

【技術分類】 1 - 6 - 5 単位操作 / 膜分離 / 膜の種類

【技術名称】 1 - 6 - 5 - 1 精密ろ過膜

【技術内容】

精密ろ過膜（MF 膜）は、メンブレンフィルトレーションと呼ばれ、圧力差を駆動力として、粒子懸濁液から 100nm～10 μm 程度の粒子を分離除去できる。

MF 膜の孔径は、バブルポイント法（エアーフロー法）、水銀圧入法、電子顕微鏡法、チャレンジテスト等により決定され、公称孔径として表示される。バブルポイント法（エアーフロー法）、水銀圧入法は間接的な測定結果から計算により孔径を求める方法である。電子顕微鏡法は直接膜表面の細孔を観察し孔径を求める方法である。チャレンジテストはラテックスなど粒径が既知の標準粒子をろ過して測定する方法である。

膜材質は、有機系の高分子膜とアルミナなどの無機系のセラミック膜がある。有機高分子膜としてはポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスルホン、ポリフッ化ビニリデンなどが用いられる。

MF 膜の構造は、膜の厚み方向に構造が一樣な対称構造と、膜の厚み方向に構造が異なる非対称構造がある。一般にセラミック膜は非対称構造の膜が多く、有機高分子膜は対称構造の膜が多い。有機高分子膜の中にもポーラスな芯材の外側に膜を形成させた非対称構造の膜も用いられている。

流体の流れ方により、全ろ過（垂直流ろ過）とクロスフローろ過（平行流ろ過）がある。平行流ろ過では、原水中の濁質成分が膜表面に蓄積されにくいので相対的にろ過継続時間が長いとされる。

MF 膜は、半導体用の薬品類の精製（脱微粒子）や食品、醸造分野での溶液の清澄ろ過などの用途に用いられる。

【図】

表 代表的な MF 膜製品の仕様

膜モジュール仕様				
ろ過方式	膜材質	膜形状	膜面積（m ² ）	公称孔径（μm）
加圧・外圧	PP	中空系	30	0.2
加圧・外圧	PP	中空系	15	0.2
加圧・外圧	PS	中空系	7	0.1
加圧・外圧	PE	中空系	20	0.1
加圧・外圧	PVDF	中空系	72	0.1
加圧・外圧	アルミナ系 セラミック	管状	2.3	0.1
加圧・外圧	組紐 + PVDF	中空系	46 60	0.1 0.1
加圧・外圧 （オゾン耐性膜）	PVDF	中空系	24	0.1
浸漬・外圧	PP	中空系	25.3	0.1
浸漬・外圧	PS	中空系	2	2.0
浸漬・外圧	PE	中空系	58	0.1
浸漬・外圧	合成樹脂	平膜	0.84	0.25

出典：本標準技術集のために作成

【出典 / 参考資料】

「造水技術ハンドブック」、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、84 - 85 頁

【技術分類】 1 - 6 - 5 単位操作 / 膜分離 / 膜の種類

【技術名称】 1 - 6 - 5 - 2 限外ろ過膜

【技術内容】

限外ろ過膜（UF 膜）の細孔は、精密ろ過膜（MF 膜）と逆浸透膜（RO 膜）の間にあり、精密ろ過よりは細かい粒子を除去できる。

精密ろ過との細孔径の境界は明確に定義されてはいるが、UF 膜は通常 $0.01\mu\text{m}$ 以下とされている。

UF 膜の細孔は MF 膜のように膜の孔を電子顕微鏡等で見ることが出来ない。このために除去性能を表す指標としては、一般的に、既知の分子量を有する標準物質を透過させて阻止率 90% に相当する分子量から定める方法がとられている。

実際には、各メーカーによって試験条件が異なっているので、膜メーカー間で公称分画分子量が異なっているのが現状であるが、UF 膜の分画分子量は、1,000 ~ 300,000 程度である。

UF 膜に使用されている膜材質は、高分子材料を用いる有機膜とセラミック膜などの無機膜に大別される。高分子膜としては、酢酸セルロース系、ポリアクリロニトリル系、ポリスルホン系などがある。

UF 膜の膜モジュール構造は、中空系円筒型、シート型、スパイラル型、チューブラー型、回転平膜型など多様であるが、中空系円筒型モジュールは膜モジュールの容積当たりの膜面積を高くすることができることから、水処理分野では多く使用されている。中空系型モジュールには、原水を中空系の外側から流す外圧型と内側から流す内圧型がある。一般的には、懸濁物質濃度の小さい原水では内圧型が、懸濁物質濃度が高い原水の場合は外圧型が用いられることが多い。

膜処理では、膜面での溶質濃度が原水中のそれよりも高くなる濃度分極という現象が起こる。したがって、UF 膜の透過現象は膜本来の抵抗に加えて、濃度分極による抵抗、ケーキ抵抗および膜細孔内閉塞による抵抗を考慮する必要がある。UF 膜ではこれらの抵抗を減少させる対策としてクロスフローが採用されることが多い。

【図】

写真 中空系 UF 膜断面の写真

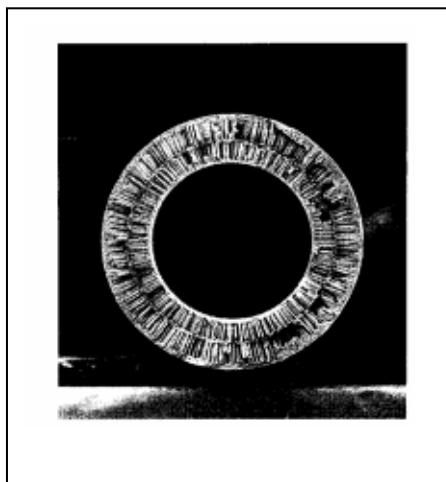
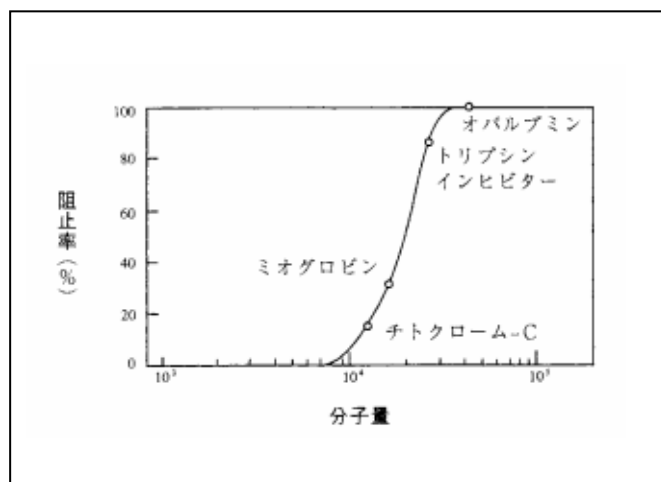


図 分画分子量曲線



出典：造水技術ハンドブック、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、86 頁 写真・基 - 13.1 中空系 UF 膜断面の写真、図・基 - 13.2 分画分子量曲線

【出典 / 参考資料】

「造水技術ハンドブック」、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、85 - 89 頁

浄水技術ガイドライン、2000 年 5 月、財団法人水道技術研究センター発行、93 - 95 頁

【技術分類】 1 - 6 - 5 単位操作 / 膜分離 / 膜の種類

【技術名称】 1 - 6 - 5 - 3 ナノろ過膜

【技術内容】

ナノろ過膜（NF 膜）は、逆浸透膜（RO 膜）と限外ろ過膜（UF 膜）の中間の分離性能を示す膜である。

NF 膜の構造は、一般に RO 膜と同様に、膜支持層（スポンジ層）の上に多孔性支持膜と分離機能を有する薄いスキン層（機能層）からなっている。

機能層の素材は、架橋全芳香族ポリアミド（PA）、スルホン化ポリスルホン（SPS）、酢酸セルロース（CA）などである。

NF 膜の除去対象は、1nm サイズの分子であり、低分子量の有機物にはあまり高い阻止率を示さないが、分子量数百程度の以上の有機物はほぼ完全に分離することが出来る。また、操作圧力が 0.3 ~ 1.0MPa と低いのも特徴である。

膜モジュールの形状はスパイラル型が一般的であり、モジュールの収納方法はケーシング型、ろ過方式はクロスフローが標準的である。

NF 膜は主に脱塩・硬度処理（軟水化）に用いられており、浄水の高度処理にも使用される。上水用途では、トリハロメタン前駆物質、臭気物質、シマジン、アトラジンといった農薬、合成洗剤等が除去対象物質となる。トリハロメタン前駆物質の除去に関しては、活性炭吸着法やオゾン処理による酸化分解法があるが、活性炭吸着法は、除去性能に限界があること、オゾン処理では、酸化分解された低分子有機物が微生物増殖を引き起こすことや、臭素イオンを含む原水の場合には、臭素系の有害な副生成物が生成するなどの問題がある。NF 膜の場合は、適当な膜を選択することにより、トリハロメタン前駆物質に対して高い除去率が得られ、しかも、有害な消毒副生成物が生成することが少ない。

NF 膜の大きな特徴は、2 価イオンは阻止するが、1 価イオンは透過しやすいということである。例えば SU - 600 膜（東レ製）では Mg^{2+} の阻止率が 80%、 Na^{+} の阻止率が 55% であり、 SO_4^{2-} の阻止率が 99% であるのに対し、 Cl^{-} の阻止率は 55% である。この特性が、硬水の軟水化等に利用される。

【図】

表 NF 膜の用途と除去対象物

用途	地域	無機塩				トリハロメタン 前駆体	農薬類 アトラジン シマジン等	環境 ホルモン	毒物 ヒ素
		NaCl	$MgSO_4$	SO_4^{2-}	$CaCl_2$				
脱塩硬度処理	欧、米、日	○	○						
上水高度処理	欧、日				○	○	○	△	△
石油 2 次回収	欧			○					
海淡水処理	中東、欧、日		○						
目的		脱塩	硬度除去	スケール防止	ミネラル透過	飲料水浄化		飲料水・ 水質・環境	毒物除去

○：既存用途 △：可能性のある用途

出典：造水技術ハンドブック、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、98 頁 表、基 - 13. 4 NF 膜の用途と除去対象物

【出典 / 参考資料】

「造水技術ハンドブック」、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、97 - 98 頁

「浄水技術ガイドライン」、2000 年 5 月、浄水技術ガイドライン作成委員会著、財団法人水道技術研究センター発行、95 - 99 頁

【技術分類】 1 - 6 - 5 単位操作 / 膜分離 / 膜の種類

【技術名称】 1 - 6 - 5 - 4 逆浸透膜

【技術内容】

溶質を含む希薄溶液と濃厚溶液を溶媒のみを透過させ溶質を透過させない半透膜で仕切り、濃厚溶液側に浸透圧差以上の圧力を加えることにより濃厚溶液側から希薄溶液側へ溶媒の透過が起こる。この原理を利用して溶液中の溶質と溶媒を分離する技術が逆浸透法である。

海水淡水化の場合、海水中の塩分を除去するためには、海水には浸透圧が約 2.5MPa 程度存在するので、逆浸透の操作を行うためにはそれ以上の圧力をかける必要がある。一般には、5.0MPa から 7.0MPa 程度の操作圧力で運転されている。操作圧力が高いために耐圧性を重視した膜構造となっており、透水性能は NF 膜よりも小さい。

膜素材は、架橋芳香族ポリアミド系が広く用いられている。そのほかに、ポリピペラジンアミド系、酢酸セルロース系などがある。

膜の形状は複合膜と非対称膜に分類される。十分な透過流束を得るためには膜の分離活性層は薄いことが望ましく、工業的には薄い分離機能層と機械的強度を有する支持層が一体となった非対称膜や、支持膜上に分離機能層を形成させた複合膜が製造されている。

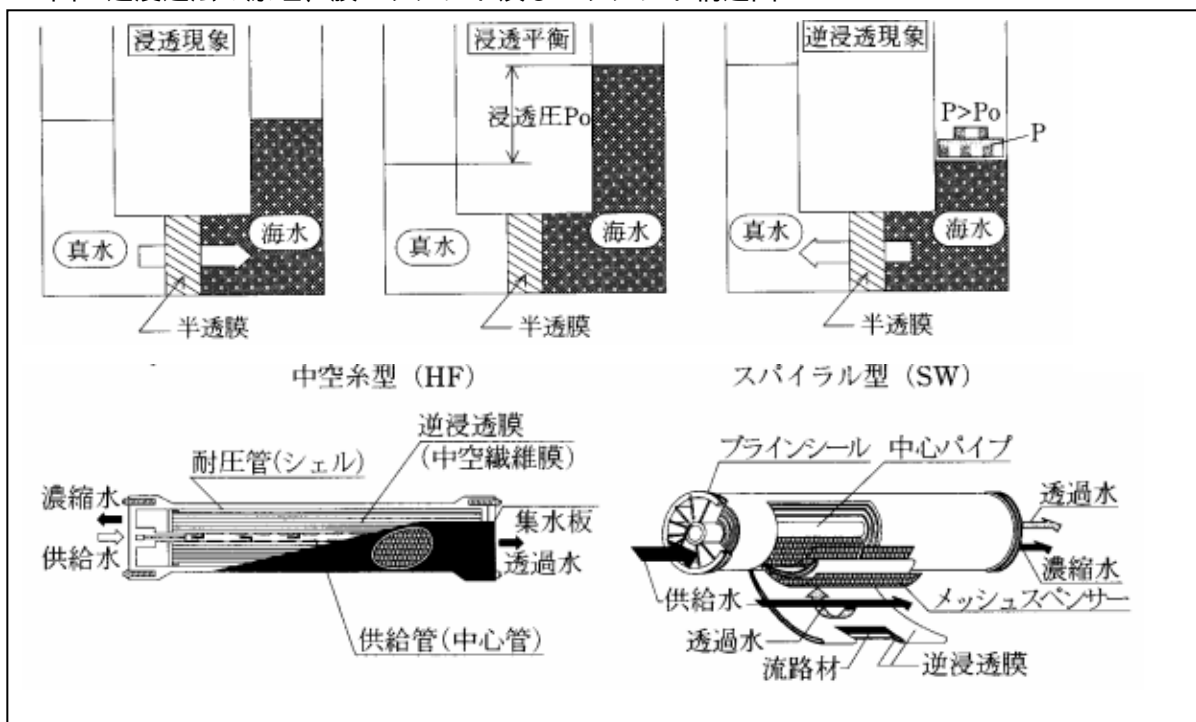
逆浸透膜を実際に使用するにあたっては、単位体積あたりの有効膜面積をできるだけ大きくとる必要がある。種々の膜エレメント形状が考案されて来たが、現在、実用化されているのは、ほとんどがスパイラル型及び中空糸円筒型である。

逆浸透膜は、当初、米国における脱塩技術の研究開発プロジェクトとして推進された経緯があり、海水淡水化やかん水淡水化などの脱塩分野で発展してきた。海水淡水化など高濃度溶液の処理においては UF 膜と同様に濃度分極の影響が大きく効くために注意が必要である。

その後、LSI 等の洗浄に用いられる超純水の製造工程において必要不可欠な膜として急速に普及した。現在では、上記以外でも廃水処理、食品分野などへ用途が広がっている。

【図】

図 逆浸透法の原理、膜エレメント及びエレメント構造図



出典：浄水技術ガイドライン、2000 年 5 月、浄水技術ガイドライン作成委員会著、財団法人水道技術研究センター発行、210 頁 図 . 5.2 - 2 逆浸透法の原理、211 頁 図 . 5.2 - 3 膜エレメント及びエレメント構造図

【出典 / 参考資料】

「造水技術ハンドブック」、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、95 - 97 頁

「浄水技術ガイドライン」、2000 年 5 月、浄水技術ガイドライン作成委員会著、財団法人水道技術研究センター発行、210 - 211 頁