

糊抜き精練排水の流動床バイオリアクタによる処理技術

加工技術部 加藤八郎、出口和光

1. はじめに

現在実施されている排水処理は、活性汚泥法、生物膜法などの生物学的な処理法が主流である。とくに、染色整理加工排水の処理に広く用いられている活性汚泥法は、排水中の有機物を酸化する菌体が混合系でブロック状に固ったものである。

この方法は微生物を高濃度に維持することが難しく、処理水質変動の制御が困難なため、どうしても処理時間が長くなり、そのため装置が大型化する傾向がある。また、余剰汚泥が大量に発生することから、その処理に多大の費用を要するなど維持管理費用の負担が大きかった。

その対策として、微生物を接触材やその他の物質表面に付着させる、固着型装置や高酸素濃度曝気装置などを開発して微生物濃度を高めることで処理の高速化が図られて来た。反応槽内微生物の高濃度化と沈殿池の省略を目的とした固定床式、流動床式等の自然発生濃縮型生物膜は、比較的小規模な生物処理施設に適用されているが、大規模な処理施設にはほとんど適用されていない。

このようなことから、活性汚泥中の微生物相の内から性能の優れた菌を固定化して曝気槽内に保持し、これを活性汚泥の代わりに用いれば、特定の微生物を高濃度に保持できるため、処理時間の短縮や従来の方法に比べ固液分離が容易であることなど、今までの活性汚泥法にはない新しい排水処理プロセスが可能となるものと考えられる。

現在、多品種小ロット化傾向による水質変動や高機能性付与に伴う新規加工剤の使用等によって多性分系の排水処理はますます困難になっている。

このために、固定化微生物による排水処理に期待が集っている。ここでは、既知の浄化微生物集団である活性汚泥を包括固定化し、流動床バイオリアクタに応用して、活性汚泥法と固定化微生物

法について基礎的な実験を行い、実用化の可能性について検討した。

2. 実 験

2.1 固定化微生物について

微生物の固定化法は、固着型微生物法と固定化微生物法とに分類できる。固定化微生物法はゲル包括型が最も多く用いられ、担体素材としてカラギーナン、アルギン酸、ポリアクリルアミド、ポリビニルアルコールなどの天然、または合成高分子が用いられている。固定化法の比較を表1に示す。固定化微生物法ではペレット内部に微生物が

表1 固定化微生物法と従来法との特徴の比較

	固定化微生物	固着型微生物 従来法
モデル		
微生物の固定	微生物の種類、量を任意に保持	自然に付着するのを待つ
増 殖	ペレット内部	砂の表面

とじ込められており、菌体量を任意に変えられるのに対して、固着型微生物では微生物が担体表面

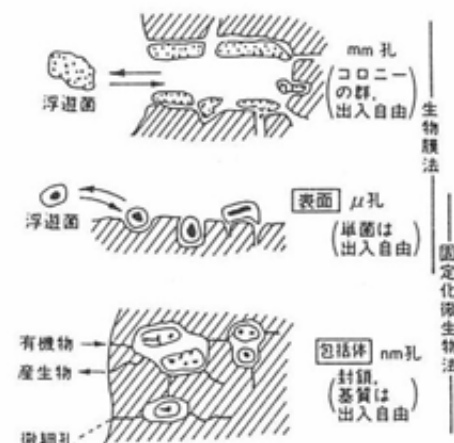


図1 菌体の住宅モデル

に自然に付着するもので、菌体量をコントロールすることができない。また、大きな相違点は固定化微生物は固定化剤から離脱しにくいのに対し、固着型微生物では図1に示すように、一定量以上の微生物は表面から容易に離脱したり、単菌は自由に出入りしてしまう。

2.2 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

活性汚泥のアルギン酸カルシウム法による包括固定は、図2に示す方法で行った。

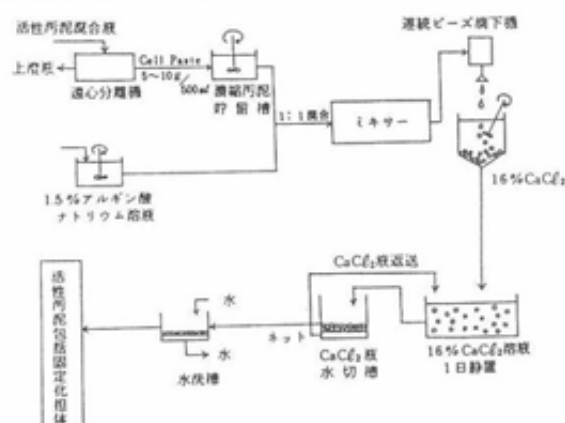


図2 アルギン酸カルシウム法による活性汚泥包括固定化担体の調製

2.2.1 薬剂等

- ・アルギン酸ナトリウム 関東化学㈱
- ・塩化カルシウム（食添用） 徳山曹達㈱
- ・トウモロコシデンプン 林純薬工業㈱
- ・ポリビニルアルコール($n=500$) 関東化学㈱
- ・非イオン界面活性剤(センカノールSK) センカ㈱
- ・酵素糊抜き剤(ネオマルツCT) 洛東化成工業㈱
- ・蒸留水
- ・綿生機 綿 $\frac{綿40/1 \times 綿80/2}{114 \times 50}$

2.2.2 実験装置

- ・DOメータ(B-100N) 飯島電子工業㈱
- ・分光光度計(U-2000) 日立製作所
- ・微量高速冷却遠心機(CF15) 日立工機㈱
- ・インキュベータ サンヨー㈱
- ・連続ビーズ滴下機 自作
- ・バイオリアクタ 自作

2.2.3 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社の活性汚泥処理の返送汚泥を用いたが、性状は、pH7.5、MLSS 14,000mg/ℓ、SS 13,200mg/ℓ、COD-Mn 4,660mg/ℓであった。また、返送汚泥中の微生物の様子を図3に示す。

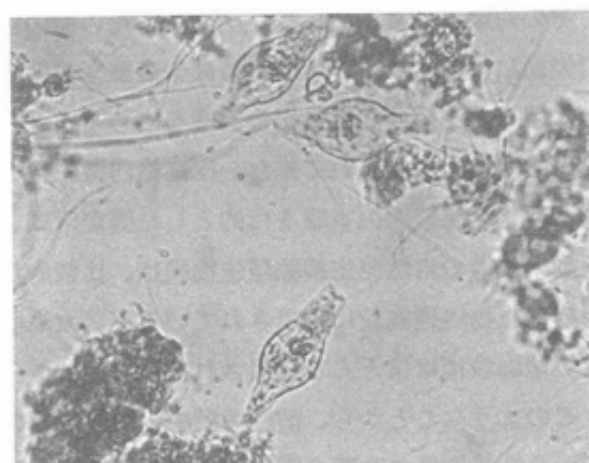


図3 活性汚泥中に出現する微生物

2.2.4 固定化方法

アルギン酸カルシウムによる固定化は、3%アルギン酸ナトリウム水溶液と菌体懸濁液とを等量混合し、16%塩化カルシウム水溶液中に滴下してゲル状の包括固定化微生物担体を得る。

今回、糊抜き精練を専門に行っているM社の返送汚泥、MLSS 14,000 mg/ℓを遠心機で28,000 mg/ℓまで濃縮し、これをアルギン酸カルシウムで固定化して、汚泥濃度MLSS 14,000 mg/ℓ、直径2.5 mmの球状の担体を得た。

2.3 固定化微生物法による好気性処理実験装置

実験は、先きに調製した汚泥濃度 14,000 mg/ℓの担体を用い、図4に示す6系列のリアクタで行った。これらは、温度条件をコントロールするた

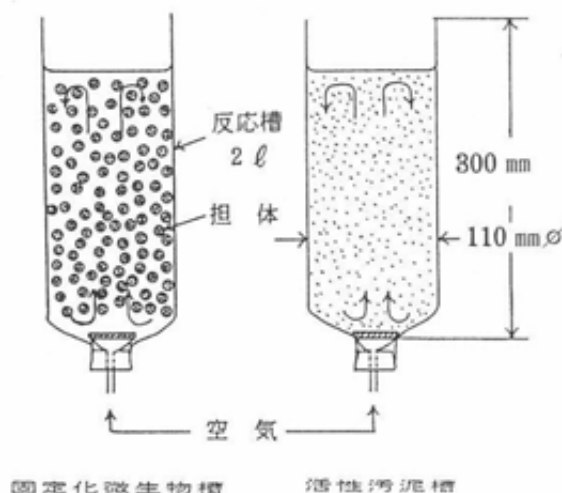


図4 実験装置

めに30℃のインキュベータ内に設置した。リアクタは2ℓのペットボトルを利用したもので、底部に3G3のガラスフィルタを加工した散気板から2ℓ/minの曝気を行い、担体等を循環させると同時に酸素（溶存酸素7.5 mg/ℓ）の供給ができる構造のバッチ式のものとした。

このリアクタ内に担体を充填率25%、浮遊汚泥換算3,500 mg/ℓ、有機物除去反応の基質として、合成モデル排水、酵素糊抜き排水、M社実排水を添加し、COD負荷100~300 mg/ℓの濃度条件で処理を行った。この時の処理時間とCOD除去率との関係から、それぞれの排水に関する除去特性を検討した。

2.3.1 固定化微生物による合成モデル排水のCOD除去特性

基質に合成モデル排水として、デンプン100 mg/ℓ、ポリビニルアルコール100 mg/ℓ、デンプン50 mg/ℓ+ポリビニルアルコール50 mg/ℓの単一系、混合系の3種類を用意して、高分子ゲル担体に固定した微生物が、それぞれの合成モデル排水中の有機物を、どの様に取り込んで分解するか実験した。

2.3.2 固定化微生物による酵素糊抜き排水のCOD除去特性

基質にポリビニルアルコール、変性コーンスターチ、アクリル酸系高分子、ワックスから成る糊剤で糊づけした綿の生機を、酵素糊抜き剤（ネオマルツCT 6.5 ml/ℓ）、非イオン界面活性剤（1.0 ml/ℓ）、温度70℃、浴比1:30で2時間、糊抜きを行って得られた排水を用いて試験した。

排水の性状は、COD負荷3,050 mg/ℓ（内、酵素+非イオン界面活性剤のCOD負荷170 mg/ℓ）であった。

2.3.3 活性汚泥と固定化微生物によるM社実排水のCOD除去特性

基質にM社実排水（原水）を用いて、両者のCOD除去特性について実験した。実排水のCOD負荷770 mg/ℓであった。

2.3.4 活性汚泥と固定化微生物によるM社実排水中のデンプン除去特性

実排水中の主要成分であるデンプンの変化を調べるため、COD負荷を300 mg/ℓに調製したM社実排水（デンプン285 mg/ℓ）を用いて、曝気処理時間ごとに5 mlをサンプリングし10 mlに希釈した後、ヨウ素ヨウ化カリ液1滴を加え、十分に発色させ、遠心機で10,000 rpm、5分間処理する。分光光度計を用いて620 nmにおける上澄液の吸光度を測定。あらかじめ作成した検量線からデンプンの量を算出した。

2.3.5 汚泥状態の比較

COD負荷300 mg/ℓに調製したM社実排水を用いて、曝気処理時間ごとに10 mlをサンプリングし、東洋ろ紙GS 25でろ過する。ろ紙上の沈殿物を

105℃の乾燥機中で乾燥して絶乾重量を求め、汚泥量を算出して比較した。

3 結果及び考察

3.1 固定化微生物による合成モデル排水のCOD除去特性

68時間及び112時間馴した固定化微生物による合成モデル排水の処理結果を図5に示す。

基質の種類や濃度によって、わずかな差は認められるが、20時間処理することで70～90%の除去率を示した。予想はしていたが、デンプンの分解が最も良好で90%の除去率を示した。逆に予想外だったのは難分解性化学物質といわれるポリビニルアルコールが75%程度の除去率を示したことである。固定化した活性汚泥中に、ポリビニルアルコール資化菌でも存在したのかどうか興味のあるところであるが、確認はできなかった。

担体の経時変化を確認するため、使用時間の異なる担体で除去特性の比較を行った。68時間馴したものでは、数時間以内の除去率の変化が比較的緩慢に推移しており、吸着作用の低い時の分解パターンを描いている。一方、112時間馴した担体では、4時間以内に除去率50%を超える顕著な変化が認められた。これは、吸着作用の高い場合に見られる分解パターンである。

この二つのケースを比べて分かるように、固定化微生物担体が非常に変化しやすいため、定常に保つことが難しい。

この吸着量は排水の水質、フロック等の性状のほか処理条件の違いによっても異なるといわれ、処理時間が延びるにつれて固定化微生物担体中の微生物が増殖し、活性化されたものと考えられる。

ポリビニルアルコール等の急激な除去率の向上は、担体表面や表面から0.2～0.3mm程度といわれる表層で増殖した微生物の生物吸着に寄るところが大きいものと考えられる。

3.2 固定化微生物による酵素糊抜き排水のCOD除去特性

20時間処理した結果を図6に示す。20時間処理

後でも、除去率50%程度しか示さなかった。これは、合成モデル排水のような単一系の場合とは異なり、少なくともデンプン、ポリビニルアルコール、アクリル酸系樹脂、ワックス、酵素剤、非イオン界面活性剤などの多性分系から成るために、容易に分解されない物質が存在したのと考えられる。

3.3 活性汚泥と固定化微生物によるM社実排水のCOD除去特性

M社実排水の処理結果を図7に示す。活性汚泥では基質濃度が高いと除去率も高く、20時間処理後で65%を示した。これに対して濃度の低い場合は45%に止っており、除去率が基質濃度によって影響されることが分かった。

固定化微生物の場合は、基質濃度を変えても除去率の変化は同様の傾向を示し、濃度によって影響されないことが分かった。

また、活性汚泥では20時間以後は除去率に変化が見られないのに対して、固定化微生物は僅かずつだが除去率を上げて、40時間処理後には活性汚泥と同程度の60%に達した。

高分子ゲル担体内に固定した微生物が排水中の有機物を取り込んで分解する過程は、物質の移動と反応であるために、当初から予想していたが、自由度の大きい活性汚泥の方が反応が速いことが分かった。

3.4 活性汚泥と固定化微生物によるM社実排水中のデンプン除去特性

活性汚泥では、添加後1分程度の僅かな攪拌によって除去率が40%に達した。さらに、40時間処理後には、98%と高い除去率を示した。

これに対して固定化微生物の除去率は、14%、79%に止まり、M社実排水中のデンプン除去でも活性汚泥の優位性が明らかになった。

3.5 汚泥状態の比較

活性汚泥処理では沈澱槽を設けなければならぬが、両者の反応槽から直接サンプリングして比較したので、実際とは異なる。この結果、固定化微生物槽では、汚泥発生量が活性汚泥槽の1/10程度であった。しかし、0にならないのは、固定

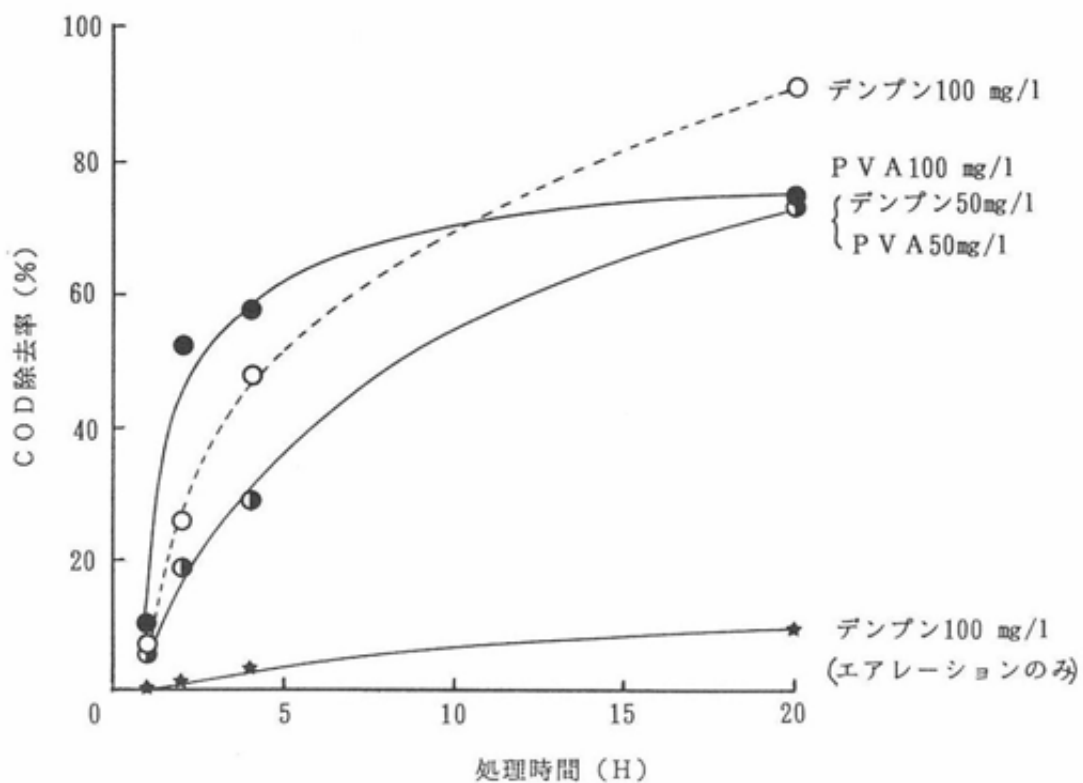
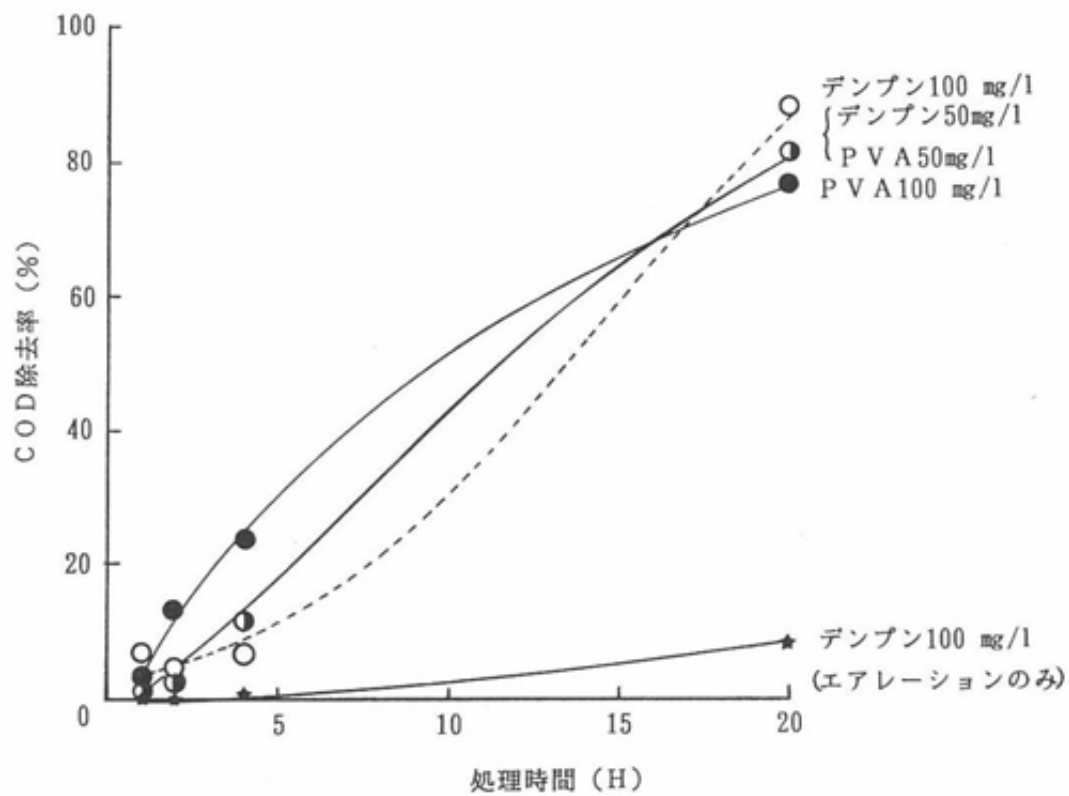


図5 固定化微生物による合成モデル排水のCOD除去特性

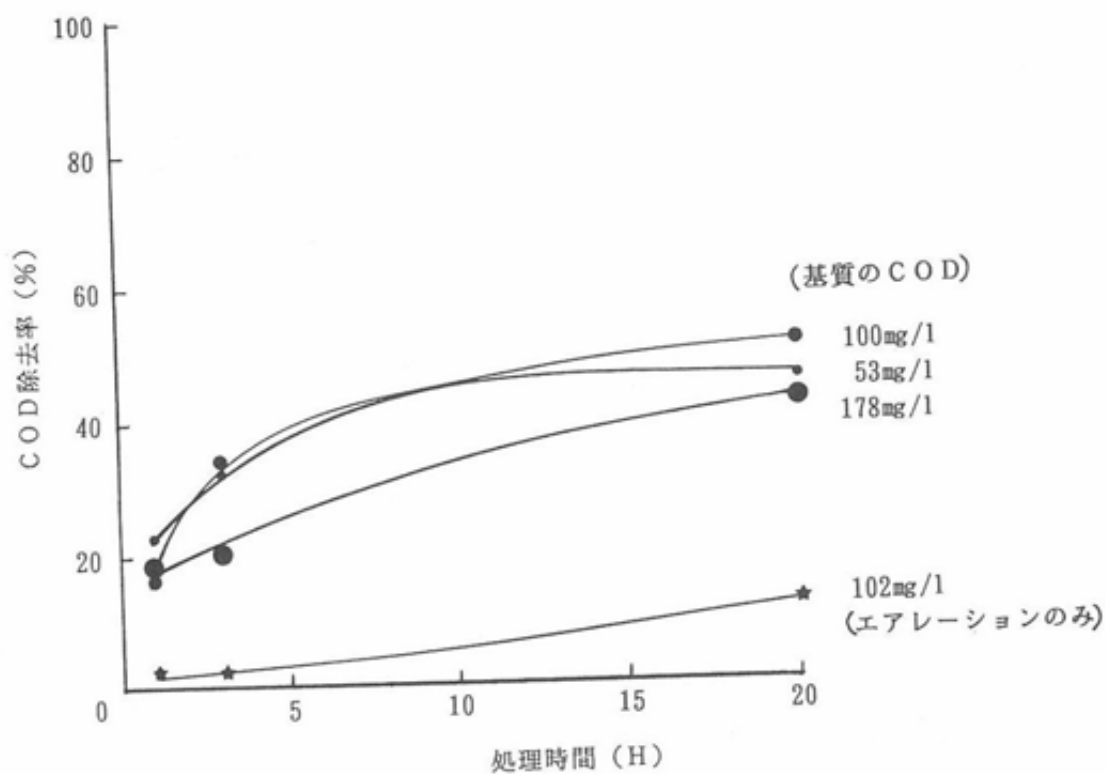


図6 固定化微生物による酵素糊拔排水のCOD除去特性

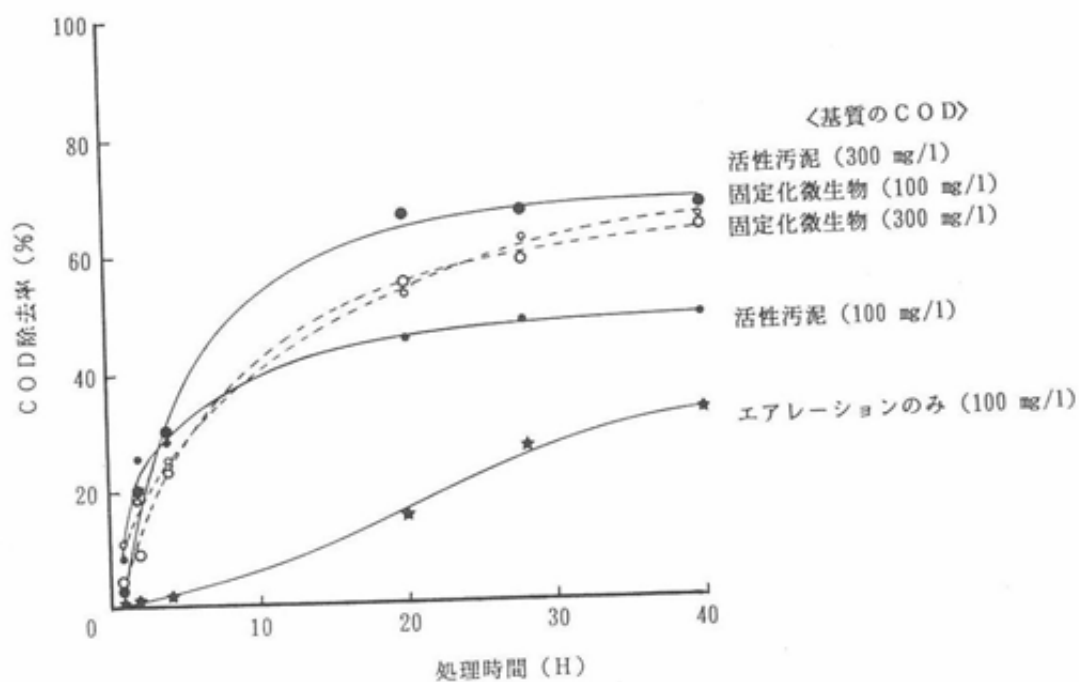


図7 活性汚泥と固定化微生物によるM社実排水のCOD除去特性

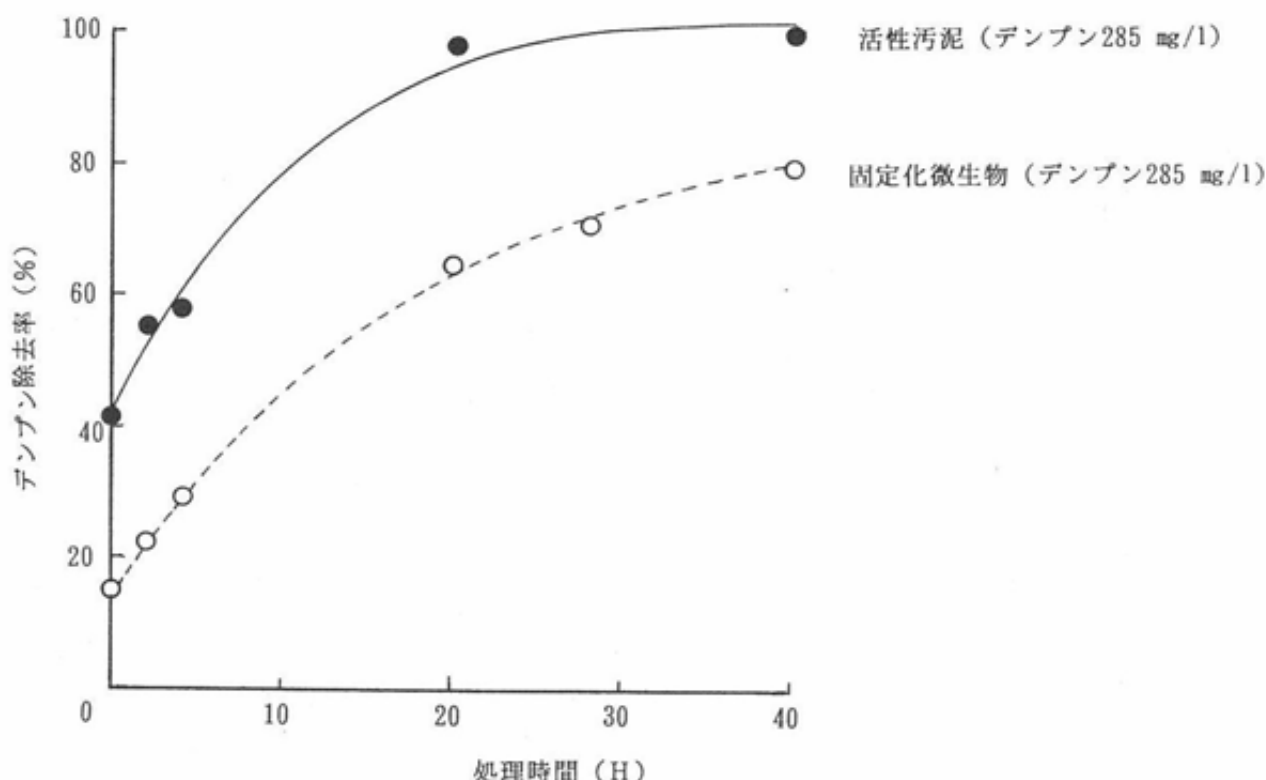


図8 活性汚泥と固定化微生物によるM社実排水中のDNP除去特性

化したとはいえ、固定化微生物による汚泥の発生は、高分子ゲル担体の外で発生したり、あるいは担体の表面から発生する。このため、長時間、連続して処理を行う場合には、固定化微生物の特徴である多様な微生物相が逆に災いして、凝集性の悪い懸濁液となって流出することも考えられる。したがって、高度処理を行うためには、他の方法を組み合わせる必要性がでてくるものと考えられる。

3.6 微生物の状態

活性汚泥や潰した固定化微生物担体中の微生物の様子を図9に示す。活性汚泥中には微小後生動物や原生動物が多く認められた。

一方、100時間処理後の担体を潰して観察すると、

比較的小型の原生動物等が数多く生息しており、担体を住宅として増殖していることが確認された。

4. まとめ

一連の実験結果から包括固定化微生物の挙動は、活性汚泥（懸濁微生物）の場合と大きく変わるものではないことが明らかになった。しかし、除去率の推移が示すように、反応に関与する物質が高分子担体内を移動するのは、懸濁液状の活性汚泥に比べて不利であることは否定できなかった。

一方、固定化微生物の特徴は、排水の負荷変動にも対応でき安定的な処理が行えること、汚泥発生量が少なく、微生物と処理水の分離が極めて容易であるので、最終沈殿槽の縮小または、省略が可能になるなど装置上の利点が上げられる。

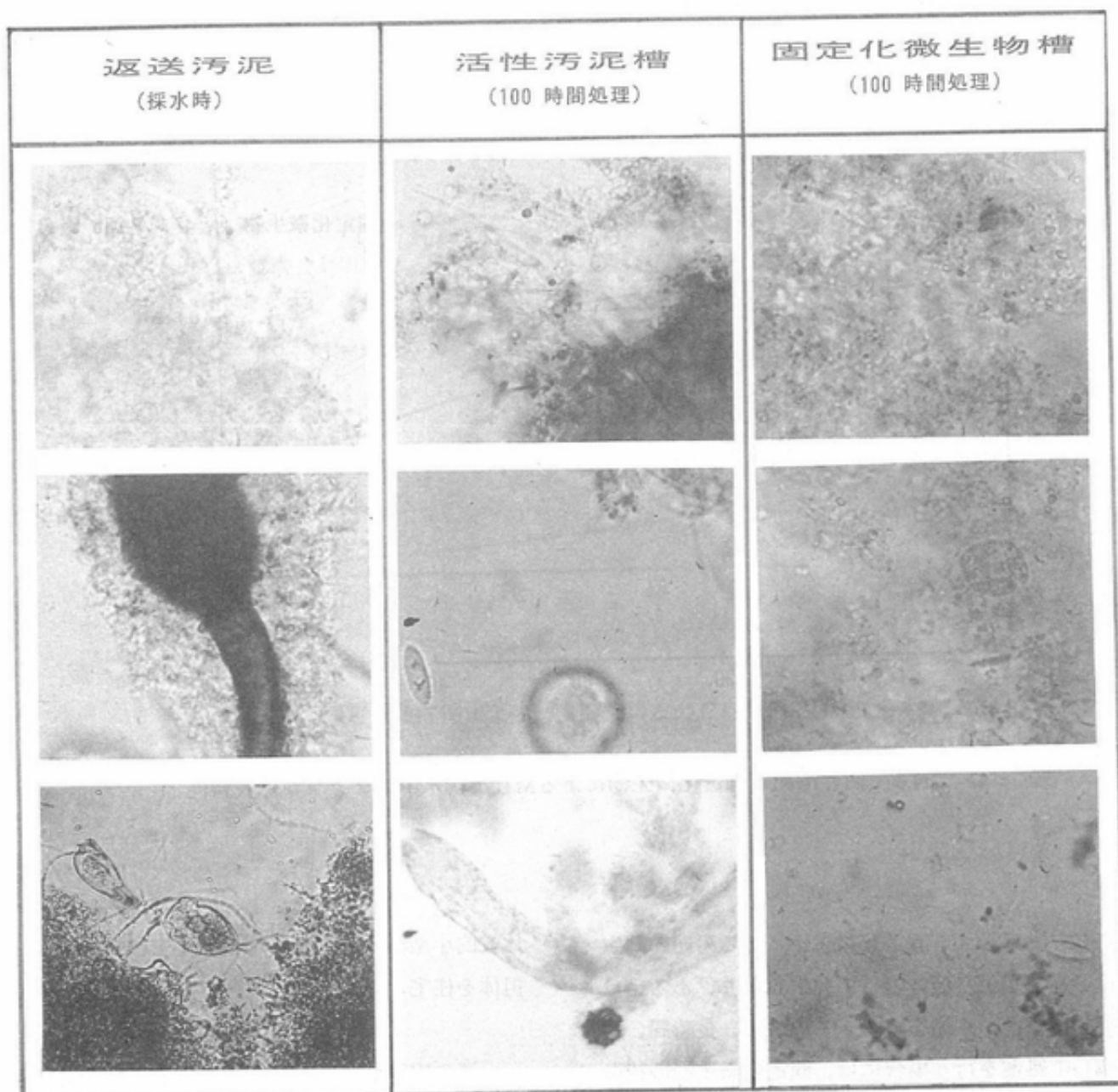


図9 微生物の状態

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
4. 小山 清, 科学と工業, 61,〔4〕, 157~163 (1987)
5. 千田孝之ら, 高分子加工, 40,〔3〕, 142~153(1991)