

都市下水の MBR 処理における不可逆的膜ファウリング削減に関する研究

北海道大学大学院 学生会員 三浦佑己 学生会員 系永貴範
 正会員 木村克輝 フェロー 渡辺義公

1. はじめに

メンブレンバイリアクター（MBR）は、非常に高度な処理水を短時間で得ることが出来るという利点を有する一方で、膜ファウリングの進行に伴う膜透過性能の低下が問題となる。膜ファウリングは物理的洗浄により解消が可能な可逆的膜ファウリングと、薬液洗浄により解消が可能となる不可逆的膜ファウリングとに分類される。筆者らは、都市下水の MBR 処理において発現する可逆的膜ファウリングは、MBR 内 MLSS 濃度と、微生物懸濁液粘度に大きな影響を受けることを示した¹⁾。

本研究では、実都市下水を用いた長期連続処理実験を行い、都市下水の MBR 処理において発現する不可逆的膜ファウリングについて検討を行う。また、MBR 内の溶解性有機物との関連性に着目するとともに、凝集沈殿処理を前処理として導入した場合の不可逆的膜ファウリング削減効果について考察する。

2. 実験方法

図-1 に実験フローを示す。実験は札幌市創成川下水処理場に設置したパイロットスケールの MBR を用いて行った。原水は同処理施設の最初沈殿池流出水である。原水を凝集沈殿処理したものを MBR の原水とした系列（Hybrid MBR, HMBR）原水を直接処理した系列（Conventional MBR, CMBR）を設定して実験を行った。凝集沈殿処理は、噴流攪拌固液分離装置（JMS : Jet mixed separator）を用いて行った。凝集剤としては PSI（Poly Silicato Iron）を用い、10mg-Fe/L となるように注入した。MBR で使用した膜モジュールはポリエチレン製の中空糸 MF 膜である（孔径 0.4 μ m）。表-1 に両系列の運転条件を示す。ろ過方式としては定流量吸引ろ過方式を採用した。また、12 分吸引-3 分停止の周期で行う間欠運転を実行した。膜透過性能は、膜間差圧と膜透過水フラックスより算出するろ過抵抗値により評価した。膜間差圧が過度に上昇した際には加圧水を吹き付けることによる物理洗浄を行った。物理洗浄で十分な効果が見られない場合は、薬液洗浄を行った。

3. 実験結果

(1) 連続実験結果

図-2 にろ過抵抗値の経日変化を示す。CMBR では運転開始直後に急激な差圧の上昇が観察され、短期間中に薬液洗浄、物理洗浄の実行が必要となった。CMBR では 33 日目過ぎから安定した運転を行うことが可能となった。以後、段階的に膜透過水フラックスを上昇させながら運転を継続したが、適宜物理洗浄を行うことで、薬液洗浄を行うことなく約 200 日間の運転継続が可能であった。HMBR については、CMBR に比較して高い膜透過水フラックスを設定していたにもかかわらず膜間差圧の上昇は緩やかであり、物理洗浄を 3-4 ヶ月に一度の頻度で行うのみで、安定した運転の継続が可能であった。

物理洗浄直後において測定されるろ過抵抗値より、不可逆的膜ファウリングに起因するろ過抵抗（以後「不可逆的抵抗」と記す）の大きさを評価できる。図-2 に両系列において発現した不可逆的抵抗を破線で示す。両系列における不可逆的抵抗の増加速度（図-2 中の破線の傾き）を比較すると、CMBR の方が 40%速くなっていた。CMBR は HMBR

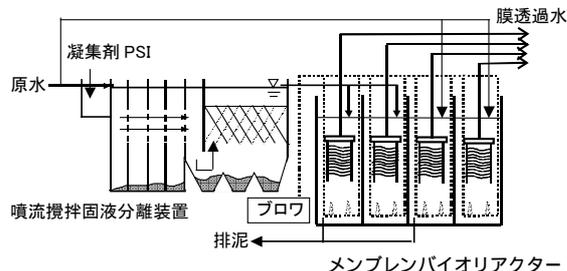
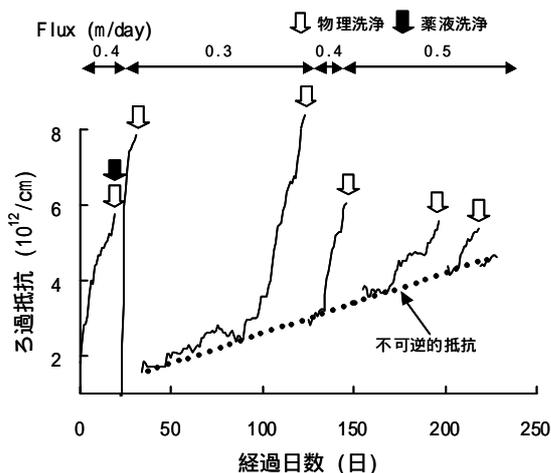


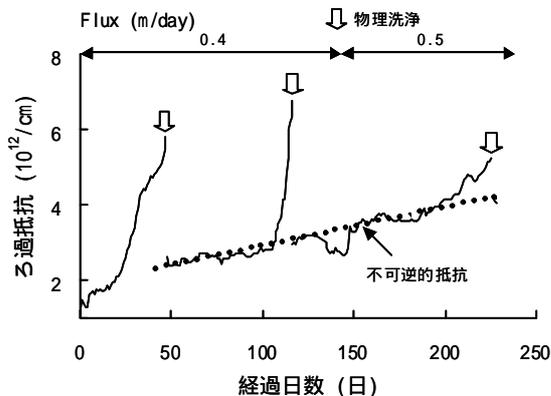
図-1 実験フロー

表-1 MBR の運転条件

		HMBR	CMBR
HRT	(時間)	3.6 - 4.5	3.6 - 6.0
MLSS 濃度	(g/L)	10 - 20	10 - 24
Flux	(m/day)	0.4 - 0.5	0.3 - 0.5



(a)CMBR におけるろ過抵抗の経日変化



(b)HMBR におけるろ過抵抗の経日変化

図-2 ろ過抵抗の経日変化

に比べて処理流量が少なかったことも考慮すると、前凝集沈殿処理の導入によって、不可逆的抵抗の増加速度は低減されたことが図-2より明らかである。

図-2(a)より、CMBRの運転において不可逆的抵抗はある一定値に近い速度で増加していった傾向が読みとれる。しかし、CMBRの運転継続に際しては膜透過水フラックスを段階的に増加させており、「処理水量あたりの不可逆的抵抗増加量」は運転期間を通じて一定ではなかったはずである。CMBR運転初期においてはより一層、不可逆的膜ファウリングが進行しやすい状況があったと考えられる。

図-3に水温およびMBR内DOC濃度経日変化を示す。不可逆的膜ファウリングが進行しやすい状況にあったと考えられるCMBR運転初期では、MBR内に高濃度のDOCが残存していたことが分かる。DOC濃度は運転の継続に伴って減少した。一方、HMBRについては、全運転期間を通じてMBR内における顕著なDOC濃度上昇は観察されなかった。これらのことから、CMBR運転初期にMBR内に存在していたDOCは不可逆的膜ファウリングの形成に深く関与していたと考えられる。

(2) 不可逆的膜ファウリングの原因となる有機物

CMBR運転初期において不可逆的膜ファウリングを引き起こしていた有機物として、下水中に含まれる生物分解しにくい、高分子量有機物が考えられる。図-4に示すように、凝集沈殿処理を行うことで下水中の溶解性有機物の高分子量画分(粒径 $0.1\mu\text{m}$ 以上)は65%以上除去される。前処理を行わなかったCMBRではこれらの高分子量有機物もそのままMBRに流入していた。水温が高く、生物活性も高い状態ではこれらの高分子量有機物の分解が十分に進行し、これらの有機物に起因する不可逆的膜ファウリングの進行は顕著にならないと推測される。水温が高かったCMBR運転後期において、MBR内のDOC濃度が低くなっていたこと(図-3)、CMBRにおける不可逆的膜ファウリングの増加速度が遅くなっていたこと(フラックスを段階的に高くしていた)は、この推測の妥当性を示している。一方で、生物活性が低下する低水温時にはMBRに流入する高分子量有機物が分解されずにリアクター内に残存し、不可逆的膜ファウリングを引き起こす。図-5に流入原水中に含まれる溶解性有機物の生物分解性を調べるために行った回分実験の結果を示す。流入原水中に含まれる有機物は、その生物分解性のしやすさから二つの画分に分類できる。すなわち、生物分解が100時間以内に完了する生物分解性の高い有機物と、100時間以上時間がかかる生物分解性の低い有機物である。図-5より、凝集沈殿処理後に残存する有機物はほとんどが生物分解性の高い成分である一方、最初沈殿池流出水中には生物分解に時間を要する成分が含まれていることが分かる。図-4より、このような生物分解性の低い有機物は大きな分子量を有しており(図-4参照)、低水温期にMBR内に蓄積し、不可逆的膜ファウリングを進行させたものと考えられる。前処理として凝集沈殿処理を導入する場合には、上述したような生物分解性の低い高分子量有機物がMBRに流入することを回避できるため、低水温時においても不可逆的膜ファウリングの進行を抑制することが可能となる。

4. 結論

本研究では、都市下水のMBR処理において発現する不可逆的膜ファウリングとMBR内に存在する溶解性有機物との関連を検討した。本実験の結果、前凝集沈殿処理を行うことで、不可逆的膜ファウリングの進行が抑制されることが示された。下水中に含まれる生物分解しにくい高分子量有機物が不可逆的膜ファウリングを引き起こしていることが推定された。このような有機物は低水温期において生物活性が低下した結果MBR内に蓄積し、不可逆的膜ファウリングを引き起こす可能性がある。前凝集沈殿処理の導入により、このような有機物がMBRに流入することを防ぐことができる。

参考文献 1) 糸永ら：第37回日本水環境学会年会公演集，p.290，2003

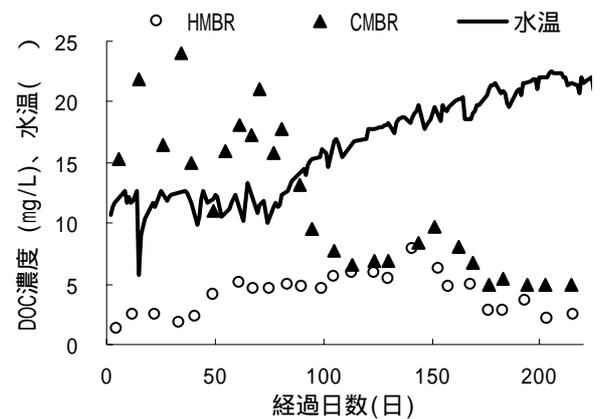


図-3 MBR内における水温とDOC濃度の経日変化

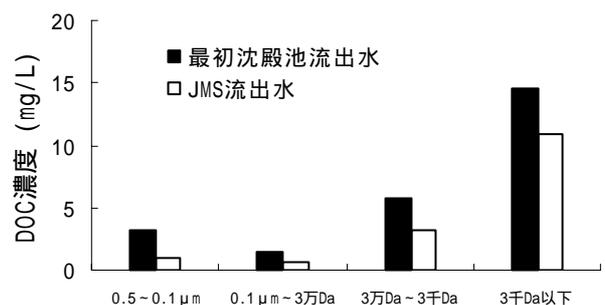


図-4 原水における溶解性有機物の分子量分画

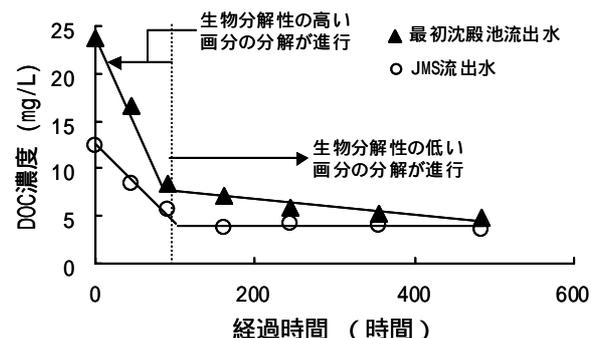


図-5 原水中に含まれる溶解性有機物の生物分解性