

セラミック平膜を用いた膜分離活性汚泥法の基礎開発

中川彰利 Akitoshi Nakagawa

キーワード セラミック平膜, 下水処理, 膜分離活性汚泥法, 省エネルギー

概要



セラミック平膜エレメント

膜分離活性汚泥処理法（MBR）は、活性汚泥による生物処理に膜ろ過を組み合わせた排水処理方法である。再利用水に適した清澄な処理水が得られ、処理設備全体がコンパクトとなる利点を持つ。

一方で、膜の目詰まり（ファウリング）や寿命、高ランニングコストといった膜特有の問題を抱えている。

当社はこれらの問題を解決するため、セラミック平膜を開発した。セラミック平膜は堅ろうで物理的・化学的な耐久性が高い。国内の下水処理場内に設置したMBRプラントで、これらを生かした運転・制御を行うことによって、長期間にわたり安定したろ過性能と処理水質の維持を実現した。

1 まえがき

膜分離活性汚泥法（MBR）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方法である。MBRの主な特長は、以下のとおりである。

- (1) 維持管理が容易
 - (2) 処理水の再利用に適した良好なろ過水質
 - (3) 処理設備全体をコンパクトにすることが可能
- このような利点を持つ一方で、膜の目詰まり（ファウリング）や寿命、高ランニングコストといった膜特有の問題を抱えている。

そこで、当社はこれまでの上水道・下水道設備向け電気設備に加え、新規分野の取り組みとして長年培ってきたセラミックの技術を応用することで、セラミック平膜を開発した。

セラミック平膜は堅ろうで物理的・化学的な耐久性が高い。これらの利点を生かした運転・制御

を行うことで、長期間にわたり安定したろ過性能と処理水質の維持を実現することができる。本稿では、セラミック平膜を用いた検証プラントを国内の下水処理場内に設置し、3年間の連続運転を行った検証結果について紹介する。

2 セラミック平膜・検証プラントの概要

2.1 セラミック平膜

第1表に検証で使用したセラミック平膜の基本特性を、第2表に他社膜との比較を示す。このような特性によって、セラミック平膜を用いたMBRは、従来と比較して高効率・安定した運転ができる。

2.2 検証プラント

埼玉県飯能市浄化センター内に検証プラントを設置した。第1図に今回検証を行ったプラント

のフローと設計諸元を示す。

プラントは生物反応槽を備え、活性汚泥法による生物処理を行う。反応槽は無酸素槽と好気槽に分かれており、そのうち好気槽にセラミック平膜ユニットを設置している。このセラミック平膜ユニットは、複数のセラミック平膜エレメントをモジュール化し、さらに上下に積層したものである。

膜の日常的な洗浄方法は、大きく分けて「エア洗浄」と「逆圧洗浄（逆洗）」の2つある。第2図にそれぞれの洗浄方法を示す。

膜洗浄エアは、ろ過処理中に膜ユニットの下方

から粗大気泡を噴出し、気泡が膜表面に接触するときのせん断力と気泡で生じる水流によって、膜表面の目詰まりを防止する。MBRでは一般的に使用される方法であるが、必要とされるエア量が多いため、ランニングコストの増大を招くことが課題となる。

逆洗はろ過水を一時的に逆流させることで、膜面の付着物を除去する方法である。これは、セラミック膜の物理的な強度を生かした洗浄方法である。この逆洗を定期的に行うことで、前述の膜洗浄エア量を大幅に削減することに成功し、処理設備の省エネルギー化を実現した。

また、エア洗浄や逆洗でも除去できない膜面の付着物は、逆洗に薬液洗浄を組み合わせる。本検証では、1週間に1回1000mg/Lの次亜塩素酸ナトリウム水溶液で薬液洗浄を行っている。

以上のプラントと洗浄方法で、2009年10月から検証を開始し、約3年間の連続運転を行った。

第1表 セラミック平膜の基本特性

セラミック平膜の特長は、高い透水性と適用可能な温度・pHの幅が広いことである。

項目	仕様
膜種類	精密ろ過膜 (MF膜), 平膜
材質	α-アルミナ (陶磁器: 有田焼・九谷焼・耐熱レンガ)
公称孔径	0.1μm
初期純水透過流速	40m ³ /(m ² ・d) at 25°C, 100kPa
粒子捕捉性能	95%以上 at 0.1μm標準粒子, 100kPa
使用条件	圧力: -100~100kPa 温度: -20~80°C pH: 2~12

3 結果及び考察

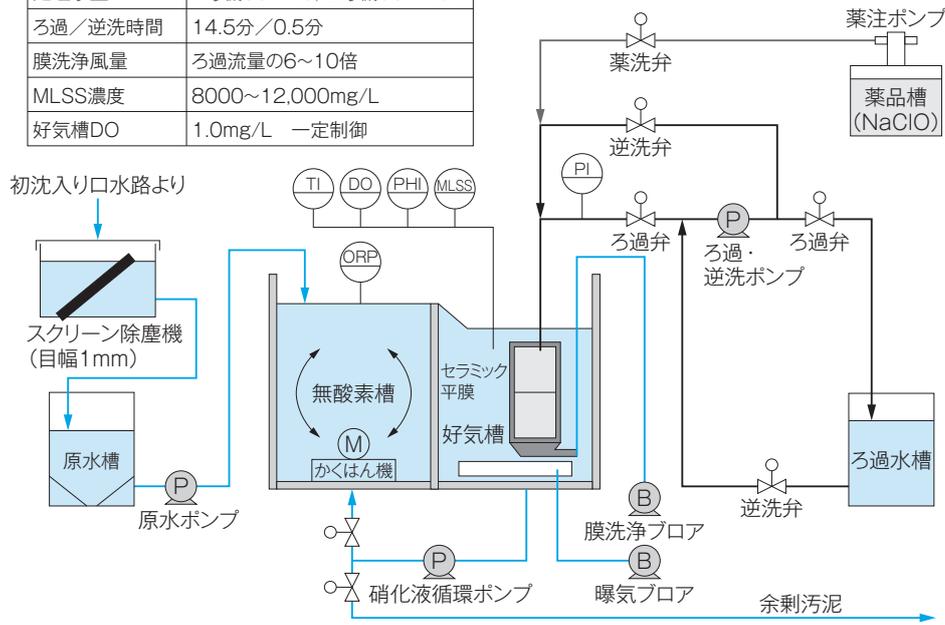
セラミック平膜・検証プラントで連続運転を実施し、水質分析及び膜差圧 (TMP: Trans Membrane Pressure) による性能評価を行った。

第2表 セラミック平膜と他社膜の比較

セラミック平膜は、他社膜と比較して寿命やメンテナンス性に優れ、リサイクル面でも環境に優しい製品である。

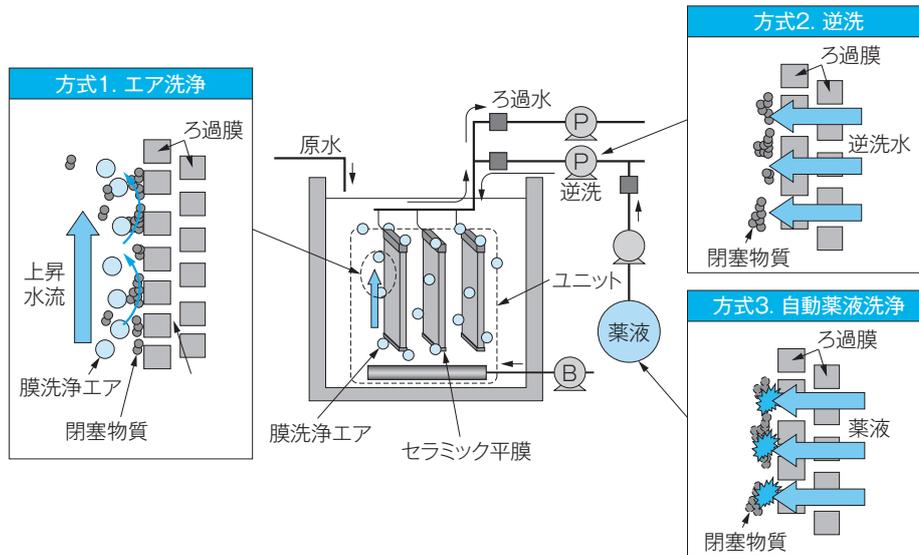
膜形状	平膜		中空糸膜
	セラミック	合成樹脂 (PVDF, PE)	合成樹脂 (PVDF)
材質	セラミック	合成樹脂 (PVDF, PE)	合成樹脂 (PVDF)
耐久性	+++ 耐薬品, 広範囲なpH, 水温に対応	++ 薬品種類によって難有り, 高温は不可	++ 薬品種類によって難有り, 高温は不可
性能発揮期間	15年	8年	7年
ろ過性能	++	++	++ きょう雑物の絡みによって, 膜面性が減少
運転コスト	+++ 膜洗浄エア量を減らすことで消費エネルギーを半減	++	++
メンテナンス性	+++ 逆圧洗浄 (逆洗) による詰まりの防止 薬品洗浄によっても膜劣化無し	++ 逆洗は可能, 膜の破損に注意が必要 薬液洗浄も膜の剥離に注意が必要	+ 中空糸が密集しているため洗浄効果が低く, 人力洗浄で煩雑
設置面積	++ 高フラックスで安定したろ過が可能	+	+++
リサイクル	+++ 粉碎し, 再利用可能	- 焼却処分	- 焼却処分

プラント諸言と運転条件	
処理水量	1号機30m ³ /d, 2号機50m ³ /d
ろ過/逆洗時間	14.5分/0.5分
膜洗浄風量	ろ過流量の6~10倍
MLSS濃度	8000~12,000mg/L
好気槽DO	1.0mg/L 一定制御



第1図 検証プラントのフローと設計諸元

セラミック平膜では定期的に逆洗を行うことで、安定した膜ろ過を実現している。



第2図 セラミック平膜の洗浄方法

セラミック平膜は、逆洗を用いることで必要とされる膜洗浄エア量を大きく削減し、従来と比べて省エネルギーな処理システムである。

第3表に原水と処理水の水質分析結果を、第3図に検証期間中のTMP・フラックスの変動を示す。

水質分析結果は、2011年3月から2012年3月までの平均値・最大値・最小値を示している。期間中、ろ過水中のSS (Suspended Solids：浮遊物質) は一度も1mg/Lを超えることはなかった。さらにろ過水の平均濁度は1度、色度は10度以下で

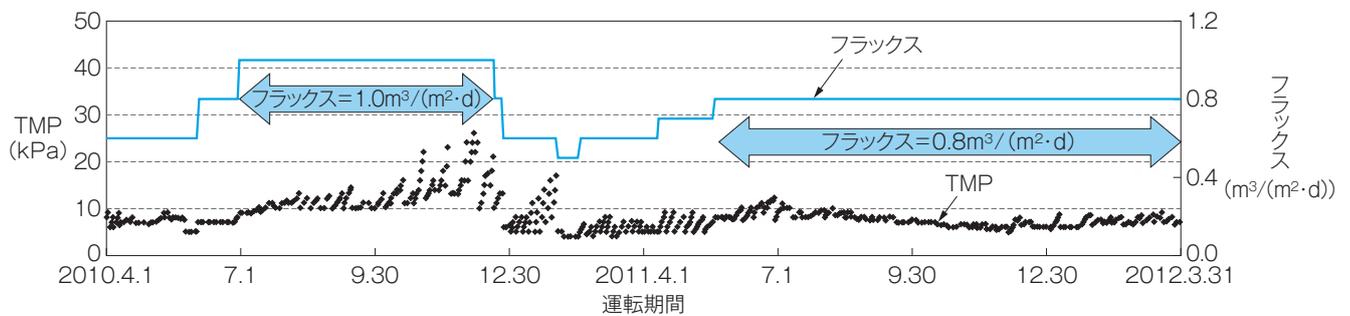
あった。この値は、再生水としての水質基準を十分に満たしている。

TMP・フラックスは、2010年10月から2012年3月までのデータをまとめたものである。フラックスとは単位膜面積あたりの膜透過流量である。期間の後半では0.8m³/(m²・d)のフラックスで安定したろ過を行っており、従来の0.5~0.7m³/(m²・d)

第3表 原水と処理水の水質分析結果

原水の水質変動に対しても、安定して良好な水質を得ることができた。

項目	原水			ろ過水			目標値
	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	
SS (mg/L)	145	420	48	< 1	< 1	< 1	平均1以下
BOD (mg/L)	198	450	50	2	3	1	最大10以下 平均2以下
COD (mg/L)	106	450	29	5	7	3	
T-N (mg/L)	23.8	43.0	10.0	6.2	8.7	2.1	平均10以下
T-P (mg/L)	2.1	4.6	0.5	1.4	1.9	0.6	
濁度 (度)	—	—	—	< 1	< 1	< 1	2以下
色度 (度)	—	—	—	8	10	5	最大10以下
大腸菌 (CFU/100mL)	—	—	—	< 10	< 10	< 10	最大10未満



第3図 TMP・フラックスの変動

連続運転期間を通じて、高いフラックスと安定したTMPを実現した。

と比較して大幅な性能向上を実現した。

4 むすび

新たに開発した排水処理向けのセラミック平膜を用いて、下水処理場内で検証を行った。得られた結果は、以下のとおりである。

(1) 第1図に示す基本的な洗浄のみで、高フラックスによる運転を実現した。

- (a) フラックス = $0.8\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$: 1年間
- (b) フラックス = $1.0\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$: 5か月間

(2) 連続運転期間中、ろ過水の水質を良好な状態に維持した。これは膜の破断や劣化の無いセラミック平膜の特性によるものである。

以上、公共下水を原水とする実証プラントで、

従来の膜処理と比較して優れた結果を得ることができた。今後は公共下水にとどまらず、工業排水・再生水・海水淡水化前処理など、より広い分野でのセラミック平膜の適用を目指していく。

最後に、本検証にあたり検証場所のご提供をはじめ、数多くのご協力をいただいた埼玉県飯能市浄化センターに心から御礼申し上げる次第である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



中川 彰利
Akitoshi Nakagawa
膜・水処理プラント部
セラミック平膜の開発に従事