

学位論文

膜分離型廃水浄化装置による  
閉鎖性海域の水質保全策に関する研究

2013 年 3 月

三重大学大学院地域イノベーション学研究科  
博士後期課程 610D005

宝門 豊

はじめに（本学位論文要旨）

膜分離活性汚泥法（Activated sludge process with membrane separation）は、従来の活性汚泥法と比べて、沈殿槽を不要とし、生物反応槽内の活性汚泥 MLSS（Mixed Liquor Suspended Solids）濃度を増加させることが可能であるため、コンパクトな施設となる利点がある。さらに、懸濁浮遊物質（Suspended Solids: SS）と大腸菌が検出されない清澄な処理水を得られることから、再利用に適しているなどの利点もある。以上のような理由から、ヨーロッパ、北米、中東、中国等を中心に積極的に導入されつつある。また、凝集沈殿処理法（Coagulation-Sedimentation Process: CSP）は、高濃度の汚濁水中で容易に沈殿しない微粒子を、凝集剤を加えることにより互いに結合させて大きな粒子とし、沈降させる処理方法であり、さまざまな分野で利用されている。凝集剤により水中の濁質をフロック化し、沈殿槽にて濁質を沈殿除去する。したがって、大型の沈殿槽が必要であり、処理施設が比較的大型になる。さらに、低濃度の濁質や微細なフロックは沈殿せず、濁りの成分として処理水中に残存する。近年、沈殿槽を用いずに膜分離により、濁質を除去した処理水を得る試みが行われている。以上のような背景から、本研究では PTFE 平膜を用いた膜分離型廃水浄化モデル実験として、新規の PTFE 平膜を作製し、汚泥再生処理センターの実施設における膜分離高負荷脱窒素処理に応用した。

本学位論文は全 8 章で構成している。本研究を多角的に検討した結果、各章がそれぞれ独立したような章となっており、各章の要旨については以下の通りである。

第 1 章では、閉鎖性海域の水質保全につながる本研究の背景と意義を述べ、本研究の必要性を明確にした。

第 2 章では、汚泥再生処理センターの実施設において、新規の PTFE 平膜の性能評価を行った。膜分離高負荷脱窒素処理における膜分離装置は二段に設けられ、初めは高負荷脱窒素処理で硝化・脱窒素反応を終えた MLSS の固液分離用として、続いて二段目は、色度やリン等を除去するための凝集剤による凝集反応後の固液分離用である。したがって、この 2 種類の膜分離処理に PTFE 平膜を応用した。さらに、約 1 年間の連続稼働による実証データを取得、CPE 平膜を用いた場合と比較検討した。また、実験データから膜間差圧と透過流束の関係を数式化することを試みた。

第 3 章では、実液水槽を作製して実験・検証を行い、PTFE 平膜の優位性を再確認した。また、アンモニア性窒素による膜ファウリング現象を解明した。



第4章・第5章では、膜分離型廃水浄化システムを事業所に応用し、事例研究を行った。第4章では、水質浄化問題の概要と対策として、三重県南部地域の沿岸はリアス式海岸からなる閉鎖性海域であり、その水質汚染問題は軽視できない状況である。例えば、英虞湾の現状は県・自治体が、6年間で約30億円の費用を負担し海底のヘドロ回収を行っている。ヘドロの原因の一つとして、現存する小規模廃水浄化施設の処理能力を超えた場合に流出する余剰汚泥や懸濁浮遊物質が考えられている。したがって、英虞湾のような閉鎖性海域の水質保全を目的として、既存施設を活用できる膜分離型廃水浄化装置の開発に取り組み、主要装置である膜分離装置の試作機を設計・開発した。

第5章では、膜分離型廃水浄化システム（膜分離型廃水浄化装置）効果検討（事例研究2）として、地域の主要産業であり、本システムを必要としている水産加工業事業者と連携した試作MBRの実用化試験を行った。実用化試験は設置工事期間の短縮が可能なプレキャストコンクリート製水槽を活用して、既存廃水処理施設を短期間で、安価に膜分離型廃水浄化システムを追加する方式で行った。本研究ではコストメリットを有した本システムの実用化を目的とするとともに、事業者には費用負担の少ない本システムの提供を目指したものである。この膜分離型廃水浄化システムの実用性が示されれば、このシステムによって放流水質を確保するとともに、発生する汚泥の削減を図り、余剰汚泥の処理に掛かる費用の削減を実現させ、社会インフラの整備が十分でない地域の事業者への提供が可能となる。

第6章では、既存の廃水浄化施設と膜分離型廃水浄化システムとの複合化の可能性を検討した。

第7章では、膜分離型廃水浄化装置の製造体制と地域との連携の可能性を検証した。本研究は、英虞湾の環境保全のみならず、膜分離型廃水浄化装置の製造体制として、地域一体型製造体制を考案することを目指している。三重県は南部地域と北部地域の経済格差が問題となって久しいが、南部地域における産業活性化や雇用の拡大など、地域貢献に及ぼす効果を検討した。地域の主要産業であった真珠養殖業は、英虞湾の水質悪化に伴い衰退した。大変微力ではあるものの、本研究成果と今後の事業発展が、英虞湾の水質保全、地域の産業活性化の一助になることを期待している。

第8章では、総括である。本学位論文では、様々な水質浄化モデル実験でのPTFE平膜の優位性を確認することができた。また、膜分離型廃水浄化装置の地域一体型製造体制を考案でき、安価に伊勢志摩地域の事業者への提供が可能となった。今後、閉鎖性海域である英虞湾の水質保全に多大に貢献できると思われる。

## 目 次

### 第1章 緒論

1.1	研究背景	8
1.2	研究目的と研究手法	9
1.3	水質浄化問題の概要と対策	10
1.4	精密ろ過膜	11
1.5	膜分離活性汚泥法	12
1.6	汚泥再生処理センターの変遷	13
1.7	膜分離高負荷脱窒素処理と超高度処理	16
1.8	活性汚泥の生物相と脱窒素処理	23
1.9	超音波洗浄原理と予備実験	27
1.10	語句の説明	34
1.11	参考文献	40

### 第2章 ろ過膜を用いた水質浄化モデル実験 (1)

#### 汚泥再生処理センターにおける PTFE 平膜を用いる膜分離高負荷脱窒素処理

2.1	要約	43
2.2	実験場所	43
2.3	PTFE 平膜の作製	47
2.4	事前評価方法	52
2.5	稼動条件	56
2.6	透過水質	57
2.7	膜間差圧の経時変化	59
2.8	膜間差圧とフラックス (透過流束) との関係	61
2.9	数式的解析	64
2.10	膜洗浄	67
2.11	考察	70
2.12	参考文献	72

### 第3章 ろ過膜を用いた水質浄化モデル実験 (2)

#### 実液水槽モデル実験 (志摩環境事業協業組合実験施設での検討)

3.1	要約	75
3.2	実験場所	75
3.3	実験項目	79
3.4	実液水槽の作製	80
3.5	超音波洗浄機	88
3.6	汚泥再生処理センター (鳥羽志勢クリーンセンター) における事例	92
3.7	水産加工事業所における事例	97
3.8	活性汚泥の生物相調査 (1) 汚泥再生処理センター	102
3.9	活性汚泥の生物相調査 (2) 水産加工事業所	106
3.10	アンモニア性窒素による膜ファウリング現象	113
3.11	超音波膜洗浄	120
3.12	考察	125
3.13	参考文献	127
3.14	現地の適応性に関する検証	128
3.15	ろ過膜を用いた水質浄化モデル実験の考察	130
3.16	要約 (第2章・第3章まとめ)	131

### 第4章 膜分離型廃水浄化システム効果検討 (事例研究1)

#### 製菓事業所での検討事例

4.1	要約	133
4.2	製菓事業所における事例	133
4.3	清水透過水量と薬品洗浄	135
4.4	気密保持	137
4.5	溶着部剥離強度	143
4.6	考察	146



## 第5章 膜分離型廃水浄化システム効果検討（事例研究2）

### 水産加工事業所での検討事例

5.1	要約	148
5.2	水産加工事業所	148
5.3	処理プロセス	149
5.4	プレキャストコンクリート製水槽	150
5.5	試作 MBR（専用 PTFE 平膜内蔵）の作製と意匠登録	161
5.6	稼働条件	174
5.7	透過水質と膜点検	174
5.8	超音波による余剰汚泥削減	177
5.9	超音波による活性汚泥粘度の変化	178
5.10	現地工事の適応性	180
5.11	膜分離型廃水浄化システム効果（事例研究）の考察	181
5.12	要約（第4章・第5章まとめ）	182

## 第6章 既存廃水浄化施設との複合したシステム

6.1	既存廃水浄化施設の特徴	184
6.2	調査した事業所における廃水浄化処理費用等の条件設定	185
6.3	複合したシステムの経済性	187
6.4	考察	190
6.5	要約（第6章まとめ）	191

## 第7章 膜分離型廃水浄化装置の製造体制

7.1	地域一体型製造体制の考案	193
7.2	考察（今後の地域貢献に及ぼす効果）	198
7.3	要約（第7章まとめ）	199



## 第8章 総括

8.1	全体の考察と課題	201
8.2	参考文献	211
8.3	本研究に関わる発表論文	214
8.4	本研究に関わる口頭発表	215
8.5	本研究に関わる特許出願と契約	217
8.6	プロジェクトのマネジメント結果（タイムスケジュール）	225
8.7	共同研究者一覧	230
8.8	謝辞	231

# 第 1 章

## 緒 論

## 1.1 研究背景

膜分離活性汚泥法は、従来の活性汚泥法と比べて、沈殿槽を不要とし、生物反応槽内の活性汚泥濃度を増加させることが可能であるため、コンパクトな施設となる利点がある。さらに、懸濁浮遊物質と大腸菌が検出されない清澄な処理水を得られることから、再利用に適しているなどの利点もある。以上のような理由から、ヨーロッパ、北米、中東、中国等を中心に積極的に導入されつつある<sup>1-8)</sup>。

膜分離装置 (Membrane bioreactor: MBR) には、孔径 0.1~0.4  $\mu\text{m}$  の精密ろ過 (Micro filtration: MF) 膜が用いられており、膜の形状としては、中空糸膜、平膜、セラミック膜 (モノリス型) などがある。現在のところ、国内実績では平膜が中空糸膜を若干上回っている<sup>2)</sup>。平膜タイプの膜は、繊維質の絡み付きに強く、前処理スクリーンの簡素化や循環流路スクリーンの省略に加え、逆洗浄設備が不要になるなど、簡素化した設備で実施できる。平膜は中空糸膜に比べて低い過圧力で運転可能であるため、重力ろ過及びサイフォンろ過での運転が可能である。また、膜洗浄は、ばっ気ブローから供給される膜洗浄空気により行い、水逆洗浄が不要なため、水逆洗浄のためのタンク・ポンプ等の設備が不要である。

膜素材としては、塩素化ポリ塩化ビニル (Chlorinated polyvinyl chloride: CPVC)、塩素化ポリエチレン (Chlorinated polyethylene: CPE)、ポリプロピレン (Polypropylene: PP)、ポリフッ化ビニリデン (Polyvinylidene difluoride: PVDF)、ポリテトラフルオロエチレン (Polytetrafluoroethylene: PTFE) などが考えられる。平膜の素材として、塩素化ポリエチレンが実用化されている。膜エレメントは樹脂製ろ板の両面に平膜状膜シートを張り合わせた構造をしており、膜ろ過は膜エレメントの外側から内側に向かって行われる。尾花山は<sup>3)</sup>、CPVC、PP、PVDF、PTFE などの様々な膜素材を用いて膜シートを作製し、A4 サイズの膜エレメントを試作して活性汚泥を用いた膜ろ過性能試験を行った。その結果、PTFE は常にろ過圧力が小さく、優れたろ過性能を示したことが報告されている。

膜素材の選択に関する因子の一つ目は、膜の強度である。膜分離は非常に薄い膜面を通して行われるため、膜表面が破損すると分離性が失われ処理水質の悪化をもたらす。したがって、膜強度の高い膜モジュールが必要である。二番目の因子は、薬品洗浄による膜の回復性である。膜は長時間の稼働により必ず汚れ (膜ファウリング) が進行する。そのため、定期的にインライン洗浄 (Clean in Place: CIP) や浸漬洗浄により膜を薬品で洗浄することが必要になる。この薬品洗浄で膜モジュールの透水性を初期状態に戻すことになる

が、透水性が十分に回復しないと徐々に処理水量が低下し、最終的に膜を交換しなければならなくなる。なるべく長く、膜モジュールを安定的に使用するためには、強い薬品洗浄による洗浄が効果的であることが望ましい。ゆえに、強い薬品による洗浄が可能な膜素材が求められる。すなわち、膜分離装置 (Membrane Bioreactor: MBR) で用いる膜モジュールには、強度に優れ、耐薬品性が高いことが有利となる。

一方、凝集沈殿処理法 (Coagulation-Sedimentation Process: CSP) は、高濃度の汚濁水中で容易に沈殿しない微粒子を、凝集剤を加えることにより互いに結合させて大きな粒子とし、沈降させる処理方法であり、さまざまな分野で利用されている。凝集剤により水中の濁質をフロック化し、沈殿槽にて濁質を沈殿除去する。したがって、大型の沈殿槽が必要であり、処理施設が比較的大型になる。さらに、低濃度の濁質や微細なフロックは沈殿せず、濁りの成分として処理水中に残存する。近年、沈殿槽を用いずに膜分離により、濁質を除去した処理水を得る試みが行われている。

以上のような背景から、本研究では PTFE 平膜を用いた膜分離型廃水浄化モデル実験として、新規の PTFE 平膜を作製し、汚泥再生処理センターの実施設における膜分離高負荷脱窒素処理に応用した。膜分離高負荷脱窒素処理における膜分離装置は二段に設けられ、初めは高負荷脱窒素処理で硝化・脱窒素反応を終えた MLSS の固液分離用として、続いて二段目は、色度やリン等を除去するための凝集剤による凝集反応後の固液分離用である。したがって、この 2 種類の膜分離処理に PTFE 平膜を応用した。さらに、約 1 年間の連続稼働による実証データを取得、CPE 平膜を用いた場合と比較検討した。また、実験データから膜間差圧と透過流束の関係を数式化することを試みた。さらに、実液水槽を作製して実験・検証を行い、PTFE 平膜の優位性を再確認した。

## 1.2 研究目的と研究手法

本研究では、英虞湾のような閉鎖性海域の水質保全を目的として、既存廃水処理施設を活用できる膜分離型廃水浄化装置の開発に取り組み、主要装置である試作 MBR (膜分離装置) を設計・開発した。第 1 番目の研究目的は、この試作 MBR と内蔵する PTFE 平膜エレメントの耐久性を確認することである。また、日本の廃水処理の分野で、最も普及した平膜型の代表的な塩素化ポリエチレン (CPE) 平膜と比較して、優位性がなければならない。研究手法として、実証試験 (実液モデル試験) を行った。まずは、汚泥再生処理センターの実施設における膜分離高負荷脱窒素処理に応用した。約 1 年間の連続稼働による実証デー



タを取得し、CPE 平膜を用いた場合と比較検討し、PTFE 平膜の耐久性と優位性を検証した。また、CPE 平膜に対して PTFE 平膜の優位性を証明・説明するためには、実験データから膜間差圧と透過流束の関係を数式化する必要があり、この理論式の構築は、実液モデル試験において最重要のテーマであった。次に検証した優位性を再確認する研究手法として、実液水槽を作製し、他の汚泥処理センターや他の分野の廃水処理施設における実証試験（実液モデル試験）を行った。この検証を行う上でも研究手法として、前述理論式構築の必要がさらに高まっていった。実液水槽によるモデル試験で、実際に平膜に起こっている現象を理論的に説明できなければ、CPE 平膜に対する PTFE 平膜の優位性を比較する尺度がないも同然であったからである。

次の段階として、PTFE 平膜の検証ができたことにより、膜分離型廃水浄化システム効果検討（事例研究）に移行した。地域の主要産業であり、本システムを必要としている水産加工事業者と連携した試作 MBR の実用化試験を行った。第 2 番目の研究目的として、本事例研究では設置工事期間が短縮可能なプレキャストコンクリート製水槽を活用して、既存廃水処理施設を短期間で、安価に膜分離型廃水浄化システムに改修する手法を検討した。本事例研究ではコストメリットを有した膜分離型廃水浄化システムの実用化を目的とするとともに、事業者には費用負担の少ない本システムの提供を目指したものである。この膜分離型廃水浄化システムの実用性が示されれば、本システムによって放流水質を確保するとともに、発生する汚泥の削減を図り、余剰汚泥の処理に掛かる費用の削減を実現させ、社会インフラの整備が十分でない地域の事業者への提供が可能となる。その結果、英虞湾のような閉鎖性海域の水質保全が達成できると考えている。

第 3 番目の研究目的として、地域一体型製造体制の考案を目的とした。地元地域の協力企業を中心に、新規雇用の創出と地域貢献の可能性について検討を行ったものである。

### 1.3 水質浄化問題の概要と対策

三重県南部地域の沿岸はリアス式海岸からなる閉鎖性海域であり、その水質汚染問題は軽視できない状況である。例えば、英虞湾の現状は県・自治体が、6 年間で約 30 億円の費用を負担し海底のヘドロ回収を行っている。ヘドロの原因の一つとして、現存する小規模廃水浄化施設の処理能力を超えた場合に流出する余剰汚泥や SS が考えられている。本研究では、英虞湾のような閉鎖性海域の水質保全を目的として、既存施設を活用できる膜分離型廃水浄化装置の開発に取り組み、主要装置である MBR の試作機を設計・開発した。

次に膜分離型廃水浄化システム（膜分離型廃水浄化装置）効果検討（事例研究 2）として、地域の主要産業であり、本システムを必要としている水産加工業事業者と連携した試作 MBR の実用化試験を行った。実用化試験は設置工事期間の短縮が可能なプレキャストコンクリート製水槽を活用して、既存廃水処理施設を短期間で、安価に膜分離型廃水浄化システムを追加する方式で行った。本研究ではコストメリットを有した本システムの実用化を目的とするとともに、事業者には費用負担の少ない本システムの提供を目指したものである。この膜分離型廃水浄化システム（膜分離型廃水浄化装置）の実用性が示されれば、このシステムによって放流水質を確保するとともに、発生する汚泥の削減を図り、余剰汚泥の処理に掛かる費用の削減を実現させ、社会インフラの整備が十分でない地域の事業者への提供が可能となる。

なお、本研究は、英虞湾の環境保全のみならず、膜分離型廃水浄化装置の製造体制として、地域一体型製造体制を考案することを目的とした。三重県は南部地域と北部地域の経済格差が問題となって久しいが、南部地域における産業活性化や雇用の拡大など、地域貢献に及ぼす効果を検討した。また、本研究は、三重県のベンチャー事業として、三重県産業支援センターの「平成 21 年度みえベンチャー事業化支援補助金」に採択された事業でもある。地域の主要産業であった真珠養殖業は、英虞湾の水質悪化に伴い衰退した。大変微力ではあるものの、本研究成果と今後の事業発展が、英虞湾の水質保全、三重県の産業活性化、特に南部地域の産業衰退に歯止めをかける一助になることを期待している。

#### 1.4 精密ろ過膜 (Micro filtration membrane)

精密ろ過膜とは、孔径が  $10^{-7} \sim 10^{-5}$  m の大きさで、およそその分画分子の質量が 500, 000 Da の阻止能力をもつ分離膜のことである（図 1-1）<sup>9)</sup>。廃水処理の分野で用いられる精密ろ過膜の公称孔径は  $0.1 \sim 0.4 \mu\text{m}$  が一般的である。廃水に含まれる細菌類の大きさは  $0.5 \sim 2.0 \mu\text{m}$  程度であるため、公称孔径  $0.1 \sim 0.4 \mu\text{m}$  のろ過膜を用いて廃水処理を行った場合、処理水への細菌類の透過を阻止することが可能となる。廃水処理の分野では、大腸菌を阻止するため、 $0.4 \mu\text{m}$  より大きな公称孔径が採用されることはほとんどない。本研究では PTFE（ポリテトラフルオロエチレン）製の精密ろ過膜を採用した。平膜型で公称孔径は  $0.2 \mu\text{m}$  である。この公称孔径は、膜メーカーにおいて任意に孔径を変えることができる。精密ろ過膜は製法別種類に分類した場合、セラミック膜、延伸膜、エッチング膜、均質膜などがあり、本研究で採用した PTFE 平膜は延伸膜の分類に含まれる。



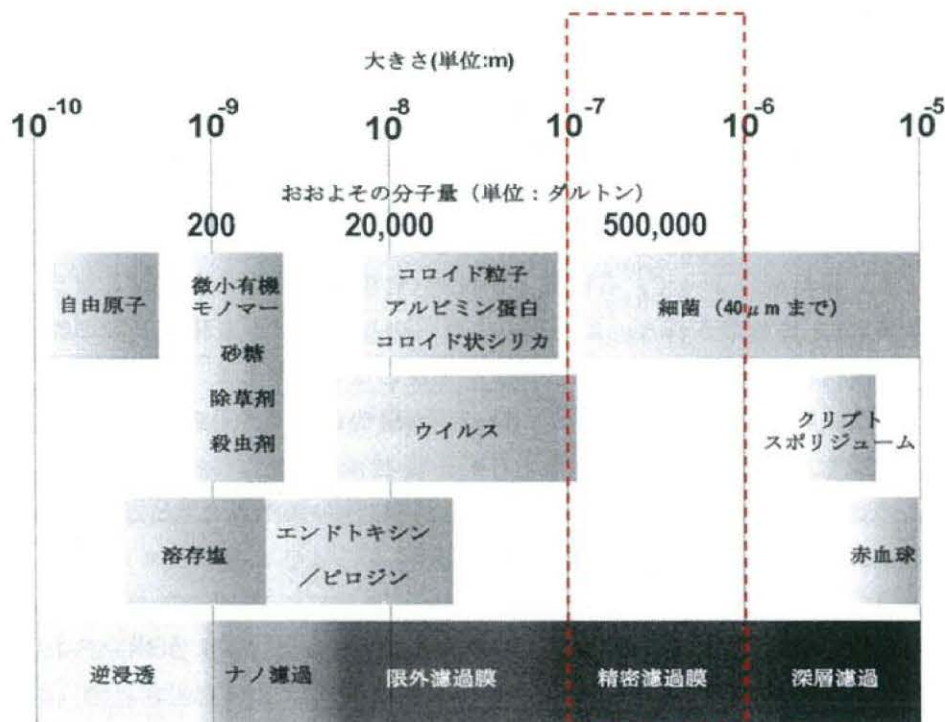


図 1-1. 各種膜分離プロセスの阻止能力

【元資料】「膜利用生物反応槽による排水処理 (P. 13)」財団法人日本環境整備教育センター<sup>9)</sup>

### 1.5 膜分離活性汚泥法

膜分離活性汚泥法とは、膜分離と活性汚泥法を組み合わせた処理方式である。通常の活性汚泥法では、ばっ気槽の次プロセスに、活性汚泥を重力沈殿させる沈殿槽が必要となるが、膜分離活性汚泥法では、活性汚泥の沈降性を無視した物理的な固液分離が可能となるため、沈殿槽が不要になる。さらに、SS と大腸菌を含まない高度な処理水を得ることができる。

1989 年、日本政府は、設置スペースが小さくて再利用可能な処理水が得られる新しい水処理技術に関する調査・検討を多くの大企業に課した<sup>9)</sup>。1990 年、この調査・検討は通産省（現在の経済産業省）と東京大学工学部の木村尚史教授（現在は名誉教授）の指導のもと、アクアルネサンスプログラム (Aqua Renaissance Program 1990) として日本国内で大規模に実施された。この調査を通じてクボタ社、三菱レイヨン社などの浸漬型膜を利用した膜分離活性汚泥法が開発された。この膜分離活性汚泥法は、海外では MBR テクノロジー (Membrane bioreactor technology) と呼ばれることが多い。日本は世界に先駆けて膜分離技術を廃水処理の分野に応用できたこともあり、日本製 MBR の海外での信頼性（特に耐久性の評価など）は高いと思われる。

## 1.6 汚泥再生処理センターの変遷<sup>10)</sup>

日本の汚泥再生処理センター（し尿処理場）の建設実績を図 1-2 に示す。嫌気性消化処理方式（図 1-3 上）は 1956 年から 1980 年にかけて建設され、好気性消化処理方式（図 1-3 下）は 1962 年から 1981 年にかけて建設された。1976 年、初めて建設された窒素除去を可能とする処理方式である標準脱窒素処理（図 1-4 上）のし尿処理場が 1979 年から爆発的に増加した。これは日本の水質規制の強化や地元住民の要望によるものであった。さらに、1980 年にアタカ工業社（現在のアタカ大機社）によって、生物反応処理と窒素除去を無希釈で処理できる高負荷脱窒素処理方式（図 1-4 下）のし尿処理場が日本で初めて建設された。1980 年以降、標準脱窒素処理と高負荷脱窒素処理のし尿処理場は、し尿処理場の全体における割合を増加させていった。高負荷脱窒素処理の唯一ともいえる短所は、高負荷であるがゆえに活性汚泥の沈降性が悪く、重力沈殿方式による活性汚泥の固液分離に難があることであった。1987 年、この短所を補うために膜分離設備を付随した高負荷のし尿処理場が建設された。これが日本初の膜分離高負荷脱窒素処理方式（図 1-5 上）のし尿処理場である。この 1987 年以降、日本のし尿処理場は、膜分離高負荷脱窒素処理方式が主流となっていった。また、重力沈殿処理方式に対する膜分離設備の優位性は、高負荷脱窒素処理方式だけに留まらず、標準脱窒素処理方式のし尿処理場であっても汚泥膨化現象（主に糸状菌の大量発生によって活性汚泥が沈降しにくくなる現象）を解決できることであった。しかしながら、膜分離設備はイニシャル・ランニングコストともに非常に高価な設備であった。膜分離設備が非常に高価であったことは、1990 年に日本政府がアクアルネサンスプログラムを実施した要因のひとつでもあった。

プログラム発足の 2 年後、1992 年にクボタ社と三菱レイヨン社が廉価な浸漬型膜分離設備の開発に成功した。従来の膜分離設備と比較するとイニシャル・ランニングコストの両方に優位性があった。それまで膜分離設備は全て地上に設置される方式であったものを、主要装置となる MBR を生物反応槽内の活性汚泥に直接浸漬させるという斬新な発想であった。この発想は、生物反応処理のために普段から行っているばっ気を上手に利用し、安価に平膜のクロスフローろ過方式を実現した。地上式の膜分離設備における MBR に必要であった高圧循環ポンプを不要とすることができ、このポンプの消費電力は相当であったため、ランニングコスト削減に大きく貢献した。2003 年の段階は、日本のし尿処理場の 70% 以上が膜分離設備を付随した。現在では、新規に建設されるし尿処理場のほとんどが浸漬型膜分離設備の付随する膜分離高負荷脱窒素処理方式（図 1-5 下）である。



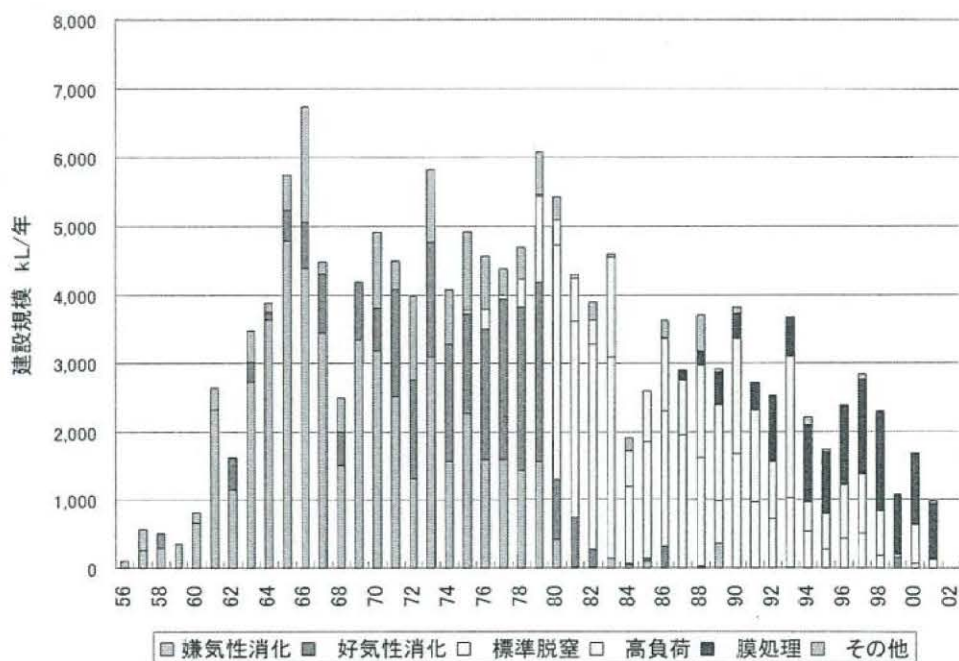
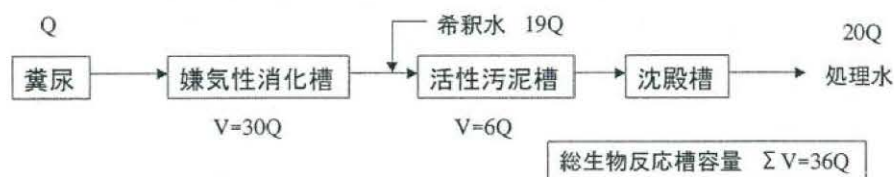


図 1-2. 日本の汚泥再生処理センター（し尿処理場）の建設実績

【元資料】「日本の糞尿処理技術の変遷（P. 11）」株式会社クボタ<sup>10)</sup>

### 1956～1980 嫌気性消化処理方式(20倍希釈)



### 1962～1981 好気性消化処理方式(20倍希釈)

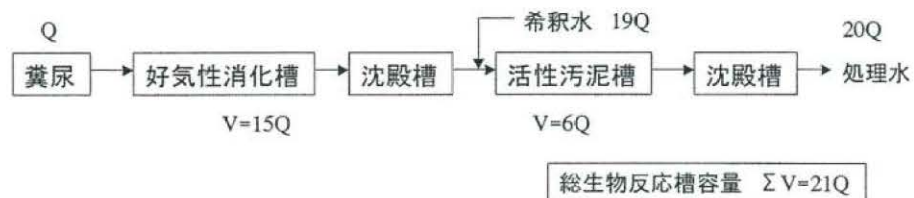
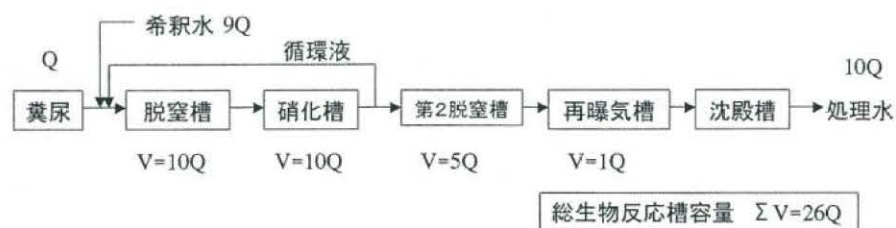


図 1-3. 日本のし尿処理技術の変遷（1/3）

【元資料】「日本の糞尿処理技術の変遷（P. 13）」株式会社クボタ<sup>10)</sup>

1976～現在 標準脱窒処理方式(10倍希釈)



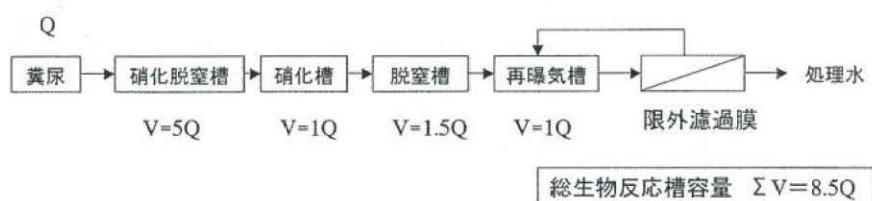
1980～現在 高負荷処理方式(無希釈)



図 1-4. 日本のし尿処理技術の変遷 (2/3)

【元資料】「日本の糞尿処理技術の変遷 (P. 14)」株式会社クボタ<sup>10)</sup>

1987～1991 膜(UF)処理方式(無希釈)



1992～現在 膜(浸漬型)処理方式(無希釈)

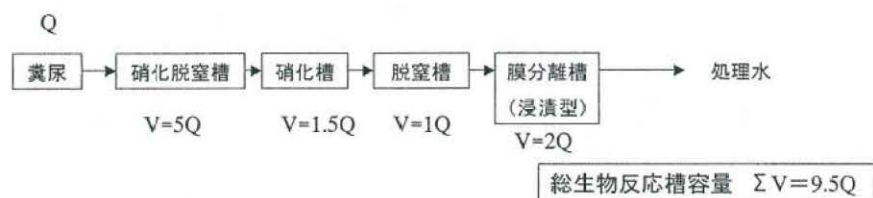


図 1-5. 日本のし尿処理技術の変遷 (3/3)

【元資料】「日本の糞尿処理技術の変遷 (P. 15)」株式会社クボタ<sup>10)</sup>

## 1.7 膜分離高負荷脱窒素処理と超高度処理<sup>11, 12)</sup>

某汚泥再生処理センターで、本研究のろ過膜（PTFE 平膜）を用いた水質浄化モデル実験（1）を実施した。本実施設は膜分離高負荷脱窒素処理方式を採用しており、処理プロセスについて簡単に説明する。また、水質浄化モデル実験（2）を実施した地元地域にある汚泥再生処理センターにおいては、日本有数の超高度処理設備があり、この処理プロセスについても簡単に説明する。

### (1) 受入貯留・前処理設備

本実施設に搬入されたし尿・浄化槽汚泥は、砂・小石が除去された後、ドラムスクリーン（図 1-6）により、し渣（夾雑物）を除去し、貯留される。除去されたし渣は、スクリュープレス（図 1-7）で脱水した後、場外へ搬出される。本実施設のドラムスクリーンは、円筒を横に倒した状態で回転させ、円筒の内側にし尿等を供給し固液分離を行う型式であった。素子の断面は、し渣に対して鋭角の三角形になっており、し渣をある程度せん断するようにになっている。このドラムスクリーンで、し尿と浄化槽汚泥、浄化槽濃縮汚泥等に含まれるし渣を除去し、し渣除去量は目幅 1 mm の細目スクリーンで、し尿から 8 kg-DS/kL、浄化槽汚泥などから 3 kg-DS/kL 程度を除去できる。スクリュープレスは、駆動装置、多孔テーパドラム本体、スクリュシャフト、プレスサなどで構成されている。投入されたし渣はスクリュにより連続的に一次脱水され、油圧ユニットを動力源としたプレスサで二次脱水して排出される。排出されたし渣は、可燃物として場外搬出処分される。

### (2) 主処理設備

硝化脱窒素槽に投入されたし尿・浄化槽汚泥は、酸素と微生物により生物化学的酸素要求量（Biochemical Oxygen Demand: BOD）やアンモニアなどが分解される。本実施設では大型の循環ポンプ（図 1-8）で揚水した高濃度活性汚泥を、槽上部のオーバーフローシャフト（図 1-9）で空気を巻き込みながら硝化脱窒素槽内の深部に送り込み、高圧・高負荷の生物反応処理と脱窒素反応を実現している。生物反応処理された脱離液は、生物膜原水槽に送られ、膜分離装置で固液分離される。高負荷脱窒素処理方式では、生物反応処理と脱窒素反応を高濃度活性汚泥で行うため、活性汚泥の沈降性は極めて悪くなり、重力沈殿方式の固液分離は非常に不向きである。したがって、固液分離には、重力沈殿方式よりも膜分離方式が一般的には採用される。確実な固液分離を行うため、膜分離装置は硝化脱窒



素槽内には設置されず、別槽の生物膜原水槽に設置される。浄化槽などの MBR とは違い、本処理方式における生物膜分離装置は、生物反応よりも膜分離そのものが重視される。生物膜原水槽のオーバーフロー（無処理）は、次プロセス以降に相当な負担をかけるため、膜ファウリングなどに注意した膜分離装置の運転がされている。浄化槽では 20 kPa 以上で行われる薬品洗浄も、本実施設では安全性を考慮して 10 kPa 以上で実施される。生物膜原水槽で膜分離処理された透過水は、次プロセスである凝集膜原水槽にポンプ移送される。

### (3) 高度処理・消毒・放流設備

凝集膜原水槽では、主にリンを除去すること（脱リン処理）が目的である。施設によっては二段膜と呼ばれることもある。SS にはリンが含まれるため、凝集沈殿処理水のリン濃度を 1.0 mg/L 以下にするためには、SS をゼロにできる膜分離方式が非常に有利である。本実施設では、凝集剤はポリ塩化アルミニウム（PAC）を採用している。凝集膜原水槽で膜分離処理された透過水は、残存する COD・色素が活性炭吸着塔（図 1-10）により除去され、無色透明の処理水となる。活性炭吸着塔は、活性炭の充填方式によって、直接水平充填方式、直接垂直充填方式、カートリッジ充填方式があり、本実施設は直接垂直充填方式であった。最後に処理水は紫外線で消毒した後、放流監視槽（図 1-11）から放流される。

### (4) 汚泥処理設備

余剰汚泥と凝集汚泥は、遠心脱水機（図 1-12）で脱水した後、場外へ搬出される。搬出された脱水汚泥（図 1-13）は、別施設で処理され、農業用の堆肥として再利用されている。図 1-12 は遠心脱水機の安全カバー内にある高速回転する遠心部である。遠心脱水機とは、汚泥等の濃厚スラッジの機械式脱水機のひとつである。高速回転による遠心力（物体が円運動をするとき、円の中心から離れようとする力で物体の質量、円の半径及び角速度の 2 乗に比例する）を利用して、懸濁液の固形物を分離する。外筒（ボウル）を高速回転させることで、内部に発生する遠心力を利用して固液分離と脱水を行い、その時の遠心力は 1,000～3,000 G にもなる。脱水分離液は排出堰（ダム）から排出され、固形物はボウルとわずかな回転差で回転するスクリーンで排出される。遠心脱水機以外の脱水機では、ベルトプレス脱水機や多重円板型脱水機などがあるが、遠心脱水機で処理した脱水汚泥が最も含水率は低い。脱水汚泥の搬送先となる汚泥堆肥化処理施設では乾燥処理を行うため、脱水汚泥の含水率はできるだけ低い方が望ましい。

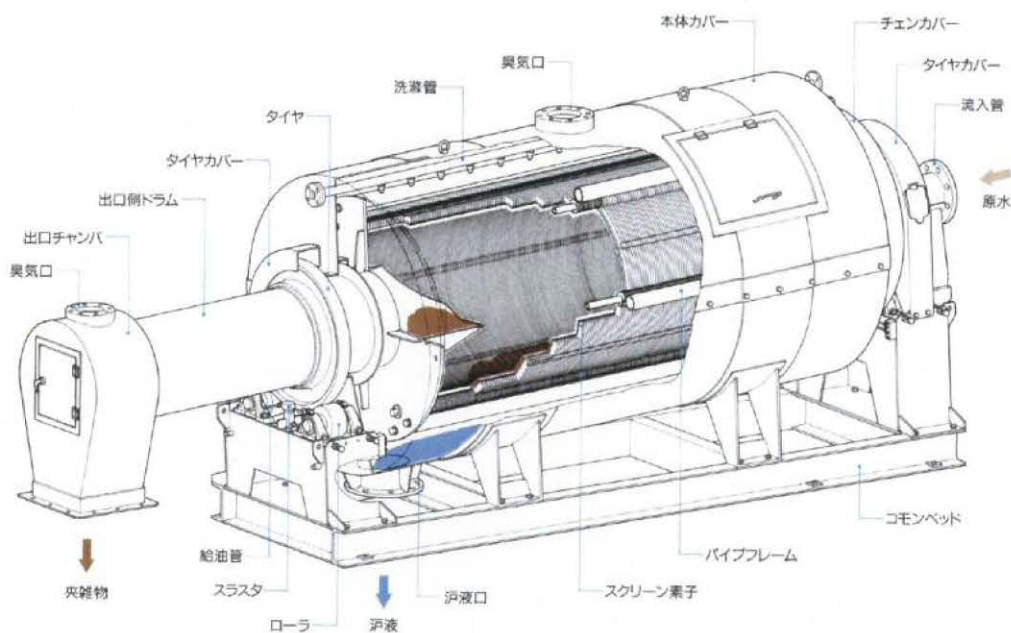


図 1-6. 本研究で用いたドラムスクリーンの模式図

【元資料】「製品カタログ」アタカ大機株式会社（ホームページ）

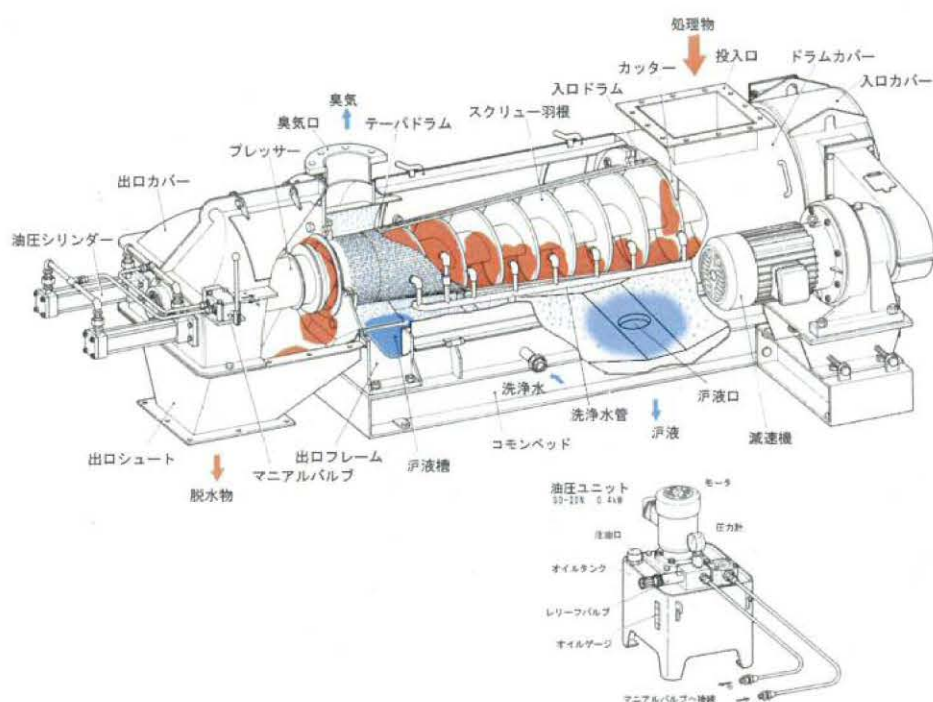


図 1-7. 本研究で用いたスクリープレススの模式図

【元資料】「製品カタログ」アタカ大機株式会社（ホームページ）



図 1-8. 本研究で用いた硝化脱窒素槽循環ポンプ



図 1-9. 本研究で用いたオーバーフローシャフト





図 1-10. 本研究で用いた活性炭吸着塔

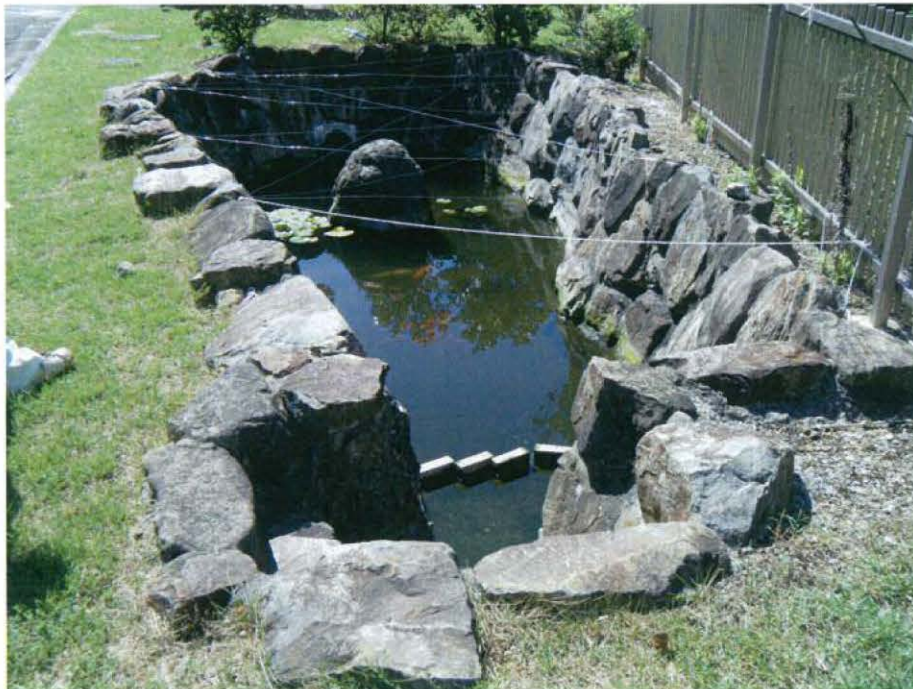


図 1-11. 本研究で用いた放流監視槽

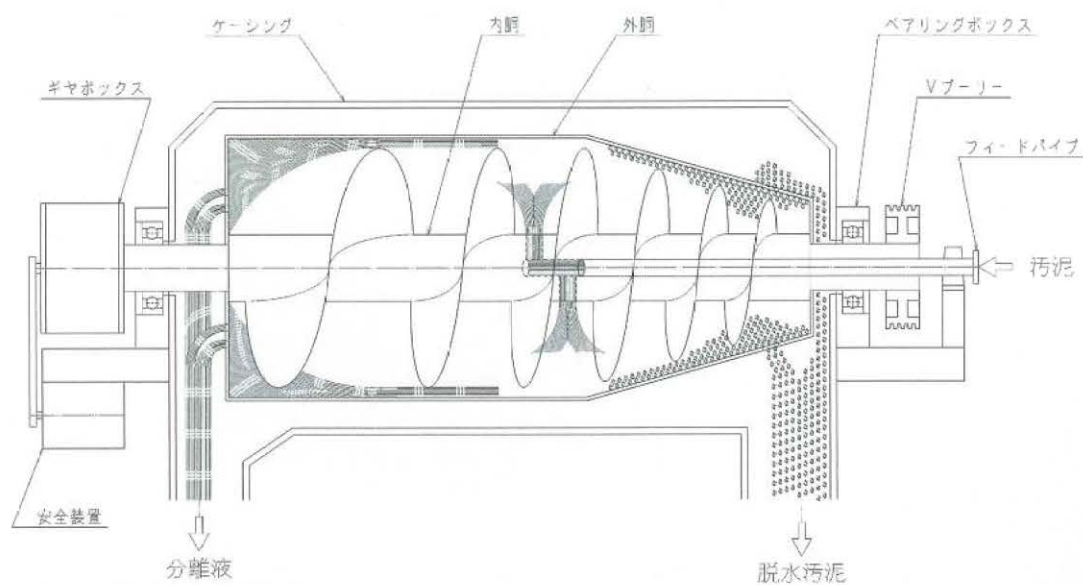


図 1-12. 本研究で用いた遠心脱水機の模式図



図 1-13. 本研究で得られた脱水汚泥



(5) 超高度処理設備（鳥羽志勢クリーンセンターの脱塩処理設備）

図 1-14 は鳥羽志勢広域連合の提供資料から抜粋した脱塩処理設備の模式図である。同連合は英虞湾などの閉鎖性海域の水質保全を重視し、本処理設備を採用した。脱塩処理とは原水（活性炭吸着設備で処理後のもの）を蒸発させて、その蒸気を回収し、処理水とする超高度処理である。活性炭処理水に残留した塩類や化学的酸素要求量（Chemical Oxygen Demand: COD）成分（高度処理設備である活性炭処理設備でも除去できないレベルの成分）を除去することができる。本実施設では、濃縮液はさらに濃縮・分離し、結晶固化塩として回収している。そのプロセスは、まず、し尿等の活性炭処理までが終わった原水が蒸発装置に入る。蒸発装置に入った原水は蒸発装置下部の濃縮液と混合され、循環ポンプで蒸発装置上部から熱交チューブ内側へ供給される。また、蒸気圧縮機で圧縮された圧縮蒸気は熱交チューブ外側へ供給される。その後、濃縮液と圧縮蒸気の間で熱交換が行われ、濃縮液の一部が蒸発し、蒸気になり、圧縮蒸気は熱を奪われ凝縮し、脱塩処理水となる。濃縮液の一部が蒸発した蒸気は、蒸気圧縮機に入り圧縮蒸気となり、再び熱交チューブ外側へ供給される。この繰り返りで処理が行われている。この方式であれば、ボイラ等の蒸気を直接使用する場合に比べ、エネルギー消費が大幅に抑えられる。

<熱交チューブ拡大図>

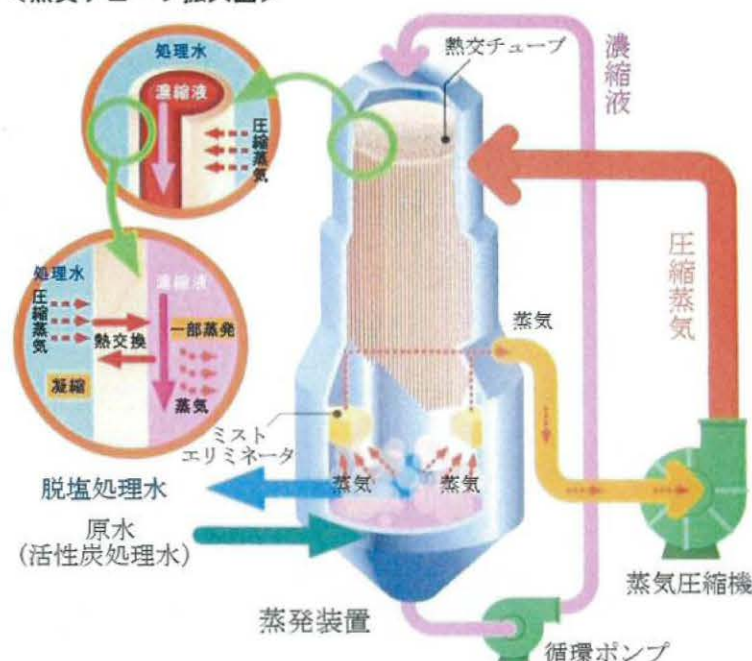


図 1-14. 脱塩処理設備の模式図

【元資料】「鳥羽志勢クリーンセンター 処理施設フロー (P. 2)」鳥羽志勢広域連合<sup>12)</sup>



## 1.8 活性汚泥の生物相と脱窒処理<sup>13)</sup>

廃水処理に関与する微生物は 1,000~2,000 種類に及ぶとされている。最小のものは細菌類や菌類であり、さらに原生動物や微小後生動物などの順に大きい微生物となるが、いずれもほとんどの大きさが 1 mm 以下である。代表的な各微生物の模式図については財団法人日本環境整備教育センター「浄化槽の維持管理 (第 1 編)」から抜粋したものである。

### (1) 細菌類

廃水処理に関与する代表的微生物であり、大きさは直径 0.5~2.0  $\mu\text{m}$  程度で、最も下等な単細胞生物である。汚水中の有機物質は細胞膜を透過し、その中で各種の酵素の働きで分解される。その際に環境条件として酸素の利用方法によって以下の 3 種類に分類でき、電子の流れ (電子受容体) が密接に関係している。

好 気 性 細 菌： 空気または水中の溶存酸素から酸素を吸収、有機物質を分解する。これを好気性分解という。酸素を電子受容体として利用している。

偏性嫌気性細菌： 廃水中に酸素が存在しない状態で、有機物質中の結合酸素を利用して有機物質を分解する。これを嫌気性分解という。廃水処理ではメタン生成菌などがこの分類に入り、酸素以外の物質を電子受容体として利用している。

通性嫌気性細菌： 好気性、嫌気性のいずれの条件でも活動できる細菌である。廃水処理では酸生成菌や大腸菌などがこの分類に入る。

### (2) 菌類 (図 1-15)

菌類の多くは糸状の菌糸を分岐させ、網状の集合体である菌糸体を構成している。



図 1-15. 廃水処理における代表的な真菌類と糸状細菌類

【元資料】「浄化槽の維持管理 (第 1 編 P. 17)」財団法人日本環境整備教育センター<sup>13)</sup>

一般的な廃水処理では菌類が優先的に出現することはないが、細菌の増殖が阻害される環境条件下では、菌類の増殖が起こることがある。これを汚泥膨化現象（バルキング）という。廃水処理の重力沈殿分離に悪影響を及ぼし、放流水質のSSを悪化させる。

### (3) 藻類（図 1-16）

通常の廃水処理では出現することはほとんどない。一般的には廃水浄化にあまり関与せず、窒素やリンを摂取すると光合成により酸素を放出し、細菌類に供与する。特殊な廃水処理法（酸化池など）によっては、浄化に大きく関与することもある。

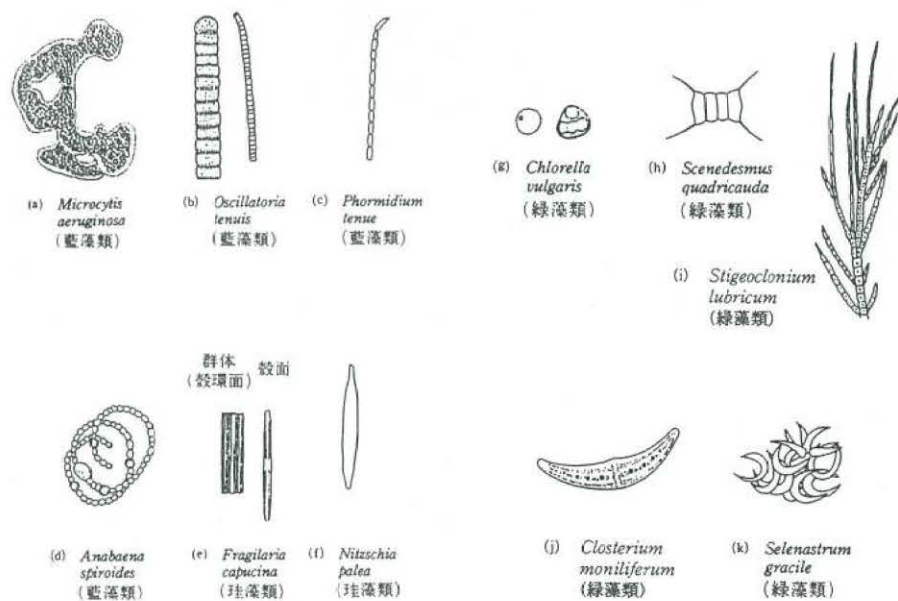


図 1-16. 廃水処理における代表的な藻類

【元資料】「浄化槽の維持管理（第1編 P. 19）」財団法人日本環境整備教育センター<sup>13)</sup>

### (4) 原生動物（図 1-17）

細菌類と同様、単細胞生物であり、廃水処理に大きな役割を果たす。原生動物の大きさは30～100 $\mu\text{m}$ 前後のものが多く、最小で5 $\mu\text{m}$ 、最大で3,000 $\mu\text{m}$ 程度である。さらに、原生動物は水温や溶存酸素濃度、汚水の流入条件により出現する種類が異なる。500～1,000倍程度の倍率の顕微鏡で十分識別が可能であるため、廃水処理における浄化の良否を判定する指標としてよく利用されている。新規に浄化槽を設置した場合、浄化槽法第7条により、半年以内に流入条件にあった生物相を構築させ、放流水質基準を満たすことが浄化槽管理士には要求される。浄化槽は設置半年後と毎年、県が指定した第三者機関による法定検査実施が義務付けられている（浄化槽法第11条）。

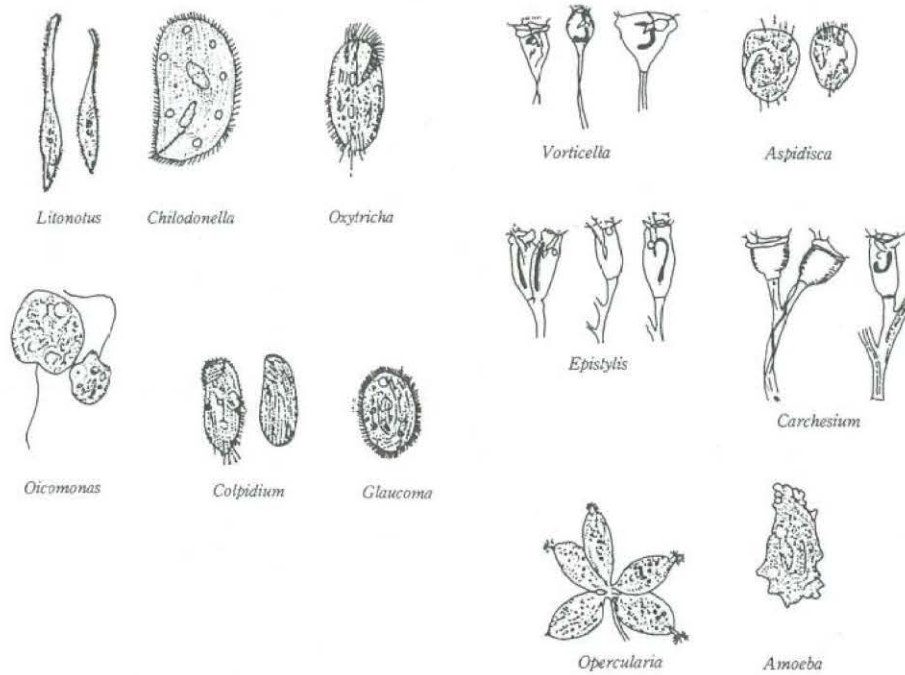


図 1-17. 廃水処理における代表的な原生動物

【元資料】「浄化槽の維持管理（第1編 P. 19）」財団法人日本環境整備教育センター<sup>13)</sup>

(5) 微小後生動物（図 1-18）

多細胞生物であり原生動物よりも進化したもので、大きさは数 mm 以下である。

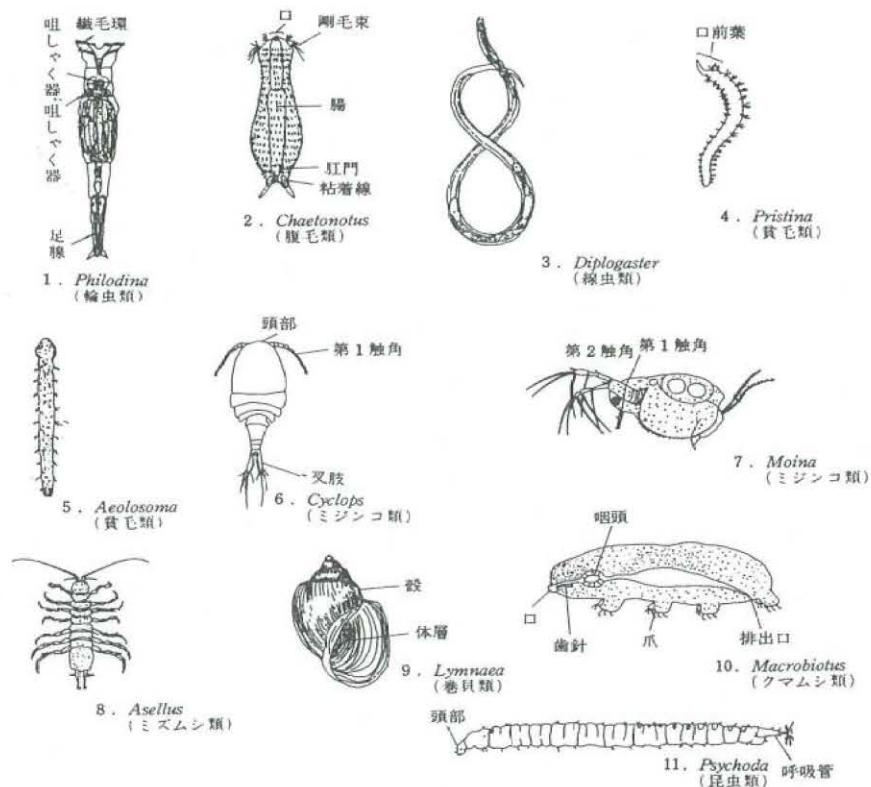


図 1-18. 廃水処理における代表的な微小後生動物

【元資料】「浄化槽の維持管理（第1編 P. 20）」財団法人日本環境整備教育センター<sup>13)</sup>

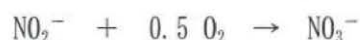


廃水処理では、細菌類による汚濁物質の摂取から始まり、  
 汚濁物質（有機物質） → 細菌類 → 菌類 → 原生動物 → 微小後生動物  
 といった食物連鎖で生物相が変化していき、廃水浄化が進行する。微小後生動物は、有機物質濃度が比較的低いところに出現するため、処理水質の良好なときの指標生物として考えられている。また、細菌類や原生動物を摂取するため、余剰汚泥削減にも貢献する。

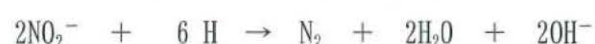
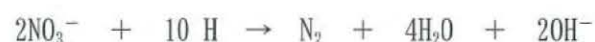
#### (6) 脱窒素処理

人間が出す窒素は、アンモニア性窒素となって廃水処理施設に流入している。窒素をそのまま未処理で河川に放流すると、富栄養化などで湖沼の生態系に異常をきたす場合がある。廃水処理では、以下の生物反応を利用して、脱窒素処理を行っている。

硝化反応：硝化反応は亜硝酸菌と硝酸菌が関与して起こる反応である。以下の硝化反応の化学式からも亜硝酸菌と硝酸菌が酸素を必要とし、酸素を電子受容体として利用（酸素呼吸）していることが分かる。



脱窒反応：脱窒反応は嫌気性微生物である脱窒菌が関与して起こる反応である。以下の脱窒反応の化学式からも無酸素で反応していることが分かる。



脱窒菌は、亜硝酸性窒素や硝酸性窒素を酸化するときに出た電子で、窒素と水を生成している。水素は供与体である。嫌気性微生物は発酵エネルギーで活動できるため、酸素を必要としない。むしろ、嫌気性微生物にとって酸素は猛毒であり、好気性微生物とは逆である。

浄化槽では一般的に、廃水は嫌気槽（脱窒素槽）→ 好気槽（硝化槽）→ 嫌気槽と、好気槽で処理した廃水を一度、前プロセスである嫌気槽に戻す方式になっている。これは脱窒素反応の際、脱窒菌が水素供与体（し尿）を必要とするためである。槽の順序を入れ替えて直線的なフローで処理した場合、脱窒反応はほとんど起こらず、BOD 除去率も低くなる。

## 1.9 超音波洗浄原理<sup>14)</sup>と予備実験

超音波洗浄原理の概要を図 1-19 に示す。液体中には無数の気体分子が存在し、20～100 kHz ほどの強力な超音波が液体中に照射された時に、正・負の圧力がその気体分子に交互にかかる。正の圧力で圧縮された気体分子は、次の瞬間には負の圧力により激しく膨張する。この繰返しによって圧縮時に気体分子は非常に高い圧力を持ち、その限界で弾けて消滅する。この非常に大きな衝撃的圧力の発生をキャビテーション現象といい、泡がはじける時の衝撃力がワークに作用して、異物を剥離させる効果をキャビテーション効果という。実際に超音波洗浄機を使用する上で、キャビテーションは液体の深さ、液体の種類によっても発生の仕方が変化する。例えば、振動面に這うようにキャビテーションが発生している場合では、超音波が有効に液体中に出ていないだけでなく、振動面を痛め、振動板の劣化現象であるエロージョン (Erosion) を早めてしまうことが分かっている。

エロージョンとは、超音波のキャビテーション現象 (温度 5,000 K 以上、1,000 気圧以上の局所高値高圧) で発生した物理的な力により、アルミニウム等の柔らかい素材の表面が侵食されてしまう現象である。その発生量は超音波の強さに比例、周波数に反比例する。このエロージョンが発生しないよう、平膜と超音波振動子との距離を十分に確保して実液水槽を作製した。メーカー指導では最低でも距離は 50 mm 以上は必要と推定されたため、今回作製した実液水槽は距離を 108 mm とした。また、ガラス繊維強化プラスチック (FRP) 製の簡易水槽でアルミ箔を用いた超音波洗浄実験の予備実験 (図 1-20・表 1-1～1-3) を行い、実際にエロージョンが発生するかを確認したところ、アルミ箔を損傷させる物理的な力があることが分かった (図 1-21)。超音波を液体中に照射すると、周波数に応じた定在波が生じ、 $\lambda/2$  ( $\lambda$  は 1 波長) の整数倍ごとに平膜面に汚れのよく落ちる部位を発生させることができる。 $\lambda$  の算出については次の通りである。

$$\text{音速 (mm/sec)} \div \text{周波数 (Hz)} = \lambda \text{ (1 波長)} \quad \dots \dots (1)$$

例えば周波数が 28,000 Hz (28 kHz) の場合は、

$$\lambda = 1,500,000 \div 28,000 = 53.67$$

定在波の生じる間隔は、

$$\lambda/2 = 53.67 \div 2 = 26.785 \text{ (mm)}$$

本実験で用いる超音波振動子の公称発振周波数は 28 kHz であるから、式 (1) より、計算上は約 27 mm の間隔で平膜面に汚れのよく落ちる部位を発生させることができる。前述同様に、FRP 製の簡易水槽で平膜と味噌 (活性汚泥の代用品) を用いた超音波洗浄実験の予備



実験を行い、定在波が生じるかを確認したところ、局所的な平膜面に汚れのよく落ちる部位が見受けられた（図 1-22）。超音波は空気中より液体中の方がよく伝播し、超音波洗浄の主な特徴としては、以下の (1) ～ (3) などが挙げられる。

- (1) ブラシや水流などを用いた人の手によっては除去できない、目に見えない微細な汚れを除去できる。
- (2) 超音波洗浄は、環境負荷の低い物理的な作用による洗浄方法であり、実用面での使いやすさ、洗浄対象物の細部・奥部まで洗浄ができる。
- (3) 汚れの種類に応じて薬液などの適切な洗浄媒体を選定することによって、キャビテーション効果による物理作用と薬液の化学反応を組み合わせ、最大限の洗浄効果を得ることができる。

日本の廃水処理の分野では、平膜型の代表的な CPE 平膜が最も普及したが、超音波耐性がないために（図 1-23）平膜型による (1) ～ (3) などの超音波洗浄実験はほとんど行われていない。そこで、眼鏡洗浄機を用いて、PTFE 平膜の超音波耐久テスト（60 W×40 kHz×1,000 時間）を行ったところ、PTFE 平膜では、膜素材に破損などの問題は発生しなかった（図 1-24）。本実液水槽の実験では、まず、超音波洗浄の特徴である (1) と (2) に期待をしている。また、(3) については、相当な洗浄効果があると思われるが、薬液洗浄媒体の選定や実証試験、現場での運営方法、コスト計算などを追及することが今後の研究課題である。

なお、本実験で使用した超音波振動子のランジュバンとは、超音波洗浄機などでよく用いられる用語で、水晶版の両面に電極をつけ、共振周波数の交流電圧を加えると、共振現象によって強い超音波を発生させることができる振動子のことである。これをランジュバン型振動子という。現在、水晶に代わって、チタン酸バリウムや PZT（チタン酸ジルコン酸鉛）などの圧電セラミックスが用いられるようになり、音響測探機（ソナー）や魚群探知機、超音波洗浄機などの超音波振動子として、一般的に広く使用されるようになった。この他に超音波振動子は磁歪（じわい）型振動子がある。磁歪型振動子は磁性体に電流を流すと、磁界によってその外形寸法がわずかながら変化する磁歪現象を用いた振動子である。1847 年にジュールがニッケル棒に巻いたコイルに電流を流すと、ニッケル棒が歪むことによって初めて発見された。しかし、ニッケルや鉄、鉄合金になどの金属材料にコイルを巻いて電流を流すと、材料中に渦電流が発生し、エネルギー損失が大きくなってしまっていることが分かっている。さらに、渦電流は周波数に比例して増加する。このため、金属材料を超音波振動子とするには、薄板状にした金属を何枚も重ねる必要がある。



図 1-19 は本多電子社のカタログから抜粋したものである。泡がはじける時の衝撃力がワークに作用して、異物を剥離させるキャビテーション効果が図示されている。グラフは、キャビテーション現象における、正・負の圧力がその気体分子にかかり、圧縮と膨張、衝撃的圧力が発生することをイメージしている。 $P_0$  は静圧（大気圧）である。超音波は、液体中に密度の疎なところと密なところが次々とできて進行方向に伝わる縦波である。これを疎密波という。A を 100 kHz、B を 20 kHz とした時、液体中では A に比べて B の方が密な状態が多くなり、気体分子が非常に高い圧力限界で弾けて消滅し、衝撃的圧力は大きくなることを示している。ただし、このグラフは A と B の 1.5 波長を比較したものであり、超音波の到達距離としては、A の方が長くなる。

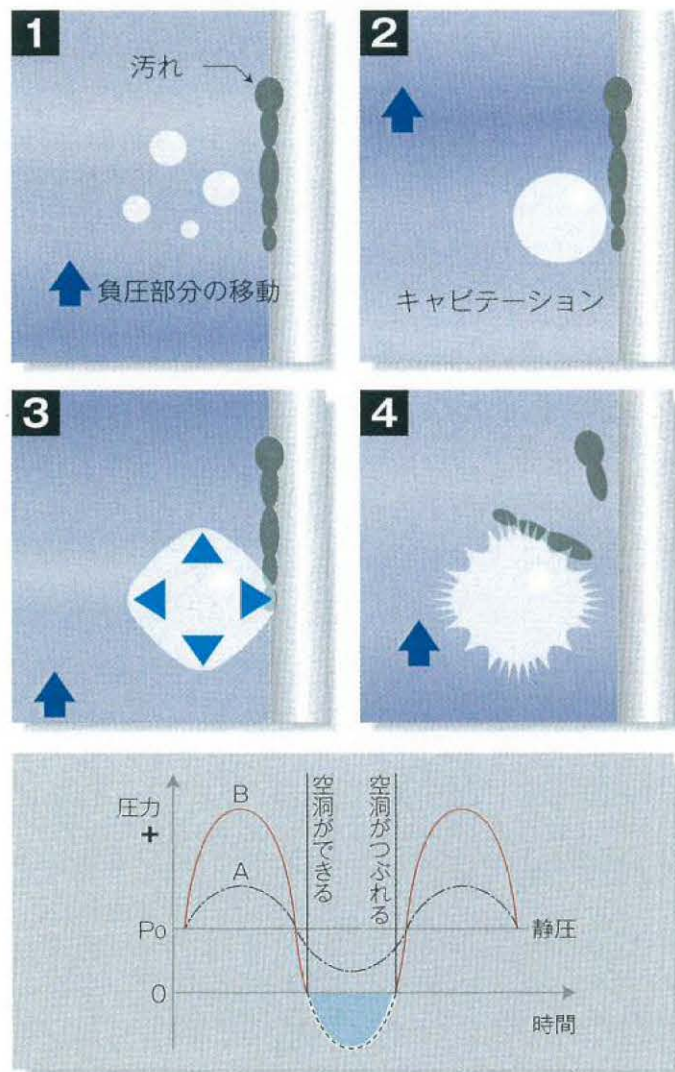


図 1-19. 超音波洗浄原理の概要

【元資料】「産業機器事業部 総合洗浄カタログ (P. 2)」本多電子株式会社<sup>14)</sup>

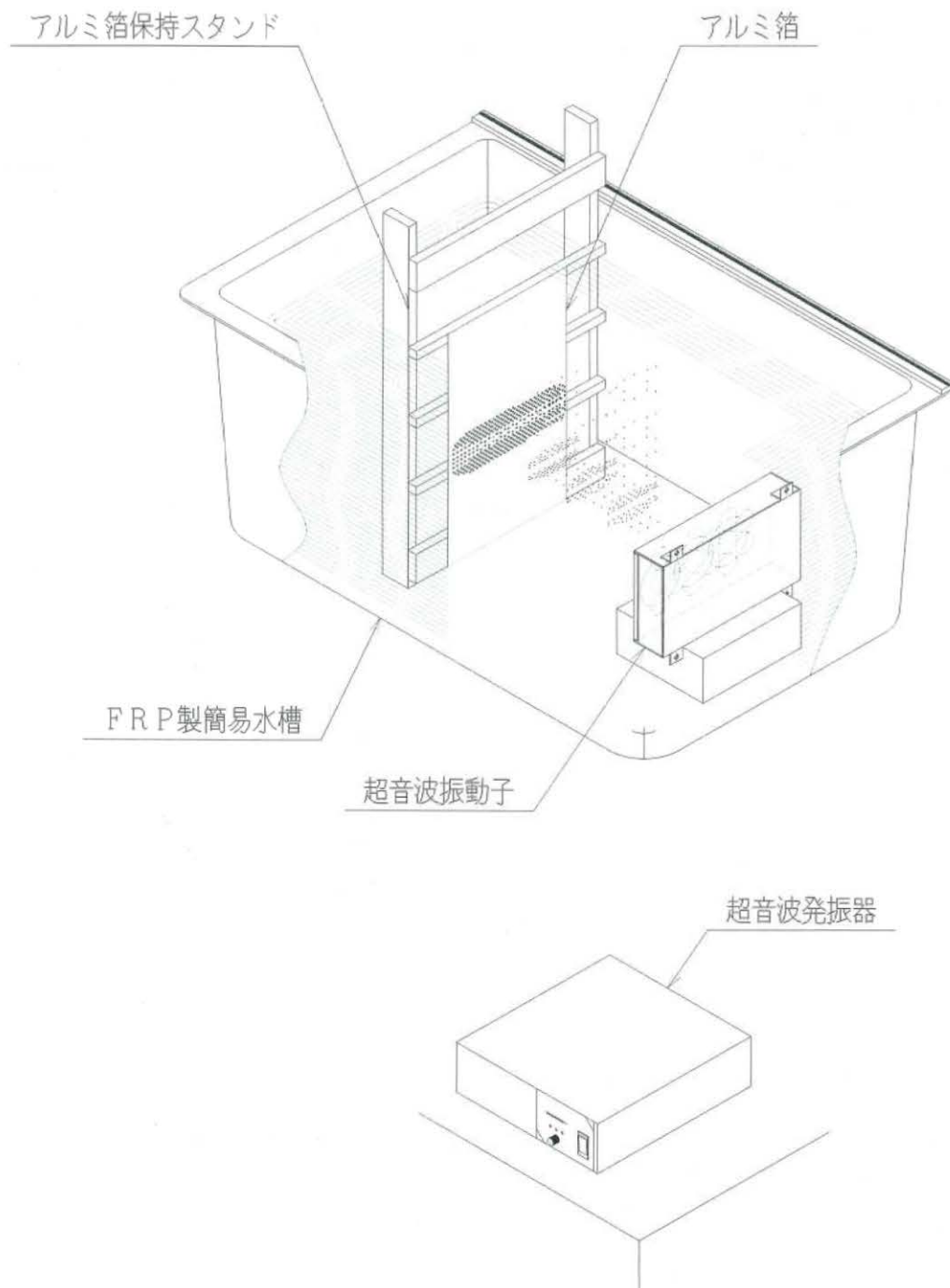


図 1-20. FRP 製簡易水槽の予備実験装置図

表 1-1. FRP 製簡易水槽（ヤンマー株式会社 共立レジンクラフト）

寸法（W×D×H）	mm	800×1, 100×600
-----------	----	----------------

表 1-2. 超音波発振器（本多電子株式会社）

型式	WS-600-40T 型	
発振モード	-	短周波発振
最大出力	W	600
公称発振周波数	kHz	40
出力制御方式	-	定電力制御
出力可変	%	0～100
電源入力	-	AC200V 単相 60Hz 1, 200VA
I/O インターフェイス	リモート機能	発振モード選択：ON/OFF（接点入力）
	出力機能	異常時の警報出力（リレー接点出力）
出力表示	-	12 点 LED レベルインジケータ（出力対応）
使用周囲環境	℃	0～40
外形寸法（W×D×H）	mm	310×345×130
質量	kg	11
電源コード長	m	3.5

表 1-3. 超音波振動子（本多電子株式会社）

型式	WS-600-40N 型	
対応発振器	-	WS-600-40T 型
最大許容入力	W	600
公称発振周波数	kHz	40
振動子	-	ボルト締めランジュバン型振動子
最高使用液温	℃	80
材質	-	SUS304
外形寸法（W×D×H）	mm	200×350×75
質量	kg	10.5
振動子コード長	m	3.5（ブレード部 3.0）＋出力コード 3.5





図 1-21. アルミ箔を用いたエロージョンの様子



図 1-22. 超音波で生じる定在波の様子



図 1-23. 超音波照射による CPE 平膜の破損事例（光学顕微鏡 40 倍）

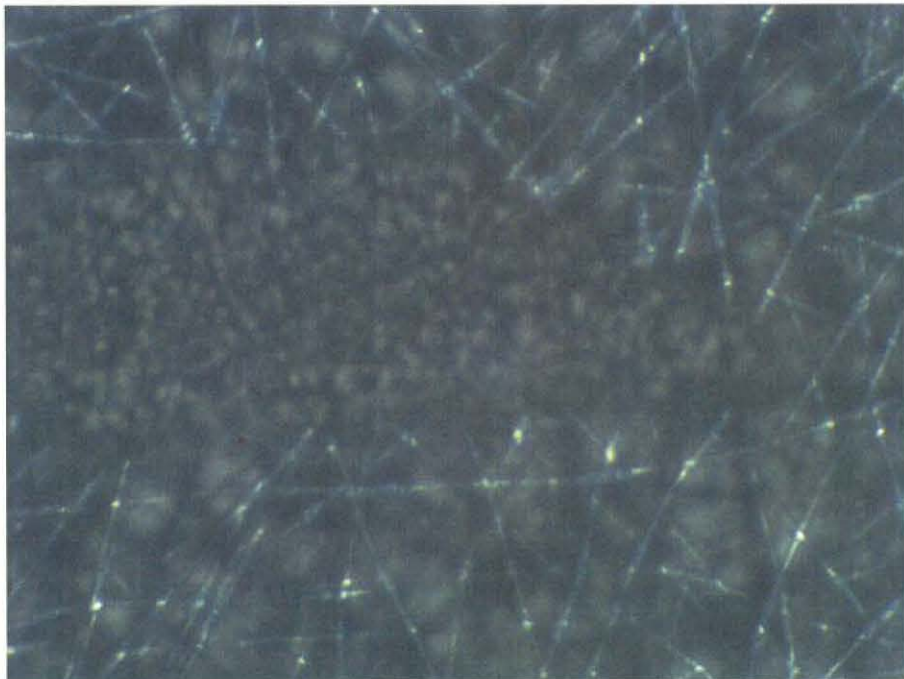


図 1-24. 超音波照射後の PTFE 平膜（光学顕微鏡 40 倍）

## 1. 10 語句の説明<sup>9, 11, 13, 15, 16)</sup>

### (1) Dissolved Oxygen (DO)

水中に溶解している分子状の酸素（溶存酸素）のことをいい、好気性処理においては微生物呼吸や BOD 除去に利用される。水処理における管理上重要な指標である。

### (2) BOD

生物化学的酸素要求量のことで、汚濁の程度を表す指標の1つとして用いられている。また、污水处理装置の設計上の要因や処理機能の評価としても BOD が用いられている。BOD は、水中の酸化可能性物質、主として有機物質が好気性条件下において、微生物により酸化される際に消費する酸素量のことであり、20℃、5日間で消費される酸素量を mg/L の単位で表したものである。したがって、ある特定の物質を化学量論的に評価しているものではなく、あくまでも生物反応によって分解される物質を酸素消費量として相対的に評価したものである。すなわち、異なった試料が同一の BOD 値を示しても、その組成まで同一とは限らない。

### (3) COD

BOD と同様、主として有機物質による汚濁の程度を表す指標であり、化学的酸素要求量のことである。すなわち、水中の酸化可能性物質が酸化剤によって酸化される際に消費する酸素量を mg/L で表したものである。測定方法は BOD と異なるため、必ずしも BOD と COD の値が一致するとは限らない。また、用いる酸化剤の種類や反応条件によっても測定値は異なる。一般に、水中の有機物質のうち、炭水化物などは酸化されやすいが、窒素を含む有機物質は酸化されにくい。また、亜硝酸塩、第1鉄塩や硫化物なども酸化されやすいため、処理水中に亜硝酸塩が多く存在していると、高い COD 値として評価されることがある。

### (4) SS, MLSS

SS とは水中に懸濁している 1  $\mu\text{m}$  から 2  $\mu\text{m}$  までの浮遊物質のことで、通常、孔径 1  $\mu\text{m}$  の目幅の濾紙でろ過した際、濾紙上に残存する物質を mg/L で表したものである。MLSS とは、ばっ気槽混合液における懸濁浮遊物質のことで、ばっ気槽内の活性汚泥やその量を表わすのに用いられる。



#### (5) 窒素 (Nitrogen)

窒素は、生物にとって最も重要な無機栄養塩類であり、動植物の細胞を構成するタンパク質を合成するのに必要な物質である。大気の組成の78%が窒素ガスであるように自然界には多くの窒素が存在する。水中の窒素化合物としては、タンパク質、アミノ酸、ポリペプチドや尿素 ( $(\text{NH}_2)_2\text{CO}_2$ ) などの有機態窒素化合物と、アンモニア ( $\text{NH}_4$ )、亜硝酸 ( $\text{NO}_2$ ) 及び硝酸 ( $\text{NO}_3$ ) などの無機窒素化合物があり、これら各種化合物に含まれる窒素の総和を全窒素 (T-N) という。

#### (6) リン (Phosphorus)

リンは、窒素とともに、生物にとって重要な無機栄養塩類であり、遺伝を司るデオキシリボ核酸 (DNA) やエネルギーを蓄えるアデノシン三リン酸 (ATP) の構成要素である。水中のリン化合物としては、農薬、エステル、リン脂質などの有機リン化合物と、オルトリン酸 ( $\text{PO}_4$ )、メタリン酸 ( $\text{PO}_3$ )、ポリリン酸 ( $\text{P}_2\text{O}_7$ ) などの無機リン酸があり、これら各種化合物に含まれるリンの総和を全リン (T-P) という。

#### (7) ノルマルヘキサン抽出物質 (Normal hexane extracts)

排水中に含まれる油分を表したもので、鉱油類と動植物性油脂類に区分され、前者は、排水中に含まれる比較的揮発しにくい炭化水素、炭化水素誘導体、グリース、油状物質などをノルマルヘキサンで抽出したもの(石油、原油などから蒸留、分留して生じた抽出油)。後者は、排水中に含まれる脂肪酸、不飽和脂肪酸エステル類など、動物系の牛脂油、豚脂油、鯨油、植物系が、ひまし油、白しめ油などをn-ヘキサンで抽出したものである。

#### (8) 色度 (Chromaticity)

淡黄色から黄褐色の系統の色に適用する色の表示方法で、し尿処理において処理水の色度の度合いを測定している。白金コバルトによる色度標準液1 mL (白金1 mg、コバルト0.5 mgを含む) を水1 Lに加えたときに呈する色を1度としている。

#### (9) 大腸菌群数 (Coliform group number)

大腸菌群とは、細菌を識別する際に用いられるグラム染色法で染色されない細菌で、乳糖を分解して酸とガスを生成し、芽胞という一種の殻を形成しない細菌の総称をいう(無

芽胞性桿菌)。好気性または通性嫌気性の菌であり、検出が比較的容易であることから、病原菌に代わって直接汚染の指標として利用される。水質汚濁防止法により排出基準 3,000 個/mL 以下と定められている。

#### (10) 活性汚泥 (Activated sludge)

有機性汚水を容器内に入れて空気を供給してばっ気し、時々汚水を加えて何日かばっ気続けると、フワフワした茶褐色で味噌汁状の浮遊物質が生成し、次第に容積を増しながら凝集体を形成する。これが活性汚泥である。すなわち、活性汚泥とは、細菌類、原生動物、後生動物などの微生物及び非生物性の無機物や有機物によって成り立っており、汚水中の有機物等を吸着、さらに同化、酸化して微生物が増殖し、凝集性のあるフロックを形成したものである。

#### (11) 活性汚泥法 (Activated sludge process)

浄化機能を持ったフロック状の生物増殖体を、必要に応じて生物反応系内で絶えず循環し、ばっ気槽内で基質（し尿中の BOD 成分）と浄化微生物の比率が常に一定となるように人為的に操作し、溶存酸素の存在のもとで、基質と異種個体群の微生物によって構成されるフロックと十分に接触させて、これを好氣的酸化、分解する処理プロセスである。

#### (12) 余剰汚泥 (Excess sludge)

一般に活性汚泥法において、生成した活性汚泥は大部分が返送汚泥として、ばっ気槽（汚泥再生処理センターの場合は硝化脱窒素槽）入口に返送されるが、その残余は汚泥の増加分として、引き抜き処分しなければならなくなる。この汚泥を余剰汚泥という。ばっ気槽内の MLSS 濃度は、余剰汚泥引抜量の調整によって、BOD-MLSS 負荷を計算した所定濃度に維持することができる。

#### (13) 膜分離 (Membrane separation)

膜分離とは、分離膜の細孔の大きさと、圧力差、濃度差あるいは電位差などにより対象物質を分離する操作である。分離膜の形状には、平膜型、管状（チューブラー）型、中空糸（ホローファイバー）型があり、このような分離膜と支持体などを一体化したものを膜エレメント、さらには膜エレメントの集合体を膜分離装置と称している。本論では平膜型

を採用している。生活排水処理の分野における膜分離は、一般に活性汚泥と処理水の分離に用いられ、原水側での加圧または透過水側での吸引によって行われ、処理時間の経過に伴い膜の表面や膜内の細孔において汚れ（膜ファウリング）が生じ、透過能力が低下する。このようなファウリング対策として、通常、膜面上を常に流水状態に保ち、流水による掃水力で洗浄しながら濾過を行うクロスフロー過方式とするとともに、定期的な薬品洗浄を行う必要がある。

#### (14) 膜分離活性汚泥法 (Activated sludge process with membrane separation)

膜分離と活性汚泥法を組み合わせた処理方式である。通常の活性汚泥法では、ばっ気槽の次に、活性汚泥を重力沈殿させる沈殿槽が必要となるが、膜分離活性汚泥法では、活性汚泥の沈降性を無視した物理的な固液分離が可能となるため、沈殿槽が不要になる。また、SS と大腸菌を含まない高度な処理水を得ることができる。

#### (15) 膜分離高負荷脱窒素処理 (High loading denitrification treatment process with membrane separation)

膜分離高負荷脱窒素処理は、し渣除去後のし尿などと資源化設備からの分離水などを無希釈のまま硝化脱窒、固液分離、凝集分離を行うシステムである。下水処理施設や浄化槽などでは、汚水は十分に希釈されているため、一般的にこの処理方式は採用されないが、汚泥再生処理センター（し尿処理施設）においては、節水の観点から、ほとんどの施設がこの処理方式を採用している。特徴としては希釈水を使用しない、MLSS を高めることで反応槽容量が小さくできる、などである。ここで、脱窒素処理を高負荷で行う場合、極端に活性汚泥の沈降性は悪くなるため、膜分離は必須である。したがって、汚泥再生処理センターでは、高負荷の生物反応槽内に膜分離装置を設置することはせず、別途に生物膜原水槽などを設けて、確実な膜分離を行うプロセスになっている。

#### (16) 凝集沈殿処理法 (Coagulation-Sedimentation Process : CSP)

硫酸アルミニウム、塩化第二鉄、ポリ鉄などの多価イオンを含む凝集剤を添加し、液中に安定して分散している懸濁物質の表面電荷を中和し、凝集反応を引き起こして、見かけの粒子を大きくして汚水を浄化する一連の処理をいう。汚水と凝集剤との最適な注入条件



を決めるためのテストを凝集試験といい、汚水の水温、濃度、pH、凝集剤の種類、濃度、注入率、添加順序、攪拌強度、攪拌時間などの凝集条件が、凝集試験によって決められる。

#### (17) 膜分離装置 (Membrane bioreactor : MBR)

微多孔性膜を用いた固液分離装置のこと。下水処理施設や浄化槽などでは膜分離装置は生物反応槽内に設置される。汚泥再生処理センターでは、生物処理施設の固液分離を目的とする生物膜分離装置と、凝集剤を添加し微細フロックを作り、主にリン、COD、色度除去を目的とした凝集膜分離装置に区分され、それぞれが生物反応槽とは別の槽に設置される。

#### (18) 精密ろ過膜 (Micro filtration membrane)

孔径が  $10^{-6} \sim 10^{-7}$  m の大きさで、おおよその分画分子の質量が 500, 000 Da の阻止能力をもつ分離膜である。したがって、細菌 (40  $\mu$ m まで) を阻止することができる。精密ろ過膜としては、製法別種類に分類した場合、セラミック膜、延伸膜、エッチング膜、均質膜などがある。

#### (19) フラックス (Flux)

透過流束のことをいい、膜性能を表す重要なパラメータの一つで、単位時間に膜の単位面積を透過する水の量のこと。実用単位として  $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$  (m/day) などが使われる。透過流束の数値を見るとときには、操作圧力も併せて見て、膜性能を判断すべきである。

#### (20) クロスフローろ過方式 (Cross-flow filtration type)

ろ過対象となる液を膜面に対して平行に流し、透過液は膜面に垂直  $90^\circ$  に取り出すろ過方式である。逆に、透過方向が  $180^\circ$  のとき、デッドエンドろ過方式という。

#### (21) PTFE (ポリテトラフルオロエチレン) 平膜 (Polytetrafluoroethylene membrane)

フラットシート状の膜である。PTFE 平膜は、ポリテトラフルオロエチレン樹脂 (四フッ化炭素樹脂) を延伸製法と呼ばれる製法で多孔質の膜素材に加工し、この膜素材を、支持体となるポリエチレンテレフタレート (Polyethylene terephthalate : PET) 不織布にラミネート加工したものである。

(22) CPE (塩素化エチレン) 平膜 (Chlorinated polyvinyl chloride membrane)

PTFE 平膜と同様にフラットシート状の膜である。CPE 平膜の製法については、PET 不織布を、塩素化エチレンと有機溶剤を混合した樹脂槽に浸漬させ、乾燥させるだけの工程である。この乾燥の際に、有機溶剤が蒸発し、多孔質の膜素材になる。製法が簡単で値段も安く、CPE 平膜は、自動車産業の分野では古くから車載バッテリーのセパレーターとして利用されてきた。水処理の分野においては、膜分離時における大腸菌の透過を阻止するため、一般的には公称孔径  $0.4 \mu\text{m}$  以下の孔径が採用される。

(23) 汚泥再生処理センター (Sludge treatment center)

循環型社会形成推進計画に基づき、し尿・浄化槽汚泥及び生ゴミ等の有機性廃棄物を併せて処理するとともに、資源を回収する施設をいい、水処理施設、資源化施設から構成されている。市町村が建設事業を交付金対象事業として実施する場合、環境省の指針（汚泥再生処理センター性能指針）を満足する必要がある。

(24) 浄化槽 (Johkaso)

水洗トイレ等のし尿と家庭の雑排水を処理する合併処理浄化槽と、し尿のみを処理する旧方式の単独処理浄化槽がある。平成 13 年 4 月 1 日以降、単独処理浄化槽の新規設置は法律で禁止されている（建築基準法）。

(25) 閉鎖性海域 (Semi-enclosed sea)

閉鎖性海域とは、地理的要因で海水の流出入の機会が乏しい環境におかれている海域のことをいう。自然による自浄作用が緩慢なため、人間による水質汚濁が、決定的な環境破壊や生態系への悪影響などにつながりやすい。その多くは内海である。

#### 1.11 参考文献

- (1) 中沢均：膜分離活性汚泥法の実際と可能性, 資源環境対策, 47 (7), P. 14～19 (2011).
- (2) 橋本敏一：日本の下水道事業における膜分離活性汚泥法の導入状況, 資源環境対策, 47 (7), P. 20～26 (2011).
- (3) 尾花山友哉：MBR 関連開発の概要と成果, 資源環境対策, 47 (7), P. 33～40 (2011).
- (4) Y. El Rayess, C. Albasi, P. Bacchin, P. Taillandier, J. Raynal, M. Mietton-Peuchot, A. Devatine, Cross-flow microfiltration applied to oenology : A review, Journal of Membrane Science, 382 (1-2), P. 1～19 (2011).
- (5) 伊東章：膜分離の本, P. 1～156, 日刊工業新聞社, 東京 (2010).
- (6) 造水推進センター：平成 21 年度 PTFE 膜 MBR による下水の再生処理技術の開発, P. 1～98 (2009).
- (7) A. Zarragoitia-González, S. Schetrite, M. Alliet, U. Jauregui-Haza, C. Albasi : Modeling of submerged membrane bioreactor, Conceptual study about link between activated sludge biokinetics, aeration and fouling process, Journal of Membrane Science, 325 (2), P. 612～624 (2008).
- (8) A. N. L. Ng, A. S. Kim : A mini-review of modeling studies on membrane bioreactor (MBR) treatment for municipal wastewaters, Desalination, 212 (1-3), P. 261～281 (2007).
- (9) Tom Stephenson, Simon Judd, Bruce Jefferson, Keith Brindle: 膜利用生物反応槽による排水処理, 財団法人日本環境整備教育センター, P. 11～19 (2003).
- (10) 山田豊：日本の糞尿処理技術の変遷, 株式会社クボタ, P. 9～14 (2003).



- (11) 社団法人全国都市清掃会議：厚生省水道環境部監修 し尿処理施設構造指針解説 1988,  
P. 81～84, P. 154～219, P. 273～316 (1988).
- (12) 鳥羽志勢広域連合：鳥羽志勢クリーンセンター 処理施設フロー, P. 1～3 (2010).
- (13) 財団法人日本環境整備教育センター：浄化槽の維持管理 (第1編), P. 1～31 (2004).
- (14) 本多電子株式会社：産業機器事業部 洗浄総合カタログ, P. 1～5 (2011).
- (15) 一般社団法人環境衛生施設維持管理業協会：環境施設用語集 (水処理編) 2010 改訂  
版, P. 1～115 (2010).
- (16) 財団法人日本環境整備教育センター：浄化槽の維持管理 (浄化槽関連法規資料集),  
P. 114～115 (2004).

## 第 2 章

### ろ過膜を用いた水質浄化モデル実験 (1)

汚泥再生処理センターにおける

PTFE 平膜を用いる膜分離高負荷脱窒素処理

## 2.1 要約

本研究では、ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) 平膜を新規に作製し、汚泥再生処理センターの実施設における膜分離高負荷脱窒素処理に応用した<sup>1-9)</sup>。約1年間の連続稼働による実証データを取得し、塩素化ポリエチレン (CPE) 平膜を用いた場合と比較検討した。その結果、CPE 平膜と比較して PTFE 平膜を用いた方が、耐ファウリング性に非常に優れていることが分かった。

## 2.2 実験場所

某汚泥再生処理センター（し尿処理施設：し尿と浄化槽汚泥の受け入れ）に、PTFE 平膜と CPE 平膜を設置して実験を行った。本処理センターは建築面積 4,000 m<sup>2</sup>、延床面積 5,500 m<sup>2</sup> の比較的大型の処理施設である。処理プロセスの概略を図 2-5 に示す。本処理センターは、膜分離高負荷脱窒素処理方式を採用して、ほぼ無希釈で受け入れたし尿と浄化槽汚泥の硝化脱窒素処理を行っている。したがって、高負荷で処理を行っているため、活性汚泥の沈降性は悪くなり、一般的な重力沈殿処理方式は不向きである。一般的な MBR とは異なり、確実な固液分離を行うため、膜分離装置は硝化脱窒素槽内には直接設置されず、別槽の生物膜原水槽に設置される（図 2-1・図 2-2）。したがって、硝化脱窒素槽と生物膜原水槽（膜分離装置）を分離させる必要があり、生物膜分離装置には生物反応よりも、膜分離そのものが重視される。

主に、リンを除去する目的でポリ塩化アルミニウム (Poly Aluminum Chloride: PAC) 凝集剤による凝集処理を行っている（図 2-3・図 2-4）。凝集汚泥の SS 中にリンが含まれるため、一般的な重力沈殿方式では、リン濃度を簡便に低減するのは非常に困難である。膜分離方式では、SS を除去することができるため、それに伴って、リン濃度も 1 mg/L 以下に低下させることができる。処理能力は、し尿 115 kL/day と浄化槽汚泥 61 kL/day の合計 176 kL/day であった。実際の実処理量の平均値は、し尿 99 kL/day と浄化槽汚泥 55 kL/day の合計 154 kL/day であり、し尿：浄化槽汚泥＝64%：36%に相当した。また、放流量は 264 kL/day である。

膜エレメントは、生物膜原水槽と凝集膜原水槽に設置した。生物膜原水槽には、PTFE 平膜 150 枚と CPE 平膜 1,650 枚を設置し、凝集膜原水槽には PTFE 平膜 150 枚と CPE 平膜 1,050 枚を設置した。





図 2-1. 本研究で用いた生物膜分離装置（生物膜原水槽）



図 2-2. 本研究で用いた実験中の PTFE 平膜（生物膜）



図 2-3. 本研究で用いた凝集膜分離装置（凝集膜原水槽）



図 2-4. 本研究で用いた実験中の PTFE 平膜（凝集膜）

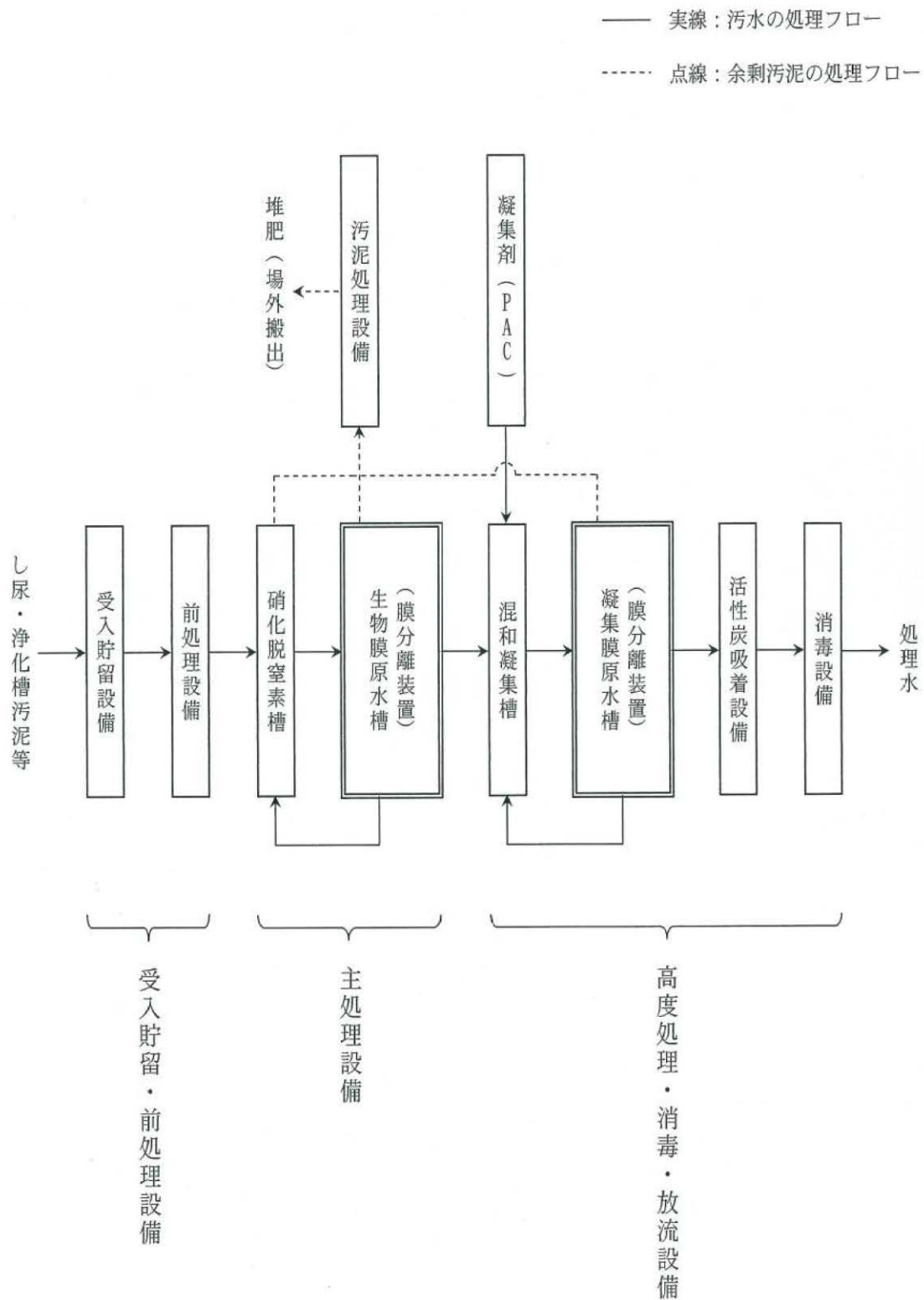


図 2-5. 処理プロセスの概略



### 2.3 PTFE 平膜の作製

市販されている CPE 平膜と今回作製した PTFE 平膜の構造図を図 2-6 に、膜素材の模式図を図 2-7 に示す。市販されている CPE 平膜は、クボタ社製 H3-510 型を用いた。クボタ社製平膜は、ポリエチレンテレフタレート (PET) 不織布 (厚さ約  $90\ \mu\text{m}$ ) が支持体として中心に存在し、その周りに CPE を重合した構造になっており、CPE 平膜の膜厚は約  $130\ \mu\text{m}$  である。今回作製した PTFE 平膜は、同じ PET 不織布を用いて、その片面に厚さ約  $20\ \mu\text{m}$  の PTFE シートを融着した構造であり、全体の膜厚は約  $110\ \mu\text{m}$  であった。CPE 平膜と PTFE 平膜の表面の走査型電子顕微鏡写真 ( $2,000$  倍) を図 2-8 に示した。また、それぞれの膜の累計細孔分布を測定し、図 2-9 に示した。最大細孔径と平均細孔径とも CPE 平膜の方が PTFE 平膜より小さかったが、走査型電子顕微鏡写真からも明らかなように膜の立体的な構造が寄与するため、公称孔径は PTFE 膜 ( $200\ \text{nm}$ ) の方が、CPE 平膜 ( $400\ \text{nm}$ ) より  $50\%$  小さい大きさであった。CPE 平膜と PTFE 平膜の性能を、事前に評価した結果を表 2-1 にまとめた。また、事前評価の平膜エレメント独特の試験方法については P. 52~55 に記載した。



図 2-6. 平膜の構造図

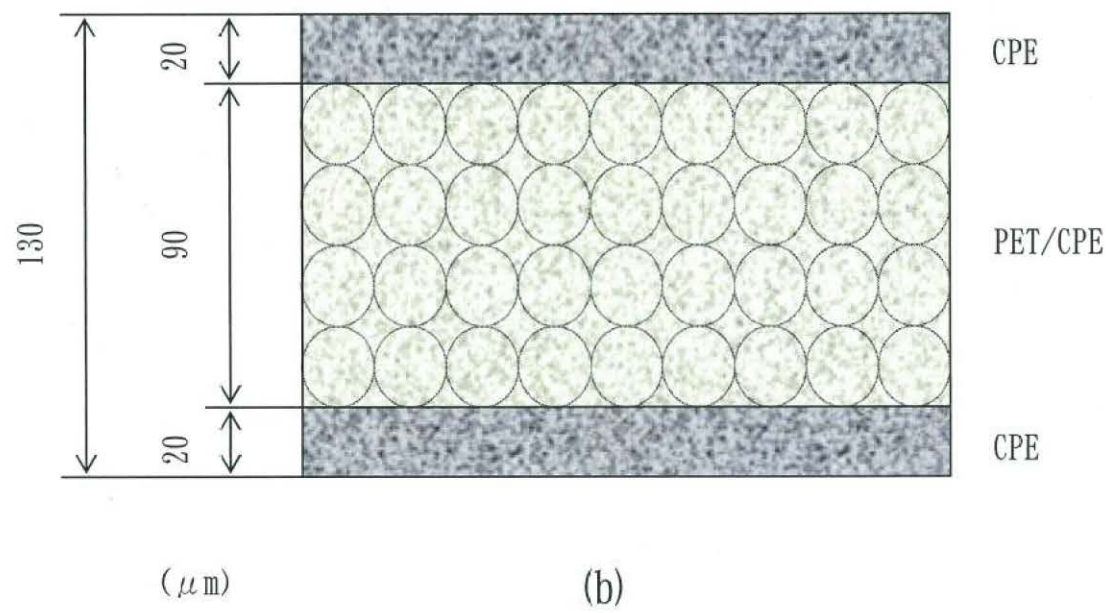
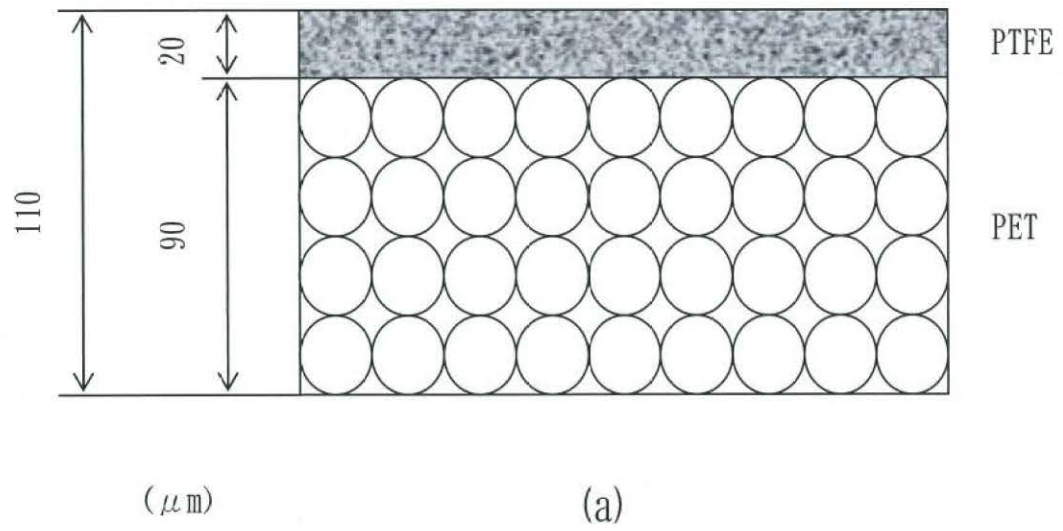
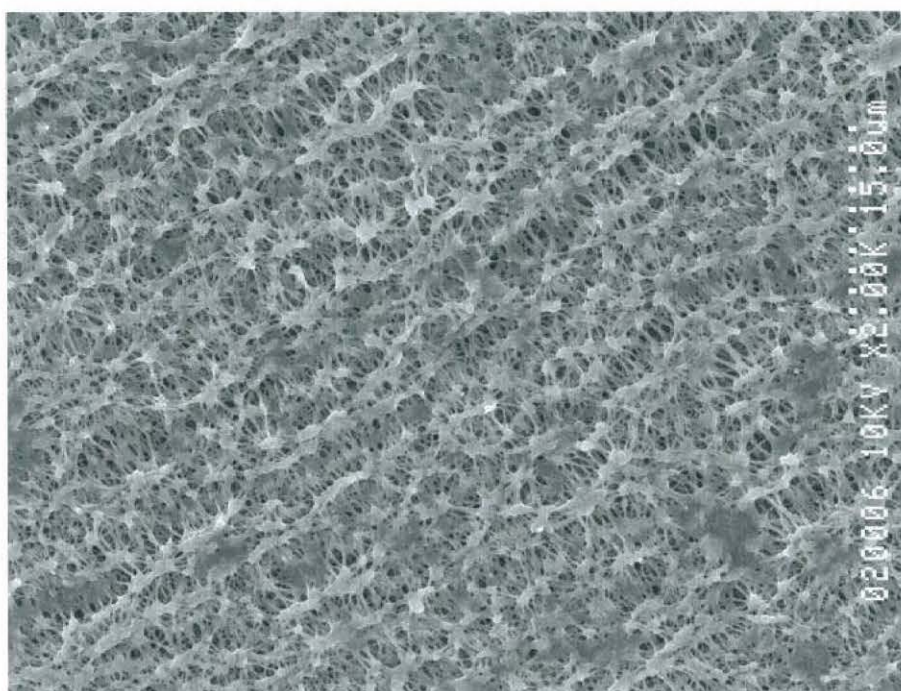
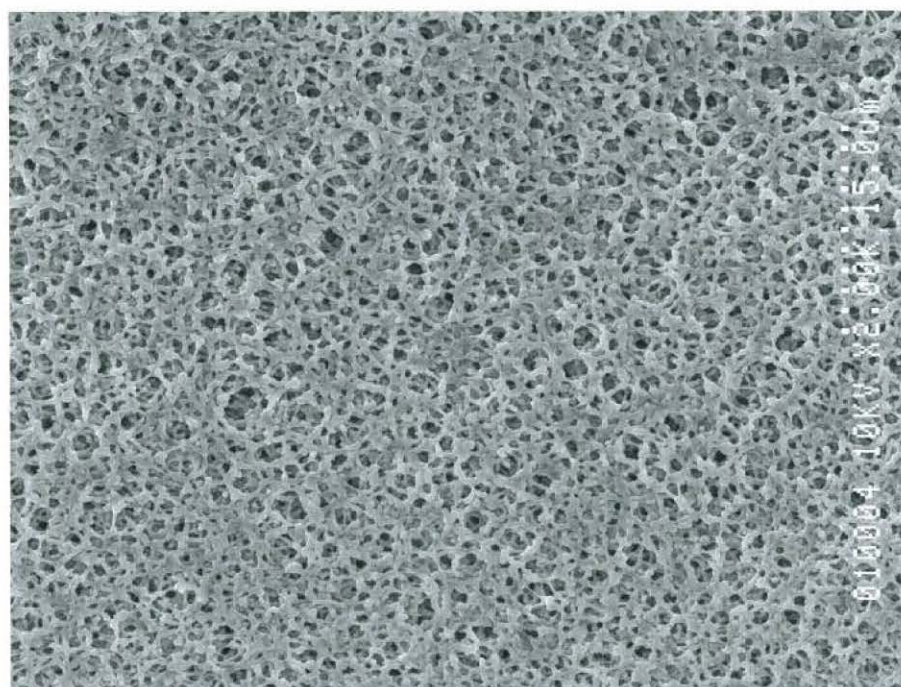


図 2-7. PTFE 膜素材と CPE 膜素材の模式図 (a) PTFE 平膜, (b) CPE 平膜



(a)



(b)

図 2-8. 膜表面の走査型電子顕微鏡写真 2,000 倍 (a) PTFE 平膜, (b) CPE 平膜



表2-1. 実験に使用した平膜の性能

試験項目	単位	試験方法 (記載ページ)	作製したPTFE平膜	CPE平膜 (クボタ社製H3-510)	当社比 (%)
サイズ	nm	-	490×1,000	490×1,000	-
有効膜面積	m <sup>2</sup>	-	0.8	0.8	-
公称孔径	nm	-	200	400	200
最大細孔径	nm	-	～ 430	～ 280	-
平均細孔径	nm	-	～ 210	～ 140	-
初期清水透過水量 <sup>1</sup>	mL/min	P. 52	1,940	1,300	149
膜強度	N/20mm	-	162.8	116.2	140
溶着部剥離強度	N/20mm	P. 53	24.9	24.7	100
気密保持 <sup>2</sup>	kPa/min	P. 54～55	0.0	0.0	100

<sup>1</sup> 500 mmAq 20℃<sup>2</sup> 真空圧降下速度

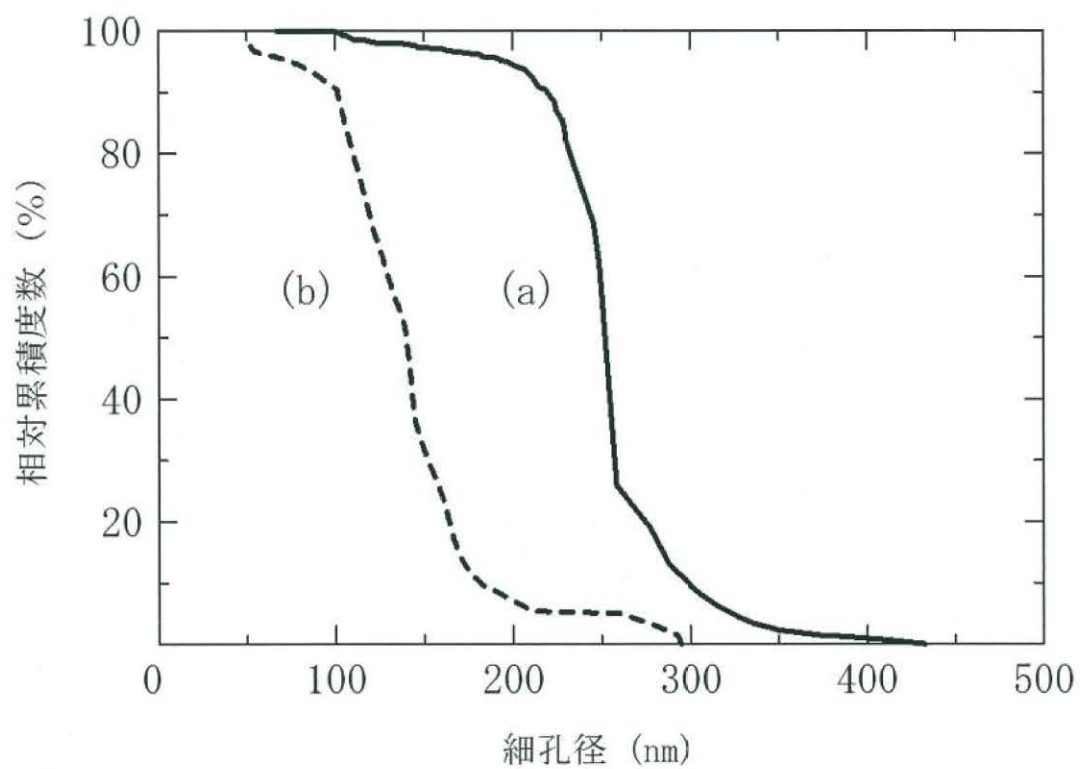


図 2-9. 累計細孔分布 (a) PTFE 平膜, (b) CPE 平膜

## 2.4 事前評価方法

### (1) 初期清水透過水量試験

平膜の性能を評価する上で最も重要な試験である。清水で行うことにより、実液の性状や粘性、ろ過抵抗などを除いた平膜構造上のろ過抵抗を把握することができる。例えば、平膜を汚泥再生処理センターや浄化槽などで使用する場合、設計フラックス  $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 、実液のろ過抵抗が約 3 倍になると仮定すれば、 $930 \text{ mL}/\text{min}$ （フラックス  $1.674 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ ）以上の初期清水透過水量が必要である。

目 的：初期清水透過水量の確認（図 2-10）

器 具：清水透過水量試験器、2 L 用メスシリンダー、水温計、ストップウォッチ

方 法：① 試験は平膜用の清水透過水量試験器で行う。

② 水頭差を 500 mm に調整・保持し、清水透過水量と水温を測定する。

判 定：①  $930 \text{ mL}/\text{min}$  以上

② 水温補正式  $Q_{20} = Q_t + 10 \times (20 - t)$

$t$  (°C)：清水透過水量の測定時の水温

$Q_t$  (mL/min)：水温  $t^\circ\text{C}$  における清水透過水量

$Q_{20}$  (mL/min)：水温  $20^\circ\text{C}$  における清水透過水量

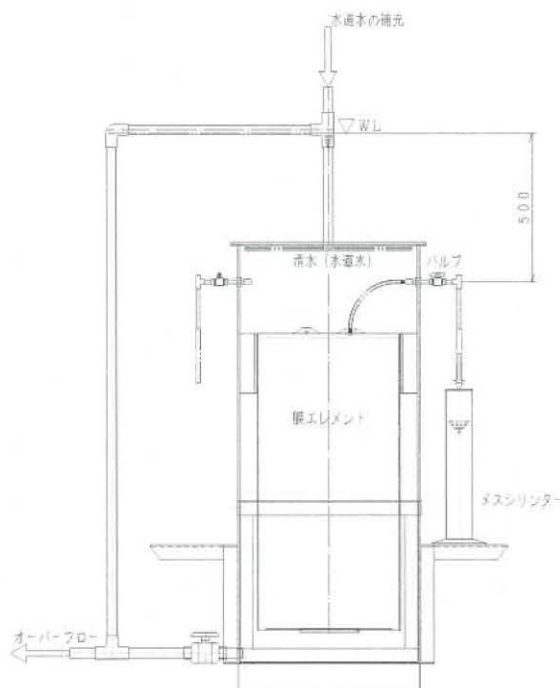


図 2-10. 初期清水透過試験の装置図



## (2) 溶着部剥離強度試験

平膜における溶着部とは、膜素材と Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) などの支持体との分子間結合部分をいう。溶着部の強度が低ければ、膜素材は支持体から剥離してしまい、剥離部から膜素材を透過せずに、ろ過対象物が直接膜内部に侵入してしまうことになる。また逆に、溶着部の強度が高すぎる場合も、膜素材の柔軟性を奪う結果となり、膜素材の疲労破壊などが早期に発生する可能性が高くなる。膜素材や分子間結合方法は各平膜メーカーの設計思想によって異なるため、平膜の最適な溶着部剥離強度を一概に決めることはできないが、溶着部剥離強度を常に品質管理することは、とても重要なことである。あとは主に経験と試行錯誤になるが、今回作製した平膜についても、より最適な溶着部剥離強度を追及することが今後の課題である。

目 的：溶着部剥離強度の確認（図 2-11）

器 具：引張試験機、プルゲージ、パソコン、サンプリング治具、カッターナイフ

方 法：① 試験は自動式の引張試験機で行う。

② 市販のプルゲージでは普通、最大ピーク表示しかできない。

2 重以上の複数の溶着部を測定する際は、パソコン入力が必要となる。

③ 試験機を用いて引張方向 90° を確認、約 3 mm/sec の速度で測定する。

判 定：① 各平膜メーカーによって異なるが、概ね 10~40 N/20mm の範囲である。

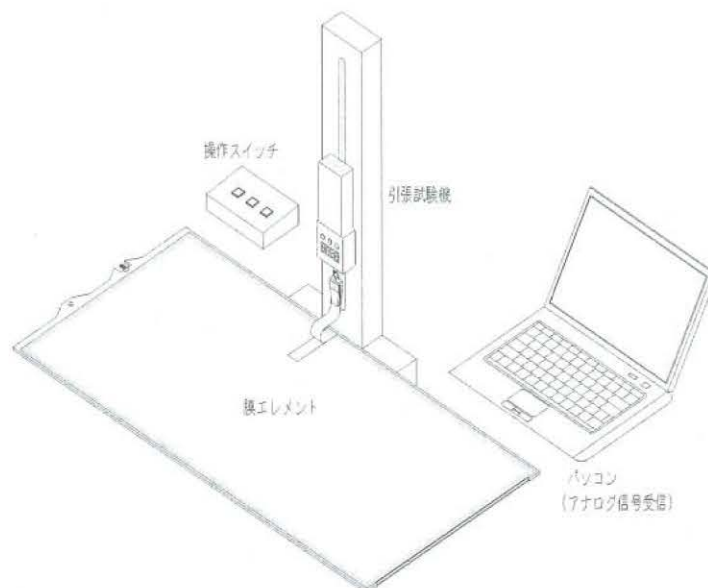


図 2-11. 溶着部剥離強度試験の装置図

### (3) 気密保持試験

平膜の完全性を確認する試験である。ここでの完全性の確認とは、膜素材に製造上の欠陥孔がないか、前述の分子間結合の溶着不良がないか、膜エレメントのアッセンブリにおける設備起因の不良やハンドリング不良による膜素材への当て傷がないか、などが該当する。この試験は膜素材メーカーが用いるバブルポイント試験を原理としているが (P. 55)、バブルポイント試験と同様に、試験方法が簡単であり、短時間で結果が分かり、かつ非破壊試験なので、使用者が使用前にその性能を確認できるという利点がある。すなわち、その理論性よりも実用性ゆえに、平膜の製造業者だけでなく、半導体製造業、製薬業など、これまで広く用いられてきた試験方法である。

目 的：平膜の完全性の確認 (図 2-12)

器 具：吸引ポンプ、圧力表示器、リザーバー、保持スタンド、ストップウォッチ

方 法：① 膜素材を清水（水道水でよい）で十分に濡らし、装置にセットする。

② 平膜の内部水を排出し、負圧を 20 ～30 kPa にゆっくりと調整する。

測定誤差が生じる原因になるため、急激な負圧変動は避ける。

③ 20 秒毎に測定し、5 分間の負圧（真空圧）降下速度を計算する。

判 定：① 真空圧降下速度 0.0～2.0 kPa/min 以下

確かに 0.0 kPa/min が望ましいが、2.0 kPa/min であったとしても測定誤差の範囲であり、実際の使用に関して問題はない。真に欠陥孔がある場合は、20～240 kPa/min 程度の真空圧降下速度となることが多い。

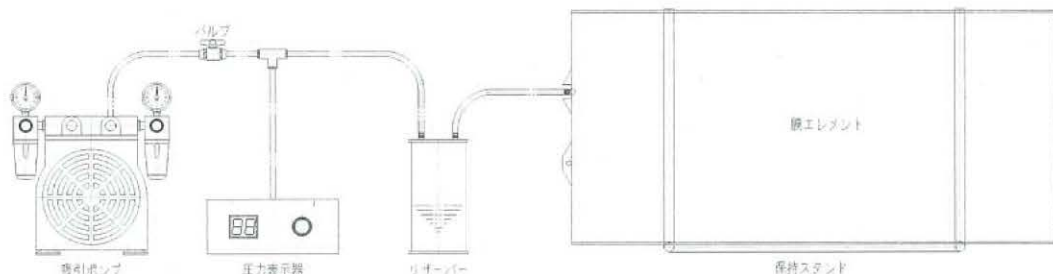


図 2-12. 気密保持試験の装置図

#### (4) 気密保持試験原理 (JIS K 3832 バブルポイント試験方法<sup>9)</sup>)

もとは米国の規格 (ASTM F316-70 PART I -MAXIMUM PORE SIZE) に記載された原理である。JIS によると、「液体で濡れたフィルタは液体を満たしたキャピラリーと同様の特性を示し、キャピラリーの液の表面張力に打ち勝ち、液体をその細孔から押し出す最小の圧力を測定することによって、キャピラリーの式から最大孔径を算出することができる。そして、細孔の液体の排出に伴う気体の通過は、フィルタの上層の液から気泡が出てくることで検出でき、このことをバブルポイント (Bubble point) と呼ぶ。」と記載されている。JIS に記載された孔径算出については次の通りである。

$h$  : キャピラリーの液体の高さ、 $\rho$  : 液体の密度、 $G$  : 重力定数、 $\phi$  : 接触角、 $r$  : 細孔半径、 $B$  : キャピラリー定数、 $\gamma$  : 表面張力、 $P$  : バブルポイント圧のとき、表面張力の式により、

$$\gamma = h \rho G r \div (2 \cos \phi B) \quad \dots \dots \dots (1)$$

細孔直径  $d = 2r$  ゆえ、

$$d = (4 \cos \phi B \gamma) \div h P G \quad \dots \dots \dots (2)$$

バブルポイント圧  $P = h G \rho$  ゆえ、

$$d = (4 \cos \phi B \gamma) \div P \quad \dots \dots \dots (3)$$

一般にフィルタが液体で濡れたときには、 $\cos \phi = 1$  となるので、

$$d = 4B \gamma \div P \quad \dots \dots \dots (4)$$

となる。ここで大切なことは、膜素材が同一の種類であれば、式 (4) の  $4B \gamma$  は一定ゆえ、これを  $K$  とすると、

$$d = K \div P \quad \dots \dots \dots (5)$$

となるので、 $P$  は孔径に逆比例し、 $P$  を測定することで  $d$  が分かるというものである。

平膜の気密保持試験においては、正圧のバブルポイントではなく、負圧である真空圧降下速度によって、最大孔径 (欠陥孔) を検出するものである。例えば、PTFE 平膜の場合、 $d = 0.2 (\mu\text{m})$ 、 $K = 40$  であるので、式 (5) より、20 kPa の真空圧を保持できないときは、 $2 \mu\text{m}$  以上の欠陥孔、2 kPa を保持できないときは、 $20 \mu\text{m}$  以上の欠陥孔が存在することになる。なお、CPE 平膜の場合は、 $d = 0.4 (\mu\text{m})$ 、 $K = 80$  である。同様に  $K$  と  $P$  (kPa) を式 (5) に代入すれば、CPE 平膜の欠陥孔の大きさが算出できる。



## 2.5 稼働条件

事前評価した PTFE 平膜と CPE 平膜を、平成 22 年 12 月から汚泥再生処理センターで実稼働させ、実験を行った。流入汚水は、トラックで搬入される近隣から排出されたし尿と浄化槽汚泥である。散気管は硬質塩化ビニル管（外径 48 mm、厚さ 3.6 mm、内径 40 mm）に直径 10 mm の孔をあけ、空気を散気している（図 2-13）。散気条件は、1 ユニット（150 枚）に対して 1,500 L/min であったので、1 枚当たり 10 L/min となる。この時の気泡の移動速度は約 100 cm/sec であり、膜 1 枚当たりの浮力は 200 g であった。透過水質は、生物化学的酸素要求量（BOD）、化学的酸素要求量（COD）、懸濁性物質（SS）、全窒素（T-N）、全リン（T-P）、色度で評価した。平膜の性能評価として、膜間差圧と透過水量の関係を計測した。さらに、生物膜原水槽と凝集膜原水槽内の MLSS 濃度と粘度を測定した。生物膜原水槽では、213 日までフラックス  $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$  で稼働させており、それ以降はフラックス  $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$  で稼働させた。1 ユニット（150 枚）に対する処理水量は、 $2.5 \text{ m}^3/\text{hour}$ （フラックス  $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$ ）と  $1.5 \text{ m}^3/\text{hour}$ （フラックス  $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$ ）であった。凝集膜原水槽では、フラックス  $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$  で稼働させ、1 ユニット（150 枚）に対する処理水量は、 $2.5 \text{ m}^3/\text{hour}$  であった。全てのデータにおいて、各原水槽の液温に  $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$  を超える変動はなく、生物膜原水槽で  $36.0 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$  以内、凝集膜原水槽で  $33.0 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$  以内であった。

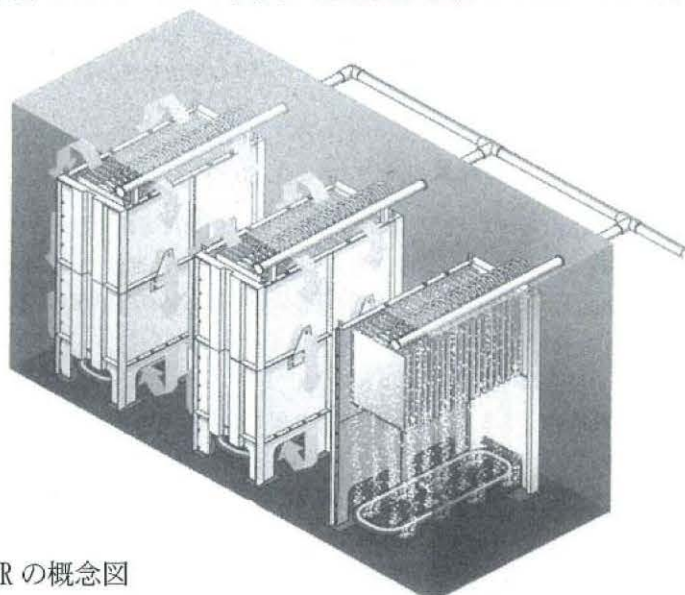


図 2-13. 浸漬型 MBR の概念図

【元資料】「膜利用生物反応槽による排水処理（P. 144）」財団法人日本環境整備教育センター<sup>10)</sup>  
平膜の下部からばっ気によって生じる、平膜を通過する混合液の流れを図示している。生物反応槽への酸素供給と、混合液が膜面のろ過方向に対して直角に流れるクロスフローろ過方式である。

## 2.6 透過水質

生物膜原水槽と凝集膜原水槽からの膜による透過水質は、PTFE 平膜と CPE 平膜ともほとんど同じであった。生物膜原水槽の透過水質は、BOD 10 mg/L 以下、SS 5 mg/L 以下、T-N 30 mg/L 以下、T-P 100 mg/L 以下、色度 2,000 mg/L 以下で推移した。また、凝集膜原水槽の透過水質は、BOD 10 mg/L 以下、SS 5 mg/L 以下、T-N 15 mg/L 以下、T-P 1 mg/L 以下、色度 150 度以下で推移した。凝集沈殿処理では、T-P（全リン）を濃度 1 mg/L 以下にすることができた。本実施設は膜分離によって容易に凝集沈殿処理で SS（懸濁浮遊物質）をゼロにしているが、この SS にはリンが含まれている。したがって、従来の重力沈殿の場合では、十分な量の凝集剤を使用し、砂ろ過器などで SS 除去、T-P を 1 mg/L 以下とすることに一般的には苦勞している。生物膜原水槽と凝集膜原水槽からの膜による透過水の COD の推移を、図 2-15 と図 2-16 に示した。COD 成分は、膜分離により高効率で除去することはできなかった。COD 成分の除去効率は、生物膜処理では約 19 %であり、凝集沈殿処理では 4～5 %であった。凝集沈殿処理を施した後、活性炭吸着処理と紫外線殺菌処理を行った処理水の水質（図 2-14）は、pH 5.8～8.6、BOD 10 mg/L 以下、COD 10 mg/L 以下、SS 5 mg/L 以下、T-N 10 mg/L 以下、T-P 1 mg/L 以下、n-ヘキサン（鉱油類）2 mg/L 以下、n-ヘキサン（動植物油脂類）7 mg/L 以下、色度 30 度以下、大腸菌群数 100 個/mL 以下で推移した。



図 2-14. 生物膜原水槽の原水（左）と最終の処理水（右）

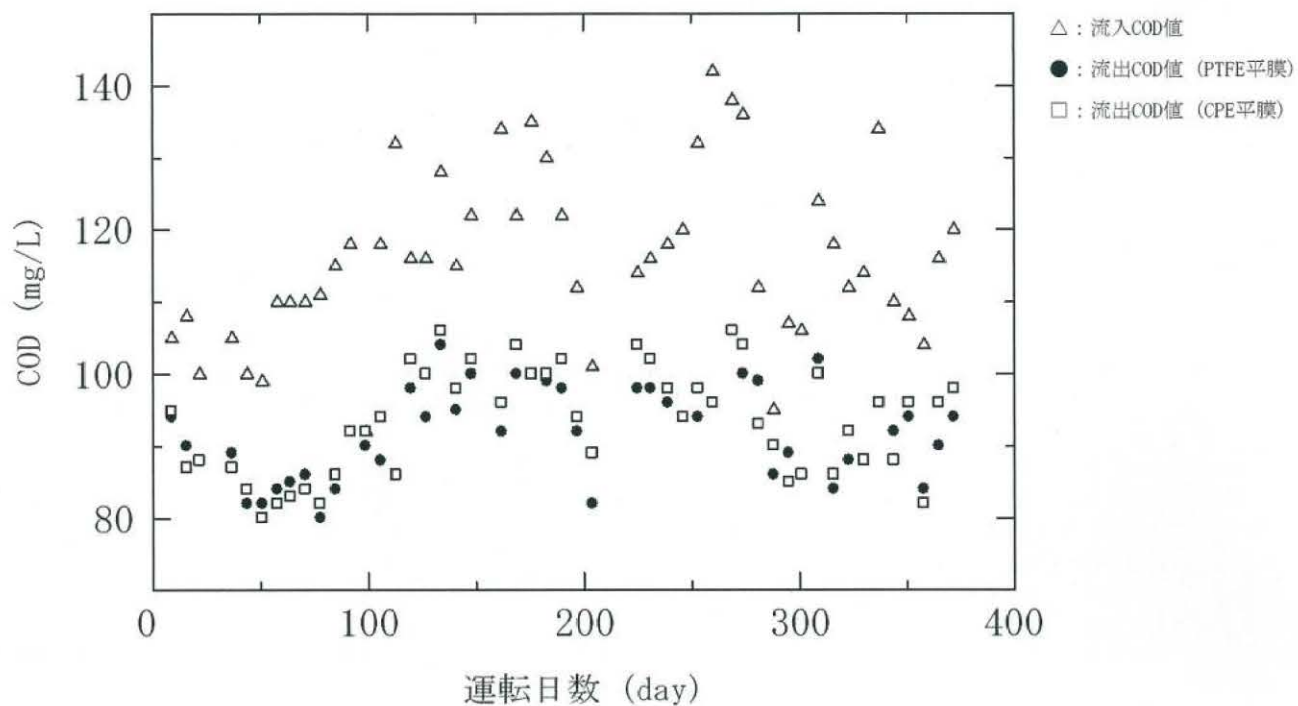


図 2-15. 生物膜原水槽からの透過水 COD の推移

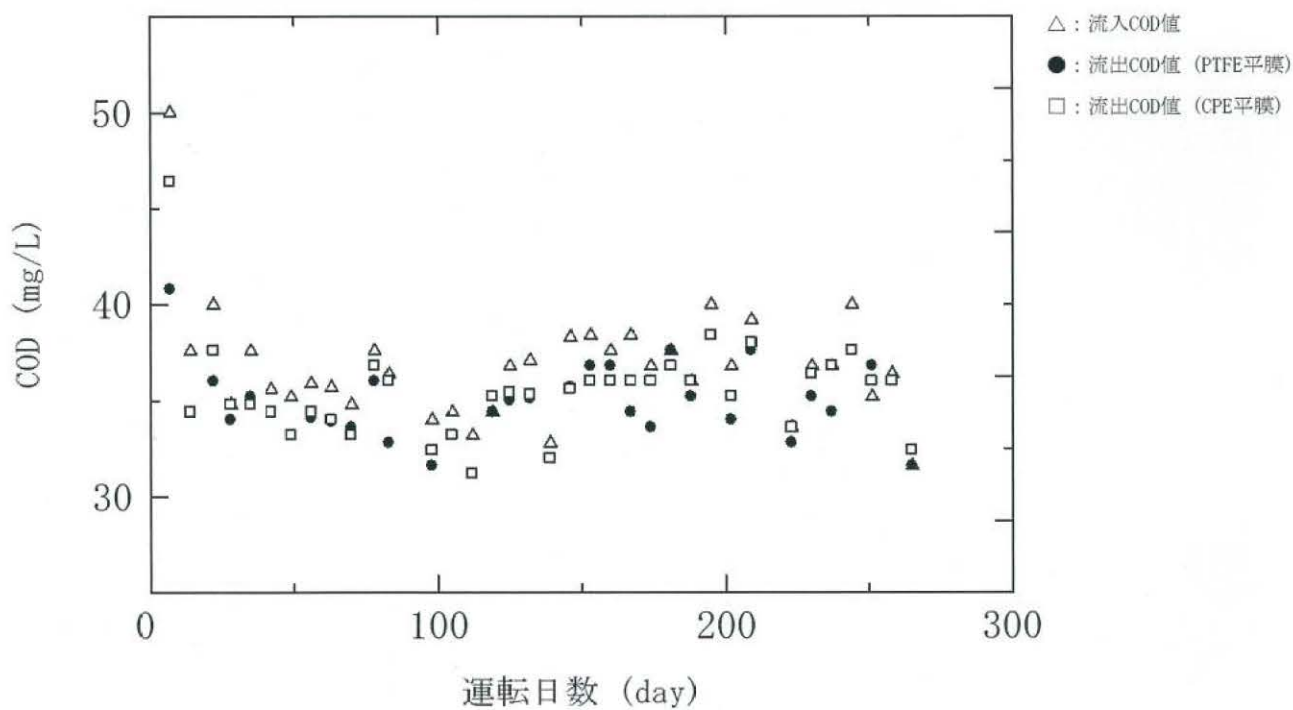


図 2-16. 凝集膜原水槽からの透過水 COD の推移



## 2.7 膜間差圧の経時変化

生物膜原水槽における膜間差圧の経時変化を図2-18に示す。MLSS濃度は8,000~16,000 mg/Lになるように、余剰汚泥引抜量を調整した。それに伴って、粘度は89~173 mPa·secの範囲であった。運転日数の増加と共に、一定フラックスを維持するための膜間差圧は増加した。CPE平膜とPTFE平膜を比較すると、明らかにCPE平膜の方が大きい膜間差圧を示した。これは膜ファウリングが起り易いことを示し、薬液洗浄サイクルが短いことを意味する。また、PTFE平膜では、膜ファウリングの程度が小さい期間では、膜間差圧が比較的一定であり、上昇しない期間が存在する傾向が見られた。凝集膜原水槽における膜間差圧の経時変化を図2-19に示す。SS濃度は7,000~10,000 mg/Lになるように、余剰汚泥引抜量を調整した。PTFE平膜の方が、CPE平膜より1/5程度の小さい膜間差圧を示した。また、装置左側半分のPTFE平膜同士をチューブ連結し(図2-17)、有効膜面積半分での運転を試みたところ、膜間差圧はほぼ2倍となったが、それでもCPE平膜の1/2程度の小さな膜間差圧であった。CPE平膜の最大細孔径と平均細孔径はPTFE平膜より小さく、懸濁粒子のサイズが膜の細孔径とほぼ同じぐらいであったために粒子が膜細孔に入り込みやすく、膜間差圧に大きな差が生じたと思われる。PTFE平膜の場合、一定フラックスを維持するための膜間差圧はほぼ一定であり、運転日数400日経過した後も、ほとんど変化していない。一方、CPE平膜の場合、一定フラックスを維持するための膜間差圧は徐々に増加した。



図2-17. 平膜枚数を半分にした凝集膜分離装置 (Flux  $0.7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ )

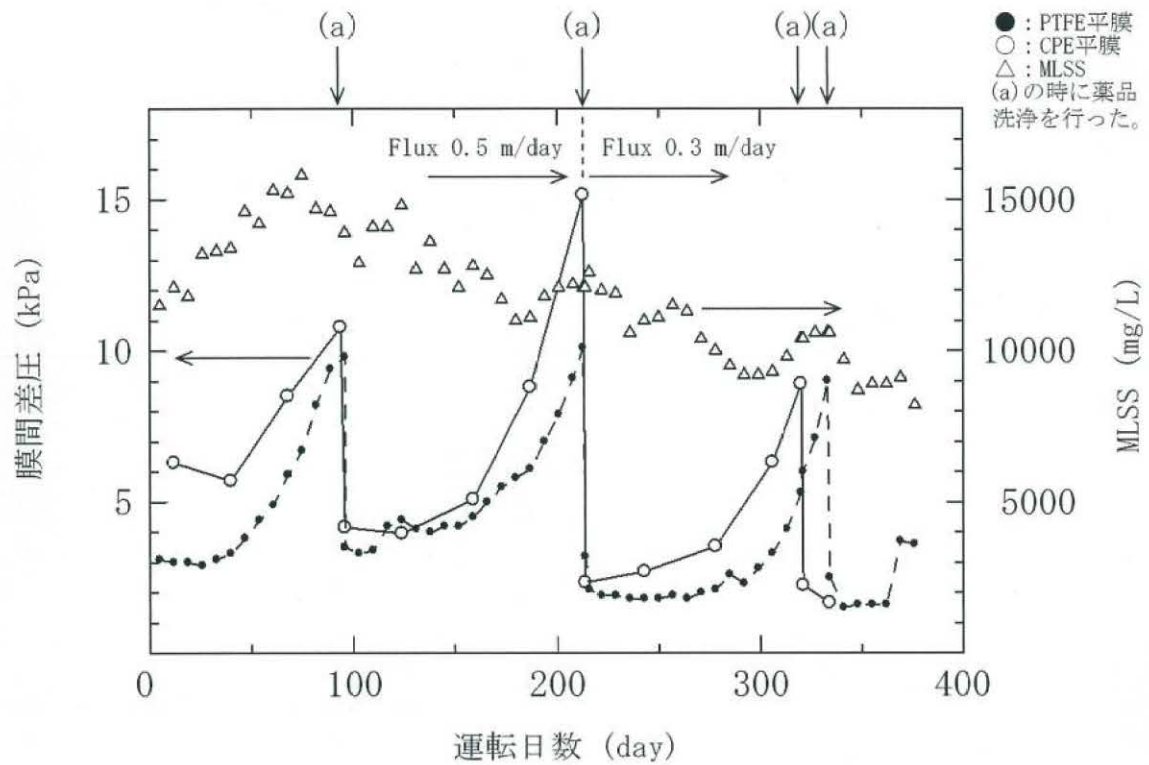


図 2-18. 生物膜原水槽における膜間差圧の経時変化

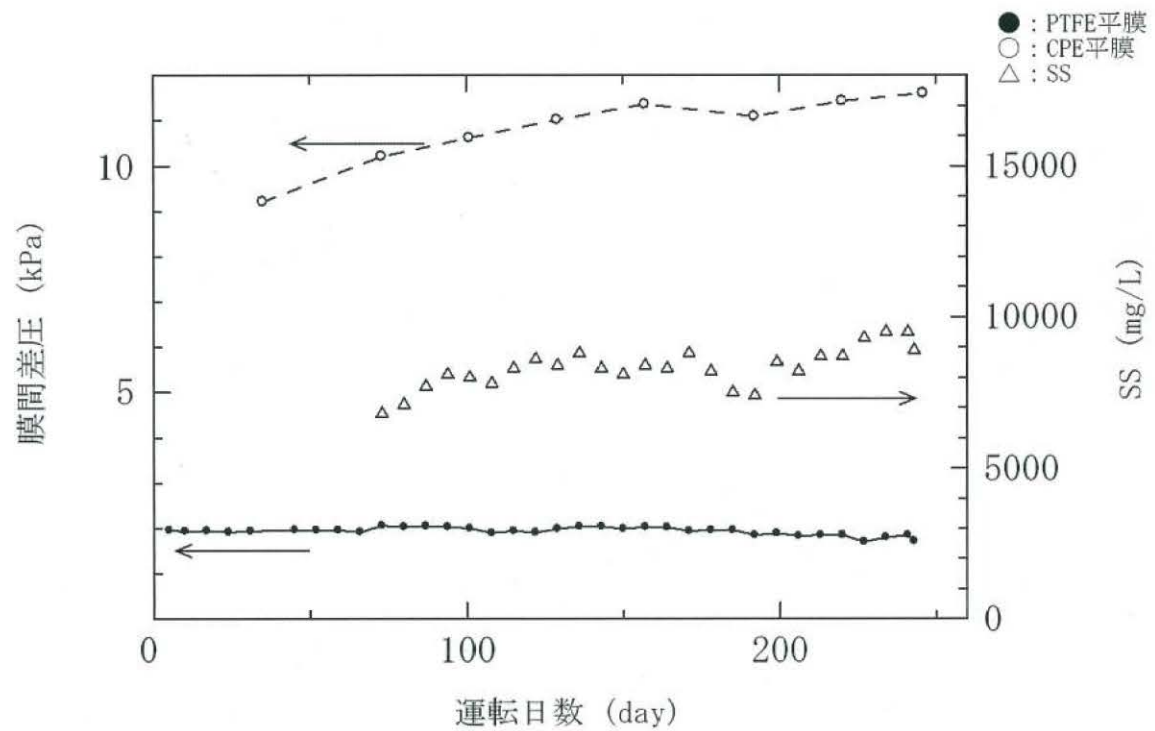


図 2-19. 凝集膜原水槽における膜間差圧の経時変化

## 2.8 膜間差圧とフラックス（透過流束）との関係

膜の状態をより詳細に把握するために、膜間差圧とフラックスの関係を評価した。まず、運転日数 96 日、124 日、159 日、187 日、213 日（薬品洗浄前後）において、生物膜原水槽における CPE 平膜と PTFE 平膜を用いて、膜間差圧とフラックスとの関係を調べた（図 2-21）。薬品洗浄（図 2-20）を行った直後（運転日数 96 日～159 日）では、CPE 平膜と PTFE 平膜であまり大きな違いは見られなかったが、薬品洗浄から 91 日経過してから（図 2-21d）、グラフに徐々に差が生じ始めた。さらに、薬品洗浄から 117 日経過した場合（図 2-21e）、大きいフラックス（ $0.6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ ）を得るためには、1.5 倍の膜間差圧が必要であった。続いて、凝集膜原水槽における膜間差圧とフラックスとの関係を調べた（図 2-22）。PTFE 平膜を用いた場合、膜間差圧とフラックスの関係にほとんど変化が見られなかった。CPE 平膜を用いた場合、大きいフラックス（ $0.7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ ）を得るためには、運転日数の増加につれて大きい膜間差圧が必要になった。

浸漬型平膜 MBR は、浸漬させたままで、薬品によるインライン洗浄（Clean in Place: CIP）が可能である。膜透過側の薬品注入口から、有機物の汚れを分解するために次亜塩素酸ナトリウム水溶液を、無機物の汚れを分解するためにシュウ酸水溶液を注入するのが一般的である。本実施設ではシュウ酸水溶液ではなく、クエン酸水溶液を使用している（P. 67～69）。CPE 平膜の場合、薬品洗浄サイクルは、基本的には 6 ヶ月～1 年である。

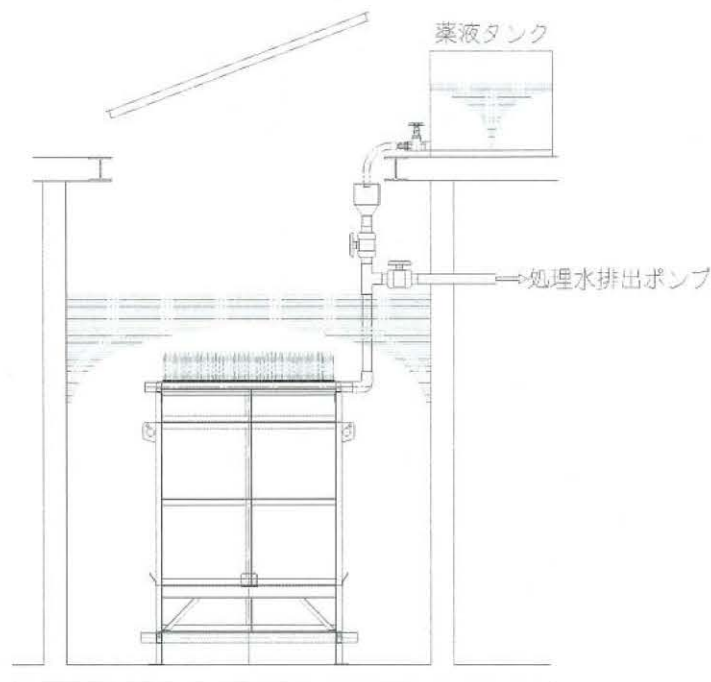


図 2-20. 浸漬型平膜 MBR の薬品洗浄図



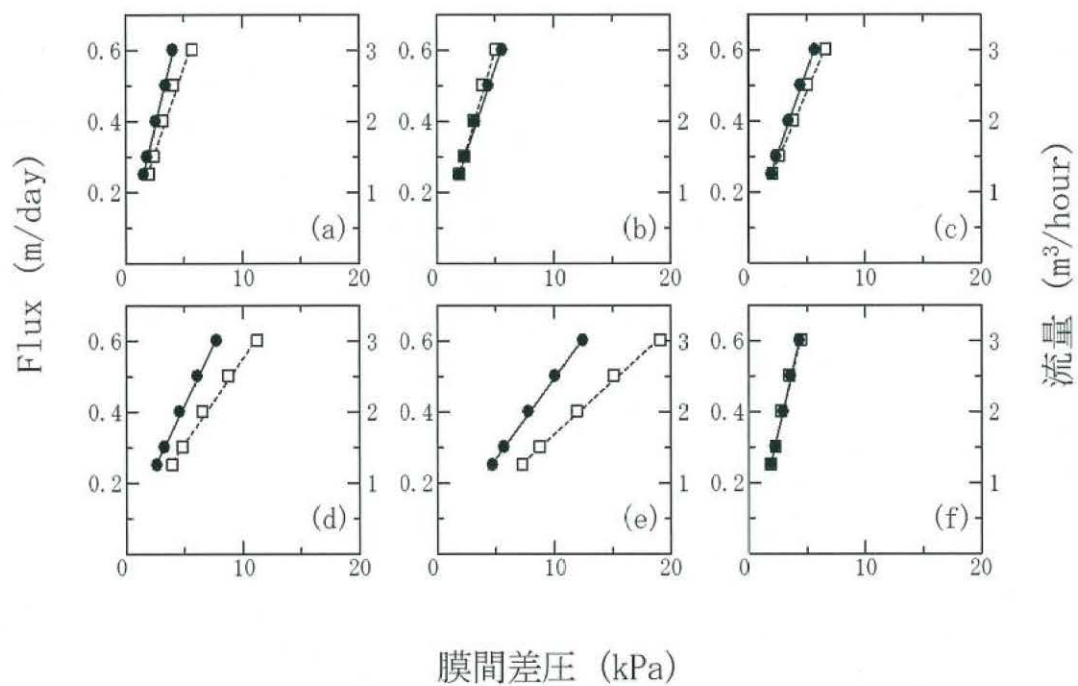


図 2-21. 生物膜原水槽の PTFE 平膜と CPE 平膜における膜間差圧とフラックスの相関

● : PTFE 平膜

□ : CPE 平膜

(a) 運転日数 96 日 (薬品洗浄直後)

(b) 運転日数 124 日 (薬品洗浄後 28 日経過)

(c) 運転日数 159 日 (薬品洗浄後 63 日経過)

(d) 運転日数 187 日 (薬品洗浄後 91 日経過)

(e) 運転日数 213 日 (薬品洗浄後 117 日経過)

(f) 運転日数 213 日 (薬品洗浄直後)

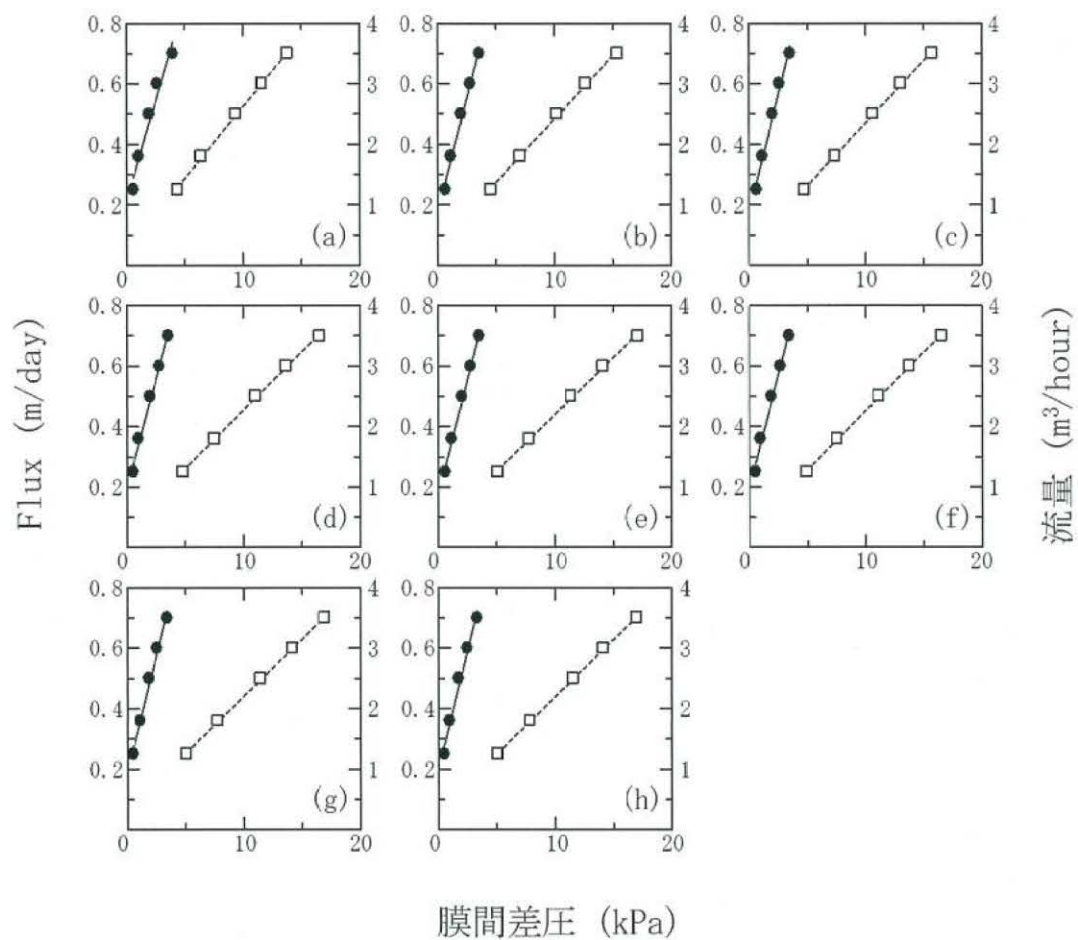


図 2-22. 凝集膜原水槽の PTFE 平膜と CPE 平膜における膜間差圧とフラックスの相関

● : PTFE 平膜

□ : CPE 平膜

(a) 運転日数 5 日

(b) 運転日数 35 日

(c) 運転日数 73 日

(d) 運転日数 101 日

(e) 運転日数 129 日

(f) 運転日数 157 日

(g) 運転日数 192 日

(h) 運転日数 220 日

## 2.9 数式的解析

一般的に、膜のフラックス（透過流束）はろ過方程式（Darcy 則）に従う。Darcy 則は以下の通りである。

$$J = \frac{\Delta P - \Delta \Pi}{\mu \cdot R_h} \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 $J$  ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{sec}$ ) は透過流束であり、 $\Delta P$  (Pa) は吸引圧力であり、 $\Delta \Pi$  (Pa) は浸透圧であり、 $\mu$  (Pa $\cdot$ sec) は溶媒の粘性であり、 $R_h$  ( $\text{m}^{-1}$ ) は透水抵抗である。PTFE 平膜と CPE 平膜の公称孔径は、それぞれ 0.2  $\mu\text{m}$  と 0.4  $\mu\text{m}$  であるので、コロイドと粒子は平膜を透過しないが、溶質と塩は平膜を透過することができる。したがって、本実験の場合、 $\Delta \Pi$  はゼロと見なすことができる。したがって、

$$J = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_h} = k \Delta P \quad \dots \dots (2)$$

と、近似することができる。

まず、この Darcy 則の 1 次式に本実験結果が適応するかどうかを検討した。したがって、図 2-21 と図 2-22 の全てのグラフに 1 次式を適応し、傾き  $k$  と相関係数  $R^2$  を求めた。その結果を表 2-2～2-5 に示す。相関係数  $R^2$  が 0.990 以上であり、極めて良好な 1 次の関係を得ることができたため、本実験結果も Darcy 則の 1 次式に適応していることが分かった。生物膜原水槽における膜では、直線の傾き  $k$  は運転日数の増加と共に減少した。直線の傾き  $k$  は透水抵抗  $R_h$  の逆数であるため、各透過流束を測定した時の溶媒の粘性が一定であると仮定すると、傾き  $k$  が減少することは透水抵抗  $R_h$  が増加することを意味する。

生物膜原水槽において、薬品洗浄前（運転日数 213 日）では CPE 平膜の透水抵抗は、PTFE 平膜の値より 1.52 倍大きかった。凝集膜原水槽における CPE 平膜では、直線の傾き  $k$  は運転日数の増加と共に減少したが、PTFE 平膜の場合の直線の傾き  $k$  はほぼ一定であった。凝集膜原水槽では、生物膜原水槽における膜ほど運転日数の増加に伴って膜間差圧が急激に増加することは観測されなかったが、CPE 平膜では徐々に透水抵抗が大きくなっていったと考えられる。PTFE 平膜の細孔径は、懸濁粒子が膜細孔に入り難い大きさであるため、ほとんど透水抵抗が増加しない結果になったと思われる。



表 2-2. 図 2-21 におけるろ過一次方程式 (PTFE 平膜) の傾き  $k$  と相関係数  $R^2$

運転日数	図 2-21	直線の傾き $k$	相関係数 $R^2$
96 日	(a)	0.1360	0.999
124 日	(b)	0.0963	0.997
159 日	(c)	0.0935	0.999
187 日	(d)	0.0685	0.997
213 日 (薬品洗浄前)	(e)	0.0452	0.999
213 日 (薬品洗浄直後)	(f)	0.1420	0.999

表 2-3. 図 2-21 におけるろ過一次方程式 (CPE 平膜) の傾き  $k$  と相関係数  $R^2$

運転日数	図 2-21	直線の傾き $k$	相関係数 $R^2$
96 日	(a)	0.0963	0.987
124 日	(b)	0.1130	0.997
159 日	(c)	0.0770	0.998
187 日	(d)	0.0480	0.997
213 日 (薬品洗浄前)	(e)	0.0298	0.999
213 日 (薬品洗浄直後)	(f)	0.1380	0.999

表 2-4. 図 2-22 におけるろ過一次方程式 (PTFE 平膜) の傾き  $k$  と相関係数  $R^2$

運転日数	図 2-22	直線の傾き $k$	相関係数 $R^2$
5 日	(a)	0.132	0.978
35 日	(b)	0.151	0.994
73 日	(c)	0.157	0.993
101 日	(d)	0.144	0.995
129 日	(e)	0.152	0.997
157 日	(f)	0.151	0.994
192 日	(g)	0.155	0.994
220 日	(h)	0.158	0.991

表 2-5. 図 2-22 におけるろ過一次方程式 (CPE 平膜) の傾き  $k$  と相関係数  $R^2$

運転日数	図 2-22	直線の傾き $k$	相関係数 $R^2$
5 日	(a)	0.0475	0.999
35 日	(b)	0.0418	0.999
73 日	(c)	0.0412	0.999
101 日	(d)	0.0386	0.999
129 日	(e)	0.0375	0.999
157 日	(f)	0.0388	0.999
192 日	(g)	0.0379	0.999
220 日	(h)	0.0378	0.999

## 2.10 膜洗浄

生物膜原水槽では、膜ファウリングが顕著であり、定期的に薬品洗浄することが必要であった。基本的には薬品洗浄はインライン洗浄（CIP）で行うが、場合によっては槽外へ搬出して浸漬洗浄を行うこともある（図 2-23・図 2-24）。本実施設では汚水中にカルシウムやマグネシウムが多く含まれているため、シュウ酸水溶液で膜洗浄を行うと、シュウ酸カルシウム（ $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ）など、逆に難溶物質による膜ファウリングの危険性がある。したがって、本実施設では、無機物質除去の膜洗浄には、クエン酸水溶液を使用している。また、汚水中に含まれる炭酸カルシウムについては、ラングリアインデックス（P. 69）などで管理<sup>11)</sup>し、膜ファウリングの危険性を少なくしている。しかしながら、一般的にみても膜分離処理においては、長時間の運転で必ず膜ファウリングが進行する。そのため、定期的なインライン洗浄や浸漬洗浄による膜の薬品洗浄は避けられない。ここで、薬品洗浄による膜の回復性が重要な評価因子の一つとなる。したがって、本実施設においても、薬品洗浄により膜モジュールの透水性がどの程度初期状態まで戻るかを評価した。0.5%の次亜塩素酸ナトリウム水溶液、2%のクエン酸水溶液を、膜 1 枚あたりそれぞれ 3 L 流し、インライン洗浄を行った。3 回の薬品洗浄における洗浄前と洗浄後の膜間差圧のデータを表 2-6 に示す。CPE 平膜と PTFE 平膜とも、次亜塩素酸水溶液とクエン酸水溶液による薬品洗浄により、膜間差圧がほぼ初期状態まで回復した。今後さらなる薬品洗浄データの取得が必要であるが、PTFE 膜は耐薬品性に優れているため、膜の交換サイクルは、PTFE 平膜の方が CPE 平膜より長くなることが予想される。

表 2-6. インライン薬品洗浄の効果

薬品洗浄	膜間差圧の変化 (kPa)			
	作製した PTFE 平膜		CPE 平膜	
	前	後	前	後
1 回目	9.8	3.3	10.8	4.2
2 回目	10.1	3.2	15.2	2.3
3 回目	9.0	2.5	8.9	2.2





図 2-23. 槽外浸漬洗浄（クエン酸洗浄）



図 2-24. 槽外水手洗浄

炭酸カルシウム ( $\text{CaCO}_3$ ) は、水に難溶の物質で 15 mg/L 程度の溶解度である。污泥再生処理センターでは、炭酸カルシウムによる膜ファウリングを防止するため、溶解度とスケール生成について、炭酸カルシウム飽和溶液の関係式が利用されている。

$$[\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3] = K_{sp} = 4.7 \times 10^{-9} \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 $[\text{Ca}^{2+}]$  と  $[\text{CO}_3]$  は反比例の関係である。 $[\text{CO}_3]$  はアルカリ度と pH の関数であるから、アルカリ度 pH を調整することにより、炭酸カルシウムについて人為的に飽和溶液を作ることができる。すなわち、膜面にスケールを生成させないようにすることができる。アルカリ度とカルシウムイオン濃度が分かれば、飽和溶液として安定状態になる pH 値が決まる。この pH を pHs とし、実 pH との差  $I = \text{pH} - \text{pHs}$  をラングリアインデックスという。 $I > 0$  ならばスケール生成、 $I < 0$  ならばスケール溶解となる。pHs は次式で求める。

$$\text{pHs} = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad \dots \dots (2)$$

式 (2) における係数 A, B, C, D は、表 2-7～表 2-9 により決定する。

表 2-7. 係数 A

全固形物 (mg/L)	係数A
50 ～ 300	0.1
400 ～ 1000	0.2

表 2-8. 係数 B

水温 (℃)	係数B
0 ～ 2	2.6
2 ～ 6	2.5
6 ～ 9	2.4
9 ～ 14	2.3
14 ～ 17	2.2
17 ～ 22	2.1
22 ～ 27	2.0
27 ～ 32	1.9
32 ～ 37	1.8
37 ～ 44	1.7
44 ～ 51	1.6
51 ～ 56	1.5
56 ～ 64	1.4
64 ～ 72	1.3
72 ～ 82	1.2

表 2-9. 係数 C, D

カルシウム硬度 (mg/L $\text{CaCO}_3$ )	係数C	M. O. アルカリ度 (mg/L $\text{CaCO}_3$ )	係数D
10 ～ 11	0.6	10 ～ 11	1.0
12 ～ 13	0.7	12 ～ 13	1.1
14 ～ 17	0.8	14 ～ 17	1.2
18 ～ 22	0.9	18 ～ 22	1.3
23 ～ 27	1.0	23 ～ 27	1.4
28 ～ 34	1.1	28 ～ 35	1.5
35 ～ 43	1.2	36 ～ 44	1.6
44 ～ 55	1.3	45 ～ 55	1.7
56 ～ 69	1.4	56 ～ 69	1.8
70 ～ 87	1.5	70 ～ 88	1.9
88 ～ 110	1.6	89 ～ 110	2.0
111 ～ 138	1.7	111 ～ 139	2.1
139 ～ 174	1.8	140 ～ 176	2.2
175 ～ 229	1.9	177 ～ 220	2.3
230 ～ 279	2.0	230 ～ 270	2.4
280 ～ 349	2.1	280 ～ 350	2.5
350 ～ 439	2.2	360 ～ 440	2.6
440 ～ 559	2.3	450 ～ 550	2.7
560 ～ 699	2.4	560 ～ 690	2.8
700 ～ 879	2.5	700 ～ 880	2.9
880 ～ 1000	2.6	890 ～ 1000	3.0

## 2.11 考察

本研究では新規の PTFE 平膜を作製して、汚泥再生処理センターの実施設における膜分離高負荷脱窒素処理の生物膜分離装置（生物膜原水槽）と凝集膜分離装置（凝集膜原水槽）の膜分離プロセスに応用した。約 1 年間の連続稼働による実証データを取得し、PTFE 平膜を用いた場合と CPE 平膜を用いた場合を比較検討した。得られた知見をまとめると、次の通りである。

- (1) 膜分離高負荷脱窒素処理において、硝化・脱窒素反応を終えた MLSS の固液分離を行うため生物膜原水槽では、一定の透過流束を維持するためには、PTFE 平膜と比較して CPE 平膜の方が明らかに大きい膜間差圧を示した。これは、CPE 平膜の方が膜ファウリングを起りやすいことを示し、薬液洗浄サイクルが短いことになる。また、運転日数が増加するにつれて、両方の膜とも一定フラックスを示す膜間差圧が増加した。
- (2) 凝集沈殿処理でも、一定の透過流束を維持するためには、PTFE 平膜と比較して CPE 平膜の方が明らかに大きい膜間差圧を示した。しかしながら、運転日数が増加しても、両方の膜とも一定フラックスを示す膜間差圧はほとんど変化しなかった。
- (3) 本システムにおける PTFE 平膜と CPE 平膜とも、膜のフラックス（透過流束）はろ過方程式（Darcy 則）に従うことが分かった。
- (4) 3 回のインライン薬品洗浄によって PTFE 平膜と CPE 平膜とも、ほぼ初期状態に回復させることができた。

これまで PTFE 平膜を用いた連続稼働による実証データの取得は、ほとんど行われておらず、PTFE 平膜の有効性を示す有意義なデータが取得でき、耐ファウリング性が非常に高いことが分かった。また、本研究から良い知見が得られたことにより、客先の PTFE 平膜に対する評価が高くなり、平成 24 年 3 月、PTFE 平膜 1,965 枚を本実施設に納入することができた（図 2-25・図 2-26）。現在、既設の CPE 平膜から PTFE 平膜へ順次、交換がされている。今後、本実施設だけでなく、他の汚泥再生処理センターや他分野の廃水処理施設においても、PTFE 平膜の利用がさらに広がっていくと思われる。





図 2-25. 出荷した PTFE 平膜 (1,965 枚)



図 2-26. PTFE 平膜の梱包状態 (1 箱 5 枚入)

## 2.12 参考文献

- (1) 中沢均：膜分離活性汚泥法の実際と可能性, 資源環境対策, 47 (7), P. 14~19 (2011).
- (2) 橋本敏一：日本の下水道事業における膜分離活性汚泥法の導入状況, 資源環境対策, 47 (7), P. 20~26 (2011).
- (3) 尾花山友哉：MBR 関連開発の概要と成果, 資源環境対策, 47 (7), P. 33~40 (2011).
- (4) Y. El Rayess, C. Albasi, P. Bacchin, P. Taillandier, J. Raynal, M. Mietton-Peuchot, A. Devatine, Cross-flow microfiltration applied to oenology : A review, Journal of Membrane Science, 382 (1-2), P. 1~19 (2011).
- (5) 伊東章：膜分離の本, P. 1~156, 日刊工業新聞社, 東京 (2010).
- (6) 造水推進センター：平成 21 年度 PTFE 膜 MBR による下水の再生処理技術の開発, P. 1~98 (2009).
- (7) A. Zarragoitia-Gonzalez, S. Schetrite, M. Alliet, U. Jáuregui-Haza, C. Albasi : Modeling of submerged membrane bioreactor, Conceptual study about link between activated sludge biokinetics, aeration and fouling process, Journal of Membrane Science, 325 (2), P. 612~624 (2008).
- (8) A. N. L. Ng, A. S. Kim : A mini-review of modeling studies on membrane bioreactor (MBR) treatment for municipal wastewaters, Desalination, 212 (1-3), P. 261~281 (2007).
- (9) 日本工業標準調査会：精密ろ過膜エレメント及びモジュールのバブルポイント試験方法 JIS K 3832-1990 (2006 確認), 日本規格協会, 解説, P. 1~4 (1990).

(10) Tom Stephenson, Simon Judd, Bruce Jefferson, Keith Brindle : 膜利用生物反応槽による排水処理, 財団法人日本環境整備教育センター, P. 143~146 (2003).

(11) 岡本剛、後藤克己、諸住高 : 工業用水と廃水処理, 日刊工業新聞社, P. 17~24 (1972).



## 第3章

### ろ過膜を用いた水質浄化モデル実験 (2)

#### 実液水槽モデル実験

(志摩環境事業協業組合実験施設での検討)

### 3.1 要約

本研究では、内部に平膜5枚が設置できるステンレス（SUS304）製小型水槽を設計・作製し、実液によるモデル実験を行った。水槽自体が散気機能を持ったクロスフロー過方式のMBRであり、活性汚泥による生物反応処理と固液分離が可能な装置である（有効膜面積 $4.0\text{ m}^2$ 、フラックス $0.5\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$ 、処理能力 $2.0\text{ m}^3/\text{day}$ ）。また、軽量小型でブロー・ポンプなどの周辺付帯設備も含め、トラック10t車で移動もできる。したがって、客先でのデモンストレーション、膜分離活性汚泥法による水処理、凝集剤を使用すれば膜分離凝集沈殿処理がその場で可能である。すなわち、移動式の小型膜分離型廃水浄化装置といえる。この実液水槽を活用し、PTFE平膜の優位性の再確認とアンモニア性窒素による膜ファウリング現象の検証、超音波によるPTFE平膜洗浄の可能性の検証、モデル実験を行った。その結果、PTFE平膜の優位性の再確認と、今まで不明瞭であったアンモニア性窒素による膜ファウリング現象の検証ができ、かつ、超音波によるPTFE平膜の洗浄が可能であることが分かった。

### 3.2 実験場所

三重県志摩市にある志摩環境事業協業組合（志摩市の一般廃棄物収集運搬許可業者）に実液水槽を設置して実験を行った（図3-1）。本実験施設は、各家庭から収集した一般廃棄物貯留槽（し尿と浄化槽汚泥など）の上部に設置しており、実験に使用する活性汚泥などの廃液は、この貯留槽に投入することによって処分できた（図3-2）。また、脱臭設備を備えており、臭気の面で近隣に迷惑をかけないように配慮した（図3-3）。実際の汚水を使用する本研究など行う場合は、実験設備だけではなく、廃液処理設備と脱臭処理設備が必要不可欠であった。実験に使用する汚水（し尿などの有機物質）は、この貯留槽から採取した。貯留槽内の一般廃棄物は、鳥羽市・志摩市・南伊勢町が管理する鳥羽志勢広域連合の汚泥再生処理センター（鳥羽志勢クリーンセンター）に搬入、処理される（図3-4）。したがって、当該センターの生物反応処理などのプロセスに支障が出ないように、本研究は事前に同連合に報告し、実験の内容と目的を明らかにした。また、当該センターの活性汚泥使用についても同連合の汚泥利用許可通知を得た（図3-5）。本研究に対する同連合の多大なる理解と協力に感謝を述べる。なお、本実験は、悪臭防止法や浄化槽法など関連法規を遵守し、実験場所における一連の作業においては、労働安全衛規則が定める有資格者立会のもと実施した。



図 3-1. 実験場所（志摩環境事業協業組合）



図 3-2. 実験施設（一般廃棄物貯留槽の上部）





図 3-3. 脱臭設備（スプレー水捕集 + オゾン脱臭）



図 3-4. 汚泥再生処理センター（鳥羽志勢クリーンセンター）


鳥羽志勢クリーンセンター汚泥等利用許可通知書				
平成 23 年 12 月 27 日				
日本エレメント株式会社 代表取締役 宝門 豊 様				
鳥羽志勢広域連合長 大口 秀和 				
鳥羽志勢クリーンセンターで発生する汚泥等の利用を下記の内容で許可します。				
利 用 対 象 物	活性汚泥（生物処理膜分離水槽内のもの）			
利 用 目 的	浸清型膜分離装置及び膜エレメントの実証試験データの採取及び改良・技術開発のための研究実験			
許 可 で き な い 理 由				
利 用 期 間	平成 24 年 1 月 10 日 から 平成 24 年 3 月 31 日 まで			
利 用 量	20 t（内訳 2t×10回程度）			
利 用 業 者 及 び 担 当 者 名	所 在 地	志摩市阿児町鶴方9-44		
	名 称	日本エレメント株式会社		
	担 当 者	宝門 豊	電 話 番 号	0599 - 44 - 0100
添 付 書 類	研究実施要領書 1部			
備 考				

図 3-5. 鳥羽志勢クリーンセンター汚泥等利用許可通知書

### 3.3 実験項目

実験項目と概要を表 3-1 に示す。志摩環境事業協業組合内にある実験施設で汚泥再生処理センターの活性汚泥を用い、PTFE 平膜と CPE 平膜の性能比較を行った。活性汚泥は、膜分離高負荷脱窒素処理の生物膜原水槽から採取した。また、民間の水産加工事業所についても同様に実験を行った。この 2 つの実験項目は、PTFE 平膜の利用をさらに広げるために、優位性の再現性を確認する実験である。次に、活性汚泥の菌体調査を行い、汚泥再生処理センターと水産加工事業所の活性汚泥の生物相に、どれほどの違いがあるのか顕微鏡観察を中心に調査した。次に、本水産加工事業所でアンモニア性窒素による膜ファウリング現象が発生したため、今まで不明瞭であったメカニズムについて、人為的に再現できるか実験と検証を行った。最後の項目は、超音波洗浄機による PTFE 平膜の洗浄実験である。超音波洗浄の効果については、眼鏡洗浄機などで一般的にも広く知られているが、廃水処理の分野においては、平膜に適用された事例はほとんどない。なお、超音波膜洗浄実験は、CPE 平膜では超音波を照射した瞬間に膜素材の崩壊が起こるため、PTFE 平膜のみを対象とした。PTFE 平膜は、その膜素材の物理的強度の高さから、超音波を利用した膜洗浄システムを構築できる可能性がある。

表 3-1. 実験項目と概要

実験項目	概要
汚泥再生処理センター (鳥羽志勢クリーンセンター)	汚泥再生処理センター（生物膜原水槽）の活性汚泥用いた PTFE 平膜と CPE 平膜の性能比較
水産加工事業所	水産加工事業所（膜分離槽）の活性汚泥を用いた PTFE 平膜と CPE 平膜の性能比較
活性汚泥の生物相調査	汚泥再生処理センターと水産加工事業所における活性汚泥（生物相）の顕微鏡観察
アンモニア性窒素による 膜ファウリング現象	水産加工事業所で発生したアンモニア性窒素による膜ファウリング現象の再現テスト
超音波膜洗浄	超音波洗浄機を用いた PTFE 平膜洗浄効果の検証



### 3.4 実液水槽の作製

実液水槽の構造図を図 3-6 に示す。実液水槽本体は、汚水や活性汚泥による腐食を考慮し、5 mm 厚のステンレス (SUS304) 鋼板で作製し、全溶接、耐水圧 10 m とした。槽内部には、幅 490 mm×高さ 1,000mm または幅 490 mm×高さ 1,200mm の平膜を設置できるスリット構造体を作製した (図 3-7)。スリット構造体の下部には、硬質塩化ビニル管 (外径 26 mm, 厚さ 3 mm, 内径 20 mm) に直径 6 mm の孔をあけた散気装置を設置し、平膜の下部からばっ気によって生じる活性汚泥の流れを発生させることができる。混合液が膜面のろ過方向に対して直角に流れるクロスフローろ過方式であり、同時に活性汚泥への酸素供給を行う (図 3-8)。クロスフローが発生すると平膜が浮上して振動を生じるため、スリット構造体上部に EPDM 製の防振ゴムと SUS304 製の浮上防止板を組み合わせた部品を取り付けた。

散気装置の点検や改良を行うため、水槽本体外側に点検口を設けた。透過水用集合管は硬質塩化ビニル製で、槽内部に設置し、集合管と平膜がエーテル系の PUR 製チューブで接続できるようにした。このチューブによる接続は、平膜の振動が集合管に伝達しないためのものであり、チューブ接続部にバンド類は不要だが、抜け防止のため図面上 R160 で設計した。使用したチューブの最小曲げ半径は 35 mm である。吸引ポンプとブロワーは槽外に設置した。平膜に何らかの異常が発生した場合を考え、吸引配管 (膜透過側) の一部を透明管にし (図 3-9)、透過水の SS 混入が目視で検出できるようにした。また、水槽内部の様子を目視確認するため、透明アクリル製の点検窓を槽本体の左右側面の上下、計 4 箇所 に設けた。このことにより、この部分には超音波洗浄機が設置できるようになった。

次に計装関係である。膜間差圧を測定する圧力計は重要であり、デジタル式とアナログ式の両方を設置した。デジタル式はデータロガー (デジタル式の記録計) のために、アナログ式は膜間差圧が細かく変動したときに見やすい、と考えた。さらに、校正の必要がなく測定誤差が生じにくいマノメーターを設置した (図 3-10)。マノメーターの信頼性が一番高いと判断し、本研究の実験データは全て、その読み値を記載した。デジタル式圧力計は、インターネット等を利用した遠隔監視システム開発のために、技術蓄積が必要と考えている。ビジネスモデルも含めて、今後の研究課題とした。透過水量については電磁流量計を設置したが、メスシリンダーによる測定の方が、信頼性が高いと判断し、前述同様にその読み値を記載した。空気流量計はオリフィス<sup>1)</sup>を採用した (図 3-11)。散気条件の空気量は 50 L/min で平膜 1 枚当たり 10 L/min となる。また、ブロワー、吸引ポンプ、デジタル式圧力計、アナログ式圧力計、電磁流量計の機器仕様を、表 3-2～表 3-6 に記載した。

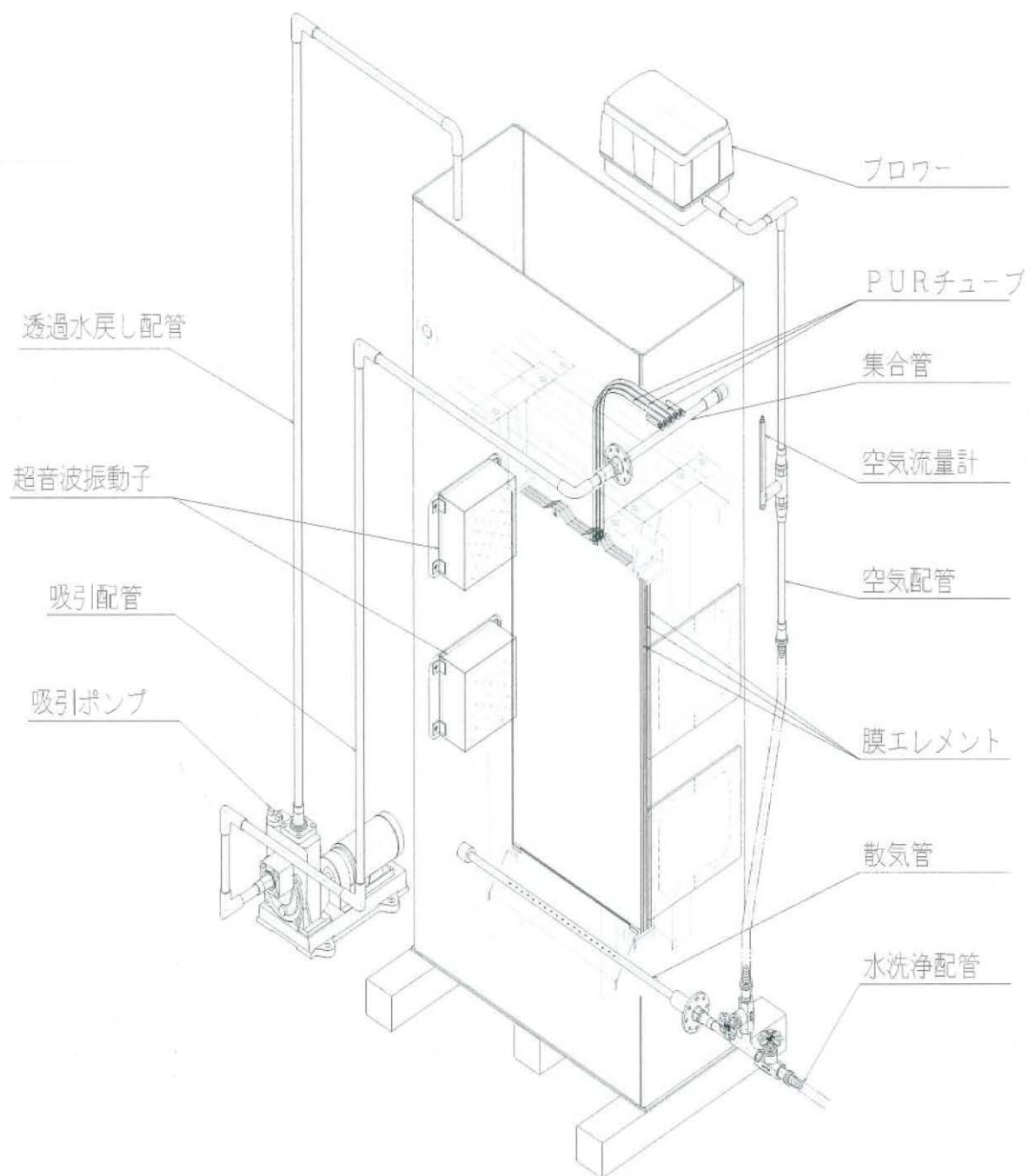


図 3-6. 実液水槽の構造図

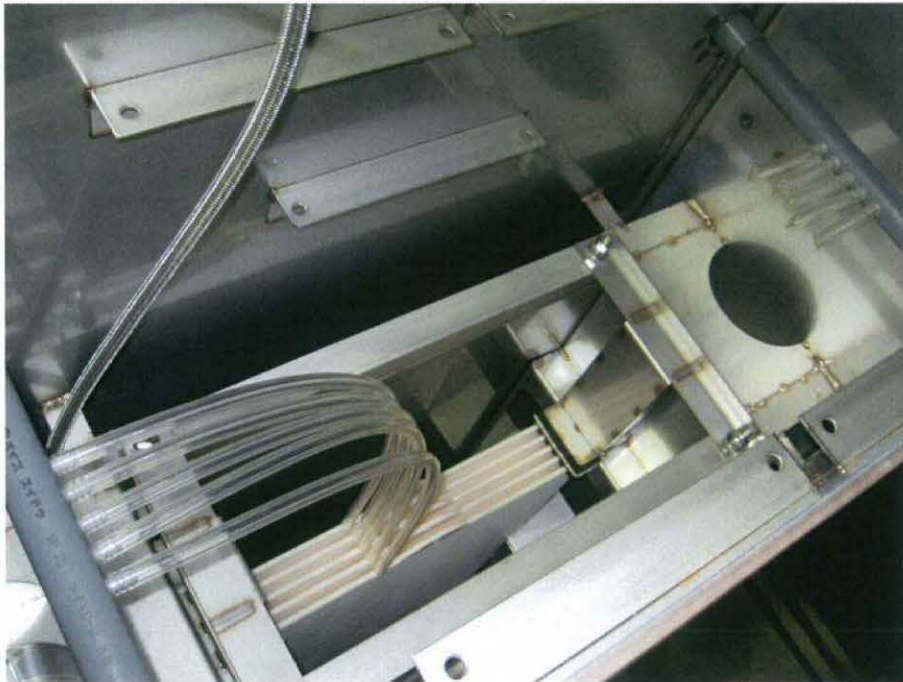


図 3-7. 平膜 5 枚が設置できるスリット構造体



図 3-8. 活性汚泥への酸素供給





図 3-9. 透過水の透明配管



図 3-10. マノメーター（透明チューブと巻尺で作製）

膜分離活性汚泥法における空気流量の調整は、好気性微生物の呼吸や BOD 除去に影響するだけでなく、膜ファウリングに直接大きな影響を及ぼすため、廃水処理施設では重要な維持管理項目である。現場では、日本フローセル社のオリフィス流量計がよく使われている。図 3-11 は同社の取扱説明書から抜粋した測定原理図である。同社によると、「オリフィスプレート前後には、流速に応じた差圧が発生し、これによって生じるバイパス流量を測定すれば、全流量を知ることができる。」と記載されている。この図は、ベースソケットに内设されたオリフィスプレートにより差圧を発生させ、その差圧により発生する流れを流入チャンバーよりセルブロックに導き、セルブロック内でストレーナを通過してテーパ管に流入してフロートを動かすことを示している。このフロートの位置に対して本管内の全流量目盛がテーパ管の外面に彫刻されている。したがって、テーパ管内やストレーナの清掃を怠ると、フロートがテーパ管内で空気中のゴミなどにより固着し、誤った流量が表示されることがある。この点には特に注意が必要である。一般的には、MBR の空気流量の調整は、 $\text{Nm}^3/\text{min}$  (N=Normal) で管理されることが多い。

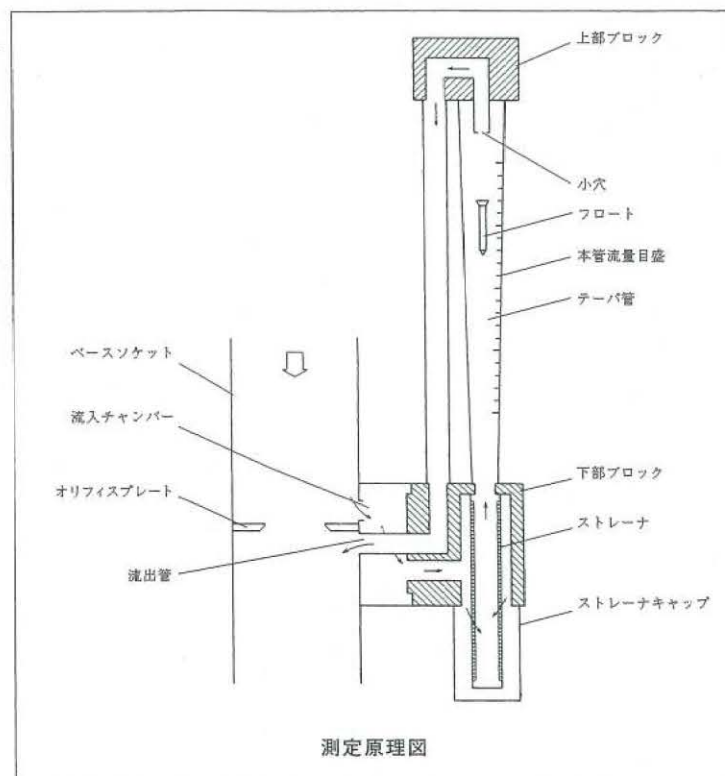


図 3-11. オリフィス流量計 (空気流量計)

【元資料】「フローセル流量計 取扱説明書 (P. 1)」日本フローセル株式会社<sup>1)</sup>

表 3-2. プロワー（装置）の仕様

製造元	安永エアーポンプ株式会社	
型式	-	LW-150
電圧	V	単相 AC100
周波数	Hz	60
定格圧力	MPa	0.020
使用圧力範囲	MPa	0.010～0.025
入力	W	170
定格風量	L/min	150
吐出口径	mm	φ26 (VP20)
質量	kg	14.1
騒音レベル	dB-1m	43

表 3-3. 吸引ポンプ（装置）の仕様

製造元	株式会社川本製作所	
型式（全閉外扇屋内形）	-	FS4-256-M0.2S
モータ	kW	0.21
電源	V	単相 100
60Hz 同期回転速度	min <sup>-1</sup>	1,800
全揚程 5.5 m 吐出量	m <sup>3</sup> /min	0.045
全揚程 4.5 m 吐出量		0.063
全揚程 2.5 m 吐出量		0.090
口径	mm	25
揚液（液質/液温）	-	清水/農業用水
	℃	0～40
材質（インペラ/ケーシング）	-	FC
材質（主軸）	-	SUS403
相フランジ形状（吸込側）	-	専用弁座付角フランジ



表 3-4. デジタル式圧力計の仕様

製造元	株式会社キーエンス	
型式	-	GP-M001
定格圧力範囲	kPa	-100～+100
表示可能範囲	kPa	-120～+120
ゼロカット圧力値	% of F. S.	±0.5
耐圧力	kPa	400
破壊圧力	MPa	1.5
表示分解能	kPa	0.1
適応流体	-	気体/液体
圧力の種類	-	ゲージ圧
精度	% of F. S.	±1.0 以下
繰り返し精度	% of F. S.	±0.3 以下
温度特性	% of F. S.	±0.6 /10℃
接続口径	-	G3/4
筐体回転角度	度	最大 330
使用流体温度	℃	-20～+100
電源電圧	V	DC20～30
消費電流	mA	50 以下
表示方式	-	4桁 デジタル LED 赤色
動作表示灯	-	出力1・出力2 (橙)
応差 (ヒステリシス)	-	モード時：可変 (ウィンドウモード時：固定)
応答性 (制御出力)	ms	3～5,000 選択
出力 (制御出力)	mA	250
耐環境性 (使用周囲温度)	℃	-20～60
材質	-	SUS304, SUS303, PAR, PBT, PTFE, SUSXM7, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FKM
対応ケーブル	-	M12 コネクタ 4ピン
質量	g	150

表 3-5. アナログ式圧力計の仕様

製造元	株式会社第一計器製作所	
型式	-	PK-1 (ねじ式隔膜)
大きさ	φ	75
ダイヤフラム径	φ	76
ダイヤフラム材質	-	SUS316L+ゴムライニング
圧力スパン (連成)	MPa	-0.1~+0.1
上フランジ	-	S25C (Cr メッキ)
下フランジ	-	SUS304
ガスケット	-	フッ素樹脂
封入液	-	シリコン
精度	% of F. S.	±1.6

表 3-6. 電磁流量計の仕様

製造元	日本フローセル株式会社	
型式	-	FLM30-15PCW
呼び径・接続	-	8 MM・R1/2
流量範囲 (水)	L/min	1.1~15.0
使用温度範囲	℃	-10~+80
最高使用圧力	MPa	0.98
精度	% of F. S.	±3.0
再現性	%	±0.5
圧力損失	kPa	0.12~34.3
本体材質	-	PPS 樹脂
出力信号	-	オープンコレクタ補正パルス (30 VDC/20 mA)
ケーブル	-	5 芯シールドケーブル
伝送距離	km	1
電源	-	リチウム電池ユニット (寿命 4 年間)

### 3.5 超音波洗浄機

超音波洗浄機は、本多電子社製を採用した<sup>2)</sup>。仕様を表 3-7・表 3-8 に示す。超音波発振器は WS シリーズ WS-600-28T 型、振動子ユニットは特製ボルト締めランジュバン型振動子 (P. 28) を採用した N タイプ WS-600-28N 型とした (図 3-12)。図 3-12 は同社のカタログから抜粋したものである。数量は各 2 台、振動子ユニットを実液水槽の左右側面に 1 台ずつ設置した。図 3-12 左の超音波発信器は WS-1200-40T 型のものである。本実験で使用したのは WS-600-28T 型 300W 仕様 (特注) だったが、外観はほぼ同じであった。図 3-12 右の超音波振動子も実液水槽に合わせるため、特注となり標準外形寸法とは異なった。

同社は日本で魚群探知機のメーカーとしてよく知られているが、それだけではなく、超音波洗浄機や超音波カッターなども取り扱っている。したがって、本研究の超音波膜洗浄についての詳細説明を行い、多種多様な超音波洗浄機の中からできる限り安価なシステムになるよう、超音波の出力と周波数の選定 (表 3-9) なども含めた機器選定を同社に依頼した。超音波発振器は、高コストではあるが幅広いパワー可変 (出力 0~100%) ができるパワーコントロール付のタイプを採用した。このパワーコントロール機能は、本実験のために必要と考えたが、膜洗浄におけるパワー (膜素材に損傷を与えない出力) が確認できれば、実際の販売製品としてはパワーコントロール無しのタイプでコスト削減が可能である。また、超音波振動子も本実液水槽用に特注仕様 (図 3-13) で作製したため、高コストになったが、今後は標準仕様を採用すればコスト削減が可能である。本実験の超音波膜洗浄は、MBR の薬品洗浄に代わる環境負荷の少ない膜洗浄システムとして期待している。したがって、今後の研究課題はコスト削減である。



図 3-12. 超音波発振器と超音波振動子

【元資料】「産業機器カタログ 洗浄総合カタログ (P. 4)」本多電子株式会社<sup>2)</sup>



表 3-7. 超音波発振器（装置）の仕様

発信器型番	WS-600-28T 型 300W 仕様（特注）	
発振モード	-	短周波発振
最大出力	W	300
公称発振周波数	kHz	28
出力制御方式	-	定電力制御
出力可変	%	0～100
電源入力	-	AC200V 単相 60Hz 1, 200VA
I/O インターフェイス	リモート機能	発振モード選択：ON/OFF（接点入力）
	出力機能	異常時の警報出力（リレー接点出力）
出力表示	-	12 点 LED レベルインジケータ（出力対応）
使用周囲環境	℃	0～40
外形寸法（W×D×H）	mm	330×462×148
質量	kg	11
電源コード長	m	3.5

表 3-8. 超音波振動子（装置）の仕様

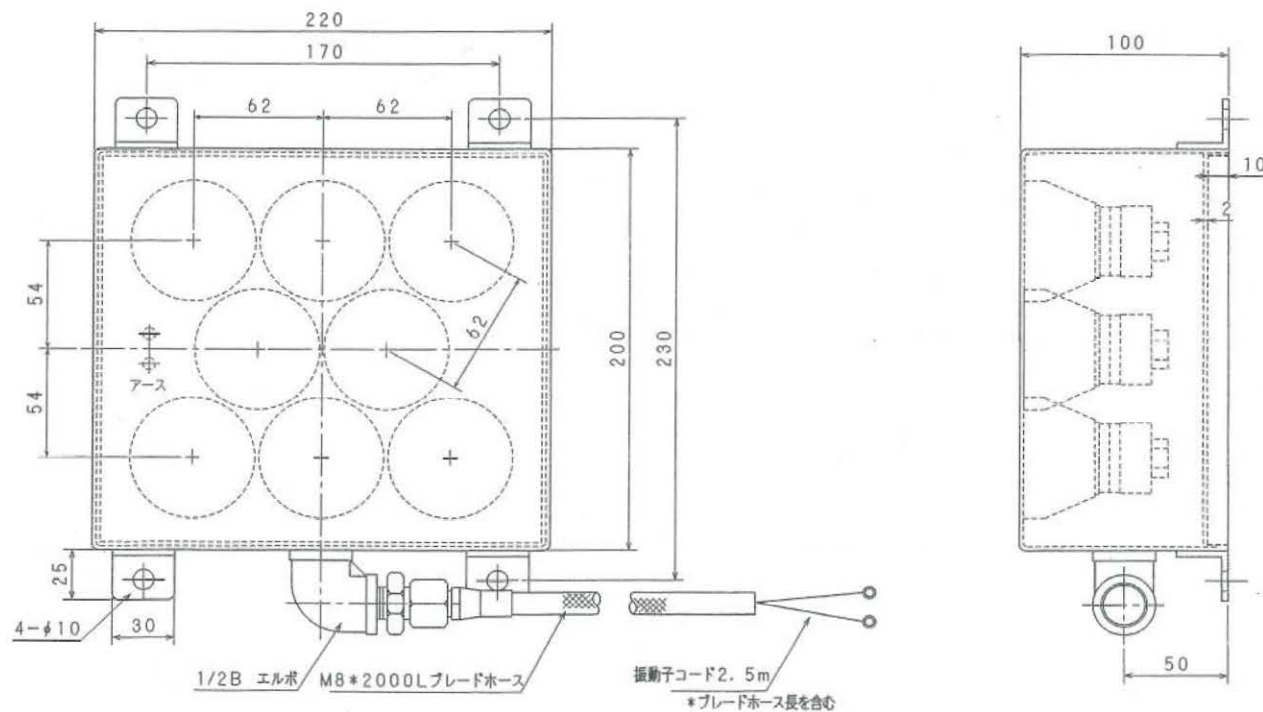
振動子型番	WS-600-28N 型 300W 仕様（特注）	
対応発振器	-	WS-600-28T 型 300W 仕様（特注）
最大許容入力	W	300
公称発振周波数	kHz	28
振動子	-	ボルト締めランジュバン型振動子
最高使用液温	℃	80
材質	-	SUS304
外形寸法（W×D×H）	mm	220×200×100（特注）
質量	kg	14
振動子コード長	m	2.5（ブレード部 2.0）＋出力コード 3.5

表3-9. 超音波洗浄における周波数別使用例

周波数	対象の汚れ	用途例	ダメージ	特徴
28 kHz	油系・目に見える大きな汚れ	金属部品・樹脂の脱脂洗浄	大	洗浄エネルギーが強いため、脱脂などの頑固な汚れに使用。洗浄液の効力を助ける役目を果たす。
40 kHz	ゴミの大きさ 10 $\mu\text{m}$ 以上・埃	液晶ガラスの受入洗浄・精密金属部品洗浄		28 kHzよりダメージが少なく、精密部品の洗浄に使用されることが多い。
100 kHz	5~10 $\mu\text{m}$ 以上	ハードディスク洗浄・CSP基板・精密金属部品・光ディスク・HDのヘッド		40 kHzでダメージが出る場合に使用される。洗浄エネルギーも比較的強く、ダメージも少ない。
200 kHz	1~10 $\mu\text{m}$	化合物ウェハ・ハードディスク		ウェハなどに使用される。ダメージが少なく、微細な汚れを除去できる。
400 kHz	0.2~5 $\mu\text{m}$	シリコンウェハ・ガラスウェハ・ガラス基板		パーティクルの除去サイズが幅広く、様々な精密部品の洗浄に使用されている。
1 MHz	0.2~1 $\mu\text{m}$	ガラス基板の最終洗浄・回路付きシリコンウェハ・ガラスマスク	↓	目に見えないようなパーティクルの除去に使用。ワークへのダメージも少ない。
3 MHz	0.2 $\mu\text{m}$ 以下	回路付きシリコンウェハ、ガラスマスク	小	1 MHzより微細なパーティクル除去 <sup>1</sup> に使用。粒子加速度としては、1 MHzより強い <sup>2</sup> 。

<sup>1</sup> 除去可能なパーティクルサイズ ( $\mu\text{m}$ ) =  $3 \mu\text{m} \times 28 \times 10^3 \text{ (Hz)} \div f \text{ (Hz)}$  以上

<sup>2</sup> 1 MHzの粒子加速度 =  $10^5 \text{ G}$  (重力加速度の10万倍)



N-165

ID:60282-8-2N

材料指定: メーカー (日本金属工業㈱)  
SUS-304-----NTK304 (#400)

指定の無い仕上げ部分の寸法許容差		(注意)		記事		数量	2
区分	寸法差	出力コードには高電圧がかかります。強度が弱いので外力的に力が加からない様に保護すること。		WS-600-28 300W仕様		厚	t=2
1 2 級	1 4 級	変	更	承認	審査	作成	材質
0.5~3	±0.05 ±0.1	日	付	11.7.12	11.7.12	M.	SUS304
3~6	±0.05 ±0.1	変	更	11.7.12	11.7.12	Kujima	処理
6~30	±0.1 ±0.2	日	付	11.7.12	11.7.12	Kujima	#400研磨材
30~120	±0.15 ±0.3	変	更	11.7.12	11.7.12	Kujima	ハードクロムメッキ
120~315	±0.2 ±0.5	日	付	11.7.12	11.7.12	Kujima	300W特注投入振動子
315~	±0.3 ±0.6	変	更	11.7.12	11.7.12	Kujima	EEM1171220
1/2	1/2	本多電子株式会社	製図23年07月12日	図番			

図3-13. 超音波振動子 (特注)



### 3.6 汚泥再生処理センター（鳥羽志勢クリーンセンター）<sup>3)</sup>における事例

処理プロセスの概略を図 3-15 に示す。本処理センターは、膜分離高負荷脱窒素処理方式を採用しており、平膜の設置枚数は生物膜 1,500 枚、凝集膜 750 枚の合計 2,250 枚である。その処理プロセスは某汚泥再生処理センターと基本的には同様（P. 16～21）であるが、大きな相違点は超高度処理設備（P. 22）が追加されている点である。鳥羽志勢広域連合は、英虞湾などの閉鎖性海域の水質保全策として、日本有数の超高度処理設備である脱塩処理設備を採用した。本処理センターは建築面積 2,904.59 m<sup>2</sup>、延床面積 6,533.78 m<sup>2</sup> の比較的大型の処理施設である。処理能力は、し尿 74 kL/day と浄化槽汚泥 81 kL/day の合計 155 kL/day である。昨年度の実処理量の平均値は、し尿 62 kL/day と浄化槽汚泥 93 kL/day の合計 155 kL/day であり、し尿：浄化槽汚泥＝40%：60%に相当した。放流水質は、pH 5.8～8.6、BOD 5 mg/L 以下、COD 3 mg/L 以下、SS 3 mg/L 以下、アンモニア性窒素 1 mg/L 以下、T-N 10 mg/L 以下、T-P 1 mg/L 以下、色度 30 度以下で推移している。この BOD 5 mg/L 以下、COD 3 mg/L 以下、SS 3 mg/L 以下、アンモニア性窒素 1 mg/L 以下については、英虞湾放流水質基準 5・3・3・1 などと便宜上、略称されることが多い。特に COD 3 mg/L 以下など、英虞湾は内海（閉鎖性海域）であるため、国内では比較的厳しい基準に定められている。例えば、某汚泥再生処理センターの場合は、外海の放流基準が適用され、COD 10 mg/L 以下である。英虞湾における民間浄化槽の場合は、その能力に限界があり、COD 3 mg/L 以下を除いた 5・3・1（BOD 5 mg/L 以下、SS 3 mg/L 以下、アンモニア性窒素 1 mg/L 以下）が、浄化槽新規設置の放流水質基準に定められている。

本実液水槽による実験では、本処理センターの生物膜原水槽（図 3-16）の活性汚泥を使用し、PTFE 平膜と CPE 平膜の性能比較となる初期実液透過水量試験を行った。なお、この実験では、新規の PTFE 平膜（図 3-14）と CPE 平膜を各 5 枚ずつ使用した。この MLSS 濃度 24,000 mg/L における実験結果を図 3-18 に示す。本処理センター（生物膜原水槽）の活性汚泥は、MLSS 濃度 17,000～26,000 mg/L、粘度 111～250 mPa・sec、pH 7.3～7.5 であり、某汚泥再生処理センターの MLSS 濃度（8,000～16,000 mg/L）と比較すると 1.6～2.1 倍ほど高かった（図 3-17）。一般的には MLSS 濃度が上昇すれば粘度も比例して上昇するが、本処理センターの活性汚泥はろ過性が良かった。PTFE 平膜は CPE 平膜よりも非常に小さい膜間差圧を示した。実液水槽による実験時の膜透過水質（処理水質）は BOD 0.6～2.1 mg/L、SS 0.0 mg/L、大腸菌は検出されなかった。

ここで、2 種類以上の平膜の性能（初期実液透過水量）を比較する場合、活性汚泥の性状、使用する実験装置、有効膜面積や空気量などの実験条件が同じであれば、次式により、シンプルかつほぼ正確に、その性能を比較することができる。また、実際の現場使用における平膜の透過流束（初期実液透過水量）と吸引圧力の関係は、この一次式で良好な相関係数が得られることが分かっている。

$$J = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_h} = k \Delta P \quad \dots \dots (1)$$

J は透過流束 ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ )、P は吸引圧力 (Pa)、 $\mu$  (Pa $\cdot$ sec) は溶媒の粘性、 $R_h$  ( $\text{m}^{-1}$ ) は透水抵抗、k は平膜のろ過性能を表す傾きである。式 (1) より、PTFE 平膜の k は 0.5173、CPE 平膜の k は 0.1503 であり、本実液水槽モデル実験（初期実液透過水量試験）においては、PTFE 平膜の方が CPE 平膜よりも約 3.44 倍傾きが大きかった。本実験でも、PTFE 平膜は CPE 平膜よりも明らかに小さい膜間差圧を示し、その性能は約 3.44 倍優れているといえる。これは PTFE 平膜の方が CPE 平膜よりも膜ファウリングを起こしにくいことを意味しているため、薬液洗浄サイクル期間が長くなることになる。したがって、某汚泥再生処理センターだけでなく、他の汚泥再生処理センターにおいても、PTFE 平膜のもつ優位性は再現性が十分にあることが分かった。



図 3-14. 実験で使した PTFE 平膜

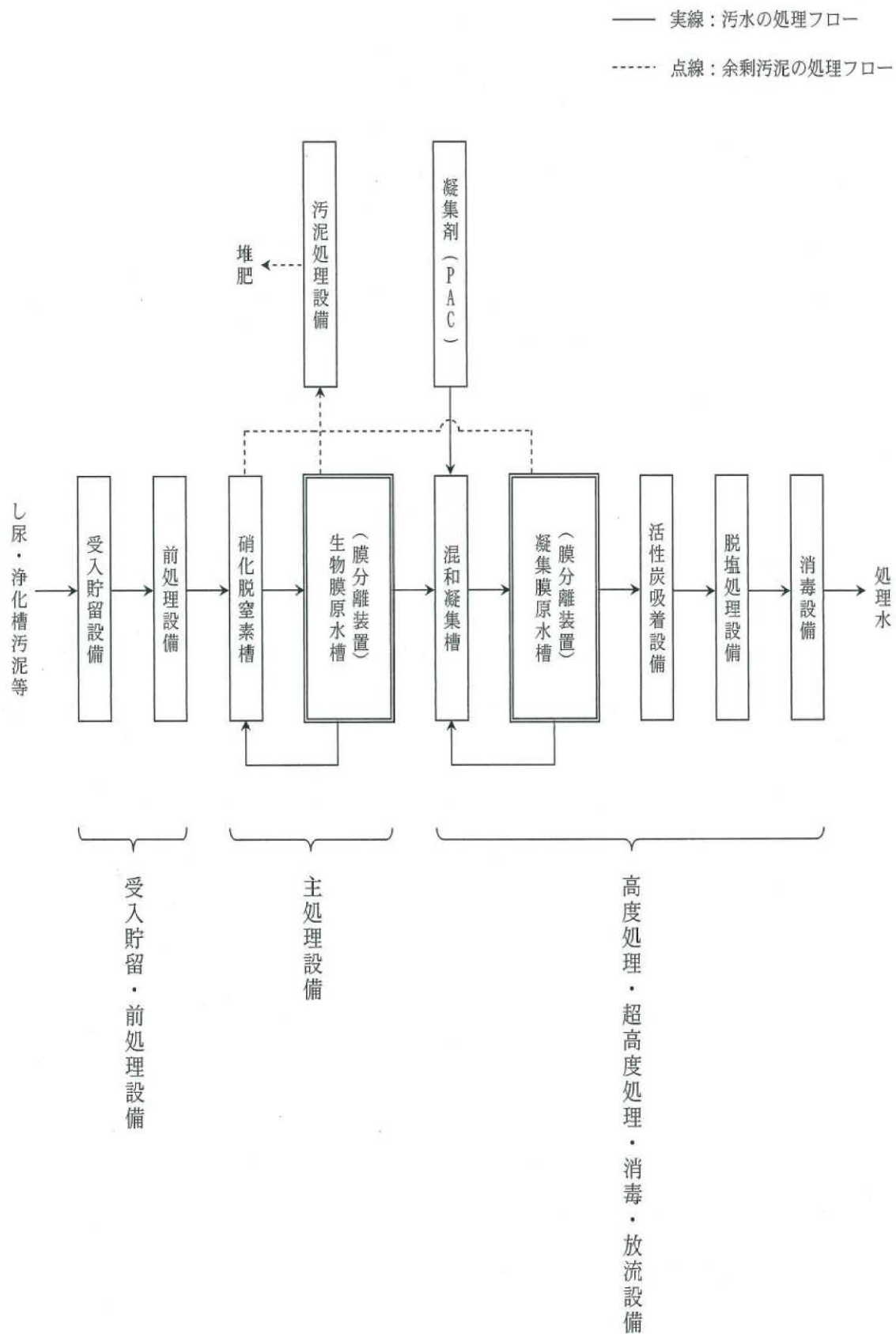


図 3-15. 処理プロセスの概略





図 3-16. 生物膜原水槽（鳥羽志勢クリーンセンター）



図 3-17. 活性汚泥（鳥羽志勢クリーンセンター）

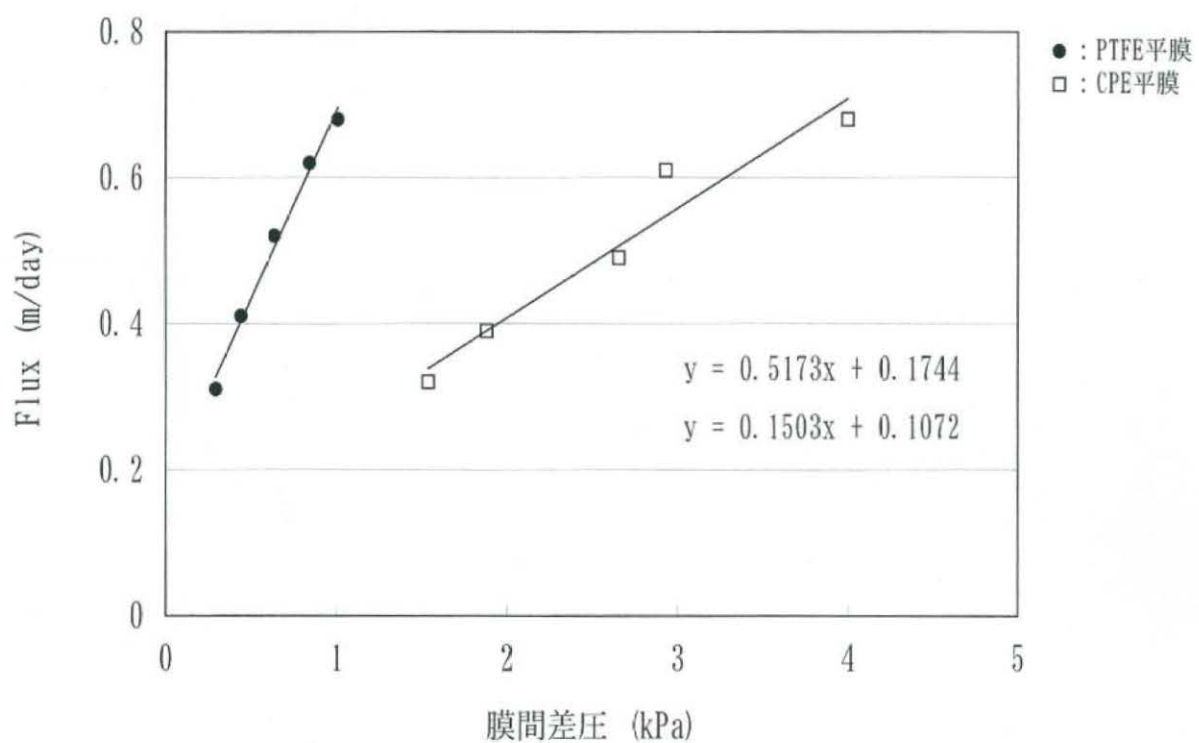


図 3-18. 汚泥再生処理センターの活性汚泥を用いた実験結果

### 3.7 水産加工事業所における事例

処理プロセスの概略を図 3-19・図 3-20 に示す。本事業所は民間の産業廃水処理施設であり、従来の処理方式は、活性汚泥処理方式+接触ろ過処理方式であった（図 3-19）。本処理施設の本来の設計処理能力は、処理量（流入汚水量）11 m<sup>3</sup>/day、流入水質 BOD 600～4,000 mg/L、放流水質 BOD 20 mg/L であったが、現在の処理方式は、従来方式に膜分離活性汚泥処理方式を追加、機能強化したものとなっている（図 3-20）。機能強化の詳細については第 5 章で述べる。新しい設計処理能力は、処理量だけで比較すると、膜分離活性汚泥処理方式（Flux 0.3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・day、有効膜面積 50 m<sup>2</sup>、処理量 15 m<sup>3</sup>/day）が追加されたことにより、約 2.36 倍の 26 m<sup>3</sup>/day となった。鳥羽志勢クリーンセンターと処理量だけを比較すると、本事業所は 1/6 程度の施設規模となり、放流水質は pH 7.2、BOD 16 mg/L、COD 44 mg/L である。本実験に使用した活性汚泥は、機能強化後の膜分離槽から採取したもので、MLSS 濃度 5,200～9,600 mg/L、粘度 66～140 mPa・sec であった（図 3-21）。汚泥再生処理センターの MLSS 濃度と比較すると 1/3 程度である（図 3-22）。この活性汚泥を使用し、PTFE 平膜と CPE 平膜の性能比較となる初期実液透過水量試験を行った。その結果を図 3-23 に示す。今までと同様に、各平膜の性能は次式で求めた。

$$J = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_h} = k \Delta P \quad \dots \dots (1)$$

式(1)より、PTFE 平膜の  $k$  は 0.0553、CPE 平膜の  $k$  は 0.0332、本実液水槽モデル実験（初期実液透過水量試験）においては、PTFE 平膜の方が CPE 平膜よりも 1.67 倍傾きが大きかった。本実験でも PTFE 平膜は CPE 平膜よりも小さい膜間差圧を示し、その性能は 1.67 倍優れている結果が得られた。これは PTFE 平膜の方が CPE 平膜よりも膜ファウリングを起こしにくいことを意味しているため、薬液洗浄サイクルが長くなることになる。したがって、汚泥再生処理センターだけではなく、他の分野の廃水処理施設においても、PTFE 平膜のもつ優位性は再現性があることが分かった。しかしながら、前回の実験と比較すると MLSS 濃度が 1/3 程度に低下しているにも関わらず、PTFE 平膜の  $k$  は 0.5173 → 0.0553（約 89 % 低下）、CPE 平膜の  $k$  は 0.1503 → 0.0332（約 88 % 低下）となった。これも式(1)を用いて、本事業所の活性汚泥を汚泥再生処理センターと比較した場合、ろ過性の悪さが明らかになった。この活性汚泥のろ過性の違いを確かめるため、生物相の顕微鏡観察を行った（P. 102～112）。



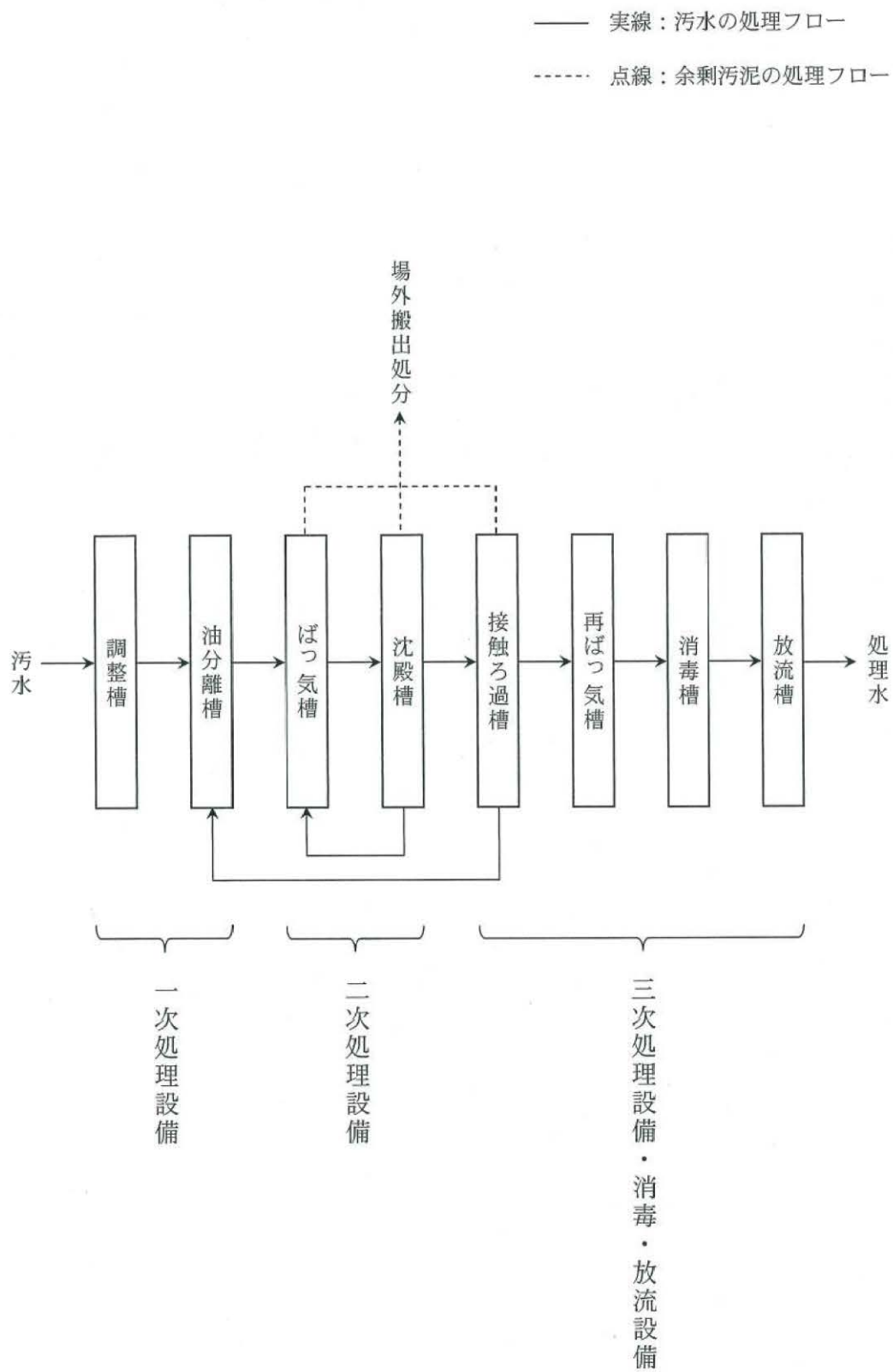


図 3-19. 処理プロセスの概略（機能強化前）

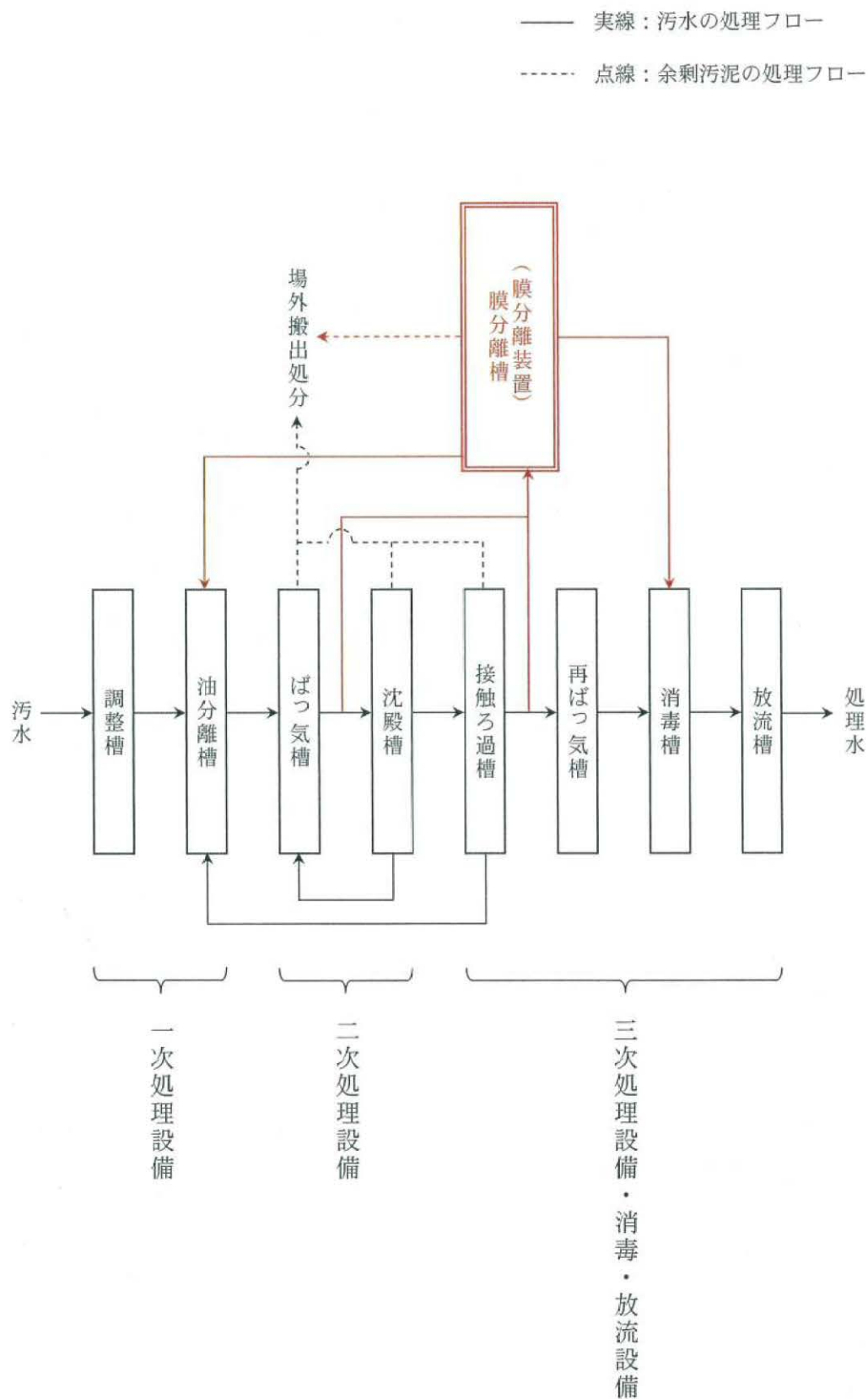


図 3-20. 処理プロセスの概略（機能強化後）



図 3-21. 膜分離槽（水産加工事業所）



図 3-22. 活性汚泥（水産加工事業所）



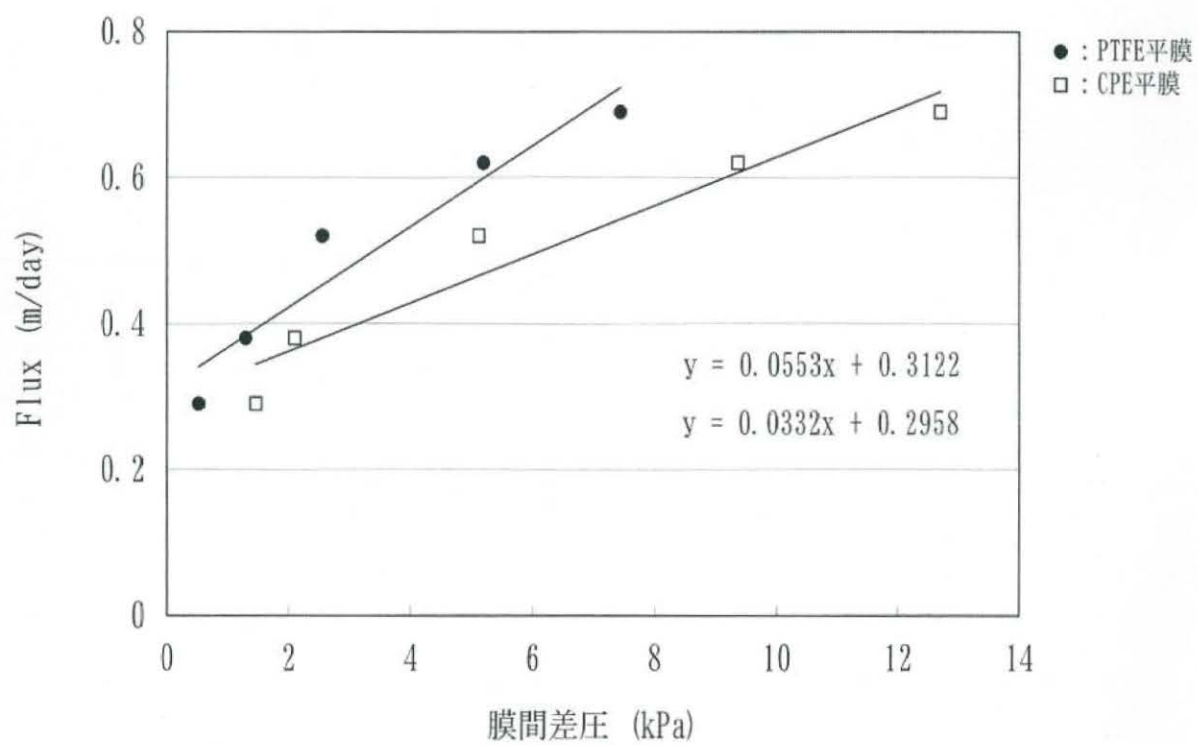


図 3-23. 水産加工事業の活性汚泥を用いた実験結果

### 3.8 活性汚泥の生物相調査 (1) <sup>4,5)</sup> 汚泥再生処理センター

出現する微生物種は、BOD-MLSS 負荷 (MLSS 濃度に対する BOD 濃度の割合) から、ある程度決まっている。本処理センターの活性汚泥の顕微鏡観察結果 (微生物種の出現頻度) を、BOD-MLSS 負荷との関係を中心に表 3-10 にまとめた。微生物種の出現頻度については、①非常に多く見られる、②多く見られる、③比較的多く見られる、④少し見られる、⑤わずかに見られる、の 5 区分とした。この区分は相対的なものであって、絶対数量ではない。BOD-MLSS 負荷と微生物種の関係 (表 3-10) は、社団法人日本下水道処理施設管理業協会の小規模下水道処理施設維持管理マニュアル (1998 年度版) を参考にしている。次項目 (b) の水産加工事業所の顕微鏡観察結果 (表 3-11) についても同様である。

本処理センター (生物膜原水槽) の活性汚泥は、水産加工事業所 (膜分離槽) の活性汚泥と比較すると、顕微鏡観察できた微生物種は少なかった。しかし、微生物種は 4 種類、比較的多く見られた原生動物が 2 種類、確認できた。今回確認できた 2 種類の原生動物は、肉質鞭毛虫類の肉質虫類であるアルセラ (図 3-24) とユーグリファ (図 3-25) であった。アルセラは BOD-MLSS 負荷が標準負荷の時に出現し、標準負荷の処理水質は BOD 20 mg/L 以下になる。ユーグリファは BOD-MLSS 負荷が低負荷の時に出現し、低負荷の処理水質は BOD 5~10 mg/L となる。少し見られたのは 2 種類、その中の 1 種類は前述したアルセラ、ユーグリファと同類種であるケントロピキシス (図 3-26) であった。ケントロピキシスも BOD-MLSS 負荷が低負荷の時に出現する。最後の 1 種類は微小後生動物のロタリア (図 3-27) であった。ロタリアは BOD-MLSS 負荷が標準負荷の時に出現し、有機物質濃度が比較的低い場合や、処理水質が良好な時に出現する指標生物でもある。BOD-MLSS 負荷別に出現生物種をまとめると、以下の通りであった。○数字は出現頻度区分を示したものである。

BOD-MLSS 負荷が標準負荷の時に出現：アルセラ③、ロタリア④

BOD-MLSS 負荷が低負荷の時に出現：ユーグリファ③、ケントロピキシス④

以上の結果から、本処理センター (生物膜原水槽) の活性汚泥は、生物相から判断した場合、BOD-MLSS 負荷は標準負荷か低負荷であると思われる。微小後生動物のロタリアが確認できたことから、処理水質 (生物膜の透過水質) も良好であると推定する。また、顕微鏡観察できる微生物種は水産加工事業所と比較すると少なく (4 種類)、繊毛虫類は出現しなかった。

表3-10. BOD-MLSS負荷と出現微生物の関係（汚泥再生処理センター）

BOD-MLSS負荷	処理水質BOD濃度 (処理水の状態)	原生動物					
		肉質鞭毛虫類		繊毛虫類			後生動物
		鞭毛虫類	肉質虫類	緑毛目	吸管虫類	その他	
高負荷	BOD 20 mg/L以上 (白濁)						
標準負荷	BOD 20 mg/L以下 (良好)		アルセラ				ロタリア
低負荷	BOD 5 mg/L以下 (良好)		ユーグリファ セントロピキシス				

出現頻度



- ① 非常に多く見られる  
 ② 多く見られる  
 ③ 比較的多く見られる  
 ④ 少し見られる  
 ⑤ わずかに見られる



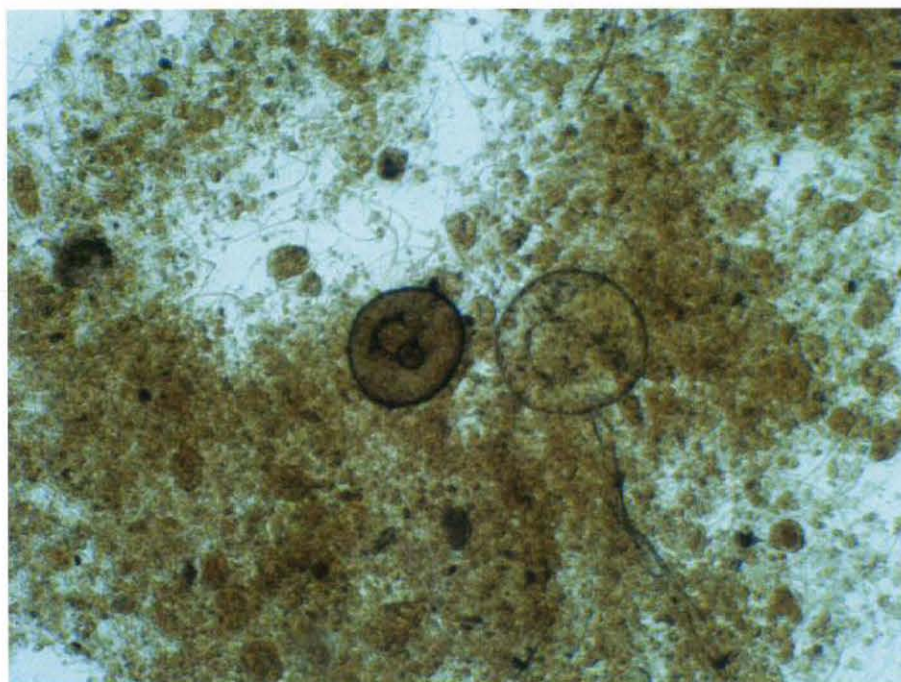


図 3-24. 汚泥再生処理センターから採取したアルセラ (*Arcella*)  
光学顕微鏡 200 倍

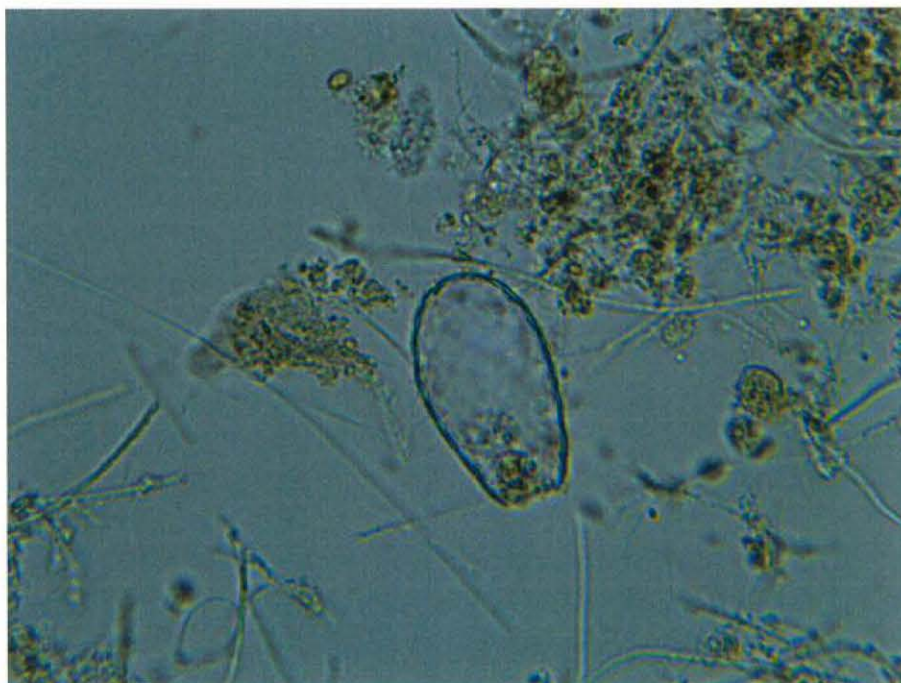


図 3-25. 汚泥再生処理センターから採取したユーグリファ (*Euglypha*)  
光学顕微鏡 200 倍

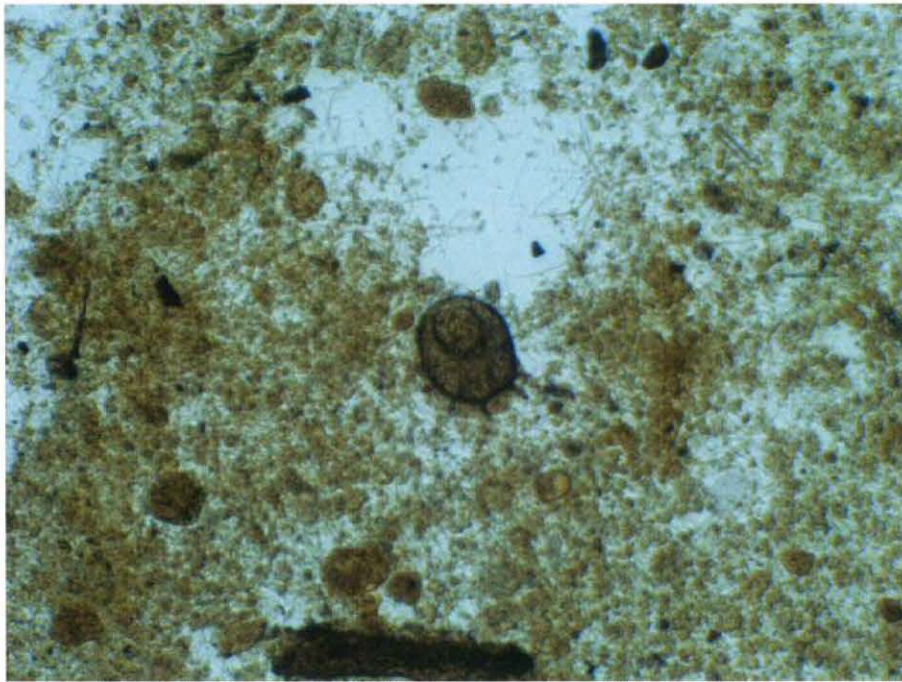


図 3-26. 汚泥再生処理センターから採取したセントロピキシス (*Centropyxis*)

光学顕微鏡 200 倍



図 3-27. 汚泥再生処理センターから採取したロタリア (*Rotaria*)

光学顕微鏡 200 倍



### 3.9 活性汚泥の生物相調査 (2) 水産加工事業所

本事業所の活性汚泥は、汚泥再生処理センターの活性汚泥（観察できた微生物種：4 種類）と比較すると、顕微鏡観察できた微生物種は多く 8 種類となり、2 倍に増加した。顕微鏡観察結果（微生物種の出現頻度）を BOD-MLSS 負荷と出現生物種の関係を中心に表 3-11 にまとめた。まず 1 種類、アルセラが非常に多く見られた（図 3-28）。この原生動物は BOD-MLSS 負荷が標準負荷の時に出現する。次に比較的多く見られたのが 4 種類、アルセラと同類種のユーグリファ（図 3-29）、ケントロピキシス（図 3-30）、繊毛虫類の緑毛目であるアスピディスカ（図 3-31）、エプスティリス（図 3-32）であった。これら 4 種類は BOD-MLSS 負荷が低負荷の時に出現する原生動物である。中でもアスピディスカとエプスティリスは、汚泥再生処理センター（生物膜原水槽）の活性汚泥では出現しなかった微生物種である。BOD-MLSS 負荷が高負荷の時に出現する原生動物が 1 種類、繊毛虫類で、緑毛目と吸管虫類に属さない、その他分類のリトノータス（図 3-33）が比較的多く見られた。この原生動物が出現する場合、BOD-MLSS 負荷が高負荷時の処理水質は BOD 20 mg/L 以上になり、目視でも処理水は白濁して見えるようになる。リトノータスも汚泥再生処理センターの活性汚泥では出現しなかった微生物種である。微小後生動物が 1 種類、ロタリア（図 3-34）が少し見られた。ロタリアは、処理水質の良好な時に出現する指標生物である。わずかではあるが、BOD-MLSS 負荷が標準の時に出現する原生動物が 1 種類、繊毛虫類の緑毛目であるボルティセラ（図 3-35）が見られた。BOD-MLSS 負荷別に出現生物種をまとめると、以下の通りである。○数字は出現頻度区分を示したものである。

BOD-MLSS 負荷が高負荷の時に出現：リトノータス③

BOD-MLSS 負荷が標準負荷の時に出現：アルセラ①、アスピディスカ③、エプスティリス③  
ロタリア④、ボルティセラ⑤

BOD-MLSS 負荷が低負荷の時に出現：ユーグリファ③、ケントロピキシス③

以上の結果から、本事業所（膜分離槽）の活性汚泥は、生物相から判断した場合、BOD-MLSS 負荷は標準負荷か、低負荷であると思われる。実際の処理水質が BOD 16 mg/L であり、一般的には BOD-MLSS 負荷の標準負荷時の処理水質は BOD 20 mg/L 以下になることから、どちらかといえば、標準負荷であると推定する。また、汚泥再生処理センターと同様に、ロタリアが確認できたことから、処理水質（膜透過水）も良好であると思われる。



活性汚泥の平膜のろ過性に対する考察であるが、ろ過性の悪かった本事業所の活性汚泥は、汚泥再生処理センターの活性汚泥と比較してアルセラが非常に多く見られた。アルセラは半球形の殻に入ったアメーバで、長さ 30~250  $\mu\text{m}$ 、高さ 25~80  $\mu\text{m}$  の大きさである。主に 1  $\mu\text{m}$  程度の細菌を捕食している。この原生動物が直接、公称孔径 0.2  $\mu\text{m}$  である PTFE 平膜や公称孔径 0.4  $\mu\text{m}$  である CPE 平膜の微細孔に閉塞しているとは考えにくい。また、アルセラが分泌するタンパク質や酵素など別の要因で活性汚泥の生物相全体に何らかの悪影響を及ぼしている可能性も考えられるが、汚泥再生処理センターでもアルセラは確認できたので、その可能性は低いと思われる。

次に、汚泥再生処理センターと決定的な相違点は、本事業所ではアスピディスカ、エピステリス、リトノータス、ボルティセラといった繊毛虫類が多く出現したことである。繊毛虫類は単細胞で卵形または楕円形、体長 10  $\mu\text{m}$  の小型ものから体長 3,000  $\mu\text{m}$  の大型のものまで存在する。体表には一生あるいは一時期、繊毛があり、これで運動する。この原生動物の特徴は繊毛を持つことと、2 種類の核（大核と小核）を持つことである。参考とした文献には繊毛の大きさについての記載はなかったが、小型のものであれば、公称孔径 0.2~0.4  $\mu\text{m}$  の平膜に閉塞する大きさの繊毛を持つ可能性は十分に考えられる。また、過去に畜産廃水処理施設（養豚場）で豚の産毛が膜分離槽に大量流入した結果、活性汚泥フロックの形成が阻害され、ろ過性が低下して膜ファウリングが発生したこともある。繊毛虫類の繊毛、分泌するタンパク質や酵素など、平膜のろ過性を低下させるような活性汚泥全体への悪影響を及ぼした可能性は十分に考えられる。わずかに見られたボルティセラを除き、今回、明らかになった繊毛虫類とその特徴は以下の通りである。

アスピディスカ：（分類）繊毛虫類 下毛目 アスピディスカ科

（大きさ）25~50  $\mu\text{m}$

（特徴）前後 12 本の棘毛が発達し、背面に隆起線が 6 箇所ある。

エピステリス：（分類）繊毛虫類 緑毛目 エピステリス科

（大きさ）25~50  $\mu\text{m}$

（特徴）大きな群体を形成し、柄は筋糸を持たず伸縮しない。

リトノータス：（分類）繊毛虫類 側口目 アンフィレブツス科

（大きさ）100  $\mu\text{m}$  前後

（特徴）首状部が体長の 1/2 で、片側のみ著しく繊毛がある。

表3-11. BOD-MLSS負荷と出現微生物の関係（水産加工事業所）

BOD-MLSS負荷	処理水質BOD濃度 (処理水の状態)	原生動物					
		肉質鞭毛虫類		繊毛虫類			後生動物
		鞭毛虫類	肉質虫類	緑毛目	吸管虫類	その他	
高負荷	BOD 20 mg/L以上 (白濁)					リトノータス	
標準負荷	BOD 20 mg/L以下 (良好)		アルセラ	ボルティセラ			ロタリア
				アスピディスカ エピスティリス			
低負荷	BOD 5 mg/L以下 (良好)		ユーグリファ ケントロピキシス				

出現頻度



- ① 非常に多く見られる
- ② 多く見られる
- ③ 比較的多く見られる
- ④ 少し見られる
- ⑤ わずかに見られる

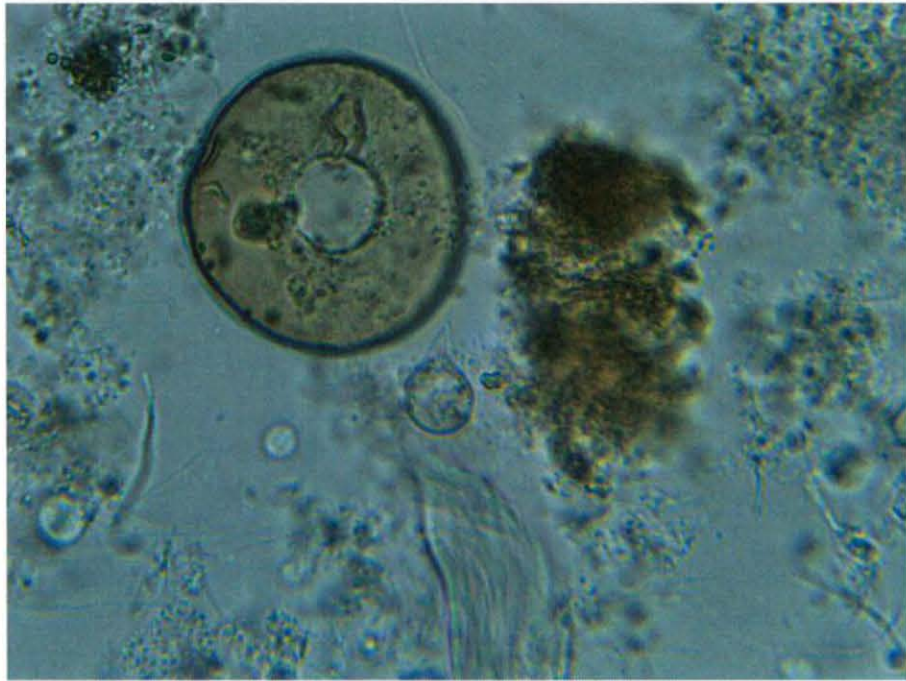


図 3-28. 水産加工事業所から採取したアルセラ (*Arcella*)

光学顕微鏡 200 倍

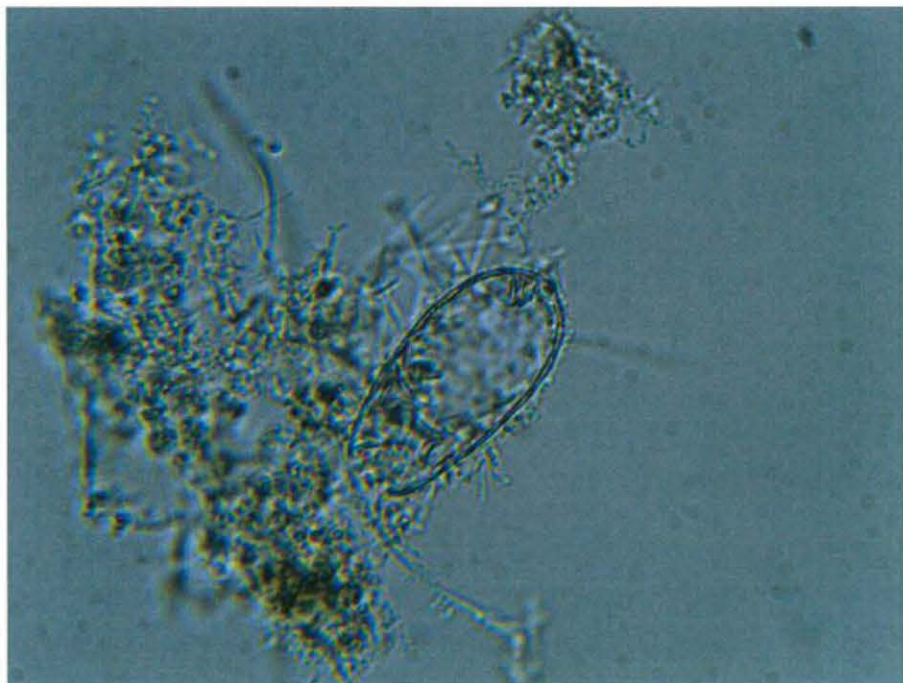


図 3-29. 水産加工事業所から採取したユーグリファ (*Euglypha*)

光学顕微鏡 200 倍





図 3-30. 水産加工事業所から採取したセントロピキシス (*Centropyxis*)  
光学顕微鏡 200 倍

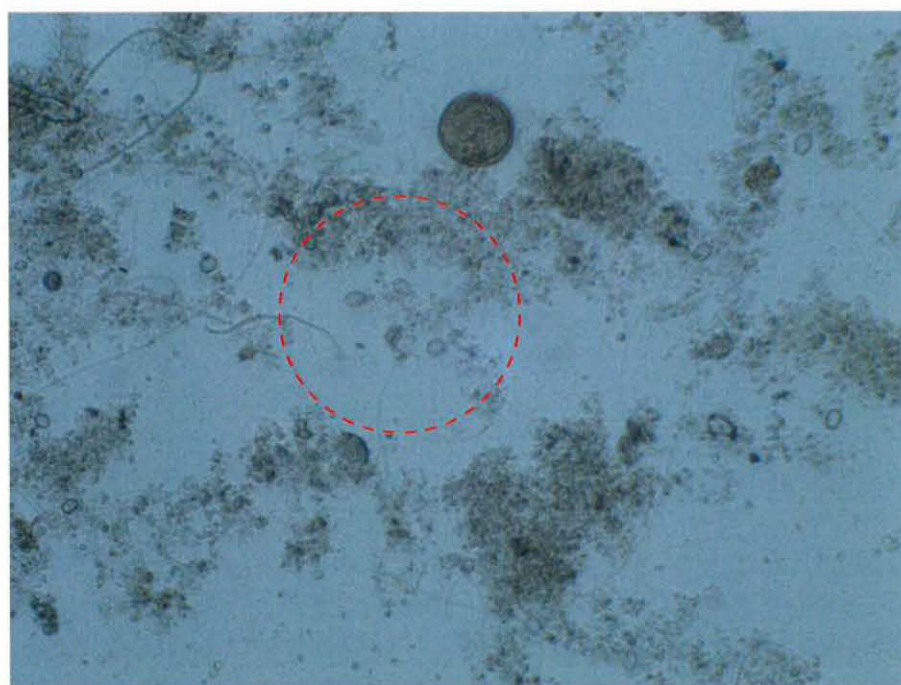


図 3-31. 水産加工事業所から採取したアスピディスカ (*Aspidisca*)  
光学顕微鏡 200 倍

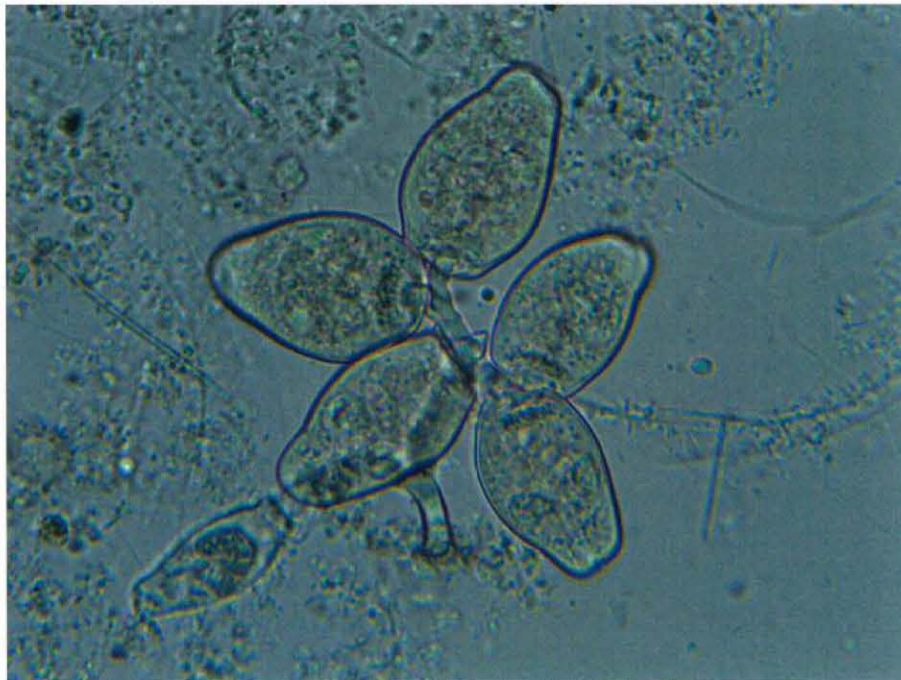


図 3-32. 水産加工事業所から採取したエピスティリス (*Epistylis*)

光学顕微鏡 200 倍

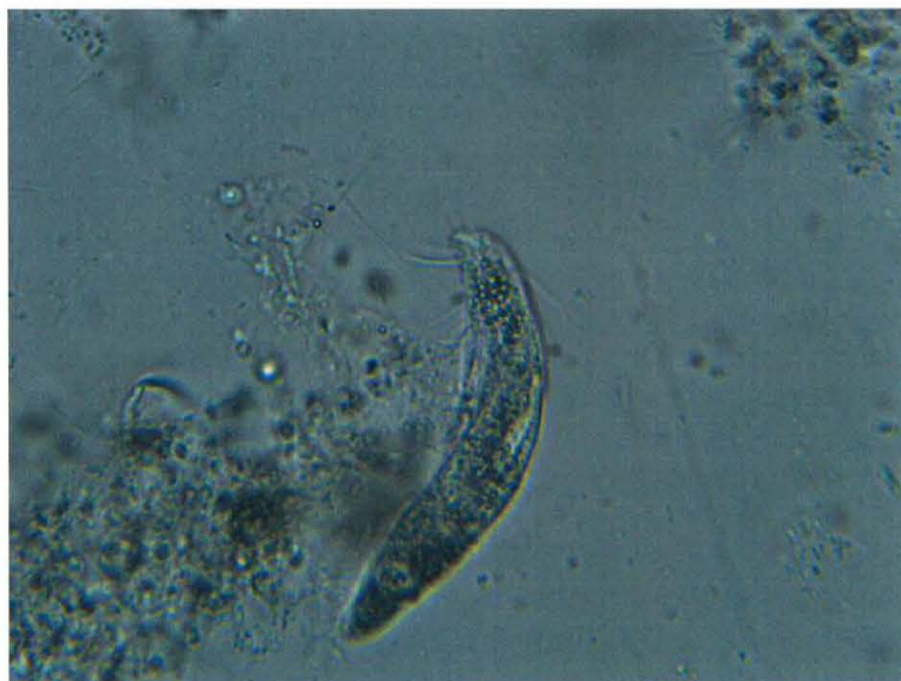


図 3-33. 水産加工事業所から採取したリトノータス (*Litonotus*)

光学顕微鏡 200 倍



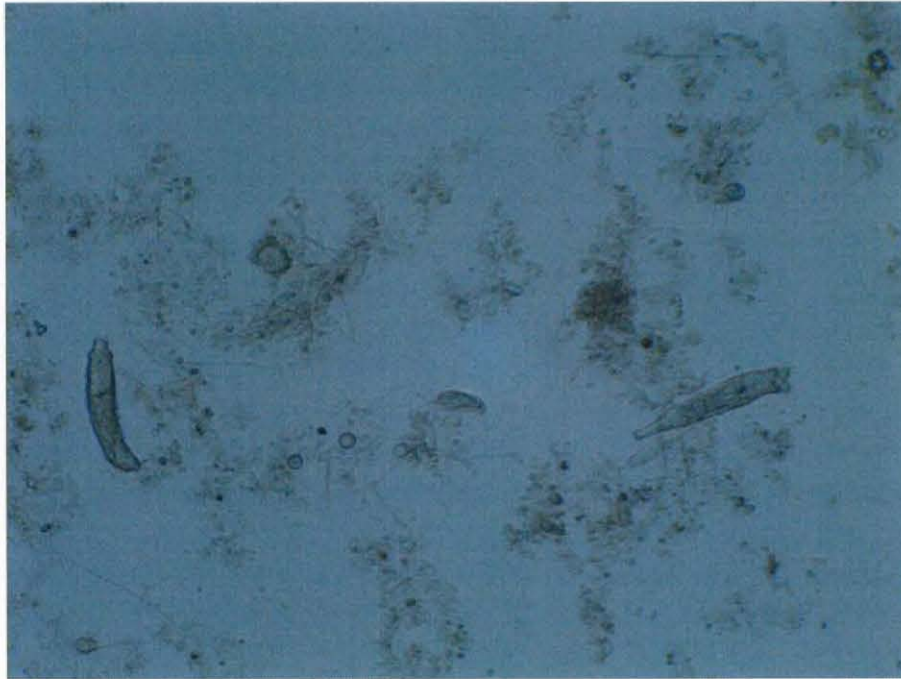


図 3-34. 水産加工事業所から採取したロタリア (*Rotaria*)

光学顕微鏡 200 倍

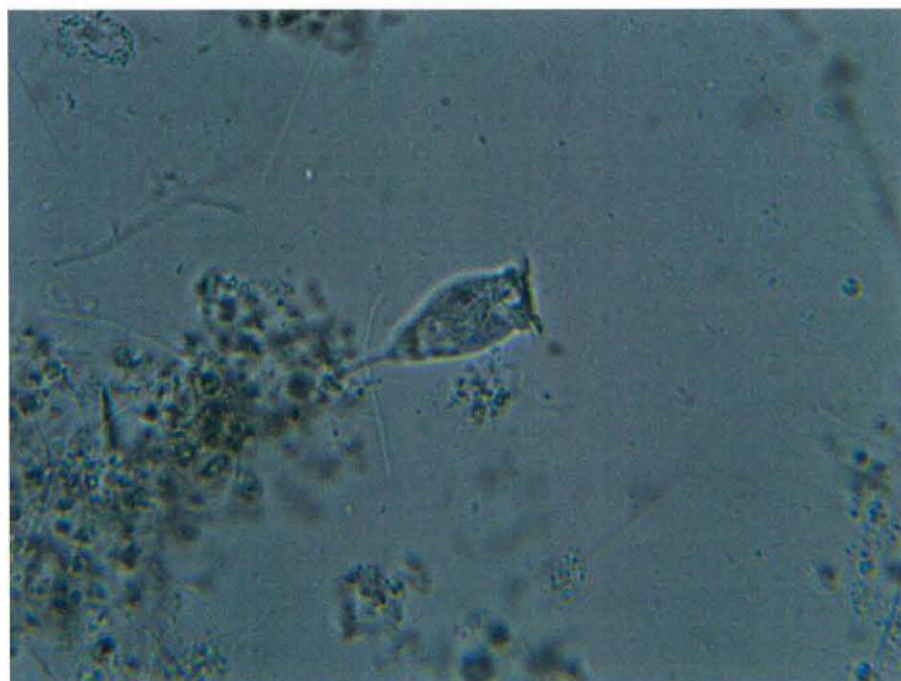


図 3-35. 水産加工事業所から採取したボルティセラ (*Vorticella*)

光学顕微鏡 200 倍



### 3.10 アンモニア性窒素による膜ファウリング現象

本研究における水産加工事業所では、製菓事業所（膜分離槽）の活性汚泥を種汚泥として添加させた膜分離活性汚泥処理方式の立上げ当初、膜間差圧が上昇し、膜分離装置が設計フラックス（ $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ ）での運転ができなかった期間が1ヶ月ほどあった。一般的な他の現場のアンモニア性窒素濃度（ $30 \text{ mg/L}$  程度）と比較した場合、アンモニア性窒素濃度は $70 \sim 100 \text{ mg/L}$ で約2～3倍高かった。その後、活性汚泥が馴致したのか、設計フラックスでの運転ができるようになった。浄化槽の立上げ（活性汚泥の馴致）については、浄化槽法で最長6ヶ月の期間が与えられている。現在は活性汚泥が馴致し、流入するアンモニア性窒素濃度も一般的な濃度であるため、本事業所の立上げ当初のフラックス低下の原因は不明のままである。一方、廃水処理における平膜の分野では、活性汚泥の生物相とは別に、膜分離槽内のアンモニア性窒素濃度が高くなると膜ファウリングが発生すると考えられている。例えば、クボタ社の技術ハンドブックには<sup>6)</sup>、その理由として「T-N およびアンモニア性窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）が残留する状況では未分解の有機物が残留するため、膜のファウリング等に悪影響を与えることとなる。」と記載されている。ただ、どの程度のアンモニア性窒素濃度なのか、なぜ有機物が未分解となるのか、詳細までは記載されていなかった。本水産加工事業所で発生した平膜のフラックス低下は、高濃度アンモニア性窒素の残留に原因があったと仮定できるため、本実験では人為的にその膜ファウリング現象を再現できるかを試みた。なお、今回の実験は、実液水槽を用いたモデル実験である。活性汚泥は、平膜に対してろ過性が良かった鳥羽志勢クリーンセンターの生物膜原水槽のものを使用した。この活性汚泥は水質分析の結果、MLSS  $17,000 \text{ mg/L}$ 、アンモニア性窒素濃度  $19 \text{ mg/L}$  であった。有機物（し尿）は志摩環境事業協業組合の貯留槽から採取し、水質分析の結果、BOD  $15,000 \text{ mg/L}$  であった。し尿のBOD濃度は一般的に $8,000 \sim 15,000 \text{ mg/L}$ 程度であることから、本BOD濃度は高い数値であることが分かる。アンモニア性窒素濃度の調整には、以下の塩化アンモニウムを使用した（表3-12）。

表3-12. 塩化アンモニウム（ $\text{NH}_4\text{Cl}$ ）

製造元	米山薬品工業株式会社	
整理番号	-	AD0488
内容量	g/本	500
成分含有量	%	98.5 以上
融点／沸点	℃	188／335

実験条件である BOD-MLSS 負荷計算については外部に依頼する水質分析前であったため、活性汚泥 MLSS 濃度は 14,000mg/L、し尿の BOD 濃度は 8,000~15,000 mg/L と推定した。実験に必要な有機物（し尿）量は、以下の通りである。

し尿処理における BOD-MLSS 負荷は 0.1 BOD-kg/MLSS-kg・日が標準負荷（活性汚泥にかけても良い負荷）であり、活性汚泥の推定濃度が MLSS 14,000 mg/L、実液水槽容量 700 L、し尿の推定 BOD 濃度が 8,000~15,000 mg/L であるとき、

$$\text{MLSS-kg} = 14,000 \text{ (mg/L)} \times 700 \text{ (L)} = 9,800,000 \text{ (mg)} = 9.8 \text{ (kg)}$$

1 日当たりの標準 BOD-MLSS 負荷は 0.1 BOD-kg/MLSS-kg であるから、MLSS-kg 9.8 kg に対して、BOD-kg は 0.98 kg 必要である。したがって、

$$\text{BOD 濃度が } 8,000 \text{ (mg/L) のとき: } 0.98 \text{ (kg)} \div 8,000 \text{ (mg/L)} \times 10^6 = 122.5 \text{ (L)}$$

$$\text{BOD 濃度が } 15,000 \text{ (mg/L) のとき: } 0.98 \text{ (kg)} \div 15,000 \text{ (mg/L)} \times 10^6 = 65.3 \text{ (L)}$$

安全性を見て 65.3 L とし、これは 1 日の処理可能な範囲内であるので、1 時間の場合は、 $65.3 \text{ (L)} \div 24 = 2.7 \text{ (L)} \approx 3.0 \text{ L}$ （推定）

と考えられる。これにより、し尿 3.0 L を実液水槽に投入し、1 時間かけて生物反応処理を行った後、PTFE 平膜と CPE 平膜の初期実液透過水量試験を実施した。次に、塩化アンモニウムを 830 g 投入し、同様に実験を行った。水質分析結果では、アンモニア性窒素濃度は 380 mg/L であり、通常の 10 倍以上の濃度であることが分かった。これらのことから、高濃度アンモニア性窒素が残留する場合と、そうでない場合の初期実液透過水量データが取得できた。また、何も投入しない場合（ブランク）と、高濃度アンモニア性窒素だけの場合のデータも取得した。なお、BOD-MLSS 負荷計算であるが、本実験を BOD-MLSS 標準負荷で行うための正確な有機物（し尿）量は、後日の水質分析の結果から、

$$17,000 \times 700 \div 10^6 = 11.9 \text{ (kg)}$$

$$11.9 \div 15,000 \times 10^6 = 79.3 \text{ (L)}$$

$$79.3 \div 24 = 3.3 \text{ L}$$

が、本来の正しい数値であることが分かった。仮に、投入した有機物量が多かった場合には、BOD-MLSS 負荷が高負荷になり、高濃度アンモニア性窒素以外の要因で、未分解の有機物が残留する可能性が高くなる。そのため、投入有機物量が 3.3 L よりも多かった場合は、本実験は目的に沿わなかったと思われる。結果的に本実験は、有機物の量が 0.3 L 不足



(-9.1%) していたため、MLSS-BOD 負荷は標準負荷よりも低負荷になり、生物反応は良好だったと推定している。一般的には MLSS-BOD 標準負荷または低負荷の場合は、有機物の未分解は起こりにくいため、本実験は有効であると思われる。結果を図 3-36 に示す。平膜が同一の種類（製造品質的な個体差を除く、ろ過性能が同一）である時、活性汚泥のろ過性の変化は、次式によって、ほぼ正確に比較できる。

$$J = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_h} = k \Delta P \quad \dots \dots (1)$$

J はフラックス、k は平膜のろ過性能を表す傾き、P は膜間差圧である。式 (1) の k が低下するような活性汚泥の変化条件は、平膜に対するろ過性を悪くすることである。各実験条件下における k は、式 (1) より、ブランク：0.6984、し尿のみ：0.5676、アンモニアのみ：0.6632、し尿+アンモニア：0.1338 であった。し尿+アンモニアの条件下における k は、ブランクの k と比較した場合、約 81% も著しく低下している。し尿のみでは約 19%、アンモニアのみでは 5% 低下し、これらもブランク k と比較した場合、悪くなったといえる。これは、し尿+アンモニアの実験条件が、平膜に対するろ過性を悪くする活性汚泥の変化条件であることを明確に示す結果となった。また、ブランクと、し尿+アンモニア条件の累計細孔分布を測定し、図 3-37 に示した。走査型電子顕微鏡写真からも明らかなように、膜の立体的な構造に未分解の有機物と思われる物質が付着していた。図 3-38 は 2,000 倍で、図 3-39 は 10,000 倍である。10,000 倍の走査型電子顕微鏡写真からは、PTFE の膜立体構造に粒状に付着後、堆積した様子が見えがえた。

以上の結果から、高濃度アンモニア性窒素による膜ファウリングが、人為的に再現できることが分かった。そして、クボタ社のマニュアルにある「T-N およびアンモニア性窒素 (NH<sub>4</sub>-N) が残留する状況では未分解の有機物が残留するため、膜ファウリング等に悪影響を与えることとなる。」という記載事項を検証できた。これにより、高濃度アンモニア性窒素が微生物の働きを阻害するなどして、有機物が未分解になっている可能性は非常に高いと思われる。さらに、式 (1) と本実験で得られたデータから、BOD-MLSS 標準負荷時の本事業所（水産加工事業所）における、アンモニア性窒素濃度上昇に伴う平膜ろ過性能の低下率を計算できた。この低下率を近似直線で図 3-40 に示す。しかしながら、まだサンプル数が少なく、活性汚泥の性状（ろ過性）も各現場により異なるところはあるが、高濃度アンモニア性窒素による膜ファウリングの目安になるとと思われる。



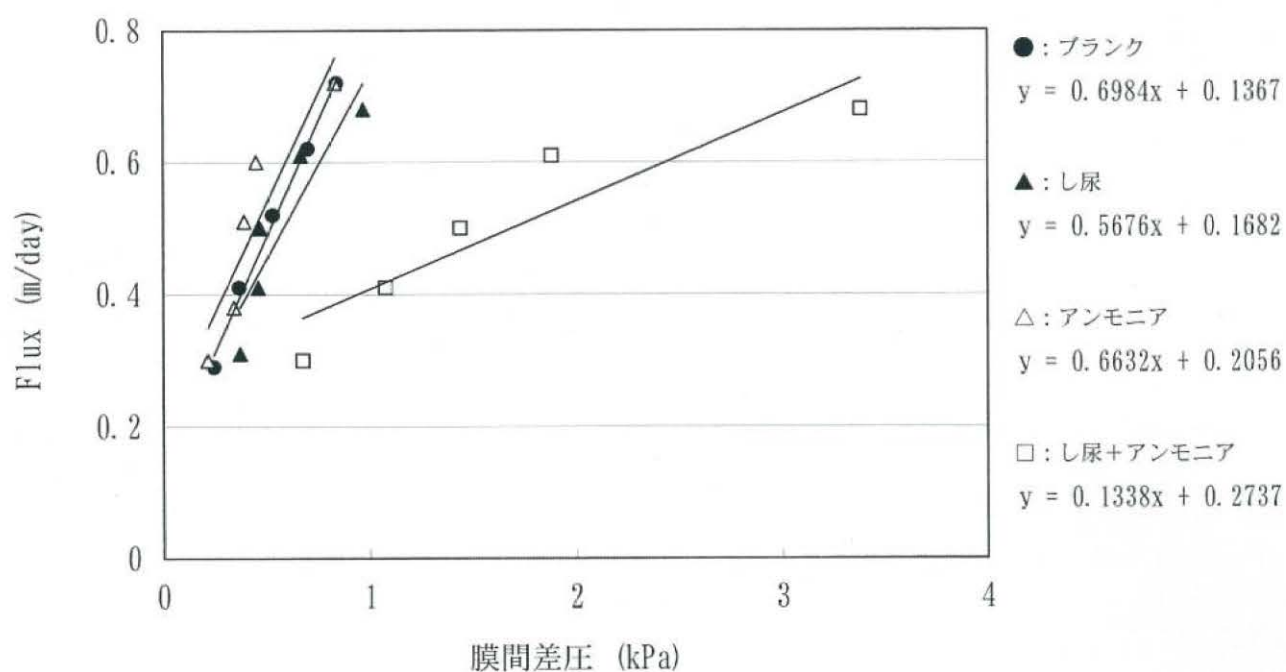


図 3-36. 初期実液透過水量 (PTFE 平膜)

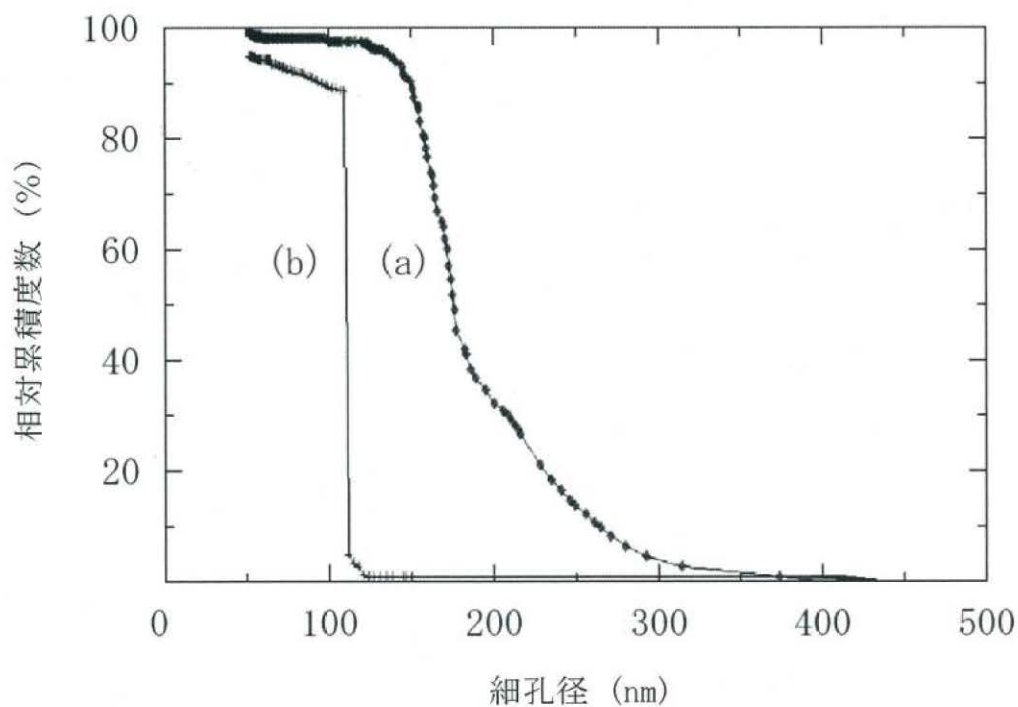
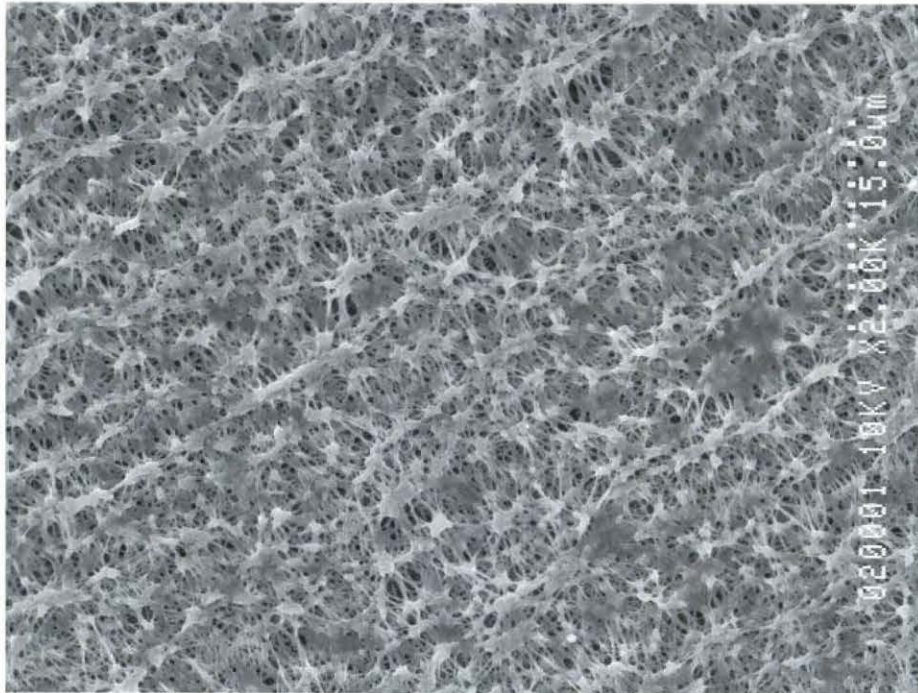
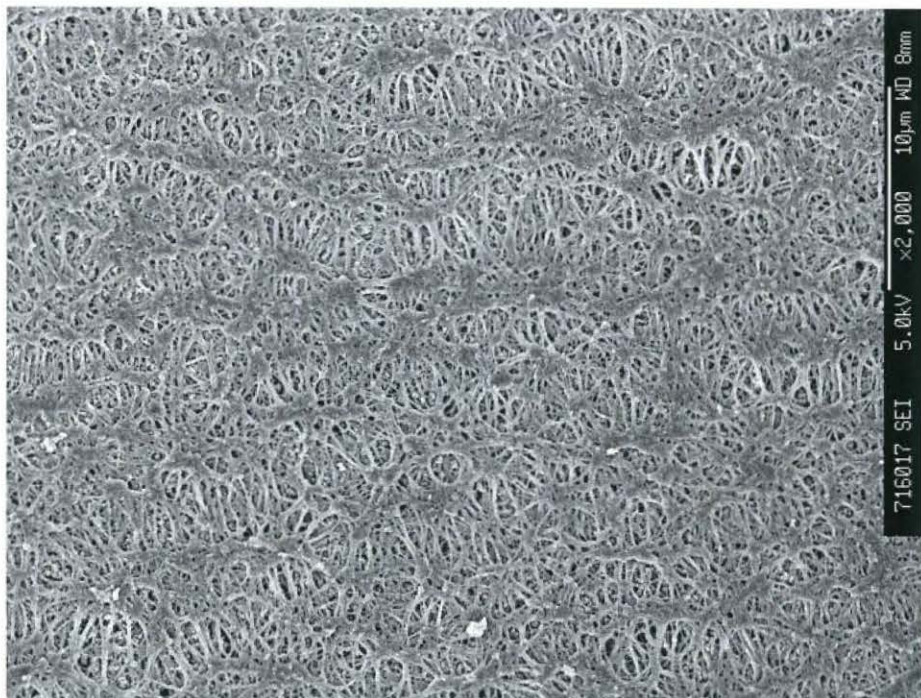


図 3-37. 累計細孔分布 (a) ブランク, (b) し尿+アンモニア

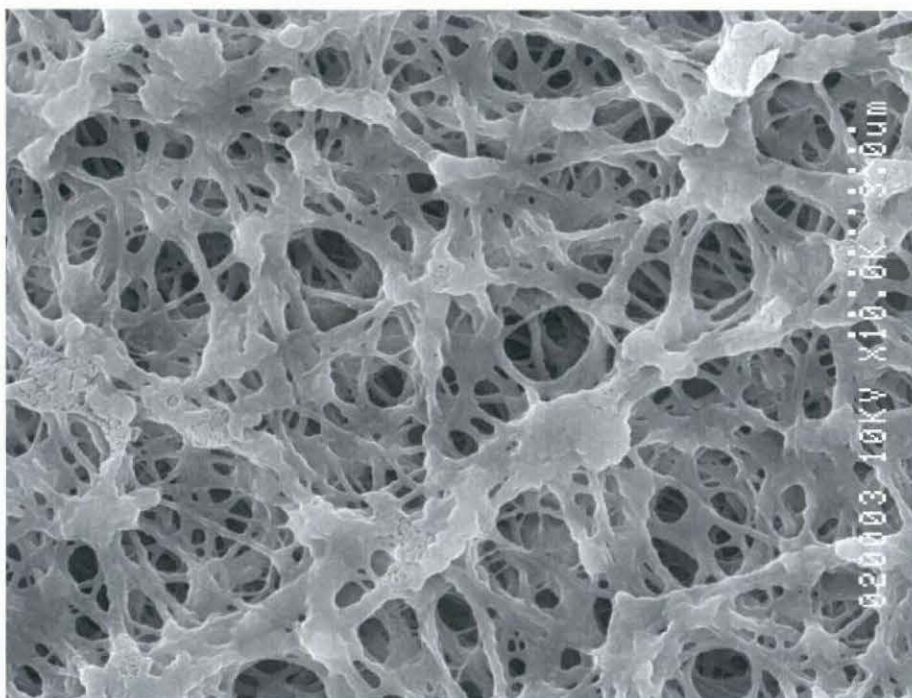


(a)

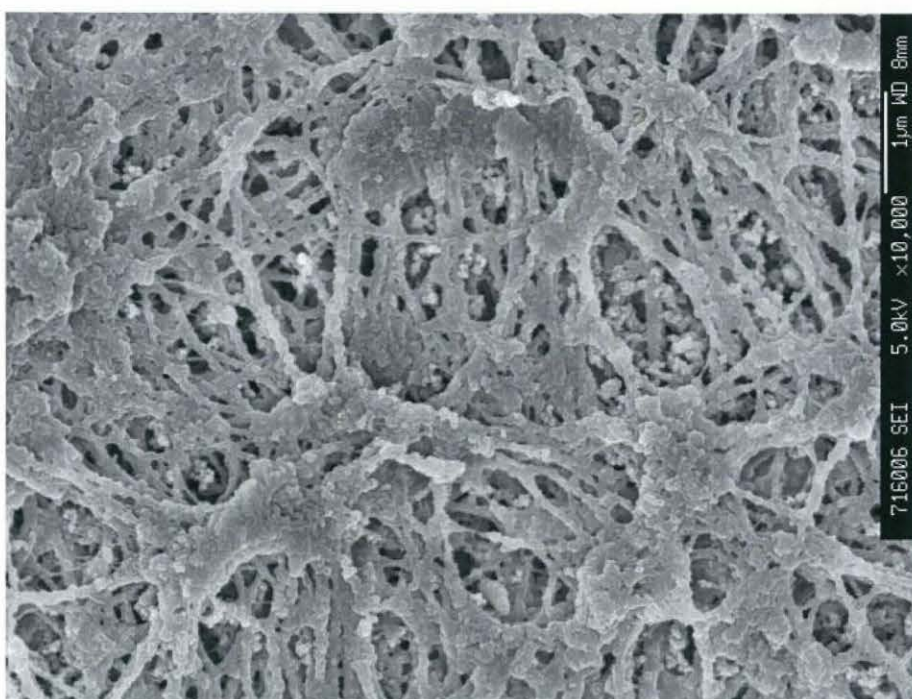


(b)

図 3-38. 膜表面の走査型電子顕微鏡写真 2,000 倍 (a) ブランク, (b) し尿+アンモニア



(a)



(b)

図 3-39. 膜表面の走査型電子顕微鏡写真 10,000 倍 (a) ブランク, (b) し尿+アンモニア



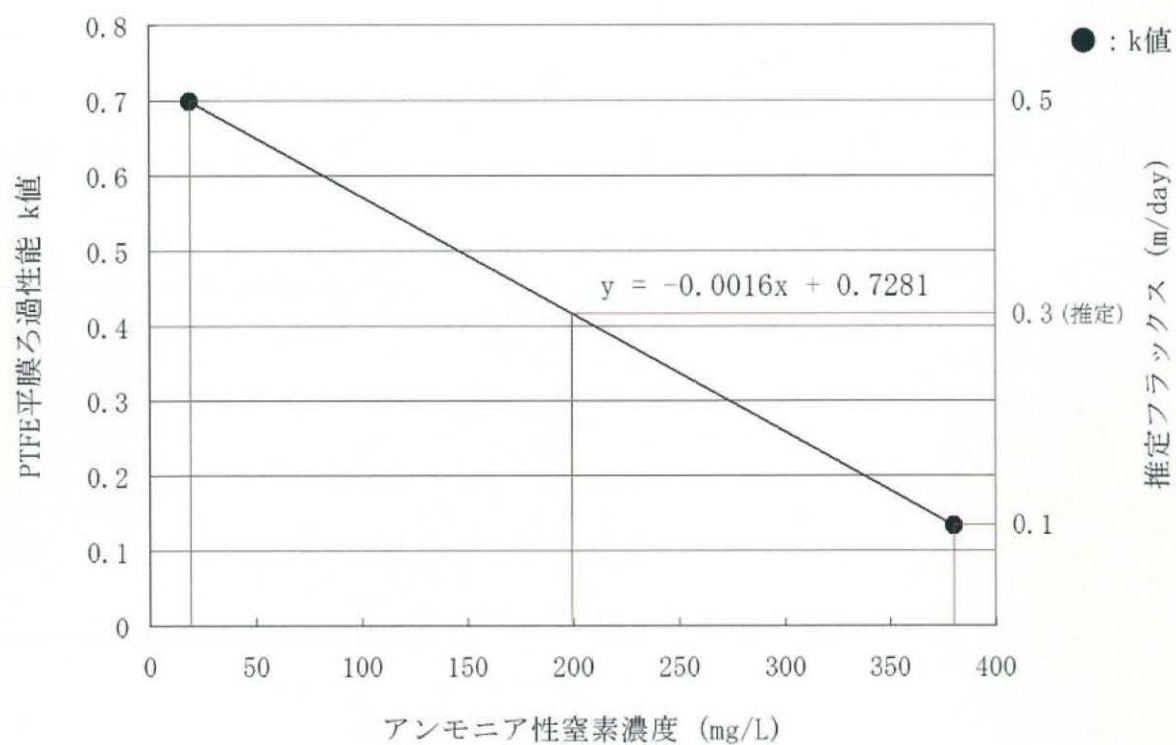


図 3-40. アンモニア性窒素濃度に伴う PTFE 平膜ろ過性能の低下

### 3. 11 超音波膜洗浄

本実験は実液水槽を用いたモデル実験である。汚泥再生処理センターの生物膜原水槽の活性汚泥を使用し、PTFE 平膜の超音波膜洗浄を行った。本処理センターの活性汚泥は、MLSS 濃度 17,000 mg/L、粘度 218 mPa·sec、pH 7.3~7.5 であった。本実験では新規の PTFE 平膜だけを対象とした。

超音波は空気中より液体中の方がよく伝播し、液体中に次々とできる密度の疎なところと密なところの進行方向に伝わる疎密波である (P. 29)。したがって、ばっ気をした状態の気液二相混合流の中では超音波は伝わりにくいことが分かった。このことから本実験では、ばっ気をした状態における超音波膜洗浄の効果は、ほとんど確認できなかった。また、実液 (活性汚泥) を用いた場合、ばっ気を停止しても超音波が活性汚泥中の微生物に当たって減衰し、膜面に到達できない様子も見受けられた。本実験では、実液 (活性汚泥) を用いた場合での超音波膜洗浄の効果も、ほとんど確認することはできなかった。以上 2 点を踏まえて、本実験の最終段階では、超音波膜洗浄の際は、まず、ばっ気を停止し、活性汚泥中の超音波洗浄機と平膜の間に清水を充填させた。散気管から空気の代わりに清水を流し込み、超音波がよく伝播する状態にして 10 分間の超音波膜洗浄を行った。実液水槽は超音波膜洗浄実施のために水洗浄配管を追加した (P. 81 図 3-6)。本実験の最終段階における超音波公称発振周波数は 28 kHz、出力は最大の 300 W、本多電子社製の超音波洗浄機は、P. 91 に記載した特注品を使用した。なお、出力 300 W (超音波公称発振周波数 28 kHz) は、超音波洗浄における洗浄エネルギーとして最大級のものである (P. 90 表 3-9)。この出力は、金属部品や樹脂の脱脂などで頑固な汚れを洗浄する大きさであり、洗浄対象物 (PTFE 平膜) に対するダメージは大きいことが分かっている。そのため、平膜に破れ等が発生していないか、実験中は常に透明配管で目視確認を行った。結果、SS 等の混入などは見られず、実験後に平膜を十分に外観検査したところ、特に問題はなかった。超音波膜洗浄 (最終段階) の結果を図 3-41~図 3-44 に示す。フラックス (吸引負圧) が低い状態で実液ろ過運転した PTFE 平膜は、超音波膜洗浄をした場合、洗浄後の  $k$  値は非常に良好な回復を示す数値になった。特にフラックス  $0.3 \sim 0.4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$  (吸引負圧  $0.43 \sim 1.06 \text{ kPa}$ ) の範囲では、 $k: 0.1754 \rightarrow 0.3621$  で、約 2 倍の回復率であった。しかし、図 3-41~図 3-44 の  $k$  値の推移で明らかのように、フラックスを高くするにつれて回復は少なくなった (表 3-13)。フラックス  $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$  (洗浄前の吸引負圧  $1.63 \text{ kPa}$ ) までは超音波膜洗浄の効果が明らかであるのに対し、フラックス  $0.6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$  (吸引負圧  $2.00 \text{ kPa}$ ) 以上の実液

ろ過運転を行ったものになると、その効果は低下した（表 3-14）。これは、膜の微細孔に高い吸引負圧で閉塞した物質は、超音波（照射時間 10 分間）のキャビテーション現象における衝撃圧力を上回るような閉塞圧力を持っているため、キャビテーション効果が十分に得られなかったと思われる。

一方、実際の現場においては、平膜は通常フラックス  $0.3 \sim 0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 、吸引負圧  $5 \sim 10 \text{ kPa}$  で使用されている。ここで、フラックスに対する吸引負圧が本実験よりも実際の現場の方が高い理由は、本実験は新品の平膜を使用した初期実液透過水量のためである。実際の現場では使用開始後、間もなくして  $5 \sim 10 \text{ kPa}$  に安定する。また、実際の現場で最も閉塞した場合の吸引圧力は  $20 \text{ kPa}$  程度になり、この場合には薬品洗浄が実施される。したがって、少なくとも  $10 \text{ kPa}$  程度の吸引負圧で閉塞した平膜を洗浄できる超音波のキャビテーション効果が必要である。本実験の照射時間は 10 分間であったが、今後は照射時間を長くするか、超音波洗浄機を増設することで洗浄効果を上げることが可能である。以上の結果から、超音波膜洗浄は効果がないわけではなく、吸引負圧  $2 \text{ kPa}$  までは十分な効果が得られることが分かった。また、今後の条件設定次第で超音波膜洗浄は、より大きな効果が得られると思われる。

本実験では超音波照射による膜洗浄効果だけを追及したモデル実験を行った。一方、他の超音波の効果については、活性汚泥に超音波を照射した際に MLSS 濃度を減少できることが分かっており、余剰汚泥削減効果も期待できる。余剰汚泥削減は、廃水処理施設における維持管理費削減につながる重要なテーマである<sup>7-8)</sup>。そのプロセスとは、まず、超音波が微生物の細胞膜を破壊し、死滅した微生物は他の微生物の養分となる。この食物連鎖を強制的に促進することによって微生物の活動エネルギー消費が増大し、全体的な微生物量としては減少する仕組みである。一般的に活性汚泥に超音波を照射した時は、MLSS 濃度が減少する代わりに粘度 ( $\text{mPa} \cdot \text{sec}$ ) が上昇すると考えられている。その理由として、超音波が微生物の細胞膜を破壊した時、細胞膜内から出る有機物が粘性を持つからである。活性汚泥の粘度が上昇することは、平膜のろ過性にはマイナス作用である。それは、これまで

で多用した  $J = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_h} = k \Delta P$  においても、粘度  $\mu$  が上がると  $k$  値は低下することが示さ

れていることから明白である。しかし、逆に超音波によって活性汚泥の粘度を下げることであれば、平膜のろ過性にはプラス作用となる。この検証は、引き続き、水産加工事業所における事例研究で超音波実験を行った。その結果については、第 5 章で述べる。



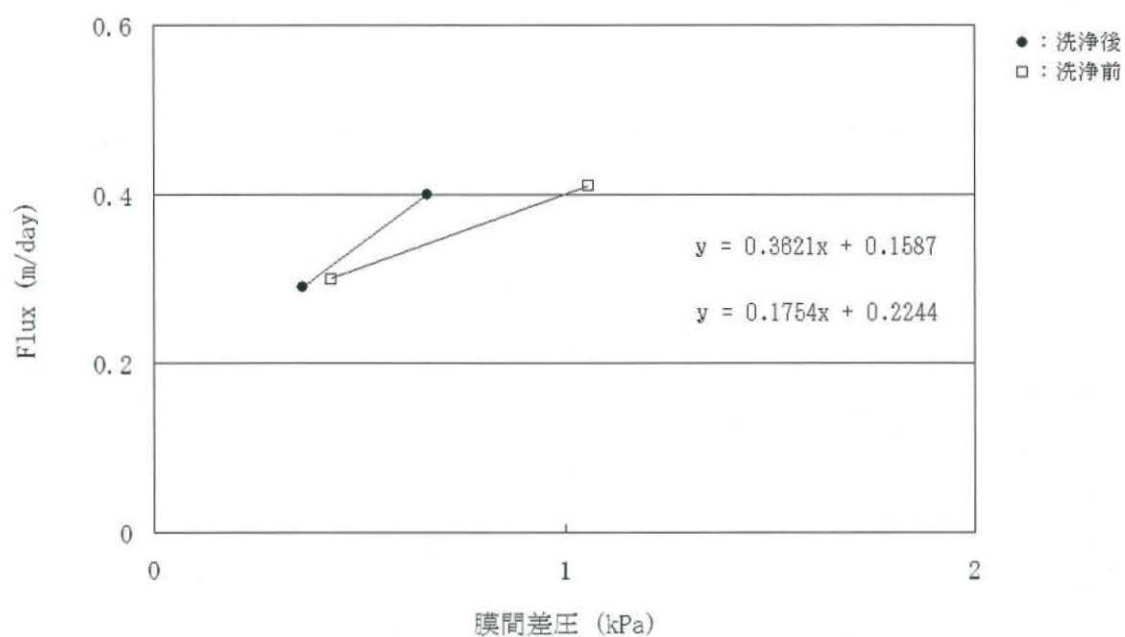


図 3-41. 超音波膜洗浄前後における膜間差圧の比較 (Flux 0.3~0.4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·day)

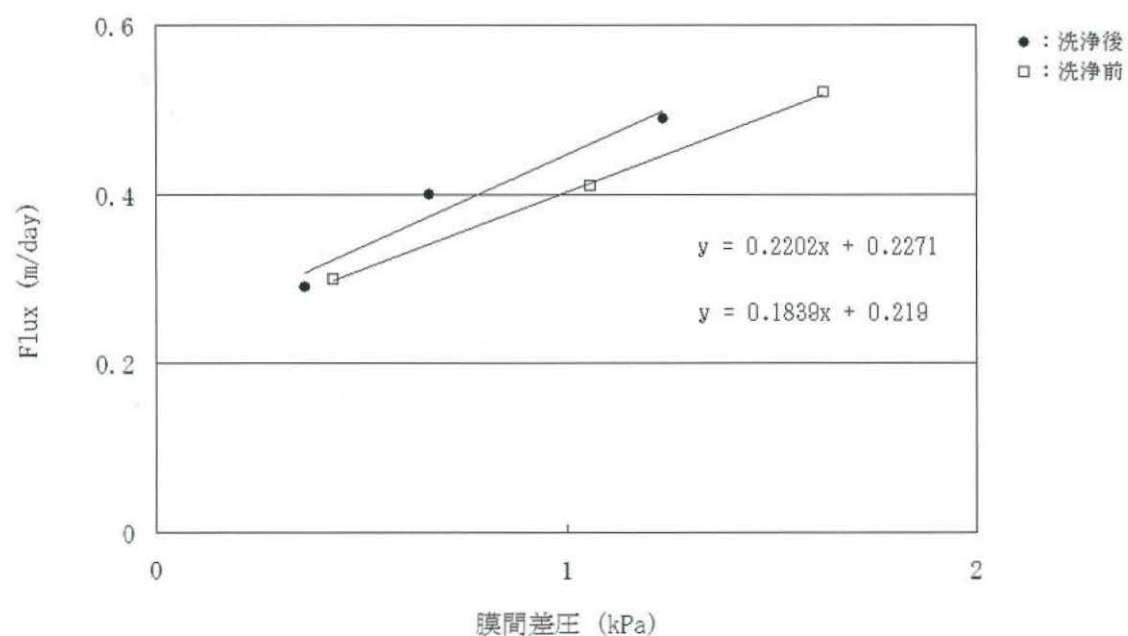


図 3-42. 超音波膜洗浄前後における膜間差圧の比較 (Flux 0.3~0.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·day)

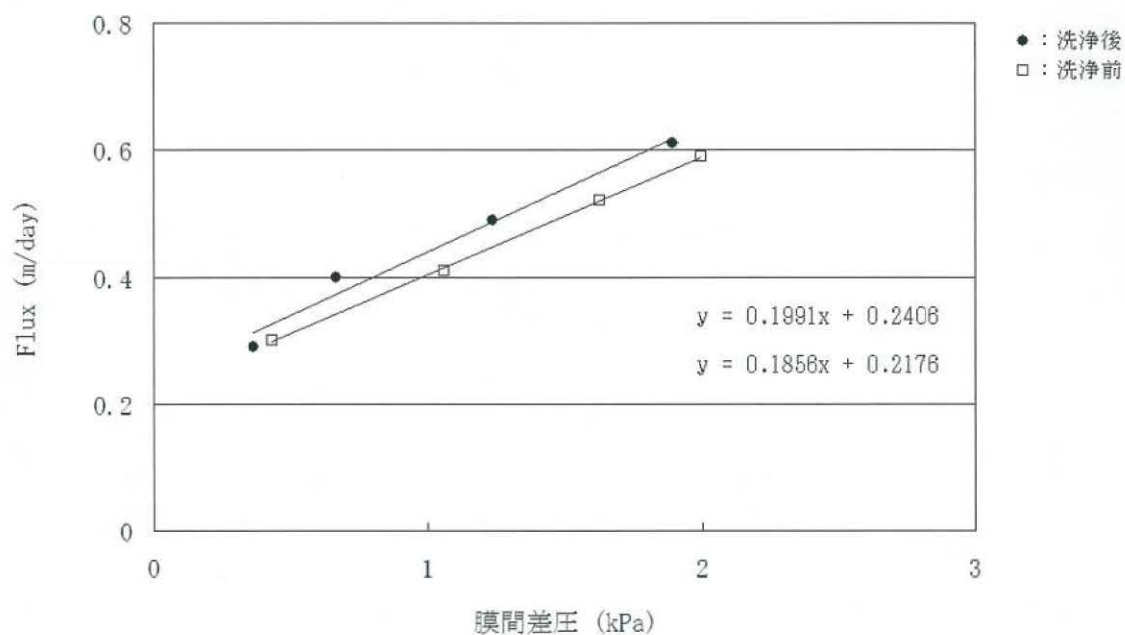


図 3-43. 超音波膜洗浄前後における膜間差圧の比較 (Flux 0.3~0.6  $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$ )

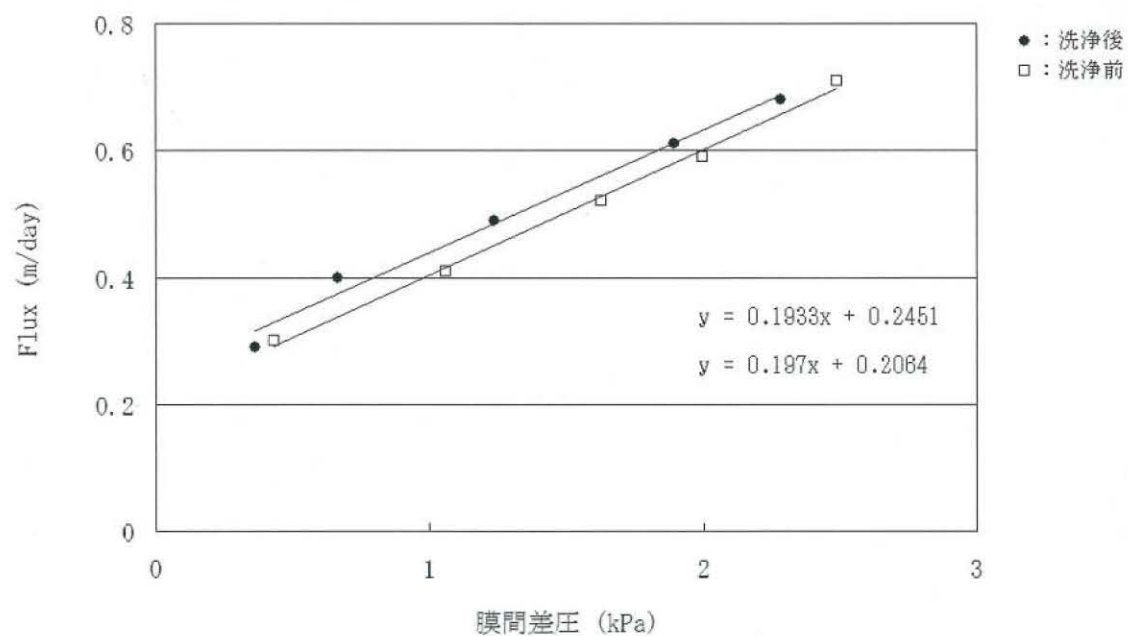


図 3-44. 超音波膜洗浄前後における膜間差圧の比較 (Flux 0.3~0.7  $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$ )

表 3-13. 超音波膜洗浄前後における k 値の推移

超音波膜洗浄 k 値	Flux 測定範囲 (m/day)			
	0.3~0.4	0.3~0.5	0.3~0.6	0.3~0.7
膜洗浄前	0.1754	0.1839	0.1856	0.1970
膜洗浄後	0.3621	0.2202	0.1991	0.1933

表 3-14. 超音波膜洗浄前後における吸引負圧

超音波膜洗浄 吸引負圧	Flux (m/day)				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
膜洗浄前 (kPa)	0.43	1.06	1.63	2.00	2.49
膜洗浄後 (kPa)	0.36	0.67	1.23	1.89	2.28



### 3.12 考察

本研究では実液水槽を作製して、PTFE 平膜を用いた膜分離型廃水浄化モデル実験に活用した。他の汚泥再生処理センターと他分野の廃水処理施設（水産加工事業所）における PTFE 平膜の優位性の再確認と、その活性汚泥生物相の調査、アンモニア性窒素による膜ファウリング現象の検証、超音波による PTFE 平膜洗浄が可能であるかということ、志摩環境事業協業組合の実験施設で検証を行った。得られた知見をまとめると、次の通りである。

- (1) 鳥羽志勢広域連合の管理する汚泥再生処理センター（鳥羽志勢クリーンセンター）の活性汚泥（生物膜原水槽）を用いて PTFE 平膜と CPE 平膜の性能比較を行ったところ、PTFE 平膜は CPE 平膜よりも明らかに小さい膜間差圧を示し、その性能は約 3.44 倍優れていた。これは PTFE 平膜の方が CPE 平膜よりも膜ファウリングを起こしにくいことを意味しているため、薬液洗浄サイクルが長くなることになる。したがって、某汚泥再生処理センターだけではなく、他の汚泥再生処理センターにおいても、PTFE 平膜のもつ優位性は再現性が十分にあることが分かった。
- (2) 志摩市にある水産加工事業所の活性汚泥（膜分離槽）を用いて PTFE 平膜と CPE 平膜の性能比較を行ったところ、PTFE 平膜は CPE 平膜よりも小さい膜間差圧を示し、その性能は約 1.67 倍優れていた。膜ファウリングや薬液洗浄サイクルについては前述同様である。したがって、汚泥再生処理センターだけではなく、他の分野の廃水処理施設においても、PTFE 平膜のもつ優位性は再現性があることが分かった。
- (3) 上記 CPE 平膜と比較した PTFE 平膜の優位性に関して、水産加工事業所で約 89%の低下率となったことにより、汚泥再生処理センター（3.44 倍）と水産加工事業所（1.67 倍）の違いについて検証した。活性汚泥のろ過性に差が生じたと考え、それぞれの生物相を調査した結果、水産加工事業所と汚泥再生処理センターと決定的な相違点を見つけることができた。水産加工事業所は汚泥再生処理センターと比較すると、繊毛虫類が多く出現することが分かった。繊毛虫類の繊毛や分泌するタンパク質や酵素など、平膜のろ過性を低下させるような活性汚泥全体に何らかの悪影響を及ぼしている可能性が十分に考えられる。

(4) 高濃度アンモニア性窒素による膜ファウリングが、人為的に再現できることが分かった。高濃度アンモニア性窒素が、微生物の働きを阻害するなどして、し尿などの有機物を生物反応段階で未分解にしている可能性が非常に高いと推定した。さらに、本実験で得られたデータから、BOD-MLSS 標準負荷時の本事業所（水産加工事業所）において、アンモニア性窒素濃度上昇に伴う平膜ろ過性能の低下率も計算することができた。しかしながら、まだサンプル数が少なく、活性汚泥の性状（ろ過性）も各現場により異なるところがあるが、高濃度アンモニア性窒素による膜ファウリングの目安になったと考えられる。

(5) PTFE 平膜の超音波膜洗浄は吸引負圧 2 kPa までは十分な効果が得られることが分かった。また、ばっ気をした状態の気液二相混合流の中では、超音波は伝わりにくく、実液（活性汚泥）を用いた場合は、ばっ気を停止しても、超音波が活性汚泥中の微生物に当たって減衰し、膜面に到達できないことが分かった。現時点では、その膜洗浄効果は十分とはいえないが、吸引負圧 10 kPa の閉塞物除去を目標とし、今後の条件設定次第で超音波膜洗浄は、より大きな効果が得られると思われる。

本膜分離型廃水浄化モデル実験では、某汚泥再生処理センターの実施設における膜分離高負荷脱窒素処理に応用した約 1 年間の連続稼働による実証データが非常に役立った。この実証試験で、PTFE 平膜と CPE 平膜とも、膜のフラックス（透過流束）はろ過方程式（Darcy 則）に従うことが分かったため、あらゆる局面において現実に起こっている現象を明確に数値で分析することができた。この Darcy のろ過方程式から導き出された一次式が非常に優れていた点は、膜のフラックスだけでなく、平膜が同一の種類（製造品質的な個体差を除く、ろ過性能が同一）であれば、活性汚泥のろ過性の変化まで、ほぼ正確に比較できたことであった。その結果、活性汚泥の平膜に対するろ過性について、一歩踏み込んだ検討ができるようになり、超音波膜洗浄や、活性汚泥生物相の顕微鏡観察などを織り交ぜ、新しい発見ができる可能性が広がった。本モデル実験においても、PTFE 平膜の有効性を示す有意義なデータが取得でき、耐ファウリング性が非常に高いことが分かった。汚泥再生処理センターや水産加工事業所だけでなく、浄化槽や食品加工事業所、下水処理場などの分野へ PTFE 平膜の利用が期待できる。また、超音波などの技術的な新融合や、活性汚泥のろ過性の研究など、今後の PTFE 平膜の利用がさらに広がっていくと思われる。

### 3.13 参考文献

- (1) 日本フローセル株式会社：フローセル流量計 取扱説明書, P. 1～10 (2011).
- (2) 本多電子株式会社：産業機器事業部 洗浄総合カタログ, P. 1～5 (2011).
- (3) 鳥羽志勢広域連合：鳥羽志勢クリーンセンター 処理施設フロー, P. 1～3 (2010).
- (4) 財団法人日本環境整備教育センター：浄化槽の維持管理 (第1編), P. 16～20 (2004).
- (5) 社団法人日本下水道処理施設管理業協会：小規模下水道処理施設 維持管理マニュアル 1998年度版, P. 170～179 (1998).
- (6) 株式会社クボタ：液中膜技術ハンドブック, P. 67～68 (2001).
- (7) 古崎康哲、榊原隆司、菊川哲生、笠原伸介、石川宗孝：ATP を指標とした余剰汚泥削減型活性汚泥モデルの構築, 環境工学研究論文集 Vol. 43, 大阪工業大学, P. 411～417 (2006).
- (8) 見手倉幸雄、古崎康哲、奥田友章、甲斐智子、笠原伸介、石川宗孝：超音波を用いた余剰汚泥削減メカニズムに関する研究, 環境工学研究論文集 Vol. 40, 大阪工業大学, P. 11～21 (2003).
- (9) 見手倉幸雄、古崎康哲、榊原隆司、安藤卓也、笠原伸介、石川宗孝：超音波を用いた余剰汚泥削減システムに関する研究, 環境工学研究論文集 Vol. 39, 大阪工業大学, P. 31～41 (2002).



### 3. 14 現地の適応性に関する検証

本研究では、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）分離平膜を新規に作製し、某汚泥再生処理センターの実施設における膜分離高負荷脱窒素処理に応用した。約1年間の連続稼働による実証データを取得し、塩素化ポリエチレン（CPE）平膜を用いた場合と比較し、現地の適応性に関する検証を行った。本処理センターの生物膜原水槽と凝集膜原水槽にPTFE平膜を設置することで、その両方の処理プロセスに適応できた。現地の膜分離高負荷脱窒素処理（生物膜原水槽）において、PTFE平膜はCPE平膜と比較すると、明らかに小さい膜間差圧を示した。これは、PTFE平膜の方が膜ファウリングを起こしにくく、薬液洗浄サイクルが長くなることを示している。また、凝集沈殿処理においても、PTFE平膜はCPE平膜と比較すると、明らかに小さい膜間差圧を示した。これは、膜分離高負荷脱窒素処理の場合と同様に、膜ファウリングを起こしにくく、薬液洗浄サイクルが長くなり、薬液使用量と作業人件費が削減できることを示す。さらに、3回のインライン薬液洗浄によってPTFE平膜はCPE平膜と同等に、ほぼ初期状態に回復させることができた。PTFE平膜は、某汚泥再生処理センターにおいては、非常に高い適応性を示した。そのため、現地の適応性に関する検証後となる平成24年3月、本処理センターにPTFE平膜1965枚を納入することができた。これは、PTFE平膜が現地に対して高い適応性を示した証明となるような納入実績であった。

次に、他の汚泥再生処理センターと他分野の廃水処理施設（水産加工事業所）におけるPTFE平膜の現地適応性を検証した。いずれも地元地域に所在する廃水処理施設である。志摩環境事業協業組合の実験施設に実液水槽を設置し、汚泥再生処理センターと水産加工事業所の活性汚泥を用いたPTFE平膜の膜分離型廃水浄化モデル実験を行った。両者において、PTFE平膜はCPE平膜と比較すると明らかに小さい膜間差圧を示し、これは現地の適応性が十分にあることを示唆している。某汚泥再生処理センターでの検証は顕著な成功事例であるが、現地の適応性を総合的に検証する上では、他の廃水処理施設も含めた全体的な納入実績および使用期間実績が必要である。これまでの納入実績を表3-15に示す。製品保証期間は納入後2年であるため、最低2年以上のノークレーム・ノーリターンが必須条件となる。保証期間終了後もCPE平膜と同等の寿命（約5年）が顧客からは要求される。全納入先での実証試験は、時間的・経済的にも困難であるため、適応性を評価するには顧客の満足度調査に頼らざるを得ない。したがって今後は、リピーターが増加することが現地の適応性に関する最大評価結果だと思われる。

表 3-15. 納入実績 (2013 年 3 月現在)

整理 番号	物件名	納入 場所	枚数	納入日	経過 月数	保証 期間
1	製菓事業所	三重	75	2009 年 10 月	41	終了
2	産業廃水処理施設①	宮崎	100	2009 年 11 月	40	終了
3	水産加工事業所	三重	50	2010 年 7 月	32	終了
4	汚泥再生処理センター①	某所	300	2010 年 10 月	29	終了
5	食品加工事業所	岡山	170	2010 年 11 月	28	終了
6	産業廃水処理施設②	三重	570	2011 年 1 月	26	終了
7	汚泥再生処理センター②	熊本	300	2011 年 3 月	24	終了
8	産業廃水処理施設③	三重	25	2011 年 4 月	23	有
9	産業廃水処理施設④	静岡	17	2011 年 9 月	18	有
10	汚泥再生処理センター③	新潟	150	2012 年 1 月	14	有
11	汚泥再生処理センター④	滋賀	65	2012 年 1 月	14	有
12	産業廃水処理施設⑤	埼玉	36	2012 年 2 月	13	有
13	汚泥再生処理センター⑤	四国	10	2012 年 3 月	12	有
14	汚泥再生処理センター①	某所	1,965	2012 年 3 月	12	有
15	汚泥再生処理センター①	某所	150	2012 年 9 月	6	有
16	汚泥再生処理センター⑤	福岡	100	2012 年 9 月	6	有
17	産業廃水処理施設⑤	埼玉	600	2012 年 10 月	5	有
合計枚数			4,683			



### 3. 15 ろ過膜を用いた水質浄化モデル実験の考察

第2章では、汚泥再生処理センターにおけるPTFE平膜を用いる膜分離高負荷脱窒素処理で、現地の適応性に関する検証ができたことが最大の研究成果であった。PTFE平膜の優位性を証明する長期間の実施設データが取得でき、数式的解析が成功したことに重要な意味があった。現地の適応性に関しては、PTFE平膜が既設のCPE平膜と比較して、どれほどの優位性があるかが重要であり、その優位性を証明する手段が必要不可欠となったからである。ここで、Darcyのろ過方程式から導き出された一次式は、理論性と実用性の観点から優れており、PTFE平膜の現地への適応性、すなわち、優位性を証明する手段として非常に貢献したと思われる。

第3章に記載した実液水槽を作製したことは非常に成功であった。全ての現場（納入先）において現地の適応性に関する検証（実証試験）を行うことは、時間的・経済的にも不可能であったからである。この実液水槽により、検証対象となる現場の活性汚泥さえ入手できれば、PTFE平膜とCPE平膜の優位性を即日に比較検証ができる。場合によっては、遠方の地域であっても、実液水槽を移動させることによって（適応性の検証対象となるその現場で）、実証試験をすることも可能である。この実液水槽を活用して、他の汚泥再生処理センターや水産加工事業所、アンモニア性窒素による膜ファウリング現象や、超音波膜洗浄の検証ができ、某汚泥再生処理センターでの研究成果を水平展開することができた。

さらにここでも、前述の一次式が優れていた点は、平膜の優位性の比較だけではなく、平膜が同一の種類であれば、活性汚泥のろ過性の変化まで、ほぼ正確に比較できたことであった。この一次式を用いた活性汚泥の平膜に対するろ過性の検証など、一步踏み込んだ研究ができるようになったことは、新しい発見ができる可能性をもたらした大きな研究成果であった。

第2章・第3章は、実験を中心とした内容である。某汚泥再生処理センターでのPTFE平膜の優位性を検証する実証試験に始まり、志摩環境事業協業組合内の実験施設において、その優位性を再確認することを目的とした実液水槽モデル実験を繰り返した。これらの章では、単に実験条件と結果を記載するだけではなく、実験に関係する原理、注意事項、廃水処理方法や処理装置、実験を再現するのに必要な使用機器類などをなるべく詳細に記載した。今後の研究課題は山積しているものの、当初に予定した研究成果を十分に出すことができたと思われる。



### 3.16 要約（第2章・第3章まとめ）

第2章・第3章で得られた知見を簡潔に箇条書きでまとめると、以下の通りである。

- (1) 汚泥再生処理センターの生物膜原水槽において、PTFE 平膜の適応性は十分であった。
- (2) 同処理センターの凝集膜原水槽においても、PTFE 平膜の適応性は十分であった。
- (3) 同処理センターでは PTFE 平膜と CPE 平膜ともに、膜フラックスはろ過方程式（Darcy 則）に従っていることが分かった。
- (4) PTFE 平膜は CPE 平膜と同様に、薬液洗浄を行うことによって、ほぼ初期の状態に回復させることができた。
- (5) 前項 (1) は、他の汚泥再生処理センターにおいても、同様に適応性が再現できた。
- (6) 前項 (1) は、他の廃水処理施設（水産加工事業所）でも、同様に適応性が再現できた。
- (7) アンモニア性窒素による膜ファウリング現象の人為的な再現と検証ができた。
- (8) 超音波膜洗浄は可能であり、低い吸引負圧（2.0 kPa 以下）の閉塞物を除去できた。
- (9) 膜ファウリング現象と関与するかも知れない微生物を特定できた。
- (10) 前項 (3) の一次式により、活性汚泥（ろ過性）の比較ができた。
- (11) 前項 (3) の一次式により、前項 (5)～(8) について、明確な数値での比較ができた。

今後の研究課題を同様にまとめると、以下の通りである。

- (1) CPE 平膜より長いと予想した PTFE 平膜の交換サイクルの検証。
- (2) デジタル圧力計とインターネットを利用した平膜現場の遠隔監視システムの構築。
- (3) 超音波膜洗浄における最適条件の研究による超音波洗浄機のコスト削減。
- (4) 超音波キャビテーション効果と、薬液化学反応を組み合わせた膜洗浄システムの構築。
- (5) アンモニア性窒素による膜ファウリング現象のデータ蓄積と数式的解析。
- (6) 膜ファウリング現象と関与するかも知れない微生物の生態研究。
- (7) PTFE 平膜納入先の顧客満足度調査と、現地の適応性に関する継続した検証。

これまで得られた知見と今後の研究課題は、PTFE 平膜の販売事業の発展に深く関わっている。本研究は緒論でも述べた通り、三重県産業支援センターが補助したベンチャー事業でもある。某汚泥再生処理センターの納入など、本研究成果は事業を大きく発展させた。今後も研究と事業を同時に推進することが大切であり、さらに、地域一体型の製造体制を構築することによって、地元地域の産業活性化に貢献できる可能性が高まったと思われる。

## 第4章

### 膜分離型廃水浄化システム効果検討

#### (事例研究 1)

##### 製菓事業所での検討事例

#### 4.1 要約

本事例研究では、膜分離型廃水浄化システムを構築するために、主要装置である MBR に内蔵する PTFE 平膜の耐久性を検証した。現場で約 3 年間使用した PTFE 平膜を 5 枚回収し、平膜の基本的な性能試験（P. 52～55）を行ったところ、薬品洗浄回復の度合や溶着部剥離強度などのデータを取得できた。本製品（PTFE 平膜）の保証期間は 2 年であるが、一般的には CPE 平膜の寿命は 3～5 年であるため、最低でも 3 年以上の寿命が必要である。現時点でそれはクリアしているが、顧客の立場から考えると 5 年以上の寿命であることが望ましい。したがって、残り 2 年以上（計 5 年以上）の寿命があるかを検証した。その結果、本製品は製菓事業所においては推定 5 年以上の寿命があることが分かった。

#### 4.2 製菓事業所における事例

最初の事例は、三重県内の製菓事業所である。本事業所は本研究において最も古い現場であり、PTFE 平膜の耐久試験のために納入し、CPE 平膜から PTFE 平膜への全数交換から約 3 年が経過した。今までトラブルは一切なく、順調に稼動してきた。処理プロセスの概略を図 4-1 に示す。本事業所の廃水処理設備は膜分離活性汚泥方式を採用し、処理能力 15  $\text{m}^3/\text{day}$ 、流入水質は BOD 600  $\text{mg/L}$ 、COD 2,200  $\text{mg/L}$ 、MLSS 15,000～20,000  $\text{mg/L}$  であった。実際の実処理量の平均値は 3  $\text{m}^3/\text{day}$ 、処理水質は、BOD 0.5  $\text{mg/L}$  未満、COD 5.4  $\text{mg/L}$ 、SS 1.0  $\text{mg/L}$  未満、pH 7.5～7.8 で推移した。膜分離槽の平膜設置枚数は 75 枚、最大設計フラックス 0.3  $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 、有効膜面積 60  $\text{m}^2$ 、膜処理量 18  $\text{m}^3/\text{day}$  の膜分離能力がある。本事業所の PTFE 平膜をサンプルとして 5 枚回収し、工場で基本的な性能試験を行い、残りの寿命を推定した。

約 3 年前、本事業所の既設 CPE 平膜は経年劣化で廃棄処分となり、全数を PTFE 平膜に交換したため、CPE 平膜との性能比較などは一切できなかった。性能比較ができなかったことに関しては残念であったが、PTFE 平膜の試作ができた初期の段階であったこともあり、実液に対する耐久性の検証と実績作りを最優先と考えた。本事業所で約 9 ヶ月間、PTFE 平膜にトラブルが発生しないかを確認した。その結果、トラブルもなく順調であったため、水産加工事業所における膜分離型廃水浄化システムの開発に着手した。水産加工事業所の実証試験承諾に関しては、本事業所の実績が唯一あったことで、かろうじて説得に成功したと思われる。したがって、当時は全く実績がなかったにも関わらず、PTFE 平膜を採用してくれた本事業所に感謝している。



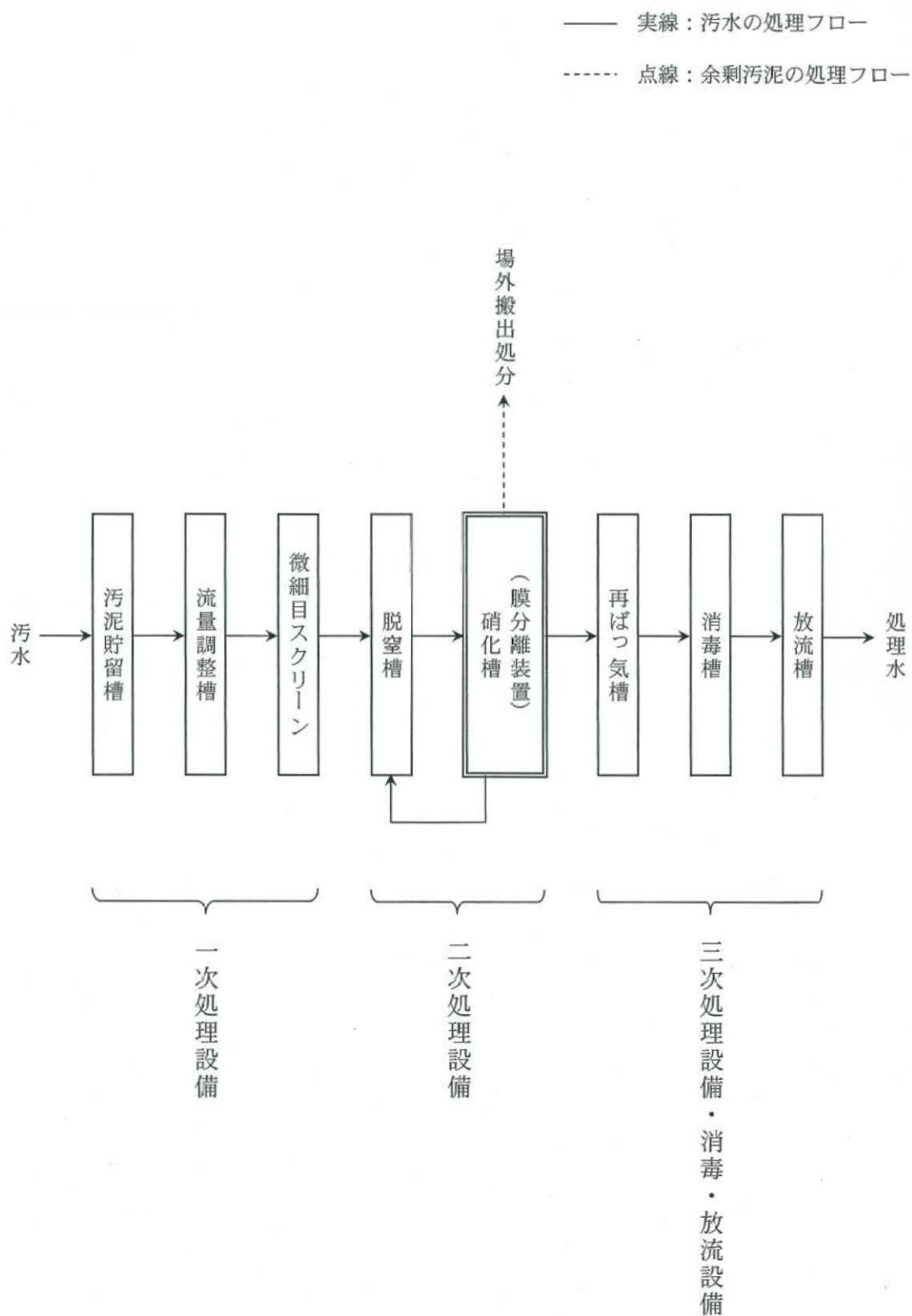


図 4-1. 処理プロセスの概略

#### 4.3 清水透過水量と薬品洗浄

清水透過水量の試験結果を図 4-2 に示す。本事業所で約 3 年使用した PTFE 平膜を 5 枚、回収した（図 4-4）。回収直後の平膜は図 4-5 のような状態で、膜面の中央下部に活性汚泥が付着していたが、この程度であれば、ばっ気によるクロスフロー（混合液の流れ）で十分に除去できるレベルである。クロスフローで除去できないレベルになった場合は、活性汚泥が平膜間に脱水汚泥（脱水ケーキ）状に堆積し、MBR から平膜を取り出すことも困難になる。したがって、本事業所の MBR の運転状態は、それほど悪い状態ではないと思われる。このサンプル 5 枚を工場に持ち帰り、薬品洗浄前の清水透過水量を測定した。その結果、サンプル全数が規格値（930 mL/min）を超えることができなかったため、本事業所の PTFE 平膜は薬品洗浄の時期であると判断している。

サンプルを持ち帰った工場では、平膜に付着した有機物の汚れを分解除去するために、0.5%の次亜塩素酸ナトリウム（表 4-1）水溶液による薬品洗浄を行った。なお、清水透過水量試験器（P. 52 図 2-10）は、透明塩ビ製の耐薬品仕様で作製してあるため、清水透過水量を測定した平膜をそのままの状態に薬品洗浄をすることができる（図 4-6・図 4-7）。次亜塩素酸ナトリウム水溶液による薬品洗浄の反応時間（平膜の浸漬時間）は 1 時間とした。この反応時間が 1 時間であることに関しては、現場で薬品洗浄を実施する時間的な都合や、平膜薬品洗浄の評価基準を一定にするために決めた基準であって、より次亜塩素酸ナトリウム水溶液による膜洗浄効果を上げるには長時間の浸漬の方が好ましい。有機物の分解反応は長時間かかるのが一般的であり、例えば一般家庭でも白シャツを漂白する場合は（襟首などに付着したタンパク質を分解するためには）、一晩の漬け置き洗いが有効であることが知られている。したがって、次亜塩素酸ナトリウム水溶液による薬品洗浄において、浸漬を 1 時間行った場合でも膜洗浄効果が少し足りなかった場合には、浸漬時間を長くすれば良い結果が得られることが分かっている。今回 5 枚のサンプルの薬品洗浄後の清水透過水量は、サンプル 2 枚が規格値を越え、サンプル 3 枚が 870～880 mL/min で規格値をやや下回った。この 3 枚は、規格値を越えた 2 枚と比較すると、薬品洗浄前の清水透過水量試験結果が 300 mL/min 程度低く、相当に汚れていた（膜ファウリングしていた）サンプルであった。したがって、相当に汚れていた 3 枚のサンプルは、規格値を超えることはできなかったものの、次亜塩素酸ナトリウム水溶液による薬品洗浄で、かなり回復を示したといえる。この薬品洗浄結果から、本事業所の PTFE 平膜は有機物の汚れが多く付着しているこ

とが分かったため、次亜塩素酸ナトリウム水溶液による薬品洗浄を奨励することができ、浸漬時間を所定の1時間より少し長時間にすれば、現場で良い結果が得られると思われる。

さらに、無機物の汚れを分解除去するために、1.0%のシュウ酸（表4-2）水溶液による薬品洗浄を行った。シュウ酸水溶液による薬品洗浄の反応時間は1時間である。この1時間に関しても、前述同様に決めた時間であって、無機物の化学反応は時間よりも濃度に依存することが分かっている。したがって、1.0%のシュウ酸水溶液による薬品洗浄において、膜洗浄効果が少し足りなかった場合は、薬品濃度を濃くすれば良い結果が得られた現場が多い。今回のサンプル5枚に関しては、このシュウ酸水溶液による薬品洗浄も良好な回復を示した。シュウ酸水溶液による薬品洗浄は、次亜塩素酸ナトリウム水溶液による薬品洗浄を行った直後でなければ、膜洗浄効果が低いことが分かっている。正確な検証はされていないものの、廃水処理における平膜の現場では確実に起こることであり、無機物の汚れを有機物の汚れが被覆しているためだと考えられている。最終的な透過水量としては、サンプル全数が規格値を超えることができた。このサンプル5枚の最終結果としては、平均値で1,176 mL/minの清水透過水量であった。PTFE平膜の外観状態を図4-8（薬品洗浄前）と図4-9（薬品洗浄後）に示した。薬品洗浄前の膜面が薄い茶色の状態であるのに対し、薬品洗浄後は膜本来の白色に近い色になっているのが分かる。絶対ではないが、薬品洗浄後の外観と膜ファウリング除去の度合に関しては、ある程度は比例することが多い。サンプル番号の油性マジックの黒色も薄くなっているため、次亜塩素酸ナトリウム水溶液とシュウ酸水溶液の薬品洗浄効果が強力であるのがうかがえる。新品のPTFE平膜の初期清水透過水量である1,940 mL/minと比較した場合は、本事業所における約3年間の使用で約39%も清水透過水量は低下している。しかしながら、現場使用が可能と判断できる規格値（930 mL/min）を上回っているため、今後も継続した使用が十分に可能である。

なお、本試験結果を新品の初期清水透過水量と比較するのは非常に厳しいことである。新品であっても清水（水道水）で1時間程度ろ過すれば、清水透過水量は5~6%は低下する。したがって、本研究などを行う場合は、PTFE平膜とCPE平膜ともに常に新品を使用しなければならない。新品のCPE平膜の初期清水透過水量が1,300 mL/min程度であることから、約3年間使用したにも関わらず、サンプル5枚の平均値で1,176 mL/minの清水透過水量が得られたことは、本事業所にとって非常に良い結果であった。本事業所におけるPTFE平膜のろ過性能に関する寿命については、特に問題はないと思われる。



#### 4.4 気密保持

気密保持の試験結果を図 4-3 に示す。本事業所から回収した PTFE 平膜のサンプル 5 枚の気密保持の試験結果は良好であった。本事業所から回収したサンプル 5 枚の気密保持の試験結果であるが、サンプル番号 1・3・4 の気密保持の試験結果は、真空圧を 20.0 kPa から始めて 5 分後に 15.0 kPa を維持した。したがって、真空圧の降下速度は 1.0 kPa/min となり、規格値 (2.0 kPa/min) を上回る良好な状態であった。サンプル番号 2・5 の気密保持の試験結果は、同様に 5 分後に 14.0 kPa を維持し、真空圧の降下速度は 1.2 kPa/min であった。サンプル番号 1・3・5 と比較すると若干低下はしていたものの、それでも規格値を上回っているため気密保持性能は良好であると判断した。

廃水処理の分野における平膜の基本的な性能試験においては、気密保持の試験結果と清水透過水量の試験結果（薬品洗浄後）を合わせて同時に検討する必要がある。例えば、気密保持の試験結果が悪い時は平膜のどこかに欠陥孔があり、阻止性が失われているということであるから、いくら清水透過水量の試験結果が良くても意味がない。また、一度使用した平膜の気密保持試験をする場合は、薬品洗浄で膜の閉塞物を極力除去した状況で試験を行うことが望ましい。平膜に欠陥孔があるのに、膜の閉塞物によって気密保持の試験結果が見かけ上、良くなる場合があるからである。したがって、現在使用中の平膜が適切な状態であるかどうかは、薬品洗浄後の清水透過水量の試験結果と気密保持の試験結果が良いことが条件となる。本事業所では、この両方の条件（試験結果の規格値）を満足したので、平膜は現在、非常に良好な状態であるといえる。

本試験結果（気密保持）から平膜の残りの寿命を予測した場合、サンプル番号 1・3・4 は約 3 年間で真空圧の降下速度が 0.0 kPa/min から 1.0 kPa/min になったので、単純計算をすれば 1 年間で約 0.33 kPa/min 低下したことになる。したがって、これから 2 年間で約 0.66 kPa/min 低下すると推定でき、2 年後の真空圧の降下速度は 1.66 kPa/min と予測される。これは規格値を満たすので問題はない。次に、サンプル番号 2・5 は約 3 年間で真空圧の降下速度が 0.0 kPa/min から 1.2 kPa/min になったので、同様に単純計算すると、2 年後の真空圧の降下速度は 2.0 kPa/min と予測され、これも規格値以内である。5 枚のサンプル試験結果の比率から計算すると、2 年後は、平膜全体の約 60 % が非常に良好、残りの約 40 % も規格値以内と予測した。

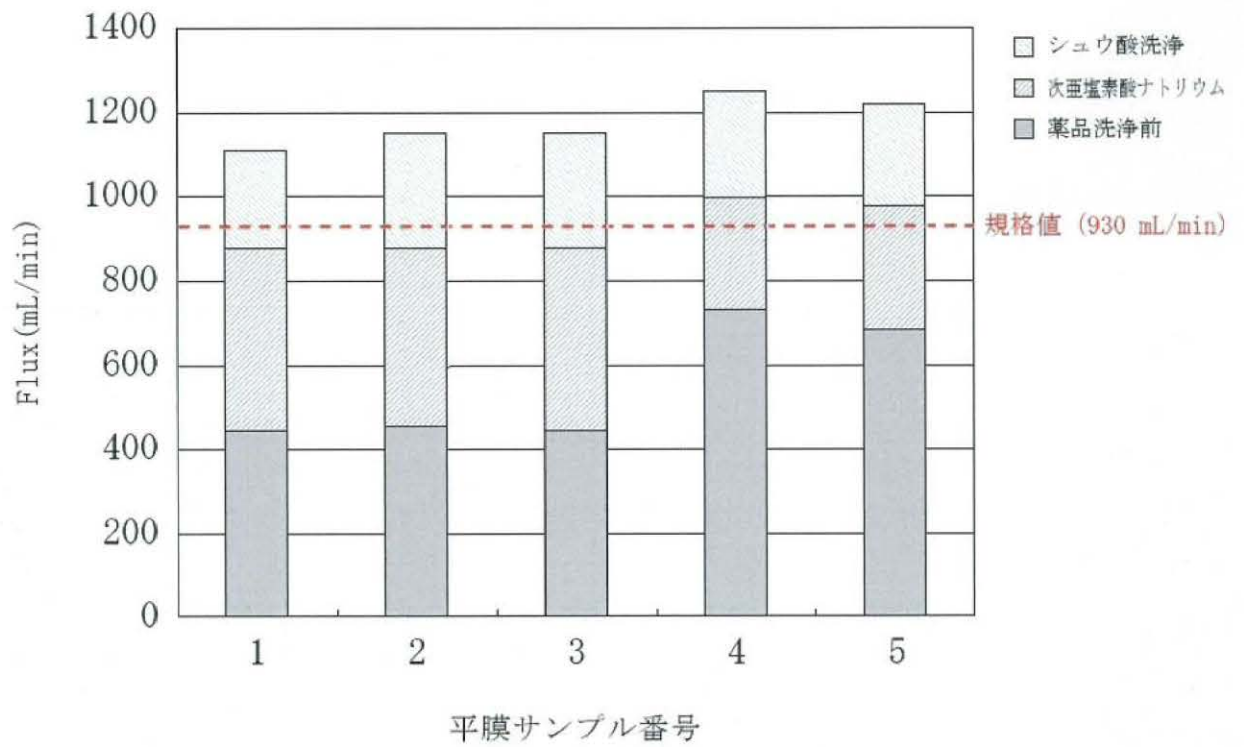


図 4-2. 清水透過水量の試験結果

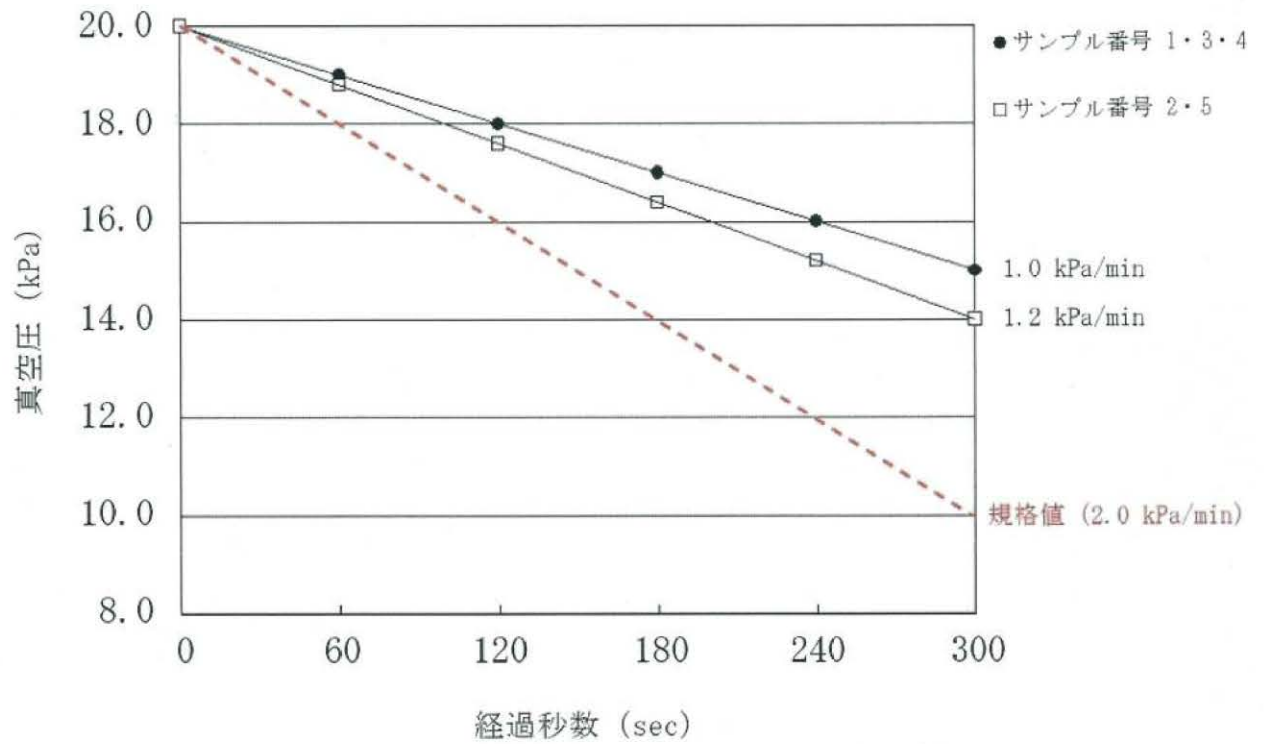


図 4-3. 気密保持の試験結果

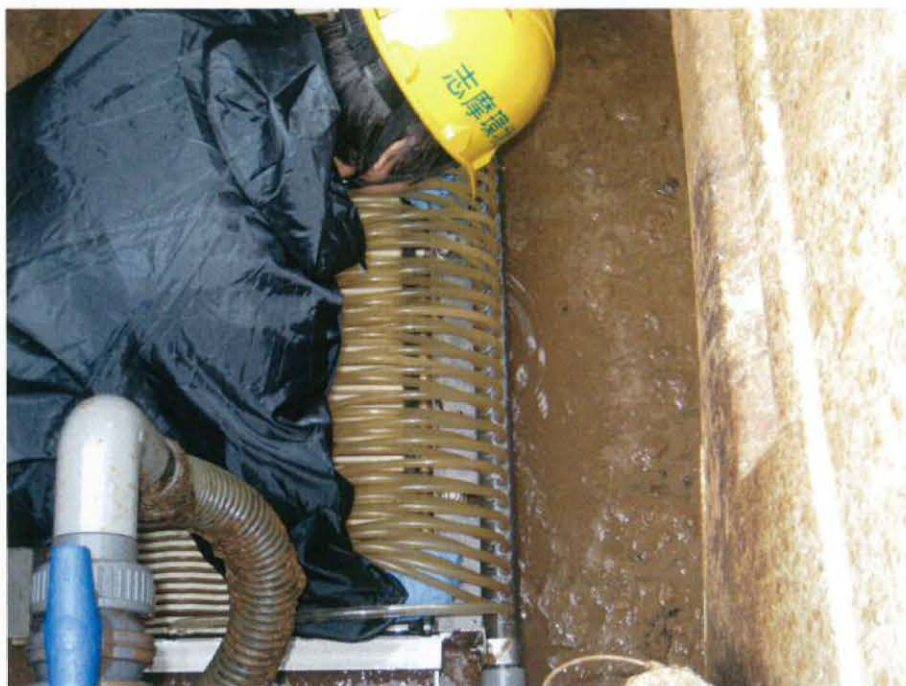


図 4-4. PTFE 平膜の回収作業



図 4-5. 回収した PTFE 平膜





図 4-6. 清水透過水量試験器

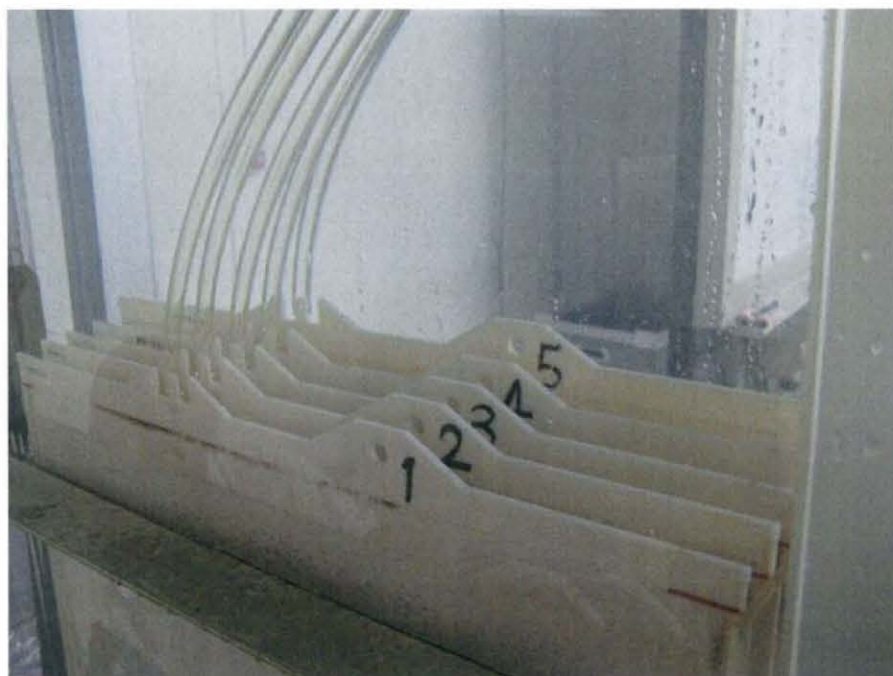


図 4-7. 試験器内部の PTFE 平膜 (5 枚)



図 4-8. 薬品洗浄前



図 4-9. 薬品洗浄後（次亜塩素酸ナトリウム水溶液＋シュウ酸水溶液）

表 4-1. 次亜塩素酸ナトリウム水溶液 (NaOCl)

製造元	東亜合成株式会社	
区分	-	標準品
内容量	L/本	20
成分含有量（有効塩素）	%	12.0 以上
密度	g/cm <sup>3</sup>	1.07～1.14
溶解度	-	29.3 g/100ml
融点／沸点	℃	18／101

表 4-2. シュウ酸 (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)

製造元	菱江化学株式会社	
区分	-	標準品
容量	kg/袋	25
成分含有量	%	99.6 以上
密度	g/cm <sup>3</sup>	1.653 (18.5 ℃)
溶解度	-	14.3 g/100mL
融点	℃	101.5 (二水和物)



#### 4.5 溶着部剥離強度

溶着部剥離強度の試験結果を表 4-3 に示す。溶着部剥離強度の測定箇所は図 4-10 の通りである。平膜は膜面上部の溶着部剥離強度が低下し易いことが分かっている。膜面がクロスフローによって上方に押し上げられ、上部の溶着部で繰返し応力が発生するからである。したがって、平膜の表面と裏面の上部を測定箇所とし、念のため側面も測定した。なお、平膜の溶着部は全周が 2 重になっている。

サンプル 5 枚の全ての測定箇所が規格値 (16 N/20mm) を上回っており、良好であった。サンプル番号 3 において表②外側の溶着部剥離強度が 16.2 N/20mm であり、規格値に対して余裕がない印象を受けるが、2 重の溶着部は外側でなく内側が重要であるので特に問題はないと判断した。内側の溶着部でもっとも低かった強度は、サンプル番号 5 裏④の 17.7 N/20mm であるが、規格値を十分に上回っていた。参考として溶着部剥離強度が正常な場合の例を図 4-11 に示す。2 ヶ所の溶着部剥離強度のピークは左が内側、右が外側の溶着部を示している。いずれも 16 N/20mm を上回り、かつ内側と外側が同程度の強度であり理想的な例である。次に、溶着部剥離強度が低下した場合の例を図 4-12 に示す。内側と外側の溶着部が規格値を下回っている。使用中の現場において、平膜の溶着部が剥離して汚泥が侵入するなどのトラブルが懸念される例である。

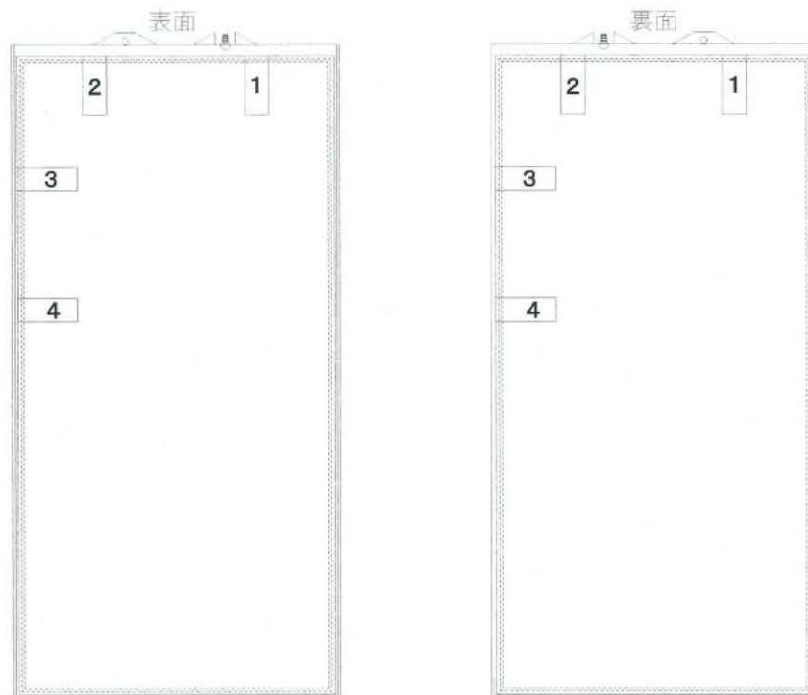


図 4-10. 溶着剥離強度試験の測定箇所

表 4-3. 溶着剥離強度の試験結果

サンプル番号		測定箇所 (N/20mm)							
		表①	表②	表③	表④	裏①	裏②	裏③	裏④
1	内	21.8	22.3	21.2	23.9	20.0	23.5	24.0	20.7
	外	21.2	20.4	20.2	18.7	20.6	23.4	23.9	18.0
2	内	24.3	24.5	27.5	19.2	18.9	21.9	26.4	20.6
	外	25.7	23.4	22.9	17.5	22.7	22.1	26.8	22.0
3	内	19.7	21.8	25.5	23.6	22.9	20.3	22.2	33.2
	外	18.0	16.2	27.7	22.9	28.3	22.2	18.4	23.0
4	内	23.1	25.4	25.2	18.2	19.2	26.3	23.5	30.4
	外	21.8	25.2	26.7	19.0	18.9	27.8	26.1	26.8
5	内	18.4	19.8	24.3	18.7	18.5	21.8	18.8	17.7
	外	17.0	20.8	22.6	17.7	16.4	21.3	18.9	18.1

内：2重の溶着部（シール部）の内側

外：2重の溶着部（シール部）の外側

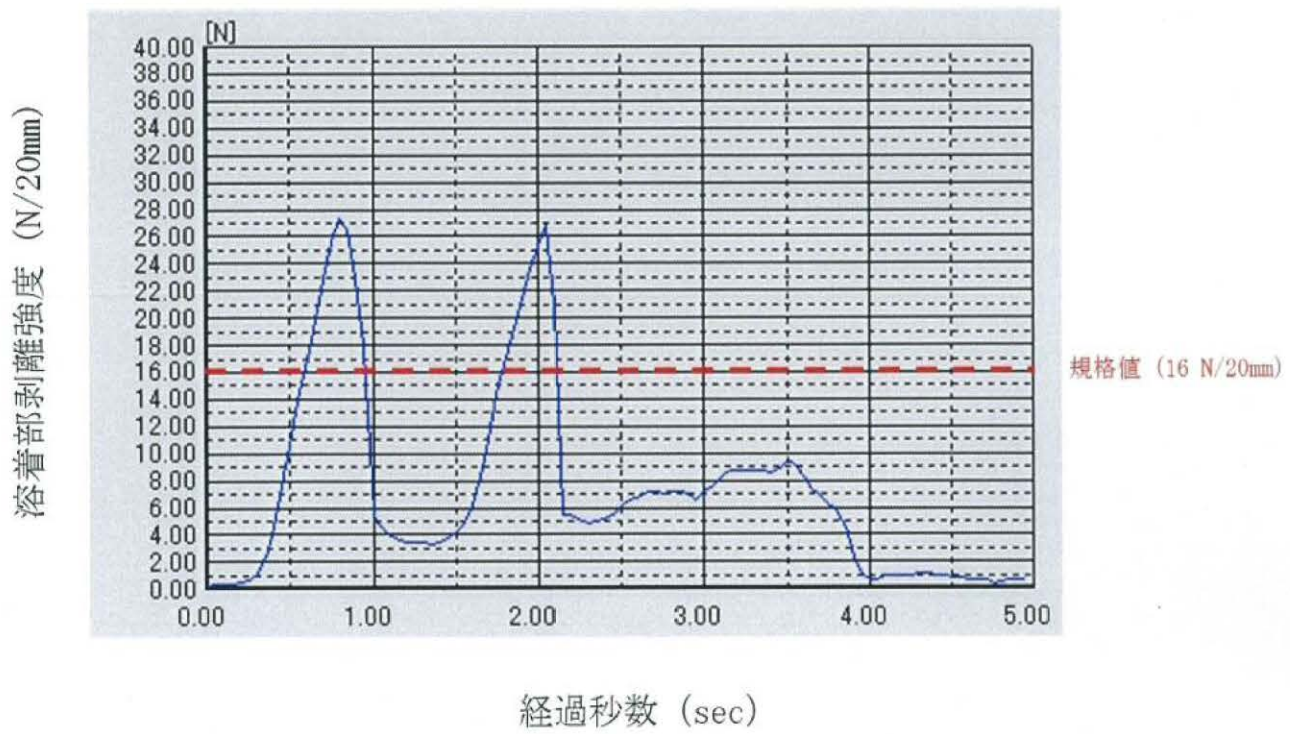


図 4-11. 溶着剥離強度の正常例

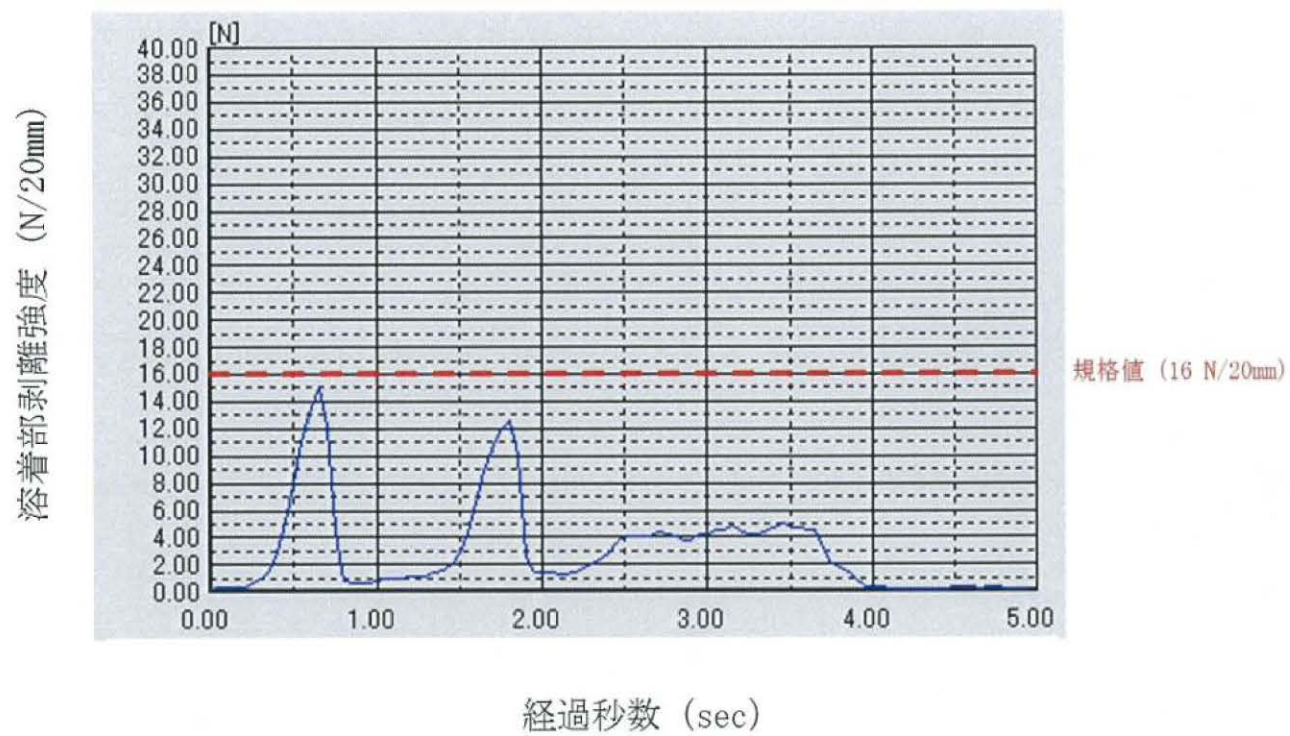


図 4-12. 溶着部剥離強度の低下例



#### 4.6 考察

本事例研究では、高性能小型膜分離型廃水浄化システムを構築するために、主要装置である MBR に内蔵する PTFE 平膜の清水透過水量、気密保持、溶着部剥離強度を検証した。本事業所で約 3 年間使用した PTFE 平膜を 5 枚回収し、実証データを取得し、残りの寿命を予測した。得られた知見をまとめると次の通りである。

- (1) 清水透過水量の試験結果から、本事業所において約 3 年間使用した PTFE 平膜は、薬品洗浄によって規格値を上回る回復ができることが分かった。当面は次亜塩素酸ナトリウム水溶液による薬品洗浄だけで、十分な平膜の透過水量の回復ができると思われる。場合によっては、シュウ酸水溶液による薬品洗浄をすることも一考である。
- (2) 気密保持の試験結果から、規格値を上回る十分な気密保持性能が残っていることが分かった。また、気密保持試験における真空圧の降下速度の低下率から、今後 2 年間は十分に使用できるという予測をすることができた。気密保持に関しては、全体の約 60% が全く問題はないと思われる。
- (3) 溶着部剥離強度の試験結果から、規格値を上回る十分な溶着部剥離強度が残っていることが分かった。

平膜の寿命を決定するのは、気密保持や溶着部剥離強度などの機械的な強度低下によって使用が困難になった場合と、薬品洗浄で回復しなくなり設計透過水量が確保できなくなった場合である。本事業所における約 3 年使用の PTFE 平膜においては、これらは全く問題がないことが分かった。また、気密保持に関してはあと 2 年以上、問題はなさそうである。しかしながら今後も継続して本事例研究を行い、少なくともあと 2 年間は本事業所の PTFE 平膜の経過観察をする必要がある。

さらに、使用 5 年経過の段階において、本事例研究で行った試験を再度行うこととする。本事例研究の結果から、今後 2 年間においては、PTFE 平膜の気密保持性能などが低下してくる可能性が十分に考えられる。その際は PTFE 平膜の交換時期ということになる。今後、顧客が納得するような平膜交換を奨励するためには、本事例研究における試験データでの報告などが重要になってくるとと思われる。

## 第5章

### 膜分離型廃水浄化システム効果検討

#### (事例研究 2)

水産加工事業所での検討事例

## 5.1 要約

本事例研究は、膜分離型廃水浄化システム（膜分離型廃水浄化装置）を構築するために、本システムの主要装置である MBR の試作機を設計・開発し、水産加工事業所における実用化試験を実施した。本研究では設置工事期間の短縮が可能なプレキャストコンクリート製水槽を活用して、既存廃水処理施設に本システムを安価に追加する方式を検証した。その結果、短期間の工事で、かつ安価に本システムを追加することができた。さらに、処理水質が向上したため、放流先の閉鎖性水域である英虞湾の水質保全に貢献することができた。

## 5.2 水産加工事業所

本事業所は三重県志摩市内にある水産加工品の製造工場である。地域の主要産業であり、近年の水産加工品の需要増加から、本事業所が保有する廃水処理施設が能力不足になってきていた。本事業所の処理水は、閉鎖性海域である英虞湾に放流されている。本事業所側の要望として、本システムを採用するにあたり、以下の2つの条件が提示された。

- (1) 工場を休業できる日数は土曜と日曜の最大2日が限度であるため、本システム設置の工事期間は短工期とすること。また、本事業所が操業中である平日は、水産加工品の原料搬入と製品出荷により頻繁にトラック 10t 車が出入りするため、工事安全上の面から平日は一切避ける必要がある。
- (2) 費用の面から廃水処理施設を新規に建設するのではなく、既存廃水処理施設に本システムを追加（機能強化）する方式とすること。

志摩市においては、本事業所のような事情がある水産加工事業所などは多数あり、この2つ条件は、今後、膜分離型廃水浄化システムを構築するための最低必要条件になると思われる。これらのことより、上記の第1条件に関しては、プレキャストコンクリート製水槽を活用することで1~2日の工期が可能であった。第2条件に関しては、本システムを追加することが非常に適切であった。本システムの処理方式である膜分離活性汚泥法は、沈殿槽を不要とすることと生物反応槽（膜分離槽）をコンパクトにできることである。この2つの利点は、今回の事例においては、プレキャストコンクリート製水槽と組み合わせることで相乗効果的な良い結果をもたらした。



### 5.3 処理プロセス

処理プロセスの概略を前述 P. 99 図 3-20 (機能強化後) に示した。本事業所の機能強化後の設計処理能力は、処理量 (流入污水量)  $26 \text{ m}^3/\text{day}$ 、流入水質 BOD  $4,000 \text{ mg/L}$ 、放流水質 BOD  $20 \text{ mg/L}$  である。膜分離活性汚泥法の設計処理能力は、Flux  $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 、有効膜面積  $50 \text{ m}^2$  (有効膜面積  $1.0 \text{ m}^2 \times 50 \text{ 枚} \times 1 \text{ ユニット}$ )、処理量  $15 \text{ m}^3/\text{day}$  である。実際の流入水質は BOD  $600 \sim 4,000 \text{ mg/L}$ 、COD  $2,200 \text{ mg/L}$  であり、膜分離槽の活性汚泥濃度は MLSS  $15,000 \sim 20,000 \text{ mg/L}$  であった。実際の実処理量の平均値は  $20 \text{ m}^3/\text{day}$ 、処理水質は BOD  $16 \text{ mg/L}$  未満、COD  $44 \text{ mg/L}$ 、pH 7.2 で推移した。処理水質の BOD に関しては、以前は  $20 \text{ mg/L}$  程度であったが、機能強化後は処理水質を 20% 以上は改善することができた。

本事業所の処理プロセスについては、まず、廃水 (污水) は調整槽に流入する。この調整槽で、ばっ気槽と接触ろ過槽、膜分離槽の BOD-MLSS 負荷の都合から流入廃水量を調整した。本事業所の廃水処理施設における図面上の記載は調整槽とされているが、この槽は流量調整槽と呼ぶのが一般的である。本事業所は水産加工品の製造を行っているため、廃水成分のほとんどが魚類の血液と油脂分であった。時期によって水産加工対象となる魚類が変わるため、その廃水成分は常に一定でなかった。本処理施設は最大で BOD  $4,000 \text{ mg/L}$  を想定しているが、機能強化後の水質検査では BOD  $20 \text{ mg/L}$  を超えることはなかった。汚泥再生処理センターほどの前処理設備ではないが、調整槽にはし渣カゴがついており、このカゴでし渣を除去した。稀ではあるが、し渣カゴに魚が丸ごと 1 匹入っていたこともあった。油分離槽で油脂成分の分離と脱窒素反応を行い、ばっ気槽と接触ろ過槽、膜分離槽で硝化反応を行った。これらの脱窒素処理の詳細については P. 26 「(6) 脱窒素処理」に記載した。三次処理設備として再びばっ気槽があるが、この槽ではほとんど生物反応処理を行う必要はなく、消毒槽への流量調整程度である。この再びばっ気槽への流入段階で、廃水が処理できていないようでは問題となる。したがって、再びばっ気槽からの余剰汚泥引抜は発生しなかった。最後に固形のトリクロロイソシアリ酸 (一般的な水処理用の塩素系消毒剤) で消毒し、放流槽から処理水として放流した。

以前 (機能強化前) の処理水質は BOD  $20 \text{ mg/L}$  程度で、活性汚泥の BOD-MLSS 負荷の状態によっては処理水が白濁したこともあった。処理水の白濁については、P. 108 表 3-11 「処理水質 BOD 濃度 (処理水の状態)」欄に記載した通りである。これは BOD-MLSS 負荷が高負荷になっていたことが原因であった。現在、機能強化後の処理水は BOD  $16 \text{ mg/L}$  未満で推移しており、以前のような処理水が白濁することはなくなっている。

#### 5.4 プレキャストコンクリート製水槽

本研究事例では、ヘキサプラント社のプレキャストコンクリート製水槽を採用した（図 5-1）。プレキャストコンクリートとは、工場などで事前に生コンクリートを打設し、完成させたコンクリートのことである。略称してプレコンなどと呼ばれることが多い（本論でも以下プレコンと略称する）。現場で生コンクリートを打設するのに比べると、かなりの工期短縮が可能である。また、現場で生コンクリートを打設する場合は天候の影響を受けるため、養生期間を含めて、どうしても余裕をもった工期が必要になりがちである。さらに、悪天候で工事を中止せざるを得ないと判断した場合は、手配した掘削重機のキャンセルや掘削途中における周囲地盤崩壊防止の矢板鋼板の施工、掘削穴に溜まる雨水のポンプアップ、関係者と一般人を含めた掘削穴落下防止の安全対策など、余分な費用がかかるばかりである。その点、プレコンは少々悪天候は気にせずに施工ができるため、これらの問題をほとんど考えずに済んだ。その中でも、掘削途中に矢板鋼板の施工をしなくて済んだことは、本事業所側の本システムの採用条件（P. 148）に関して、非常に貢献した。これらのコスト削減の詳細については第 6 章に記載した。本事例研究ではプレコン製水槽を掘削から始めて 1 日で設置できた（図 5-2～図 5-9）。

一見、良いこと尽くめのプレコンではあるが、その唯一の短所は大型トレーラーによる輸送費にある（図 5-2）。特に水槽が大型になる場合はプレコンの輸送費が高くなるため、廃水処理の分野ではほとんど採用されず、むしろ不向きといって良い。水槽が大型化するにしたがって、現場打設の方が安いという結論に至ることが多いからである。ここで、膜分離活性汚泥法に用いられる膜分離槽は、従来の処理方式よりも水槽をコンパクトにできる長所がある。したがって、膜分離活性汚泥法の膜分離槽に関しては、プレコンの唯一の短所である水槽の大型化に不向きである点と逆の方向性であるため、従来方式よりもプレコンを採用できる機会が多くなる。さらには沈殿槽も不要となることで、本事例検討においても、膜分離活性汚泥法を採用した時点で、沈殿槽用のプレコン製水槽 1 槽分とそのトレーラー輸送費を削減することができた。

一方、水槽内に設置する MBR は、据付時の水平レベル調整が重視される。MBR の水平レベルが出ていないということは、MBR 内に設置された散気装置が傾いているということである。仮に MBR 内部の散気装置が傾いている場合、散気される空気は低水深の散気孔を中心に出去しまい、ばっ気に偏りが生じる。すると、ばっ気によって生じる混合流が一定で



なくなり、膜洗浄効果が均一に発揮されず、最悪のケースでは散気不良により MBR の膜間に活性汚泥が脱水ケーキ状に閉塞することがある。ゆえに、一般的に MBR 据付時における水平レベルの施工基準は 1/1000 mm 以下という厳しいものが要求されている。土木施工における水平レベルの施工基準がほとんどは 10/1000 mm 程度であることから、MBR は 10 倍以上の施工精度が要求されていることになる。一般的な平膜型 MBR の水平レベル調整方法は、水槽底部にケミカルアンカーで打設する M16 程度の寸切りボルトと、ユニット脚部 SUS 板とダブル角ワッシャー・ボルトで調整する構造になっている（図 5-10）。本事例検討で新規に作製したオリジナル MBR も、この水平レベル調整と同様の構造とした。狭い水槽内で水準器などのレベルラーによる MBR の水平レベル調整は、思いのほか時間を費やす作業である（図 5-11・図 5-12）。ここで、プレコン製水槽を現場打設のコンクリート水槽と比較すると、プレコン水槽は工場などで作製されたものであるため、水平方向と垂直方向の精度が高い。これは MBR を適当に仮設置するだけで、水平レベル調整をほとんどしなくて済むことを意味する。また、MBR の昇降のためのガイドレールの垂直レベル調整に関しても同様である。実際に本事業所でプレコン製水槽に MBR を据付した際は、MBR の水平レベル調整とガイドレールの垂直レベル調整が非常に楽であった。

これらのレベル調整に時間がかかるということは、据付作業員の人件費がかかるということである。MBR の据付台数が多くなれば、据付作業や水平レベル調整だけに、かなりの作業員、つまり人件費が発生する。例えばプレコン製水槽でない場合は、150 枚ユニット×6 台の据付作業と水平レベル調整で、最低でも 6 人分の人件費（3 名×2 日または 6 名×1 日）程度は必要だと思われる。作業者の熟練度にもよるが、プレコン製水槽であれば約半分の 3 人分ないし 4 人分での施工が可能であると推定した。したがって、本事例検討では、プレコン製水槽は MBR の据付精度が厳しいという短所を十分に補ってくれることが分かった。

以上の結果から、本事例検討においては、プレコンと MBR が施工上のお互いの短所を補うことによって、本システムを短工期で安価に施工できることが分かった。本事業所のような短後期、安価なシステムを求める水産加工事業所などは志摩市には多数あるため、今後、プレコンの活用は必須条件になると思われる。また、今回の MBR 据付とレベル調整の作業員は、本作業が初めてということもあり 3 名を手配したが（図 5-11）、今後は 2 名でも十分であることが分かった。なお、付帯設備については表 5-1～表 5-4 に記載した。



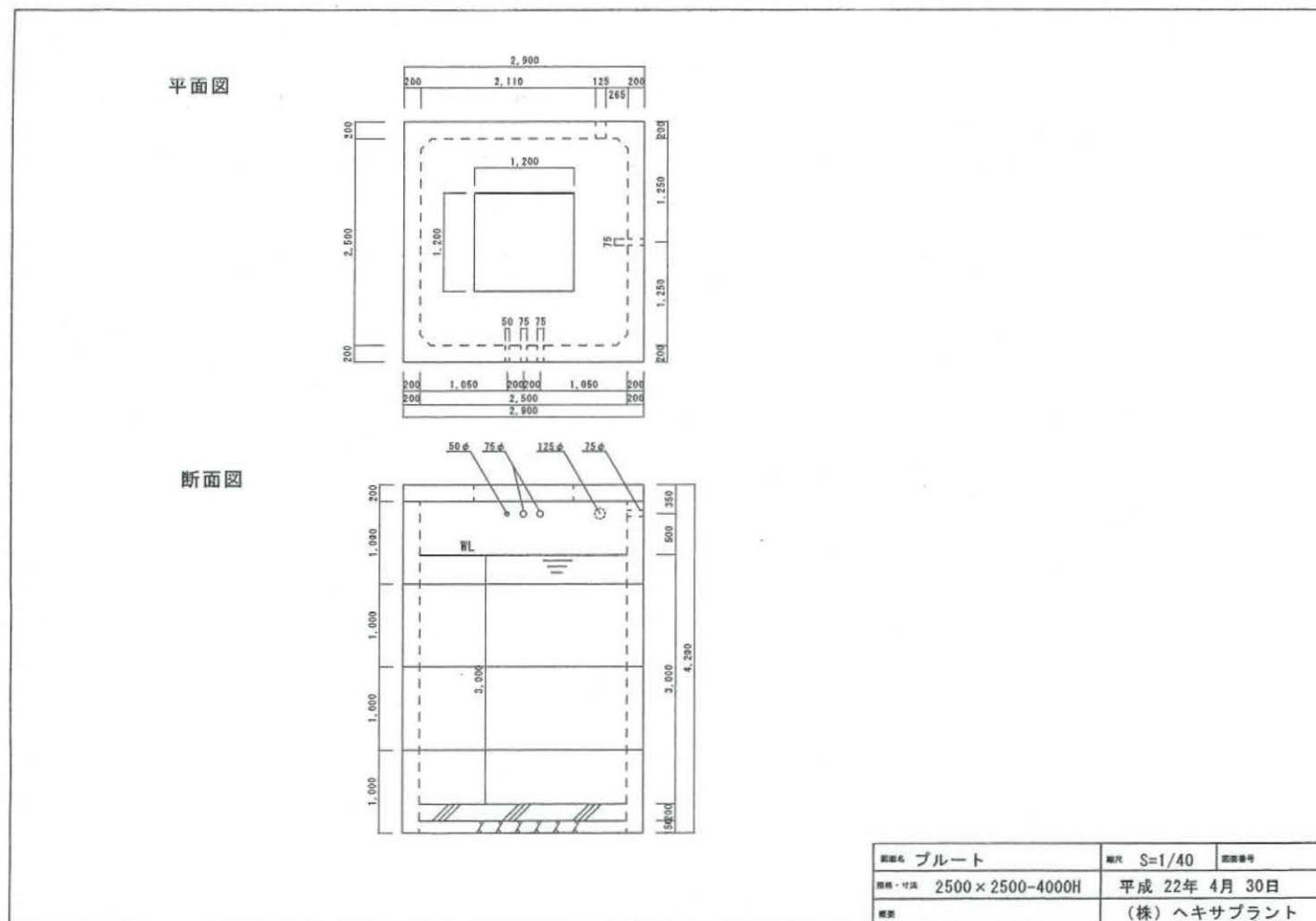


図5-1. プレキャストコンクリート製水槽



図 5-2. プレキャストコンクリート製水槽 (1) 搬入直後



図 5-3. プレキャストコンクリート水槽 (2) 受入検査



図 5-4. 重機による掘削 (1) 掘削穴の外部状況



図 5-5. 重機による掘削 (2) 掘削穴の内部状況





図 5-6. プレキャストコンクリート製水槽 (3) 設置前



図 5-7. プレキャストコンクリート製水槽 (4) 設置中



図 5-8. プレキャストコンクリート製水槽 (5) 設置中



図 5-9. プレキャストコンクリート製水槽 (6) 設置後

表 5-1. ブロワー（装置）の仕様

製造元	東浜工業株式会社	
型式	-	HC-40S
電圧	V	三相 200
周波数	Hz	60
使用圧力範囲	MPa	0.01~0.05
吐出口径	A (mm)	32
吐出風量 (0.3 kgf/cm <sup>2</sup> G)	m <sup>3</sup> /min	0.63
ブロワー回転数	rpm	500
オイル（有効量）	L	2.5 (1.7)
V ベルト	-	A-52
質量	kg	80

表 5-2. 吸引ポンプ（装置）の仕様

製造元	三相電機株式会社	
型式（全閉外扇屋内形）	-	25PSPZ-20338
モータ定格出力	W	250
定格出力	V	三相 200
定格電流	A	1.3
全揚程 7.0 m 吐出量	L/min	60
全揚程 5.0 m 吐出量		91
口径	A (mm)	25
揚液（液質/液温）	-	清水/海水
	℃	0~40
消費電力	W	370
モータプロテクター	-	手動復帰
使用環境	-	屋外設置可
質量	kg	14



表 5-3. アナログ式圧力計の仕様

製造元	長野計器株式会社	
型式	-	GS50-171
大きさ	φ	60
接続ネジ	-	R1/4
接液部材質（ブルドン管）	-	C6872T
接液部材質（株）	-	C3604BD
使用温度範囲	℃	-5～45
精度	-	JIS 1.6 級
ガラス	-	無機ガラス
安全窓	-	無
精度	% of F. S.	±1.6

表 5-4. 電磁流量計の仕様

製造元	日本フローセル株式会社	
型式	-	FLM30-15PCW
呼び径・接続	-	8 MM・R1/2
流量範囲（水）	L/min	1.1～15.0
使用温度範囲	℃	-10～+80
最高使用圧力	MPa	0.98
精度	% of F. S.	±3.0
再現性	%	±0.5
圧力損失	kPa	0.12～34.3
本体材質	-	PPS 樹脂
出力信号	-	オープンコレクタ補正パルス (30 VDC/20 mA)
ケーブル	-	5 芯シールドケーブル
伝送距離	Km	1
電源	-	リチウム電池ユニット (寿命 4 年間)

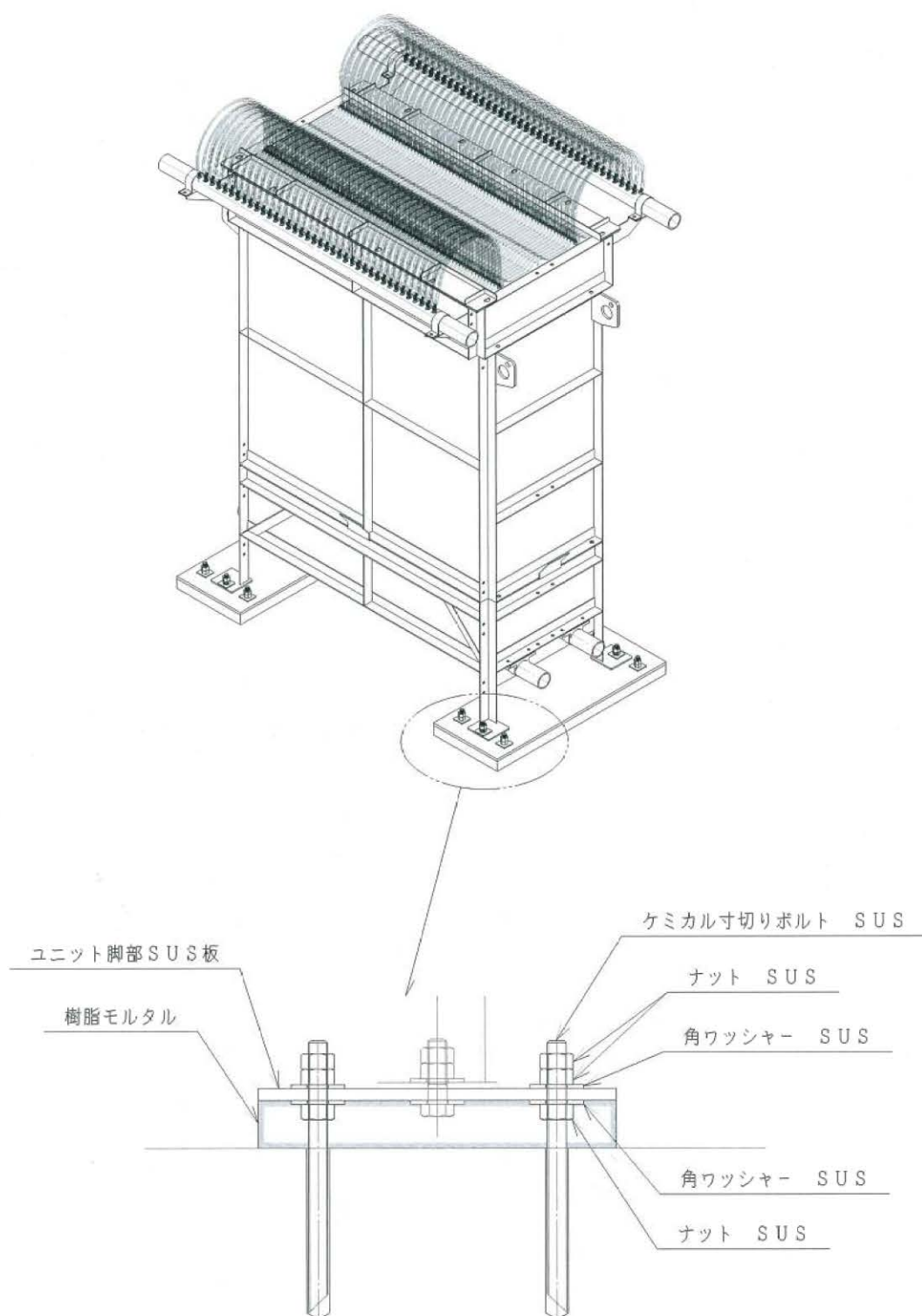


図 5-10. MBR 水平レベルの調整構造



図 5-11. 水平レベル調整前



図 5-12. 水平レベル調整後



## 5.5 試作 MBR（専用 PTFE 平膜内蔵）の作製と意匠登録

膜分離型廃水浄化システム（膜分離廃水浄化装置）を構築するための主要装置である試作 MBR を図 5-13・図 5-15 に示す。平膜を内蔵するケーシングは、汚水や活性汚泥による腐食を考慮しステンレス（SUS304）製とした。また、耐摩耗に優れたステンレスを採用したことは、超音波膜洗浄の際に内蔵した平膜が振動してケーシングが摩耗するのを防止することが目的である。したがって、超音波膜洗浄が必要なければ、より安価な樹脂等の部材でケーシングを作製することもできる。MBR 本体ケーシング（正面の点検窓のような部分）には、超音波洗浄機が設置できるようにした。使用する超音波洗浄機は P. 31（表 1-2・表 1-3）に記載した仕様のものである（図 5-16）。

透過水用集合管（図 5-17）と散気装置（図 5-18）は硬質塩化ビニル製で、各 2 本を設置した。従来の MBR は各 1 本なので、2 倍の数量である。透過水用集合管が 2 本である理由は、専用の PTFE 平膜（有効膜面積  $1.0 \text{ m}^2$ ）の取水ノズルを 2 本としたからで、平膜を透過する処理水のろ過抵抗を軽減することを目的とした。これにより、25%増の有効膜面積差もあるが、従来の平膜（有効膜面積  $0.8 \text{ m}^2$ ）よりも約 2 倍の高フラックス（清水初期透過水量）を実現することができた。また、MBR の散気装置は内部で活性汚泥が乾燥したりして散気穴が閉塞し易いので、なるべくシンプルに、かつ、平膜に対して散気効率が良くなるように、硬質塩化ビニル管を直線的に 2 本配置した。散気装置の散気穴は 6 mm とし 1 本につき 33 箇所、2 本で 66 箇所ある。散気装置（散気配管）が直線的である理由は、従来の複雑な形状の散気装置は人力によるブラシ洗浄などが非常に大変であるため、人力でのブラシ洗浄はもちろんのこと、場合によって下水道管などの高圧洗浄車による管洗浄などが容易にできると考えたからである。この試作 MBR には、専用の有効膜面積  $1.0 \text{ m}^2$  の平膜を 50 枚内蔵した（図 5-14）。従来の  $0.8 \text{ m}^2$  の平膜は有効膜面積が整数値でないため、フラックス計算等が面倒である。したがって、平膜 1 枚の有効膜面積は  $1.0 \text{ m}^2$  にしたかった。例えば、本研究事例で使用する試作 MBR は平膜を 50 枚内蔵し、合計有効膜面積は  $50 \text{ m}^2$  であるので、フラックス  $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$  で運転すれば処理量は  $15 \text{ m}^3/\text{day}$  となる。本試作 MBR では、フラックスと処理量の計算が非常に楽である。この専用平膜は、透過水のノズル部をガードする構造（登録第 1395791）や、下部にばっ気による振動摩耗を低減するためのエッジ（登録第 1395792）、チューブ抜け防止（登録第 1395793）などを工夫した（図 5-19～図 5-22）。これらは形状的なもので、日本（全体 1 件・部分 3 件）・中国（全体 1 件）・韓国（全体 1 件）で意匠登録を完了した（図 5-23～図 5-28）。

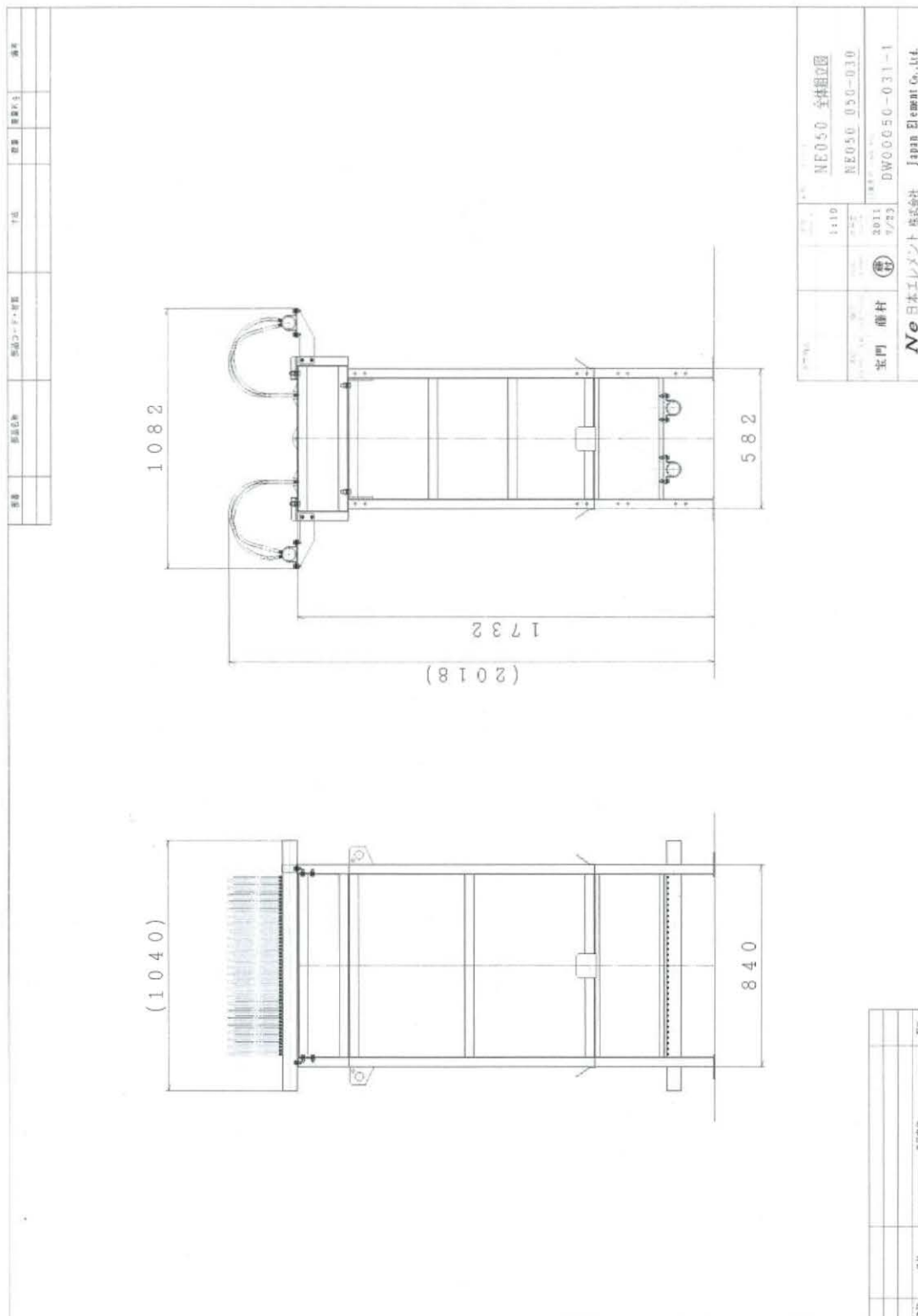


図5-13. 試作MBRの模式図

[illegible]





図 5-15. 試作 MBR (オリジナル MBR)



図 5-16. 超音波洗浄機

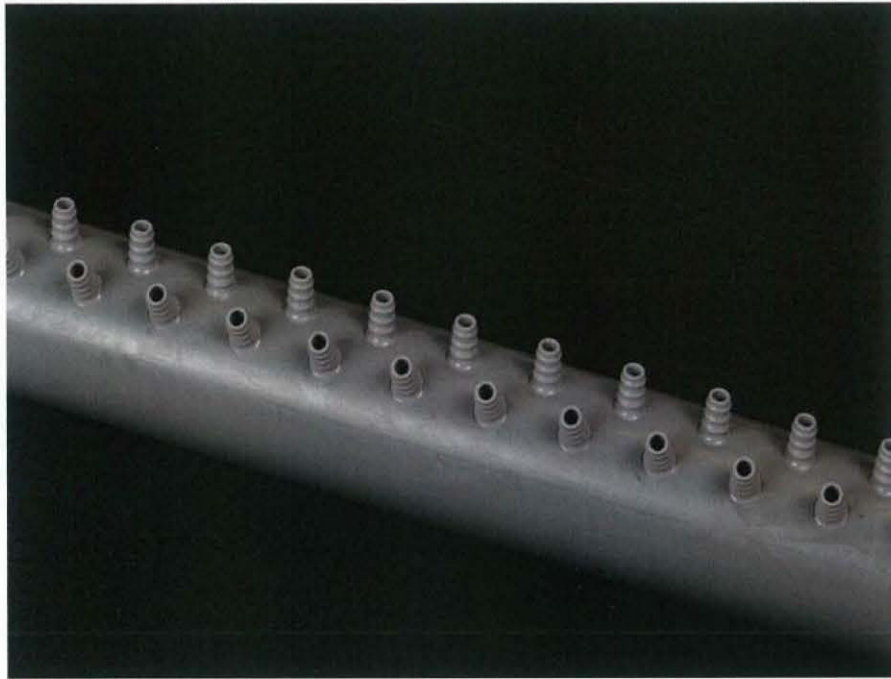


図 5-17. 透過水用集合管



図 5-18. 散気ケーシング（散気装置）

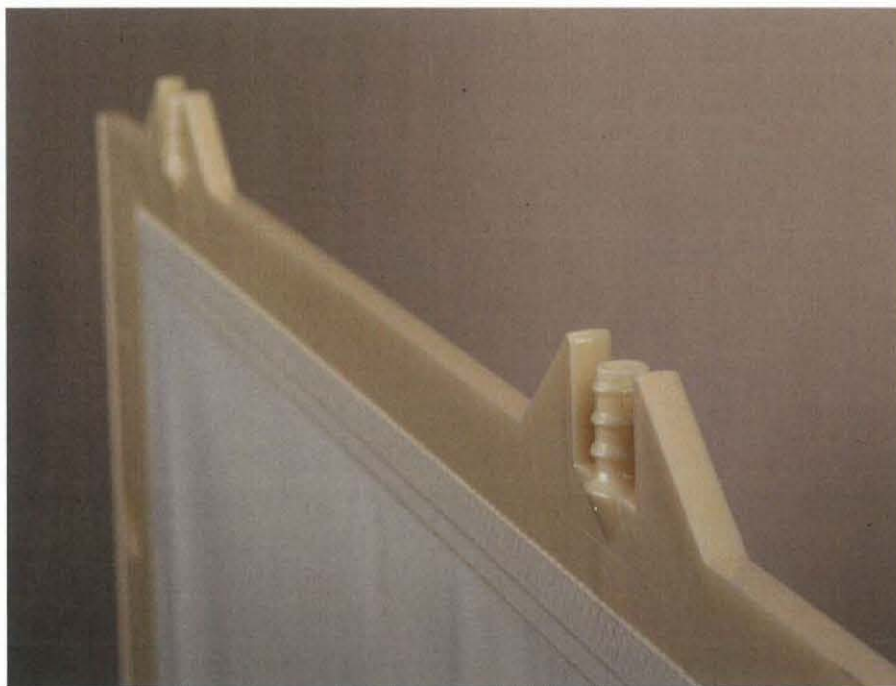


図 5-19. ツインノズル

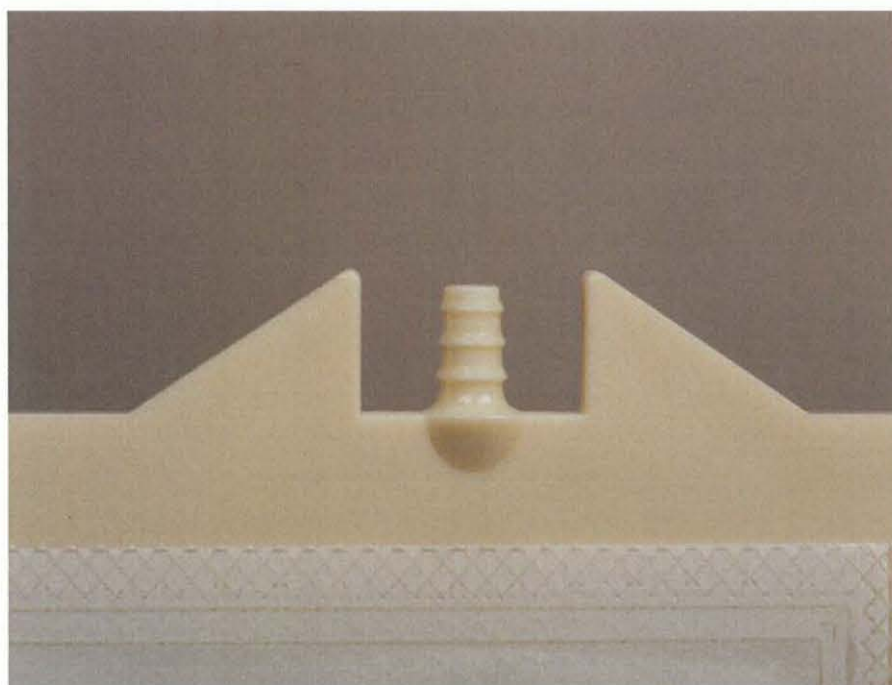


図 5-20. ノズルガード（登録第 1395791）





図 5-21. ろ板下部エッジ (登録第 1395792)

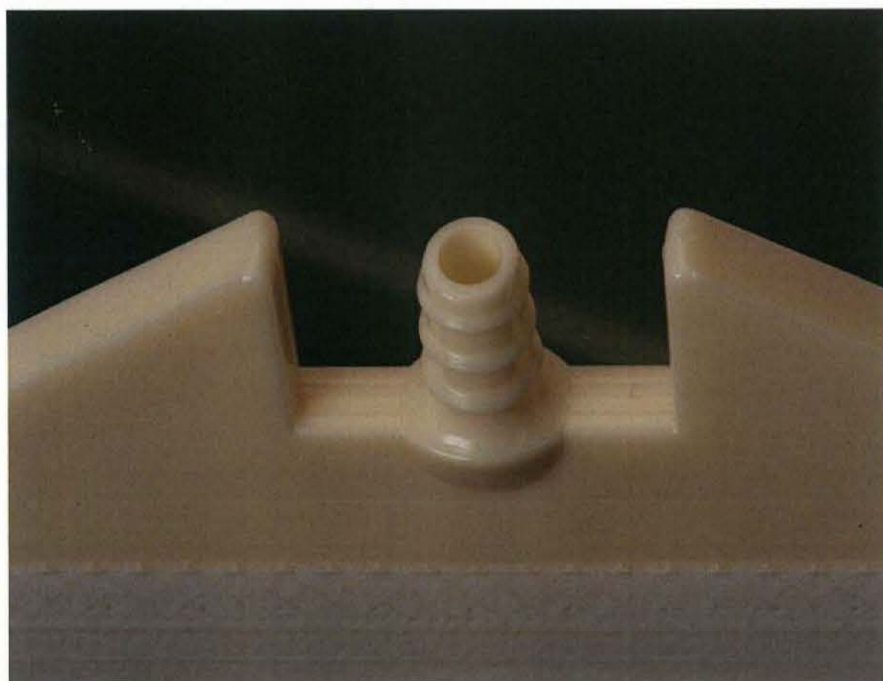


図 5-22. チューブ抜け防止 (登録第 1395793)



図 5-23. 日本の意匠登録証 (1/4) 全体意匠

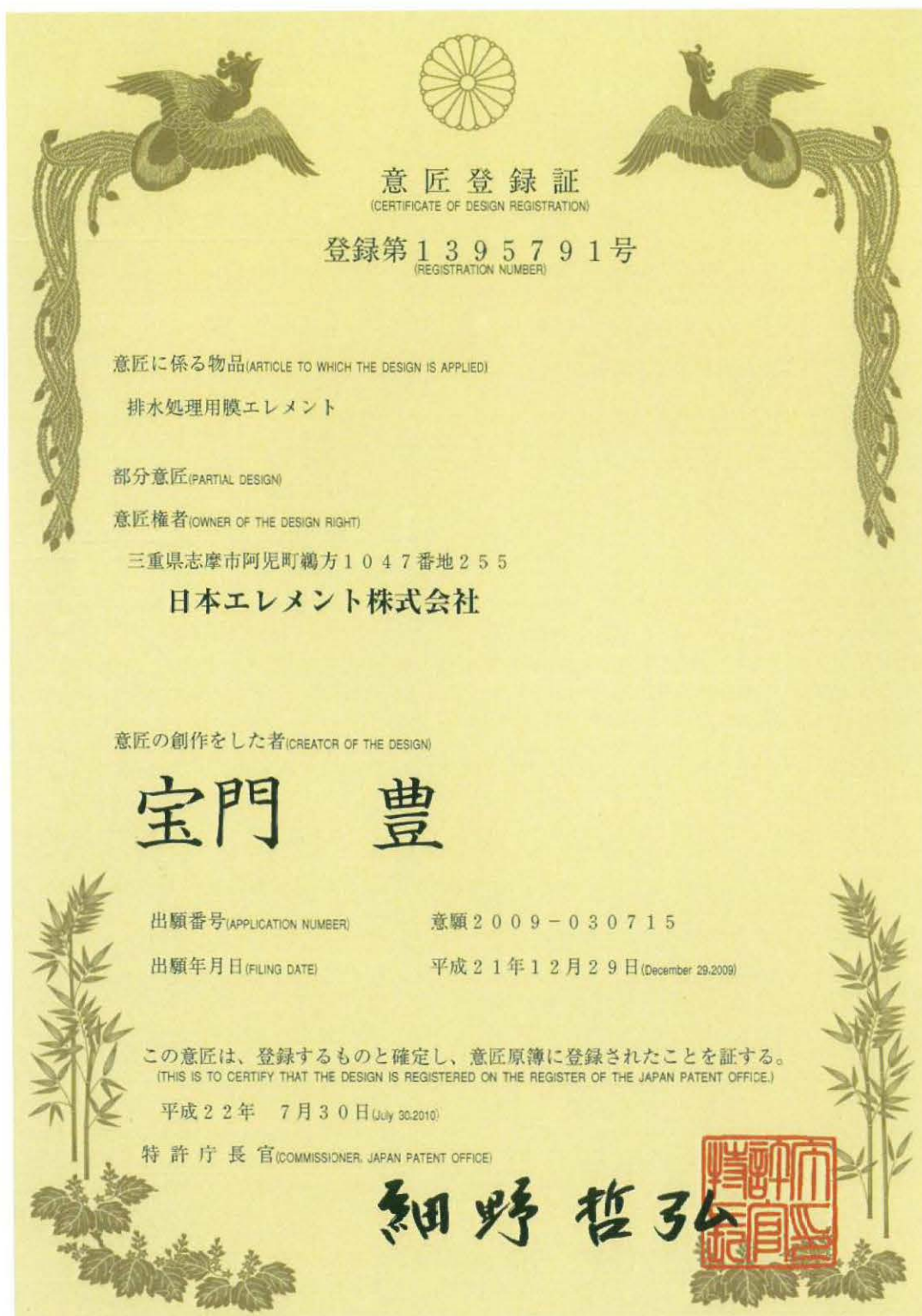


図 5-24. 日本の意匠登録証 (2/4) 部分意匠



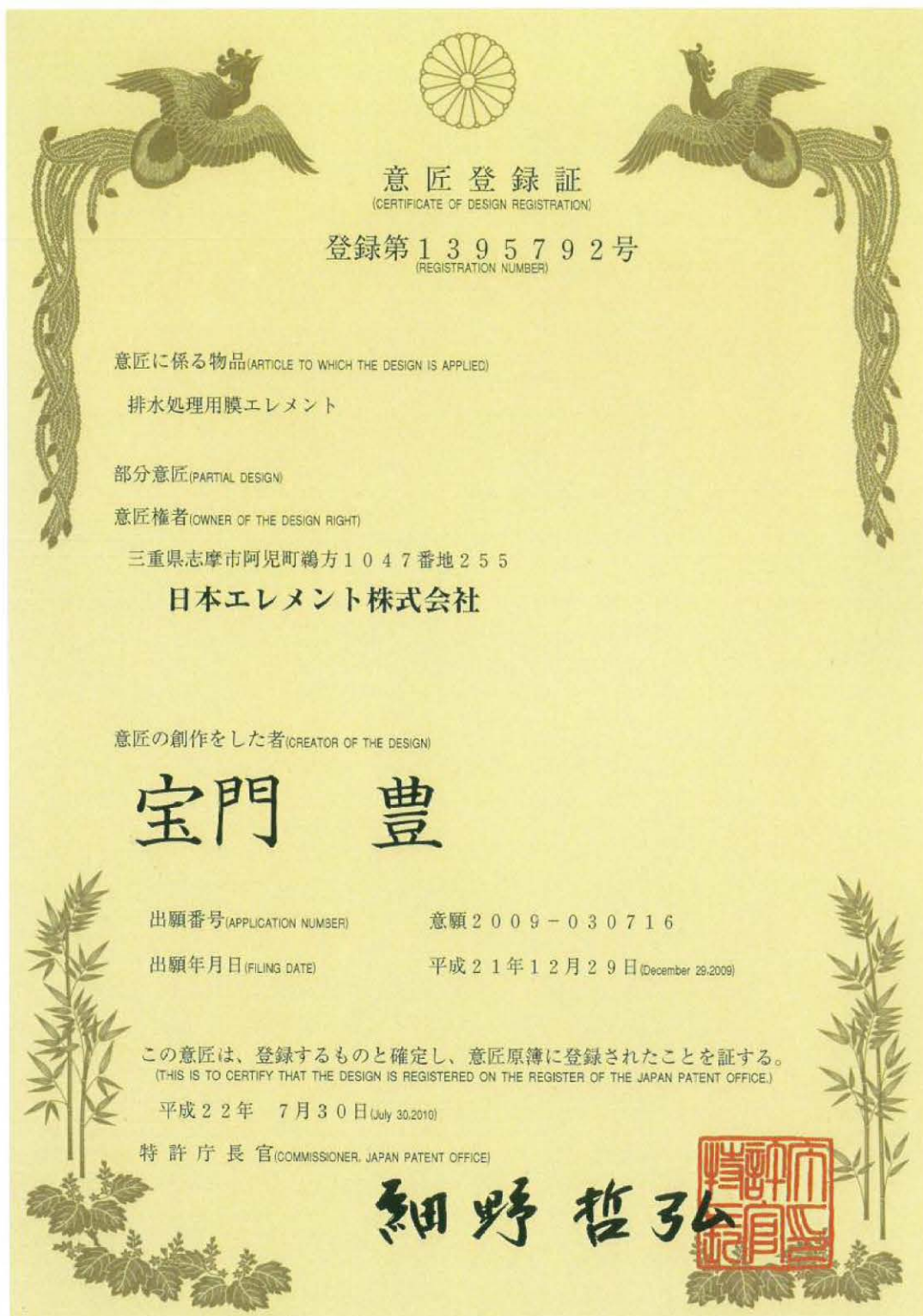


図 5-25. 日本の意匠登録証 (3/4) 部分意匠

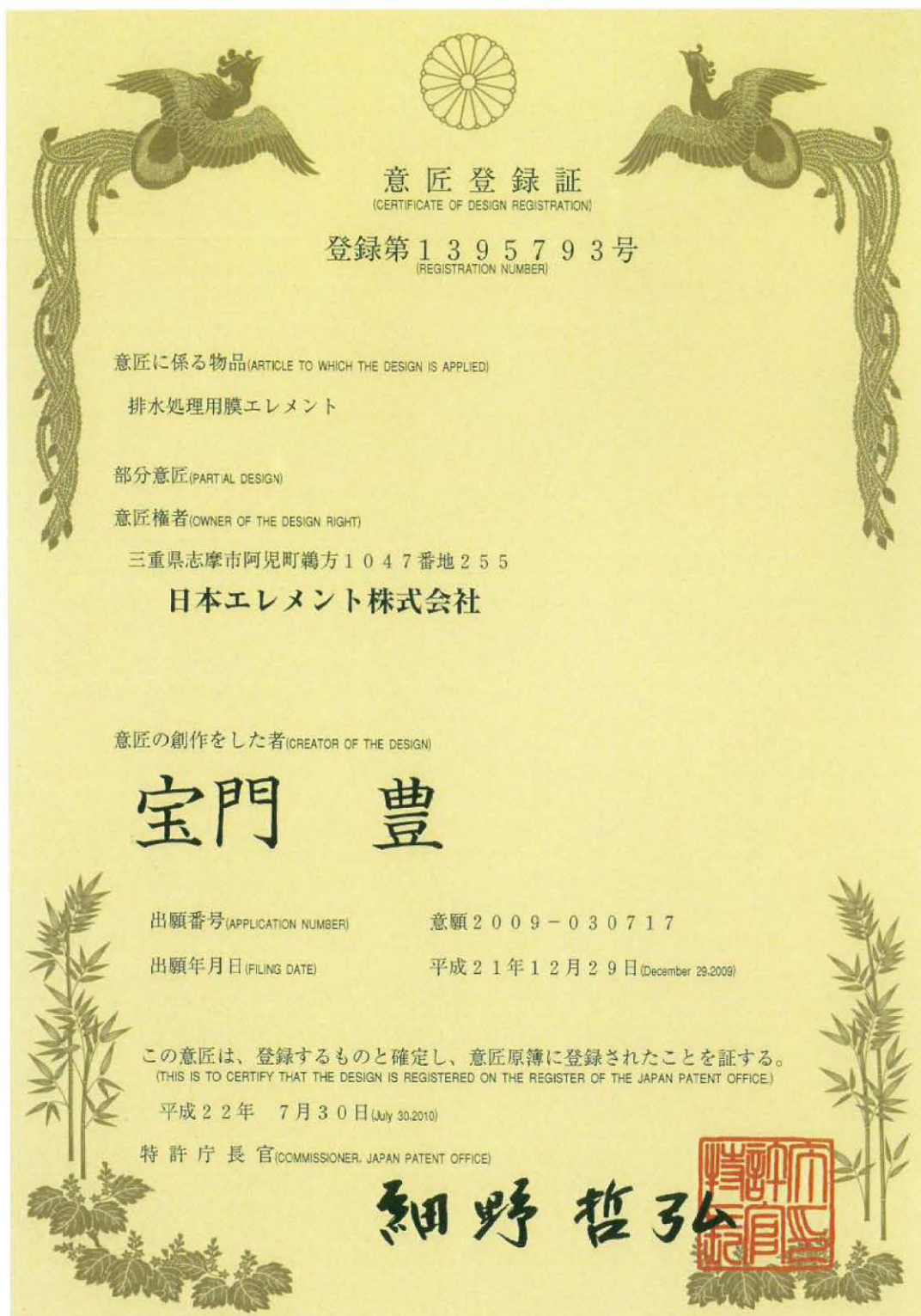


図 5-26. 日本の意匠登録証 (4/4) 部分意匠

证书号第1364531号



## 外观设计专利证书

外观设计名称：排水处理用膜元件

设计人：宝门丰

专利号：ZL 2010 3 0133732.0

专利申请日：2010年03月24日

专利权人：日本部件株式会社

授权公告日：2010年10月06日

本外观设计经过本局依照中华人民共和国专利法进行初步审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费，本专利的年费应当在每年03月24日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长

田力普



第1页（共1页）

图 5-27. 中国の意匠登録証 (1/1) 全体意匠





# 디자인등록증

CERTIFICATE OF DESIGN REGISTRATION

등록 제 30-0630453 호	출원번호	제 2010-0024101 호
(REGISTRATION NUMBER)	(APPLICATION NUMBER)	
	출원일	2010년 06월 01일
	(FILING DATE:YY/MM/DD)	
	등록일	2012년 01월 20일
	(REGISTRATION DATE:YY/MM/DD)	
	등록의 구분	심사등록
	(TYPE OF REGISTRATION)	(EXAMINED REGISTRATION)

디자인의 대상이 되는 물품 (ARTICLE THAT IS THE OBJECT OF THE DESIGN)  
배수처리용 막 엘리먼트

디자인권자 (OWNER OF THE DESIGN RIGHT)  
니혼 엘레먼트 가부시카가이사  
일본국 517-0501 미에켄 시마시 아고쵸 우가타 1047번지 255

창작자 (CREATOR)  
호몬 유타카  
일본국 517-0501 미에켄 시마시 아고쵸 우가타 1047번지 255  
니혼 엘레먼트 가부시카가이사 내

위의 창작은 「디자인보호법」에 의하여 디자인등록원부에  
등록되었음을 증명합니다.

(THIS IS TO CERTIFY THAT THE DESIGN IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN  
INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.)

2012년 01월 20일



특 허 청

COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE



연차등록료 납부일은 설정등록일 이후 4년차부터 매년 01월 20일까지이며 등록원부로 권리관계를 확인바랍니다.

图 5-28. 韓國の意匠登録証 (1/1) 全体意匠

## 5.6 稼働条件

本事業所の保有する産業廃水処理施設は、主に水産加工品の製造段階における廃水（魚類の血液と油脂分）を処理している。現在の設計処理能力（機能強化後）は、処理量能力  $26 \text{ m}^3/\text{day}$ 、流入水量  $20 \text{ m}^3/\text{day}$ 、流入水質 BOD  $600 \sim 4,000 \text{ mg/L}$  で推移した。本実施設の廃水処理方式は、以前の活性汚泥処理方式+接触ろ過処理方式に、膜分離型廃水浄化システム（プレキャストコンクリート製水槽と MBR の膜分離槽）を追加した新しい処理方式となった。この膜分離槽に、ばっ気槽と接触ろ過槽で処理された廃水が流入するプロセスになっており、膜分離槽で処理された廃水は脱窒素処理のために油分分離槽（嫌気槽）にエアリフト返送するか、消毒槽にポンプ移送して放流される。処理水の放流先は、閉鎖性海域である英虞湾となる。

主要装置である試作 MBR は、ステンレス（SUS304）製のケーシングである。このケーシングに有効膜面積  $1.0 \text{ m}^2$  の PTFE 平膜を 50 枚内蔵し、超音波膜洗浄機を搭載した特別仕様の MBR である。散気装置（散気管）は 2 本で、硬質塩化ビニル管（外径  $60 \text{ mm}$ 、厚さ  $4.5 \text{ mm}$ 、内径  $51 \text{ mm}$ ）に直径  $6 \text{ mm}$ （1 本につき 33 箇所）の孔をあけ、空気を散気した。散気条件は、1 ユニット（平膜 50 枚）に対してブローからの空気量が  $500 \text{ L/min}$  であったので、平膜 1 枚当たり  $10 \text{ L/min}$  となる。散気装置の点検（使用 2 年以上）をしたところ、閉塞などはなかった（図 5-29・図 5-30）。膜分離型廃水浄化システム（膜分離型廃水浄化装置）の稼働条件は、処理量  $15 \text{ m}^3/\text{day}$ 、有効膜面積  $50 \text{ m}^2$ 、Flux  $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$  であった。活性汚泥の MLSS 濃度は、超音波実験のために人為的に高濃度に調整したこともあったが、基本的には MLSS 濃度  $5,200 \sim 9,600 \text{ mg/L}$ 、粘度  $66 \sim 140 \text{ mPa} \cdot \text{sec}$  で推移した。

## 5.7 透過水質と膜点検

透過水質は生物化学的酸素要求量（BOD）、化学的酸素要求量（COD）、懸濁性物質（SS）、pH で評価した。膜分離槽の透過水質（処理水）は BOD  $16 \text{ mg/L}$ 、COD  $44 \text{ mg/L}$ 、SS  $0.0 \text{ mg/L}$ 、pH 7.2 であった。以前の処理水は BOD  $20 \text{ mg/L}$  程度であり、活性汚泥の状態（BOD-MLSS 負荷）によっては白濁したこともあったが、現在は改善されて白濁することはなくなっている。BOD-MLSS 負荷と処理水の白濁の関係については、P. 108（表 3-11）に記載した。PTFE 平膜は公称孔径  $0.2 \text{ }\mu\text{m}$  を採用したので、膜に破損がない限り SS（ $40 \sim 100 \text{ }\mu\text{m}$  程度）と大腸菌（ $0.4 \text{ }\mu\text{m}$ ）を含まない清澄な透過水を得られる。システム（装置）の設置から、試作 MBR 点検を計 4 回実施したが膜の破損などは見られなかった（図 5-31・図 5-32）。





図 5-29. 散気装置の点検（使用 2 年以上）



図 5-30. 散気状況





図 5-31. MBR 点検（使用 2 年以上）



図 5-32. PTFE 平膜の外観状況

## 5.8 超音波による余剰汚泥削減

超音波による余剰汚泥削減の結果を図 5-33 に示す。本来は MLSS 濃度が 10,000 mg/L を超えた時点で余剰汚泥引抜量の調整を検討するが、超音波によって余剰汚泥がどれぐらい削減できるかを検証するために、MLSS 濃度を 19,000 mg/L 付近まで上昇させた。膜分離槽への流入がある限り、MLSS 濃度はいくらでも上昇させることができ、MBR は活性汚泥濃縮機と同等の役割を果たすことができた。また、MLSS 濃度を 10,000 mg/L 以上の高濃度にした場合、それに比例して活性汚泥の粘度が上昇するため、CPE 平膜などを内蔵した通常の MBR では吸引負圧が急上昇することが多く、最悪の場合は膜ファウリングを起こして薬品洗浄が必要になる。今回の実験中は活性汚泥の粘度がかなり上昇したが、本膜分離型廃水処理装置は、MLSS 濃度が 19,000 mg/L 付近になっても膜分離槽内の試作 MBR は膜ファウリングを起こさずに運転することができた。CPE 平膜と比較して PTFE 平膜の方がろ過性において優れていたため、膜ファウリングを起こしにくいと思われる。最終的には膜分離槽の MLSS 濃度を通常約 2 倍に調整でき、超音波実験を開始した。この超音波実験中は平常通りの水処理運転を行った。

実験開始から 11 日目までは超音波出力 50 % (300 W) で運転し、12~25 日の間は超音波出力 80 % (480 W) で運転した。その結果、MLSS 濃度を 18,600 mg/L から 16,900 mg/L まで低下させることができた (-1,700 mg/L)。余剰汚泥削減率は約 9.1 %であった。この 25 日間は平常運転をし、膜分離槽に十分な流入があったため、本来は MLSS 濃度が上昇した筈である。したがって、計算上は約 9.1 %の低下であっても、実際はそれ以上の余剰汚泥削減率であったと思われるので、本来はどれぐらい汚泥濃度が上昇したかを検討するために、実験開始 26~49 日までは超音波を OFF にして同様に水処理運転を行った。その結果、MLSS 濃度は 16,900 mg/L から 19,000 mg/L まで上昇した (+2,100 mg/L)。この MLSS 濃度の上昇期間は超音波を照射した日数 (25 日間) とほぼ同じ (24 日間) であったため、超音波を照射しなかった場合の MLSS 濃度の上昇値に近い数値だと思われる。したがって、超音波の照射によって MLSS 濃度で 3,800 (1,700 + 2,100) mg/L の余剰汚泥削減ができた と推定している。この場合、余剰汚泥削減率は約 18.4 % (3,800 ÷ 20,700) となる。

以上の結果から、本膜分離型廃水処理装置では 1 ヶ月程度の超音波の照射 (出力 50~80 %) で、少なくとも約 9.1 %の余剰汚泥削減効果が期待できる。また、本事業所では膜分離槽の MLSS 濃度を高濃度 (19,000 mg/L) で運転しても、試作 MBR は膜ファウリングを起こさないことが分かった。



## 5.9 超音波による活性汚泥粘度の変化

超音波による活性汚泥粘度の変化を図 5-34 に示す。前述の超音波による余剰汚泥削減実験と同時に、膜分離槽における活性汚泥粘度を測定した。膜分離槽の MLSS 濃度を 18,600 mg/L まで上昇させた段階で、粘度は 427 mPa・sec となった。通常の CPE 平膜を内蔵した MBR においては活性汚泥粘度が 100 mPa・sec を超えた際、濃度と粘度を下げるための余剰汚泥引抜調整が奨励されている。したがって、通常の 4 倍以上の活性汚泥粘度で、PTFE 平膜を内蔵した MBR を運転したことになる。他の現場の活性汚泥は MLSS 20,000 mg/L で 200 mPa・sec 程度の粘度であることから、他の現場と比較しても本事業所の粘度は約 2 倍、高い方であった。本事業所において活性汚泥が高粘度状態であっても試作 MBR が膜ファウリングを起こさずに運転できたのは、CPE 平膜と比較して PTFE 平膜の方がろ過性において優れているためだと思われる。

実験開始 25 日目で粘度は 304 mPa・sec となり、開始前の粘度 427 mPa・sec と比較すると粘度を 123 mPa・sec 低下させることができた。低下率は 28.8 % となった。前述の超音波による余剰汚泥削減実験と同様に、本来はどれぐらい粘度が上昇したかを検討するために、実験開始 26~49 日は超音波を OFF にして測定を行った。その結果、粘度は 304 mPa・sec から 507 mPa・sec まで上昇した (+203 mPa・sec)。したがって、超音波の照射によって、活性汚泥粘度は 326 (123 + 203) mPa・sec 低下したと推定している。この場合、低下率は約 51.7 % ( $326 \div 630$ ) となる。一般的に活性汚泥に超音波を照射した時は MLSS 濃度が減少する代わりに粘性が上昇すると考えられている。この上昇する理由としては、超音波が微生物の細胞膜を破壊した時、細胞膜内から出る有機物が粘性を持つとされている。しかし今回の実験では、MLSS 濃度が減少した比率 (約 9.1 %) と比較すると、粘性が減少した比率 (28.8 %) の方がはるかに高かった。超音波によって活性汚泥の粘度が低下したことは、一般論とは異なる結果であった。これは初期段階が 427 mPa・sec という異常な高粘度状態であり、微生物の細胞膜内から出る粘性物質がそれ以下であったからだと思われる。

以上の結果から、活性汚泥粘度が 427 mPa・sec という異常な高粘度状態では、超音波によって粘度を低下させることができる。活性汚泥の粘度を低下できることは、平膜のろ過性能を向上させることである。したがって、超音波仕様の試作 MBR (PTFE 平膜内蔵) は、活性汚泥が高濃度や高粘度など使用条件が悪くなればなるほど、CPE 平膜内蔵の MBR よりもろ過性能を発揮できるといえる。例えば、今後 CPE 平膜を内蔵する MBR が不向きな悪条件の現場 (顧客) に、本研究事例における超音波仕様の MBR を提案できることが分かった。



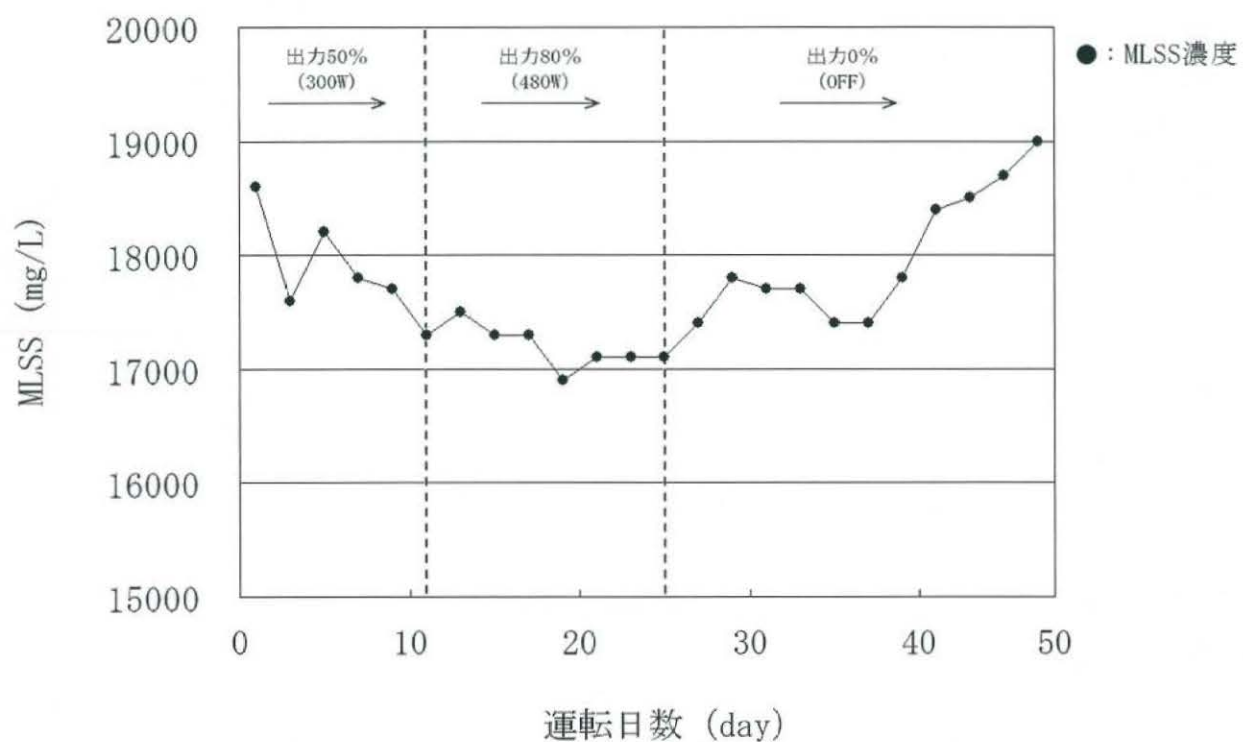


図 5-33. 超音波による MLSS 濃度の変化

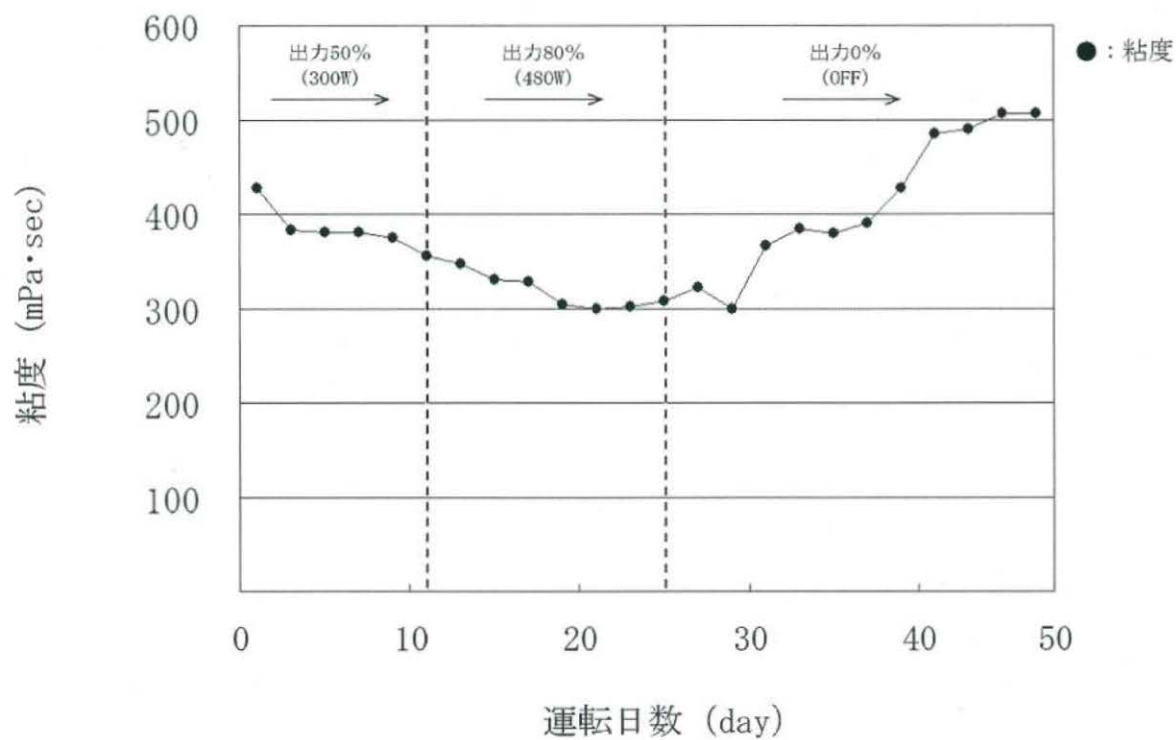


図 5-34. 超音波による活性汚泥粘度の変化

## 5.10 現地工事の適応性

本事例研究の結果から、志摩市内における水産加工事業所などが希望する本システム（膜分離型廃水浄化装置）に対する現地工事に関する要望は、次の通りであった。

- (1) 工場を休業できる土曜と日曜など、最大 2 日の短工期で本システム設置を完了すること。また、本事業所が操業中である平日は、原料搬入と製品出荷により頻繁にトラック 10t 車などが出入りするため、工事安全上の面から平日は一切避けること。
- (2) 費用の面から廃水処理施設を新規に建設するのではなく、既存廃水処理施設を改修（機能強化）する方式とすること。

志摩市においては、上記を要望する事業所は多数あると思われる。したがって、今後もこの 2 つ条件は、本システムを普及するため、現地工事の適応性に関する必須条件になると思われる。本事例研究では、この 2 つの条件をクリアするために、現地工事に関して以下の対策を試した結果、非常に良い成果を出すことができた。

- (1) プレキャストコンクリート製水槽を活用した結果、短工期で本システムを設置できた。  
また、プレキャストコンクリート製水槽は、本システムの主要装置である試作 MBR の据付施工（水平レベル調整と垂直レベル調整）が、非常に楽にできることが分かった。  
これは、MBR 据付施工の作業時間を短縮し、据付作業員を少人数化できることを意味する。さらに、工事は適切な短工期であるほど、人身事故などの発生確率も減少する。
- (2) 本システムは、既存廃水処理施設を改修する膜分離活性汚泥法の追加方式であり、十分に処理能力を上げることができた。追加した本システムの膜分離型廃水浄化装置（膜分離槽）は、既存廃水処理施設における前後の処理プロセスを流用できるため、廃水処理施設を新規に建設するよりも、はるかに費用が安くできたのは明らかであった。

以上の結果から、本システムは現地工事の適応性が非常に優れていることが分かった。これは志摩市における事業者の要望に応えるものであり、本研究事例は、膜分離廃水浄化システムが、志摩市において今後普及できる大きな可能性を示すことができた。

## 5. 11 膜分離型廃水浄化システム効果（事例研究）の考察

第4章は製菓事業所における事例研究であり、約3年間使用したPTFE平膜の耐久性を検証できたことが最大の研究成果であった。膜分離型廃水浄化システム効果においては、廃水処理能力の向上はもちろんではあるが、耐久性は地域の事業者への費用負担を少なくすることが重要である。本製品（PTFE平膜）の保証期間は2年であるが、一般的にはCPE平膜の寿命は3～5年であるため、最低でも3年以上の寿命が必要である。現時点でそれはクリアしていたが、顧客の立場から考えると5年以上の寿命であることが望ましい。本研究成果では少なくとも5年以上の寿命があることが分かり、従来のCPE平膜よりも長寿命が期待できた。

第5章は水産加工事業所における事例研究であり、プレキャストコンクリート製水槽を活用できたことが最大の研究成果であった。安価な短工期の本システムの設置工事を可能とし、現地工事の適応性に関する優位性を検証することができた。さらに、本システムの主要装置である試作MBRの耐久性も検証でき、現在、少なくとも2年以上のMBR耐久性が保証できたといえる。PTFE平膜だけでなく、MBR本体の耐久性も地域の事業者への費用負担を少なくする要因である。本事例研究では、既存廃水処理施設が能力不足になっていたため、この能力不足を解消できたことも良い結果であった。これにより、放流先の閉鎖性海域である英虞湾に、白濁した処理水が流出してしまうことはなくなった。この白濁の有無はBOD濃度で3～5 mg/L程度の差であるが、1日の放流量で20,000 L（60～100 g）、1年で7,300,000 L（21,900～36,500 g）と考えれば、本システム効果は期待ができる。

第4章・第5章は、事例を中心としたビジネス志向に近い内容である。いずれも順調な経過年数が本事業の実績となるため、できれば失敗したくない重要な研究であった。幸いにも両方とも良い研究成果が得られ、今後の本システムの拡販に大きな貢献をすることができたと思われる。また、本システムの費用負担が少ないことは、社会インフラの整備が十分でない地域の事業者への提供が可能になることであり、本論の最優先的な目的でもある。さらに今後、本システムが志摩市で普及することにより、前述の1日では微々たる放流水のBOD濃度であっても、経過年数と現場数が増加すれば相当な量になると考えられる。したがって、本事例研究成果から、この膜分離型廃水浄化システムは非常に効果的であり、本システムを志摩市で拡販することによって、放流先の閉鎖性海域である英虞湾の水質保全策となりうる可能性が十分にあると思われる。



## 5.12 要約（第4章・第5章まとめ）

第4章・第5章で得られた知見を簡潔に箇条書きでまとめると、以下の通りである。

- (1) 製菓事業所で約3年使用したPTFE平膜は、耐久性など全く問題はなかった。
- (2) 耐久性の詳細に関して、気密保持と溶着部剥離強度は良好な試験結果であった。
- (3) 製菓事業所で約3年間使用したPTFE平膜は、次亜塩素酸ナトリウムの薬品洗浄が効果的であり、シュウ酸の薬品洗浄にも効果があった。
- (4) 前項(3)に関して、両方の薬品洗浄を行った場合、新品のCPE平膜と同等レベルにまでろ過性能を回復させることができた。
- (5) 前項(1)～(5)を総合的に判断すると、PTFE平膜の寿命は5年以上が期待できる。
- (6) 水産加工事業所で約2年使用したPTFE平膜のMBRは、耐久性など全く問題はなかった。
- (7) プレキャストコンクリート製水槽を活用して、膜分離型廃水浄化装置を安価に短工期で設置できた。
- (8) 水産加工事業所における超音波仕様MBRで、余剰汚泥を約9.1%削減できた。
- (9) 水産加工事業所における超音波仕様MBRで、汚泥粘度を約28.8%低下できた。

今後の課題を同様にまとめると、以下の通りである。

- (1) 製菓事業所のPTFE平膜について、今後2年間以上の経過観察。
- (2) 前項(1)について再試験を行い、平膜交換時期の判断（または平膜交換の奨励）。
- (3) 水産加工事業所の膜分離型廃水浄化装置について、今後3年間以上の経過観察。
- (4) 超音波による余剰汚泥削減と活性汚泥粘度低下についての技術蓄積。
- (5) 志摩市における他の事業所への膜分離型廃水浄化装置導入の提案。
- (6) 志摩市で十分な実績を確保した後、他の閉鎖性海域をもつ地域への膜分離型廃水浄化装置導入の提案。

第4章・第5章で得られた知見と今後の課題は、膜分離型廃水浄化装置の販売事業の発展に深く関わっている。本事例で良い研究成果と実証データ、実績が得られたので、今後における本装置の販売事業を大きく発展することができると思われる。また、主要装置であるMBRの専用PTFE平膜は、意匠登録が完了している。したがって、この膜分離型廃水浄化装置が（またはMBRだけでも）顧客に採用されれば、今後3～4回のPTFE平膜交換（リプレイス）に関して、他社と競合することなく販売することが可能である。

## 第 6 章

### 既存廃水浄化施設との複合したシステム

## 6.1 既存廃水浄化施設の特徴

志摩市における既存廃水浄化施設は、ほとんどが活性汚泥処理方式の標準脱窒素処理である。1976 年、日本で初めて窒素除去を可能とする脱窒素処理のし尿処理場が建設され、廃水処理の分野に爆発的に普及した。それまでは主に臭気の面から、公共のし尿処理場や民間の廃水浄化施設などは、近隣に対しては明らかに迷惑施設であった。したがって、この臭気の問題を解決した脱窒素処理は、廃水処理分野においては非常に画期的なことであった。日本環境整備教育センターの浄化槽管理士講習で、この脱窒素処理は民間の浄化槽維持管理業者が偶然発見した、と教わった。専門の研究機関だけでなく、民間の浄化槽維持管理業者にも、画期的な発見をする機会が十分あると思われる。

臭気の問題が解決され、次は高度な処理水が求められた。1990 年、日本政府のアクアルネサンスプログラムが実施され、次第に民間の廃水処理の分野でも膜分離が広く普及するようになった。日本で初めて民間の廃水処理施設に膜分離（主要装置となる平膜 MBR）が応用されたのは、1990 年、広島県にある砥石・研磨布紙の製造事業所であった。この平膜 MBR はクボタ社製で、同社の平膜 MBR は民間の廃水処理の分野に 1995 年から急速に普及し始めた。この頃から公共のし尿処理場だけでなく、民間の事業所にも高度な処理水が求められるようになったと思われる。

一方、志摩市においては、近年、新規に廃水浄化施設が建設されることは少なくなっている。長引く平成不況や真珠養殖業の衰退など、このような経済状況下では、現状維持が精一杯である事業所が多いと思われる。その中でも第 5 章の事例研究で記載した水産加工事業所は順調に売上を伸ばしている方であるが、新規に廃水浄化施設を建設するほどの余裕はないと思われる。したがって、志摩市の既存廃水浄化施設においては、改修などで安価に高度な処理水を得られる方法が必要とされている。

日本で初めて民間の廃水浄化施設に平膜 MBR が応用されてから実に 22 年が経過した。しかしながら、志摩市における既存廃水浄化施設の特徴としては、活性汚泥処理方式こそ普及しているものの、膜分離（平膜 MBR・中空糸 MBR など）は数えるほどしか普及していないことが挙げられる。

さらには、志摩市における大多数の廃水浄化施設の放流先は、閉鎖性海域である英虞湾であることが最大の特徴である。したがって、今後志摩市における既存の廃水浄化施設には高度な処理水が必要であり、安価に改修できる膜分型廃水浄化施設を普及させる価値は十分にあると思われる。



## 6.2 調査した事業所における廃水浄化処理費用等の条件設定

第5章の水産加工事業所の事例研究で、今回の既存廃水処理施設に膜分離型廃水浄化システムを追加した場合と、別系統で廃水浄化施設を新規に建設する場合のイニシャルコストを比較した結果を表6-1に示す。膜分離型廃水浄化システム追加のイニシャルコストは、約490万円であった。別系統で廃水浄化施設を建設する場合のイニシャルコストは、約1,984万円が見込まれる。したがって、膜分離型廃水浄化システムは、約4分の1の費用で既存廃水処理施設への追加が可能であると思われる。本事業所の既存廃水処理施設は、膜分離型廃水浄化システムの追加によって処理能力が15 m<sup>3</sup>/day増加した。新規に建設する別系統の廃水浄化施設は処理能力が11 m<sup>3</sup>/dayの増加であるため、処理能力も膜分離型廃水浄化システムを追加した方が4 m<sup>3</sup>/day多く廃水を処理ができる。この差は、両方とも同じ有効容積18.75 m<sup>3</sup>のプレキャストコンクリート製水槽で生物反応槽（ばっ気槽あるいは膜分離槽）を設計計算したので、膜分離型廃水浄化システム（膜分離型廃水浄化装置）を追加した方がMLSSを高濃度で運転できるように生じたものである。

膜分離型廃水浄化システム追加のイニシャルコストの内訳に関しては、まず、プレキャストコンクリート製水槽本体が約202万円、土木・配管工事費が約37万円であった。この土木・配管工事費にはMBR据付作業費が含まれる。膜分離型廃水浄化装置の主要装置となるMBRは、有効膜面積1.0 m<sup>2</sup>のPTFE平膜50枚を内蔵して190万円（定価）である。MBR本体価格の内訳としては、平膜1枚が2万円（50枚で100万円）、ステンレス製のMBRケーシング本体が90万円である。他の設備としては、空気をばっ気するブローアが約20万円、MBR透過水を吸引するポンプが約10万円であった。表6-1のポンプ類とは、既存廃水処理施設から廃水を移送するポンプで、約8万円であった。計器類とは、オリフィス空気流量計（ブローア用）、電磁流量計（MBR透過水用）、圧力計（吸引ポンプ用）であり、合計して約9万円であった。制御盤・電気工事とは、既存廃水処理施設の制御盤内に新規に基盤を設けて、運転制御、警報、タイマー運転などが出来るようにしたもので、合計して約19万円であった。

別系統で廃水浄化施設を建設する場合のイニシャルコストに関しては、すべてプレキャストコンクリート製水槽で設計した。表6-1の各設備共通項目については、プレキャストコンクリート製水槽が7槽分必要であるため、本システム追加の金額を7倍したものである。消毒槽・放流槽は1/2程度の有効容積でよいので、1槽分の費用（約202万円）を記載した。制御盤は新規に作製する必要があるため、やや高額になっている（約125万円）。

表 6-1. イニシャルコストの比較

項 目		数 量	単 位	新規建設 11 m <sup>3</sup> /day	システム追加 15 m <sup>3</sup> /day
一次処理設備	グリストラップ	1	台	189,700	-
	自動スクリーン	1	台	463,000	-
	調整槽	1	槽	2,022,900	-
	油分離槽	1	槽	2,022,900	-
二次処理設備 (従来法)	ばっ気槽	1	槽	2,022,900	-
	ブロワー	1	台	197,500	-
	散気管	10	本	18,700	-
	沈殿槽	1	槽	2,022,900	-
	沈殿槽エアリフト管	1	本	7,400	-
	スカムスキーマー管	1	本	7,400	-
二次処理設備 (膜分離法)	膜分離槽	1	槽	-	2,022,900
	MBR	1	台	-	1,900,000
	ブロワー	1	台	-	197,500
	吸引ポンプ	1	台	-	103,200
三次処理設備	接触ろ過槽	1	槽	2,022,900	-
	接触ろ材	1	式	375,000	-
	再ばっ気槽	1	槽	2,022,900	-
	ブロワー	1	台	197,500	-
	散気管	10	本	18,700	-
	消毒槽・放流槽	1	槽	2,022,900	-
各設備共通	移送ポンプ類	1	式	287,700	82,200
	計器類	1	式	105,200	85,000
	土木・配管工事	1	式	2,563,700	366,200
	制御盤・電気工事	1	式	1,250,000	187,500
合計（税抜）				19,841,800	4,944,500

単位：円



### 6.3 複合したシステムの経済性

第5章の水産加工事業所の事例研究で、今回の既存廃水処理施設に膜分離型廃水浄化システムを追加した場合と、別系統で廃水浄化施設を新規に建設した場合のランニングコストを比較した結果を表6-2に示す。別系統で廃水浄化施設を建設した場合のランニングコストは、その系統だけで年間約277万円が見込まれる。したがって、既存廃水処理施設と合わせると年間約554万円となり、以前の2倍のランニングコストが必要だった筈である。これに対し、今回の既存廃水処理施設に膜分離型廃水浄化装置を複合したシステムは、超音波による余剰汚泥削減が可能である。したがって、処理能力が2倍以上になったにも関わらず、ランニングコストの合計は以前よりも年間約3万円の減額が可能となった。余剰汚泥引抜処分費の単価は、1m<sup>3</sup>あたり15,000円(税抜)である。超音波による余剰汚泥削減を1年間連続して実施すれば、13.3m<sup>3</sup>(余剰汚泥全体の約9.1%)の余剰汚泥削減ができ、この項目だけを考えると、従来(約220万円)と比較して約20万円のコストダウンとなる。表6-2の超音波洗浄機の消費電力費は、MBR稼動に合わせて1年間稼動させた場合を記載した。膜分離型廃水浄化装置を複合したシステムは、ランニングコストに関しても従来よりも優れていることが分かった。

表6-2の詳細に関しては、まず、各装置の年間消費電力を記載した。1年間は365.25日で計算した。本事業所では現在(2012年10月)、電力会社から電力1kWhあたり15円で購入している。各装置の実稼動時間は、新規に廃水処理施設を建設した場合は1日20時間、既存と複合した膜分離型廃水浄化システムの部分は1日8時間である。これは既存廃水処理施設の実稼動時間と事例研究をもとに計算し、その消費電力量を記載した。移送ポンプの消費電力量の記載で、膜分離槽①とあるのは、ばっ気槽から膜分離槽への移送ポンプのことである。また、膜分離槽②とあるのは、接触ろ過槽からの移送ポンプのことである。

本事業所の保守点検費用は、既存廃水処理施設における過去の実績として約14万円であった。この保守点検費には消毒剤補充などの薬品代が含まれる。保守点検は浄化槽法で2週間に1回(年間24回)の保守点検回数が定められている。余剰汚泥引抜処分(浄化槽の清掃)や保守点検を確信犯的に実施しなかった場合、その事業者と保守点検業者の双方に対し、6ヶ月以下の懲役又は100万円以下の罰金(同法第66条の1)が課せられる。法定検査が未実施の場合については、30万円以下の過料(同法第66条の2)となる。表6-2の第7条検査とは、廃水処理設備設置後の初年度だけに行われる法定検査であり、第11条検査とは、毎年実施しなければならない法定検査のことである。



表 6-2. ランニングコストの比較 (年間)

項 目		数 量	単 位	新規建設 11 m <sup>3</sup> /day	システム追加 15 m <sup>3</sup> /day
スクリーン	調整槽用	1, 826. 25	kWh	27, 394	-
ブローア	ばっ気槽	6, 574. 50	kWh	98, 618	-
	膜分離槽用	5, 478. 75	kWh	-	82, 181
	再ばっ気槽	6, 574. 50	kWh	98, 618	-
吸引ポンプ	MBR 用	730. 50	kWh	-	10, 958
超音波洗浄機	MBR 用	3, 506. 40	kWh	-	52, 596
移送ポンプ	調整槽	1, 826. 25	kWh	27, 394	-
	油分離槽	1, 826. 25	kWh	27, 394	-
	ばっ気槽	1, 826. 25	kWh	27, 394	-
	膜分離槽用①	730. 50	kWh	-	10, 957
	沈殿槽	1, 826. 25	kWh	27, 394	-
	接触ろ過槽	1, 826. 25	kWh	27, 394	-
	膜分離槽用②	730. 50	kWh	-	10, 957
	再ばっ気槽	1, 826. 25	kWh	27, 394	-
	消毒槽	1, 826. 25	kWh	27, 394	-
制御盤	各設備共通	219. 15	kWh	3, 287	-
消費電力費計				419, 675	167, 649
余剰汚泥引抜処分		146	m <sup>3</sup>	2, 190, 000	-
余剰汚泥削減		9. 1	%	-	▲199, 290
保守点検		24	回	138, 000	-
法定検査 (第 7 条検査)		1	回	12, 000	-
法定検査 (第 11 条検査)		1	回	8, 000	-
維持管理費計				2, 348, 000	▲199, 290
合計 (税抜)				2, 767, 675	▲31, 641

単位：円

表 6-3. イニシャルコストとランニングコスト（年間）まとめ

項 目	新規建設	システム追加		
処理能力 ( $\text{m}^3/\text{day}$ )	11	15		
MBR の種類	-	CPE 平膜 MBR	PTFE 平膜 MBR	PTFE 平膜 MBR 余剰汚泥削減型
イニシャル コスト	19,841,800	7,367,305	4,944,500	5,944,500
ランニング コスト	2,767,675	249,797	167,649	0

単位：円

- (1) イニシャルコスト計算の詳細については、P. 186 に記載した。
- (2) ランニングコスト計算の詳細については、P. 188 に記載した。
- (3) 本研究における CPE 平膜 MBR のコスト計算については、その膜性能差が 1.49 倍 (P. 50 表 2-1) であったことから、単純に PTFE 平膜 MBR のコストを 1.49 倍したものである。
- (4) 本 MBR 処理量 ( $11\sim 15\text{ m}^3/\text{day}$ ) は、浄化槽 110 $\sim$ 150 人槽に相当するものと思われる。
- (5) ランニングコストは、消費電力費、保守点検費、法定検査費（第 7 条・第 11 条検査）、余剰汚泥引拔処分費、薬品代など、初年度費用の一切を合計したものである。  
次年度以降は、第 7 条検査の法定検査費（12,000 円）は除かれる。
- (6) 本研究における PTFE 平膜 MBR 余剰汚泥削減型のランニングコストについては、既存廃水処理施設の余剰汚泥も同時に削減して、本来必要である電力費などのランニングコスト相殺を期待するものである。
- (7) ランニングコストは、膜交換費（推定 5 $\sim$ 7 年後）を含まないものである。
- (8) ランニングコストは、経年劣化による各装置のオーバーホール費や新品交換費などを含まないものである。
- (9) 本研究におけるイニシャルコストとランニングコストは、あくまで計算上の参考価格であり、廃水処理施設の維持管理費などを保証するものではない。
- (10) 廃水処理施設の建設（イニシャルコスト）や維持管理費（ランニングコスト）などは、各地域によって交通の利便性等も関与してくるため、必ず専門の業者に依頼をして、随時、正式な見積書を確認していただきたい。

#### 6.4 考察

第6章では、水産加工事業所における事例研究の結果から、調査した事業所における廃水浄化処理費用等の条件設定として、既存廃水処理施設に膜分離型廃水浄化システムを追加した場合と、別系統で廃水浄化施設を新規に建設した場合のイニシャルコストとランニングコストをそれぞれ比較検討した。得られた知見をまとめると次の通りである。

- (1) 志摩市における既存廃水浄化施設の特徴としては、活性汚泥処理法の標準脱窒素処理は普及しているものの、膜分離はほとんど普及していない。既存廃水浄化施設が能力不足になりかけても、長引く平成不況や真珠養殖業の衰退など、このような経済状況下では現状維持が精一杯である事業所が多いと思われる。したがって、改修などで安価に高度な処理水を得られる膜分離の機能強化が必要である。
- (2) また、志摩市における大多数の既存廃水浄化施設の放流先は、閉鎖性海域である英虞湾であり、水質保全のためには高度な処理水質（放流水質）が必要である。
- (3) 複合したシステムの経済性として、膜分離型廃水浄化システムのイニシャルコストは、別系統で廃水浄化施設を新規に建設する場合の約4分の1の費用で、既存廃水処理施設への追加が可能であった。また、既存廃水処理施設の約2.36倍（ $11 \text{ m}^3/\text{day} \rightarrow 26 \text{ m}^3/\text{day}$ ）の廃水処理能力に機能強化できることが分かった。
- (4) 一方、ランニングコストは、別系統で廃水浄化施設を新規に建設した場合と比較すると非常に安価であることが分かった。また、超音波による余剰汚泥削減でコストダウンができる。既存廃水処理施設と比較して廃水処理能力が2倍以上になったにも関わらず、ランニングコストの合計は従来よりも年間約3万円の減額が可能となった。

以上の結果から、英虞湾の水質浄化問題の対策として、既存廃水浄化施設と複合した膜分離型廃水浄化システムは、イニシャルコストとランニングコストの両方に関して安価に放流水質を確保できることが分かった。また、発生する汚泥の削減を図り、余剰汚泥の処理に掛かる費用の削減を実現させ、社会インフラの整備が十分でない地域の事業者への提供が可能になったと思われる。



## 6.5 要約（第6章まとめ）

第6章で得られた知見（結果）を簡潔に箇条書きでまとめると、次の通りである。

- (1) 志摩市における既存廃水処理施設は、膜分離はほとんど普及していない。
- (2) 閉鎖性海域である英虞湾に放流するため、膜分離などの高度な処理水質が必要である。
- (3) 志摩市の事業者にとっては、既存廃水処理施設が能力不足になりかけても、近年の経済情勢の悪化から、廃水浄化施設の新規建設などは経済的に困難である。
- (4) 新しく提案する膜分離型廃水浄化システムは、従来と比較して、イニシャルコストとランニングコストに優位性がなければならない。
- (5) イニシャルコストを検討した結果、従来の約4分の1費用で、既存廃水処理施設への追加が可能であった。
- (6) また、機能強化後の廃水処理能力は、既存廃水処理施設の約2.36倍（11 m<sup>3</sup>/day → 26 m<sup>3</sup>/day）にできることが分かった。
- (7) ランニングコストを検討した結果、既存廃水処理施設と比較して廃水処理能力が2倍以上になったにも関わらず、ランニングコストの合計は従来よりも年間約3万円の減額が可能となった。
- (8) 前項(7)において、超音波による余剰汚泥削減によるコストダウンが効果的であることが分かった。

今後の課題を同様にまとめると、以下の通りである。

- (1) 超音波による余剰汚泥削減効果（約9.1%）を上げる研究。
- (2) 他の事業所において、既存廃水浄化施設と複合した膜分離型廃水浄化システムの提案。
- (3) 志摩市における納入実績の増加。
- (4) 主要装置となる試作MBRのコストダウン。
- (5) 超音波洗浄機や、外注製品と現場工事のコストダウン。

第6章はビジネス志向を中心とした内容である。既存廃水浄化施設の特徴を十分に理解した上で、コストメリットを有した膜分離型廃水浄化システムの経済性を示すことが目的であり、経済性で優れていなければ実用面において志摩市の事業所で膜分離が普及することは非常に難しい。今回、膜分離型廃水浄化システムは既存廃水浄化施設と複合することによって、優れたコストメリットを示すことができたと思われる。

## 第7章

### 膜分離型廃水浄化装置の製造体制

## 7.1 地域一体型製造体制の考案

地域一体型製造体制を図 7-1 に示す。三重県南部地域である志摩市、鳥羽市、伊勢市、多気郡の各協力企業と連携することによって、膜分離型廃水浄化装置（主要装置である MBR と内蔵する PTFE 平膜）の地域一体型製造体制が構築できた。

主要装置である MBR の設計と製造管理を行うために、子会社（日本エレメント株式会社）を設立し、秘密保持も含めた一括管理を行うようにした。日本エレメント株式会社から各協力企業に、MBR 関連部品は個別に手配するようにした。MBR が完成体となるのは、伊勢市にある最終組立工場である（ヤマト電器株式会社）。また、PTFE 平膜エレメントの製造に関しても同様である。こうすれば、各協力企業を個別に対応する手間はかかるものの、最終組立工場以外の場所では、MBR 関連部品（PTFE 平膜エレメント関連部品）の用途を不明にできる。一応、各協力企業とは秘密保持契約を交わしてはいるが、企業がいくら努力しても秘密保持が 100 %できるとは限らない。例えば、製造ラインの社員が突然退社して競合メーカーに再就職することや、最悪のケースでは部品図などが流出することも考えられる。したがって、最終組立工場だけは厳重な機密保持管理を行い、他の協力企業には部品を製造するのに最低限必要な寸法を記載した略図だけを渡すようにした。

一方、MBR と平膜エレメントの製造だけに関していえば、特に地域を限定する必要性はなく、製造ノウハウさえあれば、誰でもどこでも簡単に製造することができる。さらには、海外の発展途上国などで製造することも可能であり、安い人件費を求めることはビジネスとしては常套手段である。また、近県であれば、大阪府の東大阪、愛知県の三河地方には優れた工業技術をもつ中小企業が多い。また、コスト競争力もあり、確認のために見積聴取をしたところ、三重県南部地域で製造するよりも安い見積金額であった。

しかしながら、本研究は、閉鎖性海域である英虞湾の水質環境保全を目的としているため、できるだけ志摩地域（英虞湾）に近い地域の企業で連携することが、最終的には有利であると考えた。地元地域の各協力企業における製造技術の向上やコストダウンは将来的に可能であるが、遠方の不利を改善することは困難であると思ったからである。遠方の不利とは、例えば、部品の輸送費や、製造の打合せなどを行う場合の時間的なロスなどが挙げられる。また、前述の秘密保持とも関連しているが、地域一体型製造体制構築後の結果論ではあるものの、MBR（PTFE 平膜エレメント）製造に関して各協力企業とは良好な連携と協調をすることができた。仕事以外でも地元の話（過去の話も含めて）を共有しているため、地元企業と連携した方が信頼関係を構築しやすかったように思われる。



図 7-1 における地域一体型製造体制と地元地域協力体制の詳細については、次の通りである。地域一体型製造体制の記載は赤色点線で囲み、下記 (1) ～ (5) を色表示で区分した。

(1) 事業支援機関（青色）

三重県産業支援センターと三重県中小企業団体中央会を図 7-1 に青色で示した。これらの事業支援機関からは、事業に関する補助金などの最新情報が寄せられた。

(2) 大学・連携機関（緑色）

地域イノベーション学研究科において、本プロジェクト・マネジメントと研究統括が実施された。また、初期の段階で PTFE 平膜（精密ろ過膜）に関する専門的な分子素材工学の知識・数式的解析が必要となり、これらの研究支援・協力を受けるため、工学研究科（分子素材工学）をコーディネートしていただいた。さらに、技術・知財のアドバイスも必要となったため、株式会社三重ティーエルオーをコーディネートしていただき、その結果、良い研究成果が得られ、事業を大きく発展させることができた。

(3) 三重県南部地域企業連携体（黄色）

ヤマト電器株式会社（伊勢市）：平膜エレメントと MBR 本体の組立（図 7-2）  
株式会社小林産業（志摩市）：ABS 樹脂成形（図 7-3）ろ板と金型製作（図 7-4）  
有限会社小林鉄工（鳥羽市）：MBR 本体 SUS ケーシング（図 7-5）と SUS 部品  
丸一化成工業株式会社（多気郡）：ゴム成形部品（MBR 部品）  
有限会社テラオ設備機工（志摩市）：塩化ビニル部品（MBR 部品）加工と MBR の据付工事

(4) 三重県外協力企業（橙色）

以下の 2 点は、やや特殊な部品であり、三重県外で入手する必要があった。

本多電子株式会社（愛知県）：超音波洗浄機（超音波仕様 MBR 部品）  
某繊維メーカー（東京都）：PTFE 平膜シート（平膜素材）

(5) 実証試験（赤色）

某汚泥再生処理センターと、鳥羽市にある汚泥再生処理センター（鳥羽志勢クリーンセンター）で実証試験の協力をいただいた。

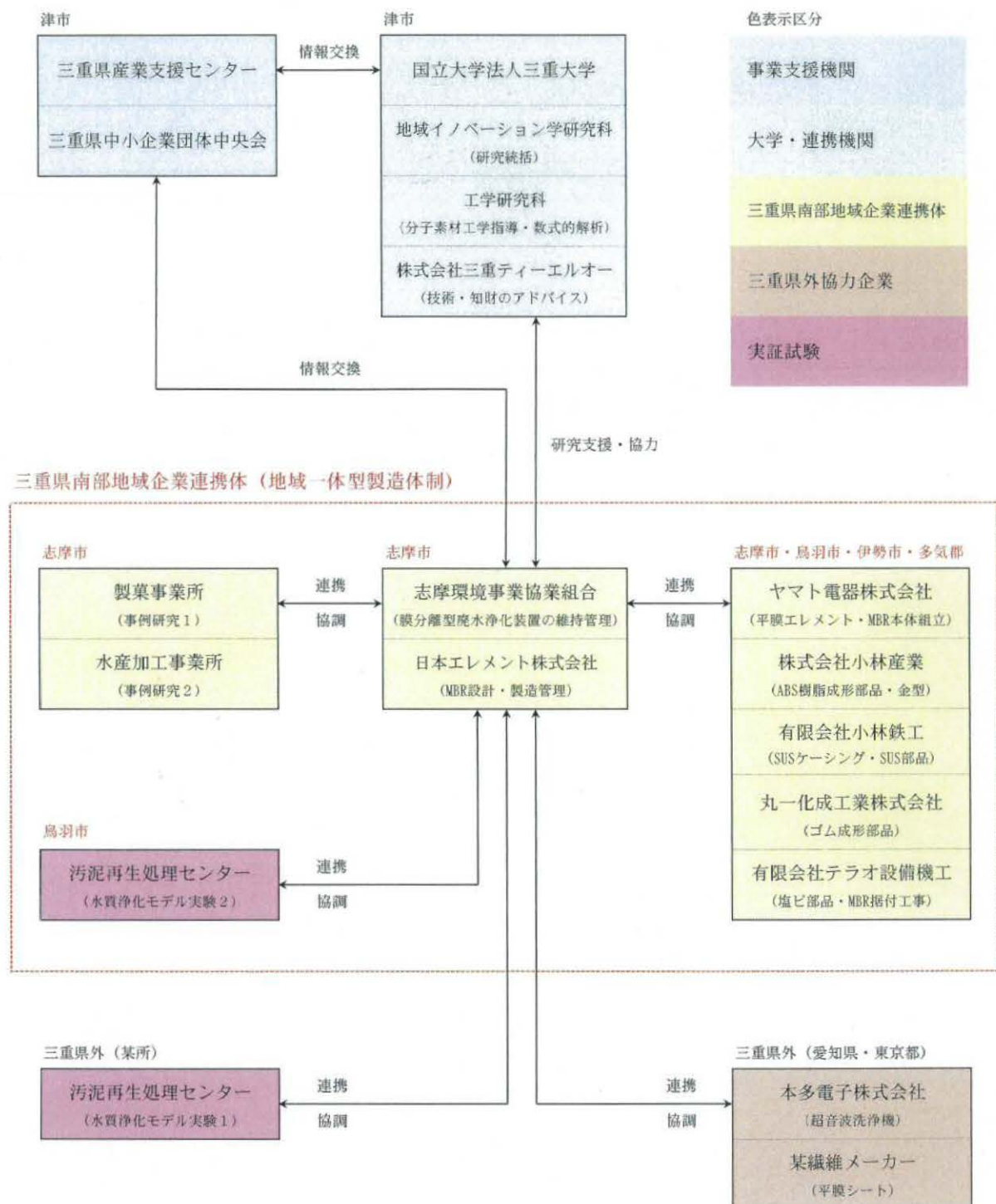


図 7-1. 地域一体型製造体制



図 7-2. 最終組立工場（伊勢市）



図 7-3. ABS 樹脂成形（志摩市）





図 7-4. 平膜ろ板の金型（志摩市）



図 7-5. SUS ケーシング製造（鳥羽市）

## 7.2 考察（今後の地域貢献に及ぼす効果）

地域一体型製造体制が今後の地域貢献に及ぼす効果は、以下の2点が考えられる。

- (1) 新規雇用の創出（産業活性化）
- (2) 閉鎖性海域である英虞湾の水質保全

地域一体型製造体制を構築したことによって、以下に示す人数の新規雇用が創出できた。今年度（2012年度）の生産計画は平膜枚数で毎月1,000枚で実施中であり、以下の人数は各協力企業における本事業の参画人数（専属）を記載したものである。人数が1/3になっている企業は、仕事量が1名分に達していないことを示している。

- (1) 日本エレメント株式会社：4人
- (2) ヤマト電器株式会社：4人
- (3) 株式会社小林産業：1人
- (4) 有限会社小林鉄工：1/3人
- (5) 丸一化成工業株式会社：1/3人
- (6) 有限会社テラオ設備機工：1/3人

この毎月1,000枚の平膜生産体制で、上記(1)～(3)の企業は各人数の年間100%の仕事量が確保できた。しかし、(4)～(6)の企業は年間約33%（4ヶ月程度）の仕事量である。今後、平膜生産体制が毎月3,000枚（現在の3倍）になれば、(4)～(6)の企業も年間100%、1名分の仕事量が確保できると思われる。

以上の結果から、現在は約10名分の仕事量が確保できており、2010年の国勢調査では日本の1世帯あたりの平均人数は2.46人であり、仮に約10名がそれぞれ家族1.46人を扶養していると計算すれば、三重県南部地域で約24.6人が生活できるようになったと思われる。今後は、現在の3～4倍以上の平膜生産体制を目標として、約100人が三重県南部地域で生活できるようにしたいと考えている。この100人が地域に及ぼす経済効果は、衣類雑貨購入費や食費、住宅費など、様々なケースが考えられる。

さらに今後、英虞湾の水質保全が達成できれば、志摩地域の主要産業である漁業・真珠養殖業・水産加工業などの収益が向上することで、前述同様の経済効果が期待できる。



### 7.3 要約（第7章まとめ）

第7章で得られた知見（結果）を簡潔に箇条書きでまとめると、次の通りである。

- (1) 膜分離型廃水浄化装置の地域一体型製造体制が構築できた。
- (2) 各協力企業とは良好な連携と協調をすることができた。
- (3) 地元地域協力体制である大学・連携機関（地域イノベーション学研究科）の協力によって、本プロジェクト・マネジメントと研究統括ができた。
- (4) 地元地域協力体制である大学・連携機関（工学研究科）の協力によって、分子素材工学の知識・数式的解析など、良い研究成果を得ることができた（第1章～第6章）。
- (5) 地元地域協力体制である大学・連携機関（株式会社三重ティーエルオー）の協力によって、技術・知財のアドバイスが得られ、事業が大きく発展した。
- (6) 膜分離型廃水浄化装置の地域一体型製造体制によって、約10人分の新規雇用が創出できた。
- (7) 前項(6)は、三重県南部地域に生活する約24.6人分（扶養家族を含めた計算）を意味し、地域に及ぼす経済効果（住宅費・食費・学費・その他の生活費）に期待できることが分かった。
- (8) さらに今後、英虞湾の水質保全が達成できれば、志摩地域の主要産業である漁業・真珠養殖業・水産加工業などの収益が向上することによって前述同様の経済効果が期待できる。

今後の課題を同様にまとめると、次の通りである。

- (1) 現在の3～4倍以上（扶養家族を計算して約100人分）の新規雇用の創出。
- (2) 前項(1)は平膜生産体制で毎月3,000～4,000枚以上（現在の3～4倍以上）を実現することによって達成が可能であるため、その早期実現が課題である。
- (3) 英虞湾の水質保全のため、膜分離型廃水浄化システム（本装置）を普及させること。

第7章はビジネス志向の内容であり、膜分離型廃水浄化装置の地域一体型製造体制を構築することによって、三重県南部地域に及ぼす経済効果などに期待した。各協力企業とは良好な連携と協調をすることができ、地元企業と連携した方が信頼関係を構築しやすかったように思われる。三重県南部地域の顧客に関しては、製品の輸送費などが削減でき、その後のアフターサービスなど、安心できる地産地消の地域一体型製造体制である。



## 第8章

## 総括

## 8.1 全体の考察と課題

第1章は、本論の導入部となるような内容である。日本のMBRテクノロジー (Membrane bioreactor technology) の出発点は、1990年に実施された政府のアクアルネサンスプログラム (Aqua Renaissance Program 1990) であった (P. 12~13)。このプログラムがなければ、日本企業が世界のMBR市場で活躍することはできなかったと思われる。例えば、2005年にサンフランシスコで開催された米国水道工事協会主催の展示会 AWWA2005 (American Water Works Association 2005) では、同協会に世界を代表すると評価されたMBRメーカー7社のうち、実に3社が日本企業であった (図8-1)。図8-1は、JPI (Japan Planning Institute) 東京の講義で国連環境審議官である吉村和就先生からいただいた資料である。

研究背景のひとつとして、三重県南部地域の沿岸はリアス式海岸からなる閉鎖性海域 (例えば英虞湾) であり、その水質汚染問題は軽視できない状況であったことが挙げられる (P. 10~11)。本研究では、この英虞湾の水質汚染問題を解決する方法は、日本の優れた廃水浄化技術であるMBRテクノロジーを用いれば可能であると考え、既存廃水浄化施設を機能強化できるような膜分離型廃水浄化装置の設計・開発を試みた。主要装置となる試作MBRには、廃水処理の分野ではあまり普及していないPTFE (Polytetrafluoroethylene) 製平膜素材を採用した (P. 47~55)。結果論ではあるが、PTFE 製平膜素材を採用したことは、アプローチとして良かったと思っている。

また、本研究は大変微力ではあるが、日本政府の新成長戦略 (2009年12月30日閣議決定) におけるグリーンイノベーション (重要技術3. 研究段階: 水処理 革新的分離膜) の実現に向けた取組のひとつになるとも考えている (図8-2・図8-3)。図8-2・図8-3は地域イノベーション学研究科長である鶴岡信治先生からいただいた資料である。

第2章・第3章は、研究志向となるような内容である。PTFE平膜が、廃水処理の分野では広く普及しているCPE平膜に対してどれほどの優位性があるかを研究した。三重県外と県内の汚泥再生処理センターと水産加工事業などで水質浄化モデル実験を行った結果、PTFE平膜はCPE平膜と比較して耐ファウリング性に非常に優れていることが分かった (P. 42~73)。今後PTFE平膜の利用がさらに広がっていくと考察している。過去の納入実績をP. 129 (表3-15) に記載したが、某汚泥再生センターでは大量の注文をいただき、今後の事業発展に大きな弾みをつけることができた。これは第2章における本研究成果が、非常に良かったことを証明するような納入実績になったと思われる。

さらに、実液水槽を作製し、志摩環境事業協業組合実験施設に設置した。これによって、研究開発のために遠方まで出向く必要がなくなり、時間と費用を削減することができた。詳細な参考文献などが皆無であったアンモニア性窒素による膜ファウリング現象の検証（P. 113～119）や活性汚泥生物相（微生物）の研究（P. 102～112）、超音波膜洗浄の可能性（P. 120～124）など、新しい研究をすることもできたと考察している。

第4章・第5章は、研究志向とビジネス志向が半分ずつぐらいとなるような内容である。三重県の製菓事業所と水産加工事業所で事例研究を行い、当初の目的である PTFE 平膜エレメントと試作 MBR の耐久性確認や、超音波による余剰汚泥削減などを検討できた。PTFE 平膜エレメントに関しては、最低ノルマである約 3 年間の使用に耐えることができた（P. 132～146）。試作 MBR に関しても約 2 年が経過し、耐久性に問題はなさそうである。

第5章の事例研究では、プレキャストコンクリート製水槽を活用したことで（P. 150～160）、コストメリットを有した膜分離型廃水浄化装置の実用化を達成でき、事業所に費用負担の少ない提供が可能になったと思われる。

第6章・第7章は、ビジネス志向となるような内容である。既存廃水浄化施設との複合した本システムのイニシャルコストとランニングコストの経済性を検討した（P. 183～191）。志摩市における既存廃水処理施設の特徴を十分に検討した上で、膜分離型廃水浄化システム（膜分離型廃水浄化装置）の実用性を示すことができたと考えている。

地域一体型製造体制の考案に関しては、地元地域の協力企業を優先したことで、良い結果（平膜生産体制毎月 1,000 枚）が得られた（P. 192～199）。各協力企業とは良好な連携と協調をすることができ、地元企業と連携した方が信頼関係を構築しやすかったように思われる。新規雇用を創出することができたため、地元地域に住む人間が増えた（または減少しなかった）ことによって、少なくとも地域経済が維持されることに期待をしている。

今後の研究課題は山積しているが（P. 131、P182、P191、P. 199）、事業としては順調に推移していると思われ、平膜生産体制で毎月 3,000 枚を早期に実現したいと考えている。

本研究と事業は足元にも及ばないが、過去に志摩地域で御木本幸吉翁（1858-1954）が世界で初めて真珠養殖に成功し、地域に莫大な富をもたらしたように（図 8-4・図 8-5）、本研究と事業の推進によって、地域経済の復活と英虞湾が再生することを信じて止まない。



# 世界のMBR



AWWA2005(San Francisco)

- Japan  
Kubota, Mitsubishi, Toray
-  USA  
GE-ZENON, Koch-Puron
-  Germany  
Siemens-Memcor, Huber

日 本 (3 社) : 株式会社クボタ、三菱重工株式会社、東レ株式会社  
米 国 (2 社) : GE-ZENON 社、Koch-Puron 社  
ドイツ (2 社) : Siemens-Memcor 社、Huber 社

図 8-1. 世界の主要 MBR 企業

図 8-1 は AWWA2005 で評価された世界の主要 MBR 企業である。ここでは各社とその MBR の特徴について簡単に説明する。

クボタ社は、平膜型の MBR であり、日本国内においてはその市場をほぼ独占している。日本のみならず、世界においても MBR のパイオニアとして不動の地位を確立している企業である。図 8-1 におけるクボタ社の MBR 写真は計 3 段になっており、下部の散気ケース 1 台（下段）に対して、上部の膜ケース 2 台（中段・上段）を組み合わせる多段式の MBR である。こうすれば、膜ケース 2 台を 1 台の散気ケースでエアレーション洗浄できるため、散気用のブロー動力費を半分にすることが可能となる。すなわち、ランニングコストの削減ができる。MBR のランニングコスト削減は重要なテーマである。膜ケースの多段式はクボタ社の特許であるため、Huber 社を除き、ほぼ全ての MBR 企業が膜ケースを多段式にするのではなく、基本的には MBR を縦長とするような設計をしている。

三菱重工社は、中空糸型の MBR である。緒論でも述べたが、同グループの三菱レイヨン社が開発したもので、中空糸型はイニシャルコスト面で平膜型よりも非常に優れている。ただし、廃水処理に応用した場合は、人毛や繊維質が中空糸に絡まり易くメンテナンスがしにくい、中空糸が切れ易いなどの欠点が指摘されてきた。この欠点を解消すべく、開発当初の中空糸型 MBR は中空糸が横方向に配置された設計であったのに対して、近年では中空糸を縦方向に配置する設計に変更され、前述の欠点を改善することに成功している。

東レ社は、平膜型の MBR である。クボタ社と比較すると後発ではあるが、東レ社も三菱レイヨン社と同様に繊維メーカー（膜メーカー）であるため、膜素材に関して優れた技術を保有している企業である。MBR は縦長に設計されており、ランニングコストなどが十分に検討された低水深型の MBR である。ここで、MBR が低水深型である理由は MBR を浸漬させる曝気槽を深く掘削する必要がなくなるからであり、工事費の削減（イニシャルコスト削減）に成功している。

海外企業である GE-ZENON 社、Koch-Puron 社、Siemens-Memcor 社は、中空糸型の MBR である。三菱重工社と同様にイニシャルコスト面で平膜型よりも優れ、MBR の中空糸は縦型に配置された設計である。中でも GE-ZENON 社は、もとはカナダの ZENON 社を GE 社が買収した MBR 企業で、歴史は古い。ZENON 社の時代から考えると、日本のクボタ社と同時期（約 25 年前）から MBR 技術を蓄積しており、世界的にはクボタ社以上に市場を確保している。




ドイツの Huber 社は一風変わった MBR で、回転平膜型の MBR である。回転平膜型 MBR とは円形の平膜ディスクを半分だけ活性汚泥に浸漬させて、膜ろ過を行うシステムである。平膜ディスクは中心部のドライブシャフトによって、一定速度で回転している。平膜ディスクは空気を巻き込みながら活性汚泥に浸漬し、微生物への酸素供給を行いながら、ろ過対象物（活性汚泥）に対して直角方向の膜ろ過が可能なクロスフローろ過方式である。他社の MBR がクロスフロー流を発生させるためにエアレーション等の散気装置、あるいは動力ポンプが必要なのに対して、Huber 社の MBR はそれらが不要である。

回転平膜型 MBR は動力などのランニングコスト面で優れたシステムであり、日本でも住友重機械工業社、日立プラント建設社が実用化に成功している。このシステムが技術的に難しい点は、ドライブシャフトや MBR 本体側ベアリングなどの軸受、平膜ディスク中心部の軸受などの摩耗対策である。また、平膜ディスクが活性汚泥に半分浸漬しながら回転するため、平膜ディスクが四角形等では液面接触時に振動が発生し、これらの摩耗を促進してしまう可能性が高い。よって、平膜ディスクは円形であることが望ましいが、平膜ディスクの平膜素材そのものを円形に製造することは非常に難しい。通常では平膜素材はティレットペーパーのようなロール状で製造される。このロール状の平膜素材をシャーリング等で円形にカットしてディスク状の支持板に溶着することになるが、四角形と比較すると四隅に余り部分が出来てしまい、この余り部分が平膜ディスク製造上の歩留まりを低下させている。さらには、回転平膜型 MBR は全体的に部品点数が多くなり、他社の平膜型 MBR と比較するとイニシャルコスト面では不利といえる。しかしながら、ドイツ人と日本人は自動車産業でも知られる通り、多くの部品点数や精度の要求される製品を作るのが得意な、工夫好きな民族である。本研究にとっては、回転平膜型 MBR 企業はライバルではあるものの、MBR 技術者としては非常に魅力ある技術であり、今後の発展が楽しみな MBR である。

現在のところ、廃水処理の分野における MBR 技術は日本、米国、ドイツなどの先進国が世界をリードしている。逆に言えば、MBR 技術を保有する国が先進国である、と考えることもできる。なお、アジア諸国においては、特に韓国が産官学連携で MBR 開発に力を入れている。韓国企業は日本で開催される水処理機器展示会などに積極的に参加しており、韓国製品はコストパフォーマンスが優れているため、近年では埼玉県の下水处理場に大規模に採用された事例もある。近い将来、日本の展示会で韓国製 MBR を見る事が出来る日も、そう遠くはなさそうである。





# 新成長戦略(基本方針)

## ～ 輝きのある日本へ ～

平成21年12月

「新成長戦略（基本方針）」について

平成 21 年 12 月 30 日  
閣 議 決 定

「新成長戦略（基本方針）」を別紙のとおり定める。

図 8-2. 日本の新成長戦略

【元資料】「新成長戦略（基本方針）」日本政府（インターネット）

# グリーン・イノベーション実現に向けた重要技術

参考

1. 実用普及、海外展開段階	<div>家庭用</div> <div>国内普及 *製品によっては直接海外展開もあり得る</div> <div>事業用</div>	<div>電気自動車</div> <div>ハイブリッド/プラグインハイブリッド自動車</div> <div>有機EL</div> <div>太陽光発電</div> <div>定置式燃料電池</div> <div>ヒートポンプ(インバータ制御を含む)</div> <div>LED照明</div> <div>リチウムイオン電池</div> <div>ニッケル・水素電池</div> <div>省エネ型家電</div> <div>グリーンIT(省エネIT機器、環境ITソリューション)</div> <div>エコ住宅</div> <div>ナトリウム・硫黄(NAS)電池</div> <div>コジェネレーション</div> <div>グリーン物流</div> <div>高効率電動機</div> <div>高効率ボイラー</div> <div>高効率工業炉</div> <div>高効率反応プロセス(膜分離、触媒など)</div> <div>地熱発電</div> <div>廃棄物発電</div> <div>廃熱利用発電</div> <div>高効率生産プロセス(工程改善)</div> <div>次世代コークス炉</div>
	海外展開 海外協力推進	<div>原子力発電</div> <div>高効率火力発電(運転保守/クリーンコール)</div> <div>バイオ燃料利用</div> <div>鉄道へのモーダルシフト(新幹線を含む)</div> <div>水関連</div> <div>水力発電(マイクロ水力発電を含む)</div> <div>送配電</div> <div>環境ビジネス支援保険、環境設備導入支援・融資等</div> <div>土壌浄化</div>
	規制改革	<div>風力発電</div> <div>廃棄物リサイクル(行政手続きの簡素化・迅速化など)</div>
2. 実証段階	標準化	<div>日本版スマートグリッドシステム(スマートメーター、蓄電池モジュールなど)</div> <div>エネルギーマネジメントシステム(HEMS,BEMS,FEMS,CEMSなど)</div> <div>電気自動車(EV)利用インフラ(車両・普通充電インフラ間通信、急速充電用コネクタ、車載用蓄電池安全性など)</div> <div>超電導高効率送電</div> <div>消費電力測定方法(製品等含む)</div> <div>太陽光発電性能評価方法</div> <div>定置式燃料電池性能評価方法</div> <div>製品の温室効果ガス(GHG)の算定方法(貢献量算定方法を含む)</div> <div>高度交通システム(ITS)(CO2モニタリングシステム)</div> <div>CO2排出量測定方法</div> <div>廃棄物燃料(RDF,RPF)の燃焼品質</div> <div>バイオ由来樹脂の品質</div> <div>水素活用インフラ</div> <div>燃料電池自動車</div> <div>クリーン燃料(DME等)自動車</div> <div>自転車へのモーダルシフトモデルシステム</div> <div>二酸化炭素回収貯蔵(CCS)</div> <div>多面的用途ヒートポンプ</div> <div>エコ・コンパクトシティモデルシステム</div>
	実証	
3. 研究開発段階	応用	<div>燃料電池/ガスタービン(FC/GT)ハイブリッド火力発電</div> <div>石炭ガス化複合(IGCC)火力発電</div> <div>石炭ガス化燃料電池(IGFC)火力発電</div> <div>太陽熱利用発電</div> <div>高速炉(原子力)</div> <div>中小型原子炉</div> <div>先進的超々臨界圧(A-USC)火力発電</div> <div>快適高機能次世代空調</div> <div>高効率水素製造装置(石化ガス利用)</div> <div>高効率太陽光発電</div> <div>パワーエレクトロニクス(SiC、GaNデバイス)</div> <div>プラスチック自己循環リサイクル</div> <div>バイオ化学(バイオマス由来ポリマー、非可食バイオマスからの化学合成など)</div> <div>水処理(革新的分離膜など)</div> <div>超高効率ヒートポンプ</div> <div>バイオマス燃料電池(定置式)</div> <div>新型二次電池(ポストリチウムなど)</div> <div>ガスタービン/燃料電池(GT/FC)複合発電(燃料電池(定置式))</div> <div>海洋バイオマス利用燃料</div> <div>輸送機器の革新的省エネ技術(材料技術、設計技術など)</div> <div>次世代軽水炉</div> <div>パワーエレクトロニクス(ダイヤモンドデバイス)</div> <div>水素還元製鉄法</div> <div>新構造・新材料太陽電池</div> <div>レアメタル代替技術(次世代モーター、二次電池材料など)</div> <div>人工光合成(例えばCO2からのメタノールの製造など)</div>
	基礎	<div>宇宙太陽光発電</div> <div>核融合</div>

図 8-3. グリーンイノベーション実現に向けた重要技術

【元資料】「新成長戦略(基本方針)」日本政府(インターネット)

図 8-2・図 8-3 は、平成 21 年 12 月 30 日に閣議決定した日本の新成長戦略（基本方針）をインターネット上からダウンロード（抜粋）したものである。

日本は 1990 年代のバブル経済崩壊後に未曾有の経済不況に陥ったため、この 20 年間（1990-2010）は「失われた 20 年間」と、テレビなどのマスメディアで報道されている。そのような日本の経済不況下を意識したのか、本戦略のサブタイトルは「輝きのある日本へ」と題されている。輝きを失っている日本を本戦略によって復活させたい、という願いが込められたようなサブタイトルである。本研究では、その中でも「グリーンイノベーション実現に向けた重要技術」に着目し、本研究が貢献できる分野と可能性を検討した。

「グリーンイノベーション実現に向けた重要技術」で挙げられた技術は三段階に分類されており、さらに各段階内でも技術レベルの状態が区分されて記載されている。

表の上段に位置する技術は、日本ではほぼ完成された技術であり、「1. 実用普及、海外展開段階」に分類されている。中でも最も実用普及したものは「家庭用」の区分に位置し、一般的にも我々がよく目にする技術である。例えば、電気自動車、太陽光発電、リチウムイオン電池などが挙げられている。

表の中段に位置する技術は、実用普及が目前といえる技術であり、「2. 実証段階」に分類されている。大半が「標準化」の区分に位置しているが、「実証（中）」の技術もある。一般的に我々が目にする機会はまだ少ない技術であり、例えば、エネルギーマネジメントシステム、CO<sub>2</sub> 排出量測定法、クリーン燃料自動車、二酸化炭素回収貯蔵、多面的用途ヒートポンプなどが挙げられている。

表の下段に位置する技術は、基礎研究と応用が必要な技術であり、「3. 研究開発段階」に分類されている。一般的に我々が目にすることはほとんどなく、政府や大学機関などで研究が進められている技術であり、例えば中小型原子炉、バイオマス燃料電池、レアメタル代替技術、宇宙太陽光発電などが挙げられている。

現在、本研究では、日本初の汚泥再生処理センターにおける新素材 PTFE 平膜による実証試験や水産加工事業所における事例研究で、省エネルギー化などの良好な結果を得ることができている。本検討の結果、「グリーンイノベーション実現」に関しても「3. 研究開発段階 水処理(革新的分離膜)」の分野で、今後十分に貢献できる可能性があると思われる。





図 8-4. 御木本幸吉翁の銅像

1953 年、多くの真珠関係者や伊勢志摩の海女の提唱、醵金で建立された。



図 8-5. 「待望のとき」伊勢正義画伯・作 1978 年

【元資料】「真珠王ものがたり (P. 56)」伊勢文化舎<sup>26)</sup>

図 8-4・図 8-5 は、2012 年 8 月 12 日、三重県鳥羽市のミキモト真珠島（正式名称は相島<sup>おじま</sup>）で撮影したものである。

この相島は御木本幸吉氏が世界初の養殖による真円真珠の発明に成功した島である<sup>26)</sup>。当時、三十代の幸吉氏は英虞湾と鳥羽湾で並行して、核を入れたアコヤ貝を籠につるして実験を続けていた。1892 年、赤潮によって英虞湾の貝が全滅する大被害が起こり、幸吉氏はこの相島に残った貝に最後の夢を託した。そして翌年、幸吉氏の研究は成功した。

御木本真珠島が発刊している「真珠王からのメッセージ（御木本幸吉語録）」によると、何事も二段構えで準備することの重要性が述べられており<sup>27)</sup>、これは志摩地方では有名な教訓である。本研究では幸吉氏ほどの周到な準備はできなかったものの、幸吉氏の教訓を極力は実践しようと心得、実験 1 と実験 2、事例研究 1 と事例研究 2 とし、なるべくは二段構えとなるような（どちらかが失敗しても結果が残せるような）研究体制とした。

相島は 1951 年、全島を整備し、真珠のパビリオンとして「御木本真珠ヶ島」の名のもとに公開された。以来、六十余年、日本の皇室をはじめ、英国のエリザベス女王、モナコのグレース王妃、また各国の VIP を迎えると共に、年間百万人を越える見学者で賑わった島である。真珠博物館では、核入れなど真珠養殖の工程を実演しており、人類と真珠との関わりを物語るアンティークジュエリーのコレクションも見事である。なお、本研究で参考とした資料は御木本幸吉記念館で購入した。

図 8-4 は、島内北側の鳥羽湾を見おろす御木本幸吉翁の銅像である。御木本幸吉翁の銅像は三重県志摩市の横山展望台にもあり、英虞湾を見おろしている。

図 8-5 は、伊勢正義画伯の「待望のとき」である。前述の相島での幸吉氏が世界初の養殖による真円真珠の発明に成功した場面を描いており、右の女性は幸吉氏生涯ただ一人の愛妻、うめ夫人である。夫人は享年 32 歳、真円真珠の養殖成功直後に短い生涯を閉じた。うめ夫人は、研究に没頭して留守がちな夫を助け、5 人の子供達を育て、多額の借金を工面しながら家業のうどん屋を切り回した。世界初の養殖真珠を発見したのも、うめ夫人であった。幸吉氏は生涯において「成功は妻のたまもの。」と語っている。

例外はあるかも知れないが、研究者は自分一人の力だけでは決して成功しないように思われる。幸吉氏のように、研究者はいつも周囲の協力者に感謝することが大切である。



## 8.2 参考文献 (第1章・第2章・第3章・第8章)

- (1) 中沢均：膜分離活性汚泥法の実際と可能性, 資源環境対策, 47 (7), P. 14～19 (2011).
- (2) 橋本敏一：日本の下水道事業における膜分離活性汚泥法の導入状況, 資源環境対策, 47 (7), P. 20～26 (2011).
- (3) 尾花山友哉：MBR 関連開発の概要と成果, 資源環境対策, 47 (7), P. 33～40 (2011).
- (4) Y. El Rayess, C. Albasi, P. Bacchin, P. Taillandier, J. Raynal, M. Mietton-Peuchot, A. Devatine, Cross-flow microfiltration applied to oenology : A review, Journal of Membrane Science, 382 (1-2), P. 1～19 (2011).
- (5) 伊東章：膜分離の本, P. 1～156, 日刊工業新聞社, 東京 (2010).
- (6) 造水推進センター：平成 21 年度 PTFE 膜 MBR による下水の再生処理技術の開発, P. 1～98 (2009).
- (7) A. Zarragoitia-Gonzalez, S. Schetrite, M. Alliet, U. Jauregui-Haza, C. Albasi : Modeling of submerged membrane bioreactor, Conceptual study about link between activated sludge biokinetics, aeration and fouling process, Journal of Membrane Science, 325 (2), P. 612～624 (2008).
- (8) A. N. L. Ng, A. S. Kim : A mini-review of modeling studies on membrane bioreactor (MBR) treatment for municipal wastewaters, Desalination, 212 (1-3), P. 261～281 (2007).
- (9) Tom Stephenson, Simon Judd, Bruce Jefferson, Keith Brindle: 膜利用生物反応槽による排水処理, 財団法人日本環境整備教育センター, P. 11～19, P. 143～146, (2003).



- (10) 財団法人日本環境整備教育センター：浄化槽の維持管理（第1編），P. 1～31（2004）.
- (11) 財団法人日本環境整備教育センター：浄化槽の維持管理（浄化槽関連法規資料集），  
P. 114～115（2004）.
- (12) 社団法人全国都市清掃会議：厚生省水道環境部監修 し尿処理施設構造指針解説 1988，  
P. 81～84， P. 154～219， P. 273～316（1988）.
- (13) 一般社団法人環境衛生施設維持管理業協会：環境施設用語集（水処理編）2010 改訂  
版， P. 1～115（2010）.
- (14) 社団法人日本下水道処理施設管理業協会：小規模下水道処理施設 維持管理マニュアル 1998 年度版， P. 170～179（1998）.
- (15) 日本工業標準調査会：精密ろ過膜エレメント及びモジュールのバブルポイント試験方法 JIS K 3832-1990（2006 確認），日本規格協会，解説， P. 1～4（1990）.
- (16) 岡本剛、後藤克己、諸住高：工業用水と廃水処理，日刊工業新聞社， P. 17～24（1972）.
- (17) 古崎康哲、榊原隆司、菊川哲生、笠原伸介、石川宗孝：ATP を指標とした余剰汚泥削減型活性汚泥モデルの構築，環境工学研究論文集 Vol. 43，大阪工業大学， P. 411～417（2006）.
- (18) 見手倉幸雄、古崎康哲、奥田友章、甲斐智子、笠原伸介、石川宗孝：超音波を用いた余剰汚泥削減メカニズムに関する研究，環境工学研究論文集 Vol. 40，大阪工業大学，  
P. 11～21（2003）.
- (19) 見手倉幸雄、古崎康哲、榊原隆司、安藤卓也、笠原伸介、石川宗孝：超音波を用いた余剰汚泥削減システムに関する研究，環境工学研究論文集 Vol. 39，大阪工業大学，  
P. 31～41（2002）.

- (20) 鳥羽志勢広域連合：鳥羽志勢クリーンセンター 処理施設フロー，P. 1～3 (2010)．
- (21) 山田豊：日本の糞尿処理技術の変遷，株式会社クボタ，P. 9～14 (2003)．
- (22) 株式会社クボタ：液中膜技術ハンドブック，P. 67～68 (2001)．
- (23) 日本フローセル株式会社：フローセル流量計 取扱説明書，P. 1～10 (2011)．
- (24) 本多電子株式会社：産業機器事業部 洗浄総合カタログ，P. 1～5 (2011)．
- (25) 吉村和就：自民党「水の安全保障」特命委員会の動きと各国の水資源戦略情報・世界水ファンドの意図と戦略，日本計画研究所，第 10222 回，P. 23～24 (2008)．
- (26) 伊勢文化舎：真珠王ものがたり，P. 56～116 (1993)．
- (27) 御木本真珠島：真珠王からのメッセージ（御木本幸吉語録），P. 76～79 (2005)．

### 8.3 本研究に関わる発表論文

- (1) 宝門豊、矢野竹男、久保雅敬、坂内正明、勝又英之、金子聡：汚泥再生処理センターにおけるPTFE平膜を用いる膜分離高負荷脱窒素処理, 用水と廃水 54 (9), P. 697～705 (2012).
- (2) Yutaka HOMON, Takeo YANO, Masataka KUBO, Masaaki BANNAI, Hideaki KATSUMATA, Satoshi KANECO : High Loading Denitrification Treatment Process with Submerged PTFE Membrane Separation for Sludge Treatment Center, Proceedings of the Fourth International Workshop on Regional Innovation Studies (IWRIS2012), P. 48～51 (2012).
- (3) 宝門豊、矢野竹男、宝門誠、開靖彦、山本規久臣、谷口智崇、勝又英之、金子聡：汚泥再生処理センターにおけるPTFE平膜を用いる膜分離高負荷脱窒素処理, 三重大学, 平成23年度共同研究等成果報告書, P. 67～72 (2012).



#### 8.4 本研究に関わる口頭発表

- (1) 「High Loading Denitrification Treatment Process with Submerged PTFE Membrane Separation for Sludge Treatment Center」, Proceedings of the Fourth International Workshop on Regional Innovation Studies (10/11/2012)※.

※IWRIS2012 優秀論文賞 (Outstanding Paper Award) 受賞, 図 8-6.

- (2) 「第7回研究内容講演会」, 三重大学大学院地域イノベーション学研究科 第7回研究内容講演会 第1部 (2011年11月11日).
- (3) 「話題提供資料(次世代 MBR 開発)」, 三重大学大学院医学系研究科トランスレーショナル医科学 西村研究室ゼミ (2011年7月29日).
- (4) 「当企業の取組みの紹介」, 三重大学大学院地域イノベーション学研究科 バイオサイエンスマネジメント演習 (2011年5月26日).
- (5) 「会社紹介」, 三重大学大学院医学系研究科トランスレーショナル医科学 西村研究室ゼミ (2010年9月24日).



図 8-6. IWRIS2012 優秀論文賞 (Outstanding Paper Award) 受賞

## 8.5 本研究に関わる特許出願と契約

### 【特許出願】

- (1) 「浸漬型膜分離装置」，特願 2012-060007，図 8-7.
- (2) 「固液分離モジュールおよび固液分離法」，特願 2011-151331，整理番号 MT11-0788  
(特許共同出願)，図 8-8.
- (3) 「浸漬型膜分離装置」，国際出願番号 PCT/JP2009/005165，図 8-9.
- (4) 「浸漬型膜分離装置」，特願 2010-060225，図 8-10.

### 【契約】

- (1) 「特許共同出願契約書」，図 8-11.
- (2) 「共有特許の実施に係わる契約書」，図 8-12.
- (3) 「秘密保持契約書」，図 8-13.



整理番号:KP12-007 特願2012-060007 (Proof) 提出日:平成24年 3月16日 1/E

【書類名】 特許願  
【整理番号】 KP12-007  
【提出日】 平成24年 3月16日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 B61D 63/08  
B61D 63/00  
C02F 1/44  
C02F 3/12  
  
【発明者】  
【住所又は居所】 三重県志摩市阿児町鵜方9-44 志摩環境事業協業組合内  
【氏名】 宝門 豊  
【特許出願人】  
【識別番号】 509000862  
【氏名又は名称】 志摩環境事業協業組合  
【代理人】  
【識別番号】 100103252  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 笠井 美孝  
【選任した代理人】  
【識別番号】 100147717  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 中根 美枝  
【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 076452  
【納付金額】 15,000円  
【提出物件の目録】  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 特許請求の範囲 1  
【物件名】 要約書 1  
【物件名】 図面 1  
【包括委任状番号】 0901182

図 8-7. 特許出願 (1/4)

整理番号:MT11-0708 特願2011-151331 (Proof) 提出日:平成23年 7月 8日 1/E

【書類名】	特許願
【整理番号】	MT11-0708
【あて先】	特許庁長官殿
【発明者】	
【住所又は居所】	三重県津市栗真町屋町1 5 7 7 国立大学法人三重大学大学院工学研究科内
【氏名】	金子 聡
【発明者】	
【住所又は居所】	三重県津市栗真町屋町1 5 7 7 国立大学法人三重大学大学院地域イノベーション学研究科内
【氏名】	矢野 竹男
【発明者】	
【住所又は居所】	三重県志摩市阿児町鶴方9-44 志摩環境事業協業組合内
【氏名】	宝門 豊
【発明者】	
【住所又は居所】	三重県志摩市阿児町鶴方9-44 志摩環境事業協業組合内
【氏名】	宝門 誠
【発明者】	
【住所又は居所】	三重県志摩市阿児町鶴方9-44 志摩環境事業協業組合内
【氏名】	開 靖彦
【特許出願人】	
【識別番号】	304026696
【氏名又は名称】	国立大学法人三重大学
【代表者】	三重大学長 内田 淳正
【特許出願人】	
【識別番号】	509000862
【氏名又は名称】	志摩環境事業協業組合
【代表者】	理事長 宝門孝雄
【手数料の表示】	
【予納台帳番号】	272456
【納付金額】	15,000円
【提出物件の目録】	
【物件名】	特許請求の範囲 1
【物件名】	明細書 1
【物件名】	図面 1
【物件名】	要約書 1

図8-8. 特許出願 (2/4)

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(10) 国際公開番号

WO 2010/073442 A1

(43) 国際公開日

2010年7月1日(01.07.2010)

PCT

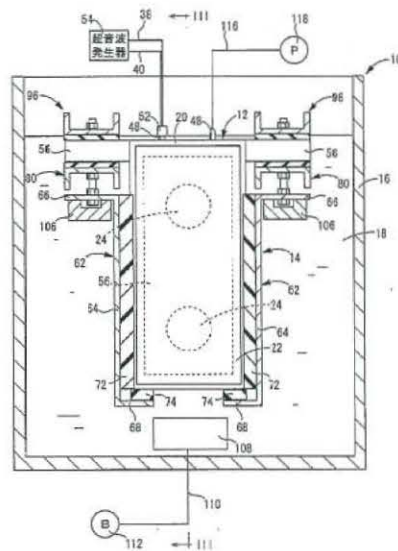
- (51) 国際特許分類:  
B01D 65/02 (2006.01) B01D 69/10 (2006.01)  
B01D 63/02 (2006.01) B01D 71/36 (2006.01)  
B01D 63/08 (2006.01) B01D 71/48 (2006.01)  
B01D 65/00 (2006.01) C02F 1/44 (2006.01)
- (72) 発明者: および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 宝門豊  
(HOMON, Yutaka) [JP/JP]; 〒5170501 三重県志摩  
市阿児町鶴方 9-4 4 志摩環境事業協業組  
合内 Mie (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/005165 (74) 代理人: 笠井美孝, 外(KASAI, Yoshitaka et al.); 〒  
5140003 三重県津市桜橋一丁目 6 8 1 番地 笠  
井中根国際特許事務所 Mie (JP).
- (22) 国際出願日: 2009年10月5日(05.10.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語 (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保  
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,  
BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO,  
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,  
GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS,  
KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,  
LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,  
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL,  
PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV,  
SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN,  
ZA, ZM, ZW.
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2008-331156 2008年12月25日(25.12.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 志  
摩環境事業協業組合 (SHIMAKANKYOUJIGYOU  
KYOUGYOUKUMIAI) [JP/JP]; 〒5170501 三重県志  
摩市阿児町鶴方 9-4 4 Mie (JP).

[続葉有]

(54) Title: IMMERSION-TYPE MEMBRANE SEPARATION APPARATUS

(54) 発明の名称: 浸漬型膜分離装置

[図2]



(57) Abstract: Disclosed is an immersion-type membrane separation apparatus having a novel structure, which enables a practically applicable level of washing of a separation membrane by means of an ultrasonic wave generated by an ultrasonic transducer and can exhibit steady filtration performance for a long period. An ultrasonic transducer (24) for washing and removing adherents adhered on a separation membrane (22) during the filtration of raw water (18) is provided. The adherents adhered on the separation membrane (22) is washed and removed by means of an ultrasonic wave irradiated from the ultrasonic transducer (24). The separation membrane (22) is made from polytetrafluoroethylene (PTFE).

(57) 要約: 超音波振動子による超音波を利用して分離膜を洗浄することを実用的レベルで可能とし、それによって、長期間に亘って安定した濾過性能を発揮することが出来る、新規な構造の浸漬型膜分離装置を提供する。原水 18 の濾過に伴って分離膜 22 に付着した付着物を洗浄除去するための超音波振動子 24 を設けて、かかる超音波振動子 24 から放射される超音波を利用して、分離膜 22 に付着した付着物を洗浄除去すると共に、分離膜 22 をポリテトラフルオロエチレン (PTFE) で形成した。

図 8-9. 特許出願 (3/4)



【書類名】要約書

【要約】

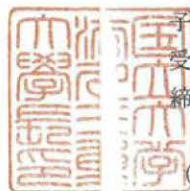
【課題】溶着設備の大型化や製造コストの大幅な増大を伴うことなく、濾板に対して濾過膜シートの周縁部分を十分な展張力をもって高強度に溶着保持せしめることを可能となし、負圧や正圧、流体圧や振動等が及ぼされる状況下において優れた耐久性と安定性をもって目的とする濾過機能を発揮し得る、新規な構造の平板状膜エレメントを提供すること。

【解決手段】熱可塑性合成樹脂からなる濾板20を用い、濾板20の表面43における濾過膜シート30の重ね合わせ領域の周縁部分に位置して周方向に連続して線状に延びる溶着突条の複数本を並列状に形成すると共に、平面多角形状の濾過膜シート30の各角部において隣り合う溶着突条間に角部補助突起を形成し、それら溶着突条と角部補助突起を濾過膜シート30に溶着せしめて固着することにより濾過膜シート30の周縁における濾板20への溶着面積を辺部分より角部分において大きくした。

【選択図】図6

## 特許共同出願契約書

国立大学法人三重大学（以下、「甲」という。）と志摩環境事業協業組合（以下、「乙」という。）とは、甲乙間の2011年3月1日付秘密保持契約に基づく成果として甲の教職員である金子聡、矢野竹男及び乙の社員である宝門豊、宝門誠、開靖彦によりなされ、甲及び乙がその特許を受ける権利をそれぞれ譲り受けた発明について共同で特許を出願するにあたり、次のとおり契約を締結する。



（共同出願）

第1条 甲及び乙は、次の発明（以下、「本件発明」という。）を共同で出願する。

（1）発明の名称：固液分離モジュール及び、固液分離方法

（2）発明者：三重大学大学院工学研究科 金子 聡

三重大学大学院地域イノベーション学研究科 矢野 竹男

志摩環境事業協業組合 宝門 豊

宝門 誠

開 靖彦

（3）整理番号：甲 MU22-0051

（4）出願番号：特願2011-151331号（2011年7月8日出願）

（権利の持分）

第2条 甲及び乙は、本件発明の特許を受ける権利及びこれに基づき取得した特許権（以下、「本件特許等」という。）を共有するものとし、その持分は甲50%、乙50%とする。

（自己実施及びそれに基づく対価）

第3条 甲は、教育・研究機関であるため、本件特許等及び本件特許等に関連するノウハウに係わる自己実施（製品の生産や販売等、以下、「本実施」という。）を行わず、本実施は乙が独占的に行うものとする。

2 乙が本実施を行う場合には、乙は甲にその旨を速やかに通知するとともに、甲へ前項の規定に基づく独占的実施の対価として実施料を支払うものとし、実施料率の他、ノウハウの設定、独占的実施の期間等を定めた実施契約を別途締結するものとする。

3 甲は、自らが行う教育及び研究活動には、乙の同意なく本件特許等は無償で利用できる。



（第三者への実施許諾）

第4条 乙が本実施を行っている場合又は本実施の準備をしている場合には、甲は本件特許等を第三者へ実施許諾しないものとする。

2 乙が本実施を行わないことを決定した場合には、乙は甲にその旨を速やかに通知するものとし、甲は当該通知の受領後は乙の承諾なく、本件特許等を第三者に実施許諾できるものとする。

図8-11. 契約書 (1/3)

## 共有特許の実施に係る契約書



国立大学法人三重大学（以下、「甲」という。）と志摩環境事業協業組合（以下、「乙」という。）とは、平成23年7月11日付特許共同出願契約書（以下、「本出願契約」という。）を締結しているところ、甲及び乙が本件特許等の実施に係る条件に合意したので、次のとおり契約を締結する。

（目的）

第1条 本契約は、本出願契約の下、乙が、第3条に定める本実施を日本国内において行うにあたり、条件を定めるものである。

（定義）

第2条 本契約で用いる用語の定義は、本契約で定めるものの他、本出願契約によるものとする。

2 本契約において、下記の用語は次の定義に従うものとする。

（1）本件特許等とは、甲乙共同でなされた次の特許出願、これに基づく国内優先権主張出願、分割出願、継続出願、一部継続出願、及びこれらに基づき取得した特許権（以下、「本件出願等」という。）並びに本件製品をいう。

①出願番号：特願2011-151331号

②出願日：平成23年7月8日

③発明の名称：固液分離モジュール及び、固液分離方法

（2）本件製品とは、次のものをいう。

①本件製品：本項（1）に記載の本件出願等に係る濾過ユニット

（乙の実施）

第3条 甲は、乙に対し、乙が日本国内において本件特許等に基づく事業・製造・販売（以下、「本実施」という。）を独占的に行うことに同意する。

2 乙は、本件製品を第三者へ下請け製造させることができる。ただし、乙は当該下請けに対し、乙が本契約第9条に基づき負うと同様の義務を負わせるものとする。

（実施料）

第4条 乙は、前条第1項に定める独占の実施に対して、次に定める実施料を甲に支払うものとする。ただし、乙の甲への初回の支払いは平成25年4月以降とする。

実施料：1年度毎、本件製品売上高の1%

ただし、初回の実施料は本件特許出願以降であって、平成25年3月末以前に於ける本件製品の売上高の1%とする。

2 前項の規定に関わらず、初回の支払いのとき、乙は甲の合意を得て、実施料率の見

図 8-12. 契約書 (2/3)



## 秘密保持契約書



国立大学法人三重大学（以下、「甲」という。）とアタカメンテナンス株式会社（以下、「乙」という。）と志摩環境事業協業組合（以下、「丙」という。）とは、「超音波／オゾン洗浄型ポリテトラフルオロエチレン膜分離浸漬装置」に係わる知的財産の出願、知的財産又は知的財産権の実施許諾、共同研究、有体成果物の提供、ノウハウの提供等の検討（以下、「本検討」という。）にともなって相互に開示される秘密情報の取扱に関して、次のとおり秘密保持契約（以下、「本契約」という。）を締結する。

### （秘密情報の定義）

第1条 本契約において「秘密情報」とは、本項第一号及び第二号規定の技術情報および事業情報の全てを総称していう。

（1）「技術情報」とは、次のものをいう。

- イ 甲、乙又は丙が、本検討のために、他の当事者に書面、図面、写真、サンプル、電子媒体、その他の媒体等で開示した研究、ノウハウ、技術的情報のうち、秘密である旨を明示したもの。
- ロ 甲、乙又は丙が、本検討のために、他の当事者に口頭、電子メールで開示した研究、ノウハウ、技術的情報のうち、秘密である旨を明示したもの。

（2）「事業情報」とは、次のものをいう。

- イ 甲、乙又は丙が、本検討のために、他の当事者に書面、図面、写真、サンプル、電子媒体、その他の媒体等で開示した甲、乙又は丙の事業、運営等に係わる研究、ノウハウ、技術的情報以外の情報のうち、秘密である旨を明示したもの。
- ロ 甲、乙又は丙が、本検討のために、他の当事者に口頭、電子メールで開示した甲、乙又は丙の事業、運営等に係わる研究、ノウハウ、技術的情報以外の情報のうち、秘密である旨を明示したもの。

2 前項の規定にかかわらず、次の各号の一に該当する情報については、秘密情報に含まないものとする。

- （1）開示を受ける前に既に公知であったもの。
- （2）開示を受ける前に既に自ら保有したことを証明できるもの。
- （3）開示後、受領者の責によらないでその後公知となったもの。
- （4）機密保持の義務を負うことなく第三者から正当に入手したもの。
- （5）秘密情報と関わりなく自らが独自に開発したことを証明できるもの。

### （機密保持）

第2条 甲、乙及び丙は、事前に書面による開示者の同意のない限り、開示された秘密情報を第三者に開示又は漏洩してはならない。

2 甲、乙及び丙は、本契約に定める機密保持義務を遵守するため、以下の者を秘密情報の管理責任者（以下、「責任者」という。）として定め、当該責任者の責任をもって開示された秘密情報を管理するものとする。

図 8-13. 契約書 (3/3)

## 8.6 プロジェクトのマネジメント結果（タイムスケジュール）

三重大学大学院地域イノベーション学研究科では、21世紀型新産業社会のニーズに応えるために、従来の大学院教育で培われた研究開発能力だけでなく、新製品の企画から製品の市場への投入までを完結できる「プロジェクト・マネジメントができる研究開発人材」を育成している。「プロジェクト・マネジメントができる研究開発人材」は、今まさに、地方企業で強く求められている人材像である。本研究科が育成する人材は、地域に活躍の場をもつだけでなく、グローバルな視点から地域イノベーションを誘発できることが期待される。

【元資料】「地域イノベーション学研究科（カタログ）」国立大学法人三重大学大学院（2012）

プロジェクト・マネジメントにおいては、スケジュール調整が要点であると思われる。新製品の企画から製品の市場投入までを短期間（3～4年間）で完結するには、計画的な研究開発と新規事業化プランニングが必要である。さらには、現実の地域社会の状況から課題発見を行い、課題を解決するための具体的な解決策を自ら立案しなければならない。課題を解決するための具体的な行動として、本研究では企画・執行・調整に関する総合的なプロジェクト・マネジメントを月毎のイベント単位のスケジュールで実施し、準備期間が1年、研究開発と新規事業化が3年となる4年計画（2009～2012年）を立案した。

準備期間（1年計画）のプロジェクト・マネジメント結果を表8-1に示す。最初に研究開発および新規事業化に必要な資金を積算後、公的機関補助金と金融機関融資を申請した。資金の大半は平膜エレメントを生産する設備（超音波溶着設備や金型）に費やされた。

なお、金融機関から融資を受ける際は、設備投資が承認され易いような印象を受けた。その理由として、融資側としてみれば形に残らないような投資は用途不明（他の事業に使用されるなど）になる可能性があり、最悪の場合は回収が困難である。しかし、設備投資は形に残るために申請した新規事業に使用されたことが明確であり、最悪の場合は設備の売却も可能である。したがって一般的には、設備投資は融資側のリスクが軽減されていると思われる。表8-1で2009年6～7月の補助金申請と資金調達の前に「プロジェクト準備」とあるが、これは主に公的機関に提出する補助金申請書や、金融機関に提出する事業計画書などの書類作成期間であった。この期間では、ある程度の新規事業化プランニングについての構想をまとめることができたと考えている。



表 8-1 の 2009 年 8 月～2010 年 3 月では、購入した平膜エレメント生産設備による膜溶着技術に関する予備的な研究を実施した。様々な種類の平膜素材（CPE・PTFE・PVDF など）と膜支持板（ABS・AES・PP など）の組み合わせ方法を検討し、同時に、生産設備の超音波溶着の最適運転条件（周波数・出力・加圧力・湿度・室温など）を研究した。これらの平膜エレメントに関する製造条件の研究結果は、知的財産権が確保できるまで、クローズモデルとした。また、市場では平膜エレメントは 2 年間の保証期間と、少なくとも 3 年以上の機械的強度の寿命が期待されている。製造条件に関する研究が不十分であった場合は不良が発生し、製品リコールなど、プロジェクトに多大な損害が出てしまう。その点に関しては十分に注意し、試作品の段階から製品にはロット番号を刻印した。こうすれば、万一不良が発生した場合でも、当該ロットだけをリコールできる体制であり、不良原因によっては全品リコールを回避できる。この準備期間は、本研究における膜分離型廃水浄化装置の実証試験目的（英虞湾などの閉鎖性海域の水質保全と地域活性化および地産池消の問題を同時に解決する）を達成するために、主要装置である MBR と平膜エレメントの試作機の完成を最優先事項とした期間であった。

次に、研究開発および新規事業化（3 年計画）1 年目のプロジェクト・マネジメント結果を表 8-2 に示す。2010 年 7 月から産学連携の共同研究として、平膜性能試験（事前評価）、実証試験①（事例研究 1）、実証試験②（事例研究 2）、実証試験③（モデル実験 1）、実証試験④（モデル実験 2）の計 5 系の実験を開始することができた。

また、これは嬉しい誤算であったが、平膜性能試験（事前評価）の結果が予想以上に良かったため、2010 年 1 月に大手水処理プラントメーカーから本製品採用の正式なオファーがあった。この市場投入は本来、研究開発成果と新規事業化プランニングが整った段階、つまりはプロジェクトの最終年度（2012 年 4 月以降）に実施すべきイベントであった。当時は時期尚早な印象が否めなかったが、チャンスは貯金できないと判断し、各実証試験の結果を待たずして大手水処理プラントメーカーとの交渉を開始した。したがって、この時期の研究開発関連と新規事業化関連のイベントはかなり錯綜した結果になってしまった。

しかしながら、この市場投入はいずれ実施しなければならないイベントであり、当時は最優先事項とした判断は正しかったと考えている。これは結果論であるが、一般的なプロジェクトの進行形態とは異なってしまったようには感じられるものの、早期に本製品を市場投入できたことは良い結果だったと思われる。



2年目のプロジェクト・マネジメント結果を表8-3に示す。2011年6月に大手水処理プラントメーカーとの交渉がほぼ完了し、7月から具体的な契約業務を行った。本研究に関わる特許出願と契約については、P. 217～224に記載した通りである。

中でも特許に関する契約は慎重に行い、知的財産所有権は三重大学と弊社で保有し、販売に関しては大手水処理プラントメーカーに一任することにした。販売に関しては、弊社のような中小企業は知名度などの点において限界があり、大量販売に至るまで時間が相当かかると予想されたからである。中小企業の知名度や信頼度が短期間では得られにくいことは、中小企業の成長障害因子のひとつでもある。ここで、弊社のような中小企業が大手水処理プラントメーカーの信頼を得ることができたのは、三重大学大学院工学研究科と地域イノベーション学研究科による研究開発体制が高く評価されたからであり、地域イノベーション学研究科の提唱する「中小企業の成長障害因子の排除」が効果的に作用した結果であると考えている。

さらに、大手水処理プラントメーカーに販売を一任することにより、弊社は販売に関する営業経費（人件費、広告費など）削減による製品コストの圧縮ができ、全国規模の大手水処理プラントメーカーの販売網を利用できたことは非常におおきなメリットであった。

2011年10月～2012年1月にかけては、各実証試験が無事完了し、日本国内で権威ある雑誌「用水と廃水」に投稿することができた。

3年目のプロジェクト・マネジメント結果を表8-4に示す。ここでは主に研究成果を公知するための論文投稿を最優先事項とした。既に予定していた製品の市場投入が完了していたため、本論文作成などに集中することができた。

2012年7月にIWRIS2012に論文を投稿することができ、10月の口頭発表会では優秀論文賞（P. 216）を戴くことができた。三重大学大学院のような公的機関から表彰を受けることができたことは非常に有り難く、これからの弊社の海外販売戦略に大きく貢献する賞となることは間違いないと思われる。

以上の結果から、プロジェクト本格始動の前準備期間はあったものの、研究開発と新規事業化プランニングの実行は、2年あれば不可能ではないことが分かった。また、スケジュールに関しては、必ずしもプロジェクトは一般的な進行形態になるとは限らず、本研究の場合においては、月毎のイベント単位のスケジュール調整が重要であった。

表 8-1. 入学準備（プロジェクト準備）

2009年度											
4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
三重大学入学希望（入学準備）	プロジェクト準備	補助金申請 完了	資金調達 完了			平膜溶着技術 予備研究（実証試験準備）				平膜生産設備 調整（実証試験準備）	

表 8-2. 博士後期課程 1 年（プロジェクト開始）

2010年度											
4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
三重大学入学（プロジェクト開始）	平膜生産設備 稼動（MBR 試作）		平膜性能試験 完了（事前評価）	実証試験① 開始（事例研究 1）	実証試験② 開始（事例研究 2）	実証試験③ 開始（モデル実験 1）	実証試験④ 開始（モデル実験 2）	膜分離型廃水浄化システム 販売開始		大手取引交渉	

表 8-3. 博士後期課程 2 年（実証試験完了）

2011年度											
4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
膜分離型廃水浄化システム 設計資料完成			大手専売契約 完了	秘密保持契約 完了	特許共同出願契約 完了	実証試験① 完了（事例研究 1）	実証試験② 完了（事例研究 2）	実証試験③ 完了（モデル実験 1）	実証試験④ 完了（モデル実験 2）	用水と廃水 投稿（モデル実験 1）	

表 8-4. 博士後期課程 3 年（プロジェクト完了）

2012年度											
4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
学位予備審査書類 作成		論文受理（モデル実験 1） 報文	I W R I S 2 0 1 2 投稿	月刊浄化槽 投稿（モデル実験 2）	大学研究報告 投稿（モデル実験 1）	学位予備審査書類 提出	学位本審査書類 作成		学位本審査書類 提出		



## 8.7 共同研究者一覧

矢野 竹男	教 授	三重大学大学院 地域イノベーション学研究科
久保 雅敬	教 授	三重大学大学院 地域イノベーション学研究科
坂内 正明	教 授	三重大学大学院 地域イノベーション学研究科
金子 聡	准教授	三重大学大学院 工学研究科
勝又 英之	助 教	三重大学大学院 工学研究科
鈴木 透	助 教	三重大学 環境保全センター
円城寺 英夫	客員教授	株式会社三重ティーエルオー
梅田 四郎	統括部長	アタカメンテナンス株式会社 技術統括部
簀 大介	副統括部長	アタカメンテナンス株式会社 技術統括部
井上 正利	事業所長	アタカメンテナンス株式会社 維持管理部
鈴木 隆弘	課 長	アタカメンテナンス株式会社 技術統括部
今田 綾介	係 長	アタカメンテナンス株式会社 技術統括部
宝門 誠	統括部長	志摩環境事業協業組合
開 靖彦	課 長	志摩環境事業協業組合 下水道部
大山 清孝	主 任	志摩環境事業協業組合 下水道部
藤村 耕司	課 長	志摩環境事業協業組合 膜販売部
谷口 智崇	課長補佐	志摩環境事業協業組合 膜販売部
山本 千佳	係 長	志摩環境事業協業組合 膜販売部

## 8.8 謝辞

本研究の遂行に際しまして多大なるご指導、ご助言を賜りました三重大学大学院工学研究科 金子聡准教授、勝又英之助教、太田清久名誉教授に心から感謝の意を表します。

また、本論文のまとめと執筆にあたりましては、終始貴重なる助言とご指導を賜りました本学大学院地域イノベーション学研究科 矢野竹男教授、久保雅敬教授、坂内正明教授、鶴岡信治研究科長、本学環境保全センター 鈴木透助教、本学医学系研究科 西村訓弘学長補佐、山田知美助教、株式会社三重ティーエルオー代表取締役 円城寺英夫客員教授に深く感謝いたします。

さらに、本研究の推進に際し、多大なるご理解およびご配慮をいただきましたアタカメンテナンス株式会社 梅田四郎統括部長様、簗大介副統括部長様、井上正利事業所長様、鈴木隆弘課長様、今田綾介係長様に深く感謝するとともに、本事業所のグループ員の皆様のご支援とご協力に厚くお礼を申し上げます。

また、MBR テクノロジーとプロジェクト・マネジメントの基礎をご指導いただきました山田豊様、和泉清司様、二唐義夫様、國森一郎様、小西純一郎様、八田達雄様、万協製薬株式会社代表取締役 松浦信男様、グローバルウォータ・ジャパン代表取締役 国連環境審議官 吉村和就先生、多くの方々に心から感謝いたします。

最後にこの研究を行うにあたり暖かい応援と理解をしてくれた志摩環境事業協業組合 宝門誠統括部長、開靖彦課長、藤村耕司課長、谷口智崇課長補佐、山本千佳係長、大山清孝主任、社員全員、役員全員、父の宝門孝雄、母の宝門加津子、妻の美香、娘の未来に深く感謝いたします。

2013 年 3 月

宝門 豊