

医療を支える工学技術:

医用メカトロニクス

茨城大学 工学部 機械工学科 増澤 徹

<http://www.mech.ibaraki.ac.jp/masuzawa-lab/>

toru.masuzawa.5250@vc.ibaraki.ac.jp



メカトロニクスとは...

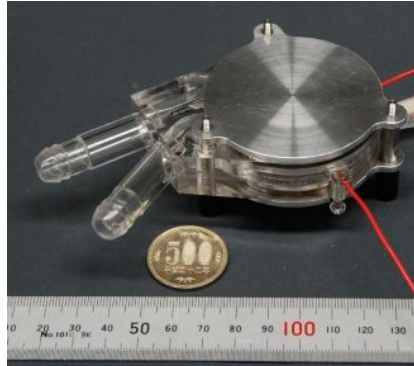


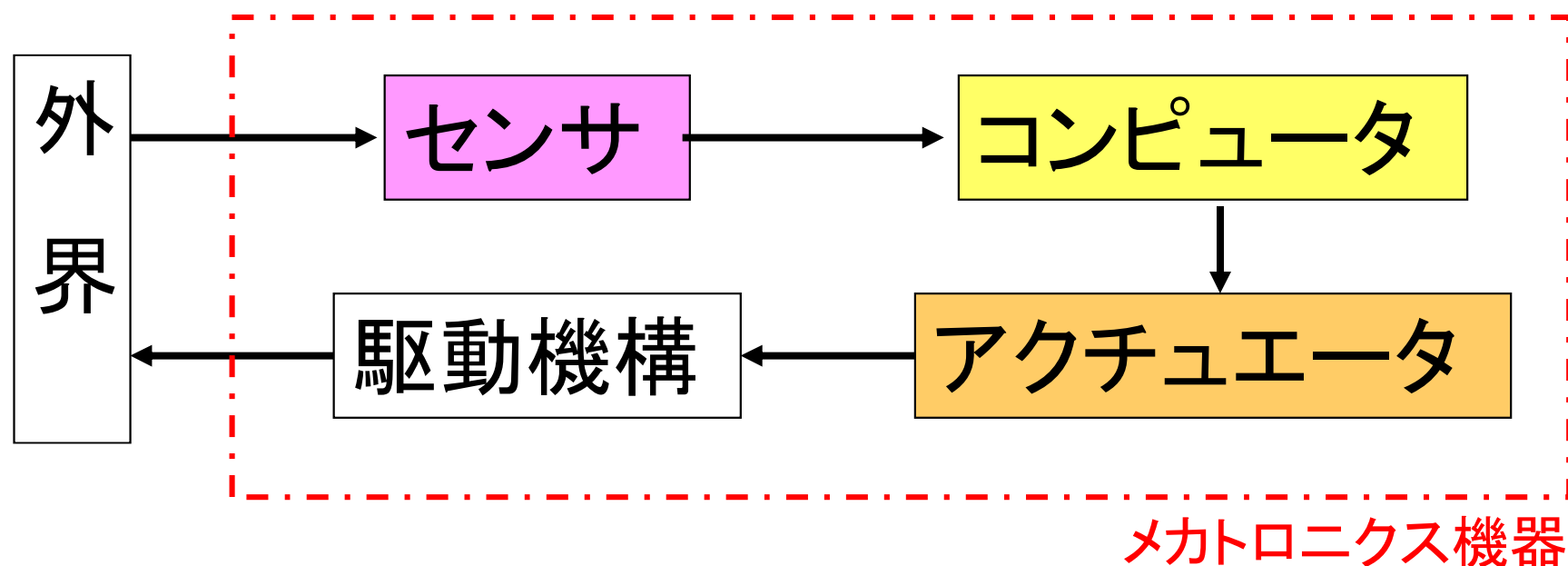
PHOTO : ガーネットレッド・パール



メカトロニクスとは...

MechanicsとElectronicsからの合成語

機械を電子・情報技術で柔軟化・
高度化する技術

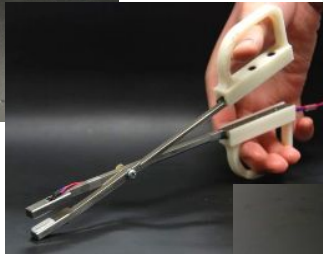
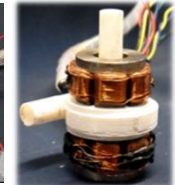
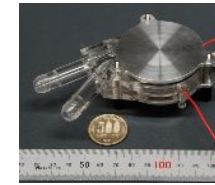
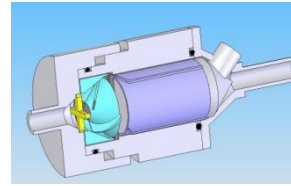
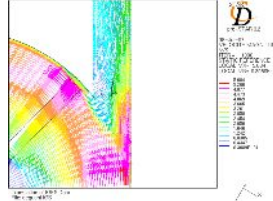
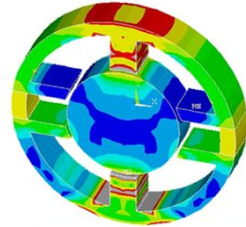
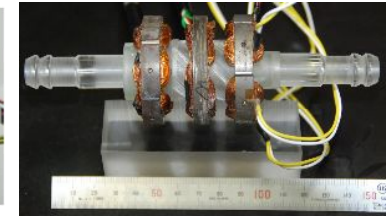
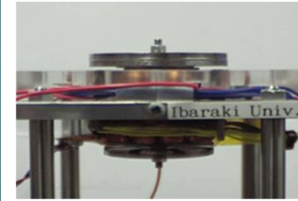
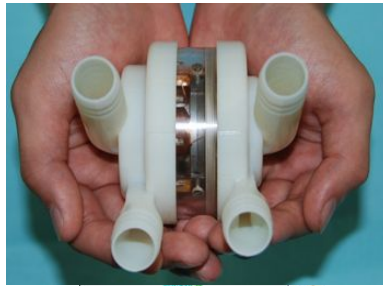
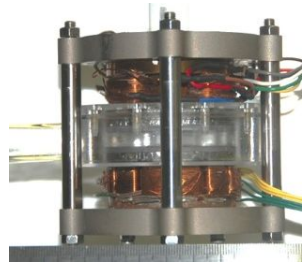
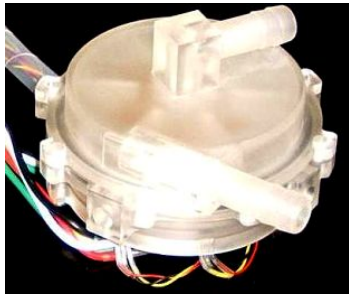


医用メカトロニクスで要求される 基本的性能

1. 安全性
2. 耐久性
3. 高効率性
4. 小型, 軽量

工業製品に要求される項目とはどこが違うか？

磁気浮上型人工心臓



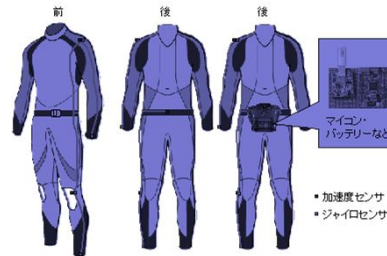
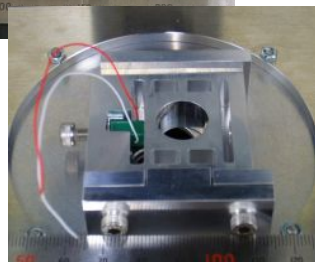
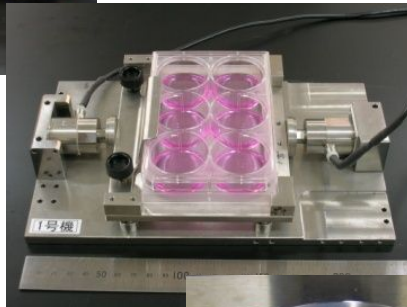
茨城大学増澤研究室 医用メカトロニクスと 医用アクチュエーション関連研究



福祉と健康



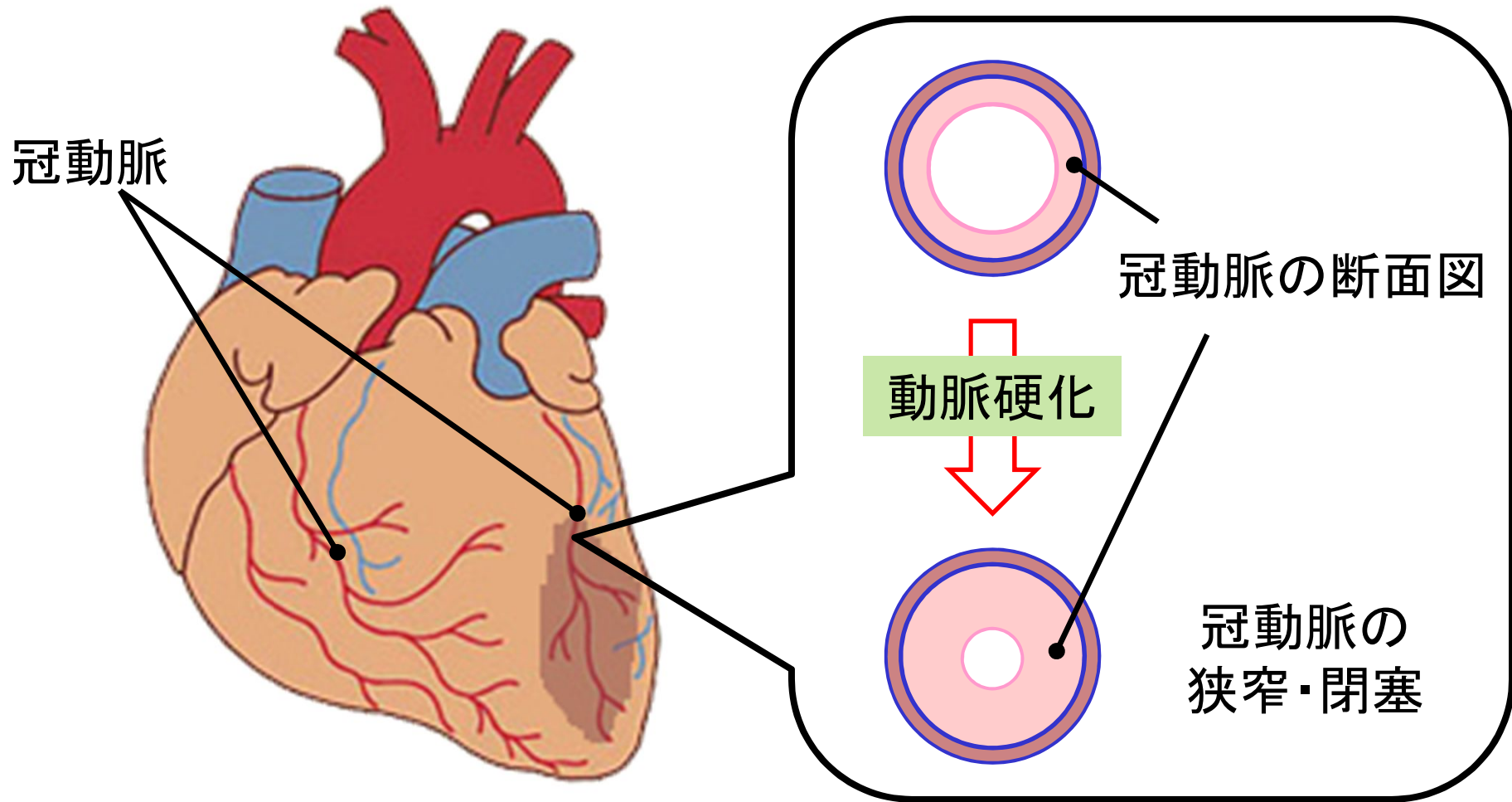
再生医療と手術支援



医用メカトロニクスの一例

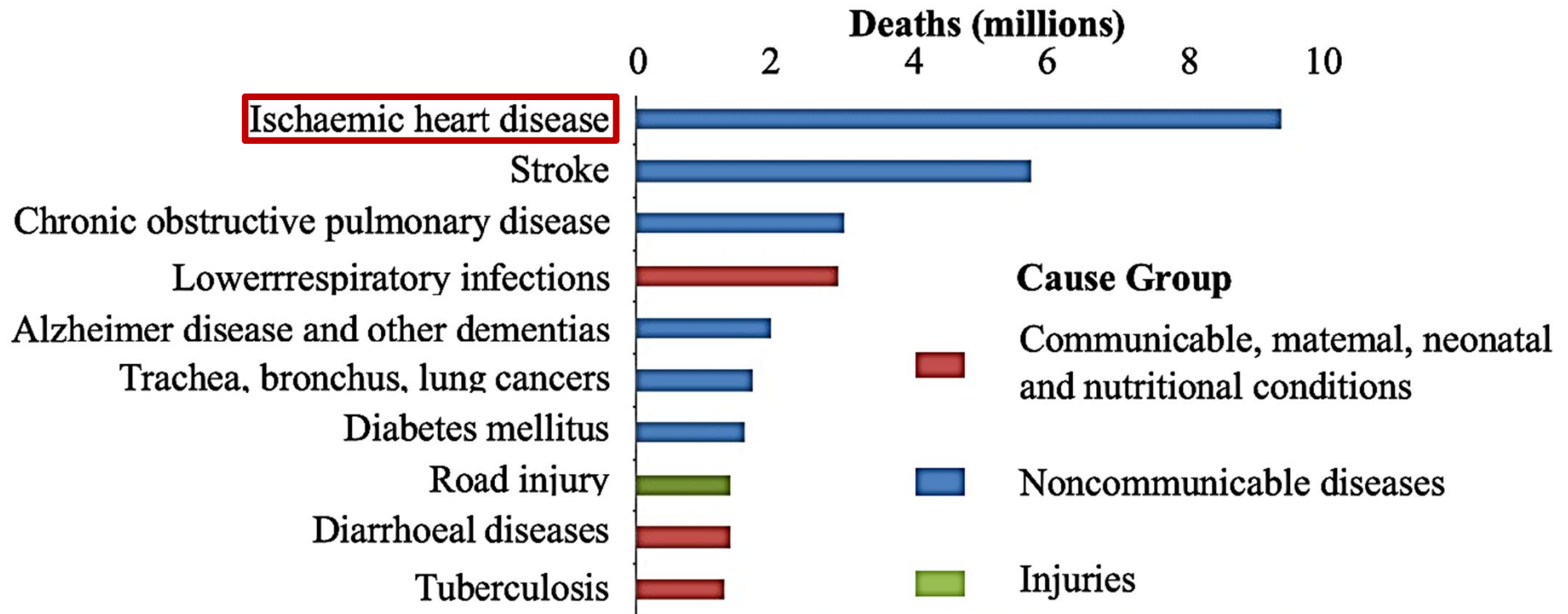
冠動脈バイパス手術のための
血管吻合支援デバイスの研究開発

研究背景 ~虚血性心疾患~



血流を回復させる治療が必要

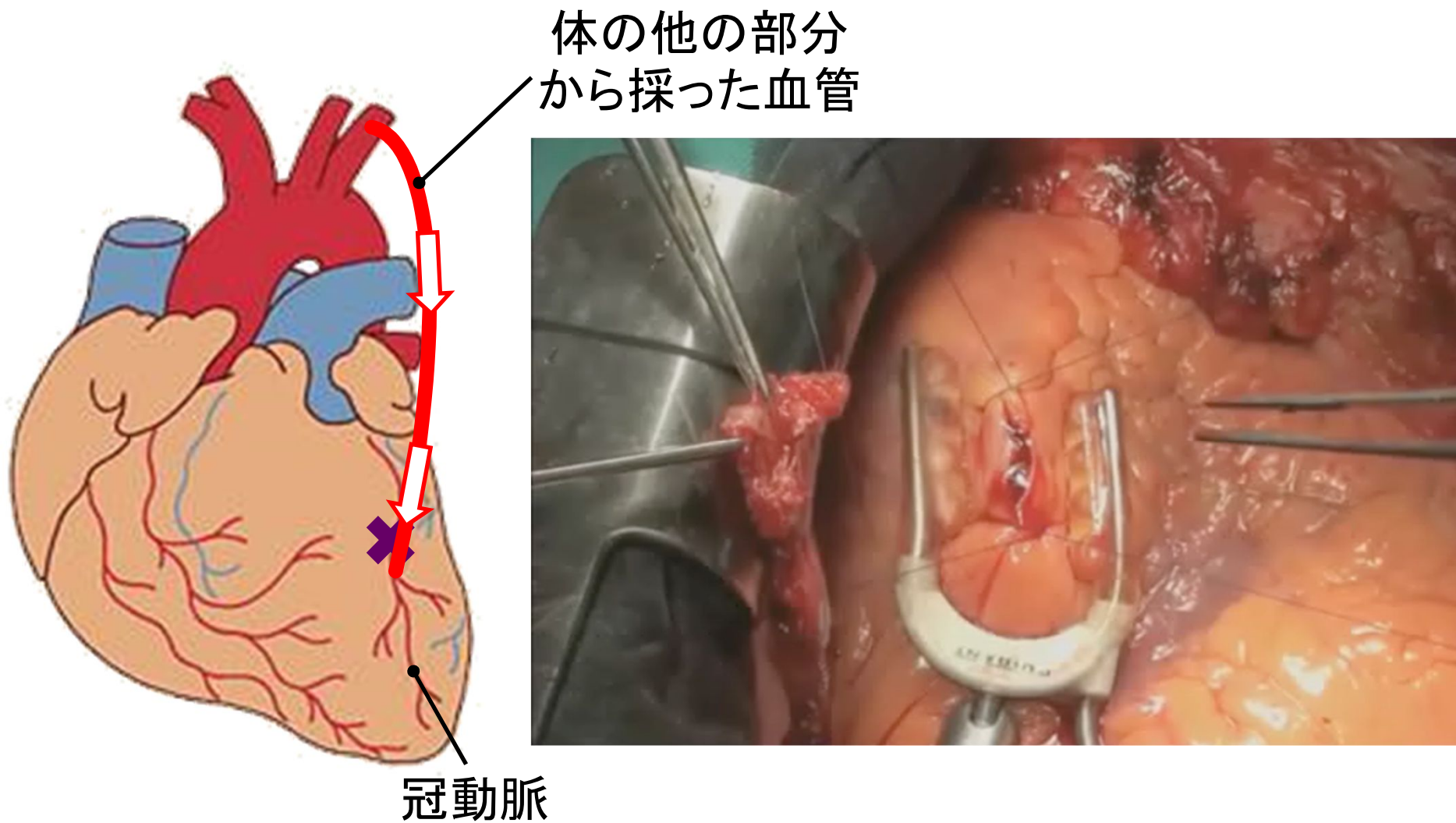
研究背景 ~虚血性心疾患~



The top 10 causes of death (2016), WHO

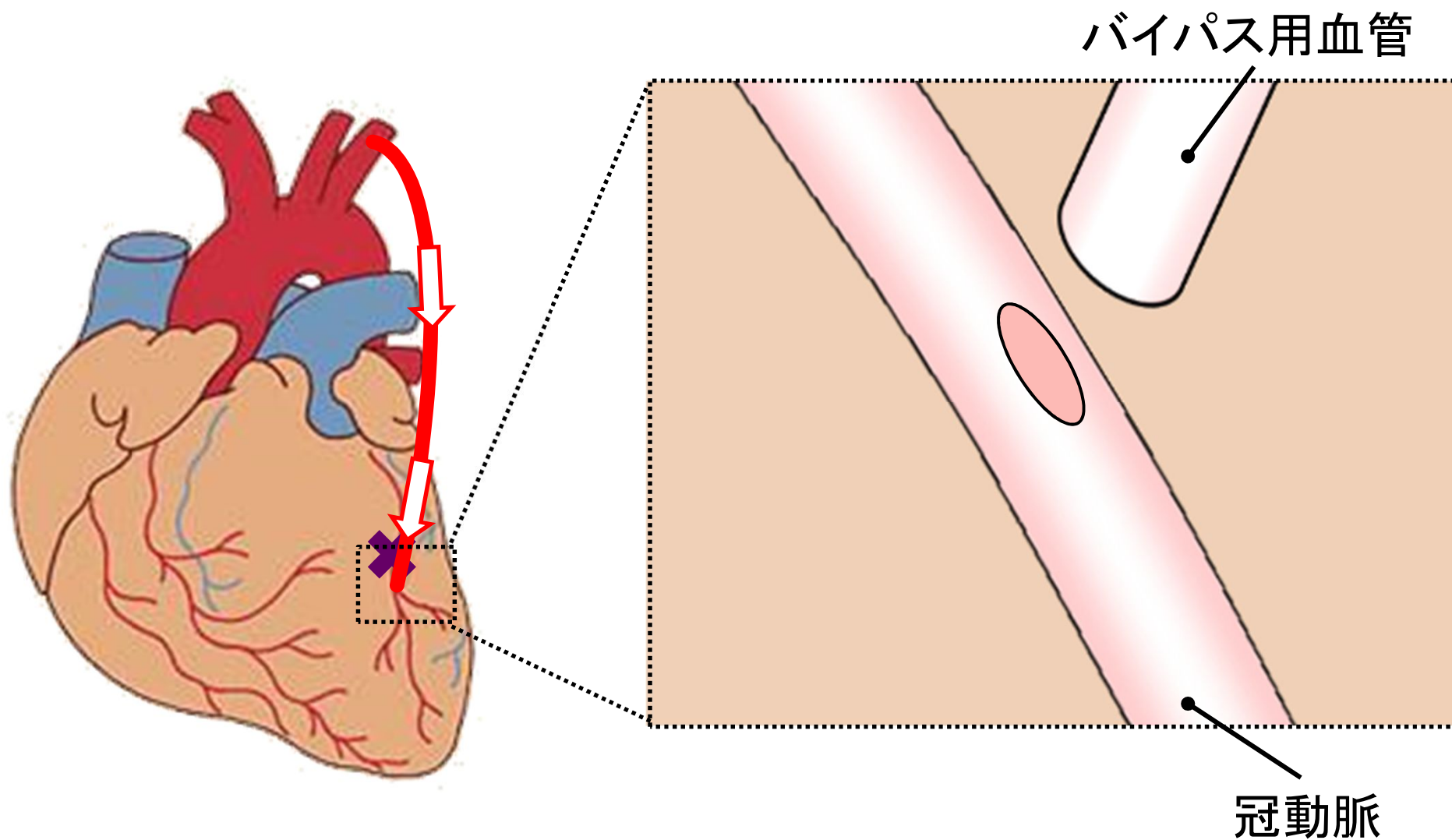
虚血性心疾患は世界最大の死亡要因

研究背景 ～冠動脈バイパス手術～

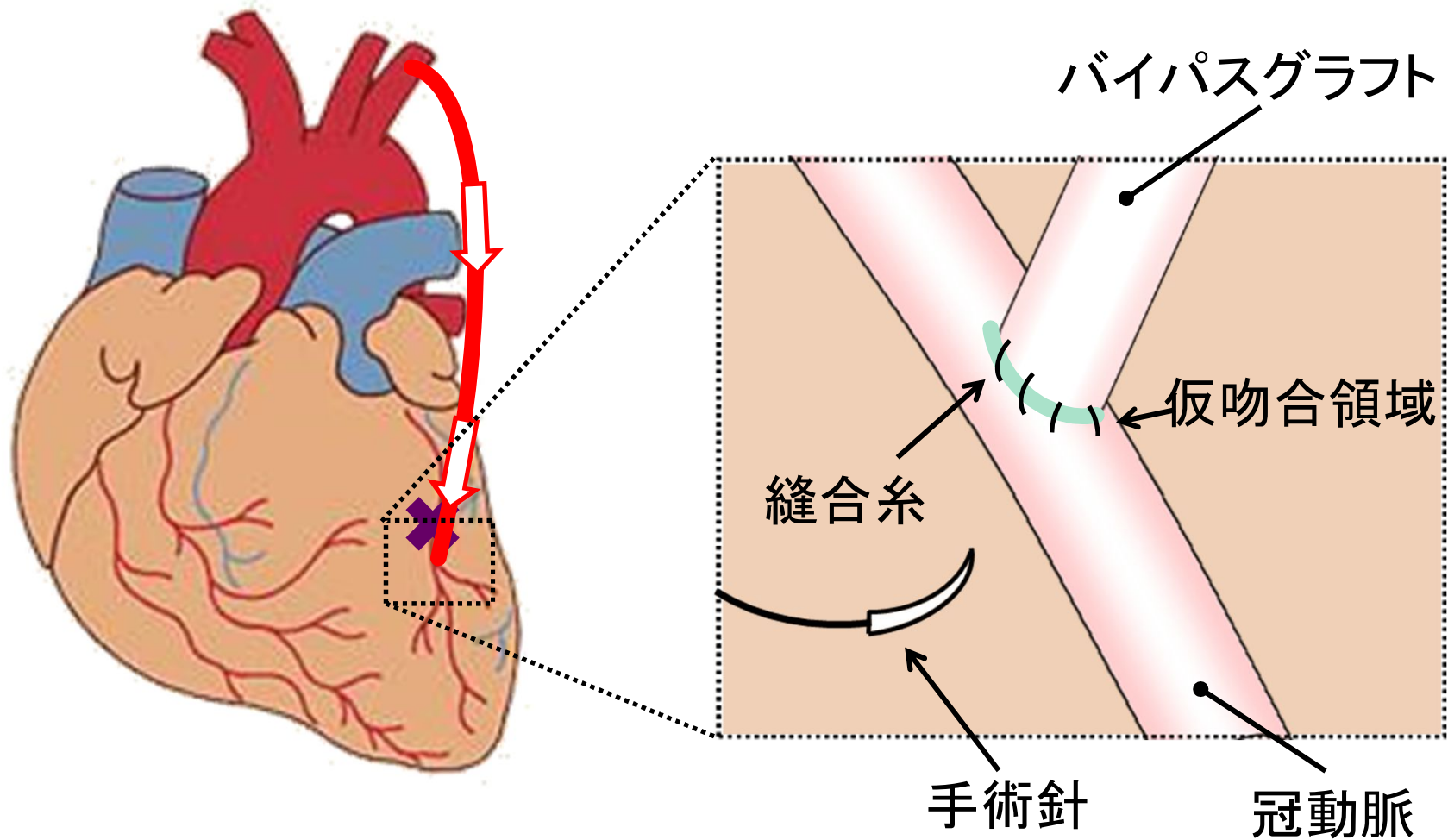


バイパス形成によって血流を回復

研究目的

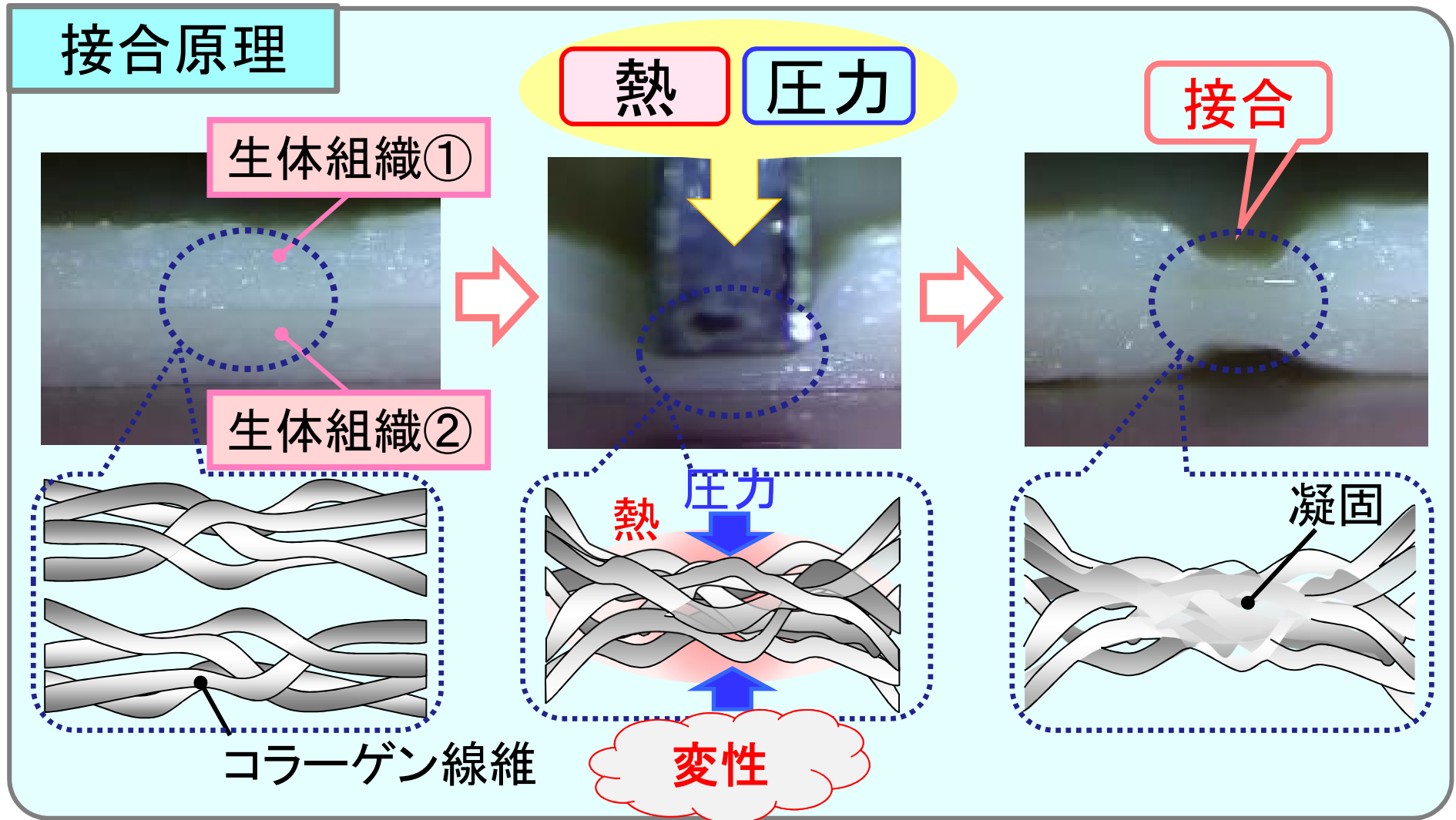


仮吻合により針と糸による吻合を支援



仮吻合により針と糸による吻合を支援

複合低エネルギー生体組織接合技術

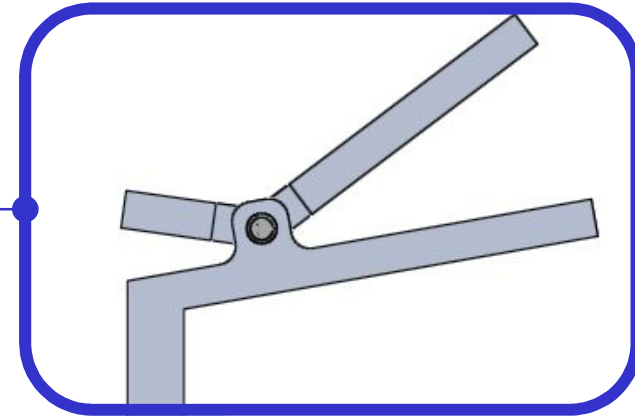


優しい接合が可能

複合低エネルギーを用いた 冠動脈バイパス手術支援デバイスの概要

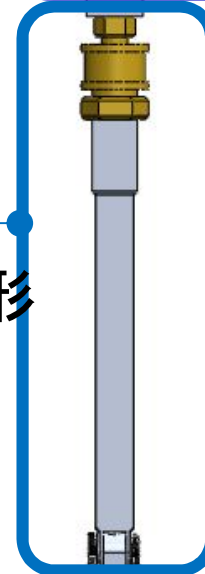
ハンドル部分

てこの原理による加圧力の補助



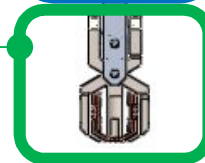
角度変更部分

使用状況に合わせたデバイスの変形



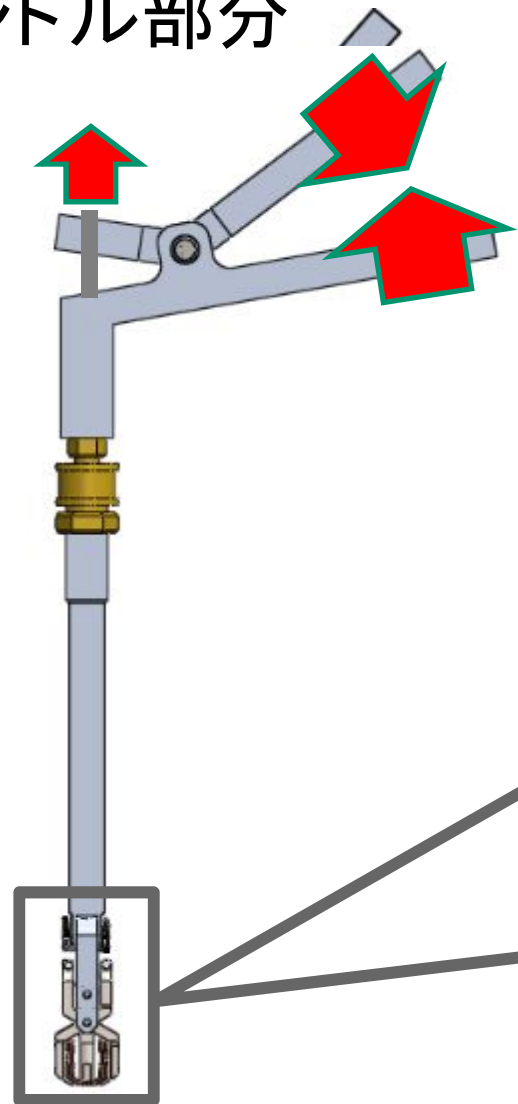
アーム部分

加熱・加圧による血管の接合

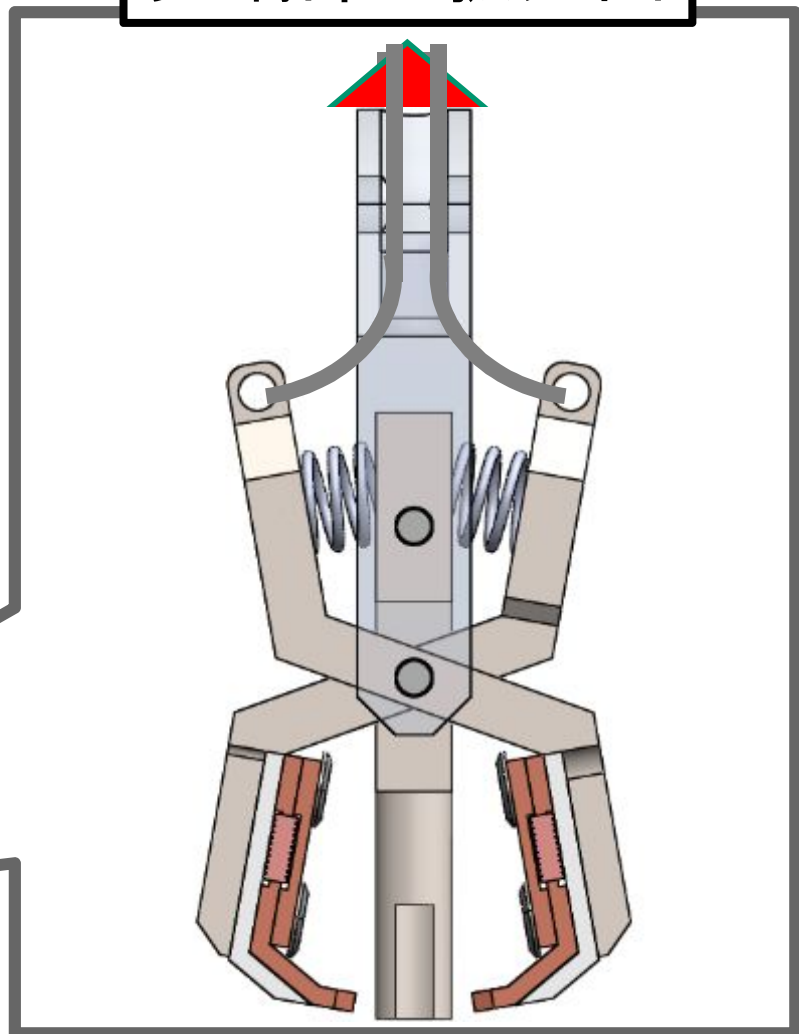


複合低エネルギーを用いた冠動脈バイパス手術支援デバイスの概要

◎ハンドル部分

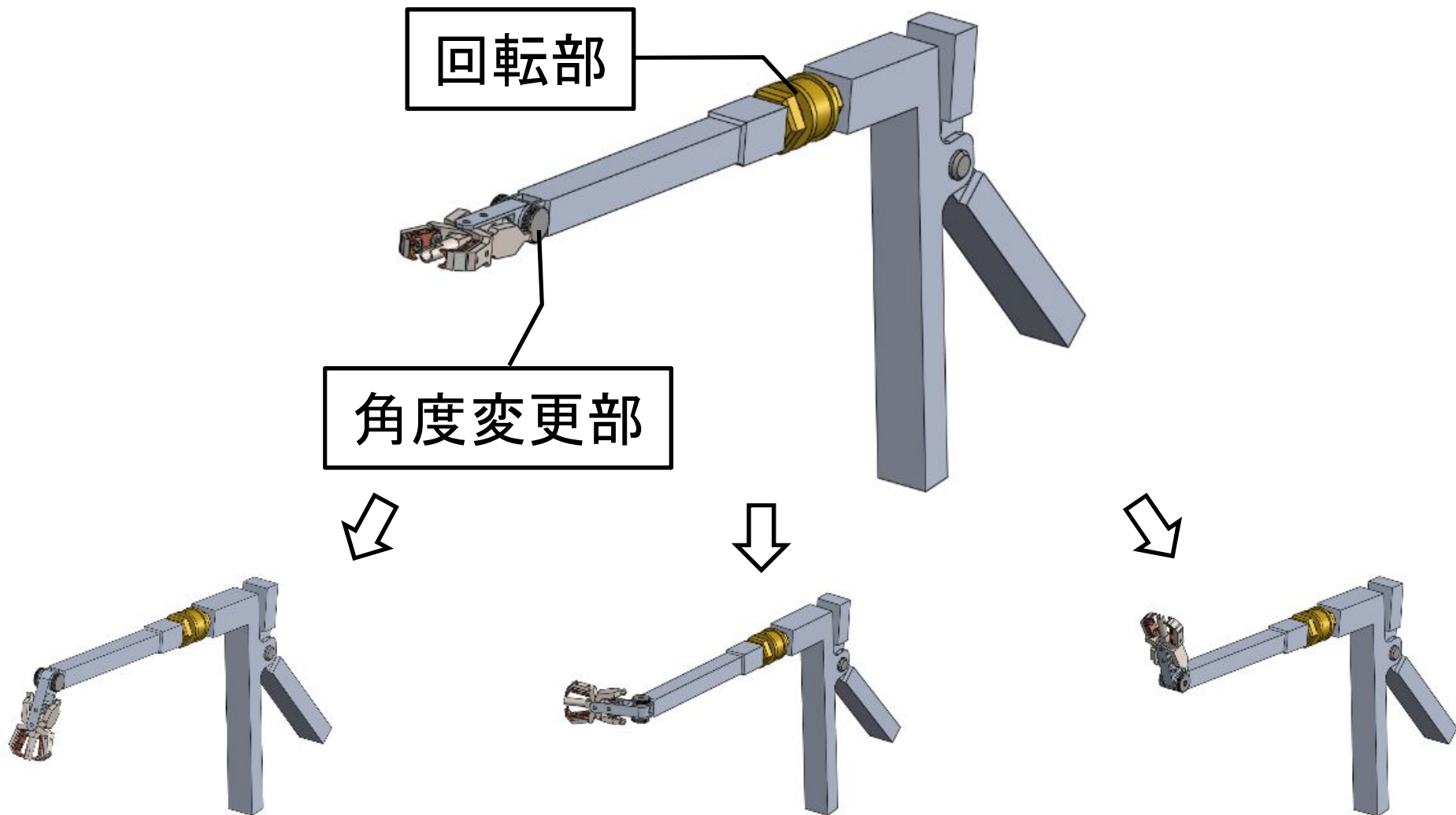


先端部の拡大図



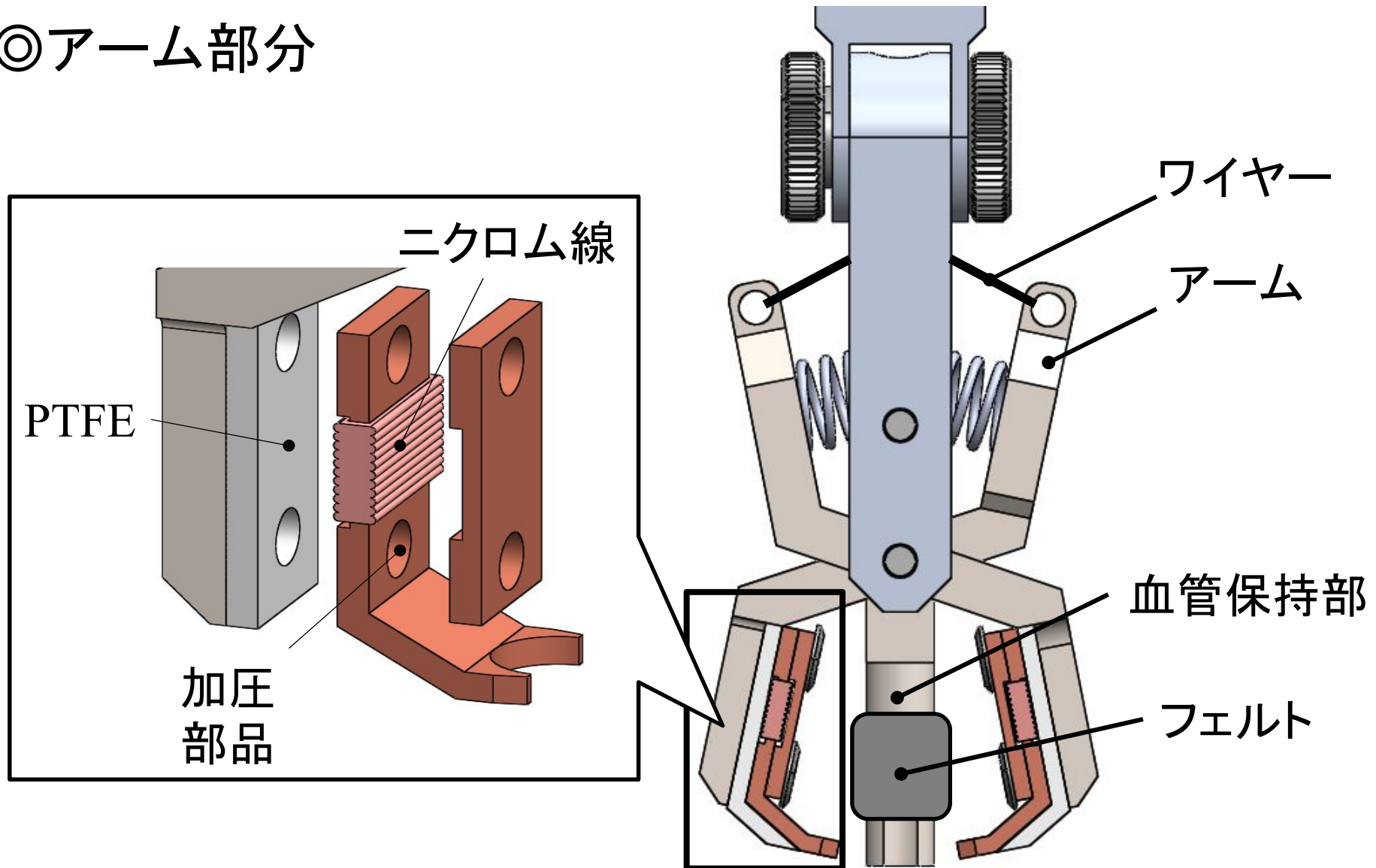
複合低エネルギーを用いた 冠動脈バイパス手術支援デバイスの概要

◎角度変更部分

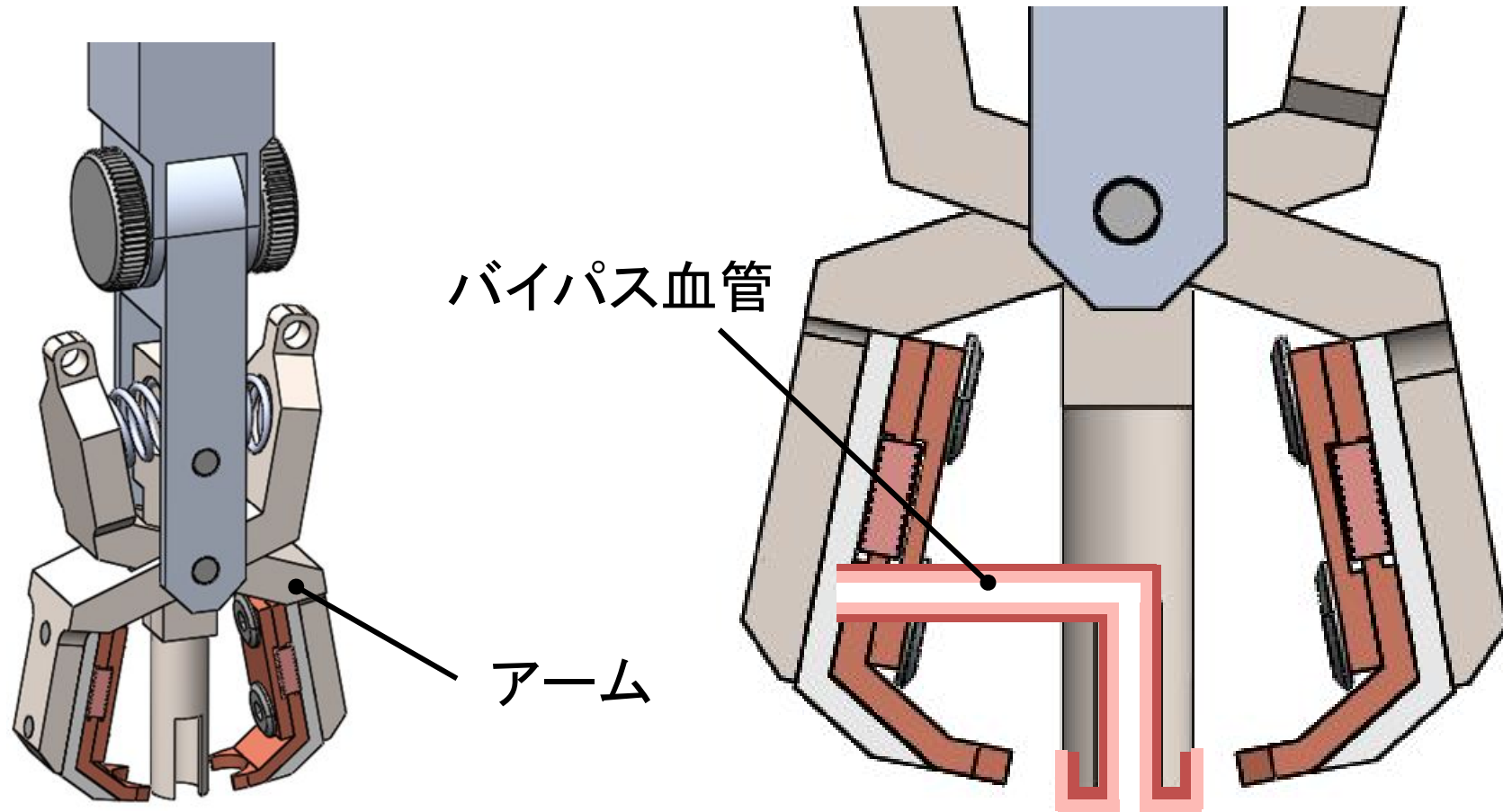


複合低エネルギーを用いた冠動脈バイパス手術支援デバイスの概要

◎アーム部分

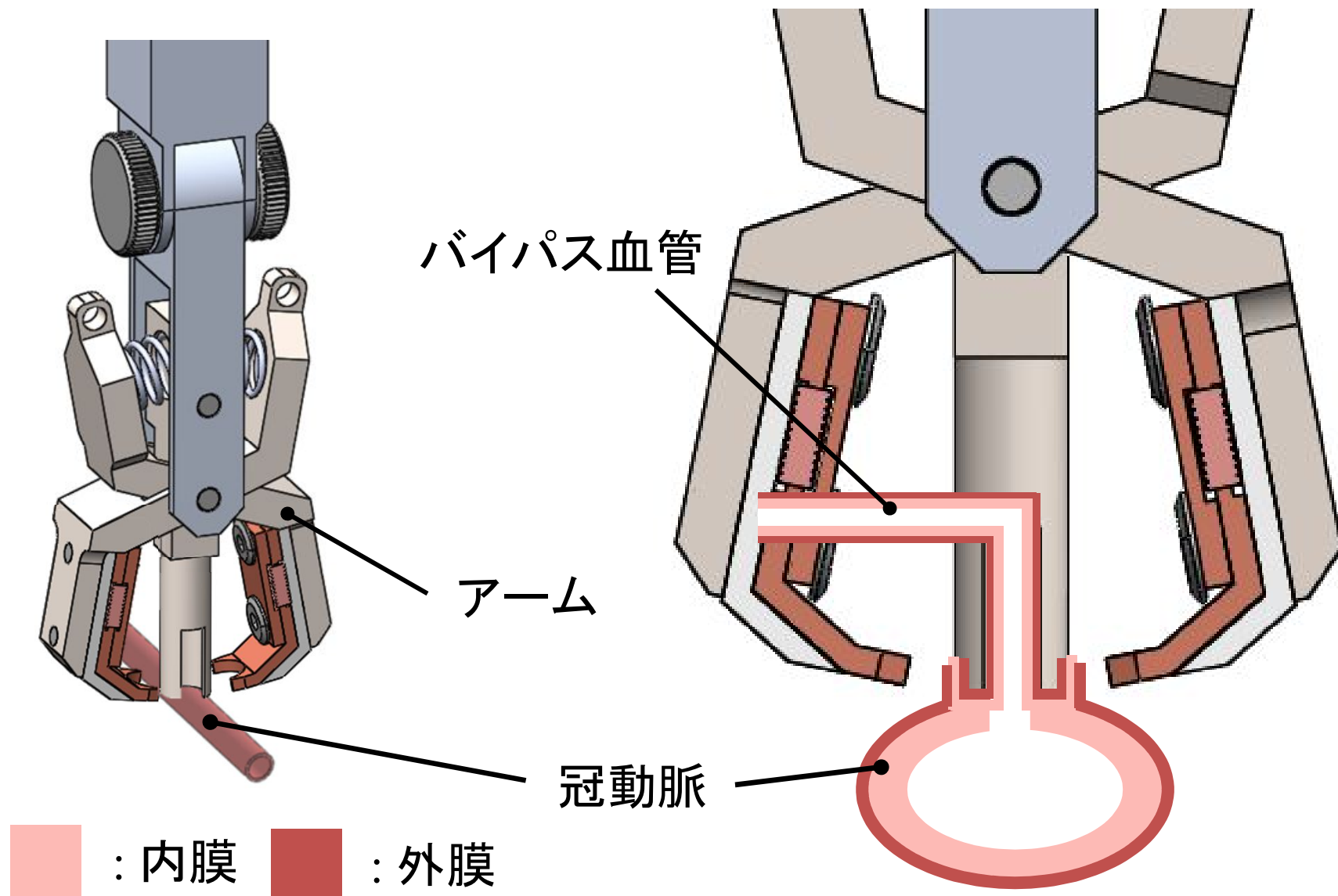


デバイスを使用した血管吻合

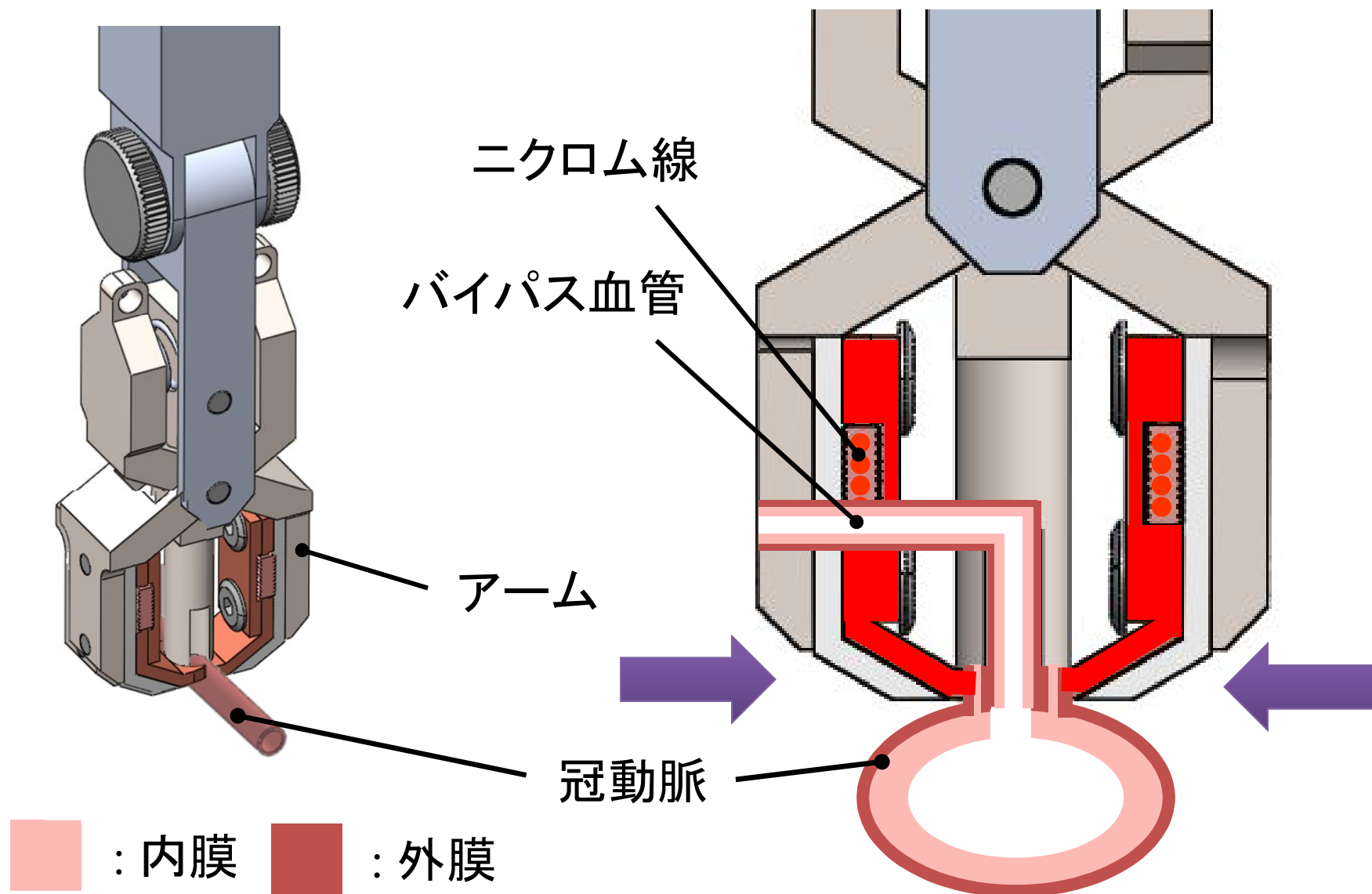


■ : 内膜 ■ : 外膜

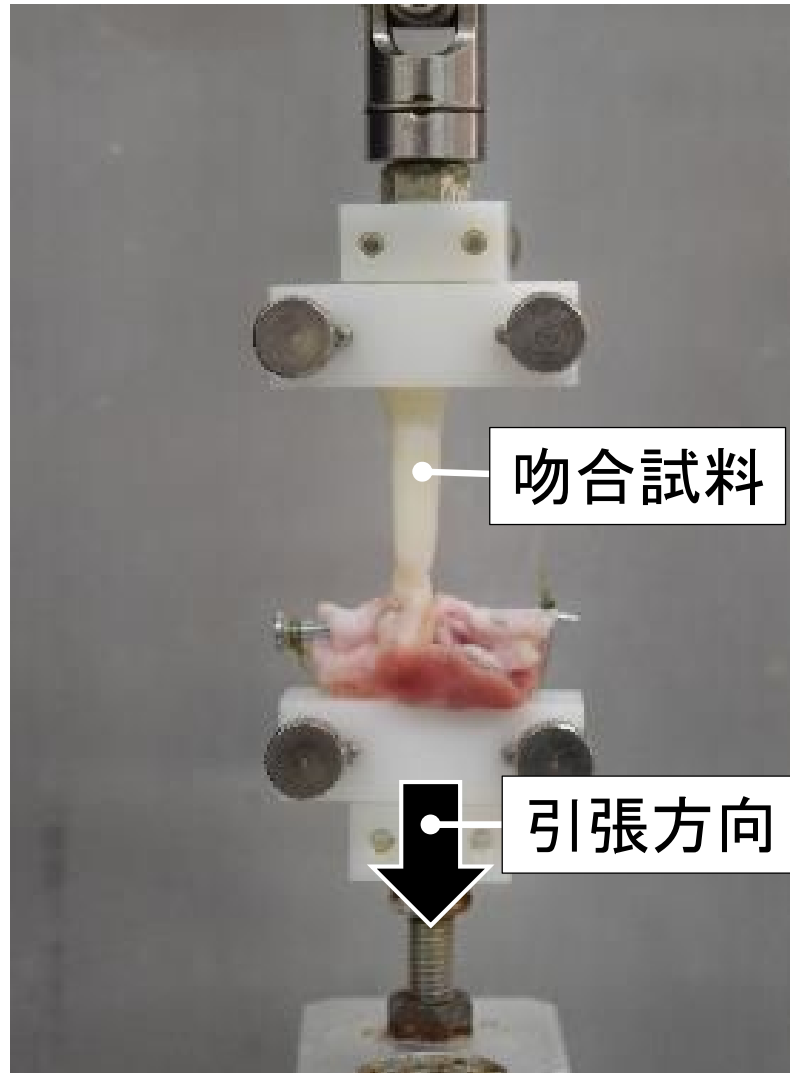
デバイスを使用した血管吻合



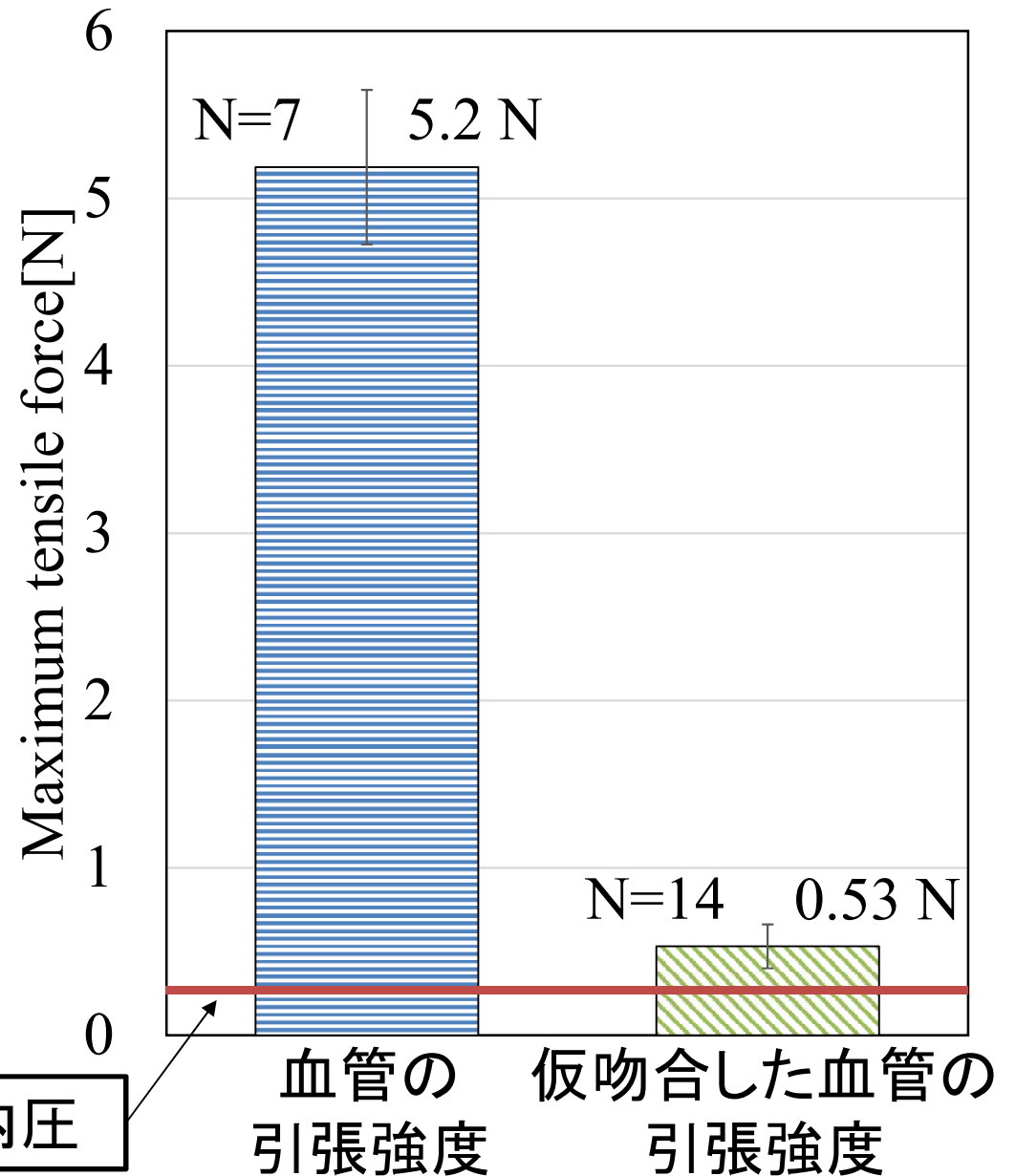
デバイスを使用した血管吻合



仮吻合した血管の引張試験結果



血管にかかる内圧



医用メカトロニクスの一例

人工心臓の研究開発

心臓移植と人工心臓

心臓移植

97年10月からの心臓移植登録者総数1,433名, うち429名が手術を受けている. 現在の待機患者数653名。 (2017年11月30日)

待機時間: 1,310日 (3.5年)

ドナーが不足!

心臓移植までの繋ぎ(ブリッジ)

永久使用を目的とした
自己心の代替



(大阪大学:

<http://www.med.osaka-u.ac.jp/pub/surg1/www/index.html>)

人工心臓

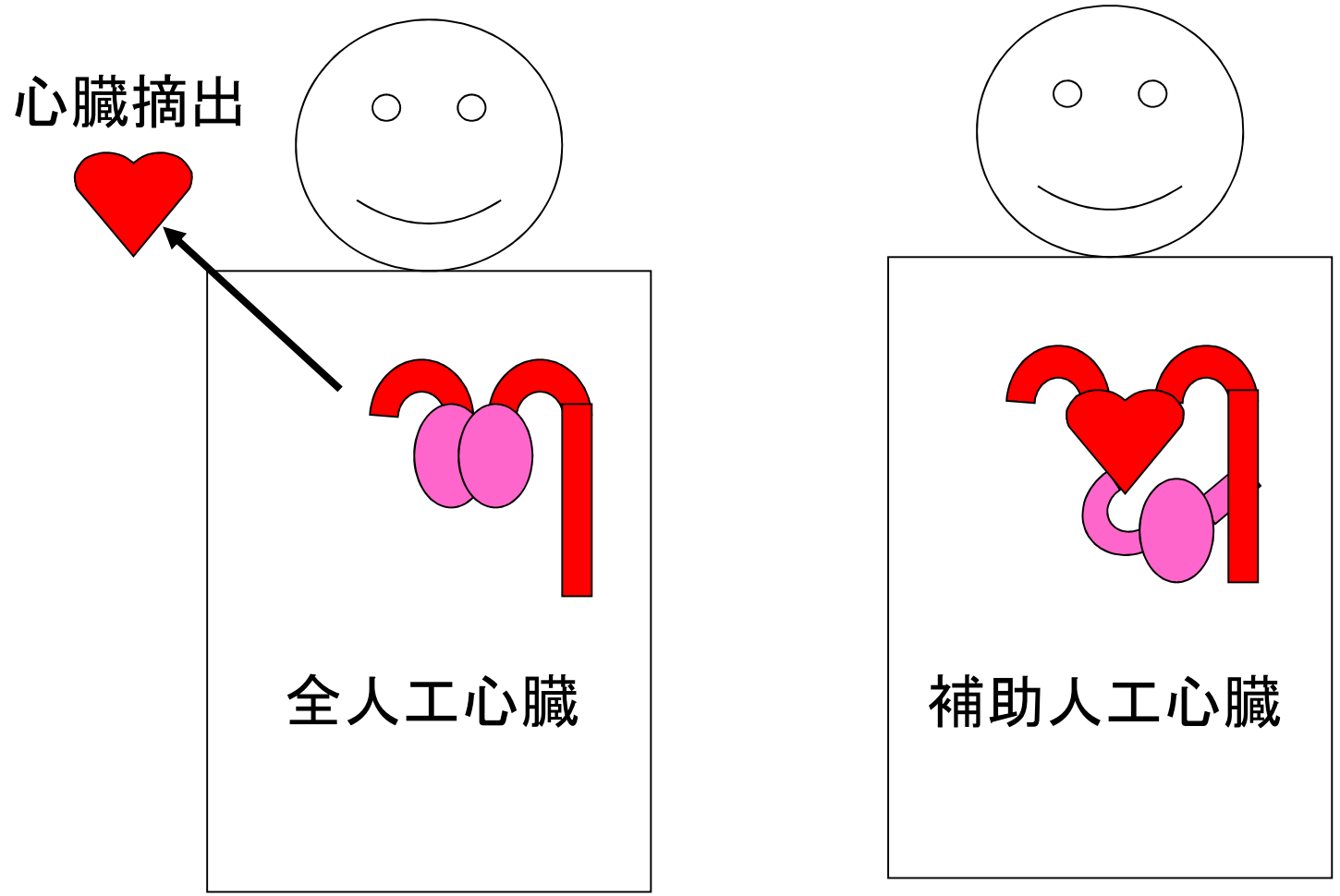
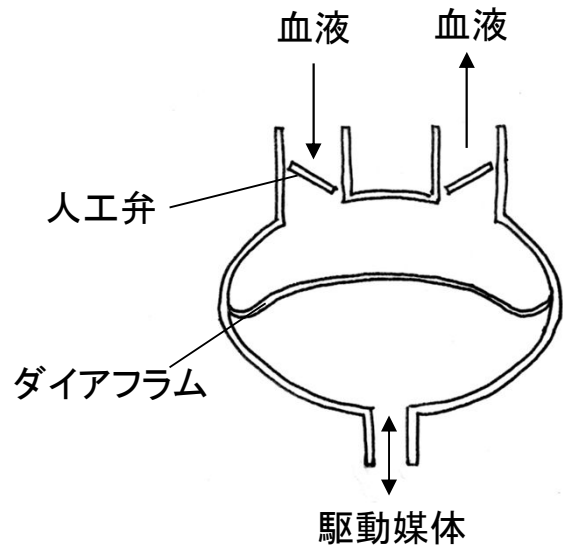


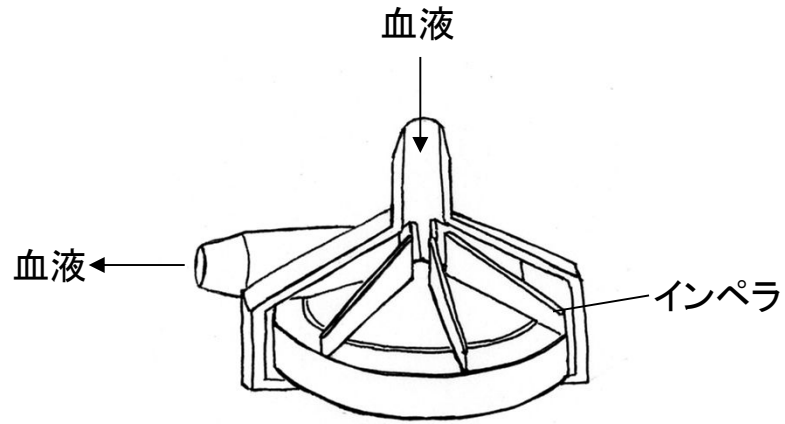
図1 全人工心臓と補助人工心臓

人工心臓用血液ポンプの種類

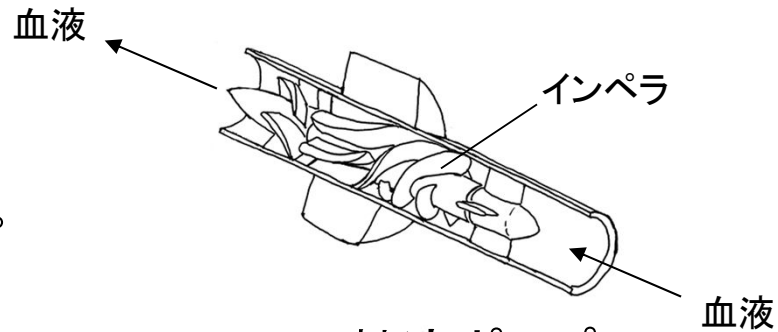


ダイヤフラム型血液ポンプ

拍動流方式

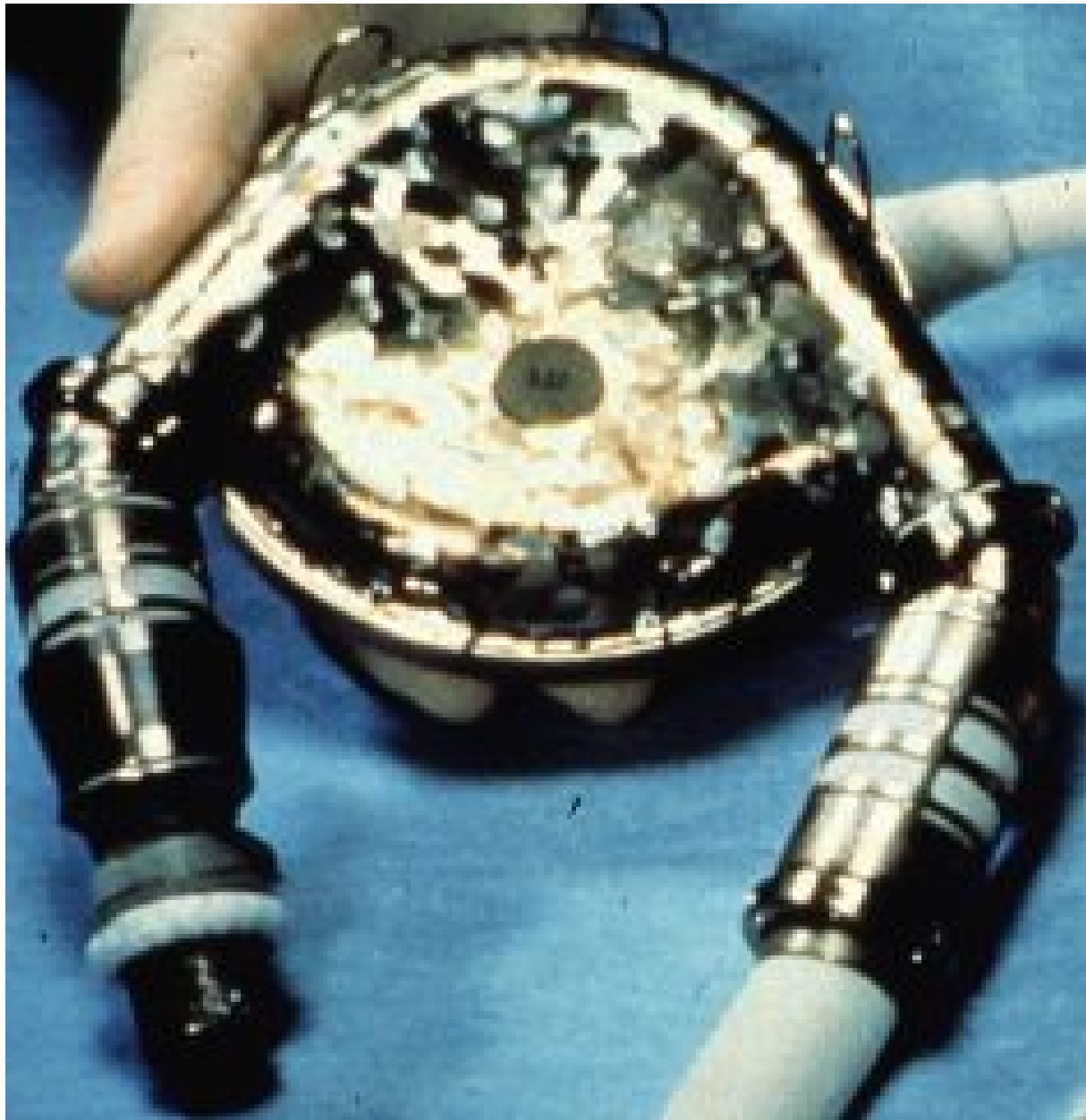


遠心ポンプ



軸流ポンプ

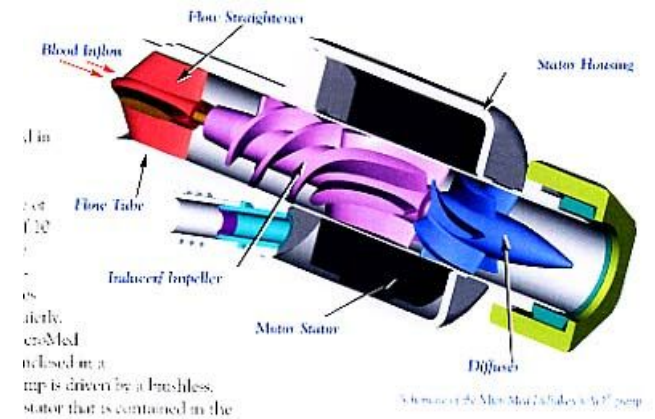
連続流方式



拍動流方式



遠心ポンプ



軸流ポンプ

連続流方式

世界で使用されている体内埋込型補助人工心臓



Jarvik 2000



HeartMate II



HVAD



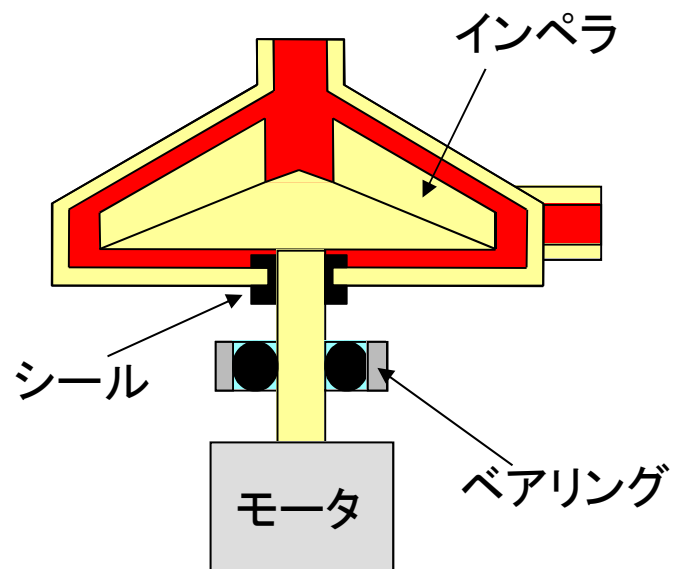
EVAHEART



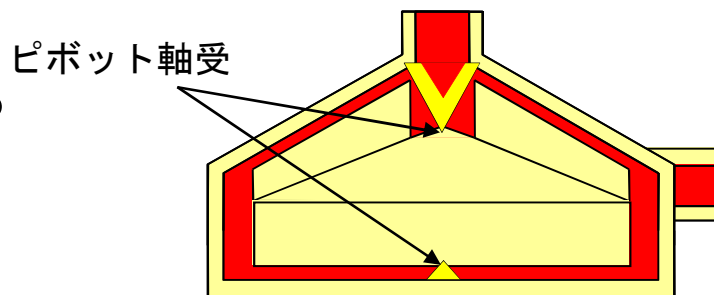
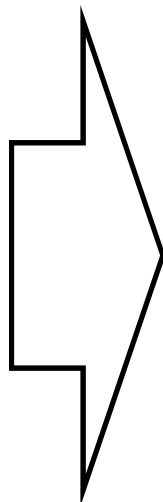
DuraHeart

日本で使用
可能

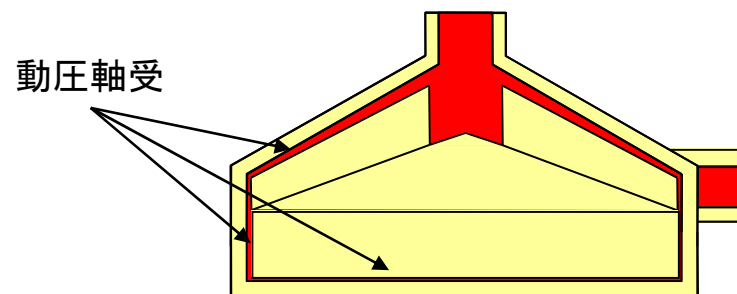
連続流型血液ポンプの軸受



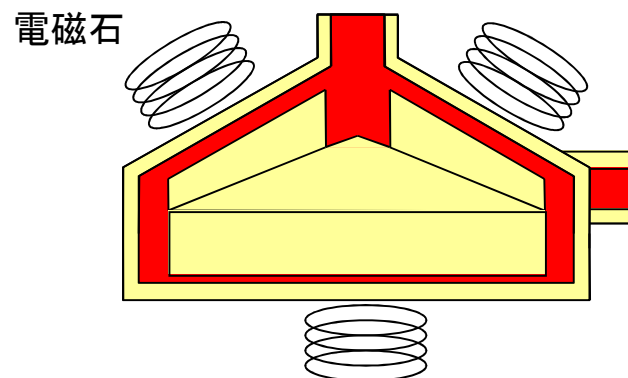
軸付き血液ポンプ



ピボット軸受方式



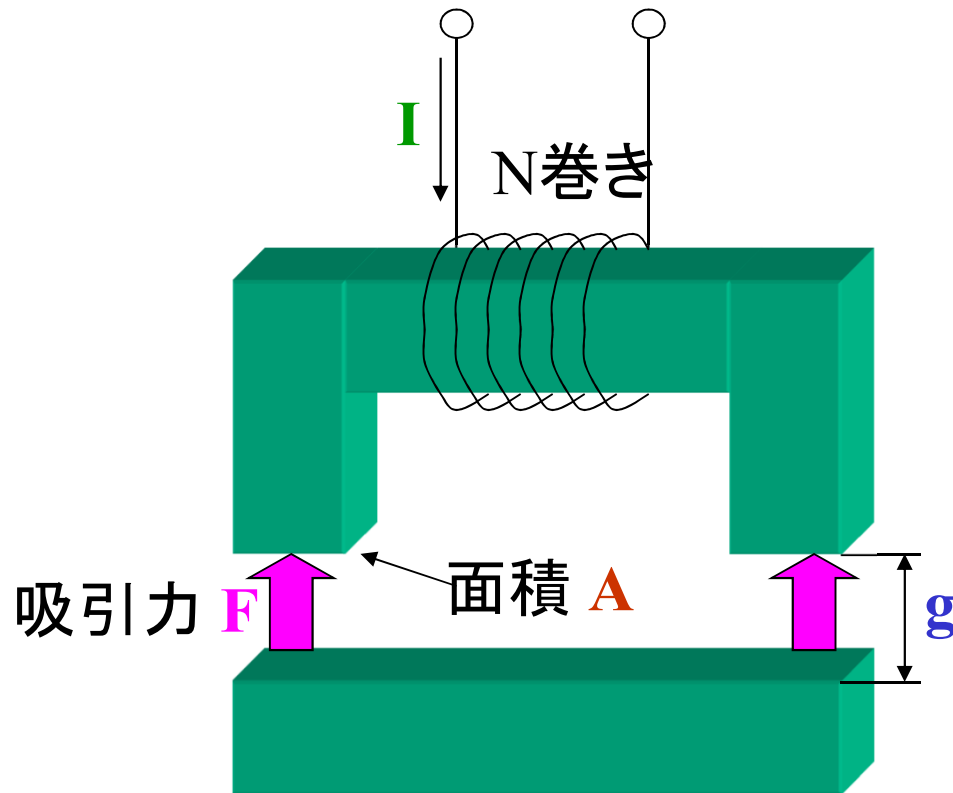
動圧軸受方式



磁気軸受方式

磁石の性質

磁気吸引力と各パラメータの関係



磁束密度 $B = NI\mu_0 / 2g$

吸引力 $F = 2AB^2 / 2\mu_0$
 $= \frac{A\mu_0 (NI)^2}{(2g)^2}$

μ_0 : 真空の透磁率

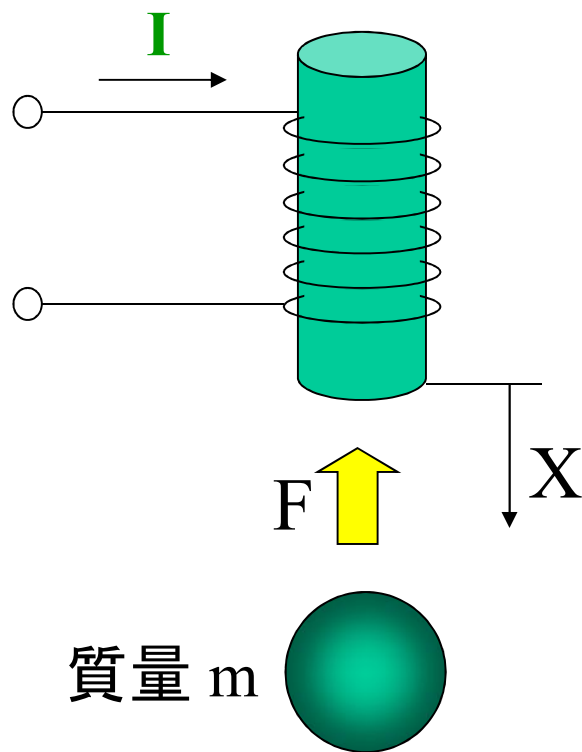
鉄心の透磁率は無限大と仮定

・小さくすると磁気飽和がおきる

小型化と磁気パワー
はトレードオフ！

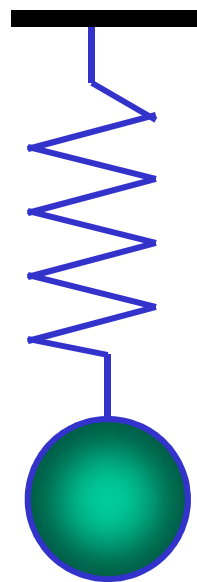
磁気浮上の基礎技術

磁石の性質



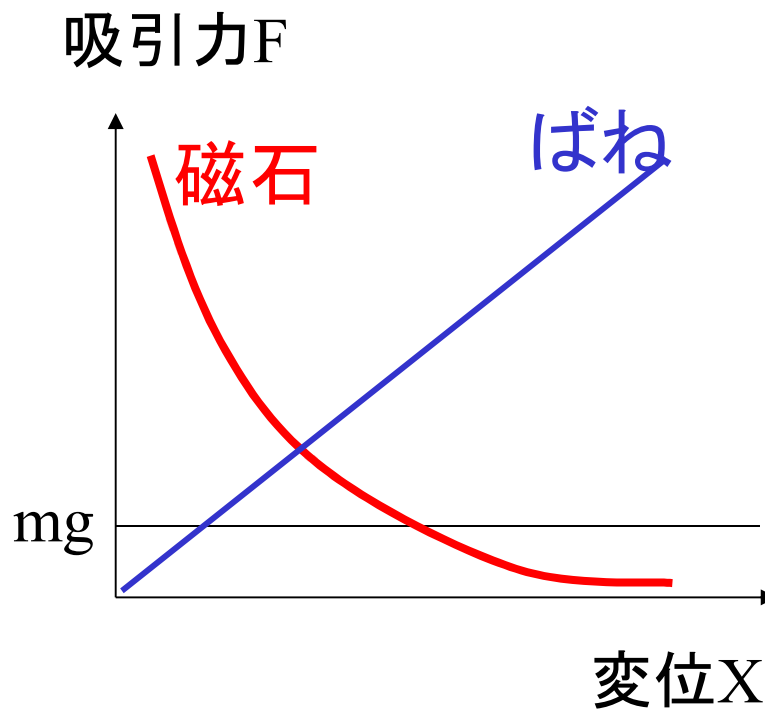
磁石

VS

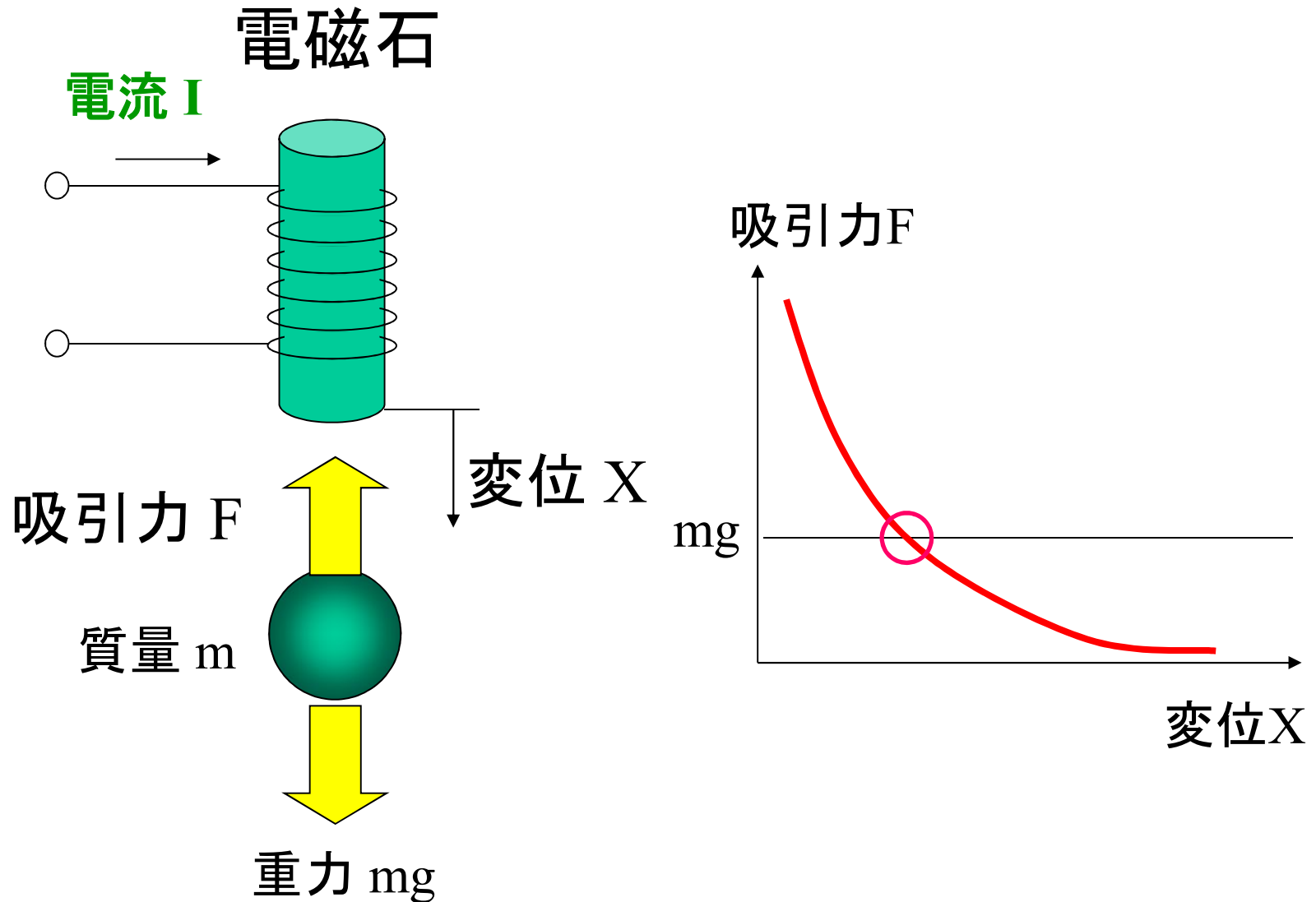


ばね

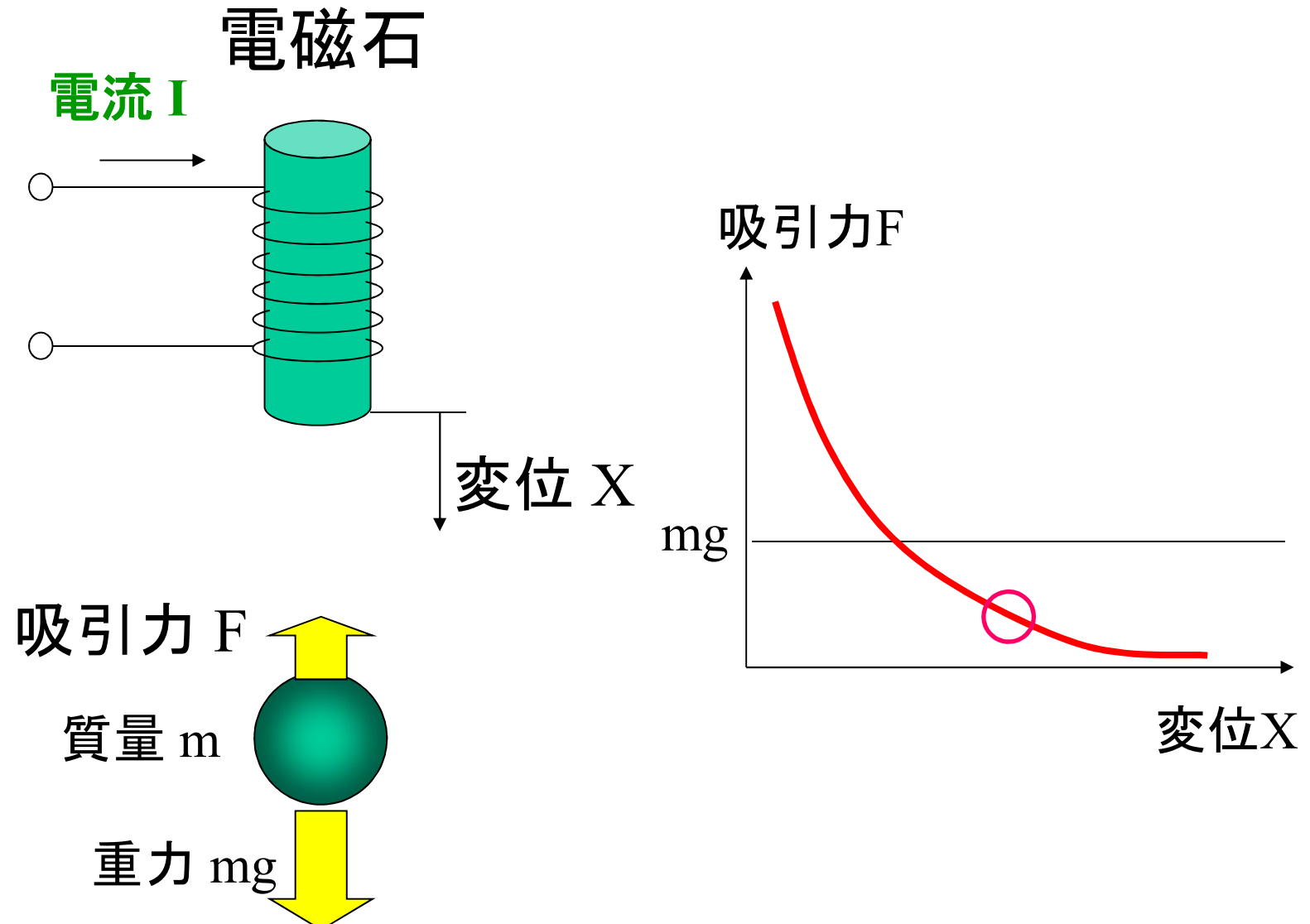
負のバネ定数



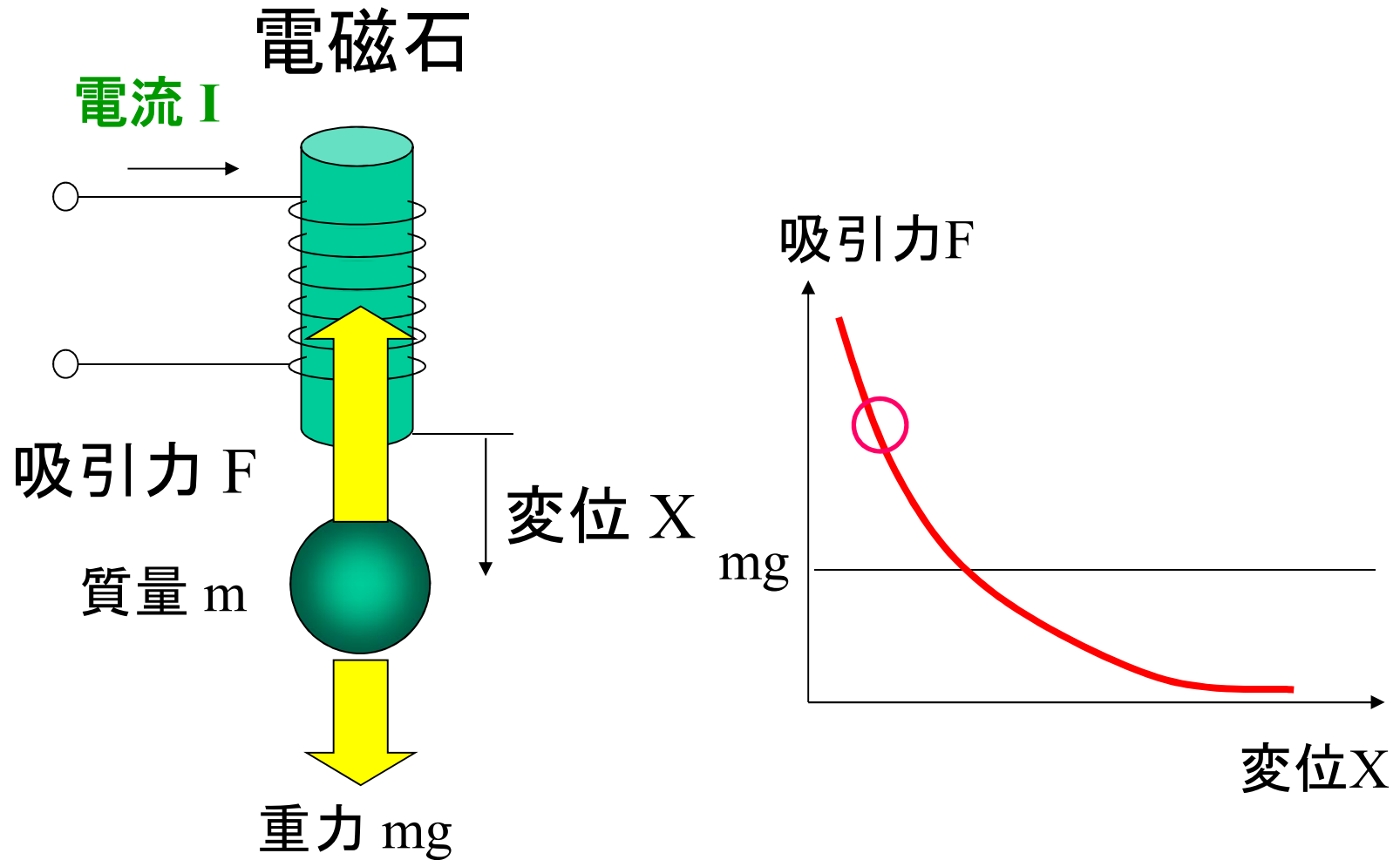
磁気浮上にはフィードバック制御が必要！



磁気浮上にはフィードバック制御が必要！

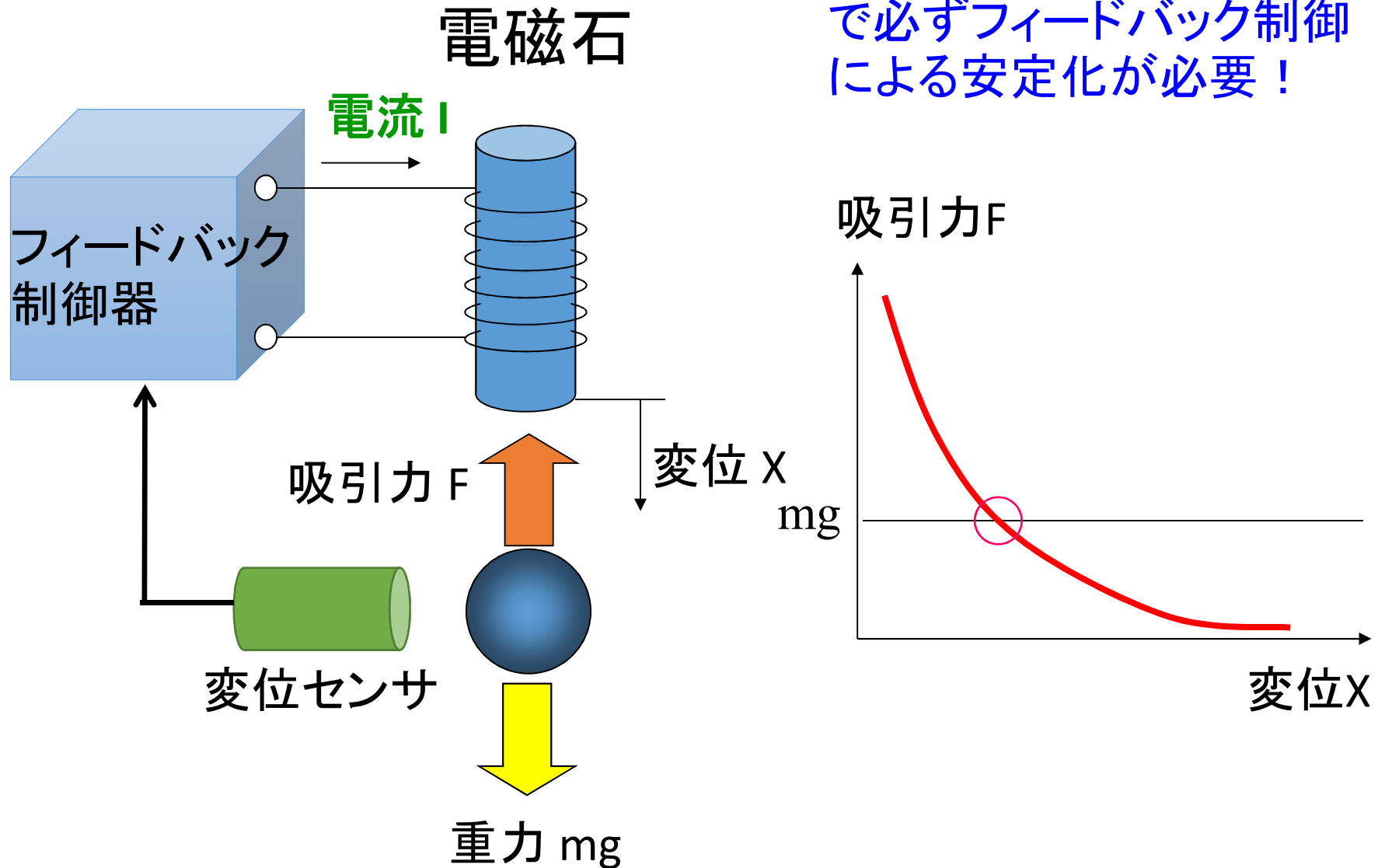


磁気浮上にはフィードバック制御が必要！



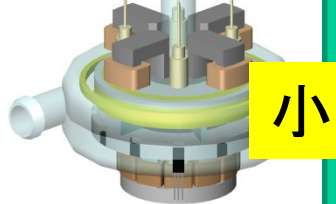
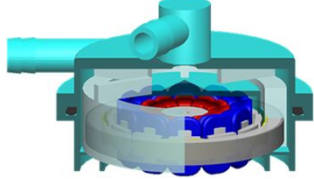
磁気浮上にはフィードバック制御が必要！

磁気浮上は不安定系なので必ずフィードバック制御による安定化が必要！



茨城大学で開発中の磁気浮上人工心臓

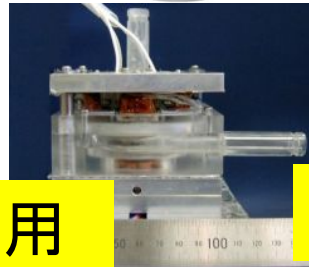
ラジアル型 遠心ポンプ アキシシャル型 遠心ポンプ



小児用

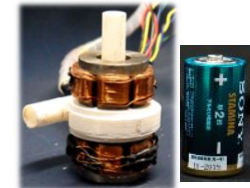
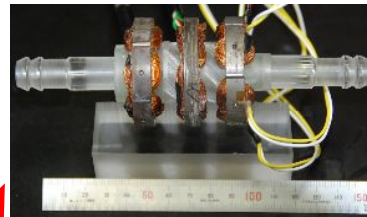
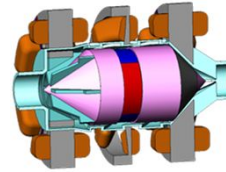


両心用



治療用

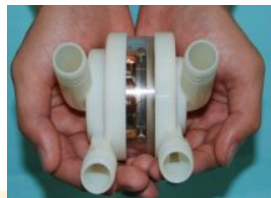
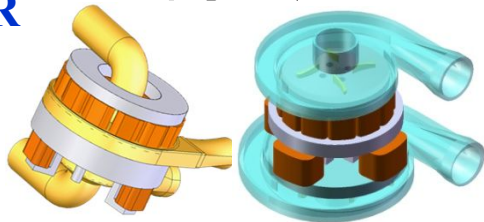
乳児・小児用小型ポンプ



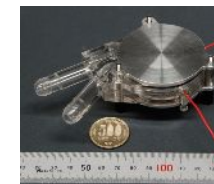
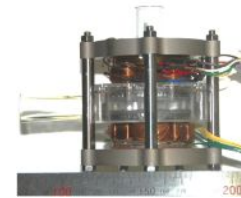
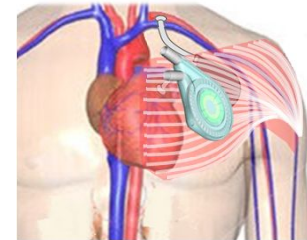
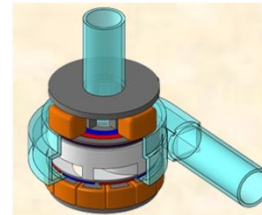
共：国立循環器病センター

共：米国 THI, BiVACOR

両心用ポンプ



心臓治療用ポンプ



共：国循，東大，都健康長寿医療センター

超小型磁気浮上モータを用いた 次世代型小児用人工心臓の開発



2.1 提案する小児用人工心臓の概要

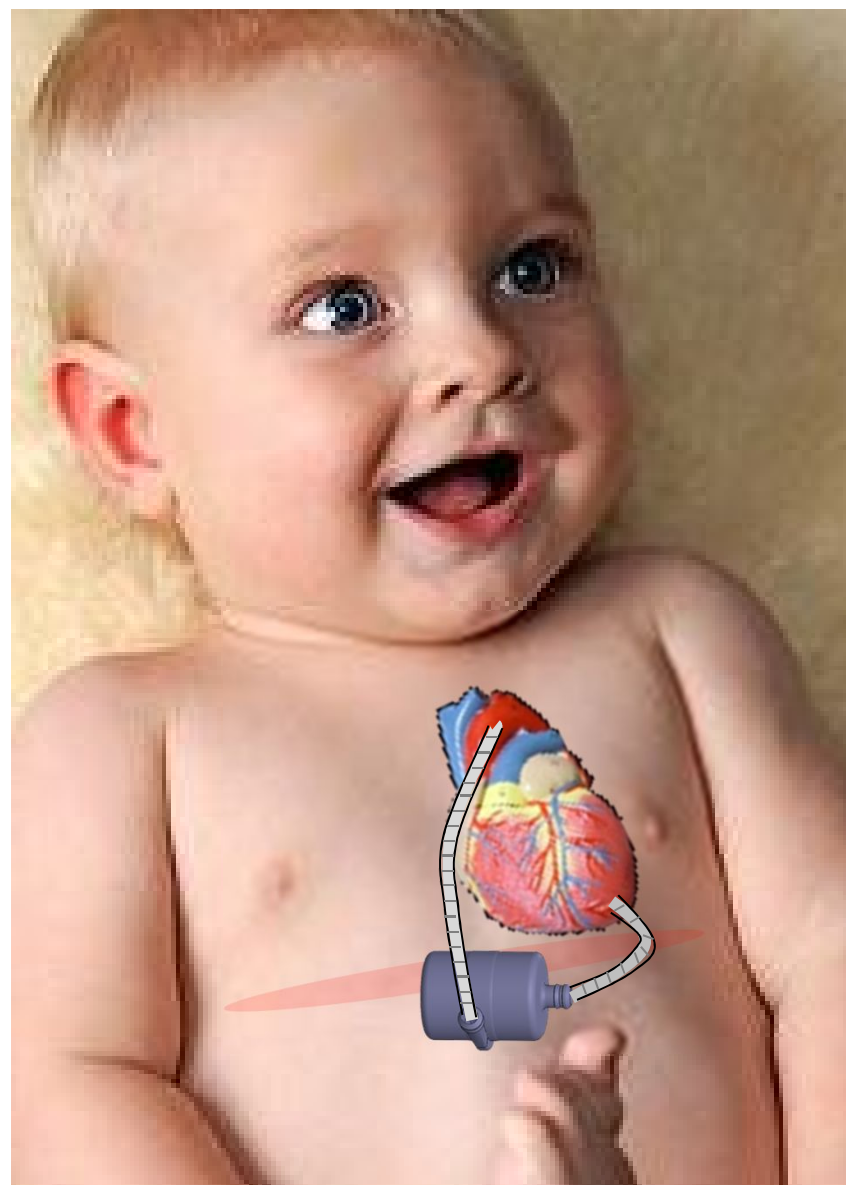
目標ポンプ性能

- ポンプ揚程: 100 mmHg
- 流量範囲: 0.5~2.5 L/min
- ポンプ回転数: 2000 rpm
~4000

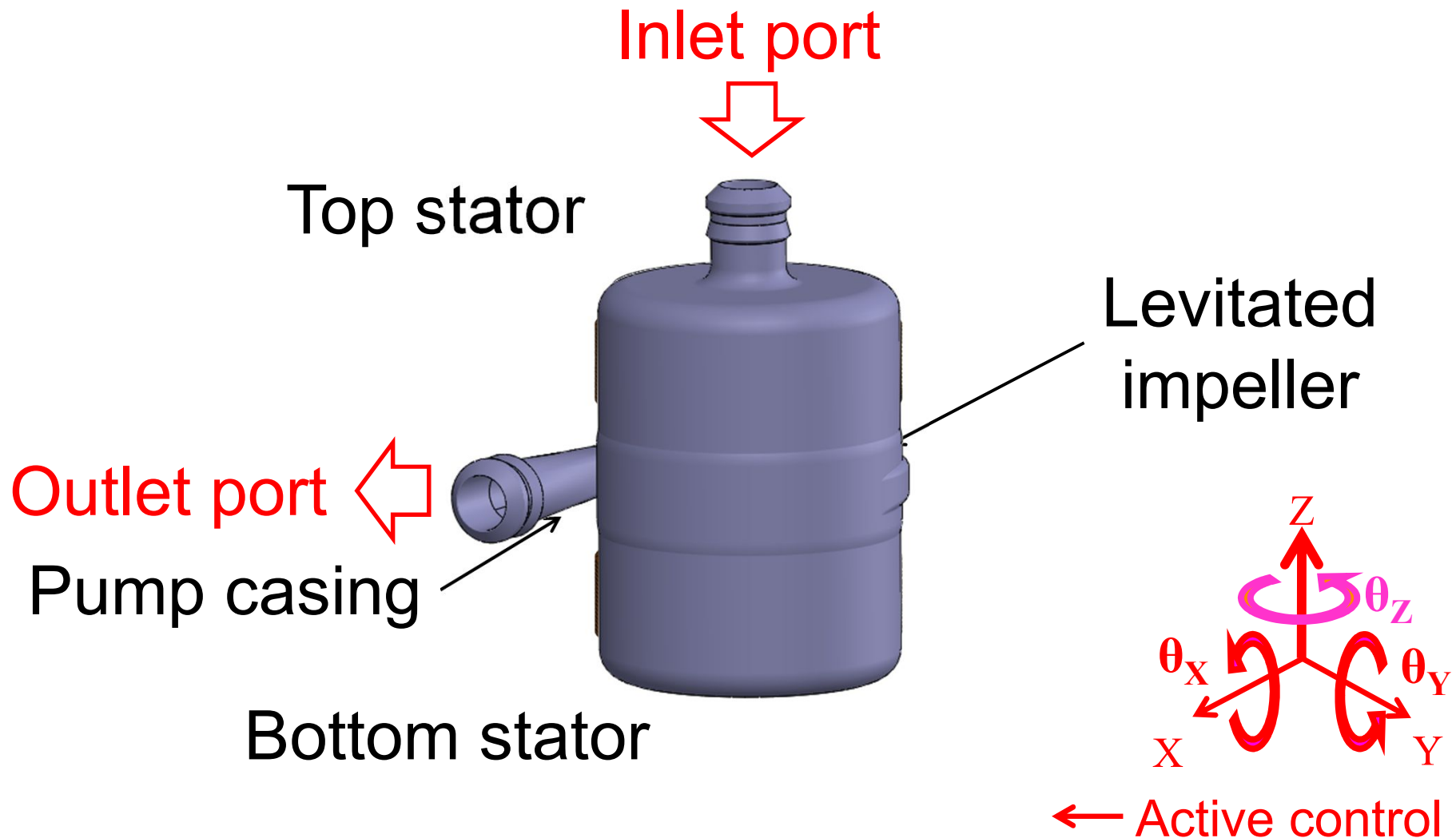
rpm

適用対象

- 年齢: 1歳児~6歳児
- 体重: 5 kg~20 kg
(体表面積: 0.4~0.8 m²)

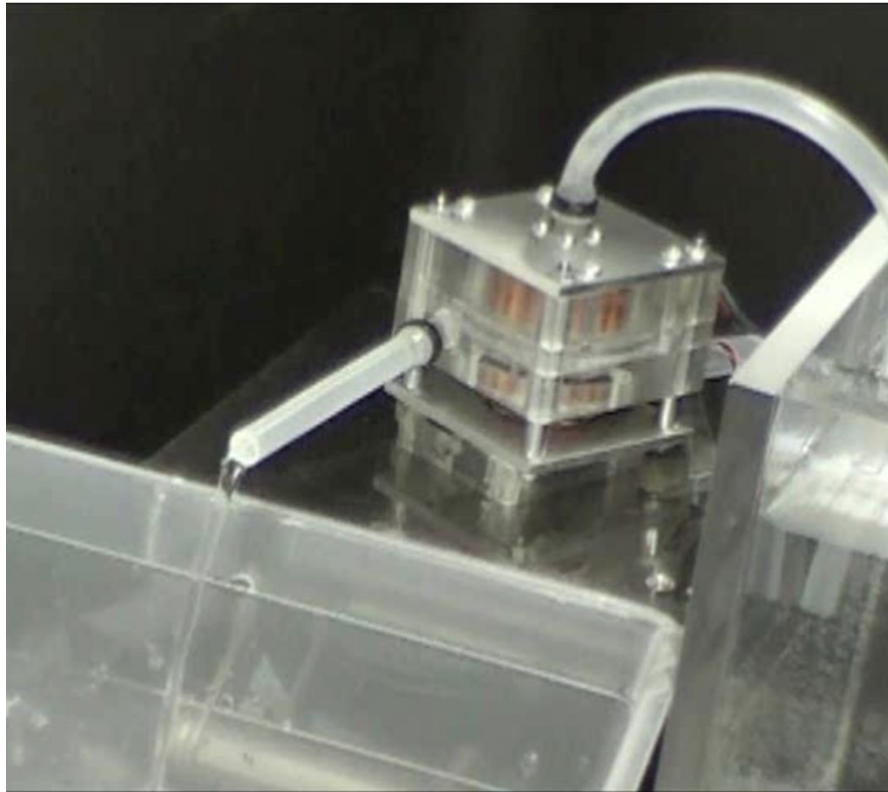


2.2 磁気浮上型小児用人工心臓の構造

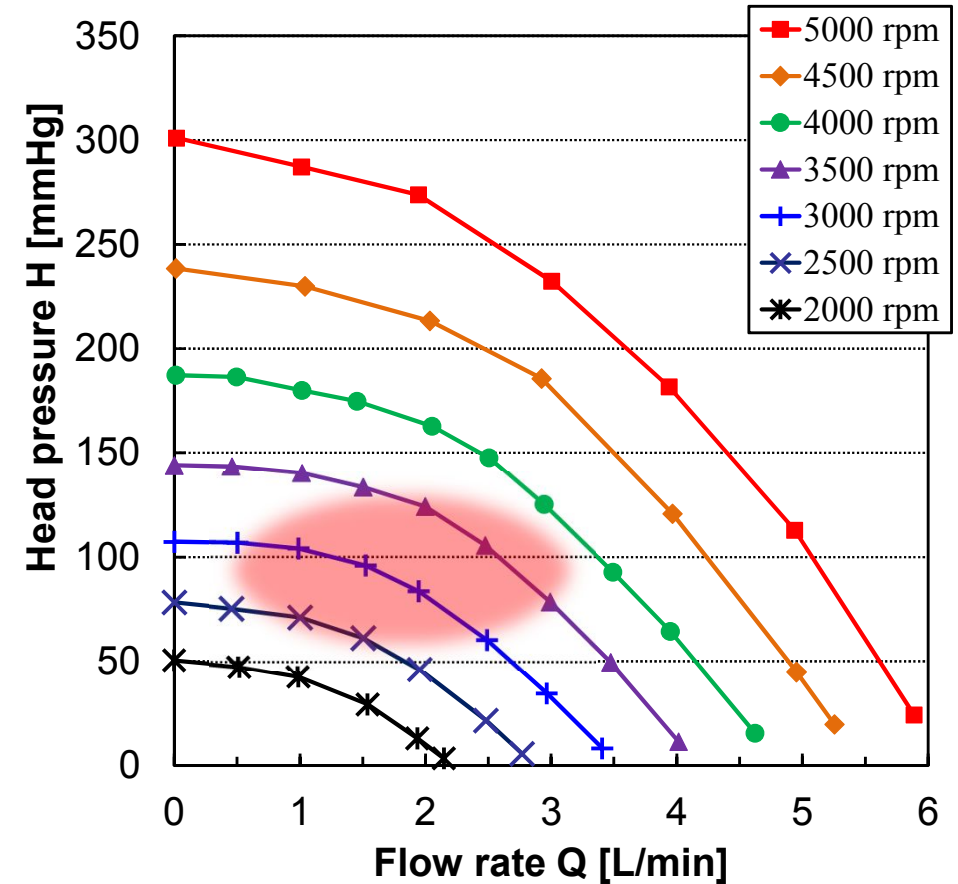


2.4 第1試作ポンプの駆出性能

磁気浮上小児用人工心臓
ポンプ第1試作機



血液ポンプの
圧-流量特性



- 連続流式小児用人工心臓として十分なポンプ性能を確認

3.1 人工心臓用磁気浮上モータの小型化

- 幾何学形状および極数検討による磁気浮上モータ小型化設計 -

プロトタイプモータ

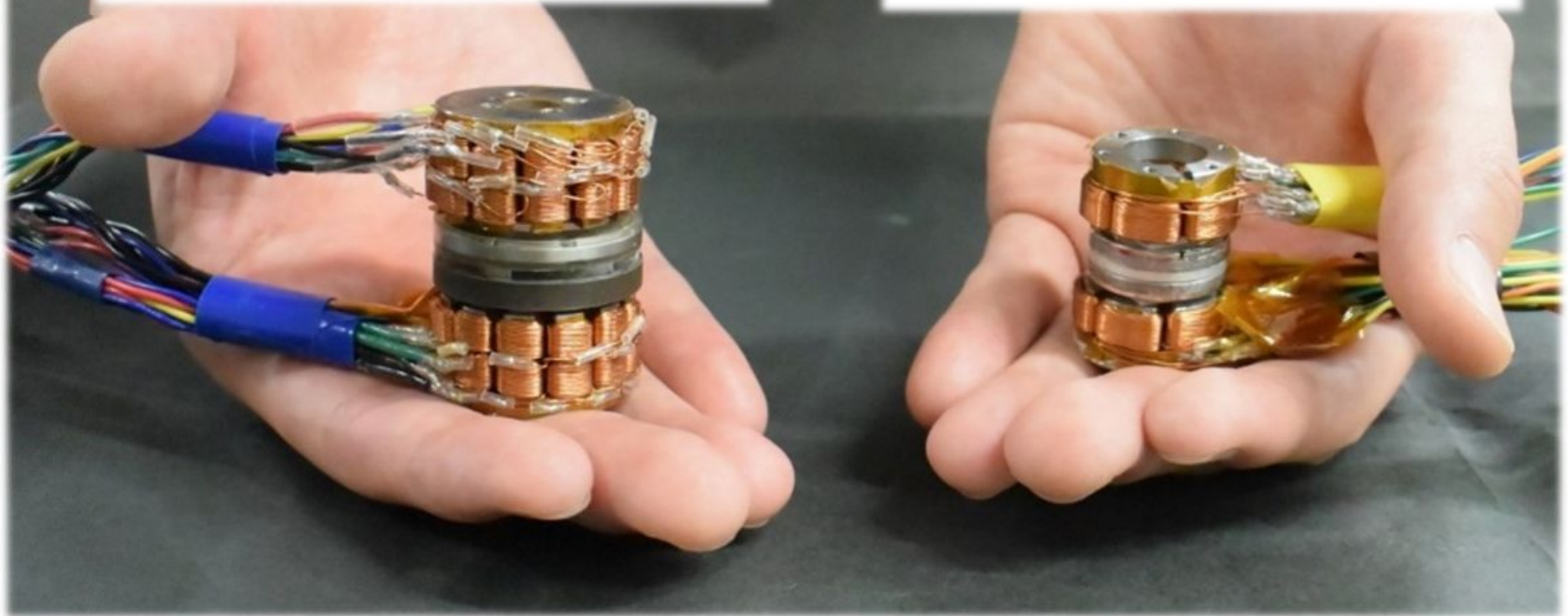
体積: 25 cc

(外径28 mm × 高さ41 mm)

小型化モータ

体積: 13 cc

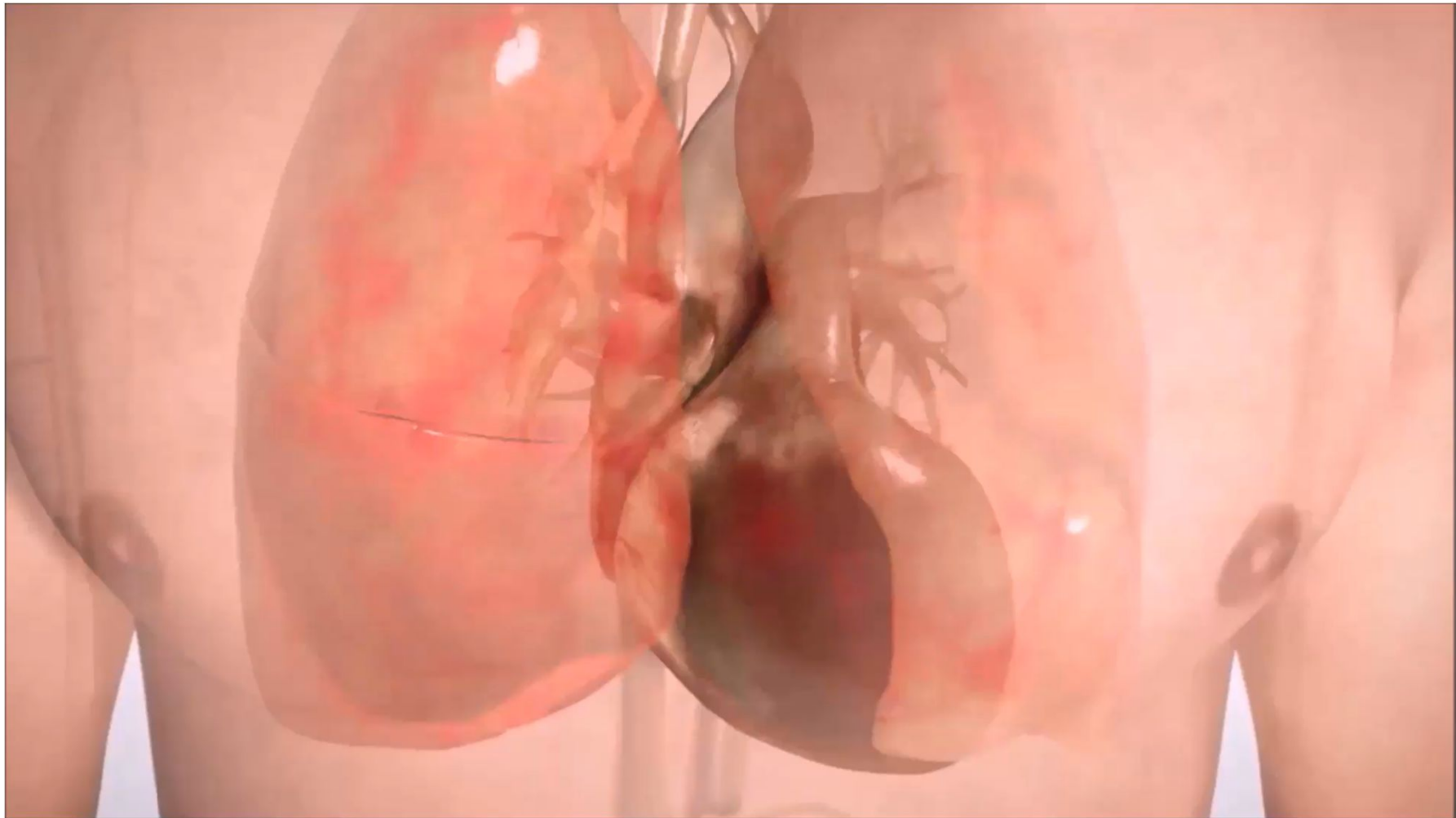
(外径22 mm × 高さ33 mm)

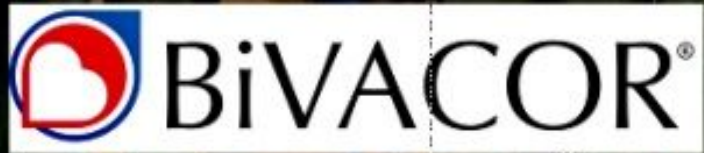
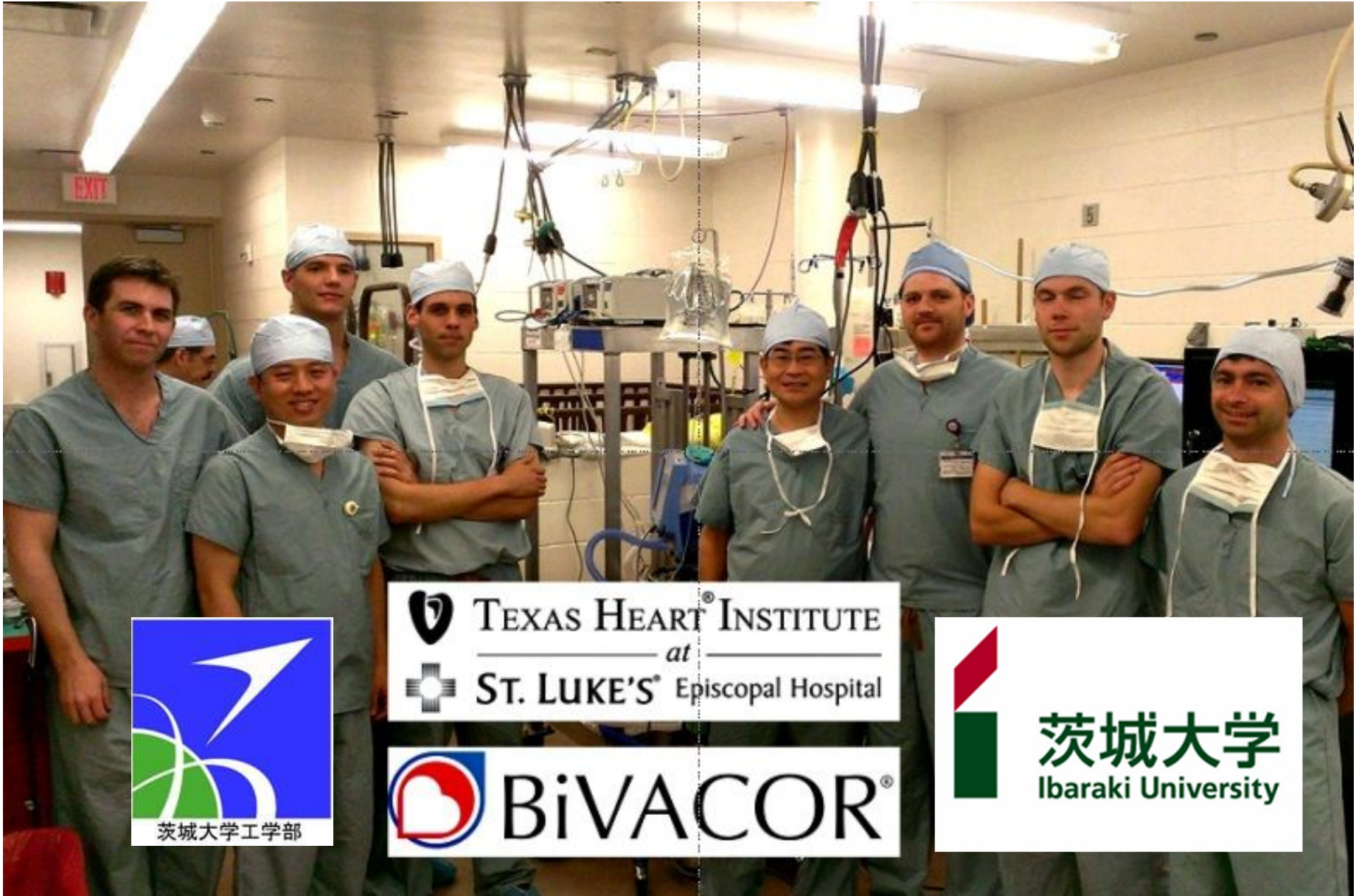


全置換型人工心臟



BiVACOR Implanted





おわりに

人工心臓を代表とする医用メカトロニクス
の分野は人の命や生活を支えるQOL
(Quality of Life)工学分野です。これから
多くの研究者、技術者が必要となる新しい
工学分野なので、興味のある人は将来の
職業分野として是非、検討してみてください。

*Thank you very much for
your kind attention!*

Masuzawa-Osa Lab, Ibaraki Univ.

