

〈研究発表〉

セラミック平膜を用いた浸漬型 MBR の実証プラントの長期運転結果

打林 真梨絵¹⁾, 新井 喜明¹⁾, 宮崎 好弘²⁾
 佐野 勇²⁾, 山下 喬子³⁾, 橋本 敏一³⁾

¹⁾ ㈱明電舎 水・環境システム事業部 戦略企画部
 (〒141-8616 東京都品川区大崎5-5-5 E-mail: uchibayashi-m@mb.meidensha.co.jp)

²⁾ 飯能市 (〒357-8501 埼玉県飯能市大字双柳1-1)

³⁾ 日本下水道事業団 (〒113-0034 東京都文京区湯島2-31-27 湯島台ビル)

概要

現在、膜分離活性汚泥法 (MBR) の導入促進を図る上で、省エネルギー化や合流式下水道への対応が課題となっている。これらの課題解決に向け、日本下水道事業団・飯能市・株式会社明電舎の3者は2012年度より共同研究を実施した。本稿では省エネ化の目標を達成する運転条件の実証を目的とした実証プラントでの長期連続運転における膜ろ過状況や処理性能、ならびに、リン除去を目的とした同時凝集試験、衛生学的指標の除去性能について報告する。

キーワード：セラミック平膜、MBR、省エネ、同時凝集、ノロウイルス

原稿受付 2016.7.11

EICA: 21(2・3) 43-46

1. はじめに

膜分離活性汚泥法 (以下、MBR: Membrane Bioreactor) の更なる導入促進を図る上では、今後、主として中大規模の既設下水処理場の改築や増設における導入が想定されることから、消費エネルギー量のより一層の削減や、合流式下水道への対応が課題となっている。これらの課題の解決に向け、日本下水道事業団・飯能市・㈱明電舎の3者は、2012年度から2015年度にわたり、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——」を実施した。本研究では、セラミック平膜を用いた浸漬型 MBR システム (以下、「本 MBR システム」) について、処理水量 1 m³ あたりの消費電力量 0.4 kWh 以下を目標とした省エネルギー化、ならびに、合流式下水道への対応を目的とした。

本稿では、省エネルギー化の目標を達成する運転条件の実証を目的とした実証プラントでの長期連続運転における膜ろ過状況や処理性能、ならびに、リン除去を目的とした同時凝集試験、衛生学的指標の除去性能について報告する。

2. 実験方法

本 MBR システムの実証プラントを、一部合流式下水道施設である飯能市浄化センター (埼玉県) 内に設置した。Fig. 1 に実証プラントのフローを、Table 1 に

実証プラントの仕様を示す。運転の基本条件は、2014年4月から2014年6月にかけて最適運転条件検証試

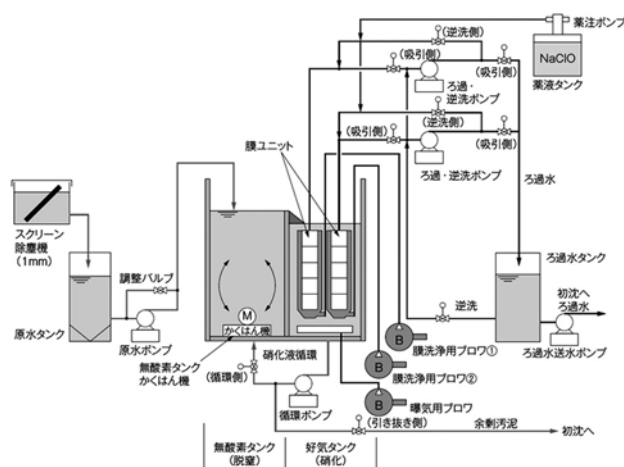


Fig. 1 Plant Flow Diagram

Table 1 Plant Specifications

生物処理方式	循環式硝化脱窒法	
膜設置方法	浸漬型 (一体型)	
プラント原水	最初沈殿池 (初洗) 越流水	
運転条件 (基本条件)	HRT	無酸素タンク: 3hr 好気タンク: 3hr
	循環比	3
	MLSS 濃度	8,000mg/L
	フラックス	0.54m ³ /(m ² ・日)
	膜洗浄風量	0.24m ³ /(m ² ・hr)
膜仕様	種類	精密ろ過膜 (MF 膜)
	素材	セラミックス
	形状	平膜
	公称孔径	0.1 μm

験を行い、省エネルギー化に対応できる値を設定した。

本プラントでは飯能市浄化センターの日間流入水量変動を模擬し、基本フラックス（変動比=1）を $0.54 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{日})$ として 0.6~1.4 倍までフラックスを変動させた。プラントの機器の運転限界値を考慮して、膜差圧の安定運転の目安を 30 kPa とし、これを超えた際は強制的にインライン薬液洗浄（次亜塩素酸ナトリウム、濃度：1,000 mg/L、薬液洗浄時間 1 時間）を行った。

本プラントにて 2016 年 6 月から 2016 年 3 月まで長期連続運転を行った。うち、2015 年 8 月から 10 月にはリン除去を目的とした凝集剤（PAC）による同時凝集試験を行った。アルミニウム添加濃度は 2015 年 8 月から 9 月は 6.40 mg/L、2015 年 9 月から 10 月は 9.15 mg/L の条件で行った。なお、ろ過ポンプの故障や飯能市浄化センターの初沈運用変更に伴いプラントの運転を停止、再立ち上げを行った時期もあった。

また、処理性能を評価するため原水および処理水のコンジット採水（毎週月曜日 10 時から火曜日 9 時まで 1 時間ごとの試料を等量で混合し、分析試料とした）を行い BOD、SS、T-N を測定した。ろ過性能の指標としては、毎週火曜日 10 時に好気タンク汚泥のろ紙ろ過量（50 mL の活性汚泥をろ紙（5 種 C（JIS P 3801））でろ過し、5 分間で得られるろ液量）の測定を行った。さらに、衛生学的指標として、処理水中の大腸菌群数や大腸菌数を測定するとともに、冬季には原水・処理水のノロウイルスの測定を実施した。なお、水質および衛生学的指標の分析は、いずれも下水試験方法に準拠した¹⁾。

3. 結果および考察

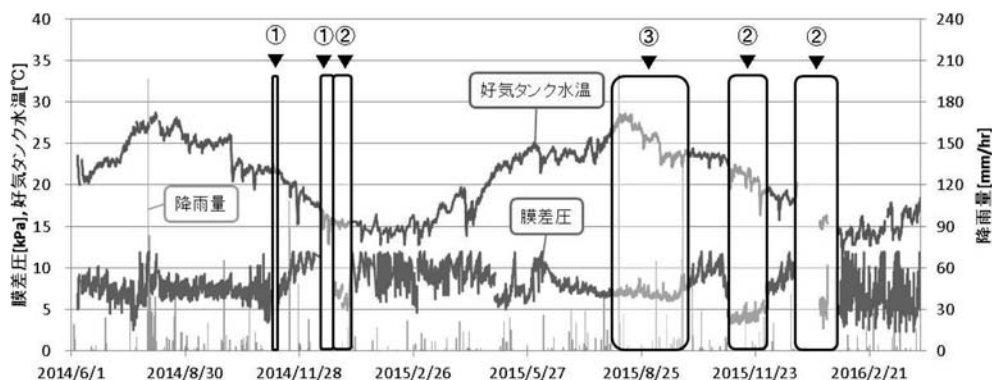
3.1 長期連続運転結果

Fig. 2 に長期連続運転期間中の膜差圧、好気タンク水温および降雨量の推移を示す。膜差圧は、全運転期間中 30 kPa を超えることなく推移しており、雨天時における急激な水温低下（平均 -2°C 低下）の影響を受けず、水温の低い冬季（1 月~3 月：平均 15.3°C 、最低 13.2°C ）であっても安定した運転を行うことができた。また、ろ紙ろ過量は、**Fig. 3** に示す通り概ね $10 \text{ mL}/5 \text{ min}$ 以上（平均約 $24 \text{ mL}/5 \text{ min}$ ）であり、汚泥のろ過性は良好であった。

Table 2 に長期連続運転期間中の水質分析結果を示す。なお、処理水については、凝集剤添加の有無により区別して示した。また、**Fig. 4** に BOD 濃度と除去率、**Fig. 5** に T-N 濃度と総合窒素除去率の年間の推移を示す。

処理水の BOD、T-N の濃度は全運転期間中いずれも設計値以下となり、その平均値は、BOD は検出下限値（1 mg/L）未満、T-N は 6.6 mg/L であった。また、処理水の SS 濃度は、全て検出下限値（1 mg/L）未満であった。

BOD 除去率は、処理水質が検出限界値未満の場合の濃度を 0 として算出すると、全運転期間中 95% 以上で推移し、平均は 99.6% であった。また、T-N 除去率（総合窒素除去率）は 70%~95% の間で変動したが、平均では 82.8% であった。



①：ろ過ポンプ故障によるプラント停止 ②：飯能市浄化センター運用変更 ③：凝集剤添加期間

Fig. 2 Transition of Transmembrane Pressure, Temperature in Aerobic Tank and Precipitation during Operation Period (2014/6 to 2016/3)

Table 2 Water Quality of Plant Influent and Effluent during Operation Period: Min. to Max. (Average)

項目	原水(初沈越流水)		処理水		
	設計値	測定値	設計値	測定値	
				凝集剤添加無し	凝集剤添加有り
BOD [mg/L]	120	26~140(83)	≤3.0	<1~2(<1)	<1~1(<1)
SS [mg/L]	100	32~160(75)	<1	<1	<1
T-N [mg/L]	30	13~89(31)	≤10	1.8~9.6(6.6)	3.6~7.4(5.9)
T-P [mg/L]	3.0	1.5~7.7(4.7)	≤0.5	1.5~6.7(3.2)	0.06~1.5(0.38)

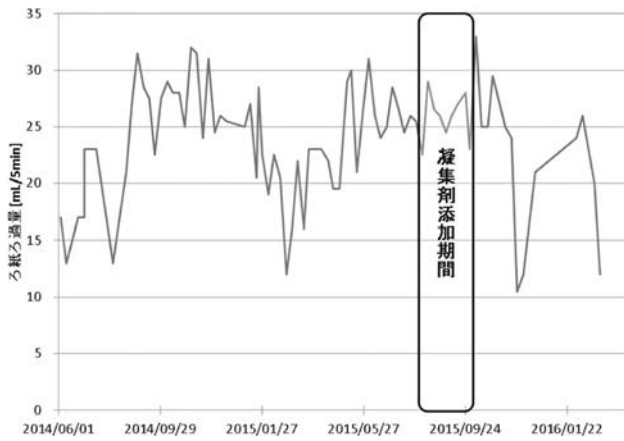


Fig. 3 Transition of Paper Filtration Measurement

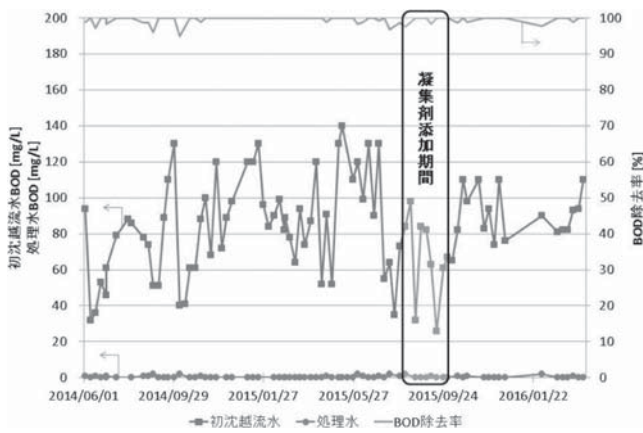


Fig. 4 Transition of BOD Concentration and Comprehensive BOD Rejection Ratio

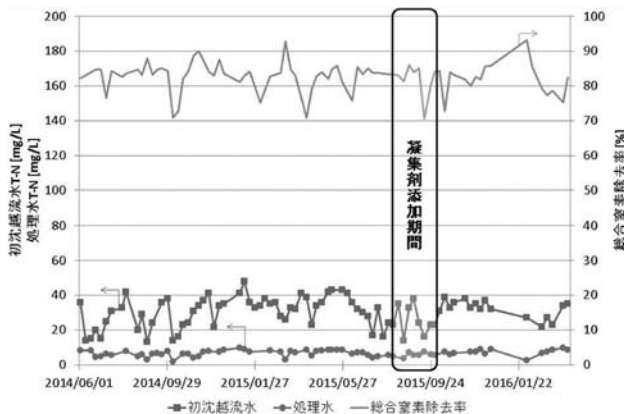


Fig. 5 Transition of T-N Concentration and Comprehensive Nitrogen Rejection Ratio

3.2 同時凝集試験結果

同時凝集試験期間中の膜差圧は、Fig. 2中に③で示す通り、安定して推移しており、凝集剤添加による膜ろ過運転への影響は認められなかった。また、Fig. 3に示す通り、ろ紙ろ過量への影響も認められなかった。

Table 2に示した通り、凝集剤添加をしていない期間（凝集剤添加無し）における処理水のT-Pの平均は3.2 mg/L、凝集剤添加をした期間（凝集剤添加有り）は平均0.5 mg/L以下であった。また、凝集剤添加をした期間の処理水BODの平均値は1 mg/L未滿、SSの平均値は1 mg/L未滿、T-Nの平均値は5.9 mg/Lとなっており、凝集剤添加による影響は見られなかった。

3.3 衛生学的指標の除去性能

Table 3に長期連続運転期間の大腸菌群および大腸菌の測定結果を示す。運転期間中、計87回の分析を行ったが、処理水中の大腸菌群および大腸菌は全て検出限界未滿であった。

インライン洗浄による除去性能への影響を確認するために、洗浄直後の大腸菌群数を経時的に測定した。Table 4に示す通り、大腸菌群は全て検出限界未滿であり、インライン洗浄による除去性能への影響は認められなかった。

また、膜孔径(0.1 μm)よりも小さいウイルスの除

Table 3 Numbers of Coliforms and E. coli Bacteria

項目	処理水	
	スポット	コンポジット
大腸菌群数 [個/100mL]	<10	<10
大腸菌数 [MNP/100mL]	<1.8	<1.8

スポット:毎週火曜日 10時採水
コンポジット:毎週月曜日 10時から火曜日 9時まで1時間毎等量採水の混合物を分析

Table 4 Number of Coliforms Just after In-line Chemical Cleaning

	大腸菌群数 [個/100mL]
0分後(直後)	<10
1分後	<10
2分後	<10
3分後	<10
5分後	<10

Table 5 Norovirus Measurement Result

項目	2015/1/20		2015/2/24		2016/2/16	
	原水 (初沈越流水)	処理水	原水 (初沈越流水)	処理水	原水 (初沈越流水)	処理水
GI [copies/L]	1.9×10^5	定量下限未滿*	定量下限未滿**	定量下限未滿*	定量下限未滿**	定量下限未滿*
GII [copies/L]	1.2×10^6	定量下限未滿*	1.1×10^6	定量下限未滿*	1.1×10^6	定量下限未滿*

** 2.5×10^2 copies/L
* 1.0×10^5 copies/L

去性能を確認するため、感染性胃腸炎が流行する冬季にノロウイルス（直径 $0.03\ \mu\text{m}$ ~ $0.04\ \mu\text{m}$ 程度）の測定を行った。Table 5 に示す通り、ノロウイルスは原水中では検出されたが、処理水中では全て定量下限未満であり、高い除去効果が認められた。

4. ま と め

- ・本 MBR システムの実証プラントにおいて、2014 年 6 月から 2016 年 3 月まで長期連続運転を行った結果、冬季や雨天であっても年間を通じて膜差圧の安定運転の目安とした 30 kPa を超えることなく推移しており、安定した運転が確認された。処理水質は年間を通じて BOD 2.0 mg/L 以下、T-N10 mg/L 以下（総合窒素除去率平均 82.8%）、SS は検出下限値未満となっており、極めて良好であった。また、ろ紙ろ過量は概ね 10 mL/5 min 以上（平均 24 mL/5 min）であり、汚泥のろ過性は良好であった。
- ・2015 年 8 月~10 月にはリン除去を目的とした凝集剤（PAC）による同時凝集試験を行った。凝集剤

添加をした期間中の膜差圧は安定しており、凝集剤添加の影響は見られなかった。凝集剤添加をしていない期間における処理水 T-P 濃度は平均 3.2 mg/L、凝集剤添加をした期間は平均 0.5 mg/L 以下であった。また、凝集剤添加をした期間の処理水 BOD 濃度は平均 1 mg/L 未満、SS 濃度は平均 1 mg/L 未満、T-N 濃度は平均 5.9 mg/L となっており、生物処理機能に対しても、凝集剤添加による影響は見られなかった。

- ・衛生学的指標として連続運転期間中に毎週大腸菌群数、大腸菌数の測定を行ったが、処理水中の菌数は検出限界未満であった。また、感染性胃腸炎が流行する冬季にノロウイルスの測定を行ったが、処理水中のウイルス数は定量下限未満であり、これらの除去性能を確認することができた。

参 考 文 献

- 1) 〔社〕日本下水道協会：下水道試験方法（下巻）2012 年版