

199900657

平成11年度

厚生科学研究費生活安全総合研究事業
膜処理法を導入した小型生活排水処理装置の
実用化に関する研究報告書

平成12年3月

財団法人 日本環境整備教育センター

目次

はじめに

1. 研究目的.....1
2. 研究内容及び実施計画.....1
3. 研究結果の概要.....3

第1章 膜と担持微生物のハイブリッドによる硝化・脱窒素反応の高度化

1. 1 はじめに9
1. 2 実験の概要9
1. 3 結果及び考察11
1. 4 まとめ15

第2章 膜分離装置を組み込んだ小型合併処理浄化槽の開発に関する研究

2. 1 はじめに16
2. 2 研究グループの構成16
2. 3 膜分離装置を用いた既存単独処理浄化槽の合併化.....16
2. 4 まとめ.....26

第3章 メッシュろ過による汚泥濃縮に関する研究

3. 1 はじめに27
3. 2 実験方法27
3. 3 結果と考察.....29
3. 4 まとめ32

第4章 超音波膜処理による小型水処理装置の開発

4. 1 はじめに34
4. 2 実験方法34
4. 3 結果と考察37
4. 4 まとめ43

| | | |
|-----|-------------------------------|----|
| 第5章 | 膜分離活性汚泥の挙動の予測手法の開発 | |
| 5.1 | カルマンフィルタを用いた予測手法の開発 | 45 |
| 5.2 | 壁面近傍における気泡上昇に伴う気液固界面付近の流れの解析 | 57 |
| 第6章 | 浸漬膜分離活性汚泥法における微生物生態系を利用した汚泥管理 | |
| 6.1 | はじめに | 61 |
| 6.2 | 実験方法 | 61 |
| 6.3 | 実験結果 | 63 |
| 6.4 | まとめ | 71 |
| 第7章 | 膜分離型小型合併処理浄化槽の維持管理方法に関する研究 | |
| 7.1 | はじめに | 73 |
| 7.2 | 実験の方法及び結果 | 73 |
| 7.3 | まとめ | 78 |

はじめに

1. 研究の目的

小型合併処理浄化槽は、下水道と同等の処理性能を有する生活排水の処理施設として開発・実用化され、急速に普及しつつあるが、水環境の保全に対する社会的要請の高まりから、今まで以上に高度な処理機能を有することが求められてきている。

また、病原性大腸菌O-157やクリプトスポリジウムなど経口摂取によって下痢症等を引き起こす感染性微生物が大きな社会問題となっており、これらの感染者が浄化槽を使用した場合でも、浄化槽放流水の衛生学的な安全性を確保する方策の確立が求められている。

我が国では、21世紀を迎えるに当たり、豊かでうるおいのある生活の創造が強く求められている。これまでは、日常生活に伴って生じた汚水は速やかに生活の場から排除し遠ざけるという発想であったが、小型合併処理浄化槽の普及により下水道等の施設がない場合においても、汚れた水はその場で処理し、きれいな状況にして元の環境に戻すことが可能となってきた。さらに、処理の高度化を進めれば処理水の再利用など水資源の確保・有効利用のみならず、身近なせせらぎの回復など、うるおいのある地域の水を基軸とした環境の創造にもつながるものと期待される。

このような社会の要請に応えていくためには、より高度な処理を行い従来の生物処理では分解・除去することが困難であった汚濁成分を除去することに加え、大腸菌やウイルス等の微生物の除去までも行い、衛生面での安全性を確保することが重要である。

そこで本研究は、水処理技術として、近年、著しく技術革新が行われている膜分離技術に焦点を当てて、これを活用した小型合併処理浄化槽の汚水処理技術を研究・開発することを目的とした。

2. 研究内容及び実施計画

(1)研究期間：3ヶ年（平成10年度～平成12年度）

(2)全体研究計画の概要

水処理技術として、近年、著しい技術革新が行われている膜分離技術は、微生物を高濃度に維持できるため処理施設のコンパクト化が可能であること、また、膜モジュールを付加することにより既存システムの改善が可能であること等に加え、処理水の循環利用等新たな可能性をもつものである。

そこで、し尿処理等各種水処理分野における膜分離技術の実態を踏まえて、生活排水処理分野における膜分離技術の適用可能性について研究し、必要となる技術の研究開発を行う。具体的な研究

課題は以下のとおりである。

1) 膜分離法における効率的な窒素除去に関する研究

膜分離法においては、硝化菌等の増殖速度が遅い細菌も洗い出しされることなく増殖が可能であるため、硝化が十分に進行する特性を有しているが、酸素が過剰に供給される傾向があり、脱窒反応が十分に進行する環境に至らない場合が認められる。そこで、膜分離活性汚泥法における窒素の効率的除去方法を確立するため、反応槽内に硝化細菌及び脱窒細菌を高濃度に保持することにより、好気性条件下における効率的な窒素除去方法を研究・開発する。

2) 生物処理との組合せによる小型の生活排水処理技術の確立に関する研究

既存の生物処理に膜分離技術を適用することにより、飛躍的な処理の高度化及び小型化が可能となる。また、微生物の完全な除去により、従来型の塩素消毒を用いずに衛生的な処理水を確保することも可能となる。そこで、各種膜分離装置のろ過特性の評価を行うとともに、膜分離を導入する際に最も問題となるファウリング防止技術を開発する。また、有機系の平膜及び中空糸膜を反応槽に浸漬させた膜分離活性汚泥法を用いた小型合併処理浄化槽を実際の家庭に設置し処理性能を明らかにする。

3) 膜分離技術による汚泥の減量化・処理方法の確立に関する研究

生活排水の処理には必ず汚泥の発生を伴うが、この汚泥をいかに減量化し、効率的に処理できるかが大きな課題となっている。そこで、汚泥の濃縮を目的とする場合、完全な汚泥分離を必要としないことに着目し、効率的で安定した汚泥濃縮が行える小型で維持管理が容易な汚泥の減量化・処理方法を研究・開発する。

4) 既設単独処理浄化槽の改造による合併処理化技術に関する研究

既設単独処理浄化槽を合併化する場合、既設の浄化槽をいったん撤去し、新たに膜処理型の浄化槽を導入することは、一般家庭においては敷地的な制限並びに財政的な負担を増大させることから困難と考えられる。そこで、既設単独処理浄化槽に付加することが可能な膜分離活性汚泥法の試験装置を設置し、既存単独処理浄化槽の膜型への改造方法について必要となる技術の研究開発を行うこととする。

(3)本年度の研究実施計画

1)本年度の研究内容

- ①好気性条件下における窒素除去に関する研究
- ②平膜及び中空糸膜を組み込んだ小型合併処理浄化槽の開発
- ③各種ろ過分離材を用いた汚泥濃縮に関する研究
- ④超音波処理によるファウリングの防止に関する研究
- ⑤膜の目詰まり過程の予測に関する研究
- ⑥活性汚泥を構成する生物の基礎的諸特性を明らかとするための研究
- ⑦膜分離浄化槽の維持管理方法に関する研究

本研究を実施するにあたり、「膜処理法を導入した小型生活排水処理装置の実用化検討委員会」を財団法人日本環境整備教育センターに設け委員会を開催した。委員会の構成は、以下に示すとおりである。

2)委員の構成

| | |
|-----------|-------------------------|
| 委員長：河村 清史 | (国立公衆衛生院廃棄物工学部廃棄物計画室長) |
| 委員：海野 肇 | (東京工業大学生命理工学部教授) |
| 大森 英昭 | ((財)日本環境整備教育センター調査研究部長) |
| 木曾 祥秋 | (豊橋技術科学大学エコロジー工学系助教授) |
| 小林 高臣 | (長岡技術科学大学工学部助教授) |
| 長岡 裕 | (武蔵工業大学工学部助教授) |
| 山本 和夫 | (東京大学環境安全研究センター教授) |
| 山本 康次 | (大阪府立公衆衛生研究所公衆衛生部主任研究員) |

3. 研究結果の概要

第1章 膜と担持微生物のハイブリッドによる硝化・脱窒反応の高度化

小規模排水処理システムによる処理効率向上の一つの方策は、複合機能を集積したコンパクトな微生物反応系を構成することである。このための課題は、増殖速度が遅い硝化菌を高濃度で反応器内に保持し、適切なプロトドナーを確保すると同時に脱窒細菌が生育可能な嫌気環境を維持することである。本研究では、好気反応槽内に適切な多孔質担体を投入してこれに微生物を担持させ、この担体内に好気と嫌気の相異なる環境の共存を実現し、さらに、排水中の有機質をプロトドナ

一として利用し、1つの好気反応槽内で硝化・脱窒反応を実現し、さらに、膜とハイブリッド化することによってより高度で、コンパクトな処理システムを構築することを最終目標としている。

微生物担持担体の流動層反応装置を用いる連続実験系を構成して有機質と窒素の同時除去能が付与できることを確認した平成10年度までの結果を踏まえて、平成11年度は担体流動層型の反応槽に平膜を組み込んで、その操作性能を検討するとともに、膜を導入することによって微生物反応現象にどのような変化が生じ膜の操作特性どのような影響がでるか、それがどのような機構によっているものかを明らかにして、それらが本研究の目的に添うものであるか否かを把握することとした。

微生物を担持させた担体を用いる流動層型反応装置とこの装置に平膜を組み込んだハイブリッド系を構成して450日以上連続運転を行って炭素源ならびに窒素源の種々の濃度条件下で窒素除去性能を検討した結果、適切なC/N条件下では、ハイブリッド系の方が硝化反応が進みかつ脱窒も促進されていることが確認された。ハイブリッド系では処理水の膜透過フラックスが重要な指標となるが、洗浄を行わない長期間運転の結果、0.2m/dのフラックスが吸引圧力約30kPaで安定に維持され、担体の共存によって膜のファウリングが抑えられていることが示された。

これらの現象は担体内の微生物活性分布の相違に由来するであろうことを前提に、微小電極を用いて担体内の溶存酸素濃度とグルコース濃度の分布を測定し膜を組み込まない系と比較した結果、ハイブリッド系の場合に嫌気領域に大きなグルコースフラックスが存在することが明らかになり、これが脱窒速度を大きくする要因となっていることを見出した。ハイブリッド系では非膜系に比べて溶存酸素がより担体内部にまで浸透していること、さらにグルコース濃度も同様であることから微生物を担持した担体が膜と衝突あるいは接触することにより、担体表面近傍の担持微生物が剥離して担体表面近傍の微生物濃度が低下したためと考えられる。この現象を適切に制御する方策を見出すことが効率的な窒素処理システムが構築する鍵になるものと考えられる。

第2章 膜分離装置を組み込んだ小型合併処理浄化槽の開発に関する研究

膜分離型小型合併処理浄化槽の実用化を目的として、平成10年度に室内実験及びパイロットプラントによる実験結果をふまえた実証試験装置を実際の戸建住宅に設置し、これまで検討されてきた維持管理方法を用いて運転した。その結果、3ヶ月に1回の保守点検、6ヶ月に1回の膜の薬品洗浄及び清掃を実施することにより、膜の透過性能に問題が生じることはなく、処理水質も良好で、安定した性能が維持できることが示され、実用化できることが明らかとなった。

一方、単独処理浄化槽の新設廃止が進められているなか、既設単独処理浄化槽の合併化技術の確立が緊急の課題となっている。単独処理浄化槽を合併化する場合、既設の浄化槽をいったん撤去し、新たに膜処理型の浄化槽を導入することは、一般家庭においては敷地的な制限並びに財政的な負担を増大させることから困難と考えられる。

そこで、比較的設置面積が小さく、かつ高度な処理水質の得られる方法として、既存浄化槽に膜分離活性汚泥法を用いた試験装置を付加する方法について、水処理会社、膜製造会社の参加する研究グループにおいて検討を行った。まず、既設単独処理浄化槽の合併化手法を検討するとともに、試験装置を戸建住宅に設置し、装置の処理機能及び維持管理の方法の検討を行った。その結果、以下の成果を得た。

①既設単独処理浄化槽を膜分離型合併処理浄化槽へ改造する手法として、3種類の処理フロー及び単位装置の構成を検討した。また、施工に必要な改造内容等、改造する場合に留意すべき事項などを明らかとした。

②既設単独処理浄化槽を膜分離型合併処理浄化槽へ改造した3施設の調査結果では、放流水質については、ほぼ良好な水質が得られた。ただし、膜分離槽のみで余剰汚泥を長期間貯留するのは困難であり、保守点検時に既設単独処理浄化槽へ移送する必要があると考えられた。特に、既設単独処理浄化槽(全ばっ気型)の容量の小さい施設では、MLSSの増加速度が速く、別途汚泥貯留槽を設ける必要があった。また、汚泥の移送が1ヶ月に1回程度必要な施設があったことから、汚泥移送の自動化、保守点検回数の増加等の対応が必要と考えられた。さらに、レベルスイッチ等の機器類についても検討を加え、改善してゆくことが必要と考えられた。

第3章 メッシュろ過による汚泥濃縮に関する研究

メッシュろ過と重力濃縮を組み合わせた方法により、回分操作で活性汚泥を濃縮できることをこれまでの研究において報告している。目開き100 μ m程度のメッシュで活性汚泥は分離・濃縮でき、必ずしも凝集剤を必要としないことに加えて簡易な操作が特徴といえる。

この方法は、①初期のろ過速度が著しく高い、②ろ過水の水質は砂ろ過法に比べても良好である、③回分式ろ過操作を行えばメッシュが閉塞しても常に洗浄が容易である、という特徴をもつ点に着目すると、メッシュろ過法による汚泥濃縮技術をより広い範囲に適用できるものと考えられる。

本年度は、回分式活性汚泥処理とメッシュろ過を組み合わせ、高濃度活性汚泥による処理の可能性について基礎的な検討を行った。回分式活性汚泥法では、汚泥の沈降性、汚泥海面の把握、処理水からスカムの排除などの課題があるが、メッシュろ過法により回避できる可能性が考えられる。

容量12 Lの反応槽に面積126 cm^2 のメッシュモジュールを設置した。人工汚水(BOD:200 mg/L , T-N:50 mg/L , T-P:5.7 mg/L)をHRT24h(6 L, 2サイクル/日)で供給し、連続ばっ気または間欠ばっ気で作した。いずれの場合も、ろ過操作の初期に高濃度のSSが流出するが、それを反応槽に返送すればその後のろ過水のSSは1 mg/L 以下であり、処理水の平均BODとCODはいずれも約5 mg/L であった。また、間欠ばっ気条件におけるT-N除去率は約50%であった。

1サイクルで6 Lをろ過するのに要する時間は、連続ばっ気では約1時間、間欠ばっ気では約2時間

であった。実験期間中にMLSSは約3,000mg/Lから5,000mg/Lに増加したが、いずれの場合もろ過時間は安定しており、メッシュの閉塞は認められなかった。ろ過速度はろ過開始から時間の経過とともに急速に減少した。これはメッシュ表面での汚泥の蓄積と水位差の減少の両方に起因するものである。しかしながら、6 Lの処理水を透過させる期間の平均フラックスは、連続ばっ気の場合8.8m/d、間欠ばっ気の場合5.5m/dであり、膜分離活性汚泥法に比べると約10倍のフラックスが維持できた。本方では、ろ過操作を間欠的に行っているため1日当たりの処理水量を基準にした平均フラックスは、いずれのばっ気条件でも1m³/m²/dに相当している。

メッシュろ過法を回分式活性汚泥法と組み合わせた場合、安定した活性汚泥の分離が可能で、高度処理に対応する処理システムとなり得ることが示された。

第4章 超音波膜処理による小型水処理装置の開発

今年度までに膜を用いた小型水処理分離プロセスへの超音波の利用を検討してきた。この結果、超音波照射は効果的に膜ファウリングを抑制し、また、薬品等の二次的汚染を引き起こす洗浄剤を利用しなくても、効率よく膜再生が可能であることを見いだしてきた。それをまとめると、①超音波による濾過処理効率の促進と②高効率膜再生の二つに主に分けられる。

この結果を受けて、今年度は、超音波の特性評価の観点からろ過性能を検討し、超音波強度を超音波照射による発熱状況から評価した。超音波強度を実測し、いずれの共振周波数においても28、45、100kHzと変えたときに同じ放射強度になるようにしてろ過実験をポリスルホンUF平膜で行った。この結果、低周波の28kHzでそのろ過特性がもっとも効率よく起こることが確かめられた。またこの際に、伝搬する超音波の振動をパルスレーザで計測したところ、発信周波数28、45、100kHzでそれぞれ23.3、45.6、98.3 kHzとなり、28kHzの場合に若干のずれがあることが判明した。

また、水浴槽を伝搬する超音波周波数の実測を行うことを試みた。さらに中空糸タイプの浸漬吸引型のMF膜についても牛乳（固形分3.7%）を用いたろ過実験についても検討を開始した。この場合には、より実用的なファウリング後の膜洗浄効果から検討を行った。その結果、ほぼ平膜の結果と同じく超音波を照射しながら水による洗浄を行う場合に効果的であるがまだ条件の最適化を検討すべきであることが判明した。このように、ただ超音波を照射すれば効果があるわけではなく、今後、より多くの実例を検討しその効果を検証し、状況にあった装置設計を行い、高性能な膜再生技術を実用化に向け前向きに検討することを考えている。

第5章 膜分離活性汚泥の挙動の予測手法の開発

(1)カルマンフィルタを用いた膜目詰まり過程の予測

膜分離活性汚泥法の最大の問題点は、膜面に菌体外ポリマーなどの粘性物質が膜面に付着し、膜

透過流束が減少し、十分な処理水量が得られなくなる点にある。ろ過抵抗の上昇を表すモデル式を直接カルマンフィルタに適応させて、ろ過抵抗の上昇及び混合液粘度を予測し、観測値と予測値を比較することによりカルマンフィルタによる予測の信頼性について検討を行った。さらに、モデル式中のパラメータを線形確率システムの状態量に組み込む事により、同時にパラメータ同定も試みた。

本論では、膜目詰まりの原因を槽内に蓄積した菌体の代謝物質である菌体外高分子ポリマーであるとした数理モデルを採用し、これをカルマンフィルタに適応しやすくするため、観測値となるデータはMF中空糸膜を用いた室内実験結果である。カルマンフィルタにより、2日後の膜ろ過抵抗及び混合液粘度を予測した結果、良好な結果を得た。また、モデル中の未知パラメータである菌体合成に対するポリマーの割合及び膜面からの付着汚泥の剥離速度が同定された。さらに同定されたパラメータを用い、実験終了よりもさらに未来のろ過抵抗の上昇をシミュレートした結果、将来のろ過抵抗の上昇傾向や膜洗浄を行う時期を推定することができた。

(2) 上昇気泡による膜面のせん断応力の測定

膜目詰まりの進行を予測するためには、膜面に働くせん断力の評価方法を確立する必要がある。本研究では気泡上昇に伴う膜面近傍に働くせん断力の測定及び上昇挙動を把握することにより、剥離メカニズムの解明を試みた。

水槽の側面にせん断力センサーを設置し、出力の経時変化を測定した結果、せん断力は、センサーからの距離及び気泡の大きさに依存した。またせん断力は気泡通過直前に下向きに働き、通過直後に鋭いピークを持つ上向のせん断応力が観測された。せん断力の最大値は気泡径にほぼ比例する傾向が示された。

第6章 浸漬型膜分離活性汚泥法における微生物生態系を利用した汚泥管理

昨年度に引き続き、某下水処理場におけるパイロットプラント運転におけるデータ収集・解析を行い、分子生物学的手法を用いた膜汚染制御に有効に機能すると考えられる有用微生物群の探索を行うとともに、リングレース等の付着担体を用いて、より積極的に微小後生動物を繁殖させ、余剰汚泥を発生せず汚泥管理の容易な微生物生態系を利用したバイオリクター制御を目指し、リアクターの試験運転を行い、その基礎的諸特性を把握した。成果の概要は以下の通りである。

①FISH法 (Fluorescent in situ Hybridization) による膜分離活性汚泥の細菌相や特徴を調べた結果、いわゆる従属栄養細菌叢には特徴的な違いは見られなかったが、硝化細菌 (アンモニア酸化細菌) の他の細菌に対する比率が高く、膜分離活性汚泥法では、窒素除去に有用な硝化細菌を蓄積していることが実証された。

②硝化細菌が集積しているフロック径は、45 μm 以下の小フロックに顕著であり、膜分離バイオリア

クターの一般的特徴である汚泥フロック径が小さいことが、硝化細菌に有利に働いていることが実証された。

③PCR-DGGE法 (Polymerase Chain Reaction-Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) により定性的な細菌叢比較を実下水処理場活性汚泥と膜分離活性汚泥の間で行ったところ、処理場流入水細菌叢と実処理場活性汚泥細菌叢の近縁関係より、膜分離活性汚泥細菌叢は遠い関係になっていることが推定された。リングレースを付着担体として、貧毛類を植種した実験系では、活性汚泥フロック径分布の中央値が小さくなる傾向が認められ、また捕食圧によりある種の細菌が減少したり、逆に違った細菌種が増殖したりすることにより細菌叢が変化する可能性が示された。今後、このことが汚泥管理に積極的に利用できるかどうかの検討が必要である。

第7章 膜分離型小型合併処理浄化槽の維持管理方法に関する研究

膜分離型浄化槽の膜分離装置では、活性汚泥のMLSS濃度や膜の透過性を良好に維持することが重要である。保守点検時に現場で活性汚泥の膜の透過性について容易に把握する手法については、まだ十分検討されていない。そこで、精密ろ過膜の製造元より提案されていた手法（仮名：ろ過試験）に着目した。ろ紙で活性汚泥のろ過を行い、所定の時間で得られた水量により膜の透過が容易な活性汚泥であるか否かを判断する手法である。ただし、このろ過試験の手法に関しては詳細な検討はされていない。そこで、膜分離型浄化槽における活性汚泥の維持管理で、ろ過試験を実用化することを目的に検討を行った。その結果以下のことが明らかとなった。

- ① MLSS とろ過水量の関係からは、ろ過時間としては、10分程度が適当と考えられた。
- ② MLSS 濃度が同程度であってもろ過水量の分布は大きかった。MLSS 濃度の測定とろ過試験を組み合わせることで測定することにより、活性汚泥の膜透過性を推測できると考えられた。
- ③ MLSS 濃度と粘度の関係においては、粘度は MLSS 濃度約 10,000mg/l 程度までほぼ変化はなかったが、それ以上になると急激に上昇し、MLSS 濃度 15,000mg/l では 100cp 程度となった。
- ④ 粘度とろ過水量の関係は、-0.15 から -0.23 までの指数を持つ関数として表され、特に粘度が 100cp 程度まで上昇するまでのろ過水量の低下が著しかった。
- ⑤ ろ過水量の温度による差は、ろ過時間が長くなるほど小さくなり、各現場において測定されるろ過水量を評価するためには10分間程度のろ過時間が必要と考えられた。

第1章 膜と担持微生物のハイブリッドによる硝化・脱窒反応の高度化

1.1 はじめに

小規模排水処理システムによる処理効率向上の一つの方策は、複合機能を集積したコンパクトな微生物反応系を構成することである。このための課題は、増殖速度が遅い硝化菌を高濃度で反応器内に保持し、適切なプロトドナーを確保すると同時に脱窒細菌が生育可能な嫌気環境を維持することである。従来の好気・嫌気脱窒法では好気環境と嫌気環境を異なる2つ以上の反応槽を用いて実現している。本研究の特徴は、好気反応槽内に適切な多孔質担体を投入してこれに微生物を担持させ、この担体内に好気と嫌気の相異なる環境の共存を実現し、さらに、排水中の有機質をプロトドナーとして利用し、1つの好気反応槽内で硝化・脱窒反応を実現し、装置のコンパクト化を目指す点にある。この多孔質担体担持微生物は活性の高い状態で有機質の酸化処理も併せて行いうることにより汚泥発生量の低減も期待できる。この特徴を利用すると、膜とハイブリッド化した場合に、膜への固形物負荷を著しく低減しうる可能性も持っており、より高度で、コンパクトな処理システムを構築しうると期待される。

平成10年度は微生物担持担体の流動層反応装置を用いる連続実験系を構成して有機質と窒素の同時除去能が付与できる確認実験を行い、有機質負荷量と窒素除去能との関係を実験的に検討したが、平成11年度はその知見に基づいて担体流動層型の反応槽に平膜を組み込んで、その操作性能を検討した。とくに、膜を導入することによって顕在化する担持微生物の状況を、微小電極測定系を構成して溶存酸素濃度、炭素源濃度ならびにpHの単体内分布を測定することにより検討した。

1.2 実験の概要

1.2.1 実験装置及び方法

(1) 多孔質担体流動化連続装置による実験

装置の概略を図1-1(A)に示す。装置は円錐状の低部構造を備えた有効液保持体積10Lの円形断面のアクリル樹脂製反応槽である。1陵が15mmの立方体状多孔質ポリウレタン(密度 30kg/m^3 ,平均孔径1.47mm)を体積率で12.5%投入し、水力学的滞留時間を5~8時間に、また、通気速度を 0.4vvm に設定して連続運転を行った。

なお、有機物負荷量と高い濃度範囲の窒素負荷による影響を把握するためにC/N濃度 $[(\text{mg/L})/(\text{mg/L})]$ を100~300/40~50で、また、無機炭素濃度による硝化反応の影響を調べるために無機炭素(炭酸水素ナトリウム)濃度0~48mg/Lの範囲でも連続実験を行った。

(2) 膜と担持微生物のハイブリッド型装置による連続実験

膜システムとのハイブリッド操作では、平膜モジュールのユニットを図1-1(B)に示すように

槽内に設置した。液フラックスは吸引ポンプの能力にしたがって得られる値とし、吸引圧をモニターしながら操作した。膜の特性ならびに操作特性を表 1-1 に示した。

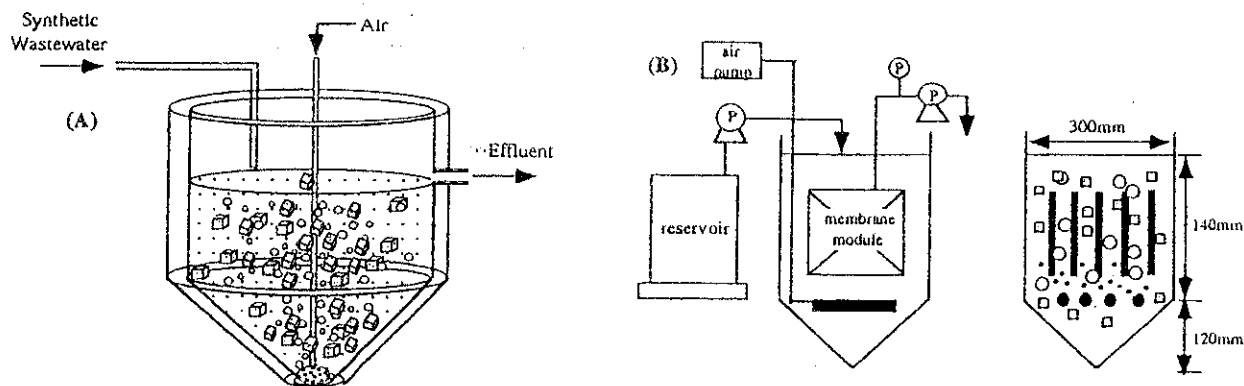


図 1-1 Experimental apparatus both fluidized bed(A) and hybrid system(B)

表 1-1 Characteristics of Membrane Module

| | |
|-----------------------|---------------------------------|
| Material | : Polyolefin |
| Shape | : Plate |
| Pore Size | : 0.4(μm) |
| Surface Area | : 0.104(m^2) |
| Flux | : 0.15-5(m/d) |
| Suction/Washing Cycle | |
| Suction | : 8 min |
| Washing | : 2 min |

1.2.2 分析方法及び微生物反応活性の評価方法

1.2.2.1 分析ならびに測定方法

分析項目の内、pH、担体への担持微生物濃度及び培養液中の懸濁微生物濃度、尿素、アンモニウムイオン、亜硝酸イオン、硝酸イオンの各態窒素濃度、全窒素濃度、全有機炭素濃度 (TOC) の測定ならびに分析方法は平成 9 年度の報告書に記載したものと同様である。

担体内の反応状況を測定するために、図 1-2 に例を示す Clark 型微小溶電極を制作した。担体の構造体を通して溶存酸素濃度分布を測定するために物理的に強度が保てる先端サイズ 200 μm の電極とした。作成した電極と反応槽から採取した担体を図 1-2 に示すようにマイクロマニピュレ

ータと測定容器にそれぞれセットした。印加電位は -0.75V とした。測定項目は、溶存酸素濃度、グルコース濃度、pH である。なお、担体周辺の環境を実際の反応環境に近似するため、流入水と同じ成分の培地を供給しながら測定した。

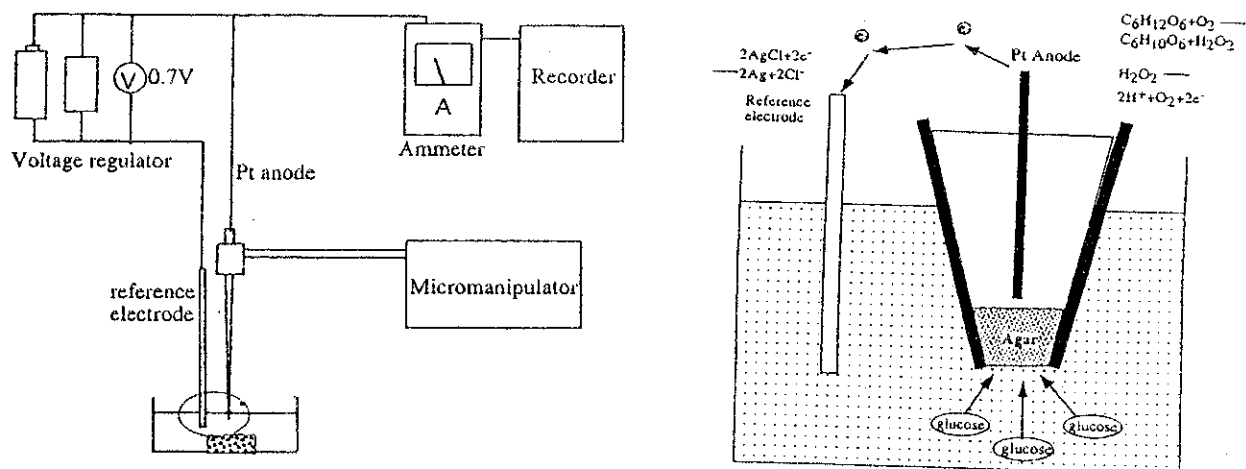


図1-2 Basic principle and measurement circuit for glucose microelectrode

硝化反応活性の評価は、懸濁微生物の場合はサンプリングした一定量の培養液中の微生物を pH7 のリン酸緩衝液で 3 回洗浄し、また、担体担持微生物の場合は槽内から取り出した数個の担体そのものを、それぞれ容量 500mL のガラス容器に入れて実操作と同じ条件にし、曝気しながらアンモニアイオン、亜硝酸イオン、硝酸イオン濃度の経時変化を計測して硝化反応速度を求めることにより行った。

1.2.2.2 微生物反応活性の評価方法

生物反応活性（好気酸化反応、嫌気脱窒反応）の評価は平成9年度の報告書に記載したものと同様である。

1.3 結果及び考察

1.3.1 ハイブリッド系の長期間運転結果

表1-2に400日以上連続運転した結果をまとめた。流入条件を適宜変更して定常状態が得られることを目安に行っているため、各々の条件の継続期間は40日~150日となっている。

表1-2 Water quality in membrane system

| Operation No. | Operation day(d) | Influent (mg/l) | | | Effluent (mg/l) | | | | NH ₄ -N oxidation ratio (%) | Removal ratio(%) | | Microbe Conc. (mg/l) | |
|---------------|------------------|-----------------|--------------------|------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|------------------|--------------------|----------------------|-------------|
| | | TOC | NH ₄ -N | alkalinity | TOC | NH ₄ -N | NO ₂ -N | NO ₃ -N | | TOC | NH ₄ -N | suspended | immobilized |
| 1 | 40 | 100 | 50 | 0 | 8.5 | 48.4 | 0 | 0 | 3 | 92 | 3 | 3187 | 11994 |
| 2 | 40 | 100 | 50 | 250 | 4.7 | 6 | 0 | 33.7 | 88 | 95 | 0.9 | 3684 | 17270 |
| 3 | 120 | 100 | 100 | 500 | 3.9 | 47.2 | 0 | 43.8 | 53 | 96 | 9 | 3414 | 13935 |
| 4 | 150 | 100 | 40 | 200 | 5.2 | 10.1 | 0 | 13.9 | 75 | 95 | 40 | 7133 | 15504 |
| 5 | 80 | 300 | 40 | 200 | 8.9 | 2.7 | 0 | 9.7 | 93 | 97 | 69 | 8120 | 22869 |

図1-3はこの運転期間のフラックスならびに膜間圧力（吸引圧力）の経時変化を示す。運転開始当初吸引圧力が高まる傾向がみられたため、次亜塩素酸ナトリウムによる膜の洗浄を2回行っている。フラックスは現場で要求される経済フラックス0.4m/dを一つの目安としたが、洗浄によってフラックスはこの目安値に回復したが短期間で低下した。しかしながら、化学洗浄を行わず長期間運転を続けた結果、フラックスがほぼ0.2m/dで安定になり、同時に吸引圧力も30kPaの低い値を維持し、450日以上継続操作が出来ている。

図1-4は同じ操作期間での窒素成分の経日過程を示している。無機炭素（Alkalinity）の添加によって脱窒率が向上している。また、C/N比に応じて脱窒率が向上している。

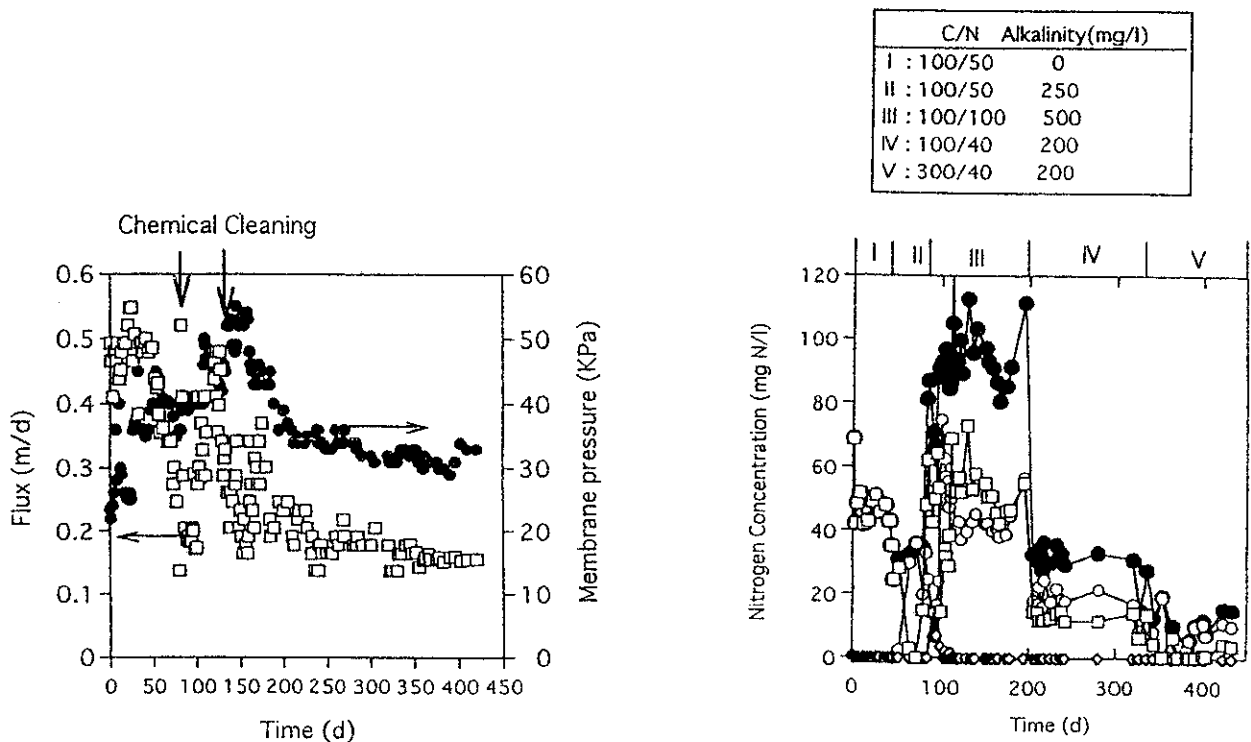


図1-3 Day course of membrane flux and permeation pressure, (□):flux,(●):pressure.

図1-4 Day course of nitrogen,(□):ammonia-N,(◇):nitrite-N,(○):nitrate-N,(●):total-N concentration.

1.3.2 ハイブリッド系における窒素除去特性

図1-5はハイブリッド系 (with membrane) と膜を組み込まない担体だけの系 (非膜系: no membrane) の流出液中の窒素成分分布を示す。適切な C/N 条件下では、ハイブリッド系のほうが硝化反応が進みかつ脱窒も促進されている。

図1-6はハイブリッド系 (B) ならびに非膜系 (A) での担体を取り出して、各々の担体に担持されている状態での微生物の脱窒活性を調べた結果である。非膜系では、溶存酸素濃度をゼロにしても脱窒活性は飽和溶存酸素濃度の状態と殆ど変わらない。一方、ハイブリッド系では溶存酸素濃度が 0.5mg/L 以下に低下すると両者の差が顕著になり、ハイブリッド系の担体が高い脱窒活性を示している。

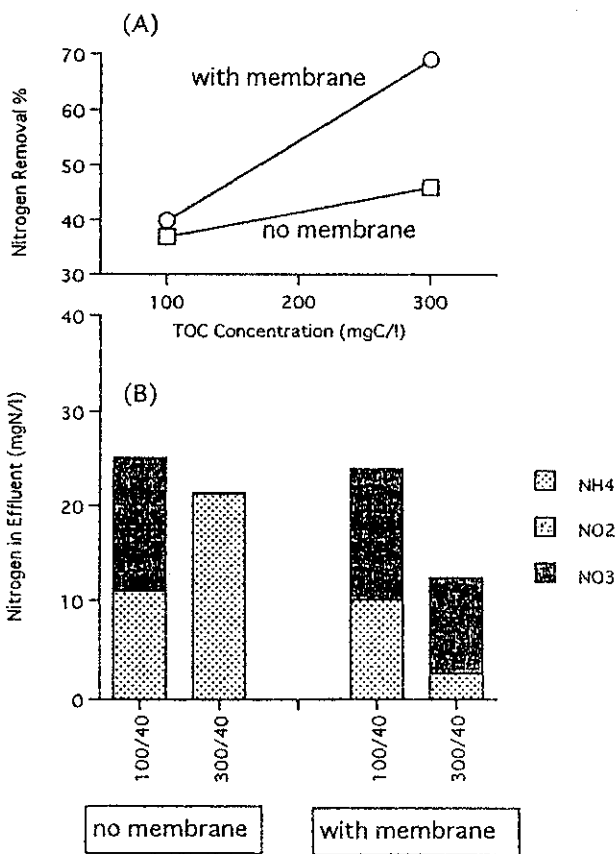


図1-5 Comparison of nitrogen composition in effluent and removal % between with/no membrane.

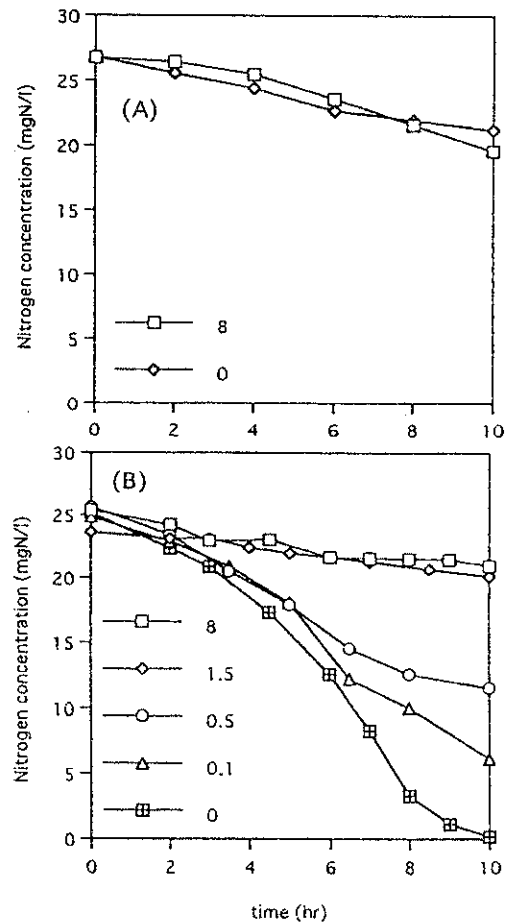


図1-6 Denitrification under different DO conditions (TOC=100mg/l).

1.3.3 微小電極測定による解析

図1-7はハイブリッド系ならびに非膜系での担体を取り出して、それぞれの担体内部の溶存酸素濃度とグルコース濃度の分布を測定比較した結果である。担体の形状が立方体であるため、厳密には正確ではないが、担体内部の物質移動が拡散モデルで近似出来るとすると、担体内の各測定位置におけるそれぞれのフラックスが式(1)から推算できる。

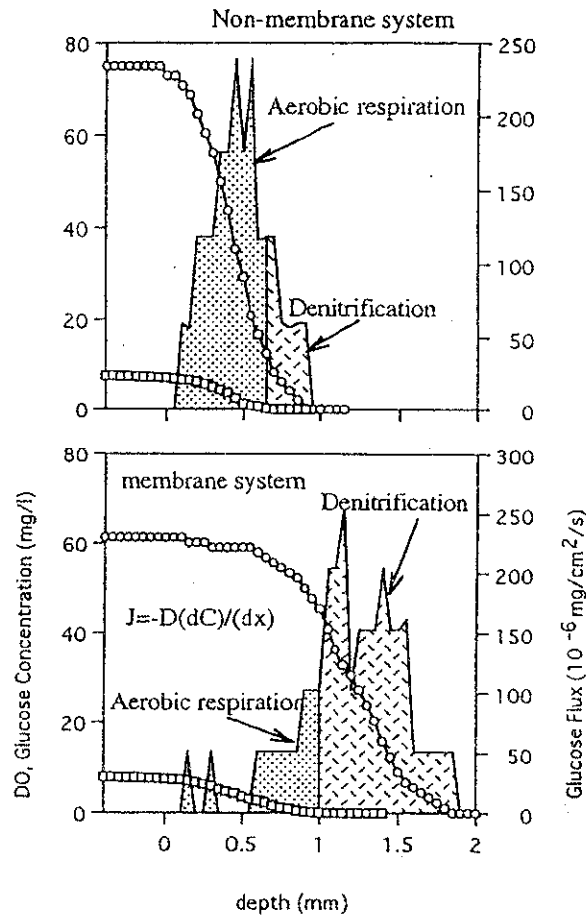


図1-7 Variations of DO(□) and glucose(O) concentration and glucose flux in carrier.

Dは拡散係数、Cは物質濃度、zは担体表面から計った担体内部への位置(深さ)である。式(1)にしたがって求めた溶存酸素ならびにグルコースのフラックス分布が図1-7中に示してある。脱窒反応は溶存酸素がゼロになった条件下で進行するため、溶存酸素が無くなった領域の炭素源(グルコース)のフラックスの大きさが脱窒反応速度を支配すると考えられる。図1-7の結果は、非膜系に比べてハイブリッド系の場合に嫌気領域に大きなグルコースフラックスが存在することを示しており、これが脱窒速度を大きくする要因であると考えられる。ハイブリッド系では非膜系に比

べて溶存酸素がより担体内部にまで浸透していること、さらにグルコース濃度も同様であることは表面近傍の好気性微生物の活性が低いことを意味している。これは、微生物を担持した担体が反応槽内の気液の流動に引き起こされる流れに乗って膜と衝突あるいは接触することにより、担体表面近傍の担持微生物が剥離し、結果として担体表面近傍の微生物濃度が低下したためと考えられる。

図1-8は両系の担体内部における pH 分布の例である。大きな pH の変化は認められないが、ハイブリッド系の場合に担体内部で pH の若干の低下が認められる。これは、硝化細菌による反応が担体内部で進行していることを反映している可能性が高い。

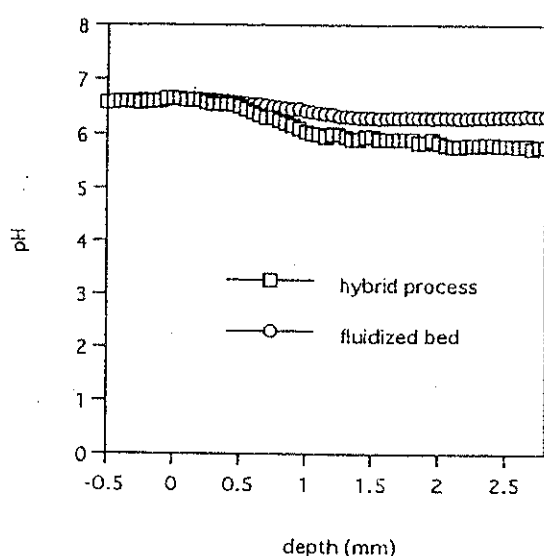


図1-8 Comparison of intracarrier pH between fluidized bed and the hybrid process.

1.4 まとめ

多孔質担体を投入した連続処理系に膜を組み込んだハイブリッド系による実験の結果、脱窒反応がより促進されること示した。微小電極による担体内物質フラックスを調べた結果、嫌気領域に大きな炭素源フラックスが観察され、これがハイブリッド系における高い脱窒能力の原因になっていることを見出した。

次年度は、担体の物理的特性（大きさ、個数濃度など）ならびに膜の配置特性（設置間隔）を実験変数として担体と膜の相互作用による担体内微生物活性への影響を明らかにすることを目標に検討を進める。

第2章 膜分離装置を組み込んだ小型合併処理浄化槽の開発に関する研究

2.1 はじめに

膜分離型小型合併処理浄化槽の実用化を目的として、平成10年度に、室内実験及びパイロットプラントによる実験結果をもとに実証試験装置を実際の戸建住宅に設置し、これまでに検討した維持管理方法に基づいた実運転を行った。その結果、維持管理ガイドライン(原案)に示した3ヶ月に1回の保守点検および6ヶ月に1回の膜の薬品洗浄及び清掃を実施することにより、膜の透過性能に問題が生じることはなく安定した性能が維持できることが示され、実用化できることが明らかとなった。また、処理水質に関しては、当然のことであるが非常に良好な結果であった。

一方、単独処理浄化槽の新設廃止が進められているなか、既設単独処理浄化槽の合併化技術の確立が緊急の課題となっている。単独処理浄化槽を合併化する場合、敷地的な制限により既設単独処理浄化槽を撤去して合併処理浄化槽を設置することが非常に困難な場合が多く、できるだけ設置面積の小さい浄化槽が必要である。さらに、これまで検討を進めてきた膜型合併処理浄化槽でさえ敷地的な制限や財政的負担などから設置が困難な場合が少なくないと考えられる。

まず、水処理会社、膜製造会社の参加する研究グループにおいて既設単独処理浄化槽の合併化手法を検討した。検討手法の中から比較的設置面積が小さく、かつ高度な処理水質の得られる方法として、既存浄化槽に膜分離活性汚泥法を用いた試験装置を付加する方法の試験装置を戸建住宅に設置し、装置の処理機能及び維持管理方法を検討した。

2.2 研究グループの構成

平成5年度より、この膜分離型小型合併処理浄化槽の実用化のための開発プロジェクトに参加したメーカーは、水処理会社7社(アムズ(株)、(株)I N A X、(株)クボタ、大栄産業(株)、ダイキ(株)、日立化成工業(株)、フジクリーン工業(株))、膜製造会社3社((株)クボタ、日東電工(株)、三菱レイヨン(株))である。さらに、平成8年度から、「小型合併処理浄化槽への膜処理技術の適用に関する研究」(厚生科学研究)の下に、新たに水処理会社8社(積水化学工業(株)、東海メンテナンス(株)、東陶機器(株)、日本ゼオン(株)、(株)ハマネツ、藤吉工業(株)、ベスト工業(株)、松下電工(株))、膜製造会社2社((株)クラレ、ダイセン・メンブレン・システムズ(株))が開発プロジェクトに加わった。平成12年度までの予定で実用規模実験を行い、既設単独処理浄化槽の膜分離型合併処理浄化槽への改造方法についての検討する。

2.3 膜分離装置を用いた既存単独処理浄化槽の合併化

2.3.1 検討対象とした単独処理浄化槽の種類

検討対象とした単独処理浄化槽は設置基数の多い、旧構造基準の変形2階タンク+平面酸化型、

全ばっ気型、沈殿分離室+ばっ気室型、及び新構造基準の沈殿分離室+ばっ気室型、沈殿分離室+接触ばっ気室型である。

2.3.2 処理フロー及びの装置構成の検討

既存単独処理浄化槽の合併化における装置の構成について検討した結果、得られた3種類の処理フローとその単位装置の構成を以下に示す。

フロー1

既設単独処理浄化槽を夾雑物除去槽及び余剰汚泥貯留槽として使用し、流量調整槽または中継ポンプ槽、膜分離槽(ばっ気槽)、消毒槽を順に付加する方法である。水洗便所污水をこれまでどおり既設単独処理浄化槽へ流入させ、新たに加わる生活雑排水は単独処理浄化槽を経由せずに直接流量調整槽へ流入させる。流量調整槽において移送水量を調整することにより、膜分離槽における生物処理と処理水の分離が安定して行えるようになる。また、膜分離槽の余剰汚泥は可能な限り夾雑物除去槽へ移送し貯留する。処理フローと単位装置の構成を図2-1に示す。

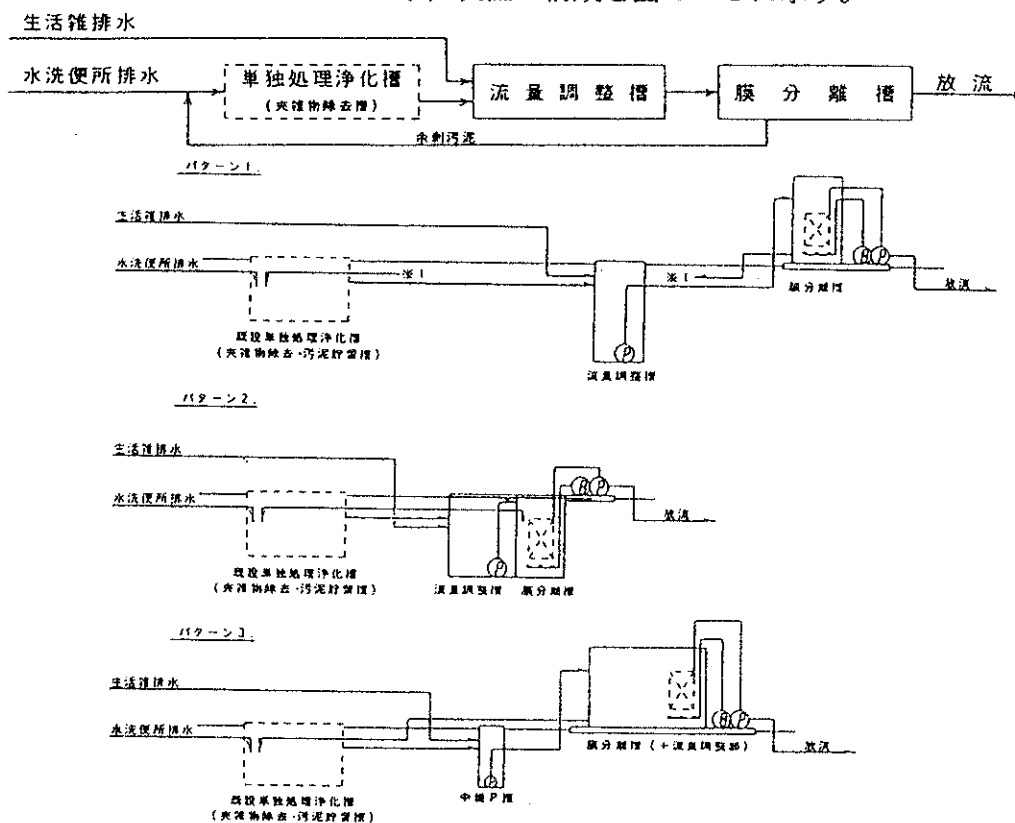


図2-1 フロー1と装置の構成

フロー2

既設単独処理浄化槽を夾雑物除去槽として使用し、膜分離槽(ばっ気槽)、消毒槽を順に付加する