

〈研究発表〉

セラミック平膜を用いた膜分離活性汚泥法の運転条件最適化

打林 真梨絵¹⁾, 豊岡 和宏¹⁾, 新井 喜明¹⁾, 宮崎 好弘²⁾
町田 鉄男²⁾, 山下 喬子³⁾, 橋本 敏一³⁾

¹⁾ 株明電舎 水・環境事業部 技術部

(〒141-8616 東京都品川区大崎5-5-5 E-mail: uchibayashi-m@mb.meidensha.co.jp)

²⁾ 飯能市 (〒375-8501 埼玉県飯能市大字双柳1-1)

³⁾ 日本下水道事業団 (〒113-0034 東京都文京区湯島2-31-27 湯島台ビル)

概要

膜分離活性汚泥法 (MBR) の導入促進には, 中・大規模下水処理場に多い合流式下水道への適用と消費エネルギーの削減が課題である。本研究では, 合流式下水処理場へのセラミック平膜を用いた MBR の適用と, 処理水量 1 立方メートルあたりの消費電力を 0.4 kWh 以下とすることを目標としている。これまで, 雨天時合流下水の流量変動を模擬したろ過流量増大による膜差圧の挙動評価と, 膜洗浄風量削減などによる省エネ化の検討を行ってきた。本報ではこれまでに得られた知見を報告する。

キーワード: セラミック平膜, MBR, 合流式下水道, 省エネ

1. はじめに

膜分離活性汚泥法 (以下, MBR: Membrane Bioreactor) は, 活性汚泥法による生物処理に膜ろ過を組み合わせた排水処理法である。MBR は, 固液分離を膜ろ過で行うため, 固形分流出の懸念がなくなり活性汚泥の管理が容易である。また, 反応タンクの高 MLSS 運転が可能なことや, 最終沈殿池が不要であることなどから, 省スペースな施設となる。更に大腸菌の除去が可能で消毒工程が不要である。しかし, 更なる MBR の導入促進を図る上で, 消費エネルギー削減や中・大規模下水処理場に多い合流式下水道への適応が課題になっている。これらを解決することを目的として, 著者らは 2012 年度より共同研究「膜分離活性汚泥法の導入促進に向けた技術開発——セラミック平膜を用いた浸漬型 MBR の省エネルギー化・合流対応の研究——」を実施している。本研究では, セラミック平膜を用いた浸漬型 MBR について消費電力 0.4 kWh/m³ 以下を目指した省エネルギー化ならびに合流式下水道への適用に関する検討を目的としている。

本稿では, 上記目標に向けて MBR の運転条件の基礎的検討を行った結果を報告する。省エネルギー化については消費エネルギーに寄与の大きい膜洗浄風量の低減による MBR 運転の安定性を, 合流式下水道への適用についてはフラックスの増大による MBR 運転の安定性を検証した。

2. 実験方法

2.1 セラミック平膜

実験に使用したセラミック平膜の基本特性を **Table 1** に示す。またセラミック平膜の写真を **Fig. 1** に示す。

Table 1 Ceramic flat sheet membrane specification.

項目	仕様
種類	精密ろ過膜 (MF 膜)
膜孔径	0.1 μm
粒子捕捉性能	95%以上 (粒子: 0.1 μm)
初期純水フラックス	40m ³ /(m ² ・日) (条件: 25°C, 100kPa)
膜差圧範囲	-100 (逆圧洗浄時) ~100kPa
温度範囲	~40°C
pH 範囲	2~10



Fig. 1 Ceramic flat sheet membrane

本セラミック平膜は、透水性の良いセラミック支持体の表面にアルミナを主成分とするろ過膜を厚さ数十 μm で積層させた二層構造で、外周表面すべてがろ過膜として機能する。内部にチューブ状の空洞があり、これが集水路として機能する。このセラミック平膜全体を活性汚泥内に浸漬し、集水路に集水管をつないで取水口を取り付け、ポンプで吸引ろ過する。膜の孔径は、一般の細菌(1~2 μm)より小さい0.1 μm で、ろ過水の性状は、浮遊物質が1mg/L(検出限界)未満、大腸菌群数は不検出と安定した水質が得られている¹⁾。

さらに、セラミック平膜は膜表面が滑らかで汚泥が付着しにくく、はがれやすい。また、セラミック平膜及びユニットの構造が堅固なため、膜洗浄気泡のせん断力をセラミック膜面に効率よく伝えることができる。したがって、比較的低風量できょう雑物や汚泥の付着の防止と付着物の除去ができる。このため、省エネルギー効果が期待できる。

次に、物理的に堅ろうで膜の破断が少なく、化学的に安定しており、膜洗浄処理に伴う薬液の接触を繰り返しても強度劣化が少ないため、膜エレメントは長寿命である。また、保存に特殊な配慮(保存液への浸漬など)が不要であり、乾燥状態での長期保存が可能である。

また、使用済みの膜は、廃棄・産廃処分することなく工業原料としてリサイクルが可能となっている。

2.2 実験プラントの概要

一部合流式の下処理施設である飯能市浄化センター(埼玉県)内にセラミック平膜を用いたMBRの実験プラントを設置し、実証実験を実施した。処理水量は30 m^3 /日である。反応タンクは無酸素タンクと

好気タンクに分かれており、好気タンクに膜ろ過ユニットを浸漬させている。膜ろ過ユニットは2ユニット設置している。**Table 2**に実験プラントの仕様を、**Fig. 2**に実験プラントのフローを示す。

連続運転中の膜洗浄方法には「曝気洗浄」と「逆圧洗浄(逆洗)」の2つがある。

「曝気洗浄」は、ろ過処理中に膜ユニット下方から粗大気泡を供給し、気泡を膜表面に接触させながら浮上させることで膜表面へのファウリング物質付着の抑制を図るもので、MBRでは一般的に用いられている方法である。このため、膜洗浄には酸素の溶解・供給を目的とした曝気ブロウとは独立したブロウを用いる。

「逆圧洗浄」とは、ろ過水を一時的に逆流させることにより膜面の付着物質を除去する方法であり、ろ過膜の閉塞及び狭窄の回復を図る。これは、セラミック膜の物理的な強度を活かした洗浄方法である。

また、膜のファウリング防止・洗浄のため、これら2つの洗浄方法に加え、1週間に1回1,000mg/Lの

Table 2 Experimental plant specification

プラント原水	最初沈殿池流入水	
生物処理方式	循環式硝化脱窒法	
運転条件 (基本条件)	HRT	無酸素タンク:5時間 好気タンク:5時間
	MLSS濃度	5,000mg/L
	フラックス	0.68 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{日})$
	膜洗浄風量	5NL/(min \cdot m ² -膜面積)
	ろ過/逆洗時間	9分30秒/30秒
	逆洗流量	ろ過流量の2倍
薬液洗浄	1回/週 次亜塩素酸ナトリウム 1,000ppm	

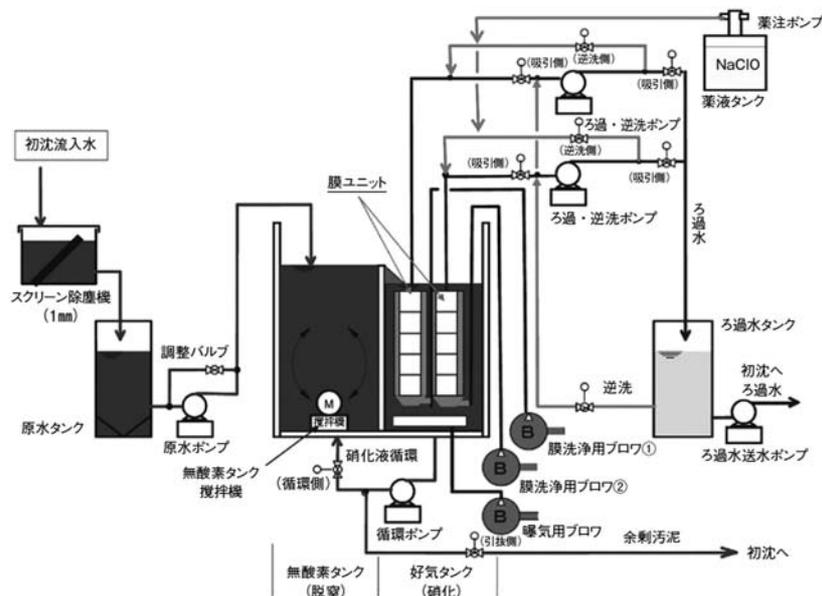


Fig. 2 Schematic diagram of the test plant.

次亜塩素酸ナトリウム水溶液でインラインでの薬液洗浄を行っている。

2.3 実験条件

(1) 膜洗浄風量低減運転

消費エネルギーに最も寄与の大きい膜洗浄風量の低減を目的とした運転条件を検討した。運転条件を **Table 3** に示す。膜洗浄風量を基本条件の 60% に削減し、その他の条件は基本条件と同様とした。実験期間中の膜差圧の変化率と実験後のインライン薬液洗浄による膜差圧の回復状況を確認した。なお、各実験前にはインライン薬液洗浄を行い、初期条件を統一した。

(2) フラックス増大運転

雨天時を想定して、フラックスを基本運転条件の 1.5 倍に増加させて 4 時間の連続運転を行ったのち、フラックスを基本条件に戻した時の膜差圧の回復状況を確認した。また、フラックス増大時の生物処理機能の変化を確認するため、フラックス増大前 (実験前)・フラックス増大中 (実験中)・基本条件に戻した後 (実験後) の好気タンク及びろ過水の水質を分析した。

(3) MBR 運転管理指標

MBR の運転管理において、活性汚泥のろ過特性の評価・管理は重要である。膜差圧の挙動を反映する運転管理指標として、ろ紙ろ過量 (50 mL の活性汚泥を、ろ紙 (5 種 C : (JIS P 3801) に規定される 5 種 C に相当²⁾) でろ過し、5 分間で得られるろ液量)、 Δ TOC (Δ TOC=好気タンク内 S-TOC-ろ過水 TOC) と膜差圧上昇率との関係について解析した。

3. 実験結果

3.1 膜洗浄風量低減運転

Fig. 3 に基本条件下での膜差圧の変動の例を、**Fig. 4** に膜洗浄風量低減運転における膜差圧の変動の例を示す。基本条件における膜差圧上昇率は約 0.4 kPa/日であったのに対し、膜洗浄風量低減運転時は約 1.5 kPa/日に上昇したが、管理の目安としている 30 kPa は超えなかった。また、実験後インライン薬液洗浄を行ったところ、膜差圧は実験前の圧力までほぼ回復し

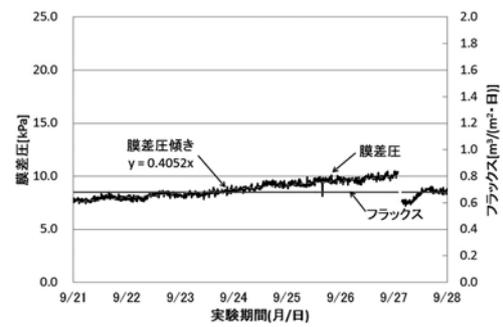


Fig. 3 Trans membrane pressure (TMP) behavior during basic condition

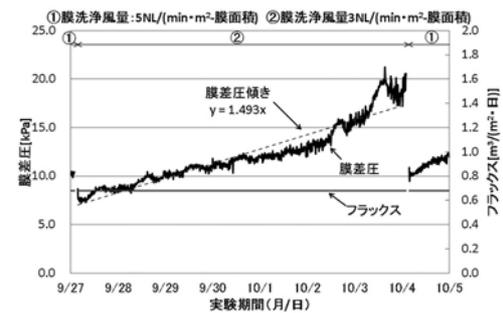


Fig. 4 TMP behavior during Run1

た。以上の結果より、膜洗浄風量を削減した状態で 1 週間継続して安定運転が可能であることが示された。

3.2 フラックス増大運転

Fig. 5 にフラックス増大運転におけるフラックスと膜差圧変動の例を示す。膜差圧はフラックス増大時に大きく上昇したが、フラックスを基本運転条件に戻すと実験前の初期圧とほぼ同程度に回復した。

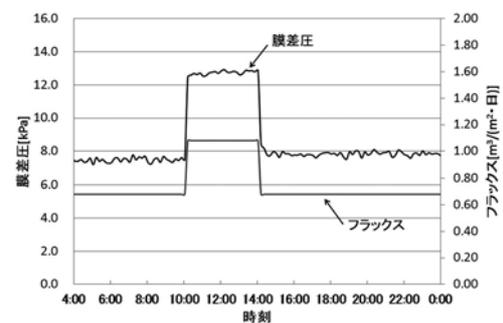


Fig. 5 TMP behavior during Run3

Table 3 Operating Condition

	基本条件	膜洗浄風量低減運転	フラックス増大運転
実験期間	—	Run1:2013/9/27~2013/10/4 Run2:2013/11/15~2013/11/22	Run3:2013/6/21 Run4:2013/8/2 Run5:2013/9/5 Run6:2013/10/18
フラックス[m³/(m²・日)] ※実質フラックス(運転フラックス)	0.68 (0.8)	0.68 (0.8)	1.5 倍 1.02 (1.2)
膜洗浄風量[NL/(min・m²・膜面積)]	5	3	5

Table 4 Water quality

	実験前	実験中	実験後
BOD[mg/L]	1	1	1
SS[mg/L]	<1	<1	<1
NH ₄ -N [mg/L]	0.09	0.07	0.01
大腸菌群数 [個/100mL]	<10	<10	<10
ろ紙ろ過量 [mL/5min]	34	30	31

また、Table 4 に実験前・中・後の好気タンク内活性汚泥のろ紙ろ過量とろ過水の水質分析結果を示す。実験前後で水質は安定しており、水処理機能への影響は認められなかった。

3.3 MBR 運転管理指標

2013年4月～2013年11月のろ紙ろ過量、 Δ TOC と膜差圧上昇率について解析した。Fig. 6 にろ紙ろ過量と膜差圧上昇率との関係を、Fig. 7 に Δ TOC と膜差圧上昇率との関係を示す。前者は、ろ紙ろ過量が増えるにつれて膜差圧上昇率が低下するという傾向が認められたが、後者については相関が確認されなかった。

4. ま と め

消費エネルギーに最も寄与の大きい膜洗浄風量を基本条件の60%に削減しても、安定した膜ろ過運転ができることが確認できた。また、フラックスを基本条件の1.5倍にして4時間連続運転をしても、安定した運転ができることが確認できた。一方、MBR 運転管理指標については、ろ紙ろ過量が膜差圧上昇率と一定の相関があることが確認できた。

今後は、更なる膜洗浄風量削減や生物処理に必要な空気量の削減などにより、目標である消費電力0.4

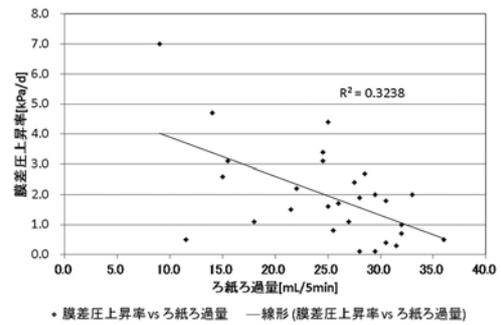


Fig. 6 Relationship between Paper filtering rate and rate of TMP increase

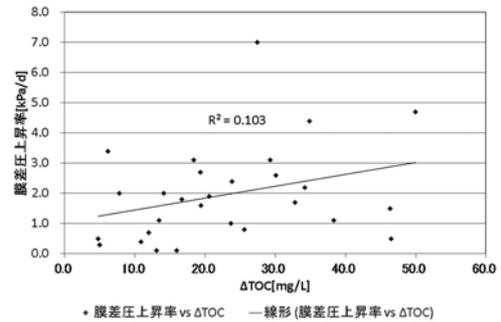


Fig. 7 Relationship between Δ TOC and rate of TMP increase

kWh/m³ を達成する適切な運転条件を検討する。また、より大きな水量変動に対応することを目的として、フラックスを基本条件の2倍としたときの運転条件を検討する予定である。MBR 運転管理指標については、ろ過特性を評価・管理できる指標を継続して確認する。

参考文献

- 1) 財団法人下水道新技術推進機構：セラミック平膜を用いた循環式硝化脱窒膜分離活性汚泥法技術資料 (2012.3)
- 2) 財団法人下水道協会：下水実験方法 上巻 (2012)