

## 血管モデル内壁にかかる力が視えるカテーテルシミュレータの開発

弘前大学大学院理工学研究科

森脇 健司, 藤崎 和弘, 笹川 和彦

Takeshi MORIWAKI, Kazuhiro FUJISAKI, Kazuhiko SASAGAWA



### 1. 背景

カテーテルデバイスの力学特性は、治療効果や治療行為の可否へ密接に影響する。例えば、バルーンやステントの拡張力が乏しいと再狭窄のリスクが上がり、カテーテルシャフトの柔軟性が乏しいと曲がりくねった血管を通過できず、患部までたどり着けない可能性がある。そのため、デバイスと血管壁との間に作用する力分布を把握するために、計算シミュレーション<sup>1)</sup>が数多く行われているが、多点での実計測はコストやデバイスのサイズの観点から現実的には難しい。

一方、我々はフィルム型応力センサを開発しており、このセンサは感圧体を電極で挟んだだけのシンプルな構造であるため多点分布観察に応用しやすく、薄くフレキシブルであるため曲面の計測にも適用できる。これまでに、フィルムセンサをバルーンカテーテルと血管モデルとの間に挿入し、接触圧力分布を定量的に計測できることを示した<sup>2)</sup>。本研究では、新デバイス開発時の力学評価試験や医師の手術トレーニングに応用するため、フィルムセンサをあらかじめ血管モデルに包埋することによって接触部の圧力分布がモニタリングできる、カテーテルシミュレータの開発を進めている。

### 2. 方法

フィルムセンサは、2枚の電極と感圧体によって構成される。例えば、電極には銅-ポリイミド積層フィルムが利用でき、フォトリソグラフィプロセスによって任意形状に

パターンニングできる。感圧体には導電ゴムやポリチオフェンなどの導電性高分子を利用することができる。感圧体を挟んだ電極対の重複箇所が測定点となるため、例えば、くし型電極を直交させて重ねれば、交点がすべて圧力測定点になる。

図1に圧力センサ内蔵モデル血管の作製例を示す。アルミ芯棒にモデル材をディップコートして、フィルムセンサを巻付けてから固定し、さらにセンサをモデル材に包埋し離型すると、圧力センサが内蔵されたモデル血管を作製できる。測定点の数や間隔をあらかじめ調整しておけば、血管壁の円周方向断面の接触圧力分布をほぼ等間隔に検出できる。これまで、モデル血管内でバルーンカテーテルを拡張した際の接触圧力分布を計測してきた。真円断面形状の血管内でバルーンを拡張すると、接触圧力はどの測定点でもほぼ均一であり、拡張圧上昇に応じた接触圧力の増加を確認できた。モデル血管の形状に応じて圧力分布は変化し、例えば、プラークを模擬した隆起部を有するモデル血管内でバルーンを拡張すると、隆起部の接触圧力がその周囲より高いことが確認できた。また、モデル血管内で楔が付いたバルーンを拡張すると、楔部に作用する接触圧力が評価でき、スコアリングバルーンの開発において楔部の形状最適化に有用な評価実験が実施できると考える。

カテーテルシミュレータとして本モデル血管を利用するには、透明で伸縮可能なセンサであることが望ましい。近年では、ウェアラブルデバイスの発展に伴いストレッチ性のある導電材料の開発が急速に進み、なかにはある程度透明性を有する材料もある。また、あらかじめ伸張状態で描画したり蛇腹形状にするなど、構造的工夫によって電極にストレッチ性を付与することも可能である。透明な素材で血管の形状や変形能を模擬したモデル血管ができれば、より信頼性の高い圧力分布測定が可能となる。もちろん、本

#### ■ 著者連絡先

弘前大学大学院理工学研究科

(〒036-8561 青森県弘前市文京町3)

E-mail. moriwaki@hirosaki-u.ac.jp

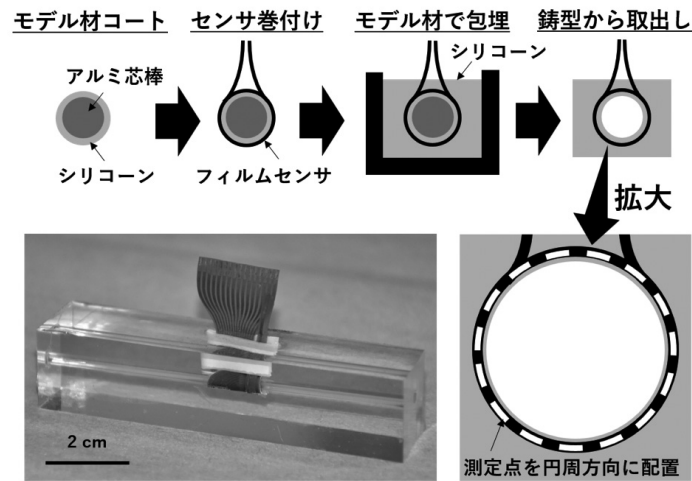


図1 圧力センサ内蔵モデル血管の作製例

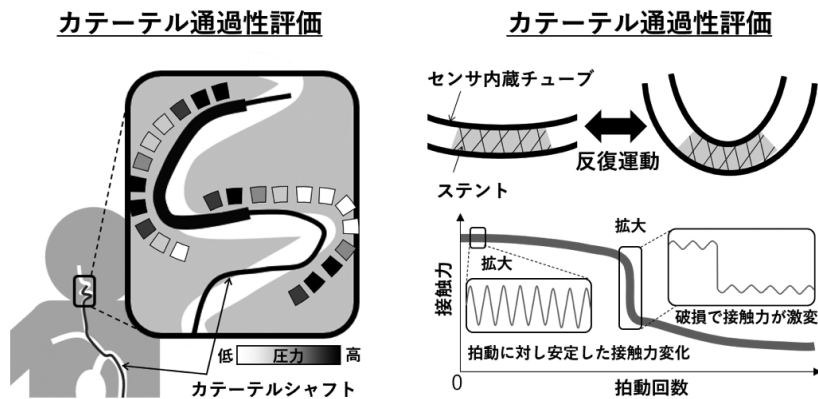


図2 本研究が目指すカテーテルシミュレータ

センサ技術は長軸方向や二次元的な圧力マッピングにも応用することができ、モデル血管内壁に作用する接触圧力の評価に有用であると考えられる。

### 3. まとめ

本研究が達成されれば、圧力センサ内蔵モデル血管の中でカテーテルデバイスを使用することで、デバイスとモデル血管との間にかかる力分布を直接的に計測できるため、既存の力学的評価の大幅なアップデートができ、過去のシミュレーション研究の妥当性の実証にも役立つと考える。スコアリングバルーンやアブレーションカテーテルなど、血管内壁に作用する力が重要なデバイスは多くあり、本研究が目指すカテーテルシミュレータ(図2)は幅広く応用できる評価システムになると期待している。

### 謝辞

このたびは、Yoshimi Memorial T.M.P. Grantの採択を受けまして、身に余る光栄に存じます。株式会社東海メディカルプロダクツ様、選考委員各位をはじめ、関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

本稿のすべての著者には規定されたCOIはない。

### 文献

- 1) Schiavone A, Zhao LG: A computational study of stent performance by considering vessel anisotropy and residual stresses. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl **62**: 307-16, 2016
- 2) Moriwaki T, Fujisaki K, Sasagawa K: Observation of balloon dilatation pressure distribution by using a flexible thin film sensor. AEM **3**: 187-91, 2018