

土木学会第60回年次学術講演会(平成17年9月)

Membrane Bioreactor における膜材質の差異が膜ファウリング進行に及ぼす影響

北海道大学大学院 学生会員 ○三好 太郎

大和 信大

正会員 木村 克輝

フェロー

渡辺 義公

1. はじめに

Membrane Bioreactor(MBR)は、従来の標準活性汚泥法と比較して処理水の水質が大幅に向上する等のメリットを有しており、次世代の下水処理技術として注目されている。一方で、MBR は膜ファウリングの発生によるランニングコストの増加という問題を抱えている。膜ファウリングの進行に影響を及ぼす要因としては、装置の運転条件や反応槽内の活性汚泥の性状など、様々な事項が指摘されているが、膜の材質も影響を及ぼすと考えられる。そこで、本研究では膜材質の異なる2種類の膜を用いて MBR の長期運転を行い、膜材質の差異が膜ファウリングの進行に及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験方法

実験は札幌市創成川下水処理場内に設置したパイロットスケール装置を使用して、最初沈殿地流入水を原水として行った。反応槽は容積 360L のものを使用し、同一反応槽内にポリエチレン(PE)製、及びポリフッ化ビニリデン(PVDF)製の2種類のモジュールを同時に浸漬して間欠ろ過(12分ろ過、3分停止)運転を行った。各モジュールの透過水フラックスは 0.4m/day に固定した。膜細孔径は2種類の膜ともに 0.4 μ m であり、総膜面積 3m²(PE)、及び 1.3m²(PVDF)のモジュールを用いた。膜分離槽内におけるエアスクラビングはろ過、停止に関わらず常時行った。Darcy の式から全ろ過抵抗を算出し、膜ファウリングの進行程度を評価した。

連続運転期間中、適宜反応槽内より懸濁液を採取し、懸濁質成分、コロイド成分、溶解成分それぞれに由来して発生するろ過抵抗を評価するためにミニモジュールを使用した回分ろ過実験を行った。各系の連続運転で使用しているものと同じ膜で作成したミニモジュールを用いて、試料を1時間ろ過した後、膜の物理洗浄を行い、超純水の透過フラックスを測定することで物理洗浄では除去不可能な不可逆的膜ファウリングの発生程度を評価した。ろ過は汚泥混合液、遠心分離上澄み液、及び遠心分離上澄み液を 0.45 μ m フィルターを用いて吸引ろ過した試料の3種類について行い、各試料のろ過抵抗値の差を取ることで上述の各成分に起因するろ過抵抗値を算出した。本研究では、コロイド成分は遠心分離上澄みに残存する成分として、溶解性成分は 0.45 μ m フィルターを通過する成分として定義した。また、連続実験終了後の膜について表面に付着した汚泥を除去した後、pH11 の NaOH に24時間浸漬し、膜に吸着した有機物を抽出した。

3. 実験結果**3-1 連続実験結果**

図-1に連続実験期間中の全ろ過抵抗の経日変化を示す。実験開始から60日目付近まで、PVDF膜における全ろ過抵抗の増加はほとんど観察されなかった。一方で、PE膜ではほぼ一定の速度でろ過抵抗が上昇し続け、運転77日目には装置の限界差圧に到達したことから、反応槽から膜モジュールを引き上げ、加圧水による物理洗浄を行った。しかし、物理洗浄では全ろ過抵抗の回復はほとんど確認されなかった。続いて、膜モジュールを薬液に浸漬させる薬液洗浄を行った。その結果、運転開始時と同程度まで全ろ過抵抗が回復した。このことから、この時期にPE膜において発生した膜ファウリングは物理洗浄では除去不可能な不可逆的な膜ファウリングが主なものであったこと、本実験において設定した透過フラックスやエアスクラビング等の運転条件がケーキ層の堆積を効果的に抑制していたことがわかる。また、同時期PVDF膜においては全ろ過抵抗の上昇がほとんど観察されなかったことから、PE膜と比較してPVDF膜はMBRにおける膜ファウリングが進行しにくい膜であることが明らかである。薬液

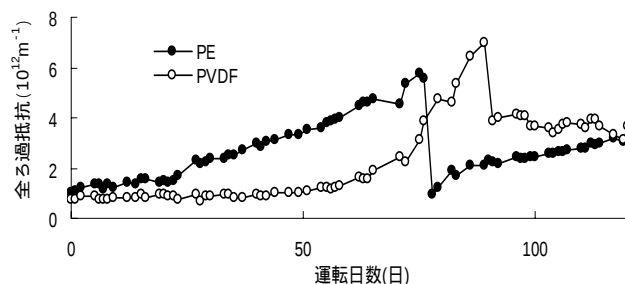


図-1 全ろ過抵抗の経日変化

キーワード：Membrane Bioreactor, 膜材質, 不可逆的膜ファウリング, 溶解性有機物

連絡先：〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目北海道大学大学院工学研究科水質変換工学分野 TEL:011-716-2111(6269)

洗浄後、PE 膜におけるろ過抵抗値は薬品洗浄前と同様にほぼ一定の速度で増加し続けた。

PVDF 膜については、運転 60 日目付近を境に全ろ過抵抗が増加し始め、運転 90 日目に装置の限界差圧に到達したことから、膜モジュールの引き上げ及び物理洗浄を行った。その際、PVDF 膜の膜表面には、懸濁物質によるケーキ層とは異なる粘着質の層が形成されており、この粘着層は物理洗浄によって容易に剥離可能であった。物理洗浄後、膜透過性能の回復が確認された。物理洗浄後、PVDF 膜におけるろ過抵抗は運転開始当初と比較すると不可逆的膜ファウリングの進行が明らかであったが、洗浄後のろ過抵抗はおおよそ一定の値で推移した。

3-2 ミニモジュール回分ろ過実験の結果

図-2 に回分ろ過実験により測定した懸濁液中各成分に起因する不可逆的なろ過抵抗値を示す。PE 膜を用いた実験では、すべての画分で PVDF 膜を用いた場合と比較してかなり大きなろ過抵抗が測定され、PE 膜のほうが不可逆的膜ファウリングが生じやすい膜であることが示された。この結果は、図-1 に示した連続実験の結果と符合するものである。また、図-2 より、不可逆的膜ファウリングは主に汚泥中の溶解性成分によって引き起こされること、PVDF 膜は不可逆的膜ファウリングが極めて進行しにくい膜であることがわかる。

3-3 膜ファウリングを引き起こしていた成分

回分ろ過実験の結果から、汚泥懸濁液中の溶解性成分の一部が PE 膜と結合して不可逆的な膜ファウリングを引き起こしていたと仮定すると、PE 膜ろ過水と PVDF 膜ろ過水の水質に何らかの差異が現れるものと考えられた。そこで、本研究では有機物量の指標として TOC、糖、タンパク質、質の指標として有機物量あたりの紫外外部吸光度(SUVA)を用いて評価を行ったが、これらの指標では PE 膜と PVDF 膜のろ過水の間に明確な差異は認められなかった。

図-3 に連続実験終了後の膜から抽出した成分の TOC、糖、タンパク質の単位膜面積あたりの抽出量を示す。図-3 より、PE 膜と比較して PVDF 膜にはより多くの有機物が吸着していたことがわかる。また、連続実験終了時点における両膜モジュールの全ろ過抵抗にはほとんど差がなかったことから、PVDF 膜は有機物吸着の影響を受けにくい性質を有する膜であることが考えられる。図-4 に両材質の抽出液及び反応槽内水の単糖構成を示す。フコース、ガラクトース、キシロースについては槽内水における構成比が膜から抽出された成分中の構成比を上回った

のに対し、ラムノース、グルコース、マンノースについては膜抽出液中の構成比が槽内水における構成比を上回る結果となった。このことから、槽内水中のあるタイプの糖が特異的に膜と結合していたことが示唆された。また、フコース、アラビノース、キシロースについては PE 膜抽出液と比較して PVDF 膜抽出液中で構成比が高く、ラムノース、グルコース、マンノースについては PE 膜抽出液において構成比が高かった。これらの結果より、膜材質によって吸着しやすい有機物の質が異なる可能性が示唆される。

4.まとめ

MBR において、用いる膜の材質が膜ファウリングの進行に及ぼす影響について実下水を用いたパイロットスケール実験により検討した結果、膜の材質は膜ファウリングの進行に重大な影響を及ぼすことを確認した。本実験では、PE と PVDF の 2 種類の材質について検討したが、MBR に使用する場合、PE 膜では明らかに膜ファウリングの進行が速かった。連続実験終了時点における両膜モジュールの全ろ過抵抗は同程度であったにもかかわらず、両材質の膜から抽出された有機物の量、及び質に明確な差が確認された。このことから、膜の材質によって有機物の単位吸着量あたり発現するろ過抵抗が異なること、もしくは吸着する有機物の質がろ過抵抗に影響を及ぼしている可能性が示唆された。

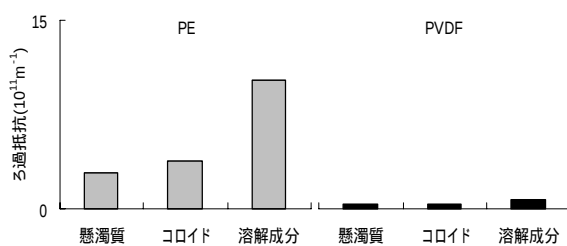


図-2 ミニモジュールろ過実験の結果

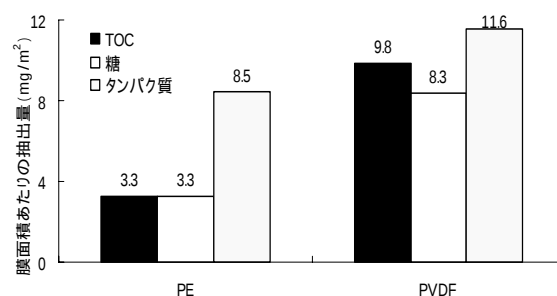


図-3 抽出した有機成分

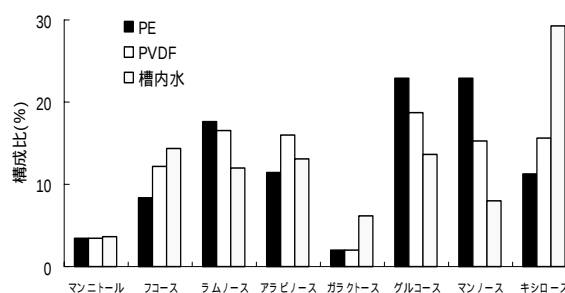


図-4 抽出成分単糖の構成比