

国立環境研究所特別研究報告

Report of Special Research from the National Institute for Environmental Studies, Japan

SR-17-'94

有用微生物を活用した小規模排水処理技術の 開発と高度化に関する研究

Studies on the Development of Advanced Small Wastewater Treatment Systems
Using Specific Microorganisms

平成2～4年度

FY 1990～1992

NIES

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

環境庁 国立環境研究所

Report of Special Research from the National Institute for Environmental Studies, Japan

国立環境研究所特別研究報告

SR-17-'94

有用微生物を活用した小規模排水処理技術の 開発と高度化に関する研究

Studies on the Development of Advanced Small Scale Wastewater Treatment Systems
Using Specific Microorganisms

平成2～4年度

FY 1990~1992

環境庁 国立環境研究所

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

特別研究「有用微生物を活用した小規模排水処理技術の開発と高度化に関する研究」

(期間 平成2～4年度)

特別研究責任者：内藤正明

特別研究幹事：稲森悠平

報告書編集担当：稲森悠平・高木博夫・松重一夫

序

本報告書は平成2年度から平成4年度にかけて実施した特別研究「有用微生物を活用した小規模排水処理技術の開発と高度化に関する研究」の研究成果をまとめたものである。

我が国の中小都市河川、湖沼、内湾等の公共用水域においては水質汚濁や富栄養化が依然として進行している。この主な原因は、日平均排水量50m³/日未満の個別家庭から排出される生活雑排水などの小規模排水の流入であり、これらに由来する負荷量は湖沼をはじめとする公共用水域の汚濁負荷量の約70%を占めるに至っている。この小規模排水の多くは有機物を含むため、処理対策の手法として微生物の浄化力を活用することができる。こうした背景から、本研究では汚濁負荷源の高い割合を占める小規模排水に対して、有用微生物を活用した排水の高度処理技術の開発を行い、水質改善に資することを目的として行った。

ここで対象とした小規模排水は、1)下水道および合併処理浄化槽の普及が行われていない地域で未処理で排出されている生活雑排水、2)し尿のみを処理している単独処理浄化槽放流水、3)全事業場の約90%を占める小規模事業場からの排水である。これらの小規模排水を処理する場合に重要な条件としては、敷地面積、建設費、維持管理費に制約を受ける場合が多いため、省エネ的でコンパクトであることが挙げられる。そのためには生物処理反応槽当たりの有用微生物濃度を可能な限り高める方式の開発が必要である。また水域の富栄養化防止のため、排水中の有機物だけでなく窒素等の栄養塩類を同時に除去できるプロセスの開発も必要である。研究は(1)小規模排水の特性および生物処理の適用性に関する調査研究、(2)小規模排水の栄養塩類除去システムの開発に関する研究、(3)小規模排水処理プロセスの技術およびシステム評価に関する研究の3課題について行われた。その結果、①最適小規模排水処理システムの開発と評価に必要な研究を効率的に遂行するための基礎的知見、②小規模排水中に含まれる窒素及び有機物を分解する細菌や原生動物及び微小後生動物等の有用微生物を組み込んだ小規模排水処理システムの有用性に関する知見、③有用微生物の中で処理の高度化に大きな役割を演じている微小動物の大量定着化に関する知見、④処理水の生態系への影響を評価指標とした場合に微小動物の活用が水処理技術向上に大きく貢献するという知見など、機構解明、技術開発、評価に関しての多くの成果が得られた。

公共用水域の水質改善を図り快適な水辺環境を創造していくためには、高度な水質改善技術の開発とシステム評価に関する研究がこれからはますます重要になってくると考えられる。特に、効率的な高度排水処理法の確立とシステム化は、海域における窒素・リンの環境基準、上乘せを含めた排水基準、第4次総量規制、生活排水処理施設等の面整備にかかわる対応につながることから必須の課題であり、地方公害研究所等と連携をとった研究開発を行っていくことが重要と考えられる。このような考えを踏まえて平成5年度から特別研究「環境負荷の構造変化から見た都市の大気と水質問題の把握とその対応策に関する研究」が開始されている。本研究は当研究所担当研究員のみならず研究所外の客員研究員、共同研究員の多くの方々の御協力と御指導のもとに達成できたものであり、ここに深く感謝の意を表したい。

平成6年3月

国立環境研究所

所長 市川 惇 信

目 次

1 研究の目的と経緯	1
2 研究の成果	2
2.1 小規模排水の特性および生物処理適用性の調査	2
2.1.1 小規模排水への生物処理技術の活用のあり方	2
2.1.2 小規模排水の汚濁負荷量の実態調査	4
2.2 有用微生物を用いた栄養塩類等の除去システムの開発	7
2.2.1 嫌気好気生物処理法における栄養塩類の除去システム	7
2.2.2 嫌気好気活性汚泥法における栄養塩類の除去システム	13
2.2.3 生物学的栄養塩類除去システムにおける有用微小動物の役割	19
2.2.4 嫌気好気生物処理法における有用微小動物の定着特性	23
2.3 有用微生物を用いた処理プロセスの技術およびシステム評価	28
2.3.1 水質改善のための有用微生物の活用とそのマイクロコズムを用いた環境影響評価	28
2.3.2 有用微小動物の生物処理反応槽への高密度定着化のためのシステム評価	33
2.3.3 有用微生物の組み込まれた小規模排水処理プロセスの評価	37
2.4 総括および研究展望	38

[資料]

I 研究の組織と研究課題の構成	43
1 研究の組織	43
2 研究課題と担当者	43
II 研究成果発表一覧	44
1 誌上发表	44
2 口頭発表	47

1 研究の目的と経緯

我が国の中小都市河川、湖沼、内湾等の公共用水域においては水質汚濁、富栄養化が依然として進行している。この主な原因は、日平均排水量 50 m³/日未満の個別家庭から排出される生活雑排水などの小規模排水の流入であり、これらに由来する負荷量は湖沼を始めとする公共用水域の汚濁負荷量の約 70% を占めるに至っている。この小規模排水の多くは有機物を含むため、処理対策の手法として微生物の浄化力を活用することができる。こうした背景から、汚濁負荷源の高い割合を占める小規模排水に対して有用微生物を活用した排水の高度処理技術の開発を行い、水質改善に資することを目的とする特別研究「有用微生物を活用した小規模排水処理技術の開発と高度化に関する研究」を 1990 年度から 3 年間にわたり実施し、1992 年度をもって終了した。

ここで対象とした小規模排水は、1) 下水道および合併処理浄化槽の普及が行われていない地域でたれ流されている生活雑排水、2) し尿のみを処理している単独処理浄化槽放流水、3) 全事業場の約 90% を占める小規模事業場からの排水である。これらの小規模排水を処理する場合に重要なことは、敷地面積、建設費、維持管理費に制約を受ける場合が多いため、省エネ的でコンパクトであることが必要とされる。そのためには生物処理反応槽当たりの有用微生物濃度を可能な限り高めた方式の開発が必要である。また水域の富栄養化防止のため、排水中の有機物だけでなく窒素等の栄養塩類を同時に除去できるプロセスの開発が必要である。そこで本研究では以下のサブテーマで研究を実施した。

サブテーマ 1 「小規模排水の特性および生物処理の適用性に関する調査研究」では、最適小規模排水処理システムの開発と評価に必要な研究を効率的に遂行するための基礎的知見の集積を行った。その結果、BOD への影響度の高いのは油分、透視度、全リンであり、特に油分処理を効果的に行うことの重要性が確認された。

サブテーマ 2 「小規模排水の栄養塩類除去システムの開発に関する研究」では、小規模排水中に含まれる窒素および有機物を分解する細菌、原生動物や微小後生動物などの有用微生物の組み込まれた小規模排水処理システムの開発を主として行い以下の知見を得た。

(1) 小規模合併処理浄化槽を想定したベンチスケール

の嫌気・好気循環生物膜法に着目して検討を加えたところ、好気生物膜反応槽の処理水を嫌気生物膜反応槽にポンプで戻すという循環を組み込むことによって処理の安定化、効率化、汚泥の減量化が行われることが明らかとなった。

(2) 小規模排水の処理の高度化および維持管理の容易化を図るために自動制御を組み込んで有機物と窒素の除去能の安定化・効率化について検討を行った。その結果、嫌気（非ばっ気）時間と好気（ばっ気）時間を溶存酸素（以下 DO）で制御することにより有機物負荷及び窒素負荷が変動してもばっ気時間が自動制御されること、さらに有用微生物としての硝化細菌、脱窒細菌のバイオマスと活性が高く保持されることから、硝化と脱窒が極めて効果的に行われ、高度の窒素除去を行えることを明らかにすることができた。以上の知見より、小規模排水処理の高度・効率化とその維持管理の容易化を図るためには、嫌気・好気循環、自動化、処理プロセスのハイブリッド化が重要であることが明らかとなった。

サブテーマ 3 「小規模排水処理プロセスの技術およびシステム評価に関する研究」では、有用微生物の中で処理の高度化に大きな役割を演じている微小動物に着目し、大量定着化と処理水の生態系への影響パラメータとして、微小動物を活用した水処理技術の評価を行った。排水処理に有用微生物として遺伝子組換え微生物を活用する上での影響評価法として、マイクロコズムシステムを用いた影響評価手法を確立した。また、有用微生物として輪虫類を大量定着化するためには洗米排水中に存在する増殖因子の必要ことが判明した。小規模排水処理プロセスの有用性について、サブテーマ 2 で明らかになった知見を基に嫌気・好気処理方式の高度小規模合併処理浄化槽を個別家庭に設置して処理性能を評価した。処理水を循環することにより、①硝化に伴う好気槽の酸性化を嫌気生物膜反応槽の脱窒に伴うアルカリ度の補給によって中性に維持することが可能となり、②生物学的硝化脱窒が円滑に進行し、③処理水の BOD と T-N（全窒素）が共に 10 mg/l 以下の高度な水質が得られ、しかも④中性化に伴う有用微生物の凝集化により透明な水質の得られること、などが従来の処理法に比べて優れた処理性能を持つことが実証できた。

2 研究の成果

2.1 小規模排水の特性および生物処理適用性の調査

小規模排水は公共用水域の汚濁負荷の大きな割合を占めていることが指摘されておりその対策は極めて重要と考えられる。ここでは小規模排水にかかわる文献検索、資料収集を行いとりまとめた小規模排水への生物処理技術の活用のあり方について述べると同時に小規模事業場の中でも汚濁負荷量が高いと考えられる飲食産業を対象例とした汚濁負荷の実態調査と処理技術の適用との関連について行った解析研究を述べることにする。

2.1.1 小規模排水への生物処理技術の活用のあり方

(1) はじめに

小規模事業場には食料品製造業、飲食店業、自動車整備業など多岐の業種が存在する。すなわち、業種によっては有機性排水が主であったり無機性排水が主であったりする。たとえば、病院、飲食店等からはし尿、生活雑排水に由来する BOD/COD の比がおおむね 2 以上と高く生物的に処理することの可能な有機物主体の排水が排出される。一方、電気めっき業、染色整理業などの業種からは BOD/COD の比が小さく生物的に処理することの困難な無機物を多量に含有する排水が排出され、このような無機物主体の排水は物理化学的な処理で対応しなければならない。このように多岐の業種による種々の排水が存在する中で、生物処理技術の適用が可能な業種および処理方法のあり方について検討した。

(2) 小規模事業場排水の特徴

多岐の業種により種々の排水が存在する中で、業種が同一であれば同一の排水が排出されるかという点必ずしもそうではなく、生産工程に使用される原料が違えば、排水の性状も当然変化する。それゆえ、負荷削減対策としていかなる排水処理法を適用すればよいかを決める場合には、排水の特性を BOD、COD、ノルマルヘキサン抽出物質、N、P 等の濃度により適確に把握することはもとより、原料の種類として何が用いられているかなどの情報を得ることが必要である。

各業種ごとの水質は、おおむね表 1 に示すとおりである。業種によって BOD/COD 比に大きな違いがあること、BOD、COD などの濃度が通常的生活排水等に比べる

と異常に高い場合も多く、また濃度の範囲が広いことなどが分かる。また、業種によっては排水の pH が強酸性あるいは強アルカリである場合、排水の温度が異常に高い場合、生物処理を行う場合に必要な N、P が不足する場合などがあることにも留意しておかなければならない。

表 1 小規模事業場排水の水質特性

業 種	BOD(mg/l)	COD(mg/l)
畜産食料品製造業	5~ 5,900	8~1,500
水産食料品製造業	87~26,000	46~9,900
野菜罐詰・果実罐詰等製造業	200~ 1,390	150~1,000
野菜漬物製造業	43~ 830	3~ 600
みそ製造業	180~ 3,500	160~1,500
しょうゆ製造業	50~ 2,800	30~1,500
パン・菓子製造業	150~ 3,300	120~2,500
めん類製造業	450~ 1,400	600~1,300
豆腐・油揚げ製造業	210~ 1,400	110~1,000
あん類製造業	2,400程度	700~2,000
惣菜製造業	40~13,000	16~8,100
弁当製造業	170~ 2,000	62~1,000
酒類製造業	-	660~3,400
合板製造業	6~ 980	34~5,300
電気めっき業	-	3~ 200
料理品小売業 (集団給食施設、弁当仕出し屋)	94~ 3,700	36~1,500
飲食店	10~10,000	15~ 860
旅館	40~ 50	15~ 400
洗濯業	25~ 360	42~ 250
自動車整備業 (洗車施設)	2~ 540	1~2,000
病院	10~ 280	40~ 230
地方卸売市場	1~ 3,200	2~1,100
畜産農業	6,400~11,000	1,800~3,100

* スポットサンプルであり、時間変動により水質変化があることから、水質に幅があることに注意することが必要。

(3) 小規模事業場排水処理法の種類および特徴

小規模事業場における排水処理法は簡易処理 (前処理)、物理化学処理、生物処理の大きく 3 方式に分けられる。小規模事業場で適用し得る代表的な生物処理法としては活性汚泥法と生物膜法がある。

生物処理法は微生物により排水中の汚濁物質を分解、除去する方法である。すなわち、溶解性有機物、コロイド性物質、浮化油など BOD 成分が主たる対象物質である。生物処理では排水中の汚濁物質を栄養源として資化する微生物の代謝能を利用しているので、増殖が適切に

行われるように pH, 溶存酸素濃度などの環境条件を適正に管理するとともに、微生物の増殖に必要な N, P が不足していた場合には、BOD : N : P 比がおおむね 100 : 5 : 1 になるように添加することが必要である。

活性汚泥法は懸濁状の微生物により排水を処理する方法であり、各種変法が存在する。大きく連続式処理法と回分式処理法の二つに分けられる。

生物膜法は接触材の表面に形成された微生物の薄膜により、排水を処理する方法である。好気性の生物膜法では回転円板法および接触ばつ気法、嫌気性の生物膜法では、嫌気性ろ床法が小規模排水処理には適用可能である。

(4) 小規模事業場排水処理法の選定と排水特性

小規模事業場排水の処理法としては業種の違いにより、また目標処理水質により、簡易処理（前処理）法、物理化学処理法、生物処理法、高度処理法があるが、これらの処理法が単独あるいは組み合わせて適用される。

主要な小規模事業場で適用される業種と排水処理法とが対応するようにまとめたのが表 2 である。生物処理は電気メッキ排水以外の排水に適用できることが分かる。排水処理法の選定は排水の汚濁物質の性状、濃度に応じ最も効率的に行うことが必要とされる。排水処理の単位操作が原理的に同一であっても、装置の形状、単位操作の組み合わせ、操作方法などによって処理性能は変わるので選定にあたっては十分に留意しなければならない。有機性排水に対しては生物処理を適用することになるが、この場合排水の特性、処理目標水質、敷地面積、予算等に応じて適正排水処理法を選定しなければならない。

排水中に重金属等の有害物質が含有されている場合には、まず無害化処理を行った後、再度 pH 調整を行い、その後生物処理を行うことになる。また、排水中に湖沼で藻類を異常に増殖させる富栄養化の制限因子である N, P が高濃度に含有されている場合には凝集沈殿処理、嫌気・好気生物処理法などを組み合わせて N, P を高度に除去する方法を適用することが必要となる。

このように、排水処理にあたっては排水特性に見合った、最も経済的な処理法を組み合わせることで対処することが重要である。それらを的確に選択するための小規模事業場排水処理における最適プロセスの選択法のフローシートを図 1 に示した。

表 2 小規模事業場排水処理の単位プロセスと主たる適用業種

業種	単位処理プロセス	pH調整	スクリーニング	油水分離	凝集沈殿	凝集加圧浮上	生物処理	有害物質処理	脱塩	脱色
畜産食品		●	●	●	●	●	●			
水産食品			●	●	●	●	●			
野菜果実罐詰		●	●		●	●	●			
野菜漬物		●	●				●			●
みそ			●			●	●			●
しょう油		●	●		●		●			●
パン・菓子			●	●	●	●	●			
めん類			●				●			
豆腐・油揚げ		●	●	●		●	●			
あん類			●				●			
惣菜			●	●		●	●			
弁当製造・仕出し			●	●		●	●			
酒類		●	●			●	●			
染色整理		●	●		●	●	●			●
木材・木製品		●	●	●	●	●	●			
電気めっき		●		●	●			●	●	
飲食店・旅館			●	●			●			
洗濯・病院		●	●	●	●	●	●	●		
自動車整備			●	●	●	●	●			

(5) 小規模事業場排水に対する処理技術のあり方

小規模事業場排水処理技術に対する課題と方向性に着目し、処理技術のあり方についてまとめると以下に列記するとおりである。

1) 小規模事業場に排水処理技術を適用する場合、発生源における工程内対策を十分に行い負荷削減を可能な限り行った後、排水処理対策を行うようにすることが前提となる。

2) 小規模事業場向けの排水処理技術は大規模処理で適用されているものと原理的には共通しているが、それらの中でも、維持管理が容易で人手のかからないまた高度な運転技術を要さない回分式活性汚泥法、回遊式間欠ばつ気法のような技術開発を図る必要がある。

3) 小規模事業場において敷地面積に余裕のあるところでは、ばつ気式ラグーン法、土壌トレンチ法あるいは酸化池法などの簡易な処理法の適用も検討することも必要である。

4) 飲食店等の小規模事業場では、油分濃度が高いので効率的油水分離槽の開発が必要である。油分を特異的に効率的に分解・除去するハイドロバック、オレオバツ

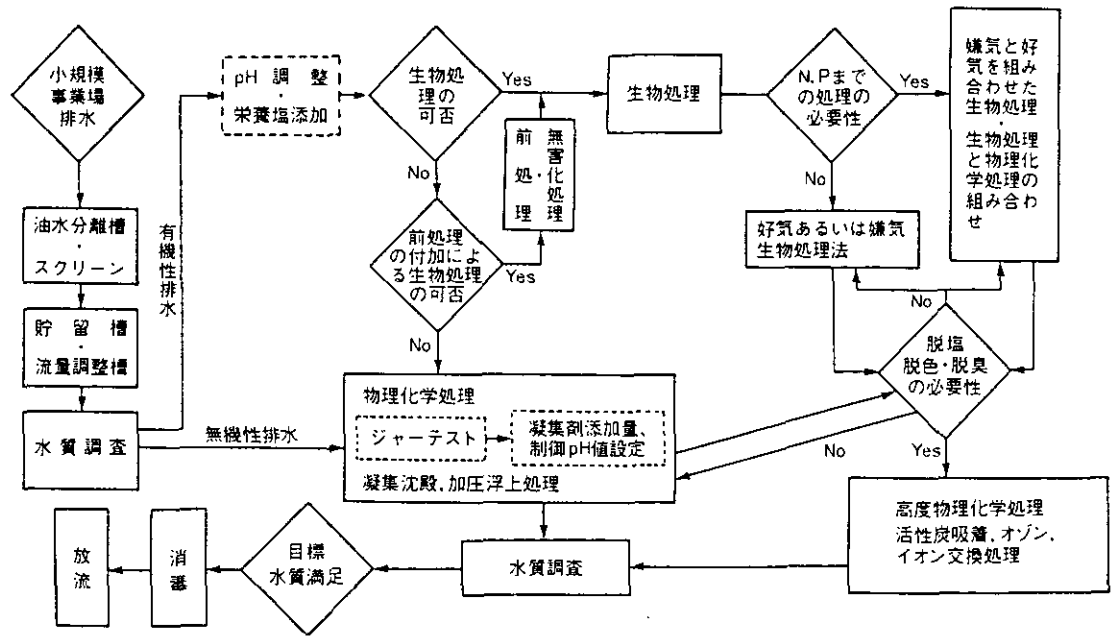


図1 小規模事業場における最適排水処理プロセスの選択法

ク等をはじめとする微生物製剤が開発されているが、このような微生物製剤と油水分離槽を効果的に組み合わせる手法についての検討も重要と考えられる。

5) 小規模事業場において、排水処理プロセスの処理機能に影響を及ぼす大きな因子として水量、水質の負荷変動があるが、これを均一化するためには流量調整を行うことが必須である。このような方式を小規模事業場でも活用するための技術開発研究を行うことが必要である。

ここでは文献検索等を行い小規模事業場において排水対策を行う場合、生産活動の多様化の影響で変動しやすい排水の特性を工程内対策や排水処理対策、あるいは排水の適正管理により改善していくことが重要なことを明らかとした。

2.1.2 小規模排水の汚濁負荷量の実態調査

(1) はじめに

小規模事業場から排出される排水の汚濁負荷量が、全有機汚濁負荷量に占める割合は高く、これらの排水対策は重要である。しかし、小規模事業場の排水処理に適正な手法を組み込むには、各種事業場排水の特性を把握しなければならず、そのための実態調査を行う必要がある。本研究では、それらの中でも生活排水に比べて汚濁物質濃度が高いと考えられる飲食店排水の実態について各種飲食店排水を採取し、検査結果を数理的に解析し検討を

行った。

(2) 調査対象及び方法

小規模事業場からの汚濁負荷の割合が高いといわれる喫茶店 33 店舗、一般食堂 20 店舗、すし店 10 店舗、うどん・そば店 8 店舗、日本料理店 6 店舗、中華料理店 5 店舗、西洋料理店 4 店舗、その他 3 店舗、計 89 店舗の一般飲食店を対象として、透視度、pH、SS、BOD、COD、油分、T-N、T-P (全リン)、 $\text{NH}_4\text{-N}$ (アンモニア性窒素)、 $\text{NO}_2\text{-N}$ (亜硝酸性窒素)、 $\text{NO}_3\text{-N}$ (硝酸性窒素)、 $\text{PO}_4\text{-P}$ (リン酸性リン) について分析調査した。また、営業規模の指標として、従業員数、厨房面積、延べ面積及び排水量と処理施設の種類及び業種区分を調査した。

(3) 結果および考察

1) 小規模各種飲食店の排水特性と処理施設の設置状況

図2は、飲食店排水のBODの対数変換ヒストグラムを示している。

調査各種飲食店の排水処理施設の設置状況を見ると、未処理のものが45店舗(51%)、沈殿槽設置が12店舗(13%)、油水分離槽設置が17店舗(19%)、合併処理浄化槽設置が15店舗(17%)であった。施設の設置率が最も低かったのは、喫茶店で33店舗中9店舗(27%)であった。これは、他の飲食業種と比べ、店舗規模が小さいと

サンプル数 121

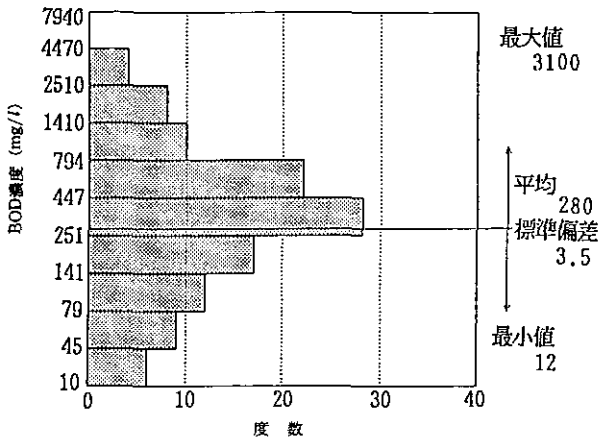


図2 各種飲食店排水（流入水）のBODの対数変換ヒストグラム

ころが多いためと考えられる。一般食堂と西洋料理店の設置率が75%で最も高かったが、合併処理浄化槽の設置率は、西洋料理店が75%、一般食堂が40%であった。合併処理浄化槽を設置している飲食店は、排水量が50 m³/日未満であっても外食産業等のチェーン店とか、店舗規模の比較的大きい店であった。

2) 小規模各種飲食店の排水処理前後の水質

飲食店の種類別の排水処理施設における流入水と流出水の水質測定を行ったが、流入水は、一般的に浄化槽とか下水道設計時に扱われる流入水濃度（SS：80 mg/l、COD：100 mg/l、BOD：200 mg/l）と比較すると、SSは69 mg/lと同程度の値、CODについては129 mg/lとやや高い値、BODにあつては280 mg/lとかなり高い値であった。総計の流入水と流出水の検査項目のうち油分、T-N、T-P、NH₄-N、NO₃-N、PO₄-Pの平均値には危険率5%以下で有意な差が認められたが、油分を除き、流入水より流出水が逆に高い値となった。これは、流入水質の変動もさることながら、合併処理浄化槽を設置している所が少なく、排水処理施設といっても簡易な施設が多く、管理が不十分で、沈殿槽や油水分離槽の沈殿物等が流出水に混入したためと考えられる。

種類別についてみると、一般食堂、西洋料理店、中華料理店の流出水が流入水より有意に低い値を示す項目が多いのに反し、それ以外の種類の飲食店は流入水と流出水間の水質項目には、まったく有意差が認められないか、あつても2項目以下であった。このことは、中華料理店のような著しくBOD濃度の高い流入水に対しては、簡易な処理施設でもある程度有効であること、また、今回対象とした一般食堂、西洋料理店には、合併処理浄化槽

設置の割合が高かったことによると思われる。すなわち、BOD濃度の低い流入水に対しては、簡易な処理施設では効果がうすいと考えられる。

3) 小規模飲食店に設置されている処理施設別の水質
処理施設別の流入水と流出水の水質測定を行ったが、沈殿槽及び油水分離槽設置施設の流入水と流出水との間には、沈殿槽のSSを除き有意な差は見られなかった。しかし、合併処理浄化槽設置施設では、透視度、pH、SS、COD、BOD、油分、NO₃-Nに有意な差が認められた。有効な水質浄化対策を期待する場合には、合併処理浄化槽レベル以上の施設の設置が必要であると考えられる。

4) 水質汚濁指標の主成分分析

汚濁指標のうち、SS、COD、BOD、油分、T-N、T-Pをとりあげ、主成分分析を行った。図3は、得られた主成分得点を散布図に示したもので、有機汚濁性を示すCOD、BOD、油分、栄養塩であるT-N、T-P、固形物であるSSの3つのグループに大きく分けることができる。また、寄与率は、第1主成分68%、第2主成分15%、第3主成分7%で第3主成分までで全体の90%が説明でき、第1主成分は、水の汚濁の程度を示す因子、第2主成分は、水の汚濁の性状を示す因子、第3主成分は、分散質の性状を示す因子であるものと考えられた。

5) 水質汚濁指標の重回帰分析

COD、BODを従属変数としSS、油分、T-N、T-Pを説明変数として重回帰分析を行った。その結果を、図4、5に示している。CODの重相関係数は、0.82であり、油分とT-Nの偏回帰係数が大きかった。BODの重相関係数は0.85で、偏回帰係数は油分が最も大きく、ついでT-Pであった。

また、変数減少法により関連の小さい変数を除いていくと、赤池のAIC、自由度調整済み重相関係数、重相関係数は、表3に示すとおりである。AICが最も小さく、自由度調整済み重相関係数が最も大きい値を示すものは、CODでは、油分、SS、T-Nを説明変数とした時、BODでは、油分、T-N、T-Pを説明変数とした時であった。これらの事実は、COD、BODと油分の関連が大きいことを示し、COD、BODを削減するためには、排水処理の前段で適切な油分除去装置を置くか、油分処理が同時に行える処理方式を採用することが必須であることを示唆するものである。

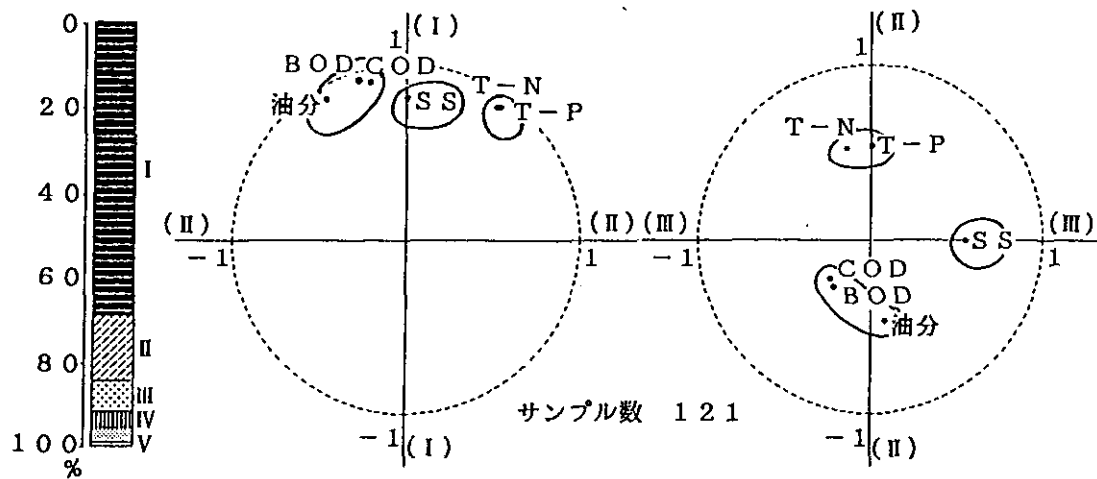


図3 主要水質汚濁指標の主成分得点の散布図

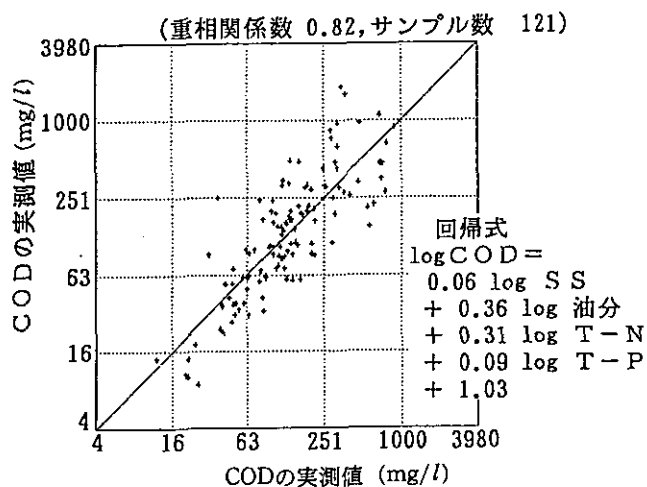


図4 小規模飲食店排水のCODとSS, 油分, T-N, T-Pとの関係

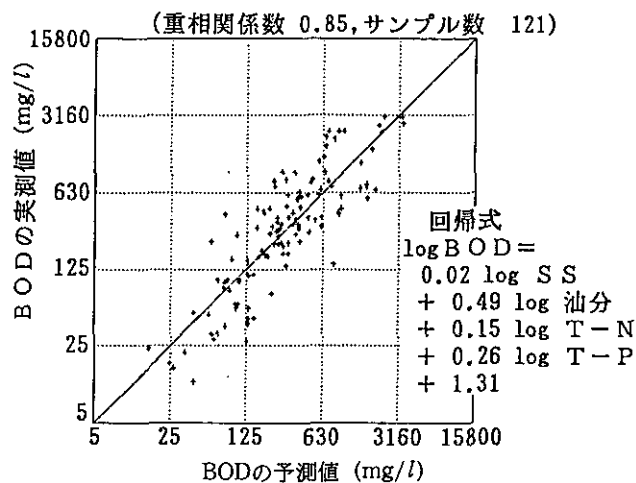


図5 小規模飲食店排水のBODとSS, 油分, T-N, T-Pとの関係

表3 重回帰分析による各係数値

従属変数	説明変数	A I C	自由度調整済み 重相関係数	重相関係数
COD	油分, SST T-N, T-P	35.7	0.665	0.82
	油分, SS T-N	34.5	0.666	0.82
	油分, T-N	34.7	0.663	0.82
	油分	66.3	0.559	0.75
BOD	油分, SS T-N, T-P	51.0	0.714	0.85
	油分, SS T-P	49.1	0.716	0.85
	油分, T-P	49.3	0.713	0.85
	油分	76.4	0.638	0.80

AIC: 赤池の情報量基準

(4) まとめ

本研究では、排水量 50 m³/日未満の各種飲食店排水の分析を行い、データの数理的解析を行ったが得られた知見は、以下のようにまとめられる。

1) 飲食店では、未処理で排出している店舗が半分以上を占め、店舗規模の小さいものほどその割合が高かった。

2) 中華料理店、そば・うどん店の排水に汚濁度の高い検査項目が多かった。

3) 一般食堂、西洋料理店、中華料理店では、流入水と流出水の間で有意差の認められた検査項目が多かった。

4) 流入水と流出水の水質の比較より、沈殿槽は、SS 除去にのみ効果があったのに対し、合併処理浄化槽は、透視度の向上、SS、COD、BOD、油分の除去および硝酸化に効果が認められた。

5) SS、COD、BOD、油分、T-N、T-P を変数とする主成分分析の結果、第1成分は水の汚濁の程度、第2成分は汚濁の性状、第3成分は分散質の性質を示す因子と考えられ、3成分で90%が説明された。

6) COD、BOD を従属変数、SS、油分、T-N、T-P を説明変数とする重回帰分析の結果、それぞれ0.82、0.85の重相関係数であり、両者とも油分の寄与が最も大きかった。

7) 変数減少法により、AIC が最小で自由度調整済み重相関係数が最大を示す説明変数は、COD では、油分、SS、T-N で、BOD では、油分、T-N、T-P であった。

2.2 有用微生物を用いた栄養塩類等の除去システムの開発

小規模排水の排出源としての生活系の浄化槽、事業場系の処理施設においては、処理水の放流先が閉鎖系水域であれば富栄養化を引き起こすことになるため栄養塩類を高度に除去する事が必要である。栄養塩類除去システムとしては、小規模では嫌気好気循環システムが適正であると考えられることから、システムの構造の効率化と同時に水質浄化に貢献している微小動物の浄化に果たす役割と定着化特性を明らかにすることは極めて重要となる。ここでは、上記の点をかんがみ小規模施設における栄養塩類除去システムの開発と栄養塩類除去システムにおける生物特性について行った研究について述べることにする。

2.2.1 嫌気好気生物処理法における栄養塩類の除去システム

(1) はじめに

公共用水域の水質改善を図る上での大きな問題は、単独処理浄化槽の存在である。それは単独処理浄化槽の放流基準は BOD 90 mg/l であり満足いく水質が確保されていないこと、および生活雑排水の原単位がし尿の BOD で 13 g/人/日に対し 27 g/人/日と 2 倍以上あること、さらにし尿がくみ取りの場合はし尿処理場では高度に窒素が除去されていたのに対し、水洗化と同時に窒素の垂れ流しが始まり、富栄養化を進行させる可能性があることから、既存の単独処理浄化槽も合併化が必須であるし、合併化する上でも高度化が必須となる。そこで、ここでは既存の単独処理浄化槽の高度化を目指した。

これらの排水を効率的に除去するために変則合併処理浄化槽の開発を行った。処理プロセスとしては単独処理浄化槽放流水と生活雑排水とを合わせて処理する嫌気性ろ床・接触ばっ気方式に着目し、特に嫌気性ろ床法を組み合わせることで窒素を除去することを目標とした。窒素除去は接触ばっ気処理水を嫌気性ろ床に循環させる方式により行った。本研究では、生活雑排水と単独処理浄化槽放流水を対象とした循環式嫌気・好気生物膜法における容積比および循環の有無が浄化能に及ぼす影響を及ぼすか、また有機物および窒素の高度な除去を効率的に行うための最適条件を明らかにすることを目的として検討を行った。

(2) 方法

本実験に用いた装置の概念図および処理フローは図6に示すとおりである。処理フローは水道水貯留槽、人工排水貯留槽、流入水供給用定量電磁弁、嫌気性ろ床、接触ばっ気方式の好気性ろ床、エアポンプ、循環水用定量ポンプからなる。嫌気性ろ床は有効容積がそれぞれ 1.2 L、2 L、3 L になるように側面にオーバーフローパイ

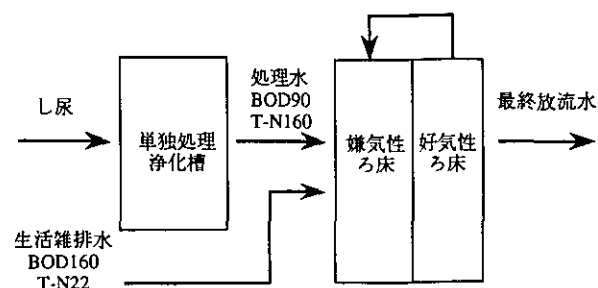


図6 変則合併処理浄化槽の水の流れの模式図

プが取り付けられている。好気性ろ床は嫌気性ろ床のそれぞれに対し 4.8 L, 4 L, 3 L の接触ばっ気槽と沈殿槽とからなり沈殿槽の上澄水が最終放流水として流出するようになっている。嫌気性ろ床は槽内に網状接触材を充てんし、好気性ろ床は槽内に細ひも状接触材をステンレス性の枠組みに張って充てんした。

流入排水は、デキストリン、ペプトンを主成分とした人工排水を用いた。なお、流入原水濃度は水道水供給用の定量電磁弁と人工排水供給用の定量電磁弁から嫌気性ろ床に導かれた地点で、単独処理浄化槽放流水 BOD 90 mg/l と生活雑排水 BOD 160 mg/l を混合させた有機物濃度と同じ程度の BOD 146 mg/l になるように流量比より調整した。表 4 は BOD 146 mg/l に設定した人工排水の水質分析結果を示したものである。なお、人工排水は腐敗を防ぐためにオートクレーブ (121°C, 30 分) により滅菌した後使用した。

窒素除去能と密接に関係する重要な操作因子の一つが好気性ろ床流出水の嫌気性ろ床への循環の有無である。ここでは 20°C の恒温室に実験装置を設置し、一定温度条件下における嫌気性ろ床と好気性ろ床の容積比および循環の有無が窒素除去能に及ぼす影響を容積比を変えた条件で検討することにした。循環法としては、好気性ろ床の沈殿槽の上澄水を定量ポンプで嫌気性ろ床底部に循環する方法を用いた。運転条件は表 5 に示すとおりである。循環なしは全く循環を行わない対照系で、循環する系は流入水量に対する循環水量の比率、すなわち循環比を 4 に設定している。なお、本実験においては汚泥接種直後は嫌気性ろ床と好気性ろ床の循環は行わず、水質が安定したことを確認した後循環を開始した。

表 4 変則合併処理浄化槽の流入水質

容積比 嫌気：好気	循環の有無	HRT (hr) 嫌気：好気
1 : 4	有 無	4.8 19.2
1 : 2	有 無	8 16
1 : 1	有 無	12 12

(3) 結果および考察

1) 窒素の除去特性

嫌気性ろ床および好気性ろ床における T-N の経日変化からみると、1:2 循環系における処理が高度かつ安定していることが分かった。循環式嫌気・好気生物膜法においては、有機性窒素の脱アミノ反応によるアンモニア化がまず嫌気ろ床において起こり、その後好気性ろ床におけるアンモニアの亜硝酸化、硝酸化が行われ最終的に好気性ろ床流出水が嫌気性ろ床に循環されることにより NO₂₊₃-N の窒素ガスへの脱窒が行われることになる。これらの窒素形態変化は図 7 に示すようにまとめられる。それゆえ、本法において窒素を高度に除去するためには、有機性窒素から、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、窒素ガスへの反応が遅滞なく進行することが必要とされる。中でも硝化反応が行われない限り脱窒反応は進行しないことから、好気性ろ床における硝化反応は嫌気性ろ床での窒素除去を行う上での律速反応となる。そこで特に好気性ろ床における硝化反応と嫌気性ろ床における脱窒反応の程度の差の比較を重点的に行った。

表 5 嫌気性ろ床と好気性ろ床の実験条件

項目	生活雑排水	単独し尿 処理水	変則流入水
BOD	160	90	146
TOC	84	47	77
COD	53	30	48
T-N	22	160	50
NH ₄ -N	0	80	16
NO ₂₊₃ -N	0	0	0

※単位は全て mg/l

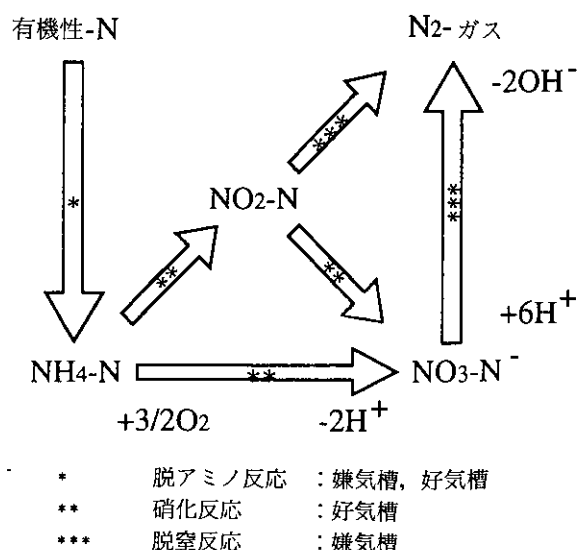


図 7 窒素の形態変化

(A) アンモニアの亜硝酸化、硝酸化

容積比を変化させた場合の循環系および非循環系の嫌気性ろ床、および好気性ろ床流出水の形態別窒素濃度を図8に示す。最終処理水における $\text{NH}_4\text{-N}$ は1:2循環系が平均1.6 mg/lと最も良好かつ安定していてほとんどが $\text{NO}_{2+3}\text{-N}$ として存在することが分かる。循環系における容積比と硝化率との関係についてみると、本実験の範囲内では、硝化は滞留時間に関係なく進行することが分かった。なお、硝化に影響を及ぼす因子としては、DO、温度、pH、アルカリ度、アンモニア性窒素負荷などいくつか挙げられる。本実験ではDO濃度は5 mg/l以上、温度は20°C一定にして運転し、この二つの因子が反応律速にならないようにした。そこで対象因子としてpH、アルカリ度、アンモニア性窒素負荷に着目して検討を加えた。

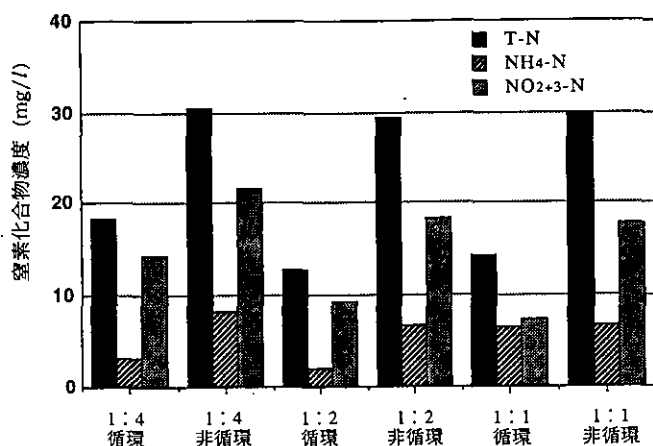


図8 T-N, NH₄-N, NO₂₊₃-Nの形態別窒素濃度

① pH

好気性ろ床でアンモニア1 molが酸化すると2 molの水素イオンが放出されることによりpHの低下が起こる。また硝化細菌はpH6以下になると代謝活性の低下することが知られている。このように、pHは生物処理において重要な因子となっている。嫌気性ろ床ではpHが6.5~8.0であり、嫌気性ろ床の容積比が小さくなるほど循環系のほうが非循環系よりpHが低下する傾向にあった。特に容積比が1:4の系では循環系のpHが6.7であるのに対し、非循環系が7.3とpHが低下する傾向が強かった。すなわち、循環系においては嫌気性ろ床が小さいほど脱窒は不十分となりアルカリ度の補給が減少したこと、また好気性ろ床では硝化が効率的に安定して進むことでアルカリ度の消費が増加したことにより、循環さ

れた後嫌気性ろ床でのpHが低下したものと考えられる。一方、好気性ろ床では循環系のpHが5.0~8.0で、特に1:1循環の系のpHが6.5~8.0付近へと上昇し、また好気性ろ床内の $\text{NH}_4\text{-N}$ が増加する傾向にある。そのため容積比1:1の好気性ろ床が小さい系では、嫌気性ろ床における脱アミノ化が効率的に安定して進んでも好気性ろ床での硝化反応が追いつかず、再び嫌気性ろ床に循環され、そこで脱窒が効率的に進行しても $\text{NO}_{2+3}\text{-N}$ の絶対量が少ないため脱窒量も少なくなるものと考えられる。それゆえ、嫌気性ろ床が大きいと放流水のT-Nは減少しても $\text{NH}_4\text{-N}$ を多く含んだ処理水が得られることになる。また、非循環系においては硝化が極端に進行し、pHが3.3~4.5と非常に低く窒素の除去がほとんど行われなことが確認された。

② アルカリ度

容積比を変化させた循環系のアルカリ度についてみると、1:4循環系で13.8 mg/l、1:2循環系で15 mg/l、1:1循環系で56.3 mg/lであったが、非循環系では硝化反応でアルカリ度が消費されたため検出されなかった。循環系においてpHが高かったのは嫌気性ろ床で $\text{NO}_3\text{-N}$ 1 mg/lが窒素ガスに還元される際に3.5 mg/lのアルカリ度が放出されることによる。この脱窒によるアルカリ度の補給が好気性ろ床における硝化反応で放出される水素イオンを中和する方向に働いたことにより、pH低下が抑制されたと考えられる。

③ アンモニア負荷

硝化細菌は独立栄養細菌に属する好気性細菌であり無機栄養源であるアンモニアを選択的に摂取し増殖するが、過剰の $\text{NH}_4\text{-N}$ が存在すると硝化反応は阻害されることが知られている。本実験の好気性ろ床におけるアンモニア負荷は、硝化を行うための限界窒素負荷である0.35 kg/m³/日(20°C)より極めて小さく、脱アミノ反応が完全に進行したと仮定しても1:4の系で0.063 kg/m³/日、1:2の系で0.075 kg/m³/日、1:1の系で0.100 kg/m³/日であった。このように好気性ろ床で硝化が効率的に進行したのはアンモニア負荷が小さかったことと密接に関係があると考えられ、本実験で生活排水程度の窒素濃度の有機性排水を処理する場合、硝化能は影響を受けないことを意味している。

(B) 亜硝酸性窒素、硝酸性窒素の脱窒

脱窒は有機炭素源の存在下で嫌気性ろ床内の従属栄養細菌に属する通性嫌気性細菌である脱窒細菌の働きに

よって行われる。脱窒細菌は硝化細菌と異なり、増殖する上で呼吸に必要な酸素源として分子状酸素ではなく $\text{NO}_{2+3}\text{-N}$ 中の結合酸素を利用し、かつ有機炭素源を必要とする。このため従来はエネルギー源としての有機炭素としてメタノールが用いられてきた。しかし、本実験では循環を組み込み水素供与体としての有機炭素源を嫌気性ろ床下部に流入する人工排水から供与されるようにした。このような条件下の嫌気性ろ床の脱窒能は、嫌気性ろ床の流入水と流出水の $\text{NO}_{2+3}\text{-N}$ の濃度の差から知ることができる。循環系における容積比と脱窒率との関係を図9に示す。 $\text{NO}_{2+3}\text{-N}$ の脱窒率は1:1循環系において最も高く、嫌気性ろ床の容積の比率が小さいほど低下した。また、脱窒速度と密接に関係する因子であるDO、酸化還元電位(以下ORP)について着目し、容積比との関係について検討した。DOは嫌気性ろ床内では全く検出されず、好気性ろ床から持ち込まれるDOの影響がないことが分かった。ORPはDOがない条件下においての酸化還元状態の程度を知る重要な指標であるが、容積比の違いにより大きく異なり1:4循環系、1:2循環系、1:1循環系でそれぞれ-100 mV、-170 mV、-220 mVであり、嫌気性ろ床容積が大きくなるにつれてORPも低

下する傾向にあることが分かった。この嫌気性ろ床におけるORPの差は、好気性ろ床からDOを含んだ循環水が嫌気性ろ床に流入するため生じたものであり、ORPの上昇の影響は嫌気性ろ床の容積の小さい1:4循環系で顕著であった。嫌気性ろ床における脱窒速度はORPと密接な関係にあり、脱窒のための最適ORPが-100 mV~-200 mV付近であると報告されている。本実験では1:2循環系の-170 mV付近を示す系で最も高まるものと考えられる。また、嫌気性ろ床における窒素除去能は

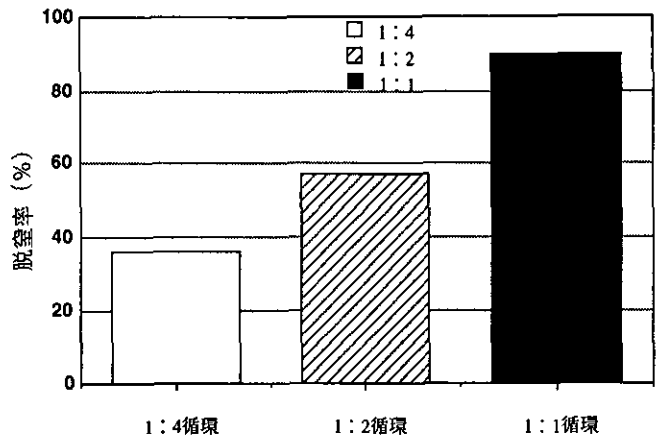


図9 循環系における容積比と脱窒率の関係

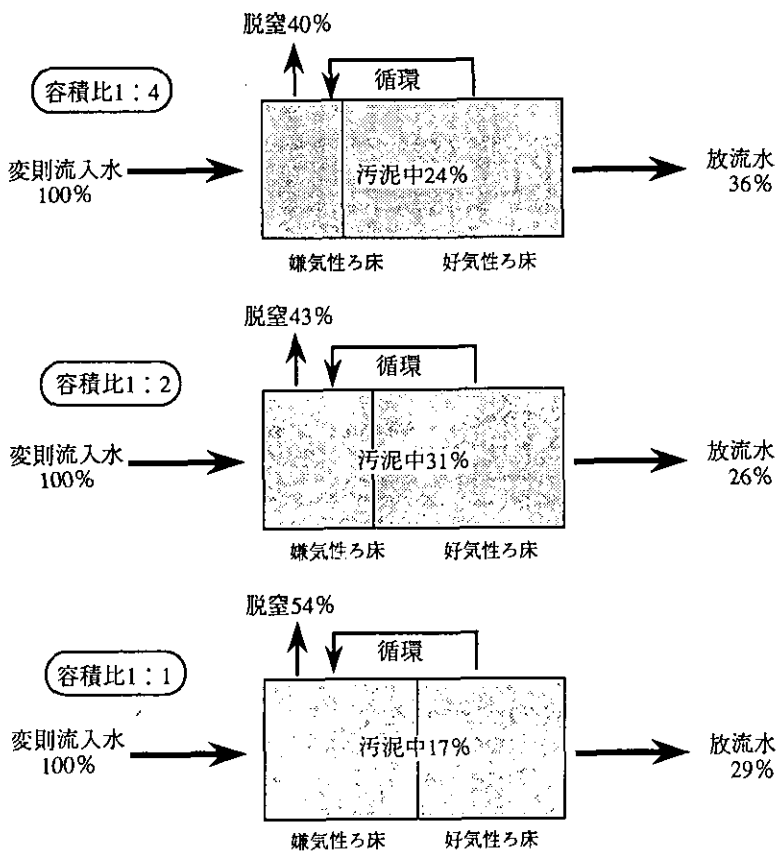


図10 嫌気好気循環系における窒素の収支

1:2 循環系において最も高くなることが分かる。また、窒素の収支として求めたものを図 10 に示した。

2) 有機物除去特性

嫌気性ろ床および好気性ろ床における有機物除去能の評価は、嫌気性ろ床処理水では TOC, 好気性ろ床処理水では TOC, BOD, COD について着目して行った。処理水中の TOC 濃度と容積比の関係をみると、処理水の有機物濃度は嫌気性ろ床および好気性ろ床処理水における差がほとんどなく、有機物の大部分が嫌気性ろ床で除去されていることが分かった。非循環系の嫌気性ろ床における有機物除去は主としてメタン生成菌などの絶対嫌気性菌による有機物の分解、ガス化により行われ、循環系の嫌気性ろ床での有機物除去は主としての $\text{NO}_{2+3}\text{-N}$ の窒素ガス化に伴う脱窒細菌の有機炭素源の取り込みにより行われるが、このように循環系と非循環系で有機物除去能が同程度であったのは、循環に伴い活性を示す生物相が変化し、両者とも活性が高く維持されその除去量に大きな差が生じなかったことによるものと考えられる。循環系において好気性ろ床で完全に硝化が進行し 80% の脱窒が行われたと仮定すると、およそ BOD が $\text{NO}_{2+3}\text{-N}$ の 3 倍量消費されることからその除去量は $50 \times 0.8 \times 3 = 120 \text{ mg/l}$ にもなり、これからも除去能が大きいことが分かる。このように、循環の有無および容積比による著しい差は認められなかったが、いずれの容積比においても TOC は 90% 程度除去されており循環の有無は有機物除去能に大きな影響を及ぼさないことが分かった。すなわち、嫌気性ろ床で有機物除去能を高めるには BOD 負荷を低くすることが重要ではないかと考えられる。なお、有機物除去能という観点からは循環式嫌気・好気生物膜法において嫌気性ろ床の役割は大きい、好気性ろ床は浮遊物質の除去、透視度の向上という点から大きな効果を発揮していることが分かった。

3) 汚泥生成量

実験開始時、嫌気性ろ床に 6000 mg, 好気性ろ床に 4300 mg の汚泥を接種した。汚泥転換率については実験終了時と開始時の槽内汚泥量の差と槽外流出量を合計した汚泥発生量と除去 TOC 量から求めた。汚泥転換率は容積比 1:4 循環系で 16.7%, 非循環系で 11.7%, 1:2 循環系で 12.1%, 非循環系で 9.0%, 1:1 循環系で 13.0%, 非循環系で 9.2% と嫌気性ろ床の比が小さくなるにつれ低下し、また非循環系よりも循環系のほうが大きい値となった。非循環系に比べて循環系において汚泥

生成量が大きかったのは、非循環系では嫌気性ろ床が完全嫌気状態となり嫌気代謝、メタン発酵によるガス化が効率良く進行し汚泥転換率が小さかったためであり、循環系では完全嫌気状態が通性嫌気状態になったことにより汚泥転換率が大きくなったものと考えられる。このように、汚泥発生量という観点から見ると循環系は非循環系より 30% 程度大きくなる。しかしながら、従来の好気性みの生物処理法に比べると、最も汚泥転換率の大きかった循環系においてもかなり小さく、嫌気性反応槽を組み込む効果は十分発揮されていることが分かった。なお、汚泥転換率が小さいと発生汚泥の処理処分や処理装置の維持管理という観点からも極めて有効であるが、窒素除去および有機物除去においてまでも考慮すると、循環系は非常に優れたプロセスであると考えられる。

4) 生物膜の微生物相

嫌気性ろ床において循環の有無により著しく差が認められた微生物は嫌気性原生動物に属する *Metopus* sp., *Paramecium* sp., *Trinema* sp. 及び *Urozoa* sp. であった。これらの 3 種の原生動物は非循環系では多量に認められたが、循環系では個体は確認されたもののその数は少なかった。このことは循環することにより ORP が上昇することと密接な関係にあると考えられる。しかし、循環系でも嫌気性原生動物が生息できたのは循環による DO の持ち込みがあってもすぐに嫌気性ろ床で消費されるためと考えられる。嫌気性原生動物の重要種である *Metopus* sp. について見ると嫌気性ろ床と好気性ろ床の容積比 1:4 より 1:1 のほうが循環系においてもその個体は多量に出現している。これは容積比 1:1 に近づくほど嫌気性ろ床の容積が大きくなり、循環水が流入しても嫌気性雰囲気が強固に保持されていることを示している。また容積比 1:2 循環系でも同様の傾向が認められた。このように微小生物相からも、循環系で特に容積比 1:1, 1:2 における嫌気性ろ床では脱窒反応が起こるに十分な状態が保持されていたことが裏付けられた。また、特に循環系では好気性の微小動物も観察されたが、これは好気性ろ床から循環水が流入する部分に生息していたためと考えられる。好気性ろ床における生物相についてみると、硝化が進行しているときに出現する指標生物である原生動物肉質虫類の *Centropyxis* sp. がいずれの系においても多量に観察された。また、好気性ろ床の微生物相で著しく大きな差が認められたのが軟体動物の巻貝類の *Physa acuta* であった。巻貝類は特に循環系におい

て多量に出現し、非循環系においては個体数は少なかった。この巻貝類は生物膜法の反応槽内に多量に出現すると生物膜を摂食して障害を引き起こす生物といわれているが、本実験の範囲内の個体数では処理性能に悪影響を及ぼすことはなかった。これは非循環系では巻貝類が出現した場合、生物膜が摂食されかつ硝化も進行して pH が低下して微生物の分散化の起こる可能性があるのに対して、循環系では硝化された水は嫌気性ろ床で脱窒され、そのとき生ずるアルカリ度により好気性ろ床の pH が中性付近に維持されることにより微生物の分散化が起こりにくくなるためと考えられる。このように、生物膜の微生物相は循環の有無および嫌気性ろ床と好気性ろ床の容積比の差により変化することが分かった。なお、本方式の処理特性と効果について図 11 に示した。

(4) まとめ

本研究は単独処理浄化槽放流水と生活雑排水を処理する変則合併処理浄化槽において、富栄養化の制限要因の一つである窒素までも効率的に除去するプロセスの開発について嫌気性ろ床と好気性ろ床の容積比、循環の有無に着目して検討したものである。得られた成果は以下のようにまとめられる。

1) 好気性ろ床における硝化反応は、嫌気性ろ床における脱窒に際してのアルカリ度の補給により pH がおおむね中性付近に保たれることと BOD 負荷が低かったことから効率良く進行し、循環系のいずれの容積比においても硝化率 90% 以上が得られた。

2) 嫌気性ろ床における脱窒反応と密接に関連する ORP は循環系において容積比による影響を受け、1:4 で -100 mV, 1:2 で -170 mV, 1:1 で -220 mV 付近であった。なお、脱窒速度としては 1:2 循環において最も高い値が得られた。また、嫌気性ろ床 1 日当たりの窒素除去量から見ても 1:2 が最も高かった。

3) 嫌気性ろ床および好気性ろ床の有機物除去能は、循環の有無、容積比においても大きな差はなく嫌気性ろ床のみで TOC の 90% 程度除去されることが分かった。

4) 汚泥転換率は嫌気性ろ床の容積が大きくなるほど低く、循環系においては 1:1 が最も低い 13% であった。

5) 嫌気性ろ床の生物相で *Metopus* sp., *Paramecium* sp., *Trimyema* sp., *Urozona* sp. といった原生動物は非循環系で多量に観察されたが、循環系では嫌気性ろ床の容積比が小さいほど個体は確認されたもののその数は減少し、好気性微小動物が観察されたので好気性雰囲気が強いためと考えられる。一方、好気性ろ床の生物相に

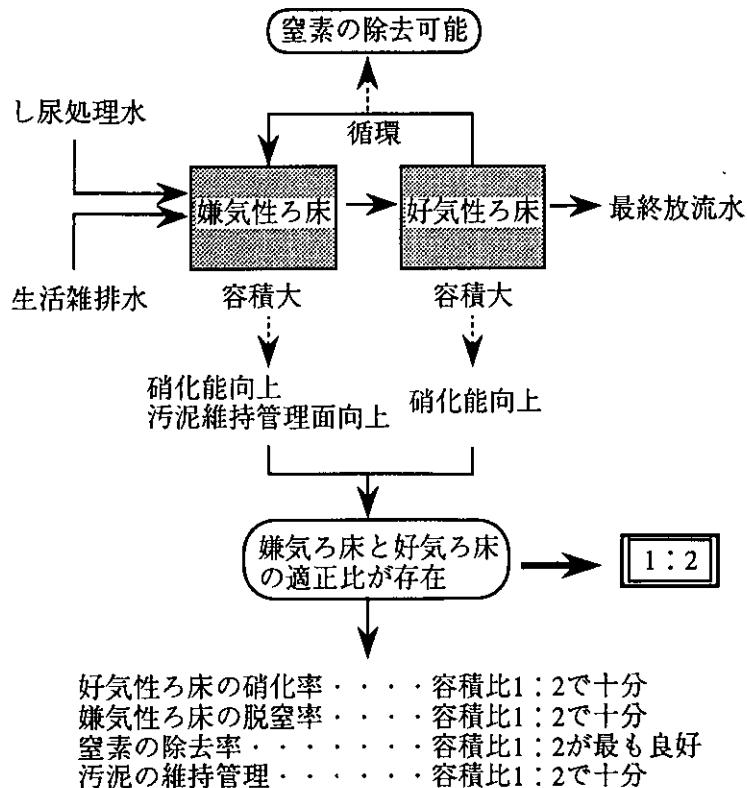


図 11 嫌気好気循環型変則合併処理浄化槽の効果模式図

は *Centropyxis* sp. がいずれの系においても多量に存在しており良好な硝化の進行の裏付けとなった。

2.2.2 嫌気好気活性汚泥法における栄養塩類の除去システム

(1) はじめに

窒素及び BOD の同時除去を行うとすると、制限ばつ気回分式活性汚泥法、間欠ばつ気回分式活性汚泥法及び排水分割回分式活性汚泥法等が、維持管理も容易であり、施設の運転及び維持管理技術者を常駐することが困難な場所に設置するのに適していると考えられる。

本研究は、間欠ばつ気回分式活性汚泥法において、従来の報告が間欠ばつ気時の 1 サイクルの嫌気と好気の設定時間比あるいは ORP の設定値を変えて窒素除去の適正条件を設定していたのに対して、嫌気と好気の設定時間比を工程内の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を指標として空気量のコントロール（以下 $\text{NH}_4\text{-N}$ 制御という）等の運転条件を変えて設定するという新しい制御法に着目したものであり、本法による最適条件を明らかにすることを目的として検討を行ったものである。

(2) 方法

1) 人工排水の調整

人工排水は、湖沼へ流入する生活雑排水の水質調査結果等より、濃度の高い生活雑排水が流れる朝方の平均水質を参考にして、BOD、T-N、T-P 濃度をグルコース、ポリペプトン、無機塩類等で調整したものを使用した。

2) 処理装置の概要

本実験に用いた実験装置は、透明塩化ビニル製の角型反応槽(有効容積 3 L)10 槽及び運転制御用のコンピュータ (ヒューレットパッカー社製コントローラー: HP-85, リレーユニット: 3488 A) 等で構成されている。各反応槽には流入電磁弁、流量計、散気管、かくはん用スターラー及び水位レベル計 (水位センサー、水位制御器) が付設してある。

処理装置の稼働原理を以下に示す。人工排水は、原水槽から流入用ポンプによって各反応槽に送られて一定の水位になると水位レベル計と流入用電磁弁が作動して槽内への流入が停止する。槽内の排水のかくはんはスターラーで、またばつ気は塩化ビニル管に小さな穴を開けた散気管に、空気量を流量計で調節しながら送気用ポンプを用いて通気し行った。

上澄水の排出は、反応槽に接続してある排出分岐管から排出用ポンプで行い、反応時の液量の半分まで水位が低下すると水位レベル計によって感知されポンプが停止するようにした。

3) 実験条件

種汚泥は、団地の長時間ばつ気方式浄化槽の返送汚泥を用いた。本実験においては、人工排水の流入開始時より上澄水排出終了時までを 1 サイクル (8 時間又は 6 時間) とし、それを繰り返した。1 サイクルは流入嫌気工程 (2 時間でそのうち人工排水の流入時間は 10 分間)、間欠ばつ気工程 (6 時間又は 4 時間)、静置工程 (1 時間) 及び排出工程 (1 時間) の計 4 工程で構成するようにした。

流入嫌気工程は人工排水の流入とかくはんのみによる嫌気反応を行い、間欠ばつ気工程はばつ気による好気反応 (以下好気反応の時間はばつ気時間と称す) 及びかくはんによる嫌気反応 (以下嫌気反応の時間はかくはん時間と称す) を一定の時間間隔で交互に繰り返すようにした。静置工程はかくはん及びばつ気を停止し、汚泥を沈降させ、排出工程において汚泥沈降後の上澄水を排出するようにした。なお反応槽内の液量は流入嫌気工程終了時で 3 l、排出工程終了時で 1.5 l である。また実験期間中、MLSS 濃度は 2700~3000 mg/l、反応槽内の水温は 21~23°C に保つようにした。

(3) 結果および考察

1) 間欠ばつ気工程におけるばつ気時間およびかくはん時間比の選定

間欠ばつ気工程におけるばつ気時間及びかくはん時間の処理効果への影響については図 12 に示す運転条件で検討した。ここで、RUN 1 は、BOD 除去のみを目的とする対照としての回分式活性汚泥法、RUN 2 は、T-N、T-P 処理を目的とする制限ばつ気式回分式活性汚泥法、RUN 3~11 はばつ気時間、かくはん時間を変えた間欠ばつ気式回分式活性汚泥法である。

RUN 1~11 のいずれも 1 サイクルの運転時間は 8 時間としたが、RUN 1 は人工排水の流入と同時にばつ気を 6 時間行った後、静置、排出を各々 1 時間行い、RUN 2 は流入嫌気工程 (人工排水の流入時間: 10 分) を 2 時間、ばつ気を連続して 4 時間行った後、静置、排出を各々 1 時間行い、RUN 3~11 は、RUN 2 と同様に流入嫌気工程を 2 時間、間欠ばつ気工程を 4 時間、静置及び排出工程

をそれぞれ1時間で行うようにした。なお、RUN 3~11 においては、間欠ばっ気工程は、図 12 に示すようにばっ気時間とかくはん時間を種々の組み合わせで運転し、適切なばっ気時間とかくはん時間の比を見いだすための検討を行った。

これらの組み合わせで、間欠ばっ気終了時の前に 25 分以上のかくはんが続く場合、排出時における処理水の DO 低下を防ぐため工程終了前に 5 分間のばっ気を行った。なお、RUN 1~11 におけるばっ気時の空気量は DO で 1~3 mg/l になるように調整した（以下 DO 制御という）。以下においては運転開始後処理性能の安定した時

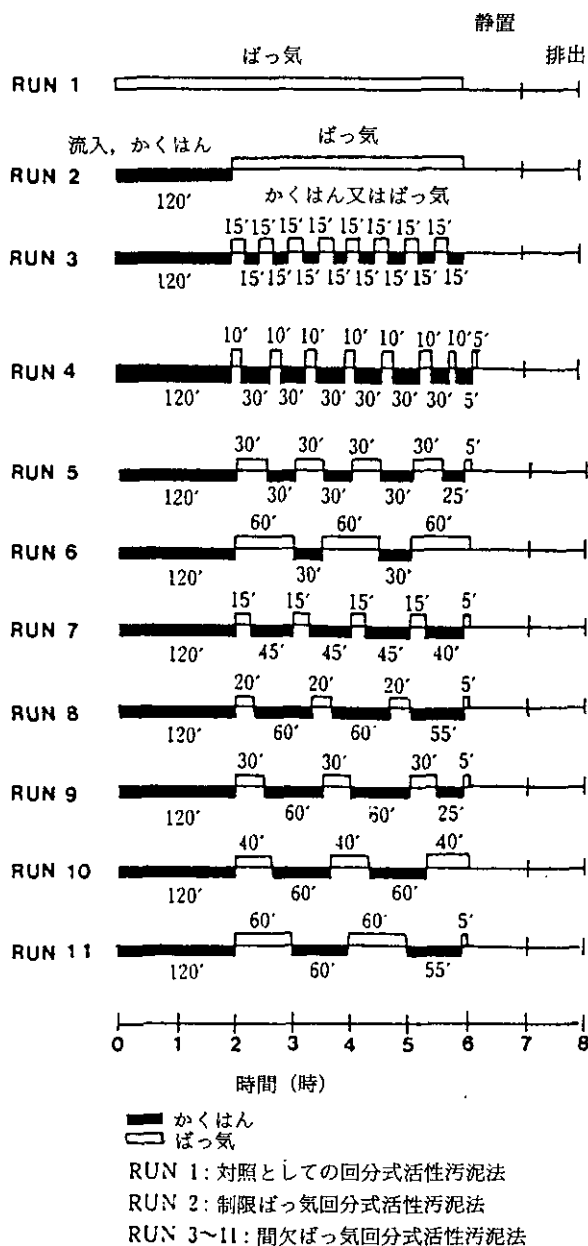


図12 間欠ばっ気SBRプロセスのDO制御下における操作条件

期で評価を行った。

T-Pの処理効果の一例を図13に示す。流入嫌気工程のないRUN 1は、処理時間に伴うT-Pの減少がほとんど認められなかったが、RUN 2~11においては、RUN 8と同様な濃度変化を示した。T-P濃度は、流入嫌気工程では汚泥からのリン放出により高まり、間欠ばっ気工程ではリンが汚泥に吸収されるため検出されなくなった。このことは生物学的リン除去法で得られている結果とよく一致していた。

RUN 1では脱窒反応が行われる流入嫌気工程及び間欠ばっ気工程がないためT-Nの除去率は約5%と低かった。RUN 2では流入嫌気工程があるため約40%のT-N除去率が得られた。

RUN 3~11の間欠ばっ気を組み込んだ回分式活性汚泥法においては55~88%とRUN 1及びRUN 2と比べ高いT-N除去率を示した。しかし、RUN 3~11の中でもばっ気時間とかくはん時間の比の違いによりT-N除去率にかなりの差が認められた。その原因として処理工程中のNH₄-N濃度の挙動があげられる。

生物処理過程では通常有機物の除去が行われた後、NH₄-Nの硝化反応が進行することが知られている。NH₄-Nの減衰速度が速く、ばっ気終了以前にNH₄-Nが上澄水で検出されなくなり、硝酸性窒素濃度が高まる

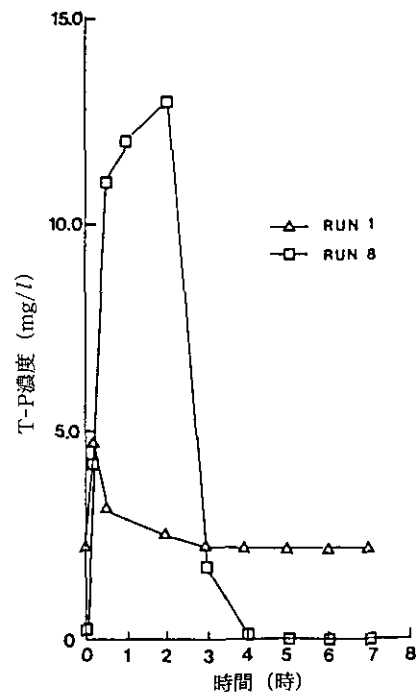


図13 1サイクル中におけるT-P濃度のプロフィール

条件では脱窒用の有機炭素源がほとんど消費され、T-N 除去率が低下するし、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の減衰速度が遅いと硝酸性窒素濃度が高まらず脱窒用の有機炭素源が残存しているにもかかわらず T-N 除去率が低下することになる。また、DO 濃度は脱窒反応を進める上での重要な因子であるが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度が高い状態ではばっ気停止後の DO の低下速度が速いのにに対して、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度が低く硝化が進行している状態ではばっ気停止後の DO の低下速度が遅いという現象も観察されている。

これらのことから、硝化脱窒を効率よく進める上では適正な条件設定が必要と考えられ、この条件を左右する因子として、DO、ORP などいくつか考えられるが、ここでは $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度に着目し $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の制御因子としての適用性についての評価を行うことにした。

$\text{NH}_4\text{-N}$ に着目して窒素除去能を評価すると RUN 3, 5, 6 のように間欠ばっ気工程開始後 2 時間で $\text{NH}_4\text{-N}$ が検出されなくなるような運転条件では T-N 除去率は 55~68%、RUN 4, 9, 10, 11 のように間欠ばっ気開始後 3 時間で $\text{NH}_4\text{-N}$ が検出されなくなる運転条件では T-N 除去率は 71~79%、RUN 7, 8 のように間欠ばっ気終了時に $\text{NH}_4\text{-N}$ が検出されなくなるか又は若干残存しているような運転条件では T-N 除去率は 84~88% と $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度により窒素除去能に差が生じることが分かった。なお RUN 2~11 において間欠ばっ気工程内のばっ気時の DO 最大値はいずれの場合も 1~2 mg/l であった。

これらの結果から、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の違いにより、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が工程終了時手前 2 時間で検出されなくなるグループ、1 時間で検出されなくなるグループ及び 0 時間（工程終了時）で検出されなくなるグループの 3 つに分かれ、このうち、工程終了時で $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が検出されなくなるグループがもっとも T-N 除去率が良好であり、工程終了時手前 1 時間目で $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が検出されなくなるグループが次に良好で、工程終了時手前 2 時間目で $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が検出されなくなるグループが最も除去率が低下することが分かった。

このことから、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が検出されなくなる時期が工程終了時に近づく条件ほど T-N 除去率が良好になるものと評価された。すなわち、T-N の処理には間欠ばっ気時の処理時間の経過に伴う $\text{NH}_4\text{-N}$ の減少がほぼ直線的で、間欠ばっ気終了と同時に $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度として約 0.5 mg/l とほとんど $\text{NH}_4\text{-N}$ が検出されなくなる

ような運転条件がよいと考えられる。

有機物除去と硝化反応が同時に進行する条件では、脱窒用の有機炭素源が残存し効果的脱窒反応が進行することおよび工程終了近くの嫌気反応時でも有機炭素の除去や硝化反応の進行による DO 消費によって、短い時間で DO が低くなることが観察されているため、その分脱窒時間を多く取ることが可能となる。

以上のことから、間欠ばっ気工程時の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度がほぼ直線的に減少し、工程終了時でほとんど検出されなくなるように処理を行うと、T-P、T-N 及び BOD の効果的除去が期待できることになる。

2) $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度制御による T-N 除去効果

T-N 除去を効果的に行うために (1) の RUN 7 及び 8 の結果から間欠ばっ気工程終了時の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度がほぼ検出されなくなるように維持することが重要であることが明らかになった。このことから、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度制御により T-N 除去率がどの程度向上するかを実証するために、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の減少が速かった RUN 5 及び RUN 11 に着目し $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度をコントロールしながら運転し、T-N の除去効果について検討した。

ここで、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度はばっ気時の空気量を微調整することにより制御した。また空気量は工程終了時で $\text{NH}_4\text{-N}$ がほぼ検出されなくなる量で行ったが、汚泥濃度の変化等によって工程終了時の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度も若干変わるため週 2 回程度の割合で $\text{NH}_4\text{-N}$ を測定し必要に応じて空気量の微調整を行った。なお、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 制御を行った RUN 5 及び RUN 11 は以下各々 RUN 12 及び RUN 13 と称することにする。

RUN 12 及び RUN 13 で人工排水を処理したときの T-P、T-N 及び $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度の経時変化より、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 制御による T-N 除去率は、RUN 12 が RUN 5 より 14% 高い 82% に、RUN 13 が RUN 11 より 17% 高い 88% に向上した。

この結果は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を指標として間欠ばっ気工程のばっ気開始時とばっ気停止時における $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が直線的に減衰するように空気量をコントロールすることにより窒素除去効果を向上させ得ること、すなわち、ばっ気時間において硝酸性窒素濃度と脱窒用の炭素源としての有機物濃度が適切に維持される条件が次の非ばっ気時の工程において低 DO を保持しつつ脱窒を効果的に行うことを可能ならしめるものであり、本制御法を用いることにより達成できることを意味

している。

3) $\text{NH}_4\text{-N}$ 制御における適正かくはん時間の選定

$\text{NH}_4\text{-N}$ 制御を行えば効果的な窒素除去が行えることが明らかとなったが、更に効率的除去をめざすためには RUN 12 と RUN 13 との間の T-N 除去率 6% の差を解明する必要がある。

通常間欠ばっ気工程のかくはん時に脱窒反応を十分進めるためには槽内の DO を 0 mg/l に近づける必要があるといわれている。しかし、本実験においてばっ気工程からかくはん工程に移行してから、DO が 0 mg/l 程度に下がるまでには時間を要し、特に間欠ばっ気工程終了時近くのかくはん操作が DO 低下を抑制するのが観察された。

このことから、RUN 12 と RUN 13 の T-N の除去率の差は、間欠ばっ気時の総かくはん時間数が同じでも、かくはん回数が RUN 12 の方が RUN 13 の 2 倍であり、DO が下がるために多くの時間を費やすことから脱窒反応の総時間が短くなり、除去率に影響を及ぼしていることが原因と考えられた。そこで、さらに T-N 除去能を向上させるには、間欠ばっ気工程のかくはん回数を少なくすることが必要ではないかと考え検討を加えた。

その結果、かくはん回数を少なくするためには 1 回のかくはん時間を長くする必要があること、かくはんを 60 分以上行くと汚泥からリンが溶出する可能性のあることなどを考慮すると、かくはん時間は 60 分程度が適正ではないかと考えられた。

なお、間欠ばっ気工程の一部に主として 60 分間かくはんを設けた場合の運転条件を図 14 に示す。RUN 14 は RUN 12 において間欠ばっ気工程で 30 分間かくはんを 4 回行うところを 30 分 2 回と 60 分 1 回に変えたものである。この場合、ばっ気は 30 分 2 回と 55 分 1 回にして行い空気量は $\text{NH}_4\text{-N}$ 制御で調整した。

RUN 14 を例とした T-P, T-N, 及び $\text{NH}_4\text{-N}$ の経時変化を図 15 に示す。処理水の T-P は 0.1 mg/l 以下(除去率約 100%)と良好な除去効果が得られた。T-N 除去率は RUN 12 よりさらに 6% 向上して 88% となり、間欠ばっ気工程の一部に 60 分間かくはんを設けたことによる効果が確認された。なお、処理水 BOD は 4 mg/l 以下(除去率 98% 以上)と極めて良好であった。

4) T-N 等の除去能向上のための適正流入嫌気工程時間の選定

本実験では流入嫌気時間を 2 時間に設定してきたが流

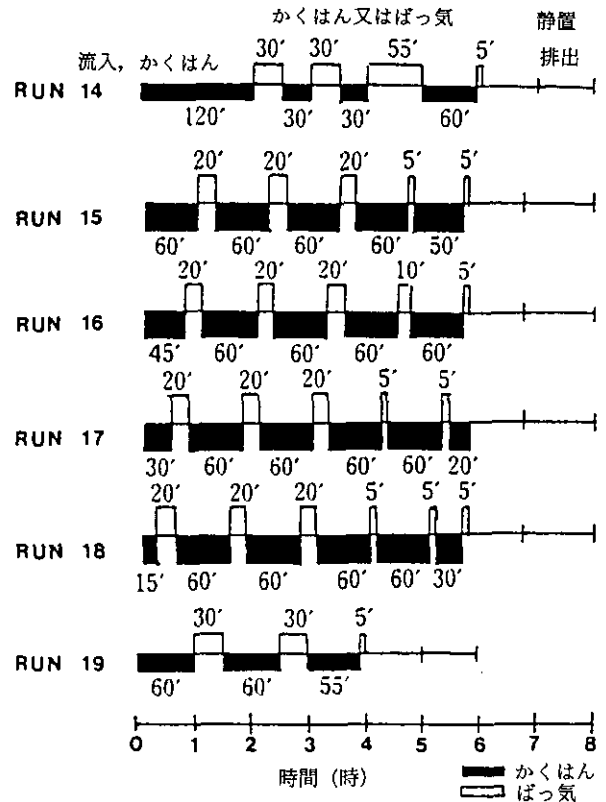


図14 間欠ばっ気SBRプロセスの $\text{NH}_4\text{-N}$ 制御下における操作条件

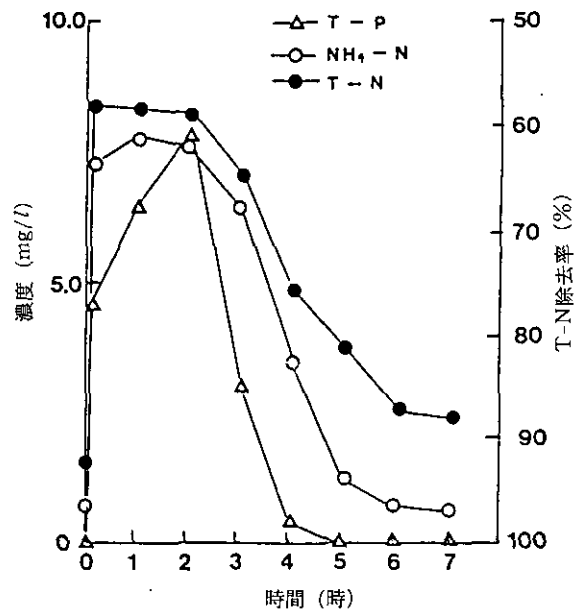


図15 RUN14におけるT-N, T-P, $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度のプロフィール

入嫌気工程の時間が窒素、リン等の除去能にいかなる影響を及ぼすかを明らかにするために、流入嫌気工程時間を減らした場合の検討を行った。すなわち(1)の実験において良好な処理効果を示したRUN 8の2時間の流入嫌気工程を60、45、30及び15分に各々変えた場合の処理効果について検討した。流入嫌気工程の時間を減らすことでT-P除去率が変化するのではないかと考えらえたが、いずれの運転条件でも処理水のT-Pは0.1mg/l以下と良好であった。

しかし、T-Nは流入嫌気工程を短くすることにより向上し、流入嫌気工程が15~60分の場合120分の場合より除去率は7%向上し、95%以上となった。また、処理水のBOD濃度はいずれの条件下でも4mg/l以下と良好であった。

このことは1サイクル中での間欠ばつ気工程が長くなると窒素除去能が向上することを意味している。また、図16は、流入嫌気工程と反応槽内の汚泥からのリン放出量との関係を示したものであるが、流入嫌気工程の時間が長くなるとリン放出量は増大するのが明らかに認められる。リン放出量が多ければ、リン除去量が増大することが報告されているが、このことは流入嫌気工程が短すぎるとリン除去能が不安定化する危険性を示唆するもの

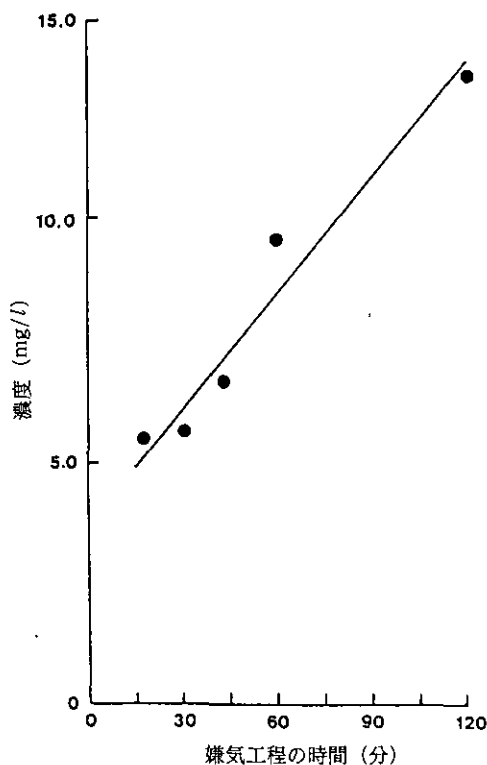


図16 RUN8, 15~18における嫌気時間の経過時間とリン放出量との関係

である。

以上の結果より、窒素除去からみると流入嫌気工程は120分以下、リン除去からみると30分以上は必要であることが分かる。このことから、最適流入嫌気工程時間はおおむね60分であると考えた。

5) 流入水 T-N 濃度の処理効果への影響

T-N濃度は表6に示すとおり20mg/lに設定して検討してきたが、T-N濃度を増加させた場合の除去能に及ぼす影響を見るため、流入水T-N濃度を30、40及び45mg/lに設定した人工排水を用いて検討した。運転条件はRUN 15と同じで、空気量はNH₄-N制御で調整した。

T-Pについて流入水T-N濃度が30、40及び45mg/lと増加しても生物学的リン除去が行われ、処理水T-P濃度は0.1mg/lと良好であった。T-N除去率は流入水のT-N濃度30、40及び45mg/lにおいて各々93、92%及び90%であった。

流入嫌気工程では、引抜比1/2で引き抜いたあとと排出されず残存した上澄水中のNO_x-Nが脱窒によって減少し、間欠ばつ気工程では硝化による増加と脱窒による減少が生じ山型のパターンを示した。NH₄-NとT-Nについてはこれまでの実験結果と同様のパターンを示した。

このため、1日3サイクルで90%以上の除去率で処理可能な最大T-N濃度はBOD 200mg/lで45mg/lと考えられる。なお、処理水のBODは実験を行ったいずれのT-N濃度においても4mg/l以下であった。

流入水T-N濃度が20mg/lと低い場合は汚泥の引き

表6 人工排水の組成と水質

a. 組成

試薬 (mg/l)	
CaCl ₂ ·2H ₂ O	50
MgSO ₄ ·7H ₂ O	150
NaCl	100
NaHCO ₃	150
KH ₂ PO ₄	25
(NH ₄) ₂ SO ₄	70
グルコース	140
ペプトン	140

b. 水質

水質 (mg/l)	
pH	7.0~7.2
BOD	200
COD	120
T-N	20
T-P	6.0

抜きは1週間に1回程度でNH₄-N制御及びT-N除去率への影響はみられなかったが、流入水T-N 40 mg/lと濃度が高い場合、一度にまとまった量の汚泥を引き抜くと硝化菌が減少して、硝化が進まなくなり、間欠ばっ気終了時に多くのNH₄-Nが残留してしまう現象が生じた。そこで流入水T-N濃度が40 mg/l以上の場合、一度に汚泥を引き抜かず、毎日少量ずつ汚泥を引き抜く操作を行うようにした。その結果、良好なT-Nの除去率を維持できることが分かった。このことは、T-N除去率を安定化させかつ微生物相を良好に維持するためには、汚泥の引き抜きは短い間隔で十分な注意をはらって行う必要のあることを意味している。

6) 流入嫌気工程における排水流入時間の処理効果への影響

1)~5)の実験では人工排水の流入時間を10分間で行ってきたが、流入時間が処理性能にいかなる影響を及ぼすかを明らかにするために、流入時間を60分に設定した検討を行った。なお、流入嫌気工程60分の間中均一に排水を流入させるようにしたのは、通常の回分式活性汚泥法における流入時間の設定が流入嫌気時間と排水流入時間を一致させるのを標準としている例が多いからである。

実験はRUN 15において排水の流入時間を60分間として行ったが、本条件においてもT-Pについては除去率100%、T-Nについては除去率94%が得られることが分かった。

このことから、排水流入時間10~60分の間では処理性能に著しく大きく影響を及ぼすことはないことが明らかとなった。

7) 1サイクルの運転時間の短縮の処理効果への影響

1)~6)の実験では、1サイクルの運転時間を8時間で行ってきたが、6時間に短縮した場合の処理効果について検討した。運転時間は図14のRUN 19に示す。すなわち流入嫌気工程は1時間、間欠ばっ気工程はばっ気30分かくはん60分の繰り返しで3時間行った。流入方法は(6)と同じ方法で行った。

その結果、処理水のT-Pは0.1 mg/l以下(除去率約100%)、T-Nは1.0 mg/l(除去率約95%)、BODは、4 mg/l(除去率98%以上)であった。また、同時に人工排水のT-N濃度を30、40及び45 mg/lに設定した場合の処理効果についても検討した。

流入水T-N濃度30 mg/lの場合の結果からみると、

流入T-N濃度が高くなっても1サイクル8時間の場合と同様に生物学的リン除去が効果的に行われ、処理水のT-Pは0.1 mg/lと良好であった。

T-N除去率は流入水T-N濃度30、40及び45 mg/lにおいて各々92、84及び82%であり、1サイクル8時間の運転時間に比べて流入水T-N濃度が高くなるにしたがって除去率は低下することが分かった。これは、間欠ばっ気工程時の嫌気反応時間が1サイクル8時間に比べて少なくなることが大きな原因と考えられる。このため、1サイクル6時間で、T-N除去率90%以上を達成するには流入水T-N濃度はBOD 200 mg/lに対して30 mg/lまでの範囲にあることが必要である。なお、BODはいずれの流入水T-N濃度においても4 mg/l以下であった。

(4) まとめ

本研究は生活排水等を処理するためのバイパス水路浄化法の一つとして、流入嫌気工程、間欠ばっ気工程、静置工程、排出工程の4工程で構成する間欠ばっ気回分式活性汚泥法に着目し、実際の現場の施設に適用する前に解決しておくべき窒素、リン、有機物を効果的に除去する基礎的条件を室内実験装置を用いて明らかにすることを目的として検討を行ったものである。得られた成果は以下のようにまとめられる。

1) 間欠ばっ気工程内のばっ気時間及びかくはん時間を流入嫌気工程2時間、間欠ばっ気工程4時間、静置工程1時間、排出工程1時間の計8時間を1サイクルとして、種々変えた場合の運転条件下でのBOD、T-N、T-Pの処理効果について検討したところ、間欠ばっ気工程時のNH₄-Nの減衰状態がほぼ直線的に減少し、かつ間欠ばっ気工程終了時にNH₄-Nが若干残留するように運転することにより窒素、リン、有機物のいずれをも効果的に除去できることが分かった。

2) 間欠ばっ気工程時に行う脱窒素のためのかくはん時間は1回当たり60分間が適切であることが分かった。

3) 流入嫌気工程時間が15分~120分の範囲においてBOD、T-N及びT-Pを安定に除去するためには60分が適正であることが分かった。

4) 間欠ばっ気回分式活性汚泥法の1サイクルの工程を6時間と8時間に設定して処理性能を比較したところ、1サイクル6時間よりも8時間のほうが除去能は高いことまた1サイクル6時間ではBOD、T-Pは90%以

上と高い除去が得られるが、T-N 除去率は1サイクル8時間に比べて低下し82%程度であることが分かった。

5) 流入嫌気工程において排水の流入時間を種々変化させて処理性能を比較したが流入嫌気工程時間内で均一に流入させても、短時間に流入させても除去効果に大きな差は認められないことが分かった。

すなわち本研究より、BOD、窒素及びリンを安定して高率に除去可能な回分式活性汚泥法の操作因子の適正条件を見いだすことができた。

2.2.3 生物学的栄養塩類除去システムにおける有用微小動物の役割

(1) はじめに

小規模排水処理における嫌気好気栄養塩類除去システムは、生物膜法が重要な位置づけにある。生物膜法では、浮遊微生物法としての活性汚泥法に比べて浄化に参与する微生物の種類が多だけでなく、食物連鎖の高次レベルに位置する貧毛類、輪虫類等の微小後生動物が高い頻度で出現し、優占化することを大きな特徴とする。

この生物膜を構成する微生物の中で、出現頻度、優占度の面で、重要な位置を占めると考えられる微小後生動物の浄化に果たす役割については、ほとんど解明されていない。

本研究では、生物膜を構成する細菌類、菌類、原生動物、微小後生動物の中で、顕微鏡下で容易に識別でき、出現頻度、優占度からみて最も重要と考えられる分離および継代培養に成功した輪虫類の *Philodina erythropthalma* および貧毛類の *Aeolosoma hemprichi* を選定し、これらの増殖および水質浄化特性を明らかにすることによって嫌気好気栄養塩類除去システムの中で重要な生物反応を担う好気生物膜における微小後生動物の浄化に果たす役割を解明することを目的とした。

(2) 方法

1) 微小後生動物相の調査法

微小後生動物の生物膜法における役割を明らかにするためには、生物膜において出現頻度および優占度の高い重要な微小後生動物に着目し、それらを分離培養し実験に供することが必要である。そのため、実際の生物膜法の処理施設における生物膜中の微小後生動物の調査を行わなければならない。本調査では、嫌気ろ床接触ばっ気法で処理している小規模の合併処理浄化槽15ヶ所

から採取した生物膜中の生物相を観察し出現個体数の優占度から重要な種類を選定することにした。生物膜は、直径10mm、長さ1mの透明なアクリルパイプを用い槽内5ヶ所ぐらいから吸引採取し、それらを混合したものを検鏡用試料とした。試料1mlを枠付き界線入りスライドグラスにとり顕微鏡下で計数および同定を行った。

2) 微小後生動物を用いた培養実験法

① 供試微小後生動物

微小後生動物としては、生物膜法の処理施設より分離した原始貧毛類の *A. hemprichi* と輪虫類の *P. erythropthalma* を用いた。

A. hemprichi は、貧毛類のアブラミミズ科に属し、大きさは1mm程度で、皮下に紅色を呈する油滴を含み、各体節には背腹に2対の剛毛束があり、横分裂法で無性生殖的に増殖する。食物源はおもに、細菌類からなる凝集体であるが、特定の細菌を捕食する狭食性である。凝集体を摂食することから凝集体摂食者と呼ばれる。*P. erythropthalma* は、体長200~400 μ mで、肢には背方に1本、末端に2本合わせて3本の趾があり、遊泳あるいは他物に付着しながら運動を行い、頭部に有する繊毛環の強力な繊毛運動により懸濁状の食物源を取り込む。分散状の細菌や微小ペン毛虫類等を繊毛運動によりろ過して取り込むことからろ過摂食者と呼ばれる。

② 供試培地

微小後生動物を培養する上で、培地の種類はきわめて重要であり、特定の組成からなる培地が必要とされる。この目的に最も適した培地がレタスと卵黄の抽出液からなるLE (Lettuce and egg yolk extract medium) 培地である。

③ 培養条件

培養器としては、LE培地98mlの入った、300ml容三角フラスコを用いた。この中に、細菌懸濁液および微小後生動物培養液を2mlずつ接種し、培養液を100mlとして20°C暗所下10日間静置培養し、その間微生物化学的な性状変化を経日的に追跡した。

培養系としては、細菌のみの存在する系(B系)、細菌と *A. hemprichi* の存在する系(BA系)、細菌を *P. erythropthalma* の存在する系(BP系)、および細菌と *P. erythropthalma* と *A. hemprichi* の存在する系(BAP系)とからなる。以下においては摂食機構を異にする微小後生動物のいずれか一方が存在するBA系、BP系を単独系、両方が存在するBAP系を共存系、微小後生動物の存在

しない B 系を対照系と呼ぶ。上記の培養系における微小後生動物の初期接種個体数は *A. hemprichi* 2 個体/ml, *P. erythrophthalma* 70 個体/ml である。

④ 増殖特性の評価法

本実験系において微小動物は約 10 日間にわたって対数増殖を示した。この期間における比増殖速度は次式によって算定した。

$$\mu = 2.303 \log (N - N_0) / (t - t_0)$$

ここで、 μ : 比増殖速度 (1/日)

N : t 日目の個体数

N_0 : 0 日目の個体数

⑤ 測定項目および方法

微小後生動物の個体数：培養液を均一になるように混合した試料を *P. erythrophthalma* では、0.05 ml, *A. hemprichi* では、1 ml 採取し、界線入りスライドグラスにのせ、顕微鏡下 (倍率 40 倍) で 5 回ずつ検鏡し、平均値から培養液 1 ml 当たりの個体数を算定した。

細菌の生菌数：培養液を均一になるように混合した試料 1 ml を採取し、滅菌水 9 ml の入った試料管に入れ、水冷下で超音波破砕器で 30 秒処理した。これを 10 倍ごとに希釈し数段階にわたって 1 ml ずつペトリ皿に滴下した。CGY (Casitone Glycerol Yeast extract) 寒天培地 10 ml を分注し、寒天が固まった後、20°C で 10 日間培養し生じたコロニーを計数した。1 試料につき平板培養を 3 枚ずつ行い平均値を生菌数とした。

バイオマス量：培養液の懸濁物質濃度をバイオマス量とした。ミリポアフィルター 0.45 μm で培養液をろ過し、105°C で 2 時間乾燥させた。

フロック径：培養液を界線入りスライドグラスに 0.1 ml 採取し、カバーグラスはかけずに直接、接眼マイクロメーターを用いてフロックの縦横の長さを測りその面積を求め、これを 30 回繰り返してその平均値をフロック径とした。

濁度：培養液を 1 時間放置した後の上澄液を採取し、それを試料として、濁度計を用いて測定した。

TOC：培養液を均一にかくはんした懸濁液および、培養液を 1 時間静置した後の上澄液を採取し、それを試料として全有機炭素分析計を用いて分析した。

(3) 結果および考察

1) 生物膜法の処理施設に出現する微小後生動物相
生物膜法で運転されている合併処理浄化槽から採取した生物膜中の微小後生動物の種類および個体数を計数した結果、節足動物の *Alona* 属, *Paracyclops* 属, *Cyprretta* 属, *Asellus* 属, 軟体動物の *Lymnaea* 属, 環形動物の *Aelosoma* 属, *Nais* 属, *Pristina* 属, 袋形動物の *Philodina* 属, *Cephalodella* 属, *Lecane* 属などが観察された。これらの微小動物の中で、特に出現頻度の高かったのが貧毛類と輪虫類であった。輪虫類では *P. erythrophthalma*, 貧毛類では *A. hemprichi* が出現頻度、優占度が高かった。このことから本研究における対象後生動物としては、この 2 種類に着目することにした。

2) 微小後生動物の水質浄化に果たす役割

水質浄化能を表す指標として、生物処理後の上澄液の濁度 (透明液) および残存有機物量があげられる。微小後生動物が最大個体数に達する 10 日目における培養上澄液の濁度および TOC を測定した。

上澄液の濁度は、図 17 に示すとおりである。B 系では 10.9, BA 系では 10.7, BP 系・BAP 系では 0.5 であった。細菌の存在のみでは、上澄液は著しく白濁しており、かつ凝集体摂食者の *A. hemprichi* が増殖しても白濁の程度はそれほど改善されなかった。しかし、*P. erythrophthalma* が増殖する系では、白濁した懸濁物質はろ過摂食されることにより透明化するのが確認された。上澄液の生菌数を測定した経日変化及び培養 10 日後の結果は、図 18 に示すとおりである。図 17, 18 より、濁度が高いほど生菌数は多く、濁度が低くなるほど生菌数は少なくなり、濁度は上澄液中に存在する生菌数に依存していることが分かる。すなわち、*P. erythrophthalma* は分散状態の細菌を捕食する特性があることから分散細菌は、*P. erythrophthalma* にろ過摂食されることになり、濁度は低下することになる。このため、*P. erythrophthalma* の増殖する BP 系, BAP 系の濁度が低くなる。上澄液の TOC 除去率は図 19 に示すとおりである。B 系では、細菌が分散しているため上澄液の残存 TOC も高いが、微小後生動物が存在することにより、凝集化と捕食により残存 TOC は低下する。特に、*P. erythrophthalma* は、分散細菌を捕食すると同時に凝集化を引き起こすことから、透明性を高め残存 TOC を低下させる。なお、*A. hemprichi* と *P. erythrophthalma* の共存系では、細菌活性、捕食活性が高まることにより、TOC 除去能はさらに高まるものと思われる。それ故、TOC 除去率は、B 系、

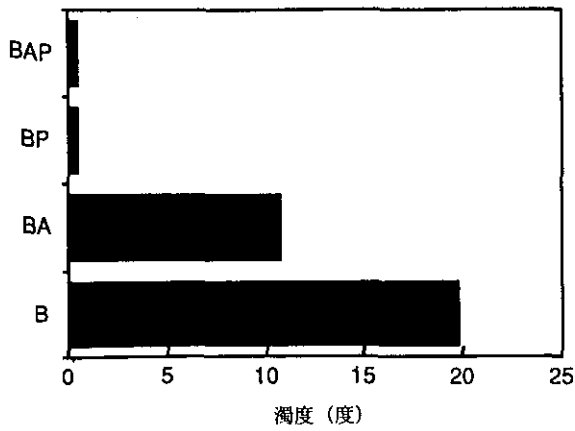


図17 単独および共存系における培養10日後の上澄水濁度の比較

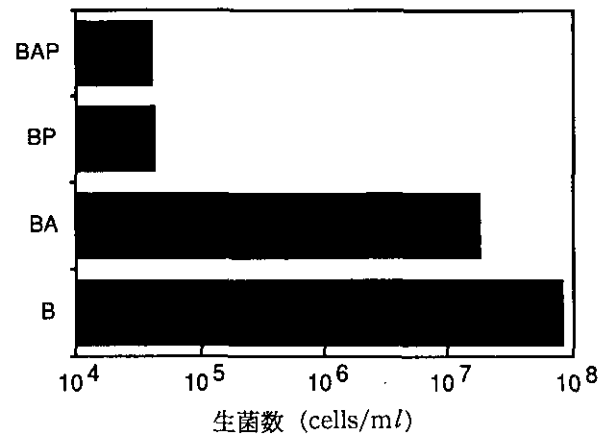


図18 単独および共存系における培養10日後の上澄水中生菌数の比較

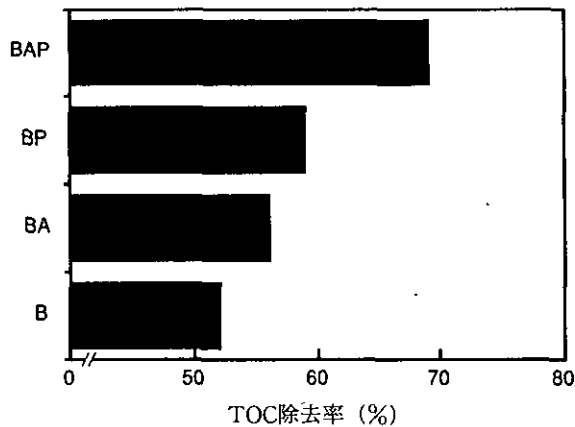


図19 単独および共存系における培養10日後の TOC 除去率の比較

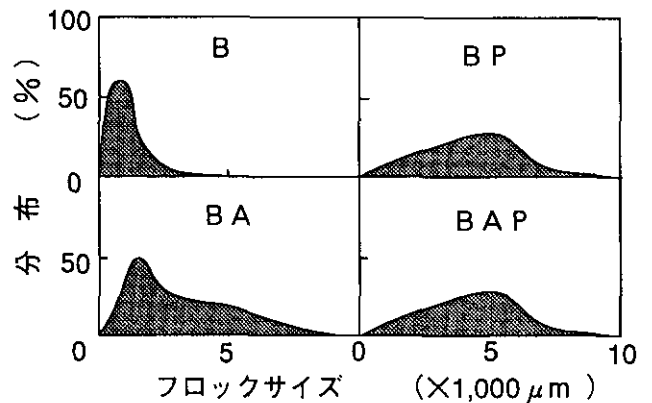


図20 フロクサイズの分布状況

BA系, BP系, BAP系の順に高まる。このことは、水質浄化能を向上させる上で摂食機構を異にする*A. hemprichi* および *P. erythrophthalma* を単独ではなく、共存させることがきわめて重要なことを意味している。

フロク径の分布頻度についての培養10日後のB系, BA系, BAP系の結果について示したのが図20である。B系ではフロクは、 $1,000 \mu\text{m}^2$ 位の占める割合が高いのに対し、BP系では $6,000 \mu\text{m}^2$ 、BA系では $2,000 \mu\text{m}^2$ 、BAP系では $6,000 \mu\text{m}^2$ の占める割合が高い。このことは、細菌の凝集能を高める上で微小後生動物の存在が不可欠であることを意味している。

3) 微小後生動物のバイオマスの減量化に果たす役割

培養系のバイオマスは、培養液の総懸濁物質濃度を測定することから評価することができる。その場合、微小後生動物の食物源となる培養懸濁液中の生菌数も重要な指標になると考えられる。それはバイオマスの重要な構

成者である細菌が微小後生動物により捕食されれば細菌数が減少すると同時に、食物連鎖が長くなった分だけ呼吸エネルギーとしての消散分が多くなり、バイオマスが減少することにつながるからである。培養懸濁液中の生菌数は、培養開始時においてはB系, BA系, BP系, BAP系のいずれも 10^8 個/ml程度であったのに対し、微小後生動物を接種した系と接種しない系においては、4日目以降10日までに顕著な差が認められた。この差はB系では、小さくBA系, BP系, BAP系の順に大きかった。また培養10日後の懸濁液中の生菌数は図21に示すとおりである。このように生菌数が微小後生動物の存在する系で減少したのは細菌が微小動物に捕食されたからだと考えられる。なお、培養系のバイオマスの経日変化および培養10日後のB系, BA系, BP系, BAP系のバイオマス量を比較した結果は図22に示すとおりである。これらのことよりバイオマス量は培養懸濁液中の生菌数と密

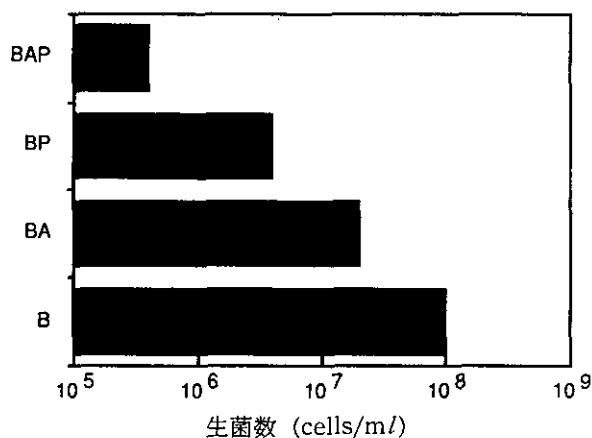


図21 単独および共存系における培養10日後の懸濁液中生菌数の比較

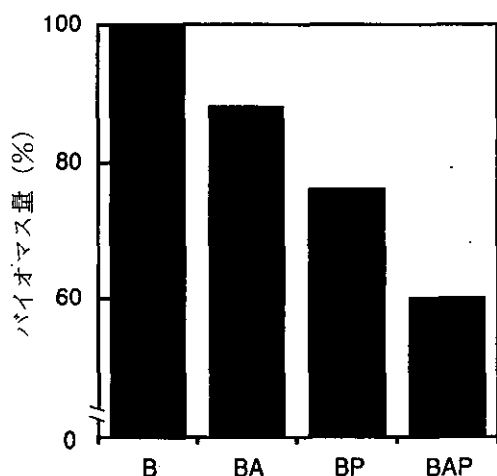


図22 単独および共存系における培養10日後のバイオマス量の比較

接に関係していることが分かる。このことは、細菌を捕食する微小後生動物が存在し、細菌が捕食されれば、バイオマス量が減少すること、またこの傾向は単独系では *A. hemprichi* よりも *P. erythropthalma* の方が強く、さらにこの傾向は共存系において強まること、さらに共存系の生菌数、バイオマス量が著しく少なかったのは、摂食機構および食性の異なる微小後生動物が共存することにより、捕食活性が高まったからだと考えられる。

すなわち、バイオマス量の減量に果たす役割は、*A. hemprichi* より *P. erythropthalma* の方が大きく、かつ *P. erythropthalma* の単独よりも *A. hemprichi* と共存することより、さらに高まることになる。

(4) まとめ

本研究で得られた成果に基づいて *A. hemprichi* および *P. erythropthalma* の生物膜における役割を模式的に示すと図23のとおりである。

すなわち、B系では、細菌が分散状態で存在することから濁度は高く有機物除去能も低い。BA系では、*A. hemprichi* が凝集摂食者であることから凝集体が摂食されバイオマス量は減少するが、分散状の細菌が存在するので濁度は高く有機物除去能もそれほど高くない。BP系では、*P. erythropthalma* がろ過摂食者であることから分散状の細菌が捕食されバイオマス量が減少すると同時に濁度も低下し有機物除去能も高まる。BAP系では、摂食機構および食性の異なる *A. hemprichi* と *P. erythropthalma* が共存することにより分散状及び凝集状の細菌に対する捕食活性が高まりバイオマス量が顕著に減

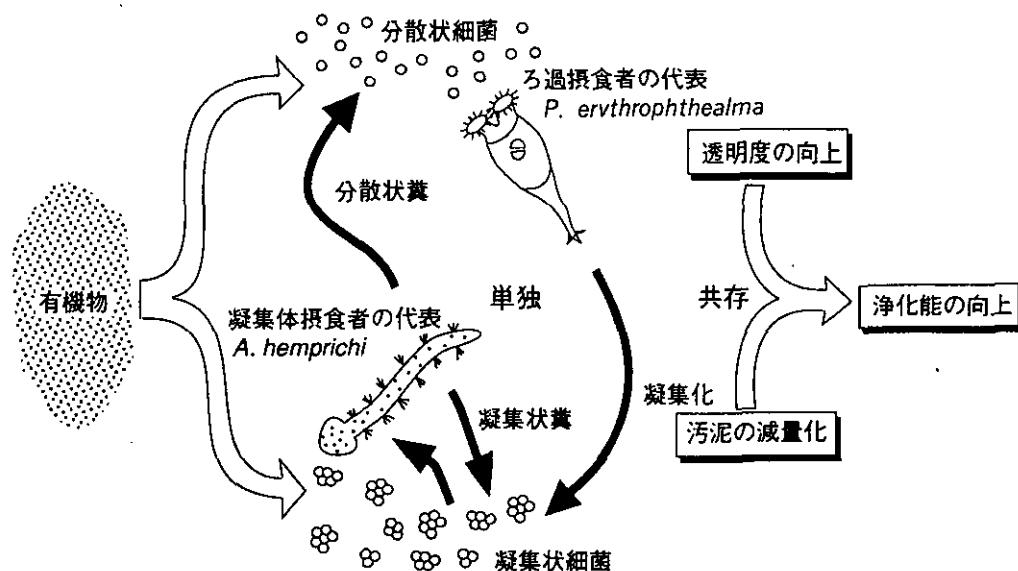


図23 摂食機構を異にする微小動物の共存による効果模式図

少すると同時に濁度が低下し、有機物除去能が向上する。

以上のような機構により、嫌気ろ床接触ばっ気循環法における栄養塩類除去システムの生物膜に出現する凝集体摂食性および、ろ過摂食性の微小後生動物は水質浄化およびバイオマス量の減量化に対して大きく貢献し生物学的硝化脱窒法において重要な役割を演じていることを明らかにすることができた。

2.2.4 嫌気好気生物処理法における有用微小動物の定着特性

(1) はじめに

生物膜法などをはじめとする嫌気好気生物処理法では細菌、原生動物および微小後生動物などの混合微生物群が浄化に大きく貢献している。しかしながら、これらの微生物群が個々に浄化に果たす役割についてはいまだ未解明な部分が多い。なお、環形動物貧毛類 *Aeolosoma hemprichi* をはじめとする凝集体摂食者、袋形動物輪虫類 *Philodina erythrophthalma* をはじめとするろ過摂食者などの生物処理において出現頻度が高く浄化に大きく貢献する微小動物を人為的に生物膜等に定着化させることができれば浄化能を向上させる上できわめて有効であると考えられる。

本研究では生物膜法において出現頻度が高く浄化に貢献している微小後生動物 *A. hemprichi* および *P. erythrophthalma* と原生動物 *Colpidium campylum* とを共存させた系を一つのモデルとしてこれらの微小動物の増殖に対する相互作用から、微小動物の定着化に原生動物がいかなる影響を及ぼすかを明らかにすることを目的として実験的検討を行った。

(2) 方法

1) 供試生物

実験には貧毛類 *A. hemprichi*、輪虫類 *P. erythrophthalma* および原生動物 *C. campylum* を用いた。*A. hemprichi* および *P. erythrophthalma* は実規模の生物処理施設において処理が安定しているときに出現頻度が高く浄化に大きく貢献しているといわれている。また、*C. campylum* は生物膜で通常観察され、培養が容易で二者培養による知見も集積されており、比増殖速度が *A. hemprichi* および *P. erythrophthalma* などの微小後生動物に比較して高い原生動物である。

実験に用いた *A. hemprichi*、*P. erythrophthalma* およ

び *C. campylum* は生活排水を処理している生物処理施設の生物膜から分離したものである。この *A. hemprichi*、*P. erythrophthalma* および *C. campylum* の分離は、20倍～100倍の実体顕微鏡下で菌類および他の微小動物が存在しなくなるまで滅菌水で繰り返し洗浄するピペット洗浄法で行った。分離した *A. hemprichi*、*P. erythrophthalma* および *C. campylum* はペプトン・肉エキスを主成分とする培地で20°C、24hr培養した後、遠心分離してリン酸緩衝液に懸濁させた resting cell を食物源として用い継代培養した。

供試細菌の種類が微小動物の増殖に対し制限因子とならないよう、すべての供試動物の比増殖速度および最大個体密度を高く維持することができた *Acinetobacter calcoaceticus* IAM 1517 を、実験に供した。また、実験には *A. calcoaceticus* の resting cell で10回以上継代した *A. hemprichi*、*P. erythrophthalma* および *C. campylum* を用いた。

2) 実験条件

(A) 同時接種での二者培養・三者培養における微小動物の増殖に対する相互作用

培養器としては内径5.6cmのペトリ皿を用いた。実験に際しては、*A. calcoaceticus* の resting cell を初期接種個体数が 1×10^{11} 個体/ml となるようにペトリ皿に分注し、ここに *P. erythrophthalma* (P) および *A. hemprichi* (A)、*C. campylum* (C) をさまざまに組み合わせ、20°C、暗所下で静置培養し、それぞれの増殖特性に及ぼす相互作用を個体数の変動から評価した。

培養系としては、① P、A、C同時接種、② P、Aの対数増殖期にC接種、③ P、Aの定常期にC接種、④ Cの対数増殖期にP接種、⑤ Cの対数増殖期にA接種、⑥ Cの対数増殖期にP、A接種、⑦ Cの定常期にP接種、⑧ Cの定常期にA接種、⑨ Cの定常期にP、A接種の組み合わせを設定した。これらの培養系における微小動物の初期接種個体数は *P. erythrophthalma* で4個体/ml、*A. hemprichi* で2個体/ml、*C. campylum* で20個体/mlとした。これは初期接種個体数をこのように設定して培養した場合、*P. erythrophthalma* および *A. hemprichi* では容積当たりの最大個体数に達するのに約10日間を要し、経目的に個体数の変動を把握するのに適しているからであり、*C. campylum* では微小後生動物と比較した比増殖速度の大きさおよび細胞容積の小ささを考慮したためである。

なお、実験はすべて一系につき3連で行い、供試微小動物の接種に際しては、体長が *P. erythrothralma* で 400 μm 程度のも、*A. hemprichi* で 800 μm 程度のもを用い、*C. campylum* は対数増殖期にあるものを用いることにより個体差の影響を最小限にとどめた。

(B) 三者培養での接種時期の差異における微小動物の増殖に対する相互作用

P. erythrothralma, *A. hemprichi* および、*C. campylum* の三者培養の PAC 系に焦点を合わせ、各微小動物の接種時期の違いが増殖特性に及ぼす影響を評価するために、① *C. campylum* の培養 5 日目に *P. erythrothralma*, *A. hemprichi* 接種、② *C. campylum* の培養 10 日目に *P. erythrothralma*, *A. hemprichi* 接種、③ *P. erythrothralma*, *A. hemprichi* の培養 5 日目に *C. campylum* 接種、④ *P. erythrothralma*, *A. hemprichi* の培養 10 日目に *C. campylum* 接種、という組み合わせで接種時期の違いと増殖特性に関する実験を培養器および初期接種個体数等の培養条件は先の同時接種の実験と同様にして行った。

3) 測定および評価法

本実験における微小動物数は実験開始日、培養 2 日目、同 5 日目、同 10 日目、同 15 日目および同 18 日目に実体顕微鏡を用いて測定し、微小動物が対数増殖を示す期間における比増殖速度は次式により算定した。

$$\mu = 2.303 \log (N - N_0) / (t - t_0)$$

ここで、 μ : 比増殖速度 (1/日)

N : 培養 t 日目の個体数

N_0 : 培養開始時の個体数

培養器内の細菌フロック径の測定は、CCD カメラおよび画像解析装置 (Luzex 3) にて行い、フロック径の分散および平均値等の評価を併せて画像解析装置 (Luzex 3) にて行った。

(3) 結果および考察

1) 同時接種での二者培養・三者培養における微小動物の増殖に対する相互作用

図 24 は実験に供した三種の微小動物を *A. calcoaceticus* の resting cell を用いて 20°C、暗所、静置でそれぞれ単独および共存下で培養した時の増殖特性を示している。単独系では原生動物の *C. campylum* は運動性も高

く、比増殖速度 (μ) は 1.8/日以上で最大個体数 (Nmax) は 1ml 当たり 20,000 個体に達する。輪虫の *P. erythrothralma* は頭部の繊毛環により強力な水流をおこし餌を引き寄せる能力を有するため μ は 0.3/日、Nmax も 1ml 当たり 3000 個体に達する。また、水生ミミズの *A. hemprichi* は凝集体摂食者で運動性も低く μ は 0.15/日、Nmax は 1 ml 当たり 200 個体程度である。共存系では *C. campylum*, *P. erythrothralma*, *A. hemprichi* のどれにおいても μ , Nmax とも単独で培養したときよりも共存系では低下している。*C. campylum* の μ は単独時 1.8/日だったものが 1.2/日へ、Nmax は 1 ml 当たり 20,000 個体だったものが 8,000 個体へと低下しており、特に Nmax は半分以下に低下している。また *P. erythrothralma* は μ が単独時の 0.6/日から 0.3/日へ、Nmax は 1 ml 当たり 3,000 個体だったものが 500 個体へと *A. hemprichi* は μ が 0.3/日から 0.15/日へ Nmax は 1 ml 当たり 200 個体だったものが 30 個体へと

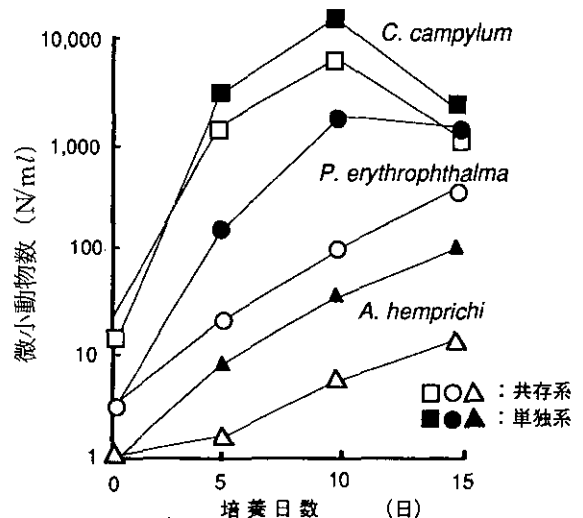


図 24 単独系および共存系における微小動物の増殖特性

れも著しく低下している。これらのことから餌に対する競争が生じた場合、*C. campylum* が最も強いいため他の微小動物よりも増殖に対する影響を受けにくい、食べられる餌が有限であるため餌の量が律速となり Nmax は低く抑えられてしまうものと考えられる。また、*P. erythrothralma* や *A. hemprichi* は増殖能の高い原生動物と共存させた場合、増殖能は低下するものの共存し増殖を続けられることが明らかとなった。

図 25 の (a) および (b) は原生動物の存在と微小動物の増殖特性についてまとめたものである。*P. erythrothralma*

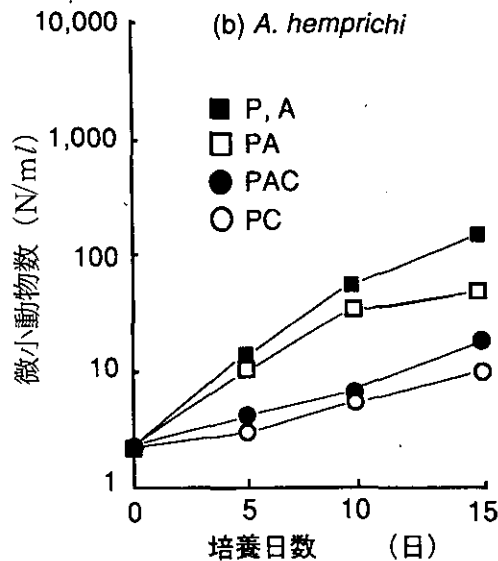
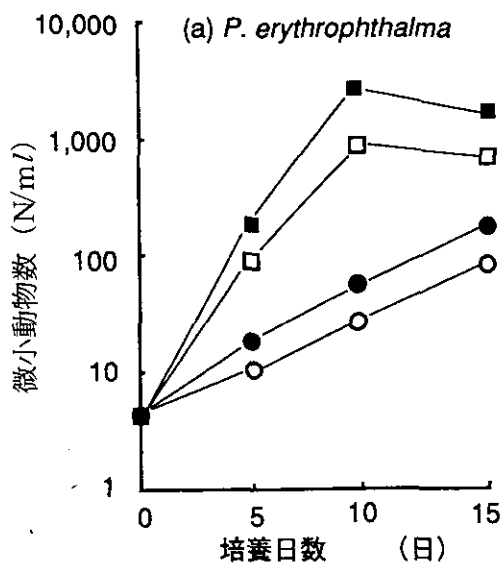


図25 原生動物の存在と微小動物の増殖特性との関係

alma については(a)に示すとおり、増殖は μ , N_{max} とも単独で培養したP系で最も高く *A. hemprichi* と共存させたPA系では N_{max} の低下が認められた。*C. campylum* と共存させたPC系では μ , N_{max} とも著しく低下してしまうことが明らかとなった。そして、*P. erythrothralma*, *A. hemprichi*, *C. campylum* を共存させたPAC系ではP系やPA系と比較すると μ , N_{max} とも低下するもののPC系よりは若干高まることが明らかとなった。また、*A. hemprichi* については(b)に示すとおり、*P. erythrothralma* と同様に増殖は μ , N_{max} とも単独系であるA系で最も高く、*P. erythrothralma* と共存させたPA系では N_{max} の低下が認められた。*C. campylum* と共存させたAC系では μ および N_{max} の低下が最も著しく、*P. erythrothralma*, *A. hemprichi*, *C. campylum* を共存させたPAC系ではA系やPA系と比較すると μ , N_{max} とも低下するもののAC系よりは N_{max} が高くなることが明らかとなった。

AC系およびPC系の *A. hemprichi*, *P. erythrothralma* の増殖能に比べてPAC系の *A. hemprichi*, *P. erythrothralma* の増殖能が高かったが、このことは摂食機構等の異なる微小動物群が多様化するほど、特定の空間に生息できる微小動物の現存量、増殖能が高まり物質分解能も高まるのではないかと示唆している。

2) 三者培養での接種時期の差異における微小動物の増殖に対する相互作用

(A) *P. erythrothralma*, *A. hemprichi*系に *C. campylum* を接種

図26(a)は *P. erythrothralma* および *A. hemprichi* の対数増殖期に当たる培養5日目に *C. campylum* を接種した場合の増殖特性を示している。接種した *C. campylum* は活発な増殖活動を行い μ は0.8/日あるものの、 N_{max} は1 ml 当たり1500個体と *P. erythrothralma*, *A. hemprichi* と同時に接種した場合に比べ著しく低下している。

図26(b)は *P. erythrothralma* および *A. hemprichi* の増殖末期から定常期にかかる培養10日目に *C. campylum* を接種した場合の増殖特性を示している。この場合、*C. campylum* の増殖能は著しく低下してしまうことが明らかとなった。これは餌不足の影響および後述する餌となる細菌のフロック化による影響であると考えられる。

図27はこの細菌のフロック化による影響を検討するため、培養日数と平均フロックサイズの関係を示したものである。この図から培養日数と平均フロックサイズの増大が高い相関を持つことが明らかである。これらの事実は凝集体摂食者である *A. hemprichi* や、大きめのフロックでも繊毛環による強力な水流を使って分散させ摂食できる *P. erythrothralma* はフロックサイズが大きくても餌として利用し得るが、*C. campylum* は大きなフロックを直接摂食することができず結果的には餌不足により増殖を続けることができなかったことを示唆して

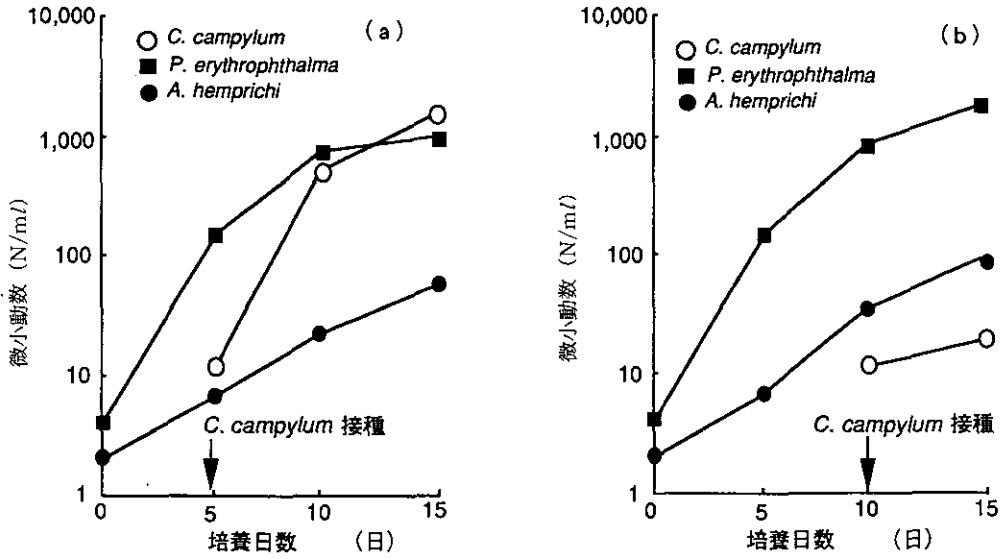


図26 *C. campyllum* の接種時期の違いにおける各微小動物の増殖特性

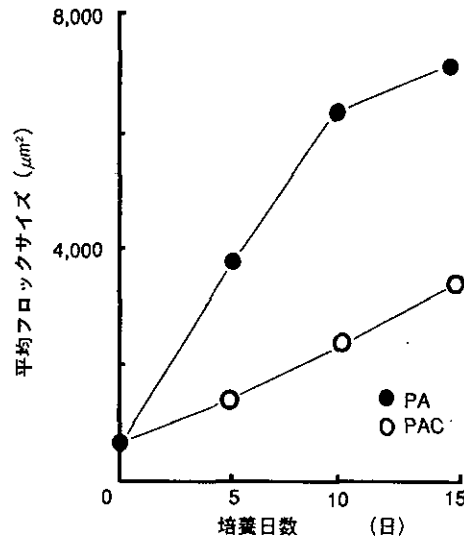


図27 原生動物の存在と培養液中の平均フロクサイズとの関係

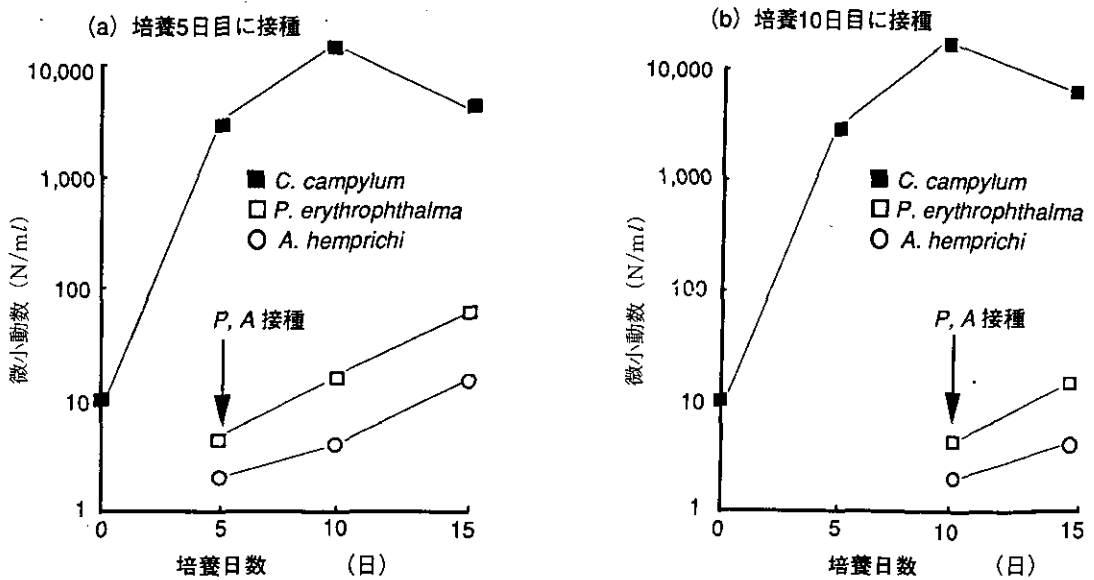


図28 *A. hemprichi*, *P. erythrothralma* の接種時期の違いにおける各微小動物の増殖特性

いる。

(B) *C. campylum* の系に *P. erythrophthalma* および *A. hemprichi* を接種

図 28 (a) および (b) は *A. hemprichi*, *P. erythrophthalma* の接種時期の違いにおける各微小動物の増殖特性を示したものである。*C. campylum* の培養 5 日目に *P. erythrophthalma*, *A. hemprichi* を接種した場合 (a) でも *C. campylum* の培養 10 日目に *P. erythrophthalma*, *A. hemprichi* を接種した場合 (b) でも *P. erythrophthalma* および *A. hemprichi* は増殖することができることが明らかとなった。このことは比増殖速度の高い微小動物が優占化した生物膜あるいは優占化しつつある生物膜において *P. erythrophthalma*, *A. hemprichi* を接種し定着化させることを示唆している。

3) 微小動物間の各種条件下での相互作用

生物処理において出現頻度が高く浄化に貢献している微小後生動物 *A. hemprichi* および *P. erythrophthalma* を接種、定着化させるための基礎的知見を得るために、3-1, 3-2 において *A. hemprichi*, *P. erythrophthalma* と原生動物 *C. campylum* とを共存させた系を一つのモデルとしてこれらの微小動物共存下での増殖に対する相互作用を明らかにすることを目的として実験的検討を行ってきた。これらの *P. erythrophthalma*, *A. hemprichi*, *C. campylum* の微小動物間の相互の関係を模式的に示すと図 29 のように表される。すなわち, *A. calcoaceticus*

を餌として摂食し *C. campylum* および *P. erythrophthalma* が増殖する。また、これらの微小動物が体外に排出する粘質物質等の影響で *A. calcoaceticus* のフロック化が進行し大きなフロックが形成されるようになる。このフロック状の細菌を摂食した *A. hemprichi*, *P. erythrophthalma* や *C. campylum* が再び摂食するという関係が成り立っていると考えられる。すなわち, *P. erythrophthalma* および *C. campylum* は摂食機構が似ているため分散状の餌に対し直接競争を演じることになるが, *A. hemprichi* が存在することによりフロック状物質が摂食され分散化されるため, *P. erythrophthalma* や *C. campylum* の食物源として再利用できるようにするという共生関係が存在しているものと考えられる。

(4) まとめ

本研究により得られた成果は以下のようにまとめられる。

1) *C. campylum*, *P. erythrophthalma* および *A. hemprichi* を同時に接種すると *P. erythrophthalma* および *A. hemprichi* の増殖能は著しく低下する。

2) *P. erythrophthalma* および *A. hemprichi* の対数増殖期に *C. campylum* を接種すると *C. campylum* の N_{max} は著しく低下する。

3) *P. erythrophthalma* および *A. hemprichi* の定常期に *C. campylum* を接種すると *C. campylum* の μ , N_{max} とともに著しく低下する。

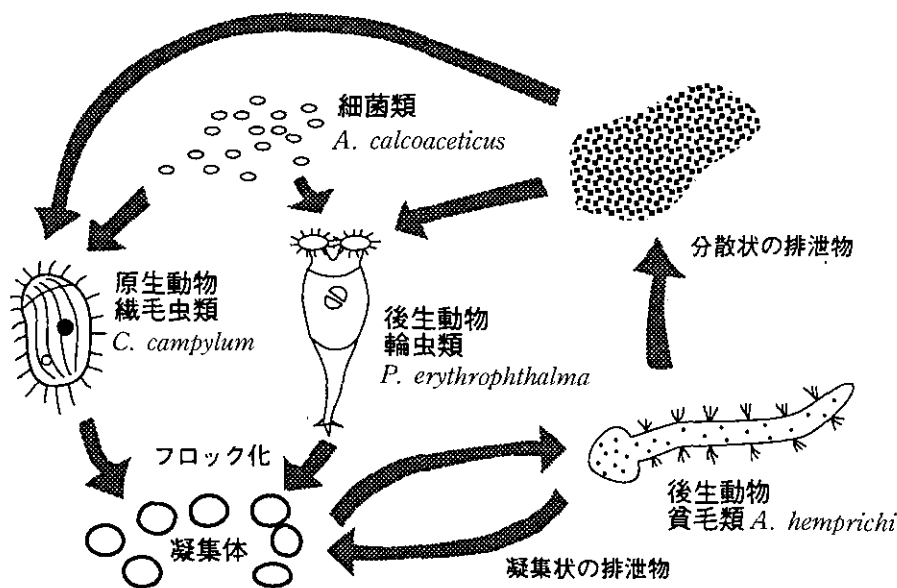


図29 微小動物の相互作用模式図

4) *P. erythrophthalma* および *A. hemprichi* の増殖能は高い順に P 系, A 系などの単独系 > PA 系 > PAC 系 > PC 系, AC 系である。

5) PA 系と比較して PAC 系ではフロック化が抑えられ平均フロック径が小さくなる。

6) *P. erythrophthalma*, *A. hemprichi* は *C. campylum* のように増殖速度の高い原生動物等が存在する反応槽内に接種することにより定着することが可能である。これより嫌気好気の栄養塩類除去を目指した生物膜法において輪虫類, 貧毛類は好気生物膜に定着し水質浄化に大きく貢献することが明らかとなった。

2.3 有用微生物を用いた処理プロセスの技術およびシステム評価

小規模排水の処理の高度化を有用微生物を活用して図る場合どのような技術が存在しどのような観点に着目して技術を評価することが必要かを検討しておくことが必須となる。

ここでは有用微生物として細菌類と微小動物に着目しこれらの有用微生物を生物処理反応槽へ組み込む上でのこれからの技術開発のあり方とマイクロコズムを用いた評価解析を行った。すなわち有用微生物の機能を効果的に発揮させるための生物処理技術の開発のための評価, 生物処理反応槽にもともと生息していなかった非土着微生物としての細菌類を活用する上での解析評価と有用微小動物として最も重要と考えられる輪虫類を大量定着化させる上での解析評価を行った。

2.3.1 水質改善のための有用微生物の活用とそのマイクロコズムを用いた環境影響評価

(1) はじめに

遺伝子工学等の技術を活用した新しい機能をもつ有用微生物を用い, より有効な処理を行うことが排水処理の技術開発において試みはじめられている。これらの有用微生物を開放系で利用する場合, 環境中での生残性, 他の生物との相互作用等を明らかにしておくことが必要である。このような環境影響評価を行う上では遺伝子組換え微生物等の非土着有用微生物の生残性, 伝達性にかかわる二者培養試験, 模擬生態系試験, 野外試験など段階を追った検討が必要である。これらの段階的試験の模擬生態系試験の一つの環境影響評価手法に位置するものとして検討の行われているのがフラスコマイクロコズム試験である。このマイクロコズムは, 生産者としての藻類, 分解者としての細菌類, 捕食者としての微小動物から構成される水界微生物生態系の一つのモデルであり, 高い再現性と安定性を有している。このような特徴を有するフラスコマイクロコズムを用いれば遺伝子組換え微生物をはじめとする非土着有用微生物が水界生態系において土着微生物に及ぼす影響を及ぼすか, また, 土着微生物との相互作用において非土着有用微生物がどのように消長, 挙動するかについて明らかにできるのではないかと考えられる。

(2) マイクロコズムシステムの概要

マイクロコズムの種類はそのサイズ, 群集構成, 環境条件などによりさまざまである。また, 自然水界を例と

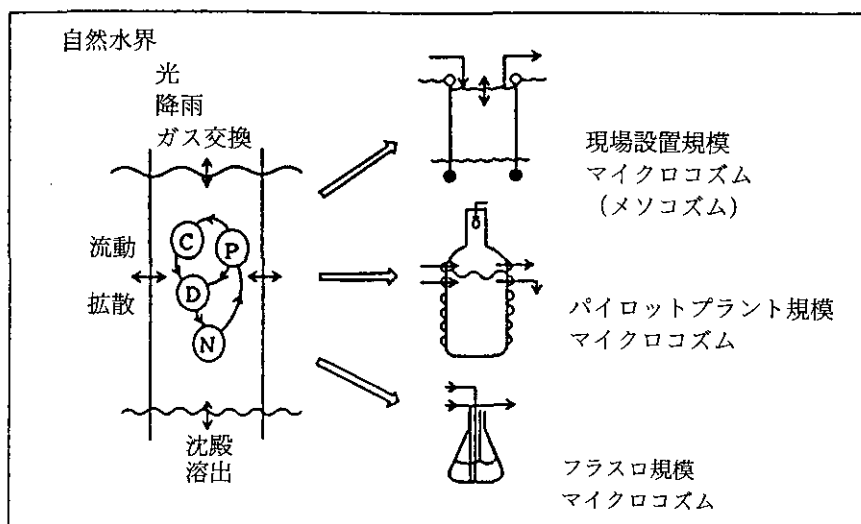


図30 自然水界を例とした場合の実験生態系としてのマイクロコズム

した場合の実験生態系のマイクロコズムは図 30 のように模式化できる。室内実験規模のマイクロコズムでは、光の鉛直分布や水体の動きが現場と著しく異なり、培養器壁面の付着微生物群集や底泥がマイクロコズムの生物・化学過程を大きく支配する場合もある。また、プランクトンの沈降、捕食確率や物質循環速度の変化、生物種類数の制限などにより、マイクロコズムで引き起こされる現象は現場現象とかけ離れる場合もある。しかし、培養方法の工夫により、サイズ効果はある程度抑制することは可能である。マイクロコズムの作製方法は、水界生態系の空間の一部を培養器に閉じこめる場合や、このような系にある種を添加し、群集を維持する場合、水界生態系の複数部分を組み合わせる新たな系をつくる場合や、さらに異なった水界生態系の構成要素を素材としてまったく新しい系を合成する場合など、さまざまである。すなわち、マイクロコズムは、その群集構成から完全に種組成が既知で、かつ各種の個体数が計測可能で、各種の性質が単独に解析可能な Gnotobiotic 型マイクロコズム、自然群集をある条件下で培養し、ある特定の生物群集を維持発展させた Stress-selected 型マイクロコズムおよび現場の群集をそのまま維持する Naturally derived 型に分けられる。

マイクロコズムを用いた研究目的は、①実験システムとしての有用性の有無、②システムレベルの特性、③要素間相互作用の解析、④エコシステムの理論と仮説の実証、⑤毒性評価などがあげられるが、このようにマイクロコズムの種類が多様であるため研究目的に応じた解析に最も有効なマイクロコズムの選択が可能になるものと考えられる。

以上述べたように、マイクロコズムの有用性は現場現象の正確な予測のみにあるのではなく、いずれの型のマイクロコズムでも、生態系レベルの現象の理解や、潜在的諸過程の発見や仮説の導出に役立てることができる。したがって、多様なマイクロコズムを使用し、エコシステムレベルの諸現象をなるべく多く蓄積しておくことは、仮説を現場で検証する際に、的確な解析の視点を提供するものと考えられる。特に遺伝子組換え微生物等の非土着有用微生物が生態系でいかなる挙動を示すかについての環境影響評価試験を行う場合、マイクロコズム試験は有効な手段になると考えられる。

(3) マイクロコズム試験による有用微生物の影響評価

遺伝子組換え微生物等の非土着有用微生物を用いてマイクロコズム試験を行う場合、段階をおった試験を行う必要がある。最も簡単な第 1 段階の遺伝子組換え微生物等の非土着有用微生物の生態系に及ぼす影響を評価する方法が被食者としての細菌と捕食者としての微小動物からなる二者培養試験である。第 2 段階の方法が藻類、細菌、原生動物、後生動物等からなる第 1 段階の試験法より複雑な系であるフラスコマイクロコズム試験である。第 3 段階の方法が実際の環境により近付けたきわめて複雑な系である模擬的マイクロコズム試験である。そして、最終段階の方法が野外試験である。このように遺伝子組換え微生物等の非土着有用微生物の生態系に及ぼす影響は上記試験を行うことにより評価することが可能となる。ここではフラスコマイクロコズム試験を用いた非土着有用微生物の影響評価手法について述べることにする。

1) 方法

(A) 供試マイクロコズム

本研究で用いたマイクロコズムシステムは、数種の細菌類、緑藻類 *Chlorella* sp., 糸状ラン藻類 *Tolythrix* sp., 原生動物 *Cyclidium glaucoma*, 輪虫類 *Lepadella* sp., *Philodina* sp., 貧毛類 *Aeolosoma hemprichi* から構成されている生産者としての藻類、分解者としての細菌類、捕食者としての原生動物、微小後生動物からなる微生物生態系である。

(B) 供試細菌

モデル有用微生物として用いた供試細菌は非土着性の *Escherichia coli* C 600 株, *Escherichia coli* S 17-1 株, および *Escherichia coli* S 17-1 株を宿主として伝達性プラスミド pCRO1, pSUP104 を形質転換した *E. coli* S 17-1/pC-RO 1, *E. coli* S 17-1/pSUP 104, *Escherichia coli* HB101 株を宿主として非伝達性プラスミド pBR325 を形質転換した *E. coli* HB 101/pBR 325 の組換え細菌等である。実験に際してはこれらの細菌を LB 培地で 24 hr 培養後遠心沈殿し、M/750 リン酸緩衝液で洗浄後、細菌懸濁液を作製して用いる。

(C) 培地および培養法

マイクロコズムの培養条件は、無機塩溶液にポリペプトン（日本製薬製）を添加した培地に継代培養しているマイクロコズムをそれぞれ種として接種した後、照度 2800 lux（明 12 hr, 暗 12 hr）、25°C の静置下で行う。なお、培養に際しては 300 ml 容の三角フラスコを用いる。

表7 マイクロコズムを用いた実験系

非土着モデル有用微生物	接種時期	接種量
<i>E. coli</i> S17-1	マイクロコズム	マイクロコズム内
<i>E. coli</i> S17-1 pCR01	運転開始時	初期生菌数の1倍量
<i>E. coli</i> S17-1 pSUP104	遷移期	10倍量, 100倍量
<i>E. coli</i> HB101 pBR325	安定期	1000倍量

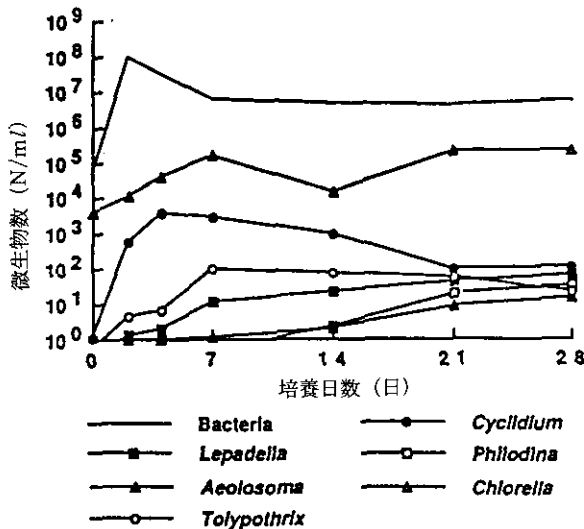


図31 構成微生物相の変遷

このマイクロコズム試験においては、マイクロコズム培養開始後の変動期、遷移期、安定期に至る培養開始0日目、5日目、15日目、20日目に遺伝子組換え微生物等の非土着有用微生物を接種してマイクロコズムを構成する生物の個体数、接種細菌の消長および変遷を追跡する。接種細菌量は遺伝子組換え微生物が施設から漏出した場合、環境改善のために積極的に活用された場合等を考えて設定することとしたが、ここではマイクロコズム培養開始時のマイクロコズムを構成する全菌数の×1、×10および×1000倍量とした。なお実験条件は表7に示すとおりである。また、マイクロコズムシステムの特徴的な構成微生物相の変遷は図31に示すとおりである。このパターンはマイクロコズムの種を新たな培地に接種すれば常に再現される。それゆえ、遷移期、安定期に非土着モデル有用微生物を接種した場合、接種以前のマイクロコズムを構成する微生物相のパターンはほとんど同じであり、接種後の挙動、消長から評価することが可能となる。

(4) 結果および考察

1) プラスミド非保有菌 *E. coli* S17-1 のマイクロコズムにおける消長と生物間の相互作用

非土着モデル有用微生物としてプラスミド非保有菌 *E. coli* S17-1 を添加し、その挙動を追跡した。×1倍

量、×10倍量を添加した場合、添加後 *C. glaucoma* の増殖は認められたが、添加時期にかかわらずマイクロコズムを構成する微生物相には大きな影響はみられなかった。これは非土着モデル有用微生物がマイクロコズムの構成微生物である原生動物、後生動物に捕食分解されたことなどが理由としてあげられる。なお、このことはマイクロコズム培地のみ微生物間の相互作用のない系における生残性試験の結果で *E. coli* S17-1 はマイクロコズムの場合に比べて高い生残性が確認されていることから裏付けられる。なお、×1000倍量添加した場合、安定期の15日目に添加した系では *C. glaucoma* の急激な増殖が確認された。これは安定期において他の微小動物との競合によって増殖が抑えられていた状態のところ、非土着モデル有用微生物が添加されたため、いわば食物源の補給が行われたのと同じ状態になり *C. glaucoma* はこれを捕食し急激に増殖したものと思われる。このことは非土着モデル有用微生物がマイクロコズムを構成する微小動物群の食物源となるか否かは、非土着モデル有用微生物が系内に保持されるか消滅することになるかを決定する大きな要因になることを示唆している。しかし、×1000倍量においても時間経過とともにマイクロコズム構成微生物の個体数は対照系のマイクロコズムと大きな差は認められなくなることが分かった。

2) 伝達性プラスミド保有菌 *E. coli* S-17/pSUP104 および *E. coli* S17-1/pCR01 のマイクロコズムにおける消長と生物間の相互作用

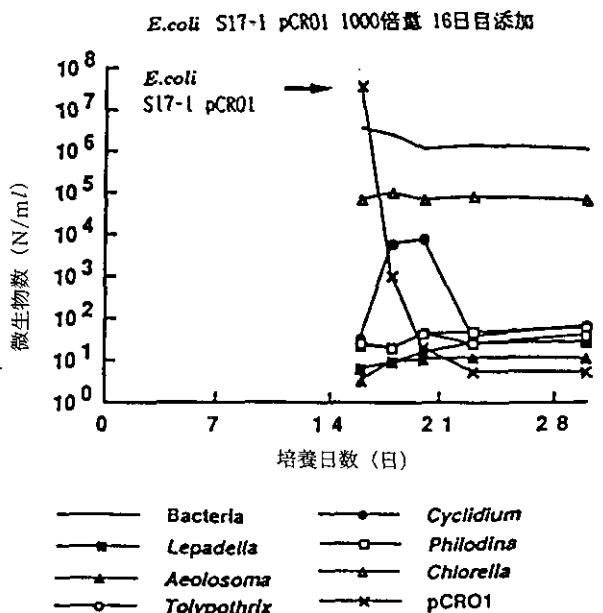


図32 非土着モデル有用微生物 *E. coli* S17-1/pCR01 接種後の生物相の変遷

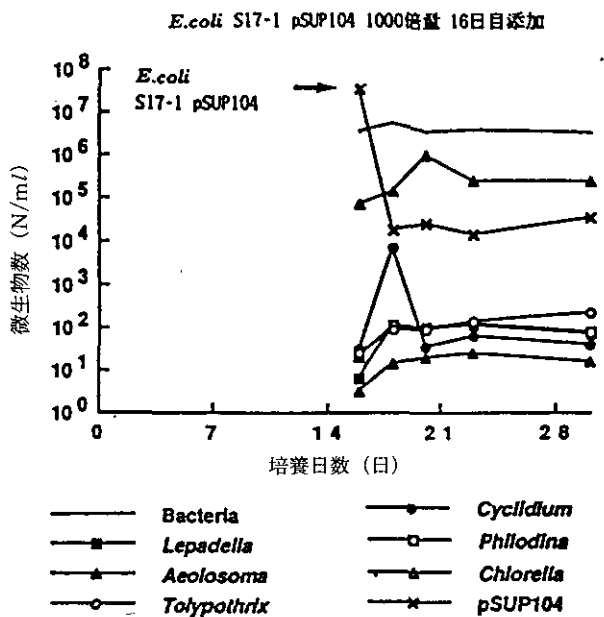


図33 非土着モデル有用微生物 *E. coli* S17-1/pSUP104 接種後の生物相の変遷

非土着モデル有用微生物として *E. coli* S17-1/pCRO1 および *E. coli* S17-1/pSUP104 という伝達性プラスミドを保有する細菌をマイクロコズムに添加してその挙動を追跡した。*E. coli* S17-1/pCRO1 を添加した場合、特に×1000 倍量添加後、*E. coli* S17-1 の時と同様に *C. glaucoma* の急激に増殖するのが確認された(図 32)。このことは *E. coli* S17-1/pSUP104 においても同様の現象が確認された(図 33)。この *C. glaucoma* の急激な増殖と非土着モデル有用微生物の減少との間には正の相関が認められた。すなわち、このことは *C. glaucoma* は非土着モデル有用微生物を捕食して増殖していることを裏付けている。なおマイクロコズム培地のみ系における非土着モデル有用微生物の生残性の試験では *E. coli* S17-1/pSUP104 は若干減少はしているものの高い個体数が存在していたことから *E. coli* S17-1 の場合と同様に *C. glaucoma* 等の微小動物の捕食圧等が非土着モデル有用微生物の生残性に大きく影響しているものと考えられた。しかし、マイクロコズム構成微生物相は最終的には対照系と同様なパターンを描くことが分かった。

3) 非伝達性プラスミド保有菌 *E. coli* HB101/pBR325 のマイクロコズムにおける消長と生物間の相互作用
非土着モデル有用微生物として非伝達性プラスミドを保有する *E. coli* HB101/pBR325 をマイクロコズムに添加してその挙動を追跡した。*E. coli* HB101/pBR325 は添加後ある程度減少しその後一定レベルの個体数が維

持され、*E. coli* S17-1/pCRO1 と *E. coli* S17-1/pSUP104 の15日目の添加の時にみられたほどの *C. glaucoma* の急激な増殖も見られずそれ以外の変化は *E. coli* S17-1/pSUP104 の時と同様な変化であった(図 34)。なお、いずれの添加時期においても最終的にはマイクロコズム構成生物相は大きく変化せず安定して維持された。

4) マイクロコズムにおける非土着モデル有用微生物の消長

本実験では食物源、増殖速度等の異なる微生物からなる安定生態系マイクロコズムを用いて非土着モデル有用微生物の影響評価を行った。現在、非土着モデル有用微生物に及ぼす代謝産物の影響、増殖速度の遅い後生動物の捕食圧による影響など検討している段階であるがこれまで得られた結果の挙動解析より、添加した非土着モデル有用微生物の消長については *E. coli* S17-1/pCRO1、*E. coli* S17-1/pSUP104 および *E. coli* HB101/pBR325 で異なるパターンの得られることが分かった。すなわち *E. coli* S17-1/pCRO1 は添加後、急激に減少し、*E. coli* S17-1/pSUP104 は添加後、ある程度まで減少するがそれ以後はそのまま維持された。しかし、*E. coli* HB101/pBR325 は添加後個体数が一時的に減少した増殖するパターンを示した。これらの事実は、理由は今後解明していく必要があるが添加される非土着モデル有用微生物の特性によりその挙動は大きく6つのパターン、すなわち①短時間で検出限界まで消滅するタイプ、②短時間で減少するが残存するタイプ、③徐々に減少するタ

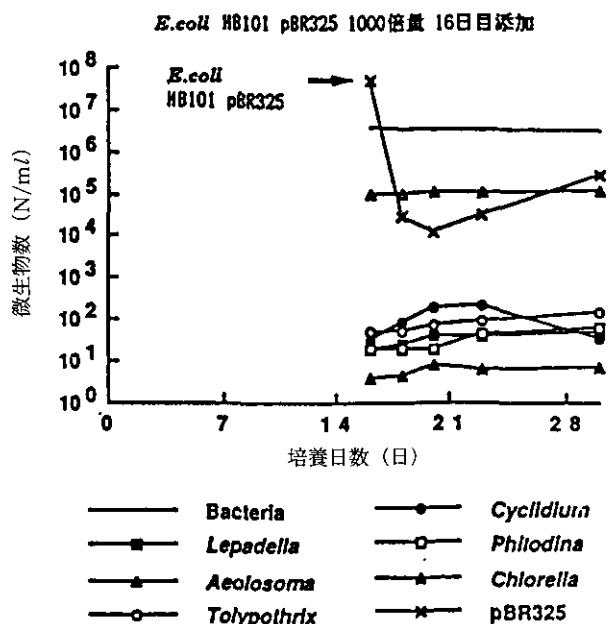


図34 非土着有用モデル微生物 *E. coli* HB101/pBR325 接種後の生物相の変遷

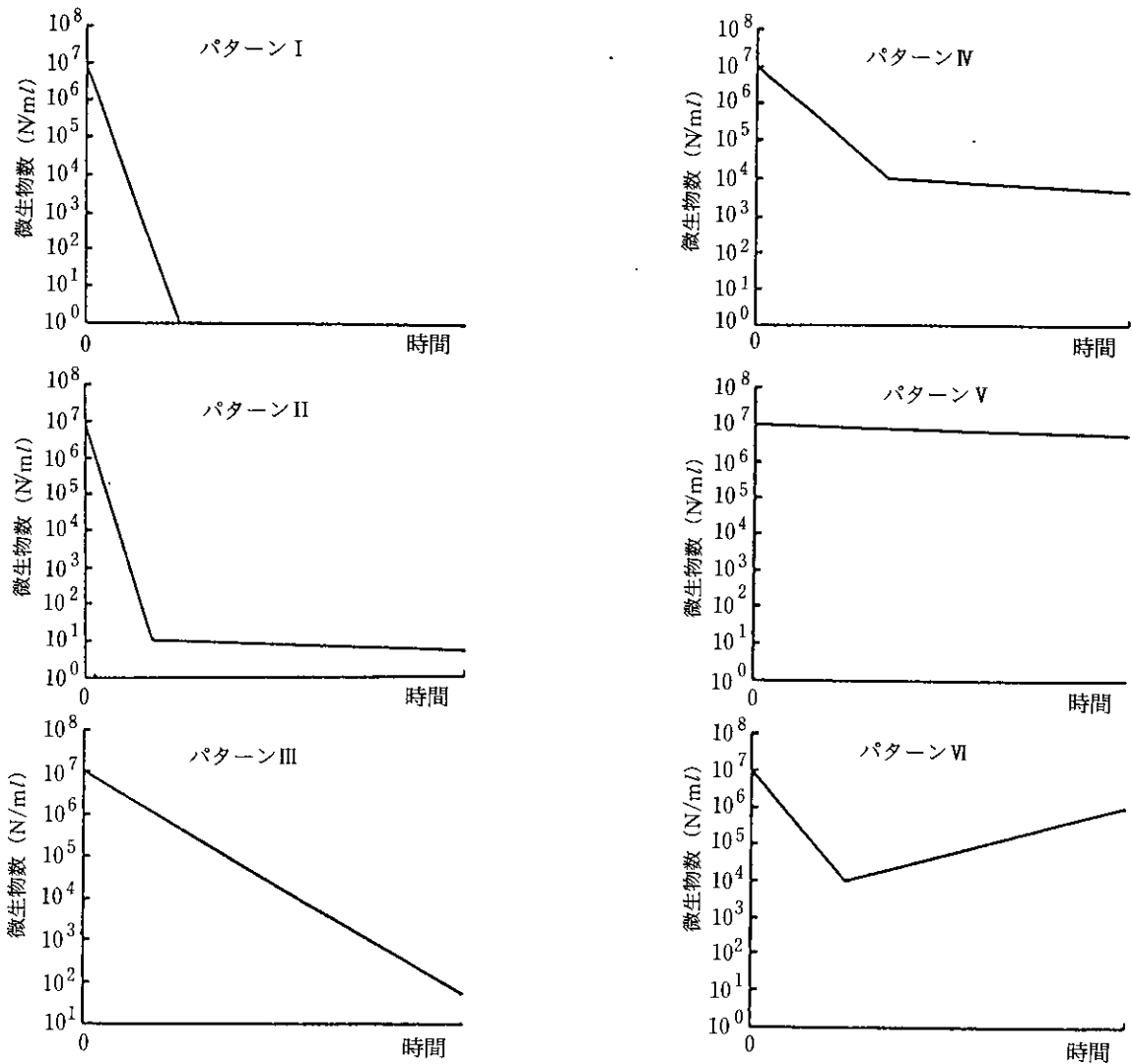


図35 非土着有用微生物の消長パターン

イブ、④徐々に減少するが残存するタイプ、⑤長期間残存するタイプ、⑥長期間残存しかつ増殖するタイプに分けられることを意味している。6つのパターンを模式化すると図35のとおりである。

(5) マイクロコズムシステムを用いた環境影響評価手法の開発と課題

遺伝子組換え体等の非土着有用微生物が環境中においていかなる挙動を示すかについては米国環境保護庁(EPA)をはじめ検討がなされ始めており、知見も集積されつつある。それは遺伝子操作等の技術により改良がなされた有用微生物を用いれば窒素、リン、難分解性有機物等の分解・除去が期待されるからである。このようなことから、非土着有用微生物が実際の環境に適用されれば環境改善も可能になることが予想される。しかしながら、これらの有用微生物が環境中でいかなる挙動を示すかについて十分な知見が集積されていないのが実情で

ある。遺伝子組換え体等有用微生物の開放系利用は我が国においても様々な分野で検討が進められているが、環境保全の観点からは本格的な開放系利用に先立ち、生態系影響評価を中心として安全性の確認を行っていくことが必要であり、そのための具体的な方法を検討することが大きな課題とされている。このような遺伝子組換え体等有用微生物の生態系影響評価を行う上では実際の河川、湖沼等の自然生態系、活性汚泥、生物膜等の人工生態系を用いた研究を行うと同時に、これらの系では構成する微生物群が十分に把握できず明確でなく、かつ再現性も乏しいことから可能な限り自然および人工生態系をシミュレートした再現性の高い実験系での検討を行うことが重要である。そのような実験に適切な生態系として細菌、藻類、原生動物、微小後生動物からなるマイクロコズムがある。このマイクロコズムの安定生態系に組換え体等非土着有用微生物を投入し非土着有用微生物の消長、土着微生物相に与える影響、生態系の回復過程等を

観察し、その結果を解析すれば実際の生態系に及ぼす影響をかなりなレベルで評価することが可能であると考えられる。

(6) まとめ

本研究では遺伝子組換え微生物等の非土着有用微生物が生態系でいかなる挙動、消長を示しかつ生態系を構成する微生物群にいかなる影響を及ぼすかについての評価を行うために開発した生産者、分解者、捕食者からなるマイクロコスムシステムを用いて得られたいくつかの結果を解析することにより非土着有用微生物が野外利用される場合における影響評価を様々な観点から試みたものである。しかし、解決すべき課題もいくつかあるため残された課題を順次解明していきマイクロコスムシステムを段階的評価試験の手法として確立していくことが必要であると考えられる。

2.3.2 有用微小動物の生物処理反応槽への高密度定着のためのシステム評価

(1) はじめに

活性汚泥法、生物膜法などの生物処理法では細菌、原生動物および微小後生動物などの混合微生物群が浄化に大きく貢献している。生物学的浄化において高い水質浄化能と汚泥の減量化を両立させる上で、微小後生動物のある種が重要な役割を演じていることが明らかにされており、さらに知見の集積が行われつつある。

これらの微小後生動物は、細菌類や原生動物等に比較して増殖速度が遅く、生物処理の種類によっては汚泥の滞留時間が短いため系外に洗い出されてしまい、生物反応槽において増殖し定着することが困難となる場合が考えられる。このような場合にはこれらの有用微小後生動物を、生物反応槽内で優占化、定着化させる有効な手法を開発する必要がある。

本研究では、有用微小後生動物として輪虫類 *P. erythroptthalma* に着目し、この大量培養法および既存の生物反応槽への接種・定着化が有効な手法となるかについての評価解析を行った。

(2) 方法

1) 供試生物

供試微小動物としては、二者培養実験では袋形動物輪虫類 *P. erythroptthalma* を、混合培養実験では *P. eryth-*

roptthalma に加えて環形動物貧毛類 *A. hemprichi* および原生動物 *Colpidium campylum* を用いた。これらの微小動物は生活排水を処理している生物処理施設の生物膜から分離したものである。分離に際しては、20~100倍の実体顕微鏡下で菌類および他の微小動物が存在しなくなるまで滅菌水で繰り返し洗浄するピペット洗浄法で行った。また、分離した微小動物は LE 培地を用い 20°C、暗所、静置下で継代培養した。実験に供する個体は LE 培地において継代培養中の対数増殖期にあるものを用いた。

供試細菌としては、菌株系統保存施設より分譲された *Acinetobacter calcoaceticus* 等の既知名の細菌類 10 種および *P. erythroptthalma* が 1 ml 当たり 30,000 個体という著しい高密度で出現している実規模の洗米排水浄化施設から分離した細菌株 *Streptococcus acidominus* の計 11 種とした。実験にはこれらの細菌を LE 培地に接種し、20°C、暗所、静置下、48 時間培養したものを細菌懸濁液として用いた。

2) 実験条件

実験は以下の二系列において行った。一つは実規模の洗米排水処理施設の生物反応槽において *P. erythroptthalma* が著しく高密度で生息し続けていたという事実にかんがみ、その要因を明らかにするための *P. erythroptthalma* を高密度に維持して継代培養する実験であり、一つは *P. erythroptthalma* を既存の生物反応槽等に接種して定着化させるか否かを評価するための混合微生物生態系を用いた実験である。

(A) 二者培養実験による *P. erythroptthalma* の大量培養のための因子解析評価

① 食物源としての細菌類の種類

実験には、内径 5.6 cm のガラスシャーレを培養器として用いた。ここに対数増殖期にある細菌を遠心洗浄収集しリン酸緩衝液に懸濁させた状態の resting cell を初期濃度が 200 mg/l となるよう 1/750 M リン酸緩衝液に懸濁させた状態に調整し、*P. erythroptthalma* を 1 ml 当たり 10 個体となるよう接種して 20°C、暗所、静置条件下にて培養を行い食物源の種類と *P. erythroptthalma* の増殖能との関係に関する実験を行った。

② 食物源としての細菌類の濃度

細菌類の初期接種濃度を 100, 200, 400, 800 および 1200 mg/l と変化させて *P. erythroptthalma* の増殖と食物源としての細菌濃度との関係に関する実験を行っ

た。また、基質不足により *P. erythrophthalma* の増殖が律速されないように培養開始 9, 13, 17 日目に resting cell を培養器に添加して食物源の濃度が不足しないように調整するようにした。

③ 培養基質及び増殖因子の種類

培養に際しては 1/750 M リン酸緩衝液, LE 培地, 洗米排水ろ過滅菌水, 市販米破砕液, 馬鈴薯破砕液等を用い, 培養基質および培養基質中の増殖因子の種類が *P. erythrophthalma* の増殖能との関係に関する実験を行った。

④ 代謝産物等の蓄積

二者培養実験は回分培養であり, 長期間の培養中に微小動物等の代謝産物が蓄積し微小動物の増殖に影響を及ぼしていることが考えられるため, 新たな基質を入れるとき培養液の入れ換えを行った場合と行わない場合とを比較することにより, 代謝産物等の蓄積と *P. erythrophthalma* の増殖能との関係に関する実験を行った。

(B) マイクロゾム混合培養実験による *P. erythrophthalma* の定着因子解析評価

内径 9 cm のガラスシャーレを培養器として用いて, ここに培養基質, 細菌懸濁液, 貧毛類 *A. hemprichi* および原生動物 *C. campylum* を接種して安定した個体数が維持されるようになった時期に, *P. erythrophthalma* を初期接種個体数を 1 ml 当たり 10, 100, 1000 個体となるよう調整して添加し, 各微小動物の個体数の変動を追跡した。なお, 培養基質は, LE 培地を用いた系と, LE 培地と米破砕液を等量混合したものをを用いた系で実験を行い, 両者を比較することにより基質の差異による *P. erythrophthalma* の定着増殖特性を明らかにすることとした。なお, 基質は培養途中で不足しないよう, また, 代謝産物の蓄積の影響を可能な限り排除するよう培養中に入れ換え操作を行った。この入れ換え操作は, 培養液 20 ml のうち, ディスポーザブルフィルターホルダー FP 030/3 (Rotrand-Red rim) を取り付けしたシリンジを用いて培養液 5 ml を引き抜き, 同じフィルターホルダーを用いて基質 5 ml を培養液に添加するという操作を 48 時間おきに行った。

3) 測定および評価法

本実験における微小動物数は, 実験開始後 12 時間おきに培養器を画像解析装置 (Luzex 3) にかけることにより計数した。なお, 本法は培養器内の微小動物の存在を瞬間的に映像として CCD カメラから取り込み, 後にその

画像を用いて電算処理により微小動物の計数を行うものであり, 培養中の微小動物に何等影響を及ぼすことがなく, これまで一般に行われてきた計数手法と値が一致するものである。微小動物の最大個体密度は 1 ml 当たりの個体数を算出することにより, また, 微小動物の増殖特性は比増殖速度を算定することによりそれぞれ行った。

(3) 結果および考察

1) *P. erythrophthalma* の高密度培養のための因子解析評価

① 食物源としての細菌類の種類

食物源としての供試細菌の種類と *P. erythrophthalma* の比増殖速度および 1 ml 当たりの最大個体数の関係からみると, *P. erythrophthalma* は供試細菌のすべてを食物源として増殖することが可能であることが分かった。また, *P. erythrophthalma* の比増殖速度および最大個体数は供試細菌の種類により若干の差異はあるものの最も増殖の高い *Flavobacterium suaveolens* においても 1 ml 当たりの最大個体数は 3600 個体であり, 著しく高い個体密度になることはなかった。*P. erythrophthalma* が 1 ml 当たり 30,000 個体という著しい高密度で生息していることが確認された実規模の生物処理施設で優占種となっていた *S. acidominus* を食物源としても *P. erythrophthalma* の比増殖速度および 1 ml 当たりの最大個体数はそれぞれ 0.50/日, 3400 個体であり著しく高い値は得られなかった。これらの事実より, 食物源としての細菌の種類が直接 *P. erythrophthalma* の高い個体密度とは関連していないことが分かった。

② 食物源としての細菌類の濃度

食物源としての細菌類 *S. acidominus* の初期接種濃度を 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1200 mg/l と変化させた場合, 食物源としての *S. acidominus* の濃度が 100 mg/l 以下では, *P. erythrophthalma* の比増殖速度と *S. acidominus* の濃度との間に Monod 型の関係が認められ, Lineweaver-Burk のプロットを用いて μ_{max} および K_s を求めるとそれぞれ 0.45/日, 17.5 mg/l であった。また, 食物源としての細菌類 *S. acidominus* の初期接種濃度を 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1200 mg/l と変化させた場合の 1 ml 当たりの *P. erythrophthalma* の最大個体数についてみると, 食物源としての細菌類の濃度を 1200 mg/l と高くしても *P. erythrophthalma* の増

殖が著しく高まることはないことが確認された。これは生息空間が適度に存在し、かつ食物源が不足しない条件が *P. erythropthalma* の初期接種個体数が 1 ml 当たり 60 個体の場合には細菌濃度 200~400 mg/l 程度、すなわち、*S. acidominus* が 1 細胞当たり 5×10^{-10} mg として、およそ $4 \sim 8 \times 10^8$ N/ml であることを示唆している。細菌濃度がこれ以上の濃度になると *P. erythropthalma* の増殖活性は低下する傾向が認められたが、このことは、細菌懸濁液の物理学的および水理学的特性による *P. erythropthalma* 頭部咽頭への水流の低下に起因するものと考えられる。原生動物 *Vorticella microstoma* 等でも同様に細菌の高濃度化による増殖阻害が確認されている。また、*V. microstoma* 等の原生動物における細菌の高濃度化による増殖阻害がより低濃度である 100 mg/l 程度から観察されることと比較すると、*P. erythropthalma* では高い値が得られている。このことは、食物源を取り込むために *P. erythropthalma* の繊毛環によりつくりだされる水流が原生動物に比較してより強力であることによるものと考えられる。

そこで、食物源としての細菌類 *S. acidominus* の濃度を 200 mg/l 程度に維持し、基質不足により *P. erythropthalma* の増殖が律速されないように培養開始 9, 13, 17 日目に resting cell を培養器に添加し、食物源の濃度を調整して実験を行った。なお、resting cell の培養器への添加に際しては、培養液を部分的に入れ換え、代謝産物等の蓄積による影響の低減化にも考慮した。その結果、食物源の途中添加が *P. erythropthalma* の増殖に大きな影響を及ぼしていないことが確認された。これらの事

実は食物源としての細菌類の濃度は *P. erythropthalma* の個体密度を著しく高めるために重要な因子とはならないことを示唆するものである。

③ 培養基質・増殖因子の影響

S. acidominus を食物源とし、基質を LE 培地、洗米排水ろ過滅菌水、市販米破碎液および馬鈴薯破碎液とした場合における、*P. erythropthalma* の増殖特性を図 36 に示した。本実験より、標準の継代培養用の培地として用いている LE 培地での最大個体数が 1 ml 当たり 3400 個体であったものが、洗米排水のろ過滅菌水を基質として用いることにより、*P. erythropthalma* の最大個体数を 1 ml 当たり 12,000 個体という極めて高い状態に維持することが可能となることが明らかとなった。また、市販米や馬鈴薯の破碎液を洗米排水と同等の有機物濃度に調整して実験に供した場合にも、*P. erythropthalma* の最大個体数を 1 ml 当たり 8,000 個体程度にまで高められることが明らかとなった。ただし、実験に供した米および馬鈴薯は数種類のものを用いたが、銘柄による有意な差は認められなかった。また、米および馬鈴薯破碎液を用いた実験系における培養期間中の供試細菌類の個体数は、LE 培地による実験系と比較して有意な差がないこと、供試細菌を *S. acidominus* から *A. calcoaceticus* 等に置き換えて実験を行っても同様の傾向が認められることなどが確認されている。これらの事実は、米および馬鈴薯に含まれる成分が *P. erythropthalma* の増殖活性を高める上で増殖因子としての重要な役割を演じていることを示唆している。このことは、基質として LE 培地と洗米排水ろ過滅菌水の等量混合液を用いても

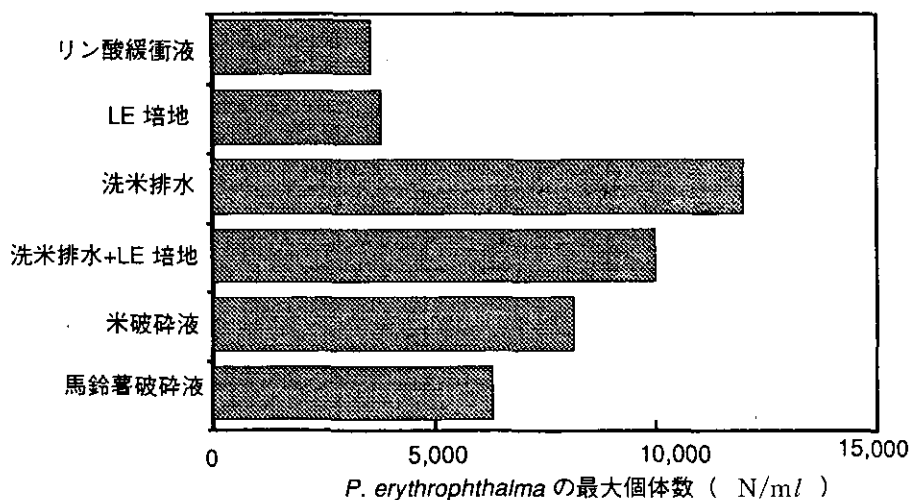


図36 培養基質による *P. erythropthalma* の最大個体数への影響

P. erythrophthalma の増殖が活性化された事実からも裏付けられる。

④ 代謝産物等の蓄積

洗米排水中のある成分が *P. erythrophthalma* の増殖活性を著しく高める上で大きな効果を有していることが明らかにされたが、継代培養を続けるにつれ *P. erythrophthalma* の最大個体数は低下してしまう傾向が認められた。すなわち、初期には 1 ml 当たり 8000 個体であった *P. erythrophthalma* の個体数が継代 5 回目には 1 ml 当たり 5000 個体、継代 10 回目には 1 ml 当たり 3000 個体と、これまでの LE 培地等を用いた培養と同程度にまで増殖活性が低下してしまう現象が確認された。

そこで、培養基質を培養途中で部分的に入れ換え、基質中に蓄積される生物の代謝産物等の濃度を低く抑え、これら代謝産物等による微小動物の増殖活性への影響を最小限に抑えた継代培養実験を試みた。その結果、*P. erythrophthalma* の個体数を継代培養を続けても高く維持し続けることが可能となることが明らかとなった。このことは、回分培養などの基質の入れ換えが行われない条件下では、代謝産物等の蓄積が *P. erythrophthalma* の増殖に影響を及ぼしたことを意味する。実際の生物処理反応槽などでは通常の条件では基質は連続的に流入して代謝産物の蓄積が継続することはないと考えられることから、ここで得られた結果は実際の環境下での特性を表しているものと考えられる。

また、LE 培地を基質とした系についても、基質中に蓄積される生物の代謝産物等の濃度を低く抑える継代培養実験を行った結果、 N_{max} は初期の値を維持するものの、高まることはないことを確認している。

2) マイクロコズム混合培養実験による *P. erythrophthalma* の定着因子解析評価

混合微生物生態系を構成する微生物としては、生物処理における食物ピラミッドの各段階を構成する微小動物のなかから細菌類、原生動物 *C. campylum* および貧毛類 *A. hemprichi* を選定した。これらは生物処理反応槽で一般的に観察される種類であり、これまで様々な増殖特性の解明がすすんでおり、かつ培養が容易である等の特性を有している。そこで、ここではこれらの微生物を用いたひとつのモデル混合培養系における評価を試みた。

基質として米破砕液と LE 培地を等量混合したものを
用いた場合の細菌類、原生動物 *C. campylum* および貧

毛類 *A. hemprichi* からなる混合微生物生態系の生物相の変遷をみると、培養開始後、10 日後には安定した生態系が形成されることが分かる。そこで、混合微生物生態系内の生物相が安定化する培養開始 10 日後に *P. erythrophthalma* を初期接種個体数を 1 ml 当たり 10,100 および 1,000 個体に変化させて混合微生物生態系内に接種し、*P. erythrophthalma* の個体数の推移を観察した。

接種した *P. erythrophthalma* の個体数がそれぞれ 1 ml 当たり 10, 100 および 1,000 個体の場合における各微小動物および細菌類の挙動から、接種する *P. erythrophthalma* の個体数密度の差異にかかわらず、接種された *P. erythrophthalma* は既存の混合微生物生態系に定着し、増殖を続けることが可能であることが明らかとなった。

また、培養基質を LE 培地のみとした系と、基質が LE 培地と米破砕液を等量混合した系を比較すると、後者において *P. erythrophthalma* の個体数を高く維持し続けられることが明らかとなった。このことは、米の成分に *P. erythrophthalma* の個体数を高く維持させ得る因子が含まれていることを示唆するものであり、先の二者培養実験の結果を裏付けるものである。

接種する *P. erythrophthalma* の個体数密度の違いについて見てみると、混合微生物生態系に接種する *P. erythrophthalma* の個体数密度が高いほど、混合微生物生態系に定着し安定した個体数を維持するようになるのが早いことが確認された。これらの事実は、既存の生態系に米含有成分を添加し *P. erythrophthalma* を接種することにより定着化させうることを、また、接種する *P. erythrophthalma* の個体数が多いほどより早期に安定した個体数を維持させ得ることを示唆するものである。

(4) まとめ

本研究は有用微生物として水質改善に重要な役割を演じている *P. erythrophthalma* を大量培養・定着化させるための条件評価解析のために二者培養および混合培養実験で検討を行ったものである。得られた成果は次に示すとおりである。

1) *P. erythrophthalma* の培養を行う上で供試細菌のすべてが食物源として有効であることが分かった。

2) *P. erythrophthalma* の大量培養を、効率的に行う上で食物源としての細菌の種類は重要な因子とはならないことが分かった。

3) 食物源としての細菌類の濃度が 100 mg/l 以下で

は、*P. erythrophthalma* の増殖速度と細菌濃度との間に Monod 型の相関があり、細菌類 *S. acidominus* を食物源とした場合の μ_{max} および K_s は、それぞれ 0.45/日、17.5 mg/l が得られた。

4) *P. erythrophthalma* の大量培養に際し、食物源としての細菌類の濃度を高めても *P. erythrophthalma* の個体数を著しく高めることはできないことが分かった。

5) 洗米排水中には *P. erythrophthalma* の増殖能を高める増殖因子が存在していることが分かった。

6) 米および馬鈴薯の破碎液を *P. erythrophthalma* の培養液に添加することにより *P. erythrophthalma* の増殖を活性化させ 1 ml 当たりの最大個体数を、LE 培地の 3,000 個体から 8,000 個体に増大させることができることが分かった。

7) 二者培養など、回分培養条件での基質の入れ換えが起こらない条件下では、代謝産物等の蓄積により微小動物の増殖活性が影響を受けて低下することが分かった。

8) 既存の安定した生態系に後から *P. erythrophthalma* を接種し定着化させることが可能であることが分かった。

9) 定着化を目的とした *P. erythrophthalma* の接種において、安定した高密度をより早く得るためには、より高密度で大量に接種を行うことが有効であることが分かった。

10) *P. erythrophthalma* の接種に際して、米および馬鈴薯に含まれる増殖因子を添加することにより、混合微生物生態系内で高い *P. erythrophthalma* の個体数を維持することが可能となることが分かった。

2.3.3 有用微生物の組み込まれた小規模排水処理プロセスの評価

(1) はじめに

流量調整した条件下での嫌気好気循環法の室内規模の実験から、有機物としての BOD の除去と生物学的硝化脱窒による窒素除去が行われること、また、このような処理操作条件においても輪虫類、貧毛類等の有用微生物が定着可能で良好な性能の得られることが明らかとされた。そこで、これらの基礎的知見を実証することを目的として、生活系、事業系の中で生物処理の原理が共通することから、小規模生活排水の例として、嫌気好気循環法の実証システムでの検討を行い、小規模生活排水処理

プロセスの評価を行った。

実証システムの検討に当たっては、上記に示したように、小規模処理施設において排水量のピーク変動により処理性能が劣化すること、従来の処理システムでは嫌気好気循環が適用されておらず、窒素除去機能を有さず、窒素が垂れ流され水域の富栄養化を引き起こすことが、システム改善上極めて重要なことが示唆されたことから、安定した有機物および窒素の除去を目的とした流量調整システムや、循環システムを組み込んだ排水処理プロセスに着目することとした。

それゆえ、ここでは本プロジェクト研究で適正と考えて提案した排水処理プロセスとしての流量調整式嫌気ろ床生物ろ過循環方式と嫌気ろ床接触ばっ気循環方式の 2 種の小型合併処理浄化槽を実際の家庭に設置し、浄化特性を検討し、水質改善効果の評価解析を行った。

(2) 調査方法

本プロジェクト研究から適正排水処理プロセスとして提案された流量調整式嫌気ろ床生物ろ過循環方式と嫌気ろ床接触ばっ気循環方式の処理装置を、個別家庭に設置し、機能調査を 1 年間にわたって追跡調査を行った。

水質調査は毎月 1 回行い、浄化特性を調べると同時に、汚泥引き抜き頻度の調査を行った。

測定項目は、pH、DO、BOD、C-BOD、S-BOD、COD、TOC、T-N、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、および T-P とし、同時に生物膜の生物相についての観察も行った。

なお、実証システムの対照として従来型の非循環嫌気ろ床接触ばっ気方式を比較装置とすることとした。

(3) 結果および考察

本実証研究で用いた流量調整嫌気ろ床生物ろ過循環方式と嫌気ろ床接触ばっ気循環方式の処理プロセスを図 37 に示す。流量調整式嫌気ろ床生物ろ過循環方式は、定量ポンプで排水量を調節できる構造で、間欠定量ポンプにより定量移送できるようになっている。処理槽は、嫌気槽と好気槽が組み合わせられ、好気槽には多孔質セラミックスが充填され生物ろ過が行われ、処理水は処理水槽に貯留され、消毒後放流されるようになっている。なお、生物ろ過槽では生物膜の閉塞制御のため、1 日 1 回自動逆洗がなされるようになっている。

嫌気ろ床接触ばっ気循環方式は、既に小規模合併処理浄化槽として用いられている嫌気ろ床接触ばっ気方式を

基本にしているが、接触ばつ気槽が活性汚泥化した場合、流量変動があると、汚泥流出により処理性能の著しい低下が引き起こされることから、好気槽から嫌気槽へ処理水を循環できるようになっている。なお、循環水量調整のためには返送水量の調整計量ボックスが付加されている。

これらの浄化槽に対する負荷の指標となる設置場所の居住人員と浄化槽の人員の比である人槽比は、流量調整嫌気ろ床生物ろ過循環方式では0.8、嫌気ろ床接触ばつ気循環方式では0.5であった。

それぞれの排水処理プロセスにおける処理水質については、BOD、T-N、SS および透視度について調査結果の

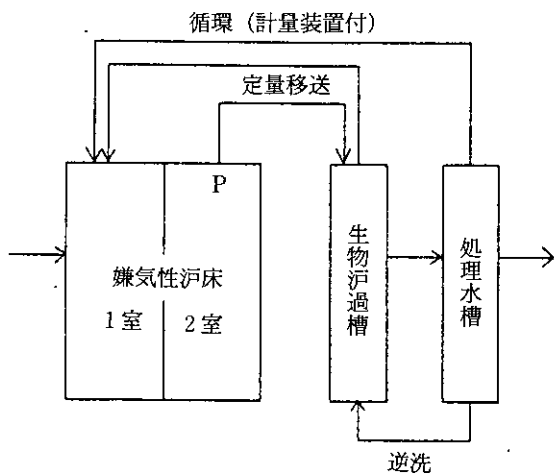
平均値として表8に示した。流量調整嫌気ろ床生物ろ過循環方式は嫌気ろ床接触ばつ気循環方式に比べ人槽比が高かったが、浄化特性は良好で、処理水のBODは6.5 mg/l、T-Nは7.5 mg/lといずれも10 mg/l以下であった。また、嫌気ろ床接触ばつ気循環方式においても、負荷が低かったこともあるがBOD 10 mg/l、T-N 11.5 mg/lの高い処理性能が得られた。

特に、流量調整嫌気ろ床生物ろ過循環方式においては、人槽比1すなわち100%負荷においても、処理水質としてBOD、T-Nのいずれも10 mg/l以下の値を満足できることが明らかとなり、水質の高度処理を図る上では、流量調整を行いかつ循環を行うことの重要性を明らかとした。

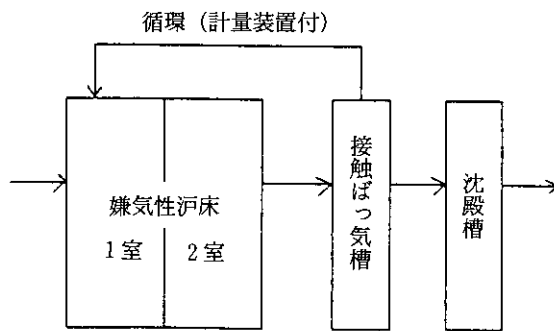
なお、非循環型嫌気ろ床接触曝気方式における処理水のBODは、接触曝気槽の生物膜の剥離時に水量ピークが負荷されると、大幅にBOD 20 mg/lを超過すること、またT-Nについては、常時30~40 mg/lが観察され、循環方式に比べてBODの除去性能も安定化せず、かつ窒素の除去性能も著しく低いことが明らかとなった。さらに、汚泥管理から見た場合、循環してもしなくても年1回の引き抜きで十分に対応可能なことが分かった。

(4) まとめ

本調査実証研究では、ベンチスケール規模の基礎研究から提案された高度小規模合併処理浄化槽を個別家庭に設置して処理性能の評価を行ったが、循環を組み込むことにより、①硝化に伴う好気槽の酸性化を嫌気生物膜反応槽の脱窒に伴うアルカリ度の補給によって中性に維持することが可能となり、②生物学的硝化脱窒が円滑に進行し、③処理水のBODとT-Nが共に10 mg/l以下の高度な水質が得られ、しかも④中性化に伴う有用微生物の凝集化により透明な水質の得られることなど従来の処理法に比べて優れた処理性能を持つことが実証できた。



a. 流量調整式嫌気ろ床生物ろ過循環方式



b. 嫌気ろ床接触ばつ気循環方式

図37 高度小型合併処理浄化槽のプロセス図

表8 高度小規模合併処理浄化槽による水質改善効果

処理方式	BOD(mg/l)	T-N(mg/l)	SS(mg/l)	透視度(cm)
流量調整式嫌気ろ床生物ろ過	7.0	8.0	6.0	80.0
嫌気ろ床接触ばつ気循環法	10.0	12.0	11.0	60.0

2.4 総括および研究展望

内湾、湖沼等の公共用水域の汚濁負荷量の約70%を占める小規模排水の水質改善に資することを目的とした本特別研究において得られた検討結果を各サブテーマごとに示すと以下のとおりである。

サブテーマ1「小規模排水の特性および生物処理の適用性に関する調査研究」では、最適小規模排水処理システムの開発と評価に必要な研究を高率的に遂行するため

の基礎的知見の集積を行った。その結果、BOD への影響度の高いのは油分、透視度、全リンであり、特に油分処理を効果的に行うことの重要性が確認された。

サブテーマ2「小規模排水の栄養塩類除去システムの開発に関する研究」では、小規模排水中に含まれる窒素および有機物を分解する細菌、原生動物や微小後生動物などの有用微生物の組み込まれた小規模排水処理システムの開発を主として行った。得られた知見は以下に示すとおりである。

(1) 小規模合併処理浄化槽を想定したベンチスケールの嫌気・好気循環生物膜法に着目して検討を加えたところ、好気生物膜反応槽の処理水を嫌気生物膜反応槽にポンプで戻すという循環を組み込むことによって処理の安定化、効率化、汚泥の減量化が行われることが明らかとなった。

(2) 小規模排水の処理の高度化および維持管理の容易化を図るために自動制御を組み込んで有機物と窒素の除去能の安定化・効率化について検討を行った。その結果、嫌気（非ばっ気）時間と好気（ばっ気）時間をDOで制御することにより、有機物負荷及び窒素負荷が変動しても効果的な処理性能が得られること、さらに有用微生物としての硝化細菌、脱窒細菌のバイオマスと活性が高く保持されることから、硝化と脱窒が極めて効果的に行われ、高度の窒素除去を行えることを明らかにすることができた。

本サブテーマでは主に有機物と窒素除去に重点をおいて研究を行い、ほぼ所期の目的は達成できたことから、今後はリン除去も含めた実用システムとしての処理の高度化に関する開発研究が必要であると考えられた。

サブテーマ3「小規模排水処理プロセスの技術およびシステム評価に関する研究」では、有用微生物の中で処

理の高度化に大きな役割を演じている微小動物に着目し、大量定着化と処理水の生態系への影響をパラメータとして、微小動物を活用した水処理技術の評価を行った。その結果、有用微生物として輪虫類 *Philodina erythro-phthalma* を大量定着化するためには洗米排水中に存在する増殖因子の必要なことが判明した。これらの成果に基づいて嫌気・好気処理方式の高度小規模合併処理浄化槽を個別家庭に設置して処理性能を調査したところ、処理水を循環することにより、①硝化に伴う好気槽の酸性化を嫌気生物膜反応槽の脱窒に伴うアルカリ度の補給によって中性に維持することが可能となり、②生物学的硝化脱窒が円滑に進行し、③処理水のBODとT-Nが共に10 mg/l以下の高度な水質が得られ、しかも④中性化に伴う有用微生物の凝集化により透明な水質の得られることなど従来の処理法に比べて優れた処理性能を持つことが実証できた。

以上の知見より、有機物、栄養塩類の除去を必要とする小規模排水処理の高度・効率化とその維持管理の容易化を図るためには、嫌気好気循環、制御化、処理プロセスのハイブリッド化が重要であることが明らかとなった。

今後、公共用水域の水質改善を図り快適な水辺環境を創造していくためには、高度な水質改善技術の開発と評価に関する研究がますます重要になってくると考えられる。特に、効率的な高度排水処理法の確立とシステム化は、湖沼、海域において課せられることになる窒素・リンの環境基準、排水基準さらには上乘せ基準を含めた排水基準、第4次総量規制、生活排水処理施設等の面整備にかかわる対応につながることからの必須の課題であり、地方公害研究所等と連携をとった研究開発を推進していくことが重要であると考えられる。

[資料]

I 研究の組織と研究課題の構成

1 研究の組織

[A 研究担当者]

地域環境研究グループ

統括研究官	内藤正明
水改善手法研究チーム	稲森悠平・松重一夫・今井章雄
湖沼保全研究チーム	高木博夫
新生生物評価研究チーム	近藤矩朗・岩崎一弘

水土壤圏環境部

上席研究官	相崎守弘
-------	------

地球環境研究センター

研究管理官	原沢英夫
-------	------

[B 客員研究員]

杉浦 則夫	(茨城県衛生研究所)	(平成2年度)
田中 修三	(明星大学)	(平成2年度)
戎野 棟一	(東邦大学)	(平成2～4年度)
遠藤 銀朗	(東北学院大学)	(平成2～4年度)
川端善一郎	(愛媛大学)	(平成2～4年度)
栗原 康	(奥羽大学)	(平成2～4年度)
須藤 隆一	(東北大学)	(平成3～4年度)
滝 和夫	(千葉工業大学)	(平成3～4年度)
中西 弘	(山口大学)	(平成3～4年度)
中村 以正	(筑波大学)	(平成3～4年度)
長坂 實上	(茨城大学)	(平成3～4年度)
高橋三保子	(筑波大学)	(平成4年度)
林 紀男	(千葉県立中央博物館)	(平成4年度)
細見 正明	(東京農工大学)	(平成4年度)

2 研究課題と担当者 (*客員研究員)

2.1 小規模排水の特性及び生物処理適用性の調査

稲森悠平・松重一夫・今井章雄・高木博夫・田中修三*・滝 和夫*・中西 弘*・高橋三保子*

2.2 有用微生物を用いた栄養塩類等の除去システムの開発

稲森悠平・松重一夫・今井章雄・高木博夫・杉浦則夫*・戎野棟一*・須藤隆一*・中村以正・長坂實上*

2.3 有用微生物を用いた処理プロセスの技術及びシステム評価

稲森悠平・松重一夫・今井章雄・高木博夫・遠藤銀朗*・川端善一郎*・栗原 康*・林 紀男*・細見正明*

Ⅱ 研究成果発表一覧

1 誌上发表

発表者	題 目	掲 載 誌	巻(号)	ページ	刊年
Y. Inamori, Y. Kuniyasu, R. Sudo, M. Koga	Control of the growth of filamentous microorganisms using predacious ciliated protozoa	Water Sci. & Technol.	23	963-971	1990
Y. Inamori, T. Ouchiyaama, N. Sugiura, R. Sudo	Decomposition and removal of musty odor producing <i>Phormidium tenue</i> by bacteria and smaller animals	Water Sci. & Technol.	23	991-999	1990
Y. Inamori, Y. Kuniyasu, N. Hayashi, H. Ohtake, R. Sudo	Monoxenic and mixed cultures of the small metazoa <i>Philodina erythrophthalma</i> and <i>Aeolosoma hemprichi</i> isolated from a waste-water treatment process	Appl. Microbiol. Biotechnol.	34	404-407	1990
M. Hosomi, Y. Inamori, K. Matsushige, R. Sudo	Denitrification of landfill leachate by the modified rotating biological contactor (RBC)	Water Sci. & Technol.	23	1477-1485	1991
N. Sugiura, Y. Inamori, R. Sudo, Y. Miyoshi	Effects of physicochemical factors on graze and decomposition of blue-green alga, <i>Microcystis aeruginosa</i> by mastigophora, <i>Monas guttula</i>	Jpn. J. Water Treat. Biol.	27(1)	111-116	1991
Y. Inamori, K. Murakami R. Sudo, Y. Kurihara, N. Tanaka	Environmental assessment method for field release of genetically engineered microorganisms using microcosm systems	Water Sci. & Technol.	26(9-11)	2161-2164	1992
K. Murakami, Y. Inamori, R. Sudo, Y. Kurihara	Effect of temperature on prosperity and decay of genetically engineered microorganisms in a microcosm system	Water Sci. & Technol.	26(9-11)	2165-2168	1992
N. Sugiura, Y. Inamori, T. Ouchiyaama, R. Sudo	Degradation of cyanobacteria, <i>Microcystis</i> by microflagellate, <i>Monas guttula</i>	Water Sci. & Technol.	26(9-11)	2173-2176	1992
A. Imai, N. Iwami, K. Matsushige, Y. Inamori, R. Sudo	Removal of refractory organics and nitrogen from landfill leachate by the microorganism-attached activated carbon fluidized bed process	Water Res.	27(1)	143-145	1993
N. Iwami, A. Imai, Y. Inamori, R. Sudo	Treatment of a landfill leachate containing refractory organics and ammonium nitrogen by the microorganism-attached activated carbon fluidized bed process	Water Sci. & Tecno.	26(9-11)	1999-2002	1992

発表者	題 目	掲 載 誌	巻(号)	ページ	刊年
稲森悠平, 林 紀男, 須藤隆一	水路による汚濁河川水の直接浄化	用水と廃水	32	692-697	1990
稲森悠平, 林 紀男, 須藤隆一	直接浄化法を活用した河川水からの汚濁負荷の削減	用水と廃水	32	970-977	1990
稲森悠平, 大野泰宏, 彼谷邦光, 渡辺 信, 須藤隆一	<i>Microcystis viridis</i> 産成有毒物質の浄水の生物膜法による分解除去	水質汚濁研究	13	525-530	1990
稲森悠平, 大内山高広, 杉浦則夫, 須藤隆一, 青山莞爾	カビ臭生成 <i>Phormidium tenue</i> の細菌および微小動物による分解・除去	水質汚濁研究	13	592-598	1990
稲森悠平, 須藤隆一	水環境改善のための浄化槽の技術開発の課題と展望	浄化槽	170(6)	27-33	1990
稲森悠平, 林 紀男, 須藤隆一	好気性微生物と水処理	浄化槽	176(12)	29-34	1990
稲森悠平, 林 紀男, 須藤隆一	生物膜に出現する微生物とその役割	環境技術	19	278-281	1990
稲森悠平	水質保全と排水・廃棄物のリサイクル	金属	60(10)	44-49	1990
稲森悠平, 須藤隆一	マイクロコズムシステムによる外来微生物の影響評価	海洋	23(1)	18-26	1991
稲森悠平, 細見正明, 須藤隆一	地球温暖化の原因となる温室効果ガスの排水処理施設からの発生抑制対策	用水と廃水	33(1)	28-34	1991
稲森悠平, 林 紀男, 須藤隆一	環境改善のための水質汚濁防止技術の現状と動向	JETI	39(3)	115-123	1991
稲森悠平	生物膜法による排水処理の高度・効率化の動向	水質汚濁研究	13	563-574	1991
稲森悠平, 須藤隆一	小規模合併処理浄化槽における流量調整の重要性について	生活排水	11(1)	1-7	1991
稲森悠平	嫌気・好気処理方式浄化槽	空気調和・衛生工学	65(1)	31-35	1991
松重一夫, 稲森悠平, 須藤隆一, 砂原広志	嫌気性ろ床法の処理能に及ぼす有機物濃度の影響	用水と排水	32	1085-1089	1990
須藤隆一, 細見正明, 稲森悠平, 松重一夫	アシを用いた水質浄化法	「人間環境系」研究報告集 G022 N13-02環境に適合する分散型排水処理方式の検討		256-280	1990
細見正明, 稲森悠平, 須藤隆一	土壌処理過程におけるリンの形態変化	用水と廃水	32(7)	27-31	1990
今井章雄, 岩見徳雄, 稲森悠平	用排水における活性炭利用技術	JETI	39(11)	171-174	1991
細見正明, 松重一夫, 稲森悠平, 須藤隆一	回分式活性汚泥法による埋立処分地浸出水中の窒素ならびに難分解性有機物の除去	廃棄物学会論文誌	2(4)	74-82	1991
杉浦則夫, 稲森悠平, 須藤隆一	ベン毛虫類によるアオコの分解	用水と廃水	33(8)	19-24	1991
稲森悠平, 関根孝夫, 古屋 昇, 須藤隆一	活性汚泥法の処理の高度化における管理の意義と重要性	用水と廃水	33(10)	3-9	1991

発 表 者	題 目	掲 載 誌	巻(号)	ペー ジ	刊年
山本 淳, 宮崎 清, 近藤基一, 松永和義, 森 忠繁, 稲森悠平	小規模飲食店排水の汚濁負荷量の 実態調査	用水と廃水	33(11)	21-26	1991
稲森悠平, 須藤隆一	公共用水域の水環境保全のための 合併処理浄化槽の構造基準の改正 と留意点	月刊生活排水	11(3)	1-7	1991
稲森悠平, 須藤隆一	生活・産業系排水対策の現状と窒 素・リン削減をめざした高度処理 技術の動向	公害と対策	27(9)	15-23	1991
須藤隆一, 稲森悠平, 国安祐子	生物膜法	造水技術	17(4)	38-43	1991
稲森悠平, 林 紀男, 須藤隆一	水環境改善の新たな展開	JETI	39(11)	164-167	1991
古屋 昇, 関根孝夫, 稲森悠平	用排水および汚泥処理における凝 集剤利用技術	JETI	39(11)	168-170	1991
古屋 昇, 関根孝夫, 稲森悠平	用排水処理におけるイオン交換樹 脂利用技術	JETI	39(11)	175-178	1991
杉浦則夫, 可児良弘, 稲森悠平, 須藤隆一	活性炭の細孔分布とカビ臭物質, 2-メチルイソボルネオールおよび ジオスミンの吸着能	日本水処理生物学会誌	27(1)	13-19	1991
杉浦則夫, 稲森悠平, 須藤隆一	生物膜法による汚濁湖沼の水質改 善	日本水処理生物学会誌	27(1)	77-82	1991
稲森悠平, 林 紀男	窒素・リン排水規制強化の必要性	月刊生活排水	12(11)	1-9	1992
林 紀男, 稲森悠平, 須藤隆一	有用微小後生動物輪虫類 <i>Philod- ina erythropthalma</i> のバイオリ アクターへの定着化のための高密 度培養法に関する研究	水環境学会誌	15(7)	457-464	1992
稲森悠平, 須藤隆一	水環境の現状と将来	精密工学会誌	58(1)	30-37	1992
稲森悠平, 高木博夫, 須藤隆一	水環境改善のためのこれからの生 物・物理・化学的処理技術の開発 の方向性	JETI	40(3)	47-53	1992
稲森悠平, 須藤隆一	中規模合併処理浄化槽構造基準の 意義と留意点	空気調和・衛生工学	66(8)	39-44	1992
稲森悠平, 林 紀男, 須藤隆一	生活排水対策の高度化の課題と展 望	用水と廃水	34(1)	29-36	1992
稲森悠平, 須藤隆一	高度水処理技術開発の動向・課 題・展望	用水と廃水	34(10)	11-17	1992
孔海南, 稲森悠平, 中西 弘, 須藤隆一	自己造粒プロセスによる高度処理	用水と廃水	34(10)	25-31	1992
須藤隆一, 今井章雄, 杉浦則夫, 稲森悠平	生物活性炭流動床プロセスによる 高度処理	用水と廃水	34(11)	10-17	1992

2 口頭発表

発表者	題目	学会等名称	開催都市名	年月
M. Hosomi, Y. Inamori, K. Matsushige, R. Sudo	Denitrification of landfill leachate by the modified rotating biological contactor (RBC)	15th Bienn. Conf. IAWPRC	Kyoto	2.7
N. Sugiura, O. Yagi, Y. Inamori, R. Sudo	Effect of algae on the musty odor production by actinomycetes	15th Int. Assoc. Water Pollut. Res. Cont.	Kyoto	2.7
稲森悠平, 梁相, 杉浦則夫, 須藤隆一, 大内山高広, 大野泰宏, 青山莞爾	ベン毛虫類によるアオコ分解に及ぼす物理的因子の影響	日本水処理生物学会第27回大会	小 諸	2.11
杉浦則夫, 一条悟朗, 稲森悠平, 須藤隆一	アオコを分解する細菌	日本水処理生物学会第27回大会	小 諸	2.11
大内山高広, 杉浦則夫, 稲森悠平, 須藤隆一, 青山莞爾	霞ヶ浦における原生動物縁毛類の消長	日本水処理生物学会第27回大会	小 諸	2.11
須藤隆一, 杉浦則夫, 一条悟朗, 稲森悠平, 大内山高広, 青山莞爾	カビ臭産生藻 <i>Phormidium tenue</i> を分解するベン毛虫類	日本水処理生物学会第27回大会	小 諸	2.11
杉浦則夫, 一条悟朗, 大内山高広, 稲森悠平, 須藤隆一, 青山莞爾	生物膜を用いたカビ臭産生藻 <i>Phormidium tenue</i> の分解	日本水処理生物学会第27回大会	小 諸	2.11
杉浦則夫, 稲森悠平, 須藤隆一	活性炭の細孔分布とカビ臭物質の吸着能	日本水処理生物学会第27回大会	小 諸	2.11
稲森悠平, 今井章雄, 田中伸幸, 藤井宏一, 村上和仁, 須藤隆一	水圏微生物生態系に及ぼす組換え微生物の影響解析	日本水処理生物学会第27回大会	小 諸	2.11
稲森悠平, 佐藤正志, 村上和仁, 田中伸幸, 須藤隆一, 栗原 康	マイクロコズムにおける組換え体の生存に及ぼす温度の影響	日本水処理生物学会第27回大会	小 諸	2.11
国安祐子, 稲森悠平, 須藤隆一, 河野哲朗	<i>Trithigmostoma cucullulus</i> による糸状微生物の捕食と減量化	日本水処理生物学会第27回大会	小 諸	2.11
林 紀男, 稲森悠平, 須藤隆一	輪虫類 <i>Philodina erythrophthalma</i> の大量培養における生育因子の効果	日本水処理生物学会第27回大会	小 諸	2.11
稲森悠平, 宗 吉明, 松重一夫, 須藤隆一, 中村以正	合併処理浄化槽に出現する無セキツイ動物ミズムシ類, 巻貝類の捕食, 生存特性と環境因子	日本水処理生物学会第27回大会	小 諸	2.11
稲森悠平, 松重一夫, 細見正明, 今井章雄, 岩見徳雄, 和田康里	合併処理浄化槽からの温室効果ガスの発生抑制対策	日本水処理生物学会第27回大会	小 諸	2.11
稲森悠平, 孔海南, 須藤隆一, 大野 茂	自己造粒プロセスにおける有機物, 窒素の除去と造粒及び発生ガスの特性	日本水処理生物学会第27回大会	小 諸	2.11
稲森悠平, 孔海南, 今井章雄, 松重一夫, 大野 茂, 須藤隆一	UASB・セラミック充ふん好気ろ床循環プロセスにおける有機物, 窒素の除去特性	第25回水質汚濁学会	仙 台	3.3

発 表 者	題 目	学会等名称	開催都市名	年月
稲森悠平, 宗吉明, 松重一夫, 須藤隆一, 中村以正	生活排水の小規模処理システムにおける巻き貝類, ミズムシ類と浄化特性	第25回水質汚濁学会	仙 台	3.3
稲森悠平, 梁相, 杉浦則夫, 徐胤洙, 須藤隆一	ベン毛虫類モナスによるアオコの分解と環境因子	第25回水質汚濁学会	仙 台	3.3
須藤隆一, 稲森悠平, 市川多加子, 鎌形洋一, 中村和憲	嫌気性原生動物の分離, 培養, 保存	第25回水質汚濁学会	仙 台	3.3
杉浦則夫, 一条悟朗, 稲森悠平, 須藤隆一	ベン毛虫類によるアオコの分解特性	第25回水質汚濁学会	仙 台	3.3
稲森悠平, 須藤隆一, 彼谷邦光, 渡辺 信, 大野泰宏, 青山莞爾	<i>Microcystis viridis</i> 産生有毒物質ミクロキスチン RR の生分解	第25回水質汚濁学会	仙 台	3.3
大内山高広, 杉浦則夫, 一条悟朗, 稲森悠平, 須藤隆一, 青山莞爾	生物膜構成微生物によるカビ臭産生藻類 <i>Phormidium tenue</i> の分解特性	第25回水質汚濁学会	仙 台	3.3
稲森悠平, 林 紀男, 大塚 勝, 村上和仁, 須藤隆一	BT 剤等微生物農薬の微小動物の生存・捕食特性に及ぼす影響	第25回水質汚濁学会	仙 台	3.3
国安祐子, 稲森悠平, 今井章雄, 須藤隆一	バルキング原因糸状微生物の捕食, 減量化における輪虫類とベン毛虫類の共存効果	第25回水質汚濁学会	仙 台	3.3
北井良人, 宮本涼一, 笹川 猛, 稲森悠平	嫌気・好気循環合併処理浄化槽の水量ピーク変動と浄化特性	第25回水質汚濁学会	仙 台	3.3
稲森悠平, 松重一夫, 今井章雄, 細見正明, 岩見徳雄, 須藤隆一, 小沼和博, 照沼 洋	難分解性埋立地浸出水の嫌気・好気微生物活性炭流動床法における分解機構	第25回水質汚濁学会	仙 台	3.3
孔海南, 稲森悠平, 今井章雄, 須藤隆一	UASB および USB プロセスにおける有機物, 窒素の除去能と造粒特性	第25回水質汚濁学会	仙 台	3.3
須藤隆一, 稲森悠平	地球環境問題と排水の生物処理	第25回水質汚濁学会	仙 台	3.3
稲森悠平, 須藤隆一, 村上和仁, 大内山高広, 栗原 康	模擬環境における遺伝子組換え細菌の挙動	第25回水質汚濁学会	仙 台	3.3
松重一夫, 今井章雄, 稲森悠平, 細見正明, 岩見徳雄, 小沼和博, 須藤隆一	微生物活性炭流動床法における難分解性有機物の除去機構	日本水処理生物学会第27回大会	小 諸	2.11
須藤隆一, 細見正明, 稲森悠平, 松重一夫	アシを用いた水質浄化法	化学工学会	東 京	2.7
押田博之, 鈴木信貴, 瀧 和夫, 細見正明, 松重一夫, 稲森悠平	小型合併処理浄化槽における循環の効果	第25回水質汚濁学会	仙 台	3.3
稲森悠平, 今井章雄, 中村智明, 石黒智彦	ダイオキシン類の生物分解に及ぼす埋立地浸出水成分の影響	日本水処理生物学会第28回大会	神 戸	3.11
岩見徳雄, 今井章雄, 稲森悠平, 須藤隆一	微生物活性炭流動床法における埋立地浸出水の処理に及ぼす HRT の影響	日本水処理生物学会第28回大会	神 戸	3.11

発 表 者	題 目	学会等名称	開催都市名	年月
林 紀男, 稲森悠平, 須藤隆一	輪虫類 <i>Philodina erythrophthalma</i> の高 密度培養	日本水処理生物学会第28 回大会	神 戸	3.11
稲森悠平, 岩見徳雄, 杉浦則夫, 藤本尚志, 須藤隆一	大型淡水マイクロコズムにおけるベン 毛虫 <i>Monas guttula</i> の存在の有無とア オコの分解特性	日本水処理生物学会第28 回大会	神 戸	3.11
金周永, 須藤隆一, 稲森悠平, 今井章雄	微生物活性炭における細菌相と付着特 性に関する研究	日本水処理生物学会第28 回大会	神 戸	3.11
稲森悠平, 村上和仁, 赤松俊昌, 林 隆之, 須藤隆一, 栗原 康	マイクロコズムの安定性に及ぼす種構 成と培養条件の影響	日本水処理生物学会第28 回大会	神 戸	3.11
須藤隆一, 遠藤健一郎, 稲森悠平, 細見正明, 煙草森直子	内湾汚濁水の生物膜法による浄化	日本水処理生物学会第28 回大会	神 戸	3.11
孔海南, 中西 弘, 稲森悠平, 今井章雄	UASB・生物膜プロセスにおける循環の 有無と造粒特性	日本水処理生物学会第28 回大会	神 戸	3.11
柳徳熙, 稲森悠平, 徐胤洙, 須藤隆一	生活排水の嫌気・好気循環生物膜・トレ ンチ法による高度処理	日本水処理生物学会第28 回大会	神 戸	3.11
稲森悠平, 孔海南, 須藤隆一	生物ろ過法における微生物保持担体の 種類と処理特性との比較評価	日本水処理生物学会第28 回大会	神 戸	3.11
杉浦則夫, 稲森悠平, 須藤隆一	新しく分離したラン藻による霞ヶ浦の カビ臭発生	日本水処理生物学会第28 回大会	神 戸	3.11
大内山高広, 杉浦則夫, 稲森悠平, 青山莞爾	生物膜処理プロセスにおける微小動物 相とカビ臭分解との関係	日本水処理生物学会第28 回大会	神 戸	3.11
稲森悠平, 今井章雄, 中村智明, 戎野棟一, 石黒智彦	埋立地浸出水等に含有される難分解性 物質ジベンゾフランの生分解	日本水環境学会第26回大 会	東 京	4.3
林 紀男, 稲森悠平, 須藤隆一	有用微小動物 <i>Philodina erythrophthal ma</i> の大量培養における基質添加の効 果	日本水環境学会第26回大 会	東 京	4.3
大内山高広, 杉浦則夫, 稲森悠平, 青山莞爾, 須藤隆一	生物膜に出現する微小動物類によるカ ビ臭産生ラン藻類の捕食	日本水環境学会第26回大 会	東 京	4.3
稲森悠平, 村上和仁, 林隆之, 須藤隆一, 栗原 康	マイクロコズムの振とう・静置下での組 換え細菌と構成生物の消長	日本水環境学会第26回大 会	東 京	4.3
稲森悠平, 岩見徳雄, 杉浦則夫, 藤本尚志, 須藤隆一	淡水マイクロコズムにおけるアオコ分 解に果すベン毛虫類の役割に関する評 価解析	日本水環境学会第26回大 会	東 京	4.3
稲森悠平, 大野泰宏, 岩見徳雄, 須藤隆一, 青山莞爾	<i>Microcystis viridis</i> の含有する有毒物質 ミクロキスチン RR の生分解に関連す る因子解明に関する研究	日本水環境学会第26回大 会	東 京	4.3
金周永, 須藤隆一, 稲森悠平, 今井章雄	活性炭への親和性と細菌の種類との関 係	日本水環境学会第26回大 会	東 京	4.3
稲森悠平, 高井智丈, 平田 彰	嫌気・好気生物膜法の処理機能に及ぼす pH 等の環境因子の影響	日本水環境学会第26回大 会	東 京	4.3
稲森悠平, 大野泰宏, 村上和仁, 須藤隆一	河川水を用いた模擬環境における遺伝 子組換え細菌の挙動	日本水環境学会第26回大 会	東 京	4.3

発表者	題目	学会等名称	開催都市名	年月
田中伸幸, 森忠洋, 稲森悠平, 須藤隆一	マイクロコズムを構成する微生物間相互作用に及ぼす代謝産物の影響	日本水環境学会第26回大会	東京	4.3
杉浦則夫, 稲森悠平, 須藤隆一	霞ヶ浦のカビ臭発生の原因	日本水環境学会第26回大会	東京	4.3
孔海南, 中西 弘, 稲森悠平, 須藤隆一	循環自己造粒、生物膜プロセスにおける造粒及び処理性能	日本水環境学会第26回大会	東京	4.3
稲森悠平, 須藤隆一, 村上和仁, 赤松俊昌	マイクロコズムにおける種構成と系の安定性	日本水環境学会第26回大会	東京	4.3
山田一隆, 鎌形洋一, 中村和憲, 中村以正, 稲森悠平, 須藤隆一	嫌気ろ床に生息する嫌気性原生動物の細菌捕食特性	日本水環境学会第26回大会	東京	4.3
稲森悠平, 木村真子, 中村以正, 田中祐作, 細見正明, 須藤隆一	木炭充填生物膜法による低濃度汚濁内湾水の浄化	日本水処理生物学会第29回大会	仙台	4.11
稲森悠平, 高木博夫, 金周永, 須藤隆一, 近山憲幸, 大内山高広, 杉浦則夫	汚濁湖沼水の微生物固定化法による浄化における処理特性と生物相との関係	日本水処理生物学会第29回大会	仙台	4.11
稲森悠平, 高井智丈, 平田 彰	嫌気好気生物膜循環法における pH 中性化の硝化細菌のバイオマス, 活性保持, 脱窒能向上に対する効果	日本水処理生物学会第29回大会	仙台	4.11
孔海南, 中西 弘, 稲森悠平, 須藤隆一	循環 UASB・生物膜法のグラニューールの脱窒活性と菌分布	日本水処理生物学会第29回大会	仙台	4.11
稲森悠平, 照沼 洋, 岡部 洋, 水落元之, 須藤隆一	生物処理プロセスから発生する地球温暖化ガス CH ₄ , NO _x の抑制	日本水処理生物学会第29回大会	仙台	4.11
中村智明, 戎野棟一, 稲森悠平, 須藤隆一, 石黒智彦	包括固定化 <i>Pseudomonas aeruginosa</i> を充てんしたバイオリアクターによるダイオキシン類の生分解	日本水処理生物学会第29回大会	仙台	4.11
稲森悠平, 徐正範, 徐胤洙, 孔海南, 近藤雅夫, 上原 勝	高濃度活性汚泥・UF 膜法における Flux に及ぼす操作因子の影響	日本水処理生物学会第29回大会	仙台	4.11
稲森悠平, 照沼 洋, 戎野棟一, 山本 眞, 内田達也	間欠ばっ気活性汚泥の嫌気・好気時間比の自動制御による N, P の高度除去	日本水処理生物学会第29回大会	仙台	4.11
林 紀男, 稲森悠平, 須藤隆一	生物処理反応槽をモデル化した人工生態系における輪虫類の大量定着化に関する研究	日本水処理生物学会第29回大会	仙台	4.11
杉浦則夫, 稲森悠平, 金周永, 須藤隆一	活性炭によるカビ臭物質の吸着に及ぼす共存物質の影響	日本水処理生物学会第29回大会	仙台	4.11
金周永, 須藤隆一, 伏見 聡, 稲森悠平, 杉浦則夫	活性炭およびセラミックスに対する細菌類の親和性と基質除去特性	日本水処理生物学会第29回大会	仙台	4.11
大内山高広, 杉浦則夫, 稲森悠平, 須藤隆一	環境水域における縁毛類 <i>Vorticella</i> 属の分類	日本水処理生物学会第29回大会	仙台	4.11
稲森悠平, 今井章雄, 小沼和博, 須藤隆一	オゾン酸化による埋立地浸出水の有機物の形態変化と生分解性の向上	日本水処理生物学会第29回大会	仙台	4.11

発 表 者	題 目	学会等名称	開催都市名	年月
埜 隆之, 須藤隆一, 稲森悠平	埋立地浸出水に含まれるアンモニア性窒素の微生物の増殖に及ぼす影響	日本水処理生物学会第29回大会	仙 台	4.11
稲森悠平, 高木博夫, 秋元里乃, 中村以正, 須藤隆一	有毒アオコ産生の MicrocystinRR の生分解におよぼす環境因子の研究	日本水処理生物学会第29回大会	仙 台	4.11
藤本尚志, 須藤隆一, 稲森悠平, 岩見徳雄	微細藻類の増殖特性に及ぼす温度変化の影響	日本水処理生物学会第29回大会	仙 台	4.11
岩見徳雄, 稲森悠平, 杉浦則夫, 須藤隆一	微小動物の捕食作用を活用したアオコの分解と淡水マイクロコズムにおける消長	日本水処理生物学会第29回大会	仙 台	4.11
稲森悠平, 高木博夫, 高松良江, 須藤隆一	マイクロコズムを用いた界面活性剤の生態系影響評価	日本水処理生物学会第29回大会	仙 台	4.11
村上和仁, 岡田光正, 稲森悠平, 須藤隆一, 栗原 康	マイクロコズムにおける微生物農薬BT菌の生残と温度との関係	日本水処理生物学会第29回大会	仙 台	4.11
稲森悠平, 須藤隆一, 村上和仁, 角田美奈子, 佐藤瑠佳, 青山莞爾, 栗原 康	遺伝子組換え細菌と親株細菌の相互作用に及ぼす各種要因の影響	日本水処理生物学会第29回大会	仙 台	4.11
田中伸幸, 稲森悠平, 須藤隆一, 森 忠洋, 川端善一郎	マイクロコズムにおける添加組換え微生物の生残に及ぼす代謝産物の影響	日本水処理生物学会第29回大会	仙 台	4.11
小林浩幸, 須藤隆一, 稲森悠平	海産植物プランクトンと有機汚濁指標の関係	日本水処理生物学会第29回大会	仙 台	4.11

平成4年度 編集小委員会

委員長	近藤 矩朗	委員	瀬山 春彦
委員長代理	松本 幸雄	〃	鈴木 明夫
委員	栗原 崇	〃	杉本 伸夫
〃	山下 洋一	〃	海老瀬 潜一
〃	原島 省	〃	田中 浄子
〃	坂巻 史郎	事務局	松井 文子
〃	高橋 慎司		
〃	須賀 伸介		

RESEARCH REPORT FROM
THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES, JAPAN

国立環境研究所特別研究報告

SR-17-'94

平成6年3月16日発行

編集 国立環境研究所 編集小委員会

発行 環境庁 国立環境研究所

〒305 茨城県つくば市小野川16番2

電話 0298-51-6111(代表)

印刷 株式会社 エリート印刷

〒300-12 茨城県牛久市柏田町3269

Published by the National Institute for Environmental Studies
16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305 Japan
September 1993

本報告書は再生紙を使用しています。