

膜分離活性汚泥法の技術評価に関する
第2次報告書
—MBRの適用拡大へ向けて—

平成25年4月

日本下水道事業団 技術評価委員会

審議の経過

平成24年 3月29日	第63回技術評価委員会
平成24年 6月 4日	第1回膜分離活性汚泥法専門委員会
平成24年 9月24日	第2回膜分離活性汚泥法専門委員会
平成24年12月21日	第3回膜分離活性汚泥法専門委員会
平成25年 2月28日	第4回膜分離活性汚泥法専門委員会
平成25年 3月28日	第65回技術評価委員会

委員の構成

(平成 25 年 3 月 28 日現在)

技術評価委員会

会 長	大阪産業大学人間環境学部生活環境学科教授	津野 洋
委 員	北海道大学大学院工学研究院環境創生工学部門 水代謝システム分野教授	高橋 正宏
〃	東京大学大学院新領域創成科学研究科 社会文化環境学専攻教授	味埜 俊
〃	東京都市大学工学部都市工学科教授	長岡 裕
〃	国土交通省水管理・国土保全局下水道部長	岡久 宏史
〃	国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部長	堀江 信之
〃	東京都下水道局長	小川 健一
〃	大阪市建設局理事	福井 聡
〃	埼玉県下水道局長	池田 秀生
〃	公益社団法人日本下水道協会常務理事	佐伯 謹吾
旧会長	東洋大学常勤理事	松尾 友矩

膜分離活性汚泥法専門委員会

委員長	東京都市大学工学部都市工学課教授	長岡 裕
委員	高知大学教育研究部自然科学系農学部門教授	藤原 拓
〃	北海道大学大学院工学研究院環境創生工学専攻准教授	木村 克輝
〃	国土交通省水管理・国土保全局下水道部流域管理官付 流域下水道計画調整官	那須 基
〃	国土交通省国土技術政策総合研究所下水道部 下水処理研究室長	原田 一郎
〃	名古屋市上下水道局技術本部計画部下水道計画課長	小野田 吉恭
〃	堺市上下水道局下水道部下水道計画課長	向井 一裕

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
(MBR 技術の体系的整理)	3
(MBR 固有の技術的特徴)	6
(MBR の計画・設計手法)	13
(MBR の運転管理手法)	16
(MBR の更なる機能向上・導入促進に向けて)	18

(技術評価の経緯)

膜分離活性汚泥法 (Membrane Bioreactor : MBR) は、コンパクトな施設で高度な処理が可能であることや、清澄で衛生学的安全性の高い処理水を得られるなどの優れた特徴を有する。このため、既設の下水処理場の改築更新や高度処理化、下水処理水の再利用や下水道未普及地域の解消など、我が国の下水道事業が抱える様々な課題を同時に解決し得る優れた技術であり、さらに近年では、水ビジネスの国際展開において、我が国の強みである膜処理技術の一つとして注目されている。

日本下水道事業団 (JS) では、平成 10 年度に民間企業との共同研究 (第 1 期) に着手して以来、技術開発に継続して取り組み、我が国における MBR の実用化を先導してきた。平成 15 年 11 月には MBR の技術評価 (第 1 次) を行い、下水処理への適用性や設計・運転管理の留意事項などを明らかにするとともに、小規模・新施設を対象とした設計要領 (JS 内部資料) を制定し、これらの成果に基づいて、我が国初の MBR 施設を兵庫県福崎町福崎浄化センターに導入 (平成 17 年 3 月供用開始) した。平成 24 年 4 月末現在、全国 19 箇所を実規模の MBR 施設が稼動しているが、そのうち 17 箇所を JS が設計・施工しており、さらに、我が国初の大規模・既設改築への導入となる堺市三宝下水処理場では、維持管理業務も行なっている。

このように、第 1 次の技術評価以降、新設・小規模を中心に MBR の設計・施工や運転管理の実績が蓄積され、平成 21 年度から平成 22 年度に実施した事後評価調査などにより、MBR 固有の設計・運転管理上の課題が明らかになりつつある。また、第 2 期以降の共同研究において、大規模・既設改築への適用や省エネルギー化などを目的に、様々な MBR プロセスの開発を行っているが、その研究成果について、これまで体系的な整理はされてこなかった。

以上のような背景から、平成 24 年 3 月に JS 理事長より技術評価委員会へ諮問があり、MBR の技術評価（第 2 次）を行なうこととなった。

（技術評価の目的）

MBR は、JS における今後の事業展開の中核となる技術の一つであるが、国内における MBR の普及促進を図るためには、従来の小規模、新設への適用から、中大規模、既設改築・高機能化への適用拡大が必要である。そのために、既往の研究成果や運転管理の実績などから、現状の MBR 技術について整理を行ない、MBR 固有の設計・運転管理上の技術的特徴を明らかにするとともに、これらの結果を踏まえて、中大規模下水処理場への適用を含めた MBR の計画・設計手法や、MBR の安定的かつ効率的な運転管理手法について、現時点における知見を取りまとめ、今後検討すべき課題を明らかにすることを目的とする。

（評価対象技術）

本技術評価で対象とする MBR は、膜により固液分離を行なう活性汚泥法である。

（評価の範囲）

MBR は、下水道に限らず、浄化槽、集落排水処理施設、し尿処理施設、ビル中水施設、産業排水処理施設、廃棄物処分場浸出水処理施設など、国内外で多様な排水処理施設へ導入されている。また、下水道施設においては水処理施設への導入が主体であるが、サテライト処理への適用に係る実証試験も行なわれている他、国外では汚泥処理返流水処理施設への導入事例もある。

これら多様な適用対象のうち、本技術評価では、下水道施設の下水処理（水

処理またはサテライト処理)への導入を想定した MBR を対象とする。

また、主たる評価対象とする施設・設備の範囲は、微細目スクリーン、流量調整タンク、最初沈殿池を含む前処理施設・設備、MBR の反応タンク施設・設備および膜分離設備とする。

(MBR 技術の体系的整理)

1. MBR の定義と分類

(1) MBR の定義

MBR は、膜により固液分離を行なう活性汚泥法である。このうち、本技術評価では、浮遊物質 (SS) を完全に排除可能な孔径を持つ MF 膜または UF 膜を使用する技術を対象とする。

(2) MBR の分類

下水道で使用される MBR は、処理プロセスや使用する膜ユニットなどの特徴に応じて、様々な切り口で分類できる。

MBR は、膜ユニットの設置方法により、「浸漬型 MBR」と「槽外型 MBR」に大別される。更に、浸漬型 MBR は、膜ユニットを浸漬させるタンクの位置付けにより、「浸漬型 (一体型) MBR」と「浸漬型 (槽別置型) MBR」に区分できる。

MBR で使用される膜ユニットの分類のうち、実務的に重要なものとして、膜エレメントの形状に基づく分類 (平膜/中空糸膜/管状膜/モノリス型膜) がある。

MBR では、活性汚泥による各種生物処理方法を使用することができる。

2. MBR の多様な用途

下水道事業における MBR の用途として、A. 水処理施設の新設/増設、B. 既

設再構築、C. 災害対応、D. 再生水利用、E. 水系リスク低減が考えられる。

3. 開発および実用化の経緯

我が国の下水道分野で MBR の本格的な実証試験が開始されたのは、平成 10 年度に建設省（現・国土交通省）の委託調査の一環で JS が民間企業との共同研究により実施したパイロットプラント試験である。本結果に基づき、JS では小規模下水処理場を対象とした MBR の技術評価および設計基準の策定を実施し、これらの成果は、平成 17 年の実施第一例へと結実している。

これ以降も、JS では民間企業との共同研究などにより、維持管理コスト低減、中大規模型あるいは極小規模型 MBR の開発など、MBR の用途拡大・普及促進に係る技術開発を継続して行なってきた。

4. 導入状況

MBR は、我が国の生活系排水、産業排水、ゴミ処分場・埋立地浸出水など各種排水処理に導入されてきた。

下水道事業においては、平成 17 年以降、実施への導入が進んでおり、平成 24 年 4 月現在で実施として 17 箇所（実規模の実証/仮設施設を含めて 19 箇所）が稼動している。この大半は処理能力が 10,000 m³/d 以下の小規模施設であるが、平成 23 年には処理能力 60,000 m³/d の仮設施設が稼動している。

5. JS が開発した各種 MBR

JS が開発してきた MBR は、A. 小規模型、B. 中大規模型、C. 極小規模型、D. その他（再利用のための MBR-RO システムなど）に区分できる。

小規模型 MBR は、主として小規模下水処理場の新設・増設での導入を想定したもので、処理能力 200～3,000 m³/d の範囲を対象に、施設・設備の構成およびフロー、機器構成、施設・設備仕様などが JS 内部基準化されている。これらの

基準化内容は膜分離システムに拠らない点が大きな特徴である。

中大規模型 MBR は、主として中大規模下水処理場の再構築での導入を想定したもので、JS において 4 種の膜分離システムを用いる MBR を実証している。そこでは個別の膜分離システムと合せて、生物処理方法、膜ろ過方法、膜の洗浄方法などが最適化されている。

極小規模型 MBR は、主として未普及地域解消のための極小規模分散型下水道への導入を想定したもので、処理能力 100~300 m³/d の範囲を対象に、水処理施設がパッケージ化されている。

MBR-RO システムは、脱塩処理レベルの水質が要求される再利用用途への再生水供給を想定したもので、MBR の後段に RO 膜処理を組合わせたシステムである。

6. 研究開発状況

MBR に関する国内外の研究開発項目は、膜素材・エレメント・ユニット、膜の閉塞・ファウリング、膜の洗浄方法、各種生物処理・膜処理方法の組合せ、前処理（スクリーン処理など）、除去機能、モデル化など多岐にわたる。このうち、報文数としてはファウリングに関するものが最多であり、MBR に係る大きな課題であるが、近年では、実施設の事例やコスト・エネルギー使用量など、より実務的なテーマも注目されている。

近年、省スペース化や省エネルギー化・低コスト化を目的とした新たな MBR が、我が国で開発・実証されつつある。

(MBR 固有の技術的特徴)

1. 施設・設備構成

- ① MBR を構成する施設・設備は、前処理施設・設備、反応タンク施設・設備、膜分離設備に大別できる。
- ② 前処理施設・設備には、夾雑物・繊維物質などの除去を目的とした微細目スクリーン、流入水量の平滑化のための流量調整タンク、最初沈殿池を含む。大半の膜分離システムでは、膜および膜ユニットの保護や汚泥付着防止のための微細目スクリーンが必須である。
- ③ 反応タンク施設・設備には、各種反応タンク、散気装置、送風機、凝集剤添加設備、循環ポンプ類を含む。
- ④ 膜分離設備には、膜ユニット、膜ろ過装置（膜ろ過ポンプなど）、膜洗浄設備を含む。
- ⑤ 従来の活性汚泥法と比較して MBR で省略できる施設・設備として、最終沈殿池、消毒設備、汚泥濃縮設備、砂ろ過設備がある。

2. 一般的特徴

- ① 従来の活性汚泥法に対する MBR の最も本質的な特徴は、固液分離を膜ろ過で代替することにより、完全な固液分離が可能となる点である。
- ② 完全な固液分離が可能となることによりもたらされる MBR の副次的特徴として、高度 SS 除去およびそれに伴う各種水質指標の低減、反応タンク活性汚泥の高濃度化および SRT の長期化、設備の省略、自動運転の容易さがある。
- ③ これらの特徴により期待できる MBR の効果として、良好な処理水質（有機物、窒素、リン、衛生学的安全性など）、省スペース、汚泥発生量低減、維

持管理の容易さ、パッケージ化の容易さがある。

- ④ MBRの一般的な短所として、前処理の必要性、流入水量変動対応の必要性、ファウリング対策の必要性、意図せぬ物質の系内蓄積、酸素溶解効率の低下がある。
- ⑤ 特に、ファウリング対策の一環として行なわれる膜の物理的洗浄は所要動力が大きく、これにより現状ではMBR全体の電力消費量は大きい傾向にある。

3. 諸元

- ① MBRでは、流入水量変動への対応方法を検討するために、従来の活性汚泥法の計画・設計検討で使用する流入水量に加えて、ピーク流入水量およびその継続時間の設定が重要である。これには、1日の時間変動におけるピーク流入および雨天時のピーク流入を含む。
- ② MBRでは、従来の活性汚泥法における返送汚泥機能を活性汚泥混合液の内部循環が担うため、各種内部循環経路・循環比および各反応タンクのMLSS濃度に係る検討を一体的に行なう必要がある。
- ③ この他、MBRに特有の諸元として、膜ろ過のフラックスおよび膜差圧がある。また、両者を統合した指標として膜透過性がある。

4. 処理機能

- ① MBRでは、高い固液分離性能や、MLSS濃度が高い、SRTが長い、反応タンクHRTが短いなどの特徴から、有機物、窒素、リンなどの処理機能に関して特有のメリット・デメリットが生じる。
- ② 下水道法施行令では、循環式硝化脱窒法を用いるMBR（循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法）について、BOD：10 mg/L以下、全窒素：10 mg/L以下の計画放流水質区分に適合する処理方法と位置付けられている。更に、こ

れに凝集剤添加を併用した処理方法については、加えて全リン：0.5 mg/L以下の計画放流水質区分にも適合する処理方法とされている。

- ③ **MBR** では、固液分離に使用する膜の孔径が処理水の **SS** 測定で使用されるろ紙の孔径よりも小さいため、**SS** がほとんど検出されない清澄な処理水が得られる。
- ④ **MBR** では、一般に **SRT** が長く、更に **SS** に起因する有機物が処理水に存在しないことから、有機物除去は良好である。また、一般に **ASRT** が長く基本的に硝化が完全に進行するため、硝化反応に起因する **BOD (N-BOD)** により処理水の **BOD** が上昇することも無い。
- ⑤ 我が国で開発されてきた各種 **MBR** は、硝化・脱窒による窒素除去を組込んだ生物処理方式を採用しており、窒素除去が可能である。これらはいずれも無酸素タンクを好気タンクの前段に配置する前脱窒型の窒素除去プロセスであり、窒素除去率は内部循環比(硝化液循環比)により規定される。また、処理水に **SS** を含まないため、従来の活性汚泥法と比較して、**SS** に起因する有機性窒素濃度が低減できる。
- ⑥ 従来の活性汚泥法と同様に、反応タンクに凝集剤を添加する同時凝集法を併用することで、リン除去が可能である。また、生物学的リン除去を組込んだ生物処理方式と組み合わせることで、生物学的リン除去を行なうことも可能である。ただし、**MBR** では、**SRT** が長い、内部循環に由来する嫌気タンクへの **DO** 持込み量が大きくなりやすいなど、従来の活性汚泥法と比較してリン除去の悪化要因があるため、高度なリン除去を要する場合には基本的に凝集剤添加(同時凝集法)を併用する。
- ⑦ **MBR** では、処理水に大腸菌群数がほとんど検出されない。また、ノロウイルスなどのウイルスについても、従来の活性汚泥法と比較して高い除去率が

期待できる。

5. 前処理

- ① MBR では、前処理工程として、微細目スクリーンによる微細な固形物やし渣・繊維物質の除去が必要である。
- ② MBR では、最初沈殿池は必ずしも必要ではない。ただし、最初沈殿池の使用によるメリットも期待できることから、中大規模型 MBR では、最初沈殿池の設置/使用による得失を個別に検討する。
- ③ 油脂分など膜処理機能に対して悪影響を与える物質が流入水に多く含まれる場合には、前処理として油除去工程の追加を検討する必要がある。

6. 活性汚泥濃度管理

- ① MBR では、従来の活性汚泥法における汚泥返送機能を活性汚泥混合液の内部循環が担う。このため、内部循環経路および循環比に応じて、膜ユニットが設置される反応タンクと前段の反応タンクの間活性汚泥濃度に違いが生じることになる。
- ② 活性汚泥濃度が MBR に与える影響としては、(a)SRT を決定付けることによる生物処理全般への影響（処理能力、余剰汚泥発生量、必要酸素量など）、(b)膜ろ過性への影響、(c)酸素溶解効率への影響が重要である。
- ③ MBR の反応タンクの活性汚泥濃度は、膜ユニット設置タンクの MLSS 濃度として 8,000～12,000 mg/L 程度が一般的である。ただし、膜分離システムにより標準的な活性汚泥濃度範囲が異なる他、MLSS 濃度を低く維持することで省エネルギー化を図れる可能性もあるため、運転管理における活性汚泥濃度の最適範囲は、個別の施設毎の検討事項である。
- ④ MBR の重要な特性の一つに、浮遊物質の系内蓄積率が大きい点がある。こ

れより、活性汚泥濃度の増加速度が大きい、繊維状物質などのタンク内濃度が上昇しやすい、などの留意点が生じる。

7. 固液分離

- ① MBR では、一般に公称孔径 0.01～0.4 μm の MF または UF 膜により活性汚泥混合液から固液分離を行なう。これまでに JS による実証試験実績のある膜分離システムでは全て MF 膜を使用しており、公称孔径の範囲は 0.1～0.4 μm である。これにより、MBR では「完全な固液分離」を行なうことが可能となる。
- ② MBR では、活性汚泥の沈降性に依存しない固液分離が可能で、従来の活性汚泥法の最終沈殿池で見られるバルキングなどの固液分離障害に対する懸念が生じない。ただし、膜分離による固液分離能力に対しては、活性汚泥のろ過性が大きく影響する。

8. 膜の運転

- ① MBR における膜ユニットの運転では、ろ過工程に休止工程や逆圧洗浄（逆洗）工程などのファウリング抑制のための工程を組込んだサイクル運転を行なう。
- ② 膜ろ過流量の設定に際しては、膜ろ過フラックスおよび膜差圧を指標とする。
- ③ MBR では、膜ろ過性能の低下を引起すファウリングの対策が不可欠である。ファウリング対策としては、膜の洗浄を行なうファウリング解消策が主体である。膜の洗浄には、クロスフロー洗浄（曝気洗浄など）、逆圧洗浄、薬液併用逆圧洗浄、薬液注入洗浄、浸漬洗浄などがある。膜分離システムによって標準的な洗浄方法およびその組み合わせ、実施頻度などが大きく異なる。
- ④ 薬液洗浄を実施した場合、洗浄終了直後に処理水質が一時的に悪化する可能

性があるが、数時間後には回復する。また、浸漬洗浄などにおいては、洗浄廃液の排出・処理方法について留意が必要である。

9. 余剰汚泥発生量

- ① MBR は、通常は SRT が長い条件で設計・運転されるため、同程度の反応タンク HRT で設計・運転される標準活性汚泥法などと比較すると、余剰汚泥発生量は小さい。
- ② MBR の余剰汚泥発生量は、従来の活性汚泥法と同様に、最初沈殿池の有無、SRT、水温などの影響を受ける。流入 SS 当りの汚泥発生量は、最初沈殿池を使用する条件で大きくなり、また、SRT が長く水温が高いほど小さくなる傾向にある。

10. 流量変動対応

- ① MBR では、処理水として排出可能な流量が膜処理能力（膜ろ過能力および膜ろ過ポンプ能力）により規定されるため、流入水量の時間変動や雨天時のピーク水量など流量変動への対応策が必要である。
- ② 流量変動対応策としては、流量調整タンク、他系列とのハイブリッド化を含めた MBR 系列への流入水量平滑化を考慮した上で、MBR における対応策を検討する。
- ③ MBR における流量変動対応策としては、反応タンク貯留、ピークフラックス運転、膜面積対応などがある。後者ほど効果は大きいですが、コストも増大する。

11. 初期運転

- ① MBR では、膜分離システムに応じて、膜ユニット設置タンクの最低 MLSS 濃度が設定されていることが多い。その場合、施設の供用開始時には、他施

設や他系列から十分な量の種汚泥を投入する。その際には、膜の保護のために微細目スクリーンを通して投入することを基本とする。その後の馴養においては、種汚泥供給元の流入負荷条件などを踏まえて段階的に流入水量を増加させるなど、最適な馴養方法を検討する。

- ② 施設能力に対して流入水量が著しく小さい初期運転時には、膜ユニットの運転方法、MLSS 濃度維持、内部循環流量設定、し渣などのタンク内蓄積、汚泥処理返流負荷の影響などについて留意し、過大となりやすい電力使用量原単位の低減策を検討する。

1 2. 維持管理性

- ① MBR では、従来の活性汚泥法で必要な沈殿池施設（最初沈殿池、最終沈殿池）、消毒施設、砂ろ過施設、汚泥濃縮設備などが省略できるため、維持管理施設・設備点数の減少に伴う省力化が期待できる。
- ② 膜分離装置の日常的な管理は、自動モニタリングの膜差圧に基づく。また、MBR の処理水は SS を含まないため、処理水質の自動モニタリングが容易である。これらより、MBR の運転は自動化が容易であり、遠隔/巡回管理への対応性に優れる。

1 3. コスト

- ① MBR の建設費は、使用する膜分離システムを始めとした条件により大きく異なるが、条件によっては従来の高度処理法と比較して同程度以下となることが期待できる。
- ② MBR のユーティリティ費についても、膜分離システムなどにより大きく異なるが、既設反応タンクを中大規模型 MBR へ改築するケースでは、従来の高度処理法と比較して同程度以下となることが期待できる。MBR のユーテ

イリティ費の大半を電力費が占めるが、現状での電力使用量の最高水準は 0.4～0.5 kWh/m³程度である。

- ③ RO 処理のような高度な処理を要する再生水用途では、従来の活性汚泥法と比較した MBR のコスト的優位性が大きくなることが期待できる。

(MBR の計画・設計手法)

1. MBR の導入目的

下水処理施設において MBR の導入が有効と考えられるケースとして、(a)用地的制約が大きい、(b)高度処理化を図る必要がある、(c)処理能力の増強を図る必要がある、(d)再生水利用を実施する、(e)水系リスク低減を図る必要がある、などがある。

2. MBR の導入検討方法

計画段階において MBR の導入を検討する際には、所与の計画放流水質や各種制約条件に対応可能な複数の処理方法について比較検討を行ない、合理的な根拠に基づき MBR を選定する。

その際には、まず、水量・水質・水温などの設計値や制約条件を含めた検討条件を定義・設定した上で、処理機能などに基づき検討対象とする処理方法のスクリーニングを行なう。次いで、各処理方法について施設・設備容量、コスト試算を含めた導入方法の概略検討を実施し、総合的な比較評価を行なう。

3. MBR の設計検討方法

(1) 設計検討条件

- ① MBR の設計検討に先立ち、各種入力条件および制約条件を定義・設定する。
- ② MBR に特異的な入力条件として、ピーク流入水量に係る条件（ピーク流入

比、ピーク流入継続時間など)が重要である。また、反応タンク水温についても、生物処理機能に加えて膜分離機能に対する留意が必要である。

- ③ 既設を MBR へ再構築する際には、既設に係る様々な制約条件を考慮する必要があるが、MBR に特異的な制約条件として、膜ユニットや補助散気装置の配置・設置可能数に影響する既設反応タンクの構造・形状が重要である。

(2) 設計検討項目

- ① MBR の設計検討に当っては、所与の処理性能（目標水質など）を達成可能な施設・設備の構成およびフローを検討した上で、膜処理機能および生物処理機能に係る検討を行なう。
- ② MBR では、膜分離システムにより各所の施設・設備の仕様や諸元が規定される範囲が大きいため、膜分離システム毎に検討を行なう必要がある。

(3) 施設・設備の構成およびフローの検討

- ① 反応タンクに係る検討事項として、主として生物処理機能の見地から、生物処理方式、膜設置方式、内部循環経路・循環比に係る検討を一体的に行なう。
- ② 併せて、最初沈殿池の要否、その他前処理の要否、ピーク流入水量対応、後処理に係る検討を行ない、水処理系列全体の施設・設備の構成およびフローを決定する。
- ③ 既設の従来法系列との並列処理となる場合には、ピーク流入水量対応などに関して、MBR とのハイブリッド化によるメリットを踏まえた検討を行なう。

(4) 膜処理機能に係る検討

- ① MBR では、所要の膜ユニット数が反応タンク容量や送風機能力の所要値に影響するため、生物処理機能に係る検討に先立ち、膜処理機能に係る検討を実施する。
- ② 膜ユニット数は、流入水量および水温の年間変動、時間変動に係るピーク流

入水量、雨天時のピーク流入水量などを考慮し、年間を通して膜処理が可能となるよう設定する。

- ③ 所要の膜ユニット数に基づき、その設置に必要なタンクの平面積および曝気洗浄に必要な送風量を検討する。
- ④ 膜ろ過の運転サイクルおよび薬液洗浄方法を考慮して、膜ろ過装置や薬液洗浄設備などの付帯設備について検討する。

(5) 生物処理機能に係る検討

- ① 生物処理方式に応じて、硝化、脱窒、生物学的リン除去などの生物処理機能に基づき、各反応タンクの所要容量や主要機器の所要能力を検討する。
- ② 各反応タンクの所要容量検討の基本的な方法は従来の活性汚泥法と同等であるが、膜ユニット設置タンク（好気タンクまたは膜分離タンク）においては、膜ユニットや補助散気装置の設置に必要なタンク平面積を考慮する。
- ③ 反応タンクの所要容量に対して、反応タンクの系列数および形状を検討する。ここでは、一般的な留意事項に加えて、膜洗浄時の一時的な停止や膜ユニット・補助散気装置の配置などを考慮する。
- ④ 内部循環用ポンプは、生物処理方法および膜分離システムに応じた種類および所要循環比に応じた能力を設定する。施設条件などに応じて、低動力のエアリフトポンプの採用も検討に加える。
- ⑤ 補助散気装置および送風機の所要能力は、生物処理に必要な酸素供給量に対して、膜の物理洗浄（曝気洗浄など）に伴う酸素供給量および MLSS 濃度に応じた酸素溶解効率の低下を考慮して検討する。

(6) その他の施設・設備に係る検討

- ① 微細目スクリーンの形式および目幅は、対象とする膜分離システムに対応したものを検討する。その際には、スクリーンし渣の処理・処分方法について

も合せて検討を行なう。

- ② 流量調整タンクは、所要の流入水量平滑化効果に基づき、容量の検討を行なう。反応タンク以降の施設へ設定水量を送水できるよう、ポンプ排出型のインライン方式を基本とする。

(7) 既設の再構築に係る留意事項

- ① 既設水処理施設を MBR へ再構築する際には、既設反応タンクの形状・構造などに係る制約事項を考慮した検討を行なう。
- ② 更に、最初沈殿池・最終沈殿池などの既存施設や、その他既存機器の活用方法についても検討する。

(MBR の運転管理手法)

1. MBR の運転管理指標

- ① MBR は、生物処理機能と膜処理機能を統合した排水処理技術であるため、両機能に着目した運転管理が必要である。各種操作因子が両機能に与える影響を理解すると同時に、適切なモニタリング項目により両機能の状態を監視・把握することが重要である。
- ② MBR の運転管理における重要な操作因子として、流入水量、送風量（補助散気用、曝気洗浄用）、内部循環比、汚泥引抜量、膜ろ過フラックス、膜洗浄がある。
- ③ MBR の生物処理機能に係る重要なモニタリング項目として、流入水質・処理水質、各反応タンクの MLSS 濃度および処理状況があるが、これらについての基本的な考え方は従来の活性汚泥法と同等である。
- ④ MBR の膜処理機能に係る重要なモニタリング項目として、膜差圧や膜透過

性など膜ろ過操作に直接関係するものに加えて、活性汚泥のろ過性に係るもの、膜の破断に係るものがある。

2. MBR の運転管理上の留意点

- ① MBR では、生物処理機能に加えて、膜ろ過性および省エネルギー化を考慮した活性汚泥管理が重要である。後者の見地から、好気タンクおよび膜分離タンクの活性汚泥濃度を必要以上に高く設定した運転は避けるべきである。また、日常的なモニタリング項目として活性汚泥のろ過性指標を導入し、生物処理や膜処理の条件設定にフィードバックする。
- ② 膜ろ過の運転は、フラックスを設定値とする定量ろ過を基本とする。流量変動対応策としてピークフラックス運転を行なう場合には、ピークフラックスの許容値や許容継続時間を超過した運転とならないよう、当該系列の流入水量などを調整する。
- ③ MBR の運転では、膜ファウリングの抑制・解消のための膜の洗浄が必須の操作である。膜ろ過運転中に常時実施する物理的洗浄と、定期的または膜差圧の上昇に応じて適宜実施する薬液洗浄の組合せが基本となるが、使用する膜システムに応じた洗浄方法を適切に実施する。ただし、各種洗浄の条件は、膜差圧の回復状況などにより洗浄効果を確認しながら、適宜見直し最適化を図る。
- ④ MBR では、水温が低下すると、粘性の増加やファウリング物質の蓄積などにより活性汚泥のろ過性が悪化する傾向にある。冬季の膜ろ過の運転条件および薬液洗浄条件について、入念に検討を行なう。
- ⑤ 活性汚泥混合液の内部循環に関しては、各タンクの活性汚泥濃度を決定する返送汚泥機能および窒素除去やアルカリ度回復のための硝化液循環機能を

考慮して循環比の設定を行なう。ここで、好気タンクや膜分離タンクから嫌気タンクや無酸素タンクへ直接循環を行なう経路については、各タンクへの持込 DO の影響を考慮し、過大な循環比とならないよう注意する。

- ⑥ MBR の供用開始時には、膜分離システム固有の最低 MLSS 濃度などを踏まえて種汚泥を投入した上で、活性汚泥の馴養状況および膜処理状況を確認しながら流入水を供給する。また、初期運転時など処理能力に対して流入水量が著しく小さい条件では、膜ろ過の間欠運転を行なうと共に、それに応じた汚泥返送/内部循環条件を検討する。

(MBR の更なる機能向上・導入促進に向けて)

1. MBR に係る課題

MBR の下水処理への適用性・有用性については、既に国内外で広く示されている。一方、ファウリングの機構解明や抑制方法の最適化、設計・運転方法の最適化、ピークフラックスの明確化、膜エレメント/ユニットの耐用年数の明確化などコスト低減のための課題や、合流式下水道への適用方法、設計・運転管理方法の標準化など市場・用途拡大のための課題も見出されている。

2. 今後の技術開発の方向性

現状の MBR に係る各種課題を踏まえ、今後の技術開発項目として、新たな膜エレメント/ユニットの開発・実証を含めた省エネルギー化・低コスト化、合流式下水道への適用を含めた適用対象拡大などが重要と考えられる。これらを含めた今後の研究・技術開発動向を注視していく必要がある。