

れている膜面への分離濁質の付着堆積に対しては、気泡を膜面に接触させる方法（エアスクラビング）により、これらを効果的に抑制できると考えられる。気泡による膜面堆積物の剥離に大きな影響を与えるのは気泡の膜面通過時におけるせん断力であると考えられる。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ることを目的とする。

### 5.2.2 実験装置及び実験方法

図5-19 (a), (b) に実験装置概略を示す。有効容積 202.5L (45cm×45cm×100cm) の水槽を水道水で満たし、下方の塩化ビニル管ノズルからポンプにより壁面に沿って気泡を発生させた。測定は底面より上方 70cm にせん断力センサーを設置し、測定周期は 0.05 秒とした。気泡はノズルの径を変えることにより大きさを変化させ、気泡径 6.6mm~15.1mm は (a) の装置、27.8mm~58.3mm は (b) の装置より発生させた。気泡径はメスシリンダーを用いて体積を測定し体積相当径に換算して表した。

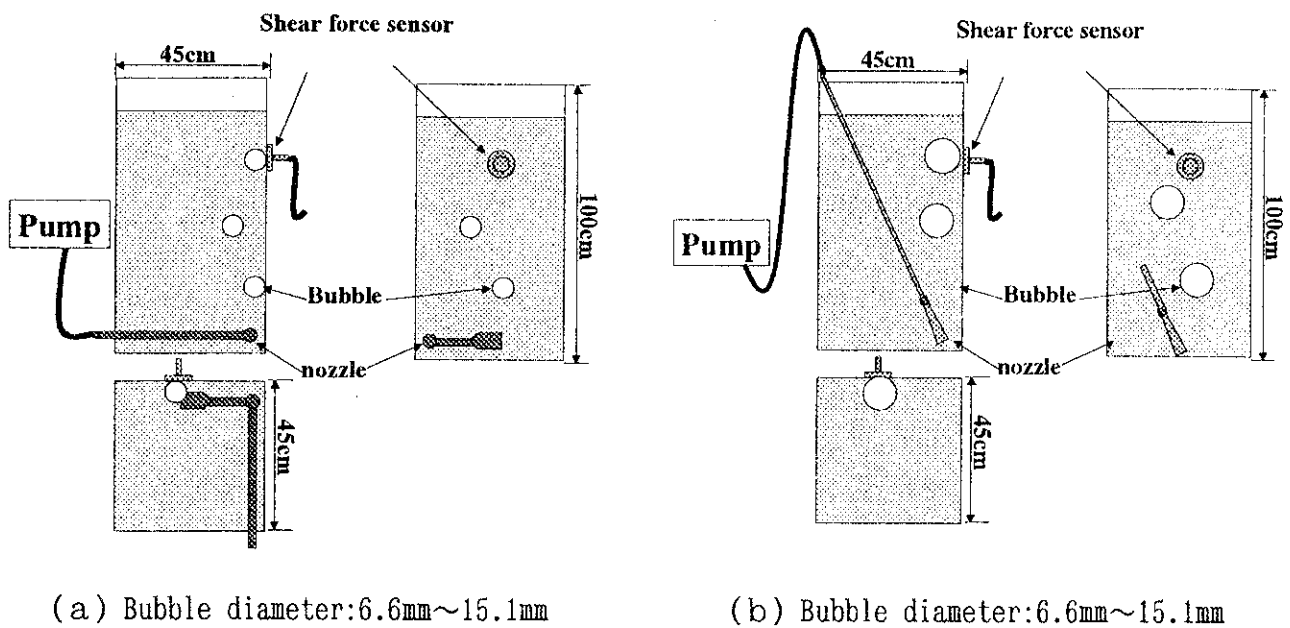


図5-19 Experimental setup

### 5.2.3 気泡のせん断応力

せん断力センサーで得られたユニット (gf) を応力 ( $gf/cm^2$ ) として表すため、気泡の投影面積を以下の様に定義した。気泡径 11.0mm 以上は、センサーよりも大きいため投影面積をセンサーの面積と

し、6.6mm は逆に小さいため気泡そのものの面積で表した。

#### 5.2.4 実験結果及び考察

図5-20に気泡径 15.1mm (Photo.1), 58.3mm (Photo.2)におけるせん断応力の経時変化を示す。各グラフのピークをセンサー通過時と考え、両者に大きな差が現れた。これは大きさ及び上昇挙動による影響が考えられる。気泡径 58.3mm は 15.1mm と比べ上昇中のぶれは大きくなり、センサーからの距離は遠のいたが、せん断応力は大きな値を示した。したがってせん断応力は、センサーからの距離よりも大きさに依存したと考えられる。

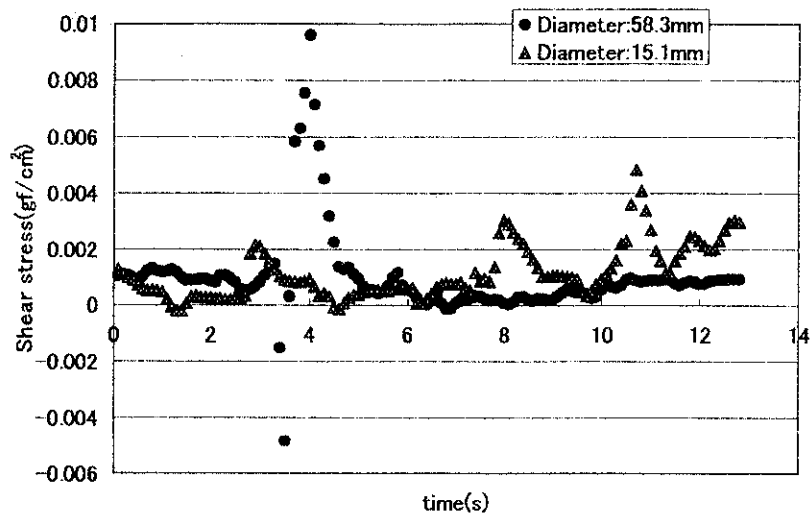


図5-20 Variation of shear stress



Photo.1 Bubble(side)



Photo.2 Bubble(front)

図5-21にせん断応力と気泡径の関係を示す。近似曲線によると気泡径増大に伴いせん断応力の増加傾向が見られた。このことからせん断応力は気泡径による影響が相対的に大きいと考えられる。一方で個々にデータを見ると気泡径に依存せず減少しているものもあり、気泡径、センサーからの距離、せん断応力の関係を知る上ではより多くのサンプルが必要であると考えられる。

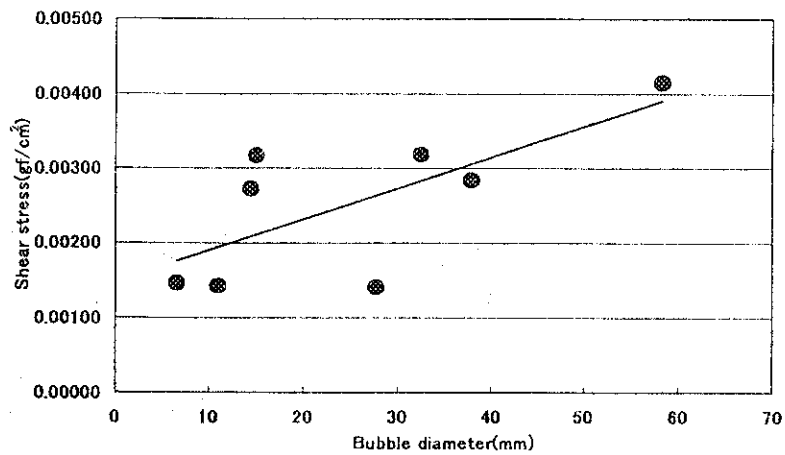


図5-21 Relationship between shear stress and bubble diameter

## 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。

本年度も昨年度に引き続き、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。

### 6.2 実験方法

図6-1に示した実験装置は昨年と同様のものである。表6-1に、本実験で用いた蛍光標識遺伝子プローブを示す。EUB プローブによる検出結果が通常の細菌群を代表していると考えられる。NEU プローブはアンモニア酸化細菌を検出できる代表的なものである。NIT は亜硝酸酸化細菌用のプローブである。PCR には、16sDNA の V3 領域を用いている。DGGE は BIORAD Decode DGGE System を用いた。実験方法の詳細は既報 (B. Luxomy *et al.*, 1999) に示している。

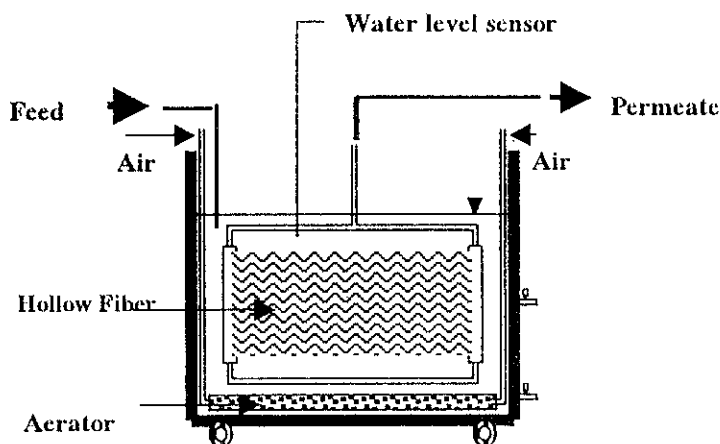


図6-1 実験装置の概略

Dissimilarity Index は平石の方法(Hiraishi *et al.*, 1991) を用いて算出した。また Shanon diversity index を得られた DGGE バンドの強度の相対割合から算出した。

表6-1 実験で用いた蛍光標識遺伝子プローブ

Probe	Probe Sequence (5'-3')	Target position*	Formamide (%)	Ref.
EUB 338	GCTGCCTCCCGTAGGAGT	16S, 338-355	20	Amann et al(1990)
ALF 1b	CGTTCGYTCTGAGCCAG	16S, 19-35	20	Manz et al (1992)
BET42a	GCCTTCCCACTTCGTTT	23S, 1027-1043	35	Manz et al (1992)
GAM42a	GCCTTCCCACATCGTTT	23S, 1027-1043	35	Manz et al (1992)
HGC69a	TATAGTTACCACCGCCCT	23S, 1901-1918	25	Roller et al (1994)
CF319a	TGGTCCGTGTCTCAGTAC	16S, 319-336	35	Manz et al (1996)
NEU	CCCCTCTGCTGCACTCTA	16S, 653-670	40	Wagner et al (1995)
CTE	TTCCATCCCCCTCTGCCG	16S, 659-676	-----	Schleifer et al (1992)
Nso190	CGTCCCCTGCTTTTCTCC	16S, 190-208	55	Mobarry et al (1996)
Nsv443	CCGTGACCGTTTCGTCCG	16S, 444-462	30	Mobarry et al (1996)
NIT3	CCTGTGCTCCATGCTCCG	16S, 1035-1048	40	Wagner et al (1996)
CNIT3	CCTGTGCTCCAGGCCTCCG	16S, 1035-1048	-----	Wagner et al (1996)
NON	ACTCCTACGGGAGGCAGC	16S	-----	Wallner et al (1993)

\*(*E. coli* Numbering)

The specificity of each probes are listed below:

- 1) EUB 338: complementary to a conserved region of the 16S rRNA of all bacteria.
- 2) ALF 1b: specific to proteobacteria alpha subgroup.
- 3) BET42a: specific to proteobacteria beta subgroup.
- 4) GAM42a: specific to proteobacteria gamma subgroup.
- 5) HGC69a: specific to gram positive high G+C phylum.
- 6) CF319a: specific to Cytophaga group.
- 7) NEU: complementary to a region of lithoautotrophic ammonia-oxidizing bacteria such as *Nitrosomonas europaea*, *Nitrosomonas eutropha*, *Nitrosococcus mobilis* etc.
- 8) CTE: as a competitor of ammonia-oxidizer, complementary to a region of the 16S rRNA of *comamonas testosteroni*, *Brachymonas denitrificans*, *Rhodocyclus purpureus*, and *leptothrix discophora*.
- 9) Nso 190: encompass all sequenced ammonia oxidizers of the beta-subclass of proteobacteria.
- 10) Nsv 443: specific to *Nitrososybirio-Nitrosolobus-Nitrosospira* group.
- 11) NIT3: complementary to a region of all hitherto sequenced Nitrobacter species.
- 12) CNIT3: specific to a region of *Bradyrhizobium japonicum*, *Rhodopseudomonas palustris*, *Afiplia clevelandis*, and *Afiplia felis*.
- 13) Non: used in order to identify nonspecific binding, it does not get attached with any kind of organisms.

リングレース付着担体を使用した実験装置を図6-2に示す。各 10L の容積で滞留時間 1 日の条

件で運転した。

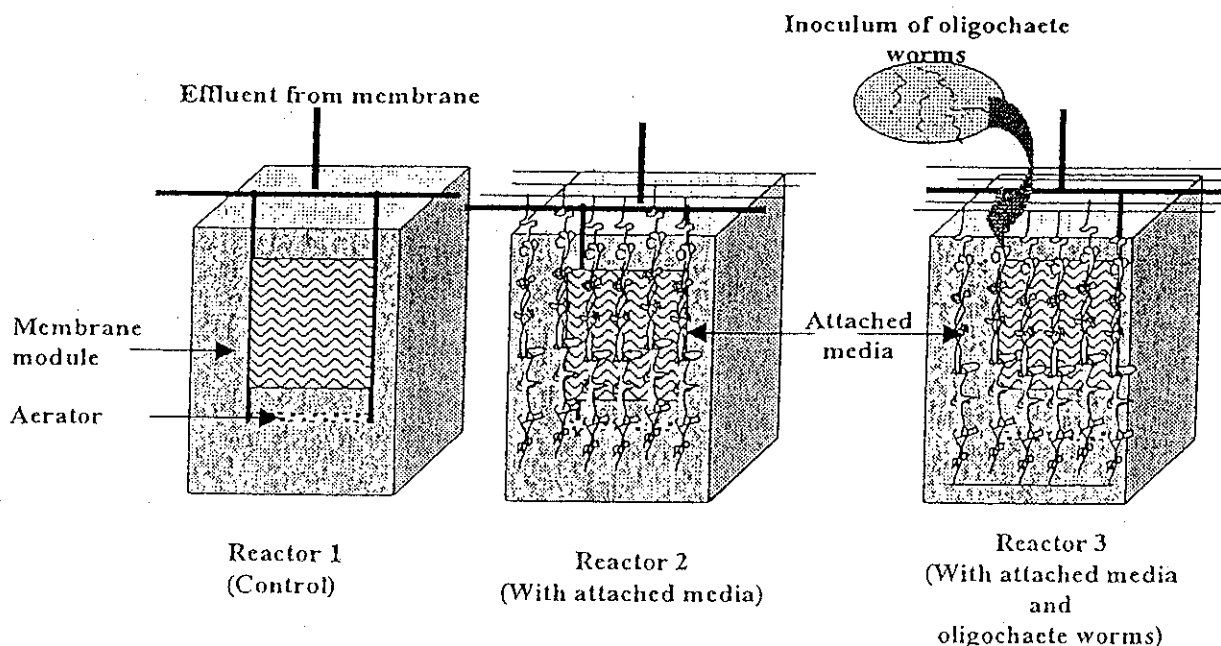


図6-2 リングレース付着担体を使用した実験装置の概略

### 6.3 実験結果

表6-2に各バクテリアプローブのEUBプローブに対する検出結果の比を示す。いわゆる従属栄養細菌叢には一般的安活性汚泥と比べて特徴的な違いは見られなかった。

表6-3に、NEUプローブのEUBプローブに対する検出結果の比を示す。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なっており、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。また、硝化細菌が集積しているフロック径は、 $45\mu\text{m}$ 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。

表6-2 各バクテリアプローブのEUBプローブに対する検出結果の比

PROBE	RATIO(%)	PROBE	RATIO(%)
ALF1b	12.69	HGC69a	3.43
BET 42a	13.92	CF319a	2.58
GAM 42a	7.77		

表6-3 NEUプローブのEUBプローブに対する検出結果の比

Size	<10 μm	<45μm	<75	All (usually <100 μm)*
NEU/EUB	12.05	7.63	6.04	6.34

\*The original sample without any separation or filtration

図6-3～6-5に硝化細菌の検出結果例を示す。それぞれクラスターを形成して一群のクラスターより大きいクラスターを形成している。また、フロックサイズが膜分離活性汚泥では比較的小さいということもあってか、硝化細菌の分布はフロックの内部に存在することが多いことがわかった。いずれにせよ、今後、硝化細菌のような増殖速度の遅い有用微生物群が、どのように膜分離バイオリアクター内に出現し定着していくかを調べることは興味深く、その積極的・工学的制御方法を確認する上でも、硝化細菌クラスターの生成・成長・消滅の数理モデルを作成していく必要があるだろう。

図6-6は、表6-4に示す条件の活性汚泥のDGGEの結果例である。

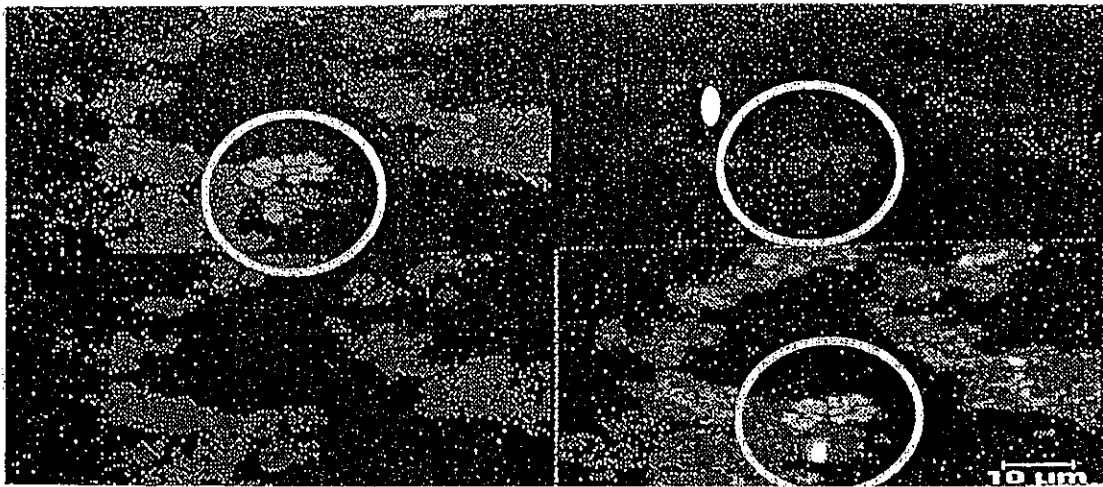


図6-3 *Nitrosomonas* hybridized with NSO 190 (FITC),top left,NEU (XRITC) top right,non probe (CY5),bottom left and the overlapping of all the three images,bottom right

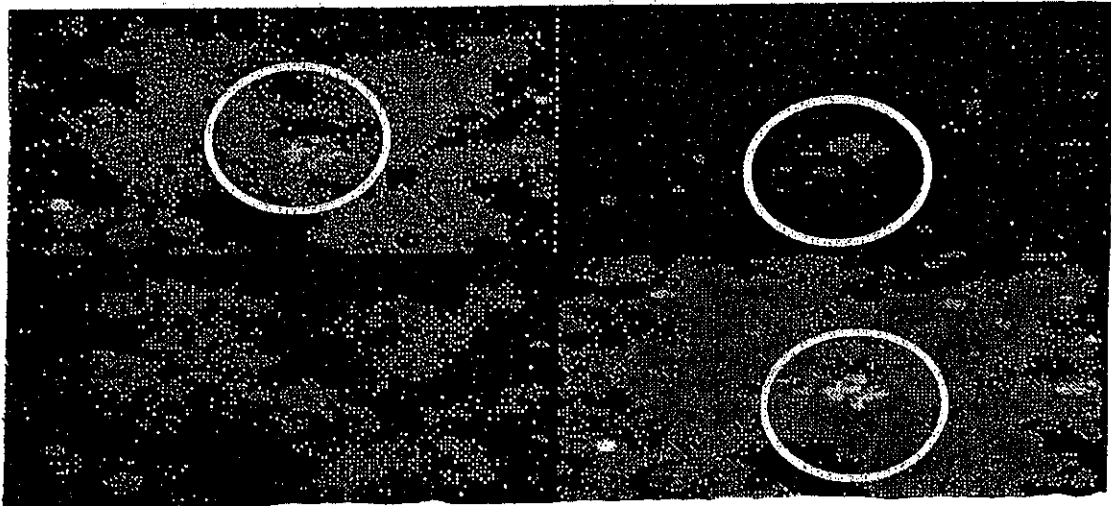


図6-4 *Nitrosomonus* hybridized with NSO 190 (FITC),top left,NSV 443 (XRITC) top right,non probe (CY5),bottom left and the overlapping of all the three images,bottom right

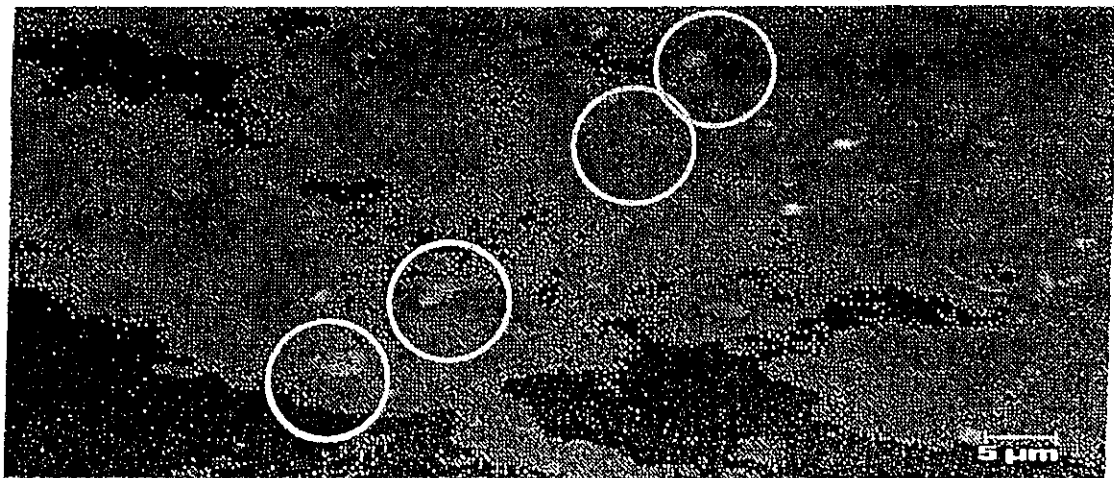


図6-5 *Nitrobacter* species hybridized with probe NIT3 (XRITC) and eubacteria with probe EUB 338 (CY5)

表6-4 DGGE 分析に用いたサンプルの種類

Sample No.	Description
1	Influent of the treatment plant (for CAS process)
2	Influent of the pilot plant (for MBR)
3	Sample of CAS process (from aeration tank)
4	Sample of MBR 1 (pH around 4, HRT 1.5 day)
5	Sample of MBR 2 (pH around 7, HRT 1 day)



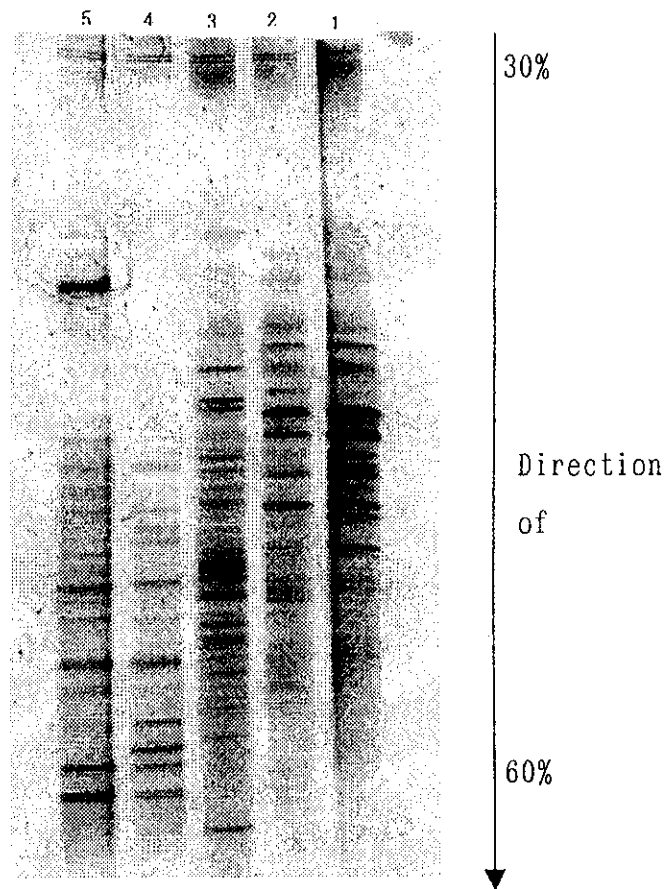


図6-6 活性汚泥のDGGE分析結果例(1. 下水処理場流入水、2. 膜分離パイオリアクターパイロットプラント流入水、3. 処理場曝気槽活性汚泥、4. MBR1、5. MBR2)

図6-7は、それらの結果から Dissimilarity Index を算出してクラスター分析を行い比較したデンドログラムである。定性的ではあるが、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る。

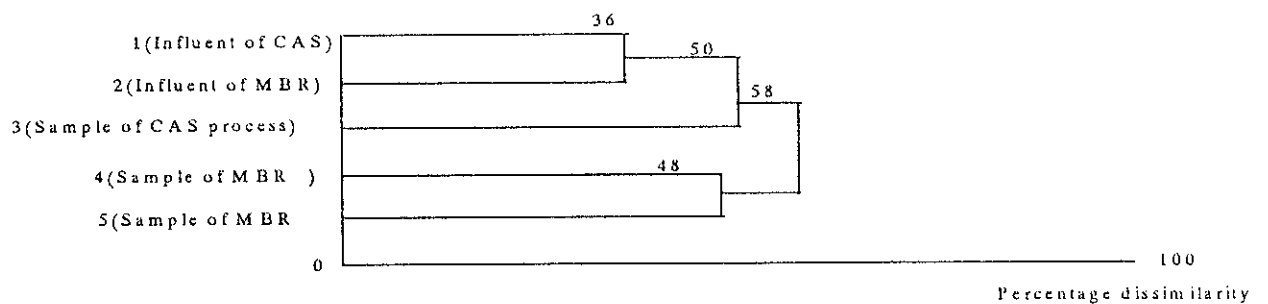


図6-7 DGGE バンドのクラスター分析によるデンドログラム

図6-8は、Shannon Diversity Index を算出した結果で、活性汚泥叢は流入水細菌叢より複雑な微生物生態系を構成していると推定される。

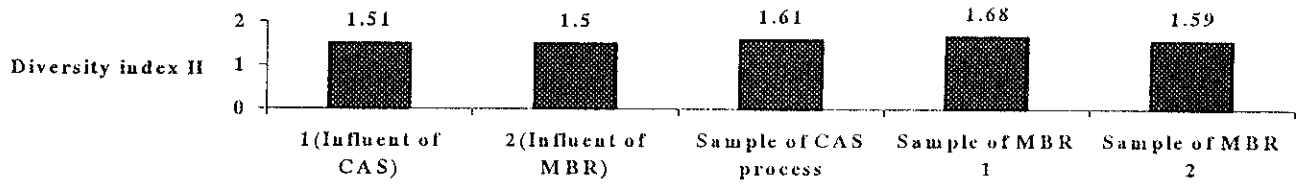


図6-8 Shannon Diversity Index 算出結果

図6-9～6-15は、付着担体添加の効果や貧毛類の効果調べた比較実験の各種水質を示したものである。水質としては、実験後期では各リアクターともほぼ同程度の水質を示し、付着担体添加や貧毛類が処理性能に対し顕著な影響は与えないと言える。この運転期間では汚泥発生量抑制に有効であったがどうかの判定は未だ無理であり、今後引き続き検討していく必要がある。

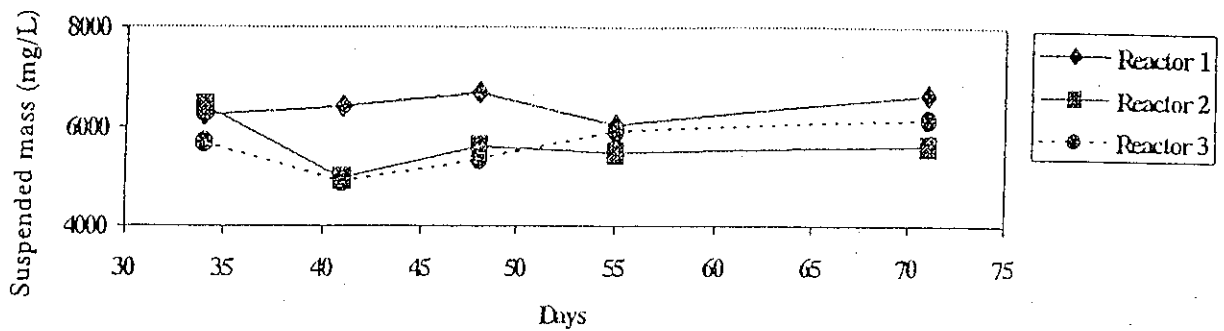


図6-9 Variation in the suspended MLSS in run 2

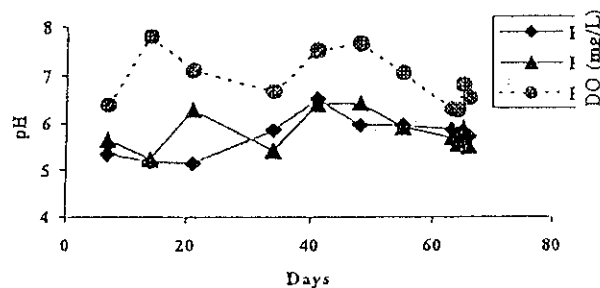


図6-10 Variation in pH in the reactors

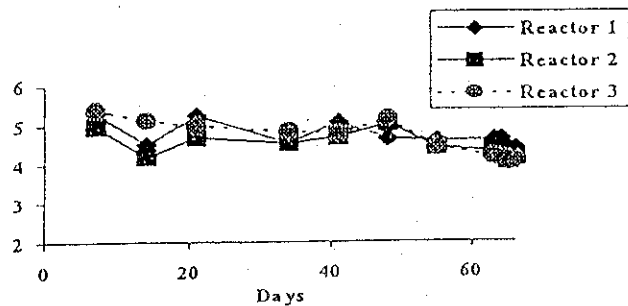


图6-11 Variation of DO in the reactors

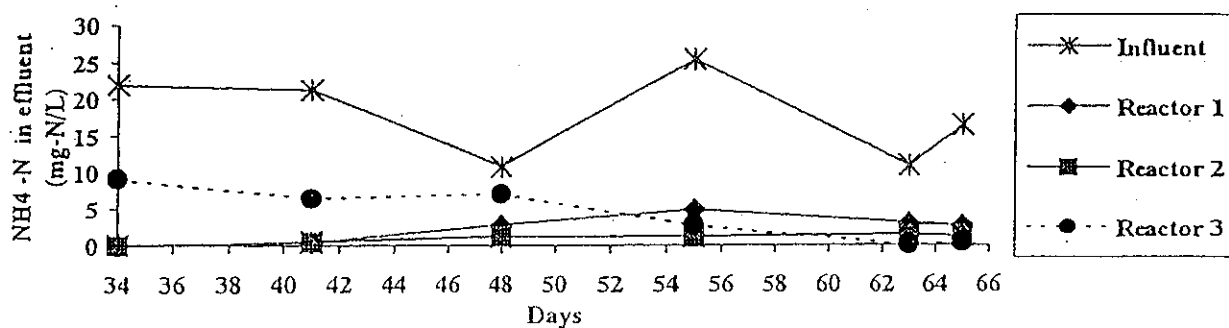


图6-12 The variation of NH<sub>4</sub>-N in the effluent and influent

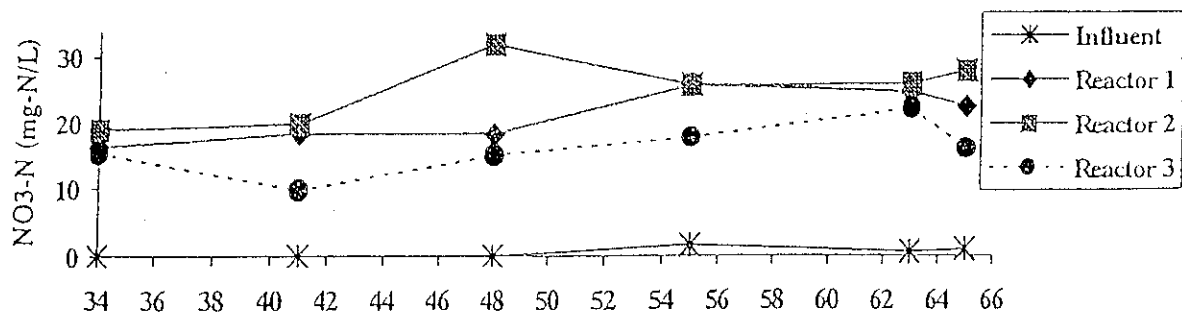


图6-13 The variation of NO<sub>3</sub>-N in the effluent and influent

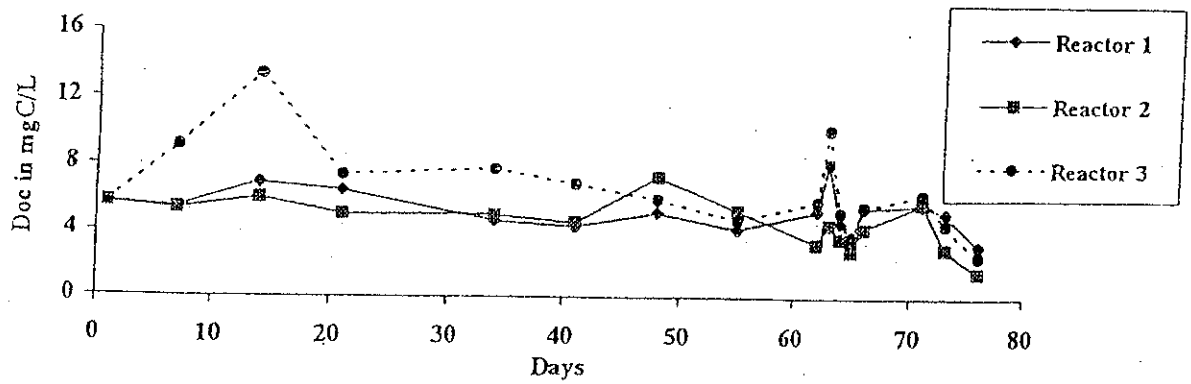


図6-14 The variation of effluent DOC in the reactors.

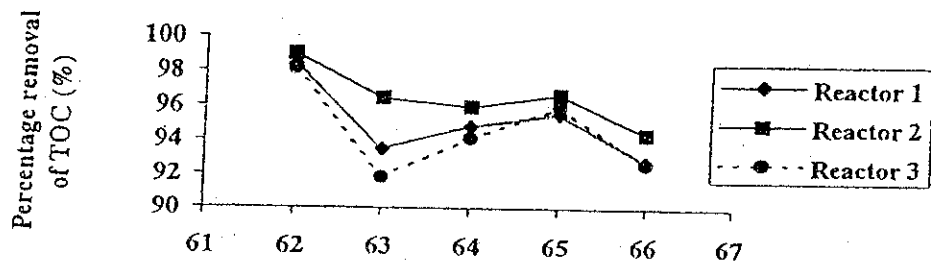


図6-15 The removal efficiency of TOC for the three reactors.

図6-16にフロック径分布の中央値の時間変化を示す。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る。

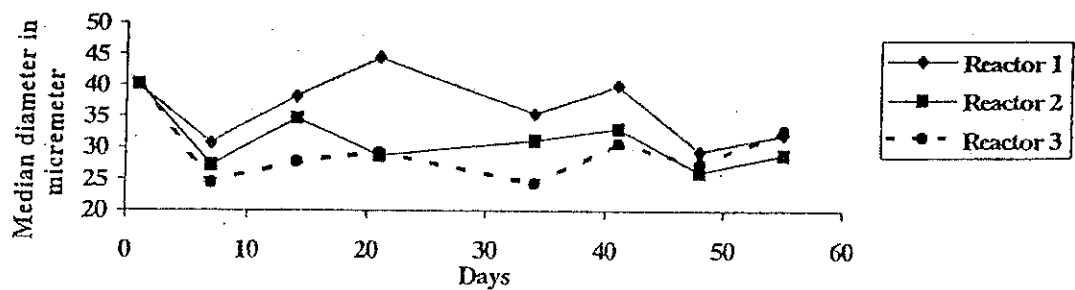


図6-16 Median diameters of flocs with days

図6-17、6-18には繊毛虫類やワムシの時間変化を示す。やはり個体数の変化が大きい。まだ短期間の実験であるので、引き続き観察を続けていく必要がある。



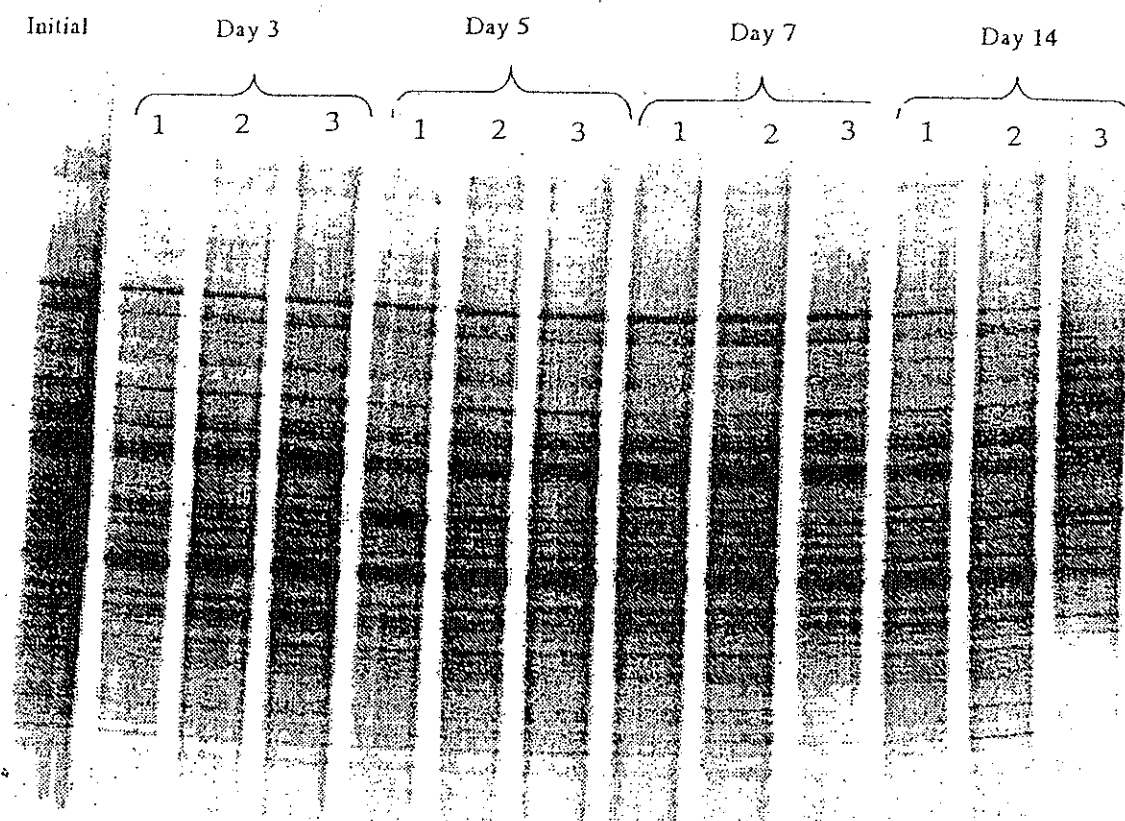


図6-19 Laser scanning image of Vistra Green stained DGGE gel, lane named 1, 2 and 3 represented sample from reactors 1, 2 and 3 respectively on those following days. DGGE gradient range was 10-60%. Primers covering V3 region of 16S rRNA was used for obtaining PCR products.

#### 6.4 まとめ

本年度も昨年度に引き続き、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。

FISH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。

1) 硝化細菌が集積しているフロック径は、 $45\mu\text{m}$  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。

- 2) PCR-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。
- 3) 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し得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。

#### 参考文献

B.Luxomy et al., Proc. Of Int. Conf. On Membrane Technology in Environmental Management, Tokyo, Nov.1-4,1999, pp302-309)

Hiraishi et al., J. Gen. Appl. Microbiology, Vol.37, pp57-70, 1991

## 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

膜分離型浄化槽の膜分離装置では、膜の透過性を良好に維持することが重要であり、それにはばつ気量、活性汚泥の濃度や性状などが大きな影響を与える。そこで、現場での活性汚泥の膜透過性の簡便な評価方法として膜メーカーから提案されているろ過速度による評価試験(ろ過試験)の検討を行った。ろ過試験は、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り、このろ過試験の測定条件と利用方法の検討を行った。

### 7.2 実験の方法及び結果

#### 7.2.1 ろ過試験に適するろ紙の検討

##### 7.2.1.1 実験の方法

ろ過試験に適するろ紙の種類について検討するため、ろ紙製造元のカタログより、ろ過速度の大きいろ紙を選び、そのろ紙を用いて、濃度の異なる2種類の活性汚泥でろ過試験を行った。

実験に使用したろ紙を表7-1に示す。

表7-1 実験に使用したろ紙

No.	ろ紙の種類とサイズ
1	東洋ろ紙(定性ろ紙 No1) 150mm
2	東洋ろ紙(ガラス繊維ろ紙 GA-200) 150mm
3	Whatman(定量ろ紙グレート 41) 150mm
4	Whatman(定性ろ紙グレート 4) 185mm
5	東洋ろ紙(定量ろ紙 No5A) 150mm
6	Whatman(ガラス繊維ろ紙 GF/C) 150mm

測定操作の方法について以下に示す。

#### 測定の方法

- ① 四つ折りにしたろ紙を直径10.5cmのロートにセットする。
- ② ろ紙を水で湿らせて、ロートに密着させ余分な水を切る。
- ③ 空の50mlメスシリンダーにこのロートを乗せ、ろ紙の上に、活性汚泥50mlを投入する。
- ④ 5分後、メスシリンダーに貯まった透過水量を読みとる。



### 7.2.1.2 測定結果

濃度の異なる2種類の活性汚泥について、ろ過試験を行った結果を、表7-2、表7-3に示す。

表7-2 活性汚泥(1)Y宅膜分離槽の活性汚泥(水温 28.9 度、MLSS 17,500mg/l)

ろ紙の種類	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
透過水量(ml)	19.5	—	19.5	16.5	20.0	14.8

表7-3 活性汚泥(2)E宅膜分離槽の活性汚泥(水温 28.9 度、MLSS 6,140 mg/l)

ろ紙の種類	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
透過水量(ml)	36.0	13.5	35.5	32.5	35.5	34.5

No.2のろ紙は、紙を4つ折りにする際にも折り目が付き難く、ロートに対して密着させるのが困難であった。また、MLSS濃度の高い活性汚泥(Y宅)においては、ほとんどのろ過水が得られなかった。これらのことからろ過試験には適さないろ紙と判断された。

No.2以外のろ紙では、MLSS濃度の低い活性汚泥(E宅)においては、35ml前後の透過水量が得られ、MLSS濃度の高い活性汚泥(Y宅)においても15mlから20ml程度のろ過水が得られた。MLSS濃度の違いでろ過水量に大きな差が認められたことから、No.2以外のろ紙は、ろ過試験に利用できる可能性があると考えられた。

また、ろ紙の価格においては、No.1とNo.4のろ紙が安価であることから、以後の検討はこの2種類のろ紙を用いた。

### 7.2.2 ろ過の時間と透過水量の関係

東洋ろ紙(定性ろ紙No.1)、Whatmanろ紙(定性ろ紙No.4)の2種類のろ紙を用いてろ過試験を行った。活性汚泥は、8施設から採取し、希釈や濃縮によってMLSS濃度の異なる活性汚泥(23とおり)を作り、ろ過水量の経時変化を測定した。ろ過の方法は前述したとおりで、メスシリンダーに貯まった透過水量の読みとり時間を、2分、3分、5分、7分、10分、15分とした。得られた結果のうち、数例を図7-1に示す。

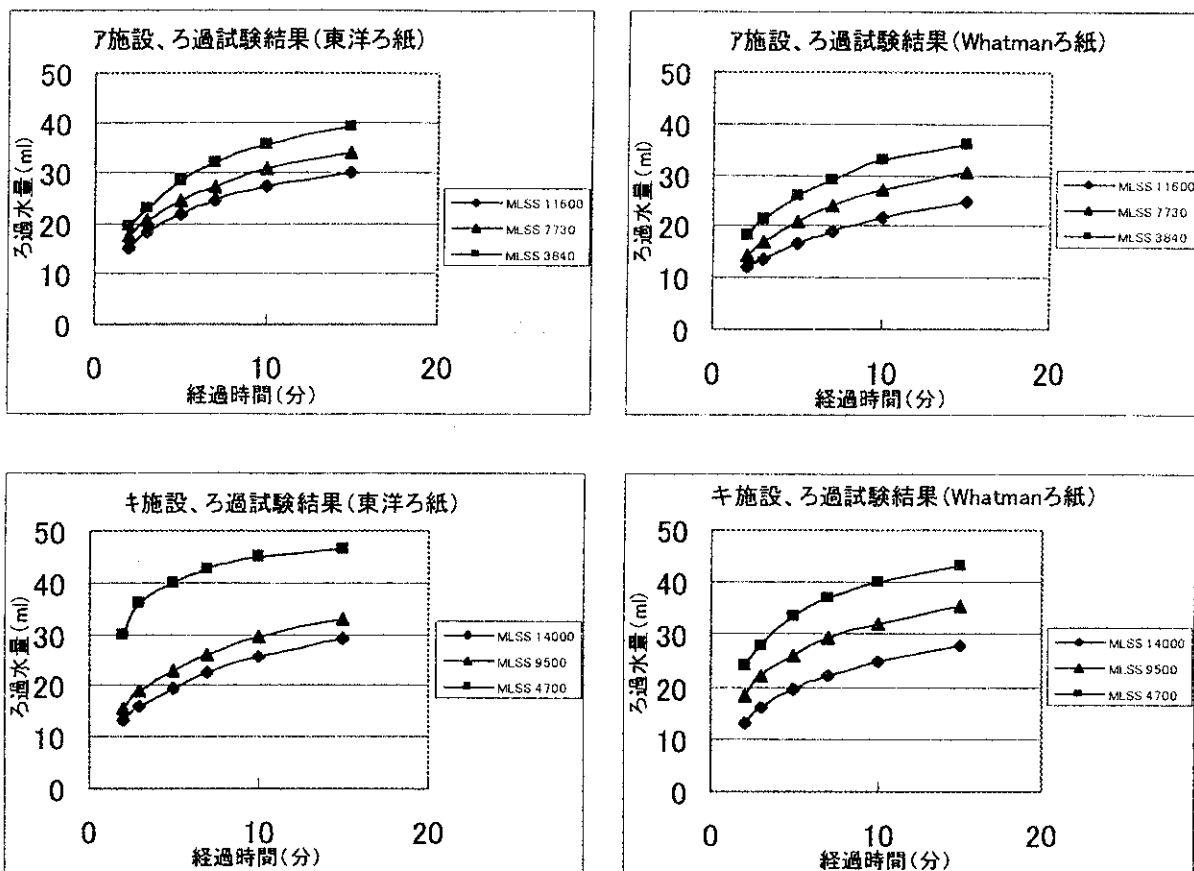


図7-1 ろ過の時間とろ過水量の関係

MLSS 濃度ごとのろ過水量は、実験の範囲ではろ過時間が長くなるほど大きくなる傾向が認められた。そこで、次にろ過時間、MLSS 及び透過水量の関係について解析することにした。

### 7.2.3 ろ過時間と MLSS 濃度及びろ過水量の関係

7.2.1 に例示した以外の結果も含めて、ろ過時間、MLSS 濃度及びろ過水量の関係について解析を行った。3分、5分、10分、15分各ろ過時間ごとの MLSS 濃度とろ過水量(3回の平均値)の関係を図7-2に示す。

MLSS とろ過水量の関係における傾きは、3分から15分まで $-0.0013 \sim -0.0014$ とほとんど差は認められなかった。しかし、相関係数については、ろ過時間3分から15分まで順に0.72、0.74、0.81、0.85となった。ろ過時間3分及び5分に比べ10分及び15分は、相関係数が0.1高い結果が得られた。このことから、ろ過時間としては、10分程度が適当と考えられた。

膜分離型小型合併処理浄化槽の膜分離槽では、MLSS 濃度 15,000mg/l を余剰汚泥の移送あるいは清掃の目安とした。この試験のろ過試験結果から判断するとすると、ろ過時間15分で透過水量が20ml

以上、ろ過時間 10 分で透過水量が 15ml 以上であればおよそ MLSS 濃度が 15,000mg/l 以下であると推測できる。

一方、ろ過時間 15 分の図から明らかなように、MLSS 濃度が同程度の活性汚泥(約 10,000mg/l)であってもろ過水量は 25~40ml の範囲に分布している。このことから、MLSS 濃度の測定とろ過試験を組み合わせるにより、ある程度活性汚泥の透過性を推測できると考えられた。すなわち、保守点検時に、精密ろ過膜の透過圧力の増加あるいは透過水量の減少が認められ MLSS 濃度が前点検時と変わっていない場合に、ろ過試験を行い透過水量が前点検時に比べ減少していれば、活性汚泥の性状が変化したことが原因であると判断できると考えられた。

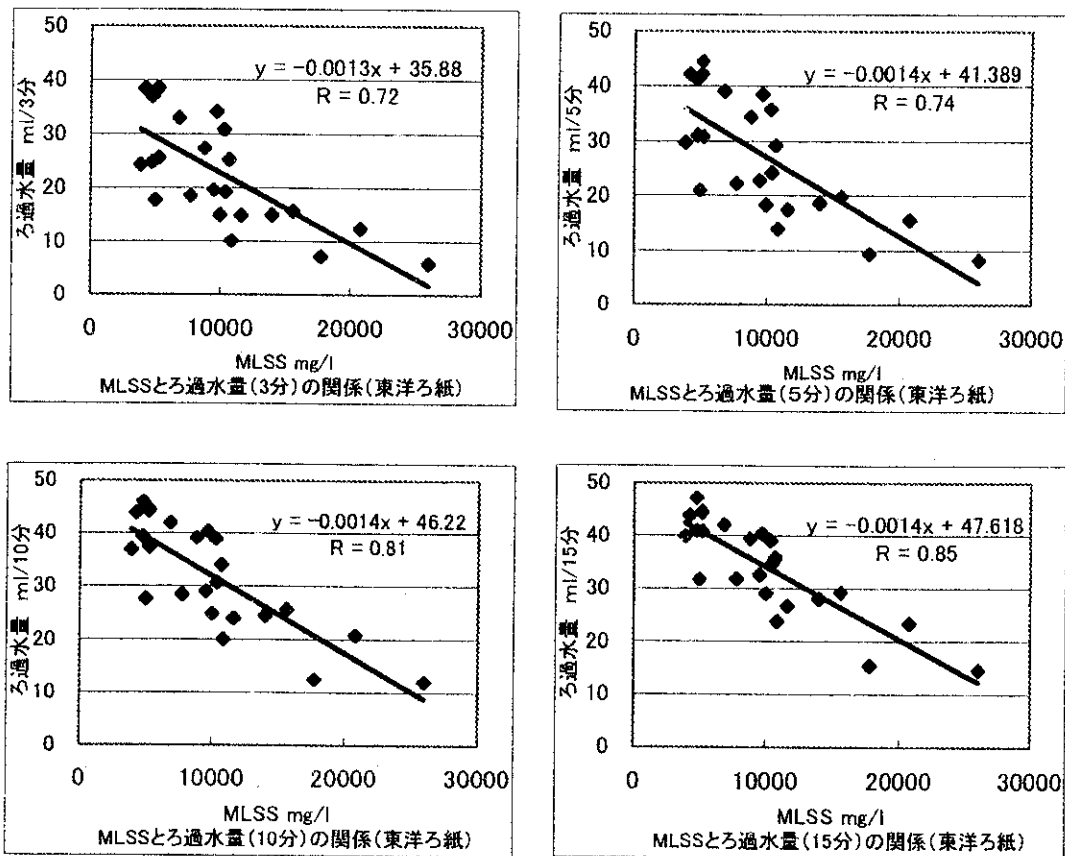


図7-2 MLSS 濃度と透過水量の関係

#### 7.2.4 粘度とろ過水量の関係

膜分離装置における透過水量に大きな影響を与える因子として粘度がある。そこで、前節の検討と同じ活性汚泥の MLSS と粘度の関係(図7-3)および粘度とろ過水量の関係(図7-4)を検討した。

粘度は、MLSS 濃度約 10,000mg/l 程度までは変化はなかったが、それ以上になると急激に上昇し、膜分離槽における余剰汚泥の移送あるいは清掃の目安としている MLSS 濃度 15,000mg/l では、100cp 程度となった。

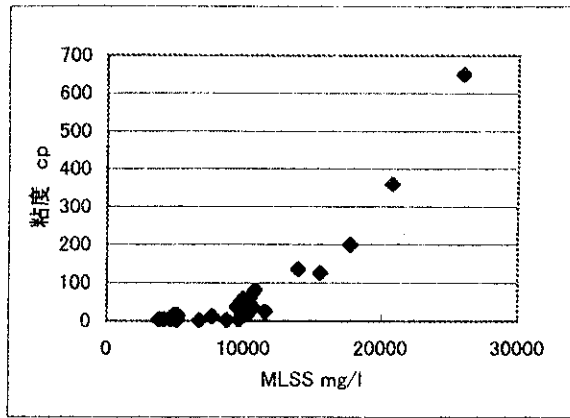


図7-3 MLSS 濃度と粘度の関係

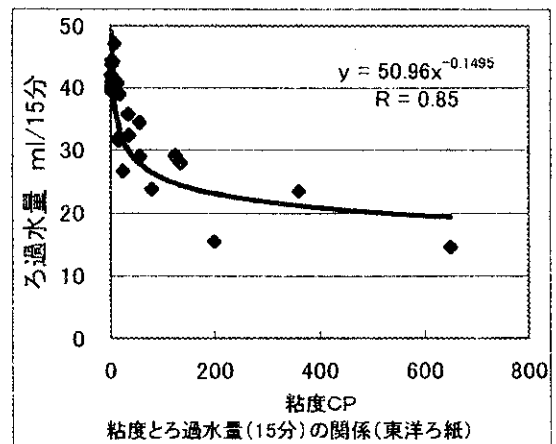
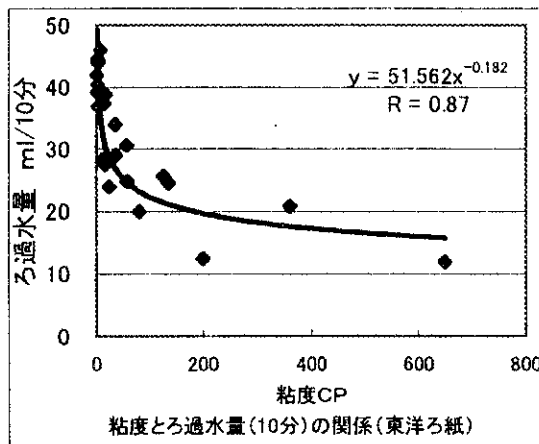
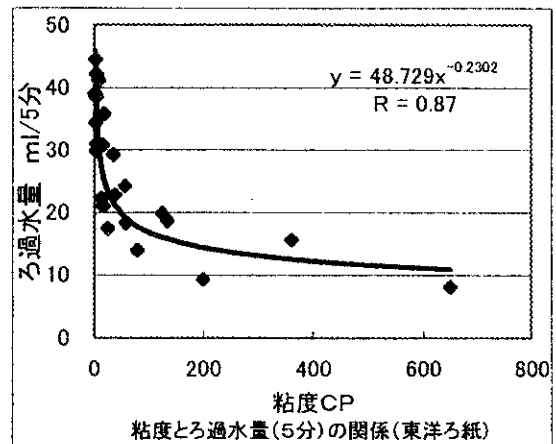
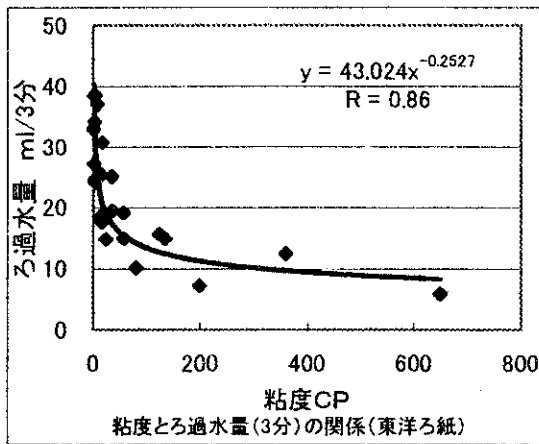


図7-4 粘度とろ過水量の関係