

# BCFによる有機性廃水の高度処理

## Advanced Treatment of Organic Wastewater by Bio Contact Filter(BCF)

(環)技術部 技術課  
野 中 信 一  
Shinichi Nonaka  
佐 藤 栄 祐  
Eisuke Sato

Organic wastewater is generally treated by biological treatment system. And from the viewpoint of the purpose, this system is classified into four groups, discharge 1) to sewer, 2) to river or sea, 3) to closed water region or 4) reuse.

BCF is found to have availability to these various purpose of watertreatment, under maintained suitable operating condition on account of remarkable characteristic points.....greater biomass concentration on the porous media, higher oxygen dissolving efficiency by its counter contact of air and water in the media filled reactor and having no sedimentation trouble. This paper reports BCF application to advanced watertreatment for discharging to closed water region or reuse which is required to degrade severely BOD to 5~10 mg/l. The outline of domestic wastewater facility and test results of advanced treatment of other wastewater are described.

### ま え が き

従来、有機性廃水の処理は主に生物学的処理法により行われており、これを処理目的ごとにわけると

- 1) 下水道放流
- 2) 一般河川または海域への放流
- 3) 閉鎖性水域への放流
- 4) 処理水の再利用

の4つに大別される。

生物処理装置のうち、BCFのような生物膜 汚過装置は、反応槽内に高濃度の微生物を保持していることや、汚層内での気液の向流接触による酸素溶解効率が高いこと、固液分離障害がないことなどの特性をもち、運転操作条件を適切に維持してやることにより、多様な処理目的に対応した処理を可能にすることができるとわかってきた。

上記4つの処理目的に対して水質別に区別し、BCFの適用を考えると次のようになる。

- 1) 下水道放流は、下水処理場での活性汚泥処理の前処理といった性格をもち、処理水のBODを200~300 mg/lにすることが必要である。BCFによる処理では、除去率を低く設定し、4~8 kg/m<sup>3</sup>・dの高いBOD負荷で効率のよい処理を行うことができる。このような目的に対するBCF適用例として、前報“生物膜汚過(BCF)による研摩排水処理”<sup>1)</sup>で紹介した。
- 2) 一般河川または海域への放流の場合は、処理水BOD 20 mg/l以下程度を目標とするいわゆる2次処理であるが、BCFによる処理では、BOD負荷2~3 kg/m<sup>3</sup>・dと活性汚泥法の2~3倍の負荷とし、最終沈殿池が不要で汚泥管理の必要がないことなどが、BCF導入のメリットとなる。このことに関しては、前々報“生物膜汚過装置「バイオ・コンタクト・フィルター」(BCF)について”<sup>2)</sup>で述べた。
- 3) 閉鎖性水域への放流や処理水の再利用を目的とする、いわゆる高度処理の場合、処理水BODとして5~10 mg/l以下の厳しい水質が要求されるほか、BODではなくCODによる処理目標値を課せられることもある。従来は、活性汚泥処理の後に、接触酸化法や回転円板法な

どの生物処理装置に加えて、凝集沈殿や砂汚過装置や、さらには活性炭吸着装置が必要とされていた。

BCFによる処理では、3~5 m/hと比較的速い通水速度でBODとSSが同時に除去できるため、BCF単独でも厳しい処理水質に対応できる可能性がある。

最近、BCFによる生活廃水の高度処理装置が稼働を始めたので、その概要を紹介するとともに、これまで高度処理を目的として各種廃水を対象に実験を行い得られた知見を次に報告する。

### 1. 高度処理適用におけるBCFの特性

BCFの適用分野は処理水質別にわけると

- (1) 前処理
- (2) 2次処理
- (3) 高度処理

に大別することができるが、ここで高度処理とは、活性汚泥などにより二次処理した後に、さらに処理する三次処理の場合と、低濃度廃水(BOD 50 mg/l以下程度)を直接高度に処理する場合、およびアンモニア性窒素を硝酸化、亜硝酸化する場合をいうものとする。

BCFの適用に際しては、処理プロセス、装置構造および運転方法の面に、適用分野ごとにそれぞれ特性があるが、高度処理へ適用する場合についての特性を次に示す。

#### 1.1 処理プロセス、装置構造特性

##### 1) 処理プロセス

各適用分野に対するBCF処理プロセス例を第1図に示す。第1図に示すように高度処理では、SS分離などの前段処理や逆洗排水の処分に関する設備が不要、あるいは共用となり、処理プロセスが簡素なものとなる。

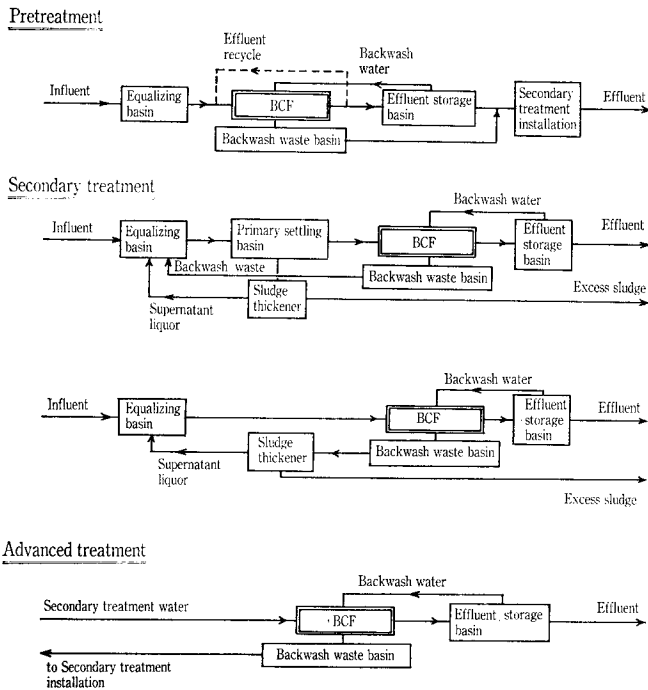
##### 2) 装置構造

第2図に、前処理や二次処理に適用する場合のBCFの構造概念図を示すが、高度処理の場合、流入水のBOD、SS濃度が低く汚層の閉塞が少ないため、上部洗浄管が不要となる。

#### 1.2 運転操作特性

##### 1) 設計条件

二次処理や前処理ではBCFの設計条件は、BODや



第1図 適用分野別BCF処理プロセス例  
Fig. 1 Typical BCF treatment process for various application

CODの有機物負荷とするが、高度処理の場合、通水速度(LV)とすることが多い。

$$\text{BOD負荷 (kg/m}^3 \cdot \text{d)} = \frac{Q_i \cdot L_i \cdot 10^{-3}}{V_M} \quad (1)$$

$$\text{LV (m/h)} = \frac{Q_i}{S} \cdot \frac{1}{24} \quad (2)$$

- $Q_i$  : BCF流入水量 (m<sup>3</sup>/d)
- $L_i$  : 流入水BOD濃度(mg/l)
- $V_M$  : 汚材容量 (m<sup>3</sup>)
- $S$  : BCF水平断面積(m<sup>2</sup>)

## 2) 散気空気量

二次処理、前処理では、除去BOD量に必要な酸素量に見合った量の空気を散気するが、高度処理の場合は必要酸素量が少いため、むしろ空気の均等分散の面から散気量が決定されることがある。

## 3) 逆洗方法

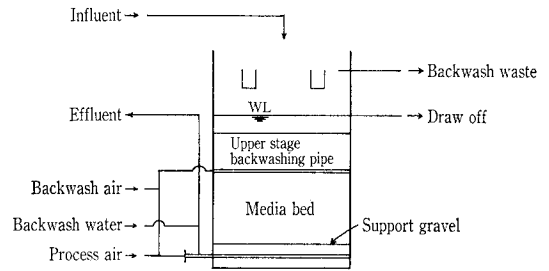
高度処理では流入水のSS濃度が低く、増殖微生物量も少いため、汚層の閉塞が起りにくいので逆洗頻度は2~5日に1回程度となる。また、空気および水の逆洗速度も二次処理や前処理の場合に比べて小さくすむ。

## 2. 生活廃水活性汚泥処理水の高度処理実験

団地下水を標準活性汚泥法で処理している神戸市内のY処理場にて、パイロット実験を実施した。活性汚泥処理水のBOD濃度は一般的に10~20 mg/lであるが、BCF処理により5 mg/l以下にするのを目標とした。

### 2.1 実験装置

第3図に実験装置の概略図を示す。BCF本体は透明塩化ビニール製の円筒形であり、直径300 mm、高さ1800 mmの槽内に4~7 mmの多孔質汚材(グラセミック-N)を1000 mm高さまで充填している。槽の下部は有孔ブロック式の集配水機構としており、これにより均一な空気の分散と水の分散を図っている。



第2図 BCF概念図  
Fig. 2 Schematic diagram of the BCF

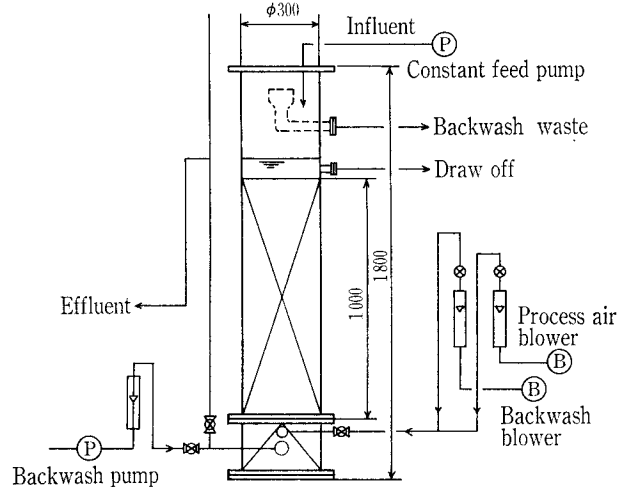
## 2.2 実験条件と方法

実験は第1表に示すように、Run 1~8までの8条件であり、Run 1~5では水温24.5~28.0 °Cの高水温のときLVを1~6 m/hの範囲で変えて行い、LVの影響について調査した。Run 6~8では水温13.5~19.5 °Cの比較的低温のとき、LVを1, 3, 4 m/hとして行い、Run 1~5との比較で水温の影響について検討した。一つの条件の実験期間は2週間を原則とした。逆洗は1週間に2回手動で行い、逆洗工程は、水抜き→空気逆洗→空気・水逆洗→水逆洗→捨水の順として、1回の工程を10~15分で行った。

## 2.3 実験結果と考察

### 1) 処理成績

第1表に各実験の条件とあわせて処理結果の一例を示す。BCF流入水の水質は実験期間を通して良好であり、BOD 5.8~20.2 mg/l, COD 12.7~16.2 mg/l, SS 2~12.4 mg/lと低かったため、処理水の水質も非常に低い値が得られており、高水温時のRun 1~5ではBOD 1.4~4.2 mg/l, COD 9.9~13.7 mg/l, SS 0.1~3.2 mg/lの処理水質が得られ、低水温時のRun 6~8ではBOD 3.36~5.2 mg/l, COD 11.7~13.6 mg/l, SS 0.5~2.5



第3図 実験装置概略図  
Fig. 3 Schematic diagram of the pilot scale test plant

mg/l の処理水質が得られ、特にBODとSSの除去が良好であった。CODの除去が除去率として10~30%と低い、これは生物難分解性の有機物によるもので、生物処理では処理水CODとして10 mg/l が限界といえる。

### 2) 水温の影響

LV 2 m/h の Run 2 と Run 6, および LV 3 m/h の Run 3 と Run 7 との処理結果を比較して水温の影響を検討した。第1表から処理水のBOD濃度およびBOD除去率はそれぞれ LV 2 m/h のとき Run 2 では 2.08 mg/l, 73.6%, Run 6 で 3.36 mg/l, 68.0 % であり, LV 3 m/h のとき Run 3 では 2.84 mg/l, 81.9 %, Run 7 では 3.68 mg/l, 65.0 % となっており水温の高い方が除去率は5~15%ほど高くなり, かつ処理水濃度も低くなった。

### 3) BOD除去性能

第4図にLVと処理水BOD濃度の関係を示し, 第5図にLVとBOD除去率の関係を示す。第4図からLVが大きくなるほど処理水BOD濃度が高くなり, 流入水BOD濃度が平均11.1 mg/l のときLVを4.5 m/h以下にすることによってBOD 5 mg/l 以下の処理水を得ることができる。また, 第5図からLVが大きくなるほどBOD除去率が低下し, 流入BOD濃度が20 mg/l のとき, LVを2 m/h とすることによって75%のBOD除去率が得られ, BOD 5 mg/l 以下の処理水を得ることができる。

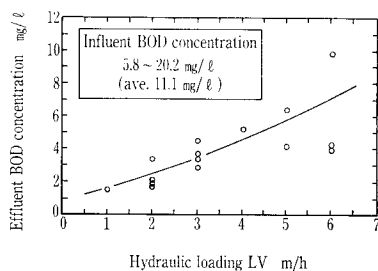
LVが大きくなると滞留時間(汙材接触時間)についても考慮する必要が生じる。滞留時間はLVが一定の場合, 汙層高さによって異ってくるが, 本実験では汉層高さは

1 m であるので, LV 2 m/h のとき30分, LV 6m/h のとき10分となる。第5図をみると, LV 6m/h すなわち滞留時間10分という短い時間でBOD除去率約50%という高い除去率が得られているが, これはSSに起因するBODの除去量が大きかったためと推測される。このことは, 次項に示すように, SS除去率が高いことからもうかがえる。

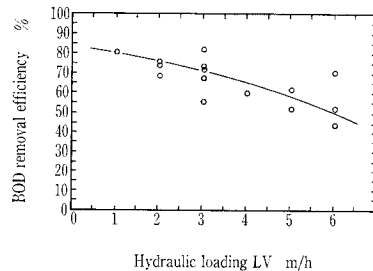
BOD除去をLVとの関係で表した場合, 通水量だけで除去率が決まり, 流入水のBOD濃度は全く無関係となる。BOD濃度を考慮するためには, BOD負荷とBOD除去率の関係で表すことが必要である。第6図にBOD負荷とBOD除去率の関係を示すが, BOD負荷が大きくなるほどBOD除去率が低下する。BCFの設計計画にあたっては, LVを基準とするが, BOD負荷についても配慮する必要がある。

### 4) SS除去性能

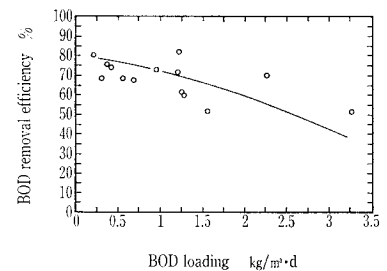
SSの除去については, 実験期間を通しての流入水のSS濃度が2.0~12.4 mg/l(平均5.7 mg/l)と低かったこともあるが, 処理水のSS濃度は0.1~3.2 mg/l(平均1.3 mg/l)と非常に良好な水質が安定して得られた。第7図にLVと処理水SS濃度の関係を示し, 第8図にLVとSS除去率の関係を示す。第7図では, 同一LVにおけるデータのばらつきはあるが, LVが大きくなるほど処理水SS濃度が高くなる傾向を示している。また第8図ではLVが大きくなるほどSS除去率は低下しており, LV 3 m/h で90%の除去率が得られ, LV 6 m/h で70%の除去率が得られる。



第4図 LVと処理水BOD濃度の関係  
Fig. 4 Hydraulic loading vs. effluent BOD concentration



第5図 LVとBOD除去率の関係  
Fig. 5 Hydraulic loading vs. BOD removal efficiency



第6図 BOD負荷とBOD除去率の関係  
Fig. 6 BOD loading vs. BOD removal efficiency

第1表 生活排水処理実験結果

Table 1 Test results of domestic waste water

	BOD loading kg/m <sup>3</sup> ·d	Hydraulic loading LV m/h	Temperature °C	pH		BOD			COD			SS		
				Influent	Effluent	Influent mg/l	Effluent mg/l	% Removal	Influent mg/l	Effluent mg/l	% Removal	Influent mg/l	Effluent mg/l	% Removal
Run 1	0.5	1.0	28.0	7.17	6.87	7.54	1.50	80.1	15.4	10.6	31.2	2.0	0.1	95.0
Run 2	1.0	2.0	27.7	6.56	6.42	7.88	2.08	73.6	13.2	9.9	25.0	5.0	2.0	60.0
Run 3	1.5	3.0	27.0	7.02	7.05	15.70	2.84	81.9	14.4	12.0	16.7	3.2	0.1	96.9
Run 4	2.5	5.0	24.5	6.95	7.00	10.60	4.14	60.9	12.7	10.8	15.0	6.4	0.8	87.5
Run 5	3.0	6.0	24.7	7.00	7.07	13.90	4.20	69.8	16.2	13.7	15.4	10.8	3.2	70.4
Run 6	1.0	2.0	13.5	7.11	7.42	10.50	3.36	68.0	15.6	12.2	21.8	2.3	1.3	43.5
Run 7	1.5	3.0	19.5	7.28	7.27	10.50	3.68	65.0	13.9	11.7	15.8	4.5	0.5	88.9
Run 8	2.0	4.0	13.5	7.00	7.20	12.80	5.20	59.4	15.2	13.6	10.5	4.8	2.5	47.9

### 5) 損失水頭の上昇傾向

BCFではSSの捕捉および微生物の増殖によって汚層の閉塞が進行し、これに伴って損失水頭  $\Delta h$  が上昇していく。高度処理の場合は、低いBOD負荷で運転されるため微生物の増殖量は少く、 $\Delta h$  の上昇はほとんどSSの捕捉によるものといえる。第9図にLVと24時間通水後の $\Delta h$ との関係を示すが、LVが大きくなるほど $\Delta h$ は大きくなっており、LV 2 m/hでは $\Delta h$ は15 mmH<sub>2</sub>Oとなり、LV 6 m/hでは $\Delta h$ は120 mmH<sub>2</sub>Oとなる。また、SS収支から捕捉SS量を求め、捕捉SS量と24時間通水後の $\Delta h$ の関係で表した結果を第10図に示す。SS捕捉量の増加とともに $\Delta h$ は増大していくが、SS捕捉量が0.8 kg/m<sup>3</sup>・d以上になると $\Delta h$ の上昇率も大きくなっていることがわかる。

### 3. 化学廃水の高度処理実験

D社では化学系廃水の処理を活性汚泥法で行っているが、冬季に処理水の水質が悪化する傾向にあり、活性汚泥

処理の後に高度処理設備を設置することが検討された。

このときの計画目標水質は次のとおりである。

	BOD	COD	SS
原水(活性汚泥処理水)	60 mg/ℓ	30 mg/ℓ	55 mg/ℓ
処理水(BCF処理水)	30 " 以下	20 " 以下	30 " 以下

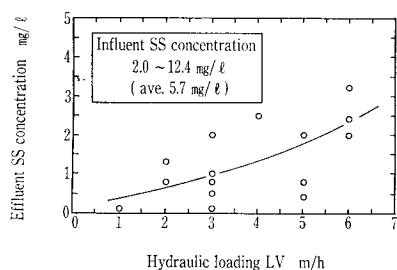
#### 3.1 実験装置および実験方法

実験装置は、第3図に示した装置と同一構造のものを使用した。実験に供する原水として、当初は活性汚泥処理水を予定していたが、CODなどの水質が低すぎたため、一部活性汚泥流入原水を活性汚泥処理水に混合することによって濃度を調整し、これを実験原水とした。

実験は3条件で行い、原水濃度およびCOD負荷の影響について検討した。逆洗は損失水頭の上昇度に応じて、1日に1回もしくは2日に1回の頻度で行った。

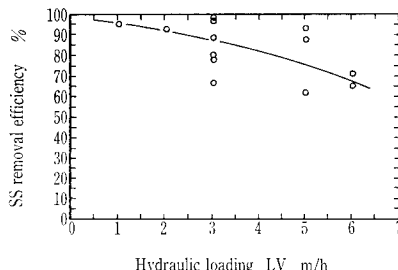
#### 3.2 実験結果と考察

##### 1) 処理成績



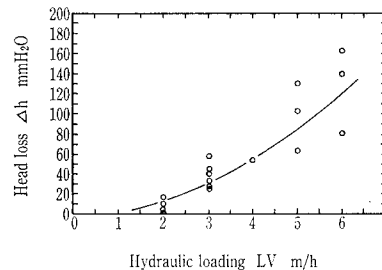
第7図 LVと処理水SS濃度の関係

Fig. 7 Hydraulic loading vs. effluent SS concentration



第8図 LVとSS除去率の関係

Fig. 8 Hydraulic loading vs. SS removal efficiency



第9図 LVと損失水頭の関係

Fig. 9 Hydraulic loading vs. head loss

第2表 化学廃水の実験結果

Table 2 Test results of chemical waste water

		Run 1			Run 2			Run 3		
Flow rate	m <sup>3</sup> /d	1.75			2.33			1.32		
Hydraulic loading(LV)	m/h	1.0			1.4			0.8		
Target COD loading	kg/m <sup>3</sup> ・d	0.75			2.5			1.0		
		Min.	Max.	Average	Min.	Max.	Average	Min.	Max.	Average
Real COD loading	kg/m <sup>3</sup> ・d	0.51~ 1.06			1.76~ 4.17			0.87~ 1.23		
Influent	pH	6.9 ~ 7.3			6.9 ~ 7.1			6.7 ~ 7.3		
	COD mg/ℓ	20.3 ~ 42.4			52.8 ~ 125			46.1 ~ 65.4		
	SS mg/ℓ	2.3 ~ 45			59.8			23.7 ~ 30.0		
	BOD mg/ℓ	15.8			109			65.0		
Effluent	pH	6.7 ~ 7.6			6.6 ~ 7.1			7.0 ~ 7.2		
	COD mg/ℓ	8.7 ~ 24.4			19.1 ~ 62.2			16.5 ~ 19.7		
	SS mg/ℓ	1.5 ~ 4.0			7.0			1.6 ~ 3.6		
	BOD mg/ℓ	1.1			19.7			6.2		
% Removal	COD	39.5 ~ 66.1			42.3 ~ 63.8			62.7 ~ 72.6		
	SS	77.1 ~ 90.5			88.3			85.7 ~ 94.7		
	BOD	92.6			81.9			90.4		

第2表に実験条件と結果を示す。各実験における設定原水COD濃度と設定COD負荷はそれぞれ、Run 1で30 mg/l, 0.75 kg/m<sup>3</sup>・dとし、Run 2で75 mg/l, 2.5 kg/m<sup>3</sup>・d, Run 3では53 mg/l, 1 kg/m<sup>3</sup>・dとしたが、実際の原水COD濃度およびCOD負荷は第2表に示すとおりである。COD除去についてそれぞれ平均値でみると、Run 1ではCOD負荷0.81 kg/m<sup>3</sup>・dのとき原水COD 32.4 mg/lに対し、処理水CODは15.1 mg/lであり除去率は51.6%となっている。Run 2では原水CODは86.5 mg/l, COD負荷2.88 kg/m<sup>3</sup>・dでありRun 1に比べるとそれぞれ2.7倍、3.5倍高くなっているが、このとき処理水は42.5 mg/lとなり、除去率は50.9%でRun 1とほぼ同じとなっている。Run 3では、原水COD濃度はRun 1とRun 2の中間の54.7 mg/lであり、COD負荷はRun 1と同程度の1.03 kg/m<sup>3</sup>・dであるが、このとき処理水CODは17.8 mg/l, 除去率67.5%となっている。Run 1と比較すると除去率はRun 2の方が高くなっているが、処理水CODはRun 1の方が低い値となっている。本廃水ではCODの生物学的除去限界値は10~15 mg/lと考えられるが、Run 1, Run 3のように限界近くまで処理する場合は原水COD濃度の高い方が除去率は高くなる。

BODについては、各Runにおいて1点だけの測定値であるが、原水および処理水のBODとBOD除去率はそれぞれ、Run 1で15.8 mg/l, 1.1 mg/l, 92.6%, Run 2で109 mg/l, 19.7 mg/l, 81.9%, そしてRun 3では65 mg/l, 6.2 mg/l, 90.4%となっており、いずれもCOD除去に比べると高い除去率が得られている。

また、SSについても各Runともに高い除去率が安定して得られており、原水および処理水SS濃度とSS除去率の平均値はそれぞれ、Run 1で18.6 mg/l, 2.6 mg/l, 84.6%, Run 2で59.8 mg/l, 2.6 mg/l, 88.3%, そしてRun 3で26.8 mg/l, 2.6 mg/l, 90.3%となっている。

## 2) COD除去性能

第11図にCOD負荷とCOD除去率の関係を示すが、COD負荷1.3 kg/m<sup>3</sup>・d以下ではCOD負荷が高くなるほどCOD除去率は高くなっており、1.3 kg/m<sup>3</sup>・d以上では負荷が高いほど除去率は低くなっている。これは前述

したように、負荷が低く、生物による処理限界近くまで除去される場合、原水濃度が高いほど高い除去率が得られるためである。原水濃度に影響されることなく除去性能をみるために、COD負荷とCOD除去速度の関係で表したものが第12図である。

ここでCOD除去速度は次の式で求められ、流入負荷量に対する除去量を表すものである。

$$\text{COD除去速度 (kg/m}^3\cdot\text{d)} = \frac{Q_i \cdot (\text{COD}_i - \text{COD}_e) \cdot 10^{-3}}{V_M} \quad (3)$$

COD<sub>i</sub>, COD<sub>e</sub>: 原水および処理水 COD 濃度 (mg/l)

第12図では、COD負荷1.5 kg/m<sup>3</sup>・dを境として、直線の傾きが変化しており、この点を境として除去性能が低下している。第12図にはBODのデータを併記しているが、BOD負荷3.6 kg/m<sup>3</sup>・dまでは直線となっており、性能の低下はみられない。このように、BODとCODで除去性能が異なることがあるため処理にあたっては流入廃水の性状に注意する必要がある。

## 4. リゾートホテル廃水処理施設への適用

このたび、大和ハウス工業(株)が新しく建設したリゾートホテル、伊勢志摩ロイヤルホテルの汚水処理施設に、高度処理設備の一環としてBCFを設置した。本施設は1987年7月より運転が開始されている。ここではBCFを中心とした設備の概要を紹介する。

### 4.1 計画条件

#### 1) 基本計画

計画処理人口: 2950人

計画汚水量: 日平均650 m<sup>3</sup>/d

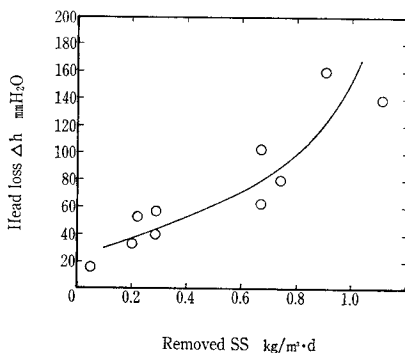
処理方式: 2次処理……長時間曝気方式

(リフォーナイトシステム※1) 運転)

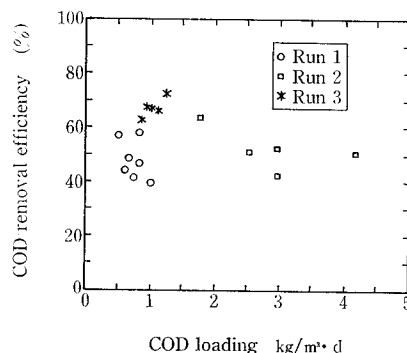
※1) 窒素・リン同時除去システム

高度処理……BCF+活性炭吸着

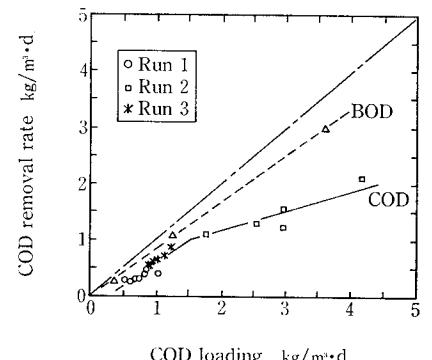
水質:	流入水	2次処理水	放流水
BOD mg/l	230	20	5
COD mg/l	90~120	30	3
SS mg/l	250	50	5
NH <sub>4</sub> -N mg/l	20~30	10	1



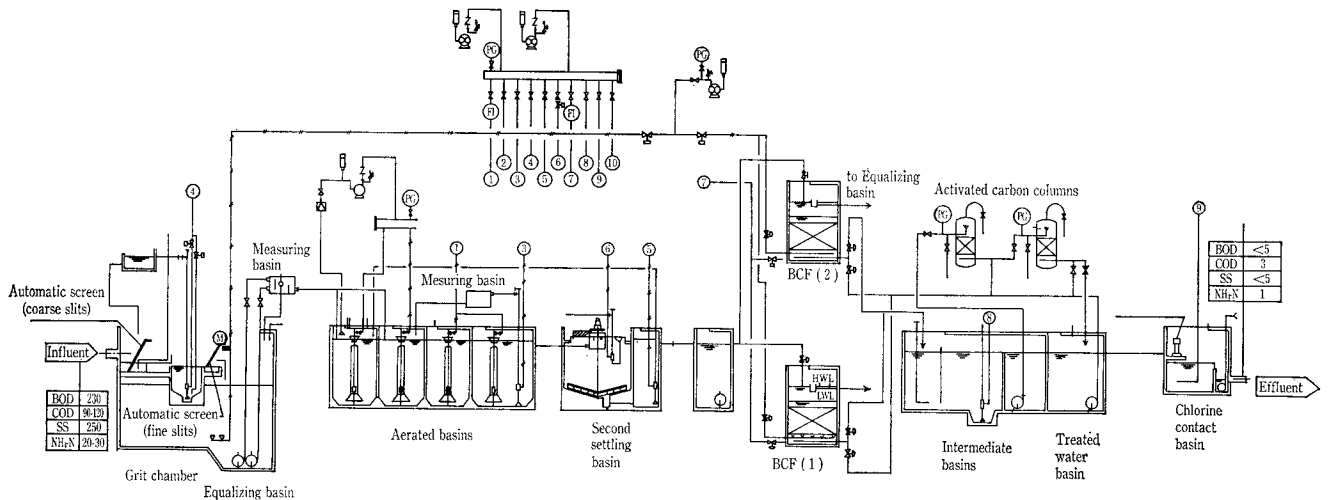
第10図 SS捕捉量と損失水頭の関係  
Fig. 10 Removed SS vs. Head loss



第11図 COD負荷とCOD除去率の関係  
Fig. 11 COD loading vs. COD removal efficiency



第12図 COD負荷とCOD除去速度の関係  
Fig. 12 COD loading vs. COD removal rate



第13図 汚水処理施設フローシート  
Fig. 13 Flow sheet of the domestic wastewater treatment facilities

注) 数値はいずれも平均値CODはアルカリ性法による分析値

2) BCF 設計諸元

- 流入水量: 650 m<sup>3</sup>/d
- 通水速度: 5 m/h 以下
- BOD負荷: 2 kg/m<sup>3</sup>・d 以下
- 寸法: 幅 2.0 m × 長さ 2.0 m × 水深 3.7 m × 2槽
- 戸材容量: 16.0 m<sup>3</sup> (グラセミック-N)

4. 2 施設の概要

第13図に本施設の処理フローシートを示す。

本施設の処理水は伊勢湾に放流するため、上記に示すように厳しい規制値が課せられており、BOD、COD以外にNH<sub>4</sub>-Nの除去が必要である。このため、二次処理をリフォーナイトシステム(生物学的窒素・リン除去システム)として窒素リンを除去するとともに、高度処理の最終段階に活性炭吸着設備を設置して、生物学的に除去の困難なCOD成分を除去している。BCFでは、二次処理水中

に残留したBODやSSをほぼ完全に除去することによって、活性炭吸着の負荷を軽減する。本施設は運転が開始されたばかりであるため、詳細な水質測定結果を紹介できないが、BCF処理水の透視度として100 cmが得られている。

むすび

BCFの納入実績は、ここに紹介した施設を含めて6件に達しており、適用分野も生活廃水の高度処理以外に、食品廃水や研磨廃水、製薬廃水の二次処理など多岐にわたっている。BCFはBODと同時にSSが除去できるため、処理水の再利用も可能であり、特に高度処理に適した装置であるといえる。今後高度処理分野でますますBCFが活躍するものと期待される。

〔参考文献〕

- 1) 神鋼ファウドラ-技報 Vol. 31, No. 1 (1987) p. 40
- 2) 神鋼ファウドラ-技報 Vol. 29, No. 3 (1985) p. 29