

都市下水処理メンブレンバイオリアクターの 膜ファウリングに関する研究

学位論文内容の要旨

メンブレンバイオリアクター (MBR) は活性汚泥法に膜分離を組み合わせた技術であり、現在主流となっている下水処理法である標準活性汚泥法と比較すると、安定して高度な処理が行なえることや、運転管理が容易であることなど利点が多く新たな下水処理方法として注目されている。しかし、MBR においては膜の閉塞 (ファウリング) の問題があり、膜ファウリングのメカニズムに関してはいまだ十分な知見は得られておらず、膜ファウリングの進行を抑制できる運転条件を確立することが求められている。

本研究では、実都市下水を原水としたパイロットスケールの MBR 装置を用いて連続実験を行ない、膜材質の違い [ポリエチレン (PE) とポリフッ化ビニリデン (PVDF)] や MBR の運転条件 (F/M 比や膜透過水 Flux) の違いに着目し、膜ファウリングに影響を及ぼす因子やファウリングのメカニズムを明らかにすることを目的とした。

PE 膜と PVDF 膜を同一の反応槽に浸漬させ同一の条件でろ過を行なった結果、発現する膜ファウリングの形態に明確な違いが見られ、PE 膜では物理洗浄では回復できない不可逆的な膜ファウリングが主体であったのに対し、PVDF 膜では物理洗浄で回復可能な可逆的な膜ファウリングが主に進行した。槽内水を用いた回分実験の結果からも 2 つの膜により発現するろ過抵抗の違いが見られた。また膜ファウリング成分の抽出を行ない有機物の分析を行なった結果、成分に違いが見られ、膜材質の違いにより膜を閉塞させる成分が異なることが明らかとなった。PE 膜における不可逆的な膜ファウリングの進行は、槽内水中の膜孔径付近の粒径 ($0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$) のサイズの有機物濃度および、膜孔径よりも小さな見かけ分子量 100 万程度の有機物が関与していた。PVDF 膜では、不可逆的な膜ファウリングの進行は膜孔径よりも小さな $0.1 \mu\text{m}$ 未満のサイズの糖の濃度が影響していた。また PVDF 膜における可逆的な膜ファウリングの急激な進行形態には 2 パターンあることを確認した。一方は槽内水水質の変化 (粒径 $0.1 \sim 0.65 \mu\text{m}$ のコロイド有機物濃度の増加) によるものであり、他方は、上述のコロイド成分濃度が低い場合でも、膜細孔の閉塞が進行することで膜面上の局所的な Flux が限界 Flux を越えることにより発生する場合であることを明らかにした。

異なる F/M 比 (SRT) で MBR の運転を行なった結果、膜ファウリングの進行速度に違いが見られ、F/M 比が高い (SRT が短い) ほど進行速度が速くなることが明らかとなった。F/M 比が高い系列では、槽内水中で溶解性の有機物、特に糖の濃度が増加しており、このことにより膜ファウリングの進行が促進されたと考えられた。F/M 比と膜透過水 Flux の大きさが膜ファウリング進行速度に与える程度を比較した結果、膜透過水 Flux の方がより大きな影響を与えることが明らかとなった。また、汚泥ブロックから抽出した細胞外代謝産物 (EPS) 量や槽内水 (汚泥) の粘度や粒径分布は運転条件による違いは観察されず、膜ファウリングへの影響も確認されなかった。

本研究では都市下水処理を行なう MBR において発生する膜ファウリングに関して検討を行い、膜材質の違いにより異なる膜ファウリングが進行すること、可逆的な膜ファウリングの進行には異なる 2 つの形態が存在すること、運転条件 (F/M 比) の違いにより膜ファウリング進行速度が異なることを明らかにし、また、可逆/不可逆的な膜ファウリングの進行に影響を与えている成分についての

知見を得ることができた。本研究で得られた知見は、膜ファウリングの進行を抑制できる MBR の運転条件を決定するための有用な情報となると考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 渡 辺 義 公

副 査 教 授 船 水 尚 行

副 査 教 授 松 井 佳 彦

副 査 助 教 授 木 村 克 輝

学 位 論 文 題 名

都市下水処理メンブレンバイオリアクターの 膜ファウリングに関する研究

メンブレンバイオリアクター (MBR) は活性汚泥法に膜分離を組み合わせた技術であり、現在主流となっている下水処理法である標準活性汚泥法と比較すると、安定して高度な処理が行なえることや、運転管理が容易であることなど利点が多く新たな下水処理方法として注目されている。しかし、MBR においては膜の閉塞 (ファウリング) の問題があり、膜ファウリングのメカニズムに関してはいまだ十分な知見は得られておらず、膜ファウリングの進行を抑制できる運転条件を確立することが求められている。

本研究では、実都市下水を原水としたパイロットスケールの MBR 装置を用いて連続実験を行ない、膜材質の違い [ポリエチレン (PE) とポリフッ化ビニリデン (PVDF)] や MBR の運転条件 (F/M 比や膜透過水 Flux) の違いに着目し、膜ファウリングに影響を及ぼす因子やファウリングのメカニズムを明らかにすることを目的とした。

PE 膜と PVDF 膜を同一の反応槽に浸漬させ同一の条件でろ過を行なった結果、発現する膜ファウリングの形態に明確な違いが見られ、PE 膜では物理洗浄では回復できない不可逆的な膜ファウリングが主体であったのに対し、PVDF 膜では物理洗浄で回復可能な可逆的膜ファウリングが主に進行した。槽内水を用いた回分実験の結果からも 2 つの膜により発現するろ過抵抗に違いが見られた。また膜ファウリング成分の抽出を行ない有機物の分析を行なった結果、成分に違いが見られ、膜材質の違いにより膜を閉塞させる成分が異なることが明らかとなった。PE 膜における不可逆的膜ファウリングの進行は、槽内水中の膜孔径付近の粒径 ($0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$) のサイズの有機物濃度および、膜孔径よりも小さな見かけ分子量 100 万程度の有機物が関与していた。PVDF 膜では、不可逆的膜ファウリングの進行は膜孔径よりも小さな $0.1 \mu\text{m}$ 未満のサイズの糖の濃度が影響していた。また PVDF 膜における可逆的膜ファウリングの急激な進行形態には 2 パターンあることを確認した。一方は槽内水水質の変化 (粒径 $0.1 \sim 0.65 \mu\text{m}$ のコロイド有機物濃度の増加) によるものであり、他方は、上述のコロイド成分濃度が低い場合でも、膜細孔の閉塞が進行することで膜面上の局所的な Flux が限界 Flux を越えることにより発生する場合であることを明らかにした。

異なる F/M 比 (SRT) で MBR の運転を行なった結果、膜ファウリングの進行速度に違いが見ら

れ、F/M 比が高い (SRT が短い) ほど進行速度が速くなることが明らかとなった。F/M 比が高い系列では、槽内水中で溶解性の有機物、特に糖の濃度が増加しており、このことにより膜ファウリングの進行が促進されたと考えられた。F/M 比と膜透過水 Flux の大きさが膜ファウリング進行速度に与える程度を比較した結果、膜透過水 Flux の方がより大きな影響を与えることが明らかとなった。また、汚泥ブロックから抽出した細胞外代謝産物 (EPS) 量や槽内水 (汚泥) の粘度や粒径分布は運転条件による違いは観察されず、膜ファウリングへの影響も確認されなかった。

これを要するに、著者は、都市下水処理を行なう MBR において発生する膜ファウリングに関して検討を行い、膜材質の違いにより異なる膜ファウリングが進行すること、可逆的膜ファウリングの進行には異なる 2 つの形態が存在すること、運転条件 (F/M 比) の違いにより膜ファウリング進行速度が異なることを明らかにした。また、可逆/不可逆的膜ファウリングの進行に影響を与えている成分についての新たな知見を得た。本研究で得られた知見は、膜ファウリングの進行を抑制できる MBR の運転条件を決定するための有用な情報となると考えられ、水環境工学および MBR の新展開に対し貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。