

膜洗浄にオゾン水を用いた膜分離バイリアクタ“EcoMBR”

林 佳史*
Yoshifumi Hayashi
今村英二*
Eiji Imamura
安永 望†
Nozomu Yasunaga

後藤伸介‡
Shinsuke Goto

ライフ

インダストリー

インフラ

モビリティ

共通領域

Membrane Bioreactor "EcoMBR" Using Ozonated Water for Membrane Cleaning

要 旨

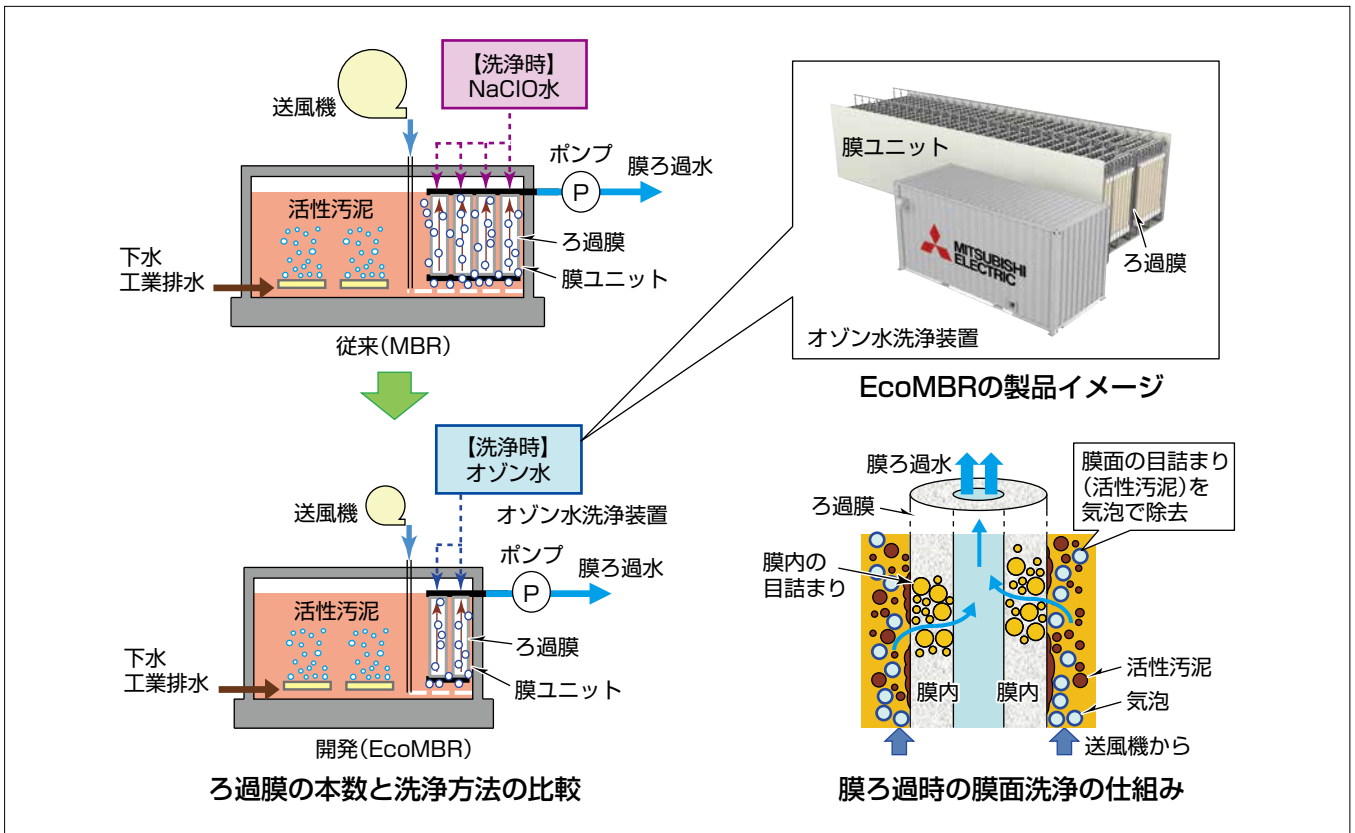
気候変動による水資源の偏在、人口増加・産業発展による水需要の拡大、人口集中による水質汚濁等によって、水資源不足が地球規模で問題になっている。そのため、下水や工業排水の農業・工業用水としての再利用が進められ⁽¹⁾⁽²⁾、水再利用装置が果たす役割はますます重要になっている。

近年、従来の標準活性汚泥法より処理水質が良好な膜分離バイリアクタ (Membrane BioReactor : MBR) の排水処理や水再利用装置としての適用が広がっている。MBRは膜装置で処理水と活性汚泥を分離する。しかし、膜面に付着する活性汚泥を剥離するために常時行う膜面曝気 (ばっき) の消費エネルギーが大きく、省エネルギー化が課題である。

三菱電機の“EcoMBR”は、NaClO(次亜塩素酸ナトリウ

ム)水の代わりにオゾン水(洗浄力の大きいオゾンガスを溶解させた水)を用いてろ過膜を洗浄することで、従来のMBRよりも2倍以上に膜ろ過速度を高め、ろ過膜の本数を低減して膜面洗浄用の曝気風量を削減する省エネルギー型水処理装置である。EcoMBRの更なる省エネルギー化のためにはオゾン水生成に必要な電力の低減が課題であったが、オゾン水のpHを酸性にすることで効率的に高濃度オゾン水を生成する技術を開発した。実排水を用いた実証試験ではオゾン水生成に必要な電力を従来の1/3以下に低減可能であることを検証した。

今後はこの技術を搭載したEcoMBRを実用化し、更なる省エネルギー化による環境負荷低減や豊かな水循環社会の実現に貢献する。



“EcoMBR”の特長

EcoMBRは、従来の膜内洗浄剤であるNaClOより大きい酸化力を持つオゾンを用いた膜分離バイリアクタである。膜装置当たりの流量を大きくして膜装置を削減し、膜面の洗浄に必要な膜面曝気風量を低減して省エネルギー・省スペースとメンテナンス性向上を実現する。

*先端技術総合研究所 †神戸製作所(工博) ‡同製作所

1. ま え が き

1.1 MBRとEcoMBR

膜分離バイオリアクタ(MBR)は、流入水中の有機物を微生物である活性汚泥で除去し、膜ユニットで処理水すなわち膜ろ過水と活性汚泥を分離する水再利用装置である。従来の活性汚泥法と比較すると、膜で活性汚泥と膜ろ過水を分離することから、処理水に浮遊物質が含まれず、再利用に適した処理水が得られる。さらに活性汚泥法では最終沈殿池で時間をかけて活性汚泥を沈降させて処理水と分離するが、MBRではろ過膜で活性汚泥と処理水を分離するため最終沈殿池が不要になり、処理に必要な装置面積を低減できる。これらの利点から、現在は下水・工業排水の再利用処理に広く活用されている。

しかしMBRは膜処理のため、活性汚泥による膜面及び膜内の目詰まり物質の除去対策が必要である。通常、膜面の目詰まり物質に対しては膜ユニット下部から送風機で曝気して除去する。そのため膜面は常時曝気されており、その消費電力量はポンプ等の他の機器の消費電力量よりも大きくなる傾向がある。一方、膜内の目詰まり物質はNaClO水等の洗浄水をろ過時と反対方向に注水することによって除去する。

当社は、NaClO水の代わりにそれよりも酸化力の強いオゾン水でろ過膜を洗浄するEcoMBRを実証実験中であ

る。オゾン水を使用することで従来よりもろ過膜内の洗浄力が高められ、十分に膜内の目詰まりを解消できる。よって、膜1本当たりの膜ろ過水量を増大できるためにろ過膜の本数を低減でき、NaClO水での洗浄に比べて膜面曝気風量を削減したMBRの運転が可能になる⁽³⁾。したがって、EcoMBRを実用化することで、豊かな水循環社会の実現や省エネルギー化による環境負荷低減に貢献できる。

1.2 EcoMBRのシステム構成

図1にEcoMBRのシステム構成を示す。EcoMBRは膜ろ過と膜面洗浄及び膜内洗浄を繰り返しながら運転する。次にこのシステムの動作フローについて述べる。

(1) 膜ろ過と膜面洗浄

膜ろ過を継続すると、徐々に膜面及び膜内が目詰まりするが、常時、膜面曝気(図1の①)することで膜面の活性汚泥を剥離して目詰まりを抑制できる。一方で活性汚泥中の有機物等が徐々に膜内に蓄積し、目詰まりが進行することによって膜内の目詰まりを示す指標である膜間差圧が上昇する。

(2) 膜内洗浄

膜間差圧が所定値に達すると、一旦膜ろ過を停止して、膜内洗浄に切り替える。オゾン水による膜内洗浄では、膜ろ過水の一部をオゾン水タンクに引き込み(図1の③)、pHを調整した後、オゾンガスをオゾン水タンクに注入して(図1の④)オゾン水を生成する。続いて、膜ろ過とは反対方向からオゾン水を膜装置に注入し(図1の⑤)、オゾン

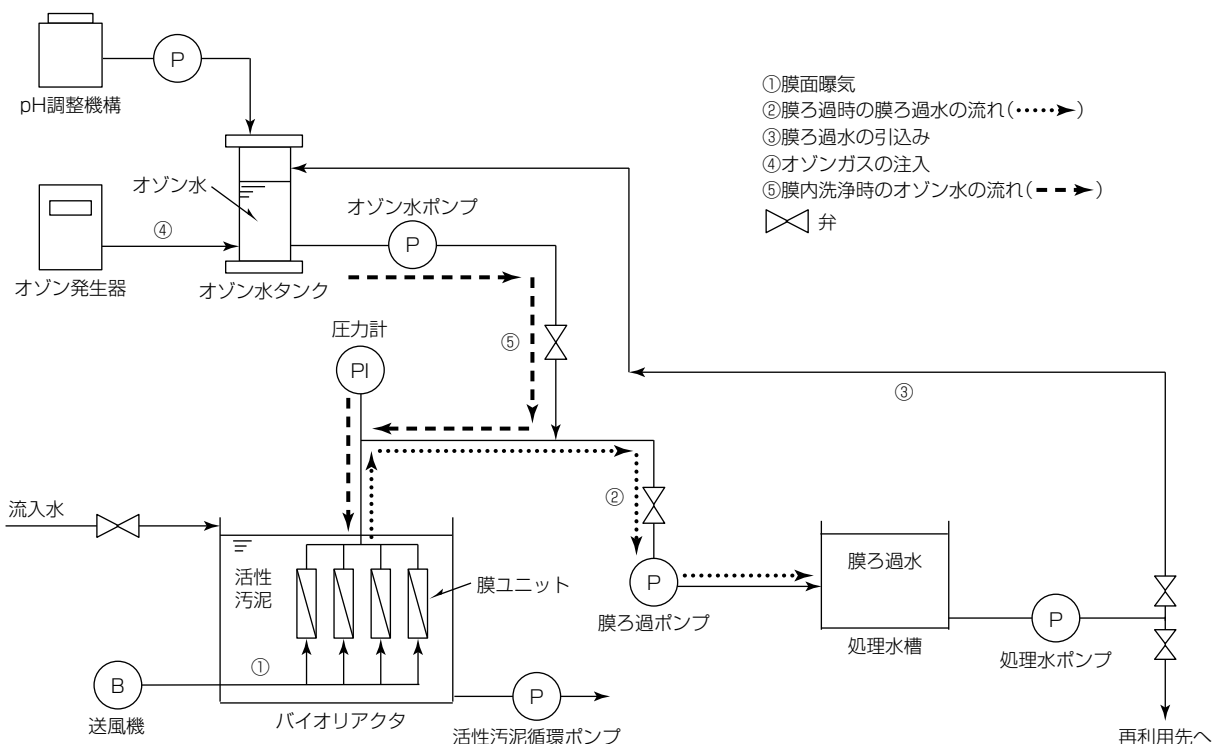


図1. EcoMBRのシステム構成

水で膜内の目詰まり物質を酸化分解させることで膜内を洗浄する。膜内の洗浄完了後、膜ろ過を再開し、これらを繰り返してEcoMBRの運転を継続する。

1.3 EcoMBRのユーザーメリット

EcoMBRはオゾン水でろ過膜を洗浄する省エネルギー型MBRであり、そのユーザーメリットは次の3点である⁽³⁾。

(1) 省エネルギー

従来のMBRと比較して膜面曝気風量の削減による送風機電力の低減量が大いため、オゾン水の生成に必要な電力が増加するもののトータルで約25%の省エネルギー化ができる。

(2) 省スペース

高い洗浄力を持つオゾン水を使用することで膜1本当たりの膜ろ過水量を増大でき、その結果、膜本数を半分以下に削減することによって膜ユニットの設置面積を50%以下に低減できる。

(3) メンテナンス性向上

高い洗浄力を持つオゾン水の使用による膜内洗浄時間短縮や、膜ユニット削減によるろ過膜の定期交換作業時間の削減が期待できる。

2. 高効率オゾン水生成技術の開発

2.1 EcoMBRの課題とオゾン水生成の高効率化検討

EcoMBRではオゾン発生器によって発生したオゾンガスをオゾン水タンクで溶解させることによってオゾン水を生成する。そのため、更なる省エネルギー化のためには、オゾン水生成に必要な電力の低減が課題であった。

水中に溶存するオゾンは不安定なため自己分解を引き起こし、酸素へと変換される。そのため、溶存オゾン濃度の低下を招くおそれがあり、洗浄に必要な濃度を維持するためには、高濃度又は大流量のオゾンガスを供給する必要がある。

当社はこの課題を解決するため、オゾン水生成の高効率化について検討した。pHを酸性にすることでオゾンの自己分解が抑制されることが知られており⁽⁴⁾、オゾン水生成でpHは重要な制御パラメータであった。そこで、オゾン水のpHを酸性にすることで溶存オゾン濃度を向上させる高効率オゾン水生成技術を開発した。

2.2 ラボ試験での検証

所定のpHに調整して生成したオゾン水を用いてあらかじめ目詰まりさせた試験用ろ過膜(膜ろ過面積0.01m²)を洗浄するラボ試験を行った。ラボ試験条件を表1に示す。

表1. ラボ試験条件

	試験条件1 ^(注1)	試験条件2	試験条件3	試験条件4
水溶液	MBR処理水(10L)			
pH	2.7	5	7	8
オゾンガス流量(NL/min)	0.7			
オゾンガス濃度(gO ₃ /m ³)	200			

(注1) 試験条件1はオゾン水生成試験だけ実施

オゾンガス流量と濃度は一定とし、pHの影響を確認するため、オゾン水のpHを酸性条件(pH=2.7及び5)、中性条件(pH=7)、アルカリ性条件(pH=8)の4条件で実施した。ただし、pH2.7の条件はオゾン水生成だけ実施し、洗浄試験は実施しなかった。

各pH条件で生成したオゾン水の溶存オゾン濃度の推移を図2に示す。pHが低いほど溶存オゾン濃度が高くなった。また、どの条件でも生成開始から30~90分の間に溶存オゾン濃度は極大点を迎え、その後緩やかに減衰する傾向であったが、酸性条件下ではその減衰量は小さかった。すなわち、酸性条件下でオゾン水を生成することでオゾンの消費を抑制でき、効率的に高濃度オゾン水を生成できることが示された。

次に各pH条件で生成したオゾン水を用いたろ過膜の洗浄結果について述べる。ろ過膜が目詰まり前の透水性に回復するのに要した各pH条件での洗浄時間を図3に示す。pHが低いほど溶存オゾン濃度を高く維持できたため、洗浄時間はpHが低いほど短くpH=5ではpH=7の条件に対して約10%短縮できた。したがって、酸性条件下でオゾン水を生成することで洗浄時間も短縮できることが示された。

2.3 実排水を用いたパイロット試験での検証

液晶ディスプレイ工場の有機排水を流入水としたMBRのパイロットスケール試験で、先に述べたpH調整による溶存オゾン濃度向上効果と洗浄効果の検証を行った。こ

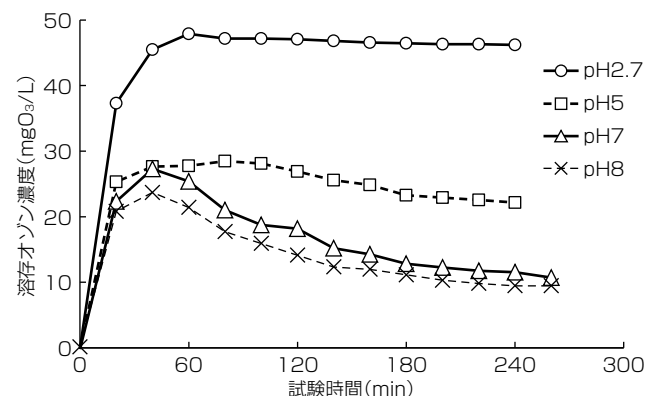
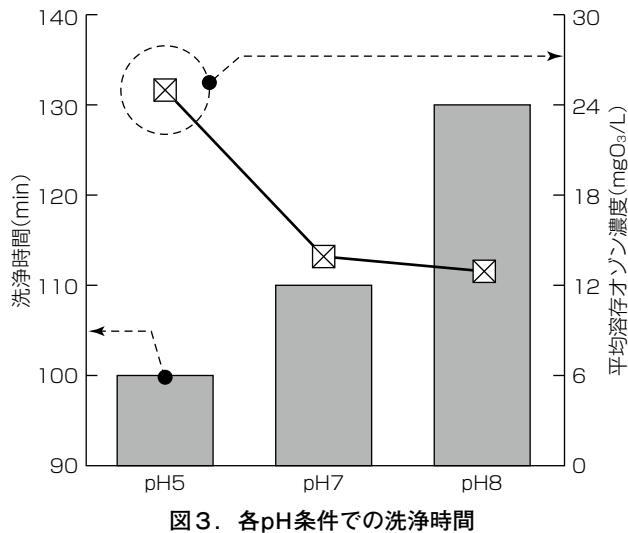


図2. 溶存オゾン濃度の推移



の実験では小型のろ過膜(膜ろ過面積0.5m²) 5本を用いて、ろ過流速0.55m/日で運転し、1週間に1回の頻度でろ過膜をオゾン水で洗浄した。パイロット試験条件を表2に示す。この試験ではオゾン水をpH=5に調整してオゾン水を生成した。その結果、オゾンの消費を抑制できたためにオゾン水生成時のオゾン水変換効率(供給したオゾン量のうち、オゾン水に変換された割合)は従来の3倍以上に当たる18%まで向上し、溶存オゾン濃度も37~41mgO₃/Lまで上昇した。さらに変換効率が向上したことで必要なオゾンガス量を低減できた。その結果、オゾン水生成に必要な電力を従来の1/3以下に低減した。したがって、酸性条件下でオゾン水を生成するこの技術を用いることで更なる省エネルギー化が可能であることを検証した。

この試験の膜間差圧の推移を図4に示す。膜間差圧はろ過によって1週間で膜間差圧は最大30kPaまで上昇した。しかし、図中の矢印で、高濃度オゾン水を用いて膜内を洗浄した結果、図中の破線で示したように膜間差圧は膜内の目詰まりの解消を示す膜ろ過前の約7kPaまで低減した。このことから、酸性条件下でオゾン水を生成することで効率的に高濃度オゾン水を生成でき、その高濃度オゾン水で膜内を洗浄することで、膜内の目詰まりを十分に解消できることが実排水を用いたパイロット試験でも確認できた。

表2. パイロット試験条件

水溶液	MBR処理水(150L)
pH	5
オゾンガス流量(NL/min)	8.4
オゾンガス濃度(gO ₃ /m ³)	200
洗浄時間(min)	60

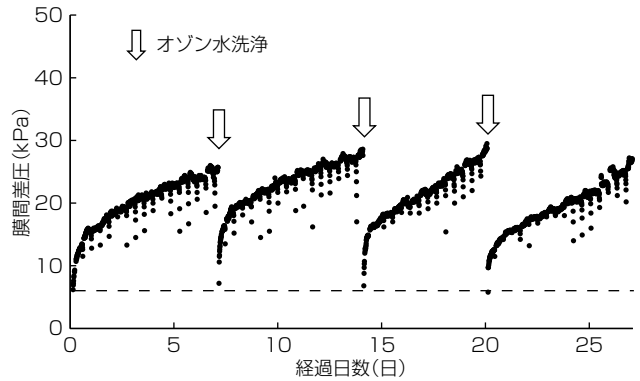


図4. 時間経過に伴う膜間差圧の推移

3. むすび

膜分離バイオリアクタEcoMBRのシステム構成、及びその特長について述べた。またEcoMBRの更なる省エネルギー化を目的として開発した高効率オゾン水生成技術についても述べた。今後はこの技術を搭載したEcoMBRを実用化し、更なる省エネルギー化による環境負荷低減や豊かな水循環社会の実現に貢献する。

参考文献

- (1) 山縣弘樹：米国カリフォルニア州モンレー郡における下水処理水の農業灌漑利用，環境システム計測制御学会誌，14，No.2・3，83~86 (2009)
- (2) 伊藤禎彦：下水処理水の飲用再利用におけるリスクの取り扱いについて，水環境学会誌，39，No.6，187~196 (2016)
- (3) 安永 望，ほか：下水・工業排水処理向け省エネルギー・省スペース型膜分離バイオリアクタ“EcoMBR”，三菱電機技報，91，No.9，508~511 (2017)
- (4) 日本オゾン協会：オゾンハンドブック 改訂版 (2016)