

(株)クボタ 清水健二、石田宏司、○和泉清司、師正史

1 はじめに

し尿処理において実用化された膜分離法は、大量の被処理液（活性汚泥混合液）をポンプにより膜面を高流速で流し、わずかな量の透過液を得る内圧型クロスフローろ過方式である。この為、大流量・高揚程のポンプが必要でありエネルギー消費が大きく、大規模で少ない動力を要求される排水処理施設への膜分離法採用の妨げとなっている。

一方、中空糸膜や平膜モジュールを水槽内に浸漬し、透過液側をポンプで吸引する外圧浸漬型膜分離法は設置場所を必要とせず、酸素供給に必要な曝気攪拌を利用したクロスフローろ過をする事により低動力運転の可能性を有している。

浸漬型膜分離法も近年ようやく実験レベルから施設への適用が開始されてきた。

本報告は、有機平膜を利用した浸漬型膜分離法による生活排水処理施設の1年間の稼働結果の報告である。

2 浸漬液中膜について

2.1 排水処理に要求される膜分離システム

有機性排水中のBOD、窒素の除去法として活性汚泥を利用した生物学的硝化脱窒素処理は歴史的にも実績の面でも主流技術となっているが、生物処理の宿命として活性汚泥と処理水の固液分離を行う必要があり、その分離の為の運転管理に苦労しているのが実状である。固液分離し易い汚泥性状を確保するという観点から曝気槽の設計基準が確立されており、現状では固液分離能力が設備の処理能力を支配しているといえる。

この為、膜による活性汚泥の分離技術が注目をあび、近年急速に普及を始めている。

しかし、現在の活性汚泥の膜分離法は<表-1>に示す課題が指摘されており、これらの課題を解決する膜分離技術として浸漬型膜分離法の開発が急がれている。

<表-1> 内圧型膜分離システムの課題

浸漬液中膜分離法は、ろ過能力の高い有機平膜を曝気槽中に浸漬し、低い操作圧力で透過流速を抑えて運転する事により長期間安定した性能が維持可能であり、膜の洗浄をほぼ不要とし、<表-1>に示す課題を軽減したシステムである。

- 定期的に水洗浄・薬液洗浄が必要
- 動力費が従来法に比較して増加する
- 膜分離設備の設置スペースが必要
- 膜モジュールの点検交換が複雑

2.2 液中膜分離システムの概要

液中膜分離装置は、膜モジュールと、酸素供給を兼ね気泡流で膜面を洗浄する為の散気管と透過液を吸引するための吸引管をユニット化したものであり、曝気槽等に浸漬して使用される。

膜は、ポリオレフィン素材としたシート形状で、透過水の流路を有する支持板の両面に膜を貼り付けた構造で、80枚を平行に設置している。膜モジュール1枚の有効ろ過面積は0.8㎡である。透過水吸引ポンプを間欠運転することにより定期的に膜の緊張を解き、膜面を振動させることにより膜面の堆積物を剝離洗浄させる間欠吸引運転を行っている。間欠吸引サイクルは、吸引15分、吸引休止3分程度で運転している。

<表-2> 水槽容量

名称	容量(m³)
曝気洗砂槽	0.45
原水ポンプ槽	2.1
流量調整槽	17.9
曝気槽	4.0
消毒槽	0.4
放流ポンプ槽	2.6
汚泥貯留槽	4.4

3 K工場の生活排水処理設備の運転結果

K工場は、平成3年8月から操業を開始した。これに伴い100人槽(25m³/日)の合併処理浄化槽が設置されたが、現在の操業度は計画値の3分の1程度である。汚水の発生源のほとんどがし尿であり、水洗水及び手洗水で単に希釈されている状態に近く、単独処理浄化槽の性格に近い。この為、窒素濃度が60～80mg/lと高くBOD/N比は2程度となっている。

処理フローを<図-1>に水槽容量を<表-2>に示す。曝気槽流入汚水は目巾1mmの微細目スクリーンにより夾雑物を除去され曝気槽の液位計により間欠移送されている。

運転開始に当たり高負荷硝化脱窒素処理方式のし尿処理場の余剰汚泥0.15m³を種汚泥として使用した。

3.1 運転成績

浸漬液中膜処理では、固液分離が完璧に行われるため、放流開始時点からBODは10mg/l以下の水質が得られた。しかし、膜分離法では汚泥のSRTが長く、その結果硝化作用が生じ運転開始2～3日後からpHが低下し始めた。そのため曝気槽は1時間曝気、2時間攪拌の間欠曝気運転とした。運転開始から約半年間は、膜面洗浄のための循環流を水中攪拌機と曝気を併用した気泡流にて行っていたが、エネルギーコストの低減を目的に水中攪拌機を停止した。水中攪拌機を停止すると非曝気中に活性汚泥が沈降し、脱窒素効率が低下するので、活性汚泥濃度6,000mg/l程度の場合で、1時間曝気、5時間の非曝気運転にして脱窒素効率を高くし、処理水のpH低下を抑えた。この時の運転条件を<表-3>に、その結果を<表-4>に示す。なお膜透過液の吸引は曝気時間中のみ行っている。

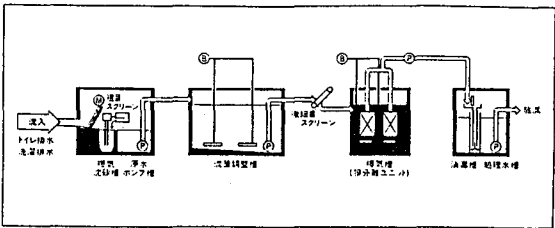
流入汚水のBOD/N比が小さく、非曝気運転中は活性汚泥が沈降し汚泥近傍しか脱窒現象が生じないため脱窒効率は現状の汚泥濃度では50～60%程度である。今後、汚泥濃度が1%以上になれば脱窒率はさらに向上するものと思われる。

K工場は週休2日制であり、また正月及び夏季休暇時には最大8日間の休暇があり、その間は汚水の流入が全く無くなる。この為、汚水の流入が停止した時には、間欠曝気時間を変更し、過剰曝気による硝化の著しい進行による処理水質への影響を防止した。

3.2 汚泥の発生量

1年間の汚水処理量と曝気槽における汚泥濃度の上昇から汚泥の発生量を求める。

1年間に処理した汚水量は、約700m³であり、この間に増加したSS量は、4m³×6.3kg/m³=25.2kg-SSである。従って、汚泥発生量は汚水処理量当たり36g/m³となり、曝気槽流入汚水のBODを150mg/lとするとBODあたりの汚泥発生量は0.24kg-ss/kg-BODとなった。



<図-1>生活排水処理設備フローシート

<表-3> 曝気槽の運転条件

	計画値	実績値(曝気時間換算値)
BOD負荷 (Kg-BOD/m ³)	1	0.11 (0.44)
BOD汚泥負荷(Kg-BOD/Kg-SS)	0.14	0.016 (0.064)
T-N汚泥負荷(Kg-N /Kg-SS)		0.008 (0.032)
MLSS濃度 (mg/l)	15,000	7,000
間欠曝気時間比	1時間曝気 1時間攪拌	1時間曝気 5時間非曝気

3.3 液中膜分離装置の運転結果

液中膜の透過流束は定流量弁により $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ に設定し運転を行った。その結果を〈図-2〉に示す。透過流束は一定であるが、操作圧力は運転開始時に小さく、運転を継続するにつれ徐々に大きくなるパターンを繰り返しながらほぼ一定の値を保っている。

膜によるろ過モデル式①に示されるように透過流束は操作圧力に比例し、ろ過抵抗に反比例する。膜のろ過抵抗が一定と見なされる短時間で測定した吸引負圧と透過流束の関係は〈図-3〉のようになる。従って透過流束を一定にすると曝気槽混合液の性状が一定で有れば、膜のろ過抵抗が変化すれば操作圧力が変化する事になる。膜面に作用する有効操作圧力は、主に液温の変化により活性汚泥の粘性係数が変化する為、夏場で $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ 、冬場で $2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ 程度であった。

有効操作圧力が低い状態でろ過していることは、②式に見られるように操作圧力に比例してろ過抵抗も小さいことであり、膜面堆積物が高い圧力を受けないため間欠吸引及び気泡流で簡単に洗浄され、一定の堆積量に維持されている。この結果、長期間特別な洗浄操作を必要とせず運転可能となっている。

$$J = \frac{\Delta P}{\mu \times R} \quad \text{--- ①式}$$

$$R = \frac{\Delta P}{\mu \times J} \quad \text{--- ②式}$$

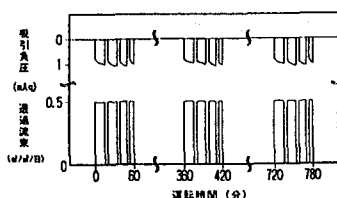
J : 透過流束 ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$)

ΔP : 操作圧力 (Pa)

μ : 粘性係数 ($1/\text{m}$)

R : ろ過抵抗 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)

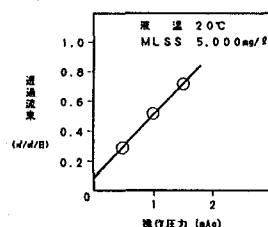
K工場の液中膜分離装置は、運転開始以来1年以上経過したが吸引負圧の増加は殆ど見られず透過流束は非常に安定している。この為、未だに1度も膜の洗浄を実施していない。



〈図-2〉 浸漬液中膜の運転結果

〈表-4〉 水質分析 結果

	曝気槽流入水	膜透過液
pH	6.5 ~ 6.9	5.9 ~ 6.3
BOD (mg/l)	110 ~ 160	1 ~ 5
COD (mg/l)	55 ~ 82	11 ~ 15
SS (mg/l)	80 ~ 120	1 以下
T-N (mg/l)	56 ~ 82	22 ~ 45
PO4 (mg/l)	6.5 ~ 9.8	3.6 ~ 8.5



〈図-3〉 操作圧力と透過流束の関係

4 まとめ

浸漬液中膜による生活排水処理施設での1年間の稼働実績を通じて下記の結論を得た。

- ① 浸漬液中膜は、透過流束を $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ に設定し、間欠吸引運転をする事により1年以上特別な洗浄を必要とせず運転可能であった。
- ② 設計計画値と大きく異なる汚水量、汚水量の日間変動にもかかわらず間欠曝気時間比の変更のみで対応可能であり、BOD、COD、SSに関して安定した水質が得られた。
- ③ 攪拌工程を設けない間欠曝気運転により窒素除去が可能であり、処理水のpH低下を防止できた。攪拌動力が不要なため使用動力量が大幅に低減された。
- ④ 余剰汚泥の生成量は、除去BODの25%であった。