

前凝集・膜分離活性汚泥法を用いた都市下水の高度処理

北海道大学大学院 正員 木村 克輝
 日立プラント建設 鈴木 秀孝
 北海道大学大学院 フェロー 渡辺 義公

1.はじめに：我が国の下水道普及率は約60%に達し、今後の下水道事業展開においては、水の再利用をも視野に入れた処理の高度化、小規模処理への対応が重要となる。従来、下水処理の主流を占めてきた活性汚泥法では処理の高度化、小規模処理を行うことは難しく、これまでとは異なった下水処理へのアプローチが必要となってきた。このような状況の中で、流入下水をまず凝集沈殿処理（前凝集）し、大半の有機物負荷の削減とリンの除去を行った後、生物処理を行う下水処理システムの提案・実用化がなされている。本報では、省エネルギー型固液分離装置である噴流攪拌固液分離装置（JMS）を前凝集に用い、生物処理として膜分離活性汚泥法を採用して行った、パイロットスケールの都市下水高度処理実験について、有機物処理性と膜ろ過運転性を中心に述べる。

2.実験方法：実験は、札幌市創成川下水処理場内において、最初沈殿地流出水を原水として1999年7月より行った。JMSにおける凝集は、ポリ塩化アルミニウムまたはシリカ-鉄凝集剤を用いて行った。凝集剤注入率はアルミ・鉄換算で約10mg/Lとし、凝集pHは約7.0とした。JMS内における水理的滞留時間は約90分である。JMSによる凝集沈殿処理を行った後、回転平膜モジュール（総膜面積5.0m²、分画分子量75万のポリスルホン製UF膜を装着）を用いた膜分離活性汚泥法による生物処理を行うこととした。ろ過方式は、全量ろ過・定流量運転とするとともに、一定期間毎に吸引ポンプを休止させる間欠運転を実行した。運転サイクルは8分ろ過-2分停止とした。本報では、表-1に示す二つの異なる運転条件下において観察された結果について記す。

表-1 回転平膜運転条件

	Run 1 (7/1-10/15)	Run 2 (10/22-3/8)
Membrane flux (m/d)	0.3	0.5
HRT (hours)	3	2
Disk rotational speed (rpm)	50	60
Aeration	off	on

3.実験結果：図-1にJMS流入水、JMS処理水、膜透過水におけるDOC濃度経日変化を示す。濃度にばらつきがあるが、凝集沈殿処理のみでは約20mg/LのDOCが残存することがわかる。滞留時間2-3時間の膜分離活性汚泥処理により、膜透過水中のDOC濃度は3mg/L程度にまで減少し、Runs1、2を通じて安定した処理が観察された。図-2に膜間差圧の経日変化を示す。図中のデータは、20℃に温度換算したものである。Run1開始から約一ヶ月間は、膜間差圧の上昇は極めて緩やかであった。8月上旬より急激に差圧は上昇したが、装置改造のための15日間の運転停止により、必要な膜間差圧は10kPaに減少した。運転再開後、膜間差圧は上昇を続け、29日間の運転継続により差圧が70kPaを超えたため、膜洗浄を行うこととした。この時点で行った膜洗浄は、膜分離槽内に数cm大のスポンジ片を多数入れ、膜ディスクを回転させるものである。このスポンジを用いた膜洗浄は非常に有効であり、洗浄後の膜間差圧は10kPa以下となった。洗浄後、槽内よりスポンジ片のみ取り出し（汚泥の引き抜きは行っていない）運転を再開した。洗浄後は、膜間差圧はほとんど上昇しなかった。Run1終了後、シュウ酸と次亜塩素酸ナトリウムを用いた薬品洗浄を行い、ほぼ

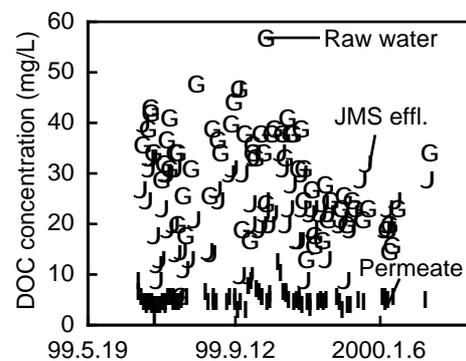


図-1 DOC濃度経日変化

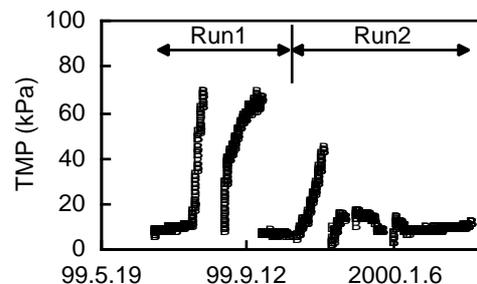


図-2 膜間差圧経日変化

完全に膜透過性能を回復させた後、Run2の運転を行うこととした。Run2の開始に先立ち、Run1終了時に取り出しておいた膜分離槽内汚泥を再び膜分離槽内に投入した。Run2では、運転開始直後より急激な膜間差圧の上昇が観察された。11月11日に前述したスポンジ洗浄を行ったが、洗浄効果が小さかったため、再びシュウ酸と次亜塩素酸ナトリウムを用いた薬品洗浄を行った。薬品洗浄により膜透過性能はほぼ完全に回復した。運転の再開にあたり、薬洗前に取り出しておいた膜分離槽内汚泥を膜分離槽内に投入した。薬品洗浄後は、二回の運転休止をはさんで、膜間差圧の上昇は極めて緩やかなものとなった。これまで述べてきたように、本実験における膜間差圧の上昇に全体的な傾向を見出すことは困難であるが、膜分離槽内水のDOC濃度と紫外外部吸光度（E260）の比（DOC/E260）の変化（図-3）と膜間差圧の上昇に関連性が示唆される。DOC/E260は有機物の生物分解性を表す指標として提案されている¹⁾。DOC/E260が大きく変化していることから、膜分離槽内に存在した有機物の性質も、実験期間を通じて大きく変化していたことが推測される。何が有機物の性質を変化させているのか、また有機物がどのような性質に変化しているのか等の詳細は今後の検討課題としたい。図-4にJMS流出水、膜分離槽内水、膜透過水のゲルクロマトグラフィー（カラム：Amarsham Pharmacia Biotech HiLoad 26/60 Superdex 75）による有機成分の分子量分布測定結果を示す。JMS流出水中の有機物は、主に低分子量（分子量1万Da以下）の生物分解性が高いと予想される成分によって構成されており、膜分離活性汚泥処理による生物分解の結果、処理水中には生物難分解性と考えられる有機物が残存していることがわかる。また、膜分離槽内には、JMS流出水中に存在しなかった高分子量（75000Da以上）の有機成分が蓄積していることが明らかとなった。この高分子量有機成分の起源としては微生物の代謝産物があげられる。膜分離活性汚泥法における膜透過性能に及ぼす微生物代謝産物の影響は多くの研究で指摘されている通りであり、本実験でも透過性能の劣化に深く関与していたと思われる。膜分離槽内に存在する有機物の大半がこの代謝産物と考えられる高分子量有機物で占められていた。図-6にJMS流出水、膜分離槽内水、膜透過水のBDOC（Biodegradable organic carbon）試験結果を示す。ゲルクロマトグラフィーの結果から推定された通り、膜透過水中に含まれている有機物はほとんどが生物難分解性のものであることを確認した。

4.まとめ：本研究では、JMSを用いた凝集沈殿処理と膜分離活性汚泥法を組み合わせた高度都市下水処理システムの有機物処理性、膜ろ過運転性について検討した。その結果、全滞留時間3.5時間で、有機物濃度3mg/L程度の処理水を安定して得ることができることを確認した。処理水中に残存する有機物はほとんどが生物難分解性であり、さらに有機物濃度を低減させるためには活性炭吸着・ナノ膜ろ過等の付加が必要となる。運転に伴い膜分離槽内には高分子有機成分が蓄積する。この有機成分の起源としては微生物の代謝産物が考えられ、代謝産物の性質変化により膜閉塞が促進されることを推測した。本研究の遂行にあたっては、科学技術振興事業団（CREST）の援助を受けるとともに、札幌市下水道局のご協力を得ました。記して謝意を表します。

参考文献：1) 丹保・亀井（1978）処理性評価のための水質変換マトリックス[II]-好気性生物処理による有機物除去の予測と評価-、水道協会雑誌、第531号、pp. 15-24

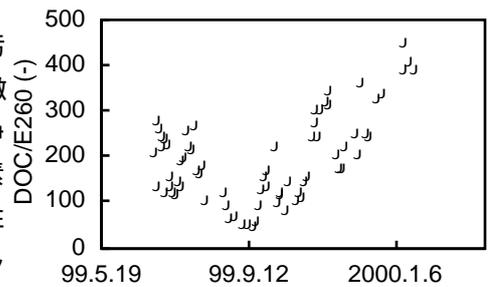


図-3 膜分離槽内水DOC/E260経日変化

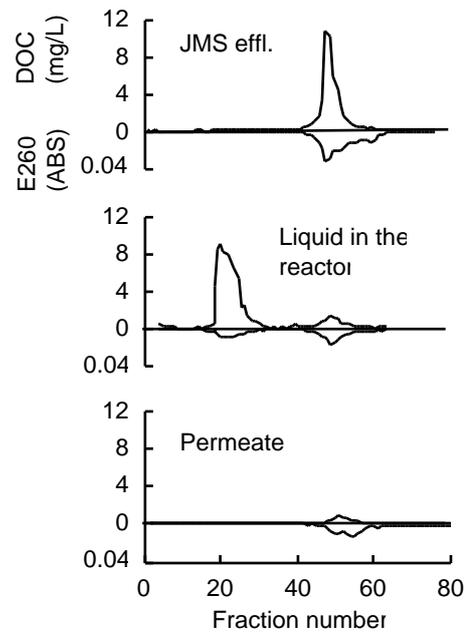


図-4 ゲルクロマトグラフィーを用いた有機成分分子量分布測定結果

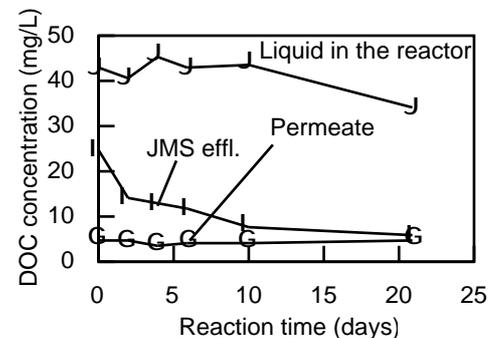


図-5 BDOC測定結果