

# 薄くしなやかで皮膚にも貼れる 力覚(圧力とせん断)センサ

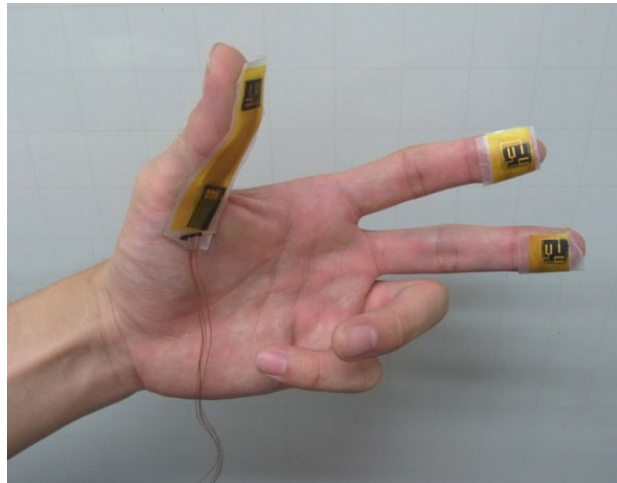
弘前大学 大学院理工学研究科  
教授 笹川 和彦

2024年3月14日

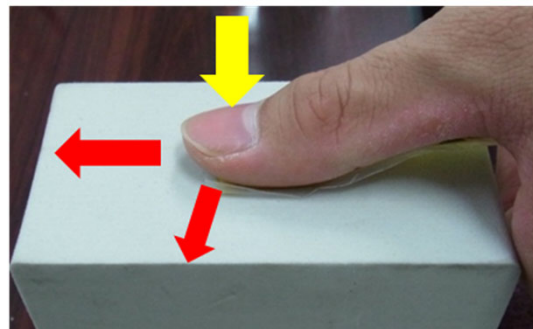
# 従来技術とその問題点

## これまで開発したセンサ

指先に接着できるくらい薄くて(150ミクロン以下)しなやかなのに、接触圧力とずり応力を測定可能な3軸力覚センサを開発している。一般的に3軸応力センサは、固くて厚い形状をしているため、極めて独創的。



接触圧力(圧覚)

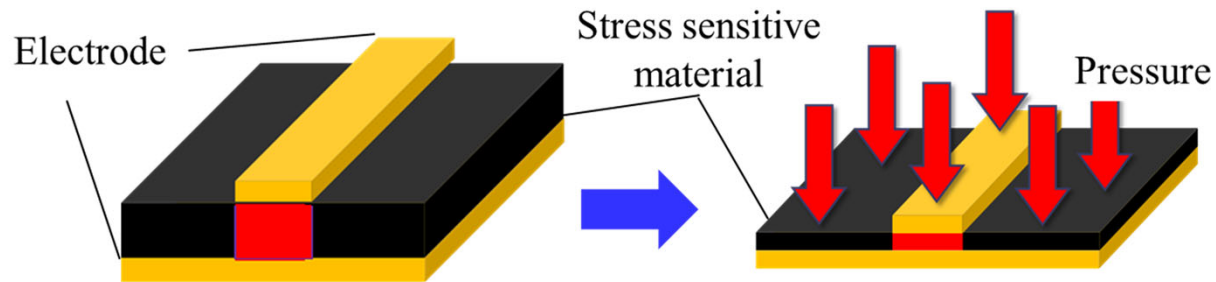


ずり応力  
(すべり覚)

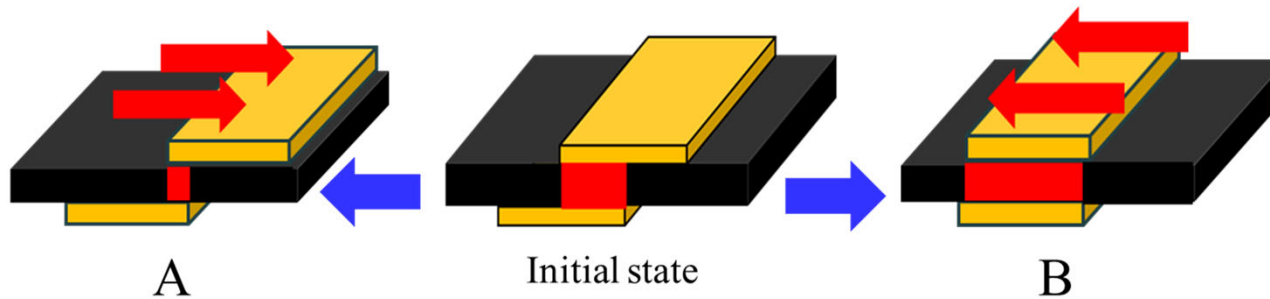


# 測定原理

- 感圧導電性の感受層を挟んで上下電極を配置
- 接触圧力やずり応力(せん断応力)が作用したときの電極の変位による上下電極間の電気抵抗変化を計測

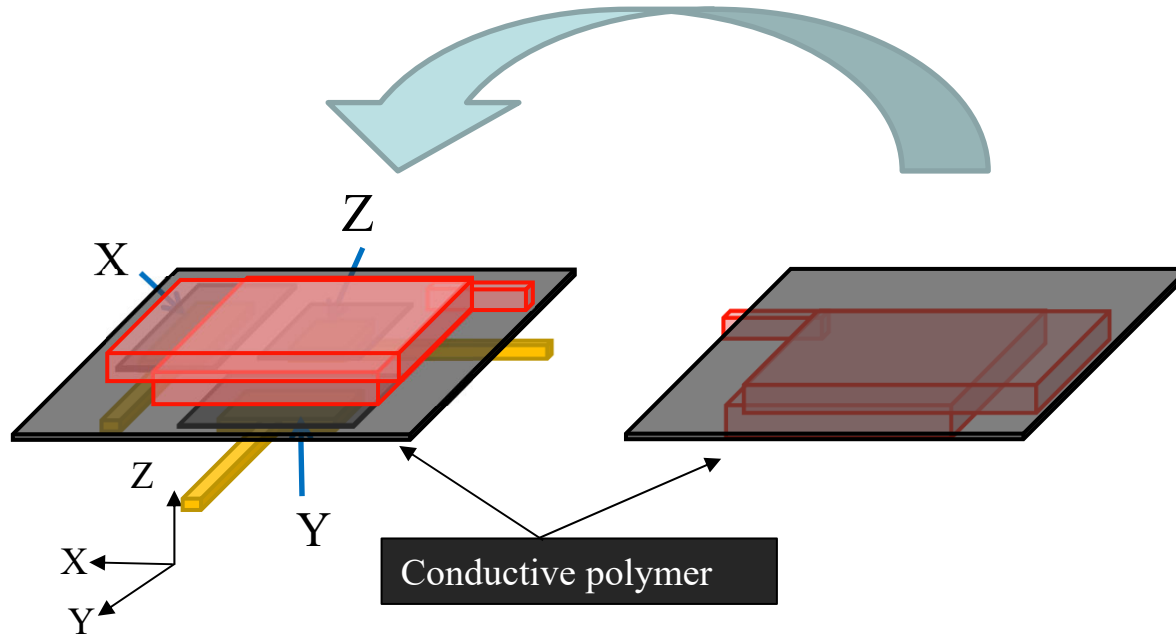


Mechanism of contact pressure measurement

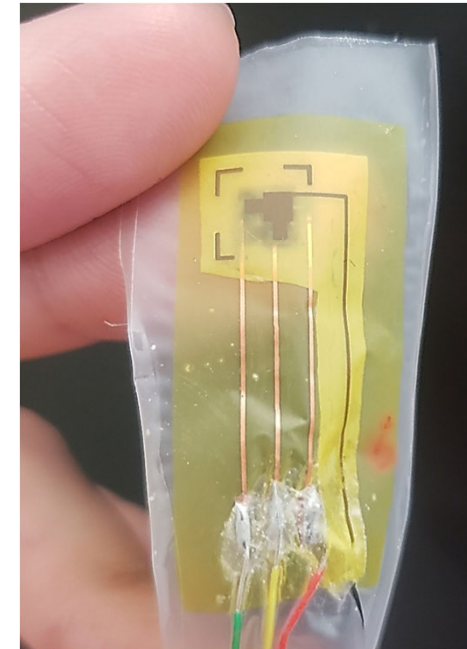


Mechanism of shear stress measurement

# 貼合型センサ作製工程



Procedure of the sensor fabrication



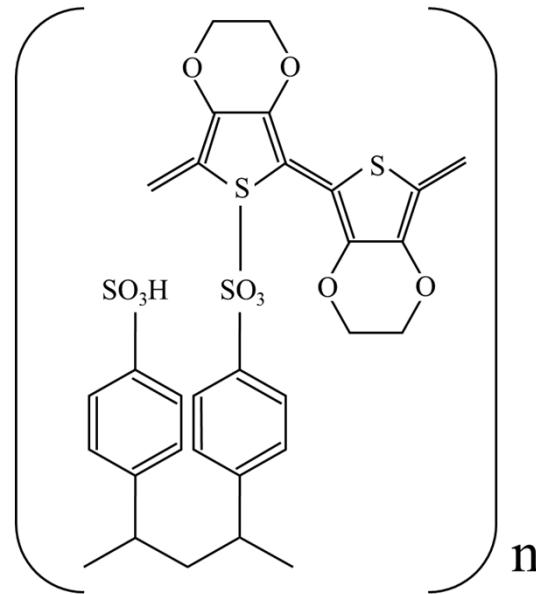
Fabricated sensor

1. 銅張ポリイミドフィルムにウェットエッチング処理により上下電極形成
2. 上下電極にPEDOT、カーボンインクをスクリーン印刷で塗布
3. 上下電極を重ね合わせ、ポリウレタンフィルムで封止  
(手作り)



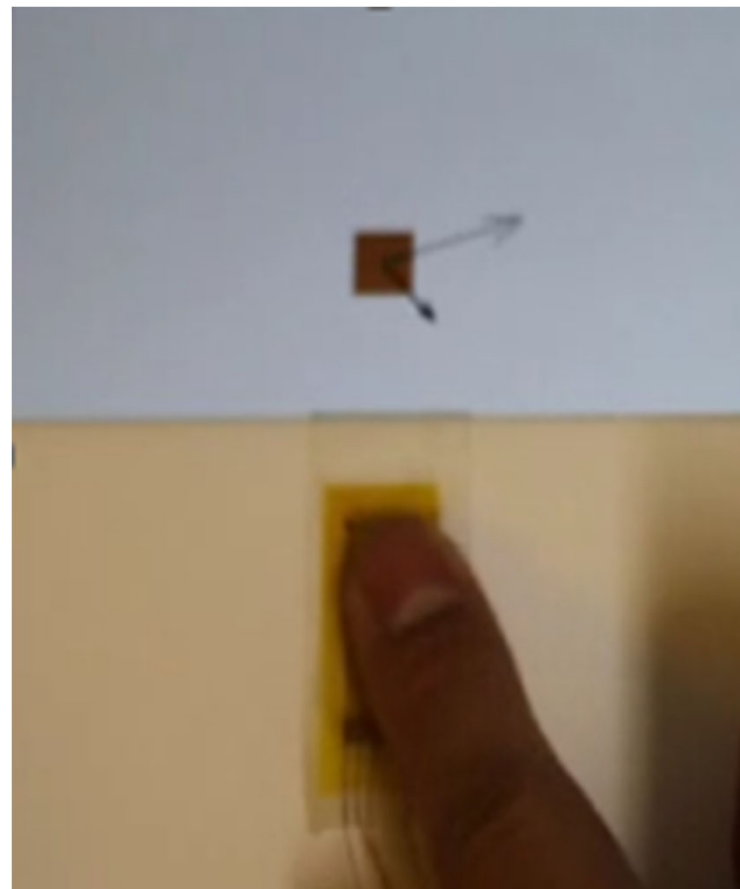
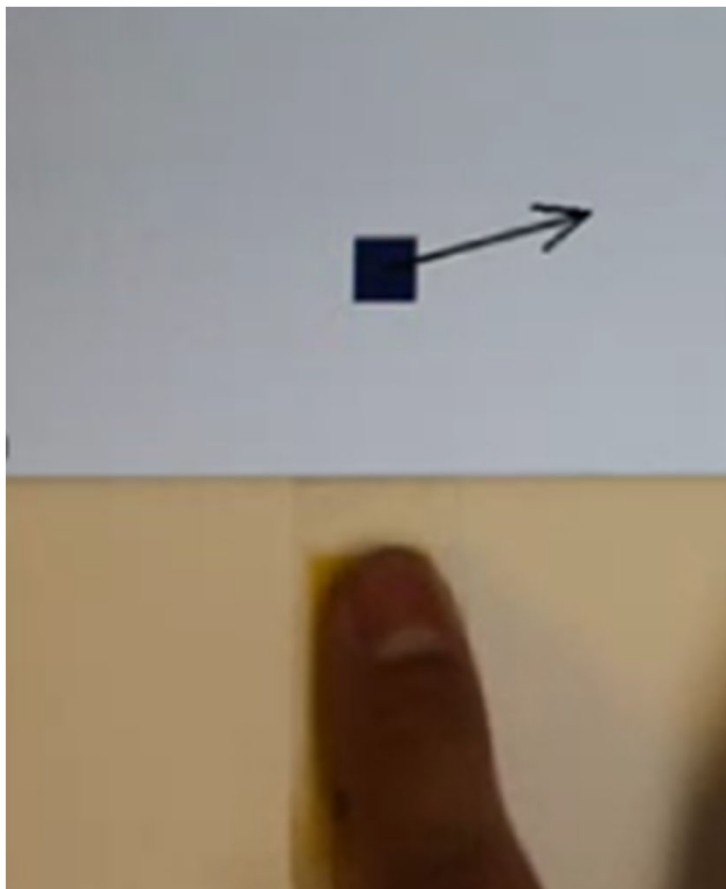
# 参考：感圧素子

- 感圧素子：導電性高分子（PEDOT / PSS）（Orgacon EL-P 3040, Agfa-Material）
- 特性：圧力が加わると、電気抵抗が減少（2）

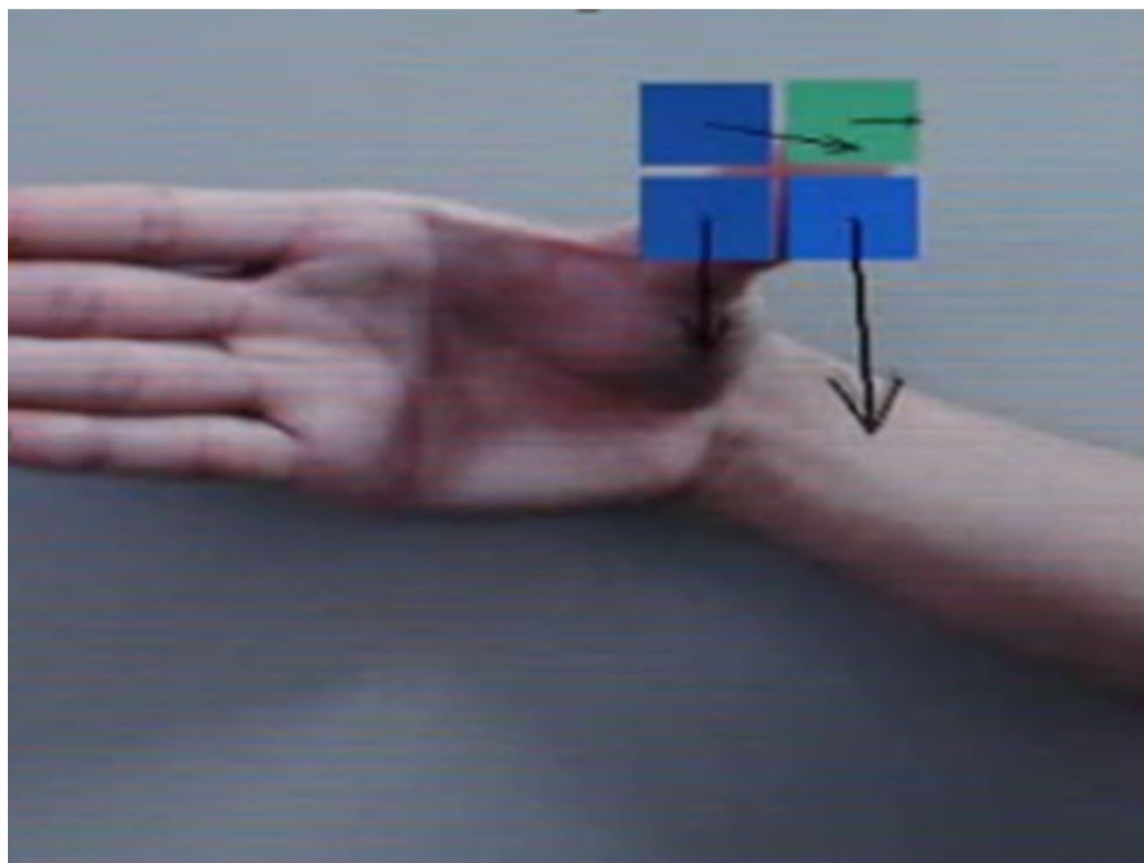


Structural formula of a PEDOT / PSS

## 指先の力覚計測(よこなぞり)



## 指先の力覚計測(ボトルの把持)



## 従来技術とその問題点

既に実用化されているセンサは、上下電極を貼り合わせる構造のフィルムセンサであるが、貼り合わせ構造に起因した。

- ・低応力域での不安定性(高感度化)
  - ・小型高集積化(空間分解能)の限界
- 等の問題があり、広く市販化されるまでには至っていない。

そこで、

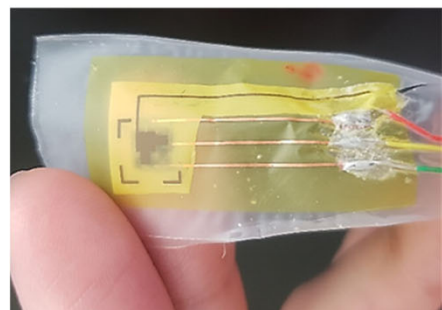
新技術1 積層型3軸応力センサ

新技術2 小型高集積化に向けた  
分布計測センサシステム

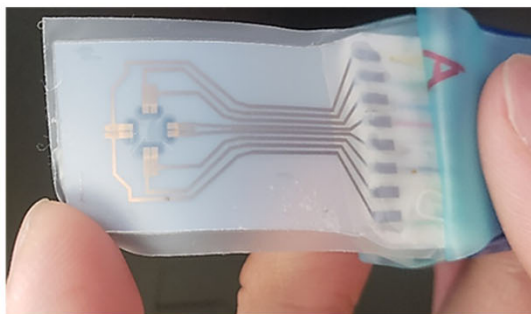
を開発したので、紹介する。

# 新技術1 積層型センサ

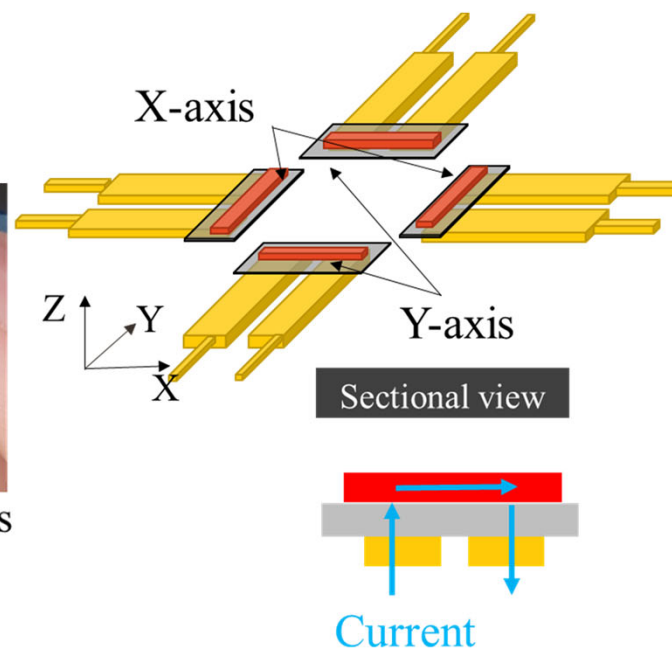
- 従来の上下電極貼り合せ構造から、積層化した2つのセンサ素子を対に配した構造にした。これにより、上部電極リードをなくし、高空間分解能化と高感度が期待できるセンサ構造を実現した。



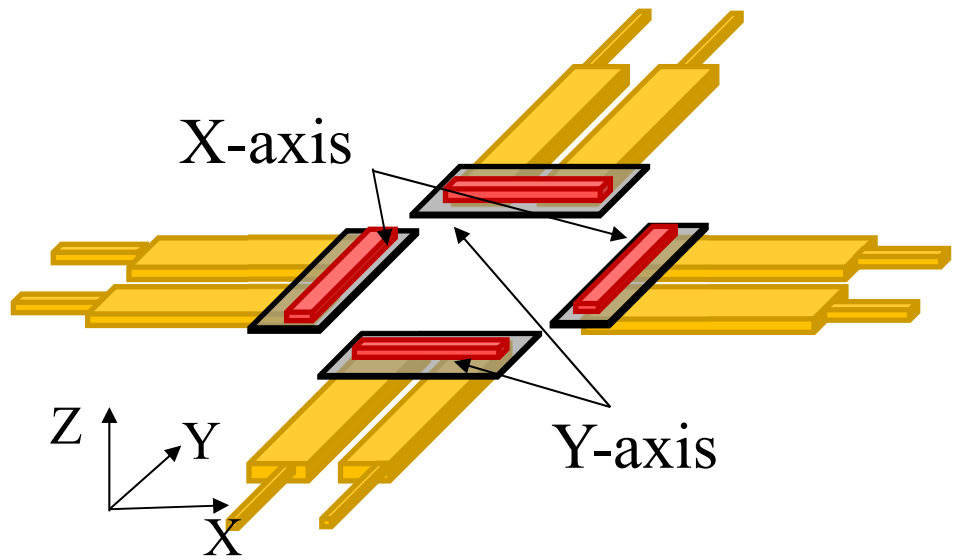
(a) Conventional type  
(従来型)



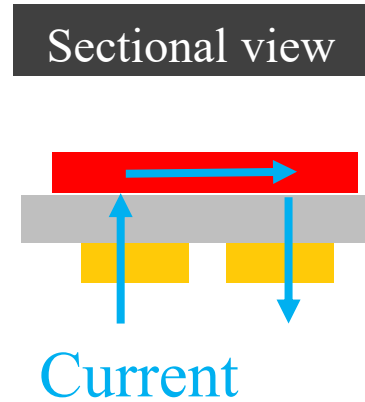
(b) Laminating fabricated process



# 積層型センサ製造工程



Procedure of the sensor fabrication

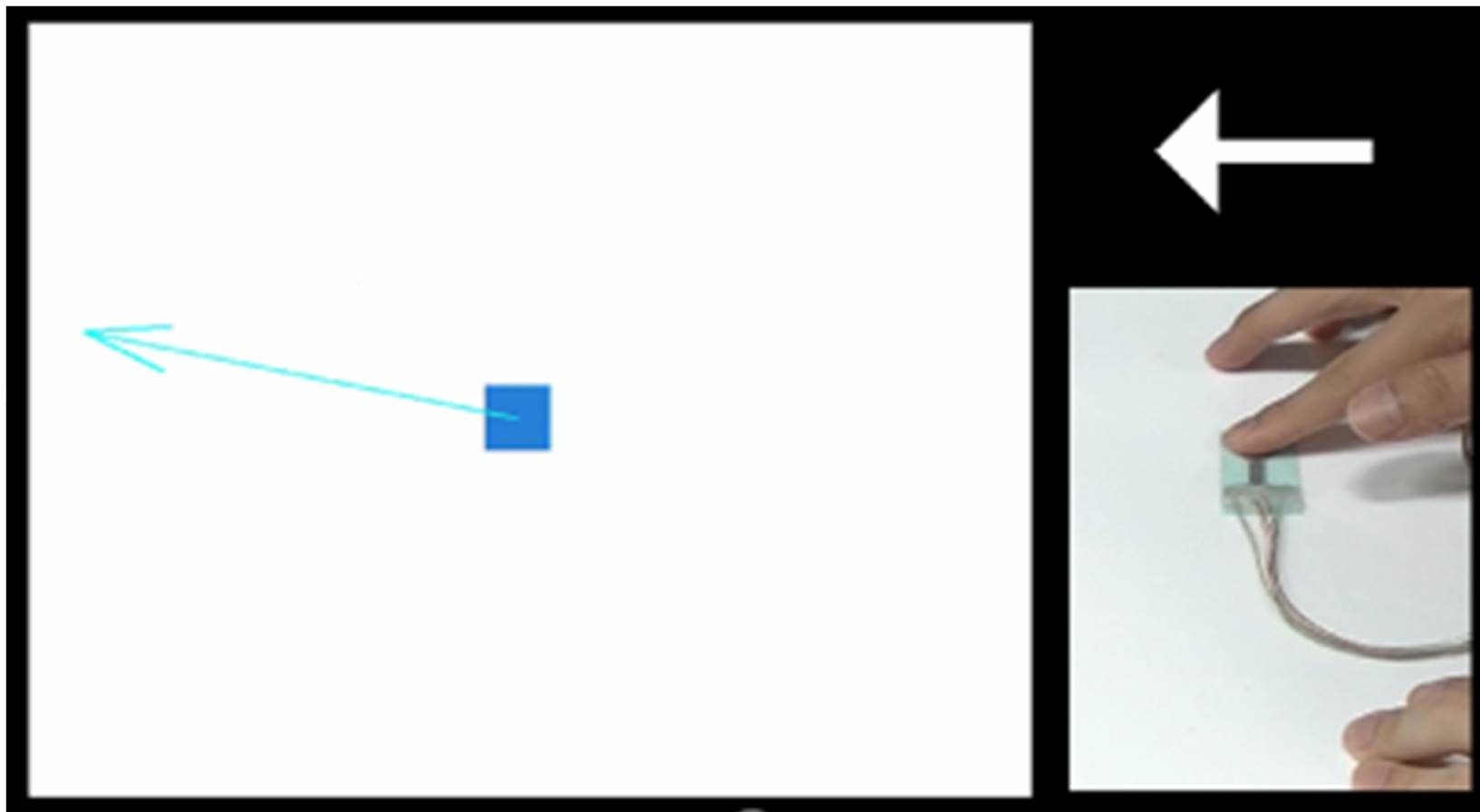


Fabricated sensor

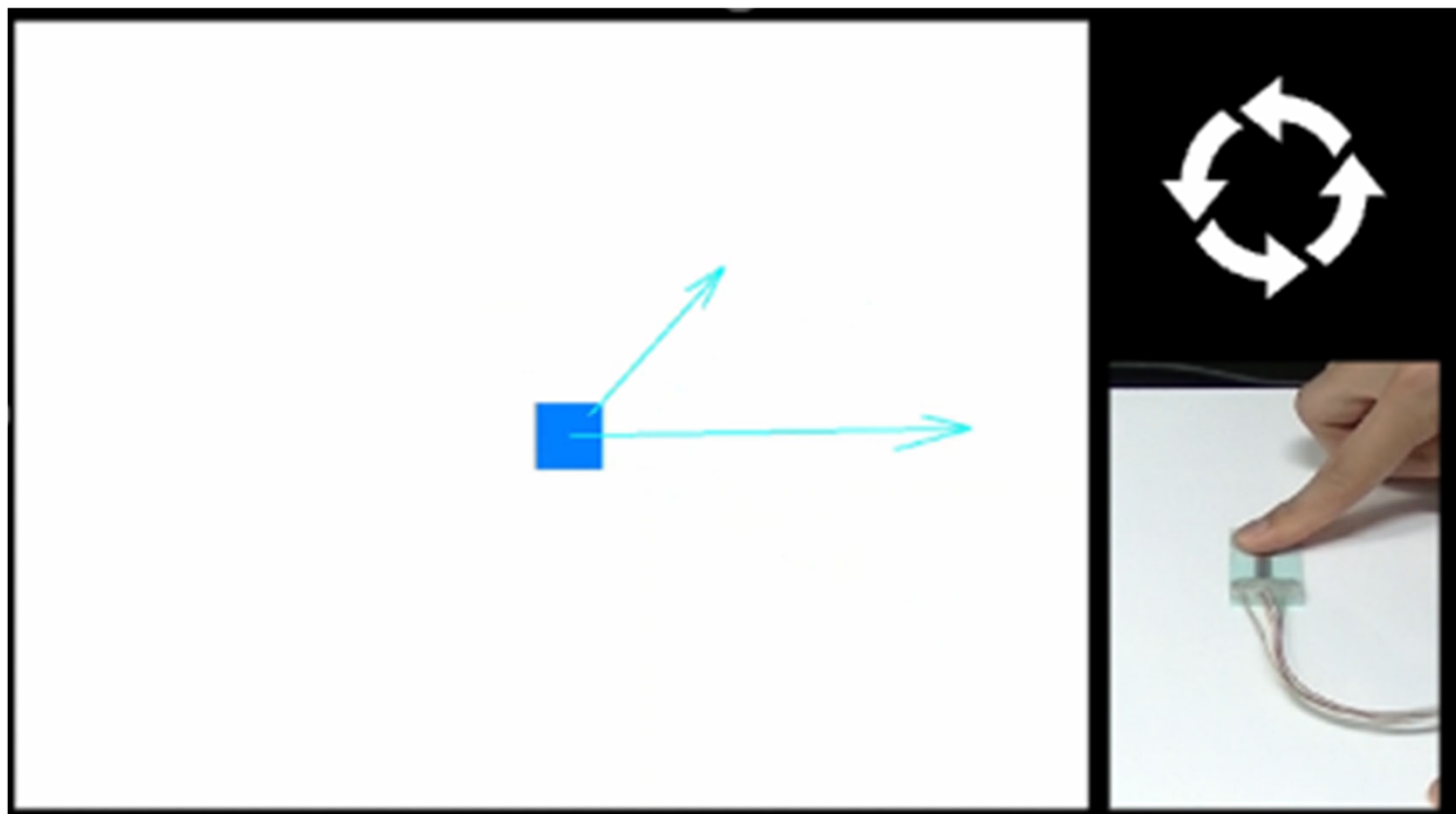
1. インクジェットプリンタとAgインクを用いて下部電極印刷 (焼成:  $120^{\circ}\text{C} \times 60\text{min}$ )
2. 下部電極上にPEDOTをスクリーン印刷法により10層塗布 (焼成:  $120^{\circ}\text{C} \times 60\text{min}$ )
3. Agインクを用いて, PEDOT表面上に上部電極印刷
4. ポリウレタンフィルムで封止



# 新技術1 積層型センサ

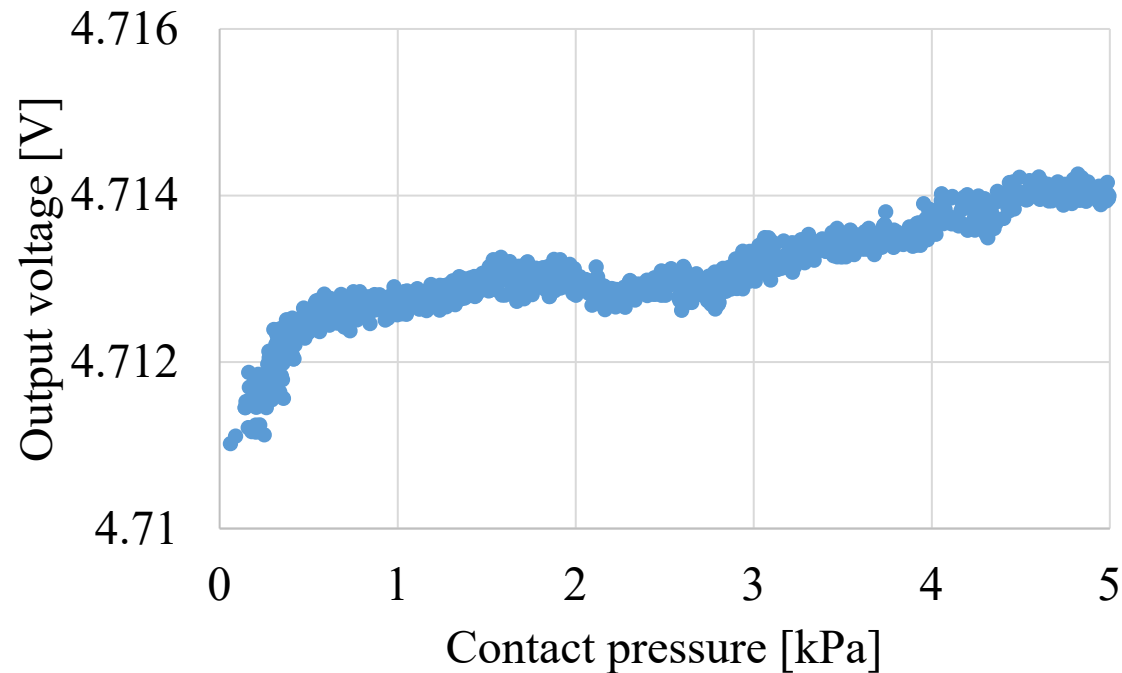


# 新技術1 積層型センサ



# 積層型センサの較正結果

Contact pressure 接触圧力



(a) Relationship between output voltage and contact pressure

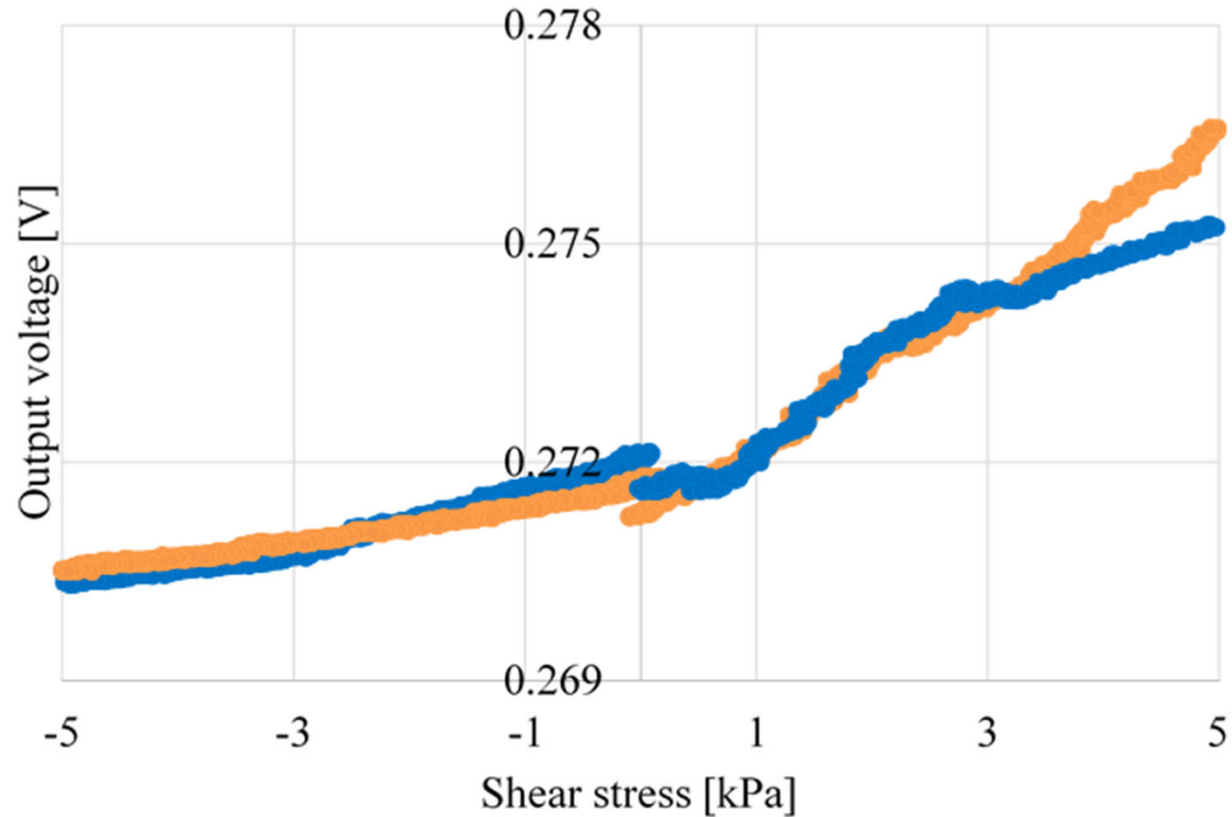
接触圧力が増加→電圧が上昇



「応力と電圧の関係」の近似式を求め、  
センサ出力電圧から応力を導出可能

# 本発明型センサの較正結果

Shear stress   せん断応力



— Constant Pre. : 2kPa

— Constant Pre. : 4kPa

1kPa (10gf/cm<sup>2</sup>)以下の低応力域も高精度で計測できる

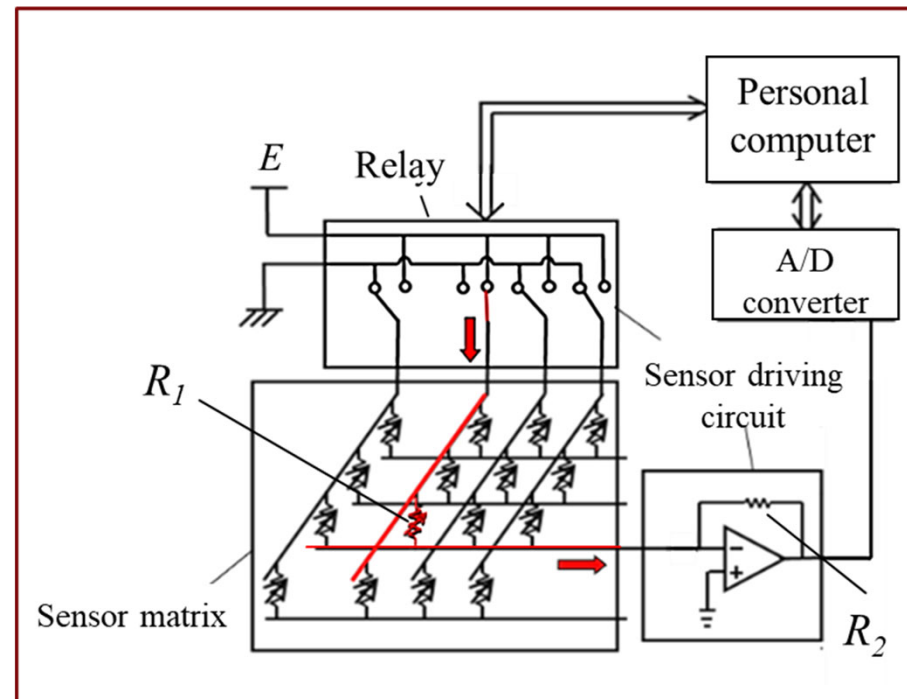
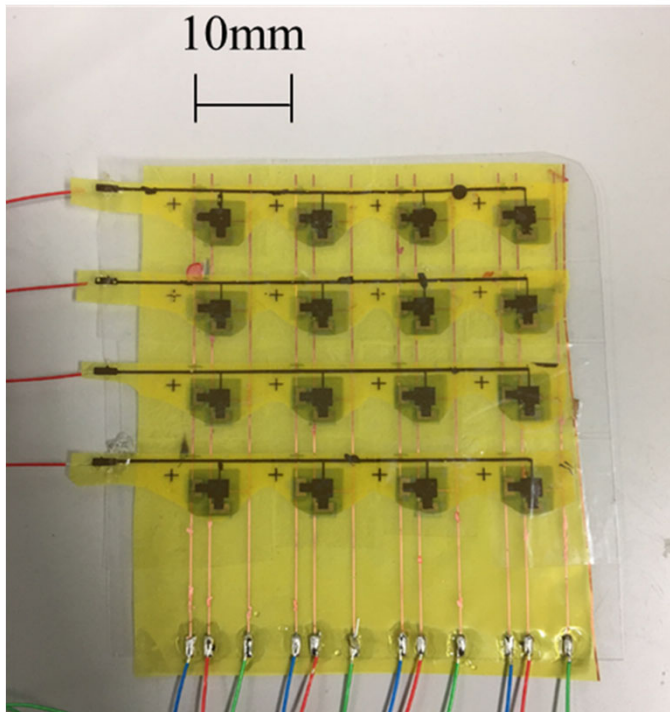
# 新技術の特徴・従来技術との比較(1)

- ・ 従来技術の問題点であった、**低応力域での不安定性**を**積層構造**とすることにより改善することに成功した。
- ・ 従来では不安定性が見られた、1KPa (10gf/cm<sup>2</sup>)以下の**低応力域も高精度**で計測できる。
- ・ 積層構造のため、印刷技術、フォトリソグラフィ技術により、mサイズの**小型高集積化が可能**となった。

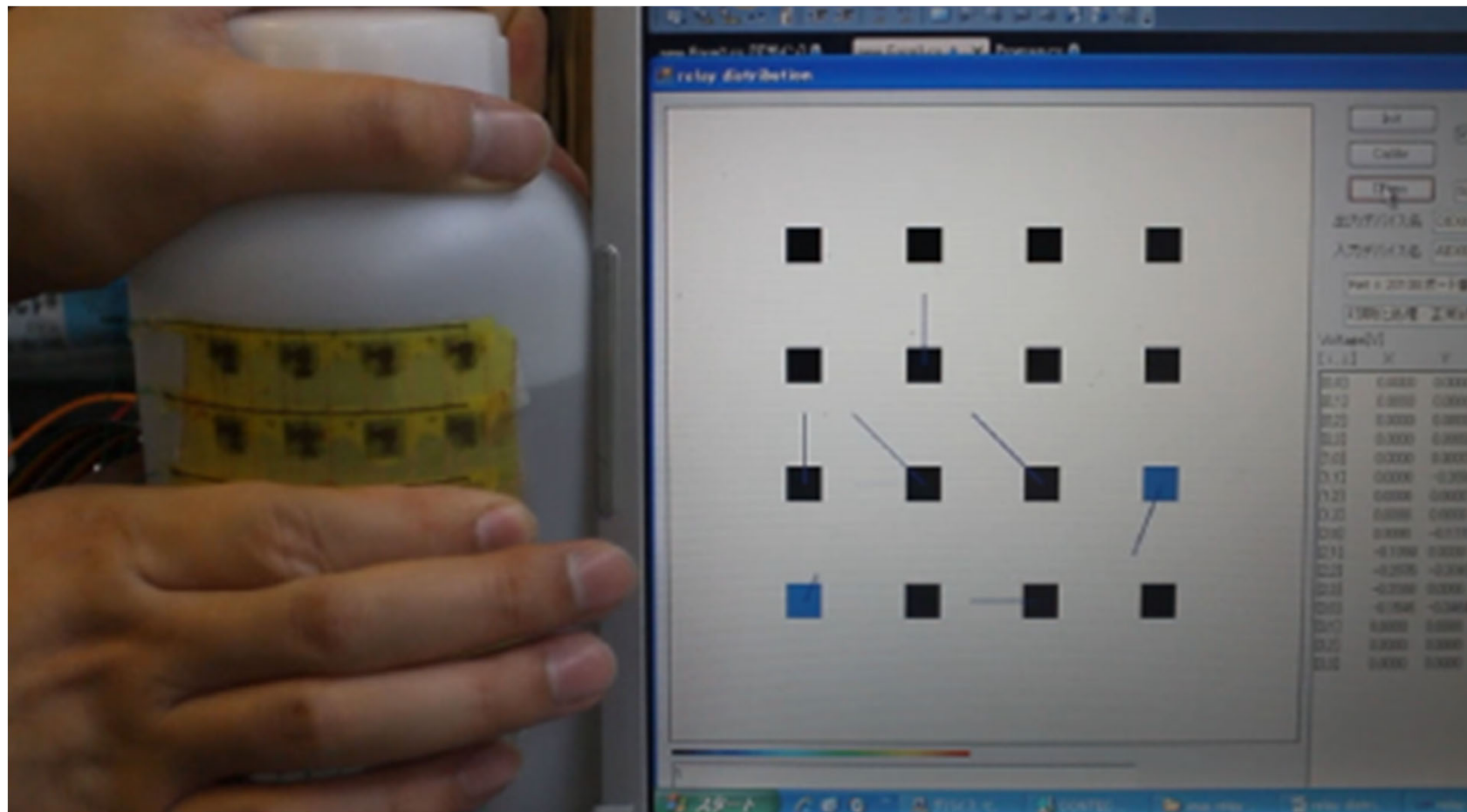
# 新技術2 高集積化に向けた 分布計測センサシステム

- 従来の貼合型センサをマトリクス状に多数配置して、**測定ポイント**を**順次走査**できる構造の**センサ**とその**駆動回路**を開発し、高集積化が期待できるシステムを実現した。

リレー制御により順次測定



# 新技術2 高集積化に向けた 分布計測センサシステム





## 新技術の特徴・従来技術との比較(2)

- ・ 応力分布の測定のために、多数の従来型センサを配置すると、多くのリード線の取り回しが必要で、そのために広い面積をとることが問題であった。
- ・ 配線を共通化したセンサ構造とし、その駆動回路を開発することにより、従来型センサをマトリクス状に4個×4個配置した、3軸応力の分布センサを実現した。
- ・ 小型高集積化のための基礎技術が確立した。

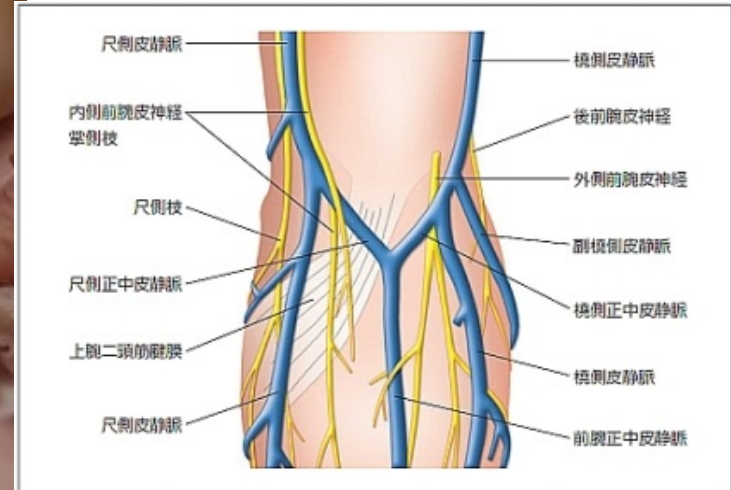
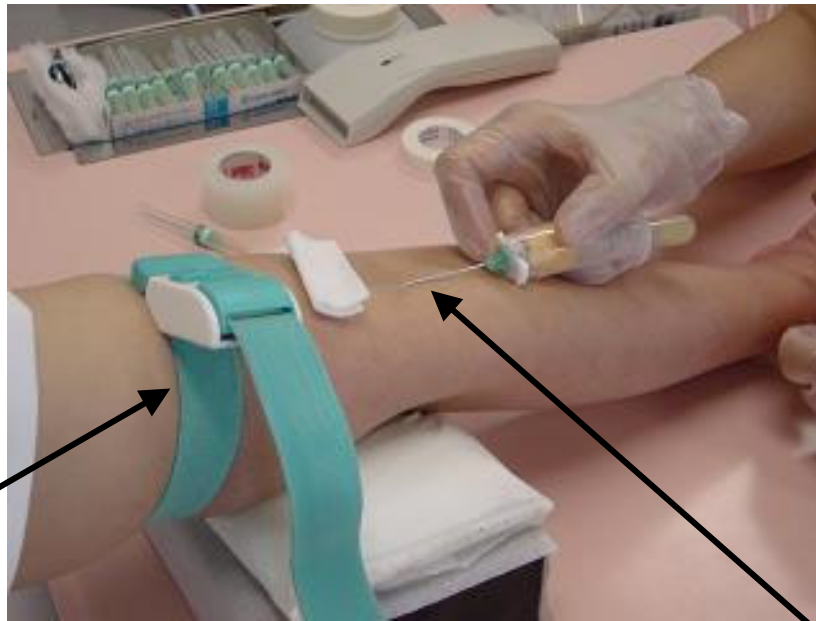
# 想定される用途

- ・ 医療・スポーツ・工芸などの**熟練技**における手応えの**可視化と伝承**。
- ・ タッチパネル、デジタルペンやキーボード、電子楽器などの**電子機器の入力インターフェース**。自動車など**機械操作の触覚インターフェース**。
- ・ リハビリ・介護福祉分野などでの**モニタリング**（例：義足などの装着状態）
- ・ **力覚提示装置のフィードバック**への利用。力覚をモニタリングし、フィードバックする。

# 応用例1 採血の穿刺手技

## 【採血検査の課題】

個々人の血管の状態(細い太い、皮下深い浅い)を把握して、採血針の挿入事故、感染症に配慮しながら、大量の血液検体を素早く採取 ⇒ **熟練技**



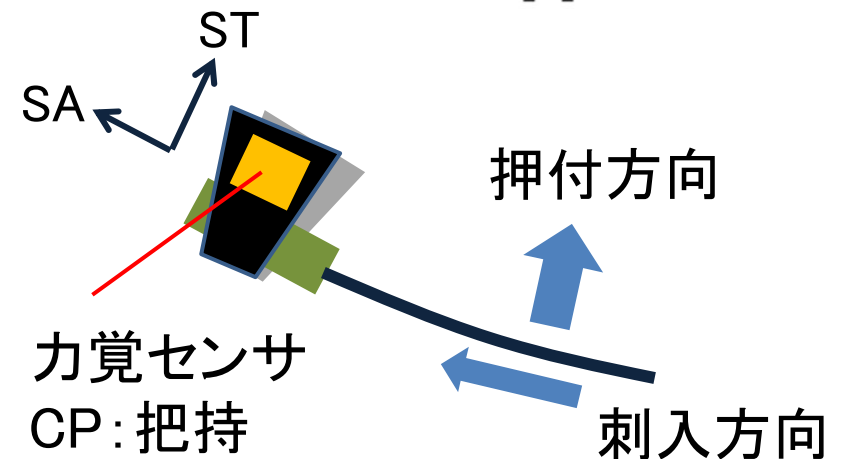
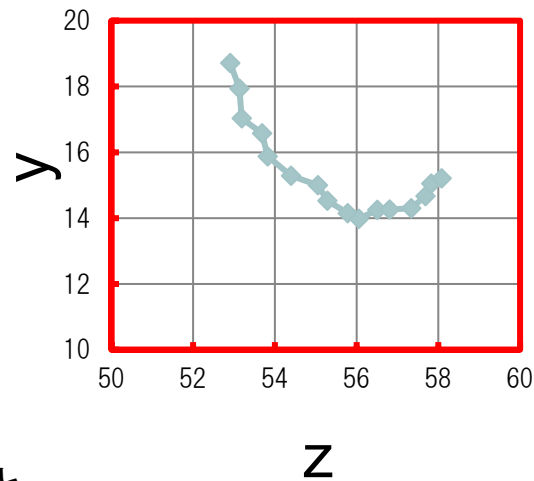
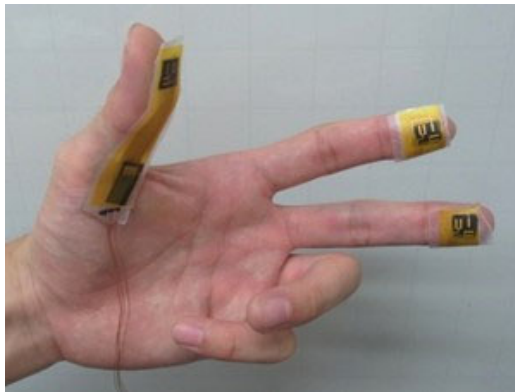
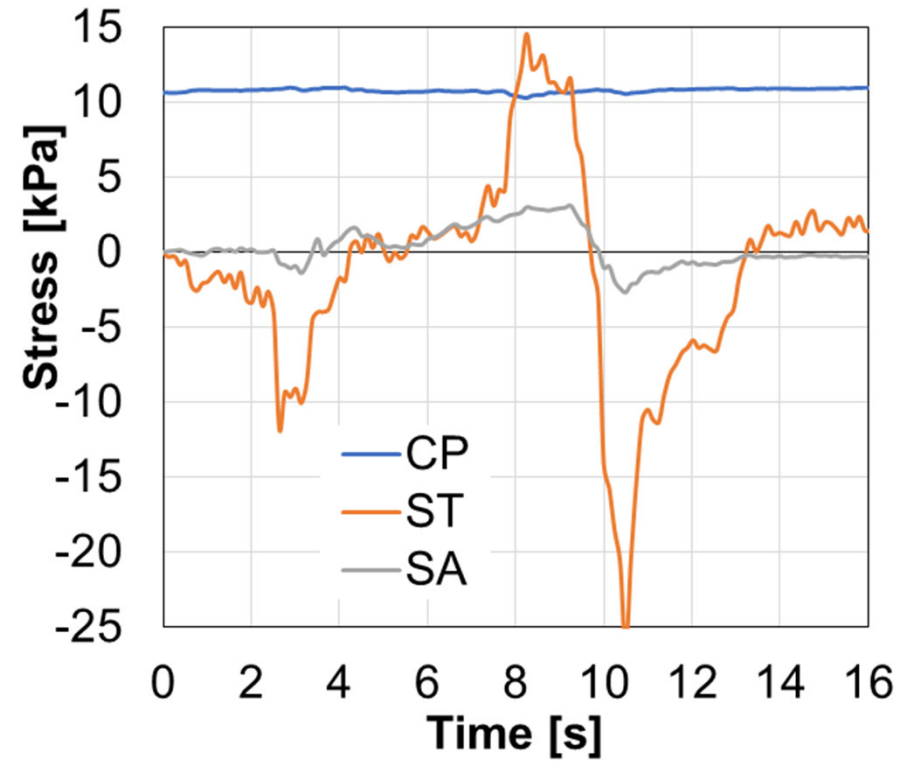
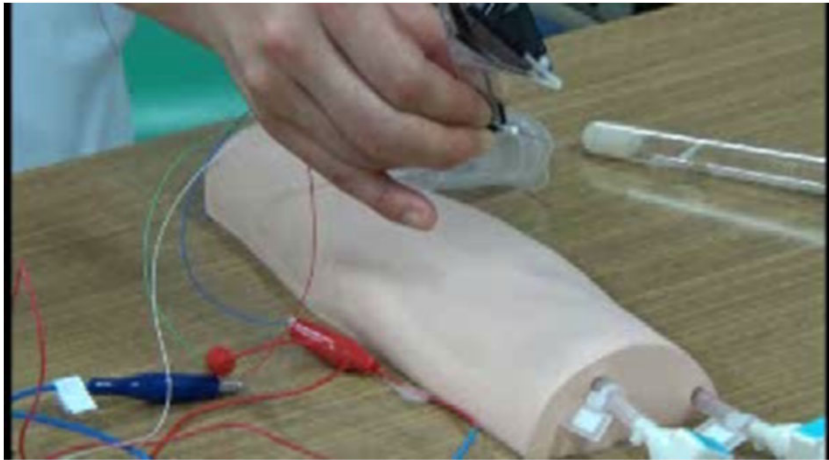
### 駆血帯

- ・ 静脈(表層)を押さえ動脈(深層)を拘束しない適度な締め力

### 採血針

- ・ 弾力のある皮膚、血管外壁貫通確認
- ・ 痛くない針の挿入

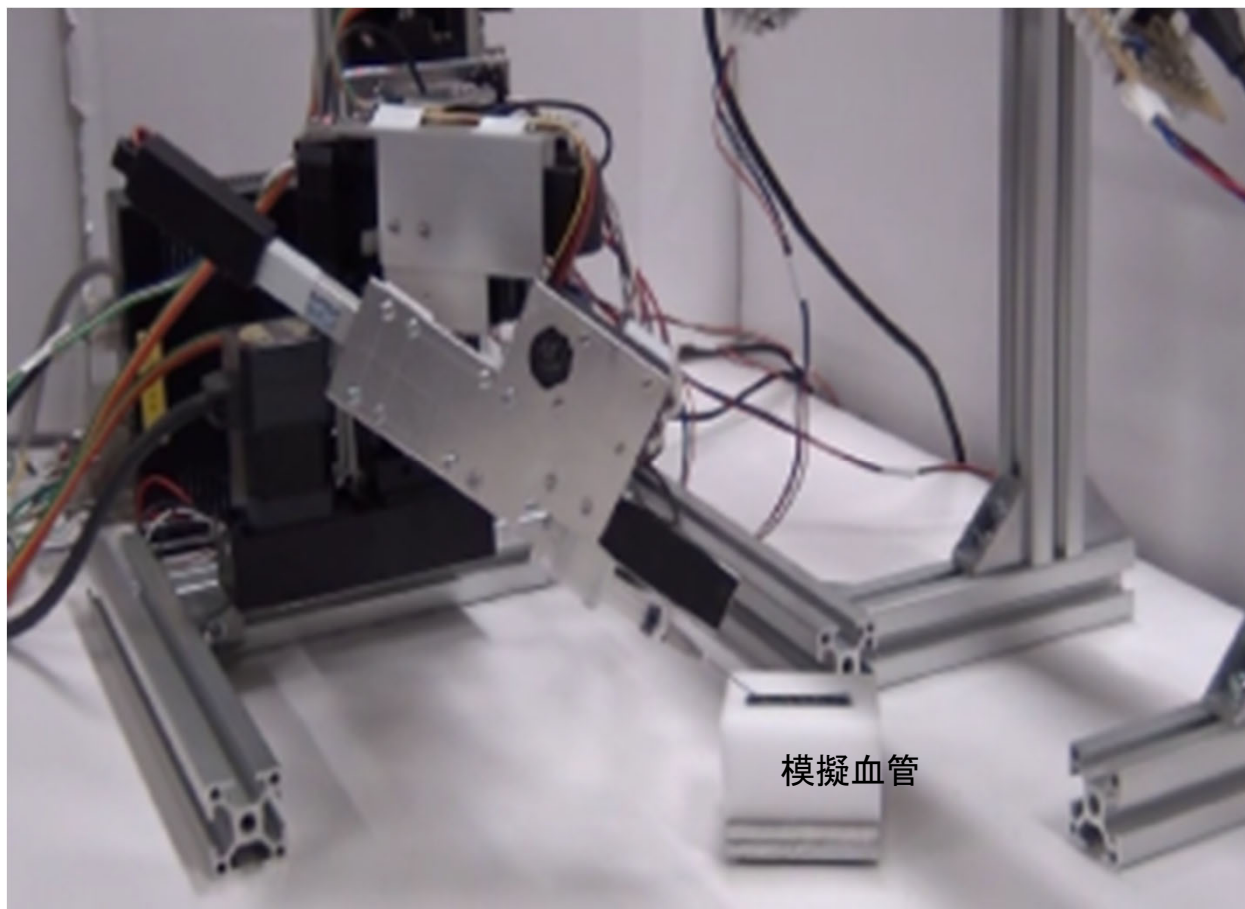
# 穿刺機構制御(熟練手技の獲得)



3軸触覚センサ(特許取得済)と  
モーショキャプチャによる計測

指先の力覚と運動軌跡による採血手技の可視化成功→熟練手技の特徴抽出

## プロトタイプによる模擬血管への穿刺実験

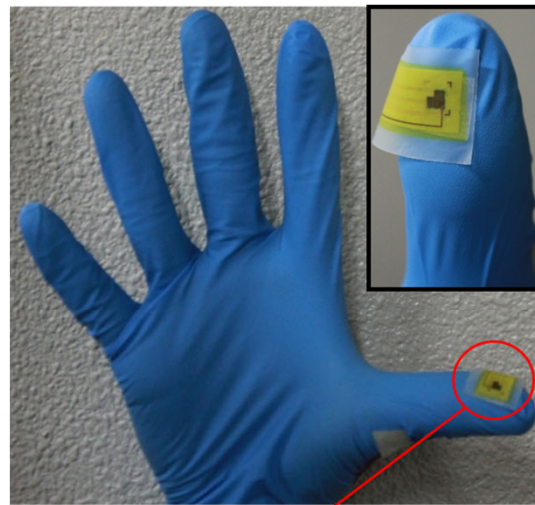


模擬血管の位置計測から穿刺まで10数秒で実現

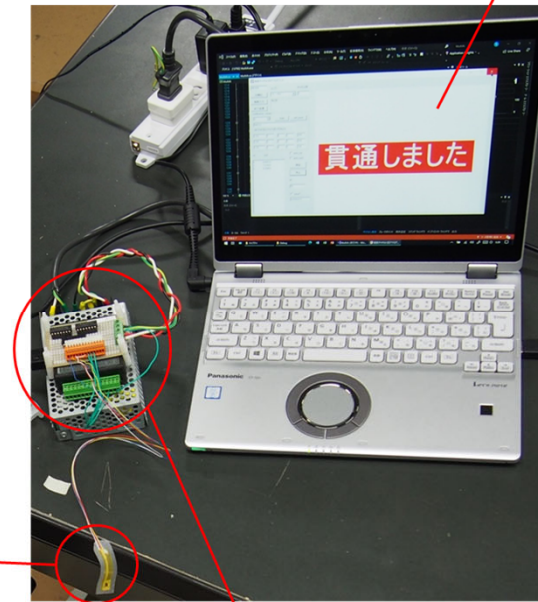


## 応用例2 採血検査用穿刺支援システム

採血検査のときに採血針の血管への刺入には熟練技が必要。指先の手応え感から血管への貫通を判定し、穿刺業務を支援するシステムを開発しました。



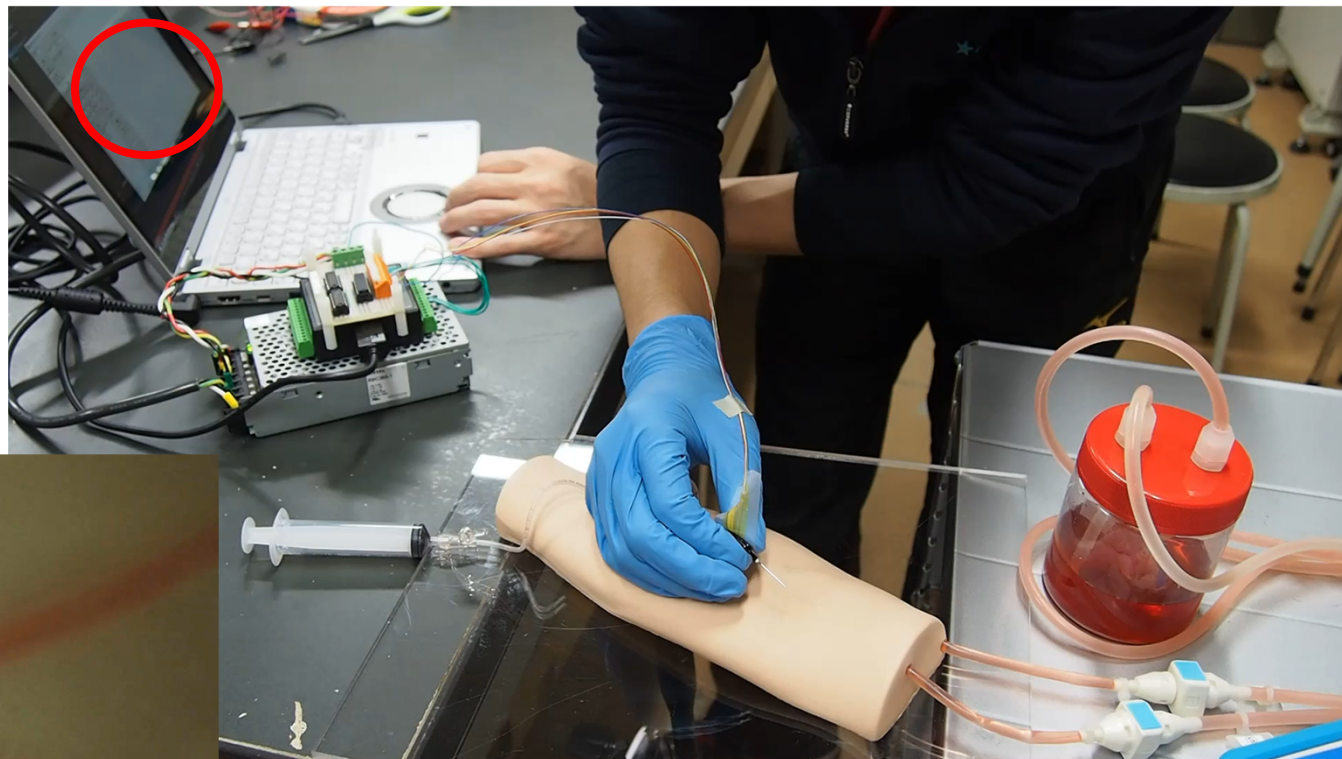
力覚センサ



専用ソフトウェア

測定回路 + ADコンバータ

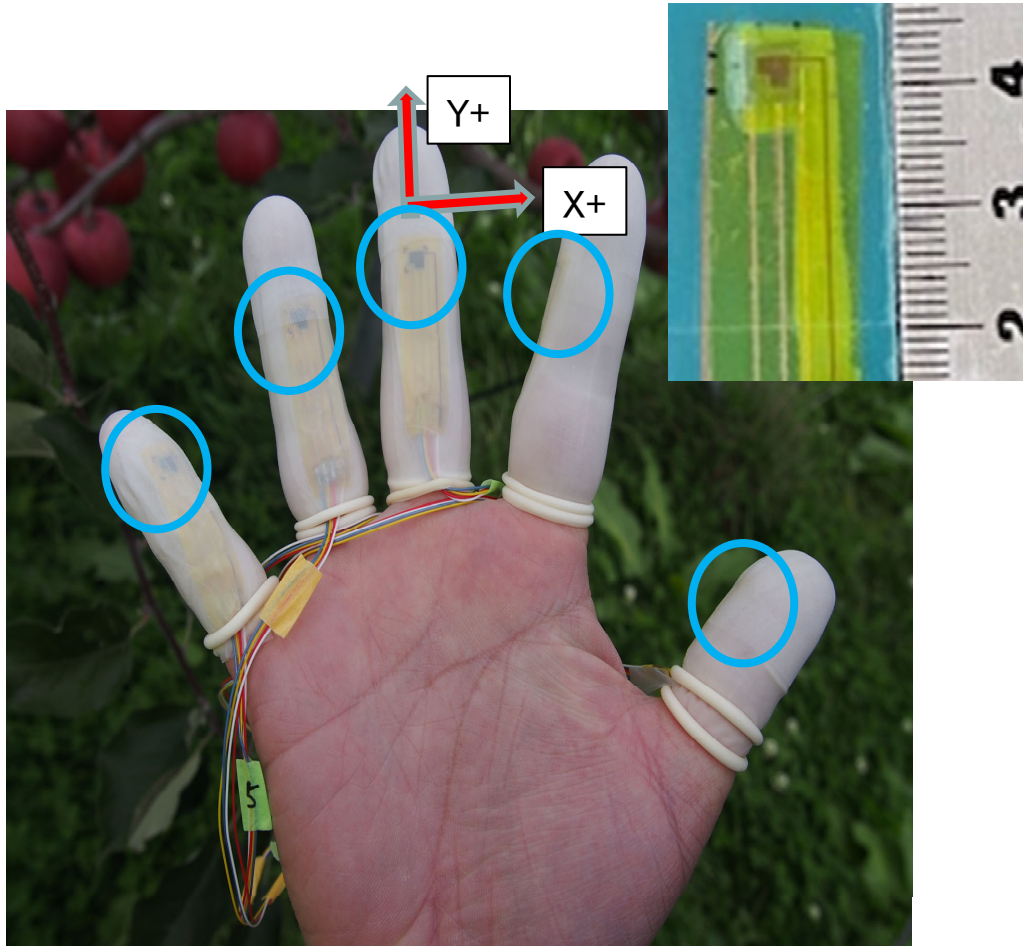
# 応用例2 採血検査用穿刺支援システム





# 応用例3 りんご収穫時の触覚計測

専用触覚センサ



センサ装着時の手の全体像



磁気モーションセンサ



測定装置装着時

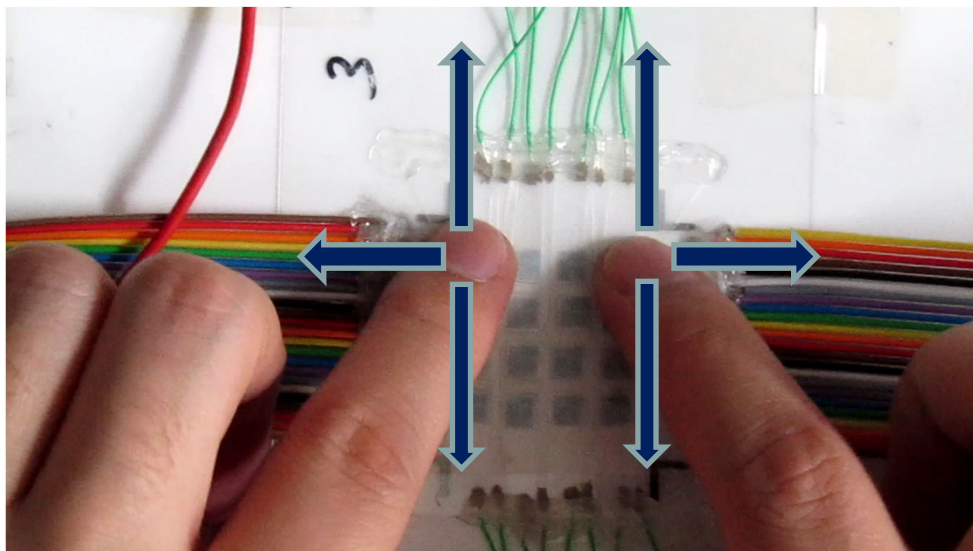


- 場所：弘前大学附属藤崎農場
- 熟練者による収穫
- データの測定は160Hzで3秒間

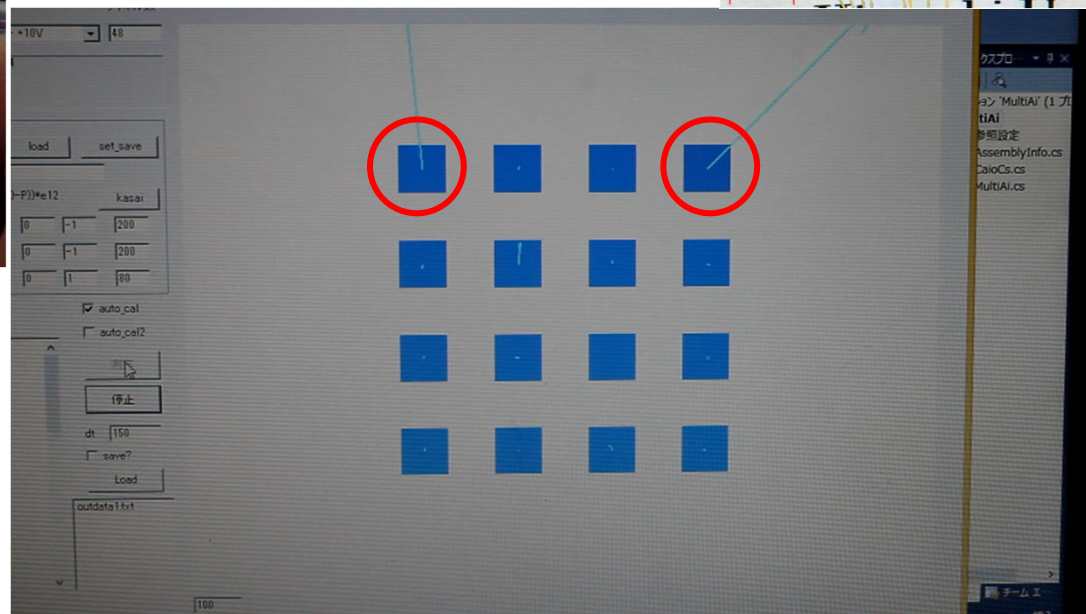
## 測定実験



# 応用例4 高機能なタッチパネル



透明な材料で分布  
センサを作製





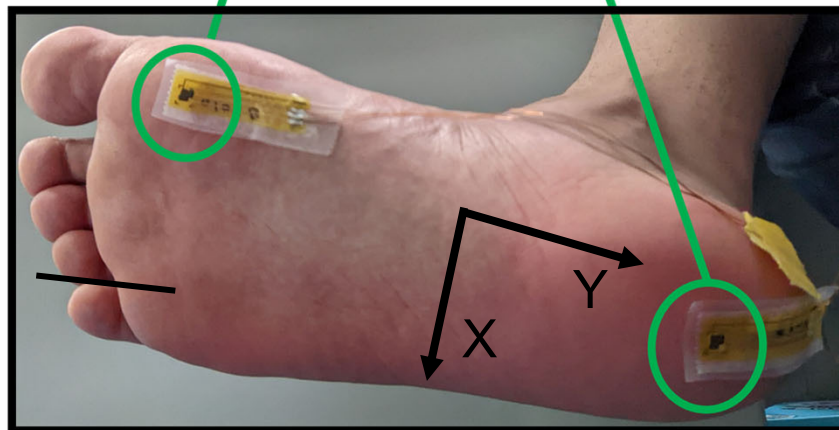
## 応用例5 ウェアラブル足底応力計測

- 右足の母趾球部と踵部にセンサを接着し、靴下と靴を着用  
→ウェアラブル装置に接続し、歩行時の足底応力を計測する
- 右足3歩分の歩行
- 計測の様子を動画撮影し、データの時間同期を行う

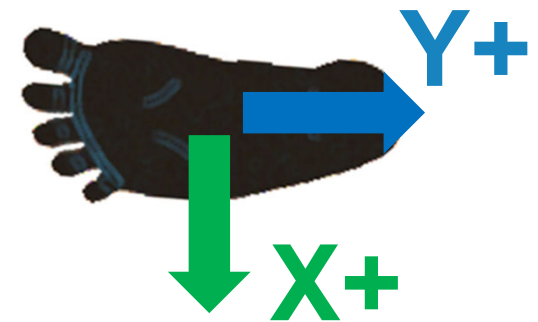


Wearable measurement device

Sensor 1 Sensor 2

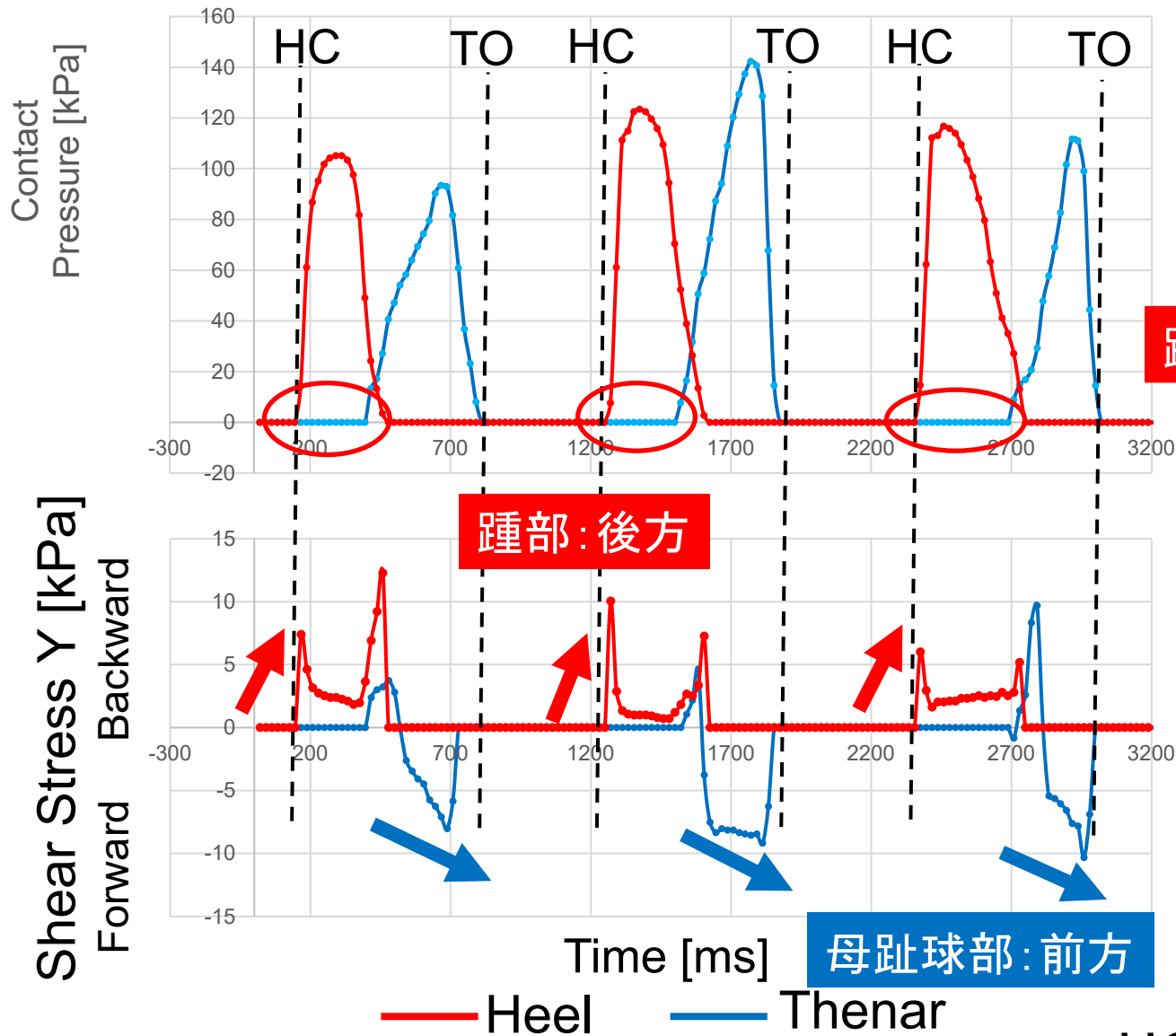


Measurement point



Direction of shear stress  
acting on the skin

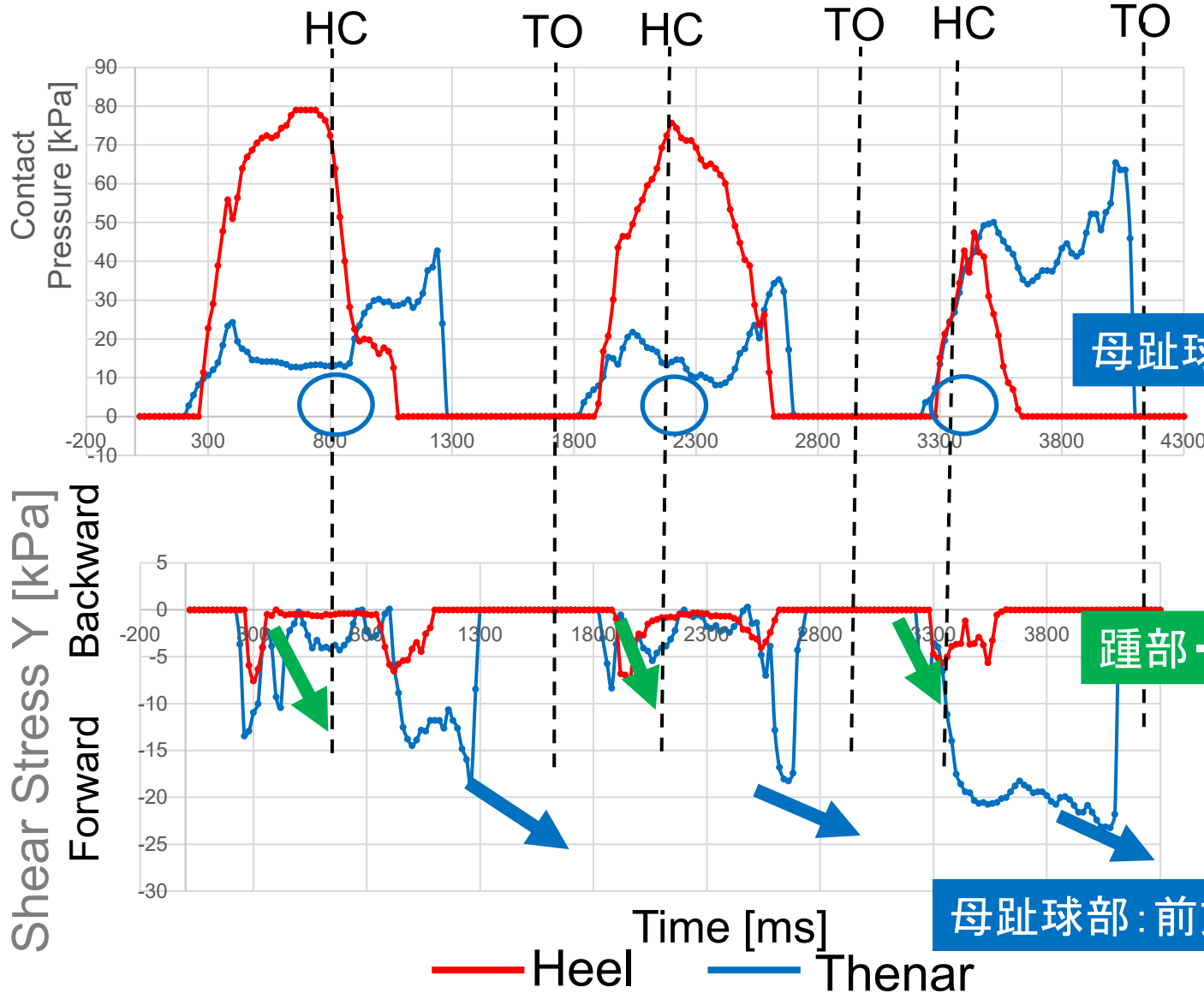
# 結果～室内歩行実験(ウェアラブル装置)～



Stress charge during walk within doors

HC: 踵接地 TO: つま先離床

# 結果～積雪道歩行実験～



Stress charge during walk on snowy roads

# 実用化に向けた課題

- ・ 現在、センサの基本構造の有効性は検証済み。  
大量生産化を見据えた、さらなる小型高集積化、精度の均一化が課題である。
- ・ 今後、感圧材料と有効な測定範囲についての関連性を明らかにし、対象測定応力値に対する材料選定とセンサ構造の関連づけを行う。
- ・ 積層型センサをマトリクス状に配置し、逐次走査する分布計測用のセンサ構造について出願準備中。



## 企業への期待

- ・ 大量生産を見据えた**小型高集積化**や**精度の均一化**については、印刷やフトリソグラフィ技術により克服できると考えている。
- ・ **微細加工の技術**を持つ、企業との共同研究を希望。
- ・ 力覚に基づく**熟練技の伝承、トレーニング**などの支援装置を開発中の企業。
- ・ **医療・健康福祉、スポーツ分野**などで**肌ざわりや力覚の評価とそれに基づく製品開発**を考えている企業には、本技術の導入が有効。

## 本技術に関する知的財産権

- ・ 発明の名称 : 分布測定センサ, 分布測定センサシステム, 分布測定プログラムおよび記録媒体
- ・ 特許番号 : 特許第6753615号,  
US10,859,449
- ・ 出願人 : 弘前大学
- ・ 発明者 : 笹川 和彦

## 本技術に関する知的財産権

- ・ 発明の名称 : 触覚センサ素子、触覚センサ、3軸触覚センサおよび触覚センサ素子の製造方法
- ・ 出願番号 : 特願2021-542821
- ・ 出願人 : 弘前大学
- ・ 発明者 : 笹川 和彦

# 産学連携の経歴

これまで、

- ・ センサの製造に関する共同研究
- ・ センサの利用に関する共同研究

について複数の企業様と実施の経験を有する。

# お問い合わせ先

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(URA):

工藤 重光、清水 武史、平井貴人、山科 則之  
白井 隆之、渡部 雄太(東京事務所在籍 2名)

産学官連携コーディネーター:三上 夫美加

TEL 0172-39-3176

FAX 0172-39-3921

e-mail [ura@hirosaki-u.ac.jp](mailto:ura@hirosaki-u.ac.jp)