

# 電源不要で接触位置を検出する フレキシブル人工皮膚

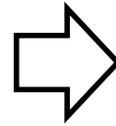
---

東京工業大学 工学院 機械系  
准教授 土方亘

令和2年11月17日

# 開発背景

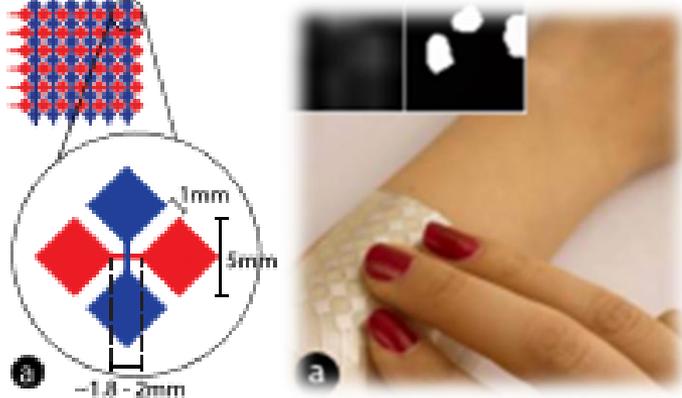
医療福祉  
生産現場



人と協働する  
ソフトロボット

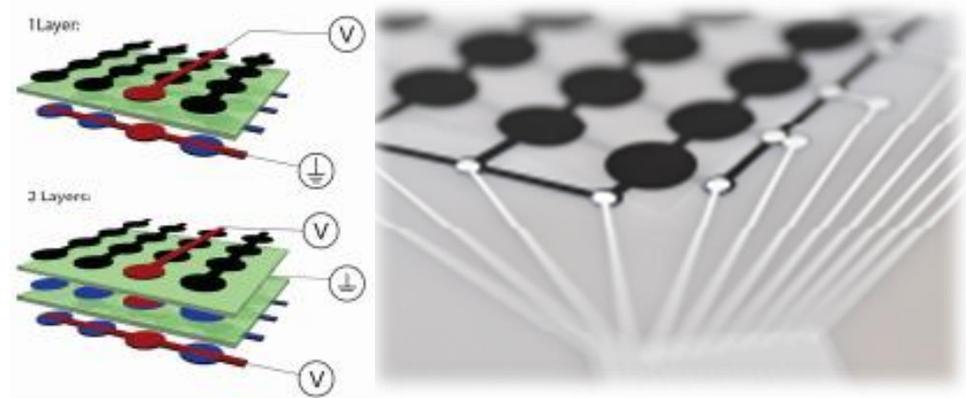
接触機能を有する柔軟なセンサ(E-Skin: 電子人工皮膚)が必要

## 【静電容量型】



Multi-touch Skin\*1

## 【圧電型(PVDF)】



PyzoFlex\*2

○ 位置検出

× 配線数, 薄膜化, 外部電源

○ 位置検出

× 配線数, 柔軟性

外部電源, 柔軟性, 配線数において課題がある

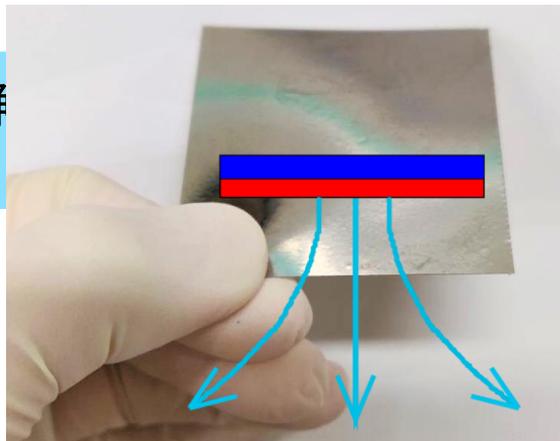
\* 1 A.S.Nittala他, Multi-touch Skin, CHI, 2018

\* 2 M,Zirki他, PyzoFlex, ADV, 2016

# 検出原理の検討

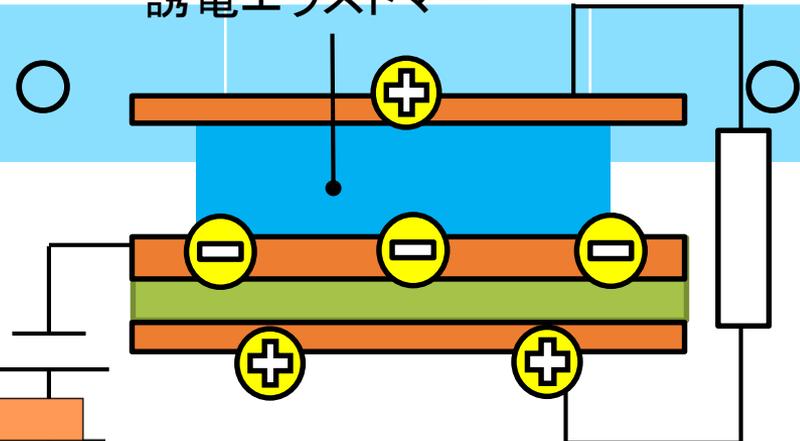
	外部電源	位置検出	柔軟性	薄膜化
電磁誘導型	○	△	× (永久磁石)	× (コイルの厚さ)
圧電型	○	○	× (セラミック使用)	△
静電容量型 (従来)	× (電界発生)	○	○	○

静



3電圧源

誘電エラストマー



# 開発目的

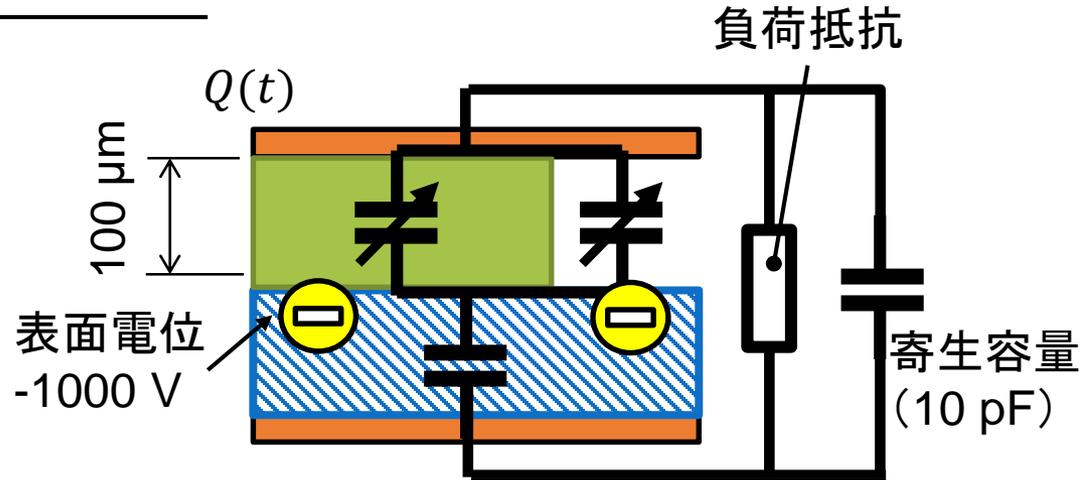
接触位置検出が可能かつ、外部電源が不要な  
触覚機能を有する大面積の薄膜E-Skinの開発

# 性能試算(発電量を評価軸に)

## 等価電気回路モデル

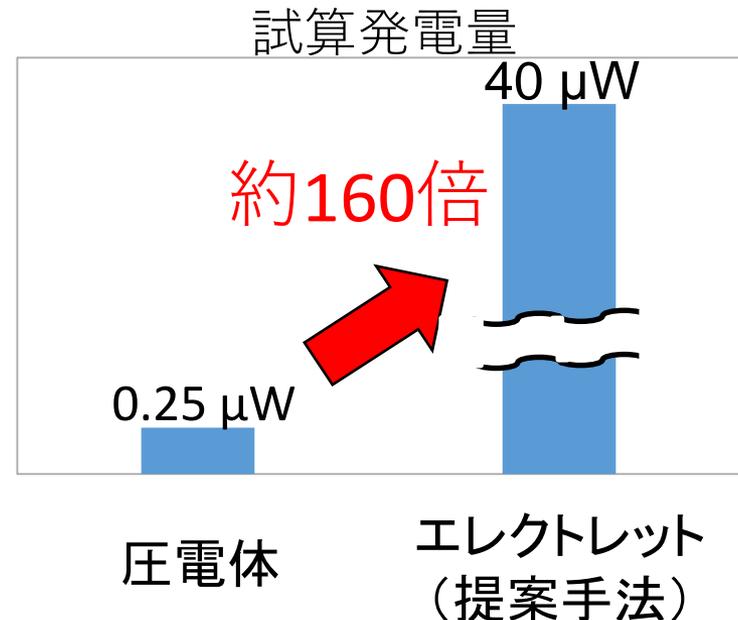
$$A(t) \frac{\partial Q(t)}{\partial t} + B(t)Q(t) = Q_0$$

$A(t)$  ← 係数  
 $\frac{\partial Q(t)}{\partial t}$  ← 係数  
 $B(t)Q(t)$  ← 係数  
 $Q_0$  ← エレクトレット表面電位



周波数: 1 Hz  
 最大圧: 0.85 MPa

圧電体(PVDF)と比較して  
 大幅に向上  
 →感度高い計測が期待



# エレクトレットの試作

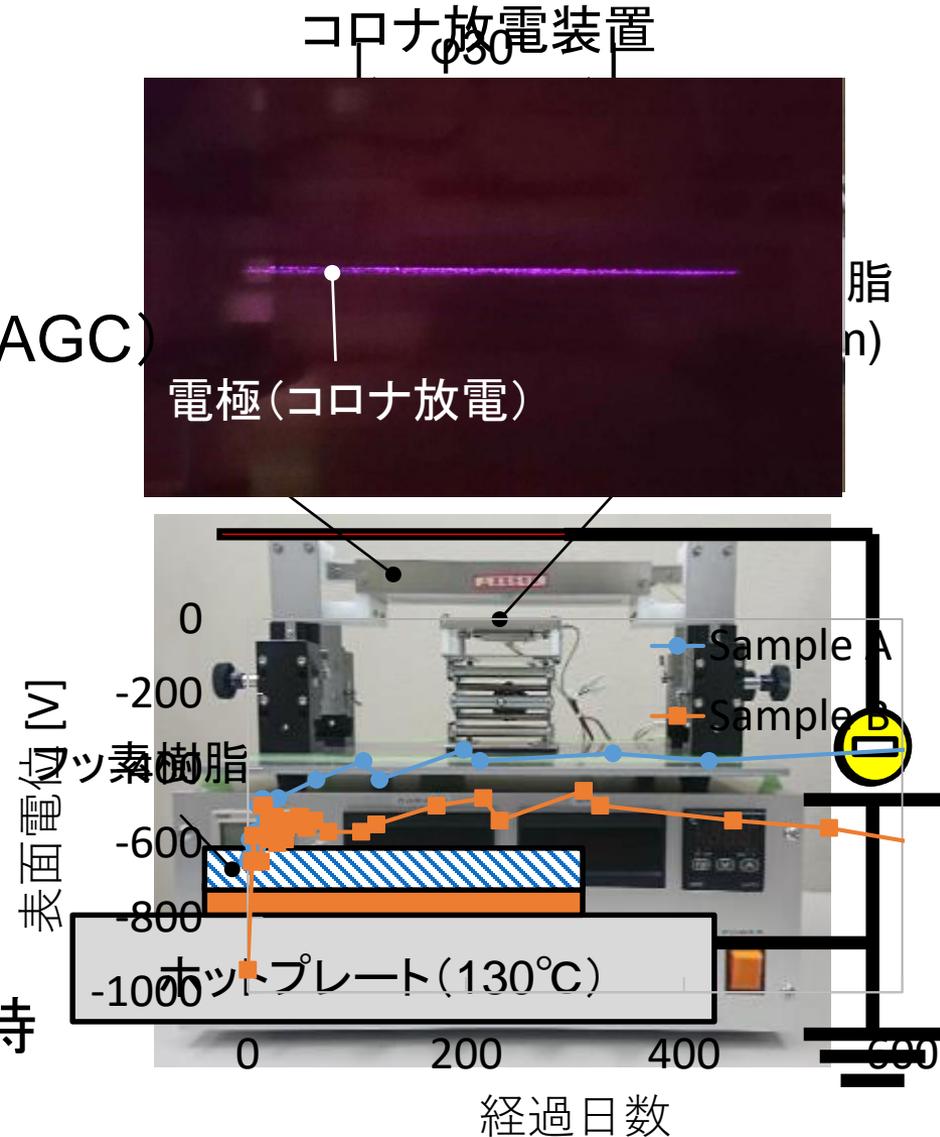
## 成膜

銅板上にフッ素樹脂を成膜  
(CYTOP® CTL-809M, AGC)

## 帯電

コロナ放電処理でエレクトレット化  
(電極電位-9000 V)

➡ 2週間程で電位安定  
表面電位-400 V程度を保持



# 原理検証実験

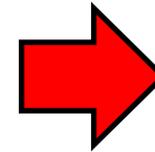
## 誘電エラストマー

シリコーンゴム

100  $\mu$ m

銅板 (t1.0)

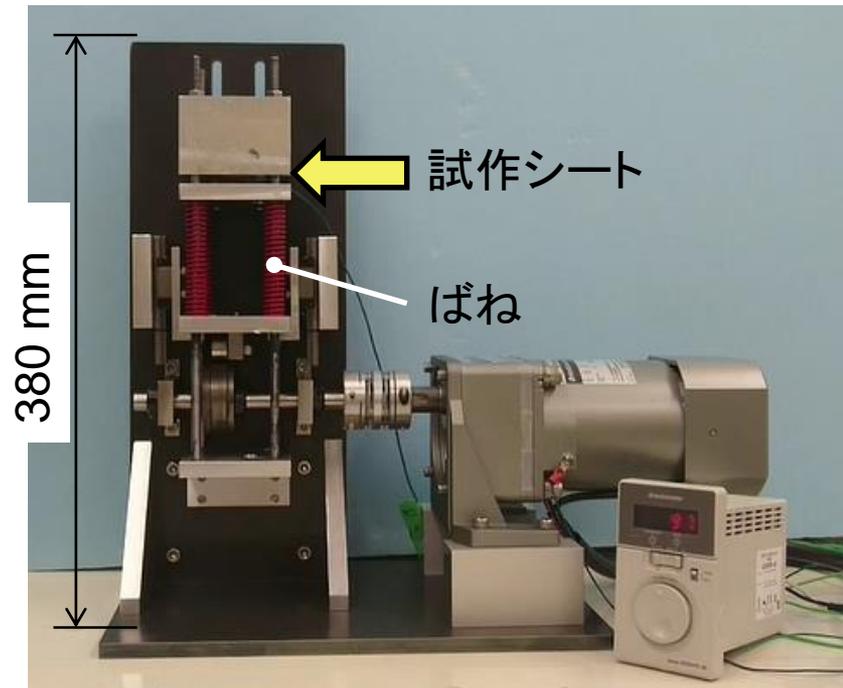
エレクトレット  
試作人工皮膚シート



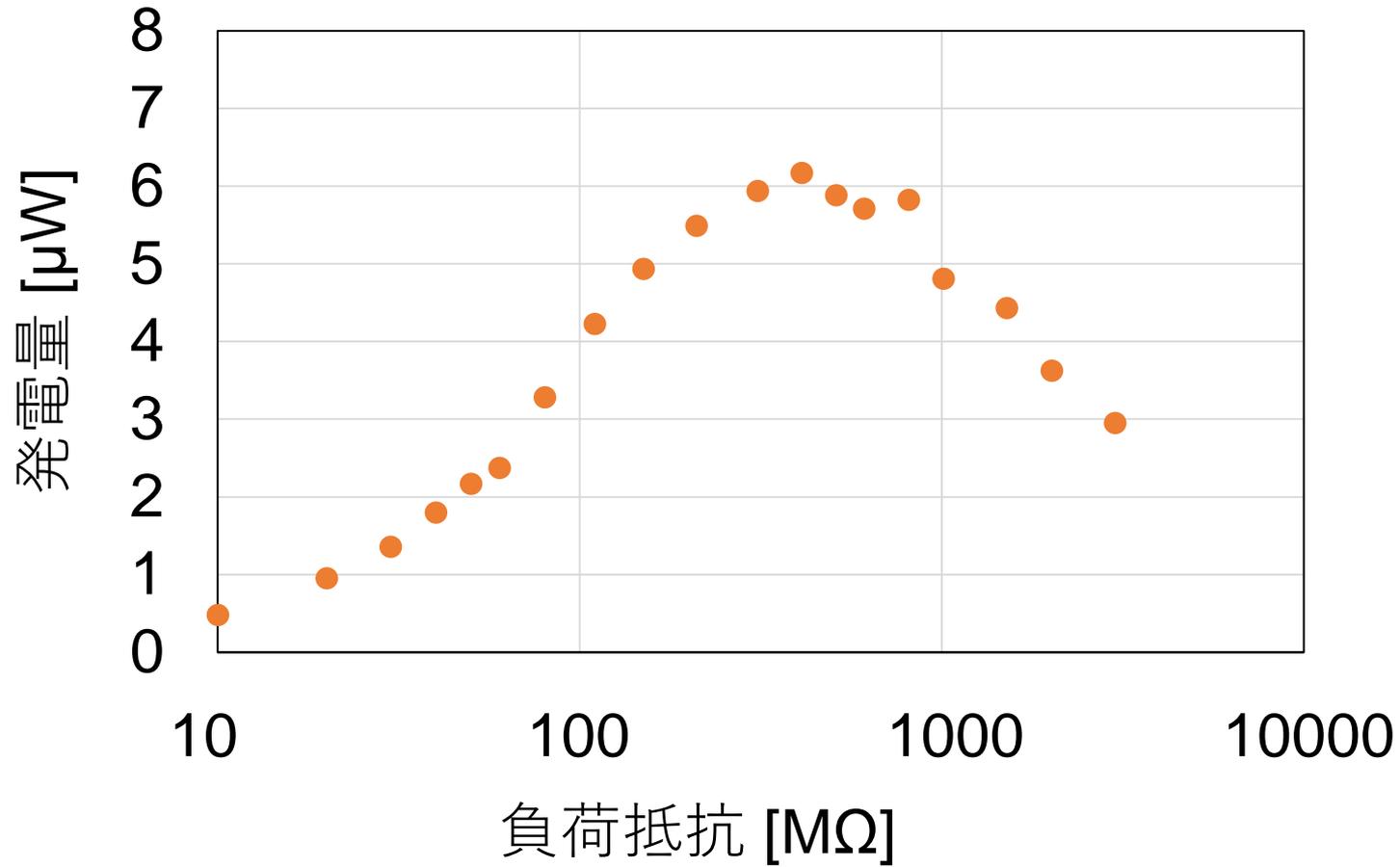
## 応力負荷機構

最大圧縮応力: 0.85 MPa

周波数: 1.0 Hz

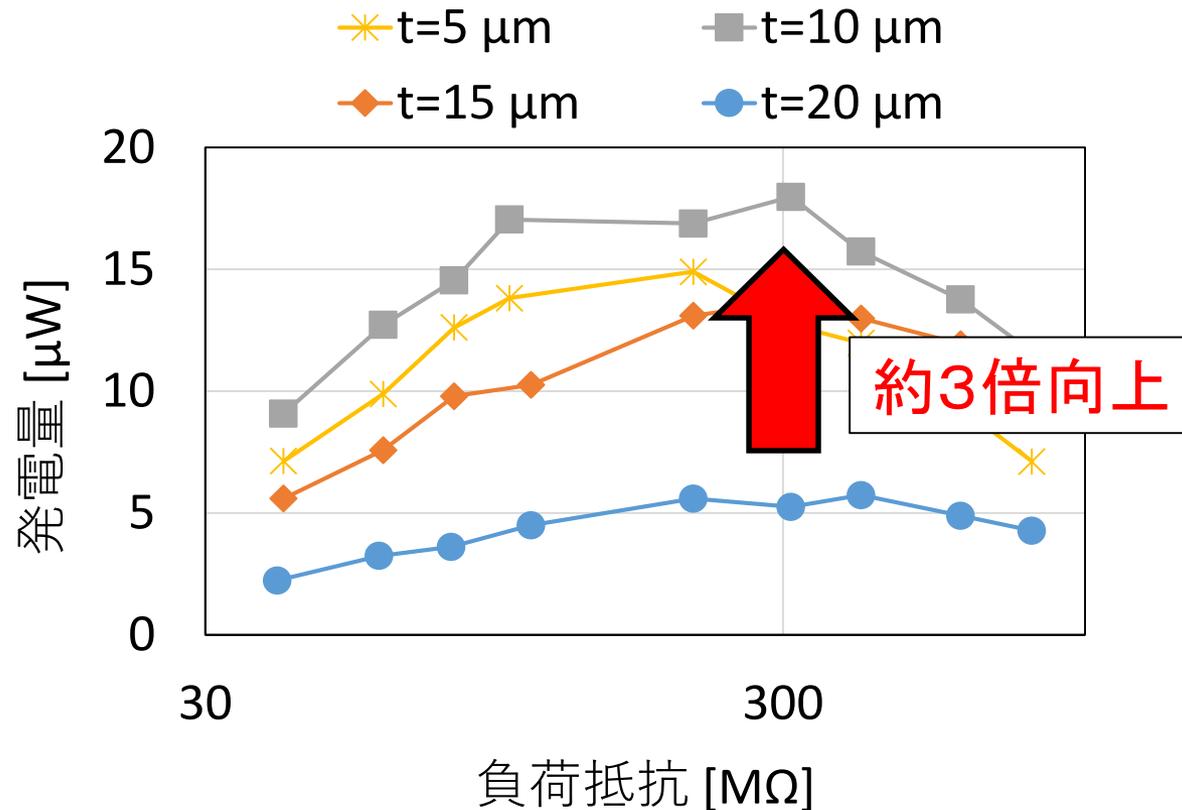
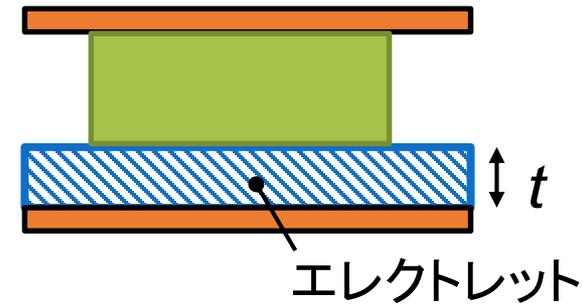


# 実験結果



# エレクトレット厚さの検討

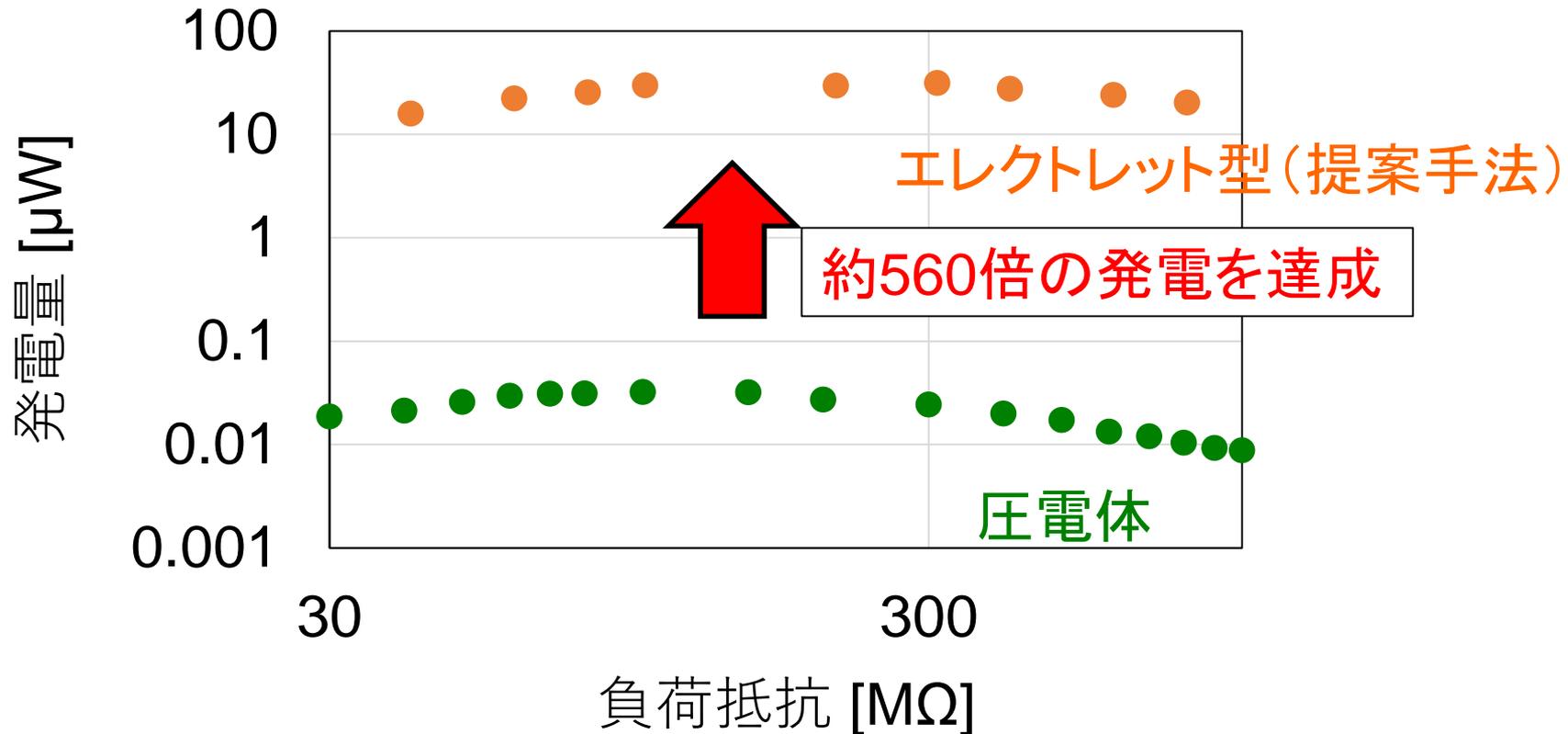
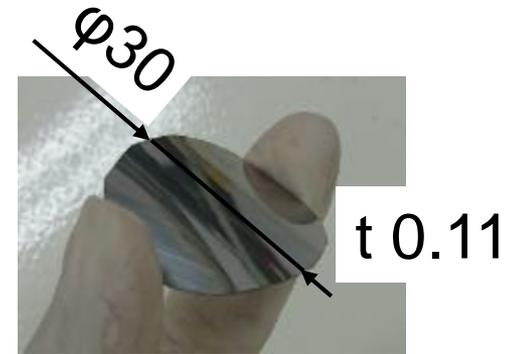
厚さの異なるエレクトレットを試作・実験



# 圧電体との比較

圧電体  
(PVDF)

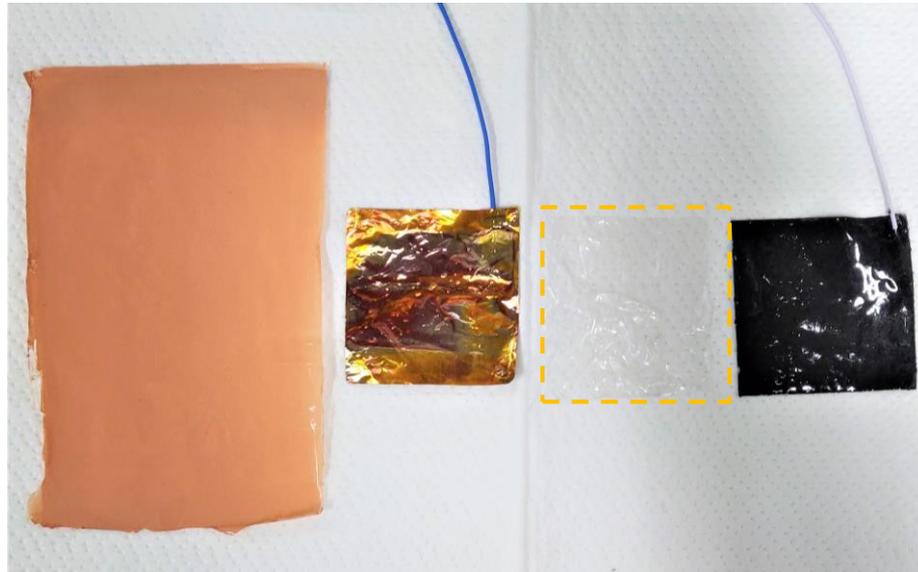
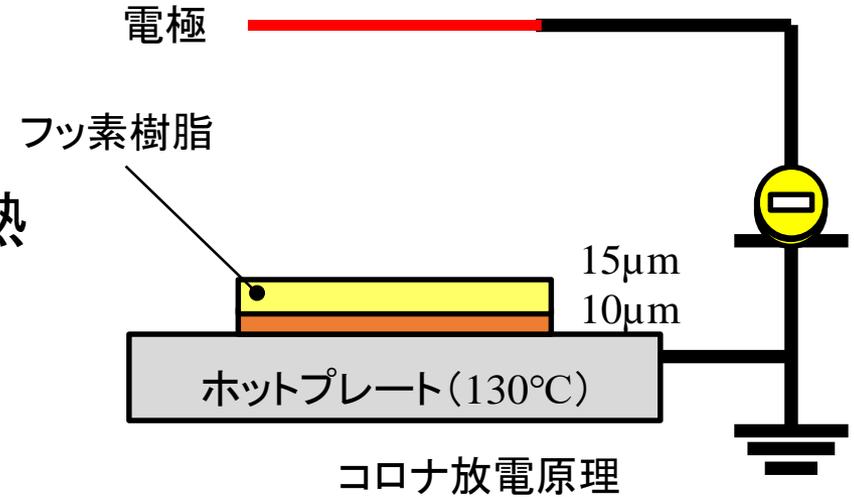
圧電定数 33 pC/N  
 ヤング率 3 GPa  
 比誘電率 12



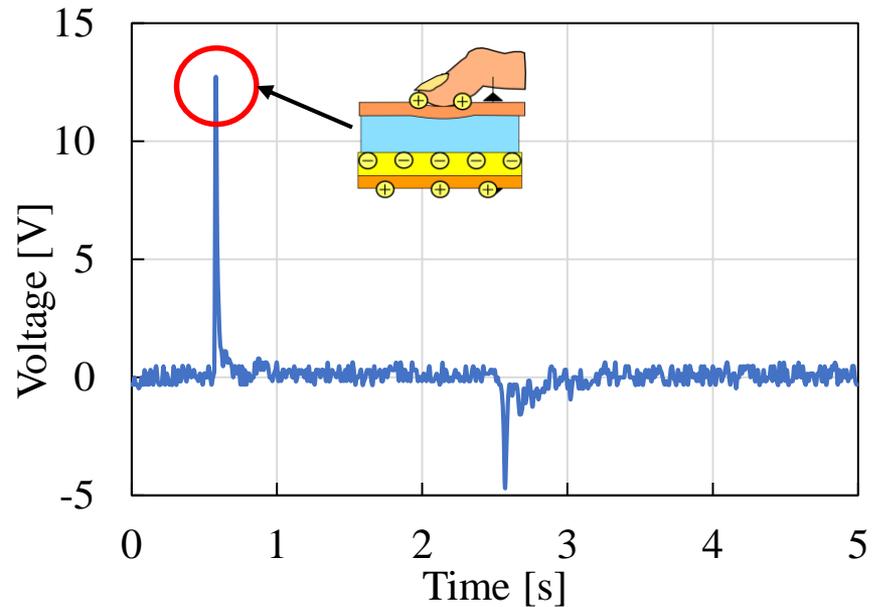
# E-Skinの試作

## 【作製方法】

1. 銅箔上にフッ素樹脂を塗布し加熱
2. コロナ放電により電荷を打ち込んで作製



シリコン エレクトレット エラストマー 対向電極



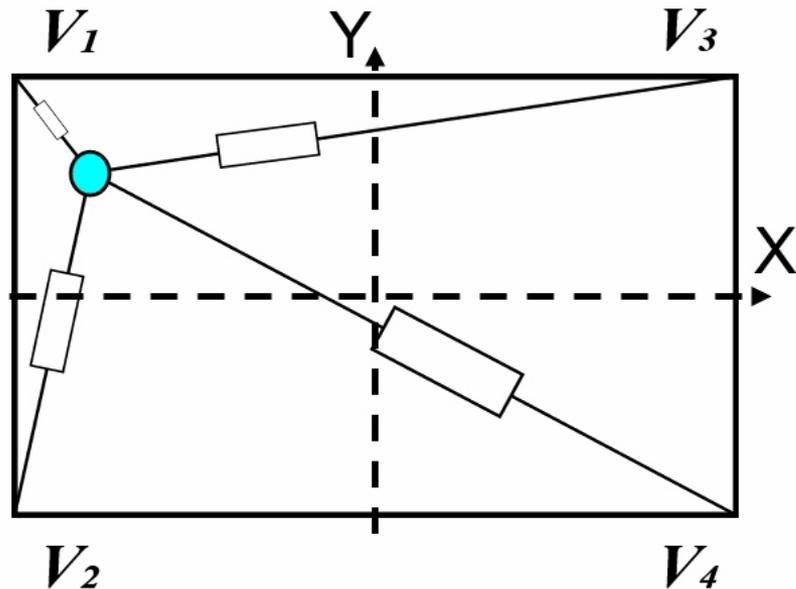
試作E-Skinの電圧波形

→外部電源が不要で接触検知を実現

# 提案する接触位置・力検出法

接触検知だけでなく、**接触位置検出**へ挑戦

【検出原理】



1. 指圧位置に応じて、4隅までの銅箔の内部抵抗が変化
2. 4隅で電圧を計測し比率に換算

● 位置検出

$$X = \frac{(V_3 + V_4 - V_1 - V_2)}{(V_1 + V_2 + V_3 + V_4)} \quad Y = \frac{(V_1 + V_3 - V_2 - V_4)}{(V_1 + V_2 + V_3 + V_4)}$$

● 力検出(押し込み方向の変形速度)

$$F \propto \int \dot{Z} dt \propto \int (V_1 + V_2 + V_3 + V_4) dt$$

【外部電源不要】&【位置検出】&【力検出】

この位置検出法について1次元のモデルを用いて検証

# 電極の選定

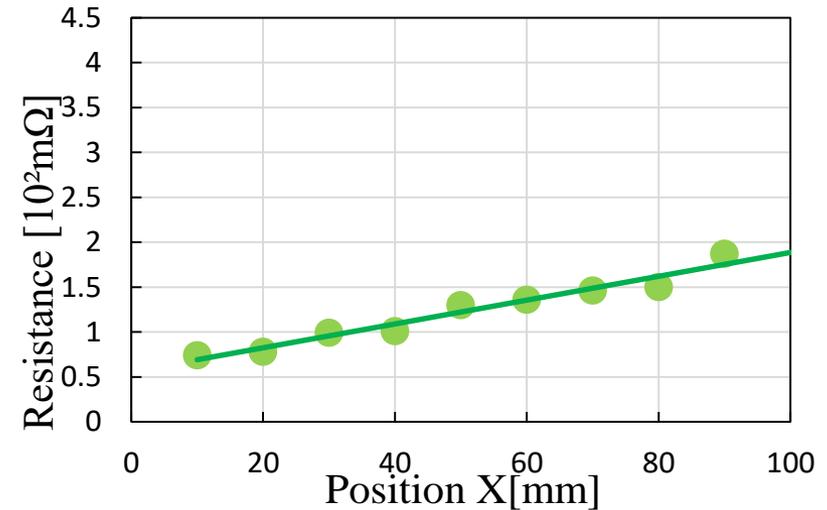
内部抵抗の比率を読み取る検出法



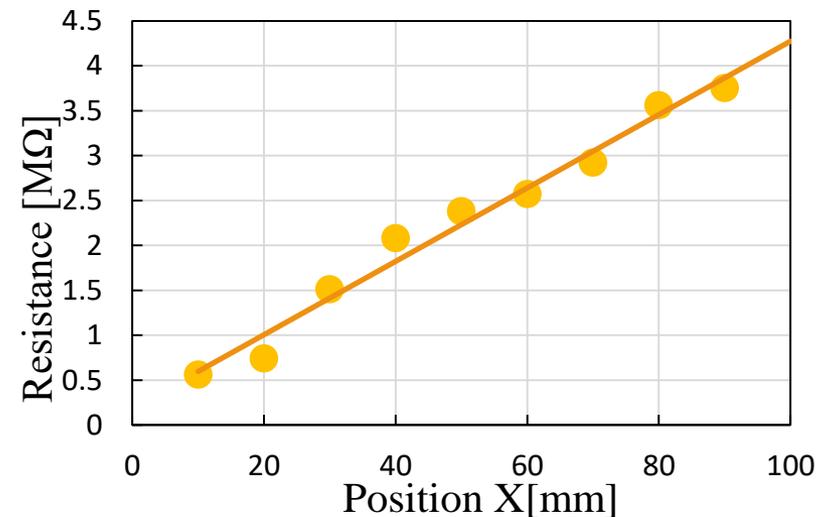
抵抗が大きいほうが有利

複数の材料で内部抵抗を確認

- 銅箔
- ステンレス箔
- 導電性ペイント
- カーボン粉末添加膜



銅箔の距離における抵抗



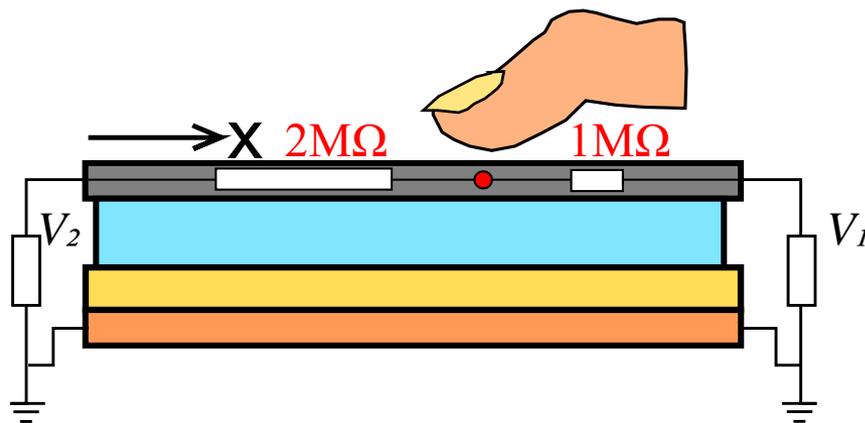
カーボン粉末添加膜の距離における抵抗

# 1次元位置検出実験

銅電極では内部抵抗が小さく、負荷抵抗に対する影響が小さい

## 【カーボンブラック】

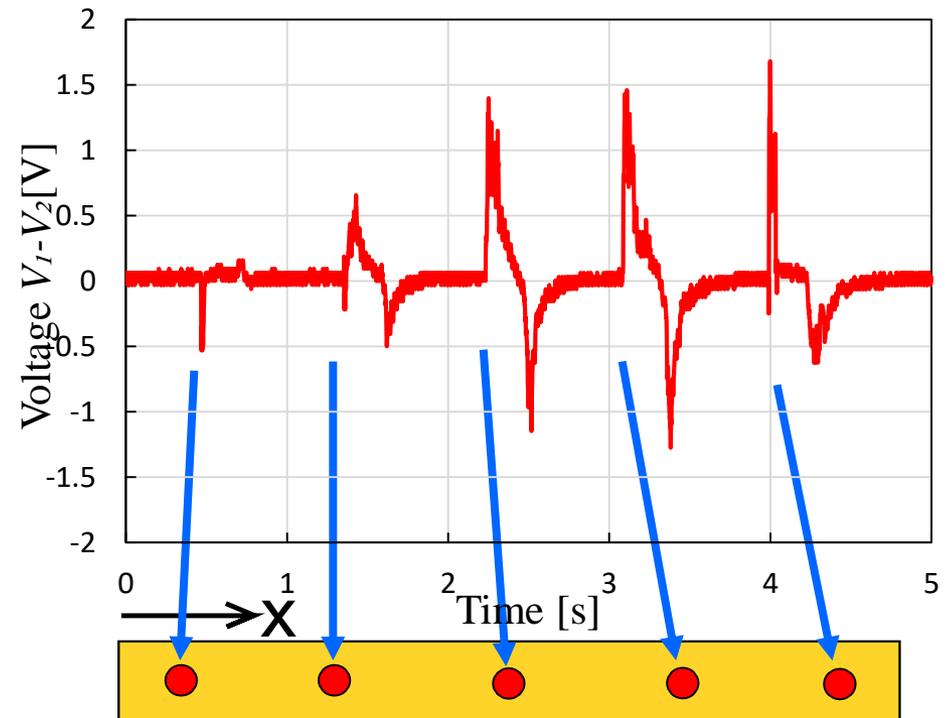
- 炭素粉末
- 液状シリコンに対し重量比25%で添加
- 内部抵抗:  $3M\Omega$



1次元検出回路の概略図

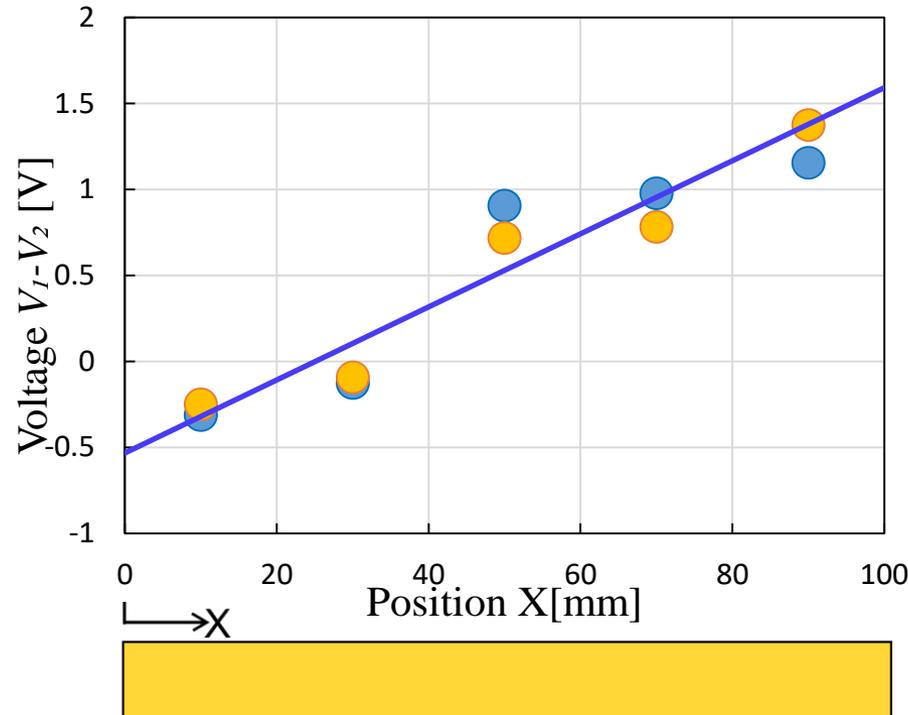
銅箔

カーボン添加膜



打点を変化させたときの電圧波形

# これまでの成果



位置におけるピーク電圧

本装置における1次元での位置検出を実現

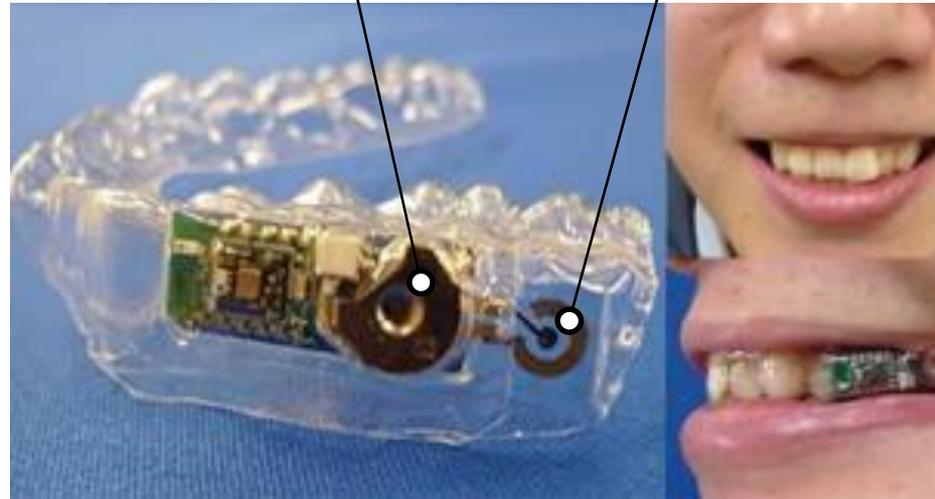
⇒ 本手法の有用性を示した

⇒ 現在, 2次元検出へ応用中



# 皮膚以外への応用例

電池 血糖値センサ



マウスガード型センサ

[三林ら, 2016]



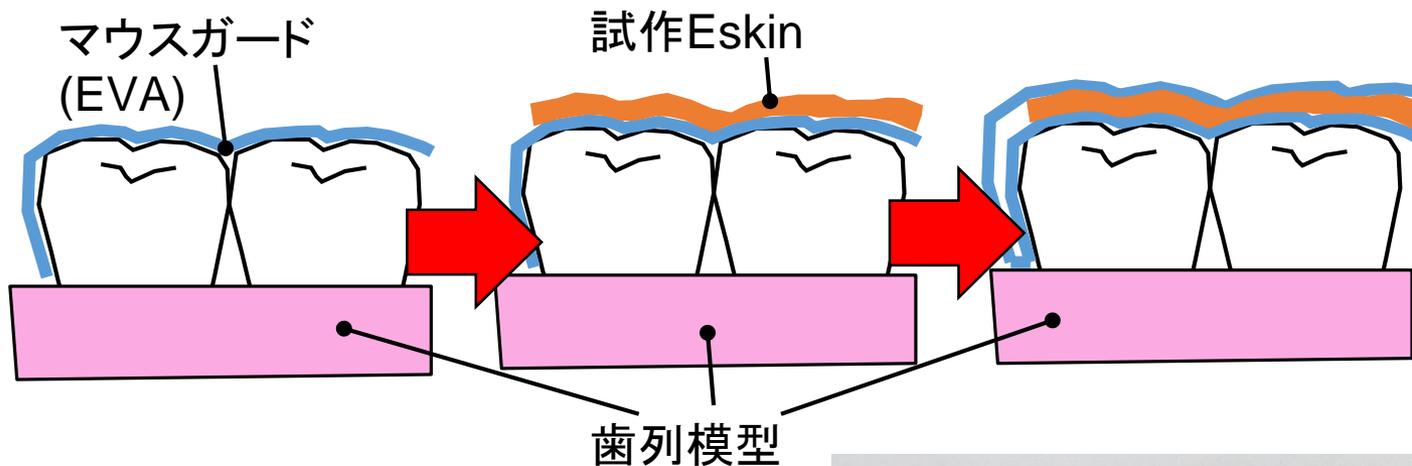
- ・ 予防医療, 未病, ヘルスケア
- ・ 計測データの研究活用

応用例1: 口腔内センサ用の電池の代替電源としてEskinを活用

応用例2: 健康状態のモニタリングとして, 咬合力を測定するセンサとして活用

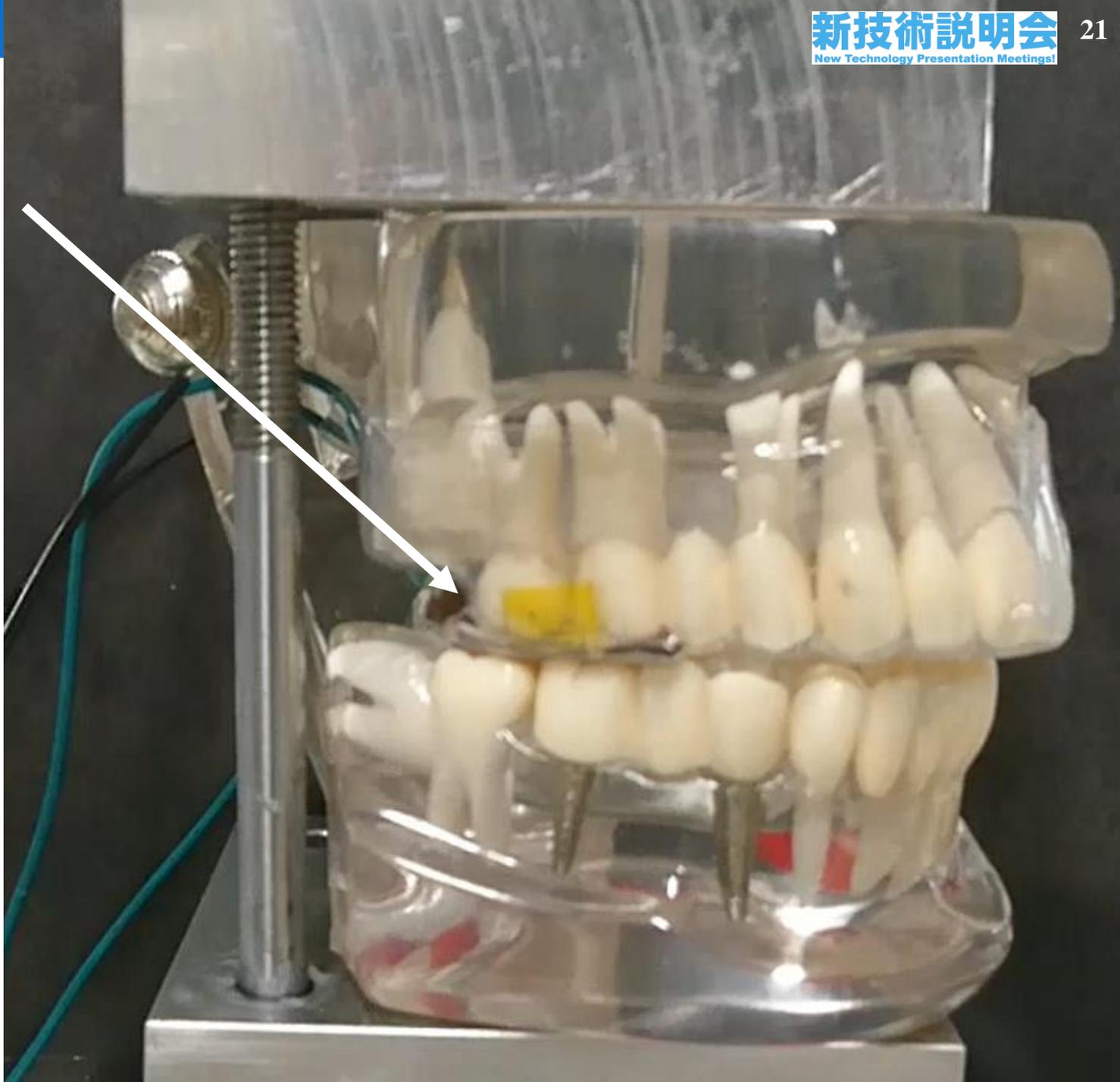
# マウスガードへの搭載例

極板厚さ0.1 mmで試作したEskinをマウスガード内部へ埋込み  
→ 歯列のような複雑曲面への適用も可能



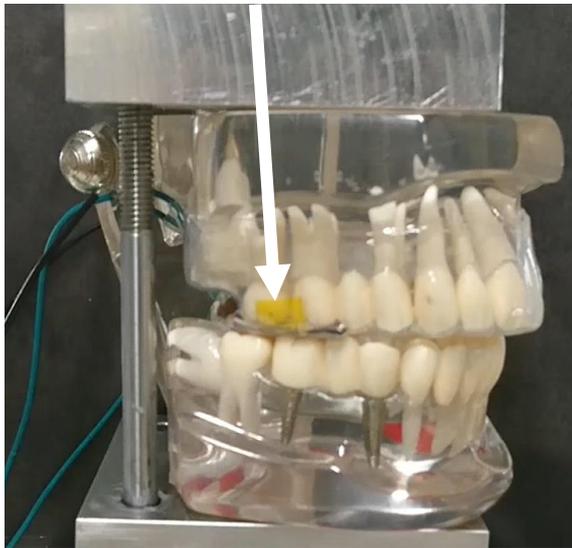


試作Eskin

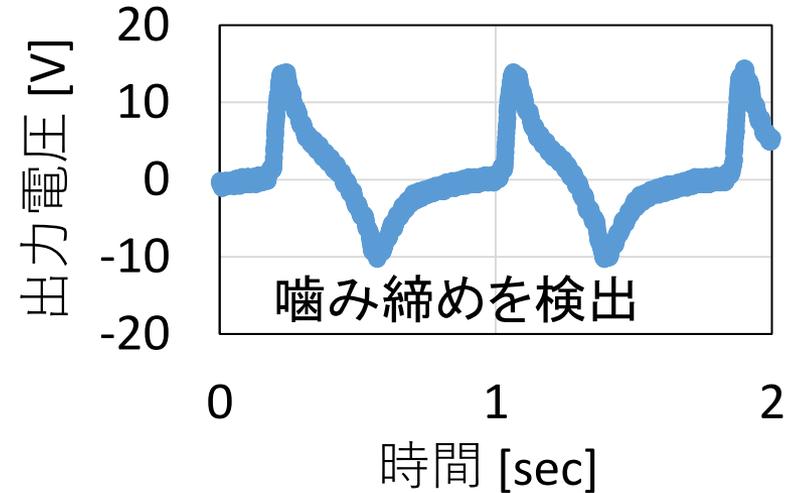


# 咀嚼シミュレータへの搭載

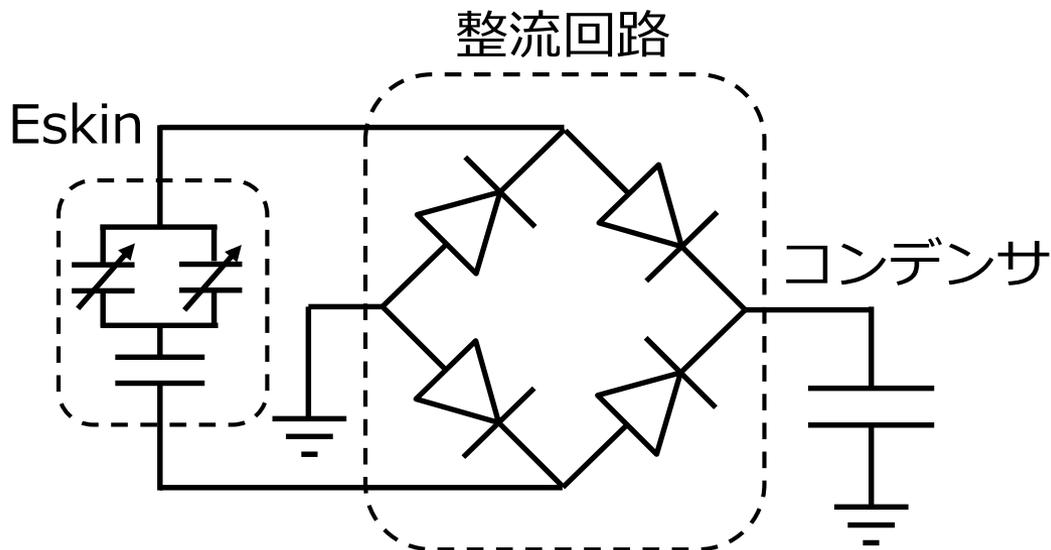
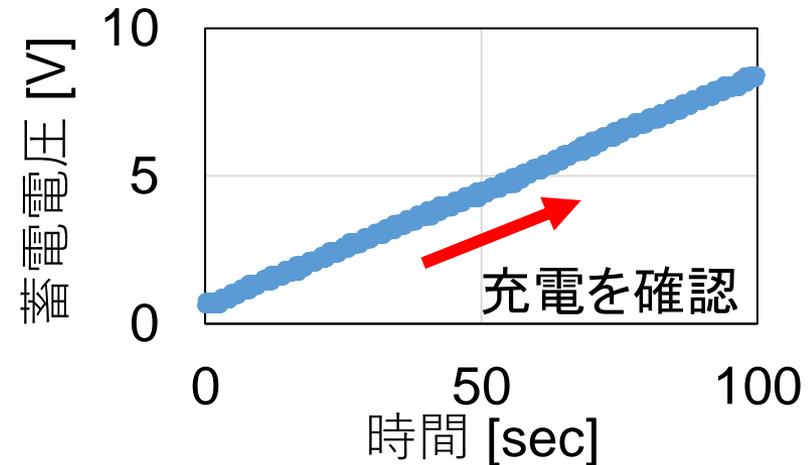
## 試作Eskin



### ①抵抗へ接続



### ②コンデンサ (0.1 μF) へ接続



# まとめ

## 本技術の概要・特徴

外部電源不要かつ接触位置検出，力検出が可能な  
フレキシブルなE-skinを開発

- 試作薄膜の性能評価  
→外部電源が不要かつ接触検知の実現
- 接触位置検出における手法提案と基礎的検討  
→1次元において位置検出が可能であることを実証

# まとめ

## 従来技術・競合技術との比較

圧電素子を使用した人工皮膚と比較し、柔軟性に優れ柔らかい素材や複雑な形状との親和性が高い。

静電容量式と異なり、人工皮膚に電圧を印加する必要が無く、配線や電源の低減が可能。

接触位置検出も可能なため、皮膚に貼り付け指でタップすれば、スマホ等への入力が可能な膜状タッチパッドとしても応用可能。

# まとめ

## 想定される用途

- ・ロボット用電子スキン
- ・人工皮膚
- ・膜状タッチパッド
- ・そのほか、マウスガード内のような複雑形状かつ極限スペースでの接触センシングや環境発電

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 薄膜人工皮膚
- 出願番号 : 特願2020-087970
  - 出願人 : 東京工業大学
- 発明者 : 土方亘、松本爽

# お問い合わせ先

**東京工業大学  
研究・産学連携本部**

**TEL 03-5734-3817**

**FAX 03-5734-2482**

**e-mail [sangaku@sangaku.titech.ac.jp](mailto:sangaku@sangaku.titech.ac.jp)**