

小規模工場廃水の処理に関する研究

—— 泡盛醸造工場廃水の処理について(2) ——

化学室 比 嘉 三 利
宮 城 周 子
照 屋 輝 一

まえがき

前報⁽¹⁾では、泡盛醸造工場の廃水の実態調査を行ない、製造工程ごとの廃水量、並びに水質性状について明らかにし、その中で、洗米廃水は水量的には少ないが、最も汚濁が高く、その処理によって泡盛醸造工場の廃水問題はほぼ解決できることが分かった。よって、洗米廃水の効率的処理法の確立を目的に、物理化学的処理法の検討を行ない、その結果を報告した。

洗米廃水の自然沈降法、pH調整沈降法および凝集沈澱法による処理では、懸濁物質(SS)については約99%の高い処理効率を得られるが、COD、BODは70~80%程度の除去率が限界であり、これらの単独処理での処理水はまだ汚濁が高く、なんらかの後処理が必要とされる。洗米廃水の水質特性から、その効率的な処理法は生物化学的処理法が適当と考えられ、今回、自然沈降法と回分式活性汚泥法(調整槽と沈澱槽を曝気槽で兼用する方式)の2段処理による検討を行ない、2、3の知見を得たので、その結果を報告する。

1 実験方法

1・1 試料

A泡盛醸造工場の洗米廃水を排出時間内にポリ容器(20ℓ)、5個に分取(総量100ℓ)して、混合したものを使用した。

1・2 活性汚泥

B泡盛醸造工場の固定床式活性汚泥処理施設の活性汚泥を使用した。

1・3 分析方法

水質分析はすべてJIS K 0102(1981)に準じて行なった。また、活性汚泥の試験は下水試験方法(1976)に準じ、次のように行なった。

(イ) 活性汚泥濃度(MLSS)

沈澱管に活性汚泥混合液50mlを取り、3,000 rpmで5分間遠心分離を行ない、上澄水を捨て、沈澱物を純水50mlで同様に水洗した後、沈澱物を磁製皿に移し、110℃で2時間乾燥し、冷却後秤量を行ない、乾物量からmg/ℓで示した。

(ロ) 活性汚泥沈澱率(SV₃₀)

活性汚泥混合液(200 ml)を200 mlメスシリンダーにとり、混合後30分間静置した時の汚泥の界面(h ml)を読み、次式より算出した。

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

(ハ) 汚泥容量指標(SVI)

(イ)、(ロ)のMLSSとSV₃₀(%)の値から次式により算出した。

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

1・4 処理試験方法

実験装置の概略図は図1に示す。

曝気槽は透明アクリル樹脂板製で実容積は10ℓである。曝気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(酸化還元電位)が連続自記記録できるようになっている。なお、廃水添加、曝気、污泥沈降および処理水排出の処理工程はタイマーにより任意に設定できる。

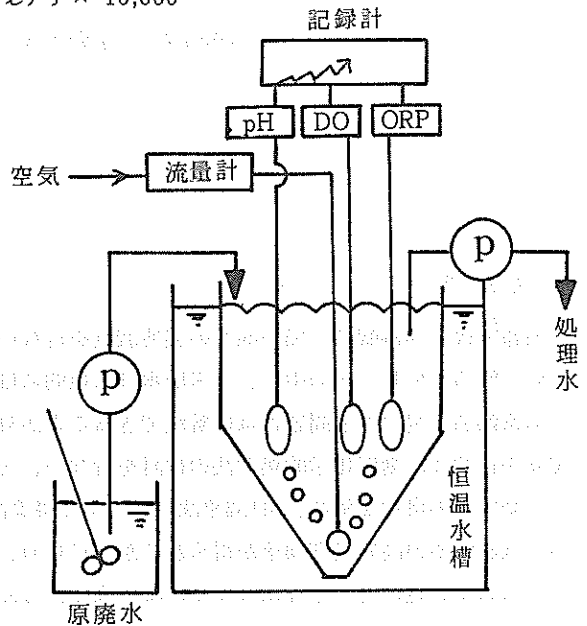


図1 実験装置

処理方式は制限曝気式回分処理法とし、図2の処理工程で実験を行った。

曝気槽内活性污泥濃度は約5,000～6,000 mg/ℓにし、余剰污泥は適宜引抜きを行なった。また、曝気槽内温度は25℃にし、DO(溶存酸素)は最終的に酸素飽和度50%以上を維持するように空気量を調節した。なお、活性污泥は7日間馴養後、本運転を行なった。

2 洗米廃水の前処理

洗米廃水のBOD、SSは10,000 mg/ℓ以上を示し、極めて汚濁が高く、そのままでは活性污泥処理が困難であるので自然沈降法による前処理を行なった。

ホーロー容器に洗米廃水100ℓをとり、室温で24時間静置して、懸濁物質を分離した上澄水を以後の処理実験での原廃水とした。

洗米廃水の処理前後の水質性状は表1、表2に示すように、前処理の効果は大きく、BOD、CODは70～80%程度、SSは99%程度除去できる。

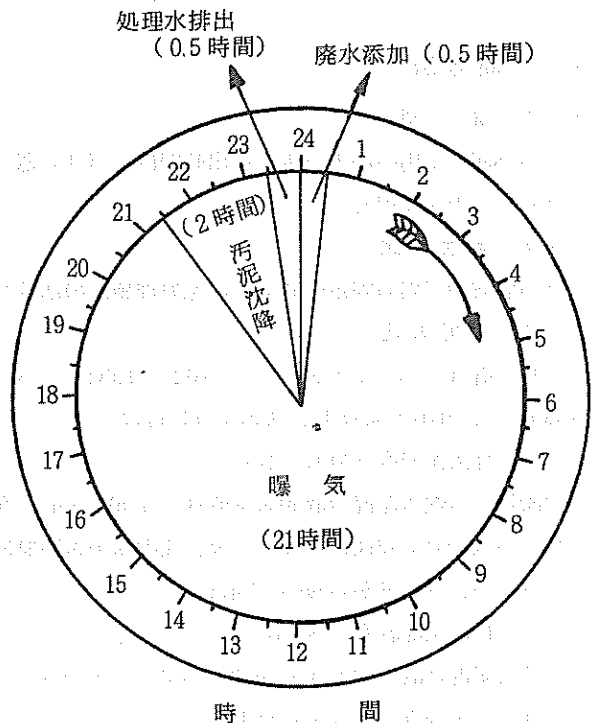


図2 処理工程

表1 処理前の水質

外 観	白 濁
透 視 度 cm	0
pH	6.08 ~ 6.28
COD mg/l	8,930 ~ 12,900 (11,300)
BOD mg/l	9,380 ~ 12,500 (11,200)
TOC mg/l	8,900 ~ 9,500 (8,200)
SS mg/l	10,300 ~ 15,100 (13,300)
*全 窒 素 mg/l	309 ~ 512 (428)
全 リ ン mg/l	146 ~ 256 (211)
全蒸発残留物 mg/l	13,950 ~ 21,500 (18,100)
強熱残留物 mg/l	1,150 ~ 2,230 (1,830)
強熱減量 mg/l	12,800 ~ 19,400 (16,200)

※ケルダール法 () 平均値

表2 前処理後の水質

外 観	淡黄濁
透 視 度 cm	2 ~ 4
pH	3.35 ~ 3.79
COD mg/l	1,670 ~ 3,720 (2,500)
BOD mg/l	2,410 ~ 3,720 (3,100)
TOC mg/l	1,420 ~ 2,400 (1,870)
SS mg/l	119 ~ 282 (178)
*全 窒 素 mg/l	63 ~ 98.7 (85.4)
全 リ ン mg/l	20.2 ~ 41.8 (32.0)
全蒸発残留物 mg/l	2,900 ~ 4,430 (3,720)
強熱残留物 mg/l	543 ~ 943 (708)
強熱減量 mg/l	2,220 ~ 3,780 (2,960)

※ケルダール法 () 平均値

前処理水のpHは3.35~3.79でBODはCODの約1.3倍の値を示し、図3に示すように両者間に相関性がある。また、BOD:N:Pの比は100:3:1であり、一般に廃水の生物化学的処理で必要とされている100:5:1と比較して窒素(N)が若干不足している。

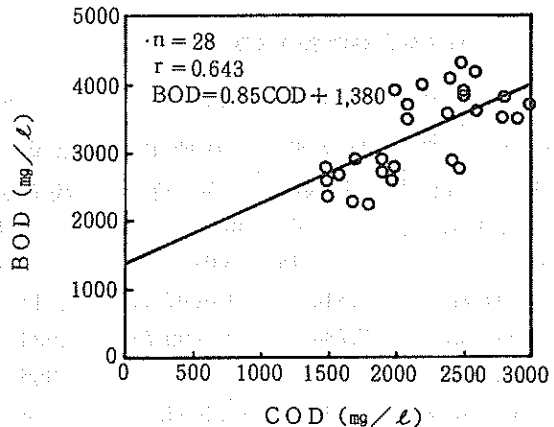


図3 BODとCODの関係

3 実験結果および考察

3・1 原廃水の無稀釈、無調整による実験

前処理水を無稀釈、無調整で回分式活性汚泥処理を行った。

21日間単位に原廃水の添加量を増す方法で行い、平均BOD容積負荷（以下BOD負荷）は0.52、1.09 および 1.34 kg/m³.day に設定して、処理効果並びに活性汚泥の性状を調べた。

(1) BOD負荷と処理効果

原廃水と処理水水質の変化は図4に示し、また、各BOD負荷における処理最終の水質結果は表3に示す。

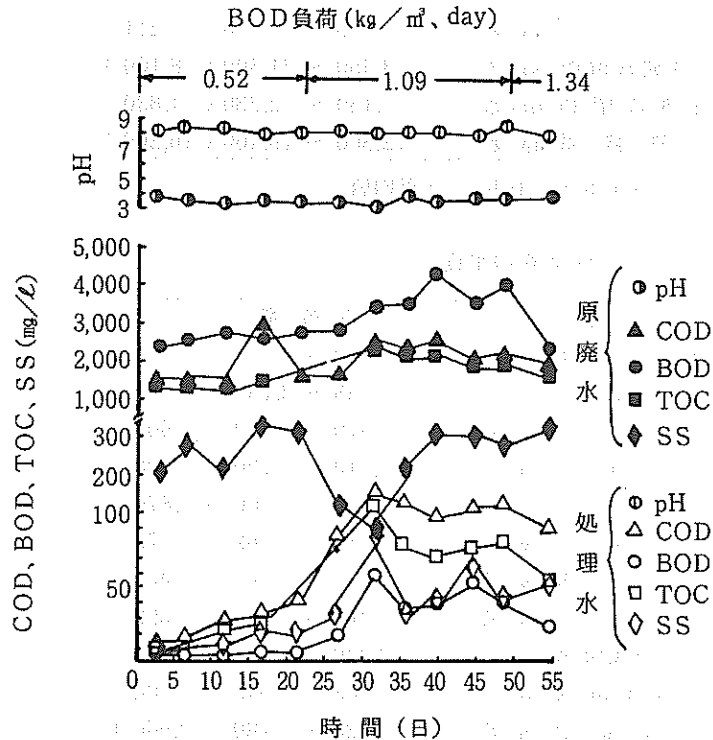


図4 原廃水と処理水の水質変化

表3 原廃水と処理水の水質（最終）

項目	BOD負荷 0.52 kg/m ³ .day		1.09 kg/m ³ .day		1.34 kg/m ³ .day	
	原廃水	処理水	原廃水	処理水	原廃水	処理水
外観	淡黄濁	茶色	淡黄濁	茶色	淡黄濁	茶色
透視度 cm	2.0	30 <	2.0	10	2.5	13
pH	3.45	8.01	3.65	8.08	3.64	7.80
COD mg/l	1,544	41.6(97.3)	2,211	114 (94.8)	1,955	81.7(95.8)
BOD mg/l	2,784	7.7(99.7)	3,984	41.5(98.9)	2,320	25.7(98.9)
TOC mg/l	—	—	1,996	83 (95.8)	1,601	58 (96.4)
SS mg/l	299	17.2(94.2)	278	45 (83.8)	306	55 (82.0)

一欠測 () 除去率%

原廃水のpHは3.34～3.99の低い値を示すのに対して、処理水のpHは各BOD負荷とも8前後を示す。原廃水の低いpHの要因はなんらかの有機酸が考えられる。有機酸を含む廃水では、その酸化によって生じた炭酸ガス(CO₂)が曝気によって放出され、pHが上昇することが知られている。⁽²⁾本実験でもこのことが考えられ、従って、原廃水のpHは調整する必要がない。

BODは原廃水で2,300～4,300 mg/lであったが、処理水は2～61 mg/lを示し、実験期間を通して98～99%の高い処理効率を得られた。また、COD、TOC除去率はBOD負荷が低い時は約98%を示すが、BOD負荷が高くなると、除去率は約96%前後で推移して、COD14～162 mg/l、TOC10～120 mg/lを示し、総じてBOD値より高い値を示す傾向があった。

一般に活性汚泥処理ではBOD除去に比較して、COD除去が困難とされ、特に着色物質は除去困難であることが知られている。⁽³⁾本実験での処理水は茶色に着色していた。そこで、処理水をガラス繊維ろ紙(孔径1.4μm)でろ過して、ろ過前後のTOCの変化を調べたところ、10～20%程度の除去率にとどまり、この結果から着色物質がCOD、TOCに大きな影響を与えていると推察される。廃水を海域に放流する場合はCODで規制を受けることになるので、その対策が必要となる。着色物質の処理として、活性炭処理等の物理化学的処理法が効果的であると考えられる。

図5と図6にBOD負荷0.52と1.09 kg/m³・dayについて曝気開始時点から経時的にDOとTOCを測定して、曝気槽内の有機物の処理過程を示す。

BOD負荷0.52 kg/m³・dayの場合、TOCは経時的に低下し、DOが増加する約3時間後ではほぼ平衡状態に達し、処理が完了したと思われる。一方、BOD負荷1.09 kg/m³・dayの場合は曝気約7時間後でDOが増加し、TOCもほぼ平衡状態になる。この結果から、BOD負荷の高低により処理時間に差異がみられた。従って、実装置において、このDOの増加点を目安にして、曝気時間の短縮ができ、経済的な維持管理が可能と思われる。

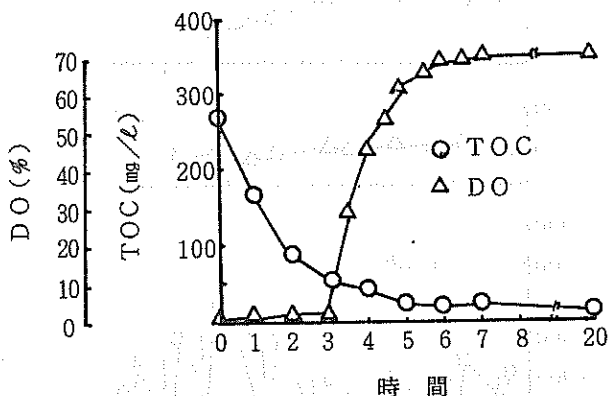


図5 TOCとDOの経時変化 (BOD負荷0.52 kg/m³ day)

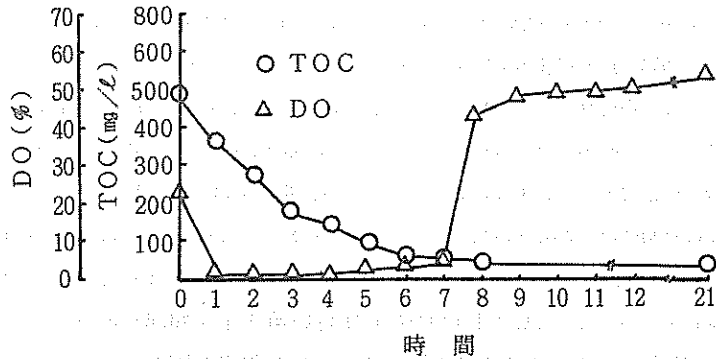


図6 TOCとDOの経時変化 (BOD負荷 1.09 kg/m³·day)

以上の結果から、処理水はBOD負荷 0.52 ~ 1.34 kg/m³·day の範囲で放流基準 (BOD 120 mg/l) に適合する水質であった。しかし、BOD負荷 1.34 kg/m³·day の場合は活性汚泥の性状に問題がある。このことについては後述する。

(2) 活性汚泥の性状

各BOD負荷におけるMLSS、SV₃₀ およびSVIの変化は図7に示す。

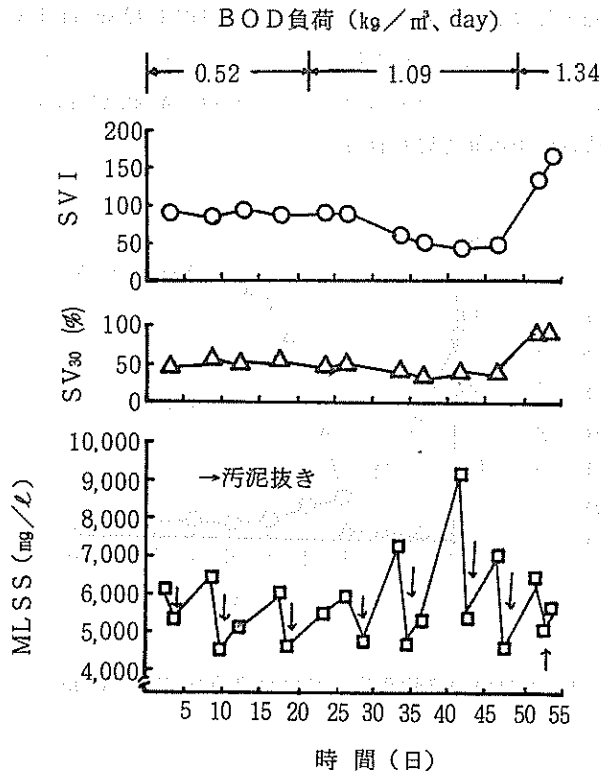


図7 MLSS、SV₃₀、SVIの変化

一般に活性汚泥の沈降性の良否を決めるSVIは50～100の範囲が最適とされている。BOD負荷0.52と1.09 kg/m³.dayの場合は、実験期間を通してSVIは100以下を示し、沈降性は良好であった。BOD負荷0.52 kg/m³.dayの活性汚泥は茶黄色を呈し、フロックが大きく、生物相は繊毛虫類（ツリガネムシ）、輪虫類（ヒルガタワムシ、ツボワムシ）等の原生および後生動物が顕微鏡下で観察された。BOD負荷1.09 kg/m³.dayの場合は汚泥の外観、沈降性状はBOD負荷0.52 kg/m³.dayとはほぼ同様であったが、凝集性の悪い微細な汚泥も多く、これが処理水中に混入していて、処理水の透視度が悪かった。

一方、BOD負荷1.34 kg/m³.dayの場合は実験当初から活性汚泥の沈降性は悪く、処理5日目には、SV₃₀93%、SVI166を示し、沈降性は極めて悪くなり、処理実験の続行が不可能になった。この時の活性汚泥は淡黄色を呈し、粘質性があり、また、検鏡では糸状性細菌は観察されなかった。従って、なんらかの原因で活性汚泥が粘調性を帯び、沈降性が悪化したと考えられる。

活性汚泥の生成量はBOD負荷0.52、1.09および1.34 kg/m³.dayにおいて、曝気槽に投入した全BODに対して、それぞれ43.4%、58.4%、48.7%となった。

以上の実験結果から、洗米廃水は前処理を行ない、無稀釈、無調整で回分式活性汚泥法で良好な処理が期待でき、処理水水質と活性汚泥の性状から判断すると、その最適BOD負荷は1 kg/m³.day以下が考えられる。

3・2 原廃水の無稀釈、調整（窒素補添）による処理実験

廃水の生物化学的処理では、浄化に参与する微生物の栄養源として、窒素(N)とリン(P)は重要な成分とされている。前処理の項で記したように、前処理水にはリンは十分量含まれているが、窒素は若干少ない。そこで、窒素源に尿素を使用して、BOD:Nの比をバランスとされる、100:5に調整し、他の条件は無調整の場合と同様にして、窒素補添の効果を調べた。

(1) BOD負荷と処理効果

平均BOD負荷は無調整の実験の場合より、高い負荷が設定でき、結果的には0.79、1.06、1.41および1.88 kg/m³.dayになった。その結果を原廃水と処理水の変化は図8、また、各BOD負荷における処理最終の水質は表4に示す。

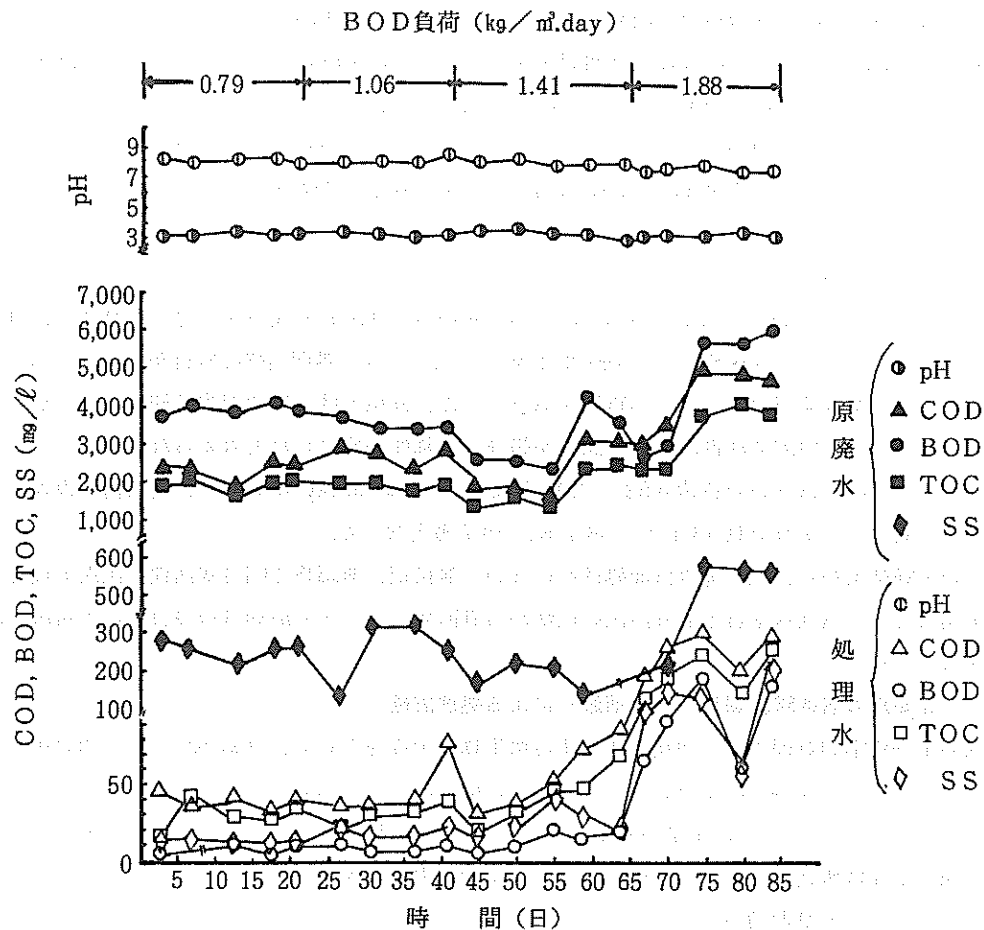


図8 原廃水と処理水の水質変化

表4 原廃水と処理水の水質 (最終)

BOD負荷 種別 項目	0.79 kg/m ³ .day		1.06 kg/m ³ .day		1.41 kg/m ³ .day		1.88 kg/m ³ .day	
	原廃水	処理水	原廃水	処理水	原廃水	処理水	原廃水	処理水
外観	淡黄	茶色	淡黄	茶色	淡黄	茶色	淡黄濁	茶色濁
透視度 cm	2.0	30 <	2.0	30 <	2.5	14.0	1.5	2.5
pH	3.30	7.90	3.45	8.15	3.38	8.01	3.42	7.55
COD mg/ℓ	2,539	38.9(98.5)	2,971	74.9(97.5)	3,272	85.9(97.4)	4,747	276(94.2)
BOD mg/ℓ	3,940	7.7(99.8)	3,540	8.9(99.7)	3,456	18.8(99.5)	6,010	169(97.2)
TOC mg/ℓ	2,200	35 (98.4)	1,939	37 (98.1)	2,375	66 (97.2)	3,880	256.5(93.4)
SS mg/ℓ	257	13.2(94.9)	248	19 (92.3)	—	28	546	200(63.4)

— 欠測 () 除去率%

処理水水質は原廃水水質に対応して不規則に変動している。

処理水のBODはBOD負荷 0.79 ~ 1.41 kg/m³.dayにおいて、3.9 ~ 19.8 mg/ℓを示し、BOD除去率約99%の高い浄化結果が得られ、一方、BOD負荷 1.88 kg/m³.dayの場合は 61 ~ 178 mg/ℓの値を示し、水質は悪くなった。また、CODとTOC除去率は全般的にBOD除去率より低く、無調整の実験と同様、茶色に着色した成分の影響が考えられる。

処理水の透視度とSSについては、BOD負荷の増加と共に徐々に悪化し、特にBOD負荷 1.88 kg/m³.dayでは外観は原廃水とほぼ同様な状態であった。なお、処理水のpHは各BOD負荷とも8前後を示し、良好であった。

(2) 活性汚泥の性状

各BOD負荷におけるMLSS、SV₃₀およびSVIの変化は図9に示す。SVIは各BOD負荷とも常に100以下の値を示し、沈降性は良好であった。BOD負荷 0.79 ~ 1.41 kg/m³.dayでの活性汚泥は茶黄色を呈し、フロックが大きく、また、活性汚泥が良好な時に出現する繊毛虫類(ツリガネムシ)はBOD負荷 1.41 kg/m³.dayで多数観察された。一方、BOD負荷 1.88 kg/m³.dayの活性汚泥は淡黄色を呈し、上澄水の透視度が悪く、凝集性の悪い微細な汚泥が多かったが、SVIは高くなることはなかった。

活性汚泥の生成量はBOD負荷 0.79、1.06、1.41 および 1.88 kg/m³.dayで、それぞれ 55.3%、64.7%、50%、80.4%であった。活性汚泥の生成量をBOD負荷約 1 kg/m³.dayについて無調整の実験の場合と比較すると、調整の方が若干高かった。

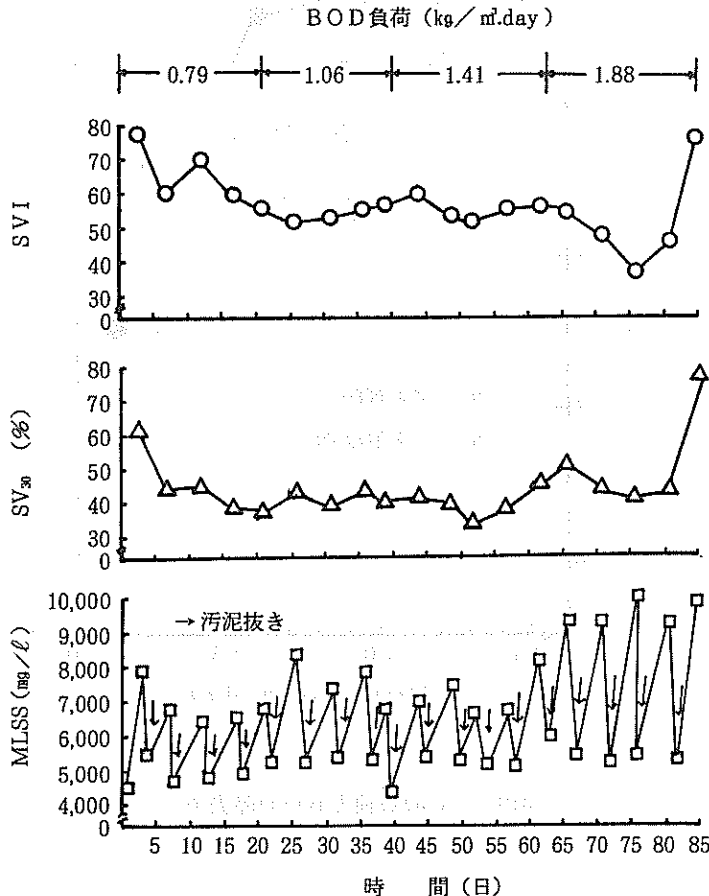


図9 MLSS、SV₃₀、SVIの変化

以上の原廃水の無調整と調整（窒素補添）の処理実験結果をまとめると図10と図11のとおりである。

図10から、BOD除去率（平均値）は無調整の場合はBOD負荷0.52～1.34 kg/m³.dayで、また、調整（窒素補添）はBOD負荷0.79～1.41 kg/m³.dayでそれぞれ約99%を維持する。本実験条件では、無調整のBOD負荷1.34 kg/m³.dayは活性汚泥の性状（沈降性）に問題があり、このことを考慮すると、調整した方が高いBOD負荷（1 kg/m³.day以上）でも良好な処理効率を示す結果が得られた。また、図11から、SVI（平均値）は無調整の場合は、BOD負荷1 kg/m³.day以上で急激に高くなり、沈降性は悪化するのに対して、調整の場合はBOD負荷1 kg/m³.day以上でも顕著な変化はみられず、良好な沈降性を維持する結果が得られた。

一般に窒素が欠乏すると、活性汚泥が軽薄となり、沈降性が悪化することが知られている。⁽³⁾ 本実験でも窒素補添と無添加とで沈降性に差異がみられた。従って、原廃水に窒素を補添することによって、高BOD負荷でも安定した処理ができることが考えられる。

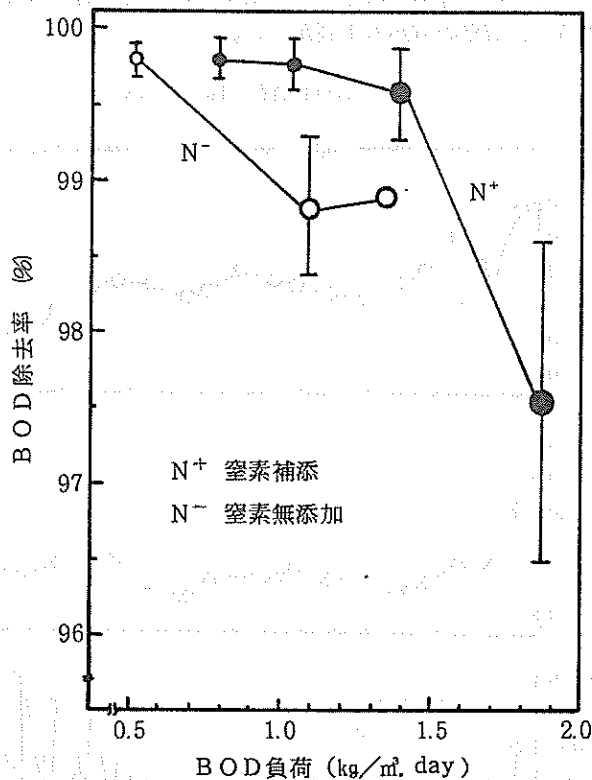


図10 BOD負荷とBOD除去率

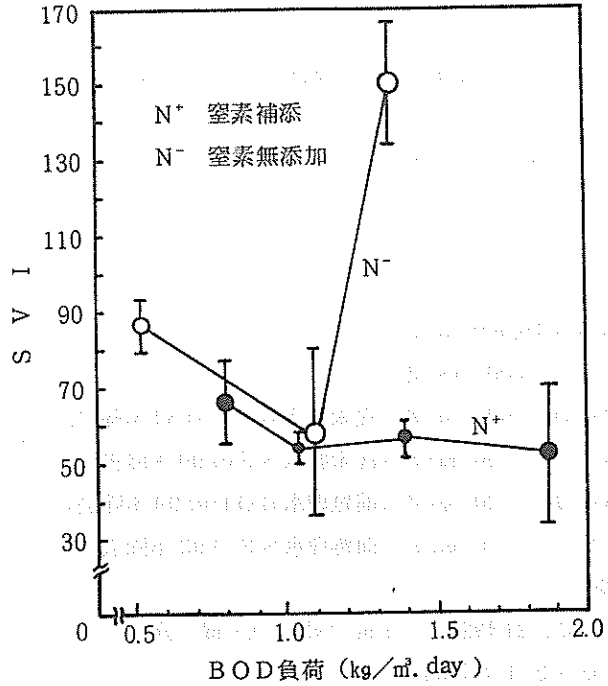


図11 BOD負荷とSVI

以上の結果から、原廃水に窒素を補添した場合、無調整と比較して、高BOD負荷でも処理効率が高く、また、活性汚泥の性状も良好であった。しかし、この方法でもBOD負荷1.88 kg/m³·dayで処理水水質が悪化することから、BOD負荷は1.5 kg/m³·day以下が適当と考えられる。

参考のため、図12に原廃水の無調整と調整（窒素補添）の実験における処理水のBODとCODの関係を示す。BODはCODの約1/4の値を示し、また、両者は良好な相関性を示しており、これは、一方を測定して、他方が推定でき、現場での水質管理に有効である。

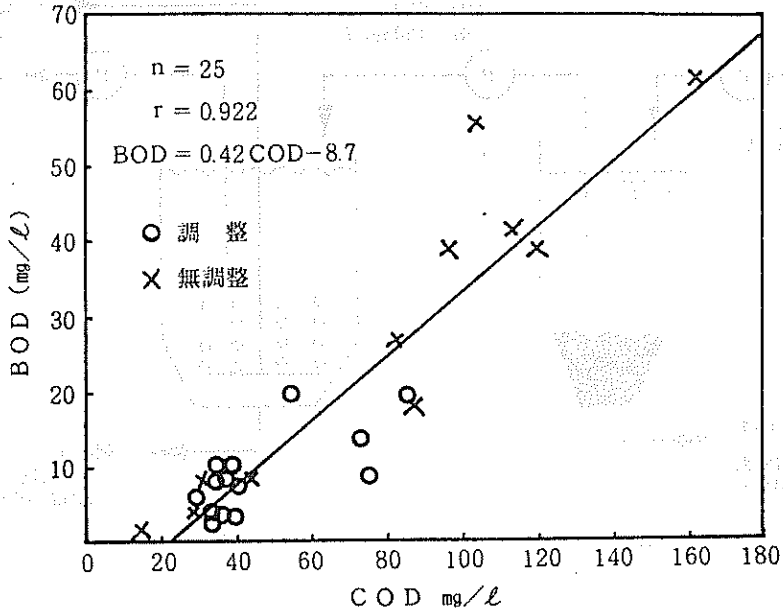


図12 BODとCODの関係

4 処理フローシート

今回の実験結果にもとづき、洗米廃水の自然沈降法と回分式活性汚泥法の2段処理による処理フローシートを作成すると次のようになる。

設計基準はBOD容積負荷 $0.5 \text{ kg/m}^3\cdot\text{day}$ 、MLSS濃度は約 $5,000 \text{ mg/l}$ および空気供給量は $60 \text{ m}^3/\text{kg-BOD}$ に設定した。⁽⁴⁾

(処理計画)

- ①, 洗米廃水量 $1 \text{ m}^3/\text{日}$
- ②, 洗米廃水水質 BOD $10,000 \text{ mg/l}$
SS $15,000 \text{ mg/l}$
- ③, 前処理水水質 BOD $2,000 \text{ mg/l}$ (洗米原水BODの80%除去)
SS 150 mg/l (洗米原水SSの99%除去)
- ④, 処理目標水質 BOD 20 mg/l (前処理水BODの99%除去)
SS 10 mg/l (前処理水SSの93%除去)
- ⑤, 曝気時間 21時間
- ⑥, 空気量 $2 \text{ kg} \times 60 \text{ m}^3/21 \text{ 時間} = 6 \text{ m}^3/\text{時} = 0.1 \text{ m}^3/\text{分}$
- ⑦, 前処理槽容積 2 m^3 (2日分貯留)
- ⑧, 曝気槽容積 $4 \text{ m}^3 (= 2 \text{ kg} \times 1 \text{ m}^3/0.5)$
- ⑨, 余剰汚泥 (対BOD 40%) $2 \text{ kg} \times 40/100 = 0.8 \text{ kg}$ (乾物) $\rightarrow 0.08 \text{ m}^3$ (99%含水率)

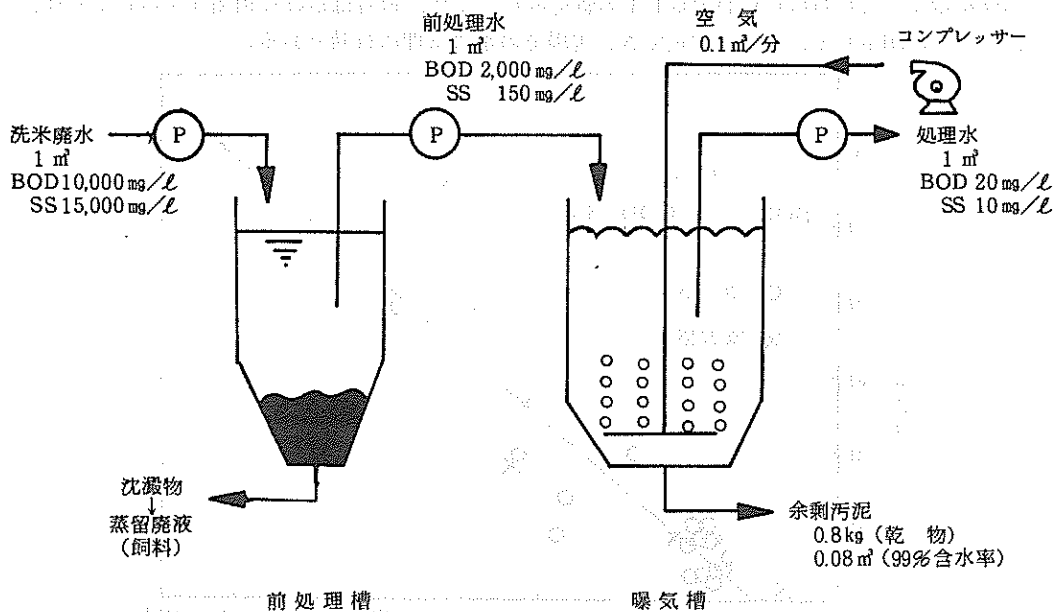


図13 処理フローシート

前処理槽の容積は、上澄水をポンプで曝気槽に汲み上げる際、沈澱物のまき上げを極力少なくするため、廃水量の2倍の容量とした。なお、本法での前処理は洗米廃水の酸化発酵を利用したものであり、そのため、前処理水はpHが低く、金属腐食を起こすことが考えられる。従って、前処理槽はFRP樹脂等の耐腐食材質が望まれ、また、配管類は塩化ビニル管等が適当である。

まとめ

泡盛醸造工場から排出される洗米廃水の自然沈降法と回分式活性汚泥法の2段階処理による処理について検討し、次の結果が得られた。

1. 洗米廃水を自然沈降法で前処理を行ない、無希釈、無調整で、BOD負荷 $0.52 \sim 1.09 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{day}$ の範囲で良好な処理効率を得られる。
2. 原廃水を調整（窒素補添）した場合は高いBOD負荷（ $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{day}$ 以上）でも安定した処理効率を得られる。
3. 活性汚泥の沈降性は無調整の場合はBOD負荷 $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{day}$ 以上で悪化するのに対し、調整（窒素補添）の場合はBOD負荷 $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{day}$ 以上でも良好な沈降性を示す。
4. 活性汚泥の生成量はBOD負荷による差異があり、BODに対して約40～80%である。
5. 洗米廃水は自然沈降法で前処理を行ない、無希釈、無調整で直接回分式活性汚泥法で良好な処理が期待でき、その場合、BOD負荷は $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{day}$ 以下、また、調整（窒素補添）した場合はBOD負荷 $1.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{day}$ 以下が適当と考えられる。

参考文献

- (1) 比嘉三利、宮城周子、宮城勝治、沖縄県工業試験場業務報告、第10号、1983（昭和58年）
- (2) W・W・エツケンフェルダ、D・J・オコンナー、岩井重久訳、廃水の生物学的処理、コロナ社（1975）
- (3) 高原義昌編著、廃水の生物処理、地球社、（1980）
- (4) 太宰宙朗、微工研ニュース、51、（12）（1979）
- (5) 平井正直他4名、工業用水、No.159（1971）
- (6) J I S K. 0102、工場排水試験方法、（財）日本規格協会（1981）
- (7) 下水試験方法（社）、日本下水道協会（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。