

選択問題(先端膜工学分野)

指導教員群記号: B

逆浸透膜を介して海水の淡水化を行う操作において、加圧された海水から主に水のみが透過し、 Na^+ イオンや Cl^- イオンの大部分が膜で阻止されているとき、膜を透過できないイオンは、海水原液が供給される側の膜面近傍で濃縮される。このとき、図1の膜近傍の模式図に示すように、海水側の膜面は元の海水の塩濃度 C_b よりも高い濃度 C_m の海水と接していると考えられる。このような現象は「濃度分極」として知られ、塩分濃度が一定ではない膜面近傍の領域を「濃度境膜」と呼ぶ。このとき、膜面濃度 C_m 、透過液濃度 C_p 、および透過流束 J_v の関係は次の式(1)のように定義される。

$$\frac{C_m - C_p}{C_b - C_p} = \exp\left(\frac{J_v}{k}\right) \quad (1)$$

ここで、 k [m/s]は濃度境膜内の塩の移動のしやすさを表す物質移動係数である。

逆浸透膜を用いた海水の淡水化実験で測定可能な値は C_b と C_p であり、見かけの塩の阻止率 R_{obs} は式(2)で評価される。これに対して、膜本来の性質としての真の阻止率 R は濃度分極現象を考慮して、膜面での塩濃度 C_m を用いて式(3)のように定義される。

$$\text{見かけの溶質阻止率: } R_{\text{obs}} = 1 - \frac{C_p}{C_b} \quad (2)$$

$$\text{真の溶質阻止率: } R = 1 - \frac{C_p}{C_m} \quad (3)$$

著作権法の規定により非公開

図1 膜近傍における濃度分極*

*日本膜学会編, 膜学実験法—人工膜編—より一部改変して引用

(裏面に続く)

これまでで説明した濃度分極現象に関して次の(1),(2)の設問に答えよ。
なお、図や式を用いて答えてもよいが字数には加えない。

(1) 海水淡水化を行う際には、海水の浸透圧以上の圧力を海水に加えて水を透過させる必要があるが、濃度分極が起こると膜面での塩分濃度が上昇するため、実効浸透圧が高くなり、同じ圧力を海水に加えても得られる透過水の量は少なくなる。効率よく海水から淡水を製造するためには、濃度分極は極力小さいことが望ましいが、どのようにすれば濃度分極を小さくできるかをその理由とともに述べよ。(日本語 400 字程度)

(2) 物質移動係数 k は海水原液の膜面線速度 u [m/s] を用いて $k = bu^{0.875}$ と表せるものとする。ただし、 b は定数である。このとき、式(1)~(3)より、次の式(4)の関係が導かれる。

$$\ln\left(\frac{1-R_{\text{obs}}}{R_{\text{obs}}}\right) = \ln\left(\frac{1-R}{R}\right) + \frac{1}{b}\left(\frac{J_v}{u^{0.875}}\right) \quad (4)$$

濃度境膜の状態が変わると、透過流束 J_v および見かけの阻止率 R_{obs} は変化するが、膜本来の性能を表す真の阻止率 R は一定である。式(4)を利用して R の値を求めるためには、どのような実験を行ってどのようなデータ整理を行えばよいかを述べよ。(日本語 300 字程度)