中空糸膜を用いた排水浄化

Wastewater Treatment using Hollow Fiber Membrane

小林 真澄

1. はじめに

中空糸膜を用いた排水浄化の歴史は、1970年代に限外濾過膜を用いた中水道システムが実用化され、さらに1980年代には、通産省(当時)のアクアルネッサンスプロジェクトによりメタン発酵エネルギー回収等と組み合わせた研究が行われ産業排水処理への適用が加速された。更に時を同じくして、尿処理へ膜分離が普及を開始している。1990年代に入り、それまで加圧ベッセルに入っていた分離膜を、活性汚泥槽に直接浸漬し吸引濾過を行う浸漬吸引濾過方式が実用化され、産業排水や浄化槽に使用されるようになり、本方式は、膜分離活性汚泥法(Membrane Bio Reactor; 以下MBR)と呼ばれ、広く普及し、排水処理方法の中の1つの手法として認知されている。本年は、ドイツにて45,000 m³/dの処理施設が稼働する予定である。近年は排水再利用を目的として、逆浸透膜を用いた排水浄化なども広く行われている。表1に膜の孔径と分離対象物を示す。

分離手法	分子量	大きさ	除去対象物
精密ろ過膜			
限外ろ過膜			
ナノろ過膜			
逆浸透膜			
活性炭吸着			
凝集ろ過			
	10 ²	1 Å	溶解性物質
	10 ³	1 nm	アンモニア性窒素 カルシウム クロロホルム トリクロロエチレン 残留農薬 界面活性剤
	10 ⁴	10 nm	フルボ酸 フミン酸
	10 ⁵	0.1 μm	ウイルス
	10 ⁶	1 μm	粘土類 細菌類 シルト 藻類 原生虫

表1 膜の孔径と分離対象物

先に挙げた、中水道や尿処理には、精密濾過膜や限外濾過膜が、MBRには精密濾過膜が用いられる。再利用を行う際にはイオンレベルでの分画能を有する逆浸透膜を用い、飲料水に近いグレードまで水質を向上させる事も可能である。本稿では、MBRの特徴利点を中心に、中空糸膜を用いた排水浄化の現状について解説する。

2. 膜分離活性汚泥法(Membrane Bio Reactor)

ばつ気槽内に精密濾過膜ユニットを浸漬し、直接固液分離を行う膜分離活性汚泥法(MBR)は、従来の汚水生物処理を更に発展させた画期的なシステムである。中空糸精密濾過膜を用いたMBRシステムは、合併浄化槽などの生活排水処理の他、産業排水処理や中水再利用設備などに、既に1000例以上の実績がある。中空糸膜以外にも、板状の平膜を用いたシステムも普及している。

図1 MBRフロー例
膜分離活性汚泥法(MBR: Membrane Bio-Reactor)

本システムには以下のような特徴がある。

① ポリエチレン製中空糸膜の採用

孔径0.4μm、外径540μmのポリエチレン製中空糸膜を採用しており、高い固液分離能力を有す。また、製膜時に原料を溶剤で溶解するのではなく、熱で溶融する溶融延伸法で行うため、溶剤残存の可能性は皆無であり、塩素等も含んでいないため、環境ホルモン問題、焼却問題等を考えるとき、非常に環境に優しい中空糸膜といえることができる。特に近年、物件が大型するに伴い、数年後の問題とはいえ、廃棄の問題は避けて通れないものとなっている。

② 活性汚泥(MLSS)を高濃度に維持

活性汚泥(MLSS; Mixed Liquor Suspended Solid)を10,000mg/l前後の濃度に維持することが可能である為、一般的な活性汚泥処理に比べて3~4倍の処理活性を有する。その為、HRT(汚水滞留時間)を短く設定することができ、生物処理水槽のコンパクト化を実現できる。また、

MASUMI KOBAYASHI
三菱レイヨン(株)商品開発研究所
アクアエンジニアリング開発センター
主席研究員
〒461-8677 名古屋市東区砂田橋 4-1-60
Tel: 052-723-8232 Fax: 052-723-8244
E-mail: kobayashi_masu@mrc.co.jp
〈専門〉膜分離技術開発
〈趣味〉将棋(三段)

生物脱窒処理等を行う場合では、硝化菌、脱窒菌を高濃度に維持することができ、コンパクト、高性能な処理システムを提案することができる。

③ 処理水質向上

膜処理で固液分離を行うため、処理水のSS(浮遊懸濁物質：Suspended Solid)は、検出限界以下である。また、高濃度 MLSS で生物処理を行うこと及びSSがほぼフリーであることにより、処理水のBOD(生物化学的酸素要求量)や全窒素(脱窒処理で設計した場合)も非常に低い値となる。

④ 沈殿槽が不要

MBRは当然沈殿槽が不要である。その部分のスペースが不要になるメリットも大きい。さらに従来システムメンテナンスの部分で大きな比重を占めていた沈殿槽のメンテナンスが不要になる。沈殿槽での沈降不良トラブル等に多大な時間をとられることがなくなる。

余剰汚泥は、ばっ気槽から直接引き抜く。10,000mg/l前後の濃度であるのでそのまま脱水機にかけることも可能である。

⑤ リサイクルシステムに最適

精密濾過膜による膜分離により、糞便性大腸菌群やクリプトスポリジウム等の病原性微生物のオーシスト類はほぼ100%カットされる。簡単な殺菌処理を行う事により、雑用水等にはそのまま使用することが可能である。また用途によっては、逆浸透膜(RO膜)処理や活性炭処理等の高次処理との組み合わせでリサイクルを行うが、その際でも本システムの高水質処理水は砂濾過等の三次処理無しで高次処理を行うことが可能である。

3. MBR用中空糸膜ユニット、ステラポア SUR

中空糸膜はそのままでは、流体の濾過を行うことは出来ない。よって、集水部へ多本数の中空糸膜を固定したエレメントを作製し、それを更に多本数集積させ、エアスクラビング洗浄用散気管も取り付け付けたユニットとして実際に使用する。

ステラポア®SUR膜ユニットの仕様を図2に記す。

中空糸膜の拡大写真(外径 540 μ m)

写真2 ステラポア®SURエレメント

写真3 ステラポア®SURユニット

本エレメントの特徴は、写真を見て頂ければ解る通り、中空糸膜を平型に拡張した糸配置にある。

中空糸膜表面の電子顕微鏡写真(5,000倍)

写真1 ステラポア®SUR膜ユニットに使われている中空糸膜

	SUR5334	SUR10534	SUR21034	SUR31534
中空糸膜	ポリエチレン多孔質中空糸膜(孔径 0.4 μ m、外径 540 μ m)			
サイズ(D×W×H:mm)	668×832×1640	668×1562×1640	668×1562×2805	668×1562×3965
重量(乾燥時)	60kg	110kg	190kg	270kg
有効膜面積	53m ²	105m ²	210m ²	315m ²
集水管材質	ABS 樹脂	→	→	→
シール材質	ポリウレタン樹脂	→	→	→
フレーム材質	SUS304	→	→	→
常用使用温度	<40(°C)	→	→	→
標準曝気量	27Nm ³ /hr	52Nm ³ /hr	63Nm ³ /hr	78Nm ³ /hr

図2 ステラポア®SUR膜ユニット仕様

従来の中空糸膜エレメントは、中空糸膜を円筒状に配したものが殆どであり、その方が濾過効率が良いと言われていた。しかし、清澄な液体等を濾過対象物とする場合には、円筒状の構造は効果を発揮したが、活性汚泥のような、粘性が高く、SSが多く、繊維状(毛髪やパルプ、化繊等)物質も混入してくるような系では、中空糸膜間にそれらが堆積してしまい、濾過効率の極端な低下を招いた。

ステラポア SURの平型構造は、浸漬吸引濾過を行い、吸引濾過中もエアスクラビング洗浄を実施することにより、膜間への夾雑物体積を押さえることが出来る。それにより安定した固液分離が可能となった。また常時、エアスクラビング洗浄を実施するためには、中空糸膜自身がそのストレスに耐える必要がある。ポリエチレン製中空糸膜は、高い強度と柔軟性を兼ね備えており、本用途に最適な素材である。

4. 排水再利用使用例

当社、中空糸精密濾過膜を用いた MBR の下水処理検討例として、米国サンディエゴ市で検討された、排水リサイクルシステムの例を以下紹介する。

降水量が少ない南カリフォルニア地域では、各自治体が水道用水源確保に取り組んでいる。サンディエゴ市では、Total resource recovery project を推進しており、市民が使用した生活廃水を下水処理場で高度処理(逆浸透膜処理)により飲料水レベルまで浄化した後、上流の水源池に返送し、自然浄化力を加えて、河川水・地下水の形で再び飲料水源にする研究を行っている。この考え方が実用化されれば、サンディエゴ市全体が、大きな水リサイクルシステムを形成することになり、壮大なエコロジーの追求となる。

ポリエチレン製中空糸膜を用いたパイロットシステムが1999年2月から2000年4月まで運転され、MBRシステムに期待された利点を証明することができた。

図3 試験装置フロー

Evaluation of Submerged MBR Technology for Water Reclamation : Samer Adham *et. al*

本システムに供給される排水は、米国カリフォルニア州の San Pasqual Water Reclamation Plant に供給されている公共下水である。ほぼ日本の下水と同等の水質である。

MBRの処理水質(逆浸透膜供給前)は、BOD 5mg/l 以下、濁度 0.1NTU 以下という非常に良好な結果を得ることができた。また、後段の逆浸透膜処理において、逆浸透膜の性能が非常に安定し、逆浸透膜の薬品洗浄頻度も非常に間隔を長く維持することも可能となった。

また、日本国内では下水道事業団における、MBRの下水処理システムへの適用検討が行われており、今後下水道への導入が加速されていくものと期待されている。

5. 終わりに

MBR は日本で開発された非常に特徴ある排水処理技術である。そこに用いるポリエチレン製中空糸膜は、MBR に適用するための様々な特徴を有している。

今後も、排水処理に限らず、様々な水処理技術へどのような膜が最適なのかを考え、膜材、エレメント、ユニット開発に当たって行きたい。