

# 〔特集〕震災を経て考える液体清澄化の新技術と普及の課題

## セラミック平膜を用いた水処理システム

成田 太一\*

### 1. はじめに

世界の人口増加、経済規模の拡大や都市化の進展に伴い、地球全体で水の需要が急速に高まる中、水資源の有効活用や下水の再生（再利用）が注目されている。その中で、膜を使った水処理の導入が非常に注目されている。特に下水分野において、生物処理に膜ろ過を組み合わせた排水処理方法である膜分離活性汚泥法（MBR）の普及が全世界で進んでいる。

MBR の主な特徴は以下の通りである。

①従来の活性汚泥法において、生物処理後に最終

沈殿池へ送られ、活性汚泥と上澄み水と分ける重力沈殿に代わり、固液分離を膜ろ過で行うため、固体分流出の懸念がなくなるなど活性汚泥の管理も容易となる。

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）で運転可能である。

そのため、生物処理の能力が高くなるため、反応槽を小容量化でき、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可能である。したがって、小規模な処理施設に向いている。

③膜ろ過することで浮遊物（SS）だけでなく大腸菌まで除去可能である。そのため、再利用に適した清澄な処理水が得られる。

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）の問題がある。このファウリングを抑制するため、曝気や膜表面での流速確保を常に保つ必要があるため、ランニングコストが高くなるといった膜特有の問題も抱えている。

そこで、われわれは長年培ってきたセラミックの

\*Taichi NARITA：(株)明電舎

水環境事業部 膜・水処理プラント部 研究開発 第二課  
E-mail : narita-ta@mb.meidensha.co.jp

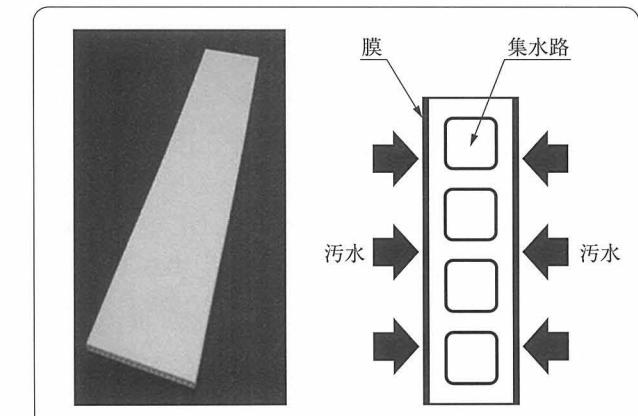


図1 セラミック平膜 — 図2 セラミック平膜断面 —

表1 セラミック平膜基本仕様

項目	標準仕様
膜種類	精密ろ過膜（MF）
材質	$\alpha$ -アルミナ（陶磁器：有田焼、九谷焼、耐熱レンガ）
公称孔径	0.1 $\mu\text{m}$
初期純水透過流束	40 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ at 25°C, 100 kPa
粒子捕捉性能	95% 以上 at 0.1 $\mu\text{m}$ 標準粒子, 100 kPa
使用条件	圧力：-100~100 kPa 温度：-20~60°C pH: 3~11

技術を応用することにより、セラミック平膜を開発した。

### 2. セラミック平膜の特徴

一般に水処理用の膜では、分離する物質により膜の種類が次のように分類される。

- ①精密ろ過膜（MF）…固液分離が対象（大腸菌など）
- ②限外ろ過膜（UF）…中・高分子が対象（ウイルスなど）
- ③逆浸透膜（RO）…イオンが対象（ $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ など）

表2 基本運転条件

基本運転条件	
処理水量	50 m <sup>3</sup> /d (Flux 1.0 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·d))
ろ過/逆洗時間	14.5 分/0.5 分
膜洗浄風量	ろ過流量の 6 倍~10 倍
MLSS 濃度	8,000~12,000 mg/L
好気槽 DO	1.0 mg/L 一定制御

④ナノろ過膜 (NF) …UF 膜と RO 膜の中間 (硬度成分, 農薬など)

セラミック平膜は、精密ろ過膜 (MF) に属する。

セラミック平膜の外観写真を図1にセラミック平膜断面を図2に示す。内部基板として透水性の良いセラミックで固め、外表面に内部基板より目の細かいセラミックで覆われた二層構造である。外表面すべてがろ過膜として機能し、膜の孔径は、0.1 μm である。内部にチューブ状の空洞があり、集水路として機能する。この集水路すべて集水管つなぎ取水口を取り付け、汚水中に浸漬し、吸引することで清澄な水が得られる。セラミック平膜の標準仕様を表1に示す。

セラミック平膜の特長は次の通りである。

- ①物理的強度・耐薬品性に優れ、逆洗・薬液洗浄の他、高圧洗浄機を用いた洗浄もでき膜ろ過性能を良好に回復可能
- ②セラミックの表面は非常に滑らかなため、ファウリングしにくくかつ、固体物を剥がしやすい

ため膜洗浄風量の削減が可能

- ③保存に特殊な配慮（保存液への浸漬等）が不要であり、長期間容易に保存可能
- ④使用済み膜は、廃棄・産廃処分することなく、窯業材料等へリサイクル可能

これらの特性を組み合わせることにより、セラミック平膜を用いた MBR では従来システムと比較してより高効率な膜処理を実現することが可能である。

### 3. セラミック平膜を用いたプラント事例と概要

#### 3-1. プラント事例と概要

セラミック平膜を用いた MBR の実都市下水での検証のため、国内外の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行っている。ここでは、今回は国内のプラントにて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結果について報告する。検証を行った基本運転条件を表2に、プラントフローを図3に示す。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、そのうち好気槽にセラミック平膜を浸漬させている。処理対象の原水は、実処理場の最初沈殿池流入渠から取水し、1 mm 幅のスクリーンにより夾雑物を除去したものである。生物反応槽は、有機物に加え窒素除去を目的とした循環式硝化脱窒法を採用している。無酸素槽では水中搅拌機で搅拌のみを行い、好気槽で

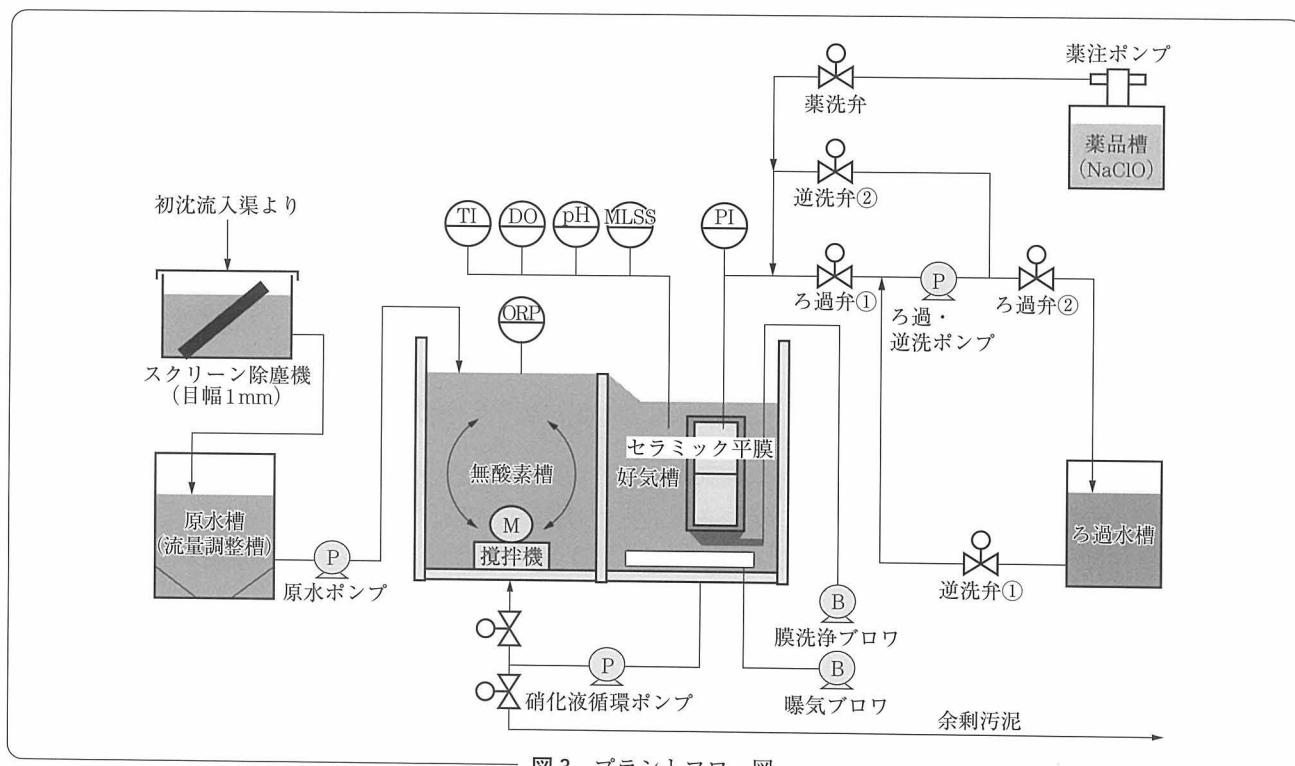


図3 プラントフロー図

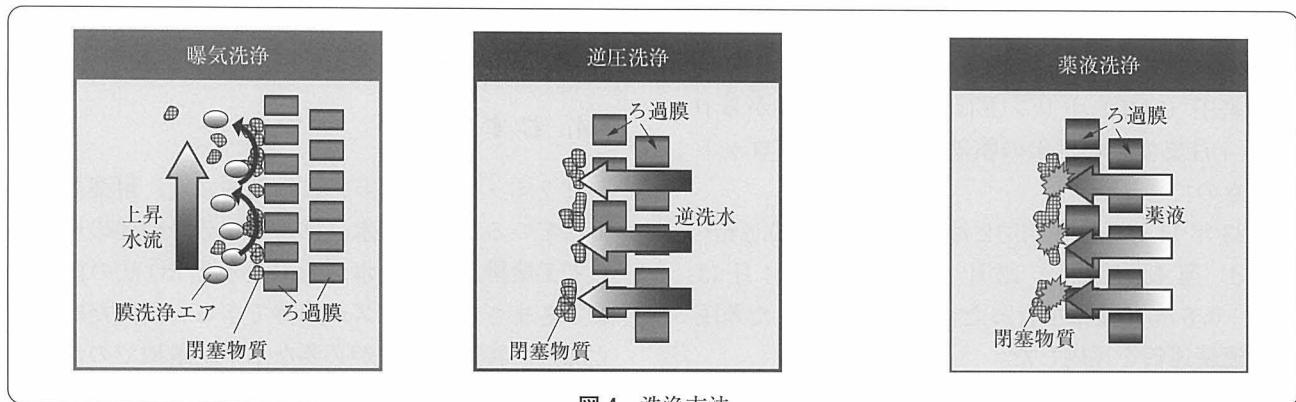


図4 洗浄方法

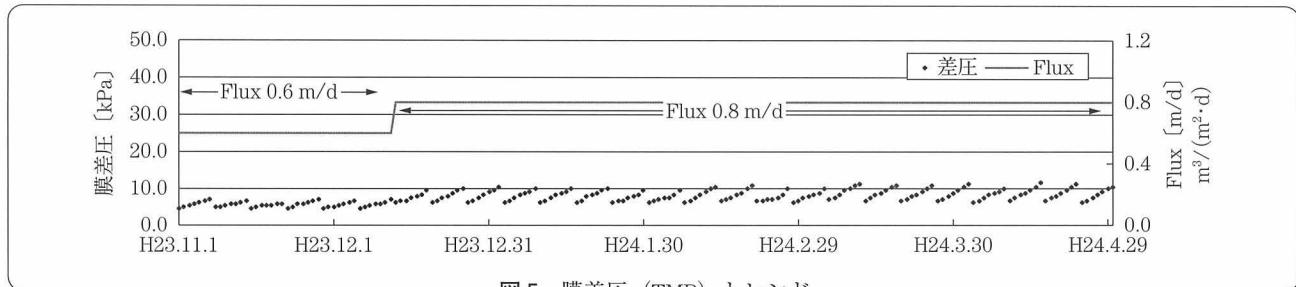


図5 膜差圧 (TMP) トレンド

表3 水質分析

項目	原水			ろ過水		
	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値
SS [mg/L]	201	460	76	<1	<1	<1
BOD [mg/L]	214	620	58	3	10	1
COD [mg/L]	129	190	35	5	8	4
T-N [mg/L]	23.7	57.0	15.0	8.2	16.0	2.7
T-P [mg/L]	4.7	7.8	1.8	1.2	2.9	0.1
濁度 [度]	—	—	—	<1	<1	<1
色度 [度]	—	—	—	7	9	4
大腸菌 [cfu/100 mL]	—	—	—	<10	<10	<10

は散気装置により攪拌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。

好気槽に浸漬しているセラミック平膜は、複数枚のセラミック平膜をモジュール化したユニット構造をとり、上下に積層したものである。プラントには、2ユニット設置されており、それぞれが異なる運転条件で検証可能なように設計した。

セラミック平膜ユニットの取水口を集合させた先にろ過ポンプを設置し、吸引ろ過を行う。先に述べたように、吸引ろ過し続けるとファウリングを起こす。それを、抑制するため、日常的な洗浄方法として「曝気洗浄」「逆圧洗浄（逆洗）」「薬液洗浄」の三つがある（図4）。

「曝気洗浄」は、ろ過処理中にセラミック平膜ユニット下部に設置された散気装置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抑制を図るものである。このため送風機は、曝気プロワとは独立した膜洗浄プロワを用いる。「逆圧洗浄（逆洗）」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、ろ過膜の閉塞および狭窄の抑制を図る。これは、セラミック膜の物理的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、1週間に1回1,000 mg/Lの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。そのため、薬液注入装置を有している。

### 3-2. 結果と考察

プラントにて連続運転を実施し、水質分析を表3に膜差圧（TMP）トレンドを図5に示す。

水質分析結果は、H23年11月からH24年4月までの約半年の平均値と最大値、最小値である。ろ過水中のSS（固体分）は一度も検出されなかった。さらに、ろ過水の平均水質は濁度1度未満、色度10度以下、大腸菌は不検出であった。この値は再生水水質基準を十分満たしている。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ており、実処理場と遜色ない安定運転を達成した。T-N（全窒素）も安定的に除去できて

おり、循環式硝化脱窒法としての機能も十分に發揮されていた。

膜差圧 (TMP) トレンドは、H23年11月からH24年4月までの約半年の膜差圧とFluxをプロットしたものである。

H23年11月～H23年12月 半ば Flux: 0.6 m<sup>3</sup>/ (m<sup>2</sup>·d) 運転。H23年12月半ば～H24年4月は Flux: 0.8 m/d 運転を行ったが、共に安定した差圧での連続運転を達成した。

以上から次の結果を得た。

- ①セラミック平膜を用いたMBRでの水質は、再生水水質基準レベルである。
- ②破断や劣化もないセラミック平膜の特性が、長期安定な結果となった。
- ③周期的な洗浄のみで安定運転を達成した。

これらは、セラミック膜の特性を活かした洗浄方法を組み合わせたことによる成果である。

#### 4. むすび

セラミック平膜は非常に物理的強度、耐薬品性に優れているため、下水、排水処理分野の他の用途として工業排水、再生水、海水淡水化RO法の前処理などさまざまなニーズが期待できる。国内だけでなく海外、特に再生水が必要な水不足地域での活用が期待できる。今後セラミック平膜の特長の生かせる広い分野で適用を広げていく予定である。

#### 〈参考文献〉

- 1) 新井喜明：セラミック平膜を用いた膜分離活性汚泥システム、水と水技術（2012）

#### 情報ファイル

#### アルファ・ラバル、新型のデカンタ（遠心脱水機）を日本発売開始 —環境への配慮・省電力を実現した新世代デカンタ—

アルファ・ラバル(株)(本社：東京都港区、代表取締役社長：ヤン・ヘデマン)は、新型のデカンタ（遠心脱水機）「ALDEC G 3」の発売を2012年6月より開始した。

本機は、連続処理や臭気対策といったデカンタのメリットを備え、さらに従来機と比較して、CO<sub>2</sub>排出量の大幅低減につながる電力消費の削減やスラッジの処理能力の向上、脱水度の向上やプロセス制御の向上といった特長がある。これらにより従来のデカンタのマーケットだけでなく、他方式の脱水機の代替として利用することも可能となり、今日までに水処理プラント／産業廃棄処理プロセス／食品プロセス／化学プロセス等、幅広い産業で支持されている。

主な特長は、次の通りである。

##### (1) 環境への貢献

①持続可能な環境に大きく貢献するために、斬新な設計により、電力消費量を最大40%削減することに成功した。

②分離効率は最適化されるので、ポ

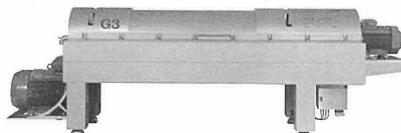
リマーは適切に混ぜられ、スラッジは効率的に脱水の為の力を受け、高い脱水率で排出される。つまり、廃棄物の処理量が、今までのデカンタやその他の方法と比較して削減される。

##### (2) 高いパフォーマンス

①ALDEC G 3 の斬新な設計により、ボウル壁面の耐圧性を高められるため、脱水ケーキの高い脱水性を実現し、ポリマー使用量の削減とクリーンな清澄液を排出する。

②従来機の同サイズと比較した場合、スラッジの処理量はおよそ10%向上させた。

③高分離効率で多量のスラッジを処理するには、高いトルクと適切な制御のどちらも不可欠であるが、ALDEC G 3 デカンタは、どちらも同時に可能にした制御システムを使用することにより、高い性能と省電力を実現した。



④32 ドライブシステムはボウル回転数とコンベア回転数を独立して可変のため、迅速かつ正確な制御を実現し、それぞれの用途や要望に応えることが可能である。

##### (3) イニシャルコスト・メンテナンスコストの削減

①スラッジ 1 m<sup>3</sup>当たりの処理に要する消費電力を 0.5 kWh に抑え、CO<sub>2</sub>排出量の削減に貢献する。

②ALDEC G 3 は脱水度の高いケーキを排出できるので、廃棄するスラッジの量は減少し、廃棄にかかるコストを抑えることができる。またポリマーの消費量も、同様に最小に抑えられる。

③同社のデカンタは長期にわたって使用可能な製品である。

④ALDEC G 3 は、据付のための動力設備も小さくてすむ。