
下水道への膜処理技術導入のための
ガイドライン[第 1 版](案)

平成 21 年 2 月 17 日
下水道膜処理技術会議

発刊にあたって

わが国の下水道人口普及率は平成 19 年度末で 71.7%を越え、依然として都市規模による格差は残っているものの一定の進捗が図られてきました。しかしながら、閉鎖性水域における水質改善や健全な水循環系の構築、老朽化施設の計画的な改築など、下水道事業が直面する課題は数多く残されておりあります。

閉鎖性水域における水質改善のための高度処理の実施状況については、平成 19 年度末の高度処理人口普及率は 15.7%程度と低水準にとどまっております。健全な水循環系の構築のための下水処理水再利用についても、処理水量全体の 1.4%（平成 18 年度末）が再利用されているに過ぎません。また、病原微生物や微量有害化学物質による水系リスクを低減していくためにも、今後、より一層の処理機能の高度化が求められるものと考えております。

また、都市部においては、処理施設の老朽化に伴い処理機能の高度化を含めた再構築を行うにあたり、用地の拡張が困難な中で現施設を運転しながら計画的に改築を進めていかなくてはなりません。

膜処理技術は、これらの課題を解決していく上で、今後、その中心となる処理技術として期待されています。

わが国の下水道分野では、膜処理技術はこれまで主として処理水の再生処理に適用されてきましたが、近年の膜技術の進展に伴う膜価格の低下などにより、再生処理以外の下水処理への適用が現実的なものとなってきています。

特に、膜分離活性汚泥法は、平成 20 年度末において 10 箇所の比較的小規模な下水処理場で導入されており、今後、改築需要の増大等を受けて中大規模施設への導入も進んでいくものと考えています。

今回、「下水道膜処理技術会議」で審議された結果をもとに、地方公共団体が下水処理への膜処理技術の導入を検討する際の技術資料として「下水道への膜処理技術導入のためのガイドライン [第 1 版] (案)」をとりまとめました。

本ガイドラインは、下水道分野を中心とした膜処理技術に関する基礎的な情報や最新の知見、膜処理技術を下水処理場へ導入するための検討方法について示しており、広く下水道関係者に活用して頂きたいと考えております。

平成 21 年 月

下水道膜処理技術会議
委員長 大垣 眞一郎

目次

発刊にあたって.....	i
第 1 章 本ガイドラインの位置付け.....	1
第 2 章 総 論.....	2
2.1 膜を利用した処理技術.....	2
2.1.1 膜開発の歴史.....	2
2.1.2 用語の定義.....	3
2.2 膜処理技術の概要.....	6
2.2.1 膜処理技術の概要と適用範囲.....	6
2.2.2 膜の種類.....	7
2.2.3 膜処理設備の概要.....	8
2.2.4 膜の洗浄.....	11
2.3 下水道への導入意義と導入ケース.....	13
2.3.1 膜処理技術の下水道への導入意義.....	13
2.3.2 下水道での膜処理方式.....	15
2.4 下水道分野における膜処理の現状.....	18
2.4.1 国内の下水道用膜処理施設の導入状況.....	18
2.4.2 海外の下水道用膜処理施設の導入状況.....	19
第 3 章 膜分離活性汚泥法（MBR）の導入.....	21
3.1 MBR の特徴.....	21
3.2 施設導入の検討事項.....	23
3.2.1 検討条件.....	23
3.2.2 水量変動対策.....	25
3.2.3 反応タンク.....	27
3.2.4 膜モジュール.....	28
3.2.5 汚泥処理設備.....	30
3.2.6 その他の留意事項.....	31
3.3 導入コスト.....	33
第 4 章 既設処理場への MBR 導入.....	36
4.1 MBR と従来法との並列処理の特徴.....	36
4.2 MBR と従来法との並列処理の場合の検討事項.....	38
4.2.1 新規系列増設，既設改造に共通の検討事項.....	40
4.2.2 新規系列増設の場合の検討事項.....	42
4.2.3 既設改造の場合の検討事項.....	43
4.3 導入コスト.....	45

第 5 章 再生処理施設への導入.....	47
5.1 再生処理への膜処理技術導入の特徴.....	47
5.2 膜による再生処理施設導入の検討事項.....	49
5.2.1 再生処理施設能力の設定.....	49
5.2.2 再生水の目標水質.....	50
5.2.3 膜の種類を選定.....	52
5.2.4 再生処理フロー.....	54
5.2.5 膜処理に伴って発生する濃縮水の処理.....	55
5.3 導入コスト.....	57
【膜処理技術の導入検討にあたって参考となる技術情報】.....	58
(1) 膜の耐用年数.....	59
(2) MBR 設計諸元例(JS 技術評価).....	60
(3) 膜コストに関する資料.....	75
(4) 再生処理施設の費用関数の例 ²⁶⁾	76
(5) 国内における MBR 適用事例における膜モジュールの諸元.....	77
【参考】.....	78
1. 膜処理技術を用いた展開.....	79
1.1 21 世紀の「循環のみち」形成と膜処理技術.....	79
1.2 次世代膜処理技術の開発研究.....	88
1.3 普及拡大に向けた今後の課題.....	89
2. 膜処理技術の開発研究について.....	91
3. その他参考資料.....	94
【参考文献】.....	97

第1章 本ガイドラインの位置付け

本ガイドラインは、現時点における、下水道分野を中心とした膜処理技術に関する基礎的な情報や最新の知見について整理するとともに、地方公共団体が下水道分野への膜処理技術の導入を検討する際の検討手順や留意事項を示したものである。具体的には、以下の事項について記載している。

膜処理技術の概要や下水道分野への膜処理技術導入の意義等（第 2 章）

膜分離活性汚泥法を主として新規の下水処理場に導入する場合の検討事項（第 3 章）

膜分離活性汚泥法を既設の下水処理場で導入する場合の検討事項（第 4 章）

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の検討事項（第 5 章）

ただし、膜処理技術は技術開発途上の段階にあり、今後とも大幅な低コスト化、省エネルギー化等が期待される技術である。このため、本ガイドラインで記載しているコストや検討諸元等の数値については、あくまで現段階での参考値であることに留意する必要がある。

また、膜処理技術は、閉鎖性水域の水質改善のための高度処理、病原微生物等の水系リスク低減、下水処理場の再構築等、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ことから、巻末に資料として下水道分野における膜処理技術を用いた今後の展開について記載した。

なお、本ガイドラインは今後の技術開発の動向やわが国における膜処理技術の導入事例の増加等をふまえて適宜改訂を予定している。

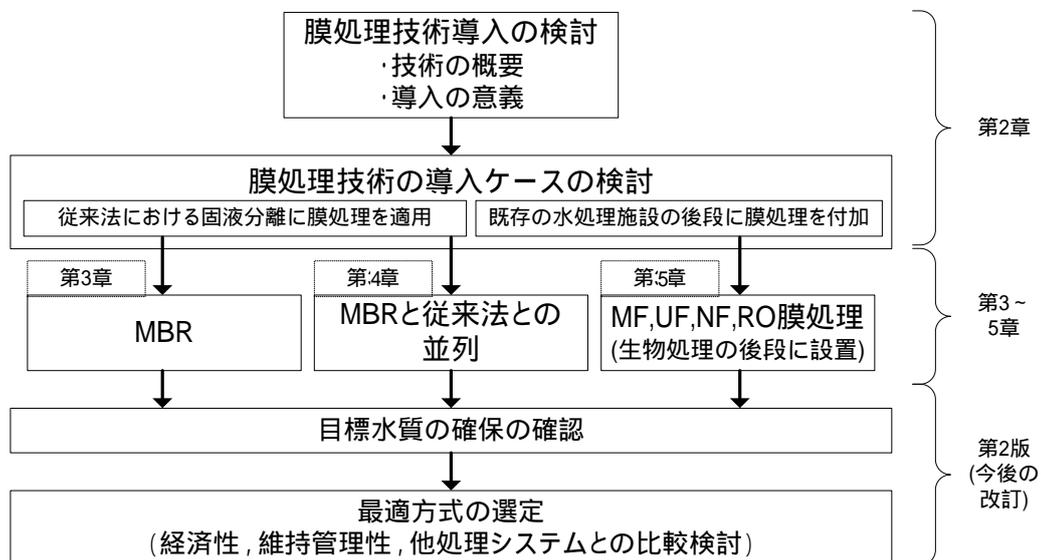


図 1-1 ガイドラインの内容

「小規模水道における膜ろ過施設維持管理マニュアル」及び「膜ろ過高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がっている。また、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、日本における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、下水処理水の再利用に関する膜処理技術の開発が開始され、1979年に大阪市水道局庁舎内で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型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（以下「JS」という。）により最終沈殿池の代替え及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、MBRを導入した公共下水道終末処理場の供用開始がなされた。また、2009年3月までの予定で、大規模処理場の改築・高機能化等の多様な目的に適した膜分離活性汚泥法の開発（共同研究）が行われている。

2.1.2 用語の定義

膜処理： 分離機能を持つ固体の薄膜を利用し、対象物質と溶液をその大きさで分ける（サイズ分離）という特徴を使用した分離（処理）技術。固液分離のみを行う場合は、処理を伴わない膜分離技術であるとして、生物処理との組み合わせである MBR 等の膜処理技術と区別する場合もあるが、本ガイドラインでは、いずれも「膜処理」と称す。

セラミック膜： セラミックの多孔質支持体に微細孔の分離層（膜）を形成したもの。有機系材質に比べ機械的強度が強く、耐久性、耐熱性、耐食性などにすぐれる。

膜の種類： 排水処理分野の膜処理に使用されるものは、主として次のように分類される。

孔径：精密ろ過（MF）、限外ろ過（UF）、ナノろ過（NF）、逆浸透（RO）

材質：有機膜、無機膜

形状：中空糸膜、平膜、管状膜、モノリス

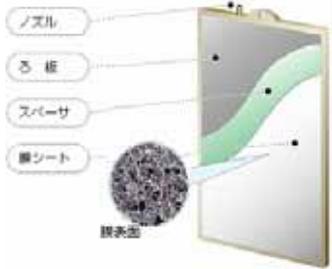
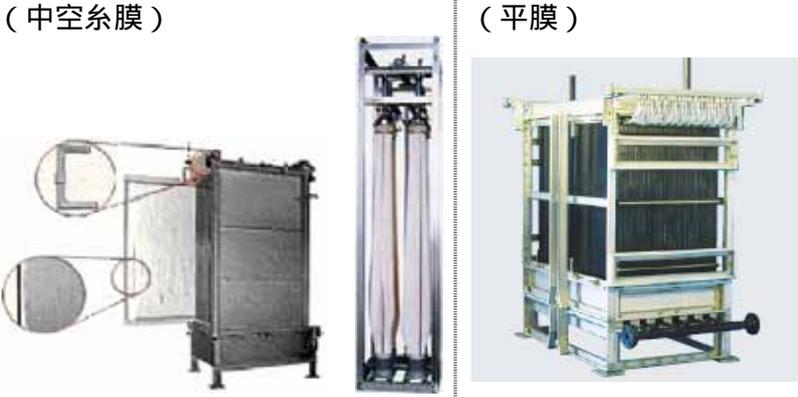
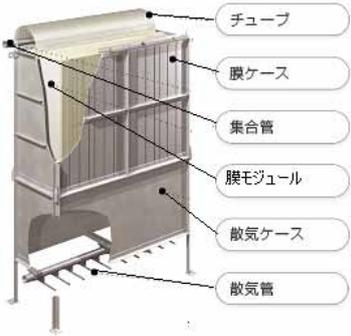
膜エレメント： 膜とその支持体及び流路部などの部材を一体化した機器をいう。

膜モジュール： 膜エレメントを水処理設備・装置などに組み込んで加工した機器をいう。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り、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。中空糸型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または複数本で、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）などを含む装置をいう。

「膜エレメント」「膜モジュール」「膜ユニット」は、厳密に区別して呼称されているものではなく、種類や形状、開発したメーカーによっても異なる呼称が使われており、本ガイドラインでは、これらを「膜モジュール」として総称する。

<p>【膜の例】</p> 	<p>【膜エレメントの例】</p> 	<p>【膜モジュールの例】 (中空系膜)</p>  <p>(平膜)</p> 	
<p>膜(中空系)</p>	<p>多数の膜(中空系)が両端の集水管によって固定されたもの</p>	<p>複数の膜エレメントを組み合わせ一体化させたもの</p>	<p>シート状の膜(平膜)を支持体に取り付けたもの ("膜モジュールエレメント", "膜カートリッジ"と呼ばれることもある)</p>
<p>【膜ユニットの例】(浸漬型) (中空系膜)</p>  <p>(平膜)</p>  <p>膜エレメント，集合管，膜ケース，散気ケース，散気装置からなるもの</p>			

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分離技術を適用した処理方法。通常、MF 膜が用いられる。膜モジュールの設置方式により、便宜的に、浸漬型（一体型）、浸漬型（槽別置型）、槽外型の 3 種の型式に分類される（表 2-7 参照）。

ファウリング：膜処理において時間経過とともに、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）

膜差圧：ろ過水を得るために必要な圧力。膜間差圧，ろ過差圧と表現される場合もある。

従来法：本ガイドラインにおいては，下水道法施行令（H18 改訂）に示される沈降分離による処理方式（標準活性汚泥法，循環式硝化脱窒法，嫌気無酸素好気法，等）を指す。

MBR と従来法との並列処理：本ガイドラインにおいては，同一処理場内で，MBR と従来法の処理方式とが並列されることを指す。この場合，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となる。ハイブリッド MBR と呼ばれることもある。

再生処理施設：「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル²⁵⁾」に準じ，再生水として利用可能な水質の下水処理水を得るため，一般的な下水処理施設に付加する処理施設。

施設，設備，装置，機器：「下水道施設計画・設計指針と解説²⁷⁾」に準じ，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（下水道施設，処理施設，等）

設備：方式化されて機能するもの（前処理設備，膜処理設備，消毒設備，等）

装置：機器が集まり単体として作動するもの（散気装置，膜ユニット，等）

機器：機械，器械等（装置，設備を構成するもの，膜モジュール，等）

2.2 膜処理技術の概要

2.2.1 膜処理技術の概要と適用範囲

(1) 膜処理技術の概要

膜処理技術は、膜に供給水を通水し、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⁾。

特に下水処理分野では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、従来法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期待される。

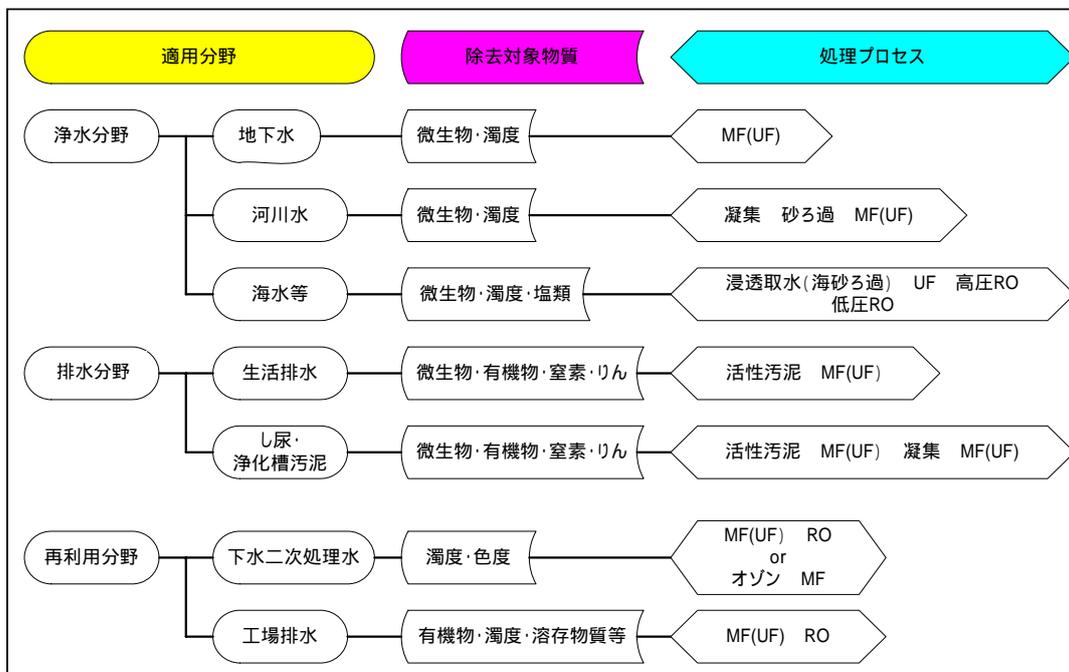
(2) 膜処理技術の適用範囲

膜処理技術は幅広い分野において応用され、物質の分離・精製技術として不可欠な技術となっている。

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）
- ・ 水処理（海水淡水化，水道，排水処理，排水クローズドシステム）
- ・ 燃料電池
- ・ その他

浄水・排水処理における膜処理技術の主な適用分野と処理プロセス例は、図 2-2 のとおりである。



文献 8)及び文献 9)より作成

図 2-2 浄水・排水処理における膜処理技術の主な適用分野と処理プロセス例

2.2.2 膜の種類

(1) 膜の孔径

浄水・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 膜がある。(表 2-1、図 2-3 参照)

MF (精密ろ過：microfiltration) 膜

MF 膜は、0.01 ~ 0.4 μm 程度の孔径を持っており、微細な粒子や細菌を分離・除去するものである。膜の孔径は、SS 測定用のろ紙 (孔径 1 μm) や大腸菌等の細菌の大きさ (概ね 1 μm 程度) よりも小さいことから、膜処理中から SS が検出されないまでに除去することができる。このため、医療用の除菌フィルタなどとしても利用されている。

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 膜は、低圧 RO 膜あるいはルーズ RO 膜とも呼ばれ、RO 膜とともに、広義の逆浸透膜といえる。RO 膜は、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除去する。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。

表 2-1 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(分離性能)	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 10kPa ~ 数 100kPa
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

注：操作圧は原水や目標水質によっても異なる。
低圧 RO 膜の開発も進み、RO 膜/NF 膜の差は小さくなりつつある。

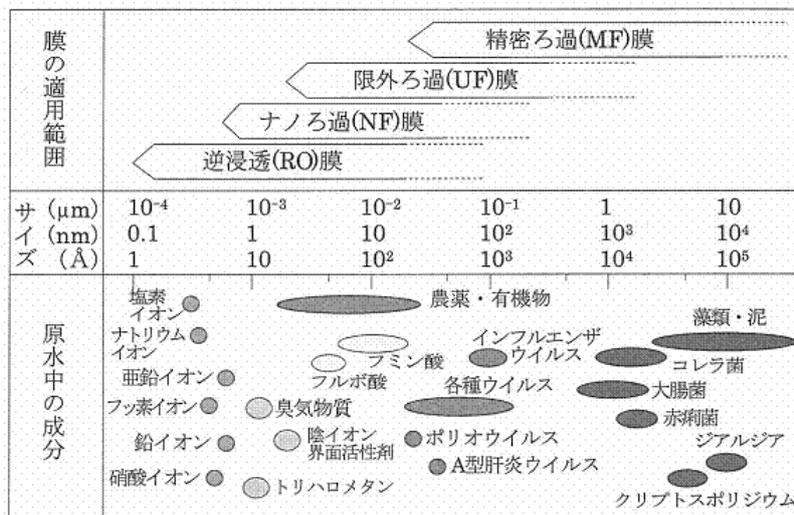


図 2-3 膜の種類と分離対象物質¹⁸⁾

下水道分野においては、除去対象物質・目標処理水質に応じて使用する膜が選定される。主に、固形物の除去を目的とする場合には、MF 膜、UF 膜が用いられており、MBR で使用される膜も通常 MF 膜である。また、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 膜を利用することも検討されている。

(2) 膜の材質・形状

膜の材質は、大別すると有機膜と無機膜に区分できる。

有機膜としては、MF 膜、UF 膜では、PSF (ポリスルホン)、PE (ポリエチレン)、CA (酢酸セルロース)、PAN (ポリアクリロニトリル)、PP (ポリプロピレン)、PVDF (ポリフッ化ビニリデン)、PTFE (ポリテトラフロロエチレン)などが用いられている。NF 膜/RO 膜では、ポリアミド系の有機膜が多く用いられている。

無機膜としては、セラミックを用いた膜 (MF 膜、UF 膜、NF 膜)が開発されている。

また、膜の形状としては、中空系膜、平膜、管状膜、モノリスに区分できる。

膜の材質及び形状について主なものをまとめると表 2-2 となる。

表 2-2 主な膜の材質及び形状

	主たる材質	特徴	主な膜の形状
有機系	PVDF, PE (塩化系, 親水性) PP, PTFE, など	材質により、耐熱性、耐薬品性などが異なり、膜の保管や薬品洗浄において、その材質特性に留意する。	中空系膜、平膜、管状膜
無機系	セラミック(酸化アルミニウム, 酸化チタン, 酸化ジルコニウム, など)	有機膜に比較して、耐熱性、耐薬品性に優れるが、耐衝撃性の点で取り扱いに留意する必要がある。	管状膜、モノリス
	金属素材	耐用年数が高い。(開発段階)	

2.2.3 膜処理設備の概要

膜処理設備は、ろ過方式、駆動圧方式、膜モジュールの形式などにより、表 2-3 のように分類される。表中の各項目について、以下に概要を説明する。

表 2-3 膜分離設備の主な分類項目

項目	主な分類
(1)ろ過方式	a)全量ろ過 b)クロスフローろ過
	a)内圧式 b)外圧式
(2)駆動圧方式	a)ポンプ加圧方式 b)ポンプ吸引方式 c)水位差利用方式
(3)膜モジュールの形式	a)中空系型 b)平膜型 c)スパイラル型 d)管型 e)モノリス型

文献 32)より作成

(1) ろ過方式

<全量ろ過とクロスフローろ過>

膜処理におけるろ過方式は、図 2-4 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。

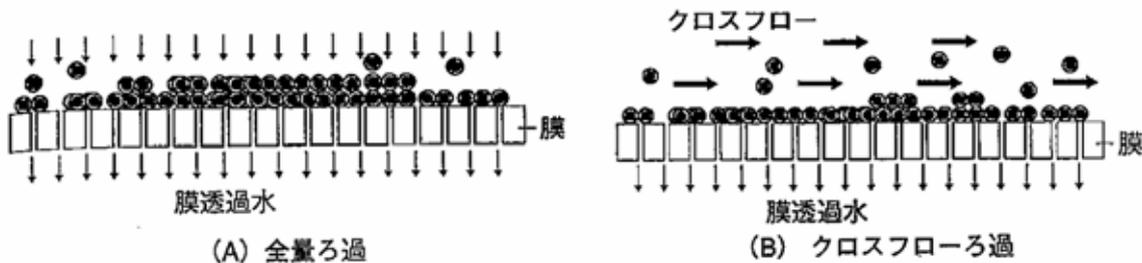


図 2-4 ろ過方式（全量ろ過とクロスフローろ過）⁶⁾

全量ろ過では、膜で阻止されたものが膜に付着し、ろ過とともに付着物が累積するため、ある時点で一定時間ごとに必ずろ過を中止して、累積した付着物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、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。ろ過と並流して付着物の除去が行われる連続運転ができ、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ろ過流量に対して供給水側の流量が大きくなり、ろ過流量当りのエネルギー消費が大きくなる。

供給水中の膜に捕捉される物質の量や規模等により、ろ過方式を選定する必要がある。排水処理分野では、原水中に存在する物質濃度が高く、膜に捕捉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。RO 膜を利用する処理フローでは、供給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。

<内圧式と外圧式>

膜の内側（中空糸や管の内側）に原水を供給し、外側（中空糸や管の外側）に処理水を流出する方式を内圧式ろ過方式と言い、逆に膜の外側に原水を流し、内側に向けて処理水が流れる方式を外圧ろ過方式という。浸漬型 MBR（後述 2.3.2 参照）は、膜の外側に原水を供給するものであり、全て外圧式となる（後述表 2- 参照）。

外圧式は、内圧式と比べると透過流速が低くなるが、実施可能な膜洗浄の方式（2.2.4 参照）が多く、原水中に懸濁粒子が多い場合にも使用できるため、排水処理分野では外圧式が採用されることが多い。

(2) 駆動圧方式

膜ろ過を行うには、供給水（原水）側と膜透過水側の圧力差、すなわち膜差圧が必要であ

る。膜差圧を与える方式として、ポンプ加圧方式、水位差利用方式、ポンプ吸引方式などがある。

ポンプ加圧方式：ポンプを用いて、膜の供給水側に圧力を加える方式

ポンプ吸引方式：吸引ポンプを用いて、膜の膜透過水側より吸引する方式

水位差利用方式：膜浸漬槽とろ過水槽、あるいは供給水槽と膜透過水槽の水位差を用いて、膜の供給水側に圧力を加える方式もしくは膜の膜透過水側より吸引する方式

(3) 膜モジュールの形式

浄水・排水処理分野において主に用いられている膜モジュールには、中空系型、平膜型、スパイラル型、管型、モノリス型などがある。

浄水・排水処理分野で使用される主な膜モジュールの形式を図 2-5 に示す。

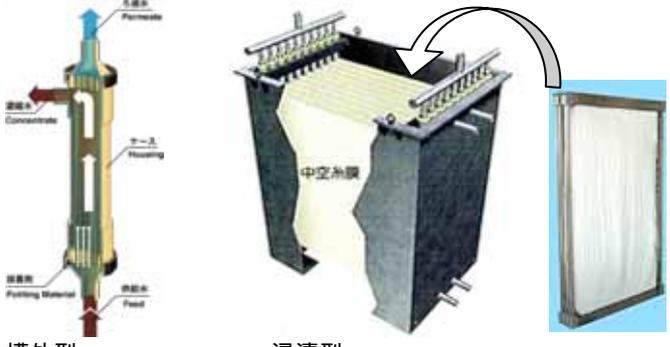
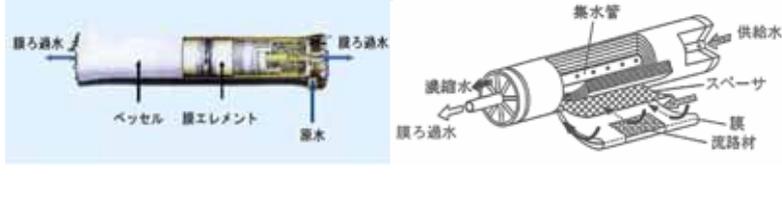
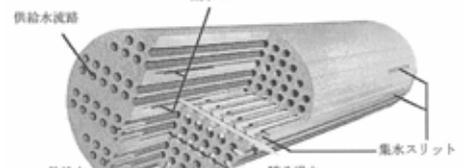
<p>中空系膜</p> <p>中空系型 外径 0.5～3mm 程度の中 中空系状の膜を集積したも の。膜の中心部であるマ カロニ状の中中空部分より 処理水を得る。 膜の充填密度を大きくで き、一般的には他の型の モジュールと比べ装置が コンパクトになる。</p>	 <p>槽外型</p> <p>浸漬型</p>
<p>平膜</p> <p>平膜型 シート状の膜を 5～10mm 程度の間隔で連結したも の。 2 枚の膜の間あるいは膜 とスペーサの間より処理 水を得る。</p>	 <p>回転平膜ディスク</p> <p>回転平膜型モジュール</p> <p>浸漬吸引平膜型モジュール</p>
<p>スパイラル型 袋状の平膜を原水水路と なる網目状のスペーサと ともに海苔巻き状に一体 化したもので、圧力容器 に装填した構造。NF/RO 膜に多く用いられる。</p>	 <p>ベッセル：膜エレメント</p> <p>集水管</p> <p>供給水</p> <p>膜</p> <p>流路材</p>
<p>管状膜</p> <p>管型 / チューブ型 外形 3～15mm の円筒状 の膜を束ねたもの。</p>	
<p>モノリス型 内圧式のセラミック膜で、1 本のエレメントに多数の流路 が設けられている。</p>	 <p>供給水流路</p> <p>集水セル</p> <p>供給水</p> <p>膜ろ過水</p> <p>集水スリット</p>

図 2-5 膜モジュールの主な形式³²⁾及びメーカー資料より

2.2.4 膜の洗浄

(1) 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、付着物の堆積による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。

膜の性能変化の主な要因を表 2-4 に整理した。

表 2-4 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（高圧）による膜構造の恒久的な変形
		損傷	固形物などによる擦過や衝突による膜構造の破損，振動等の繰返し応力による膜構造の疲労破壊
		乾燥	収縮等による膜構造の恒久的な変化，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の変化，膜材質に依存
生物的劣化		生物による分解，代謝産物等による化学的変質，膜材質に大きく依存	
ファウリング	原因物質		無機塩類，無機性・有機性コロイド，溶解性有機物質，付着性微生物，懸濁物質
	膜の汚染物質	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
	膜の汚染状態	吸着	膜面への吸着による層形成
		目詰まり	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。

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きわめて困難で，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る。さらに，膜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，特にゲルの原因物質は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・溶解性の物質のため発生の予測が困難である。

また，膜の性能とは別に，水温（液粘性）によっても膜差圧や透過流束が変化する現象が生じ，低水温期は，圧力一定制御運転下では透化流束が小さくなる傾向が，流量一定制御下では，膜差圧が上昇する傾向が認められる点にも留意する必要がある。

(2) 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。

< 逆圧洗浄（逆洗） >

逆圧洗浄（逆洗）とは、ろ過方向とは逆方向に処理水・空気を流して、膜面の閉塞物質を除去する方法である。例えば逆圧洗浄は、逆圧洗浄用ポンプや、圧縮空気により加圧された水を用いて行われる。膜の材質や形状により、逆圧洗浄の可否や、洗浄時圧力の上限が決まる。

排水処理分野で用いられる主な膜洗浄の種類を図 2-6 に示す。

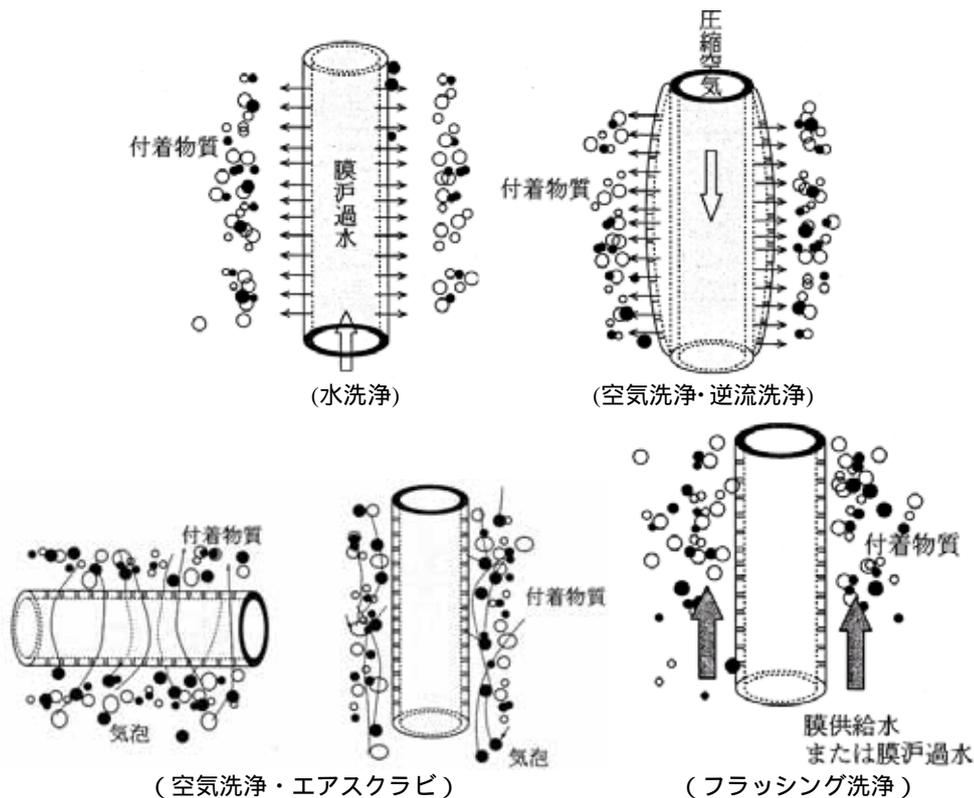


図 2-6 膜洗浄によるファウリング対策のイメージ¹⁴⁾

< 薬品洗浄（化学洗浄） >

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薬品洗浄（化学洗浄）が実施される。薬品として、無機物を除去する薬品（酸など）や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。また、洗浄時には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。

膜の洗浄は、逆圧洗浄と薬品洗浄とを組み合わせることが多い。また、オゾンや紫外線の併用によるファウリング軽減対策についても検討されており、耐オゾン性の高い膜材質の開発も進められている。

2.3 下水道への導入意義と導入ケース

2.3.1 膜処理技術の下水道への導入意義

下水処理への膜処理技術の導入により、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、様々な除去対象物質や目標処理水質のレベルに対応することができる。そのため、膜処理技術は、単に水処理技術のひとつではなく、図 2-7 に示すように、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と捉えられる。

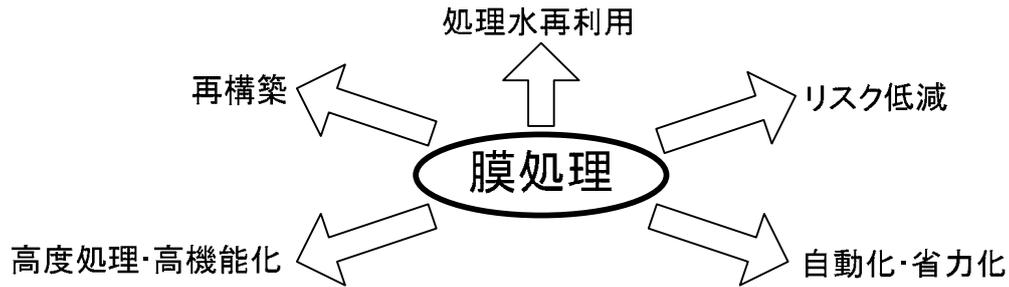


図 2-7 コア技術としての膜処理技術

以下に膜処理技術の導入により期待される効果について示す。

(1) 高度処理・高機能化 / 処理水再利用

膜処理水は、採用する膜の種類により除去できる物質が異なってくるものの、SS 成分については殆ど除去され、併せて SS 性の汚濁物質（有機物、N、P）も低減される。また、NF/RO 膜では、溶解性成分についても一部除去可能である。従って、処理の高度化・高機能化や処理水再利用を行う場合に、膜処理技術の導入が有効となる。

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おり、必要に応じて（色度が親水用水利用基準を満足できない場合等）、活性炭投入やオゾン処理の追加で対応が可能である。また、NF/RO 膜処理水は親水用水利用基準を全ての項目で満足している。

（表 2-5 参照）

表 2-5 再生水の水質目標値と膜処理水の水質事例

項目	修景用水利用 ¹⁾	親水用水利用 ¹⁾	MBR 処理水 ²⁾	NF/RO 膜処理水 ³⁾
大腸菌	1,000CFU/100mL 以下	不検出	不検出	不検出
濁度	2 度以下	2 度以下	2 度以下	1 度以下
pH	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6
外観	不快でないこと	不快でないこと	不快でない	無色透明
色度	40 度以下	10 度以下	5~20	1 以下
臭気	不快でないこと	不快でないこと	不快でない	無臭

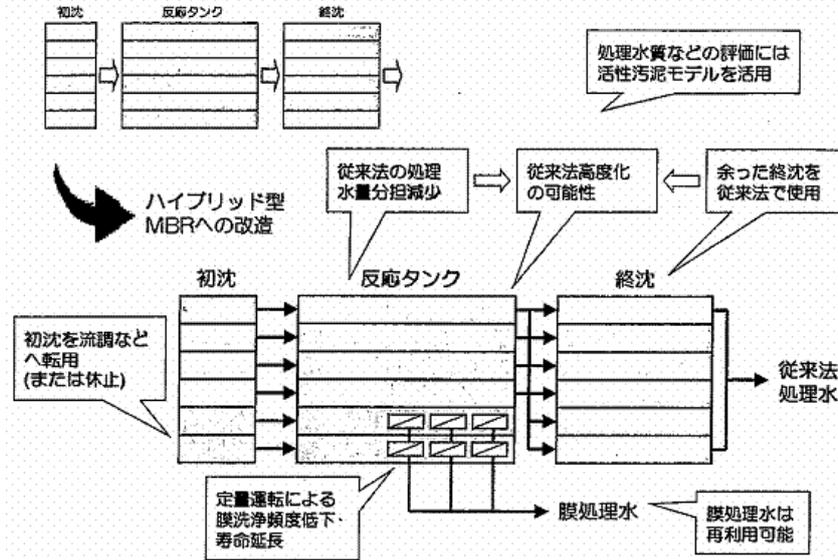
1)：再生水利用の基準値²⁵⁾

2)：運転条件によっても大きく異なるが引用文献による例として記載¹⁵⁾

3)：二次処理を NF/RO 膜でろ過した場合の水質例^{6),12)}

(2) 再構築

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、MBR と従来法との並列処理となる形が考えられる（図 2-8 参照）。これにより、限られた敷地や既存の土木構造物等の範囲で、処理の高度化や処理能力の増強が可能となる（第 3 章参照）。



J S WEB Page より

注記：ここでは、MBR と従来法との並列処理を「ハイブリッド MBR」と定義されている

図 2-8 MBR と従来法との並列処理のイメージ

(3) リスク低減

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（表 2-6 参照）。下水道分野においても 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¹⁵⁾。

また、MBR における高 MLSS 運転で、SRT の長期化により難分解性物質の除去機能が高くなることも期待できる。

さらに膜処理水は透明度が高いため、UV 照射効率が高くなり、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：二本鎖 DNA を遺伝子としてもつアデノウイルスなどは除く）。

表 2-6 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

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、及び感染リスクから、4～5log（99.99～99.9999%）程度の除去性能が必要であると考えられている。膜ろ過法では 6log（99.9999%）以上の除去性能（表 1-6 参照）が得られている。

(4) 自動化・省力化

膜処理技術は物理的な処理方式であり、運転の自動化が行いやすい。MBR においては、バルキングにより汚泥沈降性が悪化していても処理水への汚泥流出が懸念されず、活性汚泥の制御が容易となる。

2.3.2 下水道での膜処理方式

下水道分野への膜処理技術の導入は、大別して次の 2 つに分けられる。

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

(1) 生物処理との組み合わせで下水処理プロセスとして用いる方式

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。

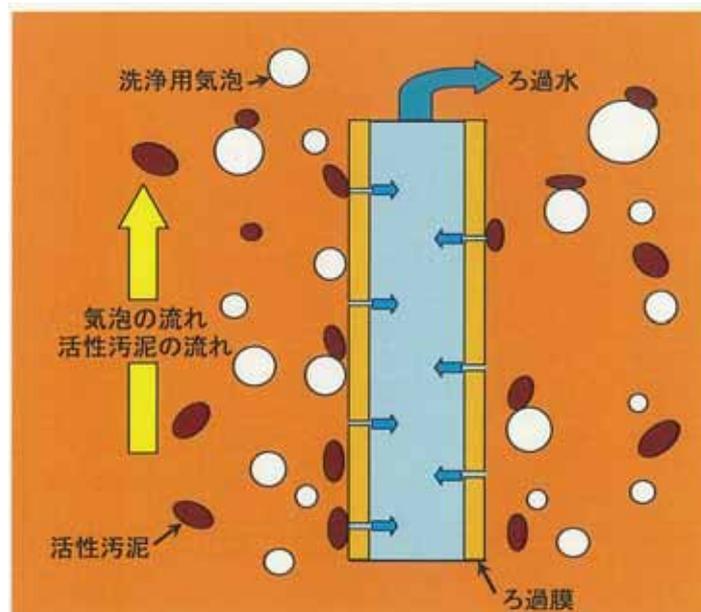


図 2-9 膜による固液分離の概念図（浸漬型 MBR）¹⁰⁾

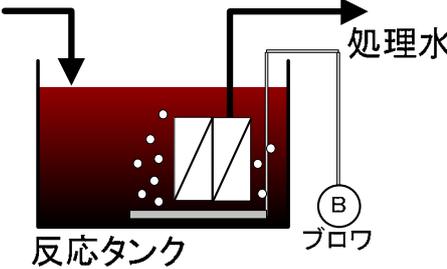
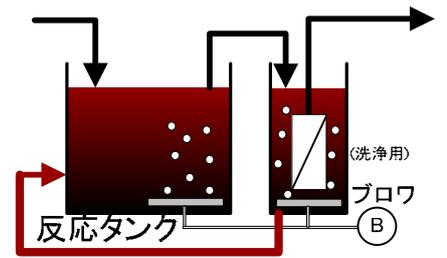
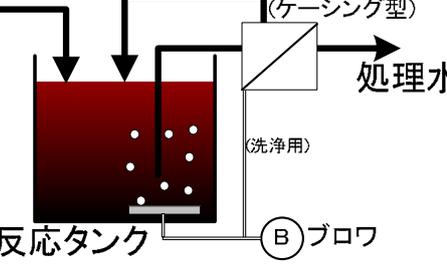
膜モジュールは、その設置方式の違いにより、浸漬型と槽外型に分けることができる。

浸漬型は、膜モジュールを槽に浸漬し、水位差や吸引ポンプを用いてろ過を行う方式である。槽外型は、膜エレメントをケーシングという収納容器に収めて使用するもので、水位差またはポンプによりケーシング内部に供給水（原水）を圧入する、もしくはケーシング内部から膜ろ過水を吸引することで膜ろ過を行う方式である。

さらに MBR では、膜モジュールを設置する場所により、便宜的に、浸漬型（一体型）、浸漬型（槽別置型）、槽外型の 3 種に分類できる（表 2-7 参照）。

一般に処理水の吸引には、ポンプ吸引が多く用いられているが、浸漬型においては水位差を利用して、ポンプ吸引と併用することにより省エネ化を図ることの検討が行われている⁴²⁾。

表 2-7 MBR における膜モジュールの設置方式の特徴

<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。 予備を設けることで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い運転が容易にできる
<p>浸漬型 (槽別置型)</p>		<ul style="list-style-type: none"> 最終沈殿池が利用できない場合は一体型に比べ建設コストが大きくなる。 生物処理及び逆洗に必要な散気装置を、それぞれに適した方法を取りやすい(微細酸気と粗大気泡の使い分け) 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い運転が容易にできる。
<p>槽外型</p>		<ul style="list-style-type: none"> 流速が最も大きくできる(膜モジュール数を削減することができる)。 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。 予備を設けることで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い運転が容易にできる 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(水位差が利用できない)。

注：膜モジュールの改善・開発や、運転管理の工夫等により、表中の特徴(長短)は絶対的なものではない。

(2) 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
 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(第 5 章で詳述)。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。

再利用用途と膜処理水との関係を表 2-8 に示している。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、RO 膜を適用する場合、沈殿による固液分離を行う従来法から得られる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とから、コストは増大する傾向となる。従って、効率的に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 2-8 再利用用途と膜処理水との関係 ¹²⁾

再利用用途	MF 膜 / UF 膜処理水	RO 膜処理水
修景用水		
親水用水	(後処理で色度, 臭い除去が必要)	
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

2.4 下水道分野における膜処理の現状

2.4.1 国内の下水道用膜処理施設の導入状況

(1) MBR 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 21 年 3 月末時点で約 4 年間の運転実績となる。以降、順次供用開始され、平成 21 年 3 月時点での供用実績は 10 箇所となる。その後の 1 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 2-9 参照）。

また、表 2-10 に示すように、国内の下水処理以外の排水処理施設における MBR は、6 年間（2002 年から 2008 年）において、農業集落排水処理施設で 7 箇所（1.3 倍）、浄化槽で 650 箇所（1.8 倍）及びし尿処理施設で 50 箇所（1.4 倍）増加している。

表 2-9 公共下水道の処理施設への MBR 適用事例

自治体名	施設名	現有能力 (m ³ /日)	供用開始	膜タイプ
福崎町	福崎浄化センター	2,100	H17. 1	平膜
橿原町	橿原浄化センター	720	H17.12	平膜
鹿沼市	古峰原水処理センター	90	H17. 4	平膜
鏡野町	奥津浄化センター	281	H18. 3	中空糸膜
雲南市	大東浄化センター	1,630	H18.10	平膜
標茶町	塘路終末処理場	125	H19. 3	平膜
若狭町	海越浄化センター	230	H19. 4	中空糸膜
浜松市	城西浄化センター	1,375	H20. 4	中空糸膜
沼津市	戸田浄化センター	3,195	H20. 3	平膜
大田市	大田浄化センター	2,150	H21. 3	平膜
新宮町	中央浄化センター	6,060	H22. 3	平膜
天草市	高浜浄化センター(仮称)	620	H23. 4	-

表 2-10 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 文献 10)及び JS 資料より

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

(2) RO 膜等の導入状況

下水道事業において RO 膜等を用いた下水再利用の事例を表 2-11 示す。

表 2-11 RO 膜等を利用した下水再利用プラントの事例

自治体名	施設名	利用目的	稼働年度
東京都	落合水再生センター	トイレ用水, 親水用水	
大阪市	海老江下水処理場	親水用水	H7
西宮市	西宮処理場枝川浄化センター	修景用水	H3
芦屋市	南芦屋浜管理センター	修景用水	H13
神戸市	垂水処理場	親水用水	
大村市	大村浄化センター	親水用水	H12
時津町	時津浄化センター	トイレ用水	H3

H18 下水道統計より作成

2.4.2 海外の下水道用膜処理施設の導入状況

(1) MBR 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進み,数万 m³/日規模の処理場も増えてきている。(表 2-12 及び図 2-10 参照)

表 2-12 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), 22)より作成

新設・既設改築の区分の傾向としては,新設あるいは既存施設に隣接した敷地への増設が多い

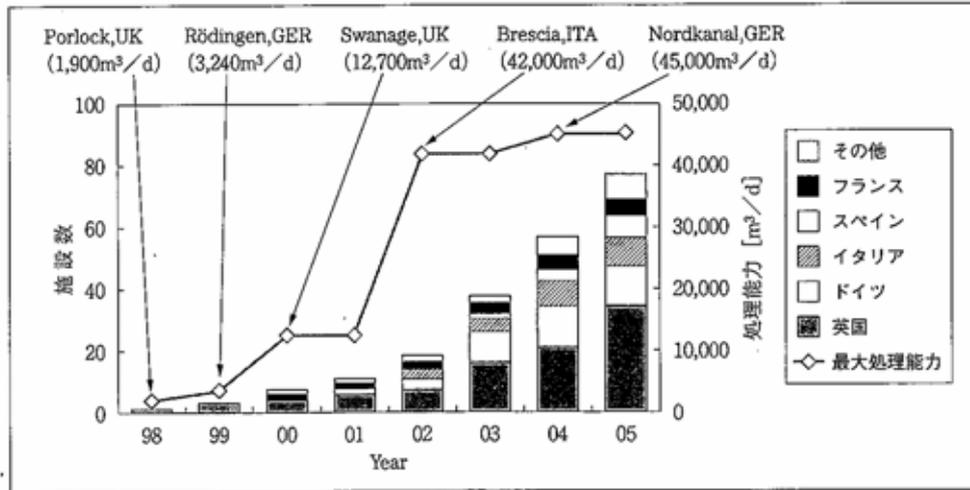


図 2-10 欧州の下水処理施設における MBR の採用数と処理能力の推移¹³⁾

EU においては、MBR 導入促進のため標準化の検討が進められており、2008 年 11 月には関係者団体で構成されるワークショップで審議された CEN 合意文書 (CWA) が公表された。これは標準化のための基準ではなく拘束力は無いが、標準化へ向けた議論のたたき台となるものである。その有効期間が公表後 3 年となっており、3 年経過の後、廃止、有効期間の延長、あるいは上位の基準などへの移行に向けた検討が行われることとなる。

(2) RO 膜等の導入状況

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表 2-13 に挙げる。

表 2-13 RO 膜等を利用した下水再利用プラントの事例^{文献 18)より作成}

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)

第3章 膜分離活性汚泥法(MBR)の導入

膜分離活性汚泥法 (Membrane Bioreactor : MBR) の基本的事項を述べるとともに、主として新規に MBR を導入する場合の検討事項、経済性等について整理する。

3.1 MBR の特徴

ろ過膜で活性汚泥を分離する膜分離活性汚泥法(MBR)では、バルキング等による固液分離障害が生じないので反応タンクの MLSS を高く保持できるため、BOD/MLSS 負荷の設定によっては施設がコンパクトである。また、処理水は非常に清澄であり、そのまま再利用に適用することも可能であること等の特徴を有する。

(1) MBR の主な設備構成

MBR の基本的な設備構成は、前処理設備 (微細目スクリーン等)、生物反応タンク、膜モジュールであり、必要に応じて流量調整タンクを設ける。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、常時の消毒設備の省略も可能となるため、基本的にシンプルな設備構成となる (図 3-1 参照)。

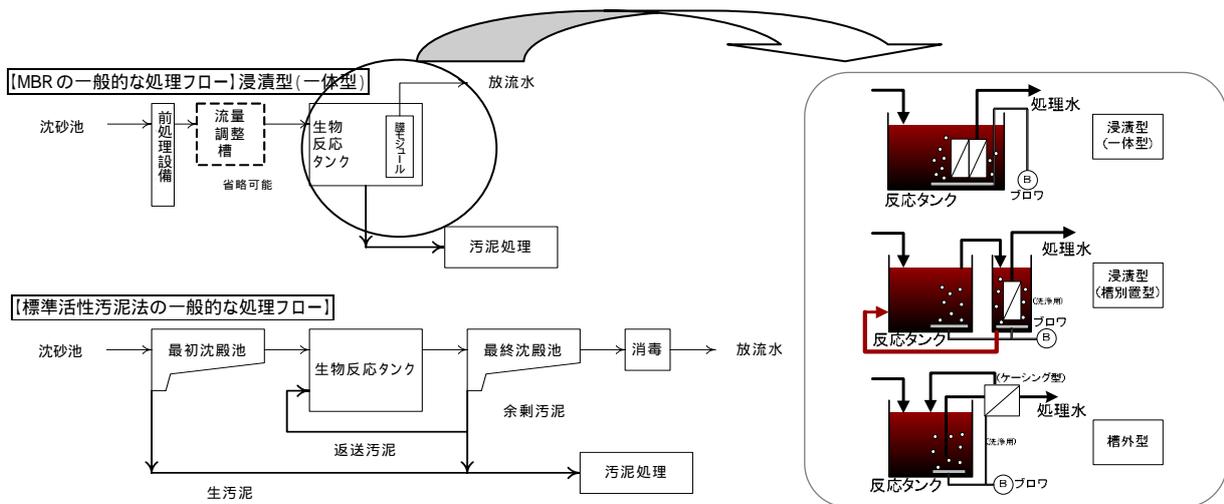


図 3-1 MBR と標準活性汚泥法における設備構成の比較

(2) MBR の特徴

MBR の基本事項を、J S による「膜分離活性汚泥法の技術評価に関する報告書」(以下「J S 技術評価」という。) ¹⁰⁾を参考に、以下に列記する。

1) 処理原理

MBR は、従来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 (約 1 μm) を阻止できることから、通常、MF 膜 (孔径 0.01 ~ 0.4 μm 程度) が用いられる。

2) 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、常時の消毒設備の省略も可能である。

生物反応タンク内 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。

膜処理設備の必要敷地面積は小さく、標準活性汚泥法の 1/3 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、従来法に比べ短い時間で処理を行うことができる。

処理水中に SS は殆ど検出されず、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、従来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。

MBR 処理水は、そのまま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、散水用水、水洗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く、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。

凝集剤添加により高度なりん除去が可能である。また、従来法に比較して処理水中に 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 法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。

MBR の余剰汚泥の脱水性は、OD 法の余剰汚泥と同程度である。

3.2 施設導入の検討事項

流入水の水質，処理水質，用地などの諸条件に基づき，施設，設備容量等の検討を行い，経済性，維持管理性，エネルギー効率など多面的な観点から導入目的に照らして最適な膜及びその設置方式を選定する。

MBR システムの検討・計画にあたっては，MBR の主要な設備構成や特徴を十分にふまえて行うものとする。検討フローを，図 3-2に示す。

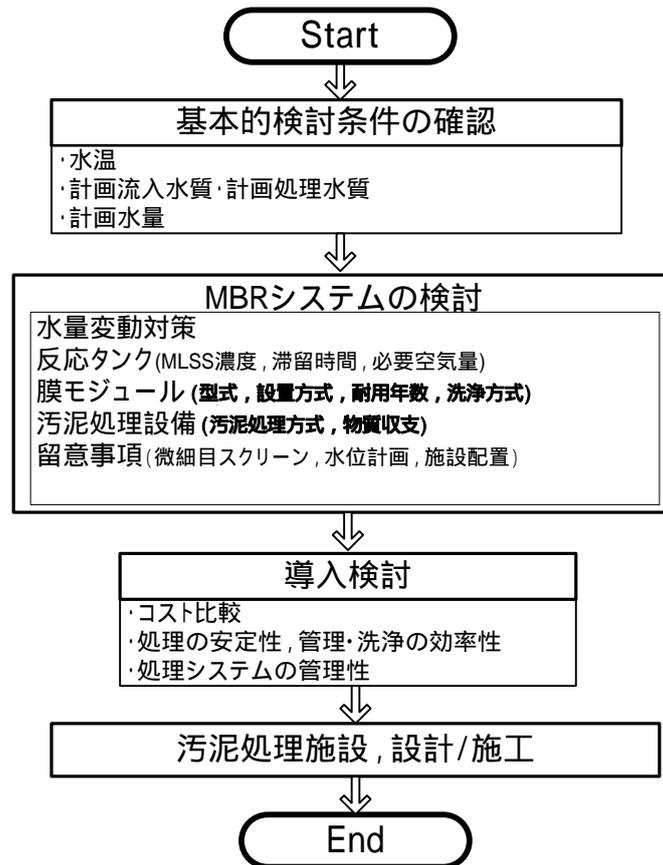


図 3-2 MBR システムの検討フロー

3.2.1 検討条件

MBR の計画にあたっては，安定した処理性能を確保するため，水温，計画水質，計画水量の設定を行う。

(1) 水温

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，膜モジュールの必要面積は月間平均値の年間最低値を基準にして決定する。

(2) 計画水質

MBR の MLSS は比較的高いレベルで運転され、硝化が進行しやすいため、計画流入水質については硝化反応等の確認に必要な溶解性 BOD、アルカリ度、T-N 等についても設定しておく必要がある。計画処理水質は、計画放流水質を満足するように設定するが、MBR 処理水の BOD、T-N は一般的な標準活性汚泥法に比べ良好である場合が多い。

図 3-3 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、セラミック膜 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。

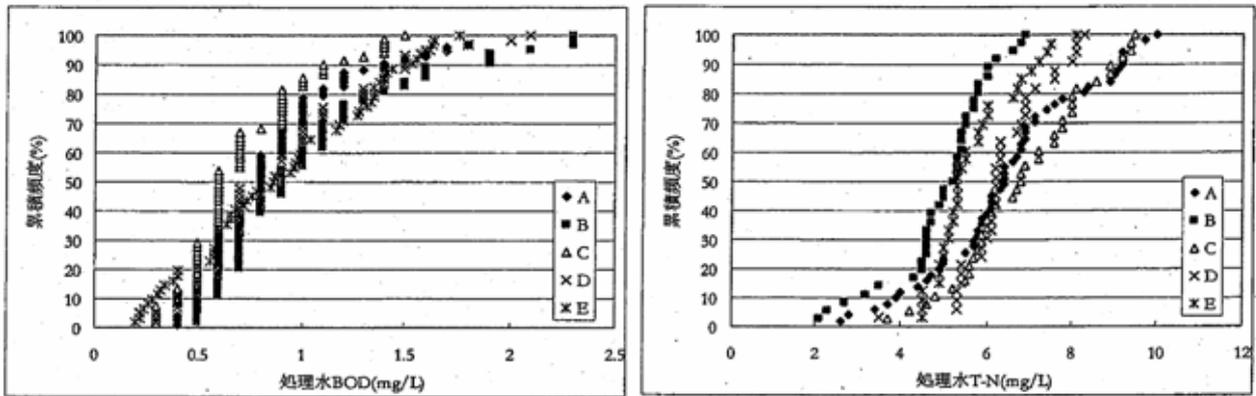


図 3-3 実証プラントの処理水 BOD、T-N の累積度数分布¹⁰⁾

なお、JS 技術評価¹⁰⁾に示されている 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 3-1 に示す。また 現在稼働中の MBR の流入水質及び処理水質の実績例を表 3-2 に示す。

表 3-1 流入水質と処理水質の設定例¹⁰⁾

項目	設計水質例		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

表 3-2 流入水質、処理水質の実績例

項目	事例 1 文献 ³⁴⁾		事例 2 文献 ³⁵⁾		備考
	計画流入水質	処理水質	流入水質	処理水質	
BOD (mg/L)		2.6	60 ~ 150	0.5 ~ 2.8	
COD (mg/L)	118	5.9	59 ~ 120	3.7 ~ 6.9	
SS (mg/L)	200	0.2	81 ~ 150	<1	
T-N (mg/L)	36	7.1	13.6 ~ 35.2	1.3 ~ 11.2	
T-P (mg/L)	5.3	0.2	1.71 ~ 3.44	0.12 ~ 3.28	凝集剤添加
大腸菌群数(個/mL)			-	N.D.	

事例 1：2008.7 平均値（流入水は計画値，処理水は実測の平均）

事例 2：2006.11 ~ 2008.6 における実測の範囲

MBR の処理水は再利用することも可能である。MBR の処理水と親水用水の基準値を比較した事例を、表 3-3 に示す。この事例では大腸菌群数、BOD、濁度については、親水用水の基準を満足している。色度については通常の二次処理水と同等であるが、オゾン処理等の後処理を行うことにより、親水用水としての使用も可能となる（第 5 章「5.2.2(2)」参照）。

表 3-3 MBR(MF 膜)による処理水質の事例

項目	単位	流入下水(スクリーン後)		MBR処理水		参 考 親水用水基準値
		第 1 回	第2回	第 1 回	第2回	
大腸菌群数	(MPN/100mL)	7.90E+07	4.90E+06	0	0	不検出(大腸菌)
BOD	(mg/L)	176	238	<0.5	0.5	-
pH	(-)	7.3	7.3	7.0	7.1	5.8~8.6
濁度	(度)	150	150	<1	<1	2以下
臭気	(-)	腐敗性臭気	腐敗性臭気	土臭	無臭	不快でないこと
色度	(度)	300	250	20	14	10以下

参考文献10), 33)より作成。

(3) 計画水量

施設計画を行う場合、原則として計画日最大下水量を用いる。ただし、膜の透過流束には上限があり、それを超える水量はろ過できないことから、時間変動が大きく膜のろ過能力のみでの対応が困難と考えられる場合は、別途対策が必要となるため、計画水量の設定には十分注意する。(3.2.2 参照)

3.2.2 水量変動対策

膜の透過流束を超えた流入などの水量変動に対応するため、適切な流量に調整する仕組みを検討する。

MBR は、安定した処理水質が得られるものの、膜のろ過能力を超えた流量には対応できないので、膜のろ過能力以上の流入がある場合には、反応タンクの水位が上昇し上流側設備への逆流や反応タンクからの溢水が懸念される。従って、必要に応じて流入水量変動を制御するための流量調整タンクを設ける。

流量調整タンクを設ける場合、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。JS の小規模施設を対象とした流量調整タンクの容量計算では、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¹⁰⁾。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・大規模施設の場合は、一般的に、小規模施設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が膨大なものとなり、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水量変動への対応策を、処理場全体の運転管

流入と反応タンクの間、水の流に直結(インライン)で流量調整タンクを設ける方式。水量増加時に、水量の一部を水の流れの外に逃がし、水量減少時に反応タンクへ流下させるピークカット方式と異なり、流入水量の変動を流量調整タンクの水位変動で緩和させ、流量調整タンクからの流出水量を一定化させる方法。

理方法も含めて検討し、流量調整タンク設置の有無・規模を設定する。また、雨天時増水が懸念される場合についても、あわせて考慮しておく。

流量調整タンク以外の対応方法としては、反応タンクに余裕高を持たせて水位上昇によって変動を吸収する、あるいは流入ポンプ井の運転レベルを調整することにより対応させることなどが考えられる。

反応タンクの水位で変動を吸収する方法は反応タンクの躯体が大きくなること、また反応タンク容積が変化することに伴い MLSS 濃度が時間的に変化するため、膜のろ過抵抗に変動が生じることとなり、膜に好ましくない影響を及ぼす可能性があることに留意する必要がある。

また、膜の必要面積が大きくなるという欠点はあるが、膜コストのさらなる低下を前提とすれば時間最大流量に対応可能な面積の膜を設置しておき、流入量の変化に対応して、膜の吸引ポンプの運転時間や運転速度を調整する方式も考えられる。今後、中・大規模施設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。

なお、MBR と従来法の並列処理の場合は、系列ごとの流量配分の方法によっても対応が異なり、第 3 章で述べる。

3.2.3 反応タンク

反応タンクの計画にあたっては、3.1 の MBR の特徴に十分配慮し、MLSS 濃度、滞留時間、必要空気量の設定を行う。

MBR の処理施設における容量算出フローの例を示す（図 3-4 参照）。

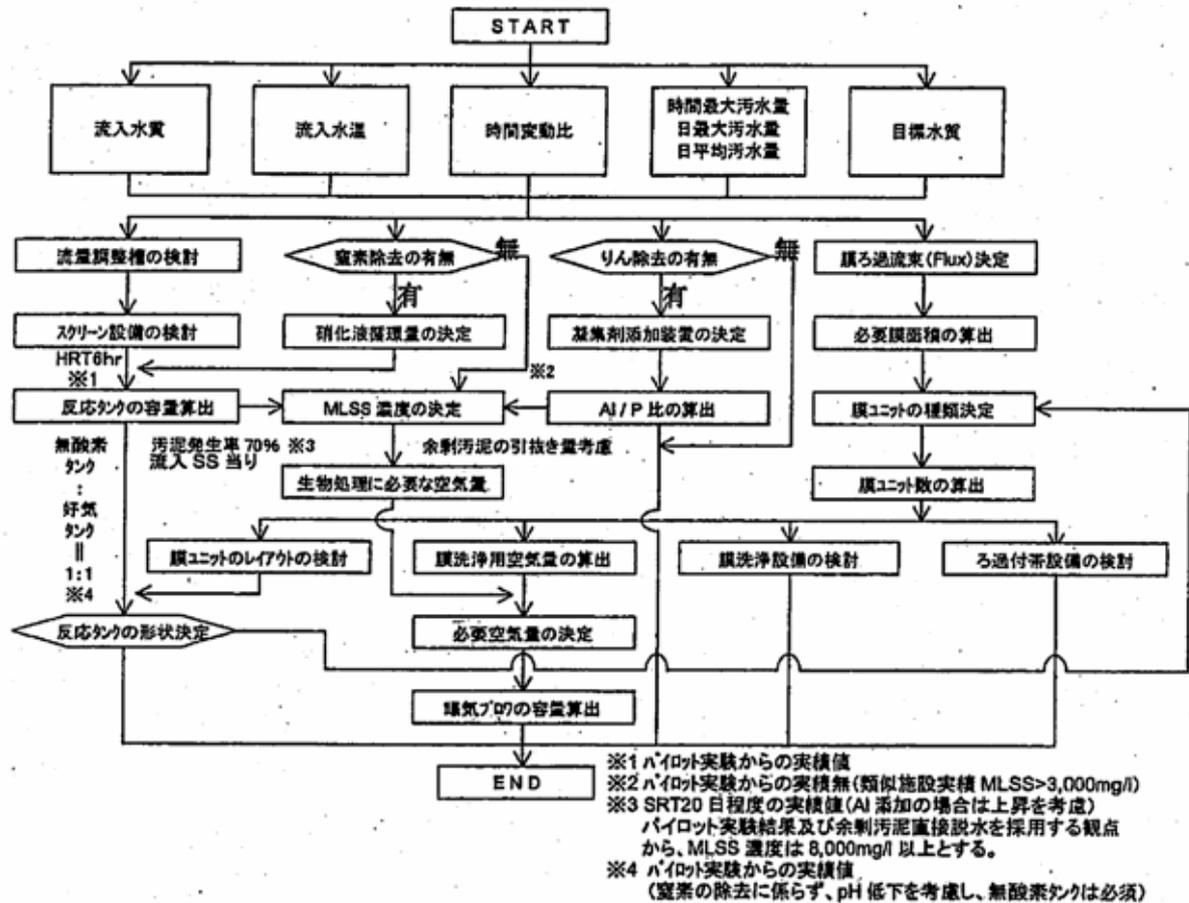


図 3-4 容量算出フローの例¹⁰⁾

(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、これまでの実績では 8,000 ~ 15,000mg/L 程度に設定されている。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は、特に中・大規模施設へ 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 濃度が、処理水引抜により他の区画よりも高くなる傾向にあり、反応タンクの平均 MLSS と、膜モジュール設置区画の MLSS が等しく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、酸素移動効率への影響も懸念され、実証実験等で確認し、経済性

や管理性をふまえ、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（一体型／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する。また、循環比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についても検討を行う。

また、MBR では MLSS が高濃度となり、SRT も長期化するため、従来の活性汚泥法（MLSS として 1,000～3,000mg/L 程度）の場合とは、生物反応特性も異なる。従来の検討方法（BOD・SS 負荷、硝化に必要な A-SRT、脱窒速度、など）で滞留時間を設定すると、HRT が極端に短縮化されることから、今後の調査が必要な分野である。なお、EU における滞留時間は、3.0～8.5hr と報告されている。

(3) 必要空気量

必要空気量は、生物処理に必要な酸素量から換算した空気量、及び逆洗に必要な空気量から検討を行う。

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、生物処理に必要な空気と洗浄用の空気を併用することができる。

現状では、生物処理に必要な空気量よりも、逆洗に必要な空気量が多いことが多く、JS による技術評価¹⁰⁾では、浸漬型（一体型）の標準設計値としては日最大汚水量の 23 倍とされている。今後、膜モジュールの技術開発が進み、逆洗に必要な空気量の低減が期待される。また、必要に応じて、膜モジュールに付帯する散気装置だけではなく、補助散気装置の設置を検討する。

このため、空気量低減に関しては、様々な調査研究が行われている。例えば、洗浄用の空気を効率的に利用するために膜モジュールを水深方向に長く設置する方法のほか、浸漬型（槽別置型）にすることで、浸漬型（一体型）に対して必要空気量が 6～15% 程度の削減できるという研究報告例³⁶⁾や、微細散気装置を活用することで 20% 程度削減効果が期待できるという研究報告例³⁷⁾、洗浄用空気を間欠曝気運転として従来に比べ 1/2～1/3 の低減効果があるという研究報告例³⁸⁾などがある。

3.2.4 膜モジュール

膜モジュールの選定は、MBR の安定した運転及び容易な維持管理を保障する重要な事項であり、膜モジュールの形式、膜モジュールの設置方式、膜の耐用年数、膜の洗浄方式について、十分検討する。

(1) 膜モジュールの形式

MBR において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。

MBR で用いられる膜モジュールは、中空糸型、平膜型が多く、設置方式としては浸漬型が多い。ただし、浸漬型のセラミック膜、槽外型の平膜型や管型についても開発が進められている。

膜モジュールの主要な諸元の例を表 3-4 に示す。なお、膜の透過流束は、設置面積あたりの処理能力を示すものではなく、膜の表面積あたりの処理水量であり、膜モジュール選定時には、膜透過流束とともに、設置面積についても検討・設定を行う。

表 3-4 各膜モジュールの主要な諸元の例

	平膜 (A 社)	中空糸膜 (B 社)	セラミック膜 (C 社)	管状膜 (D 社)
透過流束 (m/日)	0.7	0.6~0.7	~2.6	1.2~1.44
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)

なお、巻末に資料として、国内の MBR 適用事例における膜モジュールの諸元について記載している。

(2) 膜モジュールの設置方式

膜モジュールの設置方式 (浸漬型 (一体型) / 浸漬型 (槽別置型) / 槽外型) は、必要空気量、膜モジュールの形式、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。

浸漬型 (一体型) は、浸漬型 (槽別置型) や槽外型に比較して、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。

浸漬型 (槽別置型) や槽外型の場合、膜洗浄や点検作業時に、他系との連携で反応タンクを休止しない運転が容易であること、反応タンクへの超微細気泡散気装置の導入と膜モジュールの洗浄に特化した散気方式の使い分けによる必要空気量の削減が期待できることなどが考えられる。

EU においては、今後の中・大規模施設では槽別置型の採用が増えると考えられている¹⁾。現状における調査例³²⁾によると、調査対象 MBR 処理場 15 箇所 (1,600~45,000m³/日の規模) のうち、8 箇所で槽別置型が採用されている。

膜モジュールの形式や設置方式の選定にあたっては、現状での技術開発や採用実績とこれらの今後の動向、運転管理の状況、膜モジュール更新時における膜モジュールの形式や設置方式を変更する可能性 (互換性への配慮) などについても十分に考慮する。

(3) 膜の耐用年数

膜の耐用年数について、プラントメーカーへのヒアリングでは、有機膜で 7~10 年、無機 (セラミック) 膜では 15 年程度の回答が得られており、開発当初の 3~5 年に比べて長寿命化されつつある。また、英国の事例において、7 年間使用時点での膜交換比率は約 3% に留まっているとの報告 (巻末資料参照) がある。

耐用年数は、膜モジュールの形式・設置方式のみならず、原水性状 (夾雑物等) や洗浄の方法・頻度によっても異なる点に留意する。

(4) 膜の洗浄方式

膜洗浄方式については、第 2 章で述べたとおり、逆圧洗浄、薬品洗浄があり、薬品費、設備費、洗浄の効率性、管理性を十分勘案し、逆圧洗浄と薬品洗浄を組み合わせた洗浄方式を検討する。

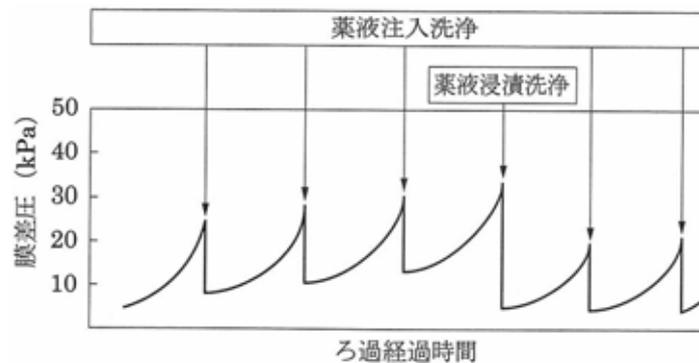
薬品洗浄の頻度は、年数回程度であるが、膜モジュールは反応タンクより取り外して、薬液洗浄タンク内に浸漬させて洗浄するものと、膜モジュールを槽内から取り出さずに浸漬したままで洗浄するインライン方式のものがある。

浸漬型における薬品洗浄では一般的に、強い曝気を定常的に行う（空気洗浄）ことでケーキ層の蓄積を押さえ、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。

槽外型では膜はケーシングに収納されているため、ポンプを用いてケーシングと膜の間に循環流を形成することにより、膜面を洗浄しながらろ過を行う方式が取られる。また、膜面洗浄効果を高めるため、循環流に空気を混入する方法が採用される場合もある。

薬液浸漬洗浄は、膜モジュールを取り出し、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うため、この期間は MBR の処理能力が低下あるいは当該系列の休止となる。今後の MBR 施設の中・大規模化にあたって特に注意すべき事項として、膜モジュールを一定期間使用できない場合の対応についての配慮が必要である。

図 3-5 に膜洗浄による膜差圧回復のイメージを示す。



図中の「薬液注入洗浄」はインライン方式の薬品洗浄を指す。

図 3-5 膜洗浄による膜差圧回復のイメージ³²⁾

3.2.5 汚泥処理設備

汚泥処理設備の計画にあたっては、3.1 の MBR の特徴に十分配慮し、汚泥処理方式の設定、物質収支計算を行う。

(1) 汚泥処理方式

MBR は最終沈殿池を必要としないことから、余剰汚泥は、膜モジュール設置場所（反応タンク末端、膜モジュール設置槽、ケーシング）から、直接引抜くことになる。

MBR では、MLSS が高濃度（概ね 10,000mg/L）であり、引抜いた余剰汚泥は直接脱水処理が可能である。ただし、濃縮工程を省略し、余剰汚泥（汚泥濃度約 1%）を直接脱水する場合と、濃縮工程を経た濃縮汚泥（汚泥濃度 3～5%程度）を脱水する場合とで、脱水機の設置台数が大きく異なることから、経済性（イニシャルコスト、ランニングコスト）や管理性を十分に勘案し、濃縮工程の有無による長短をふまえた比較検討を行ったうえで、汚泥処理方式を設定する。

(2) 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。

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 割程度との報告¹⁰⁾もあり、MBR により汚泥量削減に寄与できる可能性がある。なお、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。

なお、濃縮工程を省略し、脱水工程のみとなる場合などでは、返流水負荷が小さく、流入負荷に対して無視できる可能性もあるが、濃縮工程や消化工程の有無や、導入する汚泥処理設備の種類などを考慮した上で、適切に対応する。

3.2.6 その他の留意事項

MBR の計画検討においては、微細目スクリーン、水位計画、施設配置についても留意する。

(1) 微細目スクリーン

膜モジュールの保護を図るために、反応タンク流入以前に微細目スクリーンを設置する。流量調整タンクを設ける場合には流量調整タンク前段が一般的である。

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、国内の小規模施設の実績は目幅 1mm 程度のものが使用されているが、当該下水処理場の流入水の性状をふまえて適切な形式を選定する必要がある。

MBR 運転における重大なトラブルは膜の破損や閉塞である。英国における膜交換の原因分析からは、異物の反応タンクへの流入による膜の破損や、不適切なスクリーン設置による異物流入による膜の破損が多いと見られる¹⁰⁾。このことから、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及び管理が重要である。

(2) 水位計画

処理施設の水位計画は、放流先の外水位、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。

比較的小規模な MBR 施設で、下水を流量調整タンクから反応タンクへポンプ圧送し、処理水も膜モジュールからポンプ吸引する場合などでは、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、ポンプ設備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エネルギーの面では望ましい。

(3) 施設配置

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を行う。この時、膜モジュールや浸漬洗浄タンクなどの設備を効率的に利用できるよう留意する。

(4) その他

MBR の計画検討にあたり、次のような事項にも十分留意する。

- ・ 膜破損時における緊急対応について十分に検討しておく必要がある。例えば、JS 技術評価¹⁰⁾では、MBR 処理水について消毒は必要ない（大腸菌群数 1,000 個/mL 以下）としているが、ろ過膜破損等緊急時の対応として、消毒剤投入等の措置が可能であるよう配慮する。
- ・ MBR におけるウイルス等の除去効果について報告（JS 技術評価¹⁰⁾）もあるが、利用する MF 膜の処理特性や処理水に求められる水質を勘案し、必要なウイルス除去率が安定して得られるかどうかについて、十分検討する。
- ・ 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検討しなければならない。
- ・ 流入水量について初期は少なくその後の伸びが予想される場合などは、反応タンク内への膜ユニットの設置数を、流入水量の伸びにあわせて順次増やすなどの段階的な整備を含めた検討をしておく必要がある。

3.3 導入コスト

MBR の導入検討において、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、従来法と比較検討を行う。

MBR におけるコスト低減及び増加要因(新設の場合)として、表 3-5の項目が挙げられる。建設費については、最終沈殿池が不要であり、最初沈殿池、常時の消毒設備の省略も可能で、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。膜モジュールは、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開発も進められている。

巻末資料に膜コストに関する資料を例示するが、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。また、上水道分野において、海水等を淡水化する施設の契約数とコストの推移からは、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 に低下している。

今後、下水道分野での普及により、更なる膜コストの低下が期待される。

表 3-5 新設における MBR の主なコスト低減・増加要因 ¹⁶⁾より作成

	コスト低減要因	コスト増加要因
建設費	省施設・省設備 ・最初沈殿池を不要とすることができる ・最終沈殿池が不要 ・消毒設備を不要とすることができる ・汚泥濃縮を不要とすることができる ・砂ろ過設備が不要 生物反応タンク容量を縮小できる 省敷地面積	付加的施設・設備 ・膜ユニット ・膜洗浄設備 ・微細目スクリーン ・流量調整槽 送風機必要能力増大
維持管理費	汚泥の管理が容易 消毒用薬品の使用量削減可能 汚泥発生量を減らすことができる 維持管理手間が減少	膜モジュール交換費 送風機動力増大

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。

新規の下水処理場への MBR の導入におけるコストの検討においては、建設費、維持管理費及び用地費を算定するとともに、従来法を用いてそれと同等の性能を有する処理施設を新設する場合の建設費、維持管理費及び用地費と比較を行う。

以下に新たに下水処理場へ MBR を導入する際のコストの試算例を示す。

(1) コストの試算の手順

コストの試算にあたっては、処理能力、計画水質、設計諸元等のといった施設条件を想定し、建設費、維持管理費及び用地費を算出する。

(2) 施設条件

MBR 導入に伴う新たな施設の設置の概要を以下に示す。

試算では、新規下水処理場へ高度処理（窒素・りん除去）可能な MBR を導入する場合を対象とした。また処理場の処理能力としては全体処理能力 Q ($m^3/日$)、 Q ($m^3/日 \times$ 池) および Q ($m^3/日$)、 Q ($m^3/日 \times$ 池) の 2 ケースについて、系列 1 組（2 池もしくは 1 池）の前処理設備、生物反応タンク、膜モジュールを設置する場合のコストを算定する。

なお、設置する系列数が増える場合には、基本的に 2 池（または 1 池）を一組として検討すればよいが、ブロワなどの共通設備が含まれるため、設置コストなどが単純な倍数とならない点に注意が必要である。

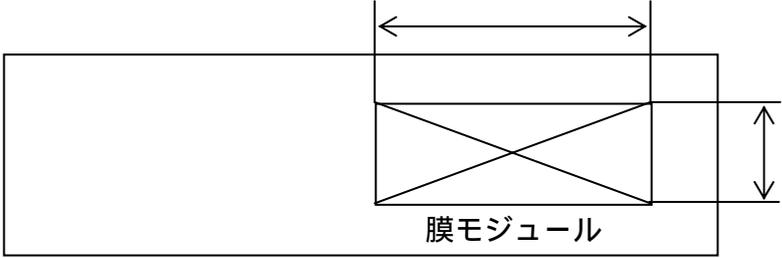
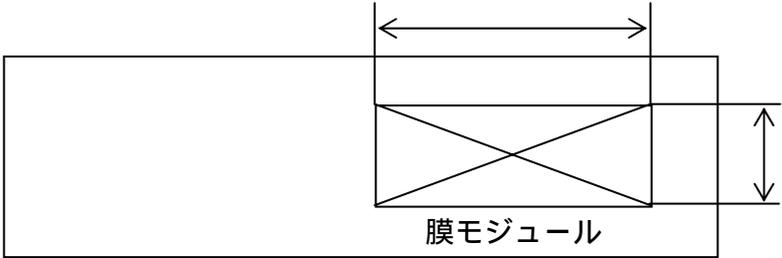
対象施設の検討における基本的な方針は以下の通り。

- ・ 流量調整タンク : 使用する膜モジュールの流入水量の変動への対応可能な範囲を考慮して、必要な場合は流量調整タンクを設置することも検討する。
- ・ 機械設備 : 膜モジュールを新たに設置するほか、処理に必要な微細目スクリーン等の前処理設備、ブロワ設備やポンプ設備等の設置を対象とする。
- ・ 土木構造物 : 前処理設備や生物反応タンク、必要な場合は流量調整タンク等の土木構造物の設置を検討対象とする。
- ・ 検討範囲 : 水処理設備以外の施設・設備（前処理設備より上流の流入設備、汚泥処理設備、脱臭設備など）は検討対象としない。

(3) コスト試算結果

今回試算を行った結果は表 3-6 のとおりである。

表 3-6 コスト試算例

処理能力	, m ³ /日(, m ³ /日 × 池)			
膜モジュール配置例				
コスト試算結果		土木	機械	計
建設費	1 池あたり	百万円/池		
維持管理費	1 池あたり	百万円/池		
用地	1 池あたり	m ² /池	-	-
処理能力	, m ³ /日(, m ³ /日 × 池)			
膜モジュール配置例				
コスト試算結果		土木	機械	計
建設費	1 池あたり	百万円/池		
維持管理費	1 池あたり	百万円/池		
用地	1 池あたり	m ² /池	-	-

第4章 既設処理場への MBR 導入

既設処理場へ MBR を導入する場合、MBR と従来法を並列することとなるため、その基本的事項を述べるとともに、MBR と従来法との並列処理の検討事項、経済性等について整理する。

なお、MBR の基本的事項については、第 3 章で示したとおりである。

4.1 MBR と従来法との並列処理の特徴

既設処理場へ MBR を導入し、MBR と従来法との並列処理を行う場合、目標とする放流水質に応じて系列数の組み合わせを選定できる。また、従来法の水量変動に対する追従性を活かして、流量調整槽の小規模化が図れる等の特徴がある。

窒素、リンに対する総量規制が 2002 年に告示され、東京湾、大阪湾などの閉鎖性水域を放流先とする下水処理場で高度処理導入計画が進められている。しかし、市街化の進んだ都市部の下水処理場では、敷地条件等より水処理施設の増設を伴う高度処理の導入が困難な場合が少なくない。

MBR の既設処理場への導入は、その特徴から、流量調整や前処理などの一部設備等の追加を必要とするものの、反応タンクのコンパクト化、最初沈殿池、最終沈殿池が不要になるなど、施設全体の大幅なコンパクト化が可能となり、既存の下水処理場の高度処理化に有効である。

MBR は従来の高度処理方式よりも高い処理水質が安定して得られ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場合、一部の系列に MBR を適用することで計画放流水質を達成することが可能であり、コストの削減も期待できる（図 4-1 参照）。

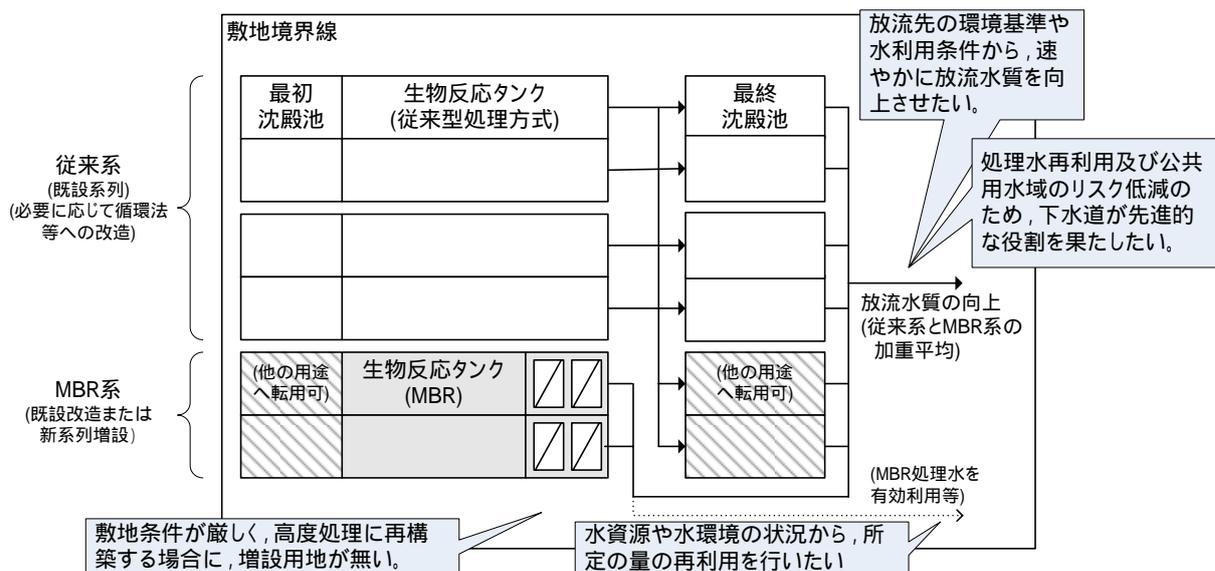


図 4-1 既存施設への MBR 導入条件

すなわち，既存施設の高度処理化を含めた改築更新において MBR を適用する場合には，MBR と従来法の並列処理となる場合が中心となると考えられる。

また，処理場の全系列が MBR となる改築更新計画である場合でも，改築更新が段階的に実施される時点では MBR と従来法との並列処理の形態となる。

さらに，水環境の健全化のために今後下水処理水の再利用の必要性が増してくる中，清澄な処理水を安定的に得ることできる MBR を既設処理場へ導入することは，処理水の再利用を推進する観点からも有効な方法といえる。

4.2 MBR と従来法との並列処理の場合の検討事項

並列処理の場合に留意する事項として、水量配分の設定、流量変動への対応、最初沈殿池、最終沈殿池の活用などが挙げられる（図 4-2 参照）。

MBR と従来法との並列処理において、MBR を新規の増設系列に導入する場合（新規系列増設）と、既設系列を改造して導入する場合（既設改造）がある。新規系列増設時の検討については、基本的に第 3 章に従うものとする。

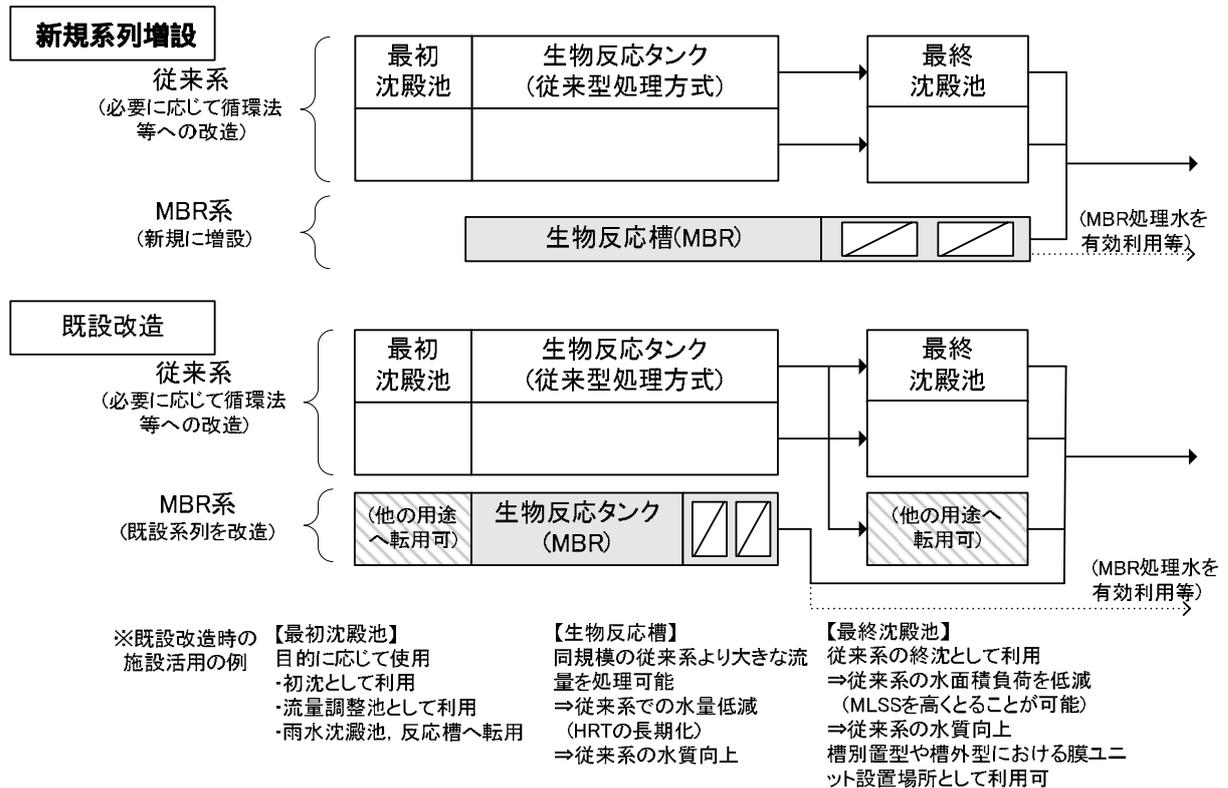


図 4-2 MBR と従来法との並列処理の概略イメージ

MBR と従来法との並列処理における検討フローを図 4-3に示し、個々の検討事項について以下に述べる。

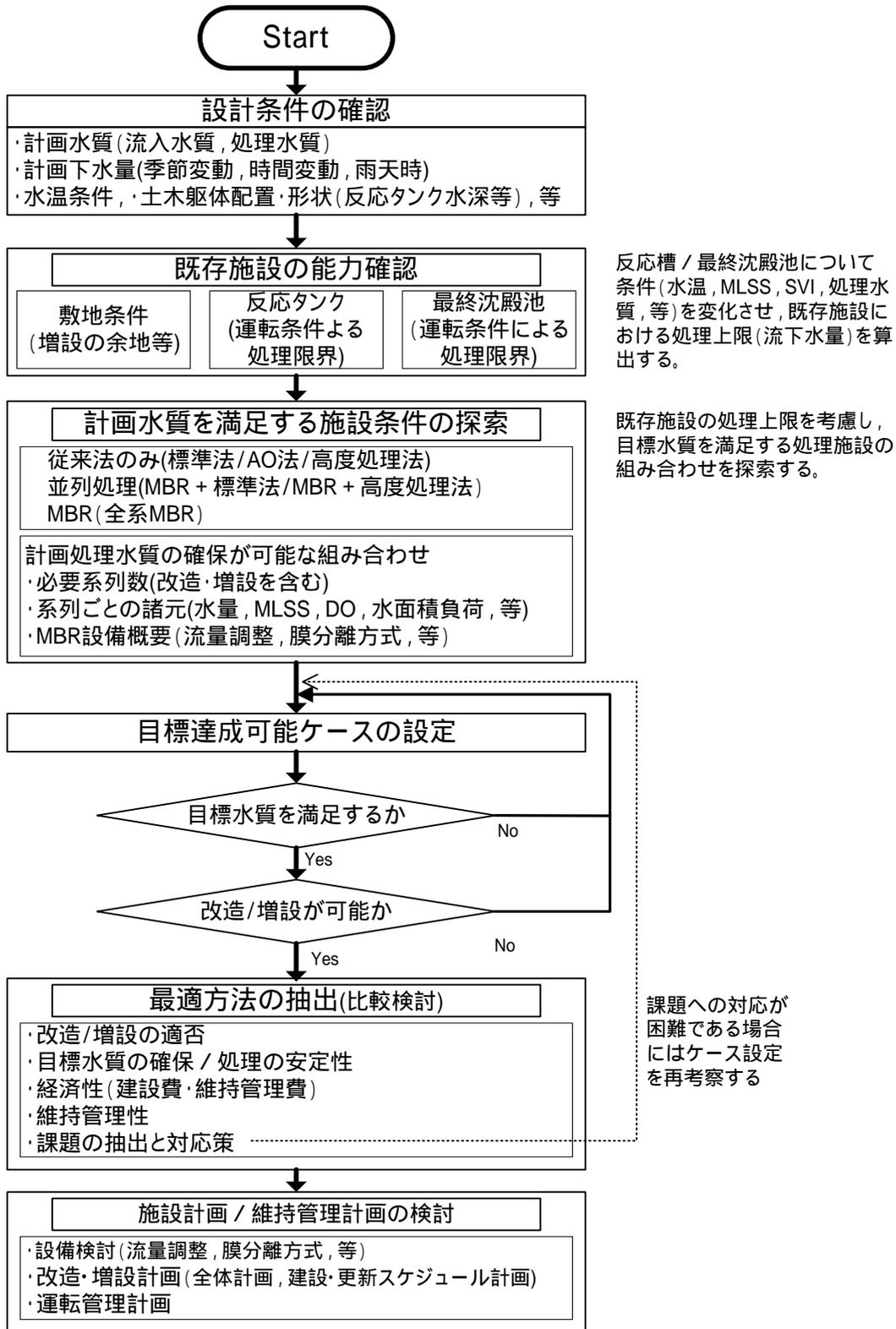


図 4-3 MBR と従来法の並列処理の検討フロー

4.2.1 新規系列増設, 既設改造に共通の検討事項

MBR と従来法との並列処理においては, MBR 系列と従来法処理系列との適正な水量配分, 流量変動への対応, 最適運転条件等に十分配慮する。

(1) 水量配分の設定

MBR は, 標準活性汚泥法等の従来法と比べ, 反応タンクの必要滞留時間が短いため, 反応タンクの容量が同じであれば, より多くの水量を MBR 系列で処理することができる。

これにより, 従来法処理系列に流入させる水量を減らすことが可能となり, 必然的に滞留時間が長くなり, 処理の高度化に繋がる。

こうした特長を生かして処理の高度化を行う場合, 一部系列で MBR を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)の水質を向上させることができる。

そこで, MBR と従来法との並列処理を導入するにあたっては, 達成すべき目標放流水質に対し, 経済性, 維持管理性, 設備配置など総合的に検討し, 各処理方式で負担させる最適な水量配分を決定する必要がある。

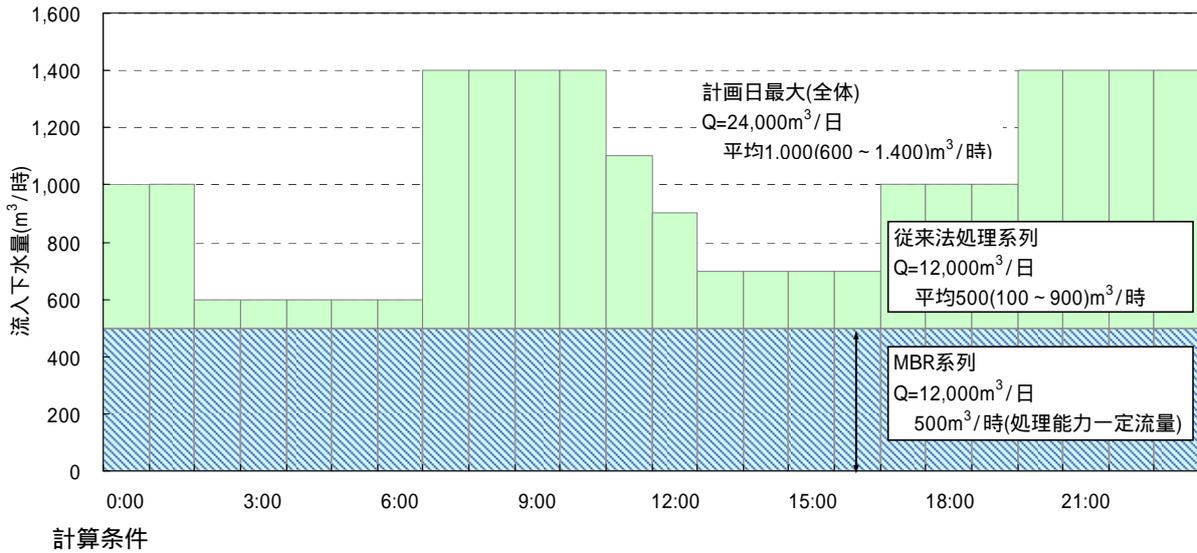
(2) 流量変動への対応

中・大規模施設では, 小規模施設に比べ流量変動が小さいが, 時間変動, 季節変動のほか, 雨天時の流量増加など, 適切な流量管理を検討することが必要である。

MBR は, 膜の透過流束の上限が最大処理水量となり, この量を超えて MBR 系列へ流入させることができないため, 流量調整槽などによる流量調整や, 従来法処理系列への流入量の増加などを行う必要がある。

通常は, 水量の季節変動, 時間変動により, 流入下水量が増減するが, MBR 系列は, 処理能力(計画日最大水量を基本)に対して流入水量を大きく増減させることは望ましくない。

MBR と従来法との並列処理を実施する下水処理場において, MBR 系列に通日で処理能力分の水量を一定流入させると, 従来法処理系列への流入水量は, 処理場全体の流入水量(時間変動あり)から, MBR 系列分の水量を差し引いた水量となる(図 4-4 参照)。すなわち, MBR 系列と従来法処理系列の規模のバランスによっては, 従来法処理系列に流入する水量は, 時間帯により極端に少なくなることや多くなることもある。このため, 時間変動による処理水への影響の確認や, 特に, 従来法処理系列への流入水量が多くなる時間帯における最終沈殿池の能力(水面積負荷等)を確認し, 必要に応じて, 流量調整等の措置を講じる。



- ・ 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
- ・ 系列は 2 系列 (MBR 系列, 従来法処理系列) とし, 処理能力は 1:1 とする
- ・ MBR 系列へ, 処理能力 (1 系分の計画日最大) の一定流量とし, 残量を従来法処理系列へ流下させるとした

図 4-4 MBR と従来法との並列処理における流入パターンの例

(3) MBR と従来法との並列処理の最適運転条件の検討

MBR と従来法との並列処理においては、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、その計画において、多方面から検討する必要がある。

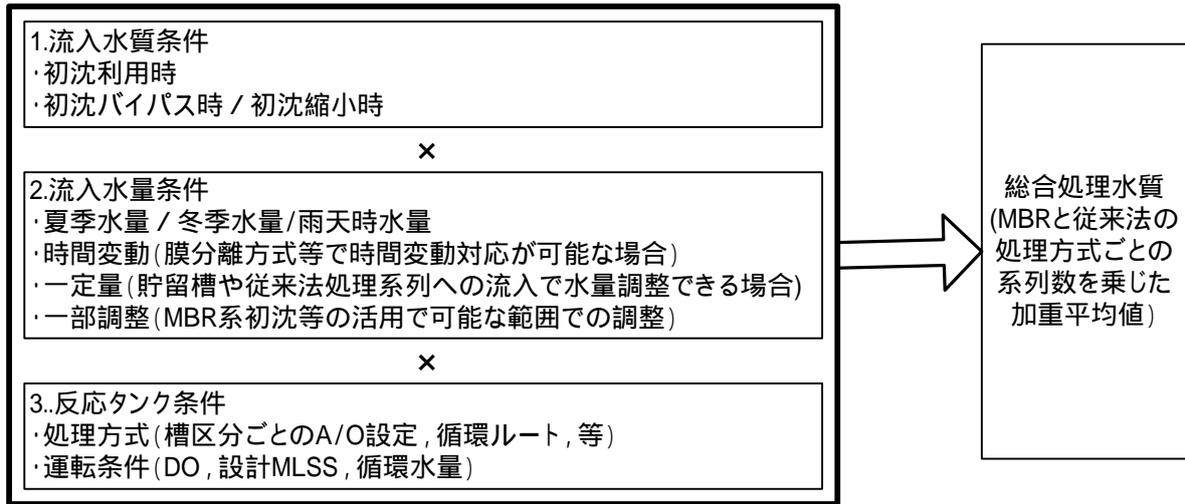
基本的には、それぞれの処理方式に応じた計画を行うが、処理方式の組み合わせにより、処理性能、コスト、維持管理等の面で、最適な組み合わせや設備検討を行うものとする。

MBR と従来法との並列処理では、MBR 系列数や流入条件により、従来法処理系列の運転条件が変化することとなり、それに応じた設備計画を検討しなければならない。

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タンクへの流入水質は、窒素除去及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、最適運転条件の検討が必要となる。

特に、既設改造による MBR 導入の場合は、既存の設備を有効に活用する観点から、その組み合わせにより様々な運転条件が検討対象として考えられる。

なお、処理場全体の処理水質の検証 (図 4-5 参照) 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。



MBR 系列への流入条件に応じ、従来法処理系列への流入条件も変化することに留意

図 4-5 処理水質の検証にあたり考慮する項目の例

(4) 送風設備計画

MBR は、生物処理に必要な酸素量以外に膜を洗浄するための空気が必要となる場合があるため、散気装置の型式、配置や膜モジュール空気洗浄方式などについて検討し、既設送風設備の有効利用を図り、送風設備の建設費、送風のための電力使用量の削減を目的とした検討を行う。

(5) 汚泥処理方法等の見直し

MBR 系列では、最初沈殿池を不要とする場合、最初沈殿池汚泥が発生しなくなり、余剰汚泥濃度も高くなる。このため、従来法処理系列からの汚泥も考え合わせ、汚泥処理方式の見直しが必要となる。また、MBR から発生する余剰汚泥は、1%を超える濃度であり、既設の汚泥処理施設で統合して処理する場合は、投入する施設・設備の処理効率を勘案して検討する。

(6) 水の流れ及び水位計画の検討

MBR と従来法との並列処理においては、既存の従来法処理系列の水の流れに比較して、MBR 系列の水の流れは大きく異なるものとなる。このため、できるだけ水の流れがスムーズになるよう、分配槽から放流施設に至る配管及び水路等の位置・形状・材質等について十分検討する。また、既設処理施設の放流水位が固定化されているため、新規増設施設の水位計画にあたっては、既存放流水位に整合するように検討する。

4.2.2 新規系列増設の場合の検討事項

MBR と従来法との並列処理において、新規の増設系列に MBR を導入する場合、それぞれの処理フローが異なるため、バランスのとれた施設配置となるよう検討する。

MBR は、従来法に比較してコンパクトな施設となるため、施設配置にあたっては既設処理施設との整合をはかり、無駄のない水や空気の流れ及び維持管理の作業性に留意し、以下の

事項を検討する。

(1) 新規増設系列の反応タンクの配置

新規増設系列（MBR 系）では，最初沈殿池，最終沈殿池がなく，反応タンクの形状寸法も既設系列とは異なることが考えられ，増設系列については敷地上無駄のない配置とする。

(2) 配管廊の整合性

新規増設系列の配管廊は，既設水処理施設の配管廊，送風機室，電気室及び污泥処理施設の配置を考慮し，その設置位置及び構造を検討する。

4.2.3 既設改造の場合の検討事項

MBR と従来法との並列処理において，既設水処理施設の一部を改造して MBR を導入する場合，既設の最初沈殿池や最終沈殿池の活用，新たに追加する施設等について検討する。

(1) 最初沈殿池の活用

MBR 系列は，最初沈殿池は必須要件ではなく，既設の最初沈殿池は省略・削減することが可能であるが，夾雑物の除去の観点からは，膜モジュールの保全効果が期待できる。

しかしながら，生物学的窒素りん除去を考慮する処理フローにおいては，最初沈殿池における有機物除去が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，最初沈殿池の使用の有無（池数の削減を含む）を勘案する。

なお，既設最初沈殿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，生物反応タンクなど）への転用を考慮する。

また，合流式下水道の場合，最初沈殿池は，雨天時の簡易処理施設として運用していることが多いため，運用にあたっては，特に留意する必要がある。

(2) 最終沈殿池の活用

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，生物反応タンクの MLSS を上昇させることができない場合が多い。

MBR 系列では最終沈殿池が不要となるため，従来法処理系列の最終沈殿池として利用することができる。

これにより，最終沈殿池の水面積を大きくとることができ，水量が同じであっても MLSS を高くとること（処理の高度化）が可能となる。

槽外型及び槽別置型の処理方式の場合，膜モジュールの設置場所として最終沈殿池を活用することができる。

(3) 分水方法の検討

MBR 系列への流入水量は，膜による固液分離という特性から，水量変動を抑えた分水を行う必要がある。そこで，既存の分配槽や不要となった最初沈殿池などを活用するほか，必要に応じて新たな分配施設の検討を行う必要がある。

MBR の既設水処理施設への導入は，改造工事中の処理能力維持のため段階的施工が基本と

なり、工事期間中の分水量が変化することに留意する。

(4) 微細目スクリーンの設置場所

既存の下水処理場においては、ポンプ揚水後、反応タンクまでの間に微細目スクリーンを設置している処理場はほとんどないため、MBR 系列については新たに微細目スクリーンを設置する必要がある。微細目スクリーンの設置については、既存処理場の敷地・設備配置状況を勘案するとともに、既設最初沈殿池の活用も含めた検討を行う必要がある。

(5) 流量調整方式及び設備計画

既存の水処理施設の一部に MBR を導入する場合は、流量調整槽として最初沈殿池を活用することを検討する。流量調整槽の容量を算定するにあたっては、晴天時の時間変動など実績データから設定するが、流量調整タンクの建設費が過大とならないよう、膜のろ過流量を一定に保つる過流量制御による流量変動対応等も合わせて検討する。

流量調整方式をインライン（直結）方式とするか、サイドライン（平行）方式とするかは、既存最初沈殿池の構造、流量調整ポンプの設置場所等を考慮して決定すること。

また、最初沈殿池の合流式下水道改善施設への活用など、他の施設への転用が計画されている場合は、設備配置、経済性、維持管理性など様々な観点から検討を行う必要がある。

(6) 膜モジュールの設置

浸漬型（一体型）の場合、膜モジュールは、既設の反応タンク内に設置することになり、水深、隔壁の位置に留意するとともに、構造的な検討を行う必要がある。

浸漬型（槽別置型）の場合、膜モジュールは、反応タンクや最終沈殿池に設置することになるため、別置用の反応タンク仕切り壁の設置位置や構造的な検討が必要になる。

槽外型の場合、膜モジュールを、反応タンク上部や配管廊内、最終沈殿池内部などへ設置することが考えられるが、空間的な設置可能性や構造的検討が必要とされる。

(7) 新規に設置すべき設備の配置計画

新たに必要となる設備として、膜モジュールの吊り上げ装置、薬液洗浄用設備、浸漬洗浄槽、ろ過水タンク、各種配管及び計装制御設備等があり、既存施設との取り合いを検討する必要がある。また、既設最終沈殿池など既存設備の活用を検討する。

4.3 導入コスト

MBR を一部の系列に導入することから、既存施設の活用方法について十分に検討し、新たに設置する施設、既存施設の改造及び維持管理など費用を算定する。

既設処理場への MBR の導入におけるコストの検討においては、既存施設の活用と必要となる改造および追加で設置が必要となる施設について、建設費及び維持管理費を算定するとともに、従来法を用いてそれと同等の性能となるように改造（もしくは新設）する場合の建設費及び維持管理費と比較を行う。ただし、新たな用地の取得が必要な場合は、用地費を含めてもよい。

以下に標準活性汚泥法を採用している既設下水処理場へ MBR を導入する際のコストの試算例を示す。

(1) コストの試算の手順

コストの試算にあたっては、処理能力、計画水質、設計諸元等のといった施設条件を想定し、建設費及び維持管理費を算出する。

(2) 施設条件

MBR 系列導入に伴う新たな施設の設置、施設改造の概要を以下に示す。

試算では、標準活性汚泥法を採用している既設下水処理場へ高度処理（窒素・りん除去）可能な MBR を導入する場合を対象とした。また処理場の処理能力としては全体処理能力 $m^3/日$ （ $m^3/日 \times$ 池）および $m^3/日$ （ $m^3/日 \times$ 池）の 2 ケースについて、系列 1 組（2 池もしくは 1 池）の最初沈殿池、反応タンク、最終沈殿池について改造する場合のコストを算定する。

なお、改造系列数が増える場合には、基本的に 2 池（または 1 池）を一組として検討すればよいが、ブロワなどの共通設備が含まれるため、改造コストなどが単純な倍数とならない点に注意が必要である。

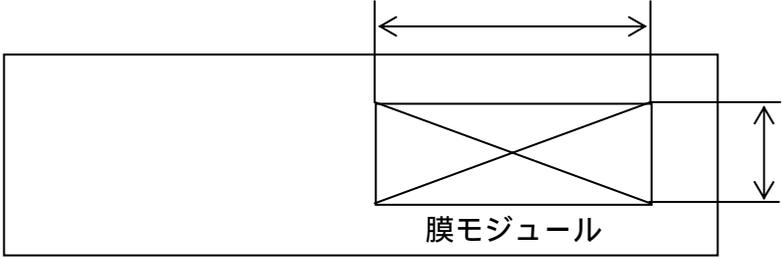
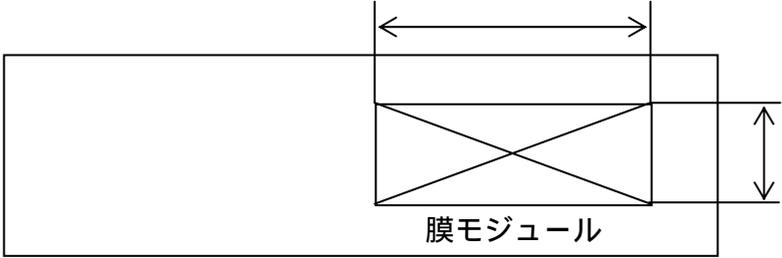
対象施設の改造の検討における基本的な方針は以下の通り。

- ・ 最初沈殿池 : 改造しない（最初沈殿池として使用する）。
- ・ 流入水量調整 : 従来法との並列処理により MBR 系列へ定量流入させることを前提とし、流量調整タンクは設けない。
- ・ 機械設備 : 膜処理設備を新たに設置するほか、既存設備の活用を前提とするが容量が不足するブロワの増設や新たに必要となる微細目スクリーンの設置を行う。
- ・ 土木構造物 : 反応タンク内隔壁など既存の土木構造物をなるべく活かすこととするが、メリットが出る場合には隔壁の撤去・新設も検討対象とする。
- ・ 検討範囲 : 水処理設備以外の施設・設備（最初沈殿池より上流の流入設備、汚泥処理設備、脱臭設備など）は検討対象としない。

(3) コスト試算結果

今回試算を行った結果は表 4-1のとおりである。

表 4-1 コスト試算例

処理能力	, m ³ /日(, m ³ /日 × 池)				
膜モジュール配置例					
コスト試算結果			土木	機械	計
改造費	1 池あたり	百万円/池			
維持管理費	1 池あたり	百万円/池			
処理能力	, m ³ /日(, m ³ /日 × 池)				
膜モジュール配置例					
コスト試算結果			土木	機械	計
改造費	1 池あたり	百万円/池			
維持管理費	1 池あたり	百万円/池			

第5章 再生処理施設への導入

下水道分野において、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、膜による再生処理施設の選定手順、及び導入に際しての留意事項、経済性等について整理する。

なお、膜処理技術の基本的事項については、第 2 章で示したとおりである。

5.1 再生処理への膜処理技術導入の特徴

処理水再生処理への膜処理技術導入により期待される効果としては、次の事項が挙げられる。

- ・再生処理水質が安定かつ良好である。
- ・広範囲な水質項目に効果が期待できる。
- ・自動監視制御により運転管理の省力化が可能である。

(1) 処理水質の安定性

これまでの再利用の実績において、水洗(トイレ)用水や修景・親水用水の美観・快適性(色、濁り、臭気、汚れ、ユスリカの発生など)についての苦情件数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²⁵⁾。

膜処理により捕捉できる濁質の粒子径は、従来の砂ろ過設備などに比べはるかに小さく、濁りがほぼ完全に捕捉できるため、付着物やユスリカなどの発生は抑制され、また、RO 膜などによれば、色や臭気の原因物質の分子レベルでの除去が可能であり、良好な水質が安定して得られる。

(2) 広範囲な水質項目への効果

表 5-1に示すように限外ろ過法 (UF 膜) や逆浸透法 (RO 膜) による処理効果は、美観、大腸菌群数に代表される衛生項目など、きわめて広範囲にわたっている。

表 5-1 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
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。) (有効): 概略除去率20% ~ 50%以上
例	: 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。

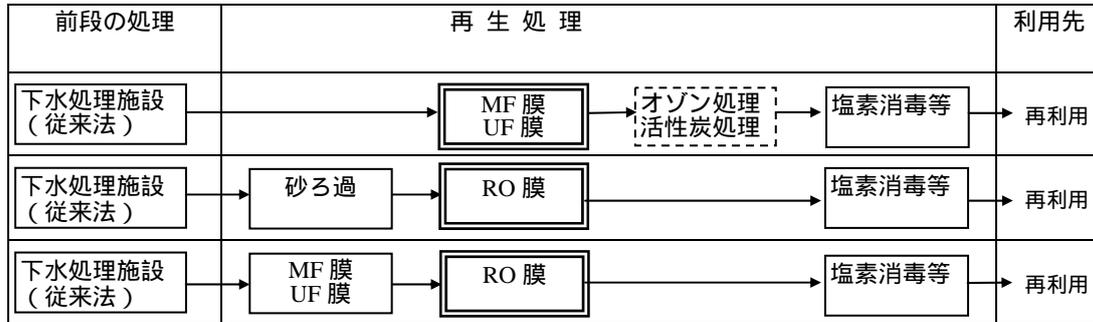
(3) 自動監視制御による運転管理の省力化

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、計器による精度の高い監視が可能であることから、自動監視制御による運転管理の省力化が可能である。

5.2 膜による再生処理施設導入の検討事項

再生処理の一般的な工程を整理したものを図 5-1 に示す。膜による再生処理は、その原水となる前段の下水処理工程（二次処理，高度処理，MBR 処理など）の処理水質，用途別目標水質によって膜の種類や処理工程の内容が異なる。

1)従来法による処理工程の後段に，膜処理と物理化学処理を付加



2)MBR よる処理工程の後段に，膜処理と物理化学処理を付加



オゾン処理及び活性炭処理は，色度あるいは臭気が利用先の要求水準を満足しない場合に適用が必要となる

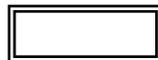
 : 主体となる膜処理工程

図 5-1 膜処理技術による再生処理施設の一般的な工程

再生処理施設へ膜を導入するにあたっては，以下の事項を検討する。

- ・再生処理施設能力の設定
- ・再生水の目標水質
- ・膜の種類の設定
- ・再生処理フロー
- ・膜処理に伴って発生する汚泥及び濃縮水の処理

以下に，膜による再生処理施設導入のための検討内容について示す。

5.2.1 再生処理施設能力の設定

用途別需要量及び供給可能水量の調査・検討結果を勘案し，供給水量を適切に設定するとともに，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。

(1) 用途別需要量

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。

(2) 供給可能水量

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、濃縮水の逆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。

5.2.2 再生水の目標水質

再生水の目標水質の検討にあたっては、利用用途ごとの水質基準に基づき、適切に設定する。

(1) 利用用途

下水処理水を再利用する際の利用用途は、以下のようなものが想定される。

- 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) 利用用途ごとの水質基準

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」²⁵⁾では、下水処理水の再利用する際に問題となる衛生学的安全性、配管の腐食・閉塞等の設備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、用途別の水質基準等を設定（表 5-2）している。

このなかで、最も高度な水質基準は親水用水についてのものであり、色度が 10 度以下で、凝集沈殿 + 砂ろ過設備と同等以上の機能を有する設備を設けることとされている。

表 5-2 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 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 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

* 参考文献(25)より作成。

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を定めている。

表 5-3 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	
備考	雑用水の用途は、散水、修景、清掃、水洗便所。 ただし、「特定建築物」においては、し尿を含む原水を水洗便所用水以外の用途に使用してはならない 多数の人が使用又は利用する床面積 3,000m ² 以上の興行場・集会所・図書館・博物館・美術館・遊技場、店舗・事務所、学校、旅館	

* 「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)

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水質(ボイラー用水・冷却用水)(表 5-4) などがある。

表 5-4 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	ボイラー用水*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: 90%程度の事業所が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

5.2.3 膜の種類を選定

膜の種類を選定にあたっては、膜処理の前段の処理プロセスの処理水水質と再生水の目標水質を勘案し、これに適した除去特性を有する膜を選定する。

下水処理水再生処理の前段の処理プロセスは、二次処理施設、高度処理施設(N,P除去)、MBR 処理施設などの生物処理プロセスであり、その処理水の水質は処理プロセスにより大きく異なる。従って、再生処理に適用する膜の種類を選定にあたっては、膜処理の前段の処理プロセスの処理水水質と再生水の目標水質を比較検討する必要がある。

下水処理水の再生処理において対象となる膜の種類としては、MF 膜、UF 膜、NF 膜及び RO 膜が挙げられるが、膜の技術開発は急速に進展しており、低圧力損失の RO 膜の製品化により NF 膜と RO 膜との適用範囲が重複するなど、同種の膜においても特性に違いがあることに留意して選定を行う。

実際に下水処理水の再生処理への膜処理の適用例として、原水となる下水処理水(二次処理水)と膜処理水の水質事例について、表 5-5~表 5-9に示す。

事例に示すように、MF 膜/UF 膜による処理水では、濁度、大腸菌群数、BOD は効率よく除去されるものの、その他の水質項目では二次処理水とほぼ同等程度であるのに対して、NF 膜/RO 膜による処理水では、濁度、大腸菌群数、BOD のほか、色度、硬度、塩化物イオン、りん、無機塩類などの溶解性の物質も効率よく除去されることが分かる。従って、親水用水や、塩化物イオンなどの高い水準が求められる工業用水(冷却水、ボイラー用水等)の用途に使用する場合には NF 膜/RO 膜による処理を検討する必要がある。

表 5-5 二次処理水と膜処理水の水質事例 ¹²⁾

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 5-6 二次処理水と膜処理水の水質事例 ⁶⁾

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
	濁度	14	<1	<1	<1
B	SS	8	<1	<1	<1
	TDS	623	637	84	271
C	BOD	4	<1	<1	<1
	COD _{Mn}	16	10	<1	<1
	TOC	15	9	<1	<1
D	T-P	2.2	1.1	0.01	0.03
	T-N	31	30	4.2	17
	NH ₃ -N	28	28	3.9	15
E	pH	7.2	7.2	5.8	6.8
	電気伝導率	132	133	14.5	71.1
F	大腸菌群数	28 × 10 ⁴	0	0	0
	糞便性大腸菌群数	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、糞便性大腸菌群数[個/100mL]
電気伝導率[mS/m] その他pH、外観、臭気以外の項目[mg/L]

表 5-7 膜処理の水質除去率の事例 ^{29), 30)}

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

単位:
A:感覚的指標
B:固形分指標
C:有機物指標
D:富栄養化指標
E:無機物指標
濁度、色度 度
導電率 μS/cm
その他 mg/L

表 5-8 NEWater(MF 膜/UF 膜)の水質 ⁶⁾

項目	単位	下水道	NEWater
pH		6 ~ 8.75	7 ~ 7.5*
電気伝導率	mS/m	12 ~ 16	10 ~ 18*
TOC	μg/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	μg/L	30 ~ 60	30 ~ 60
塩素イオン	mg/L	8 ~ 10	8 ~ 10
硫酸イオン	mg/L	15 ~ 20	<0.045
磷酸イオン	μg/L	<80	<80

*:pH調整水酸化ナトリウム添加後

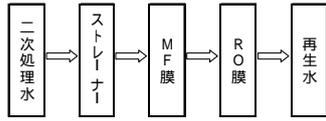
表 5-9 オゾン処理と膜処理(MF 膜)を併用した処理水の水質事例¹⁶⁾

対象サンプル	原水(二次処理水)	生物膜ろ過処理水	オゾン耐性膜処理水
分析項目			
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	微力臭	微力臭	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

なお、下水処理水の親水用水利用を目的にした再生処理施設での膜の選定例を、表 5-10に示す。

表 5-10 落合水再生センター下水再利用設備の仕様⁶⁾

区分	MF膜	RO膜	再生処理フロー
膜材質	ポリピレン	ビヘラジンポリアミド	
阻止性能	0.2 μm	塩阻止率97%	
エレメント形状	外圧中空糸	4インチ・スリイアル	
膜本数	2m ² /本、15本	12本	
膜ろ過流速	2.2m/d	0.6m/d	
逆洗	150分間隔	-	
水回収率	92%	77%	
通水pH	6.5	6.5	
殺菌剤	残留塩素を含まないこと	残留塩素1mg/L以下	
スケール防止剤	なし	なし	

5.2.4 再生処理フロー

再生処理フローについては、必要に応じて膜処理を安定して行うために膜の閉塞や劣化を抑制するための処理設備や、膜処理水の水質を用途別目標水質に適合するための処理を付加することを検討する。

膜処理技術による再生処理施設の工程は、主体となる膜処理工程、膜処理を安定して行うために膜の閉塞や劣化を抑制するための処理工程、及び膜処理水の水質を用途別目標水質に適合するための処理工程に大別される。

(1) 膜処理を安定して行うために膜の閉塞や劣化を抑制するための処理

アンモニア性窒素などの栄養塩を含む下水処理水を対象とした膜処理設備では、バイオフィアウリング(バクテリアなどの微生物によるファウリング)が容易に発生するため、これを抑制することは非常に重要となる。

検討にあたっては、選定した膜の特性、膜の目詰まりの発生頻度等を十分考慮する。

1) 主体となる膜処理工程に MF 膜/UF 膜を用いる場合

主体となる膜処理工程に MF 膜/UF 膜を用いる場合、バイオフィアウリングを抑制するために次亜塩素酸ナトリウムが用いられることがある。ただし、膜素材によっては、塩素により

膜の劣化を早めることになりかねないので注意する必要がある。なお、膜の劣化に対しては、塩素耐性膜の使用や、オゾンまたは UV(紫外線)処理によるバイオフィウリングの抑制などが提案されている。

2) 主体となる膜処理工程に RO 膜を用いる場合

主体となる膜処理工程に RO 膜を用いる場合には、RO 膜保護のための夾雑物除去を目的とした前段の処理として、砂ろ過などの物理化学的方法のほか、設備のコスト低減やコンパクト化を図るため、MF 膜/UF 膜を用いる方法が検討されるようになっている。また、ファウリングしにくい膜素材や、洗浄後のろ過性の回復が大きい膜素材などの研究開発が、盛んに行われており、設備の簡素化とろ過継続期間の延長化の技術が進んできている。

3) 前段の下水処理プロセスが MBR による場合

下水処理プロセスとしての MBR の後段に RO 膜を用いる場合は、MBR における膜分離が夾雑物除去のための前段の処理を兼ねることができることから、設備省略化も可能である。

(2) 膜処理水の水質を用途別目標水質に適合するための処理

再利用用途により、溶解性物質に起因する色度の改善や感染リスク低減など水質の高度化を図る必要がある場合は、必要に応じて膜処理設備の後段に膜処理水の水質を用途別目標水質に適合するための処理を付加する。

MF 膜/UF 膜を用いる場合、親水用水用途の基準を満足させることを目的として色度や臭気を低減するために、オゾン処理等を付加することがある。

なお、膜処理水からは大腸菌群数(MPN)がほとんど検出されないことから、塩素消毒は、利用用途を考慮して検討する。シンガポール NEWater では膜処理設備の後に UV による消毒設備を設けている例(参考図 2-8 参照)がある。

5.2.5 膜処理に伴って発生する濃縮水の処理

膜処理技術の導入に伴って発生する濃縮水の処理について、処理場の設備運転状況に応じて検討を行う。

塩分や難生物分解性物質を高濃度で含む RO 膜の濃縮水や再生処理システムから発生する洗浄排水などは、これが下水処理施設に返流されると、本来の下水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。

図 5-2は RO 膜による再生処理施設を導入した処理場での水量と、塩素イオン及び COD の収支(流入下水量に対する再生処理原水の供給率 80%、全体回収率 80%としたとき)を概念的に示したものであり、放流量は流入水量の 36%となるとともに、RO 膜で回収された塩素イオンや難分解性 COD の負荷は下水処理施設で除去できないため、放流水の濃度は濃縮され

る傾向となる。例えば，塩素イオン収支図では流入下水の 2.5 倍（流入下水を 400mg/L とすると放流水は 1,000mg/L）程度に上昇し，また，COD 収支図では流入下水の 0.28 倍（流入下水を 100mg/L とすると放流水は 28mg/L）程度となることを示している。

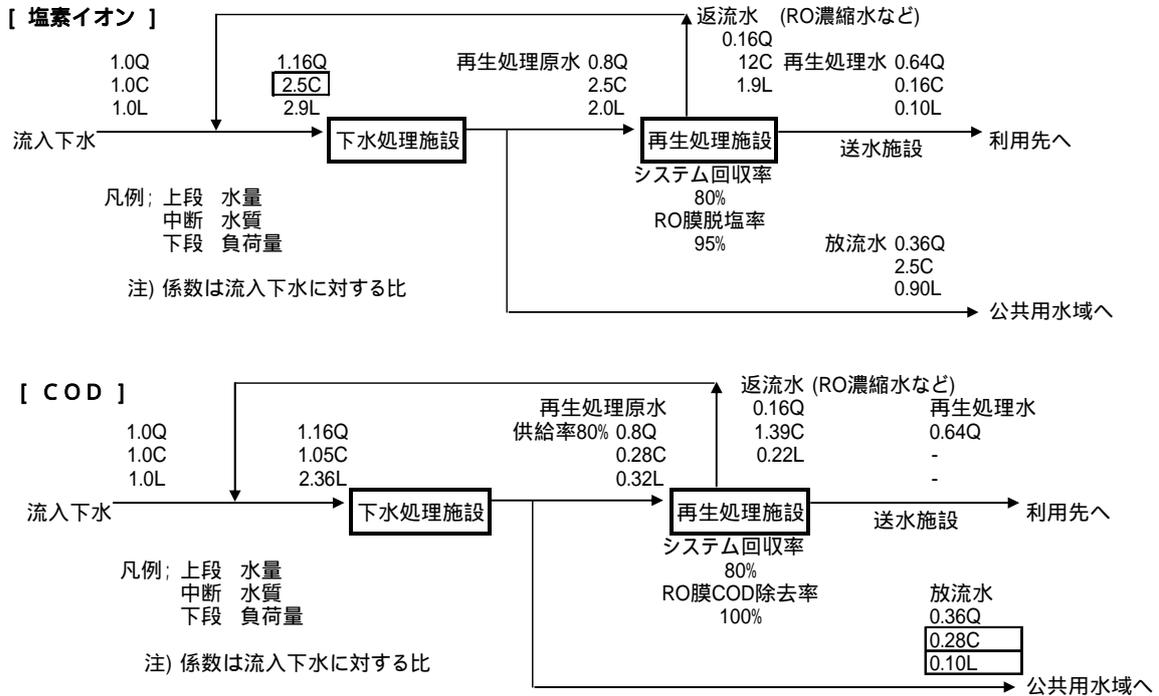


図 5-2 膜による再生処理施設を導入した下水処理場での収支概念図

5.3 導入コスト

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。

イニシャルコスト及びランニングコストといった膜処理施設導入コストの算出は、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。

膜処理施設導入コストについては、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点に留意する必要がある。

なお、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²⁶⁾を巻末資料に示す。

【膜処理技術の導入検討にあたって参考となる技術情報】

ここでは、現段階における膜処理技術に関する実績や検討事例及び評価事例といった、膜処理技術の導入検討にあたっての参考となる技術情報を掲載する。

- (1) 膜の耐用年数
- (2) MBR 設計諸元例（日本下水道事業団による技術評価）
- (3) 膜コストに関する資料
- (4) 再生処理施設の費用関数の例²⁶⁾
- (5) 国内における MBR 適用事例における膜モジュールの諸元

(1) 膜の耐用年数

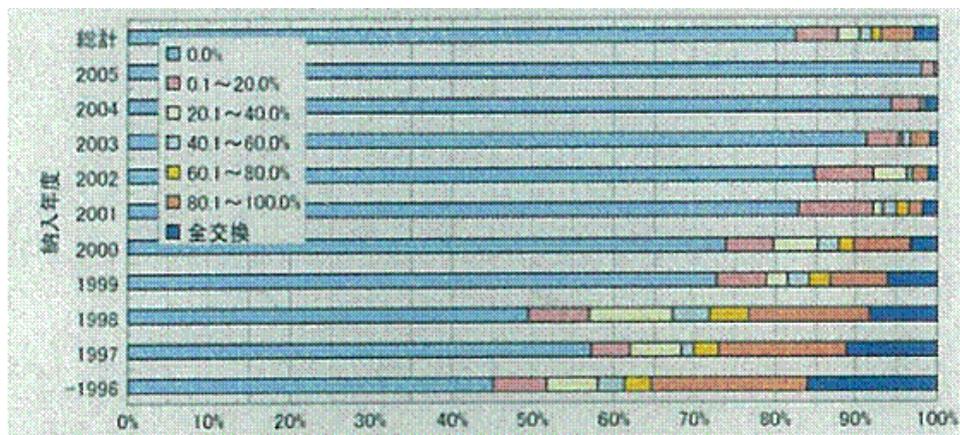
ろ過膜は、空気洗浄や薬品洗浄を行うことにより、必要な透過流束を確保しながら運転するが、長期間の間には洗浄を行ってもなお閉塞が残り、ろ過性能が低下してくる。このような状況ではろ過膜の交換が必要となる。膜の交換が必要となるまでの期間は、膜の種類、原水の種類、運転状況等によっても大きく異なり、予測は困難である。

英国における下水道施設（MBR）での実績（参考表 1-1）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（参考図 1-1）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。

参考表 1-1 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



参考図 1-1 膜交換比率（産業排水処理施設と浄化槽）¹²⁾

(2) MBR 設計諸元例(JS 技術評価)

JS 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参考表 1-2 に示す。

参考表 1-2 JS による標準設計値の例

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	膜モジュールの形式等によっても異なる

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。

あわせて, JS による膜分離活性汚泥法の技術評価に関する報告書を次紙に示す。

技術開発部技術資料 03-008

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

膜分離活性汚泥法の技術評価について

膜分離活性汚泥法は、ろ過膜を槽外に設置して活性汚泥と処理水を分離するいわゆる第一世代といわれる槽外型システムにはじまり、生物反応タンクに膜ユニットを浸漬する第二世代の浸漬型システムに発展してきた。浸漬型システムの研究開発の歴史は、日本において経済産業省が行った 1986 年のアクアルネッサンス '90 が始まりであり、その後、1991 年から厚生労働省による水道用浄水分野の共同研究開発「MAC21」や「膜式し尿処理」、「膜式合併浄化処理の開発研究」などの大規模プロジェクトが実施されてきた。水道や産業排水処理、し尿処理、浄化槽等の分野では生物処理の固液分離プロセスへ膜分離技術が盛んに導入されている。

膜分離技術はスケールメリットが働きにくいという特徴を有していることから、下水道の分野では再利用用途を除いてこれまで導入されていない。各分野における膜分離技術の普及に伴うコスト低下とあいまって下水処理においても膜分離技術は現実的な選択肢となっており、海外においては、イタリアで 38,000m³/日、ドイツで 45,000m³/日の施設が稼働している。今後わが国においても得られる処理水の質の高さとコストを勘案する中で、膜分離技術の導入が進むものと予想される。

このような背景から平成 14 年 10 月に日本下水道事業団理事長より「膜分離活性汚泥法」について技術評価委員会に諮問がなされた。本委員会において、現在までの同法に関する各種排水処理施設の処理実績や日本下水道事業団が民間企業と行った共同研究におけるパイロットプラント実験の知見を基に、これらを体系的に整理し、審議することにより、下水処理への適用性及び設計上や管理上の留意事項等が明確に示された。こうした審議を踏まえ「膜分離活性汚泥法の技術評価」が 15 年 1 月に技術評価委員会より理事長に答申された。

膜分離活性汚泥法の技術評価に関する報告書とその別添資料をとりまとめたものが本報告書である。本報告書が膜分離活性汚泥法の施設設計と運転管理の道しるべとなり、本法がわが国における新しい水処理技術として定着するとともに、さらなる技術的発展が図られることを期待している。

平成 15 年 11 月

日本下水道事業団技術開発部
部長 酒井 憲司

審議の経過

平成 14 年 10 月	第 45 回	技術評価委員会
平成 14 年 12 月	第 30 回	水処理専門委員会
平成 15 年 3 月	第 46 回	技術評価委員会
平成 15 年 7 月	第 31 回	水処理専門委員会
平成 15 年 8 月	第 32 回	水処理専門委員会
平成 15 年 9 月	第 47 回	技術評価委員会

委員の構成

(平成 15 年 9 月 30 日現在)

技術評価委員会

会 長	柏谷 衛	東京理科大学 理工学部 土木工学科教授
委 員	藤田 正憲	大阪大学大学院 工学研究科 環境工学専攻教授
"	松尾 友矩	東洋大学 学長
"	田中 和博	日本大学 理工学部 土木工学科教授
"	楠田 哲也	九州大学大学院 工学研究院 環境都市部門教授
"	谷戸 善彦	国土交通省 都市・地域整備局 下水道部長
"	宮原 茂	国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部長
"	大矢 爽治	東京都 下水道局技監
"	齋藤 正勝	横浜市 下水道局長
"	木葉 佳成	大阪市 都市環境局長
"	谷口 尚弘	(社)日本下水道協会理事
"	大貫 三郎	埼玉県 県土整備部下水道課長
"	鈴木 章	日本下水道事業団理事
旧委員	曾小川 久貴	国土交通省 都市・地域整備局 下水道部長
"	酒井 憲司	仙台市 下水道局長
"	鈴木 宏	東京都 下水道局長
"	横山 博一	日本下水道事業団理事

(旧委員の所属職名は委員委嘱当時のもの)

水処理専門委員会

会 長	山本 和夫	東京大学 環境安全研究センター 教授
委 員	長岡 裕	武蔵工業大学 工学部 都市基盤工学科助教授
"	小松 俊哉	長岡技術科学大学 工学部 環境・建設系 助教授
"	鈴木 穰	独立行政法人 土木研究所 材料地盤研究グループ リサイクルチーム 上席研究員
旧委員	藤原 健司	兵庫県山手町企業課長

(旧委員の所属職名は委員委嘱当時のもの)



技 評 発 第 3 号
平成 15 年 11 月 25 日

日本下水道事業団
理事長 安中 徳二 殿

日本下水道事業団
技術評価委員会
会長 柏 谷



答 申

平成 14 年 10 月 25 日付け本技技発第 114 号をもって諮問されました「膜
分離活性汚泥法」について、添付のとおり、答申いたします。

目 次

(技術評価の経緯)	1
(技術評価の目的)	2
(評価対象技術)	2
(評価の範囲)	2
(膜分離活性汚泥法の特徴)	2
(設計上の留意事項)	5
(維持管理上の留意事項)	6
(適用上の注意)	7
(その他の留意事項)	8

(技術評価の経緯)

水処理分野における膜分離技術の発展は、近年著しいものがあり、浄水処理をはじめとして、各種産業排水処理、大規模建物個別排水循環利用施設、し尿処理等で膜分離技術を用いた水処理が導入されている。既に水道用浄水施設では約 280 箇所、し尿処理施設では約 130 箇所が膜分離技術を導入しているが、最近では浄化槽や農業集落排水処理施設等の下水道以外の汚水処理施設においても導入が進んでいる。また、海外においても水処理分野における膜分離技術の導入が活発であり、膜分離活性汚泥法施設の大型化が進んでいる。

わが国では、下水道分野では浄化槽や農業集落排水処理施設等に比較すると処理水量が多いため必要膜面積が大きく、コスト的に不利であるとの考えから、これまで膜分離技術は一部の再利用用途以外では導入が進んでいなかったが、前述した諸分野における膜分離技術の普及に伴う膜コスト低下により、下水処理における膜分離技術導入は現実的な選択肢となってきた。膜分離技術の水処理への導入により、最終沈殿池や砂ろ過施設等が不要になるなどによる施設の削減とそれに伴う必要敷地面積の削減によるコスト縮減効果の他、高度な処理水質が得られるなどの多くのメリットが期待できる。

このような背景から、平成 14 年 10 月、日本下水道事業団理事長より技術評価委員会へ諮問があり、膜分離活性汚泥法について技術評価を行なうこととなった。

(技術評価の目的)

前述の経緯から、これまでの膜分離活性汚泥法に関する各種排水処理施設における処理実績及び主として実験プラントによる調査結果を体系的に整理することにより、膜分離活性汚泥法の特徴の明確化を行い、下水処理への適用性を評価し、あわせて設計や管理の留意事項を提示することを本技術評価の目的とする。

(評価対象技術)

本評価の対象とする膜分離活性汚泥法（以下、「本法」）は、家庭下水を主体とする都市下水を処理する活性汚泥法の一つであり、無酸素タンク及び好気タンクから構成される生物反応タンクにおいて活性汚泥処理を行い、好気タンク内に浸漬したろ過膜によって固液分離を行なう技術である。

(評価の範囲)

評価の範囲は、水処理に関しては、前処理施設以降とする。また、汚泥処理に関しては、余剰汚泥の引き抜きから脱水までとする。

(膜分離活性汚泥法の特徴)

1. 処理原理とプロセス構成

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、孔径 0.1～0.4 μm 程度の精密ろ過膜（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。生物反応タンクは、無酸素タンクと好気タンクから構成され、流入下水は、前処理施設で夾雑物を除去した後、無酸素タンクに供給され、その後好気タンクに流入する。好気タンクと無酸素タンク間では混合液の循環を行なう。

好気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

- ① 最初沈殿池、最終沈殿池、消毒施設は必要ない。
- ② 生物反応タンク MLSS 濃度が高いので、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、汚泥濃縮タンクは省略することができる。
- ③ 流入水量変動に対応するために、流量調整タンクが必要である。
- ④ 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。
- ⑤ 生物反応タンクには無酸素タンクを設け、脱窒反応により硝化で消費されたアルカリ度の半分を回収し、混合液 pH の低下を防止する。
- ⑥ ろ過膜保護のため、生物反応タンク流入水は 1 mm 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

- ① 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、短時間で処理を行なうことができる。
- ② 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 法と比較して、処理水に

SS が含まれない分、より良好である。

- ③ 処理水中に大腸菌群はほとんど検出されない。
- ④ 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によりトイレ洗浄用水としての利用も可能である。
- ⑤ 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。
- ⑥ 生物学的硝化・脱窒反応により窒素除去が可能であり、窒素除去率は好気タンクから無酸素タンクへの循環量により制御できる。
- ⑦ 凝集剤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、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。
- ⑧ 汚泥転換率は、SRT が 20 日前後の運転では、OD 法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 の長い運転を行うことにより、更に発生活泥量を減少することができる。
- ⑨ 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。

4. 建設費及び維持管理費

建設費に関しては、構成施設が少なく、必要敷地面積が小さいことが削減要因となる。一方、微細目スクリーン、流量調整タンク、膜ユニットおよびその関連設備、送風機の能力増加等が建設費の増加要因となる。維持管理費については、消毒用薬品費、沈殿池関連費用や汚泥処理処分費等が削減要因であるが、送風用動力をはじめとする動力費や膜交換費、膜洗浄関連費用等が増加要因となる。

他処理法と年間費用（建設費及び維持管理費の合計）を比較すると、新規施設を対象とした一般的な試算条件下では、比較的規模の小さい施設において本法の有効性が高い。

（設計上の留意事項）

① 前処理施設

前処理施設としては、生物反応タンク流入前に、更に 1 mm 目程度の微細目スクリーンを設置する。

② 流量調整タンク

本法では原則として定量ろ過を行なうので、流入水量変動を均等化するため、流量調整タンクを設置する。

③ ろ過膜

本法で用いる MF 膜には大別して、平膜と中空糸膜があり、透過流束、洗浄方法、必要空気倍率が膜により異なるが、処理機能上の特徴については、膜形状による差は見られない。また、透過流束は水温が低下すると小さくなるため、冬季に流入水温が相当低下することが予想される場合には、設計透過流束に余裕を見込む必要がある。

④ 生物反応タンク

無酸素タンクと好気タンク各 1 槽で構成される生物反応タンクの水理的滞留時間は 6 時間程度とする。無酸素タンク及び好気タンク間の隔壁については好気タンクから無酸素タンクへの酸素持込を防止するため、開口部の大きさは必要最小限とする。また、スカム対策として生物反応タンクには消泡装置を設置する。生物反応タンクには外部からの異物混入を防止するため、原則として覆蓋をする。

- ⑤ 本法における必要空気量は、送気洗浄に必要な空気量と活性汚泥への酸素供給に必要な空気量からなる。
- ⑥ 消毒施設は不要であるが、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なよう配慮する。
- ⑦ その他
必要に応じて浸漬洗浄タンクを設置する。また、生物反応タンクには、膜ユニット吊り上げ装置を設置する。

(維持管理上の留意事項)

- ① 運転管理項目としては、膜差圧及び生物反応タンク MLSS 濃度が重要である。また、活性汚泥のろ過性を「ろ紙ろ過量」等の測定により定期的に把握することが望ましい。
- ② 膜差圧が上昇してきた場合、次亜塩素酸ナトリウム等の薬液を処理水側から注入する方法（薬液注入洗浄）あるいは膜ユニットを生物反応タンクから引き上げて薬液タンクに浸漬する方法（浸漬洗浄）によりろ過膜を洗浄する必要がある。
- ③ ろ過膜は使用の継続に伴ない、洗浄を行なっても閉塞物が除去しきれず、膜差圧が十分に低下しなくなって来る。このような状態になった場合、膜エレメントの交換が必要となる。
- ④ ろ過膜の閉塞を防止するため、ろ過を行なっている間はエアレーションによる膜面洗浄を行なう必要がある。このため、運転停止時や運転開始時など曝気洗浄なしでろ過を行なうことがないように注意する。
- ⑤ 流入水量が少ない場合には、適宜、ろ過及び曝気洗浄を停止する間欠運転を行なう。この際、運転休止時間を適正に設定し、活性汚泥を嫌気化させることがないように注意する。

- ⑥ 点検時や浸漬洗浄時に膜ユニットを生物反応タンクから引き上げて作業を行なう場合には、ろ過膜に損傷を与えないよう取り扱いに十分注意する。
- ⑦ 維持管理作業においては、コンクリートがら等の建設残さや採水器具など異物を生物反応タンク内に落下させることがないように注意する。

(適用上の注意)

(1) 処理対象とする下水

本法の処理対象は、家庭排水を主体とする都市下水とする。

(2) 下水収集システム

本法は、流量調整タンクを備えることにより、ある程度の流量変動には対応可能であるが、雨天時の浸入水に起因する設計処理能力を大幅に越える流入水量への対応には限界がある。このため、下水収集システムにおいて雨天時の浸入水量を低減するため、適切な施工管理及び不明水対策が重要である。

(3) 適用施設

本法の適用先としては、下記の条件を有する施設が考えられる。

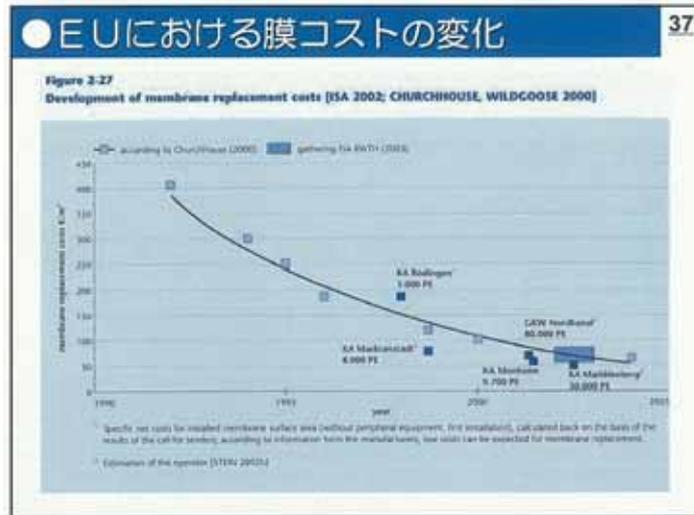
- ① 敷地面積が狭小で、コンパクトな施設配置が求められる場合
- ② 高度処理が要求される場合
- ③ 処理水の再利用を行なう場合
- ④ 放流先の水利用状況から消毒方法に配慮が必要な場合
- ⑤ 既設施設の高度化や改築・更新において、既設土木構造物を生かして施設の処理能力を増大する場合や処理水質の高度化を図る場合
- ⑥ 活性汚泥の沈降性が悪く、処理の改善が必要な場合

(その他の留意事項)

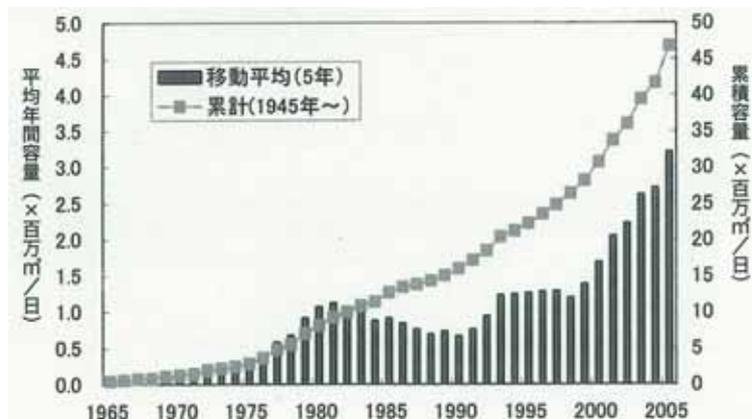
ろ過膜に関しては技術開発が活発であり、高透過流束の膜やオゾン耐性素材あるいはセラミック、金属等の新素材を用いた耐用年数の長い膜が出現して来ている。また、膜の価格は、膜分離技術の普及に伴って全体的に低下傾向にある。このため、本法の採用においては、最新の技術動向に十分に留意することが望まれる。

(3) 膜コストに関する資料

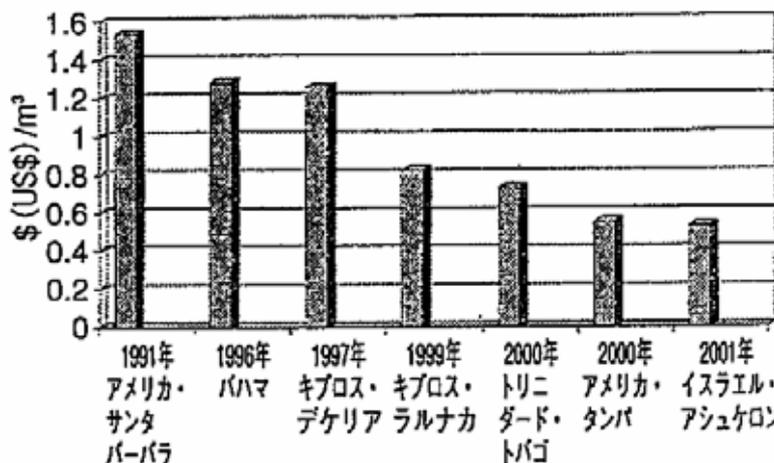
EU における膜コストの変化及び海水等を淡水化する施設の契約数とコストの推移の図を示す。EU における膜コスト（参考図 1-2）は、10 年間（1994 年から 2004 年）で約 1/5 に低下しており、海水淡水化施設（参考図 1-3,4）についても、施設契約数が経年的に増加するとともに、造水コストも 1991 年から 2001 年の 10 年間で約 1/3 に低下していた。



参考図 1-2 EU における膜コストの変化（日本下水道事業団資料）



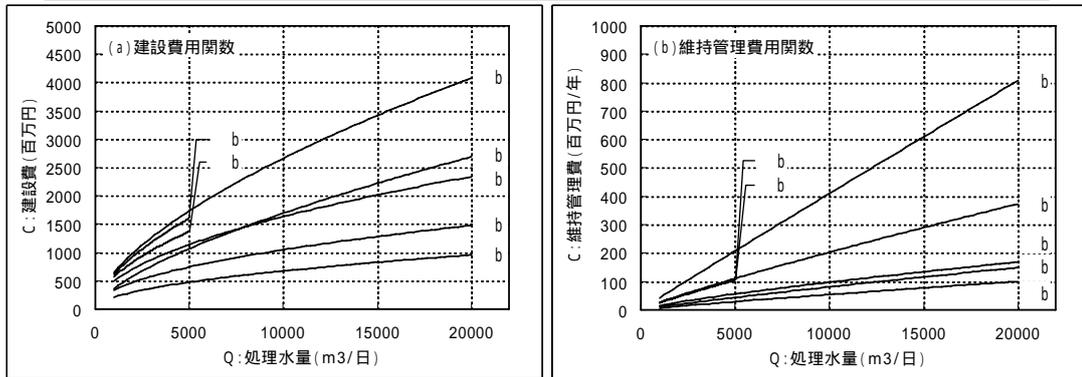
参考図 1-3 世界における海水淡水化施設契約実績の伸び¹⁷⁾



参考図 1-4 RO 海水淡水化プラントにおける造水コストの変移¹⁸⁾

(4) 再生処理施設の費用関数の例²⁶⁾

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]

(5) 国内における MBR 適用事例における膜モジュールの諸元

国内における MBR 適用事例における膜モジュールの諸元を以下の表に示す。

自治体名	施設名	現有 能力 (m ³ /日)	膜 タイプ	膜モジュール		
				外形寸法 (mm)	設置 数量 (台)	設置面積

【参考】

1. 膜処理技術を用いた展開

膜処理技術については、コスト、エネルギー使用量の削減はもとより、健全な水循環の構築、エネルギーの効率的な回収など多方面での適用が期待されており、その研究・開発が積極的に進められている。

ここでは、下水道分野における膜処理技術を用いた今後の展開について、先進的な事例、技術開発の動向を整理する。

1.1 21 世紀の「循環のみち」形成と膜処理技術

平成 17 年 9 月にまとめられた「下水道ビジョン 2100」において、100 年後を見据えた下水道のあり方として、地域の持続的な発展のための「活用・再生」を中心とした『循環のみち』を基本コンセプトとした下水道が提案された⁴³⁾。この『循環のみち』実現のための基本方針として、水循環の健全化に向けた水再生・利活用ネットワークを創出する「水のみち」、将来の資源枯渇への対応や地球温暖化防止等に向けた資源回収・供給ネットワークを創出する「資源のみち」、新たな社会ニーズに応えるサステナブル下水道の実現を掲げている（参考図 2-2 参照）。

そして、膜処理技術は、汚水中のより微小の物質を効率的かつ効果的に除去する技術である。この膜処理の特長を生かして、処理の高度化や再利用の促進による「水のみち」創出、メタン発酵技術と組合せ等による下水道資源の有効利用促進を図る「資源のみち」の創出、そして設置にあたり必要面積が従来法よりも少なくなる特色を生かして「施設再生」の促進のため、その積極的な導入が望まれているものである。参考図 2-1 に、「循環のみち」形成と膜処理技術の関連を示す。

今後、『循環のみち』実現のため、膜処理技術の適用範囲はますます拡大すると予想される。

「循環のみち」			膜処理技術	
基本方針	視点	施策項目	関連項目	膜の種類
水のみち	活かす水のみち	<ul style="list-style-type: none"> ・近自然水流の復活・再生 ・水質の保全 ・水利用の自立性向上 	サテライト処理システム 高度処理の導入 再利用の拡大	MBR MBR, MF, RO MBR, MF, RO
	優しい水のみち	<ul style="list-style-type: none"> ・人に優しい水環境の創出 ・潤いのある水縁空間の創出 ・水縁コミュニティの創出 	せせらぎの創出 水縁空間の創出	MBR, MF MBR, MF
	衛る水のみち	<ul style="list-style-type: none"> ・公衆衛生の向上 ・新たな親水対策の展開 ・雨水・再生水・湧水等の防災への活用 ・地域自然生態系の保全・再生 	水系リスクへの対応 下水処理水の再生	MBR, MF, RO MBR, MF, RO
資源のみち	優しい資源のみち	<ul style="list-style-type: none"> ・バイオマスの利用 	膜分離によるメタン発酵促進	MF
施設再生	機能向上	<ul style="list-style-type: none"> ・機能維持・更新の効率化 	水処理施設の再構築	MBR

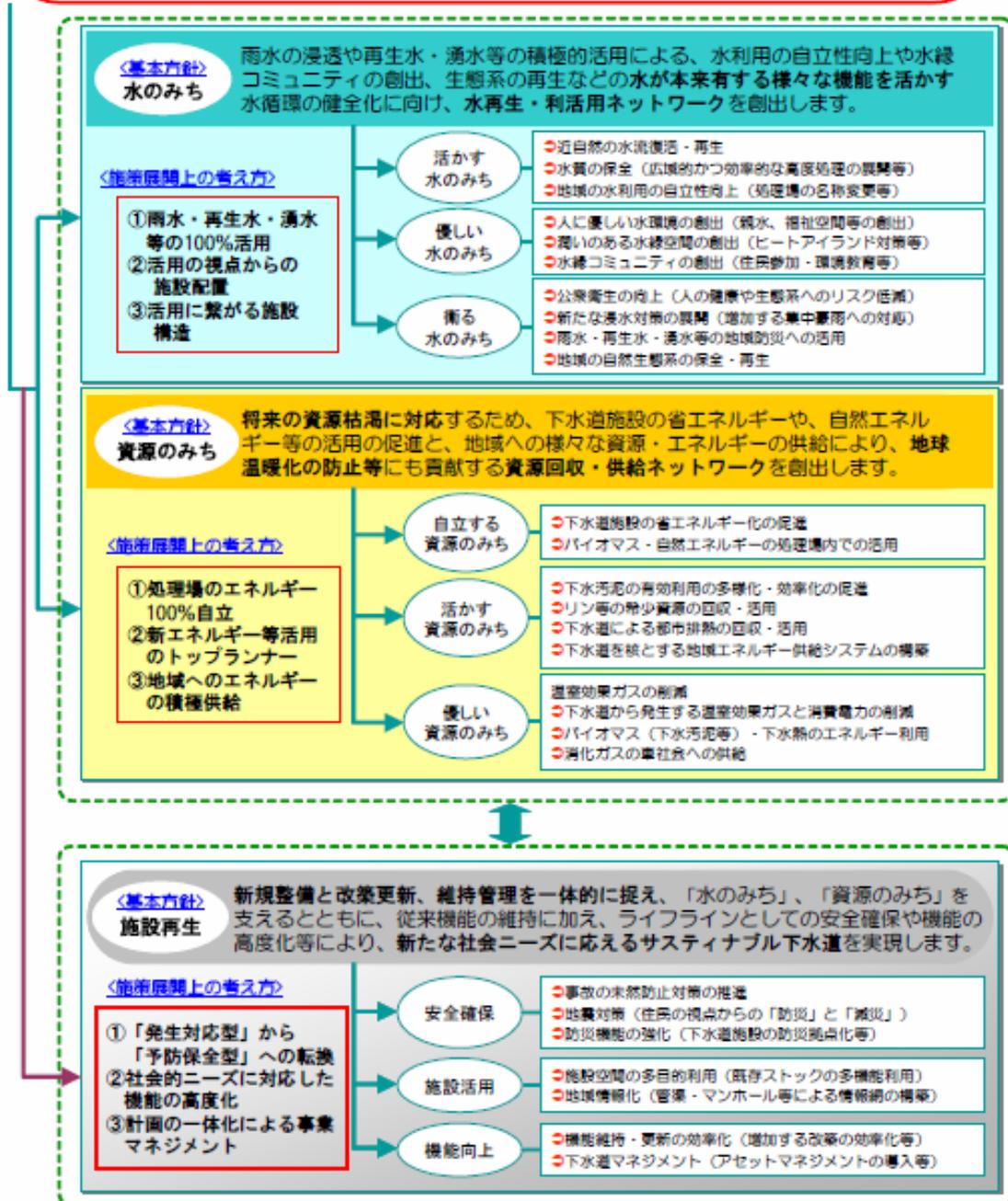
参考図 2-1 「循環のみち」形成と膜処理技術の関連

「循環のみち」を実現するための施策体系

— 地域の持続的な発展を支える21世紀型下水道の実現 —

〈基本コンセプト〉 循環のみち

これまでの下水道機能に加え、持続可能な循環型社会の構築を図るため、健全な水循環及び資源循環を創出する新たな下水道を目指します。



参考図 2-2 下水道ビジョン⁴³⁾概要

1.1.1 未普及の速やかな解消に向けて

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ユニット型の極小規模 MBR の開発が進められている（参考図 2-3 参照）。

また，個別循環（ビル内設置等）における MBR の適用可能性も考えられる。

◇ 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	
	極小規模 MBR の特徴 <ul style="list-style-type: none"> 対象規模：300m³/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，污泥処理なし） ユニット化により迅速に設置可能 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）

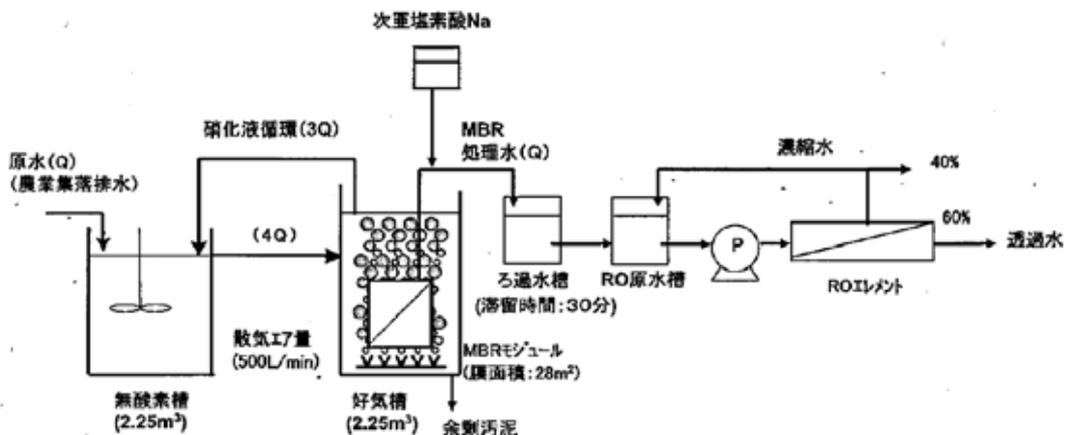
JS WEB Page 資料より作成

参考図 2-3 極小規模 MBR（分散型下水処理システム）の開発状況¹⁴⁾

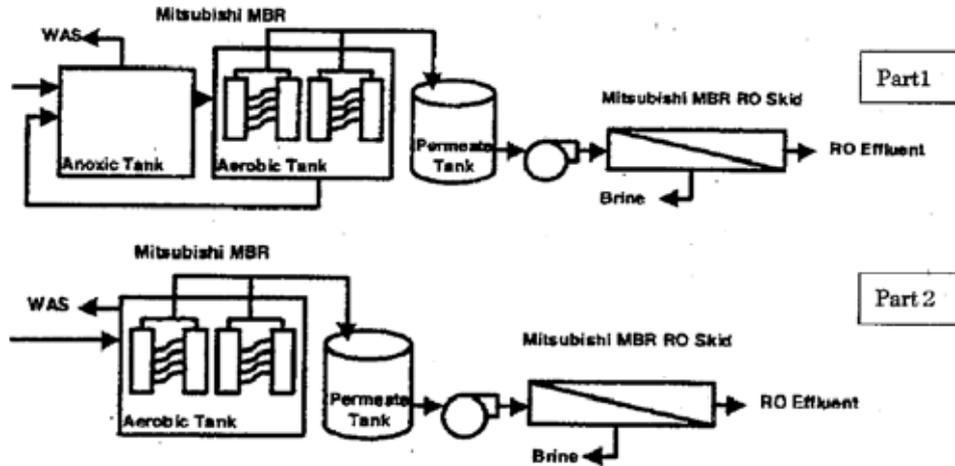
1.1.2 水のみち創出に向けて

(1) 処理の高度化に向けて(RO 活用)

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参考図 2-4,5 に示す。



参考図 2-4 MBR と RO 膜との組み合わせ技術（実験フロー）²⁸⁾

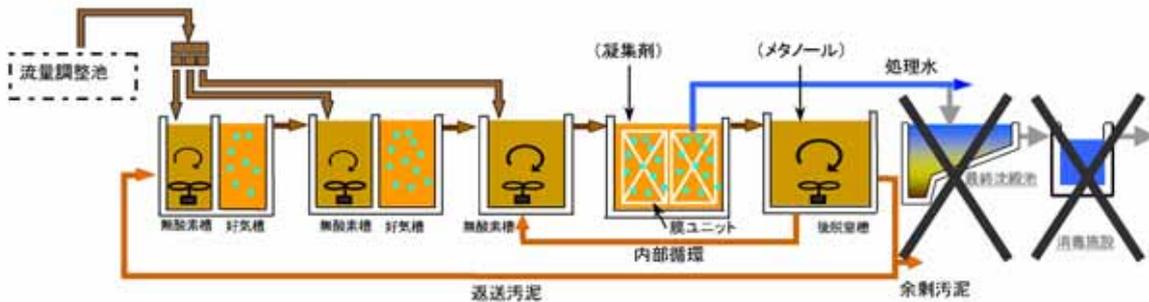


参考図 2-5 MBR と RO 膜との組み合わせ技術（試験フロー）²⁵⁾

(2) 処理の高度化に向けて(大規模)

JS 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（参考図 2-6 参照）。

従来法のステップ法に比較して、初沈、終沈、常時の消毒設備、砂ろ過設備等の省略による必要敷地面積の削減、反応タンク容積の削減（膜による高濃度の汚泥を反応タンク内に保持）、高度な処理水質（ステップによる高い窒素除去率と凝集剤併用の同時凝集による高いりん除去率）、処理水の再利用（砂ろ過以上の除去率）といったメリットが考えられる。

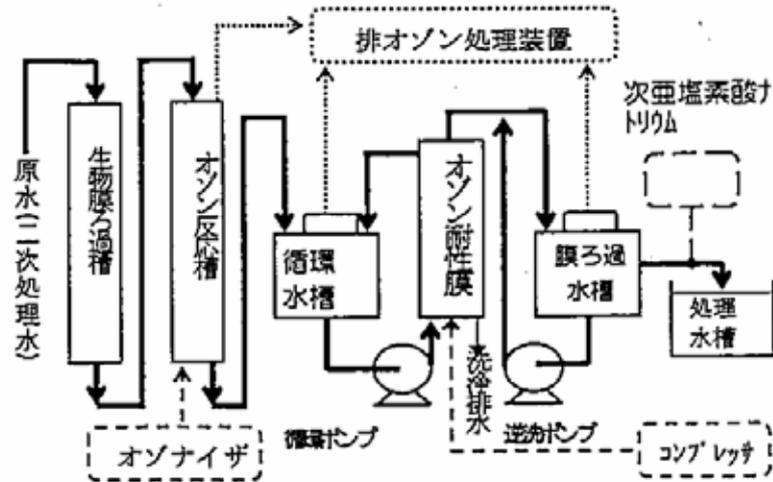


JS WEB Page より

参考図 2-6 膜ステップ流入式多段硝化脱窒法の開発の例

(3) 色度除去による再利用の拡大に向けて

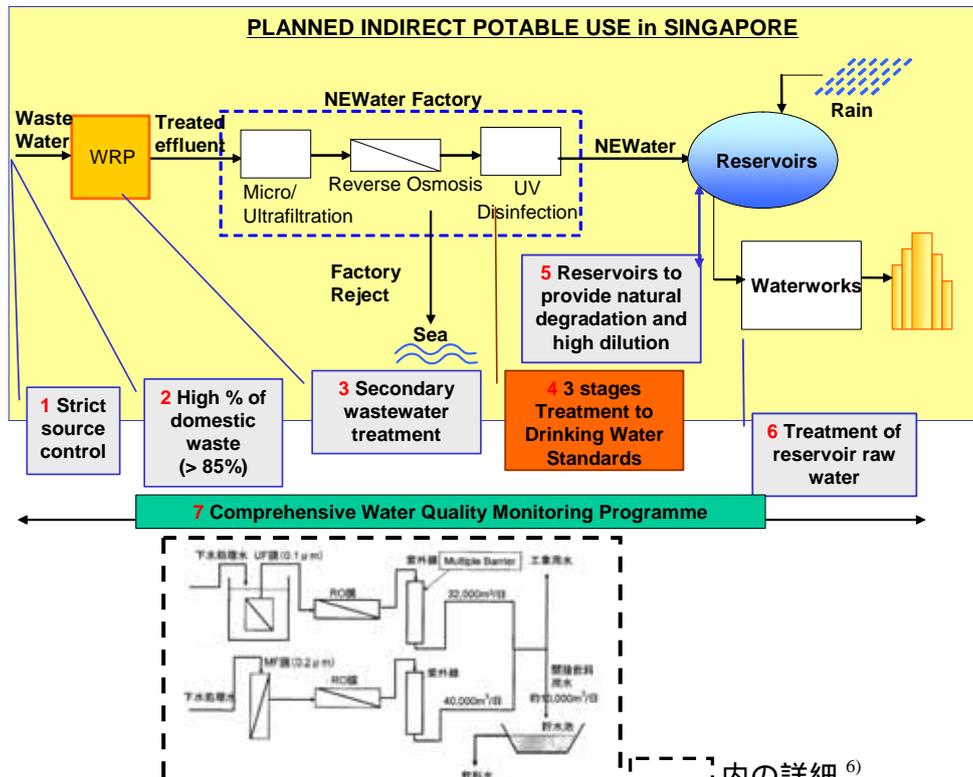
色度除去も考慮してオゾン処理と膜処理（MF）を併用した事例を、参考として参考図 2-7 に示す。



参考図 2-7 オゾン処理と膜処理を併用した処理フローの事例¹⁶⁾

(4) 水利用の安定化に向けて

国内の水資源が不足しているため国外からの水の供給に依存する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参考図 2-8 に示す。この NEWater 利用の事例では、産業用としての非飲料水（Non Portable Water）への利用と間接的飲料水（Indirect Portable Water）への利用とがある。

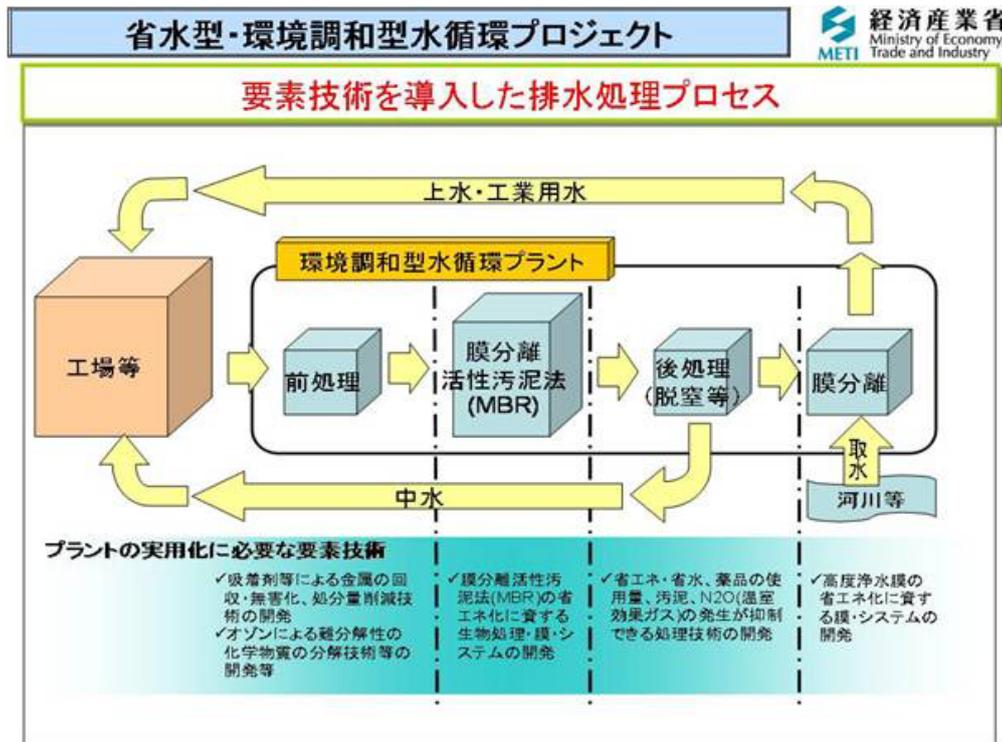


参考図 2-8 シンガポールにおける NEWater プロジェクトの全体像と処理フロー¹⁷⁾

1.1.3 資源のみち創出に向けて

(1) エネルギー低減に向けて

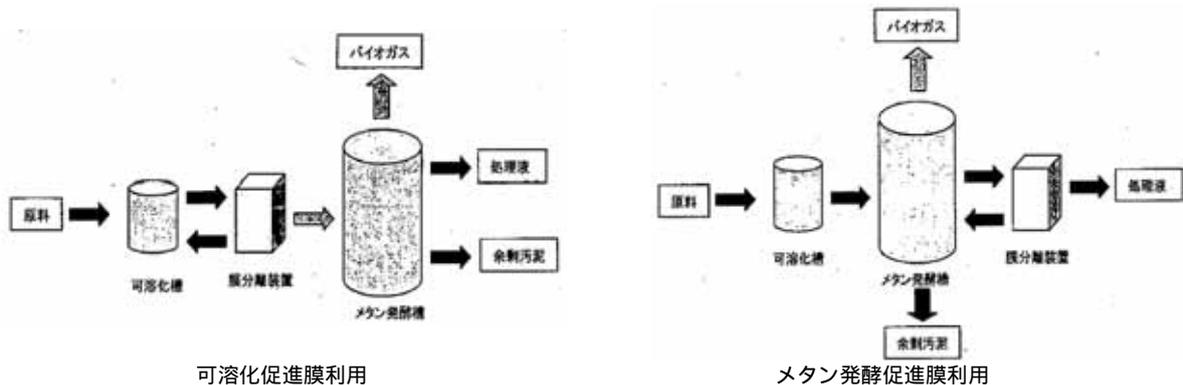
経済産業省では、省水型・環境調和型水循環プロジェクトの一環として革新的膜分離技術や省エネ型 MBR 等の開発を進めることとしている（参考図 2-9 参照）。



参考図 2-9 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（経済産業省資料による）

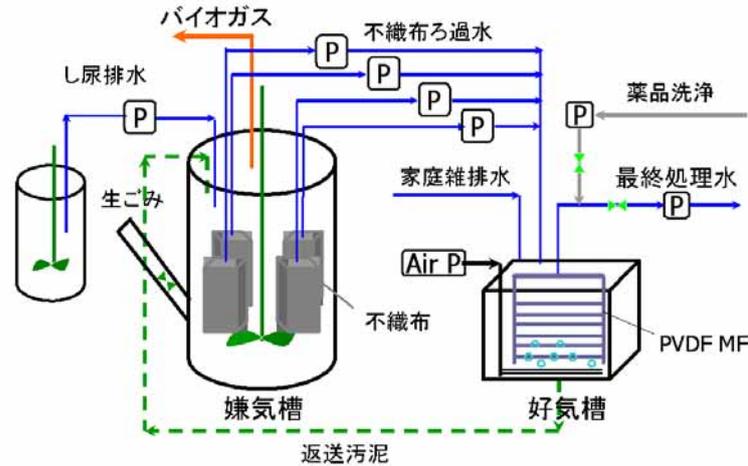
(2) エネルギー回収に向けて

膜とメタン発酵を組み合わせた技術も研究開発されており、可溶化汚泥を膜分離した透過液を対象に可溶化を促進するフローと、膜分離により発酵汚泥（メタン菌）を循環させてメタン発酵を促進するフローとが提案されている（参考図 2-10 参照）。



参考図 2-10 膜分離型嫌気性処理のフロー²⁴⁾

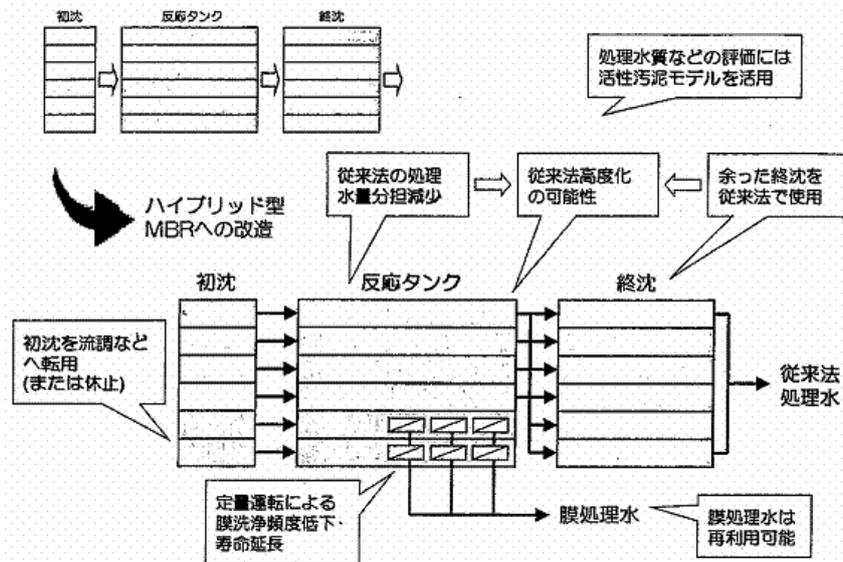
メタンを効率的に発生させるには下水中には有機物が不足しているため、これを解消するものとして生ごみとの混合処理が考えられる。また水量が多く有機資源としては希薄すぎる雑排水と、少量であるが濃厚なトイレ排水とを分離して集めることができれば、効率的な運転に適した濃度に調整することが可能となる。参考図 2-11 は、こうした考え方に基づき研究が進められている新たな膜処理技術である。



参考図 2-11 嫌気不織布・好気 MBR

1.1.4 施設再生の実現に向けて

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、MBR と従来法の並列処理となる形が考えられる（参考図 2-12 参照）。これにより、限られた敷地や既存の土木構造物等の範囲で、処理の高度化や処理能力の増強が可能となる。



JS WEB Page より

注記：ここでは、MBR と従来法との並列処理を「ハイブリッド MBR」と定義されている

参考図 2-12 MBR と従来法との並列処理のイメージ（再掲）

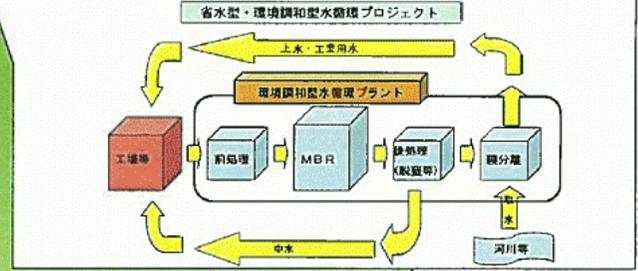
進化し続ける膜処理技術



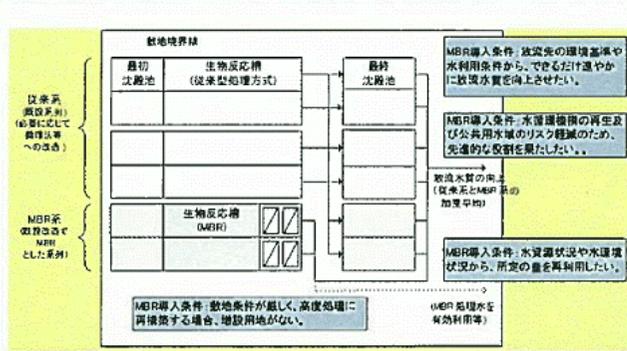
未普及の速やかな解消に向けて
人口減少、高齢化、厳しい財政状況の中で、未普及地域における下水道整備を速やかに進めるために、分散型下水処理システムとしてユニット型の極小規模 MBR の開発が進められています。また、個別循環（ビル内設置等）における MBR の適用可能性も考えられます。



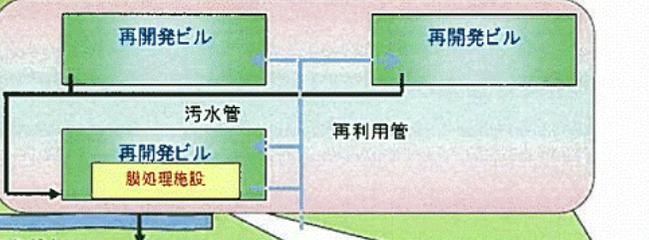
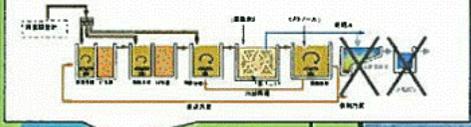
エネルギー低減に向けて
経済産業省では、省水型・環境調和型水循環プロジェクトの一環として革新的膜分離技術や省エネ型 MBR 等の開発を進めることとしています。



施設再生の実現に向けて
中・大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、MBR と従来法の併用処理となる形が考えられます。これにより、限られた敷地や既存の土木構造物等の範囲で、処理の高度化や処理能力の増強が可能となります。

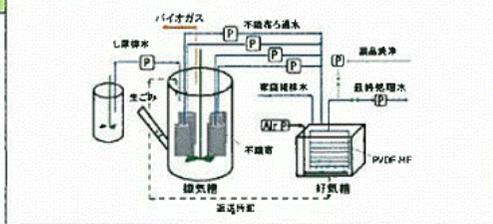


水のみちの実現に向けて
日本下水道事業団で、大規模下水処理場へ適用する MBR として、膜ステップ流入式多段階硝化設置法(膜ステップ多段法)の開発を行っています。極めて良質な処理水水質となり、せせらぎなど水縁コミュニティの創出とリスク低減に寄与します。



水のみちの実現に向けて
都市再開発事業地や高層ビル、住宅などにおいて、そこから発生する污水や下水幹線の污水をサテライト処理施設内の MBR で処理し、その処理水を多用途の再生水として利用します。汚泥は、既存の下水管きょへ排出します。サテライト処理施設の運転は、自動化します。

エネルギー回収に向けて
膜とメタン発酵を組み合わせた技術も研究開発されており、可溶性汚泥を膜分離した透過液を対象に可溶化を促進するフローと、膜分離により発酵汚泥(メタン菌)を循環させてメタン発酵を促進するフローとが提案されています。



膜処理技術が切り開く未来空間

参考図 2-13 膜処理技術を用いた展開イメージ図

1.2 次世代膜処理技術の開発研究

これまでの膜処理技術の技術開発は、大別すると、膜処理と生物処理とを組み合わせた MBR 技術開発と質除去としての MF 及び RO 等の技術開発である。

(1) MBR に関する技術開発

MBR の技術開発は、JS が中心となり実施され、3,000m³/日以下の小規模下水処理場に対する技術評価が出されており、現状での技術開発の焦点は、MBR の中大規模施設への適用に対するものになっている。この場合、処理規模の拡大によるイニシャルコスト及びランニングコストの縮減化に繋がる技術開発が主体である。

1) イニシャルコスト縮減

イニシャルコスト縮減策としては、以下のものがある。

a) 高フラックス対応型膜モジュールの開発

従来の小規模向け膜モジュールをそのまま中大規模施設へ適用した場合、スケールメリットが生じにくいため、より大きな透過流束が得られる膜モジュールの開発・導入が進められている。

b) 必要供給空気量低減による送風機設備能力削減

高効率散気方式の導入や膜面洗浄空気量削減を図り、必要供給空気量低減による送風機設備能力削減を行い、送風機設備コスト縮減を行う。

2) ランニングコストの縮減

ランニングコスト縮減策としては、以下のものがある

a) ファウリングの抑制

下水等の廃水を対象とした場合、高分子有機物やバイオフィアリングによるトラブルが、全体の 70～80%を占めるといわれており、圧力損失の増加や、フラックス・水回収率及び分離性能の低下を伴うため、最近では次に示す抑制技術についての研究開発が盛んに行われている。

- ・膜素材、膜構造の研究開発（素材の改質、新素材の採用、膜の表面加工など）
- ・洗浄方法の研究開発（洗浄装置の形式・設置場所、薬品の選定など）

b) 膜交換頻度の低減

膜交換頻度の低減を目的として、膜の長寿命化を図れる膜モジュールの開発及び薬品洗浄による膜の劣化防止策の検討が進められている。

c) 電力使用量の低減

必要供給空気量の削減等により、電力使用量の低減を図る（前項の 1）b)に関連）。

(2) 再生処理施設に用いる膜処理技術

一方、処理水の再生処理施設に用いられる MF, UF, RO などの膜処理技術の開発については、産業排水処理や上水道等の分野で、特に膜モジュール自体の開発が中心に進められている。

1) イニシャルコスト縮減

イニシャルコスト縮減策としては、以下のものがある

a) 新素材を用いた膜モジュールの開発

PVDF など、高透水性と高強度性を持つ膜モジュールの開発が進み、MF/UF 膜モジュールのコスト縮減が図られている。また、RO 膜についてはこうした膜モジュールの高透水性と高強度性の技術開発に海水淡水化などの市場拡大による量産化が相乗し、大幅なコスト縮減がなされている。

b) RO の前処理としての MBR の導入

RO 膜を採用する場合、前段の処理設備（凝集沈殿、ろ過等）や、処理水槽、薬品タンクなど、様々な設備が必要となるため、トータルのコスト増に繋がる。下水処理水を原水とする場合、既設の反応タンクに膜モジュールを設置する MBR 系列への改造では、最終沈殿池を他の用途に転用することが可能であり、コスト縮減になる。

2) ランニングコストの縮減

ランニングコスト縮減策としては、以下のものがある

a) ファウリングの抑制

RO 膜においては、耐汚染性 RO 膜や低ファウリング性 RO 膜の開発、洗浄方式の改善等によって、ランニングコスト低減を図っている。

b) RO 膜の低圧化

高塩分濃度の海水の淡水化に用いる膜は、高圧（数 MPa 以上）の操作圧力を必要とするが、原水の塩分濃度が低いものを対象とする低圧 RO 膜（材質、構造、モジュール）が種々開発され、従前のものと比較すると消費電力を大幅に削減することが可能となっている。原水の塩分濃度と操作圧力の関係の概略は次のとおりである。

数千～数万 mg/L 程度の原水； 5～8MPa 程度

数百～数千 mg/L 程度の原水； 2～4MPa 程度

百～千 mg/L 程度の原水； 1～2MPa 程度

数百 mg/L 程度以下の原水； 1MPa 以下

c) 膜の劣化対策に関する技術開発

膜は、物理的な劣化のほかに、洗浄用薬品による影響を受けるため、塩分阻止率などの性能が低下する。特にポリアミド系膜は塩素剤の影響を大きく受ける。膜の劣化対策に関して、次に示す研究開発が行われている。

膜洗浄用薬品に対する耐久性の向上

（膜素材の開発；塩素耐性膜、オゾン耐性膜など）

膜洗浄用薬品等の選定（クロラミン、クエン酸、UV など）

劣化膜の補修技術（薬品による補修など）

1.3 普及拡大に向けた今後の課題

下水道分野における膜処理技術の普及拡大にとっての問題として、次のことが挙げられる。

MBR においては、従来法に比較し多くの空気量を必要とし、これがランニングコスト増に繋がり、MBR 採用の阻害要因となっている。

MBR の中大規模施設への導入は、これまで国内の実績がない。

処理水の再生処理のための MF, RO などの膜処理の適用事例も多いとは言えず、従来の砂ろ過 + オゾン/活性炭 + 消毒等の再生処理との、用途に応じた利害得失の明確化する必要がある。

膜処理技術を用いたエネルギー回収の試みも端緒についたところである。

こうした状況をふまえ、下水道分野における膜処理技術の普及拡大に向けて、次のような課題に対応していく必要がある。

(1) コスト縮減に向けた対応技術の開発

下水処理におけるファウリング機構の解明と抑制技術の性能向上

膜処理に掛かる省エネルギー化

自動計測・遠隔制御方法の確立による運転管理の省力化

(2) 膜処理技術の利用拡大

大規模処理施設での実績と知見の集積

再構築での導入実績と知見の集積

汚泥処理工程への適用など応用範囲の拡大

(3) 付加価値を付けた多機能利用

従来法による高度処理水と同程度の水質の MBR 処理水の実現

メタン発酵技術との併用によるエネルギー回収型システムへの応用

汚泥減量化に向けた研究開発

2. 膜処理技術の開発研究について

(1) 各機関における膜処理技術の開発動向(最近5ヵ年)

最近5ヵ年程度において排水等を対象とした膜処理技術の実用化に向けた研究開発テーマを参考表3-1に示す。

これらの研究開発の方向性は、膜処理技術を利用した省エネ・省資源、処理水質の高度化、他の技術と併用した総合環境対策システムなどが中心となっている。

参考表 3-1 排水処理に関する膜処理技術の研究開発動向（下水道を除く）

関係省庁	研究機関	研究開発テーマ
経済産業省	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)	革新的膜分離技術の開発
		省エネ型膜分離活性汚泥法(MBR)の開発
	(財)造水促進センター	PTFE 膜 MBR による下水の再生処理技術開発
		MBR-RO による(工場)排水再利用
厚生労働省	(財)水道技術研究センター	膜を用いた浄水場排水処理
		膜ろ過膜モジュール等標準化に関する研究
環境省	国立環境研究所	有用微生物・膜分離排水再利用システムの浄化機構と因子解明に関する基礎的研究
		浸出水処理への逆浸透膜法の適用
	(財)日本環境整備教育センター (旧(社)日本浄化槽教育センター)	膜処理法を導入した小型生活排水処理装置の実用化に関する研究
		膜分離技術による汚泥の減量化・処理方法の確立に関する研究
	膜分離法における効率的な窒素除去に関する研究	

(2) EUにおける標準化の動向(文献 39,40)参照)

EUにおいては、1990年ごろから下水道分野へのMBR導入が始まり、特に21世紀に入ってから急激に増加している。この背景として、EU指令により下水の高度処理(特に窒素除去)が求められるようになり施設拡張が困難である場合にMBRが有利であること、欧州では伝統的に塩素消毒を敬遠する傾向があり、MBRにより大腸菌等の細菌除去を目的としていることが考えられる。

EU諸国では、MBRの研究開発・普及に関する連携を図るため、MBRネットワークを設立し、EUの研究費助成の基、研究機関、大学、自治体、企業等で構成される4つのプロジェクト(AMEDEUS, EUROMBRA, MBR-TRAIN, PURATREAT)が2008年末までのスケジュールで研究開発に取り組んできた。

さらに、AMEDEUS, EUROMBRAのメンバーを中心としたワークショップで、MBR標準化に関する検討が進められ、2008年11月にCEN合意文書(文書No. CWA15897)が公表された。

< CEN 合意文書の位置づけ >

- ・ CEN 発行文書には参考表 3-1 に示す種類があり、上位文書については、直接的な法的拘束力をもつものではないが、通常は、各国の法体系や基準に組み込まれる
- ・ CEN 合意文書とは、関係者団体により構成されるワークショップで審議されたもので、ガイドライン、基準等作成において議論のためのたたき台となる合意文書をいう
- ・ 合意文書の有効期間は、公表後3年となっており、その後は、廃止、有効期間の延長、上位の基準などへの移行に向けた検討、のいずれかとなる

参考表 3-1 CEN 発行文書の種類

各国の代表からなる技術委員会で審議したもの	・ EN (ヨーロッパ基準) ・ CEN/TS (技術仕様) ・ CEN-TR (テクニカルレポート) ・ ガイドライン欧州技術	
関係者団体により構成されるワークショップで審議されたもの	・ CEN 合意文書	今回の MBR 標準化

< 標準化検討の背景 >

- ・ 互換性の無い多種多様な仕様・方式の膜モジュールが市場に提供されていることが、ユーザーの不利益となることが危惧された
- ・ 欧州の MBR 市場における欧州勢のシェアが小さいことが問題とされた(巻き返し)

< CEN 合意文書の主な内容と期待される効果 >

- ・ 用語の定義、性能評価方法、互換性に配慮した設計の考え方などが含まれる
- ・ 膜の互換性確保により、特定メーカーへの依存度の低下、低価格化が進み、市場拡大、設計コストの低減などが期待される
- ・ 今後の MBR 技術資料等への作成に影響を与える可能性が大きいものと考えられる

参考表 3-2 CWA15897 (MBR 標準化) の目次

(JS 訳による)

<p>序文 はじめに 1. 範囲 2. 参考図書類 3. 用語の定義 4. 全体システムと要件 4.1 基本的考え方 4.2 前処理と中間スクリーン 4.3 MBR 生物処理システムの特徴 4.3.1 汚泥日令(汚泥滞留時間,SRT) 4.3.2 4.3.3 4.3.4 4.3.5 4.3.6 曝気 4.4 膜ろ過システム 4.5 活性汚泥混合液循環 4.6 ろ過水注水システム 4.7 期待される処理水質 5. 材質特性 5.1 総論 5.2 有孔膜 6. 形状 6.1 平膜 6.2 中空糸膜 7. 設計及び運転管理因子 7.1 総論 7.2 流入水質 7.3 ファウリング 7.4 膜差圧 7.5 ろ過性 7.6 損傷</p>	<p>8. 評価試験 9. 提出データ 10. 互換性 10.1 原則 10.2 総論 10.3 プロセスフロー図(PFD) 10.4 膜システム設備の範囲 10.5 互換性の考え方 10.5.1 総論 10.5.2 膜種類 10.5.3 配置 10.5.4 槽 10.5.5 排水と洗浄 10.5.6 損傷のチェック 10.5.7 点検と管理のし易さ 10.5.8 薬品洗浄 10.5.9 プロセス制御システム(PLC) 資料 A(基準) 情報と書類 資料 B(参考) 清水ろ過テストの例 資料 C(参考) 真空リークテストの例 資料 D(参考) ろ過孔径測定の例 資料 E(参考) ろ紙ろ過量測定 資料 F(参考) ろ過孔径分布のファウリングへの影響 参考資料リスト</p>
---	---

なお, CEN 合意文書の審議と並行し, DWA (ドイツ水管理・排水・ゴミ協会) において, 下水処理用 MBR 設計・建設ガイドラインのとりまとめが進められており, 2009 年 1 月現在, 最終チェック段階とのことである。

3. その他参考資料

(1) 廃棄膜モジュールの有効利用

下水道分野での膜モジュールの膜透過流束を 0.6~0.8m³/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の総面積は、120,000~170,000m² に達する。これら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が予想される。

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。下水道分野で膜の廃棄は、今後の課題であるが、廃棄膜の有効利用方法については事前に検討を行っておく必要がある。

廃棄膜の有効利用の例及びプラスチック材料の一般的な有効利用方法を示す（参考表 4-1 及び 4-2 参照）。

参考表 4-1 廃棄膜の有効利用の例

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		良質な無機材料からできており、使用済みの膜は、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）

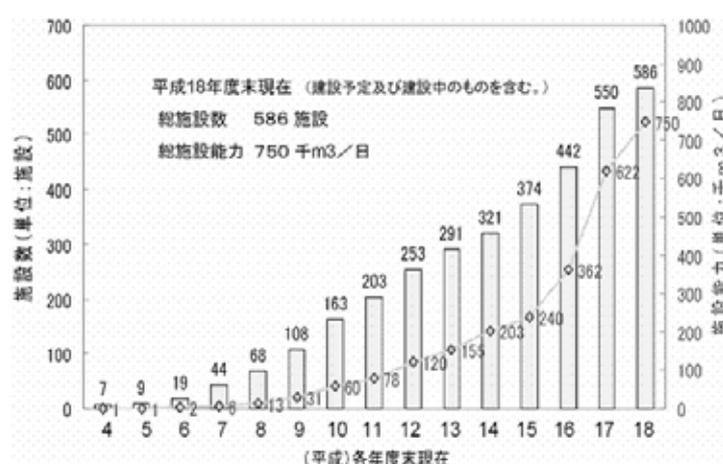
参考表 4-2 プラスチック材料の一般的な有効利用方法¹³⁾

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。

(2) 水道用膜の導入状況

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 $\text{m}^3/\text{日}$ まで伸びている（参考図4-1参照）。施設規模分布を見ると、施設能力1,000 $\text{m}^3/\text{日}$ 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、10,000 $\text{m}^3/\text{日}$ 以上の規模も12件（施設能力としては全体の約5割）と、大規模への導入も進んでいる（参考表4-3参照）。

日本の下水道分野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が図られており、今後の需要はさらに大きく広がると予想される。



参考図4-1 水道用膜ろ過浄水施設（MF・UF）導入状況³¹⁾

参考表4-3 水道用膜ろ過浄水施設の規模別導入状況³¹⁾

施設能力($\text{m}^3/\text{日}$)	18年度末		17年度末	
	件数	施設能力($\text{m}^3/\text{日}$)	件数	施設能力($\text{m}^3/\text{日}$)
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

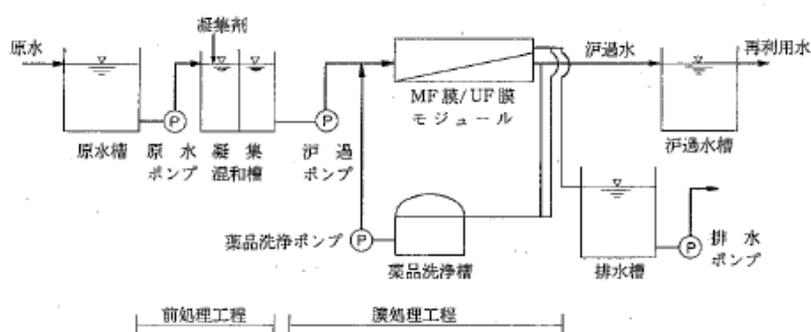
(3) 膜処理技術を利用した再生処理施設の設備構成例

これまでに研究開発された再生処理施設の膜処理技術の設備構成例を参考図 4-2～4-4 に示す。

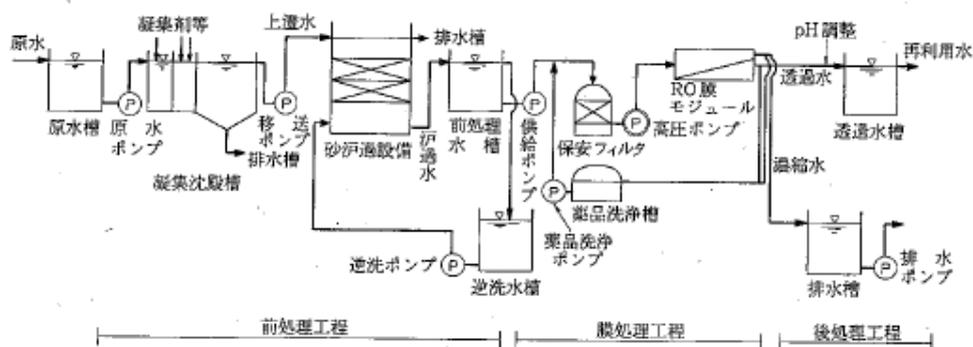
参考図 4-2 は、ともにトイレ用水として MF/UF 膜を利用したものであるが、膜の前段の処理設備には、前者では凝集混和のみによるものである。

参考図 4-3 は、親水用水として RO 膜を利用したものであり、膜の前段の処理設備は凝集沈殿 + 砂ろ過となっており、膜の特性に合わせてファウリング抑制を図ったものとなっている。

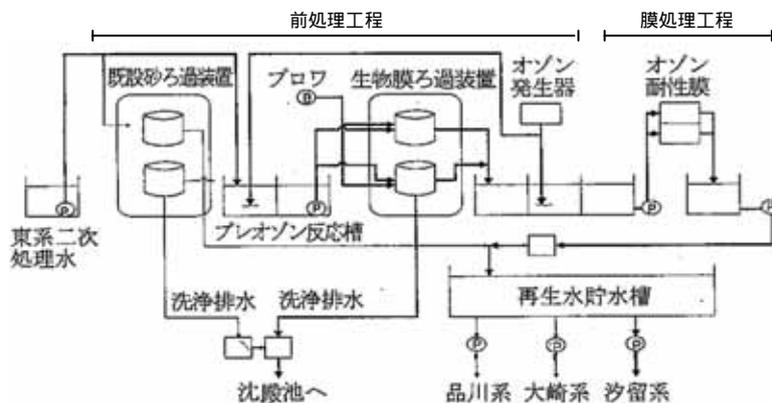
また、参考図 4-4 は、トイレ用水として MF 膜を利用したものであるが、膜の前段の処理設備は、前オゾン + ろ過 + 後オゾンによるもので、かつ、オゾン耐性の膜を使用し、ファウリング抑制と膜の劣化防止に配慮したものとなっている。



参考図 4-2 MF 膜/UF 膜処理の設備構成例¹²⁾ [トイレ用水]



参考図 4-3 NF 膜/RO 膜処理の設備構成例¹²⁾ [親水用水]



参考図 4-4 芝浦水再生センターの膜(MF)処理の設備構成例¹⁾ [トイレ用水]

【参考文献】

- 1) (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,「水循環の時代 膜を利用した水再生」, 技報堂出版, (2008.2)
- 2) 有限責任中間法人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」, ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム 2004, 日本膜学会・(社)日本能率協会, SESSION5, pp5-3-1 ~ 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, pp242-247, (1999)
- 5) 野池達也・他「下水の超高度処理に関する研究」, 土木研究所下水道関係調査研究年次報告書集(S58), pp9-14, (1983)
- 6) 稲盛悠平ら,「排水・汚水 処理技術集成」, NTS, (2007.5)
- 7) 藤田賢二ら,「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, pp360-364, (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, pp35-46, (2005)
- 10) 日本下水道事業団技術開発部,「膜分離活性汚泥法の技術評価に関する報告書」, (2003.11)
- 11) 古山麻由子,「既納入施設の膜交換状況 (前編)」, (株)クボタ技術資料 “Membrane Now!”, Vol.2, p5, (2006)
- 12) (財)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」, ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム 2007, 日本膜学会・(社)日本能率協会, SESSION7, pp7-1-1 ~ 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, pp7-11, (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, pp31-36, (2004)
- 17) Public Utility Board (Singapore) 提供資料, (2008.6)
- 18) 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,「浄水膜 (第 2 版)」, 技報堂出版, (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, pp75 ~ 83, (2002)
- 20) 山本和夫,「下水・排水処理における膜技術の新展開」, ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム 2007, SESSION7, pp7-3-1 ~ 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, pp30-32, (2006)
- 22) 鬼塚卓也,「欧米における膜処理技術の動向」, ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム 2003, SESSION7, pp7-2-1 ~ 9, (2003)
- 23) 関根康記ら,「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, p 280, (2008)
- 24) 中尾真一・渡辺善公ら監修「膜による水処理技術の新展開」, シーエムシー出版, (2004.9)
- 25) 国土交通省,「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」, (2005.4)
- 26) 南山瑞彦ら,「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, pp25-30, (2007)
- 27) (社)日本下水道協会,「下水道施設計画・設計指針と解説, 2001 年版」, (2001)
- 28) 斉藤孝一ら,「オゾン耐性膜再生水製造システムの運転状況報告 - オゾン耐性膜の延命化対策と効果について -」, 第 45 回下水道研究発表会公演集, pp491-493, (2008)
- 29) 村田恒雄,「下水の高度処理技術」, 理工図書株式会社, (1992.5)
- 30) 鈴木義明ら,「親水用水を目指した水処理プロセスの技術開発 - 膜分離法による高度処理と処理水再利用 (第四報) -」, 平成元年東京都下水道局技術開発年報, pp375-417, (1989)
- 31) (財)水道技術研究センター WebPage (<http://www.jwrc-net.or.jp/>)

- 32) (財)水道技術研究センター, 「膜ろ過浄水施設維持管理マニュアル」, (2005.3)
- 33) 系川浩紀, 「ヨーロッパの下水処理施設における膜分離活性汚泥法の実態調査」, 下水道協会誌, Vol.43, No.528, pp87-97, (2006.10)
- 34) 山本欽也, 「膜分離活性汚泥法を採用した福崎浄化センター」, ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム 2008, 日本膜学会・(社)日本能率協会, SESSION8, pp8-1-1 ~ 19, (2008)
- 35) 安中裕子ら, 「奥津浄化センター(下水)への MBR 導入経緯と運転状況」, 第 11 回日本水環境学界シンポジウム講演集, pp103-104, (2008.9)
- 36) 関根康記ら, 「膜分離活性汚泥法の空気量削減に関する一考察」, 第 44 回下水道研究発表会講演集, pp142 ~ 145, (2007)
- 37) 平山椎子ら, 「微細気泡を導入した PVDF 平膜 MBR モジュール」, 第 11 回日本水環境学界シンポジウム講演集, pp96-97, (2008)
- 38) 安中裕子ら, 「膜分離活性汚泥法における維持管理コスト縮減技術の開発」, 第 41 回下水道研究発表会講演集, pp768-770, (2004)
- 39) 村上孝雄, 「EU における MBR の開発動向と標準化」, ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム 2008, 日本膜学会・(社)日本能率協会, SESSION7, pp7-3-1 ~ 13, (2008)
- 40) (社)日本水環境学会(膜を利用した水処理技術委員会), 「EU における MBR 標準化の現状」, 特別シンポジウム配布資料, (2008.11)
- 41) (社)日本下水道協会, 「下水試験方法」, (1997)
- 42) 和泉清司ら, 「膜分離活性汚泥法における重力濾過法の運転事例」, 第 31 回日本水環境学界年会研究発表会講演集, p41, (1997.3)
- 43) 国土交通省都市・地域整備局下水道部, (社)日本下水道協会, 「下水道ビジョン 2100, 下水道から「循環のみち」へ 100 年の計 地域の持続的な発展を支える 21 世紀型下水道の実現」, H17.9