

膜分離技術の基礎と応用

田村 真紀夫 一般社団法人 膜分離技術振興協会 膜協会ジャーナル編集長

要約 膜分離技術はここ数十年で発達した比較的新しい単位操作であり、薄い膜の裏表に圧力差や濃度差、電位差を与えることで機能する非常にシンプルな分離操作である。応用用途としては、海水淡水化や水道水・純水製造、排水処理などの水処理や食品産業などの液体系の分離から、アルコールと水の分離、さらに空気、水素、二酸化炭素等の気体分離にも広がり、小型から大型装置まで多くの実用例がある。本項では膜の分類、形態、製膜方法、運転方法などの基礎知識から実際の応用例まで、主に水処理を例として紹介したい。

1. 膜分離技術の基礎

1.1 分離膜の分類

工業的に使われている膜には、半導体の絶縁膜、塗料の塗布膜、包装材のバリアー膜など、多くの種類があるが、本項で扱うのは分離膜である。分離対象としてはガスと液体があり、表1に示したように概略の分類がされている。実際には分離対象や用途でさらに細かく分類され、その境界が明確でない場合もある。分離のメカニズムは多様であり、一般的には膜を貫通する孔径で分離する非常に目の細かい篩（ふるい）と考えるとわかりやすいが、荷電反発をもちいた阻止、膜素材との親和性を利用した透過、膜素材のイオン交換機能を利用したイオン透過などもある。膜の材質としては、主に高分子とセラミックに大別される。

現在実用化が最も進んでいるのは液-液系、特に水系を対象にした膜であり、本項でも水系の膜分離を中心に説明する。図1に水処理に利用される4種類の膜とその孔径、分離対象を示した。水と食塩などのイオン類を分離できる逆浸透膜（RO：Reverse Osmosis Membrane）、ナノろ過膜（NF：Nano Filtration Membrane）、水中のイオンを除去することはできないが、微生物やウイルスの除去が可能な限外ろ過膜（UF：Ultra Filtration Membrane）や精密ろ過膜（MF：Micro Filtration Membrane）の2種に大別することができる。なお近年水道分野で問題となっている大きさ数ミクロンの病原性原虫（クリプトスポリジウム、ジアルジア）除去に特化した大孔径ろ過膜（LP：Large Pore Membrane）もある。UFやMF、LPの場合、通常のろ過に必要な圧力は0.1 MPa以下である。一方、NFやROの場合は、溶液の浸透圧差を上回る

表1 分離膜の分類

分類		駆動力	分離用途例
相	名称		
気-気	ガス分離膜	分圧差	水素分離、水蒸気除去、酸素富化、窒素富化、炭酸ガス濃縮、VOC除去
液-気	パーバレーション膜	分圧差	バイオエタノールの濃縮・脱水
	脱気膜	分圧差	水中の溶存酸素除去、炭酸ガス溶解
液-液	透析膜	濃度差	血液浄化療法（血液透析治療）
	イオン交換膜	電位差	海水濃縮、溶液の脱塩、脱塩水製造、
	精密ろ過膜	圧力差	無菌ろ過、微粒子除去、浄水、MBR
	限外ろ過膜	圧力差	無菌ろ過、微粒子除去、電着塗装、浄水
	ナノろ過膜	圧力差	脱塩水製造、硬度成分（Ca、Mg）除去、有機物除去
	逆浸透膜	圧力差	脱塩水製造、純水製造、果汁濃縮、海水淡水化