
下水道膜処理技術ガイドライン[第 1 版](案)

平成 20 年 10 月 10 日

平成 20 年 10 月 10 日
第 2 回下水道膜処理技術会議 配布資料

目次

第 1 章 総 論.....	1
1.1 膜処理技術の概要.....	1
1.1.1 膜開発の歴史.....	1
1.1.2 用語の定義.....	2
1.2 膜及び膜モジュール.....	4
1.2.1 膜処理の技術概要と適用範囲.....	4
1.2.2 膜の種類（孔径別）.....	6
1.2.3 膜処理装置の特徴.....	7
1.2.4 膜の耐用年数.....	11
1.2.5 廃棄膜モジュールの有効利用.....	12
1.3 下水道への導入意義と導入ケース.....	13
1.3.1 下水道での膜処理方式.....	13
1.3.2 膜処理システムの下水道への導入意義.....	16
1.3.3 膜処理システムの導入ケース.....	20
1.4 下水道分野における膜処理の現状.....	22
1.4.1 国内の下水道用膜処理施設の導入状況.....	22
1.4.2 海外の下水道用膜処理施設の導入状況.....	22
第 2 章 膜分離活性汚泥法（MBR）導入に際しての検討.....	25
2.1 MBR の基本的事項.....	25
2.2 MBR 処理システムの検討.....	26
2.3 処理施設設計諸元の検討.....	28
2.3.1 設計水量.....	30
2.3.2 設計水温，流入水質.....	30
2.3.3 水位計画.....	31
2.3.4 物質収支.....	32
2.3.5 流量調整タンク.....	32
2.3.6 膜モジュールの形式.....	33
2.3.7 膜洗浄方式.....	33
2.3.8 膜分離型式.....	33
2.3.9 微細目スクリーン.....	34
2.3.10 反応タンク.....	35
2.3.11 膜分離装置.....	36
2.3.12 汚泥処理施設.....	37
2.3.13 施設設計・施工の基本的考え方.....	37

2.3.14 その他の留意事項.....	40
2.4 導入コストの検討.....	41
第 3 章 既設処理場への MBR 導入の検討.....	44
3.1 既存施設への MBR 導入の意義.....	44
3.2 MBR と従来法との併用処理の特徴.....	44
3.3 MBR と従来法との併用処理検討の留意点.....	45
3.4 MBR と従来法の併用処理の計画手順.....	47
3.5 コスト検討.....	49
第 4 章 処理水再利用への導入に関する検討.....	50
4.1 処理水再利用への導入に際しての膜処理技術導入の意義.....	50
4.2 膜による再生処理システムの選定.....	52
4.2.1 再生処理施設能力の設定.....	53
4.2.2 再生水の目標水質の検討.....	53
4.2.3 膜の種類を選定.....	55
4.2.4 前処理設備の検討.....	57
4.2.5 再生処理フローの選定.....	58
4.3 留意事項.....	60
4.4 膜処理施設導入コスト.....	61
【参考文献】.....	63

第1章 総論

膜処理技術の歴史，膜及び膜モジュール，膜処理方式，導入意義，導入ケース及び下水道分野における膜処理の現状を示す。

1.1 膜処理技術の概要

水中の固形物を分離する技術は，水処理の基本的な原理であり，古くから沈殿分離と機械的阻止（スクリーンおよびろ過）法が使われてきているが，より微小の物質を効率よく除去する技術として，化学的凝集処理の併用が行われ更に 19 世紀からは膜処理（膜ろ過，膜分離と呼ばれることもある）技術も使用されてきている。

膜処理は，分離機能を持つ固体の薄膜を利用し，溶質成分と溶液をその大きさで分ける（サイズ分離）という特徴がある。膜処理には，精密ろ過（microfiltration：以下「MF」という。），限外ろ過（ultrafiltration：以下「UF」という。），ナノろ過（nanofiltration：以下「NF」という。），逆浸透（reverse osmosis：以下「RO」という），透析，電気透析と各種の方法があり，方法に応じて特定の膜を利用することにより，分子レベルから粒子レベルの大きさまで幅広い物質分離に適用できることが特徴である。

1.1.1 膜開発の歴史

膜開発の主な歴史，MBR 開発の流れおよび膜適用の主な歴史は，図 1-1のとおりである。

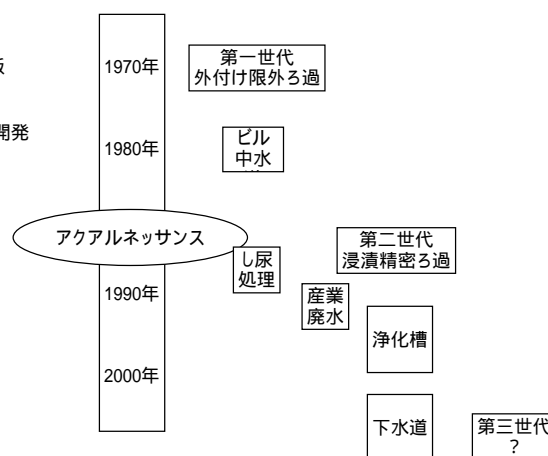
18 世紀，細胞膜の透析現象が発見され，1900 年代以降，主に細菌等の除去目的に，MF 膜の開発が進んだ。1950 年代に，海水淡水化のため RO 膜の開発が始まり，1960 年代に UF 膜の産業界における適用が進められた。

膜開発の主な歴史

- 1854年 透析現象の発見
- 1907年 精密ろ過 (MF膜) による細菌除去
- 1912年 精密ろ過 (MF) 膜の商品化
- 1969年 限外ろ過 (UF) 膜装置の市販
- 1976年 逆浸透 (RO) 膜 (複合膜) の開発 (海水淡水化)
- 1983年 ナノろ過 (NF) 膜の開発

文献1)、文献2)より作成

MBR開発の流れ



文献3)より作成

膜適用の主な歴史

- 1967年 米国でMBRを小規模下水処理設備に適用 (処理能力 = 13.6m³/日)
- 1973年 土木研究所にて逆浸透膜の研究開始
- 1979年 大阪市水道局庁舎内でビル中水道実験
- 1983年 土木研究所にて限外ろ過膜の研究開始
- 1985年～1990年 アクアルネッサンス'90 (下水処理への適用研究)
- 1986年 土木研究所にて精密ろ過膜の研究開始
- 1998年～2003年 日本下水道事業団と民間との共同研究 (MBRの下水処理への適用研究)
- 2005年 公共下水道終末処理場へのMBR適用 (兵庫県福崎町、2,100m³/日)

文献1)、文献4)、文献5)より作成

図 1-1 膜分離技術の歴史

日本における浄水技術としては、1991 年度からの“MAC21”および“高度処理 MAC”(産官学共同の研究プロジェクト「膜利用型新浄水システム開発研究」,「膜利用型新浄水技術開発研究」)が実施され実用化に関する研究が進んだ。これらの成果を踏まえ「小規模水道における膜ろ過施設維持管理マニュアル」「膜ろ過硬度浄水施設導入の手引き」が作成され、小規模浄水施設を中心に導入が広まっている。さらに、水源に乏しい地域においては、RO 膜を用いた海水の淡水化プラントも稼働している。さらに、病原性大腸菌 O-157、クリプトスポリジウムなどによる健康被害の実態を受け、水道水のリスクを低減するために、より微小の物質まで着実に除去することを目的とした膜処理の導入が増加してきている。

一方、日本の排水処理の分野では、1960 年代以降に膜の導入と適用が始められた。1970 年代に、下水処理水の膜処理技術開発が開始され、1979 年に大阪市水道局庁舎内中水道実験が行われたが、広く普及するまでには至らなかった。その後、1985 年に始まるアクアルネッサンス 90 計画による下水、排水への適用研究が進み、主として再利用を行うための高度処理施設として、膜処理技術が採用される例が出てくるようになった。また、し尿処理施設においても、同時期より高負荷膜分離法の採用例が増えてきている。

1986 年頃から建設省土木研究所において MF 膜による活性汚泥分離の研究を開始し、1996 ~ 1997 年には官民共同研究により浸漬 MF 膜で活性汚泥を分離する移設可能で簡易な下水処理施設の開発を行って、簡素な処理施設で高度な処理水が得られることを実証した。

1998 年以降、日本下水道事業団により最終沈殿池の代替えおよび機能向上を目的とした膜分離活性汚泥法 (Membrane Bioreactor: 以下「MBR」という。)の下水処理への適用に関する共同研究が開始され、2005 年、公共下水道終末処理場における MBR の供用開始がなされた。

1.1.2 用語の定義

膜処理: 分離機能を持つ固体の薄膜を利用し、溶質成分と溶液をその大きさに分ける(サイズ分離)という特徴を使用した処理技術。

膜の種類: 排水処理分野の膜処理には、精密ろ過(MF)、限外ろ過(UF)、ナノろ過(NF)、逆浸透(RO)が使用される。

膜モジュール: 膜を水処理などに利用しやすいように加工したもので、膜処理においては、モジュールを最小単位として使用する。シート状の膜では平膜モジュールとスパイラル型モジュールが代表的である。管状の膜では数本を束ねて一つのケースに収めたものが代表的である。中空糸状膜では大量の糸状膜を束ねて両端を樹脂に包埋したものを単独でまたは複数本、ケース等に固定したものが代表的なモジュールである。

膜ユニット: 膜モジュールに加え、散気部(生物処理や攪拌・膜洗浄に必要な空気の供給を行う部分)や、集水部(ろ過水を引き抜き集水する部分)などを含み設備の最小構成単位として扱われる。膜モジュールが、並列あるいは直列に複数組み込まれるものもある。浸漬型においては、平膜や中空糸膜を一定の数に集積させたもの、

槽外型において、平膜や中空糸膜及びセラミック膜を一定のサイズの容器（ケーシング）に収めたものを指すことが多い。

膜分離装置：膜ユニットに、補助散気装置、膜洗浄装置、膜分離装置動力制御盤、膜ユニット吊上げ機などの関連装置一式を組み合わせたもの。

膜分離型式：膜モジュールをどのように設置するかによる分類で、浸漬型（一体型）、浸漬型（別置型）、槽外型 に大別できる。

MBR： 膜分離活性汚泥法（Membrane Bioreactor）。下水処理等において処理水と活性汚泥の固液分離に膜処理技術を適用した処理方法。通常、MF 膜が用いられる。

ファウリング：膜の経過時間とともに、付着物質が膜の表面へ累積したり、流路を閉塞する状況で、定期的に、洗浄（付着物質をはがす工程）が必要。

透過流束：膜の表面積あたりに得られる処理水の量（ $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ m/日）。ファウリングの進行に伴い低下する。また、水温（液粘性）と膜差圧にも関係しており、低水温期は流束が小さくなる傾向が認められる。

MBR と従来法との併用処理：同一処理場内で、MBR と標準法や循環法といった従来型の処理方式とが併用される場合で、限られた敷地や既存の土木構造物等の範囲で、必要な処理レベルを確保することが可能。JS ではハイブリッド MBR と呼ぶ。

施設、設備、装置、機器、システム：原則として次のように使い分ける。

施設：構造物を含めた大きい範囲のもの

設備：方式化されて機能するもの

装置：機器が集まったもので、単体として作動するもの

機器：機械、器械等

システム：一連の機能と秩序立てた全体的なまとまりで、構造物以外も含む

1.2 膜及び膜モジュール

1.2.1 膜処理の技術概要と適用範囲

(1) 膜処理の概要

膜処理技術は、微細な孔径がある膜に下水等を通水し、下水中の汚濁物質を分離する技術である。除去対象物質を直接膜でろ過する場合、生物処理と組み合わせてろ過する場合及び凝集などと組み合わせてろ過する場合がある⁶⁾。

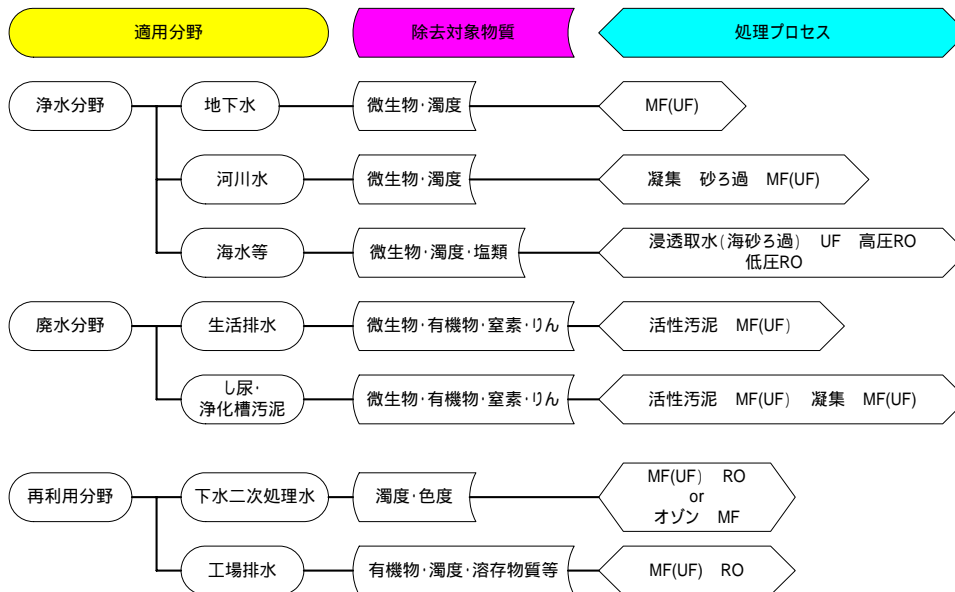
膜処理技術は膜種類の選定と生物処理等の組み合わせによって、従来の下水処理プロセスの代替技術として様々な適用可能性がある。

(2) 膜処理技術の適用範囲

膜処理技術は幅広い分野において応用され、物質の分離精製手法として不可欠な技術となっている。浄水・廃水分野等における膜処理技術の主な適用分野と処理プロセスは、次のとおりである。

膜処理技術の応用範囲

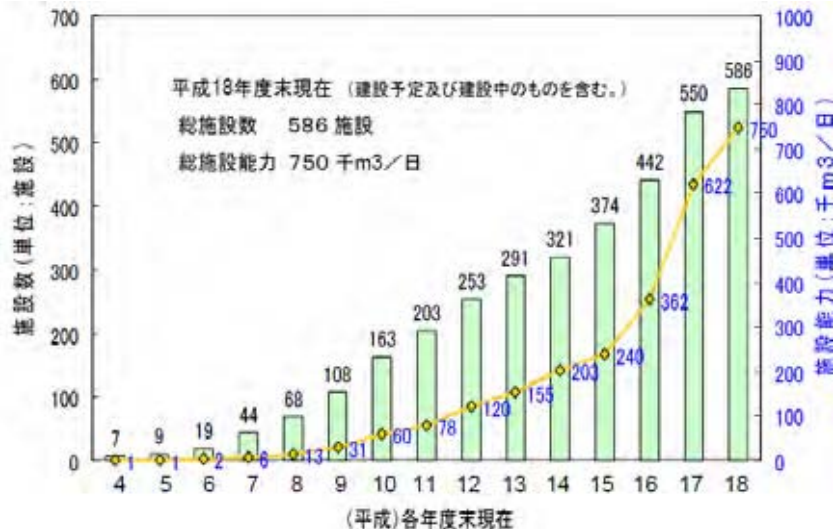
- ・ 各種製造業（精製，濃縮，分離，回収，脱水）
- ・ 医療用（血液透析，人口肺）
- ・ 海水淡水化
- ・ 水処理（水道，排水処理，排水クローズドシステム）
- ・ 燃料電池
- ・ その他



文献 8)および文献 9)より作成

図 1-2 浄水・廃水分野等における膜処理技術の主な適用分野と処理プロセス

水道分野においては、膜処理の導入が増えており、平成 18 年度末では、総施設数 586 施設、総施設能力 75 万 m³/日まで伸びている。施設規模の分布を見ると、施設能力 1,000m³/日未満が施設数の 8 割を占めており、小規模が中心であるものの、10,000m³/日以上規模も 12 件（施設能力としては全体の 5 割）と、大規模への導入も進んでいる。



（財）水道技術研究センターWebPage より

図 1-3 水道用膜ろ過浄水施設（MF・UF）導入状況

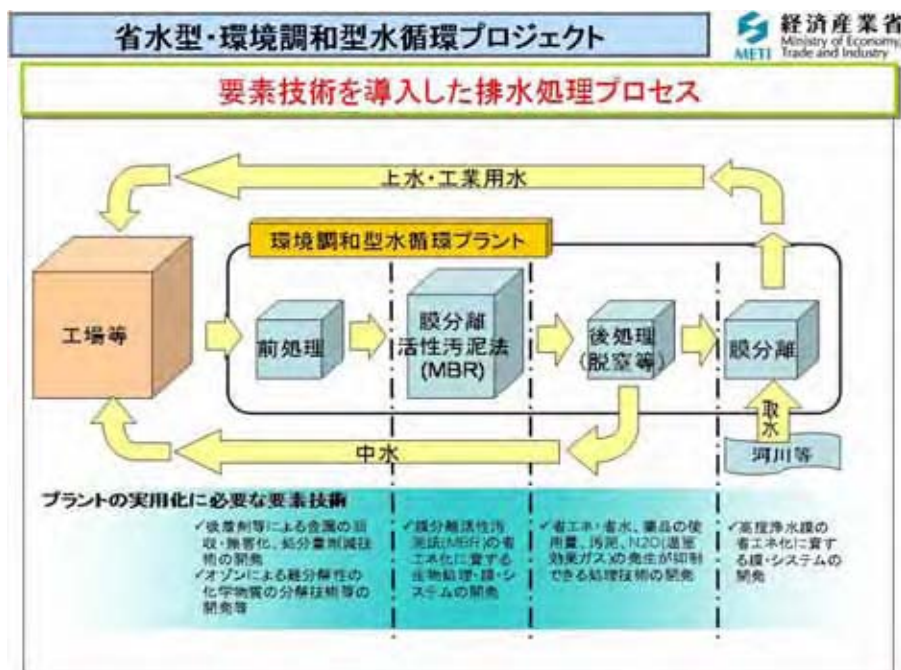
表 1-1 水道用膜ろ過浄水施設の規模別導入状況

施設能力(m ³ /日)	18年度末		17年度末	
	件数	施設能力 (m ³ /日)	件数	施設能力 (m ³ /日)
10,000 以上	12	360,552	10	270,552
5,000 ~ 10,000 未満	13	83,541	11	67,241
2,500 ~ 5,000 未満	27	90,387	25	84,377
1,000 ~ 2,500 未満	63	93,339	59	86,239
500 ~ 1,000 未満	97	64,523	88	59,503
250 ~ 500 未満	101	35,199	94	32,737
100 ~ 250 未満	99	15,102	92	14,053
50 ~ 100 未満	79	5,459	78	5,380
0 ~ 50 未満	95	2,606	93	2,568
	586	750,708	550	622,650

（財）水道技術研究センターWebPage より

下水道における膜処理技術の適用は、下水処理水の再利用として MF 膜、RO 膜などが、また、比較的小規模の下水処理場向けに MBR として MF 膜が使用されている。現在のところ膜処理技術の採用事例はまだ少ないが、近年における低コスト型膜モジュールの開発や膜の長寿命化をベースとして、今後の需要はさらに大きく広がると予想される。

経済産業省では、省水型・環境調和型水循環プロジェクトの一環として革新的膜分離技術や省エネ型 MBR 等の開発を進めることとしている。また、高濃度有機物廃水のメタン発酵技術と組み合わせたエネルギー回収型 MBR の開発など、膜処理技術は要素技術としての高い可能性が期待されている。



経済産業省資料による

図 1-4 省エネ型 MBR と膜処理技術を導入した排水処理プロセスの開発イメージ

1.2.2 膜の種類(孔径別)

排水処理分野において用いられる分離膜には、孔径の大きさの順に、MF 膜、UF 膜、NF 膜、RO 膜が使用されている。

MF (精密ろ過：microfiltration) 膜

MF 膜は、0.01 ~ 1 μm 程度の孔径を持っており、水中の微細な粒子や細菌を分離・除去するものである。細菌の大きさは概ね 1 μm 程度であり、医療用の除菌フィルタなどとしても利用されている。材質は多様で、ポリエチレンなどの有機膜とセラミックス等の無機膜がある。

UF (限外ろ過：ultrafiltration) 膜

UF 膜は、MF 膜より小さい孔径を持つもので、主にタンパク質など分子量数千以上の高分子物質の濃縮やろ過などの用途に用いられる。孔径はウイルスの大きさよりも小さいので、MF 膜では完全に除去できないウイルスも除去可能である。

NF (ナノろ過：nanofiltration) 膜、RO (逆浸透：reverse osmosis) 膜

NF は、低圧 RO と呼ばれ、RO 膜とともに、広義の逆浸透膜といえる。RO 膜には、細孔が存在せず、膜の素材と除去対象物質（分子やイオン）との親和性の違いを利用している。水分子は容易に膜素材中に溶け込むことはできるが、除去対象物質は溶け込めないためである。また、除去機構に膜の電荷が大きな影響を及ぼす。

下水処理水のせせらぎ用水利用に RO 膜を使用している事例があるほか、下水処理場の流入水を工業用水などに再利用する場合に、用途に応じ脱塩処理や超純水化する目的で RO 膜を利用することがある。

表 1-2 各種の膜ろ過法の分離対象と操作圧力

膜の種類	分離対象	操作圧
精密ろ過 (MF)	0.01 ~ 10 μm 粒子	減圧 ~ 数 100kPa
限外ろ過 (UF)	分子量 数 1,000 ~ 3,000,000 分子	数 100kPa ~ 1MPa
ナノろ過 (NF)	分子量 数 100 ~ 数 1,000 分子	数 100kPa ~ 数 MPa
逆浸透 (RO)	分子量 ~ 350 分子	数 MPa ~ 10MPa

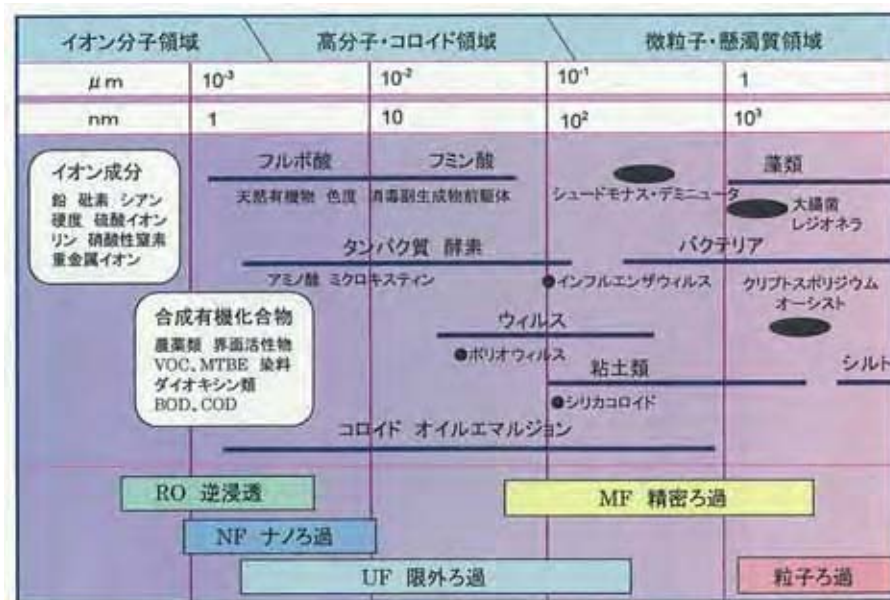


図 1-5 膜の種類と分離対象物質¹⁾

1.2.3 膜処理装置の特徴

(1) 膜の配置

膜ユニットの配置方式には、反応タンクに浸漬して水頭差や吸引により処理水を得る「浸漬型」と、ポンプによって原水を反応タンクの外側に置いたユニットに送水し、加圧によって処理水を得る「槽外型」の 2 種類に分かれる。

浄水・排水処理分野で使用される主な膜モジュールの種類を図 1-6 に示す。浸漬型には、平板型の膜を 2 枚重ね合わせてその中間部より処理水を得る平膜型と、中心が中空となっているマカロニ状の膜の内部より吸引することによって処理水を得る外圧中空糸膜型がある。槽外型には、中空糸型、管状型及び、平膜型がある。MBR 用としてはスパイラル型や内圧中空糸膜型を適用することが困難である

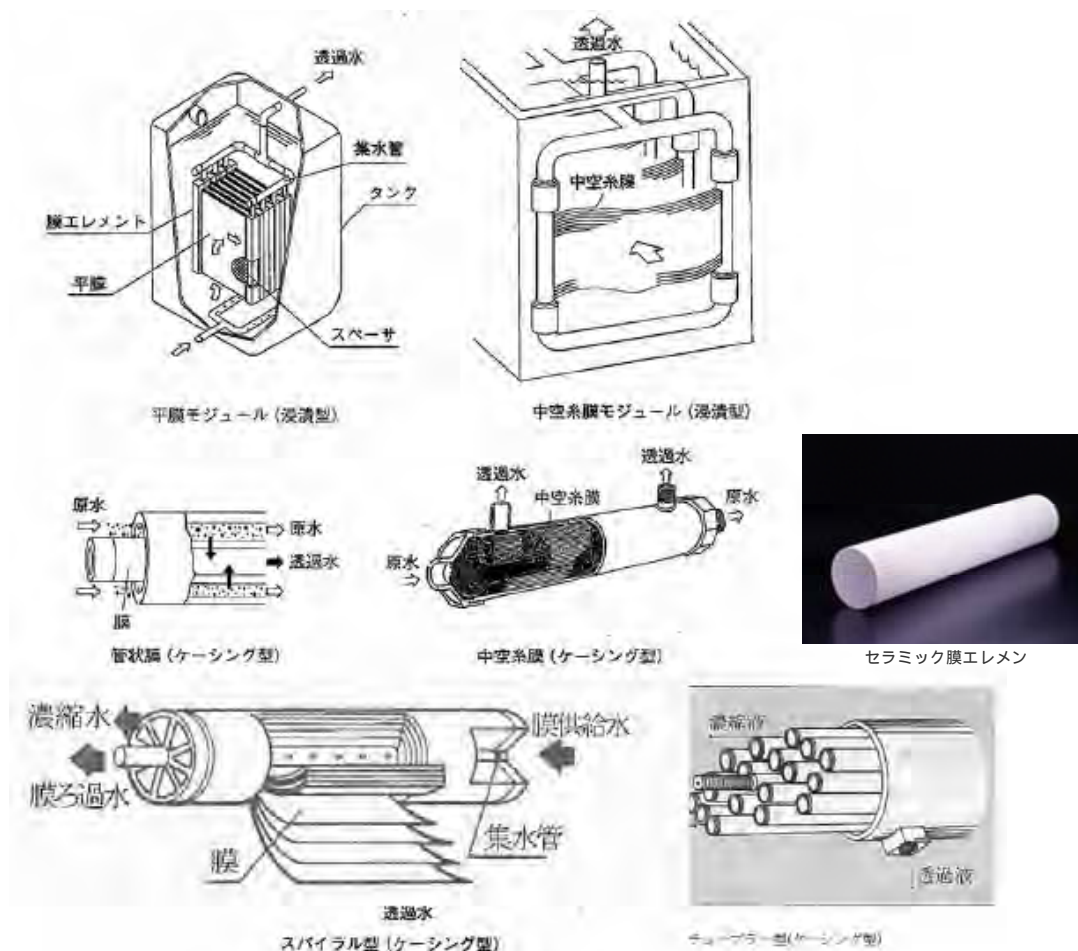


図 1-6 膜モジュールの形式⁶⁾及びメーカー資料より

(2) ろ過方式

膜処理におけるろ過方式は、図 1-7 に示すように、全量ろ過(デッドエンドろ過: dead-end-filtration)とクロスフローろ過(cross-flow filtration)とがある。

全量ろ過では、原水を膜に対して直角に通水するので、次第に除去対象物質が膜表面に堆積していく。そのため、時々、膜表面を洗浄する必要がある。一方、クロスフローろ過では、膜表面に平行な流れで常に膜表面を洗浄させながらろ過する。

全量ろ過では、膜で阻止されたものが膜の汚れを形成し、ろ過とともにその汚れが累積するため、ある時点で必ずろ過を中止して、累積した汚れの層を除去しなければならない。一方、クロスフローろ過では、定常的な連続ろ過を容易に達成できかつろ過速度を高く維持できる反面、十分な平行流を作るためのろ過流量に対して原液側の流量が大きくなり、そのためろ過流量当りのエネルギー消費が大きくなるという欠点がある。対象水中の膜に補足される物質の量や規模等により、ろ過方式を選定する。

排水処理の分野では、原水中に存在する物質濃度が高く、膜に補足される物質が多いため、クロスフローろ過が一般的である。

一方、河川水や湖沼水から飲料水を製造する浄水プロセスにおける主な除去対象物質は、水中の土粒子や細菌であり、従来より、全量ろ過方式が用いられてきたが、最近では UF な

どにおける省エネルギー運転のため、全量ろ過に近いクロスフローろ過方式の採用が検討されてきている。また、RO 膜を利用する処理フローでは、ろ過対象水を濃縮しすぎるとシリカやカルシウムなどのスケール成分の析出の問題が生じるため、通常はクロスフローろ過方式が用いられる。

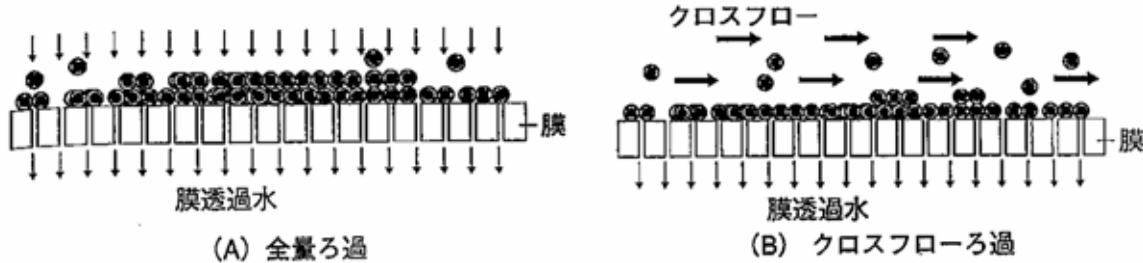


図 1-7 全量ろ過とクロスフローろ過⁶⁾

(3) 回収率

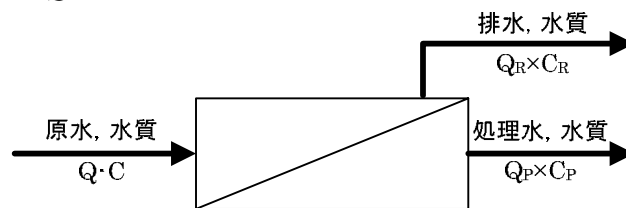
膜への供給水量に対する透過水（膜ろ過水）量の割合を回収率と言い、通常%で表す。

$$Q = Q_P + Q_R$$

$$QC = Q_P C_P + Q_R C_R$$

また、回収率あるいは変換率は次式であらわされる。

$$= \frac{Q_P}{Q} \times 100$$



膜処理システムにおける回収率は、膜モジュールの種類及び除去対象物質の阻止率（除去率）によって異なる。一般に、膜の細孔が細くなるほど、除去対象物質の阻止率が高くなり、回収率は低下する。MF 膜を用いた MBR の場合は、除去対象物質の阻止率が高いにもかかわらず、連続的な洗浄工程を行うことによってきわめて高い回収率が達成できる。通常、MBR では好気タンクからの余剰汚泥の引き抜きのみであり、汚泥処理系からの返流水も反応槽で処理されるため回収率は 99% 以上である。

一方、RO 膜の場合は先に述べたように回収率をあまり高くすると濃縮倍率の上昇によりスケールの発生が起こることなどにより、回収率には限界がある。しかし、回収率ができるだけ高いほうが設備費等の縮減になることから、これらを勘案して適正な回収率を設定する必要がある。

(4) 膜の性能変化

膜の性能変化には、劣化とファウリング（fouling）がある。劣化は、膜そのものの変化で生じる不可逆的な膜の性能の変化をいい、ファウリングは、劣化以外の膜の見かけ上の

性能変化をいい、膜モジュールの流路閉塞も含まれる。ファウリングによる性能変化は、膜の洗浄操作により回復する場合が多い。

表 1-3 膜の性能変化の主な要因

区分	要因		摘要
劣化	物理的劣化	圧密	圧力（高庄）による膜構造のつぶれ
		損傷	固形物などによるさつ過や破損，振動等の繰返し応力による疲労破壊
		乾燥	収縮等による構造変化，膜材質に依存
	化学的劣化	加水分解	膜材質の化学反応による材質の変化，温度・pH に大きく依存
		酸化	塩素などの酸化剤による物性変化，膜材質に依存
	生物的劣化		生物による資化，代謝産物等による化学的变化，膜材質に大きく依存
ファウリング	膜の汚染	ケーキ	懸濁粒子の膜面への堆積
		ゲル	溶解性高分子物質の膜面でのゲル化（濃度分極現象による），粘着性（ゲル状）物質の付着
		スケール	濃縮により溶解度を越えた物質の析出
		吸着	膜面への吸着による層形成
		日詰まり	膜細孔内部での吸着，析出，閉塞，気泡による細孔のブロッキング
	流路閉塞		ユニット内原液側流路における固形物などによる閉塞

膜のファウリング原因物質としては、炭酸カルシウム、硫酸カルシウム等の無機塩類、シリカ、水酸化鉄等の無機性コロイド、蛋白質等の有機性コロイド、溶解性有機物質、付着性微生物、懸濁物質などが挙げられるが、実際の水処理の場では原因物質が多種多様にわたり支配的なものを同定することが困難な場合も多い。

このため、浄水処理に適用する場合には、前段で極力これらの要因物質を低濃度化させる前処理（凝集沈殿、ろ過など）を組み込むほか、対象水中にどのような物質が多く含まれるかをあらかじめ調査し、膜の材質や種類、逆洗方法などを検討しなければならない。浄水分野では、原水の分子量を検討する事により最適膜を選定する手法の研究も行われている。

一方、様々な物質が高濃度に存在する排水処理の分野では、原因物質を特定することはできず、あらゆる要因が複合的に存在しているとみることができ。さらに、膜表面にケーキ層やゲル層が形成されることによる透水性能の低下が顕著であり、通常の水質分析では固形物として計量されないコロイド性・溶解性の物質がゲル層を構成するファウリングが進行する。

(5) 膜洗浄(ファウリング対策)

膜処理においては、経過時間とともに、膜の表面や流路に付着物質が累積（ファウリング）していくため、定期的に、洗浄（付着物質をはがす工程）が必要となる。

排水処理分野で用いられる主な膜洗浄の種類を以下に示す。

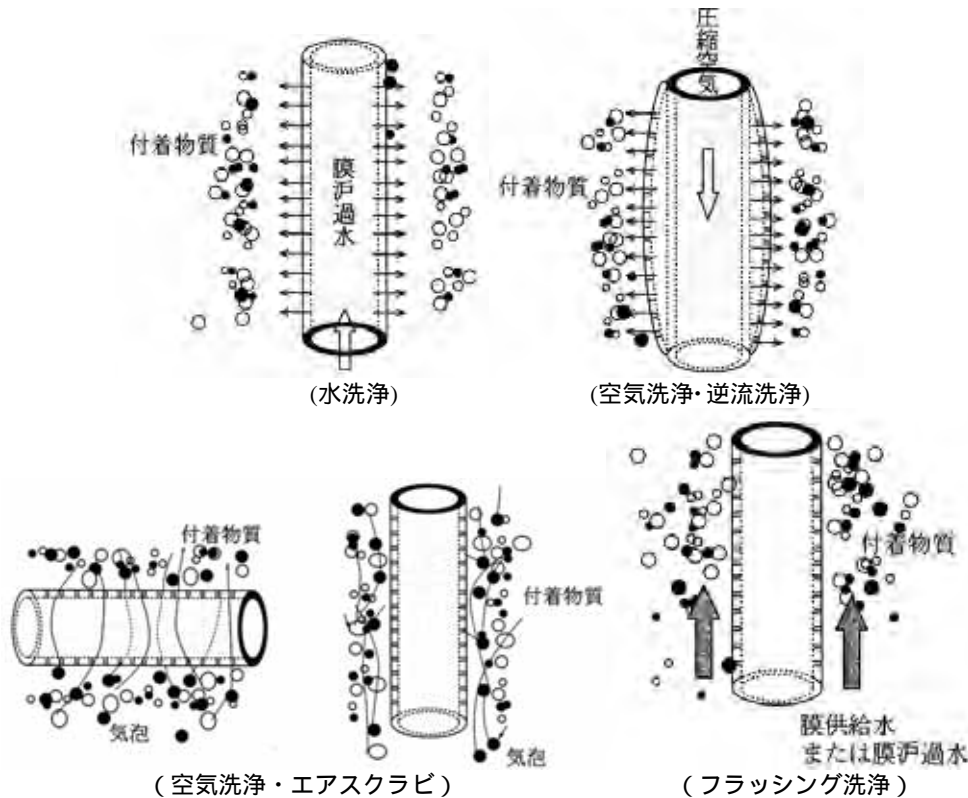


図 1-9 逆洗によるファウリング対策のイメージ¹⁴⁾

< 化学洗浄（薬品洗浄） >

膜ろ過を継続していると、洗浄しきれない目詰まり物質が膜表面ないし膜内部に蓄積してくる。これらを除去し、膜性能を初期の性能に回復させるため化学洗浄（薬品洗浄）が実施される。薬品として、無機物を除去する薬品（酸など）と有機物や微生物を除去する薬品（次亜塩素酸ナトリウムなど）が使用される。

薬品洗浄の頻度は、年数回程度であるが運転を停止して膜モジュールを取り外して、薬液洗浄タンク内に浸漬させて洗浄するのが一般的である。

MBR では、好気タンクから膜モジュールを取り出さずに浸漬したままで洗浄するインライン洗浄方式の採用も行われている。

< 組み合わせ >

MBR では、強い曝気を定期的に行う（空気洗浄）ことでケーキ層の累積を押さえ、ファウリングが余り進行しない内にインラインの薬品洗浄を併用する方法が多くとられている。インライン薬品洗浄による回復が不十分な場合には、運転を一旦停止し、膜モジュールを取り外した後、工場等でより強い薬品を用いた洗浄を行うこともある。

また、オゾンや紫外線の併用によるファウリング軽減が検討されており、耐オゾン性の高い膜材質の開発も進められている。

1.2.4 膜の耐用年数

ろ過膜は、空気洗浄や薬品洗浄を行うことにより、必要な透過流束を確保しながら運転す

るが、長期間の間には洗浄を行ってもなお閉塞が残り、ろ過性能が低下してくる。このような状況ではろ過膜の交換が必要となる。

膜の交換が必要となるまでの期間は、膜の種類、原水の種類、運転状況等によっても大きく異なってくる。

英国における下水道施設（MBR）での実績（表 1-4）では 7 年間使用時点でも膜交換比率は約 3%に留まっているとの報告がある。

産業排水分野での報告（図 1-10）によると、7 年経過した 1998 年度納入施設において 50%近くが膜を全く交換しておらず、9 年以上経過した 1996 年度以前に納入した施設においても 45%程度が膜を全く交換していなかった。

表 1-4 膜使用年数と膜交換状況（英国での実績）¹¹⁾

膜使用年数	膜枚数	交換枚数	交換の比率(%)
1	85,000	162	0.2
2	73,936	227	0.3
3	36,036	514	1.5
4	15,386	29	0.2
5	15,386	16	0.1
6	4,286	20	0.5
7	686	~ 15	2.9

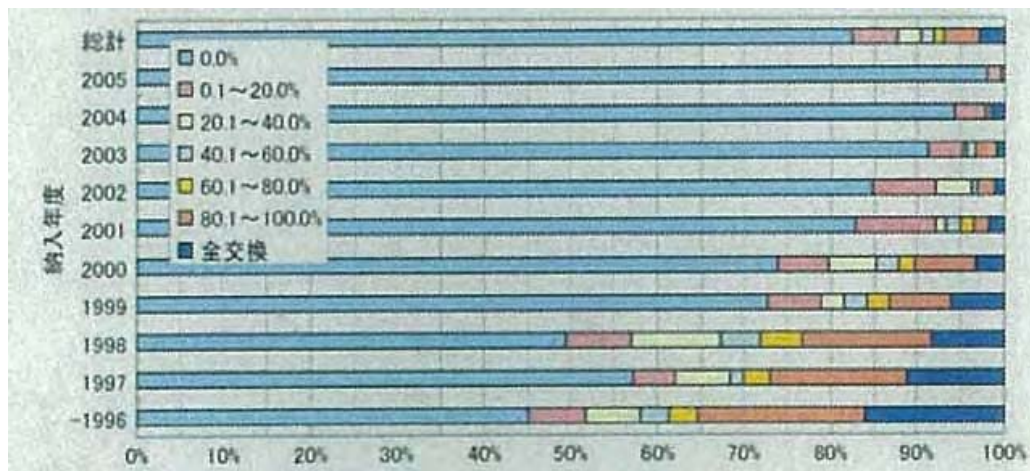


図 1-10 膜交換比率（産業排水処理施設と浄化槽）¹²⁾

1.2.5 廃棄膜モジュールの有効利用

下水道用の膜モジュールの膜透過流束を 1m³/日程度とすると、10 万 m³/日の下水処理場では膜モジュールを約 4,000 本使用していることとなり、これを一度に全量交換することはないものの、交換時には大量の廃棄膜が出ることになる。

水道用の膜の場合、現在使用済みの膜モジュールの大半は、種類や用途に関係なく、産業廃棄物として処分されている。下水道用の膜の廃棄は、今後の課題であるが、今のうちから廃棄膜の有効利用方法を検討する必要がある。

廃棄膜の有効利用についての考え方を表 1-5 に、プラスチック材料の一般的な有効利用方

法についてを表 1-6 に示す。

表 1-5 廃棄膜の有効利用についての例

反応タンク浸漬型		反応タンク槽外型	
平膜 (A社)	中空糸膜 (B社)	セラミックス膜 (C社)	管状膜 (D社)
支持材等樹脂部分については再資源化可能		セラミックス膜は、良質な無機材料からできており、使用済みのセラミックス膜は、粉碎・分級後他の無機材料として再利用可能。	サーマルリサイクルによる有効利用。

日本下水道施設業協会へのヒアリングより作成（2008.9）

表 1-6 プラスチック材料の一般的な有効利用方法¹³⁾

有効利用方法	特徴と問題点
材料リサイクル (マテリアルリサイクル)	化学変化を伴わず、破碎粉碎などしてペレットを作成し、原料として再利用する。しかし、バージン原料と比較すると、品質劣化は避けられない。
化学材料リサイクル (ケミカルリサイクル)	樹脂を熱分解などで化学原料に戻して、原料として再利用する。原料としての回収率向上と分解副産物の処理が過大である。
エネルギー回収 (サーマルリサイクル)	ごみ発電などの燃料として再利用する。燃料として排出される廃棄物の状態が一定でないので、エネルギーとしての回収率を高めることができない。

1.3 下水道への導入意義と導入ケース

1.3.1 下水道での膜処理方式

膜処理技術を用いた方式は、大別して次の3区分に分けられる。

生物処理と組み合わせて下水処理プロセスとして用いる方式

既存の水処理の後段に付加して下水処理水の再利用のための処理プロセスとして用いる方式

その他の処理方式

(1) 生物処理との組み合わせ

生物処理との組み合わせとして最も技術開発が進んでいる方法が MBR である。MBR は、従来の活性汚泥法において、最終沈殿池での重力沈降により行われている固液分離操作を、膜により行うもので、処理の高度化、安定化が期待される。

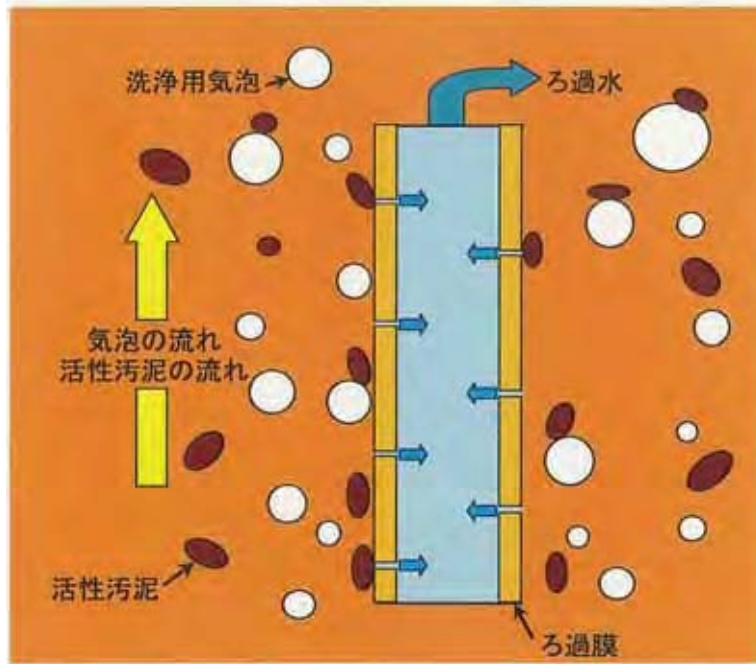


図 1-11 膜処理の概念図（浸漬型 MBR）¹¹⁾

MBR における膜分離型式は、概ね次の 3 種に分類できる。

表 1-7 MBR における膜分離型式の特徴

<p>浸漬型 (一体型)</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・ 最も採用例が多い。 ・ 反応タンク内の散気装置を、膜モジュールの洗浄と共有できる。 ・ 処理水の吸引に、水頭差が利用できる場合には、ポンプのみよりも省エネとなる。
<p>浸漬型 (槽別置型)</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・ 一体型に比べ時間変動への対応が可能。 ・ 汚泥循環等のコントロールが容易。 ・ 膜モジュールの点検・補修・交換時に、他系との連携により反応タンクを休止しなくても良い。 ・ 処理水の吸引に、水頭差が利用できる場合には、ポンプのみよりも省エネとなる。
<p>槽外型</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・ 流速が最も大きく出来る(膜モジュール数を削減することが出来る)。 ・ 時間変動への対応幅が最も大きい。 ・ 汚泥循環等のコントロールが容易。 ・ 膜モジュールの点検・補修・交換時に、他系との連携により反応タンクを休止しなくても良い。 ・ 処理水の吸引はポンプのみとなり、必要エネルギーが大きくなる。

(2) 既存の水処理の後段に付加

処理水の再利用のための処理プロセスとして、単独あるいは凝集・沈殿、ろ過、オゾン処理、活性炭吸着等の処理と組み合わせて、下水処理水の再生処理を行うものである。また、脱塩処理などで、MF膜とRO膜を組み合わせるなど膜処理を組み合わせる場合もある。

下水処理水の再利用に対して膜処理を利用する場合、再利用用途に求められる性質と膜処理水の目標水質から、再利用用途別に使用する膜の種類を選定する必要がある。表 1-8 に、再利用用途と膜処理水との関係をしている。

表に示されるように、RO膜を適用すればほとんどの再利用用途に適用可能であるが、これをもってRO膜を適用すれば良いとはならない。すなわち、RO膜を適用する場合下水処理水に対し直接RO膜を設置することはできず、有機物や濁質をあらかじめ除去する前処理を設置する必要がある。このため、供給水質は必要条件を達成するがコスト的には過大となる傾向となる。したがって、効率的で目標水質を達成する処理との組み合わせを選定する必要がある。

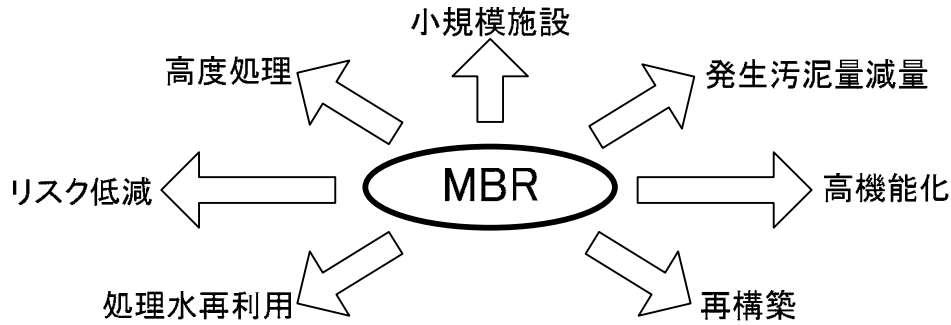
表 1-8 再利用用途と膜処理水との関係¹³⁾

再利用用途	MF膜 / UF膜処理水	RO膜処理水
修景用水	(後処理で色度, 臭い除去が必要)	
親水用水		
処理場内用水		
水洗便所用水		
融雪・散水用水		
床・駐車場等洗浄用水		
機器・車両等洗浄用水		
ボイラー用水	利用者側の要求水質と供給可能水質とを比較検討し, 再利用する場合には十分な検討が必要となる。	
冷却用水		
消化用水		

浄水並みに使用可 適用可能 条件により適用可

1.3.2 膜処理システムの下水道への導入意義

MBR 等の膜処理システムは、単に水処理技術のひとつではなく、今後の下水道事業における様々な展開の核となるコア技術である。以下に膜処理システム導入により期待される効果について示す。



文献 15)より作成

図 1-12 コア技術としての MBR

(1) 極小規模施設による未普及対策

人口減少，高齢化，厳しい財政状況の中で，未普及地域における下水道整備を速やかに進めるために，分散型下水処理システムとして極小規模 MBR の開発が進められている。

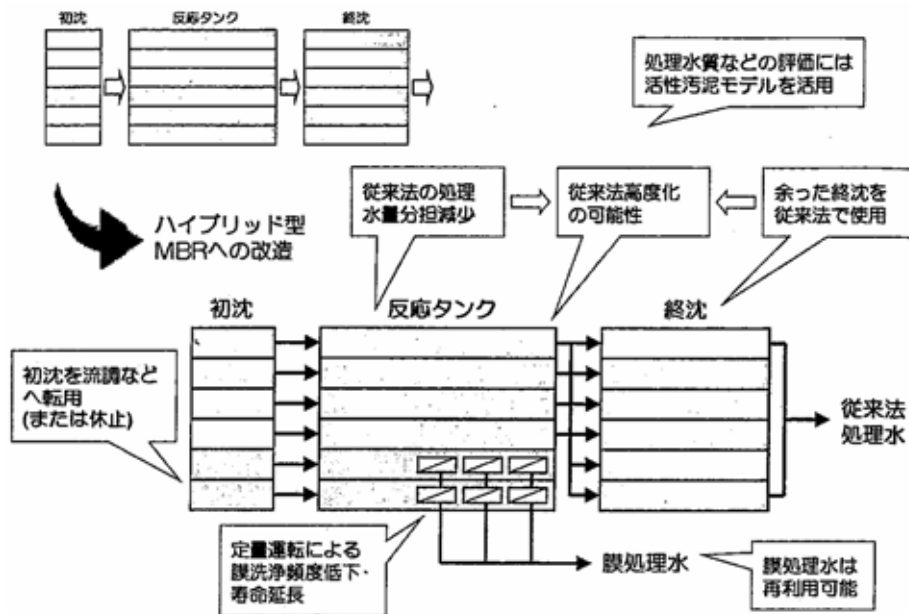
◇ 分散型下水道システムへの適用を想定した安価かつ短施工の極小規模 MBR の開発 ◇ 下水道未普及解消クイックプロジェクトに参画	
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 対象規模：300n3/日以下 ・ 処理フロー：従来 MBR を踏襲 ・ 必要最小限の施設構成・予備機 (例：管理棟なし，汚泥処理なし) <ul style="list-style-type: none"> ・ 迅速に設置可能 ・ 将来の人口減への対応を考慮 ・ 簡易な維持管理（例：遠隔監視）

日本下水道事業団 WEBPage 資料より作成

図 1-11 極小規模 MBR (分散型下水処理システム) の開発状況¹⁴⁾

(2) 稼働施設の再構築

大・中規模都市の既存下水処理施設の改築・更新に際して、既存下水処理施設の一部を MBR に改造し、他の系列を従来法ないし従来の高度処理施設に改造した、MBR と従来法の併用処理となる形が考えられる。これにより、処理の高度化や処理能力の増強が可能となる。



日本下水道事業団 WEBPage より
 注記：ここでは、MBR と従来法との併用処理を「ハイブリッド MBR」と定義されている

図 1-13 MBR と従来法との併用処理のイメージ

(3) 処理水再利用技術としての展開

MBR の処理水質は、再利用のために必要な水質をほとんどの項目で満足している（色度が親水用水利用基準を満足できない場合、活性炭投入やオゾン処理の追加で対応可）。

表 1-9 再利用水の水質目標値と MBR 処理水の水質事例 15)

項目	修景用水利用	親水用水利用	MBR 処理水
大腸菌	1,000CFU/100mL 以下	不検出	左記を満足
濁度	2 度以下	2 度以下	左記を満足
pH	5.8 ~ 8.6	5.8 ~ 8.6	左記を満足
外観	不快でないこと	不快でないこと	左記を満足
色度	40 度以下	10 度以下	5 ~ 20
臭気	不快でないこと	不快でないこと	左記を満足

色度除去も考慮してオゾン処理と膜処理（MF）を併用した事例を、参考として図 1-14 に示す。

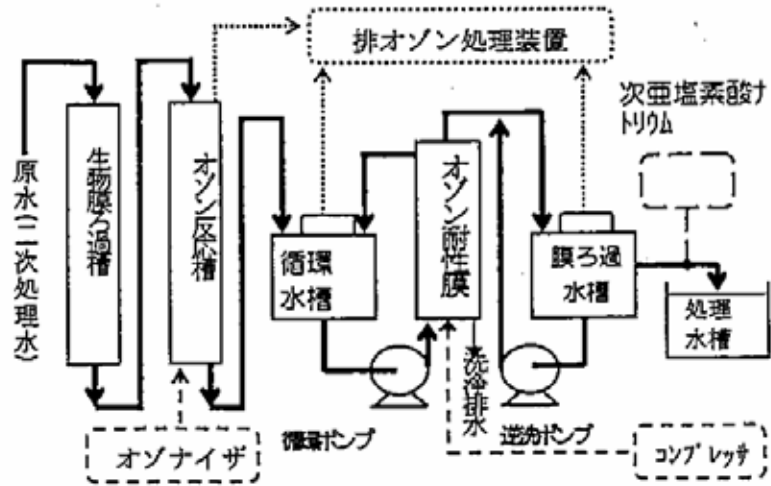


図 1-14 オゾン処理と膜処理を併用した処理フローの事例¹⁶⁾

シンガポールにおいて将来の水資源不足に対して講じられている下水二次処理水の再利用計画「NEWater プロジェクト」の全体像と処理フローを処理水再利用の事例を図 1-17 に示す。

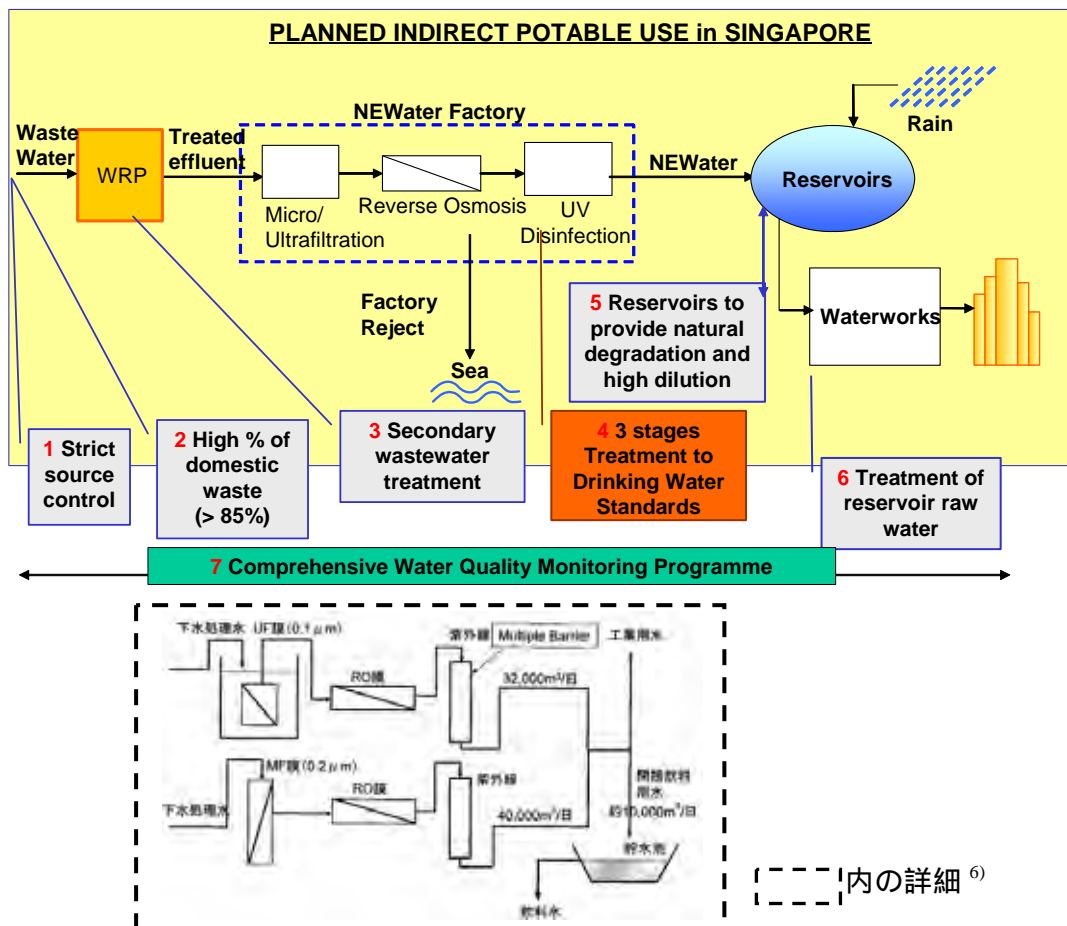


図 1-15 シンガポールにおける NEWater プロジェクトの全体像と処理フロー¹⁷⁾

(4) リスク低減技術としての展開

下痢や嘔吐などの集団感染を引き起こす原因となるクリプトスポリジウムのオーシストは塩素に対して強い抵抗性を持つが、膜ろ過法では高い除去性能が確保されるため、浄水処理への膜処理技術の導入が進められている。MF 膜を用いた MBR がウイルス除去率向上に有効との報告事例が複数ある。

SRT を長くすると難分解性物質の除去機能が高くなることや、膜分離によって特殊な有用菌を反応槽内にとどめて利用することができるので、有害な微量化学物質の除去機能を持たせることが可能である。

膜透過水は透明度が高く UV 消毒効果が高い。ウイルス対策に UV との組合せが有効であると考えられる（UV 耐性ウイルスは除く）。

表 1-10 クリプトスポリジウムのオーシスト除去性能の事例¹⁹⁾

急速砂ろ過法	2.5 log
緩速砂ろ過法	3 log
膜ろ過法・ 大口径膜	6 log
精密ろ過膜	>6 log
限外ろ過膜	>7 log

(5) その他

低消費動力で活性汚泥を分離することに特化した膜として、沈殿池代替膜が研究されている。細菌やウイルスは通過するが、活性汚泥フロックは除去できるのでバルキング対応となり、活性汚泥の制御が容易になる。

クリプトスポリジウムに対しては、原水の汚染状況、最小感染量、および感染リスクから、4 ~ 5 log (99.99 ~ 99.999%) 程度の除去性能が必要であると考えられているが、膜ろ過法では 6 log (99.9999%) 以上の除去性能が得られている。

1.3.3 膜処理システムの導入ケース

下水の処理に対して、膜処理システムを導入するケースを、表 1-11 に示す。これを見ると、膜処理は多くの除去対象物質に応じて、直接ろ過、生物処理や、凝集・沈殿、ろ過、オゾン処理、活性炭吸着等の物理化学処理と組み合わせることで様々なケースに適用できる。

表 1-11 下水処理における除去対象物質と膜処理システム⁶⁾

除去対象物質		膜処理								その他の方法(従来法)
		直接ろ過				生物処理との組み合わせ		物理化学処理との組み合わせ		
		MF	UF	NF	RO	MF	UF	MF	UF	
有機物	高濃度	△	△			○	○			活性汚泥法
	低濃度			○	○					生物膜法、凝集・ろ過
栄養塩類	全窒素					○	○			硝化液循環活性汚泥法、A ₂ O法
	全リン					○	○	○	○	A ₂ O法、凝集・ろ過
濁質、固形物	SS	○	○					○	○	凝集・ろ過
色	色度		△	○	○					凝集・ろ過、オゾン
臭気	臭気			○	○					オゾン
病原微生物類	細菌	○	○							塩素消毒、紫外線
	ウイルス	△	○							塩素消毒、紫外線
	原虫(クリプトスポリジウムなど)	○	○							紫外線
微量化学物質	内分泌化学物質、ダイオキシン、医薬品など			○	○			○	○	凝集・ろ過
重金属類				○	○			○	○	凝集・沈殿

下水の処理に対して、膜処理システムを選定する代表的なケースを表 1-12 に示し、その検討事項の概要を列記する。

表 1-12 膜処理システムの選定ケースと検討事項

膜処理システムを選定するケース	生物処理との組み合わせ		直接ろ過		検討事項
	MBR	MBR/従来型(併用)	MF,UF	NF, RO	
コンパクトな処理施設 高度処理の導入					他処理システムとの所要面積の比較
下水処理水の再利用	BOD,COD,窒素,リン,SS	BOD,COD,窒素,リン,SS	砂ろ過の代替		計画放流水質 計画水量規模と系列・池数 処理フロー、配置計画、コスト比較
放流先の状況から消毒方法として	大腸菌,クリプトスポリジウム		大腸菌,クリプトスポリジウム		再利用用途別目標水質 計画再生水量 処理フロー、配置計画、コスト比較
既設水処理施設の再構築					消毒対象物の選定 消毒効果 他消毒法との比較
活性汚泥の固液分離障害の対策					計画放流水質 計画水量規模と系列・池数 処理フロー、配置計画、コスト比較 改善方法、処理フローの検討

膜処理システムの選定フローを図 1-16に示し、後述する各章の対応部分を記す。

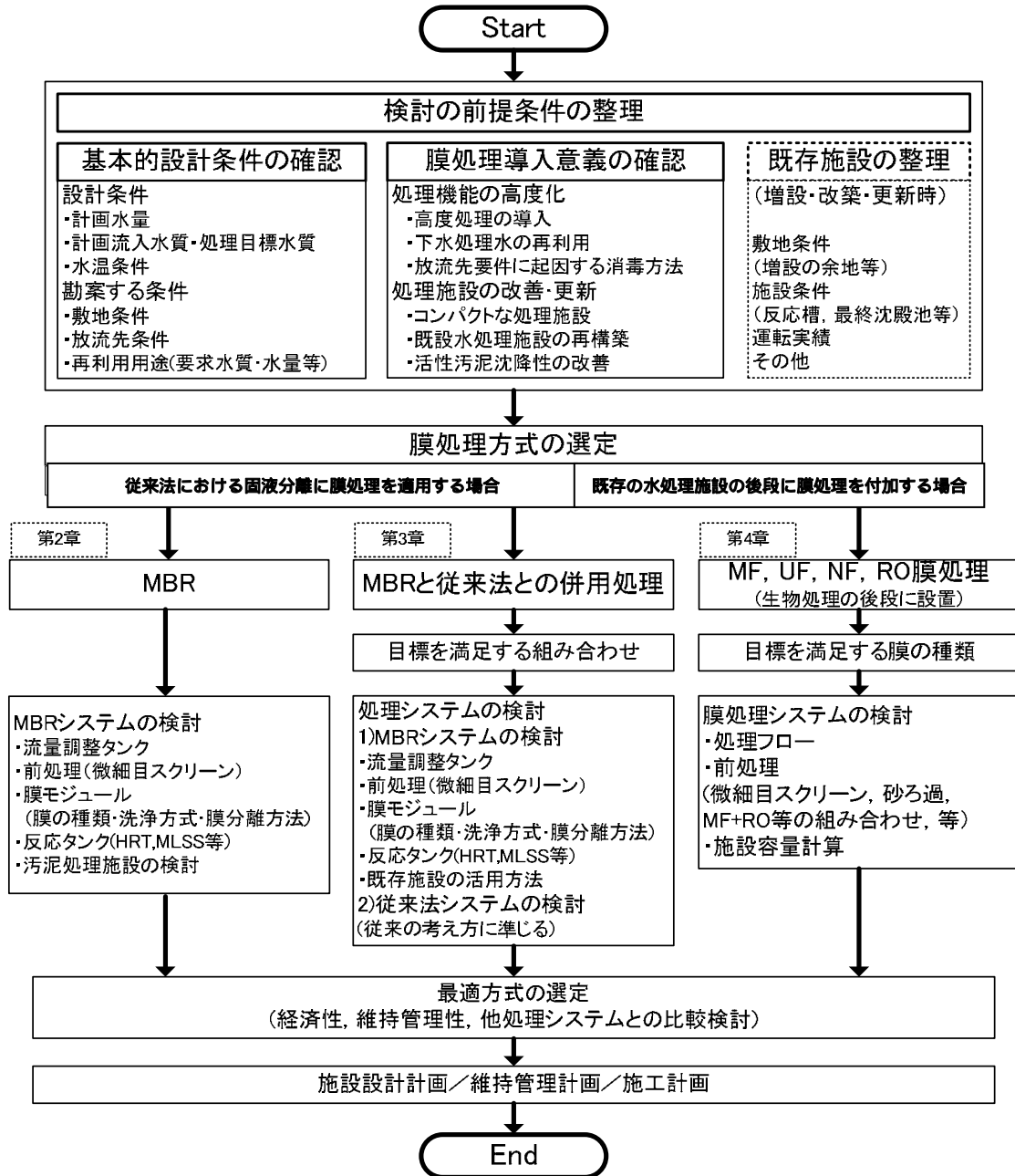


図 1-16 膜処理システムの選定フロー

1.4 下水道分野における膜処理の現状

1.4.1 国内の下水道用膜処理施設の導入状況

国内の公共下水道の処理施設における膜分離活性汚泥法は、平成 17 年 4 月に兵庫県福崎町において初めて供用開始され、平成 20 年 5 月時点で約 3 年間の運転実績がある。

その後、8 箇所において順次供用開始され、平成 20 年 5 月時点での供用実績は 9 箇所となっている。また、今後の 2 年間で新たに 2 箇所の処理場において供用開始される予定となっている。

表 1-13 公共下水道の処理施設への適用事例²⁰⁾

自治体名	施設名	現有能力	供用開始	メーカー	膜タイプ
福崎町	福崎浄化センター	2,100	H17. 1	クボタ	平膜
禰原町	禰原浄化センター	720	H17.12	クボタ	平膜
鹿沼市	古峰原水処理センター	90	H17. 4	クボタ	平膜
鏡野町	奥津浄化センター	281	H18. 3	西原環境テクノロジー	中空糸状膜
雲南市	大東浄化センター	1,630	H18.10	クボタ	平膜
標茶町	塘路浄化センター	125	H19. 3	クボタ	平膜
若狭町	海越浄化センター	230	H19. 4	三菱レイヨンエンジニアリング	中空糸状膜
浜松市	城西浄化センター	1,375	H20. 4	神鋼環境ソリューション	中空糸状膜
沼津市	戸田浄化センター	3,195	H20. 3	日立プラントテクノロジー	平膜
大田市	大田浄化センター	2,150	H21. 3	クボタ	平膜
新宮町	中央浄化センター(仮称)	6,060	H22. 3	未定	未定

表 1-14 国内の公共下水道以外の排水処理施設における MBR の実績

施設	H14.4現在 (施設数)	H20.3現在 (施設数)
農業集落排水処理施設	23	30
浄化槽	850	1500
し尿処理場	132	182
参考: 上水道	280	586
備考: 産業排水処理施設は、H14.4現在で809施設		

膜分離方式を採用している上水道施設のH15.4現在における施設数

文献 10)及び日本下水道事業団資料より作成

1.4.2 海外の下水道用膜処理施設の導入状況

海外の下水処理施設における MBR は、1997 年にイギリス Porlock 処理場において初めて供用を開始し、近年急激に施設数を増加している。また、大規模施設への導入も顕著である。

表 1-15 海外の下水処理施設における MBR の導入事例

国	施設名	処理能力 (m^3 /日)	供用開始年
イギリス	Porlock	1,900	1997年
ドイツ	Roedigen	3,240	1998年
イギリス	Swanage	12,700	1998年
フランス	Lle d'Yeu	4,300	1999年
イタリア	Brescia	42,400	2002年
ドイツ	Nordkanal	45,000	2004年
オランダ	Varsseveld	18,000	2003年
アメリカ	Tulalip	4,540	2003年
アメリカ	Traverse City	38,600	2004年
オマーン	Al-Ansab	78,000	2006年
アメリカ	Gainesville	38,200	2006年
アメリカ	Tempe Kyrene	44,300	2006年
アメリカ	Johns Creek	93,500	2007年
中国	Beixiaohe	80,000	2007年
アメリカ	Peoria	75,700	2007年
カタール	Lusail	60,200	2007年
中国	Qinghe	60,000	2007年
イタリア	Syndial	47,300	2007年
アメリカ	Delphos	45,400	2007年
アメリカ	Broad Run	35,600	2007年
中国	Miyun	30,000	2007年
アメリカ	Brightwater	144,000	2010年 予定

文献 10) , 21) 及び国土技術政策総合研究所調査結果より作成

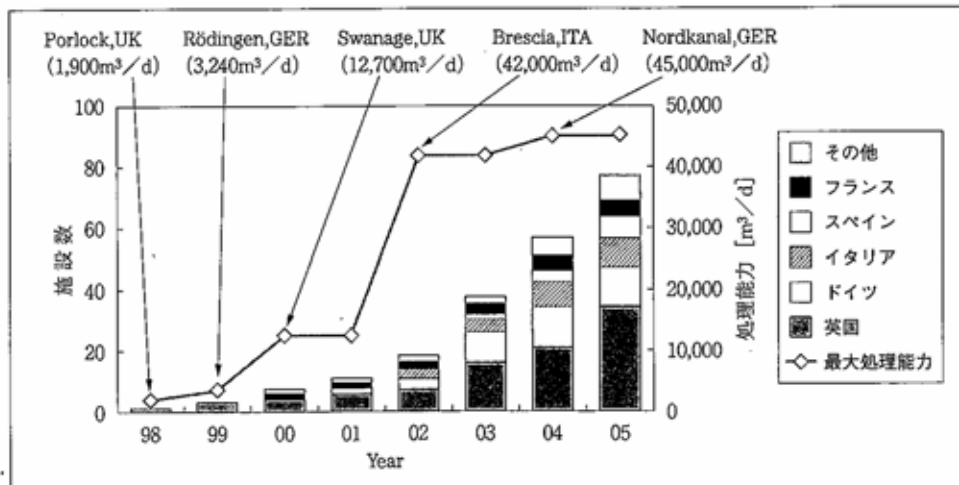


図 1-17 欧州の下水処理施設における MBR の採用数と処理能力の推移¹³⁾

また、前述のシンガポールにおける事例も含め、二次処理水を RO 膜等で処理し、再利用水として利用している事例を以下に挙げる。

表 1-16 RO 膜等を利用した下水再利用プラントの事例

国名	場所	水量	稼働年	膜の種類
クエート	Sulaibiya	320,000	2005	BWRO [#]
アメリカ	Orange County Water Destrict, CA	264,980	2006	BWRO
シンガポール	Ulu Pandan	167,700	2006	BWRO
シンガポール	Kranji	40,000	2002	BWRO
シンガポール	Juron	35,000	2000	BWRO
アメリカ	Gwenett City	34,000	1999	NF
シンガポール	Bedok	32,000	2002	BWRO

BWRO:Brackish Water Reverse Osmosis Membrane(低圧RO膜)

文献 18)より作成

なお、わが国において RO 膜等の膜処理技術で下水処理水を再利用している事例は、東京都、大阪市、神戸市などの数施設であり、水量規模は大きいもので数千 m³/日である。

第2章 膜分離活性汚泥法(MBR)導入に際しての検討

膜分離活性汚泥法 (Membrane Bioreactor : MBR) を、主に新規下水処理場に導入する場合の検討事項を整理する。

2.1 MBR の基本的事項

MBR の計画にあたっては、MBR の基本事項を十分把握し、検討を行う。

- 1) 処理原理とシステム構成
- 2) 施設構成上の特徴
- 3) 処理機能上の特徴

【解説】

MBR の計画にあたっては、その基本事項を十分に把握し、特に、以下の点に留意しなければならない。

MBR 技術は、今後の中大規模下水処理場への適用に向けて技術開発が予想されるため、MBR の設計水量の対象規模は特に定めず、小規模から中大規模の全般を対象とする。MBR の適用においては、他の従来処理方式とのコスト比較など多面的な項目について比較評価を行う。

MBR においては、維持管理費の低減化のため、空気量の供給及び膜の洗浄方式の選定に留意する。

MBR の基本事項を、「膜分離活性汚泥法の技術評価に関する報告書¹⁰⁾」より、以下に示す。

1) 処理原理とシステム構成

本法は、従来の活性汚泥法では最終沈殿池において重力沈殿によって行われる固液分離を微細な孔径を有するろ過膜で行なうものであり、有機物の分解は活性汚泥によって行なわれる。ろ過膜としては、大腸菌群を阻止できることから、通常、精密ろ過膜 (MF 膜) が用いられる。

本法の主な施設構成は、前処理施設、流量調整タンク、生物反応タンクである。流入下水は、前処理施設で夾雑物を除去した後、生物反応タンクに供給される。

生物反応タンク内にろ過膜を浸漬し、膜下部からエアレーションを行なって気液混合流により膜面を洗浄し、膜の閉塞 (ファウリング) を防止しながらポンプ吸引あるいは重力により、ろ過を行なう。

2) 施設構成上の特徴

MBR の構成上の特徴として、以下に列記する事項が挙げられる。

最終沈殿池は必要なく、最初沈殿池、消毒施設の省略も可能である。

生物反応タンク MLSS が高いので、余剰汚泥は生物反応タンクから直接引抜いて脱水

することが可能であり、この場合、汚泥濃縮設備は省略することができる。
流入水量変動に対応するために、流量調整タンクが必要となる場合がある。
処理施設の必要敷地面積は小さく、OD 法の約三分の一程度である。
ろ過膜保護のため、生物反応タンク流入水は 1mm 目程度の微細目スクリーンによる
前処理が必要である。

3) 処理機能上の特徴

MBR の処理機能上の特徴として、以下に列記する事項が挙げられる。

重力沈殿による固液分離の制約がないため、生物反応タンク内 MLSS 濃度を高く保持
でき、短期間で処理を行なうことができる。

処理水中に SS は検出されず、透視度が高く清澄な処理水が得られる。また、有機物
の除去は標準活性汚泥法や OD 法に比較して、処理水に SS が含まれない分、より良
好である。

本法の処理水は、そのまま散水用水、修景用水としての利用が可能である。また、
残留塩素を保持させることよりトイレ洗浄用水としての利用も可能である。

固形物滞留時間 (SRT) が長いため、処理過程で硝化反応が起こりやすい。

生物反応タンク中に無酸素ゾーンを組み込むこと等により、生物学的硝化・脱窒反応
により窒素除去が期待できる。

凝集材添加により高度なりん除去が可能である。また、処理水中に SS が含まれない
分、処理水りん濃度が低下する。なお、生物反応タンク中に嫌気ゾーンを組み込むこ
と等により、生物学的りん除去が期待できる。

汚泥転換率は、SRT が 20 日前後の運転では、OD 方について一般的に用いられている
数値に比較して 10%程度小さい。また、より SRT の長い運転を行なうことにより、
さらに発生汚泥量を減少することができる。

本法の余剰汚泥の脱水性は、OD 法の余剰汚泥と同程度である。

2.2 MBR 処理システムの検討

MBR 処理システムの検討にあたっては、MBR の基本的なシステム構成をベースに、膜
処理の特性を十分考慮して行う。

【解説】

MBR の基本的なシステム構成は、沈砂池流出水を対象に前処理設備(微細目スクリーン)、
流量調整タンク、生物反応タンクから構成される。標準活性汚泥法等の従来法に比べ、最終
沈殿池は必要なく、最初沈殿池、消毒施設の省略も可能となるため、基本的にシンプルなシ
ステム構成となる。

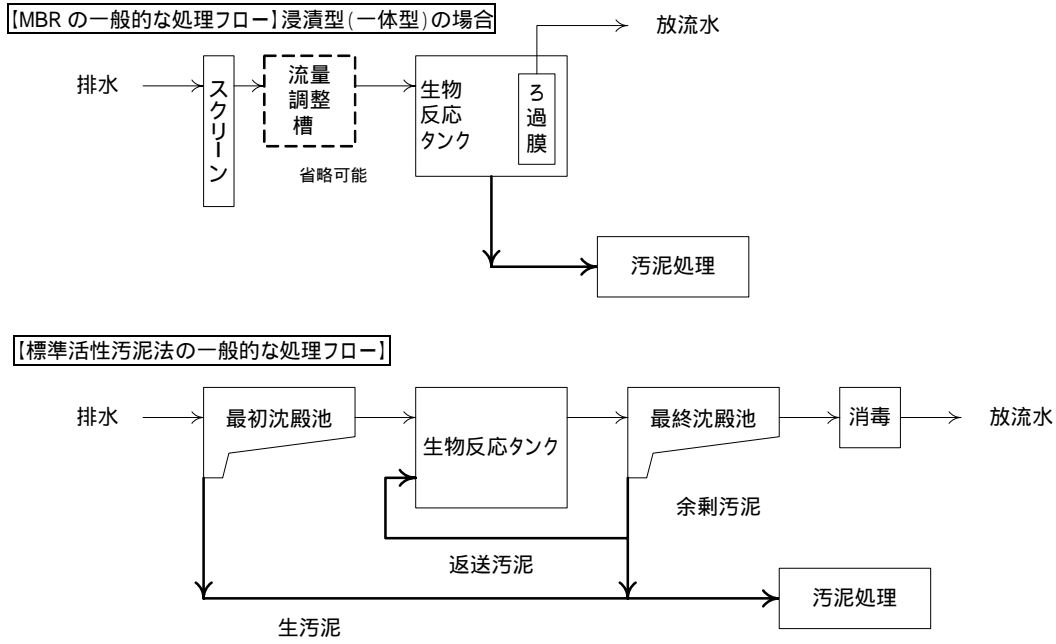


図 2-1 MBR と標準活性汚泥法におけるシステム構成の比較

参考として、日本下水道事業団資料^{文献 10)}より、MBR のシステム構成の一例を示す。

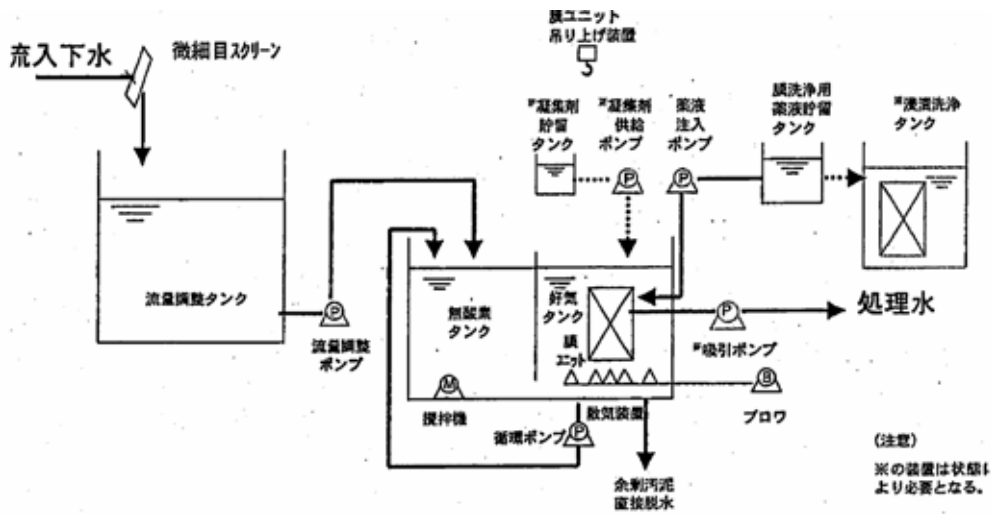


図 2-1 MBR のシステム構成の例¹⁰⁾

MBR 処理システムの検討フローを、図 2-2 に示す。

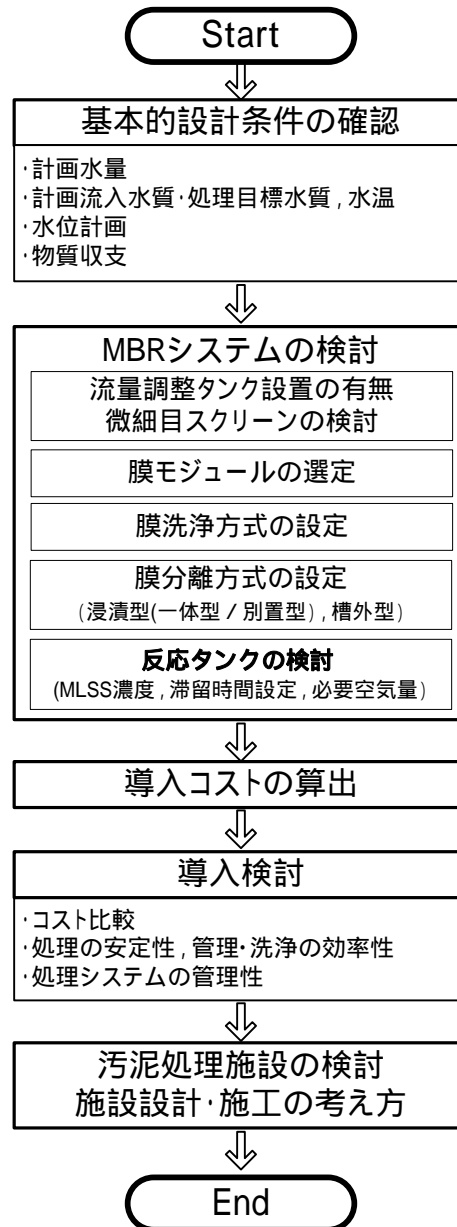


図 2-2 MBR 処理システムの検討フロー

2.3 処理施設設計諸元の検討

MBR の処理施設の設計にあたっては、適切な設計諸元を設定する

【解説】

MBR の処理施設は、以下に示す設計諸元に基づきその容量を設定する。

図 2-3に、容量算出フローの例を示す。

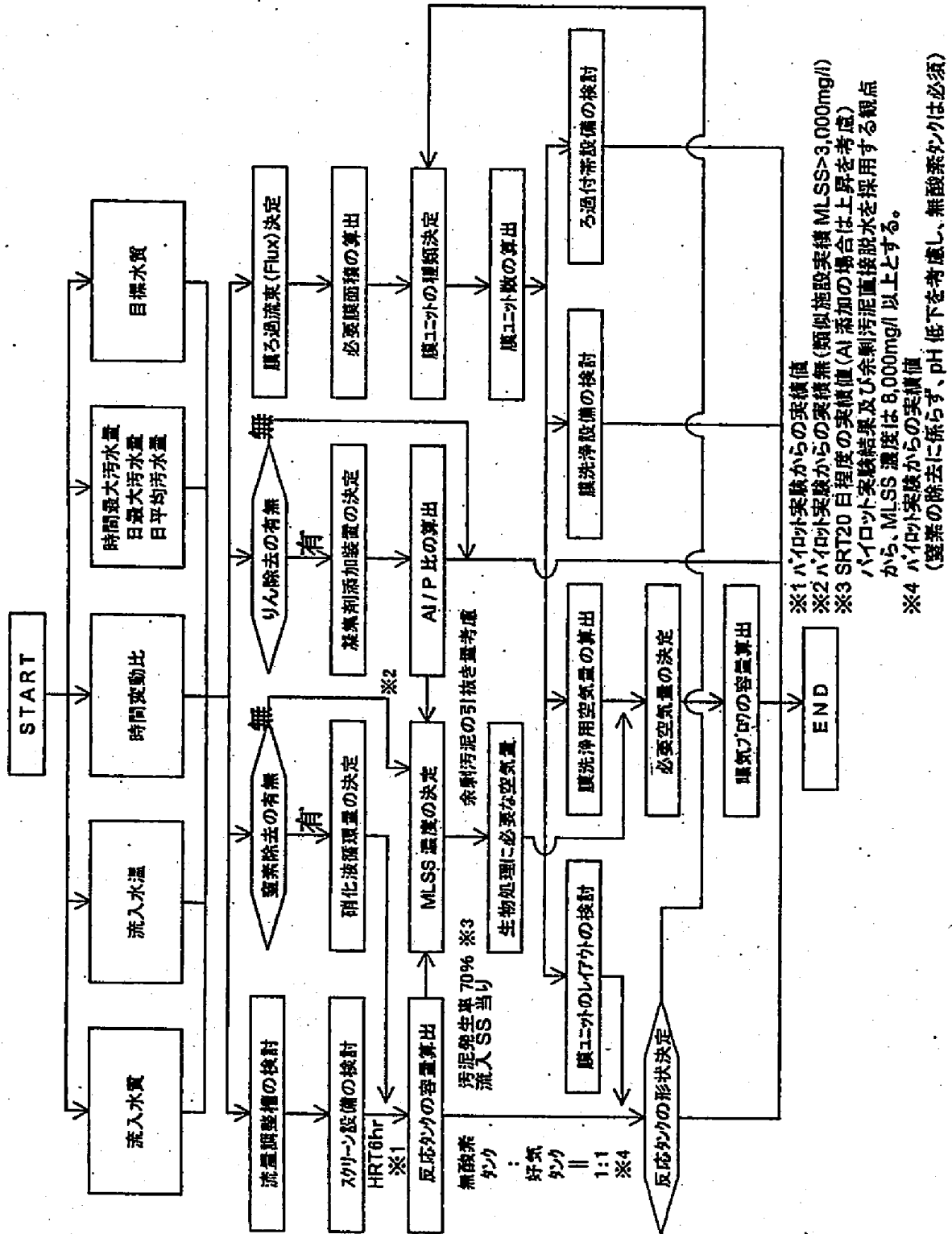


図 2-3 容量算出フローの例¹⁰⁾

2.3.1 設計水量

設計対象水量は、計画日最大下水量とする。

【解説】

最終沈殿地における重力沈降による固液分離では、押し出し流れで処理水が得られるが、最終沈殿池における能力以上の流下の場合には、処理水の悪化につながる場合がある。

膜の透過流束は、ファウリングの他、低水温期に低下することを考慮し、設計対象水量は、原則として計画日最大下水量とする。

2.3.2 設計水温, 流入水質

設計水温は、予想される流入水温の月間平均値の年間最低値とし、設計流入水質は、冬期の流入水の BOD, SS, 溶解性 BOD, アルカリ度, T-N 及び T-P (凝集剤添加を行う場合) を対象とする。

【解説】

低水温期には水の粘性等によりろ過性が低下し、通常水温 1 低下により約 2% の透過流束の低下を招くことが知られている¹⁰⁾。このため、膜モジュールの設計にあたっての設計水温は、月間平均値の年間最低値を基準としている。

設計流入水質については、MBR の MLSS が比較的高いレベルで設定され、硝化が進行しやすいため、硝化反応等の確認に必要な溶解性 BOD, アルカリ度, T-N 等を考慮している。

なお、目標水質は、下水道管理者が定める計画放流水質をベースに設定するが、MBR 処理水の BOD, SS などは標準活性汚泥法に比べ良好であることに留意する。

図 2-4 及び図 2-5 は、既設の下水処理場に設置された実証プラント 5 種(いずれも窒素除去対応の中空糸膜 2 種, 平膜 2 種, セラミック 1 種)における処理水 BOD 及び処理水 T-N の累積度数分布を示したものである。

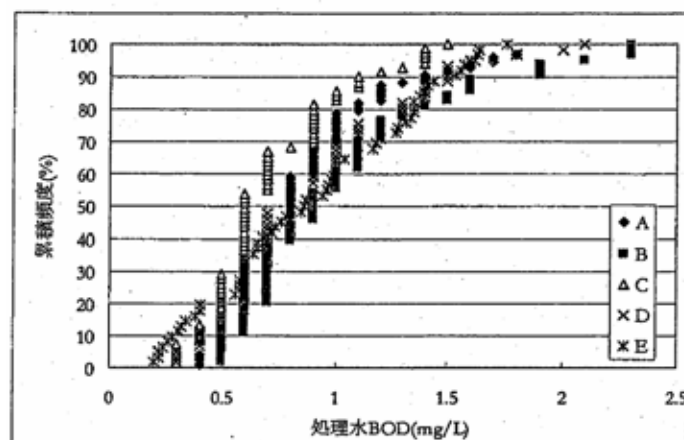


図 2-4 実証プラントの処理水 BOD の累積度数分布¹⁰⁾

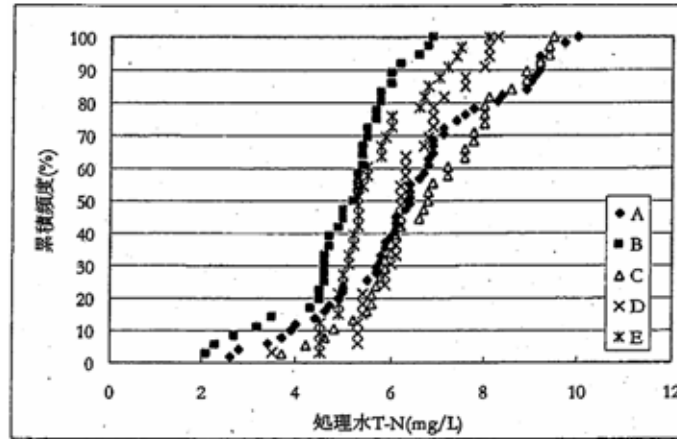


図 2-5 実証プラントの処理水 T-N の累積度数分布¹⁰⁾

なお，MBR の施設容量設計における流入水質と処理水質の設定例を表 2-1 に示す。

表 2-1 流入水質と処理水質の設定例¹⁰⁾

項目	水質		備考
	流入下水	処理水	
BOD	200mg/L	2.0mg/L 以下	処理水は C-BOD
SS	200mg/L	1.0mg/L 以下	
(T-N)	35mg/L	10mg/L 以下	窒素除去を行う場合の参考値
(T-P)	4.0mg/L	0.5mg/L 以下	同時凝集を行う場合の参考値

2.3.3 水位計画

処理施設の水位計画は，放流先の計画放流水位，処理場流入下水管水位及び処理場計画地盤高さを基準に，円滑な水の流れになるよう検討を行う。

【解説】

比較的小規模な MBR で，下水は流量調整タンクから反応タンクへポンプ圧送し，処理水も反応タンクからポンプ吸引する場合には，各タンクの水位は比較的自由に設定できる。ただし，中大規模施設の場合は，流量調整タンクからの圧送ポンプが大容量となることから，前後の水位関係を検討し，自然流下とすることが望ましい。

なお，既設下水処理場に MBR を適用する場合は，既存の水位に整合するよう留意する必要がある。

2.3.4 物質収支

汚泥処理系を含めた施設設計にあたっては、原則として汚泥の物質収支計算を行うものとする。

【解説】

小規模の MBR の場合は、反応タンクから直接余剰汚泥を引き抜き脱水処理することが可能で、この場合、返流水負荷は少なく、特に返流水負荷を無視しても問題ない。

しかし、規模の増大に伴い返流水負荷も増大し、また直接脱水処理することも困難になるため、原則として、返流水負荷を考慮して物質収支計算を行うものとする。

2.3.5 流量調整タンク

膜モジュールにおける活性汚泥の引抜能力と時間変動への対応能力に応じ、流量調整タンクを設ける。

【解説】

流量調整タンクは、流入水量変動の均一化を目的として設置される。

MBR では、膜分離による処理水であるため、安定した水質が得られるものの、膜の透過流速を超えた流下への対応が困難であり、能力以上の流下がある場合には、反応タンクの水位が上昇し、上流側施設への逆流や反応タンクからの越流が懸念されることから、必要に応じ流量変動への対策を行う。

流量調整方式は、できるだけ均一な水量及び水質を得るため、インライン（直結）方式を原則とする。小規模施設を対象とした流量調整タンクの容量計算は、日最大水量と日間流入変動パターンを考慮して、調整後の変動比（時間最大 / 日最大）が 1.0 となることを原則としている。日間流入変動パターンが未知の場合は、類似処理施設のデータより推定を行う。

中大規模の場合は、一般的に、小規模に比べて流量変動比が小さいものの、変動比を 1.0 とするには必要な流量調整タンクの容量は膨大なものとなり、建設コストが増加する。従って、流量調整タンクによる方法以外の下水量の時間変動への対応策についても検討し、処理場全体の運転管理方法を含めて流量調整タンク設置の有無・規模を設定する。

日間流入変動への対応方法としては、反応タンクに余裕高を持たせ水位上昇による水頭差や、膜モジュールの吸引ポンプにより、流量増大時に膜の差圧の増大で対応させることなどが考えられる。しかし、反応タンクの躯体が大きくなること、吸引を増加させることで膜の劣化を促進する懸念があることなどのデメリットもあり留意を要する。今後、中大規模への導入検討が進むことで、日間流入変動への対応策についての技術開発も期待される。

また、MBR と従来法の併用処理の場合は、系列ごとの流量配分の方法によっても対応が異なり、次章で詳述する。

2.3.6 膜モジュールの形式

膜モジュールの形式は，モジュールの特性の他，膜洗浄方式，膜分離型式など，総合的に勘案して選定を行う。

【解説】

膜モジュールの形式には，スパイラル型，中空糸膜型，平膜型，チューブラー型などがあるが，その選定にあたっては流入水質，目標水質などの基本条件と，膜それぞれの性能特性や耐用年数，また，次項に示す膜分離型式の選定におけるコスト・維持管理性の比較などを考慮して十分検討し，選定することが望ましい。

膜モジュールの形式による特徴を表 2-2 に示す。この他，セラミックなどの無機膜なども開発されており，実際の計画検討時の開発動向を加味して，比較検討することが望まれる。

表 2-2 膜モジュールの特徴¹⁾

	スパイラル型	中空糸膜型 (内圧式)	中空糸膜型 (外圧式)	平膜(プレート &フレーム)型	チューブラー 型
容積効率	大	大	大	中	小
洗浄性	難あり	良	良	良	良
逆圧洗浄	不可	可	可	不可	不可
流路閉塞性	高い	低い	低い	低い	低い
膜交換作業性	良	良	良	難あり	難あり

注) 最近「可」のものもあり

2.3.7 膜洗浄方式

薬品洗浄の頻度は比較的少ないが，洗浄の効率性や管理性を考慮して選定する。

【解説】

薬品洗浄の頻度は，年数回程度であるが，浸漬型の膜モジュールは反応タンクより取り外して，薬液洗浄タンク内に浸漬させて洗浄するものと，槽外型の膜モジュールのように設置したままで洗浄できるものがある。また近年は，反応タンクから膜モジュールを取り出さずに浸漬したままで洗浄するインライン洗浄方式が採用されている。

このため，薬品費，設備費，洗浄の効率性，管理性を十分勘案して選定する必要がある。

2.3.8 膜分離型式

膜分離型式(浸漬型(一体型)/浸漬型(槽別置型)/槽外型)は，必要空気量，膜モジュール形式，洗浄の効率性及び管理性，コストなどを比較評価し設定する。

【解説】

浸漬型(一体型)は，浸漬型(槽別置型)や槽外型に比較して反応タンクとろ過タンクを兼用できること及び膜面洗浄用空気と活性汚泥への酸素供給用空気を兼用できる利点がある

ため、この方式の採用事例が多く、日本の下水道における実績（H20 年現在）は、全て浸漬型（一体型）である。

なお、浸漬型（槽別置型）や槽外型の場合、膜洗浄や点検作業時に反応タンクを休止することなく運用できること、反応タンクへの超微細気泡散気装置の導入による必要空気量の削減が期待できること、水量の時間変動に対応しやすいこと、などを踏まえ、海外での採用例も増えており、十分検討が必要である。

表 2-3 に示す浸漬型（槽別置型）での空気量削減の検討例では、2 割程度の空気量削減効果が期待できると報告されている。

表 2-3 浸漬型（槽別置型）の空気量削減の検討例

反応槽の構成		槽一体型	槽分割型
制御方式 (mg/l)		一定風量	NH ₄ -N制御
原水NH ₄ -N濃度 (mg/l)		14-21 (16)	
処理水NH ₄ -N濃度 (mg/l)		0.09-0.17 (0.12)	0.10-0.15 (0.12)
平均 MLSS (mg/l)	好気槽	14,735	12,088
	膜分離槽		14,951
システム全体の空気量 (%)		100	79

活性汚泥モデル（ASM）を用いた空気量削減効果の解析結果²²⁾

2.3.9 微細目スクリーン

膜モジュールの保護を図るために、微細目スクリーンを設置するものとし、設置場所は原則として流量調整タンク前段に設ける。

【解説】

MBR の運転におけるトラブルの多くは、前処理の不備に起因するものであり、夾雑物等による膜の破損や目詰まりを防止するためには、微細目スクリーンの適切な設置、管理が重要である。

微細目スクリーンには、バースクリーン、ドラムスクリーン、メッシュスクリーンなどがあり、小規模の場合は目幅 1mm 程度のものをが使用されているが、当該下水処理場の流入水の状況をふまえて適切な形式を選定する必要がある。

微細目スクリーンの設置場所は、流量調整タンク前が一般である。

規模の増大及び既設水処理施設への適用の場合においては、当該下水処理場の条件に応じ、微細目スクリーンの形式、設置場所、設置台数を検討しなければならない。

2.3.10 反応タンク

反応タンクについては、次の諸元を検討する。

- 1) MLSS 濃度
- 2) 滞留時間
- 3) 必要空気量

【解説】

1) MLSS 濃度

MBR における反応タンクの MLSS 濃度は、標準活性汚泥法に比べ高く設定される。MLSS 濃度を高くするほど、反応タンク容量は縮小できるが、必要空気量とのバランスを十分考慮する必要がある。

MLSS 濃度をできるだけ高め、反応タンク容量を縮小することにより、特に中大規模へ MBR を適用する場合にコスト縮減効果が大きい。

ただし、維持管理を考慮して、安定して管理できる MLSS 濃度の範囲を十分に確認する必要がある。例えば、浸漬型（一体型）においては、膜モジュールを設置した区画の MLSS が、処理水引抜により他の区画よりも高くなる傾向にあり、反応槽の平均 MLSS と、膜モジュール設置部分の MLSS が同じとはならないことなどに注意する。

また、高 MLSS 濃度では、汚泥の粘性や流動性が変化し、反応タンク内での流動（攪拌）性や膜へのファウリングへの影響も懸念され、実証実験等で確認し、経済性や管理性を踏まえ、最適な範囲を設定することが望ましい。

2) 滞留時間

反応タンクの滞留時間については、浸漬型（槽別置型）の場合、膜モジュール設置タンクの容量は、反応タンク滞留時間に見込むものとする。

なお、窒素除去を行う場合の滞留時間は、流入水質、水温、流入水量及び MLSS 濃度に応じて、好気タンク及び無酸素タンクの滞留時間を設定しても良い。また、硝化液循環比は大きくするほど、窒素除去率は向上する。ただし、水量規模が大きくなるほど循環ポンプに要する電力量が増大し、循環ポンプ設置スペースの確保も困難となる。このような場合は、ステップ流入式の採用を考えると良い。

3) 必要空気量

必要空気量は、必要酸素量を求めそれを必要空気量に換算して算定を行う。MBR を運転した場合、反応タンク内の MLSS 濃度が高いことより必要酸素量が大きくなり、結果的に消費電力量が増大する傾向にある。このため、浸漬型（槽別置型）を採用し、反応タンクへの微細気泡型散気方式の採用などの技術開発が進められている。こうした動向を把握し、省電力に努めるものとする。

浸漬型の場合、反応タンク内に膜モジュールを浸漬し、膜下部からエアレーションを行

って気液混合流により膜面を洗浄するため、洗浄用の空気量を加算する必要はない。しかし、槽外型の場合は別途洗浄用の空気量を加算する必要がある。

日本下水道事業団による MBR 設計要領（600～3,000m³/日規模）での反応タンク標準設計値を表 2-4に示す。

表 2-4 反応タンクの設計諸元の例¹⁰⁾

項目	標準設計値 (小規模・浸漬型 MBR)	適用
無酸素タンク滞留時間	3 時間	流入条件, 目標水質, MLSS 等によっても異なる。
好気タンク滞留時間	3 時間	
MLSS 濃度	10,000mg/L	8,000～15,000mg/L 程度
硝化液循環比	200%	目標水質等によって設定
必要空気量	日最大汚水量の 23 倍	膜分離型式によっても異なる

共同研究値から設定。ただし、計画水質が設計条件と大きく相違する場合には、別途検討するものとする。

2.3.11 膜分離装置

膜分離装置は、膜ユニット、補助散気装置、膜洗浄装置、膜分離装置動力制御盤、膜ユニット吊上げ機、から構成される。

【解説】

膜分離装置に使用される膜は様々な種類があるが、通常、MF 膜が使用される。

膜ユニットは、膜モジュール、散気部、集水部などから構成される。浸漬型の膜モジュールは、平膜や中空糸膜を一定の数に集積させたものが多い。これに対し、槽外型の膜モジュールは、平膜や中空糸膜及びセラミックス膜を一定のサイズの容器（ケーシング）に収めたケーシング型が多い。

膜モジュールの主要な設計諸元の例を表 2-5 に示す。

表 2-5 各膜モジュールの主要な設計諸元の例

	浸漬型		槽外型	
	平膜 (A 社)	中空糸膜 (B 社)	セラミックス膜 (C 社)	管状膜 (D 社)
膜透過流束 (m ³ /日)	0.7	0.6～0.7	～3.2	1.2～1.44
回収率 (%)			約 80	約 80
膜差圧 (kPa)	～20	10～50	20～80	10～50

日本下水道施設業協会へのヒアリングより（2008.9）

上記の膜モジュールの耐用年数については、表 2-6に示す調査例では、有機膜では 7～10 年、無機（セラミックス）膜では 15 年とされており、開発当初の 3～5 年に比べて長寿命化されつつある。

耐用年数は、膜の種類、膜分離型式のみならず、原水性状（夾雑物等）や洗浄の方法・頻度によっても変化することが予想される。

表 2-6 膜モジュールの耐用年数の例

浸漬型膜モジュール		槽外型膜モジュール	
平膜 (A 社)	中空糸膜 (B 社)	セラミックス膜 (C 社)	管状膜 (D 社)
7~10 年程度	7~10 年程度	15 年	7 年

日本下水道施設業協会へのヒアリングより(2008.9)

補助散気装置は、膜ユニットに付属する散気装置だけでは、生物処理に必要な酸素量が供給できない場合に設置するものである。ただし設備数の増大を避ける観点から、設計時においてこれを割愛できる方法を検討することが望ましい。

膜洗浄方式については、第 1 章で述べたとおりである。今後の MBR の中大規模化にあたって、特に検討すべき課題は、薬液浸漬洗浄の省略である。薬液浸漬洗浄は、膜モジュールを反応タンクから吊り上げて薬液を満たした洗浄槽内に浸漬し、一定期間静置することより行なう洗浄方法であり、この期間は処理能力が低下あるいは当該系列の休止となる。近年、薬液浸漬洗浄を必要としない膜モジュールが開発されている。

2.3.12 汚泥処理施設

MBR は最終沈殿池を必要としないことから、余剰汚泥は反応タンクから直接引抜くことになる。引抜き箇所は、通常は好気タンクである。引抜いた余剰汚泥は、MLSS が高濃度であるため直接脱水できるが、中大規模施設では濃縮工程の設置等を検討する。

【解説】

MBR における流入 SS に対する余剰汚泥発生量は、凝集剤を添加しない場合で標準活性汚泥法や循環法の 6~7 割程度である。¹⁰⁾。りん除去のため凝集剤を添加する場合は、添加に伴う汚泥発生量の増加分を見込む必要がある。

小規模における MBR 導入の場合、余剰汚泥が高濃度であることから直接脱水しているが、中大規模において直接脱水を採用した場合には、脱水機の設置台数の増大によるイニシャルコスト増が予想される。このため、直接脱水の場合と濃縮 + 脱水による処理を採用した場合とを比較検討することが望ましい。

2.3.13 施設設計・施工の基本的考え方

施設設計や施工計画にあたっては、以下の事項を十分に踏まえるものとする。

- 1) 施設能力
- 2) 系列・池間の水量均一性の確保
- 3) 配置計画及び建設・施工

【解説】

これまで国内の下水処理における MBR の普及は、10,000m³/日以下の小規模施設に限られ

ている。今後は、国内における MBR の中大規模処理施設への適用が予想されるが、規模の拡大における留意点を以下に示す。

- ・ 過大な設備投資とならない施設能力及び予備力
- ・ 系列・池間の水量均一性の確保
- ・ 処理場の条件を十分ふまえた柔軟な施設構成と建設・施工
- ・ 大型膜モジュール、膜ユニットの開発と低コスト化

1) 施設能力及び予備の考え方

設計対象水量は日最大下水量としたが、規模の拡大に伴って合流式下水道区域における MBR の適用が予想される。この場合、雨水の処理についての対応が必要とされる。雨天時に時間最大下水量を長時間、MBR 施設に流下させた場合、流量調整タンクで十分調整しきれず、膜モジュールに設計能力以上の負荷を与えることになる。このため、汚水と雨水の分水に留意する必要がある。また、最初沈殿池を設置しない場合は、雨水処理方式の選定を十分検討する。

分流式の下水処理場でも雨水の浸入が多い処理場があり、雨水流入に対する検討が必要である。

MBR の固液分離機能は、物理的なる過であり、流入水量の増加の影響が顕著に現れやすい。このため、施設の部分的な改修、機器故障、停電時、膜モジュールの洗浄、膜モジュールの交換及び流入水量の異常増加等に対して、適切な予備を備える必要がある。しかし、予備を必要以上に設けることはコスト増につながり、最小限度のものとするべきである。この場合、膜モジュールの水量過負荷運転への対応性などの技術開発と情報交換が望まれる。

また、反応タンクなどの系列予備が必要になるか、今後の運転実績をふまえて検討すべき課題である。

2) 系列・池間の水量均一性の確保

規模の拡大に伴い処理水量が増加し、系列・池数が増加する。これに伴い、反応タンク流入水量、膜ろ過水量などの各系列・池への均一な流量分配が必要となる。また、空気量も同様である。

流量分配は、できるだけ分配堰などを用いて自然流下方式でシンプルなものとし、機械設備を少なくしたものが望ましいが、水量均一性の確保に留意する。

MBR における機械フローシートの例を図 2-6 に示す。

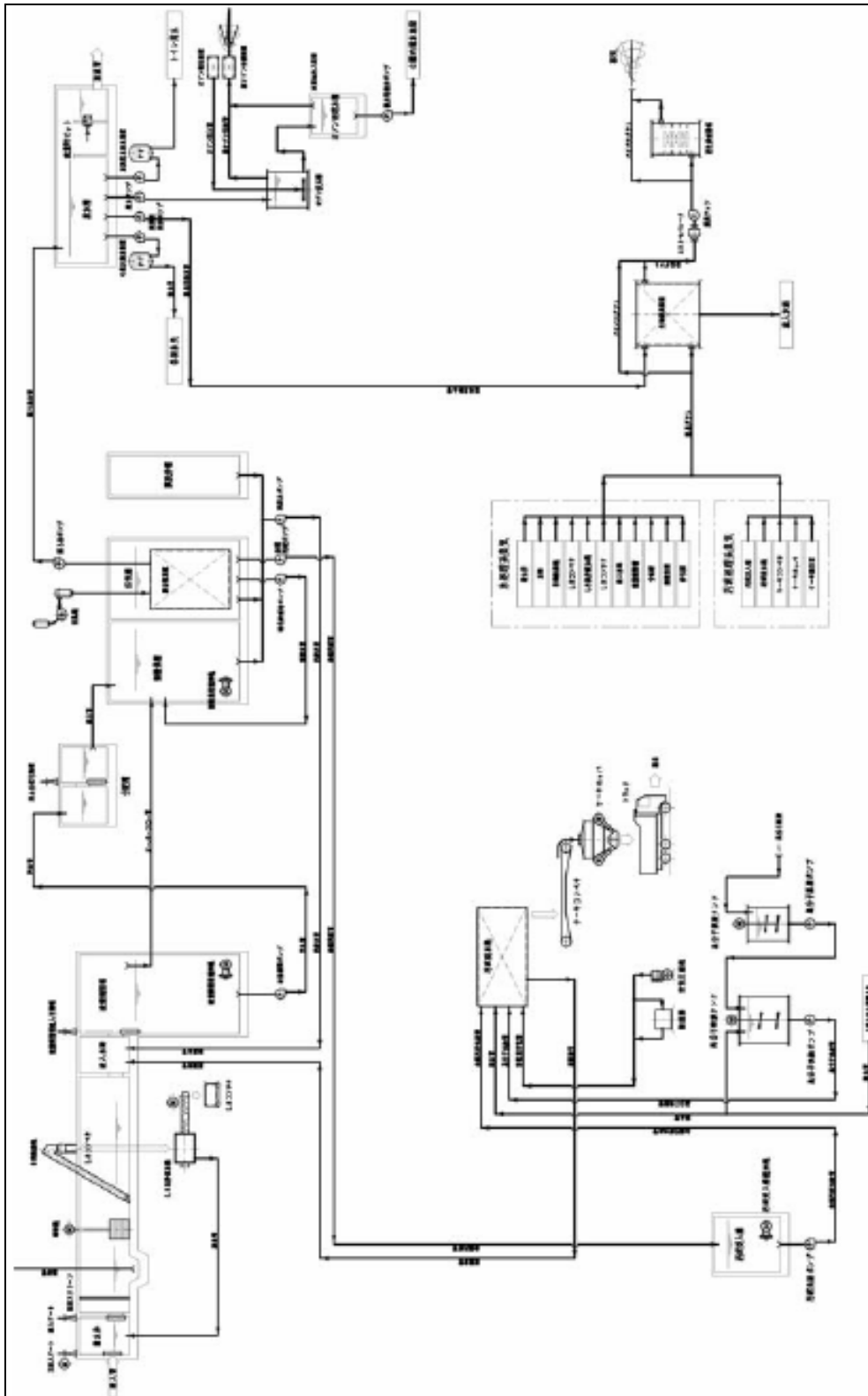


図 2-6 MBR における機械フローシートの例

3) 配置計画及び建設・施工

前処理設備，流量調整タンク，反応タンク及び管理棟・汚泥棟など，敷地条件に応じた配置計画の検討を行なう。

- ・ 膜分離型式の検討
- ・ 浸漬洗浄タンクの設置場所の検討
- ・ 水処理，污泥処理及び管理棟の合築，別築の検討
- ・ 人，水，空気，ユーティリティーの流れ

建設・施工に当っては，周辺環境対策に留意する。特に，流量調整タンクの臭気対策を十分検討すること。

施設配置の例を以下に示す。

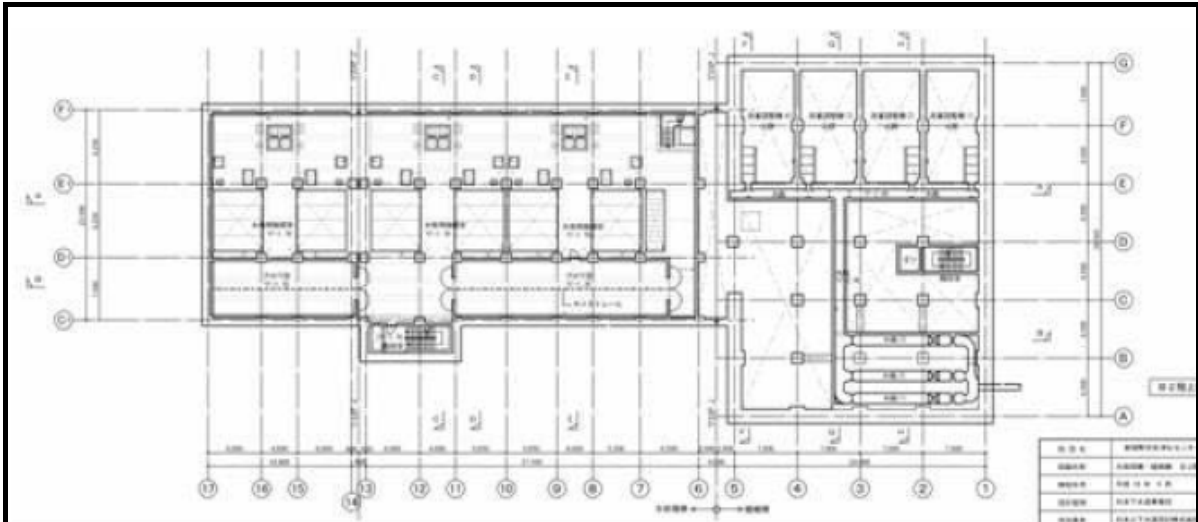


図 2-7 MBR における施設配置の例

2.3.14 その他の留意事項

施設に関連する項目を総合的に勘案して計画を行う。

【解説】

MBR の計画にあたって，緊急時の対応について十分に検討しておく必要がある。

日本下水道事業団による技術評価¹⁰⁾では，MBR 処理水について消毒は必要ないとしている。ただし，ろ過膜破損等緊急時の対応として，固形塩素投入等の措置が可能であるよう配慮する。

なお，前出の技術評価では，ウィルス等の除去効果について報告されているが，ウィルス除去に関しては制御が難しいことから，除去率が安定して得られるかどうかについては十分な検討が必要であるとしている。

2.4 導入コストの検討

MBR 検討において、建設費及び維持管理費におけるコスト低減要因、増加要因を勘案した検討を行う。

【解説】

MBR には表 2-7 のようなコスト低減および増加要因（新設の場合）を有している。

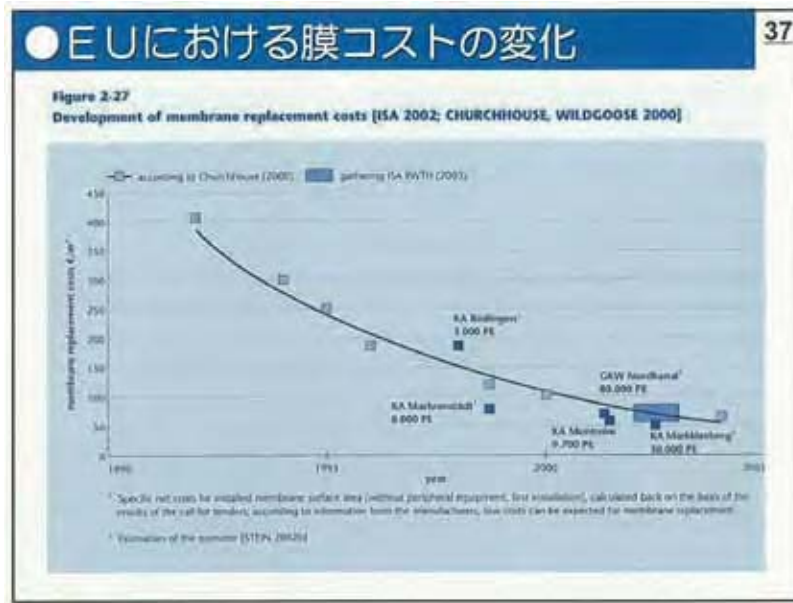
建設費については、最終沈殿池が不要であり、最初沈殿池、消毒施設の省略も可能で、反応タンクも縮小できることから、敷地費用や土木工事費の大幅な削減が期待できる。膜ユニット自体は、スケールメリットが生じにくい傾向を持っているが、膜コストについては、経年的に低下傾向が認められ、低コスト膜モジュール、膜ユニットの開発も進められている。例えば、EU における膜コストは 10 年間（1994 年から 2004 年）で約 1/5 に低下している（図 2-8）。また、海水等を淡水化する施設の契約数とコストの推移（図 2-9、図 2-10）を参考として示すが、施設契約数が経年的に増加するとともに、造水コストも 1991 年から 2001 年の 10 年間で約 1/3 に低下していた。

MBR 維持管理費の中で大きな割合を占める送風機電力費を削減するために、技術開発が進められている。JS 第二期研究においては、維持管理費を第一期研究と比較して約 30% 削減（表 2-8）することができている。

表 2-7 新設における MBR の主なコスト低減・増加要因¹⁶⁾

	コスト低減要因	コスト増加要因
建設費	<ul style="list-style-type: none"> ○省施設・省設備 ●最初沈殿池が不要 ●最終沈殿池が不要 ●消毒設備が不要 ●汚泥濃縮が不要 ●砂ろ過設備が不要 ○生物反応タンク容量縮小 ○省敷地面積 	<ul style="list-style-type: none"> ●付加的施設・設備 ●膜ユニット ●膜洗浄設備 ●流量調整槽 ●送風機必要能力増大
維持管理費	<ul style="list-style-type: none"> ○汚泥管理不要 ○消毒用薬品不要 ○汚泥発生量減少 ○維持管理手間減少 	<ul style="list-style-type: none"> ●膜モジュール交換費 ●送風動力量増大

海水淡水化方式には蒸発法と逆浸透膜法があり、2005 年現在、逆浸透膜（ナノ膜を含む）が全体の 52% に達している。



(日本下水道事業団資料)

図 2-8 EU における膜コストの変化

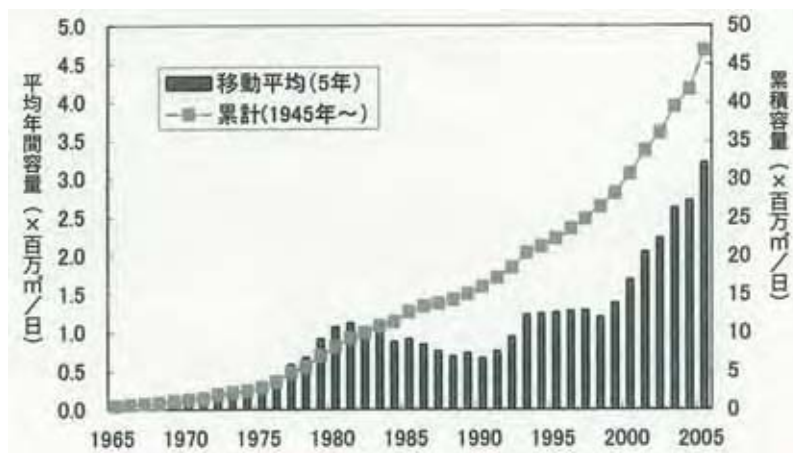


図 2-9 世界における海水淡水化施設契約実績の伸び¹⁷⁾

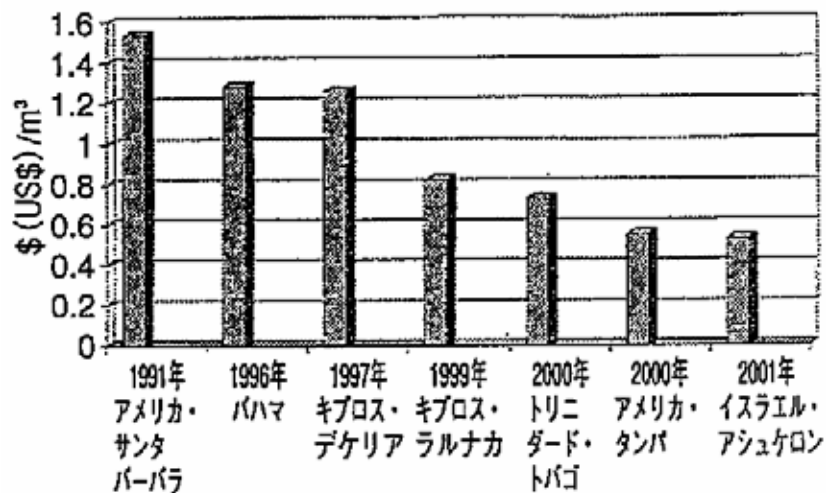


図 2-10 RO 海水淡水化プラントにおける造水コストの変移¹⁸⁾

表 2-8 MBR の維持管理費の削減状況

		送風倍率 (水量比)	備考
第一期JS共同研究成果 1998～2000年度		20数倍	
第二期JS共同研究成果 2001～2003年度	A	13.3倍	膜洗浄用は6.7倍
	B	16.8倍	高水温期16.2倍、 低水温期18.5倍
	C	-	従来の半分以下 0.25m ³ /(m ² ・h)
	D	-	従来と比して 最大38%削減
	E	13倍程度	-

文献 19)より作成

コストに関する情報については、現在、関係団体等からの協力を受けながら鋭意資料の整理を行っております。しかしながら、今回の委員会までに、まとまった形で、コストに関する十分な記載をおこなうことができませんでした

次回の委員会には、導入コストに関する記載を充実させた形でご審議いただけるようガイドライン(案)の作成を進めます。

第3章 既設処理場への MBR 導入の検討

既設処理場への MBR 導入は、MBR による系列及び従来型処理方式による系列の併用処理となる形が基本となる。本章では、併用処理となる場合の検討事項を示す。

なお、MBR システムの基本的事項については、第 2 章に示すとおりである。

3.1 既存施設への MBR 導入の意義

既存の下水処理場において、より厳しい高度処理化の必要性や、有効利用計画がある場合、MBR の導入が有効となる場合がある。

【解説】

窒素、リンに対する総量規制も 2002 年に告示され、東京湾、大阪湾などの閉鎖系水域における都市の下水処理場での高度処理導入計画が進められている。このような中で、中大都市の下水処理場では高度処理施設を導入しようとしても、敷地条件等より水処理施設の増設が伴う高度処理施設の導入が困難な下水処理場が少なくない。

また、水環境の保全のため今後下水処理水の再利用の必要性が増してくることが予想される。MBR 処理水は処理水質に優れ、ろ過施設や消毒施設を設けなくともそのまま再利用が可能となる。

このような状況下において、MBR の導入検討が進められる。

既存施設を改築更新・高度化する際に MBR を適用する場合には、全系列を同時に MBR を導入するのではなく、一部系列から改造が進められることになる。また、MBR 法は一般に従来の高度処理方式よりも処理水準が高く、処理水質のレベルが優位であることに着目すると、処理場全体の放流水質を向上させるときに、一部の系列に MBR 法を適用することで、他の処理方式に匹敵する水質が得られることとなり、総コストについても削減できる可能性がある。

すなわち、既存施設を改築更新・高度化において MBR を適用する場合には、標準活性汚泥法などの従来型の水処理方式と MBR との並列処理となる場合の施設形態が中心となると考えられる。

改築の最終形態では処理場全体が MBR である場合でも、改築更新の段階的な時点では MBR と従来法との併用処理の形態となる。

3.2 MBR と従来法との併用処理の特徴

同一処理場において、MBR と従来型の処理方式とが併用処理となるケースが、管理面、水質面、コスト面等で有効となるケースがある。

【解説】

同一処理場内で、MBR と標準活性汚泥法や循環式硝化脱窒法などの従来型の水処理方式との並列処理となる処理形態が、最適な処理方式の組み合わせとなる可能性がある。

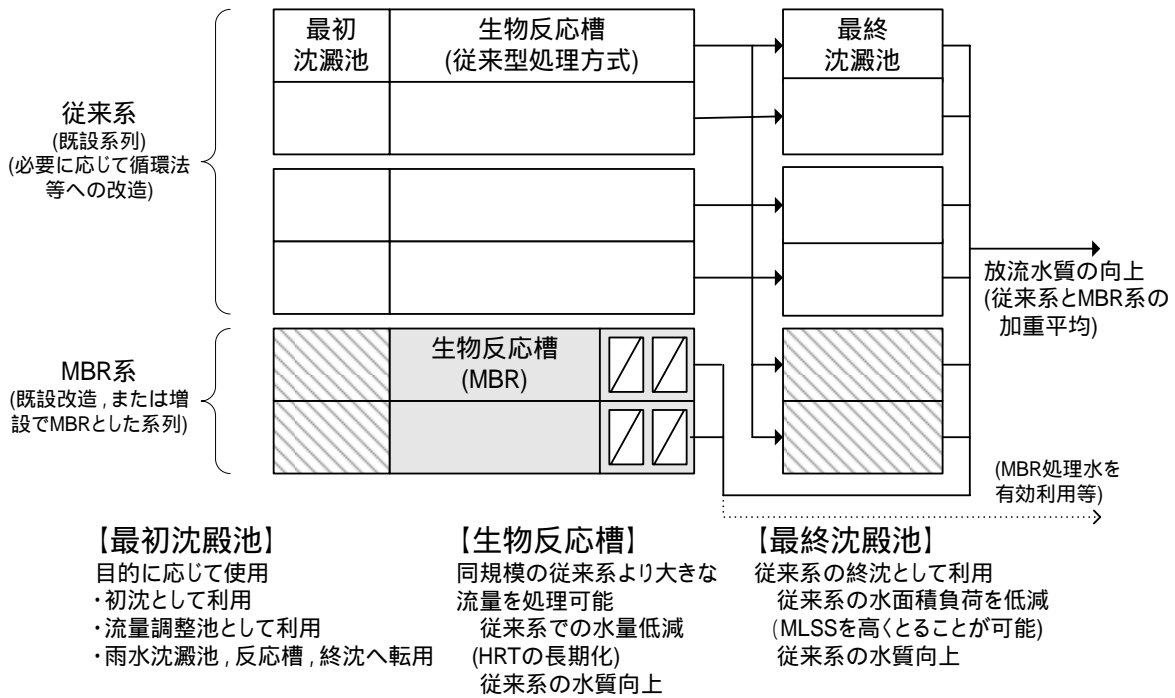


図 3-1 MBR と従来法との併用処理における主な特徴

3.3 MBR と従来法との併用処理検討の留意点

基本的には従来型の処理方式における設計検討と、第 3 章に述べた MBR の設計検討を各々行うものである。併用処理となる場合において特に留意する事項は次の通りである。

- 1) 流入水量の設定
- 2) 流量変動への対応
- 3) 最初沈殿池の活用
- 4) 最終沈殿池の活用
- 5) MBR 系列の設定

【解説】

MBR と従来法との併用処理における主な特徴及び検討時の留意点を以下に述べる。

1) 流入水量の設定

MBR は、標準活性汚泥法等の従来方式と比べ、生物反応槽の必要滞留時間が短い。すなわち、同一生物反応槽であれば、より多くの水量を MBR 系列で受け持つことができる。

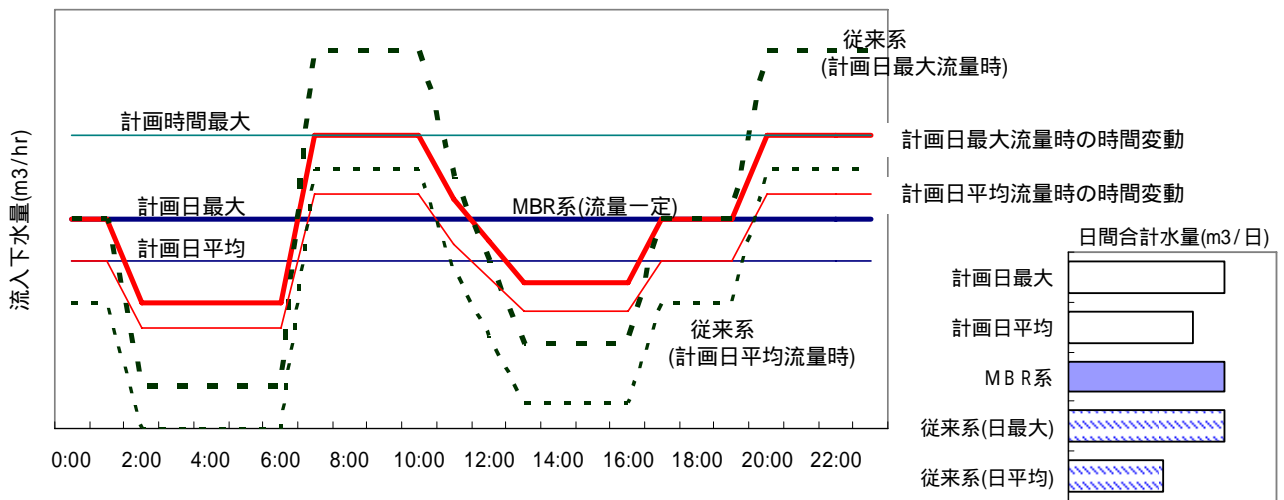
このことは、従来処理法の系列に流下させる水量を減らすこととなり、必然的に滞留時間の長期化、すなわち処理の高度化が可能となる。

2) 流量変動への対応

中・大規模処理場では、小規模処理場に比べ、流量変動が小さいことが多い。しかしなが

ら、時間変動、季節変動の他、雨天時の流量増加時を含め、適切な流量管理を検討することが必要である。少なくとも、MBR 系列においては、膜分離の上限水量が処理可能最大量となることから、この量を超えて MBR 系への流入を行うことができず、流量調整池を活用するか、従来方式の他系列への流入量を増加させるなどの対策が必要となる。

逆に、MBR 系列は、一定量（処理能力＝日最大）で処理を行うのが基本であり、MBR 系列に通日で日最大水量を流下させると、従来系（従来方式による処理系列）への流入水量は、時間変動は大きくなるものの日間合計水量としては小さくなる。このことは、流量調整池を利用するなどピーク流量時の対応が可能であれば、日間水量としてみた場合の、従来系列における生物反応槽 HRT が短縮化でき、処理の高度化に繋がる。



計算条件

- ・ 計画下水量は、一般的な大規模下水処理場での変動パターンを模した
- ・ MBR 系の処理能力と従来系の処理能力は 1:1 とする
- ・ MBR 系へ、処理能力（計画日最大）の一定流量とし、残量を従来系へ流下させるとした

図 3-2 MBR と従来法の併用処理における流入パターンの例

3) 最初沈澱池の活用

MBR 系列は、最初沈澱池は必須要件ではなく、省略・減少することが可能であるが、夾雑物の除去の観点からは、最初沈澱池の使用は膜ユニットの保全効果が期待できる。

しかしながら、生物学的りん除去を考慮する処理フローにおいては、最初沈澱池における有機物除去がりん除去性能へ悪影響を及ぼすことも考えられ、処理フロー、目標処理水質等を勘案し、最初沈澱池の使用の有無（池数の削減を含む）について十分な検討を要する。

なお、既設最初沈澱池を使用しない場合には、他の用途（流量調整池，雨水貯留槽，最終沈殿池や生物反応槽，など）への転用について検討する。

4) 最終沈殿池の活用

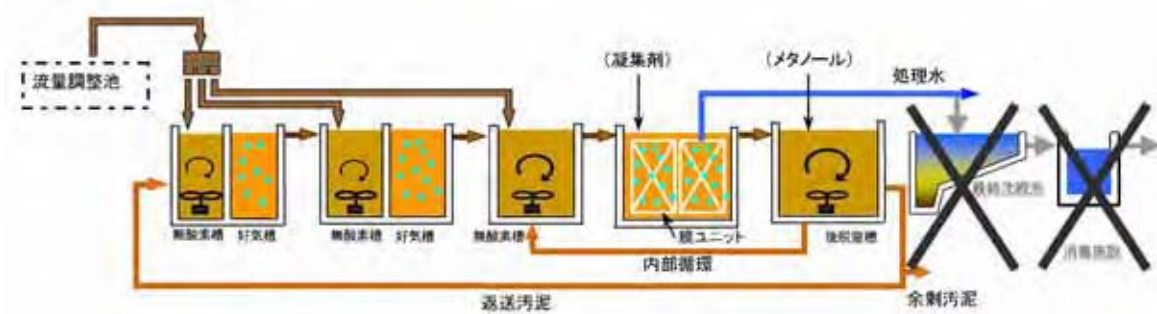
MBR 系列では最終沈殿池が不要となるため、基本的には、従来系列の最終沈殿池として利用することができる。

既設処理施設の高度化においては、最終沈殿池の能力（水面積負荷）が律速となり、生物反応槽の MLSS を上昇させることが出来ない場合も多い。MBR に改造する系列の最終沈殿池を利用できることは、従来方式の系列としては、最終沈殿池の水面積が拡大されることとなり、水量が同じであっても MLSS を高くとる（処理の高度化）が可能となる。

5) MBR 系列の設定

処理場全体として、水質の高度化が必要な場合、一部系列で MBR 導入することにより、処理場全体としての処理水（系列全体の処理水質加重平均）の水質が向上する。すなわち、全体の目標水質を勘案しながら、一部系列のみの高度化で、処理場としての目標処理水質を達成することが可能となる場合がある。

ここで、MBR 系で得られる処理水質により、他の従来型の処理方式の系列に求められる処理水水質のレベルに影響してくる。MBR では、高 MLSS 運転が可能であり、汚泥管理（処理水の SS 管理）が容易であることから、MBR 系をより高度化することにより、従来系の負担を軽くすることもでき、ハイブリッド MBR の特徴の一つといえる。日本下水道事業団で、大規模下水処理場へ適用する MBR として、膜ステップ流入式多段硝化脱窒法（膜ステップ多段法）の開発を行っている（図 3-2 参照）。



日本下水道事業団 WEBPage より

図 3-3 膜ステップ流入式多段硝化脱窒法の開発の例

また、再利用等の目的で MBR を導入する場合には、再利用必要水量分についてのみ MBR を導入することもありえる。

このように、必要最小限での MBR 導入を行うことで、コストの高騰を抑えることが期待される。

3.4 MBR と従来法の併用処理の計画手順

MBR と従来法の併用処理を検討する場合は、MBR 系及び従来系それぞれ独立しての検討に加え、混在することによる影響を勘案した検討を行う。

【解説】

MBR と従来法の併用処理においては、同一処理場内で異なる処理方式の系列が混在することとなり、その計画・管理において、多方面から勘案する必要がある。

基本的には、それぞれの処理方式に応じた計画を行うが、複数の処理方式の組み合わせにより、処理性能及びコスト等の面で、最適な組み合わせや施設検討を行うものとする。

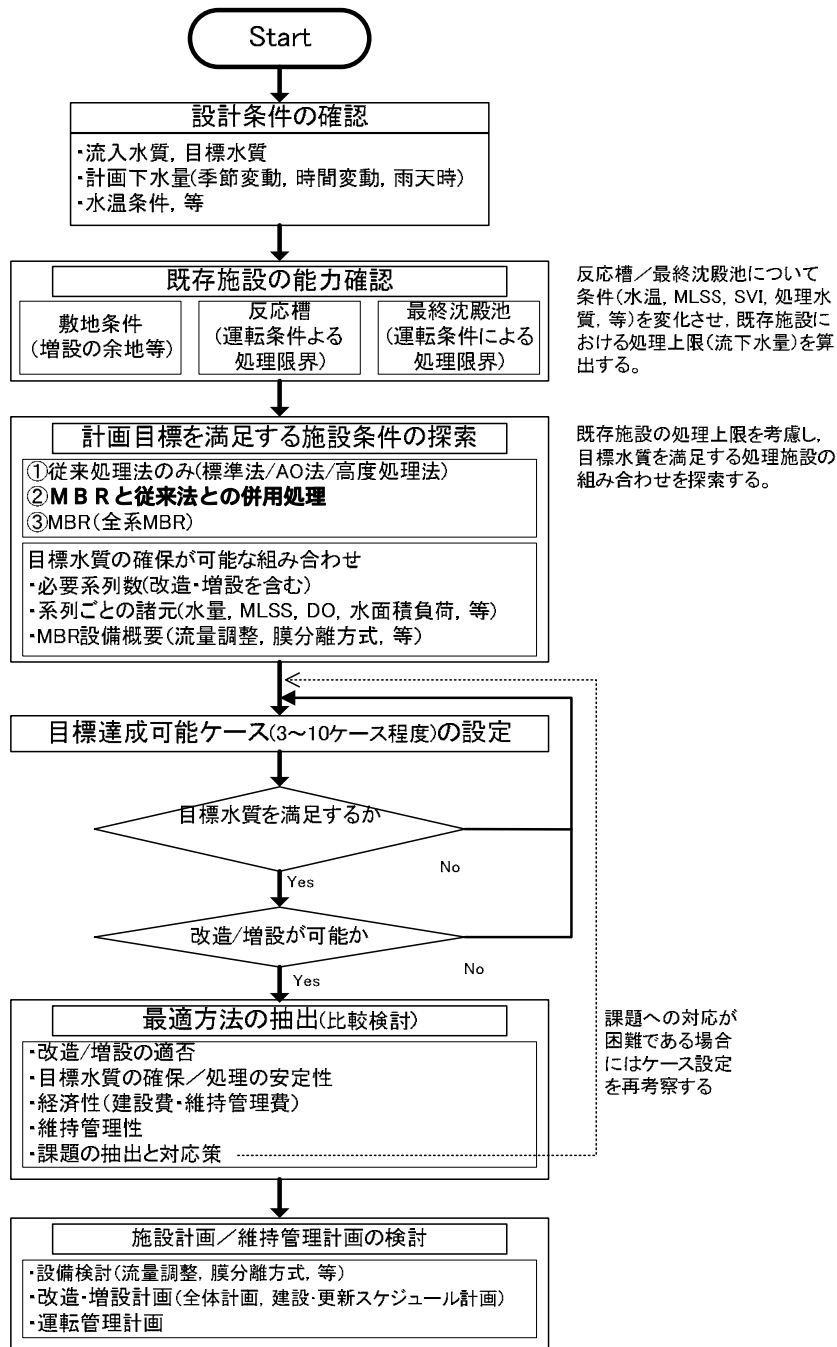


図 3-4 MBR と従来法の併用処理の計画フロー

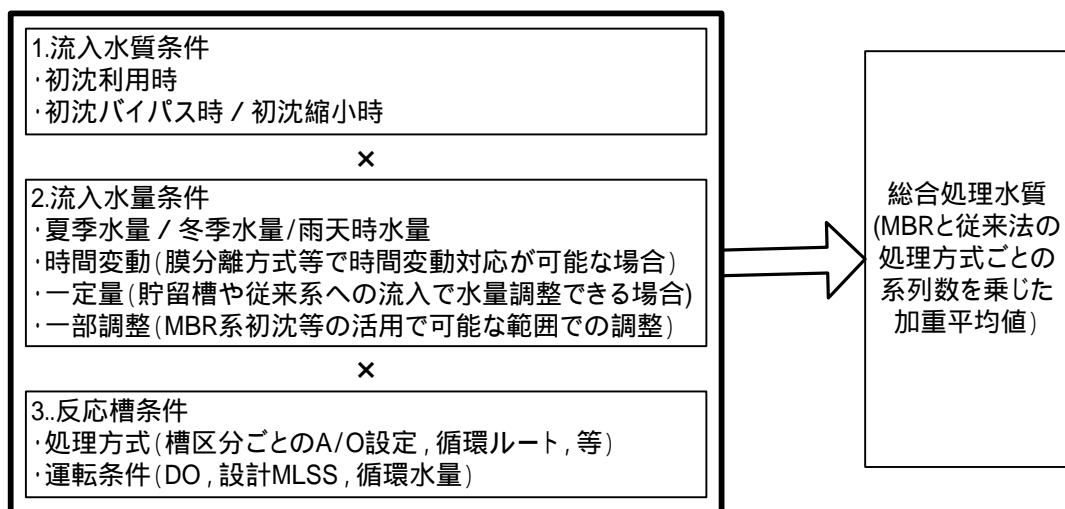
MBR と従来法の併用処理では、MBR 系列数や流入条件により、従来方式の運転条件も変化することとなり、設計諸元等による検討だけでは、全体の処理効果を評価することが困難である。例えば、MBR 系列に一定流量で流下させる場合には、MBR 系列数に応じて、従来方式系列への流量変動パターンも変化してくる。

また、窒素・りん同時除去を目的とした場合など、最初沈殿池の有無による生物反応槽へ

の流入水質は、窒素除去およびりん除去に対して、トレードオフとなることが考えられ、最適運転条件の探索が必要となる。また、既存施設の一部を流量調整池等として転用する効果についても、評価が必要となる。

処理場全体の処理水質の検証を行うにあたり、活性汚泥モデル等の水質シミュレーション結果を参考とすることも一つの方法である。

通常は、従来方式による高度化よりも、MBR と従来法の併用処理において、処理水質の水準は高く維持されることが推測される。また、MBR と従来法の併用処理の場合、MBR 系列に一定水量を流下させ、他系列で処理場全体の水量変動を受け持つこととなる場合でも、処理場全体としての水質は、十分に目標を満足するものと考えられるが、系列数や運転条件によっても異なるため、計画された条件かで検討を行い、最適な組み合わせや運転条件を探索することが必要となる。



MBR への流入条件に応じ、従来方式系列への流入条件も変化することに留意

図 3-5 処理水質の検証にあたり考慮する項目の例

3.5 コスト検討

コスト検討においては、既存施設をどのように活用するかを十分に整理し、必要な改造や膜分離装置の設置にかかるコストを検討する。

【解説】

コストに関する情報については、現在、関係団体等からの協力を受けながら鋭意資料の整理を行っております。しかしながら、今回の委員会までに、まとまった形で、コストに関する十分な記載をおこなうことができませんでした

次回の委員会には、導入コストに関する記載を充実させた形でご審議いただけるようガイドライン(案)の作成を進めます。

第4章 処理水再利用への導入に関する検討

本章は、膜処理技術を下水処理水の再生処理技術として導入する場合に、期待される効果と膜による再生処理システムの選定手順及び再生処理施設の設計事例を中心に記述するものとし、膜処理技術の基本的事項等については第 1 章及び第 2 章によるものとする。

4.1 処理水再利用への導入に際しての膜処理技術導入の意義

膜処理技術導入の意義としては、次の事項が挙げられる。

- ・ 広範囲な水質項目に効果が期待できる。
- ・ 再生処理水質が安定かつ良好である。
- ・ 再生処理設備がコンパクトである。
- ・ 設備の始動，停止が任意に行える。
- ・ 自動監視機器の使用により運転管理が容易である。

【解説】

1) 美観に関わる期待

これまでの処理水再利用については、地域の水需給の逼迫の程度によりその状況に応じて推進されてきている。一方、これまでの普及促進の過程の中で、再生水の水質に起因した利用者からの苦情が少なからず生じている。

平成 17 年 4 月に策定された「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」では、再生水の苦情・トラブルに関するアンケート調査結果より、それまでの実績において水洗（トイレ）用水や修景・親水用水の美観・快適性についての苦情件数（表 4-1 参照）が多く発生しており、このような利用者の不快感を招かないよう留意する必要があるとしている。たとえ理科学的な水質基準値を満足していたとしても、利用者が感じる視覚、臭覚などにより再生水の水質が評価されているためである。

表 4-1 美観・快適性に関わる苦情件数

事象	水洗用水	散水用水	修景用水	親水用水	合計
色	4			1	5
濁り	3			1	4
臭気	2		1		3
汚れ	付着物	3			3
	藻類		3	5	8
ユスリカ	5		1		6

2) 膜の種類と水質

膜処理技術は、BOD などの理科学的な水質を良好なものとするだけでなく、このような再生水の美観・快適性を改善する技術として、きわめて優れた広範囲の効果を発揮する。

「下水道施設計画・設計指針と解説 2001 年版²⁷⁾」によれば、再生水の色、臭気などの美

観・快適性を確保するための効果的な再生処理方式として、オゾン、活性炭、UF 膜、RO 膜などによる方法が挙げられている。また、塩素以外の効果のある消毒法としては、オゾン、紫外線、UF 膜、RO 膜などによるものが挙げられている。なかでも RO 膜等の膜処理は濁度及び BOD の除去効果を併せ持っている（表 4-2 参照）。

表 4-2 水質項目別再生処理法の例²⁷⁾

大分類	中分類	小分類	有機物等の生物処理法～硝化法	浮遊物質等の物理化学的処理法			溶解性物質等の物理化学的処理法				消毒法			
			生物膜ろ過法	急速砂ろ過法	凝集沈殿法	凝集ろ過法	活性炭吸着法	限外ろ過法	逆浸透法	オゾン酸化法	塩素消毒	オゾン消毒	紫外線消毒	
基本的水質項目	衛生項目	大腸菌群数												
	環境項目	BOD												
		pH												
	美観維持項目	濁度												
		臭気												
色度														
用途別水質項目	美観維持項目	発砲原因物質												
		無機性炭素												
	魚類生息項目	溶存酸素												
		アンモニア性窒素												
		残留塩素										()	()	

凡	(処理対象): 概略除去率90%以上 (処理対象): 概略除去率50%以上 (除去率は、溶存酸素を除く。)
例	(有効): 概略除去率20%～50%以上 : pH調整

注・平均的二次処理水を対象とした概略除去率を示している。
・pHは処理過程で調整を要する可能性のあるものである。
・()は残留塩素の問題が無いことを示している。

上記は、生物処理（二次処理施設または窒素・りん等の高度処理施設等）の後段に付加して用いる方法であるが、この他に、採用が増えつつある MBR（MF 膜）の処理水質が、大腸菌（または大腸菌群数）、BOD、濁度等については、上記の再生処理法によるものと同等のものが直接得られことから、付加施設の要らない再生処理機能を持った下水処理プロセスとして注目されている。

3) 省スペース, 自動制御

膜モジュールは、大きなろ過面積を集積したケーシングタイプのものが使用されるため、設置面積の省スペース化が図れる。また、監視項目は、膜差圧、膜ろ過水量、膜ろ過水の濁度、電気伝導度などであり、自動監視と自動システム制御が可能である。

4.2 膜による再生処理システムの選定

膜による再生処理システムの選定にあたっては、次の事項を検討する。

- ・再生処理施設能力の設定
- ・再生水の目標水質の検討
- ・膜の種類を選定
- ・前処理設備の検討
- ・再生処理フローの選定

【解説】

膜による再生処理システムの選定フローを下図に示した。システムの選定にあたっては、再生水の需要量，供給可能水量，原水水質，用途別目標水質等について，事前に調査・検討しておく必要がある。

特に，膜処理技術は，その原水となる前段の処理プロセス（二次処理，高度処理，MBR 処理など）の処理水質によって，内容が大きく異なってくることに留意する。

以下に，再生処理システム選定のための検討内容について示す。

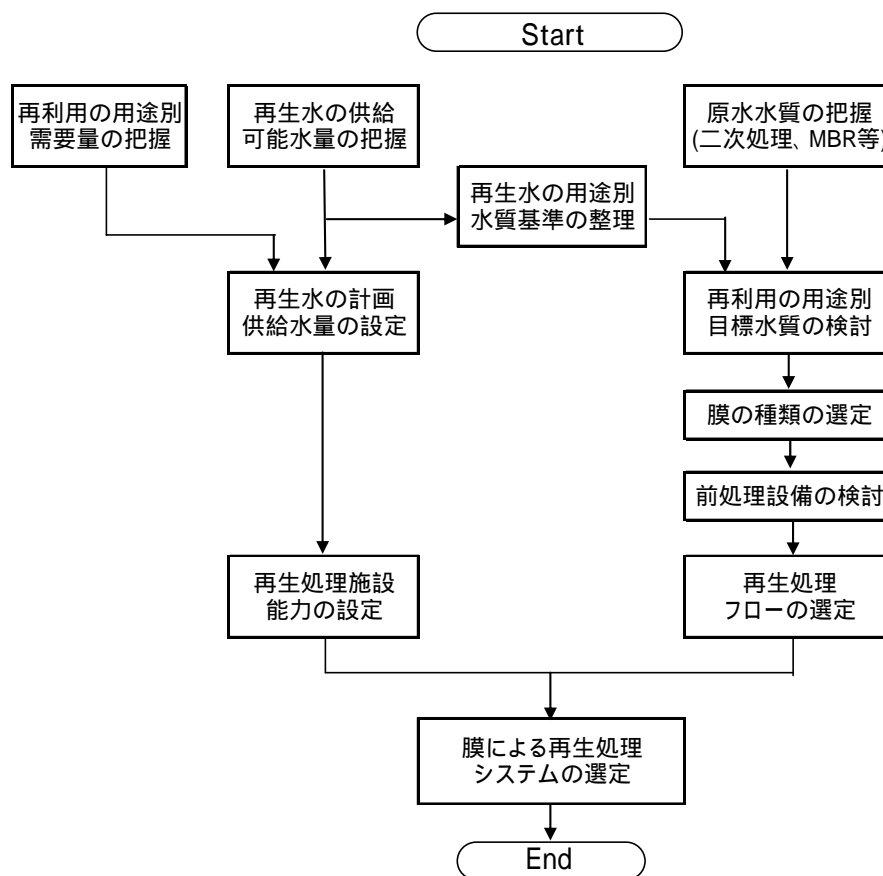


図 4-1 膜による再生処理システムの選定フロー

4.2.1 再生処理施設能力の設定

再生処理施設能力の設定にあたっては、再生水の用途別需要量及び供給可能水量を把握するとともに、再生水の計画供給水量について検討し、現況及び将来にわたって過不足のない再生処理施設能力を設定する。

【解説】

1) 用途別需要量の把握

用途別の需要量を的確に把握するためには、供給先の需要者を対象として再生水の利用施設概要、利用用途、使用水量などについて、アンケート調査、ヒアリング調査等を行うことが望ましい。

なお、再生水の利用施設が「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」(通称、ビル管理法)に該当する場合は、下水処理水の再生水は水洗便所以外の用途には使用できないことに留意する。

2) 供給可能水量の把握

再生水の供給可能水量は、当該処理場の処理能力及び流入下水量の実績値等に基づくものとし、流入下水量の季節的、経時的変動等を考慮して検討する。

なお、再生処理施設に膜処理を採用する場合には、その利用率(再生水供給量/流入下水量)によっては、濃縮水の返流による下水処理機能及び放流水質に影響を及ぼす可能性があることに留意する。

3) 再生水供給水量及び再生処理施設能力の設定

上記の調査・検討結果を勘案し、再生水供給計画(現況及び将来)における供給水量を設定するとともに、再生水の供給先での使用水量の変動等を考慮した上で、再生処理施設能力を設定する。

4.2.2 再生水の目標水質の検討

再生水の目標水質の検討にあたっては、需要者の利用用途別に公的水質基準等に基づき、適正な目標水質について検討する。

【解説】

1) 利用用途

再利用用途に対して考慮すべき水質項目を把握するとともに、公的水質基準および利用者の要望等に基づき、用途別の目標水質について検討する。

下水処理水を再利用する際の利用用途は、利用施設の事業計画などより異なるが、以下のような用途が想定される。

- a) 水洗便所用水
- b) 公園，植樹・道路等の散水用水
- c) 公園，せせらぎ等の修景・親水用水
- d) 防火用水
- e) 事業場の冷却用水・設備用水など(工業用水)

2) 用途別の公的な水質基準

下水処理水の再利用に関する基準等

「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」では，下水処理水の再利用を行う上で問題となる衛生学的安全性，配管の腐食・閉塞等の施設障害防止及び快適性確保の観点から，下水処理水再利用に関する技術上の諸基準について検討し，水質基準等を設定(表 4-3)している。

建築物における雑用水利用に関する基準

「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」においては，施行規則により雑用水に関する衛生上の基準(表 4-4)を定めている。

工業用水に関する基準

工業用水の水質に係る基準としては，工業用水協会により，提示されている標準水質，経済産業省の調査により提示された，需要者の 90%が満足する水質及び需要者が好ましいと考えるボイラー用水・冷却用水の水質など(表 4-5)がある。

表 4-3 再生水利用に関する技術上の基準(水質基準等及び施設基準)*

基準適用箇所	基準項目	水洗用水	散水用水	修景用水	親水用水	
再生処理施設出口	大腸菌	不検出 (検水量100mL；特定酵素基質培地法)		大腸菌群数1000CFU/100mL (暫定基準)	不検出 (検水量100mL；特定酵素基質培地法)	
	濁度	2度以下 (管理目標値) 注)		2度以下 (管理目標値)	2度以下	
	pH	5.8～8.6				
	外観	不快でないこと				
	色度	- (規定せず) (利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて基準値を設定)		40度以下 (利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて上乗せ基準値を設定)	10度以下	
	臭気	不快でないこと (利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて臭気強度を設定)				
責任分界点	残留塩素	遊離残留塩素0.1mg/L又は結合残留塩素0.4mg/L以上 (管理目標値)		- (規定せず)	遊離残留塩素0.1mg/L又は結合残留塩素0.4mg/L以上 (管理目標値)	
		・供給先で追加塩素注入を行う場合には個別の協定等に基づくこととしても良い	・消毒の残留効果が特に必要ない場合には適用しない ・供給先で追加塩素注入を行う場合には個別の協定等に基づくこととしても良い	・生態系保全の観点から塩素消毒以外の処理を行う場合があること及び人間が触れることを前提としない利用であるため規定しない	・消毒の残留効果が特に必要ない場合には適用しない ・供給先で追加塩素注入を行う場合には個別の協定等に基づくこととしても良い	
施設基準		砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設を設けること			凝集沈殿+砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設を設けること	

注) 管理目標値；常に遵守しなければならない基準値とは異なり、再生処理施設の運転管理において極力満足すべき目標値

* 「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」(国土交通省平成17年4月)より編集

表 4-4 雑用水水質基準*

基準項目	基準値	適用箇所
大腸菌	不検出	再生処理貯水槽
濁度	2度以下	
pH	5.8～8.6	
外観	ほとんど無色透明であること	
(色度)	規定なし(上記に含まれる)	
臭気	異常でないこと	
残留塩素	遊離残留塩素0.1mg/L又は結合残留塩素0.4mg/L以上	給水栓
備考	多数の人が使用又は利用する次の「特定建築物」。 床面積3,000m ² 以上の興行場・百貨店・集会場・図書館・博物館・美術館・遊技場、 店舗・事務所、学校、旅館。 雑用水の用途は、散水、修景、清掃、水洗便所。 ただし、～の原水はし尿を含まないもの。	

* 「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」施行規則(雑用水に関する衛生上の基準)

表 4-5 工業用水水質基準

項目	単位	工業用水供給水質			
		標準水質*1	経産省(90%値)*2	ボイラ-用水*3	冷却用水*3
水温	()		15～25		
塩化物イオン	(mg/L)	<80	<40	10	15
電気伝導率	(mS/m)				150
pH	(-)	6.5～8.0	6.7～7.9	7	7.5
M-アルカリ度	(mg/L)	<75	<70		50
全蒸発残留物	(mg/L)	<250	<220	100	
全硬度	(mg/L)	<120	<90	50	50
濁度	(度)	<20	<10	5	10
鉄	(mg/L)	<0.4			0.5
マンガン	(mg/L)	<0.2			
COD	(mg/L)			2.0	2.0
BOD	(mg/L)				1.0

出典:平成16年度「工業用水の水質把握等調査報告書」(経済産業省)

*1: 工業用水道供給水質標準値(日本工業用水協会制定)

*2: 満足すると考えられる水質範囲

*3: 工業用水用途別に見た場合の要望水質

4.2.3 膜の種類を選定

膜の種類を選定にあたっては、原水水質と用途別の目標水質を勘案し、これに見合った除去特性を有する膜を選定する。

【解説】

再利用を対象としたここでの膜の区分は、MF膜、UF膜、NF膜及びRO膜とするが、主にMF膜を使用しているMBRも対象とする。

下水処理水を膜処理技術により再利用する場合の前段の処理プロセスは、二次処理施設、高度処理施設(NP除去)、MBR処理施設などの生物処理プロセスである。膜処理水の水質は、上記の原水水質によって異なるが、MF膜/UF膜とNF膜/RO膜とでは大きく異なり、また、同種のものでも製品によって差が生じる。目標水質が工業用水利用など高い水準を要求される場合は、NF膜/RO膜が最終段に使用される。

原水(二次処理水)と膜処理水の水質事例を表 4-6～表 4-10に示す。

表 4-6 二次処理水と膜処理水の水質事例 ⁶⁾

項目	単位	二次処理水の例	膜処理水の例	
			MF/UF膜	NF/RO膜
pH	(-)	6.5~7.5	6.5~8.0	5.8~8.6
大腸菌群数	(個/mL)	3,000以下	不検出	不検出
M-アルカリ度	(mg/L)	50~100	二次処理水と同程度	50
全蒸発残留物	(mg/L)	300前後	二次処理水と同程度	20~150
塩化物イオン	(mg/L)	100前後	二次処理水と同程度	10~40
全硬度	(mg/L)	50~100	二次処理水と同程度	1~20
濁度	(度)	5~10	1以下	1以下
色度	(度)	20~40	15以下(凝集剤添加)	1以下
COD	(mg/L)	10~15	10以下	1以下
BOD	(mg/L)	5~15	3以下	1以下
T-N	(mg/L)	15~25	二次処理水と同程度	1~8
T-P	(mg/L)	1~3	2以下(凝集剤添加)	0.03以下

表 4-7 二次処理水と膜処理水の水質事例 ⁶⁾ 表 4-8 二次処理水と膜処理水の水質事例

分類	水質項目	二次処理水	MF膜ろ過水	RO(A)透過水	RO(B)透過水
A	外観	淡黄褐色	淡黄褐色	無色透明	無色透明
	臭気	微下水臭	微下水臭	無臭	無臭
	色度	38	25	<1	<1
B	濁度	14	<1	<1	<1
	SS	8	<1	<1	<1
C	TDS	623	637	84	271
	BOD	4	<1	<1	<1
D	COD _{mn}	16	10	<1	<1
	TOC	15	9	<1	<1
E	T-P	2.2	1.1	0.01	0.03
	T-N	31	30	4.2	17
F	TH ₂ -N	28	28	3.9	15
	pH	7.2	7.2	5.8	6.8
G	電気伝導率	132	133	14.5	71.1
	大腸菌群数	28×10 ⁴	0	0	0
H	黄便性大腸菌群数	49×10 ³	0	0	0

A: 感覚的指標 B: 固形物指標 C: 有機物指標 D: 富栄養化指標
E: 無機物指標 F: 衛生指標
単位: 濁度、色度 [度]; 大腸菌群数、黄便性大腸菌群数 [個/100 ml]
電気伝導率 [mS/m]; その他pH、外観、臭気以外の項目 [mg/l]

分類	項目	逆浸透法		膜外ろ過法	
		除去率(%)	除去率(%)	造水	造水
A	外観	無色透明	無臭	淡黄透明	微下水臭
	臭気	無臭	無臭	微下水臭	微下水臭
	色度	100	43	>67	>67
	濁度	>67	>67	>67	>67
B	MBAS	79	7		
	SS	100	100		
C	溶解性蒸発残留物	93	1		
	COD	95	47		
D	全リン	99	-		
	全窒素	80	-		
	アンモニア性窒素	83	-		
	硝酸性窒素	50	-		
E	導電率	91	-		
	ナトリウム	91	-		
	カルシウム	97	-		
	塩素イオン	90	-		
	硫酸イオン	99	-		
F	シリカ	85	-		

注) A 感覚的指標 単位
B 固形物指標 色度、濁度 [度]
C 有機物指標 導電率 $\mu\text{S/cm}$
D 富栄養化指標 その他 mg/l
E 無機物指標

表 4-9 NEWater(MF 膜/UF 膜)の水質 ⁶⁾

項目	単位	下水道	NEWater
pH	-	8~8.75	7~7.5*
電気伝導率	mS/m	12~16	10~18*
TOC	$\mu\text{g/l}$	900~1,100	70~150
Na	mg/l	2~3	15~20
Mg	mg/l	<0.1	<0.03
Ca	mg/l	10~15	0.01~0.02
シリカ	mg/l	3~4	0.6~0.7
ホウ素	$\mu\text{g/l}$	30~60	30~80
塩素イオン	mg/l	8~10	8~10
硫酸イオン	mg/l	15~20	<0.045
リン酸イオン	$\mu\text{g/l}$	<80	<80

*: pH調整水酸化ナトリウム添加後

表 4-10 オゾン処理と膜処理(MF 膜)を併用した処理水の水質事例 ¹⁶⁾

対象サンプル 分析項目	原水(二次処理水)	生物膜ろ過 処理水	オゾン耐性膜 処理水
外観	黄色いフロックが 浮遊	黄色い微細なフロ ックが浮遊	無色透明
臭気	微力ビ臭	微力ビ臭	ややオゾン臭
COD (mg/L)	15.0	13.4	8.1
SS (mg/L)	10.3	3.2	0.0
濁度 (度)	9.4	5.2	<0.1
色度 (度)	(40)	(36)	3
アンモニア性窒素 (mg/L)	12.2	3.7	-
亜硝酸性窒素 (mg/L)	1.43	-	ND
大腸菌群 (個/mL)	4.8×10^2	-	0

(注) 色度の()の数値は、ろ紙5種Cろ過液の測定値

また、MBR (MF 膜) の処理水と通常の二次処理水を比較した事例は、表 4-11のとおりであり、大腸菌群数、BOD、濁度は、親水用水の基準以下の値となっている(第1章「1.3.2(3)」参照)。

表 4-11 MBR(MF 膜)による処理水の事例¹⁰⁾

	既設処理場				膜分離活性汚泥法			
	初沈流入水		処理水		スクリーン後水		処理水	
	第1回	第2回	第1回	第2回	第1回	第2回	第1回	第2回
大腸菌群数 [MPN/100ml]	7.90E+07	1.30E+07	2.20E+03	2.20E+02	7.90E+07	4.90E+06	0	0
BOD(mg/L)	99.7	207	1.5	1.5	176	238	<0.5	0.5
pH[-]	7.1(24°C)	7.4(24°C)	7.0(24°C)	7.1(24°C)	7.3(24°C)	7.3(24°C)	7.0 (24°C)	7.1 (24°C)
濁度[度]	75	125	2	3	150	150	<1	<1
臭気[-]	腐敗性臭 臭気	腐敗性臭 臭気	無臭	芳香性臭 臭気	腐敗性臭 臭気	腐敗性臭 臭気	土臭	無臭
色度[度]	150	200	20	24	300	250	20	14

また、下水処理水の親水利用を目的にした場合の膜の選定例は、表 4-12のとおりである。

表 4-12 落合処理場下水再利用設備の仕様⁶⁾

	MF膜	RO膜
膜材質	ポリプロピレン	ピペラジンポリアミド
阻水性	0.2 μm	塩阻止率 97 %
エレメント形状	外圧中空糸	4 インチ・スパイラル
膜本数	2 m ² /本、15 本	12 本
膜ろ過流量	2.2 m ³ /d	0.6 m ³ /d
逆洗	150 分間隔	-
水回収率	92 %	77 %
進水pH	6.5	6.5
殺菌剤	残留塩素含まないこと	有残留塩素 1 mg/l以下
スケール防止剤	なし	なし

4.2.4 前処理設備の検討

前処理設備の検討にあたっては、膜の処理性能が前処理工程により大きく影響を受けるため、原水水質、選定した膜の特性、膜のファウリング(目詰まり)の発生頻度等を考慮する。

【解説】

前処理工程は、膜を用いたシステムにおいて膜の目詰まり(ファウリング)等を防止する

ための非常に重要なものであり、膜処理のトラブルの多くは前処理に起因している。前処理には、凝集剤の添加処理などが採用されていたが、現在では RO 膜の前処理では、MF 膜/UF 膜を用いる場合が多い。

なお、ファウリングによる膜透過流束の変化を定量的に予測できる場合もあるが、現状では多くの場合は予測が困難となっている。そのため、原水の性状や操作条件から膜透過流束を予測することができず、実験により膜透過流束を実測し、その値に基づいて前処理設備を検討することが望ましい。

4.2.5 再生処理フローの選定

再生処理フローの選定にあたっては、前処理工程と膜処理により得られる水質を想定し、必要があれば後処理工程を付加する。

【解説】

膜処理施設の工程は、前処理工程と主体となる膜処理工程の 2 つに大別され、前述したように、現在では、前処理設備として MF 膜/UF 膜が用いられるケースが多い。

なお、必要によってさらに後段に後処理工程を付加する場合がある。シンガポール NEWater の例に見るように膜処理の後段に UV による消毒施設を設ける場合もある（第 1 章「1.3.2(3)」参照）。

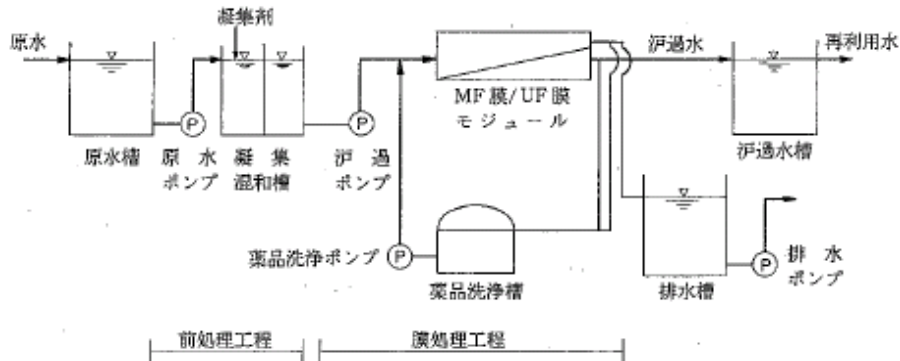


図 4-2 MF 膜/UF 膜処理のシステム構成例

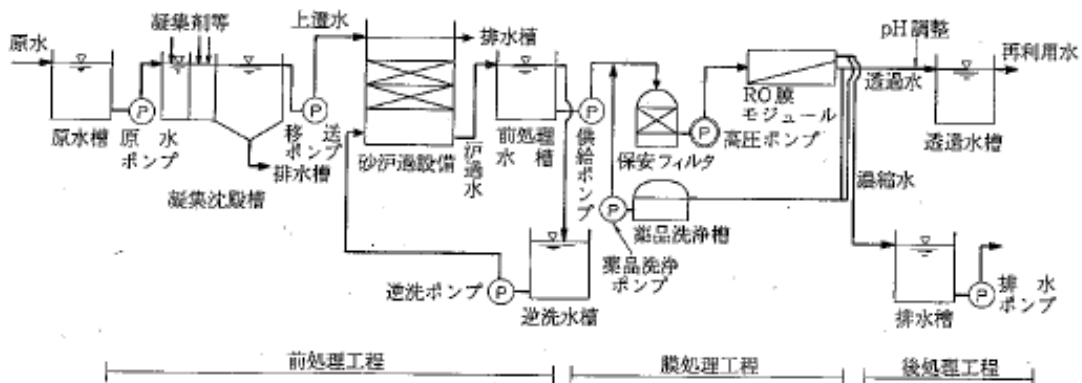


図 4-3 NF 膜/RO 膜処理のシステム構成例

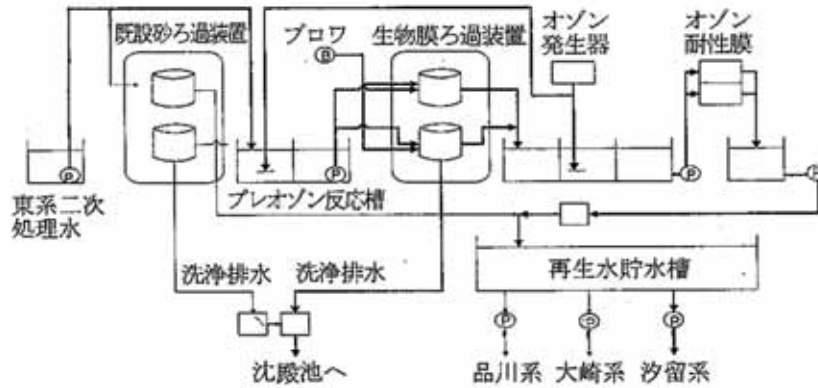


図 4-4 芝浦水再生センターの膜処理システムの構成例

これらの他、現時点では実験レベルのものであるが、MBR と RO 膜を組み合わせた技術も開発されつつあり、これによれば RO 膜の前処理設備を省くことができ、再生水の処理コストの大幅な低減が可能となると考えられる。その事例のフローを図 4-5及び図 4-6に示す。

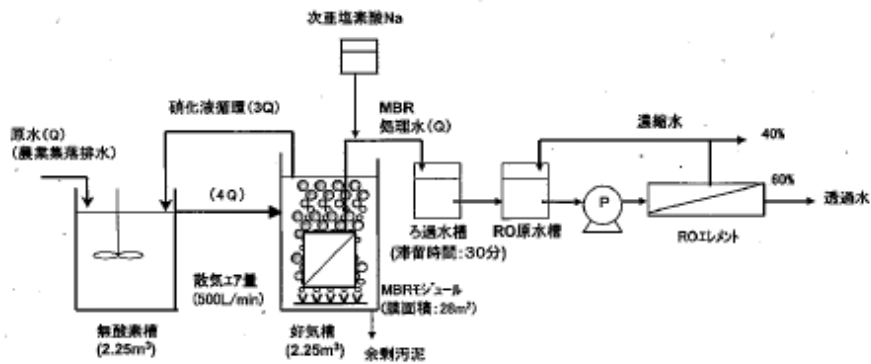


図1 実験装置フロー

図 4-5 MBR と RO 膜との組み合わせ技術 (実験フロー) ²⁸⁾

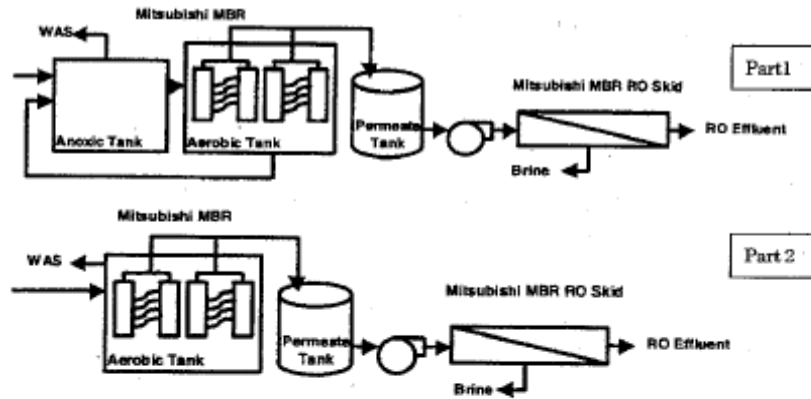


図 3 RO との組み合わせによる試験フロー

表 2 RO との組み合わせによる試験条件

Test Condition
Feed Water : Municipal raw sewage (passed through a screen)
MBR Specifications :
Flow Rate 44m ³ /day
Membrane area 100m ² (Flux 0.44m ³ /m ² /day)
Membrane Pore size 0.4μm
MLSS 8,000-10,000mg/L
HRT 6.1hrs (Part1) 3.8hrs (Part2)
SRT 10-20days (Part1) 7-10days (Part2)
RO Pilot Units :
Dow/Filmtec low-pressure polyamide BW30-4040 RO Membranes

図 4-6 MBR と RO 膜との組み合わせ技術（試験フロー）²⁵⁾

4.3 留意事項

フローの検討，施設設計にあたり，下記の膜処理技術のメリット，デメリット等についても十分に留意する。

- 1) 膜の長寿命化と価格
- 2) 膜処理技術の開発動向
- 3) 膜処理に伴って発生する汚泥及び濃縮水の処理

【解説】

1) 膜の長寿命化と価格

膜の劣化は，再生水の処理コストに大きく跳ね返る要因であるが，ここ十数年で当初 3～5 年程度とされていたものが，膜素材，加工技術などの向上により，現在では，有機膜では 7～10 年程度，無機膜で 15 年程度という製品も開発され，かつ，膜の価格も安価となる傾向が認められている。

このような状況から，これまでの再生水利用が非常に高額なものであるとの認識が変わりつつあり，今後もその傾向は継続するものと考えられ，下水処理水の再利用にあたって，

膜処理技術の導入について積極的に検討する必要がある。

2) 膜処理技術の開発動向

前述した MBR と RO 膜の事例のように、膜処理技術は単体のみの利用ではなく、他の技術との組み合わせた技術として、今後、さらに開発・実用化の可能性が期待されており、急速な進展が起こりうる分野と考えられ、その動向について注視しておく必要がある。

3) 膜処理に伴って発生する汚泥及び濃縮水の処理

膜処理技術のデメリットとして、次のような事項が挙げられる。

沈殿汚泥、濃縮水の処理

処理場への影響

廃棄膜モジュール(大量のプラスチック廃材)の取り扱い

なお、RO 処理に伴って生じる濃縮水は塩分や難生物分解性物質を高濃度で含むことから、これが処理場に返流されると、処理場本来の処理機能に支障をもたらすケースや、放流水の水質・総量規制を遵守できない状況が懸念される。

特に流入下水量に占める再生処理水量の比率が高いほど、処理系内で循環濃縮傾向が顕著となることから注意が必要である。

4.4 膜処理施設導入コスト

イニシャルコスト及びランニングコスト算出は、下水処理水再利用事業計画策定にあたって、膜処理技術の導入可能性の有無を判断するために、きわめて重要である。

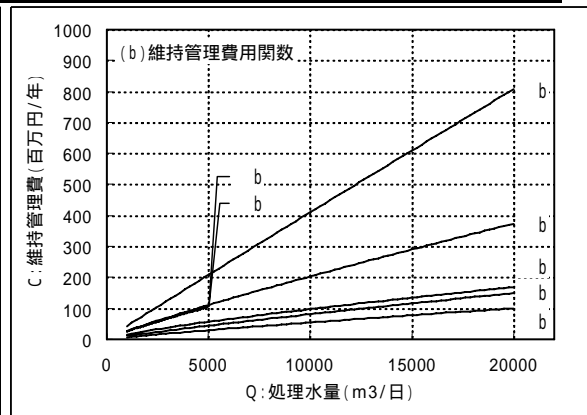
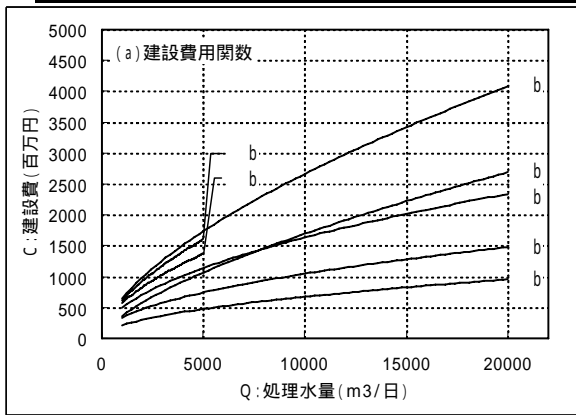
【解説】

膜処理施設導入コストの算出は、再利用施設の費用関数を用いて算定することができる。なお、イニシャルコストは前処理設備の内容によって大きく異なり、また、ランニングコストは、膜の耐用年数の設定で大きく異なる。

なお、参考として再生処理施設に関する費用関数をモデル計算により算出した例を示す。

参考；再生処理施設の費用関数の例（平成 18 年度 下水道関係調査研究年次報告書集）

再生処理費用関数					
区分	再生処理方法	建設費 (百万円)	維持管理費 (百万円/年)	適用範囲 (m ³ /日)	
	a 砂ろ過	$3.9335 \cdot Q^{0.5492}$	$0.0109 \cdot Q^{0.8542}$	Q 20,000	
	b 凝集剤添加 + 砂ろ過	$6.4927 \cdot Q^{0.5042}$	$0.0158 \cdot Q^{0.8846}$		
	a 砂ろ過 + オゾン	$11.139 \cdot Q^{0.5379}$	$0.0737 \cdot Q^{0.7471}$		
	b 凝集剤添加 + 砂ろ過 + オゾン	$13.815 \cdot Q^{0.5182}$	$0.0690 \cdot Q^{0.7879}$		
	a 砂ろ過 + 活性炭	$2.6684 \cdot Q^{0.6969}$	$0.0450 \cdot Q^{0.9828}$		
	b 凝集剤添加 + 砂ろ過 + 活性炭	$3.6453 \cdot Q^{0.6668}$	$0.0500 \cdot Q^{0.9785}$		
	a 砂ろ過 + オゾン + 活性炭	$7.6477 \cdot Q^{0.6331}$	$0.0576 \cdot Q^{0.8722}$		
	b 凝集剤添加 + 砂ろ過 + オゾン + 活性炭	$9.0958 \cdot Q^{0.6166}$	$0.0625 \cdot Q^{0.8780}$		
	b 凝集剤添加 + 砂ろ過 + RO膜ろ過	$13.101 \cdot Q^{0.5460}$	$0.0659 \cdot Q^{0.8653}$		Q 5,000
	b 凝集剤添加 + MF膜ろ過 + RO膜ろ過	$9.8560 \cdot Q^{0.5979}$	$0.0489 \cdot Q^{0.9056}$		
	a 砂ろ過 + 紫外線消毒	$7.9673 \cdot Q^{0.5239}$	$0.0203 \cdot Q^{0.8591}$	Q 20,000	
	b 凝集剤添加 + 砂ろ過 + 紫外線消毒	$10.962 \cdot Q^{0.4952}$	$0.0250 \cdot Q^{0.8781}$		
	塩素消毒	$17.688 \cdot Q^{0.0632}$	$0.0044 \cdot Q^{0.8903}$		



再生処理費用関数

再生処理費用（建設費及び維持管理費）の算出条件

モデル計算は、処理水量（Q）1,000、5,000、10,000及び20,000m³/dについて行う。ただし、及びは、1,000及び5,000m³/dについて行う。
 機械・電気設備の据付費、経費等は、機器費の80%とする。
 土木費は機器配置概略図より躯体空容量を求め、30千円/空-m³として算出する。
 建築費は機器配置概略図より床面積を求め、250千円/m²として算出する。
 機械・電気設備の補修費は、機器費の3%とする。
 活性炭の交換周期は前段が砂ろ過の場合に2回/年、砂ろ過+オゾンの場合に1回/2年とする。
 MF膜の交換周期は1回/3年、RO膜の交換周期は1回/5年とする。
 紫外線ランプの交換周期は、低圧ランプで1回/1.5年、中圧ランプで1回/年とする。
 電力単価は15円/kWhとし、基本電力を含めない。
 維持管理費に人件費は含めない。

【単位プロセス】とその主要な[設計諸元]

- 【前処理】[オートストレーナ]
- 【凝集剤添加】[注入率 5mg/L]
- 【砂ろ過】[ろ過速度 300m/d]
- 【オゾン処理】[注入率 10mg/L]
- 【活性炭処理】[ろ過速度 120m/d]
- 【MF膜ろ過】[外圧中空糸型]
- 【RO膜】[スパイラル型]
- 【紫外線消毒】[処理水量 10,000m³/d 以下は低圧ランプ，10,000m³/d 超は中圧ランプ]
- 【塩素消毒】[注入率 4mg/L]

【参考文献】

- 1)水循環の時代 膜を利用した水再生,(社)日本水環境学会・膜を利用した水処理技術研究委員会編,技報堂出版,(2008.2)
- 2)膜分離技術振興協会:浄水膜セミナー資料,(2006)
- 3)山本和夫:ナノろ過膜分離バイオリアクター(NFMBR)を用いた分散型解放水循環技術,ニューメンブレックノロジーシンポジウム 2004 SESSION5 p5-3-1~15,(2004)
- 4)綾日出教:膜分離技術の変遷 - 膜分離活性汚泥法を中心として,水環境学会誌,Vol.22 No.4 p242~247,(1999)
- 5)土木研究所:下水道関係調査研究年次報告書集「下水の超高度処理に関する研究(S48とS58)」,「下水処理水の再利用に関する調査(S61)」,(1973,1983,1986)
- 6)排水汚水 処理技術集成,NTS,(2007.5)
- 7)藤田ら,急速濾過・生物濾過・膜ろ過,技報堂出版
- 8)長岡裕:健全な水環境と水循環の創造のための膜技術の展開,水環境学会誌,Vol.29 No.7 p360~364,(2006)
- 9)濱野利夫:福岡の逆浸透膜海水淡水化施設,膜による造水技術シンポジウム 2005 p35~46,(2005)
- 10)膜分離活性汚泥法の技術評価に関する報告書,平成 15 年 11 月,日本下水道事業団技術開発部,(2003)
- 11)古山麻由子:既納入施設の膜交換状況(前編),㈱クボタ技術資料「Membrane Now!」Vol.2,p5,(2006)
- 12)下水道新技術推進機構:下水道膜処理システム技術マニュアル-1994 年度版,1995.6
- 13)糸川浩紀:ヨーロッパの MBR と日本の下水処理における MBR,ニューメンブレックノロジーシンポジウム 2007,SESSION7 P7-1-1~20,(2007)
- 14)(財)水道技術研究センター,浄水技術ガイドライン,(2000)
- 15)村上孝雄:膜分離活性汚泥法の下水処理への応用,水環境学会誌 Vol.29 No.7 P7~11,2006
- 16)石田恵一:生物膜ろ過,オゾン,オゾン耐性膜からなる再生水製造システムの開発・導入,下水道協会誌 Vol.41 No.499 P31~36,2004
- 17)Public Utility Board,Singapore 提供資料,2008.6
- 18)浄水膜(第 2 版),有限責任中間法人膜分離技術振興協会・膜浄水委員会監修,浄水膜(第 2 版)編集委員会編集,技報堂出版,P11,(2008.2)
- 19)平田強:クリプトスポリジウム汚染と浄水処理,粉体と工業,Vol.34 No.3 P75~83,(2002)
- 20)山本和夫:下水・排水処理における膜技術の新展開,ニューメンブレックノロジーシンポジウム 2007,SESSION7 P7-3-1~17,(2007)
- 21)糸川浩紀:特集膜分離技術 Q&A 膜分離活性汚泥法は小規模施設向けの技術なの?,月刊下水道 Vol.29 No.12 P30~32,(2006)
- 22)鬼塚卓也:欧米における膜処理技術の動向,ニューメンブレックノロジーシンポジウム 2003,SESSION7 P7-2-1~9,(2003)
- 23)関根康記他:膜分離活性汚泥法の空気量削減システムに関する検討,第 45 回下水道研究発表会,p280,(2008)
- 24)膜による水処理技術の新展開,シーエムシー出版,(2004.9)
- 26)南山瑞彦:再利用の促進に関する調査,平成 18 年度下水道関係調査研究年次報告書集,P25-30
- 27)日本下水道協会:下水道施設計画・設計指針と解説 2001 年版
- 28)斎藤孝一:H20 年度下水道研究発表会公演集 P491-493