

微生物の固定化技術

加工技術部 加藤八郎、斎藤秀夫

1. はじめに

染色整理加工でも、とりわけ糊抜き・精練排水は有機物が多く、BOD処理には処理費用が安価なことから活性汚泥法がひろく用いられてきた。

しかし、活性汚泥法は処理時間が長くなり、装置が大型化する。また、余剰汚泥が大量に発生し、その処理に多大の費用を要するなどの問題がある。

そこで、従来の活性汚泥法に変わる有機性排水を効率的に処理する方法として、バイオテクノロジーの活用が盛んに研究開発されているが、なかでも微生物の固定化は特定の菌体を選択利用できることや、高濃度に微生物を保持できることから不可欠の技術として、いろいろな角度から研究がなされている。

このような固定化微生物法を導入するのに先駆けて、本年の研究では、活性汚泥を固定化し、好気性処理における活性汚泥包括固定化担体を用いた、流動床バイオリクターによる処理技術に必要な基礎的技術について実験的に調査検討した結果を報告する。

2. 実験

2.1 アルギン酸カルシウム法による微生物包括固定化担体の調製

活性汚泥の包括固定には、図1の写真に示すようなマイクロチューブポンプとノズルから成る自作の連続ビーズ滴下機を用いて行うが、その工程は、右のフロー図のとおりである。

2.1.1 薬剂等

- ・アルギン酸ナトリウム 関東化学(株)
- ・塩化カルシウム(食添用) 徳山曹達(株)
- ・リン酸二水素カリウム 特級 関東化学(株)
- ・D(+)グルコース 特級 関東化学(株)
- ・ポリペプトン(細菌培養基用) 和光純薬工業(株)
- ・蒸留水

2.1.2 供試微生物

実験に用いた包括固定化微生物担体の種菌には、M社とT社の活性汚泥処理装置の返送汚泥を用いたが、その性状を表1に、また、活性汚泥中の微生物の様子を図2に示す。

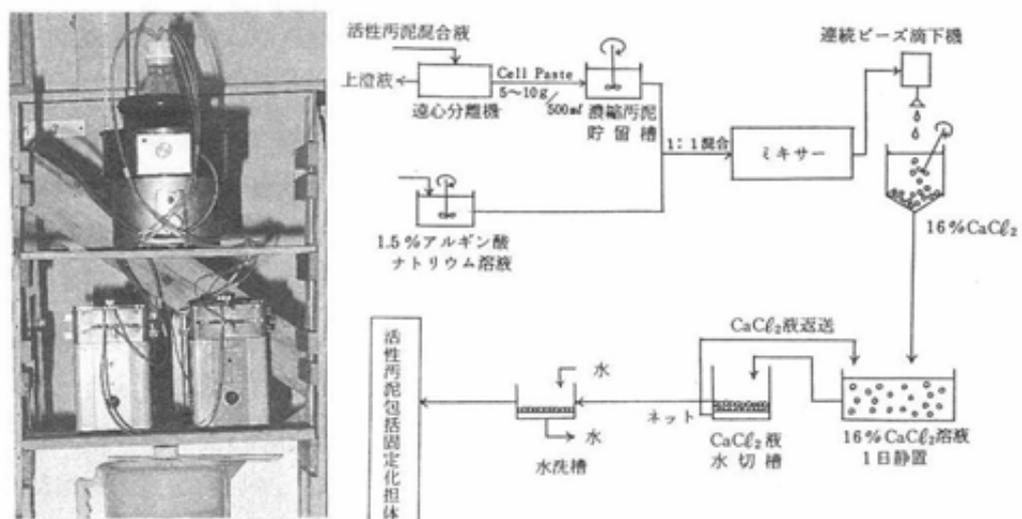
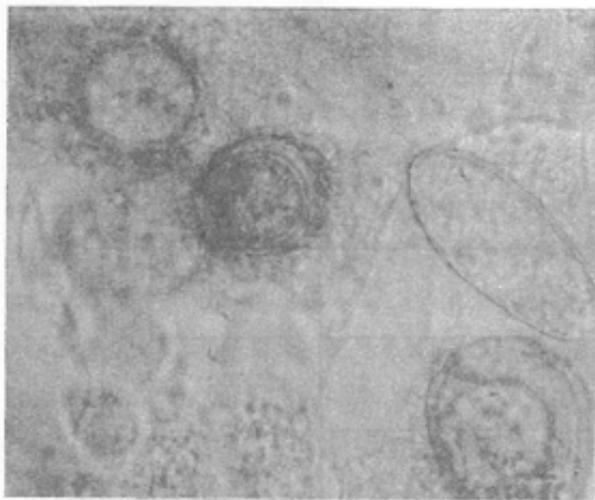


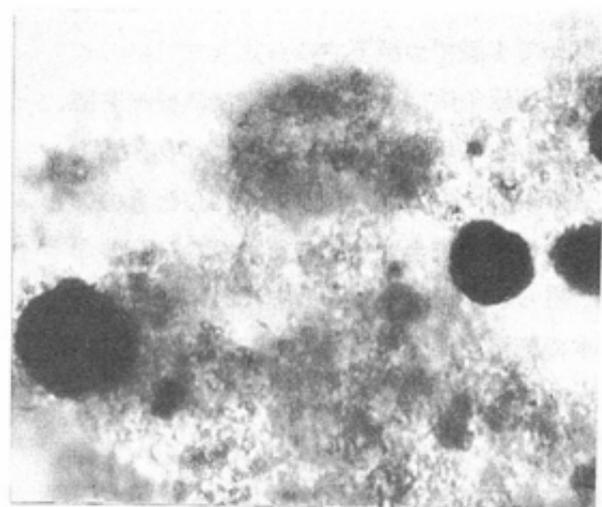
図1 アルギン酸カルシウム法による活性汚泥包括固定化担体の調製

表1 供試微生物(返送活性汚泥)

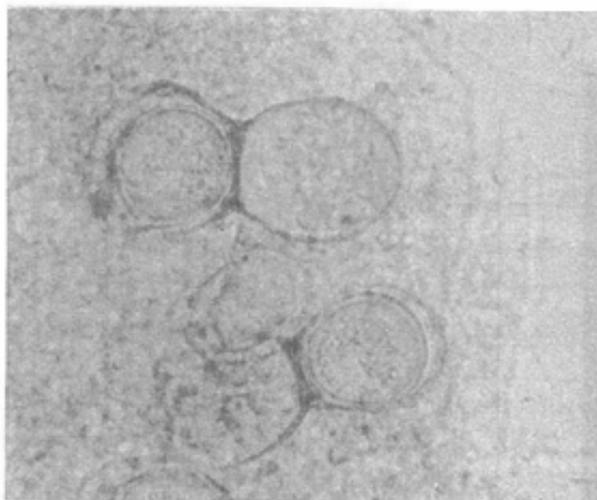
試験項目	活性汚泥	M社	T社
pH		7.97	7.53
MLSS (mg/l)		10,980	20,210
全蒸発残留物 (mg/l)		14,856	21,700
COD-Mn (mg/l)		4,060	4,600



×1,600

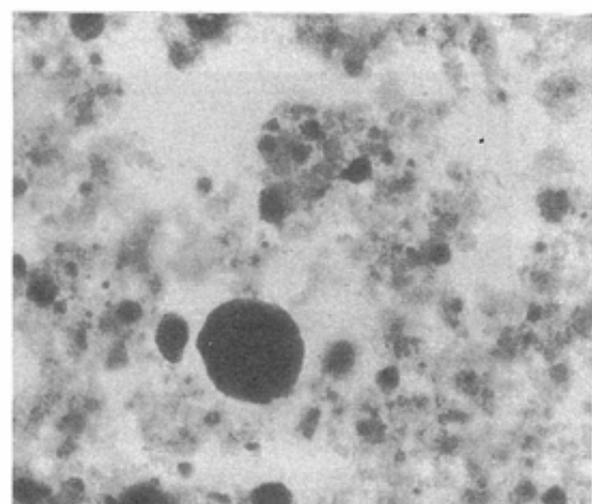


×1,600



×1,600

M社



×400

T社

図2 活性汚泥中の微生物

2.1.3 固定化方法

1. 1 ℓのピーカにアルギン酸ナトリウム15.0 gを取り、水485 mlを加えて水浴中で攪拌して溶解する。
2. 別の1 ℓのピーカに活性汚泥500 mlを取り、両方の液を混合して均一になるように良く攪拌して懸濁液を作る。
3. 一方、凝固液として5 ℓのピーカにCaCl₂ 640 gを取り、水を加えて4 ℓとする。
4. 室温でCaCl₂ 溶液をスターラーで攪拌しながら、この中に、上記の懸濁液を連続ビーズ滴下機を用いて1滴ずつ滴下する。
5. 得られた粒子を凝固液中に24時間静置後、5回水で洗浄を繰り返した。このようにして、2.0、2.5、3.5 mmの活性汚泥包括固定化担体が約850 ml調製された。

微生物（活性汚泥）の保持量としてはゲル内部に5,000～10,000 mg/ℓである。

2.2 固定化微生物法による処理実験装置等

実験では、図3に示す6系列の装置を用い、温

度条件をコントロールするためインキュベータ内で行った。

装置は2 ℓのペットボトルを利用したもので、底部に3 G 3のガラスフィルタを加工した散気板から曝気を行い、担体を循環させると同時に酸素の供給ができるようなバッチ式のリアクタにした。

このリアクタ内に、表2に示す合成排水200 mlを取り、蒸留水で1 ℓに希釈する。（5倍）

この中へ300 gの担体を充填する。（充填率30%）

曝気は、金魚等の飼育に用いられる2口式のエアポン（2 ℓ/min × 2口）で行い、その運転条件は表3のとおりである。

表2 合成排水の組成

基質の種類	添加量(g/ℓ)	水質(mg/ℓ)
ペプトン	1.0	BOD 1,330 COD-Mn 984
ブドウ糖	1.0	
リン酸-カリウム	1.0	

注) 5倍希釈で使用

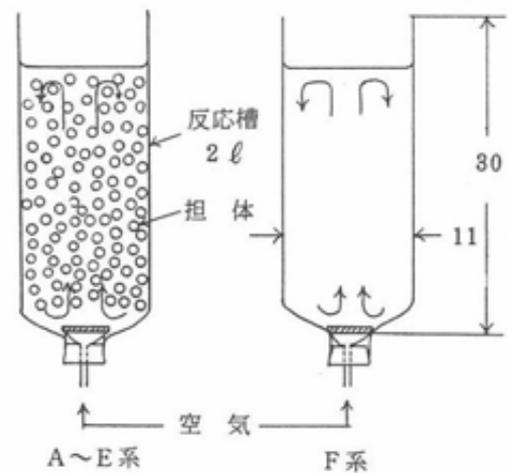
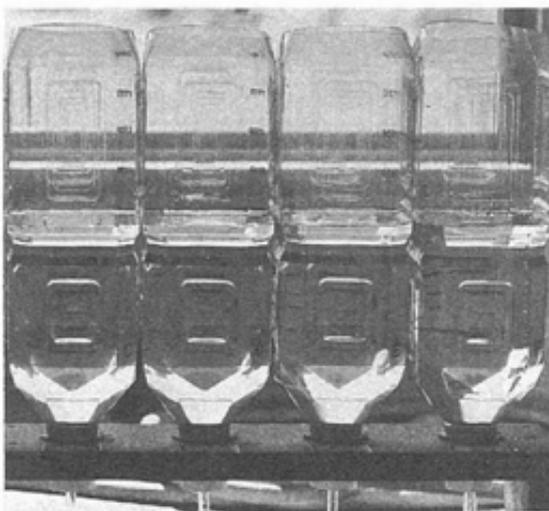


図3 実験装置

表3 運転条件

条件 \ 実験系	A~E系	F系(対照)
リアクタ容積(l)	2.0	2.0
原水量(l)	1.0	1.0
DO濃度(mg/l)	7.5	7.5
担体の有無	有	無
担体充填率(%)	30	0
曝気量(l/min·l)	2.0	2.0

2.2.1 実験1 固定化担体からのCOD負荷物

活性汚泥無添加担体を1,000mlの蒸留水中に300g充填する。20℃で40時間曝気した後、処理液のCODを測定し、固定化担体からのCOD負荷物について検討した。

2.2.2 実験2 活性汚泥包括固定化担体からのCOD負荷物

活性汚泥包括固定化担体を1,000mlの蒸留水中に300g充填する。

20℃で17時間曝気した後、処理液のCODを測定し、包括固定化担体からのCOD負荷物について検討した。

表4 活性汚泥固定化担体の性状

担体の直径(mm)		1ml当たりの数(個)	表面積(cm ²)	
呼び径	測定値		担体1粒	担体300g
2.0	2.12	103.6	0.141	7,480
2.5	2.58	58.2	0.209	6,040
3.5	3.53	26.4	0.393	4,880

2.2.3 実験3 活性汚泥無添加担体による合成排水の処理

2ℓのリアクタ内に表2の合成排水200mlを取り、蒸留水800mlを加えて1,000mlとする。この中に活性汚泥無添加担体300gを充填する。20℃で120時間曝気し、処理時間ごとにCODを測定して、処理時間と合成排水のCODの関係を検討した。

2.2.4 実験4 活性汚泥包括固定化担体による合成排水の処理

2ℓのリアクタ内に表2の合成排水200mlを取り、蒸留水800mlを加えて1,000mlとする。この中に活性汚泥包括固定化担体300gを充填する。

20℃で102時間、30℃で96時間曝気し、処理時間ごとのCODを測定して、処理時間と合成排水のCODの関係、処理温度の影響について検討した。

さらに、同様の実験として、30℃で24時間処理を行い、0.5、1、2、3時間ごとに処理液のCOD測定をして細かな変化を検討する。

また、包括固定化担体を繰り返し使用した場合の影響についても検討した。

表4に活性汚泥包括固定化担体の性状を示す。

2.2.5 実験5 活性汚泥包括固定化担体の形体変化等の観察

担体強度の適切な評価方法が見出せなかったため、実体顕微鏡を用いて、調製時とリアクタ内で200時間ほど合成排水の処理実験に使用した担体の比較検討をした。

2.2.6 実験6 活性汚泥包括固定化担体による合成排水処理液中の微生物の観察

光学顕微鏡を用いて、30℃で96時間、合成排水処理を行った処理液中の微生物の観察をした。

2.2.7 実験7 合成排水処理に用いた活性汚泥包括固定化担体中の微生物の観察

光学顕微鏡を用いて、20~30℃で200時間、合成排水処理に使用した担体を潰して微生物の観察をした。

3. 結果及び考察

3.1 固定化担体からのCOD負荷物

20℃で40時間曝気した処理液のCOD測定結果を図4に示す。

処理液中に、多いもので10mg/ℓのCOD負荷物が生じた。この量は処理時間の増加に伴って増え、担体の粒径が小さいほど多くなる傾向が認められた。

このことは、先きに表4で示したように粒径が小さくなるほど単位重量当たりの担体数が多くなるのにもなって表面積が増加し、溶出するCOD負荷物が増えたためと考えられる。

3.2 活性汚泥包括固定化担体からのCOD負荷物

20℃で17時間曝気した処理液のCOD測定結果を図5に示す。

M社の活性汚泥を包括固定した担体から10.8mg/ℓ、T社のものからは19.6mg/ℓのCOD負荷物が生じた。ちなみに、M社の活性汚泥のMLSSは10,980mg/ℓ、CODは4,060mg/ℓ、T社は20,210mg/ℓ、4,600mg/ℓであることから、表1に示した活性汚泥の性状を反映しているものと考えられる。

このことから、担体単独および包括固定化担体のいずれからでも、曝気処理液中にCOD負荷物質の溶出があることがわかった。

3.3 活性汚泥無添加担体による合成排水の処理

合成排水の処理結果を図6に示す。担体粒径の違いにより、COD除去率に差の出ることが予想されたが、120時間処理後にはCOD除去率50%前後に落ちついて、粒径との関係は明確ではなかった。

また、担体を充填せずに曝気のみを行っても50%程度の除去率を示す。さらに、合成排水を静置しておいても、30時間後あたりから、ゆっくりと分解が進み、120時間後にはCOD除去率が40%に達した。これは、滅菌処理をしていない関係で、合成排水中に生息していた菌や空気中から落下した菌等の影響と考えられる。

3.4 活性汚泥包括固定化担体による合成排水の処理

20℃で102時間曝気処理した結果を図7に、30℃で96時間曝気処理した結果を図8に示す。両者を比較すると、10℃処理温度が上昇したのに伴って、COD除去率が大幅に向上していることがわかった。とくに、30℃処理では1～2時間の短時間に大きな変化が認められたので、再度この間の状態を知らべるために実験した結果を図9に示す。

ここでは、担体粒径によって差はあるものの、5時間曝気で20～30%のCOD除去率を示した。また、24時間後には75～85%のCOD除去率に達したが、ここでも担体粒径との関係は明確なものではなかった。しかし、活性汚泥無添加担体のCOD除去率60～65%を上廻っており、包括固定した活性汚泥の効果が認められた。

一方、24時間、合成排水の処理に用いた活性汚泥包括固定化担体等で、新たに合成排水を処理した。その結果を図10に示す。

この場合、5時間曝気で80～85%のCOD除去率を示し、前述の結果と比較すると約2.5倍に処理速度が上昇した。このことは、先きに24時間合成排水を処理している間に、微生物が増殖し担体の生理活性が高まったものと考えられる。しかし、詳細は未確認である。

また、いずれの場合も処理時間が0時間にもかかわらず、COD除去率が10数%を示していることに関して、担体によるCOD負荷物質の吸着が考えられる。しかし、これも未確認である。

担体を充填せずに曝気だけ行っても3～5時間後あたりからCOD除去率が上昇するが、曝気に使用している空気中などから取り込まれた菌等が大きくかかわっているものと考えられる。

実際の活性汚泥処理の現場でも、曝気だけで、COD、BODが減少することが知られているが、この結果からも予想以上にその影響が大きいことが裏付けられた。

図11に、30℃で96時間、活性汚泥包括固定化担

体による合成排水処理の様子を示す。

処理前の合成排水は無色透明であるが、4時間曝気あたりから徐々に、半透明の活性汚泥無添加担体、赤茶色の活性汚泥包括固定化担体ともに処理液が白濁してくる。

さらに、24時間曝気処理液あたりから、活性汚泥包括固定化担体による処理液中には、赤茶色の活性汚泥の色が目立ち始める。このような変化は96時間曝気処理液で、一層、顕著になった。

明らかに、ある時間を経過すると担体の消化によって、固定化した微生物の溶出が認められた。

処理液が白濁する現象は、活性汚泥法の場合、大量の汚泥発生に伴なって吸着されるために問題にならない。しかし、包括固定化微生物法では活性汚泥の高濃度保持による処理の高速化と汚泥発生量の低減を特徴とする反面、単独では解決の難しい問題である。

そこで、浮遊汚泥を多くし浮遊型併用で対処する場合もあるといわれている。

3.5 活性汚泥包括固定化担体の形態変化等の観察

観察結果を図12に示す。ここでは、調製時のものと、200時間合成排水の曝気処理に用いたものを比較したが、外観は球形が不定形になるなどといった大きな変化は認められなかった。

しかし、2.5mm径の担体に見られるように、200時間処理後の担体の径が2.0mmと同程度までに減少していることがわかった。このことは、先きに述べた、処理液が活性汚泥の赤茶色に着色するという変化を裏付ける結果となったが、これだけ担体の消耗が激しいと心配である。このように、本法は増殖型の固定化微生物を活用した方法であるために、菌体量が飽和に達した後は、自己消化と増殖が平衡して進むようにコントロールする必要がある。

今回の実験では、バッチ式のリアクタを用いた関係で、合成排水中の有機成分を消化しつくした後は、活性汚泥によりアルギン酸の多糖類が分解を受けやすい等の欠点を有していることから、消

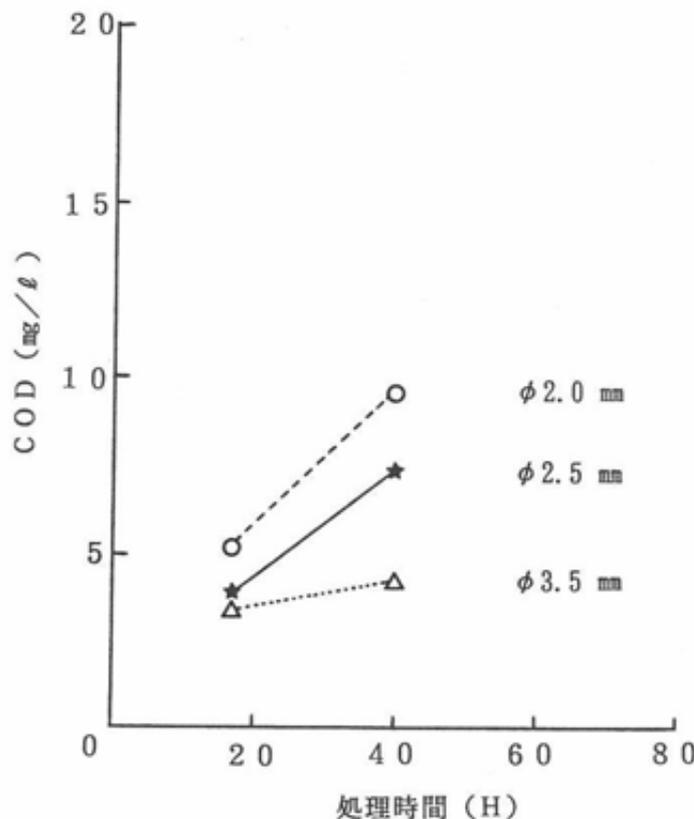


図4 活性汚泥無添加担体を蒸留水中で処理した溶液中のCOD負荷(20℃)

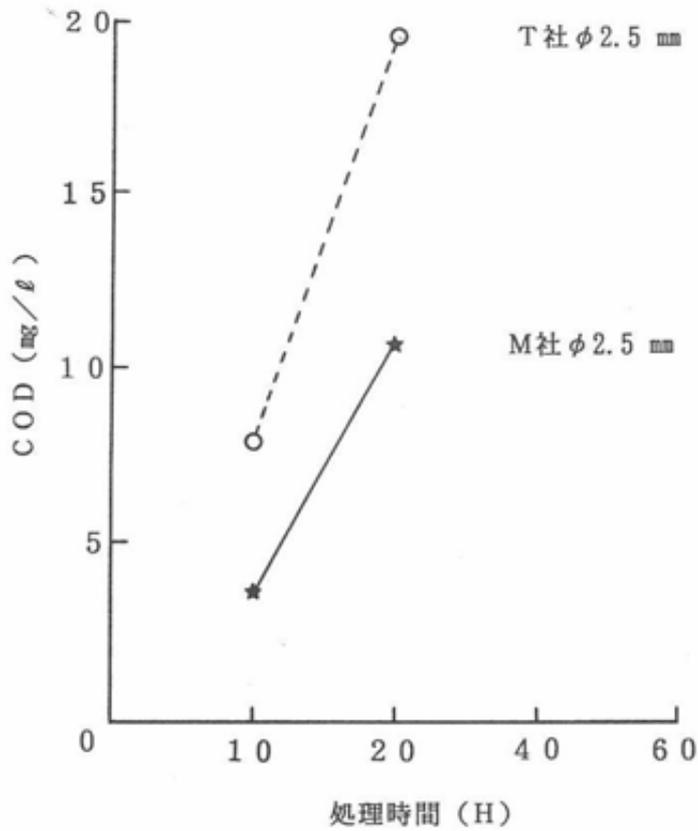


図5 活性汚泥包括固定化担体を蒸留水中で処理した溶液中のCOD負荷 (20℃)

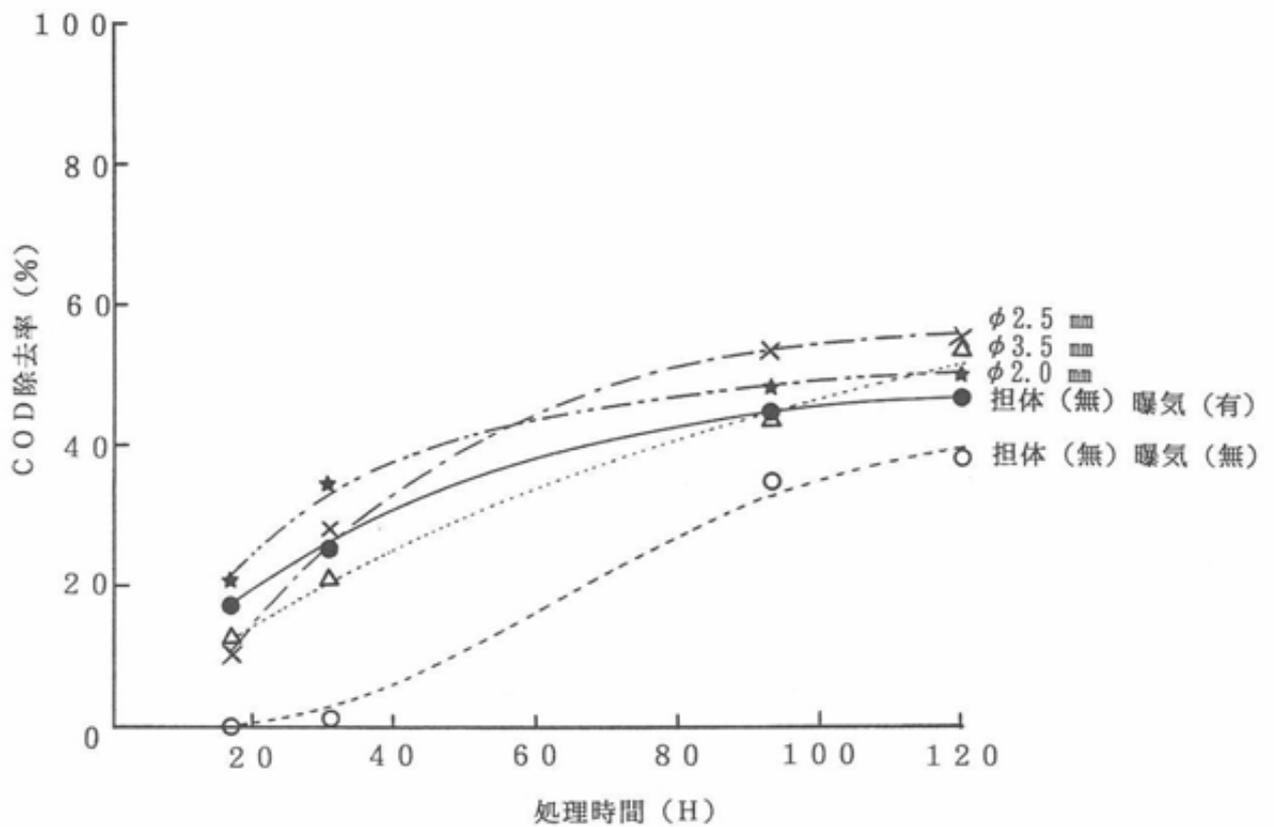


図6 活性汚泥無添加担体による合成排水の処理 (20℃)

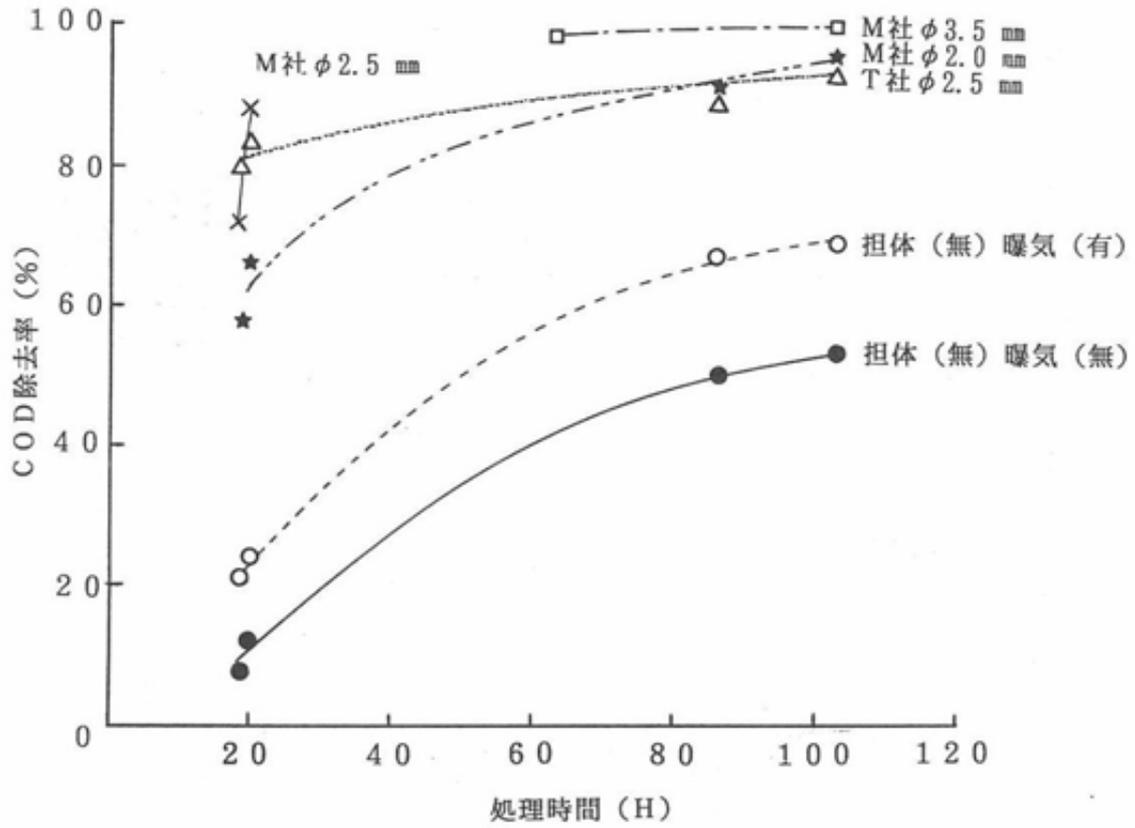


図7 活性汚泥包括固定化担体による合成排水の処理 (20°C)

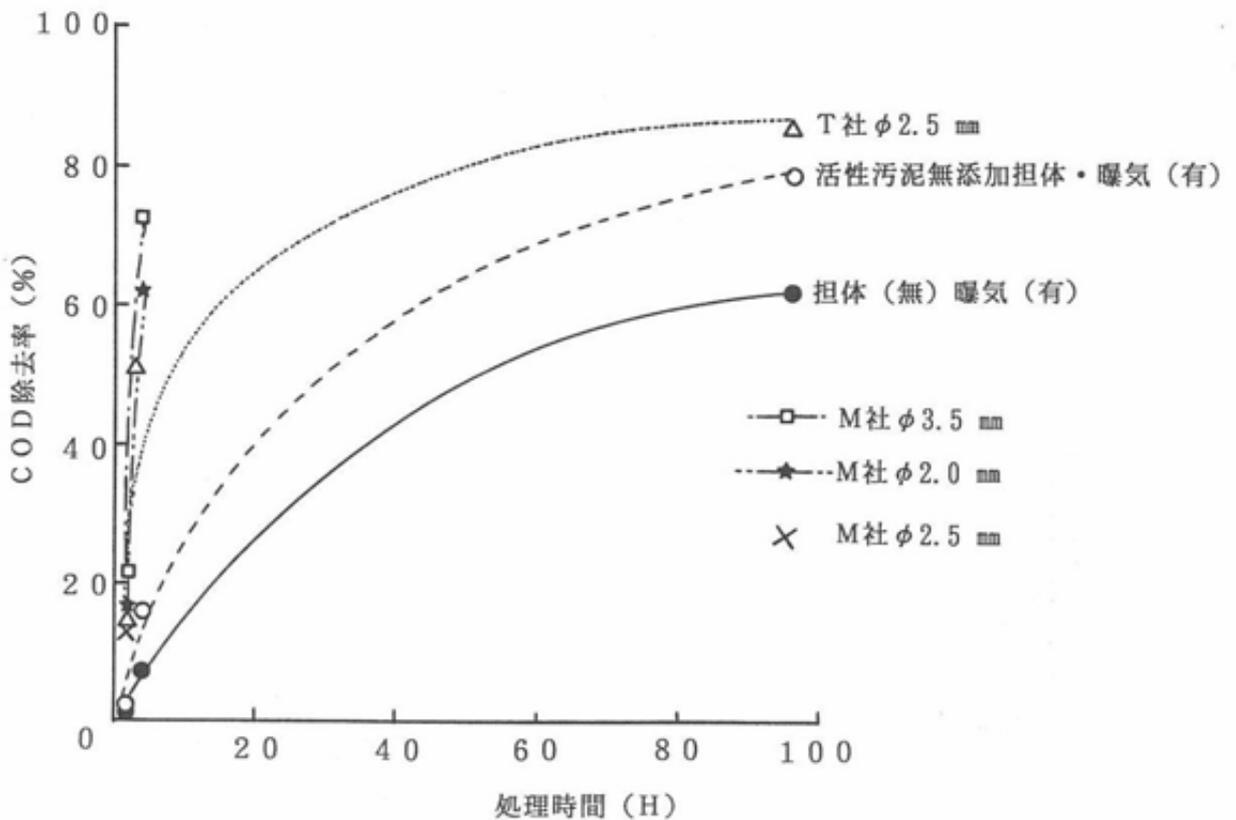


図8 活性汚泥包括固定化担体による合成排水の処理 (30°C、4日間)

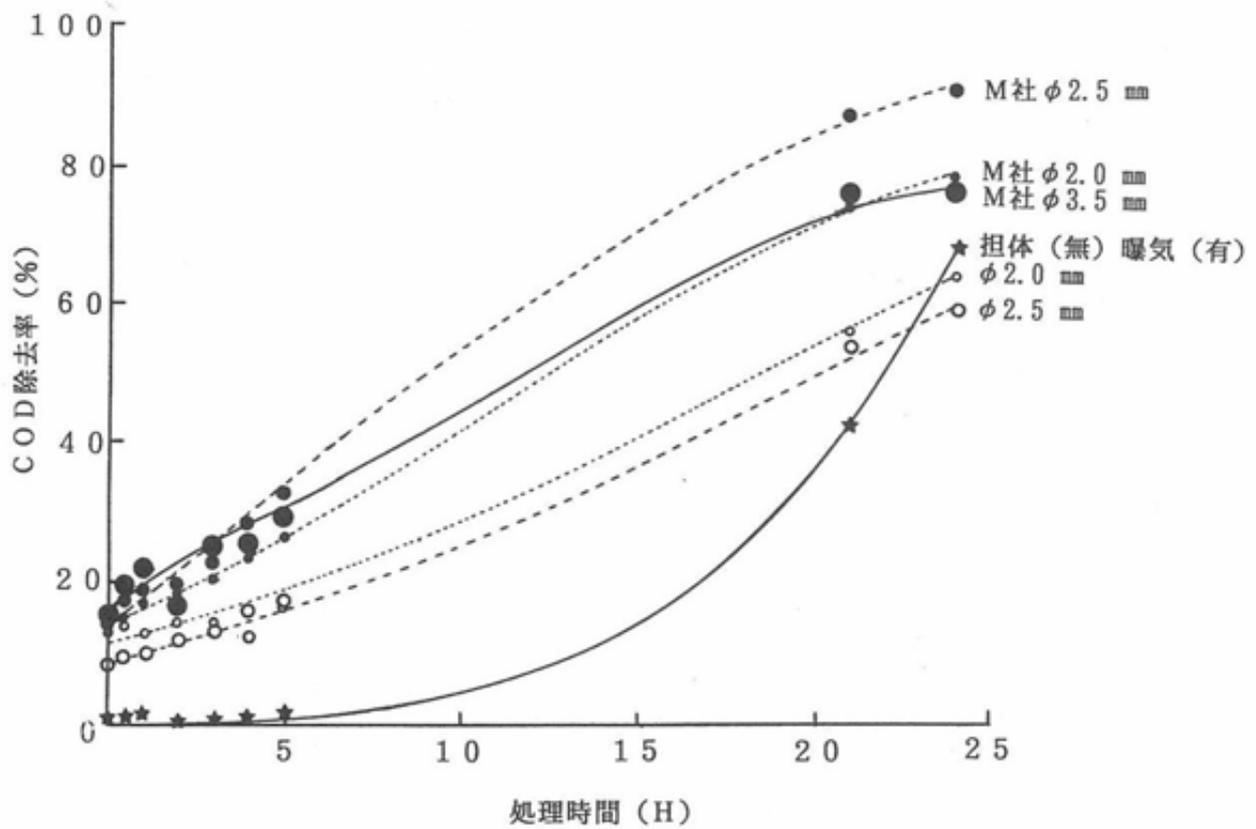


図9 活性汚泥包括固定化担体による合成排水の処理 (30℃、1日間)

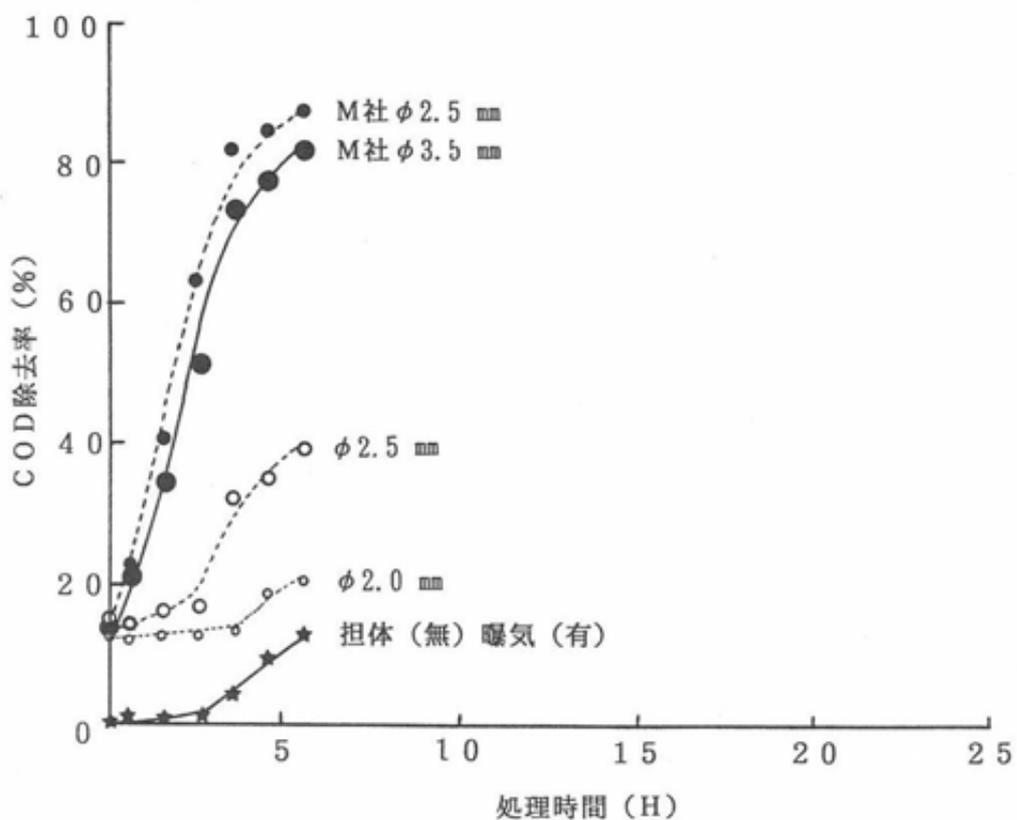
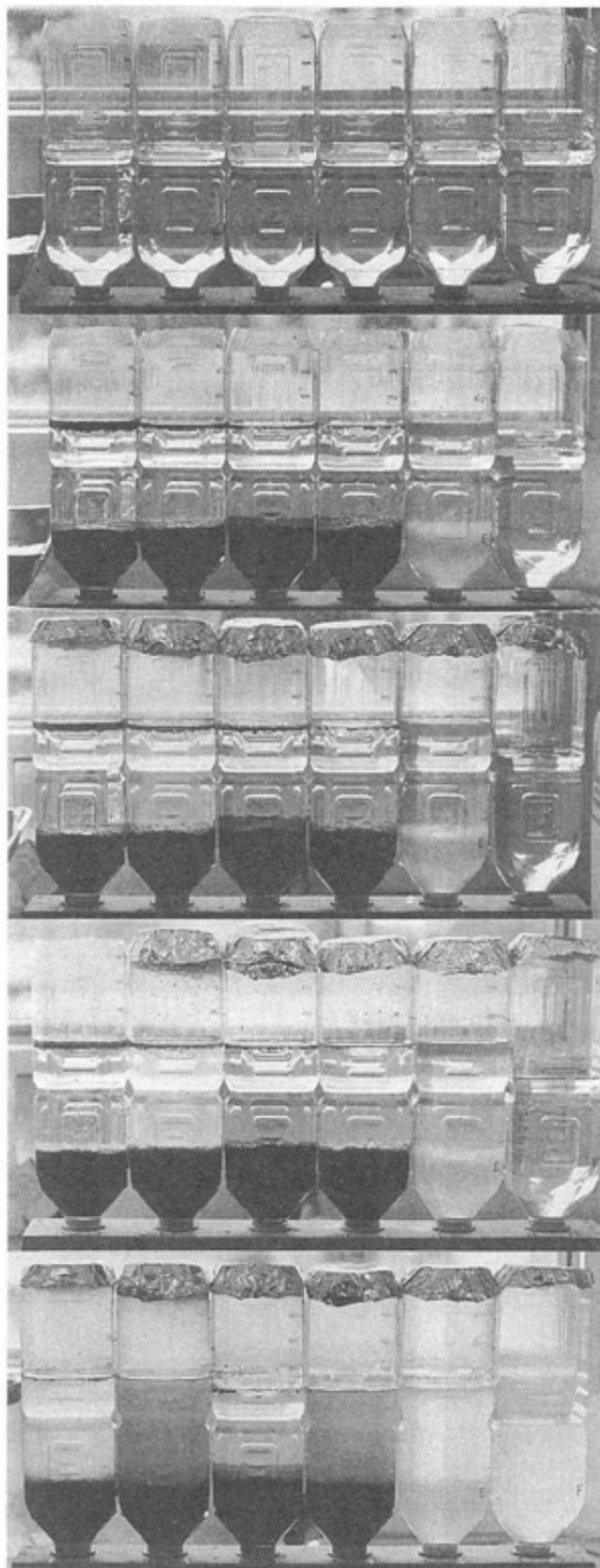


図10 1日間使用した活性汚泥包括固定化担体による合成排水の処理 (30℃、1日間)



合成排水 1,000 ml

担体充填率 (30 %)

2 時間処理後

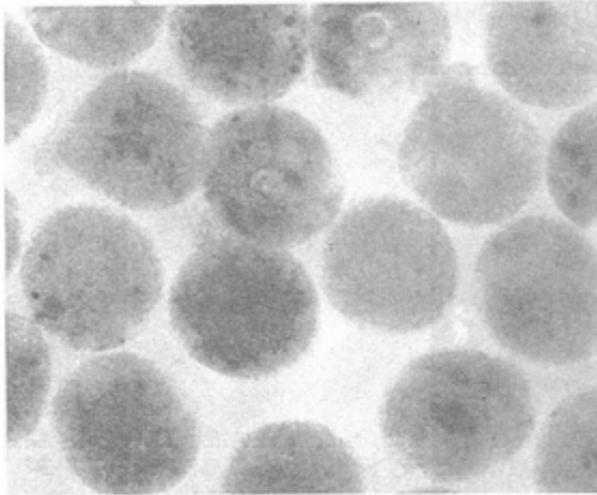
4 時間処理後

96 時間処理後

図11 活性汚泥包括固定化担体による合成排水の処理 (30 °C)

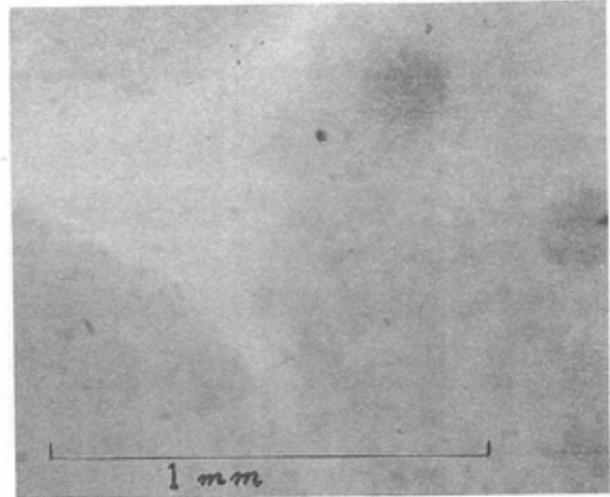
調整時

200時間合成排水の処理後



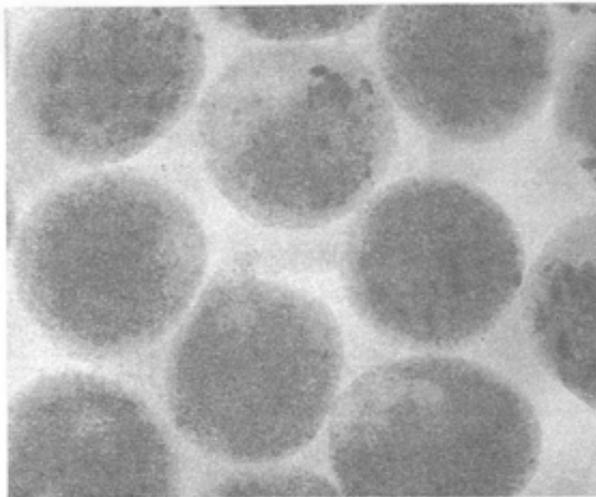
∅ 2.0 mm

×10



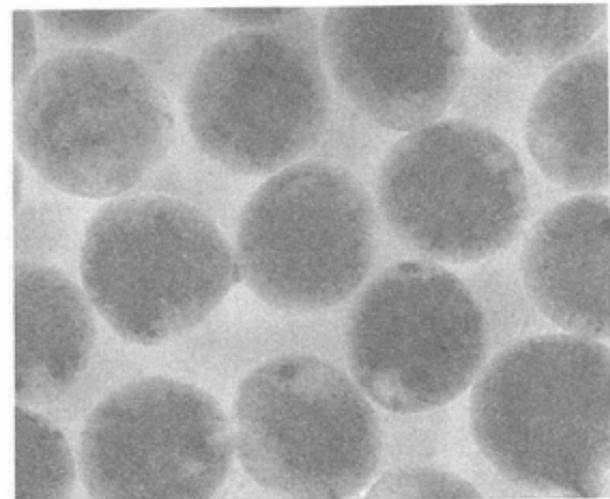
1 mm

×63

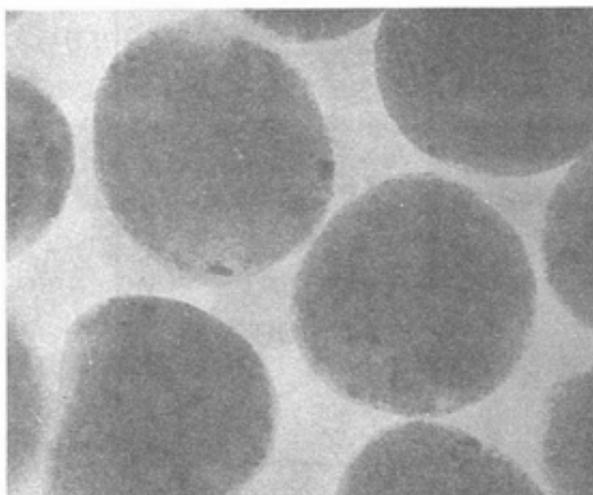


∅ 2.5 mm

×10

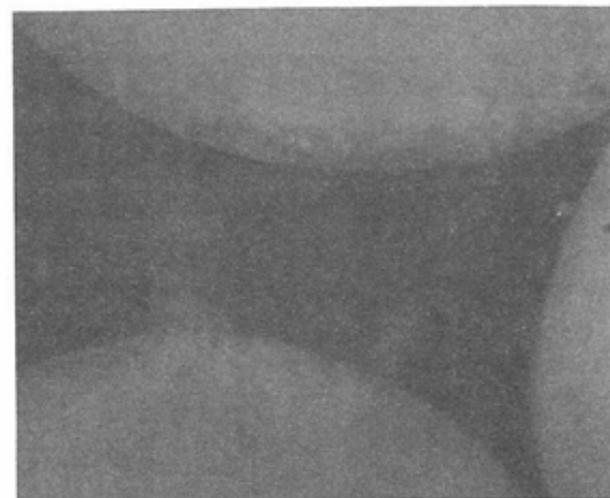


×10



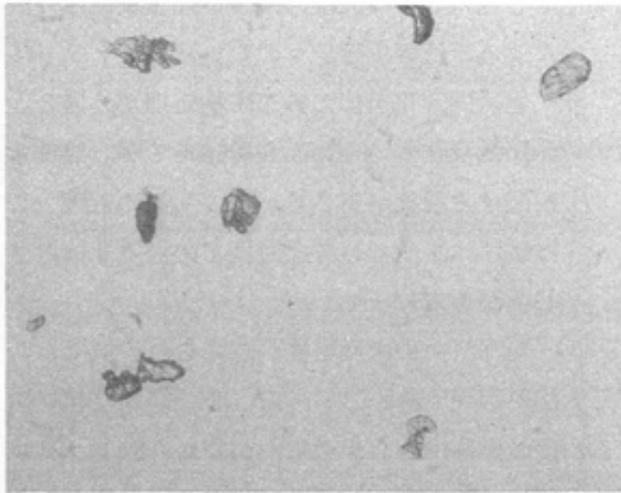
∅ 3.5 mm

×10

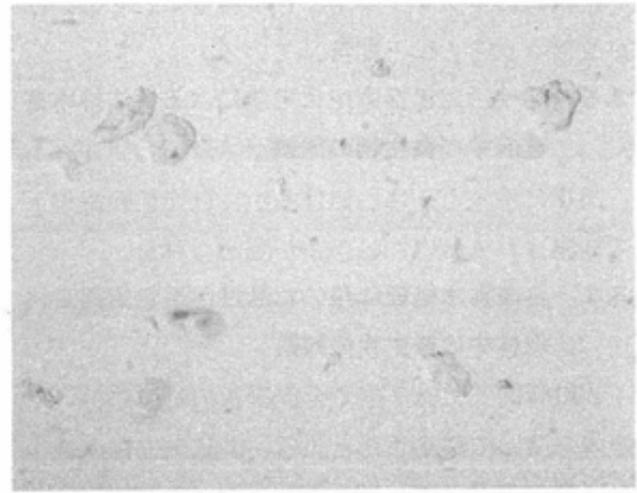


×63

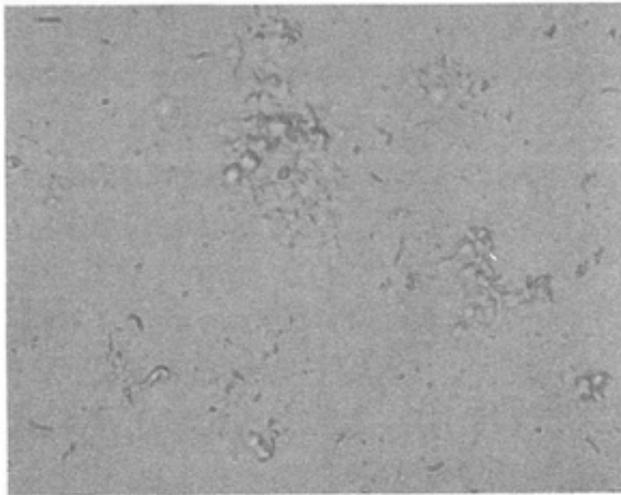
図12 M社の活性汚泥包括固定化担体



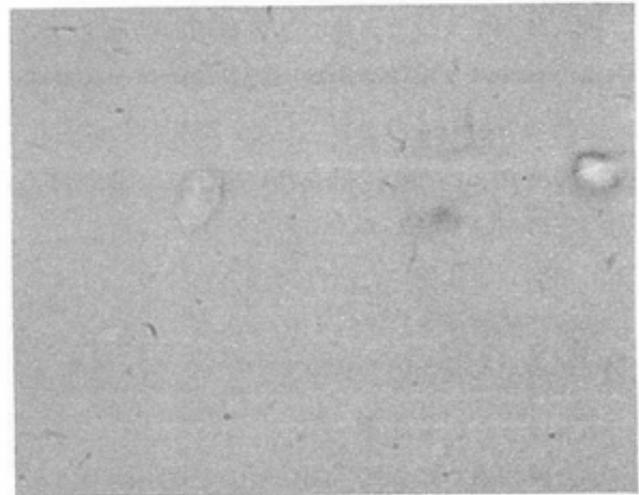
M社 (ϕ 2.0 mm) \times 400



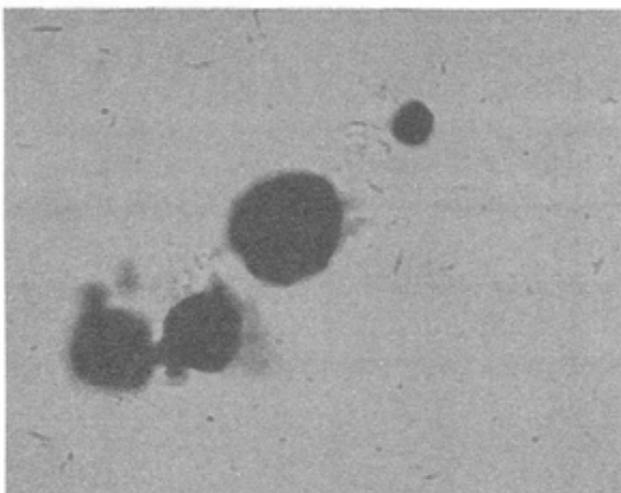
T社 (ϕ 2.5 mm) \times 1,600



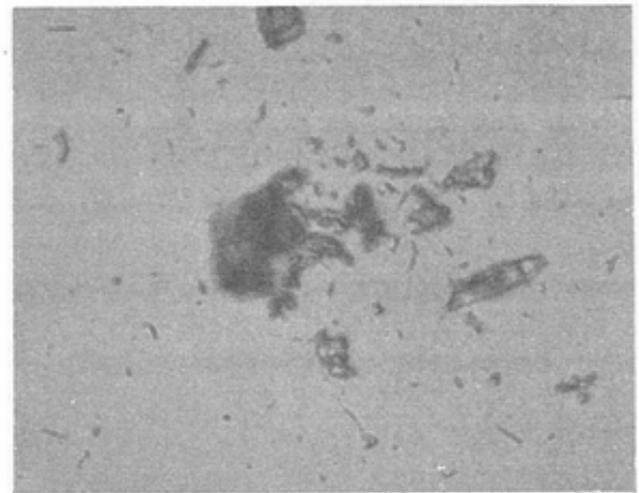
M社 (ϕ 2.5 mm) \times 1,600



M社 (ϕ 2.5 mm) \times 1,600



T社 (ϕ 2.5 mm) \times 1,600



活性汚泥無添加担体 (ϕ 2.5 mm) \times 1,600

図18 活性汚泥包括固定化担体による合成排水の処理液中の微生物 (30℃、96時間処理)

耗を加速したものと考えられる。

連続式のリアクタを用いた実験では、この問題が改善されるものと期待している。

3.6 活性汚泥包括固定化担体による合成排水処理液中の微生物の観察

図13に示すように、処理液中には光学顕微鏡下で観察される微生物の存在が認められた。

3.7 合成排水処理に用いた活性汚泥包括固定化担体中の微生物の観察

200時間リアクタ内で合成排水の処理に用いた担体を潰して観察したところ、供試微生物の幾つかは存在が確認された。

4. ま と め

排水処理の大きな目標である処理の効率化、反応槽のコンパクト化、汚泥の減量化に対する包括固定化微生物の活用を旨として、微生物の固定化技術の確立と、ここで得られた担体による合成排水処理の基礎実験から次のことがわかった。

- 1) 包括固定に用いた活性汚泥の性状が、処理の効率に影響する。
- 2) 処理温度が10℃上昇することで、処理速度を高めることができる。
- 3) 一度使用した活性汚泥包括固定化担体では、ゲル内部や表面で菌が増殖するため、処理速度が2.5倍程度向上した。
- 4) 曝気時に空気中から取り込まれる菌等の影響が大きい。
- 5) 増殖型の固定化微生物を活用する方法であるため、合成排水中の有機性負荷物質を消化しつ

くすと、固定化剤自体が生物分解を受ける。このことは、担体粒径の減少や処理液の活性汚泥による着色等で確認された。

- 6) 包括固定化担体のみで生物処理する場合、汚泥が減量化するという長所はあるが、処理水が白濁する現象が生じる。このための対策として、浮遊汚泥を多くして浮遊型との併用を検討する必要がある。
- 7) 処理液中には微生物が認められ、担体からの溶出が考えられる。一方、200時間、曝気処理後の担体中からも微生物が認められて、ゲル内部にとじこめられていても生息できることがわかった。

以上、COD除去率を指標にして担体の生理活性等を評価した結果、包括固定化した微生物が増殖して、合成排水の処理に寄与することが確認され、微生物の固定化技術を確立することができた。

今後は、遠心機を用いて活性汚泥を濃縮し、微生物の保持量としての限界といわれる、担体内部に100g/l近くまで保持量を増やし、処理の効率化を図る。さらに、連続処理ができるバイオリアクタを製作して、糊抜き・精練排水の模擬排水での処理実験を重ね、活性汚泥包括固定化法の適応性と可能性を追究する。

文 献

1. 桜井敏郎，「活性汚泥法と維持管理」，産業用水調査会
2. 須藤隆一，「微生物固定法による排水処理」，産業用水調査会
3. 岩井重久，「生物膜法」，産業用水調査会