

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]

別冊 I 【付属資料】

目次

別冊 I 【付属資料】	1
1. 膜処理技術の導入検討にあたっての技術情報	1
1.1 膜を利用した処理技術	1
1.2 MBR 一般評価	3
1.3 JS 技術評価	7
1.4 膜コストに関する資料	12
1.5 再生処理施設の費用関数の例	13
1.6 MBR の膜ユニットの例	14
1.7 MBR 適用事例における配置例	15
1.8 膜処理技術を利用した再生水利用のための処理フローの例	18
1.9 廃棄膜モジュールの有効利用	20
2. 膜処理技術を用いた展開	21
2.1 コスト縮減に向けた膜処理技術の開発研究	21
2.2 NEDO 実証事業	23
2.3 膜処理技術の研究開発の事例	29
2.4 他機関における膜処理技術の研究開発の動向について	31
3. ケーススタディ参考資料	32
3.1 仮想既設処理場の詳細施設条件	32
3.2 ワーキンググループ参画委員提示の MBR システムの概要(既設, 新設)	35

1. 膜処理技術の導入検討にあたっての技術情報

1.1 膜を利用した処理技術

水中の固形物の分離は水処理の基本であり、古くから沈殿分離と機械的阻止（スクリーン及びろ過）法が使われてきているが、より微小の物質を効率よく除去する技術として、化学的凝集処理の併用が行われさらに 19 世紀中頃には、精密ろ過膜の均一な微細孔構造が発見され、限外ろ過現象や透析現象の発見も報告されている。

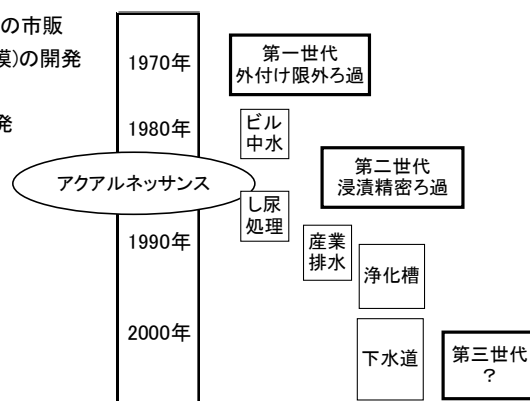
膜処理技術は、分離機能を持つ固体の膜を利用し、対象物質と溶液をその大きさで分ける（サイズ分離）という技術であり、MF、UF、NF/RO、透析と各種の方法があり、目的に適応した性質の膜を利用することにより、多様な物質の分離に適用できることが特徴である。排水処理の分野における膜処理技術の開発に関する主な流れは、図 I - 1 のとおりである。

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

MBR開発の流れ



下水道への膜適用の主な流れ

1967年 米国でMBRを小規模下水処理場に適用
(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～ アクアルネッサンス'90
1990年 (下・排水処理に関する研究)
1986年 土木研究所にて精密ろ過膜の研究開始

1998～ 日本下水道事業団と民間との共同研究
2003年 (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, 日本初)
2009年 ガイドライン[第1版]
2010年 国土交通省: MBR一般評価

図 I - 1 膜処理技術の開発の流れ 文献 11), 47)～50)より作成

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

日本における排水処理の分野では、1960 年代以降に膜の導入と適用が始められた。1970 年代に、下水処理水の再利用に関する膜処理技術の開発が開始され、1979 年に大阪市水道局庁舎内で中水道実験が行われたが、広く普及するまでには至らなかった。その後、1985 年に始まる「アクアルネッサンス'90 計画」による下水、排水への適用研究が進み、また、し尿処理施設においても、同時期より高負荷膜分離法の採用例が増えてきている。

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

1998 年以降、日本下水道事業団（以下「JS」という。）により最終沈殿池の代替え及び機能向上を目的とした膜分離活性汚泥法（Membrane Bioreactor：以下「MBR」という。）の下水処

理への適用に関する共同研究が開始され、2005 年、MBR を導入した公共下水道終末処理場の供用開始がなされた。また、2006 年から大規模処理場の改築・高機能化等の多様な目的に適した膜分離活性汚泥法の開発（共同研究）が行われている。

2010 年 2 月には、膜分離活性汚泥法の一般評価結果が公表され、計画放流水質区分の位置づけがなされた。詳細を次項（1.2）に示す。

1.2 MBR 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するため、2008 年度より水処理技術委員会（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、審議された。その結果、2010 年 2 月 22 日、同委員会より、下表左欄の処理方法に掲げる MBR については、一般的な下水に適用した場合、同表右欄に掲げる計画放流水質を達成できる、との評価が得られた。

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。

表 I - 1 一般評価

処理方法	計画放流水質（mg/L）		
	BOD	T-N	T-P
膜分離活性汚泥法 （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る）	10 以下	10 以下	—
膜分離活性汚泥法 （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限る）	10 以下	10 以下	0.5 以下

注釈

- 1 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すること。
- 2 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）。
- 3 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。

評価結果

I. 評価した処理方法の概要

1. 処理方法の名称

膜分離活性汚泥法（MBR : membrane bioreactor）

2. 定義

分離膜によって活性汚泥と処理水を分離することを特徴とする下水の活性汚泥処理法並びにその変法。

3. 膜分離活性汚泥法の特徴

3-1 処理原理とプロセス構成

本法は、従来の活性汚泥法では最終沈殿池において重力沈降によって行われる固液分離を微細な孔径を有する分離膜によって行うものであり、有機物の分解、有機態窒素の分解、アンモニア性窒素の酸化、脱窒等は活性汚泥によって行われる。分離膜としては、細菌がほぼ完全に分離できるもので、溶質である低分子物質は透過できる孔径の範囲にあるものとする。但し、膜透過のためのエネルギーを電位差によって得るものを除く。

本法の主な施設構成は、前処理施設と反応タンクおよび分離膜である。

3-2 施設構成上の特徴

- ①最終沈殿池は必要ない。
- ②反応タンクの MLSS を高くすることができる。
- ③流入量の変動に対し、流量調整池による均等化、反応タンクの水位調節、膜透過流束の制御等により対応しなければならない。
- ④最終沈殿池を省略し、反応タンク MLSS を高くして運転できることから、処理施設の必要容積を大幅に削減することが可能である。

3-3 処理機能上の特徴

- ①重力沈降による固液分離の制約がないため、反応タンク内の MLSS を高め、短時間で処理を行うことが可能である。
- ②SS より小孔径の分離膜を用いるので、処理水中に SS は原則として検出されず、透視度が高く清澄な処理水が得られる。SS 除去分だけ確実に良好な有機物除去が行われる。
- ③処理水中には大腸菌がほとんど検出されない。
- ④処理水をそのまま修景用水として利用することが可能である。また、残留塩素保持のために塩素を添加すれば水洗用水として利用できる。
- ⑤凝集剤の添加により高度なリン除去が可能である。

II. 一般評価の結果

1. 評価の対象とした技術

膜分離活性汚泥法のうち循環式硝化脱窒法の好気タンク内に分離膜として MF 膜を浸漬して設置する処理方法であり、凝集剤を添加して処理するものを含む。

2. 同等の技術の範囲

2-1 分離膜

分離膜には様々な素材のものがあるが、細菌がほぼ完全に分離できるもので、溶質である低分子物質は透過できる孔径の範囲にある膜を用いる場合は、同等の計画放流水質の区分にすることが可能であると考えられる。

2-2 分離膜の設置

分離膜の設置には、反応タンク内に浸漬設置するもの、反応タンクの一部を仕切って浸漬設置するもの、膜分離部分を反応タンク外に設置するもの等がある。いずれの設置方式においても同等の計画放流水質区分とすることが可能であると考えられる。

3. 水質区分

評価対象技術によって得ることができる処理水の水質は下表の計画放流水質区分に位置づけることが適当であると評価する。

評価を受けた処理方法と計画放流水質

処理方法	計画放流水質 (mg/L)		
	BOD	T-N	T-P
膜分離活性汚泥法 (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る)	10 以下	10 以下	—
膜分離活性汚泥法 (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限る)	10 以下	10 以下	0.5 以下

4. 留意事項

4-1 処理対象とする下水

家庭排水を主体とする一般的な都市下水とする。

4-2 汚泥の集中処理

当該施設から発生する汚泥の他、他の下水処理場からの汚泥を受け入れている施設（汚

泥の集約処理施設),あるいは合併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ような特性について留意すること。

4-3 酸素供給装置

活性汚泥の高濃度化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よう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こと。

5. 設計上の参考資料について

膜分離活性汚泥法の設計にあたって必要な数値(MLSSや膜の透過流束など)は,「膜分離活性汚泥法の技術評価に関する報告書」(2003年11月日本下水道事業団)や「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]」(2009年5月下水道膜処理技術会議)を参照すること。

6. その他の膜分離活性汚泥法について

一般評価による区分が定められるまでの間,その他の膜分離活性汚泥法(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,膜分離活性汚泥法を現行の下水道法施行令に位置づけられた各種処理方法のうち,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。

水処理技術委員会 委員名簿

	所属	氏名
委員長	東洋大学常勤理事	松尾 友矩
委員	高知工業高等専門学校校長	藤田 正憲
委員	北九州市立大学大学院国際環境工学科教授	楠田 哲也
委員	東京大学大学院新領域創成科学研究科教授	味埜 俊
委員	大阪産業大学人間環境学部生活環境学科教授	菅原 正孝
委員	日本下水道事業団技術開発部長	村上 孝雄
委員	(財)下水道新技術推進機構下水道新技術研究所長	藤木 修
委員	(社)日本下水道協会理事兼技術部長	佐伯 謹吾

水処理技術委員会 膜分離活性汚泥法評価検討分科会 委員名簿

	所属	氏名
委員長	東京大学大学院新領域創成科学研究科教授	味埜 俊
委員	東京都市大学工学研究科都市基盤工学科教授	長岡 裕
委員	大阪大学大学院工学研究科教授	池 道彦
委員	北海道大学大学院工学研究科教授	高橋正弘
委員	日本下水道事業団技術開発部先端研究役	中沢 均
委員	下水道新技術推進機構研究第一部長	森田弘昭
委員	兵庫県福岡町下水道課長	後藤守芳

参考データ

一般評価の対象とした下水処理場の水質（流入水・処理水）データ

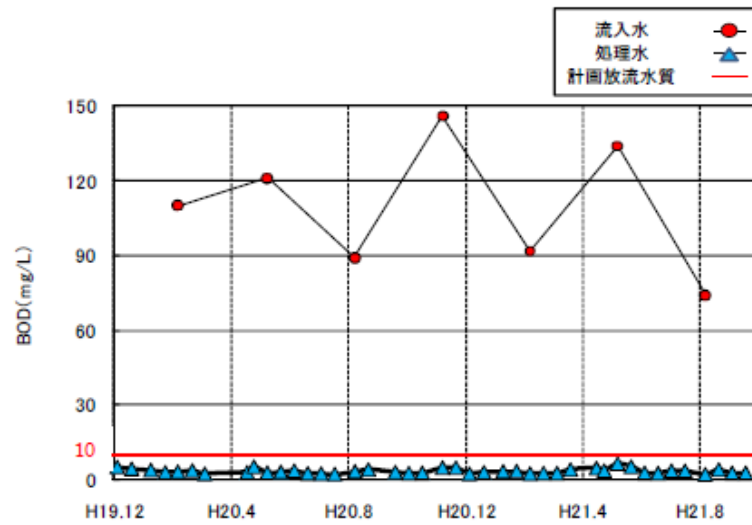


図-1 流入水 BOD と処理水 BOD の関係 (Y 浄化センター)

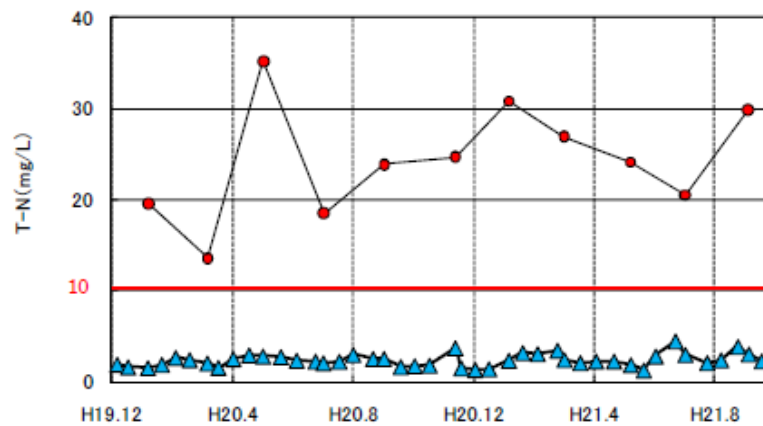


図-2 流入水 T-N と処理水 T-N の関係 (O 浄化センター)

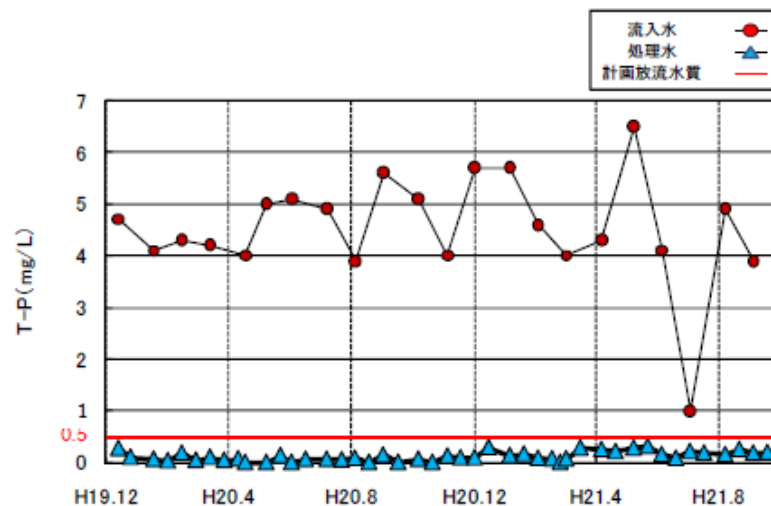


図-3 流入水 T-P と処理水 T-P の関係 (F 浄化センター)

※注 赤線で示される計画放流水質は、今回評価を受けた値

1.3 JS 技術評価

JS による膜分離活性汚泥法の技術評価に関する報告書の抜粋を次紙に示す。

技術開発部技術資料 03-008

目 次

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

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

(技術評価の経緯)

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

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

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

[1]

(技術評価の目的)

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

(評価対象技術)

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

(評価の範囲)

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

(膜分離活性汚泥法の特徴)

1. 処理原理とプロセス構成

本法は、従来の活性汚泥法では最終沈殿池において重力沈殿によって行われる固液分離を微細な孔径を有するろ過膜で行なうものであり、有機物の分解は活性汚泥によって行なわれる。ろ過膜としては、大腸菌群を阻止できることから、通常、孔径 0.1~0.4 μm 程度の精密ろ過膜（MF 膜）が用いられる。

本法の主な施設構成は、前処理施設、流量調整タンク、生物反応タンク

[2]

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

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

2. 施設構成上の特徴

- ① 最初沈殿池、最終沈殿池、消毒施設は必要ない。
- ② 生物反応タンクMLSS濃度が高いので、余剰汚泥は生物反応タンクから直接引抜いて脱水することが可能であり、この場合、汚泥濃縮タンクは省略することができる。
- ③ 流入水量変動に対応するために、流量調整タンクが必要である。
- ④ 処理施設の必要敷地面積は小さく、OD法の約三分の一程度である。
- ⑤ 生物反応タンクには無酸素タンクを設け、脱窒反応により硝化で消費されたアルカリ度の半分を回収し、混合液pHの低下を防止する。
- ⑥ ろ過膜保護のため、生物反応タンク流入水は1 mm目程度の微細目スクリーンによる前処理が必要である。

3. 処理機能上の特徴

- ① 重力沈殿による固液分離の制約がないため、生物反応タンク内MLSS濃度を高く保持でき、短時間で処理を行なうことができる。
- ② 処理水中にSSは検出されず、透視度が高く清澄な処理水が得られる。また、有機物の除去は標準活性汚泥法やOD法と比較して、処理水に

SSが含まれない分、より良好である。

- ③ 処理水中に大腸菌群はほとんど検出されない。
- ④ 本法の処理水は、そのまま散水用水、修景用水としての利用が可能である。また残留塩素を保持させることによりトイレ洗浄用水としての利用も可能である。
- ⑤ 固形物滞留時間（SRT）が長いため、処理過程で硝化反応が起こりやすい。
- ⑥ 生物学的硝化・脱窒反応により窒素除去が可能であり、窒素除去率は好気タンクから無酸素タンクへの循環量により制御できる。
- ⑦ 凝集剤添加により高度なりん除去が可能である。また、処理水中にSが含まれない分、処理水なりん濃度が低下する。なお、反応タンク中に嫌気ゾーンを組み込むこと等により、生物学的りん除去が期待できる。
- ⑧ 汚泥転換率は、SRTが20日前後の運転では、OD法について一般的に用いられている数値と比較して10%程度小さい。また、よりSRTの長い運転を行うことにより、更に発生汚泥量を減少することができる。
- ⑨ 本法の余剰汚泥の脱水性は、OD法の余剰汚泥と同程度である。

4. 建設費及び維持管理費

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

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

（設計上の留意事項）

① 前処理施設

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

② 流量調整タンク

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

③ ろ過膜

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

④ 生物反応タンク

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

⑤ 本法における必要空気量は、送気洗浄に必要な空気量と活性汚泥への酸素供給に必要な空気量からなる。

⑥ 消毒施設は不要であるが、ろ過膜破損等緊急時の対応として、固形塩素投入等の措置が可能なよう配慮する。

⑦ その他

必要に応じて浸漬洗浄タンクを設置する。また、生物反応タンクには、膜ユニット吊り上げ装置を設置する。

（維持管理上の留意事項）

① 運転管理項目としては、膜差圧及び生物反応タンク MLSS 濃度が重要である。また、活性汚泥のろ過性を「ろ紙ろ過量」等の測定により定期的に把握することが望ましい。

② 膜差圧が上昇してきた場合、次亜塩素酸ナトリウム等の薬液を処理水側から注入する方法（薬液注入洗浄）あるいは膜ユニットを生物反応タンクから引き上げて薬液タンクに浸漬する方法（浸漬洗浄）によりろ過膜を洗浄する必要がある。

③ ろ過膜は使用の継続に伴ない、洗浄を行なっても閉塞物が除去しきれず、膜差圧が十分に低下しなくなってくる。このような状態になった場合、膜エレメントの交換が必要となる。

④ ろ過膜の閉塞を防止するため、ろ過を行なっている間はエアレーションによる膜面洗浄を行なう必要がある。このため、運転停止時や運転開始時など曝気洗浄なしでろ過を行なうことがないように注意する。

⑤ 流入水量が少ない場合には、適宜、ろ過及び曝気洗浄を停止する間欠運転を行なう。この際、運転休止時間を適正に設定し、活性汚泥を嫌気化させることがないように注意する。

⑥ 点検時や浸漬洗浄時に膜ユニットを生物反応タンクから引き上げて作業を行なう場合には、ろ過膜に損傷を与えないよう取り扱いに十分注意する。

⑦ 維持管理作業においては、コンクリートがら等の建設残さや採水器具など異物を生物反応タンク内に落下させることがないよう注意する。

(適用上の注意)

(1) 処理対象とする下水

本法の処理対象は、家庭排水を主体とする都市下水とする。

(2) 下水収集システム

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

(3) 適用施設

本法の適用先としては、下記の条件を有する施設が考えられる。

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

(その他の留意事項)

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

1.4 膜コストに関する資料

EU における膜コストの 1990 年代からの変化について整理したものを図 I -2 に示す。

図に示すように, EU における膜コストは, 1994 年ごろに約 300 ユーロ/m²であったものが, 10 年後の 2004 年には約 60 ユーロ/m²となり, 約 1/5 に低下している。

Figure 2-27

Development of membrane replacement costs [ISA 2002; CHURCHHOUSE, WILDGOOSE 2000]

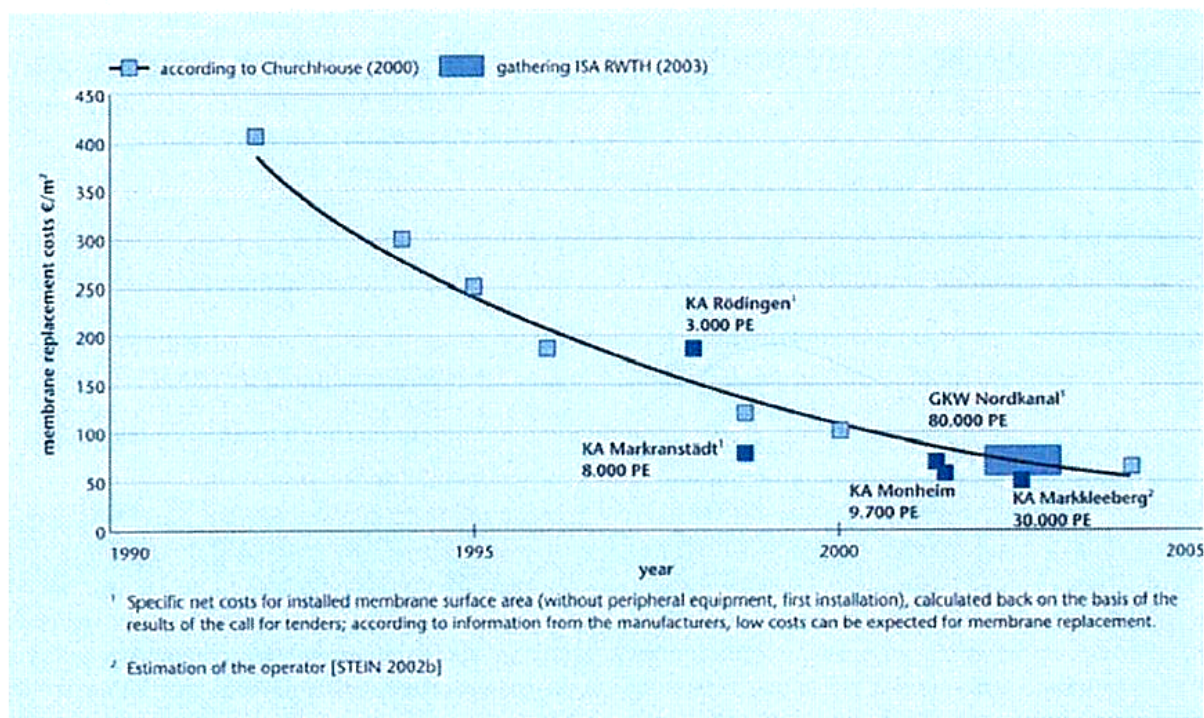


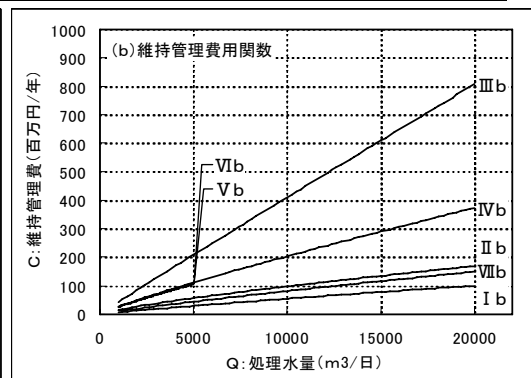
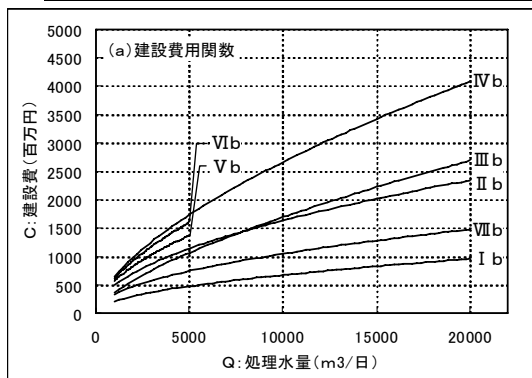
図 I - 2 EU における膜コストの変化 ³⁹⁾

1.5 再生処理施設の費用関数の例

再生処理について、費用関数の例⁵⁷⁾を以下に示す。なお、再生処理施設とは再生水として利用可能な水質の下水処理水を得るため、下水処理施設に付加する処理施設をいう⁴¹⁾。

再生処理費用関数

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



再生処理費用関数

再生処理費用（建設費及び維持管理費）の算出条件

- ①モデル計算は、処理水量（Q）1,000、5,000、10,000及び20,000m³/dについて行う。ただし、V及びVIは、1,000及び5,000m³/dについて行う。
- ②機械・電気設備の据付費、経費等は、機器費の80%とする。
- ③土木費は機器配置概略図より躯体空容量を求め、30千円/空・m³として算出する。
- ④建築費は機器配置概略図より床面積を求め、250千円/m²として算出する。
- ⑤機械・電気設備の補修費は、機器費の3%とする。
- ⑥活性炭の交換周期は前段が砂ろ過の場合に2回/年、砂ろ過+オゾンの場合に1回/2年とする。
- ⑦MF膜の交換周期は1回/3年、RO膜の交換周期は1回/5年とする。
- ⑧紫外線ランプの交換周期は、低圧ランプで1回/1.5年、中圧ランプで1回/年とする。
- ⑨電力単価は15円/kWhとし、基本電力を含めない。
- ⑩維持管理費に人件費は含めない。

【単位プロセス】とその主要な[設計諸元]

【前処理】[オートストレーナ]

【凝集剤添加】[注入率 5mg/L]

【砂ろ過】[ろ過速度 300m/d]

【オゾン処理】[注入率 10mg/L]

【活性炭処理】[ろ過速度 120m/d]

【MF膜ろ過】[外圧中空糸型]

【RO膜】[スパイラル型]

【紫外線消毒】[処理水量 10,000m³/d 以下は低圧ランプ、10,000m³/d 超は中圧ランプ]

【塩素消毒】[注入率 4mg/L]

1.6 MBR の膜ユニットの例

MBR の膜ユニットの諸元の一例※を以下の表に示す。

表 I - 2 膜ユニット設備の例

形式	中空糸型		平膜型		モノリス型
設置方式	浸漬型(一体型,槽別置型), 槽外型		浸漬型(一体型,槽別置型), 槽外型		槽外型
膜の材質	ポリフッ化ビニリデン (PVDF)		塩素化ポリエチレン	ポリフッ化ビニリデン (PVDF)	セラミック (アルミナ質)
ユニット設備の例 (外觀・寸法・水量)		L1.4m ×W0.5m ×H2.9m 180～ 210 m ³ /日 神鋼			
		L0.45m ×W2.0m ×H3.0m 140m ³ /日 (最小の場合) 西原	L1.0～1.85m ×W0.35m ×H3.0m 80～160m ³ /日 前澤	L 0.7m ×W 3.1m ×H 4.4m 350 m ³ /日 クボタ	L 2.0m ×W 1.7m ×H 3.3m 280 m ³ /日 (2 段組の場合) 日プラ
		L1.5m ×W1.6m ×H3.1m 300～ 700m ³ /日 荏原			L4.0m ×W 2.0m ×H 3.5m 768 m ³ /日 メタ

※ 「平成 20 年度新技術を用いた処理施設の改築・機能高度化に関する調査報告書, 国土交通省都市地域・整備局下水道部」及びメーカーヒアリングに基づき作成

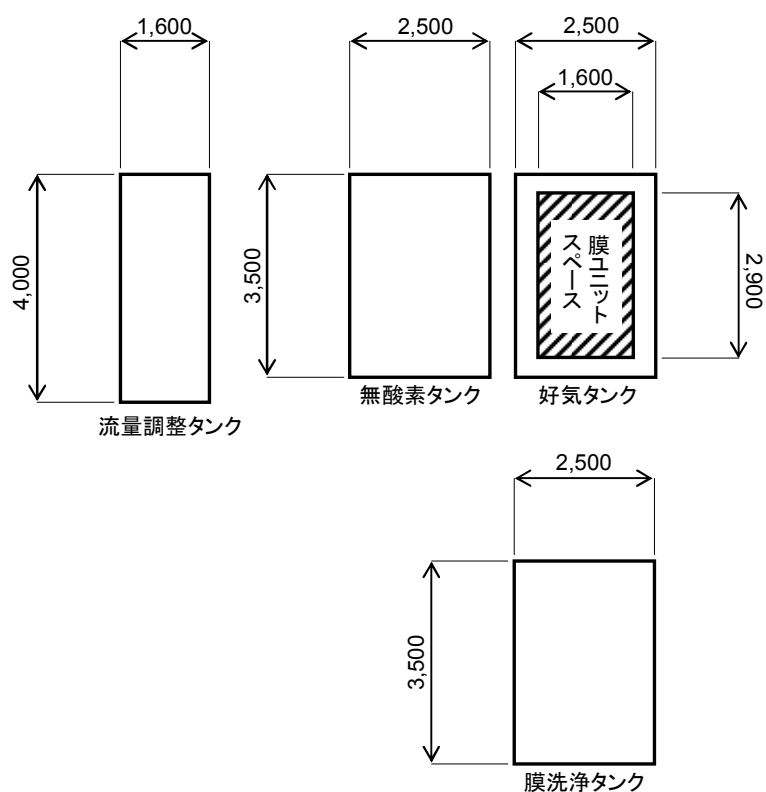
※: ユニット形状は例示。設置面積, 水深等により変化させる場合もあり, 1 ユニット外觀が必ずしも例示に固定されているものではない。

1.7 MBR 適用事例における配置例

国内における MBR 適用事例における配置例（平面図）を以下に示す。

①処理能力 日最大 約200m³/dの配置例

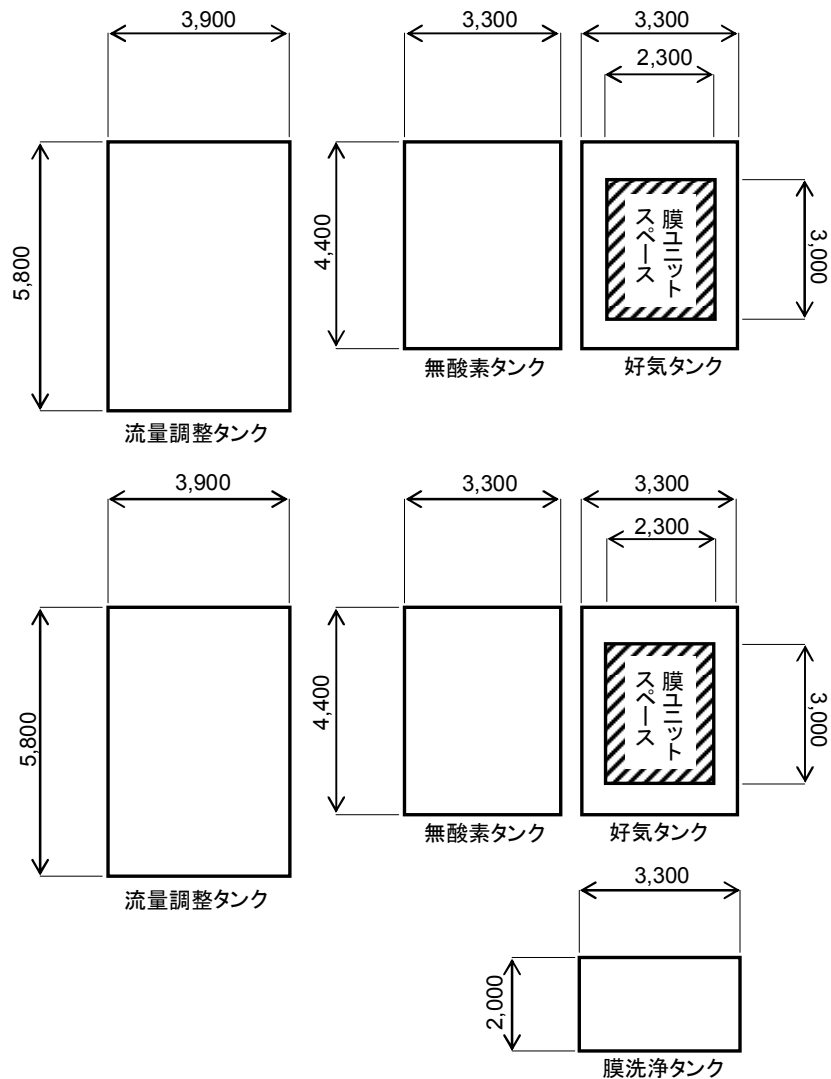
好気タンク	31.5m ³
無酸素タンク	31.5m ³



※ 流入下水の変動量、採用する膜モジュールの形式等、処理場毎の条件により各施設容量は異なり、標準的な値ではなく、一例として示したものである。

②処理能力 日最大 約700m³/dの配置例

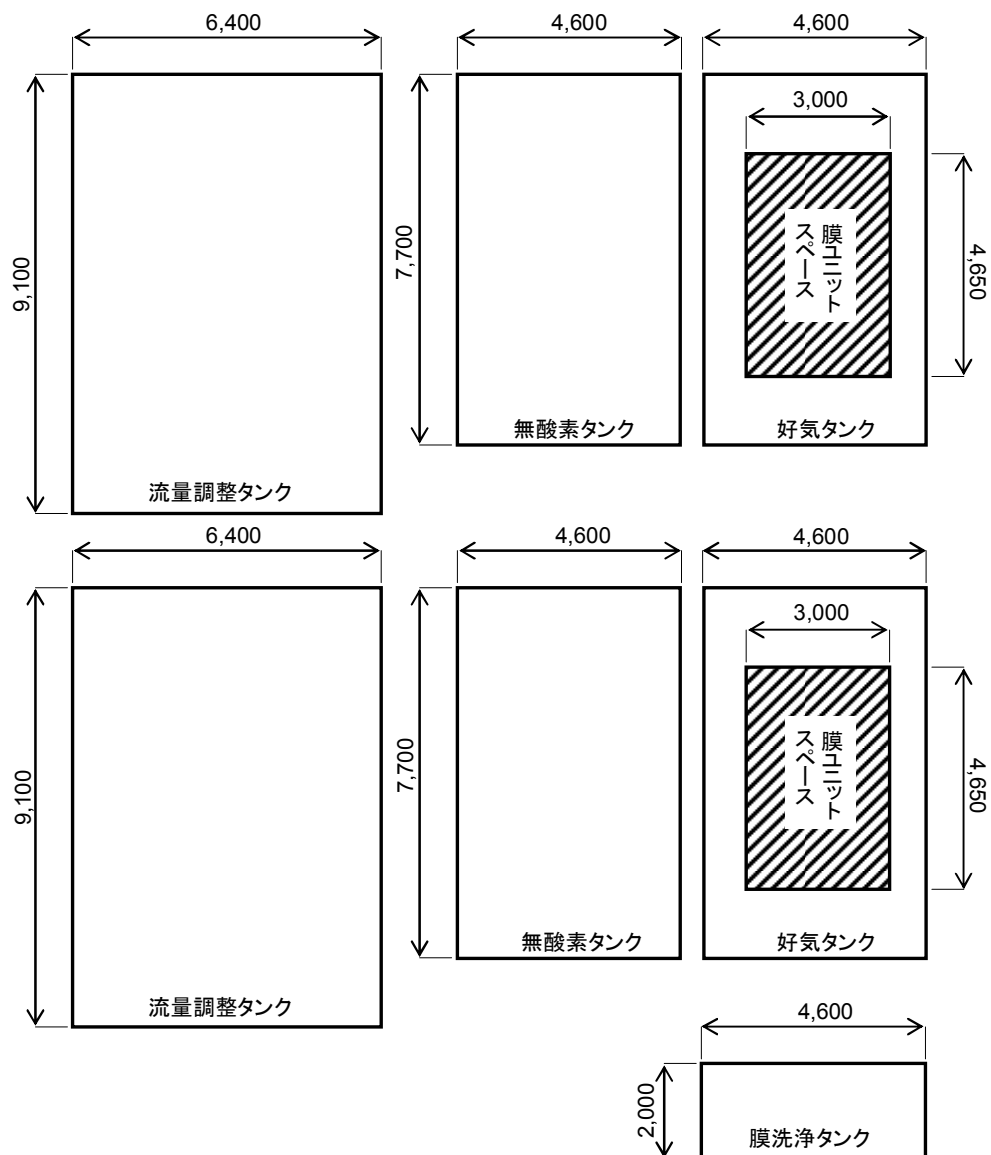
好気タンク	58m ³ × 2
無酸素タンク	58m ³ × 2



※ 流入下水の変動量、採用する膜モジュールの形式等、処理場毎の条件により各施設容量は異なり、標準的な値ではなく、一例として示したものである。

③処理能力 日最大 約2000m³/dの配置例

好気タンク	142m ³ × 2
無酸素タンク	142m ³ × 2



※ 流入下水の変動量、採用する膜モジュールの形式等、処理場毎の条件により各施設容量は異なり、標準的な値ではなく、一例として示したものである。

1.8 膜処理技術を利用した再生水利用のための処理フローの例

これまでに開発された膜処理技術を利用した再生水利用のための処理フローの例を示す。

図 I -3 は、水洗用水のための再生処理として MF/UF 膜を利用したものであるが、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は、凝集混和のみとなっている。

図 I -4 は、親水用水のための再生処理として RO 膜を利用したものであり、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は、凝集沈殿＋砂ろ過となっており、膜の特性に合わせてファウリング抑制を図ったものとなっている。

また、図 I -5 は、水洗用水のための再生処理として MF 膜を利用したものであるが、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は、前オゾン＋ろ過＋後オゾンによるもので、オゾン耐性の膜を使用し、ファウリング抑制と膜の劣化防止に配慮したものである。

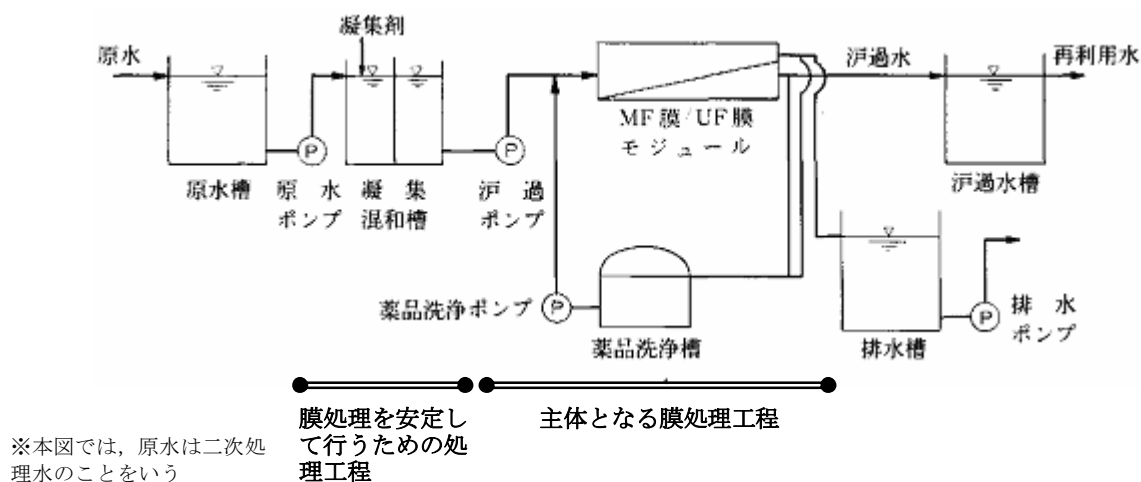


図 I -3 MF 膜/UF 膜処理の設備構成例⁴²⁾ [水洗用水]

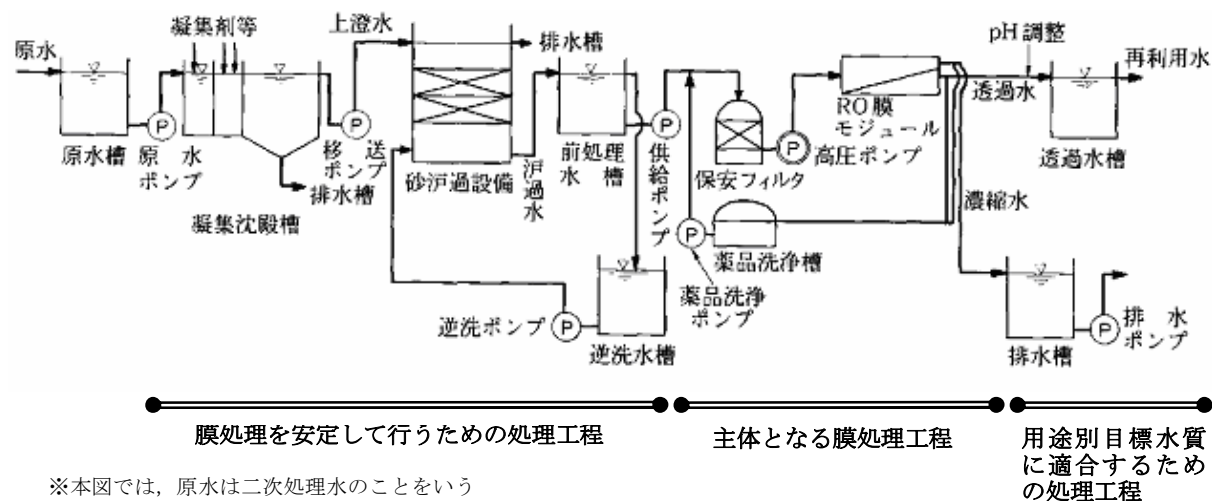
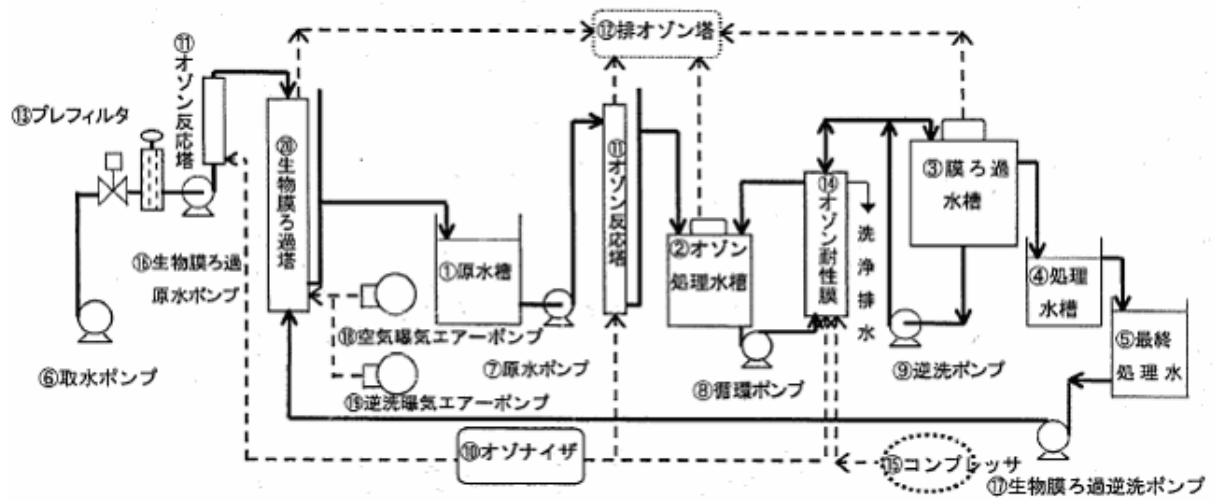


図 I -4 NF 膜/RO 膜処理の設備構成例⁴²⁾ [親水用水]



※オゾン耐性膜の他、セラミック膜処理を実施

図 I - 5 芝浦水再生センターの膜(MF)処理の設備構成例 ¹⁾ [水洗用水] (再掲)

1.9 廃棄膜モジュールの有効利用

下水道での膜モジュールの膜透過流束を 0.6～0.8m³/日程度とすると、10 万 m³/日の下水処理場では膜モジュールの総面積は、120,000～170,000m² に達する。これらを一度に全量交換することはないものの、交換時には大量の廃棄膜が出ることが予想される。

水道用の膜の場合、現在使用済みの膜モジュールの大半は、種類や用途に関係なく、産業廃棄物として処分されている。下水道で膜の廃棄は今後の課題であるが、廃棄膜の有効利用方法については事前に検討を行っておく必要がある。

廃棄膜の有効利用の例及びプラスチック材料の一般的な有効利用方法を示す。

表 I - 3 廃棄膜の有効利用の例

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

※日本下水道施設業協会へのヒアリングより作成 (2008.9)

表 I - 4 プラスチック材料の一般的な有効利用方法⁵⁾

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

2. 膜処理技術を用いた展開

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

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

2.1 コスト縮減に向けた膜処理技術の開発研究

(1) MBR に関する技術開発

MBR の技術開発は、JS が中心となり実施され、 $3,000\text{m}^3/\text{日}$ 以下の小規模下水処理場に対する技術評価が出された。

今後の技術開発の焦点は、MBR の中大規模施設への適用に関するものになっている。この場合、処理規模の拡大によるイニシャルコスト及びランニングコストの縮減化に繋がる技術開発が主体である。

1) イニシャルコストの縮減

イニシャルコストの縮減策としては、以下のものがある。

a) 高透過流束対応型膜モジュールの開発

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

b) 必要供給空気量低減による送風機設備能力削減

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

2) ランニングコストの縮減

ランニングコストの縮減策としては、以下のものがある

a) ファウリングの抑制

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

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

b) 膜交換頻度の低減

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

c) 電力使用量の低減

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

(2) 下水二次処理水を対象とした膜処理技術に関する技術開発

下水二次処理水を対象とした膜処理技術に関する技術開発については、産業排水処理等の分野で、特に膜モジュール自体の開発が中心に進められている。

1) イニシャルコストの縮減

イニシャルコストの縮減策としては、PVDF 等、高透水性と高強度を持つ膜モジュールの開発が進み、MF/UF 膜モジュールの設置数の削減によるコスト縮減が図られている。

2) ランニングコストの縮減

ランニングコストの縮減策としては、以下のものがある

a) ファウリングの抑制

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

b) 膜の劣化対策に関する技術開発

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

①膜洗浄用薬品に対する耐久性の向上

(膜素材の開発；塩素耐性膜、オゾン耐性膜等)

②膜洗浄用薬品等の選定（クロラミン、クエン酸、UV 等）

③劣化膜の補修技術（薬品による補修等）

(3) 大規模処理場の改築・高機能化等の多様な目的に適した MBR の開発

MBR は、日本国内においては小規模における導入を中心に進んでいるが、大規模処理場の改築・高機能化への適用や、処理水の再利用に関わる検討などが行われてきた。主として JS 及び各メーカーとの共同研究として行われ、実下水を用いたパイロットプラントの連続実験により、設計諸元、最適運転条件、処理の安定性などが検証され、より効率的で低コストの MBR システム構築を目的としている。

主な検討項目、研究成果として、

- ・ 自動膜洗浄システムによる膜分離槽の小型化、維持管理の簡素化、コスト低減
- ・ エアリフトポンプによる汚泥循環、サイフォンろ過方式の採用による動力低減
- ・ 槽外型により既存反応タンクの形状にとらわれない槽配置、反応タンク内膜洗浄曝気の削減
- ・ 最初沈殿池利用による流入負荷の低減効果
- ・ 高透過流束での処理安定性の確認
- ・ 好気槽 $\text{NH}_4\text{-N}$ 制御による空気量削減
- ・ 大規模処理場の再構築時ケーススタディ
- ・ MBR 処理水の RO 膜での後処理実験による RO 原水としての適合性確認

など、他項目に渡る検討が展開された。

2.2 NEDO 実証事業

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 年度に開始し、水ビジネス展開のための膜処理技術の研究開発・実証を推進している。

(1)北九州市

NEDO 広報資料

<http://app3.infoc.nedo.go.jp/informations/koubo/press/EV/nedopress.2010-12-13.4632189997/>

「水ビジネス」を世界へ発信
ー国内初のウォータープラザ完成ー

2010 年 12 月 14 日

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
海外水循環ソリューション技術研究組合
北九州市

NEDO は、北九州市の協力のもと、海外水循環ソリューション技術研究組合（GWSTA）（※）に委託して建設を進めてきた、先進の水循環システムの開発から管理・運営ノウハウの実証・蓄積、さらには国内外に情報発信して技術普及を進めることを目的とした国内初の「ウォータープラザ」が完成、12 月 14 日（火）に完成式を開催しました。

ウォータープラザは、国内最大規模の海水淡水化と下水再利用の統合による省エネ・低環境負荷・低コスト型の造水システムを有し、その運営実証を行う「デモプラント」と、多様な水処理要素機器の試験が行える「テストベッド」を設置し、運営実証と機器試験の両方を備えた国内初の施設となります。自治体、国、民間企業がそれぞれの特徴を生かして連携し、総合的な水処理技術に関する運営ノウハウの蓄積と研究開発をするモデルケースとなることが期待されます。

※株式会社日立プラントテクノロジーと東レ株式会社が 3 月 10 日に設立した技術研究組合。水ビジネスの国際展開加速に向けて、先進的な水循環システムの開発や事業運営・管理ノウハウの蓄積、独自の水循環ソリューションの構築・事業化が目的。

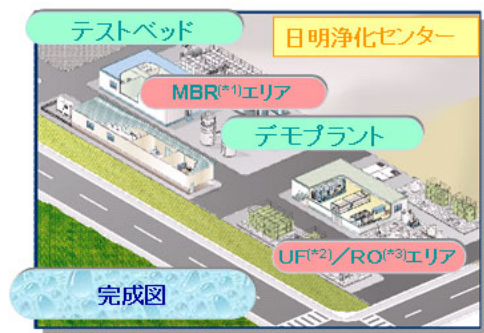
1. 背景・目的

世界の淡水資源は、地域偏在性が極めて高く絶対量も限られており、人口増加、経済成長、都市化等により、世界的に水需給が逼迫してきています。また、先進諸国を中心に拡大し続けてきた経済・産業活動により、大量のエネルギー消費に伴う温室効果ガス排出量の増大や資源の枯渇も懸念されています。

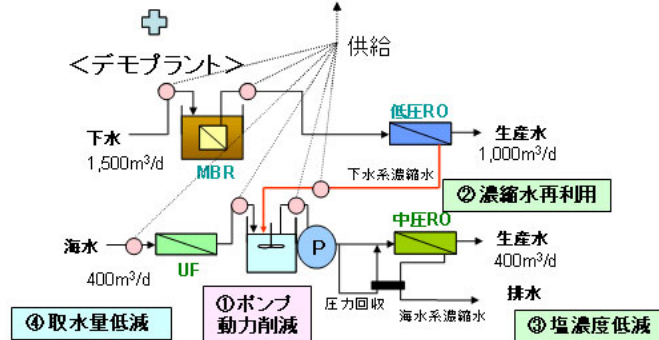
このような世界の水・エネルギー問題の解決を図るには、下水処理水の再利用等の循環利用の推進と大幅な省エネルギーが必要であり、革新的な材料及びプロセス、運転管理技術、管理運営手法等を開発し、広く普及させることが急務となっています。しかしながら、そうした技術やノウハウは、国や自治体、民間企業等に分散しており、官民連携による技術・情報の結集や蓄積が求められています。

このため、世界トップレベルの国内独自技術を結集・育成しながら、水循環システム運営・管理ノウハウを蓄積するとともに、技術力を世界に発信することを目的としたデモプラント機能とテストベッド機能をもつ“ウォータープラザ”を構築することとしました。

2. 施設の概要



<テストベッド> 10m×20m×5区画



「ウォータープラザ北九州」の特長

<デモプラント>

海水淡水化と下水再利用の統合による、省エネ・低環境負荷・低コストな造水システム

- ① 下水系 RO 濃縮水を使用し海水の塩分を希釈することで浸透圧を下げ、海水系 RO で必要なポンプ動力を大幅に削減
- ② 下水系 RO 濃縮水は通常廃棄されているが、これを再利用
- ③ 海水系 RO 濃縮水は、海水系 RO 原水が希釈されたことで、海水と同等の塩濃度に低減
- ④ 下水系 RO 濃縮水の再利用によって、海水取水量が減り、取水・UF 設備の容量を低減

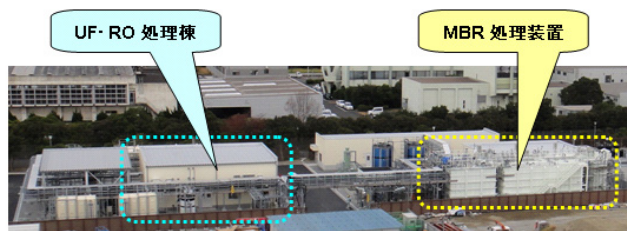
→ 省エネ

→ 低環境負荷

→ 低コスト

<テストベッド>

海水や下水などデモプラントから供給される 6 種類の水を活用して、民間企業や研究機関に先進の水処理技術を開発・実証する場を提供



正面写真



UF/ROユニット



UF/RO 処理棟

〔参考〕用語の解説

[1] MBR : Membrane Bio Reactor の略。膜分離活性汚泥法。

[2] UF : Ultra Filtration の略。限外ろ過膜。

[3] RO : Reverse Osmosis の略。逆浸透膜。

(2)周南市

NEDO 広報資料

<https://app3.infoc.nedo.go.jp/informations/koubo/press/EV/nedopress.2010-03-03.0171807898/>

先進の水循環システムの技術開発・運営実証・情報発信拠点「ウォータープラザ」を開設

平成 22 年 3 月 5 日

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

周南市

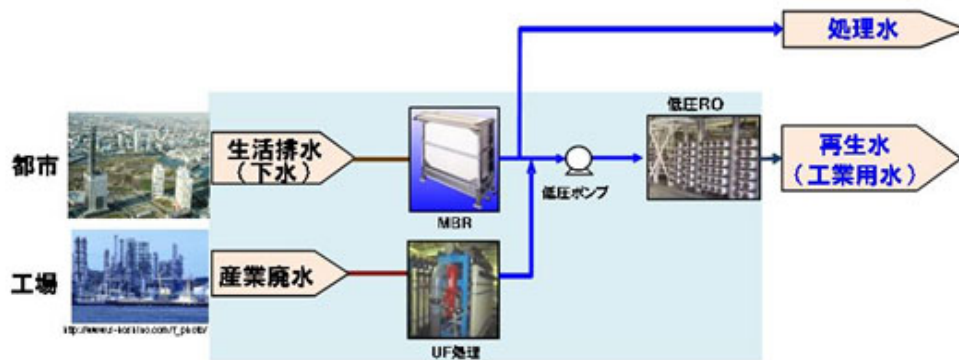
株式会社日立プラントテクノロジー

東レ株式会社

日本ゼオン株式会社

NEDO と山口県周南市は、先進の水循環システムの開発から、管理・運営ノウハウの実証、さらには国内外に情報発信して技術普及を進めることを目的とした「ウォータープラザ」を開設することで合意、覚書を締結しました。これに基づき、株式会社日立プラントテクノロジー、東レ株式会社は、周南市と基本契約を締結し、徳山中央浄化センター近傍に「ウォータープラザ」を建設、実証を開始します。さらに日本ゼオン株式会社と周南市は「ウォータープラザ」への排水の供給および生産水の受け入れを協力する覚書を締結しました。

周南市「ウォータープラザ」は、工場排水処理と下水再利用の統合による造水を行い、国、自治体、民間企業が連携して持続的な水利用に係る処理技術の開発等を行っていきます。



「ウォータープラザ」全体システム概念図

1. 背景

世界の淡水資源は、地域偏在性が極めて高く絶対量も限られており、人口増加、経済成長、都市化等により、世界的に水需給が逼迫しています。また、先進諸国を中心に拡大し続けてきた経済・産業活動により、大量のエネルギー消費に伴う温室効果ガス排出量の増大や資源の枯渇も懸念されています。

このような世界の水・エネルギー問題の解決を図るには、下水処理水の再利用等の水の循環利用の推進と大幅な省エネルギーが必要であり、革新的な材料及びプロセス、運転管理技術、管理運営手法等を開発し、広く普及させることが急務となっています。しかし、そうした技術やノウハウは、国や自治体、民間企業等に分散しているのが実状であり、今後は、官民連携による結集、蓄積、連携活用が求められています。NEDO 事業の実施にあたっては、管理運営ノウハウの取得を含めた実証を行うため、工場排水の提供、再生水の受け入れなど地方自治体や民間企業の協力を得ることが必要不可欠です。プロジェクト実施期間を通じて地元自治体の協力を安定的に確保するため、周南市と NEDO との協力のフレームワークを定める覚書を締結しました。

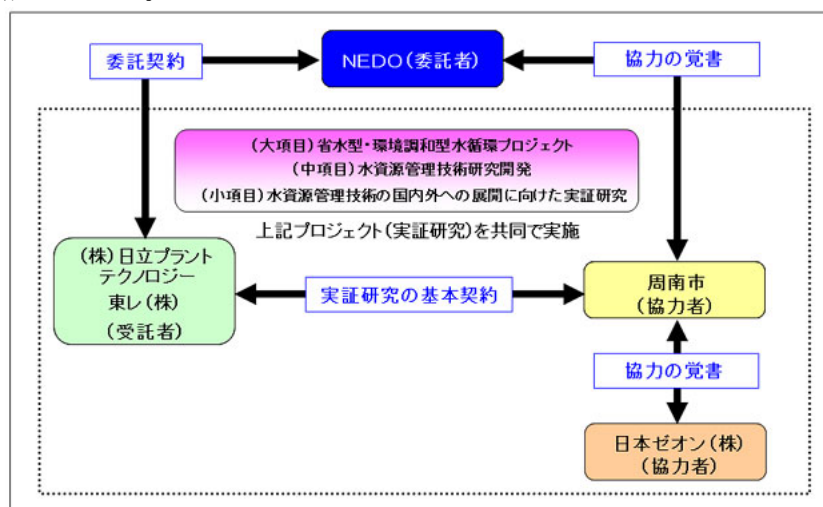


図 1 事業実施における体制

2. 事業概要

(1)プロジェクト名及び事業名

プロジェクト名：省水型・環境調和型水循環プロジェクト

事業名：水資源管理技術研究開発／水資源管理技術の国内外への展開に向けた実証研究

(2)事業実施者（NEDO からの委託先）

（株）日立プラントテクノロジー，東レ(株)

(3)実証場所

周南市「徳山中央浄化センター」近傍（敷地面積：約 650m²）

(4)実証期間

2009 年 10 月 29 日～2014 年 3 月 31 日

（周南市の協力期間 2010 年 3 月 5 日～2014 年 3 月 31 日）

(5)実証概要

省エネルギーで環境に調和した水循環システムの構築、国際社会への普及促進に寄与するため、工場排水処理と下水再利用の統合による新規造水プラント「ウォータープラザ」を建設し、官民が連携して持続的な水利用に係る処理技術の開発及び管理運営ノウハウの蓄積、国内外への情報発信・技術普及を図ります。

<周南市>

原水の供給及び廃水の受入れ

研究成果の発信及び来訪者対応

その他、実証研究の推進に必要な事項

＜株式会社日立プラントテクノロジー，東レ株式会社＞

ウォータープラザ及び関連施設の建設
施設の運転・維持管理，生産水の供給
研究成果の発信及び来訪者対応
その他，実証研究の推進に必要な事項

＜日本ゼオン株式会社＞

工場排水(二次処理水)の供給
生産水の受入れ

(6)実証研究の特長

工場排水処理と下水再利用の統合による造水プラントの建設・運転実証

先進の水循環システムの運営実証を行う「デモプラント」を設置します。また，見学者を受け入れて国内外に情報発信する機能も備えることになります。なお，工場排水処理と下水再利用の統合システムで実規模実証運転が行える「デモプラント」を備えた施設は国内初となります。

＜デモプラント＞

工場排水を UF 膜^(※1)で処理し，それを下水の MBR^(※2)処理水に投入・混合し，さらに低圧 RO 膜^(※3)で処理することで，高品位の工業用水を製造・供給するという処理フローとなっています。

造水能力は約 410m³/日〔下水（約 250m³/日）からの造水量：約 205m³/日，工場排水（約 280m³/日）からの造水量：約 205m³/日〕です。

(※1)UF 膜：Ultra Filtration の略。限外ろ過膜。

(※2)MBR：Membrane Bioreactor の略。膜分離活性汚泥法。

(※3)RO 膜：Reverse Osmosis の略。逆浸透膜。

水ビジネスのノウハウを研究開発するモデルケースになります。

工場排水・下水再利用の統合システムの運転実証を通し，工業用水不足解消に向けた事業運営ノウハウの蓄積を行います。

自治体，国，民間企業が，工場排水及び下水から高品質な再生水の造水，ユーザーへの供給等の管理運営を，それぞれの特徴を活かしながら連携して実施する「国内初」の取り組みであり，新しい水ビジネスモデルの構築が期待できます。

新しい水ビジネス展開に向けたショールームになります。

先進技術の活用，新たな運営体制での工場排水・下水再利用の統合システムの構築，運用により，国内外へ広く情報を発信できます。

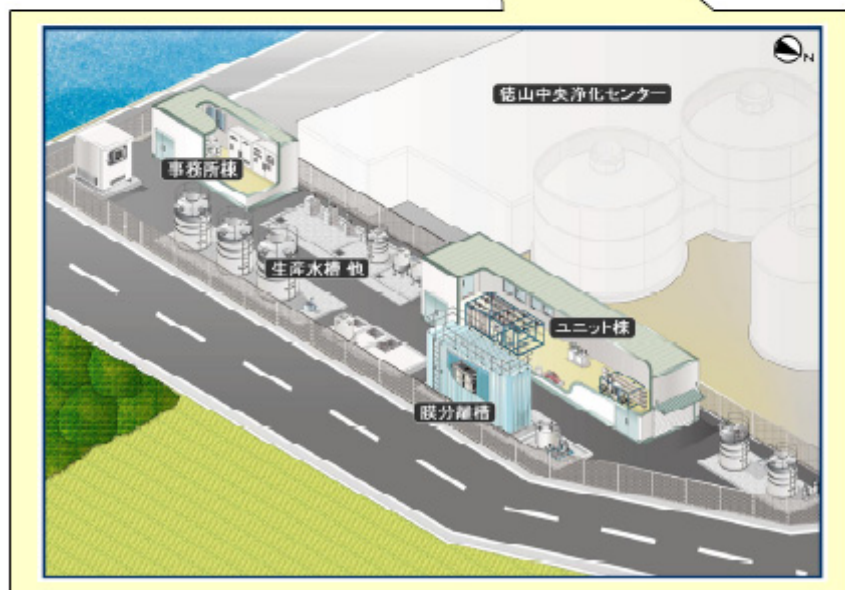
(7)推進体制

NEDO，周南市，株式会社日立プラントテクノロジー，東レ株式会社に学識者等の第三者を加えた運営会議を設置し，実証研究を円滑かつ効率的に実施します。

3. 今後の展望

今後は，2010 年 3 月までに設備の建設に着手し，2010 年 6 月から実証運転を開始する予定です。運転・実証期間は 4 年間の予定です。また，工場排水と下水を統合した初めての水循環システムのモデルケースとしての役割を期待しており，周南市コンビナートと同様の問題を抱える工業地帯等への展開を図ります。

「ウォータープラザ」設置場所・イメージ

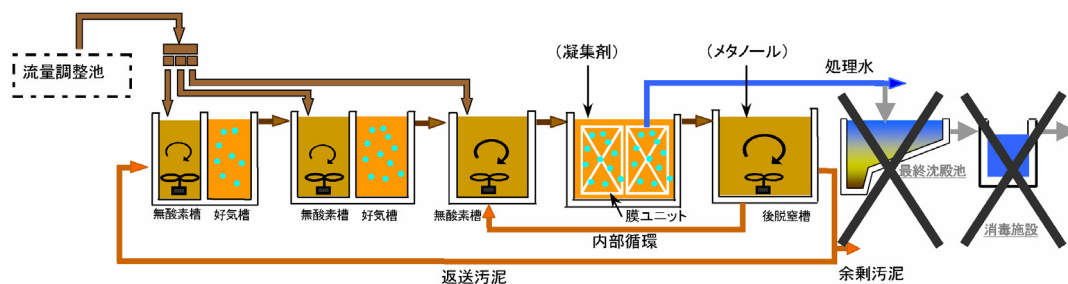


2.3 膜処理技術の研究開発の事例

(1) 膜ステップ流入式多段硝化脱窒法

JS で、大規模下水処理場へ適用する MBR として、膜ステップ流入式多段硝化脱窒法（膜ステップ多段法）の開発が行われた。

従来法のステップ法に比較して、①初沈，終沈，常時の消毒設備，砂ろ過設備等の省略による必要敷地面積の削減，②反応タンク容積の削減（膜により高濃度の汚泥を反応タンク内に保持），③高度な処理水質（ステップによる高い窒素除去率と凝集剤併用の同時凝集による高いリン除去率），④処理水の再利用（砂ろ過以上の除去率）といったメリットが示された。



※JS WEB Page

図 I - 6 膜ステップ流入式多段硝化脱窒法の開発の例

(2) シンガポールにおける間接的飲料水利用プロジェクト

国内の水資源が不足しているため国外からの水の供給に依存するシンガポールにおいて、将来の水資源不足に対して講じられている下水二次処理水の再利用計画「NEWater プロジェクト」の全体像と処理フローを処理水再利用事例の処理フローを示す。この事例では、産業用としての非飲料水（Non Portable Water）への利用と間接的飲料水（Indirect Portable Water）への利用とが実施されている。

シンガポールにおける間接的飲料水利用プロジェクト
計画

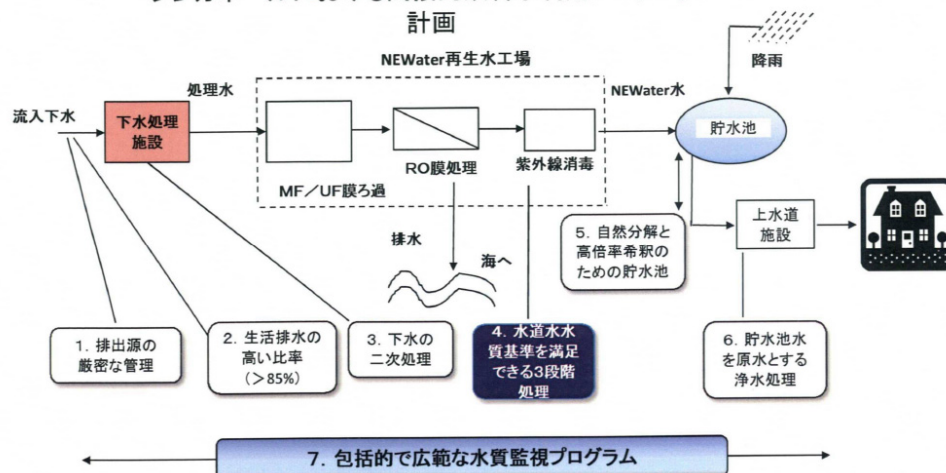


図 I - 7 シンガポール NEWater プロジェクトの全体像と処理フロー⁵⁴⁾の日本語訳

(3) 省水型・環境調和型水循環プロジェクト

経済産業省では、省水型・環境調和型水循環プロジェクトの一環として革新的膜分離技術や省エネ型 MBR 等の開発を、NEDO を通じて 2009 年度から 2013 年度までの 5 年間の予定で進めている。

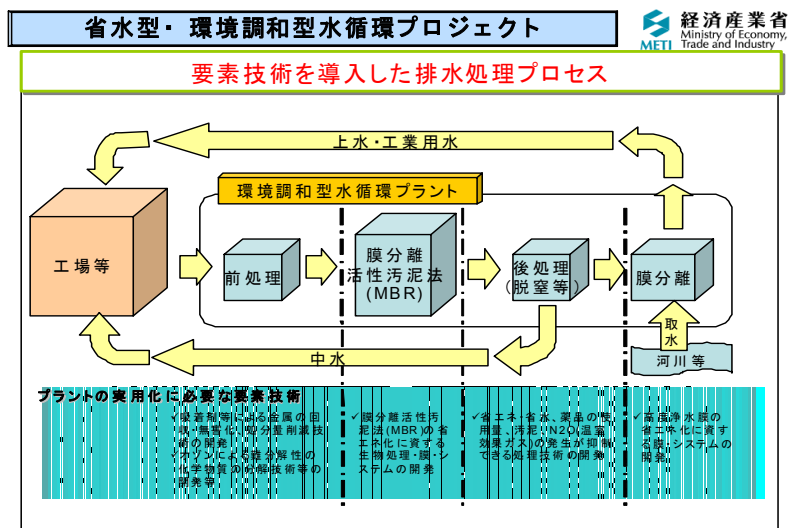


図 I - 8 膜処理技術を導入した排水処理プロセスの開発イメージ（経済産業省資料による）

(4) 膜分離によるメタン発酵促進

膜とメタン発酵を組み合わせた技術も研究開発されており、可溶化汚泥を膜分離した後の透過液を用いてガス化を促進するフローや、膜により分離した発酵汚泥（メタン菌）を循環させてガス化を促進するフローが検討されている。

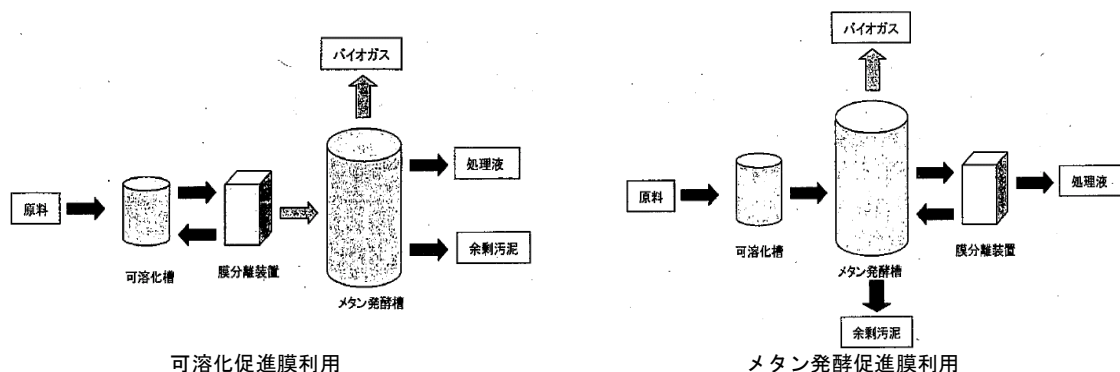


図 I - 9 膜分離型嫌気性処理のフロー²²⁾

また、オンサイトでのメタン回収等を目的として研究が進められているシステムの例を示す。この例では、都市で発生するし尿や生ごみからメタンを回収するとともに、その処理水と雑排水から膜処理水を回収している。

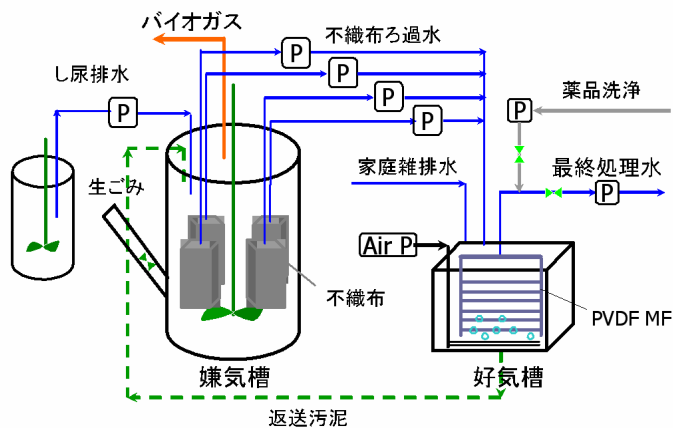


図 I - 10 嫌気不織布・好気 MBR⁶⁹⁾

2.4 他機関における膜処理技術の研究開発の動向について

最近 5 ヶ年程度の下水道関係機関以外の機関における膜処理技術の実用化に向けた研究開発テーマを示す。

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

表 I - 5 排水処理に関する膜処理技術の研究開発動向

研究機関	研究開発テーマ	年度
(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)	革新的膜分離技術の開発	2009～2012
	省エネ型膜分離活性汚泥法(MBR)の開発	2009～2013
(財)造水促進センター	PTFE 膜 MBR による下水の再生処理技術開発	2008, 2009
	低コスト下水再生利用技術の開発	2009,2010
(財)水道技術研究センター	膜ろ過法の新分野への適用技術に関する研究	1997～2001
	膜を用いた浄水場排水処理	2002～2004
	膜ろ過膜モジュール等標準化に関する研究	2004～
(独)国立環境研究所	浸出水処理への逆浸透膜法の適用	1997
(財)日本環境整備教育センター	膜処理法を導入した小型生活排水処理装置の実用化に関する研究	1998～2000
	膜分離法における効率的な窒素除去に関する研究	2009
10 大学, 民間企業 17 社, 東京都下水道局, 日本下水道事業団の産官学連携体制	メガトンウォーターシステム	2010～2014

3. ケーススタディ参考資料

3.1 仮想既設処理場の詳細施設条件

本編 4.3 節のコスト検討において検討対象とした仮想既設処理場の概要、仕様および概略図面は次のとおりである。

(1) 概略

仮想既設処理場（標準活性汚泥法）の施設条件については，日本下水道事業団「標準活性汚泥法設計指針（案）」（平成 7 年）に基づいて設定することとする。

表 I - 6 仮想既設処理場の設計諸元

①最初沈殿池	水面積負荷	[m ³ /(m ² ・日)]	50
	有効水深	[m]	3.0
	越流負荷	[m ³ /(m・日)]	<250
	形状		矩形/円形
②反応タンク	1 池当り規模	[m ³ /日]	2,500～7,500
	HRT	[hr]	8.0
	有効水深	[m]	5.5
	槽構成		4 槽
	槽容量比		1:1.5:1.5:2.25
	MLSS	[mgSS/L]	1,500～2,000
	汚泥返送比	[-]	0.5～1.0
	散気装置		水中攪拌式/全面 エアレーション式(2,4 槽)
③最終沈殿池	水面積負荷	[m ³ /(m ² ・日)]	20
	有効水深	[m]	3.5
	越流負荷	[m ³ /(m・日)]	120
	形状		矩形/円形
	返送汚泥引抜方法		ポンプ/テレスコ

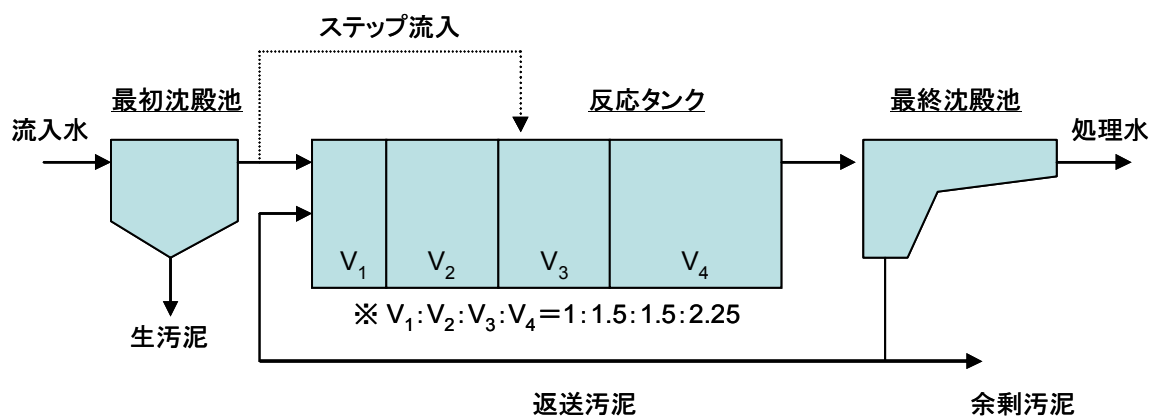


図 I - 11 仮想処理場の水処理施設の構成（改築前）

(2) 仮想処理場の設備仕様

表 I - 7 設備仕様

全体処理能力			50,000 m ³ /日
1 池当たり処理能力			5,000 m ³ /日
検討を行う池数			1
最初沈殿池	形状	円形	
	寸法※	φ 11.3 m	
	有効水深	3.0 m	
反応タンク	容量※, 寸法※, HRT	全体	1,676 m ³ , W 7.95m×L 38.4m×H 5.5m, HRT=8.0 hr
		第1区画	288 m ³ , W 7.95m×L 6.6m×H 5.5m, HRT=1.4 hr
		第2区画	397 m ³ , W 7.95m×L 9.1m×H 5.5m, HRT=1.9 hr
		第3区画	397 m ³ , W 7.95m×L 9.1m×H 5.5m, HRT=1.9 hr
		第4区画	594 m ³ , W 7.95m×L 13.6m×H 5.5m, HRT=2.9 hr
最終沈殿池	形状	矩形	
	寸法※	(W 4.0m×2)×L 31.3m	
	有効水深	3.5 m	

※ 1 池当りの数値

(3) 仮想処理場の機器仕様

表 I - 8 機器仕様

送風機(ブロワ)	能力・数量	75m ³ /分×6,500mmAq×2 台(=150m ³ /分)
	形式	多段ターボブロワ
散気装置	能力・数量	第1区画:2.2kw×1 台 第2区画:7.5kw×1 台 第3区画:3.7kw×1 台 第4区画:7.5kw×1 台
	形式	水中攪拌散気装置
返送汚泥ポンプ	能力・数量	3.5m ³ /分×1 台/池
	形式	吸込スクレー付汚泥ポンプ
余剰汚泥ポンプ	能力・数量	0.5m ³ /分×1 台/2 池
	形式	吸込スクレー付汚泥ポンプ
生汚泥ポンプ	能力・数量	0.5m ³ /分×1 台/1 池
	形式	吸込スクレー付汚泥ポンプ
最初沈殿池 汚泥掻寄機	数量	φ 11.3m×1 台/池
	形式	中央駆動懸垂式
最初沈殿池 汚泥掻寄機	数量	メイン: 2 台/池, クロス: 1 台/池
	形式	チェーンフライト式

3.2 ワーキンググループ参画委員提示の MBR システムの概要(既設, 新設)

ガイドライン中のコスト検討（3.4 及び 4.3）における WG 参画委員による検討結果の一例（既設改造, 新設）を示す。

会 社 名	荏原エンジニアリングサービス株式会社		
処理フロー例 (既設改造例)			
配 置 例 (既設改造例)			
膜分離方式	浸漬型（一体型）	浸漬型（槽別置型）	槽外型
生物処理方式	循環式硝化脱窒法	無酸素-嫌気-好気法	UCT 法 凝集剤添加（有/無）
膜ユニット	膜の種類：中空糸膜 平膜（平膜 スパイラル） モノリス膜 管状膜 ろ過方式：ポンプ吸引方式 ポンプ加圧方式 水位差利用方式 膜の材質：PVDF（ポリフッ化ビニリデン） 膜の公称孔径：0.4 μm		
膜洗浄方法	薬液注入洗浄：週 1 回，次亜塩素酸ナトリウム溶液，30 分 浸漬洗浄：差圧が回復しない場合，次亜塩素酸ナトリウム溶液またはシュウ酸溶液，6～24 時間		
その他特徴等	- 製品ラインナップとして，500m²，750m²，1000 m²/基と取り揃えており，様々なレイアウトに対応。 - 中空糸膜はPVDFを支持体にコーティングしているため高強度である。 - 中空糸膜の高集積化によるコンパクト設計。 		

会 社 名	荏原エンジニアリングサービス株式会社
処理フロー例 (循環式硝化脱 窒型 MBR)	
配 置 例 新設 10,000m ³ /日	
膜分離方式	浸漬型（一体型） 浸漬型（槽別置型） 槽外型
生物処理方式	循環式硝化脱窒法
膜ユニット	膜の種類：中空糸膜 平膜（平膜 スパイラル） モノリス膜 管状膜 ろ過方式：ポンプ吸引方式 ポンプ加圧方式 水位差利用方式 膜の材質：PVDF（ポリフッ化ビニリデン） 膜の公称孔径：0.4 μm
膜洗浄方法	薬液注入洗浄：週 1 回，次亜塩素酸ナトリウム溶液，30 分 浸漬洗浄：差圧が回復しない場合，次亜塩素酸ナトリウム溶液またはシュウ酸溶液，6～24 時間
その他特徴等	・ 製品ラインナップとして，500 m²，750 m²，1000 m²/基と取り揃えており，様々なレイアウトに対応。 ・ 中空糸膜はPVDFを支持体にコーティングしているため高強度である。 ・ 中空糸膜の高集積化によるコンパクト設計。

会 社 名	株式会社神鋼環境ソリューション		
処理フロー例 (既設改造例)			
配 置 例 (既設改造例)			
膜分離方式	浸漬型（一体型）	浸漬型（槽別置型）	槽外型
生物処理方式	循環式硝化脱窒法	無酸素-嫌気-好気法	UCT 法 凝集剤添加（有／無）
膜ユニット	膜の種類：中空糸膜 平膜（平膜 スパイラル） モノリス膜 管状膜 ろ過方式：ポンプ吸引方式 ポンプ加圧方式 水位差利用方式 膜の材質：PVDF（ポリフッ化ビニリデン） 膜の公称孔径：0.1 μm		
膜洗浄方法	薬液注入洗浄：月 1 回程度，次亜塩素酸ナトリウム溶液，120 分 浸漬洗浄：年 1 回程度，次亜塩素酸ナトリウム溶液，8 時間以上 シュウ酸溶液 2 時間		
その他特徴等	補助散気装置には，酸素移動効率の良く，間欠曝気可能な樹脂製散気筒を採用 <中空糸浸漬型精密ろ過膜の施工例> 		

会 社 名	株式会社神鋼環境ソリューション		
処理フロー例 (循環式硝化脱窒型 MBR)			
配 置 例 新設 10,000m ³ /日			
膜分離方式	浸漬型（一体型）	浸漬型（槽別置型）	槽外型
生物処理方式	循環式硝化脱窒法		
膜ユニット	膜の種類：中空糸膜 平膜（平膜 スパイラル） モノリス膜 管状膜 ろ過方式：ポンプ吸引方式 ポンプ加圧方式 水位差利用方式 膜の材質：PVDF（ポリフッ化ビニリデン） 膜の公称孔径：0.1 μm		
膜洗浄方法	薬液注入洗浄：月 1 回程度，次亜塩素酸ナトリウム溶液，120 分 浸漬洗浄：年 1 回程度，次亜塩素酸ナトリウム溶液，8 時間以上 シュウ酸溶液 2 時間		
その他特徴等	補助散気装置には，酸素移動効率の良く，間欠曝気が可能な樹脂製散気筒を採用 <中空糸浸漬型精密ろ過膜の施工例> 		

会 社 名	株式会社西原環境テクノロジー		
処理フロー例 (既設改造例)			
配 置 例 (既設改造例)			
膜分離方式	浸漬型（一体型）	浸漬型（槽別置型）	槽外型
生物処理方式	循環式硝化脱窒法	無酸素-嫌気-好気法	UCT 法 凝集剤添加（有／無）
膜ユニット	膜の種類：中空糸膜 平膜（平膜 スパイラル） モノリス膜 管状膜 ろ過方式：ポンプ吸引方式 ポンプ加圧方式 水位差利用方式 膜の材質：PVDF（ポリフッ化ビニリデン） 膜の公称孔径：0.1 μm		
膜洗浄方法	薬液注入洗浄：週 1 回，次亜塩素酸ナトリウム溶液（100ppm），70 分 浸漬洗浄：年 1 回程度，次亜塩素酸ナトリウム溶液（1000ppm），6 時間		
その他特徴等	中空糸は膜支持層と膜層の二重構造からなり強度が大きいため、空気による膜洗浄の他、吸引中 10 分毎の逆圧洗浄を行うことが可能で、常時膜の詰りを防止できる。 膜ろ過吸込管中に気液分離タンク及び真空ポンプを設置し、空気混入による吸引不良を防止している。		

会 社 名	株式会社西原環境テクノロジー
処理フロー例 (循環式硝化脱窒型 MBR)	
配 置 例 新設 10,000m ³ /日	
膜分離方式	浸漬型（一体型） 浸漬型（槽別置型） 槽外型
生物処理方式	循環式硝化脱窒法
膜ユニット	膜の種類：中空糸膜 平膜（平膜 スパイラル） モノリス膜 管状膜 ろ過方式：ポンプ吸引方式 ポンプ加圧方式 水位差利用方式 膜の材質：PVDF（ポリフッ化ビニリデン） 膜の公称孔径：0.1 μ m
膜洗浄方法	薬液注入洗浄：週 1 回，次亜塩素酸ナトリウム溶液（100ppm），70 分 浸漬洗浄：年 1 回程度，次亜塩素酸ナトリウム溶液（1000ppm），6 時間
その他特徴等	中空糸は膜支持層と膜層の二重構造からなり強度が大きいため、空気による膜洗浄の他、吸引中 10 分毎の逆圧洗浄を行うことが可能で、常時膜の詰りを防止できる。 膜ろ過吸込管中に気液分離タンク及び真空ポンプを設置し、空気混入による吸引不良を防止している。

会 社 名	前澤工業株式会社		
処理フロー例 (既設改造例)			
配 置 例 (既設改造例)			
膜分離方式	浸漬型（一体型）	浸漬型（槽別置型）	槽外型
生物処理方式	循環式硝化脱窒法	無酸素-嫌気-好気法	UCT 法 凝集剤添加（有／無）
膜ユニット	膜の種類：中空糸膜 平膜（平膜 スパイラル） モノリス膜 管状膜 ろ過方式：ポンプ吸引方式 ポンプ加圧方式 水位差利用方式 膜の材質：親水性 PTFE（親水性ポリテトラフロロエチレン） 膜の公称孔径：0.2 μ m		
膜洗浄方法	薬液注入洗浄：1～2 週 1 回，次亜塩素酸ナトリウム溶液＋苛性ソーダ，50 分 浸漬洗浄：3 年 1 回程度，苛性ソーダ溶液，6 時間以上 → 硫酸，3 時間以上 → リンス		
その他特徴等	本 MBR に用いている中空糸膜の引張り強度は約 60N／本であり，機械的強度に優れています。また，耐薬品性に優れた素材ですから，アルカリでの洗浄が行えます。薬品注入洗浄時には，苛性ソーダを混ぜた次亜塩素酸ナトリウムでの洗浄を行いますので，油分による膜ファウリングが発生した場合も洗浄可能であり，幅広い原水への対応が可能です。		



PTFE 製膜モジュール

会 社 名	前澤工業株式会社
処理フロー例 (循環式硝化脱窒型 MBR)	
配 置 例 新設 10,000m ³ /日	
膜分離方式	浸漬型（一体型） 浸漬型（槽別置型） 槽外型
生物処理方式	循環式硝化脱窒法
膜ユニット	膜の種類：中空糸膜 平膜（平膜 スパイラル） モノリス膜 管状膜 ろ過方式：ポンプ吸引方式 ポンプ加圧方式 水位差利用方式 膜の材質：親水性 PTFE（親水性ポリテトラフロロエチレン） 膜の公称孔径：0.1 μm
膜洗浄方法	薬液注入洗浄：1～2 週 1 回，次亜塩素酸ナトリウム溶液＋苛性ソーダ，50 分 浸漬洗浄：3 年 1 回程度，苛性ソーダ溶液，6 時間以上 → 硫酸，3 時間以上 → リンス
その他特徴等	本 MBR では、機械的強度に強く（引張り強度≒約 60N／本），耐薬品性に優れた PTFE 製の中空糸膜を用いています。PTFE 製中空糸膜は，薬品洗浄で膜ファウリング物質を落としやすい強い薬品（強アルカリなど）での洗浄が可能です。よって，幅広い原水への対応が可能であると共に，長期運転での対応が行いやすくなります。また，本 PTFE 製中空糸膜はスキン層と支持層からなる 2 槽構造の膜です。スキン層では分離を行い，支持層で強度を保ちます。スキン層厚さを薄くすることで，通水性を向上させており，比較的高い膜ろ過流速での運転が安定して行えるようになっています。 PTFE 膜ユニット

会 社 名	株式会社日立プラントテクノロジー
処理フロー例 (既設改造例)	
配 置 例 (既設改造例)	
膜分離方式	浸漬型（一体型） <u>浸漬型（槽別置型）</u> 槽外型
生物処理方式	<u>循環式硝化脱窒法</u> 無酸素-嫌気-好気法 UCT 法 凝集剤添加（ <u>有</u> ／無）
膜ユニット	膜の種類：中空糸膜 <u>平膜</u> （ <u>平膜</u> スパイラル） モノリス膜 管状膜 ろ過方式： <u>ポンプ吸引方式</u> ポンプ加圧方式 水位差利用方式 膜の材質：PVDF（ポリフッ化ビニリデン） 膜の公称孔径：0.1 μm
膜洗浄方法	薬液注入洗浄：1回／月，0.2%次亜塩素酸ナトリウム溶液，2時間／回 1回／2ヶ月，0.5%シュウ酸溶液，2時間／回 浸漬洗浄：年1回程度，0.2%次亜塩素酸ナトリウム溶液，2時間／回
その他特徴等	技術的特徴（省エネルギー化） ・好気タンクと膜分離タンクに分割することで散気量を削減。 ・高効率散気装置と NH ₄ -N センサーを用いた風量制御機構の採用により，流入負荷変動に対応した最適風量制御。 ・エアリフトポンプの採用による循環ポンプ動力の削減。 ・インペラ2段チューブ型攪拌機による攪拌動力の低減。

会 社 名	株式会社日立プラントテクノロジー
処理フロー例 (循環式硝化脱窒型 MBR)	
配 置 例 新設 10,000m ³ /日	
膜分離方式	浸漬型（一体型） <u>浸漬型（槽別置型）</u> 槽外型
生物処理方式	循環式硝化脱窒法
膜ユニット	膜の種類：中空糸膜 <u>平膜</u> (<u>平膜</u> スパイラル) モノリス膜 管状膜 ろ過方式： <u>ポンプ吸引方式</u> ポンプ加圧方式 水位差利用方式 膜の材質：PVDF（ポリフッ化ビニリデン） 膜の公称孔径：0.1 μm
膜洗浄方法	薬液注入洗浄：1 回／月，0.2%次亜塩素酸ナトリウム溶液，2 時間／回 1 回／2 ヶ月，0.5%シュウ酸溶液，2 時間／回 浸漬洗浄：年 1 回程度，0.2%次亜塩素酸ナトリウム溶液，2 時間／回
その他特徴等	技術的特徴（省エネルギー化） ・好気タンクと膜分離タンクに分割することで散気量を削減。 ・高効率散気装置と NH₄-N センサーを用いた風量制御機構の採用により，流入負荷変動に対応した最適風量制御。 ・エアリフトポンプの採用による循環ポンプ動力の削減。 ・インペラ 2 段チューブ型攪拌機による攪拌動力の低減。

会 社 名	株式会社クボタ
処理フロー例 (既設改造例)	
配 置 例 (既設改造例)	
膜分離方式	<u>浸漬型（一体型）</u> 浸漬型（槽別置型） 槽外型
生物処理方式	循環式硝化脱窒法 無酸素-嫌気-好気法 <u>UCT 法</u> 凝集剤添加（ <u>有</u> ／無）
膜ユニット	膜の種類：中空糸膜 <u>平膜</u> （平膜 スパイラル） モノリス膜 管状膜 ろ過方式：ポンプ吸引方式 ポンプ加圧方式 <u>水位差利用方式</u> 膜の材質：塩素化ポリエチレン 膜の公称孔径：0.4 μm
膜洗浄方法	薬液注入洗浄：年4回，次亜塩素酸ナトリウム溶液，30分～2時間
その他特徴等	膜ユニットの改良による膜洗浄空気量の低減，エアリフトポンプ及び水位差利用ろ過方式の採用により消費電力量を低減。 UCT 法によりリン除去用凝集剤使用量を低減。 膜ユニットの浸漬洗浄が不要。

会 社 名	株式会社クボタ
処理フロー例 (循環式硝化脱窒型 MBR)	
配 置 例 新設 10,000m ³ /日	
膜分離方式	浸漬型（一体型） 浸漬型（槽別置型） 槽外型
生物処理方式	循環式硝化脱窒法
膜ユニット	膜の種類：中空糸膜 <u>平膜</u> （平膜 スパイラル） モノリス膜 管状膜 ろ過方式： <u>ポンプ吸引方式</u> ポンプ加圧方式 水位差利用方式 膜の材質：塩素化ポリエチレン 膜の公称孔径：0.4 μ m
膜洗浄方法	薬液注入洗浄：年 4 回，次亜塩素酸ナトリウム溶液，30 分～2 時間
その他特徴等	膜ユニットの改良による膜洗浄空気量の低減，エアリフトポンプにより消費電力量を低減。 水位条件により水位差利用ろ過方式も適用可能。 UCT 法（生物学的窒素・リン除去）によりリン除去用凝集剤使用量を低減。 膜ユニットの浸漬洗浄が不要。

会 社 名	メタウォーター株式会社
処理フロー例 (既設改造例)	
配 置 例 (既設改造例)	
膜分離方式	浸漬型（一体型） 浸漬型（槽別置型） <u>槽外型</u>
生物処理方式	<u>循環式硝化脱窒法</u> 無酸素-嫌気-好気法 UCT 法 凝集剤添加 (<u>有</u> /無)
膜ユニット	膜の種類：中空糸膜 平膜（平膜 スパイラル） <u>モノリス膜</u> 管状膜 ろ過方式： <u>ポンプ吸引方式</u> ポンプ加圧方式 水位差利用方式 膜の材質：セラミック 膜の公称孔径：0.1 μ m
膜洗浄方法	薬液注入洗浄：週 112 回，次亜塩素酸ナトリウム溶液，5 分 浸漬洗浄：年 4 回程度，次亜塩素酸ナトリウム溶液，12 時間， 硫酸溶液，12 時間 逆圧洗浄：45 分毎（簡易逆洗 10 分毎）
その他特徴等	・膜ユニット及び膜エレメントの耐用年数はともに 15 年以上 ・槽外型のため通気倍率が低い（脱臭風量少） （反応槽 8.7 倍＋膜洗浄用 1.7～2.4 倍） ・膜の逆圧洗浄（500kPa）が可能 ・フラックスが高い（最大フラックス 3.2m/d） ・膜の薬液浸漬洗浄や点検作業時においても，反応タンクがそのまま運転できる

会 社 名	メタウォーター株式会社
処理フロー例 (循環式硝化脱窒型 MBR)	
配 置 例 新設 10,000m ³ /日	
膜分離方式	浸漬型（一体型） 浸漬型（槽別置型） 槽外型
生物処理方式	循環式硝化脱窒法
膜ユニット	膜の種類：中空糸膜 平膜（平膜 スパイラル） モノリス膜 管状膜 ろ過方式： ポンプ吸引方式 ポンプ加圧方式 水位差利用方式 膜の材質：セラミック 膜の公称孔径：0.1 μm
膜洗浄方法	薬液注入洗浄：週 112 回，次亜塩素酸ナトリウム溶液，5 分 浸漬洗浄：年 4 回程度，次亜塩素酸ナトリウム溶液，12 時間， 硫酸溶液，12 時間 逆圧洗浄：45 分毎（簡易逆洗 10 分毎）
その他特徴等	・膜ユニット及び膜エレメントの耐用年数はともに 15 年以上 ・槽外型のため通気倍率が低い（脱臭風量少） （反応槽 11.9 倍＋膜洗浄用 1.7～2.4 倍） ・膜の逆圧洗浄（500kPa）が可能 ・フラックスが高い（最大フラックス 3.2m/d） ・膜の薬液浸漬洗浄や点検作業時においても，反応タンクがそのまま運転できる

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]

別冊Ⅱ 【A-JUMP 実証事業の成果】

1. A-JUMP 概要

(1) 事業の経緯^{38), 78)}

2009 年 6 月 1 日～7 月 21 日：国土交通省より公募

「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」（改築 MBR 実証事業）

「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」（サテライト MBR 実証事業）

- ・ 2009 年 8 月 11 日：各 1 者の実証事業者を特定
- ・ 2009 年 8 月：国土交通省から民間企業（「実証事業者」）へ委託
- ・ 2009 年 8 月～2010 年 3 月：実証事業（建設・馴致・運転）
- ・ 2010 年度以降：実証フィールド自治体等が実施主体となって知見やデータの集積

	2009年					2010年															2011年		
	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3			
計画・設計		←→																					
機器製作・工事		←→																					
試運転						⇐																	
実証試験						←→																	
運転(データ集積)									←														

注：実施スケジュールは、改築 MBR，サテライト MBR で若干異なるが，概要を示した。

(2) 事業の内容

MBR の中大規模下水処理場の改築及び MBR を活用したサテライト処理の適用性について，実際の下水処理場で実施し，今後の本格的な MBR 普及に向けて必要な知見やデータを集積する。

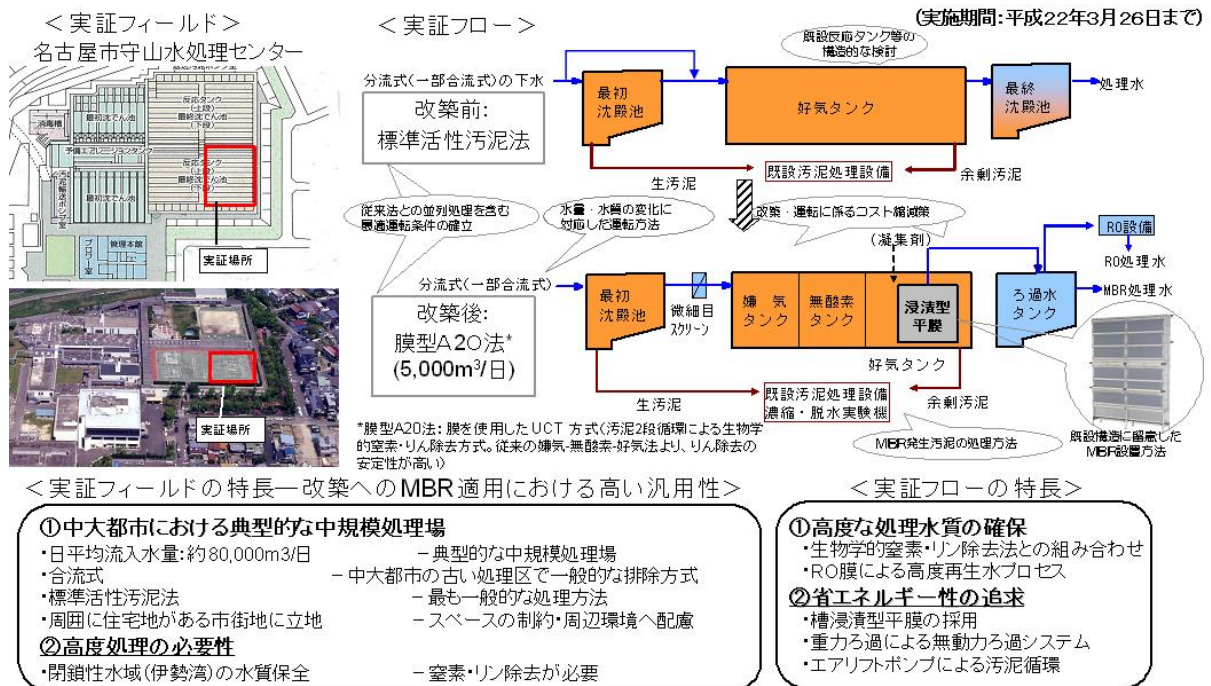
- ・ MBR システム導入に必要な施設（膜モジュール吊り上げ装置，洗浄用施設等）の配置上の留意点^(A,B)
- ・ 膜モジュールを設置する既設反応タンク等の構造的な検討事項・留意事項^(A)
- ・ 既設の送風設備その他既設の設備の活用可能性^(A)
- ・ MBR システムの最適運転条件^(A,B)
- ・ 流入下水の量的・質的変動に対する処理の安定性^(A,B)
- ・ MBR システム処理水の再生水としての適用可能性^(B)
- ・ MBR システムから発生する余剰汚泥等を，既設の汚泥処理施設で処理または余剰汚泥等の下水管へ返送するにあたっての留意事項^(A,B)
- ・ 設置，運転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

(A)既設 MBR 実証事業，(B)サテライト MBR 実証事業，(A,B)共通した内容

(3) 実証事業の概要

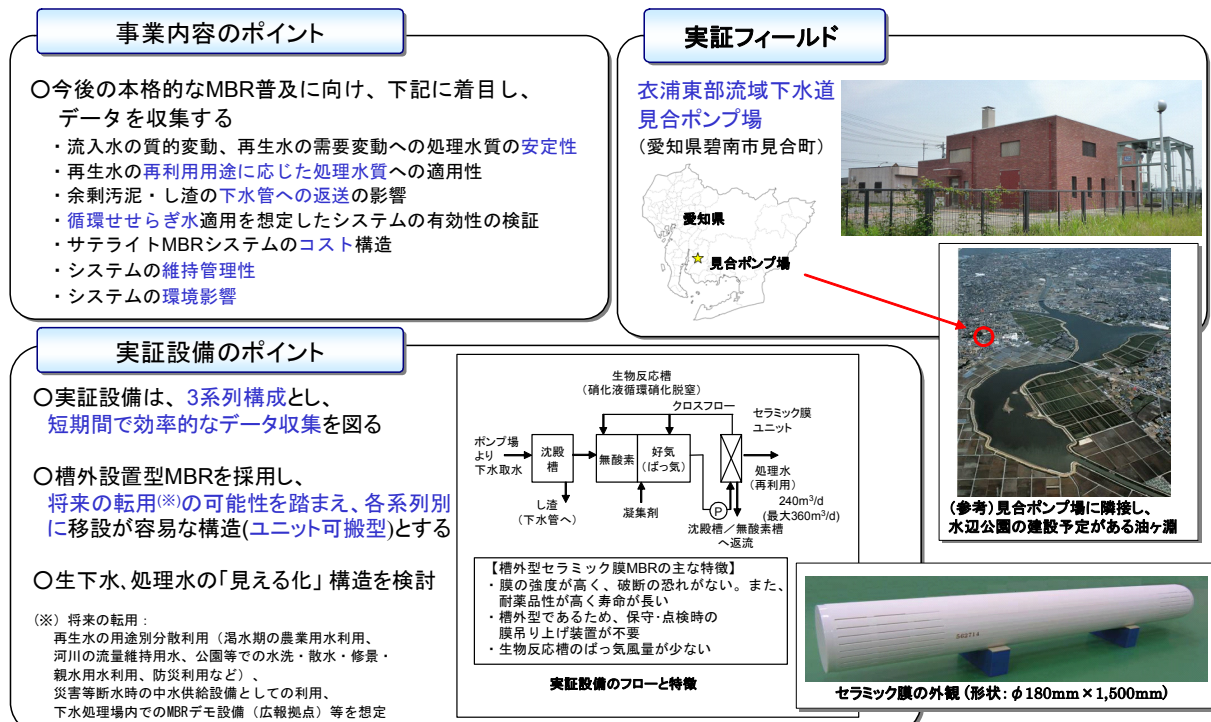
①既設下水処理施設の改築における膜分離活性汚泥法適用化実証事業³⁸⁾

実施事業者：クボタ環境サービス株式会社、共同実施者：名古屋市



②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(サテライト MBR 実証事業)⁷⁸⁾

実施事業者：メタウォーター株式会社、共同実施者：愛知県



2. A-JUMP の成果

(1) 実証施設の概要^{64, 78)}

A-JUMP 事業の施設概要を表Ⅱ-1 に示す。

表Ⅱ-1 A-JUMP 実証施設の概要

		改築 MBR 実証施設	サテライト MBR 実証施設
実証事業者		クボタ環境サービス(株)	メタウォーター(株)
共同実施者		名古屋市	愛知県
実証 フィールド	名称	守山水処理センター	衣浦東部流域下水道 見合ポンプ場
	所在地	名古屋市北区	碧南市見合町
	排除方式	合流式	分流式
	水処理方式	標準活性汚泥法	—
	現有能力	128,000 m ³ /日(水処理・日最大)	28 m ³ /分(排水能力・晴天時最大)
	放流先	庄内川	—
	供用開始	1978 年 4 月	1998 年 10 月
実証施設 概要	生物処理方式	膜型 UCT 法 ^{注1)} (PAC 添加設備あり)	凝集剤(PAC)添加型 循環式硝化脱窒法
	膜分離方式	浸漬型 (一体型)	槽外型
	MBR 流入水	流入下水・初沈流出水 (単体又はブレンド水)	ポンプ場流入水を 沈殿槽(50m ³ /m ² ・日)処理後
	スクリーン	3.0mm (反応タンク前)	
	反応タンク容量(m ³)	1,304 (嫌気 218,無酸素 457,好気 629)	20×3 系列 (無酸素 12, 好気 8)
	有効水深(m)	7.0	2.2
	膜の種類	有機平膜	セラミック膜
	膜ユニット	膜モジュール 200 枚×2 段 膜ユニット数: 12 基 膜面積 580m ²	3 本組/系列 膜面積 72m ² /系列
	内部循環方式	エアリフト	ポンプ
	膜ろ過方式	サイフォンろ過 (バックアップとしてポンプ設備あり)	クロスフロー吸引ろ過
	薬液洗浄	インライン方式	
運転条件 (計画)	計画処理水量 (m ³ /日)	4,000 (冬季)~5,000 (夏季) ^{注2)} (定量及び時間変動)	80~120×3 系列 ^{注3)} (定量)
	反応タンク HRT	6.3hr(夏季)~7.8(冬季)	4~6hr
	透過流束(m/d)	0.57(冬季)~0.72(夏季) ^{注4)}	1.1~2.6
	MLSS(mg/L)	8,000~12,000	9,000~13,500
	循環比	硝化液 4.0, 脱窒液 1.0	内部循環 2.5
		DO 制御	DO・ORP 制御
	空気倍率(倍)	8.5~12.5(10.6~12 実績, 原水が初 沈流出水の場合) 9.7~15.8(10.6~12 実績, 原水が初 沈流入水と初沈流出水の混合時, 混合 比は 2:8~10:0)	16~18(H22.9~11 実績) ^{注5)}
	PAC 注入(mgAl/L)	—	2~3

注 1) UCT 法: 嫌気-無酸素-好気法の変法で, 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

2) 時間変動運転時は時間変動比 1.5 倍とし, 夏季 (5,000m³/日) においては, 日平均 4,000m³/日, 時間最大 6,000m³/日とする運転
3) 80m³/日 (定量) を基本とするが, 一時的に再生水供給水量を増加させるケースを想定し, 高い透過流束運転 (120m³/日) も実証する。

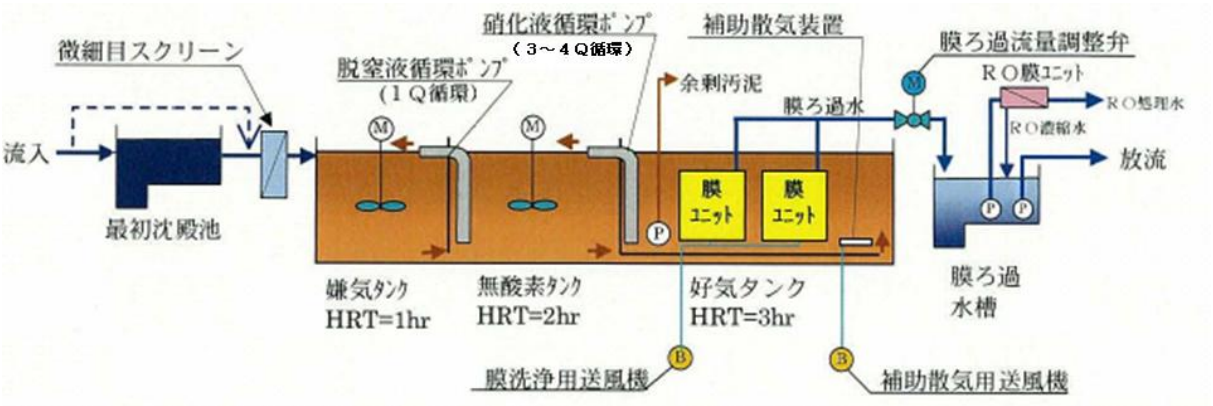
4) 冬季/夏季の設計水量に相当する透過流束を示したもので, 膜ろ過能力を意味するものではない。

5) 周辺環境配慮のため水深が 2.2m であり溶存酸素効率を高めることが難しい。水深 2.2m での空気倍率 16~18 倍は, 水深 5m 換算では 9~10 倍に相当。

(2) 改築 MBR 実証施設の結果概要³⁸⁾

改築 MBR 実証施設の処理フローを図Ⅱ-1、計画水質を表Ⅱ-2 に示す。また、実験結果(2009,2010 年度)の概要を表Ⅱ-3、図Ⅱ-2、Ⅱ-3 に示した。日平均透過流束 0.3～0.7m/d の範囲で、平均膜差圧 1.5～1.6kPa の低い圧力差でろ過水を得ることが可能であった。定常負荷運転・負荷変動運転の両方で、リン以外の項目について目標水質を達成し安定した処理性能を確認することができた。なお、2009 年度では、原水 BOD、SS と T-P 濃度のバランス等の問題から、生物学的リン除去が安定的に機能せず、目標値を大きく上回ったが、2010 年度において最初沈殿池流入水の比率増加や、硝化循環液量の低減等を行うことによって、処理水のリン濃度は低く安定した。

なお、実証施設で得られた知見、留意点を表Ⅱ-4 に整理した。

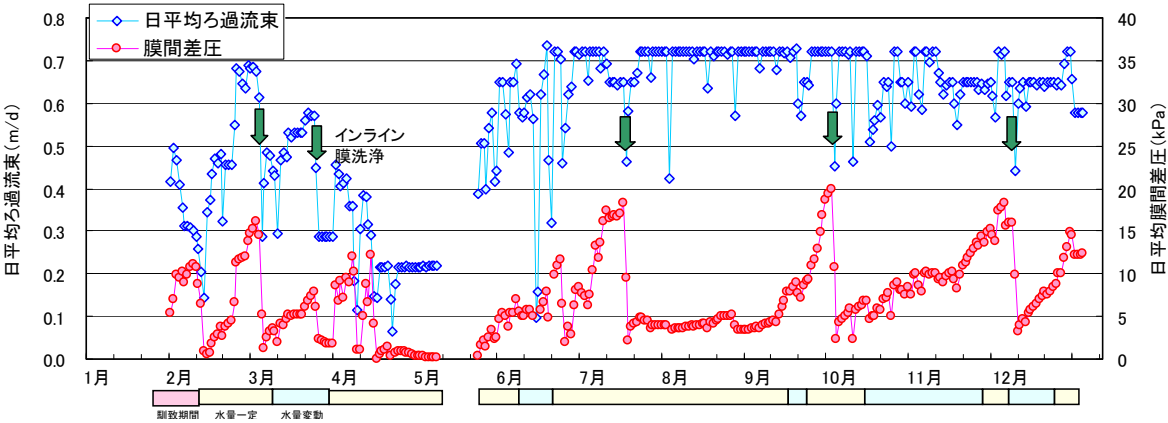


図Ⅱ-1 改築 MBR 実証施設のフロー（再掲）

表Ⅱ-2 改築 MBR 実証施設の計画水質

項目	流入水	初沈流出水	MBR処理水
SS (mg/L)	200	100	—(N.D.)
BOD (mg/L)	200	120	—(<3)
COD (mg/L)	110	66	8.1
T-N (mg/L)	35	31.5	7.0
T-P (mg/L)	5.0	4.25	0.66

新名古屋港海域等流域別下水道整備総合計画(案)より設定
()内はMBRで見込める目標水質



4～5月 は施設改造工事等によりデータは未揭示。6月以降は実証のための運転条件の変動を除いた処理安定後のデータ。

図Ⅱ-2 日間平均透過流束と膜差圧の推移

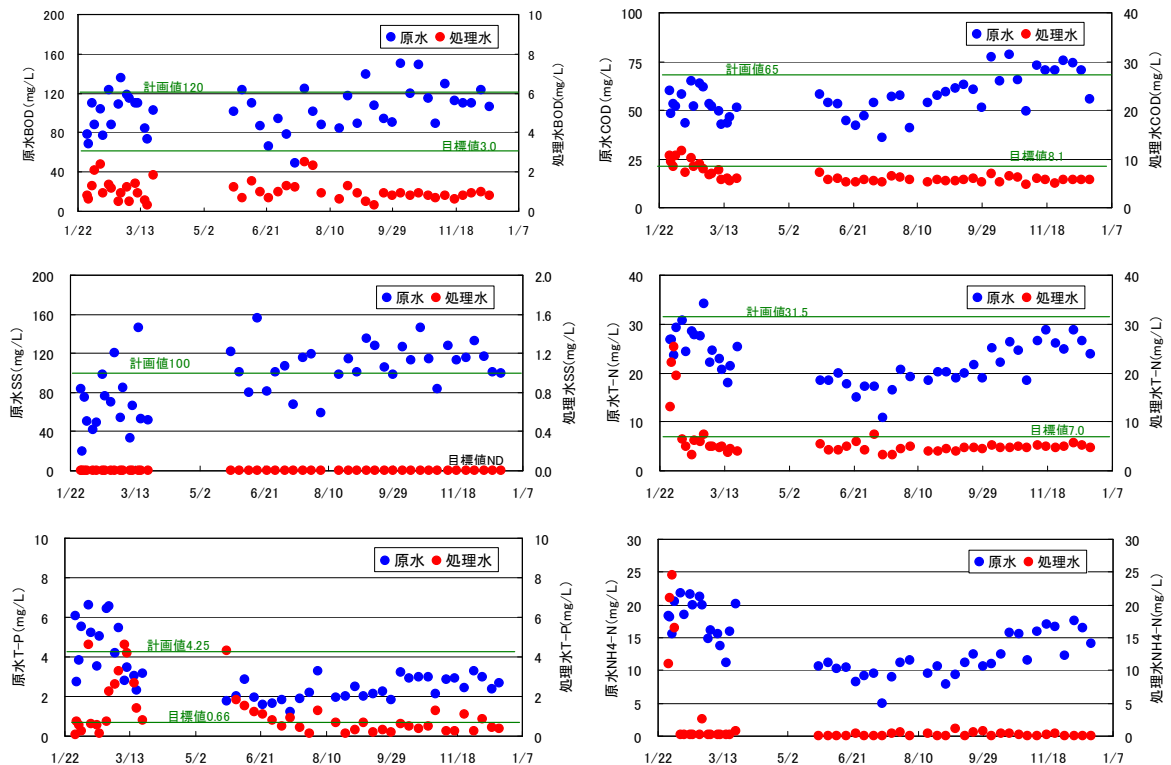
表Ⅱ-3 改築 MBR 実証施設における水質試験結果

水質項目		流入水			MBR処理水		
		晴天時	雨天時	全期間	定常負荷期間	負荷変動期間	全期間
T-BOD	mg/L	100 (73~140) 110 (84~150)	110 (100~120) 90 (49~140)	110 (73~140) 110 (49~150)	8.1 (6.7~10) 1.0 (0.3~2.5)	6.1 (5.4~7.6) 0.9 (0.6~1.5)	7.2 (5.4~10) 1.0 (0.3~2.5)
T-COD _{Mn}	mg/L	52 (43~64) 62 (41~79)	54 (49~65) 53 (36~70)	53 (43~65) 59 (36~79)	- 5.7 (5.1~7.1)	- 5.7 (4.6~6.4)	- 5.7 (4.6~7.1)
TOC	mg/L	43 (14~70) 70 (54~82)	30 (19~40) 28 (-)	39 (14~70) 61 (28~82)	5.9 (4.3~6.8) 3.8 (3.1~5.4)	3.9 (3.6~4.8) 3.8 (3.0~5.0)	4.9 (3.6~6.8) 5.7 (4.6~7.0)
SS	mg/L	84 (53~150) 110 (59~150)	67 (34~98) 110 (68~160)	78 (34~150) 110 (59~160)	N.D. N.D.	N.D. N.D.	N.D. N.D.
TS (全蒸発残留物)	mg/L	300 (220~360) 350 (240~410)	320 (270~420) 310 (300~310)	310 (220~420) 340 (240~410)	220 (190~240) 220 (201~247)	190 (160~230) 247 (230~263)	210 (160~240) 227 (201~263)
T-N	mg/L	25 (18~34) 22 (17~29)	25 (23~28) 19 (11~27)	25 (18~34) 21 (11~29)	5.4 (3.2~7.4) 4.4 (3.3~5.9)	4.3 (3.7~4.8) 4.8 (4.2~5.7)	4.9 (3.2~7.4) 4.6 (3.6~5.9)
NH ₄ -N	mg/L	17 (11~21) 12 (7.9~18)	18 (16~22) 11 (5.0~16)	17 (11~22) 12 (5.0~18)	0.6 (0.2~2.5) -<0.2~1.1)	0.2 (0.1~0.7) 0.3 (0.2~0.6)	0.4 (0.1~2.5) -<0.2~1.1)
T-P	mg/L	4.4 (2.3~6.6) 2.5 (1.6~3.3)	3.7 (2.8~5.4) 2.0 (1.2~2.7)	4.2 (2.3~6.6) 2.3 (1.2~3.3)	1.6 (0.1~3.3) 0.40 (0.10~0.76)	2.7 (0.80~4.6) 0.35 (0.24~0.51)	2.1 (0.10~4.6) 0.38 (0.10~0.76)
PO ₄ -P	mg/L	2.0 (1.1~4.1) 1.2 (0.5~2.5)	1.8 (1.6~2.3) 0.9 (0.2~1.4)	2.0 (1.1~4.1) 1.1 (0.2~2.5)	1.4 (0.10~3.2) 0.37 (0.06~0.74)	2.7 (0.80~4.3) 0.34 (0.24~0.47)	2.0 (0.10~4.3) 0.36 (0.06~0.74)
pH	-	7.1 (6.9~7.3) 6.9 (6.7~7.2)	7.1 (7.1~7.2) 6.8 (6.7~7.0)	7.1 (6.9~7.3) 6.9 (6.7~7.2)	6.9 (6.6~7.3) 5.9 (6.7~7.2)	6.9 (6.8~7.0) 6.7 (6.6~6.9)	6.9 (6.6~7.3) 6.7 (6.6~7.1)
Mアルカリ度	-	120 (81~130) 99 (77~120)	120 (110~140) 87 (66~110)	120 (81~140) 95 (66~120)	43 (39~50) 88 (66~120)	39 (35~44) 39 (31~48)	41 (35~50) 37 (28~48)
色度	-	59 (31~99) 23 (14~32)	78 (49~110) 17 (14~21)	66 (31~110) 21 (14~32)	13 (11~16) 8.6 (7.4~11.0)	9.6 (8.1~16) 9.2 (7.7~10.0)	11 (8.1~16) 8.9 (7.4~11.0)
濁度	-	65 (36~95) 79 (44~130)	66 (46~84) 57 (36~84)	65 (36~95) 72 (36~130)	0.9 (0.6~1.3) -<0.1~1.1)	0.4 (0.2~1.0) 0.5 (0.4~0.7)	0.7 (0.2~1.3) -<0.25~1.1)
BOD/T-N比	-	4.5 (4.1~4.8) 5.1 (3.9~7.6)	4.3 (3.2~5.3) 5.0 (4.0~7.4)	4.3 (3.2~5.3) 5.1 (3.9~7.6)	- -	- -	- -
BOD/T-P比	-	32 (21~39) 46 (27~66)	25 (17~32) 47 (41~69)	28 (17~39) 46 (27~69)	- -	- -	- -

数値は平均値。()内は範囲。

上段は2009年度(2010.2.15~3.23)の結果。

下段は2010年度(6~12月)における結果であり、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。



図Ⅱ-3 原水および処理水の水質 (4~5月は既設改修工事等によりデータは未揭示)

表Ⅱ-4 改築 MBR 実証施設において得られた知見・留意点（2009～2010 年度成果）

送風機	- 設計値 73(膜洗浄 47, 硝化液循環 1, 脱窒液循環 0.3, 補助散気 23)m³/分 - H22.2～3 実績：空気量約 35～53m³/分, 空気倍率約 14～17 倍 [2010 年度における空気倍率は 8.5～15.8 倍]
薬液洗浄	- インライン洗浄：次亜塩素酸ソーダ（有機系汚染対応）、シュウ酸（無機系汚染対応）、浸漬洗浄は行わない 2010.2～3 では月 1 回程度実施 [2010 年度では 1～2.5 ヶ月に 1 回実施] 1 回の洗浄時間(ろ過運転停止を伴う時間)は約 3 時間であるが、システム自動化により殆ど人の手は要せずに実施可能
最初沈殿池	- 既設をそのまま転用、初沈バイパスも可能 2010.2～3＝生下水 2：初沈後 8 の水量比 [2010 年度は生下水：初沈後＝0:10～10:0 で運転] - 初沈の利用により、し渣の削減、BOD 除去に必要な空気量削減の効果が期待される 〔生物学的リン除去の安定化には、初沈バイパスが効果あり〕
最終沈殿池	- MBR では終沈不要 - 送水ポンプのポンプ井を兼ねた膜ろ過水槽として転用流量調整機能を持たせ、流入変動がある条件下でも一定量の処理水放流が可能（再利用時など） - 必要なサイフォンろ過水位差の範囲内で高水位運転＝送水ポンプ動力削減
質的変動に対する安定性	- BOD, SS, T-N は、安定処理 - 生物学的リン除去が不安定で、同時凝集によるバックアップが必要 〔2010 年度は、原水の生下水比率や硝化液循環比の調整により晴天時では生物学的リン除去で概ね目標水質が達成された。また、雨天時においても PAC 添加の併用により処理水リン濃度を安定させられることを確認した。〕
量的変動に対する安定性	- 晴天時日変動(変動比 1.5 程度：時間最大汚水量の継続時間は 1 日数時間程度)で安定した処理が可能 - 雨天時にリン除去悪化 [2010 年度は P A C 添加の併用により安定化] - 季節や流入条件により、時間最大汚水量で数時間ろ過可能な場合もあるが、膜目詰まりに伴う膜差圧の上昇や薬液洗浄頻度の増加等デメリットが大きくなるため、雨天時水量変動に対しては透過流束をあげる以外の対策とする
余剰汚泥	2010.2～3 実績：流入 SS に対し余剰汚泥発生量は 0.75（調査期間が短く、長期間にわたる連続的なデータ収集が必要） - MBR 余剰汚泥は、標準法の余剰汚泥に比べ、VTS 低め、洗浄物質含有量少し大きい、濃縮性・脱水性同等（ただし、実験データが少なく明確な評価はできていない）
消費電力量	2010.2～3 は 0.46kWh/m³ [2010 年度実績は処理水量 5,000m³/日で 0.32～0.48kWh/m³] (小規模で採用された従来 MBR 技術では、0.78kwh/m³：1/3 が膜ろ過ポンプ・循環ポンプ・攪拌機) - 今回は、サイフォンろ過、エアリフトポンプ、縦型低速攪拌機を採用することで省エネ実現（約 40%低下） - 実験施設のため効率の悪いルーツブロワ採用であるが、実施設で効率の良いターボブロワであれば 0.35kWh/m³ まで改善の見込み [2010 年度実績からの試算では 0.21～0.34kWh/m³]
初期運転	- 種汚泥は標準法運転の既設系列余剰汚泥を使用、好気タンク MLSS が 10,000mg/L となる量を投入 - 生物学的窒素除去を実施している処理場の汚泥を導入する方が、速やかな硝化菌の立ち上がりが期待できるが、投入汚泥量が大量であり外部処理場からの汚泥持込は現実的ではない - 汚泥を膜で濃縮して MLSS を高めるものとし、MLSS の上昇に伴い段階的に透過流束を引き上げ、日中の 3 日間で実施

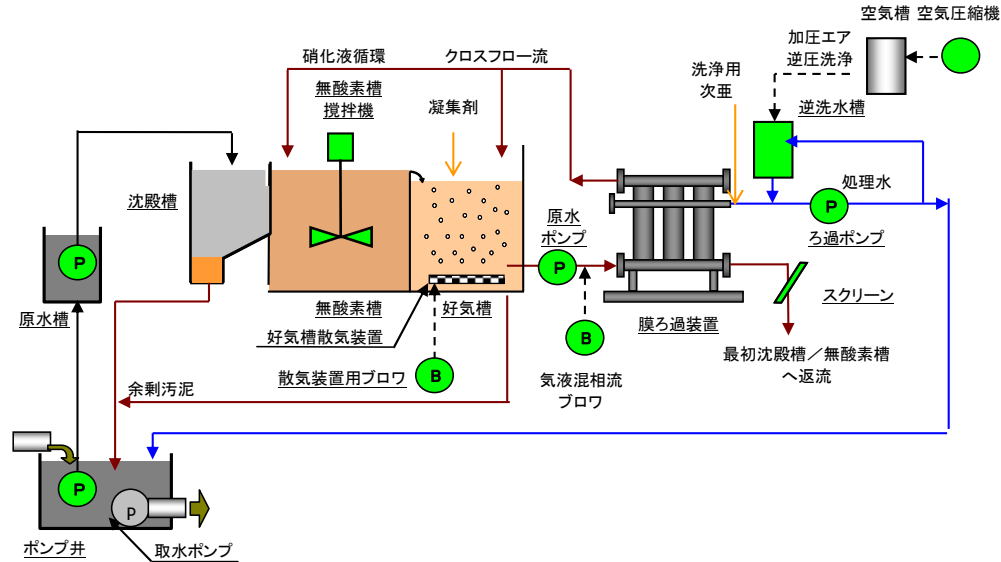
※〔 〕内は 2010 年度に新たに得られた知見と留意点を示す。

(3) サテライト MBR 実証施設の結果概要 ⁷⁸⁾

サテライト MBR 実証施設の処理フローを図Ⅱ-4、計画水質・運転条件を表Ⅱ-5、Ⅱ-6 に示し、また、実験結果（2009～2010 年度）の概要を表Ⅱ-7、図Ⅱ-5、Ⅱ-6 に示した。透過流束を 1.1～2.6m/d に変化させて膜ろ過運転を行っており、実証期間を通じて水温 16～30℃の運転において膜差圧は安定していた。薬品洗浄は期間中 1 回行った。MBR 施設流入水量が計画値より大きいにも関わらず、馴致期間中より、SS、BOD、T-P は処理目標値レベルまで安定的に除去されていた。T-N については、負荷が高い条件ではアンモニアの硝化の立ち上がりには馴致期間を要したものの、期間中の流入水に対する除去率は 80%以上となり良好な処理が行われた。また、2010 年度においては、初沈の改造により MBR 施設流入水について安定した水質を確保できたことから、透過流束を 2.6m/d（運転時*透過流束 3.2m/d）とし、改善された結果を得ている。

※ 膜のろ過-休止(逆圧洗浄)のサイクルにおいて休止時間を含めた平均の透過流速に対し、膜ろ過運転中のみとした場合の透過流速を「運転時透過流速」として参考表示する。

得られた知見、留意点を表Ⅱ-8 に整理した。



図Ⅱ-4 サテライト MBR 実証施設のフロー

表Ⅱ-5 サテライト MBR 実証施設の計画水質

項目	流入水		MBR 処理水
	2009 年度	2010 年度	
SS (mg/L)	150	200	N.D.
BOD(mg/L)	170	250	<1
COD(mg/L)	105	105	5 程度
T-N(mg/L)	33	38	8.0
T-P(mg/L)	3.8	3.8	0.50

表Ⅱ-6 サテライト MBR 実証施設の計画運転条件

	流入水	MLSS (mg/L)	HRT (hr)	透過流束 (m/d)	凝集剤 (PAC)
1 系	希釈原水※もしくは流入原水	8,000～13,500	4～6	1.1～2.6	あり
2 系	希釈原水もしくは流入原水	8,000～13,500	4～6	1.1～2.6	あり
3 系	希釈原水もしくは流入原水	8,000～13,500	4～6	1.1～2.6	あり

※ 原水：処理水＝5：1のブレンド（衣浦東部流入水を参考）

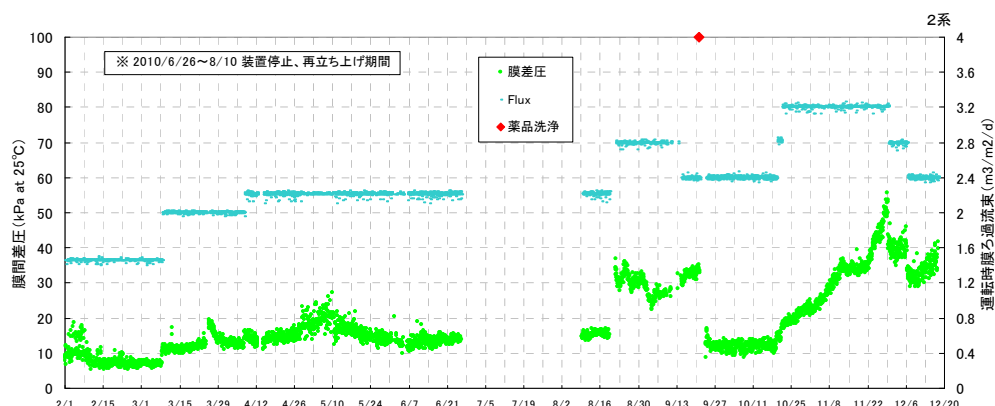
表Ⅱ-7 サテライト MBR 実証施設における水質試験結果（2系・2009～2010 年度）

水質項目		水質測定結果		管理目標	
		流入下水	MBR処理水	流入下水	MBR処理水
水温	℃		18.8 (16.7～20.0) 24.7 (17.4～31.1)		
pH	mg/L		6.9 (6.7～7.0) 6.7 (6.2～7.0)		5.8～8.6
T-BOD	mg/L	240 (140～350) 230 (130～360)	1.1 (0.5～2.0) 1.0 (0.5～1.8)	170	1
COD _{Mn}	mg/L	100 (85～140) 96 (60～130)	6.6 (5.2～8.4) 6.0 (4.3～8.0)	105	5
SS	mg/L	220 (95～270) 210 (83～290)	N.D. N.D.	150	N.D.
TS	mg/L	320 (240～360) 340 (280～410)	250 (210～280) 250 (200～290)		250
T-N	mg/L	37 (34～42) 35 (27～42)	4.8 (2.4～7.4) 3.3 (2.1～7.8)	33	8
NH ₄ -N	mg/L	22 (18～24) 20 (12～24)	2.7 (0.4～5.5) 1.2 (0.1～9.1)		
T-P	mg/L	3.9 (3.3～4.5) 3.7 (3.0～4.7)	- (ND～0.2) - (ND～2.7)	3.8	0.5
大腸菌群数	個/100mL	2.4×10^8 ($3.3 \times 10^7 \sim 9.2 \times 10^8$) 1.0×10^8 ($1.4 \times 10^6 \sim 5.4 \times 10^8$)	不検出 不検出		N.D.
大腸菌	個/100mL	2.3×10^7 ($4.9 \times 10^6 \sim 7.0 \times 10^7$) 7.7×10^6 ($1.1 \times 10^5 \sim 5.4 \times 10^8$)	不検出 不検出		N.D.
臭気			臭気指数 20～26 —		
色度	度	25 (22～27) 28 (22～34)	10 (7.0～13) 11 (5.7～14)		10
濁度	度	140 (78～160) 140 (85～170)	0.3 (78～160) 0.4 (0.1～0.7)		2
電気伝導度	μS/cm	540 (510～570) 530 (500～630)	410 (380～470) 390 (350～460)		300
塩化物イオン	mg/L	42 (36～46) 52 (40～87)	56 (50～68) 60 (51～75)		80
亜鉛	mg/L	0.15 (0.09～0.41) 0.13 (0.09～0.24)	0.07 (0.05～0.09) 0.07 (0.03～0.12)		0.5
銅	mg/L	0.04 (0.03～0.05) 0.04 (0.02～0.06)	0.02 (0.02～0.02) N.D.		0.2
鉄	mg/L	0.5 (0.3～0.9) 0.5 (0.3～0.9)	<0.1 (<0.1～0.2) <0.1 (<0.1～0.2)		0.3

注: 数値は平均値, ()内は範囲

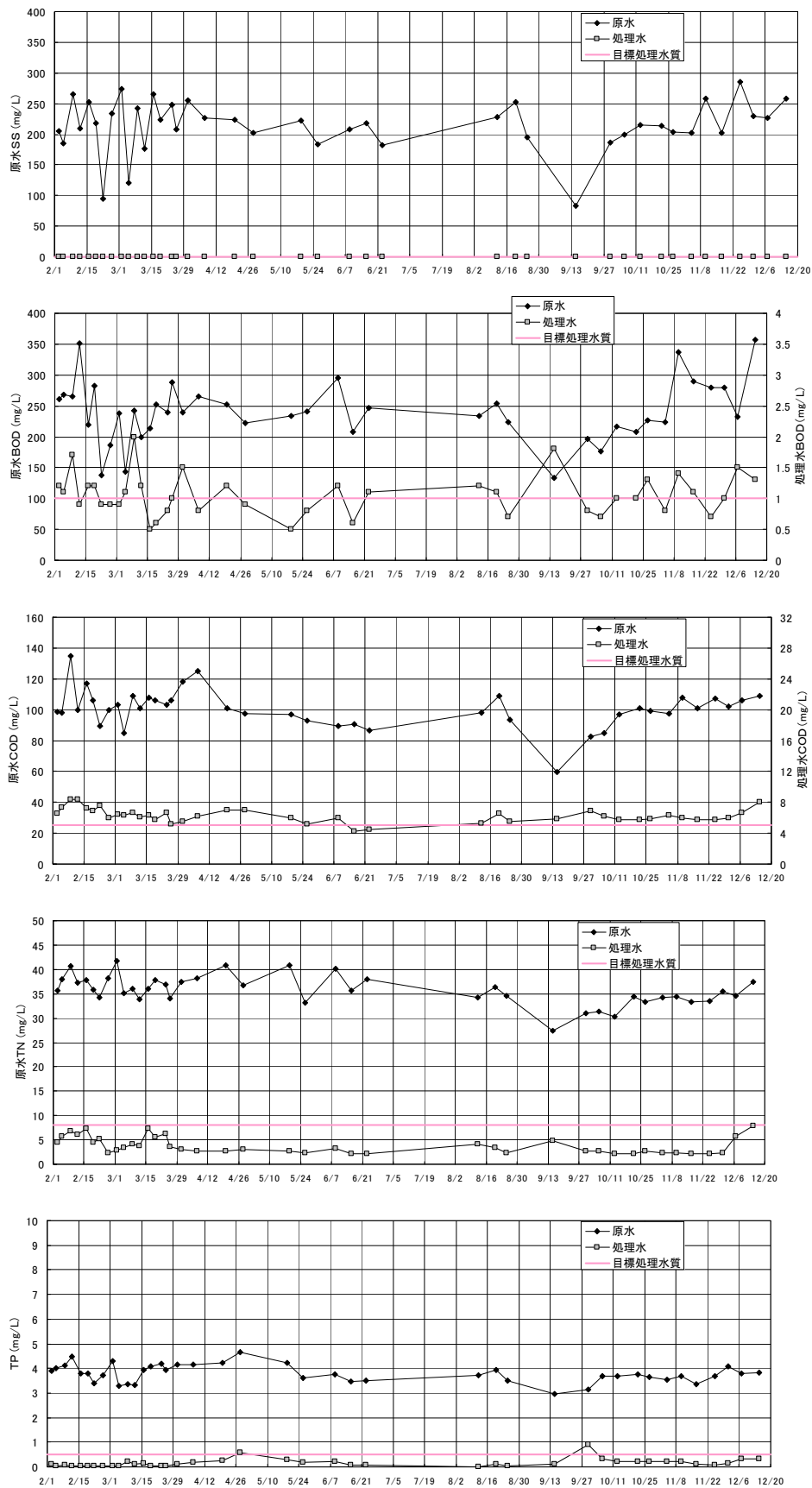
上段は2009年度(2～3月)の結果

下段は2010年度(4～12月)における結果であり, 実証のための運転条件の変動を除いた処理の安定した期間のデータ



※ 2010年6月末～8月初めの期間は, 取水設備不具合による装置停止, 再立ち上げ期間を示す。

図Ⅱ-5 透過流束・膜差圧（2系・2009～2010 年度）



※ 2009 年度（2～3 月）～2010 年度（4～12 月）における結果であり，2010 年度は実証のための運転条件の変動を除いた処理が安定した期間のデータ。

※ 2010 年 6 月末～8 月初めの期間は，取水設備不具合による装置停止，再立ち上げ期間を示す。

図 II - 6 原水および処理水の水質（2 系・2009～2010 年度）

表Ⅱ-8 サテライト MBR 実証施設において得られた知見・留意点（2009～2010 年度成果）

環境配慮	・ 設置場所の近隣に住宅地が存在する可能性があり、設備外観が周囲に対して圧迫感を与えないよう高さ制限や、臭気等への配慮が厳しくなる可能性がある ・ 反応タンク水深が大きく取れず、酸素溶解効率を高めること（省エネ化）が困難（実績は水深 2.2m で 18～28 倍、5.0m 換算では 9～13 倍）〔2010 年度は改善。〕
洗浄	・ 逆洗 45 分間隔、パルス逆洗 10 分間隔、CEB90 分間隔（パルス逆洗：膜ろ過を停止し汚泥循環流（クロスフロー流）を停止しない状態で膜の 2 次側から加圧水を用いて膜を洗浄する工程、CEB：逆洗後膜ケーシング内を薬液に置換・浸漬ののち逆洗を行う工程、次亜塩素酸ナトリウム 150mgCl/L×5 分浸漬） ・ 今回実験期間中、問題はない
クロスフロー	・ クロスフローろ過を行う場合、処理水量に比して十分なクロスフロー流量が確保できる場合は、クロスフロー流による膜面洗浄能力を高く保つことができるため膜ろ過性能は安定 ・ クロスフロー流量が大きすぎると、ポンプ動力の増大、クロスフロー配管径の増大で動力費・機器費が高くなるデメリット、十分な検討が必要
最初沈殿池	・ 水処理への負荷低減として沈殿槽(最初沈殿池)を設置 ・ 除去率は SS で 20～40%程度、BOD で 10%程度、COD で 20%程度、TN・TP で 10%程度と低い沈殿池除去率〔2010 年度においては、SS 除去率は 40%程度へ、BOD 除去率は 30%程度へ改善。〕 ・ 反応タンク水位による間欠運転によって高い水面積負荷とならないよう留意が必要
量的・質的変動に対する安定性	・ 変動に関らず良好な処理結果 処理水 BOD は 1～2mg/L〔2010 年度は 0.5～2mg/L〕で、目標値(1 mg/L)に近いレベル 処理水 COD は 6～8mg/L〔2010 年度は 4.3～8.4mg/L〕であり、目標値(5mg/L)には達しなかったが、流入下水に対して 90%以上の高い除去率 処理水 T-N は、立上当初を除き目標値 8mg/L 以下達成、特に原水負荷の低い系列 1 で高い除去率(90%以上)〔2010 年度は T-N 除去率 80%以上を確保。〕 処理水 T-P は概ね目標値 0.5mg/L 以下、90%以上の高い除去率
再生水の適用	・ 外観はいずれも「不快ではないこと」を達成可能 ・ 臭気指数として 20～26 の範囲（下水臭に該当）で、個々の事例に合わせて評価 ・ 色度は 9～15 度であり〔2010 年度は 5.7～13.6 度〕修景用水基準を満足しているが、MBR 処理のみでは確実に色度除去することは難しく、オゾン処理などが必要となる場合もある ・ この場合も、少ない注入量で良好な処理水が得られる
余剰汚泥	・ 除去 SS あたりの汚泥発生量は 0.7～0.9
余剰汚泥等の下水管への返送	・ 返流水等は全てポンプ井へ返流させることとしているが、汚泥やし渣がポンプ井に滞留・堆積しないような排水管の設置位置とし、ポンプ井攪拌機(既設)により滞留・堆積しない工夫もなされている ・ ポンプ井や返送先の下水管で汚泥やし渣が堆積し、嫌気化した場合、腐食の問題が懸念されるため、下流側の構造に配慮し、堆積し易い箇所では対応を検討 ・ 今回施設では、下流側へ返送する固形物量は 5%程度増加（SS 濃度：150mg/L→163mg/L に増加）であり、下水処理場において影響を及ぼす程の量ではないと考えられるが、サテライト MBR の処理水量が多い場合には要検討
消費エネルギー	・ 240m³/日運転時：2.5kWh/m³、320m³/日運転時：2.0kWh/m³程度〔2010 年度は 1.5kWh/m³程度へ改善。取水ポンプを含まない場合は 1.2kWh/m³〕 ・ 内訳は反応タンク(空気供給用ブローア、攪拌機)21%、膜設備(ろ過ポンプ、クロスフロー流用の循環ポンプ、逆圧洗浄のための空気圧縮機)35%、取水ポンプ他 44%〔2010 年度においては、内訳は反応タンク(空気供給用ブローア、攪拌機)31%、膜設備(ろ過ポンプ、クロスフロー流用の循環ポンプ、逆圧洗浄のための空気圧縮機)52%、取水ポンプ他 17%〕 ・ 取水ポンプの揚程が大きかったこと、機器余裕率が大きかったことが要因 ・ その他、1 系列あたり 80～120m³/日と極小規模であったこと、原水負荷が計画より高く MLSS を高く維持することが必要であったこと、反応タンクの水深が 2.2m で高い酸素溶解効率を得られなかったことも原因として考えられる ・ 比較的、低透過流束(1.1～1.7m/d)での運転で膜差圧は安定、今回採用した洗浄条件が過剰となっていた可能性があり、2m/日以上への流束向上が期待されることから省エネ運転が期待できる〔2010 年度においては、沈殿池改造・運転条件の変更を行い反応槽への流入負荷が安定して以降、透過流束は最大 2.6m/d（運転時透過流束 3.2m/d）での運転が可能となることを確認した。〕 ・ 〔2010 年度において、薬品洗浄を極力実施しないことを前提とした運転を行った結果、期間中の薬品洗浄の回数は 1 回となった。〕
初期運転	・ 衣浦東部浄化センター返送汚泥（約 9,000mg/L）を採取して使用 ・ 1,2 系は膜ろ過で濃縮し、14,000mg/L 程度まで上昇

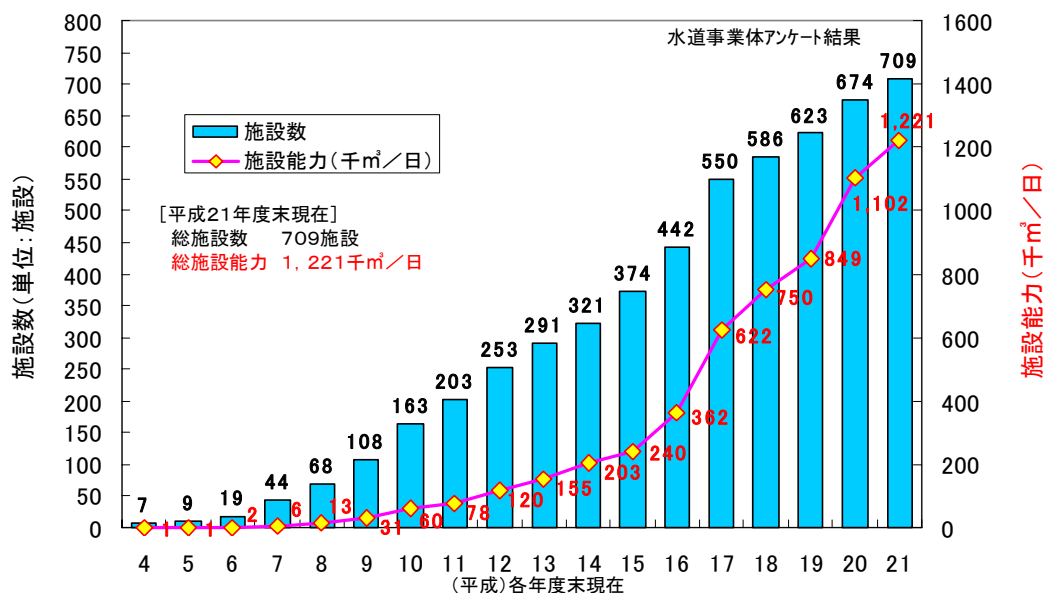
※〔 〕内は 2010 年度に新たに得られた知見と留意点を示す。

別冊Ⅲ 【他分野の動向・海外動向（標準化等）】

1.他分野の動向

(1) 水道用膜の導入状況

水道分野においては、膜処理の導入が増えており、2009 年度末では、総施設数 709 施設、総施設能力 122 万 $\text{m}^3/\text{日}$ まで伸びている。施設規模分布を見ると、施設能力 1,000 $\text{m}^3/\text{日}$ 未満が施設数の 8 割を占めており、小規模が中心であるものの、10,000 $\text{m}^3/\text{日}$ 以上の規模も 19 件（施設能力としては全体の約 6 割）と、大規模への導入も進んでいる。



※2009 年度末現在，建設予定及び建設中のものを含む

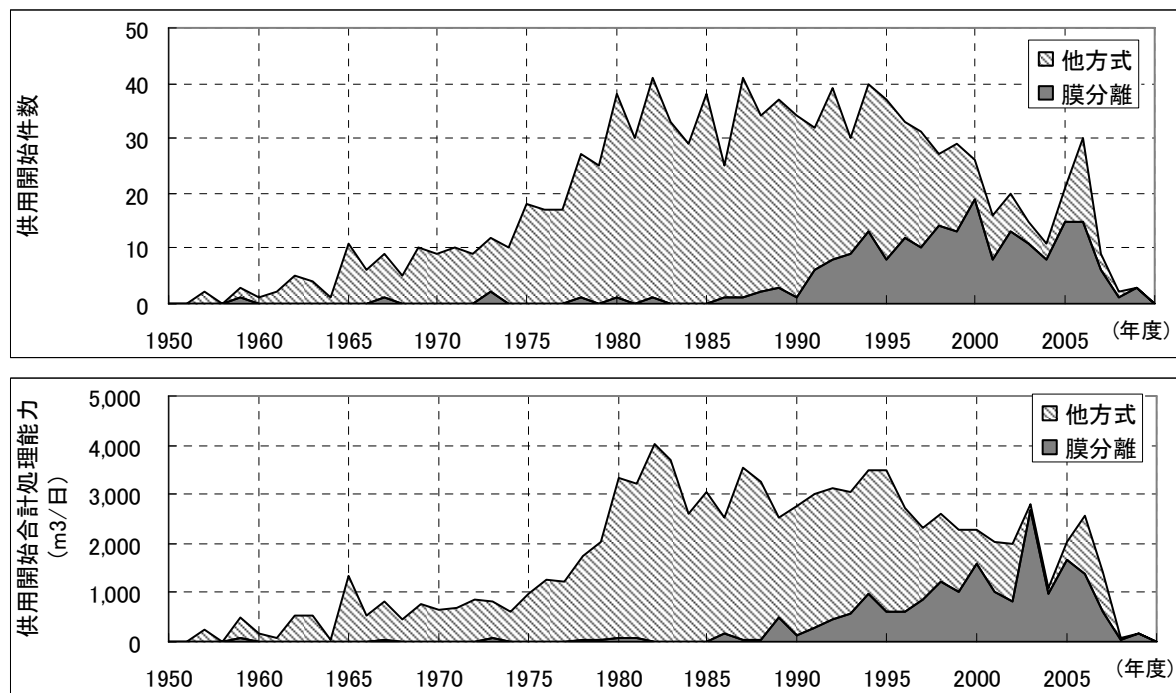
図Ⅲ-1 水道用膜ろ過浄水施設（MF・UF）の導入状況（(財)水道技術研究センター資料）

表Ⅲ-1 水道用膜ろ過浄水施設の規模別導入状況⁶¹⁾

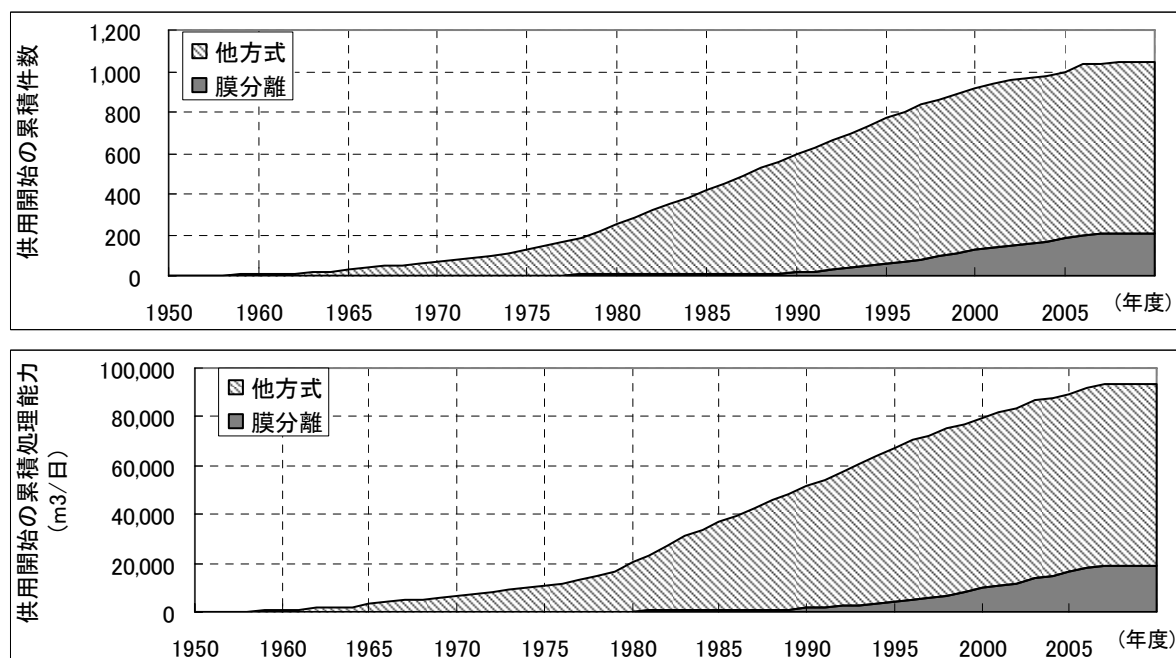
施設能力($\text{m}^3/\text{日}$)	21年度末		20年度末	
	件数	施設能力($\text{m}^3/\text{日}$)	件数	施設能力($\text{m}^3/\text{日}$)
10,000 以上	19	700,929	17	622,929
5,000 ～ 10,000 未満	19	128,278	16	107,281
2,500 ～ 5,000 未満	36	118,617	34	111,217
1,000 ～ 2,500 未満	86	130,328	80	121,703
500 ～ 1,000 未満	108	73,968	106	72,548
250 ～ 500 未満	113	39,853	110	38,859
100 ～ 250 未満	130	20,250	121	18,902
50 ～ 100 未満	91	6,389	87	6,049
0 ～ 50 未満	107	2,830	103	2,749
	709	1,221,442	674	1,102,237

(2) し尿処理における MBR 導入状況

1990 年頃から、し尿処理施設における MBR 導入が増加し、2000 年頃以降は、新規（更新含む）に供用開始する件数、処理能力とも MBR が主体となっている。従前は、搬入し尿を井水などで 10 倍希釈等を行い生物処理されていたため、施設規模が大きなものとなっていたが、MBR により無希釈（高負荷）での処理が可能となり、施設のコンパクト化が進んでいる。



図Ⅲ-2 現在(2010 年)稼働中のし尿処理施設における供用開始年別状況



図Ⅲ-3 現在(2010 年)稼働中のし尿処理施設における累積状況

2.海外における動向

2.1 EUにおける標準化の動向

EUにおいては、1990年ごろから下水道へのMBR導入が始まり、特に21世紀に入ってから急激に増加している。この背景として、EU指令により下水の高度処理（特に窒素除去）が求められるようになり施設拡張が困難である場合にMBRが有利であること、欧州では伝統的に塩素消毒を敬遠する傾向があり、MBRによる大腸菌等の細菌除去を目的としていることが考えられる^{64),65)}。

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

表Ⅲ-2 MBR関連プロジェクト一覧⁶⁸⁾

プロジェクト名	AMEDEUS	EUROMBRA	MBR-TRAIN	PURATREAT
期間(年)	2005-2008	2005-2008	2006-2009	2006-2008
予算	約9億円	約6.3億円	約3億円	約1.4億円
参加組織	12組織 豪州も含む	13組織 豪州・南ア含む	10組織	9組織
幹事	ドイツ	ノルウェー	ドイツ	ドイツ
研究テーマ	MBR設計・運転管理の最適化・MBR標準化	コスト競争力・汚染防止対策・ライフサイクルアセスメント	MBRリサーチ・若手の教育・汚染防止・MBR情報交換の促進	地中海諸国向けMBRリサーチ・開発

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

<CEN合意文書の位置づけ>

CEN発行文書には表Ⅲ-3に示す種類があり、上位文書については、直接的な法的拘束力をもつものではないが、通常は、各国の法体系や基準に組み込まれる。

CEN合意文書とは、関係者団体により構成されるワークショップで審議されたもので、ガイドライン、基準等作成において議論のためのたたき台となる合意文書をいう。

合意文書の有効期間は、公表後3年（2011年11月まで）となっており、その後は、①廃止、②有効期間の延長、③上位の基準等への移行に向けた検討、のいずれかとなる。

なお、CEN合意文書の審議と並行し、DWA（ドイツ水管理・排水・ゴミ協会）において、下水処理用MBR設計・建設ガイドラインのとりまとめが進められている。

表Ⅲ-3 CWA15897 (MBR 標準化) の目次

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

表Ⅲ-4 CEN 発行文書の種類

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

2.2 EPA における標準化の動向

(1) Fact Sheet

アメリカにおいて、具体的な標準化の動きには到っていないが、EPA より MBR に関する Fact Sheet（実態シート）⁷²⁾が出されており、それを和訳したものを以下に示す。

文献 72) を和訳



アメリカ合衆国
環境保護庁

EPA Wastewater Management Fact Sheet Membrane Bioreactors

INTRODUCTION（はじめに）

都市排水処理施設の二次処理に最も一般的に使用されている技術は、汚水中の浮遊微生物による処理である。これらの技術は多くの状況に対し効果的であるが、特定微生物の増殖や物理的に大きな用地を必要とすることなど、いくつかの障害を有している。MBR 技術は、この 10 年で普及が広がっている技術であり、従来の污水处理システムの多くの限界を克服している。このシステムには、生物反応タンクでの汚泥育成と固液分離の過程とを膜を介して同時に行うことができるという利点がある。膜処理では窒素、リン、細菌、BOD、TSS などの汚濁物質の高い除去率を維持しながらも、より小さな用地で設計、運用することができる。膜ろ過システムはその機能面において、標準活性汚泥法における最終沈殿池と砂ろ過に代替できるものである。膜ろ過は、高いバイオマス濃度下でも運用が可能のため、反応タンクをより小さなものにすることができる。

APPLICABILITY（適用可能性）

MBR システムを導入することで、最終沈殿池及び砂ろ過を用いていた従来の処理方式に比べ小さな用地で、より多くの汚水量を処理し、高度な処理効果を得ることができる。これまで膜処理は、設備導入の設備コストと、運転及び維持管理に要する費用の高さから、小規模施設に使用されてきた。しかし昨今では、大規模施設での使用も普及してきており、MBR システムは工業用や商業用利用にも適しているとされている。MBR によって供給される高品質の処理水は、部分的に再利用にも用いられ、窒素やリンといった広範囲の混入物質の除去が求められる表流水放流にも使用されている。

ADVANTAGE AND DISADVANTAGE（利点と欠点）

MBR システムの優位性は、従来の生物学的処理法に比べ、より高品質な処理水、必要とする用地面積の小ささ、自動化の簡易性にある。特に、MBR は高い容積負荷率で運転され、HRT（水学的滞留時間）が短くなっている。この短い HRT が、従来法よりも小さな用地で運用が可能であることを示している。MBR は、長 SRT（固形物滞留時間）で運転されていることが多く、これが結果として汚泥生成量の減少に繋がっている。MBR の処理水は、細菌、TSS、BOD、リンの濃度が低く、これが高水準の消毒を容易にしている。処理水は表流水として放流されており、灌漑用水用の再利用水として売することもできる。

MBR の主な欠点は、同じ処理能力を有する従来法と比べ、設備コスト及び運転管理費用が高くつくことである。ここで言う運転管理費には、膜の洗浄やファウリング制御、膜の交換が含まれている。エネルギーコストも、膜面上での細菌増殖を制御するための空気洗浄が必要なため、そのための費用が掛かる。さらに、このシステムから排出される汚泥は沈降速度が小さく、結果としてこれを処分するために薬品を使用する必要性が出てくる。Fleischer らの論文では MBR で排出される下水汚泥は、活性汚泥法で使用されている技術を利用して処理することができることを示している。

MEMBRANE FILTRATION（膜ろ過）

膜ろ過は、汚濁物質を含有している汚水を膜に透過させるものである。水は膜を通過し、

膜処理水用に隔てられた水路（図 1）に入る。水と汚濁物質が交差的に動くことにより，汚濁物質が膜面に堆積せず，後の回収や処理工程に運ばれる。

膜を通過する水のことを，permeate（ろ過水）と呼び，凝縮され，より高濃度になった汚水を concentrate もしくは retentate（濃縮水）と呼んでいる。

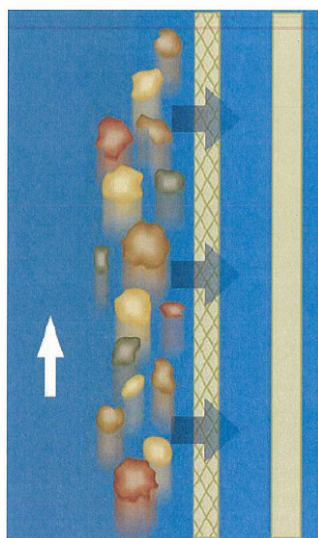


図 1 膜ろ過プロセス(イメージ Siemens/U.S.Filer より)

製造過程を通し最大径の膜孔が定められた膜は，セルロースや他の高分子材料から構成される。膜の働きにより，0.001mm，微生物サイズの粒子の通過を防ぎ，その粒子を処理プロセス内に留める。これは，MBR システムが固体除去に適している反面，溶解性の混入物質の除去に関しては，処理工程を追加しなければならないことを示している。

膜の使用形態は多岐に渡る。MBR での使用を例に挙げると，主に 2 つの形状の膜が利用されており，1 つは中空糸を束にしたタイプのもの，もう 1 つは平膜タイプとなっている。中空糸の束は各ユニット内で連結管と接続されており，修理や交換が容易にできるよう設計されている。



図 2 中空糸膜(イメージ GE/Zenonn より)

DESIGN CONSIDERATIONS（設計上の留意点）

MBR システムの設計者は，流入水質や放流水質基準，流量など，処理する污水の特性を示す基本的な条件のみ分かれば，システムを構築することができる。放流基準によっては，MBR システムに補助的な工程を追加することができる。例えば，放流基準により低リン濃度が定められている場合，リン除去用の薬品添加をシステム内に組み込むことができる。薬品添加場所は，最初沈殿池前や最終沈殿池前，ろ過膜前など，処理工程の様々な位置に設けることが可能である。

MBR システムは，これまで小規模処理場において維持管理のために施設の一部を停止させる際の代替施設として利用されてきた。

しかしながら今，MBR システムは大規模処理施設でも利用されるようになってきている。大規模施設への導入を図る場合，膜タンク（もしくは膜ユニット）は，通常設計される数量

に1つ追加することが推奨されている。この“N+1”方針は、従来の活性汚泥法と膜処理法の双方の設計を勘案したものである。MBRのユニット数を選定するときには、運転と維持管理の双方の要望を考慮することが極めて重要であり、1つ予備ユニットを追加することで運転管理者に対し将来の運転の柔軟性と十分な処理能力を保証することができる（Wallis-Lage et al.2006）。例えば、生物反応タンクの数や大きさに重大な影響を与える一要因である SRT を満足させるために決まる容量よりも、酸素移動の如何によってその数や大きさが制限されることが多い（Crawford et al.2000）。

MBR システムは、状況に応じて容易にユニットを追加したり差し引いたりできると共に、流量に応じて柔軟に運転することができるが、その柔軟性には限度がある。一般的に、膜は運転中常時水面下にある必要があるため、最低水位以上に水位を維持することが求められる。処理能力限界は、膜の物理的性質によって決まるが、結果として計画最大流量は平均流量の1.5 倍から2 倍を超えないように設定する必要がある。仮にこの最大流量が、上記限度を超えてしまう場合、膜を1 ユニット増加させるか、流量調整を全体設計の中に組み込むかのどちらかの措置を講じなければならない。流量調整は、別置の調整池を設ける(外部調整)か、曝気槽及び膜タンク内で水位変動させることによって行い、高流入量に対応すべく必要に応じてその水を移動(内部調整)するものとする。

DESIGN FEATURES（設計）

Pretreatment（前処理）

膜の損傷頻度を減らすため、流入汚水は MBR 処理前段階で、高い水準でしき除去が行われている必要がある。前処理は、小・中規模装置ではなく、大型装置によって行われることが多いが、これは義務付けられているものではない。MBR 製作者によっては、全ての MBR システムに1mm から3mm 幅の微細スクリーンを膜の直前段階に設置することを要求するところもある。これらのスクリーンは、頻繁に洗浄を行う必要がある。またしき除去のための他の選択肢として、最初沈殿池の後にもスクリーンを設け、しき除去の段階を2 段階に分けて行うこともある。

Membrane Location（膜設備の配置）

MBR システムは生物反応タンク内に浸漬させるタイプか、もしくは反応タンクから管を介して別置タンクに汚水を流入させるタイプに分かれる。

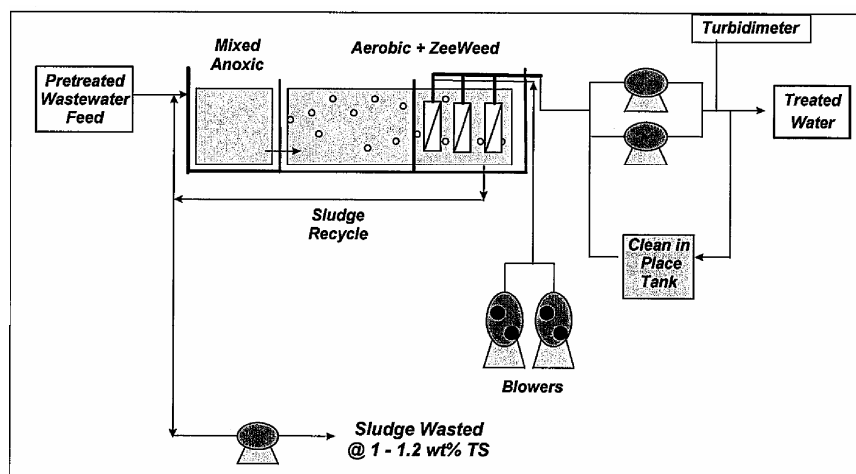


図3 浸漬型膜システム(イメージ GE/Zenonn より)

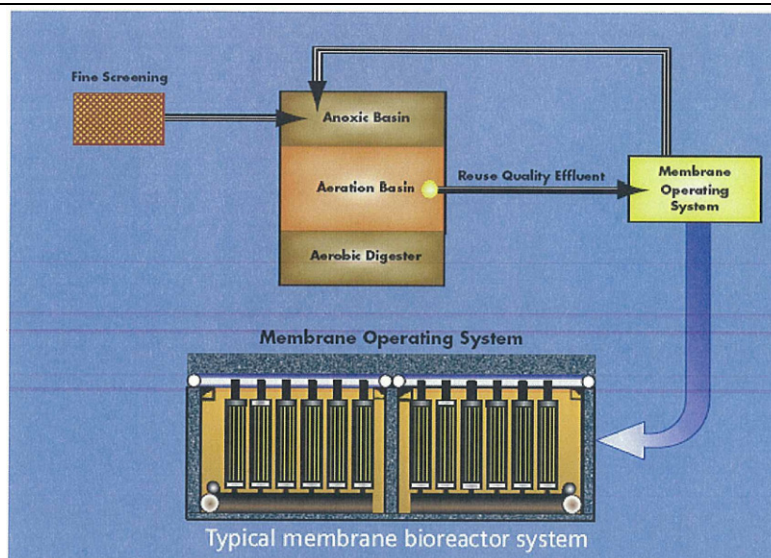


図4 外部(別置)型膜システム(イメージ Siemens/U.S.Filer より)

Membrane Configuration (膜型式)

MBR 製造業者は、主に二つの型式の膜を採用している。一つは中空糸束で、もう一方は平膜である。Siemens/U.S.Filer'の Memjet and Memcor システム、GE/Zenon の ZeeWeed and ZenoGem システム、そして GE/Ionic のシステムが、中空糸タイプを採用しており、チューブ状の膜を束ねた形状となっている。多数の束が連結管を介してユニット内に接続されており、修理や交換の時には容易に取り替えられる。もう一方の Kubota/Enviroquip にて製造されている膜は平膜型のものであり、これも多数の膜が連結管を介してユニットに接続されており、ユニットは容易に交換することができる。スクリーンは、中空糸タイプでは 1~2mm の目幅のものを、平膜では 2~3mm のものを使用することが求められている。

System Operation (システム運転)

全ての MBR システムは、汚水を膜に通過させるために、ある程度のポンプ能力を必要としている。他の膜処理システムでは、汚水を加圧して膜を通過させているのに対して、MBR システムでは一般的に真空を引いて膜に水を通過させているため、外部水は外気圧下にあることになる。この真空を引くことのメリットは膜に負荷をかけないことであり、一方で、加圧することのメリットは、処理容量を制御できることである。全てのシステムは、膜の耐用年数とシステムの運転期間を出来る限り長くするため、継続的な洗浄技術を備えている。MBR で使用されている主要な膜システムは全て、膜表面に堆積する物質を除去するため空気洗浄技術を使用している。これは、散気管から膜周囲に空気を散気させることで除去を行うものである。GE/Zenon は、この空気洗浄を使用すると同時に、膜孔を洗浄するため断続的にポンプを逆流させる逆圧洗浄も採用している。逆圧洗浄はタイマーで行われ、総運転時間の 1~5% の時間行うのが一般的である。

Downstream Treatment (下流側処理)

MBR の処理水は SS が低く、細菌、BOD、窒素、リンの含有量も低くなっている。消毒は簡易なもので、規制によっては必要のないこともある。

膜によって集められた汚泥は、生物反応タンクに戻り処理工程に組み込まれる。従来の生物学的処理法と同様に、定期的に余分な汚泥は除去され、MBR システム内で SRT を制御する。MBR で生じた汚泥も標準的な固形物処理と同様に、濃縮、脱水、最終処分の過程を経る。Hermanowicz らは、コロイド粒子や糸状菌の増加のために、MBR 汚泥の安定性が低下していることを報告した。薬品を投与することで、この汚泥の沈降性は増加する。また、MBR 施設の建設が増え、運用が進むにつれ、この下水汚泥の性質のより正確な理解が得られるようになるだろう。しかしこれまでの実績からも、従来の下水汚泥処理装置は MBR での発生汚泥

にも適用できることが示されている。

Membrane Care (膜保護)

MBR システムの費用対効果の鍵となるのが、膜の耐用年数である。もし膜の耐用年数が短く頻繁に交換しなければならないのであれば、費用は膨大に嵩む。膜の耐用年数は、以下の手法で長寿命化することができる。

- 物理的損傷を防ぐために、膜の前に大型固形物除去用のスクリーンを設置すること。
- 必要以上の下水量など、設計限度付近にまで数値を上げないこと。そうすれば膜内に無理やり押し込まれる物質も減り、結果として洗浄剤で除去しなければならないばかりか、最終的に膜の早期劣化にも繋がりがねない目詰まりの誘因物質を減らすことができる。
- 通常の洗浄には、刺激の弱い洗浄剤を使用すること。MBR で洗浄に使用されるのは、通常漂白剤（ナトリウム）とクエン酸である。膜洗浄は、製造業者の推奨手順に従って行う必要がある。

Membrane Guarantees (膜保証)

膜システム製造業者により提示される保証期間も、システムの費用対効果を考える上で重要である。都市排水処理では、商業用より比較的長い保証期間が与えられることがある。Zenon は 10 年間保証を提示しており、他業者は 3 年から 5 年を提示している。いくつかの保証は、一定のサービス期間終了後に交換が必要となった場合の、比例配分費用を含んでいる。保証は、一般的に、購入過程の期間中に交渉される。製造業者の保証は、スクリーンのサイズに直結しており、より小さなスクリーンを使用するほど膜の長い保証期間を得られる。適正な膜の耐用保証期間は、膜の適正な調達計画を実行していくことで約束される。

SYSTEM PERFORMANCE (システム性能)

Siemens/U.S.Filter Systems

Siemens/U.S.Filter は、Memcor and Memjet ブランドで MBR システムを提供している。U.S.Filter により提供された Calls Creek(Georgia)施設のデータの要約を、以下に掲載する。実際には、膜は Orbal オキシデーションディッチの下流にある最終沈殿池の代替施設として使用されていた。このシステムでは、膜直前に不活性汚泥除去のために 2mm 幅の微細スクリーンを設置している。

この施設は、日平均 1,330m³/日、計画流量が 2,550m³/日の施設である。モジュールを 2 つ有し、その各々が 400 ユニットから成り、各ユニットは膜に連結管で接続されたカセットから構成されている。BOD、TSS、アンモニア窒素の除去率は非常に優れており、処理水の BOD と TSS の値は検出限界値付近になっている。また、リンの除去率もよく、処理水の濁度は非常に低い値となっている。処理水は継続して放流規制を満足している。

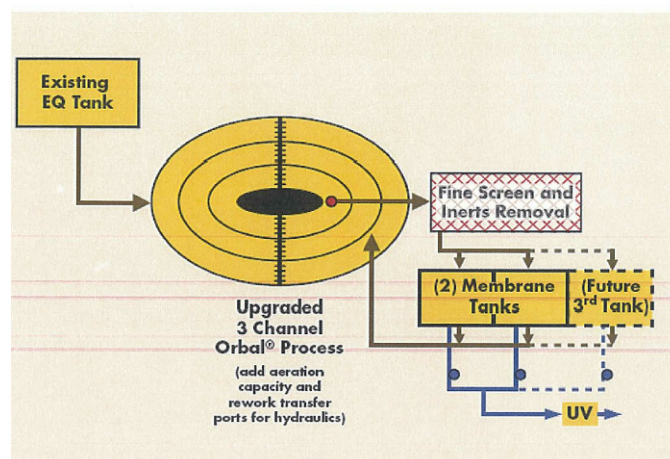


図 5 Calls Creek フロー図(Siemens/U.S.Filter の厚意)

表 1 Calls Creek の 2005 年の結果

Parameter	Influent	Effluent		
	Average	Average	Max Month	Min Month
Flow (mgd)	0.35	--	0.44	0.26
BOD (mg/L)	145	1	1	1
TSS (mg/L)	248	1	1	1
Ammonia-N (mg/L)	14.8	0.21	0.72	0.10
P (mg/L)	0.88	0.28	0.55	0.12
Fecal coliforms (#/100 mL)	--	14.2	20	0
Turbidity (NTU)	--	0.30	1.31	0.01

Zenon Systems

GE/Zenon は、ZenoGem and ZeeWeed ブランドでシステムを提供している。導入した 2 つの施設の運転データ例を以下に示す。

Cauley Creek, Georgia

Fulton 郡にある Cauley Creek 施設は、日平均 19,000m³/日の污水再生プラントである。システムには生物学的リン除去法、混合液表面処理、好気性消化槽の容量縮小のための ZeeWeed システムを使用した汚泥濃縮が含まれている。紫外線消毒は、規制限度を満足するために採用されている。下表に示す水質項目の除去率は、全て 90%を超えている。また放流水は、水質規制を全て満足しており、灌漑用水や芝地用水として再利用されている。

表 2 Cauley Creek, Georgia のシステム性能

Parameter	Influent	Effluent		
	Average	Average	Max Month	Min Month
Flow (mgd)	4.27	--	4.66	3.72
BOD (mg/L)	182	2.0	2.0	2.0
COD (mg/L)	398	12	22	5
TSS (mg/L)	174	3.2	5	3
TKN (mg/L)	33.0	1.9	2.9	1.4
Ammonia-N (mg/L)	24.8	0.21	0.29	0.10
TP (mg/L)	5.0	0.1	0.13	0.06
Fecal coliforms (#/100 mL)	--	2	2	2
NO3-N (mg/L)	--	2.8		

Traverse City, Michigan

Traverse City 污水处理プラントは、処理能力増大と、より高い処理水質を得るために、現況の敷地内にて施設の改善を行った。プラントには、ZeeWeed システムを採用し、上記目的を達成することに成功している。2006 年には、同施設は北アメリカで最も大規模な MBR 施設となっており、年間日平均流量が約 27,000m³/日、月最大流量約 32,300m³/日、ピーク時間流量が約 64,600m³/日で設計されている。膜処理システムは、8 つの同容量の区画に分けられた約 1,700m³ のタンクにより構成されている。最終沈殿池から出る汚泥は、この各区画に同量分配される。処理水用及び逆圧洗浄用のポンプ同様、空気洗浄のためのブロワはすぐ隣の建屋内に格納されている。

同施設の BOD、TSS、アンモニア窒素、リンの除去率は、非常に高水準な値を示している。下図では、年間の流入、放流量のデータを示している。

Traverse City 污水处理プラントの運転データは、同期間に得られたものである。1 月から 8 月にかけての平均 MLSS は 6,400mg/L で、一方、平均 MLVSS の値は 4,400mg/L となっている。空気洗浄用ブロワに使用した電力量は、平均約 0.47kWh/m³ となっている。

表3 Traverse City, Michigan 性能結果

Parameter	Influent	Effluent		
	Average	Average	Max Month	Min Month
Flow (mgd)	4.3	--	5.1	3.6
BOD (mg/L)	280	< 2	< 2	< 2
TSS (mg/L)	248	< 1	< 1	< 1
Ammonia-N (mg/L)	27.9	< 0.08	< 0.23	< 0.03
TP (mg/L)	6.9	0.7	0.95	0.41
Temperature (deg C)	17.2	--	23.5	11.5

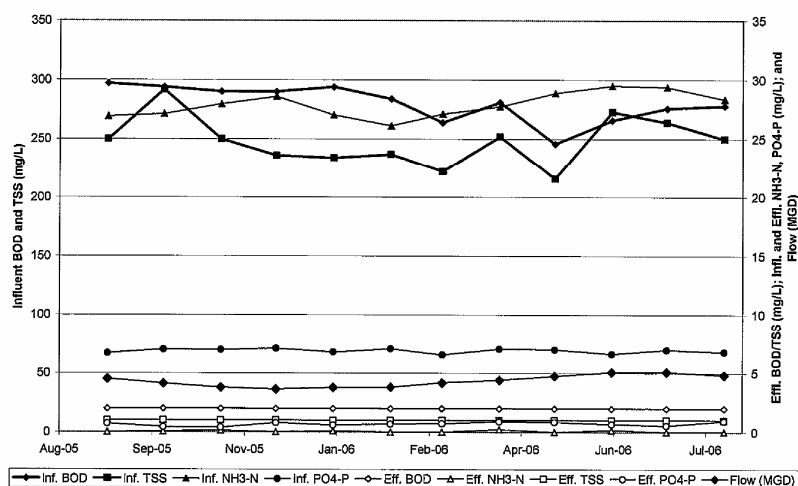


図6 Traverse City プラントの性能

Cost (コスト)

Capital Cost (設備コスト)

MBR システム導入に要する設備コストはこれまで、膜の初期費用が高いため、同容量の従来処理方式の費用より高くなるとされてきた。しかしながら、改築・据え付けも含んだ場合においては、MBR システムの設備コストの方が安価になりうる。なぜなら、MBR システムに要する土地面積及びタンク容量は小規模のもので済み、またその建造にかかるコンクリートの費用も削減できるからである。U.S.Filter/Siemen の Memcor パッケージプラントの導入費用は、約\$1.8~5.3/L となっている。

Fleischer らは 2005 年、Virginia 州、Loudoun 郡での約 45,600m³/日規模施設の設計で、その技術にかかる費用比較を報告した。COD 規制があったため、この MBR システムには活性炭吸着が組み込まれていた。MBR 及び粒状活性炭に要する設備コストは、およそ\$3.2/L だが、これは他の同規模の処理方式に要するコストと同等であり、その上複数個所でのアルミ添加、石炭処理、最終沈殿池の代替施設としての膜費用を見込んだものである。

Operating Costs(運転費用)

MBR の運転費用は、通常従来法に比べ高い。これは、膜のファウリング防止のために、空気洗浄を行った際に発生する電力料金が高いためである。洗浄のために必要とされる空気量は、従来の活性汚泥法に必要としていた空気量の 2 倍に上ると報告されている。これらの高い運転費用は、より長い汚泥滞留時間での運用と膜による汚泥濃縮/脱水による汚泥処理費用の削減で、部分的に埋め合わせられていることが多い。

Fleischer ら(2005 年)は運転費用について比較しており、活性炭吸着も含めた MBR システムの運転費用は、1000L の処理あたり\$0.47 であるとしている。この費用は、同規模の他の処理方式に要するコストと同等であり、薬品を大量に使用する石灰処理等の化学処理法である従来法を凌いでいた。

ACKNOWLEDGMENTS, REFERENCES: 略

(2) Title22

USA では、EPA（環境保護庁）により「Guidelines for Water Reuse（水再利用のためのガイドライン）」（1992 年，2004 年一部改訂）が公布され，処理プロセス，利用用途，リスクの考え方などが示されており，再生水基準は州単位で作成されている^{24),44)}。

カリフォルニア州は，全米でも降水量の少ない地域であり，再生水利用も盛んであることに伴い，法整備も早くから行われ，Wastewater Reclamation Criteria（1978）が広く活用されてきている。California Code of Regulations（カリフォルニア州条例）には Title22, Division 4 に記載され，一般には Title22⁸⁰⁾として知られている。再生水基準を定めた Title22, Division 4, Chapter 3.(Water Recycling Criteria)の構成を以下に示す。

California Code of Regulations（カリフォルニア州条例）
TITLE 22. Social Security（社会保障）
DIVISION 4. Environmental Health（衛生環境）
CHAPTER 3. Water Recycling Criteria（再生水基準）
ARTICLE 1. Definitions（用語の定義）
ARTICLE 2. Sources of Recycled Water（再生水の原水）
ARTICLE 3. Uses of Recycled Water.（再生水の利用用途）
ARTICLE 4. Use Area Requirements（利用場所の制限）
ARTICLE 5. Dual Plumbed Recycled Water Systems（再生水システムの二重配管）
ARTICLE 5.1. Groundwater Recharge（地下水涵養）
ARTICLE 5.5. Other Methods of Treatment（他の処理方法）
ARTICLE 6. Sampling and Analysis（サンプリングと分析）
ARTICLE 7. Engineering Report and Operational Requirements（技術報告書と操作要件）
ARTICLE 8. General Requirements of Design（設計の一般的な要件）
ARTICLE 9. Alternative Reliability Requirements for Uses Permitting Primary Effluent（簡易処理水のための要求信頼性）
ARTICLE 10. Alternative Reliability Requirements for Uses Requiring Oxidized, Disinfected Wastewater or Oxidized, Coagulated, Clarified, Filtered, Disinfected Wastewater（標準の処理：凝集沈殿-砂ろ過-消毒の処理水のための要求信頼性）
ARTICLE 11. Other Methods of Treatment（他の処理方法）

Title22 において，利用用途により再生水の必要な処理レベルを，3 次処理（消毒），2 次処理（消毒），2 次処理（未消毒）で区分しており，非飲用の都市用水，灌漑用水の一部，商業・工業用水，地下水涵養については，三次処理（消毒）が相当する。規定される再生水基準は，健康への安全面から表Ⅲ-5 のように示されている。

表Ⅲ-5 カリフォルニア州再生水水質基準（Title22）（三次処理・消毒）

文献 80)より作成

大腸菌群数	・ 7 日間の中央値は 2.2MPN/100mL 未満 ・ 30 日間で 23MPN/100mL を超えるものは 1 サンプルまで ・ 240MPN/100mL を超えるサンプルがあってはならない
濁度	・ 24 時間の平均が 2NTU を超えない ・ 24 時間の 5%値が 5NTU を超えない ・ 常時 10NTU を超えない
ウイルス (消毒の基準)	・ 砂ろ過と併用することで，バクテリオファージあるいはポリオウイルスを 99.999%（5Log）除去もしくは不活性化される消毒法で，実験で証明すること

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り、これ以外の処理方法については、提案された代替手段が、Articles8～10 に示されたのと同等の信頼性が保証されることを、California Department of Public Health (CDPH：カリフォルニア州公衆衛生局) に申請し、承認されることが必要となっている。

CDHS (California Department of Health Services カリフォルニア州保健局：2007 年組織再編成により CDPH へ移行) は、Aqua2030 研究センターにおける MBR の研究 (サンディエゴ市と MWH 社による研究^{82),83),84)}) の Phase2 に参画し、2001 年に MBR 処理水の基準を決定している²⁴⁾。

表Ⅲ-6 MBR 認定における基準

文献 24)より作成

濁度	・ 24 時間の 5%値が 0.2NTU 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

認定までのプロセスとしては、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、認定書が発行される。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、濁度の評価結果である²⁴⁾。

2009 年、カリフォルニア州 Division of drinking water and environmental management では「Treatment technology report for recycled water⁸⁵⁾」を取りまとめ、Title 22 を満たす技術、製品、メーカー名を整理している。

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²⁴⁾。

2.3 中国における標準化の動向

(1) 浸漬型中空糸膜モジュールの規格化

中国における浸漬型 MBR に使用される中空糸膜モジュールの品質は、輸入品レベルに近づいてきているものの、まだ経験不足から他製品に比べて発展に時間を要するとされている。従来は中国国内に関連国家標準や参考とする国際的標準がなかったことから、技術標準の制定によって、研究開発・生産・経営に要する時間を短縮するとともに、エンドユーザーの適用のガイドに資することを目的として、中国国家标准化管理委員会の制定計画を受けて、全国分離膜標準化委員会が 2008 年より準備してきた「中空纤维帘式膜组件（中空糸膜モジュールに関する国家標準，推奨標準案）」が作成された⁸⁶⁾。2010 年，パブリックコメントが終了し，国家標準・推奨標準として承認された。今後，中国全国膜分離標準化技術委員会による国家標準（浄水膜，産業用膜等）の次回改訂版にあわせ，印刷物として刊行される予定である（同委員会へのヒアリングによる）。

目次を以下に示す。

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. 範囲2. 引用標準3. 用語と定義4. 分類と仕様5. 要件6. 試験方法7. 検査規則8. 標識，梱包，輸送と保管 |
|--|

(2) MBR システムの技術要求事項を定める分野別標準

中国では，環境保護部の科技標準司^{*1}，中国環保産業協会，及び天津市興源環境技術工程有限公司により「环境保护产品技术要求膜生物反应器（MBR に関する基準（案））⁸⁷⁾」が作成されているところであり，以下の 2 基準の案が出されている。

1) 中華人民共和国国家環境保護標準 環境保護用製品の技術要求

—MBR について—

2) 中華人民共和国国家環境保護標準 環境保護用製品の技術要求

—中空糸型 MBR ユニットについて—

現在，それぞれの基準（案）および説明資料が中国国内の関係機関に送付され，専門家の意見を求めているとともに，環境保護部のホームページにも掲載されており，両基準は，2011 年発行が予定されている（中国環保産業協会への電話ヒアリングによる）。

以下に，両基準（案）の概要を示す。

1) 中華人民共和国国家環境保護標準 環境保護用製品の技術要求

—MBR について—

生活排水と生物処理可能な産業排水の処理あるいは再利用処理における MBR システムに

¹ 「司」は日本国政府における“庁”または一部の“局”と同レベル

ついで分野別標準（環境保護分野）、推奨標準である。MBR 用途向け膜モジュールはその優れた長所から、市場は毎年大幅に拡大し、今後の排水再利用分野で主導的地位を得るとみられているが、現在相応する国家標準も分野別標準もまだ無いことから、MBR システムの品質を保証し、製品の信頼を高めるために、本標準が制定された。

「中華人民共和国水質污染防治法」を徹底的に実行し、MBR の設計・製造の標準化を行うことで、MBR 技術のレベルアップ（特に加工品質）を図ることを目的としている。

本基準においては、MBR の製造・加工、材質選定、部品配置、電気安全及び処理水質等に対する要求が規定され、指導的なものとして用いられる。

性能要求としては、MBR の流入水 $\text{COD}_{\text{Cr}} \leq 500\text{mg/L}$, $\text{BOD} \leq 300\text{mg/L}$, $\text{SS} \leq 150\text{mg/L}$, $\text{NH}_4\text{-N} \leq 50\text{mg/L}$, n-Hex （動物性+植物性） $\leq 50\text{mg/L}$, n-Hex （鉱物性） $\leq 3\text{mg/L}$, $\text{pH} 6 \sim 9$ （超えた場合、予備処理が必要）に対して、各々の除去率は、 $\text{COD}_{\text{Cr}} \geq 90\%$, $\text{BOD} \geq 93\%$, $\text{SS} \geq 95\%$, $\text{NH}_4\text{-N} \geq 90\%$ とされている。

また、主要なプロセスの運転指標として、 MLSS が $6,000 \sim 12,000\text{mg/L}$, BOD 負荷が $0.05 \sim 0.15\text{kgBOD/kgMLSS} \cdot \text{日}$, HRT が $2 \sim 5$ 時間、膜差圧（TMP）が浸漬型 $0 \sim 50\text{kPa}$, 槽外型 $20 \sim 500\text{kPa}$ と示されている。

以下に、本基準の目次を示す。

前書き
1 適用範囲
2 引用基準
3 用語と定義
3.1 MBR, 3.2 膜ユニット, 3.3 膜差圧
4 分類と仕様
4.1 分類, 4.2 仕様
5 基本要求
5.1 構成, 5.2 製造, 5.3 部品, 5.4 電気安全, 5.5 材質, 5.6 組立と取付
6 性能要求
6.1 流入水質, 6.2 処理水質, 6.3 主要なプロセスと運転指標
7 試験方法
7.1 寸法, 7.2 溶接状況, 7.3 電気安全, 7.4 膜ユニット, 7.5 密閉性試験,
7.6 水質検査
8 検査規則
8.1 検査分類, 8.2 出荷検査, 8.3 形式検査（抜き取り調査）, 8.4 判定規則
9 標識, 梱包と輸送, 保管
9.1 標識（ラベル）, 9.2 梱包, 9.3 輸送, 9.4 保管

2) 中華人民共和国国家環境保護標準 環境保護用製品の技術要求

— 中空糸型 MBR ユニットについて —

小規模下水（処理規模 $20 \sim 2,000\text{m}^3/\text{日}$ ）向け MBR 用途向け中空糸膜モジュールの規格に関する分野別標準で、推薦型標準である。中空糸型 MBR ユニットの技術要求、試験方法及び検査規則が規定されており、指導的なものとして用いられる。

排水再利用や資源化が求められる中 MBR が主導的地位を得てきているが、MBR システムの品質を左右する膜モジュール性能は、2003 年に標準制定されたまま既に時代遅れで、また

「中国水污染防治法」や大規模排水処理要件にも合わなくなっていた。そこで本規定を制定し、MBR システムの品質を高め、国家の環境保護業界の製品品質管理のレベルアップを図ることを目的としている。

性能要求については、使用性能として処理水濁度 $\leq 5\text{NTU}$ ，SS $\leq 10\text{mg/L}$ ，糞便性大腸菌 ≤ 100 個/L，かつ、透過流束 $\geq 15\text{L/h}\cdot\text{m}^2$ であり、耐久性能として膜ユニット寿命 ≥ 3 年である。また、健康、安全及び環境保護として使用中には人体及び他の生物に有毒・有害な物質が発生してはならないとしている。

以下に、本基準の目次を示す。

前書き
1 適用範囲
2 引用基準
3 用語と定義
3.1 中空糸型 MBR，3.2 膜ろ過面積，3.3 限界透過流束
4 分類と仕様
4.1 分類，4.2 仕様
5 基本要求
6 性能要求
6.1 使用性能，6.2 耐久性能，6.3 健康、安全及び環境保護
7 試験方法
8 検査規則
8.1 検査分類，8.2 出荷検査，8.3 形式検査
9 標識、梱包と輸送、保管
9.1 標識（ラベル），9.2 梱包と輸送，9.4 保管
付録 膜寿命の評価方法