

B-23 担体投入に伴うMBRの運転効率の改善

○栗田 宗大^{1*}・三好 太郎²・木村 克輝¹・渡辺 義公²¹北海道大学大学院工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)²北海道大学環境ナノ・バイオ工学研究センター (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

* E-mail: toki@ec.hokudai.ac.jp

1. はじめに

高度な処理水質を得ることのできる膜分離活性汚泥法(MBR)では、膜の目詰まり(膜ファウリング)抑制に必要となる過剰な曝気が運転コスト増加の主原因となっている。

浸漬型 MBR へ担体を投入することで膜ファウリングを効率的に制御できることが報告されている¹⁾。適当な流動性・固さを持つ担体を MBR 槽内に投入することで、担体が膜面と頻繁に接触し、膜ファウリングを引き起こす成分の膜面蓄積が抑制されるものと考えられる。

本研究では、同一条件で運転する2台のベンチスケールMBRの一方に担体を投入し、担体の投入に伴うMBRの運転効率の改善を検討した。また、運転終了時における膜破損の状態および担体投入による膜閉塞物質の特性変化についても検討を行った。

2. 実験方法

(1) ベンチスケールMBR

ペプトンおよび肉抽出液を主成分とする人工下水を流入原水として、同一条件で運転する2台のベンチスケールMBR(有効体積 7.5L)の一方に担体を投入し、連続運転を行った。実験に使用した膜は、膜面積 0.06m²、公称孔径 0.1μm、PVDF製の平膜(東レ製)である。膜透過水フラックスを 0.45m³/m²/d (18.75LMH)、曝気量を 17L/min に設定した。水理滞留時間(HRT)および汚泥滞留時間(SRT)をそれぞれ 7.3 時間および 22 日とした。また、間欠運転(12 分ろ過、1 分休止)を実施した。恒温装置により水温は約 20℃に維持した。本実験では、実都市下水を処理しているパイロットスケール MBR から採取した汚泥を種汚泥として使用した。運転開始から 1 ヶ月後の MLSS 濃度は、担体を投入した場合としない場合とでそれぞれ 4500mg/L、3200mg/L となった。

投入した担体(日清紡ケミカル製)の物理特性および写真を表-1、図-1にそれぞれ示す。見かけ体積0.75L分をMBR槽内に投入した。膜間差圧が40kPaに達した時点で、膜の物理洗浄(加圧水の吹きつけ及びスポンジによる膜表面のふき取り)を行うこととした。

表-1 担体の物理特性

材質	ポリエチレングリコール
形状	円柱状
直径	4±0.5(mm)
長さ	4±0.5(mm)
比重	1.01-1.15

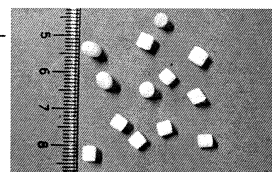


図-1 本実験で用いた担体

(2) 膜ろ過抵抗値の算出

1カ月間の運転終了後に装置から膜を取り出し、物理洗浄を実施した後、回分ろ過試験によって閉塞膜のろ過抵抗の算出を行った。加圧型回分ろ過装置(膜面積: 3.46cm²)に膜を装着し、30kPaの定圧下で蒸留水の透過流量を測定した。ろ過抵抗値の算出は次式を用いた。

$$R = \frac{\Delta P}{\mu \cdot J}$$

R : 膜ろ過抵抗(m⁻¹), ΔP : ろ過圧力(Pa),

μ : 粘性係数(Pa·s), J : 膜透過水フラックス(m³/m²/s)

(3) 膜閉塞物質の抽出と特性解析

閉塞膜の物理洗浄を行った後、pH12のNaOH溶液に24時間浸漬させて、膜閉塞物質の抽出を行った。抽出液をHClによって中和した後、EEM(Excitation-emission matrix)による抽出物の蛍光分光分析およびHPLCを用いた単糖の分析を実施した。

2. 実験結果および考察

(1) 膜間差圧の経時変化

図-2に、2つのMBRにおける膜間差圧の経時変化を示す。図中の矢印は物理洗浄の実施時期を示している。担体を浸漬型MBRへ投入することにより、膜間差圧の上昇が大きく抑制されたことが明らかである。さらに、1ヶ月間の連続運転の間、担体を投入したMBRでは膜間差圧がほとんど上昇せず、膜の物理洗浄を一度も行わずに運転の継続が可能であった。

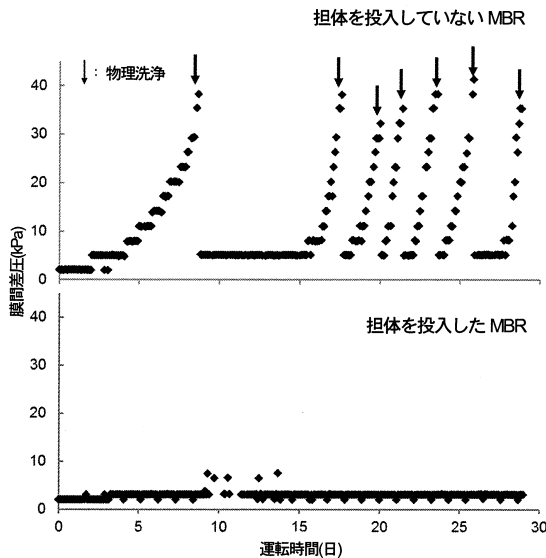


図-2 膜間差圧の経時変化

また、図-3に未使用の新膜と連続運転終了後に観察した膜表面のSEM画像を示す。担体を投入しない場合では堆積物により膜表面が完全に覆われていたが、担体を投入した場合では堆積物の蓄積は認められず、新膜とほぼ同様の状態が維持されていた。担体を投入しない場合の試料について物理洗浄を実施後に行ったSEM観察では、物理洗浄では除去できない堆積物が膜表面に認められた。

(2) 処理水質

表-2にMBR処理水中の全有機炭素(TOC)、全窒素(T-N)濃度をそれぞれ示す。いずれの処理水においても窒素成分は完全に硝化され、硝酸イオンとして検出された。また、実験期間中の処理水の濁度は全ての測定において0.2度未満であり、担体を投入したことによる処理水への濁度流出は観察されなかった。本実験では担体投入に伴う処理水質への悪影響は認められなかった。

表-2 処理水質の比較

	流入原水	担体非投入	担体投入
TOC (mg/L)	158.2 (±20.0)	6.8 (±0.3)	5.9 (±0.6)
T-N (mg/L)	69.8 (±6.6)	61.6 (±1.9)	56.1 (±2.3)

(3) 閉塞膜のろ過抵抗

図-4に1カ月間の連続運転後に取り出し、物理洗浄を実施した後に測定した閉塞膜と新膜のろ過抵抗をそれぞれ示す。担体の有無にかかわらず、閉塞膜のろ過抵抗は新膜と比べて高い値を示した。いずれのMBRも物理洗浄で解消することができず、薬品による浸漬洗浄などが必要とする、物理的に不可逆的な膜ファウリングが進行していたことが示された。

担体を投入した場合のろ過抵抗は、担体を投入しない場合よりも高い値となった。担体の投入は物理的に可逆的な膜ファウリングの防止に大きな効果を発揮する(図-2)が、不可逆的な膜ファウリングの進行についてはこれを促進する可能性が示唆されている。図-3に示した通り、担体を投入した場合には膜表面の堆積物がほとんど認められなかったにも関わらず、ろ過抵抗が増加した。担体を投入した場合の不可逆的な膜ファウリングは主に膜細孔内部で進行していたことが考えられる。一方、担体を投入した場合に物理洗浄後残存する堆積物は、大きなろ過抵抗とはなっていなかったことになる。

不可逆的な膜ファウリングに伴うろ過抵抗の上昇は、物理洗浄で除去されずに膜表面に残留した物質よりも、膜内部を閉塞させる物質に影響される可能性が示された。

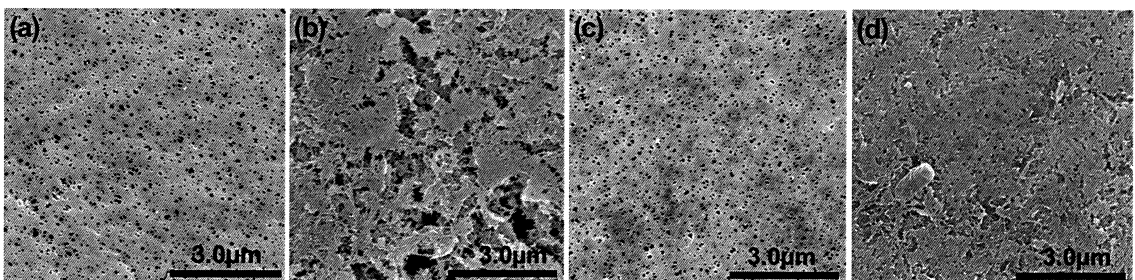


図-3 膜表面のSEM画像

(a)未使用の新膜、(b)担体を投入しない場合、(c)担体を投入した場合、
(d)担体を投入しない場合の物理洗浄後

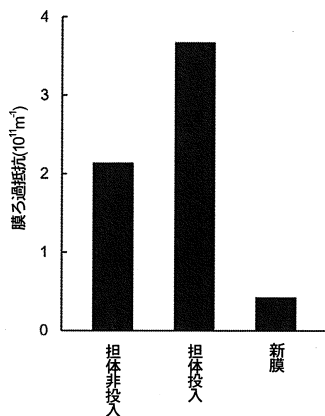


図4 閉塞膜のろ過抵抗

(4) 膜閉塞物質の特性評価

図-5 に抽出した膜閉塞物質の EEM を示す。担体投入の有無により、蛍光強度とピークの位置に明らかな相違が認められる。担体を投入しない場合では Ex/Em = 270nm/320nm と Ex/Em = 270nm/450nm 付近にピークが見られた。2 つのピークは、それぞれタンパク質様成分とフミン酸様成分が含まれていることを示している。一方、担体を投入した場合では主にタンパク質様成分が抽出された。これは、担体投入の有無により膜から抽出される成分の特性が異なっていたことを示している。しかし、図-6 に示すように膜閉塞成分中に含まれる主要な単糖の組成に大きな違いは見られなかった。

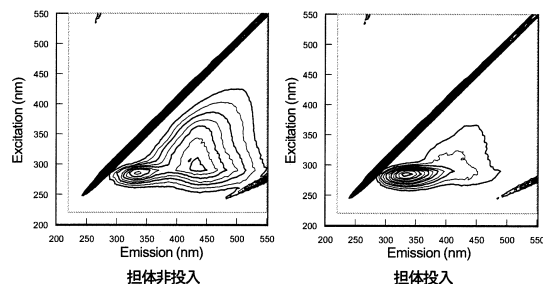


図5 膜閉塞物質の EEM 蛍光スペクトル

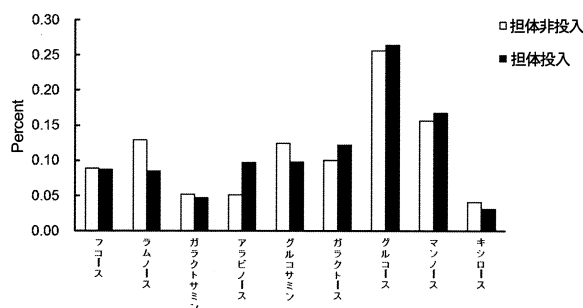


図6 膜閉塞成分中の単糖組成

単位膜面積あたりの TOC 抽出量は、担体を投入した場合としない場合とでそれぞれ 93mg-C/m²、125mg-C/m²であった。担体を投入した MBR では、単位膜面積あたりの抽出量が少ないにも関わらず、ろ過抵抗値は高くなっていた(図-4)。担体投入時に膜内部に蓄積して不可逆的な膜ファウリングを引き起こす成分は、単位重量あたりに発生させるろ過抵抗が大きい可能性がある。

3. まとめ

本研究ではベンチスケール MBR に担体を投入し、担体の投入による MBR の運転効率の改善効果を検討した。担体の投入による膜間差圧の上昇抑制効果は明らかであった。これは主に可逆的な膜ファウリング（膜面付着ケーキ）の抑制によるものであり、不可逆的な膜ファウリングの進行については促進される可能性がある。また、担体投入の有無により、不可逆的な膜ファウリングの発生機構には変化が生じる可能性も示された。

今後、長期的なベンチスケール MBR の運転を行う予定であり、担体投入による膜破損および膜閉塞物質の特性変化について検討する。

4. 参考文献

1. Siembida, B., Cornel, P., Krause, S. and Zimmermann, B. (2010). Effect of mechanical cleaning with granular material on the permeability of submerged membrane in the MBR process. *Water Res.* 44, 4037-4046.