特集・膜ろ過技術を組み込んだ排水処理

膜ろ過技術を組み込んだし尿処理の現状と課題

松 井 謙 介*・山 口 昇**

1 はじめに

膜ろ過技術を組み込んだし尿処理が実現したのは昭和60年頃のことである。それまでの膜ろ過は主として用水系や食品加工系などで適用されることが多く、汚水系ではせいぜい中水道に使用される程度であった。したがって、し尿のような高濃度汚水の無希釈活性汚泥処理液の固液分離に膜ろ過が適用可能になったことは画期的なことであった¹⁾。

高負荷脱窒素方式の高濃度活性汚泥の固液分離に難渋していたし尿処理プラントメーカーがこぞって膜ろ過技術の適用に取り組むようになってから既に10年が経過し、今日では膜ろ過方式はし尿処理技術の主流になっている。この間、膜ろ過装置そのものも色々な型式のものが試験され、最近では浸漬膜が注目を集めている。

ここでは、し尿処理における膜ろ過技術の現状を振り返ってみるとともに、今後の課題について述べることにしたい。

2 し尿処理への膜ろ過適用の背景

昭和60年頃のし尿処理では無希釈高負荷で硝化脱窒素処理を行う方式が主流になりつつあった。高負荷脱窒素方式はポンプ循環型などの高性能酸素溶解装置を備え、MLSS濃度を12,000～20,000mg/ℓに維持することで高負荷処理を可能にしていたが、重力沈降などによる汚泥の固液分離には困難があった。このため、汚泥の沈降性に左右されない確実な固液分離方式が望まれていた。

この当時、膜ろ過はまだ高価な技術とされ、廃水処理での使用は現実的でないと思われていた。しか

図-1 し尿向け膜ろ過装置の分類

し、し尿処理は定量処理が基本で年間を通して処理量の変動が少ない上、汚濁物負荷に対して相対的に処理水量が少ないなど、他の廃水に比べると膜ろ過を採用しやすい対象であった。

また運転経費の面でも、し尿処理では脱窒素、脱リンや活性炭吸着などの高度処理も含めた運転費が現状で2,000～3,000円/ℓと比較的高くなっている。したがって膜ろ過が有用であれば運転費のアップも容認できる下地があった。

このように、コンパクトで希釈水を使わないというメリットをもつ高負荷脱窒素方式で確実な固液分離方式が望まれていた時に、経済性の点でもかろうじて膜ろ過が採用可能な状況にあったことがし尿処理で膜ろ過が普及した理由だと思われる。

3 し尿向け膜ろ過装置

これまでにし尿処理で採用された膜ろ過装置の分類を図-1に示す。

最初に実用化されたのは限外ろ過膜（UF膜）を内圧循環方式で使用する平膜型の膜ろ過装置で、少し遅れてチューブラー型の膜ろ過装置が採用されるようになった。両者ともに運転実績は多い。

内圧循環型の膜ろ過装置では高フラックスを競い合う傾向があったが、その後、低動力指向の膜ろ過装置の研究開発が進められ、最近では精密ろ過膜(M

* 栗田工業(株) 研究開発本部 Kensuke MATSUI

** 栗田工業(株) 環境施設事業部 Noboru YAMAGUCHI

F膜)や分画分子量の大きな(数十万以上)限外ろ過膜を浸漬吸引方式で使用する膜ろ過装置が増えている²⁾。

4 膜ろ過技術を組み込んだし尿処理システム

4.1 膜分離脱窒素方式での2段階膜ろ過システム

(1) 膜分離脱窒素方式の基本構成

高負荷脱窒素方式に膜ろ過を2段に組み込んだ処理フローの例を図一2に示す。

除渣後のし尿や浄化槽汚泥を単一生物反応槽で硝化脱窒素処理した活性汚泥混合液をまず1段目の限外ろ過膜で固液分離して処理水を得る。この膜ろ過水はSSは全く含まず、BODや窒素も高度に除去されているもののCODや色度は高いため、さらに塩化第二鉄や硫酸バンドなどの無機凝集剤を添加した後、凝集混合液を2段目の限外ろ過膜で固液分離し、最後は活性炭吸着処理して塩素消毒後に放流する。2段目の限外ろ過膜でのCODや色度の除去は膜によるものではなく凝集によるもので、膜ろ過は装置をコンパクト化するために採用されている。

(2) 膜ろ過装置の運転

活性汚泥混合液と凝集混合液の固液分離で採用された膜ろ過装置は平膜型とチューブラー膜型の2種類で、いずれも内圧循環型であった。膜ろ過装置を写真1、2に示す。

温度が一定のときの膜透過流束(フラックス)は循環液による膜面流速に大きく依存する。平膜やチューブラー膜では水温30~40℃、膜面流速2m/秒前後で運転するケースが多いが、共通の膜ろ過装置を同じ膜面流速に設定して運転しても、1段目の生物膜ろ過装置のフラックス1.0~1.2m³/m²日に対して2段目の凝集膜ろ過装置はフラックス2.0~2.4m³/m²日と約2倍高い値が得られる。これは膜原水中の溶解性高分子有機物濃度の差が大きく影響しているものと推定される³⁾。

内圧循環型の膜ろ過装置では原水の循環液量(膜面流速)を一定にして運転するケースが多く、操作圧力2~4kgf/cm²程度の定圧に近い運転形態をと

写真1 内圧循環型平膜ろ過装置

写真2 内圧循環型チューブラー膜ろ過装置

る。このような運転では膜の汚染が進むとフラックスが徐々に低下してくる。

膜洗浄は1ヵ月に1回程度の頻度で行うことが多い。膜の有機物汚染については水洗浄の後、次亜塩素酸ソーダを有効塩素500mg/l程度に薄め、カセイソーダでpHを12程度にした薬液を原水ポンプで数時間循環させる方法が有効である。また、無機物汚染については酸でpHを2程度に調整した薬液が有効である。

(3) 処理水質

膜分離脱窒素方式の処理工程別水質の例を表1に示す。

し尿をほぼ無希釈で硝化脱窒素処理した膜ろ過水のBODは2.0mg/lと低いが、生物難分解性物質も多いため、CODは133mg/lと高い値をとっている。一般に限外ろ過膜は溶解性高分子有機物を数十%カ

図一2 高負荷脱窒素2段階膜ろ過システムの処理フロー

表 1 膜分離脱窒素方式の処理水質の例 (K 処理場)

	除渣し尿	生物膜 原 水	生物膜 ろ過水	凝集膜 ろ過水	活性炭 処理水
pH	8.0	7.1	7.2	6.0	6.3
BOD(mg/ℓ)	6,730	—	2.0	1 以下	1 以下
COD(mg/ℓ)	4,160	235	133	64.2	18.5
SS(mg/ℓ)	8,110	20,600	検出せず	検出せず	2.0
T-N(mg/ℓ)	2,680	—	19.7	11.4	8.7
T-P(mg/ℓ)	352	—	80.0	0.6	0.3
色度(度)	—	1,450	860	215	20

ットするため、膜原水の COD は膜ろ過水の COD よりも高い値をとる。膜が汚染されると COD のカット率が高くなり、膜原水側に COD が蓄積する傾向を示すので、膜原水の溶解性 COD の変化をチェックすることが膜ろ過装置のメンテ上重要になる。

凝集を行った 2 段目の膜ろ過水でも COD は 64.2 mg/ℓ、色度は 215 度あるので、さらに活性炭処理することで無色透明の放流水を得ている。

4.2 浄化槽汚泥対応型の 1 段膜ろ過システム

(1) J システムの基本構成

近年の浄化槽汚泥比率の増大に合わせて開発された 1 段膜ろ過式の脱窒素方式 (J システム) の処理フローを図-3 に示す。

J システムは浄化槽汚泥比率が 60% 以上に限定さ

図-3 J システムの処理フロー

図-4 浸漬吸引型平膜ろ過装置

れる処理システムで、まず除渣後の浄化槽汚泥とし尿の混合物にポリ硫酸鉄や硫酸バンドなどの無機凝集剤と両性ポリマーを添加して造粒濃縮脱水（前処理脱水）する。この脱水ろ液を循環脱窒素処理した活性汚泥混合液を浸漬吸引型の精密ろ過膜で固液分離して処理水を得る。浄化槽汚泥比率が高い上に前処理脱水工程で COD や色度成分とリンも除去されるために生物処理の後の凝集分離は不要となり、膜ろ過は 1 段でよい点に特徴がある⁴⁾。

(2) 膜ろ過装置の運転

J システムでは活性汚泥の固液分離に浸漬平膜ろ過装置を採用している。装置の構成を図-4 に示す。

浸漬平膜ろ過装置は低動力運転を目標に開発された膜ろ過装置である。内圧循環型の膜ろ過装置では多量の膜原水を加圧循環させるために 5～7 kw/透過水 m³ もの大きな動力を要する。これに対して浸漬平膜ろ過装置は装置下部を曝気して膜表面に 0.5～0.6m/秒程度の上向流の流れを作り、水頭やポンプによる吸引圧で間欠的(50分吸引, 10分停止)に膜ろ過を行う。同じ透過水量を得るための動力は内圧循環型の 1/5～1/10 と小さくなっている。

浸漬吸引型の膜ろ過装置は吸引ポンプで透過水量を一定に設定して運転するケースが多い。この場合、膜の汚染は吸引圧力の増加として現れるので、吸引圧力の監視が重要である。精密ろ過膜は溶解性高分子有機物をほとんど透過させてしまうために限外ろ過膜のように膜原水側にこれらが蓄積して膜汚れを加速する心配が少ない。また精密ろ過膜は限外ろ過膜よりも水の透過性は良いが、フラックスは 0.4m³/m²日程度と内圧循環型の限外ろ過膜装置よりも低目に設定した運転では吸引圧力の増加はごくゆるやかで、膜洗浄は 3 ヶ月に 1 回程度の頻度で済んでいる。浸漬平膜ろ過装置の場合、膜の外側（原水側）を洗浄するのは困難である。そこで膜洗浄は吸引を停止させた後、次亜塩素酸ソーダの 10 倍希釈液（有効塩

表-2 J システムの処理水質の例 (H 処理場)

	除渣し尿	脱水分離液	生物膜ろ過水	オゾンろ過水
pH	7.4	6.7	7.2	6.6
BOD(mg/ℓ)	4,660	2,080	2.0	6.5
COD(mg/ℓ)	4,070	681	54.0	21.2
SS(mg/ℓ)	8,650	281	検出せず	2.0
T-N(mg/ℓ)	2,020	1,590	10.3	4.7
T-P(mg/ℓ)	283	4.6	0.3	0.1
色度(度)	—	752	241	19

素1%程度)を透過水配管から注入し、数時間放置する方法をとっている。使用する次亜塩素酸ソーダの濃度が内圧循環型の膜ろ過装置の場合の20倍も濃いのは、膜の内側から原水側に滲み出す薬液で洗浄を行うためである。

(3) 処理水質

Jシステムの処理工程別水質の例を表2に示す。

前処理脱水工程でのBODやT-Nの除去率はさほど高くないが、CODは80%以上、SSやT-Pは95%以上が除去されている。生物膜ろ過水の水質はCOD54mg/l、色度241度、T-P0.3mg/lとなっている。これを表1の膜分離脱窒素方式の水質の例と比較すると凝集膜ろ過水並みの水質が得られていることがわかる。

5 今後の課題

し尿処理における膜ろ過技術の課題を以下に記す。

- (1) 浄化槽汚泥対応型の処理システムだけでなく、し尿主体の膜分離脱窒素方式でも1段膜ろ過システムにしたい。このためには塩類は濃縮させずにCODや色度成分の除去率が今の限外ろ過膜より

も高い膜ろ過装置の実用化が必要である。

- (2) (1)の課題とは逆の発想になるが、現在し尿処理で採用されている膜ろ過に要求されている機能は主として沈殿槽の代替(SSの分離)である。これに対して限外ろ過膜と精密ろ過膜は完璧過ぎる機能を有している。沈殿槽の代替として必要な機能に絞り込んだ低コスト膜の実用化が望まれる。

このように現在し尿処理で実用化されている限外ろ過膜装置や精密膜ろ過装置は機能としてはやや中途半端な位置付けにあると思われる。求められる機能に適合した膜ろ過装置が近い将来に開発されることを期待している。

参考文献

- 1) 熊谷, 矢野, 膜型バイオリアクターのし尿処理システムへの応用, 第7回全国都市清掃研究発表会講演論文集(1986.6) p9~11
- 2) 和泉, 師, 浸漬吸引型膜を用いたし尿処理, 第14回全国都市清掃研究発表会講演論文集(1993.2) p55~57
- 3) 松井, 膜分離脱窒素処理方式のフラックス管理の実際, 用水と廃水, Vol.35 No.6 p503~509
- 4) 松井, し尿と浄化槽汚泥の新しい処理システム(Jシステム), 造水技術, 投稿中

環境計測・分析分野への入門書として最適です。

わかり易い最新の 環境計測・分析技術講座

A5判 137頁 定価 3,900円(本体 3,786円) 送料 350円

☆環境計測や分析業務に従事しておられる技術者へ

最新の技術をより深く理解するために

★その他環境関連分野でご活躍の方へ
計測、分析で得られた情報を
十分活用するために

〔編集〕宗 森 信 大阪府立大学名誉教授
日 色 和 夫 京都教育大学教授

〔内容〕第1講 イオンクロマトグラフ法
第2講 フローインジェクション分析法
第3講 ICP発光分光分析法
第4講 バイオセンサー
第5講 マススペクトル分析法
第6講 機器的放射化分析法
第7講 分析データのとり方

発行 環境技術研究協会

TEL: 06-357-7611

FAX: 06-357-7612