

地域鉱物資源活用による生物膜廃水処理における維持管理技術に関する研究(第2報)

— 泡盛醸造工場廃水の効率的処理について —

化学室 宮 城 周 子
比 嘉 三 利
照 屋 輝 一

はじめに

前報¹⁾では、琉球石灰岩を生物膜濾材に活用した散水濾床法で泡盛醸造工場の洗米廃水を対象に処理過程における生物膜付着性状について検討した。その結果、生物膜の付着性状は良好であり、琉球石灰岩生物膜法は同廃水の処理に有効であることが示唆された。よって、今回同法による洗米廃水の効率的な処理条件を確立するため

- (1) 洗米廃水の無調整と調整 (pH 7.0 調整、窒素補添) による処理効率
- (2) 高負荷 (BOD負荷 $1.0 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ 以上) 処理における強制通気による処理効率
- (3) 高負荷処理における二段濾床法による処理効率
- (4) 休止後の生物膜の挙動

等について検討したので、ここにその結果を報告する。

1 実験方法

1.1 試料

前報¹⁾と同様、A泡盛醸造工場から採取した洗米廃水を24時間静置して、懸濁物質を分離した上澄水を原水とし、この原水を冷蔵庫 (約 5°C) に保管し、実験にはこれを適宜水道水で希釈して使用した。

1.2 実験装置及び処理試験方法

実験装置は前報¹⁾と同様、濾床は透明塩化ビニール製円筒2個を垂直に立てたものを使用した。濾床は、表1に示すように4塔組み立てて実験を行った。また濾材には読谷石灰岩を使用し、処理方式は廃水を22時間濾床に循環散水する方法の回分式散水濾床法とした。

表1 実験濾床の概要

| 項目 \ 濾床の種類 | 1 塔 | 2 塔 | 3 塔 | 4 塔 |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| 濾床の内径 (cm) | 7.9 | 7.9 | 7.9 | 7.9 |
| 濾床高さ (cm) | 154.0 | 154.0 | 154.0 | 154.0 |
| 濾材の径 (cm) | 20~25 | 20~25 | 20~25 | 20~25 |
| 濾材充填重量 (g) | 11,080 | 11,040 | 11,040 | 10,970 |
| 濾材充填個数 (個) | 605 | 621 | 702 | 783 |
| 濾材充填体積 (cm^3) | 7,546 | 7,546 | 7,546 | 7,546 |
| 空隙率 (%) | 50.0 | 49.0 | 49.0 | 49.0 |

1.3 分析方法

分析方法は J I S K 0102 (1986) に準じて行い、生物膜量は前報¹⁾と同様に測定し、汙材充填体積 (cm³) あたりの生物膜量 (mg) (以下 mg/cm³ で示す) に換算して示した。

また処理水の分析は30分静置後の上澄水で行い、処理水水質は主として TOC 値を測定し、BOD 値を求めた。すなわち、予備実験で洗米廃水の処理過程における TOC と BOD の関係を求めた結果は図 1 に示すように両者間に相関関係が成立した。そこで TOC 値から BOD 値を推定して処理効率を評価した。(以後換算 BOD で示す) ただし表 2、3、4、5、6 に示す BOD 値は実測値である。

2 実験結果及び考察

2.1 原廃水の無調整と調整の処理効率

一般に有機性廃水の好気性生物処理において効率的に処理を行うには、廃水の pH は中性附近、また BOD : N : P の比は 100 : 5 : 1 が適当であることが経験的に知られている。

本実験での洗米廃水は、表 2 に示すように pH 3~4 の酸性を示し、BOD : N : P の比は 100 : 2 : 1 で窒素が若干少ない。そこで原廃水の pH を約 7.0、それに窒素を BOD : N の比 100 : 5 に調整したもの (以下調整とする) と、これに対して原廃水の pH および窒素を調整しないもの (以下無調整とする) について処理効率を検討した。なお、pH の調整は 10% 苛性ソーダ溶液を使用し、また窒素の調整は 10% 尿素溶液を使用した。

処理実験は、水量負荷 20 ml / ml² ・日の設定で、BOD 容積負荷 (以下負荷とする) を 0.5 kg / ml² ・日、1.0 kg / ml² ・日、および 2.0 kg / ml² ・日に約 60 日経過ごとに原廃水の BOD 濃度と水量を調整して負荷を増す方法で行い、通気方法は自然通気で行った。実験は生物膜の付着性並びに処理水質に主眼を置いて行った。その結果の各負荷における TOC の変化と生物膜量の変化を図 2、また各負荷ごとの最終処理水水質を表 3 にそれぞれ示す。

(1) 生物付着性

負荷 0.5 kg / ml² ・日における生物付着量は調整、無調整とも 40~60 mg / cm³ の範囲で推移して両者

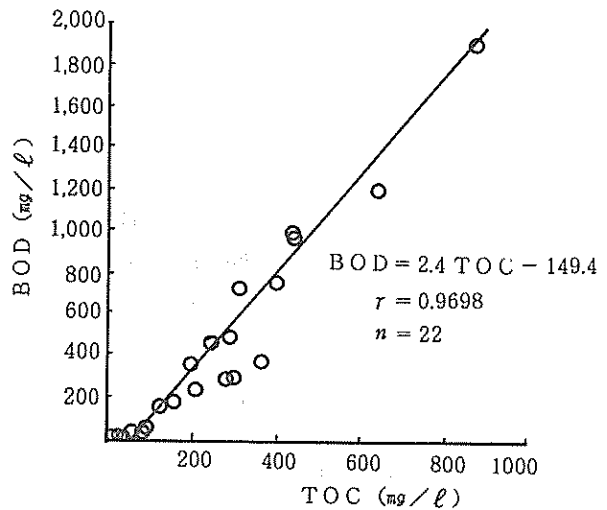


図 1 BOD と TOC の関係

表 2 洗米廃水の水質

| 項目 | 種別 | |
|------------|-------|---------------------|
| | 原液 | 前 処 理 後 |
| 外 観 | 白 濁 | 淡黄色 |
| 透視度 (cm) | 0 | 2~4 |
| pH | 6.35 | 3.40~4.10 |
| BOD (mg/l) | 5,100 | 2,200~3,000 (3,190) |
| COD (mg/l) | 5,650 | 2,200~3,170 (2,630) |
| SS (mg/l) | 5,940 | 119~280 (178) |
| N (mg/l) | 102 | 35.5~69.5 (51.4) |
| P (mg/l) | 50 | 20.0~41.0 (32.0) |

() 平均値

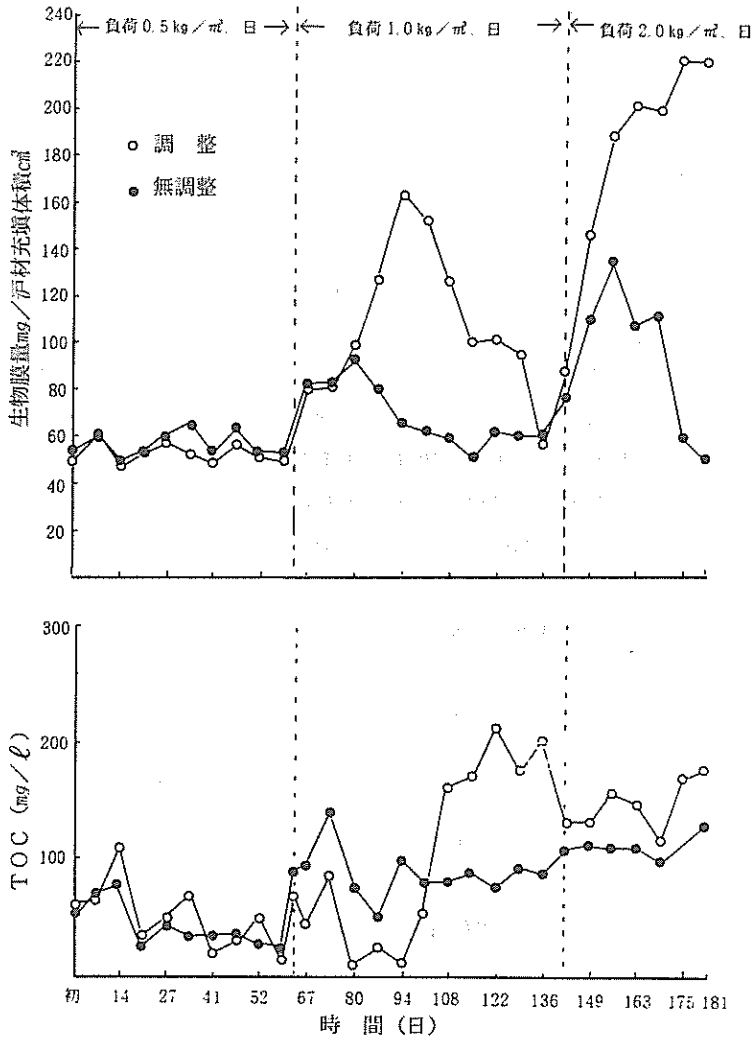


図2 各負荷におけるTOCの変化と生物膜量の変化

表3 原廃水の無調整と調整の最終処理水質

| BOD負荷 | | 0.5 kg/m ² ・日 | | 1.0 kg/m ² ・日 | | 2.0 kg/m ² ・日 | |
|-------|------|--------------------------|------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
| 項目 | 種別 | 調整 | 無調整 | 調整 | 無調整 | 調整 | 無調整 |
| pH | | 7.85 | 7.81 | 7.75 | 7.50 | 7.65 | 7.75 |
| 透視度 | (cm) | 18 | 12 | 2.8 | 9.0 | 2.5 | 5.0 |
| 外観 | | 淡黄色 | 淡黄色 | 淡黄色 | 淡黄色 | 茶濁色 | 茶濁色 |
| BOD | mg/l | 26.2 | 13.9 | 71.6 | 63.2 | 273.5 | 110.5 |
| COD | mg/l | 21.3 | 35.0 | 73.6 | 76.4 | 102.1 | 145.9 |
| TOC | mg/l | 65.0 | 88.0 | 130.0 | 110.0 | 173.0 | 130.0 |
| SS | mg/l | 2.5 | 40.0 | 77.0 | 6.3 | 37.9 | 28.7 |
| N | mg/l | 6.9 | 1.85 | 37.4 | 3.1 | 11.5 | 1.4 |

間に顕著な差異はみられなかった。また負荷 $1.0 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{日}$ においては調整の場合、経時的に生物膜量は増加する傾向を示し、処理中期で最大 163 mg/cm^2 を示すがその後は減少する傾向がみられた。無調整の場合は当初、生物膜量は増加する傾向がみられたが、その後は緩慢な変動を示した。一方負荷 $2.0 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{日}$ では、調整、無調整とも生物付着量は増加する傾向を示した。

本実験より、生物付着量は負荷が増すごとに増加する傾向があり、負荷 $1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{日}$ 以上では全般的に調整した方が無調整より生物膜量は多かった。このことは窒素の補添により、微生物の増殖が活発になるためと考えられ、高負荷においては生物膜の異常増殖による汙床閉塞の障害のおそれのあることが示唆された。

(2) 処理水水質

負荷 $0.5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{日}$ における処理水は原廃水の BOD 約 $1,000 \text{ mg/l}$ に対し、無調整の場合、処理過程の換算 BOD 値は $10 \sim 62$ (平均: 16.6 mg/l 以下同) mg/l の範囲を示し、また調整の場合は $10 \sim 120$ (21.9) mg/l の範囲を示し両者の処理水質は比較的に良好であった。

また、負荷 $1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{日}$ では原廃水の BOD 値約 $2,000 \text{ mg/l}$ に対して無調整の処理水の換算 BOD 値は $10 \sim 187$ (162) mg/l の範囲の値を示し、全般的に BOD 値は緩慢な変動で推移する傾向に対して、調整の場合の処理水の換算 BOD 値は $10 \sim 355$ (142) mg/l の範囲で変動し、処理初期の処理水質は良好であるが、処理後期にかけて処理水は悪化する傾向を示す。一方負荷 $2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{日}$ では原廃水の BOD 約 $3,000 \text{ mg/l}$ に対し無調整の処理水の換算 BOD 値は $100 \sim 160$ (117.4) mg/l 、また調整の場合は $120 \sim 266$ (198) mg/l をそれぞれ示し、両者とも処理過程の換算 BOD 値は 100 mg/l 以上で推移して、処理水の外観は濁度が高く、また腐敗臭が発生する等処理水水質は悪かった。

処理水の pH については、無調整の場合の原廃水の pH $3.40 \sim 4.10$ に対して処理水の pH は $6.90 \sim 8.30$ を示し調整した場合はほぼ同じ値を示す。本実験での洗米廃水は酸化発酵法による前処理後のものを使用しているため、低い pH の要因は有機酸によるためと考えられ、有機酸を含む廃水は処理過程で発生した炭酸ガス (CO_2) により中和されることが知られており²⁾ 従って原廃水の pH の調整は必要がないと考えられる。処理水質は総じて無調整の場合が調整より若干良好な結果が得られたが、生物膜の生成量は調整の場合が高く、生物膜量と処理水水質とは相反する結果が得られた。このことは生物膜の肥厚増殖が過剰になると汙床内が嫌氣的になり、処理機能が低下するためと考えられる。

以上の原廃水の無調整と調整の処理効率は両者間に大きな差異がみられず、従って無調整で負荷を $1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{日}$ 以下に設定して高い処理効率を得ることが期待できる。

2.2 高負荷処理における強制通気の処理効果

散水汙床法は代表的な好気性処理法であり、処理効率を高めるためには、浄化に関与する微生物への酸素供給が十分でなければならない。一般に散水汙床法における酸素の供給は汙床内外の温度差による自然対流によって行なわれている³⁾。前述の自然通気による実験結果から負荷 $1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{日}$ 以上では処理効率が低下する傾向を示したので、高負荷処理における強制通気の効果について調べた。

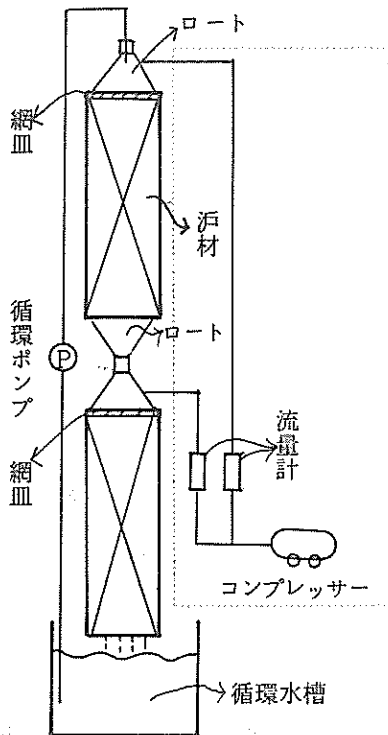
通気方法は図 3 に示すように汙床上部と中間部にそれぞれコンプレッサーで通気を行った。通気量は一般に BOD 1 kg あたり 60 m^3 の空気が必要とされているのでこの数値を目安にして、上中段に

それぞれ1~2 l/minの空気を送気して実験を行った。なお、原廃水は調整したものを使用し、また、強制通気と比較のため自然通気の実験を並行して行い、実験条件は水量負荷は20 m³/m²・日、BOD負荷は約1 kg/m²・日と2 kg/m²・日に設定し、実験はそれぞれ65日間と45日間行った。

その結果の処理水のTOC変化については図4に示し、最終処理水については表4にそれぞれ示す。

負荷1 kg/m²・日における処理過程の処理水の換算BOD値は19~163 (54.5) mg/lの範囲を示し、また負荷2 kg/m²・日では換算BOD値は160~500 (315) mg/lの高い値を示し処理水水質は悪くなる。なお、対象実験の自然通気の場合、処理後期に生物膜の異常増殖によるものと考えられる汙床閉塞が起り処理水水質は極めて悪くなった。

本実験での処理水水質は強制通気が自然通気よりやや優る結果が得られたが、強制通気により大幅な処理効率の改善を図ることはできなかった。このことは、実験汙床の空隙率が約50%と低いため通気性に問題があると考えられる。



□は強制通気実験の場合
図3 強制通気の実験装置概略図

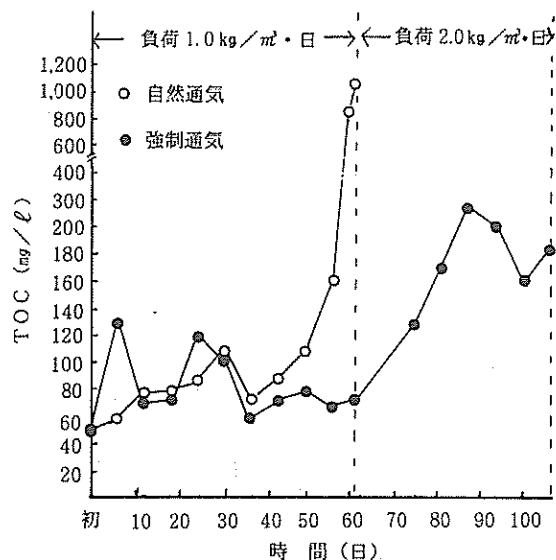


図4 処理水のTOCの変化
(自然通気と強制通気) 実験

表4 高負荷処理における自然通気と強制通気の実験装置概略図

| 項目 | BOD負荷 kg/m ² ・日 | | 2.0 | |
|----------|-------------------------------|------------|------------|------------|
| | 種別 | 自 然 通 気 | 強 制 通 気 | 強 制 通 気 |
| pH | | 7.40 | 8.30 | 8.15 |
| 透視度 (cm) | | 2.0 | 11.0 | 2.5 |
| 外 観 | | 茶濁色 | 淡黄色 | 淡黄濁 |
| BOD mg/l | | 1,037 | 294.4 | 184.4 |
| COD mg/l | | 393 | 156.2 | 220.8 |
| TOC mg/l | | 858 | 75.0 | 190.0 |
| SS mg/l | | 97.2 | 53.6 | 103.5 |
| N mg/l | | 23.7 | 20.7 | 28.6 |

一般に散水汙床法では汙床内に供給された酸素は、汙床を通過する廃水から生物膜に供給されるといわれている³⁾。従って廃水への酸素の溶解率を高める意味で循環水槽への直接通気を行いその

処理効率について調べた。

実験条件は空気吹込み量 1 l/min に、負荷は $1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{日}$ に設定し、他の条件は汙床内通気実験と同様に行った。その結果を処理水の TOC 変化は図 5 に、また最終処理水の水質は表 5 にそれぞれ示す。

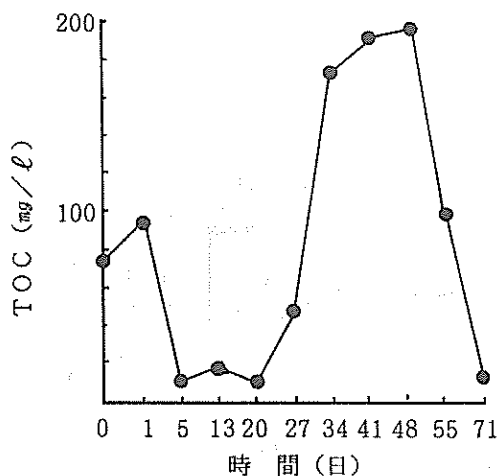


表 5 循環水槽内通気における処理水水質

| | |
|-------------------|-------|
| pH | 8.30 |
| 透視度 (cm) | 9.0 |
| 外 観 | 淡黄色 |
| BOD mg/l | 6.5 |
| COD mg/l | 35.4 |
| TOC mg/l | 115.0 |
| SS mg/l | 2.5 |

図 5 処理水の TOC 変化 (循環水槽内の通気実験)

処理過程における処理水の換算 BOD 値は $10 \sim 330$ (129) mg/l の範囲を示し、処理初期は低い値で推移し水質は良好である。処理中期では処理水水質は悪くなる傾向がみられるが、実験最終の処理水の BOD 値は 6 mg/l を示し水質は良好であった。

この循環水槽内に直接曝気を行う方法は、水槽内で浄化に關与する微生物が増殖し廢水が浄化されることが考えられ、結果的には活性汚泥法と散水汙床法の二段処理方式となるので汙床内通気と比較して高い処理効率が得られるものと考えられる。

2.3 二段汙床法処理における処理効率

一段汙床法による高負荷処理では処理効率が低いので、二段汙床法について検討した。

実験は図 6 に示すように 2 塔を使用し、1 塔に 10 時間循環散水を行った後、引き続き 2 塔目の汙床に 10 時間循環散水を行う交互処理方式で合計処理時間は 20 時間とした。

原水は調整したものを使用し、水量負荷は $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$

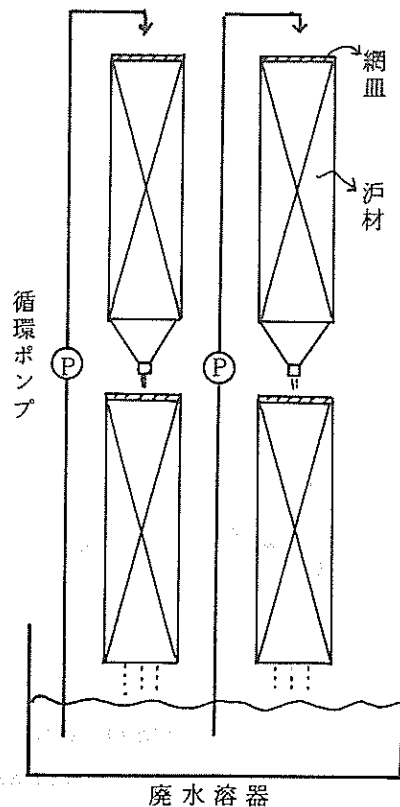


図 6 回分 2 塔式実験装置の概略図

日にし7日間経過ごとに負荷を増す方法で、負荷は $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ と $2 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ に設定した。なお通気方法は自然通気で実験を行った。

その結果は、表6に示すように各負荷における処理水のBOD値は $18 \sim 25 \text{ mg/l}$ を示し、負荷を高くしても処理水質は良好で高い処理効率を示す結果が得られた。

表6 回分2塔式散水汙床法による最終処理水質

| 項目 | BOD負荷 $\text{kg/m}^3 \cdot \text{日}$ 種別 | 1.0 | | 2.0 | |
|-------------------|--|-------|--------------|-------|-------------|
| | | 原 廃 水 | 処 理 水 | 原 廃 水 | 処 理 水 |
| 外 観 | | 淡白濁色 | 淡黄色 | 白濁色 | 淡黄色 |
| 透視度 (cm) | | 5.0 | 10.0 | 2.0 | 15.0 |
| pH | | 7.0 | 7.40 | 7.0 | 8.05 |
| BOD mg/l | | 2,100 | 18.2 (99.0) | 3,320 | 25.5 (98.9) |
| TOC mg/l | | 1,240 | 105.0 (92.0) | 1,240 | 95.0 (92.3) |

() 除去率

この二段汙床法は単独汙床法よりも結果的に汙床の有効高さが2倍になり、廃水の接触時間が長くなり処理効率が高くなるためと考えられる。従って高負荷処理では多段汙床法の採用により高い処理効果が期待できる。

2.4 散水休止後の生物膜の挙動

正月および盆休み並びに製造工程の定期点検、修理等による操業休止期間中の汙床の管理はきわめて重要である。従って実験汙床への給液を一定期間(10日間)停止し、その後給液を開始して生物膜の剥離状況と処理効率について調べた。

実験は原廃水を調整したものをを用い、水量負荷は $20 \text{ ml/ml} \cdot \text{日}$ 、BOD負荷は $0.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ と $1.0 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ に設定し、また通気は自然通気と強制通気による実験を行った。なお生物膜の剥離量は循環水槽内のMLSS(汚泥濃度)を常法⁴⁾により測定して評価を行った。

その結果をMLSSの変化と処理水のTOCの変化を図7に示す。

図7の結果から、散水開始とともにMLSSは除々に高い値を示し、生物膜の顕著な剥離現象がみられた。しかし散水6日目あたりからMLSSは、ほぼ定常値を示し、その後は生物膜の大幅な剥離現象はみられなかった。一方処理水のTOC値は総体的に生物膜の剥離とともに高い値を示す傾向がみられ処理水質は悪くなる。また、

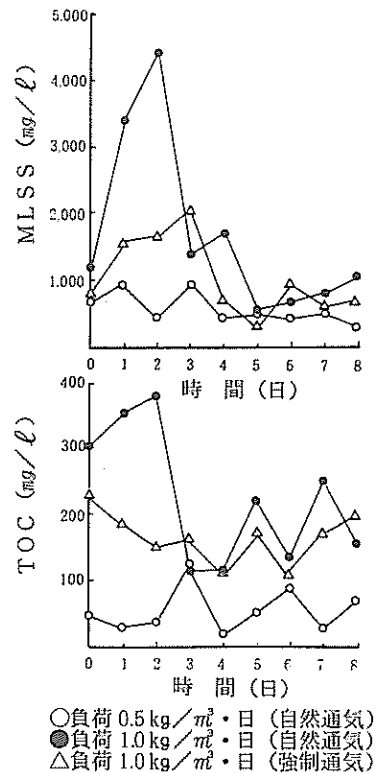


図7 MLSSとTOCの変化

生物膜の剥離量は負荷 $1 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{日}$ の場合が負荷 $0.5 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{日}$ より多く、両者間に顕著な差異がみられた。

以上の結果から長期の散水停止後、散水を開始すると生物膜の著るしい剥離現象が発生し、処理機能が正常に回復するのに約1週間以上要すると考えられる。この生物膜の剥離現象は汙床内が乾燥しているため、汙材から生物膜が容易に剥離するためと考えられ、従って休止期間中の汙床の管理として処理水を循環する方法で、生物膜の剥離を防止できると考えられる。

3 まとめ

琉球石灰岩を生物膜汙材に活用した回分式散水汙床法処理法で泡盛醸造工場の洗米廃水の効率的な処理条件について検討し、次の結果を得た。

- (1) 原廃水の調整と無調整の処理効率に顕著な差異はみられなかった。
- (2) 高負荷処理における強制通気の効果は循環水槽への通気により高い処理効率を得られた。
- (3) 高負荷処理における二段汙床処理で高い処理効率を得られた。
- (4) 長期休止後、散水を開始すると著るしい生物膜の剥離現象が発生し、処理機能の低下の要因となる。従って休止期間中は汙床内の乾燥を防止する等汙床管理はきわめて重要である。

以上の結果から、琉球石灰岩生物膜散水汙床法による泡盛醸造工場の洗米廃水の処理条件として、廃水は無調整でBOD容積負荷は $1 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{日}$ 以下に設定して良好な処理効率を得ることが期待できる。また廃水処理では経済性を無視出来ないの、通気方法は自然通気で行い、高負荷処理では多段汙床法を採用することが得策と考えられる。

おわりに、本研究を実施するにあたり廃水試料の提供にご便宜をいただいた津波古酒造所に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 宮城周子、比嘉三利、照屋輝一、地域鉱物資源活用による維持管理技術に関する研究、沖縄県工業試験場業務報告 15号 63 (1988)
- 2) W・Wエッケンフェルダ、D・J・オコンナ 岩井重久訳、廃水の生物学的処理 コロナ社 68 (1975)
- 3) 高原義昌編著、廃水の生物処理、地球社 100 (1980)
- 4) 下水試験方法、(社)日本下水道協会 378 (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。