

選択問題 (先端膜工学分野)

指導教員群記号 : B

次の問題文を読み、以下の (1) ~ (3) の問いに答えよ。

ある特定の液体に固体表面が濡れる場合、固体の 1nm~数十 nm の狭い空間内には、飽和蒸気圧より低い蒸気圧下で液体の蒸気は毛管凝縮し、液体が形成される。このような現象を利用し、膜の細孔径を測定する方法として、ナノパームポロメトリー法が提案されている。

多孔質膜に水あるいはヘキサンなどの凝縮性ガス (蒸気)、および窒素あるいはヘリウムなどの非凝縮性ガスの混合ガスを供給すると、ナノ細孔内では凝縮性ガスの毛管凝縮により、非凝縮性ガスの透過が妨げられる (図 1)。この毛管凝縮が起こるナノ細孔の径は、以下の Kelvin 式から求めることができる。

$$d_{\text{Kelvin}} = \frac{-4\bar{v}\sigma \cos \theta}{RT \ln (p/p_s)}$$

ここで d_{Kelvin} は毛管凝縮径 [m]、 R は気体定数 [$\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$]、 T は温度 [K]、 \bar{v} は凝縮蒸気のもル体積 [$\text{m}^3 \text{mol}^{-1}$]、 σ は凝縮した液体の表面張力 [N m^{-1}]、 θ はナノ細孔内の接触角 [rad]、 p/p_s は蒸気成分の相対圧であり、 p は蒸気分圧 [Pa]、 p_s は測定温度での飽和蒸気圧 [Pa] である。供給側の凝縮性ガスの分圧を変化させながら、非凝縮性ガスの透過率を測定することで、細孔径分布を推定することが可能である。

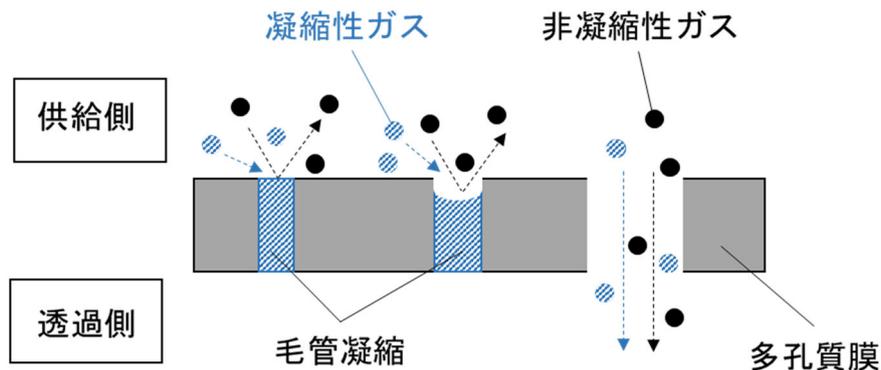


図 1. ナノパームポロメトリー法の測定原理

【裏面に続く】

- (1) ナノパーンプポロメトリー法により細孔径分布を正確に評価するには、適切な凝縮性ガス種および非凝縮性ガス種を選定することが重要である。「親和性」、「蒸気圧」、「分子径」を考慮して、凝縮性ガス種および非凝縮性ガス種それぞれの選定基準を説明せよ。(それぞれ日本語 150 字程度)
- (2) ナノパーンプポロメトリー法により推定される平均細孔径と実際の分離性能には十分な相関が成立し、ナノ細孔の特性評価に有効な手法であることが実証されているが、Kelvin 式を適用するには注意が必要と考えられる。その理由について、Kelvin 式の原理を基に説明せよ。(日本語 150 字程度)
- (3) ナノパーンプポロメトリー法以外で、膜の細孔径や細孔構造を評価できる測定手法を 2 つ挙げ、それぞれの測定原理や対象となる細孔径の測定範囲、特徴を説明せよ。(それぞれ日本語 150 字程度)