
下水道膜処理技術ガイドライン（第1版）素案

平成20年6月11日

国土交通省国土技術政策総合研究所

目 次

1	膜処理とは	1
1. 1	膜分離技術の歴史	1
1. 2	膜分離技術の原理	3
1. 3	膜分離技術の適用範囲	5
1. 4	膜分離活性汚泥法 (MBR) の特徴	6
2	膜処理技術による課題の解決	8
2. 1	未普及対策	9
2. 2	稼働施設の再構築	10
2. 3	処理水再利用技術としての展開	11
2. 4	リスク低減技術としての展開	13
2. 5	次世代型 MBR	14
2. 6	その他	14
3	膜処理技術 Q&A	15
3. 1	MBR のコストは？	15
3. 2	膜の単価は？	17
3. 3	MBR の維持管理費は？	19
3. 4	膜の寿命は？	20
4	膜処理技術の実績	21
4. 1	下水処理 (国内)	21
4. 2	その他の排水処理 (国内)	22
4. 3	下水処理 (海外)	23

1 膜処理とは

1.1 膜分離技術の歴史

膜開発の主な歴史、膜分離活性汚泥法（MBR）開発の流れおよび膜適用の主な歴史は図1.1の通りである。

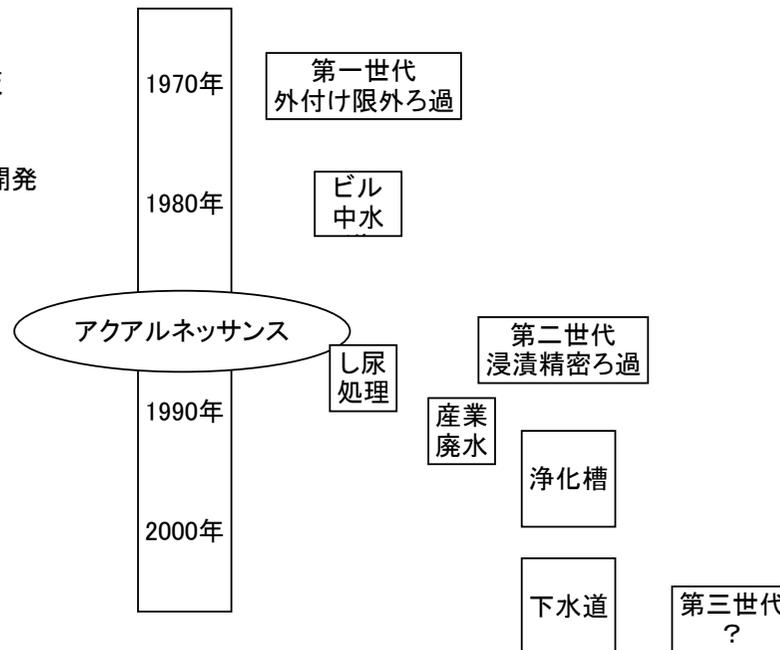
MBR は、現在、第二世代 MBR（浸漬精密ろ過）が実施として導入されている。

膜開発の主な歴史

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

※文献1)、文献2)より作成

MBR開発の流れ



※文献3)より作成

膜適用の主な歴史

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

※文献1)、文献4)、文献5)より作成

図 1.1 膜分離技術の歴史

1. 2 膜分離技術の原理

現在、多様な膜が開発されているが、MBR では通常 MF（精密ろ過）膜や UF（限外ろ過）膜が使用されている。MF 膜の孔径はシルトや大腸菌よりも小さいため、MBR では清澄で安全な処理水を得ることができる。

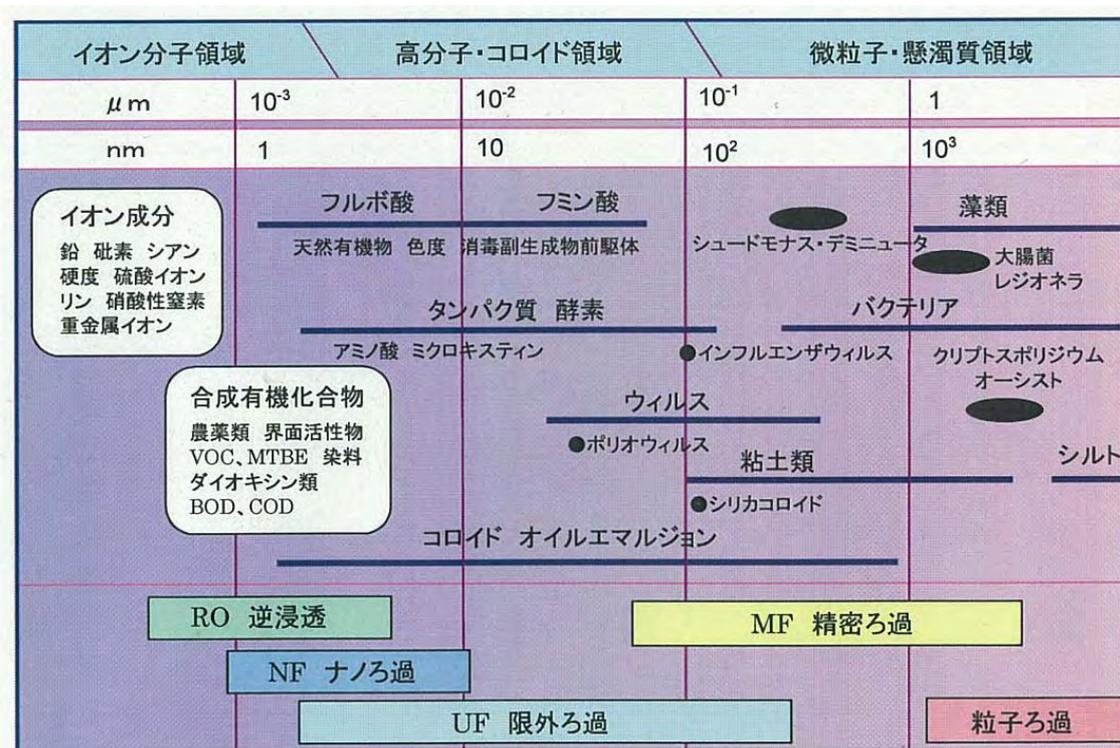


図 1.2 膜の種類と分離対象物質⁶⁾

MBR（浸漬型）における膜分離は、ろ過の継続による膜の閉塞を防止するため、膜下部からエアレーションを行い、気液混合流により膜面を連続的に洗浄しつつ、ろ過を継続する。

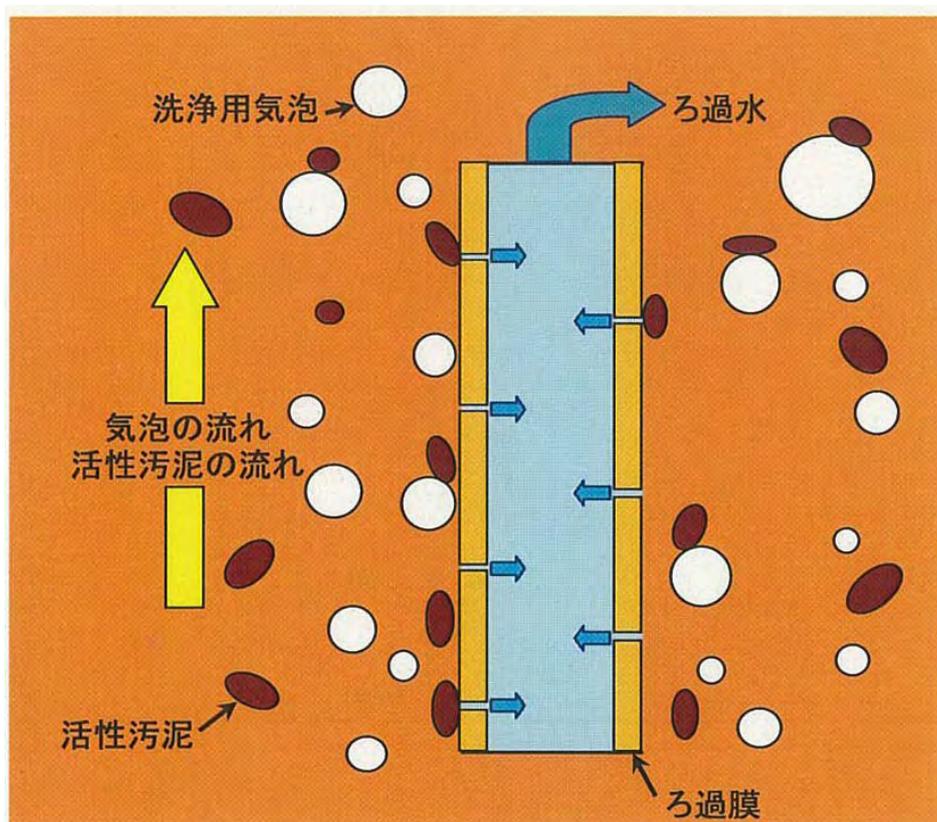


図 1.3 膜分離の概念図（浸漬型 MBR）⁶⁾

1. 3 膜分離技術の適用範囲

膜分離技術は幅広い分野において応用され、不可欠な技術となっている。

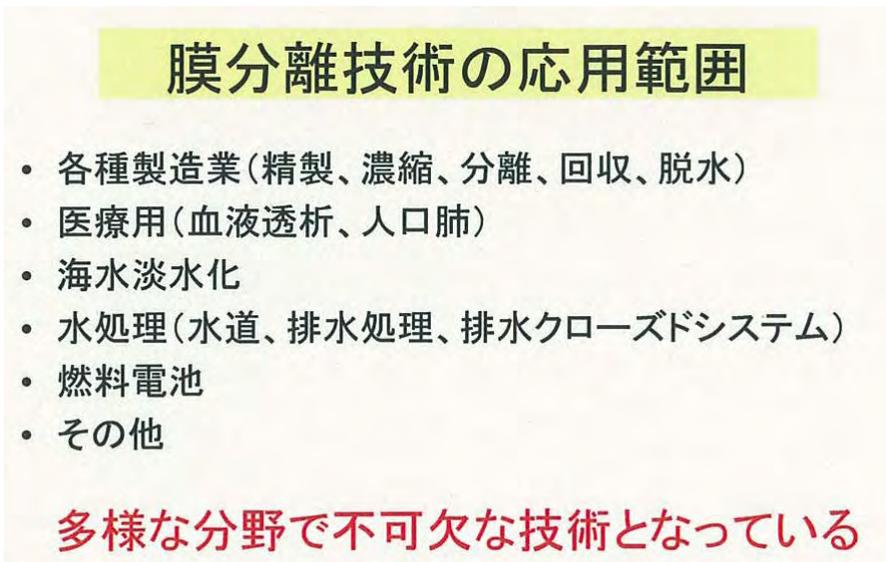
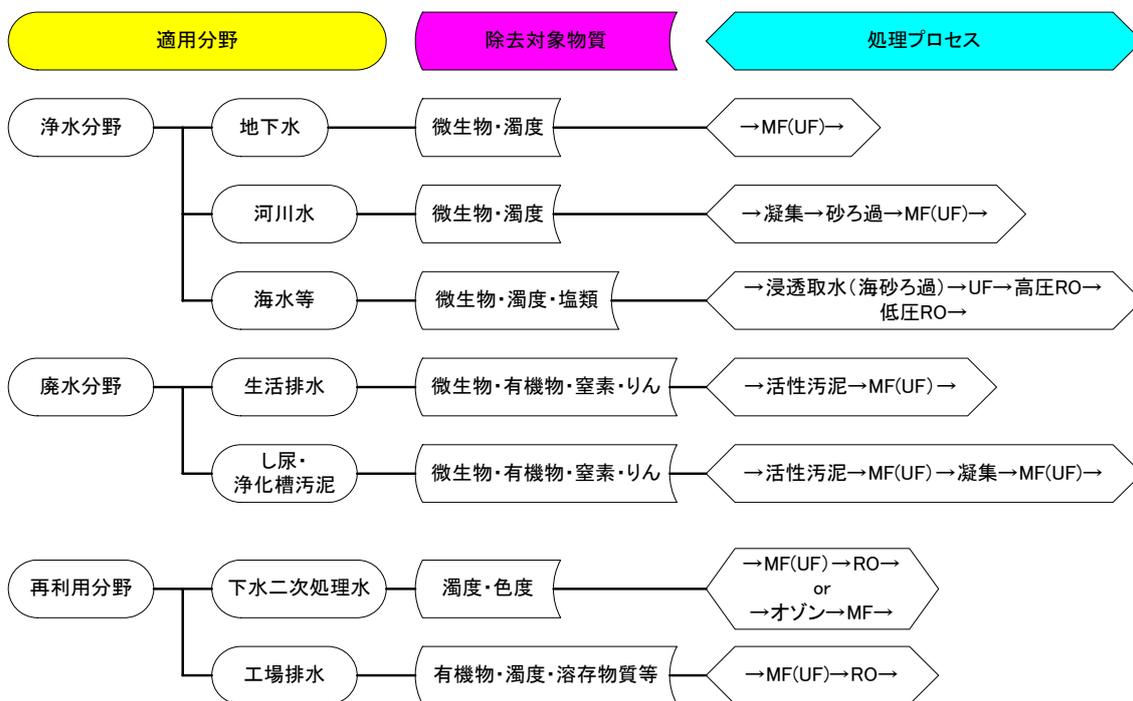


図 1.4 膜分離技術の応用範囲⁷⁾

浄水・廃水分野等における膜分離技術の主な適用分野と処理プロセスは次の通りである。



※文献 8)および文献 9)より作成

図 1.5 浄水・廃水分野等における膜分離技術の主な適用分野と処理プロセス

1. 4 膜分離活性汚泥法 (MBR) の特徴

MBR は大別してろ過膜の設置場所により、浸漬型、膜分離槽別置型および槽外型の3つの方式がある。

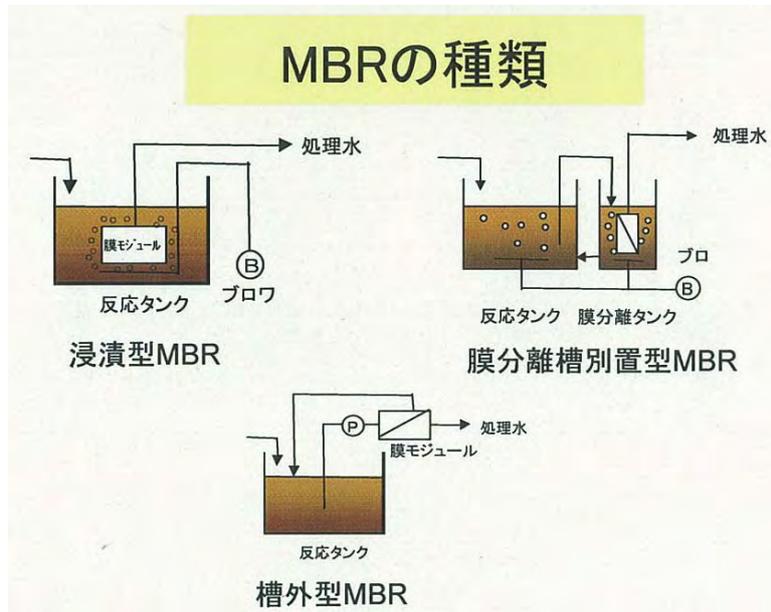


図 1.6 MBR の種類 7)

MBRでは、最初沈殿池、最終沈殿池及び消毒施設は不要となるため、シンプルな施設構成となる。

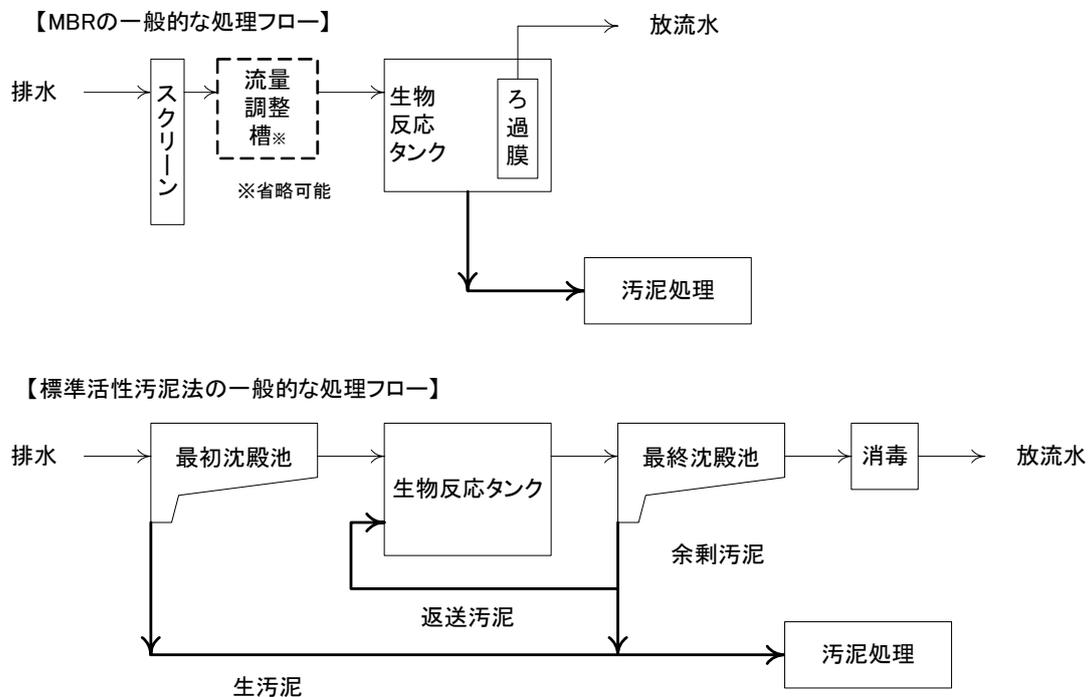


図 1.7 MBR と標準活性汚泥法における処理フローの比較

MBR は次のような特徴を有している。

表 1.1 MBR の特徴

<p>1 プロセス構成がシンプル 最初沈殿池、最終沈殿池、消毒施設、汚泥濃縮施設が不要！</p> <p>2 必要敷地面積を小さくする設計が可能 標準活性汚泥法の約7割の敷地面積も可能！</p> <p>3 活性汚泥の変動に対し柔軟性があり、汚泥濃度を高く保持することが可能 通常、8000～15000mg/L程度のMLSS濃度で運転するため、短い時間で処理が可能！</p> <p>4 処理水質が良好 処理水質には懸濁物質が含まれないため、SSや有機物濃度が非常に低い！</p> <p>5 窒素、りん除去が可能 長いSRTを確保できるため、安定した硝化反応が可能！ 高いMLSS濃度により持込DOの影響を受けにくく、安定した脱窒反応や生物学的りん除去も可能！</p> <p>6 消毒工程が不要 処理水中に大腸菌群はほとんど検出されない！</p>
--

※文献 1)より作成

2 膜処理技術による課題の解決

MBR によって次のような課題を解決することができる。

表 2.1 MBR によって解決できる課題

<p>1 活性汚泥を逃がしません</p> <p>①最終沈殿池が無いのでバルキング対策が不要であり水処理の管理が大幅に簡素化されます。</p> <p>②様々な有用菌を外部に漏らすことなく安全に利用でき、難分解性物質の分解などが可能です。</p> <p>③クリプトも大腸菌も出しません。消毒の省略も可能で、環境に優しい放流水になります。</p> <p>④もちろん再利用が可能です。</p> <p>2 施設がコンパクトになります</p> <p>⑤沈殿池が無くなることに加え、活性汚泥の高濃度化が可能で、反応槽も小さくすることができるので処理場の容量を大幅に削減することができます。脱水機の機種によっては余剰汚泥の濃縮も不要です。</p> <p>⑥膜の増減と活性汚泥濃度の調整によって同じ容量の施設で将来の処理水量変化に柔軟な対応が可能です。</p> <p>⑦土木施設の耐震化や増改築などの際に休止系列の処理能力を他の系列で代替させることが可能になります。</p> <p>⑧もちろん窒素・りん除去対応です。</p> <p>3 省力化が一層進みます</p> <p>⑨初沈、終沈が無く、設備はスクリーンと膜だけ。通常は処理水量、曝気量、汚泥濃度を管理するだけ。簡素化＋自動化で維持管理の省力化が進みます。</p> <p>⑩水処理系の臭気発生源が減少し、臭気対策が容易です。</p>

MBR は、単に水処理技術のひとつではなく、今後の下水道事業における様々な展開の核となるコア技術である。

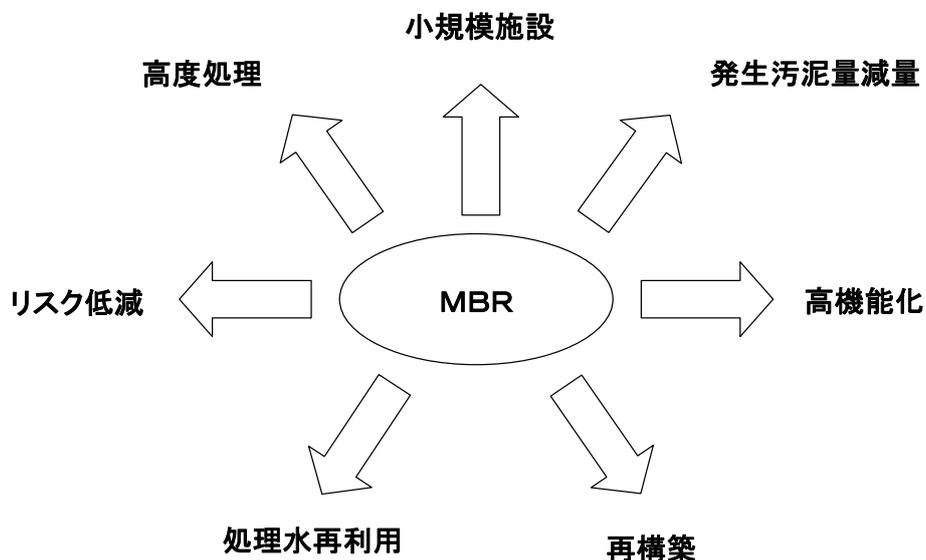


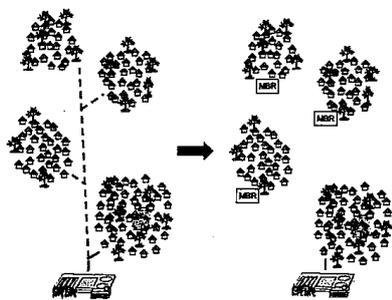
図 2.1 コア技術としての MBR

※文献 10)より作成

2. 1 未普及対策

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

- 分散型下水道システムへの適用を想定した、安価かつ短施工の極小規模 MBR の開発。
- 下水道未普及解消クイックプロジェクトに参画。



小規模分散型下水処理システムのイメージ

- 対象規模：300 m³/d以下。
- 処理フロー：従来 MBR を踏襲。
- 必要最小限の施設構成・予備機（例：管理棟無し、汚泥処理無し）。
- 迅速に設置可能。
- 将来の人口減への対応を考慮。
- 簡易な維持管理（例：遠隔監視）。

図 2.2 極小規模 MBR（分散型下水処理システム）の開発状況¹¹⁾

2. 2 稼働施設の再構築

大・中規模都市の既存下水処理施設の改築・更新に適用し、工期工費を縮減します。

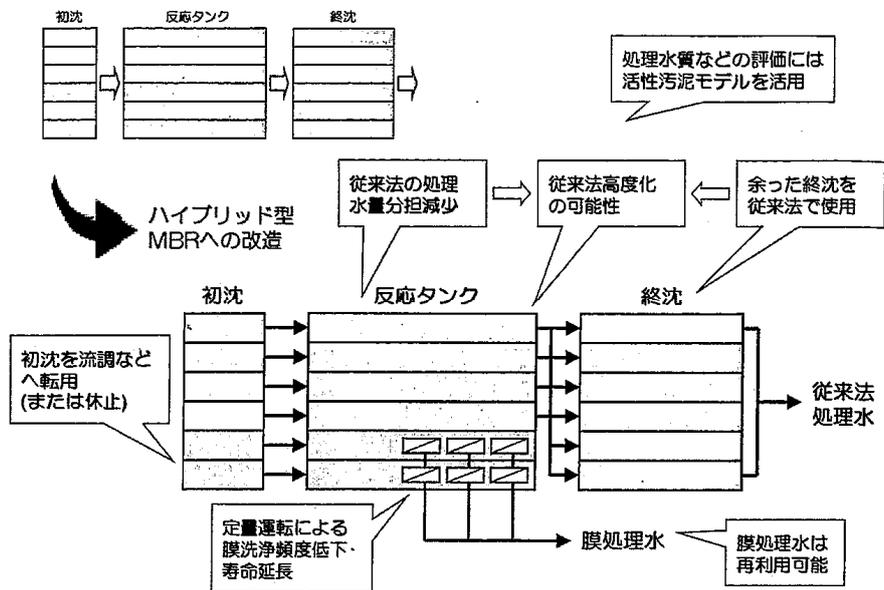


図 2.3 大規模 MBR（従来法とのハイブリッド）の開発イメージ¹¹⁾



図 2.4 大規模 MBR（膜分離ステップ多段法）の開発状況⁷⁾

2. 3 処理水再利用技術としての展開

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

表 2.2 再利用水の水質目標値と MBR 処理水の水質事例¹⁰⁾

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

色度除去も考慮してオゾン処理と膜処理を併用した事例を参考として示す。

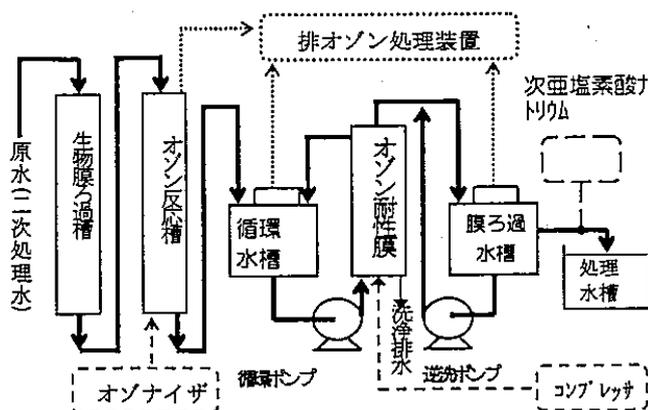


図 2.5 オゾン処理と膜処理を併用した処理フローの事例¹²⁾

表 2.3 オゾン処理と膜処理を併用した処理水の水質事例¹²⁾

対象サンプル	原水(二次処理水)	生物膜ろ過処理水	オゾン耐性膜処理水
分析項目			
外観	黄色いフロックが浮遊	黄色い微細なフロックが浮遊	無色透明
臭気	微カビ臭	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

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

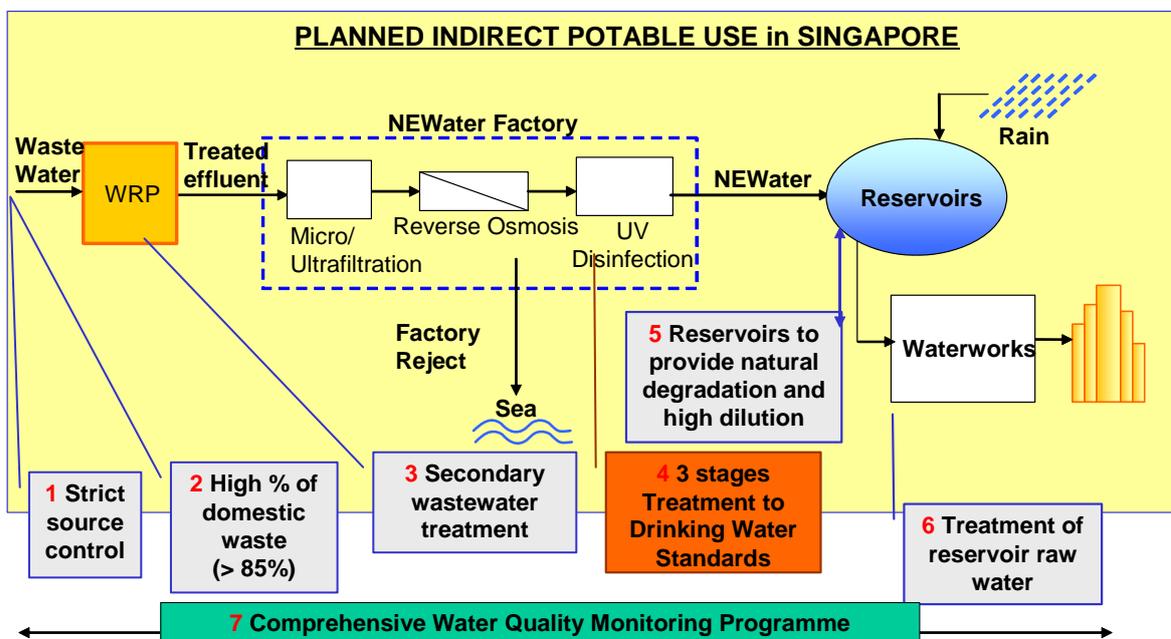


図 2.6 シンガポールにおける NEWater プロジェクトの全体像と処理フロー¹³⁾

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

表 2.4 RO 膜等を利用した下水再利用プラントの事例

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

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

※文献 14)より作成

2. 4 リスク低減技術としての展開

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

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

下水を通じて流入してくる抗生物質耐性菌を除去できるので、これらの拡散防止にも膜分離は有益であると考えられる。

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

※ クリプトスポリジウムに対しては、原水の汚染状況、最小感染量、および感染リスクから、 $4 \sim 5 \log_{10}$ (99.99～99.999%) 程度の除去性能が必要であると考えられているが、膜ろ過法では $6 \log_{10}$ (99.9999%) 以上の除去性能が得られている。

表 2.5 クリプトスポリジウムのオーシスト除去性能の事例¹⁵⁾

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

2. 5 次世代型 MBR

高度水質変換技術である MBR とエネルギー変換技術であるメタン発酵を同時に効率的に実現する嫌気性 MBR の開発が望まれる。

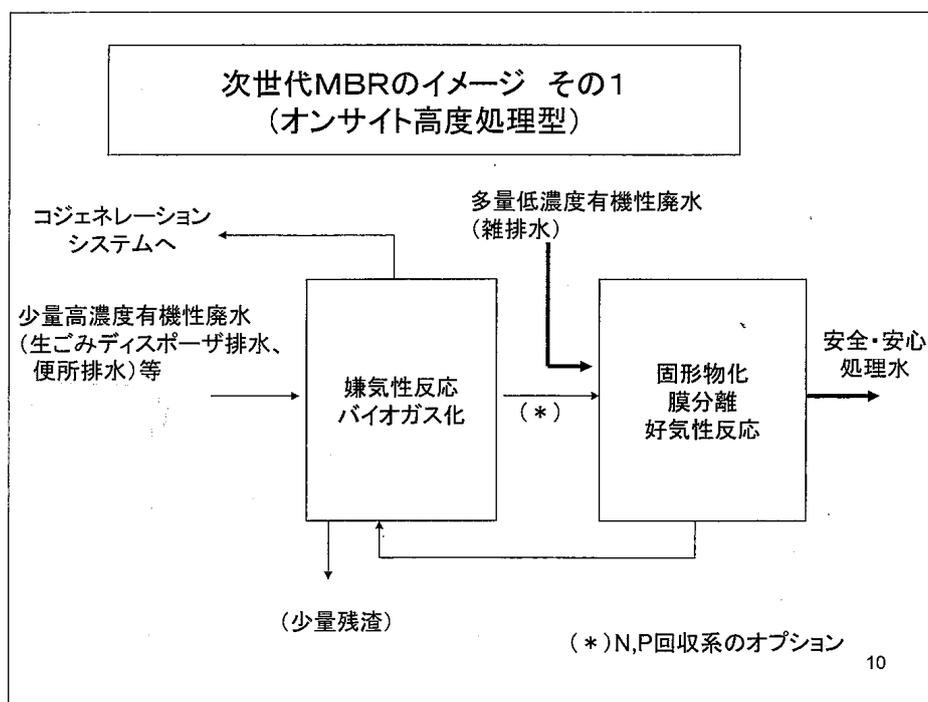


図 5.7 次世代型 MBR としてのエネルギー回収型 MBR の開発イメージ¹⁶⁾

2. 6 その他

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

ガス分離膜：酸素透過性の膜を反応槽内に設置し、膜を通して酸素を槽内の微生物に供給する。曝気動力の削減が目的。付着生物により酸素が奪われ嫌気化する問題の解決が鍵。

3 膜処理技術 Q&A

3.1 MBR のコストは？

MBR には次のようなコスト低減および増加要因を有している。

表 3.1 MBR の主なコスト低減・増加要因¹⁷⁾

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

MBR の建設費は、OD 法と比較して 3,000m³/日規模まで同等程度の経済性が得られる。

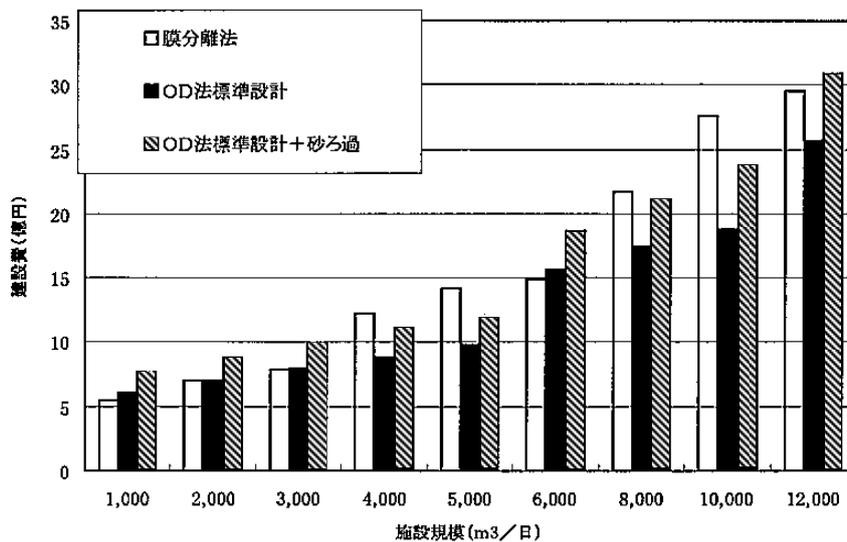


図 3.1 MBR の建設費 (対 OD 法等) : 平成 14 年度単価⁶⁾

MBRの1年間あたりの事業費は、OD法と比較して2,000m³/日規模まで同等の経済性が得られる。

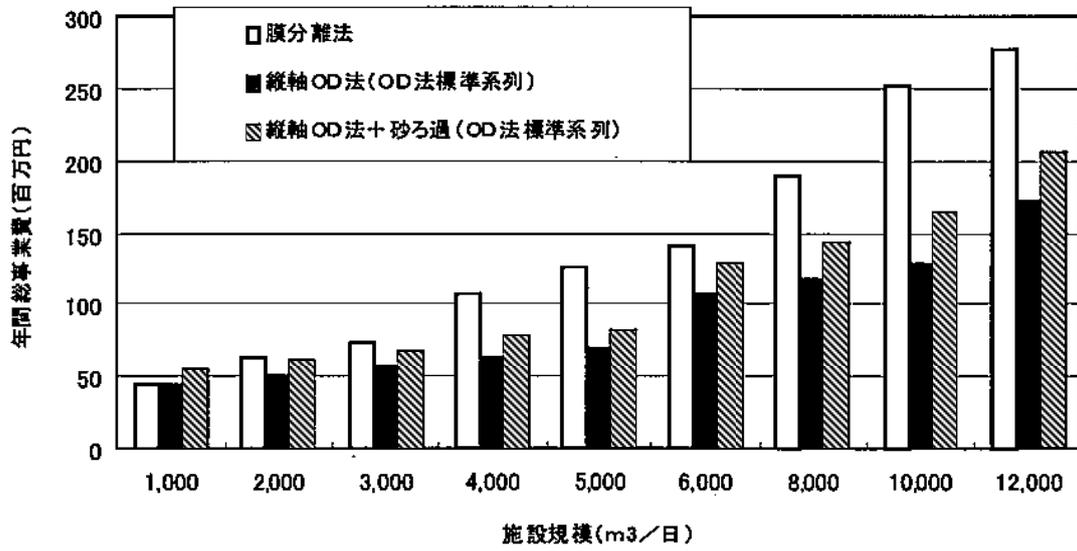


図 3.3 MBRの年間総事業費(対OD法等):平成14年度単価⁶⁾

3. 2 膜の単価は？

膜処理技術コストの主要因子の一つである膜コストについては、経年的に低下傾向が認められ、EUにおける膜コストは10年間(1994年から2004年)で約1/5に低下していた。

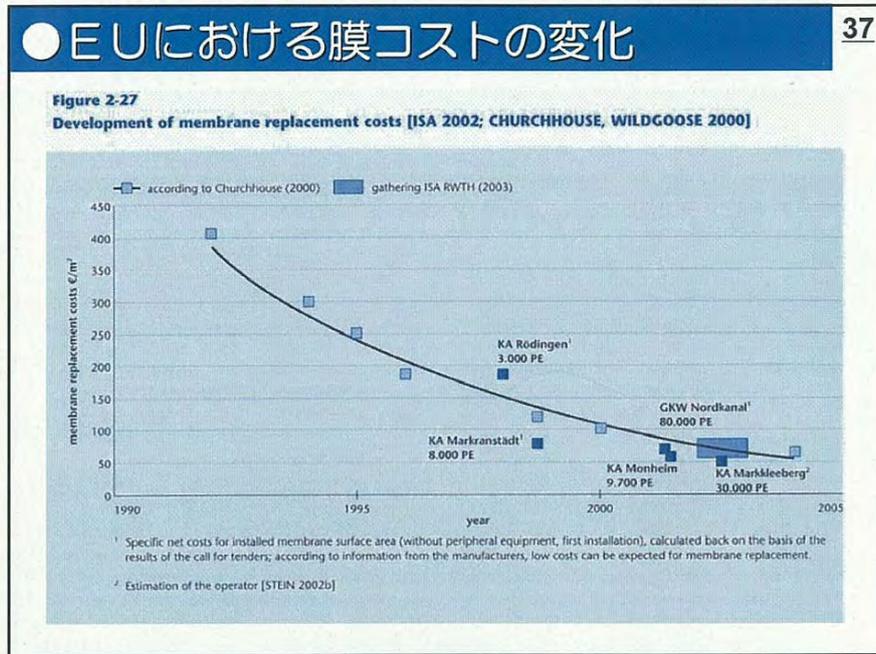


図 3.5 EUにおける膜コストの変化 7)

また、海水等を淡水化する施設*の契約数と造水コストの推移を参考として示す。施設契約数が経年的に増加するとともに、造水コストも 1991 年から 2001 年の 10 年間で約 1/3 に低下していた。

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



図 3.6 世界における海水淡水化施設契約実績の伸び¹⁸⁾

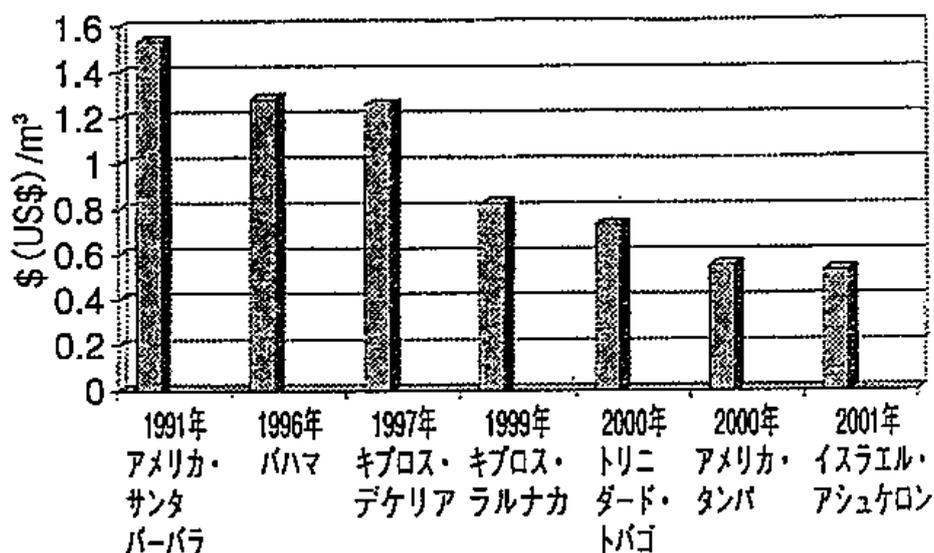


図 3.7 RO 膜海水淡水化プラントにおける造水コストの変移¹⁹⁾

3. 3 MBR の維持管理費は？

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

表 3.2 MBR の維持管理費の削減状況

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

※文献 20)より作成

3. 4 膜の寿命は？

ろ過膜は、エアレーションによる洗浄や薬品洗浄を行うことにより、必要な透過流束を確保しながら運転するが、長期間の間には洗浄を行ってもなお閉塞が残り、ろ過性能が低下してくる。このような状況ではろ過膜の交換が必要となる。英国での実績では 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。

表 3.3 膜使用年数と膜交換状況（英国での実績）⁶⁾

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

下記の報告によると、7年経過した 1998 年度納入施設において 50%近くが膜を全く交換しておらず、9年以上経過した 1996 年度以前に納入した施設においても 45%程度が膜を全く交換していなかった。

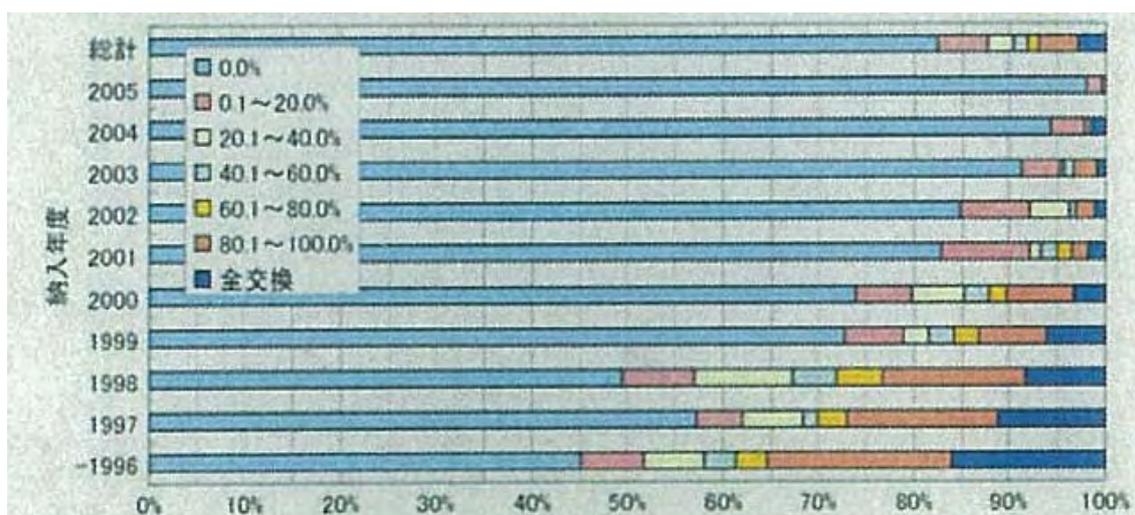


図 3.8 膜交換比率（産業排水処理施設と浄化槽）²¹⁾

4 MBRの実績

4.1 下水処理（国内）

国内の公共下水処理施設における MBR は、平成 17 年 4 月に兵庫県福崎町において初めて供用開始され、平成 20 年 5 月時点で約 3 年間の運転実績がある。その後、下表に示す 8 箇所において順次供用開始され、平成 20 年 5 月時点での供用実績は 9 箇所となっている。また、今後の 2 年間で新たに 2 箇所の処理場において供用開始される予定となっている。

表 4.1 公共下水処理施設への適用事例²²⁾

自治体	施設名	現有能力 m ³ /d	供用開始	メーカー	膜タイプ
福崎町	福崎浄化センター	2,100	H17.4.1	クボタ	平膜
橿原町	橿原浄化センター	720	H17.10	クボタ	平膜
鹿沼市	古峰ヶ原浄化センター	90	H18.4	クボタ	平膜
鏡野町	奥津浄化センター	281	H18.3	西原環境テクノロジー	中空糸状膜
雲南市	大東浄化センター	1,630	H18.9	クボタ	平膜
標茶町	塘路終末処理場	125	H19.5	クボタ	平膜
若狭町	海越浄化センター	230	H20.4	三菱レイオンエンジニアリング	中空糸状膜
浜松市	城西浄化センター	1,375	H20.3	神鋼環境ソリューション	中空糸状膜
沼津市	戸田浄化センター	3,195	H20.3	日立プラントテクノロジー	平膜
大田市	大田浄化センター	2,150	H21.3	クボタ	平膜
新宮町	中央浄化センター	6,060	H22.3	未定	未定

4. 2 その他の排水処理（国内）

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

表 4.2 国内の下水以外の排水処理施設における MBR の実績

施設	2002.4現在 (施設数)	2008.3現在 (施設数)
農業集落排水処理施設	23	30
浄化槽	850	1500
し尿処理施設	132	182
産業排水処理施設	809	多数
参考:上水道	280 [■]	586

■ 膜分離方式を採用している上水道施設の2003.4現在における施設数

※文献 6)および文献 7)より作成

4. 3 下水処理（海外）

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

表 4.3 海外の下水処理施設における MBR の導入事例

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

※文献 6)、文献 23)および文献 24)より作成

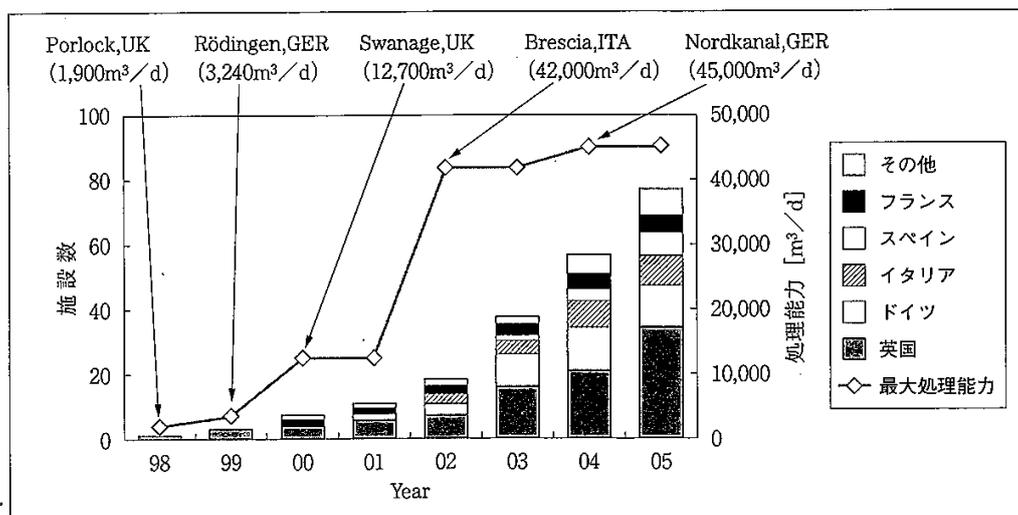


図 4.1 欧州の下水処理施設における MBR の採用数と処理能力の推移 ¹¹⁾

【 参考文献 】

- 1) 水循環の時代 膜を利用した水再生、(社)日本水環境学会・膜を利用した水処理技術研究委員会編、技報堂出版(2008年2月) p12,48～53(2008)
- 2) 膜分離技術振興協会：浄水膜セミナー資料(2006)
- 3) 山本和夫：ナノろ過膜分離バイオリアクター(NFMBR)を用いた分散型解放水循環技術、ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム 2004 SESSION5 p5-3-1～15(2004)
- 4) 綾 日出教：膜分離技術の変遷－膜分離活性汚泥法を中心として、水環境学会誌、Vol.22 No.4 p242～247(1999)
- 5) 土木研究所：下水道関係調査研究年次報告書集「下水の超高度処理に関する研究 (S48 と S58)」、「下水処理水の再利用に関する調査 (S61)」(1973,1983,1986)
- 6) 膜分離活性汚泥法の技術評価に関する報告書、平成 15 年 11 月、日本下水道事業団技術開発部 p2-1,2-3,2-7,3-2,7-17,7-21,7-22(2003)
- 7) 日本下水道事業団提供資料 (2008 年 3 月)
- 8) 長岡 裕：健全な水環境と水循環の創造のための膜技術の展開、水環境学会誌、Vol.29 No.7 p360～364(2006)
- 9) 濱野利夫：福岡の逆浸透膜海水淡水化施設、膜による造水技術シンポジウム 2005 p35～46(2005)
- 10) 村上孝雄：膜分離活性汚泥法の下水処理への応用、水環境学会誌 Vol.29 No.7 P7～11(2006)
- 11) 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、SESSION7 P7-1-1～20(2007)
- 12) 石田恵一：生物膜ろ過、オゾン、オゾン耐性膜からなる再生水製造システムの開発・導入、下水道協会誌 Vol.41 No.499 P31～36(2004)
- 13) Public Utility Board,Singapore 提供資料 (2008 年 6 月)
- 14) 浄水膜 (第 2 版)、有限責任中間法人膜分離技術振興協会・膜浄水委員会監修、浄水膜 (第 2 版) 編集委員会編集、技報堂出版 (2008 年 2 月) P11(2008)
- 15) 平田強：クリプトスポリジウム汚染と浄水処理、粉体と工業、Vol.34 No.3 P75～83 (2002)
- 16) 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 P7-3-1～17(2007)
- 17) 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 p23～25 (2006)
- 18) 平井光芳：海水淡水化技術 逆浸透膜法が急増し 52%に、地球環境 2008 年 2 月号 p84～85 (2008)
- 19) 辺見昌弘：低ファウリング RO 膜の大規模下排水処理への適用、用水と廃水、Vol.47 NO.4 p87～91(2005)
- 20) 村上孝雄：下水道への膜分離活性汚泥法 (MBR) の適用、用水と廃水 Vol.47 No.4 p48～55(2005)
- 21) 古山麻由子：既納入施設の膜交換状況 (前編)、㈱クボタ技術資料「Membrane Now!」 Vol.2 p5(2006)
- 22) 国土技術政策総合研究所 調査結果 (2008 年 5 月)
- 23) 糸川浩紀：特集膜分離技術 Q&A 膜分離活性汚泥法は小規模施設向けの技術なの？、月刊下水道 Vol.29 No.12 P30～32 (2006)
- 24) 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 P7-2-1～9(2003)