

図-3.2 原水③ 年1回薬洗時の無機MF膜設備設計例 (Flux = 2.0 m³/m²/dの場合)

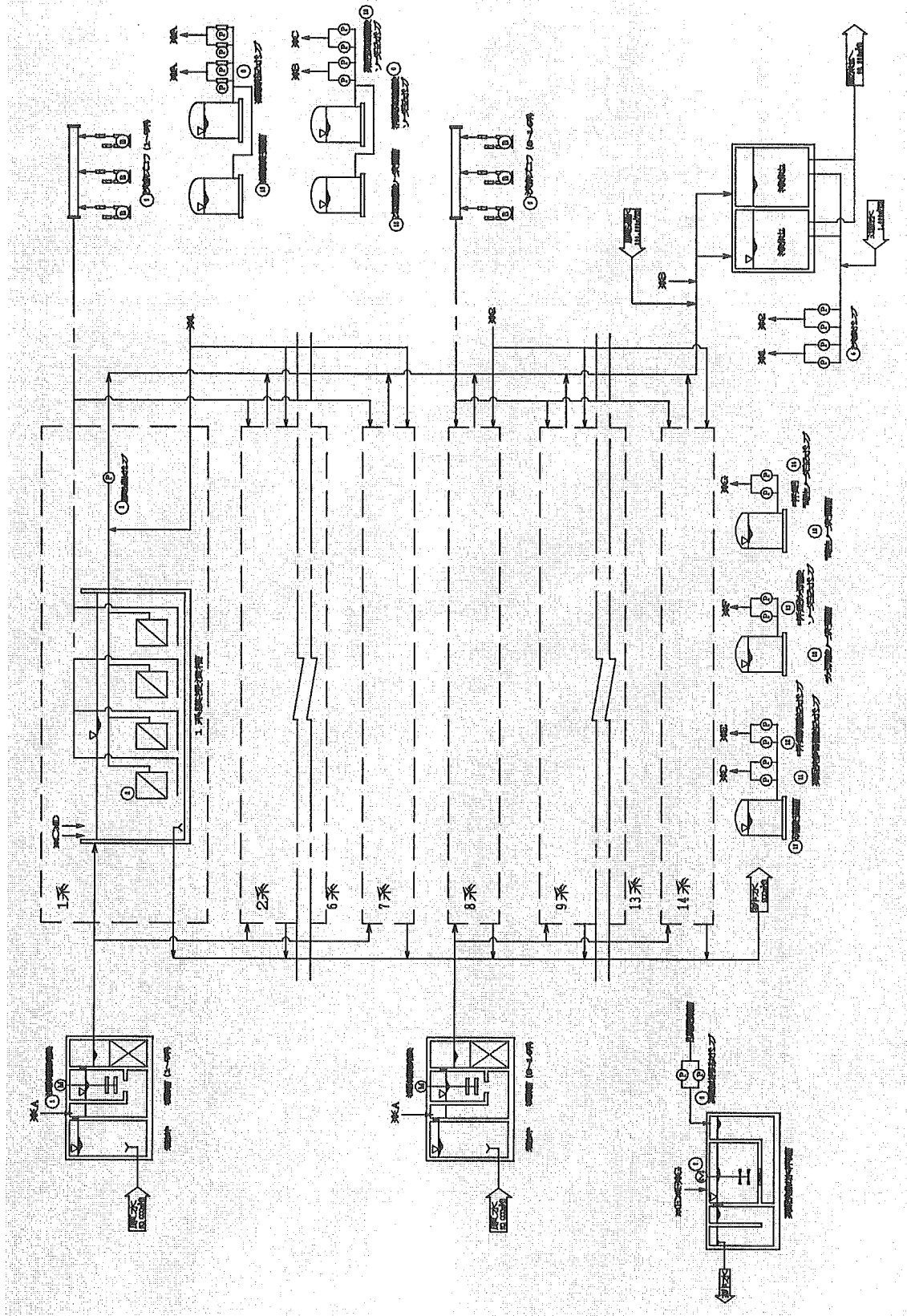


図-3.3 原水③ 年3～4回薬洗時の無機MF膜設備設計例 (Flux = 3.0 m³/m²/dの場合)

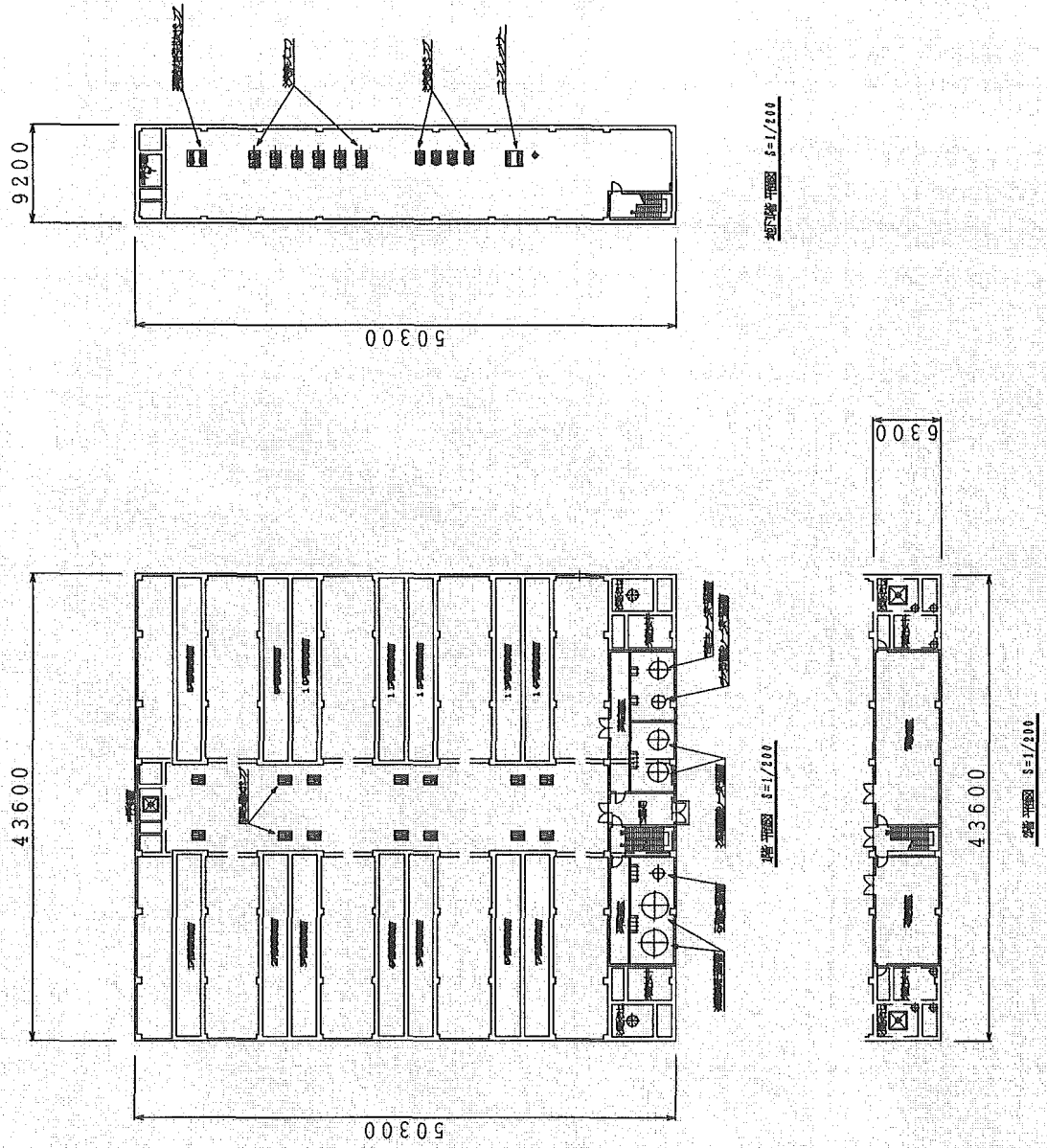


図-3.4 原水③ 年3～4回薬洗時の無機MF膜設備設計例 (Flux = 3.0 m³/m²/dの場合)

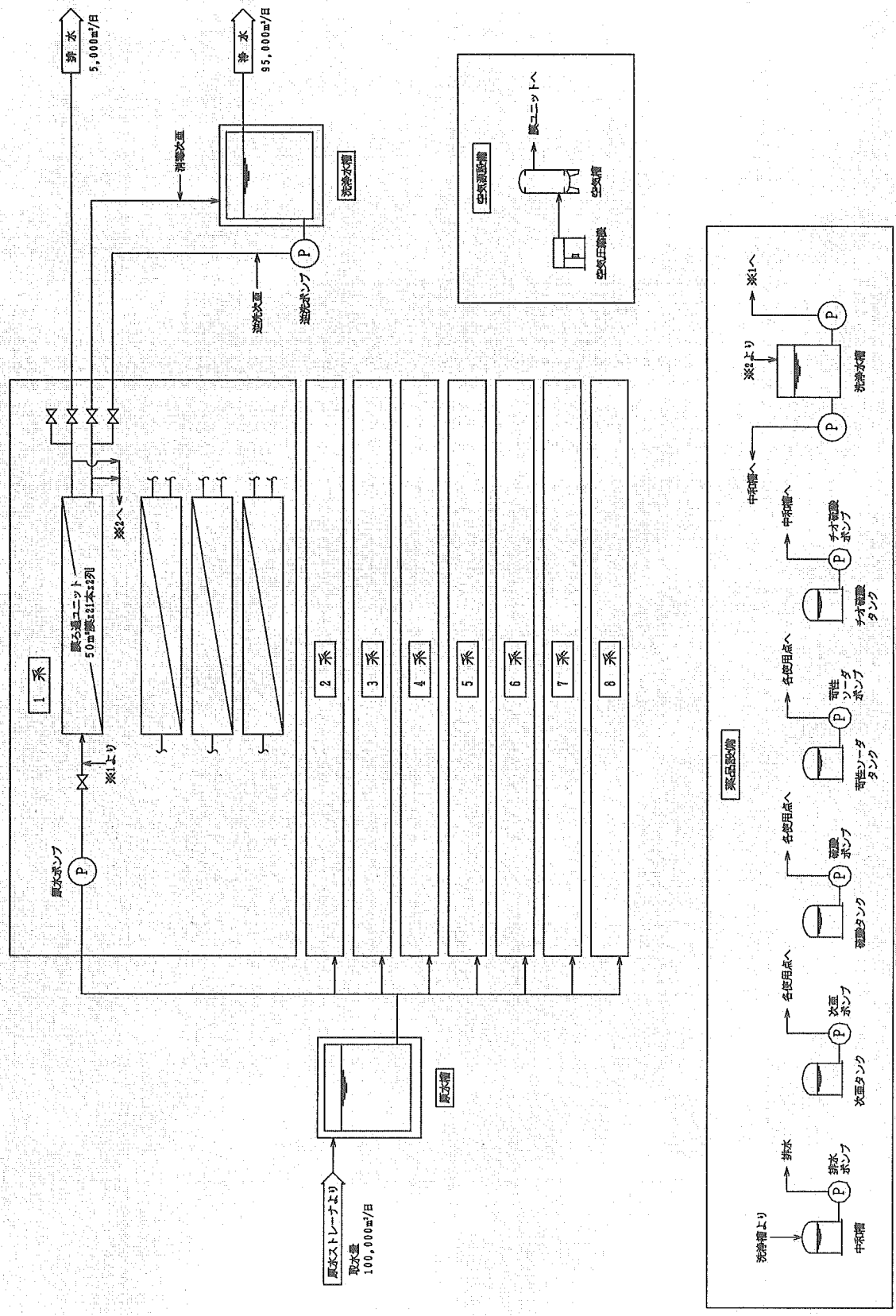
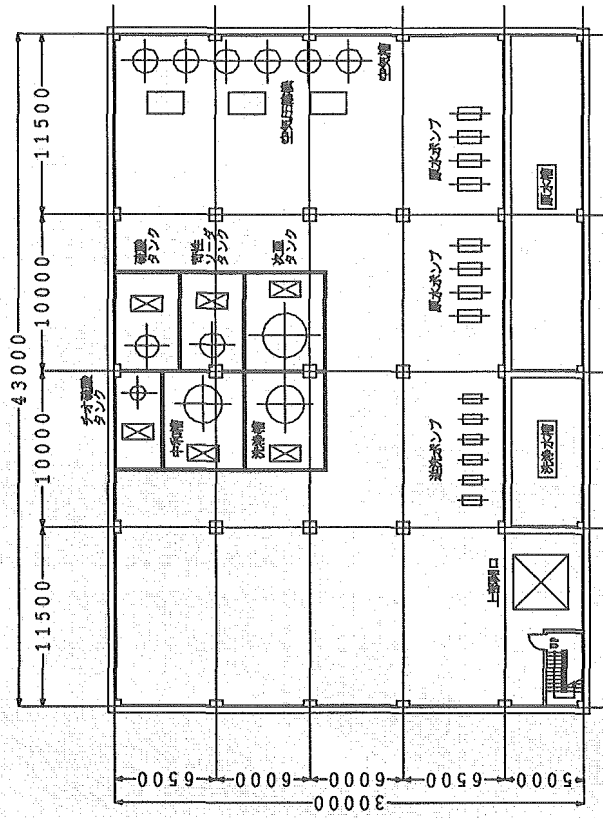
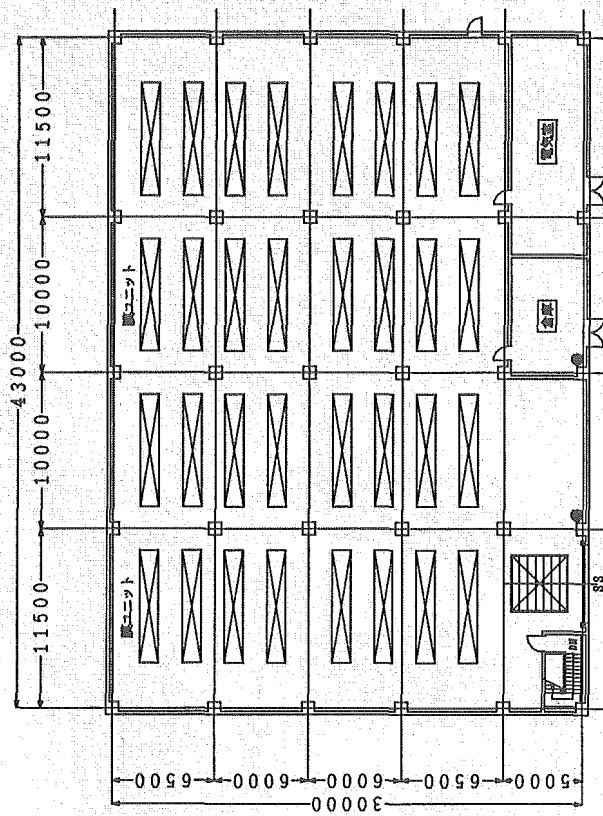


図-3.5 原水③ 年1回薬洗時の有機MF膜設備設計例 (Flux = 1.5 m³/m²/dの場合)



B1F 平面図



1F 平面図

図-3.6 原水③ 年1回薬洗時の有機MF膜設備設計例 (Flux = 1.5 m³/m²/dの場合)

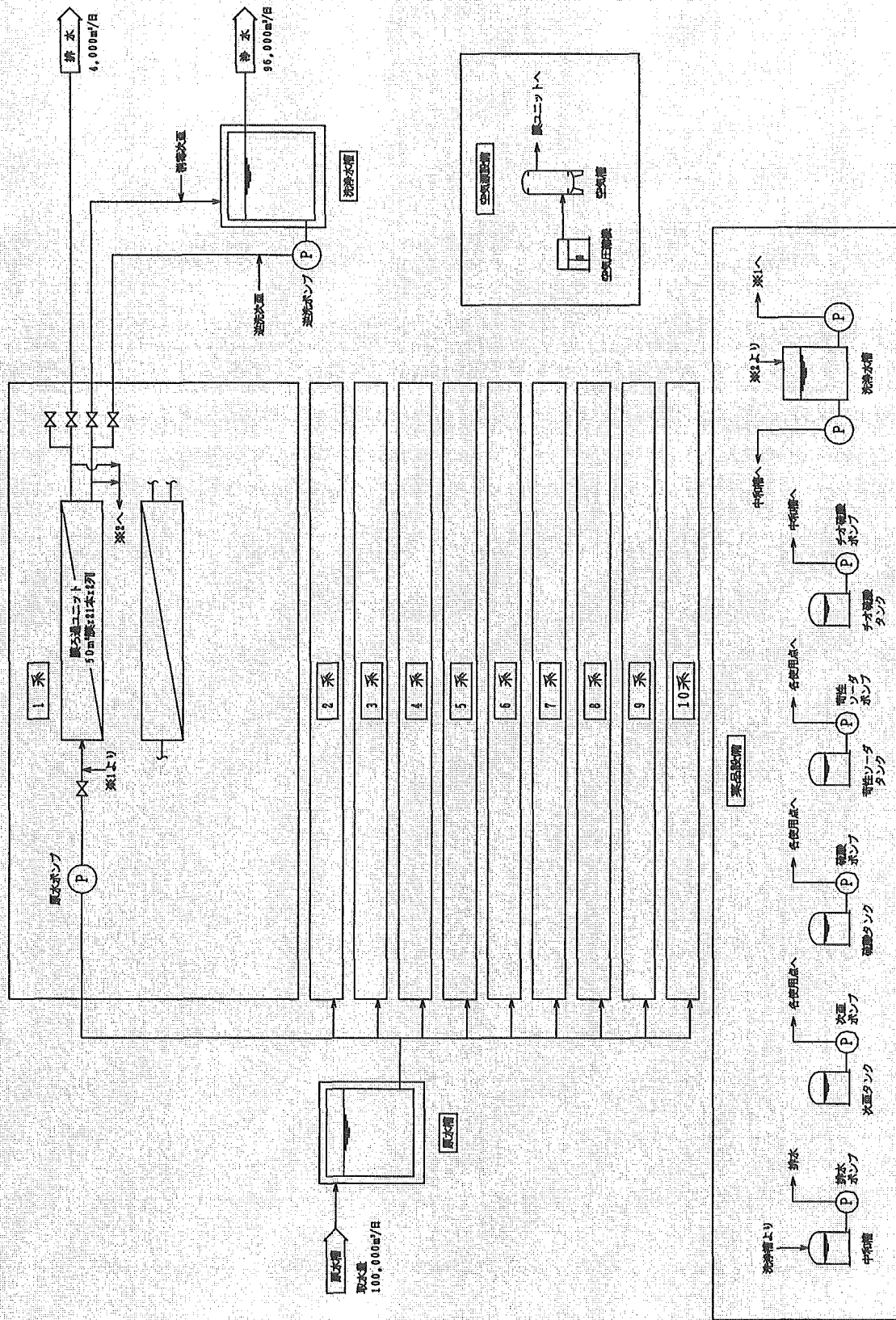
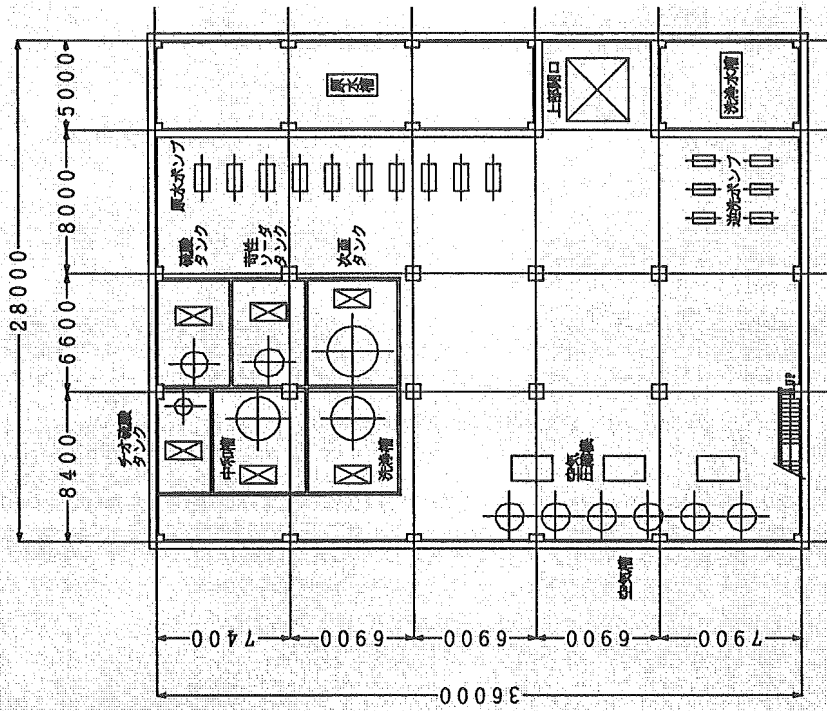
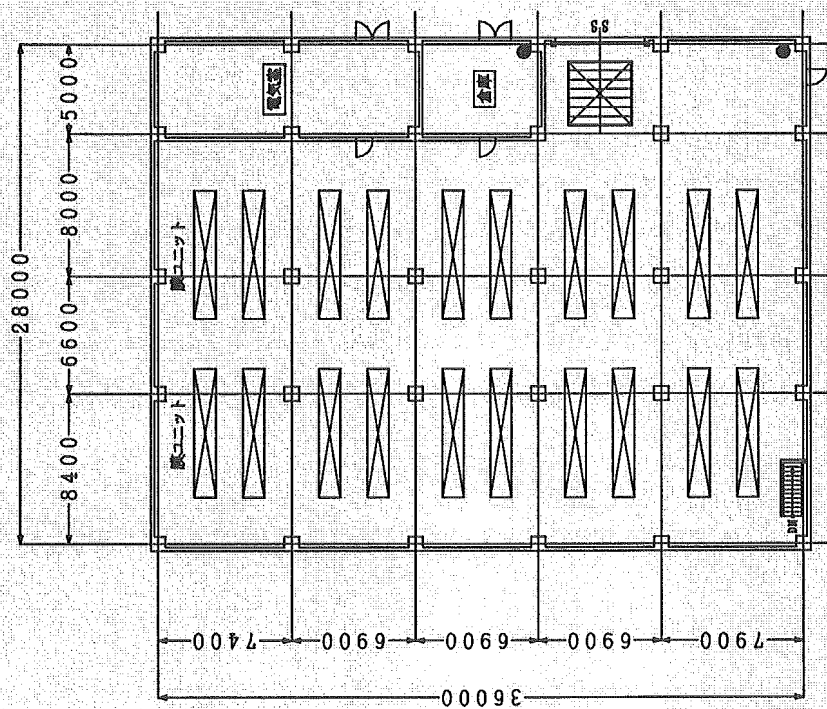


図-3.7 原水③ 年3～4回薬洗時の有機MF膜設備設計例 (Flux = 2.5 m³/m²/dの場合)



B1F 平面図



1F 平面図

図-3.8 原水③ 年3～4回薬洗時の有機MF膜設備設計例 (Flux = 2.5 m³/m²/dの場合)

平成15年度 第2ワーキンググループ 報告書

- 研究課題 (6) 効率的な膜モジュール破断監視システムの構築
(7) 膜モジュール破断発生時の対応策の整備

1. 平成 14, 15 年度の活動状況

平成 14 年度：メーカーアンケート及び文献調査

- ・ 国内メーカーは間接法（高性能濁度計等使用）を主体として破断検知を実施している。
- ・ 海外（特に米国）では、NSF や ETV 認証（Environmental Technology Verification）において、直接法（プレッシャーホールドテスト等）が義務づけられている。

平成 15 年度：間接法（濁度計，微粒子計）による膜破断検知のフィールド実験の実施
（阪神水道企業団 猪名川浄水場 高度浄水処理実証プラント内で実施）

2. 膜破断検知実験 ー阪神水道企業団 猪名川浄水場における膜破断実験結果ー2.1 実験結果概要

膜破断検知実験を実施し、以下の事項を確認した。

- ① 原水濁度に関わらず、漏洩率のシミュレーション結果と実験結果はほぼ一致した。
- ② 実験に使用した膜モジュールでは、膜1本の破断で、微粒子（ $> 2 \mu\text{m}$ ）及び濁度の対数減少値（LRV）が3以下まで低下した。
- ③ 複数本膜が破断した系において、原水濁度が1度程度以下であれば、シミュレーション結果とほぼ一致する。これ以上の原水濁度の場合にはシミュレーションの補正が必要となる。
- ④ 低濁度（原水濁度0.1度）の原水に対しても、精密微粒子計によって膜モジュールあたり1本の膜破断を実験的には検知可能であった。しかし、大規模膜ろ過設備では、配管等からの微粒子発生等も考えられるため、さらなる検討を要する。
- ⑤ 処理水濁度（0.1度）管理では、原水濁度（もしくは原水微粒子数）変動によって、測定値より計算するLRVに差が生じるため、微粒子除去性能を一概に論ずることはできない。

2.2 実験フロー, 実験条件

膜破断実験に使用した実験装置は、阪神水道企業団の協力により e-Water 持込実験で実験中の装置である。

この装置は、阪神水道企業団 猪名川浄水場 高度浄水処理実証プラント（日処理量 2,000m³）内に設置され、実証プラントより本試験用の原水（淀川表流水, 凝集沈殿水, 活性炭処理水, 急速ろ過処理水）を取水した。

図-1 に高度浄水処理実証プラントフロー、

図-2 に膜破断実験フロー、表-1 に膜破断実験に使用した膜の仕様、運転条件、

表-2 に実験で使用した検出機器の仕様を示す。

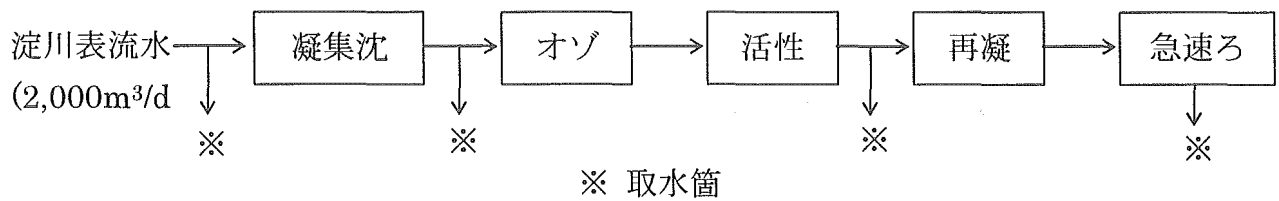


図-1：高度浄水処理実証プラント

表-1 膜モジュール仕様, 運転条件

膜の種類	MF
膜材質	PVDF
膜形状	外圧式中空系膜
有効膜面積	7.0 m ²
中空系内径/外径	700/1200 μm
中空系膜本数	1900 本
ろ過方式	全量ろ過方式
処理水量	約 10m ³ /d
回収率	95%

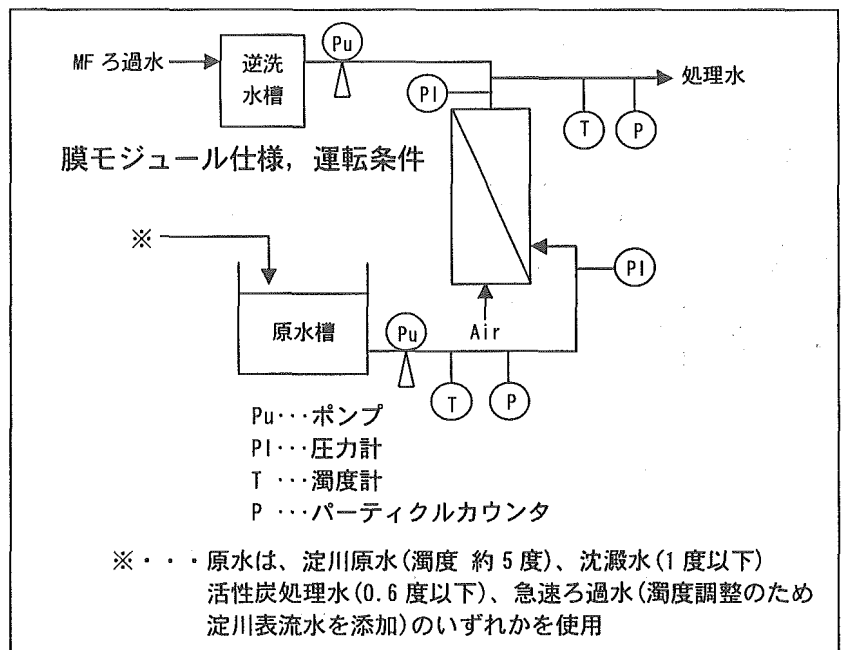


図-2：膜破断実験フロー

表-2 使用機器 仕様

検出機器	機器名	メーカー	測定範囲	測定原理
濁度計	1720C Turbiditymeter	HACH	0.001- [度]	透過散乱光方式
	A	A	0.0001-2.0000 [度]	レーザー透過散乱光方式
	B	B	0.0001-2.0000 [度]	レーザー透過散乱光方式
微粒子計	ARTI WQA2000	リオン	0.1-15000 (>2 μm) [個/ml]	光遮断(半導体レーザー)方式

2.3 実験結果

2.3.1 種々の原水における膜破断数：1本の実験結果

表-2 シミュレーション結果

膜破断本数	1	本
破断膜流量	0.10	m ³ /日
正常膜流量	10.4	m ³ /日
漏洩率	0.009	-

漏洩率の定義

漏洩率（シミュレーション値）= $\{D(Q_B / Q_N)\} / D = Q_B / Q_N$

Q_B…破断した膜から流出する原水流量

Q_N…正常な膜から流出するろ過水流量

D …膜ろ過原水微粒子数

漏洩率（実測値）=切断後ろ過水粒子数/膜ろ過原水粒子

LRVの定義

LRV=log（原水中の対象物質濃度/処理水中の対象物質濃度）

表-3 実証試験結果（濁度）

試験水	膜ろ過原水	濁度計A				濁度計B			
		切断前ろ過水	切断後ろ過水	漏洩率	LRV (-)	切断前ろ過水	切断後ろ過水	漏洩率	LRV (-)
原水	2.3	0.0000	0.0049	0.002	2.67	0.0000	0.0085	0.004	2.43
凝集沈澱水	0.5	0.0000	0.0039	0.008	2.07	0.0000	0.0056	0.012	1.95
	1.6(高濁度)	0.0000	0.0079	0.005	2.36	0.0000	0.0090	0.008	2.26
活性炭処理水	0.5	0.0000	0.0027	0.006	2.23	0.0000	0.0038	0.008	2.12
	1.5(高濁度)	0.0000	0.0051	0.003	2.47	0.0000	0.0057	0.007	2.42
砂ろ過水+原水※	0.1	-	-	-	-	0.0000	0.0005	0.004	2.30

表-4 実証試験結果（パーティクル）

試験水	パーティクル (>2μm, 個/ml)				
	膜ろ過原水	切断前ろ過水	切断後ろ過水	漏洩率	LRV (-)
原水	16302	<0.1	88	0.005	2.27
凝集沈澱水	2733	<0.1	17	0.006	2.21
	4758	<0.1	26	0.005	2.26
活性炭処理水	3375	<0.1	29	0.009	2.06
	7516	<0.1	52	0.007	2.16
砂ろ過水+原水※	630	<0.1	5	0.009	2.07

※ 実証プラント急速ろ過処理水濁度が0.1度以下のため、急速ろ過処理水に淀川原水を添加した。

- ・ 原水濁度に関わらず、漏洩率はシミュレーション結果とほぼ一致した。
- ・ 精密微粒子計で低濁度原水（濁度0.1）に対しても、モジュールあたり1本の膜破断検知が可能であった。（ただし、実プラントでの採用には配管からの微粒子発生等の可能性が考えられるため、さらなる検討を要する。）

2.3.2 種々の原水における膜ろ過水濁度が0.1度となる場合の実験結果（膜破断本数：複数本）

① 破断本数と処理水濁度，LRV（微粒子）との関係

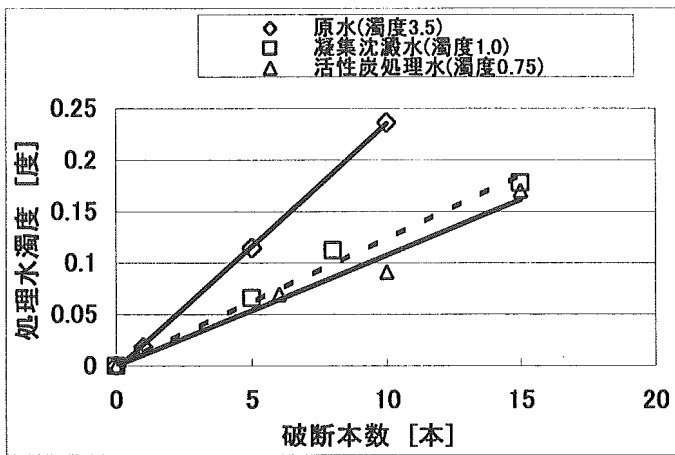


図-3 破断本数と処理水濁度との関係

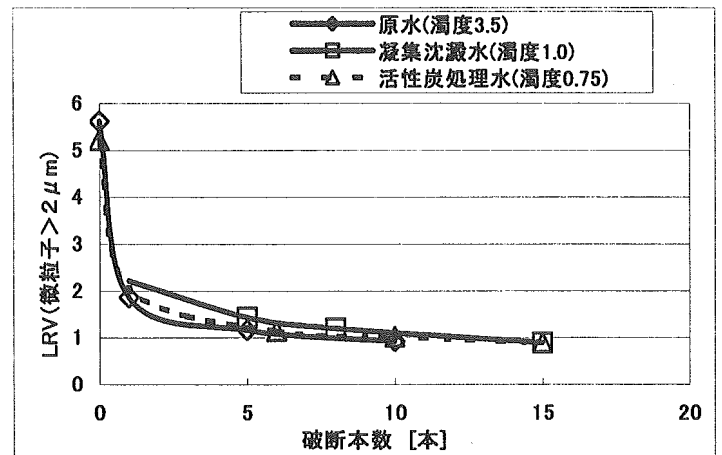


図-4 破断本数と LRV との関係

- ・ 破断本数と処理水濁度との間には、直接関係が認められた。

- ・ 今回の実験系では、処理水濁度 0.1 度の時の微粒子除去率は LRV=1 程度であった。

② 破断本数と漏洩率の実測値とシミュレーションとの関係

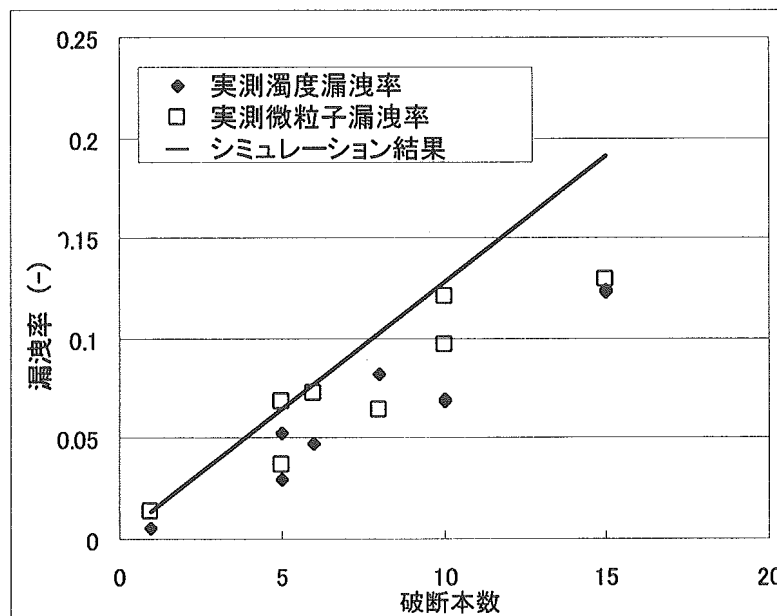


図-5 破断本数と漏洩率の実測値とシミュレーションの関係

- ・ シミュレーション結果と、実測値は概ね一致している。
- ・ 破断本数が増えるに従い、差が大きくなっていく傾向がみられる。

③ 破断本数と膜ろ過水濁度との関係

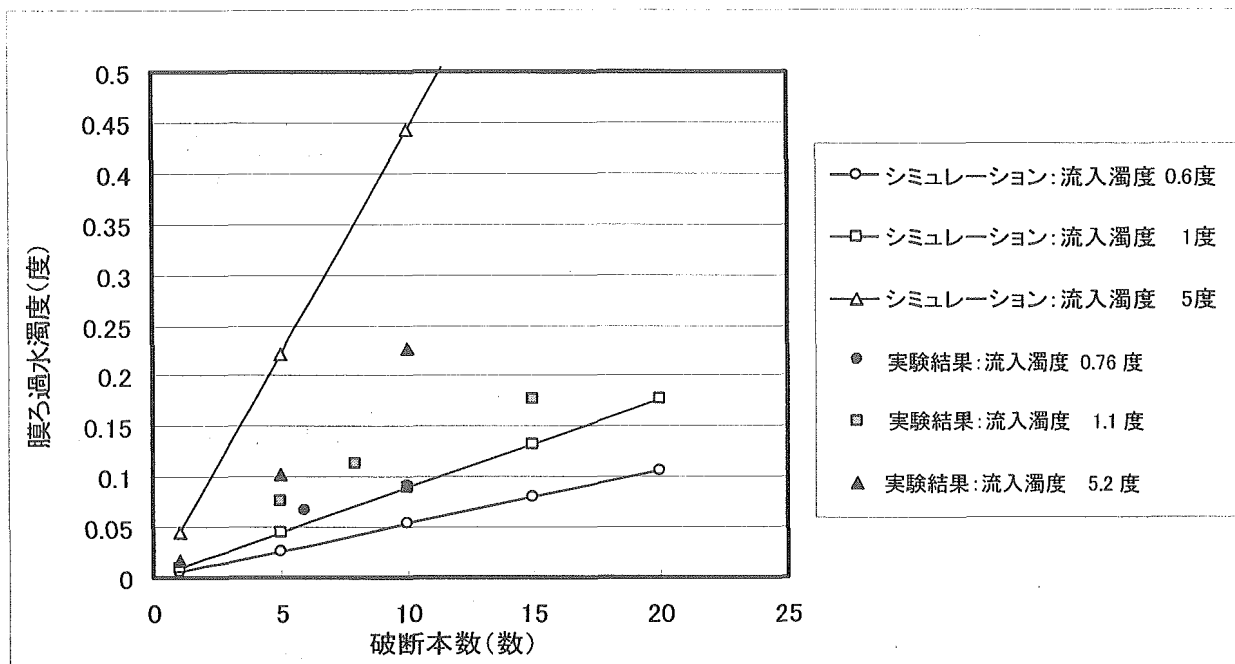


図-6 破断本数と膜ろ過水濁度との関係

複数本膜が破断した系において、原水濁度が 1 度程度以下であればシミュレーション結果とほぼ一致する。これ以上の原水濁度の場合にはシミュレーションの補正が必要となる。

④ 破断本数と圧力保持との関係

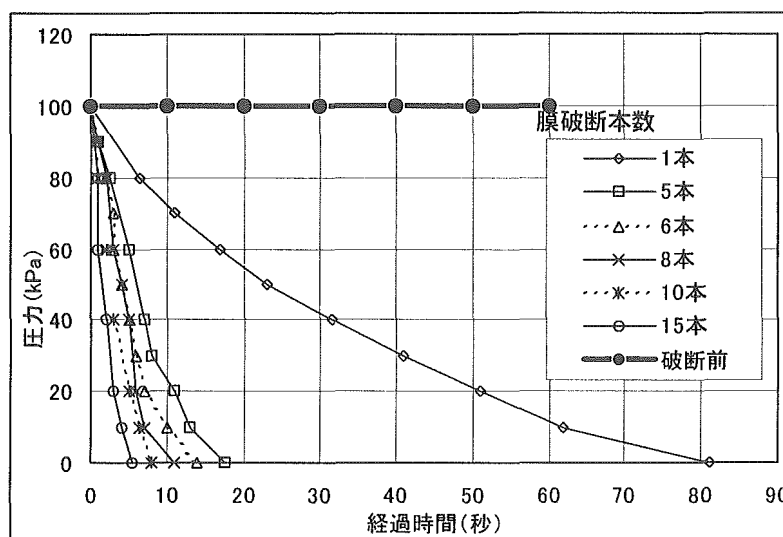


図-7 破断本数と圧力保持との関係

- ・ 圧力保持試験では、膜 1 本の破断が検知可能である。
- ・ 今回使用した膜モジュールでは、圧力降下速度から破断本数の推量が可能である。

⑤ 破断本数と膜ろ過水の FI 値との関係

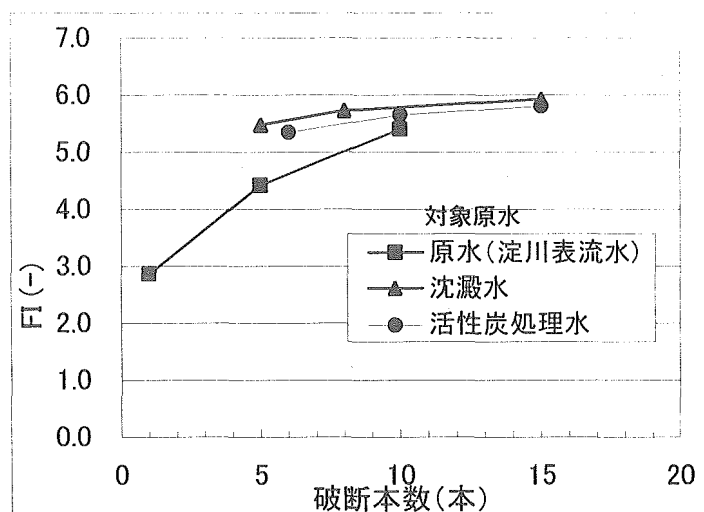


図-8 破断本数と膜ろ過水の FI 値との関係

- ・ 原水（淀川表流水）の FI は 6.7（測定不可能のため計算値）、沈澱水の FI は 6.7、活性炭処理水の FI は 5.9 であった。
- ・ 沈澱水と活性炭処理水を原水とした膜ろ過水の FI は、ほとんど変化していない。（破断本数 5～15 本の場合）
- ・ 淀川表流水の場合、破断本数の増加により FI は大きく変化した。

⑥ 破断本数と各水質項目の漏洩率，LRV の関係

添付の資料参照。なお、図中で「前回」とは、平成 15 年 9 月 25 日、10 月 21 日実施のデータであり、それ以外は平成 16 年 1 月 22,23,26,27 日実施のデータである。

2.3.3 実験結果総括

1. 精密濁度計/微粒子計による間接法で、膜モジュールあたり 1 本の膜破断を検知可能であった。
2. 膜ろ過法のリスク管理レベルを LRV4 以上とした場合、中空糸膜モジュール 100 本程度あたりに中空糸膜 1 本の破断を検知しなければならない。
3. クリプトスポリジウム暫定指針にある「処理水濁度 0.1 度以下」では、原水が清澄な場合に十分な対数減少値の保証となっていない場合がある。

3. 膜破断（検知）に関する課題

1. 膜ろ過法における破断検知の位置付け
 - ・ 直接法と間接法の位置づけの明確化（常時は間接法モニタリングで異常部特定に直接法を用いる若しくは、定期的な直接法を基本とするか、等）
 - ・ 具体的な検知フローに関する考え方の構築（検査コストも含めた、検知単位とその手法に対する考え方）
 - ・ 膜ろ過法による処理水安全性の評価指標の明確化。
（膜ろ過法によるリスク管理レベル（許容レベル）の確認）
2. 感染リスクに関しては、原水性状（濁度、微粒子）により管理レベルを考慮する必要がある。
3. 膜モジュール（膜メーカー）の違いによる差異
 - ・ 異なる膜モジュールでのシミュレーション実施の必要性。
 - ・ 膜モジュールの仕様によって、漏洩率は大きく変化する。
4. 従来法（急速ろ過法等）での管理レベル（処理水濁度 0.1 度）では、原水が清澄な場合に十分な対数減少値の保証となっていない場合があり、膜ろ過法の管理を今後データ蓄積し、決定していく必要がある。

4. 補足

クリプトスポリジウムの管理について

米国環境保護庁(USEPA)は、水道による病原源微生物感染のリスク管理として 10^{-4} 人/年以下を目標としている。それには浄水中のオーシスト濃度を年間平均値で 10^{-5} 個/L 以下に抑えなければならないとされている。

このような濃度は事実上測定不可能であり、現実的には原水の汚染状況等を考慮した適切な処理方法によって感染リスクを所定のレベル以下に抑えるほかはない。

米国水道協会(AWWA)は、1994年にクリプトスポリジウム問題に対応するために12条のアクションプランを勧告している。そこには浄水濁度 0.1NTU 以下の維持、衛生当局と情報や対策の共有化、水質や健康リスクに関する情報等の公開などが盛り込まれている。

以 上

研究課題（8）廃棄膜モジュールのリサイクル方法の検討

1. 研究内容

(1) 背景

- ・使用済み膜モジュールは大半が産業廃棄物として埋没処分されており環境問題が懸念される。
- ・一方で、廃棄膜モジュールは汎用プラスチックと異なり回収は困難ではない。
- ・膜モジュールの高機能化・高性能化のみが注目され廃棄処分性は検討されていない。
- ・膜モジュールの企画・設計段階から廃棄処分性と性能をトレードオフすることも可能。

(2) 研究目標

- ・膜モジュールの廃棄処分をリサイクルという面から現状解析し今後の方向性を明らかにする。

2. 研究成果

(1) 課題：廃棄膜モジュールのリサイクルコストを試算し経済性を評価する。

(2) 方法：次の2つのケースについてコスト試算を行う。

Case 1：廃棄膜モジュールをサーマルリサイクル(焼却熱回収)により再利用した場合のコストメリットを試算する。

Case 2：リサイクル性を考慮した膜モジュールを企画・設計し再使用した場合と産廃処分した場合のコストを比較する。(膜：ケミカルリサイクル、ケーシング：再利用)

(2) 試算結果

- 1) Case 1について (a) 各モジュールの燃焼熱からコストメリットの試算を行い、(b) 10万m³/日プラントを想定した場合の膜モジュールのリサイクルコストメリットを算出した。ただし、モジュールの解体費用、運送費は含んでいない。

(a) 廃棄膜モジュールをサーマルリサイクルにより再利用した場合のコストメリット

膜種類	モジュール質量 (kg)	燃焼熱 (kJ)	モジュール単位質量[kg]当たり		
			燃焼熱	発電量	電気料金換算
A	43	825,000	19200 kJ	1.6 kWh	¥ 16
B	29	558,000	19200 kJ	1.6 kWh	¥ 16
C	5.6	160,000	28600 kJ	2.4 kWh	¥ 24
D	120	2,568,000	21400 kJ	1.8 kWh	¥ 18
平均	—	—	22100 kJ	1.8 kWh	¥ 18

<前提条件>

モジュール構成部材 ◆膜：各社の膜素材 ◆ケーシング：PVC ◆接着剤：ウレタン
 燃焼熱 [単位：kJ/kg] 塩ビ：18063、ウレタン樹脂：18586、酢酸セルロース：23676、
 PE：46632（軟質）、PE：45899（硬質）、PVDF：21800
 発電効率（燃焼熱から発電量として得られるエネルギー割合）：30%（石炭ボイラ実績）
 1 kWh = 3600 kJ 電気料金：10 ¥/kWh

(b) 膜モジュールのサーマルリサイクルコストメリット(10万m³/日プラントを想定)

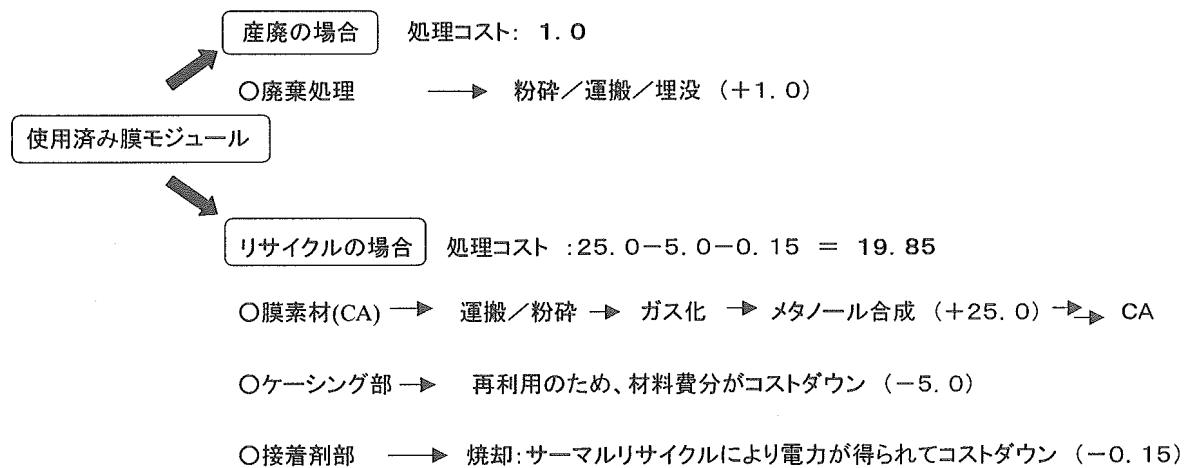
膜種類	モジュール数	モジュール質量 (kg)	総燃焼熱 (kJ)	総発電量 (kWh)	総電気料金換算 (@10円/kWh)	産廃処分費 (@20円/kg)
A	585	25,155	482,976,000	40,248	¥ 402,480	¥ 503,100
B	667	19,343	371,385,600	30,949	¥ 309,488	¥ 386,860
C	3,000	16,800	480,480,000	40,040	¥ 400,400	¥ 336,000
D	1,746	209,520	4,483,728,000	373,644	¥ 3,736,440	¥ 4,190,400

試算条件：原水は河川水（濁度：2～3度）、流束は A:2.5m/d, B:3.0m/d, C:1.0m/d, D:0.5m/d。
膜種類A～Cは中空糸、Dは平膜。

H16年度の課題として、第1WGでケーススタディした原水3種類（原水①：濁度0.5度未満、有機物濃度0.5mg/l以下、原水②：濁度が常時1度程度、原水③：濁度が常時5度程度、有機物濃度5mg/l程度）を用いた場合（処理水量100,000m³/日）の膜モジュール数とモジュール構成部材を基に、リサイクル（サーマル）コストの検討を第1WGにお願いしたい。

2) Case 2 については、次の前提条件でモジュールをリサイクルした場合と産廃として埋没処分した場合のコストを計算した。

膜素材：CA（ケミカルリサイクル→膜として再使用 *次ページのリサイクル概念図を参照）
ケーシング：ステンレス（そのまま再使用）
接着剤：ウレタン（サーマルリサイクル）

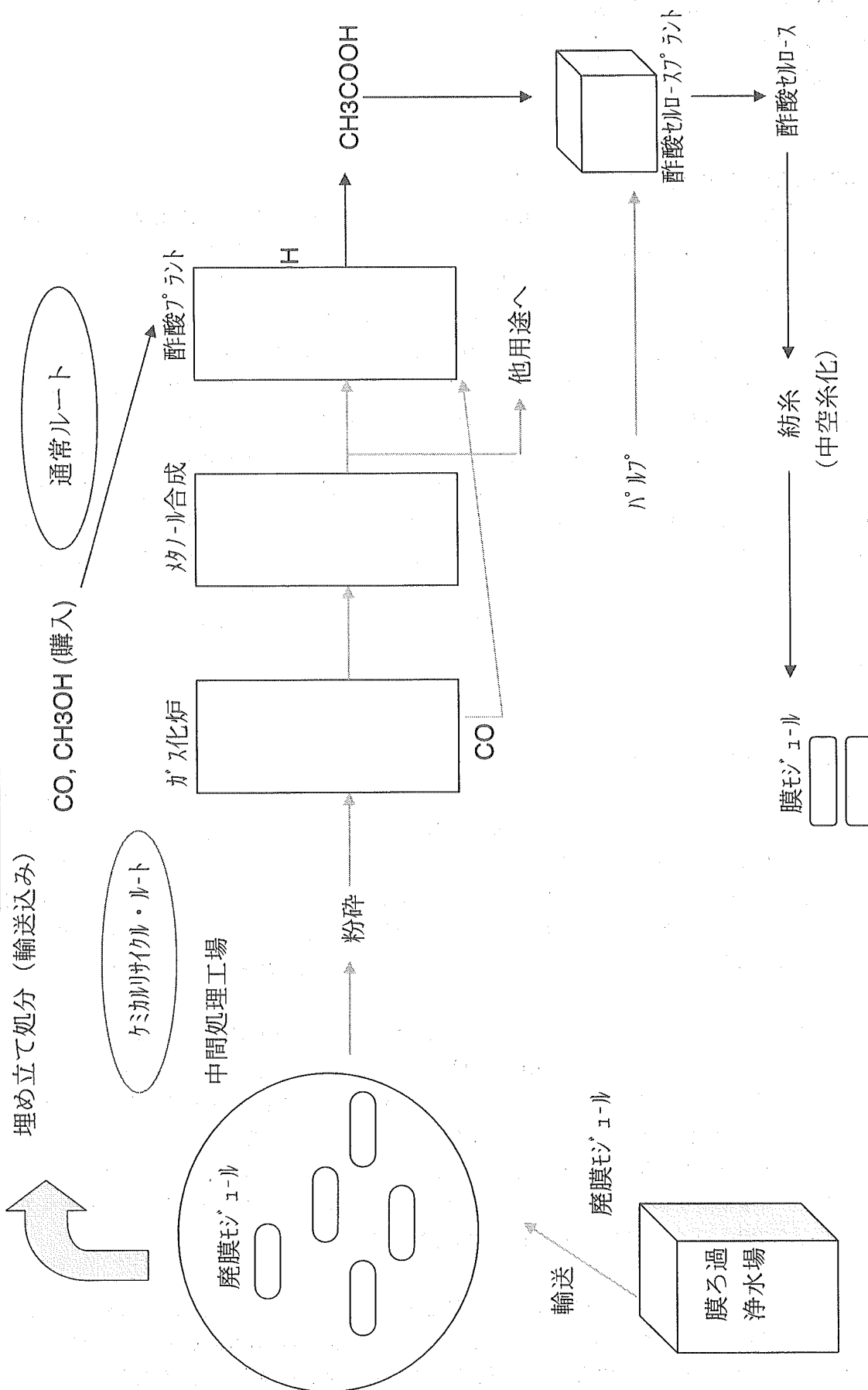


上記のように使用済み膜モジュールは、産廃処理した場合の処理コストを1.0とした場合、リサイクルの場合は約20倍コスト高になることが判明した。

ただし、今後は産廃処分場の不足や環境問題などの観点から、リサイクルへの関心が高まることが予想される。（膜素材のリサイクルとして得られたメタノールを他用途に適用することも可能である。）

以上

CA (酢酸セルロース) 膜のケミカルリサイクル概念図



研究課題（9）膜モジュール・膜ユニットの規格化の検討

1. 水道用膜モジュールの現状と課題について
2. ケーススタディとアンケート結果
3. 今後の課題

1. 水道用膜モジュールの現状と課題について

水道用膜モジュールについては、膜分離技術振興協会の規格（AMST-001）により既に46件が認定登録されている（平成15年12月31日時点¹⁾。しかし、現在のところ膜メーカー各社（日本、海外含めて）が製造している膜モジュールには構造上の統一規格が存在していない²⁾。

このことは、海外は勿論、我が国における中大規模浄水場への膜普及を阻害している要因の一つとなっている。すなわち、膜モジュール間に互換性がなく、これが安定供給不安、災害時等への対応不安、他社膜モジュールへの交換困難などの問題を生じさせている。今後、中大規模浄水場において膜を普及させていくためには、ある程度の規格化（標準化）が必要になると考えられる。

一方、規格化（標準化）に対応するためには膜モジュール製造設備自体の改造が不可避であり、膜メーカーには多大な投資が必要となる。したがって、将来の膜モジュールの需要予測が明確にならない限り、膜メーカーが規格化（標準化）に踏切することは非常に困難であることも事実である。さらに、水処理メーカーにおいても規格化（標準化）によって装置設計上、新たな問題が発生する可能性もある。

本ワーキンググループでは、これらの背景を勘案しつつ、水道用膜モジュールのあり方を明らかにし、需要者・供給者ともに合意することのできる膜モジュールの規格化（標準化）について、検討・調査を進めているところである。

2. ケーススタディとアンケート結果

膜モジュールには大きく分けて、ケーシング収納型と槽浸漬型があり（後掲の図1）、さらにケーシング収納型には内圧ろ過方式と外圧ろ過方式とがある。また、膜モジュールの設置方法にも垂直設置方式と水平設置方式とがある。これらの多様な膜モジュール群を直ちに単一規格に持ち込むことは困難であり、当面はある程度のグループ化をするなどして段階的に規格化することが望ましいと考えられる。そこで今年度は、長さおよびモジュール径が異なる3種類の膜モジュールについて、同一膜ユニットにそれらを用いた場合のケーススタディを行ない、グループ化の可能性を検討することとした。（次ページ参照）

その結果、モジュール長の類似している2つの膜モジュール（2m長）については、若干の配管変更で対応できると予想された。一方、1m長の膜モジュールについては、やはり空間効率が悪く、同一膜ユニットに用いることは不可能と判断された。したがって、モジュール長の類似している膜モジュールについては、多少の配管変更によって互換性を付与させることができる程度可能であろう。

また、膜モジュールの規格化（標準化）ではなく、膜ユニットの規格化という考え方もある。これは、膜モジュールを交換する際に膜モジュールだけでなく、膜ユニットごと交換するという考え方である。この場合には膜モジュール自体の規格化（標準化）は不要となる。

上記のケーススタディのほかにアンケート調査も行った。ユーザーである水道事業体の規格化（標準化）に対する考え方を調査することを目的に、e-Water参加の全水道事業体（21事業体）へアンケートを送付して、膜モジュールの規格化（標準化）に対する考え方を調査した。（後掲のアンケート内容と結果参照）

膜モジュール仕様比較表

	A	B	C
製造メーカー			
膜面積 (m ² /本)	50	50	72
膜材質	CA (酢酸セルロース)	PVDF (ポリフルオロビニリデン)	PVDF (ポリフルオロビニリデン)
外形寸法図 (S=1/30)			

