

フレキシブルな応力センサフィルムの開発と 生体医工学分野への応用

弘前大学 大学院理工学研究科 機械科学科

助教 森脇 健司

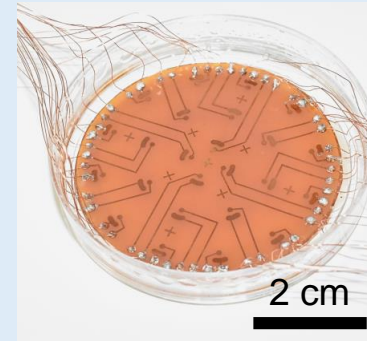


HIROSAKI
UNIVERSITY



引張力が測定可能

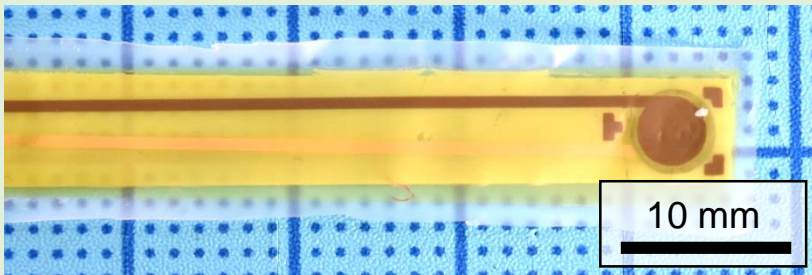
【応用例1】細胞応答の評価



応力分布が視える
細胞培養皿

【開発技術】

フィルム型応力センサ



フレキシブル → 曲面計測

【応用例2】力学評価用モデル血管

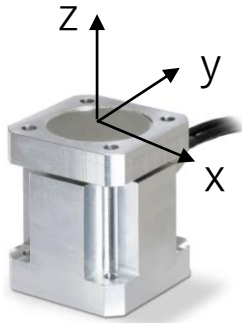


カテーテル評価デバイス



単点センサ

ロードセル



UNIPULSE社, UPP-100NX3

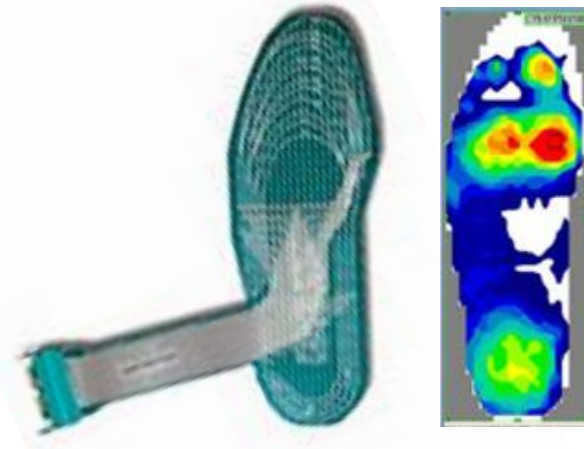


INSTRON社, 5980

- 精度・再現性がよい
- 3次元的な力が検出可能
- 多点化に不向き

分布センサ

感圧シート



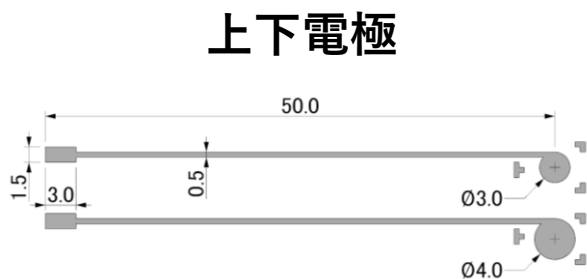
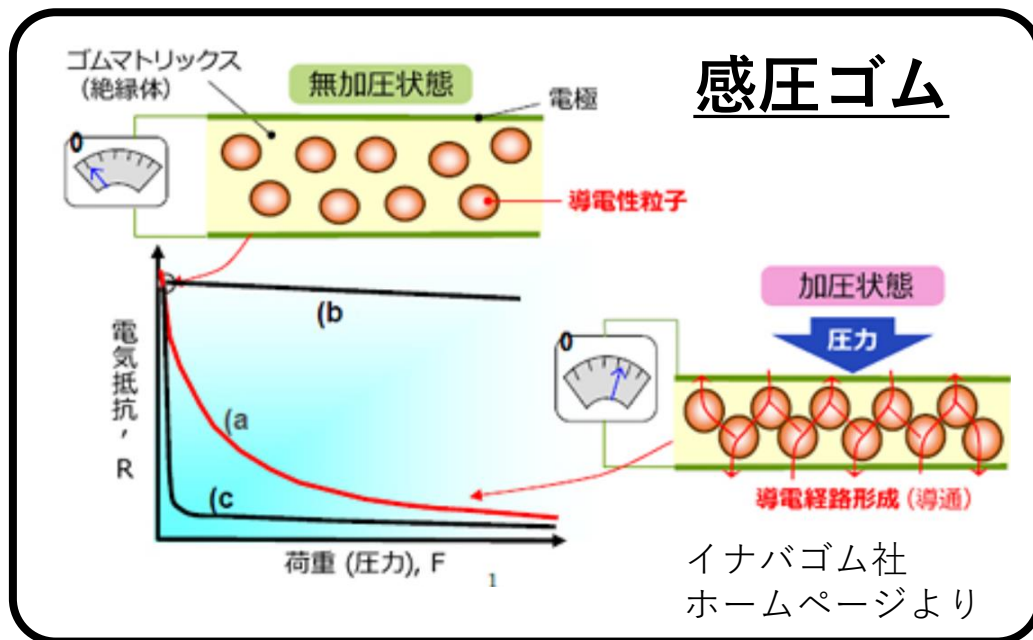
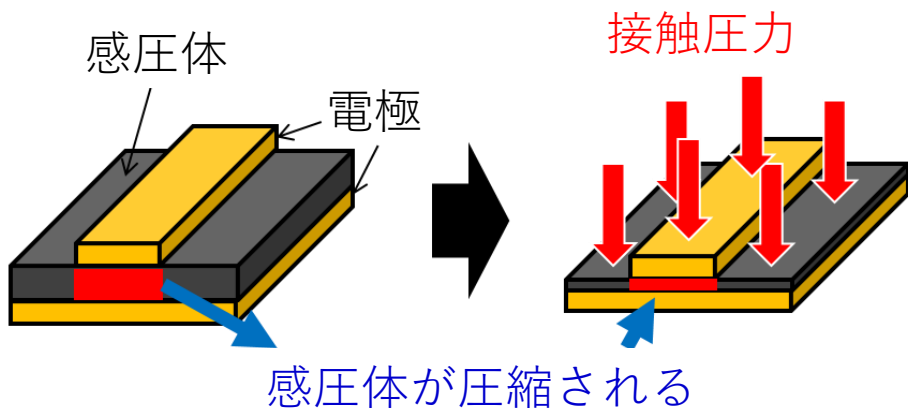
NITTA社, 足圧分布測定システム

- 多点化が容易
- 薄くてフレキシブル
- 1方向の力しか測れない

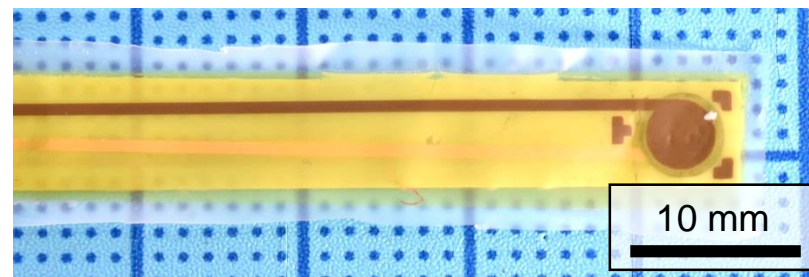
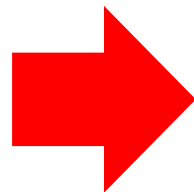
我々のセンサはこちらのタイプ



接触圧力の計測原理



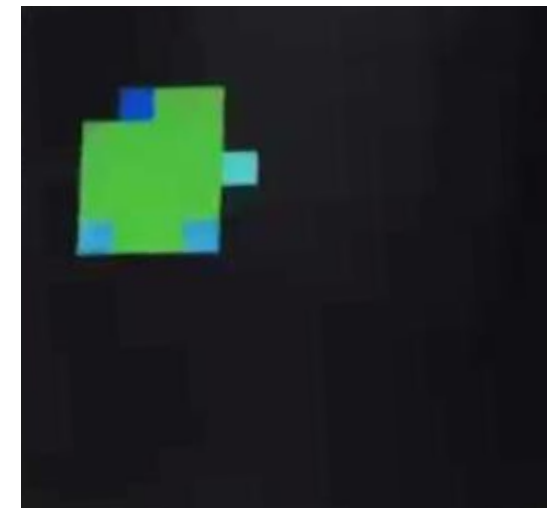
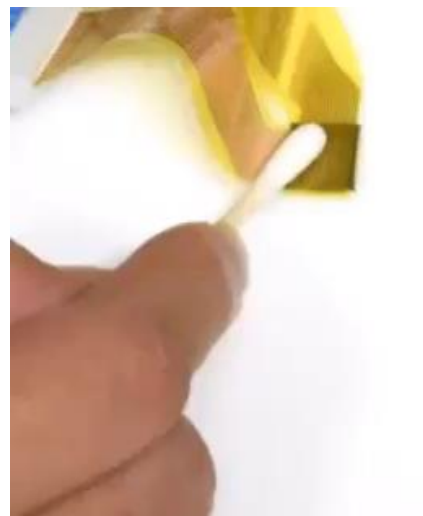
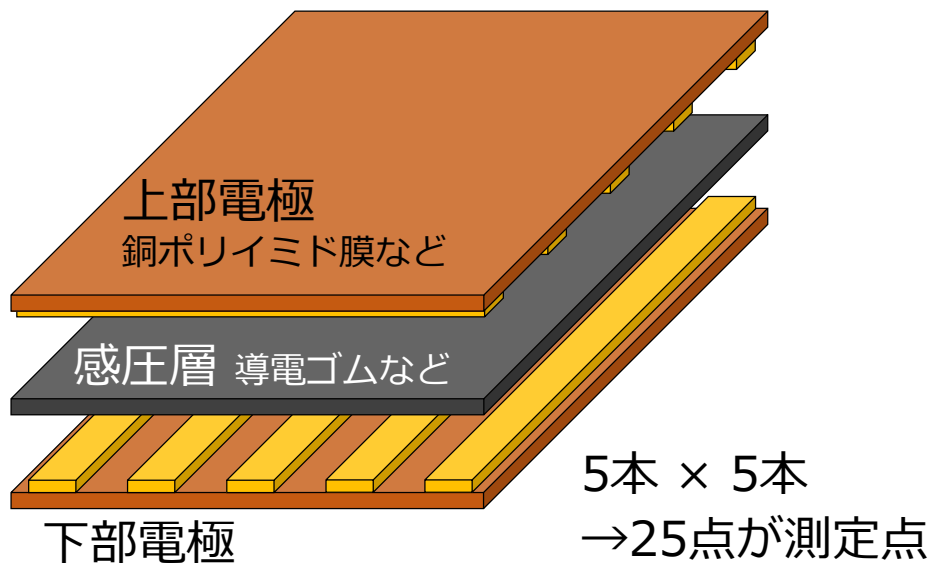
感圧ゴム



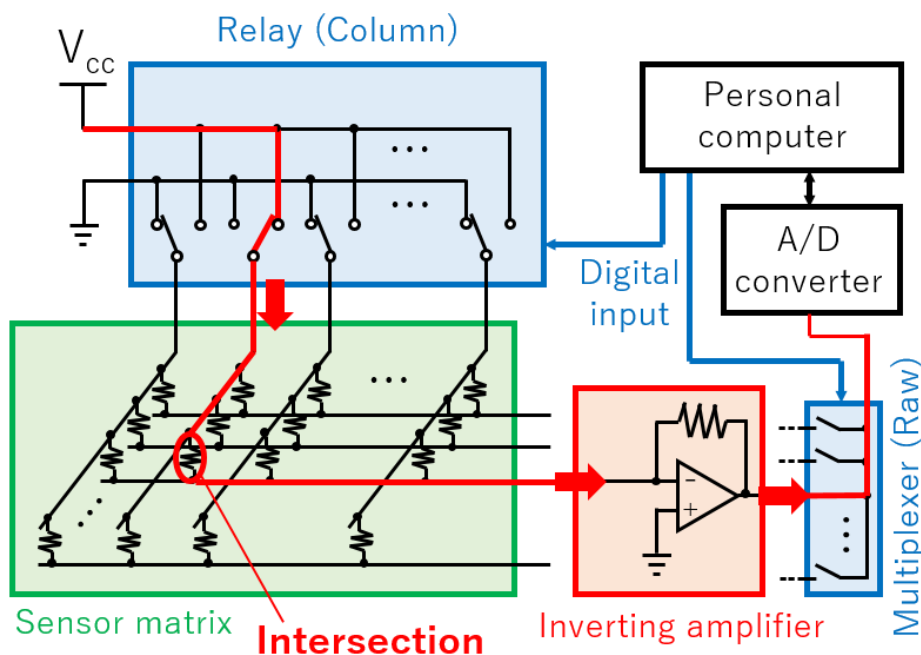
感圧体の電気抵抗変化を電極対で検出



感圧シートによる多点計測



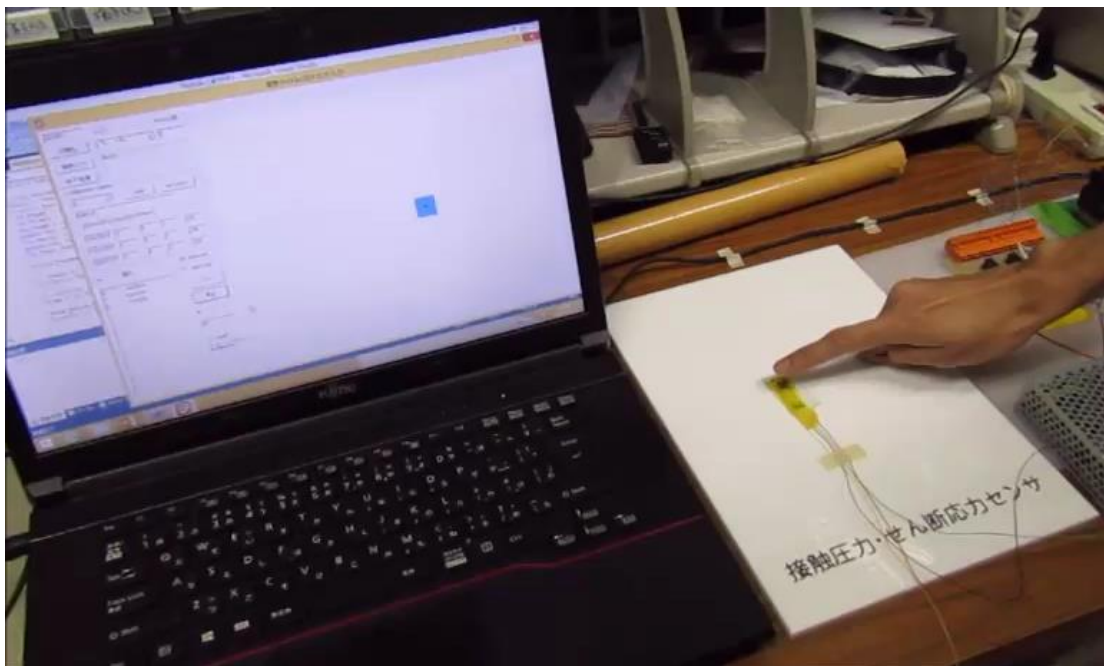
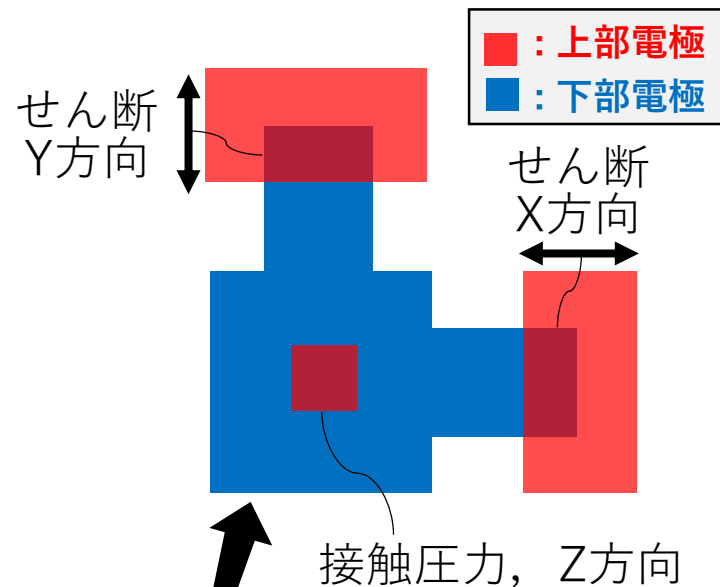
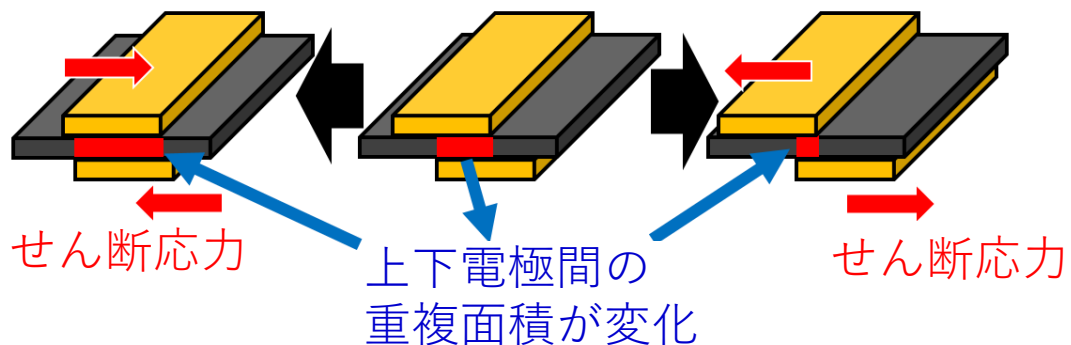
10 mm



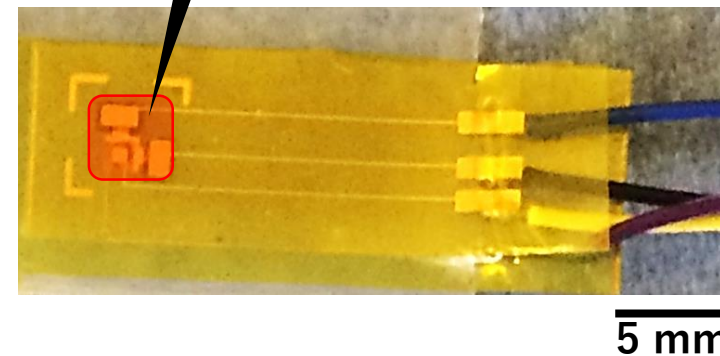
2枚のくし形電極の
全ての交点が
力の検出点になる



せん断応力の計測原理



カラー : 接触圧力
ベクトル : せん断応力 (2方向)



3つの電極対により
3次元的な力を検出

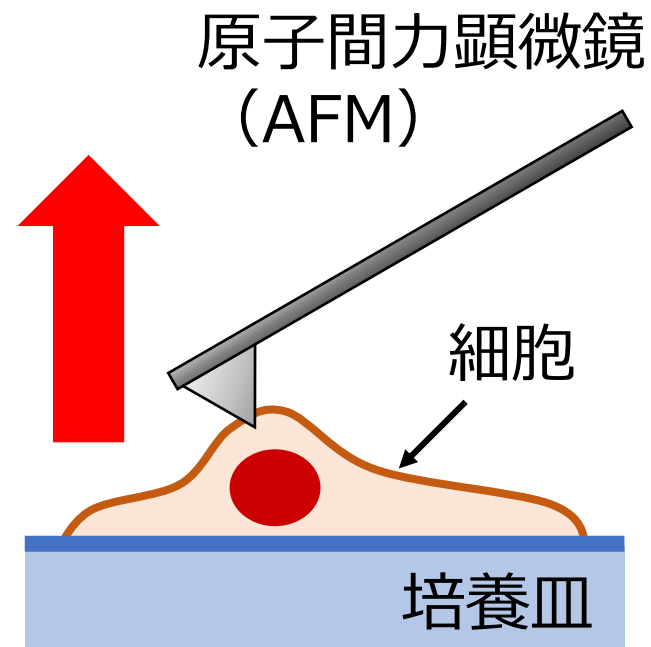
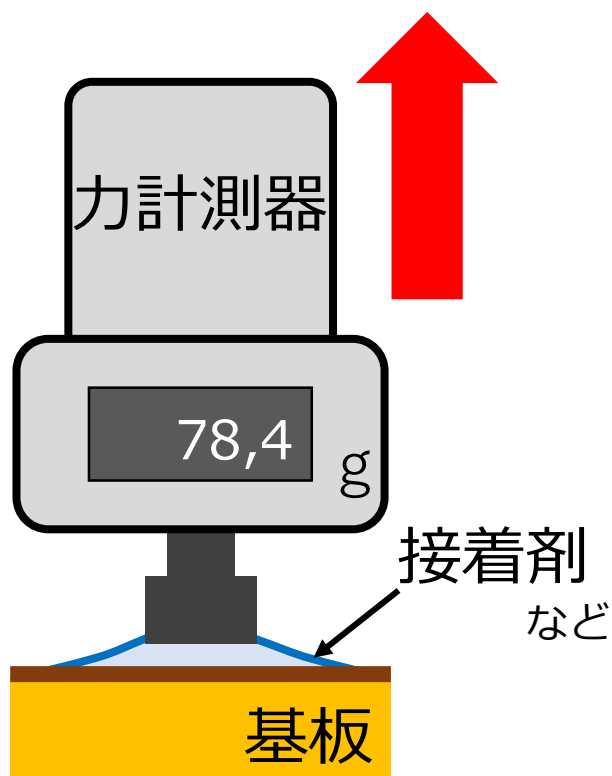
引張力測定を利用した細胞応答の評価



物体の接着，剥離時の引張力

→接合強度や剥離のメカニズムを知るのに重要な指標

例：粘着テープや接着剤，細胞の接着強度など

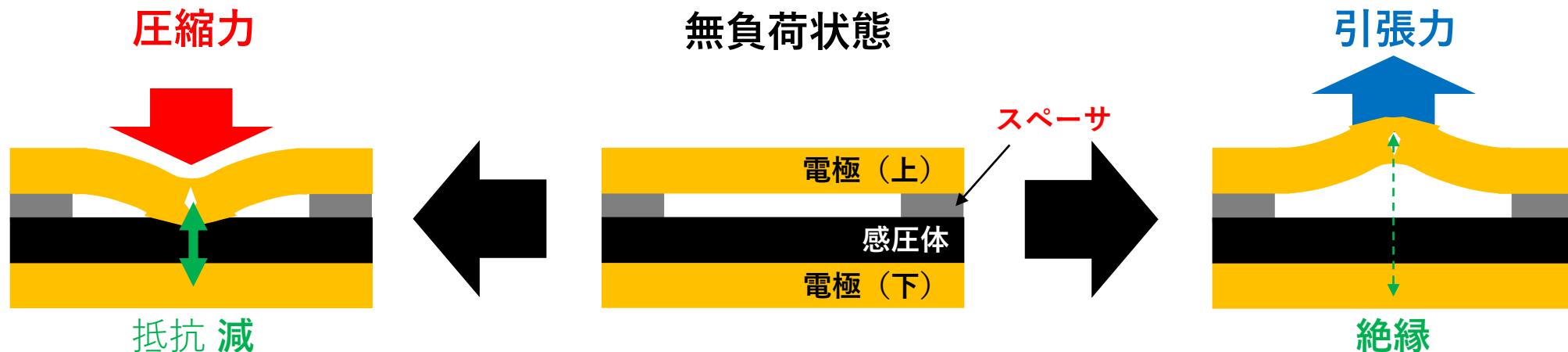


単点での測定は行われているが，多点分布観察は難しい



本技術の特徴（引張力計測）

【一般的な感圧シート】



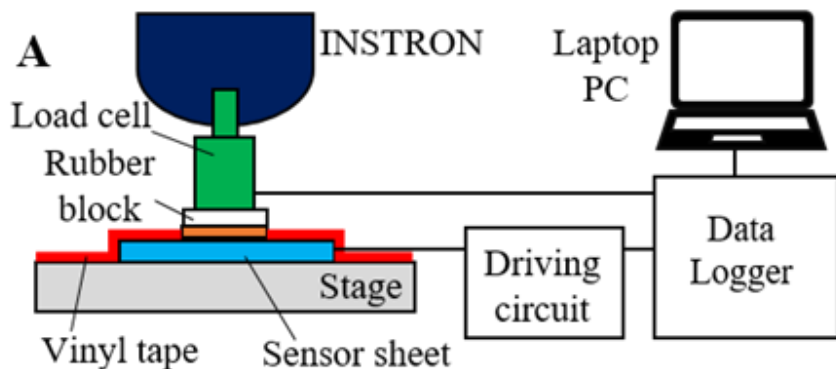
スペーサを挟むことで接触面積の増減も利用し、電気抵抗値が変化

➡ **引張力は電氣的接触がないので測れない**

【本センサ】

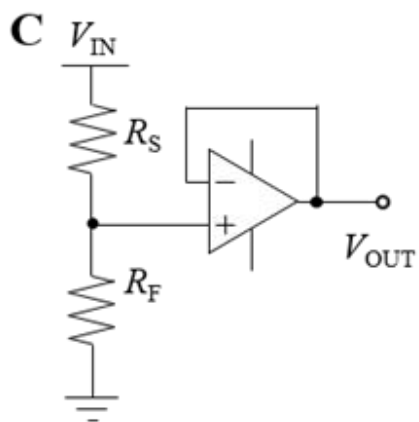
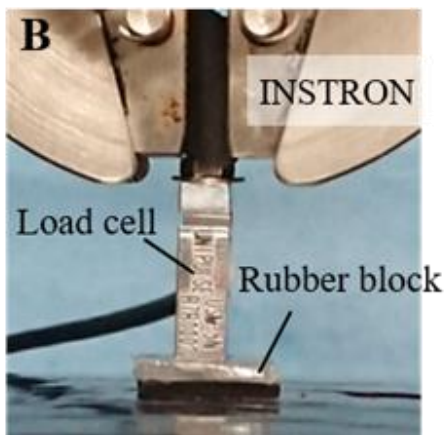


感圧体の抵抗変化のみを利用しているため、引張力が測定可能



校正装置

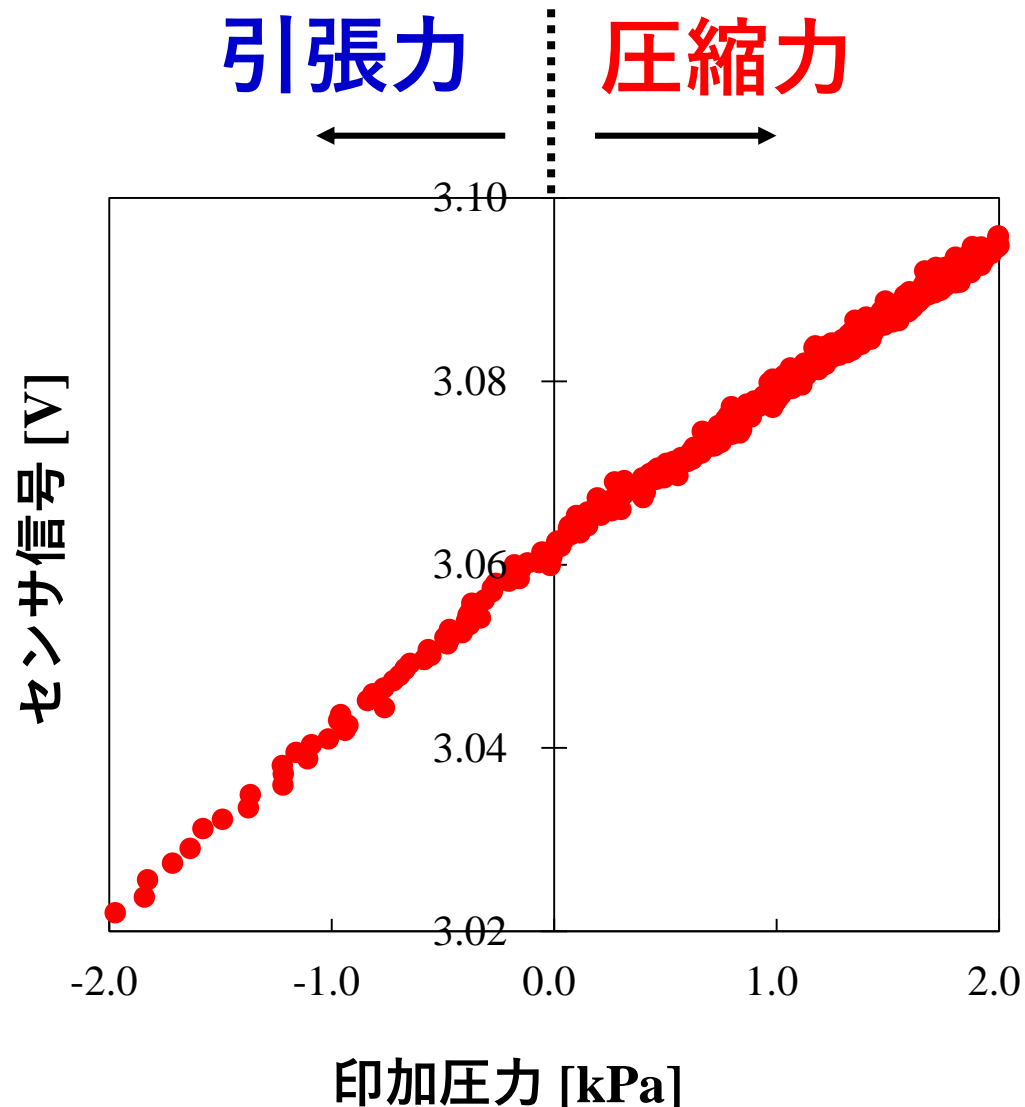
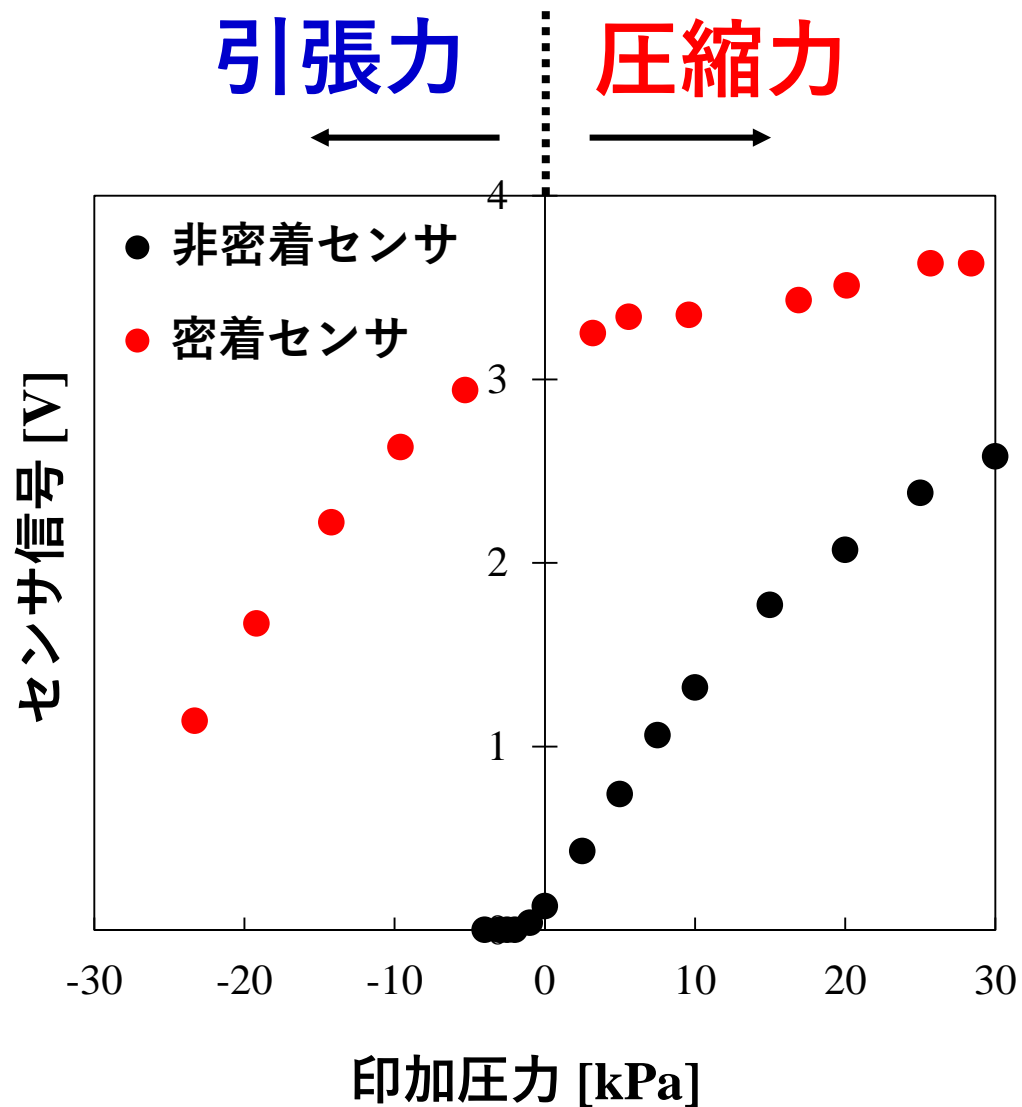
- ・ 荷重領域 (10 × 10 mm)
- ・ 各界面は強力両面テープで固定



駆動回路

$$V_{OUT} = \frac{R_F}{R_S + R_F} V_{IN}$$

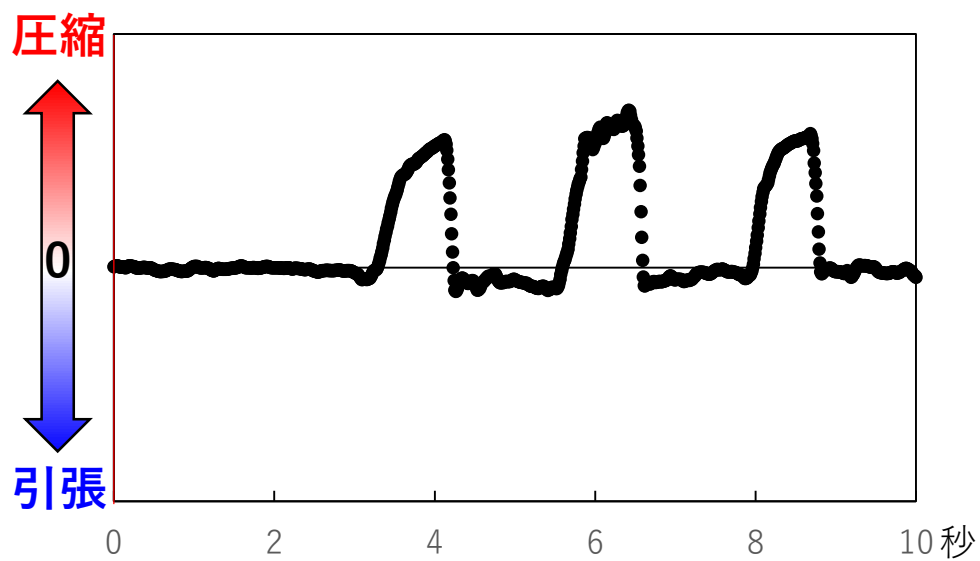
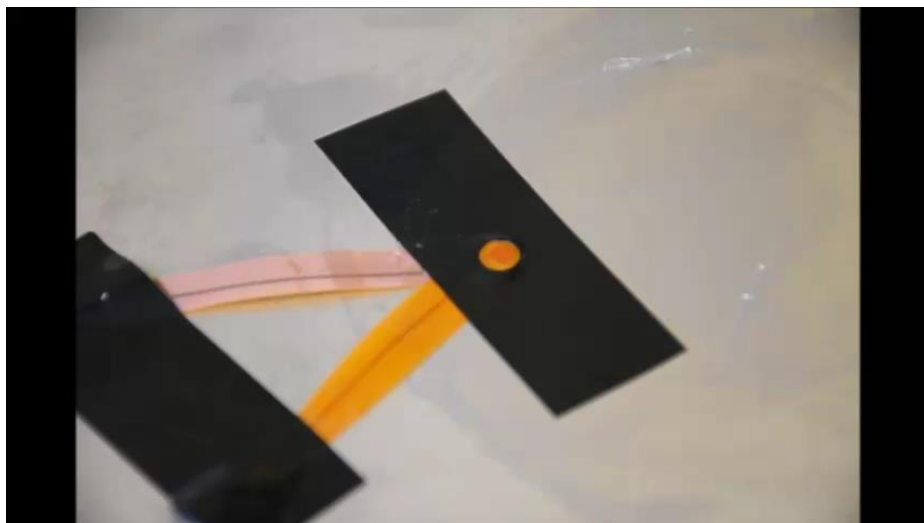
V_{OUT} : センサ出力電圧 R_S : センサ抵抗
 V_{IN} : 入力電圧 (5 V) R_F : 固定抵抗



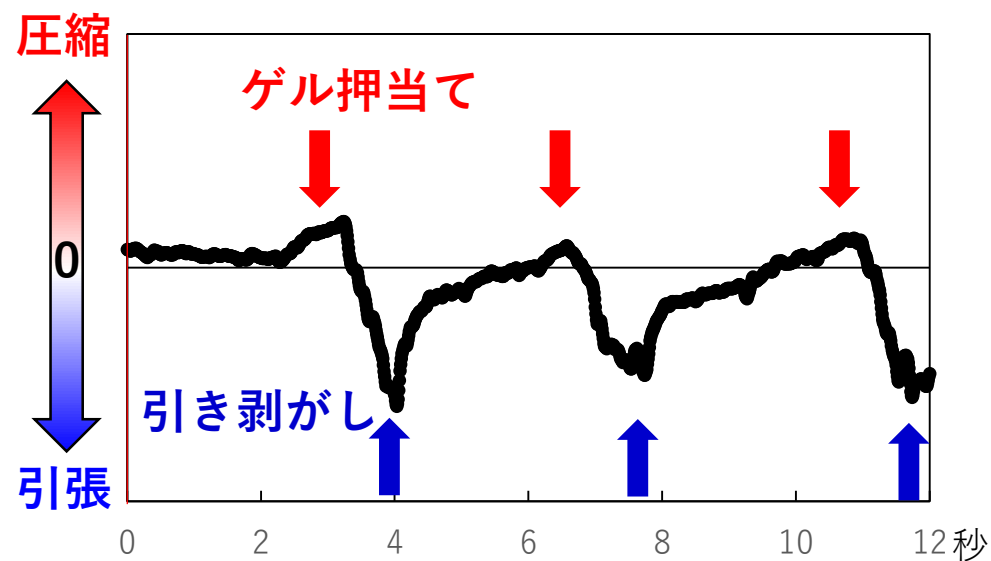
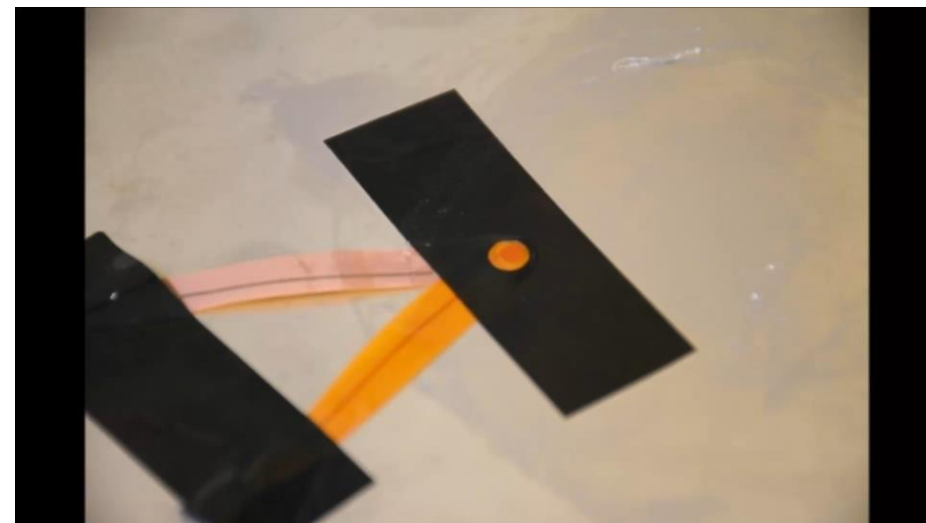
圧縮・引張ともに微小な力を検出可能

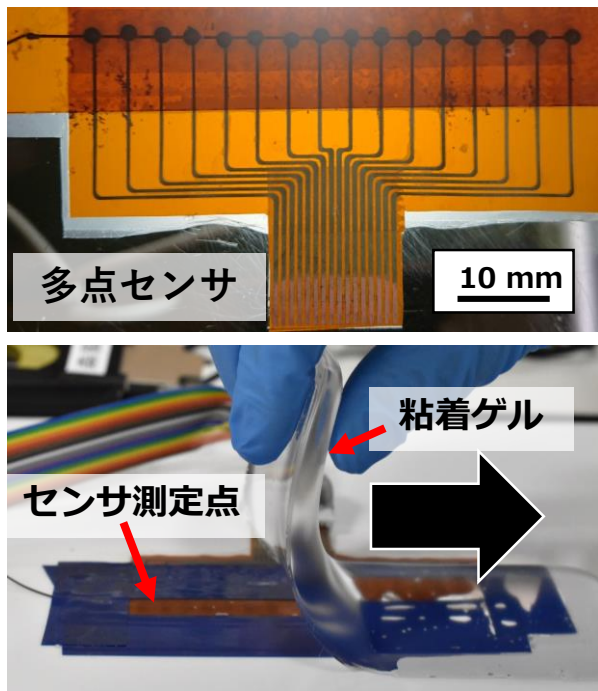


指押し

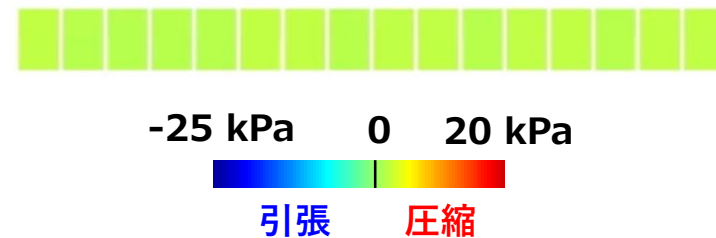
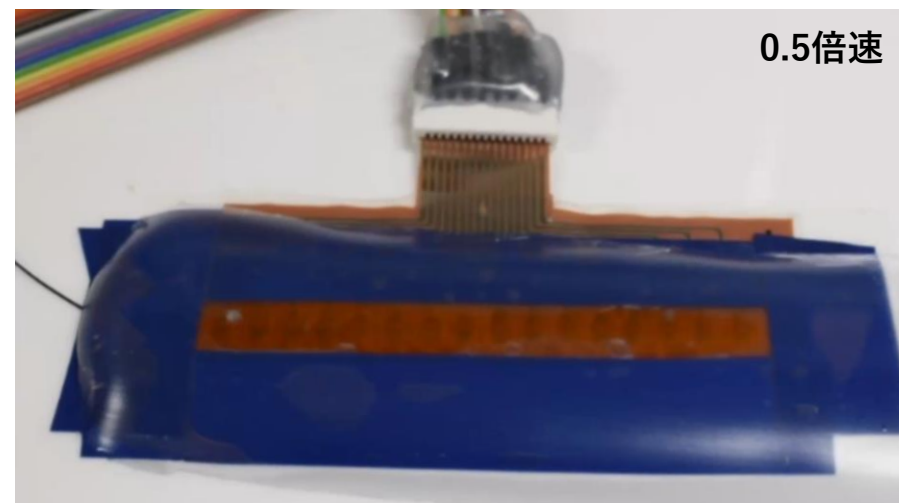


粘着ゲルの引き剥がし





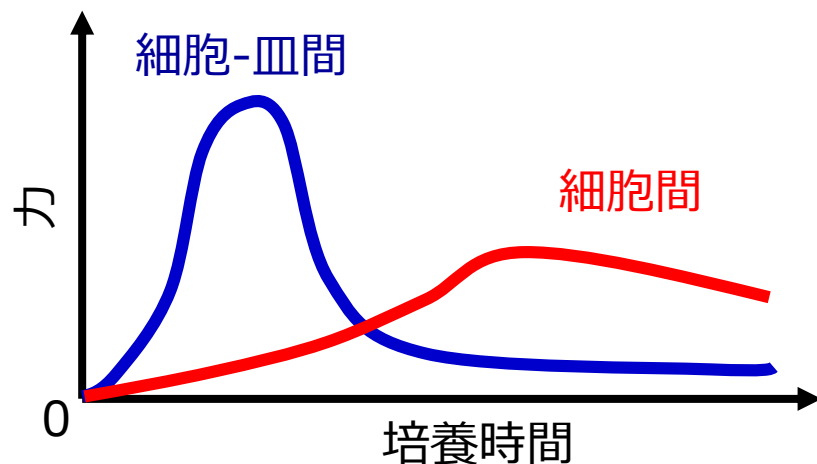
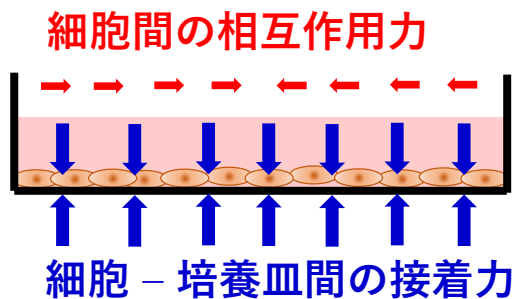
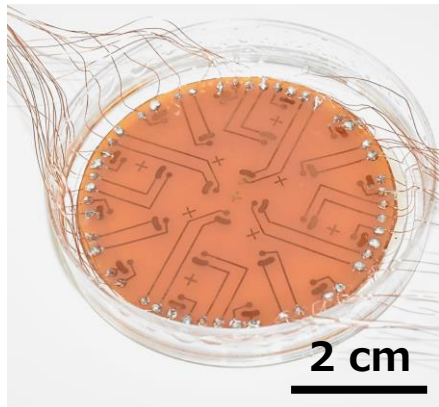
圧力分布を確認



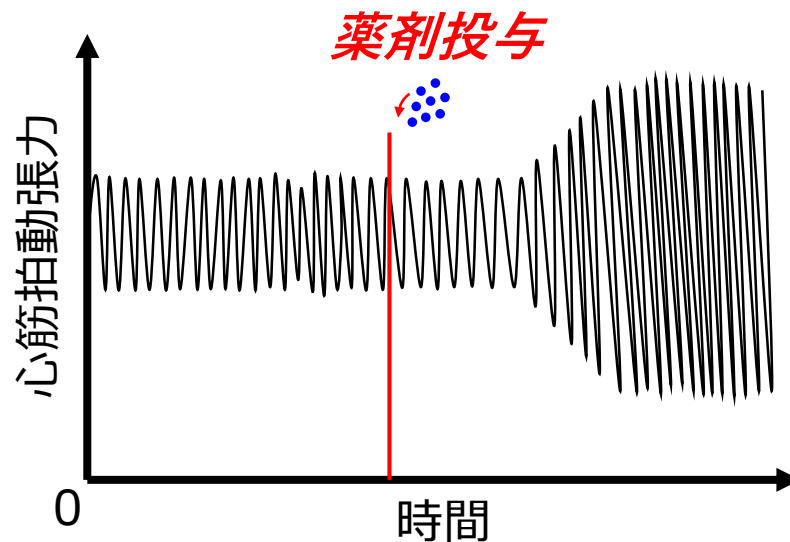
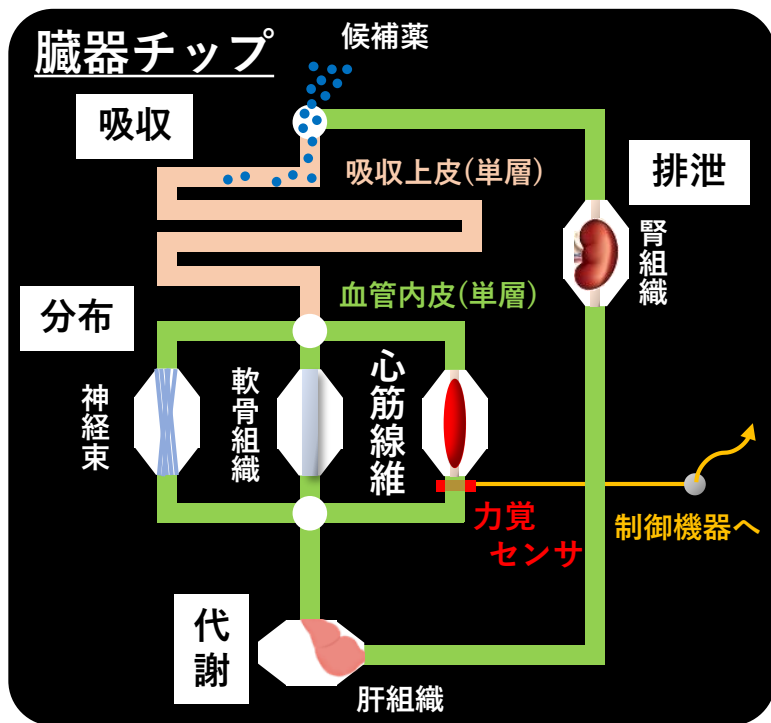
粘着ゲルを剥離する際の**引張力分布**を可視化できた



2軸力の分布を検出する培養皿



異常細胞の検出 / 最適培養条件の探索



薬効評価試験

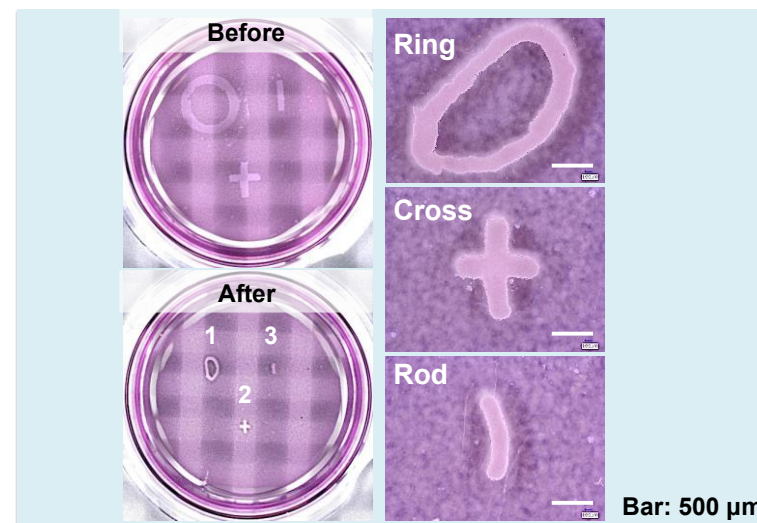
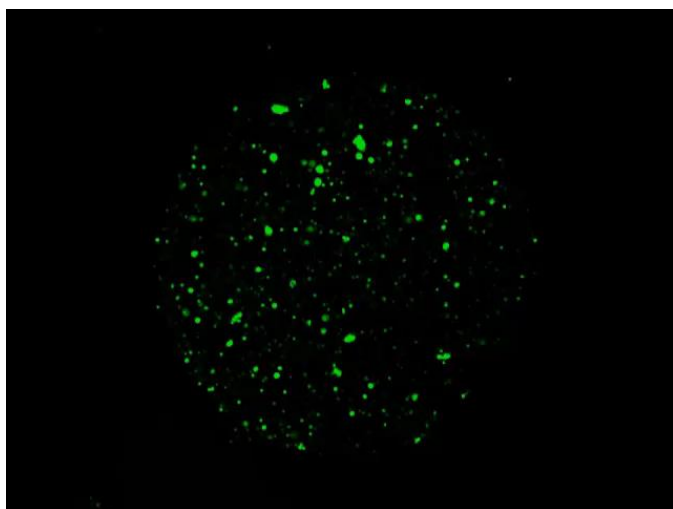
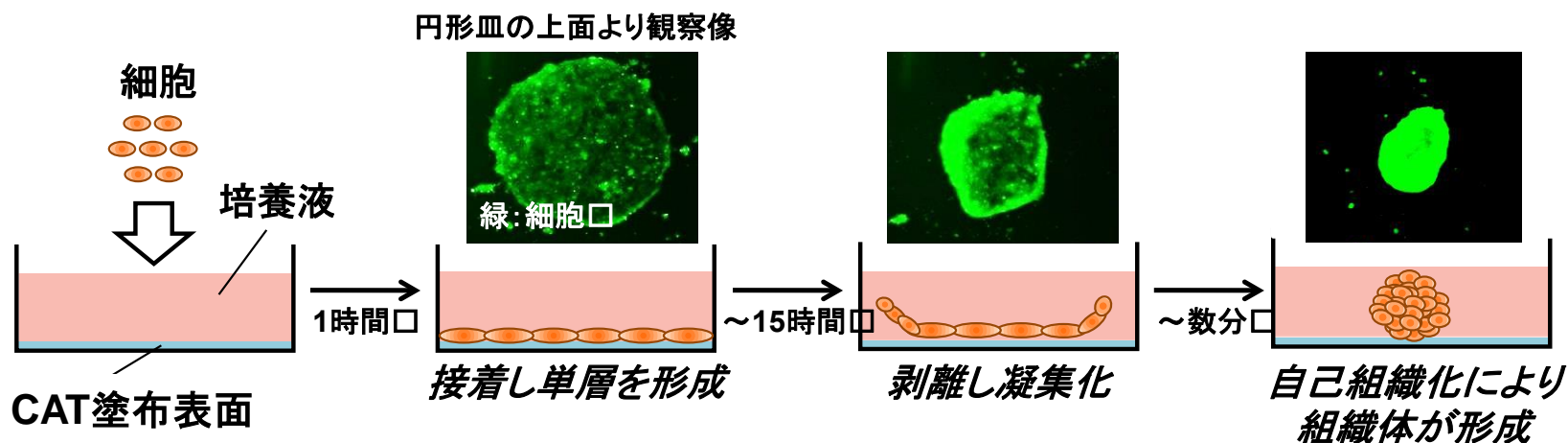


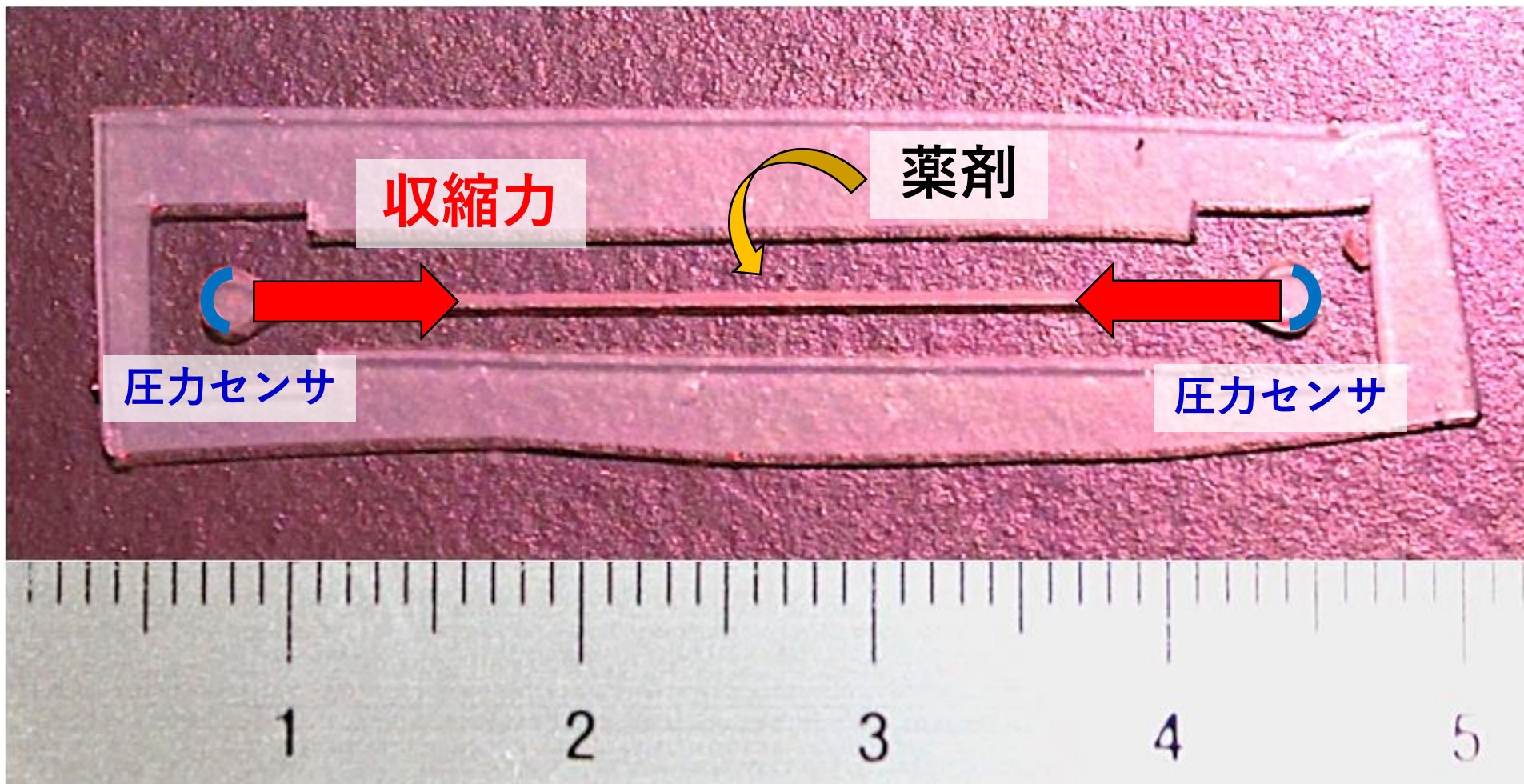
細胞の自己凝集化誘導材 (CAT)

Iwai R et al. *J Biomed Mater Res A*, 104(1):305-312(2016)

岡山理科大学 岩井良輔先生のご研究

『細胞が一度接着してから自己凝集化する』
CATの塗布形状により様々な形状を有する細胞のみからなる組織体を作製できる



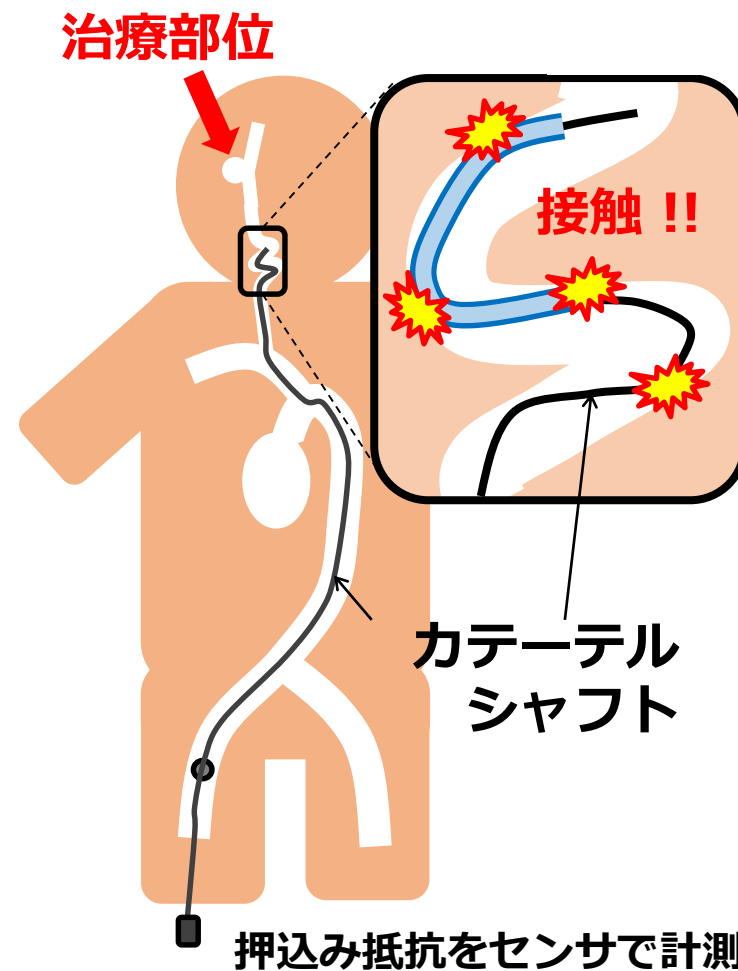
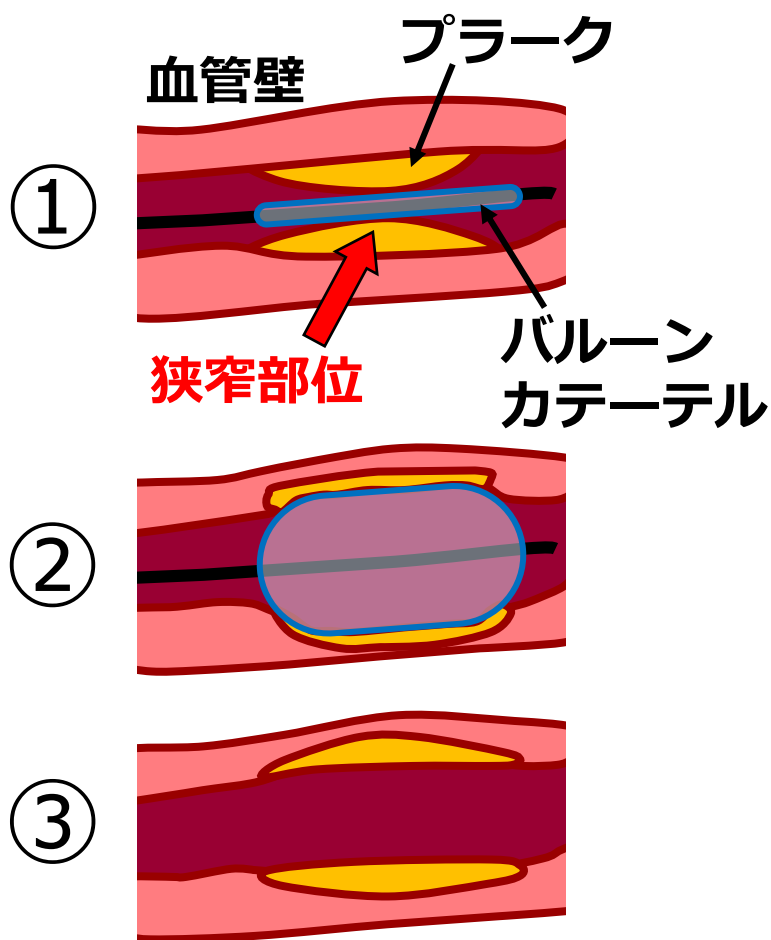


薬剤投与時の細胞の収縮力モニタリングを検討

フレキシブル性を利用した 圧力分布が見えるモデル血管の開発



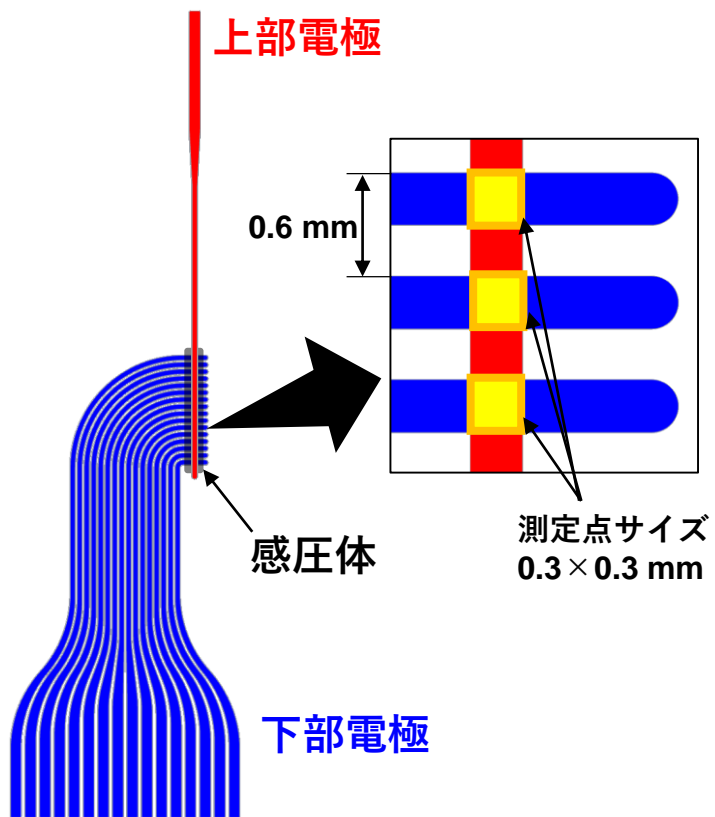
カテーテルの力学特性は、**治療性能**や**治療行為自体の可否**に影響



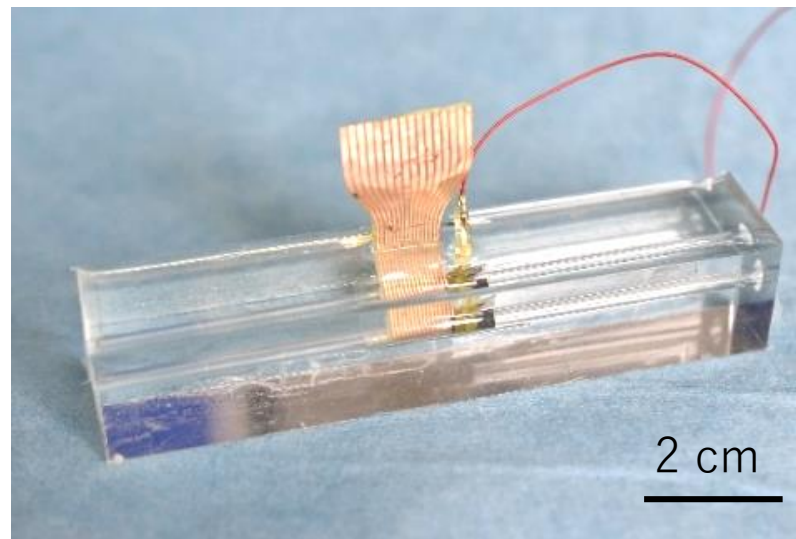
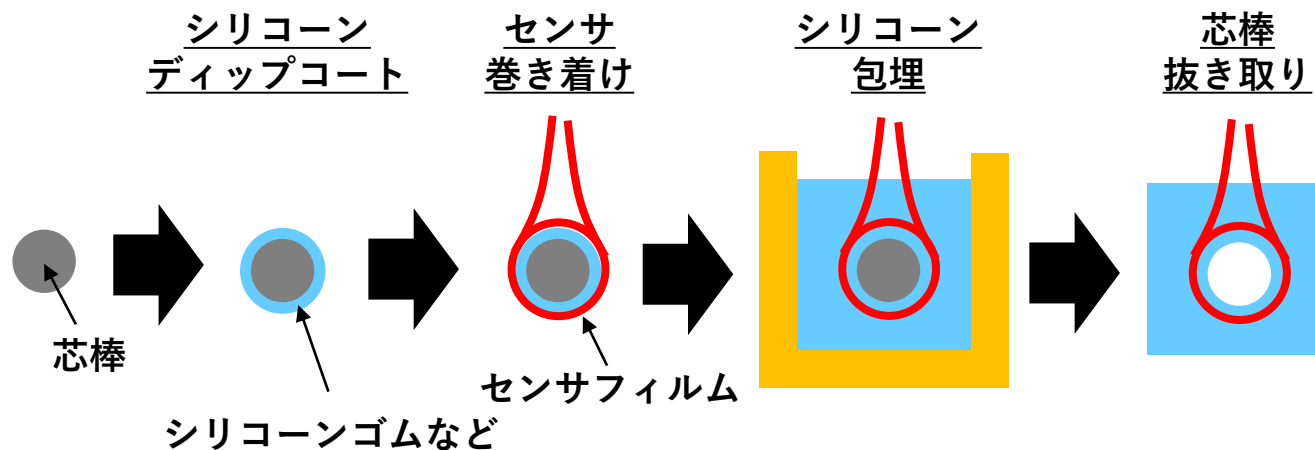
多点分布計測は難しいため、計算シミュレーションによって予測

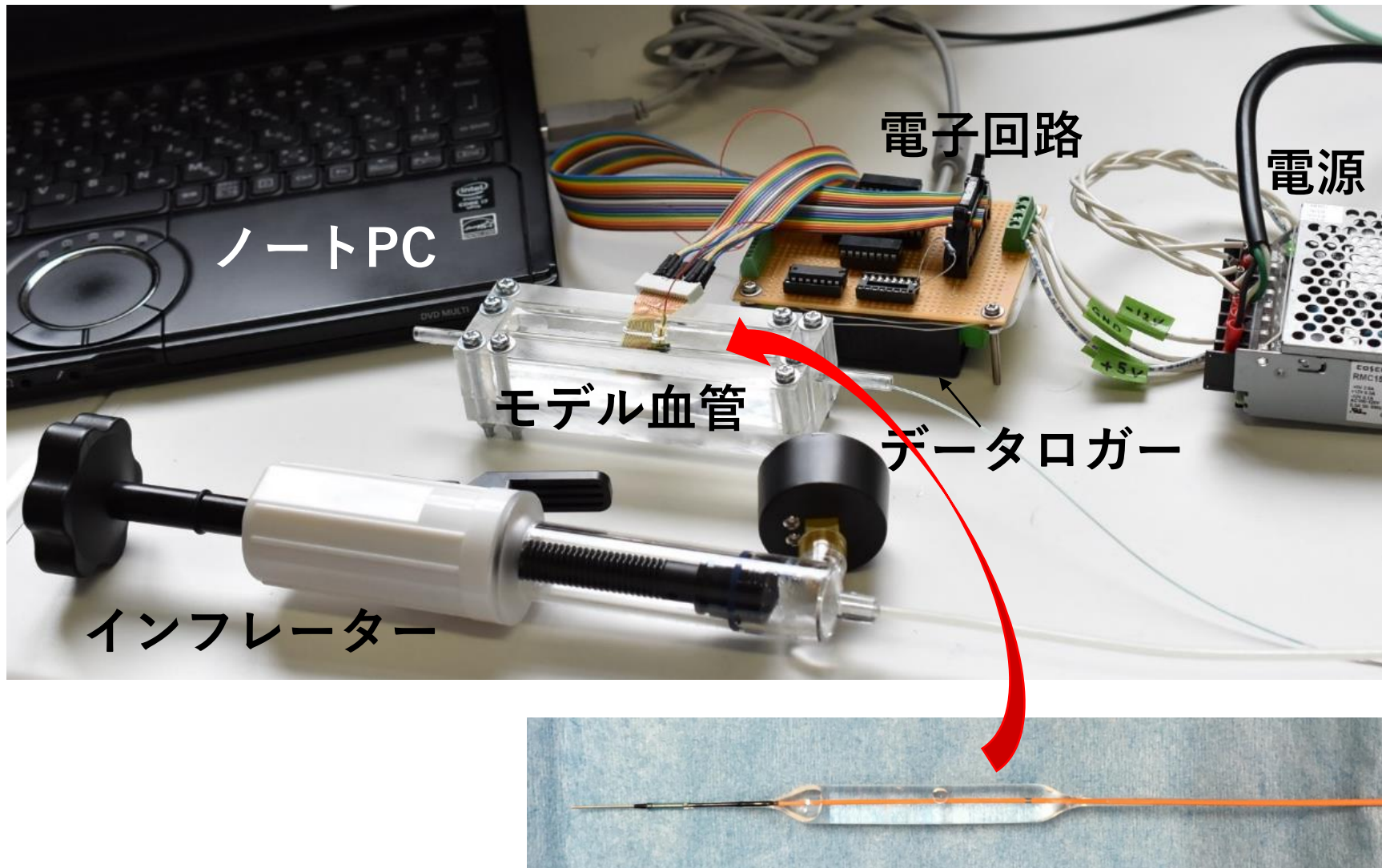


【センサフィルム】



【モデル血管の作製工程】

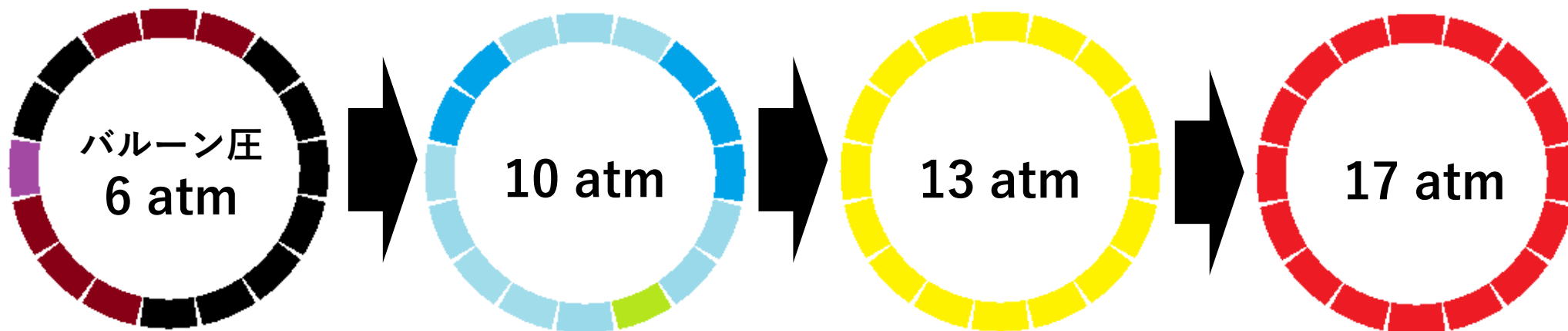




圧力検出モデル血管内でバルーンカテーテルを拡張し
モデル血管内壁に作用する接触圧力分布を計測



【バルーン拡張圧に応じた変化】

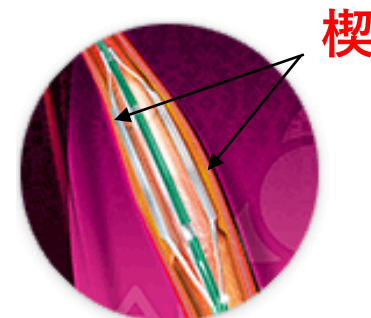


【形状による違い】

真円血管で
真円バルーン

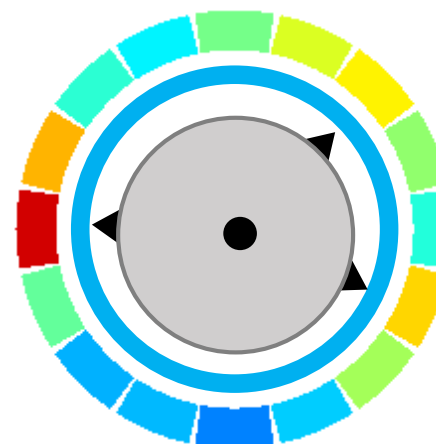
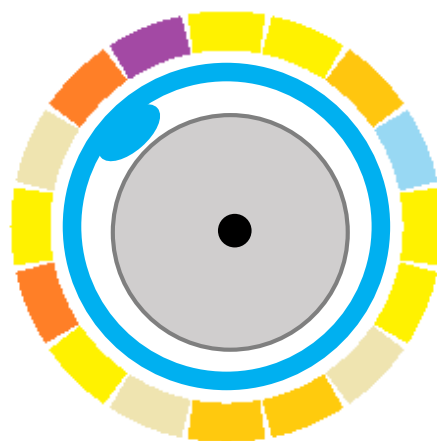
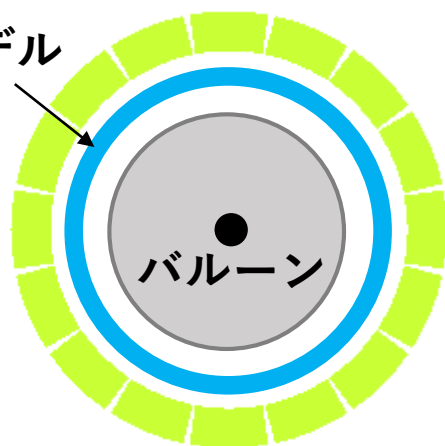
プラーク血管で
真円バルーン

真円血管で
楔付きバルーン



グッドマン社
ホームページより

血管モデル



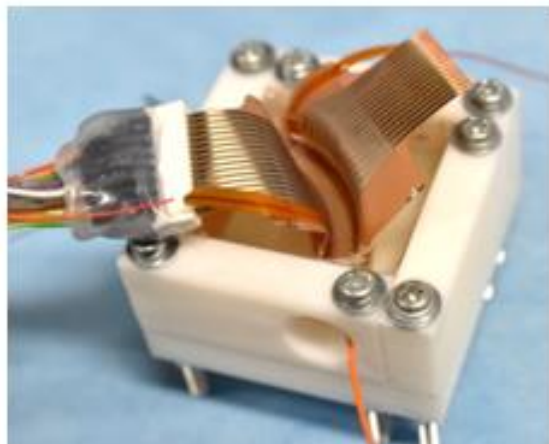
均一な圧分布

圧分布変化

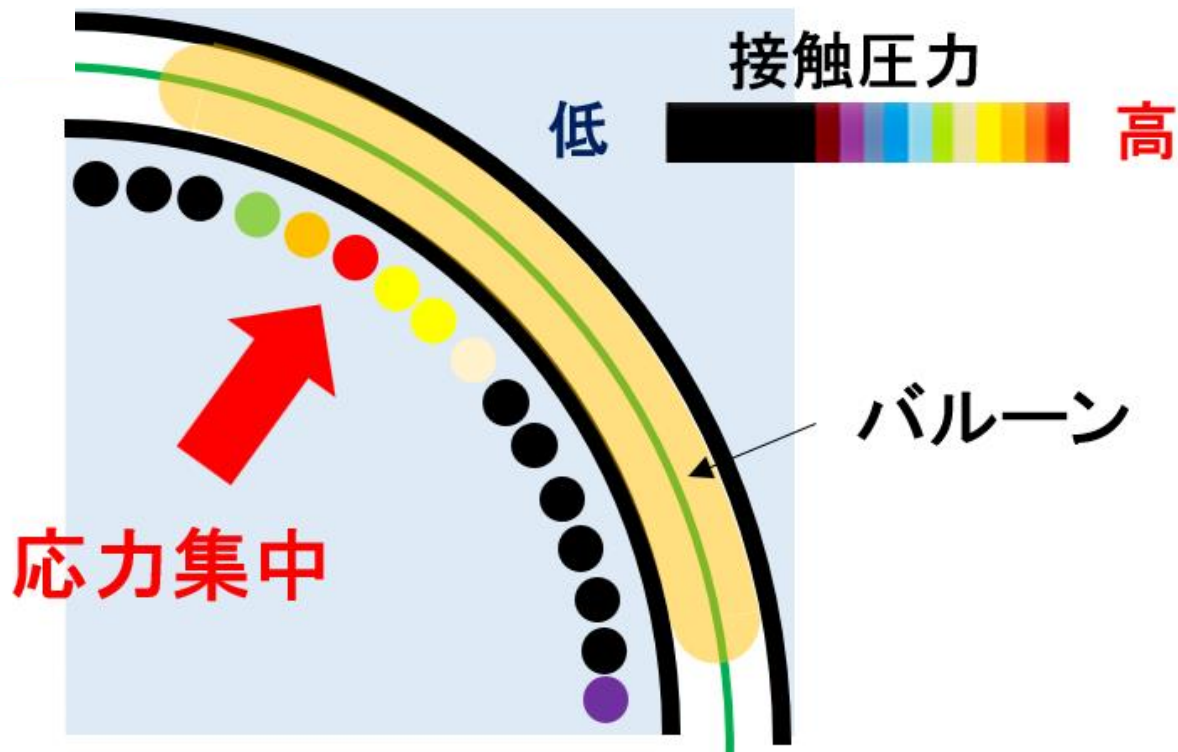
楔部に応力集中



弯曲モデル血管での計測例



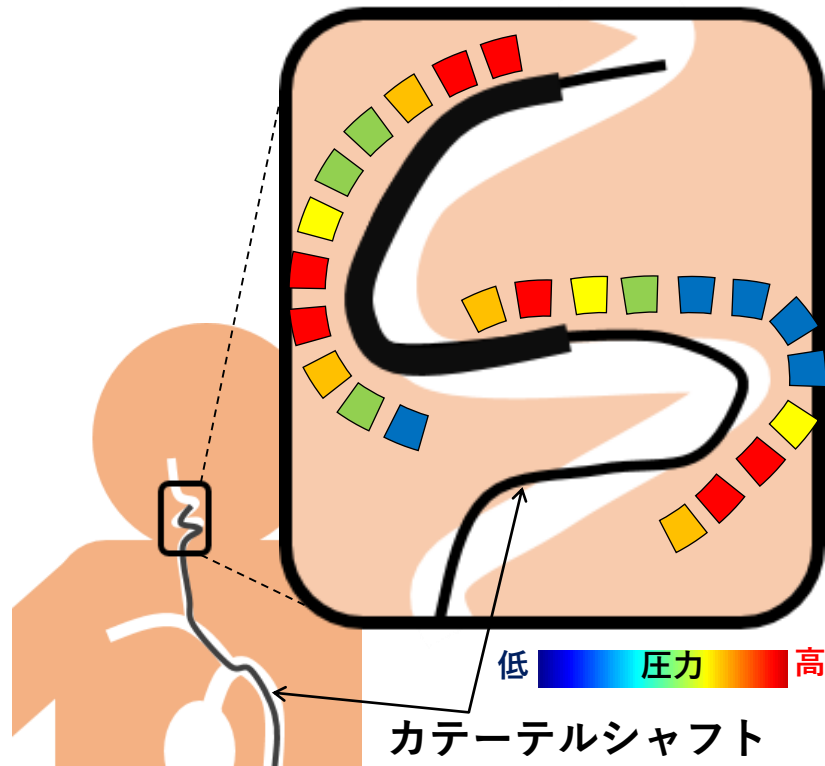
血管部内径 : 7 mm
曲率半径 : 28 mm



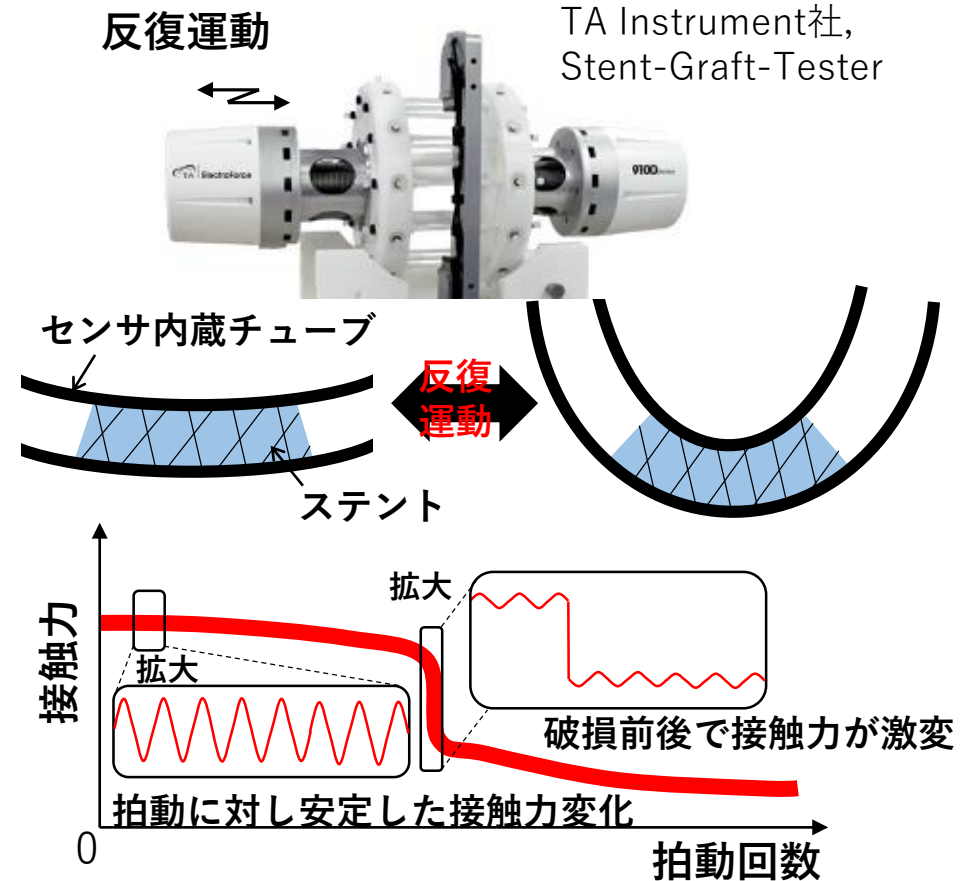
弯曲血管の内弯では
バルーン中央で応力集中



カテーテル通過性評価



ステント耐久性試験



医師の手術トレーニングキットや
新規デバイス開発時の力学試験機器として応用



- 圧力検出細胞培養皿として

細胞の品質評価, メカノバイオロジー研究への利用

- 引張力センサとして

接着剤や粘着テープなどの剥離強度評価
ベタベタ感を識別できるロボットハンド

- 圧力検出モデル血管として

カテーテル機器評価や手術トレーニング用シミュレータ

- フレキシブルセンサとして

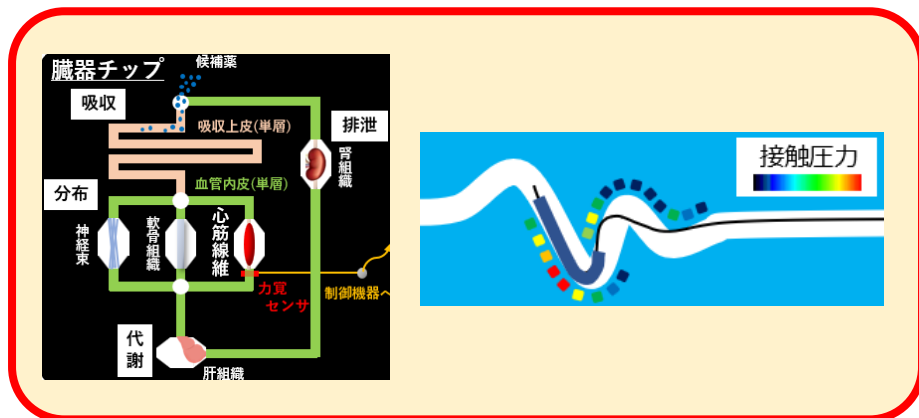
ソフトロボットのハプティックセンサ



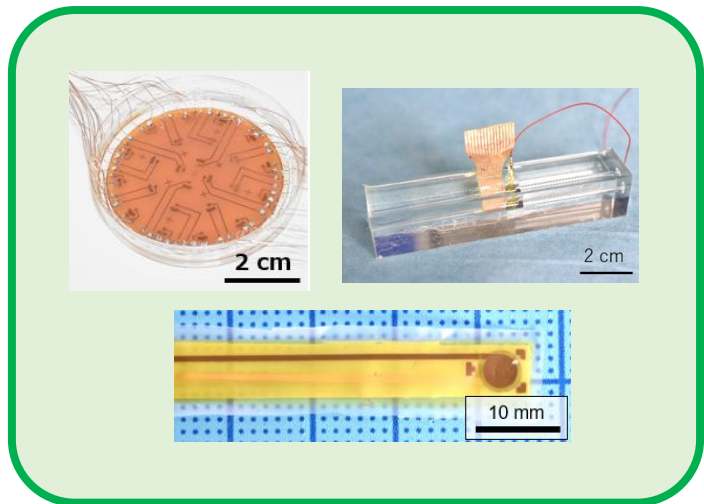
改良したい点

- ・ センサ作製工程の機械化
高精度な位置合わせ，小型／高集積化
- ・ 高感度で高空間分解能な感圧体
- ・ 電極のストレッチャブル／透明化

センサ高性能化による研究進展



現在



他分野への応用

力，触覚，接触，摩擦などで
評価できることがあれば
分野問わずご相談ください！



【発明の名称】 接着力センサ，多点接着力センサおよび
多点接着力センサの製造方法

【出願番号】 特願2019-116408

【出願人】 国立大学法人弘前大学

【発明者】 森脇 健司，笹川 和彦，藤崎 和弘

【発明の名称】 力覚検出体，力覚検出ブロック
力覚検出体の製造方法，力覚検出ブロックの製造方法

【出願番号】 特願2019-152834

【出願人】 国立大学法人弘前大学

【発明者】 森脇 健司，笹川 和彦，藤崎 和弘



国立大学法人弘前大学
研究・イノベーション推進機構

リサーチ・アドミニストレーター
工藤重光, 山科則之, 渡部雄太(東京事務所在席)
産学官連携コーディネーター
三上 夫美加

T E L : 0172-39-3176

F A X : 0172-39-3921

e-mail: ura@hirosaki-u.ac.jp