

セラミック平膜を用いた下水処理システム

🔊 MBR, セラミック平膜

* 大石 亮 Akira Oishi ** 新井喜明 Yoshiaki Arai

概要

膜分離活性汚泥法（MBR：Membrane Bioreactor）は、生物処理と膜ろ過を組み合わせた排水処理方法である。活性汚泥を膜でろ過するため最終沈殿池が不要で、大腸菌などの細菌類も除去できるため消毒設備を省略できる。これらによりコンパクトなシステムを構成でき、高品位な処理水質が得られる。しかしながら、膜の目詰まり（ファウリング）対策として、曝気や膜表面での流速確保の必要があるので、従来法に比べランニングコストが高い。

そこで、セラミック製ろ過膜を用いたMBRを開発した。セラミック膜は堅ろうで物理的・化学的な耐久性が高い。これにより高流量のろ過や洗浄を行えるため、高効率な膜処理の実現可能性を有している。



MBR用セラミック平膜ユニット

1. ま え が き

膜分離活性汚泥法（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方法である。その主な特長は、以下の通りである。

(1) 都市部の大規模活性汚泥処理場の改修に合わせて、広い敷地面積を必要としていた最終沈殿池をコンパクトな膜分離槽に置き換えることができる。従来の活性汚泥法における最終沈殿池での沈殿に替えて、生物処理工程後に汚泥と処理水を分離する工程を膜ろ過で行う。

(2) 沈殿を考慮しないために、従来の活性汚泥法に比べ高い活性汚泥濃度（MLSS：Mixed Liquor Suspended Solid）で運転できる。そのため生物処理の能力が高くなるので、反応槽を小容量化できる。これにより最終沈殿池の省略と併せ、処理施

設全体を省スペース化でき、小規模な処理施設に適用できる。

(3) 孔径 $0.1\mu\text{m}$ 以下の膜でろ過することで、浮遊物質（SS：Suspended Solid）と大腸菌など細菌を除去できるため、再利用水としても利用できる。

(4) 固形分流出の懸念が無くなり、活性汚泥の管理が容易となり、遠隔地での無人運転が可能となる。

しかしながら、MBRは原理的に膜の目詰まり（ファウリング）を常に対策する必要がある。膜ろ過性能を低下させないための予防方法として、曝気などにより膜表面での流速確保を常に保つなどの必要があり、曝気動力を必要とするため、現状では従来法に比べランニングコストが高い。

その対応として、当社では今回セラミック製ろ過膜を用いたMBRを開発した。セラミック膜は堅ろうで物理的、化学的な耐久性が高い。これによ

り高流量のろ過や洗浄を行える特長を持っているため、MBRにおいて高効率な膜処理の実現可能性を有している。

現在、セラミック膜を使用したMBRの実都市下水での検証のため、下水処理場内に膜分離活性汚泥処理プラントを設置し、連続運転をしている。本稿では、安定したろ過性能と処理水質の維持を

実現したこれまでの運転状況について紹介する。

2. 運 転 方 法

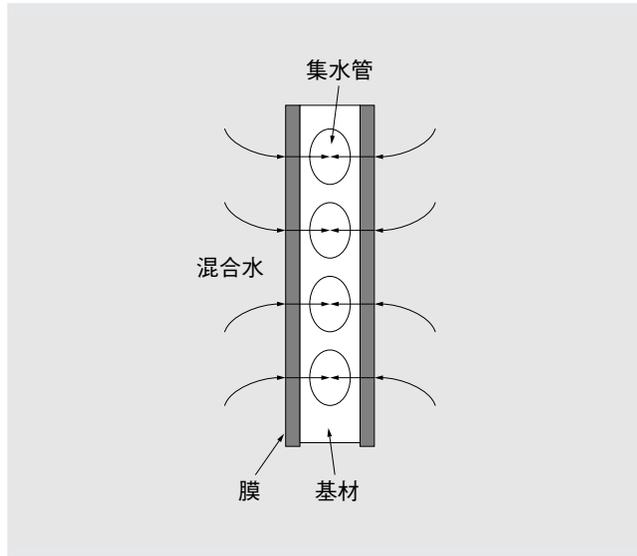
2.1 セラミック膜の原理

第1図に膜処理に使用したセラミック膜の構造図を示す。透水性の良いセラミック板（図で基材と記した）の外表面が、更に目の細かいセラミックの膜で覆われた2層構造で、表面側すべてがろ過膜として機能する。膜の孔径は、一般の細菌（1~2 μ m）より小さい孔径を選定している。

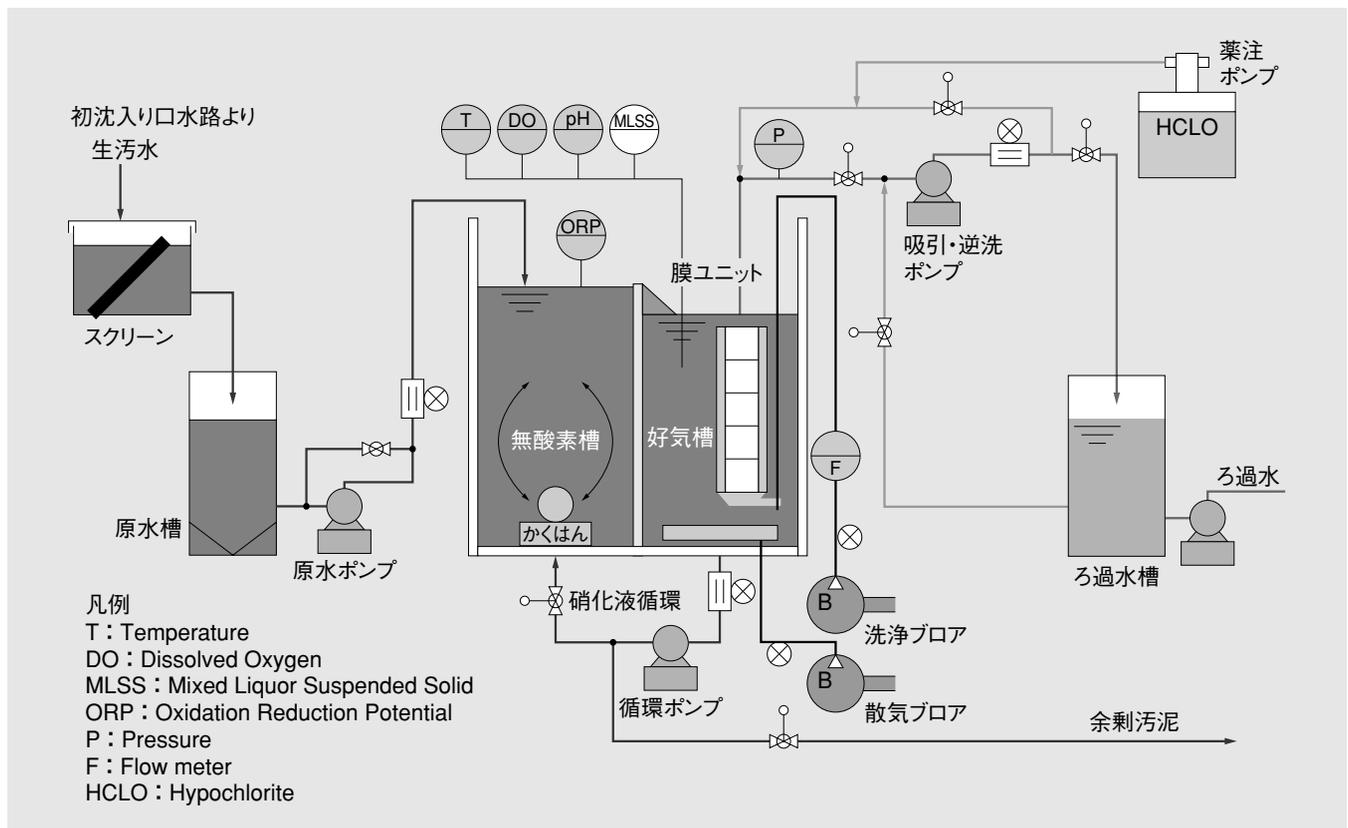
内部にチューブ上の空洞があり、集水管として機能する。この集水管すべてに集合管をつないで取水口を付け、ろ過の2次側とする。膜全体を固形物の混じったろ過対象に浸漬させ、2次側に負圧をかけることで水のみを吸引ろ過する。

2.2 膜分離活性汚泥処理プラントの概要

第2図にMBRパイロットプラント全体構成を、第1表にMBRパイロットプラント諸元を示す。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とに分かれており、好気槽側に膜ろ過ユニットを浸漬させている。



第1図 セラミック膜の構造図
セラミック膜の表面がろ過膜として機能する構造を示す。



第2図 MBRパイロットプラント全体構成
処理対象原水の流入から処理過程の全体を示し、膜の設置位置を表す。



処理対象の原水は、実処理場の最初沈殿池直前から流入下水を取水し、1mm幅のスクリーンによりきょう雑物を除去したものである。

生物反応槽は、有機物に加え窒素とリンの除去も目的とした循環式硝化脱窒法を採用している。無酸素槽では水中かくはん機でかくはんのみを行い、好気槽では散気装置によりかくはんと好気状態保持を行っている。好気槽から無酸素槽へはポンプにより常時硝化液循環をしており、余剰汚泥は、汚泥引き抜き弁で接続先を適宜切り替えることで系外に引き抜いている。

好気槽に設置しているセラミック膜ユニットは、複数枚の平膜形セラミック膜の端面に取水口を兼ねたフレームを付けてモジュール化し、更に上下に積層化したものである。

汚泥の付着による閉そく予防のため、溶存酸素供給のための散気装置とは別に、膜ユニット下部に設置された散気装置により膜の表面を常時気泡で洗浄している。このための配管へは散気ブローとは独立した洗浄ブローにより送気している。

膜モジュールの取水口を集合させた配管の先に吸引・逆洗ポンプを設置し、吸引ろ過を行う。ろ過水は系外への排出の前に、ろ過水槽に一定量貯留される。膜面の汚れによるろ過流量低下を予防するために、一定周期でこのろ過水を使って逆洗を行う。

また、膜表面の有機物除去のため、定期的な薬液洗浄も実施する。膜の内側から注入洗浄ができるよう、ろ過水側に薬液注入装置を設置している。

2.3 試験及び評価方法

プラントを連続運転し、水質分析による性能評価を行った。第2表に期間中の運転条件を示す。また、ろ過水及び原水、生物反応槽内の活性汚泥の水質などは毎週1回継続的に測定し、主な分析項目を以下に示す。

(1) 生物化学的酸素要求量 (BOD: Biological Oxygen Demand), 化学的酸素要求量 (COD: Chemical Oxygen Demand), 全有機炭素 (TOC: Total Organic Carbon), 固形分 (TSS: Total Suspended Solid), 全窒素 (T-N: Total

第1表 MBRパイロットプラント諸元
処理水量, 反応槽容量及びMLSS値を示す。

処理水量	約30m ³ /日
反応槽容積	6m ³
MLSS	6000~11,000mg/L

第2表 期間中の運転条件
運転期間における運転条件を示す。

逆洗浄周期	ろ過 9.5分/逆洗 0.5分
薬液洗浄	週2回
好気槽DO(平均)	1.03mg/L
好気槽MLSS	7200mg/L
好気槽水温(平均)	16.4℃

第3表 水質分析結果

運転期間の水質一覧を示す。ろ過水水質が安定に維持できたことを示す。

	TSS		BOD		COD _{Cr}		COD _{Mn}		TOC	
	原水	ろ過水	原水	ろ過水	原水	ろ過水	原水	ろ過水	原水(S)	ろ過水
最大	260	0	370	3	655	34	150	7	37.7	11.0
最小	48	0	50	1	85	1	29	3	3.6	2.2
平均	145	0	198	2	311	11	106	5	22.3	5.2
	T-N		T-P		MLSS 好気槽	濁度 ろ過水	色度 ろ過水	大腸菌群数 cfu/100mL ろ過水		
	原水(S)	ろ過水	原水(S)	ろ過水						
最大	36.0	8.7	3.8	2.3	9100	2	11	<10		
最小	10.0	2.1	0.5	0.6	4000	<1	5	<10		
平均	23.8	6.2	2.1	1.4	7500	<1	8	<10		

Nitrogen), 全リン (T-P: Total Phosphorus)

(2) MLSS, 濁度, 色度

(3) 大腸菌群数など

3. 運転状況

第3表に2009年9月から2010年3月までの運転期間中における水質分析結果を示す。平均値と最大・最小値を記載した。これらの結果には採水日及び前日に降雨又は降雪があった日を含んでおり、その影響として原水水質変化や水温低下も加味されている。原水の溶解性成分はNo.5Cろ紙でろ過して前処理し、原水(S)と記載した。

ろ過水中にTSSは一度も検出されなかった。更に、ろ過水の平均水質は濁度2度, 色度10度以下, 大腸菌群数は不検出であった。この値より親水利用水質基準を満たしており, 膜ろ過水の品質も保たれていた, と評価できる。

BOD, COD, TOCで表示される有機物も活性汚泥処理の工程で十分除去でき, 実処理場とそん色ない安定運転を実施できた。T-N, T-Pも安

定的に除去でき、循環式硝化脱窒法としての運転も機能していた。

4. む す び

膜分離活性汚泥法向けのセラミック膜を開発し、検証のために実都市下水処理場内でMBRプラントを設営し、連続運転している。その過程で周期的な洗浄を含めた一定条件下での安定運転を実施し、膜間差圧を一定範囲内で運転できた。これにより、今後更なる長期運転のための持続的運転条件の探索につながる事が期待できる。

更に、膜ろ過水の水質も半年間にわたって維持でき、セラミック膜の基本ろ過性能と活性汚泥法とを組み合わせた際の性能を確認できた。膜の破断の可能性が非常に低いセラミック膜の特性が安定な結果に貢献できたと考える。

今後、長期試験や他地域での検証運転を通じて、省力化運転や省エネルギーを達成する施設設備や運転条件についての探索を継続する予定である。

《執筆者紹介》



大石 亮 Akira Oishi
水処理システムの企画・計画・設計
に従事



新井喜明 Yoshiaki Arai
水処理システムの企画・計画・設計
に従事

