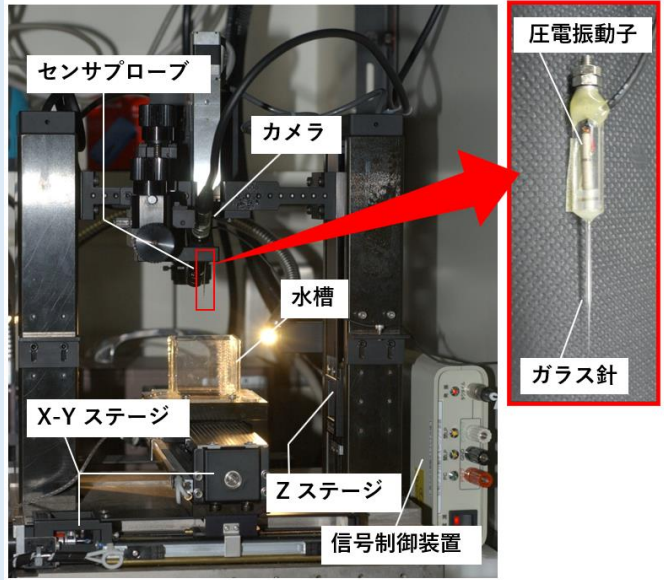


# 指先で感じる粘着特性を示すハプティックセンサ

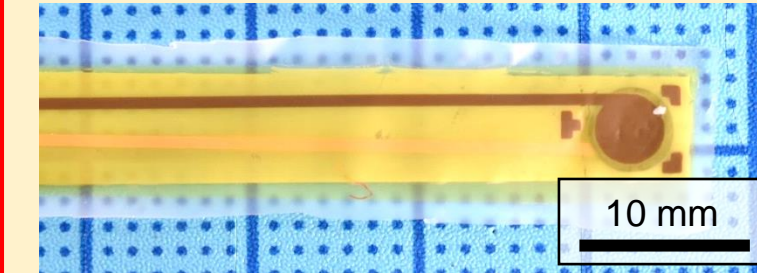
弘前大学 工学部 機械科学科  
森脇 健司

# 研究の流れ



「硬さ」を測る触覚顕微鏡の開発

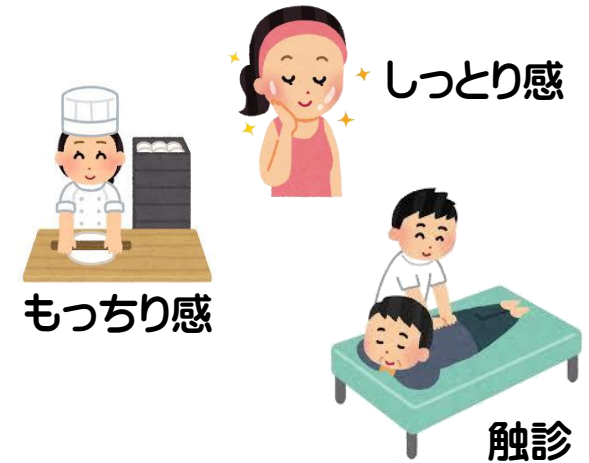
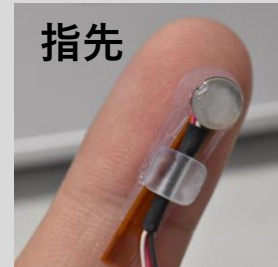
粘着特性「タック」の計測への応用



フィルム型「圧力」センサの開発

「引張力」計測への応用

「硬さ」・「力」・「タック」を計測できる  
指先装着型デバイスの開発

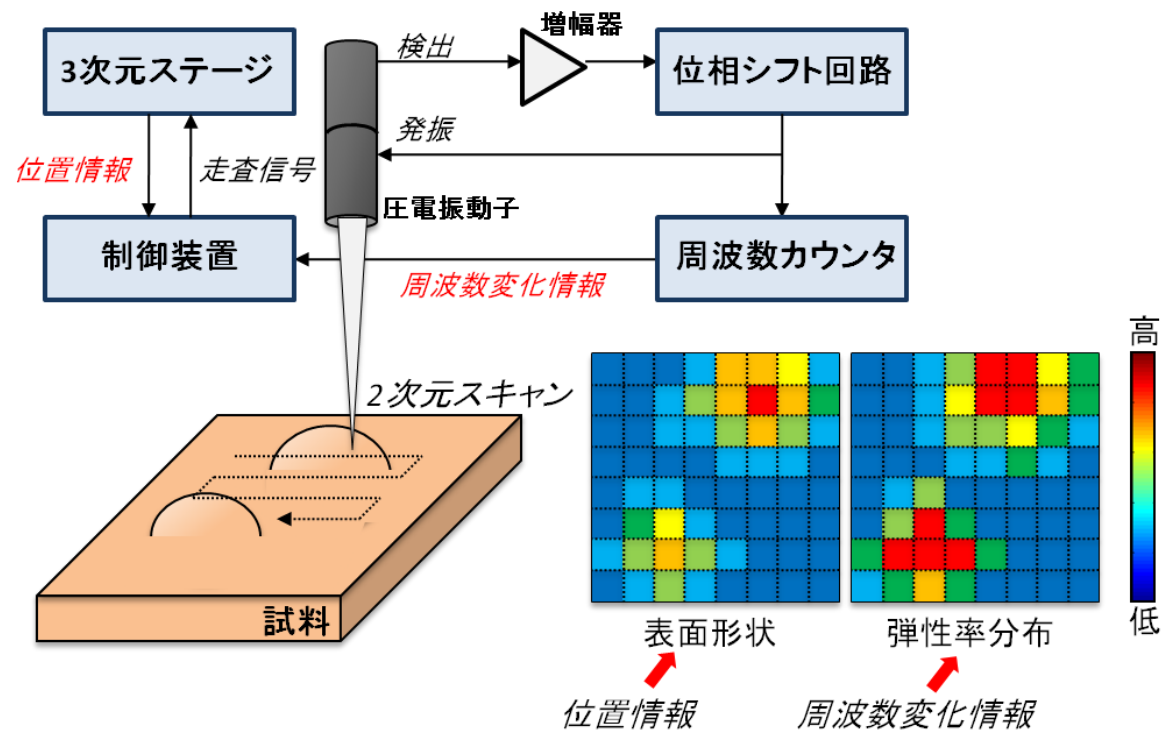
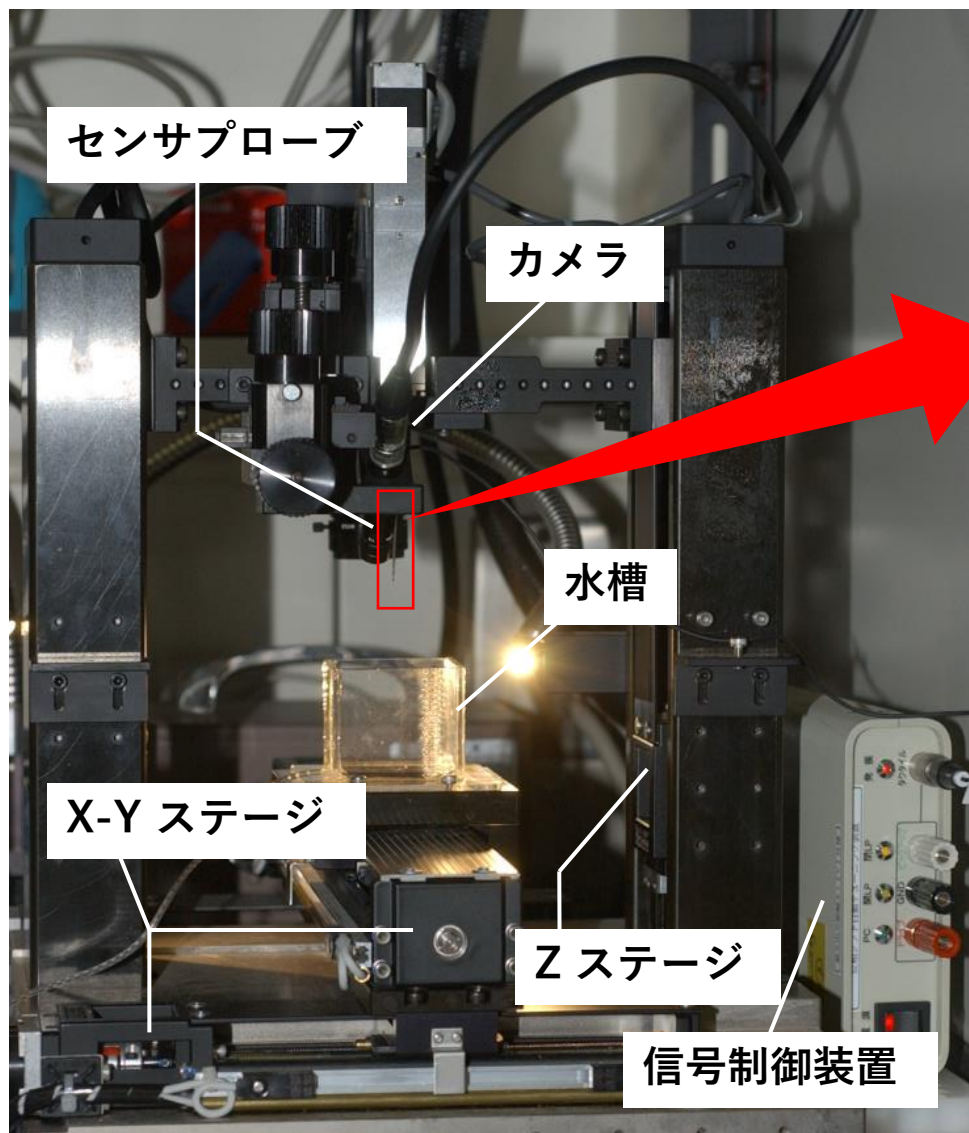


品質・使用効果の評価や  
熟練者の感覚可視化に有用？

# 走査型触覚顕微鏡 (Scanning Haptic Microscope: SHM)

広領域の生体組織断面の弾性構造をマイクロレベルで可視化できる計測機器

日本大学 元教授の尾股定夫先生と共同開発



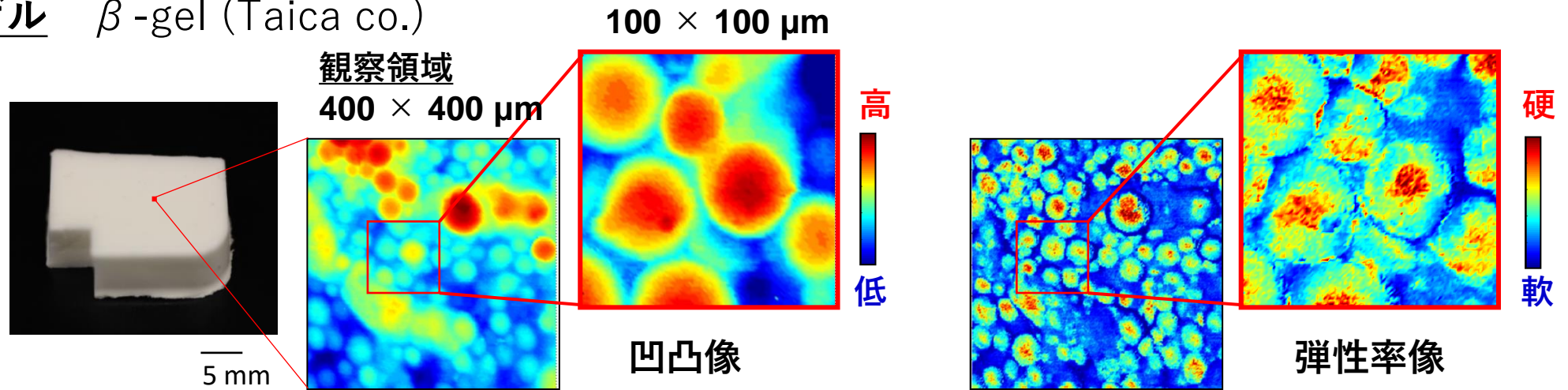
マイクロレベルの空間分解能と  
センチレベルの観察領域を両立する  
表面形状・弾性率のイメージング機器

# 軟材料サンプルの観察例

## 表面形状（凹凸）像と弾性率分布像

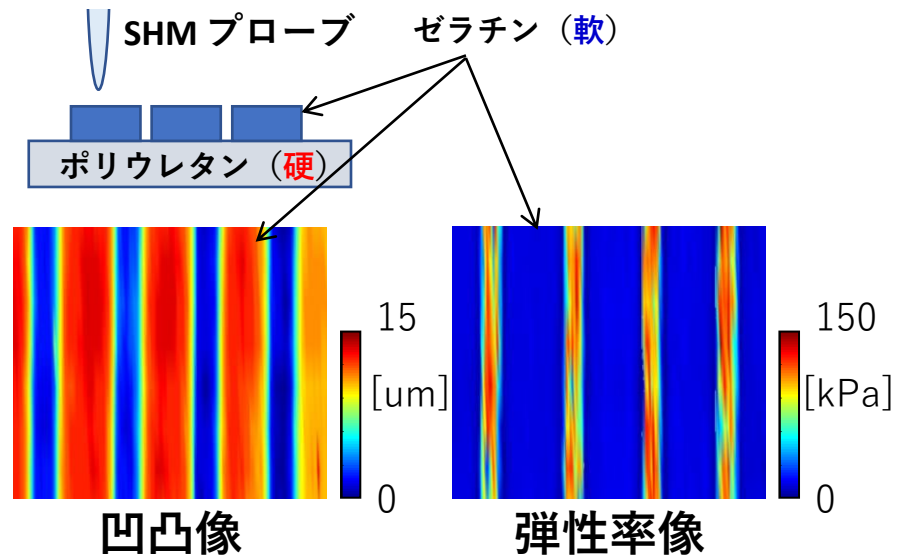
シリコーンゲル

$\beta$ -gel (Taica co.)



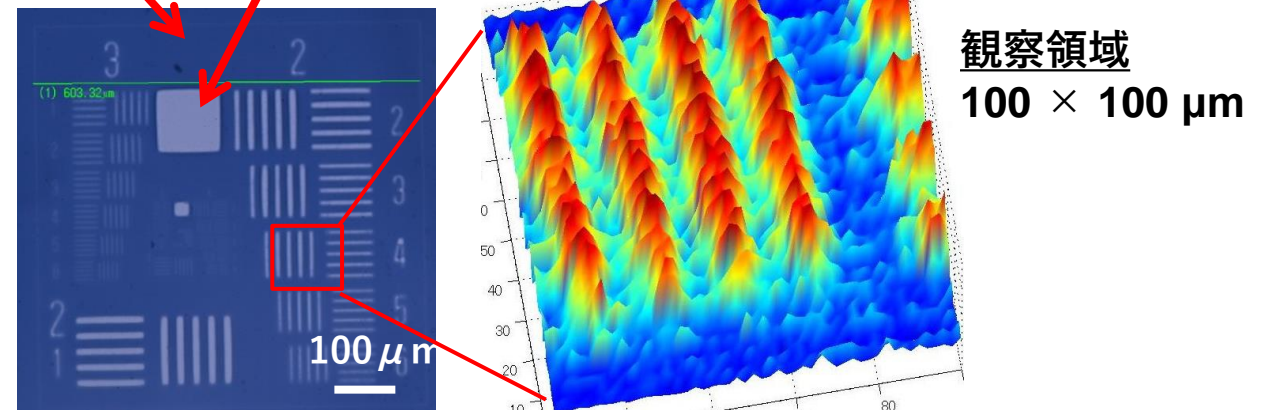
光硬化ゼラチン

フォトリソグラフィでパタニング



ゼラチン (軟)

ポリウレタン (硬)

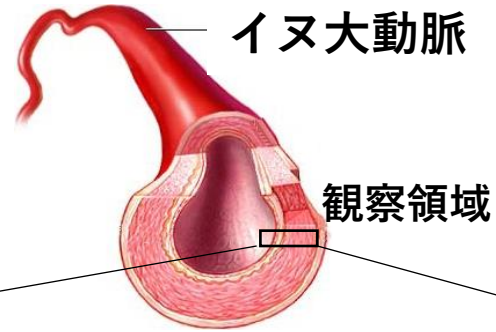


マイクロレベルの空間分解能

# 血管組織の観察例

生体組織を構成する線維ごとの硬さの違いを明らかに

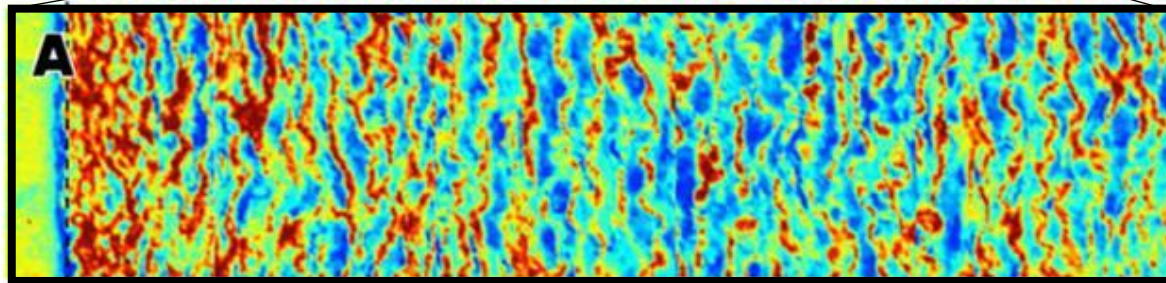
J Artif Organ. 14, 276 (2011)



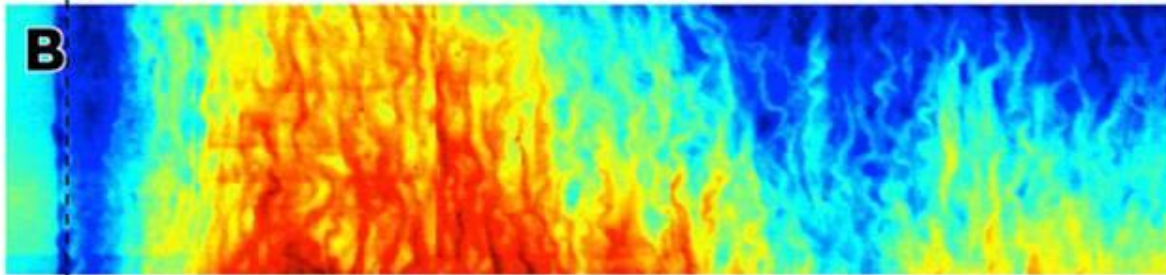
内腔面

外側面

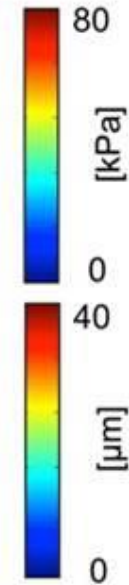
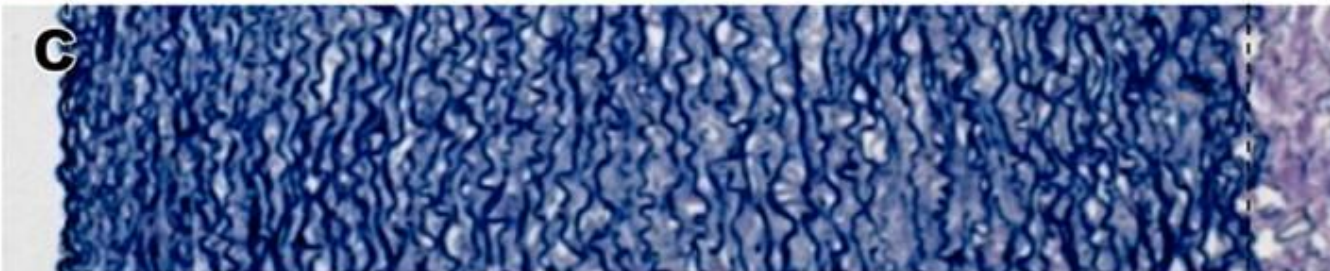
弾性率分布  
by 触覚顕微鏡



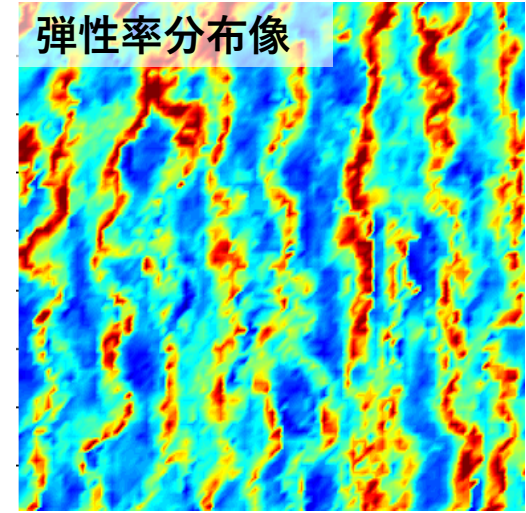
表面形状  
by 触覚顕微鏡



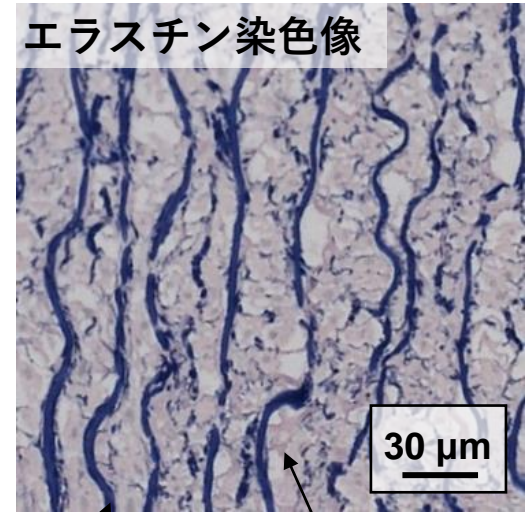
エラスチン染色像  
濃紫色部



弾性率分布像



エラスチン染色像

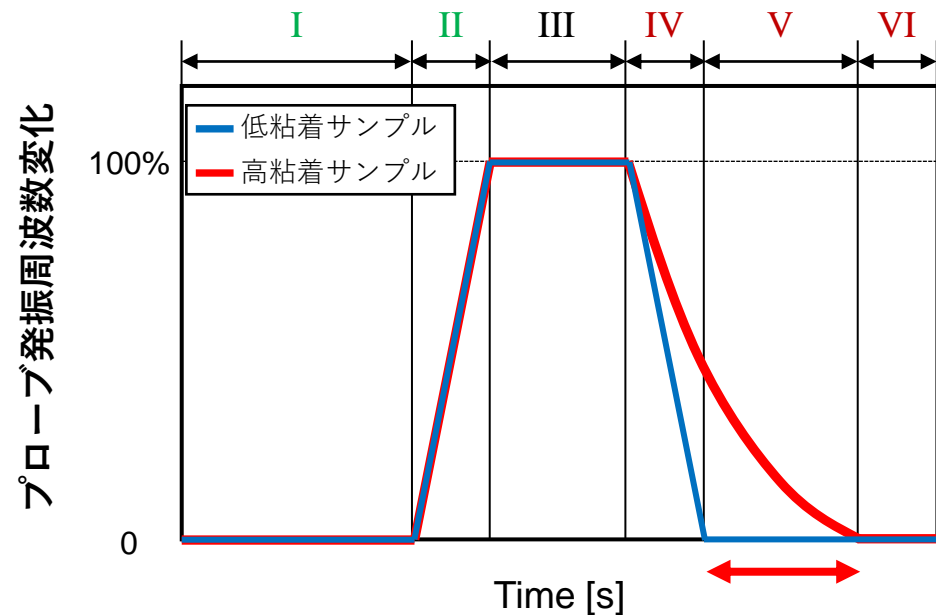
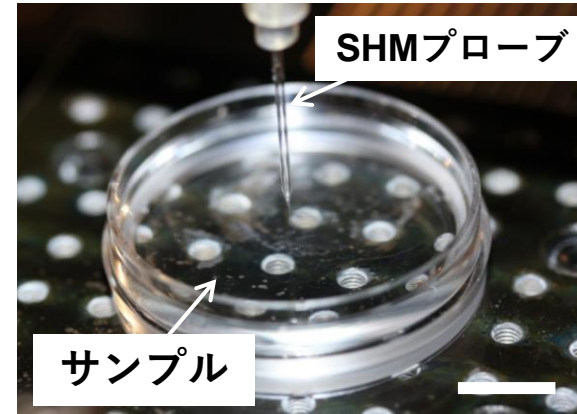
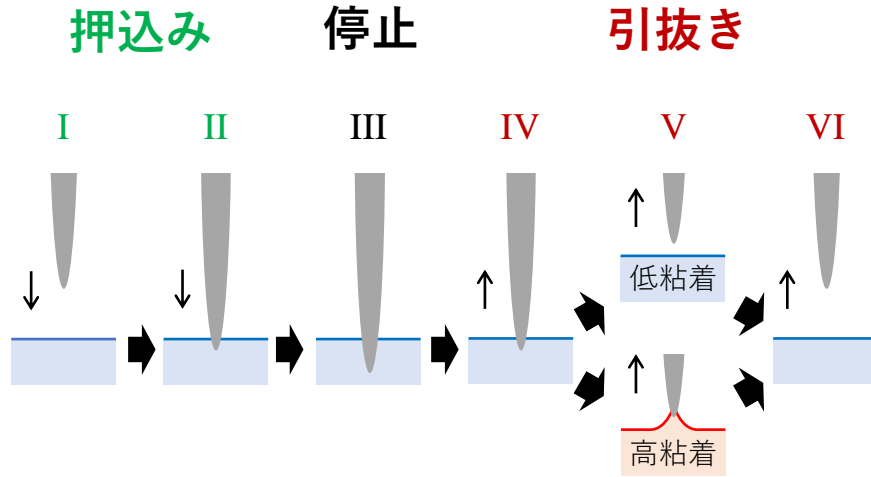


エラスチン線維

コラーゲン線維・  
平滑筋リッチ領域

# 走査型触覚顕微鏡によって粘着特性評価を測れるか？

## プローブの押し込み／引抜き過程における周波数変化



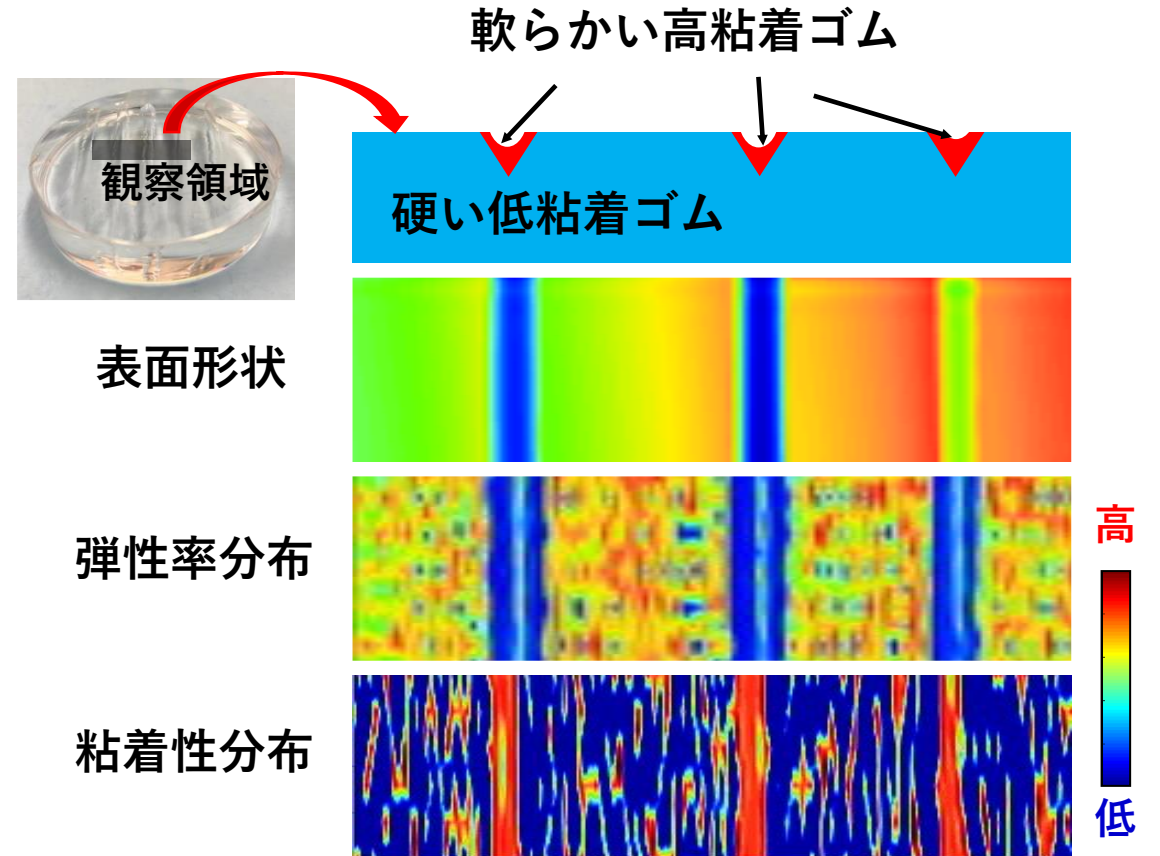
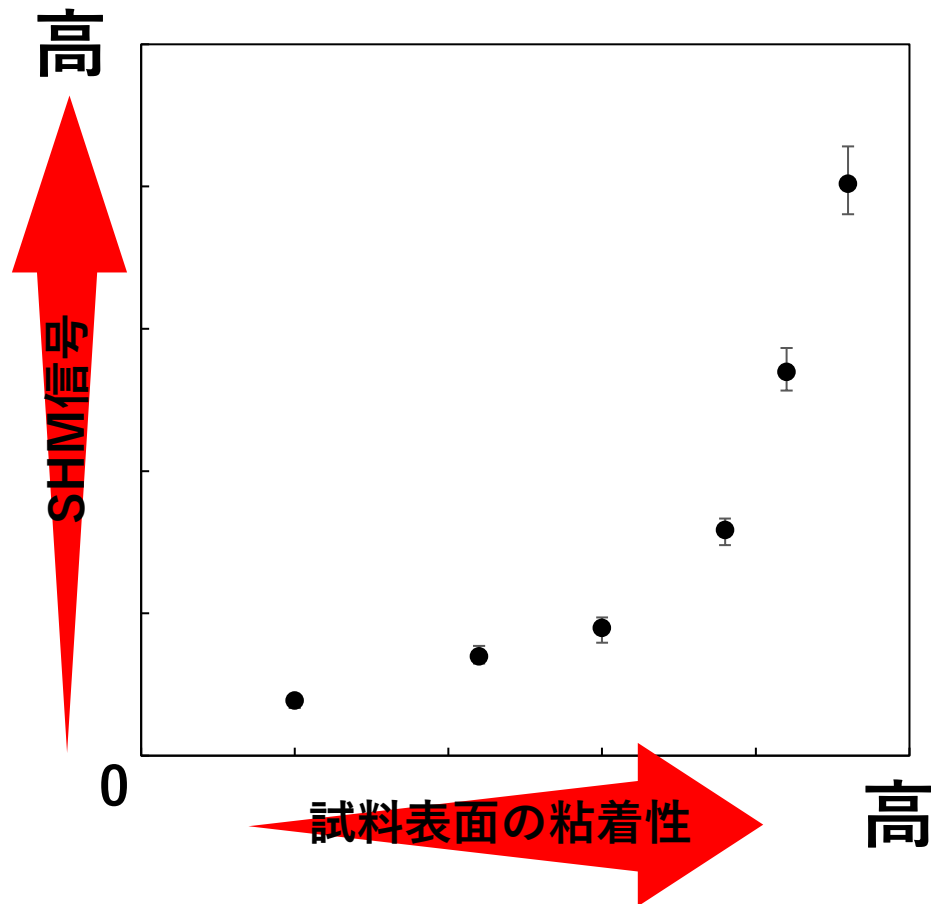
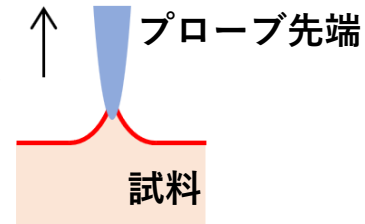
周波数変化にかかる時間に関し  
引抜き／押し込み時の差を取れば  
粘着の強さを示す？

# 走査型触覚顕微鏡による粘着特性評価

世界ではじめての表面形状・弾性率・粘着性の同時マイクロイメージング

Sensor Actuator A. 303, 111693 (2020)

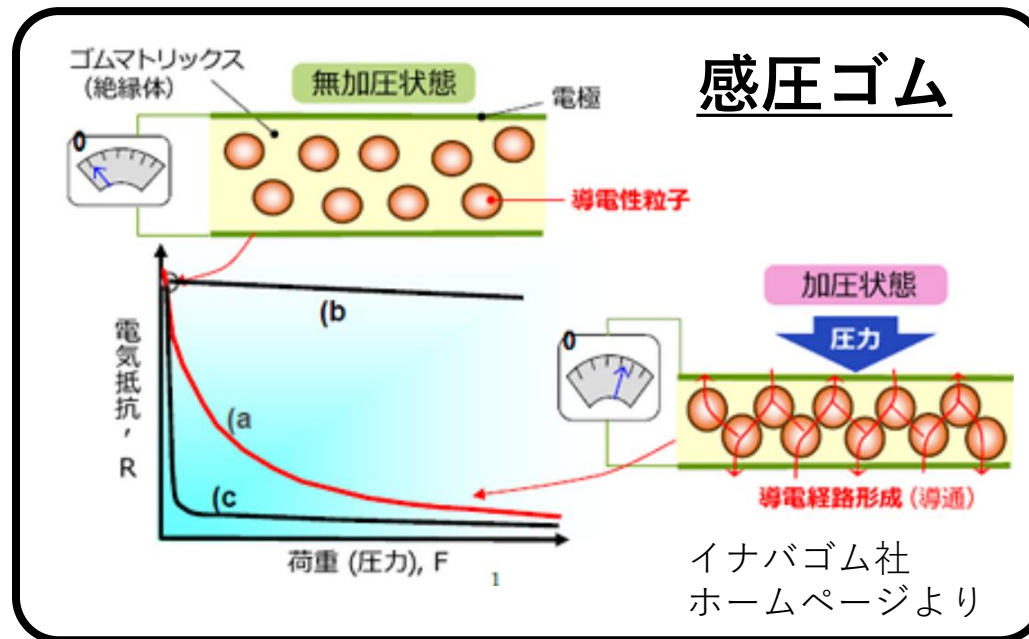
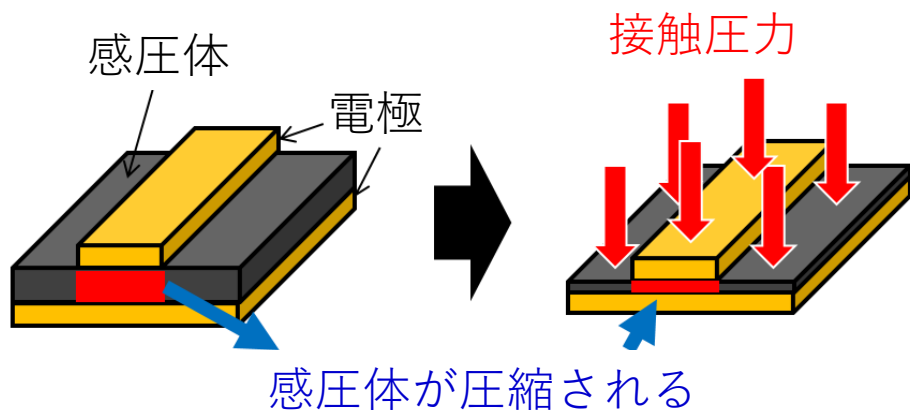
プローブ引抜き時の試料のまとわりつきに着目し  
試料表面の粘着を定量評価



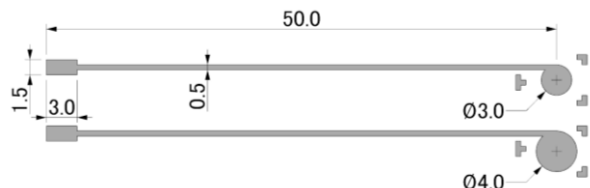
# フィルム型圧力センサ

薄くフレキシブルなセンサを血管-カテーテル間の力計測に応用

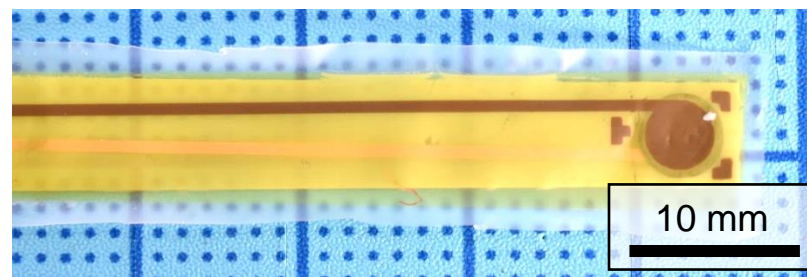
## 接触圧力の計測原理



上下電極



感圧ゴム

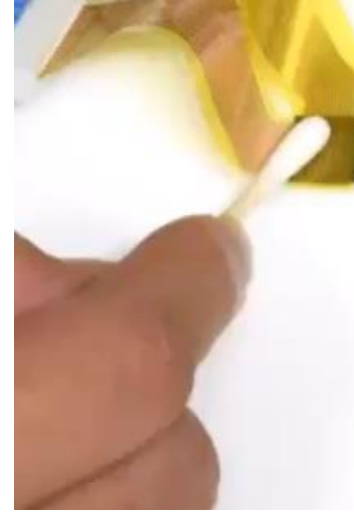
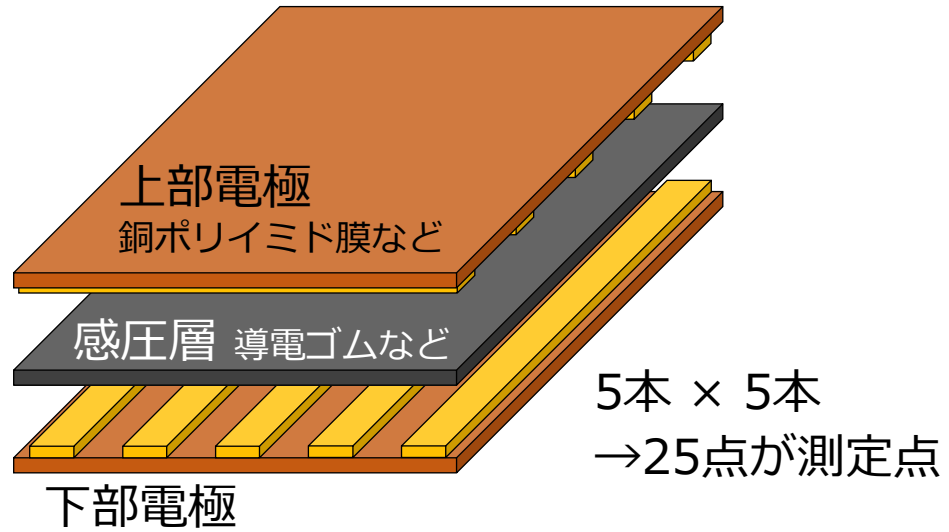


感圧体の電気抵抗変化を電極対で検出



# フィルム型圧力センサによる圧力分布イメージング

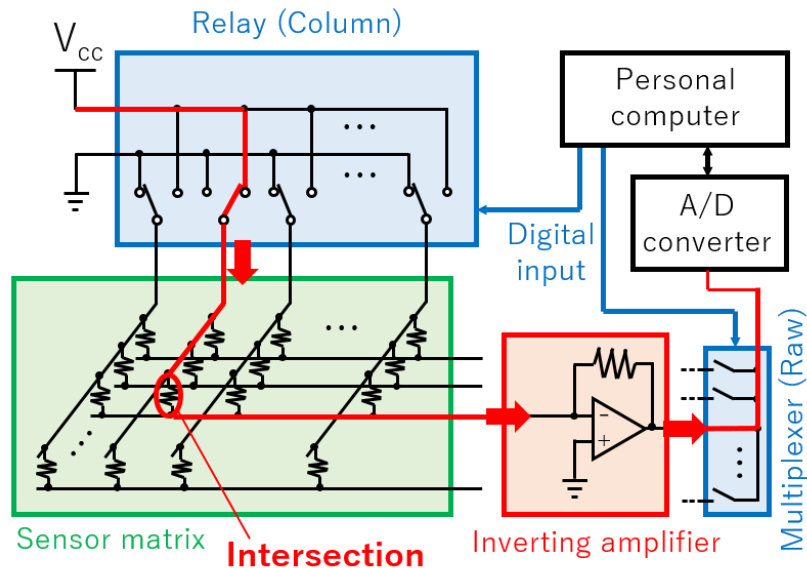
## フォトリソグラフィにより高分解能センサを作製



10 mm



0 接触圧力 高

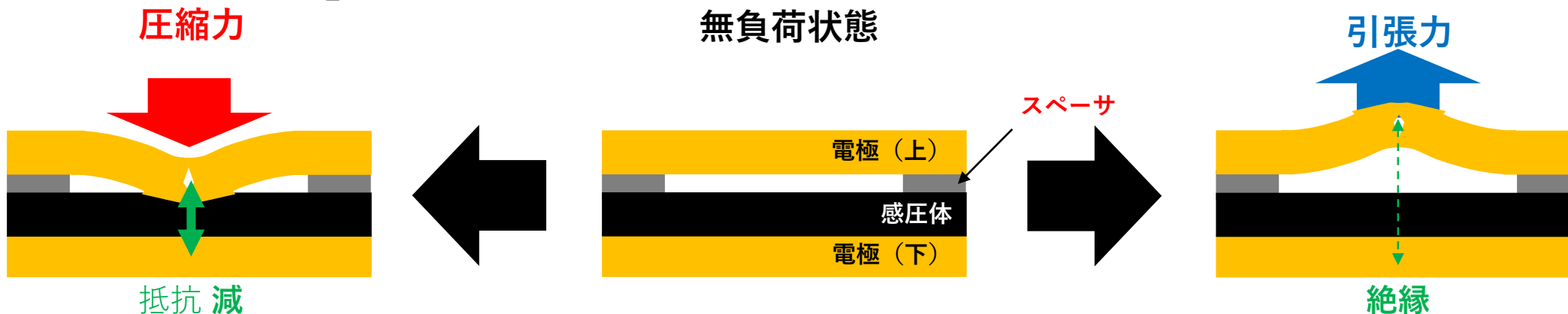


2枚のくし形電極の  
全ての交点が  
力の検出点になる

# 引張力の計測について

## 電極と感圧体の密着が必要

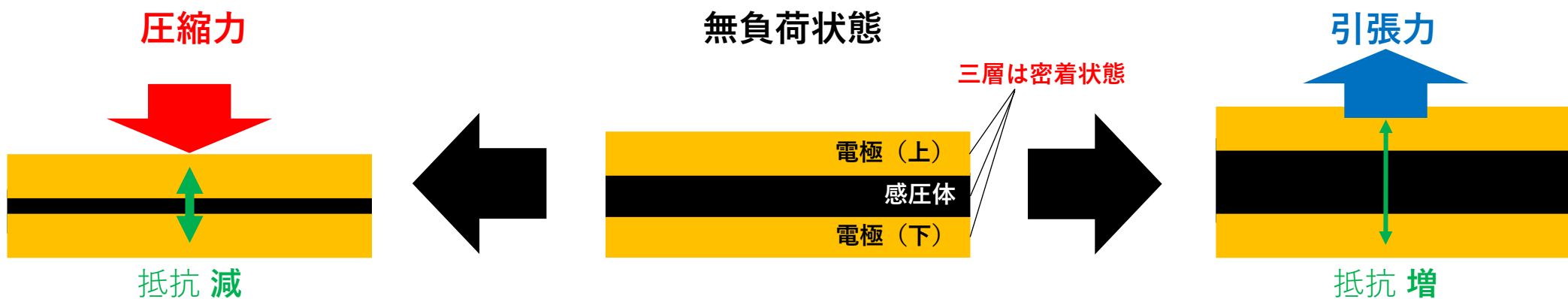
### 【一般的な感圧シート】



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

➡ **引張力は電気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

# 引張力の測定

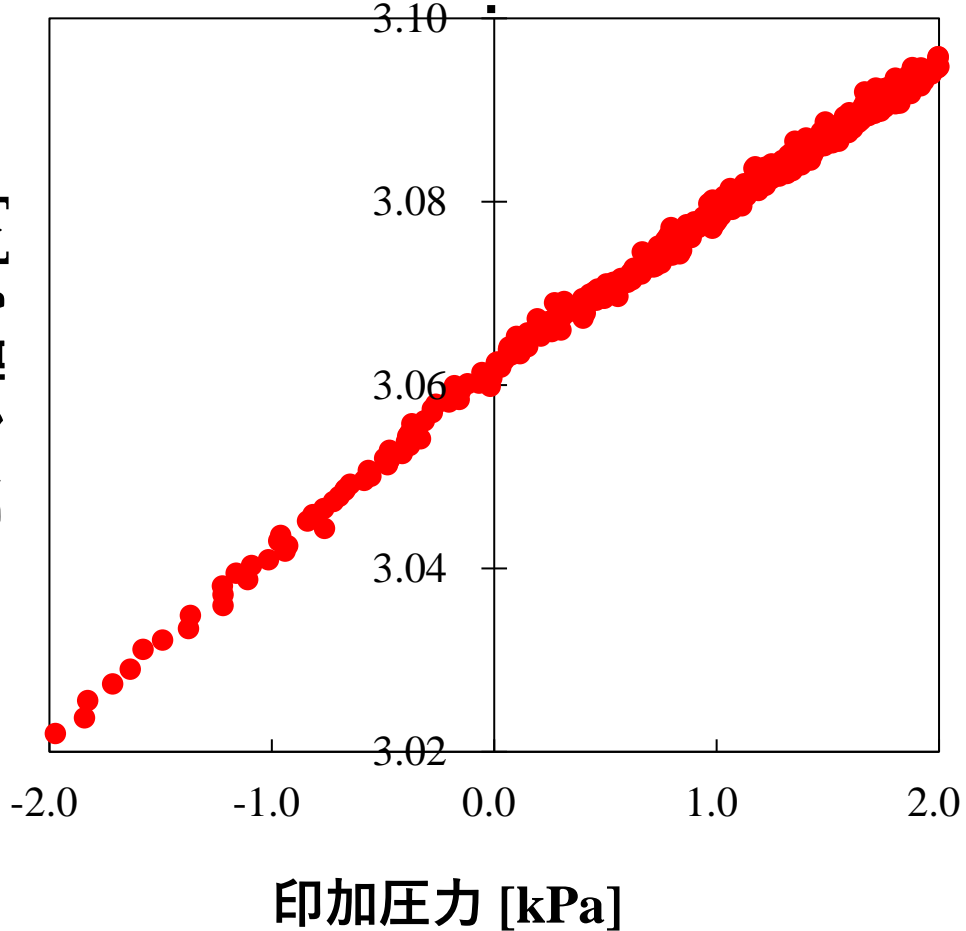
微弱な力を多点計測可能

※ 一般的なフィルム型センサはスペーサで電極を浮かせているので引張力を測れない

Adv Exp Mech. 4, 153 (2019)

特願2019-116408

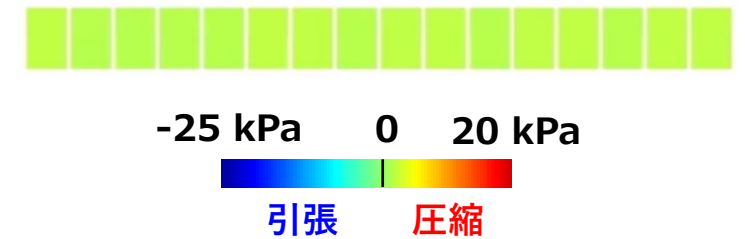
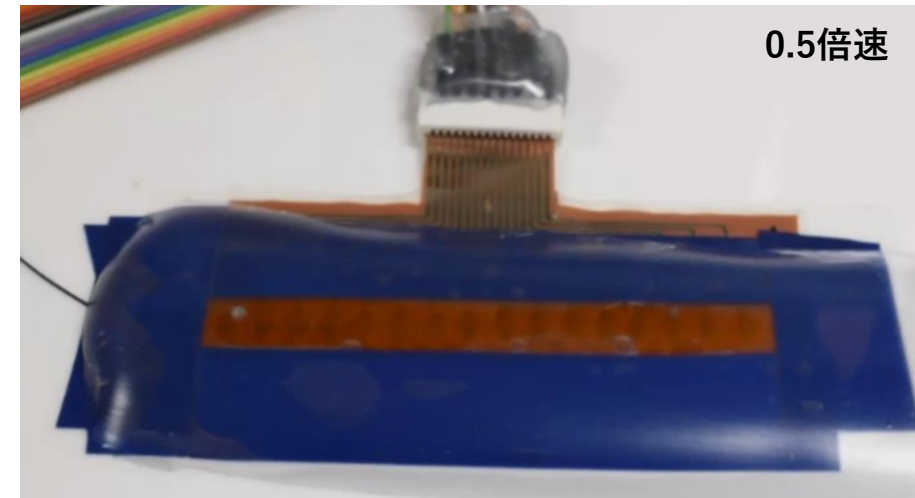
引張力 ← | → 圧縮力



## 粘着ゲル剥離時の圧力分布モニタリング

圧力分布を確認

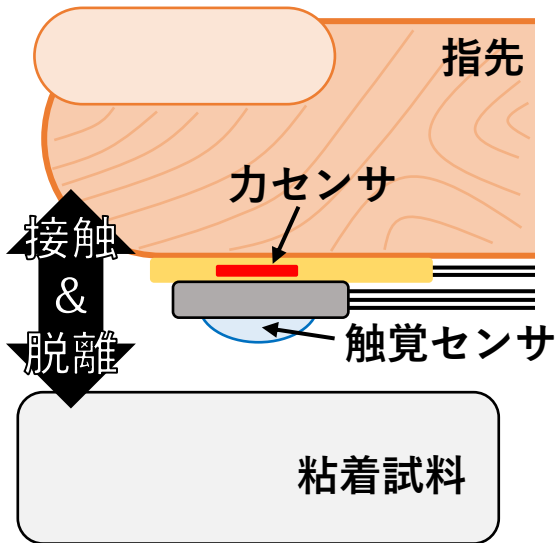
弱く押す 圧縮  
↓  
強く押す 圧縮  
↓  
剥がす 引張



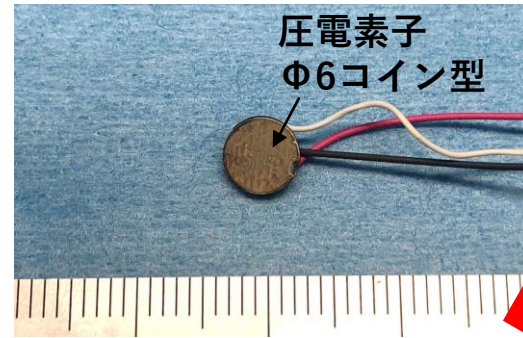
# 指先装着型の粘着センサの作製

## 触覚センサと力センサの組み合わせ

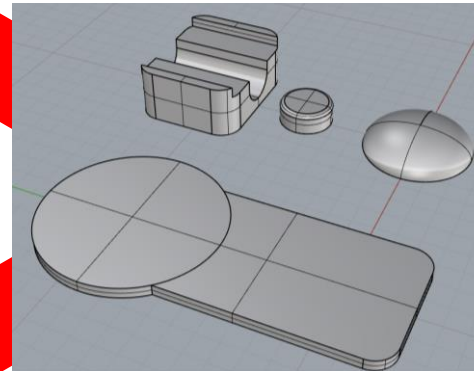
### 計測イメージ



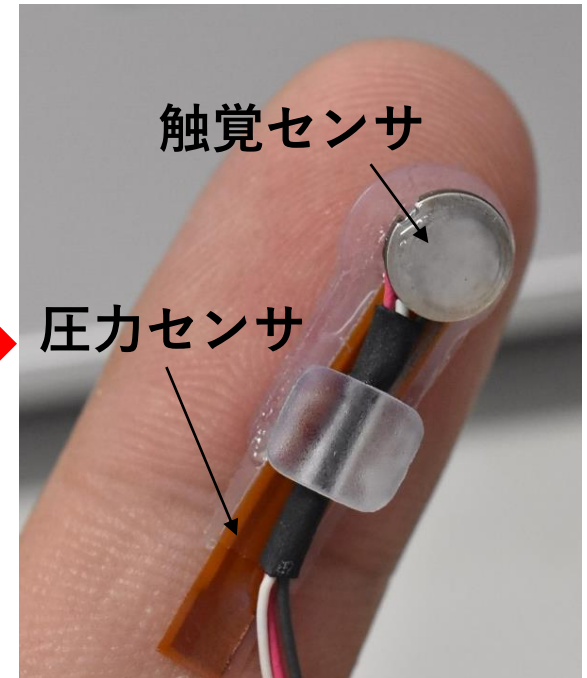
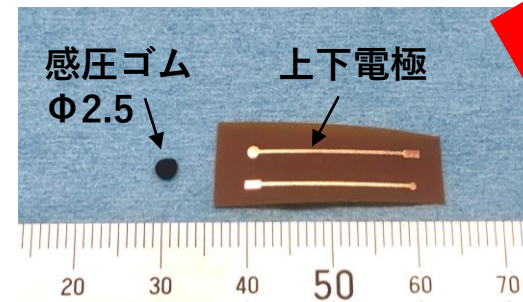
### 触覚センサ



### 3Dプリント部品



### 圧力センサ部品



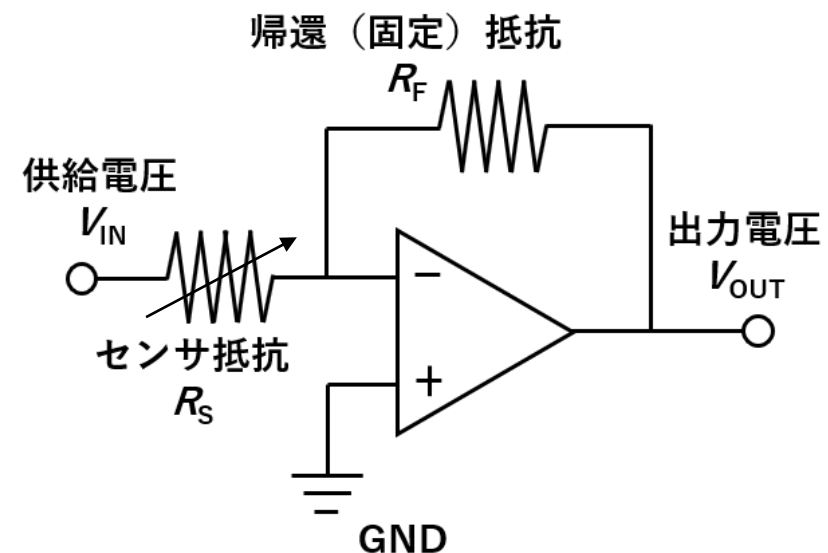
# 計測システムと指先装着型センサの作製

「硬さ」と「力」と「粘着性（タック）」の同時検出

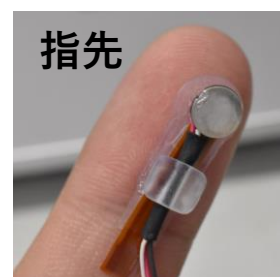
振動周波数（位相が一定になるように制御）



## 圧力センサ用回路



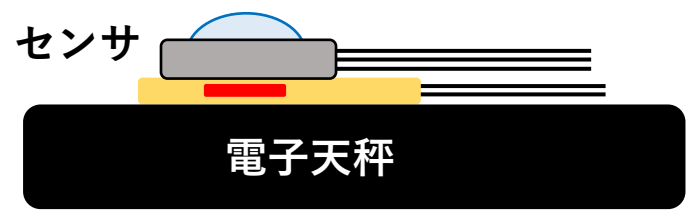
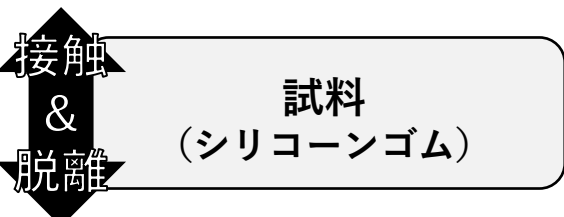
圧力センサ用信号



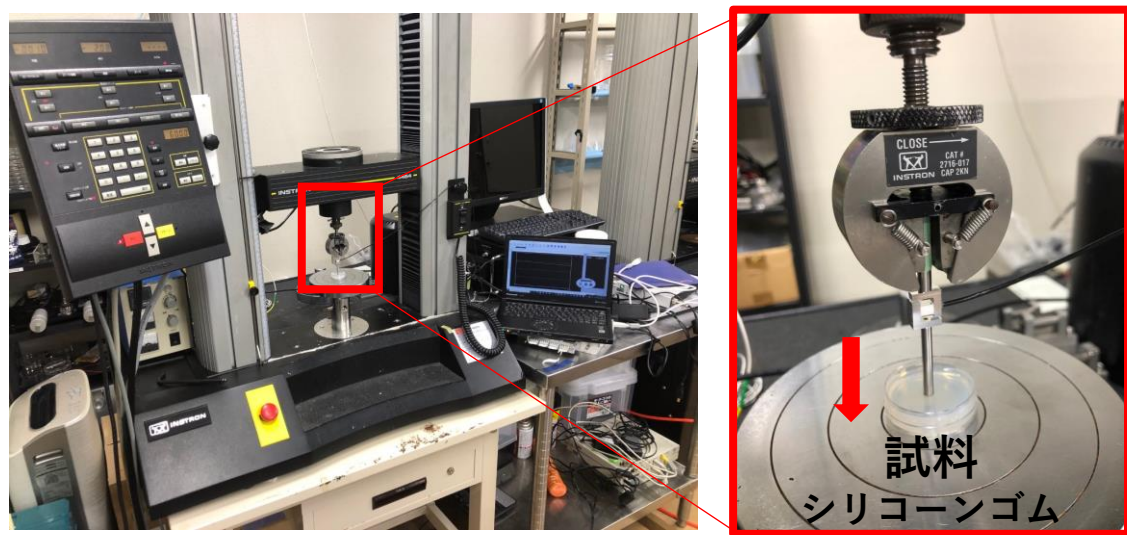
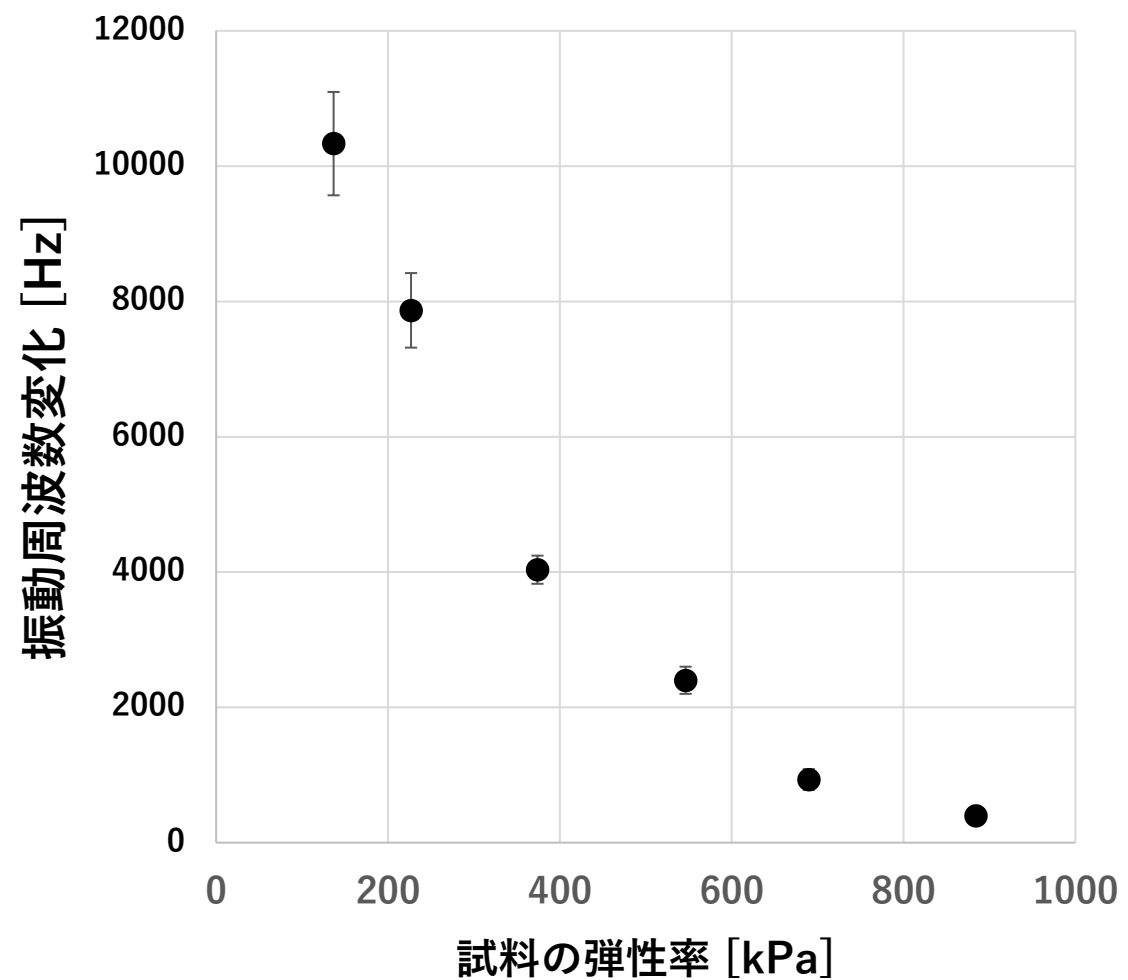
$$V_{out} = -\frac{R_F}{R_S} V_{in}$$

# 試料硬さによる影響

## 接触インピーダンスによる振動周波数の変化



約30g時のセンサの振動周波数変化

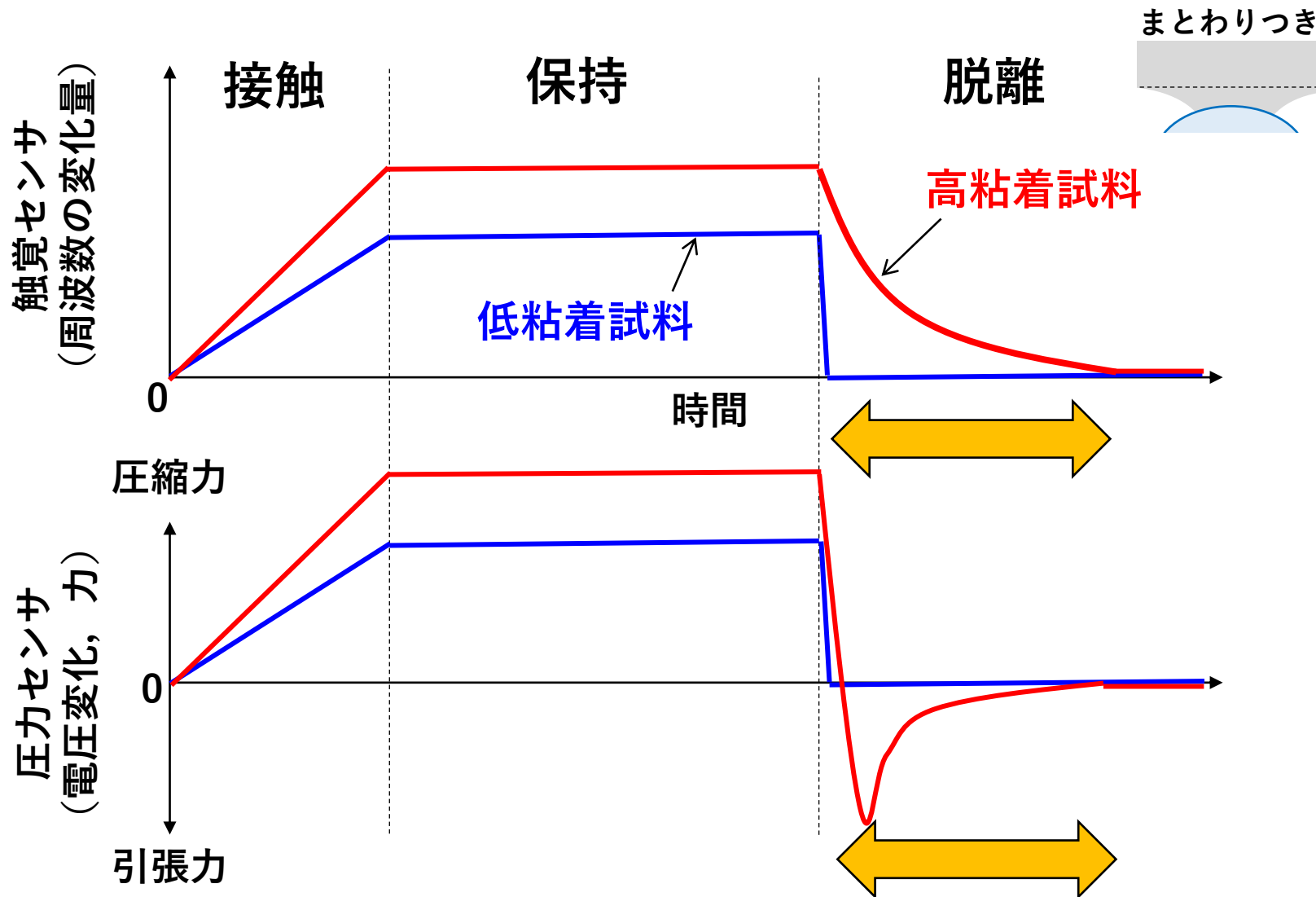
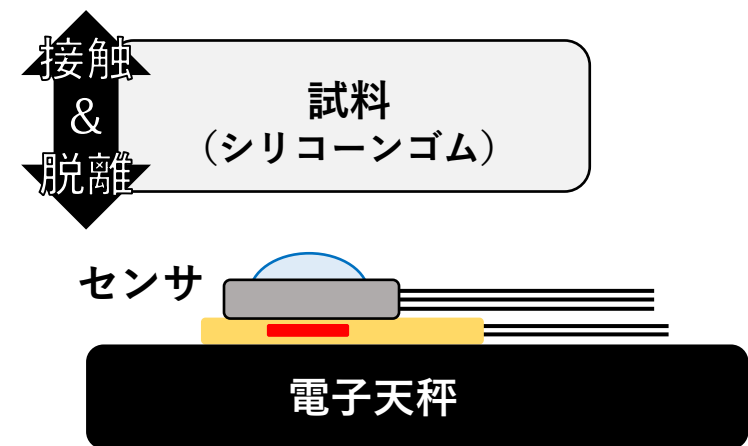


弾性率は押し込み試験で計測

硬さの識別ができた

# 粘着による影響

試料のまとわりつき（タック，ベタベタ感）の影響



※ 波形は特徴を捉えたイメージ

まとわりつきにより

「周波数が戻る」・「引張力が検出される」時間が長くなっている