



# 物質移動型人工臓器(腎臓、肺)の構造と機能設計

キーワード: 人工臓器、体外式膜型人工肺ECMO、膜工学、生体内移動論、生体適合性

## ● 研究概要

「ヒトの体は小型の化学プラント」とであるという医用化学工学の立場から、生体機能代行装置(腎臓、肺)の構造と機能設計に関する研究をしています。最近では体外式膜型人工肺ECMO膜の新型コロナウイルス透過リスクを検証しました。



所属 医用工学科  
医用化学工学研究室  
教授  
氏名 福田 誠  
Fukuda Makoto

## ● 研究テーマ

### ・人工腎臓の至適設計

人工腎臓は、大部分の臨床工学技士が関わる血液透析治療に用いられる生体機能代行装置である(図1)。ヒトの腎臓は1日に180リットルもの血液を浄化する。腎臓の機能が損なわれた患者では尿や老廃物が体外に排出されず、この治療を1週間受けないと死にいたってしまう。



図1 人工腎臓を用いた血液透析治療(イメージ)

そこで人工腎臓がまるで化学プラントのように患者の血液を浄化する。人工腎臓には中空糸型血液透析膜が装填され(図2)、老廃物除去性能は中空糸内外の血液や透析液の流動状態に大きく依存する。理想的な透析液流動状態を得るためにモジュール形状や中空糸形状に新しい設計概念を導入した人工腎臓を開発した。膜工学における生体内移動論に基づいて、設計因子と物質除去性能および透析液流動の関係や、ダウンサイジングデバイスとの物質除去効率の同等性を明らかにした(論文3)。

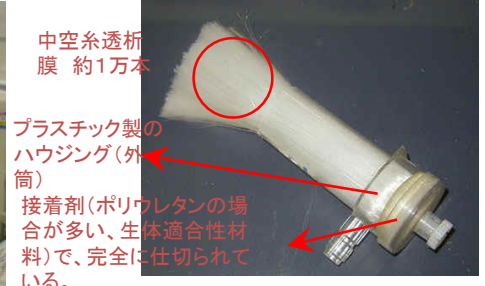


図2 人工腎臓の構成

### ・医療用分離膜(血液濃縮膜、ECMO膜)の細孔構造解析

走査型プローブ顕微鏡(SPM)を用いてポリスルホン(PSU)系膜のPSUとポリビニルピロリドン(PVP)の絡み合い、膜内表面の3次元迷宮細孔構造を観察し、物質移動特性との関係を解析している。中空糸透析膜の細孔を20ナノメートルスケールで捉えることに初めて成功した(図3、論文2)。新規血液濾過膜を用いたCRRTのin vitro試験を行い、タンパク質のファウリングモデルを作成している。また電界放出型電子顕微鏡(FE-SEM)を用いてCOVID-19重症患者の「最後の砦」ECMOの膜細孔構造を解析し、新型コロナウイルスSARS-CoV-2がECMO膜をどの程度透過してECMO感染のリスクがあるのかを検証している(論文1)。\* 和歌山県工業技術センターとの共同研究

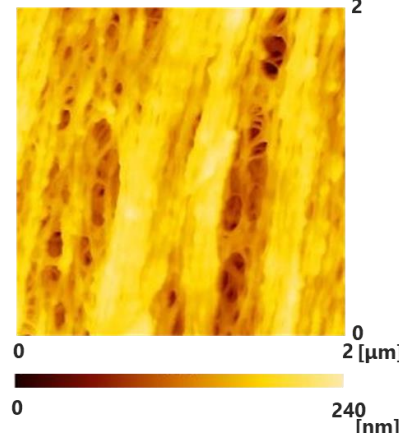


図3 PESf膜内表面の3次元迷宮細孔構造

### ・世界最小級の体外式膜型人工肺(ECMO)の開発

高出力X線CTを用いた非破壊局所血液チャネリング・エア滞留実験(図4、特許1)の結果を受けて、世界最小級の小児用膜型人工肺を設計、開発した。

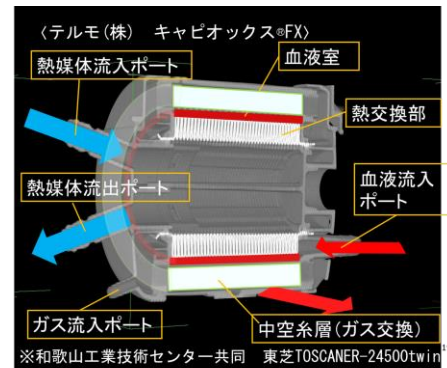


図4 体外式膜型人工肺内部の非破壊流動解析

## ● 論文・特許等

### 【論文】

1. Makoto Fukuda, Kazunori Sadano et al: Electron Microscopic Confirmation of Anisotropic Pore Characteristics for ECMO Membranes Theoretically Validating the Risk of SARS-CoV-2 Permeation. Membranes, Vol.11, 529, 2021
2. Makoto Fukuda, Kiyotaka Sakai et al: Impact of three-dimensional tortuous pore structure on polyethersulfone membrane morphology and mass transfer properties from a manufacturing. J.Artif.Organs, Vol.23:pp.171-179, 2020
3. Makoto Fukuda, Kiyotaka Sakai et al: Identical dependence of dialysate-side mass transfer coefficient on Reynolds number using dimensionless correlation based on the mass transfer model in newly developed dialyzers and a downsized dialyzer. Advanced Biomedical Engineering Vol.5:pp.118-23, 2016 2018年日本生体医工学学会論文賞・阪本賞受賞

【特許】 1. 特願2017-167965: 平成29年8月31日: 非破壊流動解析方法

【著書】 1. 酒井清孝監修、生体内移動論、(株)東京医学社、2020 (共訳)