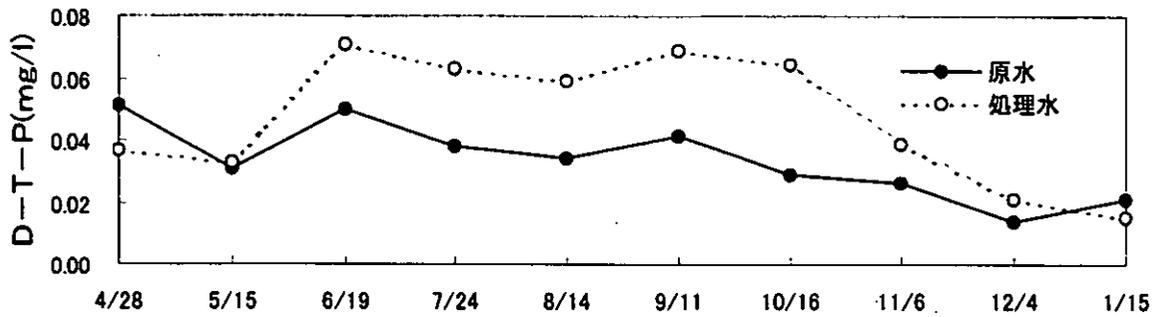


図4-16 D-T-P濃度の経時変化

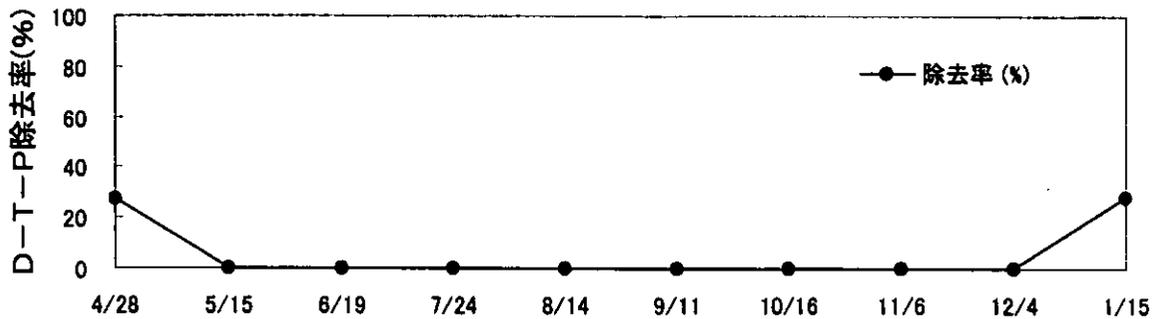


図4-17 D-T-P除去率の経時変化

#### 4. 2 堆積汚泥及び接触材付着物調査

##### 4. 2. 1 堆積汚泥

2000年4月から2001年2月までの約10ヶ月間に堆積した汚泥の調査結果を、表4-7、図4-18に示す。また、'98年度、'99年度の調査結果も合わせて表-7に示す。

各槽平均固形分濃度が21.6%と、'98年度16.9%、'99年度17.0%と比較して高値を示した。堆積汚泥量は、接触材槽に非常に少なく、沈澱槽1及び沈澱槽2に全堆積汚泥量の69.3%が堆積した。これは、'98年度と同傾向である。

'00年度の10ヶ月間における堆積汚泥量は、'98年度、'99年度の1年間の堆積汚泥量に対し117%、262%と増加した。この要因は、固形分濃度の上昇と通期のSS濃度の上昇（平均SS濃度'00年度31.7mg/l、'98年度19.6mg/l、'99年度13.0mg/l）と推察される。有機分比率、含有N量(mg/Kg)、含有P量(mg/Kg)は、'98年度及び'99年度と大きな差は無かった。また、堆積汚泥に含有される合計N量は堆積汚泥量の増減に伴い変化した。

表4-7 堆積汚泥の調査

		堆積汚泥容量	固形分濃度	堆積汚泥量	有機分比率	有機分量	含有N量		含有P量	
		(wet m3)	(%)	(dry Kg)	(VSS %)	(dry Kg)	(mg/Kg)	(dry g)	(mg/Kg)	(dry g)
'00年度	接触材槽1	0.178	21.2	37.7	12.4	4.7	4200	158.2	3520	132.6
	沈澱槽1	1.551	23.8	369.2	12.7	46.9	4500	1661.5	4690	1731.6
	接触材槽2	0.095	26.4	25.2	7.3	1.8	3090	77.8	2050	51.6
	沈澱槽2	1.248	20.7	258.3	12.7	32.8	4600	1188.3	3890	1004.9
	脱リン槽	0.510	18.6	94.9	12.5	11.9	4600	436.4	4110	389.9
	放流槽	0.637	18.8	119.8	12.5	15.0	3120	373.6	3530	422.7
	各槽平均値	0.703	21.6	150.8	11.7	18.8	4018.3	649.3	3631.7	622.2
	合計	4.219	-	905.0	-	113.0	-	3895.8	-	3733.4
'99年度	各槽平均値	0.299	17.0	57.6	12.7	7.3	3943	195.0	3260	168.1
	合計	1.794		345.4		43.9		1170.4		1008.6
'98年度	各槽平均値	0.750	16.9	128.7	13.1	16.9	4836	625.0	2903	371.2
	合計	4.499		772.3		101.6		3750.1		2227.3

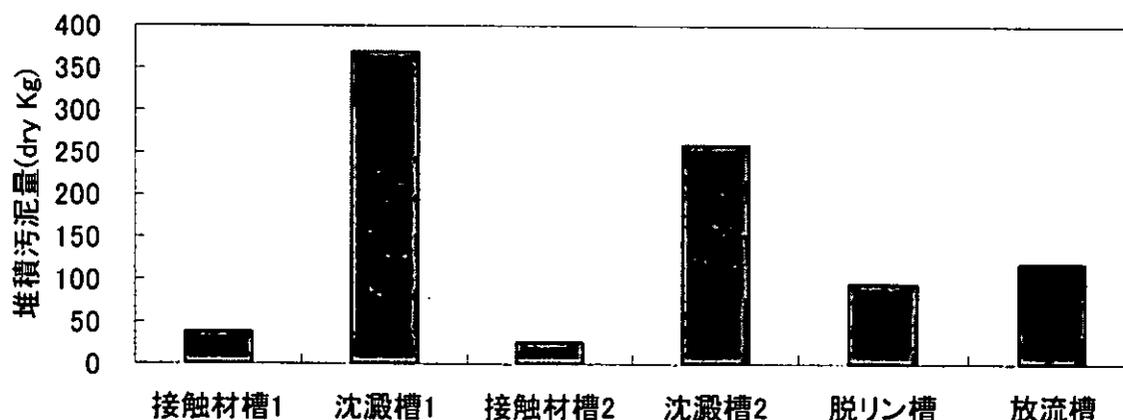


図4-18 各槽の堆積汚泥量

#### 4.2.2 接触材付着物 (SS)

堆積汚泥調査時に採取した接触材付着物 (SS) の調査結果を表4-8、各接触材への付着物重量の比較を図4-19に示す。

開孔径の異なる3種類の接触材における付着物 (SS) 重量は、流入側の接触材 a と開孔径が小さい接触材 c に高値を示したが、各接触材の目詰まり等は認められなかった。付着物は、接触材槽1のaにて有機物、接触材槽1のbにて窒素、接触材槽2のcにてリン、さらに放流槽のbにて窒素が多く補足されている。

付着物 (SS) は、'98年度と比較し有機分比率及び含有N量はほぼ同等であったが、含有P量は高値を示した。

表4-8 接触材付着物 (SS) の調査

			付着物(SS)重量		有機分比率	含有N量		含有P量	
			(dry g/本)	(dry Kg/全体本数)	(VSS %)	(mg/Kg)	(Dry g)	(mg/Kg)	(Dry g)
'00年度 (4月~1月 の10ヶ月)	接触材槽 1	接触材a	151	21.7	16.2	3640	79.1	1730	37.6
		接触材b	105	34.0	14.3	5760	196.0	2830	96.3
	接触材槽 2	接触材b	101	14.5	14.9	2980	43.3	2770	40.3
		接触材c	146	47.3	13.5	850	40.2	3450	163.2
	放流槽	接触材b	102	21.2	14.0	4070	86.3	1730	36.7
	全接触材平均		121.4	-	14.3	3445.3	0.39	2659.6	0.33
	合計		-	138.8	-	-	445.0	-	374.1
'98年度 (4月~9月の付着量)	接触材平均		59.3	-	15.3	8142.6	0.47	683.7	0.04
	合計		-	67.5	-	-	542.9	-	45.7

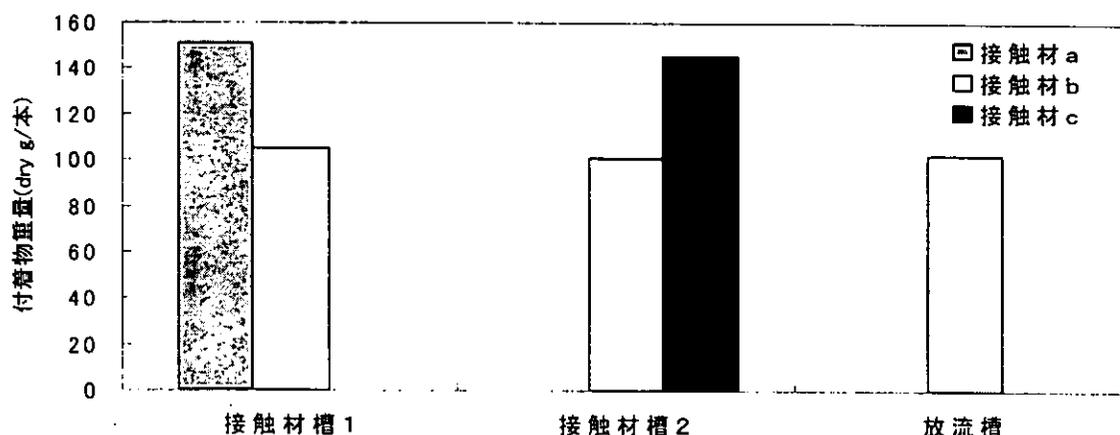


図4-19 各接触材への付着物重量の比較

## 5. 考察

### 5.1 曝気の除去性能に与える影響について

'98年度~'00年度における全期間及び運転条件別除去率を表5-1に、全実験期間及び運転条件(曝気・無曝気)別の平均除去率を、図5-1に示す。

懸濁物質(SS)に起因するSS・COD・BOD及びP-T-Pの除去率は、無曝気運転と比較し曝気運転時には約2倍の除去率向上が見られた。さらにCOD除去率は、平均COD濃度が6mg/l以下の低濃度にもかかわらず、曝気運転により除去率が2.6倍向上した。これは、曝気による旋回流にて懸濁物質同士の衝突及び接触材への衝突回数の増加効果による効率向上と推察される。

また堆積汚泥調査から、SSの沈降は曝気運転時に沈澱槽に多量のSSが堆積していた。

これらから曝気運転を行うことにより、除去効率の向上が得られ、浄化施設の規模を小さくすることが可能であり、且つ曝気槽後に沈澱槽を組合せることにより、汚泥の排出を含めた維持管理の低減にも寄与すると考える。

表5-1 全期間及び運転条件別除去率一覧表

			除去率(%)							
			SS	COD	BOD	T-N	D-T-N	T-P	D-T-P	P-T-P
全実験期間	全期間	平均	53.0	21.2	26.1	8.5	4.8	33.9	16.6	45.1
		MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		MAX	96.3	59.3	65.5	61.7	65.9	74.3	56.0	94.0
	代掻き期間	平均	49.8	21.4	29.6	6.6	5.3	33.2	24.3	38.8
		MIN	14.9	5.4	18.9	0.0	0.0	14.0	0.0	7.4
		MAX	78.2	36.5	46.2	23.8	19.5	51.2	40.0	70.2
	通常期間	平均	51.9	20.3	25.7	8.1	4.2	32.8	15.9	44.0
		MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		MAX	96.3	59.3	65.5	61.7	65.9	74.3	56.0	94.0
曝気運転時	全期間	平均	65.5	28.8	32.5	9.6	4.1	41.0	14.6	56.2
		MIN	8.7	0.0	2.9	0.0	0.0	13.0	0.0	10.5
		MAX	96.3	59.3	65.5	38.1	19.5	65.5	56.0	87.3
	代掻き期間	平均	63.9	31.0	30.2	12.3	10.2	44.5	24.1	55.8
		MIN	56.0	25.3	25.0	0.9	5.0	34.0	0.0	44.3
		MAX	78.2	36.5	39.5	23.8	19.5	51.2	38.8	70.2
	通常期間	平均	65.8	28.5	32.9	6.9	2.7	29.7	9.4	57.3
		MIN	8.7	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5
		MAX	96.3	59.3	65.5	38.1	16.0	65.5	56.0	87.3
無曝気運転時	全期間	平均	35.9	10.8	17.4	7.0	5.6	24.1	19.4	29.8
		MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		MAX	82.7	40.8	46.2	61.7	65.9	74.3	48.8	94.0
	代掻き期間	平均	35.7	11.9	28.9	0.9	0.4	21.9	24.6	21.7
		MIN	14.9	5.4	18.9	0.0	0.0	14.0	0.0	7.4
		MAX	56.0	29.3	46.2	3.6	1.4	30.2	40.0	29.8
	通常期間	平均	35.9	10.4	14.3	8.7	7.0	24.7	18.1	32.0
		MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		MAX	82.7	40.8	37.5	61.7	65.9	74.3	48.8	94.0

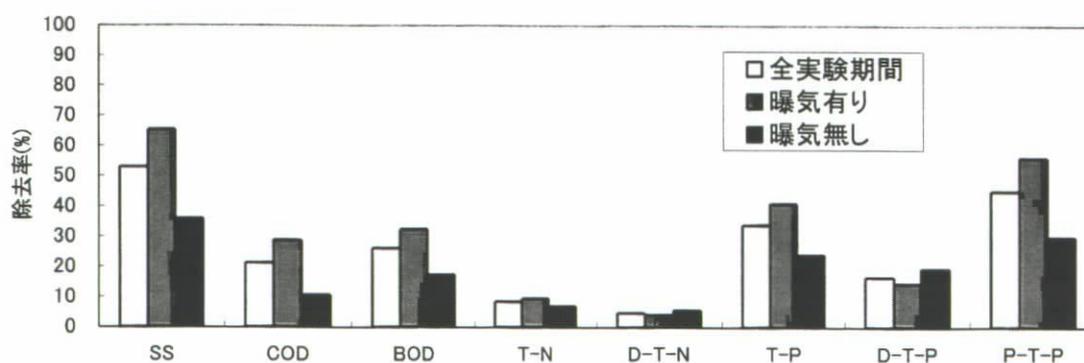


図5-1 運転条件別の平均除去率

### 5. 2脱リン材の処理性能について

'00年度使用したハイドロタルサイト系吸着材は、実験室での実河川水（ $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度 0.11~1.75mg/l）を用いた連続カラム実験では、'99年度に用いた天然土壌系脱リン材と同等以上の性能を示していた。しかし、'00年度の実績ではD-T-P除去効果が認められな

かった。原因として、今回の実河川水のD-T-P濃度が低い(平均0.034mg/l)ことが考えられ調整水を用いた確認実験を行った。

確認実験の結果を、図5-2、3、4に示す。

ハイドロタルサイト系脱リン材の場合、原水リン濃度が低くなると除去率が低下すること、脱リン材の粒径が大きいと除去率が低下すること、さらに本実験施設にて約6ヵ月間使用後のサンプルを検討したところ、原水が低濃度の場合逆に溶出が認められた。また共存イオンの影響にて除去率が若干低下し、イオンの影響度は $Cl > SO_4$ の傾向があった。これらの事から、ハイドロタルサイト系脱リン材の場合、対象水のリン濃度、共存イオン濃度及び粒径等を考慮し使用すべきである。

また'00年度のD-T-Pにおける処理水濃度が原水濃度を上回ったことから、E水路底泥よりのD-T-P平均溶出係数(0.239218mg/m<sup>2</sup>/day)を算出した<sup>23)</sup>。図5-5に脱リン材を設置しなかった場合における推定処理水D-T-P濃度を示す。水質浄化施設における脱リン材の設置においては、底泥よりの溶出D-T-P量を加味した設計を行うことが必要である。また'98年度及び'99年度は底泥より溶出分を含めたD-T-Pが脱リン材にて除去されていることが推測される。

各年度に使用した脱リン材の性能比較を表5-2に示す。

ハイドロタルサイト系は、実験室にては良い結果であったが、実河川にてはリン除去性能が得られなかった。天然土壌系は、鉄繊維に比べて、リン除去性能は同等であるが、コストが高く、詰め方に工夫がいる。一方鉄繊維は、リサイクル品かつ安価であり、設置及び洗浄も容易であることから、3種類の内では実用上最も適すると思われる。

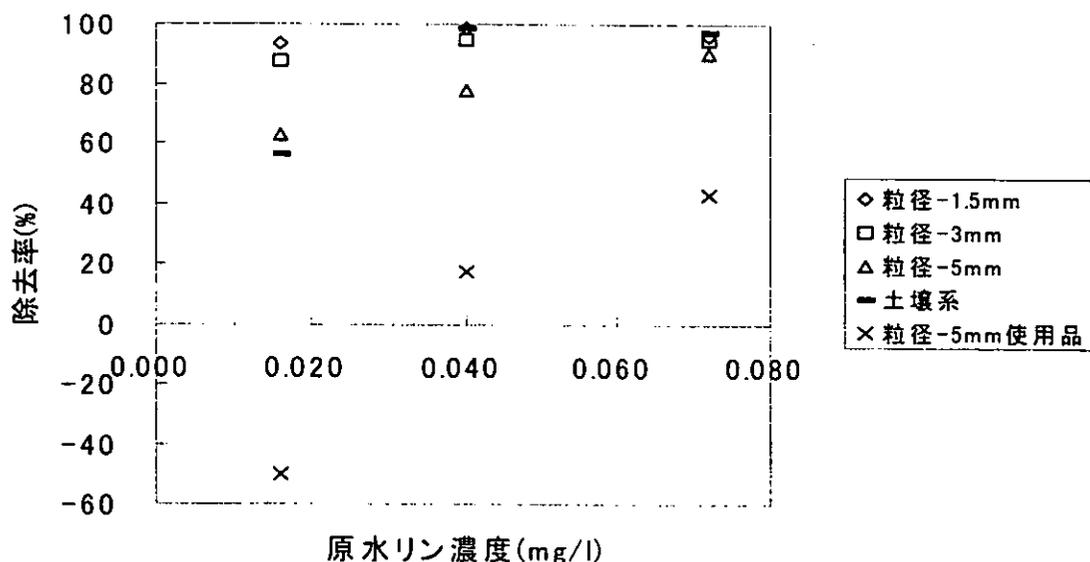


図5-2 調整水によるSV値12.5のリン除去率変化

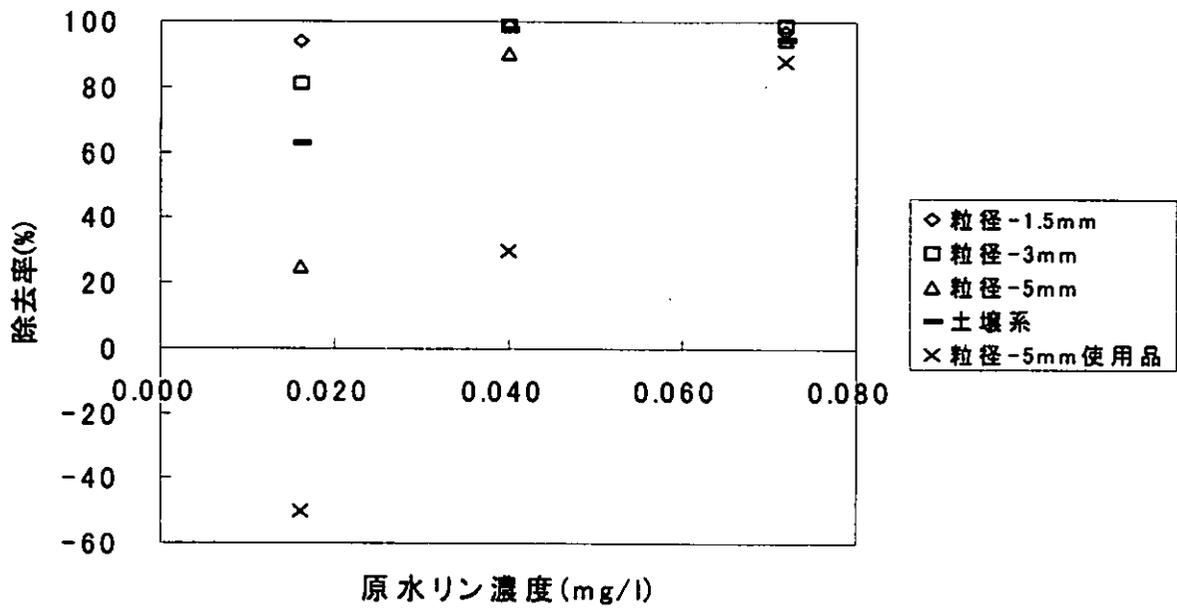


図5-3 調整水によるSV値4のリン除去率変化

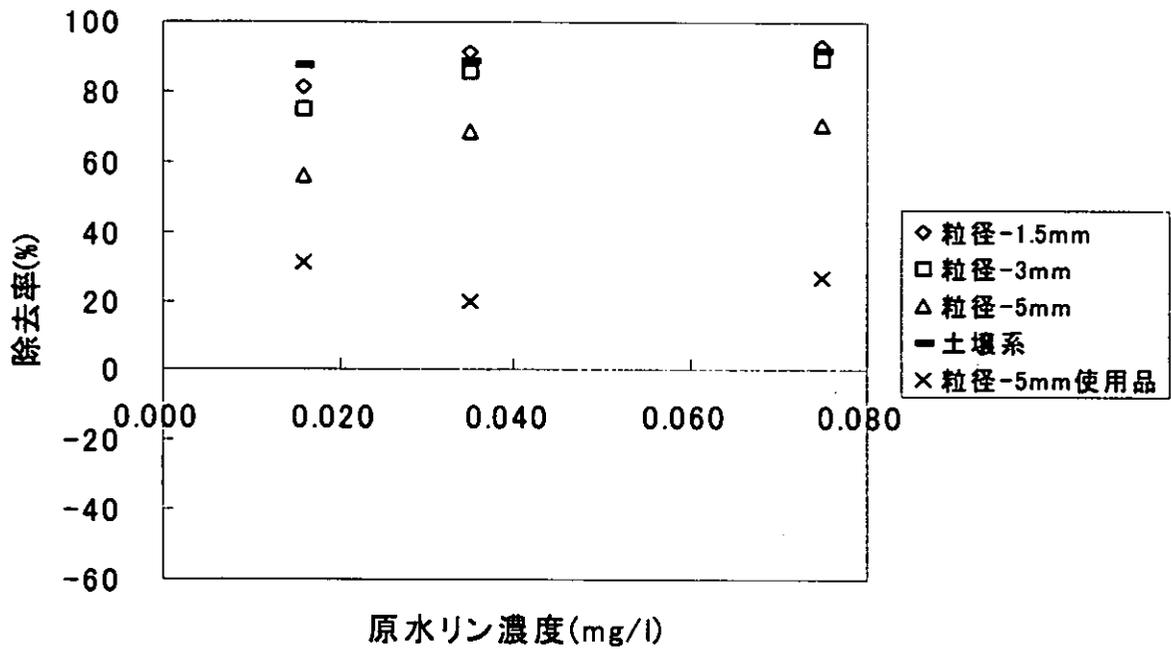


図5-4 共存イオン(Cl)の影響

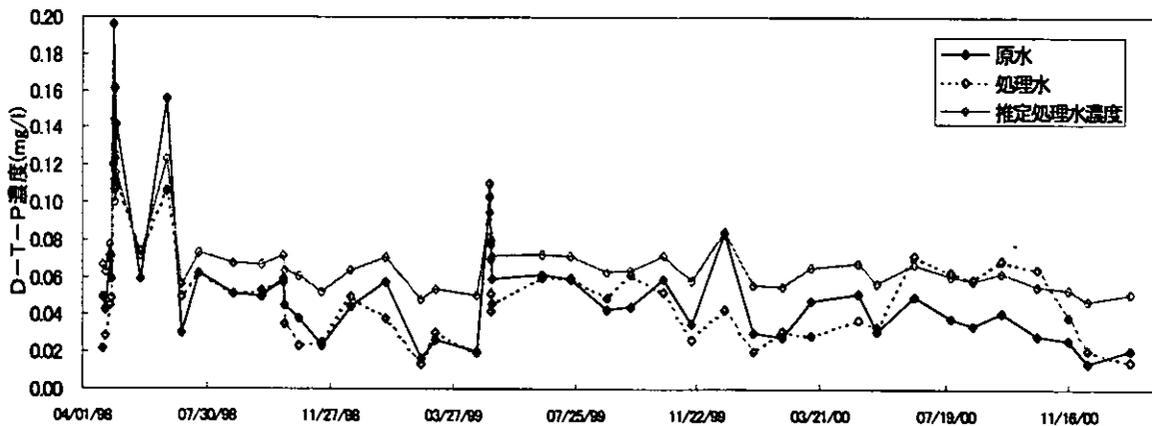


図5-5 脱リン材を設置しなかった時の推定処理水D-T-P濃度

表5-3 脱リン材性能比較

	鉄繊維	天然土壌系	ハイドロタルサイト系
リン除去機構	電気化学的	吸着	イオン交換
形状	繊維状	顆粒状	顆粒状
リン除去性能	○	○	△
コスト	○	△	△
脱リン材の再生	△	△	○
取扱い性	○	○	○

### 5.3 実施設への適用について

#### 5.3.1 運転条件

本実験結果より、浄化施設の運転に関し次の知見を得た。

- ①接触材槽に散気装置を設け曝気旋回流を発生させることにより、懸濁態の除去効率の向上を図ることが出来る。
- ②浄化施設の規模を、曝気を行うことにより無曝気と比較しコンパクトに出来る。
- ③曝気付接触材槽の後段に沈殿槽を設けることにより、懸濁態を沈殿槽へ集中的に沈降させ、維持管理を容易とすることが出来る。
- ④接触材の余剰汚泥を除去するため、強曝気による1回/日4分間程度の曝気洗浄を行うことにより、接触材の目詰まり防止を行うことが出来る。
- ⑤水路への転落防止等の安全対策上、さらに接触材へ草花等の種子が飛来し繁殖を防止するために、浄化施設に密閉式の蓋を設けることが望ましい。

#### 5.3.2 維持管理方法

施設（曝気運転等）の点検及び水質調査を1回/月の頻度にて行う。

脱リン材の交換頻度は、鉄繊維の場合1~2回/年が望ましい。

堆積汚泥の排出を、1回/年程度行う。

#### 5.3.3 コスト

本実験施設の調査結果を踏まえて、草津市葉山川の河川水の水質を前提に、処理水量150m<sup>3</sup>/日の浄化施設のコスト試算を行った。なお脱リン材は、鉄繊維を用いる仕様とした。

実施設の諸元を表5-4、5に示す。諸元を検討し建設費を算出したところ、施設の建設費は30,350,000円であった。建築寿命を15年としたときの減価償却費（処理水量1m<sup>3</sup>当たり）を表5-6に示した。

本施設の建設費は、1m<sup>3</sup>の水を処理するのに当たり37.0円の建設費が必要となる。しかし、大規模な水量を処理する際には水路幅と水深比等の検討により、処理水量1m<sup>3</sup>当たりの建設費をさらに低減することが可能である。

表5-4 施設の諸元

項目	諸元	備考
処理水量	150m <sup>3</sup> /日	
水路規模	幅1.5m×長さ16m×水深1m	曝気付接触材槽
滞留時間	4時間	
水質浄化性能	目標除去率	通常期の曝気運転期間における実績値より
SS	60%	
COD	25%	
BOD	30%	
全リン(T-P)	35%	
全窒素(T-N)	8%	
維持管理	頻度	
日常点検	1回/月	0.5日/回、水質検査助手
水質調査	1回/月	
脱リン材交換	2回/年	
汚泥引抜	1回/年	バキュームによる引抜

表5-5 施設の槽別諸元及び運転条件

	接触材槽1	沈澱槽1	接触材槽2	沈澱槽2	脱リン槽	放流槽1	放流槽2	合計
長さ	2.34m	3.00m	2.34m	3.00m	2.00m	2.00m	1.32m	16.0m
施設容積	3.65m <sup>3</sup>	4.68m <sup>3</sup>	3.65m <sup>3</sup>	4.68m <sup>3</sup>	3.12m <sup>3</sup>	3.12m <sup>3</sup>	2.06m <sup>3</sup>	24.96m <sup>3</sup>
施設面積	3.51m <sup>2</sup>	4.50m <sup>2</sup>	3.51m <sup>2</sup>	4.50m <sup>2</sup>	3.00m <sup>2</sup>	3.00m <sup>2</sup>	1.98m <sup>2</sup>	24.00m <sup>2</sup>
通水量	150m <sup>3</sup> /日							
滞留時間	0.58hr	0.75hr	0.58hr	0.75hr	0.50hr	0.50hr	0.33hr	4.0hr
充填材	BF210本	—	BF210本	—	鉄繊維系	—	BF68本	—
充填率 *1	47%	—	47%	—	8%	—	27%	—
曝気量(常時)	138l/分	—	136l/分	—	—	—	—	276l/分
(逆洗時) *2	276l/分	—	276l/分	—	—	—	276l/分	276l/分

\*1 充填率は、接触材を円筒状、脱リン材の見掛け比重より算出した。

2 逆洗の曝気は、1槽毎に1日1回行った。

表5-6 建設費用の減価償却費

不織布浄化施設建設コスト	30,350,000円
建築寿命	15年
年間処理水量	54,750m <sup>3</sup> (150m <sup>3</sup> /日)
減価償却費	37.0円/m <sup>3</sup>

本浄化施設を365日連続稼働させたときのランニングコストを表5-7に示した。試算の結果、1m<sup>3</sup>の水を処理するのに当たり34.8円のランニングコストであった。

表5-7 概算ランニングコスト

項目	頻度	金額(円/日)	備考
電力料	毎日	328.3	
日常点検	1回/月	345.2	0.5日/回、水質検査助手
脱リン材交換	2回/年	1,541.4	材工込み
汚泥引抜	1回/年	1,167.1	産廃処分
水質分析	1回/月	1,841.1	SS、BOD、COD、T-N、T-P
合計		5,223.1 34.8円/m <sup>3</sup>	処理水量 150m <sup>3</sup> /日

大規模施設を想定し、上記施設の処理水量を100倍に拡大し処理水量15,000m<sup>3</sup>/日とした場合の施設諸元を表5-8に示す。

表5-8 施設の諸元

項目	諸元	備考
処理水量	15,000m <sup>3</sup> /日	
水路規模	幅3.5m×長さ16m×水深4.1m×11列	曝気付接触材槽
滞留時間	4時間	

処理水量15,000m<sup>3</sup>/日とした場合のコストを算出し表5-9、10に示す。

処理水量15,000m<sup>3</sup>/日とした場合、建設費696,260,000円、減価償却費8.5円/m<sup>3</sup>、ランニングコスト2.4円/m<sup>3</sup>であった。従って大規模施設での水処理にかかるコストは、10.9円/m<sup>3</sup>である。

不織布接触材方式浄化施設は、浄化対象水質及び目標除去率により施設規模が変化し、処理水量が増加する程コンパクト化が可能な浄化方式である。

表5-9 処理水量15,000m<sup>3</sup>/日の建設費用の減価償却費

不織布浄化施設建設コスト	696,260,000円
建築寿命	15年
年間処理水量	5,475,000m <sup>3</sup> (15,000m <sup>3</sup> /日)
減価償却費	8.5円/m <sup>3</sup>

表5-10 処理水量15,000m<sup>3</sup>/日の概算ランニングコスト

項目	頻度	金額(円/日)	備考
電力料	毎日	3,611.1	
日常点検	1回/月	1,380.8	2人工/回、水質検査助手
脱リン材交換	2回/年	15,313.5	材工込み
汚泥引抜	1回/年	14,482.2	産廃処分
水質分析	1回/月	1,841.1	SS、BOD、COD、T-N、T-P
合計		36,628.7 2.4円/m <sup>3</sup>	処理水量 15,000m <sup>3</sup> /日

## 6. まとめ

- ①不織布接触材を用いた浄化方式は、懸濁物質に起因するSS・COD・BOD及びP-T-Pをより効果的に除去することが可能であり、曝気運転を行うことにより、その効果は約2倍向上する。
- ②施設の曝気槽の後段に沈殿槽を設けることにより、SS成分が沈殿槽に効率的に沈降堆積する。
- ③今回評価した脱リン材の中では、コスト及び取扱い性から実用上鉄繊維ブロックが最も適する。
- ④不織布接触材浄化施設は、処理水量が増加する程コンパクト化が可能な浄化方式である。

## 7. 参考文献

- ①財)琵琶湖・淀川水質保全機構 平成12年3月 BYQ水環境レポート 第Ⅵ章
- ②小松利光・中村由行他 底泥からのリンの溶出に及ぼす流動・溶存酸素および硝酸濃度の影響 平成10年 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集Ⅶ-514-515
- ③神子直之・増渕忍 平成11年 第33回水環境学会年会講演集 p-2

---

### 実験担当者

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構

日本バイリーン株式会社

実験センター主任研究員

実験センター所長

開発本部第二部部长

開発本部第二部主任

堀野 善司

田井中善雄

山口 俊平

長谷川 進

## 2. 水質浄化資材の実用化プロジェクト実験

### 2-1 織物・鉄パイプ接触材を用いた河川水浄化に関する研究

#### 1. 目的

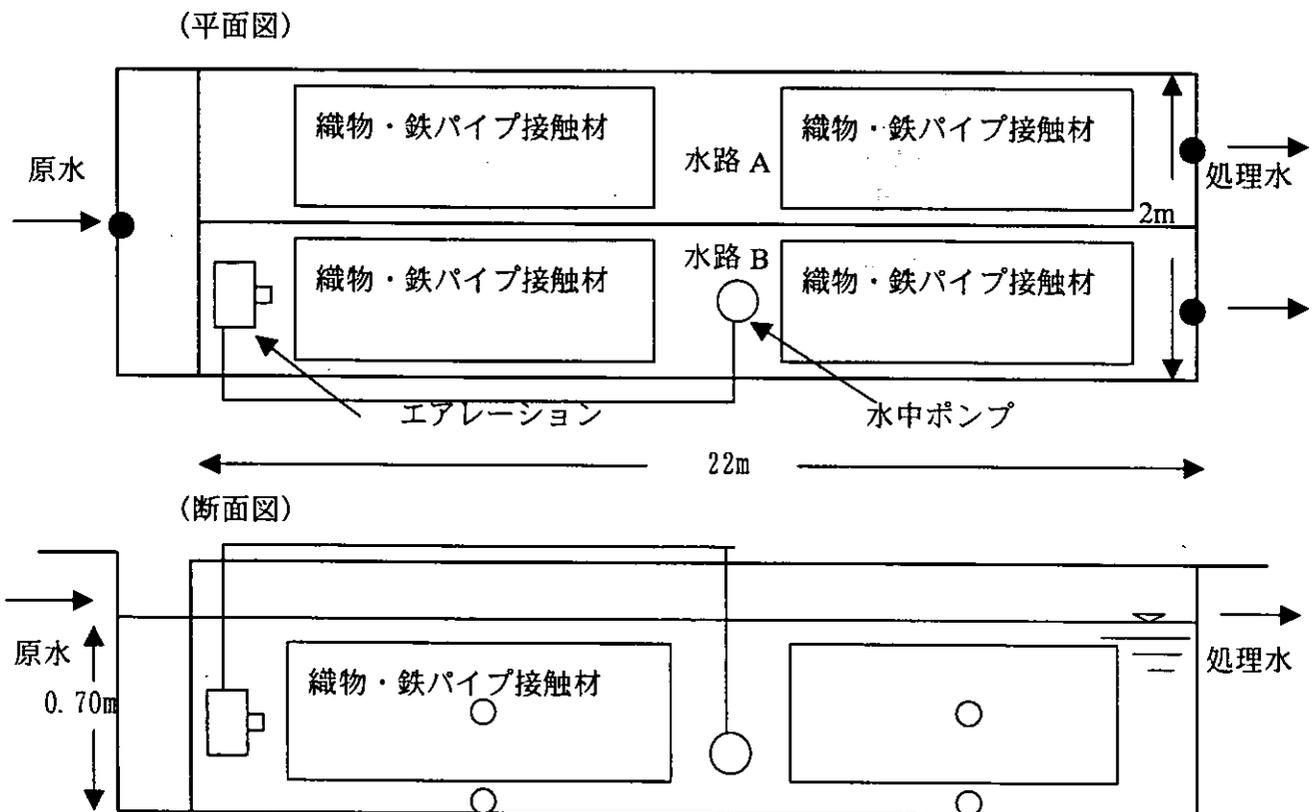
近年、琵琶湖においては富栄養化が進み、アオコの異常発生による水質の悪化が問題となっている。河川中の BOD や SS 等の除去とともに、窒素やリンの栄養塩類の除去技術が模索されるようになってきた。

しかし、リンや窒素除去技術は現在でも立ち遅れており、河川においては技術的に対応していないのが現状である。本研究では、織物・鉄パイプ接触材および微細気泡装置による水質浄化効果について検証を行った。

#### 2. 実験施設諸元

##### 2.1 施設概要

水路を図のように2分割し、図 2-1 に示すように織物接触材と鉄パイプを設置し、Bの水路にエアレーションを実施した。



●印：採水地点

A水路（微細気泡無し）：織物 (0.6m×1m) 147枚 鉄パイプ324本

B水路（微細気泡有り）：織物 (0.6m×1m) 147枚 鉄パイプ324本

図 2-1 水路概要図

接触材として比表面積の大きい織物を使用した。織物接触材の構造は、図2-2に示すような立体的な織物である。熱収縮率の異なるヨコ糸で作った織物に熱を加えると立体的な織物の形状ができる。この織物（たて600mm×よこ1000mm）を水質浄化用資材として用いた。

脱リン材として、長さ600mm×直径19.1mm×厚さ1mmの円筒パイプを使用した。図2-3に接触材の設置写真を示す。

エアレーション装置として、微細気泡発生装置（YJ-12W、（有）バイクリーン製）を用いた。このシステムは、水中ポンプから得られた水流をユニット本体で高速化し、その水流により充分自吸した空気（酸素）を超微細化し、水中にノズルから吐き出すことにより、DOを増加させるものである。図2-4に微細気泡発生装置の設置写真を示す。

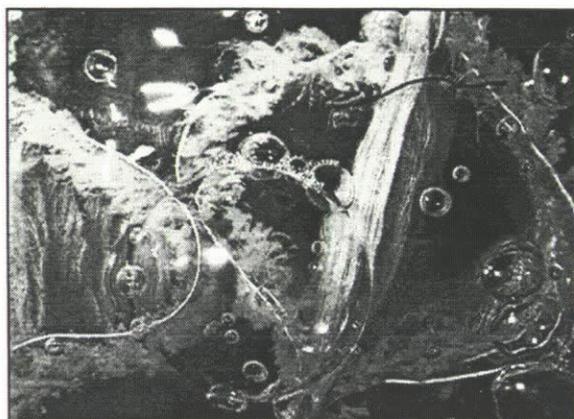
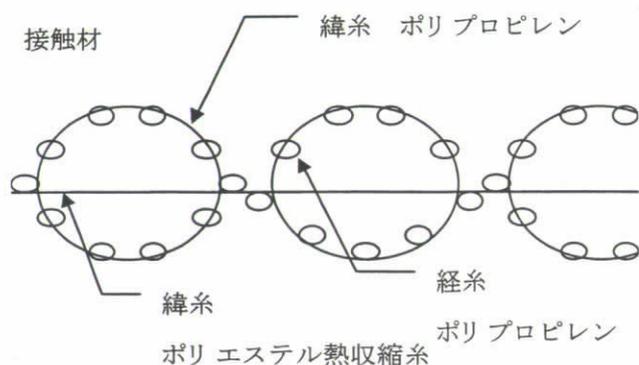


図 2-2 織物接触材の構造図および織物に付着した生物膜

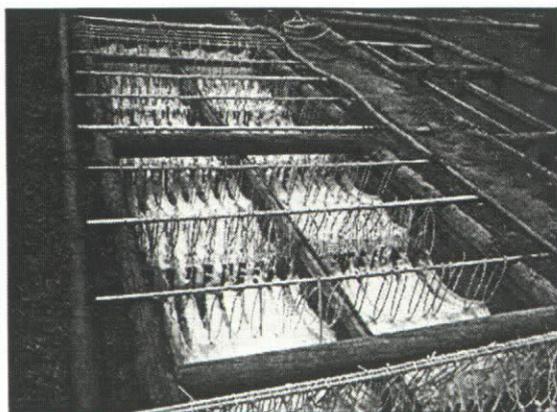


図2-3 織物と鉄パイプの設置風景

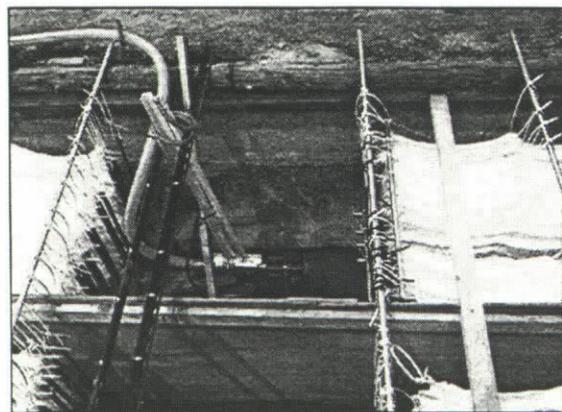


図2-4 微細気泡装置の設置風景

## 2.2 施設の諸元および運転条件

本施設の諸元および運転条件を表2-1に示す。

表2-1 施設の諸元

	水路A	水路B
幅×長さ(m)	0.95×22	0.95×22
水深(m)	0.7	0.7
流量(m <sup>3</sup> /日)	36～60	36～60
滞留時間(hr)	5～9	5～9
エアレーション	無	有
密度(枚/m <sup>3</sup> )	10	10
パイプ(本/m <sup>3</sup> )	22.1	22.1

## 3. 実験内容

### 3.1 実験期間

A水路：2000年5月15日～2000年8月25日

B水路：2000年5月15日～2000年2月26日

### 3.2 調査内容

#### 3.2.1 水質

##### (1)測定項目および測定地点

原水として葉山川の河川水を使用して水温、pH、DO、SS、COD、D-COD、BOD、T-Fe、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、D-T-N、T-N、PO<sub>4</sub>-P、D-T-P、T-P、クロロフィルaの項目の測定を行った。測定地点は図2-1に示す●印の地点で表面の採水を行った。

#### 3.2.2 堆積汚泥

##### (1)測定項目および測定地点

堆積汚泥容量、堆積汚泥乾燥重量、COD、T-N、T-P、T-Kの項目の測定を行った。測定地点は図2-1に示す○印の地点で採取を行った。

#### 3.2.3 織物接触材付着物

##### (1)測定項目および測定地点

堆積汚泥容量、堆積汚泥乾燥重量、COD、T-N、T-P、T-Kの項目の測定を行った。測定地点は図2-1に示す○印の地点で採取を行った。

#### 4. 調査結果および考察

##### 4.1 水質

##### 4.1.1 水温、pH、DO

図4-1、4-2、4-3に原水と処理水の水温、pH、DOの経時変化を示す。水温は4~31℃の間で推移した。原水と処理水に差はみられなかった。

pHは原水で7.0~7.4の間で推移しており、微細気泡無しでの処理水は7.1~7.9の間で、微細気泡が有る場合は7.2~8.0であり、曝気の効果は認められなかった。pHは処理水の方が原水より高い数値を示した。

DOについては、処理水の方が原水より高い傾向を示した。微細気泡無し（無曝気）の方が有りよりも、水面近くのDOはわずかながら高い数値を示した。しかし、水面と底部の中間付近にては微細気泡を使用した水路がDOは高かった。水温が低下するにつれ、DOは逆に増加している。

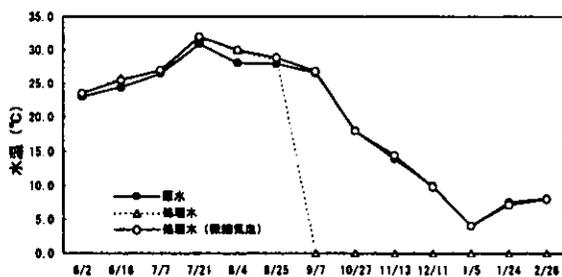


図4-1 水温変化

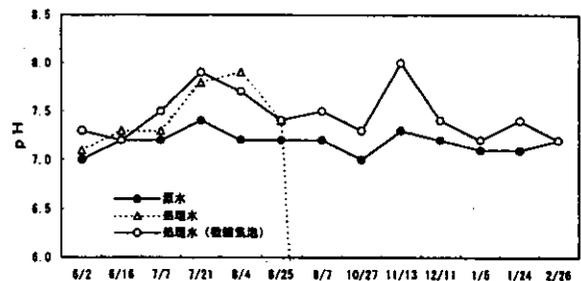


図4-2 pH変化

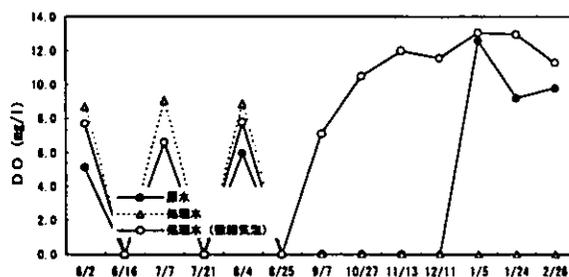


図4-3 DO変化

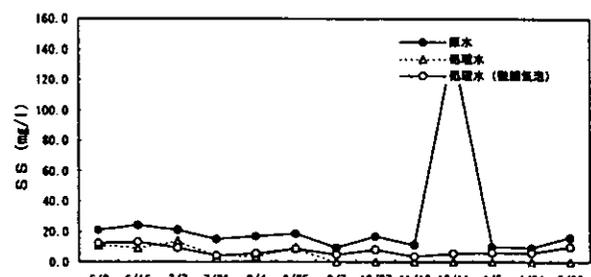


図4-4 SS変化

##### 4.1.2 SS

図4-4に原水と処理水のSS濃度の経時変化を示す。原水のSS濃度の平均25.2mg/lであった。12/11は天候が曇りでありながら、SS濃度が140mg/lという異常に高い数値を示した。この原因は、その日が強風であることと、琵琶湖の水位が上昇していたために琵琶湖から葉山川へ水が流れ込んでいたためである。この時のSS除去率は、96.2%という高い除去率を示した。試験開始から8/25までのSSの平均除去率は微細気泡無しが57.2%、微細気泡有りが56%とほぼ同じ除去率であり、今回の微細気泡を用いた曝気の優位性は見られなかった。微細気泡を用いた水路での最終的なSSの除去率は55%であった。

### 4.1.3 COD、D-COD

図4-5、4-6に原水と処理水のCOD濃度およびD-COD濃度の経時変化を示す。試験開始から8/25までのCODの平均除去率は微細気泡無しが9.3%、微細気泡有りが8.4%とほぼ同じ除去率であり、今回の微細気泡を用いた曝気の優位性は見られなかった。微細気泡を用いた水路での最終的なCODの平均除去率は12.8%であった。

試験開始から8/25までのD-CODの平均除去率は微細気泡無しが2.7%、微細気泡有りが4.7%であり、微細気泡有りの方が無しよりも約2倍ほど除去率が高い。微細気泡を用いた水路での最終的なD-CODの平均除去率は1.7%であり、溶解性のCODは除去できないという結果であった。試験期間中、原水CODのうちD-CODが占める割合は平均で73%であった。

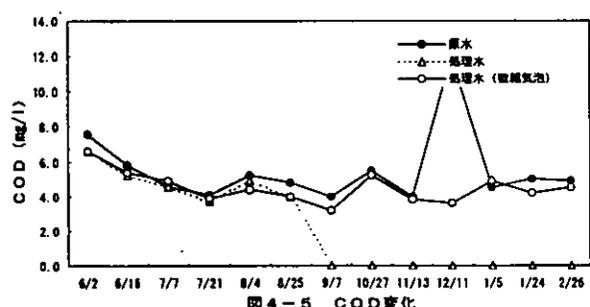


図4-5 COD変化

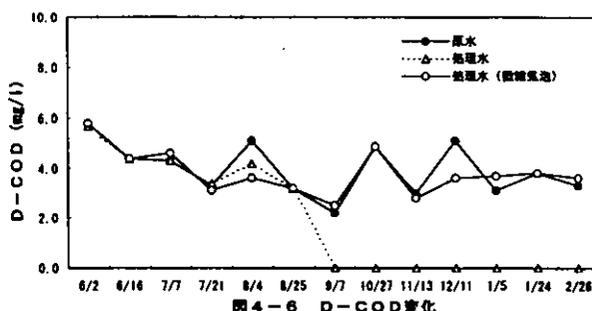


図4-6 D-COD変化

### 4.1.4 BOD

図4-7に原水と処理水のBOD濃度の経時変化を示す。試験開始から8/25までのBODの平均除去率は微細気泡無しが19.2%、微細気泡有りが19.6%とほぼ同じ除去率であり、今回の微細気泡を用いた曝気の優位性は見られなかった。微細気泡を用いた水路での最終的なBODの平均除去率は23.1%であった。

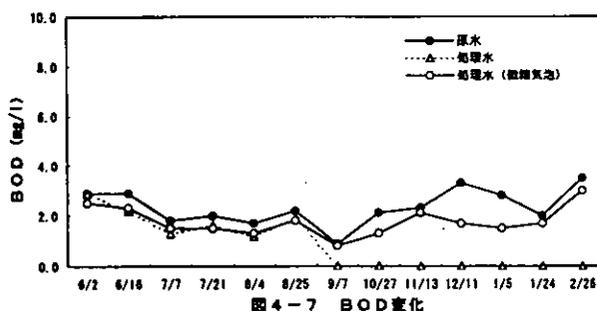


図4-7 BOD変化

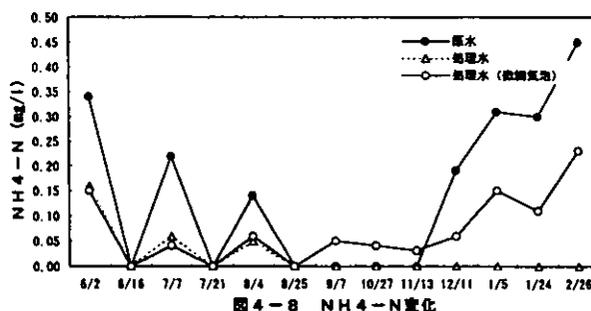


図4-8 NH4-N変化

### 4.1.5 NH4-N、NO2-N、NO3-N

図4-8に原水と処理水のNH4-N濃度の経時変化を示す。試験開始から8/25までのNH4-Nの平均除去率は微細気泡無しが63.3%、微細気泡有りが64.9%とほぼ同じ除去率であり、今回の微細気泡を用いた曝気の優位性は見られなかった。微細気泡を用いた水路での最終的なNH4-Nの平均除去率は65.8%であった。

図4-9に原水と処理水のNO2-N濃度の経時変化を示す。試験開始から8/25までのNO2-N

Nの平均除去率は微細気泡無しが57.6%、微細気泡有りが55.1%とほぼ同じ除去率であり、今回の微細気泡を用いた曝気の優位性は見られなかった。微細気泡を用いた水路での最終的なNO<sub>2</sub>-Nの平均除去率は57.6%であった。

図4-10に原水と処理水のNO<sub>3</sub>-N濃度の経時変化を示す。試験開始から8/25までのNO<sub>3</sub>-Nの平均除去率は微細気泡無しが-7.0%、微細気泡有りが-7.8%とほぼ同じ除去率であり、今回の微細気泡を用いた曝気の優位性は見られなかった。微細気泡を用いた水路での最終的なNO<sub>3</sub>-Nの平均除去率は-7.6%であった。

Nの形態別から見ると、生物処理による脱窒が起きていると考えられる。織物接触材の一部が嫌気になっているのではないかと考えられる。

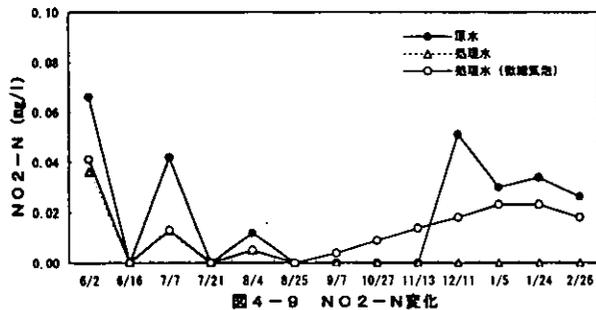


図4-9 NO<sub>2</sub>-N変化

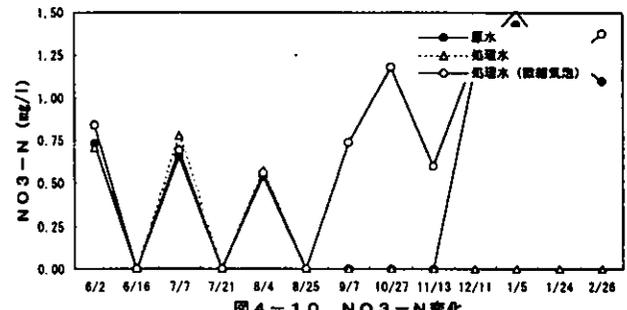


図4-10 NO<sub>3</sub>-N変化

#### 4.1.6 T-N、D-T-N

図4-11、4-12に原水と処理水のD-T-N濃度およびT-N濃度の経時変化を示す。試験開始から8/25までのD-T-Nの平均除去率は微細気泡無しが14.2%、微細気泡有りが13.0%とほぼ同じ除去率であり、今回の微細気泡を用いた曝気の優位性は見られなかった。微細気泡を用いた水路での最終的なD-T-Nの平均除去率は7.9%であった。

試験開始から8/25までのT-Nの平均除去率は微細気泡無しが11.4%、微細気泡有りが10.0%とほぼ同じ除去率であり、今回の微細気泡を用いた曝気の優位性は見られなかった。微細気泡を用いた水路での最終的なT-Nの平均除去率は13.2%であった。

試験期間中、原水T-NのうちD-T-Nは平均95.4%を占めていた。

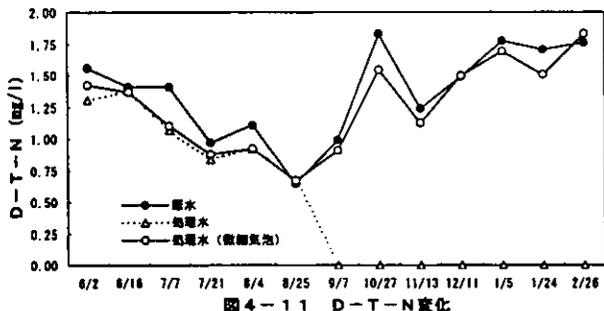


図4-11 D-T-N変化

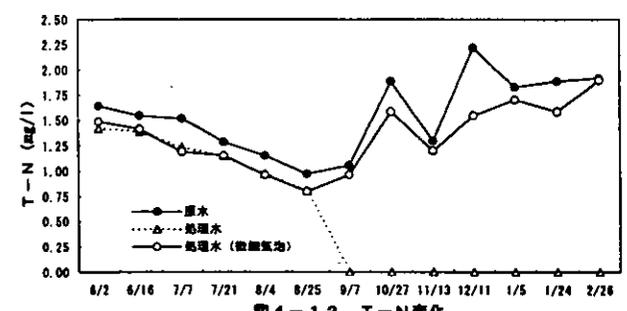


図4-12 T-N変化

#### 4.1.7 PO<sub>4</sub>-P、D-T-P、T-P

図4-13、4-14、4-15に原水と処理水のPO<sub>4</sub>-P、D-T-P濃度およびT-P濃度の経時変化を示す。試験開始から8/25までのPO<sub>4</sub>-Pの平均除去率は微細気泡無しが-11.9%、微細気泡有りが-20.5%の除去率を示した。微細気泡を用いた水路での最終的なPO<sub>4</sub>-Pの平均除去率は-13.2%であった。

試験開始から8/25までのD-T-Pの平均除去率は微細気泡無しが-14.3%、微細気泡有りが-19.0%の除去率を示し、溶解性のPは除去できない結果であった。微細気泡を用いた水路での最終的なD-T-Pの平均除去率は-10.6%であった。

試験開始から8/25までのT-Pの平均除去率は微細気泡無しが34.2%、微細気泡有りが30.8%の除去率を示した。微細気泡を用いた水路での最終的なD-T-Pの平均除去率は32.6%であった。これらの結果から、リンの除去はSSによるものが大きく、鉄パイプを入れた効果はほとんど認められない。

試験期間中、原水T-PのうちD-T-Pは平均31.3%を占めている。

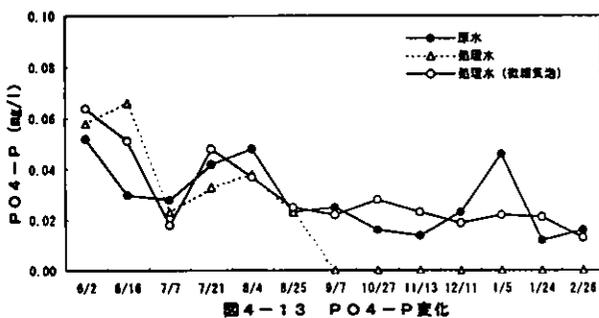


図4-13 PO<sub>4</sub>-P変化

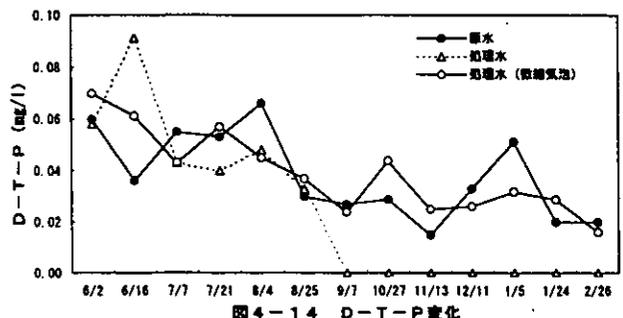


図4-14 D-T-P変化

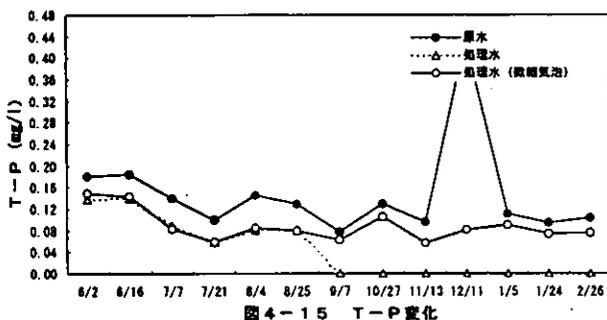


図4-15 T-P変化

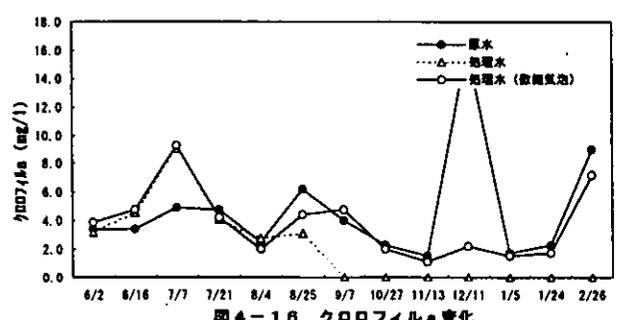


図4-16 クロロフィルa変化

#### 4.1.8 クロロフィルa

#### 4.1.9 T-Fe

図4-17に原水と処理水のT-Fe濃度の経時変化を示す。試験開始から8/25までのT-Feの平均除去率は微細気泡無しが38.2%、微細気泡有りが35.2%の除去率を示した。今回の微細気泡を用いた曝気の優位性は見られなかった。微細気泡を用いた水路での最終的なT-Feの平均除去率は40.2%であった。

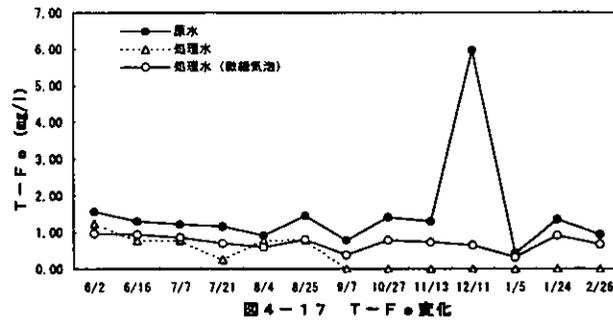


図 4-17 T-Fe 変化

#### 4.2 堆積汚泥

織物接触材設置から約3ヶ月後(8/4)と10ヶ月後(2/26)に堆積汚泥の分析を実施した。表4-2に分析結果を示す。8/4の調査結果では、微細気泡の有りと無しではデータが非常に似ており曝気の優位性は認められない。

表 4-2 堆積汚泥の分析結果

試料名		処理水槽 (微細気泡) B水路		処理水槽 A水路
採取年月日	開始時	H12.8.4	H13.2.26	H12.8.4
採取時刻	開始時	17:07	10:40	16:50
天候		晴	曇	晴
泥温	℃	29.1	8.3	29.3
汚泥量	m3(wet)	0.40	0.68	0.53
汚泥湿重量	t(wet)	-	0.89	-
汚泥乾重量	t(dry)	-	0.35	-
含水比	%	-	156	-
COD	mg/g	3.6	19.4	3.2
T-N	mg/g	0.92	1.66	1.06
T-P	mg/g	0.16	1.34	0.20
T-K	mg/g	-	5.20	-
強熱減量	%	0.7	4.7	1.0

#### 4.3 織物接触材付着物

表4-3に織物接触材の付着物の分析結果である。同じ日に採取した堆積汚泥と比較すると、織物に付着したものが、COD、T-N、T-P、T-Kの濃度が高いところから、織物接触材を河川中に投入すると、接触材に生物膜ができ、その生物膜の働きによりSS等の吸着を行いCODやT-P等の除去につながる。

表 4-3 堆積汚泥の分析結果

試料名		織物付着物
採取年月日	開始時	H13. 2. 26
採取時刻	開始時	11:00
天候		曇
泥温	℃	-
汚泥湿重量 (試料4本当たり)	kg(wet)	9.94
汚泥乾重量 (試料4本当たり)	kg(dry)	0.387
含水比	%	2470
COD	mg/g	116
T-N	mg/g	1.96
T-P	mg/g	8.34
T-K	mg/g	5.98

## 5. まとめ

SS、T-Fe、T-Pの除去率が高く効果が高い。BODやCOD、T-Nにも効果が認められる。

東北部工業技術センター

財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構

財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構

能登川支所主査

実験センター所長

実験センター主任研究員

山下 重和

田井中善雄

堀野 善司

## 2-2 フローティングプランターによるNP除去に関する研究

環境浄化システムの開発に取り組み、開発したフローティングプランターの性能を見るため、野外の実験施設で実証化実験を行った。その結果、エアレーションにより水系トータルで効果的に窒素が除去され、また、植物の生長に対しても優位であることが実証できた。

### 1. はじめに

近年琵琶湖は、赤潮やアオコの発生を伴う水質悪化（富栄養化）が問題となっており、それを改善するために様々な取り組みが行われている。

当センターでは、植物の力で水中栄養分の吸収浄化を行うシステムを考案し、その浄化効果について実証化を試みた。

本システムでは織物で作成した植生マットをフロートで水面に浮かべ、エアレーション装置で水中に空気を送り込むことにより植物が効率よく栄養を吸収できる図2に示すシステムで草津市の琵琶湖湖畔にある、

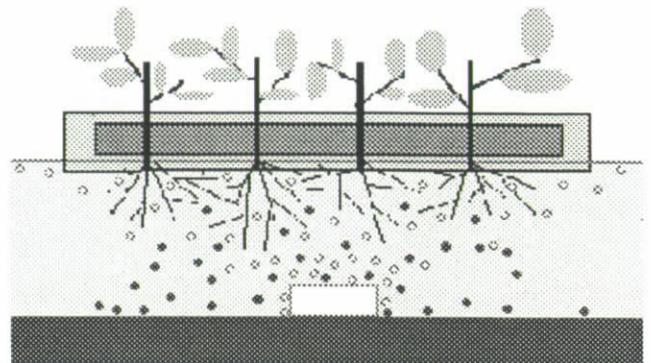
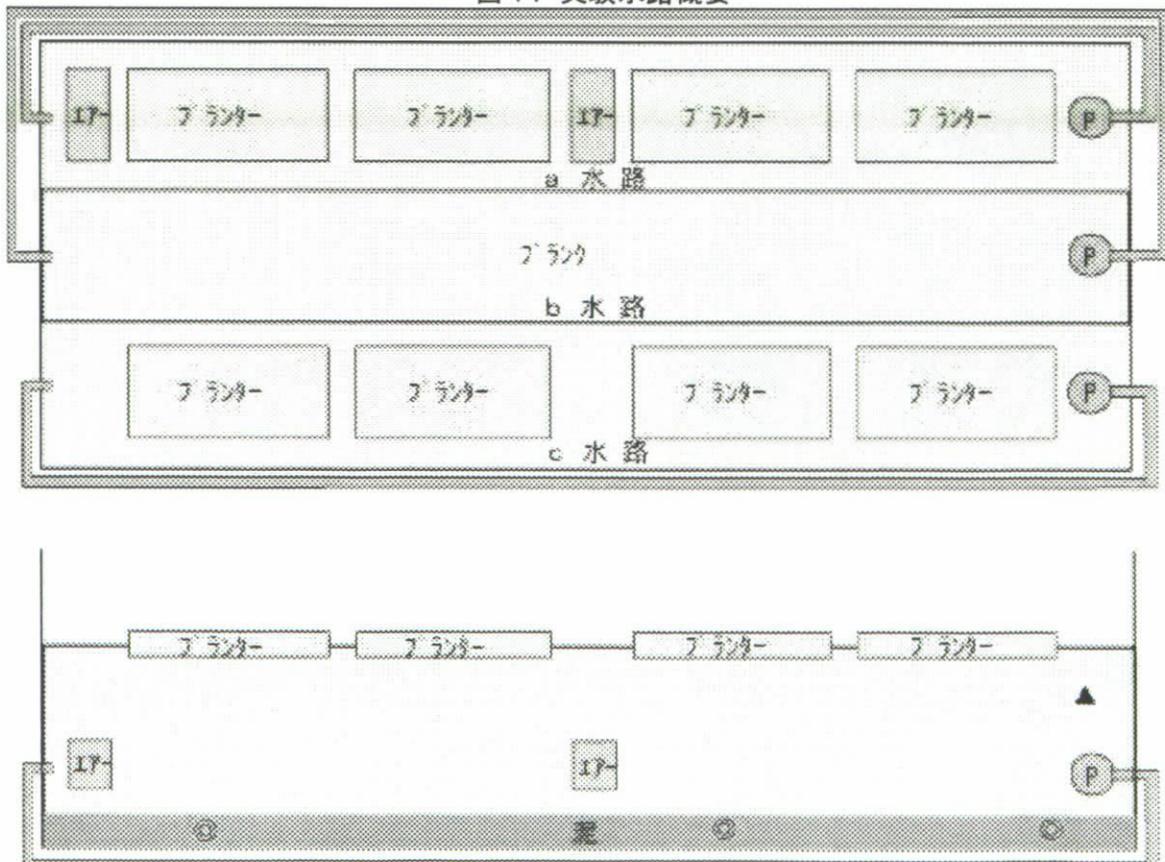


図2. システム概要

フィールド実験施設を用い、実際に窒素リン等の富栄養物質除去能力について評価を行った。

図1. 実験水路概要



## 2. 実験施設諸元

### 2.1 施設概要

実験装置としては図1に示すように、1つの水路を3つに分割した実験水路を使用し、1分間に約70ℓ排水する水中ポンプで、1日約10tの水を循環させた。また水路の底には約10cmの泥を敷いた。

a水路はプランター20個とエアレーション装置を、b水路はプランクでなにも設置せず、c水路はプランター20個のみ設置した。

フローティングプランターは、植生マットとそれを水面に浮かべるためのフロートから構成されており、植生マットの大きさが、450×900×30mmで、フロートを合わせると550×1000×80mmになる。また植生マットは、図3の無交錯組織を用い植物を植生支持可能な構造にしてあり、無交錯組織部に約20cmの長さに切り取ったミントを、一枚につき24本植生し使用した。エアレーションについては、水底の2カ所に70φ×225mmの散気管を2本ずつ(ト

タル4本)設置し、トータルで約200ℓ/minのエアレーションを常時行った。

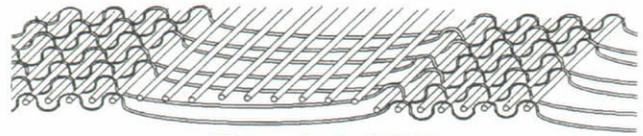


図3. 無交錯織物

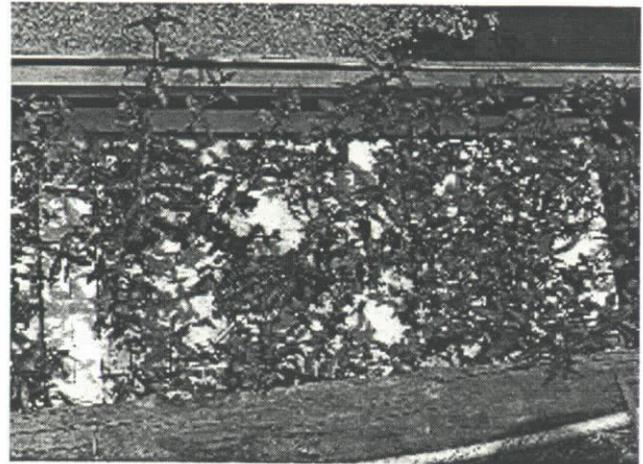


写真1. 実験中のプランター

### 2.2 施設の諸元および運転条件

本施設の諸元および運転条件を表2-1に示す。

水路	水路長さ×幅	水深	総水量	循環通水量	泥量	エアレーション量	プランター面積
a(プランター+エア)	23m×0.66m	0.70m	10.6m <sup>3</sup>	70m <sup>3</sup> /日	1.52m <sup>3</sup>	200m <sup>3</sup> /min	8.1m <sup>2</sup>
b(プランク)	23m×0.66m	0.70m	10.6m <sup>3</sup>	70m <sup>3</sup> /日	1.52m <sup>3</sup>		
c(プランター)	23m×0.66m	0.70m	10.6m <sup>3</sup>	70m <sup>3</sup> /日	1.52m <sup>3</sup>		8.1m <sup>2</sup>

表2-1 施設運転条件

## 3. 実験内容

### 3.1 実験期間

2000年6月1日～2001年1月19日

### 3.2 調査内容

#### 3.2.1 水質

##### (1) 測定項目

水温、PH、SS、DO、COD、BOD、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、T-N、PO<sub>4</sub>-P、T-P、TOC、クロロフィルa

##### (2) 測定地点および採水方法

原水として農業廃水を使用し、水中ポンプ

設置場所付近の▲印で採水を行った。

#### 3.2.2 堆積汚泥

##### (1) 測定項目

堆積汚泥容量、堆積汚泥乾燥重量、含有N、P、COD量

##### (2) 測定地点および採水方法

汚泥は図に示す◎印各3カ所で採取し混合試料とした。

#### 3.3 測定方法

下記の表3-1に示す。



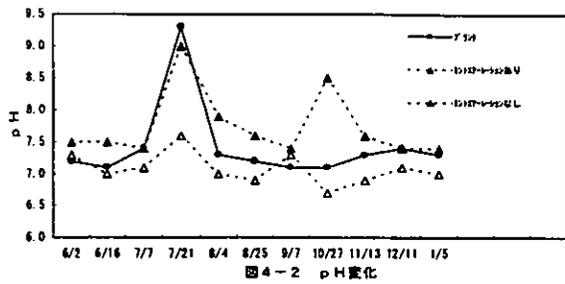


図4-2 pH変化

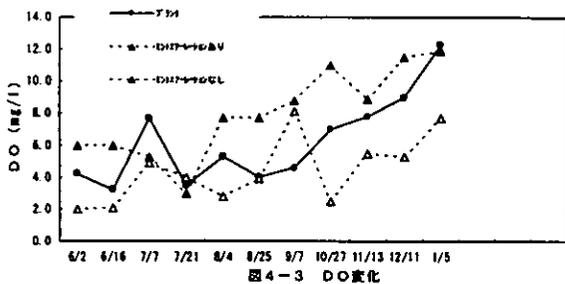


図4-3 DO変化

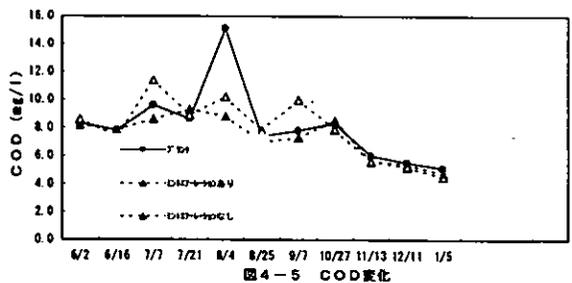


図4-5 COD変化

#### 4.1.2 SS

ブランク水路濃度は 1.5 ~ 17.4mg/l、エアあり水路濃度は 2.3 ~ 18.0mg/l、エアなし水路濃度は 0.5 以下 ~ 18.5mg/l を示した。

SS 除去率は、エアあり水路は - 65.5 ~ 55.8 %、エアなし水路は - 100.0 ~ 78.9 % を示し、平均除去率においては、エアあり水路は - 11.2 % と除去効果が見られず逆に濁っている。これはエアレーションの影響と思われる。また、エアなし水路は、20.7 % とある程度の除去率を示した。これは、根のフィルター効果があるものと思われる。

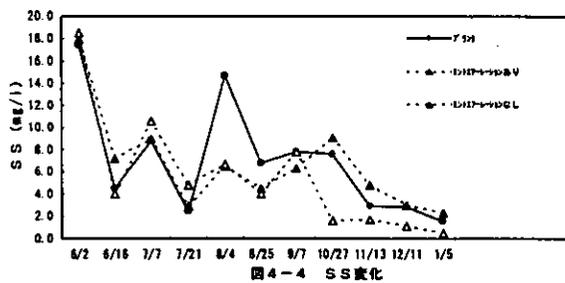


図4-4 SS変化

#### 4.1.3 COD

ブランク水路濃度は 5.1 ~ 15.1mg/l、エアあり水路濃度は 4.7 ~ 9.3mg/l、

エアなし水路濃度は 4.5 ~ 11.4mg/l を示した。

COD 除去率は、エアあり水路は - 8.1 ~ 41.7 %、エアなし水路は - 28.2 ~ 32.5 % を示し、平均除去率においては、エアあり水路は 6.4 % と低い除去率を示したが、エアなし水路では、0.6 % と除去効果が見られなかった。

#### 4.1.4 BOD

ブランク水路濃度は 0.9 ~ 7.2mg/l、エアあり水路濃度は 0.9 ~ 4.3mg/l、エアなし水路濃度は 1.0 ~ 5.1mg/l を示した。

BOD 除去率は、エアあり水路は - 53.6 ~ 80.6 %、エアなし水路は - 316.7 ~ 65.3 % を示し、平均除去率においては、エアあり水路は、7.7 % と低い除去率を示したが、エアなし水路では、- 45.6 % と除去効果が見られなかった。

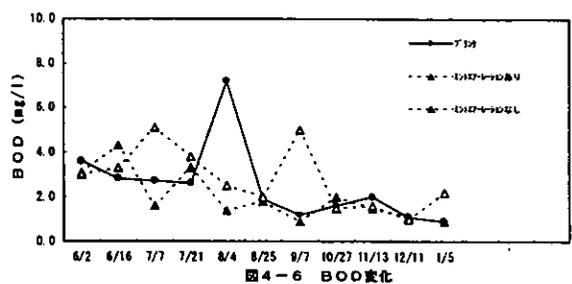


図4-6 BOD変化

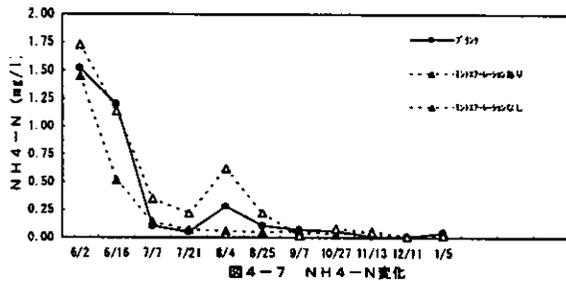
#### 4.1.5 窒素

##### (1) NH<sub>4</sub>-N

ブランク水路濃度は 0.01 ~ 1.52mg/l、エアあり水路濃度は 0.01 ~ 1.45mg/l、エアなし水路濃度は 0.01 ~ 1.73mg/l を示した。

NH<sub>4</sub>-N 除去率は、エアあり水路は - 500.0 ~ 78.6 %、エアなし水路は - 400.0 ~ 71.4 % を示し、平均除去率においては、

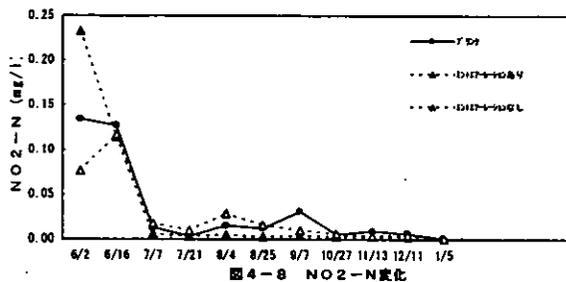
エアあり水路は - 31.9 %、エアなし水路は - 104.7 %とどちらとも除去効果が見られなかった。



### (2) NO<sub>2</sub>-N

ブランク水路濃度は 0.001 ~ 0.134mg/l、エアあり水路濃度は 0.001 ~ 0.233mg/l、エアなし水路濃度は 0.001 ~ 0.117mg/l を示した。

NO<sub>2</sub>-N 除去率は、エアあり水路は - 73.9 ~ 87.1 %、エアなし水路は - 233.3 ~ 67.7 % を示し、平均除去率においては、エアあり水路は 31.1 % と低い除去率を示したが、エアなし水路では - 20.7 % と除去効果が見られなかった。

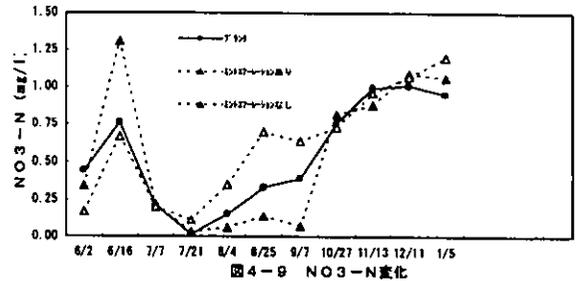


### (3) NO<sub>3</sub>-N

ブランク水路濃度は 0.01 ~ 1.01mg/l、エアあり水路濃度は 0.03 ~ 1.31mg/l、エアなし水路濃度は 0.11 ~ 1.20mg/l を示した。

NO<sub>3</sub>-N 除去率は、エアあり水路は - 200 ~ 82.1 %、エアなし水路は - 1000.0 ~ 61.4 % を示し、平均除去率においては、エアあり水路は - 6.5 %、エアなし水路は

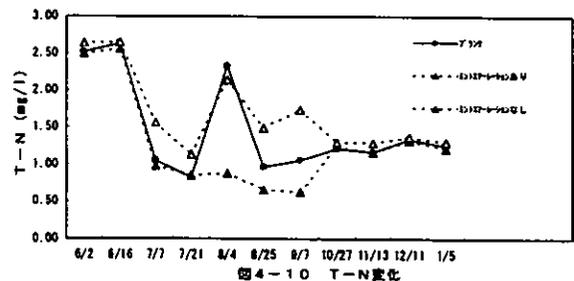
- 114.3 % とどちらとも除去効果が見られなかった。



### (4) T-N

ブランク水路濃度は 0.82 ~ 2.63mg/l、エアあり水路濃度は 0.63 ~ 2.56mg/l、エアなし水路濃度は 1.13 ~ 2.65mg/l を示した。

T-N 除去率は、エアあり水路は - 3.7 ~ 62.2 %、エアなし水路は - 65.7 ~ 8.2 % を示し、平均除去率においては、エアあり水路は 12.8 % と低い除去率を示したが、エアなし水路では - 21.1 % と除去効果が見られなかった。



## 4.1.6 リン

### (1) PO<sub>4</sub>-P

ブランク水路濃度は 0.007 ~ 0.047mg/l、エアあり水路濃度は 0.007 ~ 0.046mg/l、エアなし水路濃度は 0.004 ~ 0.052mg/l を示した。PO<sub>4</sub>-P 除去率は、エアあり水路は - 206.7 ~ 40.9 %、エアなし水路は - 57.1 ~ 68.2 % を示し、平均除去率においては、エアあり水路は - 39.4 % と除去効果が見られず、また、エアなし水路は、20.6 % と低い除去率を示した。

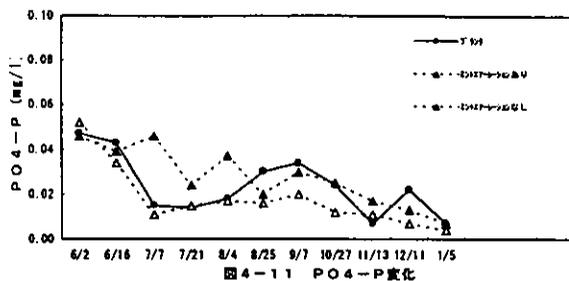


図4-11 PO4-P変化

(2) T-P

ブランク水路濃度は 0.028 ~ 0.156mg/l、エアあり水路濃度は 0.029 ~ 0.148mg/l、エアなし水路濃度は 0.020 ~ 0.185mg/l を示した。

T-P 除去率は、エアあり水路は - 42.9 ~ 43.1 %、エアなし水路は - 69.8 ~ 44.8 % を示し、平均除去率においては、エアあり水路は - 4.6 %、エアなし水路は - 1.8 % とどちらとも除去効果が見られなかった。

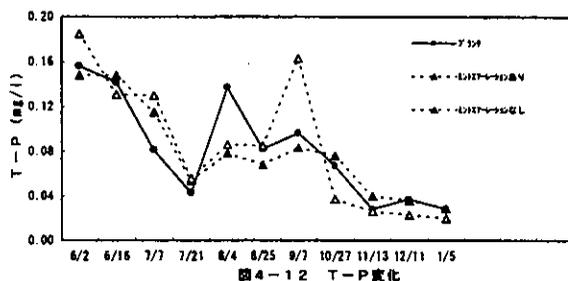


図4-12 T-P変化

4.1.7 TOC

ブランク水路濃度は 3.3 ~ 16.7mg/l、エアあり水路濃度は 3.2 ~ 17.5mg/l、エアなし水路濃度は 3.3 ~ 21.1mg/l を示した。

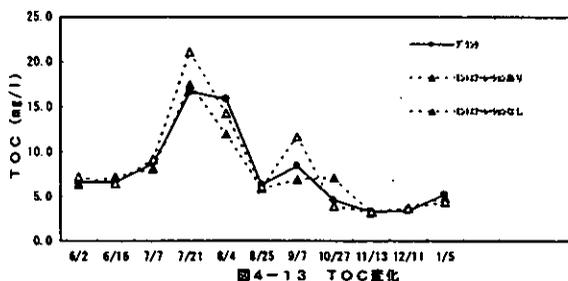


図4-13 TOC変化

TOC 除去率は、エアあり水路は - 54.3 ~ 24.5 %、エアなし水路は - 39.3 ~ 17.0 % を示し、平均除去率においては、エアあ

り水路は - 1.0 %、エアなし水路は - 3.8 % とどちらとも除去効果が見られなかった。

4.1.8 クロロフィル a

ブランク水路濃度は 0.6 ~ 67.1mg/l、エアあり水路濃度は 0.9 ~ 8.5mg/l、エアなし水路濃度は 0.5 ~ 46.9mg/l を示した。

クロロフィル a 除去率は、エアあり水路は - 320.0 ~ 96.9 %、エアなし水路は - 570.0 ~ 80.2 % を示し、平均除去率においては、エアあり水路は - 14.6 %、エアなし水路は - 89.2 % とどちらとも除去効果が見られなかった。

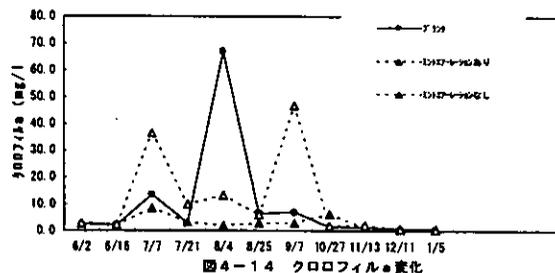


図4-14 クロロフィル a 変化

4.2 底質

1 COD、T-N、T-P、I L

CODについては、1回目から2回目の調査にかけてやや減少したが、3回目については僅かではあるが増加の傾向がある。T-N、T-P、I L においては、ほとんど変化が見られなかった。

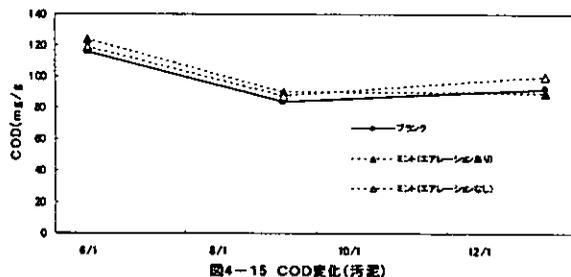


図4-15 COD変化(汚泥)

汚泥量は、エアあり水路で減量化が認められ、エアレーションによって汚泥が分解され、ミントが栄養塩等を吸収したものと示唆される。そのため、エアレーションしている槽内のミントは青々としているが、

エアレーションしていない槽内のミントは移植後まったく成長していない。

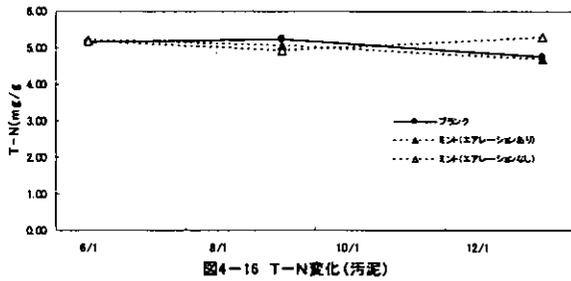


図4-16 T-N変化(汚泥)

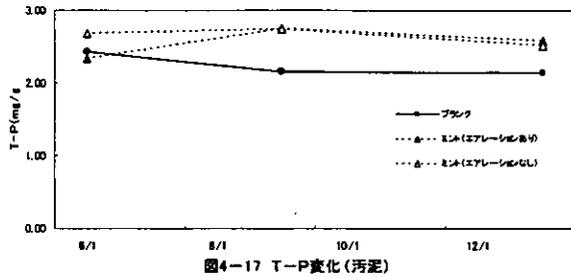


図4-17 T-P変化(汚泥)

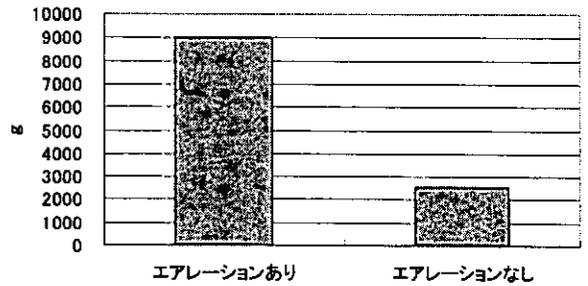


図4-18 植物での回収量(T-C)

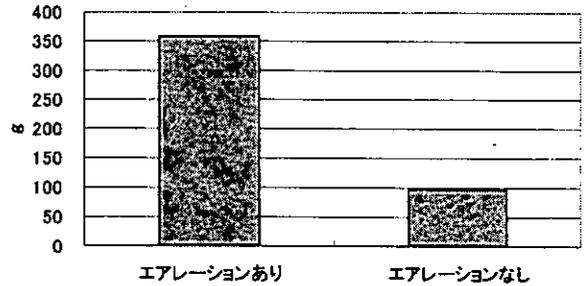


図4-19 植物での回収量(T-N)

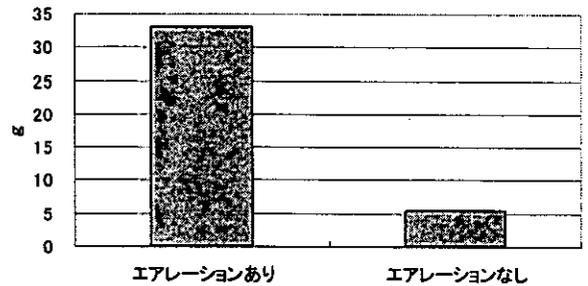


図4-20 植物での回収量(T-P)

### 4.3 植物

#### 4.3.1 T-C、T-N、T-P

平成12年9月25日に刈り取りを行ったミントから、その成分として、T-Cは435mg/g、T-Nは17.5mg/g、T-Pは1.40mg/gであり、6月1日～9月25日にミントは、T-Cとして約2.85kg、T-Nとして約0.11kg、T-Pとして約0.01kg、T-Kとして0.15kgを、さらに平成13年1月19日に刈り取りを行ったミントから、エアあり水路はT-Cとして約6.19kg、T-Nとして約0.25kg、T-Pとして約0.02kg、T-Kとして0.22kgを、エアなし水路は、T-Cとして約2.54kg、T-Nとして約0.10kg、T-Pとして約0.01kg、T-Kとして0.07kg、期間でのトータルは、エアあり水路はT-Cとして約9.04kg、T-Nとして約0.36kg、T-Pとして約0.03kg、T-Kとして0.37kgを、エアなし水路は、T-Cとして約2.54kg、T-Nとして約0.10kg、T-Pとして約0.01kg、T-Kとして0.07kgを吸収し、系外に除去されたものと示唆される。

#### 4.4 水及び底泥の養分減少量

実験実施期間における水及び底泥中の養分減少量は、ブランク水路、エアあり水路、エアなし水路それぞれにおいて、CODは25kg、45kg、20kgで、T-Nは0.42kg、1.02kg、-0.07kg、T-Pは0.31kg、0.01kg、0.18kgであった。

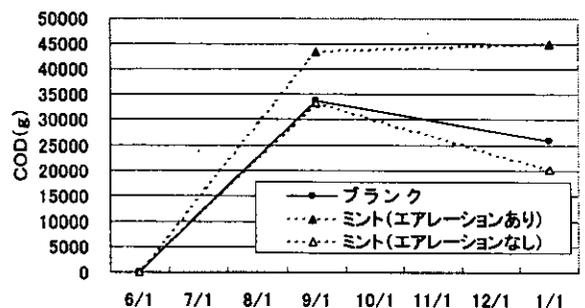


図4-21 水系トータル(水+底泥)減少量推移(COD)

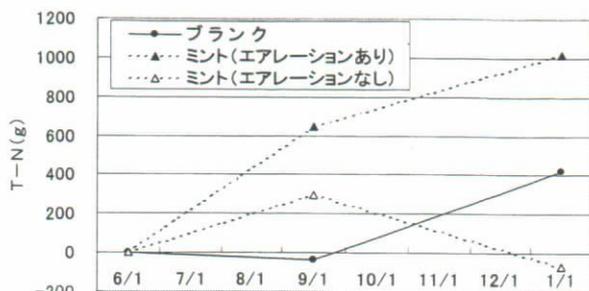


図4-22 水系トータル(水+底泥) 減少量推移(T-N)

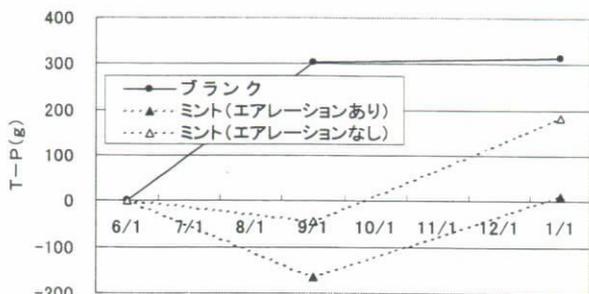


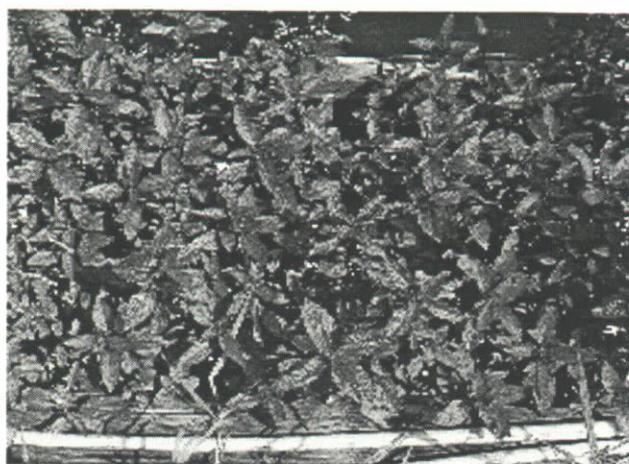
図4-23 水系トータル(水+底泥) 減少量推移(T-P)

水中の栄養分は、明確な減少が見えてはこなかったが、汚泥の減少がエアあり水路で見受けられ、それに伴う窒素の減少が大きく差となって現れた。

#### 4.5 エアレーション効果

エアあり水路とエアなし水路について比較を行うと、水系トータルでCODは25kg、T-Nは1kgエアあり水路が多く除去できた。しかし、T-Pについては逆にエアなし水路が0.17kg除去できた。

植物回収で回収量を比べるとCODは6.5kg、T-Nでは0.262kg、T-Pでは0.028kgエアあり水路がすべて多く除去できた。このことから、窒素に対するエアレーションの優位性が実証された。



エアレーションありのミント (7月)



エアレーションなしのミント (7月)

#### 5. まとめ

今回の実証実験ではエアレーションにより水系トータルで効果的に窒素が除去され、さらに、植物の生長に対しても優位であることが実証できた。しかし、リンについては植物に効果的ではあるが、水系全体に対しては有効的に作用しないことがわかった。

以上より、フローティングプランターをエアレーションと組み合わせることにより窒素に対する水質浄化が効果的にできる結果が得られた。

東北部工業技術センター

財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構

財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構

高島支所主査

実験センター所長

実験センター主任研究員

谷村 泰宏

田井中善雄

堀野 善司

## 2-3 多孔質セラミックスの環境浄化利用への実証化研究

これまでにゼオライトや琵琶湖底質から作製した多孔質セラミックスはバイオリアクター担体として有効であることを示した。そこで本年度は多孔質セラミックスを接触酸化材として用いた水質浄化を検討した。開発した多孔質セラミックスを河川実験施設に設置し、河川水を通過させ浄化能力を検討した。その結果、今回使用した多孔質セラミックスは、粒子状の汚濁物質の除去に効果があることと、接触酸化能力も確認でき水質浄化に有効であることが分かった。

### 1 まえがき

近年、機能性材料の開発が盛んに行われており、その中で多孔質材料が注目されている。このことは多孔質材料が化学工業、生化学工業、水処理施設などの分野に広く使用されているためである。多孔質の機能は、細孔の径、分布、形状等に依存する。また最近では、細孔の物理的、化学的性質を精密に制御して、化学物質の分離、吸着、精製、イオン交換、触媒作用、化学反応、化学合成等に利用するために研究されている。

当所では、平成6年度からゼオライトのガス交換機能を使った多孔質材料の開発を行っており、高濃度有機質含有排水のバイオリアクター担体として有効である結果を得た。

そこで、現在までに実験室レベルで検討してきた多孔質セラミックスを実際の水路を使用した実証化実験でその機能を検討した。

### 2 実験方法

#### 2.1 多孔質セラミックスと鉄イオンコーティングゼオライトビーズの作製

多孔質セラミックスと鉄イオンコーティングゼオライトビーズの作製は、前報に示した方法を用いて作製した。

#### 2.2 施設概要

今回の実験で使用した(財)琵琶湖・淀川水質保全機構浄化共同実験センターの河川水路を流路方向に2カ所に区切り(長さ2.4m、幅1m、水深0.7m)を使用した。その施設構造の概要を図-1に示す。接触酸化材として2m<sup>3</sup>の多孔質セラミックスをプラスチック製のコテナに入れ、水路に設置し、その底部からダイアフロムポンプを用いて、常時曝気した。また、リン吸収材として、10kgの鉄イオンコーティングゼオライトビーズを網に入れ、水路に設置した。

#### 2.3 実験期間

平成12年9月下旬に設置し、10月27日から月2回程度で2月までに14回の採水を行った。また最終採水時に併せて底質も採取した。

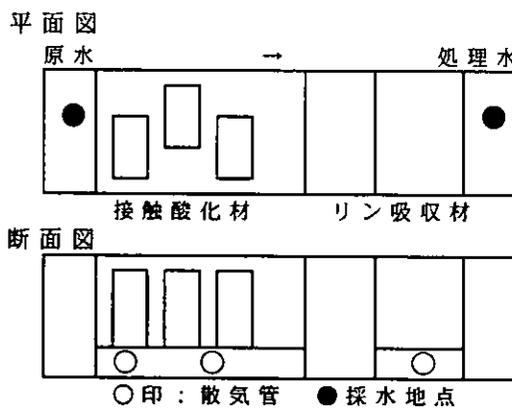


図1 施設構造図

### 2.4 実験内容

#### 2.4.1 水質

##### (1)測定項目

水温、pH、DO、SS、COD、D-COD(溶存態COD)、BOD、T-Fe(全鉄)、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、T-N(全窒素)、D-T-N(溶存態全窒素)、PO<sub>4</sub>-P、T-P(全リン)、D-T-P(溶存態全リン)

##### (2)採水場所

図1の水路の入り口と出口で採水し、入り口を原水、出口を処理水とした。

#### 2.4.2 底質

##### (1)測定項目

堆積汚泥容量、堆積汚泥乾燥容量、強熱減量、COD、T-N、T-P

##### (2)採取場所

図1の水路の出口の底質を採取した。

#### 2.4.3 多孔質セラミックス付着物の電子顕微鏡写真

接触酸化材の多孔質セラミックスを電子顕微鏡を用いて観察した。

### 3 水質の調査結果

#### 3.1 水温、pH、DO

原水と処理水の水温、pH、DOの経時変化を図2に示す。

水温は秋季から冬季への気候の変化に伴い下降しているが、原水、処理水に差は見られなかった。

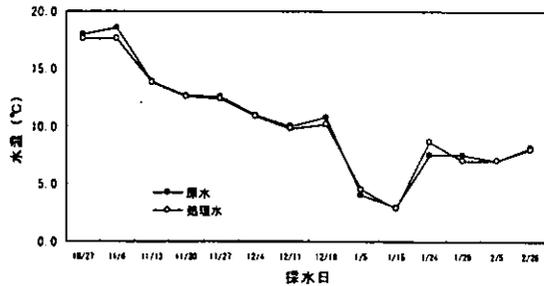


図2 水温の経時変化

pHは6.9から8.0の間にあり、大きな変動はなかった。また、処理水のpHが原水のpHよりわずかに高かった。

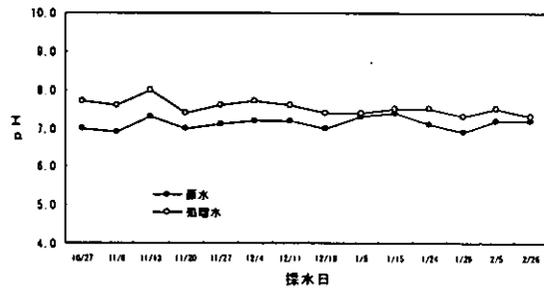


図3 pHの経時変化

また、DOは水温の低下に伴い、増加している。また、DOは曝気の効果により処理水が原水より高くなっていった。

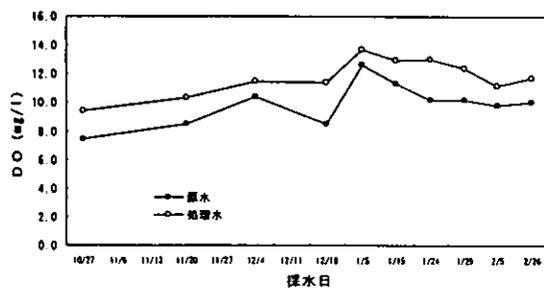


図4 DOの経時変化

#### 3.2 SSの濃度変化

SS濃度と除去率の経時変化を図5に示す。

また、調査期間に2回のSS濃度50 mg/l以上の濁水状態があった。

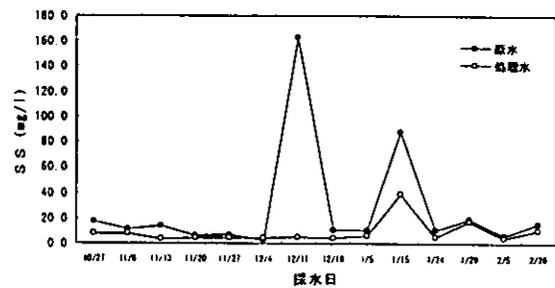


図5 SSの経時変化

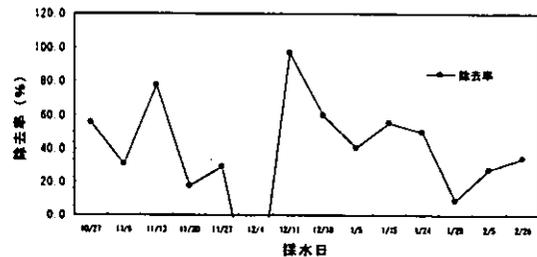


図6 SSの除去率の変化

表1 SSの平均除去率

期間	平均除去率 (%)
全期間	37.2
濁水状態	76.3
通常状態	30.6

このため、濁水状態とそれ以外の通常状態の平均除去率をを表1に示した。この表から濁水状態は通常状態にくらべて2倍以上の76.3%と高い除去率が得られた。

#### 3.3 COD、BOD濃度と除去率

COD、D-COD、BODのそれぞれの濃度と除去率の経時変化を図7から9に示す。

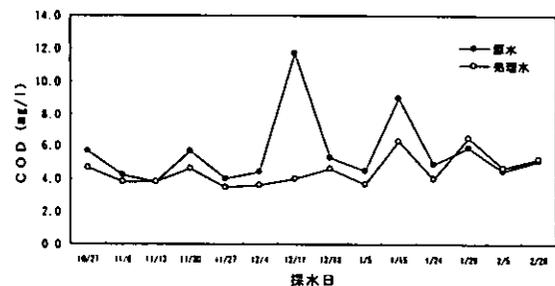


図7 CODの経時変化

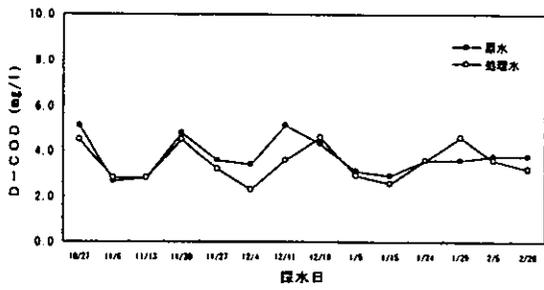


図8 D-CODの経時変化

平均除去率は、CODが14.7%、D-CODが6.8%、BODが23.7%であり、濁水状態の平均除去率は、それぞれ47.9%、19.9%、29.4%と全期間通じてよりも高い除去率が得られた。

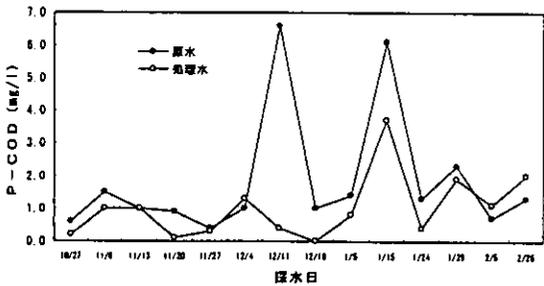


図9 P-CODの変化

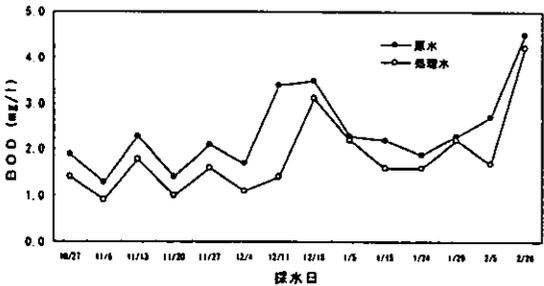


図10 BODの変化

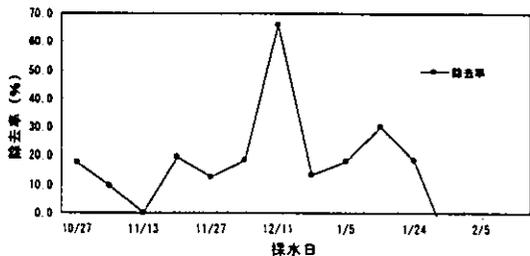


図11 COD除去率の変化

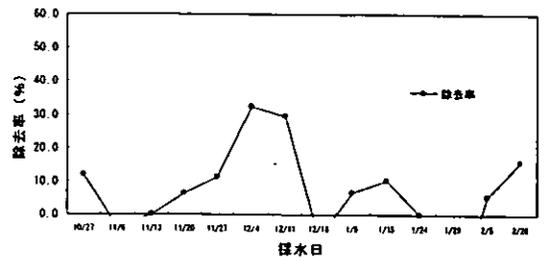


図12 D-COD除去率の変化

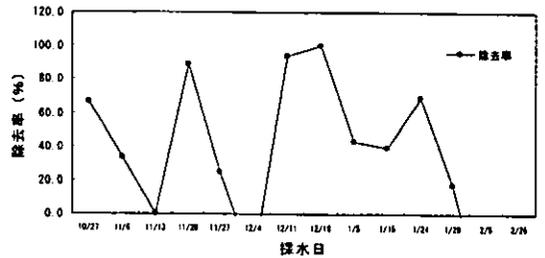


図13 P-COD除去率の変化

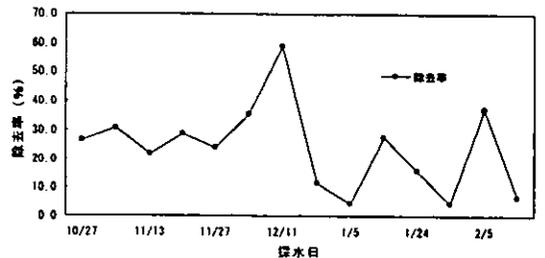


図14 BOD除去率の変化

なお、COD、D-COD濃度の差を粒子態濃度(P-COD)とし、その濃度と除去率の経時変化を図9に示す。平均除去率は、31.1%であり、濁水状態の平均除去率は、66.6%と高い除去率が得られた。

表2 CODの平均除去率

期間	平均除去率 (%)		
	COD	D-COD	P-COD
全期間	14.7	6.4	31.1
濁水状態	47.9	19.9	66.6
通常状態	9.2	4.2	25.2

表3 BODの平均除去率

期間	平均除去率 (%)
全期間	23.7
濁水状態	43.0
通常状態	20.5

### 3.4 T-Fe濃度と除去率

T-Fe濃度と除去率の経時変化を図15に示す。平均除去率は29.6%であった。また、濁水時の平均除去率は、67.6%と高い除去率が得られた。

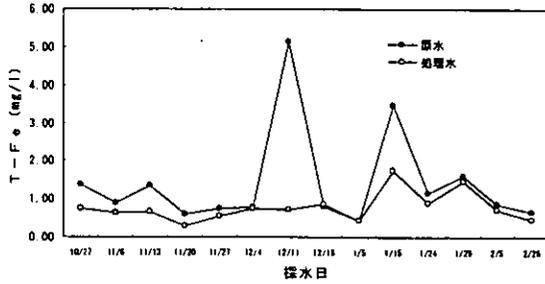


図15 T-Feの変化

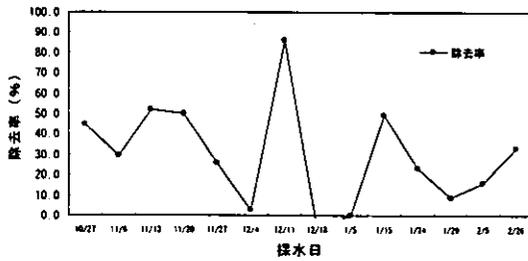


図16 T-Fe除去率の変化

表4 T-Feの平均除去率

期間	平均除去率 (%)
全期間	29.6
濁水状態	67.6
通常状態	23.3

### 3.5 T-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、D-T-Nの濃度と除去率

T-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、D-T-Nの濃度の経時変化を図17~21に示す。なお、T-N、D-T-N濃度の差をP-T-Nとして、その濃度の経時変化を図22に示す。この図からNH<sub>4</sub>-NとP-T-Nは除去効果が認められたが、T-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、D-T-Nは除去効果が認められなかった。

また、12月11日の濁水時の一週間後に処理水のD-T-NやNO<sub>2</sub>-NおよびNO<sub>3</sub>-Nの濃度が原水の濃度よりも高くなっていった。これは、濁水時に除去され水路に堆積したP-T-Nが分解されたため、濃度が増加したものと考えられる。

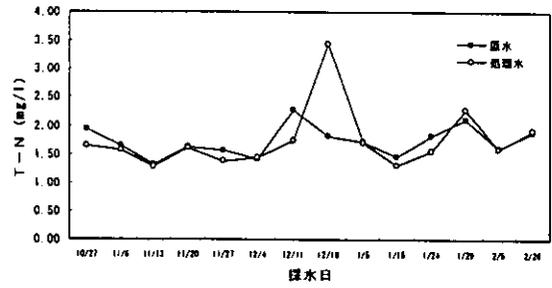


図17 T-Nの変化

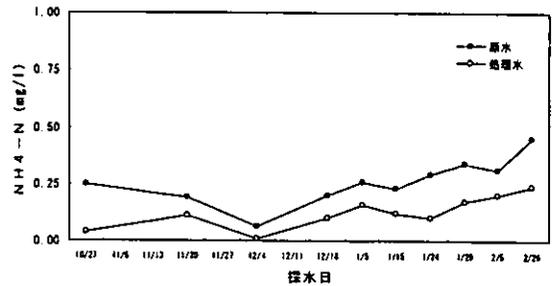


図18 NH<sub>4</sub>-Nの変化

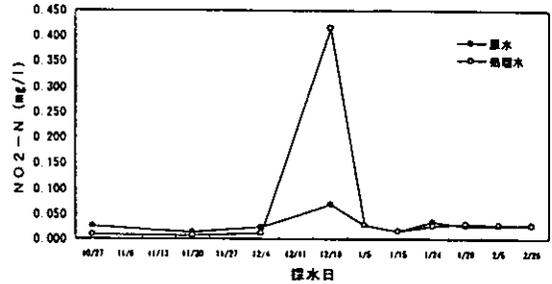


図19 NO<sub>2</sub>-Nの変化

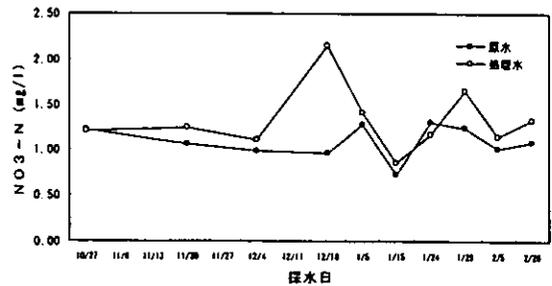


図20 NO<sub>3</sub>-Nの変化

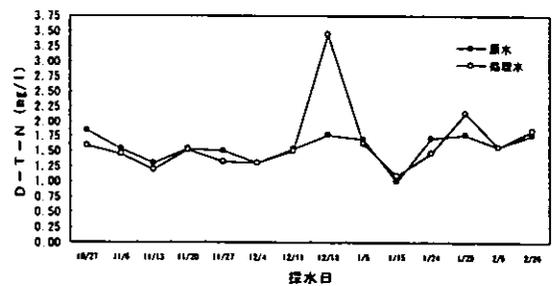


図21 D-T-Nの変化

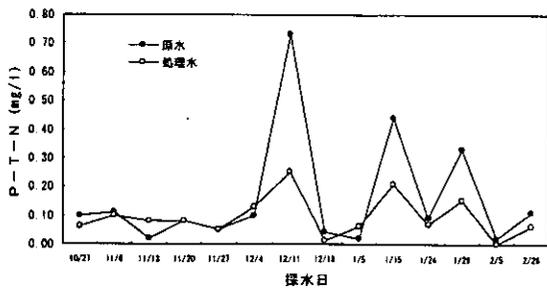


図 22 P-T-N の変化

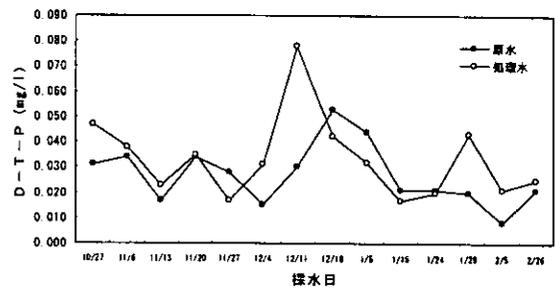


図 26 D-T-P の変化

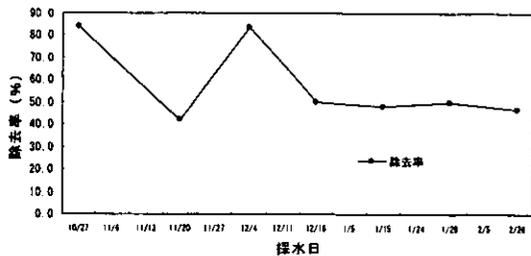


図 23 NH<sub>4</sub>-N 除去率の変化

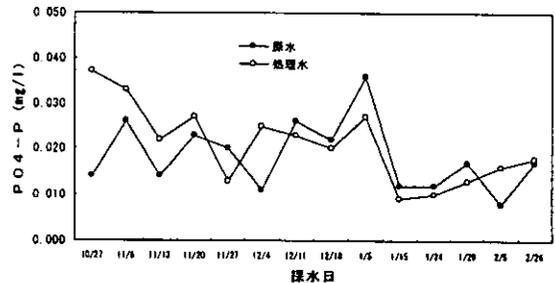


図 27 PO<sub>4</sub>-P の変化

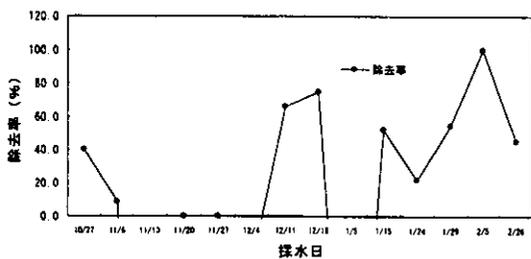


図 24 P-T-N 除去率の変化

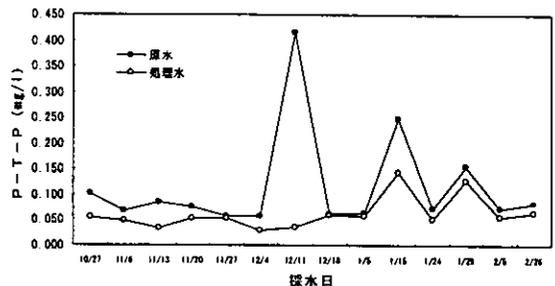


図 28 P-T-P の変化

### 3.6 T-P、D-T-P、PO<sub>4</sub>-P の濃度と除去率

T-P、D-T-P、PO<sub>4</sub>-P の濃度と除去率の図 25~27、29 に示す。なお、T-P、D-T-P 濃度の差を P-T-P として、その濃度と除去率の経時変化を図 28、30 に示す。これらの図から T-P と P-T-P で除去効果が見られたが、D-T-P と PO<sub>4</sub>-P では除去効果が見られなかった。

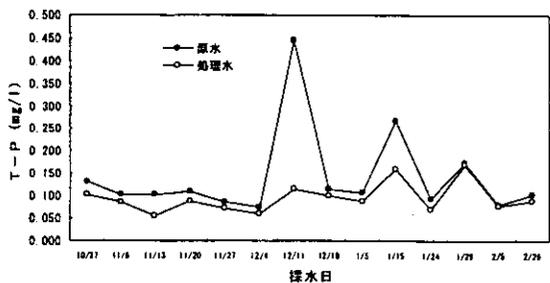


図 25 T-P の変化

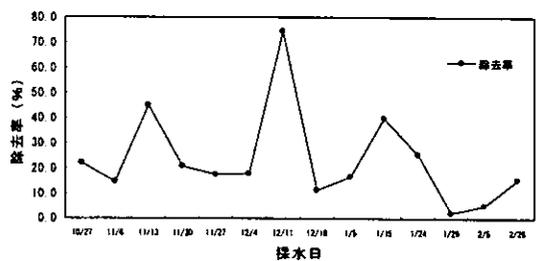


図 29 T-P 除去率の変化

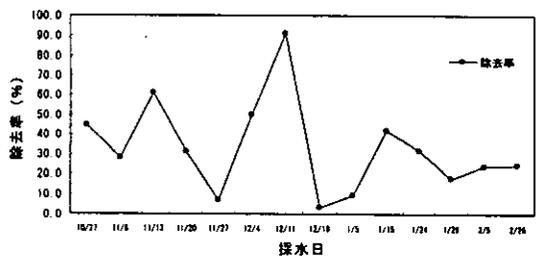


図 30 P-T-P 除去率の変化

表5 T-Pの平均除去率

期間	平均除去率 (%)	
	T-P	P-T-P
全期間	23.5	33.2
濁水状態	57.3	66.6
通常状態	17.8	27.6

4 底質の調査結果

水路出口に堆積した底質の分析結果を表に示す。また、この水路に堆積する堆積物は、流入水中のSSと考えられるので、流入水のSS中の各汚濁物質の濃度を計算し、表6に示した。

表6 底質とSS中の各成分

	底質	SS
COD	13.1	115.6
T-N	1.15	23.0
T-P	0.89	30.7

この表から堆積した底質中の各汚濁物質の濃度が、流入水に含まれていたSS中の汚濁物質の濃度より1桁程度低くなっていた。

5 多孔質セラミックス付着物の電子顕微鏡写真

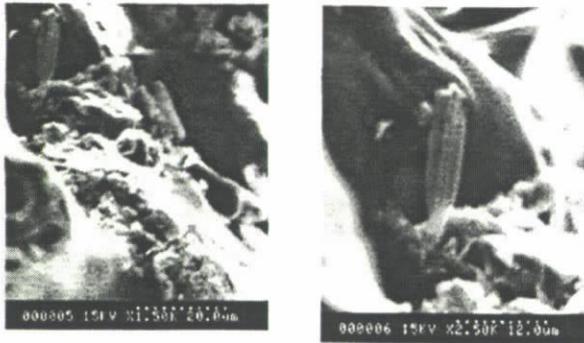


図31 多孔質セラミックス付着物の電子顕微鏡写真

この写真から多孔質セラミックスの細孔表面には、バクテリアのコロニーや原生動物が見られた。

6 考察

多孔質セラミックスを使用した処理施設では、次のような現象が起こると考えられる。

1. 粒子状物質の接触酸化材表面への付着および沈降
2. 接触酸化によるCODの分解、T-N、T-Pの酸化態への酸化

粒子状物質の接触酸化材表面への付着および沈降については、粒子状物質の比率と除去率を表7に示す。

表7 粒子状物質の比率と除去率(%)

	粒子状比率	平均除去率
COD	30.2	14.7
T-N	8.7	-1.0
T-P	76.9	23.5

この表から汚染物質のうち、粒子状物質の比率が高いほど除去率が高く、接触酸化材により粒子状物質が除去できたと考えられる。

また、接触酸化作用については、流入水のSS中の汚濁物質濃度より堆積汚泥の汚濁物質濃度が1桁程度低いことから、この施設中で接触酸化分解が進んだものとして考えられる。

SSなどに見られるように流入水中の急激な懸濁物質による汚濁負荷の変動に比べて処理水の水質の変動は小さく、水質変動を抑制する効果があると考えられる。

リン吸着材を含む本施設によるリン酸イオンについては、T-P除去率では減少しており付着あるいは沈降した粒子状のリンの一部がリン酸イオンに変換されることが考えられ、今回の結果からだけでは吸着効果があるもののその量的な効果については推し量れなかった。

8 まとめ

以上のことから次のことがいえる。全体的には、窒素以外の分析項目で除去効果があると認められた。さらに、溶存態に比べて、トータル汚濁物質の除去率が高く、ゼオライト多孔質体(担体)での浮遊物質の除去が大きいと考えられる。また、濁水流入時の除去率が通常時より高く、春期の濁水発生時などは有効と考えられる。また接触酸化作用については、施設通過後のNH4-N濃度の低下や窒素酸化物比の増加などから機能していると考えられた。リン吸着材の効果については、除去効果の判定が微妙である。

1. 本施設は、粒子状の物質の除去に効果があった。
2. 高濃度ほどの粒子状物質の除去に効果があった。

8 謝辞

多孔質セラミックスの作製に協力いただいた日光化成(株)技術研究所に感謝します。

9 参考文献

- 1) 前川昭他: 滋賀県工業技術センター研究報告, 10, 49 (1996)

実験担当者

工業技術総合センター  
機能材料担当専門員 前川 昭  
主任技師 岡田 俊樹  
財団法人琵琶湖水質保全機構  
実験センター所長 田井中 善雄  
実験センター主任 研究員 堀野 善司

### 3. 深池型ヨシ帯浄化実験（その3）

#### 1. 目的

湖沼沿岸帯の湿地は、汚濁が進行した環境水に対して浄化効果を有することが知られている。湿地による水質浄化機構は、水生植物の栄養塩類吸収や微生物等による有機物分解、土壌や植物等によるろ過吸着等の物理化学作用により、各々が複雑な関係の上に成立している。湖沼の水位は一定ではなく、水面からの蒸発や降雨等によって増減を繰り返しており、それにもなう沿岸帯の移動は、湿地の浄化機構に何らかの影響を及ぼしていると考えられる。

本業務は「深池型浄化実験施設」に湿地植物群落を再現し、琵琶湖の水位データに基づいて深池水位を調節することで水位の変化が水質浄化機能に与える影響を評価し、琵琶湖・淀川水系の水環境にフィードバックさせていくことを最終的な目的とする。

#### 2. 実験方法

本年度業務では、深池型浄化実験施設（以下「深池」という）3槽のうち、A槽を用いて浄化実験を行った。A槽は流下方向に対して横断方向に2等分し、上流側をヨシ区、下流側を無植栽区とした。水位の調整は平成9年～平成11年（過去3年間）の移動平均値を用い、1週間毎に水位を調整した。浄化性能の評価は水質分析により行い、採水は水位調整後1週間後に行い、採水直後に水位調整を行いさらに1週間後採水するという要領で、平成12年7月から平成13年2月の間毎週採水・分析を実施した。深池への流入水量は、実験期間を通して平成11年度の業務で浄化効率が高かった $10\text{m}^3/\text{h}$ に設定した。

＜実験施設断面図＞

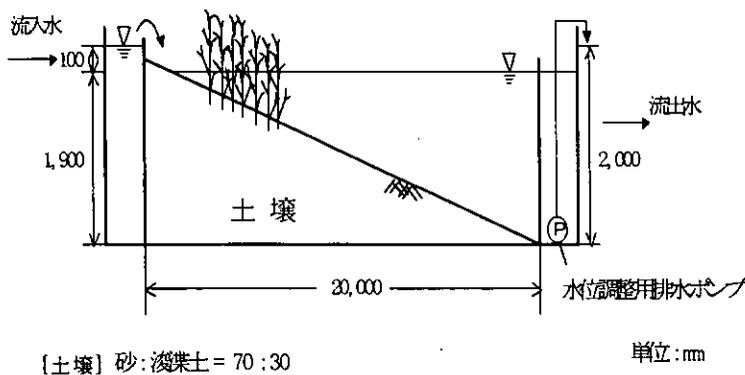


図 3-1 実験施設縦断面図

＜実験施設平面図＞

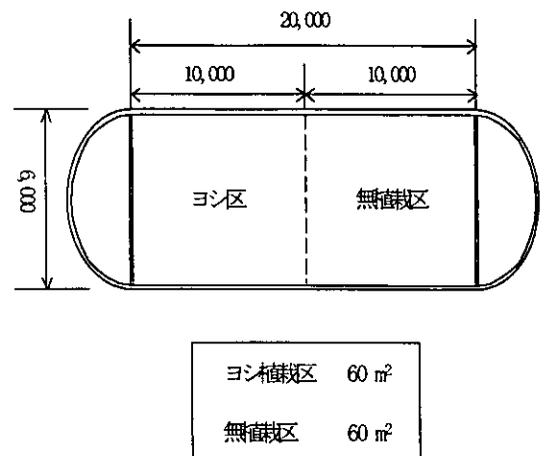


図 3-2 実験施設平面図（A槽）

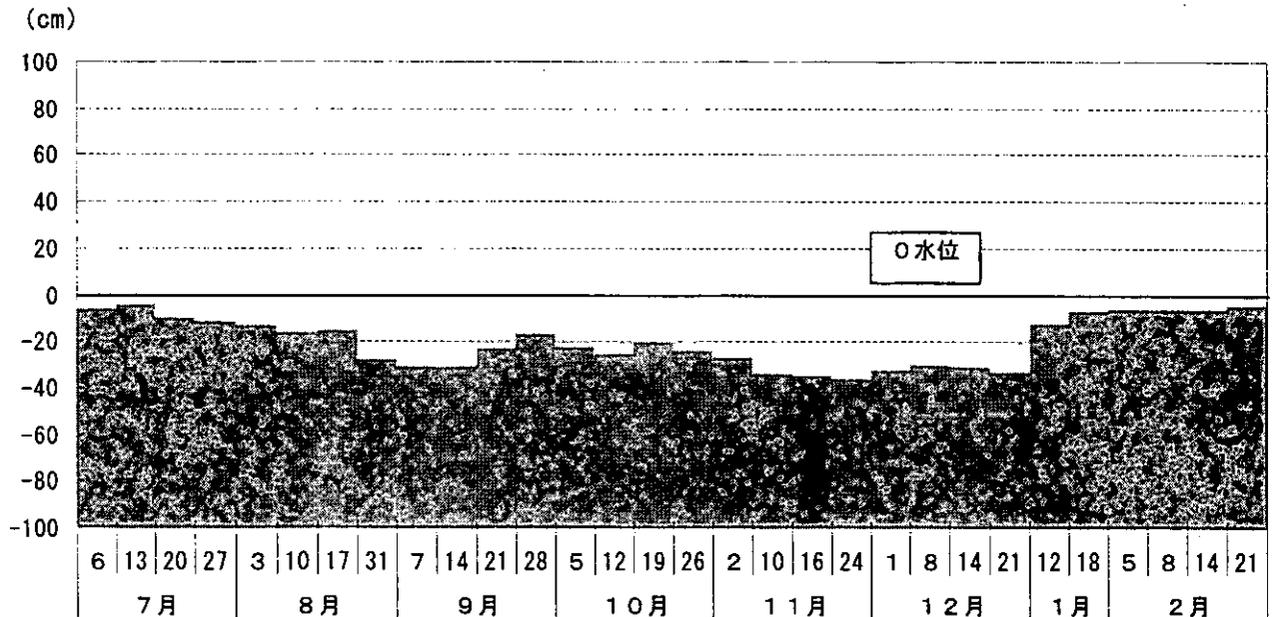
### 3. 結果および考察

#### 3.1 ヨシ帯の水質浄化効果

深池ヨシ帯の水質浄化効果を、水質調査結果をもとに水位変動を実施しなかった昨年度の調査結果と対比して以下に考察する。

##### (1) 水位の変動

今年度実施した深池の水位状況を下図に示す。



水位は平成9年から平成11年のデータをもとに3年間の移動平均を求め、1週間ごとに調整した。水位のトレンドは夏季7月から秋11月にかけて低下し、12月以降実験終了まで上昇させた。この間の水位差は最大38.5cmである。

(2) BOD

流入水のBODは平成11年度の平均3.0mg/Lに対し、本年度は平均2.8mg/Lで約10%低下していた。

除去率の変動は大きく、7月には最大30.8%（流入水のBOD3.9mg/L）を示したが、通年の平均除去率は3.6%（平成11年度平均11.2%）であった。BODの除去率の変動が大きい原因を以下に列挙する。

- 流入水の濃度が平均2.8mg/Lと低く、生物学的な除去限界濃度域に相当する
- 夏季、生物の活性が高く除去効果が発現しやすい
- 冬季は流入濃度が高くなる傾向があるが、水温が低いため生物活性も低く除去効果が現れにくい

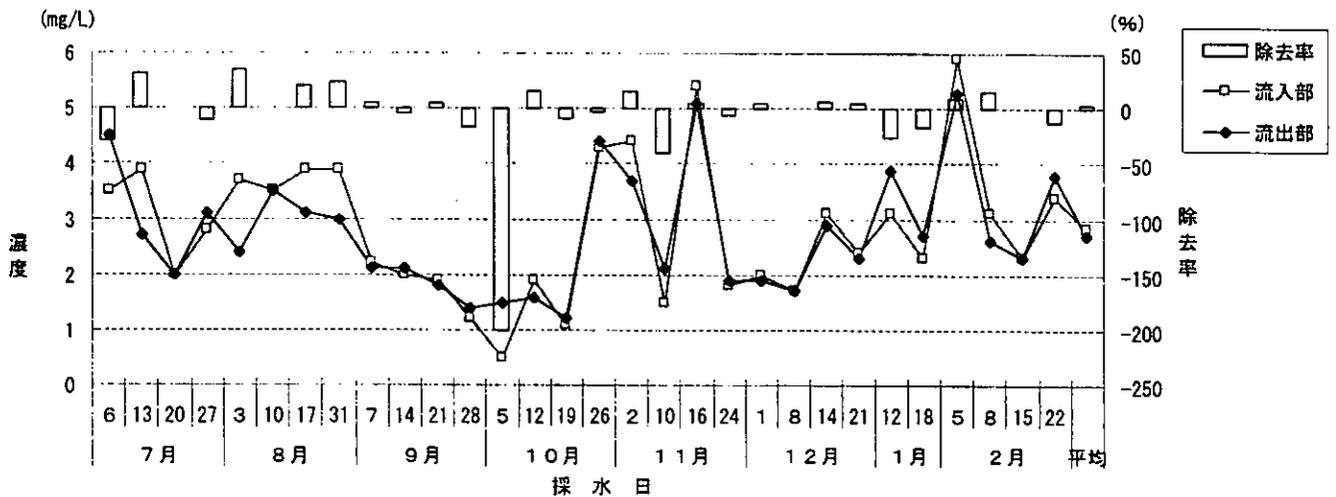
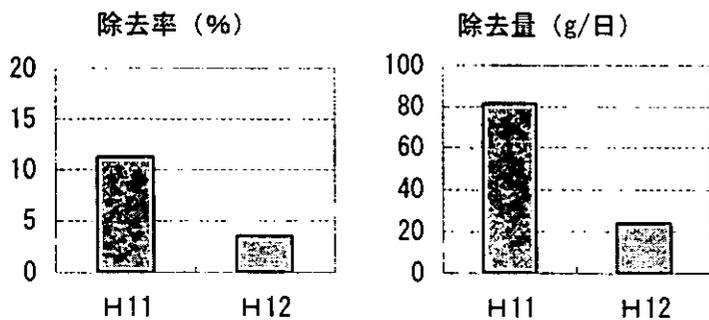


図 3-3 BODおよび除去率の推移【平成12年度】



項目		平成11年度	平成12年度
水質	流入部 (mg/L)	3.0	2.8
	流出部 (mg/L)	2.7	2.7
除去率 (%)		11.2	3.6
除去量 (g/日)		81.6	24

図 3-4 BODの浄化効果【平成11年度 vs 平成12年度】

除去率が昨年度に比べ低下している原因として、昨年度の冬季の流入水質が平均5.3mg/L、この時の除去率が17.1%と高かったことが通年の平均除去率を高くしていた。夏季および秋季の除去率は昨年度と差がないことから、水位の変動によるBODの除去効果への影響はほとんどないと推察される。

(3) S S

流入水質は、7月から9月にかけて20~50mg/Lと高く、10月以降2月までは、時に高濃度も見られるが、概ね10mg/Lの濃度域で推移した。

本年度のS Sの平均除去率は54.9%であり、流入濃度が高いときに良好で、7月~9月は60~90%の高い除去率を示した。一方、流入濃度が低くなった10月以降は変動が大きく、総じて除去率が低かった。除去率の変動の原因として、

- 夏季は流入濃度が高いことに加えヨシの生育密度が高く、水中部のろ過効果が高い
- 秋季はヨシの枯死とともにろ過効果が低下し、逆に底泥の水への回帰が生じた

ことが考えられる。

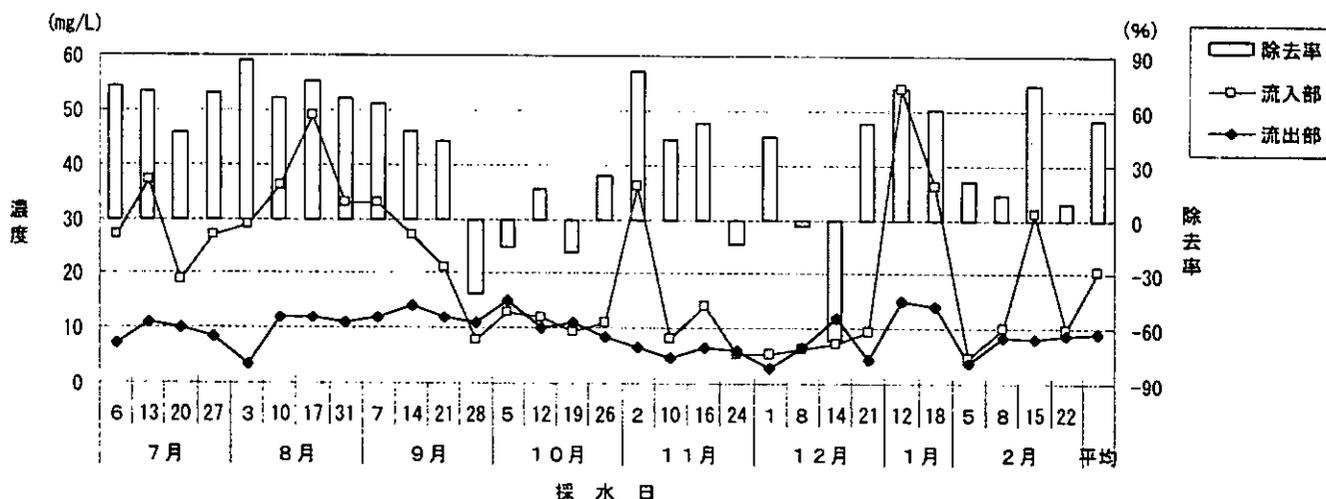


図 3-5 S Sおよび除去率の推移【平成12年度】

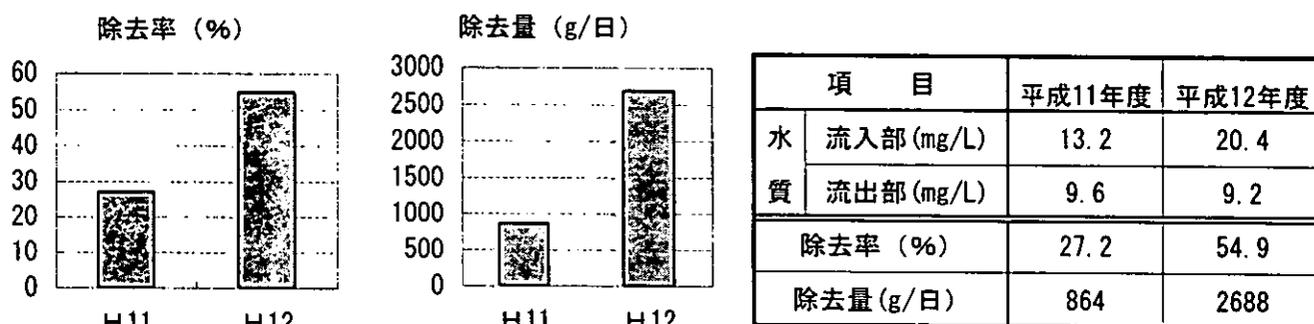


図 3-6 S Sの浄化効果【平成11年度 vs 平成12年度】

水位の変動によるS S除去効果への影響については、今年度は昨年度に比べ高い除去率が得られたことから、水位低下によりヨシ群落での接触沈殿効果が促進されたと考えられる。

(4) T-N

過年度の水質調査の結果と同様、今年度の通水実験でもT-Nの除去率は低かった。

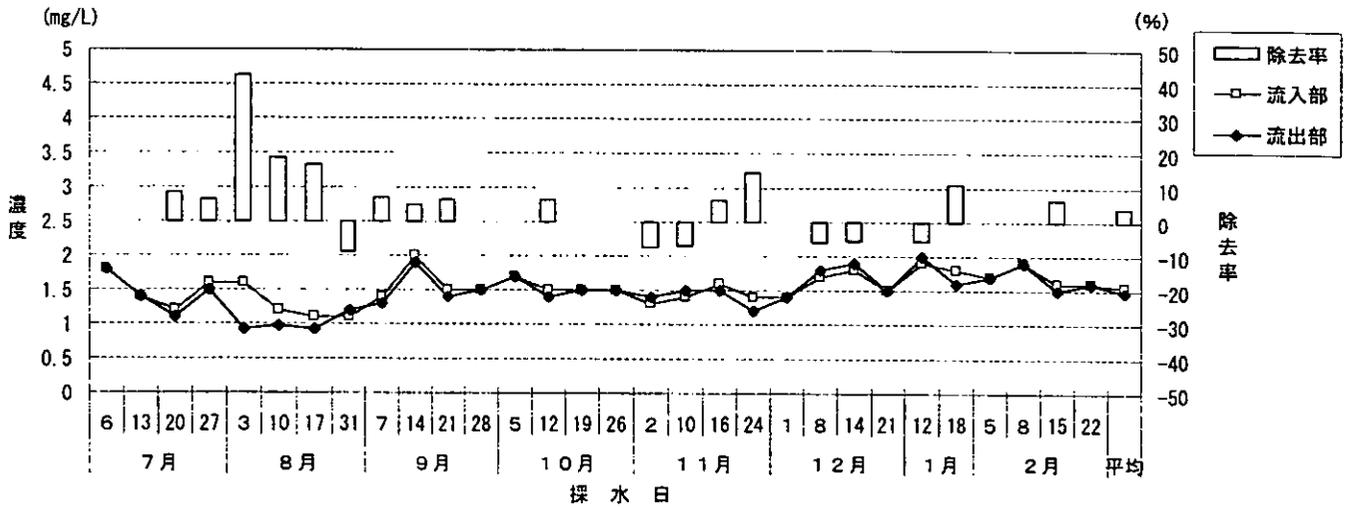


図 3-7 T-Nおよび除去率の推移【平成12年度】

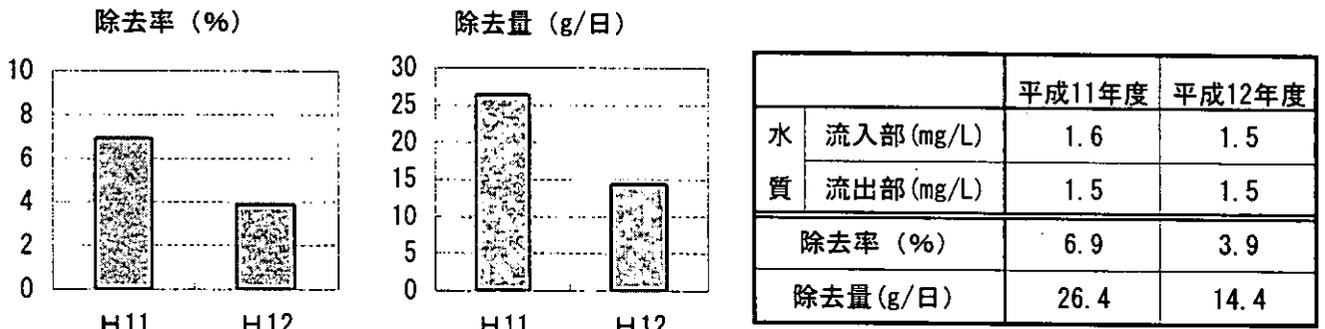


図 3-8 T-Nの浄化効果【平成11年度 vs 平成12年度】

水位を変化させなかった昨年度の調査結果と対比すると、除去率および除去量に差があるものの、流入水と流出水の水質は両年度で有意差は認められない。

以上のことから、水位を変動させることによる窒素の除去効果は認められなかった。

(5) T-P、PO<sub>4</sub>-P

実験期間中のT-P濃度の推移はSSのそれに概ね連動していた。

SSの流入濃度と除去率が高い7月から9月はT-Pも同様に除去率が高く、SSの流入濃度と除去率が低い10月はT-Pの除去率も低かった。このことからT-Pの除去はSSの除去と同様、ヨシ原におけるろ過・沈殿効果が主要なものと推察できる。

PO<sub>4</sub>-Pの除去率は、7月から9月初旬に高い傾向が見られ、生物活性が高い高水温期に効率的にリンが除去されていることが認められる。

T-PとPO<sub>4</sub>-Pの除去率は上記のように概ね連動しているが、詳細に見ると相違点がある。すなわち、SSと同様の機構で除去されるT-Pは実験期間を通じて除去率（平均30.8%）が見られるのに対し、PO<sub>4</sub>-Pは11月下旬以降、2月の実験終了までの期間の除去率は正および負の双方にふれていた。その理由として、ヨシの枯死による栄養塩吸収量の低下や枯れヨシや底質からの栄養塩類の回帰が考えられる。

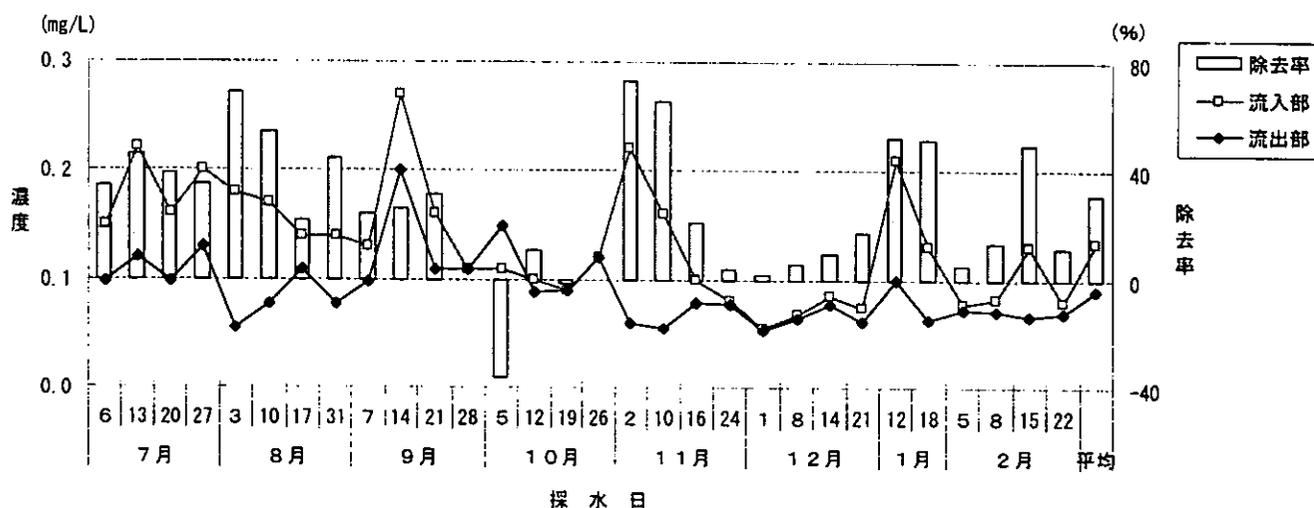


図 3-9 T-Pおよび除去率の推移【平成12年度】

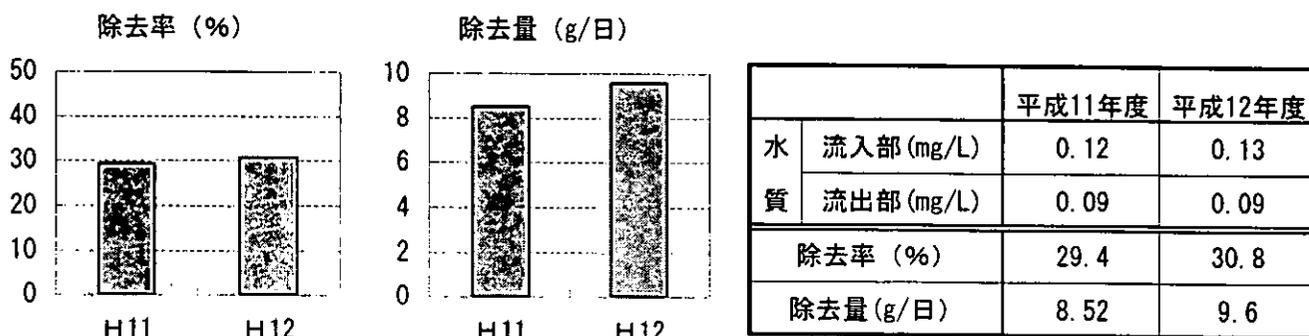


図 3-10 T-Pの浄化効果【平成11年度 vs 平成12年度】

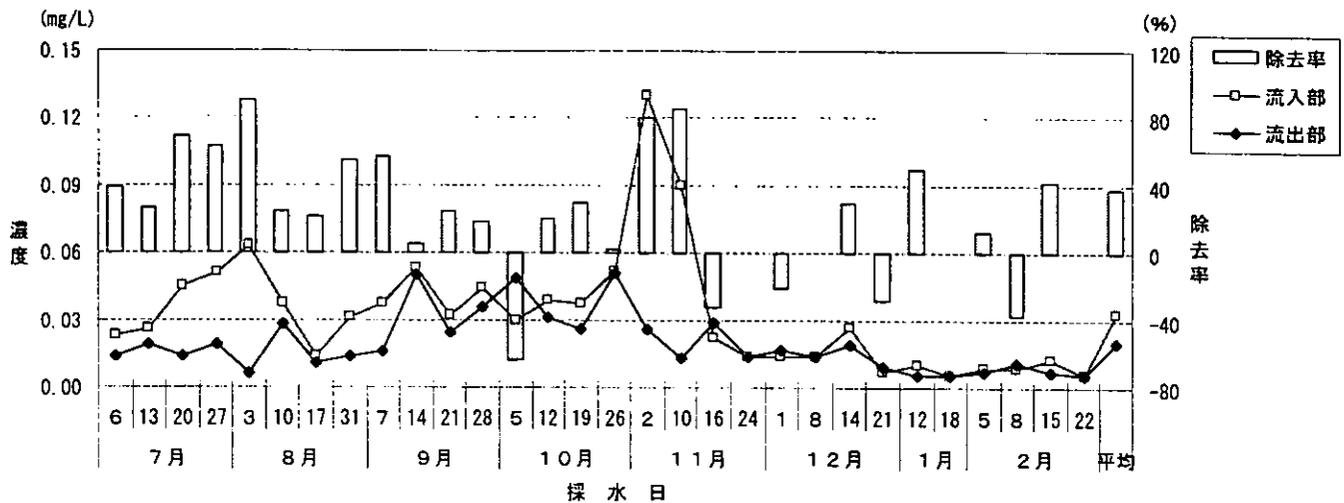


図 3-11 PO<sub>4</sub>-P および除去率の推移【平成 12 年度】

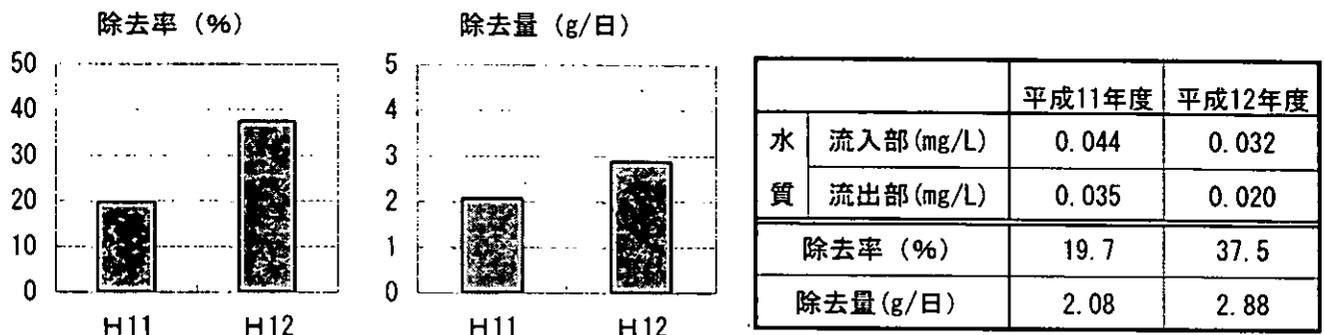


図 3-12 PO<sub>4</sub>-P の浄化効果【平成 11 年度 vs 平成 12 年度】

水位の変動による除去率の変化は、PO<sub>4</sub>-Pに見られ、昨年度の平均除去率 19.7%に対し水位変動を実施した今年度は 37.5%であった。一方、T-Pの平均除去率は昨年度 29.4%に対し、今年度は 30.8%とほとんど差が見られなかった。

PO<sub>4</sub>-Pの除去率が改善されたのは、水深が浅くなることによりヨシ原の土壌が酸化状態になりやすく、水酸化鉄とリンとの共沈作用が促進したと推察される。

(6) E260 と有機物指標

E260とは有機物が260nmの紫外領域の光を選択的に吸収する性質を利用した有機物測定の一方法であり、本業務では難分解有機物の指標としての適応性を検討した。

実験期間中におけるE260は7月から9月が0.15~0.20と高いレベルで推移し、9月下旬以降は、時に高くなるが概ね0.09~0.12のレベルで推移した。このパターンはCOD濃度の変動パターンと似ていた。E260とCODおよびBODとの回帰分析結果を図3-14~図3-15に示す。E260との相関はCODで高く(相関係数0.78)、BODは低かった。

Y 切片	2.287
Y 評価値の標準誤差	0.613
R2乗	0.613
相関係数	0.783
標本数	60
自由度	58
X 係数	18.9
X 係数の標準誤差	1.97

Y 切片	2.199
Y 評価値の標準誤差	1.169
R2乗	0.027
相関係数	0.164
標本数	60
自由度	58
X 係数	4.8
X 係数の標準誤差	3.76

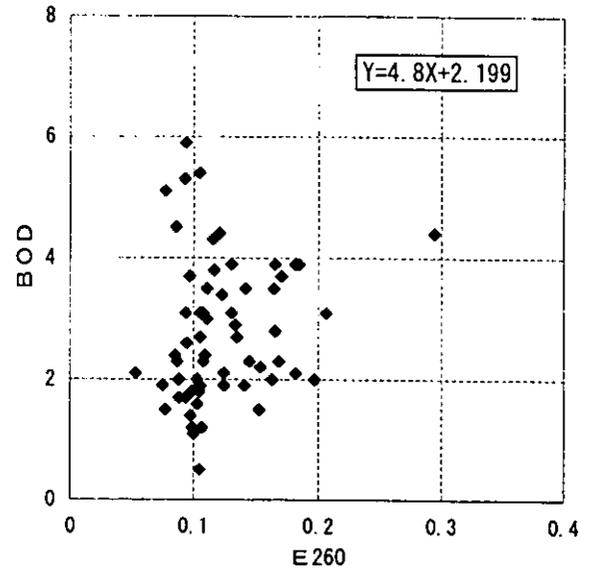
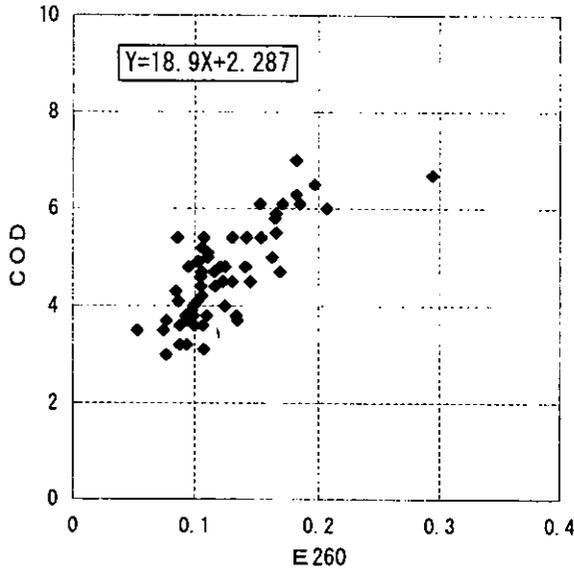


図 3-13 E260とCODの相関

図 3-14 E260とBODの相関

以上のことからE260と有機物指標(COD、BOD)との関係について、

- E260はCODと強い正の相関を有する(相関係数0.78)
- SS粒子を除去したろ過水についても同様にCODと正の相関が見られるが、未ろ過水に比べ弱い

ことが本実験で判明した。

E260とCODの回帰式を以下に示す。

$$\text{回帰式} \quad \text{COD} = 18.9 \times \text{E260} + 2.287 \quad (\text{相関係数 } 0.783)$$

上式を使用することにより、深池型ヨシ原浄化実験におけるCODの把握はE260の測定により可能であることが判明した。

### 3.2 ヨシの生育に与える影響

#### (1) 散布図解析

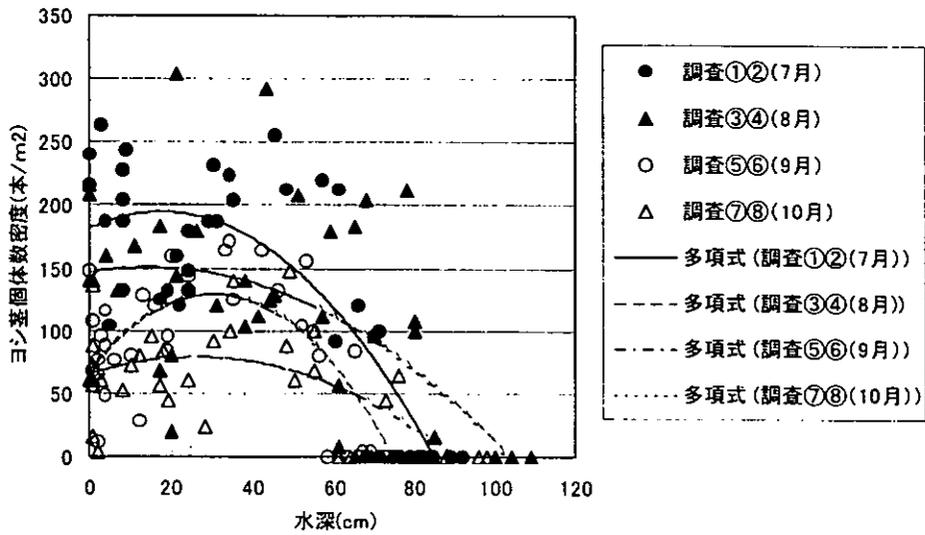


図 3-15 散布図 (ヨシ茎密度、水深)

上図のようにヨシ茎個体数密度は時期を追うごとに密度が減少し、枯死が進行した。

9月および10月の調査において、水深が30cmから50cmの時にヨシ茎個体数密度が高いことから、ある程度の水深(30~50cm)はヨシの枯死を遅らせることが推察された。また、水深が80cm以上になるとヨシは生育しなかった。

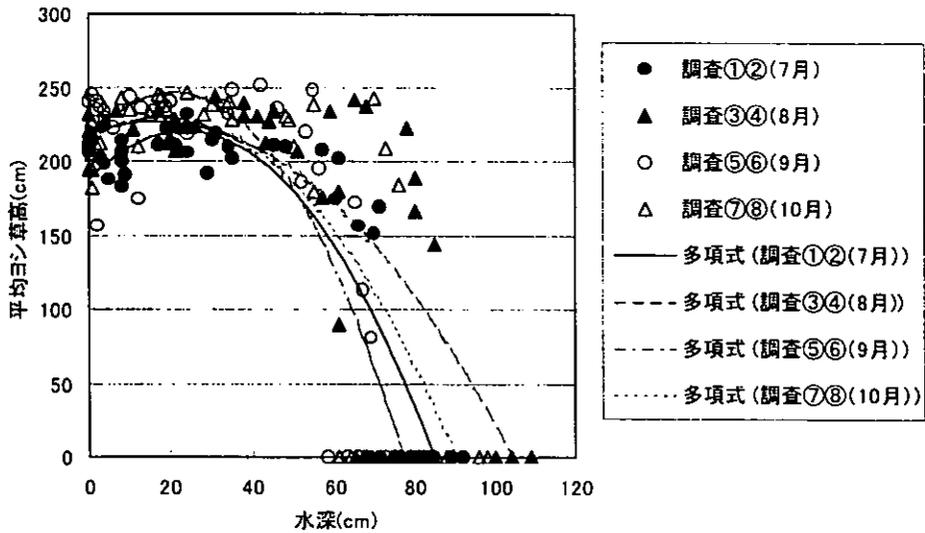


図 3-16 散布図 (ヨシ草高、水深)

ヨシの平均草高は水深30~50cmで230cm付近に集中し、60cmを超える水深では草高が減少し、生育が抑制されていた。

(2) 栄養塩類の含有量分析

1) 経時変化

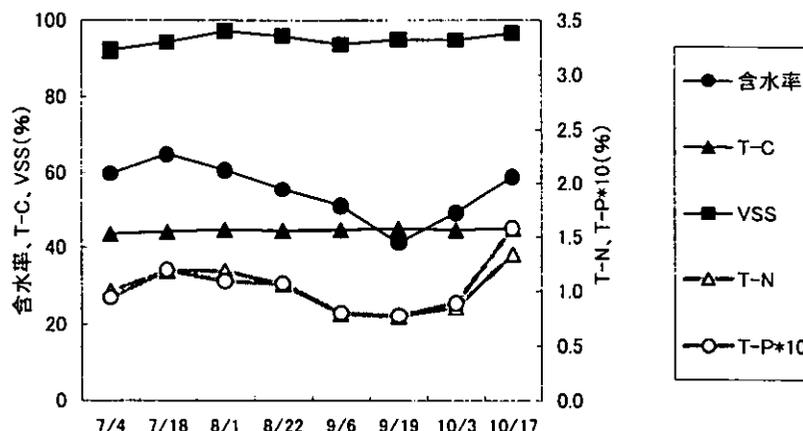


図 3-17 ヨシ含有物質の経時変化

ヨシに含まれる物質の経時変化は、含水率とT-N、T-Pが非常に類似した傾向を示していた。T-N、T-P等地下茎から吸収される無機栄養塩類は、水分の移動に伴ってヨシの各区画(葉や茎)に供給されることによると推察される。

T-C(全炭素)、VSS(有機物量)の経時変化は傾向が類似していた。これはT-C、VSS等はヨシの個体を構成している成分であるためと推察される。

2) ヨシの部位による栄養塩分布の推移

ヨシの部位別の栄養塩類含有割合(T-N、T-P)を下図に示す。

茎下部とは茎0-50cm、茎上中部は調査日による草高の差異を考慮して、茎50-100cm~茎250-300cmまでの平均値を3倍した値で補完した(草高200cmと仮定)。

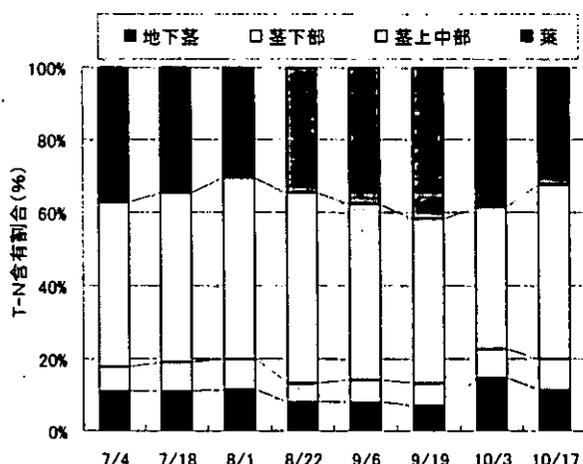


図 3-18 部位別のT-N含有割合

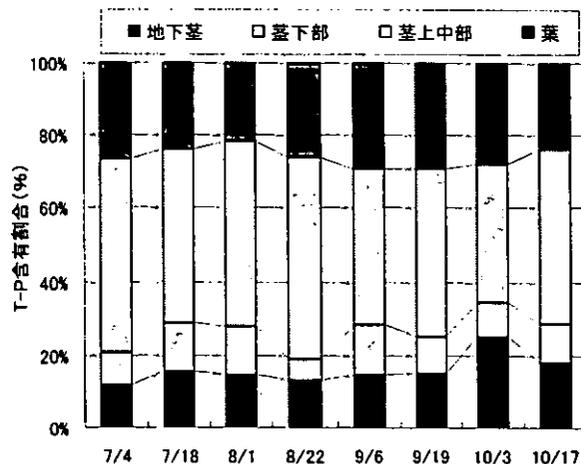


図 3-19 部位別のT-P含有割合

T-N、T-Pとも時間が経過するにつれて栄養塩類が地下茎および茎下部の含有割合が多くなる傾向を示し、枯死が進行するにつれ栄養塩類が下部に蓄えられる様子が認められる。

(3) ヨシ群落の栄養塩等の現存量

今回の実験ではヨシの調査開始時（7月4日）および調査終了時（10月17日）の栄養塩現存量の差引き量を求めた。差引き量はT-Nで931g、T-Pが48g、VSSは63,886gでこれらの量が水質または土壤に回帰したと考えられる。

表 3-1 コドラート内の現存量と差引き量

[単位：g]			
調査日	T-N	T-P	有機物量
7月4日	2,343	180	131,823
10月17日	1,412	132	67,937
差引き量	931	48	63,886

茎50cm以上を刈り取ったと仮定した場合、ヨシ群落から除去できる栄養塩量の経時変化を下図に示す。

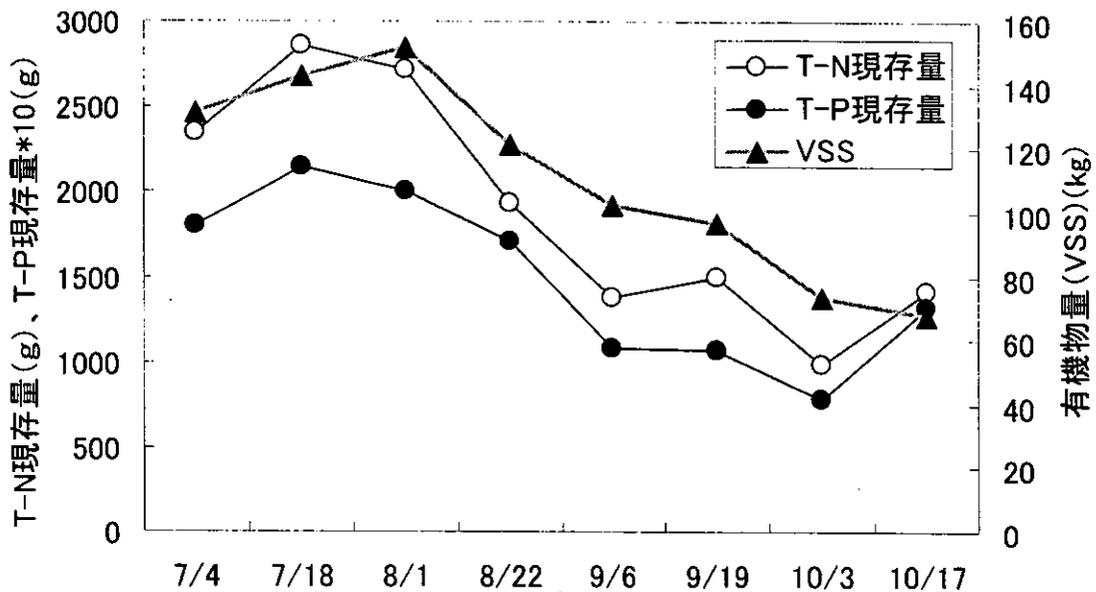


図 3-20 T-N、T-P、VSSの推移

ヨシは季節の変遷とともに個体数が減少し、茎下部へ栄養塩が移動することから、ヨシ群落内の栄養塩を除去することを優先して考えるならばヨシ生育がほぼ完了した7月中旬から8月下旬に刈り取ることが効果的であると推察される。

### 3.3 ヨシ帯に生息する水生生物に与える影響

#### (1) ヒメタニシ

ヒメタニシは夏に多く、冬期は姿が見られなかった。

ヒメタニシの付着数を単位面積（1 m<sup>2</sup>）あたりに換算した値と深池水位の変化を以下に示す。

表 3-2 ヒメタニシ付着数と深池月間平均水位

	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
付着数	53	52	8	4	0	0	0	0
付着面積	0.70m <sup>2</sup> (0.1744m <sup>2</sup> /観測板1枚)							
1m <sup>2</sup> あたり付着数	75.9	74.3	11.4	5.7	0	0	0	0
月間平均水位	-6	-19	-25.5	-22.75	-33	-31.5	-9.5	-5.5

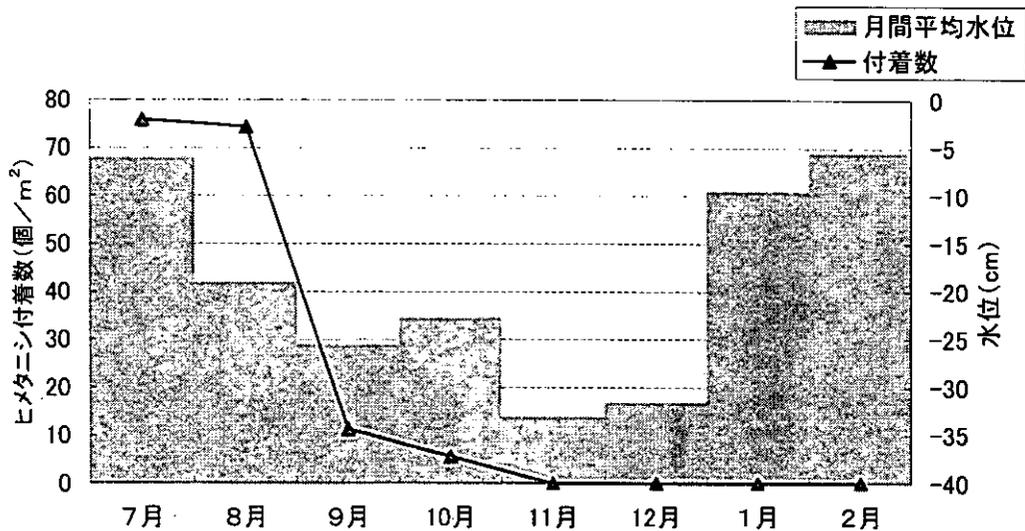


図 3-21 単位面積（1 m<sup>2</sup>）あたりのヒメタニシ付着数と深池水位変化

ヒメタニシは7月に75.9個/m<sup>2</sup>の最大付着数を示したがその後減少し、11月以降には付着数がゼロになった。ヒメタニシの付着数と水位は共に減少しており、一見すると両者に因果関係があるように思われるが、深池の中でヒメタニシは水位の減少幅以上に潜行していた。

表 3-3 深池の植物プランクトンの動向

	植物プランクトン出現種類数		植物プランクトン合計数	
	7月	9月	7月	9月
ヨシ区	50	37	270	198
無植栽区	39	32	756	301

ヒメタニシは主に植物プランクトンを餌としている。「ヨシ区」および「無植栽区」における植物プランクトンの動向は、7月に比べて9月に出現種類数や合計数が減少していることから、植物プランクトンが増殖する夏季はヒメタニシは水面近くに付着するが、水温が低下する冬には表層水より比較的水温の高い水底に移動すると推察される。今年度の実験で11月以降ヒメタニシの確認数がゼロとなったのは水位変動によるものではなく、餌の存在位置と水温の影響に起因するものと推察される。

(2) ヒブナ

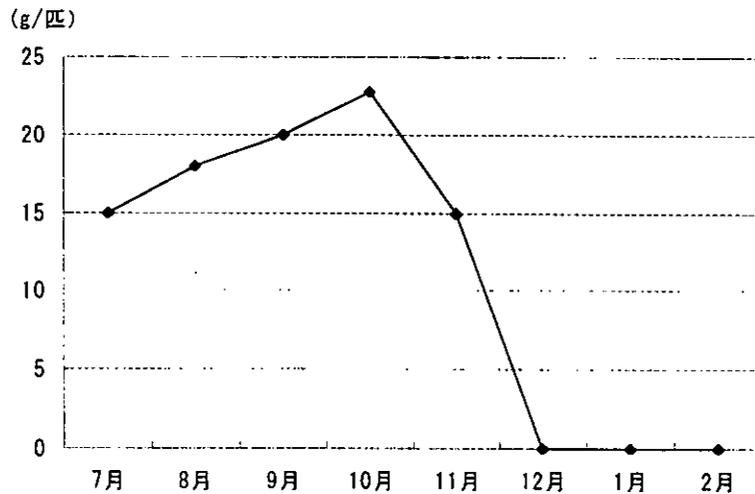
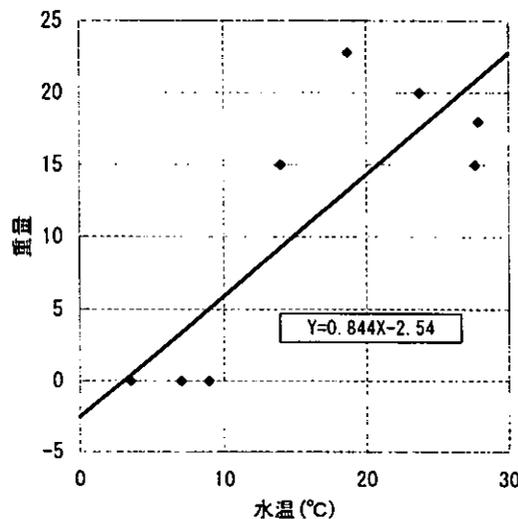


図 3-22 ヒブナの重量変化

実験期間中におけるヒブナ 20 匹の平均の重量の変化を上図に示す。

7月から10月までは22.8g/匹にまで成長しているが、11月には15g/匹と減少し、12月以降は水温の低下から身を守るためヨシ原の中に潜むようになった。



回帰分析結果

Y切片	-2.540029279
Y評価値の標準誤差	5.920800569
R <sup>2</sup> 乗	0.682876585
標本数	8
自由度	6
X係数	0.84437868
X係数の標準誤差	0.234911716

図 3-23 ヒブナの水溫と重量の相関

図 3-23 に水温とヒブナの重量変化の相関を示す。

ヒブナの重量が水温とともに低下したのは、餌となる藻類や底生生物が減少したためと推察される。

(3) 動植物プランクトン、付着藻類、ベントス

ヨシ区ならびに無植栽区における動植物プランクトン、付着藻類およびベントスの出現数について、水温ならびに水位との相関を調べた。

表 3-4 相関分析の結果

	ヨシ区	無植栽区
動物プランクトン	水 温 (0.64)	水 温 (0.67)
植物プランクトン	水 温 (0.85)	水 位 (0.71)
付着藻類	水 位 (0.84)	水 温 (0.28)
ベントス	水 位 (0.14)	—

注) 表中 ( ) の数値は相関係数を示す。

植物プランクトンと付着藻類は、水温と水位がそれぞれの存在状況に影響を及ぼしていることがわかる。動物プランクトンが水位よりも水温の影響を強く受けている。

一方、植物プランクトンは水温に加え水位の影響もあるように見受けられ、これは植物プランクトンが太陽エネルギーを活用して増殖しているのに対し、動物プランクトンは植物プランクトンの捕食者であるという違いによるものと考えられる。

#### 4. まとめ

深池におけるヨシ帯浄化実験において、平成 12 年度は実際の琵琶湖水辺を再現するべく深池で琵琶湖の水位変動を再現し、水質、生物調査および解析を行った結果、以下の知見が得られた。

(1) 水質浄化能について

SS の平均除去率は 54.9% であり、流入濃度が高いときに良好で、7 月～9 月は 60～90% の高い除去率を示した。一方、流入濃度が低くなった 10 月以降は変動が大きく、総じて除去率が低かった。除去率の変動の原因として以下の 2 点が推察される。

- 夏季は流入濃度が高いことに加えヨシの生育密度が高く、水中部のろ過効果が高い
- 秋季はヨシの枯死とともにろ過効果が低下し、逆に底泥の水への回帰が生じた

リン酸態リン ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) の除去効果が水位を変化させなかった平成 11 年度よりも向上した。その原因として以下の 2 点が推察される。

- ① 水位を連続して低下させた期間 (7 月～11 月) は、ヨシ原の陸部が相対的に広くなり、底泥の酸化状態が進行した。
- ② 土壌中の二価鉄が水中に溶出し、溶存酸素が充分存在する状態で水酸化鉄として沈殿する時に  $\text{PO}_4\text{-P}$  の共沈が促進した。

その他の水質調査項目は、水位変動による浄化効果の違いは認められなかった。

## (2) ヨシの生育状況

ヨシの生育状況を調査した結果、以下の知見が得られた。

- ① 水深 30cm 付近でヨシの生育密度が高く、枯死するまでの生育期間が長かった。ヨシの生育は当該水深で最も良好であった。
- ② ヨシ植物体における栄養塩類等の分布は枯死に向かうにつれ、植物体下部 (地下茎、茎 0～50cm) に蓄積する傾向が見られた。水質保全の観点のみを考慮すると、ヨシの生育がとまる 7 月頃にヨシの下部 50cm を残し刈り取ることが、効率の良い浄化につながると推察された。

## (3) 生物の生息状況について

本業務で調査を行ったヒメタニシ、ヒブナを調査した結果、以下の知見を得た。

- ① ヒメタニシは夏季、餌となる植物プランクトンが多い表層水付近に生息するが、水温低下とともに底へ移動する。
- ② ヒブナは夏季 (7 月) 15g/匹であった個体重量が 10 月に 22.8g/匹まで増えたが、11 月には 7 月の体重まで減少していた。

## 5. 関連実験 ～浮きヨシ筏の調査

### 5.1 実験方法

草津川放水路に平成 10 年 6 月に係留した浮きヨシ筏のヨシの成長調査および筏下部（水中部）に懸架したバイオコードに付着した生物の調査を行い、水環境への寄与を評価した。調査はヨシの成長について毎月草丈等の実測を行い、生物調査は各季節ごとに 1 回実施した。

筏内寸法	W1,000 × L 1,500 × H240 mm
ヨシ	直径30cmポット苗、5 株 / 1 基
バイオコード	L = 2,000 mm、48 本 / 1 基
ヤシマット	W1,000 × L 1,500 × H150 mm

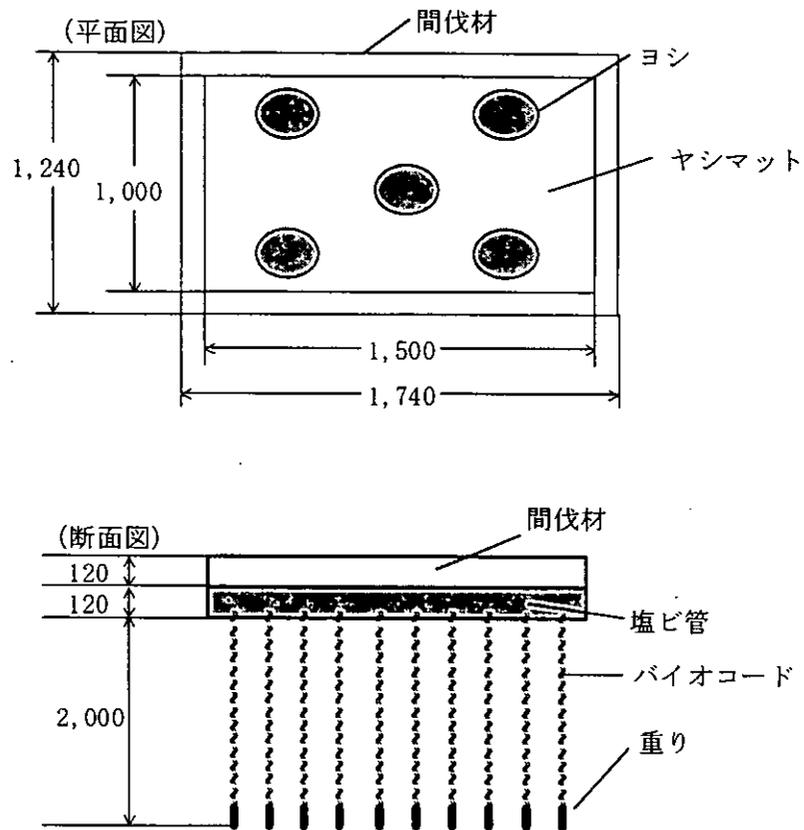


図 3-24 ヨシ筏の概要

### 5.2 結果と考察

平成 11 年度の調査ではベントスの個体数が極めて多かったが、これはミズムシや貝形亜綱が多かったことに起因する。変動の大きい出現種の影響を差し引くと以下の表の結果となる。

表 3-5 過去3年間のヨシ筏のベントス（ミズムシ、貝形垂網を除く）

[バイオコード2m×2本]

	平成10年度	平成11年度	平成12年度	過去3年平均
出現種類数	16	36	21	24
合計個体数	90	143	96	110
単純月平均 個体数	30	36	24	30

浮きヨシ筏下部に懸架したバイオコードに付着した生物の出現種は3年平均で24種で、設置2年目の平成11年度、出現種が36種と最多であるが翌年度は減少していた。出現種類数はヨシ筏設置後1年で概ね安定し、個体数は主に生物の遷移、その他水温や水質等の環境条件に左右されると推察される。

浮きヨシ筏の設置効果を検証するため、ベントスの生息密度を単位面積あたりで算定する。出現個体数は月平均の過去3年平均値30個体/（バイオコード2本）を使用する。バイオコードは筏1基（1.5m<sup>2</sup>）あたり48本懸架している。

$$1\text{ m}^2\text{あたりのベントス生息数} = \frac{30\text{ 個体}/2\text{ 本} \times 48\text{ 本}}{1.5\text{ m}^2} \\ = 480\text{ 個体}/\text{m}^2$$

次に河川底質のベントスの代替データとして深池底質のデータと比較する。

無植栽区で調査し、底生生物が多く観察された7、9、10月の月別平均個体数から、底質1m<sup>2</sup>あたりの生息密度を求めると36個体/m<sup>2</sup>となる。

この値と浮きヨシ筏の生息密度の比を以下に求める。

$$\frac{\text{浮きヨシ筏の生息密度}}{\text{深池無植栽区の生息密度}} = \frac{480\text{ 個体}/\text{m}^2}{36\text{ 個体}/\text{m}^2} \\ = 13\text{ (倍)}$$

過去3年の調査の結果、浮きヨシ筏は水面に構造物や接触材（バイオコード等）を設置しない場合と比較すると、河床等の単位面積あたりに生息するベントスの密度が10倍以上になることが明らかになった。人工的な構造物とはいえ、浮きヨシ筏は水域において生物の多様化を図る一方法と推察される。

#### 実験担当者

国土交通省近畿地方整備局琵琶湖工事事務所	水質調査課課長	春木二三男
	水質調査課開発調整係長	板坂 浩和
財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構	実験センター所長	田井中善雄
	実験センター主任研究員	堀野 善司
	実験センター主任研究員	和田 桂子

## 4. 磁気処理-超微細気泡および 磁気処理水を用いた水質・底質浄化実験

### 1. 目的

「磁気処理-超微細気泡および磁気処理水を用いた水質・底質浄化システム」を用い、エアレーションや水の循環との比較検討し、深池型浄化実験施設における底質改善効果や水質浄化効果など総合的に評価することを目的とする。

### 2. 施設概要

#### 2.1 実験施設諸元

深池型浄化実験施設の B 槽および C 槽を縦方向に 2 分割し、各々 B1、B2 槽および C1、C2 槽とする。

B 槽では、B2 槽に「磁気処理水を用いた水質・底質浄化システム」の装置を設置し、B1 槽には同等の給水能力を有する循環ポンプを設置する。「磁気処理水を用いた水質・底質浄化システム」は、磁気処理した水をトルマリン含有ろ材に通し、物理的・生物的処理を行う装置で、また、ろ材の逆洗水を元の水域に戻すことにより汚泥等の副産物処理を必要としないのが特長である。

C 槽では、C2 槽に「磁気処理-超微細気泡による水質・底質浄化システム」の装置を設置し、C1 槽には同等の給水能力を有するエアレーション装置を設置する。「磁気処理-超微細気泡による水質・底質浄化システム」は、空気を電磁場と遠赤外線放射物質含有不織布層に通し、これを特殊ノズルの付いた水中ポンプ吐出部に吸入して超微細気泡を発生させる方法である。

実験施設の諸元、平面図を表 2-1、図 2-1 に、また、各システムの諸元、概念図を表 2-2～3、図 2-2～3 に示す。

表 2-1 実験施設諸元

外形寸法	3m (W) × 20m (L) × 2.1~2.5m (H)
汚濁泥	3m (W) × 20m (L) × 平均 0.3m (H) (0.1~0.5m)
農業排水	3m (W) × 20m (L) × 1.5m (H)

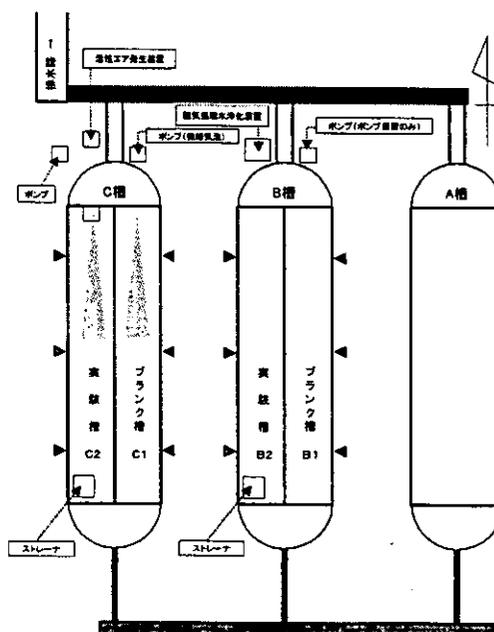


図 2-1 施設平面図

表 2-2 装置緒元  
(磁気処理水を用いた水質・底質浄化システム)

	ポンプ出力 (kW)
B1 槽 (ブランク槽)	2.2
B2 槽 (実験槽)	2.2

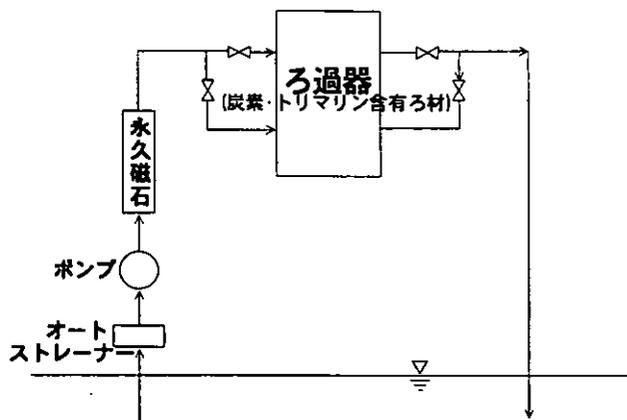


図 2-2 概念図

(磁気処理水を用いた水質・底質浄化システム)

表 2-3 装置緒元  
(磁気処理-超微細気泡による水質・底質浄化システム)

	ポンプ出力 (kW)	給気量 (l/min)
C1 槽 (ブランク槽)	2.2	25
C2 槽 (実験槽)	2.2	25

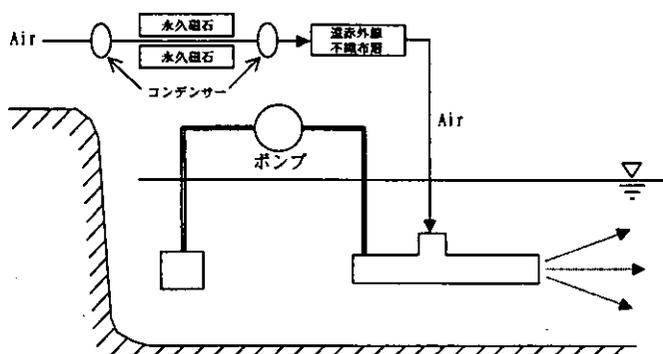


図 2-3 概念図

(磁気処理-超微細気泡による水質・底質浄化システム)

### 3. 実験内容

#### 3.1 実験工程

実験工程は表 3-1 に示すとおりである。

前期実験は、6月6日～10月19日まで、後期実験は11月14日～2月13日まで行った。

表 3-1 実験工程

項目		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
前期 実験	実験準備	■										
	浄化装置稼働			■								
後期 実験	実験準備								■			
	浄化装置稼働									■		

#### 3.2 実験準備

前期実験では、各々の底部に平均 30cm の汚濁泥を敷き、代掻き時の農業排水を流入させ満水後、閉鎖系とした。(図 3-1)

後期実験では、前期実験の汚濁泥の有機物含有量が低かったため、農業排水路に堆積する有機物含有量の高い汚泥を用いた。後期実験では、各槽の底部に川砂を平均 20cm 敷き、底面を水平とした後、遮水シートを設置、その上に平均 30cm の汚濁泥を敷いた。農業排水を流入させ満水後、前期実験と同様閉鎖系とした。

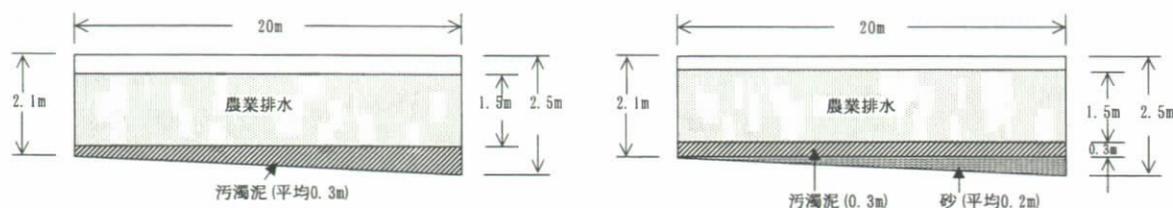


図 3-1 実験施設断面図

### 3.3 調査内容

#### 3.3.1 前期実験

##### (1) 底質調査

各槽の中央、北側（装置放流口側）より 3.3m、南側より 3.3m の 3 地点で底泥を採取したものを混合し、分析に供した。

泥厚、水深については、各槽の東西方向に 1m ピッチで 3 地点、南北方向に 1m ピッチで 20 地点について測定した。

##### (2) 水質調査

各槽の中央、北側（装置放流口側）より 3.3m、南側より 3.3m の 3 地点において水面下 0.1m、水面下 0.5m、水底上 0.5m の 3 層で採水し、上層は水面下 0.1m、下層は水面下 0.5m と水底上 0.5m を混合したものを分析に供した。

##### (3) 生物調査

植物プランクトンは、水質調査と同じ地点、層より採水混合し、同定、計数に供した。

動物プランクトンは、水質調査と同じ地点において水底より表層までネットを用いて採取混合し、同定、計数に供した。

底生生物は、底質調査と同じ地点より採取混合し、同定、計数に供した。

また、細菌類は、7、9、10 月の 3 回について底質調査の表層を分取し、実験に供した。

#### 3.3.2 後期実験

前期実験では、実験に供した汚濁泥の有機物含有量が低く、また、実験開始時の初期データをはじめ各データのばらつきが大きい結果となった。このため、後期実験では、各槽の水質・底質等条件の均一化等に慎重に留意し実験を行い、また、底泥現存量の把握を中心に調査した。

##### (1) 底質調査

実験開始前は、各槽の中央、北側（装置放流口側）より 3.3m、南側より 3.3m の 3 地点の全深度、実験中間時には、各槽の北側より 2.5、5.0、7.5m、南側より 2.5、5.0、7.5m の 6 地点の 0-3cm、3-6cm、実験終了時には、中間時と同じ 6 地点の 0-3cm、3-6cm、6cm 以深で底泥を採取し、分析に供した。

泥厚については、各槽の東西方向に 1m ピッチで 3 地点、南北方向に 1m ピッチで 20 地点について測定した。

##### (2) 水質調査

実験期間は循環期のため槽内の水質は均一であると見なし中央の 1 層で代表することと

した。従って、各槽の中央において水面下 0.5m で採水、分析に供した。

(3) 生物調査

細菌類は、底質調査の表層を分取し、実験に供した。

4. 結果および考察

4.1 前期実験

4.1.1 磁気処理水を用いた水質・底質浄化システム

(1) 底質調査

① 泥厚

両槽の泥厚は減少し、減少厚及び泥厚の変化傾向は両槽でほぼ同様であった。(図 4-1)

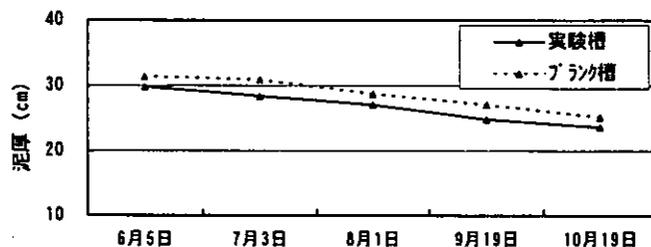


図 4-1 泥厚の経時変化

② 経時変化

両槽ともばらつきが大きく、実験槽のCODが上昇傾向を示した以外は、各項目とも顕著な変化傾向が認められなかった。(図 4-2)

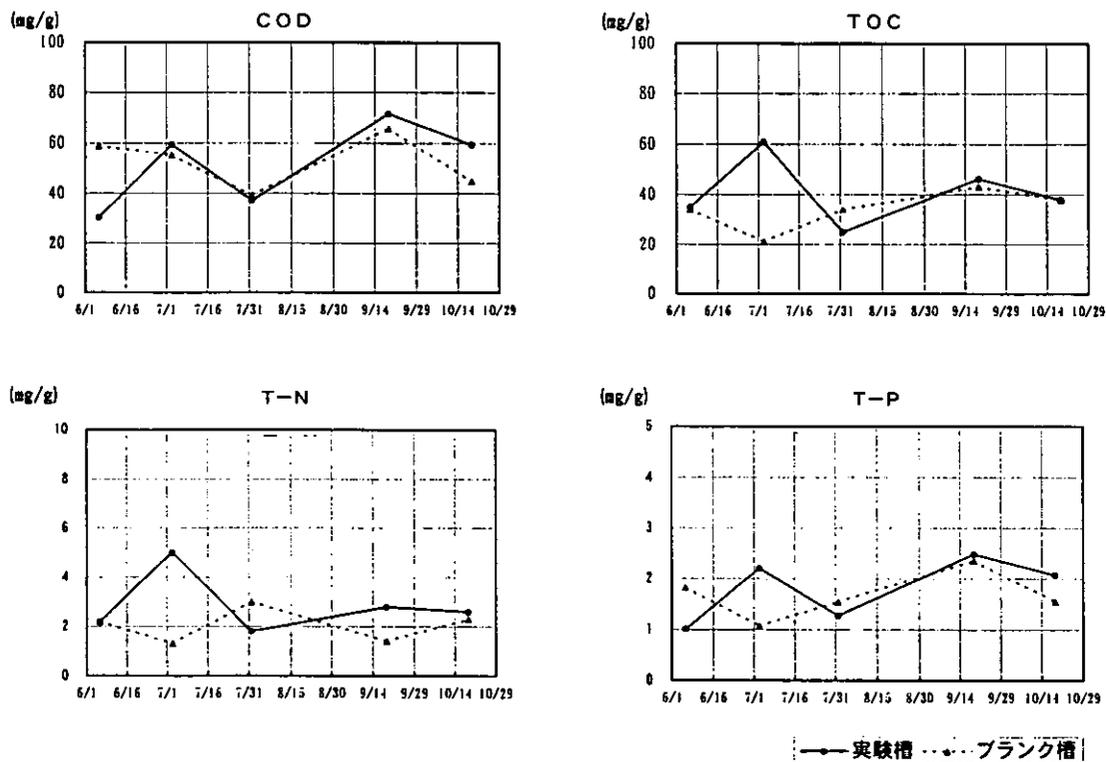


図 4-2 底質の経時変化

### ③ 鉛直分布

両槽とも同様の分布傾向を示しており、強熱減量、COD、TOC、T-N、T-Pは、装置の放流口に近い北側では上層で高く、下層で低い傾向を示し、南側では逆に上層で低く、下層で高い傾向を示した。(図4-3) 硫化物については北側、南側とも上層で低く、下層で高い傾向を示した。その他の項目についてはほぼ一様な分布傾向を示した。

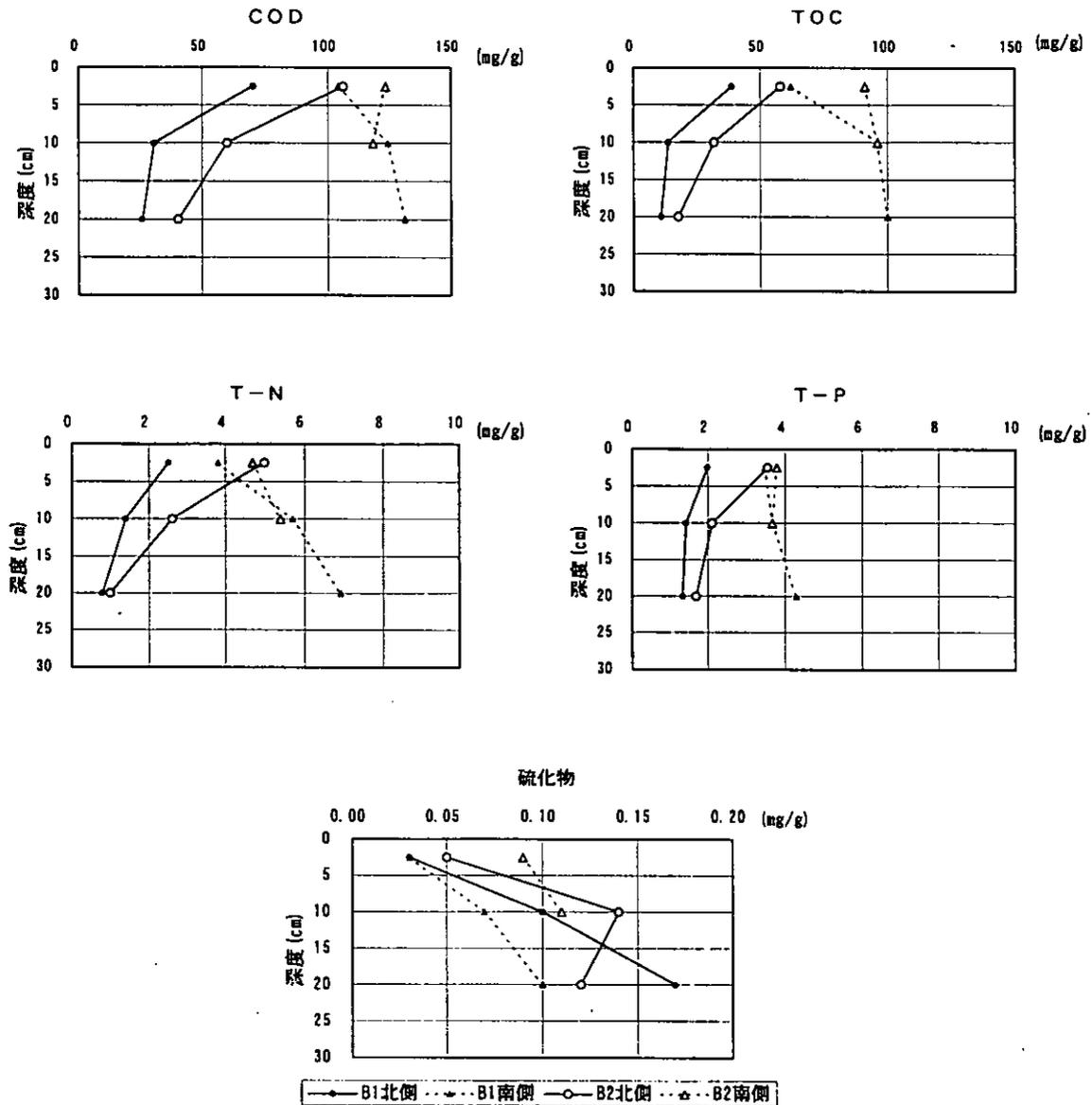
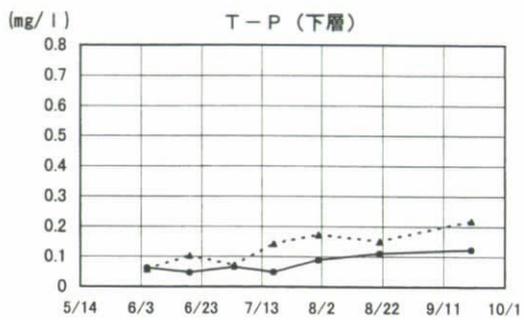
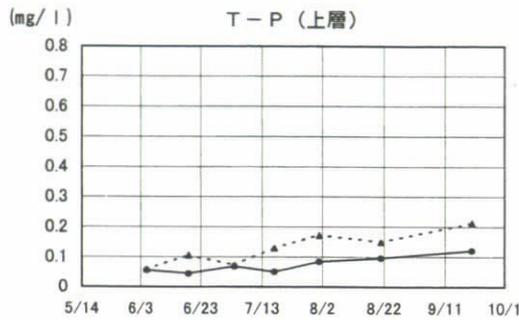
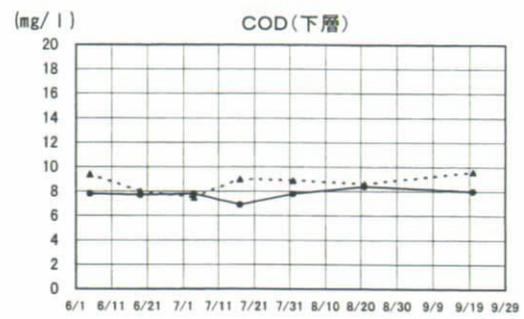
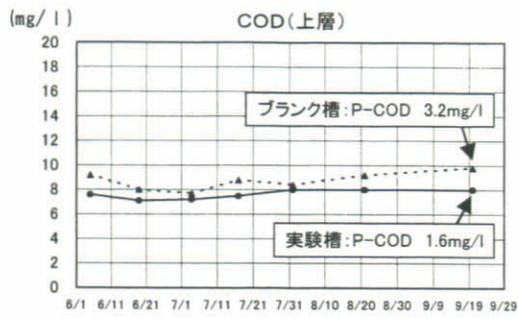


図 4-3 底質の鉛直分布

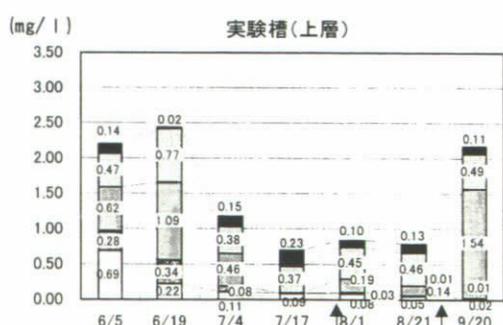
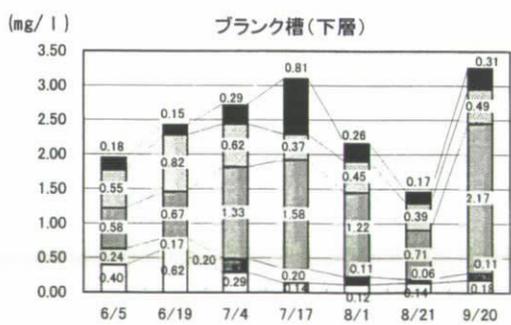
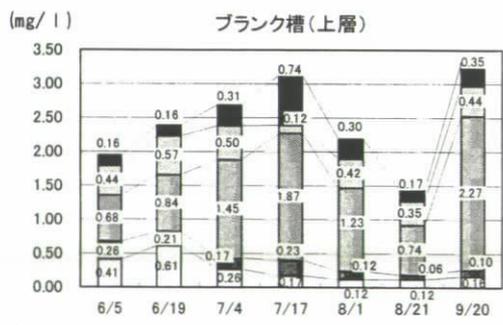
### (2) 水質調査

実験槽、プランク槽ともに、各項目の上下層の差は小さく、上下層ではほぼ同様の变化傾向を示した。(図4-4) 有機物量がほぼ横ばいで推移する一方で、栄養塩類である無機態窒素、粒子状リンが増加しており、底泥の巻き上げの影響が示唆される。

また、7月初旬~8月下旬にかけて、実験槽のT-Nが大きく減少した。この期間は、沈水植物の生長時期であり、槽内に密生した沈水植物の除去により水中の窒素を系外へ持ち出した効果が顕著に現れたものと考えられる。



—●— 実験槽    - - - ▲ - - - ブランク槽



沈水植物の除去 (7/21, 8/26)

沈水植物の除去 (7/21, 8/26)

□ NH4-N    ■ NO2-N    ■ NO3-N    □ DON    ■ PON

図 4-4 水質の経時変化と窒素の存在形態

### (3) 生物調査

#### ① プランクトン

植物プランクトンについてみると、実験開始時と比較して、開始後は両槽ともに種類数が増加し、多様性指数も上昇したが、両槽で顕著な差はみられなかった。藍藻綱は両槽で出現したが、その発生数は少なく、アオコ構成種の出現はなかった。(図 4-5)

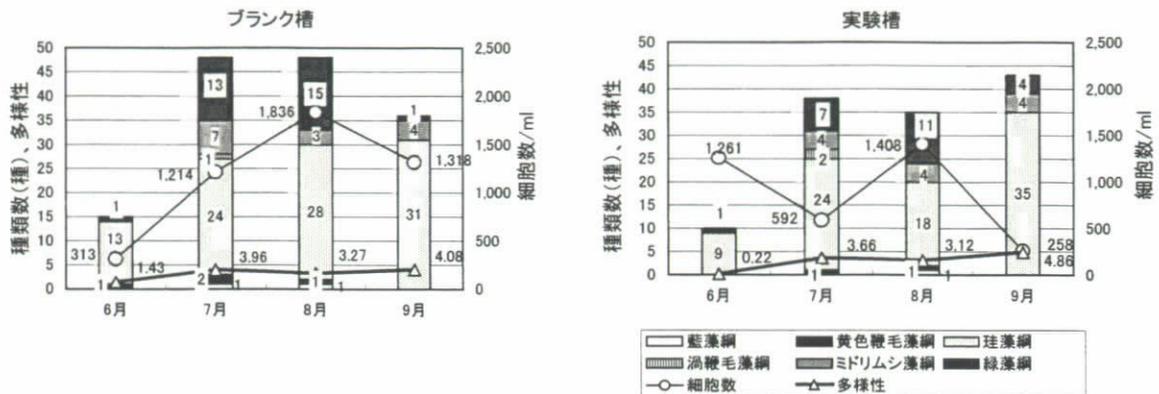


図 4-5 植物プランクトン経時変化

動物プランクトンについてみると、優占種の変化はあるものの、実験期間を通じて種類数は 10 種類前後であり、両槽で顕著な差異は認められなかった。(図 4-6)

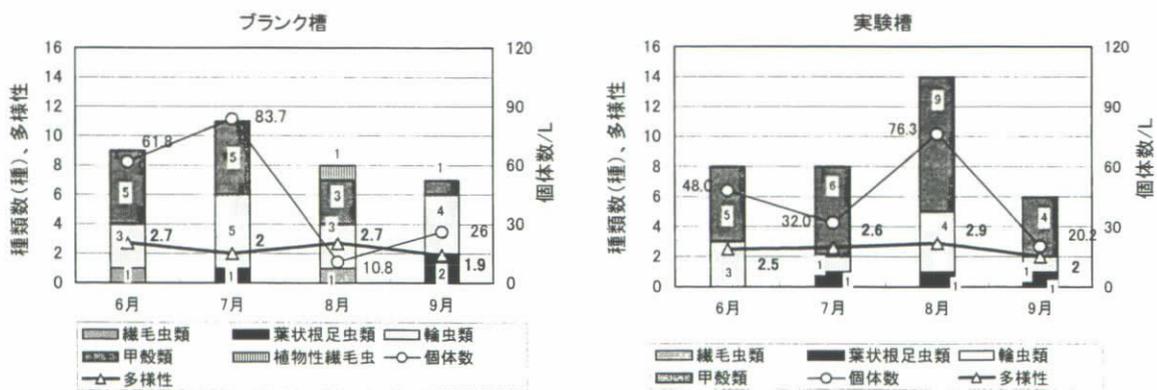


図 4-6 動物プランクトン経時変化

#### ② 底生生物

実験期間を通じて種類数が少なく、両槽で顕著な差異は認められなかった。出現種は、有機汚濁底泥によくみられるイトミミズ類が多く出現した。(図 4-7)

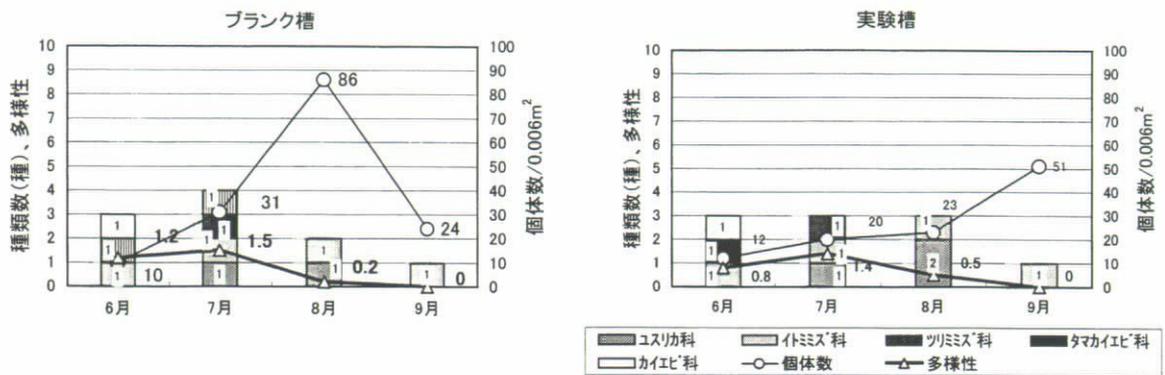


図 4-7 底生生物経時変化

### ③ 細菌

脱窒細菌は、実験槽でプランク槽よりも多く存在していた。アンモニア酸化細菌は、変動が大きいものの、実験槽で  $10^4 \sim 10^5$  cells/g·dry を維持し、プランク槽よりも多く存在していた。

底質悪化の原因となる硫酸還元細菌は、実験槽でプランク槽よりも 1 桁程度少なかった。

## 4. 1. 2 磁気処理-超微細気泡による水質・底質浄化システム

### (1) 底質調査

#### ① 泥厚

4. 1. 1 の結果と同様に、両槽の泥厚は減少し、減少厚及び泥厚の変化傾向はほぼ同程度であった。(図 4-8)

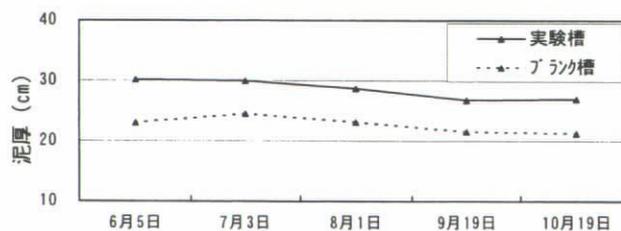


図 4-8 泥厚の経時変化

### ② 経時変化

両槽ともばらつきが大きいものの、TOCを除く項目については、両槽でほぼ同様の变化傾向を示し、CODが両槽で低下傾向を示した以外は、顕著な变化傾向は認められなかった。(図 4-9)

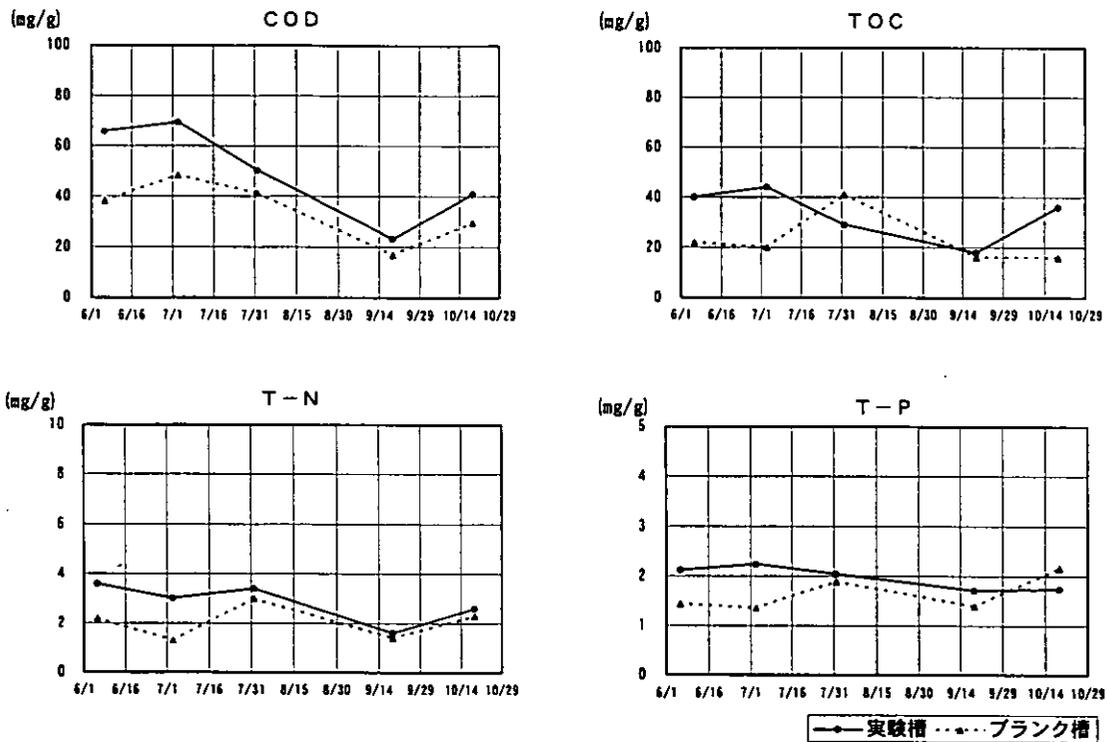


図 4-9 底質の経時変化

### ③ 鉛直分布

両槽とも同様の分布傾向を示しており、pH、強熱減量、COD、TOCは、北側、南側とも上層で高く、下層で低い傾向を示した。硫化物は逆に上層で低く、下層で高い分布傾向を示した。T-N、T-P、含水率、密度はほぼ一樣な分布傾向を示した。(図 4-10 (1), 図 4-10 (2))

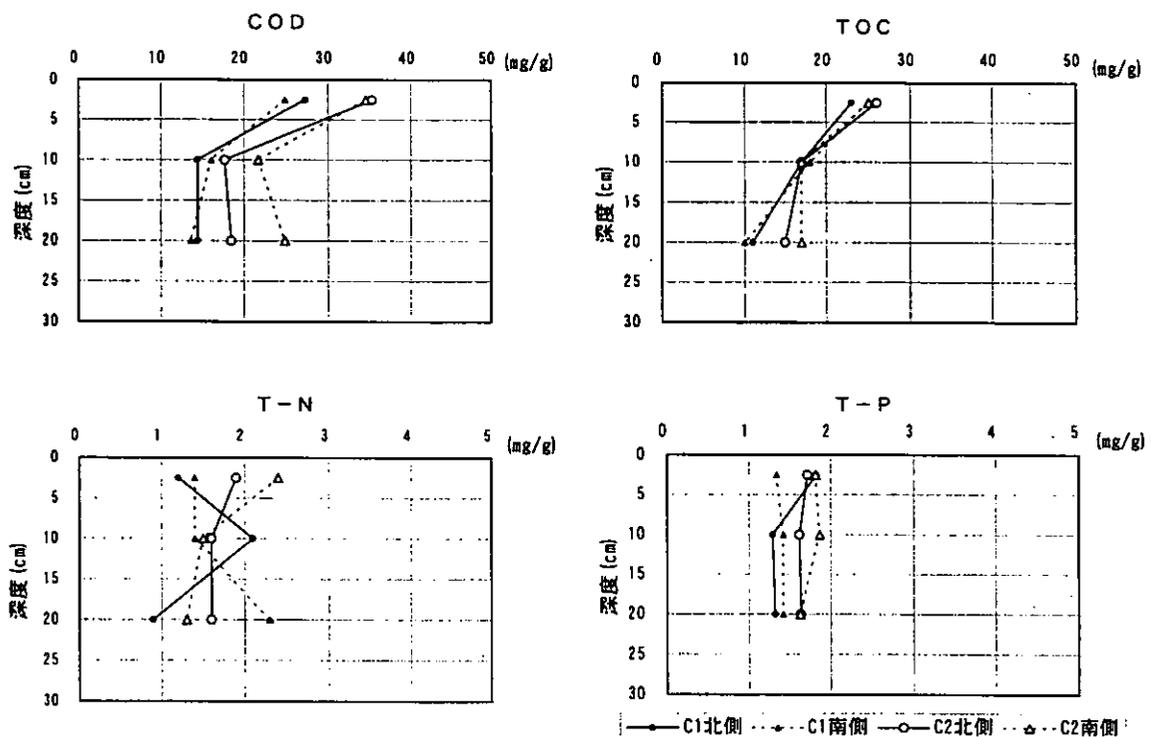


図 4-10 (1) 底質の鉛直分布

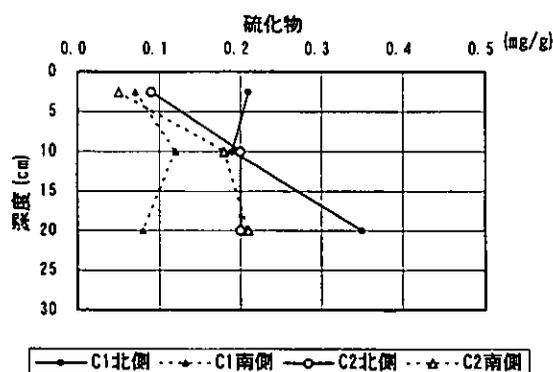


図 4-10 (2) 底質の鉛直分布

(2) 水質調査

各項目の濃度変化は実験槽、ブランク槽とも同様の傾向を示した。浄化装置稼働後短期間のうちに底泥が舞い上がり、水色が薄茶色に変色した。その結果、透明度の低下、SS、濁度の上昇等が顕著であったが、9月には上昇傾向から横ばいに転じた。(図 4-11 (1))

懸濁物質中の有機物の占める割合は両槽とも 15%程度であり、大部分が無機質であった。有機物ではCOD、TOC、栄養塩では無機態窒素、粒子状リンが両槽とも増加傾向にあり、懸濁物と同様に9月には上昇傾向から横ばいに転じた。(図 4-11 (2))

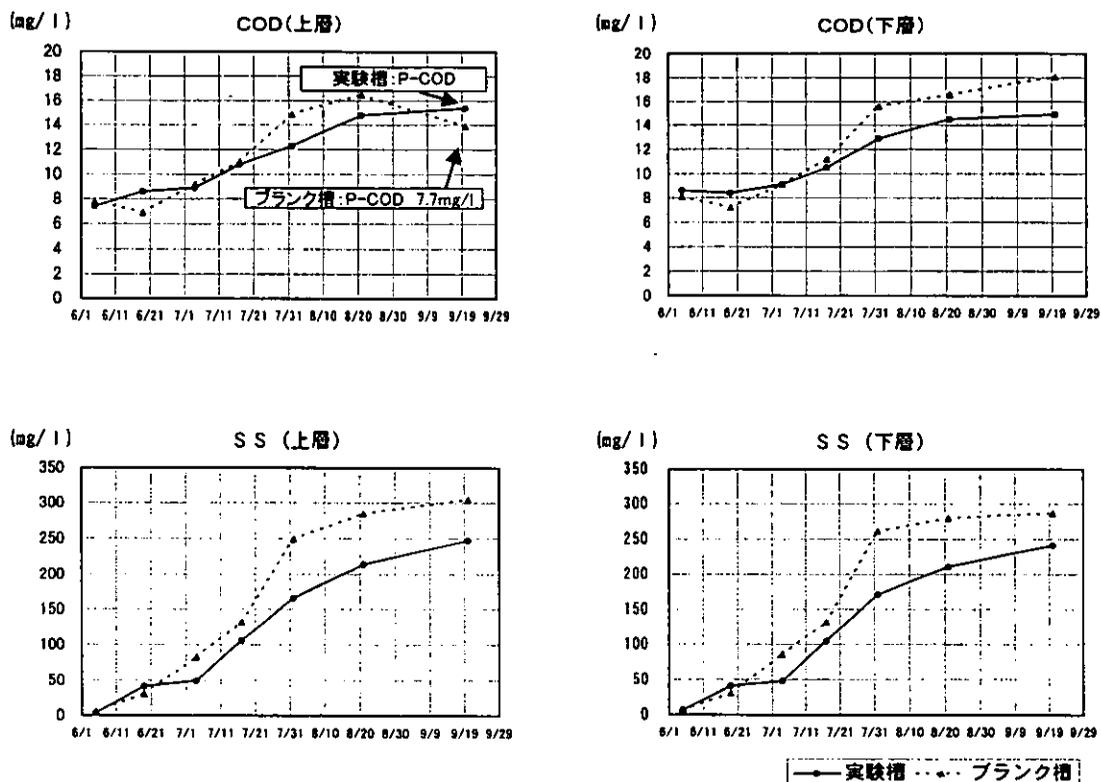


図 4-11 (1) 水質の経時変化と窒素の存在形態

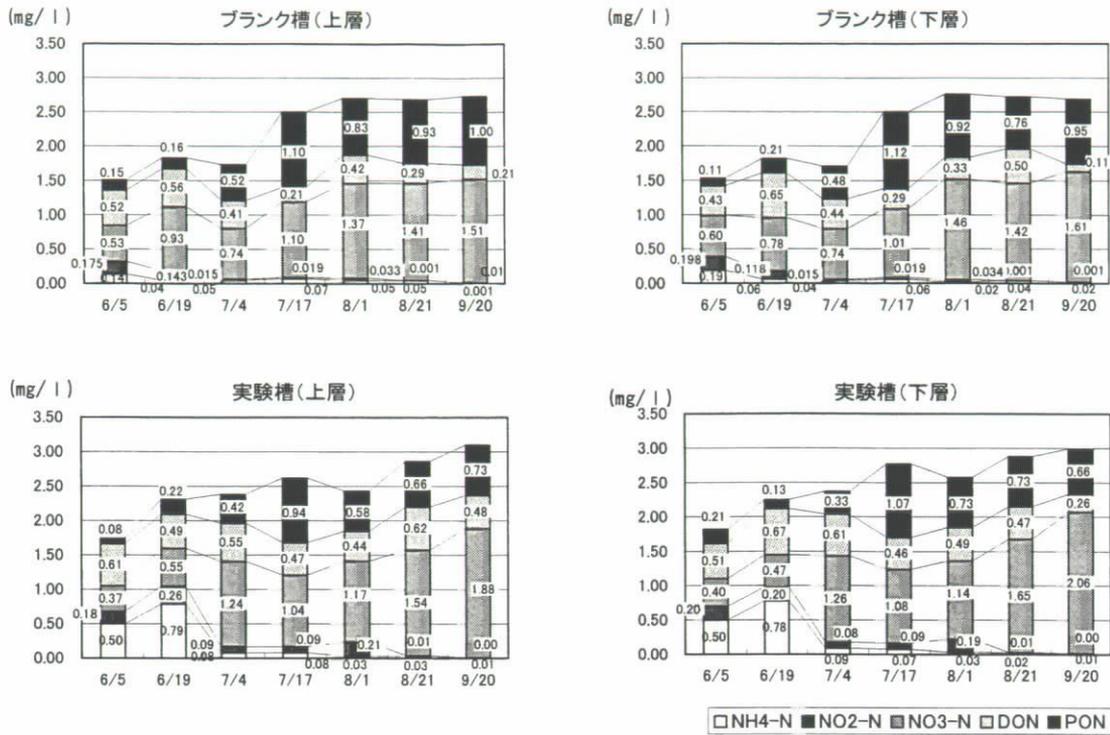


図 4-11 (2) 水質の経時変化と窒素の存在形態

### (3) 生物調査

#### ① プランクトン

植物プランクトンについてみると、実験開始時と比較して、開始後は両槽ともに種類数が増加し、多様性指数も上昇したが、両槽で顕著な差はみられなかった。藍藻綱は、両槽で出現したが、その発生数は少なく、アオコ構成種の出現はなかった。(図 4-12)

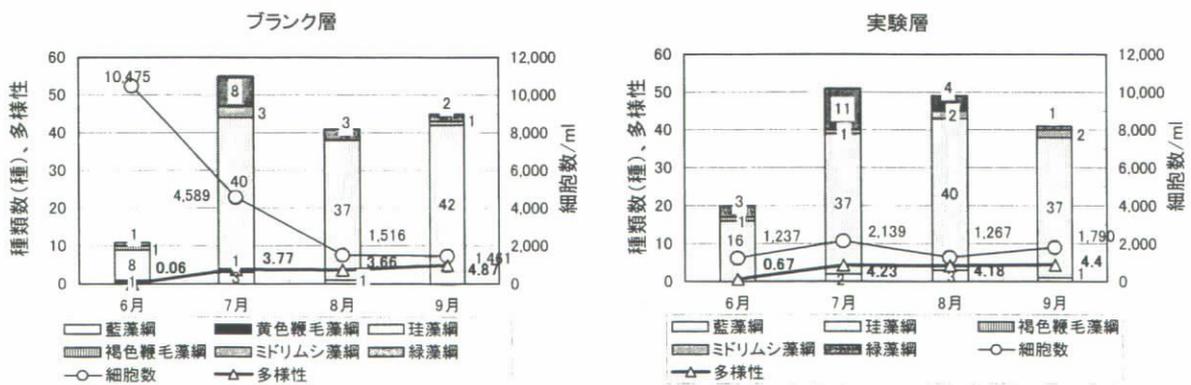


図 4-12 植物プランクトン経時変化

動物プランクトンについてみると、両槽に顕著な差は認められず、中・富栄養型、高栄養型に属する種が多く確認された。(図 4-13)

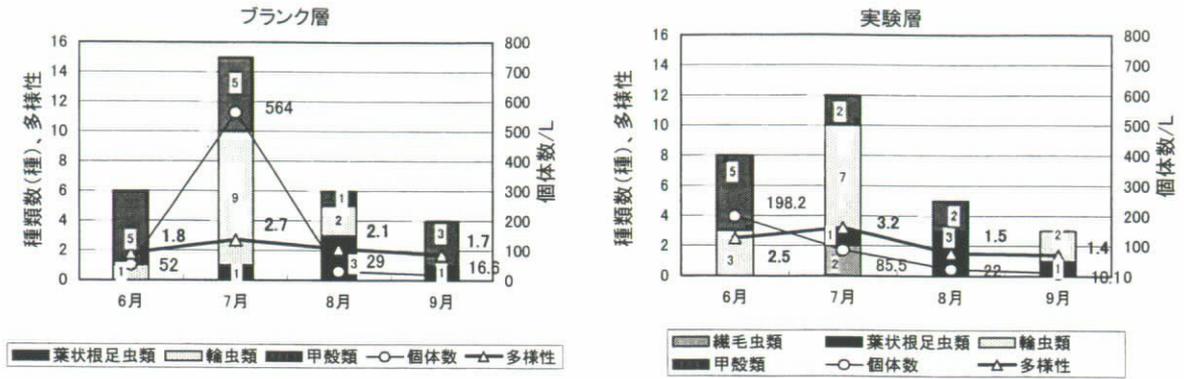


図 4-13 動物プランクトン経時変化

## ② 底生生物

実験期間を通じて種類数が少なく、両槽で顕著な差異は認められなかった。出現種は、有機汚濁底泥によくみられるイトミミズ類が多く出現した。(図 4-14)

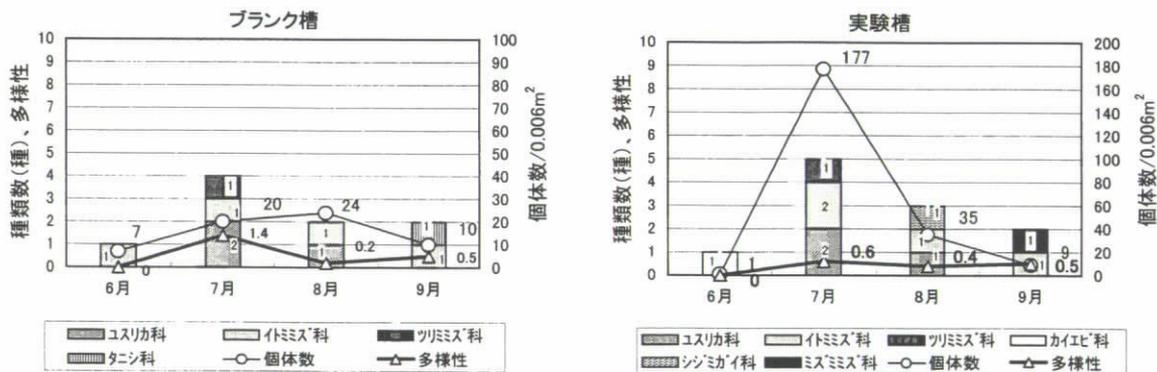


図 4-14 底生生物経時変化

## ③ 細菌

脱窒細菌は、実験槽でプランク槽よりも多く存在していた。アンモニア酸化細菌は変動が大きいものの、実験槽で  $10^3 \sim 10^4$  cells/g·dry を維持し、プランク槽よりも多く存在していた。

底質悪化の原因となる硫酸還元細菌は、7月3日には実験槽でプランク槽より少なかったが、その後は同程度存在していた。

## 4.2 後期実験

### 4.2.1 磁気処理水を用いた水質・底質浄化システム

#### (1) 底質調査

##### ① 泥厚

4.1.1 の結果と同様に、両槽の泥厚は減少し、減少厚及び泥厚の変化傾向はほぼ同様であった。(図 4-15)

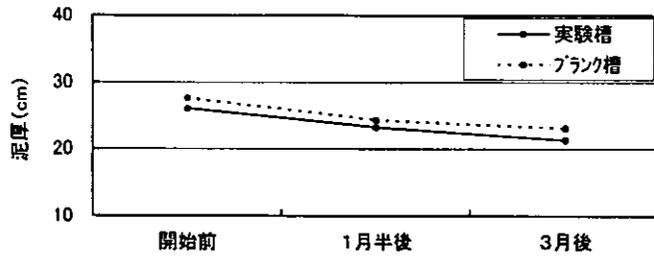


図 4-15 泥厚の経時変化

② 経時変化

各項目の変化傾向は両槽とも同様であり、強熱減量、TOCは上昇し、pH、硫化物、Feは低下した。その他の項目では大きな濃度変化はみられなかった。(図 4-16)

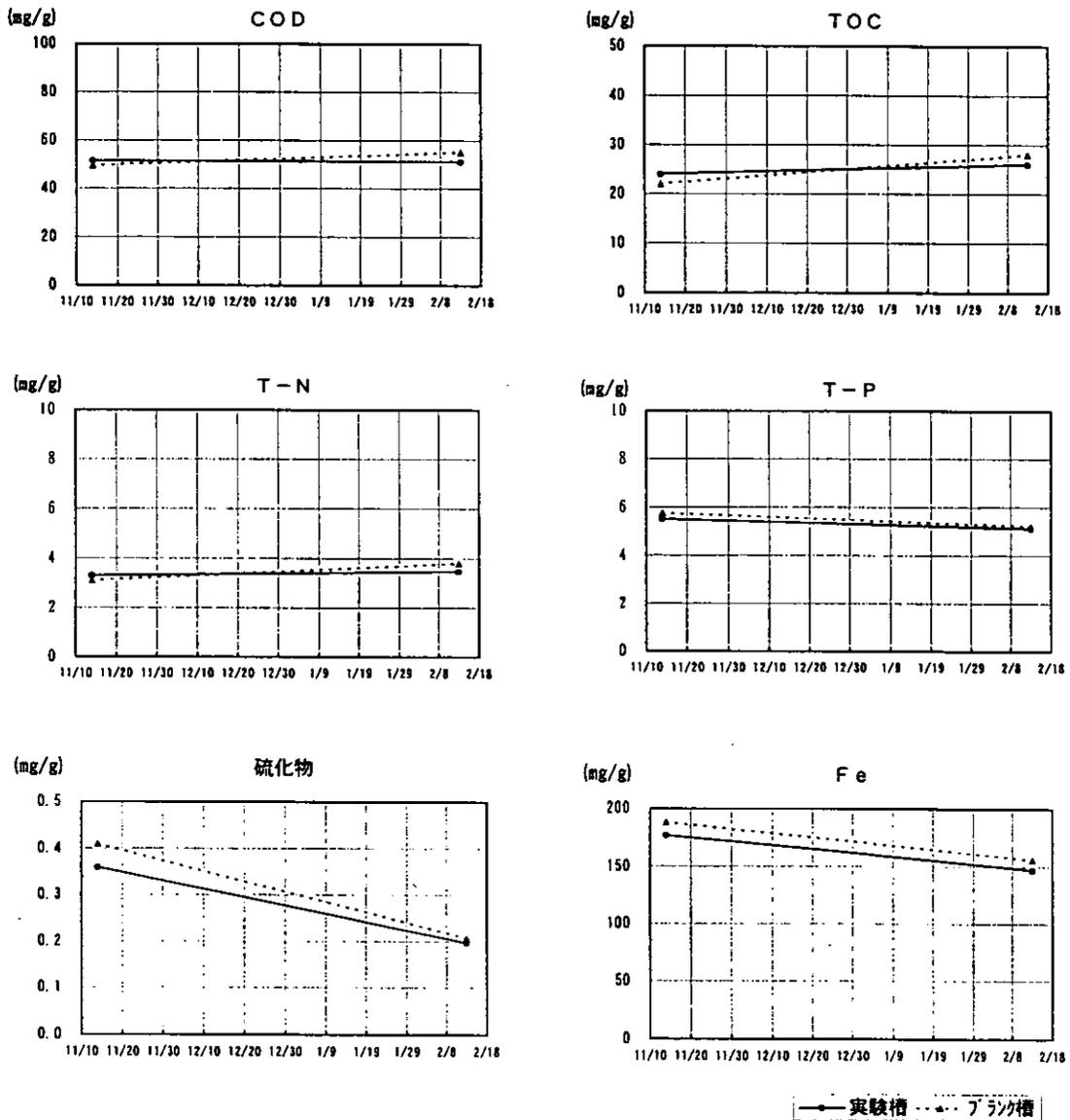


図 4-16 底質の経時変化

### ③ 鉛直分布

両槽とも北側、南側で同様の分布傾向を示し、pH、強熱減量、TOC、含水率は上層で高く、下層で低い傾向を、硫化物は逆に上層で低く、下層で高い傾向を示した。(図4-17) pH、COD、T-N、T-C、T-Pはほぼ均一に分布していた。Feについては一定の傾向はみられない。

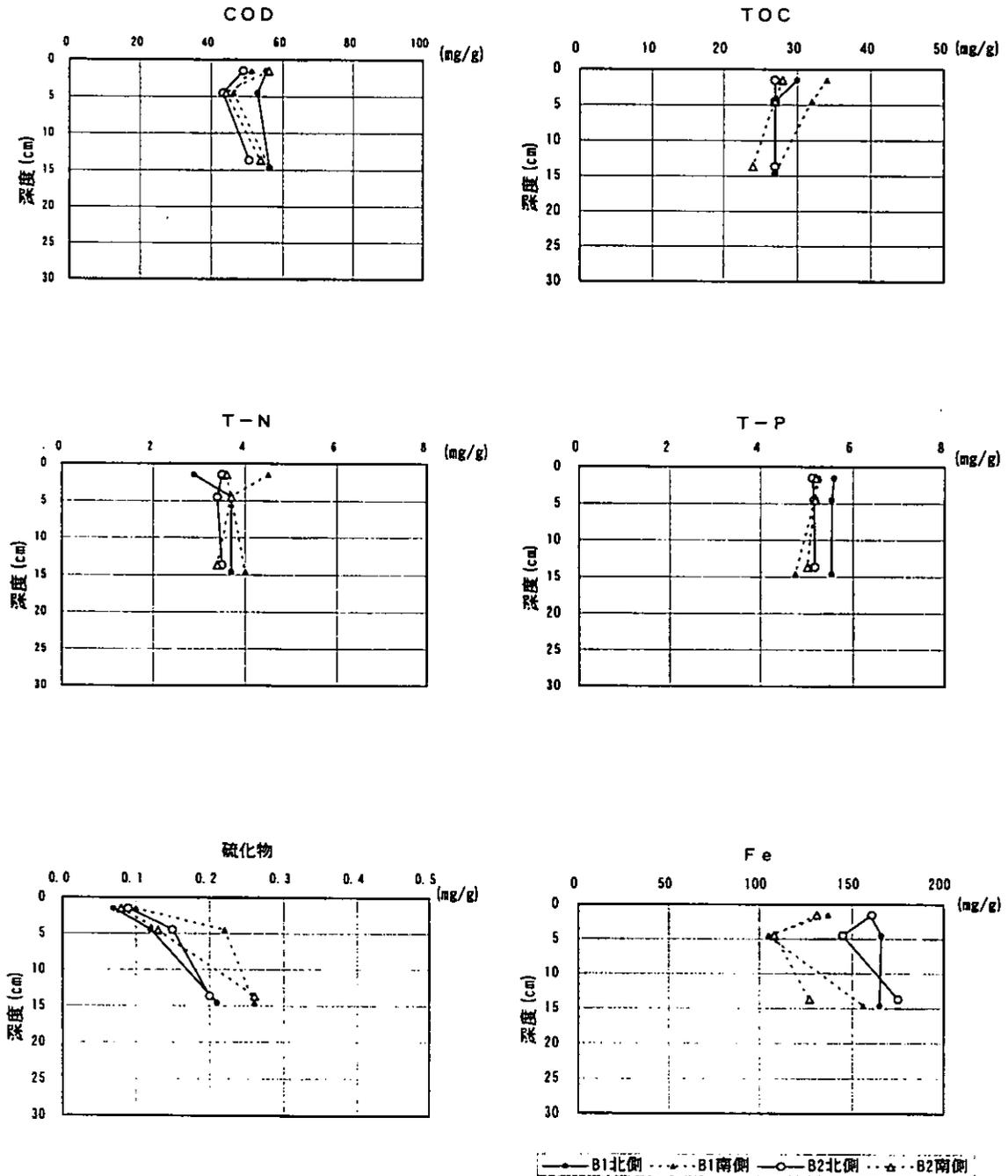


図4-17 底質の鉛直分布

## (2) 水質調査

各項目とも両槽ではほぼ同様の变化傾向を示した。(図 4-18) 12 月には両槽で透明度が低下、SS、濁度が上昇したが、実験終了時には濁りは減少し、透明度も上昇した。

実験開始時と終了時を比較すると、実験槽では、CODは横ばい、透明度、TOCが上昇した。その他の項目は低下傾向を示し、DIN、T-N、PO<sub>4</sub>-P、T-P、クロロフィルa濃度は大きく低下した。プランク槽では、DOが横ばいで推移した他は実験槽とほぼ同様の变化傾向を示した。

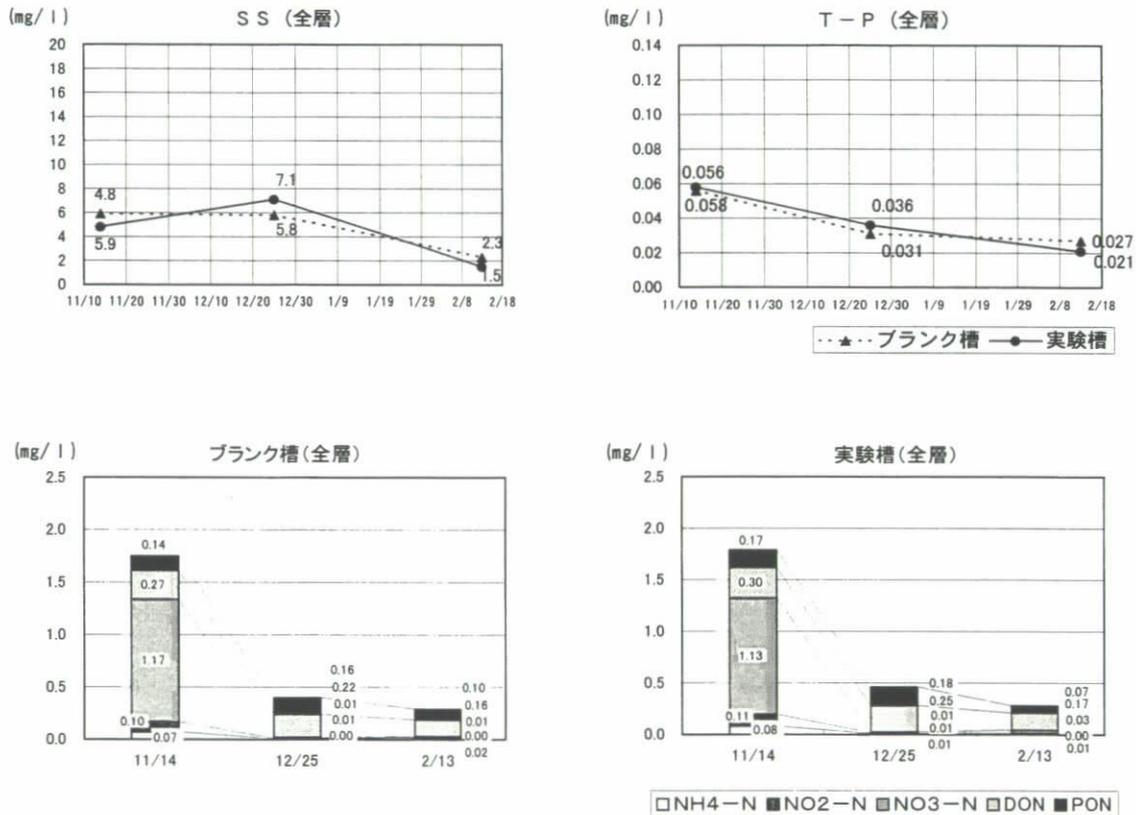


図 4-18 水質の経時変化と窒素の存在形態

## (3) 生物調査

脱窒細菌は、両槽とも  $10^5$  cells/g·dry から  $10^7 \sim 10^8$  cells/g·dry へと増加した。アンモニア酸化細菌は変動が大きいものの、減少傾向にあり、水温低下の影響と推察される。

硫酸還元細菌は、 $10^2 \sim 10^3$  cells/g·dry の範囲で推移した。

### 4.2.2 磁気処理-超微細気泡による水質・底質浄化システム

#### (1) 底質調査

##### ① 泥厚

4.1.2 の結果と同様に、両槽の泥厚は減少し、減少厚及び泥厚の変化傾向はほぼ同様であった。(図 4-19)

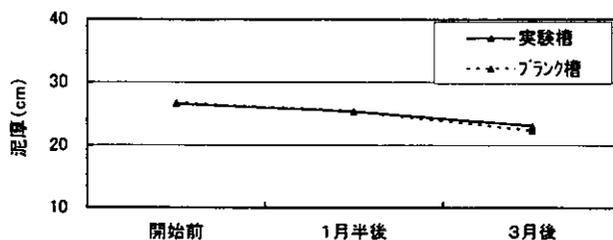
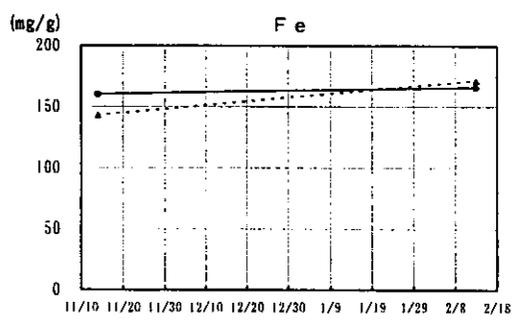
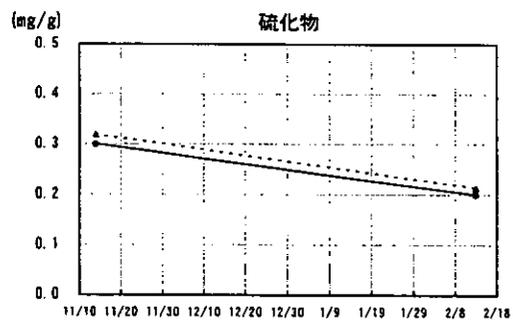
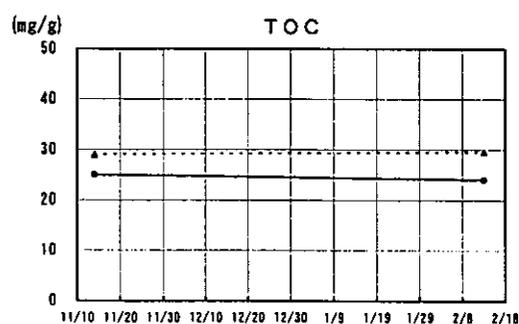
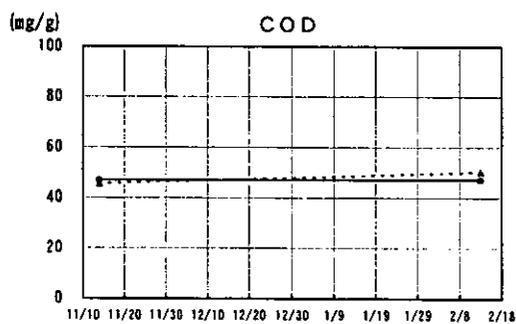
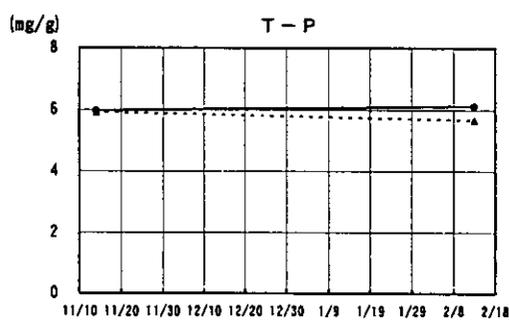
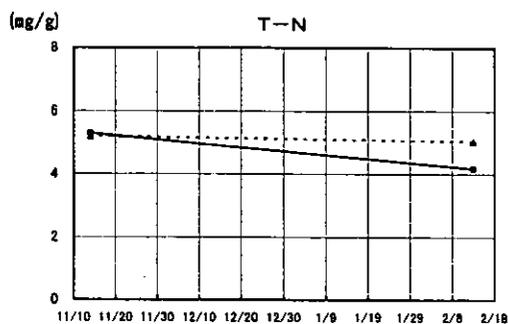


図 4-19 泥厚の経時変化

② 経時変化

各項目の変化傾向は両槽とも同様であり、硫化物が低下した以外は顕著な濃度変化はみられなかった。(図 4-20)



—●— 実験槽    -▲- ブランク槽

図 4-20 底質の経時変化

### ③ 鉛直分布

両槽とも強熱減量、TOC、含水率は上層で高く、下層で低い傾向を示し、硫化物は逆に上層で低く、下層で高い傾向を示した。(図 4-21) COD、T-P は均一に分布した。pH、T-N、T-C、Fe については一定の傾向はみられなかった。

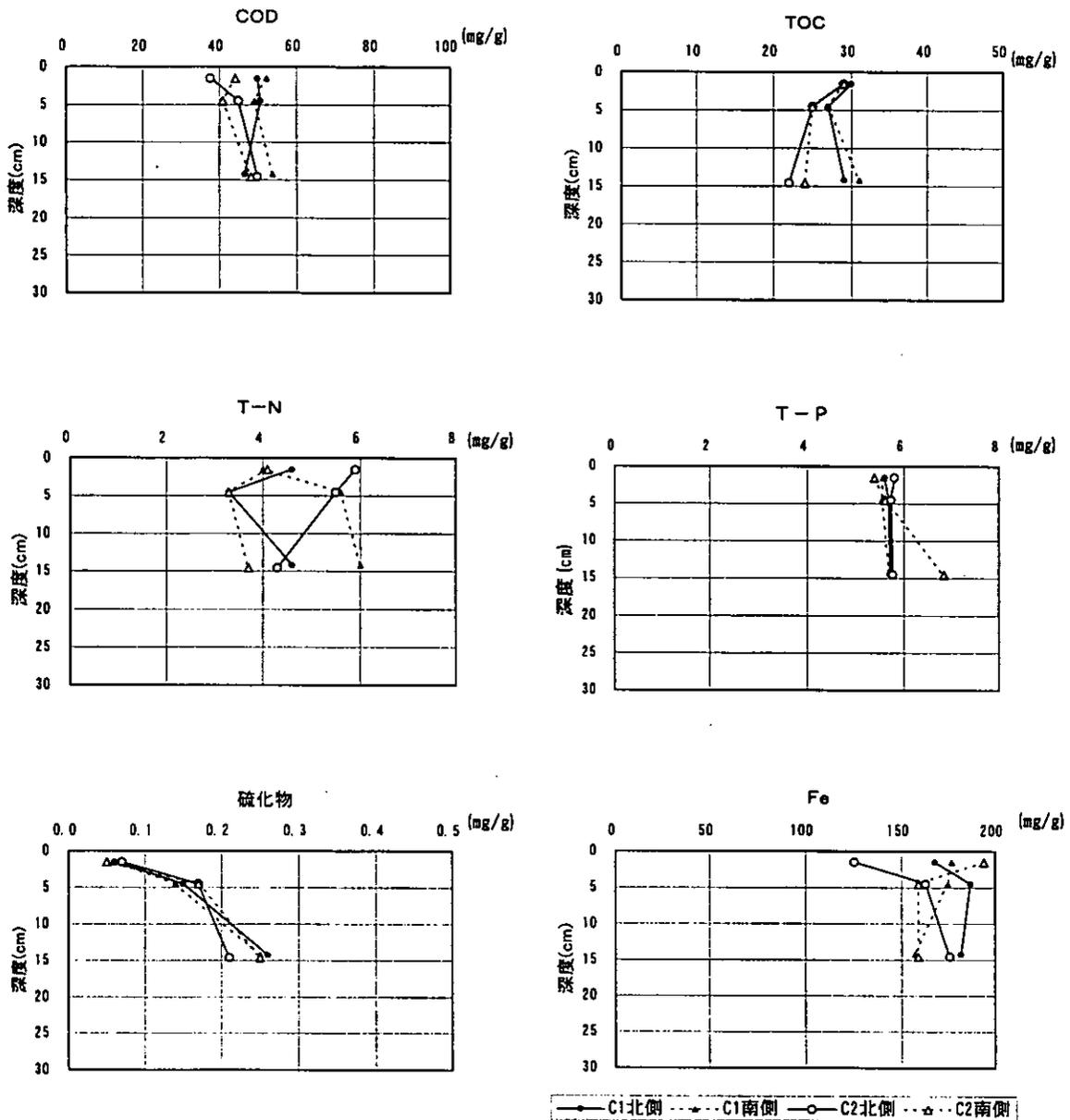


図 4-21 底質の鉛直分布

### (2) 水質調査

T-Pを除き、両槽でほぼ同様の变化傾向を示した。12月には、特にプランク槽において透明度が低下、SS、濁度が上昇したが、実験終了時には濁りは減少し、透明度も上昇した。

実験開始時と終了時を比較すると、両槽ともに、DO、CODは横ばい、透明度、TOCが上昇、その他の項目は低下した。4.2.1の結果と同様に、両槽のDIN、T-N、P<sub>O<sub>4</sub>-P</sub>、T-P、クロロフィルa濃度は大きく低下した。

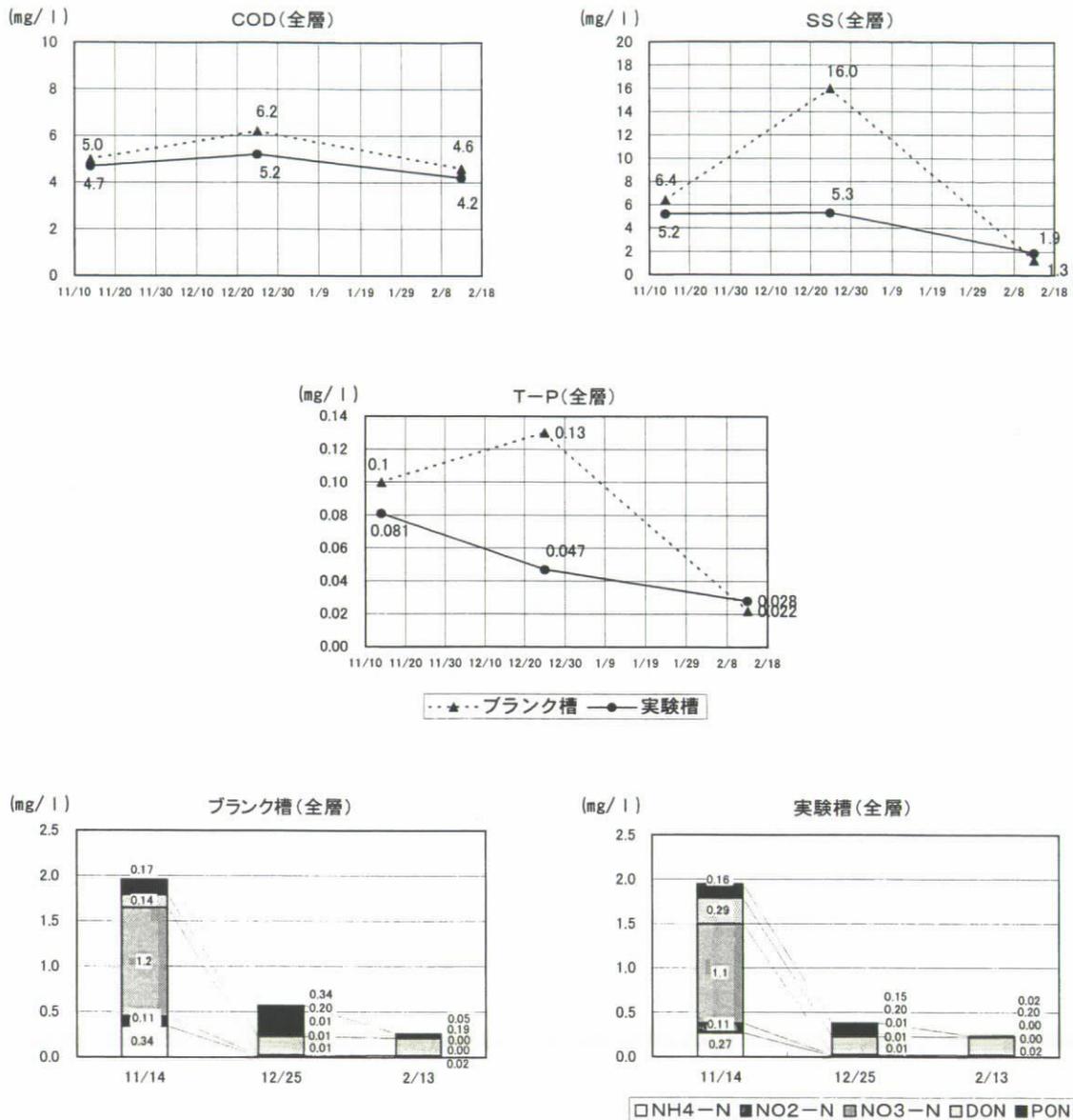


図 4-22 水質の経時変化と窒素の存在形態

### (3) 生物調査

脱窒細菌は、両槽とも  $10^5$  cells/g·dry から  $10^7 \sim 10^8$  cells/g·dry へと増加した。

アンモニア酸化細菌は変動が大きいものの、減少傾向がみられ、水温低下の影響と推察される。

硫酸還元細菌は、 $10^2 \sim 10^4$  cells/g·dry の範囲で推移し、2月に若干増加した。

## 5. とりまとめ

水中、底泥表面、底泥中における浄化機構を本実験結果から推定することは困難であったため、浄化機構が明確と思われる窒素について総現存量を中心に検討した。

### 5.1 磁気処理水を用いた水質・底質浄化システム

#### 5.1.1 底質等の変化

両槽とも各項目の底質含有量はばらつきが大きく、前期実験では実験槽のCODが上昇

傾向、後期実験では両槽の硫化物が低下傾向を示した以外は、顕著な経時変化の傾向は認められず、底質の改善効果は確認できなかった。

しかし、環境改善の観点から少ない条件が望ましいとされている硫酸還元細菌については、2月を除いて常に実験槽の方がブランク槽より少なく、また、前期実験では、実験槽において7月以降沈水植物の繁茂や昆虫の生息等が確認された。

### 5.1.2 総現存量の変化

両槽の水、底泥中の全窒素現存量、降雨負荷分、植物体吸収分より実験槽とブランク槽との全窒素現存量の差を算定し、線形回帰により回帰係数を求め、推定浄化量を算出することを試みた。

その結果、両槽とも底質含有量に大きい変化は見られないものの、底泥中のT-N総現存量は実験槽で減少、ブランク槽で増加しており、前期実験、後期実験ともT-Nの除去効果が伺われた。しかし、測定点数も少なく、データのばらつきが大きいため浄化量を適切に推定することができなかった。

窒素除去のメカニズムとしては、底泥中の脱窒細菌数が $10^4 \sim 10^5$  cells/g·dryのオーダー（前期実験）であり、脱窒細菌は両槽とも十分に存在していることより、窒素除去は脱窒による大気中への窒素ガス放出による可能性が示唆された。また、実験槽ではブランク槽よりアンモニア酸化細菌数が多いことより、アンモニア酸化細菌等により生成される $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が脱窒の制限因子となっていると推察される。なお、前期実験において、実験槽のアンモニア酸化細菌数は $10^4 \sim 10^5$  cells/g·dryのオーダーを維持していた。

一方、後期実験終了時におけるT-Nの底質鉛直分布では、下層から上層にかけて含有量が低下するといった浄化を示唆する傾向はみられなかった。これは、脱窒等による浄化は底泥のごく表面で生起しているため、本実験の測定（表層0-3cm、中層3-6cm、下層6cm-）ではその現象を捉えることができなかったものと考えられる。

## 5.2 磁気処理-超微細気泡による水質・底質浄化システム

### 5.2.1 底質等の変化

両槽とも各項目の底質含有量はばらつきが大きく、前期実験では実験槽およびブランク槽の両槽のCODが、後期実験では両槽の硫化物が低下傾向を示した以外は、顕著な経時変化の傾向は認められず、底質の改善効果は確認できなかった。

底質浄化の進行に伴い、底泥中の有機物は分解等により、T-Nは脱窒による系外への放出が予想されるため、各々の含有量は減少傾向を示すと考えられる。

したがって、本実験ではCOD、硫化物でこの底質浄化の進行を示唆する傾向を示したが、その他の項目については変化傾向が明確でないため、底質浄化進行について言及することはできなかった。

### 5.2.2 総現存量の変化

5.1.2と同様に、両槽の水、底泥中の全窒素現存量、降雨負荷分、植物体吸収分より実験槽とブランク槽との全窒素現存量の差を算定し、線形回帰により回帰係数を求め、推定浄化量を算出することを試みた。

その結果、両槽とも底質含有量に大きい変化は見られないものの、底泥中のT-N総現存量は減少しており、その減少の程度は実験槽の方が大きく、前期実験、後期実験ともT-Nの除去効果が伺われた。しかし、測定点数も少なく、データのばらつきが大きいため、浄化量を適切に推定することができなかった。

窒素除去のメカニズムとしては、底泥中の脱窒細菌数が $10^4 \sim 10^5$  cells/g·dryのオーダー（前期実験）であり、脱窒細菌は両槽とも十分に存在していることより、窒素除去は脱窒による大気中への窒素ガス放出による可能性が示唆される。また、実験槽ではブランク

槽よりアンモニア酸化細菌数が多いことより、アンモニア酸化細菌等により生成される $\text{N O}_2\text{-N}$ 、 $\text{N O}_3\text{-N}$ が脱窒の制限因子となっていると推察される。

一方、後期実験終了時におけるT-Nの底質鉛直分布では、5.1.2と同様に下層から上層にかけて含有量が低下するといった浄化を示唆する傾向を捕らえることはできなかった。

## 6. 謝辞

本実験を遂行するにあたり、多大なるご指導を賜りました三重大学生物資源学部菅原庸先生、大阪府立大学大学院工学研究科青木豊明先生に心より感謝の意を表します。

---

### 実験担当者

国土交通省近畿地方整備局琵琶湖工事事務所	水質調査課課長	春木二三男
	水質調査課開発調整係長	板坂 浩和
財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構	実験センター所長	田井中善雄
	実験センター主任研究員	和田 桂子
	実験センター研究員	馬場 玲子

## 5. 浅池型植生浄化実験（その3）

### 1. 目的

浅池型植生浄化施設は、水深5cm程度の池に水耕栽培性の植物を栽培して水質浄化を図るもので、①水深が浅いため植物体や堆積泥などの派生物の管理が容易である、②生態系が持つ水質浄化機能を利用するため維持管理費用が少ない、③有用植物により浄化を図れば住民参加型の施設としての可能性も期待できることなどが考えられる。

本実験は琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター（以下、実験センターと称す）内の浅池型植生浄化実験施設を用いて、水耕栽培植物の河川浄化施設の設計に必要なデータや住民参加型の河川浄化施設としてのあり方等に関する知見を得ることを目的とする。

平成12年度は住民からの栽培要望の強かった花卉植物の水質浄化効果および維持管理方法、浄化副産物の再利用方法等について調査を行った。

### 2. 実験場所

滋賀県草津市志那町地先の実験センター内の浅池型植生浄化実験施設において実験を行った。施設概要図を図2-1に示した。

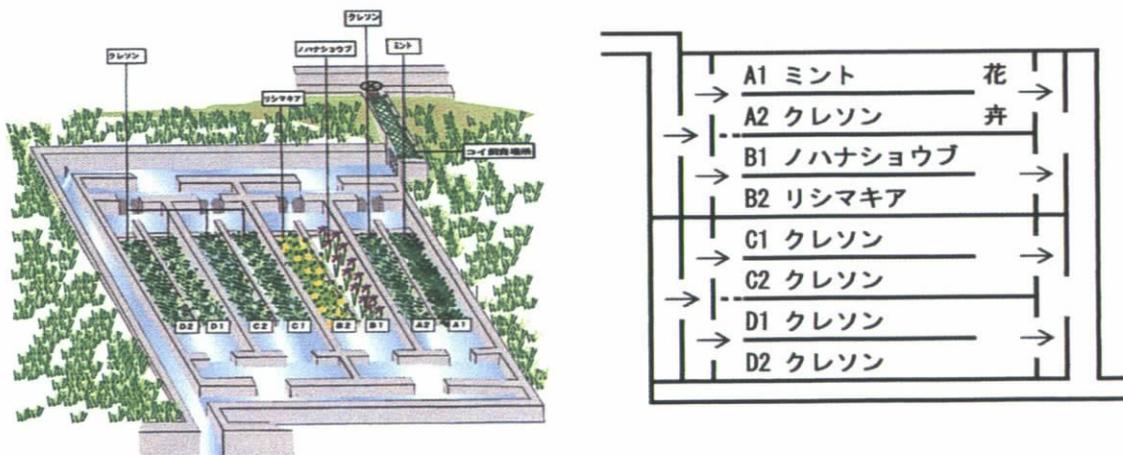


図2-1 施設概要図

### 3. 実験内容

#### 3.1 施設条件

施設の条件を表3-1に示した。

表3-1 施設条件

水路名	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
水路勾配	0.05%		0.5%		1.0%		1.5%	
通水量	1水路あたり79.3m <sup>3</sup> /日							
水路規模	水路幅	各2.5m						
	水路長	各16.0m						
施設規模	長さ20m×幅20m×高さ0.6m							

#### 3.2 調査方法

##### 3.2.1 観賞用植物の水質浄化性能・維持管理調査

住民から浅池型植生浄化施設で栽培することの要望が強かった観賞用植物（花卉植物）において、平成11年度に実施した栽培候補種の選定調査結果から、浅池型植生浄化施設において生育が可能であったのはリシマキア、ノハナショウブ、レイジアナアヤメ、カラー、ポンテデリア、ミズアオイ、ミントおよびワスレナグサであった。

本実験条件における窒素およびリンの除去は主にクレソン根圏への堆積およびろ過によって行われていると考えられるので、候補種の中で、根や株の広がりや密度が密であり、根圏によるろ過作用が大きいと考えられるリシマキアと、根や株をクレソンの様に繁茂させないアヤメ科の植物（ノハナショウブ）の2種類について水質浄化性能、維持管理方法を調査した。

水質調査は、植物を施設に定植した後、月1回の頻度で行った。また、補足的に多頻度で濁度やDOなどの簡易水質調査を行った。水質調査項目および分析方法を表3-2に示した。調査地点は、流入部、B1水路（ノハナショウブ）流出部、B2水路流出部の3地点とした。

また、繁殖方法の違うノハナショウブとリシマキアの生育状況と水質浄化性能の面から、最適な維持管理方法の調査を行った。

表3-2 水質調査項目および分析方法

調査項目	分析方法	調査頻度
水温	JIS K 0120-7.2	1回/月
pH（水素イオン濃度指数）	JIS K 0102-12.1 ガラス電極法	平成12年6月～
COD（化学的酸素要求量）	JIS K 0120-17 滴定法	平成13年2月
BOD（生物化学的酸素要求量）	JIS K 0120-21 滴定法	
SS（浮遊物質）	環境庁告示第59号 付表2 ろ過重量法	
T-N（全窒素）	JIS K 0102-45.1 総和法	
T-P（全リン）	JIS K 0102-46.3.1 吸光光度法	
水温	DO/O <sub>2</sub> /Tempメーター UC-12 HORIBA OM-12	2～3回/週
濁度	濁度計2100P (HACH)	平成12年6月～ 平成13年2月

### 3.2.2 クレソンの摘み取りとコンポストの持ち帰りに関するアンケート調査

浅池型植生浄化施設が「住民参加型施設」としてより多くの住民が参加しやすくするためには、より多くの住民からの意見を参考にすることが望ましいと考えられた。

このため、平成11年度に実施した住民の施設利用開放およびアンケート記入調査（平成11年10月4日～平成12年2月22日：約5ヶ月間）に継続して、本年度も同様にアンケート記入調査を行った。調査方法は、平成11年度と同様に、施設の案内看板の横にアンケート記入台を設置し、アンケート用紙、回収箱、筆記用具を置いた。随時、アンケート回収箱内を確認し、アンケートの回収を行い、集計した。

また、実際の利用者数を知るために、9時から17時までに本施設に来場する人の数、団体個人、男女、大人子供、さらに植物の摘み取りの可否、土壌改良資材持ち帰りの可否、アンケート記入の可否について調査を行った。また、利用者の季節や平日休日による違いを見るために、各季に2回（平日、休日）実施した。調査時に本施設近くに待機して、施設状況を観察した。

### 3.2.3 安全性調査

本施設の一部を住民に開放し、クレソンの摘み取りやコンポストの持ち帰りを自由に行ってもらうのに伴い、本施設内に生育しているクレソンと本施設内に堆積する堆積泥の安全性について調査を行った。また、本施設内に導水している葉山川水質の急性毒性指標として導入水路にコイを飼育し、その生育状況を随時調査した。調査頻度および分析方法を表3-3に示した。

表3-3 調査項目および分析方法

調査対象	調査項目	分析方法	頻度
クレソン	糞便性大腸菌	EC・EMB・LB普通寒天斜面培地法	4回
堆積泥	ヒ素、 銅 カドミウム 亜鉛	農林省令第47号 総理府令第66号 総理府令第31号 強酸分解・吸光度法	1回
コイ	生息状況	定量（目視）	随時

### 3.2.4 コンポスト作成調査

コンポスト化するための基礎条件を見つけだすために、少量の試料で調査を行った。このため、外気温や降雨等の外因の影響を受けないように簡易コンポスト装置（図3-1）を作成し、それにより実験を行った。また、コンポスト化するための基礎条件を見つけだすための実験ケースを表3-4に示した。

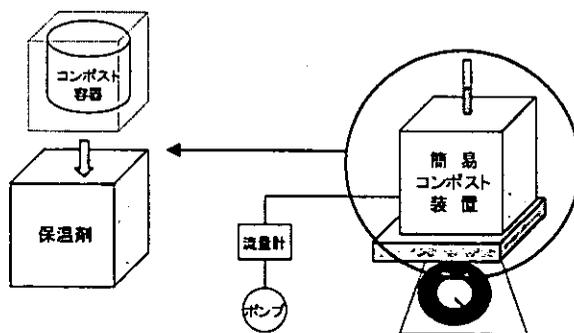


図3-1 コンポスト装置概要図

表3-4 実験ケース

実験	番号	検討項目				
		原料	破碎サイズ	カロリー調整材	水分調整材	通気量
1	NO. 1	クレツ+堆積泥(池上乾燥)	1.5~3 cm	米糠 なし	なし	2 l/min
	NO. 2			米糠 5%		
	NO. 3			米糠 10%		
2	NO. 1	クレツ+堆積泥(池上乾燥)	なし	最適添加割合 (米糠 5%)	なし	2 l/min
	NO. 2		1.5~3 cm			
	NO. 3		3~10cm			
3	NO. 1	クレツ+堆積泥(池上乾燥)	最適サイズ (1.5~3 cm)	最適添加割合 (米糠 5%)	なし	0 l/min
	NO. 2					2 l/min
	NO. 3					4 l/min
4	NO. 1	クレツ+堆積泥(池上乾燥)	< 2 cm	最適添加割合 (米糠 5%)	なし	0 l/min
	NO. 2					2 l/min
	NO. 3					4 l/min
5	NO. 1	クレツ+堆積泥(池上乾燥)	< 2 cm	最適添加割合 (米糠 5%)	粉殻 5%	0 l/min
	NO. 2					2 l/min
	NO. 3					4 l/min
6	NO. 1	クレツ(池上乾燥後)	最適サイズ (1.5~3 cm)	最適添加割合 (米糠 5%)		最適 2 l/min
	NO. 2	クレツ(生)				
	NO. 3	クレツ+堆積泥(池上乾燥)				

表3-4に示したケースを図3-1 に示した装置で1次発酵を行い、表3-5に示した項目を分析し、コンポスト化過程を調査した。

表3-5 分析項目および頻度

	項目	分析方法	調査頻度
コン ポ ス ト 化 調 査	試料温度	JIS K 0102-7.2	1回/日 (1次発酵期間)
	外気温度	JIS K 0102-7.2	
	試料重量		
	臭気	定性	2回/ (1次発酵期間)
	状態	目視	
	pH	農林水産省「肥料分析法」	
含水率	農林水産省「肥料分析法」		
強熱減量	環境庁「底質調査方法」		
TOC	農林水産省「肥料分析法」		
T-N	農林水産省「肥料分析法」		

#### 4. 結果

##### 4.1 観賞用植物の水質浄化性能・維持管理調査結果

定期水質調査の水質濃度の経日変化を図4-1に、除去率の経日変化を表4-1に示した。また、日常点検時における濁度の水質濃度・除去率の経日変化を図4-2に示した

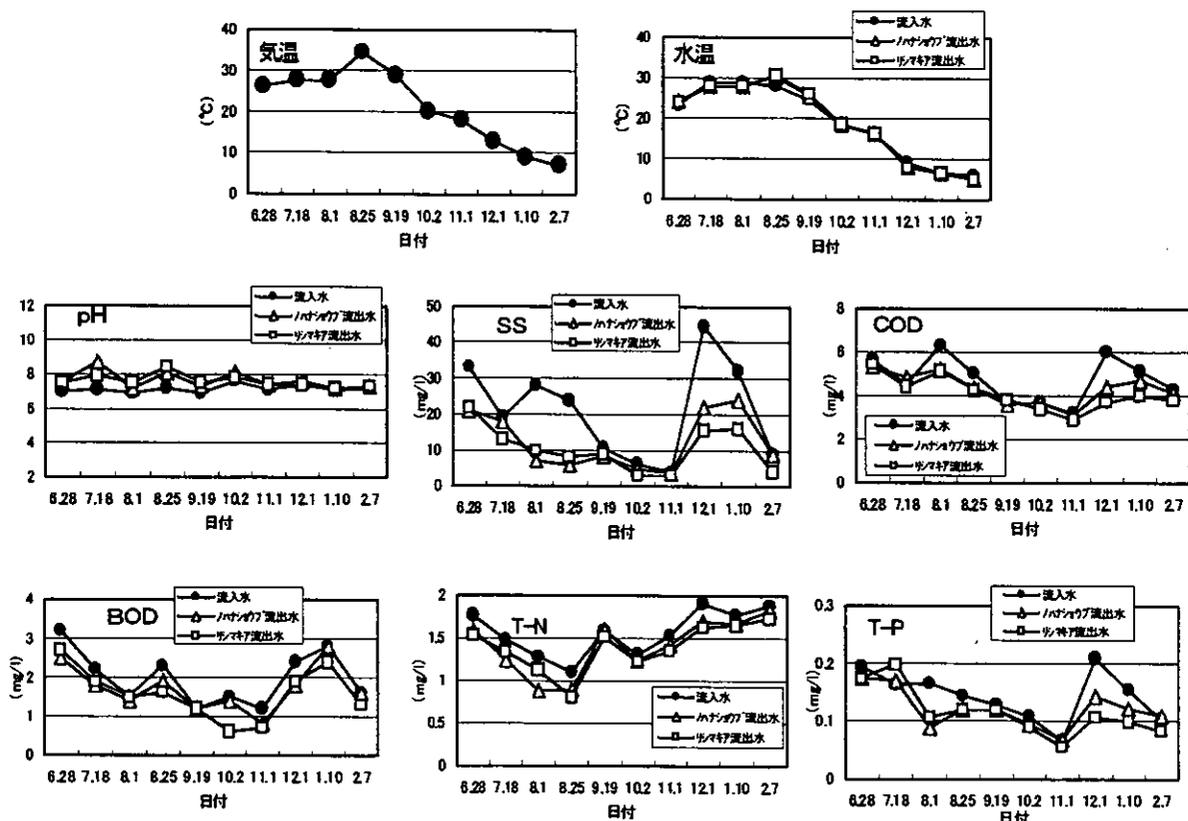


図3-2 水質濃度の経日変化結果 (定期調査)

表3-3 除去率 (%)

		6.28	7.18	8.1	8.25	9.19	10.17	11.14	12.12	1.10	2.9	平均
SS	ハナショウブ	36.4	5.3	75.0	75.6	21.0	21.3	10.3	50.6	25.0	0.6	34.0
	リンマキア	33.3	31.6	64.3	65.5	14.3	49.2	23.1	64.9	50.0	11.6	44.0
COD	ハナショウブ	5.4	-6.7	17.5	14.0	2.7	0.0	3.1	26.7	7.8	0	9.1
	リンマキア	3.6	2.2	19.0	14.0	-2.7	8.1	9.4	38.3	21.6	18.8	12.6
BOD	ハナショウブ	21.9	18.2	6.7	17.4	0.0	6.7	33.3	25.0	0.0	0.6	13.7
	リンマキア	15.6	13.6	0.0	30.4	0.0	60.0	41.7	20.8	14.3	55.6	21.8
T-N	ハナショウブ	9.7	15.6	31.3	19.1	-0.6	5.4	7.2	11.1	5.6	3.2	8.0
	リンマキア	13.1	9.5	12.5	26.4	5.0	6.2	11.8	14.2	6.8	8.0	11.7
T-P	ハナショウブ	10.3	-4.3	46.7	16.7	7.0	13.0	-3.0	31.6	20.8	-6.9	14.3
	リンマキア	10.3	21.0	35.8	16.7	7.0	16.7	16.7	49.3	35.7	19.6	18.5

※2.9は維持管理後のデータであるため平均値には除く

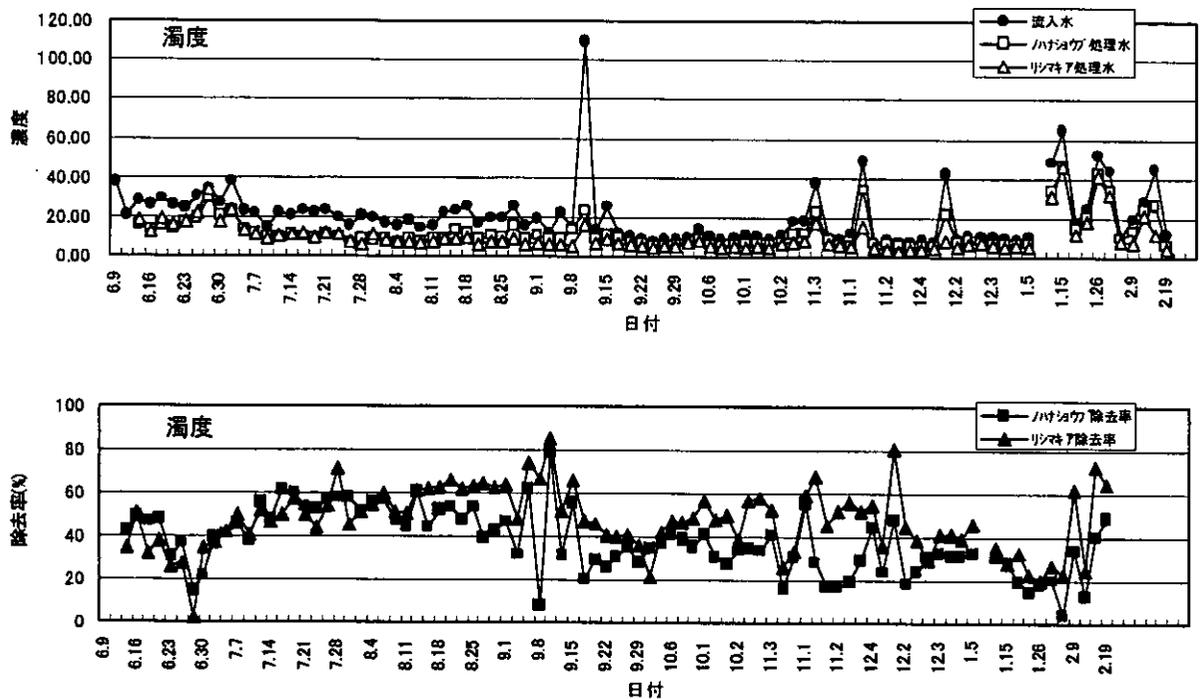


図3-4 濁度の水質濃度・除去率の経日変化結果（日常点検）

定期調査結果から、相対的に、各項目とも、流入水質濃度よりノハナショウブおよびリシマキアの処理水質濃度の方が低く、特に、SSにおいて濃度が低く、6月28日から1月10日までにおいて、平均流入水濃度が22.3mg/l、ノハナショウブ平均処理水濃度が12.7mg/l、リシマキア平均処理水濃度が11.1mg/lであった。このことから、水路にノハナショウブおよびリシマキアを植栽することによって、水質浄化、特に粒子状物質の除去効果がみられた。

ノハナショウブ処理水濃度とリシマキア処理水濃度では、8月下旬までは明確な差が見られなかったが、それ以降になると、リシマキア処理水の方が低く、特に、SSとT-Pにおいて、明確な差が見られ、流入水に対してSSで25%程度、T-Pでは10%程度リシマキア処理水の方がノハナショウブ処理水に比べて低かった。日常点検の濁度結果からも同様の傾向が見られ、8月の下旬以降、リシマキアの処理水質濃度の方がノハナショウブ処理水よりも低く、浄化性能が上回っていた。

以上から、8月下旬までは、各植物とも植栽して間もないため根圏や株が貧弱であったり、かつ施設内の堆積泥もほとんど無い状態であったため、粒子状物質のろ過作用が一定していなかったと考えられた。8月下旬以降になると、リシマキアはクレソンと同様に根や株が密に広がり、根や株をクレソンの様に根圏を繁茂させないノハナショウブより粒子状物質のろ過作用が大きかったと考えられた。

ノハナショウブとリシマキアの生育状況と水質浄化性能の面から見た、維持管理実施結果を表4-2、表4-3に示した。

表4-2 維持管理実施結果（ノハナショウブ）

項目	作用内容	問題点
堆積泥除去	①通水を停止 ②植物体を別の水路へ一時移動（泥の付着は殆どない） ③水路内に堆積した泥をかき集め、除去 ④一時移動させた植物体を再植栽	苗の一時移動 含水率の極めて高い堆積泥の収集・除去
植物体除去	株の間引き （ただし、本調査では、水路を繁茂するまでには至らず、実施せず）	—

表4-3 維持管理実施結果（リシマキア）

項目	作用内容	問題点
堆積泥除去	①通水を停止 ②施設内で自然乾燥（干上げ） ③堆積泥と植物体を除去 ④植物体を再植栽 （ただし、本調査では、再植栽用の苗数や水路数の関係から、②および③の植物体除去を実施せず、植栽してある苗を再度再植栽した）	—
植物体除去	上記で実施	—

## 4.2 クレソンの摘み取りとコンポストの持ち帰りに関するアンケート調査結果

### 4.2.1 来場者

調査開始した平成11年10月4日からのアンケート回答者は329名で、平成11年度は162名、平成12年度は167名であった。これから、平成11年度は、ひと月当たり平均27名、平成12年度は、ひと月当たり平均13.9名であり、今年度のアンケート回答者は昨年度の50%程度であった。

月別アンケート回答者を図4-3に、曜日別アンケート回答者を図4-4に示した。ただし、月別に関しては、来場者数調査結果からアンケート記入率を算出し補正した補正值も乗せた（平成11年度は、1回の来場者数調査結果より、平成12年度は8回の来場者数調査結果より算出した）。曜日別に関しては、調査開始した平成11年10月4日からのデータである。

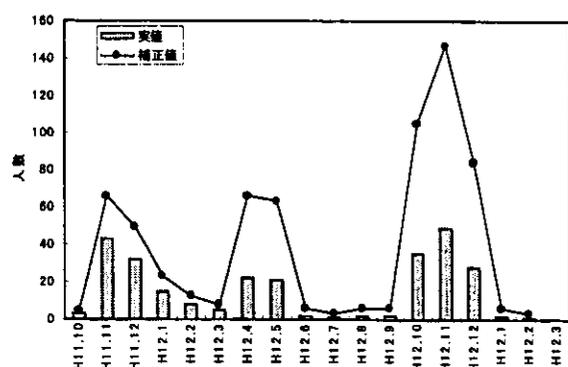


図4-3 月別アンケート回答者

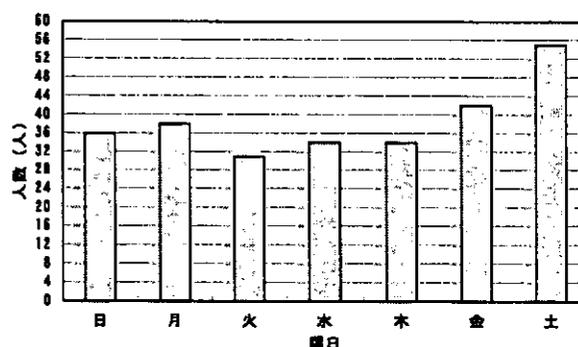


図4-4 曜日別アンケート回答者

月別を見ると、平成11年11月、12月、平成12年4月、5月、10月、11月、12月の春季および秋季の利用者が多く、秋季（11月、12月）の利用者数は、平成11年と平成12年ではほぼ同程度であった。曜日別を見ると、曜日間の利用者数の差は、土曜日が他の曜日に比べて20名程度多いほかは、明確な差は見られなかった。また、利用回数は、「数え切れないほど」や「10回は来ている」などの回答が多く、再利用者数は平成11年度には162名中56名（34.6%）、平成12年度には167名中72名（43.1%）であった。

以上より、本年度の来場者数は、昨年度に比べて半数に減ったが、半数がリピータで、さらに、来場時期は、クレソンの生育が良好な春季と秋季に集中していた。

来場者数調査結果を図4-5に示した。

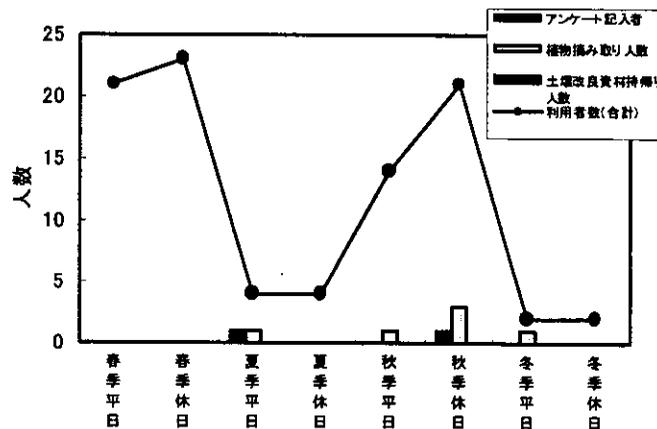


図4-5 植物摘み取り、アンケート記入者

調査結果から、平日では、21名（春）、4名（夏）、14名（秋）、2名（冬）、休日では、23名（春）、4名（夏）、21名（秋）、2名（冬）の施設来用者であった。年平均は、平日が9.75人、休日が11.5人であった。昨年は、休日の来用者の方が平日に比べて多く、平日の10倍以上であったが、今年は、休日の来用者の方が若干多い程度で、平日と休日における明確な差は見られなかった。一方、季節間による差は見られ、春季および秋季来用者数が夏季および冬季来用者数に比べて5～10倍程度多かった。ただし、そのうち、植物の摘み取り実施者は、平日では、0名（春）、1名（夏）、1名（秋）、1名（冬）、休日では、0名（春）、0名（夏）、3名（秋）、冬（0名）、土壌改良資材の持ち帰り実施者は全期間0名であった。その内、アンケート記入実施者は1名（夏平日）および1名（秋季休日）のみであり、植物の摘み取りや土壌改良資材の持ち帰りを行った人の中の66.7%がアンケートに記入しなかった。

以上から、活動するに良好な春季および秋季において平日休日に問わず多くの施設来用者があったが、ほとんどが、散歩や見学に立ち寄るのみで、植物の摘み取りや土壌改良資材の持ち帰りをを行う人はほとんどいなかった。

#### 4.2.2 アンケート内容

アンケート集計結果を図4-6に、「性別」、「年齢別」および「自宅からの所要時間」別に集計した結果を図4-7に示した。

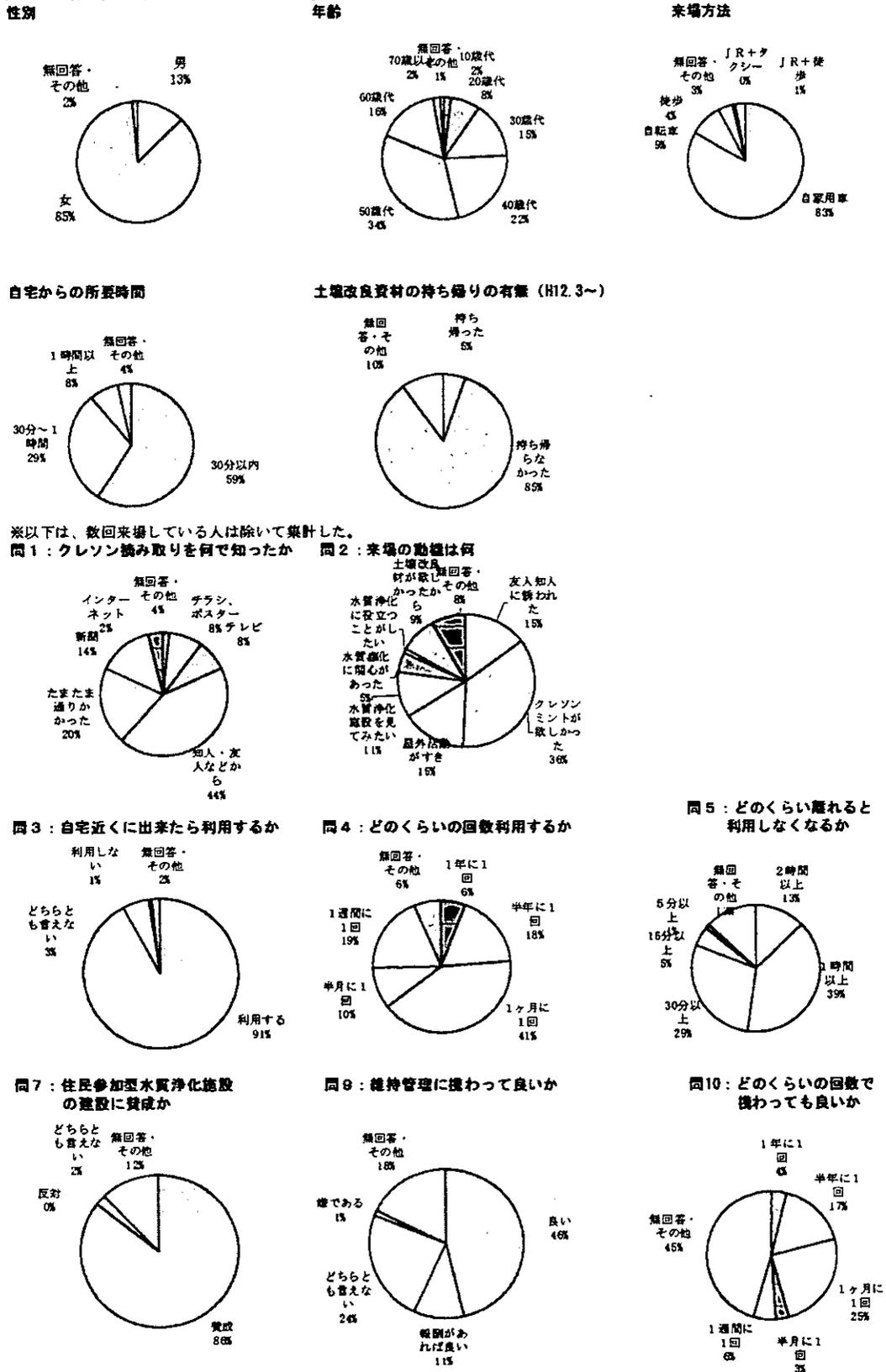
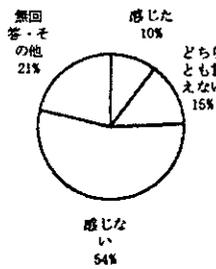


図4-6 アンケート集計結果(1)

問11：作業上危険を感じたか



問13：入場料を払うとしたらいくらまで払って良いか

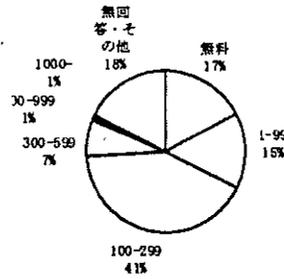


図4-6 アンケート集計結果(2)

来場者の年齢構成は、50歳代が最も多く34%で、次いで40歳代の22%、60歳代の16%、30歳代の15%であり、40歳以上が約70%を占めていた。性別では、女性が85%を占めていた。

自宅からの来場方法は、自家用車が83%で最も多く、次いで自転車が9%、徒歩が3%で、公共交通機関を使用した人はほとんどいなかった。また、自宅から現地までの所要時間は、30分以内が59%と最も多く、次いで30分～1時間以内が29%であり、1時間以内の来場者が約90%を占めていた。このことから、本浄化施設の利用者は、比較的近い場所から自家用車および自転車によって来場していることがわかった。また、本浄化施設は公共交通機関の最寄りの駅から非常に遠いため、駅からタクシーや徒歩によって、わざわざ来場する人はいないことがわかった。このため、本浄化施設を公共交通機関の利用が難しい場所に設置する場合は、近くに居住地があり、施設近くに駐車場や駐輪場があることが望ましいと示唆された。

クレソンの摘み取りを知った媒体としては、「知人・友人などから」が最も多く44%、「たまたま通りかかった」が20%であった。マスメディアによるものとしては、新聞が14%、テレビが8%、チラシ・ポスターが8%、インターネットが2%であり、合計して32%であった。このことから、本浄化施設の宣伝方法としては、「クチコミ」によるものと「マスメディア」によるものが有効的であると考えられたが、さらに、散歩やハイキングなどでたまたま通りかかって本浄化施設の存在を知りクレソン等を摘み取って帰っていく人が20%占めていたことから、本浄化施設を実際に設置する場合は、既存公園などに隣接していることがより多くの利用が望めると思われた。

来場の動機は、クレソン・ミントが欲しかったからが最も多く36%であり、有用植物を自由に摘み取って持ち帰れることが来場者にとって魅力であることが示された。

施設の利用については、91%の人が自宅近くに本浄化施設ができれば利用すると回答し、その利用頻度は、月に1回が最も多く41%、次いで週に1回が19%、半年に1回が18%であった。その設置場所については、自宅から1時間以上離れたら74%の人が、30分以上離れていたら35%の人が利用しないと回答し、自宅からの所要時間と同傾向であった。

住民参加型の施設の建設と維持管理に関する質問に対しては、琵琶湖周辺に本浄化施設を建設することに約90%の人が賛成と回答した。また、その施設の維持管理等にボランティアで携わっても良いと回答した人が46%、報酬があれば携わっても良いと回答した人が11%であった。維持管理の頻度は、1ヶ月に1回が最も多く25%、次いで半年に1回が17%であり、利用頻度とほぼ同傾向を示した。

本浄化施設を利用するにあたっての質問では、クレソン等の摘み取り作業で危険を感じた人は、10%であり、内容としては、「足場が狭い」「水路幅が広くて手がとどかない」などの足場の悪さによる摘み取りにくさを指摘していた。また仮に利用するにあたって入

場料を支払うとした場合、100円～300円以内が最も多く41%、次いで無料が17%、1円～100円以内が15%であり、おおむね100円を中心とした分布で、600円以上はほとんどいなかった。

### 4.3 安全性試験結果

#### 4.3.1 クレソン

調査結果を表4-4に示した。

表4-4 調査結果（クレソン）

回	結果
1	陰性
2	陰性
3	陰性
4	陰性

調査結果から、大腸菌はすべての調査で検出されなかった。このことから、本施設で水耕栽培しているクレソンにおいて、0-157を含む大腸菌については、住民に開放する上での問題はなかった。しかし、住民参加型の施設設置の場合は、「使用前の十分な洗浄」と「細菌を繁殖を助長する長期間の保存を避ける」ように十分な啓発を行う必要があると思われた。

#### 4.3.2 堆積泥

調査結果を表4-5に示した。

表4-5 調査結果（堆積泥）

分析項目	調査結果	基準値
カドミウム	1.2 mg/kg·dry	1 mg/kg·dry（コメ中）
銅	110 mg/kg·dry	125 mg/kg·dry（土壌中）
ヒ素	3.2 mg/kg·dry	15 mg/kg·dry（土壌中）
亜鉛	520 mg/kg·dry	—

銅およびヒ素については「農用地の土壌の汚染防止等に関する法律」の基準値以下であった。一方、亜鉛についてはこの法律には基準が無く、「農用地における土壌中の重金属等の蓄積防止に係わる管理基準」には、一般土壌の亜鉛含有量120 mg/kg·dryを管理指針として示している。

### 4.3.3 コイ

調査結果を図4-8に示した。

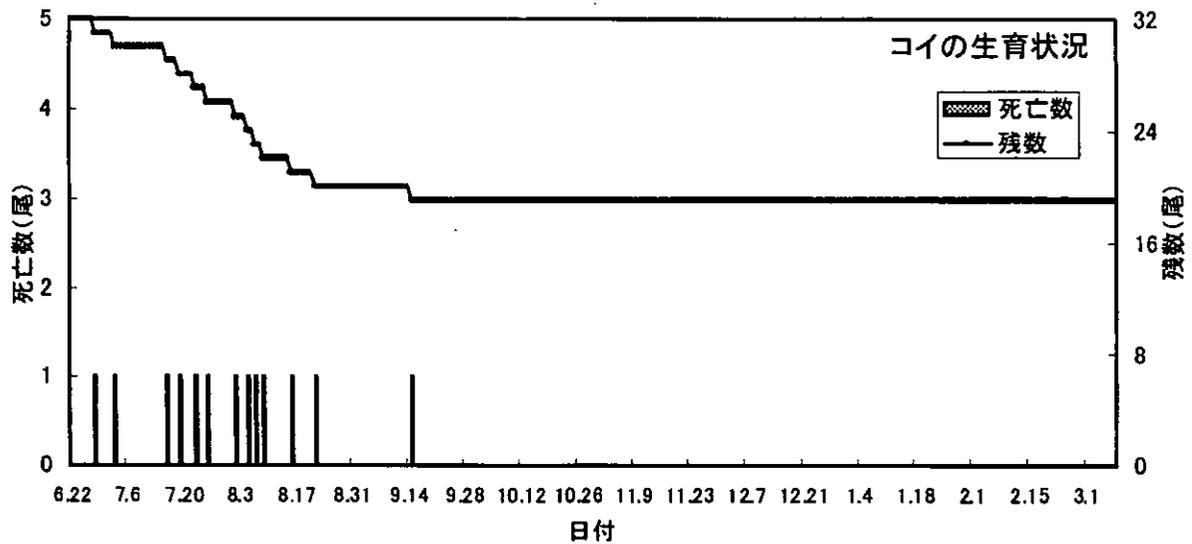


図4-8 コイの生育状況

平成12年6月22日にコイ32尾の飼育をはじめてから、6月28日、7月3日、7月16日、7月16日、7月23日、7月26日、8月2日、8月5日、8月7日、8月9日、8月16日、8月22日、9月15日に1尾ずつ死亡が確認された。平成12年6月22日から9月15日までの84日間に13尾死亡し、平均して6.5日に1尾の割合でコイが死亡した。それ以降のコイの死亡は見られなかった。

コイの死亡原因としては、①場所移動による水質・浸透圧・水温の変化、②水質汚濁、③飼育場所に対する飼育数の過剰（高密度）、④飼育場所に隠れ家がない、⑤場所移動時による負傷、⑥病気などが考えられる（滋賀県南郷水産センターより）。

まず、

①としては、入手先の滋賀県南郷水産センターでは地下水および瀬田川の水、本実験では同じ水系の葉山川の水を用いて飼育していたため、水質変化によるストレスが大きな原因とは考えられない。ただし、移動時期がちょうど水温が高くなる初夏から夏にかけてであったため、環境変化と高水温による夏ばてが生じたと考えられた。

②としては、本実験では、常に流水を導入し、さらに、餌の投入も行っていないため、水質汚濁が生じることはなかった。

③としては、コイの場合、流水状態での水1トンあたりに100~200尾の飼育が可能といわれており（滋賀県南郷水産センター）、本実験では、0.9トンの場所に32尾の飼育を行っている。このため、高密度によるストレスは考えにくいと思われた。

④としては、コンクリート張りの水路を飼育場所としたため、コイの岩や水草などの隠れ家となるところがほとんどなかった。ただ、流入および流出面には金網を設置しているため、他の生物による争い・棲み分けは生じていないと思われた。

⑤としては、水と酸素の入ったビニール袋にコイ32尾を入れ、自動車により運搬を行った。このため、運搬時の揺れやコイ同士の接触などによる負傷が生じることは考えられた。また、移動時期が夏季であったため、負傷後に夏ばてが生じ、死亡したとも考えられた。

⑥としては、一度に、数尾から数十尾のコイが死亡していないため、病気による死亡が原因ではないと思われた。

秋季以降、死亡したコイの確認はなく、本実験の飼育場所の環境に慣れたと考えられた。今後、流入水の安全性（急性毒性）の指標としてコイを用いることが出来ると考えられた。

#### 4.4 コンポスト作成調査

平成11年度までの調査結果から、コンポスト化する上で、降雨や外気などによる外因の除去（室内でのコンポスト化）が必要であることが分かった。また、前処理として、本浄化施設で発生する浄化副産物（クレソン植物体と堆積泥の混合物）を施設上で含水率50～60%程度に天日乾燥することが、維持管理上、適していると考えられた。しかし、この前処理した浄化副産物をそのまま野積みにしても好気性発酵・分解がほとんど進まず、コンポストができなかった。

このため、これらの結果を踏まえて、本年度は、好気性微生物が発酵や分解により繁殖する適切な環境を作り出す上で考慮すべき因子である、(1) 破碎サイズ、(2) カロリー調整材（米糠）、(3) 通気、(4) 水分率などについて調査を小規模実験（コンポスト容器を用いた実験）で行い、本浄化副産物（クレソン植物体と堆積泥の混合物）がコンポスト化するための基礎（最適）条件の検討を実施した。

その結果のまとめを表4-6に、各条件（米糠の添加割合、破碎サイズ、通気量）における、発酵時の最高温度、初期重量に対しての1次発酵後の重量、C/Nおよび発酵時最高温度到達時間に対する発酵時最高温度のグラフを図4-9に示した。

表4-6 結果まとめ

実験	NO.	検討項目					温度 上昇	有機物 減量	C/N	減量	グラフ 内評価	総合 評価
		原料	破碎サイズ	加り調整材	水分調整材	通気量						
第1回	NO.1			米糠 なし			×	×	13.0	×		◎
	NO.2	クレソン+堆積泥(池上乾燥)	1.5~3cm	米糠 5%	なし	2l/min	○	○	13.1	○	○	
	NO.3			米糠 10%			△	○	12.6	○		
第2回	NO.1		なし	↓			△	△	11.9	△		同 条 件
	NO.2	クレソン+堆積泥(池上乾燥)	1.5~3cm	最適添加割合	なし	2l/min	○	○	10.7	○	○	
	NO.3		3~10cm	(米糠 5%)			△	○	11.7	○		
第3回	NO.1		↓	↓		0l/min	×	△	10.0	△		同 条 件
	NO.2	クレソン+堆積泥(池上乾燥)	最適サイズ	最適添加割合	なし	2l/min	○	○	10.8	○	○	
	NO.3		(1.5~3cm)	(米糠 5%)		4l/min	△	○	10.1	○		
第4回	NO.1		↓	↓		0l/min	×	△	11.5	×		同 条 件
	NO.2	クレソン+堆積泥(池上乾燥)	<2cm	最適添加割合	なし	2l/min	△	○	10.7	○	○	
	NO.3			(米糠 5%)		4l/min	×	○	10.4	○		
第5回	NO.1		↓	↓		0l/min	×	△	11.8	×		同 条 件
	NO.2	クレソン+堆積泥(池上乾燥)	<2cm	最適添加割合	籾殻 5%	2l/min	△	○	11.6	△		
	NO.3			(米糠 5%)		4l/min	△	○	11.7	○	○	
第6回	NO.1	クレソン+堆積泥(池上乾燥)		↓	なし	↓	○	○	-	△	-	同 条 件
	NO.2	クレソン(池上乾燥)	最適サイズ	最適添加割合	なし	最適量	△	○	-	×	-	
	NO.3	クレソン(生)	(1.5~3cm)	(米糠 5%)	籾殻 25%	2l/min	△	○	-	○	-	

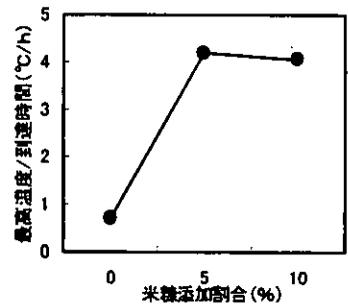
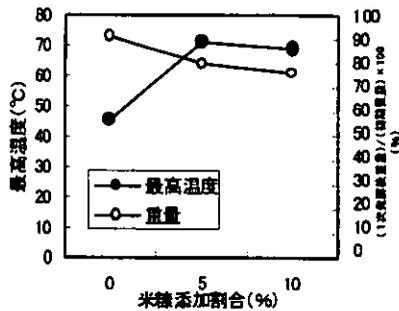
減量：1次発酵におけるデータ

有機物減量、C/N：コンポスト化開始して7日目のデータ

### 米糠添加割合

一定条件

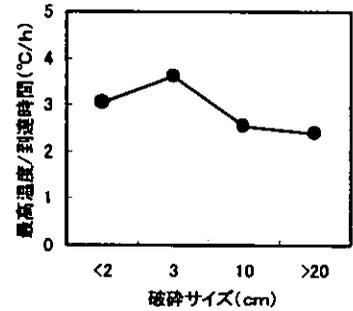
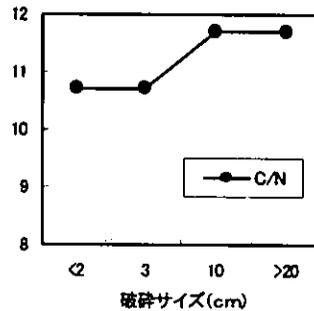
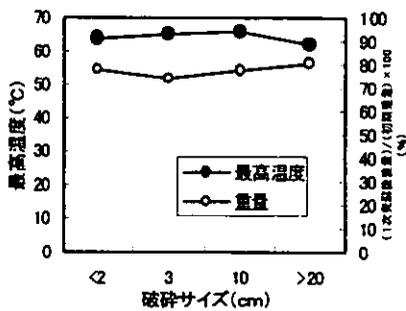
通気量	2l/min
破砕サイズ	1.5~3cm
原料	クレソン+堆積泥



### 破砕サイズ

一定条件

通気量	2l/min
米糠	5%
原料	クレソン+堆積泥



### 通気量

一定条件

破砕サイズ	1.5~3cm
米糠	5%
原料	クレソン+堆積泥

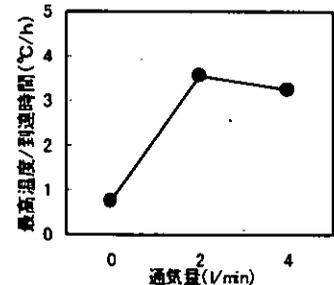
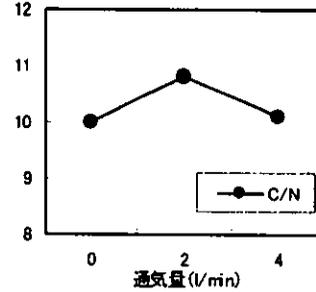
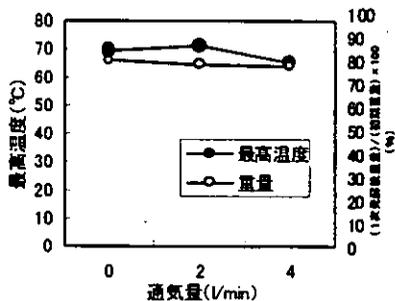


図4-9 各基礎条件における発酵時最高温度、初期重量に対しての1次発酵後の重量、C/N、発酵時最高温度到達時間に対する最高温度

米糠添加割合の比較においては、5%、10%の添加ケースが、発酵時の最高温度が約70℃と高く、減量化が約30%と大きく、さらに、短時間で最高温度に到達した。ただし、10%添加については、実験を開始してから1週間後にも発酵・分解しきれない米糠が残存した。以上から、好気性発酵を行う上で、5%添加が適当であると考えられた。

破砕サイズの比較においては、1.5~3cmサイズが、発酵時の最高温度が約70℃と高く、減量化が約30%と大きく、さらに、短時間で最高温度に到達した。また、2.0cm以下の細

かい破碎サイズは、そのままでは通気障害が発生するため、粉殻やおが屑などの空隙部を確保出来るような調整剤を添加することにより好気性発酵を行う上で良好な条件となった。しかしながら、実際の施設での運用を考えた場合、細かい破碎サイズは破碎を行う上で手間であり、また前処理の乾燥状態によっては破碎時に粉じんが発生する。さらに、粉殻やおが屑などの空隙部を確保出来るような調整剤の添加も必要となる。このため、好気性発酵を行う上で、破碎工程や仕込み過程で手間がかからず、コンポスト化しやすいサイズとしては、1.5～3 cmが適当であると考えられた。

通気量の比較においては、2 l/minが、発酵時の最高温度が約70℃と高く、減量化が30%程度と大きく、さらに、短時間で最高温度に到達した。このことから、好気性発酵を行う上で2 l/minの通気が必要であることが分かった。このため、実際の運用に当たって、コンポスト施設底部に2 l/min量の通気ができるような通気管の設置をするなどコンポスト施設設計が必要である。

## 5. 考察

### (1) 花卉植物の浅池型浄化施設への適応性（水質浄化性能、維持管理など）

本年度調査では、住民から浅池型植生浄化施設で栽培することの要望が強かった花卉植物（リシマキア、ノハナショウブ）について水質浄化性能および維持管理について調査、検討を行った。

リシマキアは、クレソンに比べて、粒子状物質の除去作用は小さい以外は、ほぼ同様の水質浄化性能が得られた。また、水質浄化を維持させるための、堆積した泥および生長した植物体の除去（浄化副産物の除去）については、リシマキアはクレソンと同様の生育・繁殖方法を示し、根や株を密生させながら広がっていくため、クレソンとリシマキアの作業内容はほぼ同様と考えられた。しかしながら、リシマキアは生長速度がクレソンに比べて1/4程度と遅いため、クレソンと同様の間引き量（1/2間引き）では植物が水路面積を覆うまでの期間、水質浄化性能が悪いと示唆された。このため、リシマキアを浅池型植生浄化施設で使用する場合は、初期植栽および間引き後の再植栽量を密度の高い状態で行う必要があり、そのために、水質浄化性能および生長速度からみた間引き量、間引き頻度およびそれに伴うコストの検討が必要であると考えられた。

一方、ノハナショウブは、クレソンやリシマキアに比べてすべての項目において水質浄化性能が悪かった。また、水質浄化を維持させるための、堆積した泥および生長した植物体の除去（浄化副産物の除去）については、ノハナショウブは球根のため、クレソンやリシマキアとは異なる生育・繁殖方法を示し、根圏や株を縦横に広がらせて密生させないため、クレソンやリシマキアと同様に堆積泥と植物体とを一緒に間引きすることが出来ず、植物体のまわりにたまった泥の掻き出しと生長し繁茂した植物体の除去をする必要があると考えられた。また、植栽密度が低い場合や苗が細い場合は、外因（風や雨など）により苗が転倒することが生じるため、支持材等で株を固定したり植栽密度を高くするなどの管が必要と考えられた。このことから、ノハナショウブは住民には大変要望が強いが、このように、維持管理、手間およびそれに伴うコストの発生が予想された。このため、啓発的な位置づけとして水路の一部分にノハナショウブを植栽するなどを行い、大規模な植栽は不適と考えられた。

以上から、浅池型植生浄化施設での花卉植物の植栽については以下のことが考えられた。

- ・「住民からの植栽要望が強い」や「食用しないため、安全性の調査が不要である」などから住民への広報・啓発的な意味合いが大きい。
- ・住民への広報・啓発的な意味合いからは、開花時期が異なる花卉植物の植栽が好ましい。

また、有毒の花弁植物は不適と考えられた。

- ・リシマキアのようなクレソンと同様の生育・繁殖方法を示す花卉植物の場合は、クレソンと同様の維持管理、水質浄化性能が望まれると示唆される。ただし、生育速度に応じた間引き頻度・間引き量での維持管理を行う必要があると考えられた。
- ・ノハナショウブのような、クレソンと生育・繁殖方法が異なる場合は、維持管理、コスト、および水質浄化性能の面から大規模な栽培は不向きであると示唆された。

## (2) 浄化副産物の再利用

平成10年度から実施している本浄化施設で発生する浄化副産物（植物体および堆積泥）の処理方法として、浄化副産物（植物体および堆積泥）をコンポスト化させ、出来たコンポストを住民に持ち帰ってもらう調査・検討として、本年度は、好気性微生物が発酵や分解により繁殖する適切な環境を作り出す上で考慮すべき因子である、(1) 破碎サイズ、(2) カロリー調整材（米糠）、(3) 通気、(4) 水分率などについて調査を小規模実験（コンポスト容器を用いた実験）で行い、本浄化副産物（クレソン植物体と堆積泥の混合物）がコンポスト化するための基礎（最適）条件の調査、検討を実施した。

その結果から、以下の運用方法、基礎条件が考えられた。

運用方法およびコンポスト化基礎条件

	運用方法	条件
施設からの浄化副産物の収集・搬出	①施設の給水停止	
	②浄化副産物の天日乾燥	給水停止より約20日間
	③浄化副産物の搬出	
仕込み	①浄化副産物の破碎	破碎サイズ : 1.5～3 cm
	②水分調整	水分添加 : 含水率50～60%
	③カロリー調整材の添加	カリ調整材 : 米糠5%添加
	④混合・攪拌	
堆積	①堆積	室内での堆積
	②通気・攪拌・散水・温度モニタリング	通気量 : 2 l/min 攪拌頻度 : 課題 攪拌方法 : 課題 散水量・頻度 : 課題 散水方法 : 課題
品質・安全性検査	品質・安全性項目の分析	
袋詰め・配布	①袋詰め	品質表示した袋に詰める
	②住民に配布	持ち帰りやすい工夫が必要

## (3) 住民参加手法

本年度のアンケート調査検討結果および安全性調査検討結果から、住民参加型施設としての運用および施設構造として、以下のことが示唆された。

### ①施設構造

- ・駐車場や駐輪場の設置
- ・洗い場、休憩所等の付帯施設の設置
- ・八つ橋や飛び石などの足場、手すりなどの安全性を配慮した設置の設置
- ・水質浄化の仕組みや植物・コンポストの安全性試験結果などの啓発的な看板設置
- ・誰でもが利用出来るような案内や注意事項の看板設置

## ②維持管理方法

- ・近隣住民（リピーター）を対象とした市民グループによる維持管理と業者による維持管理の併用
- ・住民が利用する植物体および堆積泥の定期的な安全性試験の実施

## ③宣伝方法

- ・マスメディア（テレビ、新聞、チラシ、インターネットなど）を使った宣伝
- ・クチコミによる宣伝
- ・近隣施設（公園、文化施設など）との相乗効果

## (4) 実際の施設の候補地

実際の施設を設置する場合の候補地を選定するにあたっては、①構造面から本浄化施設の設置が可能な場所、②本浄化施設の水質浄化性能から浄化が期待できる琵琶湖流入河川を対象にする、③住民が利用しやすい立地条件、などが重要と考えられた。このため、以下の点を満たす場所の選定が必要と示唆された。

### ①構造面から本浄化施設の設置が可能な場所

- ・河川からの取水、琵琶湖への放流が出来る場所
- ・ランニングコスト面から、河川からの自然流下による取水が可能な場所
- ・駐車場や駐輪場の確保が可能な場所
- ・洗い場や休憩所等の付帯設備が確保できる場所

### ②本浄化施設の水質浄化性能から浄化が期待できる琵琶湖流入河川への適応

クレソン等はSS、T-Pの粒子状物質の除去効果があることから、これらの物質が高い（富栄養化）河川への適応が望ましい。このため、富栄養化が著しい琵琶湖南の汚濁の著しい流入河川を対象と考える。

### ③住民が利用しやすい立地条件

- ・施設の周辺に居住地があり、居住地から30分以内で来場できる場所
- ・施設の周辺に大きな居住地があり、その居住地から1時間以内で来場できる場所
- ・自家用車や自転車の利用が可能な場所
- ・既存の公園などが隣接している場所
- ・公共交通機関の最寄りの駅が近いことが望ましい
- ・悪臭、治安問題（深夜の花火、たまり場）、施設利用者による交通渋滞などによる周辺居住地への影響がないこと

以上から、「汚濁が著しい琵琶湖南湖流入河川に近隣する場所」かつ「既存の公園や緑地帯に隣接する場所」かつ「駐車場や駐輪場がある場所」かつ「30分以内に居住地がある場所」かつ「1時間以内で大きな居住地（都市）がある場所」が考えられた。また、できれば公共交通機関の最寄りの駅が近いことが望ましいと考えられた。

## (5) 総合まとめ

平成9年度から実施している浅池型植生浄化施設の実験結果、検討結果を踏まえて、住民参加型の河川浄化施設としての施設設計、運用方法、効果について表5-1総合的にとりまとめた。

表5-1 総合とりまとめ

	項目	諸元	備考
施設諸元	処理水量	192 m <sup>3</sup> /日	
	水路規模	幅2.0m×長さ16m	
	水路勾配	0.5 %	
	水路本数	4本 (1ユニット)	常時3水路通水
	水深	5.2 cm	実験施設実績値
	滞留時間	約40分	
	付帯設備	コンポストヤード 休憩所 水道施設 安全性試験結果の掲示、施設にかんする掲示、緊急時連絡先の掲示 養魚池	施設諸元：課題    流入水質の急性毒性モニタリング用
栽培管理方法	間引き頻度	4回/年 (クレソン)	他植物：課題
	間引き方法	池上乾燥-全面取り出し (クレソン)	他植物：課題
	再植栽方法	苗のみ1/2植栽 (クレソン)	他水路上流部の苗のみ移植 他植物：課題
	生育した植物	住民による摘み取り (利用)	
浄化副産物	発生量	16.8 kg/m <sup>2</sup> /年	
	処理	コンポストにして住民が利用	
	作成方法	①施設の給水停止 ②浄化副産物の天日乾燥 ③浄化副産物の搬出 ④浄化副産物の破碎 ⑤水分調整 ⑥カロリー調整材添加 ⑦混合・攪拌 ⑧堆積 ⑨通気・攪拌・散水・温度モニタリング ⑩品質・安全性分析 ⑪袋詰め、住民配布	給水停止より約20日間  破碎サイズ 1.5～3 cm 含水率50～60% 米糠5%  室内で堆積 通気：2l/min、その他：課題  品質表示
その他維持管理	維持管理方法	近隣住民 (リピーター) を対象とした市民グループと業者	課題
	日常維持管理	水質監視	濁度 (簡易分析) 鯉飼育による急性毒性物質の監視
		雑草抜き ゴミ等の除去	有害植物の混入
	安全性試験	水質	鯉飼育による急性毒性物質の監視
植物体 (クレソン)  コンポスト		食品衛生法物質 : 1回 糞便性大腸菌 : 4回/年 重金属、健康項目 : 1回 肥料取締法規定項目、品質項目	

水 質 浄 化 性 能	全リン	32.6 % (クレソン)	H11.10-H11.12
		26.8 % (クレソン)	H 9. 9-H10. 9
		14.3 % (ノハナショウブ)	H12. 6-H13. 1
		18.5 % (リシマキア)	H12. 6-H13. 1
	全窒素	7.7 % (クレソン)	H11.10-H11.12
		13.6 % (クレソン)	H 9. 9-H10. 9
		8.0 % (ノハナショウブ)	H12. 6-H13. 1
		11.7 % (リシマキア)	H12. 6-H13. 1
	SS	66.7 % (クレソン)	H11.10-H11.12
		55.9 % (クレソン)	H 9. 9-H10. 9
		34.0 % (ノハナショウブ)	H12. 6-H13. 1
		44.0 % (リシマキア)	H12. 6-H13. 1
	COD	13.5 % (クレソン)	H11.10-H11.12
		7.8 % (クレソン)	H 9. 9-H10. 9
		9.1 % (ノハナショウブ)	H12. 6-H13. 1
		12.9 % (リシマキア)	H12. 6-H13. 1
BOD	28.9 % (クレソン)	H11.10-H11.12	
	12.6 % (クレソン)	H 9. 9-H10. 9	
	13.7 % (ノハナショウブ)	H12. 6-H13. 1	
	21.8 % (リシマキア)	H12. 6-H13. 1	

※コストに関しては、設置場所、規模に応じて算出が必要と考えられ、本表から除いた

## 6. 今後の課題

本調査・検討結果から以下の課題が残された。

### (1) 花卉植物の浅池型浄化施設への適応性

①リシマキアの持続した水質浄化性能を得るための、植物体および堆積泥の間引き頻度および間引き量の検討

### (2) 浄化副産物の再利用方法

①コンポスト化基礎条件を元に、実用に向けてスケールアップした場合でのコンポスト化を実施し、スケールアップした時に課題となる攪拌（切り返し）頻度・方法、散水頻度・量・方法などの検討

②季節により環境条件の影響が異なると考えられ、季節の違いによる基礎条件の検討

③本浄化施設で発生する浄化副産物のコンポスト化方法、運用方法、およびそれに伴う施設設計の検討および設定

④コンポストの住民の持ち帰り、利用状況の検討

### (3) 住民参加型

①近隣住民（リピーター）を対象とした市民グループによる維持管理手法の検討

## 実験担当者

滋賀県土木部

河港課副係長

今井 崇

河港課技師

狩野 俊男

滋賀県草津土木事務所

河川砂防課副係長

松野 克樹

財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構

実験センター所長

田井中善雄

実験センター研究員

馬場 玲子

## 6. 土壌浄化実験（その3）

### 1. 目的

土壌浄化施設は、琵琶湖に流入する河川水に対して湖沼の富栄養化原因物質の1つであるリンを土壌の吸着作用により除去する水質浄化実験施設である。これまでの結果から赤玉土は、リン吸着能に優れ、高い陽イオン交換容量を持つなどリンの除去に有望な吸着ろ材であることが確認できた。平成12年度の調査では、土壌浄化施設の省面積化および前処理方法の検討を目的として高速通水運転での浄化持続性、閉塞状況の維持管理面からの検討を行うとともに、昨年度に引き続きヨシを植栽した水路型実験施設の前処理施設としての性能評価及び堆積汚泥の処理方法について検討した。また、実施設同様の層構造及び通水方法とした実験槽での水質浄化特性を調査した。

### 2. 施設諸元および実験内容

各実験施設の諸元を表2-1,2に示す。また、実験施設の平面図および土壌浄化施設の断面図を図2-1,2に示した。

#### 2.1 前処理施設

前年度に引き続き、ヨシを植栽した水路型実験施設（以下ヨシ水路とする）のC、D水路を用いて実験を行った。

#### 2.2 土壌浄化実験施設

A槽は、通水抵抗を小さくして通水速度を向上させるための層構造として、土壌層全体で流入SSを補足し、目詰まり時の回復作業が容易と考えられる下部碎石層と土壌層の2層構造とし、通水方式は下向流方式とした。

上部碎石層：なし

土 壌 層：赤玉土、土壌層厚 1,400mm

下部碎石層：7号単粒度碎石（粒径 2.5～5.0mm 程度）

C槽は、現在建設中である実施設と同様の赤玉土の土壌層厚、層構造および通水方式（上向流方式）とした。

上部碎石層：5単粒度碎石（粒径 13.0～20.0mm 程度）

土 壌 層：赤玉土、土壌層厚 800mm

下部碎石層：5単粒度碎石（粒径 13.0～20.0mm 程度）

表 2-1 前処理施設諸元

系列名	2水路(C, D水路)
規 模	幅2.0m×長さ24.0m×有効水深0.5m
通水量	300m <sup>3</sup> /日・水路(12.5m <sup>3</sup> /時)
滞留時間	2時間
水面積負荷	6.8m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・日
通水方式	横流方式
植栽種	ヨシ

表 2-2 土壌浄化実験施設諸元

系列名	A槽	C槽
規 模	幅6.0m×長さ20.0m×深さ1.8m	
前 処 理	ヨシ水路	マット状繊維
通水量	600m <sup>3</sup> /日	180m <sup>3</sup> /日
水面積負荷	5.0m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・日	1.5m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・日
通水方式	下向流方式	上向流方式
実験設定	高水面積負荷	実施設定定型

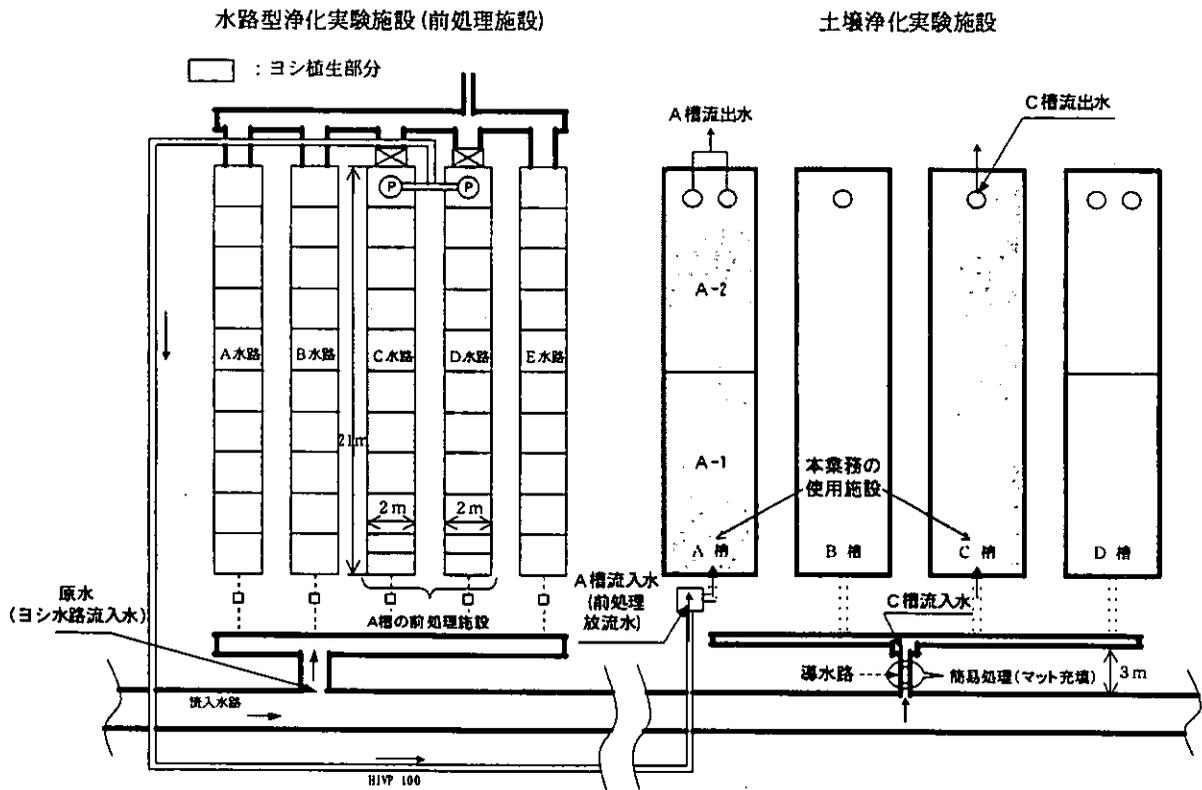


図 2-1 実験施設平面図

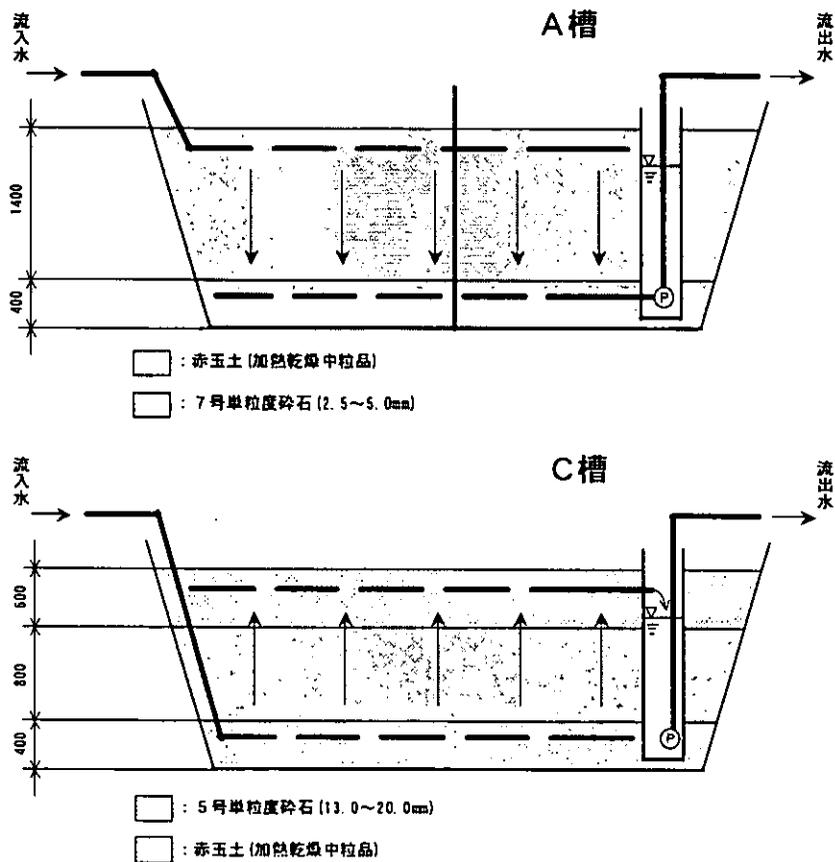


図 2-2 土壌浄化施設の断面図

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 水質浄化特性の比較検討

実験結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 水質分析結果

項目	原水	ヨシ水路		A槽			C槽		
	(河川水) 濃度*	流出(前処理)水 濃度*	除去率 (%)*	流入水 濃度*	処理水 濃度*	除去率 (%)*	流入水 濃度*	処理水 濃度*	除去率 (%)*
pH	7.2	7.1	—	7.1	6.9	—	7.3	7.1	—
SS(mg/l)	9.9	7.0	29.3	5.5	1.3	75.4	9.0	1.0	87.2
COD(mg/l)	4.2	4.1	2.4	4.0	1.9	50.6	4.2	2.1	46.9
D-COD(mg/l)	3.5	3.4	2.9	3.5	1.7	49.2	3.5	1.9	41.9
BOD(mg/l)	2.6	2.4	7.7	2.4	1.8	27.4	2.6	2.0	29.3
T-N(mg/l)	1.5	1.5	0.0	1.5	1.4	6.3	1.5	1.5	1.0
D-TN(mg/l)	—	—	—	1.4	1.3	5.4	1.4	1.4	-0.8
T-P(mg/l)	0.102	0.090	11.8	0.087	0.015	81.5	0.099	0.019	77.8
PO4-P(mg/l)	0.036	0.031	13.9	0.030	0.007	73.7	0.037	0.008	64.5
色度(度)	20.5	19.2	6.3	18.8	3.8	78.5	19.5	4.3	76.2
濁度(度)	9.5	7.0	26.3	5.9	0.8	84.9	9.0	0.7	91.4
E260(ろ過)**	0.072	0.071	1.4	0.075	0.027	62.6	0.076	0.033	54.3

\* 2000.7.25~2001.2.21の19回測定平均値である(ヨシ水路流出水濃度はC, D水路の平均値)。

\*\* 260nmにおける吸光度。

フミン質などの有機化合物は紫外域260nm付近の波長の光を吸収する特性を有する。

#### 3.1.1 前処理施設 (ヨシ水路)

##### (1) S S

原水中のS S濃度は、平均 9.9mg/L (3.4~46.0mg/L) で変動があるものの昨年度同様高汚濁負荷のデータが少なかったため、平均流出水濃度は 7.0mg/L となり目標前処理水質の 8mg/L 以下を満足した結果が得られた。

また、今年度もメンテナンスフリーで通水することが可能であった。S Sの除去機構は、植栽されたヨシのリビングフィルター効果や水路への沈降による物理的な作用と考えられる。

##### (2) T - N

水中の窒素の形態としては、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ が挙げられる。 $\text{NH}_4\text{-N}$ や $\text{NO}_2\text{-N}$ は好気条件下で酸化されて $\text{NO}_3\text{-N}$ になり、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は嫌気条件下で $\text{N}_2$ ガスになり脱窒される。

本調査では、前処理施設におけるDO測定結果より好気条件下であったため $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ の除去は確認できるものの $\text{NO}_3\text{-N}$ については明確な除去効果は確認できなかった。

##### (3) B O D

流入原水平均 2.6mg/L に対して、通年で約 10%程度の除去能が認められた。

ヨシによる水質の浄化は主にリビングフィルター効果による物理作用によるものと考えられるため、主に懸濁性のBODに対して除去能があらわれたと推察される。

BODをはじめ窒素やリンといった物質は、主に微生物の異化代謝や同化代謝による反応によって除去される。前処理施設は水路型実験施設にヨシを植栽しており、その除去機構は次の3つに大きく分類される。

- ① 水路に張り巡らされたヨシの根によるフィルター効果
- ② 根圏微生物の生物膜による吸着
- ③ ヨシの成長に伴う窒素、リン、カリウムの吸収

このうち、②根圏微生物による効果、③ヨシの成長による栄養塩類の吸収は、成長期と非成長期の季節による差が大きく、非成長期にはむしろ回帰する量が除去量を上回ることがある。一方、年間を通して除去能が期待されるのは、①ヨシの根によるフィルター効果であり、今年度調査においてもSSや懸濁態の物質に対する浄化効果が確認された。

### 3.1.2 土壌浄化実験施設

#### 【A槽】

##### (1)SS

流入水中のSS濃度は、平均5.5mg/L(2.0~13.0mg/L)で変動はあるものの、安定した処理水濃度(平均1.3mg/L)が得られ、通年の除去率は75.4%であった。土壌A槽におけるSSの除去機構としては、主に赤玉土の軟質表面と生物膜への吸着によるものと推察される。

また、河川水中には土粒子、植物の破片や生物膜等がSS(懸濁物質)として存在し、これが濁度の原因となっているため、本調査でもSSと濁度の間には高い相関関係が見られた。

##### (2)BOD

土壌中にはバクテリア等の微生物からミミズや原性動物が存在する。バイオマスで見ると微生物ではバクテリア、放線菌、糸状菌が多く、動物ではミミズが多い。A槽のBODは流入水濃度2.4mg/Lに対して平均除去率は27.4%であり、このような有機物を分解し利用している微生物によるものと考えられる。

調査期間中に除去率は概ね1ヶ月程度の周期で上下する傾向が見られた。これは土壌間に生息している微生物が付着増殖と剥離を繰り返しているためと推察される。

##### (3)COD(D-COD)

CODでは平均流入水濃度4.0mg/Lに対して処理水濃度1.9mg/L、D-CODは平均流入水濃度3.5mg/Lで処理水濃度は1.7mg/Lであり、共に通年で約50%の除去率が認められ、河川等における他の直接浄化手法と比較すると高い除去能が得られた。

河川水におけるCODの形態は主に腐植に由来するフミン質といわれている。CODの除去には物理的なる過効果もあるが、本調査では流入水COD濃度に占めるD-CODの比率が約90%であることから赤玉土の腐植質の吸着除去によるものと考えられる。

##### (4)T-P

平均流入水濃度0.087mg/Lに対して平均81.5%の除去率であった。通水期間が長期になるほど除去率は漸減する傾向が見られたが、流入する水質のT-P濃度が低かったためであり、処理水質は平均0.015mg/Lと年間を通して安定していた。

T-Pの除去機構としては、生物化学的機構や水酸化鉄や水酸化アルミによる

化学的不溶化などが考えられるが、土壌中には鉄やアルミが多く含まれていることから、T-Pの除去は主に化学的不溶化によると推察される。

#### (5) 色度

色度は微生物から金属まで多くの物質が原因となる。A槽への流入水は前処理施設による前処理を受けているため、CODやSS等一般的に色度の原因といわれている物質との明確な相関は見られなかった。

除去率は通年で平均78.5%であった。除去機構として、溶解性についてはイオン交換によるもの、懸濁性のものは粘性表面での物理吸着と考えられる。

### 【C槽】

#### (1) SS

平均流入水濃度9.0mg/Lに対して平均除去率は84.6%であった。通水速度が低く負荷が小さいため安定して高い除去率が得られた。

#### (2) BOD

平均流入水濃度2.6mg/Lに対して平均除去率は29.3%であった。通水方式が上向流であるC槽は、水と赤玉土との接触面積が大きいいため、除去率の変動がA槽に比べて緩やかであった。

#### (3) COD

平均流入水濃度4.2mg/Lに対して平均除去率は約50%であった。除去率は通水期間とともに漸減する傾向が見られたが流出水質は2mg/L程度で安定していたことから、流入水質の改善による影響と思われる。

#### (4) T-P

平均流入水濃度0.099mg/Lに対して通年の平均除去率は77.8%であった。これまでの実験結果から、水みちの発生が少ない上向流の方が下向流より高い除去率が得られると考えられる。しかし、本調査でA槽に比べ除去率が若干低くなったのは、吸着ろ材である赤玉土の土壌層厚がA槽は1,400mmに対してC槽は800mmと薄いことが原因と推察される。

#### (5) NH<sub>4</sub>-N

通水初期には放流水濃度が若干高い傾向が見られたが、その後は概ね0.05mg/L以下で安定し、平均除去率は66.7%となった。NH<sub>4</sub>-Nの除去としてはイオン交換と微生物による酸化が考えられる。今回の調査では、通水初期において放流水濃度が流入水濃度より高くなった。これは新品赤玉土表面に付着しているアンモニアの回帰や微生物が馴養されていなかったことによるものと思われる。

#### (6) 色度

通年で76.2%の平均除去率が得られた。色度の原因物質は鉄や銅といった金属の他原性動物等が挙げられるが、河川水ではフミン質等のCOD成分が主体と言われている。

色度はCODよりも除去率が高かったことから、SS成分等も色度の原因となっていると推察される。

各項目における除去率を比較すると、A槽よりC槽の方が安定している傾向が見られた。その要因として下記の2つが考えられる。

- ① 通水速度がA槽(5.0m/日)に比べてC槽(1.5m/日)の方が緩やかであった。
- ② 通水方式がA槽は下向流、C槽は上向流であったため、赤玉土と水の接触面積はC槽の方が多くなった。

BOD、SS等では、概ねC槽の方がA槽より良好な除去率が得られたが、T-P、CODに関してはA槽の方が高い除去率となった。

その要因としては、BOD等は有機物が土壤中の繁殖する微生物によって、また、SSは赤玉土間に捕捉されることによって除去されるため赤玉土との量的関係が比較的少ないのに対して、T-Pの除去機構は赤玉土のイオン交換能によるため、赤玉土層の厚さが1,400mmのA槽の方が800mmのC槽よりも有利であったことによると推察される。

### 3.2 前処理施設における堆積汚泥

ヨシ水路における堆積汚泥量を流入部から2、6、10、14、18mの地点で実験前後に測定した。表3-2-1に示すように、堆積汚泥はC、D水路とも流入部から6~10mまでの間に堆積していることが確認できた。

表 3-2-1 前処理施設の汚泥堆積量

		2 m (cm)	6 m (cm)	10m (cm)	14m (cm)	18m (cm)	堆積量 (m <sup>3</sup> )	実験前後に おける堆積量 (m <sup>3</sup> )
C水路	実験前	2.0	2.0	3.0	4.0	5.0	1.4	3.1
	実験後	21.0	20.0	3.0	3.0	4.0	4.5	
D水路	実験前	3.0	4.0	4.0	6.0	6.0	2.0	3.4
	実験後	22.0	11.0	12.0	6.0	10.0	5.4	

また、堆積汚泥量調査と同地点で採取した汚泥を等量混合し、成分分析を行った結果を表3-2-2に示す。

表 3-2-2 堆積汚泥分析結果

		含水率 (%)	強熱減量 (%)	全窒素 (mg/kg)	全リン (mg/kg)
C水路	実験前	91.7	16.3	9,200	1,700
	実験後	56.1	10.6	3,900	1,600
D水路	実験前	88.0	15.3	1,700	610
	実験後	61.2	14.7	4,400	1,800
下水汚泥		59.1	48.0	12,500 <sup>注1)</sup>	7,500 <sup>注1)</sup>
生物膜		—	40.5	46,467 <sup>注2)</sup>	9,867 <sup>注2)</sup>

注1) 比重2として算出

注2) 比重1.5として算出

調査期間における堆積汚泥の性状は、全窒素で概ね 4,000mg/kg、全リンは 1,600～1,800mg/kg であった。この数値は一般の河川底質とほぼ同じであった。

堆積汚泥の有機物を実験前後で比較した場合、強熱減量が実験前は約 16% に対して実験後は 10～15% であり、有機物が特に多い汚泥とはいえない結果となった。

葉山川河川水中は無機質である砂質が多く含まれており、ヨシ水路は接触沈殿によるSS沈降の分離を主目的とした施設のため、下水汚泥に比べて窒素、リンや強熱減量の少ない傾向が見られた。

以上のことから、前処理施設の堆積汚泥を処理するにあたって考えられる留意点を以下に示す。

- ① 汚泥の脱水濃縮は、砂質等が含まれていても対応できるベルトプレス式等を用いる。
- ② 強熱減量が低いため、焼却処理では 10% 程度の減容効果しか望めない。
- ③ 発生量が少なく、窒素とリンがある程度含まれていることから、汚泥の性分をワラ等で調質し、コンポスト化する等して緑地還元する方法が有効と考えられる。ただしこの場合、有害物質の含有率や溶出量を調査し、安全性の確保を行う必要がある。

### 3.3 土壌浄化施設における土壌調査

実験通水終了後に図 3-3-1 に示す地点の A 槽平面中心部断面上部ならびに C 槽平面中心部断面下部の土壌を採取分析し、新品赤玉土との比較を行った。

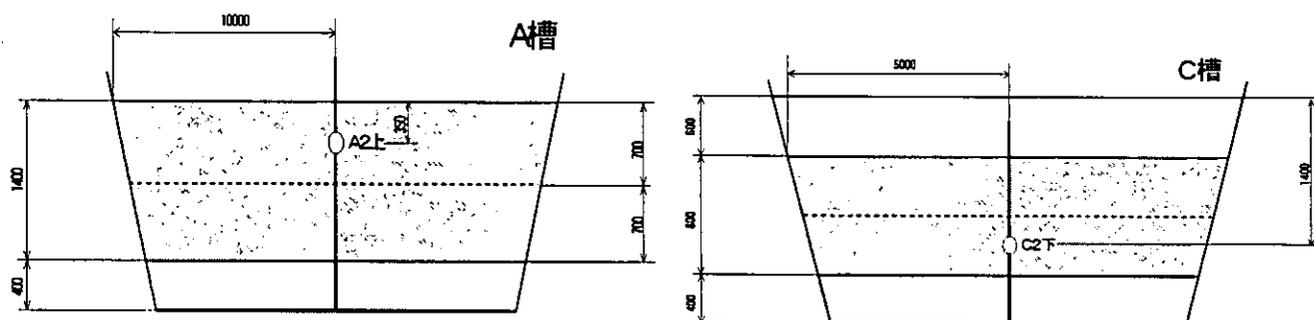


図 3-3-1 調査地点断面図

#### 3.3.1 安全性の確認

赤玉土を吸着ろ材として土壌浄化を行った際に安全性の面から土壌の調査を行った結果、いずれも「土壌の汚染に係る環境基準(平成 3 年 8 月 23 日環境庁告示第 46 号)」の基準値を越えるものはなく、すべて満足した値であった。

### 3.3.2 粒度分布

新品赤玉土および実験通水終了後の各槽における赤玉土の粒度分布調査結果について表 3-3-1 に示す。

表 3-3-1 土壤粒度分布調査結果

項目	新品赤玉土	A 槽上層部	C 槽下層部
石分 (75mm 以上) (%)	0.0	0.0	0.0
礫分 (2~75mm) (%)	96.2	58.7	36.8
砂分 (75 $\mu$ m~2mm) (%)	3.0	35.4	55.9
細粒分 (75mm 未満) (%)	0.8	5.9	7.3
均等係数	1.83	42.4	5.83
曲率係数	1.47	0.219	0.718
最大粒径 (mm)	19.0	19.0	9.50
60%粒径 (mm)	6.76	4.58	0.567
50%粒径 (mm)	6.55	3.46	0.332
30%粒径 (mm)	6.05	0.329	0.199
10%粒径 (mm)	3.69	0.108	0.0973

赤玉土の粒度分布は、新品赤玉土では、礫分 (2~75mm) が 96.2%と大半を占めているのに対し、実験通水終了後の A 槽上層部は、礫分が 60%に減少し、砂分 (75 $\mu$ m~2mm) が 35.4%に増加していた。また、C 槽下層部では、砂分が 55.9%、ついで礫分が 36.8%であった。礫分と砂分の比率は、A 槽上層部が 6 : 4、C 槽下層部は逆に 4 : 6 となっていた。

平均粒径 (50%粒径) は、新品赤玉土が 6.55mm に対し、A 槽上層部は 3.46mm、C 槽下層部は 0.332mm であり、通水速度が緩やかなほど細粒が多くなる傾向が見られた。

### 3.4 高速通水運転における浄化持続性および維持管理の検討

#### 3.4.1 通水性試験 (A 槽)

赤玉土を吸着ろ材として利用する場合、その浄化能は赤玉土と水との接触面積に比例する。赤玉土への通水期間が長期になると通水性が悪化することは昨年度までの実験で知見が得られており、通水性を悪化させる目詰まり等を防止することは実用化にあたって重要な課題である。

表 3-4-1 に示すように、試験の結果、表層部よりも表層下 25cm 部の通水性が良好であった。これは上層部の赤玉土が通水によって微細化し、表層の下部位に蓄積することで薄い粘土層を形成したためと推察される。

表 3-4-1 通水性の比較

	新品赤玉土	A槽表層部	A槽表層下 25cm
通水性 (L/min)	40.0	0.009~0.28	0.02~15.19

3.4.2 土壤浄化施設の上部表面構造の比較

3.4.1 の通水試験の結果から、これまでの実験における土壤浄化施設の土壤層上部表面構造(下向流)について閉塞状況や維持管理面から評価し表 3-4-2 にとりまとめた。

表 3-4-2 土壤浄化施設の土壤層上部表面構造の比較

項 目	土壤浄化施設上部表面構造			
充填材	砂 (φ0.4~0.8mm) 通水速度 5.0m/日	7号単粒度碎石 (φ2.5~5.0mm) 通水速度 1.5m/日	5号単粒度碎石 (φ13~20mm) 通水速度 5.0m/日	赤玉土 (中粒φ8.0mm程度) 通水速度 5.0m/日
主なSSの堆積部分	砂層表面	碎石層内の給水配管周辺部	碎石層および土壤層の全体	赤玉土壤層下層局部
閉塞時のメンテナンス性	◎	○	×	○
作業内容	表面の砂層の掻き取り	(給水配管周辺の碎石層攪拌)	(槽内の碎石、土壤の入替)	(上部掻き取り追加補充)
その他	1回/1~2ヶ月に砂表面の掻き取り作業が必要	連続通水で1年間の通水が可能	通水抵抗が低いので高速通水が可能	通水抵抗が低く高速通水可能
摘 要	夏場は緑藻や虫の発生が懸念	砂層と比較した場合回復作業量が多い	閉塞までの槽内へのSS堆積量が多い	流入部付近の赤玉土崩壊を防ぐため、緩衝材等の工夫が必要

現場土壤調査及び目視観察結果から、今年度土壤浄化施設では表層土より表層以深土の方が通水性は良好であり、赤玉土の土壤層の表層部における通水性の悪化は高速通水で崩壊した赤玉土による不透水層の形成によるものと推察された。

したがって、水あたりによる赤玉土崩壊を防止するための対策等を施すことにより高速通水で長期的に浄化効果が持続可能となると考えられる。

### 3. 4. 3 高速通水運転における浄化持続性の検討

通水速度が各水質成分に及ぼす影響を見るために、除去率および単位面積当たりの除去量についてとりまとめた。昨年度までの各通水速度における土壌浄化施設の断面図は、図 3-4-1 に示すとおりである。また、高速通水では通水抵抗の小さい槽構造の施設を用いて実験を行った。

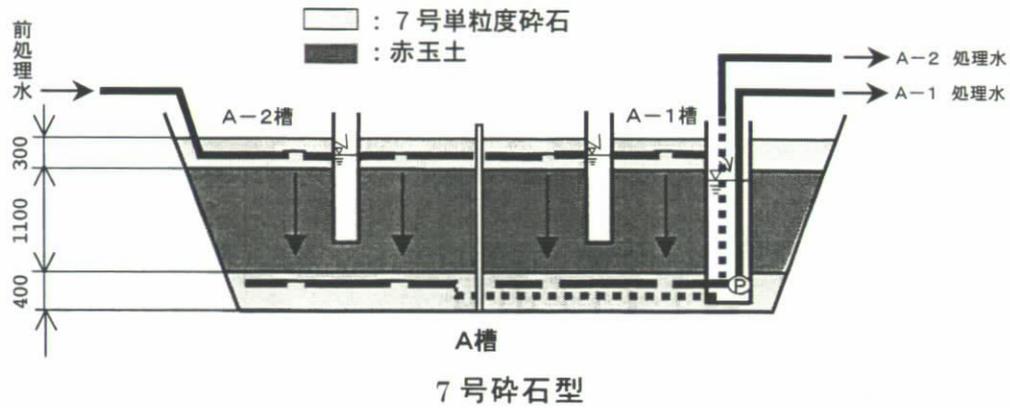


図 3-4-1 (1) 土壌浄化施設の断面図

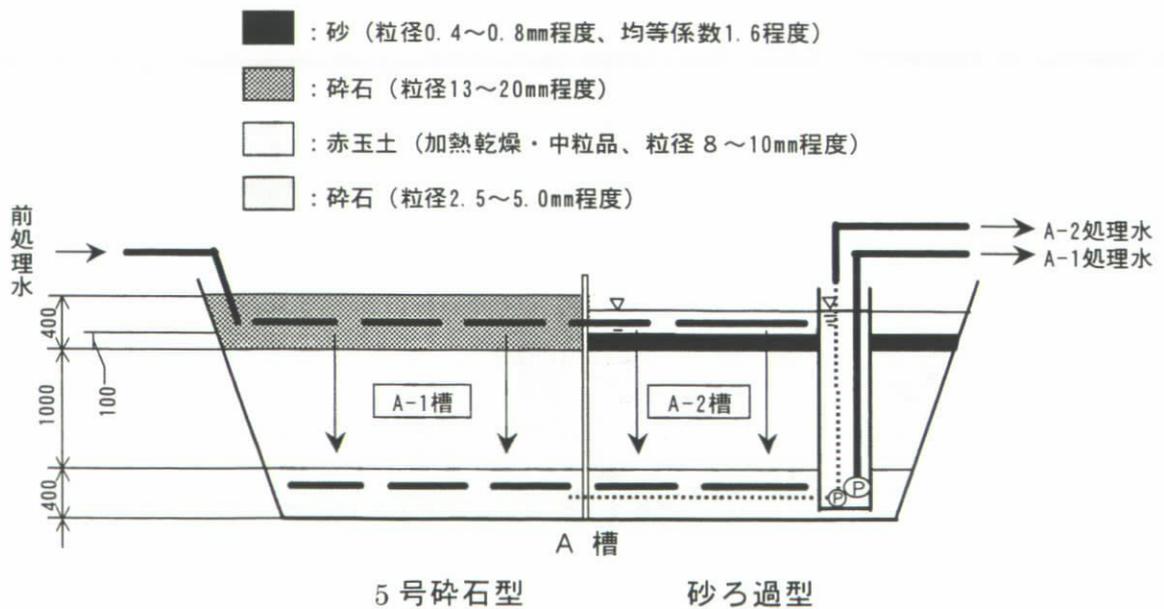


図 3-4-1 (2) 土壌浄化施設の断面図

### (1) T-Pの除去率と除去量

土壌によるリン除去は、土粒子間のろ過作用による物理的要因、微生物による生物学的要因および赤玉土に含まれる水酸化鉄または水酸化アルミ等による化学的要因などが挙げられる。

生物学的要因による除去の場合、その除去率は接触（滞留）時間に大きく左右される。しかし、水酸化鉄または水酸化アルミによる化学的反応の場合、その除去は瞬時に完了すると考えられ、リン除去は主に物理化学的要因によるものと推察される。

表 3-4-3 および図 3-4-2 に示すように、通水速度による除去率の差はほとんど見られなかった。したがって、リン除去を目的とする場合、通水速度 5.0m/日まで通水が可能であることが確認できた。

このことから、土壌槽の通水性が確保されれば、高速通水 5.0m/日でも良好な処理水質が得られると判断できる。

表 3-4-3 各通水速度における T-P 除去率および除去量

T-P	通水速度(m/日)						
	1.5m/日 (7号砕石型)	2.5m/日 (5号砕石型)	2.5m/日 (砂ろ過型)	5.0m/日 (5号砕石型)	5.0m/日 (砂ろ過型)	5.0m/日 (赤玉土型)	1.5m/日 (上向流)
除去率 (%)	86.3	84.3	89.9	84.4	85.6	81.5	77.8
除去量 (mg/m <sup>2</sup> ・日)	117	190	202	380	385	367	105

注) 1.5m/日におけるデータは、1998.6.1～1998.8.10の5回測定平均値(A-2槽)である。

2.5m/日におけるデータは、1999.8.23～1999.9.21の4回測定平均値である。

5.0m/日の5号砕石型および砂ろ過型におけるデータは、1999.9.22～2000.1.12の12回測定平均値である。

5.0m/日の赤玉土型におけるデータは、2000.7.25～2001.2.21の19回測定平均値である。

1.5m/日の上向流におけるデータは、2000.7.25～2001.2.21の18回測定平均値である。

除去量は、前処理水のT-P濃度が0.09mg/lとして試算した。

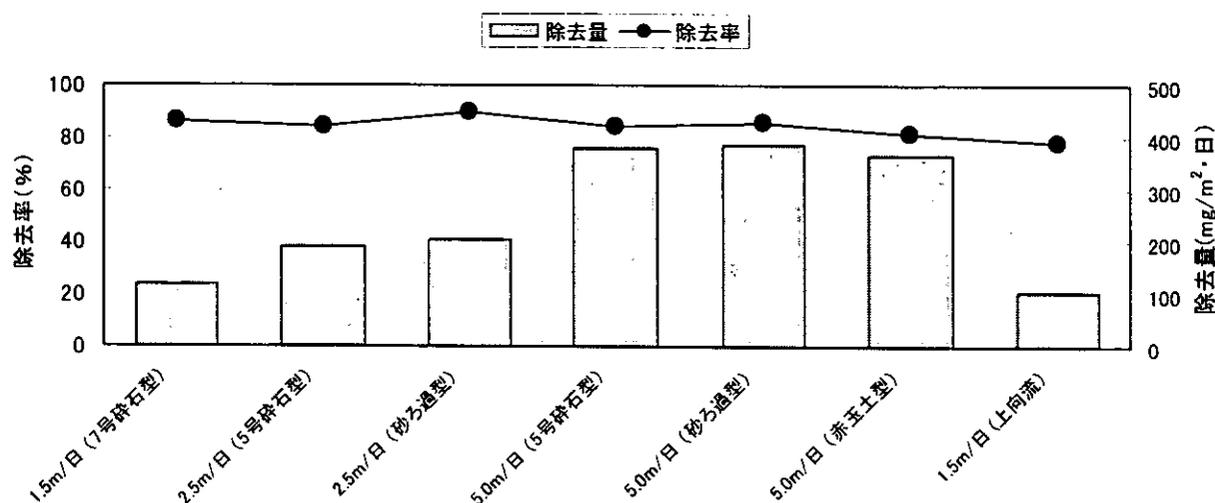


図 3-4-2 各通水速度における T-P 除去率および除去量

(2) S S の除去率と除去量

S S の除去率と単位面積当たりの除去量を表 3-4-4 および図 3-4-3 に示す。

表 3-4-4 各通水速度における S S 除去率および除去量

SS	通水速度(m/日)						
	1.5m/日 (7号砕石型)	2.5m/日 (5号砕石型)	2.5m/日 (砂ろ過型)	5.0m/日 (5号砕石型)	5.0m/日 (砂ろ過型)	5.0m/日 (赤玉土型)	1.5m/日 (H12上向流)
除去率 (%)	>90.7	>91.8	>91.8	90.5	>94.0	75.4	87.2
除去量 (mg/m <sup>2</sup> ・日)	>10.9	>18.4	>18.4	36.2	>37.6	30.2	10.5

注) 1.5m/日におけるデータは、1998.6.1～1998.8.10の5回測定平均値(A-2槽)である。  
 2.5m/日におけるデータは、1999.8.23～1999.9.21の4回測定平均値である。  
 5.0m/日の5号砕石型および砂ろ過型におけるデータは、1999.9.22～2000.1.12の12回測定平均値である。  
 5.0m/日の赤玉土型におけるデータは、2000.7.25～2001.2.21の19回測定平均値である。  
 1.5m/日の上向流におけるデータは、2000.7.25～2001.2.21の19回測定平均値である。  
 除去量は、前処理水のSS濃度が8.0mg/lとして試算した。

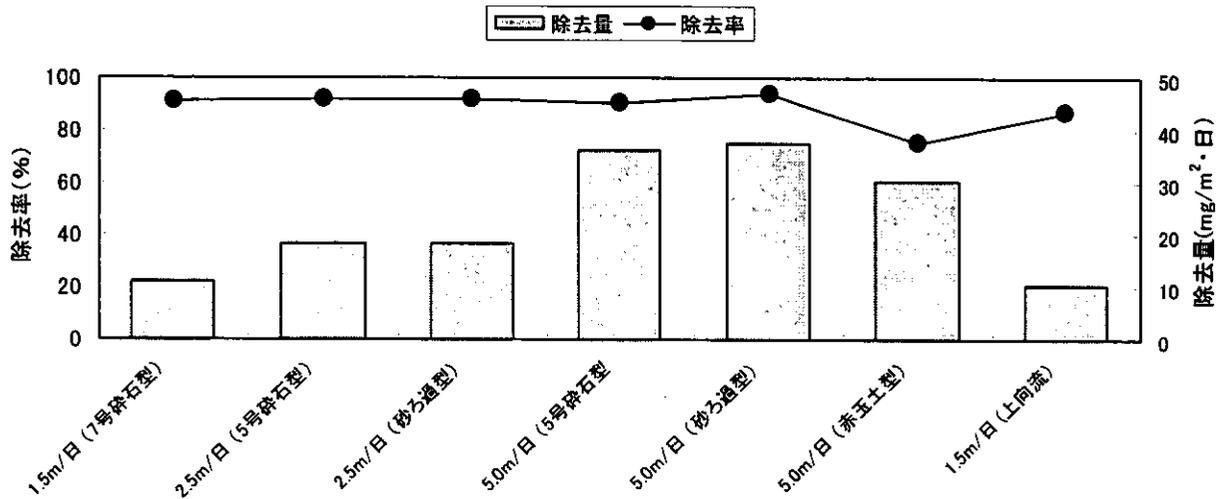


図 3-4-3 各通水速度における S S 除去率および除去量

赤玉土による S S の除去は、生物膜への捕集と赤玉土間の空隙への沈降水によると推察される。

除去率が 90% 以上になった昨年までと比べると、今年度の赤玉土型では除去率 75.4%、実施設想定型(H12 上向流)では除去率 87.2%と少し低い結果になった。

しかし、リンと同様 S S 除去量で評価すると、通水条件 5.0m/日が最適な浄化条件といえる。

S S はその除去機構から、接触面積の増大や滞留時間の延長によって除去率を向上させることができると考えられる。したがって、今後通水方式を工夫することで接触面積を拡大する手法を検討する必要がある。

### (3) CODの除去率と除去量

COD除去率と単位面積当たりの除去量を表 3-4-5 および図 3-4-4 に示す。

表 3-4-5 各通水速度におけるCOD除去率および除去量

COD	通水速度(m/日)						
	1.5m/日 (7号砕石型)	2.5m/日 (5号砕石型)	2.5m/日 (砂ろ過型)	5.0m/日 (5号砕石型)	5.0m/日 (砂ろ過型)	5.0m/日 (赤玉土型)	1.5m/日 (上向流)
除去率 (%)	80.8	81.3	78.1	62.5	59.4	50.6	46.9
除去量 (mg/m <sup>2</sup> ・日)	3.64	6.10	5.86	9.40	8.90	7.60	2.10

注) 1.5m/日におけるデータは、1998.6.1～1998.8.10の5回測定平均値(A-2槽)である。  
 2.5m/日におけるデータは、1999.8.23～1999.9.21の4回測定平均値である。  
 5.0m/日の5号砕石型および砂ろ過型におけるデータは、1999.9.22～2000.1.12の12回測定平均値である。  
 5.0m/日の赤玉土型におけるデータは、2000.7.25～2001.2.21の19回測定平均値である。  
 1.5m/日の上向流におけるデータは、2000.7.25～2000.1.21の19回測定平均値である。  
 除去量は、前処理水のCOD濃度が3.0mg/lとして試算した。

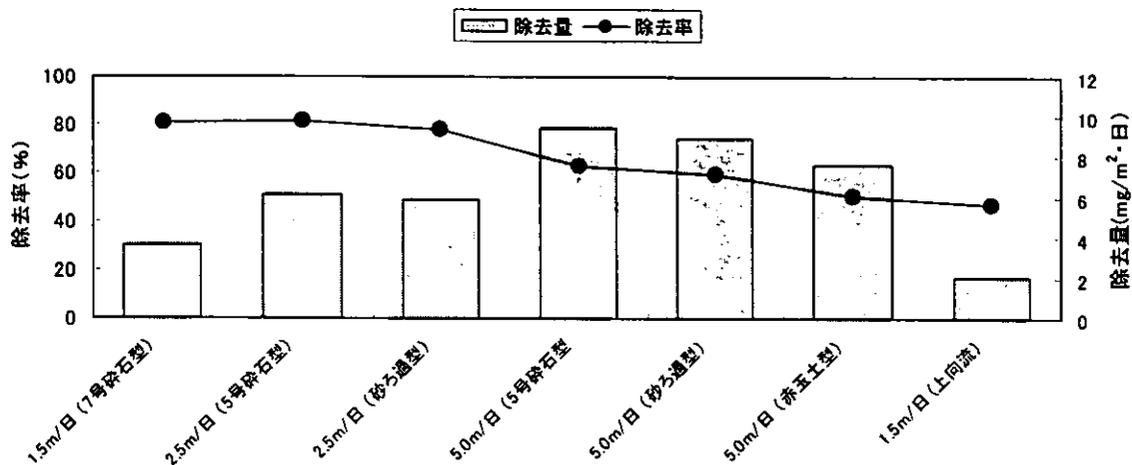


図 3-4-4 各通水速度におけるCOD除去率および除去量

下向流方式においては通水速度 1.5m/日の除去率 80.8%、通水速度 5.0m/日で除去率 50.6～62.5%という結果になった。実施想定型(H12 上向流)では通水速度 1.5m/日の除去率 46.9%で他と比較すると除去率が若干低かった。

通水速度が大きくなるほど、COD除去率が低下する傾向が見られる要因としては、①接触時間が短い、②高負荷運転が挙げられる。

また、今年度調査の 1.5m/日(上向流)の除去率が低かったのは、赤玉土層厚が薄いことによるものと推察される。

以上の結果からリンやSSと異なり、CODは通水速度の増大による除去率の低下は免れないものの、除去量で評価すれば通水速度 5.0m/日が最も有利な条件となる。

### (4) T-Nの除去率と除去量

T-N除去率と単位面積当たりの除去量を表 3-4-6 および図 3-4-5 に示す。

表 3-4-6 各通水速度における T-N 除去率および除去量

T-N	通水速度 (m/日)						
	1.5m/日 (7号砕石型)	2.5m/日 (5号砕石型)	2.5m/日 (砂ろ過型)	5.0m/日 (5号砕石型)	5.0m/日 (砂ろ過型)	5.0m/日 (赤玉土型)	1.5m/日 (上向流)
除去率 (%)	-1.2	7.7	24.2	6.8	12.8	6.3	1.0
除去量 (mg/m <sup>2</sup> ・日)	-	0.3	0.9	0.5	1.0	0.5	0.0

注) 1.5m/日におけるデータは、1998.6.1~1998.8.10の5回測定平均値(A-2槽)である。  
 2.5m/日におけるデータは、1999.8.23~1999.9.21の4回測定平均値である。  
 5.0m/日の5号砕石型および砂ろ過型におけるデータは、1999.9.22~2000.1.12の12回測定平均値である。  
 5.0m/日の赤玉土型におけるデータは、2000.7.25~2001.2.21の19回測定平均値である。  
 1.5m/日の上向流におけるデータは、2000.7.25~2000.1.2.21の19回測定平均値である。  
 除去量は、前処理水のT-N濃度が1.5mg/lとして試算した。

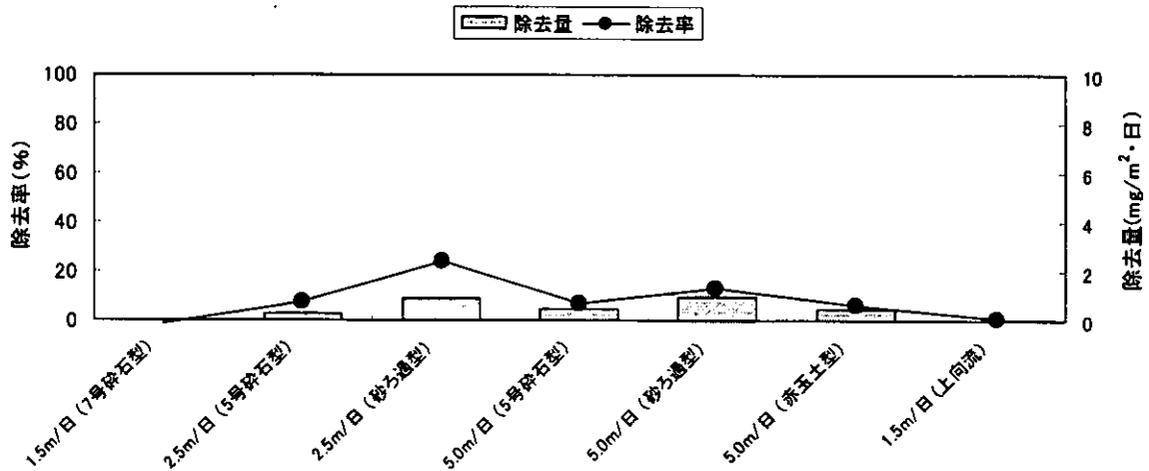


図 3-4-5 各通水速度における T-N 除去率および除去量

赤玉土による T-N の除去は、通水速度の違いによる明確な差異が見られにくい結果となった。

#### 4. まとめ

- (1) ヨシ水路による前処理施設は、今年度調査においても S S や懸濁態物質に対する除去効果が確認され、処理水 S S 濃度は年平均 8mg/L 以下の良好な除去能が得られた。
- (2) 赤玉土型の年間除去率は S S 72% (流入平均 5.5mg/L)、COD 50% (流入平均 4.0mg/L)、T-P 82% (流入平均 0.087mg/L) であった。
- (3) 赤玉土型における T-P の放流水濃度は平均 0.015mg/L と年間を通して安定していた。よって、土壌層の通水性が確保されれば高速通水 5.0m/日でも良好な処理水質が得られると判断できる。
- (4) COD に占める D-COD の比率は約 90% であり、流入河川水中のフミン質の除去に有効と考えられた。また、COD は高速通水 5.0m/日では低速通水 1.5m/日より除去率が若干低下した。その要因として接触時間の長短、汚濁負荷量の多少が挙げられるが、除去量で評価すれば通水速度 5.0m/日の方が大きく、効率的な浄化が可能であることが評価された。

## 5. 今後の課題

今年度の実験の結果、高速通水（5.0m/日）で除去率の低下がやや見られるものの、汚濁物質の除去量で評価すると概ね効率的な浄化が可能であることが判明した。ただ、赤玉土の団粒が崩壊することによる目詰まりが発生しやすいことが課題として残った。今後、通水機能を延命させることにより、さらなる高速通水、ひいては土壤浄化施設の小面積化を図ることが可能と考えられる。

下記に、土壤浄化施設の延命化および小面積化を図り、より効率的な浄化手法として具体化していくための方策を示す。

### (1) 赤玉土の再造粒

赤玉土はぜい弱な土質なため、土壤崩壊をおこしやすい。そのため、リン吸着性能が残っているにも関わらず通水性能が低下し、当初の浄化能力を全うできなくなる現象が発生しやすい。

浄化性能を損なわずに崩壊した赤玉土の再造粒や機械的強度を増強する方法を検討し、赤玉土本来のリン吸着性能が十分発揮できるように検討する。

### (2) 花卉植物による赤玉土の通水性能の延命

赤玉土槽の上層に花卉植物を栽培し、根による耕起効果や、根圏微生物が分泌する多糖類の土粒子の団粒効果による土壤槽の目詰まり抑制効果を検討する。通水性能の延命により、高速通水、小面積化をさらに進展させることが可能となる。

### (3) 通水方法最適化の検討

赤玉土が崩壊しにくい通水構造の検討を行い、(1)と同様、土壤浄化施設の機能を延命する通水方法が必要である。

流入水の水勢を弱める通水構造の検討を行い、施設の延命を図る。

本検討により土壤浄化施設のさらなる小面積化を図ることが可能となる。

### (4) 目詰まり管理指標の検討

赤玉土槽の目詰まりを簡易に定量化できる方法を検討し、施設の維持管理指標とするとともに、土壤槽の寿命判定が容易にできる構造を検討する必要がある。

### (5) 通水速度と吸着帯の関係定量化

小面積化ならびに高速運転をさらに押し進めるために、通水速度と吸着帯の幅の関係を定量化し、通水速度に見合った適正な土壤層の厚さを検討する。

今年度の業務にて通水速度の異なるA槽（5.0m/日）およびC槽（1.5m/日）の水質浄化能に大きな差はなかったため、目詰まりの課題を解決できれば、更なる高速通水が可能であると推察される。

---

## 実験担当者

国土交通省近畿地方整備局琵琶湖工事事務所

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構

水質調査課課長

水質調査課開発調整係長

実験センター所長

実験センター主任研究員

実験センター主任研究員

春木二三男

板坂 浩和

田井中善雄

堀野 善司

和田 桂子

## 7. 自然循環方式浄化実験（その2）

### 1. 目的

自然循環方式浄化実験施設は、水田の持つ自然の浄化機能を手本としており、本来自然が持っている物質循環の自然浄化機能を活かし、木炭や枯れ木、石などの自然の素材に加工を施したろ材に生物の定着を促すことを主体とした浄化装置として設計されている。

本施設は、平成11年4月13日より通水を開始し実験・調査を行っている。

本実験では、生活排水汚濁水路を対象として開発され実用化されている自然循環方式の河川水（汚濁物質が低濃度である水）及び代かき期間中に流出する農業排水の浄化能力の把握と、浄化能力の向上を目的としている。

昨年度、浄化能力の把握を主目的とし、本施設の水质調査を中心に行った結果、一定の処理効果が確認できた。そこで、本年度は、処理限界の最大水量の把握を主目的とし水质調査を行った。

### 2. 施設諸元

#### 2.1 実験施設の概要

施設の概略図を図2-1に示し、槽内寸法及び充填ろ材内容を表2-1に示す。

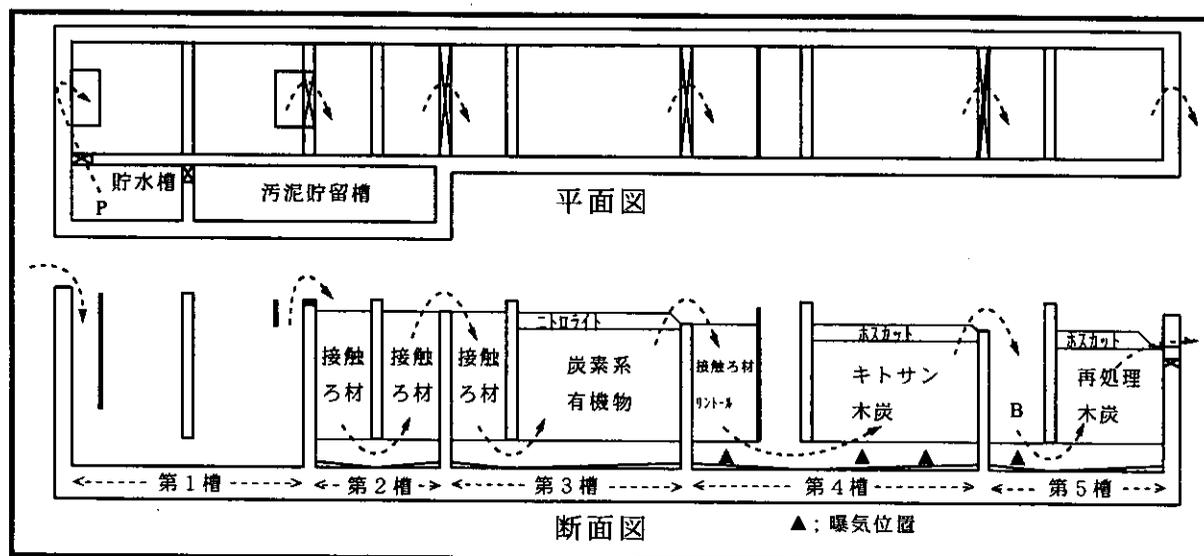


図2-1 施設概略図

表2-1 槽内寸法、充填ろ材内容

槽名	内寸法 (m)			充填ろ材内容
	幅	長	深	
沈殿槽	2.0	4.0	2.9	—
接触曝気槽	2.0	2.0	2.8	接触ろ材
炭素系有機物槽	2.0	4.0	2.6	接触ろ材、炭素系有機物、ゼオライト系鉱物
脱リ・キサン木炭槽	2.0	5.0	2.5	鉄系脱リ材・キサン木炭・石灰石
再処理木炭槽	2.0	3.0	2.3	再処理木炭、ゼオライト系鉱物

### 3. 実験内容

#### 3.1 実験条件

##### 3.1.1 通水開始日

平成 11 年 4 月 13 日

##### 3.1.2 浄化対象水

平成 11 年 4 月 13 日～平成 11 年 4 月 21 日	葉山川河川水
平成 11 年 4 月 21 日～平成 11 年 5 月 5 日	農業排水路水
平成 11 年 5 月 5 日～平成 12 年 4 月 28 日	葉山川河川水
平成 12 年 4 月 28 日～平成 12 年 5 月 5 日	農業排水路水
平成 12 年 5 月 5 日～平成 13 年 3 月末現在	葉山川河川水

##### 3.1.3 設定処理水量

平成 11 年 4 月 13 日～平成 11 年 8 月 18 日	50 m <sup>3</sup> /日
平成 11 年 8 月 18 日～平成 12 年 3 月 29 日	100 m <sup>3</sup> /日
平成 12 年 3 月 29 日～平成 12 年 8 月 17 日	150 m <sup>3</sup> /日
平成 12 年 8 月 17 日～平成 13 年 3 月末現在	200 m <sup>3</sup> /日

表2-2 実験条件一覧表

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
取水	葉山川	→											
	農業排水路	→											
流量	150 m <sup>3</sup> /日	→											
	200 m <sup>3</sup> /日	→											
汚泥返送作業					27					22			
余剰汚泥調査					27								
定期簡易調査		12	18	14	13	17	12	24	13	17	23	13	
定期詳細調査		28	30	30	26	31	29	31	24	21	31	28	
代かき期連続調査			2-5										

#### 3.2 浄化能力調査内容

##### 3.2.1 水質調査

週 2 回の現地での日常簡易測定、月 2 回の定期水質調査、代かき期に 4 日間の集中的な水質調査を実施。

それぞれの調査内容の概要について以下に示す。

##### 3.2.2 日常簡易測定

###### (1) 実施頻度

週 2 回

###### (2) 水質測定地点

流入水及び流出水

###### (3) 測定項目

水温, pH, EC, DO, 濁度, 透視度, (天候, 気温)

### 3.2.3 定期調査

#### (1) 定期簡易調査

##### ① 水質調査地点

図 3-1 に調査地点を示す。

No.1、No.2、No.3、No.4、No.5、No.6 地点

計 6 地点

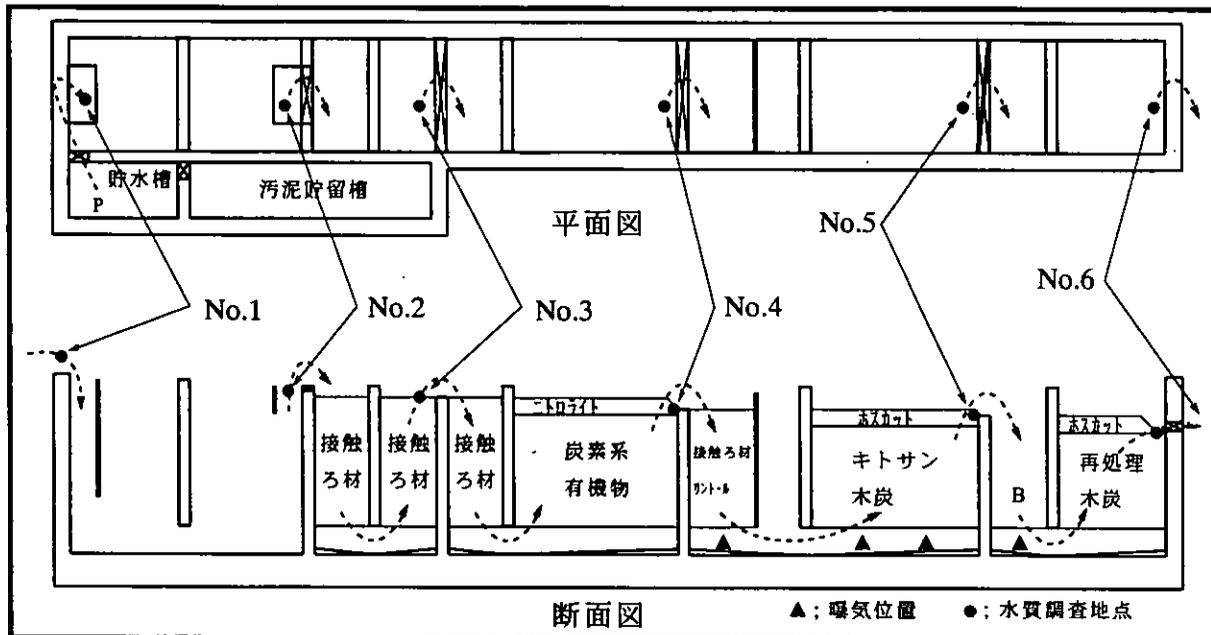


図3-1 水質調査地点

##### ② 調査項目

###### ・現地測定

水温, pH, EC, DO, 透視度, (天候, 気温)

###### ・水質分析

調査日の任意の時刻にサンプル採取したものについて分析を実施。

「水質分析項目」

SS, COD, D-COD, BOD, T-N,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ,  $\text{NO}_2^--\text{N}$

$\text{NO}_3^--\text{N}$ , T-P,  $\text{PO}_4^{3--}\text{P}$ , 色度, 濁度

#### (2) 定期詳細調査

##### ① 水質調査地点

No.1、No.2、No.3、No.4、No.5、No.6 地点 (図 3-1 参照)

##### ② 調査項目

###### ・現地測定

水温, pH, EC, DO, 透視度, ORP, (天候, 気温, 水量)

###### ・水質分析

調査日の 9:00 ~ 15:00 に、2 時間間隔にサンプル採取し地点ごとにコンポジットしたものについて分析を実施。

「水質分析項目」

SS, COD, D-COD, BOD, T-N,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ,  $\text{NO}_2^--\text{N}$

$\text{NO}_3^--\text{N}$ , T-P,  $\text{PO}_4^{3--}\text{P}$ , 色度, 濁度

### 3.2.4 代かき期連続調査

#### (1) 実施日

平成 11 年 5 月 2 日 17:00 ～ 5 日 15:00

#### (2) 水質調査地点

No.1、No.2、No.3、No.4、No.5、No.6 地点 (図 3-1 参照)

#### (3) 調査項目

##### ① 現地測定

水温, pH, EC, DO, 透視度, ORP, (天候, 気温, 水量)

##### ② 水質分析

調査期間中 2 時間間隔にサンプル採取し、各地点ごとにコンポジットしたものについて分析を実施。

「水質分析項目」

EC, SS, COD, D-COD, TOC, BOD, T-N,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$   
 $\text{NO}_2^--\text{N}$ ,  $\text{NO}_3^--\text{N}$ , T-P,  $\text{PO}_4^{3--}\text{P}$ , 色度, 濁度

### 3.3 余剰汚泥調査

#### 3.3.1 調査地点

沈殿槽 (4カ所), 汚泥貯留槽 (3カ所)

図 3-2 に調査地点を示す。

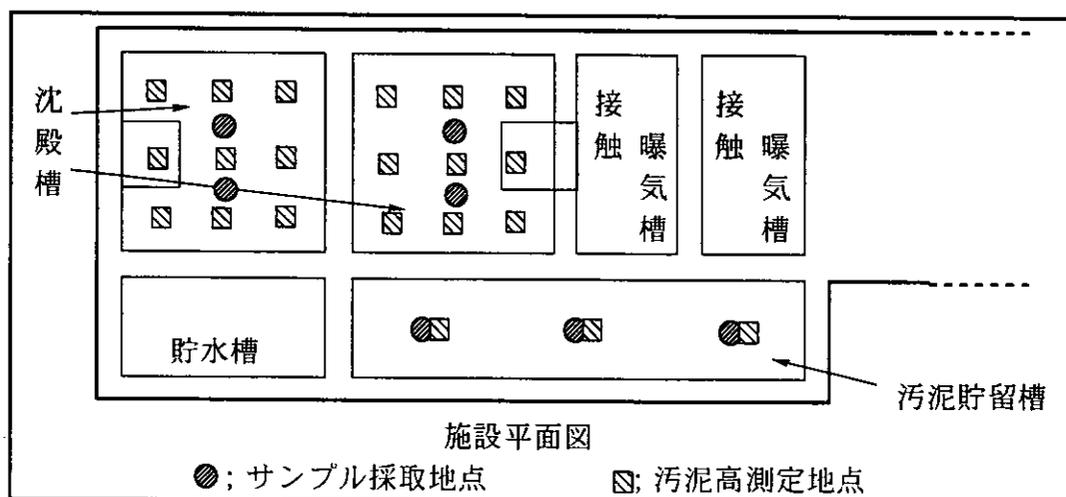


図3-2 余剰汚泥調査地点

#### 3.3.2 調査項目

##### (1) 現地調査

汚泥高 (堆積汚泥量)

##### (2) 汚泥分析

比重, 蒸発残留物, 強熱減量

採取サンプルを調査槽ごとにコンポジットしたものについて実施。

#### 4. 調査結果

##### 4.1 施設稼働状況

###### 4.1.1 水量

全ての水質調査時に流量測定を行った結果、設定水量通り流れていることを確認した。

平成 12 年 3 月 29 日～平成 12 年 8 月 17 日            150 m<sup>3</sup>/日

平成 12 年 8 月 17 日～平成 13 年 3 月末現在        200 m<sup>3</sup>/日

###### 4.1.2 稼働率

平成 12 年度の調査期間に、2 回の汚泥返送を実施した。この時の取水停止時間は合計 12 時間であった。また、日常点検時に流入ポンプが停止していたことが 2 回と、大きいごみを流入させないために設置している粗目スクリーンの詰まりのため極端に流入が少なかったことが 1 回あった他、短期的な取水停止はあったものの、それ以外は連続通水しており、長期的な取水停止はなかった。

##### 4.2 水質調査

###### 4.2.1 葉山川河川水浄化時水質調査

###### (1) 水質経日変化

詳細調査結果(コホジツ採水:計11回)を表4-1に示す。

水温, SS, COD, D-COD, BOD, T-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, T-P, 濁度, 色度の経日変化について図4-1～4-11に示す。

なお、調査時の天候は、以下の通りであった。

###### (詳細調査)

4月28日---	曇り	10月31日---	晴れ
5月30日---	晴れ	11月24日---	晴れ
6月30日---	曇り	12月31日---	晴れ
7月26日---	曇り	1月31日---	晴れ
8月31日---	曇り	2月28日---	雨
9月29日---	曇り		

表4-1 平均濃度・除去率・除去量

条件	項目	調査地点	SS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	色度 (度)	濁度 (度)
水量 150m <sup>3</sup> /日 全データ (データ数 4)	平均値	No.1	31.4	6.6	2.9	1.87	0.21	13.3	11.0
		No.2	23.9	6.1	2.4	1.75	0.18	13.6	10.3
		No.3	10.4	5.4	1.9	1.63	0.14	-	-
		No.4	5.7	6.1	2.0	1.36	0.13	-	-
		No.5	5.5	5.0	1.1	1.37	0.10	3.5	8.9
		No.6	0.5	3.9	0.7	1.28	0.08	2.9	6.8
	除去量(g/日)	4631	409	319	88	19	-	-	
除去率(%)	98	41	75	32	61	-	-		
水量 200m <sup>3</sup> /日 全データ (データ数 7)	平均値	No.1	10.9	4.5	1.8	1.62	0.10	6.8	16.2
		No.2	8.7	4.4	1.7	1.58	0.10	7.1	16.1
		No.3	3.5	3.9	1.4	1.54	0.08	-	-
		No.4	2.9	4.0	1.3	1.42	0.07	-	-
		No.5	3.5	3.9	0.9	1.39	0.08	3.6	12.0
		No.6	0.9	3.4	0.7	1.37	0.06	2.3	8.9
	除去量(g/日)	1994	229	227	49	9	-	-	
除去率(%)	91	25	63	15	43	-	-		

備考:下限値以下の数値は、下限値の半分の値で平均・除去率を求めた。

#### ①水温

詳細調査結果の各調査日ごとの平均値について図 4-1 に示す。

施設内での水温の変化はほとんどない。季節変動による変化が見られ、11 月調査時以降より水温が 15℃以下になっている。水温の季節変動については昨年度調査結果とほぼ同一の傾向であった。

#### ②SS

簡易調査結果及び詳細調査結果を図 4-2 に示す。

詳細調査の結果を見ると、8 月以前と以降で流入水濃度に約 20mg/l と大きな差がある。流出水濃度は、流入水濃度の変動に影響されることなく、概ね 1mg/l 以下であり、流量の変更による影響もほとんどないと考えられる。

#### ③COD及びD-COD

CODの簡易調査結果及び詳細調査結果を図 4-3 に示す。D-CODの簡易調査結果及び詳細調査結果を図 4-4 に示す。

若干の除去効果が認められた。CODの結果とD-CODの結果を比較すると、SS性CODの除去だけではなく、溶解性CODの除去が認められる。このことから、CODの除去に、ろ材による濾過除去だけではなく微生物活動による除去が関わっていると言える。COD及びD-CODともに、水温の下がる冬季には除去効果が低くなる傾向が見られた。

#### ④BOD

簡易調査結果及び詳細調査結果を図 4-5 に示す。

詳細調査の結果を見ると、流入水濃度が変動しているのに対して、流出水濃度は、ほぼ 1mg/l 以下であった。

#### ⑤ T-N及びNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N

T-Nの簡易調査結果及び詳細調査結果を図 4-6 に示す。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Nの簡易調査結果及び詳細調査結果を図 4-7 に示す。

T-Nの詳細調査結果を見ると、8月31日調査までは、除去効果が認められるものの9月以降では、除去効果は認められなかった。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Nについては、チャコ-ルバ付充填槽で硝化されていた。

#### ⑥ T-P及びPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P

T-Pの簡易調査結果及び詳細調査結果を図 4-8 に示す。PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-Pの簡易調査結果及び詳細調査結果を図 4-9 に示す。

T-Pについては、年間を通じて除去効果が認められるものの、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-Pについては除去効果が認められなかった。ことから、T-Pの除去効果のほとんどが、SS性Pの除去に起因しているものと考えられる。

#### ⑦ 濁度

詳細調査結果を図 4-10 に示す。

流入水と流出水を比較すると、除去効果が認められるものの、雨天時には流出水の濁度が晴天時よりも高い傾向が見られた。

#### ⑧ 色度

詳細調査結果を図 4-11 に示す。

流入水と流出水を比較すると、若干ではあるが除去効果が認められる。

雨天時には、濁度と逆に、流入水の色度が晴天時よりも低い傾向が見られた。

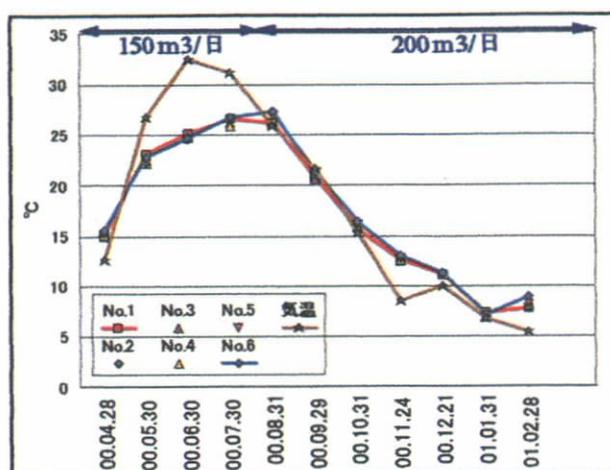


図4-1 水温経日変化

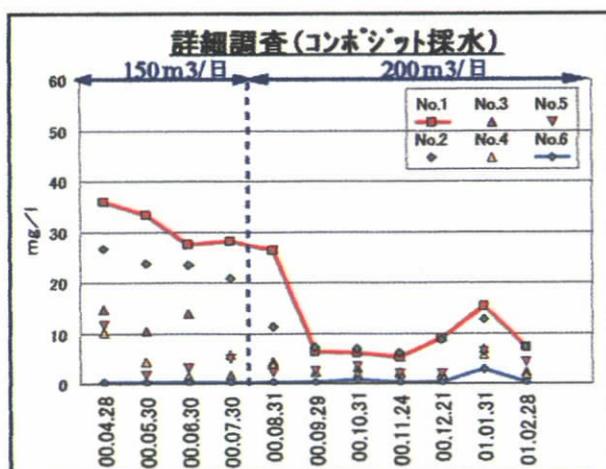


図4-2 SS経日変化

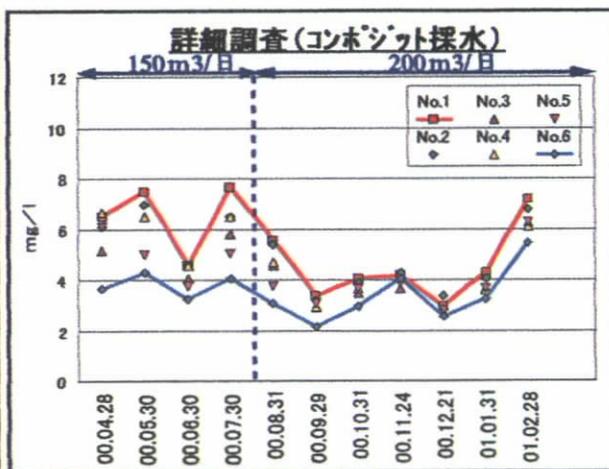


図4-3 COD経日変化

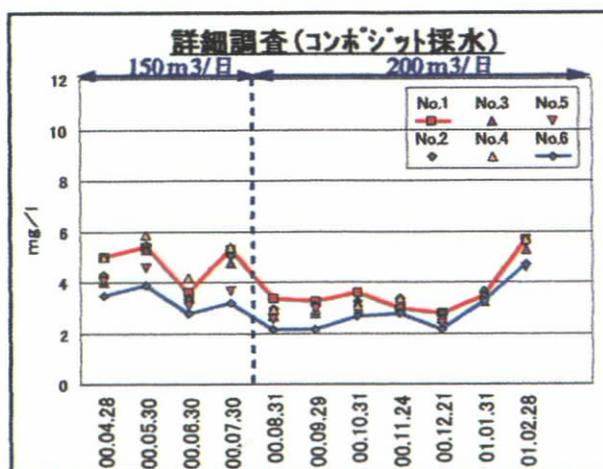


図4-4 D-COD経日変化

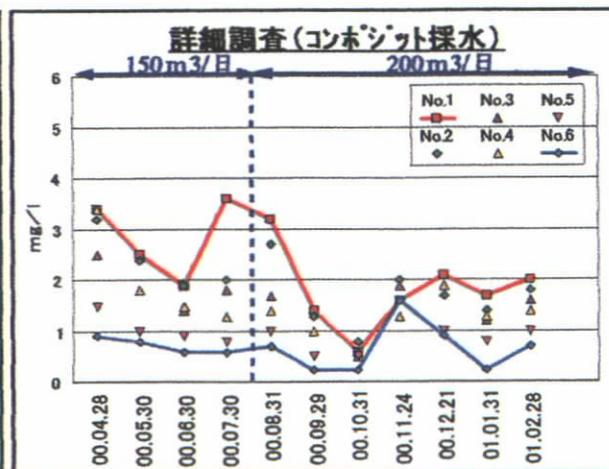


図4-5 BOD経日変化

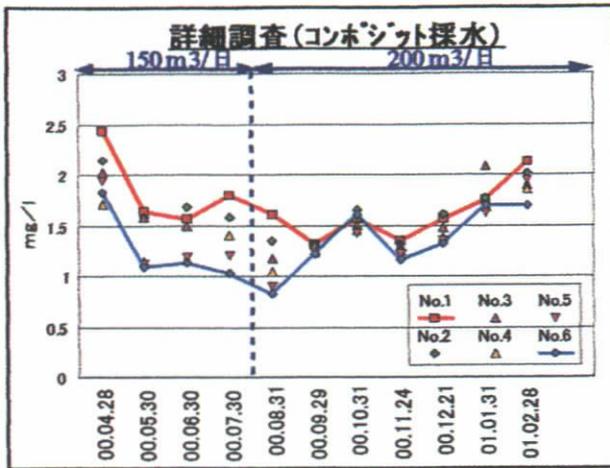


図4-6 T-N経日変化

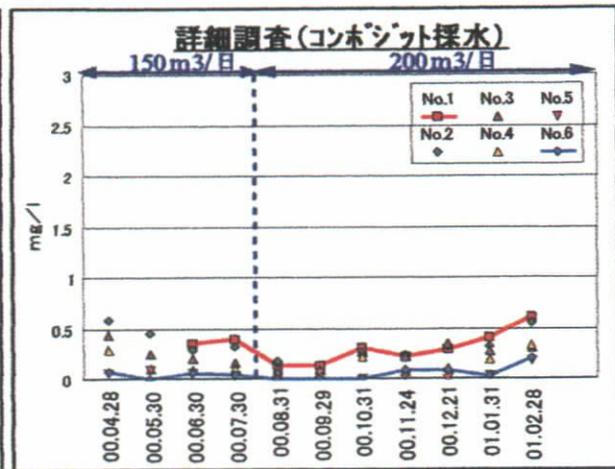


図4-7 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N経日変化

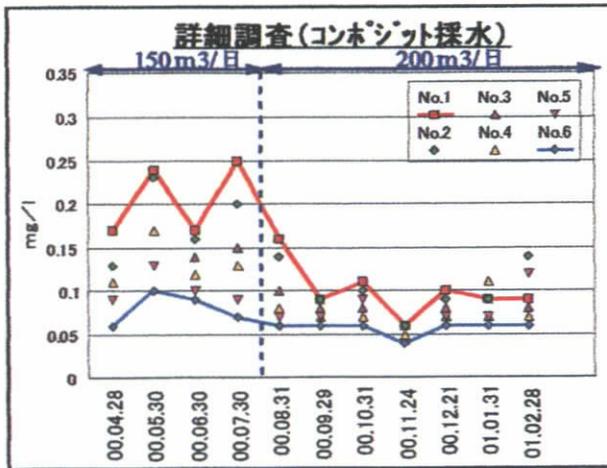


図4-8 T-P経日変化

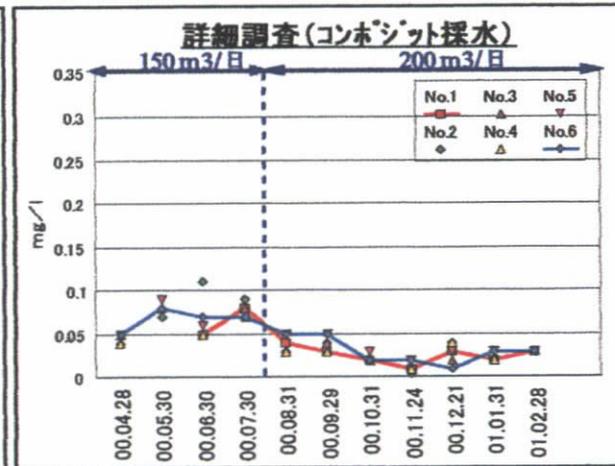


図4-9 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P経日変化

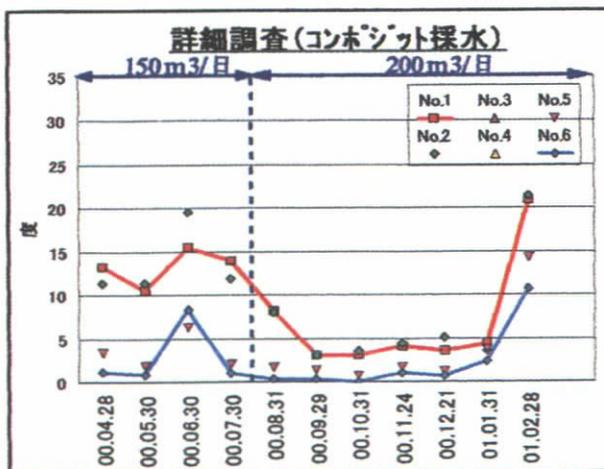


図4-10 濁度経日変化

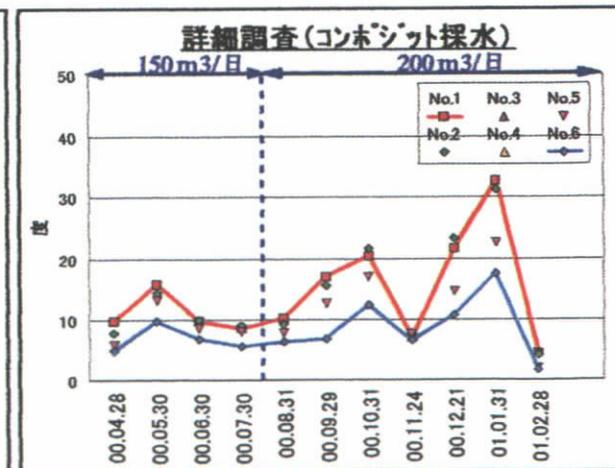


図4-11 色度経日変化

## (2) 浄化能力

### ① 水温別浄化能力

自然循環方式は微生物による浄化が主体となるため、水温による浄化能力の変動が考えられる。そこで、水量 200 m<sup>3</sup>/日条件下での各水質調査地点の平均値・除去率を水温が 15℃以上の時と 15℃未満の時のコンポジットサンプルについて算出した。表 4-2 に示す。

表4-2 水温別 平均濃度・除去率・除去量

条件	項目	調査地点	SS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	色度 (度)	濁度 (度)
水量 200m <sup>3</sup> /日 水温15℃ 以上の時 (データ数 3)	平均値	No.1	13.1	4.4	1.7	1.50	0.12	4.8	15.9
		No.2	8.6	4.2	1.6	1.44	0.11	4.9	15.4
		No.3	3.4	3.7	1.1	1.34	0.09	-	-
		No.4	2.9	3.8	1.0	1.25	0.07	-	-
		No.5	3	3.5	0.7	1.19	0.08	1.3	12.5
		No.6	0.7	2.8	0.4	1.23	0.06	0.3	8.6
	除去量(g/日)	2487	320	267	55	12	-	-	
除去率(%)	95	37	77	18	50	-	-		
水量 200m <sup>3</sup> /日 水温15℃ 未満の時 (データ数 3)	平均値	No.1	9.3	4.7	1.9	1.71	0.09	8.3	16.5
		No.2	8.8	4.7	1.7	1.69	0.1	8.7	16.6
		No.3	3.6	4.1	1.7	1.7	0.07	-	-
		No.4	3	4.1	1.5	1.55	0.08	-	-
		No.5	3.9	4.2	1.1	1.54	0.08	5.3	11.7
		No.6	1.2	3.9	0.9	1.48	0.06	3.8	9.2
	除去量(g/日)	1625	160	198	46	6	-	-	
除去率(%)	88	17	53	13	35	-	-		

備考; 下限値以下の数値は、下限値の半分の値で平均・除去率を求めた。

両者を比較すると、全体的に水温 15℃未満の時の方が除去能力が低い結果となった。季節変動によって、両者の流入水濃度に違いがあるため、除去量や除去率によって単純に比較はできない。そこで除去量や除去率に加え、流出水 (No.6 地点) 濃度の変化にも着目して比較してみた。

SS・T-P・濁度については、水温の変化及び流入水濃度の変化に関わらず、流出水濃度に大きな変化が見られない。

色度については、流入水濃度の変化の影響により差が生じているものと考えられる。

COD・BOD・T-Nについては、流入水濃度には大きな差がないにも関わらず、流出水濃度に差が認められる。このことから、水温低下による微生物活動の低下により差が生じているものと考えられる。

②水量別浄化力

平成 11 年度のデータを含め、水量別の平均値・除去率・除去量を水温 15℃未満の場合（水量 100 m<sup>3</sup>/日と 200 m<sup>3</sup>/日の比較）と水温 15℃以上の場合（水量 150 m<sup>3</sup>/日と 200 m<sup>3</sup>/日の比較）についてそれぞれ表 4-3 及び表 4-4 に示す。なお、コンポジットサンプルを使用した。

表4-3 水温15℃未満における水量別 平均濃度・除去率・除去量

条件	項目	調査地点	SS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	色度 (度)	濁度 (度)
水量 100m <sup>3</sup> /日 水温15℃ 未満の時 (データ数 5)	平均値	No.1	23.0	4.8	3.1	2.48	0.14	11.4	9.2
		No.2	15.4	4.7	3.6	2.58	0.12	14.3	8.0
		No.3	12.7	3.8	2.3	2.30	0.09	9.7	8.0
		No.4	7.9	4.5	2.1	2.21	0.09	5.1	7.8
		No.5	7.8	3.7	2.2	1.97	0.06	2.8	7.0
		No.6	3.1	3.4	1.3	1.80	0.05	2.0	6.2
	除去量(g/日)		2976	222	2.7	101	14	-	-
	除去率(%)		86	31	58	27	66	-	-
水量 200m <sup>3</sup> /日 水温15℃ 未満の時 (データ数 4)	平均値	No.1	9.3	4.7	1.9	1.71	0.09	8.3	16.5
		No.2	8.8	4.7	1.7	1.69	0.10	8.7	16.6
		No.3	3.6	4.1	1.7	1.70	0.07	-	-
		No.4	3.0	4.1	1.5	11.55	0.08	-	-
		No.5	3.9	4.2	1.1	1.54	0.08	5.3	11.7
		No.6	1.2	3.9	0.9	1.48	0.06	3.8	9.2
	除去量(g/日)		1625	160	198	46	6	-	-
	除去率(%)		88	17	53	13	35	-	-

備考: 下限値以下の数値は、下限値の半分の値で平均・除去率を求めた。

表4-4 水温15℃以上における水量別 平均濃度・除去率・除去量

条件	項目	調査地点	SS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	色度 (度)	濁度 (度)
水量 150m <sup>3</sup> /日 水温15℃ 以上の時 (データ数 4)	平均値	No.1	31.4	6.6	2.9	1.87	0.21	13.3	11.0
		No.2	23.9	6.1	2.4	1.75	0.18	13.6	10.3
		No.3	10.4	5.4	1.9	1.63	0.14	-	-
		No.4	5.7	6.1	2.0	1.36	0.13	-	-
		No.5	5.5	5.0	1.1	1.37	0.10	3.5	8.9
		No.6	0.5	3.9	0.7	1.28	0.08	2.9	6.8
	除去量(g/日)		4631	409	319	88	19	-	-
	除去率(%)		98	41	75	32	61	-	-
水量 200m <sup>3</sup> /日 水温15℃ 以上の時 (データ数 3)	平均値	No.1	13.1	4.4	1.7	1.50	0.12	4.8	15.9
		No.2	8.6	4.2	1.6	1.44	0.11	4.9	15.4
		No.3	3.4	3.7	1.1	1.34	0.09	-	-
		No.4	2.9	3.8	1.0	1.25	0.07	-	-
		No.5	3.0	3.5	0.7	1.19	0.08	1.3	12.5
		No.6	0.7	2.8	0.4	1.23	0.06	0.3	8.6
	除去量(g/日)		2487	320	267	55	12	-	-
	除去率(%)		95	37	77	18	50	-	-

備考: 下限値以下の数値は、下限値の半分の値で平均・除去率を求めた。

それぞれの水量時の平均流入水濃度に違いがあるため、除去量や除去率によって単純に比較はできない。そこで除去量や除去率に加え、流出水 (No.6 地点) 濃度の変化にも着目して比較してみた。SS・T-P・濁度については、水量の変化が関係していると思われる流出水濃度の変化は認められない。これらの項目については、さらに水量を増やしても同等の流出水濃度が得られる可能性があるものと考えられる。COD・BODについては、水量を増やすことによって除去能力に低下が見られるものと予想されたが、逆に水量が多い時の方がよい結果となった。この原因としては、設置後年数が経つにしたがい、炭素系有機物からの炭素源が通水開始当初より低下していることと、施設内の微生物量が安定したためと考えられる。これらの項目についてもさらに水量を増やしても同等の流出水濃度が得られる可能性があるものと考えられる。T-Nについては、水温低下による微生物活動の低下の影響と同時に水量を増加させることによる滞留時間の減少により浄化能力が低下したのものと考えられる。

### ③形態別浄化能力

COD、D-COD、T-N、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{NO}_2^--\text{N}$ 、 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 、T-P、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ について、水量  $200\text{ m}^3/\text{日}$  条件下での各水質調査地点の平均値をコンジットサンプルについて算出した。表 4-5 に示す。

表4-5  $200\text{ m}^3/\text{日}$  条件下における形態別 平均濃度・除去率・除去量

条件	項目	調査地点	COD (mg/l)	D-COD (mg/l)	T-N (mg/l)	$\text{NH}_4^+-\text{N}$ (mg/l)	$\text{NO}_2^--\text{N}$ (mg/l)	$\text{NO}_3^--\text{N}$ (mg/l)	T-P (mg/l)	$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ (mg/l)
水量 $200\text{ m}^3/\text{日}$ 全データ (データ数 4)	平均値	No.1	4.5	3.6	1.62	0.31	0.04	0.93	0.1	0.03
		No.2	4.4	3.6	1.58	0.28	0.04	0.92	0.1	0.03
		No.3	3.9	3.3	1.54	0.23	0.03	1.01	0.1	0.02
		No.4	4.0	3.4	1.42	0.15	0.01	1.02	0.1	0.03
		No.5	3.9	3.1	1.39	0.05	0.01	1.12	0.1	0.03
		No.6	3.4	2.9	1.37	0.07	0.01	1.14	0.1	0.03
	除去量(g/日)		229	149	49	48	7	-43	9	-1
除去率(%)		25	21	15	79	83	-23	43	-17	

備考: 下限値以下の数値は、下限値の半分の値で平均・除去率を求めた。

#### ・COD

COD除去率 25 % の内 16 % 分が D-COD 除去であった。

残りの 9 % はおおむね SS に起因する COD の除去であると仮定すると、SS の濾過の相乗効果による除去よりも、微生物活動に起因する除去の方が浄化能力に対する寄与率が高いこととなる。

#### ・T-N

T-N 除去率 15 % の内 4 % 分が無機態 N ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{NO}_2^--\text{N}$ 、 $\text{NO}_3^--\text{N}$  の含量) であった。残りの 11 % はおおむね SS に起因する T-N の除去であると仮定すると、硝化脱窒による除去よりも、SS 濾過の相乗効果による除去の方が浄化能力に対する寄与率が高いこととなる。

#### ・T-P

$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  除去以外の T-P の除去をおおむね SS に起因する T-P の除去であると仮定すると、T-P 除去率 9 % のほぼ全てが SS に起因する除去である。

#### 4.2.2 代かき期農業排水路水浄化時水質調査

平成12年4月28日に取水を葉山川から農業排水路に変更し、平成12年5月5日（水質調査終了後）まで通水を行った。

この代かき期における農業排水路水の浄化能力調査を平成12年5月2日～5日に行った。調査結果を示す。

なお、調査時の天候は以下の通りであった。

平成12年5月2日――曇り

平成12年5月4日――晴れ

平成12年5月3日――晴れ

平成12年5月5日――晴れ

##### (1) 水質経時変化

###### ①SS

水質調査結果を図4-13に示す。

流入水は57mg/lから30mg/lと大きく変動しているが、それと比較すると流出水には大きな変化は見られない。5月2日17時から5月3日7時にかかえての流出水の濃度がほかの時間帯と比較すると高くなっている。これは、本調査期間以前の流入水濃度の影響を受けているものと考えられる。

###### ②COD及びD-COD

水質調査結果を図4-14に示す。

流入水及び流出水ともに大きな濃度変化は見られない。COD及びD-CODともに一定の除去効果が認められる。

###### ③T-N

水質調査結果を図4-15に示す。

流入水濃度の変化に影響されるように流出水濃度が変化しており、一定の除去効果が認められる。

###### ④T-P及び $PO_4^{3-}-P$

水質調査結果を図4-16に示す。

T-P及び $PO_4^{3-}-P$ ともに大きな経時変化はない。T-Pについては一定の除去効果が認められるが、 $PO_4^{3-}-P$ の結果を見ると、除去されていることが認められないことから、T-Pの除去効果のほとんどが、SS性Pの除去に起因しているものと考えられる。

###### ⑤濁度

水質調査結果を図4-17に示す。

流入水は49.6度から21.5度と大きく変動しているが、それと比較すると流出水には大きな変化は見られない。

5月2日17時から5月3日7時にかかえての流出水の測定値がほかの時間帯と比較すると高くなっている。これは、SSと同様に本調査期間以前の流入水濃度の影響を受けているものと考えられる。

###### ⑥色度

水質調査結果を図4-18に示す。

5月3日17時から5月4日7時にかけて流入水にピークが見られる。それと連動するがたちで、流出水に5月4日9時から15時にかけてピークが見られた。

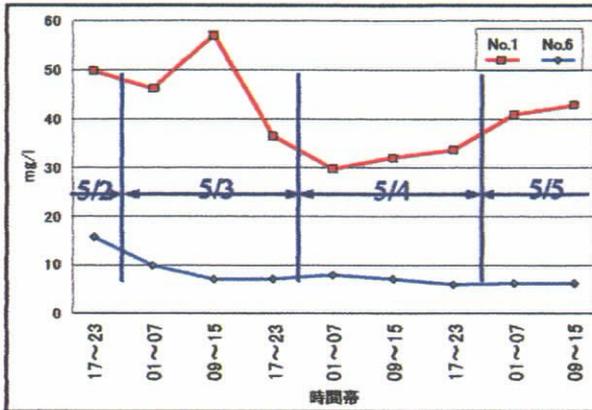
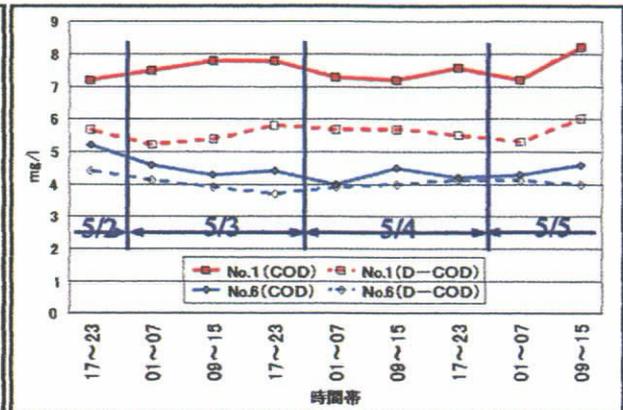


図4-13 SS経時変化



COD及びD-COD経時変化

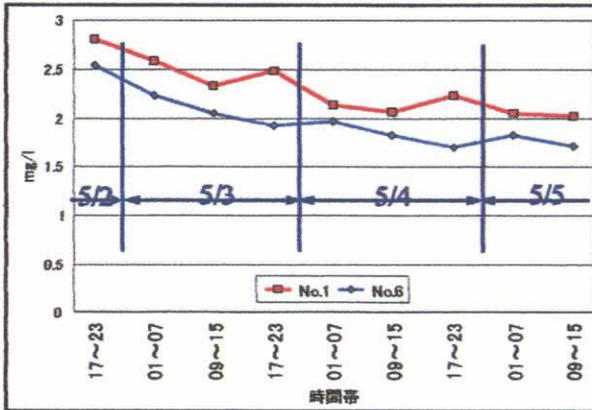


図4-15 T-N経時変化

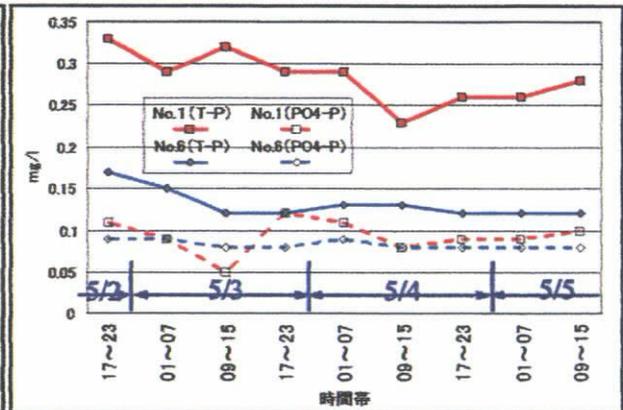


図4-16 T-P及び $PO_4^{3-}$ -P経時変化

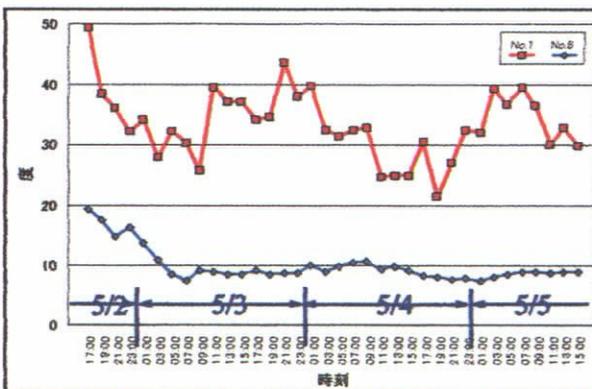


図4-17 濁度経時変化

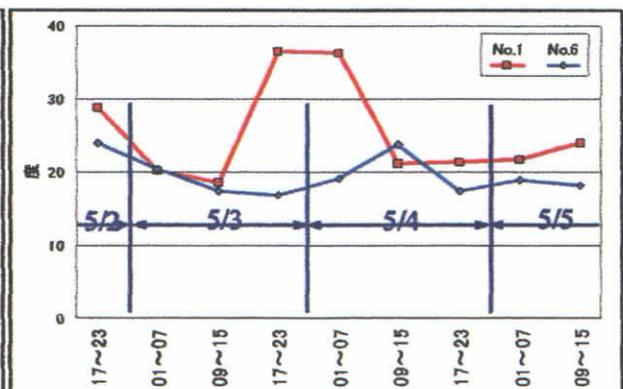


図4-18 色度経時変化

## (2) 浄化能力

平成 11 年度の代かき期調査結果との比較を表 4-6 に示す。

表4-6 水量別 平均濃度・除去率・除去量

条件	項目	調査地点	SS (mg/l)	COD (mg/l)	D-COD (mg/l)	BOD (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	色度 (度)	濁度 (度)
水量 50m <sup>3</sup> /日 全データ (データ数 10)	平均值	No.1	64.3	10.0	-	5.0	4.50	0.37	-	-
		No.6	4.7	9.2	-	2.0	1.69	0.09	-	-
	除去量(g/日)		2980	38	-	153	141	14	-	-
	除去率(%)		93	8	-	61	63	77	-	-
水量 150m <sup>3</sup> /日 全データ (データ数 3)	平均值	No.1	40.9	7.5	5.6	3.2	2.31	0.28	25.4	32.5
		No.6	8.2	4.5	4.0	1.2	1.98	0.13	19.6	9.7
	除去量(g/日)		6547	616	313	407	65	30	-	-
	除去率(%)		80	41	28	64	14	54	-	-

備考; 下限値以下の数値は、下限値の半分の値で平均・除去率を求めた。

平成 11 年度の代かき期調査時は通水経過日数が 1 ヶ月にも満たない時であったために単純には比較できないが、SS・T-N・T-P に水量差が関係していると考えられる能力差が認められる。

COD・BOD の差については平成 11 年度の代かき期調査時は通水経過日数が 1 ヶ月にも満たないことが大きく影響しているものと考えられる。

### 4.3 施設滞留時間

代かき期農業排水路水浄化時水質調査時に測定した EC 測定結果を図 4-19 に示す。

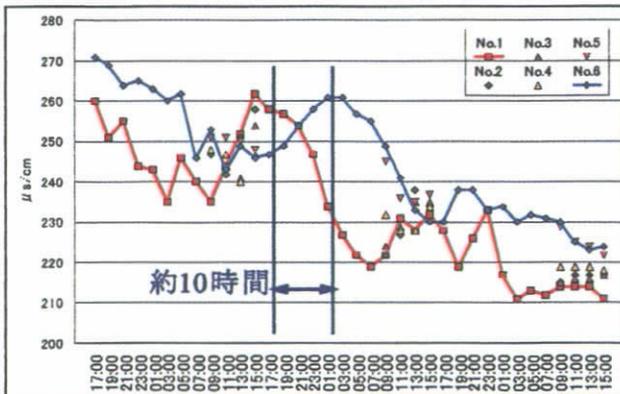


図4-19 EC 経時変化

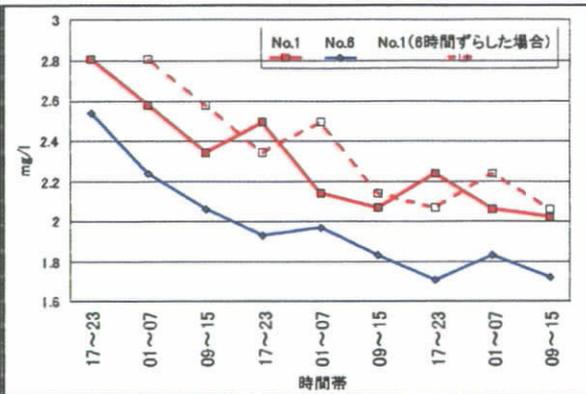


図4-20 T-N 経時変化

流入水では、5 月 3 日 17:00 付近にピークが見られ、流出水でそのピークに連動するかたちで、5 月 4 日 3:00 付近にピークが見られた。2 時間間隔の測定であるためおおまかなピークしか得られていないが、この EC 測定結果より、実滞留時間は、約 10 時間程度であることがわかった。

これは、ろ材空隙率等から算出した滞留時間 11.8 時間 (処理水量 150 m<sup>3</sup>/日の時) に近い数値である。

また、図 4-15 を見ると、流出水濃度が流入水濃度に大きく影響されていることが考えられたため、流入水のデータを 6 時間ずらしてグラフ作成した。図 4-20 に示す (サンプルは 6 時間分のコンポジットサンプル)。流入水と流出水の濃度変化が連動していることがわかる。この傾向は濁度でも見られた。

#### 4.4 余剰汚泥調査

##### 4.4.1 余剰汚泥量推移

平成 11 年度データを含め、余剰汚泥量推移を表 4-7 に示す。

表4-7 余剰汚泥量推移

調査日	時刻	調査地点	比重	含水率	強熱減量	汚泥量				
						全汚泥量		水分量	有機物量	無機物量
						(L)	(kg)			
99.07.16.	11:30	沈殿槽	1.13	74.5	21.9	336	380	283	21	76
99.07.16.	11:30	汚泥貯留槽	-	-	-	0	0	0	0	0
00.02.17.	9:00	沈殿槽	1.14	89	18.8	924	1053	937	22	94
00.02.17.	9:00	汚泥貯留槽	1.10	92.8	54	653	718	687	28	24
00.07.27.	10:00	沈殿槽上流	1.12	79.3	17	732	820	650	29	141
00.07.27.	10:00	沈殿槽下流	1.07	87	13.3	584	625	544	11	70
00.07.27.	9:00	汚泥貯留槽	1.06	88.4	25.9	800	848	750	25	73

沈殿槽の汚泥は砂状であり、流入側に多く堆積する傾向が見られた。

表 4-7 を見ると、沈殿槽の汚泥は、含水率・強熱減量とも低い数値が出ており、比重も大きいことから、土砂が多くを占めるものと考えられる。

平成 12 年 7 月 27 日 汚泥貯留槽堆積汚泥量 --- 1316 L

沈殿槽堆積汚泥量 ----- 1740 L (汚泥高の平均値より算出)

##### 4.4.2 S S 除去量と汚泥量の関係

水質詳細調査 (コンポジットサンプル) の結果から通水開始から平成 12 年 7 月末までの S S 除去量を算出した。

$$\begin{array}{r}
 975\text{g/日} \times 30\text{日} \times 4\text{ヶ月} \div 1000 = 117\text{kg} \quad (50\text{ m}^3/\text{日の時}) \\
 1566\text{g/日} \times 30\text{日} \times 7\text{ヶ月} \div 1000 = 329\text{kg} \quad (100\text{ m}^3/\text{日の時}) \\
 +) \quad 4631\text{g/日} \times 30\text{日} \times 5\text{ヶ月} \div 1000 = 695\text{kg} \quad (150\text{ m}^3/\text{日の時}) \\
 \hline
 \text{合計} \quad \quad \quad 1141\text{kg}
 \end{array}$$

7 月 27 日での余剰汚泥量は 349kg (乾物) であることから、浄化した S S 中の 3 分の 1 が施設内に溜まり、残りの 3 分の 2 は消化されたこととなる。

## 5. まとめ (評価)

### 5.1 処理限界の最大水量の把握

#### (1) S S

本実験の最大水量である 200 m<sup>3</sup>/日でも安定した処理が行われていた。このことから処理限界は 200 m<sup>3</sup>/日以上であると言える。

しかし、農業排水浄化時には、流入水が 40.9mg/l に対し流出水が 8.2mg/l であり、流出水濃度が葉山川河川水浄化時と比較して高い結果となった。葉山川河川水浄化時でも流入水が 30mg/l 以上になることがあった 16 が安定して除去されていることから、農業排水と葉山川河川水とでは S S の性状が違っていることが考えられる。

代かき期の農業排水には粘土質の細かい粒子が多く含まれていることが予想され、このような処理対象水に対しては 150 m<sup>3</sup>/日 (農業排水浄化実験水量) では浄化が難しいものと考えられる。

また、葉山川河川浄化時では、第 3 槽 (No.4 地点) までで処理の大半が行われているため、低濃度に汚染された排水を処理対象とする場合、処理目標水質濃度によっては、現在の施設規模よりもコンパクトな規模で浄化が可能であることが予想される。

#### (2) COD

高い除去率ではないものの、水量 200 m<sup>3</sup>/日条件下においても一定の除去効果が認められた。その除去効果は、D-COD の測定結果から単なる S S 濾過による相乗効果だけではなく、生物処理による除去であることが確認できた。

しかし、水温低下時に除去効果が低下する傾向が見られた。

また、S S 同様処理の大半が第 3 槽 (No.4 地点) までで行われているため、低濃度に汚染された排水を処理対象とする場合、処理目標水質濃度によっては、現在の施設規模よりもコンパクトな規模で浄化が可能であることが予想される。

#### (3) BOD

流入水濃度が約 3mg/l と非常に低濃度であるため、大きな除去率は得られなかったが、流出水濃度はほとんどが 1mg/l 以下と非常に安定して除去されていた。

しかし、BOD についても水温低下時に除去効果が低下する傾向が見られた。

また、処理の大半が第 3 槽 (No.4 地点) までで行われているため、低濃度に汚染された排水を処理対象とする場合、処理目標水質濃度によっては、現在の施設規模よりもコンパクトな規模で浄化が可能であることが予想される。

#### (4) T-N

水量の増加に対して顕著に除去能力の低下が見られた。また水温低下や流入水の BOD 濃度が低いことなどが影響しているものと考えられる。

#### (5) T-P

水量の変動に対してあまり変化が見られなかった。しかし、その除去能力は S S 濾過による相乗効果が大半を占めていることが考えられ、鉄系脱リン材によるリン除去はほとんど確認できなかった。流出水において、T-P と P O<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P 濃度が年間を通じてほとんど同じであることから、鉄脱リン材によるリン除去は、流入水 P O<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P 濃度が 0.1mg/l 条件下では適さないと考えられる。

## (6) 濁度

SS同様、本実験の最大水量である 200 m<sup>3</sup>/日でも安定した処理が行われていた。このことから処理限界は 200 m<sup>3</sup>/日以上であると言える。

## (7) 色度

水量 200 m<sup>3</sup>/日条件下においても安定した除去効果が確認できた。

## 5.2 滞留時間の把握

代かき期のEC経時変化やT-N経時変化を見ると、水量 150 m<sup>3</sup>/日条件下において、約 10 時間程度の滞留時間がとれていることがわかった。

しかし、EC経時変化のピーク形状を見ると、流入水のピークの形と流出水のピークの形が類似しており、流出水のピーク形状が流入水のピーク形状に対してあまりなだらかになっていないことがわかる。

このことから、施設内であまり攪拌されておらず、押し出される形で流出していることが考えられる。

ろ材との接触効率等を考えた場合、施設内でもっと攪拌され、流出水のピークがなだらかになることが望ましい。そうすることで、さらに処理能力を向上させることが可能であると考えられる。

## 6. 今後の課題

現状の施設での処理能力の把握ができたことから、今後、処理対象を絞り処理能力の向上をはかる必要がある。

そこで、次年度では、処理対象として窒素に絞り、曝気量の最適化、処理水のろ材に対する接触効率、余剰汚泥中の栄養源の有効利用等により処理能力の向上を目指したいと考えている。

---

### 実験担当者

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構  
財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構  
東洋電化工業株式会社  
東洋電化工業株式会社

実験センター所長  
実験センター研究員  
環境事業本部長  
環境事業本部

田井中善雄  
三井 光彦  
高尾 圭一  
三宮 秀治

## 8. 太陽エネルギーを用いたひも状接触材方式 浄化実験（その2）

### 1. 目的

琵琶湖水域は20数余りの内湖を有しており<sup>1)</sup>、その内湖や入り組んだ湖畔等の閉鎖的水域は滞留しやすく、植物プランクトンによる水質汚濁が進行しやすい<sup>2)</sup>。特に植物プランクトンが過剰に増殖すると、アオコ発生等の水質障害を引き起こす。またその汚濁水域は時期や気象等の条件により、その発生個所も特定できない場合が多い。このような汚濁水域には、高い浄化性能を有し保守性に優れ、かつ自然エネルギーを利用して省エネを図る等、経済的効果が高く、特に浮上させて移設が容易な浄化システムの適用が望まれる。浄化システムとしては、微生物の浄化エネルギーを利用し、有機汚濁物の減容化を図り、かつ添加剤等を使用しない環境に安全なシステムが適していると考えられる<sup>3)</sup>。

浮上設計が容易でかつ保守も容易な浄化装置には、軽量ろ材を採用することがキーポイントとなる。そのため、ここでは軽量ろ材（接触材）としてひも状繊維を選定し、昨年より継続して実験池を用いた現地浄化試験を実施した。生物処理による接触酸化浄化方式は、処理量、曝気の有無、水温等によって浄化性能が影響を受けることが考えられる<sup>4)</sup>。昨年度の実験により、本実験池では浄化性能が原水濃度（クロロフィルa濃度）に依存する傾向が見られ、第1槽（初段処理槽）の曝気有無が性能に与える影響は小さいことが得られた<sup>5)</sup>。本年度は、処理量の影響を主に、ひも状繊維方式の特性を調査するとともに処理槽内に蓄積する汚泥の収支に関わる調査等を目的として研究を行った。

### 2. 実験施設

#### 2.1 実験池概要

実験池は、琵琶湖を1/600の縮尺で模擬した深さ0.5m、貯水量約1,000m<sup>3</sup>の池で、葉山川の水を通水した。図2-1に実験池の概要を示す。

水は図中右側にある流入部から流入し、左端の流出部から流出するが、その流入・流出量は概ね日量50m<sup>3</sup>程度である。従って池の滞留日数（池の貯水量を池内への一日当たり通水量で除した量）は約20日となる。

実験施設は実験池の中央部付近に配置されている。

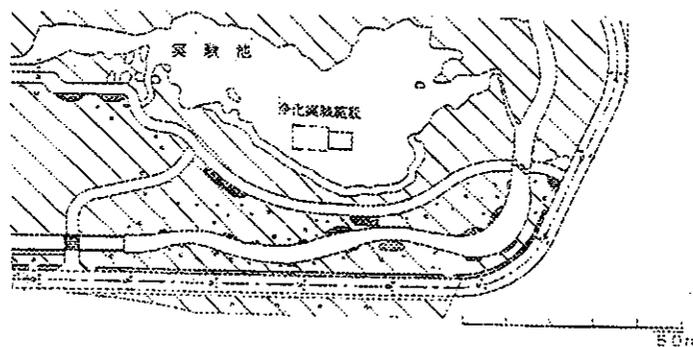


図2-1 実験池の概要

## 2.2 実験施設概要

図 2-2 に実験施設全体の構造を、また図 2-3 処理フローを示す。

全体が3槽で構成され、第1槽の下流側端部に通水ポンプが設置されている。さらに全体を同一構成の2系統（A・B系列）に分割した構造となっている。昨年度の結果から第1槽の曝気有無が性能に与える影響は小さいので、本年度はA・B系列ともに第1槽は曝気無しとした。また、第1槽は浮上型構造を考慮して平面的に広い構造としたのに対し、第2槽は両系列曝気ありとして上下に高い槽となっている。また、昨年度の結果から第3槽は浄化処理にほとんど寄与していないことから、本年度は第3槽内のひも状繊維接触材（以下単にひもと称す）を全て撤去して第3槽は評価から除外した。

ひもの種類は昨年度と同様に、第1槽では無機物の付着性能が高いとされる芯部が密に編まれた幅の狭いひもを選定し、第2槽はひも全体にわたって曝気による好気作用が助長されやすいように幅の広いひもを選定した。槽の容積は、生物処理槽では1~1.5時間以上の接触時間が必要と考え、各列第1槽が10m<sup>3</sup>、第2槽が4.4m<sup>3</sup>とした。実験施設の処理フローとしては、第1、2槽とも直接池水（原水）を取水でき、また各列とも単に切替作業で曝気有無が選択できるようにになっている。また、原水は今回第1槽の端部より取入れたが、シャッターの切替によって第2槽近傍からも取入れられるようになっている。

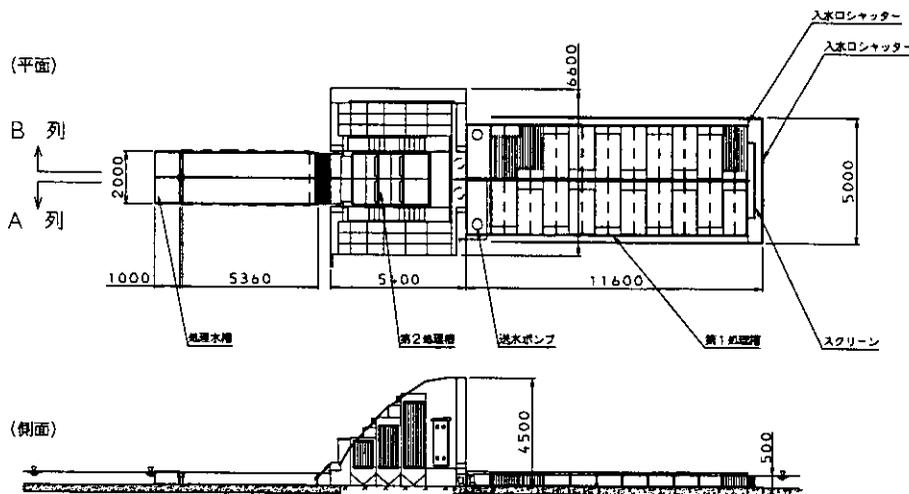


図 2-2 実験施設全体構造

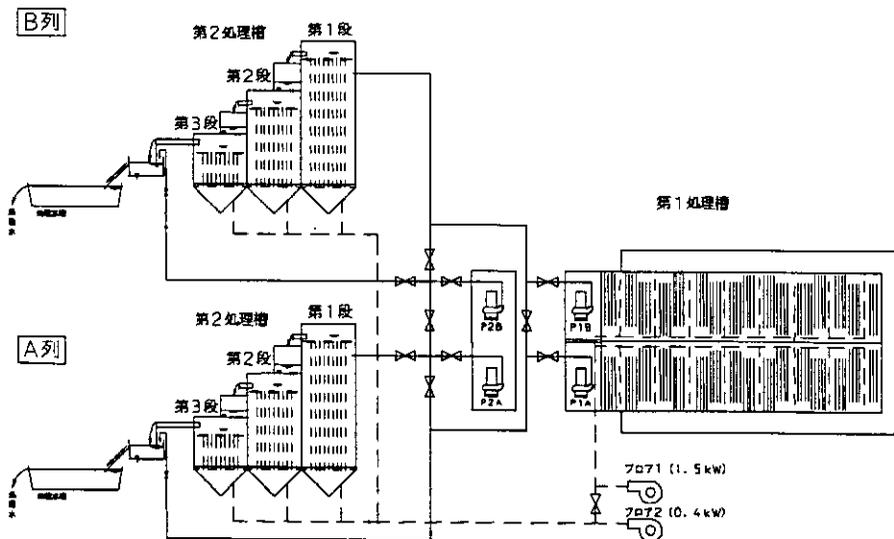


図 2-3 実験施設処理フロー

写真 2-1 に第 1 槽の外観および充填したひも状繊維接触材を、写真 2-2 に第 2 槽の外観および充填したひも状繊維接触材を示す。また、実験施設の設計諸元を表 2-1 に示す。その他実験施設の詳細については前報<sup>6)</sup>を参照されたい。

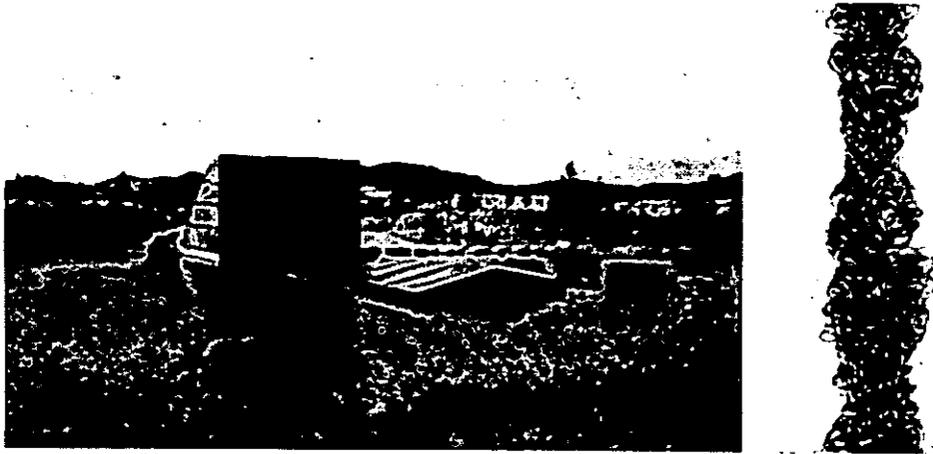


写真 2-1 実験施設第 1 槽外観と充填したひも状繊維接触材

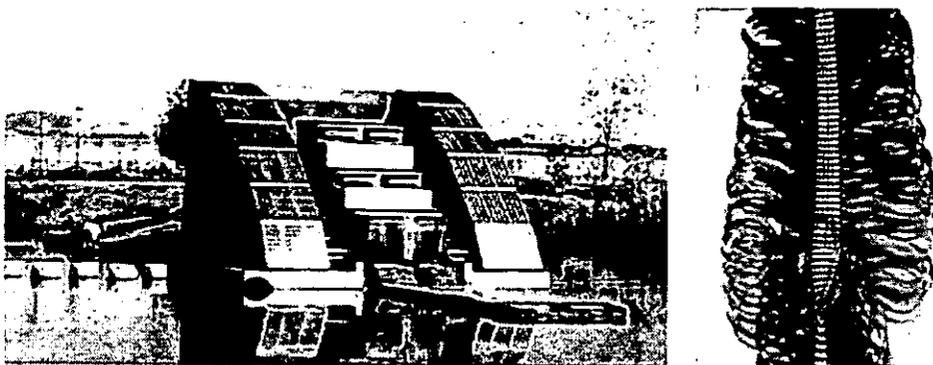


写真 2-2 実験施設第 2 槽外観と充填したひも状繊維接触材

表 2-1 実験施設の設計諸元 (1 列当り)

	第 1 槽	第 2 槽
曝気	なし	あり
槽容積	10m <sup>3</sup> 幅 2m 長さ 10m 深さ 0.5m	4.4m <sup>3</sup> 1 段 2.1m <sup>3</sup> 2 段 1.45m <sup>3</sup> 3 段 0.85m <sup>3</sup>
ひも種	サイズ: 幅 40mm 材質: ナロン、ポリプロピレン ポリエステル (芯部) 比重: 1.7 伸び: >35% 耐引張力: >300N/20cm 比表面積: 4m <sup>2</sup> /m 質量: 15g/m 価格: 780¥/m 充填量: 2844m	サイズ: 幅 70mm 材質: 塩化ビニル ポリエステル (芯部) 比重: 1.7 伸び: >35% 耐引張力: >600N/20cm 比表面積: 2m <sup>2</sup> /m 質量: 25g/m 価格: 800¥/m 充填量: 584m
ポンプ	A 列: ソーラ+商用 (55Hz) 0.4kW B 列: 商用 (50Hz) 1.5kW (増設)	0.75kW/列 ※本年度は運転せず
プロア	1.5kW (1.0m <sup>3</sup> /分) ※本年度は運転せず	0.4kW (0.35m <sup>3</sup> /分)
ソーラ	2.05kW (パネル 36 枚)	なし

### 3. 実験方法

2000年6月7～10日に昨年度からの運転により槽内に蓄積した汚泥の排出およびひも状接触材の洗浄を行うとともに、汚泥量の調査を実施した。6月10日より生物膜形成のための少流量での試運転（A列とも約25m<sup>3</sup>/日、合計約50m<sup>3</sup>/日）を開始した。夏期の温度上昇による池の藻類汚濁をある程度進行させた後に8月7日から定格流量での本運転を開始し、2001年1月までの6ヶ月間にわたって、その浄化性能と池の水質変化に関する実験を行った。表3-1に運転条件を示す。

試験中は定期的に池水（原水）や各槽処理水などを採取して水質分析を実施した。浄化施設の原水および各槽処理水の採水点を図3-1に示す。

さらに本年度は池への流入水と池からの流出水に対しても定期的に水質分析を実施した。流入水および流出水の採水点を図3-2に示す。なお、採水時刻は13時から15時頃とした。

表3-1 運転条件 (2000.8.7～)

	定格処理量	接触時間 (HRT)	
		第1槽	第1+2槽
A列	100 m <sup>3</sup> /日	2.40 h	3.46 h
B列	200 m <sup>3</sup> /日	1.20 h	1.73 h

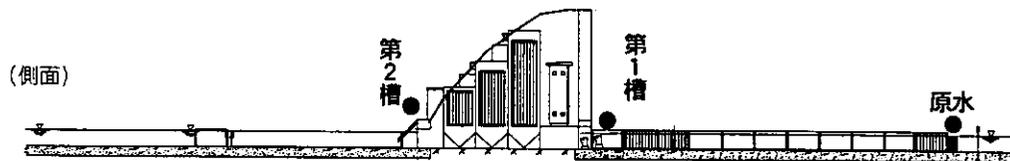


図3-1 原水と各槽処理水の採水点

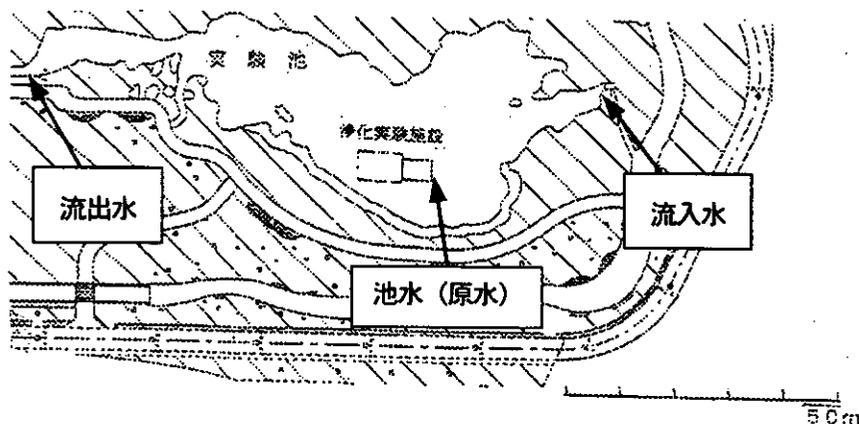


図3-2 流入水と流出水の採水点

水質項目としては、水温、溶存酸素 (DO)、濁度、クロロフィル a (Chl-a)、化学的酸素要求量 (COD)、生物化学的酸素要求量 (BOD)、全窒素 (T-N)、全リン (T-P)、浮遊物質 (SS)、揮発性浮遊物質 (VSS)、アンモニア態窒素 (NH<sub>4</sub>-N)、亜硝酸態窒素 (NO<sub>2</sub>-N)、硝酸態窒素 (NO<sub>3</sub>-N)、リン酸態リン (PO<sub>4</sub>-P)、透視度である。水温とDOは、DO/DO<sub>2</sub>/TEMPメータ (セントラル科学製) を用いて現地で測定を行い、その他はサンプル水を採取して JIS K-0102 などの公定法に準じて分析を行った。

#### 4. 実験結果

##### 4.1 池水（原水）の経日推移

日常点検の結果、池水（原水）の水温、DO、濁度の経日推移は図 4-1 のようになった。10 月以降のDOについては計測器不調のため計測を行っていないが、12 月 28 日から計測器を交換（HORIBA OM12）して計測を行った。

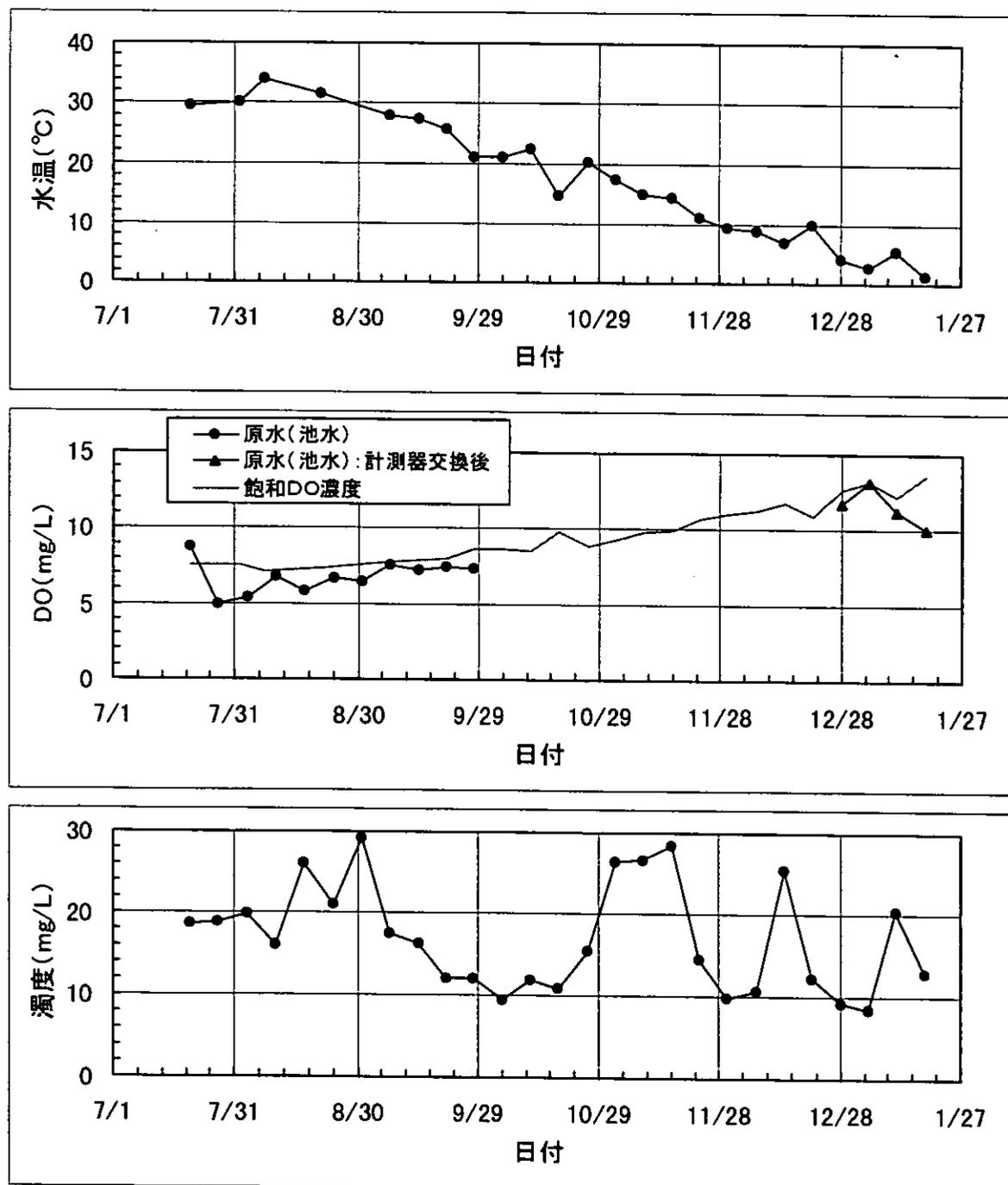


図 4-1 池水の経日推移（水温、DO、濁度）

池水および流入水、流出水のクロロフィル a、SS、BOD、CODの経日推移を図 4-2 に示す。全ての水質項目において、池水と流出水の水質はほぼ一致して推移しており、流出水は池水と同じ水質であることがうかがえる。池内では藻類の増殖、すなわち一次生産により、池水のクロロフィル a、SS、BOD、CODは流入水よりも増加する傾向にある。クロロフィル a、BOD、CODの推移を見ると、10 月頃までは一次生産による増加が明確に現れているが、それ以降はほとんど差が見られない。当然、冬期は水温や日射量の低下が藻類の増殖が抑制される大きな理由であるが、本実験池では浄化施設による藻類除去を行っていることも増殖抑制の作用に含まれている。なお、SSについては 10 月以降も池水の方が高くなっている場合があるが、これは魚（多数見られた）や風によって池底泥から懸濁物が巻き上がることなどが理由として考えられる。

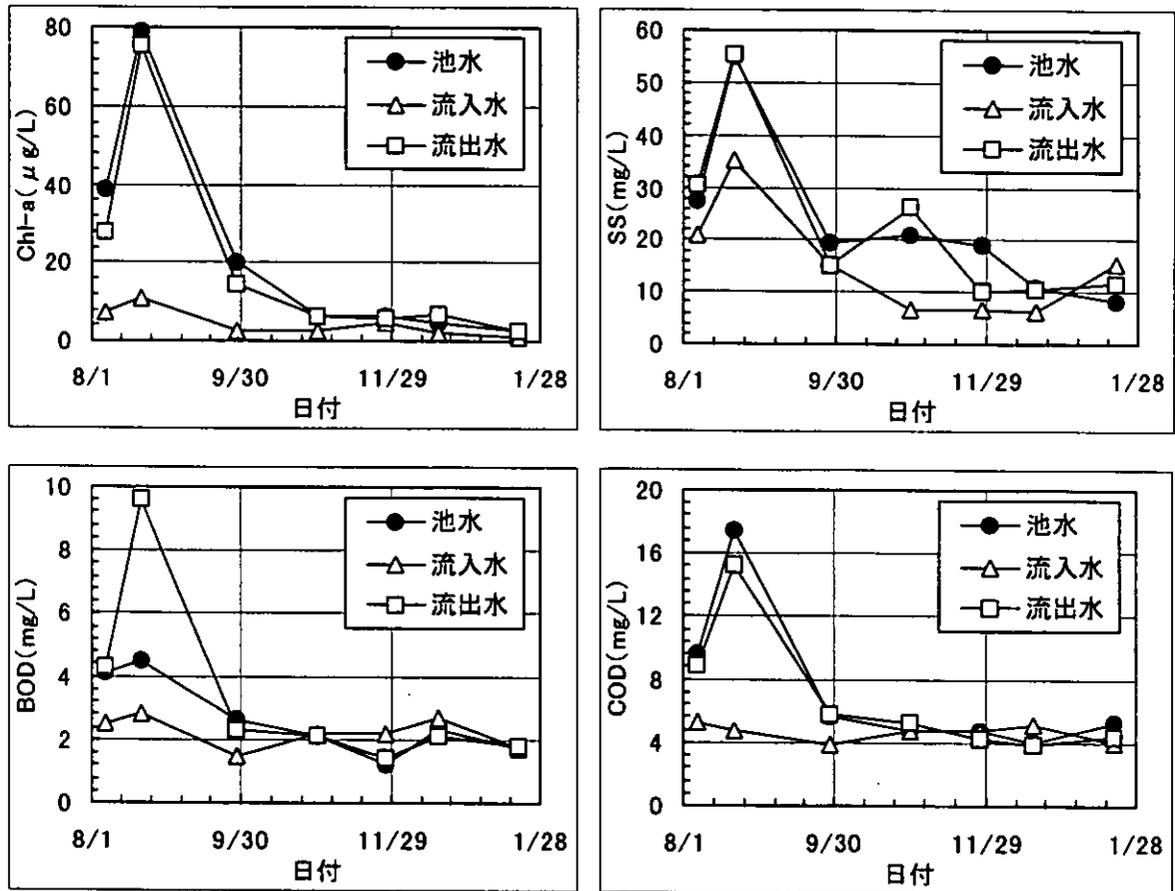


図 4-2 池水、流入水、流出水のクロロフィル a、SS、BOD、CODの経日推移

池水および流入水、流出水の T-N、T-P の経日推移を図 4-3 に示す。T-N、T-P の変化を見ると、池水、流入水、流出水のいずれもが概ね同濃度レベルで推移しており、むしろ流入水に対して池水と流出水の濃度は若干低下する傾向が見られる。これは池底泥への沈降、浄化施設での除去、さらに T-N に対しては池内および浄化施設内での生物学的脱窒作用などが考えられ、いわゆる安定化池として知られる池の自浄作用が現れていたものと考えられる。また、本実験池の栄養塩濃度レベルは流入水濃度の影響が大きく、特に T-P は流入水の濃度に顕著に追従して変化していることがわかった。

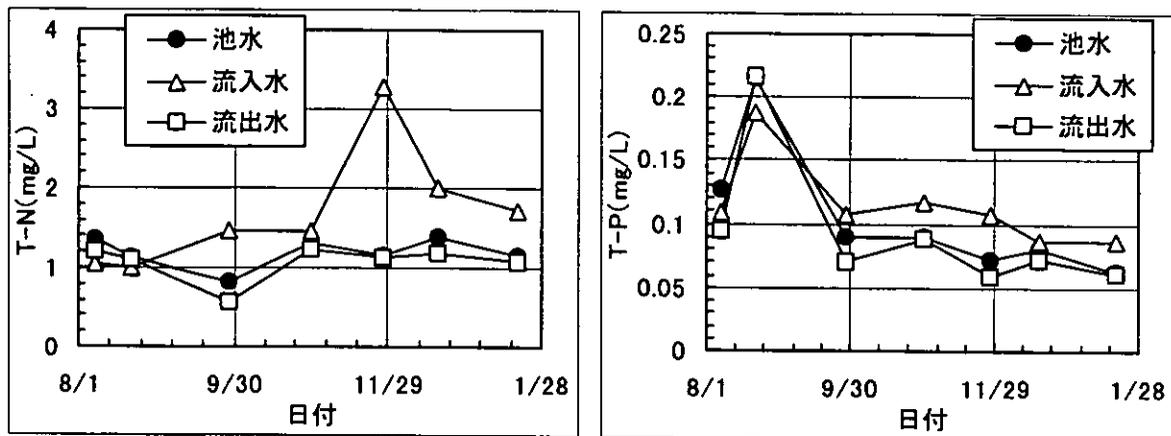


図4-3 池水、流入水、流出水のT-N、T-Pの経日推移

池水の各態窒素およびリンの経日推移を図4-4に示す。窒素に対しては $\text{NO}_2\text{-N}$ についても分析を行っているが、他の窒素成分に比べて極端に小さかった ( $<0.033\text{mg-N/L}$ ) のでここでは省略した。なお、TINとは全無機態窒素であり、各無機態窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ ) の合計値として算出した。窒素の変化を見ると、夏期はT-Nに対するTINの割合は低いですが、これは藻類増殖が盛んで無機態窒素が藻類細胞内に吸収されるためである。逆に冬期になると藻類濃度が低下するためTINの割合は増加し、T-Nに対する割合が約8割と大半を占めた。また、この冬期TINの大半は $\text{NO}_3\text{-N}$ であった。一方リンについては、全期間で $\text{PO}_4\text{-P}$ は低濃度 ( $<0.02\text{mg-P/L}$ ) で推移した。本実験池の冬期クロロフィルa濃度は $10\mu\text{g/L}$ 以下と低いので藻類細胞内に吸収されていたとは考えにくく、T-Pの大半は無機懸濁物質に含まれていたか、あるいは無機懸濁物の表面に吸着していたと思われる。

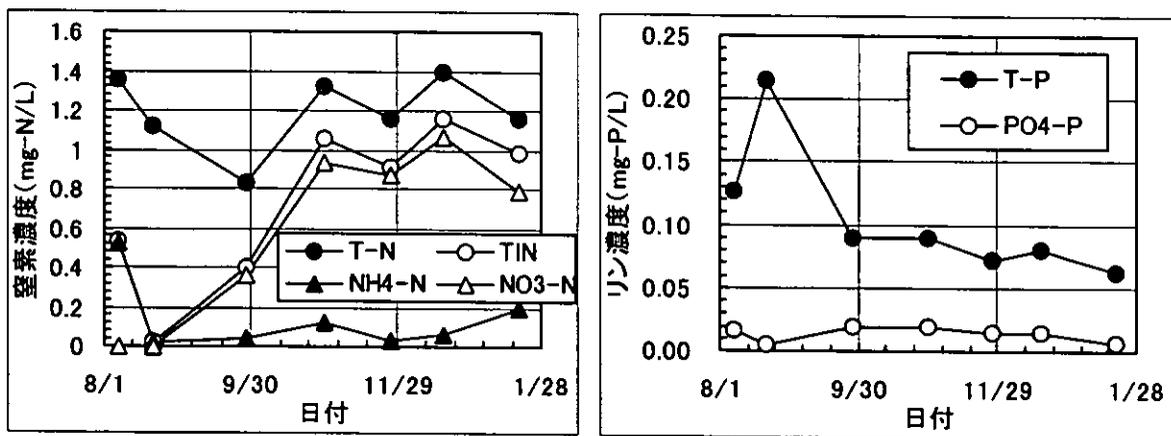


図4-4 池水の各態窒素およびリンの経日推移

なお、池水のVSSについても分析を行った。結果は省略するが、10月以降VSSは $5\text{mg/L}$ 以下で一定に推移していたのに対し、夏期は最大 $20\text{mg/L}$ まで上昇していた。VSSは懸濁有機物量の指標であるから、夏期は藻類やバクテリアなど微生物の増殖によりVSSが上昇したものと考えられる。また、SSに対するVSSの割合 ( $\text{VSS/SS}$ ) も夏期は約30%であり、冬期の約20%に対し高い傾向を示した。

#### 4.2 実験施設浄化性能の推移

図 4-5 にA列の原水と処理水のクロロフィルa、SS、透視度の経日推移を示し、図 4-6 にB列のそれを示す。なお、透視度については計測器の限度から 100 度 (cm) が最大となっている。

図 4-7 にA列のクロロフィルa、SS除去率の経日推移を示し、図 4-8 にB列のそれを示す。

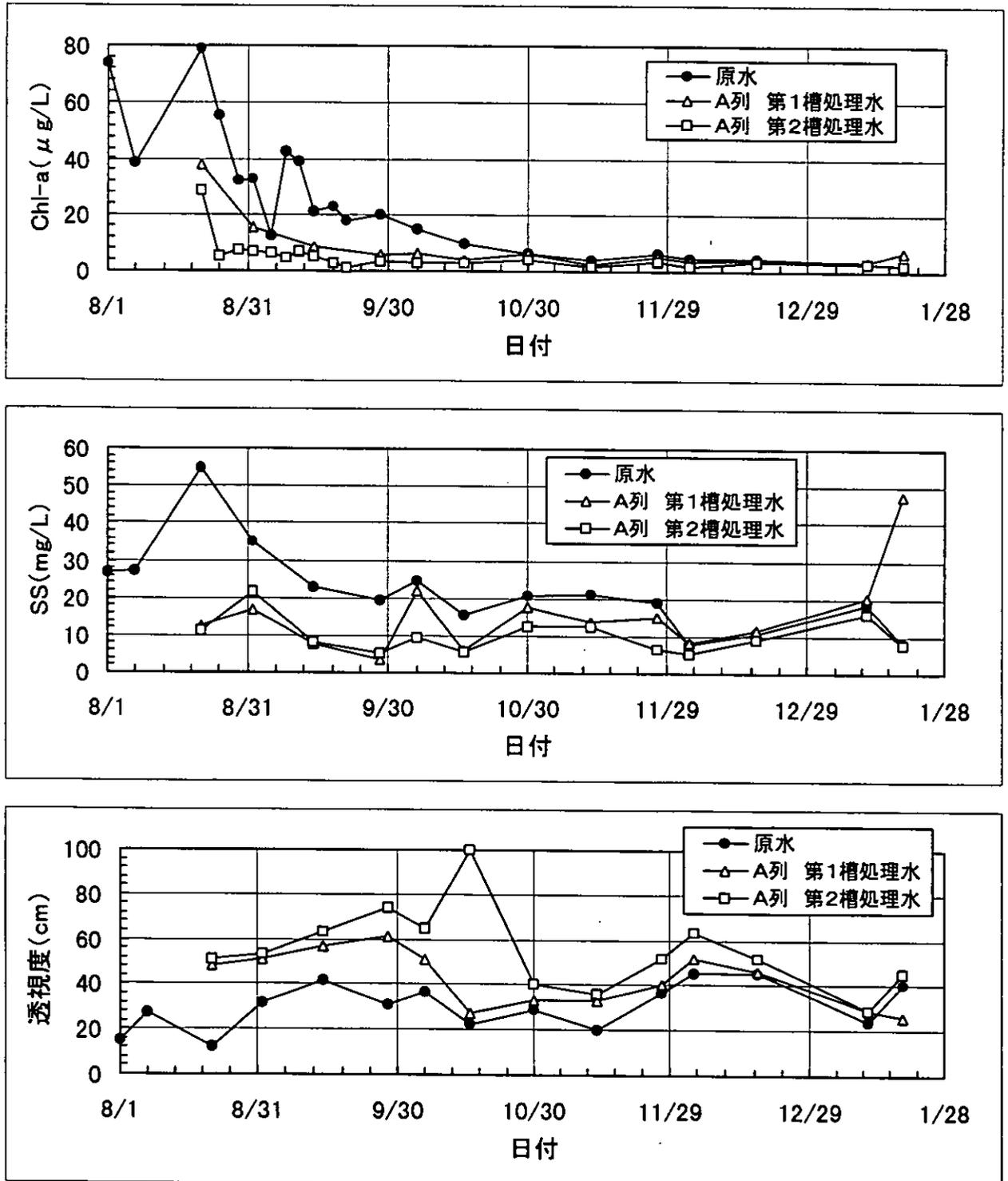


図 4-5 A列 (100m³/日) の原水と処理水のクロロフィルa、SS、透視度の経日推移

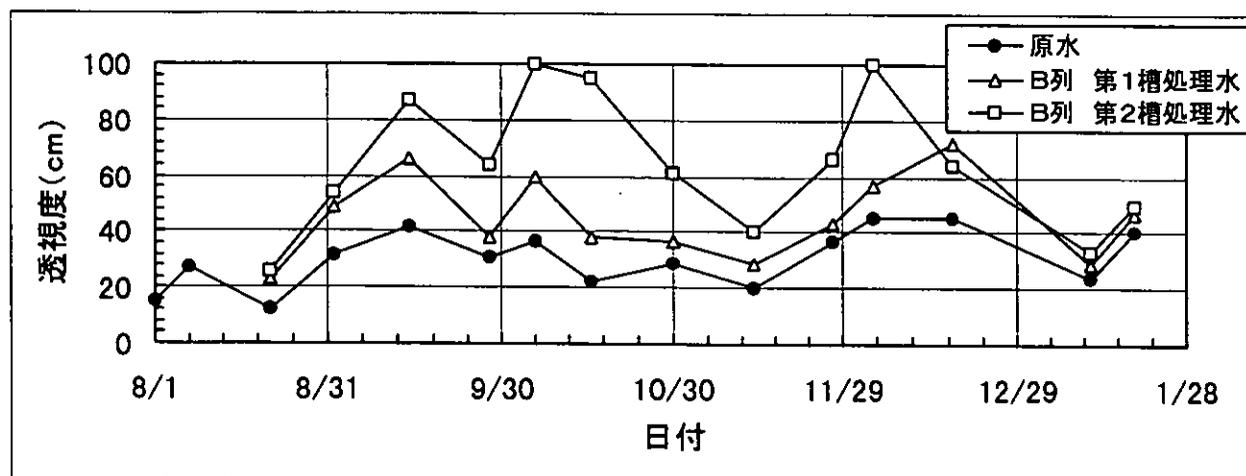
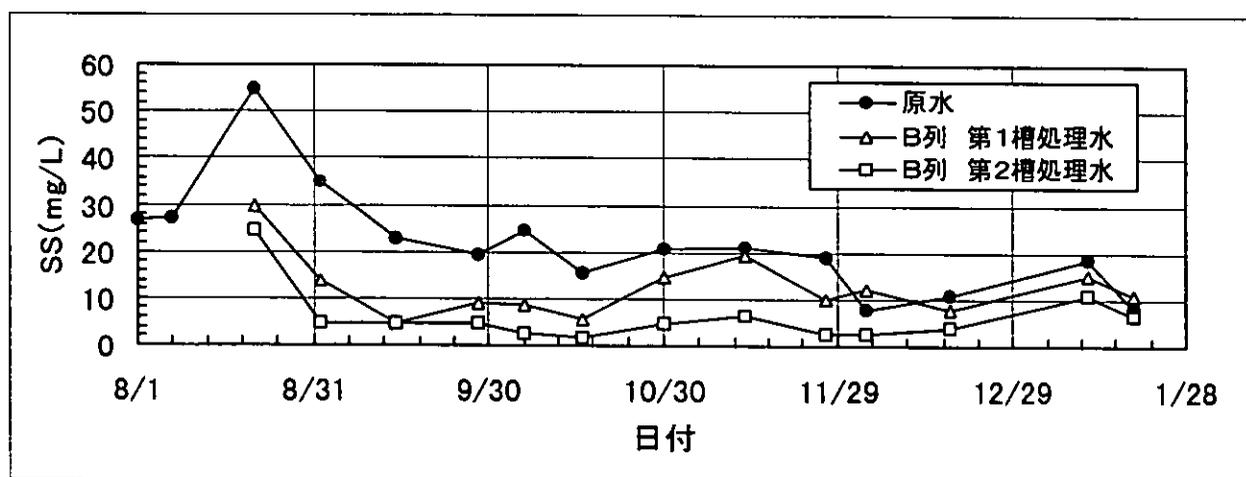
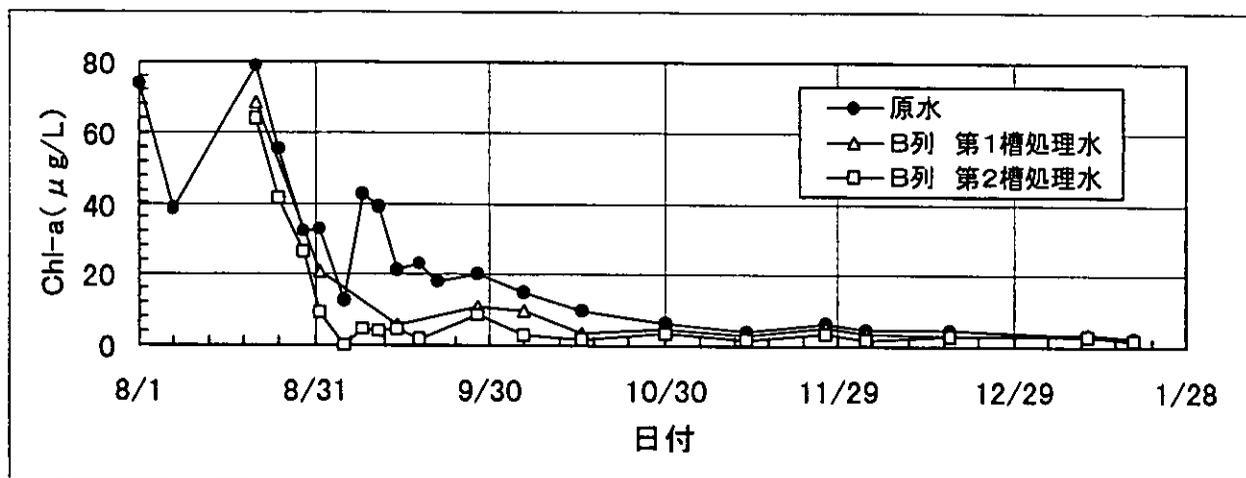


図4-6 B列 (200 $\text{m}^3$ /日) の原水と処理水のクロロフィルa、SS、透視度の経日推移

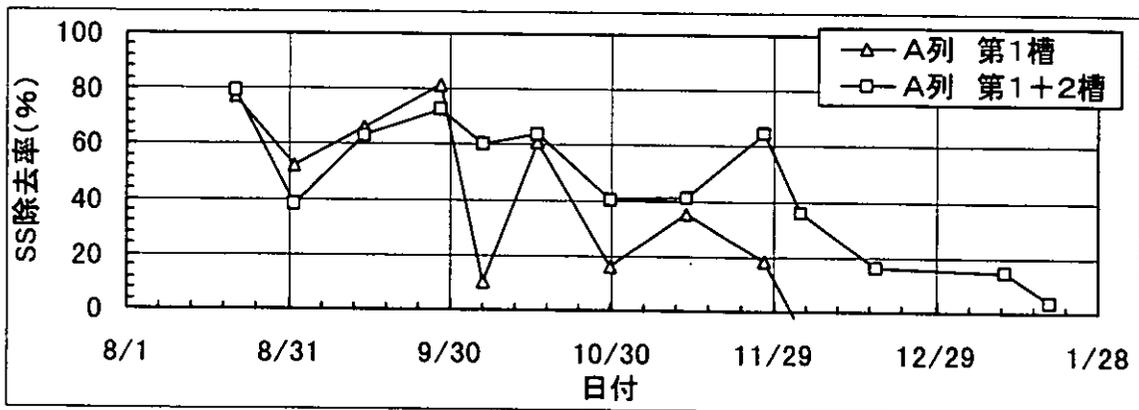
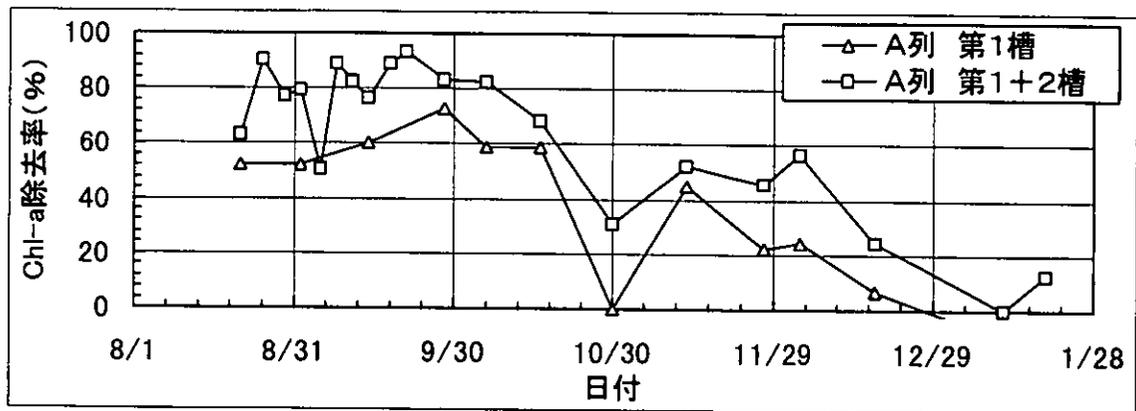


図 4-7 A列 (100m<sup>3</sup>/日) のクロロフィル a、SS 除去率の経日推移

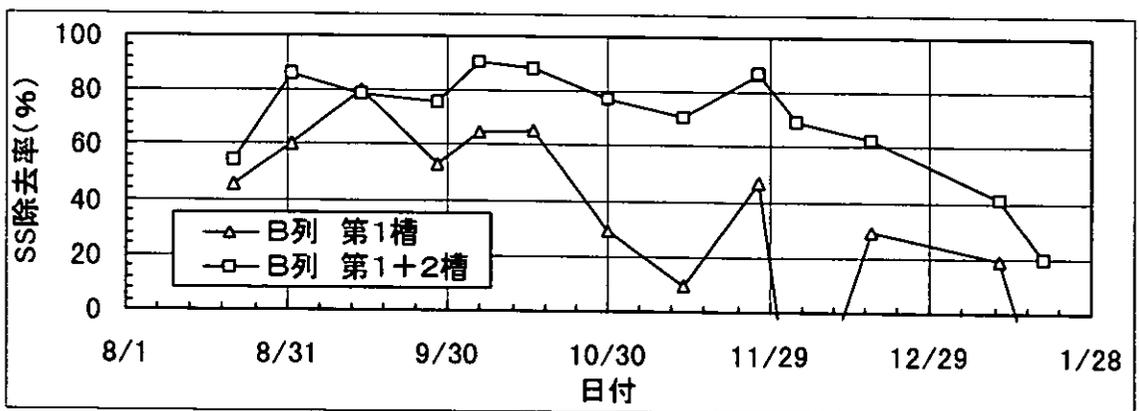
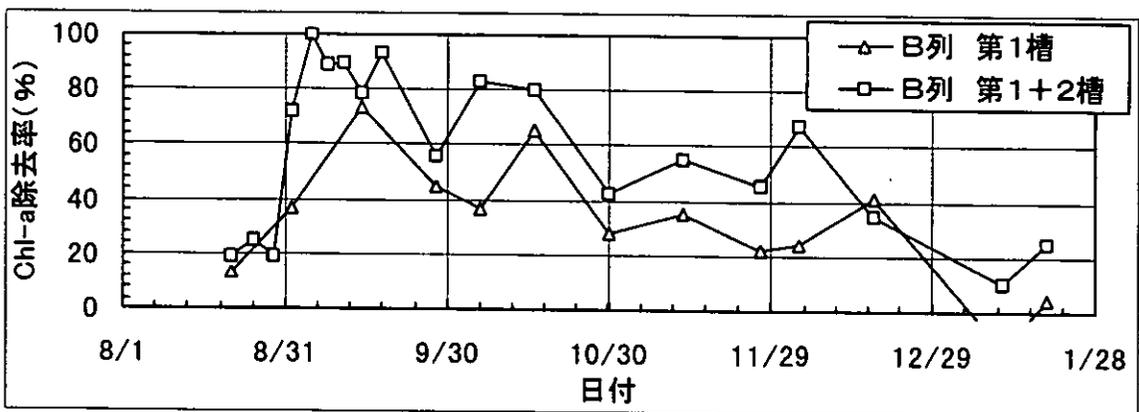


図 4-8 B列 (200m<sup>3</sup>/日) のクロロフィル a、SS 除去率の経日推移

8月7日の本運転開始までにクロロフィルaは約80 $\mu\text{g/L}$ まで上昇した。なお、昨年度と同様に実験期間を通して目視的なアオコの発生は見られず、8月21日の分析によると優占藻類種は藍藻類のメリスモペディア、フォルミディウムや珪藻類のキクロテラなどであった。本運転開始から処理水のクロロフィルa濃度は低下したが、A列は8月25日以降（本運転開始から18日後）、B列は9月1日以降（25日後）には処理水のクロロフィルaは安定した低濃度で推移した。B列の方が安定に要する期間が長い結果となったが、B列の通水ポンプが電源系の不具合により停止することあり、この影響も考えられるのでA B列間の処理量の違いによる結果であるかは不明である。

夏期の性能が安定した期間（9/1～10/16）のクロロフィルa、SSの平均除去率を表4-1に示す。この期間中の水温は常時20 $^{\circ}\text{C}$ 以上であった。昨年度と同様にクロロフィルaに関してはA B列とも2槽合計で70%以上の良好な浄化性能が得られた。なお、SS除去率について処理量の少ないA列の方が除去率が低い結果となった。これは第2槽における曝気のばらつきにより、ひもに付着した生物膜が剥離し処理水に漏洩したことなどが考えられる。

表4-1 夏期安定期（9/1～10/16）のクロロフィルa、SSの平均除去率

	A列 (100 $\text{m}^3/\text{日}$ )		B列 (200 $\text{m}^3/\text{日}$ )	
	第1槽	第1+2槽	第1槽	第1+2槽
Chl-a 除去率	60.5%	77.8%	51.3%	74.0%
SS 除去率	54.3%	59.8%	64.6%	83.9%

原水および各列の第2槽処理水について、BOD、CODの経日推移を図4-9に示し、T-N、T-Pの経日推移を図4-10に示す。これらの水質項目は昨年と同様にクロロフィルaやSSと比べると浄化性能が低い。特にT-Nはほとんど除去されていない。これらの水質項目はある割合で溶存態成分を含んでいるが、本浄化施設の接触時間（1.20～3.46h）では溶存態成分を除去できないためと考えられる。さらにT-N、T-Pについては除去した藻類が分解される過程で細胞内から処理水中に回帰することも性能低下の原因として考えられる。なお、窒素およびリンの無機態成分（ $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ ）についても分析を行った。結果は省略するが、いずれも原水と処理水の差は小さく、本方式ではこれら溶存の無機態成分を除去することは困難であった。

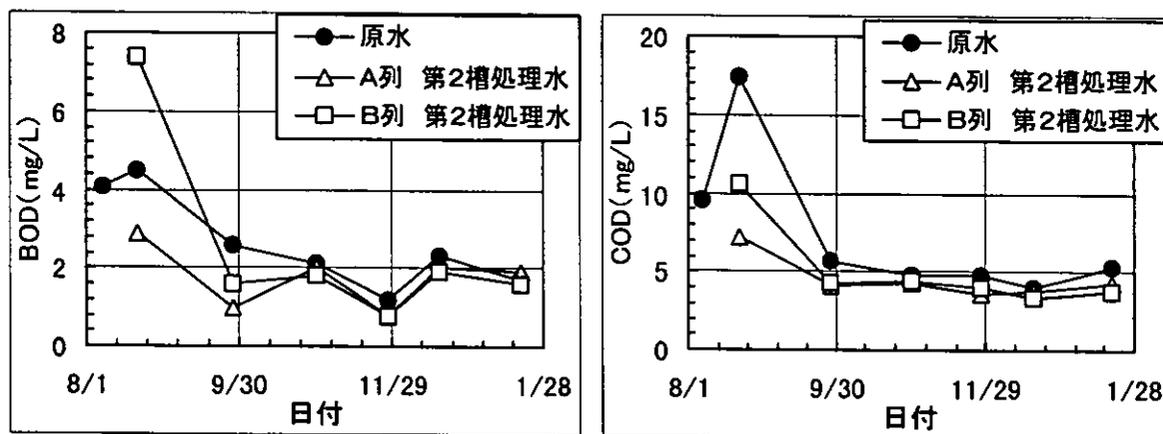


図4-9 原水および各列第2槽処理水のBOD、CODの経日推移

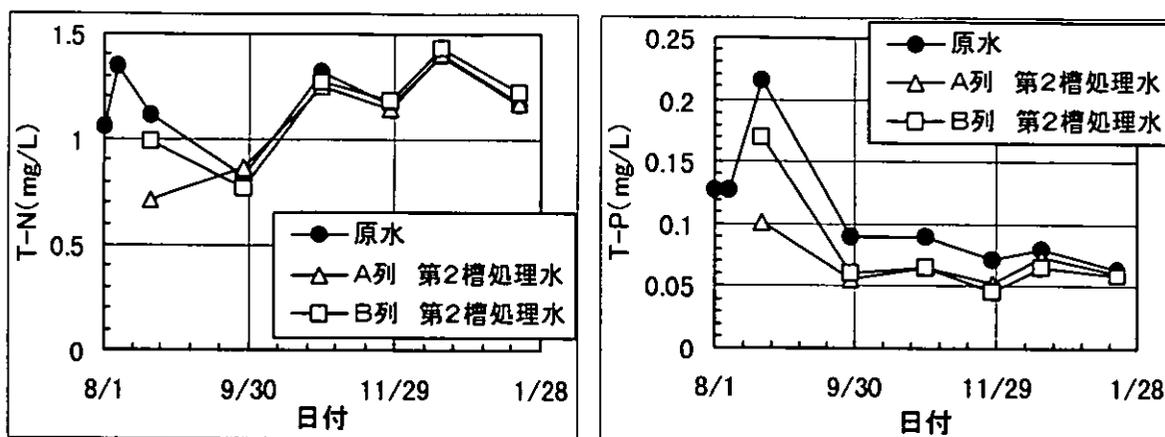


図 4-10 原水および各列第2槽処理水のT-N、T-Pの経日推移

### 4.3 発生汚泥量の調査

発生汚泥量の調査は1999年6月から2000年5月までの12ヶ月間の運転により蓄積した汚泥に対し、2000年6月7～10日に実施した。昨年度の運転条件はAB各列とも150m<sup>3</sup>/日で、合計300m<sup>3</sup>/日であった。ただし、1999年7月は合計50m<sup>3</sup>/日で運転を行っていた。

汚泥は槽の底部に沈殿した堆積汚泥と、ひもに付着した付着汚泥の両者を調査対象とした。堆積汚泥は汚泥の高さを実測してその容積を算出した。付着汚泥はひもを濯ぎ洗いで、洗浄前後の質量差からその汚泥質量を算出した。測定結果を表4-2に示す。なお、測定はAB各列について実施したが、両者に差は見られなかったため、AB列の合計値のみを記載した。

また、各槽の堆積・付着汚泥を採取して比重、含水率、強熱減量を分析した。ただし、第1槽の付着汚泥については、汚泥がひも表面に強固に付着しており採取が困難であったため、分析は行わなかった。分析結果を表4-3に示す。ここで大半を占める第1槽堆積汚泥についてはAB列各々のサンプルについて分析したが、両者の差は小さかったためここでは平均値のみを記載した。その他の試料はAB各列から等量採取して混合試料として分析した。なお、汚泥性状・成分については底質調査方法などにに基づき実施した。

表 4-2 各槽の堆積・付着汚泥量の測定結果

	第1槽	第2槽	第3槽	合計
堆積汚泥 (m <sup>3</sup> )	3.82	1.58	0.26	5.66
付着汚泥 (kg)	272	215	107	594

表 4-3 各層の堆積・付着汚泥の比重、含水率、強熱減量

	第1槽		第2槽		第3槽	
	堆積汚泥	付着汚泥	堆積汚泥	付着汚泥	堆積汚泥	付着汚泥
比重 (kg/L)	1.17	—	1.11	1.05	1.09	1.02
含水率 (%)	60.6	—	64.1	65.8	64.9	68.0
強熱減量 (%)	11.2	—	11.6	12.0	12.4	14.4

以上の結果から各汚泥の容積および乾燥質量を算出した結果を図4-11に示す。ここで第1槽付着汚泥の比重と含水率は第1槽堆積汚泥の値を使用した。全発生汚泥量は約6.2m<sup>3</sup>であり、その65%が第1槽の汚泥であった。また、全発生汚泥のほとんどが堆積汚泥であり、付着汚泥は全体の10%以下であった。また、全発生汚泥の乾燥質量は約2.7tであった。

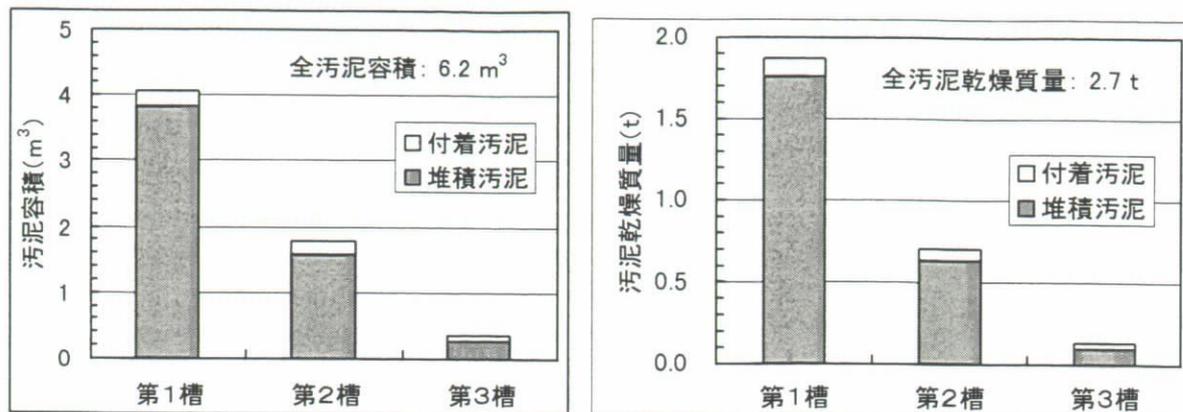


図 4-11 各槽汚泥の容積および乾燥質量

汚泥の大半を占める第1槽堆積汚泥について代表的な含有化学成分の分析（炭素、窒素、リン、カリウム）を行った。その結果を表 4-4 に示す。

表 4-4 第1槽堆積汚泥中の化学成分（数値は全て汚泥乾燥質量中の質量%）

炭素 (C)	窒素 (N)	リン (P)	カリウム (K)
1.4%	0.42%	0.18%	3.3%

## 5. 考察

### 5.1 浄化性能に関わる影響因子の検討

生物処理による接触酸化浄化方式は、処理量、曝気、水温、原水濃度などによって浄化性能が影響を受けることが予想される<sup>4)5)</sup>。昨年度の実験では、本実験池では浄化性能が原水濃度（クロロフィル a 濃度）に依存する傾向が見られ、また、第1槽の曝気の有無は性能に影響しないことが得られた<sup>6)</sup>。ここでは、昨年度と本年度の結果に基づき、原水濃度および水温、処理量の影響などの浄化処理特性について検討した。

#### (1) 原水濃度と水温の影響

昨年度と同様に原水クロロフィル a 濃度と除去率の関係を整理すると図 5-1 が得られる。ここでは性能が安定した9月1日以降のデータをプロットした。結果は原水クロロフィル a 20 $\mu\text{g/L}$ 以上、水温 20 $^{\circ}\text{C}$ 以上の範囲では安定した除去率が得られており、昨年度の結果と同様の傾向が得られた。

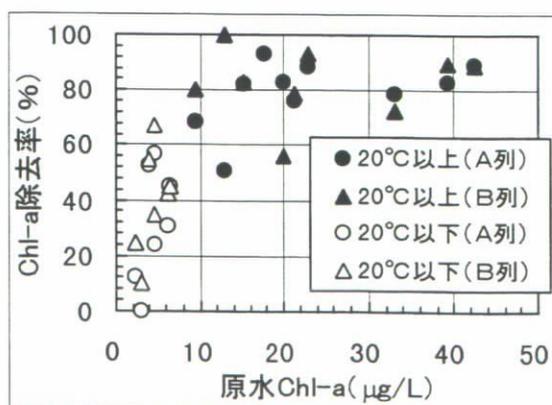


図 5-1 原水クロロフィル a 濃度と除去率の関係

### (2) 処理量の影響

本年度はA B各列で処理量を 100、200m<sup>3</sup>/日に設定して実験を行ったが、同じ大きさの処理槽を用いて処理量を変化させることは槽内の接触時間（槽容積/処理量）を変化させることに相当する。当然、処理量を変えることは槽内の平均流速も変わることになる。本実験のような接触酸化法と呼ばれる生物処理では、浄化性能は接触時間で整理されることが一般的であり<sup>7)</sup>、ある範囲では流速よりも接触時間の影響が大きいものと考えられる。

昨年度（150m<sup>3</sup>/日）と本年度の結果を用いて接触時間と夏期安定期のクロロフィル a 除去率の関係を整理した結果を図 5-2 に示す。接触時間の増加にしたがい除去率が向上する傾向が得られている。本年度の 100m<sup>3</sup>/日と 200m<sup>3</sup>/日の結果を比べると、100m<sup>3</sup>/日では接触時間増加の割に除去率の向上は小さい（第1槽で 51.3%→60.5%、第1+2槽で 74.0%→77.8%）ので、100m<sup>3</sup>/日の運転は効率が悪いと考えられる。150、200m<sup>3</sup>/日の結果から見ると、接触時間が約2時間までは大きな傾きで直線的に除去率が増加しているが、それ以上になると除去率の増加が小さくなっている。

図 5-2 で得られた2直線（破線）で除去率が与えられるものと仮定し、本浄化施設（第1+2槽、A B列合計槽容積：28.8m<sup>3</sup>）の処理量に対するクロロフィル a 除去率および除去量（除去率×処理量）を算出した結果を図 5-3 に示す。処理量を増加させると除去量も増加していくが、約 350m<sup>3</sup>/日以上（A B各 175m<sup>3</sup>/日）になると除去量の増加はほとんど得られないものと予想された。省エネルギーの観点から、除去量が同じであれば消費動力（処理量）は小さい方が望ましいので、本浄化施設では概ね 300~400m<sup>3</sup>/日の運転が最適と考えられる。

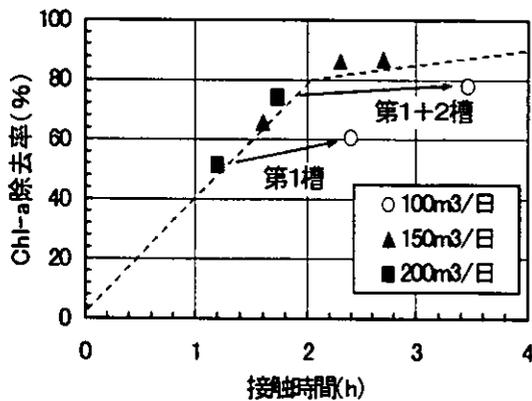


図 5-2 接触時間とクロロフィル a 除去率の関係

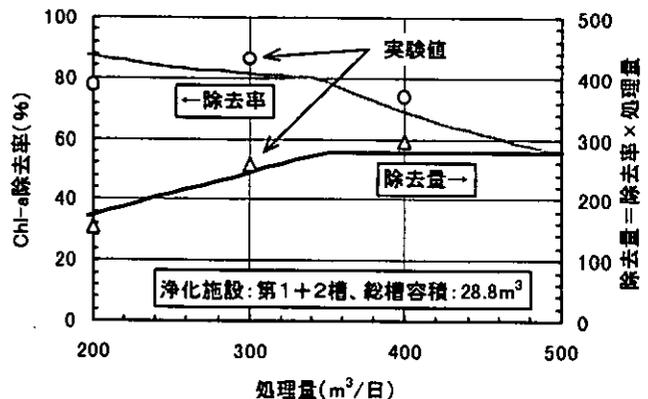


図 5-3 処理量とクロロフィル a 除去率、除去量の関係

### (3) 藻類種の影響

原水および処理水の藻類種構成を図 5-4 に示す。藻類種は藻類を藍藻、珪藻、緑藻に分類して細胞数を単純に積算した。なお、藻類種はその他にも渦鞭毛藻やミドリムシ藻などが見られたが、細胞数が極端に少なかったので省略した。H11 と H12 年度の夏期の藻類種を比較すると、H11 年度は珪藻類が 75% を占め、優占種は *Cyclotella stelligera*、*Melosira granulata* などであった。一方、H12 年度は藍藻類の割合が 12% から 49% に増加し、優占種は藍藻では *Merismopedium tenuissimum*、*Phormidium tenue*、珪藻では *Cyclotella* spp. であった。このような藻類種構成の違いも処理性能に影響する一つの要因になっていることが考えられる。

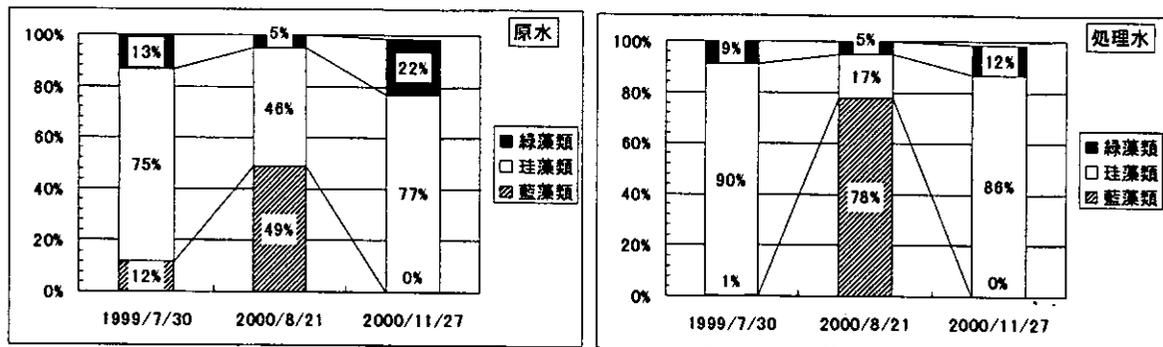


図 5-4 原水 (池水) および処理水の藻類種構成

## 5.2 発生汚泥に関する評価

前述した通り、1999年6月から2000年5月の12ヶ月間の運転により槽内に蓄積した汚泥量は合計 6.2m<sup>3</sup>、乾燥質量で 2.7tであった。ここで汚泥の収支について検討する。昨年度の原水とAB各列処理水のSS濃度経日推移を図 5-5 に示す。この結果からデータの存在する月にSS除去量を算出した結果を表 5-1 に示す。

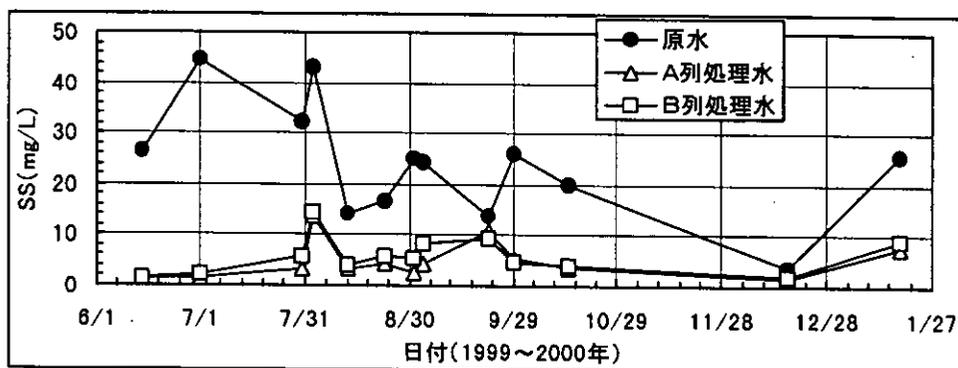


図 5-5 H11年度の原水、処理水のSS濃度経日推移

表 5-1 各月のSS除去量 (処理水SS濃度はA B列の平均値)

月	データ数	原水SS (mg/L)	処理水SS (mg/L)	処理量 (m <sup>3</sup> /日)	SS除去量 (kg)
1999/6月	1	26.4	1.5	300	224.1
7月	2	38.6	3.1	50	53.2
8月	4	24.7	6.7	300	162.2
9月	3	21.3	7.2	300	127.2
10月	1	19.8	3.9	300	143.1
12月	1	3.7	1.6	300	19.4
2000/1月	1	25.9	8.4	300	158.0
合計SS除去量 (6~10, 12, 1月の7ヶ月間)					887.1 kg
上記期間の1ヶ月あたりSS除去量					164.7 kg/月

データの存在しない5ヶ月間 (1999年11月、2000年2~5月) のSS除去量を表 5-1 で算出された1ヶ月あたりの量であると仮定すると、12ヶ月間の合計SS除去量は、

$887.1 + 164.7 \times 5 = 1710.6$  kg、すなわち約 1.7tとなる。

SS除去量からの推定値(1.7t)が実測値(2.7t)より少なかった理由としては、SS計測を行っていない時期に実験池のSS濃度が大幅に増加していたことが考えられる。例えば、実験池への流入水である葉山川の流域には農地が多く、代かき期(4月下旬～5月上旬頃)は葉山川のSS濃度が増加する傾向にある<sup>8)</sup>ので、実験池のSS濃度も増加している可能性が高い。また、1999年度の葉山川水質調査結果<sup>9)</sup>を見ると、11月にSS濃度が高い(33mg/L)が、この期間も本実験では計測を行っていない。さらに、2000年1月に葉山川の河川改修工事を行っており、このときも大量のSSが実験池に流入した恐れがある。

なお、一般の下水処理等では汚泥収支を考えるとときに除去されたBODが汚泥に転換することを考慮している。昨年度の結果から原水BODは約4mg/Lであり、その50%程度が除去されている。汚泥転換率を15%として算出すると除去BODの汚泥転換総量は年間33kgであり、SS除去総量1.7tに比べて極めて少量となるので無視できるものと考えられる。

また、処理槽内に蓄積した汚泥は槽内に長期間貯留することで徐々に分解が進み、減量化されていることが期待される。表4-3に示した通り、汚泥の強熱減量は11.2%～14.4%であった。原水SS中の強熱減量(VSS/SS)は前述の通り20～30%程度であった。これは本年度の水質データであり、評価に供した汚泥とは時期が異なるために正確な比較はできないが、原水SSの強熱減量に比べ槽内に蓄積した汚泥の強熱減量は低下する傾向が示唆された。

浄化施設の環境負荷を低減するためには汚泥を農緑地へ循環利用するのが望ましいと考えられる。そこでコンポスト化など汚泥の農緑地還元について検討する。本実験で発生した汚泥の性状は表4-3、4-4に示した通りであるが、この汚泥は湖水沈殿物、すなわち湖沼の底泥に似た性状であることが予想される。そこで本実験の汚泥と相模湖・津久井湖の底泥の調査結果<sup>10)</sup>を比較した結果を表5-2に示す。参考のため下水汚泥の例も併記した<sup>11)</sup>。ここで下水汚泥は脱水汚泥である。ここにあげた項目で見ると、本実験の汚泥は予想した通り湖沼底泥と非常に良く似た性状であることがわかる。また、下水汚泥と比べると有機物量や窒素、リンなどの肥料成分の含有量は1/10以下であった。

推名らの研究<sup>10)</sup>によると、相模湖・津久井湖の底泥はそのままでは肥料成分が少なく農業利用には適さないが、コーヒ一粕や鶏糞を添加することで栄養成分を改善して良好な園芸培土を作成できたと報告している。今後このような手法を活用することで、本浄化施設で発生する汚泥の農緑地利用が可能になるものと思われる。

表5-4 各種汚泥性状の比較

	含水率	炭素： C	窒素： N	リン： P	カリウム： K	C/N比
本実験(表4-2, 4-3)	60.6%	1.4%	0.42%	0.18%	3.30%	3.3
湖沼底泥 <sup>10)</sup>	61.8%	2.6%	0.23%	0.13%	1.01%	11.6
下水汚泥 <sup>11)</sup>	78.7%	32.7%	4.72%	2.31%	0.27%	6.9

### 5.3 池の浄化効果に関する評価

#### (1) H11年度とH12年度の池水水質推移の比較

昨年度(H11)と本年度(H12)の池水クロロフィルa、SSの経日推移を図5-6に示す。両年度ともに浄化施設の定格総処理量は300m<sup>3</sup>/日である。また、H11年度は8月1日から、H12年度は8月7日からと、ほぼ同時期に定格運転を開始している。よって浄化施設の総合的な運用条件は両年度とも同等であると考えられる。図5-6に示した水質推移では、両年度のクロロフィルa、SSの経日推移は同じ傾向で推移しており、得られた浄化効果についても両年度とも同等であったことがうかがえる。

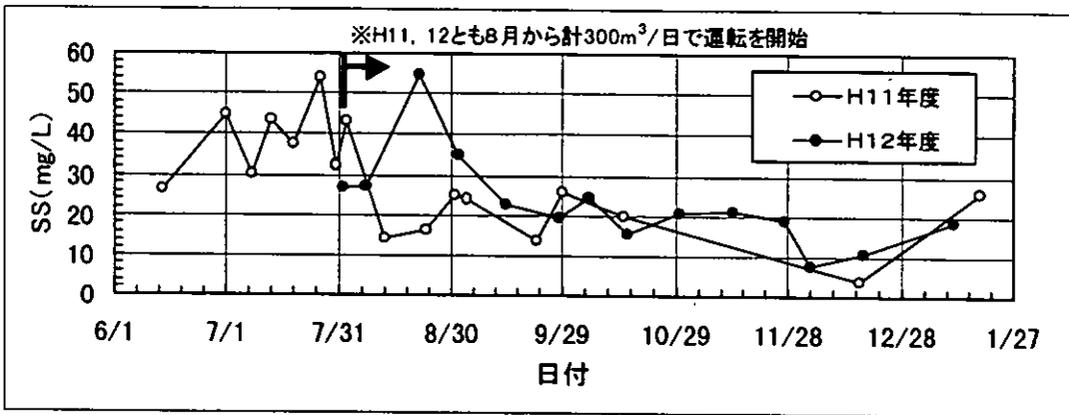
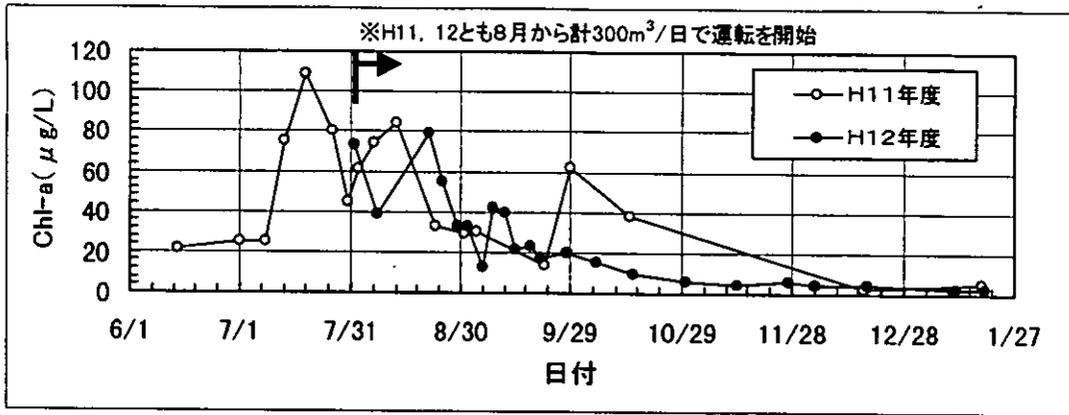


図5-6 H11、12年度の池水クロロフィルa、SSの経日推移

(2) 池水質予測シミュレーションの妥当性の検討

昨年度の報告では文献<sup>12)</sup>による生態系モデルを用いた池水質予測シミュレーションにより浄化効果を概ね予測することが可能であることを示した。前述した通り、本年度は藻類種など昨年度とは異なる池水性状であったので、本年度の結果についても同様のシミュレーションが池水質推移の予測に妥当であるか検討した。本年度の浄化施設運用実績に即した条件で池水クロロフィルa濃度の経日推移を計算した結果を図5-7に示す。予測計算結果は実測値の推移を概ね再現しており、本年度の結果についても本計算手法が水質予測として妥当なものと思われる。

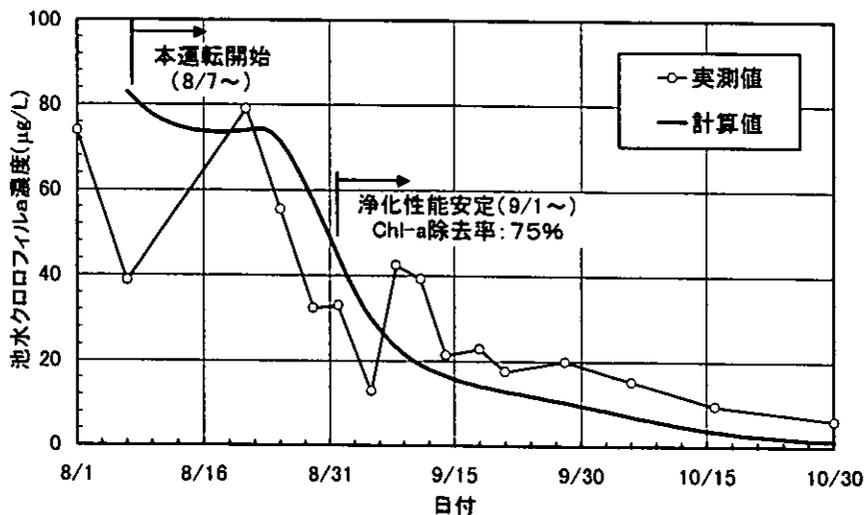


図5-7 池水クロロフィルa濃度経日推移のシミュレーション結果

## 6. まとめ

本年度の実験成果をまとめると下記のようなになる。

- ①ひも状繊維接触酸化方式による実験池水の処理性能は、夏期平均クロロフィルa除去率として70%以上が得られ、昨年度と同様に良好な性能を示した。また、浄化性能は原水クロロフィルaが20 $\mu$ g/L以上、水温が20 $^{\circ}$ C以上の範囲で安定して高い除去率が得られており、昨年度と同様の傾向を示した。以上の結果から、運転開始時に槽内に蓄積した汚泥を排出して接触材の洗浄を行った場合、処理性能を2年間の長期にわたり維持できることがわかった。
- ②1列あたりの処理量を100、200 $m^3$ /日と設定して運転した結果、第1、2槽合計の夏期平均クロロフィルa除去率は各々77.8、74.0%が得られた。昨年度の結果と合わせて検討した結果、合計処理量が約350 $m^3$ /日（1列あたり175 $m^3$ /日）以上で最大のクロロフィルa除去量が得られると予想された。省エネルギーの観点から除去量が同じであれば所要動力（処理量）は小さい方がよいので、本浄化施設の合計処理量は概ね300~400 $m^3$ /日が最適と考えられる。
- ③12ヶ月間の運転により槽内に蓄積した汚泥の総量は6.2 $m^3$ 、乾燥質量2.7tであった。この汚泥量は年1回程度の回収で運用できるものと判断される。なお、汚泥の総乾燥質量をSS収支から求めた推定値は1.7tであった。
- ④本浄化施設で発生した汚泥の農緑地利用を検討した結果、肥料成分が少ないためそのままでは農業利用に適さないことがわかった。しかし、コーヒー粕や鶏糞を添加する手法<sup>10)</sup>などにより栄養成分を改善して園芸培土として利用が可能になるものと考えられる。

また、本施設での今後の課題としては、下記項目があげられる。

- ①ソーラ単独運転による昼夜間欠運転時の特性の把握
- ②ひも方式と流動床方式の適用区分設計と実施設計例の検討

## 参考文献

- ①滋賀県 1997年3月 琵琶湖総合保全整備の在り方 資料-19
- ②山敷庸亮・熊谷道夫他（1997）気象変動に対する南湖水質形成特性に関する研究、琵琶湖研究所報、15、20-23
- ③白崎亮：環境新聞平成11年11月17日「河川浄化技術の現状と課題」
- ④須藤隆一：用水と廃水 Vol. 32、No. 8（1990）「水域の直接浄化の意義と展望」
- ⑤森田裕三：環境技術 Vol. 23、No. 6（1994）「ひも状接触材による河川の直接浄化について」
- ⑥（財）琵琶湖・淀川水質保全機構：平成11年度ソフトエネルギー浄化実験業務報告書
- ⑦渡辺吉男：用水と廃水 Vol. 40、No. 10（1998）「汚濁河川、水路の直接浄化技術」
- ⑧滋賀県 環境白書 -資料編- 平成10年度版
- ⑨滋賀県 環境白書 -資料編- 平成12年度版
- ⑩神奈川県企画部科学技術振興課「相模湖・津久井湖の藻類による汚濁機構解明とその浄化・資源化技術に関する研究」平成11年度科学技術総合研究委託費 地域先導研究 研究成果報告書、157-167
- ⑪下水汚泥資源利用協議会 下水汚泥の農地・緑地利用マニュアル（1996）p. 24
- ⑫松岡譲（1984）霞ヶ浦の富栄養化モデル、国立環境研究所報告第54号

## 実験担当者

財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構	実験センター所長	田井中善雄
	実験センター研究員	馬場 玲子
株式会社日立製作所	機械研究所研究員	田中 哲也
	土浦工場参事	仲平 四郎