

## MBR（Membrane Bioreactor）を用いた下水処理水の安全性評価および micropollutants の挙動に関する研究

北海道大学大学院 学生会員 久保 広明      北海道大学大学院 正会員 岡部 聡  
 北海道大学大学院 正会員 木村 克輝      北海道大学大学院 フェロー 渡辺 義公

**【はじめに】**

都市下水における MBR を用いた処理は、下水の再利用を含めた循環型水代謝システムへの転換までを視野に入れ、現在様々な研究が行われている。これまでの知見から、MBR は現行の標準活性汚泥法よりも、短時間に高度な処理水が得られることが分かっている。しかしそれは TOC など、mg/l オーダーの処理についてであり、 $\mu\text{g/l} \sim \text{ng/l}$  オーダーの微量有害物質の除去性については知見がほとんどない。都市下水中には、工場排水に含まれる化学物質、農薬、病院排水、家庭用ゴミ、糞尿成分など有害な微量物質が含まれ、発生源は特定できないが、大量に流れ込んでいることが予想される。下水の再利用を含めた循環型水代謝システムへの転換を考えると、下水処理場において微量有害物質を除去することは、大変重要な事である。そこで本研究では微量有害物質のうち、女性ホルモン様物質に着目し、下水中の汚染状況及び標準活性汚泥法と MBR における除去性の相違について検討を行った。さらに、TOC レベルの除去性との関連性、最適な膜（孔径・素材）及び、最適な運転条件（HRT・MLSS 濃度など）について検討を行う。

**【実験方法】**

標準活性汚泥法については、札幌市 A 下水処理場内（合流式下水道区域）の最初沈殿池流出水と最終沈殿池流出水を採水し評価した。MBR は図-1 に示すとおり、同処理場内にパイロットスケール装置を設置して実験を行った。同処理場の最初沈殿池流出水を噴流攪拌固液分離装置（JMS）により凝集・沈殿処理を施した後に、MBR に通水した。MBR は分画分子量 75 万 Da の UF 膜を装着した回転平膜装置、0.2  $\mu\text{m}$  の MF 膜を装着した中空糸膜濾過装置（4 系列）、0.1  $\mu\text{m}$  の MF 膜を装着した平膜装置の 3 種類を運転し、それぞれの処理水を採水して測定を行った。表-1 にそれぞれの運転条件を示す。また女性ホルモン様物質の測定方法については、Sep-Pak C18 を用いて試料を濃縮し、武田薬品工業の ELISA キット（17 エストラジオール<E2>と Estrogen（エストロン<E1>、<E2>、エストリオール<E3>））を用いて評価した。

**【実験結果】**

表-2 に昨年度の平膜装置における約半年間の連続運転における各水質項目測定結果の平均値を示す。有機物・リンについては凝集沈殿処理により原水中に含まれる成分の大半が除去された。また、残存する有機物も MBR を用いた処理により、約 3mg/l の処理水が得られた。MBR を用いた処理は、有機物・窒素・リンなど mg/l オーダーの除去に関しては、良好な処理水が得られることがこの結果からも分かる。

図-2 に各処理過程および処理水の TOC、E2 の値を示す。E2 は、標準活性汚泥法の生物処理において 63.5%もの除去がなされていた。しかし MBR を用いた処理のほうが、HRT が短いにも関わらず、さらに高い除去率を得ることが出来ていた。MBR 内では標準活性汚泥法に比べて MLSS 濃度が高く、それが E2 のより高度な除去につながっていると考えられる。また既知濃度 E2 エタノール溶液を、回転平膜装置

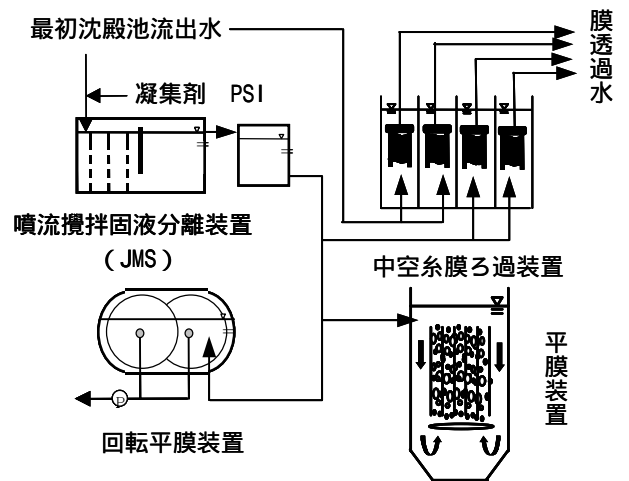


図 1 パイロットスケール装置概要

表-1 MBRの運転条件

	凝集沈殿	MLSS濃度	HRT(h)
中空系（系列1）	無	5g/l	4.5
（系列2）	無	10g/l	4.5
（系列3）	有	5g/l	4.5
（系列4）	有	10g/l	4.5
回転平膜	有	8g/l	2
平膜	有	15g/l	4.8

表-2 水質測定結果

	初沈流出水	JMS処理水	膜透過水
濁度 (TU)	57.1	10.8	0.0
TOC (mg/l)	34.6	16.8	3.2
T-N (mg/l)	26.5	17.9	12.5
T-P (mg/l)	2.69	0.66	0.17

キーワード : MBR、Estrogen、17 エストラジオール、ELISA 法、  
 連絡先 〒060-8628 札幌市北区北 18 条西 8 丁目 Tel 011-706-6268 Fax 011-106-7890

と同様の新しいUF膜を用いて吸引ろ過したところ、膜による除去率は28.6%であった。懸濁性有機物などに関しては有効な除去手段である凝集沈殿処理は、E2に対しては効果が認められなかった。また活性汚泥法におけるA処理場内の返送汚泥を遠心分離し、さらに0.45μmの膜で吸引ろ過した試料に対して、評価を行ったところE2が約30ng/lと高濃度検出され、生物反応槽でのE2除去は、生物分解だけでなく生物吸着も大きな要素であることが分かった。

図3に中空糸膜ろ過装置4系列による処理性の違いを示す。凝集沈殿の有無、MLSS濃度の違いによりTOCでは処理性に差が現れているが、E2の除去性に関しては大きな違いが認められなかった。標準活性汚泥法に比べてMBRが、E2のより良い処理性を持つ理由の1つとして、高いMLSS濃度を保持できる点を挙げたが、MLSS濃度5g/lと10g/lとは違いが認められなかった。今後はさらにMLSS濃度を大きく変動させて実験を行う予定である。

図4にポンプ停止により4日間運転を休止した後再び運転を開始した、3日後と25日後のMBR流入水及び処理水のTOC、Estrogenの値を示す。グラフから分かるとおり、運転の経過と共に、TOC、Estrogenともに除去性が改善されている。よってTOCレベルで良好な処理が観察されているときには、Estrogenに関しても、より良い処理が行えていることが示唆された。

図5にMBRにおける各処理水のTOC、Estrogenの値を示す。他の系列に比べて、系列4の処理水のみ、高い値のEstrogenが観察された。そしてTOC値も他の処理水中の濃度と比べると高い値を示した。またこの時、膜間差圧の上昇が系列4のみ観察された。この結果から、運転性、TOCレベルの処理性を良い状態で保ち、膜ろ過装置を運転することが、Estrogenのより良い処理につながる、ということが示唆された。

【おわりに】

E2は、標準活性汚泥法の生物処理において63.5%もの除去がなされていたが、MBRはさらに良い除去率が得られていた。よってMBRは標準活性汚泥法に比べて、女性ホルモン様物質に対してもより良い処理方法であることが分かった。また女性ホルモン様物質のMBRによるより良い除去は、MLSSを高濃度に保てるためだと推測されたが、MLSS濃度5g/lと10g/lの運転ではE2の除去率に違いが見られなかった。またMBRにおいて、TOC除去率を高い状態で運転することが、微量有害物質の除去に対しても有効であることが示唆された。

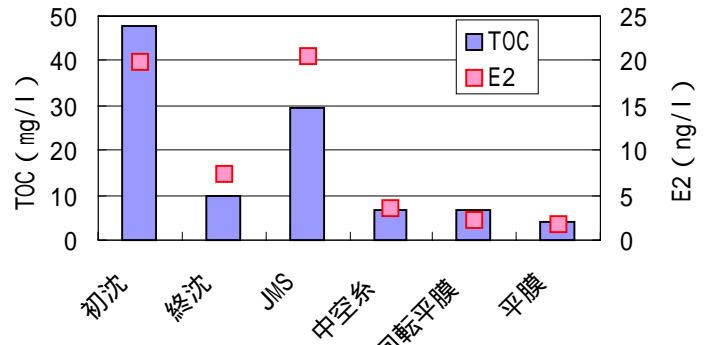


図2 標準活性汚泥法とMBRの違い

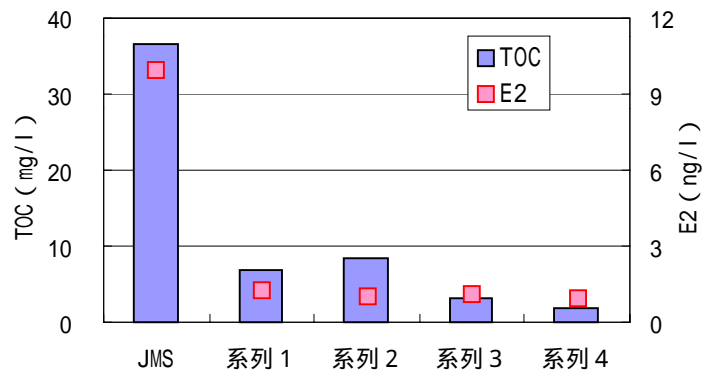


図3 中空糸膜ろ過装置の処理性の違い

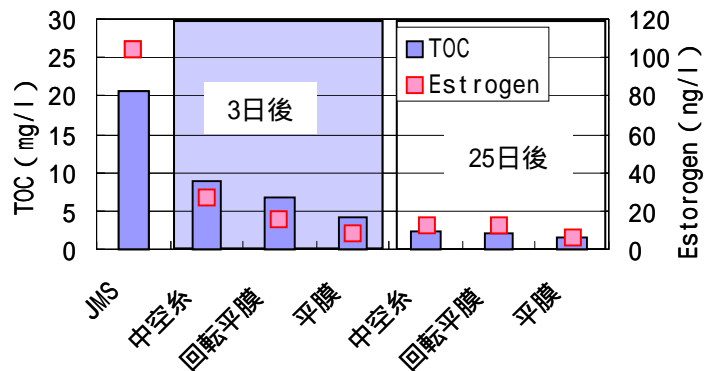


図4 Estrogen測定結果

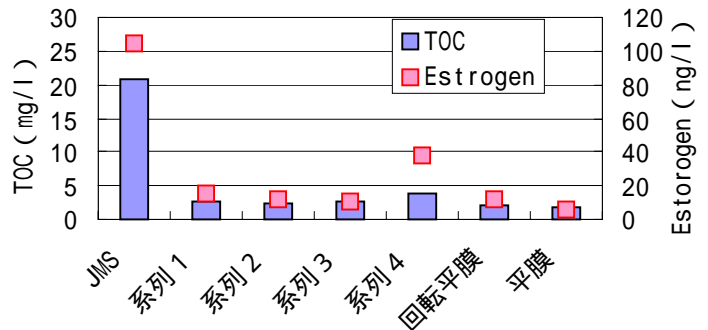


図5 MBR装置による処理性の違い