

光合成細菌による泡盛醸造廃水の処理^{※1}

(化学室) 照 屋 輝 一^{※2}
平 良 栄 康^{※2}
森 田 大^{※3}

1. 緒 言

有機物を含む廃水の浄化処理には、微生物を利用した生物学的処理法が最も合理的であり、かつ効果的であるとされている。生物学的処理法には、活性汚泥法をはじめとして、散水ろ床法や酸化池法、嫌気性消化法などがあり、それぞれ特徴があって、廃水特性、要求される処理水水質などに対応して適切な、低廉で効率的な処理法を選定、その処理技術を確立しなければならない。

製造業における有機性廃水の代表的な排出源は食料品製造業である。食料品製造業は、生活の基本的要素である衣食住の一部を担う重要な生活関連型産業で、本県の場合、工業出荷額で27.4%（昭和57年工業統計、以下同）で石油・石炭製品（43.4%）に次いで第2位、事業所数で27.9%で第1位とその製造業における比重はきわめて高い。したがって、有機性廃水の適切な、低廉で効率的な処理技術の確立は、業界の健全な発展と高質な地域環境の保全のための重要な課題として位置づけられる。

有機性廃水の生物学的処理法については、すでに数多くの研究報告があり、かつ法規制の対象となる事業所では活性汚泥法をはじめとする何らかの処理システムが導入され、稼動しているわけであるが、より低廉で、より効率的な処理技術の確立を目的とする研究開発への期待は依然として強いものがある。

特に食料品製造業は、地域性が強く他地域とは異なる廃水特性を有するものが少なくないこと、多大な設備投資や高度の維持管理が困難な小企模零細な事業所が多いこと、多くが都市部に集中立地し土地利用の制約をかかえていることなどから、

- ① 効率的で廉価な設備投資で可能な処理技術
- ② 土地利用の制約からスペースを多くとらない処理技術
- ③ 専任の運転管理者を特に配置しないで済む維持管理の容易な処理技術
- ④ 単なる処理にとどまらず、再利用や再資源化につながる処理技術

等々の条件を満たす処理技術の確立とその技術移転が強く望まれている。

有機性廃水の処理に一般に広く用いられているのは活性汚泥法である。この処理法は、最も浄化効率が高く、良質の処理水が得られ、悪臭や蠅などの発生による二次公害が少ないなどの長所を有しているが、一方、この処理法では廃水中の有機物は低濃度（BOD容積負荷0.3~0.8kg/m³ day）であることが望ましく、高濃度有機廃水の処理には多量の希釈水を必要とし、そのために処理槽の

※1 光合成細菌による濃厚有機廃水の処理と菌体の多目的高度利用に関する研究（第1報）

※2 株式会社 南星

※3 琉球大学工学部

高容量化、運転動力の増大などが重要な課題となっている。

食料品製造業の工場廃水の特徴として、一部工程にBOD値数千～数万ppmを示す濃厚有機廃水の排出源があり、そのために全廃水の汚濁負荷が高くなるのが一般的であり、活性汚泥法ではその希釈処理のために高容量の処理槽が必要となる場合が多い。そのために、近年このような濃厚有機廃水の無希釈処理を可能とし、かつ多くの興味ある特徴を有する、光合成細菌による有機性廃水の処理が注目されてきており、その特徴は

- ① BOD数千ないし2～3万ppmの高濃度の有機性廃水の無希釈処理が可能で、従来の活性汚泥法に比べて、処理装置、敷地の小規模化が可能
 - ② 活性汚泥法に比べ溶存酸素量が少なくすみ、曝気のための動力消費の大幅な節減が可能
 - ③ 適応範囲が広く、維持管理が容易
 - ④ 副生菌体の有効利用が可能
- などと報告されている。^{1)~9)}

本研究は、このような光合成細菌による濃厚有機廃水の処理特性に着目し、可能なかぎりの処理装置、敷地の小規模化による建設費の低減が図れ、効率的で維持管理が容易で、かつ副生菌体の有効利用による廃水の資源化につながるような処理システムの開発のための諸検討を行ない、その成果の地域への技術移転を図ろうとするものである。本報では、光合成細菌による濃厚有機廃水処理の基本的考え方と、光合成細菌による泡盛醸造工場廃水の処理について得られた2、3の成果について報告する。

2. 光合成細菌と有機性廃水処理^{1)~9)}

2.1 光合成細菌

光合成細菌 (Phototrophic Bacteria) とは、その名のとおり光をエネルギー源として生育する細菌群で、水田・溝・河川・湖・海岸土・下水処理場などの汚濁度の高い湛水状態の所に広く分布し、その形態、生理的特徴から表1のように分類されている。

Thiorhodaceae は紅色を呈し、硫黄の代謝に関与するところから紅色硫黄細菌 (purple sulfur bacteria)、*Chlorobacteriaceae* は綠色を呈し、同様に代謝に硫黄が関与するところから綠色硫黄細菌 (green sulfur bacteria)、*Athiorhodaceae* は紅色を呈するが、硫黄は直接の基質とはならないので紅色非硫黄細菌 (non-sulfur

purple bacteria) とよばれており、それらの生理的特性は表2のように報告されている。

表1. 光合成細菌の分類³⁾

科	属	
1) <i>Thiorhodaceae</i>	<i>Thiosarcina</i>	<i>Amoebobacter</i>
	<i>Thiopedia</i>	<i>Thiopolycoccus</i>
	<i>Thiocapsa</i>	<i>Thiospirillum</i>
	<i>Thiodictyon</i>	<i>Rhabdomonas</i>
	<i>Thiotheca</i>	<i>Rhodotheca</i>
	<i>Thiocystis</i>	<i>Chromatium</i>
	<i>Lamprocystis</i>	
2) <i>Chlorobacteriaceae</i>	<i>Chlorobium</i>	<i>Chlorobacterium</i>
	<i>Pelodictyon</i>	<i>Chlorochromatium</i>
	<i>Clathrochloris</i>	<i>Cylindrogloea</i>
3) <i>Athiorhodaceae</i>	<i>Rhodopseudomonas</i>	<i>Rhodospirillum</i>

表2 光合成細菌の特性³⁾

光合成細菌 (色)	生育に有効な水素供与体			生長因子 要求性	暗所で生育 できる能力	窒素固定力
	無機物 ^{a)}	H ₂	有機物 ^{b)}			
紅色硫黄細菌 (<i>Thiorhodaceae</i>) 紫、赤	+	+	+	-	⊖	+
綠色硫黄細菌 (<i>Chlorobacteriaceae</i>) 緑	+	+	- (ほとんど利用し えない)	-	-	+
紅色非硫黄細菌 (<i>Athiorhodaceae</i>) 紫、赤、褐色	+	+	+	+	+	+

a) H₂S、H₂S₂S₃など。

b) 有機物、アルコール類など。

+ : 生育 (要求) する
- : 生育 (要求) しない

紅色及び綠色硫黄細菌は、偏性嫌気性菌で、光のエネルギーを利用して、硫化物、水素、あるいは低級脂肪酸のような有機物を水素供与体として生育する。すなわち、その生育には有機物は特に必要としないが、光照明嫌気条件下にはなければならない。

一方、硫黄が直接基質として関与しない紅色非硫黄細菌は、主に低級脂肪酸のような有機物を好んで利用し、しかも光照明嫌気条件でも、光照明好気条件、あるいは暗黒好気条件でも増殖が可能である。すなわち、有機性廃水の処理に用いられる光合成細菌は、このような特性を有する紅色非硫黄細菌であり、その応用研究がすすめられ、豆腐工場廃水や醸造工場廃水などの濃厚有機廃水の処理への実用化が図られつつある。

2.2 光合成細菌による有機性廃水処理

自然界における高濃度の有機性廃水の浄化は、図1および表3に示すように、その汚濁負荷に対応して微生物の生態系の変化とともに進行している。すなわち、BOD値で数万~数千ppmでは有機栄養細菌が、数千~数百ppmでは光合成細菌が、数百ppm以下ではそう類などがそれぞれ活発に生育し、有機物を分解し、廃水の浄化を進めている。

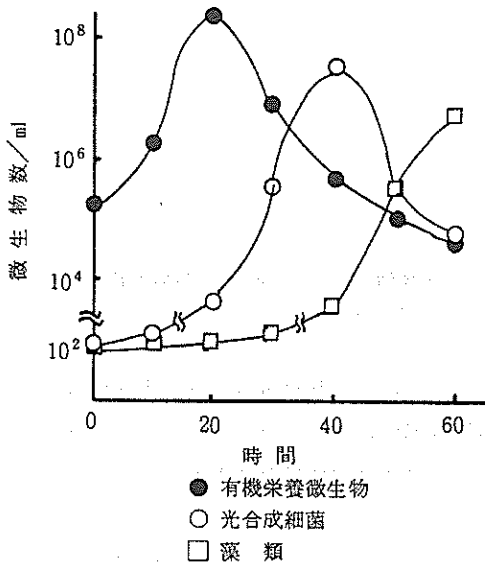


図1 自然界における高濃度有機廃水の浄化過程における微生物群の変動⁴⁾

表3 稲わら、羊毛洗浄廃液、生し尿分解時におけるBOD値、ならびにアンモニア量の経時的変動⁴⁾

		(ppm)		
		有機栄養微生物生育時	光合成細菌生育後の上液部	クロレラ生育後の上液部
稲わら	BOD	10,000以上	200~500	10~50
	アンモニア	800	100~300	2~7
羊毛廃液	BOD	20,000以上	500~800	10~60
	アンモニア	6,000	200~400	10~50
生し尿	BOD	20,000以上	200~500	10~50
	アンモニア	10,000以上	100~500	10~50

光合成細菌の利用による有機性廃水処理の基本的立場は、このような自然界における微生物の連続的変動による高濃度の有機性廃水の浄化プロセスを人工的に再現しようとするものである。図2は、小林ら⁶⁾の提示している、光合成細菌による高濃度有機廃水処理の一般的フローシートである。まずスクリーンで固形物をできるだけ除き、第1槽で有機栄養細菌を主な分解者として可溶化処理を行なう。この処理で高分子化合物が低分子化合物へ分解され、同時にBOD値も数千ppmに減少する。次の第II槽が光合成細菌が優先種として有機物の分解を行なう槽で、ここでBOD値は数百ppmまで、すなわち下水道への放流基準を満足する程度まで浄化される。さらに浄化が必要な場合は、第III槽としてそう類や活性汚泥などによる二次処理が付加される。

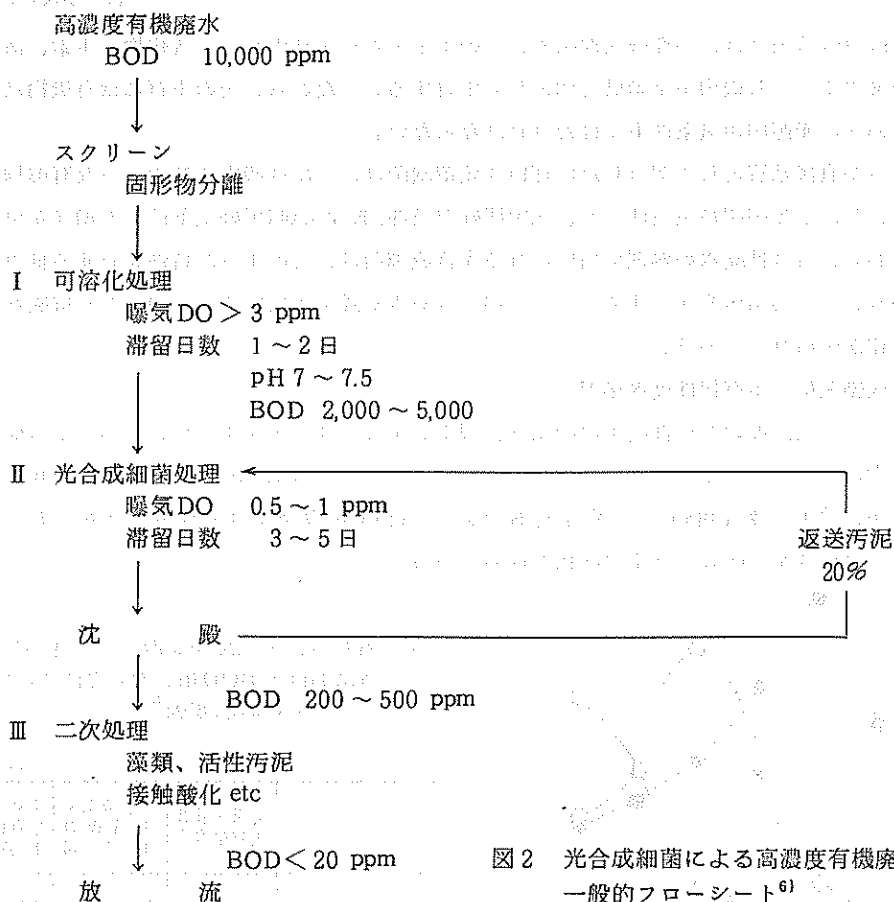


図2 光合成細菌による高濃度有機廃水処理の一般的フローシート⁶⁾

このように、光合成細菌による有機性廃水の処理システムは、高濃度の廃水でも活性汚泥法のように希釈することなく浄化し、かつ副生する光合成細菌体は肥料、飼・餌料、色素、アミノ酸、薬品等^{2~7)}への付加価値の高い利用の可能性を有するなど、高濃度有機廃水の処理システムとして合理的な、魅力的なものとなっている。

この処理システムは、比較的近年に開発されてきた技術で、すでに活性汚泥法が定着してからの後発技術であったため未だ広くは知られていないが、本土では地方の小規模の豆腐工場廃水やゆでめん廃水、水産加工廃水などでの実用化が図られ、実績を上げつつあり、注目されてきている。

沖縄地域における食料品製造業からの有機性廃水についてのこのシステムによる実績は未だなく、その研究も琉球大学における著者らの回分式による基礎的検討¹⁰⁾にとどまっている。沖縄地域へのこのシステムの適切な、より低廉でより効率的な形での導入と維持管理技術の適確な指導のためには、地域としても十分な技術の集積を図ることが肝要であると考え、沖縄の重要な伝統産業である泡盛醸造工場の廃水をモデル廃水として選定し、以下の検討を行なった。

3 光合成細菌による泡盛醸造工場廃水の処理

3.1 泡盛醸造工場の廃水特性

(1) 廃水源と廃水量

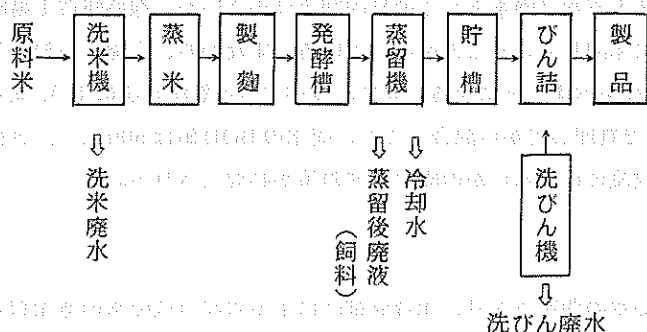


図3 泡盛製造工程

泡盛は、大略、図3に示す工程によって製造されている。この工程での主な廃水源は、①洗米工程、②蒸留工程、③びん詰工程であり、これまでの調査から、米1トンあたりのこれらの工程別廃水量は表4に示すように推定される。原料米1トンあたりの総廃水量は約15m³で、そのうち最も多いのが冷却水で全体の約61%を占め、次が洗びん廃水の約27%、洗米廃水は量的には少なく約12%となっている。

表4 泡盛醸造工場の工程別廃水量

工 程	水量 (m ³)
①洗米廃水	1.8 (12.1)
②冷 却 水	9.1 (61.1)
③洗 び ん	4.0 (26.8)
合 計	14.9 (100)

() は%

表5 泡盛醸造工場の工程別廃水水質

水質	洗 米	冷 却 水	洗 び ん
外 観	白 濁	無色透明	無色透明
pH	6.0~7.0	-	10.0~11.0
BOD	7,000~11,000 (9,000)	<1	5.0~10.0 (7.5)
COD	6,500~8,000 (7,500)	<1	5.0~10.0 (7.5)
S S	6,000~10,000 (8,000)	<1	10~30 (20)

() は平均

(2) 工程別廃水水量と汚濁負荷量

工程別の廃水水質の調査結果を表5に示す。洗米廃水以外は、洗びん廃水がpH調整を要する程度でほとんど問題はないが、洗米廃水は有機質の浮遊状固形物質(SS)を大量に含む高濃度有機廃水としての特性を示している。

表6 泡盛原料米1トン処理あたりの汚濁負荷量

	水量 m ³ (%)	BODkg (%)	CODkg (%)	SSkg (%)
洗 米	1.8 (12.1)	16.2 (99.8)	13.5 (99.8)	14.4 (99.4)
冷 却 水	9.1 (61.1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
洗 び ん	4.0 (26.8)	0.03 (0.2)	0.03 (0.2)	0.08 (0.6)
合 計	14.9 (100)	16.23 (100)	13.53 (100)	14.48 (100)

表6は、表4および表5（平均値）の調査結果を用いて算定した、泡盛原料米1トン処理あたりの汚濁負荷量である。この結果は、洗米廃水は廃水としての量的割合は小さいが、泡盛醸造工場廃水の汚濁負荷のほとんどが洗米廃水に起因していることを示している。すなわち、全廃水を混合しても廃水のBOD値は1,000 mg/ℓ前後を示すことになる。仮に、後述する自然沈降法により、洗米廃水のBOD値を4,000 mg/ℓ前後まで処理してから混合しても、廃水のBOD値は500 mg/ℓ前後を示すことになり、下水道以外への放流にはなんらかの廃水処理対策が必要とされる。

3.2 実験方法

(1) 試験廃水

泡盛醸造工場の廃水問題は、洗米廃水の問題であり、光合成細菌による濃厚有機廃水の無希釈処理技術の検討に、洗米廃水は好個の試験廃水である。

一方、洗米廃水は自然沈降法で図4¹¹⁾に示すような水質の経時変化を示し、ほぼ1時間で、BOD、COD、SSが大幅に低下し、ほぼ一定値を示すようになる。したがって、活性汚泥法などでの処理では、原水調整（貯留）槽でこの沈降処理を行なって処理することで大幅な装置規模の縮小が可能になる。¹²⁾ここでも、試験廃水は、洗米廃水を室温で数時間放置して、有機質のSSを主とする懸濁物質を沈殿除去した上澄液を使用した。

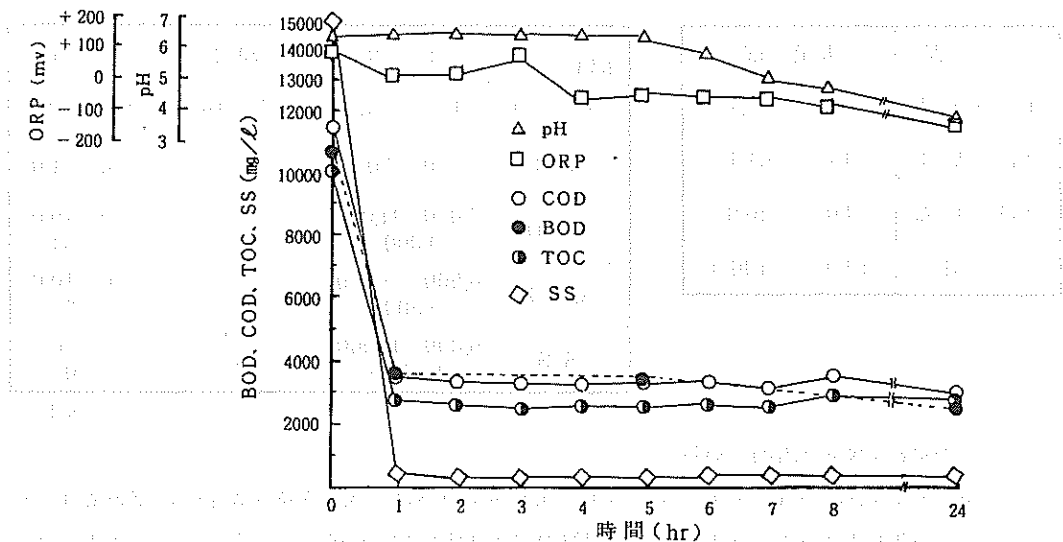


図4 泡盛洗米廃水の自然沈降法による水質の経時変化（夏季）¹¹⁾

(2) 光合成細菌 一種汚泥

光合成細菌は、京都大学農学部・小林達治助教授らによって、高濃度有機廃水処理に優れた能力を有することが確認されている、紅色非硫黄細菌—*Rhodospseudomonas capsulatus*—を用いた。

光合成細菌自体は概して凝集性および沈降性が悪いので、廃水処理用に凝集性、沈降性を良くするために、次のようにして種汚泥を調整した。すなわち、十分に生育した光合成細菌培養液を分取し、曝気しながら数日をかけて、有機栄養細菌処理を行なった洗米廃水で順次希釈しながら、光合成細菌の洗米廃水への順化をはかり、最後に少量の活性汚泥を加えて種汚泥を調整した。光合成細菌と有機栄養細菌は、共生関係では互いに粘質物を出し合って大きな菌塊をつくり凝集性がよくなり、また少量の活性汚泥の存在で沈降性が大幅に改善されるとされている。^{3,4)}

なお、活性汚泥は、泡盛醸造工場の固定式活性汚泥処理施設から採取してきた汚泥を使用した。また、有機栄養細菌源には湿地土壌を用いた。

(3) 分析方法

水質分析は、すべてJIS K 0102 (1982) に準じて行なった。また汚泥濃度 (MLSS、 mg/ℓ)、汚泥沈殿率 (SV_{30} 、%) および汚泥容量指標 ($\text{SVI} = 10,000 \times \text{SV}_{30} / \text{MLSS}$) は、下水試験方法 (1976) に準じて求めた。

(4) 処理試験方法

光合成細菌による洗米廃水の浄化処理におよぼす諸因子についての回分式処理による諸結果¹⁰⁾や、種々の予備実験にもとづいて図5に示す装置を試作し、連続処理試験を行なった。

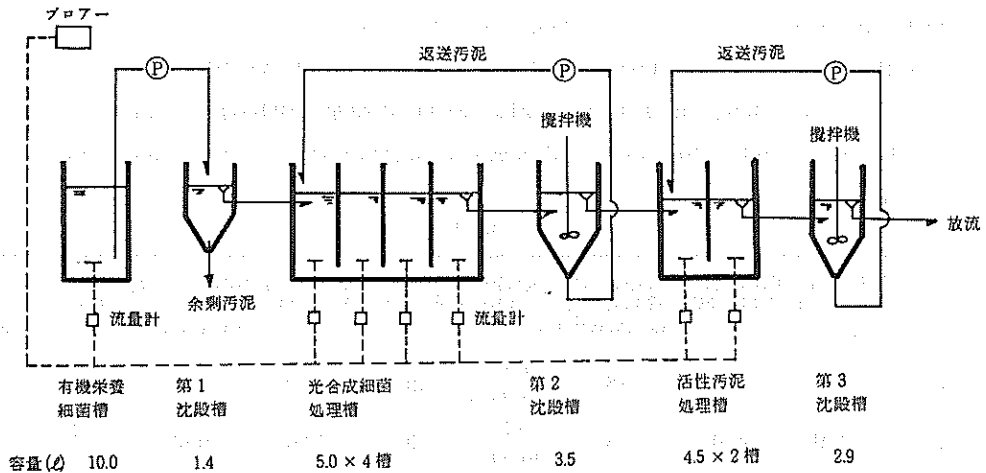


図5 連続処理試験装置

本装置はアクリル透明樹脂製で、処理は押し流れ方式になっている。廃水は、まず有機栄養細菌槽で曝気され、定量ポンプで第1沈殿槽に送られ固液分離され、上澄液が次の光合成細菌処理槽

に入り、光合成細菌と混合曝気され、押し流れにより第2沈殿槽へ移り固液分離が行なわれる。今回の実験では、光合成細菌処理槽でのBOD負荷を高くするために4槽のうちの2槽だけを使用した。第2沈殿槽では、底部より沈降汚泥が適量引き抜かれ、光合成細菌処理槽へ返送され、上澄液は活性汚泥処理槽へ移り、活性汚泥と混合曝気され、押し流れにより第3沈殿槽へ入る。第3沈殿槽からは、上澄液は槽外へ放流され、沈殿分離された汚泥は活性汚泥槽へ返送される。

実験では、第2、第3沈殿槽にはかくはん機をとりつけ、回転数5rpmで汚泥をゆるやかにかきまぜるようにした。曝気量は、液のかくはんを考慮して最低1ℓ/minとし、光合成細菌処理槽では溶存酸素が2mg/ℓを越えないように、活性汚泥処理槽では2mg/ℓ以上になるように流量調整した。

処理試験は、光合成細菌処理でのBOD負荷と除去率および汚泥の沈降性との関係を明らかにすることを主目的とし、BOD負荷を段階的に上げてゆき、一負荷条件で馴養2週間、測定2週間の計4週間とした。

曝気槽の汚泥濃度は、光合成細菌処理槽で5,000mg/ℓ、活性汚泥処理槽で2,000mg/ℓとなるように返送汚泥量を調節した。また、SVIは両処理槽とも第2槽で測定した。

処理試験は、室温(25~29℃)で通常の室内燈下で行ない、夜間は消燈した。

また、この連続処理試験装置を用いて、沈降処理以前の、多量の有機質の固形分(SS)を含む洗米原廃水を直接有機栄養細菌槽へ導入した場合、曝気可溶化処理に伴うBOD値の変化を調べ、自然沈降処理を兼ねた原水調整(貯留)槽を有機栄養細菌槽の前に置く必要があるかどうかを検討した。

3.3 結果と考察

(1) 連続処理試験 一光合成細菌処理におけるBOD負荷と除去率および沈降性との関係一

BOD容積負荷を変えての連続処理試験結果を表7に示す。有機栄養細菌槽での可溶化処理水が第1沈殿槽で固液分離され、BOD値5,000ppm前後で光合成細菌処理槽へ入る。光合成細菌処理槽での処理結果は、BOD容積負荷1.5~2.2kg/m³・dayの範囲でBOD除去率は約97~94%、処理水水質はBOD値で約160~270ppmで、光合成細菌が高濃度の有機廃水の、高BOD容積負荷での処理に有効であることを示している。

表7 連続処理試験結果

	有機栄養細菌 処理水 BOD (mg/ℓ)	光合成細菌 処理槽滞留時間 (hr)	光合成細菌 処理槽BOD負荷 (kg/m ³ ・day)	光合成細菌 処理水 BOD (mg/ℓ)	光合成細菌 処理槽 SVI (ml/g)	活性汚泥 処理槽滞留時間 (hr)	活性汚泥 処理槽BOD負荷 (kg/m ³ ・day)	活性汚泥 処理水 BOD (mg/ℓ)	活性汚泥 処理槽 SVI (ml/g)
1	5,470	88.9	1.48	170 (96.9)	120	80.0	0.051	7.6 (93.7)	225
2	5,270	80.0	1.58	162 (96.9)	126	72.0	0.054	11.2 (91.1)	195
3	5,000	72.7	1.65	173 (96.5)	130	65.5	0.063	11.5 (93.4)	140
4	4,840	59.3	1.94	199 (95.9)	190	54.0	0.090	1.3 (99.3)	450
5	4,700	52.2	2.16	266 (94.3)	194	47.0	0.159	7.6 (97.1)	470

光合成細菌処理槽 MLSS 5,000 (mg/ℓ) () 除去率%

活性汚泥処理槽 MLSS 2,000 (mg/ℓ)

しかしながら、汚泥の沈降性をみると、BOD容積負荷が $1.65 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{day}$ 以下で $\text{SVI} = 150$ 以下と一応の沈降性を示しているが、それ以上ではかなり悪化していく傾向がみられ、第2沈降槽での固液分離には凝集剤の利用など、今後その対策の検討が課題となると考えられる。また、活性汚泥処理では除去率でバラツキが大きく、汚泥の沈降性が悪い。これは、この処理槽でのBOD負荷が $0.05 \sim 0.16 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{day}$ と低すぎることに、加えて硝化反応の進行による汚泥の浮上現象がみられ、沈殿槽で 3 mg/l の溶存酸素が検出されるなど過曝気状態になっていることなどによるものと考えられる。今後は、活性汚泥処理槽でBOD負荷の設定や、通気量の調節などについての十分な検討、配慮が必要と考えられる。

光合成細菌処理槽での廃水の浄化プロセス、すなわち基質（廃水のBODまたはCOD起因成分）の除去反応は、Eckenfelder¹³⁾の生物酸化反応式を適用すると次のように取扱うことができる。

$$\frac{S_0 - S_e}{X_a \cdot t} = k S_e \quad (1)$$

ここで、 S_0 は流入基質濃度 (mg/l)、 S_e は流出基質濃度 (mg/l)、 X_a は汚泥濃度 (mg/l)、 t は滞留時間 (h)、 k は基質除去速度係数 (h^{-1}) である。

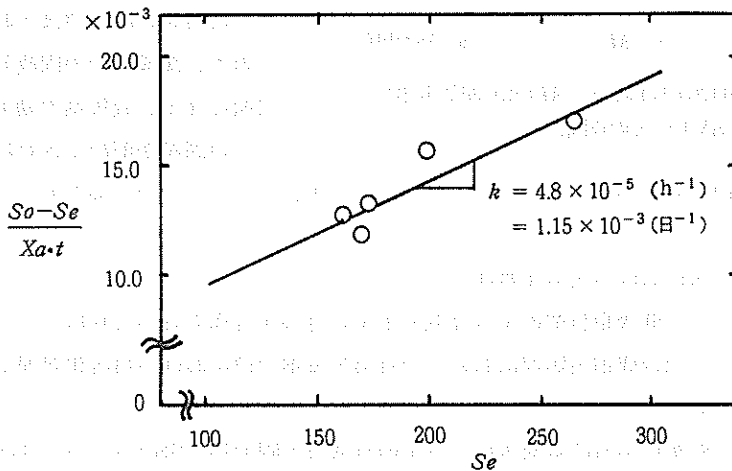


図6 基質除去速度係数の決定

図6は、表7の光合成細菌処理槽での実験結果から、BOD値を基質濃度として式(1)にしたがってプロットしたもので、良好な直線性が得られ、光合成細菌処理でも、Eckenfelderの取扱いが成立することを示している。その直線の傾きから基質除去速度係数は、

$$k = 4.8 \times 10^{-5} (\text{h}^{-1}) = 1.15 \times 10^{-3} (\text{day}^{-1})$$

となる。

したがって、例えば、BOD $5,000 \text{ mg/l}$ の流入廃水を汚泥濃度 (MLSS) $5,000 \text{ mg/l}$ で、BOD 200 mg/l まで処理するに要する時間は式(1)から

$$t = (S_0 - S_e) / (X_a \cdot k - S_e) = 100.2 (\text{h}) = 4.17 (\text{day})$$

となり、そのときのBOD汚泥負荷は、

$$S_0 / (X_a \cdot t) = 5,000 / (4.17 \times 5,000) = 0.240 (\text{kg/kg} \cdot \text{day})$$

で、容積負荷では $1.20 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{day}$ となる。その際の汚泥の沈降性は、図7に示すように、 $\text{SVI} =$

110 で良好であるので、容積負荷 $1.20 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ での装置の設計、運転が理想的であることになる。

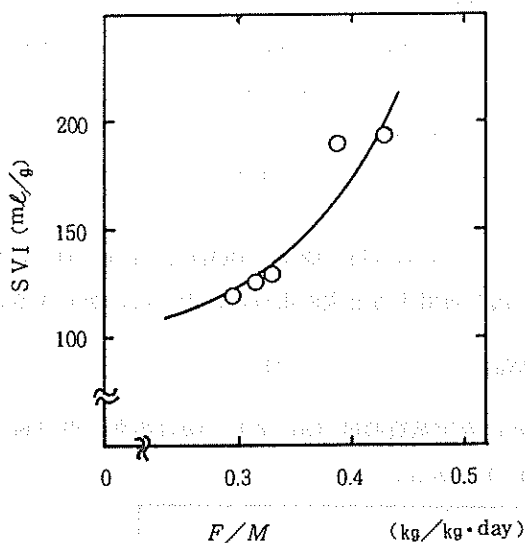


図7 BOD汚泥負荷(F/M)と汚泥容量指標(SVI)との関係

主目的である、処理装置の小規模化による所要敷地の縮小、建設コストの大幅な低減が期待できることになる。

(2) 有機栄養細菌槽における可溶化処理

光合成細菌は主として低級脂肪酸のような低分子量の有機化合物を好んで利用し、その分解にあずかる。したがって、光合成細菌処理においての有機栄養細菌槽における可溶化処理は、その前処理として重要である。

一方、泡盛醸造工程から出る洗米廃水は、多量の有機質の固形物(SS)を含んでおり、そのためにその原廃水のBODは9,000 ppm程度を示すのが普通である。しかし、前述したように、自然沈降法によりほぼ1時間でSSの95%前後が沈降除去され、BODも4,000 ppm前後まで低下するので、¹²⁾活性汚泥法などでは原水調整(貯留)槽を設け沈降処理するのが合理的であり、本研究でも試験廃水には数時間の自然放置後の上澄液を用いた。

しかしながら、光合成細菌処理は、その高濃度有機廃水の処理能力の高さを活かして、BOD負荷を可能なかぎり上げることで装置の縮小化を図ることに大きな目的があるわけであり、有機栄養細菌槽の前に、さらに原水調整(貯留)槽を設けることはその目的からは望ましくない。

そこで、多量の有機質のSSを含んだ洗米原廃水を直接有機栄養細菌槽に導入し、曝気可溶化し、BODおよびアルカリ消費量の経時変化を検討した。有機栄養細菌槽の廃水容積は約8ℓで滞留時間は1.3日に設定し、分析には処理液をグラスファイバーろ紙 $1 \mu\text{m}$ でろ過してろ液を使用した。

図8はその結果を示したものである。多量の有機質のSSで混濁した洗米原廃水を有機栄養細菌槽に直接導入しても、曝気可溶化によるBODの増加はさほど大きくはなく、第1沈殿槽で不溶固形分を除去すれば、光合成細菌処理槽でのBOD負荷に与える影響はそれほど大きくはならないも

一方、活性汚泥による二次処理を行なう場合は、光合成細菌槽ではBOD $500 \text{ mg}/\ell$ 程度までの処理で十分であり、また活性汚泥処理における容積負荷も適当な条件に設定しやすく、維持管理にも好ましいと考えられる。この条件では、光合成細菌処理槽の滞留時間は37.5時間(=1.56日)となり、BOD汚泥負荷は $0.64 \text{ kg}/\text{kg} \cdot \text{day}$ 、容積負荷は $3.20 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ となり、処理槽容量は一層縮小できることになる。ただし、この場合は図7から予測されるように汚泥の沈降性はきわめて悪くなるので、沈殿槽での固液分離が重要な課題になる。凝集剤の効果的利用などでこの課題が解決できれば、本研究の

のと判断されるので、少くとも泡盛醸造工程からの洗米廃水処理では原水調整（貯留）槽を特に設ける必要はないと考えられる。

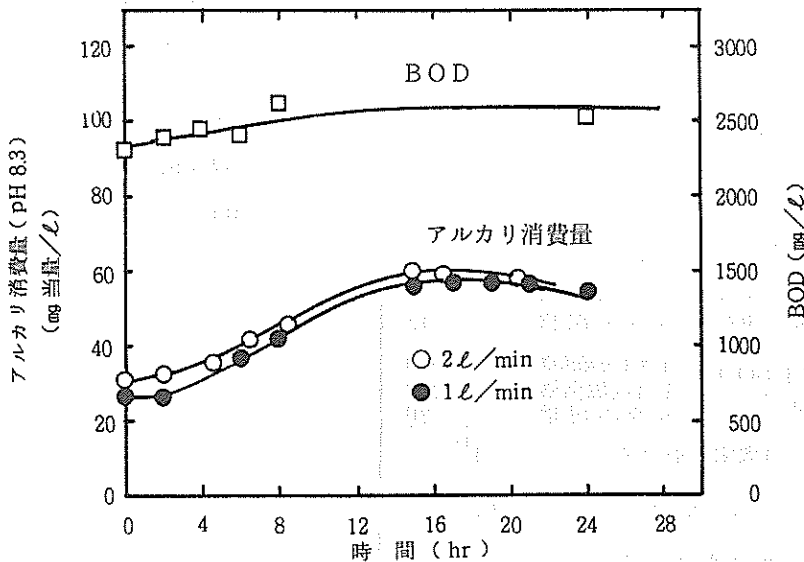


図8 有機栄養細菌槽におけるBODおよびアルカリ消費量の経時変化

また、アルカリ消費量は処理時間とともに増加し、ほぼ15時間前後で一定値を示すようになる。このアルカリ消費量の増加は酸化発酵の進行を示すものと考えられるが、これが可溶化の進行尺度とみなせるとすれば、有機栄養細菌槽での滞留時間は15時間程度でよく、また通気量による差がほとんどみられないことから、洗米廃水処理における有機栄養細菌槽への通気量は処理液のかくはん程度のゆるやかなものでよいと考えられる。

しかしながら、15時間程度の曝気可溶化処理時間では、処理液のpHは3.5前後まで低下しており、実装置での腐食防食対策には十分な配慮が望まれる。

3.2 光合成細菌による泡盛醸造工場廃水処理における装置規模および所要面積の推定

今回の結果に基づいて、表4および表5に示す廃水特性の原料米処理1トン/日の泡盛醸造工場廃水について光合成細菌による廃水処理装置の規模および所要面積の推定を以下のように試みた。

この工場の廃水は、洗米廃水以外の廃水は混合すればBODは約15 ppmを示すにすぎないので十分に放流可能であるので、処理対象廃水は洗米廃水1.8 m³/日のみである。したがって、各処理槽における目標処理水質と設計基準を、

- ① 有機栄養細菌槽 BOD : 9,000 ⇔ 5,000 ppm
- ② 光合成細菌処理槽 BOD : 5,000 ⇔ 200 ppm

① BOD容積負荷 : 1.20 kg/m³・day
MLSS : 5,000 mg/L

③ 活性汚泥処理槽 BOD : 200 ⇔ 20 ppm
BOD容積負荷 : 0.35 kg/m³・day
MLSS : 2,000 mg/L

表8 光合成細菌による泡盛醸造工場廃水処理における装置規模および所要面積の推定

光合成細菌処理		
水量 (m ³)	1.8	
廃水 BOD (mg/ℓ)	9,000	
BOD汚濁負荷 (kg)	16.2	
BOD容積負荷 (kg/m ³ ・day)	光合成細菌槽	1.2
	活性汚泥槽	0.35
処理水 BOD (mg/ℓ)	有機栄養細菌槽	5,000
	光合成細菌槽	200
	活性汚泥槽	<20
各槽容量 (m ³)	有機栄養細菌槽	2.3 ¹⁾
	第1沈殿槽	0.2 ²⁾
	光合成細菌槽	7.5
	第2沈殿槽	0.8 ³⁾
	活性沈殿槽	1.0
	第3沈殿槽	0.8 ³⁾
計	12.6	
所要面積 (m ²)	8.4 ⁴⁾	

- 1) 1.3日滞留とする。
- 2) 滞留時間を2時間とする。
- 3) " 10時間とする。
- 4) 水深を1.5mとする。

とすると、各槽の仕様（実容積）、槽の深さを1.5mとしたときの所要面積が表8に示すように推定される。

この結果は、通常の活性汚泥処理法の場合の $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 程度になっており、光合成細菌処理法が、処理槽実容積および所要面積で小規模化が、したがって建設費の低減が期待できることを示唆している。

4. 結 言

食品製造業などの工場廃水では、一部の工程で高濃度有機廃水の排出源があり、そのため従来の活性汚泥法などでは、その希釈処理のために高容量の処理槽を必要とする場合が多い。

そこで、このような高濃度廃水の光合成細菌による無希釈処理技術を導入し、処理装置および所要面積の小規模化による建設費の低減化を図り、かつ処理の高効率化、維持管理の簡便化、菌体利用による廃水の資源化などを主目的として、泡盛醸造工程から出る洗米廃水をモデルに、光合成細菌による濃厚有機廃水の処理について検討し、次のような結果が得られた。

(1) 連続式処理試験の結果、光合成細菌処理槽で、BOD 5,000ppmの流入廃水を汚泥濃度5,000mg/ℓでBOD200ppmとする際のBOD汚濁負荷は0.240kg/kg・day、容積負荷で1.20kg/m³・day

の設計基準が得られた。

(2) 洗米廃水は数時間の放置で、有機質の固形分が沈降し、BODは5,000 ppm以下に低下するが、有機質の固形分を沈降除去せず有機栄養細菌槽へ導入しても、可溶化処理に伴う負荷の上昇はそれほどなく、沈降処理のための調整槽（原水貯留槽）は特に必要ないことが示された。

以上のように、泡盛醸造工程から出る洗米廃水をモデルに、光合成細菌による濃厚有機廃水の処理技術について検討し、一応の成果が得られたが、なおその処理の高効率化、維持管理の簡便化など今後検討すべき課題は多い。特に、光合成細菌処理後の第2沈殿槽における汚泥の沈降性には問題が多く、その解決が図られるならば、光合成菌処理における容積負荷の大幅な向上が期待でき、ここでの菌体分離は、緊急に検討すべき重要な課題として位置づけられる。

謝 辞

本研究を実施するにあたって、光合成細菌（紅色非硫黄細菌）*Rhodospseudomonas capsulatus* を快く分譲いただき、さらに貴重な資料や御助言をいただきました京都大学農学部的小林達治助教授に、貴重な技術情報を御提供いただき御助言下さったソーラー株式会社の島元巖氏、藤原昇氏に、ここに深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 小林達治・小林正泰・中西弘・高橋英一：日本土壤肥料科学雑誌、41、129 (1970)
- 2) 小林達治：日本土壤肥料科学雑誌、43、123 (1972)
- 3) 小林達治：日本土壤肥料科学雑誌、46、101 (1975)
- 4) 小林達治：日本土壤肥料科学雑誌、46、148 (1975)
- 5) 小林達治・吉田忠幸：東南アジアにおけるバイオマス利用に関する国際シンポジウム予稿集、244 (1983・沖縄)
- 6) 田知本正夫・近藤始彦・小林達治：東南アジアにおけるバイオマス利用に関する国際シンポジウム予稿集、269 (1983・沖縄)
- 7) 小林達治：エネルギー・資源、3、552 (1982)
- 8) 富金原孝：発酵と工業、36、941 (1978)
- 9) 北村博・黒沢慶二・小林正泰：光合成細菌（北村博・森田茂廣・山下仁平編）、112～121、学会出版センター（1984）
- 10) 森田大・平良栄康・照屋輝一：琉球大学工学部建設工学科平良栄康卒業研究（1983）
- 11) 比嘉三利・宮城周子・宮城勝治：沖縄県工試業務報告、10、51 (1982)
- 12) 比嘉三利・宮城周子・照屋輝一：沖縄県工試業務報告、11、133 (1983)
- 13) W. W. エッケンフェルダール・D. J. オコンナー著、岩井重久訳：廃水の生物学的処理、105～115、コロナ社（1975）

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。