

セラミック平膜を用いた浸漬型膜分離活性汚泥法（MBR）の省エネルギー化・合流対応の研究

打林真梨絵 Marie Uchibayashi
豊岡和宏 Kazuhiro Toyooka
新井喜明 Yoshiaki Arai

キーワード 高度浄水処理, 省エネルギー

概要



MBR実験プラント

MBR (Membrane Bioreactor) の更なる導入促進を図る上で、中・大規模の合流式下水道への適用と、消費エネルギー削減が課題になっている。飯能市と㈱明電舎は、2012年度から地方共同法人 日本下水道事業団 (JS) との共同研究「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。本共同研究では、これらの課題を解決することを目的として、セラミック平膜を用いた浸漬型MBRの合流式下水施設への適用と消費電力0.4kWh/m³以下を目標としたMBRの省エネルギー化に関する研究開発を実施する。

1 まえがき

MBR (Membrane Bioreactor) には、中・大規模下水処理場への普及に向けていくつかの課題がある。その中で、特に重要な省エネルギー対策や合流式下水道への適用について、当社は地方共同法人 日本下水道事業団 (JS) 及び飯能市と共同研究を行っている。本稿では、共同研究の試験結果について紹介する。

2 セラミック平膜とMBR

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。その主な特長として、以下の点が挙げられる。

(1) 最終沈殿池が不要で省スペース

(2) 処理水に大腸菌群がほとんど検出されない

セラミック平膜は、堅ろうで物理的・化学的な耐久性が高く、高流量のろ過や効率的な洗浄を行えるため、長期間にわたり安定したろ過性能と処理水質を得ることができる。セラミック平膜は、細孔径0.1 μ mの精密ろ過膜 (MF膜; Micro Filtration膜) である。本セラミック平膜は基材の上にアルミナを主成分とするろ過膜を厚さ数十 μ mで積層している。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。セラミック平膜を汚水中に浸漬し、集水路に集水管をつないで取水口を取り付け、ポンプで吸引することで清澄なる過水が得られる。

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

第 1 表 セラミック平膜エレメント基本仕様

セラミック平膜エレメントの基本仕様を示す。

項目	仕様
粒子捕捉性能	95%以上 (粒子: 0.1 μ m)
初期純水透過性能	40m/d (25 $^{\circ}$ C, 100kPa)
寸法	W280 \times H1046 \times D12mm
質量	2.2kg (乾燥)

用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。第 1 表にエレメントの基本仕様を示す。

3 研究開発の概要

3.1 目的と目標

本研究の目的は、MBR 運転に係るエネルギーの削減(省エネ)と合流式下水道への適用である。水温の変動によって生物反応槽内の生物相や水の粘度が変化し、ろ過に影響を及ぼすため、好気槽の水温 25 $^{\circ}$ C 以上を高水温期、18 \sim 25 $^{\circ}$ C を中水温期、13 \sim 18 $^{\circ}$ C を低水温期としてそれぞれ試験を行う。

(1) MBR の省エネ 2011 年 5 月から 2012 年 2 月にかけて、当社は特例財団法人 下水道新技術推進機構との共同研究で、省エネルギー化の検討を実施した⁽¹⁾。第 2 表に MBR 実験プラントの運転条件を示す。本研究では、特に膜洗浄風量に着目した。この結果、膜洗浄風量を 50% 削減し、単位電力消費量 (1m³ の下水を処理するのに必要な電力量) を 0.75kWh/m³ から 0.61kWh/m³ まで 18% 削減した。本研究では更なる省エネによって、単位

第 2 表 MBR 実験プラントの運転条件

本実験における運転条件を示す。

項目	仕様
処理水量	27 \sim 36m ³ /d
ユニット膜面積	20m ²
フラックス	0.54 \sim 0.72m/d
生物処理方式	循環式硝化脱窒法
循環流量	ろ過流量の 2 倍
ろ過/逆洗時間	9.5 分 / 0.5 分
逆洗流量	ろ過流量の 1 \sim 2 倍
インライン洗浄	次亜塩素酸ナトリウム 1000mg/L
好気槽 DO	1.0mg/L
好気槽 MLSS	5000mg/L

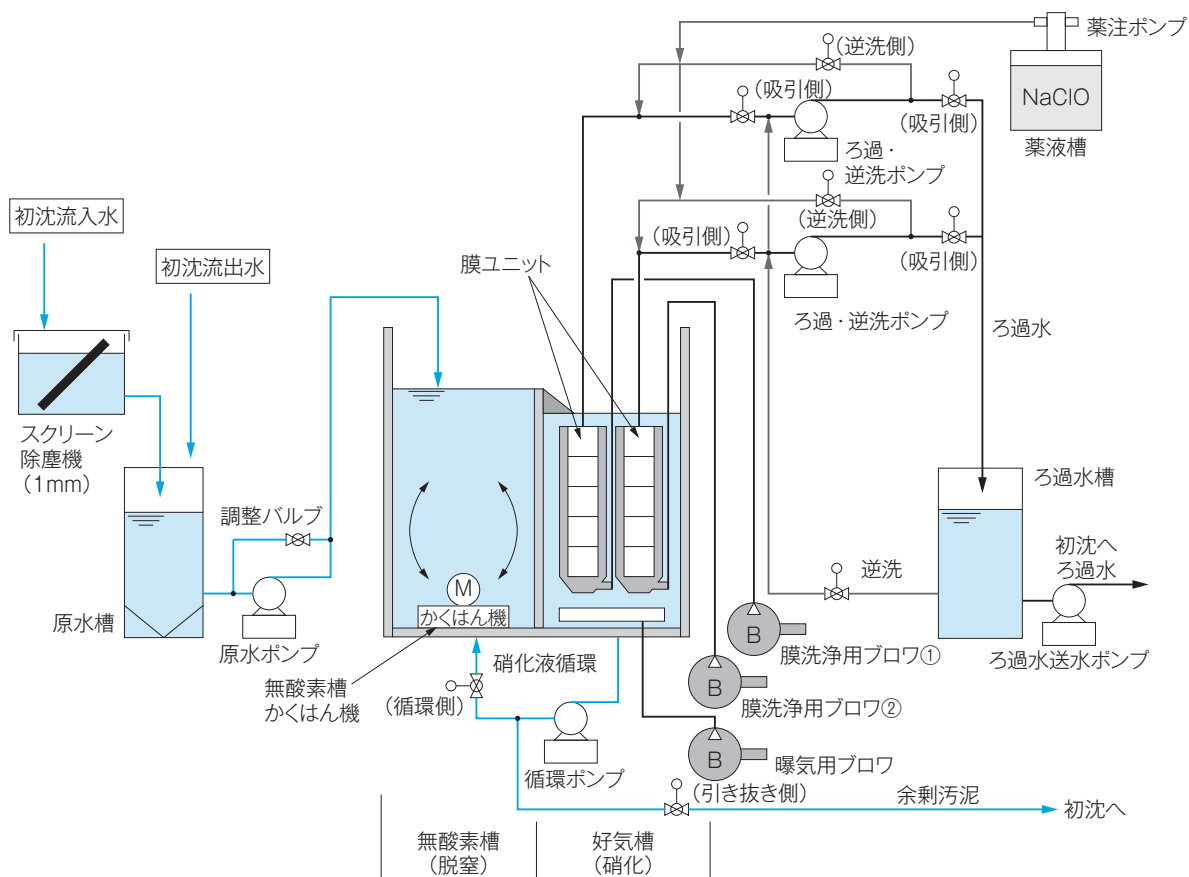
電力消費量の目標を 0.4kWh/m³ に設定して MBR の制御方法を構築する。

(2) 合流式下水道への適用 合流式下水道では、雨天時は雨水も加わるので晴天時に比べて下水処理場への流入下水水量が増大する。最終沈澱池で固液分離を行う場合、流量が増すと水面積負荷が増大し、固液分離性能が低下するのに伴い、懸濁物質 (SS : Suspended Solid) 及び大腸菌群の除去が低下することも考えられる。一方、MBR で流入量が増えたときにろ過フラックス (単位時間あたりに膜面積を透過する物質の体積) を高くすることができれば、雨天時も十分に固液分離を行うことができる。これによって簡易放流や直接放流の回数が減り、公共用水域へ排出される有機物負荷量を低減することができる。

本研究では、雨天時における膜フラックスを晴天時の 2 倍まで上げることと、最大フラックス継続時間の最大化について検証を行う。

3.2 MBR 実験プラント概要

一部合流式の下水道施設である飯能市浄化センター (埼玉県) 内に実験プラントを設置し、実証試験を実施している。第 1 図に実験プラントフローを示す。実験プラントの生物反応槽には無酸素槽と好気槽があり、循環式硝化脱窒法によって生物化学的酸素要求量 (BOD : Biological Oxygen



第 1 図 MBR 実験プラントフロー

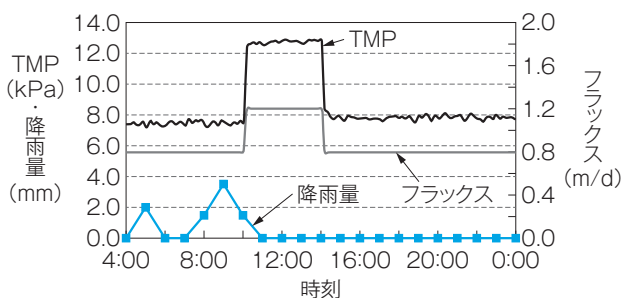
処理対象原水の流入から処理過程の全体を示し、膜の設置位置を表す。

Demand) と窒素を同時に除去できる。膜ユニットは、好気槽に浸漬させている。膜の日常的な洗浄には主に「エア洗浄」と「逆圧洗浄 (逆洗)」の 2 つがある。膜面曝気洗浄は、ろ過処理中に膜エレメント下方から粗大気泡を放出して、気泡を膜表面に接触させながら浮上させるものである。膜表面への汚れ付着を抑制し、また汚れを除去するもので、MBR では一般的に用いられている。このための送気は、活性汚泥への酸素供給を目的としたブロワとは独立した膜洗浄ブロワを用いる。逆洗は、ろ過水を一時的に逆流させることで、膜面の付着物質を除去するもので、ろ過膜を閉塞から回復させる。これはセラミック平膜の物理的な強度を生かした洗浄方法である。これらに加え、一定の条件を満たした場合には、インライン洗浄を行う。インライン洗浄は、次亜塩素酸ナトリウム水溶液で通常逆洗より長時間低フラックスで逆洗する方法である。膜面の付着物質を分解又は剥離

させ、ろ過膜の閉塞からの回復を図る。

3.3 実験方法及び評価方法

- (1) MBR の省エネ 活性汚泥への酸素溶解効率 は、MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid) 濃度が低下するにつれて上昇する傾向にある⁽²⁾。つまり、好気槽の MLSS 濃度を低くすることによって、低風量で DO 濃度 (溶存酸素濃度) を高く保つことができる。そこで、MLSS を約 5000mg/L とし、生物処理に必要な空気量と膜洗浄風量の運転条件を検証した。さらに、実処理場に導入した場合の消費電力量削減効果を、本研究から得られたケーススタディとして報告する予定である。
- (2) 合流式下水道への適用 雨天時を想定してフラックスを上げ、実処理場に導入した場合の汚濁負荷低減効果を評価する。また、試験前・中・後の好気槽及び処理水の水質を調べることで、負荷増加時の処理機能に問題がないことを検証した。



第2図 フラックス1.5倍流量試験時（継続時間4時間）TMPの様子

試験終了後、TMPが実験前とほぼ同等まで回復していることが分かる。

分析項目は、BOD・SS・全窒素（T-N：Total Nitrogen）・アンモニア態窒素（NH₄-N）・全リン（T-P：Total Phosphorus）・大腸菌群数とし、好気槽活性汚泥のろ紙ろ過量についても併せて測定した。分析方法は、下水試験方法に準拠した。

3.4 実験結果及び考察

(1) MBRの省エネ 中水温期に削減風量での運転を1週間実施した。膜差圧（TMP：Trans Membrane Pressure）の上昇率は12kPa/週であった。試験後、インライン洗浄を行ったところ、差圧は実験前の初期圧まで回復した。このことから、1週間は安定運転ができていると言える。1週間以上の安定運転条件は、現在検討中である。

(2) 合流式下水道への適用 中水温期にフラックスを1.5倍に上げて、雨天時における膜フラックスの許容できる最大値と継続時間の検証を行った。第2図にフラックス1.5倍流量試験時（継続時間4時間）TMPの様子を示す。TMPは試験中に大きく上がったが試験後は試験前とほぼ同等まで回復した。また、第3表にこの時の水質分析結果を示す。原水の水質と試験前・試験中（試験開始2時間後）・試験後（試験終了1時間後）の処理水質、好気槽活性汚泥のろ過性の指標であるろ紙ろ過量を調べた。試験前後で処理水質は安定しており、問題となる値は測定されなかった。一方、ろ紙ろ過量は10mL/5min以上を本研究の基準値

第3表 水質分析結果

試験時の水質一覧を示す。ろ過水質が安定していることが分かる。

	原水	原水 (S)*	試験前ろ過水	試験中ろ過水 (試験開始2時間後)	試験後ろ過水 (試験終了1時間後)
BOD (mg/L)	160	34	1	1	1
SS (mg/L)	190	—	<1	<1	<1
全窒素	26	22	6.2	4.5	4.3
NH ₄ -N	—	11.36	0.09	0.07	0.07
全リン	3.9	2.4	2.1	1.9	1.9
大腸菌群数 (個/100mL)	—	—	<10	<10	<10
			試験前好気槽	試験中好気槽	試験後好気槽
ろ紙ろ過量 (mL/5min)	—	—	34	30	31

* (S) は溶解性成分を示す。

としているが、試験中・試験後ともに基準値をクリアしている。これらのことから、中水温期のフラックス1.5倍運転は、安定的な運転を行っていると言える。

4 むすび

省エネ運転は、好気槽MLSS約5000mg/Lにおける膜洗浄風量削減運転の実証段階であり、生物処理に必要な空気量の削減に関しては、今後の検討課題としている。今後は生物処理に必要な空気量を考慮した曝気風量を検討し、目標である消費電力0.4kWh/m³達成を目指していく。

合流式下水道への適用については、中水温期でフラックスを1.5倍運転にすることで、安定した運転ができることを実証した。今後は、本研究の目標であるフラックス2倍としたときの運転条件を、それぞれの水温期で最適化していく。

・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。

《参考文献》

- (1) 特別財団法人 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型膜分離活性汚泥法技術資料」，2012.3
(2) 地方共同法人 日本下水道事業団：「膜分離活性汚泥法の技術評価に関する第2次報告書－MBRの適用拡大に向けて－」，2013.4

《執筆者紹介》



打林真梨絵
Marie Uchibayashi

水・環境事業部技術部
水処理関連技術・製品の企画開発に従事



豊岡和宏
Kazuhiro Toyooka

水・環境事業部技術部
水処理関連技術・製品の企画開発に従事



新井喜明
Yoshiaki Arai

水・環境事業部技術部
水処理関連技術・製品の企画開発に従事
