

生物膜汚過(BCF)による研摩排水処理

Grinding Wastewater Treatment by BCF

(環)技術部 製品開発課
野 中 信 一
Shinichi Nonaka
佐 藤 栄 祐
Eisuke Sato
山 本 勝 年
Katsutoshi Yamamoto

Biological Contact Filter (BCF) is a kind of submerged biological filter system and it can remove biological oxygen demand and suspended solids simultaneously.

Its major advantages of higher biomass concentration fixed on the filter media and higher oxygen dissolving efficiency enable higher load operation, less space requirement and lower energy consumption and promote process stability compared with conventional treatment system.

This paper describes our achievement of BCF application to grinding wastewater treatment.

まえがき

生物膜汚過法は、本誌で既に紹介したように、生物膜法の中の浸漬汚過法に属し、BOD除去と同時に汚過機能も併せ持つため、最終沈殿池を必要としない、酸素溶解効率が高く省エネルギー型であること、充填媒体の比表面積が大きいことにより菌体保持量が多く高負荷がとれる、さらに洗浄を自動化することができるので維持管理が容易である等の多くの長を有する処理法である¹⁾。

今般、研摩排水を処理するに当り省スペース、省エネルギー、維持管理の容易さなどの要求に答えるため生物膜汚過法による実験を行った。この実験によって得られた知見を報告する。

1. 実験概要

1.1 実験期間

1986年4～9月

1.2 実験装置仕様

(1) 生物膜汚過槽 (透明PVC製)

寸 法: 300 mmφ×1 800 mmH

有効容量: 130 ℓ

数 量: 2槽

(2) 充填粒子媒体

種 類: グラセミックN

粒 径: 4～7 mm

充 填 量: 71 ℓ/槽

(3) ポンプ・ブローア類

原水ポンプ: ローラーポンプ

栄養塩ポンプ: ペローズポンプ

ブローア: ダイヤフラム式

エアポンプ

1.3 実験方法

実験装置のフローを第1図に示す。研摩排水は、主として研摩工程から排出される研摩液を汚濁源とし、比較的BOD濃度が高く生物処理を必要とし、被削物の研摩屑をSS分として含む排水である。このSS分を凝集沈殿で除去した一次処理水(以下原水と呼ぶ)を原水ポンプでまず1段目の生物膜汚過槽に供給する。1段目処理水は、自然流下で2段目に流入し処理される。栄養塩は、BOD:N:Pの割合を100:5:1として直接1段目の生物膜汚過槽

に注入した。

汚過の洗浄は、気-気・水-水の工程で1段目を1回/日、2段目を1回/2日の割合で手動で行った。洗浄水は工場用水を使用した。

本実験の特長は、生物膜汚過法の2段処理方式にあり、期間中を通じて1段目の生物膜汚過槽でのBOD負荷を段階的に増大して生物処理の特性とSS除去性能を求めた。

サンプリングは各槽洗浄前とし、水質分析はJIS-K 0102によって行った。

処理目標値を第1表に示す。

1.4 酸素溶解効率

BCFの総括酸素移動係数 $K_{La}(1/h)$ を別途実規模の実験設備で測定し、従来型の旋回流式単純曝気、セラミックディフューザーによる全面曝気の曝気方式と比較した。

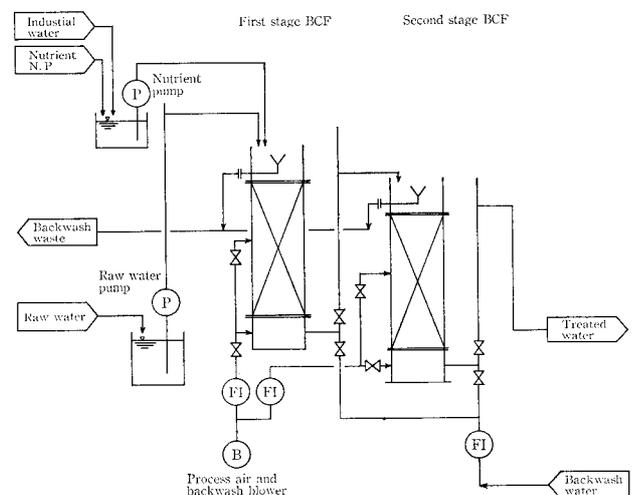
	Raw water	Treated water
BOD mg/ℓ	500	<20
SS mg/ℓ	30	<10
Hexane ext. matter mg/ℓ	10	<5

第1表

処理目標値

Table 1

Test plant effluent characteristics



第1図 実験装置フローチャート

Fig. 1 Flow chart of the test plant

第 2 表 実験条件と結果

Table 2 Test conditions and test results

Run No.		1	2	3	4	5	6
Test objective		Acclimation	Load test	Load test	Load test	Load test (pH controlled)	Load test (pH controlled)
BOD load of first stage	kg/m ³ ·d	0.5	2.0	3.5	5.0	3.5	5.0
Hydraulic loading	m/h	0.05	0.19	0.31	0.37	0.31	0.37
Water temperature	°C	10.8	17.0	22.0	24.5	28.0	26.5
pH	Raw water	6.9	6.7	7.1	7.2	6.8	6.6
	1st stage effluent	5.7	5.7	6.0	5.8	6.4	6.0
	2nd stage effluent	5.8	6.3	6.2	6.2	6.3	5.9
BOD mg/ℓ	Raw water	400	387	470	573	481	558
	1st stage effluent	35.0	83.4	130	203	60.0	112
	2nd stage effluent	15.6	19.5	17.0	108	5.4	22.5
COD mg/ℓ	Raw water	217	338	366	516	414	444
	1st stage effluent	75.4	110	144	277	53.0	125
	2nd stage effluent	53.8	66.5	47.3	146	29.4	74.4
SS mg/ℓ	Raw water	8.5	11.5	9.5	6.5	52.5	37.2
	1st stage effluent	5.5	7.0	8.0	15.0	10.0	15.2
	2nd stage effluent	4.5	5.0	5.5	5.0	3.2	6.4

一般に供給空気量と K_LaV の関係は次式で表わされる。

$$K_LaV = aG^3 \cdot H^7 \quad (1)$$

- K_L : 酸素移動係数 (m/h)
- a : 単位容積当り気液接触面積 (m²/m³)
- V : 槽容量 (m³)
- G : 供給空気量 (m³/h)
- H : 水深 (m)
- α, β, γ : 係数 (—)

第 2 図に各曝気方法について G と K_LaV の関係を示す測定結果によると BCF は、全面曝気と同等以上の性能を有している。なお各実験とも $H = 4$ m で行った。供給酸素量に対する溶解酸素量の割合、酸素溶解効率は 12 ~ 15 % であった。測定方法は(社)土木学会編、衛生工学実験指導書による。

2. 処理結果と考察

2.1 実験条件と結果

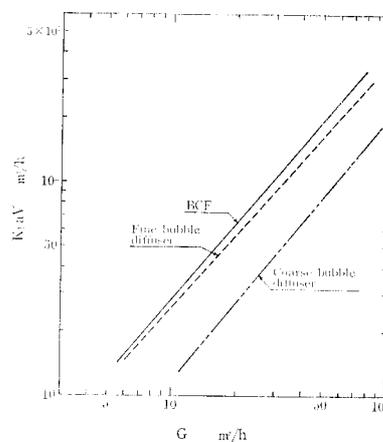
第 2 表に実験条件と結果を示す。

2.2 馴養について

馴養は各段の汚泥濃度が 20 mg/ℓ となるよう汚泥を調整して、2 日間空曝気を行い、3 日目から 1 段目、2 段目とも BOD 負荷が 0.5 kg/m³·d となるよう原水を分注供給した。約 10 日間で BOD 除去率が 89 % までになり、約 2 週間で BOD 除去率が 96 % になったので馴養は完了したものと判断し負荷実験に入った。馴養はわずかな種汚泥の投入で、短期間で完了した。

2.3 BOD 除去性能

- 1) BOD 負荷と BOD 除去率, BOD 除去速度
BCF における BOD 除去性能は, BOD 負荷と BOD



第 2 図
通気量 G と K_LaV の
関係
Fig. 2
Supplied air G vs.
 K_LaV

除去率および BOD 除去速度によって表すことができ、BOD 負荷, BOD 除去率, BOD 除去速度はそれぞれ以下の式で示される。

$$\text{BOD 負荷} = Q_i \times L_i \times 10^{-3} / V_M \quad (2)$$

$$\text{BOD 除去率} = \frac{L_i - L_o}{L_i} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{BOD 除去速度} = Q_i \times (L_i - L_o) \times 10^{-3} / V_M \quad (4)$$

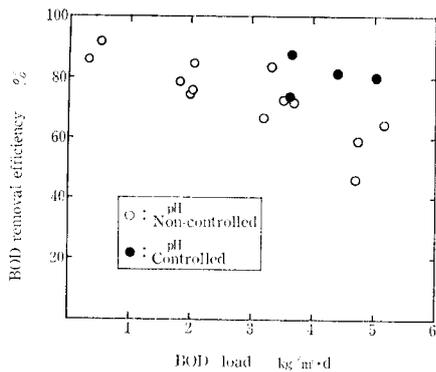
Q_i : 流入原水量 (m³/d)

L_i, L_o : 流入原水, 処理水 BOD 濃度 (mg/ℓ)

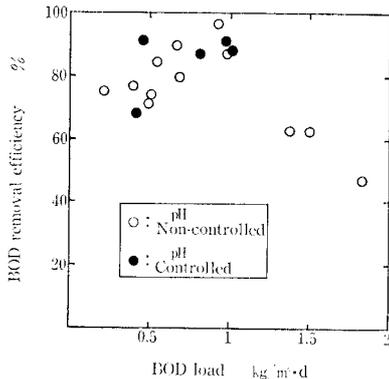
V_M : 充填汚材容量 (m³)

第 3 図, 第 4 図にそれぞれ BCF 1 段目, 2 段目における BOD 負荷と BOD 除去率の関係を示す。

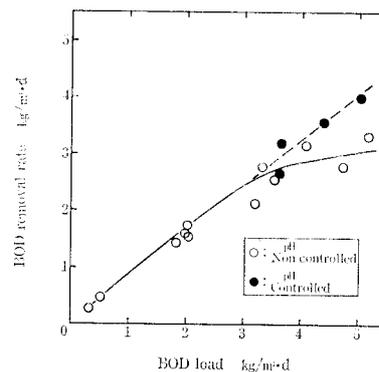
BOD 負荷と BOD 除去率の関係を見た場合, 1 段目は第 3 図からわかるように負荷が高くなると除去率は低くな



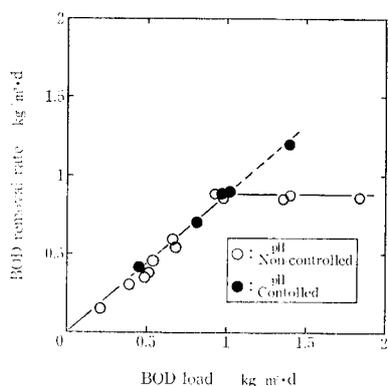
第3図 BOD負荷とBOD除去率(1段階)
Fig. 3 Organic load vs. organic removal efficiency (First stage)



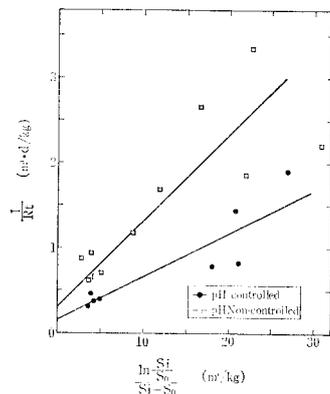
第4図 BOD負荷とBOD除去率(2段階)
Fig. 4 Organic load vs. organic removal efficiency (Second stage)



第5図 BOD負荷とBOD除去速度(1段階)
Fig. 5 Organic load vs. organic removal rate (First stage)



第6図 BOD負荷とBOD除去速度(2段階)
Fig. 6 Organic load vs. organic removal rate (Second stage)



第7図 BCFの生物処理曲線
Fig. 7 Characteristic curve of biological reaction of BCF

っている。2段階目は第4図に示すように負荷が1 kg/m³·dまでは負荷が高くなるほど除去率も高くなる。これは2段階目では、流入水のBOD濃度が1段階目の処理性能によって変動し、最終処理水質が一定とすれば、流入水濃度が低い方が除去率として低く表われるためである。しかし負荷が1 kg/m³·d以上になると1段階目と同様負荷増大と共に除去率も低下する。これを第5図、第6図に示すようにBOD負荷とBOD除去速度の関係で表すと、流入水の濃度にあまり影響されることなくBOD除去性能を把握することができる。

第5図に示すように、1段階目のBOD除去速度は、BOD負荷4 kg/m³·dまでは直線的に増大するが、4 kg/m³·d以上になると勾配が緩やかになる。このことは4 kg/m³·dまでが効率の良い生物処理の限界であることを示している。第6図の2段階目の場合も同じように、BOD負荷1 kg/m³·dが効率の良い生物処理の限界値といえる。しかしこのことは、後述するように硫酸イオンの存在に起因するpH低下の影響による処理効率の低下ということを含んでおり、pH調整を行うことによって、図中に点線で示したように1段階目、2段階目とも効率の良い生物処理の限界負荷をさらに高くできることがわかった。

2) BOD除去反応

BOD除去反応を表わす式には Monod 型反応式や、0次型反応式及び一次型反応式等多くの式があるが、BOD

除去特性を評価する上では装置内の流れ特性を含めたものの検討が必要である。生物膜法では流れ特性は押し出し流れとして取扱うのが妥当であると言われるが、BCFも押し出し流れに近いことが各層高さでのBOD測定結果から判明している。実験データを整理した結果、BCFは押し出し流れの Monod 型反応式で表わすことができた。

押し出し流れの Monod 型反応式は、Kornegay, B. H や平田²⁾らの式を参考にして(5)式を導びいた。

$$\frac{1}{R_t} = \frac{K_m}{k'} \cdot \frac{\ln(S_i/S_0)}{S_i - S_0} + \frac{1}{k'} \quad (5)$$

K_m : Monod 飽和定数 (kg/m³)

S_i, S_0 : 流入及び流出BOD濃度 (kg/m³)

R_t : 単位沓材容量当りBOD除去速度 (kg/m³·d)

k' : 単位沓材容量当り最大BOD除去速度 (kg/m³·d)

実験データで得られた R_t, S_i, S_0 より

$$\frac{1}{R_t} \text{ と } \ln(S_i/S_0)/(S_i - S_0)$$

とをプロットすると結果は第7図に示すような直線となり、縦軸の切片は $1/k'$ に等しく、横軸との交点は $-1/K_m$ に等しい。この結果より本排水での k', K_m は pH を調整した場合と、しない場合それぞれ次の様であった。

$$\text{pH 調整しない場合 } k' = 3.34 \quad K_m = 0.33$$

$$\text{pH 調整した場合 } k' = 6.67 \quad K_m = 0.33$$

この k' の値より pH を調整した方が pH を調整しない場合に比べ約2.0倍の最大BOD除去速度が得られることがわかった。

2.4 SS除去性能

第8図に実験期間を通じてのSSの除去結果を示す。原水SSは通常20 mg/l以下であるが高時には80 mg/lほどになることがある。しかし処理水は原水の変動に関係なく常に10mg/l以下平均5 mg/lの水質が得られている。

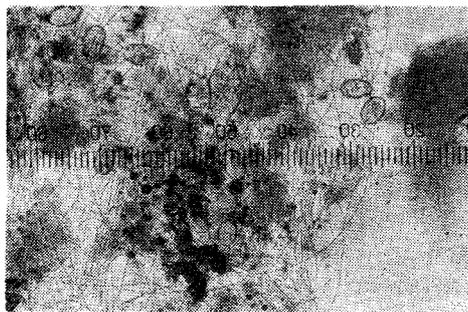


写真 1 1 段階目微生物相
Photo. 1 Microphotograph of microorganism (First stage)

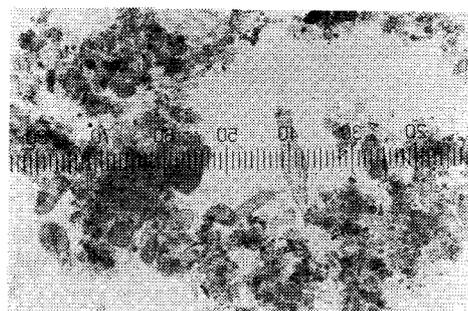


写真 2 2 段階目微生物相
Photo. 2 Microphotograph of microorganism (Second stage)

2. 5 2 段階処理の効果について

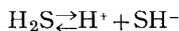
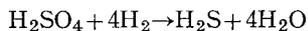
前述のように本実験の目的は、BCFによる2段階処理方式の評価であった。第3表に本排水をほぼ同じ負荷で処理した場合の1段階処理方式と2段階処理方式の処理水水質の違いを示す。1段階処理と2段階処理の処理

水水質を比較するとBOD、CODとも2段階処理の方が明らかに良好な結果が得られた。本排水のように比較的BOD濃度が高い排水をBOD濃度の低い処理水としたとき、つまり除去率を高く処理するときは負荷を低くして1段階で処理を行うよりは、前段の負荷を高く、後段を低くした2段階処理が効果的であると言える。これはBCFは微生物の種類が比較的多いのが特長の1つであるが、写真1,2に示すように2段階処理ではさらに水質に適応した微生物相が形成されるため効率的な処理が行なわれることも原因の1つと考えられる。

ただし、SSだけに限って言えば処理水質の目標達成には1段階処理で充分可能であった。

2. 6 pH調整の効果

本排水中には SO_4^{2-} が多量に含まれ、硫酸塩還元菌による次の反応により硫化水素が生成される。このためpHが低下し、1段階処理水pHは5付近にまでなることがある。



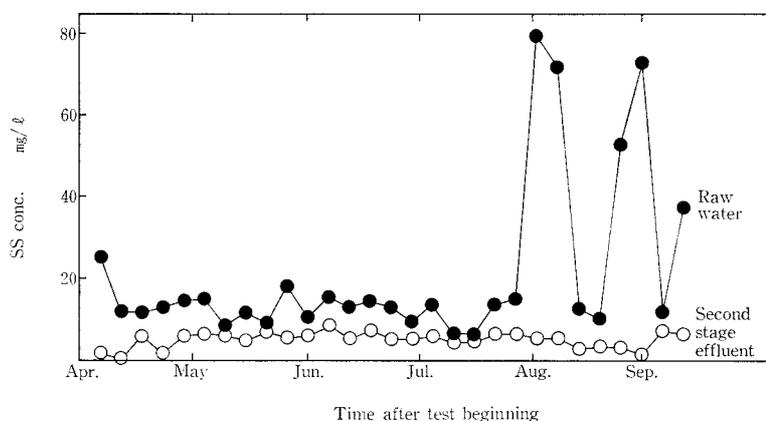
そこでpH調整による処理効果を確認するため、 Na_2CO_3 を注入し1段階pHを約6.5に調整して処理を行い、pH未調整の場合と比較した。第4表に結果を示す。BODの除去性能で比較するとBOD負荷 $3.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ の場合全

第3表 2段階処理の効果

Table 3 Effects of two-stage system

	One-stage system			Two-stage system		
	Raw water	Effluent	Removal efficiency %	Raw water	2nd stage Effluent	Removal efficiency %
BOD load $\text{kg/m}^3 \cdot \text{d}$	1.82			*1.77		
Hydraulic loading m^3/h	0.19			0.31		
BOD mg/ℓ	389	83.4	78.6	470	17.0	96.4
COD mg/ℓ	338	110	67.5	366	47.3	87.1
SS mg/ℓ	11.5	7.0	39.1	9.5	5.5	42.1

*Overall



第8図 経過時間とSS濃度

Fig. 8 Effluent suspended solids concentration profiles

体除去率で大きな差は見られないが、BOD負荷を $5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ にすると、1段階及び2段階の除去率はそれぞれ64.6%、46.8% (全体81.2%) に対してpH調整時はそれぞれ80%、80% (全体96%) と明らかにpH調整の効果が見られた。

2. 7 汚泥発生量

汚泥発生量は次式で表わされる。

$$\Delta SS = Q_w \cdot S_w + Q_o \cdot S_o \quad (7)$$

または

$$\Delta SS = \Delta X + \alpha Q_i \cdot S_i \quad (8)$$

(7)式と(8)式より

$$\Delta X = Q_w \cdot S_w + Q_o \cdot S_o - \alpha Q_i \cdot S_i \quad (9)$$

ΔSS : 汚泥発生量 (kg/d)

Q_i : 流入水量 (m^3/d)

Q_o : 流出水量 (m^3/d)

Q_w : 逆洗排水量 (m^3/d)

ΔX : 生物増殖汚泥量 (kg/d)

S_i : 流入水SS濃度 (kg/m^3)

S_o : 流出水SS濃度 (kg/m^3)

S_w : 逆洗排水SS濃度 (kg/m^3)

α : 流入水SS中の無機質の割合 (—)

それぞれの項目を測定し ΔX を求めた。その結果除去

第 4 表 pH 調整の効果
Table 4 Effects of pH control

		BOD load 3.5 kg/m ³ ·d			BOD load 5 kg/m ³ ·d		
		Raw water	1st stage effluent	2nd stage effluent	Raw water	1st stage effluent	2nd stage effluent
pH Non-controlled	pH	7.08	5.98	6.16	7.2	5.82	6.2
	BOD mg/ℓ	470	130	17	573	203	108
	BOD removal efficiency %	—	72.3	86.9 *(96.4)	—	64.6	46.8 *(81.2)
pH Controlled	pH	6.81	6.41	6.3	6.61	6.02	5.87
	BOD mg/ℓ	481	60	5.4	558	112	22.5
	BOD removal efficiency %	—	87.5	91.0 *(98.9)	—	79.9	79.9 *(96.0)

*: Overall removal efficiency

BOD量当りの比率で表わすと、1段目17.8%、2段目11.9%と非常に小さい値が得られた。これに流入無機質SS量を加えても、1段目25.2%、2段目17.7%と汚泥発生率は低かった。これはBCFが他の生物膜法と同様に多くの種類の微生物相からなる食物連鎖によるものと言える。

2.8 逆洗

定期的な逆洗によって余剰汚泥及び捕捉SSを排出し、汙床の閉塞を防止する事が従来の生物膜法と違ったBCFの特長である。

今回の実験での逆洗頻度は、1段目を1回/日、2段目は1回/2日として計画した。

SS捕捉能力を汙材単位容積当り1.5kgとしてRUN2の実験条件時の流入SS量と増殖汚泥量から逆洗頻度を計算すると1段目は1回/4.5日、2段目は1回/15日となる。また時間経過と圧力損失の上昇は実測で24時間経過後1段目は80mm、2段目は数mmであった。これらのことから逆洗は頻繁に行う必要はないと言えるが、汚泥の新陳代謝を計り活性をあげるため計画通り行った。

むすび

以上BCFによる研摩排水の処理実験結果について述べた。本研摩排水の処理にBCFを適用した場合2段処理方式が効果的で、1段目BOD負荷が4kg/m³·dで2段目BOD負荷はほぼ1kg/m³·dとなり処理水は目標値の20mg/ℓ以下となった。さらにpHを調整することによって、1段目のBOD負荷を5kg/m³·dまで上げて目標値を達成できることがわかった。その他BOD除去反応式のk', K_m値、汚泥発生量などの値も得られた。

今後の課題としては硫酸塩還元菌の役割を解明する事が残された。

今回の実験結果を踏まえて実装置を建設し、現在順調に稼動中である。

〔注記〕

本稿において記述した一部については、生物膜法研究シンポジウム(1986年11月28日)において報告した。

〔参考文献〕

- 1) 神鋼ファウドラ―技報 Vol. 29, No. 3 (1985)
- 2) 保坂幸尚, 平田彰: 生物膜法による生物処理特性, 第20回水質汚濁学会講演集, p. 231(社)日本水質汚濁研究協会(1986)