

FO(正浸透)とMD(膜蒸留)の原理と進展, 課題

(東京工業大学物質理工学院) 伊東 章

TEL 03-5734-2112 FAX 03-3355-9999 e-mail aito@chemeng.titech.ac.jp

膜分離法は対象とする溶質毎に精密濾過法(MF), 限外濾過法(UF), ナノ濾過法(NF), 逆浸透法(RO)があるが, これらは全てが圧力駆動のプロセスであり, 加圧のためのエネルギーが必要である。これに対して原理が異なる膜分離プロセスとして浸透圧駆動の正浸透法(FO)および温度差駆動の膜蒸留法(MD)が再度注目されている。これらは圧力駆動の従来のプロセスに比較してエネルギー的に有利になる可能性があると期待されている^{1, 2)}。

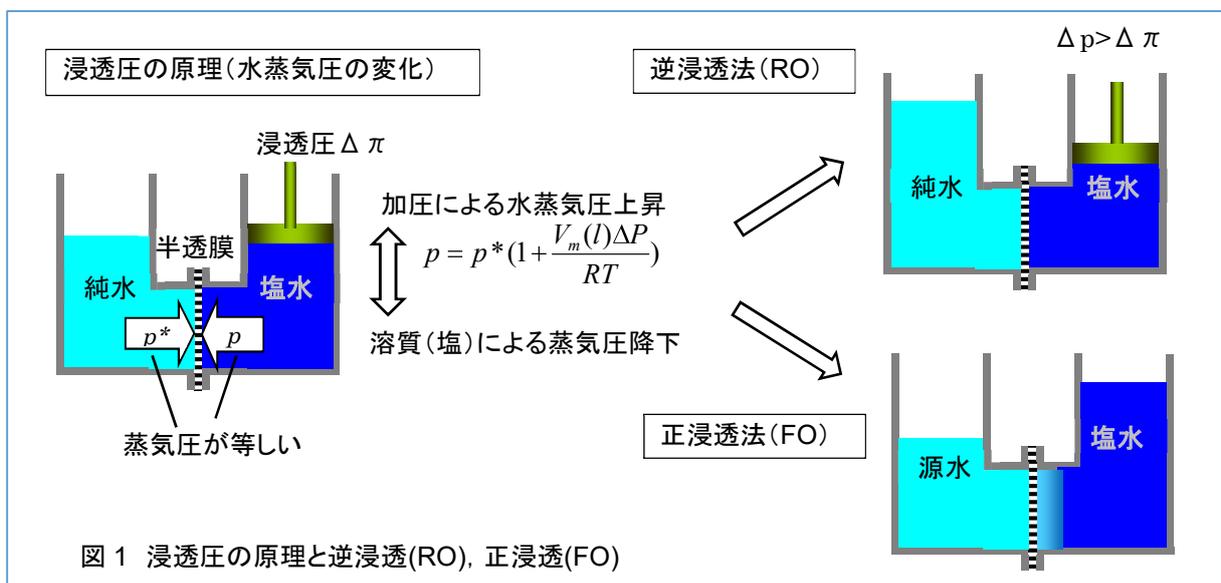
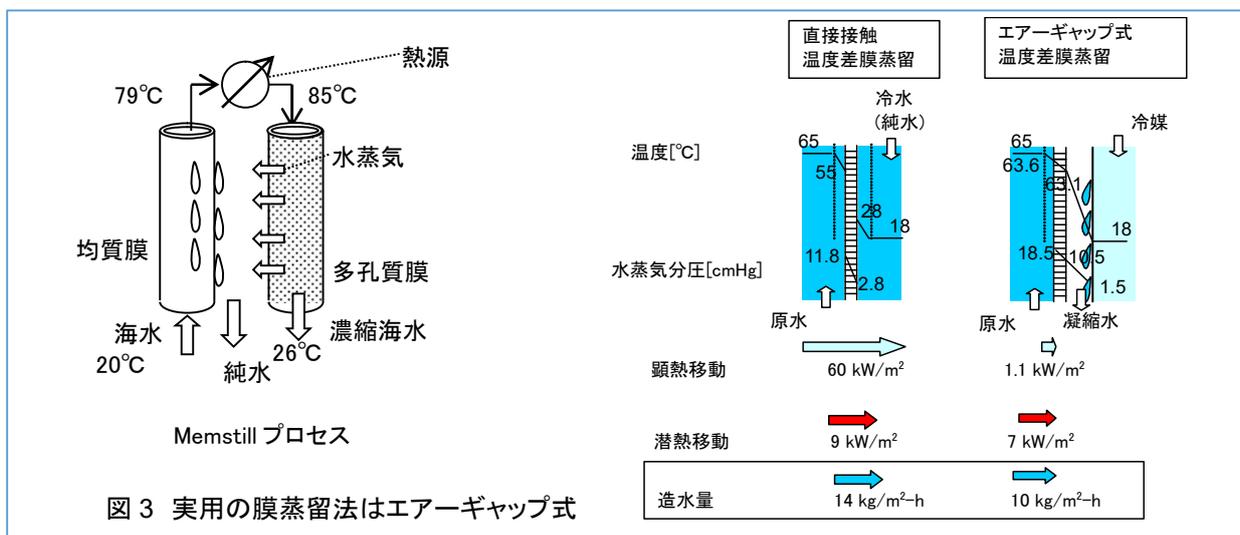
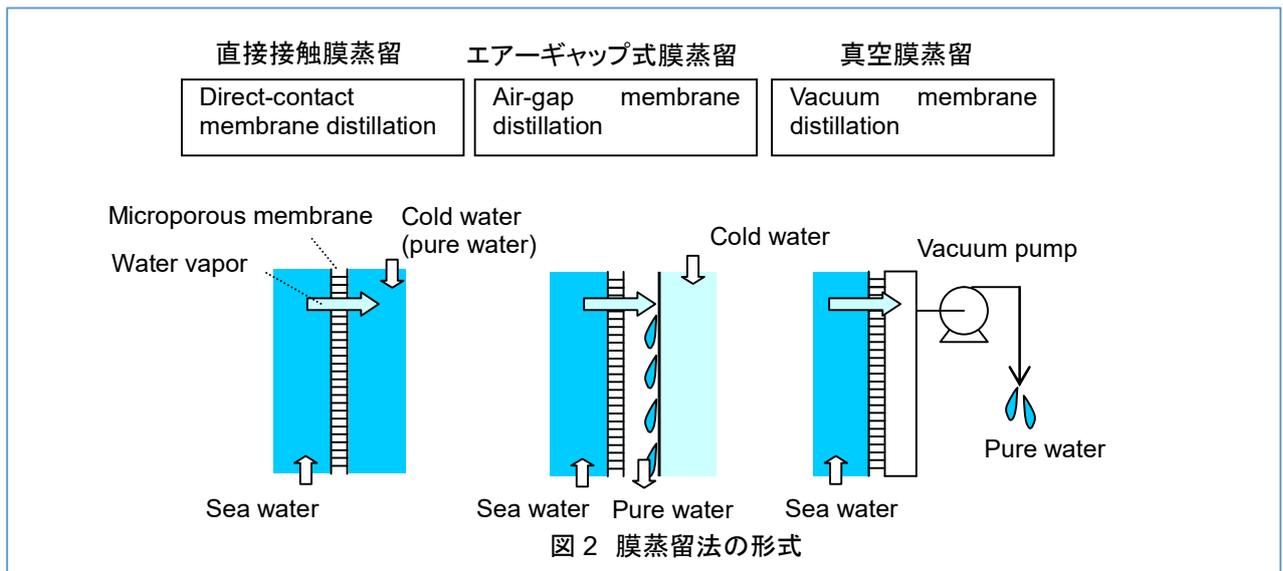


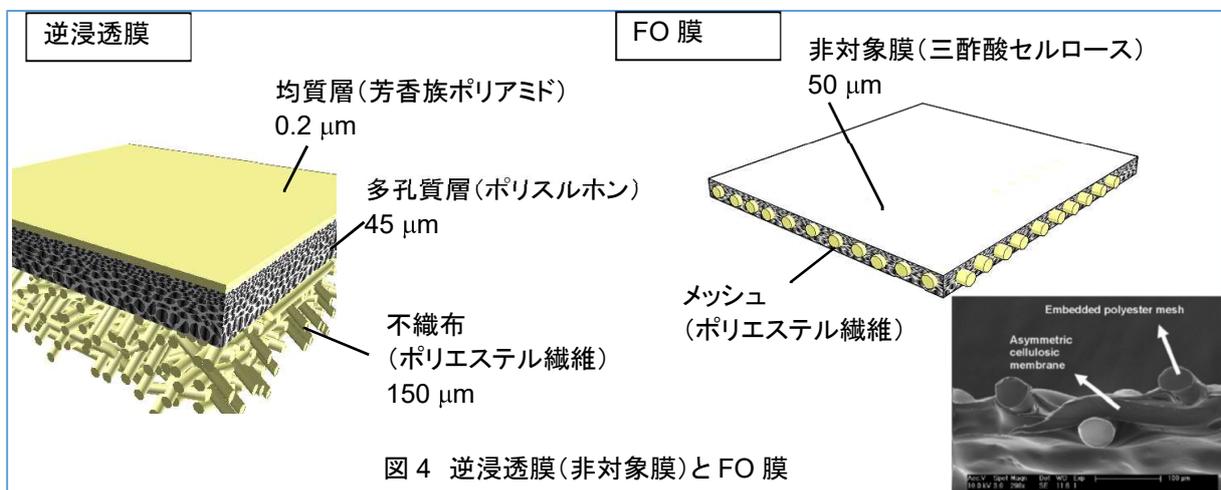
図1 浸透圧の原理と逆浸透(RO), 正浸透(FO)

浸透圧の原理については, 半透膜を介した純水と溶液間で, 不揮発性溶質(塩など)による蒸気圧降下とそれを補償して, 加圧により水蒸気圧を増加する効果のつりあいとして理解するのがよい。(図1)これにより浸透圧を物理化学的に概略計算することができる。例えば 29 気圧の加圧により水蒸気圧は 2.22% 上昇するが, これが塩濃度 3.5wt% による蒸気圧降下を補償する。この純水に対する溶液の浸透圧 $\Delta \pi$ を基準に溶液側をさらに加圧して純水側に純水を得るのが逆浸透法(RO), 浸透圧より低圧ないし圧力をかけずに塩水側を希釈する形で原水から純水を得るのが正浸透法(FO)である。

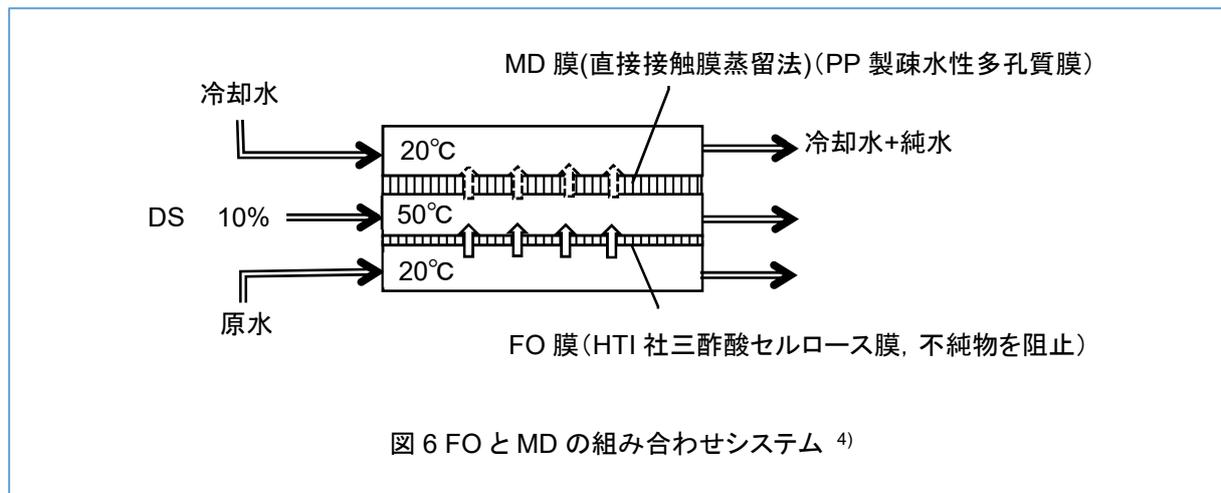
一方, 膜蒸留法(MD)では疎水性の多孔質膜を用いることと, 温度差による水蒸気圧の差を推進力とするのが特徴である。使われる疎水性多孔質膜はポリプロピレン, テフロン, 疎水性表面処理した PVDF 素材などが用いられ, 多孔質膜内は空気層が存在し, その中を蒸気圧差にしたがって高温側表面で蒸発した水蒸気が膜内を拡散・透過し, 低温側水面で凝縮する。従って基本的には純水が得られる。膜蒸留法は図2の3つの形式がある。疎水性膜を介して高温水と低温水を疎水性膜を介して接触させるのが直接接触膜蒸留法である。低温側を壁を介して流し, 膜下流のエアージャップ層を通して壁面で凝縮水を得るのがエアージャップ式膜蒸留法, そのエアージャップ層を減圧する, ないし冷却せずに真空側に直接透過蒸気を回収するのが真空膜蒸留である。



膜蒸留法の実用機を上市しているのは Memstill 社(オランダ)と Memsys 社(シンガポール)である。ともに膜蒸留の方式はエアーギャップ式となっている。(図3右)これは直接接膜蒸留法にはエネルギー的に不利という問題があるためである。図3左にエアーギャップ式との温度分布と熱流束の比較をしたが、潜熱移動や造水量は同等だが、直接接触では原水から冷水への熱伝導量が造水量を上回り、エネルギー損失が大きい。このことにより膜蒸留法の実用装置はエアーギャップ式や真空膜蒸留法に限られることになる。



のため、原水中のほとんどの成分は阻止され、純水のみが回収できる。プロセスのポイントは FO 部と MD 部の透過流束を合わせることであり、これにより DS 液は一定濃度・一定浸透圧に保たれる。これは HTI 社の FO 用薄膜による高流束により実現されたものである。なお MD には多孔質ポリプロピレン膜が用いられている。テスト機で $10\sim 20\text{ kg/m}^2\cdot\text{h}$ 程度の透過流束が実現されている。



参考文献

- 1) T.Y. Cath, A.E.Childress, M. Elimelech: Forward osmosis: Principles, applications, and recent developments, *J. Membr. Sci.*, 281, 70-87 (2006).
- 2) 分離プロセス部会:最近の化学工学 63 ここまできた膜分離プロセス-基礎から応用-, p. 16, 三恵社 (2014).
- 3) 谷岡明彦:浸透圧発電, 日本海水学会誌, 60, 4-7 (2006).
- 4) T. Husnain, Y. Liu, R. Riffat, B. Mi: Integration of forward osmosis and membrane distillation for sustainable wastewater reuse, *Sep. Purif. Tech.*, 156, 424-431 (2015).