

ディビジョン番号	13
ディビジョン名	高分子

大項目	4. 生体・環境関連高分子
中項目	4-4. 生体膜・人工膜
小項目	4-4-2. 人工膜の構造と特徴

概要（200字以内）

人工膜はその断面構造から対称性膜と非対称性膜に分類され、その作製に関しては nm 厚みの膜の精密作製、膜の表面修飾による機能化、環境低負荷な膜の作製法などが最近注目されている。膜の構造評価には SEM などによる形態観察、ガス吸着による細孔評価、各種分光法などが用いられ、膜分離プロセスのシミュレーションも検討されている。今後は丈夫な自己支持性超薄膜などを用いた膜モジュールの大幅な小型化などが期待される。

現状と最前線

人工膜という言葉が指す対象は広いが、ここでは生体膜類似の構造を持つ膜を除いた、高分子を構成要素に含む膜を中心に述べる。

人工膜はその断面の構造から対称性膜（均質、多孔質、円筒状多孔質）および非対称性膜（多孔質、上部層を持つ多孔性膜、複合膜）に分類することができ（図1）、全体の構造としては平膜やチューブ膜が基本構造として挙げられる[1]。高分子は単独で、あるいはセラミックスや金属とのハイブリッドとして、これらいずれの膜の構成要素となりうる。この他人工膜は分離膜としての機能に即して分類されることも多い（限外ろ過膜、イオン交換膜など）。

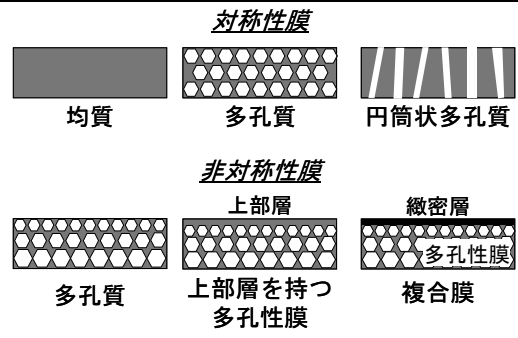


図1 膜断面の模式図

高分子を含む人工膜の作製法として焼結法、相転換法（キャスト法や貧溶媒への浸漬など）、延伸法、トラックエッチング法などがあり、また複合膜の作製法としては浸漬-塗布法、界面重合法などがある[1, 2]。最近の動向の一つとして、nm 厚みでの膜の精密作製が挙げられる。たとえば分子厚みでの逐次的な膜形成が可能である交互積層法などが知られている。また、原理的には分離膜としての機能部位は nm 厚みで十分であるが、これまでは機械的強度の問題な

どから  $\mu\text{m}$  厚みの支持膜なしに実用化することは困難であった。ごく最近、わずか数十 nm の厚みでありながら数 cm 四方の面積を持ち、十分な機械的強度を持つ有機-無機ハイブリッドからなる自己支持性超薄膜の作製が報告された[3]。このような膜はもはや支持膜を必要とせず、膜モジュールの大幅な小型化および分離に要するエネルギーの大幅な削減が期待される。この他カーボンナノチューブ集積体のような非共有結合的集積体による m スケールの長さを持つ自己支持性膜も報告されており、膜分離材料の新たな素材として注目される。膜の作製におけるもう一つの動向はその表面修飾である。膜の最表面のみに修飾を行うことで膜の機能性を保持しつつ媒質や生体成分などとの相互作用を制御することが可能となる。その他最近では環境への負荷が少ない膜の作製法が注目されている。たとえば交互積層法などでは有機溶媒を用いずに水溶液からの高分子超薄膜の作製が可能である他、超臨界流体を用いた多孔質膜の調製や、溶媒の蒸発時における散逸構造を利用した多孔質膜の作製なども行われている。

膜構造の評価に関しては、全体の形態およびメソスコピックな膜構造等は SEM などによる形態観察が、膜中の細孔評価に関してはガス吸着評価やバルブポイント法などが用いられる[1, 2]。高分子膜においては膜中の分子鎖の状態を各種分光法によって評価することができる。膜表面の元素組成を調べるために XPS や SIMS など用いられる。十分な大きさを持つ自己支持性膜においては膜の機械的強度を直接測定することも可能である。

また膜分離のプロセスを明らかにするため、計算化学によるシミュレーションに関する研究も多く行われてきたが、計算機の処理能力の問題もありモデルが簡略化されることが多い。膜を構成する高分子鎖の運動性など膜自身のシミュレーションをも含めた膜分離プロセスのシミュレーションはまだ発展途上である[4]。

引用文献：[1] Marcel Mulder 著, 吉川正和, 松浦剛, 仲川勤 監修, 膜技術 第2版, アイピーシー, 1997; [2] 日本膜学会編, 膜学実験シリーズ 第Ⅲ巻 人工膜編, 共立出版, 1993; [3] R. Vendamme, S. Onoue, A. Nakao, and T. Kunitake, *Nat. Mater.* **5**, 494 (2006) and references therein; [4] 吉川正和 監修, 最先端の機能膜技術 - 未来の膜技術を展望する -, シーエムシー出版, 2005.

#### 将来予測と方向性

・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題

①膜の超薄膜化による分離膜モジュールの更なる小型化、②膜の面内方向における位置選択的な機能化（全体のある部位だけ分離機能を持つ膜の作製など）、③環境低負荷な膜作製技術の更なる開拓、④燃料電池など特定の目的のために特化した自己支持性超薄膜作製法の確立

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

①化学構造式で厚み方向全体を表現可能な精密超薄膜の作製、②計算化学による人工膜自身のシミュレーション（膜構成分子鎖の運動性や膜の機械的強度などの予測）、③必要に応じて構造や機能の動的変化を示す膜の開発、④自己支持性超薄膜の積層化による複合膜の開発

#### キーワード

分離膜、自己支持性超薄膜、表面修飾、環境低負荷な膜作製技術、位置選択的機能化

(執筆者： 橋詰 峰雄 )