

セラミック平膜を用いた 膜分離活性汚泥法に関する 共同研究

研究第一部 主任研究員
小峰 英明



1 研究目的と体制

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、汚泥と処理水の分離工程を最終沈殿池での沈殿に代えて膜ろ過で行う排水処理方式である。維持管理が容易、省スペース、処理水質が安定かつ良好、という特長を持つMBRは、わが国の下水道事業における中心的な技術として期待されている。

但し現状、MBRにも課題があり、膜洗浄操作が必要であるために消費電力が従来法より大きくなる点について、環境性および維持管理コストの面からその低減が望まれている。

本研究では、既存の膜と比して膜洗浄に必要な空気が少ない等の特長が期待されるセラミック平膜に着目し、実証試験を通じて、セラミック平膜を用いた循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法（以下、本法）における最適な運転条件を確立するとともに、技術資料としてまとめることを目的とした。

本研究は、(株)明電舎と本機構の2者が共同で実施した。（平成22年11月～平成24年3月）

2 研究内容

2.1 技術の概要

本法は、膜分離活性汚泥法のうち、循環式硝化脱窒法と同じ生物処理を行う方式である循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法を適用し、その膜ユニットをセラミック平膜に置き換えたものである。

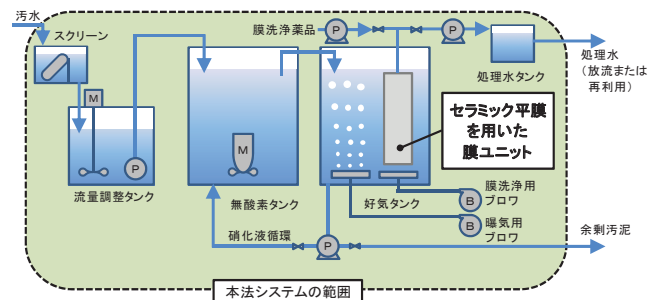


図-1 本法フロー

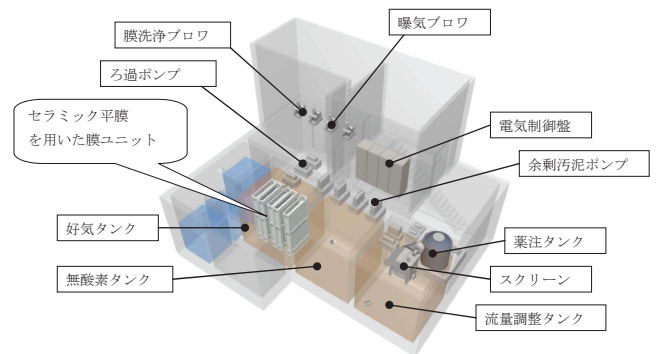


図-2 本法施設の配置イメージ

本法のフローを図-1に、施設配置イメージを図-2に示す。

2.2 セラミック平膜

本法では、アルミナを主成分とするセラミック平膜を積層して、処理水（ろ過水）を集める流路部と一体化した膜エレメントとし、これを鉛直方向に複数組み合わせることで膜ユニットを構成する。

膜エレメントの外観を写真-1、仕様を表-1に、また膜ユニットの外観を写真-2、仕様を表-2に示す。

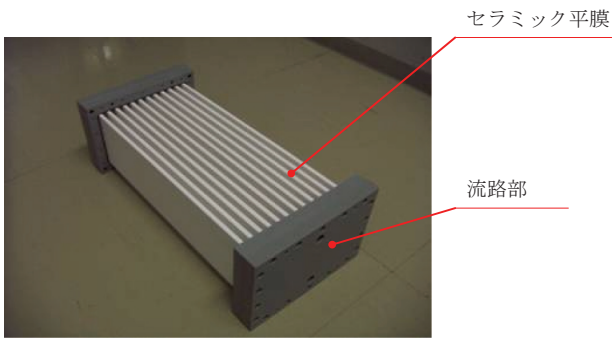


写真-1 セラミック平膜エレメント

表-1 セラミック平膜エレメント仕様

項目	仕様
種類	精密ろ過膜 (MF 膜、孔径 0.1 μm)
粒子捕捉性能	95%以上 (粒子: 0.1 μm)
初期純水透過流束	40m/日 (条件: 25℃、100kPa)
常用膜差圧範囲	-100 (逆圧洗浄時) ~100kPa
常用温度範囲	~40℃
常用 pH 範囲	2~10
膜面積	1.16m ²
寸法	W480×H160×D225mm
質量	11.1kg (湿潤)

2.3 本法の特長

セラミック平膜を用いた循環式消化脱窒型 MBR である本法は、MBR としての特長（運転管理項目が少なく維持管理が容易、省スペース、処理水質が良好かつ安定）に加え、セラミック平膜を用いることにより期待される以下の特長を併せ持つ。

- 1) 膜表面の平滑さおよび親水性により、少ない風量で膜洗浄が可能
- 2) 膜エレメントが長寿命
- 3) 膜エレメントを現状のまま保管可能
- 4) 廃棄後の膜素材（セラミック）が工業原料として再利用可能

2.4 本研究での検討項目

本法では、膜の閉塞（ファウリング）を防止するため、以下の3手段を併用して膜洗浄を行なう（図-3）。

- 1) 粗大気泡を膜下方から供給し、膜表面の付着物質に接触させてこれを剥離させる表面洗浄

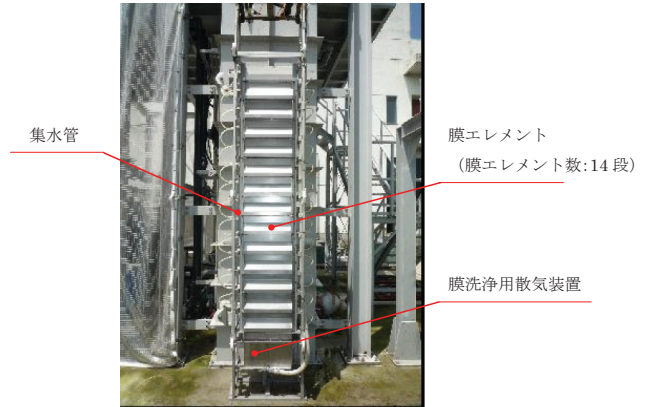


写真-2 セラミック平膜ユニット

表-2 セラミック平膜ユニット仕様

項目	仕様
膜エレメント実装数	14 個
総膜面積	16.24m ²
寸法	W650×H3,370×D305mm
質量	250kg (湿潤)

- 2) ろ過水を用い一定周期で実施する逆圧洗浄（逆洗）
- 3) 1週間に2回実施を標準とするインライン薬液洗浄

いずれも連続的に実施あるいは自動制御により実施されるため、維持管理における作業は発生しない。

本研究では、これらの膜洗浄に必要な電力および逆洗に伴うろ過水使用を抑制して処理水量当たりの維持管理費を低減するとともに、必要な処理水質を確保できる運転条件について、実証試験を通じて検討した。

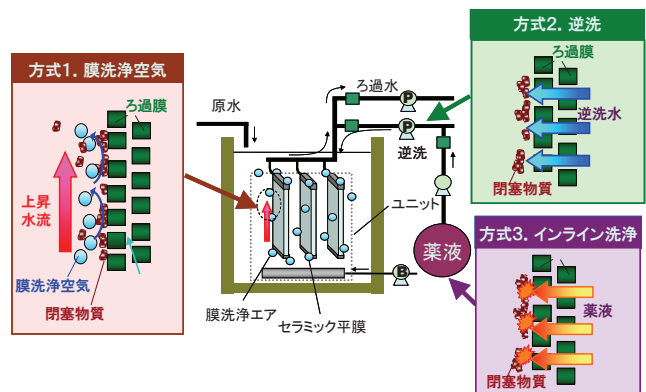


図-3 膜の閉塞を防止するための膜洗浄手段

3 実証試験

3.1 概要

国内A処理場において、実下水による実証試験（以下、本試験）を行い、年間における本法での生物処理の安定性、膜ろ過性能の安定性および省エネルギー化のための運転条件を確認した。

試験期間は平成23年5月～平成24年2月とし、好気タンク平均水温をもとに試験期間を低水温期、中水温期、高水温期に区分して、水温期毎にパラメータ試験を行なった。

3.2 試験項目

本試験では、施設の基本運転条件の一部を変更して運転し、処理水質確保の確認と省エネルギー化の最適選定を行った。基本運転条件を表-3に示す。

表-3 実証試験施設の基本運転条件

項目	設定値	設定根拠
ろ過流量	22.1 m ³ /日	下記のフラックスより計算
透過流束 (フラックス)	0.68 m/日	予備試験結果(安定ろ過実績)より設定
硝化液循環量	ろ過流量の2倍	ガイドライン*参照
ろ過/逆洗時間	ろ過時間: 9分30秒 逆洗時間: 30秒	有機膜(カタログ)を参考に、予備試験結果(安定ろ過実績)より設定
逆洗流量	順(ろ過)逆(逆洗)流量比 1:2	有機膜(カタログ)を参考に、予備試験結果(安定ろ過実績)より設定
膜洗浄空気風量	ろ過流量の10倍	予備試験結果(安定ろ過実績)より設定
曝気風量	DO 1 mg/ℓ 一定制御	硝化に必要なDO値 1~3 mg/ℓより設定
MLSS	10,000 mg/ℓ	ガイドライン*参照
インライン洗浄	2回/週(膜差圧に応じて調整)	予備試験結果(2回/週以下)より設定
オフライン洗浄	半年~1年に1回	予備試験結果(6ヶ月実施せず)より設定

※「下水道への膜処理技術導入のためのガイドライン」

基本運転条件からの変更試験として、

- 1) 逆洗の実施周期延長 (10分→15分および30分)
- 2) 膜洗浄風量の削減 (10Q→6Q)
- 3) 1) と 2) の組み合わせ
- 4) 透過流束の日間変動 (基本値の60~160%の範囲で変動)

について、条件毎に1週間継続運転する形で実施した。

3.3 水質測定結果

原水および処理水の水質の例として、低水温期（平成23年12月～平成24年2月）の測定結果を表-4に示す。

表-4 低水温期の水質測定結果

項目	低水温期 RUN 1~4 (平均好気タンク水温 14.0℃)						目標水質
	原水			処理水			
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	
BOD (mg/ℓ)	170	420	58	1	2	1	最大10以下 平均2以下
SS (mg/ℓ)	180	370	76	1未満	1未満	1未満	平均1以下
大腸菌群数 (個/100 ml)	—			不検出	不検出	不検出	不検出
T-N (mg/ℓ)	39	57	32	6.8	8.8	2.3	平均10以下
T-P (mg/ℓ)	4.1	7.8	1.8	1.4	1.9	0.8	—
濁度 (度)	—			1未満	1未満	1未満	平均2以下

各水温期において、処理水は目標水質を満足している。また最大値においても目標水質を満足していることから、各水温期中に実施した個々のパラメータ試験においても、目標水質は確保されていたことが判る。

3.4 運転条件変更試験結果

運転条件変更試験における膜差圧変化の一例として、低水温期における逆洗周期延長（周期30分）および膜洗浄風量削減（6Q）の組み合わせ試験の結果を図-4に示す。

いずれの水温期、試験項目においても、一連の試験終了時点まで顕著な膜差圧上昇（上昇分10kPa以上）は見られず、運転条件変更による膜閉塞等の影響は確認されなかった。この結果を基に余裕を考慮し、本法施設の設計条件を膜洗浄風量6Q、逆洗周期15分とした。

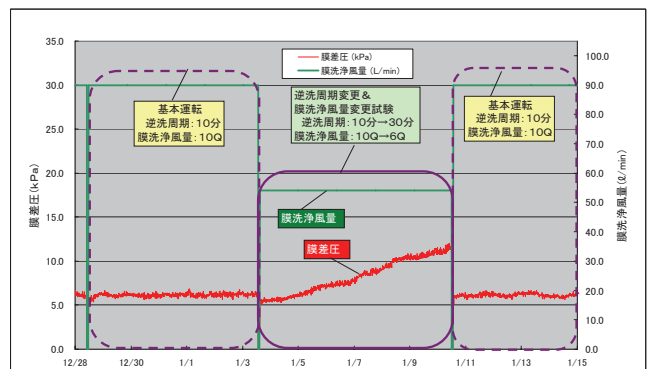


図-4 低水温期における逆洗周期延長（周期30分）および膜洗浄風量削減（6Q）の組み合わせ試験

4 既存技術との比較例

4.1 ケーススタディ

本法と従来技術の比較のため、本法および従来法により処理場を新設する場合のコスト等の検討（以下、ケーススタディ）を行った。ケーススタディ検討条件を表-5に示す。

従来法としては、今回検討する処理規模及び計画放流水質の観点から、高度処理オキシデーショナルディッチ法（以下、高度処理OD法）の後段に急速ろ過法を設け、塩素消毒を行う処理フローを検討対象とした。またケーススタディでは用地費は考慮しないものとした。なおケーススタディ検討条件においては、「下水道への膜処理技術導入のためのガイドライン（第2版）」を参考とした。

表-5 ケーススタディ検討条件

項目	検討条件	
検討対象	<ul style="list-style-type: none"> セラミック平膜を用いた膜分離活性汚泥法 水位計画：ポンプアップ後の流入水位：GL+0.5m，放流水位：-1.0m 	
検討範囲	土木躯体	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート製の躯体とし、カバーはないものとする 管廊等の機器等設置スペースも検討の範囲内とする 建築施設は検討対象外とする
	水処理設備	<ul style="list-style-type: none"> 前処理設備、生物反応設備、膜ろ過設備の他、膜分離活性汚泥法に必要なすべての付帯設備 膜分離活性汚泥法の制御盤は水処理設備に含める
	電気設備	<ul style="list-style-type: none"> 膜分離活性汚泥法を運転するための動力設備、計装設備、制御設備を検討し、受変電設備や自家発電設備、中央監視制御設備は対象外とする
	揚水ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> 検討対象外
汚泥処理	<ul style="list-style-type: none"> 検討対象外 	
処理水量	<ul style="list-style-type: none"> ① 1,000m³/日 ② 5,000m³/日 ③ 10,000m³/日 	
流量の日間変動	<ul style="list-style-type: none"> 日平均流量比1.4倍 1日に2回ピークを有し、日最大流量は8時間継続 	

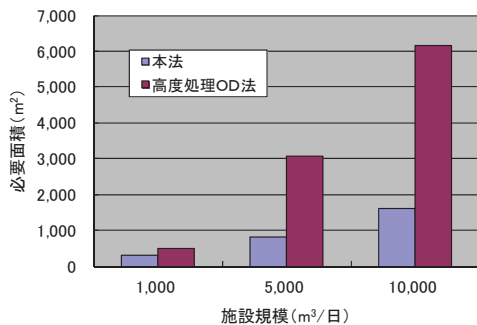


図-5 必要面積に関する本法と従来法の比較

4.2 必要面積

図-5に、必要面積に関する本法と従来法の比較を示す。本法は従来法と比較して省スペースであり、処理規模1,000m³/日では従来法の約1/2、処理規模10,000m³/日で従来法の約1/4の面積である。

敷地面積に制約のある場合には、本法は有利であることが判る。

4.3 ライフサイクルコスト

図-6に、ライフサイクルコストに関する本法と従来法の比較を示す。

ライフサイクルコストは建設費（イニシャルコストを設備毎の耐用年数で割った、年あたりの費用）、維持管理費（電力費+薬品費、年あたり）、補修費（機器費の3%）により構成される。ライフサイクルコストにおいて、本法と従来法の間には顕著な差がないことから、省スペース性の観点での優位性が確認できる。

5 まとめ

実証試験ほかによる本研究の成果を、「セラミック平膜を用いた循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法 技術資料」として整理した。

また実証試験の対象外としたが、本法施設には微細気泡散気装置や低動力型攪拌機などの省電力型の周辺機器導入によるLCC改善余地があると考えられ、今後の更なる技術開発が期待される。

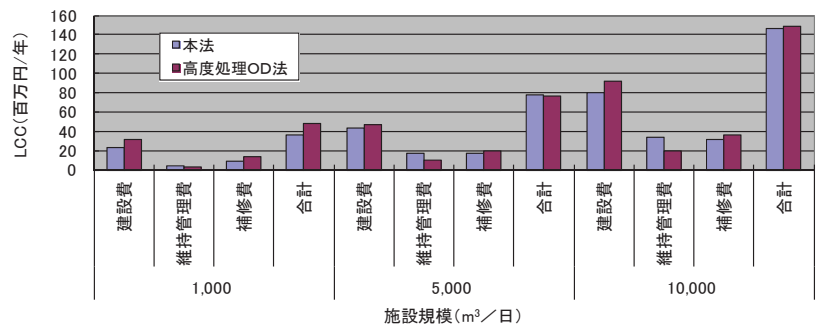


図-6 ライフサイクルコストに関する本法と従来法の比較