

# 膜を用いた環境浄化

加藤 祐基

東大寺学園高等学校 2年

## 1. 膜を用いた環境浄化 (実習 1 日目, 実習 2 日目)

### 1. はじめに

世界では水不足が進んでおり、素早く水を浄化する膜の研究が進んでいる。私たちはその研究の一端を、1日目と2日目の実習で学ぶことが出来た。

### 2. 分離膜 (非対称膜) の作成 (非溶媒誘起相分離法, NTPS 法)

分離膜の作り方を教えて頂いた。分離膜は①不織布と呼ばれる全透膜にポリマー (溶質はN-methylpyrrolidone) を薄くコーティング (厚さ100 μm) する。②水にさらす。③膜にグリセリンをしみこませる。④膜を乾燥させる。という4つの工程を踏むことで出来上がる。①, ②は図1の機械を使用した。工程①と工程②の間に数秒間膜を空気させる時間がある。その時間に表面から溶媒が少し蒸発する⑤。また工程②で水にさらす際に⑤で蒸発しなかった溶媒と水が入り替わる。その時ポリマーが析出し偏る⑥ (この時1/3 ~ 1/5 の膜厚になる。20 ~ 30 μm)。⑤⑥によって出来る構造が、膜の構造に大きく関わる。その構造は膜の断面の走査型電子顕微鏡写真 (図2) を見ると良く分かる。図2の☆の構造は⑤, △の構造は⑥の影響で出来てる。☆で通す物質の選別を行っている (☆の層をスキン層と呼ぶ)。△では膜の透過速度を上げるのに一役買い, スキン層を支える。 (△の層を多孔質層と呼びます)。また工程③では△の構造が壊れないようにグリセリンで保湿を行っている。またグリセリンが浸透し易いようにイソブ

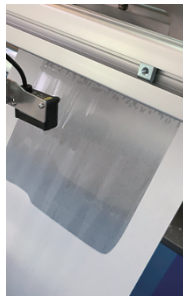


図1

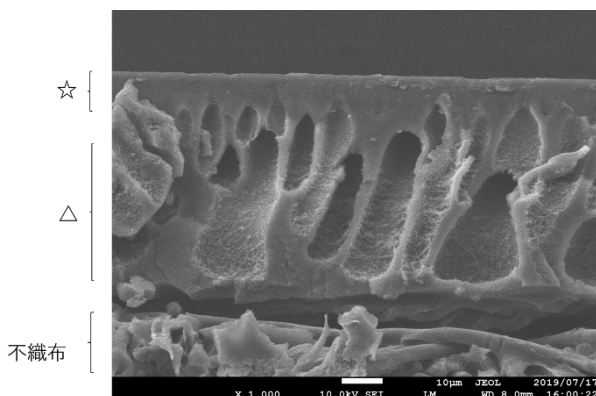


図2

ロパノールも共にしこませる。イソプロパノールは工程④で蒸発する。

この方法はLoebと Sourirajanによって開発され、高分子の析出現象を巧みに利用している。私たちは6種類の膜を作成した。

膜1	ポリエーテルスルホン + 添加物 α 30%	膜4	ポリエーテルスルホン + 添加物 β 23%
膜2	ポリエーテルスルホン + 添加物 β 30%	膜5	ポリエーテルスルホン + 添加物 α 20%
膜3	ポリエーテルスルホン + 添加物 α 23%	膜6	ポリエーテルスルホン 20%

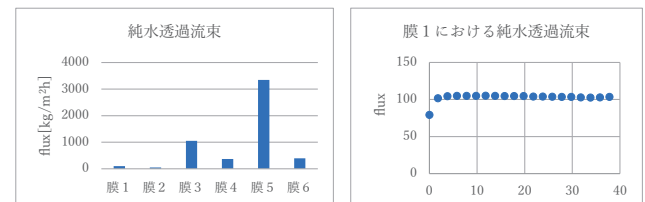
ポリエーテルスルホンとは非常に強い素材のポリスルホンに親水性を加えて汚れにくくしたものです。

### 3. 膜の性能の調査の結果

#### (1) 純水透過流束 (flux) の調査 (圧力: 0.2 Mpa 窒素)

透過流速  $J_v$  の単位は  $[L/m^2 \cdot h]$  である。単位時間の質量の変化を  $\Delta G$ , 膜面積  $S$ , 単位時間を  $\Delta T$  として下の式で  $J_v$  は求められる。純水透過流束の測定は図3の機械を使用した。

$$J_v = \frac{\Delta G}{S \times \Delta T}$$



	膜1	膜2	膜3	膜4	膜5	膜6
$J_v [kg/m^2h]$	$1.04 \times 10^2$	$5.01 \times 10$	$1.06 \times 10^3$	$3.71 \times 10^2$	$3.34 \times 10^3$	$3.93 \times 10^2$

以上の結果となった。純水透過流束は気圧によって穴がつぶされ為、時間がたつにつれ減少する。(膜1における純水透過流束)

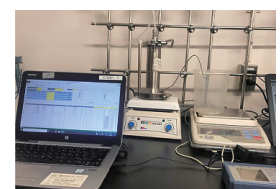
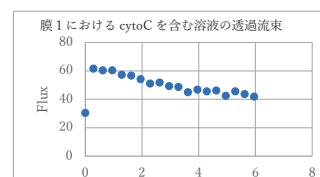


図3

←平均透過流束 50.5 [kg/m²h]

また、「膜1における純水透過流束」「膜1における cytoC を含む溶液の透過流束」の比較より、タンパク質を含む溶液を透過させるほうが、透過流速が下がり、時間によっ

ての減少率も上がる。(膜面にできる堆積層の影響)

日英SW後、紹介して頂いた本を読み、Hagen-Poiseuilles式を基に、材料を円管の束と考え、膜厚 $l$ 、圧力損失 $\Delta P$ 、膜面積 $1\text{m}^2$ あたりの孔数 $N$ 、径 $d$ 、流量 $q$ 、空孔率 $\varepsilon$ でモデル化できることを知った。しかし径が一定の直管でのモデル化は単純過ぎる為、モデルとの差があることを知った。

$$q = \frac{\pi d^4}{128 \mu l} J_v = Nq \times 3.6 \times 10^6$$

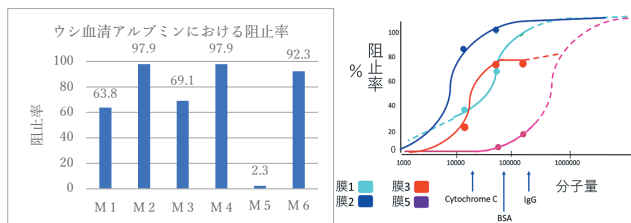
$$N = \varepsilon \frac{4}{\pi d^4} J_v = \frac{\Delta P \varepsilon}{32 \mu l} d^2 \times 3.6 \times 10^6$$

(2) 分離性能(阻止率)の調査(TOCは図4の装置で計測)

	分子量 [g/mol]	分子径 (推算)	
シトクロム C	11,702 g/mol	3.8 nm	球状タンパク質
ウシ血清アルブミン	66,463 g/mol	6.4 nm	球状タンパク質
免疫グロブリン (IgG)	150,000 g/mol	8.4 nm	球状タンパク質

上記のタンパク質で分離性能を測定した。タンパク質を含んだ水を図3の装置で浄化し、ろ過前(feed)のTOC  $C_b$  [mg/L]と、ろ過後(sample)のTOC  $C_p$  [mg/L]と下の式で阻止率 $R$ を求めた。

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_b}\right) \times 100$$



以上の結果となった。右のグラフは分画曲線であるが、まだ不十分である。このグラフから、膜2の分画分子量(阻止率95%)は12000付近であると予測できる。

#### 4. 議論と結論

一般的に言って、阻止率が高ければ透過流束は低くなり、透過流束が高ければ阻止率は低くなってしまふ。しかしより効率的により安全な水を作るには、阻止率と透過流束が両方高い膜が求められる。膜1~膜6の中では、よりキレイな水を求めるのであれば、阻止率が高く膜2より透過流束の高い膜4を使用するべきだ。また少し阻止率は下がってしまうが、阻止率の割に透過流束の高い膜3も用途はあると考えられる。

## II. インクを用いない最新のプリント技術(実習3日目)

### 1. はじめに

私たちは、2019年6月20日にNatureに載った最先端のインクを使わないプリント技術について教えて頂いた。膜が層構造になり光が干渉することによって色が付き(構造色)、紫外線によってできる化学結合で層と層の幅を変えることにとつて、色を変えることが出来るということを知った。

### 2. ポリマーのコーティングと光照射

まず板をアセトンで洗い、板を回転させその上からマイクロピペットで素早くポリマーを滴下し薄くコーティングする。そのまま1,2分回転させる。その後板にプリントしたい切り絵が入った黒画用紙を乗せ、紫外線を数分間照射した。(僕たちが体験させて頂いた波長では、青色が発色した。)すると黒画用紙で隠されていた部分が青色に変化しており、見事プリントされていた。(図6、この体験でプリントしていただいたピカチュウ。僕たちの為にキーホルダーにまでして頂きました。)またこのポリマーをコーティングした板に特殊な機械で光を当てるとモナリザの絵なども印刷出来ることを知った。



図6

## III. 参考文献

化学同人 伊東章 『ベーシック分離工学』  
日刊工業新聞社 伊東章 『トコトンやさしい膜分離の本』

## IV. キーワード

非溶媒誘起相分離法, スキン層, 多孔質層, 純水透過流束, 分画分子量

## V. 終わりに

とても貴重な経験と知識を得ることが出来ました。ご指導下さった先生方、本当にありがとうございました。