

『「膜分離活性汚泥法（MBR）のこれまでとこれから」を考える研究集会』

開催日：令和 2 年 2 月 19 日（水）13：30～17：10

開催場所：「けんぼプラザ」集会室 東京都渋谷区千駄ヶ谷 2-37-9

プログラム

13：30	開会挨拶	21 世紀水倶楽部理事長 佐藤 和明
13：40～14：10	我が国の下水道における MBR の歩みと今後の展望	地方共同法人日本下水道事業団 技術戦略部技術開発企画課 課長代理 糸川浩紀
14：10～14：40	堺市泉北水再生センター高度処理型 MBR 施設の運転 状況について～国内最大規模（現在）の知見～	堺市上下水道局下水道部 下水道水質管理課水質管理係 副主査 村上卓也
14：40～15：10	平膜 MBR の概要と設計・運転管理について	株式会社クボタ 東京本社 環境プラント技術部上下水技術グループ グループ長 永江信也
15：10～15：40	中空糸膜を用いた MBR の事例紹介	三菱ケミカル株式会社 分離・アクアケミカル事業部技術グループ マネジャー 小林真澄
15：40～15：55	休憩	
15：55～17：10	質疑応答・総合討論	コーディネーター NPO21 世紀水倶楽部理事 村上孝雄

※ 水コン協認定 CPD プログラム CPD 単位 3.25 本研究集会後、受講証明書をお渡しします。

<本研究集会の趣旨>

2005年に兵庫県福崎町において、膜分離活性汚泥法（MBR）が初めて下水道に導入されて以来約15年が経過し、現在、下水道では20を超えるMBRが稼働中である。

これらのMBR施設の運転を通して維持管理・保全に関する経験が蓄積されてきており、導入当初、懸念されていた膜ファウリングや膜の耐用年数、汚泥処理等に関しても多くの知見が得られている。

一方で、次々と大規模MBRの建設が進んでいる海外の状況と比較すると、我国でのMBR普及はスピード感に欠けることは否めない。

本研究集会では、我国の下水道におけるMBRの現状を把握するとともに、今後のMBRに期待される役割や普及のための課題について議論する。

1. 糸川浩紀講師講演要旨

「我が国の下水道におけるMBRの歩みと今後の展望」

MBRは固液分離を膜により行う活性汚泥法で、これまで沈殿池で行っていた重力による固液分離を膜が担うため、最終沈殿池は不要で、最初沈殿池、消毒施設や砂ろ過施設なども省略可能である。

MBRの特徴として、反応槽において活性汚泥を高濃度に保持できることから処理能力が増大するため、反応槽をコンパクトにでき、SSが出ないので処理水質が良好である。また、窒素・リン除去を組み込んでも従来法と同等の容量で処理が可能である。さらにSRTが長いので、汚泥発生量は少ない。

維持管理面では、従来法では最終沈殿池での固液分離管理を経験に頼ってきたが、MBRでは固液分離は安定している。これらの特徴は、過去のJSによる技術評価において体系的に整理されている。

MBRの中心であるろ過膜の孔径は、現在使われているものでは $0.01\sim 0.4\mu\text{m}$ であるので、ろ過膜により浮遊物質（径 $1\mu\text{m}$ 以上の物質）を完全に除去できる。なお、活性汚泥フロックの大きさはmmオーダーである。

MBRは浸漬型と槽外型に大別される。浸漬型には槽一体型と膜分離槽別置型がある。我が国の下水処理では、殆どが浸漬型の槽一体型で、膜分離槽別置型は海外で使用例が多い。膜は、平膜、中空糸膜、管状膜（主に槽外型）に分類され、日本のMBRでは、平膜あるいは中空糸膜が使われている。

MBRに特有の留意点として、反応槽の出口でろ過水をポンプで引き抜くため、その周辺のMLSS濃度は他の部分よりも高くなる。そしてMLSS濃度とDO濃度の高い混合液を反応槽入り口に返送汚泥として返送するため、完全混合としない場合は反応槽内にMLSSの濃度勾配が発生する。また生物学的リン除去を行う場合は、この高いDO濃度が阻害因子となる。

MBRにおいては、MLSS濃度が高くなることからSRTは長くなる。MBRはHRT的には標準活性汚泥法に近いが、実際にはかなりの低負荷になることもある。これを理解してプロセスを構成する必要がある。

MBRは、下水道法上は、膜分離を使った循環式硝化脱窒法と定義されている。これに凝集剤添加を加えることもある。最初沈殿池については省略する場合もあるが、最初沈殿池が存在することによる利点もある。生物処理方式、膜分離方式、それぞれに選択肢があって組み合わせの数は多い。JSではそれらを設計要領で標準化している。国内の小規模施設向けに、流量調整タンク、無酸素槽、好気槽（浸漬型で膜ユニットを設置）の順に組み合わせており、これを小規模MBRの基本形としている。

開発の経緯をまとめると、最初に下水道分野でMBRの検討を始めたのは平成10年（1998年）で、JSと民間企業で共同研究を実施してきた。MBRを下水処理に導入するうえで、下水への適用性や設計手法確立などの知見を得て、その結果として先ほど述べた設計要領が作成された。それを用いて実施第一号を設計し、施設は平成16年度末に完成した。その後もコスト削減、大規模化、省エネ化などに関する開発が継続している。開発開始が平成10年、実施施設運転開始が7年後なので、新技術の開発としては比較的早いペースだと言える。その後も世界的に技術開発が継続しているのは、MBRの特徴と言えるかもしれない。

日本でMBRの検討が始まった1998年には、世界では既に多くのMBRが下水処理に適用されていた。従って、日本は半周遅れと言える。現在は20箇所余りの処理場でMBRが使われている。全体的に規模は比較的小さく、数万トン/日規模は堺市のみである。世界的に見ると、一日当たり処理水量が10万トン、20万トンは当たり前という状況であり、日平均で80万トン、日最大では100万トンの処理場もある。

現在、全国に約2,100箇所ある下水処理場のうち、標準活性汚泥法とオキシデーショondiッチ法の二つで75%を占める。このように処理法のバリエーションは少なく、他の処理法は50箇所より少ない。これと比較すると、MBRの20箇所余りというのは決して少なくはない。

技術的な課題としては、膜の目詰まり対策としての洗浄コストが高いことがある。流量変動のどこに照準を合わせて設計するか、整理が必要である。なお消費動力については改善しつつあるが、目詰まりによるファウリングは避けられない。ろ過の対象が、開発から100年経ってもコントロール出来ない活性汚泥なので、難度は高いと言える。

実務家にとってコストは重要である。建設費に関して、費用関数を用いて高度処理ODとMBRを比較すると、同等かMBRの方が少し安く、世界的にも同じ傾向である。一方、維持管理費は明らかにMBRの方が2倍ほど高い。膜洗浄費用が大きく、その大部分が電力である。いかに低コストでファウリングを解決するかがポイントになる。電力消費量に関して、標準法では0.1~0.3 (kWh/m³)、高度処理で0.2~0.4 (kWh/m³)程度、これに対してMBRでは0.3~0.4 (kWh/m³)程度を目標としている。

J Sと民間企業との共同研究では、さらなる省エネ化を目指して、新規膜ユニットの導入、洗浄方法の改良、生物処理用送風量の制御など、様々な面から研究開発が行われている。

まとめとしては、MBRは、この15年で小規模施設中心に20箇所余りの実績があり、もはや新技術ではない。用地の制約があり急速ろ過が必要な場合は、コスト面でも勝負できるプロセスである。膜ユニットの改良や自動制御などで進歩は見えるが、次のブレークスルーが未だ見えていない。一方で、活性汚泥法のみに限らず、嫌気処理への応用やMBBR（膜通気式生物膜法）などの発展形にも期待している。

2. 村上卓也講師講演要旨

「堺市泉北水再生センター高度処理型 MBR 施設の運転状況について～国内最大規模(現況)の知見～」

(1) 市及び下水道事業の概要

堺市は大阪府南部に位置する人口約 83 万人、世界遺産の百舌鳥・古市古墳群を含む市。市の下水道事業は三宝、石津、泉北の単独公共下水道と 3 つの流域関連があり、人口普及率は 98.3%、単独公共下水道の高度処理実施率は 58%である。

(2) 泉北水再生センター（以下泉北と略す）の概要及び MBR 導入経緯等

泉北はニュータウン開発に伴い大阪府が建設し S44 から供用開始、S60 に堺市に移管され、現在は図-1 の通り、1 系 1 号池から 4 号池が標準法（H28 から段階的の高度処理導入）で処理能力 50,100m³/日、2 系 1 号池から 4 号池が A₂O 法（H13 供用開始）で同 37,200m³/日、1 系 5 号池と 6 号池が MBR（H28 供用開始）で同 20,000m³/日、合計 107,300m³/日で 3 つの処理法を持つ分流式処理場である。

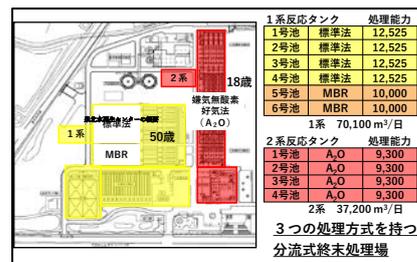


図-1 泉北水再生センターの概要

堺市は MBR の①省スペース化、②高 MLSS のため高度処理に適合、③既存設備を使用した改造可能であるという 3 つの特徴に着目し、導入を決めた。「再生水利用」を見据えた水質確認や利用先調査も行っている。

堺市では、堺市下水道ビジョンにおける使命 3「環境の保全及び潤いと活力ある地域づくりに貢献する」将来像 4「川や海の水環境が良好に保たれるまち」を実現するため、これまでに三宝の全量高度処理化を行っており、続いて泉北に高度処理型 MBR を導入した。堺市では、この将来像を実現するため、単年度実施計画で事業を定め計画的に業務を進めている。

三宝水再生センターでは阪神高速大和川線建設に伴い、新 2 系を建設することになったが、完成までの間、旧 1 系の一部を使う暫定施設が必要となり、省スペース化の特徴を生かし MBR を採用した。この MBR は合流式で 60,000m³/日（当時国内最大級）、H23 から約 2 年 9 か月間稼働した。

泉北の 1 系施設は老朽化した土木躯体の再構築を含め比較検討を行ったが、三宝の MBR が利用可能となり、費用を抑えた高度処理化を達成できるとして採用した。

MBR は 1 系 5・6 号池の 2 池で日最大 20,000m³/日（国内最大級）、計画処理水質（年間平均値）は大阪湾流総の全窒素 8mg/L、全りん 0.8mg/L とした。

6 池の反応槽のうち 1～4 号池は標準法を継続、5・6 号池の反応槽内へ膜ユニットを設置、微細目スクリーン・無酸素槽攪拌機などを新たに設置したが、土木構造物には大きな変更を加えてない。

(3) MBR の運転状況

泉北の処理フローは図-2 で、処理方式は、循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法（凝集剤添加）で、微細目スクリーン（目幅 1mm）を通過後、無酸素槽を通過し、補助散気装置を設けた好気槽を通り、膜分離槽から膜ろ過ポンプにより膜ろ過水として吸引される。運転面の特徴として標準法との並列運転、ハイブリッド運転がある。泉北は分流式だが雨天時の流入水が増加する。水量増加は MBR にとっては透過流量増加による膜の目詰まりが早くなるなどの影響があり、A₂O 法とともに一定水量運転を基本としている。降雨時の水量変動は標準法でカバーしているが、大規模 MBR 施設導入処理場の維持管理方法の一つではないかと考える。

膜分離槽から無酸素槽へはエアリフトポンプにより硝化液を循環している。

洗浄は、空気洗浄（常時）→次亜洗浄（1～2月に1回）→クエン酸洗浄（1年に1～2回）である。

現在の膜カートリッジは、三宝 MBR での使用期間を含めて約6年半になるが、次亜洗浄による回復が弱くなり、洗浄頻度も高くなっている印象があり、効率的な洗浄方法や MBR の運転方法を模索している。

MBR の反応槽流入 SS 当たりの余剰汚泥発生率は H28 年 8 月から H29 年 2 月の平均で 1.0 kg/kg-SS であり、同期間の標準法、A₂O 法での余剰汚泥発生率 1.4 kg/kg-SS と比較し低かった。

堺市では MBR のさらなる改善に向けて、高度処理特性の調査、ファウリングの要因調査と対策、膜の劣化と強度調査、市処理コストの削減手法の調査等を民間企業と、膜付着物・ファウリング物質の化学分析、活性汚泥微生物群集・DNA 分析を大学と、また包括委託業者との連携を図っている。

硝化液循環比は約 3 で運転しており硝化は完全で、除去率はほぼ理論通りだとわかる。処理水質をみると、SS が不検出、COD は除去率向上、大腸菌群もほぼ不検出である。A₂O 法との比較では、総窒素ではおおむね同等の水質が得られている。

PAC 添加で、りんを除去しているが 0.8mg/L 程度になるよう添加量を調整している。

（4）導入効果と今後の展望

効果検証のため、石津川の泉北放流口と上流万崎橋、下流毛穴大橋（環境準基準点）の 3 地点の水質を測っている。下流毛穴大橋の河川水質も、アンモニア性窒素濃度は大きく低減し、BOD も減少し、H26 年度以降、環境基準を満足している。

特に MBR を導入した H28 年度以降、低いアンモニア性窒素濃度、BOD となっている。

毛穴大橋地点の泉北放流水の割合は約半分程度であり、泉北の運転工夫や高度処理型 MBR の導入で、石津川の水質も大きく改善された。

また水生生物の確認種も近年増加し、H26 には仔アユも確認されている。こうした取組効果を下水道研究発表会で発表し、HP でも公開している。

将来の人口減少を見越し、R2 に石津水再生センターの一部処理区を泉北に切り替えるが増加する汚水量 13,000m³/日は標準法で受け持つ予定としている。

また 1 系送風機は古いものが多く、R2 にインバータ制御の磁気浮上式高速電動機直結単段ターボブロワに更新予定、漏れの多い古い空気配管も同時に更新するので大幅な省エネを期待している。

高度処理化を進めるにあたっては、その一つの方法である MBR については泉北で長期運転を行い、処理性能、膜の耐久性、コスト等を見極めながら、担体投入 3 段階硝化脱窒法（三宝で実施）や A₂O 法を含め最善の方法を選択していくこととしている。

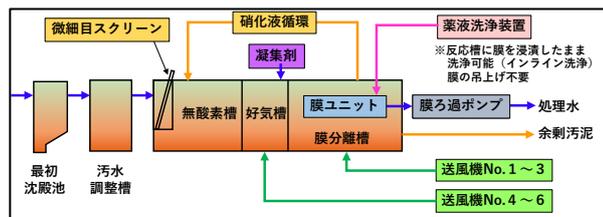


図-2 泉北 MBR の処理フロー

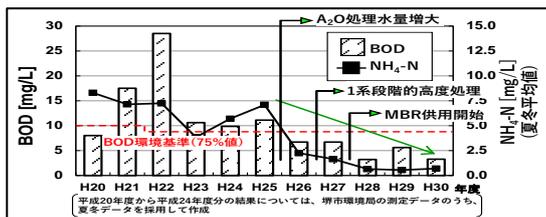


図-3 毛穴大橋（下流地点）の水質変化

項目	単位	MBR		A ₂ O	
		処理水	除去率(%) [※]	処理水	除去率(%) [※]
SS	mg/L	定量下限界	100	1	98
BOD	mg/L	0.7	99	1.4	98
COD	mg/L	5.3	89	8.5	91
全窒素	mg/L	5.6	78	8.6	80
全りん	mg/L	0.75	75	0.19	95

> 全りん以外は同等以上の結果であった
 期間：平成30年度 月2回（年24回）測定実施
 ※除去率は、反応タンク前後での除去率を示している

表-1 MBR 処理結果（A₂O 法との比較）

3. 永江信也講師講演要旨

「平膜MBRの概要と設計・運転管理について」

平膜ユニットを提供する株式会社クボタは、1980年代後半からMBRの開発に着手し、1991年には最初のモデルをリリースし、2002年には下水処理への適用を開始した。その後、大型膜ユニットの開発などにより大規模化並びに省エネ化を進められ、現段階でのMBRへの膜ユニットの提供は国内外に6,000カ所の実績を持つ。10万トン以上のMBRは、オマーン125,000m³/日、アメリカ159,000m³/日の処理場がすでに稼働している。国内においては、2005年4月に初めて兵庫県福崎町に8,400m³/日（現有）の処理能力をもつMBRを納入して以降、2011年堺市三宝処理場(60,000m³/日)など11カ所のMBRを納入している。今後も大阪市中浜処理場(40,000m³/日)、海老江処理場(34,650m³/日)に導入が予定されている。

クボタが提供する膜カートリッジは平膜であり、材質は塩素化ポリエチレン、ポアサイズは平均孔径0.2μmである。用途によって、異なる型式の膜カートリッジが用意され、下水処理にはSP型が主流になってきている。

MBRはろ過運転を行うことにより膜面が徐々に閉塞し、ろ過圧力が上昇する。ろ過圧力が15~20kPaに達した場合にはインライン洗浄を行うが、自動洗浄が可能である。洗浄用の薬品は有機系の汚れには次亜塩素酸ソーダ0.4%程度、無機系の汚れにはクエン酸洗浄0.5%程度を用いる。洗浄の全工程は3~4時間であり、洗浄中の系列は処理ろ過停止となるが、他系列の処理量増加により対応する等、エンジニアリングで解決する。洗浄後の排液処理は希釈槽を経由して上流側の沈砂池や最初沈殿池などに戻し、処理水質に影響が出ないように設計している。

更に、設計において省エネは大きなテーマである。手法として

(1) 膜ユニットの改良による省エネルギー対応

膜ユニットの集積度を高め、膜面積当たりの洗浄空気量を削減することで省エネを達成している。

(2) サイフォンろ過

サイフォンろ過による自然流下ろ過を開発し、MBRと処理水槽との間に1.5m以上の水位差があればサイフォンろ過は可能である。これにより膜ろ過ポンプの動力の99%を低減した。本システムは、名古屋市守山処理場において8年間の稼働実績がある。

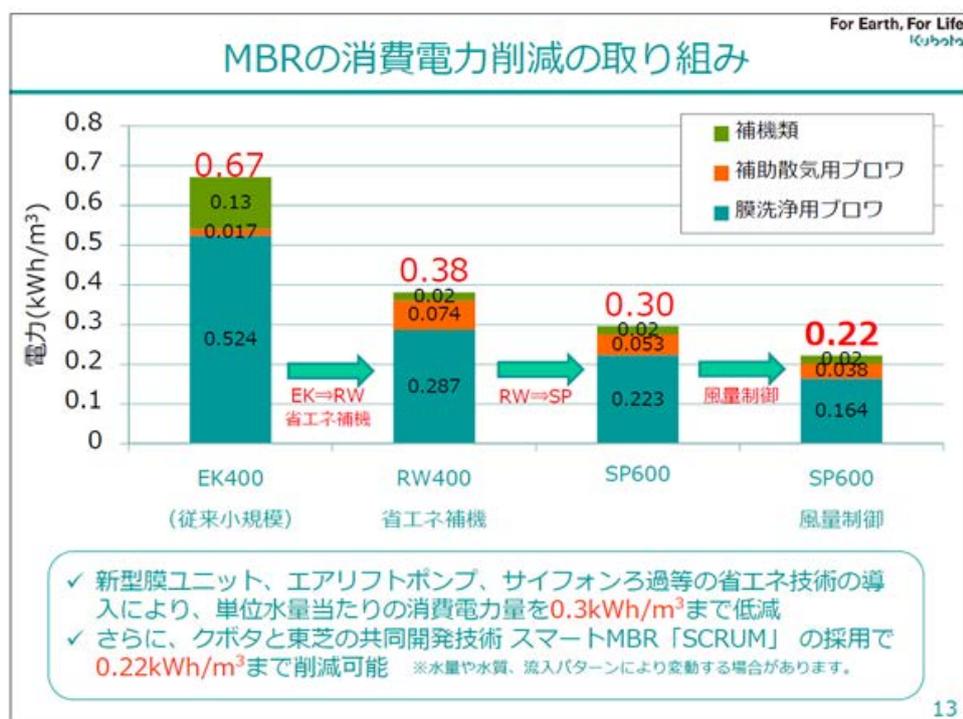
(3) エアリフトポンプ

MBRの硝化液循環量は通常2Q~3Qであるが、消費電力量の大きい循環ポンプに代えてエアリフトポンプ循環により動力の95%を抑制することを可能とした。エアリフトポンプによる無酸素槽への酸素の持ち込みが懸念されるが、MBRであるためMLSSが高いこと及びエアリフトポンプの風量の絞り込みを十分に行うことにより無酸素槽への酸素持ち込みの影響が小さいことを確認している。本技術は、名古屋市守山処理場及び堺市泉北処理場に導入している。

(4) スマートMBR制御技術

MBRの電力消費量のほとんどを曝気動力が比率を占める。従来、膜洗浄空気量は余裕をみて一定風量で供給していた。膜洗浄空気量の削減のため、MLSS、水温、フラックス等のデータから多変量解析を行うことにより、膜ろ過圧力をモニタリングしながら膜の閉塞状況を予測する制御方法を開発した。また、アンモニア濃度計を用いたアンモニアDO制御により、補助散気空気量の削減も行う。

以上の省エネルギー技術を使うことにより処理水量(m³)あたりの消費電力量は当初の0.67kWh/m³から現在0.30kWh/m³を実現している。更に予測モデルと常時モニタリングによるスマート MBR により 0.22kWh/m³までの消費電力削減が可能となっている。



MBR の設計において、台風等の長時間降雨を想定し、設計の 2～2.5 倍の高フラックスで 24 時間連続試験を行い、ろ過圧力の上昇傾向を確認することにより高フラックス運転が可能であることを把握している。

大規模 MBR になると多くの膜ユニットが設置されることから、設計においては以下の点に留意することが必要である。

- ①各ユニットの処理水が均等にろ過されること。
- ②各膜ユニットへ膜洗浄空気の均等に供給されること。
- ③各膜ユニットの薬品洗浄が均等に行われること
- ④薬品洗浄が容易であること

が上げられる。均等ろ過等については流体解析により設計時に確認をしている。

また、膜ユニットの交換あるいは長期間の運転による膜ユニット、カートリッジの状態を調査する場合、ユニットの吊上げが必要であるが、チェーンの吊り替えが不要で容易に吊上げ可能な専用治具も開発されている。

MBR の運転管理は、膜ろ過圧力、MLSS、無酸素槽 ORP、好気槽の DO など、いずれも数値監視ができるため、遠隔監視・遠隔操作ができることも特長の一つである。膜の破断に関しては処理水濁度の連続監視により確認できる。

膜の耐久性は、国土交通省通達で膜カートリッジが 10 年、膜ユニットが 15 年とされている。国内での 4～8 年の運転実績データから、膜カートリッジの異物傷が約 7.1%、膜の破断が約 1%みられたことから、現在の設計では 1mm ピッチのバースクリーンから 2mm のメッシュスクリーンの設置を推奨している。

事例として、初めての試みとして堺市三宝下水処理場で3年間使用された膜ユニットを泉北下水処理場へ移設した。長期間の膜カートリッジの保管後、再設置前に浸水化剤による浸水化処理を行い、20,000m³/日のMBRを再度運転させることができ、貴重な知見も得られた。現在、大阪市中浜下水処理場では最初沈殿池を高速ろ過に、反応槽をMBRへと改築が進んでおり、2021年の供用開始後には放流先である道頓堀川の水質改善が期待される。

4. 小林真澄講師講演要旨

「中空糸膜を用いたMBRの事例紹介」

発表の冒頭、小林氏は、去る1月22日～23日にスウェーデンのマルメ（Malmo）で開催されたIWA生物膜セミナーワークショップにおける下水処理技術に関する参加者の投票結果を紹介した。CAS、MBR、MBBR、MABRなどの比較技術のうち、MBRは水質では1位であったが、初期投資やトータルのオペレーションでは低評価であり、MBRに関する認識が世界の専門技術者の間でも正確でないことを報告した。

MBRの開発は、1980年代から盛んとなり年を追って、処理規模、導入箇所数も増加し、三菱ケミカル社の中空糸膜を用いたMBRプラントの導入実績は、2019年時点では世界中で約5,000件以上に達している。10万m³/日以上の大規模MBRも増加しており、特に中国で多く採用されている。中国市場における大規模MBRは、北京など北部では公共下水道向けが多く、上海周辺の東部では産業排水向けが多くなっている。

三菱ケミカル社納入実績の用途（産業系と生活系）ごとの比率は、件数比率では、生活系：産業系＝6：4、水量比率では、生活系：産業系＝7：3である。生活系の件数比率では浄化槽などのオンサイト施設が92%を占め、生活系の水量比率では公共下水道などの生活排水が74%となる。産業系の件数で大きな比率を占めるのは畜産排水（22%）であり、産業系の水量では化学系排水（20%）が大きな比率である。

MBR用中空糸膜エレメントは、エレメント膜面積が25m²（細径）、40m²（太径）であり、容積当たり高い膜面積を有し、モジュールを組立て、据え付けられる。中国の北京郊外の密雲再生水廠は、2006年6月に稼働した45,000m³/日であり、処理水は水不足対処策の一環として上流のダムに放流し再利用される。韓国の天安下水処理場では、30,000m³/日（2008年）、40,000m³/日（2013年）が中空糸膜MBRで増設されたが、設置面積は、従来の活性汚泥法の三分の一であった。また、韓国のWhaseong Dongtan2下水処理場は、処理能力122,000m³/日の全地下式の中空糸膜MBR施設で、低水温に対応している。

大規模MBR展開のためには、エネルギーコストの低減が課題であるが、日本下水道事業団との共同研究などにより、ハード的には消費電力量を0.242kwh/m³まで低減できており、ソフト的にさらに改善されると考えている。

MBRの運転管理上の留意点として、以下のような点が紹介された。

- ①反応タンクの立ち上げ：種汚泥の留意点（3,000 mg/Lを目安に投入、腐敗汚泥は避ける、投入前にし渣等を除去）、MLSS 負荷に注目した立ち上げの実施例、立ち上げ時のトラブル（発泡、pHの低下）への対処（消泡剤としてシリコン系は膜を閉塞させるので不可）について紹介があった。
- ②運転管理における重要項目：ろ過差圧の管理、反応タンク水温（13℃以上が好ましい）、MLSS 濃度（通常 8,000～15,000 mg/L で制御：汚泥脱水機を同時期に設置し汚泥処理に対応）、反応タンク DO（1 mg/L 以上で制御）などが紹介された。MBR トラブル要因例として、過度な負荷設計（1 kg-BOD/m³/日程度が好ましい）、原水中の油（差圧の上昇原因）が説明された。

現在、環境省からの3年目となる委託でアナモックスと嫌気性 MBR を研究しており、東京農工大と2年間の予定で MBBR の研究を行っている。今後の MBR が目指すところは、処理技術だけでなく、回収技術や他の要素技術との組み合わせより、新しい持続可能な循環型社会の実現につながる明るい未来である。

5. 質疑応答・総合討論要旨

司会 (21世紀水倶楽部 村上理事)



5-1. 質疑応答 (以下、敬称略)

(1) 村上講師の講演について

会場：汚泥発生量が少なくなったというが MBR の MLSS 濃度は？また、他の水処理方式の MLSS 濃度は？

村上：8,000mg/L を目途に運転している。標準法では 1,000-1,400mg/L、A₂O 法では 1,400mg/L 程度

司会：膜は再利用で約 7 年経過しており、やや洗浄頻度が高まっていると聞いたが、膜は今後更新するのか、そのまま使うのか？

村上：10 年は持たせるつもりだが、その後、どうするかは今後検討する。洗浄頻度はやや高まったが、引っ張り強度は低下していない。

会場：異物の流入による膜の部分的な破損等はなかったか？

村上：三宝 MBR は 3mm スクリーンだったが、泉北 MBR は 1mm 微細目スクリーンとしたので、プラスチック片等の流入による破断は見られていない。

会場：中浜の MBR では必要面積は従来法の 1/3 になっている。地価の高いところで省面積性は経済的効果が大きい。MBR が高い安いという場合には、このような都市計画的側面も考慮する必要がある。包括的に MBR の利点として主張すべきである。

(2) 永江講師の講演について

会場：空気量の制御にアンモニア計を使った理由は？

永江：完全硝化しながら従来の DO 制御よりも補助散気空気量を削減するため、アンモニア DO 制御を開発した。MBR は沈殿池が無いので、処理水とのタイムラグがないという特徴を生かし、処理水槽でのモニタリング制御により空気量削減を行っている。

司会：ろ過の均等性については、ユニット数に上限を設定するということになるのか？あるいは、その他の対応方法があるのか？

永江：基本的にはユニット数の上限を決める。特に大規模になると、最大限並べることができ、かつろ過の均等性も保てるユニット数を見出すことが重要。

司会：メーカーとしては膜の再利用についてはどうなのか？

永江：三宝 MBR の膜は 3 年間しか使っていなかったもので、再利用を行うべきと考えた。

三宝 MBR は、押し出し流れで反応タンク上流側の膜はし渣の付着やファイリングが進行しやすかったため、比較的下流側の膜を親水化処理し再使用した。泉北 MBR では初沈、流調、スクリーン

があるので、し渣の付着はなく綺麗である。

司会：膜の再利用をこれだけの規模で行ったのは世界で初めてか？

永江：そう認識している。

(3) 糸川講師の講演について

会場：汚泥発生量が少ないということであるが、汚泥性状はどうか？

糸川：汚泥脱水性は悪くはない。濃縮性は良くないが、最近、余剰汚泥は機械濃縮であること、また、**MBR** 余剰汚泥は既に濃度が高いことから實際上問題はないと思われる。

会場：**MBR** の体系化のところ、意図しない物質の系内への蓄積については、具体的に何を想定しているのか？

糸川：反応タンク中でのし渣や固形物の蓄積物を意味している。**MBR** の特性から蓄積が起こりやすい。このため、あまり **SRT** を長くしすぎない運転方法もある。汚泥管理としては、**OD** 法のイメージで運転するとあっという間に汚泥が増えてしまう。

司会：以前ヨーロッパの **MBR** では、反応槽内への毛髪や油脂の蓄積が大きな問題となったが、現在はメッシュスクリーンや初沈をつけるということで、このような物質の蓄積については対応済ということか？

糸川：バースクリーンよりメッシュスクリーンの方が毛髪等のすり抜けが少ない。ただし、国内下水では未だ **1 mm** のバースクリーンが基本となっている。

司会：設計指針の **MBR** に関する記述はまだ浸漬一体型のみである。あまり展開が見られていないと感じる。新しい情報を取り込んで、**JS** で基準等を作成して頂きたい。

糸川：**JS** の技術評価では新規な情報も取り入れているが、設計要領や指針に反映するには至っていない。

会場：研究開発の動向のところ、「その他」のテーマが多いがこの内容は何か？

糸川：記憶にないが、雑多なものがあるだろう。

会場：**MBR** は汚泥濃度が **CAS** の 5 倍と高いが、生物量が多いのみでなく、生物叢もかなり違うのではないか？

糸川：**MBR** 活性汚泥の生物叢に関しては、大学で遺伝子解析等の研究が行われている。

印象としては、モデルで扱うのであれば従来のパラメータを大きく変えなくても良いというのが通説である。

会場：生物膜には多種多様な脱窒菌がいる。**MBR** でも実際の運転では脱窒で差が出るのではないか？

糸川：実際の運転では、見かけの脱窒速度はそれほど変わらない。

村上：これまで大学との共同研究で生物叢のデータを見ており、従来法とかなり生物叢が違うという印象はあるが、泉北 **MBR** の実際の運転上の差は出ていない。

小林：**DNA** 解析ではどのような菌がいるかはわかるが、実際に処理に作用している菌がどれなのかわからない。このため、**RNA** 解析にトライしようとしている。

5-2. 総合討論

司会：MBR の運転管理費が高いという点について。高度処理 OD との比較を行っているが、OD の電力消費量原単位もかなり大きいと理解している。MBR の電力消費量原単位も 0.4 あるいは 0.3kWh/m³ あたりまで下がっているのだが、MBR と高度処理 OD の差は何が原因なのか？

糸川：比較資料は公表されている費用関数に基づくもので、コスト構造の議論ができるものではない。この MBR のデータは最近の省エネ型 MBR ではなく古いタイプのものである。

司会：最近の MBR の省エネ化を反映していない資料がオフィシャルに出ているということは MBR の特徴をミスリードするものではないか？新しい情報を取り込んでアップデータして頂きたいと思う。

小林：紹介したスウェーデンの学会でも MBR は消費エネルギーが高いものだという認識があったので、このような投票結果になった。このあたりを変えていかないといけない。

永江：研究開発では消費エネルギーはかなり改善されている。実際の運転でどうかというデータを示すことが重要である。

会場：MBR の電力消費は改善されてきており、他処理法と戦える技術となってきた。そのエビデンスを示すことは重要。ただし、電力消費改善には限界があるので、その後が重要。都市計画の中で、MBR の利点を生かしてトータル的に評価することが大事。この点についてはどうか？

司会：MBR の利点は水処理性能のみではない。省スペースをはじめ多くのメリットがあるが、そのあたりが包括的に評価されていないのではないかと感じる。例えば、運転管理費でもユーティリティー費のみで評価されることが多いが、遠隔管理等による人件費削減も考慮されるべきだろう。

司会：堺市では MBR についてユーザとしてどのような印象を持っているか？

村上：泉北ではブロワは従来のものを使用したこともあり、電力費は少し上がった。また、洗浄用薬品費も掛かるため堺市職員には高いという印象を持っている人が多いようだ。今後は風量制御可能な新規ブロワを入れるので、電力消費量の改善により印象は変わる可能性がある。

司会：放流先の水質はかなり改善されているが、その効果を考慮しての包括的評価は？

村上：堺市下水道ビジョンの目標達成という観点からは、MBR 導入は一定の効果があったと考えている。

会場：中浜処理場の事例が示されていたが、用地費や人件費を含む運転管理費の全体を総合的に判断することが大事だと思う。

司会：1998 年頃に MBR の下水道への導入検討が始まったころは、膜のヘビーファウリング、膜寿命、消費エネルギー等、アンノウンな要素が多々あった。福崎での MBR 導入後 15 年を経て、22 か所の MBR が稼働している現在、既にこれらの要素は全て明らかにされたという理解で良いか？

小林：日本の下水道ではこういった問題はない。ただし、海外の下水道では話は別。使い方に十分な指導が必要となる。

永江：国内では問題はないと思う。ただし、小規模な施設では油流入や工場排水等により活性汚泥性状が変わったりすることがあるが、これは個別対応となる。国内であれば運転管理手法は確立している。

糸川：例外的であるが、MBR に適さない水質の下水もあり得る。この場合、膜ファウリングが進む。

司会：それは気になるところだが、生活系排水であれば問題ないが、事業所排水によっては問題が生じる可能性があるということか？

糸川：事業所排水のみではなく、浸入水あるいは土質的な要素もある。

司会：泉北 MBR の運転管理で困った点あるいは改善が必要な点は？

村上：泉北は分流式だが、雨天時に不明水流入があり水量変動が課題である。標準法とのハイブリッド運転で対応しているが、MBR の処理水量を増やす場合は、事前に膜洗浄しておく等の対策をとっている。大都市への MBR 導入にあたっては、古い処理場における合流対応が課題になるだろう。

司会：海外では大規模 MBR がいくつも稼働しているが、我国では、特に東日本の大都市で普及していない。合流対応の問題なのだろうか？

永江：東日本大震災と福島第一原発事故をきっかけに、自治体が電気料金を非常に気にするようになった。

司会：東日本の大都市も、もう少し選択肢として MBR を検討すべき。包括的な評価によれば、検討に見合うメリットはあると個人的に考える。

司会：これからの MBR について。最近では AI という言葉が研究開発に必須になっている感があるが、MBR への AI の導入については？

永江：本当の意味での AI 制御はまだ事例がないのでは？将来的には AI 活用の方向に進むだろうが、あくまでコスト見合い。大規模施設だとメリットがあるが小規模施設ではコストに見合わないのでは。

小林：AI と言えるかかわからないが、MBR 運転データのビッグデータ処理を行っている。相関はとれているが、相関だけではなく原因と結果の関係を明確にしたい。

会場：プラネタリーバウンダリーを考えた場合、窒素とリンは重要である。MBR は N₂O を含め GHG 排出量が少ないというメリットがある。SDGs にどう対応するかは重要な課題である。

糸川：GHG 削減については、自治体へのアピール力が小さいのが実情。MBR の N₂O 排出量が少ないのは追い風である。コストについては、MBR の建設費は安い。トータルで頑張れば勝負できるだろう。

会場：MBR は電気代が高いということだが、その一方で海外では大規模 MBR の普及が進んでいる理由は？

小林：海外は日本と違って一般的に電気代が安い。特に中東。中国では環境問題が深刻になったため、これを短期間に解決するには MBR が最適だった。シンガポールは水再利用のため MBR が必須だった。このように MBR 導入の事情は国毎に様々である。日本で MBR がなかなか入らないのは、日本の維持管理技術者はレベルが非常に高く、CAS でも非常に良好な処理水が得られていることが理由の一つと考えている。

糸川：水質規制対応もある。北米がそうである。日本では水質規制では逆の方向へ進んでいる面がある。欧州は厳しい EU 指令のおかげで MBR が入った。水の再利用もある。

司会：時間が来たので、最後に一言ずつ。

糸川：J S の技術評価資料等を参考にしてもらいたい。自分は MBR に対してニュートラルな立場なので、本日はそういう意見ということでご理解頂きたい。

村上：堺市では MBR をこれからどうするかについては今後検討してゆく。自分としては MBR を技術として見守って行きたい。

永江：国内では改築更新時等に MBR の省スペースがメリットとなる。ただし、制度上、既設構造物を 50 年使わないといけない点が課題となる場合もある。追い風になりそうなマイクロプラスチックについても今後調査していきたい。

小林：WET 試験の結果だと MBR 処理水は圧倒的に良好な成績である。再利用を進めたい。

司会：講師の皆さんに盛大な拍手をお願いします。(拍手)