

図 5-4 にはろ過抵抗に常用対数をとったものを観測値として予測を行った結果を示し、図 5-5 に AR パラメータを示す。

図 5-6 に予測結果の対数を除いた結果を示す。観測値をそのまま用いて予測を行うよりも、値の増減が緩和されたため良好な追随性を示したといえる。

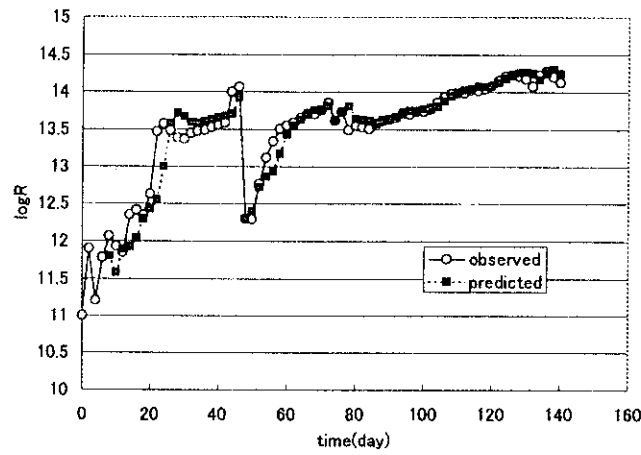


図 5-4 Prediction of filtration resistance (logR)(Hollwfiber).

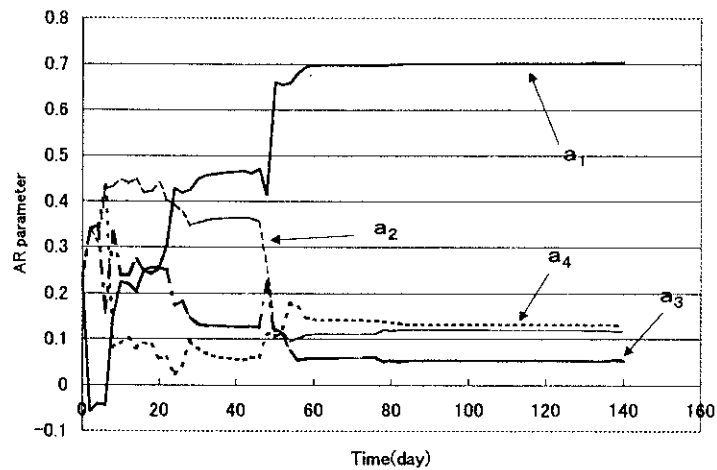


図 5-5 Variation of AR parameter

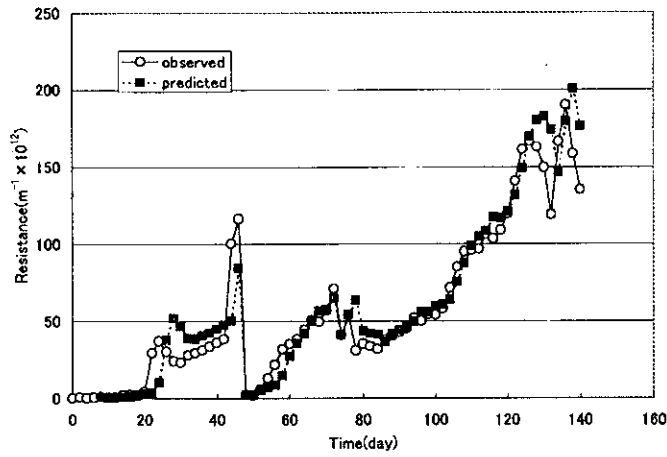


図 5-6 Prediction of filtration resistance (Hollowfiber)(1step).

### 5.5.2 平膜を用いた実験の予測

図 5-7 に工藤らの行ったろ過抵抗の実験値をサンプルとして予測を行った結果を示し、そのときのARパラメータの変化を図 5-8 に示す。

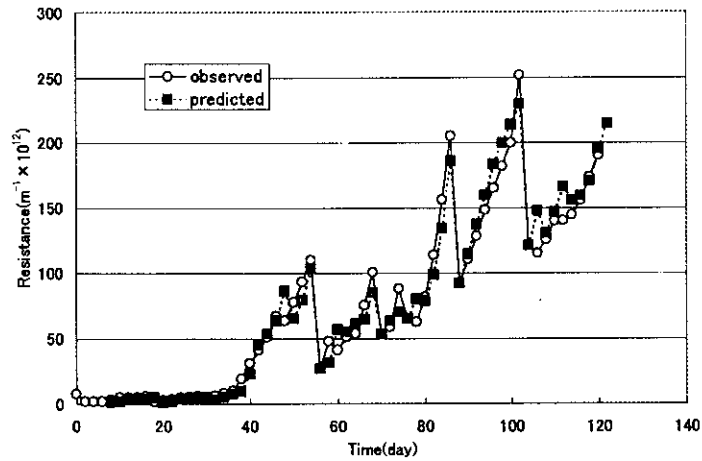


図 5-7 Prediction of filtration resistance (Flat-sheet)(1step forward).

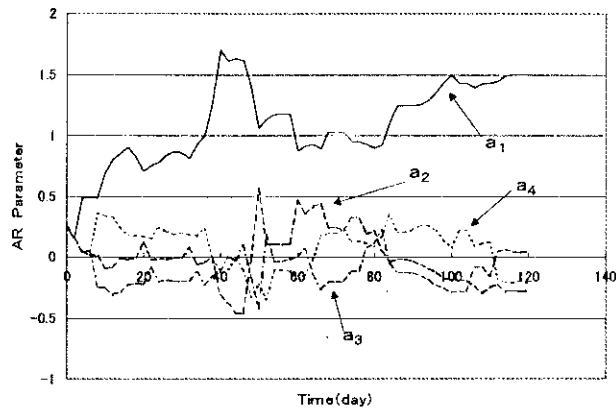


図 5-8 Variation of AR parameter (Flat-sheet)(1step forward).

図 5-7 においては、予測値は精度の高い値が出ている。これは、予期しない状態の変化が無かったため、パラメータの同定が容易であったためであると思われる。

図 5-9 に図 5-7 のデータの常用対数を取り観測値として予測を行ったものを示し、図 5-10 にそのときの AR パラメータのを示す。

図 5-11 に予測結果の対数を除いた結果を示す。対数をとったもののほうが数値の起伏が小さくなっていることから、正確な予測値がでていることがわかる。

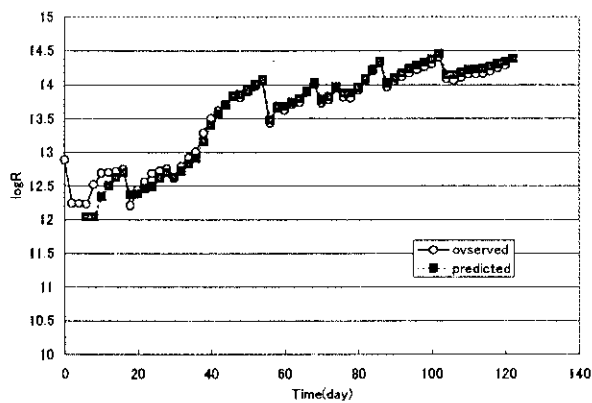


図 5-9 Prediction of filtration resistance(logR)(flat-sheet)

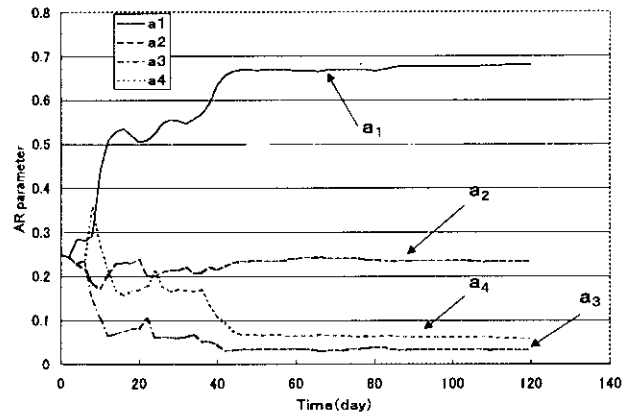


図 5-10 Variation of AR parameter

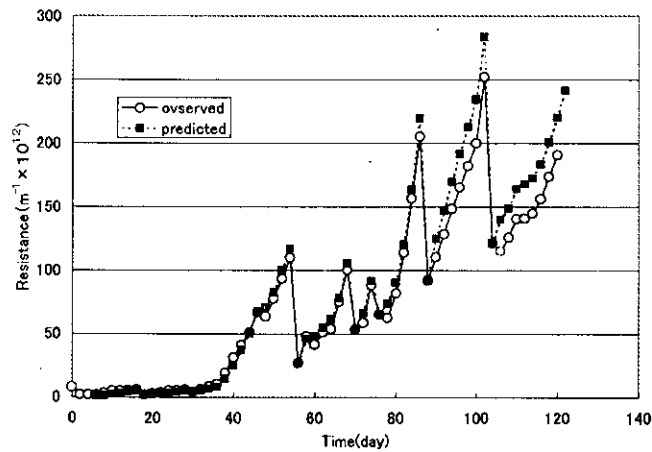


図 5-11 Prediction of filtration resistance(Flat-sheet)(1step forward).

### 5.5.3 考察

急激な剥離や曝気の状態の変化などによるろ過抵抗の上下動については、予測値が1期遅れるような傾向を見せている。これは次の予測値を求めるのに過去の予測値を用いているため、過去の値が上昇傾向を示していると、次の予測値も上昇してしまうためである。よって、実験値が豊富にあり、AR次数を大きくすることができれば、ARモデルの中に上記のような値の上下を取り込むことができるので、このような誤差は小さくなると思われる。

ARパラメータより、ろ過抵抗の上昇過程は1期前の値に強い影響を与えている事がわかる。運転後15ステップ程度経過すると、パラメータが収束してくることがわかる。

ろ過抵抗の常用対数をとることにより、おおむね正確な予測値を求めることができたといえる。以上の結果から、膜の形状及び負荷を問わずARモデルを用いた予測手法は有効であることが示された。

## 5.6 長期予測

### 5.6.1 任意ステップ先の逐次予測

前項では、1ステップ先を予測した結果について考察したが、それ以上の未来を予測する場合について述べる。

ARモデルを用いて1ステップ以上先を求めるのに以下の手法を用いた。

- ① 通常通り1ステップ先の数値を求める。
- ② その予測された数値と3つ前の値を用いて予測を行う。その際に、①と同じARパラメータを用いる。
- ③ ①②で求められた数値と2つ前の値を用いてその先の予測を行う。

以上の計算を繰り返し、任意先のステップの予測値を求めた。膜洗浄が加えられた場合は、減少率Gを求め、過去の予測値に乘じ、計算を行った。

図5-12に2ステップ先を予測した結果を図5-13に4ステップ先を予測した結果をそれぞれ示す。サンプルデータとしては工藤らによる実験値を用いた。両結果ともに数値の変動を過大に評価するような予測結果となっている。この傾向は予測するステップ数が、未来になるほど顕著になっていくと思われる。これは上昇もしくは下降の傾向を受けて求められたARパラメータを用いて、そのまま先を予測していくために起こる事であると思われる。

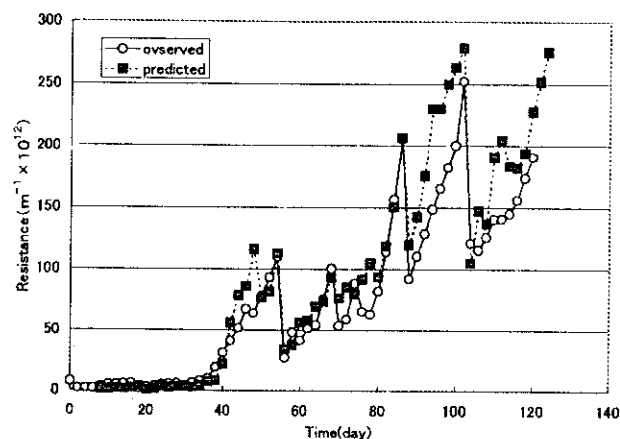


図 5-12 Prediction of offiltration resistance (2step forward)

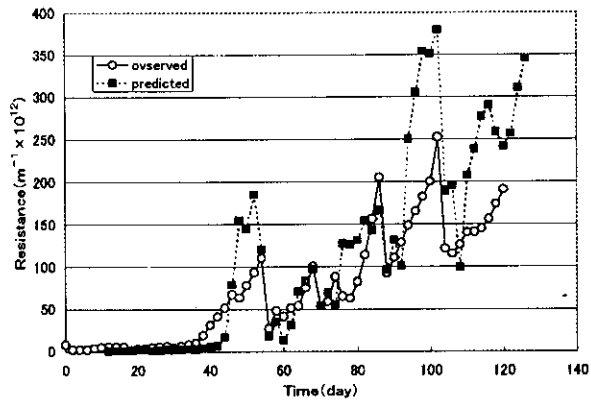


図 5-13 Prediction of filtration resistance (4step forward)

実験値に対数をとったものについても 2 ステップ先、4 ステップ先を予測した。その結果を図 5-14、図 5-15 に示す。

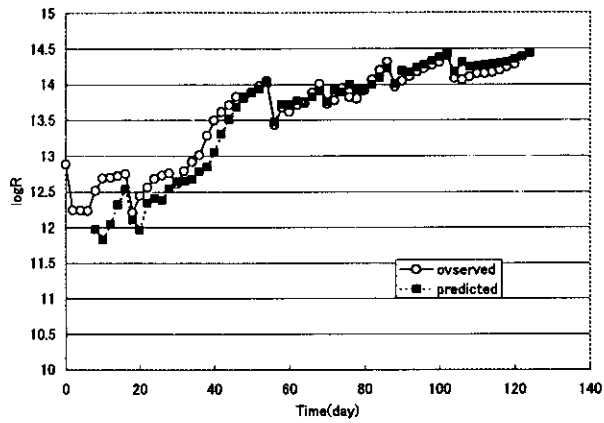


図 5-14 Prediction of filtration resistance (log R) (2step forward)

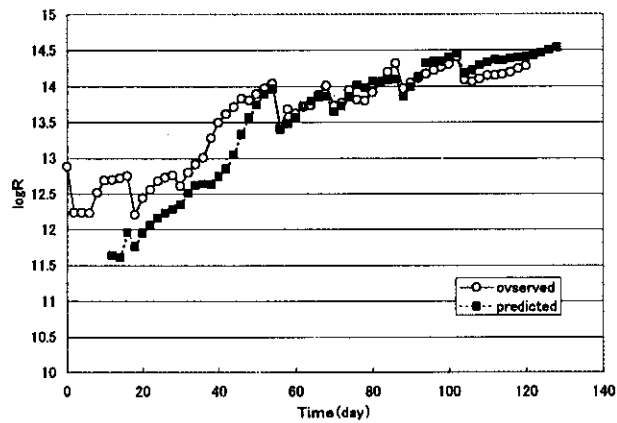


図 5-15 Prediction of filtration resistance (log R) (4step forward).

両結果ともに、実験値に対する追随性がよい値が出ているように見えるが、対数をとってしまっているため、どの程度の誤差が出ているのか見にくくなっている。そこで、図5-14、図5-15の予測結果より対数を除いたものを、図5-16、図5-17にそれぞれ示す。

2ステップ先を予測したものは、対数をとった事により、値の増減が緩和されたために精度の高い値が得られている。しかし、4ステップ先を予測したものになると、実験値の上昇に対して予測値が遅れて上昇していたり、実験値の上昇を過大に評価していたりと予測値の精度はかなり悪くなってしまう。以上からこの手法で長期予測を行う場合、対数をとることは有効ではあることがわかった。

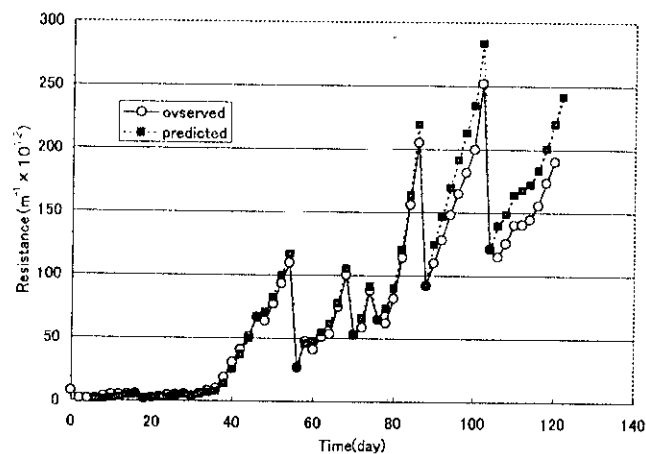


図 5-16 Prediction of filtration resistance (2step forward)

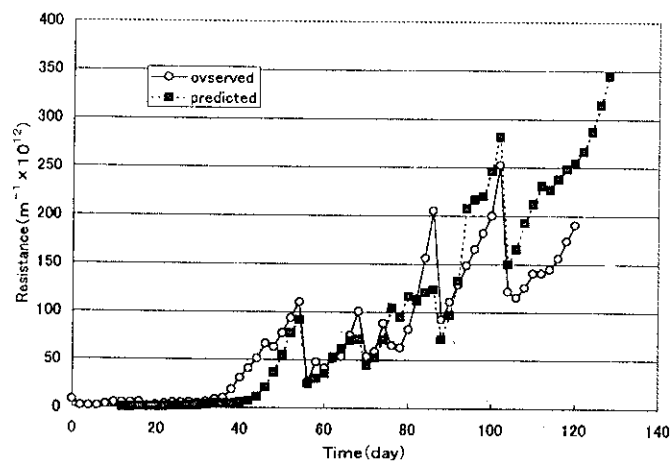


図 5-17 Prediction of filtration resistance (4step forward)

### 5.6.2 同一のパラメータを用いた長期予測

任意の時点で求められたパラメータ値を用いて長期間の予測を試みた。

計算方法は初期値として観測値を用いて、同一のARパラメータにより予測値を求めていった。観測値には対数をとらず、膜洗浄を加える場合は、洗浄前のデータを0.2倍して計算を再開した。サンプルに用いたデータは植田らによる実験のものである。

以上の条件で実験開始後30日目より予測を行った結果を図5-18に示す。予測値の膜洗浄は実験の実施日と同じ日に行った。

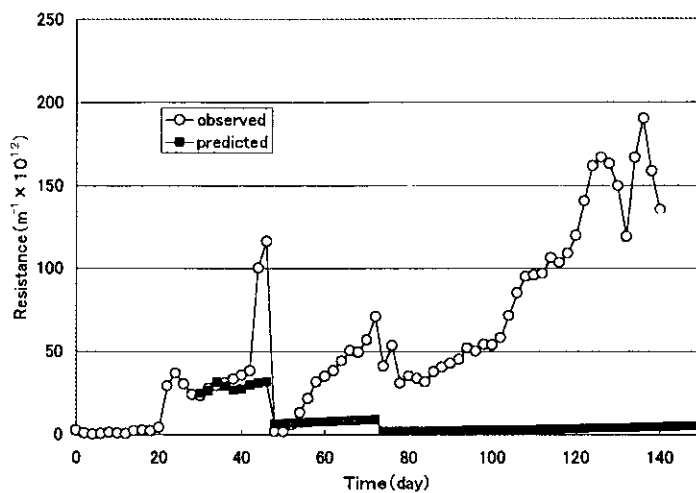


図 5-18 Long-term prediction of filtration resistance at 30days.

求められた予測値は実験値とは異なったものとなった。この時点で求められたパラメータは、データ数が少ないため実験におけるろ過抵抗の上昇を示すことができなかったと思われる。

さらに、図5-19に実験開始後80日目よりその後を長期的に予測した結果を示す。膜洗浄を行う時期は、物理モデルを用いたときと同様に、吸引圧が100kPaとなるろ過抵抗 $R=1.06 \times 10^{14}(\text{m}^{-1})$ とし、膜洗浄による回復率は、過去の回復率を平均し、0.29とした。

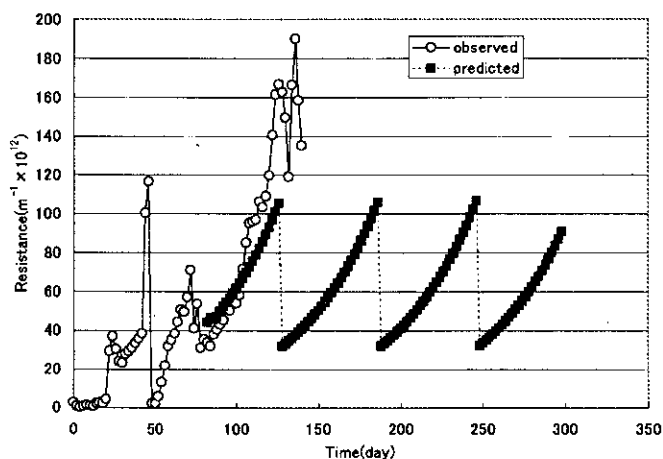


図 5-19 Long-term prediction of filtration resistance at 80days.



予測値が上昇し、ろ過抵抗の上限値まで達する期間が約60日であり、実験値と比較した場合、ろ過抵抗の上昇が少し遅い結果となった。ろ過抵抗の上昇傾向は、槽内の状態に依存しており、常に変化している。ARパラメータを逐次同定している場合は、そのような変化をパラメータの変化により捉えることができる。しかし、一定のパラメータにより長期予測を行う場合、そのような変化に対応できない部分が出てくるために出た結果であると思われる。

図5-20に実験終了時より求められたパラメータをもちいて予測をおこなった結果を示す。膜洗浄による回復率は、過去の回復率を平均し、0.29とした。図5-19とほぼ同様の結果が出たことにより、80日目程度でパラメータは収束していたものと思われる。

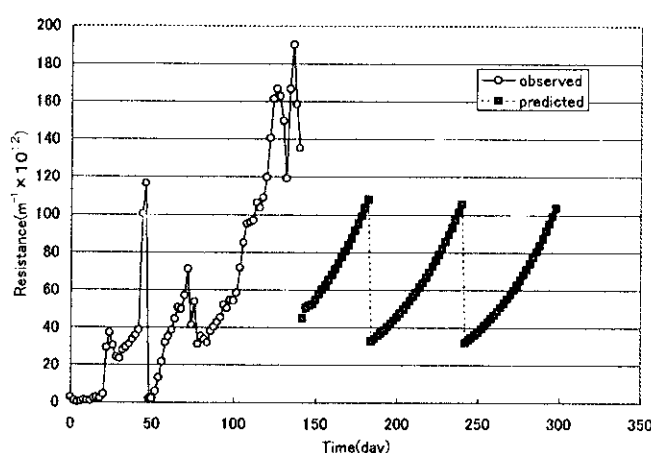


図5-20 Long-term prediction of filtration resistance at the end of experiment.

以上より、実験終了後のろ過抵抗の上昇傾向と膜洗浄の時期を予測する事が示された。

## 5.7 結論

膜分離活性汚泥法におけるろ過抵抗の上昇をARモデルを用いて、予測を行った。その結果より得られた結論を以下に示す。

- (1) ろ過抵抗の予測においてARモデルは有効であるといえる。ただし物理的要因による値の増減が激しく予測値が追従し切れない場合は対数をとる手法を用いることで予測の精度を上げることが出来る。
- (2) ARパラメータが収束した後に得られたARパラメータを用いて、その後の長期予測を行うことは可能である。

## 引用文献

- 1) 植田真司：膜分離活性汚泥法における膜透過流束低下因子の究明、武蔵工業大学修士論文、1995
- 2) 工藤千里、高安陽介：膜分離活性汚泥法における膜目詰まりにおよぼす粘度の影響、武蔵工業大学卒業論文、1996

## 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

#### 6.1 はじめに

浸漬型膜分離活性汚泥法は、排水の高度処理技術として、その基礎研究から実用まで、我が国が世界をリードしている排水処理技術の一つである。その中で、小型生活排水処理装置としての実用化は、浸漬型膜分離活性汚泥法の利点を最大限に生かせるものとして、非常に有望である。しかし、小規模処理ゆえ、特に発生する汚泥の管理が重要であり、微生物生態系を利用したバイオリアクター制御とともに、その汚泥管理法の提示と実際の管理技術の確立が求められる。汚泥管理の内容は、余剰汚泥を発生させないという目的と、途上国技術として特に重要なメンテナンスフリーを実現すること、及び微生物を利用した膜汚染制御にある。本研究では、以上の観点から、実排水を利用したパイロットプラントを用いた実験を行い、汚泥管理とファウリング抑制の観点から、浸漬型膜分離活性汚泥法における積極的な微生物生態系の制御法の確立をはかる。本年度は、まず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、特に活性汚泥を構成する細胞内外成分の他のプロセスとの比較、浮遊微小フロクの動態と原生動物との関係など、実排水で成長した膜分離活性汚泥の基礎的諸特性の把握を行ったので、ここに報告する。

#### 6.2 実験方法

図6-1に実験装置(以下MBRと記す)の概略を示す。装置サイズ1000×1000×200(単位mm)の曝気槽に、三菱レイヨン社製浸漬型中空糸精密濾過膜モジュール(SteraporLUMF424LI)を浸漬してある。精密濾過膜の公称孔径は0.1 $\mu$ mである。

MBRはS下水処理場に設置し、下水流入水を原水とし、水理的滞留時間1.5日、設定フラックス0.15m/dで運転を行った。なお、この装置はパイロットプラント実験区画に設置しており、後述する他の処理方法のパイロット実験が並行して行われている。それらは共通の原水を用いており、加温して流入水水温を一定に制御している。

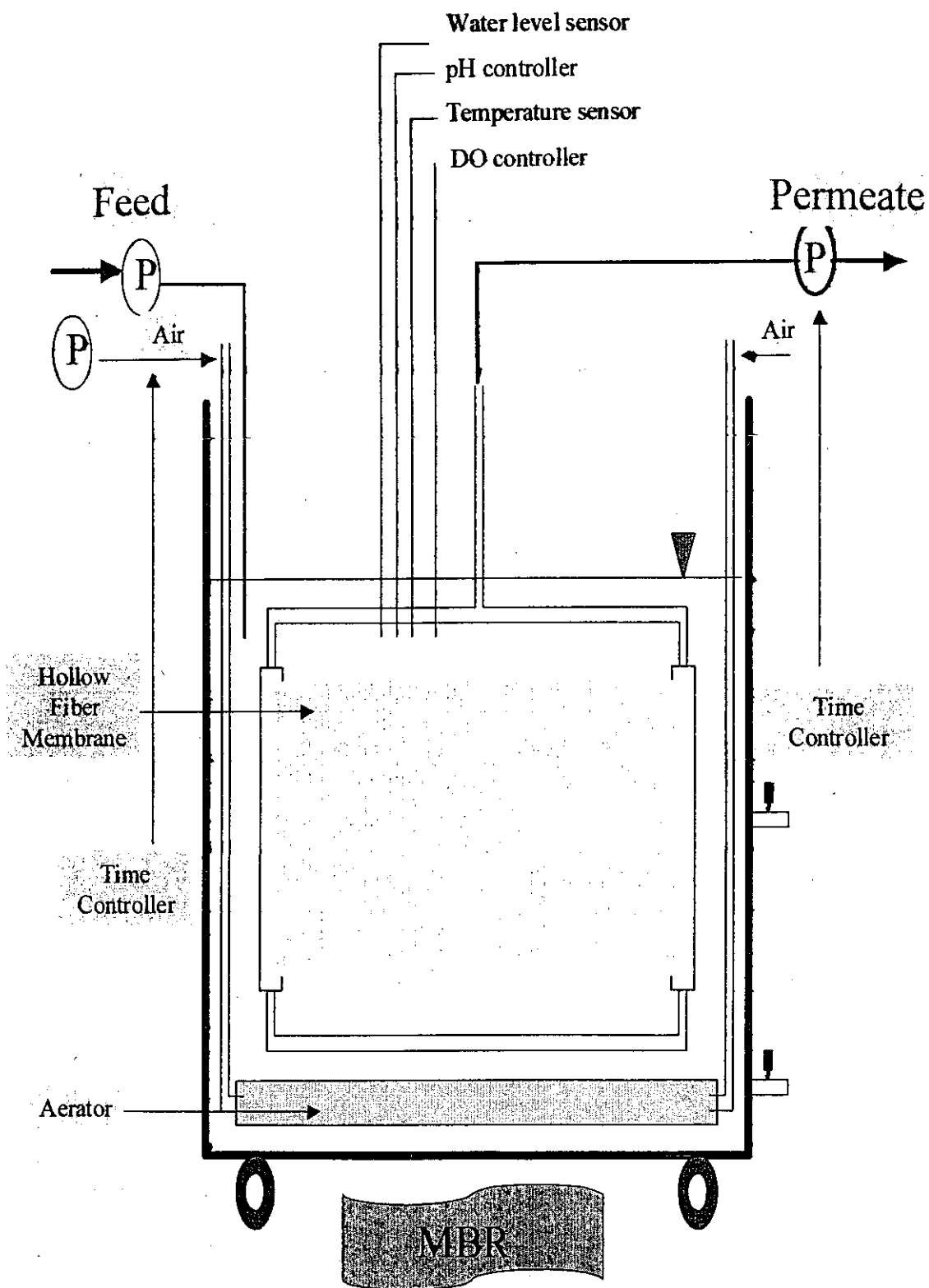


図 6-1 実験装置の概略

水質等測定項目は、曝気槽MLSS、pH、水温、DOC、原生動物及び後生動物数である。また、フロック径分布も測定した。主フロック径分布は、遠心沈降式粒度分布計（堀場製作所CAPA-300）を用いて測定したが、浮遊分散細菌群のサイズ分布は、別に大腸菌によりキャリブレーションを行いサイズと蛍光面積の関係を求めてあるFISH法に基づく画像解析により計量した。

細胞内外成分の分析としては、図6-2に示す細胞内外成分の分画方法により定義し分画を行ったものについて、TOC、蛋白、全糖を測定した。蛋白はローリー法で、全糖はアンスロン硫酸法で測定した。また、熱分解GC/MSを用いて、細胞外成分として水蒸気抽出物構成成分の定性分析を行った。

この細胞内外成分については、同じ処理場原水を用いてパイロット実験がなされている嫌気・無酸素・好気活性汚泥（A<sub>2</sub>O汚泥）、回分式活性汚泥（SBR汚泥）、SRT20日膜分離単一槽方式硝化脱窒処理汚泥（ここでは簡単のため硝化脱窒処理汚泥と称す）、実下水処理場活性汚泥（ここでは簡単のため標準活性汚泥と称す）と比較を行った。

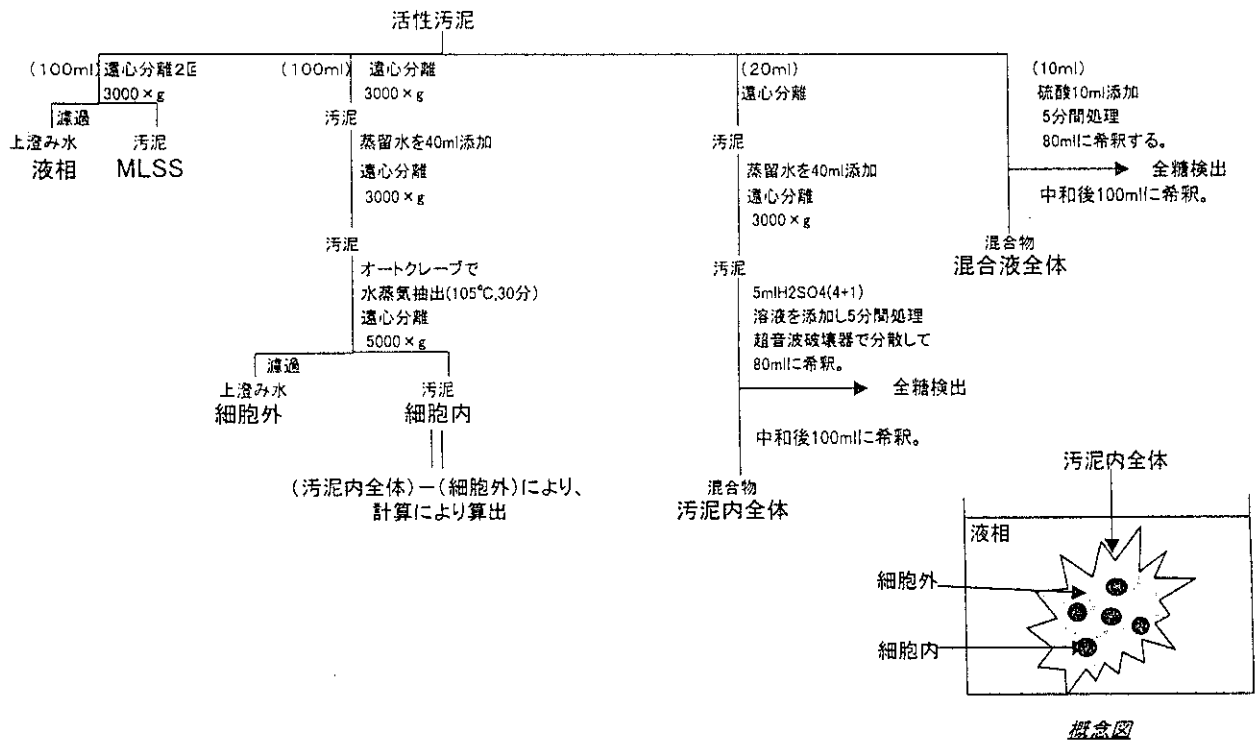
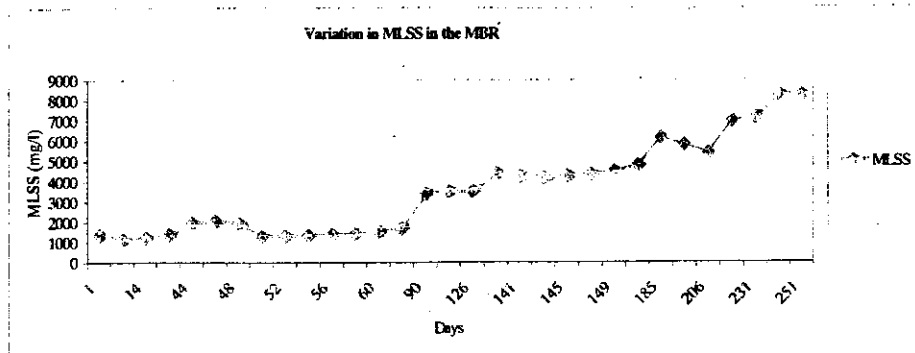


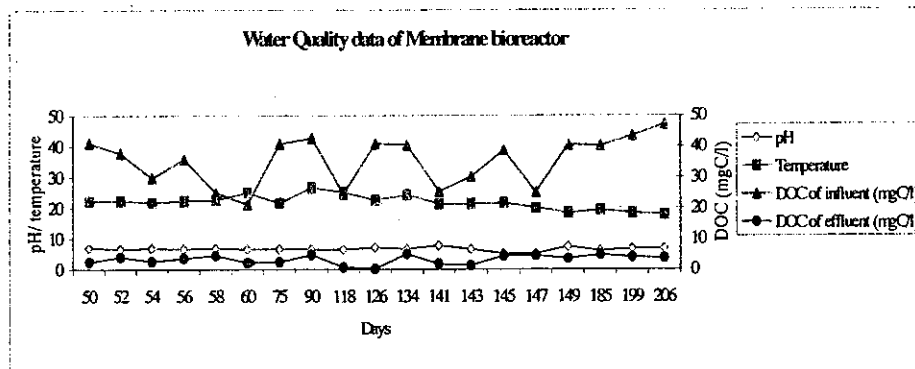
図6-2 細胞内外成分の分画方法

### 6.3 実験結果と考察

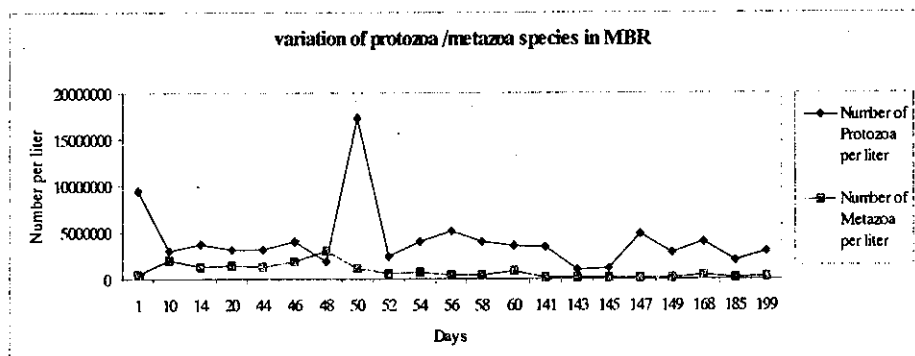
図6-3にMLSS等の経時変化を示す。運転開始当初、植種汚泥量が少なかったためか、MLSSの増加があまり認められなかったが、90日以降増殖が活発になり250日を経て、MLSS 8000mg/lに達している。その間、水質としてはpHやDOCで見ると、それほど大きな変化はなく安定していた。今回の実験では、原生動物数、後生動物数に頻繁かつ大きな変動はあまり認められなかった。



Variation of MLSS in the MBR



Variation of water quality data



variation of Protozoa/metazoa

図6-3 MLSS、水質、微小動物の経時変化

実験開始より140日～150日目において、汚泥のフロック径分布を測定したものを、図6-4に示す。浸漬型膜分離活性汚泥法であるので、やはり過度な剪断力はかからないため、主フロック径分布には比較的大きなサイズのものが存在している。ただし、通常の重力沈澱分離の活性汚泥に比べて、分散フロックともいえる $10\mu\text{m}$ 以下のサイズのピークが認められる。その領域のサイズ分布を細かく見ると、 $2\mu\text{m}$ 以下特に $1\mu\text{m}$ 以下のものの比率が大きく、やはりそれらは分散状態にある細菌に帰因すると考えられる。

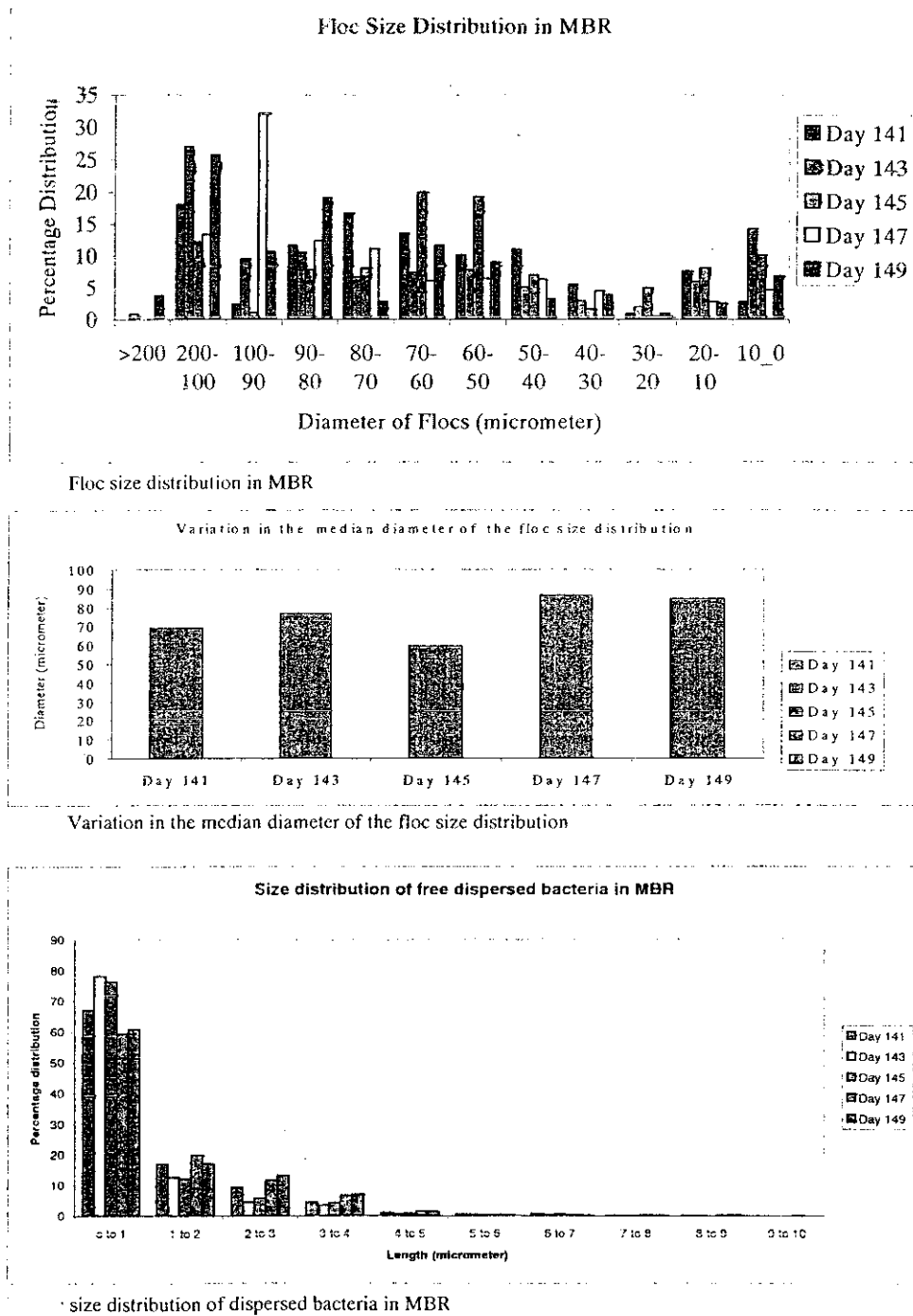
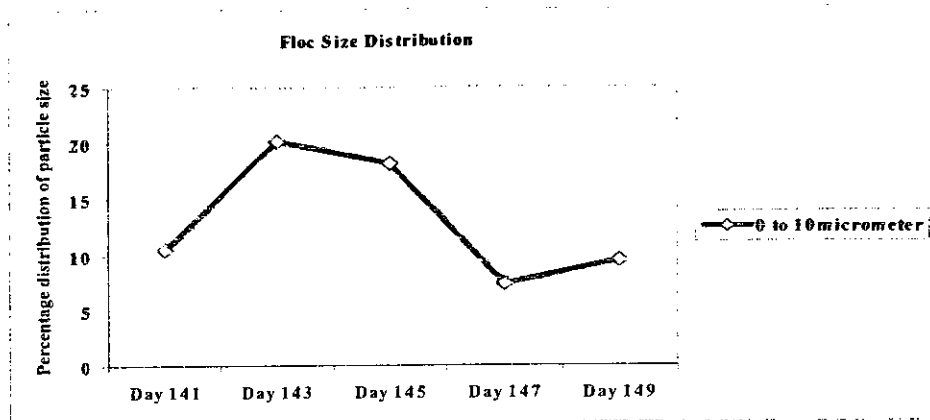
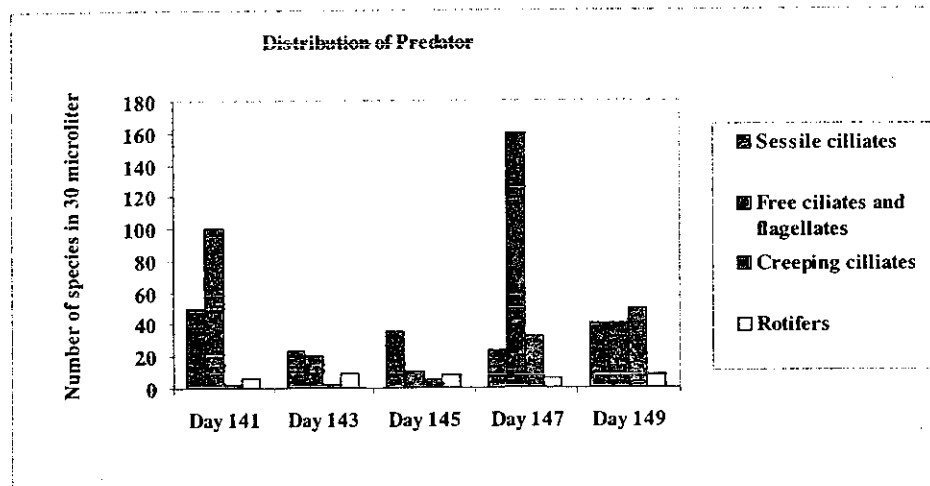


図6-4 フロック径分布

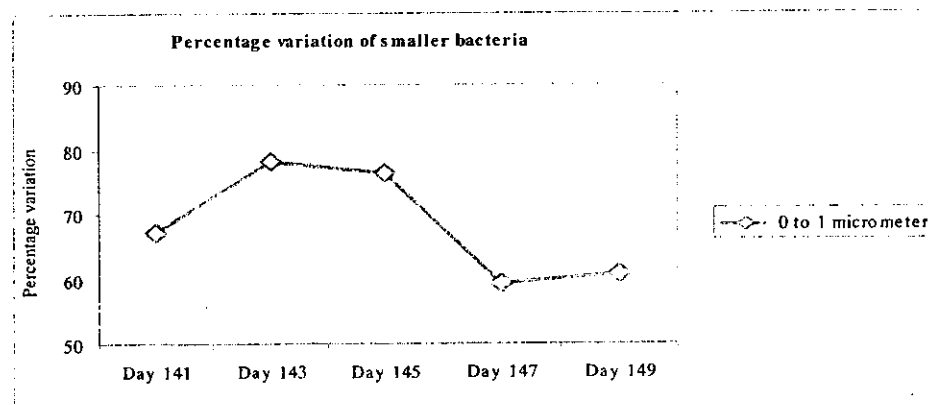
図6-5に、同期間における $10\mu\text{m}$ 以下及びその中でも $1\mu\text{m}$ 以下のフロック径のものの消長と、原生動物等の変化を対比させたものを示す。原生動物の存在量とこのような微小フロックの存在量には負の相関があるようであり、微小フロックは原生動物の補食圧の下にあることが伺われる。特に遊泳型の小型原生動物との関係が認められる。



Variation in size distribution for particle less than 10 micrometer.



Variation within different groups of protozoa /metazoa for the second trial



Variation in Bacterial size group less than 1 micrometer.

図6-5  $10\mu\text{m}$ 以下微小フロックの変化と微小動物



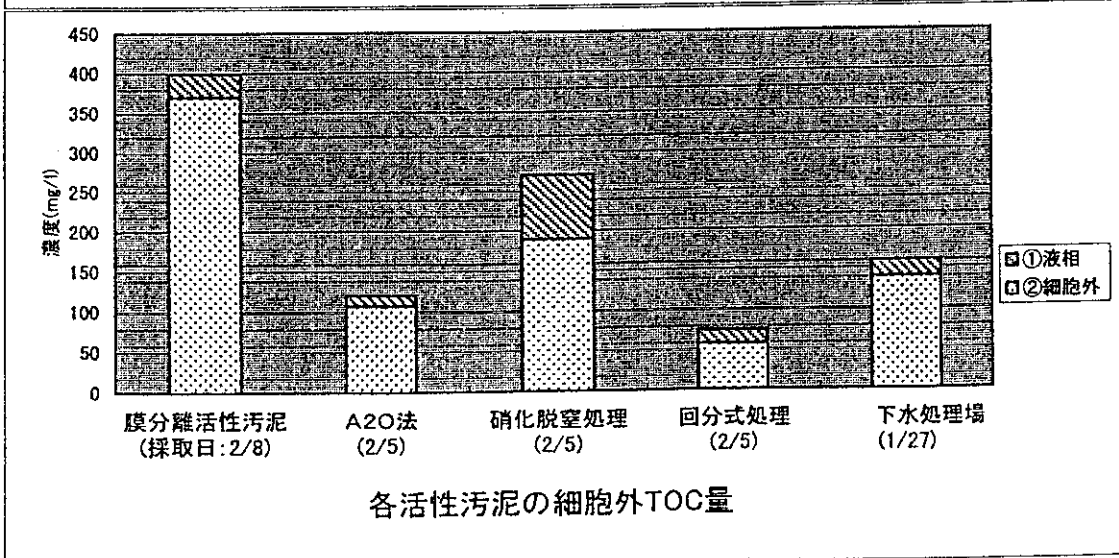
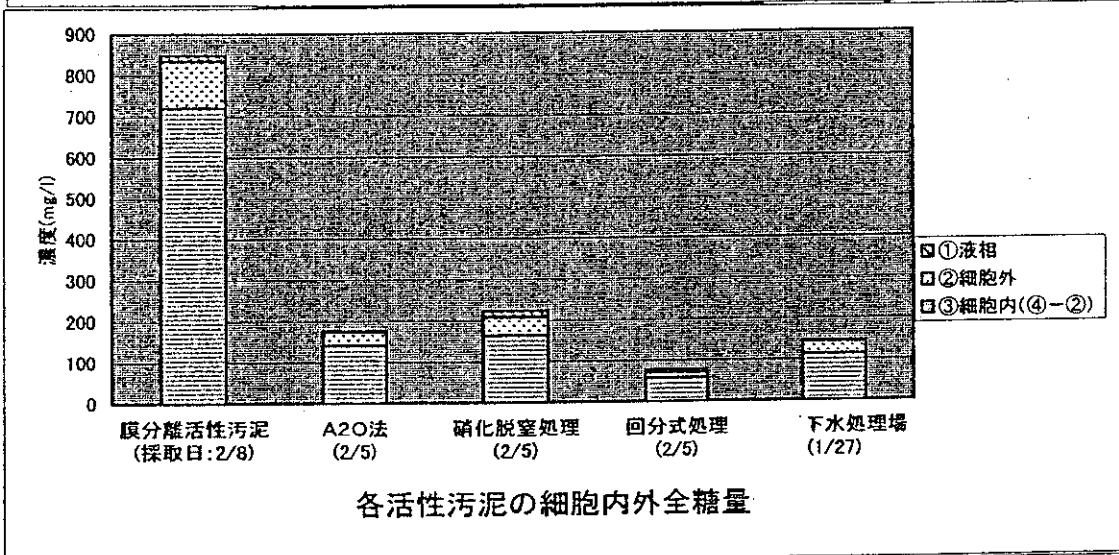
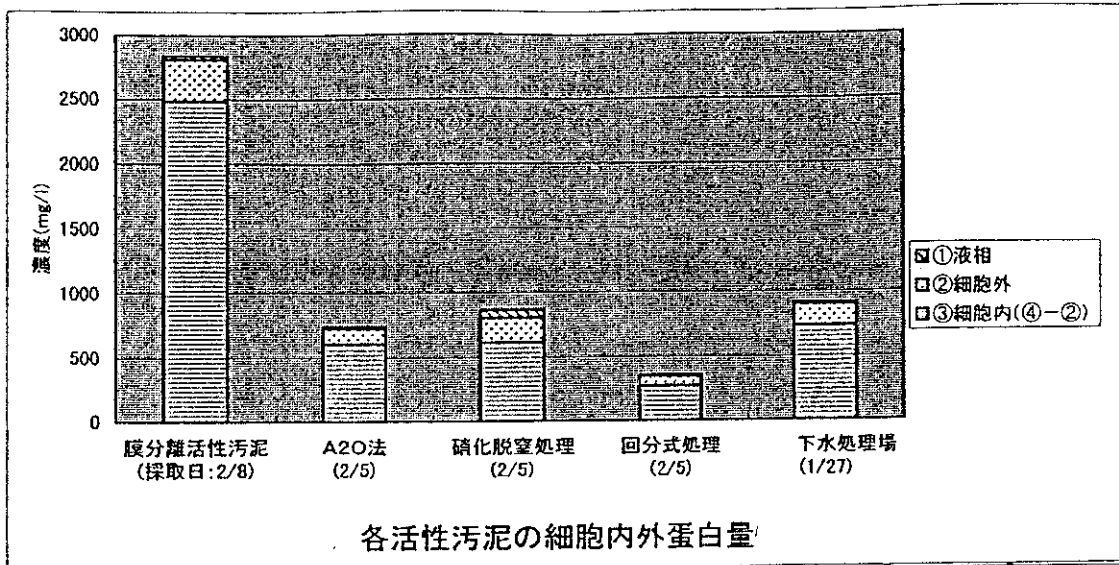


図 6-6 各活性汚泥の細胞内外成分量

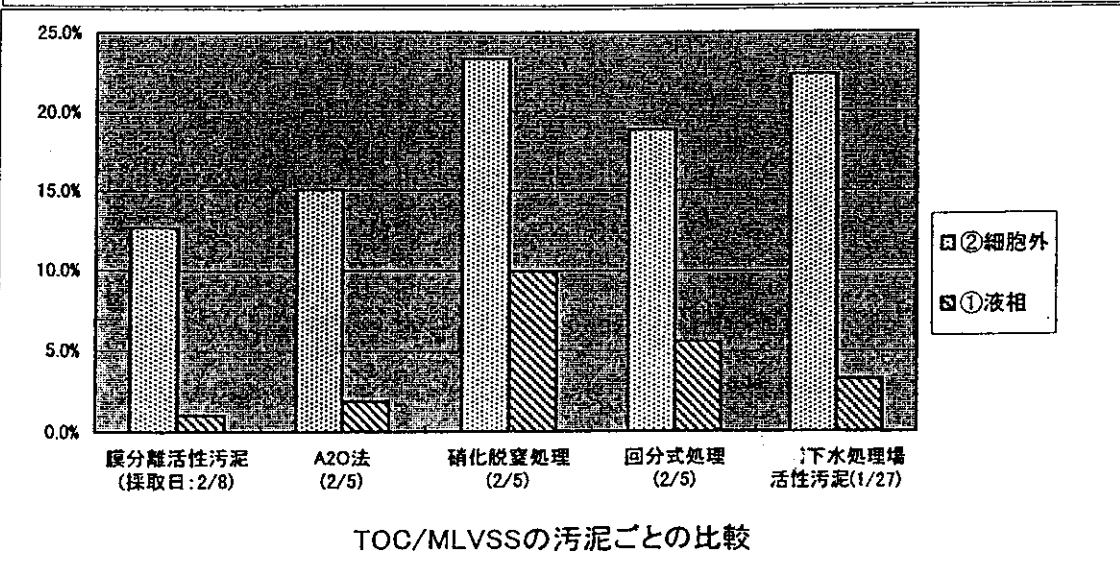
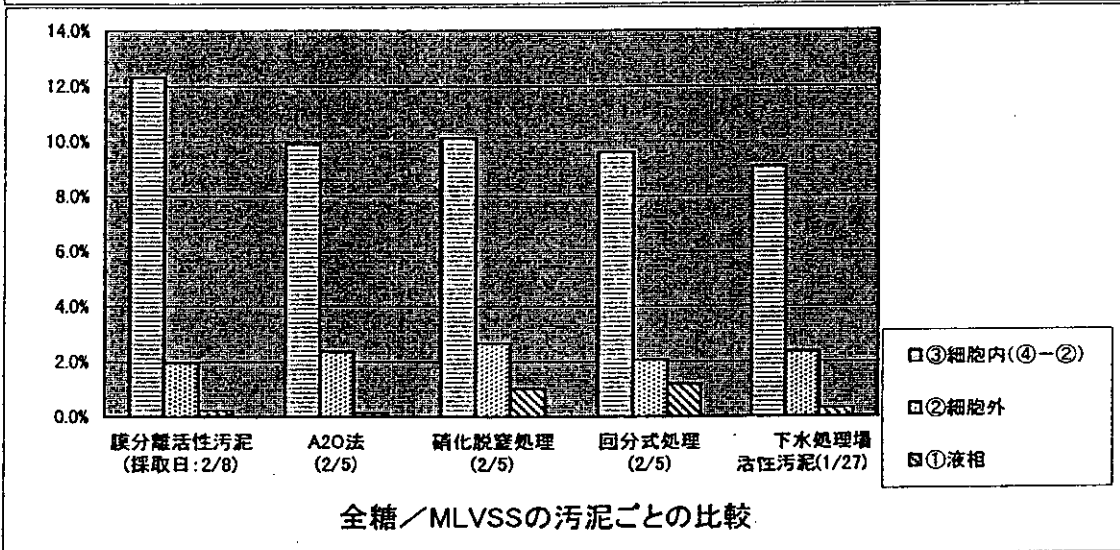
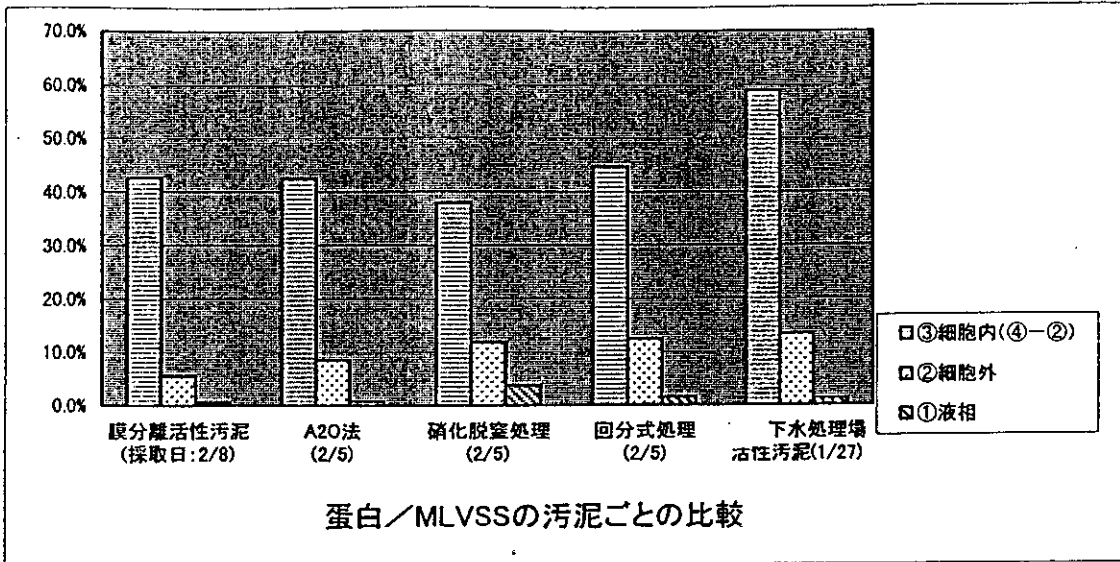
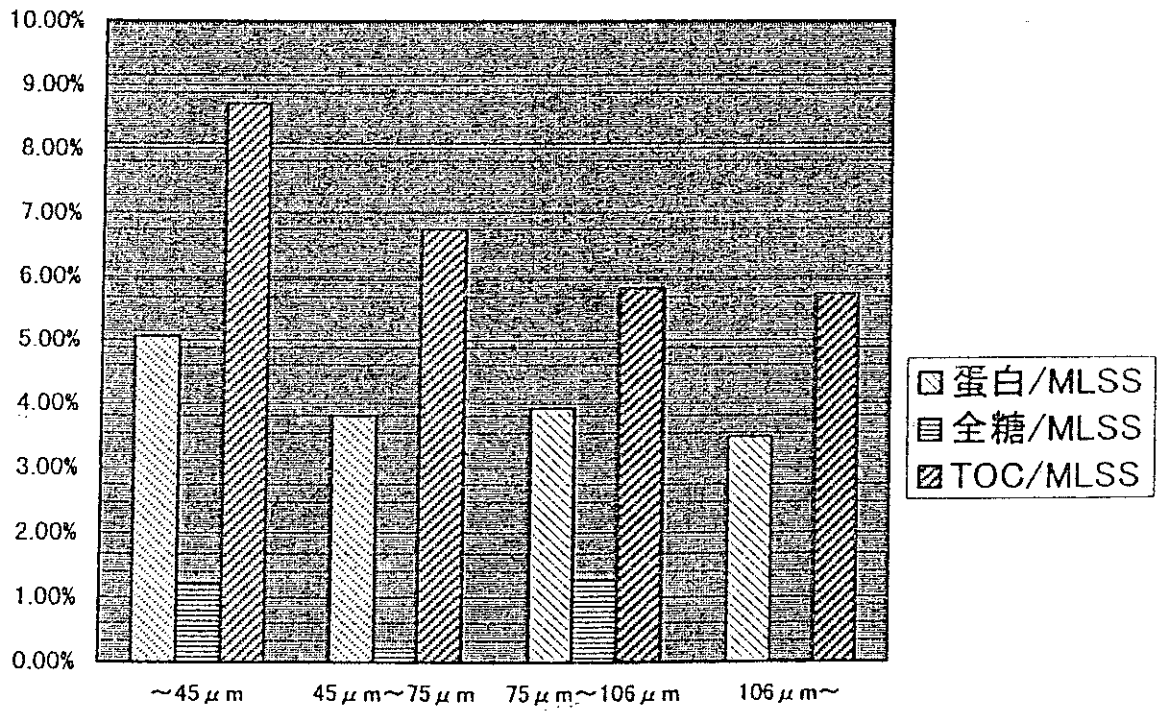


図6-7 MLVSS当りの細胞内外成分量



細胞外成分におけるフロック径ごとの各成分比

図6-8 フロック径ごとの細胞外成分分布

図6-6に、細胞内外成分の存在量を他の処理方法の汚泥と比較したものを示す。汚泥引き抜きのない膜分離汚泥(本方式)の成分量が、TOC、蛋白、全糖のいずれの場合でも、もっとも大きかった。他の処理方法のMLSS量が1,000~2,000mg/lであるの対して、本方式ではMLSS量が6,000~8000mg/lと高い値であったことによると考えられる。図6-7に、各成分のMLVSS当たりの比率を示すが、特に細胞外成分については、本方式の汚泥がもっとも少ない値を示した。従来の結果より、本方式の種々の活性は低いことが知られており、細胞外成分の比率が低いことも、従来の結果と関連していると考えられる。

図6-8は、フロック径ごとに細胞外成分量のMLSS当たりの比率をとったものである。小さいフロック径のものほど、各成分のMLSS当たりの比率が大きくなる傾向にある。特にTOCにおいて顕著である。フロック径が小さいものほど同じフロック存在量で比表面積は大きくなるから、当然の結果でもあるが、膜汚染制御とも関連し、微小フロックの制御はやはり必要かもしれない。このとき、図6-5で示したように浮遊性原生動物による制御が効果的かもしれない。いずれにせよ、この点はさらに検討していく必要がある。

さらに、細胞外物質の構成成分の構成成分を調べるため、熱分解GC/MSでの測定を行ったところ、細胞外構成成分は主として酢酸とアセトアミドであることがわかった。その他、タウリンやアセトニトリル等が検出された。

#### 6.4 まとめ

本研究で得られた成果をまとめると以下の通りである。

- (1) 101 $\mu$ m以下の微小フロックにおいては、粒径21 $\mu$ m以下特に11 $\mu$ m以下の浮遊している分散細胞が多く、その消長と遊泳型微小原生動物の動態が密接な関係にあることが示唆された。
- (2) 汚泥引き抜きのない膜分離活性汚泥の細胞外成分として、単位MLVSS当たりの蛋白量、全糖量、TOC量を、他の汚泥(A<sub>2</sub>O法汚泥、SBR汚泥、下水処理場汚泥等)と比較すると、その成分比は何れも低い値を示し、活性の低さとの関連を伺わせた。ただし、各成分総量は生物量が多いため他の処理法より多いことは従前の結果と同様である。
- (3) 膜分離活性汚泥の粒径ごとの成分を見ると、単位MLSS当たりの細胞外成分はフロック径が小さいほど大きい値を示した。
- (4) 熱分解GC/MSの結果から、細胞外構成成分は主として酢酸とアセトアミドであることがわかった。