

季節操業工場廃水処理における異常現象 対応技術に関する研究 (2)

— 操業休止間での廃糖蜜利用による活性汚泥の基質
酸化活性について —

化学室 比嘉三利 宮城周子
照屋輝一

1. はじめに

前報¹⁾では、典型的な季節操業であるパイナップル缶詰工場の活性汚泥法廃水処理施設での異常現象の発生調査と実験室規模での異常現象の再現実験を行い、その中で長期(約60日間)の休止後に処理水水質並びに活性汚泥の沈降性悪化等の処理機能の異常現象が発生することがほぼ明らかになり、この操業休止間の対策が重要な課題となることを報告した。

操業休止間の浄化に關与する微生物(活性汚泥)の維持管理法については太宰²⁾の詳細な研究がある。これは合成廃水を用いて培養したMLSS濃度5,000 mg/lの活性汚泥を温度25℃で①廃水を添加しないで曝気を続けた場合(飢餓曝気)、②曝気を中止してそのまま放置した場合(嫌氣的静置)および③5日ごとに1日1回、2時間曝気した場合(間欠曝気)について各汚泥の酸素吸収量(基質酸化活性)を評価した結果、飢餓曝気の汚泥は廃水添加の中止と同時に活性の低下が始まり、4日後には約20%活性が低下する。嫌氣的静置では7日まで活性に影響はなかったが、それ以上時間が経過すると活性が急激に低下する。間欠曝気の場合は3か月にわたり活性にそれほど大きな変化はみられない。従って、操業休止間の汚泥管理は操業休止が短期間である場合は嫌氣的静置、長期にわたる場合は間欠曝気の方法を講じるのが汚泥の活性維持のためにも、また経済的にも得策であると報告している。

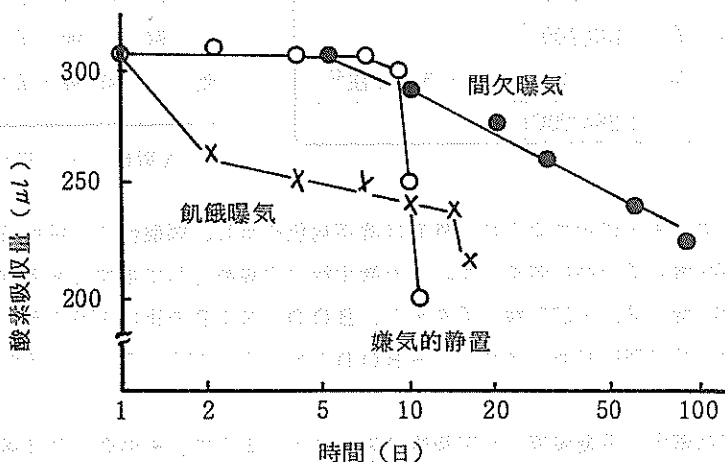


図1 曝気条件と酸素吸収量の関係 (文献²⁾から引用)

これは曝気の条件で活性汚泥の適正な管理法を確立したものである。ただ最も有効である間欠曝気法も長期的には徐々に活性汚泥の活性が低下する傾向がある。従って、活性汚泥の活性を高く維持するにはなんらかの栄養源の添加が望ましい。

製糖工場から産出する廃糖蜜は有機物濃度が高く、また安価で量的確保が容易であり活性汚泥の栄養源に有利であることに着目し、今回、工場操業休止間の活性汚泥の栄養源としての廃糖蜜の効果について検討したので、その結果を報告する。

2. 廃糖蜜の特性

製糖工場から産出される廃糖蜜は従来、アルコール発酵原料として利用されているが、これは世界的に供給過剰になってきている。従って、県内の製糖工場では精糖歩留の向上を図るため、甘蔗糖では、世界でも初めての快挙とされる糖蜜中の糖分回収技術（クロマト分離法、電気透析法等）を確立して、現在すでに数工場で糖蜜中の糖分回収を実施している。本実験に使用した試料はクロマト分離法により約80%の糖分を回収した後の廃糖蜜である。この廃糖蜜は年間約6000トン産出されているが、今のところ他に利用法がないこと、また効率的な処理、処分法がないため、現在は海上投棄を行っている。従って、この有効利用法の確立が重要な課題となっている。

表1 廃糖蜜の分析結果

外 観	濃茶褐色	分析方法
pH	6.4	J I S K 0102
C O D (mg/l)	311,000	準拠 ³⁾
B O D (mg/l)	256,000	
T O C (mg/l)	99,000	
窒 素 (mg/l)	15,180	ケルダール法
リ ン (mg/l)	1,000	J I S K 0102
全蒸発残留物 (mg/l)	648,800	準拠 ³⁾
強熱残留物 (mg/l)	215,600	
強熱減量 (mg/l)	433,200	
総 糖 分 (%)	20	ベルトランド法 ⁴⁾
比 重	1.284 (20°C)	

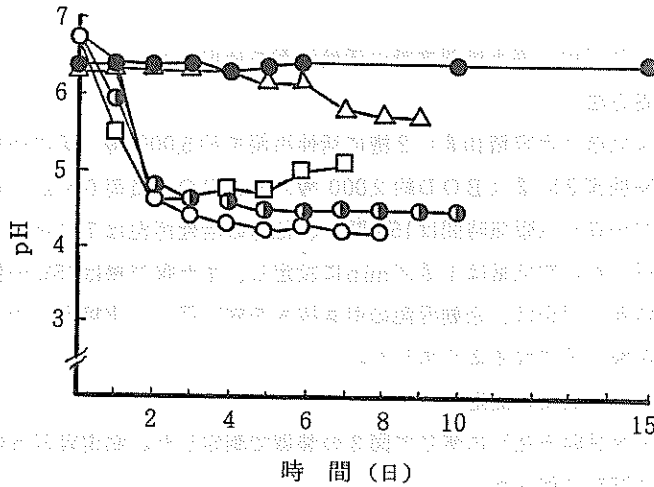
表2 廃糖蜜の有害物質分析値

アルキル水銀 (mg/l)	不検出
水 銀 (mg/l)	0.005 以下
カドミウム (mg/l)	0.33
鉛 (mg/l)	2.6
有機リン (mg/l)	0.1 以下
六価クロム (mg/l)	0.5 以下
ひ 素 (mg/l)	0.5 以下
シ ア ン (mg/l)	0.1 以下
P C B (mg/l)	0.005 以下
銅 (mg/l)	12
亜 鉛 (mg/l)	40

(A製糖工場の資料から引用)

廃糖蜜の分析結果は表1に示すように、外観は濃茶褐色を呈し、弱酸性で、総糖分は20%であり、BODは約250,000 mg/lの高い値を示す。また微生物の栄養源として重要である窒素(N)とリン(P)はそれぞれ15,000 mg/l、1,000 mg/lを示し、BOD:N:Pの比は100:6:0.4である。一般に廃水の生物学的処理に必要なとされているBOD:N:P=100:5:1と比較して若干リンの比率は低い。

参考のため、廃糖蜜中の重金属等の有害物質は表2に示すように、その含有量は微量であり、自然環境の生態系に与える影響並びに利用上の安全性は高いものと推察される。



● 廃糖蜜(原液) △ 2倍希釈 ⊙ 25倍希釈
○ 50倍希釈 □ 250倍希釈

図2 廃糖蜜の酸化発酵速度

なお、廃糖蜜を利用する場合、その貯蔵性が重要となる。図2に廃糖蜜原液とこれを水道水で数段階に希釈した液(2倍、25倍、50倍および250倍希釈)のそれぞれの酸化発酵速度(pHの変化)を室温で測定した結果を示す。この結果から、廃糖蜜原液の場合は変質を起しにくい、希釈した場合はきわめて変質を起し易い傾向がみられる。これは廃糖蜜原液は糖濃度が高く、微生物の繁殖が遅いためと考えられ、従って、原液の状態でも長期の貯蔵が可能であり、使用のつど希釈するのが有利である。

以上の結果から、廃糖蜜は色成分の問題(このことについては後述する)があるが、活性汚泥の栄養源として有効な性状であると考えられる。

3. 活性汚泥の基質酸化活性試験

廃水の好気性生物学的処理では浄化に關与する微生物(活性汚泥)が廃水中の有機物を分解する際に酸素を消費する。この活性汚泥の酸素摂取速度は活性汚泥の活性を評価する指標の一つになっており、その大小により活性が推測できる。

工場操業休止間の活性汚泥の適正な維持管理を図るため、①廃糖蜜で培養した活性汚泥(以後、廃糖蜜培養汚泥)と②間欠曝気を行った活性汚泥(以後、間欠曝気汚泥)についてパイナップル缶詰工場廃水(基質)に対する酸素摂取速度を測定して、それぞれの酸化活性を調べた。

3.1 実験方法

(1) 試料

廃糖蜜は表1の性状のものを水道水で適宜希釈して使用し、またパイナップル缶詰工場廃水はパイナップル果汁(BOD約55,000 mg/l)を水道水で希釈したモデル廃水を使用した。

(2) 活性汚泥

Aパイナップル缶詰工場の廃水処理施設の活性汚泥を使用した。

(3) 活性汚泥の培養方法

アクリル樹脂製曝気槽（実容積10ℓ）2槽に活性汚泥を約5,000 mg/ℓに調整したものを入れ、一方の活性汚泥は廃糖蜜2.5 ℓ（BOD約2,000 mg/ℓ、BOD負荷0.5 kg/m³・day）を瞬時添加の方法で回分式で培養し（曝気時間は15時間）、他方の活性汚泥は7日経過ごとに1日1回、3時間の間欠曝気を行った。空気量は1 ℓ/minに設定し、また曝気槽は25℃の恒温水槽中に設置した。なお、廃糖蜜培養の場合は、余剰汚泥の引き抜きを随時行い、実験期間中の活性汚泥濃度（MLSS）は約5,000 mg/ℓになるようにした。

(4) 活性汚泥の酸素摂取速度の測定

酸素摂取速度は下水試験方法⁵⁾に準じて図3の装置で測定した。測定容器は恒温水槽中に設置して、測定温度は常に25℃に保った。

測定方法は500 mlメスシリンダーに(3)の活性汚泥混合液（廃糖蜜培養汚泥は廃糖蜜添加前の活性汚泥）180 ml採り、純水で2倍に希釈（360 ml）し、転倒攪拌を行う。静置後、上澄水をサイホンでピーカー（500 ml）に移し、エアーポンプで激しく曝気を行った後、活性汚泥と混合して三角フラスコ（300 ml）に満たし、ただちに酸素電極を挿入して溶存酸素の経時変化を測定した。

酸素減少曲線の直線部分の勾配から酸素摂取速度を算出して、活性汚泥の自己酸化によって消費される酸素量、内生呼吸速度を求めた。次に内生呼吸速度を測定した活性汚泥混合液を静置後、上澄水180 mlをサイホンで抜き取り、これに基質としてパイナップル缶詰工場モデル廃水（BOD約1,000 mg/ℓ）180 mlを入れ、BOD負荷は0.5 kg/m³・dayとし、内生呼吸速度の測定と同様に基質添加による酸素摂取速度を求めた。

酸素摂取速度 r (O₂ mg/ℓ・hr) はMLSS濃度によって著しく異なるので、三角フラスコ内のMLSS濃度を測定して、単位活性汚泥量あたりの酸素摂取速度 K_r (O₂ mg/g・MLSS・hr)を算出した。本実験ではこの K_r 値を活性汚泥の活性の評価に用いた。

図3 酸素摂取速度測定装置

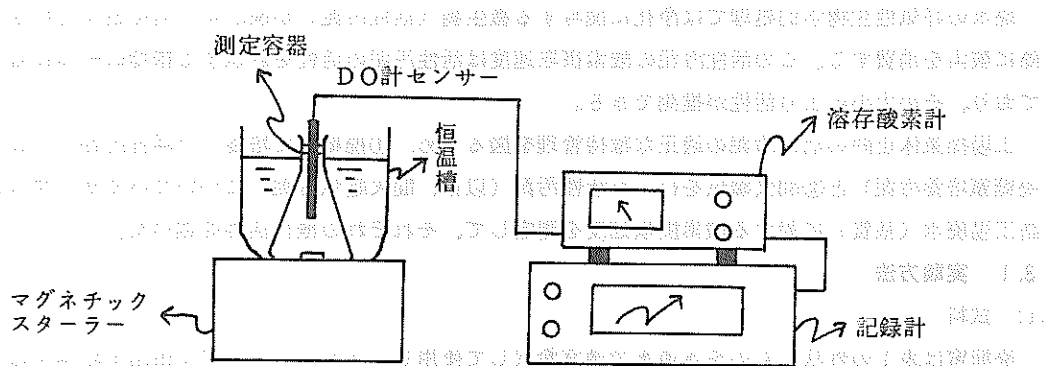


図3 酸素摂取速度測定装置

3.2 実験結果および考察

(1) 活性汚泥の酸素摂取速度の経日変化

廃糖蜜培養汚泥と間欠曝気汚泥について、実験期間63日で、7日経過ごとに内生呼吸速度と基質を添加した時の酸素摂取速度を測定した結果を図4に示す。

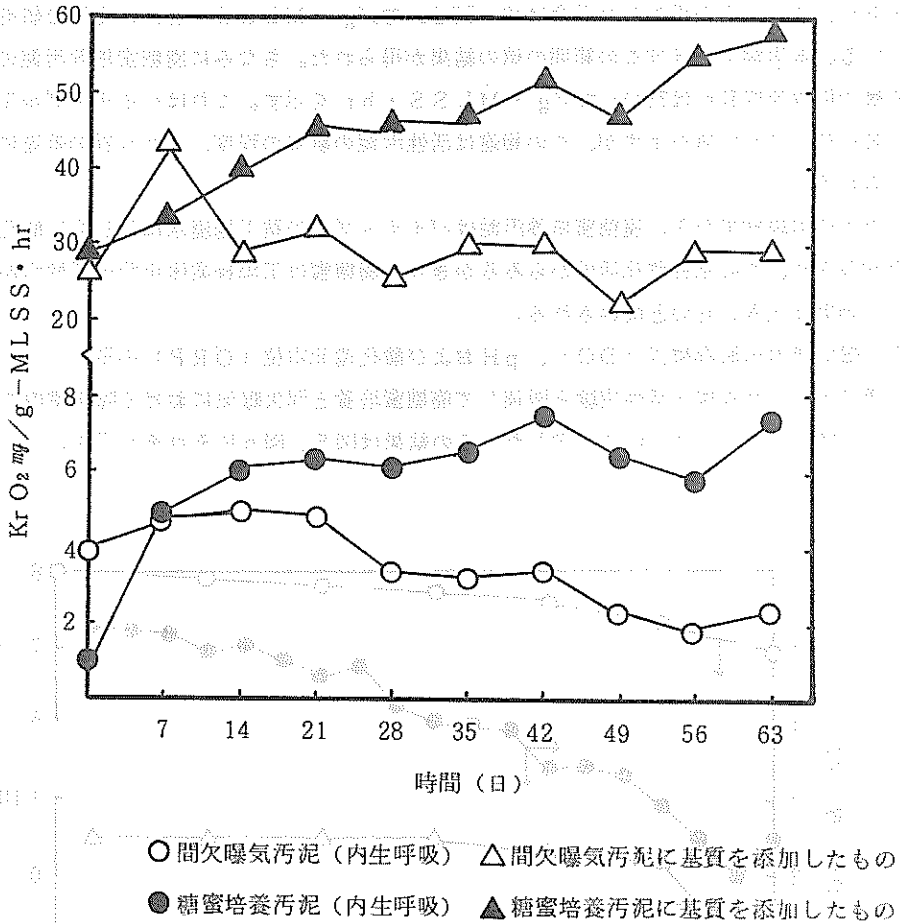


図4 間欠曝気汚泥と廃糖蜜培養汚泥の酸素摂取速度の変化

内生呼吸速度 K_r は間欠曝気汚泥の場合、 $1.9 \sim 4.9 \text{ O}_2 \text{ mg/g-MLSS} \cdot \text{hr}$ を示し、実験当初の K_r は高い値を示すが、実験後半にかけて低い値を示し、活性が低下する傾向がある。また基質を添加した時の K_r は内生呼吸の約10倍、 $22.5 \sim 43 \text{ O}_2 \text{ mg/g-MLSS} \cdot \text{hr}$ であり、実験7日後に最も高い活性を示すが、以後活性が低下し、その後は活性にそれほど大きな変化はみられなかった。

一方、廃糖蜜培養汚泥の内生呼吸速度 K_r は $1.0 \sim 7.5 \text{ O}_2 \text{ mg/g-MLSS} \cdot \text{hr}$ を示す。実験7日後に急激な変化を示し、以後は緩慢な変化を示す。これは7日目の時点で活性汚泥が廃糖蜜での馴養が完了するためと考えられる。また基質を添加した時の K_r は $26.1 \sim 59.2 \text{ O}_2 \text{ mg/g-MLSS} \cdot \text{hr}$ を示し、内生呼吸速度と同様実験7日後から立上がりを示し、実験の進行とともに高

い活性を維持する傾向がみられる。

廃糖蜜培養汚泥の内生呼吸速度およびその汚泥に基質を添加した時の酸素摂取速度は間欠曝気汚泥の約2倍の値を示し、間欠曝気汚泥より活性が高い結果が得られた。

一般に活性汚泥の酸素摂取速度は温度、pH、基質（栄養）の種類および濃度、有害物質の存在、馴化の程度によって著しく異なるとされ、活性汚泥の内生呼吸速度は $2 \sim 10 \text{O}_2 \text{ mg/g-MLSS} \cdot \text{hr}$ 、また基質を添加した場合は $10 \sim 50 \text{O}_2 \text{ mg/g-MLSS} \cdot \text{hr}$ の範囲の値を示すといわれている。本実験でもほぼこの範囲の値の結果が得られた。ちなみに廃糖蜜培養汚泥の廃糖蜜に対する酸素摂取速度 K_r は $75 \text{O}_2 \text{ mg/g-MLSS} \cdot \text{hr}$ を示す。これはパイナップル工場廃水に対する K_r 値より高い値を示すが、この相違は活性汚泥の馴化の程度、また基質の差違によるものと考えられる。

以上の実験結果から、廃糖蜜培養汚泥はパイナップル缶詰工場廃水に対し高い酸化活性を示す結果が得られ、この基質酸化活性からみるかぎり、廃糖蜜は工場操業休止間の活性汚泥の栄養源としての効果は大きいものと推察される。

(2) 曝気槽内の溶存酸素（DO）、pHおよび酸化還元電位（ORP）の挙動

活性汚泥の基質酸化活性実験と関連して廃糖蜜培養と間欠曝気における曝気槽内の環境変化（DO、pH、ORP）について測定した。その結果は図5、図6にそれぞれ示す。

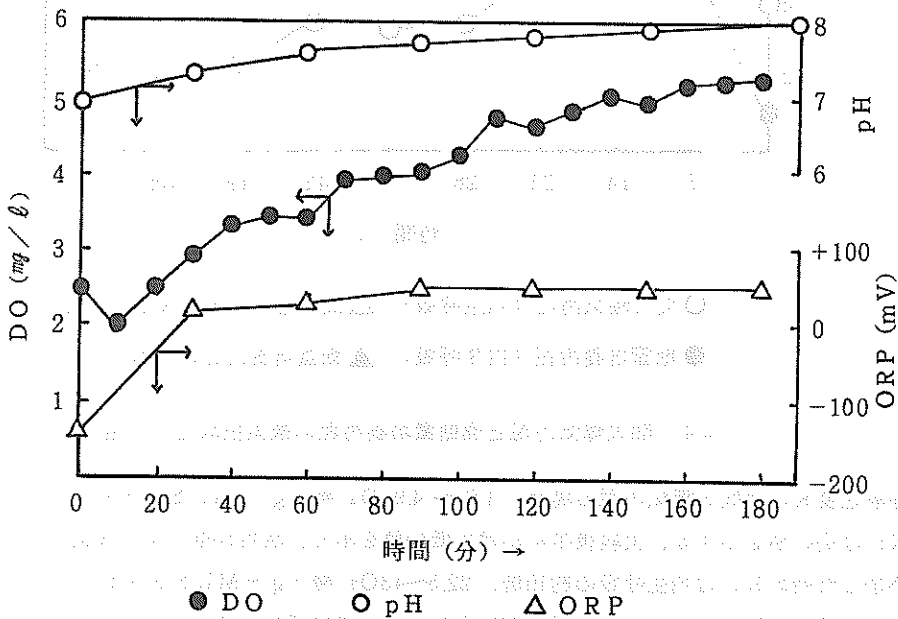


図5 曝気槽内のpH、DO、ORPの変化（間欠曝気）

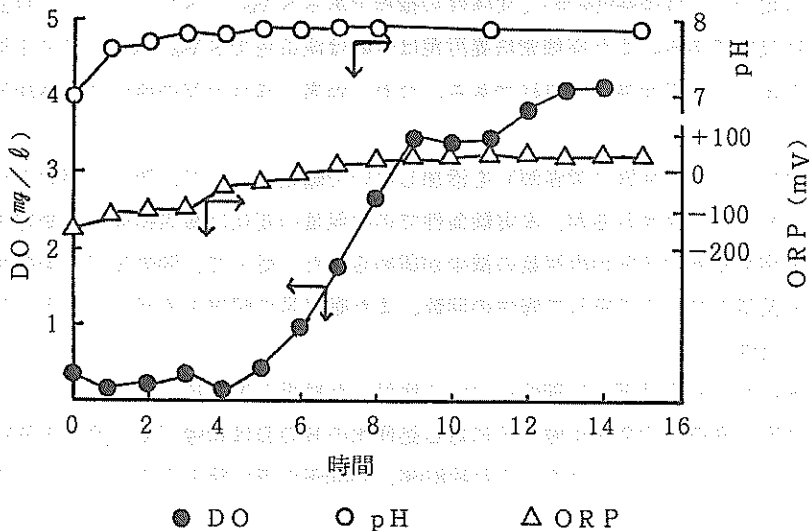


図6 曝気槽内の pH、DO、ORP の変化 (廃糖蜜培養)

間欠曝気の場合、DOは曝気開始20分後から立上がり、最終的にはDOは5 mg/lまで上昇した。

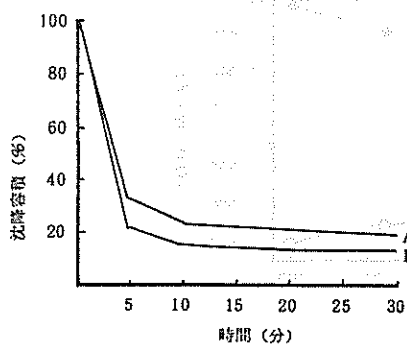
pHは曝気開始後徐々に上昇する傾向があり、曝気終了時にはpH 8を示す。またORPは曝気当初は還元電位を示しているが、曝気30分後には酸化電位を示し、以後槽内は酸化状態を維持する。

廃糖蜜培養の場合は、廃糖蜜添加直後の一時期DOは0.2 mg/l前後を示すが、曝気5時間後から上昇する傾向があり、最終的には4 mg/lを示す。pHは曝気開始とともに上昇し、DOの立上がりとともにほぼ一定になる。またORPは、当初還元電位を示すが、DOの立上がる5時間前後から酸化電位を示す。

以上の結果から、間欠曝気は7日経過ごとに空気量1 l/minで3時間の曝気を行ったが、DOは充分存在し槽内は短時間に酸化環境になる。また廃糖蜜培養の場合は曝気5時間後にDOの立上がりが見られ、この時点で廃糖蜜の処理がほぼ完了することが考えられる。

(3) 活性汚泥の性状

活性汚泥法による廃水処理では活性汚泥と処理水の分離が重要である。廃糖蜜培養汚泥と間欠曝気汚泥の沈降性状を図7に示す。



A: 間欠曝気汚泥 B: 廃糖蜜培養汚泥

図7 活性汚泥の沈降性

表3 廃糖蜜の処理性

項目	種別	原水	処理水
	外觀		濃茶褐色
透視度 (cm)		4	5
pH		6.85	7.74
COD (mg/l)		2,418	445 (81.6)
BOD (mg/l)		2,080	10.4 (99.5)
TOC (mg/l)		792	311 (60.7)

() 除去率%

間欠曝気汚泥の外観は淡茶色を呈し、沈降性の指標である SV_{30} 、 SVI はそれぞれ20%、53を示し、沈降性は良好である。また廃糖蜜培養汚泥は外観は淡茶色で SV_{30} 14%、 SVI 31を示し、間欠曝気汚泥と比べて若干沈降性は良好である。なお、両者の活性汚泥の検鏡では糸状性細菌は観察されなかった。

次に間欠曝気の場合は基質（栄養源）を添加しないで曝気するので、活性汚泥の自己酸化にともなう汚泥量の減少が懸念されるが、本実験条件での汚泥量の変化は酸素摂取速度測定のため引抜いた汚泥量を考慮すると約3%の汚泥量の減少が認められた。従って、間欠曝気法を採用するにあたってはこの汚泥量の減少を考慮して曝気回数、また曝気量に配慮する必要が考えられる。

(4) 廃糖蜜の処理性

廃糖蜜培養における廃糖蜜の処理性について検討した結果を表3に示す。

原水（廃糖蜜） BOD 約 $2,000 \text{ mg}/\ell$ に対し処理水の BOD は $10 \text{ mg}/\ell$ で除去率約99%が得られるが、 COD 、 TOC についてはそれぞれ約80%、約60%の低い除去率を示し、これらの処理性が悪い。

処理水の外観は原水とほぼ同様、濃茶褐色を呈している。そこで処理水をガラス繊維濾紙（孔径 $1 \mu\text{m}$ ）で濾過して濾過前後の TOC を調べたところ、約2%の除去率にとどまり、呈色はほとんど変化がなく、このことから処理水の色成分が COD 、 TOC 値に大きな影響を与えていると推察される。

廃糖蜜の着色物質の組成や量についての一定の知見はないが、カラメル物質、メラノイジンおよび鉄ポリフェノール化合物等の色素群が推定されている⁶⁾。一般に廃水の生物学的処理では色成分の除去がきわめて困難であることが知られており、この処理にはなんらかの物理化学的処理が有効であると考えられる。

以上の結果から、廃糖蜜の色成分の処理が課題となるが、この色成分は活性汚泥の培養にはさほど支障はないと考えられる。ただ、実施で廃糖蜜を使用する場合、数百 m^3 の廃糖蜜の処理水を一時に排出することになるので放流先の河川等の美観を損なうことが懸念される。参考のため、廃糖蜜を純水で2~500倍に希釈したそれぞれの希釈液について、その明度（ L 値）を色差計（日本電色株）で測定して廃糖蜜の希釈による色の变化を調べた結果を図8に示す。

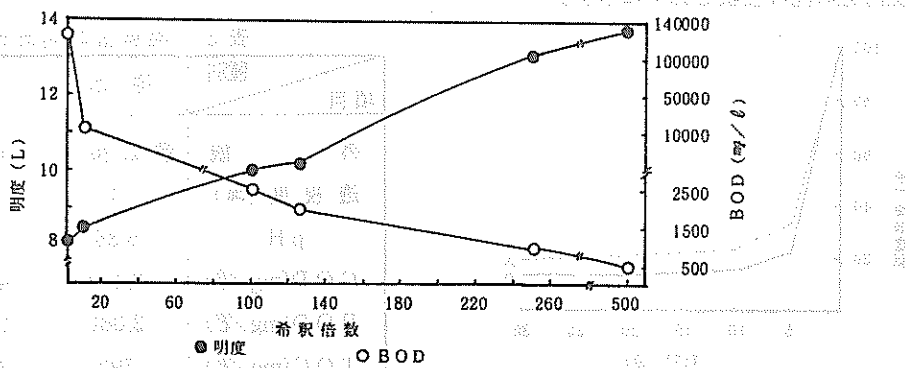


図8 希釈率と明度、BODの関係

明度の指標であるL値は数値が高い程明度が大きいことを表わすが、明度と希釈率間に比例関係の結果が得られた。このことは希釈によって廃糖蜜の色が薄くなり、その処理水の色が緩和が可能と思われる。ただ、あまり希釈率を高めると廃糖蜜の有機物濃度が低くなるので活性汚泥の培養に利用する場合はこのことも重要になる。ちなみに廃糖蜜の125倍、250倍および500倍希釈液のBODはそれぞれ約2,000 mg/ℓ、約1,000 mg/ℓ、約500 mg/ℓである。活性汚泥法では栄養(BOD)と微生物濃度(MLSS)の比(BOD負荷)を適正に保つことが肝要とされ、BOD負荷が極端に低い場合は活性汚泥の凝集能力がなくなり、沈降性が悪化する等処理機能が低下することが知られている。

一般にBOD負荷は0.2～0.4 kg/kg-MLSS・day(0.3～0.8 kg/m³・day)の範囲が好ましいとされている。従って、廃糖蜜を利用するにあたっては色と有機物濃度(BOD)を考慮した適正な希釈率での使用が望まれる。

4. まとめ

工場操業休止間の活性汚泥の適正な維持管理を図るため、廃糖蜜培養汚泥と間欠曝気汚泥のバイナッフル併詰工場廃水に対する酸化活性について検討し、次の結果が得られた。

- 1) 廃糖蜜は有機物濃度が高く、量的な確保が容易であり、また常温で長期の貯蔵が可能と思われる、活性汚泥の栄養源に有利である。
- 2) 廃糖蜜培養汚泥は間欠曝気汚泥の約2倍の酸化活性を示す。
- 3) 廃糖蜜培養汚泥と間欠曝気汚泥の沈降性は良好であり、両者間の顕著な差違はみられなかった。
- 4) 間欠曝気汚泥は約3%の汚泥量の減少があった。
- 5) 廃糖蜜の処理性はBODについては問題はないが、COD、TOCの除去率が低く、廃糖蜜の色成分の処理が課題となる。

以上の結果から、廃糖蜜は工場操業休止間における活性汚泥の栄養源としての有効性が示唆される。しかし、廃糖蜜の色成分は除去困難であり、このことを考慮した適正な希釈率での使用の検討が必要である。

参考文献

- 1) 比嘉三利、宮城周子、照屋輝一、沖縄県工業試験場業務報告 第12号 (昭和59年)
- 2) 太宰宙朗、微工研ニュース、工業技術院微生物工業技術研究所 51 12 (1979)
- 3) J I S K 0102 工場排水試験方法 (財)日本規格協会 (1981)
- 4) 精糖技術研究会編、製糖便覧、精糖技術研究会 (1962)
- 5) 下水試験方法、(社)日本下水道協会(1974)
- 6) 日本精糖工業会編、糖蜜ハンドブック、日本精糖工業会 (1967)

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。