

### 限外濾過膜におけるファウリングと透過分子のスペクトラム解析

正木, 秀尚 / MASAKI, Hidenori

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

58

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2017-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00014149>

# 限外濾過膜におけるファウリングと透過分子のスペクトラム解析

## MEMBRANE FOULING AND SPECTRUM ANALYSIS OF TRANSPORT MOLECULES IN ULTRAFILTRATION MEMBRANE

正木秀尚

Hidenori MASAKI

指導教員 山下明泰

法政大学大学院理工学研究科応用化学専攻修士課程

Membrane fouling due to deposit of large solutes or particles is a big issue for membrane separation because it decreases the solute permeability of the membrane. In this study, fouling was reproduced and the solute permeability under fouling was evaluated. Furthermore, the influence of ultrasonic irradiation on de-fouling was investigated. It was possible to mimic fouling by circulating a high concentration of albumin solution; moreover, it was proved that the degree of fouling varied depending on the chemical material of the membrane. However, irradiation with high energy ultrasound was not enough for preventing fouling.

**Key Words** : *fouling* , *ultrasonic irradiation* , *solute permeability*

### 1. 緒言

わが国の慢性透析患者数は 2015 年 12 月現在、324,986 人となっている。この慢性透析患者の 90%以上が人工腎臓(血液浄化器)による治療を受けている。しかしながら、血液浄化器の研究は臨床的な検討が多く、基礎的な検討はあまり多くない。人工腎臓の基本的な除去特性を明らかにすれば、新たなモデルの開発に寄与でき、臨床においては除去特性を考慮した選択が可能となる。

血中のタンパク質等が血液浄化器内の中空糸膜に堆積、もしくは細孔に目詰まりする(ファウリング)と、溶質透過性は低下する。さらに、除去対象物質の分子量は数十~数十万と様々であり、性能評価は分子量を設定して行う必要がある。そこで本研究では、種々の血液浄化器を用いてファウリングを再現し、溶質透過性の評価を行うと同時に、血液浄化器の除去能の分子量依存性について検討した。また、超音波照射がファウリングにおよぼす影響についても検討した。

### 2. 実験方法

使用した試験溶質を Table1 に示す。イオン交換水 1000 mL に対して、分子量分布が異なる 5 種類のデキストランを各 1.5 g 溶解した溶液を試験溶液とし、血流量  $Q_B = 100$  mL/min、濾液流量  $Q_F = 50$  mL/min で水系限外濾過実験を行った。Fig.1 に実験回路を示す。また、ファウリング後の除去特性を検討するため、40 g/L のアルブミン溶液を 1 時間循環させた後、1 時間洗浄した血液浄化器(以下、Alb.

循環)を用いて同様の実験を行った。さらに、ファウリングを防止することを目的に、アルブミン循環中に 28 kHz の超音波を照射した血液浄化器(以下、循環中超音波)および、より強固な洗浄を行うことを目的に、アルブミン循環後の洗浄中に 28kHz の超音波を照射させた血液浄化器(以下、洗浄中超音波)を用いて同様の実験を行った。サンプリングは試験溶液入口  $C_{Bi}$ 、出口  $C_{Bo}$  および濾液  $C_F$  の 3 点で経時的に行い、濃度の測定は HPLC を用いて行った。

Table1 使用した試験溶質

品名	分子量	型番・製造元
デキストラン	~1500	31394-25G SIGMA
	~25000	31387-25G SIGMA
	~40000	31389-25G SIGMA
	~60000	31397-100G SIGMA
	~200000	31398-25G SIGMA
アルブミン	66000	015-21274 和光純薬工業(株)

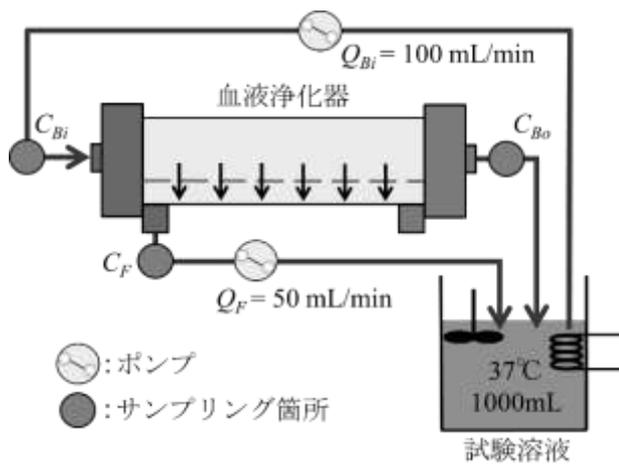


Fig.1 実験回路

血液浄化器は旭化成社製 AEF-10 (PSf 膜、以下、AEF)、日機装社製 FLX-10GW (PEPA 膜、以下、FLX) を使用した。

溶質透過の評価指標には、以下の式で定義される篩係数  $s.c._4$  を用いた<sup>2)</sup>。

$$s.c._4 = \frac{C_F}{\sqrt{C_{Bi} \times C_{Bo}}} \quad (1)$$

### 3. 結果および考察

Figs.2~3 に、横軸にデキストランの分子量の対数、縦軸に  $s.c._4$  をプロットした分画分子量曲線を示す。新品の AEF-10 では、小分子の領域で  $s.c._4$  は 1.0 付近を示し、分子量が大きくなるにつれて  $s.c._4$  は低下した (Fig.2)。Alb.循環したモデルを用いても新品と同様の挙動を示したが、グラフは左側にシフトした。これは、血中濃度に近いアルブミン溶液を循環させたことにより、ファウリングが生じて細孔が狭小化したことで、溶質透過性が低下したと考えられる。また、循環中超音波および洗浄中超音波も Alb.循環と同等の  $s.c._4$  を示した。本研究では周波数 28 kHz の比較的高エネルギーの超音波を照射したが、ファウリングを破壊することはできなかった。したがって、ファウリングは、強固に形成されていると考えられる。

FLX-10GW の分画分子量曲線は、AEF の結果と同様に見えるが、FLX の方がより大きな分子量領域にある溶質を透過させている (Fig.3)。これは元来、PEPA 膜が大きな細孔径を持っているためと思われる。実際には、PEPA 膜は疎水性が高いため、タンパク質分子を疎水的に吸着するため、膜に堆積もしくは細孔に目詰まりしやすく、臨床的にはアルブミンを大量に漏出させることはない。

AEF および FLX の新品において、分子量 40000~200000 の領域で  $s.c._4$  は低値を示した。この分子量領域には有用な生体タンパク質であるアルブミンなど、多数の非除去対象物質が存在するため、透過性は低い方が好ましい。AEF と

比較して FLX は、アルブミン溶液循環後の溶質透過性の低下の割合が大きいため、非除去対象物質の漏出が抑制されている。したがって、FLX はファウリングによる溶質透過性の低下も大きい、非除去対象物質の漏出を抑制できる利点もある。

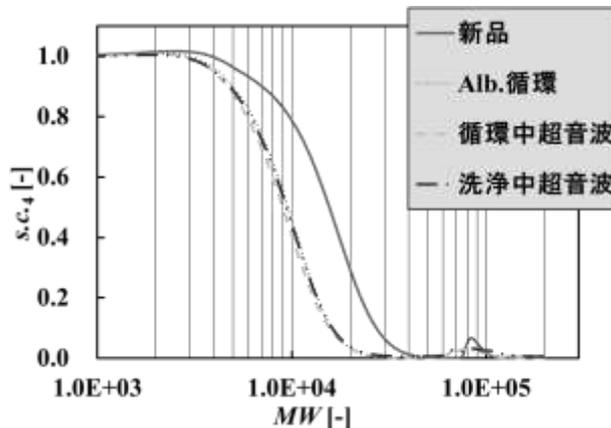


Fig.2 各 AEF-10 の分画分子量曲線

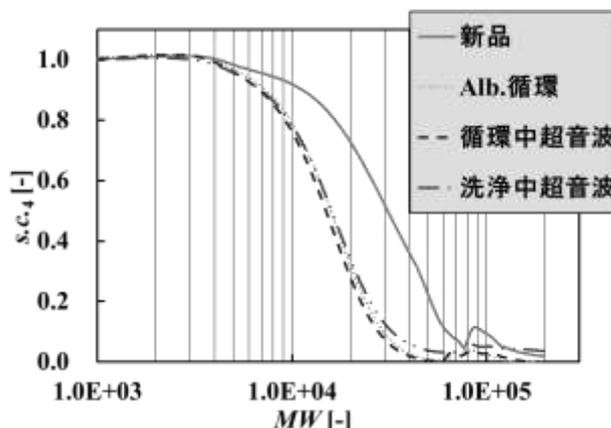


Fig.3 各 FLX-10GW の分画分子量曲線

### 4. 結言

高濃度のアルブミン溶液を循環させることで、血液系で生じるファウリングを効率よく再現できることがわかった。ファウリングの程度は膜の化学的材質ごとに異なり、これはエネルギーの高い超音波を照射しても破壊することはできなかった。

### 参考文献

- 1) (社) 日本透析医学会：図説 わが国の慢性透析療法の現況 (2015年12月現在), P.3, 2016
- 2) 山下明泰, 崎山亮一, 濱田浩幸, 東條角治：篩係数の2つの新しい定義式。腎と透析 45 別冊ハイパフォーマンスメンブレン'98 : 36-38, 1998