

# ePTFE膜のMBR用途に対する可能性に向けた一考察

日本バルカー工業株式会社  
研究開発部 メンブレン開発グループ  
本居 学  
瀬戸口 善宏

With the world water shortage and water quality deterioration, the worldwide need for a safe and secure supply of fresh water has been increasing. The membrane bioreactor (MBR) is a leading edge technology currently being used in countries around the world for water reclamation. Due to advances in the technology and declining costs, the application of MBR technology for water reclamation has increased sharply over the past several years.

MBR technology offers several advantages to conventional wastewater treatment including reduced footprint, consistent and superior effluent water quality, and ease of operation.

This report describes how the basic characteristics such as pore size of ePTFE (expanded polytetrafluoroethylene) membrane films affect their performance in activated sludge through the laboratory tests with flat membrane elements. It was studied in the laboratory test with artificial raw wastewater.

## Keywords:

Water Shortage, water quality deterioration, membrane bioreactor, MBR, wastewater, footprint, ePTFE, expanded polytetrafluoroethylene, pore size, flat membrane, activated sludge, artificial raw wastewaters

## 1. はじめに

従来、浄水処理、下水・廃水処理、あるいは産業廃水の処理など、濁度の高い被処理水の固液分離を行う方法の一つとして、活性汚泥法が採用されている。

この活性汚泥法とは、廃水中に空気を吹込みながら様々な微生物(活性汚泥)を増殖させ、その微生物により廃水中の生物化学的酸素要求量(Biochemical oxygen demand 以下 BOD)の増加につながる成分などの汚れを浄化する方法である。

標準的な活性汚泥法(以下 標準活性汚泥法)では、砂を利用したろ過や重力を利用した沈殿などにより、活性汚泥と処理水の固液分離が行われている。しかしながら、このような方法による固液分離では得られる処理水質が不十分と

なったり、広大な用地(沈降分離のための沈澱槽用の用地など)が必要になったりするなどの不都合が生じている。

これらの問題を解決する方法の一つとして、膜分離活性汚泥法(Membrane Biological Reactor 以下 MBR)が検討されている。前述の標準活性汚泥法が、重力沈降などを利用して活性汚泥と処理水の固液分離を行うのに対し、MBRでは精密ろ過膜(Microfiltration膜:MF膜)あるいは限外ろ過膜(Ultrafiltration膜:UF膜)を用いた膜分離を利用して活性汚泥と処理水の固液分離を行うのが特徴である。

すなわち、MBRでは曝気槽に微細な穴を持つ膜を浸漬し、微生物と処理水の直接ろ過を行って固液分離するため、安定して清澄な処理水が得られる上、沈澱槽が不要であり装置をコンパクトにできる特徴を有する(Fig.1参照)。このことから、標準活性汚泥法に比べ、浮遊固形物(suspended

solids 以下 SS)や微生物群の除去能力に優れ、また必ずしも大きな敷地面積を必要としない(標準活性汚泥法に比して敷地面積を小さくできる)などの利点がある。<sup>1), 2)</sup>

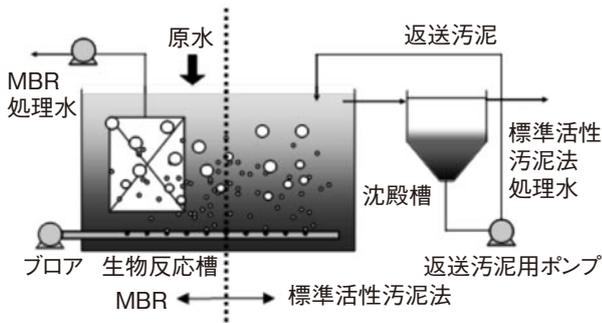


Fig.1 MBRと標準活性汚泥法の処理フロー

これまで MBR は産業排水、ビル中水道、し尿処理、浄化槽など、小規模処理を中心に普及していたが、今後は大規模都市下水処理への展開が期待されている。しかし、MBR が抱える問題点の 1 つに膜の汚染 (以下 ファウリング) がある。このファウリングが進行すると膜の処理能力が下がるため、膜には低ファウリング性が要求される。またファウリング進行時には薬剤による膜の洗浄が行われるため、膜はその化学的耐久性も必要となる。本研究では、ラボスケールの浸漬型 MBR に、耐薬品性に優れたポリテトラフルオロエチレン (Polytetrafluoroethylene 以下 PTFE) の多孔質膜を適用し、その細孔径の違いによるファウリングの進行の程度を比較した。また洗浄 (物理・薬品洗浄) 前後の膜ろ過抵抗を測定することで、ろ過抵抗と膜ファウリングの進行との関係を調べた。<sup>3)</sup>

## 2. ePTFEの特徴

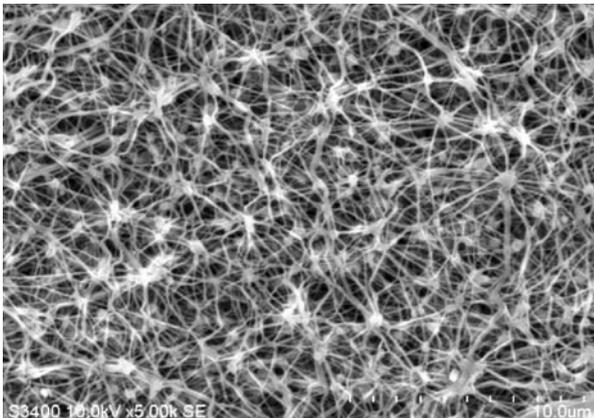


Fig.2 ePTFEの構造図(×5000)

次に、多孔質PTFE(expanded PTFE:以下 ePTFE)の特徴を説明する。ePTFEは、非粘着性・疎水性・耐熱性・耐薬品性・耐候性・低摩擦・撥水性・低誘電率などの優れた性質を有するポリテトラフルオロエチレン(以下 PTFE)を延伸して作られ、Fig.2のような3次元に多孔質化された構造を示す。この延伸多孔化技術では、密度制御・孔径制御・透過制御を行うことが可能であり、PTFEの特徴を活かしながら様々な特性を持つ多孔質膜を作ることができる。

このePTFEの特性として、高空隙率・非粘着性(易剥離性)・耐薬品性・耐熱性・防水透湿性などが挙げられる。この応用分野としては分離・ろ過用途(液体フィルター・エアフィルター・バッグフィルター)、通気・透湿・防水・防塵用途(電池用撥水膜・ベントフィルター・燃料電池用透過膜・セパレーターなど)などがある。

本研究では、ePTFEの特性である高空隙率(高透水性)、非粘着性(耐ファウリング性、易洗浄性)、耐薬品性(洗浄効率)に着目し、MBRとしての性能評価を検討した。

## 3. 浸漬型MBR装置と運転条件

MBR装置の模式図をFig.3に示す。有効容積18Lの処理槽にePTFE平膜モジュール(PP製プレートにePTFE/PPラミネート膜を貼り付け、表裏両面からの吸ろ過を可能にしたモジュール)4組を浸漬させ、グルコースを主な炭素源とする人工廃水の処理を19日間連続して行った。

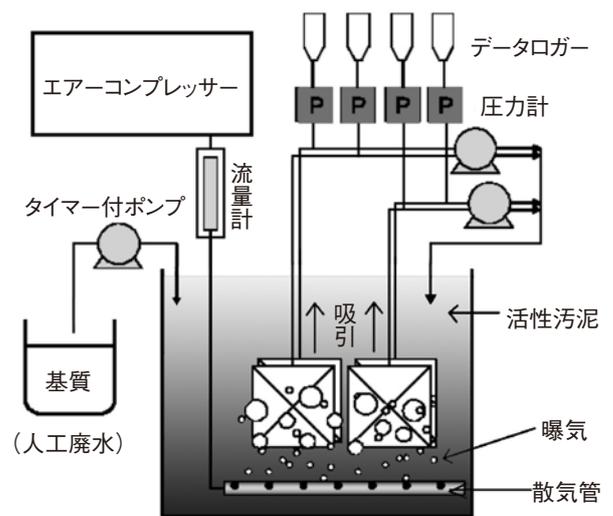


Fig.3 浸漬型MBR装置模式図

その時の運転条件を Table.1 に示す。運転初日から6日目までを Run1、その後の7日間を Run2、更にその後の6

日間をRun 3とした。使用した ePTFE 平膜の細孔径は、0.3 $\mu$ m, 0.5 $\mu$ m, 1.0 $\mu$ m の 3 種類で、1.0 $\mu$ m についてのみ 2 枚用い、計 4 枚の平膜を浸漬させて同時にろ過試験を行った。なお、処理水は全て処理槽に戻し、余剰汚泥の引き抜きは行わなかった。

Table.1 浸漬型MBR装置運転条件

膜細孔径 [ $\mu$ m]	0.3, 0.5, 1.0 (A, B)
透過流束 [m/d]	1.2-1.6
温度 [ $^{\circ}$ C]	15-19
pH	6.5-7.5
MLSS [g/L]	6.5-8.5
曝気量 [L/min]	2
基質	グルコース, リン酸二水素カリウム ペプトン, 酢酸ナトリウム
運転期間 [d]	6(Run1), 7(Run ), 6(Run 3)
ろ過方法	間欠吸引ろ過(吸引9分, 休止1分)

Run1, Run 2 終了時に膜モジュールを処理槽から取り出し、超純水のろ過抵抗を測定した。また取り出した膜モジュールに対し、表面をスポンジで拭き取る「物理洗浄」、5000 mg L<sup>-1</sup> の NaClO 溶液に 5 時間以上浸漬させる「薬品洗浄」を施し、各洗浄後の超純水のろ過抵抗を測定した。各ろ過抵抗は、以下の式と Fig.4 から算出した。<sup>3)</sup>

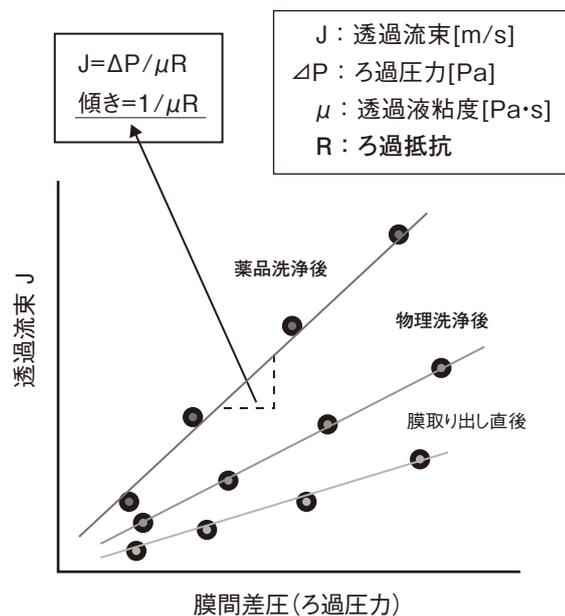


Fig.4 ろ過抵抗算出方法

## 4. 結果と考察

### 4-1) 膜間差圧の経時変化<sup>3)</sup>

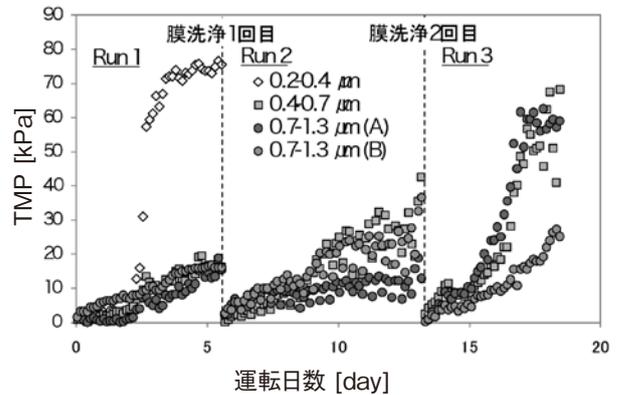


Fig.5 各膜における膜間差圧 (TMP) の経時変化

MBR処理槽に浸漬させた4枚のePTFE平膜の膜間差圧(以下TMP)の経時変化をFig.5に示す。なお、TMPは膜ファウリングの進行度を示す指標の一つであり、TMPが上昇するほどファウリングが進行していることを示す。Run1では細孔径0.3 $\mu$ mの膜のTMPのみが80kPa程度まで急激に上昇し、他の3つの膜のTMPにおいては20kPa程度まではほぼ同様に緩やかな増加を示した。そのためRun2からは細孔径0.3 $\mu$ mの膜を外し、他の3つの膜のTMPの変化を比較した。Run1終了後、膜洗浄を行って開始したRun2においては、細孔径1.0 $\mu$ m (A)膜のTMPが他の2つの膜のTMPに比べ、若干緩やかに増加する傾向を示した。一方、Run2終了後、膜洗浄を行って開始したRun3においては、細孔径1.0 $\mu$ m (B)膜のTMPのみが30kPa程度まで緩やかに上昇し、他の2つの膜のTMPは70kPa程度まで急激に上昇する傾向を示した。

### 4-2) 各膜のろ過抵抗 R<sup>3)</sup>

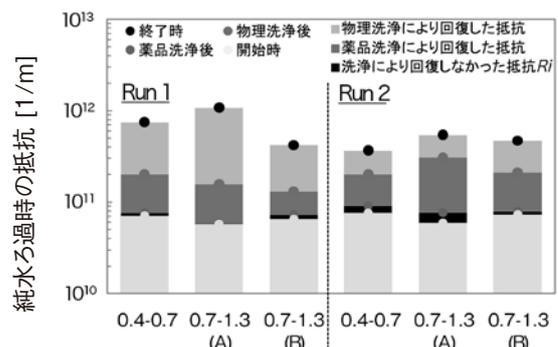


Fig.6 各膜における洗浄前後の純水ろ過抵抗

次に、Run 1, Run 2 終了時に測定した超純水の膜ろ過抵抗の値をFig.6に示す。Fig.5とFig.6の結果をみると、洗浄前後における超純水ろ過抵抗値は、TMPの経時変化と相関がとれないことがわかる。しかし薬品洗浄後のろ過抵抗とRun開始時のろ過抵抗との差(洗浄で回復しなかった抵抗 $R_i$ )を求めると、その大小はその後のRunにおけるTMPの経時変化に影響を与えていることが示唆された。 $R_i$ が他の膜に比べて低かったRun 1 終了時の1.0 $\mu\text{m}$  (A) 膜とRun 2 終了時の1.0 $\mu\text{m}$  (B) 膜は、Run 2, Run 3 においてそれぞれTMPの増加が緩やかであった。

また、膜の物理洗浄により回復する抵抗が大きい場合、 $R_i$ は小さくなる傾向がみられた。物理洗浄の効果が高い場合は、膜表面に汚染成分が堆積してできたケーキ層によるファウリングが主であると考えられ、物理洗浄の効果が低い場合は、細孔内部への汚染成分の侵入によるものが主であると考えられる。

以上より、細孔径0.3 $\mu\text{m}$ の膜は0.5 $\mu\text{m}$ 、1.0 $\mu\text{m}$ の膜に比べファウリングの進行が速いこと、また0.5 $\mu\text{m}$ と1.0 $\mu\text{m}$ の膜のファウリングの進行については、洗浄後の膜の状態により差が生じ、さらに膜の物理洗浄により回復する抵抗が大きい場合、 $R_i$ は小さくなる傾向が確認できた。

#### 4-3) 水質処理

原水および処理水の水質をTable. 2 に示す。

原水に対して、いずれの膜のおいてもBOD、COD、SS全て低濃度であることがわかり、孔径の大きい1.0 $\mu\text{m}$ の膜でも処理水質に問題がないことが確認できた。

Table.2 処理水質測定結果

測定項目	原水	孔径0.3 $\mu\text{m}$ 膜	孔径1.0 $\mu\text{m}$ 膜
BOD(mg/L)	150	1	1
COD(mg/L)	62.4	2.4	2.6
SS(mg/L)	5	0.5未満	0.5未満

4-1)、4-3) の結果から、当社 ePTFE は孔径が0.5 $\mu\text{m}$ 以上であるほうが耐ファウリング性を有しており、また孔径が大きくても処理水質に問題がなく、さらにろ過流量を増やせるという点で孔径1.0 $\mu\text{m}$ のePTFEが最もMBRに適していると考えられる。

さらに、ePTFEは耐薬品性、耐熱性を有しているため、他の材質では困難であった高温でのアルカリ・酸などを利用した洗浄方法が適用できることから、MBR用途として有望である。

今後は、4-2) の結果でもあるように、いかに効率よく表面ろ過を実現させるかが課題となる。

## 5. まとめ

- ・細孔径0.3 $\mu\text{m}$ の膜は0.5 $\mu\text{m}$ 、1.0 $\mu\text{m}$ の膜に比べ、ファウリングの進行が速いことが明らかであった。
- ・0.5 $\mu\text{m}$ と1.0 $\mu\text{m}$ の膜は、洗浄後の膜の状態によりファウリングの進行に差が生じるようであった。洗浄により回復しない抵抗 $R_i$ が大きい場合、膜間差圧TMPの上昇速度が速くなった。
- ・膜の物理洗浄により回復する抵抗が大きい場合、 $R_i$ は小さくなる傾向がみられた。

## 6. おわりに

水のリサイクル技術は、環境及び資源枯渇の面から様々な分野において、ますます重要になると考えられる。今後もMBRといった水処理分野でのePTFEの応用先を検討していく。

なお、本報は化学工学会 第42回秋季大会で「MBR用PTFE膜の開発」として、横浜国立大学大学院工学研究院特別研究教員 新田見匡先生が発表した内容に基づいたものである。

謝辞 本報で紹介した研究は横浜国立大学大学院工学研究院 教授 松本幹治先生、特別研究教員 新田見匡先生、人見哲男様の御力のもと得られた成果であり、ここに心から深く謝意を表します。

## 7. 参考文献

- 1) The MBR Book : Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment, Simon Judd with Claire Judd, ELSEVIER
- 2) MBR(膜分離活性汚泥法)による水活用技術 山本和夫、サイエンス&テクノロジー株式会社 (2010)
- 3) 化学工学会 第42回秋季大会「MBR用PTFE膜の開発」