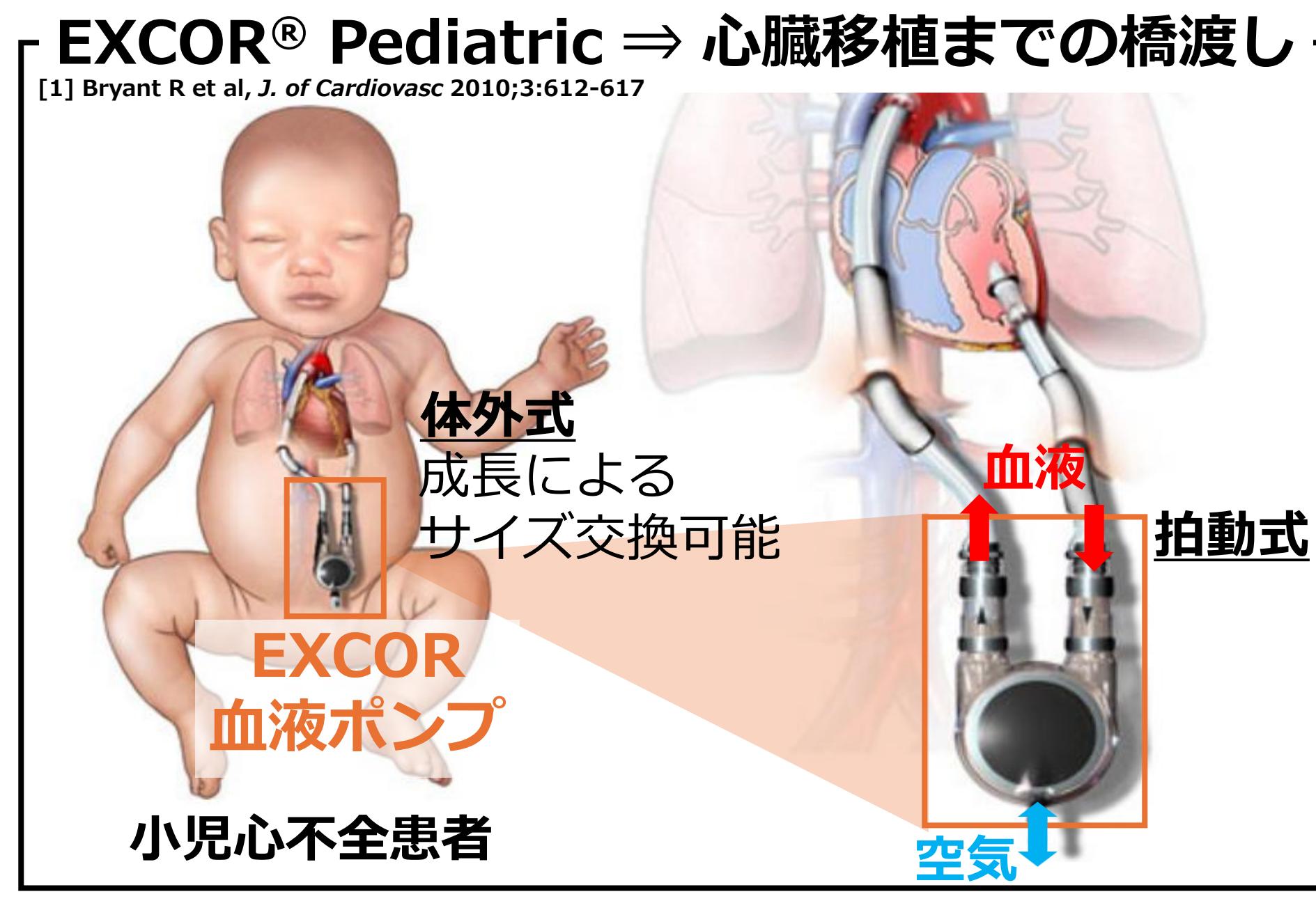


# 小児用補助人工心臓「EXCOR® Pediatric」における血栓常時監視システムの開発

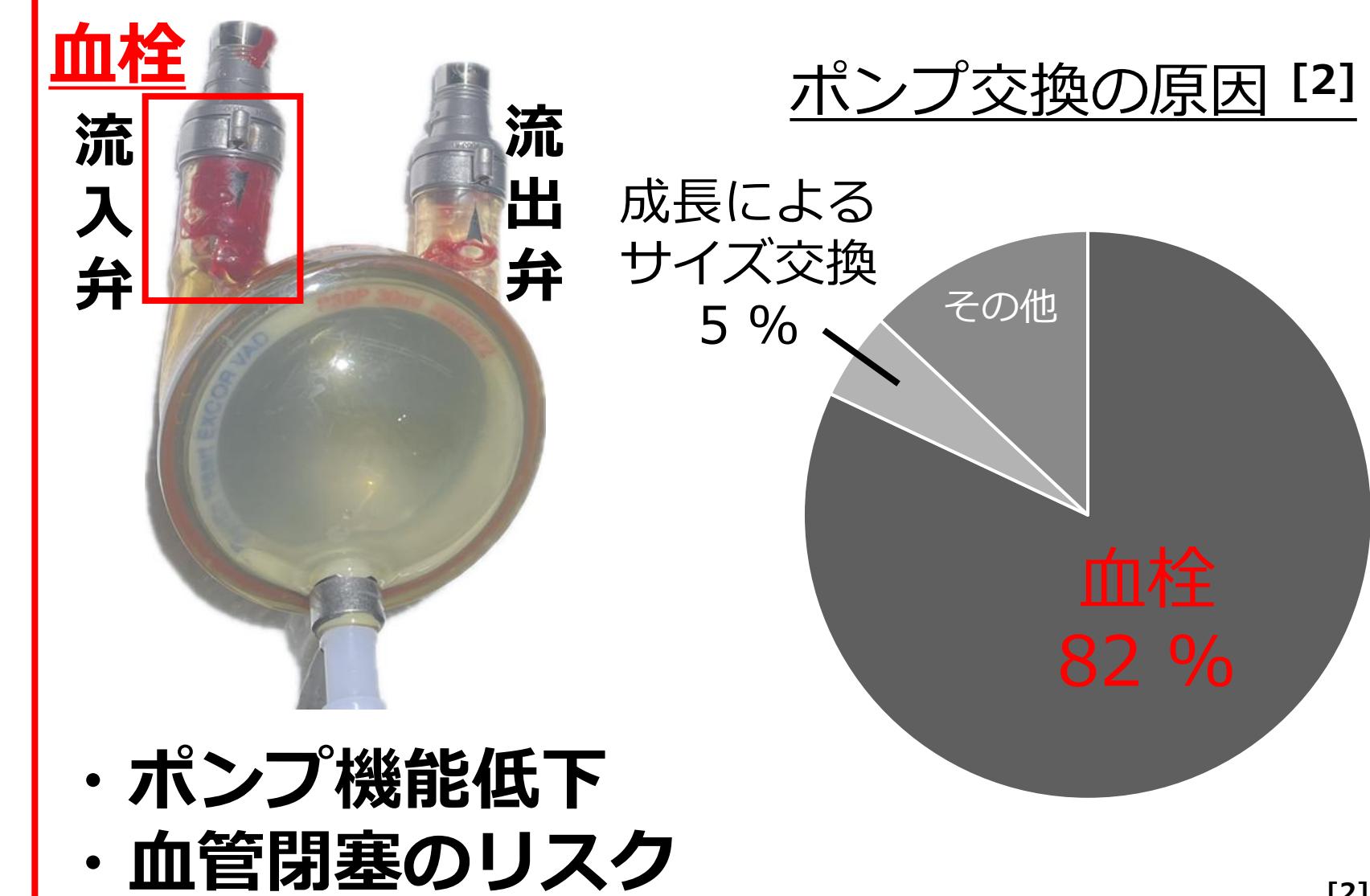
○根津 綾杜<sup>1</sup>、齋藤 優衣<sup>1</sup>、中上 知優<sup>1</sup>、渡邊 宣夫<sup>1</sup>、片岡 恵<sup>2</sup>、迫田 大輔<sup>3</sup>

1芝浦工業大学大学院・理工学研究科、2国立成育医療研究センター・手術・集中治療部医療工学室、3産業技術総合研究所・健康医工学研究部門

## 1. 背景：世界唯一小児に臨床使用可能な補助人工心臓「EXCOR® Pediatric」の血栓問題



### EXCOR® Pediatric の血栓問題



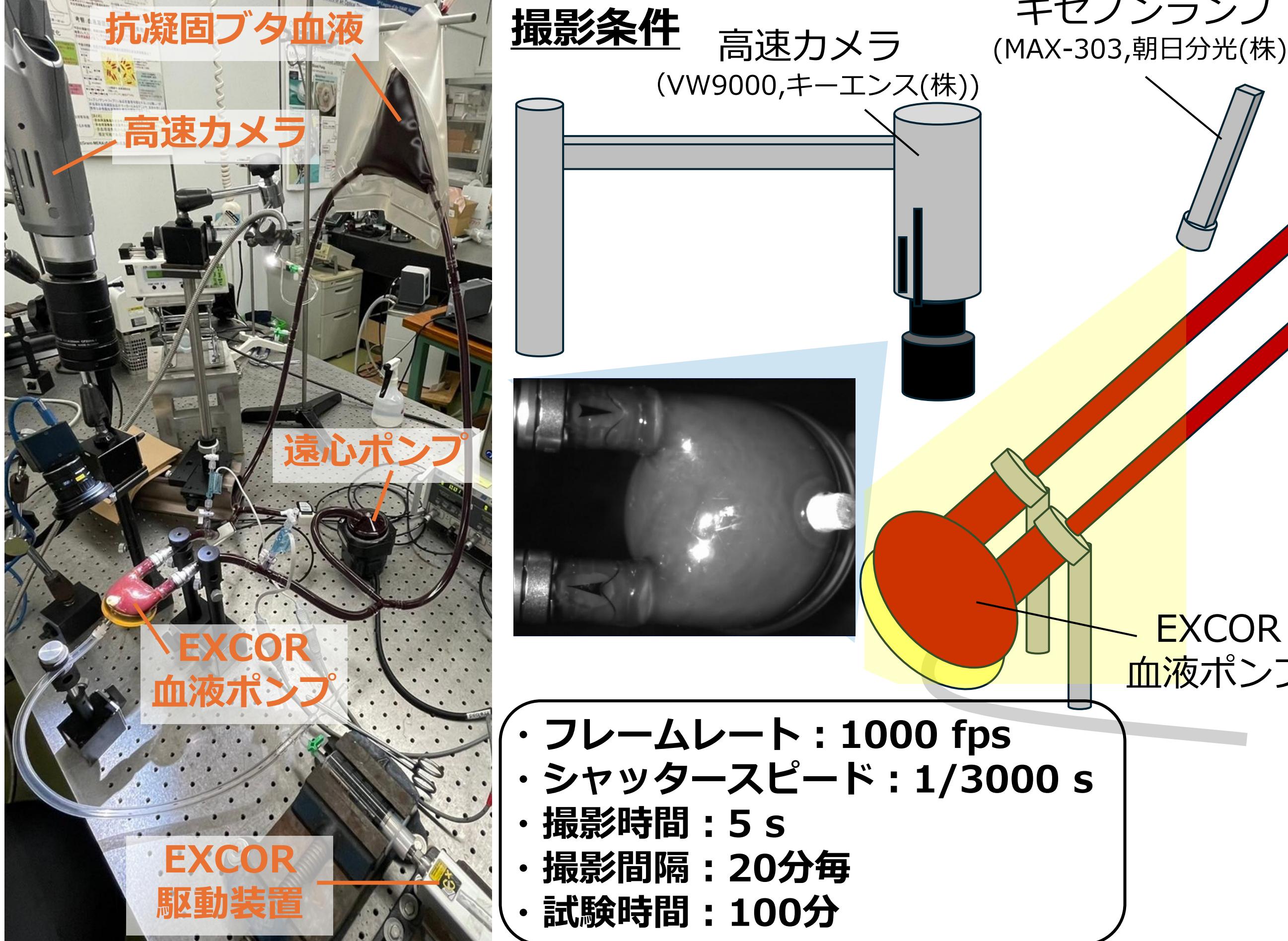
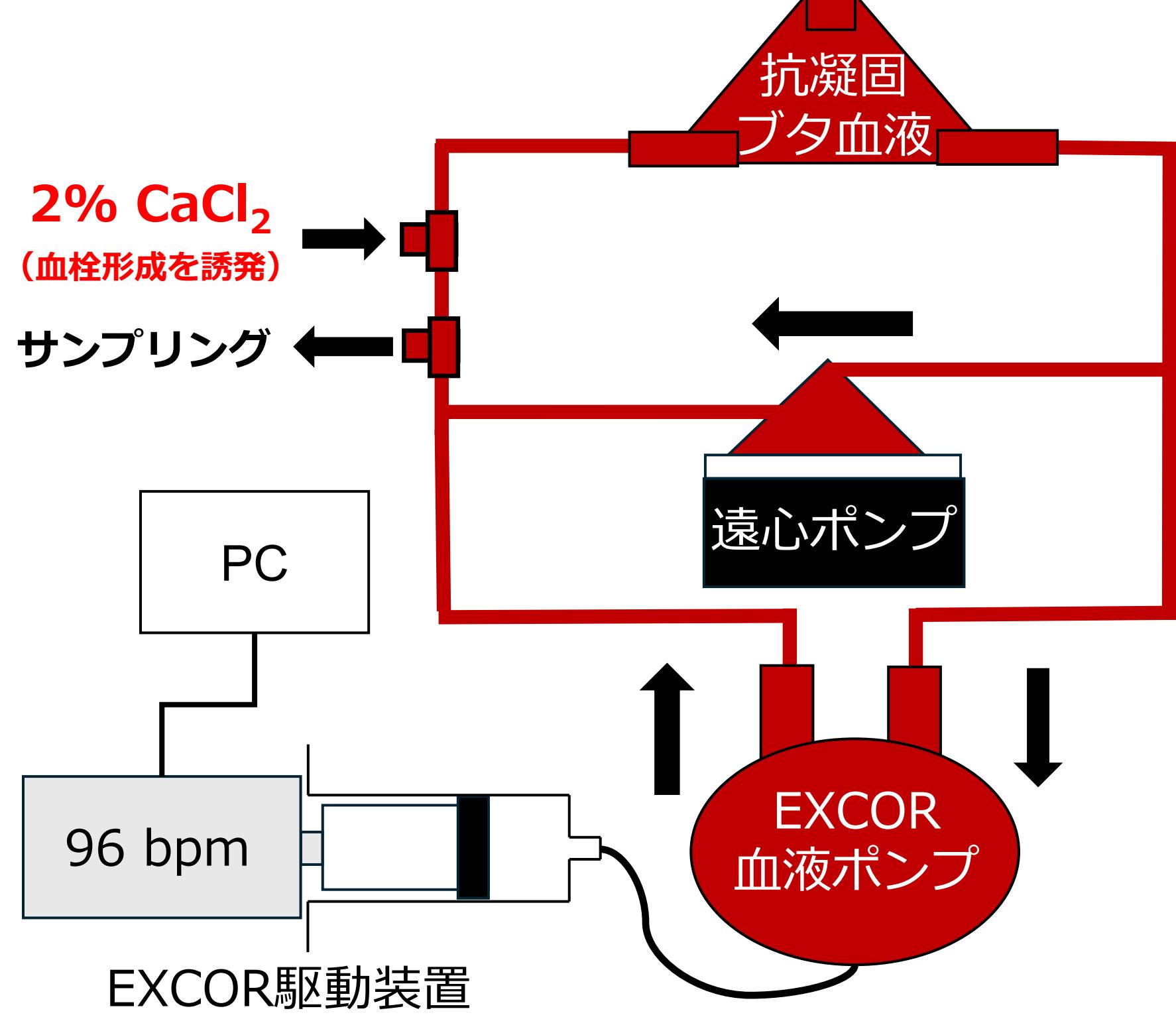
現状：4-6時間おきの定期肉眼観察



目的：長時間監視可能な非侵襲  
血栓形成監視システムの開発

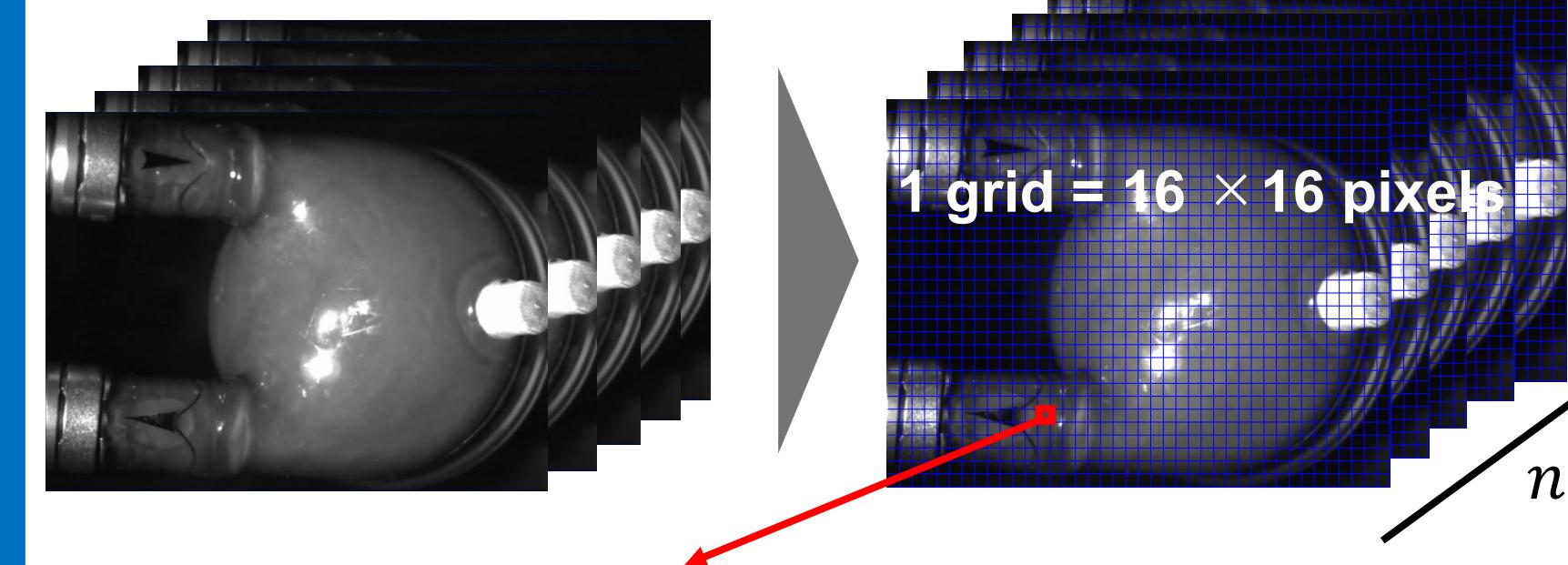
## 2. 方法：in vitro 血栓試験

### In vitro 血液循環回路模式図



## 3. 画像処理アルゴリズム

元動画



光信号の拍動性

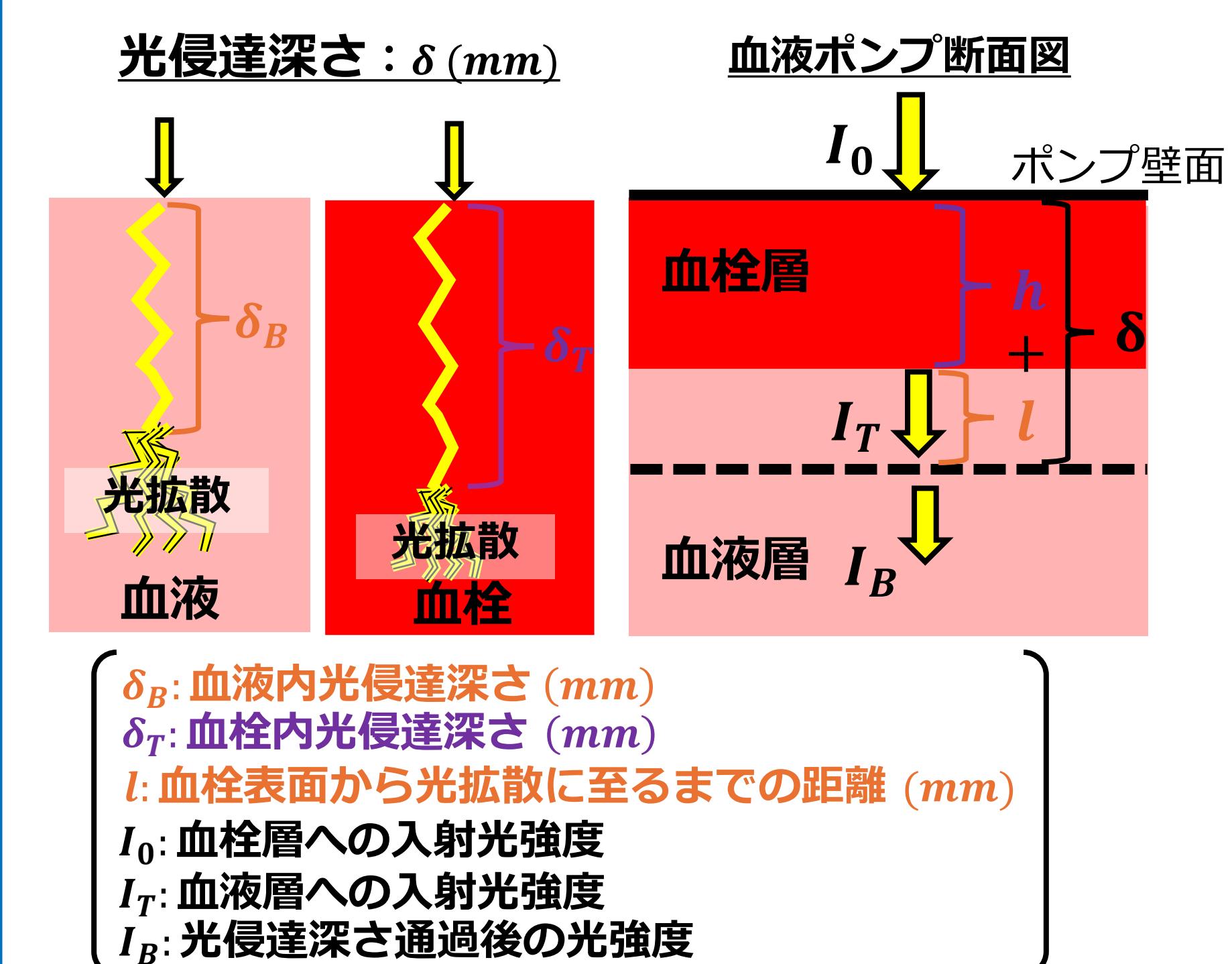
$$S_{(T)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{(i)} - \bar{x})^2} \quad x: \text{輝度値} \\ \bar{x}: \text{輝度平均値} \\ n: \text{フレーム数} \\ T: \text{試験時間}$$

血栓の指標: Thrombus Formation Level

$$TFL = (S_{(T)} / S_{(T=0 \text{ min})})^{-1}$$

血栓なし特徴  $\xleftarrow{\text{Low}}$   $\xrightarrow{\text{High}}$  血栓あり特徴

## 4. 血栓厚さ: $h$ (mm) 推定理論



### 生体組織光学理論

ベール・ランバート則より、

$$I_T = I_0 e^{-\frac{h}{\delta_T}} \dots (1)$$

$$I_B = I_T e^{-\frac{l}{\delta_B}} \dots (2)$$

$$I_B = I_0 e^{-\frac{l}{\delta_T}} \dots (3)$$

式(1), (2)を式(3)に代入して、  
lについて解くと

$$l = \delta_B \left( 1 - \frac{h}{\delta_T} \right) \dots (4)$$

$$\delta = \sqrt{3\mu_a(\mu_a + (1-g)\mu_s)}^{-1}$$

g: 異方性パラメータ  
 $\mu_a$ : 吸収係数  
 $\mu_s$ : 散乱係数

### 流体力学理論

・ハーゲン・ポアズイユ流れ

$$v_{(z)} = \frac{4Q}{\pi R^3} z - \frac{2Q}{\pi R^4} z^2 \quad \left[ Q: \text{血流量(L/min)} \right. \\ \left. R: \text{流路半径(mm)} \right. \\ \left. z: \text{流路内壁からの距離(mm)} \right]$$

・光信号の拍動性

$$S_{[0, \delta]} = \sqrt{\frac{1}{\delta} \int_0^\delta (v - \bar{v})^2 dz} = \frac{2\sqrt{5}Q\sqrt{15R^2 - 15R\delta + 4\delta^2}}{15\pi R^4}$$

$$TFL \cong (S_{[0, \delta_B]} / S_{[0, l]})^{-1}$$

$$= \frac{(2R - h)^4 \delta_B \sqrt{15R^2 - 15R\delta_B + 4\delta_B^2}}{16R^4 l \sqrt{\frac{15(2R - h)^2}{4} - \frac{15l(2R - h)}{2} + 4l^2}} \dots (5)$$

### 生体組織光学理論

式(4)を式(5)に代入し  $R \rightarrow \infty$  で極限をとり,  $h$ について解くと,

血栓厚さ推定式

$$h \cong \frac{\delta_T (TFL - 1)}{TFL} \quad (h \leq \delta_T)$$

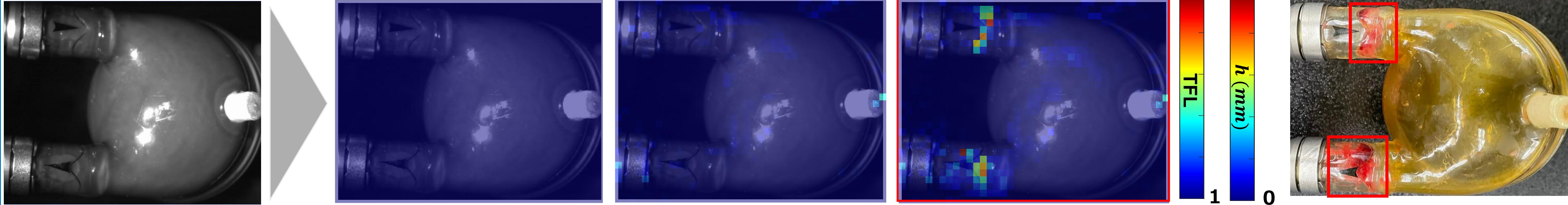
2次元画像から血栓厚さ  
(奥行情報) を推定可能

## 5. 結果：血栓厚さイメージング

元画像

 $T = 0 \text{ min}$  $T = 80 \text{ min}$  $T = 100 \text{ min}$ 

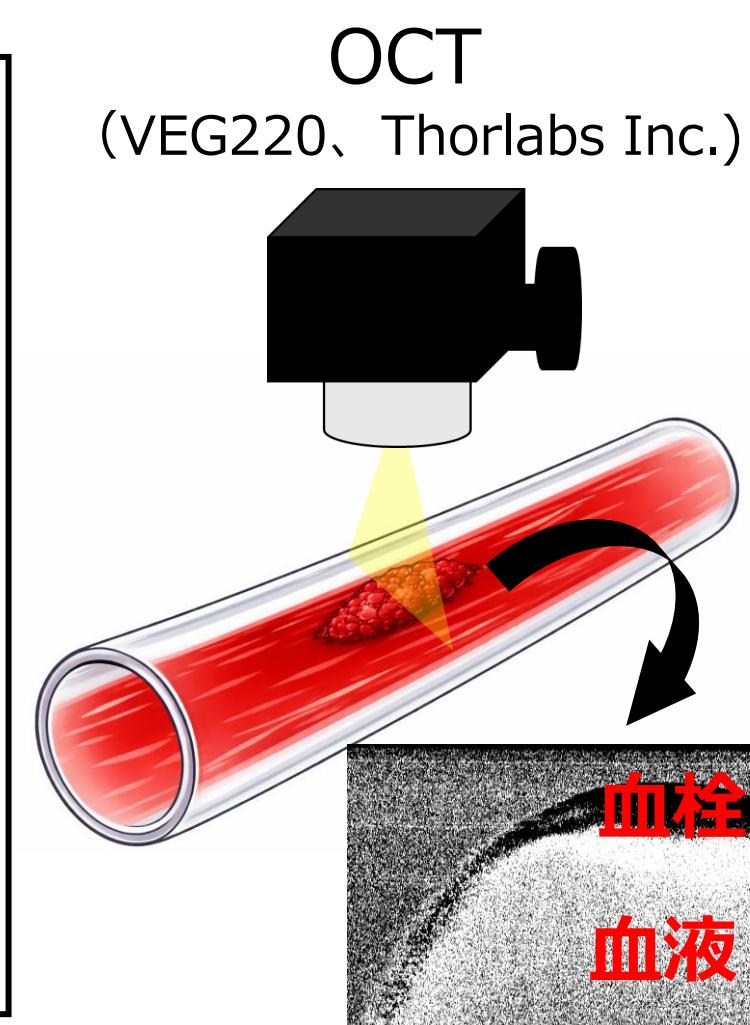
試験後の血栓



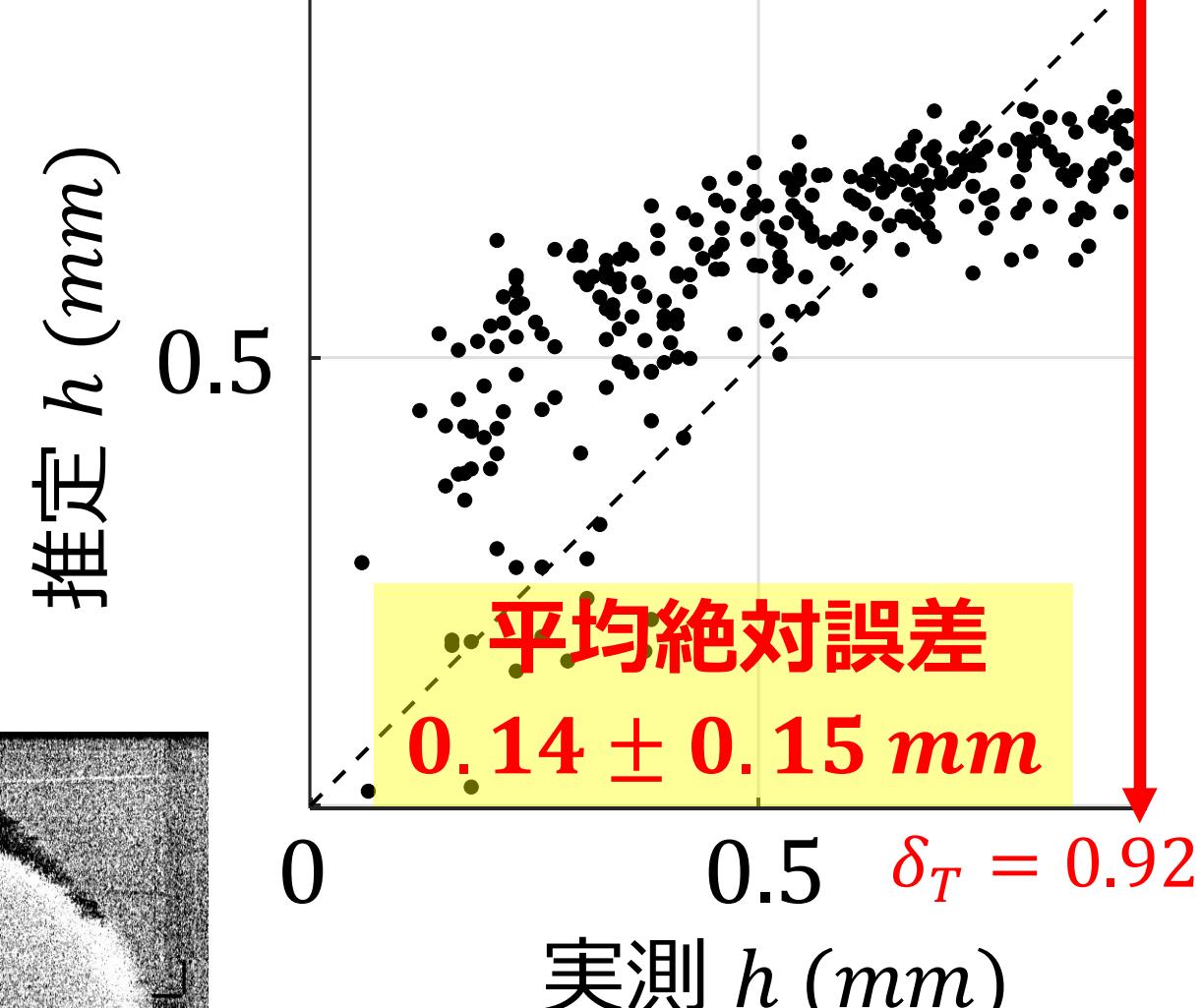
## 6. 血栓厚さ推定の妥当性評価

### 概要:

- OCT (Optical Coherence Tomography) 断層イメージングにより血栓厚さ実測値を算出。
- カメラ画像を用いて、血栓厚さ推定理論に基づき、血栓厚さ推定値を算出。
- 推定値と実測値を比較し、平均絶対誤差を算出。



### 血栓厚さ推定の精度



## 7. 今後の展望

### 安心を届ける血栓リアルタイム監視システム

#### EXCOR装着患者



#### 超小型カメラ (解析モジュール搭載)



#### 医療従事者



#### 患者家族

