

# パイナップル缶詰工場廃水の 効率的処理法に関する研究

化学室 比 嘉 三 利  
宮 城 周 子  
宮 城 勝 治

## 1. まえがき

本県の基幹産業であるパイナップル缶詰工場は11工場あり、パイナップル果実の生産地である本島北部、久米島および八重山郡島に分布している。パイナップル果実加工は季節操業で、年間操業日数は約120日間であり、その日数のうち約70%が8月～11月の操業ピーク時に集中している。また、休業期は6月～7月の2カ月間である。

パイナップル缶詰工場から排出される廃水は廃水中に果汁、果肉片等が混入していて、放流先で異臭を発生する場合があります。工場の立地環境は山間部がほとんどであるが、生活環境汚染源として指摘されていた。

果実加工業に対する暫定排水基準の期限もすでに切れ、現在一律排水基準が適用され、未処理の工場に対して改善命令が出されている。今のところ、他に類似した廃水がないことと、パイナップル缶詰工場廃水処理に関する試験、研究資料がとぼしい状態などで、関係業界から低廉で効率的な処理法の確立が切望されている。よって本研究ではパイナップル缶詰工場廃水の効率的な処理法の検討とその方法の普及を目的として、廃水量、水質の実態調査を実施し、また、回分式活性汚泥法（廃水貯槽と曝気槽および沈澱槽の各機能を曝気槽一つで兼用する方式）による基礎処理実験を行ない、実装置の設計に必要な諸元について検討した。

## 2. 廃水量および水質性状

### 2・1 製造工程と廃水源

製造工程と廃水系路は図1に示す。廃水は(イ)果実洗浄廃水、(ロ)芽取り等のライン廃水、容器洗浄廃水、清掃廃水（以下工程廃水）および(ハ)冷却廃水等であり、パイナップル果実加工は用水型産業で原料用水はわずかで、大部分の用水が果実の洗浄および冷却水に利用されている。

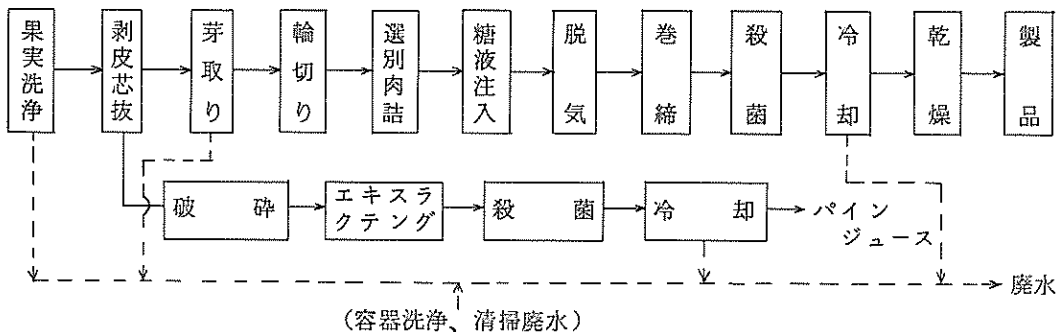


図1 製造工程と廃水系路

## 2・2 廃水量

夏期操業最盛期の3工場について(1)総廃水量、(2)工程廃水量および(3)冷却廃水量の調査を行なった。

### 2・2・1 測定方法

JIS K 0094 に準じ、(イ)容器による測定と(ロ)水路での浮子（発泡スチロール利用）による測定法を採用し、操業開始時から終了時まで15分間隔で2～3日間の連続測定を行なった。

### 2・2・2 測定結果

各工場ごとの測定結果は表1および表2に示し、総廃水量の経時変化は図2、工程廃水量の経時変化は図3、冷却廃水量は図4および洗果廃水量は図5にそれぞれ示す。また、廃水量の確率図を図6、図7および図8に示す。

表1 廃水量の測定結果

項目	工場別	R P			D P		O P		
		原料処理量 トン/日	83.7	78.2	82.1	38.4	58.4	114.4	112.7
A 総合廃水量 m <sup>3</sup> /日		626	619	633	338	360	※654	※639.6	※646.4
B 工程廃水量 m <sup>3</sup> /日		※244	※230	※237	※42.8	※64.8	424.8	410.4	417.2
C 冷却廃水量 m <sup>3</sup> /日		316	323	330	295.2	295.2	151.2	151.2	151.2
D 洗果廃水量 m <sup>3</sup> /日		※66	※66	66	-	-	※78	※78	78
B/A (%)		39.0	37.2	37.4	12.7	18.0	65.0	64.2	64.5
C/A (%)		50.5	52.2	52.1	87.3	82.0	23.1	23.6	23.4
D/A (%)		10.5	10.7	10.4	-	-	11.9	12.2	12.1

(備考) ※推定値 一欠測

表2 廃水量原単位

項目	工場別	R P			D P		O P		
		原料処理量 トン/日	83.7	78.2	82.1	38.4	58.4	114.4	112.7
総合廃水量 m <sup>3</sup> /日		626	619	633	338	360	654	639.6	646.4
廃水量原単位 m <sup>3</sup> /トン		7.48	7.92	7.71	8.80	6.16	5.72	5.68	7.52

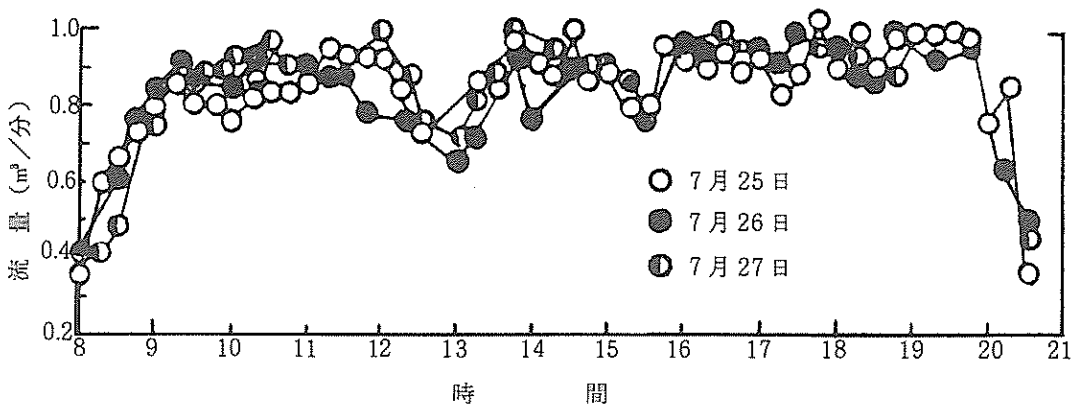


図2 総廃水量の変化 (R P工場)

総廃水量は約 350 ~ 630 m<sup>3</sup>/日で、工程廃水量は総廃水量の約 15 ~ 65 %、冷却廃水量は約 23 ~ 87 % および洗果廃水量は約 10 ~ 12 % をそれぞれ占めており、工場によって用水の使用方に差異が見られた。廃水量原単位は約 6 ~ 8 m<sup>3</sup>/トンで用水の節減の余地がのこされているように思われる。

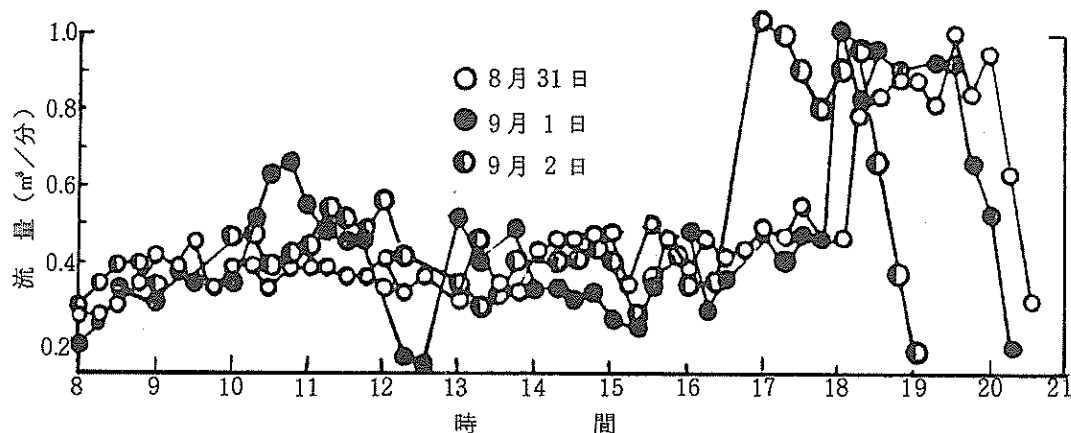


図3 工程系廃水量の変化 (OP工場)

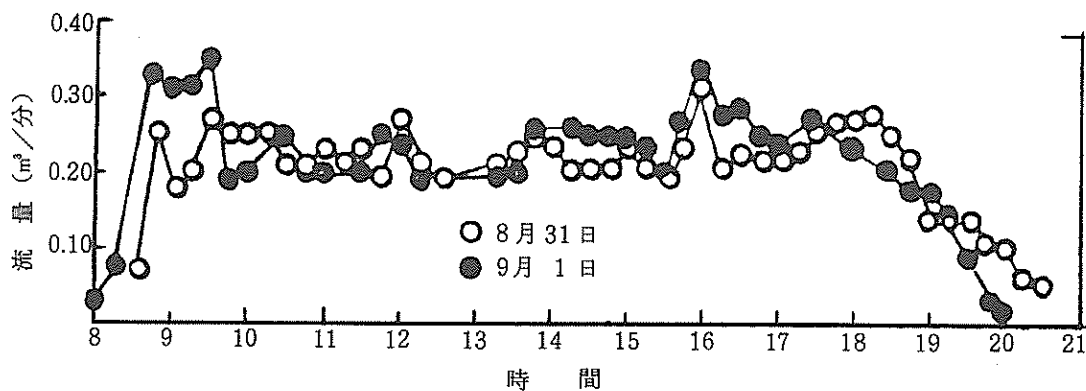


図4 冷却廃水量の変化 (OP工場)

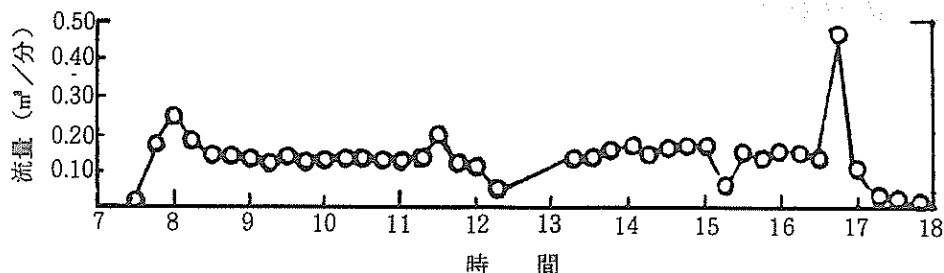


図5 洗果廃水量の変化 (OP工場)

廃水量の時間変動は操業前、中半は昼休み時間を除いて大きな変化は見られないが、後半にかけて急激な変化があり、これは容器洗浄および清掃廃水が排出されるためと思われる。廃水量を確率紙で観察すると、総廃水量はRP工場で50%非超過確率値は0.86 m<sup>3</sup>/分、75%値は0.94 m<sup>3</sup>/分であり、DP工場では50%値0.46 m<sup>3</sup>/分、75%値0.54 m<sup>3</sup>/分を示した。またOP工場の工程廃水量の50%非超過確率値は0.45 m<sup>3</sup>/分で75%値は0.61 m<sup>3</sup>/分であった。

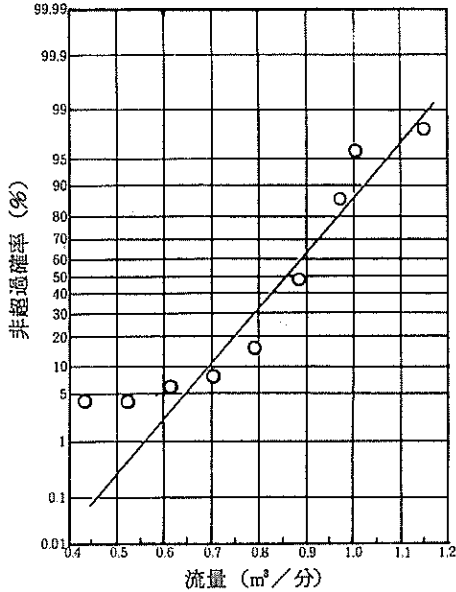


図6 総廃水量の確率図 (RP工場)

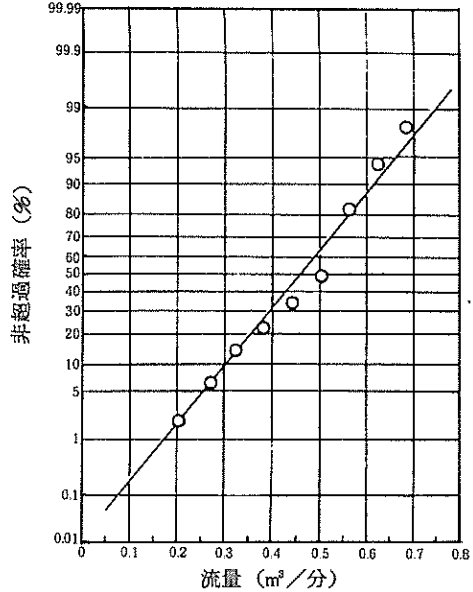


図7 総廃水量の確率図 (DP工場)

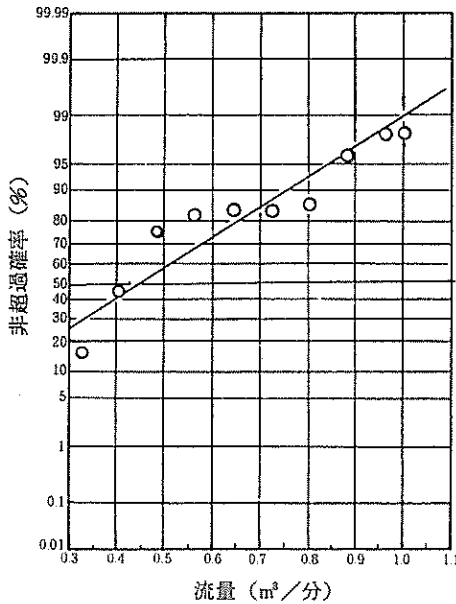


図8 工程廃水の確率図 (OP工場)

### 2・3 水質性状

廃水量測定と並行して、2工場について工程廃水を経時的に採取して水質の経時変動を調べた。

#### 2・3・1 試料採取および分析方法

1時間間隔にpHを現場で測定するとともにBOD、COD、SS等の一般項目分析試料をポリエチレン瓶(2ℓ)に採取し、また窒素、リン酸イオン分析用試料はポリエチレン瓶およびガラス瓶(1ℓ)にそれぞれ採取し、濃硫酸1mlを添加して、室内分析に供した。

窒素の分析はケルダール法で行ない、他項目の分析はJIS K 0102工場排水試験方法に準じた。

#### 2・3・2 結果および考察

pH、COD、BODおよびTOCの経時変化は図9、図10に示し、流量とBOD、CODの

関係は図11、BODとCODの関係は図12、BODとTOCの関係は図13、CODとTOCの関係は図14およびpHとBODの関係は図15にそれぞれ示す。また濃廃液の水質は表3に示す。

(1) 水質の変化

調査した2工場の廃水々質は時間変動があった。DP工場の場合、pHは3.9~7.1で平均4.76で酸性を示し、BOD値は2,100~48,600 mg/lで変化し平均6,300 mg/lであり、COD値は30~16,000 mg/lの範囲の値で平均4,500 mg/lであった。またSS値は15~5,200 mg/lで平均1,200 mg/lを示す。OP工場ではpHが4.40~6.90で平均5.18を示し、BOD値は700~5,600 mg/l、COD値は390~4,400 mg/lでそれぞれ平均3,700 mg/lおよび2,500 mg/lであった。SS値は188~1,065 mg/lで平均405 mg/lを示す。

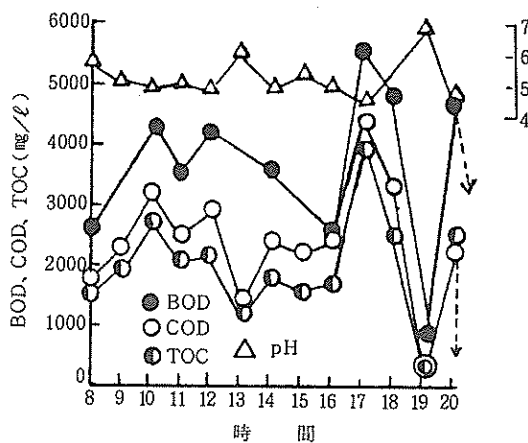


図9 pH、BOD、COD、TOCの変化 (OP工場)

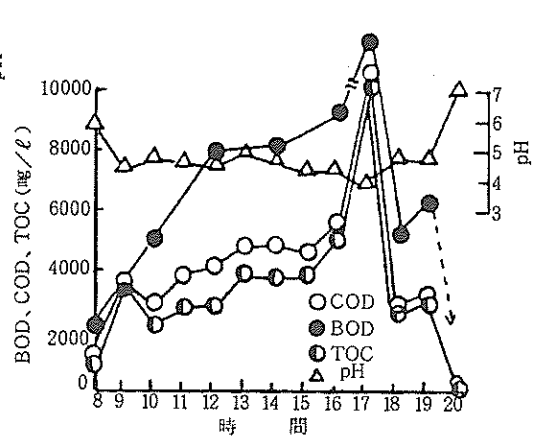


図10 pH、BOD、COD、TOCの変化 (DP工場)

両工場の廃水は高い汚濁が見られ、特に操業後半に高濃度な廃水が排出されている。表3より最大の汚濁源はジュース工程での果汁泡、および搾汁の漏洩、並びに芽取り、サイザー工程からの果汁の混入が考えられる。また図11より流量と水質はほぼ同様な変化を示している。

(2) BOD、CODおよびTOCの関係

BODとCOD、TOCとBODおよびCODとTOCには相関性があり、次のような回帰式が得られた。

- (a)  $BOD = 1.63 COD - 109$  (2.1)
- (b)  $BOD = 1.93 TOC + 30$  (2.2)
- (c)  $COD = 1.20 TOC + 45$  (2.3)

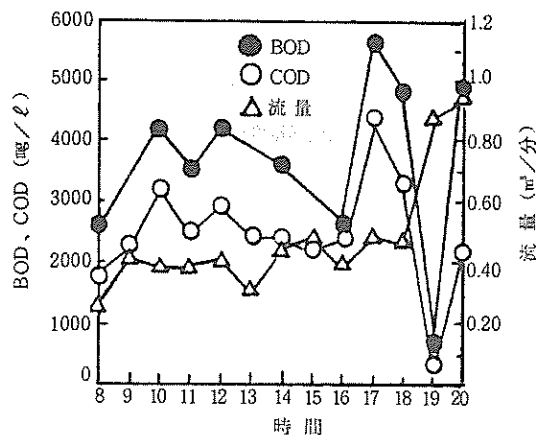


図11 流量とBOD、CODの関係

表 3 濃廃液の水質

項目 工程	外 観	pH	COD (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	廃液量 (ℓ/日)	BOD 負荷量 (kg/日)
ジュース	淡黄濁	3.60	63,000	63,360	2,030	240	15.2
サイザー	緑色濁	3.98	52,200	51,300	900	500	25.7
芽取り	淡黄濁	3.50	61,200	51,720	1,315	155	8.0

このように各汚濁指標間に高い相関性があることは廃水成分が一定していると考えられ、これによって汚濁指標の一方を測定して他の項目を予測でき、短時間に水質の把握ができると思われる。

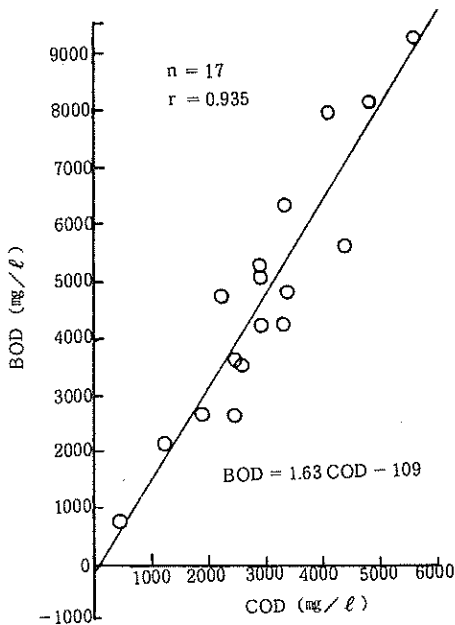


図 12 BODとCODの関係

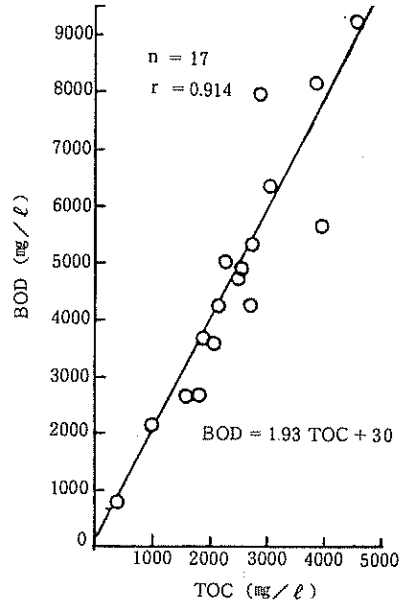


図 13 BODとTOCの関係

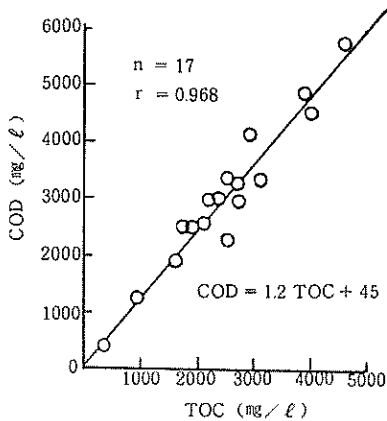


図 14 CODとTOCの関係

この相関は原廃水について得たもので、処理の経過とともにこの関係が変わり、処理水については相関係数が変わるが一定の関係を示すことが知られている。

(3) pHとBODの関係

pHとBODは片対数方眼紙上で負の相関性があり、回帰式

$$BOD = 398,107e^{-0.956 \text{pH}} \quad (2 \cdot 4)$$

が得られた。パイナップル缶詰工場廃水のpH因子としては果汁(クエン酸)が考えられ、pHとBODが関係づけられると思われる。(2・4)式より廃水のpHが低くなるとBODは高い値ができることが予想される。

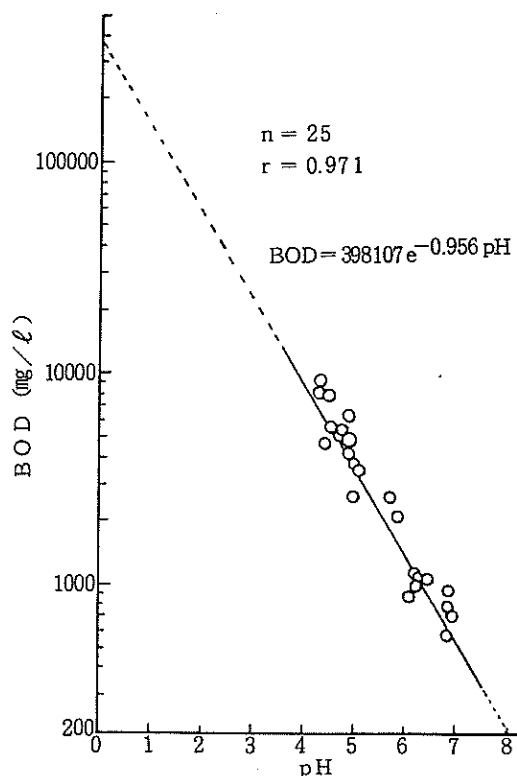


図 15 pH と BOD の関係

(4) 窒素とリン

廃水中の窒素は13.7~292 mg/ℓで、N/BOD比は平均1/73であり、リンは0.02~8.87 mg/ℓでP/BOD比は平均1/2,044である。一般に生物学的処理を行なう場合、BOD:N:P=100:5:1が必要とされているが、これと比較するとNは約3.5倍量、Pは約20倍量それぞれ不足している。

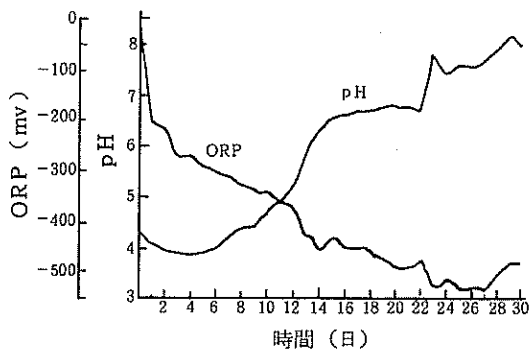


図 17 濃廃水の pH、ORP の変化

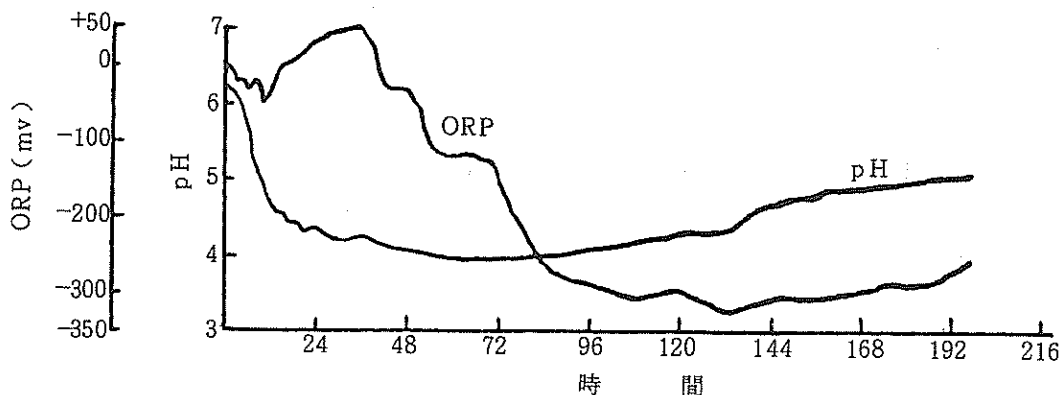


図 16 希薄廃水の pH、ORP の変化

(5) 廃水の酸敗試験

廃水の酸敗状況を希薄廃水 (BOD約 1,000 mg/ℓ) と濃廃水 (BOD約 5,000 mg/ℓ) について調べた。その結果を希薄廃水は図 16、濃廃水は図 17 にそれぞれ示す。

希薄廃水の場合、初発 pH 6.4 に対し、経時的に低下していき 60 時間後には pH 3.9 まで下がり、以後上昇する現象が見られた。また ORP (酸化還元電位) は最初酸化電位で変化していたが、40

時間後から還元電位を示し、以後還元状態になった。

濃廃水の場合も、pH、ORPは経時的に低下し、pHは貯留4日目に3.9まで低下し、以後上昇する現象が見られた。pH、ORPとも希薄廃水と比較して緩慢な変化を示していたが、これは雑菌等の繁殖が遅いためと思われる。

### 3. 処理実験

パイナップル缶詰工場廃水の効率的な処理法を検討するため、回分式活性汚泥法による処理実験を行なった。実験は室内処理実験と現場での実証処理実験を行なった。

#### 3・1 室内処理実験

##### 3・1・1 実験方法

###### (1) 試料

Aパイナップル缶詰工場から比較的高濃度の廃水を採取して、ガーゼ1枚で濾過したものを原液とし、実験にはこの原液を適宜希釈して使用した。

###### (2) 活性汚泥

人工廃水（ペプトン、グルコース、リン酸-カリウム混合）で培養したものを使用した。

###### (3) 分析方法

pH（日立掘場M-7E型）、濁度（日本電色T-3,000）、COD、BOD、TOC（東芝ベックマン102A型）、およびSSはJIS K 0102工場排水試験方法に準じ、他の項目は次のように行なった。

###### (a) MLSS（活性汚泥濃度）

遠沈管（10 ml）に活性汚泥混合液 10 mlを取り、3,000 rpmで10分間遠心分離後、上澄水を捨て沈降汚泥を110℃で乾燥秤量し乾物量から $\text{mg}/\ell$ で示した。

###### (b) $SV_{30}$ （活性汚泥沈降容積％）

活性汚泥混合液を200 mlメスシリンダーに取り、混合後30分間静置した時の汚泥の界面（h ml）を読み、次式より求めた。

$$SV_{30} = h / 200 \times 100 = h / 2$$

###### (c) SVI（活性汚泥沈降容積指標）

(a)、(b)のMLSS、 $SV_{30}$ の値から次式により算出した。

$$SVI (\text{ml} / \text{g}) = [SV_{30} (\%) / \text{MLSS} (\text{mg} / \ell)] \times 10,000$$

###### (d) 活性汚泥の酸素利用速度

EIL 1520型溶存酸素計を用い、下水試験方法（1974）に準じた。

なお、処理水の分析は同一試料をNo.2濾紙で濾過したものと未濾過のものについてそれぞれ行なった。

###### (4) 実験装置：回分式活性汚泥法処理装置、常盤製作所

曝気槽は透明アクリル樹脂製で実容積は10ℓであり、槽内の水温を一定に保つため、恒温水槽中に置かれている。また曝気槽内の混合液のpH、DO（溶存酸素）およびORPを連続自記計測できるようにになっている。実験装置のフローシートを図18に示す。



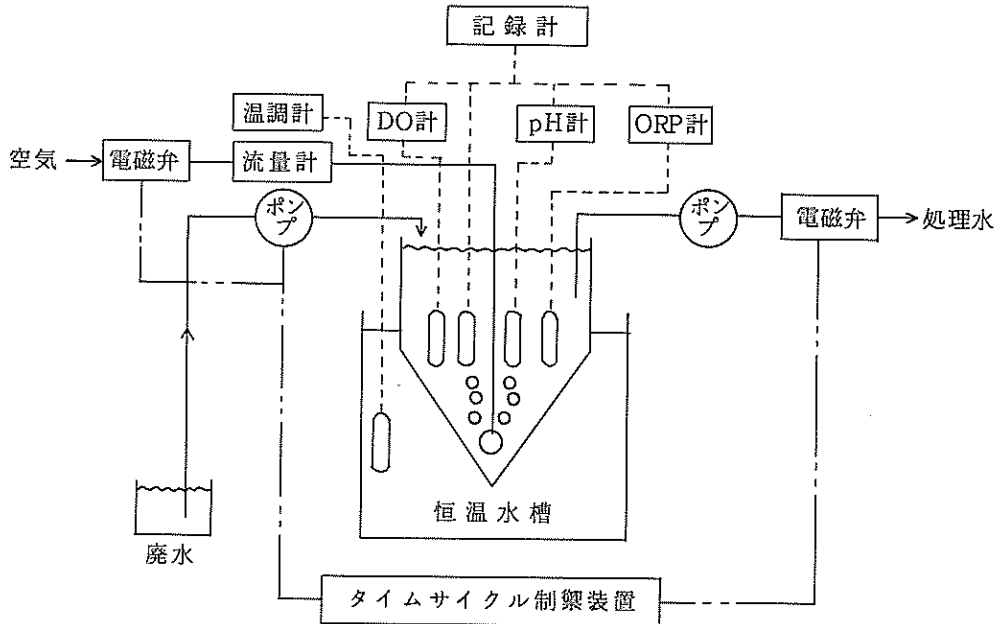


図 18 実験装置フローシート

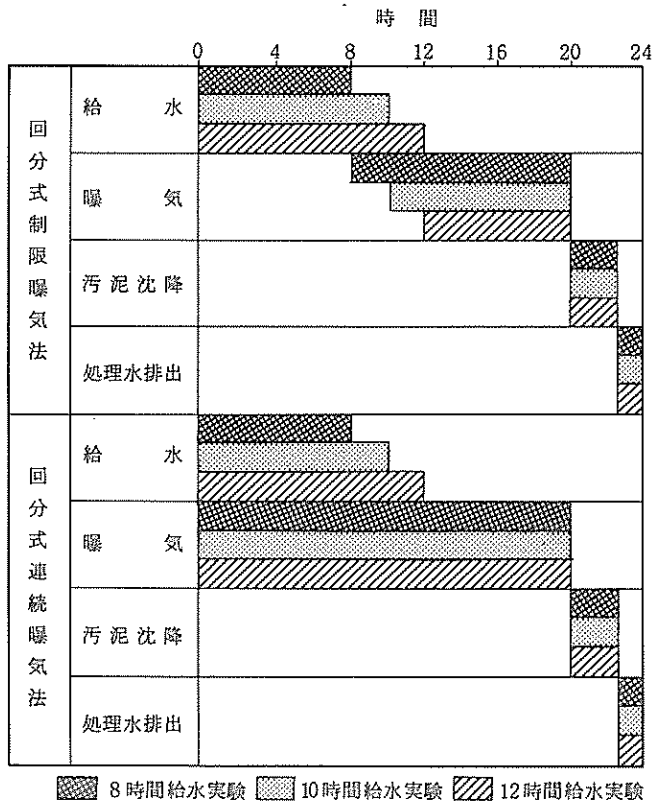


図 19 処理方式と操作時間内容

### 3・1・2 処理方式と実験条件

処理方式は(1)回分式制限曝気法(以下制限曝気法: 国有特許)と(2)回分式連続曝気法(以下連続曝気法)の2方式とし、工場の各種操業形態を想定して8時間、10時間および12時間給水実験を行なった。操作内容を図19に示す。

実験条件は原廃水のpHは無調整でBODは約2,000mg/lにし、また栄養源(N、P)として10%尿素および10%リン酸ニカルウム溶液を用い、BOD:N:P=100:5:1になるように不足分を添加した。

活性汚泥の馴養期間は7日間で、BOD負荷は21日

間単位で負荷を上げていき  $0.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ 、 $0.8 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  および  $1.0 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  に設定した。曝気槽内の温度は  $25^\circ\text{C}$  に保持し、槽内の溶存酸素は酸素飽和度 60% 以上を維持するように空気量を調節した。また活性汚泥濃度は約  $5,000 \text{ mg/l}$  になるように随時引き抜きを行なった。

### 3・1・3 実験結果および考察

#### (1) 処理水々質

2方式により処理した処理水の BOD、COD および TOC の経時変化を制限曝気法によったのは図 20、図 21 と図 22 に、連続曝気法の場合は図 23、図 24、図 25 にそれぞれ示し、また BOD と COD 除去率の変化は図 26 と図 27 に、濁度の変化は図 28 と図 29 に示す。なお各 BOD 負荷における最終的な処理水々質を表 4、表 5 および表 6 にそれぞれ示す。

(注) 図 21、22、23、24、25、28、29 において、ラインを超えるプロットは右の目盛を読むこと。

制限曝気法による処理水は原废水の pH が  $3.55 \sim 4.64$  に対し、 $\text{pH } 7.70 \sim 8.19$  を示し、BOD 除去率は平均  $96.5 \sim 99.7\%$  で、BOD 負荷  $0.8 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  (12 時間給水実験) の処理初期に BOD

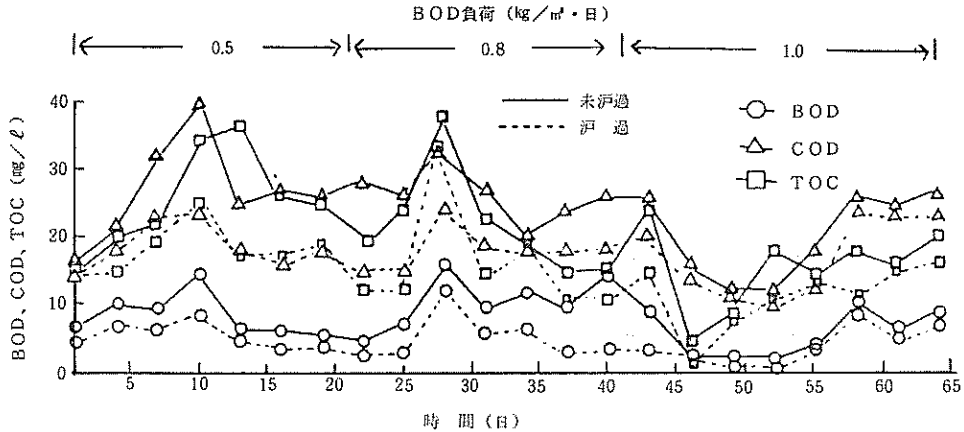


図 20 処理水水質の変化 (制限曝気法：8 時間給水実験)

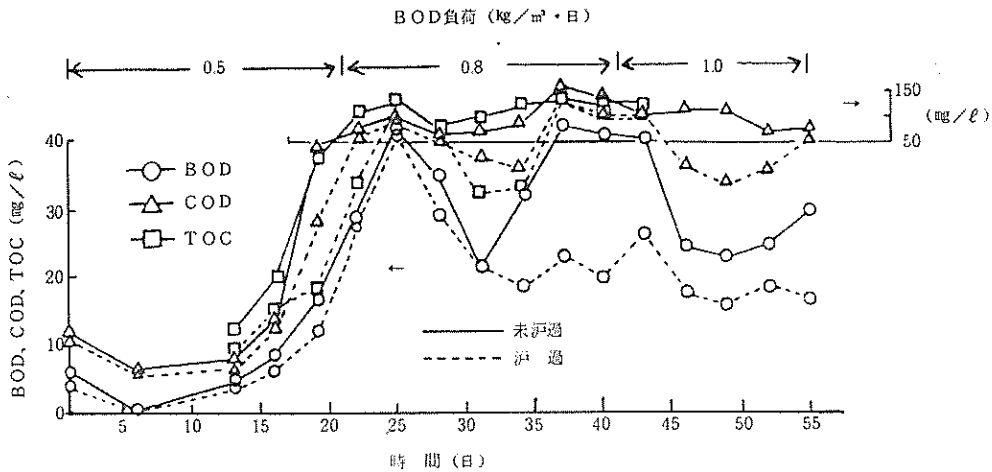


図 21 処理水水質の変化 (制限曝気法：10 時間給水実験)

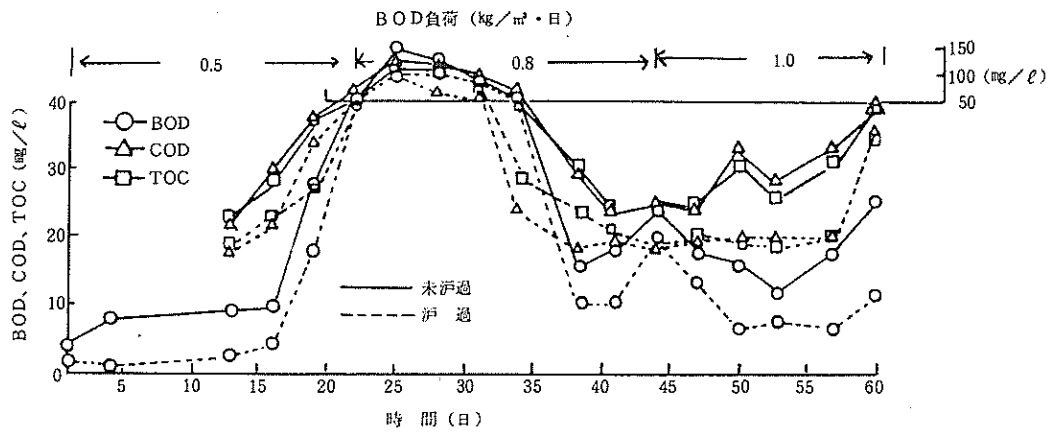


図 22 処理水水質の変化 (制限曝気法：12 時間給水実験)

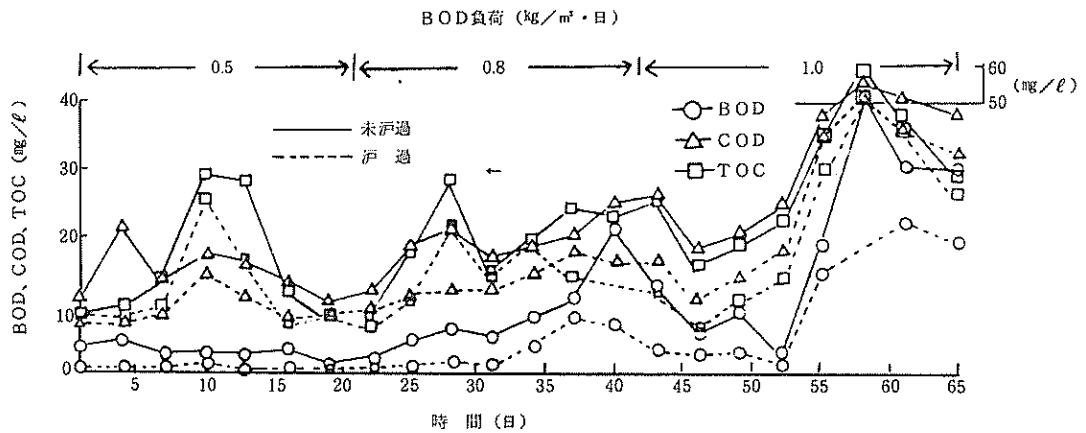


図 23 処理水水質の変化 (連続曝気法：8 時間給水実験)

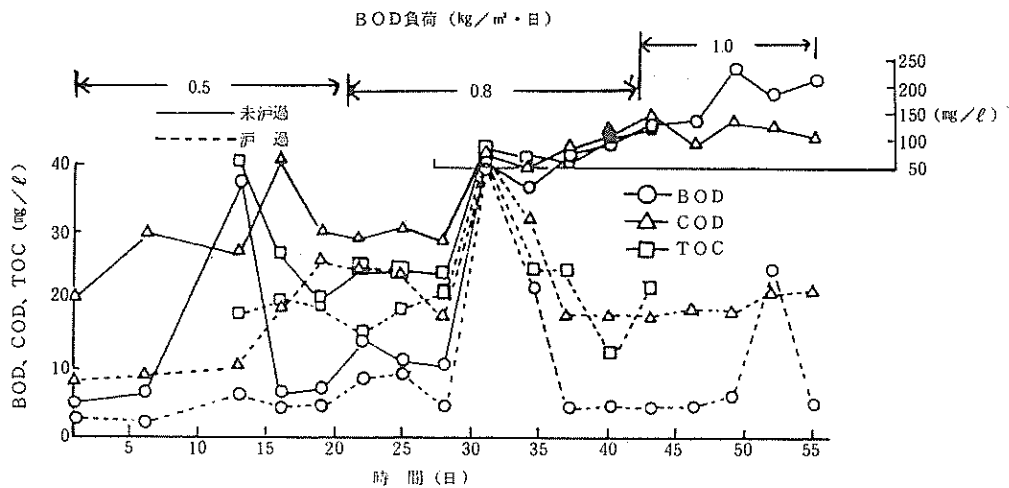


図 24 処理水水質の変化 (連続曝気法：10 時間給水実験)

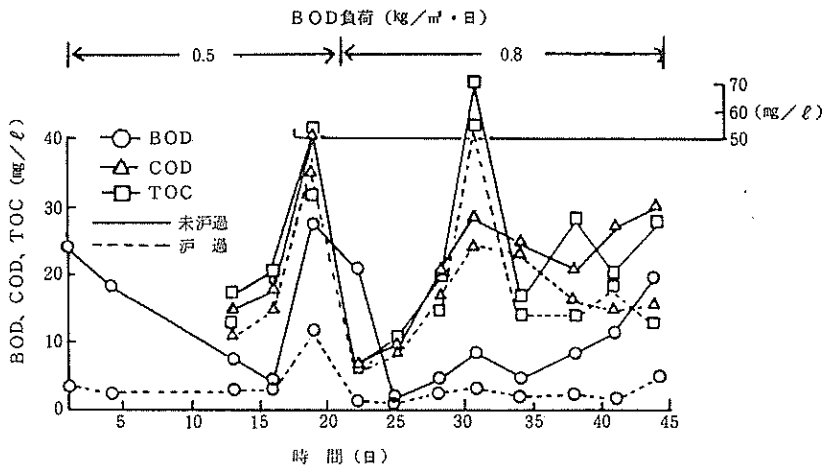


図 25 処理水水質の変化 (連続曝気法：12 時間給水実験)

除去率の低下があったが、全般的に高い除去率が得られた。CODとTOC除去率はそれぞれ平均 92.9～98.8%、93.4～98.5%を示し、BOD除去率と比較してやや低い値を示す傾向があり、特に除去率が低い場合、濁度が高い値を示しており、処理水に混入している微細の汚泥がCOD、TOC値に影響を与えていると思われる。

連続曝気法による処理水はpH 7.49～8.16を示し、BOD除去率は平均 92.1～99.8%を示し、BOD負荷  $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  (10 時間給水実験)の処理前半に除去率の低下が見られたが、全般的に高い除去率を示した。またCOD、TOC除去率はBOD負荷  $0.8 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  (10 時間給水実験)の処理後期に約 80%の低い除去率を示した。BOD除去率より低い値を示す傾向があり、制限曝気法と同様の原因が考えられる。

本実験結果では処理水々質は処理方式の違い、また給水時間の長短による大きな差異は見られず良好な浄化結果が得られた。

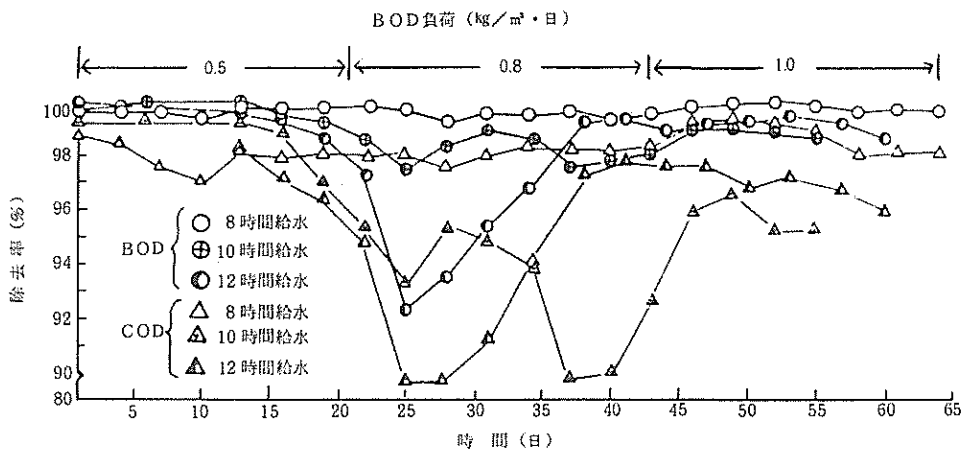


図 26 BOD、COD 除去率の変化 (制限曝気法)

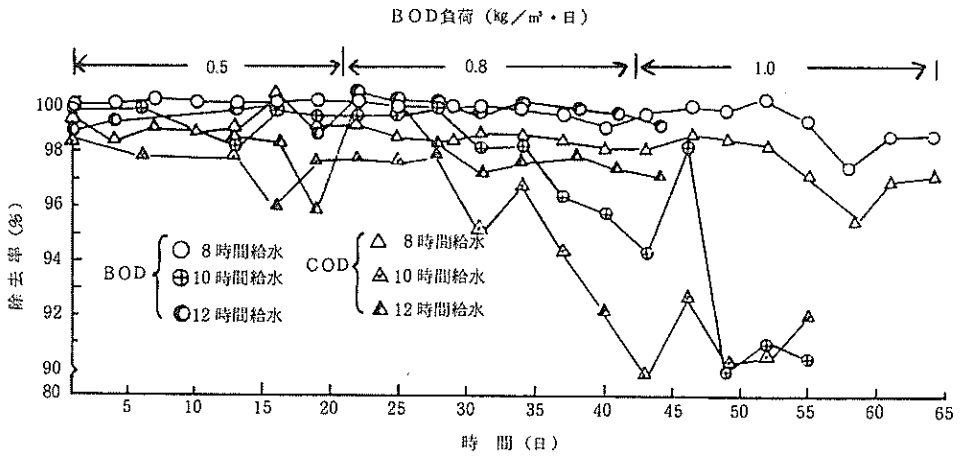


図27 BOD、COD除去率の変化 (連続曝気法)

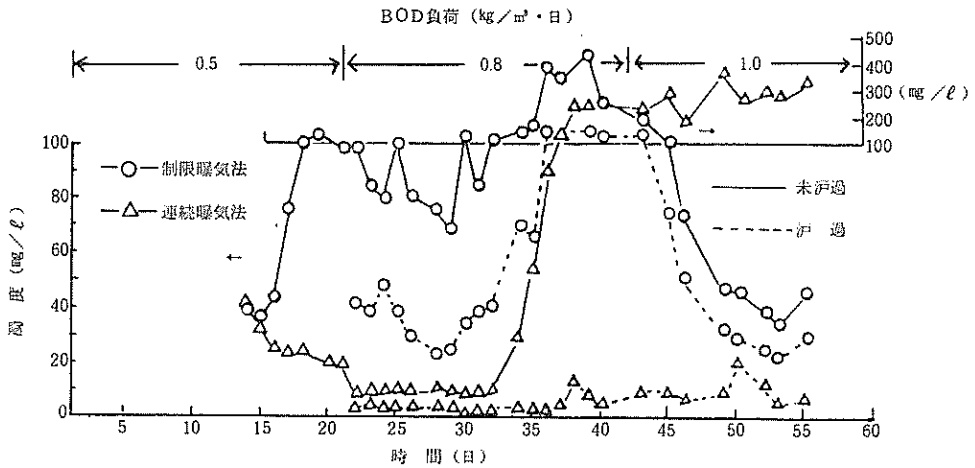


図28 処理水の濁度の変化 (10時間給水実験)

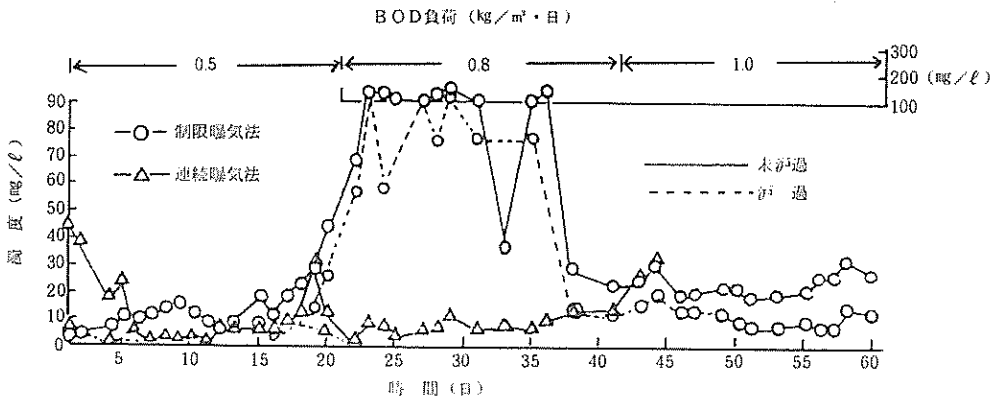


図29 処理水の濁度の変化 (12時間給水実験)

表4 処理水々質（最終）8時間給水

項目	処理方式 BOD負荷kg/m <sup>3</sup> ・日 原水	制限曝気法			連続曝気法		
		0.5	0.8	1.0	0.5	0.8	1.0
外観	淡黄濁	淡黄色	淡黄色	淡黄色	淡黄色	淡黄色	淡黄色
透視度 (cm)	-	8	30以上	30以上	30以上	30以上	15.5
pH	4.35	8.0	8.14	8.02	7.95	7.90	7.98
COD (mg/l)	1,325	25.7 (98.1)	25.7 (98.1)	26.4 (98.0)	10.6 (99.2)	25.3 (98.1)	37.9 (97.1)
BOD (mg/l)	2,035	6.1 (99.7)	13.8 (99.3)	8.4 (99.6)	1.6 (99.9)	21.7 (98.9)	29.2 (98.6)
TOC (mg/l)	1,062	25.2 (97.6)	14.5 (98.6)	20.5 (98.1)	8.7 (99.2)	23.5 (97.6)	29.0 (97.3)

(備考) ( ) 除去率% 一次測

表5 処理水々質（最終）10時間給水

項目	処理方式 BOD負荷kg/m <sup>3</sup> ・日 原水	制限曝気法			連続曝気法		
		0.5	0.8	1.0	0.5	0.8	1.0
外観	淡黄濁	淡黄濁	淡黄濁	淡黄濁	淡黄色	淡黄濁	淡黄濁
透視度 (cm)	5	7	3	10	30以上	3	2.5
pH	3.65	8.05	7.90	7.76	8.08	7.79	7.66
COD (mg/l)	1,342	39.6 (97.1)	98.1 (92.7)	61.3 (95.4)	31.5 (97.7)	149.9 (88.8)	108.2 (91.9)
BOD (mg/l)	2,086	17.4 (99.2)	42.4 (98.0)	29.9 (98.6)	14.7 (99.3)	120 (94.2)	201.3 (90.3)
TOC (mg/l)	1,223	35.0 (97.1)	91.0 (92.6)	-	21.0 (98.3)	134.5 (89.0)	-

(備考) ( ) 除去率% 一次測

表6 処理水々質（最終）12時間給水

項目	処理方式 BOD負荷kg/m <sup>3</sup> ・日 原水	制限曝気法			連続曝気法	
		0.5	0.8	1.0	0.5	0.8
外観	淡黄濁	淡黄濁	淡茶黄	淡茶黄	淡黄色	淡黄色
透視度 (cm)	3.4	7	15	18	30以上	14
pH	3.89	7.98	7.99	7.65	8.04	7.99
COD (mg/l)	1,059	54.5 (94.8)	25.9 (97.6)	42.9 (95.9)	6.7 (99.4)	30.5 (97.1)
BOD (mg/l)	2,018	55.3 (97.3)	23.7 (98.8)	27.4 (98.6)	2.1 (99.9)	19.5 (99.0)
TOC (mg/l)	1,036	59.5 (94.3)	25.0 (97.6)	42.5 (95.7)	7.7 (99.3)	28.0 (97.3)

(備考) ( ) 除去率%

## (2) 活性汚泥の性状

両方式による活性汚泥の沈降性 ( $SV_{30}$ 、 $SVI$ ) および活性汚泥濃度の経日変化を調べ、また顕微鏡による生物相の観察を行なった。

$SV_{30}$ 、 $SVI$  および  $MLSS$  の経日変化を制限曝気法の場合は図 30、連続曝気法は図 31 にそれぞれ示す。

一般に活性汚泥の沈降性の良否を決める  $SVI$  は 50 ~ 100 が良好とされている。制限曝気法の場合、 $BOD$  負荷  $0.5 \sim 0.8 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  では 8 時間、10 時間給水実験とも  $SVI$  は 100 以下を示し、沈降性は良好であったが、 $BOD$  負荷  $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  では経時的に高い値を示していき沈降性は悪かった。また 12 時間給水実験では  $BOD$  負荷  $0.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  の処理中期頃から  $BOD$  負荷  $0.8 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  まで終始 100 以上を示し、 $BOD$  負荷  $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  では 200 前後になり汚泥の沈降性は極めて悪かった。

連続曝気法の  $SVI$  は 8 ~ 10 時間給水実験での  $BOD$  負荷  $0.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  の時は 100 以下を示し、沈降性は良好であったが、 $BOD$  負荷  $0.8 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  の処理中期から経時的に  $SVI$  が高くなり、 $BOD$  負荷  $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  では 200 前後に達し、沈降性は悪化した。また 12 時間給水実験では  $BOD$  負荷  $0.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  の処理中期頃から  $SVI$  は 100 以上を示すようになり、 $BOD$  負荷  $0.8 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  の処理 14 日目には  $SVI$  は 308 を示し、汚泥の沈降性は極めて悪くなり止むなく実験を中止した。

$MLSS$  は実験期間中約  $5,000 \text{ mg/l}$  になるように随時余剰汚泥の引抜きを行なったが、結果的には制限曝気法で平均  $4,950 \sim 5,840 \text{ mg/l}$ 、連続曝気法で平均  $4,750 \sim 5,380 \text{ mg/l}$  で変動した。

以上の実験結果より、活性汚泥の沈降性は  $BOD$  負荷  $0.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  の場合は処理方式間の差は見られず良好であったが、 $BOD$  負荷  $0.8 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  では制限曝気法が良好であり、負荷  $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$  では両方式とも悪かった。

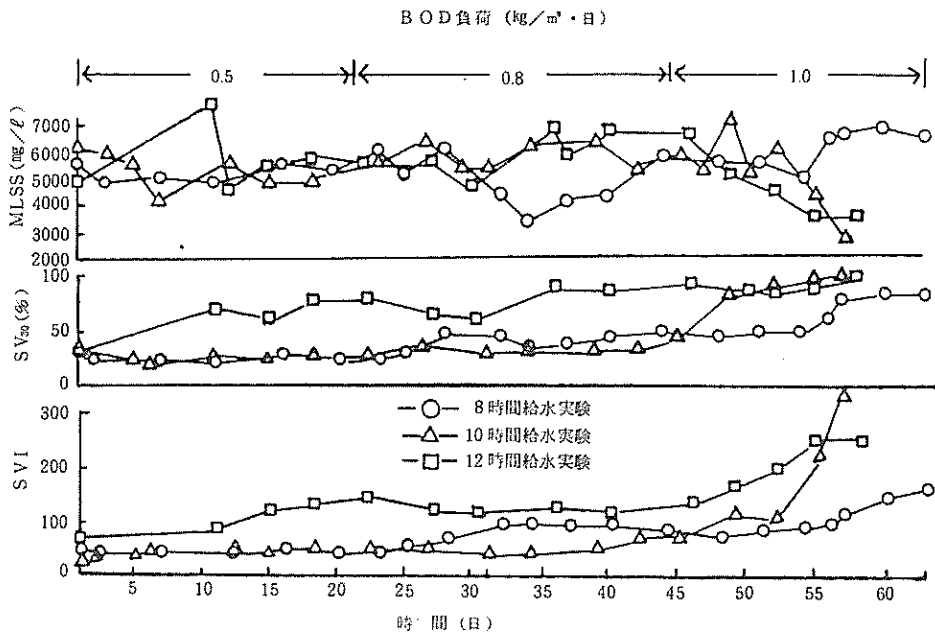


図 30  $SVI$ 、 $SV_{30}$ 、 $MLSS$  の変化 (制限曝気法)

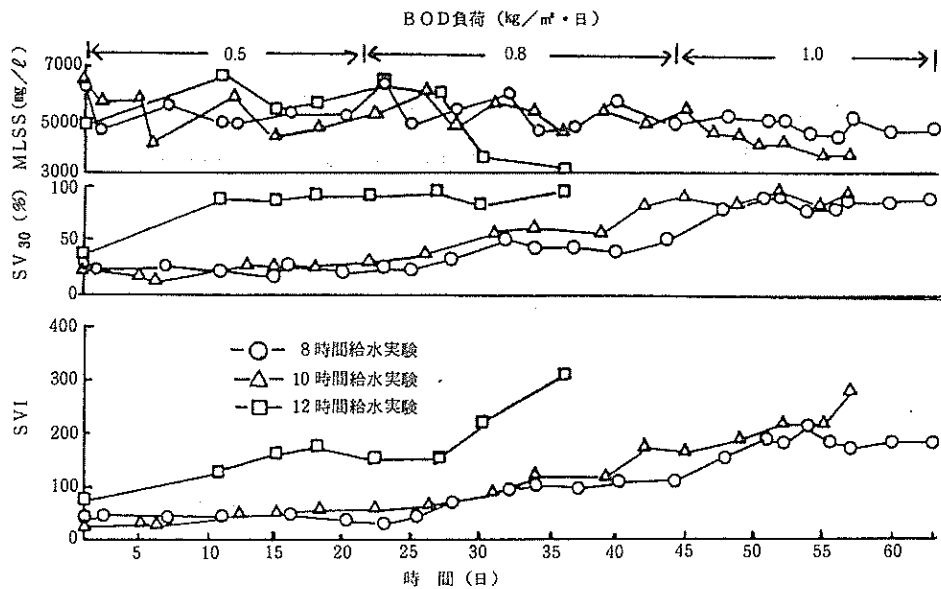


図 31 SVI、SV<sub>30</sub>、MLSSの変化 (連続曝気法)

制限曝気法の活性汚泥は BOD 負荷  $0.5 \sim 0.8 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{日}$  では外観は茶かっ色を呈し、生物相はヒルガタワムシそれにツリガネムシ等のせん毛虫類が認められ正常な状態であったが、BOD 負荷  $1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{日}$  では外観は淡茶色を呈し、汚泥は分散し、生物相も糸状性細菌が多数観察され、沈降性と合わせ悪い状態であった。

連続曝気法の活性汚泥は BOD 負荷  $0.5 \sim 0.8 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{日}$  では 8～10 時間給水実験とも外観は茶かっ色を呈し、生物相も制限曝気法とはほぼ同様であり正常であった。一方 BOD 負荷  $1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{日}$  では 8 時間給水実験の時、糸状性細菌が多数観察され汚泥も分散していたが、10 時間給水実験ではツリガネムシが多数観察され、糸状性細菌は少なく沈降性悪化と生物相との関連づけができなかった。同様の現象が 12 時間給水実験の BOD 負荷  $0.8 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{日}$  でも見られ、沈降性の悪化は糸状性細菌以外の要因が考えられるが明らかにすることはできなかった。

### (3) 曝気槽内の環境変化

定常状態になった曝気槽内の pH、DO、ORP の変化を 24 時間自計計測した。制限曝気法の 1 例は図 32 に、連続曝気法の 1 例は図 33 にそれぞれ示す。

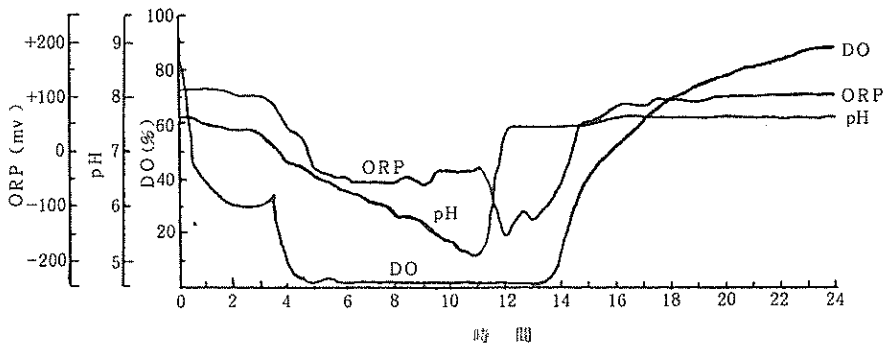


図 32 曝気槽内の pH、DO、ORP の変化 (制限曝気法)



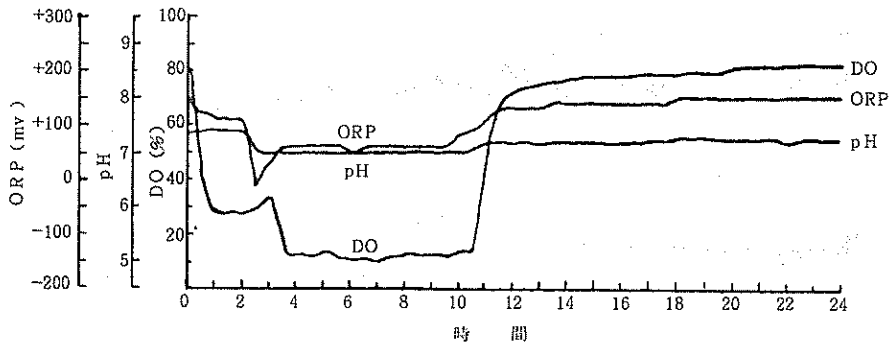


図 33 曝気槽内の pH、DO、ORP の変化 (連続曝気法)

制限曝気法の場合は DO = 0 状態が長く、また曝気開始とともに pH、ORP の急激な変化が見られ、連続曝気法は pH、ORP とも緩慢な変化を示しており、曝気槽内の環境変化は処理方式による差異が見られた。

#### (4) BOD の除去速度

一般に曝気槽における BOD 除去速度は一次反応に従うと云われ、BOD 除去反応式は

$$-dL/dt = K SaL$$

K : BOD 除去速度恒数

Sa : MLSS 濃度

L : BOD 濃度

で表わされ、これを積分すると次式が得られる。

$$Le/Lo = e^{-K Sat}$$

Le : t 時間後に残存する BOD 濃度

Lo : 原水 BOD 濃度

t : 時間

従って、BOD 除去速度恒数は片対数方眼紙の横軸に Sa · t をとり、縦軸に Le/Lo をプロットして直線の勾配から求められる。

制限曝気法の実験結果をもとに Le/Lo と Sa · t をプロットすると図 34 のような関係が得られた。これより BOD 除去速度恒数 K を求めると、K (25°C) = -0.387 × 10<sup>-4</sup> (1/mg/ℓ · 時) になり、BOD 除去反応式は次式で表わされる。

$$Le/Lo = 0.22 e^{-0.387 \times 10^4 Sat} \quad (3 \cdot 1)$$

定数 0.22 は極く短時間の接触時間で BOD が除去されることを示す。(3 · 1) 式より BOD 除去率は次式で表わされる。

$$Lo - Le/Lo = 1 - 0.22 e^{-0.387 \times 10^4 Sat} \quad (3 \cdot 2)$$

(3 · 2) 式より MLSS 5000 mg/ℓ で、BOD 除去率 95% を得るのに必要な曝気時間を求めると、t = 7.7 となる。よって BOD 除去率 95% 以上を得るには 8 時間以上の曝気時間を必要とする。

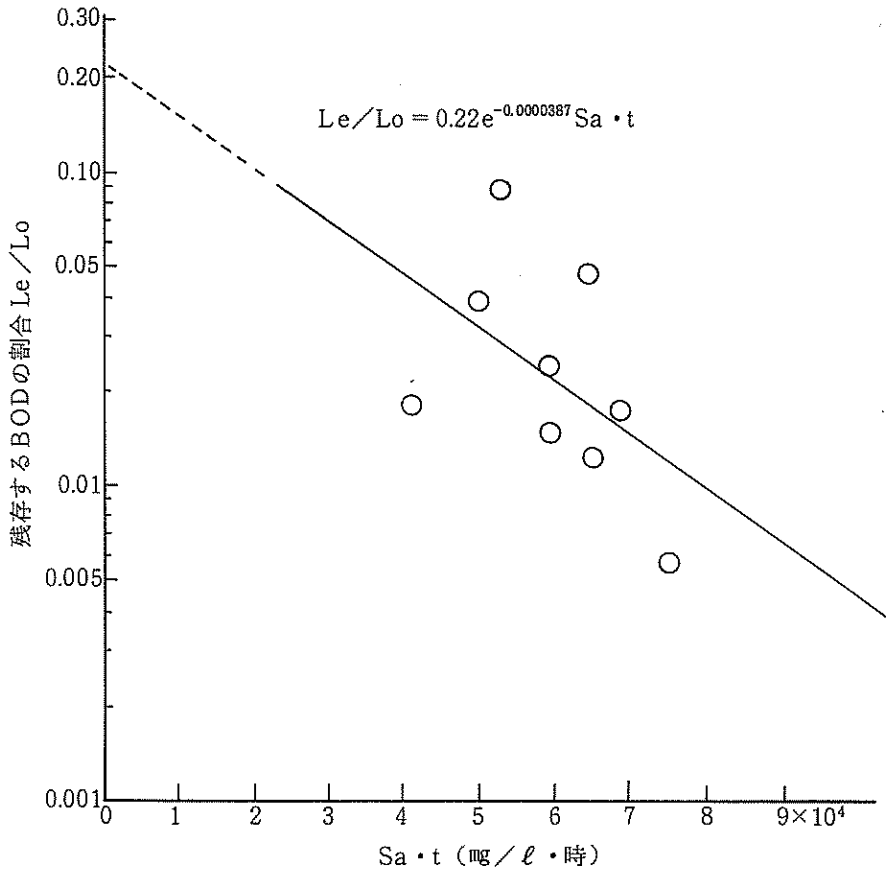


図34 BOD 除去速度

(5) 活性汚泥の増殖量

一般に活性汚泥の増殖量は次式で表わされる。

$$\Delta S = a \Delta BOD - b MLSS$$

$\Delta S$  : 汚泥増殖量 (kg/日)

$\Delta BOD$  : 除去BOD量 (kg/日)

MLSS : 活性汚泥 (kg)

a : 除去BODの汚泥転換率

b : 内生呼吸による汚泥分解率 (1/日)

上式の両辺をMLSSで割ると次式が得られる。 $\Delta S / MLSS = a \Delta BOD / MLSS - b$  従って、縦軸に $\Delta S / MLSS$ を横軸に $\Delta BOD / MLSS$ を取ると直線関係が得られ、aは直線の勾配から、bはy軸による切片から求められる。

制限曝気法と連続曝気法の実験結果をもとに $\Delta S / MLSS$ と $\Delta BOD / MLSS$ の関係を図示すると、それぞれ図35、図36のとおりになり、これよりa、bを求めると制限曝気法では

$$\Delta S = 0.429 \Delta BOD - 0.004 MLSS \quad (3 \cdot 3)$$

となり、連続曝気法では次式が得られた。

$$\Delta S = 0.346 \Delta BOD - 0.005 MLSS \quad (3 \cdot 4)$$

これは制限曝気法では除去BODの約43%が汚泥に転換し、汚泥の0.4%が内生呼吸により分解することを示し、また連続曝気法では約35%が汚泥に転換し、汚泥の0.5%が分解することを示す。

除去BODの汚泥への転換率は制限曝気法が連続曝気法より若干高い値を示した。連続曝気法は制限曝気法より曝気時間が長いので酸化分解されるBODが多く、汚泥への転換率は低くなっていると思われる。

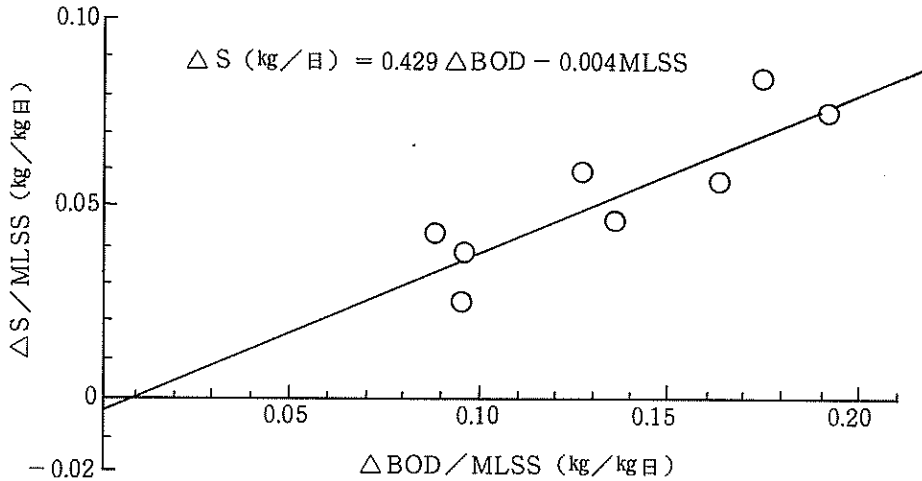


図 35 活性汚泥の増殖量 (制限曝気法)

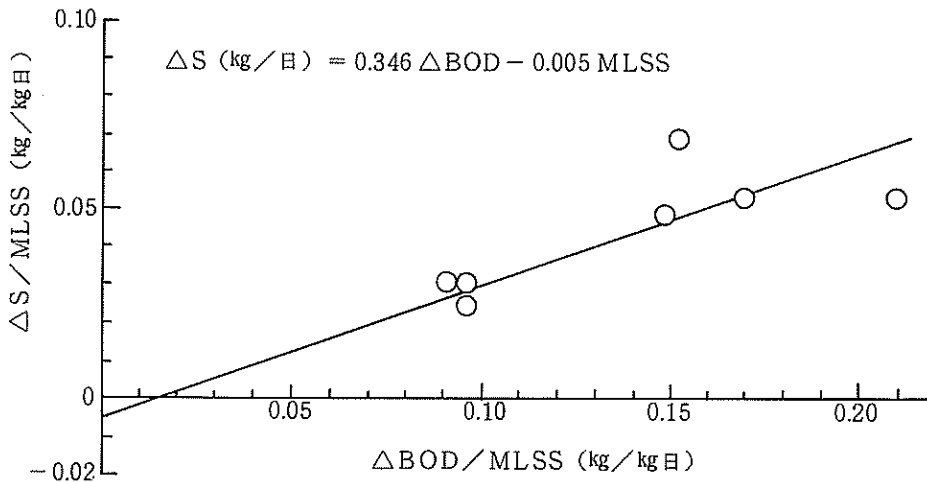


図 36 活性汚泥の増殖量 (連続曝気法)

(6) 酸素必要量

一般に活性汚泥のBOD除去量とそれに伴う酸素の必要量との関係は次式で示される。

$$O_2 = a \Delta BOD + b MLSS$$

$O_2$  : 必要酸素量 (kg/日)

$\Delta BOD$  : 除去されるBOD (kg/日)

MLSS : 活性汚泥 (kg)

a : BOD処理に要する酸素量の割合

b : 汚泥の内生呼吸によって利用される割合 (1/日)

上式を書きあらためると次式が得られる。

$O_2/MLSS = a \Delta BOD / MLSS + b$ 、従って、 $O_2/MLSS$ を縦軸に、 $\Delta BOD / MLSS$ を横軸にとると直線関係が得られ、a、bは勾配と切片からそれぞれ求められる。制限曝気法と連続曝気法の実験結果をもとに、 $O_2/MLSS$ と $\Delta BOD / MLSS$ の関係を図示すると図37と図38の結果が得られた。これよりa、bを求めると、制限曝気法では

$$O_2(\text{kg}/\text{日}) = 0.594 \Delta BOD + 0.08 \cdot MLSS \quad (3 \cdot 5)$$

となり、連続曝気法では次式が得られた。

$$O_2(\text{kg}/\text{日}) = 0.676 \Delta BOD + 0.01 MLSS \quad (3 \cdot 6)$$

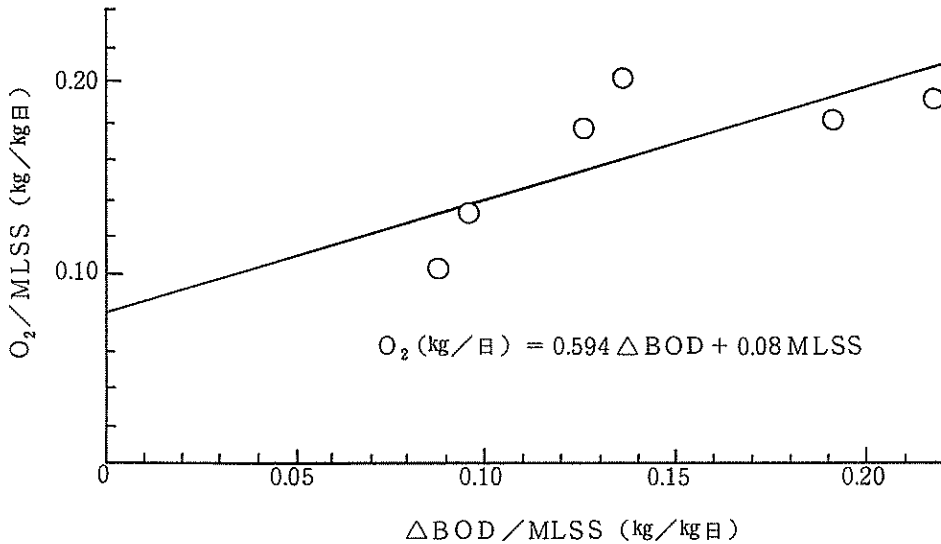


図37 除去BODと酸素消費量 (制限曝気法)

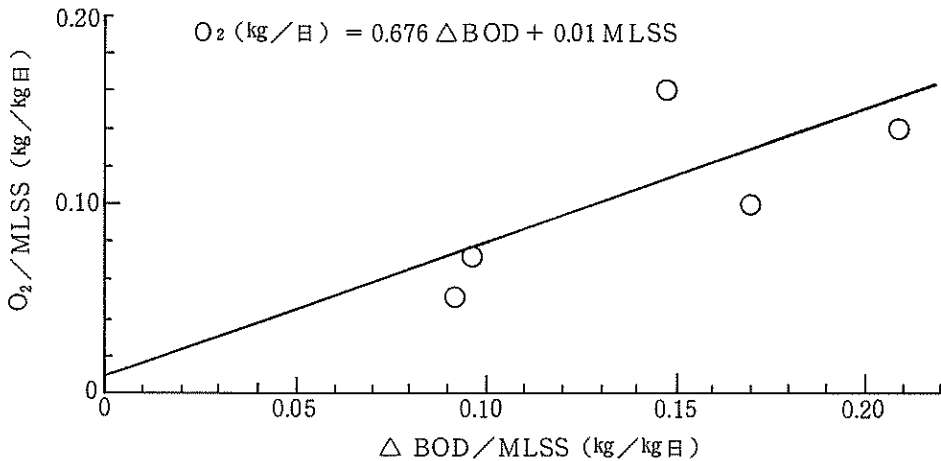


図38 除去BODと酸素消費量 (連続曝気法)

いろいろな工場廃水の生物酸化についてaの値は0.35～0.55の間で変化するという報告<sup>3)</sup>もあり、本実験ではこれより若干高い値を示した。また一般に除去BOD 1kgあたり1kgの酸素を必要とするといわれているが、パイナップル工場廃水では除去BOD 1kgあたり約0.6～0.7kgの酸素が必要と思われる。

### 3・2 現場処理実験

室内処理実験の結果をふまえ工場現場での実証処理実験を行なった。実験は(1)廃水量、水質変動の影響、(2)間欠操業(操業-休止-操業)の影響等に主眼をおいた。

#### 3・2・1 実験方法

##### (1) 活性汚泥

Bパイナップル缶詰工場の標準活性汚泥法処理装置の活性汚泥を用いた。

(2) 分析方法：室内実験と同様に行なった。

(3) 実験装置：回分式活性汚泥法処理装置、常盤製作所

曝気槽は透明の塩化ビニル樹脂製で、実容積は50ℓである。実験装置のフローシートは図39に示す。

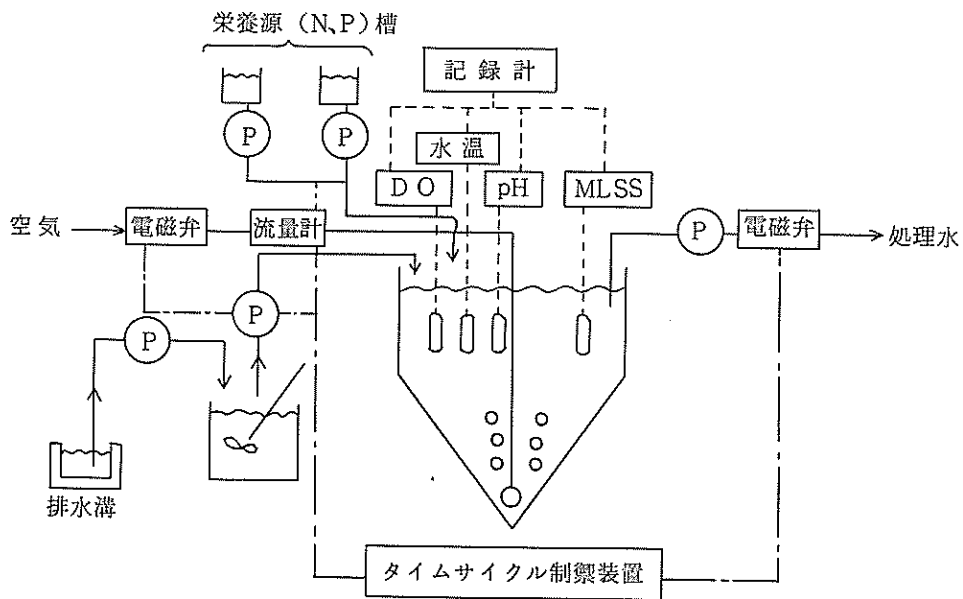


図39 実験装置フローシート

##### (4) 処理方式および実験条件

処理方式は回分式制限曝気方式とし、廃水は操業開始時から終了時まで排水溝から連続的にポリ容器に分取(45ℓ～65ℓ)し同時に曝気槽へ10～25ℓ/日供給した。

処理温度は常温にし、また活性汚泥濃度、栄養源添加の方法および曝気槽内溶存酸素計測等は室内実験と同様に行なった。

実験装置の運転は工場操業日に合わせて、運転-休止-運転の反復運転を行ない、休止の時は曝気を行わず静置のままにした。

### 3・2・2 実験結果および考察

#### (1) 原廃水および処理水々質

pH、COD、BODおよびTOCの経時変化を原廃水は図40、処理水は図41に示し、またBOD、CODおよびTOC除去率の変化は図42に示す。

原廃水のpHは6.02～6.80の範囲の値を示し、BOD値は566～1,086 $\text{mg}/\ell$ で変化し、またCOD、TOC値はそれぞれ423～960 $\text{mg}/\ell$ 、287～744 $\text{mg}/\ell$ であった。

実験期間中のBOD負荷は結果的には0.16～0.54 $\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ で変動した。

処理水のpHは8.14～8.38で終始8以上を示した。BOD値は6.4～88.5 $\text{mg}/\ell$ の範囲の値を示し、BOD除去率は92～99%が得られたが、処理25日目から低い除去率を示す傾向があり、実験最終では除去率92%台まで低下した。COD、TOC除去率はそれぞれ96～98%、94～98%で処理7日目まで低い値を示し、その後は高い値を示す傾向があったが、BOD除去率と同様、処理25日目から低下した。

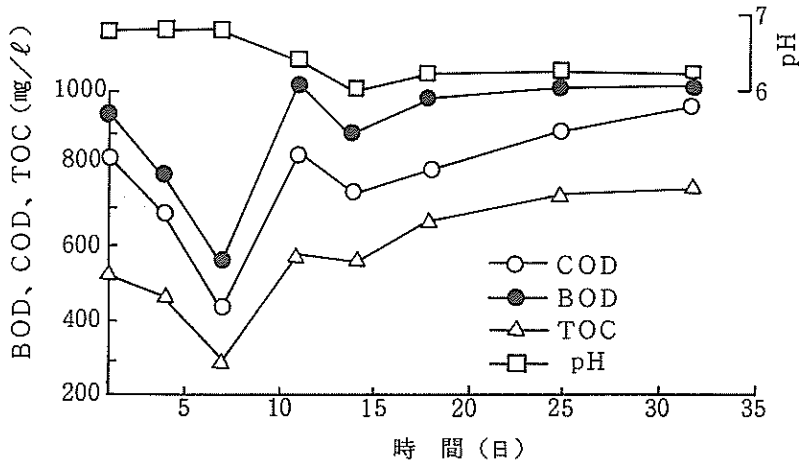


図40 原廃水水質の変化

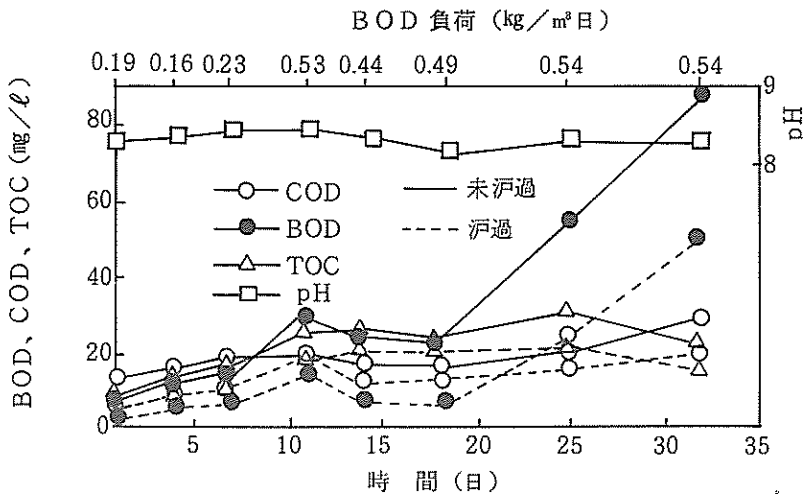


図41 処理水水質の変化

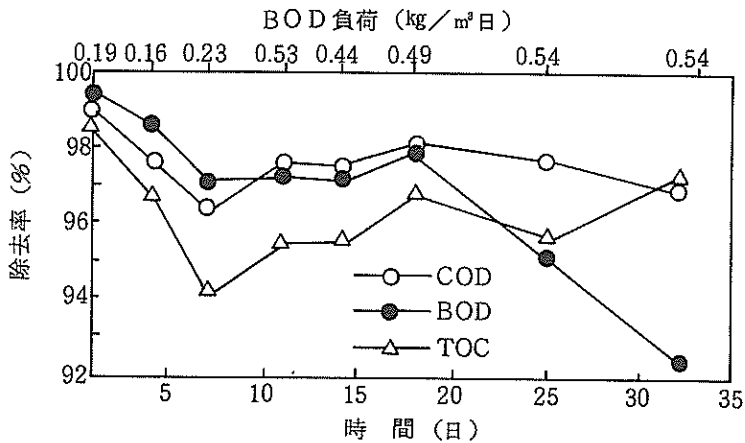


図 42 BOD、COD、TOC除去率の変化

処理水は処理初期、中期は良好であったが、処理後半では悪かった。これは処理後半は運転と休止の間隔（7日間）が長い間酸素不足を生じ浄化に関与する微生物になんらかの悪影響を与えたものと思われる。

(2) 活性汚泥の性状

実験期間中の活性汚泥の沈降性 ( $SV_{30}$ 、SVI) とMLSSの変化を調べ、また生物相の観察を行なった。 $SV_{30}$ 、SVIおよびMLSSの経時変化を図43に示す。

活性汚泥の沈降性は $SV_{30}$ が37～67%でSVIは67～138を示し、処理が進むにつれて低い値を示す傾向が見られ、実験期間を通して良好であった。これは処理水々質が処理後半にかけて悪化したことと対象的な現象を示した。

活性汚泥は最初、外観は茶かっ色を呈し、生物もヒルガタワムシ等が観察されたが、処理が進むにつれて外観はやや灰黒色を呈してきて、べん毛虫類が多数観察されるようになった。糸状性細菌

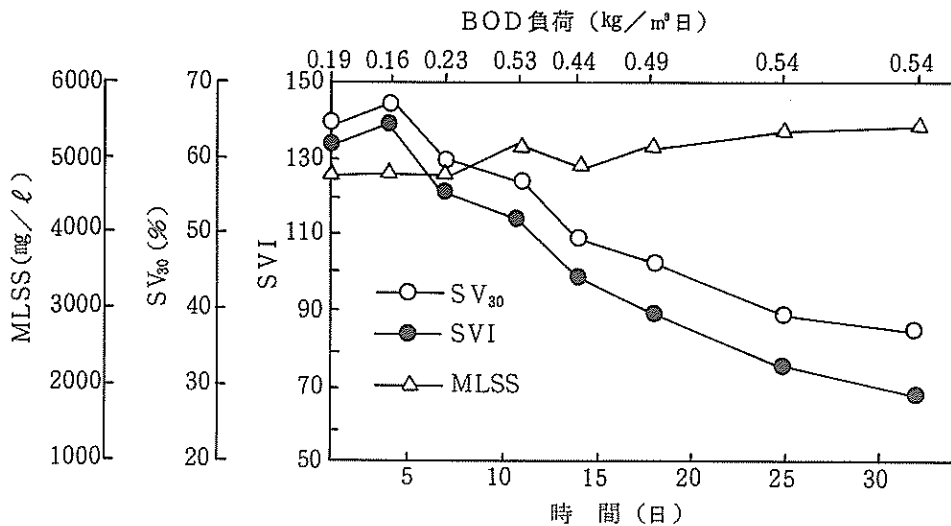


図 43  $SV_{30}$ 、SVI、MLSSの変化

は実験期間を通して少なかった。

#### 4 処理装置フローシート

実験結果をもとに回分式活性汚泥法（制限曝気方式）による装置規模を設計した。結果は図44に示す。

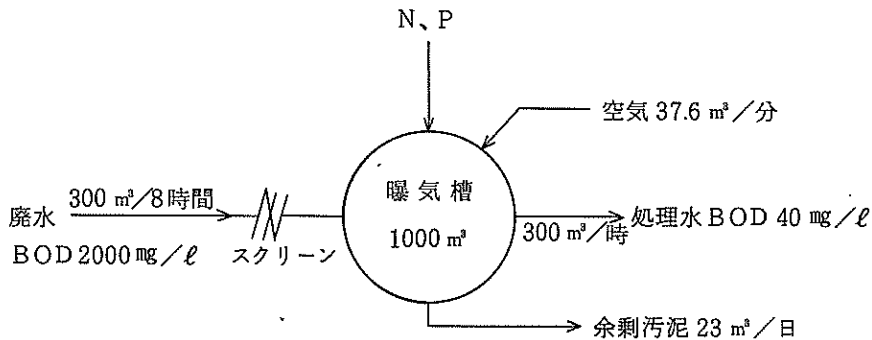


図 44 処理装置フローシート

##### 処理計画

- (a) 総廃水量 300 m³/日
- (b) BOD濃度 2,000 mg/l
- (c) BOD負荷量 600 kg/日 (2 kg/m³ × 300 m³/日)
- (d) BOD容積負荷 0.6 kg/m³・日
- (e) 操業時間 8時間
- (f) 曝気槽 MLSS濃度 5,000 mg/l
- (1) 曝気槽規模  $V = 600 \text{ (kg/日)} / 0.6 \text{ (kg/m}^3 \cdot \text{日)} = 1,000 \text{ m}^3$
- (2) BOD除去率

曝気時間を13時間とすると

$$L_0 - L_e / L_0 = 1 - 0.22 e^{-0.387 \times 10^{-4} \text{ Sat}}$$

より98%となる。ただし曝気槽内温度は25℃とする。

##### (3) 必要酸素量

$O_2 \text{ (kg/日)} = 0.594 \Delta BOD + 0.08 \text{ MLSSより } O_2 \text{ (kg/日)} = 0.594 \times 588 + 0.08 \times 5,000 = 749 \text{ (kg/日)}$ 、空気1 m³中には酸素0.277 kg含まれるから、 $749 \text{ kg} / 0.277 \text{ kg} = 2,704 \text{ m}^3 \text{ (空気)}$  /日となる。曝気槽中への空気溶解効率を5%とすると、 $2,704 \text{ m}^3 \times 100 / 5 = 54,080 \text{ m}^3 / \text{日} = 2,253 \text{ m}^3 / \text{時} = 37.6 / \text{分}$ となる。

##### (4) 余剰汚泥量

$\Delta S \text{ (kg/日)} = 0.429 \Delta BOD - 0.004 \text{ MLSSより}$ 、 $\Delta S \text{ (kg/日)} = 0.429 \times 588 - 0.004 \times 5,000 = 232 \text{ (kg/日)}$  (乾物量)

汚泥の水分は99%とし、比重1とすれば、 $232 \text{ kg} \times 100 / 100 - 99 = 23 \text{ m}^3 / \text{日}$ となる。



## 5 ま と め

パイナップル缶詰工場廃水の効率的処理法の確立とその方式の普及を目的として、廃水量、水質性状試験並びに回分式活性汚泥法による処理実験を行ない次の結果を得た。

(1) 廃水量は総廃水量で多い工場で約  $630 \text{ m}^3/\text{日}$ 、少ない工場で約  $350 \text{ m}^3/\text{日}$ であった。その内処理を要する廃水は総廃水量の約  $15 \sim 65 \%$ であった。

(2) 廃水の pH は  $4 \sim 6$  で酸性を示し、BOD 値は平均  $3,700 \sim 6,300 \text{ mg}/\ell$  を示し、高い汚濁が見られた。

(3) 廃水は酸敗を起し易く、酸敗は濃廃水より希薄廃水の方が早かった。

(4) 各汚濁指標間に相関性があり、次の回帰式が得られた。

$$(a) \text{ BOD} = 398107e^{-0.956\text{pH}}$$

$$(b) \text{ BOD} = 1.63 \text{ COD} - 109$$

$$(c) \text{ BOD} = 1.93 \text{ TOC} + 30$$

$$(d) \text{ COD} = 1.20 \text{ TOC} + 45$$

(5) 回分式活性汚泥法による処理水は BOD 除去率平均  $98 \sim 99 \%$  を示し、良好な水質が得られた。

(6) 活性汚泥の沈降性は BOD 負荷  $0.5 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$  では制限曝気法、連続曝気法の両方式とも良好であったが、BOD 負荷  $0.8 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$  では制限曝気法が良好であり、BOD 負荷  $1 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$  では両方式とも悪かった。

(7) BOD 除去速度恒数は  $K(25^\circ\text{C}) = -0.387 \times 10^{-4} (1/(\text{mg}/\ell) \text{ 時})$  であり、BOD 除去反応式

$$L_e/L_0 = 0.22 e^{-0.387 \times 10^{-4} \text{ Sat}}$$

が得られた。

(8) 汚泥転換率は連続曝気法より制限曝気法が高い値を示しそれぞれ次式が得られた。

$$\Delta S = 0.429 \Delta \text{BOD} - 0.004 \text{ MLSS} \quad (\text{制限曝気法})$$

$$\Delta S = 0.346 \Delta \text{BOD} - 0.005 \text{ MLSS} \quad (\text{連続曝気法})$$

(9) 酸素必要量は次式が得られた。

$$\text{O}_2 = 0.594 \Delta \text{BOD} + 0.08 \text{ MLSS} \quad (\text{制限曝気法})$$

$$\text{O}_2 = 0.676 \Delta \text{BOD} + 0.01 \text{ MLSS} \quad (\text{連続曝気法})$$

(10) 現場での 1 カ月間の間欠運転による処理実験では処理実験期間の後半で処理水が若干悪くなる傾向が見られ、今後の検討を要する。

(11) 回分式活性汚泥法で処理する場合、処理水々質および活性汚泥の性状から判断して、BOD 負荷は  $0.5 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$  から  $0.8 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$  の範囲が最適であると思われる。

なお、本研究は中小企業庁昭和 54 年度技術開発研究費補助事業（共同研究）として行なったものである。

終わりに、本研究の実施にあたり、終始御指導を賜った公害資源研究所公害第 3 部・田中稔課長また廃水試料の提供等種々の御協力をいただきました沖縄県パイナップル缶詰工業組合ならびに関係工場に感謝いたします。

## 参考文献

- (1) 植松喜稔監修、活性汚泥法の維持管理技術：科学技術開発センター p. 17～56（1977）
- (2) 大野茂、高橋一三、桜井敏郎、食品工場排水処理ハンドブック：産業用水調査会（1978）
- (3) W. W. エッケンフェルダー、D. J オコナー、岩井重久訳、廃水の生物学的処理：コロナ社 p. 32～72（1965）
- (4) 大宰宙朗、微工研ニュース 51（1979）
- (5) 石川馨、藤森利美、久米均、化学者および化学技術者のための統計的方法：東京化学同人 p 177～224（1971）
- (6) 工業用水、工場排水の試料採取方法 JIS K 0094（1974）
- (7) 工場排水試験方法 JIS K 0102（1974）
- (8) 下水試験方法：社団法人、日本下水道協会 p 382～383（1974）

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。