

ろ過はハイテク（高度膜分離技術紹介）

山代 祐司*・新谷 卓司

本投稿ではろ過技術ならびに近年問題となっている水不足に対するろ過技術の応用について説明するものである。

分離，ろ過について

分離，ろ過 分離操作は化学工学，食品工業，薬品工業などの各種製造工業はもとより，生化学分野，医療分野，排水分野など，社会の広い範囲にわたって不可欠なプロセスのひとつである。分離操作としてはろ過，蒸留，抽出，吸着，透析などがあり，それぞれの目的により使い分けられている。この中で特に膜分離は従来の分離法と比べて，エネルギー消費が少なく，操作が容易で，装置が小型化できるなどの特徴があり，また従来困難とされていた物質の分離を可能にする技術として期待されている¹⁾。

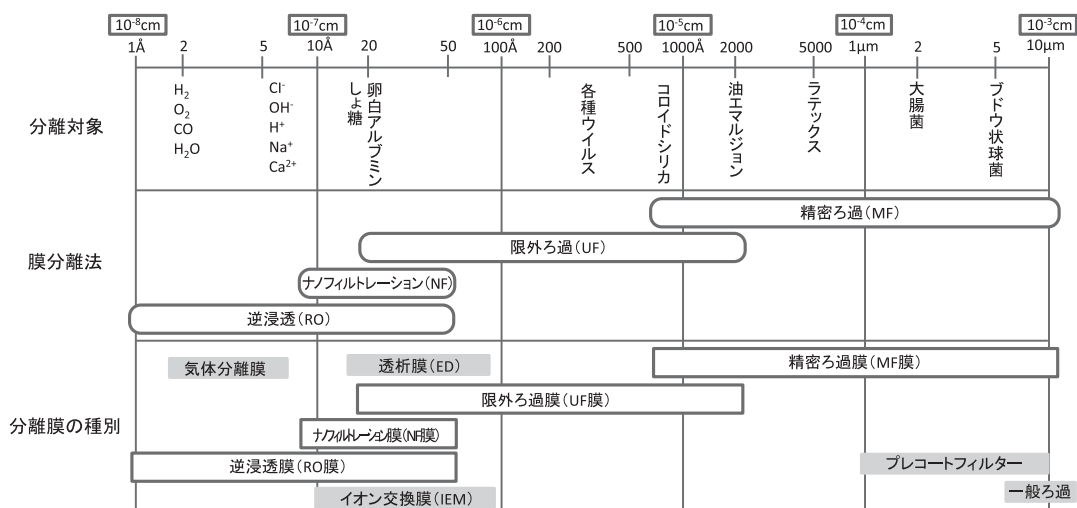
これまでの膜分離技術としては精密ろ過 (micro filtration) 法，限外ろ過 (ultra filtration) 法，逆浸透 (reverse osmosis) 法，およびイオン交換膜による電気透析法が広く利用されている。さらに最近では液膜法，気体分離法や浸透気化法も実用化されている。表1に実用化されている分離膜プロセスをまとめた。素材としては高分子膜と金属・セラミック膜に，形状は多孔質と非多孔質に分けられる¹⁾。

表1. 膜分離プロセス¹⁾

分離操作	分離駆動力	応用例
精密ろ過 (MF)	圧力差	除菌，微粒子除去
限外ろ過 (UF)	圧力差	食品濃縮，酸素精製
逆浸透 (RO)	圧力差	海水淡水化，純粋製造，食品濃縮，排水処理
透析	濃度差	血液透析，酸素精製
電気透析	電位差	製塩，苛性ソーダ製造，電解二量化
気体分離	圧力差	水素分離，酸素富化，二酸化炭素分離，脱湿
浸透気化液膜	濃度差	有機液体の脱水
	濃度差	湿式冶金，排水処理

分離膜 目的とする物質の大きさによって分離膜の種類が異なる。実際のところふるいによって分離を行うためである。ここでは後で述べる水処理に多く使用される分離膜について述べる。分離膜はその孔形の大きさより精密ろ過 (micro filtration, MF) 膜，限外ろ過 (ultra filtration, UF) 膜，逆浸透 (reverse osmosis, RO) 膜に分類される。MF膜は粒子や菌体，UF膜は高分子物質やコロイド状物質，RO膜はイオンの分離を対象とした膜である。図1に分離対象物質と分離膜を示す。

特にRO膜は他の膜とはやや異なった原理と方法で分



※1Å (オングストローム) は百分分の1メートル。1μm (ミクロン) は百万分の1メートル。

図1. 分離対象物と分離膜種類²⁾

*著者紹介 日東電工株式会社メンブレン事業部開発技術部 (主任研究員) E-mail: yuuji_yamashiro@gg.nitto.co.jp

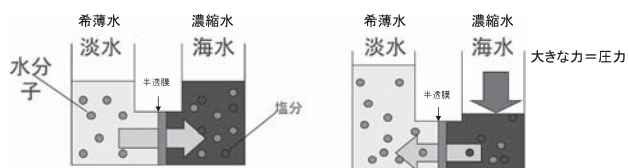


図2. 浸透, 逆浸透の原理

離を行う。半透膜で仕切られた容器に濃厚溶液（たとえば海水）と希薄溶液（真水）を入れると、浸透圧の差によって希薄溶液側の溶媒が濃厚溶液側に半透膜を通過して移行し、両溶液の濃度が一定になろうとする(図2)。この現象を「浸透」と呼ぶ。「逆浸透」とは濃厚溶液側に浸透圧より大きな圧力を加えることによって、半透膜を通して溶媒を濃厚溶液側から希薄溶液側に移行させることである²⁾。この際実際には半透膜を通過するイオンの速度は水と比べて非常に遅いため、見かけ上分離（除去）されたようになる。

RO膜について

RO膜の種類と用途 現在市販されているRO膜は必要とする圧力の違いで大きく分けて2種類に分けられる。高圧ROと呼ばれるものは海水が代表的な原水例であるが、塩濃度が高い、つまり浸透圧が非常に高く分離のために必要とされる圧力が3MPaを越える程度領域で使用されるものである。一方低圧ROと呼ばれるものは、河川水や湖水、表流水または排水などを原水としている。これらは塩濃度が低く、必要とされる圧力が1-2MPaまたはそれ以下であるものである。

また市販のRO膜は原水（処理される水）を淡水と濃縮水に分離するというシステムが一般的である。上述の通り水以外の物質は膜を通過する速度が遅いため、ほとんど膜を通らず濃縮される。たとえば海水淡水化では最終的には海水の2倍近く濃縮されてRO膜システムから出てくる。原水の種類や塩濃度によってさまざまであるが2から最大で10倍濃縮されるのが一般的である。

この特徴を逆に利用した例もある。実際に液状のもの濃縮にも利用されている。代表例はジュースの濃縮である。よくあるジュースやトマトジュースには濃縮還元と表記されているものがある。これはジュースを一旦濃縮して保管し出荷するときに水を加えて缶やビンに詰めるものである。こうすることで保管スペースを削減することができる³⁾。

このようにRO膜は海水淡水化や食品濃縮、排水処理など幅広く応用されている。

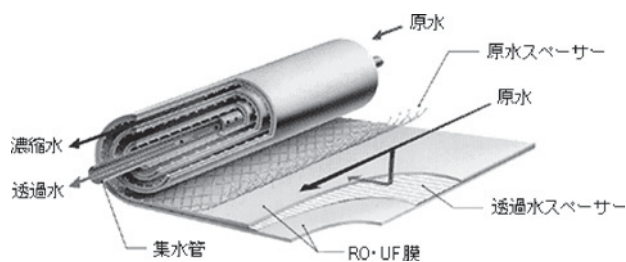


図3. RO膜モジュール構造⁴⁾

RO膜モジュールの構造 市販のRO膜はモジュールとして販売、使用されている。RO膜モジュールは大きく分けてスパイラル型とフォローファイバー型の2種類がある。フォローファイバータイプは中心に穴が開いた非常に細い管を何本も束ねたものである。酢酸セルロースが主な構成材料であり、殺菌効果がある塩素が使えるというメリットがある。一方スパイラル型は膜シートを何枚も重ねてのり巻き状にしたものである(図3)。現在膜シートの構成材料はポリエチレン、ポリスルホン、ポリアミドの3層構造が一般的でありポリアミドの層が性能を左右する。スパイラル型は塩素が使用できないというデメリットがある一方、高い塩分除去性能と消費電力が少ないというメリットのため現在世界の約9割にて使用されている。双方とも詳しい構造については割愛させていただき、専門書などを参考にさせていただきたい。

水不足と分離膜の利用

水不足 近い将来北アフリカ、中東、西アジア諸国、中国、米国、チリ、オーストラリアといった地域は深刻な水不足が問題になるといわれている⁵⁾。また地球上にある水のうち、約97.5%が海水などであり、淡水は約2.5%である。この淡水のうち地下水や河川、湖沼の水などとして存在する淡水の量は、地球上の水の約0.8%である。さらに、河川や湖沼に絞れば0.01%にすぎない⁶⁾。

つまりこの水不足を解消するには下排水の再利用ならびに海水の利用が不可欠であり、近年盛んになってきた。これらの水を淡水化するためには高度の除去技術が必要であり、上述の分離膜が利用されている。

淡水化 図4、5に一般的な淡水化方法を示す。図4は一般的な下水処理の例である。集められた下水はまず粗ごみや砂の除去が行われ、ばっ気層にて生物による処理が行われる。これは水中の有機成分を生物にて処理してもらおうのが目的である。この生物処理とMF膜を用いて膜処理を組み合わせたものがメンブレンバイオリアクター（MBR）法と呼ばれている。こうして得られた水

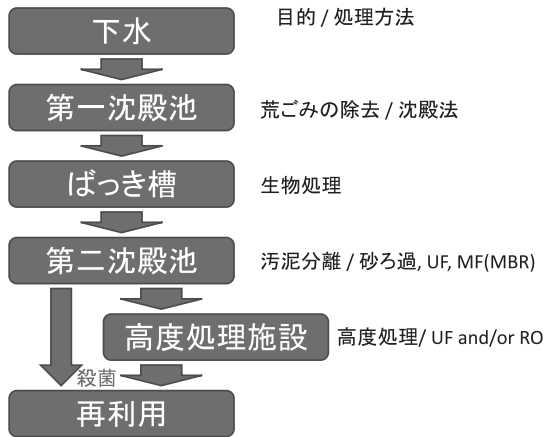


図4. 一般的な下水処理方法

は殺菌工程を経て景観水や散水、トイレに使用する水などに使用される。加えてこれらの水をRO膜にて膜処理を行うことで高純度の水を得ることができる。このようにして得られた水は殺菌工程もしくは浄水とブレンドされ工業用途や飲料用途に使用されている。実際シンガポールではNEWaterという名前で再利用化した水を利用している。

次に海水淡水化について説明する。従来海水淡水化は蒸発法が主流であったがRO膜処理方法技術の進化により低コスト化が実現し、現在はRO膜法が多く利用されている。図5は海水淡水化の例である⁷⁾。まず海洋を取水し濁質成分の除去を行う。海水が比較的きれいであれば砂ろ過などの方法が採用されるが、UF膜やMF膜などを用いて膜処理を行い濁質成分の除去を行うケースも近年多い。濁質成分が除去された海水が次にRO膜により処理される。RO膜により希薄液と濃縮液に分離、つまり塩分を除去された純度の高い水を得ることができる。上述のように海水の場合は塩濃度が高く、要求される圧力も高いため特にこの部分は高圧ROと呼ばれている。また飲料用途に用いる場合は高圧ROにて得られた淡水をさらにRO膜にて処理を行い、飲料用途基準の水を得ることができる。この部分は塩濃度が低く、要求される圧力も低いことから低圧ROと呼ばれている。日本では

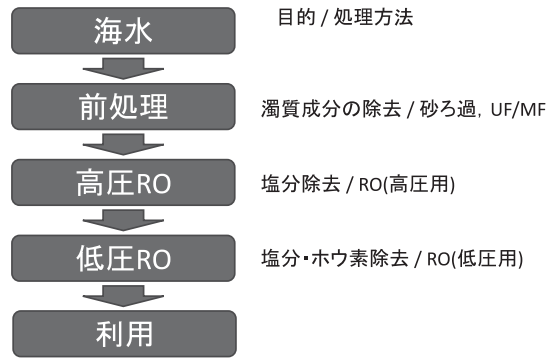


図5. 海水淡水化の一例⁷⁾

福岡や沖縄にRO膜を用いた海水淡水化施設があり、福岡では高圧ROと低圧RO両方が使われている。また世界には中東、北アフリカ、オーストラリア、スペインなどに大型の海水淡水化施設がありRO膜が利用されている。

まとめ

分離ろ過技術はその目的に応じて多種多様に用いられている。特に膜分離技術はエネルギー消費が少ないという利点から注目されている技術の一つである。まさにハイテクと呼んでよい技術の一つである。実際に世界の水不足に対しこの膜分離技術は広く利用されており、今後も全世界に対し貢献していこう。

文 献

- 1) 佐野雄二ら：ポケコン・パソコンで学ぶ化学工学，信山社出版(1997).
- 2) <http://www.nitto.co.jp/product/industry/environment/membrane/reverse/index.html>
- 3) 中尾真一：よくわかる分離膜の基礎，工業調査会(2009).
- 4) <http://www.nitto.co.jp/product/industry/environment/membrane/spyral/index.html>
- 5) 環境省：超長期ビジョン検討会第一回検討会配布資料3, p.16 (2006).
- 6) 国土交通省：平成21年度版日本の水資源について 第II編 第1章(2009).
- 7) <http://www.f-suiki.or.jp/seawater/facilities/mechanism.php>