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産業排水処理の現状

奥 野 裕*

1. はじめに

工業用の膜ろ過技術は1950年のイオン交換膜の合成、1960年の逆浸透膜の発明によって、食塩製造、海水淡水化プロセスへの適用から始まり、歴史的にみるとまだ浅い技術と言える。しかしながら、膜ろ過技術の進歩は目覚ましく、超純水製造、医薬品精製、食品濃縮等に適用され、現在においては産業を支える基盤技術の一つになっている。

近年は、前述の製品製造分野用途に加え、廃水処理への膜ろ過技術の適用が注目されている。昭和60年には通産省の大型プロジェクト“アクアルネッサンス'90”で膜利用型生活排水処理の開発¹⁾が実施されている。このように廃水処理設備への適用が試みられてる理由は、近年の環境問題に対する意識向上と多種の膜モジュールが開発されて、用途によって適した膜が選定できるようになったためである。

本報では膜ろ過技術の適用の拡大がされている分野の中で産業廃水処理に適用した膜処理技術について紹介する。

2. 産業廃水処理技術の課題

産業の発展に伴い産業廃水処理技術も大きく変遷してきている。そのため従来に比べ、次の点で新たな環境、課題、要求が生じている。

(1) 廃水の種類

業種、製造製品の多様化に伴い、廃水種類が増加している。そのため処理設備は多種フローで構成され、複雑化している。また、難分解性の物質が含有している廃水、長時間処理が必要な高濃度の有機性廃水が多くなっている。

(2) 処理水質

* 日立プラント建設㈱
Yutaka OKUNO

環境問題が社会的に注目され、環境基本法が制定されるなど処理水放流先の河川等の環境保護が厳しく管理される方向にある。また慢性的水不足により水の再利用が望まれている。よって、処理水水質はより高度化の方向にある。

(3) 廃水処理設備

廃水処理設備は省スペースであることは従来より要求されているが、さらに技術経験のない人間でも運転が可能で維持管理が容易な設備であること、汚泥等の産業廃棄物の発生量が少ない設備が望まれている。

3. 膜ろ過技術の適用用途

産業廃水処理の膜ろ過技術を適用すると先の課題の多くは解決できる。しかし膜ろ過技術単独で処理することは困難で従来技術との組み合わせが必要である。特に生物処理又は凝集処理と組み合わせる例が多い。表1に示す通り膜ろ過技術は従来方式の沈殿池、砂ろ過の代替ができるので設備がコンパクト

表1 従来法と膜法の産業廃水処理フロー比較

生物処理	従来	→生物処理→沈殿→ろ過→ MLSS 2,000~3,000 mg/l
	膜法	→生物処理→膜ろ過→ MLSS 10,000~15,000 mg/l
凝集処理	従来	→凝集→フロック形成→沈殿→ろ過→ 粗大フロック
	膜法	→凝集→膜ろ過→ マイクロフロック

にでき、濁質成分の除去が向上するため高度な処理水が得られことは既に知られている。さらに膜ろ過技術を組合わせた方式は次の特長を有している。

(1)生物処理との組合せ

従来の生物処理槽は活性汚泥濃度 (MLSS) を $2,000 \sim 3,000 \text{ mg/l}$ で運転している。これは沈殿池で自然沈降した活性汚泥を生物処理槽内に返送して活性汚泥濃度を維持しているため、必然的に従来方式では活性汚泥濃度に限界がある。一方、膜ろ過法は活性汚泥を確実に系内に保持できるので生物処理槽内の活性汚泥濃度を高濃度に維持でき、一般的には $10,000 \text{ mg/l}$ 程度で運転されている。そのため本方式では従来に比べ処理時間の大幅な短縮ができ、生物反応槽容量も小さくできる。また高濃度活性汚泥処理は汚泥の自己消化を促進するため余剰汚泥発生量の低減ができる利点を有²⁾している。

(2)凝集処理との組合せ

従来法は凝集フロックを自然沈降させるためフロック径を粗大化させる必要があった。そのため急速攪拌の凝集混和と緩速攪拌のフロック形成工程が必要でその運転条件は凝集剤の注入率を含め専門技術員の調整によるところが多かった。一方、膜法は膜面の微細孔で分離するため、凝集フロックの径はマイクロフロック程度で十分である。そのため工程は簡略化でき、凝集剤使用量も低減できる。

4. ろ過方式と膜モジュール

産業廃水処理に適用する膜種類はほとんど精密ろ過膜、限外ろ過膜である。これらの膜のろ過方式と膜モジュールについて以下に記述する。

(1)ろ過方式

膜のろ過方式は廃水側をポンプ等で加圧してろ過する加圧ろ過方式と、膜の処理水側を減圧してろ過する減圧ろ過の2方式がある。ろ過方式の比較を表2に示す。加圧方式は圧力を自由に上昇させて膜ろ過流速を高めて運転することが容易という利点があるが、薬品洗浄間隔が短いこと、運転動力が大きいうという短所がある。減圧ろ過は逆に運転動力が低く、薬品洗浄間隔が長いという利点があるが、ろ過圧力に限界があり、膜ろ過流速も低く、膜面積が大きいうという短所がある。共に長所、短所があるが産業廃水処理の場合、運転コスト、薬品洗浄等の維持管理面から、減圧ろ過方式の方が優位と考えられる。

(2)膜モジュール

表2 ろ過方式

	加圧ろ過	減圧ろ過
フロー
膜モジュール	プレート&フレーム チューブラ	浸漬平膜 回転平膜
ろ過圧 (kg/cm^2)	0.5 ~ 3.0	-0.02 ~ -0.8
Flux ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$)	0.5 ~ 5.0	0.3 ~ 1.0
薬品洗浄間隔	短	長
ろ過動力	大	小

産業廃水処理の場合、活性汚泥、凝集汚泥といった高濃度の濁質を含んでいるものが膜のろ過対象となる。そのため膜モジュールは汚泥の閉塞が起きないように汚泥流路を有する構造でなければならぬ。また膜面の目詰まりを低減できる方策が必要である。その条件を満たす膜モジュールとして浸漬型の平膜モジュール、回転平膜モジュールがある。

1) 浸漬型の平膜モジュール

図-1に浸漬型平膜モジュールの構造を示す。このモジュールはシート状の膜を複数枚合わせて端末部を樹脂でシールした構造となっている。ろ過はこの膜モジュールを槽内に浸漬して処理水側をポンプで減圧して行っている。さらに膜面の目詰まりを低減するため膜モジュール下部より空気を散気し膜面の洗浄を行っている。

2) 回転平膜モジュール

図-2に回転平膜モジュールの構造を示す。この膜モジュールは円板状のディスクに膜を張り合わせたものを膜ディスクとし、軸に複数枚を固定した構造となっている。ろ過はこの軸を中心に膜ディスクを回転させながら処理水側をポンプで減圧して行っている。この回転時に起きる膜面の剪断力により膜面の目詰まりを抑制させている。

図-1 浸漬型平膜の構造

図-2 回転平膜の構造

5. 適用例

浸漬型平膜と回転平膜を利用した産業廃水処理技術について実験を行ったので事例として紹介する。

(1) 電力廃水処理（浸漬型平膜）

1) 原水

火力発電所から発生する一般廃水と貯炭場廃水を原水とした。一般廃水はCOD, S S, フッ素が含有し、貯炭場廃水は微細な炭粒子が多く含んでおり、その除去を目的とした。

2) 実験条件

実験は80m³/日規模で行った。図-3に実験装置フロー、表3に運転条件を示す。従来は無機凝集剤と高分子凝集剤を注入し、沈殿分離を2段階繰り返し、その後砂ろ過器で処理していたが、実験では無機凝集剤のみでマイクロフロックを形成させて浸漬型平膜で分離するものとした。

3) 結果

図-4に実験結果を示す。原水のS S濃度は

図-3 実験装置フロー（電力廃水）

表3 電力廃水処理実験条件

反応槽	槽容量	3 m ³
	凝集剤種類	Al系凝集剤
膜装置	膜種類	浸漬型平膜
	孔径	0.4 μm
	膜面積	200 m ²
	運転方式	定流量運転
	設定透過流量	0.4 m ³ /m ² ・h

100~2,500mg/ℓの範囲で変動したが設定流量で安定して処理水が確保できた。膜の汚泥濃度の限界を調べるため、一時的に短期間で膜浸漬槽内のS S濃度を50,000mg/ℓまで濃縮した結果、40,000mg/ℓを超えた時点で急激な過圧力の上昇が見られた。以下の濃度であれば0.1mg/cm²以下のろ過圧力で安定して運転できる見通しを得た。

処理水質は一般廃水、貯炭場廃水共に高分子凝集剤無しでもS Sは1 mg/ℓ以下が得られた。以上から、設備の簡略化、薬品使用量の低減、設備の大幅な省スペース化が図れる見通しを得た。

(2) 半導体製造廃水処理（回転平膜）

1) 原水

半導体製造の現像工程で発生する現像廃水を原水とした。本廃水はTOC濃度1,000mg/ℓ以上の高濃度の有機廃水である。主成分はTMAH(水酸化テトラメチルアンモニウム)で生物分解性が遅く、通常は産業廃棄物として工場外で委託処理されることが多い³⁾。

2) 実験条件

実験は0.3m³/日で行った。図-5に実験装置フロー、表4に実験条件を示す。現像廃液はpHが高いので塩酸で調整した。また、栄養塩類が不足しているためリン酸を添加した。その調整液を高濃度に活性汚泥を維持した生物反応槽で処理し、その活性汚泥を直接回転平膜でろ過した。

3) 結果

図-6に活性汚泥濃度と回転平膜のろ過圧力との関係を示す。膜透過流量を一定にしても汚泥濃度よってろ過圧力が変化し、適正な汚泥濃度があることがわかった。本現象はメカニズムの解明に至っていないが興味有る現象である。本実験の場合、活性汚泥濃度は10,000~15,000mg/ℓの範囲が有効なろ過条件であった。本条件連続運転した結果、安定して設定流量を確保し、実験期間中の膜の閉塞は見られ

図-4
浸漬平膜型電力廃水
処理実験の運転結果

図-5
実験装置フロー（現像廃液）

表4 現像廃液処理実験条件

	調整 pH	pH 7
pH 調整槽	注入薬品	塩酸, リン酸
生物反応槽	TOC負荷	0.15 kg-TOC/kg-SS・日
	MLSS	10,000~15,000 mg/L
膜装置	膜種類	回転平膜
	孔径	分画分子量 75万
	膜面積	0.3 m²
	運転方式	定流量運転
	設定透過流速	1.0 m³/m²・日

図-6 回転平膜のろ過差圧特性

なかった。

図-7に TOC の処理結果を示す。原水中の TOC は約1,500mg/ℓであるが処理水は安定して20mg/

ℓ以下にできた。従来法の生物処理に比べ負荷から試算すると処理時間は1/5以下であり、大幅な短縮ができる見通しを得た。

図-7 回転平膜適用生物処理設備の運転結果

6. おわりに

産業廃水処理設備に適用した膜ろ過技術は濁質に対し、高度な分離性能を有するだけでなく、従来か

らの単位操作の性能向上が図れる等の利点を有していることを実験で確認できた。今後もこの利点から膜利用型の産業廃水処理設備の導入は増加するものと予想される。また、膜モジュールは次々と新タイプのもが開発されており、その性能は産業廃水処理技術に大きく影響するため、今後の膜ろ過技術の発展に期待したい。

参考文献

- 1) 第1回水総合再生利用システム研究成果発表会(アクアルネッサンス'90計画) 予稿集, (1989)
- 2) 奥野他; 第1回環境工学総合シンポジウム講演論文集, 日本機械学会, (1991)
- 3) Utitomi; '96 Semiconductor Pure Water and Chemicals Conference, (1996)

行事案内

生物・地球環境試料の超長期保存ネットワークに関する 国際ワークショップ論文募集

(略称 生物・環境タイムカプセル国際ワークショップ)

開催日 1997年11月3日～6日(3日午後公開シンポ)

会場 千里ライフサイエンスセンター(大阪)

後援 大阪府, 日本万国博覧会記念協会, 環境技術研究会, 等

目的 西暦2001年を期して, 南極の高地ドームFuji上に20世紀の生物・地球環境を代表する試料を自然界冷凍保存し, 超長期にわたる遺伝子レベルでの地球環境影響評価に役立てる。

本ワークショップでは本構想に関係する生物, 環境科学(とくに生物・環境試料保存, 古環境の再現, 生物による環境モニタリング等), 生命, 極地, 宇宙科学等の広い研究分野で活躍中の第一線の研究者が集まり, 計画の基礎となる学術情報の交換と, 2001年の実行に向けた今後の研究計画の策定を行う。

アブストラクト 1) Title 2) Authors' names

and affiliations 3) Mailing address, phone and fax numbers of the primary author 4) Abstract text: 150-250 words

論文 原稿締切: 1997年8月31日

申込 生物・環境タイムカプセル国際ワークショップ, 組織委員長 柴田俊一(問い合わせは, 実行委員長 江藤剛治, 〒577 東大阪市小若江3-4-1 近畿大学内, Tel 06-721-2332, Fax 06-730-1320)

文部省科研費重点領域研究(A)申請計画研究参加者募集

本研究については平成6, 7年度文部省科学研究費補助金総合研究(A), 平成8年度同基盤研究(B)等の助成を受けており, 引き続き重点領域研究(Aタイプ)に応募する(申請期限: 平成9年9月)。ついては共同して応募頂ける研究者と課題を募りたい。関心のある方は, 連絡先は上記に同じ。