下水道への膜処理技術導入のための
ガイドライン［第 2 版］

平成 23 年 3 月

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2009年度末で73.3%に達し，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等，下水道事業が直面する課題は数多く残されています。

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。膜処理は，わが国が世界屈指の技術・ノウハウを有している技術であり，下水道施設の効率的な機能高度化などへ活用することが期待されています。

今後改築需要が増大する中大規模下水処理場への適用を中心に膜処理技術の普及を図っていくため，地方公共団体が膜処理技術を導入するために必要な環境整備を進めるとともに，技術的なガイドラインを取りまとめることを目的とする下水道膜処理技術会議が，2008 年 6 月に設置され，2009 年 5 月には「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］」が公表されました。

その後，国土交通省において，膜分離活性汚泥法（MBR，循環式硝化脱窒法であって膜により活性汚泥を分離するもの及び凝集剤を添加して処理する循環式硝化脱窒法であって膜により活性汚泥を分離するもの）に適合する計画放流水質の区分の取り扱いが評価されるとともに，下水道において膜処理技術の中心になると考えられる MBR の本格的な普及促進に向け，国土交通省では 2009 年度に「日本版次世代 MBR 技術展開プロジェクト（A-JUMP）」を実施し，「既設下水処理施設の改築における膜分離活性汚泥法適用化実証事業」及び「膜分離活性汚泥法を用いたサテライト処理適用化実証事業」を行い，MBR の改築更新時とサテライト処理への適用性，高い性能及び省エネルギー性等が実証されてきました。特に前者の改築における MBR 実証事業では，従来に比較して 4 割程度の消費電力量削減と，省エネルギー性に関して目覚しい成果が得られております。また，独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）においても，「省水型・環境調和型水循環プロジェクト」を 2009 年度より開始するなど，他の機関においても水ビジネス展開のための膜処理技術の研究開発・実証が推進され，省エネルギー化をはじめ，ますます性能の発展が期待されています。

下水道膜処理技術会議では，これらの実証事業や研究開発の成果，国内外における最新の知見をもとに，特に維持管理情報とコスト情報を充実させ，「下水道への膜処理技術導入のためのガイドライン［第 2 版］」として取りまとめています。また，今後わが国企業による水ビジネスの海外展開に向け，海外における標準化の動向についての情報も盛り込みました。

世界的には，大規模処理場においても MBR の採用実績が増え，標準化の動きも多くみられ，国内においても中大規模処理場の改築更新時や高度処理化を行う際には中心的な技術になるといえ，本ガイドラインを活用して頂き膜処理技術の知見を深めて頂きたいと考えます。

2011 年 3 月

下水道膜処理技術会議

委員長　山本　和夫

委員の構成

(順不同・敬称略)
(2011 年 3 月現在)

下水道膜処理技術会議

委員長	山本　和夫	東京大学環境安全研究センター教授
委　員	中尾　真一	工学院大学工学部環境エネルギー化学科教授
委　員	長岡　　裕	東京都市大学工学部都市工学科教授
委　員	松浦　將行	東京都下水道局計画調整部長
委　員	川崎　俊明	神奈川県県土整備局河川下水道部流域沿岸企画課長
委　員	浅野　守彦	愛知県建設部下水道課長
委　員	岡安　祐司	滋賀県琵琶湖環境部下水道課主席参事
委　員	鈴木　梅夫	浜松市上下水道部長
委　員	落合　博和	名古屋市上下水道局技術本部計画部長
委　員	大木　常正	堺市上下水道局下水道部長
委　員	田中　文彦	北九州市建設局下水道河川部長
委　員	住田　英昭	周南市環境下水道部長
委　員	佐伯　謹吾	社団法人日本下水道協会理事兼技術部長
委　員	小林　一朗	社団法人日本下水道施設業協会専務理事
委　員	植村　忠廣	一般社団法人膜分離技術振興協会代表理事
委　員	岡部　忠久	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構環境部長
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	植田　拓郎	経済産業省産業技術環境局環境指導室長
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	伊藤　正義	経済産業省地域経済産業グループ産業施設課工業用水道計画官

【旧委員】（役職名は委員当時のもの）

委員長	大垣　眞一郎	東京大学大学院教授
委　員	小川　健一	東京都下水道局計画調整部長
委　員	宇田川　孝之	東京都下水道局計画調整部長
委　員	鈴木　祥一	神奈川県県土整備部下水道課長
委　員	古田　規雄	愛知県建設部下水道課長
委　員	吉澤　正宏	滋賀県琵琶湖環境部下水道課長
委　員	山下　秀樹	浜松市上下水道部長
委　員	石川　美直	名古屋市上下水道局計画部長
委　員	藤丸　正司	北九州市建設局下水道河川部長

目次

第 1 章 本ガイドラインの位置付け 1
第 2 章 総　論 4
2.1 膜処理技術の概要 4
2.1.1 膜処理技術の概要と適用範囲 4
2.1.2 膜の種類 4
2.1.3 膜分離設備の概要 6
2.2 下水道への導入意義 11
2.2.1 膜処理技術の下水道への導入意義 11
2.2.2 下水道への膜処理技術の導入形態 15
2.3 下水道における膜処理の現状 18
2.3.1 MBR の一般評価 18
2.3.2 国内の下水道用膜処理施設の導入状況 19
2.3.3 日本版次世代 MBR 技術展開プロジェクト（A-JUMP）の実施 20
2.3.4 海外の下水道用膜処理施設の導入状況 20
2.3.5 標準化に関する動向 24
第 3 章 MBR の特徴と下水道への導入 26
3.1 MBR の特徴 26
3.2 施設導入の検討事項 30
3.2.1 検討条件 30
3.2.2 水量変動対策 31
3.2.3 最初沈殿池 32
3.2.4 前処理 33
3.2.5 反応タンク 33
3.2.6 膜モジュール 35
3.2.7 消毒設備 39
3.2.8 汚泥処理設備 39
3.2.9 その他の留意事項 40
3.3 運転管理における留意事項 41
3.3.1 施設の管理体制 41
3.3.2 日常の管理項目 41
3.3.3 初期運転 42
3.3.4 膜の洗浄 42
3.3.5 制御方法 45

3.3.6 膜の交換 45
3.3.7 膜破損時の対応 46
3.3.8 電力使用量 46
3.3.9 汚泥発生量 47
3.4 コスト検討 49
3.4.1 MBR 導入コストの特徴 49
3.4.2 コスト検討の基本的な考え方 49
3.4.3 ケーススタディ検討条件 50
3.4.4 コスト試算方法 51
3.4.5 コスト検討例 52
第 4 章 既設処理場への MBR 導入 55
4.1 MBR と従来法との並列処理の特徴 55
4.2 MBR と従来法との並列処理の場合の検討事項 57
4.2.1 新規系列増設，既存改造に共通の検討事項 58
4.2.2 新規系列増設の場合の検討事項 60
4.2.3 既設改造の場合の検討事項 61
4.3 コスト検討 65
4.3.1 コスト検討の基本的な考え方 65
4.3.2 ケーススタディ検討条件 65
4.3.3 コスト試算方法 66
4.3.4 コスト検討例 66
第 5 章 再生水利用のための膜処理技術導入 70
5.1 再生水利用のニーズ 70
5.2 再生水利用のための膜処理技術導入の効果 71
5.3 再生水利用のための膜処理技術導入にあたっての検討事項 72
5.3.1 再生水の用途及び目標水質 73
5.3.2 供給量の設定 77
5.3.3 施設の設置位置 77
5.3.4 施設構成 77
5.3.5 膜の種類の選定 78
5.3.6 処理フロー 79
5.3.7 膜処理に伴って発生する濃縮水の処理 81
5.3.8 運転管理における留意事項 82
5.4 サテライト処理 MBR システムの検討 84
5.4.1 サテライト処理 MBR の効果 84
5.4.2 サテライト処理 MBR に関わる検討事項・運転管理における留意事項 85

5.5 コスト検討例 87
5.5.1 コスト検討の基本的な考え方 87
5.5.2 ケーススタディ検討条件 87
5.5.3 コスト試算方法 89
5.5.4 コスト検討例 89
【参考文献】 93

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への膜処理技術の導入にあたって検討すべき事項や留意事項を示したものである。具体的には，従来の重力沈殿による固液分離に代わる処理方法として，特に，膜分離活性汚泥法（MBR）を導入する場合の検討事項を整理したほか，再生水利用のための MBR を含めた膜処理技術を導入する場合の検討事項を整理し，以下の構成で記載している。

膜処理技術の概要や下水道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設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）

膜処理技術を再生水利用のために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，下水処理施設の改築，限られたスペースでの高度処理や再生水利用，病原微生物等の水系リスク低減等，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，**別冊Ⅰ**に参考資料として下水道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。

本ガイドラインは，第 1 版（2009.5 公表）において，技術概要，導入可能性について整理しており，第 2 版（改訂版）においては，日本版次世代 MBR 技術展開プロジェクト【通称：A-JUMP※1】実証事業等の知見や技術開発の動向，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，導入コスト，維持管理性についての記載を充実させた。

また，**別冊Ⅱ**に A-JUMP 実証事業の成果の概要を記載したほか，**別冊Ⅰ**で下水道以外の分野や海外における膜処理技術の標準化等の動向について記載した。

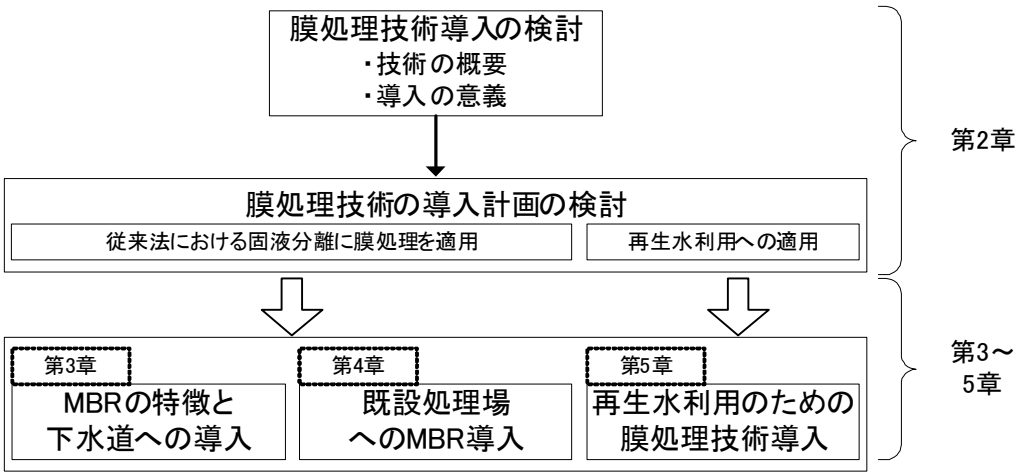


図 1-1　ガイドラインの内容

[1] A-JUMP：Advance of Japan Ultimate Membranebioreactor technology Project

［用語解説］

膜処理：　分離機能を持つ固体の膜を利用し，対象物質と溶液をその大きさで分ける（サイズ分離）ことや溶解-拡散現象等を利用して分けること。膜の分離機能のみを利用して処理することや，これ以外の処理法と組み合わせて処理することを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。

膜エレメント：膜とその支持体及び流路部等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・装置等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中空糸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）等を含む装置をいう。膜エレメント，膜モジュール及び膜ユニットの例を表 1-1に示す。

MBR：　膜分離活性汚泥法（MBR：Membrane Bioreactor)。膜により活性汚泥と処理水を分離する各種活性汚泥法の総称。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 3-1参照)。

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，透過流路を閉塞する状況のことであり，定期的に洗浄（付着物質をはがす工程）が必要である。

透過流束（フラックス）：膜の表面積あたりのろ過水の量（$m^3/(m^2 \cdot d) \Rightarrow m/d$)。

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，TMP（Trans Membrane Pressure）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，下水道法施行令及び通知（2004.3.29 国都下事第 530 号 国土交通省都市・地域整備局長通知「下水道法施行令の改正に伴う事業計画の認可の運用について」）に示される処理方式（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。ハイブリッド MBR と呼ばれることもある。

施設，設備，装置，機器：「下水道施設計画・設計指針と解説 [1)]」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）

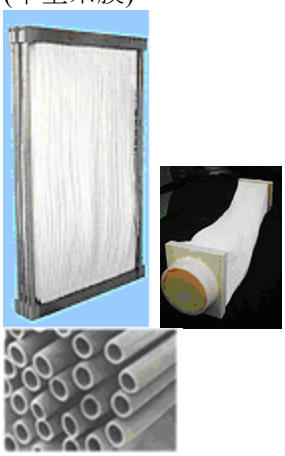
機器：機械，器械等（装置，設備を構成するもの，膜モジュール，等）

表 1-1　膜エレメント，膜モジュール，膜ユニットの例

<table>
<tr>
<td>

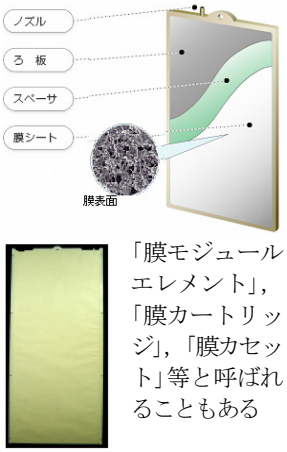
【膜エレメントの例】

(中空糸膜)



多数の膜(中空糸)が両端の集水管によって固定されたもの

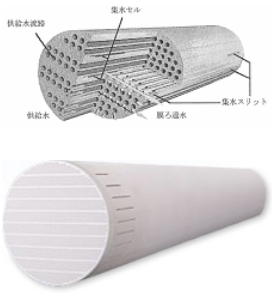
(平膜)



「膜モジュールエレメント」，「膜カートリッジ」，「膜カセット」等と呼ばれることもある

シート状の膜(平膜)を支持体に取り付けたもの

(モノリス膜)

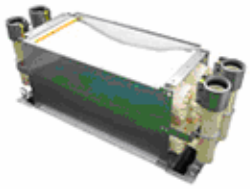


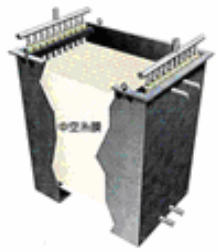
1 本のエレメントに多数の流路が設けられ，その表面に膜が焼結（生成）されているもの

</td>
<td>

【膜モジュールの例】

(中空糸膜)





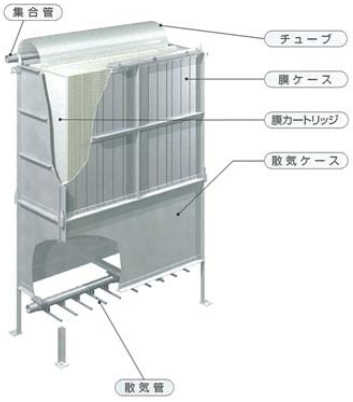
複数の膜エレメントを組み合わせ一体化させたもの

</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">

【膜ユニットの例】

（中空糸膜）

（平膜）



（モノリス膜）

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

</td>
</tr>
</table>

※　「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いる。

第2章　　総 論

膜処理技術の概要，膜分離方式等の膜処理に関する基礎的な事項を述べるとともに，下水道への導入意義や下水道における膜処理の現状を整理する。

2.1 膜処理技術の概要

2.1.1 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，膜を介して圧力差や濃度差，電位差等の推進力により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等と組み合わせてろ過する場合がある[2)]。

(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としては，

- 各種製造業（精製，濃縮，分離，回収，脱水）
- 医療用（血液透析，人工肺）
- 水処理（海水淡水化，浄水処理，下排水処理，下排水再利用）
- 燃料電池

等がある。

2.1.2 膜の種類

(1) 膜の孔径

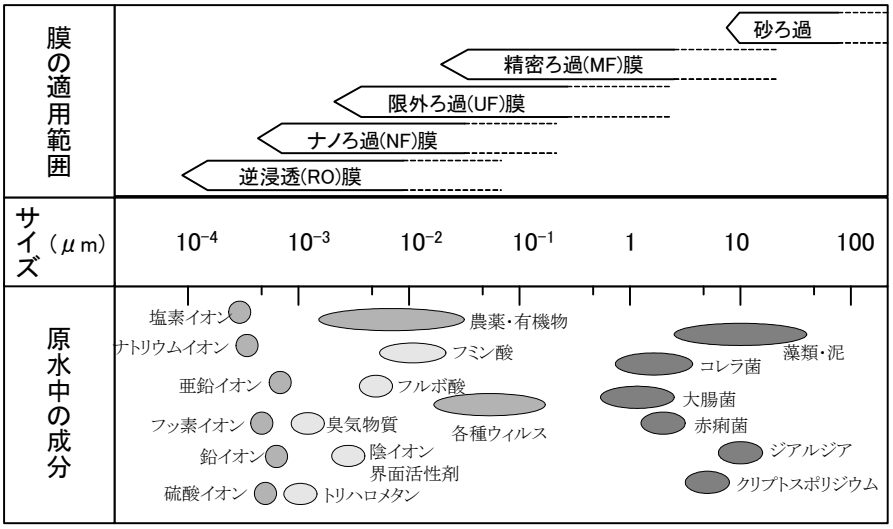
浄水・排水処理分野において用いられる分離膜※2には，分離対象が大きい順に，精密ろ過（microfiltration：以下「MF」という。）膜，限外ろ過（ultrafiltration：以下「UF」という。）膜，ナノろ過（nanofiltration：以下「NF」という。）膜，逆浸透（reverse osmosis：以下「RO」という）膜がある（表 2-1，図 2-1参照）。

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）	0.01～10μm 粒子	負圧～数 100kPa
限外ろ過（UF）	分子量 1,000～200,000	数 10kPa～数 100kPa
ナノろ過（NF）	分子量　200～1,000	数 100kPa～数 MPa
逆浸透（RO）	分子量　　～350	数 MPa～10MPa

注：操作圧は原水や目標水質によっても異なる。
UF 膜，NF 膜の分離対象については文献 3)より引用

[2] 膜の分類:分野や製造メーカー等により区分が異なり,孔径や操作圧の範囲が重なっている(図 2-1 参照)。IUPAC（International Union of Pure and Applied Chemistry）による定義（1996）では，>0.1μm を MF 膜，2nm～0.1μm を UF 膜，<2nm を NF 膜とされている。



※文献 3)より作成

図 2-1　膜の種類と分離対象物質

①MF（精密ろ過：microfiltration）膜

MF 膜は，0.01～10μm 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。MBR で用いられる場合は，0.1～0.4μm 程度の孔径が多く，SS 測定用のろ紙（孔径 1μm）や大腸菌等の細菌の大きさ（概ね 1μm 程度）よりも小さいことから，膜処理水から SS が検出されないまでに除去することができる。医療用の除菌フィルタ等としても利用されている。

②UF（限外ろ過：ultrafiltration）膜

UF 膜は，MF 膜より小さい孔径を持つもので，主にタンパク質等，分子量数千以上の高分子物質の濃縮やろ過等の用途に用いられる。粒子状物質以外に，ウイルスや溶解性有機物の一部も除去できることが特長である。

③NF（ナノろ過：nanofiltration）膜／RO（逆浸透：reverse osmosis）膜[※3]

NF 膜は，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。NF 膜／RO 膜による分離は，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たものである。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。

(2)　膜の材質

膜を材質によって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）等が用いられている。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）があり，また金属膜が開発されている。

[3] NF/RO 膜：RO 膜と NF 膜の処理性能の差は小さくなりつつある。また，RO 膜には SWRO（海水淡水化用 RO）と BWRO（低圧 RO 膜）とに区別される場合がある。水道用膜モジュール規格に基づく分類では，NaCl 除去率により，海水淡水化用 RO 膜：99.0%以上，RO 膜：93%以上，NF 膜 5～93%と区分されている。

膜の材質及び特徴について主なものをまとめると表 2-2となる。

表 2-2　主な膜の材質及び特徴

	主たる材質	特徴
有機系	PVDF，PE（塩素化，親水化処理※4）PP，PTFE，等	材質により，耐熱性，耐薬品性等が異なり，膜の保管や薬液洗浄において，その材質特性に留意する。
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，等）	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。

2.1.3 膜分離設備の概要

膜分離設備は，ろ過方式，駆動圧方式，膜モジュールの形式等により，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

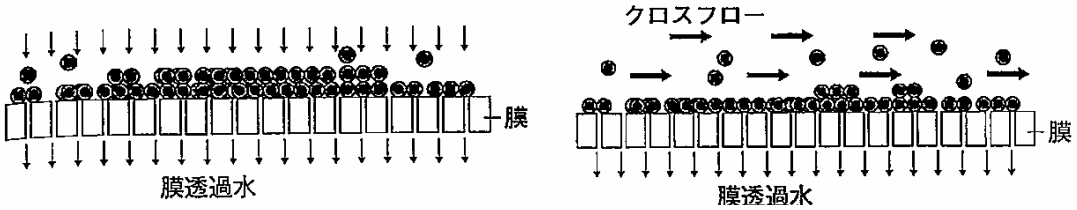
項目	主な分類		
(1)ろ過方式	a)全量ろ過	b)クロスフローろ過	
	a)内圧式	b)外圧式	
(2)駆動圧方式	a)ポンプ加圧方式	b)ポンプ吸引方式	c)水位差利用方式
(3)膜モジュールの形式	a)中空糸型 d)管型	b)平膜型 e)モノリス型	c)スパイラル型
(4)膜の洗浄方式	a)物理洗浄	b)薬液洗浄	

※文献 4)より作成

(1)　ろ過方式

1)　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 2-2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。



a) 全量ろ過　　b) クロスフローろ過

文献 2)より一部改変

図 2-2　ろ過方式（全量ろ過とクロスフローろ過）

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蓄積するため,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。ろ過と付着物の除去を並行して連続運転ができ，かつ，ろ過速度を高く維持できる

[4] 塩素化，親水化処理：ファウリング対策等を目的とし，塩素系薬剤への耐性や親水性を高めるための処理

反面，十分な平行流を作るため，透過流束（フラックス）に対して供給水側の流量が大きくなり，透過流束当りのエネルギー消費が大きくなる。

2) 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 3.1 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。

外圧式は，内圧式と比べると透過流束が低くなるが，実施可能な膜洗浄の方式（(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，ポンプ吸引方式，水位差利用方式等がある。

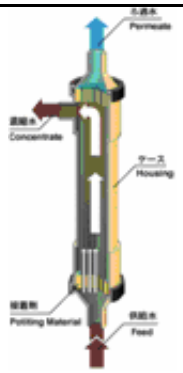
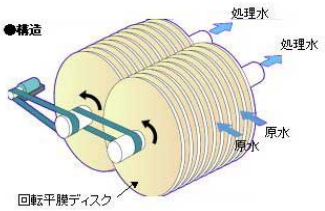
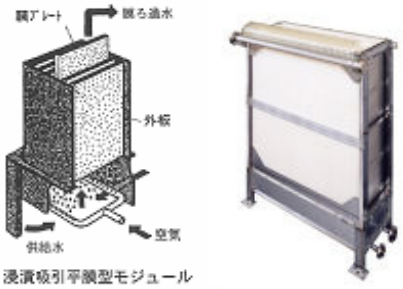
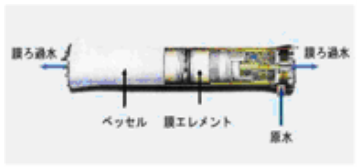
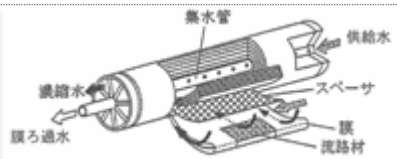
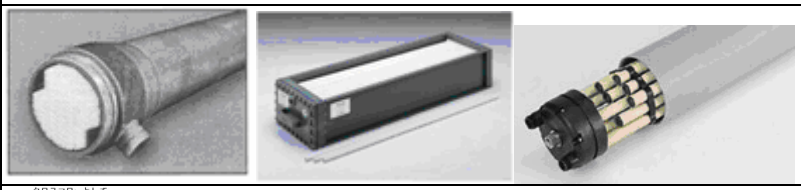
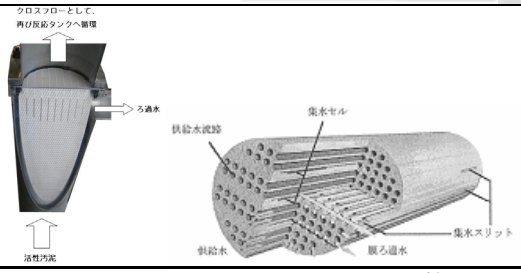
a) ポンプ加圧方式：ポンプを用いて，膜の供給水側に圧力を加える方式
b) ポンプ吸引方式：吸引ポンプを用いて，膜の膜透過水側より吸引する方式
c) 水位差利用方式：膜浸漬槽とろ過水槽，あるいは供給水槽と膜透過水槽の水位差を用いて，膜の供給水側に圧力を加える方式もしくは膜の膜透過水側より吸引する方式

(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，中空糸型，平膜型，スパイラル型，管型，モノリス型等がある。

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 2-3に示す。

<table>
<tr><td>中空糸膜</td><td>中空糸型
外径 0.5～3mm 程度の中空糸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。</td><td>
浸漬型

浸漬型
 
槽外型</td></tr>
<tr><td rowspan="2">平膜</td><td>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。</td><td> 
 
浸漬吸引平膜型モジュール</td></tr>
<tr><td>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。</td><td> 
  </td></tr>
<tr><td>管状膜</td><td>管型／チューブラー型
外形 3～15mm の円筒状の膜を束ねたもの。</td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">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。流路の表面には膜が焼結（生成）されている。</td><td>  </td></tr>
</table>

文献 4)及びメーカー資料より作成

図 2-3　膜モジュールの主な形式

(4)　膜の洗浄方式

1)　膜の性能変化

膜の性能変化には，劣化とファウリングがある。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，膜の表面や流路に付着物質が堆積すること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	固形物等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	塩素等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，付着微生物，懸濁物質
	膜面の汚染状態	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
	膜内部の汚染状態（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		原液側流路における固形物等による閉塞

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，懸濁物質等が挙げられるが，実際に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る。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。

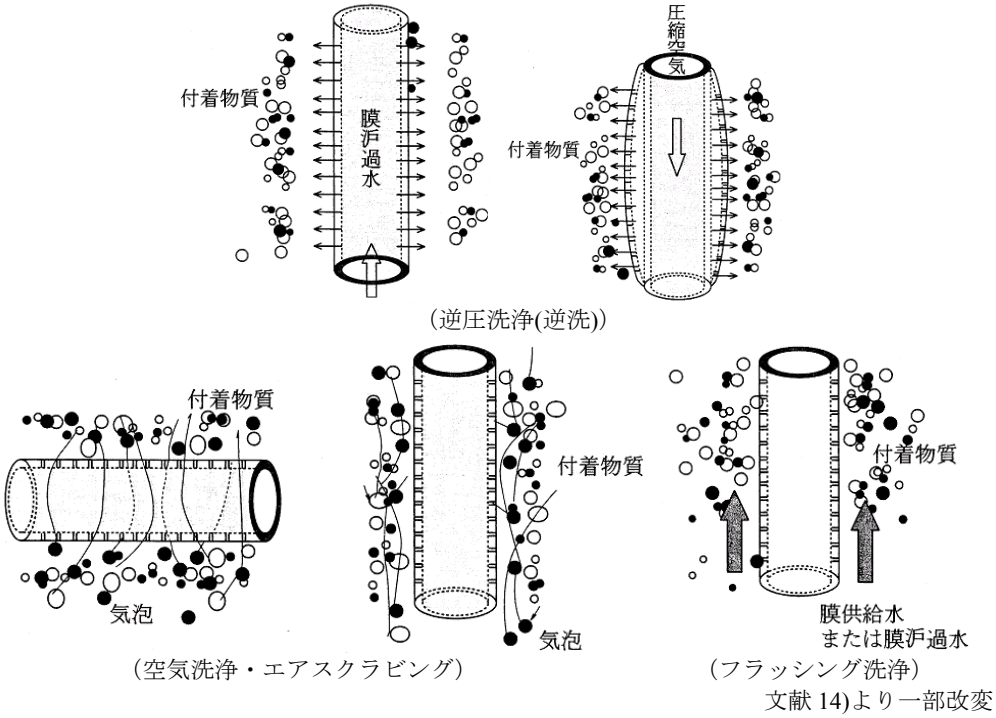
また，膜の性能とは別に，水温（液粘性）によっても膜差圧や透過流束が変化する現象が生じ，低水温期は，圧力一定制御運転下では透過流束が小さくなる傾向が，流量一定制御下では，膜差圧が上昇する傾向が認められる点にも留意する必要がある。

2)　膜洗浄（ファウリング対策）

膜処理においては，時間経過とともに，膜の表面や流路に付着物質が蓄積していくため，定期的に洗浄（付着物質を取り除く工程）が必要となる。膜の洗浄方法には物理洗浄と薬液洗浄がある。

a) 物理洗浄

物理洗浄には，逆圧洗浄，空気洗浄，フラッシング洗浄等があり，これらを単独または併用して洗浄を行う。排水処理分野で用いられる主な膜の物理洗浄の種類を図 2-4に示す。



文献 14)より一部改変

図 2-4　膜の物理洗浄の種類

・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，膜面の付着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。

・空気洗浄・エアスクラビング

空気を吹き込んで膜を水中で振動させることにより，膜面の付着物質を除去する方法である。逆圧洗浄と併用される場合もある。

・フラッシング洗浄

膜供給水または膜ろ過水を高速で膜面に沿って流すことにより，膜面の付着物質を除去する方法である。

b) 薬液洗浄（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，膜性能を回復させるため薬液洗浄（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（酸等）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等）が使用される。

膜の洗浄は，逆圧洗浄と薬液洗浄とを組み合わせることが多い。また，オゾンの使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。

2.2 下水道への導入意義

2.2.1 膜処理技術の下水道への導入意義

2005 年 9 月にまとめられた「下水道ビジョン 2100」では，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する下水道が提案されている。

『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ィナブル（sustainable，持続可能な）下水道を実現する「施設再生」が掲げられている。

『循環のみち』実現に向けた施策には，新技術を積極的に導入し下水道の機能を高度化することが不可欠なものが多い。

膜処理技術は，下水中の SS 成分はもとより，大腸菌等の細菌を確実に除去し，ウイルスや微小な物質についても低減効果が期待できる技術であり，下水道に導入する場合，次のような効果が期待できる。

- **汚濁物質の除去性能の向上**
  懸濁物が含まれない極めて清澄な水が得られると同時に，懸濁物中にふくまれる有機物，窒素及びリンなどの汚濁物質の高度な除去を期待できる。
- **施設のコンパクト化**
  最終沈殿池などの処理工程を省略することができ，下水処理施設の設置スペースを大幅に削減できる。
- **運転管理が容易（自動制御運転の範囲の拡大等）**
  最終沈殿池がないためバルキングや汚泥界面に注意を払う必要がなく汚泥管理の負担がなくなること，また，主要な運転管理項目は自動計測による透過水量や膜差圧であることから自動制御運転を取り入れやすく運転管理が容易である。
- **発生汚泥量の削減**
  高 MLSS[※5]により SRT[※6]が長いことから，汚泥の自己分解により発生汚泥量の削減が期待できる。
- **病原微生物の除去（水系リスクの低減）**
  感染性のあるクリプトスポリジウムや大腸菌をほぼ確実に阻止でき，ウイルスの除去も期待できる。

『循環のみち』を実現するための施策体系と，膜処理による実現可能性のある取組みの例を図 2-5に示す。

このように，「循環のみち」実現のために必要となる取組みのうち，膜処理技術の導入により実現可能なものも多く，下水道における膜処理技術への期待も大きい。

特に MBR は中・大規模処理場への導入やサテライト処理への適用等，今後，下水道事業への本格的な展開が期待できる処理方法である。以下に各取組みについて具体的に記載する。

---

[5] MLSS：Mixed Liquor Suspended Solids，活性汚泥浮遊物質
[6] SRT：Sludge Retension Time，汚泥滞留時間

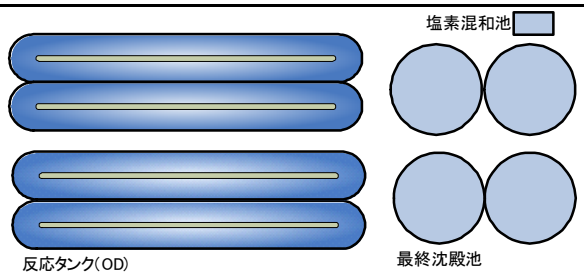
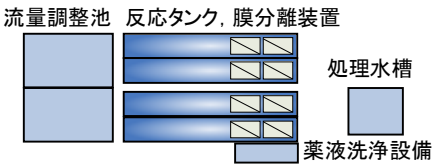
図 2-5 「循環のみち」実現における膜処理技術の可能性

(1) 施設のコンパクト化

MBR を導入する場合最終沈殿池は不要であり,最初沈殿池は必ずしも必要でなく大幅なコンパクト化が期待できる。また，塩素消毒設備についても常時は必要とせず機能不全時の緊急対策設備として計画することとしている。さらに修景用水へ再生水を利用する場合塩素消毒施設は不要であり，再生水を利用する場合にもコンパクト化が期待できる。

標準的な MBR プロセスと従来法である高度処理オキシデーションディッチ法（以下「OD 法」という。）との施設規模比較例を表 2-5 に示すが，必要設置面積は 1/5 程度である。また，A-JUMP 守山水処理センターの事例のとおり，標準活性汚泥法の反応タンクの容量程度で高度処理対応が可能である。

表 2-5　標準的な MBR プロセスと高度処理 OD 法との施設規模比較例（5,000m³/日の場合）

	高度処理 OD 法	MBR 法
配置イメージ		
流量調整池	—	$6m^{W}\times11m^{L}\times5m^{H}\times2$ 池(HRT=3hr)
生物反応槽	$3.5m^{W}\times120m^{L}\times3m^{H}\times4$ 池(HRT=24hr)	$3m^{W}\times22m^{L}\times5m^{H}\times4$ 池(HRT=6hr)
最終沈殿池	ϕ 15m $\times2.5^{H}\times4$ 池(水面積負荷 $8m^2/m^3$・日)	—
塩素混和池	$3m^{W}\times7m^{L}\times2.5m^{H}\times1$ 池(HRT=15 分)	—
処理水槽	—	$6m^{W}\times7m^{L}\times2.5m^{H}\times1$ 池(HRT=30 分) (薬液洗浄希釈等に使用， 再生水利用の場合は拡大)
面積（比）	$2,408m^2$（1）	$438m^2$（0.18）※薬液洗浄槽は除く
管理棟・電気室	—	ブロワ等の規模が若干大きくなるため，管理棟電気室はやや大きくなる。

※JS 標準設計指針に基づき算出。なお，同指針では，従来 OD 法と同一の施設規模で高度処理対応が可能である。

(2)　処理場の改築

下水道整備の進捗にともない，老朽化した処理施設が増加してきた。日常生活や社会活動に重大な影響を及ぼす事故の発生や機能停止を未然に防止するため計画的な改築更新の推進，あわせて高度処理や再生水利用等を目的とした改築も必要となってきている。このような下水処理場の改築を行う際に，スペース不足や処理能力の不足が課題となる。

既存下水処理場の改築に際して，既存下水処理施設の全部又は一部を MBR に改造することにより，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 4 章参照）。

また，膜処理技術は固液分離が確実な物理的な処理方式であり，監視・制御運転の自動化が行いやすいという利点もある。

(3)　未普及地域の早期解消

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，施設のコンパクト化が可能な MBR の導入が進んでいる。コンパクト化の結果，山間部や海岸部などの狭隘な土地に建設できるため，未普及地域での早期解消が期待できる。また国土交通省の下水道クイックプロジェクトにおいて，コスト縮減，工期短縮を目的とした PMBR[※7]の導入が進められている。

(4)　高度処理

膜処理水は，従来法と比較して SS が含まれない。膜処理による SS 除去に際して，窒素，リン等のうち SS に含まれる部分の除去も期待できる。また，循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法（凝集剤添加）等を用いることにより，窒素・リンの高い除去効果も期待できる。

[7] PMBR：パッケージ型の極小規模膜分離活性汚泥法

特に MBR は，従来法に比べ高い MLSS（概ね 8,000～15,000mg/L）で運転することができることから，短時間で有機物分解，硝化脱窒反応を生じさせることが可能である。また，循環式硝化脱窒法，ステップ流入式多段硝化脱窒法，凝集剤の添加等との組み合わせも可能であり，最適な運転条件や適用範囲の拡大について検討が進められている。

高度処理対応として循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法の施設構成例を図 2-7に，A_2O 型膜分離活性汚泥法（膜型 UCT 法※8）の施設構成例を図 2-8に示す（2.2.2 参照）。

(5) 再生水の利用拡大

再生水利用において膜処理技術を活用することにより，再生処理施設のコンパクト化や水質面での再利用用途の多様化等が図られる。

特に MBR 処理水は，用途によってはオゾン処理等の再生処理施設を必要とせず再利用が可能であり，さらにサテライト処理システムに組み込むことによって，下水処理場から遠方の供給先でも低コストな再生水の利用拡大が期待されている。膜技術を用いた再生水の水質の事例を従来型の水質事例とあわせて表 2-6に示す。

なお，サテライト処理システムとは，下水処理場上流の下水管から下水を取水・処理して再生水を供給するとともに，処理に伴って発生する汚泥はもとの下水管に戻すというものである（詳細は 5.4 参照）。

二次処理水の膜処理プロセス（NF/RO）の施設構成例を図 2-6～図 2-8に示し，再生水 MBR プロセスの施設構成例を図 2-9に示す（2.2.2 参照）。

表 2-6　従来型と膜技術を用いた再生処理水質事例

区分 ＼ 水質項目	守山水処理センター			水道水
	標準法 処理水 注1)	A_2O 型 MBR 処理水注2)	RO 処理水注2)	水道基準
pH (－)	7.2	6.7	-	5.8～8.6
SS (mg/L)	1	N.D.	-	-
BOD (mg/L)	4.2	1.0	-	-
COD (mg/L)	11	5.7	-	-
TOC (mg/L)	-	-	-	<3
T-N (mg/L)	10.2	4.6	0.9	<10 3)
T-P (mg/L)	0.66	0.38	0.5	-
大腸菌群数 (個/cm^3)	<30	不検出(100mL 中)	-	-
大腸菌 (個/100mL)	-	不検出	-	検出されないこと
濁度 (度)	-	(<0.25～1.1)	0.24	<2
色度 (度)	-	8.8	1.3	<5
臭気 (－)	-	-	-	異常でないこと

注 1)守山水処理センター2009 年度平均水質

2)守山水処理センターにおける A-JUMP 実証施設処理水平均値（2010.6～12 月）。濁度は範囲。実証のための運転条件の変動の影響を除いた処理安定後のデータ

3)NO_2^--N 及び NO_3^--N として

(6) 水系リスクの低減

下水道を取り巻く課題の一つとして，水系リスクの低減が挙げられる。

膜処理では，表 2-6にも示すように大腸菌はほとんど除去でき，その他の細菌や微量化学

8 UCT（University of Cape Town）法：生物的窒素リン同時除去法のひとつで A_2O 法の変法。硝化液循環（好気タンク→無酸素タンク）と脱窒液循環（無酸素タンク→嫌気タンク）の 2 段階の循環経路を持つ。

物質，ウイルスについても低減することができる。例えば，下痢や嘔吐等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※9のオーシストは塩素に対して強い抵抗性を持つが，表 2-7に示されるように，浄水処理においての事例ではあるが，砂ろ過法と比較しても膜処理では高い除去性能を有している。

表 2-7　クリプトスポリジウムのオーシスト除去性能の浄水処理における事例 [6)]

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

ウイルス除去はウイルス粒子より小さい孔径の UF 膜等を使用することにより達成できる。なお，ウイルスよりも孔径の大きい MF 膜であっても，MBR がウイルス除去率向上に有効との報告事例 [7),8),9)]があることから，細菌や原虫の除去だけでなく，衛生学的な水系リスク低減に寄与できる可能性が示されている。

表 2-8に国内の MBR 施設のノロウイルス調査結果を示す。すべての結果において 1 リットルの膜ろ過水からノロウイルスを検出することができなかった（全ての結果において検出下限値以下であり，対数除去率は検出下限値に基づき“＞○○”として示している)。流入水のノロウイルス濃度によって除去率にばらつきがあるものの，各施設の対数除去率は 4.6~5.9log 以上であった。

表 2-8　MBR 施設のノロウイルス調査結果

処理場	凝集剤	膜の種類／形状	膜の設置位置	使用期間	対数除去率 ノロウイルス(GⅠ+GⅡ)
1	添加	有機／平膜	浸漬型	5年6ヶ月～5年10ヶ月	＞3.9
2	－	有機／平膜	浸漬型	3年3ヶ月～5年1ヶ月	＞3.1
3	添加	有機／平膜	浸漬型	11ヶ月～1年0ヶ月	＞4.9
4	－	有機／中空糸膜	浸漬型	4年8ヶ月～4年10ヶ月	＞2.8
5	－	有機／中空糸膜	浸漬型	2年8ヶ月～2年10ヶ月	＞3.9
6	－	有機／中空糸膜	浸漬型	2年8ヶ月～2年10ヶ月	＞2.6
7	添加	無機／モノリス	別置型	10ヶ月～1年0ヶ月	＞4.9

※各処理場 3 回調査,
流入水の濃度範囲：1.3×10^4～2.8×10^7 MPN-copies/L，処理水の検出下限値：32.8～37.5MPN-copies/L

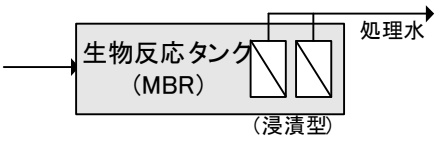
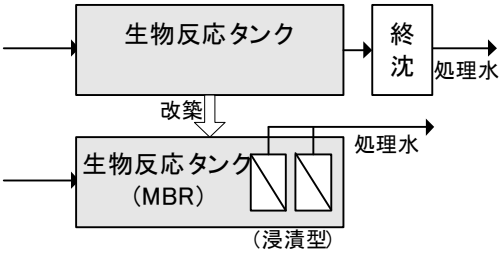
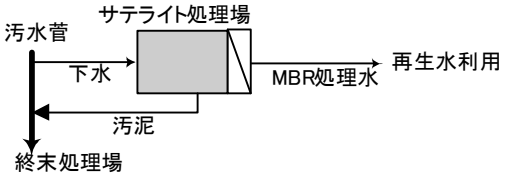
2.2.2 下水道への膜処理技術の導入形態

下水道における膜処理技術は，近年，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，現在も，コスト，エネルギー使用量の削減等，様々な観点からの研究や技術開発が進められており，今後も，健全な水循環の構築等，多方面での適用が可能な技術として，下水道事業への積極的な展開が期待されている。

下水道への膜処理技術の導入目的に応じた導入形態を，表 2-9 に示す。また，下水処理に組み込む場合のフロー例を図 2-6～図 2-9に示す。

[9] 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（99.99～99.999%）程度の除去性能が必要であると考えられている。浄水処理の事例において膜ろ過法では 6log（99.9999%）以上の除去性能（表 2-7 参照）が得られている。

表 2-9　膜処理技術の導入形態

膜処理技術の導入目的	導入形態	代表的な例
未普及地域の早期解消等	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，膜処理により行うもの。 ・ 施設のコンパクト化可能 ・ 高 MLSS により短 HRT で処理の高度化可能	生物反応タンクの活性汚泥を膜により分離して MBR 処理水を得る膜処理 ＜例＞ 
処理場の改築にあわせた処理の高度化や処理能力の増強	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，膜処理により行うもの。 ・ 高 MLSS により短 HRT で処理能力の増強が可能 ・ 一部系列への MBR 導入で，全体平均の処理水質向上	生物反応タンクの活性汚泥を膜により分離して MBR 処理水を得る膜処理 ＜例＞ 
再生水の利用	再生水の利用を目的として従来法やMBRの処理水を対象に，膜処理を行うもの。 ・ 利用目的に応じた膜の選択により多様な用途に利用可 ・ コンパクトな施設で対応可	下水二次処理水を対象とした膜処理 ＜例＞
	再生水の利用を目的としたサテライト処理場において MBR により処理を行うもの。 ・ コンパクトな施設により下水処理場から遠方の供給先でも低コストで利用可能 (再生水の利用先拡大)	サテライト処理 MBR ＜例＞ 

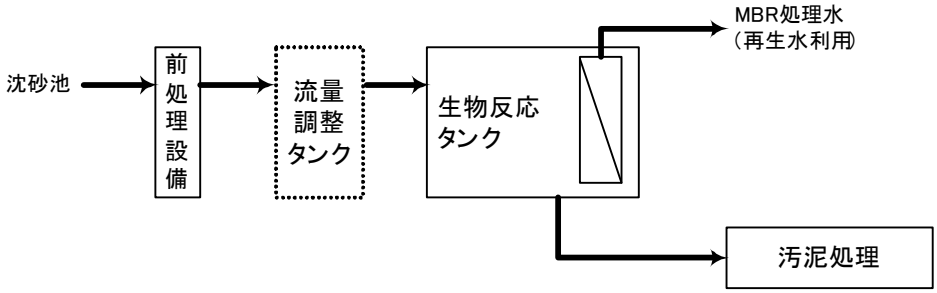


図 2-6　MBR の施設構成例

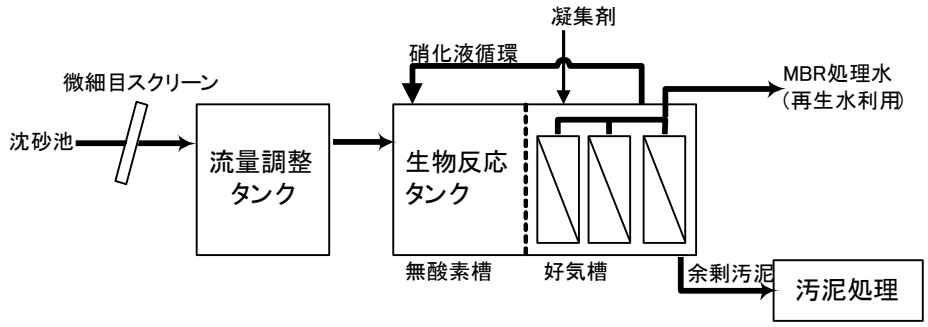


図 2-7　循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法の施設構成例

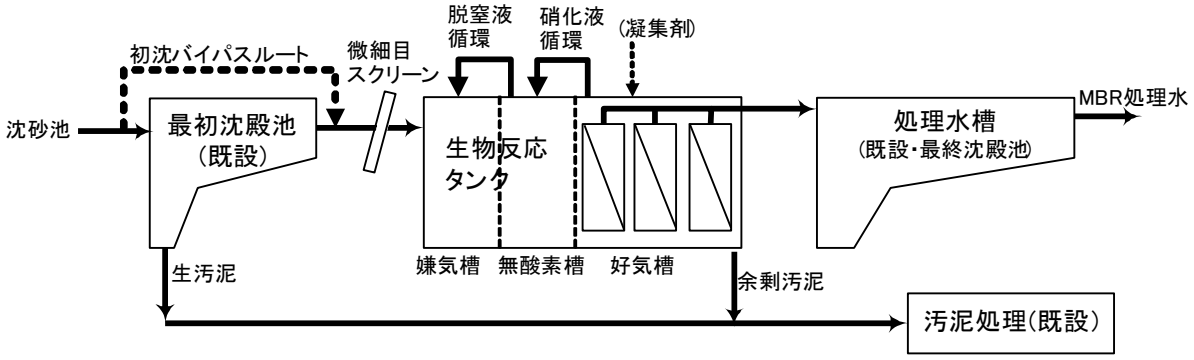


図 2-8　A_2O 型膜分離活性汚泥法(膜型 UCT 法)の施設構成例(守山水処理ｾﾝﾀｰ MBR 実証施設)

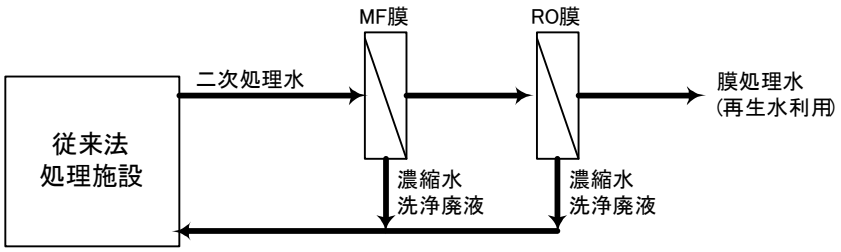


図 2-9　二次処理水の膜処理プロセスの施設構成例（MF＋RO）

2.3 下水道における膜処理の現状

2.3.1 MBR の一般評価

国土交通省では，膜分離活性汚泥法（MBR）が全国に適用可能な一般的な下水処理方法であるかどうかを評価（一般評価※10）するため，2008 年度より水処理技術委員会※11（委員長：松尾友矩東洋大学常勤理事）の下に膜分離活性汚泥法評価検討分科会（委員長：味埜俊東京大学大学院教授）を設置・審議されてきた。2010 年 2 月には結果が公表され，一般的な下水に適用した場合表 2-10における計画放流水質※12を達成できるとの評価が得られた。また，参考までに 2003 年度下水道法施行令及び運用通知※13で位置づけられた処理方法における計画放流水質を表 2-11に示す

さらに，MBR は最終沈殿池が不要になるため，省スペースで良質な処理水が得られるなどの特長を有しており，今後，老朽化した下水処理施設を，既存の反応タンク等を活用しながら高度処理化することが可能になるなど，下水道事業が直面する様々な課題を解決するコア技術として期待されるとしている。

表 2-10　MBR 一般評価による計画放流水質

処理方法	計画放流水質（mg/L）		
	BOD	T-N	T-P
循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法	10 以下	10 以下	ー
循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法 （凝集剤を添加して処理するものに限る）	10 以下	10 以下	0.5 以下

注：膜分離活性汚泥法のうち，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うもの。

表 2-11　施行令及び運用通知で位置づけられた処理方法における計画放流水質

	計画放流水質			処理方法
	BOD	T-N	T-P	
1	～10	～10	～0.5	嫌気無酸素好気法（有機物および凝集剤を添加，急速ろ過を併用）
2			0.5～1	循環式硝化脱窒法（有機物および凝集剤を添加，急速ろ過を併用）
3			1～3	嫌気無酸素好気法（有機物を添加，急速ろ過を併用）
4				循環式硝化脱窒法（有機物を添加，急速ろ過を併用）
5		10～20	～1	循環式硝化脱窒法（凝集剤を添加，急速ろ過を併用）
6			1～3	嫌気無酸素好気法（急速ろ過を併用）
7				循環式硝化脱窒法（急速ろ過を併用）
8			～1	嫌気好気活性汚泥法（凝集剤を添加，急速ろ過を併用）
9			1～3	嫌気好気活性汚泥法（急速ろ過を併用）
10				標準活性汚泥法（急速ろ過を併用）
11	10～15	～20	～3	嫌気無酸素好気法
12				循環式硝化脱窒法
13			～3	嫌気好気活性汚泥法
14				標準活性汚泥法

運用通知で位置づけられた処理方法

標準活性汚泥法と同程度		循環式硝化脱窒法と同程度
・オキシテーションディチ法	・酸素活性汚泥法	・硝化内生脱窒法
・長時間エアレーション法	・好気性ろ床法	・ステップ流入式多段硝化脱窒法
・回分式活性汚泥法	・接触酸化法	・高度処理オキシテーションディチ法

[10] 一般評価：新たな処理方法について，計画放流水質区分への対応を明確にするとともに，採用にあたっての留意事項等を明らかにし，全国に適用可能な一般的な処理方法として位置づけることが適当かどうかを評価。

[11] 水処理技術委員会：一般評価を行うため，国土交通省が設置するもの（事務局：国土技術政策総合研究所下水道研究部）。

[12] 計画放流水質：下水道からの放流水が適合すべき水質。下水道法施行令第 5 条の 6 第 2 項に基づき，下水道管理者が BOD，T-N，T-P について定めるもの。

[13] 運用通知：2004 年 3 月 29 日国都下事第 530 号

一般評価を受けたMBRは“循環式硝化脱窒型”についてであり，MBR施設の計画・設計に関して以下に示す留意事項が示されている。

① 一般評価により計画放流水質が認められているものは,循環式硝化脱窒法であって膜により活性汚泥を分離するものに限られており，その他の水処理方式（標準活性汚泥法，嫌気無酸素好気法などとの組み合わせ）は，急速ろ過法を併用する方法と同等以上と見なして,それぞれ相当する区分の計画放流水質を達成できる処理方法として取り扱うものとされている。

② 汚泥の集約処理施設あるいは合併処理浄化槽や農業集落排水処理施設からの汚泥を受け入れている施設（MICS 事業施設）では，返流負荷等が下水の性状に与える影響の程度によって,一般的な下水の性状とは異なる性状の下水を処理することとなる場合が認められるので,設備の設計においてはこの様な特性について留意する。

③ 活性汚泥の高濃度化（高MLSS）に伴い散気装置の酸素移動効率の低下が認められるので，設備の設計においてはこの様な特性に十分配慮し，不足無く酸素供給ができるよう留意する。

2.3.2 国内の下水道用膜処理施設の導入状況

(1) MBR導入状況

日本下水道事業団（以下「JS」という。）により，MBRの調査研究が進められ，2003年3月には「膜分離活性汚泥法の技術評価に関する報告書」[10)]が公表された。

国内の下水道におけるMBRは，2005年に兵庫県福崎町において初めて供用開始された。以降，放流水質の制約や処理場スペースの制約を受けて小規模を中心にMBRの導入が進められてきており，2011年3月時点での供用実績は16箇所である。（表 2-12参照）。また，三宝下水処理場で暫定施設ではあるが国内で初の大規模の施設が稼動している。

表 2-12　下水道におけるMBR適用事例

2011.3現在

No	都市名	処理場名	処理能力(m^3/日)		供用開始	膜形状	備考
			現有	全体計画			
1	福崎町(兵庫県)	福崎浄化センター	4,200	12,600	2005.4	平膜	
2	鹿沼市(栃木県)	古峰原水処理センター	240	240	2005.4	平膜	
3	檮原町(高知県)	梼原浄化センター	720	720	2005.12	平膜	
4	鏡野町(岡山県)	奥津浄化センター	600	600	2006.4	中空糸膜	
5	雲南市(島根県)	大東浄化センター	2,000	2,000	2006.9	平膜	
6	標茶町(北海道)	塘路終末処理場	125	125	2007.3	平膜	
7	若狭町(福井県)	海越浄化センター	230	230	2007.4	中空糸膜	
8	浜松市(静岡県)	城西浄化センター	1,375	1,375	2008.3	中空糸膜	
9	沼津市(静岡県)	戸田浄化センター	2,140	3,200	2008.3	平膜	
10	大田市(島根県)	大田浄化センター	2,150	8,600	2009.3	平膜	
11	名古屋市(愛知県)	守山水処理センター	5,000	5,000	2010.1	平膜	A-JUMP実証施設
12	新宮町(福岡県)	新宮中央浄化センター	6,060	9,090	2010.3	平膜	
13	二戸市(岩手県)	浄法寺浄化センター	300	300	2010.3	中空糸膜	下水道ｸｲｯｸﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ
14	大宜味村(沖縄県)	大宜味浄化センター	150	300	2011.2	中空糸膜	
15	堺市(大阪府)	三宝下水処理場	34,000	60,000	2011.3	平膜	既設改造, 暫定施設
16	美咲町(岡山県)	柵原浄化センター	450	900	2011.3	中空糸膜	
17	天草市(熊本県)	高浜浄化センター	620	620	2011.4予定	中空糸膜	

MBR は中大規模処理場への導入やサテライト処理への適用等，今後，下水道事業への本格的な展開が期待できる処理方法であり，その普及拡大に向けた課題について**別冊Ⅰ**に参考資料として記載した。

(2) 膜処理を利用した再生水利用の導入状況

国内における膜処理を利用した再生水利用の事例を表 2-13に示す。

表 2-13 膜処理を利用した再生水利用の事例

自治体名	施設名	利用目的 施設規模 （膜プロセス構成）	稼働 年度	出 典
東京都	落合水再生センター	親水用水 50m^3/日 (砂ろ過水→凝集→MF 膜→RO 膜)	1993	文献 2)
東京都	芝浦水再生センター	水洗用水 4,300m^3/日 (生物膜ろ過→オゾン→MF 膜)	2004	文献 11)
大阪市	海老江下水処理場	修景用水 40m^3/日 (高度処理水→凝集→MF 膜→RO 膜)	1995	大阪市下水道科学館資料
神戸市	垂水下水処理場	修景，洗車用水 50m^3/日 (砂ろ過水→凝集ろ過→RO 膜)	1993	文献 12)

2.3.3 日本版次世代 MBR 技術展開プロジェクト（A-JUMP）の実施

国土交通省では，わが国の企業が世界屈指のノウハウを有し，下水道施設の効率的な機能高度化等への活用が期待できる MBR の国内での本格的な普及促進や，海外での展開を図るため，国土交通省が主体となって MBR 導入に必要な知見を集積することを目的として，2009 年度より日本版次世代 MBR 技術展開プロジェクト（A-JUMP）を実施しており，その一環として，MBR を活用した波及効果の高い先進的な取組を実施設で実証した。当実証事業で得られた知見やデータについては，本ガイドラインへ反映し，広く周知するものとしている。

A-JUMP の取組みの一つとして，2009 年度に「既設下水処理施設の改築における膜分離活性汚泥法適用化実証事業（実証フィールド：名古屋市守山水処理センター）」と「膜分離活性汚泥法を用いたサテライト処理適用化実証事業（実証フィールド：愛知県見合ポンプ場）」が実施され，表 2-14 に示す検証が行われており，本ガイドラインに反映している。なお，2009 年度以降についても，実証フィールド自治体等が実施主体となって実証実験を継続している。A-JUMP 実証事業の成果は，**別冊Ⅱ**参照。

2.3.4 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開始され，近年施設数が増加している。また，大規模施設への導入も進み，数万 m^3/日規模の処理場も増えてきており，アメリカ，中国等では 10 万 m^3/日を超える施設も稼動し始めており，市場拡大の予測も行われている（表 2-15及び図 2-10～図 2-13参照）。

表 2-14　A-JUMP 実証事業において検証された主な内容

既設 MBR 実証事業・サテライト MBR 実証事業に共通した内容
・ MBR システム導入に必要な施設（膜モジュール吊り上げ装置，洗浄用施設等）の配置上の留意点 ・ MBR システムの最適運転条件 ・ 流入下水の量的･質的変動に対する処理の安定性 ・ MBR システムから発生する余剰汚泥等を，既設の汚泥処理施設で処理または余剰汚泥等の下水管へ返送するにあたっての留意事項 ・ 設置，運転に関わるコスト構造の把握及びコスト縮減方策の検討
既設 MBR 実証事業に関する内容
・ 膜モジュールを設置する既設反応タンク等の構造的な検討事項･留意事項 ・ 既設の送風設備その他既設の設備の活用可能性
サテライト MBR 実証事業に関する内容
・ MBR システム処理水の再生水としての適用可能性

MBR 導入の主な理由としては，水質規制への対応，処理水再利用が挙げられ，そのための改築更新時の敷地制約が契機となる場合もある。特に，慢性的な水不足の地域において，処理水の大半を再利用する場合，近年のコスト低下（**別冊Ⅰ参照**）もあり，清澄な処理水が得られる MBR が有力な選択肢となっているものと考えられる。

表 2-15　海外の下水処理施設における MBR の主な導入事例

国	処理能力(m^3/日)	供用開始年	備考
イギリス	1,900	1997	
ドイツ	3,240	1998	
イギリス	12,700	1998	
フランス	4,300	1999	
イタリア	42,400	2002	
アメリカ	11,800	2002	現:23,600m^3/日
ドイツ	45,000	2004	
オランダ	18,000	2003	
アメリカ	4,540	2003	
アメリカ	38,600	2004	
韓国	70,000	2005	
オマーン	78,000	2006	
アメリカ	38,200	2006	
アメリカ	44,300	2006	
中国	30,000	2006	二次処理水対象
アメリカ	93,500	2007	
中国	80,000	2007	
アメリカ	75,700	2007	
カタール	60,200	2007	
中国	60,000	2007	
イタリア	47,300	2007	
アメリカ	45,400	2007	
アメリカ	35,600	2007	
中国	30,000	2007	
中国	100,000	2007	
アメリカ	114,000	2009	
サウジアラビア	30,000	2009	
アラブ首長国連邦	38,000	2009	
アメリカ	144,000	2010	
中国	110,000	2010	
中国	110,000	2010	
中国	100,000	2010	
オマーン	78,000	2010	
中国	150,000	建設中	
アメリカ	117,000	建設中	
サウジアラビア	60,000	建設中	
韓国	73,000	建設中	

※　文献 10),13) ,14) ,15)及びヒアリング調査より作成

※　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

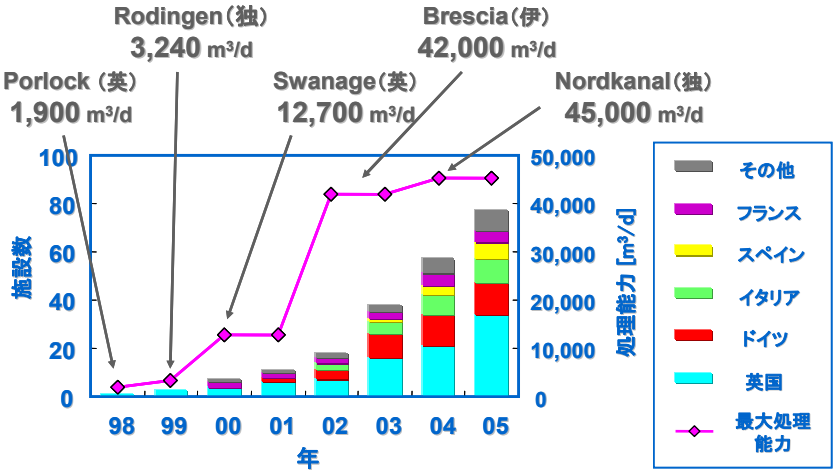
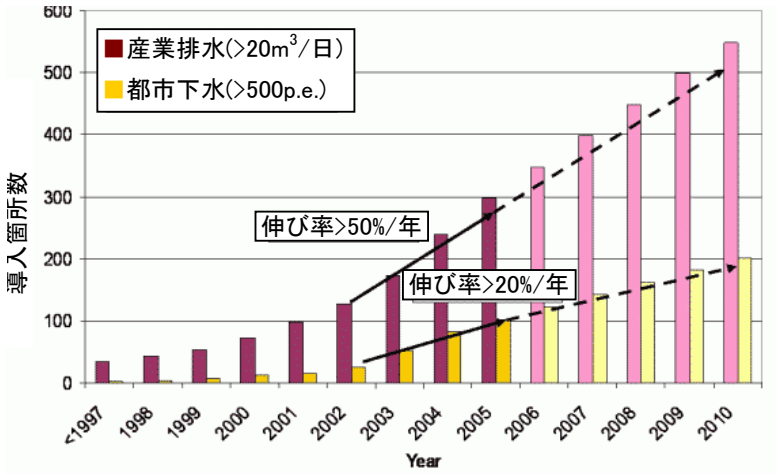
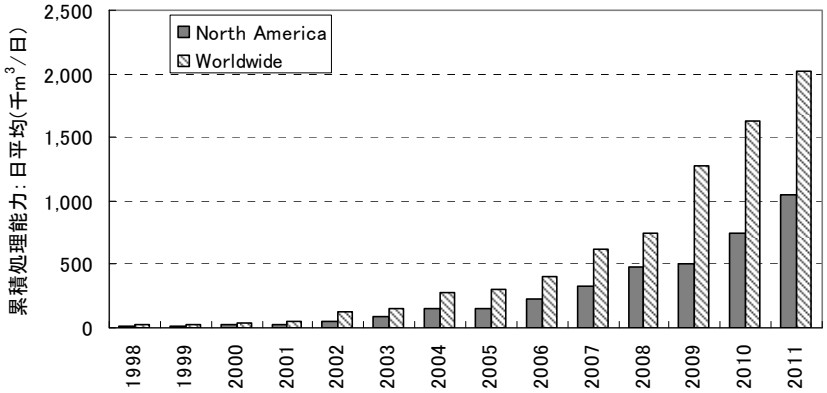


図 2-10　欧州の下水処理施設における MBR の採用数と処理能力の推移 [16)]



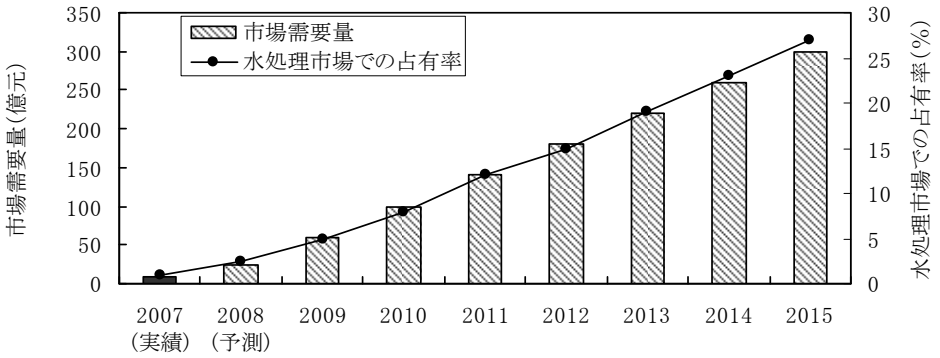
工場排水 20m³/日以上，都市下水 500p.e.(=約 100m³/日)以上施設
（p.e. ：population equivalent：人口当量）
2006 年以降は予測値

図 2-11　EU における MBR 施設箇所数の推移 [17)]



規模 1MGD(約 4,000m³/日) 以上の GE/Zenon 社導入施設
USA･カナダにおける GE/Zenon 社のシェアは約 65%
2009 年以降は GE/Zenon 社による予測値

図 2-12　GE/Zenon 社の USA とカナダにおける MBR 施設規模の推移 [18)]



文献 19),20),21)より作成

図 2-13　中国における今後の MBR 市場予測

(2)　膜処理を利用した再生水利用の導入状況

海外における膜処理を利用した再生水利用の事例を表 2-16に示す。

表 2-16　膜処理を利用した再生水利用の事例

文献 3),22),施設業協会調査を元に作成

国名	場所	処理規模(m^3/日)	稼動年	膜プロセス構成	利用用途
アメリカ	West Basin,CA	76,000	1996	二次処理水→MF膜→RO膜	工業用水、農業用水、間接飲用水など
アメリカ	Gwenett City	34,000	1999	NF膜*	
シンガポール	Juron	35,000	2000	RO膜*	
シンガポール	Kranji	40,000	2002	二次処理水→MF膜→RO膜	
シンガポール	Bedok	32,000	2002	二次処理水→UF膜→RO膜	
クウェート	Sulaibiya	375,000	2005	二次処理水→UF膜→RO膜	
アメリカ	Fountain Valley,CA	220,000	2006	二次処理水→MF膜→RO膜	
シンガポール	Ulu Pandan	166,000	2006	二次処理水→MF膜→RO膜	
シンガポール	Changi	228,000	2008	二次処理水→MF膜→RO膜	
中国	Qinghe	80,000	2008	UF膜*	
中国	Ningxia	78,000	2008	二次処理水→MF膜→RO膜	
オーストラリア	Luggage Point	66,000	2008	二次処理水→MF膜→RO膜	
シンガポール	Changi	228,000	2010	二次処理水→MF膜→RO膜	
中国	Qinghe	180,000	2010	UF膜*	
カタール	Doha	439,000	2011	二次処理水→UF膜→RO膜	

*前段階のプロセスは不明

(3)　海外市場における日本の膜メーカーのシェア

日本の膜メーカーの水処理用膜のシェアを図 2-14に示す。全膜種では 60%，SWRO 膜では 70%が日本と大きなシェアを有している。MBR への適用が多い MF 膜と UF 膜のシェアも 43%（LP 膜※14を含む）を有している。また，世界の大規模 MBR 施設の累計処理能力とシェアの推移を図 2-15に示す。2009 年時点における大規模 MBR 施設の約 4 割についての膜供給元は日本となっている。

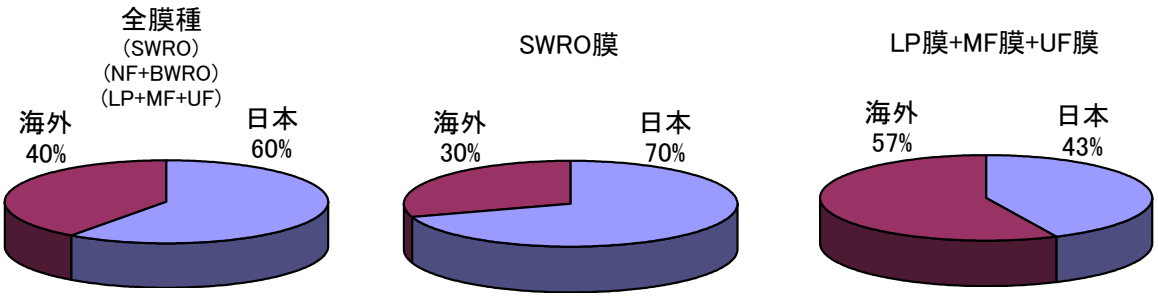


図 2-14　水処理用膜の出荷量割合 3)

14 LP(大孔径ろ過)膜：MF より孔径が大きく，概ね 1μm 以上の粒子が分離対象となる。なお，SWRO，BWRO は p5(注釈※2)に記載。

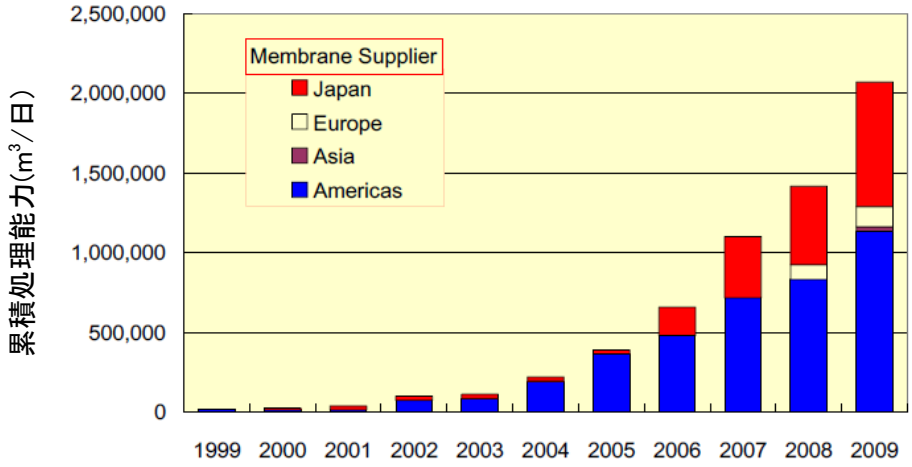


図 2-15　世界の大規模 MBR 施設（>10,000m³/日）の累計処理能力とシェアの推移 [15)]

2.3.5 標準化に関する動向

(1)　日本における動向

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）において，2009 年度に「膜分離活性汚泥法（MBR）技術に関する海外標準化動向等に関する基礎調査」[23)]が実施され，MBR 技術の標準化ニーズ調査や技術標準化の内容検討を行い，海外市場に普及展開していくための具体的手法の検討を行っている。同調査において，我が国 MBR 技術国際標準化の必要性に関するニーズ調査が実施されている。

(2)　海外における動向

1)　EU

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 CWA15897[※15]が公表された（**別冊Ⅲ参照**）。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等への移行に向けた検討が行われることとなる。

2)　アメリカ

現時点で MBR に関する標準化の動きは，特にないようである。ただし，EPA[※16]より，MBR の Fact Sheet[※17]が出されている（**別冊Ⅲ参照**）[24)]。

なお，アメリカでは，州ごとの規制・基準が行われており，カリフォルニア州条例の Title22 に再利用可能な水質基準が明記されており，膜処理技術については，提案者が CDPH[※18]に申請し・認定されることが必要となっている。この基準は，カリフォルニア州のみならず各州でも手本とされており，事実上，米国内の基準認証制度として実用化している（**別冊Ⅲ参照**）。

---

15 CWA：CEN Workshop Agreement，CEN（欧州標準化委員会）の合意文書，CWA を国家規格としてメンバー国が採用する義務はない
16 EPA：Environmental Protection Agency，アメリカ環境保護庁
17 Fact Sheet：ファクトシート，実態シート
18 CDPH：California Department of Pablic Health ，カリフォルニア州公衆衛生局

再生水水質基準は，二次処理水の凝集沈殿-砂ろ過-消毒プロセスを標準としたものである。これ以外の処理方法については，提案する代替手段が同等の信頼性で保証されることを，CDHS に承認されることが必要となっている。

CDHS は 2001 年に MBR 処理水の基準を表 2-17に示すように決定している。

表 2-17　MBR 認定における基準

濁度	・ 24 時間の 5%値[※19]が 0.2NTU [※20]を超えない ・ 24 時間の全ての測定点で 0.5NTU を超えない
ウイルス (参考値)	・ 大腸菌ファージを活性汚泥中に添加するチャレンジテストを実施 （基準は明記されず）

※ 一定透過流束での運転条件の他，1 日 2 回×2 時間のピーク（通常透過流束の約 2 倍）の運転条件で試験を行う

Title22 では第 3 者機関による実下水処理場でのパイロットプラントテストを数ヶ月実施し，基準を満たすか判断され認定書発行のプロセスを経る。認定書記載事項は，実施場所，膜メーカー名，膜材質，形状，孔径，処理プロセス，運転透過流束，膜差圧及び濁度の評価結果である。

Title22 はカリフォルニア州の規制であるものの，他州においても参考とされており，MBR においても入札の要件とするなどの扱いがなされていることから，多くのメーカーが，Title22 の取得を行っている。

3) 中国

中国では，清華大学を中心とした研究グループで MBR の調査研究が進められており，大規模 MBR の一部は，大学（設計部署）において設計を行い，運転管理を通じて調査が実施されている。

2010 年，浸漬型中空糸膜モジュールの規格が国家規格化された（**別冊Ⅲ**参照）。また，政府（環境保護局）において，小規模下水処理施設向け MBR システムの技術要求事項を定める分野別標準化の動きが進められている（**別冊Ⅲ**参照，2010 年パブリックコメント実施）。

[19] “5%値"は全検体のうち数値の高い方から 5%に当たる値で，数値の低い方からの 95%値に相当する。

[20] NTU：濁度の測定単位を表す。ポリマーを使用した濁度標準液を用いて散乱（反射）光測定法で測定した場合に，NTU（Nephelometric Turbidity Units）という単位で表す。

第3章　　MBR の特徴と下水道への導入

MBR の基本的事項を述べるとともに，下水処理場に 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 MBR については，次の特徴が挙げられる。

- 汚泥沈降性状の変化による処理機能への影響を受けず，安定した活性汚泥処理が可能である。
- 反応タンクの MLSS を高く保持できるため，BOD-SS 負荷の設定によっては施設のコンパクト化が可能である。
- MBR 処理水は清澄であり，用途によってはオゾン処理等の再生処理施設を必要とせず，そのまま再利用に適用することも可能である。

(1)　MBR の概要

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を，膜処理により行うもので，処理の高度化，安定化が期待できる。膜による固液分離の概念を図 3-1 に示す。

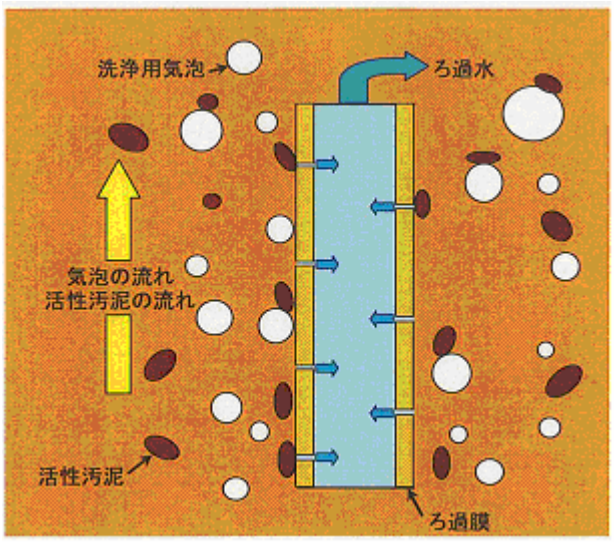


図 3-1　膜による固液分離の概念図（浸漬型 MBR）[10)]

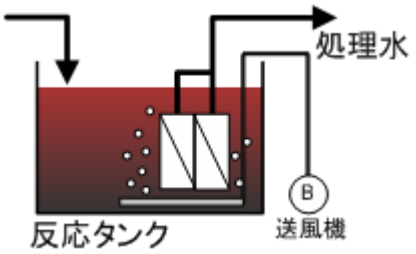
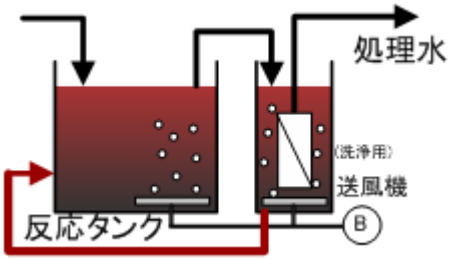
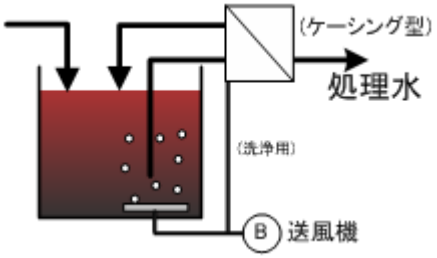
MBR では，膜モジュールを設置する場所により，便宜的に，浸漬型（一体型），浸漬型（槽別置型），槽外型の 3 種に分類できる（表 3-1参照）。

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。

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[25]。

現在，国内における MBR 実績では，全て浸漬型（一体型）であるが，海外における大規模施設では，浸漬型（槽別置型）も増加している[26),27)]。

表 3-1　MBR における膜モジュールの設置方式の特徴

浸漬型 （一体型）		・ 最も採用例が多い。 ・ プロセス構成がシンプル。 ・ 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。 ・ 他系との連携や膜ユニットの複数設置等により，膜モジュールの点検･補修･交換時に，反応タンクを休止しない運転に対応できる。
浸漬型 （槽別置型）		・ 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とりやすい（微細散気と粗大気泡の使い分け）。 ・ 反応タンク MLSS を膜分離槽 MLSS よりも低くして運転できる。 ・ 他系との連携や膜ユニットの複数設置等により，膜モジュールの点検･補修･交換時に，反応タンクを休止しない運転に対応できる。 ・ 汚泥循環用のポンプが必要となるため，必要エネルギーが大きくなる。 ・ 一体型に比べ建設コストが大きくなる。 ・ 浸漬洗浄が容易（膜分離槽を薬液洗浄タンクとして使用することが可能）。
槽外型		・ 透過流束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。 ・ 他系との連携や膜ユニットの複数設置等により，膜モジュールの点検･補修･交換時に，反応タンクを休止しない運転に対応できる。 ・ 汚泥循環用のポンプが必要となるため，必要エネルギーが大きくなる。 ・ 薬液洗浄が容易。

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) MBR の主な設備構成

MBR の基本的な処理フローを標準活性汚泥法の場合と比較した例を図 3-2に示す。ここでは, 新規処理場にMBR あるいは標準活性汚泥法を適用する場合の主要な施設構成例を示す。

MBR は，前処理設備（微細目スクリーン等），生物反応タンク，膜モジュールを設け，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，最初沈殿池は必須ではない，固形物分離を膜分離で行うため最終沈殿池は不要，消毒設備も緊急時に固形塩素投入等が可能なように措置していれば不要となることから，基本的にシンプルな施設構成となる。

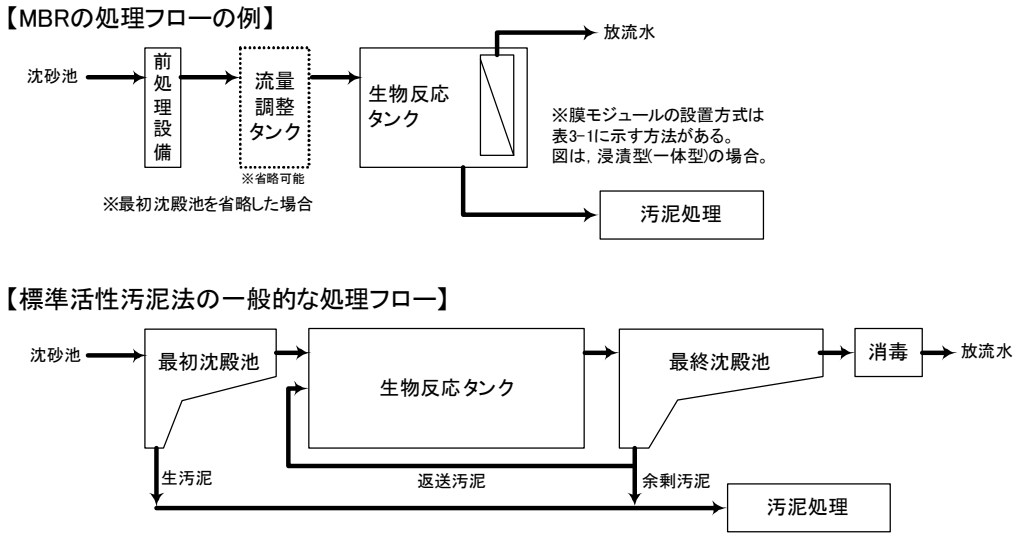


図 3-2　MBR と標準活性汚泥法における施設構成の比較

また, 窒素及びリン除去を目的としたMBR の処理フローに関わる主要な施設構成を図 3-3, 図 3-4に示す。

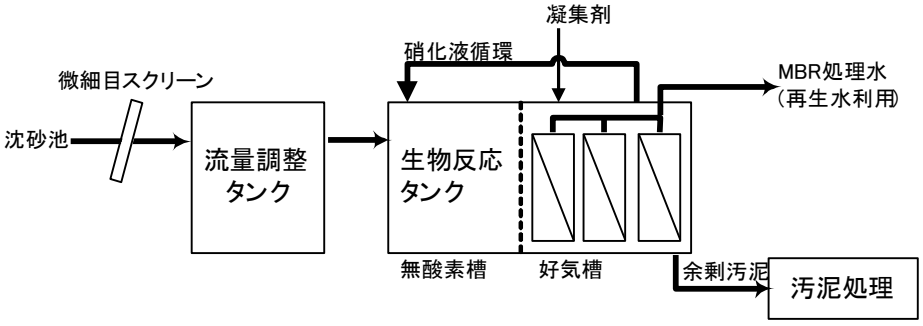


図 3-3　循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法の施設構成例〔再掲〕

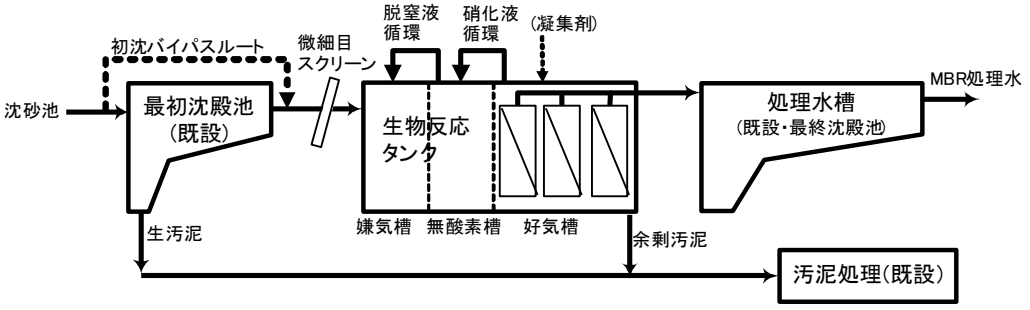


図 3-4　A_2O 型膜分離活性汚泥法(膜型 UCT 法)の施設構成例(守山水処理ｾﾝﾀｰ MBR 実証施設)〔再掲〕

(3) MBR の特徴

1) 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。

① 最終沈殿池は必要ない。また，最初沈殿池や常時の消毒設備について，処理条件の検討を行った上で，省略あるいは規模縮小が可能となる場合がある。

② 生物反応タンク内の MLSS を高く保持できるため，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。

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となる場合がある。

④ 膜処理設備の必要敷地面積は小さく，一般的に OD 法の 1/5 程度（標準活性汚泥法の 1/3 程度）である。

⑤ 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。

⑥ 監視・制御の自動化が容易である。

2) 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。

① 最終沈殿池が無く，固液分離や返送汚泥等の管理が不要であり，維持管理が容易である。

② 生物反応タンク内 MLSS 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。

③ 処理水中に SS はほとんど検出されず，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。

④ 孔径 0.4μm 以下の MF 膜が通常用いられることから，大腸菌（染色標本で，短径 0.4～0.7μm，長径 1.0～3.0μm の大きさ[28]）を阻止できる。

⑤ MBR 処理水は，そのままで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。

⑥ 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・脱窒反応による窒素除去が期待できる。

⑦ 凝集剤添加により高度なリン除去が可能である。また，従来法に比較して処理水中に SS が含まれない分，処理水リン濃度が低下する。

⑧ MBR の汚泥発生率は，MLSS が高く，SRT が大きいことから，標準活性汚泥法の汚泥発生率[1]と比較すると 30%程度小さい数値となり，汚泥発生率が小さい OD 法[29]と比較しても，同程度もしくはそれ以下の数値である。

⑨ 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，用地等の諸条件に基づき，施設，設備容量等の検討を行い，経済性，維持管理性，エネルギー効率等，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 3-5に示す。

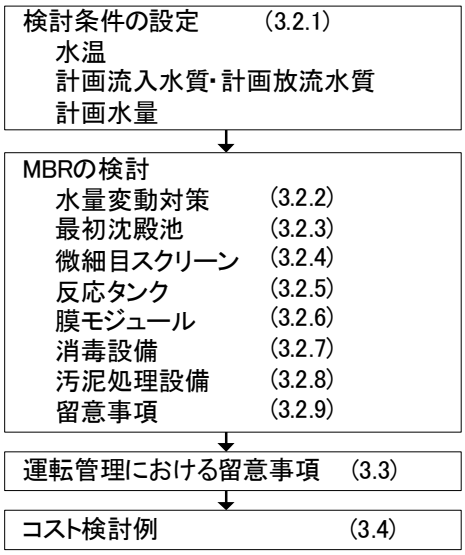


図 3-5 MBR システムの検討フロー

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，①水温，②計画流入水質・計画放流水質，③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。

流入水量の季節変動がある場合，膜モジュールの必要面積は水量変動と当該時期の水温を勘案し，必要面積が最大となるよう設定する。

(2) 計画流入水質・計画放流水質

MBR の MLSS を比較的高いレベルで運転すると，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[※21]，アルカリ度，T-N[※22]等についても設定しておく必要がある。

計画放流水質については，一般評価において循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法（凝集剤添加）で BOD 10mg/L 以下，T-N10mg/L 以下，T-P[※23] 0.5mg/L 以下とされている。図 3-6は，

[21] BOD：Biochemical Oxygen Demand，生物化学的酸素要求量
[22] T-N：Total Nitrogen，全窒素
[23] T-P：Total Phosphirus，全リン

既設の下水処理場に設置された実証プラント 5 種（いずれも循環式硝化脱窒型で，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 の累積度数分布であるが，MBR 処理水の BOD，T-N は，それぞれ 2mg/L 以下，10mg/L 以下と，標準活性汚泥法の処理水に比べ良好な水質が得られている。

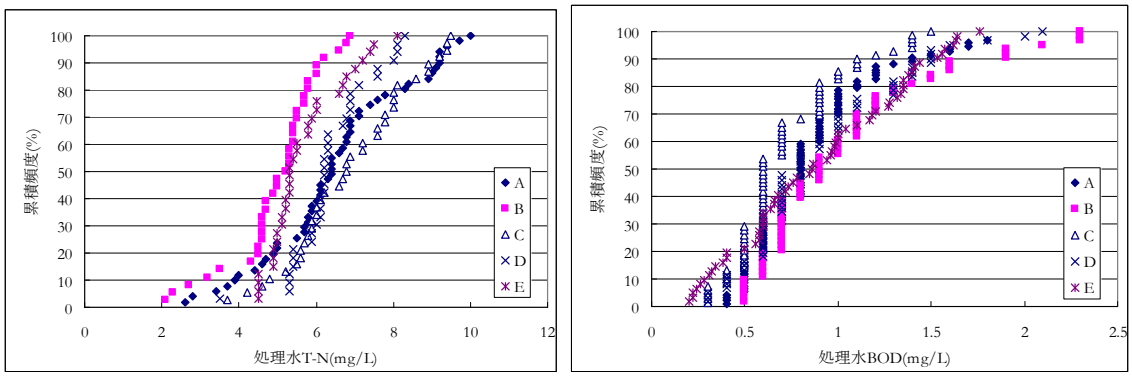


図 3-6　実証プラントの処理水 BOD，T-N の累積度数分布 [10)]

(3)　計画水量

施設計画を行う場合，原則として計画日最大汚水量を用いる。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には，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

MBR の処理能力を超える水量変動に対応するため，流量変動を適切な範囲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，処理水量が透過流束（フラックス）で決定される。数時間程度の短時間の過大な流量に対応できるよう，定格透過流束を適切にする必要がある。守山水処理センターの A-JUMP 実証施設においては，日間の流量変動比として 1.5 倍に対応した透過流束での運転がなされた。

膜の透過能力[※24]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，流入量の変動に対し，流量調整タンクによる均等化，反応タンクの水位調節，膜の透過流束の制御等により対応しなければならない。

国内の小規模の実施設においては，流量調整タンクの容量は，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 となるように設計されている。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。

[24] 透過能力：通水能力ともいう。膜分離技術振興協会が発行する「水道用膜モジュール性能調査規定集」で定義される膜モジュールの性能，品質の 1 項目である。所定の方法で試験し，得られたろ過水量をもとに，25℃で一定膜差圧（MF／UF 膜では 100 k Pa）における透過流束［$m^3/(m^2 \cdot d)$，m/d］として表示される値であり，MF／UF 膜では通水能力として 0.5 $m^3/(m^2 \cdot d)$ @25℃以上の規格となっている。この規格値は所定の方法により精製した水を用いたものであり，この通水能力と実液での膜モジュールの透水性能とでは，供給水の水質差に基づく差異が生じることとなる)。（文献 31 参照）

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，ピーク流量に対応可能な面積の膜を設置する。但し，膜の必要面積が大きくなりコスト増につながるため注意が必要である。また，反応タンクで水位変動を吸収する方法もある。但し，反応タンクの躯体が大きくなることに留意する必要があり，水位変動に伴い膜にかかる水圧が変わるため膜差圧の管理には水位変動を考慮する必要がある。

合流式下水道においては，雨天時流入水量への対応を考慮する。上記の流量変動比以上の流入水量に対しては，簡易処理を行うなどの対策が必要となる。

なお，MBR と従来法との並列処理の場合は，従来法系列との流量配分によっても対応が可能となる（詳細は第 4 章）。

3.2.3 最初沈殿池

最初沈殿池は必須ではないが，3.1 の MBR の特徴に十分配慮し，施設の省略や設置する場合の適切な施設規模の設定について検討する。

MBR では，反応タンクにおける MLSS を高くすることができるため，通常は，最初沈殿池で汚濁負荷を削減することなく，必要な処理機能を発揮できると考えられており，最初沈殿池は必須ではない。

ただし，反応タンクにおける MLSS を高くしすぎると送気動力の増加や膜の透過性の低下等によって所定の性能が発揮できない場合がある。このような場合には，最初沈殿池を設けて反応タンクにかかる負荷を削減することを検討する。

最初沈殿池の設置により想定される効果を以下に示す。

- 流量調整効果
- 微細目スクリーンの固形物負荷軽減
- 反応タンクの SRT 長期化に伴う硝化の安定化
- 反応タンクでの必要酸素量の低減

ただし，最初沈殿池を設置した場合，反応タンクの有機物負荷低減による脱窒や生物脱リンへの影響や総汚泥発生量（生汚泥を含む）の増加等が考えられる。生物学的リン除去を行う場合には，リンを余剰汚泥とともに引き抜くに十分な固形物量の確保が必要となるため，最初沈殿池を通さない生下水を反応タンクへ送れるよう，最初沈殿池バイパス運転の検討が必要である。

国内事例を見ると，小規模処理場への MBR 導入では全て流量調整池を設置しているが,最初沈殿池は設けていない。

3.2.4 前処理

膜モジュールの保護を図るために，微細目スクリーン等，適切な前処理施設を設置する。

膜面の保護，ファウリング抑制として，反応タンク流入部に前処理施設を設置する。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。

微細目スクリーンの形式[※25]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等があり，また，微細目スクリーンの目幅[※26]は国内の小規模施設の実績では 0.5～1mm となっている。最適目幅は，膜のモジュール形式，処理フロー，運転方法（スクリーンの清掃，膜の洗浄や点検），流入下水の性状等によっても異なる。スクリーンの形式，目幅は，これらの条件をふまえてする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等を原因とする反応タンクや膜分離槽への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。

3.2.5 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，①MLSS，②滞留時間，③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 3-7参照）。

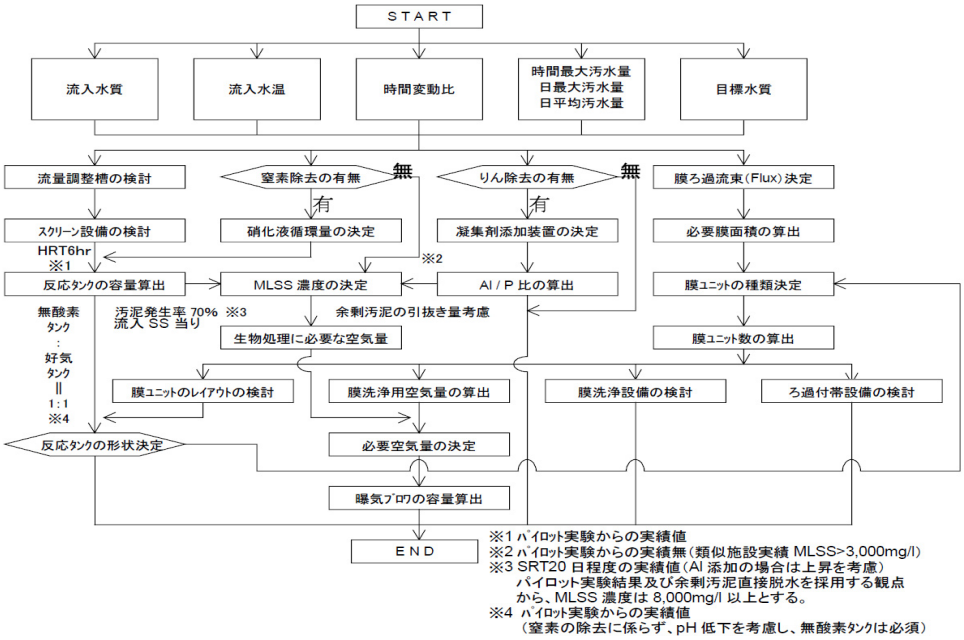


図 3-7　容量算出フローの例 [10)]

[25] 膜のモジュール形式，処理フロー，運転方法（スクリーンの清掃，膜の洗浄や点検），流入下水の性状等によっても最適な目幅は異なってくる。膜の保護を優先させ，目幅 0.5mm の採用例もある。

[26] 海外における槽別置型の施設では，反応タンク前に 2～6mm 程度のスクリーン，反応タンクと膜分離槽の間に 0.5～1mm 程度の微細目スクリーンの 2 段としている事例もある。

(1) MLSS

MBR における反応タンクの MLSS 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[10]されている。MLSS 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 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 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る。反応タンクの平均 MLSS と，膜モジュール設置区画の MLSS が等しくならないので，特に反応タンクの縦横比が大きい施設では注意が必要である。MLSS の流れ方向の分布を把握し，日常的に MLSS を計測する地点と，平均的な MLSS との差を把握しておく。

また，高 MLSS では，汚泥の粘性や流動性が変化することから，反応タンク内での流動（攪拌）性や膜へのファウリング，酸素移動効率の低下についても留意する。

(2) 滞留時間

反応タンクの滞留時間※27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 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，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，等）で滞留時間を設定すると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，国内における実績としては全て循環式硝化脱窒法で滞留時間 6.0hr が多く，守山水処理センターの実証施設の A_2O 型膜分離活性汚泥法（膜型 UCT 法）では滞留時間 6.3hr（夏季）～7.8hr（冬季）で運転されている。また，EU では 3.0～8.5hr※28と報告[16]されている。

(3) 有効水深

反応タンクの有効水深については，浸漬型（一体型）の場合，設置する膜モジュール及び付帯する設備を勘案して設定する。膜表面を乾燥させることがないよう，通常は，反応タンクの水面が，膜モジュール上端より数十 cm 以上となるよう設置される。特に，反応タンクの水深が流量変動対策などで変動する構造の場合，最低水深と膜モジュール上端の位置検討が必要である。

(4) 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，及び空気洗浄に必要な空気量から検討を行う。

---

[27] 滞留時間の検討において，JS 技術評価では膜モジュールそのものの体積も反応タンク容量に含まれたものとして取り扱われており，モジュール体積分を加算することはない。ただし，滞留時間を非常に小さく設定する場合，膜モジュール及び付帯設備等が反応タンクの実容量に大きく影響する場合等には，別途検討を行う。

[28] 処理方式は，調査対象 17 箇所の内，循環法 8 ヶ所，全面好気 7 箇所，UCT，間欠曝気各 1 ヶ所。

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，空気洗浄に必要な空気量が大きいことが多く，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。但し，省エネの観点から技術開発の取組みが精力的になされており，空気倍率の削減が期待され，A-JUMP の実証施設（守山水処理センター※29）では，原水を水処理センター流入水と最初沈殿池流出水の混合とした場合には（混合比は水処理センター流入水：最初沈殿池流出水＝7：3）空気倍率 13.8～14.9 倍で運転されている。今後，膜モジュールの技術開発が進み，空気洗浄に必要な空気量の低減が期待されている。このとき，空気洗浄に必要な空気量の低減により生物処理に必要となる空気量が不足する場合は，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とが必要となる。

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（反応タンクの深槽化）のほか，浸漬型（槽別置型）において好気タンクの MLSS を小さく設定することで，浸漬型（一体型）に対して必要空気量が 6～15%程度削減できるという研究報告例[30]や，微細気泡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[31]，洗浄用空気を間欠運転することで従来の 1/2～1/3 に相当する低減効果があるという研究報告例[32]等がある。

3.2.6 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証する重要な事項であり，①膜モジュールの形式，②膜モジュールの設置方式，③膜の耐用年数，④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（孔径 0.1～0.4μm）が使用される。

現状の膜モジュールの主要な諸元の例を表 3-2 に示す。

表 3-2 各膜モジュールの主要な諸元の例

項目	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/d）	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）

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る。したがって膜モジュール選定時には，膜透過流束に加えて，必要となる設置

[29] 反応タンクの有効水深が 7.0m であり，また，循環汚泥を機械ポンプ移送ではなくエアリフトポンプとする，膜分離をポンプ吸引式ではなく重力式で行う，等の省エネ対策を講じている。

面積についても検討・設定を行う。なお，**別冊Ⅰ**の「膜処理技術の導入検討にあたっての技術情報」に膜モジュールの諸元の例，及び国内における MBR 適用事例における配置例を記載している。

(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，コスト等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（2010 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等が考えられる。

槽別置型は，膜洗浄や点検作業時に反応タンクがそのまま運転でき，維持管理が容易ということから，海外で採用例が増えてきている [11]。EU における調査例 [26]によると，調査対象 MBR 処理場 15 箇所（1,600～45,000m^3/日の規模）の内，8 箇所で槽別置型が採用されている。

膜モジュールの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）等についても十分に考慮する。

(3) 膜の耐用年数

耐用年数は，国土交通省通知※30によれば，膜ユニットが 15 年，膜カートリッジで 10 年となっている。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。

ろ過膜は，物理洗浄や薬液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（図 3-8），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，正確な予測は困難であるが，例えば英国における下水道施設（MBR）での実績（表 3-3）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。

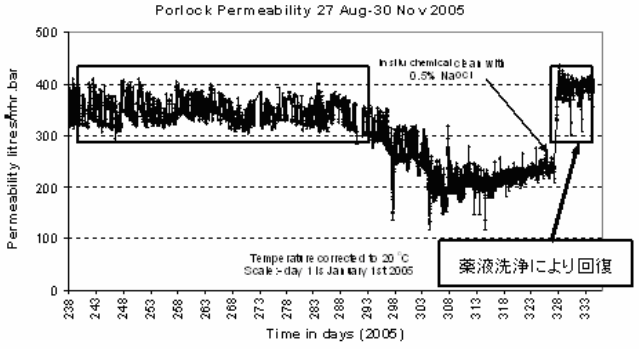


図 3-8　イギリス Porlock 処理場における膜透過量の経年変化 [33)]

30 国土交通省通知（2003 年 6 月 19 日国都下第 77 号下水道事業課長通知）

表 3-3　膜使用年数と膜交換状況（英国での実績）[10)]

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

国内の下水処理場の MBR 施設では，兵庫県福崎浄化センターにおいて約 6 年の稼動実績があるが膜交換は行なわれていない。ここでは，過去の浄化槽，産業排水処理施設について施設毎の膜交換比率を調査し，施設数ベースで集計した報告事例（図 3-9）を参考として示す。処理の対象とする排水の性状が都市下水とは異なるため，耐用年数にも差が生じると考えられるが，これによれば，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，1996 年度以前に納入され 9 年以上経過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。

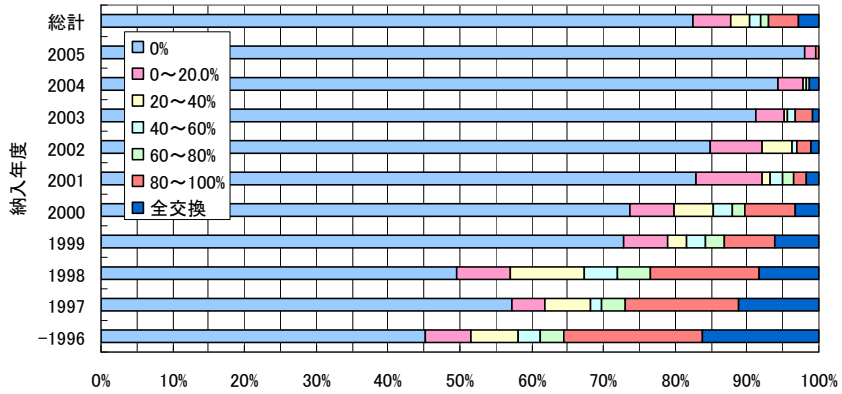


図 3-9　膜を交換した施設数の比率（産業排水処理施設と浄化槽）[34)]

膜の長寿命化には，膜の耐久性の改善及び適切な運転管理を行うことが重要と考えられる。

膜そのものの耐久性としては，耐薬品性に優れた素材（PVDF など）を使うことなどの検討・開発が進められている。

また，運転管理において膜の長寿命化を図る方策として，以下の事項が挙げられる。

- 微細目スクリーンの設置とその適切な運転管理を行う
- 適切な頻度・濃度での薬液洗浄を行う
- 流量調整による運転負荷の平滑化を図る（透過流束や膜差圧を設計値より大きく運転することはできるだけ避ける）
- 反応タンクの固形無機物濃度をできるだけ多くしない（擦過防止）
- 膜設置・引上げ時など，雑な取扱いや乾燥を避ける

(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，物理洗浄と薬液洗浄があり，薬品費，設備費，洗浄の効率性，管理性を十分勘案し，組み合わせによる洗浄方式を検討する。

浸漬型における洗浄では一般的に，強い曝気を定常的に行う（空気洗浄）ことでケーキ層

の蓄積を抑え，ファウリングを防止する。また，膜差圧が上昇した際のファウリングを解消するために，定期的に薬液洗浄を行う。主な薬液洗浄方法は図 3-10のとおりであり，その内容を表 3-4に示す。

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タンク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 の処理能力の低下あるいは当該系列の運転休止が避けられない。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 3-11に膜洗浄による膜差圧回復のイメージを示す。

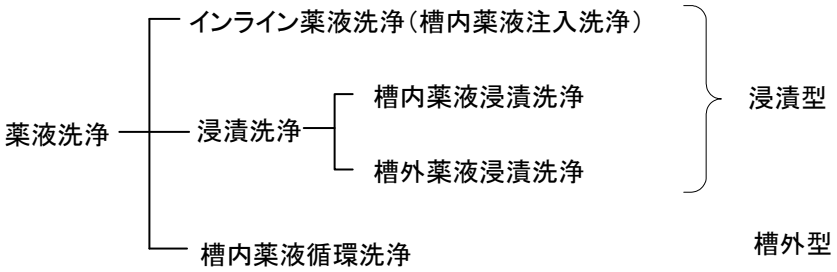
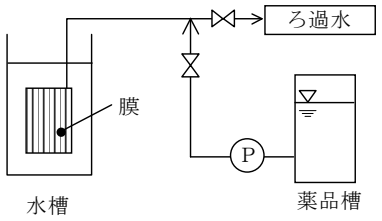
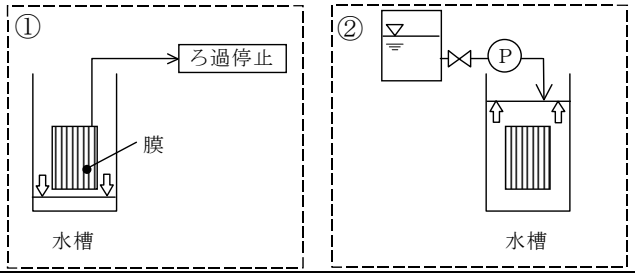
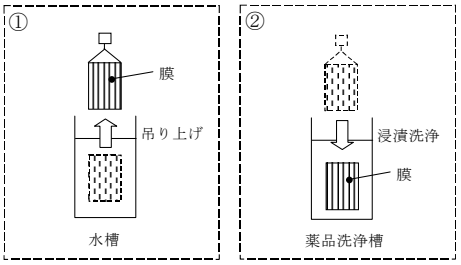
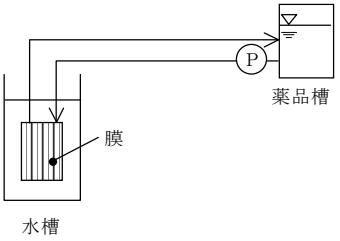
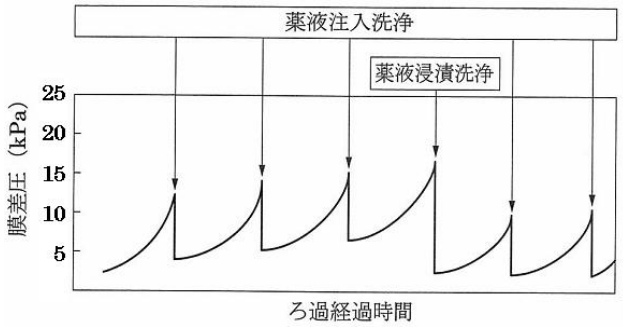


図 3-10　主な薬液洗浄の方法

表 3-4　主な薬液洗浄方法

インライン薬液洗浄（槽内薬液注入洗浄） 水槽内（またはケーシング内）に膜を浸漬設置した状態のまま，洗浄薬液を 2 次側（ろ過水側）から注入して膜の洗浄を実施する方法		
浸漬洗浄	**槽内薬液浸漬洗浄** 水槽内（またはケーシング内）に膜を浸漬設置した状態のまま，①活性汚泥をドレンした後，②洗浄薬液を水槽またはケーシングに満たすことで，膜の洗浄を実施する方法	
	槽外薬液浸漬洗浄 水槽内（またはケーシング内）から①膜を取り出し，②洗浄薬液が満たされた別の薬液洗浄槽に膜を浸漬して洗浄し，洗浄後に再び元の水槽（ケーシング）に戻す方法	
槽内薬液循環洗浄 水槽内（またはケーシング内）に膜を浸漬設置した状態のまま，洗浄薬液を 2 次側（ろ過水側）から膜に注入すると同時に，膜の別の部分から薬液を排出することで，薬液を循環しながら洗浄する方法		



※「薬液注入洗浄」はインライン方式の薬液洗浄を指し，洗浄頻度はメーカーにより異なるが，週 1 回程度実施しているケースが多い。
※「薬液浸漬洗浄」は年 1 回程度実施しているケースが多いが，メーカーよっては実施しないケースもある

図 3-11　膜洗浄による膜差圧回復のイメージ [4)]

3.2.7 消毒設備

消毒設備は MBR の設備機能不全時における緊急対策設備として計画する。

MBR では，膜ろ過により大腸菌が除去される特徴があり，一般評価 [35)]においても，“処理水中には大腸菌がほとんど検出されない”と記されている。JS 技術評価 [10)]では，MBR 処理水について常時の消毒設備は必要ないとしている。ただし膜破損等緊急時の対応として，塩素投入等の措置が可能なよう配慮することとされている。

3.2.8 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 8,000～15,000mg/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 10,000mg/L）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 30,000～50,000mg/L 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。

国内における MBR 処理場（2008 年度までに供用開始した 10 処理場，施設規模 125～4,200m^3/日）のうち，7 ヶ所は濃縮工程を有しない直接脱水であり，残り 3 箇所は他処理場へ搬出している（下水道統計及び処理場へのヒアリングによる）。

(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の減少が見込まれ，凝集剤を添加しない場合の汚泥発生率は，流入（または除去）SS 量の 6～7 割程度との報告[10)]がある。なお，リン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。

3.2.9 その他の留意事項

MBR の計画検討においては，①膜ユニット吊上装置，②水位計画，③施設配置についても留意する。

(1) 膜ユニット吊上装置

膜ユニットの搬入出，点検，補修，薬液浸漬洗浄等のため，膜ユニット上部に吊上装置の設置を検討する。吊上装置は，膜ユニットの配置・重量，覆蓋構造，梁下高さ，耐荷重等を考慮する。また，吊上時の安全性に配慮し，膜ユニットはスラブ上に完全に吊上できるようにし，引き上げに配慮した空間（高さ，面積）及び吊上時の作業スペースを確保する。

(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等では，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省エネルギーの観点からは望ましい。

(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・汚泥棟等，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等の設備を効率的に利用できるよう留意する。

(4) その他

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の検討を行う。

3.3 運転管理における留意事項

膜分離活性汚泥法の管理手法に関する調査報告書[36]より得られた知見を中心に，以下に運転管理における留意事項を示す。

3.3.1 施設の管理体制

施設の管理体制は，常駐または巡回管理により対応する。

国内の MBR 施設（2009 年度までの供用開始，処理規模 125～6,060m^3/日，12 箇所）では，小規模処理場が殆どのため常駐（昼間常駐）は 3 箇所であり，他の処理場では全て週 1～3 回の巡回で対応しており，他の OD 方式等と同程度の管理体制での対応が可能である。特に固液分離に関しては，分離が膜によりなされることから，従来の沈殿分離による手法と比べてより監視の制御・自動化が容易である。なお，巡回のタイミングとしては，脱水機の運転やし渣の搬出時に合わせて行っている処理場が多い。

3.3.2 日常の管理項目

日常の管理において，DO，MLSS，膜差圧などを計測し，適切な運転がなされていることを確認する。

MBR 施設の多くは，日常管理項目として，水温，pH，透視度，DO，膜差圧などを計測し，定期的にろ紙ろ過量による活性汚泥性状の確認を行っている。目視により，曝気・空気洗浄量の状態確認（偏りがないか）などの確認を行っている処理場もある。

日常的に実施する主な運転監視項目を表 3-5に示す。

表 3-5　日常的に行う主な監視項目

確認項目	日常監視項目
好気槽	DO，MLSS，ろ紙ろ過量など
放流水	水温，pH，透視度（SS や濁度），簡易水質分析（COD，アンモニア性窒素）など
計器	膜差圧，透過水量

①好気槽 DO：MLSS が高濃度のときに酸素移動効率が低下するため，生物処理が不十分とならないように好気槽中の DO の確認が必要である。

②好気槽 MLSS：MLSS が過度に高濃度になると酸素移動効率の低下や膜の目詰まりの原因になることから適切な MLSS を維持する必要がある。MLSS の設定は，処理場の流入特性や膜性状により異なるため，運転管理をする中で最適値を定めることが望ましい。SRT は，硝化細菌保持に十分な期間を確保することが必要である。

③ろ紙ろ過量[10]：活性汚泥のろ紙ろ過量が 5mL/5 分以下の場合，膜設備のろ過性能が悪化する可能性があるので注意する。また，ろ紙ろ過量に問題がないにもかかわらず膜差圧が上昇傾向にある場合は膜が汚れている可能性があるので，日頃からろ紙ろ過量を把握しておく必要がある。

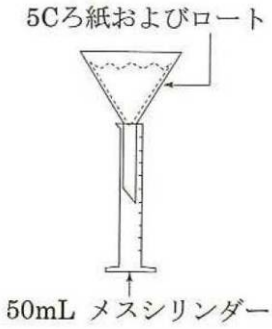


図 3-12　ろ紙ろ過量の測定方法 [11)]

④膜ろ過水（放流水）の透視度：膜破断や配管の異常がないかを確認するため，SS の流出がないことを確認する。

⑤膜ろ過水の簡易水質分析：簡易比色法による COD やアンモニア性窒素等の水質分析により，好気槽の DO 不足が生じていないかの確認が必要である。

⑥膜差圧：目詰まり等の状況を把握し，効率的な洗浄を行うことが重要であるため，膜差圧によるファウリングの監視を行い，薬液洗浄の計画を立てる必要がある。なお，突発的な膜の目詰まりへの対応や薬液洗浄の効果を確認するため，常時監視により膜差圧を把握できるようにしておくことが望ましい。

3.3.3 初期運転

MBR 施設の初期運転は，種汚泥を投入し，汚泥性状を確認しながら行う。

(1)　種汚泥の投入

種汚泥を持ち込む場合は，MBR 施設の種汚泥が望ましいが，その他の処理法の施設から種汚泥を持ち込む場合は，夾雑物が多く含まれている場合があるため，微細目スクリーンを経由してから投入することが望ましい。

(2)　透過流束

不十分な有機物分解による膜目詰まりを防ぐため，日平均透過流束を，運転開始時には流入下水量に合わせて低く設定し，汚泥性状を確認しながら透過流束を上げる。

(3)　反応タンクの発泡

反応タンクの発泡に対しては，アルコール系の消泡剤を使用する。シリコン系は，目詰まりを引き起こすので使用しない。

3.3.4 膜の洗浄

膜のファウリングを防止及び解消するために，適切な洗浄を実施する。

洗浄方法は，ファウリング防止のために行う洗浄とファウリングを解消するために行う洗浄に分けられる。それぞれの洗浄方法は，膜の形状，素材によって異なるが，①洗浄効果，②消費エネルギー量，③洗浄作業量に留意して適切な洗浄方法を選定する必要がある。

(1) ファウリング防止のために行う洗浄

通常運転の中で，ろ過運転の方法の工夫や粗気泡による曝気洗浄（エアスクラビング）でファウリングの抑制をしている。既存処理場の中には，(2)に示すファウリングを解消する洗浄の頻度を減少させるため，低濃度の薬液（次亜塩素酸ナトリウム）によるインライン洗浄を通常のろ過運転の中に組み込んでいる施設もある。ろ過運転の方法の例を表 3-6に示す。間欠ろ過，逆圧水洗浄（逆洗），エアスクラビング，クロスフローろ過のいずれかを単独あるいは組み合わせて実施している。これらの洗浄は，表に示すように，短いサイクルで動作するように自動化されているため，洗浄作業は発生していない。

表 3-6　膜洗浄のタイムスケジュールの例

処理場の例		洗浄運転の方法	膜の種類
A処理場	膜面洗浄曝気	連続	有機/平膜
	逆圧洗浄	なし	
	ろ過運転	ろ過13分 → 休止2分 ┐ └──────┘	
B処理場[注1]	膜面洗浄曝気	ろ過運転中の15分間洗浄曝気	有機/平膜
	逆圧洗浄	なし	
	ろ過運転	ろ過15分 → 休止105分┐ └──────┘	
C処理場	膜面洗浄曝気	連続	有機/中空糸膜
	逆圧洗浄	ろ過運転休止中に0.5分間	
	ろ過運転	ろ過9分 → 休止1分 ┐ └──────┘	
	薬液注入洗浄	1週間に１回，自動の低濃度薬液インライン洗浄（次亜塩素酸ナトリウム数百ppm，1時間）	
D処理場	膜面洗浄曝気	連続	有機/中空糸膜
	逆圧洗浄	ろ過運転休止中に1分間	
	ろ過運転	ろ過9分 → 休止1分 ┐ └──────┘	
E処理場	膜面洗浄曝気	連続	有機/中空糸膜
	逆圧洗浄	なし	
	ろ過運転	ろ過13分 → 休止2分 ┐ └──────┘	
F処理場[注2]	クロスフロー流	逆圧洗浄と薬液注入洗浄を除きクロスフローによる膜面洗浄（エアバブル同時混入）	無機/モノリス
	逆圧洗浄	簡易逆圧洗浄（極短時間）と逆圧洗浄があり，タイミングを下欄に示す。	
	ろ過運転	┌→ろ過10分→休止（簡易逆圧洗浄）→ ろ過10分→休止（簡易逆圧洗浄）→ ろ過10分→休止（簡易逆圧洗浄）→ ろ過10分→休止（簡易逆圧洗浄）→ ろ過5分→休止（逆圧洗浄2分）┘	
	薬液注入洗浄	10～20回／日　（薬液注入洗浄時もろ過は休止）	

注1：流入水量が少ないため，過曝気防止及び省エネルギー運転を目的に休止時間を長く取っている。
注2：実証事業施設

(2) ファウリングを解消するために行う洗浄

通常運転の中で膜差圧が上昇した場合，一般的には有機物の付着によるファウリングの解消には次亜塩素酸ナトリウムなどの酸化剤を用いるが，酸化剤で解消しないファウリングには，シュウ酸又はクエン酸，希硫酸などの酸や水酸化ナトリウムなどのアルカリによる洗浄が有効な場合もある。ファウリングの原因や膜素材の耐薬品性によって薬液の種類，時間等を考慮する必要がある。

既存施設では，膜の形状，素材によって洗浄手法は異なり，浸漬洗浄，インライン洗浄及びその組み合わせにより行われている。表 3-7，表 3-8にそれぞれの洗浄事例の概要と留意点を示す。

①浸漬洗浄：膜ユニットを反応タンクから引き上げ，薬液の入ったタンクに浸漬する。

②インライン洗浄：反応タンクに浸漬したままろ液の吐出口側から薬液を注入する。

表 3-7　浸漬洗浄の事例の概要と留意点

頻度	1～2 年に 1 回程度（1 ユニットにつき）	
作業時間	1～2 日程度／回	
薬液の種類と濃度	次亜塩素酸ナトリウム	1,000～5,000ppm
	シュウ酸	2,000～20,000ppm
作業内容	・ 反応タンクから，膜ユニットをつり上げ，膜に汚泥付着があった場合は，手作業により水洗浄を行う。 ・ 薬液の入った槽に浸漬する。（浸漬時間は，薬液の種類等によって異なるが，数時間～１晩程度である。） ・ 薬液浸漬槽からつり上げ薬液を洗い流す。 ・ 反応タンクに据え付ける。	
留意点	・ ユニットのつり上げや膜に汚泥が付着している場合の除去には，人による作業が必要となる。 ・ 作業時間中は，処理能力が減少する（若しくは運転停止となる）ため，浸漬洗浄に必要な時間と処理能力減少を考慮した施設設計が必要となる。 ・ 浸漬槽の形状により薬剤の使用量が異なる。 ・ 膜の材質によっては，膜の乾燥が不可なため注意が必要である。	

表 3-8　インライン洗浄の事例の概要と留意点

頻度	1～数ケ月に 1 回程度（1 ユニットにつき）	
作業時間	数時間程度	
薬液の種類と濃度	次亜塩素酸ナトリウム	2,000～5,000ppm※
	シュウ酸	1%
作業内容	・ ろ過を停止し，バルブの切り替えを行う。 ・ 濃度調整をした薬液を注入する。 ・ 一定時間経過後（1～2 時間程度），バルブを切り替え，ろ過を再開する。	
留意点	・ 薬液の混合，注入などは自動化されているケースが多いが，システム操作やバルブ開閉等は人による作業が必要である。 ・ 作業時間中は，処理能力が減少するため，洗浄に必要な時間と処理能力減少を考慮した施設設計が必要となる。 ・ 膜から薬液が染み出し反応タンク内の活性汚泥に影響を与える場合があるため，薬液の濃度や浸漬時間を検討する必要がある。 ・ 洗浄直後のろ液には高濃度の薬液が含まれるため，ろ液の排出先を考慮する他，必要に応じて中和，還元処理などが必要となる。	

※　1 週間に 1 回，自動の低濃度薬液インライン洗浄を施す事例の中で，次亜塩素酸ナトリウム数百 ppm，1 時間の洗浄を行うのは「ファウリング防止のために行う洗浄」であり，ここでは「ファウリングを解消するために行う洗浄」となるため，次亜塩素酸ナトリウム濃度は 2,000～5,000ppm の高濃度となる。

(3)　洗浄廃液の処理

インライン洗浄（次亜塩素酸ナトリウム）は，薬液濃度を出来るだけ低くし，生物処理への影響が出ないようにする。なお，インライン洗浄直後（数十分）は，残留塩素濃度を確認し，ろ過水を流入側へ戻すなどの措置が必要となる場合がある。

浸漬洗浄における洗浄廃液は中和後，濃度を確認し，施設の流入側へ戻す方法がとられることが多い。その際，生物処理への影響を軽微とするために，処理水により希釈するか，

あるいは負荷が一時期に集中しないよう段階的に排水するなどの配慮が必要となる。また，酸洗浄に用いられるクエン酸などは，高濃度の BOD 源となるため，生物反応に影響を与えない程度に段階的に排水し，未処理の BOD がある状態で膜を吸引することによる膜の閉塞リスクを低減させるよう工夫を行う。

3.3.5 制御方法

ろ過の運転時間，曝気風量，循環率などの制御を適切に行う。

ろ過の運転時間や曝気風量，循環率などは使用エネルギーに直接関係するため，次のような方法による制御が用いられているが，最適運転値は個々の処理場に応じて異なるため，検討が必要である。

(1) ろ過の運転時間の制御

ろ過の運転時間は常時一定運転とする必要は必ずしもなく，深夜早朝の流入水量の少ない時間帯には，膜ろ過を停止するとともに洗浄曝気も停止し，省エネ運転制御を行っている処理場がある。

【事例】
流入がなく，膜ろ過装置が停止している場合に膜洗浄用の曝気を停止し，活性汚泥の腐敗防止のための曝気のみを行う。
A 処理場：60 分のうち 5 分間曝気
B 処理場：120 分のうち 5 分間曝気

(2) 曝気風量の制御

放流水中のアンモニア性窒素濃度や好気槽中の DO と連動した制御を行うことで，過不足なく曝気することができ，省エネ運転が可能となる。

(3) 循環率の制御

窒素除去を目的に硝化液循環を行なう場合，もしくは生物学的窒素・リン同時除去を行なう場合，適切な循環率を設定する。流入水量の少ない時期は循環ポンプの間欠運転を行い，最適な循環率で運転を行うことで過剰な硝化液や汚泥の循環を抑制し，省エネを図ることが可能となる。また，循環を行うことで，反応タンクにおける膜モジュール設置区画と，他の区画との MLSS の均質化が図れる。

3.3.6 膜の交換

膜の交換は定期的あるいは破損等の確認により行う。

国内の下水処理場の MBR 施設では，兵庫県福崎浄化センターにおいて約 6 年の稼動実績があるが膜交換は行なわれていない。

なお，原水性状等の条件は下水道と異なるが，浄化槽やし尿処理場に用いられている MBR では，定期的な膜モジュールの引き上げ点検の際，手作業による洗浄を行い，破損等がある膜モジュールの交換を行っている事例がある。

3.3.7 膜破損時の対応

膜破損時における診断方法や緊急対応について検討しておく必要がある。

放流先の条件等により膜破損等を監視する必要がある場合や，大規模施設で想定外の事故時の迅速な対応が困難な場合などにおいては，ろ過水の濁度連続測定（濁度計）を行うことが診断に有効である。

放流先へのリスク低減が強く求められる場合には，濁度の自動計測等による検知により，塩素の自動注入等の対応が考えられる。

3.3.8 電力使用量

将来の施設稼働率を把握するとともに，特に初期の低流入率を考慮した施設設計を行い，省エネルギー対策に配慮する。

(1) 電力使用量の推移

MBR の電力使用量について図 3-13に G 処理場供用開始からの流入水量（月別日平均値）あたり電力使用量の経時変化を示す。流入水量の増加と共に稼働率があがり，効率的な処理が行われることにより流入水量当たりの電力使用量が下がるものの，稼働系列が増加する時点では稼働率が増加し電力使用量が増加している。

国内の MBR 施設（11 施設）の稼働率と，図 3-13と同様に算出した電力使用量の関係を図 3-14に示す。稼働率と電力使用量に関係があるため，特に初期の流入水量の予測に基づいた施設設計に留意する必要がある。

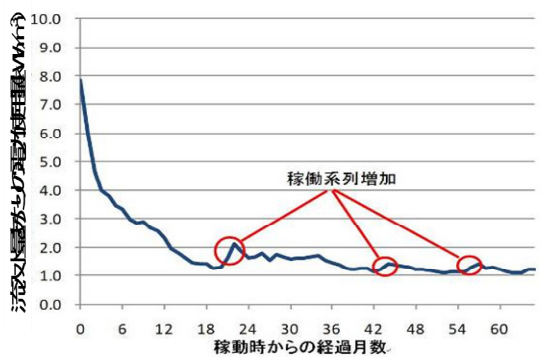
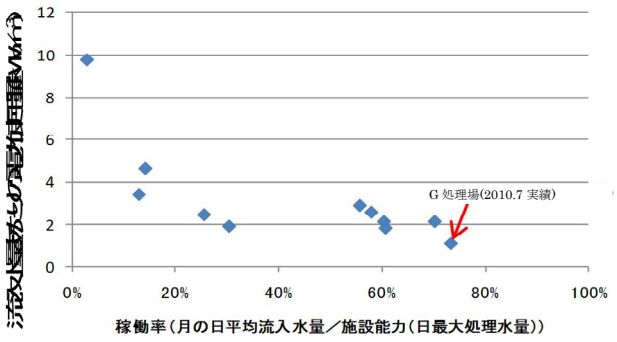


図 3-13 MBR(G 処理場)の流入水量あたりの電力使用量の経時変化

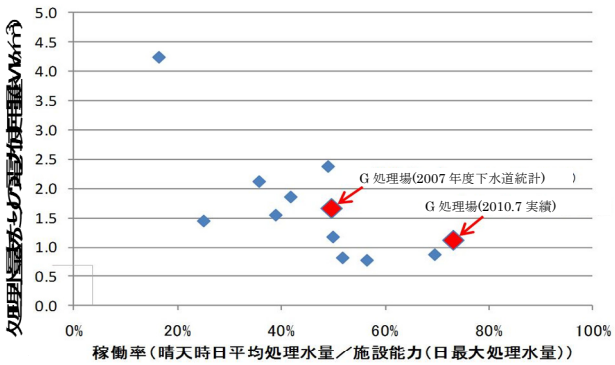


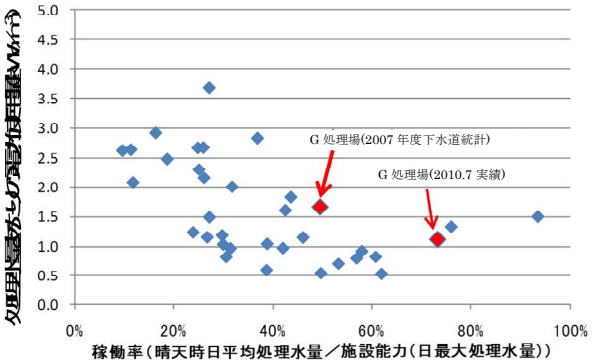
電力使用量は処理場全体の受電電力量から算出。

図 3-14 既設 MBR 施設（11 施設）における施設稼働率と流入水量あたりの電力使用量の関係

(2) 既存処理方式との電力使用量の比較

国内に導入されている循環式硝化脱窒型MBR と従来法である循環式硝化脱窒法の施設（施設規模：1,700~14,800m^3/日，中央値：4,700m^3/日）における処理水量あたりの電力使用量と稼働率を図 3-15に示す。また，国内 MBR と比較的同程度の施設規模で整備されている高度処理 OD 法施設（施設規模：446~8,000m^3/日，中央値：1,550m^3/日）について同様の関係を図 3-16に示す。





・図中に示す循環式硝化脱窒法と高度処理 OD 法施設のデータは「平成 19 年度版下水道統計 [37]」から引用している。
・電力使用量は処理場全体の受電電力量から算出。
・MBR，循環式硝化脱窒法及び OD 法ともに汚泥処理系は機械脱水までを行う処理工程の下水処理場である。

図 3-15　循環式硝化脱窒法と MBR(G 処理場)における施設稼働率と処理水量あたりの電力使用量の関係

図 3-16　高度処理 OD 法と MBR(G 処理場)における施設稼働率と処理水量あたりの電力使用量の関係

MBR と従来法の循環式硝化脱窒法を比較すると図 3-15に示すように MBR は同程度であり，また，MBR と高度処理 OD 法を比較すると図 3-16に示すように MBR は電力使用量がやや高い状況にある。

なお，A-JUMP 実証施設（名古屋市守山水処理センター）では国土交通省報告書 [38]によると従来の MBR に比べ約 40%の削減効果が得られていることが報告されており，上図に示した従来の MBR に対して，今後もさらに以下に示す省エネ対策等を実施することで，電力使用量の削減効果が得られる可能性が示唆されている。

- エアリフトポンプの採用による循環ポンプエネルギーの抑制
- サイフォン重力ろ過方式によるろ過エネルギーの抑制
- DO 制御やアンモニア制御による補助曝気エネルギーの抑制
- 間欠曝気洗浄（曝気・無曝気を数秒程度の短いサイクルで繰り替えし曝気時間を極力制限）による膜面洗浄エネルギーの抑制

3.3.9 汚泥発生量

MBR は，MLSS を高く保持し，SRT を大きくすることで，除去 SS 当たりの汚泥発生率を小さくできる反面，MLSS の上昇による酸素移動効率の低下と曝気エネルギーの増加を伴う場合もあることから，適切な引き抜き汚泥量で計画することが必要である。

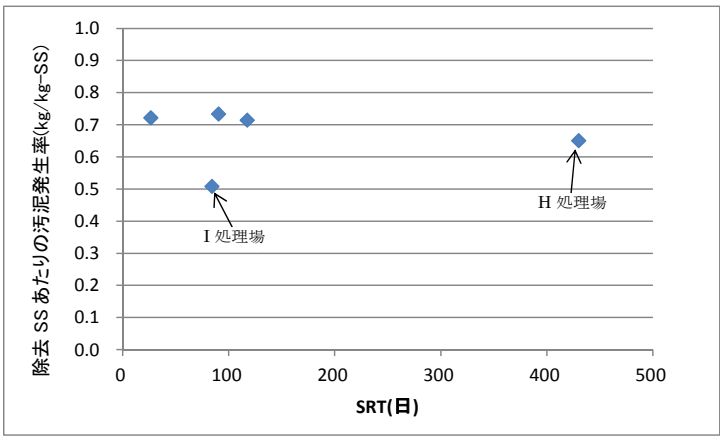
なお, MBR は放流水中への SS 流出がないため, 流入した SS がそのまま除去 SS となる。

(1)　SRT と流入 SS 当たりの汚泥発生率の関係

除去 SS 当たりの汚泥発生率と SRT との関係を図 3-17に示す。SRT は，最も短い処理場で 27 日と長く, I 処理場を除く 4 つの処理場の除去 SS 当たり汚泥発生率は 0.65～0.73kg / kg-SS だった。図中【参考】に示すように，MBR では標準活性汚泥法に比べて汚泥発生率が低く，循環式硝化脱窒法や OD 法と同程度かやや低い。また，I 処理場は 0.51 kg / kg-SS と低いが，

週に 1～数回の低濃度の次亜塩素酸ナトリウムを用いたインライン洗浄を行っており，薬液による汚泥の減量化が生じているものと考えられる。

SRT を増加させるための MLSS の過度の上昇は，酸素移動効率の低下が生じる場合があり，水処理及び汚泥の維持に必要な酸素量が供給できないことがある。また，攪拌のための曝気エネルギーを増加させる場合があるため注意が必要である。



【参考】[1),29)]
処理法別除去 SS あたりの汚泥発生率の例

水処理方法	除去 SS あたり発生汚泥率
標準活性汚泥法	1
循環式硝化脱窒法	0.79
OD 法	0.75

- 既設の 5 カ所の MBR 処理場（平膜 2 施設，中空糸膜 3 施設）
- 汚泥発生量の求め方

H 処理場：MLSS が高く汚泥引抜き期間が 100 日前後と長いため，汚泥引抜き前後の MLSS の増加分から算出。寒冷地に位置し，流入水温が低い特徴を有する。

そ の 他：下式により算出。凝集剤を添加している施設では，凝集剤由来の汚泥量を差し引いて算出。

除去 SS あたりの汚泥発生率＝〔汚泥発生量〕/（〔流入 SS 平均濃度〕×〔流入水量〕）

図 3-17　SRT と除去 SS 当たりの汚泥発生率

(2)　MLVSS/MLSS の比

H 処理場における MBR の MLVSS[※31]と MLSS の比を図 3-18に示す。汚泥引抜き間隔が 100 日以上で，且つ SRT が 400 日以上であるにも関わらず，MLVSS/MLSS[※32]の比は平均 0.8 程度でほぼ一定である。このことから，流入 SS 中の無機物の蓄積は認められず，活性汚泥の微生物活性が低下することはないと考えられる。

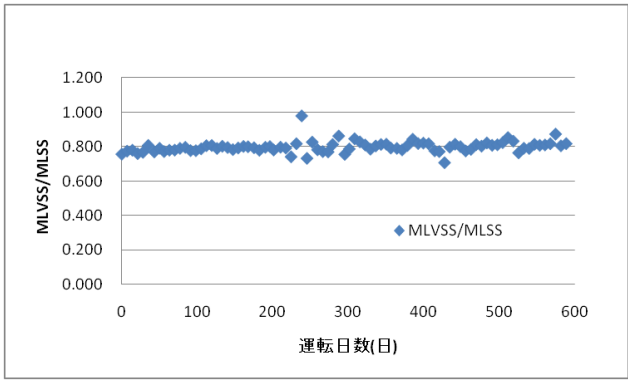


図 3-18　MLVSS/MLSS の経時変化

[31] MLVSS：Mixed Liquor Volatile Suspended Solids，活性汚泥浮遊物質中の強熱減量(≒有機性浮遊物質)

[32] MLVSS/MLSS：活性汚泥中の有機性浮遊物質の濃度比を示したもの。活性汚泥中の微生物量の指標であり，分解できない無機物が蓄積されると濃度比が減少し，MLSS 濃度が高いにもかかわらず生物処理活性は低下する。

3.4 コスト検討

MBR を新規に導入する場合のコスト検討においては,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。

3.4.1 MBR 導入コストの特徴

MBR 導入によるコスト低減及び増加要因として，表 3-9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，反応タンクも縮小できること等から，用地費や土木工事費の削減が期待できる。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,膜の価格は低下傾向にあり,低コスト膜モジュール開発も進められている。膜コストに関する資料を**別冊 I** に例示するが，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 [39]。維持管理費については，最終沈澱池が不要になる等の省施設化により維持管理が容易になる点や，汚泥発生量が減少する点などがコスト低減に寄与する可能性がある一方，送風機に関わる電力量の増加や膜交換費等が追加的に必要になると考えられる。

建設費，維持管理費ともに，今後膜処理技術の市場拡大や技術開発の進展により，更なる低コスト化が期待される。

表 3-9 新設における MBR の主なコスト低減･増加要因

文献 39)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 ・最終沈殿池が不要 ・常時の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	●従来法に付加させる施設・設備 ・膜モジュール ・膜洗浄設備 ・微細目スクリーン ・流量調整タンク ●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 ○施設構成がシンプルとなり維持管理手間が減少	●膜モジュール管理費･交換費 ●膜洗浄用薬品費 ●送風機動力増大
留意事項	・MBR は技術開発の途上にあり，今後膜処理技術の市場拡大とともにコスト低減が期待できる ・多種多様な MBR システムが開発されており，それぞれの技術の特徴やコストに関しては大きな幅がある	

3.4.2 コスト検討の基本的な考え方

新設の下水処理場への MBR の導入におけるコストの検討にあたっては，処理能力，求められる処理水質，現場条件等を設定した上で，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。

ただし，MBR は現在も技術開発の途上にあること，採用する技術や現場条件によりコストに大きな差が生じる可能性があることに留意し，最新の情報を活用する必要がある。

本ガイドラインでは，仮想条件下におけるケーススタディを通じ，コスト検討を行う際の参考となる情報を例示する。なお，本ケーススタディは，下水道膜処理技術会議にワーキンググループ（以降，「WG」という。）を設置し，参画したメーカー委員（以降，「参画委員」という。）7 社の協力を得て実施した。

3.4.3 ケーススタディ検討条件

- 表 3-10に示す 4 通りの施設規模を対象として，MBR 及び従来法により処理場を新設する場合のコスト等を検討する。
- MBR については，2010 年 2 月に国の水処理技術委員会による一般評価を受けた「循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法」を前提とし，具体的なシステム（膜分離方式，流量変動対応等）は，各参画委員の提示に基づくものとする（表 3-12)。なお，各参画委員提示の MBR システムの概要を**別冊 I** に示した。
- 従来法については，今回検討とする施設規模及び計画放流水質の観点から，高度処理オキシデーションディッチ法（但し，施設規模 1,000m^3/日では POD[※33]形式とする）の後段に急速ろ過法を設け，塩素消毒を行う処理フローを検討対象とした。
- ケーススタディでは用地費は考慮しないものとした。

表 3-10 検討条件一覧（新設）

項目		検討条件
検討対象		● 循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法（最初沈殿池なし）を採用する MBR ● 土木構造等その他の仕様は各社で提案（事務局が示す条件を除く） ● 水位計画：ポンプアップ後の流入水位：GL+0.5m，放流水位：GL-1.0m
検討範囲	土木躯体	● コンクリート製の躯体とし，覆蓋はないものとして提案 ● 管廊等の機器等設置スペースも検討の範囲内とする
	水処理設備	● 反応タンク設備（膜分離装置，攪拌機，ポンプ類等）の他，MBR 処理に必要な全ての付帯設備（送風機，膜洗浄設備，凝集剤添加設備等） ● MBR 機械設備の制御盤は水処理設備に含める
	電気設備	MBR 設備を運転するための動力設備，計装設備，制御設備を検討し，受変電設備や自家発電設備，中央監視制御設備は対象外
	揚水ポンプ	検討対象外
	汚泥処理	検討対象外
処理水量		● 1 系列あたり 500，1,000，2,500，5,000m^3/日 の 4 パターン ● ただし，維持管理性（膜洗浄）を考慮し全体として 2 系列分検討（500m^3/日×2 系列，1,000m^3/日×2 系列，2,500m^3/日×2 系列，5,000m^3/日×2 系列）
流量の日間変動		日平均流量比 1.4 倍，1 日に 2 回ピークを有し日最大流量は 8 時間継続

[33] POD：プレハブ式オキシデーションディッチ

表 3-11　設計水質（新設）

水質項目	流入水質 (mg/L)	計画放流水質 (mg/L)
T-BOD	200	10
S-BOD	100	-
SS	180	-
TN	35	10
TP	4.0	-

表 3-12 検討対象とした MBR システムの概要（新設）

項目	結果概要
膜の種類	中空糸膜×4　平膜×2　セラミック膜×1
膜分離方式	浸漬型（一体型）×5　浸漬型（別置型）×1　槽外型×1
生物処理方式	循環式硝化脱窒法×7
流量変動対応	流量調整槽×4　フラックス変動×3
前処理設備	流入スクリーン×7

3.4.4 コスト試算方法

(1) 建設費の試算方法

以下の方針に基づき，土木，機械，電気の設備区分ごとに建設費を試算した。

- 土木：各検討案にて提示された図面に基づき，コンクリート工・鉄筋工・型枠工・足場工・土工等の数量を概略計算し，工費費を算出した。なお，杭基礎工や地盤改良工などは，考慮しないものとした。
- 機械：MBR については，各検討案にて提示された機器リスト及び機器単価に基づき，直接機器費を算出し，これに一律の係数（1.6）を乗じて工事費を算出した。なお，当該係数は，下水道事業における既存の MBR の水処理設備工事における「本工事費/機器費」率の平均値より設定した。従来法については，容量計算により計上した機器リストおよび機器単価を用いて直接機器費を算出し，これに係数（1.8）を乗じて工事費を算出した。
- 電気：各検討案にて提示された電気設備工事費を採用した。

(2) ユーティリティ費の試算方法

以下の方針に基づき，ユーティリティ費として電力費及び薬品費を試算した。

- 電力費：各検討案にて提示された機器ごとの電力量を積上げ，総電力使用量を算出した。これに電力単価を乗じて電力費を算出した。
- 薬品費：各検討案にて提示された薬品使用量（MBR：膜洗浄用薬品，従来法：消毒用薬品）に個々の単価を乗じて薬品費を算出した。

(3) LCC の考え方

ライフサイクルコスト（LCC）は次の考え方に基づくものとした。

- LCC の算出にあたっては，建設費（イニシャルコスト，年あたり），維持管理費（電力費・薬品費，年あたり），補修費（膜ユニットを除いた機器費の 3%とする）を考える。
- イニシャルコストは，各設備のイニシャルコストを設備毎の耐用年数で割った年当たり費用の積上げで算出する。なお，土木・建築については耐用年数を 50 年として，年あた

り費用を算出する。その他，機械設備・電気設備の耐用年数については，国土交通省の通知で定められる年数 (※) を基本とする。

- なお，同通知において，膜処理設備については，「膜カートリッジ」（10 年），「膜ユニット」（15 年）と定められているが，WG での検討の結果，膜ユニット全体で一体的に更新することが実状に合致すると判断されたため，膜ユニット全体で各参画委員が提示する 10 年または 15 年のいずれかの耐用年数を採用するものとした。

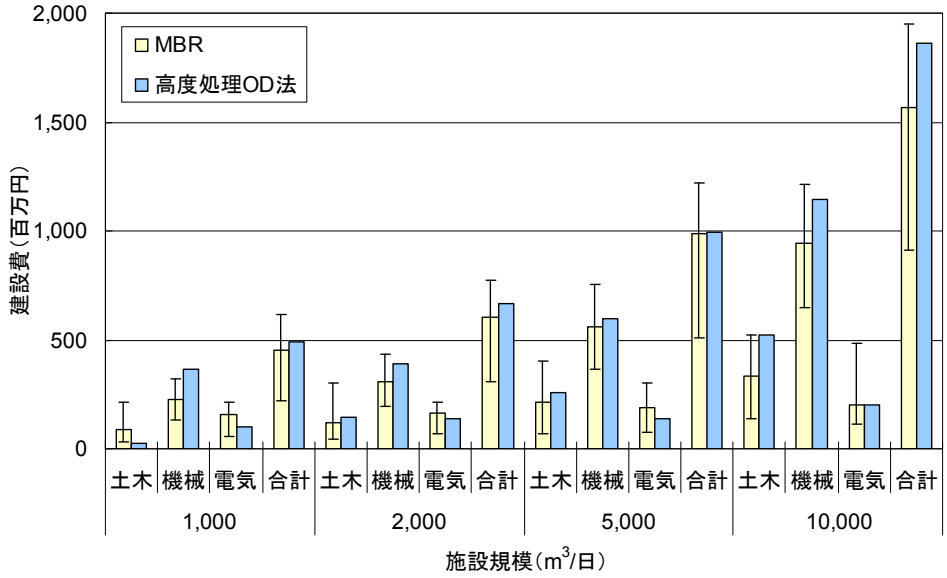
※ 「下水道施設の改築について」（2003 年 6 月 19 日　国都下事第 77 号国土交通省下水道事業課長通知）別表に示される年数

3.4.5 コスト検討例

新設の下水処理場に MBR を導入する際のコスト試算結果を以下に示す。なお，本検討では，用地費については考慮していない。

採用する MBR システムによっては，コスト面から MBR が有利となる場合がある。

1) 建設費



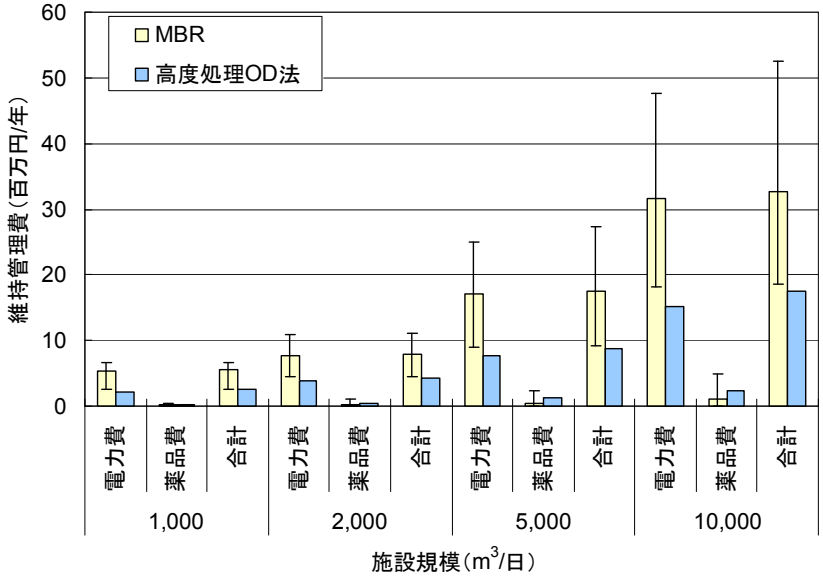
※図中，MBR の縦棒は中央値，バーは最大値･最小値を示す。

図 3-19 建設費の比較

- 建設費（土木，機械及び電気の合計値）の中央値で比較すると，MBR と従来法の間に顕著な差はない。ただし，MBR は幅があり，採用する MBR システムによっては，従来法よりも大幅に安価となる場合がある。
- 1,000m^3/日では，従来法は POD 法であり，OD 槽が機械設備として計上されているため，土木費は MBR が高く，機械設備費は従来法が高く表示されている。合計値としては，ほぼ同等である。
- 2,000～10,000m^3/日では，省スペース性から MBR の土木費が有利となる傾向にある。機械・電気設備費については，MBR，従来法ともほぼ同等の傾向である。
- なお，技術評価 [10]によると，施設規模が 3,000m^3/日以上では MBR の建設費が OD 法の建設費を上回る傾向にあったが，本検討では 5,000m^3/日で概ね MBR と OD 法が同程度，

10,000m^3/日では OD 法より MBR が有利となった。

2) 維持管理費

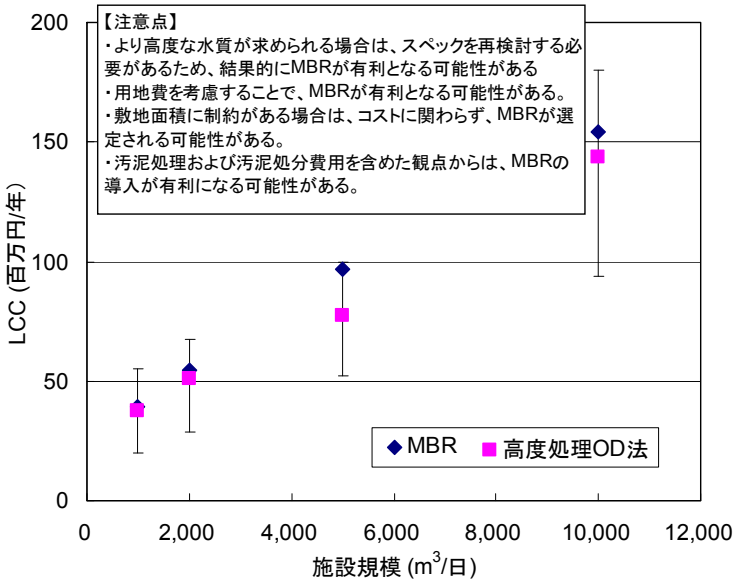


※図中，MBR の縦棒は中央値，バーは最大値･最小値を示す。

図 3-20 維持管理費の比較

- MBR，従来法ともに電力費が維持管理費の大半を占めている。
- MBR の電力費が従来法の電力費に比べて大きい傾向にあるが，採用する MBR システムによっては，従来法と同程度となる場合がある。

3) LCC



※図中，MBR のプロットは中央値，バーは最大値･最小値を示す。

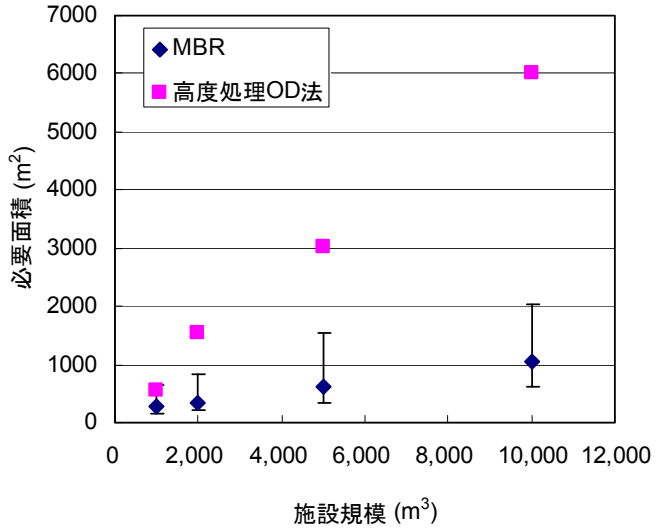
図 3-21 LCC の比較

- 中央値で比較すると，1,000 m^3/日及び 2,000 m^3/日では MBR, OD 法ともほぼ同程度，5,000 m^3/日及び 10,000 m^3/日では従来法の LCC の方が低くなったが，採用する MBR システムによっては，従来法より MBR が有利となる場合がある。
- 4）に述べるとおり，MBR の必要面積が従来法よりも非常に小さくなるため，用地費を

考慮すれば MBR が有利となる可能性がある。

- 施設規模が大きくなるにつれ，MBR と従来法の LCC の差が小さくなる傾向にある。

4) 必要面積



※図中，MBR のプロットは中央値，バーは最大値･最小値を示す。

図 3-22 必要面積の比較

- MBR は従来法に比べ非常に省スペースであり，中央値で比較すれば，施設規模 1,000m^3/日では従来法の約 1/2，施設規模 10,000m^3/日では従来法の約 1/6 の面積である。
- 敷地面積に制約がある場合には，コストに関係なく MBR が採用される可能性がある。

5) 本コスト検討に関する留意点等

ここに示したコスト検討結果は仮想的な条件による試算結果であるため，施設設計条件や今後の技術開発等により必要コストは大きく変動する可能性があること，及び表 3-13に示す事項に留意が必要である。

表 3-13 本コスト検討に関する留意点等（新設）

本コスト検討結果に関して留意すべき事項	● 本検討では，MBR と従来法の処理水質が同等のものとしてそれぞれのスペックを想定したが，水質規制や再生水利用などにより高度な処理水質が求められる場合は，スペックを再検討する必要があり，結果として MBR の導入がコスト面からも有利となる可能性がある。 ● 敷地面積に制約がある場合は，コスト試算結果に関わらず MBR が選定される可能性がある。 ● 本検討では用地費を考慮していないが，用地費を加味することにより，従来法よりも MBR 導入が有利となる可能性がある。 ● 本検討では汚泥処理及び汚泥処分費用を考慮していないが，実際には従来法に比べ MBR の汚泥発生量は少ないとされているため，汚泥処分まで含めた総合的な観点からは，MBR 導入が有利になる可能性がある。
本コスト検討の前提条件として留意すべき事項	● MBR では，前処理設備（流量調整槽含む）から水処理設備までを検討対象とした（最初沈澱池はないものとした）。 ● OD 法では，分配槽から塩素消毒までを検討対象とした。 ● いずれも，揚水ポンプ，脱臭設備，汚泥処理施設は対象外とした。

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，段階的な導入となることが多く，MBR と従来法が並列する状況となるため，並列処理の検討事項，経済性等について整理する。

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，次の特徴が挙げられる。

- 反応タンクのコンパクト化や，最終沈殿池の省略等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。
- 従来法系列との水量配分により処理場全体として様々なレベルの処理水質を得ることが可能となる。

MBR の既設処理場への導入は，その特徴から，流量調整や前処理等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，最終沈殿池の省略等により，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，既存の下水処理場の能力増強や高度処理化に有効である。

既設処理場への MBR 導入目的の例を以下に示す。

- 放流先の環境基準や水利用条件から，速やかに処理水質を向上させるため
- 再利用先や放流先の水系リスク低減のため
- 所定の量の再利用を行うため
- 敷地条件が厳しく増設用地が無いため，または，現状処理能力を確保しつつ，段階的に施設更新を図るため

なお，MBR を導入した改築更新のイメージを 図 4-1に示す。MBR を導入することで処理能力を確保しつつ，また躯体の増設を行うことなく改築更新が可能となり，併せて高度処理化も実施できると考えられる。

仮定条件
- ・処理能力50,000m³/日(1池10,000m³/日)の標準活性汚泥法施設を改築・更新
- ・1池は休止が可能(通常散気装置の更新等で実施)
- ・MBR導入時の1池あたりの処理可能量は標準活性汚泥法の1.3倍
  (4.3コスト検討，表4-3より：標準活性汚泥法5,000m³/日，MBR 6,700m³/日)
- ・従来法(循環式硝化脱窒法)の必要面積は，標準活性汚泥法の1.75倍
  (標準活性汚泥法HRT=8hr，循環式硝化脱窒法HRT=14hrとした場合)

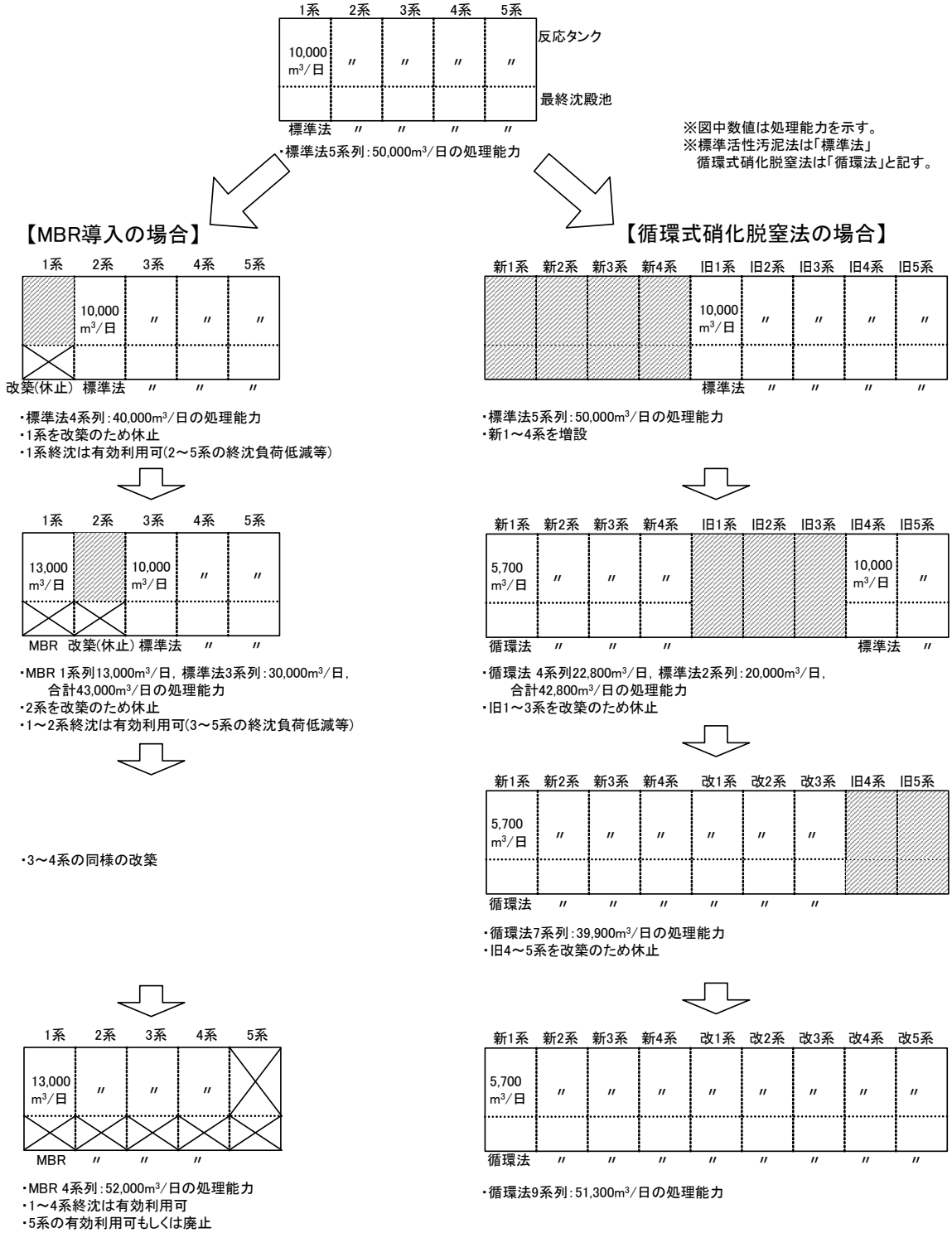


図 4-1　MBR 導入による改築更新のイメージ

4.2 MBR と従来法との並列処理の場合の検討事項

MBR と従来法との並列処理となる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，最終沈殿池の活用等が挙げられる（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。

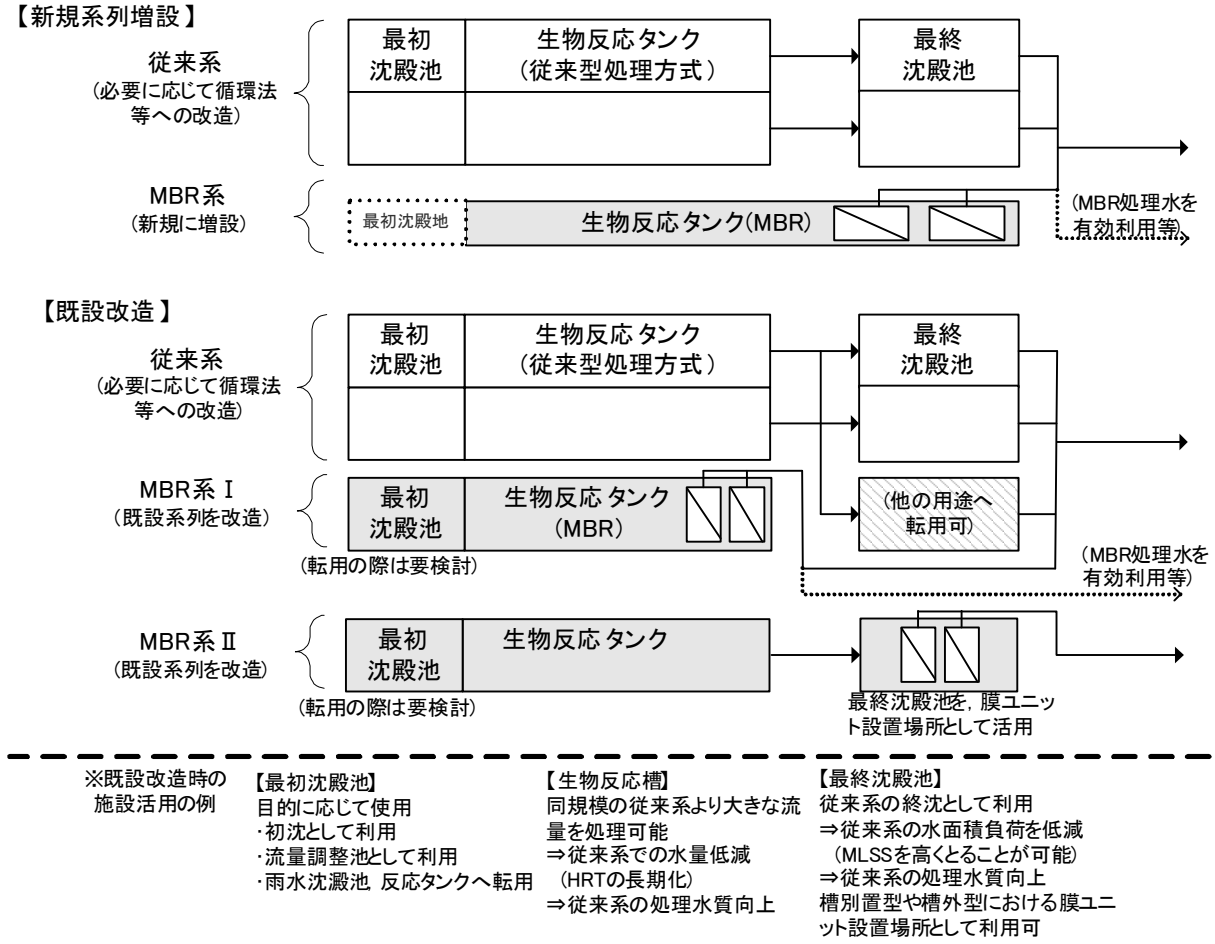


図 4-2　MBR と従来法との並列処理の概略イメージ

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。

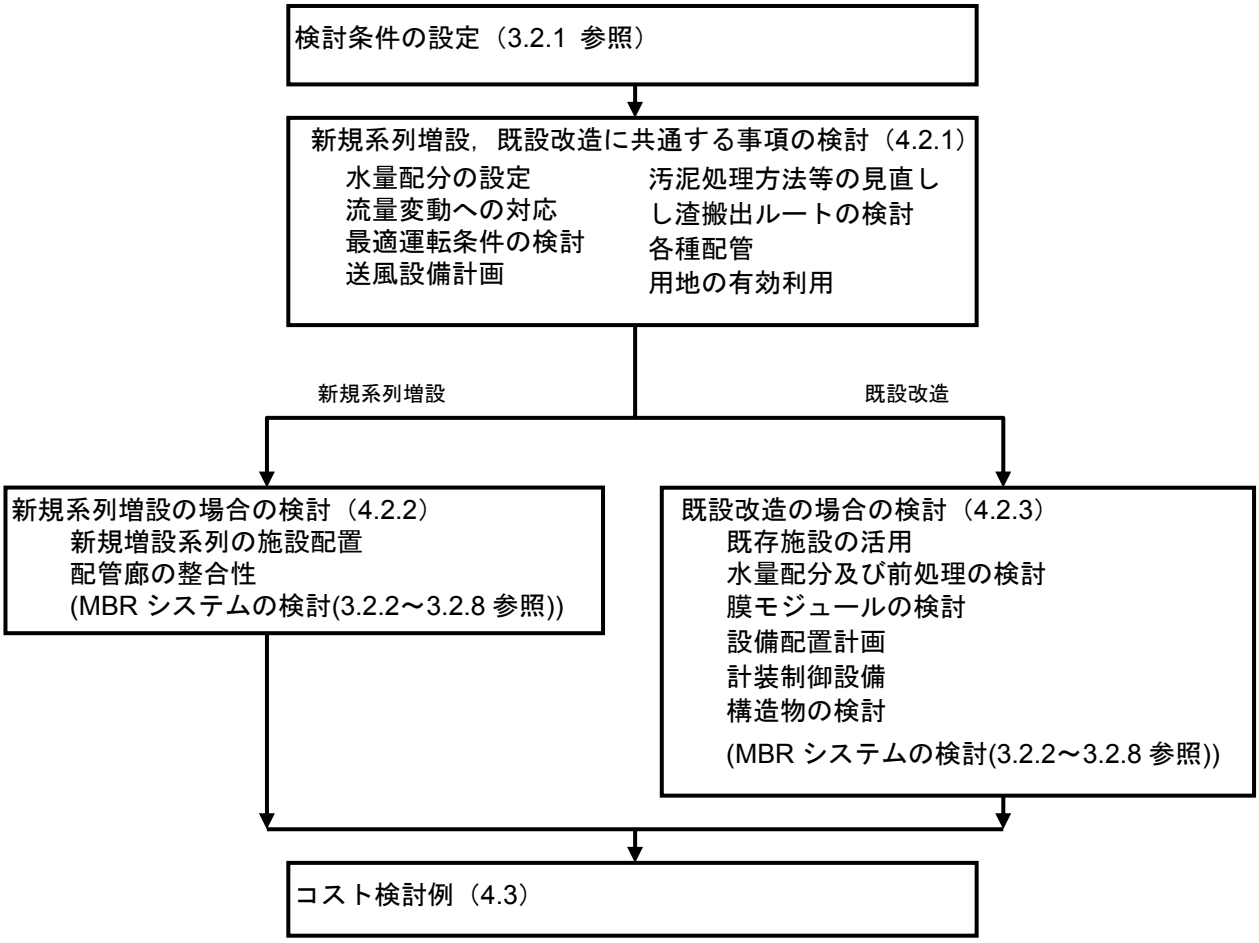


図 4-3　MBR と従来法との並列処理の検討フロー

4.2.1 新規系列増設，既存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。

こうした特長を活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，処理場全体の処理水質（系列ごとの処理水質を加重平均したもの）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，達成するべき処理水質に対し，経済性，維持管理性，設備配置等，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

通常は，水量の季節変動，時間変動，降雨の影響等により，流入下水量が大きく増減するが，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，流量管理が適切に行われることを確認する必要がある。

膜技術の進展に伴い，より高い透過流束に対する適用性も向上しており，MBR 系列における流量変動対応も一定の範囲までは可能である。ただし，膜の洗浄頻度への影響など維持管理の観点では，負荷変動の平準化が望ましく，MBR と従来法との水量配分について十分検討を行う必要がある。

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，処理場全体の流入水量（時間変動あり）から，MBR 系列分と従来法系列分に適切に配分する必要があり，MBR 系列で対応できない水量変動分に対しては，従来法系列への流入させるものとするが，従来法系列での処理能力（滞留時間，最終沈殿池の水面積負荷等）を確認し，必要に応じて流量調整等の措置を講じる。

(3) MBR と従来法との並列処理の最適運転条件の検討

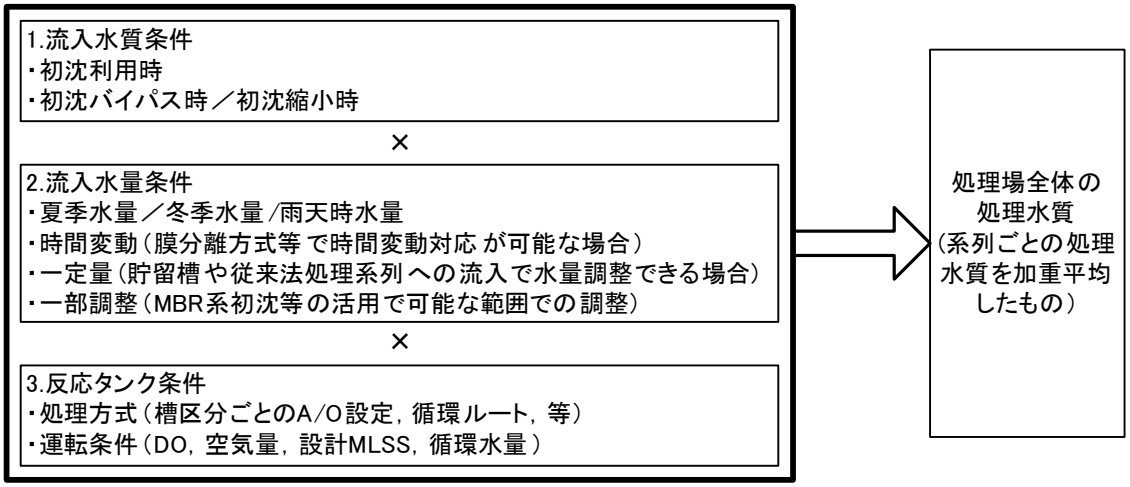
MBR と従来法との並列処理においては，同一処理場内で異なる処理方式の系列が混在することとなり，その計画において，多方面から検討する必要がある。

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。

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，運転条件を検討する必要がある。

なお，処理場全体の処理水質の検証にあたり考慮する項目の例を図 4-4に示す。



※MBR 系列への流入条件に応じ，従来法系列への流入条件も変化することに留意

図 4-4 処理場全体の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

従来法と並列処理する場合は装置の圧力損失差や並列運転での制御応答性等に留意が必要である。

(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とが多い。このため，従来法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を既設の汚泥処理施設で処理する場合は，従来法系列と MBR 系列の余剰汚泥性状の違いをふまえ，投入する施設・設備の処理効率を勘案して検討する。

(6) 前処理設備からのし渣搬出ルートの検討

MBR 新規系列の増設に伴い，新たに前処理設備からのし渣やオイルマッド等が発生する。このため，既存のし渣発生場所との整合を図り，効率的な搬出ルートを検討する。また，当該下水処理場の流入水の性状をふまえ，適切な前処理設備の形式を選定する必要がある。

(7) 各種配管

MBR 設備においては，空気管，ろ過水管，薬品配管など，多くの配管が必要となる。配管設計・施工に当っては，既設配管との取り合いに留意するとともに，維持管理動線，弁類の操作性を考慮する必要がある。

4.2.2 新規系列増設の場合の検討事項

新規の増設系列に MBR を導入し，MBR と従来法との並列処理にする場合，それぞれの処理フローが異なることに留意し，適切な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，MBR 系の施設配置にあたっては既設処理施設との整合を図り，水や空気の流れの効率性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) 新規増設系列の施設配置

新規増設系列（MBR 系）では，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るため，増設系列の施設配置については処理場の敷地を効率的に利用できるよう検討する。

(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，電気室及び汚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

既設水処理施設の一部を改造して MBR を導入し，MBR と従来法との並列処理にする場合，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) 既存施設の活用

1) 最初沈殿池

MBR 系列においては，反応タンクにおける MLSS を高くすることができるため，通常は，最初沈殿池で汚濁負荷を削減することなく，必要な処理機能を発揮できると考えられており，最初沈殿池は必須ではない（第 3 章 3.2.3 最初沈殿池　参照)。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，最初沈殿池の廃止にあたっては，特に留意する必要がある。

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，生物反応タンク等）への転用を考慮する。

2) 最終沈殿池

MBR 導入により最終沈殿池が不要となる場合，従来法系列の最終沈殿池や膜ろ過水槽，緊急時の流量調整槽等へ有効活用することが可能である。

従来法系列の最終沈殿池に活用する場合，従来法系列の最終沈殿池の水面積負荷を小さくすることができ，水量が同じであっても MLSS を高くとることが可能となる。

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。

表 4-1　最終沈殿池の活用例

	常用設備･施設	非常用設備･施設
MBR 特有の施設	薬液洗浄槽, 膜ろ過水槽	緊急時の流量調整槽
	槽外型及び槽別置型の膜モジュールの設置場所	
他用途への施設	従来法系列の最終沈殿池	
	反応タンク	
	雨水貯留槽	

3) 送風設備

MBR 法では，MLSS が高いこと，洗浄としての曝気が必要であることから，反応タンク 1 系列あたりの必要送風量は，従来法に比べ大きくなることが予想される。また，並列する従来法系列と散気方式が異なる場合には適切な圧力が異なるなどの課題が生じる場合もある。

このため，MBR 系列における必要空気量から，必要に応じて送風設備の増設あるいは更新を行うものとし，維持管理計画を勘案した上で，送風設備の配管系統について，従来法系列との併用または独立として整備する。

4) 消毒設備

既設消毒設備においては，次亜塩素酸ナトリウムを使用している場合が多い。MBR 施設を導入する際，次亜塩素酸ナトリウム貯留タンク，同移送ポンプ，薬液希釈タンク及び薬液注入ポンプ等の既設消毒設備の薬液洗浄設備への活用を検討する。

(2) 水量配分及び前処理の検討

1) 水量配分の検討

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，水量変動を抑えた水量配分を行う必要がある。そこで，既存の分配槽や既設の最初沈殿池等を活用するほか，必要に応じて新たな分配施設の検討を行う。

2) 微細目スクリーンの設置場所

MBR 系列に改造する際には新たに微細目スクリーンを設置する必要があり，設置場所については，既存処理場の設備配置状況を勘案し検討する。

3) 流量調整方式の検討

流量調整タンクの容量を算定するにあたっては，晴天時の時間変動等，実績データから設定するが，流量調整タンクの容量が過大とならないよう，膜差圧を変動させることによる流量制御での流量変動対応等も検討する。最初沈殿池がある既存の水処理施設の一部に MBR を導入する場合は，流量調整タンクとして最初沈殿池を活用することも検討する。

(3) 膜モジュールの検討

1) 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，反応タンク内や既設の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，最終沈殿池内部スペース等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。

2) 膜モジュールの搬入ルート

中大規模の既設下水処理場に MBR 設備を導入する場合，数多くの膜モジュールを設置することになる。このため，あらかじめ MBR 設備の搬入ルートを検討し，既存の維持管理動線や既存設備搬入ルートとの整合を図る必要がある。

(4) 設備の配置計画

MBR 処理系列においては，膜モジュールの吊り上げ装置，薬液洗浄用設備，浸漬洗浄タンク，ろ過水タンク，各種配管及び計装制御設備等の設置が必要であり，既存施設との取り合いを検討する必要がある。

(5) 電気・計装制御設備

既存電気・計装制御設備の実態を把握し，MBR 関係の電気・計装制御設備を既存設備の増設タイプとするか，独立したタイプとするか検討する必要がある。計装制御機器の配置については，既存設備の配置に留意し，メンテナンスを考慮した位置，スペースに設置することが必要である。

(6) 構造物の検討

1) 既設土木構造物の改造

設備搬入用の開口の設置，槽内隔壁の設置，覆がいの設置等，既設土木構造物を改造する必要がある場合には，既設土木構造物の配筋図及び構造計算書を確認し，必要に応じて補強を行う。

長期間使用されていない土木躯体を MBR に改造する場合には，工事着手前に水張り・水漏れ確認を行い，必要に応じて補修を行う。

2) 水位関係の調整

既設水処理施設の中に MBR 施設を導入する場合，既設水位関係を十分調査しそれに整合させることが必要である。この場合，微細目スクリーン，流量調整槽，MBR 設備等を制限された水位関係の中で配置できるかを検討する必要がある。

3) 各種配管の設置

従来法との並列運転を行なう場合，運転条件が異なることから，空気・汚水・ろ過水・汚泥配管は，既設配管と切り離した MBR 単独配管とすることが望ましい。

既設処理場での改築 MBR の事例である守山水処理センター及び三宝下水処理場の検討事項を表 4-2に示す。

表 4-2　既設改築における MBR 導入の検討事例

		守山水処理センター MBR 実証施設	三宝下水処理場内 MBR 施設
1.既存施設の活用	最初沈殿池	合流式下水道のため雨天時に活用し，晴天時はリン除去効率向上のため，一部の沈砂池流出水を最初沈殿池に導水。	一部を微細目スクリーン，薬液洗浄設備の設置スペースとして活用。残りは最初沈殿池として活用。
	最終沈殿池	最終沈殿池をろ過水の貯留タンクとして活用。	最終沈殿池を撤去し，高速道路用地として転用。
	送風設備	－ （既存施設への影響を考慮して実証施設用に独立した仮設の送風設備を新たに設置。）	膜洗浄用には既設送風機を転用。補助散気用送風機は既設送風機室に新たに設置。
	消毒設備	－ 〔薬液洗浄設備を新たに設置。〕	－ 〔薬液洗浄設備は新たに設置。〕
2.水量配分及び前処理の検討	水量配分の検討	MBR 系列の水量が既存施設の水量と比較して少なく，既設とは独立したポンプにより原水を揚水。	既設施設に所定水量を優先的に分配し，残水量が MBR 系列に流入。
	微細目スクリーンの設置場所	原水ポンプで揚水した後，微細目スクリーンを通水。微細目スクリーンは MBR 設置系列に隣接する他系列の反応タンク上部に設置。	既設最初沈殿池の一部（2水路）に設置。
	流量調整方式及び設備計画	実験のため，一定流量及び水量変動パターンの流量条件を設定。	所定の変動比までは膜ろ過量を増やすことで対応。これを超える水量は簡易放流。
3.膜モジュールの検討	膜モジュールの設置	浸漬型（一体型）の膜モジュールを設置。膜モジュールは，12 基(200 枚×2 段)であり，省スペース化を図るため，モジュールを 2 段積みにより設置。	浸漬型（一体型）の膜モジュールを設置。反応タンクの池幅に応じて，300 枚ユニットと 400 枚ユニットを設置。
	膜モジュールの搬入ルート	既設の処理施設通路を使用。既存施設の維持管理への支障は生じていない。	反応タンク上部は二重覆蓋構造でないため，搬入用クレーンで搬入。
4.設備の配置計画		MBR を設置した反応タンク上部及び隣接する他系列の反応タンク上部に設備を配置。	微細目スクリーンや薬液洗浄設備は既設最初沈殿池内に設置。送風機設備は既設送風機室を活用。
5.計装制御設備		実証施設用に既設とは独立した仮設の専用高圧受変電盤，MBR 制御盤を設置。	MBR 系列用の動力制御設備を設置。電源は既設電気設備から供給。
6.構造物の検討	既設土木構造物の改造	既設反応タンクにおいて，設備搬入用の開口設置及び反応タンク内の隔壁設置等の改造を行った。反応タンクのスラブ上に設備を設置するために構造検討を行い，反応タンク内の既設隔壁を補強。	最初沈殿池の一部の壁の補強。反応タンク内への機器設置のため，既設の旋回流用バッフル板を撤去。
	水位関係の調整	－ （実証施設のため，沈砂池流出水もしくは最初沈殿池流出水を揚水している。）	既存施設の水位関係と整合している。
	各種配管の設置	既存施設への影響を考慮して,各種配管を単独で設置。	既設空気管は膜洗浄用空気管として転用。

注:守山水処理センターは実証実験施設であり，実験を行うための措置や制約による設定項目を含む。
　また，活用を行っていないもの，検討を省略したものについては［　］内に参考表現として記す。

4.3 コスト検討

既設処理場への MBR 導入のコストの検討においては，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等の費用を算定するとともに，同等の性能が得られる従来法を適用する場合とのコスト比較を行う。

4.3.1 コスト検討の基本的な考え方

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，改造が必要となる既存施設及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，MBR を用いないで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，用地費を含めるものとする。

コストの検討にあたっては，処理能力，計画水質，設計諸元等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。また，コスト検討を行う際は，採用する技術や現場条件によりコストに大きな差が生じる可能性があることを考慮するとともに，第 3 章（3.4.1）に整理した特徴・留意事項をふまえ，最新の情報を活用する必要がある。なお，建設費，維持管理費ともに，今後膜処理技術の市場拡大や技術開発の進展により，更なる低コスト化が期待される。

本ガイドラインでは，仮想条件下におけるケーススタディを通じ，コスト検討を行う際の参考となる情報を例示する。なお，本ケーススタディは，第 3 章に示した新設のケーススタディと同様，WG 参画 7 社の協力を得て実施した。

4.3.2 ケーススタディ検討条件

- 改築により高度処理化を図る必要がある，中大規模の仮想的な下水処理場（処理方法：標準活性汚泥法，処理能力：処理場全体で 50,000m^3/日）を対象とする。
- MBR への改築方法（生物処理方式，膜分離方式，改造後の 1 系列あたり処理能力等）は，各参画委員の提示に基づくものとする（表 4-5）。なお，各参画委員提示の MBR システムの概要を**別冊 I** に示した。
- 従来法としては，下水道法施行令上，MBR と同等の計画放流水質に位置付けられる「嫌気無酸素好気法（有機物及び凝集剤を添加，急速ろ過を併用）」を対象とした。
- また，下水道法施行令上は MBR と同等の計画放流水質には位置付けられないが，現実的に導入検討対象となる可能性が高い「ステップ流入式多段硝化脱窒法（凝集剤を添加，急速ろ過を併用）」についても，併せて比較対象とした。
- ケーススタディでは用地費は考慮しないものとした。

表 4-3 検討条件（既設改築）

項目		検討条件
検討対象		● 処理水質の高度化を計画している既設下水処理場（処理方式：標準活性汚泥法）の 1 系列（処理能力 5,000m^3/日） ● 反応タンク及び最終沈殿池には既存の機械設備等は無いものとする
検討範囲	土木躯体	壁，床等の撤去及び新設部分を検討するものとし，覆蓋はないものとして提案
	前処理施設	● 前処理施設は検討対象 ● 最初沈殿池を流量調整等の用途に利用可能
	水処理設備	● 反応タンク設備（膜分離装置，攪拌機，ポンプ類等）の他，MBR 処理に必要な全ての付帯設備（送風機，膜洗浄設備，凝集剤添加設備等） ● MBR 機械設備の制御盤は水処理設備に含める ● 送風機など既設系列と共有できる設備について，既設との取り合いは考慮しない
	汚泥処理	検討対象外
	電気設備	MBR 設備を運転するための動力設備，計装設備，制御設備を検討し，既設との取り合い（受変電設備，中央監視等）は考慮しない
処理水量		5000m^3/日
流量の日間変動		日平均流量比 1.4 倍，1 日に 2 回ピークを有し日最大流量は 8 時間継続

※仮想既設処理場の概要については，**別冊 I** 参照

表 4-4 設計水質（既設改築）

水質項目	流入水質 (mg/L)	最初沈殿池流出水		目標処理水質 (mg/L)
		水質 (mg/L)	除去率 (%)	
T-BOD	200	120	40	3.0
S-BOD	100	80	20	-
SS	180	90	50	1.0
T-N	35	30	14.3	10.0
NH_4-N	25	25	-	-
NO_3-N	-	-	-	9.0
T-P	4.0	3.2	20	0.5
S-T-P	2.0	2.0	-	-

表 4-5 検討対象とした MBR システムの概要（既設改築）

項目	結果概要
膜の種類	中空糸膜×4　平膜×2　セラミック膜×1
膜分離方式	浸漬型（一体型）×5　浸漬型（別置型）×1　槽外型×1
生物処理方式	循環式硝化脱窒法×4　生物脱リン（無酸素-嫌気-好気）×2 生物脱リン（UCT）×1　※凝集剤添加設備は 7 社で設置
流量変動対応	流量調整槽×5　フラックス変動×2
前処理設備	流入スクリーン×7
既設最初沈澱池	最初沈澱池として使用×2，流量調整槽として使用×4

4.3.3 コスト試算方法

第 3 章（**3.4.4**）を参照のこと。

4.3.4 コスト検討例

標準活性汚泥法を採用している既設下水処理場を高度処理化（窒素・リン除去）する際に MBR を導入する際のコスト試算結果を示す。なお，本検討においては，用地費については考

慮していない。

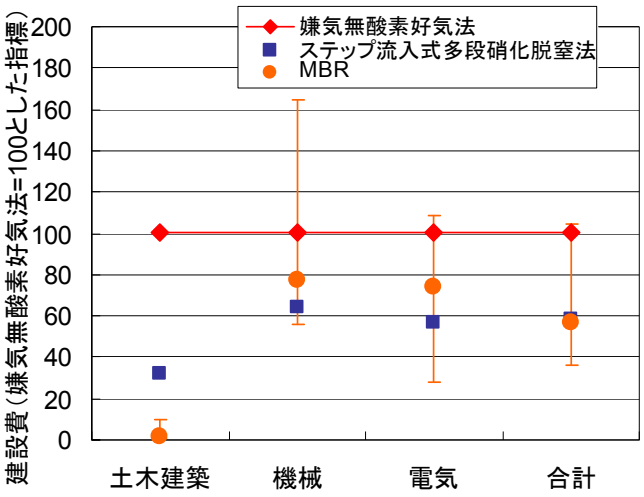
1) 処理可能水量及び必要面積

表 4-6 処理可能水量及び必要面積の比較

	嫌気無酸素好気法 (A_2O 法)	ステップ流入式多段硝化脱窒法	MBR	
			最小値～最大値	中央値
必要系列数(土木躯体の増設が必要な系列数)	23 (13)	14 (4)	7～9	8
処理可能量(m^3/日)	50,600	50,400	53,600～56,000	55,350
1 系列当り処理可能量(m^3/日)	2,200	3,600	6,000～8,000	6,700
必要面積(A_2O 単独=100)	100	59.5	20.6～34.8	20.7

- 嫌気無酸素好気法（A_2O 法），ステップ流入式多段硝化脱窒法では，既設 10 系列に加えて，それぞれ 13 系列，4 系列の土木躯体の増設が必要である。一方，MBR では，既設よりも少ない系列で 50,000m^3/日の処理を行うことが可能となる。そのため，必要面積としては，MBR（中央値）は A_2O 法の 1/5 である。
- MBR の 1 系列あたりの処理可能水量は，A_2O 法の約 3 倍，ステップ流入式多段硝化脱窒法の約 2 倍である。
- MBR には，上述したような省スペース性から，①既存の能力を確保しながら高度処理化が可能，②MBR を併用した改築により他処理場への負担が不要／最小限にすることが可能等のメリットがある。したがって，敷地面積に制約がある場合は，コストに関わらず，MBR が採用される可能性がある。

2) 建設費

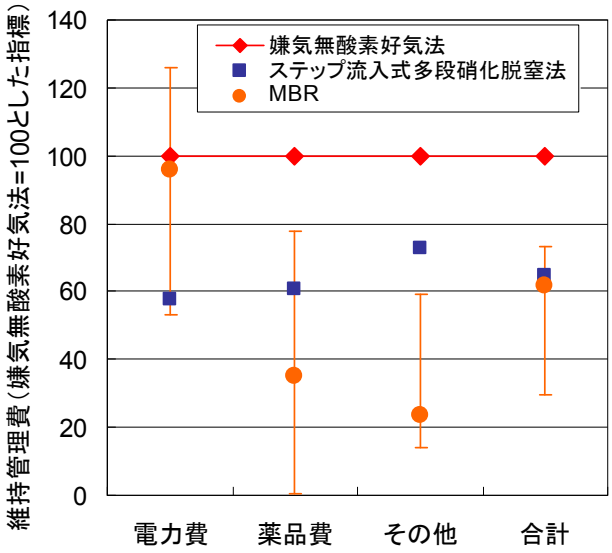


※嫌気無酸素好気法を 100 として比較。
図中，MBR のプロットは中央値，バーは最大値･最小値を示す。

図 4-5 建設費の比較

- 前項に示したとおり，MBR では，土木躯体の増設が不要である一方，従来法では，土木躯体の増設が必要となるため，土木建築に関わる費用では，MBR が非常に有利となる。
- 機械・電気設備に関わる費用は，A_2O 法では系列数が多くなるため，MBR の方が低くなる傾向にある。

3) 維持管理費

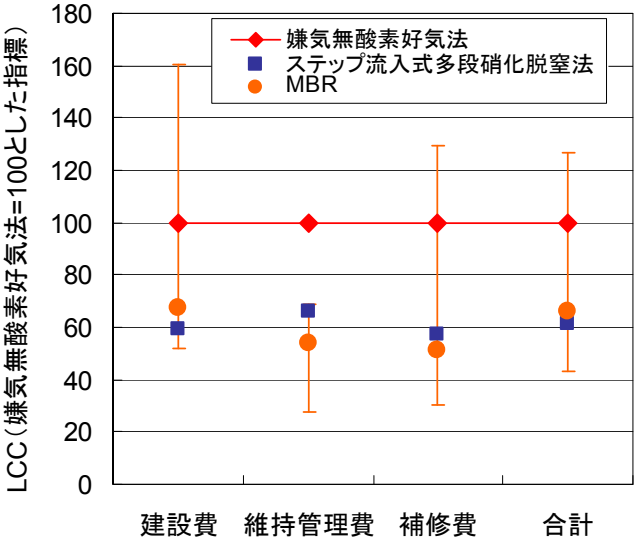


※嫌気無酸素好気法を 100 として比較。
「その他」は補修費と後段処理の維持管理費から構成。
図中，MBR のプロットは中央値，バーは最大値･最小値を示す。

図 4-6 維持管理費（年あたり費用）の比較

- MBR の電力費は，A_2O 法と同等であるが，ステップ流入式多段硝化脱窒法よりは高い傾向にある。
- A_2O 法では，有機物添加のメタノールが必要となることから，MBR の方が大幅に安価となる。また，ステップ流入式多段硝化脱窒法では，リン除去に凝集剤を必要とするのに対して，MBR では，凝集剤を要しない生物学的リン除去法を採用するシステムもあるため，MBR の方が低い傾向にある。
- なお，MBR の「その他」には，膜交換費が含まれていないことに留意が必要である。

4) LCC



※嫌気無酸素好気法を 100 として比較。
図中，MBR のプロットは中央値，バーは最大値･最小値を示す。

図 4-7 LCC の比較

- LCC について，MBR を A_2O 法と比較した場合，採用する MBR システムにより幅があるものの，MBR の方が有利である。
- 同様に，ステップ流入式多段硝化脱窒法と比較した場合，MBR（中央値）の方がわずかに高くなったが，採用する MBR システムによっては，ステップ流入式多段硝化脱窒法よりも有利となる場合がある。

5) 本コスト検討に関する留意点等

上に示すコスト検討結果は仮想的な条件による試算結果であるため，施設設計条件や今後の技術開発等により必要コストは大きく変動する可能性があること，及び表 4-7に示す事項に留意が必要である。

表 4-7 本コスト検討に関する留意点等（既設改築）

本コスト検討結果に関して留意すべき事項	● 本検討では，MBR と従来法の処理水質が同等のものとしてそれぞれのスペックを想定したが，水質規制や再生水利用などにより高度な処理水質が求められる場合は，スペックを再検討する必要があり，結果として MBR の導入がコスト面からも有利となる可能性がある。 ● 処理場の敷地面積に制約がある場合は，コスト試算結果に関わらず MBR が選定される可能性がある。 ● 本検討では用地費を考慮していないが，用地費を加味することにより，従来法よりも MBR の導入が有利となる可能性がある。 ● 処理能力に余裕がない処理場の改築においては，従来法に比べ必要面積あたりの処理水量が大きい MBR が必要とされる可能性がある。 ● 本検討では汚泥処理及び汚泥処分費を考慮していないが，実際には従来法に比べ MBR の汚泥発生量は少ないとされているため，汚泥処分までを含めた総合的な観点からは，MBR 導入が有利とされる可能性がある。
本コスト検討の前提条件として留意すべき事項	● MBR による改築では，前処理設備から MBR 処理水までを検討対象とした（最初沈澱池から上流の流入設備は対象外とした）。 ● 従来法による改築では，最初沈殿池から急速ろ過までを検討対象とした。 ● いずれも，機械・電気設備については，既設との取り合いを考慮していない（例えば電気設備については，動力，計装，制御設備を検討対象とし，受変電設備は対象外とした）。また，汚泥処理施設も対象外とした。 ● 今回のコスト検討では，MBR，従来法とも，1 系列分のコストを試算し，これを改築系列数倍することにより，処理場全体のコストを試算した。

第5章　　再生水利用のための膜処理技術導入

再生水利用を目的として，膜処理技術を導入する場合に期待される効果，膜及び処理フローの選定，導入に際しての検討事項，運転管理の留意事項，経済性等について整理する。

5.1 再生水利用のニーズ

再生水利用のニーズを拡大するためには，需要者の要求に見合った水量と水質を供給することが重要であり，再生処理技術の開発とコスト縮減が望まれている。

再生水の場外利用を実施している処理場数は，平成初期より急速に増加し，ここ 20 年間において約 4 倍に増加している。その利用用途も急速に拡大し，以前は工場等での洗浄用水，街路の清掃用水等が主体であったものが，現在では，修景・親水用水や河川維持用などを主体に都市用水として多用途に利用されている（図 5-1，図 5-2 参照）。

一方，現在，国内の再生水利用率（場外再利用水量/放流水量）は，2%に満たない状況である [40]。今後の普及促進に向けては，用途拡大（要求水質）への対応と，再生水コスト縮減が求められており，膜処理技術の更なる開発の促進と技術的知見の収集が重要である。

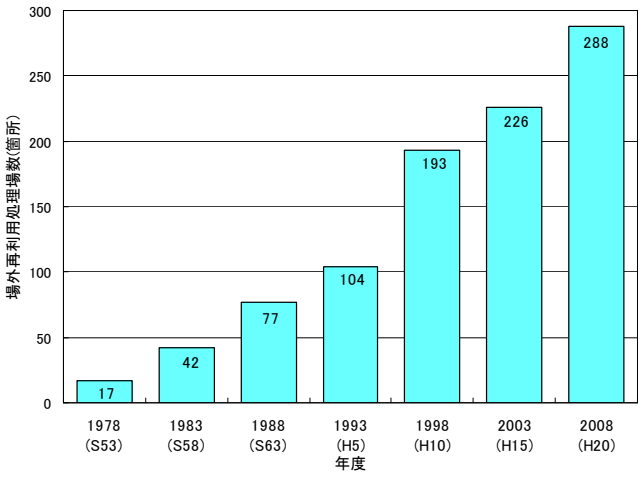


図 5-1 再生水利用の処理場数の推移(場外)[37)]

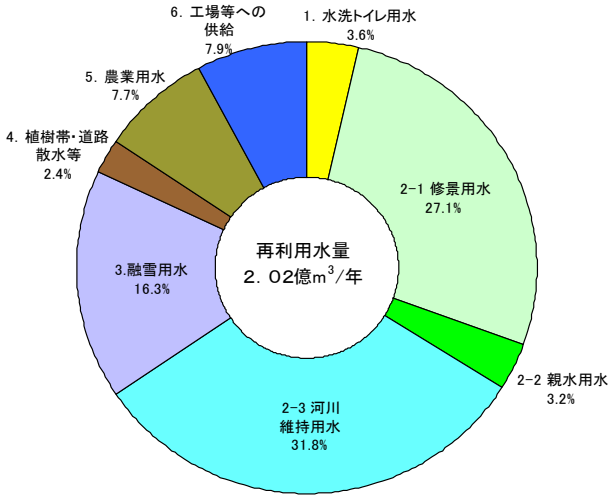


図 5-2 再生水の用途別水量割合(2008 年度)[37)]

5.2 再生水利用のための膜処理技術導入の効果

再生水利用のため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。

・再生水の水質が安定かつ良好である。

・広範囲な用途に使用可能な再生水が得られる。

なお，MBR の処理水は用途によっては，直接再利用することが可能である。

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水質から，使用する膜の種類や処理フローを選定する必要がある。

(1) 処理水質の安定

膜処理により捕捉できる濁質の粒子径は，従来の砂ろ過設備に比べはるかに小さく，濁質がほぼ完全に捕捉できるため，放流水路での付着物やユスリカの発生は抑制される。また，RO 膜等を用いると，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，良好な水質を安定して得ることができる。

(2) 広範囲な用途に使用可能

膜処理の効果は，衛生項目である大腸菌群数，美観維持項目である濁度等，広範囲にわたっている。濁度，色度については，活性炭吸着法やオゾン酸化法と同程度の水質を，大腸菌群数については，塩素消毒，オゾン消毒，紫外線消毒と同等以上に高い除去率を得ることが期待できる。

MBR による処理水質の例を後述の表 5-4 に示すが，この事例では，水洗用水，散水用水，修景用水の基準値を満たしており，広範囲な用途に利用可能であり，修景用水利用の場合には人が直接触れない形態を考慮して，MBR 処理水を消毒せずに直接利用できる。

なお，大腸菌に関する安全性確保の観点から水洗用水，散水用水，親水用水利用において消毒の残留効果を必要とする場合は，後述の表 5-1 に示す残留塩素の基準に基づき塩素注入を行う。

5.3 再生水利用のための膜処理技術導入にあたっての検討事項

再生水利用を目的とした膜処理技術の導入においては，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 処理等）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。

再生水利用のための膜処理技術導入例を図 5-3に示す。

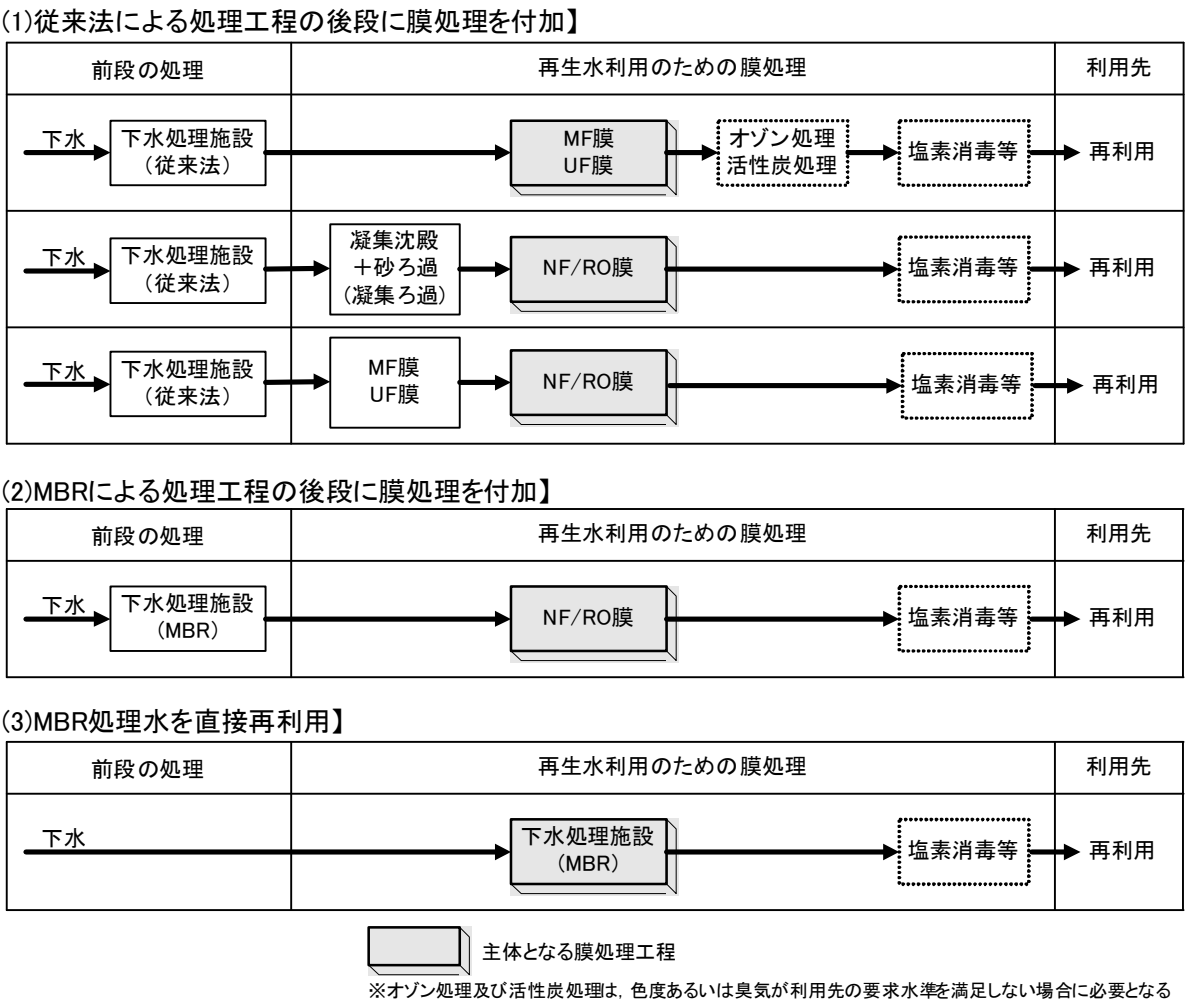


図 5-3　再生水利用のための膜処理技術導入例

再生水利用を目的として膜を導入するにあたっては，以下の事項を検討する。

- 再生水の用途及び目標水質
- 供給量
- 施設の設置位置
- 施設構成
- 膜の種類
- 処理フロー
- 膜処理に伴って発生する濃縮水の処理
- 運転管理における留意事項

なお，再生水利用のための膜処理技術導入にあたっての検討フローは図 5-4に示すとおりであり，個々の検討事項について以下に述べる。

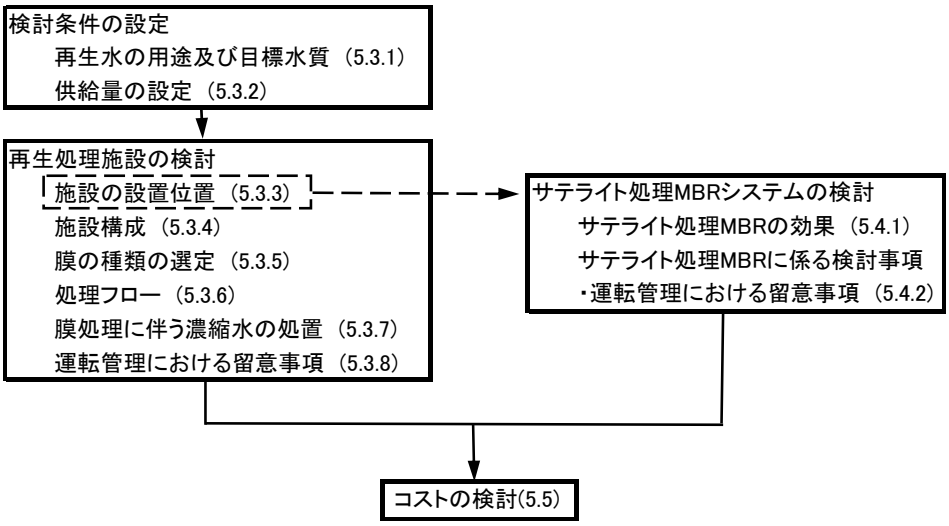


図 5-4　再生水利用のための膜処理技術導入にあたっての検討フロー

5.3.1 再生水の用途及び目標水質

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いて設定する。

(1)　利用用途

下水処理水を再利用する際の利用用途は，これまでの国内実績等により以下のものが想定される。(2)以降では，膜処理技術による水質向上効果が発揮される a)～c)の利用用途を中心に述べる。

a) 雑用水；水洗用水，散水用水，洗車用水
b) 都市用水；散水・洗浄用水（公園，道路，下水管きょ等）
　　修景・親水・環境用水（せせらぎ水路，池等）
　　消火・防火用水，消雪・融雪用水等
c) 工業用水；原料用水，冷却水，洗浄用水，ボイラー用水，温調用水等
d) 農業用水
e) 河川（都市水路）維持用水
f) 地下水涵養

なお，工業用水利用には，下水道から民間事業場等へ直接供給している場合と，工業用水道事業者へ代替水源として供給している場合があり，需要者側でそれぞれの用途に適合した水質までに処理等を行って再利用している。

また，この他に，海外の事例では，水道水源（間接的利用）やレクリエーション用（水浴）池用水などにも利用されている。

(2) 利用用途ごとの水質基準

①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」[41]では，下水処理水を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 5-1）している。

表 5-1　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)*

<table>
<tr><th>基準適用箇所</th><th>基準項目</th><th colspan="2">水洗用水</th><th>散水用水</th><th>修景用水</th><th>親水用水</th></tr>
<tr><td rowspan="7">再生処理施設出口</td><td>大腸菌</td><td colspan="2">不検出
（検水量100mL；特定酵素基質培地法）</td><td>大腸菌群数1000CFU/100mL
（暫定基準）</td><td>不検出
（検水量100mL；特定酵素基質培地法）</td></tr>
<tr><td>濁度</td><td colspan="2">2度以下
（管理目標値） 注）</td><td>2度以下
（管理目標値）</td><td>2度以下</td></tr>
<tr><td>pH</td><td colspan="4">5.8～8.6</td></tr>
<tr><td>外観</td><td colspan="4">不快でないこと</td></tr>
<tr><td rowspan="2">色度</td><td colspan="2" rowspan="2">－ （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）</td><td>40度以下</td><td>10度以下</td></tr>
<tr><td colspan="2">（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）</td></tr>
<tr><td>臭気</td><td colspan="4">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）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">責任分界点</td><td rowspan="2">残留塩素</td><td colspan="2">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）</td><td>－ （規定せず）</td><td>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）</td></tr>
<tr><td>・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</td><td>・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</td><td>・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</td><td>・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</td></tr>
<tr><td colspan="2">施設基準</td><td colspan="3">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</td><td>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</td></tr>
</table>

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41)より作成。

②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」では，施行規則により雑用水に関する衛生上の基準（表 5-2参照）を定めている。

表 5-2　雑用水水質基準*

<table>
<tr><th>基準項目</th><th>基準値</th><th>適用箇所</th></tr>
<tr><td>大腸菌</td><td>不検出</td><td rowspan="6">再生処理
貯水槽</td></tr>
<tr><td>濁度</td><td>2度以下</td></tr>
<tr><td>pH</td><td>5.8～8.6</td></tr>
<tr><td>外観</td><td>ほとんど無色透明であること</td></tr>
<tr><td>（色度）</td><td>規定なし（上記に含まれる）</td></tr>
<tr><td>臭気</td><td>異常でないこと</td></tr>
<tr><td>残留塩素</td><td>遊離残留塩素0.1mg/L又は結合残留塩素0.4mg/L以上</td><td>給水栓</td></tr>
<tr><td>備考</td><td colspan="2">雑用水の用途は，①散水，②修景，③清掃，④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3,000m2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</td></tr>
</table>

＊ 「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)

③工業用水に関する基準

工業用水の水質に関わる基準としては，日本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）等がある（表 5-3参照)。

表 5-3　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	ﾎﾞｲﾗｰ用水*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

(3) 膜処理技術による処理水質と再利用水質基準等との比較

MBR 処理水質の事例では，水洗・散水用水，修景用水利用のいずれの項目も基準値を満たしており，特に，大腸菌，大腸菌群数は塩素消毒なしで不検出となっている。また，色度は 10 度を超える場合があり，親水用水利用では供給先での要望や利用施設の形態によって留意する必要がある（表 5-4参照)。

なお，建築物における水洗用水利用（前掲表 5-2 参照）では残留塩素の基準があるため，大腸菌が不検出であっても供給者または需要者側での塩素注入が必要となる。

表 5-4　MBR の処理水質事例と下水再利用基準との比較

水質項目　(単位)	守山 MBR 処理水	見合サテライト MBR 処理水	参考(再生水利用に関する技術上の基準[41])		
			水洗用水 散水用水	修景用水	親水用水
大腸菌 (検水 100mL 当り)	不検出	不検出	不検出	－	不検出
大腸菌群数 (CFU/100mL)	不検出	不検出	－	1,000 以下	－
pH (－)	6.7 (6.6～7.1)	6.7 (6.2～7.0)	5.8～8.6	5.8～8.6	5.8～8.6
濁度 (度)	－ (<0.25～1.1)	0.4 (0.1～0.7)	2 以下 (管理目標値)	2 以下 (管理目標値)	2 以下
臭気 (－)	－	臭気指数 20～26 注	不快でないこと	不快でないこと	不快でないこと
色度 (度)	8.8 (7.4～11)	11 (5.7～14)	－	40 以下	10 以下
BOD (mg/L)	1.0 (0.3～2.5)	1.0 (0.5～1.8)	－	－	－
COD (mg/L)	5.7 (4.6～7.0)	6.0 (4.3～8.0)	－	－	－

※　MBR 処理水水質：守山は 2010.6～12 月の平均値。(　)内は範囲。実証のための運転条件の変動の影響を除いた処理安定後のデータ。見合は 2010.4～12 月の平均値。(　)内は範囲。実証のための運転条件の変動の影響を除いた処理が安定した期間のデータ。

注　臭気指数＝10×Ｌog（臭気濃度），2009 年度データ
例えば，臭気濃度 1000 (水を 1000 倍に薄めてにおいが感じられなくなった時)の臭気指数は 30 となる。
(参考；悪臭防止法による排出水の規制基準値は臭気指数 31～37)

また，MBR 及び RO 膜処理水と再生水利用基準値との比較を表 5-5，表 5-6に示す。

工業用水利用では，pH，蒸発残留物が若干標準値を逸脱する場合が見られ，また，冷却用水のように高度な水質が望まれる場合には RO 膜等による COD 除去が必要とされる（表 5-5 参照)。

表 5-5　MBR の処理水質事例と工業用水標準値との比較

水質項目	(単位)	守山 MBR 処理水	見合サテライト MBR 処理水	工業用水道 供給水質標準値
塩化物イオン	(mg/L)	34 (27～39)	60 (51～75)	＜80
pH	(－)	6.7 (6.6～7.1)	6.7 (6.2～7.0)	6.5～8.0
M アルカリ度	(mg/L)	41 注 1 (35～50)	37 (28～48)	＜75
全蒸発残留物	(mg/L)	220 (200～260)	250 (200～290)	＜250
全硬度	(mg/L)	－	40 注 1 (37～43)	＜120
濁度	(度)	－ (<0.25～1.1)	0.4 (0.1～0.7)	＜20
電気伝導度	(μS/cm)	290 (250～340)	390 (350～460)	＜1500 注 2
COD	(mg/L)	5.7 (4.6～7.0)	6.0 (4.3～8.0)	＜2 注 2

※　MBR 処理水水質：守山は 2010.6～12 月の平均値。(　)内は範囲。実証のための運転条件の変動の影響を除いた処理安定後のデータ。見合は 2010.4～12 月の平均値。(　)内は範囲。実証のための運転条件の変動の影響を除いた処理が安定した期間のデータ。

注 1；2009 年度データ

2；冷却用水の要望水質

表 5-6　RO 膜処理水質事例と再生水利用の基準値との比較

項目	文献事例	守山水処理センター	再生水利用の基準値注 1		
	NF/RO 膜 処理水注 2	RO 膜 処理水注 3	水洗用水利用 散水用水利用	修景用水利用	親水用水利用
BOD	<2 mg/L	－	－	－	－
T-N	－	0.9 mg/L	－	－	－
T-P	－	－	－	－	－
大腸菌	不検出	－	不検出	大腸菌群 1,000CFU/100mL 以下	不検出
濁度	<1 度	0.24 度	2 度以下	2 度以下	2 度以下
pH	5.8～8.6	－	5.8～8.6	5.8～8.6	5.8～8.6
外観	無色透明	－	不快でないこと	不快でないこと	不快でないこと
色度	<1 度	1.3 度	－	40 度以下	10 度以下
臭気	無臭	－	不快でないこと	不快でないこと	不快でないこと

注 1：再生水利用の基準値 [41)]

2：二次処理水を NF/RO 膜でろ過した場合の水質例 [2),42)]

3：A_2O 型 MBR 処理水を RO 膜でろ過した場合の水質例。2010.6～12 月の平均値。実証のための運転条件の変動の影響を除いた処理安定後のデータ。

5.3.2 供給量の設定

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，再生水の供給先での使用水量の変動等を考慮した上で，日最大及び時間最大再生水供給量を設定する。

(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，使用水量等について，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，再生水利用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，濃縮水の返流により，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。

5.3.3 施設の設置位置

再生処理施設の設置位置は，原則として下水処理場内の下水処理水を導水しやすい場所とする。ただし，再生水の供給先までの送水距離が長くなる場合には，送水に関わるコストを縮減するため，サテライト処理システムの導入について検討する。

再生処理施設は下水処理場内への設置が一般的であり，その供給先は下水処理場周辺の限られた地区であることが多い。下水処理場から供給先までの距離が長い場合には，再生水利用コストの大半を送水コストが占めるケースがある。

このようなケースでは，上流側の供給先近傍の下水管から下水を取水・処理して再生水を供給するサテライト処理システムを導入する方法が提案されている。これにより送水距離を短縮することで送水コストの大幅な削減が期待できることから，施設の設置位置はサテライト処理システムを含めた検討が必要である。

なお，サテライト処理システムの検討については，次項 5.4 に述べる。

5.3.4 施設構成

再生処理施設の構成は，再生水の利用用途や利用施設の形態を考慮して検討する。

再生水の利用用途や利用施設の形態によって，オフィスビルの水洗用水のように使用水量が大きく変動するうえ，送水停止による影響が大きいものや，修景用水等のように一定の水量で，ある程度の送水停止であれば，需要者側で対応が可能なものなどがある。送水停止による影響が大きく，その際の対応が必要な場合は，再生処理施設を 2 系列とすること，一定量の貯留槽を設けること，送水停止時に備えて需要者側で上水配管を設置することなどが考

えられる。送水停止がある程度許容できる場合は，再生処理施設を 1 系列とするなど，一定期間の送水停止に対応が可能な範囲内で，簡略化した施設構成について検討する。

また，供給先の利用用途・要求水質が複数にわたる場合には，下水処理場からの送水系統を 1 系統として，処理場内の再生処理設備と分けて後段の処理設備を供給区域近傍に設置し，再生水利用コストの削減と利用用途拡大を図ることが可能となる。

5.3.5 膜の種類の選定

原水の水質と再生水の目標水質を勘案し，これに適した膜を選定する。

原水は従来法生物処理水または MBR 処理水である。MBR 処理水では再生水として必要な水質のうち，色度を除く大部分の水質項目を達成していることが多く，付加的な処理プロセスは不要である場合が多い。

従来法生物処理水では SS，濁度，大腸菌（群）等を除去しなければならない場合が多い。従来法生物処理水を原水とし，かつ再生水供給量が従来法生物処理水量に比較して少ない場合，MBR と同様の方式で反応タンクに膜を浸漬して再生水を抽出することができる。

色度の除去が必要な場合は，RO 膜の利用，もしくはオゾン処理や活性炭処理を組み合わせることによって対応できる。MBR とオゾン処理を組み合わせる場合は，膜処理の後段でオゾン処理を行うことになる。

MBR 以外の膜処理の場合は，膜処理の前段でオゾン処理を行う場合と後段で行う場合がある。膜処理の前段でオゾン処理を行う場合は，残留オゾンによる膜の劣化について配慮する必要があり，オゾン耐性のある膜の利用等を検討する必要がある。

工業用水利用等でより高度な水質が要求される場合，NF 膜や RO 膜による処理が必要となる。従来法の下水処理水を膜処理する場合，凝集沈殿ろ過等の前処理が必要であるが，MBR 処理水は直接 NF/RO 膜処理にかけることが可能である。

実際に下水処理水の再生水利用への膜処理実適用例として，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 5-7 及び表 5-8に示す。この事例では，MF/UF 膜による処理水は，大腸菌群数，濁度，COD，BOD が除去されており，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。これに対して，NF/RO 膜による処理水は，濁度，大腸菌群数，BOD のほか，色度，硬度，塩化物イオン，リン，無機塩類等の溶解性の物質も除去されていることが分かる。

表 5-7　膜の種類と処理水の水質事例 [42)]

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 5-8　オゾン処理と膜処理(MF 膜)を併用した処理水の水質事例 [43)]

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	微カビ臭	微カビ臭	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

5.3.6 処理フロー

主体となる膜処理工程に，必要に応じて以下の処理工程の付加を検討する。

・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

・膜処理水の水質を用途別目標水質に適合させるための処理工程

膜処理技術による再生水利用のための処理工程は，主体となる膜処理（MF/UF，NF/RO）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)　主体となる膜処理工程

再生水を得るための主体となる膜処理工程は，従来法や MBR の後段で行うものと，MBR そのものが主体となるものとに大別される（前掲図 5-3参照）。

従来法の後段で膜処理を行う工程におい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して，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工程

の適用を検討する必要がある（(2)に詳述）。

(2) 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

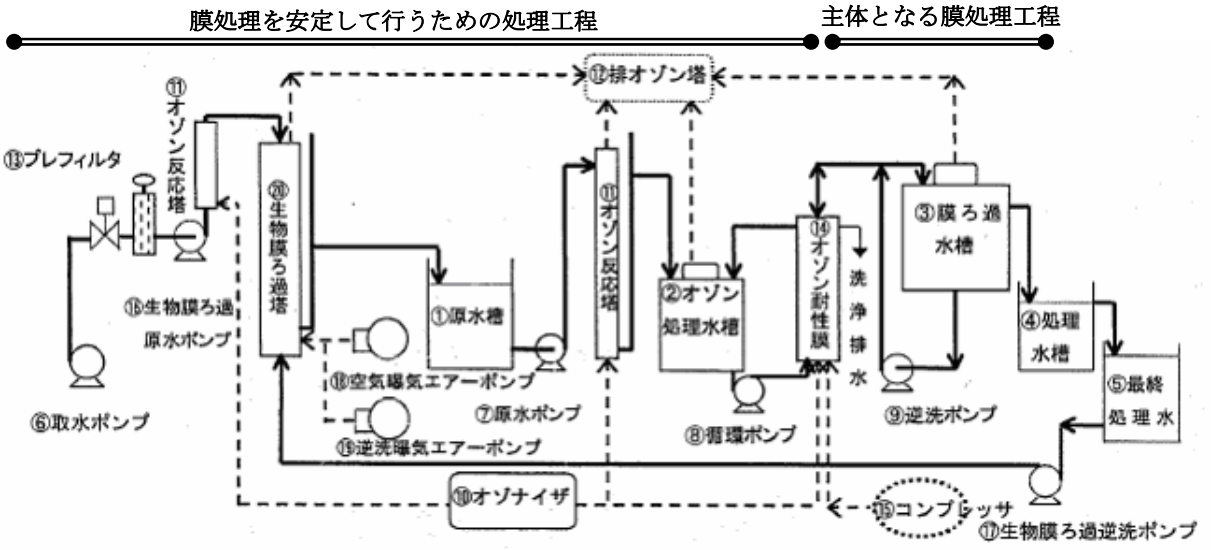
アンモニア性窒素等の栄養塩を含む下水処理水を対象とした膜処理設備では，バイオファウリング（バクテリア等の微生物によるファウリング） が容易に発生するため，これを抑制することは非常に重要となる。

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，バイオファ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ァウリングの抑制等が提案されている。

また，下水処理水のトイレ洗浄用水等への利用を目的に MF 膜を使用した設備の例を図 5-5 に示す。



※オゾン耐性膜の他，セラミック膜処理を実施

図 5-5 東京都芝浦水再生センターの膜(MF)処理の設備構成例 [11] [水洗用水]

2) 主体となる膜処理工程に NF/RO 膜を用いる場合

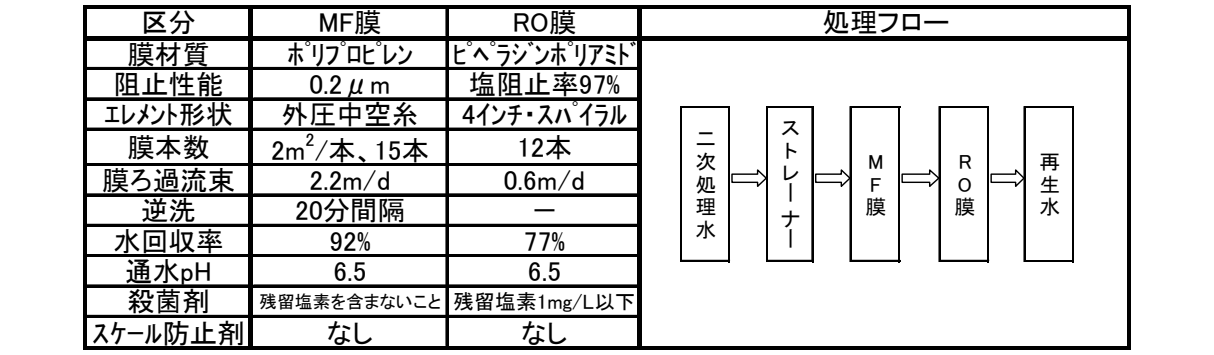
主体となる膜処理工程に NF/RO 膜を用いる場合には, NF/RO 膜保護のための夾雑物除去を目的として，砂ろ過等の物理化学的方法のほか，設備のコスト低減やコンパクト化を図るため，MF/UF 膜を用いる方法が検討されるようになっている。

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等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開発が進んできている。

下水処理水の親水用水利用を目的にした MF 膜と RO 膜を使用した設備の例を，表 5-9 に示す。

表 5-9　東京都落合水再生センター下水再利用設備の仕様 [2)]

区分	MF膜	RO膜	処理フロー
膜材質	ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ	ﾋﾟﾍﾟﾗｼﾞﾝﾎﾟﾘｱﾐﾄﾞ	
阻止性能	0.2μm	塩阻止率97%	
ｴﾚﾒﾝﾄ形状	外圧中空糸	4ｲﾝﾁ･ｽﾊﾟｲﾗﾙ	
膜本数	2m^2/本、15本	12本	
膜ろ過流束	2.2m/d	0.6m/d	
逆洗	20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	



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 NF/RO 膜を用いる場合は, MBR による夾雑物等の除去機能により NF/RO 膜のファウリングを抑制するための処理設備を兼ねることができ，設備省略化も可能である。

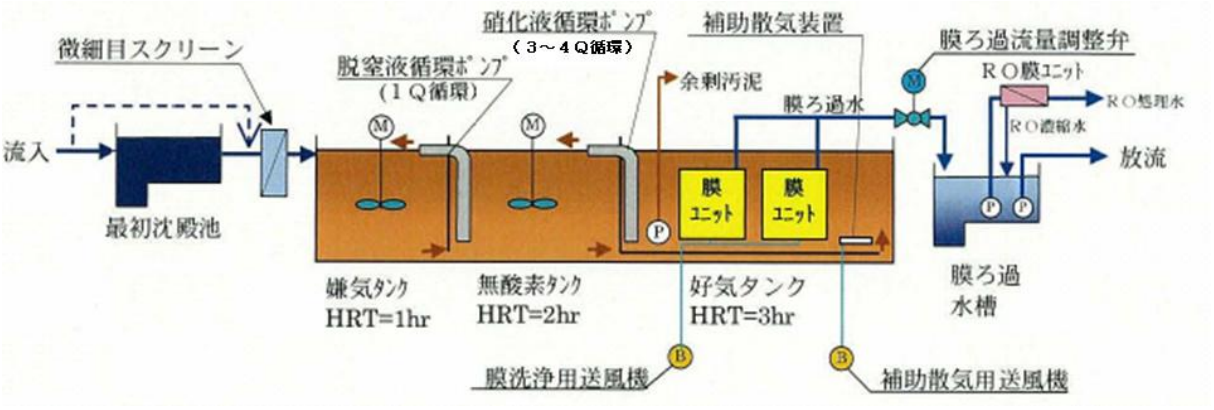


図 5-6　守山水処理センターの処理フロー(A_2O 型 MBR＋RO 膜)

(3)　膜処理水の水質を用途別目標水質に適合させるための処理工程

再利用用途により，溶解性物質に起因する色度の改善や再生水中の細菌等による利用者への感染リスク低減等，さらに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用途別目標水質に適合させるための処理設備を付加する。

MBR 処理水や，従来法の後段に MF/UF 膜を用いた再生水を修景用水利用する場合には，大腸菌群数がほとんど検出されないことから，塩素消毒を省いて直接利用することができる。ただし，水洗用水利用する場合等では残留塩素の規定（前掲表 5-1，表 5-2参照）があることに留意する。

5.3.7 膜処理に伴って発生する濃縮水の処理

膜処理に伴って発生する濃縮水について，処理場施設の運転状況に応じて返流対策の検討を行う。

大量の下水処理水を NF/RO 膜で処理する場合においては，高濃度の塩分や難生物分解性有

機物を含む濃縮水が大量に下水処理施設に返流され，下水処理機能に支障をもたらすこと，放流水の水質基準を遵守できないことが懸念されるため，対策を講じる必要がある。

対策例としては，供給水量の見直しや，再生水の原水供給系列と濃縮水の返流系列を別系統とすること，濃縮水の単独処理（活性炭，促進酸化等）を行うこと等が考えられる。

5.3.8 運転管理における留意事項

再生処理の主体となる膜処理（MF/UF 膜，NF/RO 膜）工程の運転管理には，再生水を安定して供給するための原水及び再生水の水量・水質管理のほか，特に，膜のファウリング（目詰まり）の抑制，閉塞・劣化の監視及び発生した場合の薬液洗浄等による対応が重要である。

主体となる膜処理（MF/UF 膜，NF/RO 膜）の原水には，二次処理水，高度処理水，砂ろ過水，MBR 処理水等が想定され，それぞれの性状や使用する膜の種類・特性により，ファウリングの発生状況が異なり，それを抑制するための設備や運転条件は多様である。

ここでは，下水処理水を原水とし，膜処理（MF/UF 膜，NF/RO 膜）により再生処理する場合の一般的な運転管理と，近年の技術開発や調査事例等における運転管理の概要について示す。MBR の運転管理については，第 3 章 3.3 を参照のこと。

(1) 原水及び再生水の水量・水質管理

・主体となる膜処理が NF/RO 膜の場合，原水の供給量の設定には，原水水質，目標再生水質，再生水量の回収率等を考慮したうえで，流量一定制御，圧力一定制御などにより，自動制御運転が行われている[44]。需要量の変動に対しては，一定の範囲で透過流束（フラックス）を変動させることで操作する。

・NF/RO 膜の原水水質管理は一般的には FI 値※34が用いられるが[45]，前段の処理が MBR による場合には FI 値が安定するため運転管理が容易になる。

・再生水質のモニタリングは，用途別の水質基準項目について目標を達成しているかを確認する必要がある。

(2) 膜のファウリングに関する運転管理

1) 膜のファウリング抑制

・ファウリング抑制するための処理には，従来用いられてきた凝集沈殿，凝集ろ過などがあるが，近年では，塩素注入，スケール抑制剤の添加などが一般的であり[44]，その他に前オゾン処理[11),46)]，UV 処理[45)]などの事例もある。

・ファウリング抑制方法や薬液の注入率等の操作条件は，原水水質，膜特性，目標再生水質等を勘案して選定する。なお，RO 膜処理では，MF/UF 膜処理をファウリング抑制処理設備とするフロー[46),47)]もある。

[34] FI：Fouling Index，膜へ供給する水の微量の濁度を表す指標

2) 膜の閉塞･劣化の監視

・膜の閉塞や劣化の監視方法は，透過水量，膜差圧，透過流束などを目安として，膜の薬液洗浄や交換の判断基準としている。膜の損傷には透過水質などを監視する[46]。

・膜が劣化・破損した場合に運転を復旧させるまでの交換所要日数，交換頻度，交換率等を記録し，運転停止の期間を把握する必要がある。

・運転停止による再生水量の低下を補完するための運転対応をあらかじめ選定しておく必要がある。

3) 膜の薬液洗浄

・膜の薬液洗浄方法や使用する薬液は，ファウリングの原因が無機スケールによるもの，バイオファウリングによるものなどによって異なり，無機スケールによる場合はシュウ酸やクエン酸，バイオファウリングによる場合はアルカリ剤や次亜塩素剤等を使用[44),46)]して，自動化されている場合が一般的である。ただし，膜の材質によっては，使用する薬液により劣化が進行する場合があるので留意する（MBR の薬液洗浄については，第 3 章 3.3.4 参照）。

・薬液洗浄の頻度は，ファウリング抑制方法等の実態により異なるが，オゾンを前処理とした MF 膜で 2～4 回/年，凝集を前処理とした MF 膜で 1～2 回/月，凝集+MF 膜を前処理とした RO 膜では 1 回/月程度の事例[46)]がある。

(3) その他の事項

・送水過程での水質変化（NH_4-N が残存する場合の残留塩素，N-BOD）や，再生水供給先でのトラブル（色，臭い，藻類，ユスリカなどの発生）等に留意する（「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」[41)]参照）。

5.4 サテライト処理 MBR システムの検討

5.4.1 サテライト処理 MBR の効果

サテライト処理における再生処理施設に MBR を導入することで，サテライト処理によるコスト縮減効果等をさらに拡大することが期待できる。

(1) サテライト処理システムの概要

サテライト処理システムは，下水処理場に至る前の下水管等から下水を取り込む中間処理施設を設置し，遠隔地での再生水の活用を図るもの（図 5-7参照）である。また，サテライト処理に伴って発生する汚泥等の処理は，個別には行なわずに下水管を通じて移送し，中核となる下水処理場で集約処理する。再生水の供給先が下水処理場から遠方にあり，送水距離が長くなる場合には，供給区域近傍の下水管等より下水を直接取水し，再生処理までを行い供給するサテライト処理システムの採用が有利となる場合がある。

わが国の再生水利用の実績では，再生水の供給先は，送水のコスト面より下水処理場周辺の地区に限られていることが多い。上記のサテライト処理システムの導入により，再生水の供給可能な地域が広がることや低コスト化が可能となることで，再生水利用のニーズを拡大する効果が期待されている。

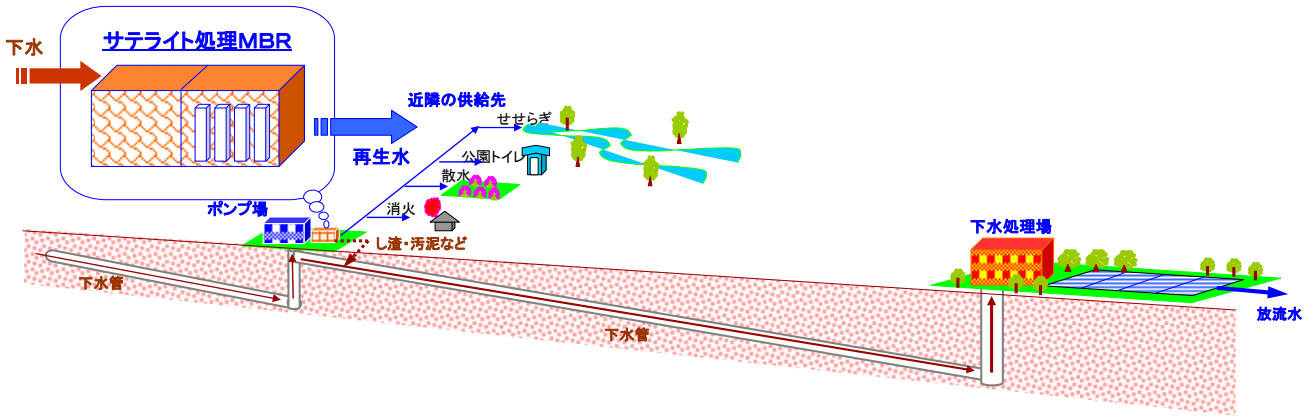


図 5-7　サテライト処理による再利用のイメージ

ただし，サテライト処理施設が従来の生物処理と後段の砂ろ過等の組み合せによる方法では施設が複雑化し，実現性が低いため，以下には，サテライト処理 MBR システム特有の効果と，検討・留意事項について示す。MBR の検討・留意事項は第 3 章を，MBR の後段に RO 膜等を付加する場合の検討・留意事項は前項 5.3 を参照。

(2) サテライト処理 MBR の効果

サテライト処理 MBR の導入により，送水コストの削減や，処理水質が修景用水等に利用する場合の水質基準を十分に満足しており，用途によってはそのまま再利用が可能であること，省スペース（比較的設置面積が小さい従来法の単槽無酸素好気法に比べ 2/3 程度）の設備であること等から，再生水利用に要する総コストの縮減効果が期待できる。

MBR は，従来の生物処理技術に比べ，

①生下水の水質変動に対する処理水質の高度化・安定化

②再生処理施設のフローの簡素化（ストレーナ，砂ろ過等の後段処理の省略）

③維持管理の容易化（遠方監視・制御による無人運転の可能性）

④スペースのコンパクト化（中継ポンプ場内等に設置が可能）

⑤一定範囲の需要量変動に対して容易な操作で対応可能（再生水質を悪化することなく，透過流束を 1.5 倍程度まで上げて対応が可能）

等の利点がある。

また，再利用用途をさらに拡大する目的で，MBR の後段にオゾン処理設備や RO 膜設備を設ける場合にあっても，前段処理設備を必要としない等の効果が期待できる。

愛知県見合ポンプ場内に設置されたサテライト処理 MBR の実証試験装置を，図 5-8に示す。

（処理規模:240～360m^3/日）

図 5-8　愛知県見合ポンプ場内に設置されたサテライト処理 MBR 実証試験装置

5.4.2 サテライト処理 MBR に関わる検討事項･運転管理における留意事項

サテライト処理 MBR の導入と運転管理に際し，再生水の水量及び水質を安定して供給するため，原水（生下水）の水量確保や水質変動及び再生処理に伴って発生する汚泥，膜洗浄排水の取扱い，設備配置等について，検討・留意することが必要である。

(1) 原水量の確保

サテライト処理 MBR の原水は下水管内を流下する生下水であり，上流側の排水区域面積が小さくなると日間の流下水量の変動は大きくなるため，夜間の最低流量を把握したうえで再生水供給水量及び再生処理施設の能力を検討する。

(2) 原水水質の変動

上流側の排水区域面積が小さくなると日間の水質変動も大きくなるため，負荷変動等について事前に把握する必要がある。水質の変動を抑えるためには，MBR 設備の前段に沈殿池あるいは流量調整タンク等を設ける方法がある。なお，再生水量に比べて流下水量が十分にある場合には，流量調整タンクを設置して，水質が比較的低く安定している時間帯に必要水量を取水する方法も，サテライト処理では可能である。

(3) サテライト処理 MBR からの発生汚泥，膜洗浄排水等の取扱い

再生処理に伴って発生する汚泥，膜洗浄排水等を下水管に返送する場合には，下水管内での汚泥・し渣の堆積とその腐敗に伴う設備の腐食や臭気の発生等による障害に留意する。特に，下水管の流下水量に比較して再生水量が多い場合には，取水下流部の状況について注意が必要である。

①返送先の下水管において，汚泥やし渣が堆積する可能性があることから，下水管の下流側に，たわみ・たるみ等の勾配不良や伏せ越しなど堆積しやすい場所がないか留意する必要がある。

②既存のポンプ井や返送先の下水管において，汚泥やし渣が堆積し腐食等の事象が生じる可能性がある場合には，既存施設の改造等の措置を講ずるほか，汚泥の引き抜き，揚水の頻度や時間の調整について考慮する必要がある。

③返送先の下水管等の施設において，腐食が生じる可能性がある場合には，防食対策や臭気対策を検討する必要がある。

(4) 設備の配置

①取水ポンプの位置は汚泥等の返流水が混入しない位置とし，かつ，取水ポンプ以降の各設備の配置は可能な限り自然流下で流れるように配置する。サテライト処理 MBR の設備配置（中継ポンプ場内）の例を図 5-9 に示す。

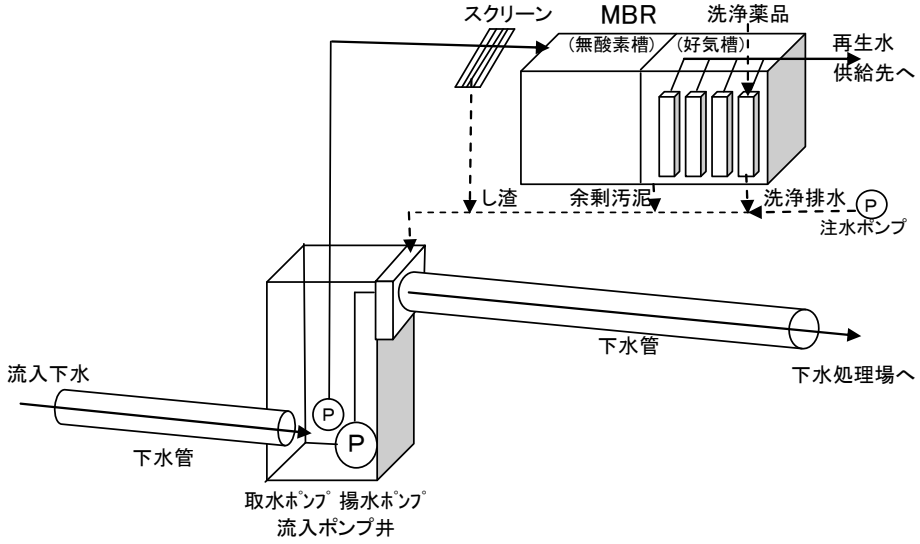


図 5-9　サテライト処理 MBR の設備配置（中継ポンプ場内）の例

②汚泥・し渣等は自然流下で移送することを原則とし，注水設備等について検討する。

③サテライト処理 MBR が住居地域や公園等に隣接する場合には，騒音や臭気を発生する設備については屋内とする等，防止対策について検討する。

④電気・計測設備は機側配置を原則とするが，自動監視・制御を行なう場合を含めて検討する。

5.5 コスト検討例

再生水利用のための膜処理技術導入のコスト検討においては，再生水の利用用途や水質等に応じた処理フロー，需要地までの送水コスト，及び，サテライト処理での用地確保等を十分に検討し，既存施設を活用する場合とサテライト処理場を新設する場合のコスト比較を行うとともに，同等の性能が得られる従来法を適用する場合とのコスト比較を行う。

5.5.1 コスト検討の基本的な考え方

MBR を含めた膜処理技術を再生水利用に導入する際のコスト検討では，処理フロー，需要地までの距離及び送水コスト，サテライト処理が想定される場合はその用地確保の可能性等を検討し，既存の処理施設を活用する場合とサテライト処理場を新設する場合それぞれについて，建設費，維持管理費等につきコスト比較を行う。このとき，膜処理技術を導入する場合と同等の性能が得られる従来法についても併せて比較する。なお，新たな用地の取得が必要な場合は，用地費を含めるものとする。

膜処理施設導入コストの検討にあたっては，採用する技術や現場条件によりコストに大きな差が生じる可能性があることを考慮するとともに，最新の情報を活用する必要がある。なお，建設費，維持管理費ともに，今後膜処理技術の市場拡大や技術開発の進展により，更なる低コスト化が期待される。

本ガイドラインでは，仮想条件下におけるケーススタディを通じ，コスト検討を行う際の参考となる情報を例示する。本ケーススタディは，下水道膜処理技術会議に WG を設置し，参画委員 7 社の協力を得て実施した。

5.5.2 ケーススタディ検討条件

複数の再生水利用目的（水洗用水，修景用水，親水用水および工業用水）に対し，「既設処理場を活用した場合」及び「サテライト処理施設を新設した場合」について，MBR・従来法のそれぞれについて LCC を試算・比較する。いずれの場合についても，再生水の造水量は 500m^3/日とする。

既存施設を活用する場合においては，既設下水処理場（処理方式：標準活性汚泥法）の二次処理水について，後段処理工程を追加して再生水を造水する場合のコストを試算した。

サテライト処理を実施する場合においては，再生水需要地に近い中継ポンプ場に，新たにサテライト処理施設を建設するものとして検討し，MBR と従来法それぞれのコストを検討した。なお，従来法として，小規模向けに実績ある処理法のうち，安定的に有機物除去が可能で，かつ，最初沈殿池を必要とせず比較的省スペースな処理法である「長時間エアレーション法（単槽式無酸素好気運転)」を検討対象とした。

検討ケース及び各ケースにおいて必要となる後段処理プロセスについては，再利用水質基準[41)]に基づいて設定した。なお，ケーススタディでは用地費は考慮しないものとした。

表 5-10 検討ケースと後段処理一覧(再生水利用)

処理方法＼再生水利用用途		水洗用水	修景用水	親水用水	工業用水
既設処理場の活用	従来法(標準法)＋後段処理	急速ろ過＋塩素消毒	急速ろ過＋UV	凝集沈殿(同時凝集)＋急速ろ過＋オゾン＋塩素消毒	急速ろ過＋MF＋RO
サテライト処理場の新設	MBR＋後段処理	塩素消毒		オゾン＋塩素消毒	RO
	従来法(長時間エアレーション法※)＋後段処理	急速ろ過＋塩素消毒	急速ろ過＋UV	凝集沈殿(同時凝集)＋急速ろ過＋オゾン＋塩素消毒	急速ろ過＋MF＋RO

※ 長時間エアレーション法（単槽式無酸素好気運転）

表 5-11 検討条件(サテライト処理場の新設)

項目		検討条件
検討対象		● 再生水需要地に近い中継ポンプ場に，新たにサテライト処理施設(処理水量500m^3/日)を建設するものとする
検討範囲	土木建築	● 土木躯体はコンクリート製とする ● 管廊等の機器等設置スペースも検討の範囲内(極力コンパクトな設計)とする ● 送風機設備や電気設備等を建屋内に設置する必要がある場合には，建屋も含む
	水処理設備	● 反応タンク設備(膜分離装置，攪拌機，ポンプ類等)，MBR 処理に必要な全ての付帯設備(送風機，膜洗浄設備，凝集剤添加設備等)を検討範囲とする ● 脱臭設備は検討の対象外とする ● MBR 機械設備の制御盤は水処理設備に含める ● 既設との取り合いは考慮せず，送風機室等は独立して設けるものとする
	電気設備	● MBR 設備を運転するための動力設備，計装設備，制御設備を検討し，既設との取り合い(受変電設備等)は考慮しない
	その他	薬液洗浄により再生水が送水できない時間を把握するため，薬液洗浄の方法・頻度・時間等を各参画委員が明示する
処理水量		500m^3/日
流量の日間変動		流量変動はなく一定とする

表 5-12 設計水質(再生水利用)

水質項目	流入水質	目標処理水質(MBR)	目標処理水質の例(後段処理後)			
			水洗用水	修景用水	親水用水	工業用水
BOD (mg/L)	200	10	10 以下	10 以下	10 以下	10 以下[注1]
S-BOD (mg/ L)	100	-	-			-
SS (mg/ L)	180	-	-			-
T-N (mg/ L)	35	10	-	10～20[注1]	10～20[注1]	10～20[注1]
T-P (mg/ L)	4.0	-	-	1～3[注1]	1～3[注1]	1～3[注1]
大腸菌	-	-	不検出[注2]	-	不検出	-
濁度 (度)	-	-	2[注2]	2	2	10[注3]
色度（度）	-	-	-	40	10	-
残留塩素 (mg/ L)	-	-	遊離 0.1 or 結合 0.4[注2]	-	遊離 0.1 or 結合 0.4[注2]	-
全硬度 (mg-$CaCO_3$/L)	-	-	-	-	-	70[注4]
塩化物イオン (mg/L)	-	-	-	-	-	50[注5]

注 1 配管スライム発生抑制や栄養塩除去の観点から，必要であるとした。
2 下水処理水の再利用水質基準等マニュアル（2005，国土交通省）より。
3 工業用水の水質把握等調査報告書（2004，経済産業省）より，90%の事業所が満足すると考えられる水質を設定した。
4 工業用水の水質把握等調査報告書（2004，経済産業省）より，90%の事業所が満足すると考えられる範囲を採用した。
5 冷凍空調機器用水質ガイドライン（1994，日本冷凍空調工業会）より，冷却塔補給水の水質基準を採用した。

表 5-13　検討対象とした MBR システムの概要（再生水利用）

項目	結果概要
膜の種類	中空糸膜×4　平膜×2　セラミック膜×1
膜分離方式	浸漬型（一体型）×6　槽外型×1
生物処理方式	循環式硝化脱窒法×7　※凝集剤添加設備は 2 社で設置
前処理設備	流入スクリーン×7

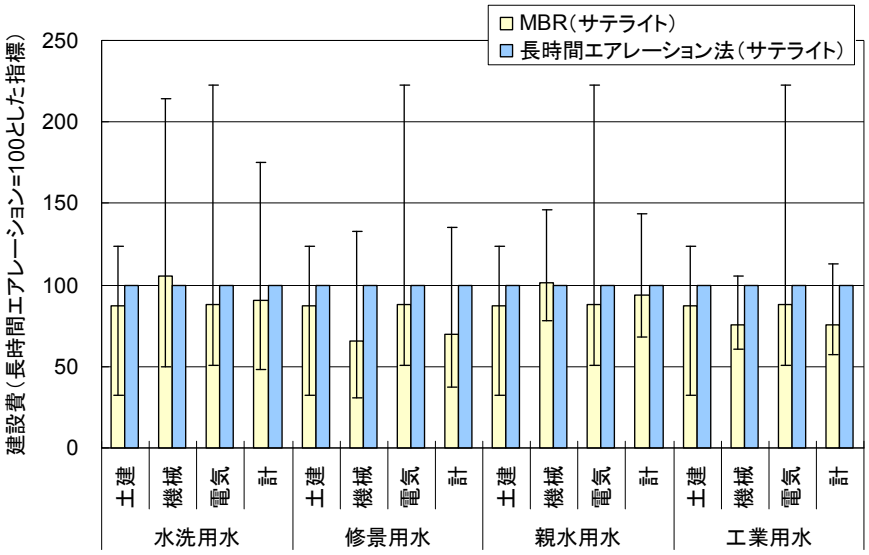
5.5.3 コスト試算方法

第 3 章（**3.4.4**）を参照のこと。

5.5.4 コスト検討例

試算結果は次のとおりである。なお，本検討においては，用地費については考慮していない。

1) 建設費

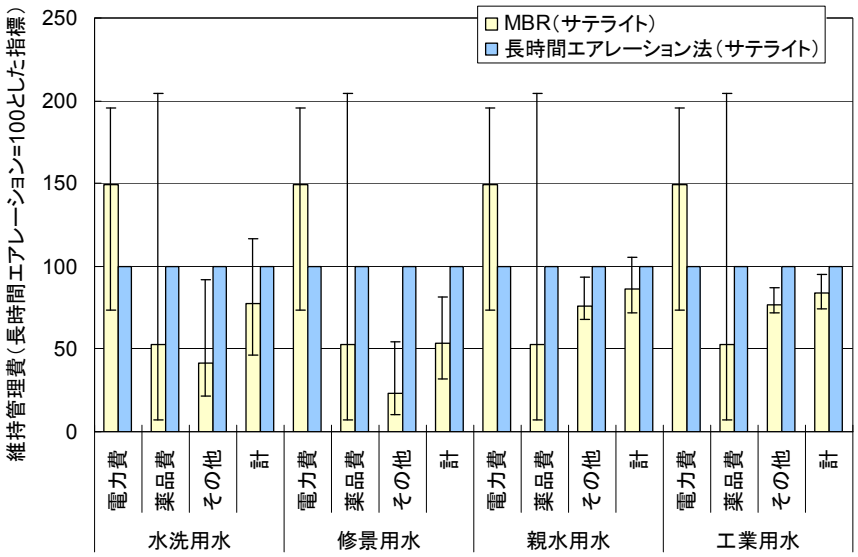


※長時間エアレーション法を 100 として比較。
図中，MBR の縦棒は中央値，バーは最大値･最小値を示す

図 5-10　建設費の比較（サテライト処理場の新設の場合）

- 土木建築に関わる費用は，MBR の省スペース性等から，従来法に比べ MBR がやや有利な傾向にある。
- 機械設備に関わる費用については，水洗用水や親水用水では，MBR でも塩素消毒やオゾン処理が必要となることから，従来法よりも高い傾向にある。修景用水では，MBR では後段処理が不要であることから，MBR が安価となる傾向にある。工業用水では，MBR は従来法で必要な「急速ろ過＋MF」の後段処理プロセスが不要になることから，MBR の方が有利となる傾向にある。
- 電気設備に関わる費用については，採用する MBR システムにより大きな幅があるものの，中央値で比較するとやや MBR の方が安価である。

2) 維持管理費

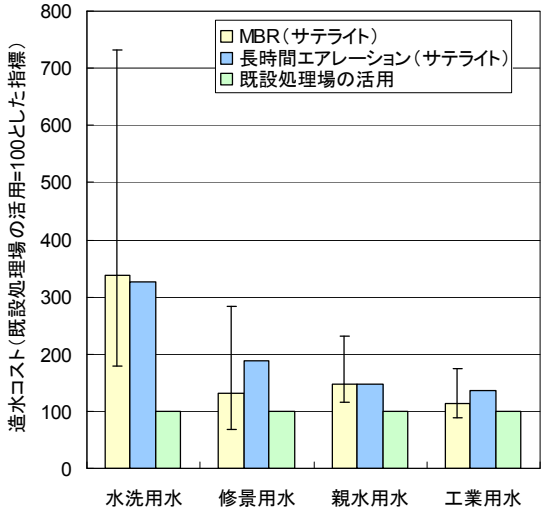


※長時間エアレーション法を 100 として比較。
「その他」には，補修費，後処理維持管理費を含む。
図中，MBR の縦棒は中央値，バーは最大値･最小値を示す

図 5-11 維持管理費（年あたり）の比較（サテライト処理場の新設の場合）

- 電力費は，いずれの再生水利用用途においても，MBR の方が従来法よりも大きい傾向にある。
- 維持管理費全体では，いずれの再生水利用用途においても，MBR の方が低い傾向にある。これは，MBR の方が後段処理のプロセスが少ないことなどに起因する。
- なお，MBR の「その他」には，膜交換費が含まれていないことに留意が必要である。

3) LCC



※既設処理場の活用を 100 として比較。
図中，MBR の縦棒は中央値，バーは最大値･最小値を示す

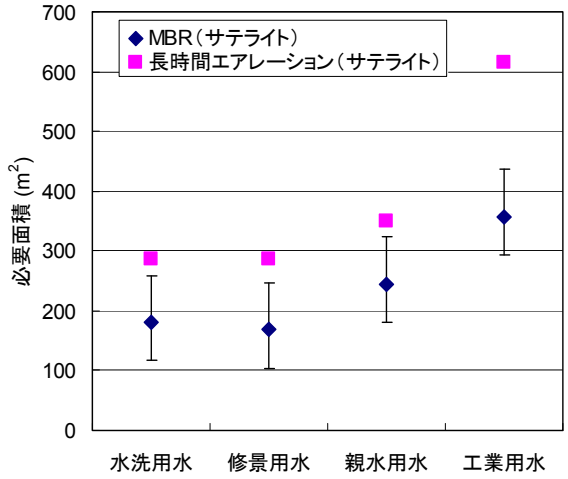
図 5-12 LCC の比較（既設処理場の活用を 100 として比較）

- MBR もしくは従来法でサテライト処理場を新設する場合の比較においては，採用する MBR システムによっては，従来法と比較して有利となり，従来法において後段処理のプロセスに関わるコストが比較的高価となる修景用水や工業用水では，従来法よりも MBR

の中央値が低くなる。

- 既設処理場を活用する場合との比較においては，既設処理場での後段処理のプロセスに関わるコストが比較的安価となる水洗用水では，MBR でサテライト処理場を新設する場合が大幅に高くなるが，後段処理プロセスにかかるコストが比較的高価となる修景用水や親水用水では，採用する MBR システムによっては，既設処理場を活用する場合よりも有利となる場合もある。

4) 必要面積



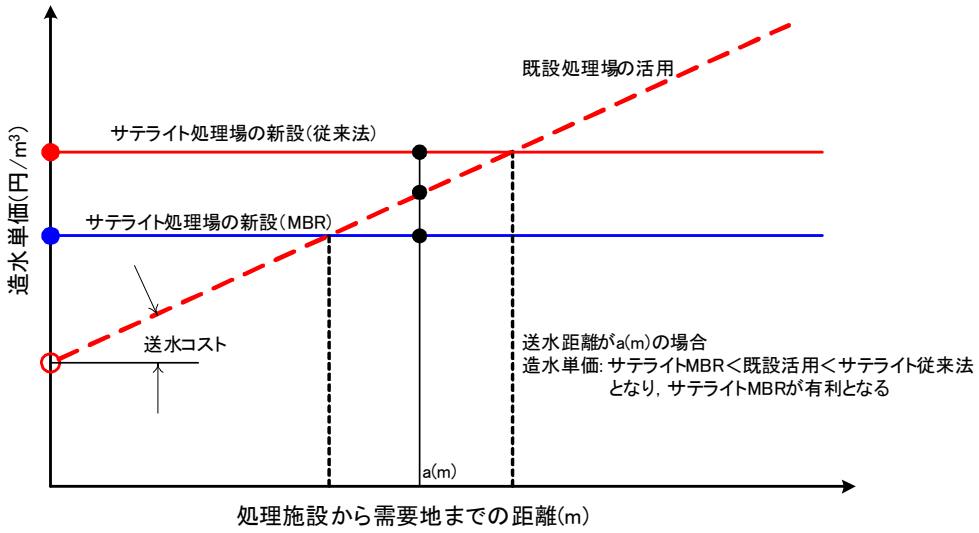
※MBR のプロットは中央値，バーは最大値･最小値を示す

図 5-13 必要面積の比較（サテライト処理場の新設の場合）

- 従来法でサテライト処理場を新設する場合と比較して，いずれの再生水利用用途においても，MBR の方が必要面積は小さくなる。

5) 需要地までの送水コストを含めた検討の必要性

実際の検討にあたっては，上記の造水コストに需要地までの送水コストを加味して，既設処理場を活用する場合とサテライト処理場を新設する場合で比較検討を行う必要がある。



※サテライト処理場の新設の場合，
施設計画によって，従来法による造水コストと MBR による造水コストは逆転することもある。

図 5-14 送水コストを加味したコスト検討のイメージ

6) 本コスト検討に関する留意点等

上に示すコスト検討結果は仮想的な条件による試算結果であるため，施設設計条件や今後の技術開発等により必要コストは大きく変動する可能性があること，及び表 5-14に示す事項に留意が必要である。

表 5-14 本コスト検討に関する留意点等（再生水利用）

本コスト検討結果に関して留意すべき事項	● 既存施設の敷地面積については考慮していないため，制約がある場合は，MBRが優位に評価される可能性がある。
本コスト検討の前提条件として留意すべき事項	（既設処理場の活用） ● 標準法を採用している既設処理場の二次処理水のうち 500m^3/日を再生水として造水するものとして試算した。 ● コスト検討では，後段処理を検討対象とし，取水ポンプ，脱臭設備，汚泥処理施設は対象外とした。 （サテライト処理場の新設） ● MBR では，前処理設備から再生水貯留槽までを検討対象とした（最初沈殿池はないものとした）。 ● 従来法では，最初沈殿池から再生水貯留槽までを検討対象とした。 ● いずれも，再生水需要地に近い中継ポンプ場に，新たにサテライト処理施設（処理水量 500m^3/日）を建設するものとして検討し，取水ポンプ，汚泥処理設備，脱臭設備は検討対象外とした。

.

【参考文献】

1) (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)
2) 稲森悠平ら，「排水･汚水　処理技術集成」，NTS，(2007.5)
3) 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)
4) (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)
5) (財)水道技術研究センター，「浄水技術ガイドライン」，(2000)
6) 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)
7) 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)
8) 国土交通省 都市･地域整備局 下水道部，平成 18 年度　安全性確保のための下水処理技術に関する調査報告書，H19.3(2007/3)
9) 国土交通省，下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会報告書，2010.3
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) (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)
12) 堀部晃，「都市空間に水と緑のオアシスを垂水処理場で「低圧逆浸透膜処理」」，下水道協会誌，Vol.44，No.534，pp23-26，(2007)
13) 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)
14) 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)
15) 一般社団法人膜分離技術振興協会提供資料
16) 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)
17) MBR-Network Webpage　(http://www.mbr-network.eu)
18) Nazim Cicek, Wenbo Yang,"Trends in Worldwide MBR Research and Commercial Applications in North America"Final MBR-Network Workshop Presentation handouts (2009.3)
19) 中国環境生態網 WebPage　http://www.eedu.org.cn/news/envir/epc/200908/38903.html
20) 中国環保交流網 WebPage　http://www.ep-ex.com/Technology/HTML/7209.html
21) 中国城鎮水網 WebPage　http://www.chinacitywater.org/bbs/viewthread.php?tid=112494
22) 中尾真一･渡辺義公ら監修「膜による水処理技術の新展開」，シーエムシー出版，(2004.9)
23) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構「膜分離活性汚泥法(MBR)技術に関する海外標準化動向等に関する基礎調査」H2010.3
24) 山本和夫監修，MBR(膜分離活性汚泥法)による水活用技術，サイエンス&テクノロジー，(2010.2)
25) 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 回日本水環境学会年会研究発表会講演集，p41，(1997.3)
26) 糸川浩紀，「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)
27) 国土交通省国土技術政策総合研究所，膜分離活性汚泥法の運転管理に関する現地調査業務報告書，H2010.2
28) 吉田眞一，柳雄介編，戸田新細菌学　改訂 32 版，南山堂，p547，(2004.1)
29) 国土交通省都市･地域整備局下水道部・(社)日本下水道協会，「バイオソリッド利活用基本計画（下水汚泥処理総合計画）策定マニュアル」，H16.3
30) 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)
31) 平山稚子ら，「微細気泡を導入した PVDF 平膜 MBR モジュール」，第 11 回日本水環境学会シンポジウム講演集，pp96-97，(2008)
32) 安中祐子ら，「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)
33) (株)クボタ提供資料

34）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)
35）国土交通省，膜分離活性汚泥法（MBR）MBR 一般評価 http://www.mlit.go.jp/report/press/city13_hh_000100.html
36）国土交通省国土技術政策総合研究所，膜分離活性汚泥法の管理手法に関する調査業務報告書，2010.2
37）(社)日本下水道協会，「下水道統計」，(昭和 63,平成 5,10,15,19,20 年度版)
38）クボタ環境サービス(株)，「既設下水処理施設の改築における膜分離活性汚泥法適用化実証事業報告書」，(2010.3)
39）Johannes Pinnekamp et al.，Membrane Technology for Waste Water Treatment，FiW Verlag，2006
40）(社)日本下水道協会，「日本の下水道　平成 22 年度下水道白書」(2010)
41）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)
42）(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)
43）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)
44）監訳委員会（浅野孝顧問，大垣眞一郎委員長），Water Reuse 水再生利用学－持続可能性社会を支える水マネジメント－，技報堂出版，(2010.11)
45）(財)造水促進センター，「造水技術に関する膜と水処理用語集」，(2009.5）
46）東京都再生処理設備ヒアリング資料
47）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)
48）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)
49）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)
50）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)
51）藤田賢二ら，「急速濾過・生物濾過・膜ろ過」，技報堂出版
52）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)
53）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)
54）Public Utility Board（Singapore）提供資料，(2008.6)
55）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)
56）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，ｐ280，(2008)
57）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)
58）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)
59）村田恒雄，「下水の高度処理技術」，理工図書株式会社，(1992.5)
60）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）
61）(財)水道技術研究センターWebPage（http://www.jwrc-net.or.jp/）
62）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)
63）安中祐子ら，「奥津浄化センター（下水）への MBR 導入経緯と運転状況」，第 11 回日本水環境学会シンポジウム講演集，pp103-104，(2008.9)
64）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)
65）(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)
66）(社)日本下水道協会，「下水試験方法」，(1997)

67）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―」，(2005.9)
68）(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構，「水ストレス地域における水資源ビジネスの可能性と技術開発課題に関する調査事業」，P136，(2008.3)
69）JSPS 科学研究費補助金　基盤研究(S)H17 年度採択（山本和夫教授研究概要）
http://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/12_kiban/c_gaiyo19/sum41_yamamoto.pdf
70）村上孝雄，「特集膜分離技術 Q&A　なぜ, いま膜分離活性汚泥法が必要なの？」, 月刊下水道, Vol.29, No.12，pp23-25，（2006）
71）武村清和，大西真人，村上孝雄，他，再利用を目的とした膜分離活性汚泥法の水質調査，下水道研究発表会講演集, Vol.40th(H15), pp685-687 (2003/06)
72）EPA, Wastewater Management Fact Sheet　Membrane Bioreactors,
http://www.epa.gov/owmitnet/mtb/etfs_membrane-bioreactors.pdf
73）村上孝雄 (日本下水道事業団)：研究最先端　(49)　膜分離活性汚泥法の技術評価について，季刊水すまし，No.115, Page.26-34 (2004.01.15)
74）三好太郎, 成瀬拓朗, 大給理江, 木村克輝 (北大 大学院工学研究科), 渡辺義公 (北大 環境ナノ・バイオ工学研究セ)：都市下水処理を行う MBR における膜ファウリング物質の起源，水環境学会誌，Vol.31, No.9, Page.541-548 (2008.09.10)
75）村上孝雄, 太田秀司, 金徳鎮 (日本下水道事業団)：ろ材や膜を利用した効率的な下水処理システムの開発に関する調査，日本下水道事業団技術開発部報，Vol.2003, Page.9-25 (2003)
76）神奈川県，(財)下水道新技術推進機構，「相模川流域水循環再構築に関する検討報告書」，(2003.3)
77）国土交通省都市･地域整備局下水道部，「下水道への膜分離活性汚泥法導入推進方策検討報告書」，(2010.3)
78）国土交通省都市･地域整備局下水道部，「膜分離活性汚泥法を用いたサテライト処理適用化実証事業報告書」，(2010.3)
79）山縣弘樹，「アメリカ･カリフォルニア州における下水処理水再利用について」, 下水道協会誌, Vol.44, No.537，pp50-57，(2007.7)
80）California Code of Regulations（TITLE 22. Social Security）
81）田中宏明，都市排水の畑地灌漑利用が及ぼす水循環系への汚染物質の移行に関する研究報告書，2006 年度
82）Membrane Bioreactors for Water Repurification – Phase I, Final Technical Report, City of San Diego, CA, Metropolitan Wastewater - Public Works, Desalination Research and Development Program Report No. 34, November 1998
83）Membrane Bioreactors for Water Repurification – Phase II, Final Technical Report, City of San Diego, CA, Metropolitan Wastewater - Public Works, Desalination Research and Development Program Report No. 60, November 2000
84）Optimization of Various MBR Systems for Water Reclamation -Phase III, City of San Diego, CA, Metropolitan Wastewater - Public Works, Desalination and Water Purification Research and Development Report No. 103, April 2004
85）State of Calidornia, Treatment technology report for recycled water, Division of drinking water and environmental management, December 2009
86）中空纤维帘式膜组件（Flat-plat hollow fiber membrane module）
中国全国膜分離標準化技術委員会 WebPage，http://www.mtc382.org/view_article.php?id=128
87）环境保护产品技术要求膜生物反应器（Technical requirement for environmental protection product Biomass separation membrane bioreactor），
中国環境保護部 WebPage http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201002/t20100212_185781.htm