

センサ工学  
圧電センサとその応用

ロボティクス学科 平井 慎一

センシング量とセンシング方式

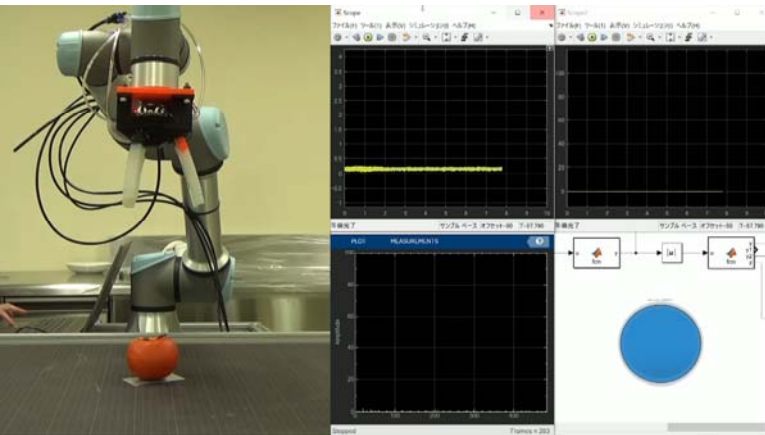
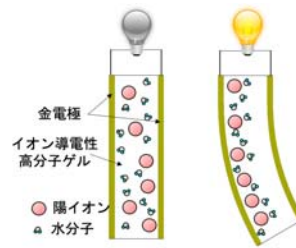
	歪み			応力		近接	表面	温度
	伸縮	曲げ	力	滑り	接触			
電気抵抗								
静電容量								
圧電効果								
磁気								
光								

IPMC (ionic polymer-metal composite)

- イオン交換樹脂膜の表面に金や白金を接合
- 変形を電圧に変換 or 電圧を変形に変換
- 変形を電圧に変換：センサ
- 電圧を変形に変換：アクチュエータ

IPMC (ionic polymer-metal composite)

- イオン交換樹脂膜の表面に金や白金を接合
- 変形を電圧に変換 or 電圧を変形に変換
- 変形を電圧に変換：センサ
- 電圧を変形に変換：アクチュエータ



# センサ工学 光学センサとその応用

ロボティクス学科 平井 慎一

## センシング量とセンシング方式

	歪み		応力		近接	表面	温度
	伸縮	曲げ	力	滑り 接触			
電気抵抗							
静電容量							
圧電効果							
磁気							
光							

## カメラを用いた触覚画像センサの基本構造

### センサ面

接触面への物理的接触を光学的な情報に変換する。典型的な変換方式として、

- 導光板を用いた方式
- マーカ変位に基づく方式
- 反射膜を用いた方式

### カメラ

センサ面を裏側から撮影する。必要に応じて適切な照明も利用する。

### コンピュータ

カメラ画像を解析し、触覚情報を取り出す。

Shimonomura, K.; Tactile Image Sensors Employing Camera: A Review. *Sensors* **2019**, *19*, 3933.

3

## センシング量とセンシング方式

	歪み		応力		近接	表面	温度
	伸縮	曲げ	力	滑り 接触			
電気抵抗							
静電容量							
圧電効果							
磁気							
光							

## 触覚画像センサ

触覚情報を、カメラを用いて画像として取得する



センサ出力画像

- 接触物体の位置・姿勢や表面の凹凸テクスチャが取得できる
- マーカ変位から力の推定が可能
- 解像度 750 × 750 [pixel]

Nozu, Shimonomura, *IEEE/ASME AIM2018*

## ハンド内位置・姿勢と力の複合センシング



触覚情報に基づいて、ボルトを目標の穴に挿入することを考える。

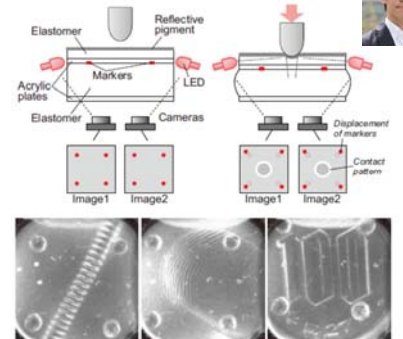
### ボルトのハンド内での位置・姿勢

ボルト先端の位置・姿勢を目標の穴に対して合わせるため

### ボルト先端にはたらく力

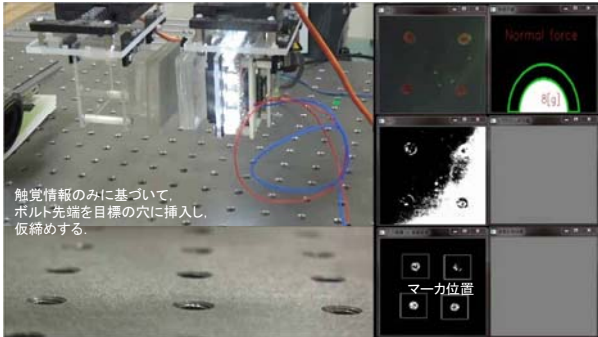
ボルト先端が穴に入ったかどうかを知るため

→ 反射膜方式とマーカ変位方式を組み合わせる



Nozu, Shimonomura, *IEEE/ASME AIM2018*

### ハンド内位置・姿勢と力の複合センシング



垂直力

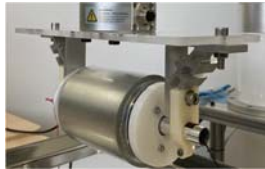
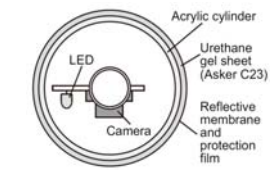
せん断力

ボルトの位置・姿勢

触覚情報のみに基づいて、ボルト先端を目標の穴に挿入し、仮締めする。

Robotic bolt insertion and tightening based on in-hand object localization and force sensing  
Nozu, Shimonomura, IEEE/ASME AIM2018

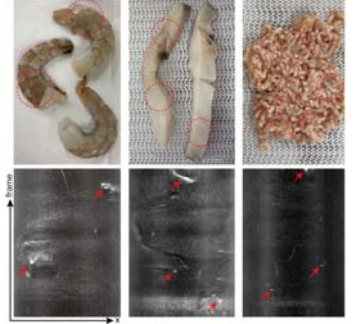
### ローラ型触覚画像センサと食品検査への応用



対象物上でローラを転がしながら触覚情報取得

#### 柔らかい食品中の硬い異物を検出

生エビの殻 魚切り身の骨 ミンチ肉の骨



### センシング量とセンシング方式

	歪み		応力		近接	表面	温度
	伸縮	曲げ	力	滑り 接触			
電気抵抗							
静電容量							
圧電効果							
磁気							
光							



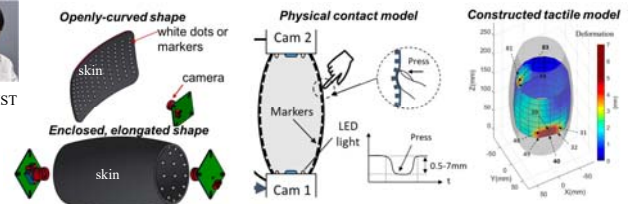
### Large-Scale Tactile Sensing



- 触覚検知装置の大きさと耐久性の課題を解決するため、複数台の小型カメラを内部に設置し、スキンに**広範囲**に接触したことによる3次元の歪み・変形量を計算する。
- カメラの設定によって、**配線の複雑さをほぼ完全に無くし**、センシングの精度や動作の耐久性を高める。



Ho @JAIST



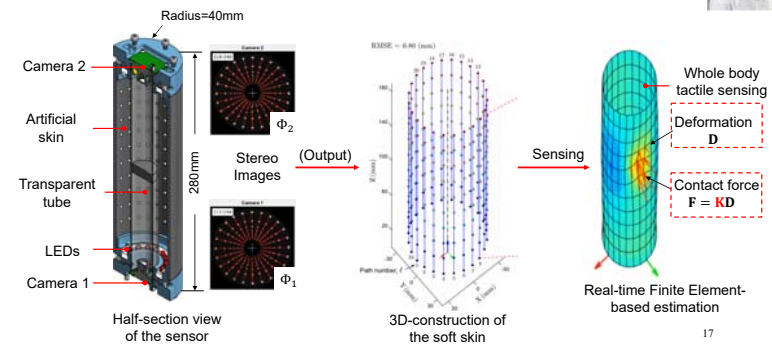
※ホ アンヴァン, Duong, 朝比奈, 触覚検知装置及び触覚検知方法, 出願番号: 2019-018391



### Large-Scale Tactile Sensing



### 原理



# 試作

Sideview  
Top view  
Highly soft and durable



Ho @JAIST

## Large-Scale Tactile Sensing

Lac Van Duong and Van Anh Ho, Large-Scale Vision-Based Tactile Sensing for Robot Links: Design, Modeling, and Evaluation, *IEEE Transaction on Robotics*, Vol. 37, Issue 2, pp. 390-403, April, 2020.

**Large-Scale Vision-based Tactile Sensing for Robot Links: Design, Modeling, and Evaluation**  
Lac Van Duong and Van Anh Ho  
Japan Advanced Institute of Science and Technology (JAIST)  
Japan, 2020  
IEEE Transactions on Robotics (T-RO)

## アプリケーション

## Abdominal Phantom sensors calibration



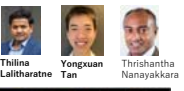
Liang Thrishantha He Nanayakkara

8 % root-mean-square error (RMSE) of predicted position; and an estimated force with RMSE less than 0.7 N.

Experiment 2: Palpation position and force estimation using multiple lever module sensors.

He, L., Herzig, N., de Lusignan, S., & Nanayakkara, T. (2018, July). "An Abdominal Phantom with Tunable Stiffness Nodules and Force Sensing Capability for Palpation Training". *IEEE Transactions on Robotics*, 2020

## First generation abdominal palpation simulators with facial expressions



Thilina Lalitharatne Yongxuan Tan Thrishantha Nanayakkara

Block 1- Before the intervention (4 faces, 2 repetitions (8 trials), ~45 [s]/trial, pain facial expressions)

Lalitharatne, Thilina Dulantha, Yongxuan Tan, Liang He, Florence Leong, Neira Van Zalk, Simon de Lusignan, Fumiya Iida, and Thrishantha Nanayakkara. "MorphFace: A Hybrid Morphable Face for a Robopatient." *IEEE Robotics and Automation Letters* 6, no. 2 (2021): 643-650.

## Variable stiffness robotic finder



Nicolas Herzig Kiang Ho Faria Masoum Sara Akhla Alami Thrishantha Nanayakkara

Conditioned haptic perception for 3D localization of nodules in soft tissue palpation with a variable stiffness probe

S4 Video: Algorithm test

Nodules Herzig, Liang He, Faria Masoum, Sara Akhla Alami, and Thrishantha Nanayakkara

Herzig et al. Conditioned haptic perception for 3D localization of nodules in soft tissue palpation with a variable stiffness probe in *PLOS ONE* 2020  
DOI: 10.1371/journal.pone.0231379

## ソフトロボットにセンサを用いる

センサの経年変化, センサに対する環境の影響

センサの埋め込み方法

接着剤や取り付け材がボディの柔らかさに影響

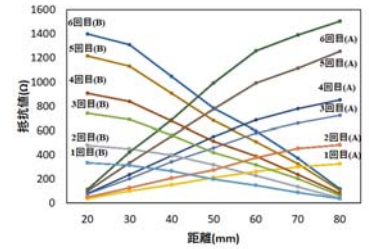
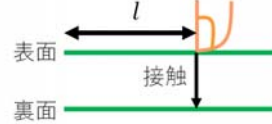
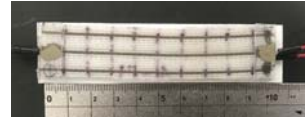
信号/電力線の変形特性

センサと信号/電力線との接合部

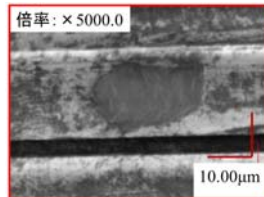
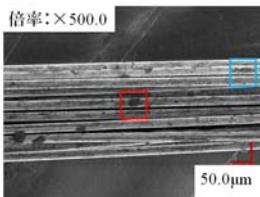
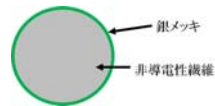
接合部がボディの変形に伴い破断

接合部の接触抵抗が変動

## 導電糸タッチセンサ



## 導電糸タッチセンサ



## 終わりに

センサ

何をセンシングするか

何が重要か (精度, 速さ, ロバスト性 ...)

マルチモーダル, 情報処理するマテリアル

センシング方式

環境の影響に対してロバスト

動作に必要な情報の検出 / 推定