

# ソフトロボティクス

平井 慎一

立命館大学ロボティクス学科

<http://www.ritsumei.ac.jp/~hirai/>

# ロボット vs 生物



硬い材料が主  
精密な機構



硬い材料と柔らかい材料  
ルーズな機構

# ソフトロボティクス Soft Robotics



# ソフトロボティクス Soft Robotics

ロボットシステムがもつ物理的柔軟性の活用に関する  
新しい研究分野

生体システムのもつ「やわらかさ」に注目し、  
生体システムの価値観に基づいた自律する  
人工物の創造を目指す

柔らかい材料を積極的に用いて新しい機能を発現する  
ロボットに関する研究



# ソフトロボティクス Soft Robotics



## SIG Soft Robotics

Special Interest Group on Soft Robotics



# IEEE Int. Conf. on Soft Robotics

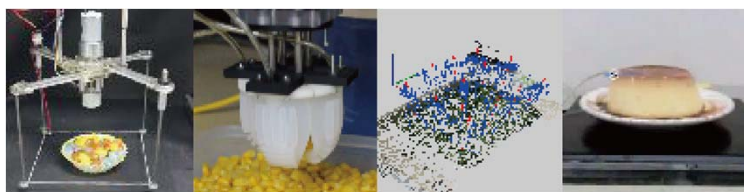


2018年 第1回 イタリア・リヴォルノ

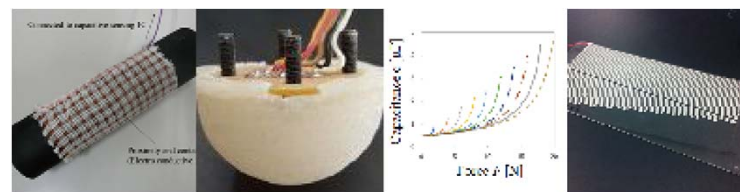
特殊講義I 2023/5/25

# ソフトロボティクス研究室

柔らかい材料を積極的に用いて新しい機能を発現するロボットに関する研究を幅広く進めています



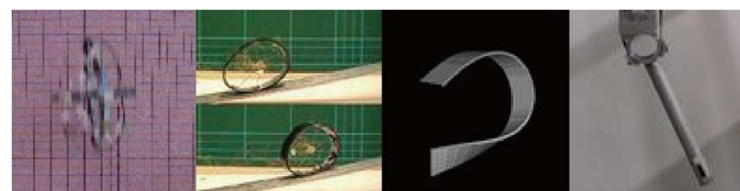
食品マニピュレーション



ソフトセンサ



空気圧システム

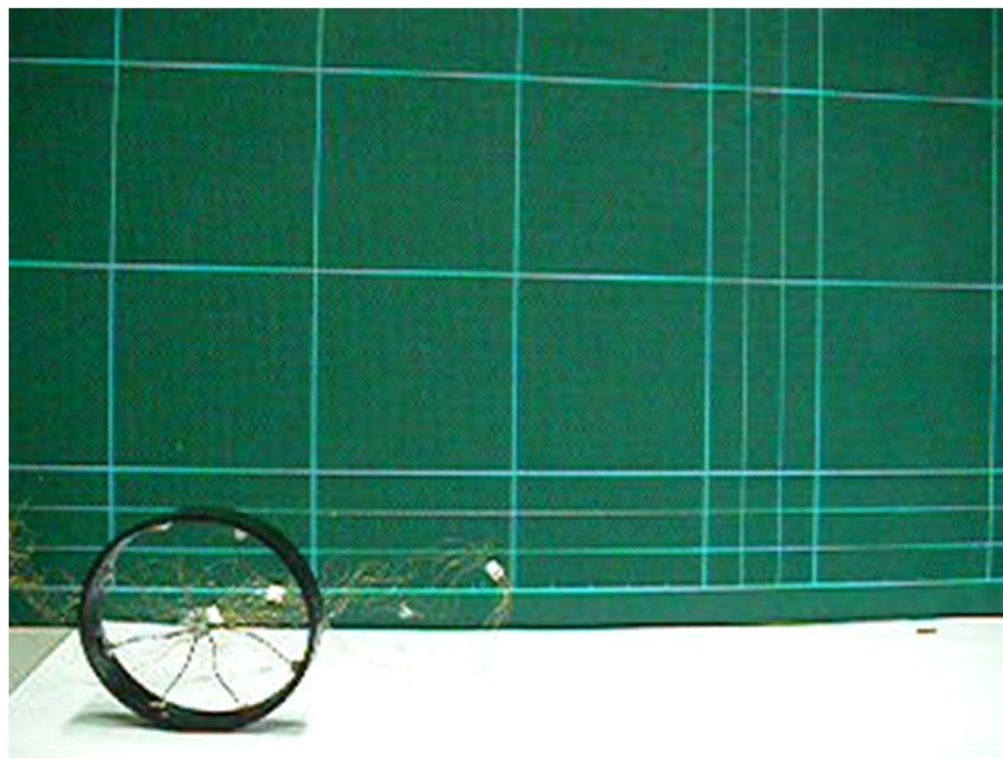


ソフトコンタクト



生体力学モデリング

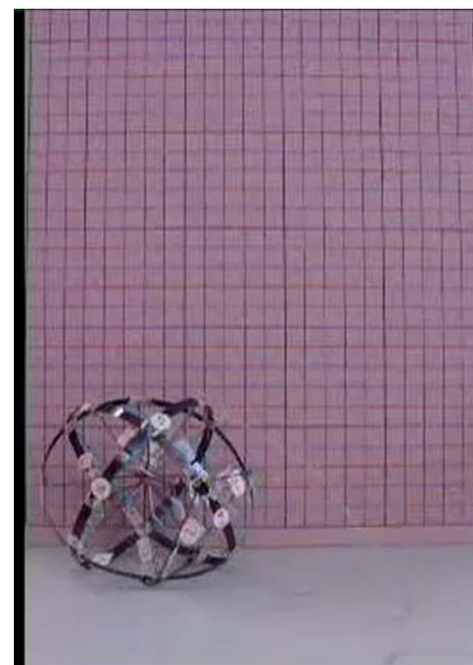
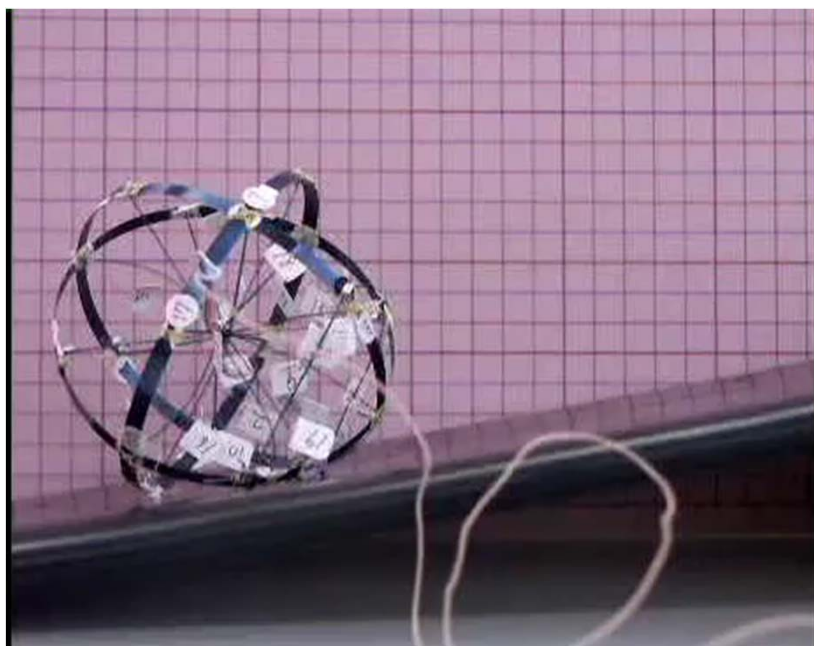
# 円形ソフトロボット



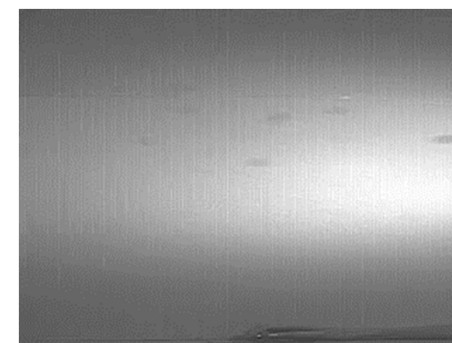
Sugiyama and Hirai, Crawling and Jumping by a Deformable Robot, IJRR, 25-5/6, 603-620, 2006



# 球形ソフトロボット



# 変形による跳躍

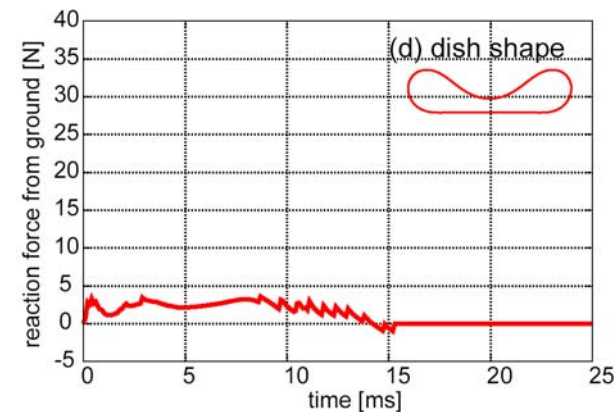
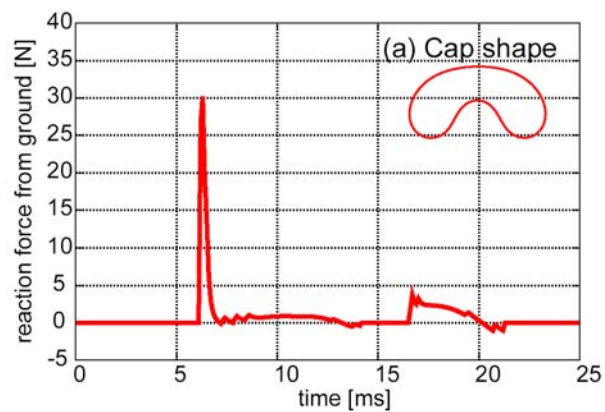


Cap 

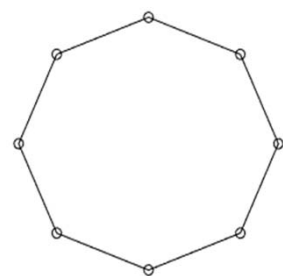
Cup 

Peanut 

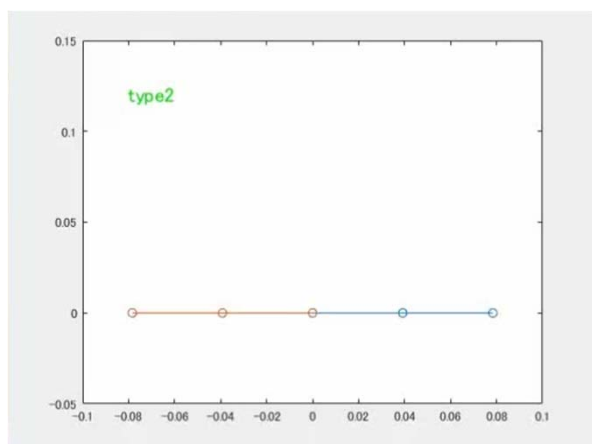
Dish 



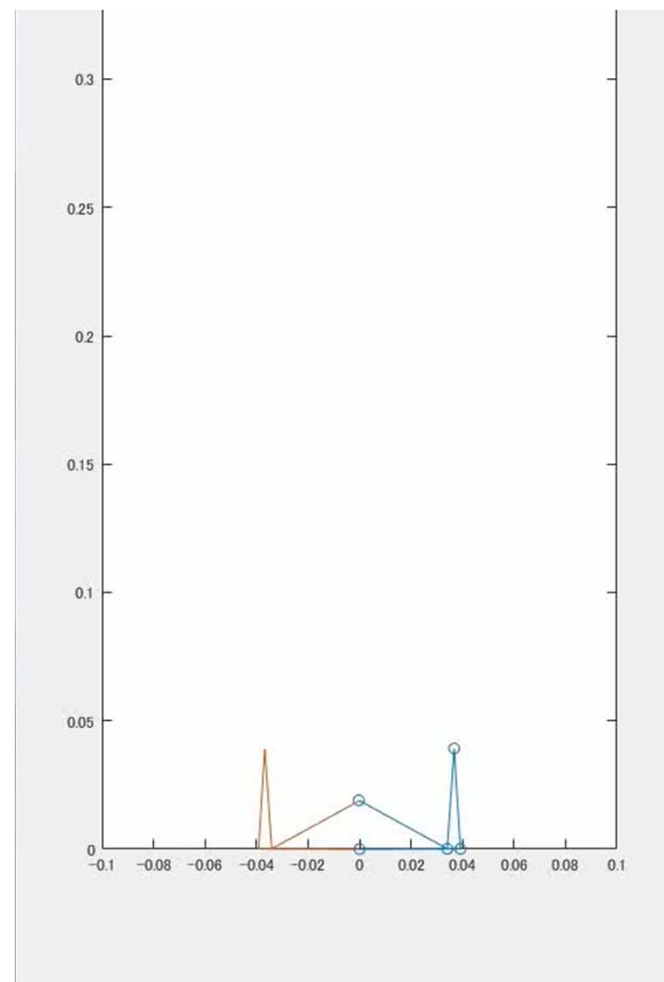
# 変形による跳躍



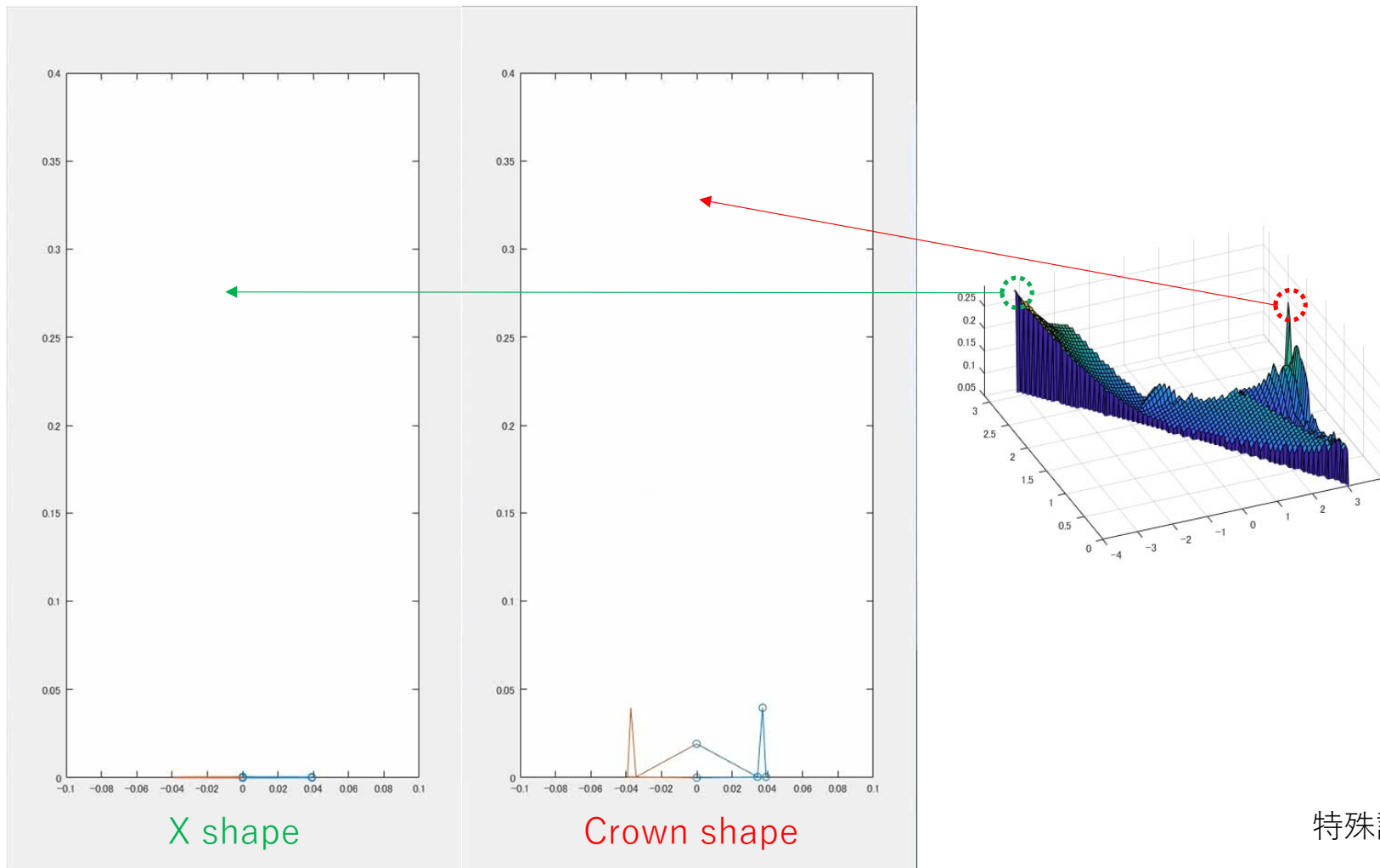
跳躍ロボットのモデル



計算過程



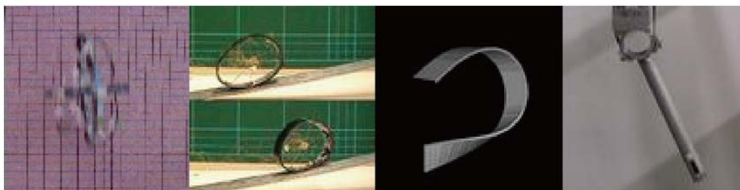
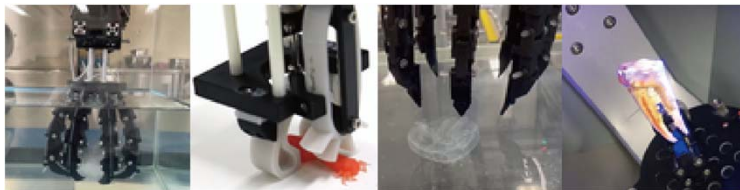
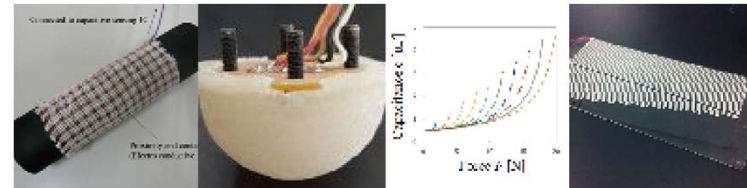
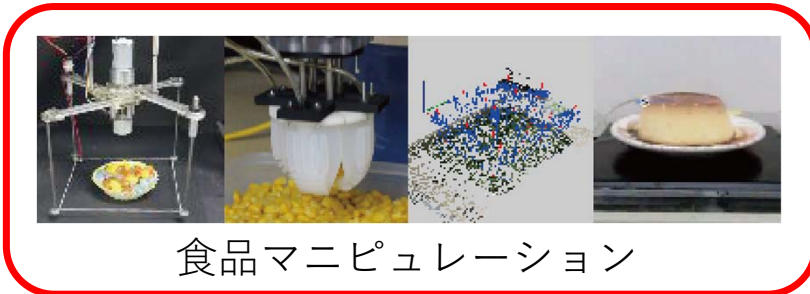
# 変形による跳躍





# ソフトロボティクス研究室

柔らかい材料を積極的に用いて新しい機能を発現するロボットに関する研究を幅広く進めています



# 自動化が進んでいる / 進んでいない



<https://www.youtube.com/watch?v=puxNMoNUXKk>



<https://www.youtube.com/watch?v=LmPjKWTcPB0>

# ロボットに関する誤解



<https://courrier.jp/news/archives/98090/>  
「ロボットのアームで弁当のおかずはつかめない」

三次元的な位置決め装置

作業を実行するためには周辺機器が必要

対象物を持つためにはグリッパが必要

ハードウェア全体をシステムとして動かす

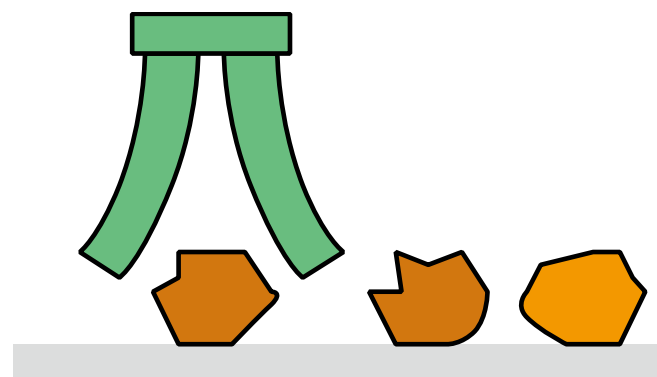


ハードウェア+ソフトウェア+運用が必要

# 価値観の転換



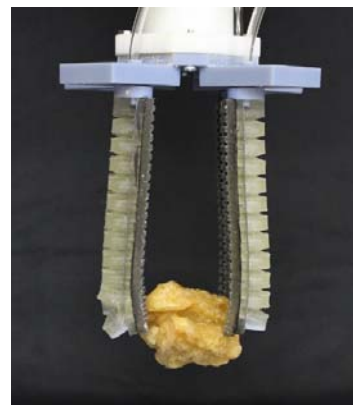
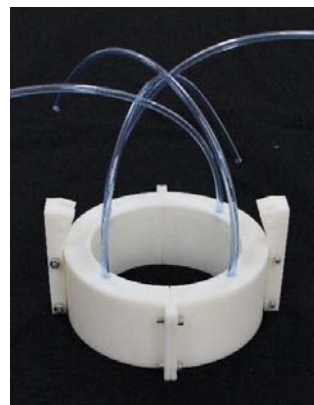
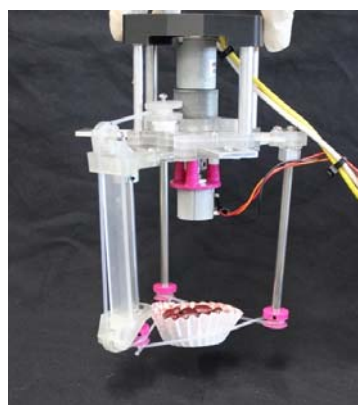
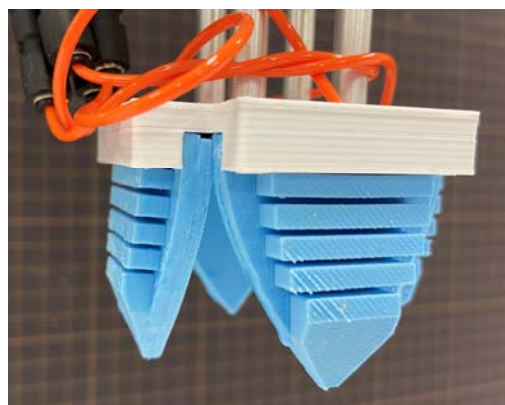
柔らかい  
形状や寸法，性質にバラツキ  
多品種変量生産  
高い精度は要求されない



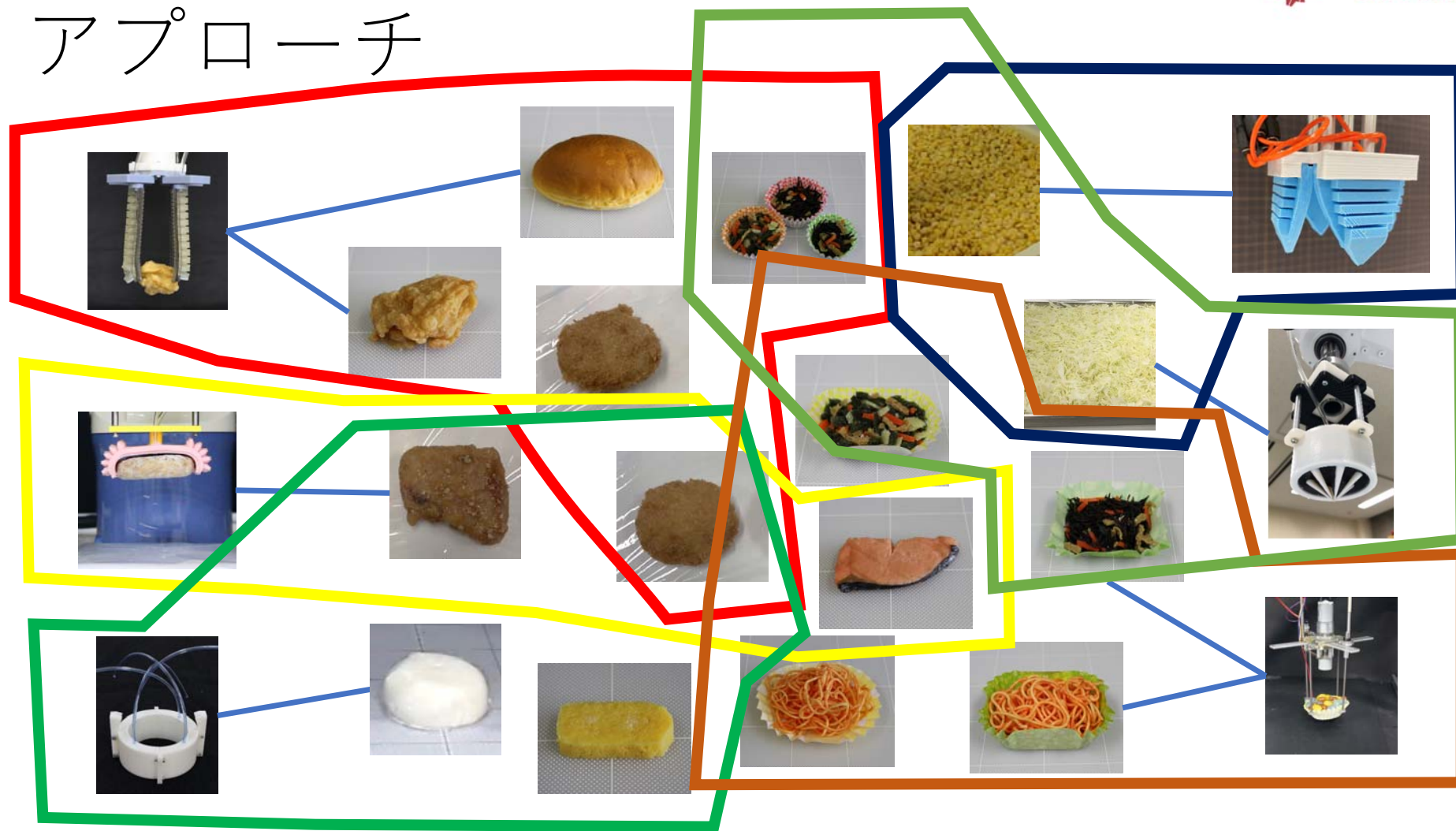
ソフトロボティクスの方法論で  
バラツキに対応



# ソフトハンド



# アプローチ



# SIP 実証実験室



# 屈曲指グリッパ

socket (hard)

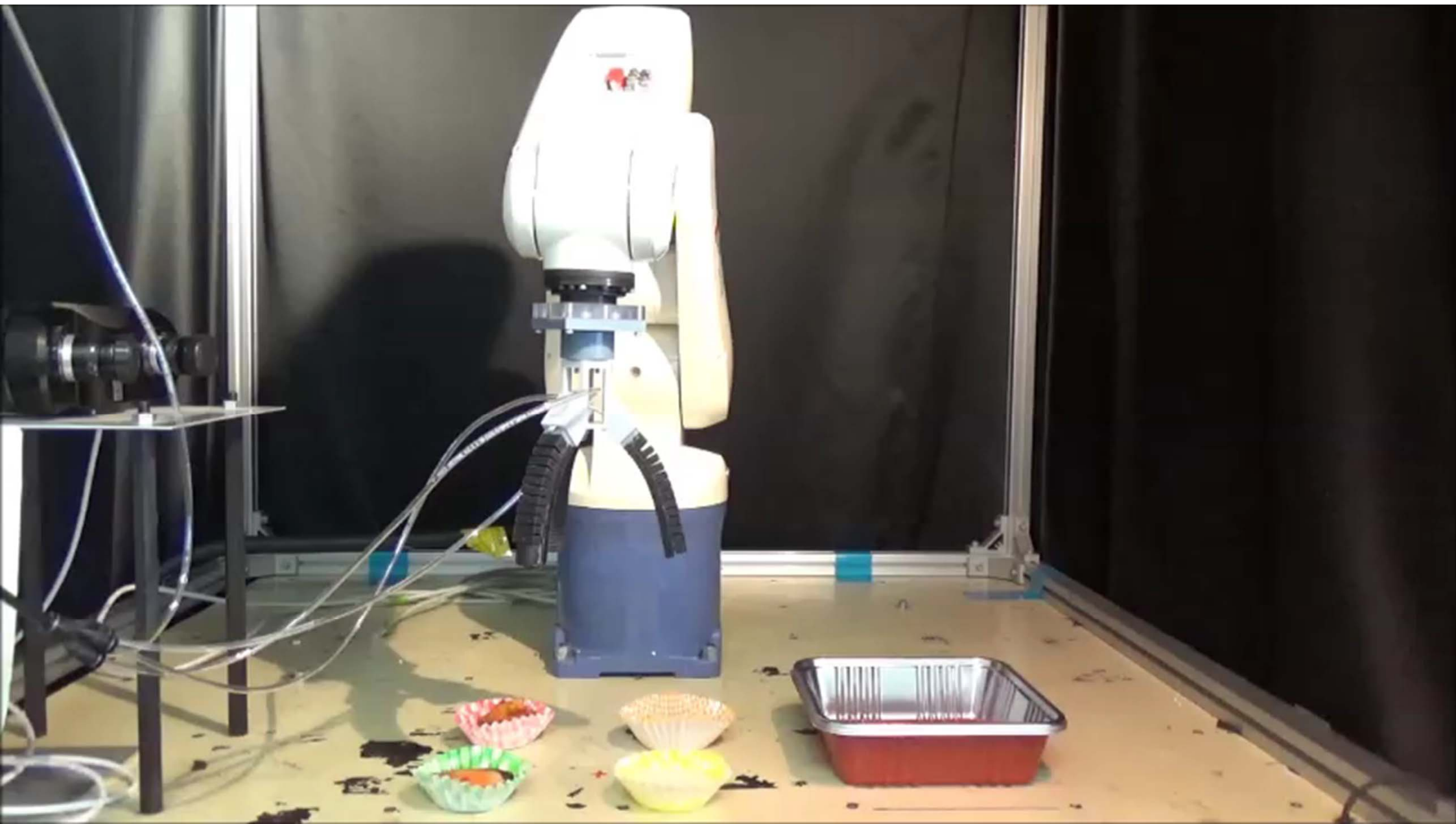
air chambers (soft)



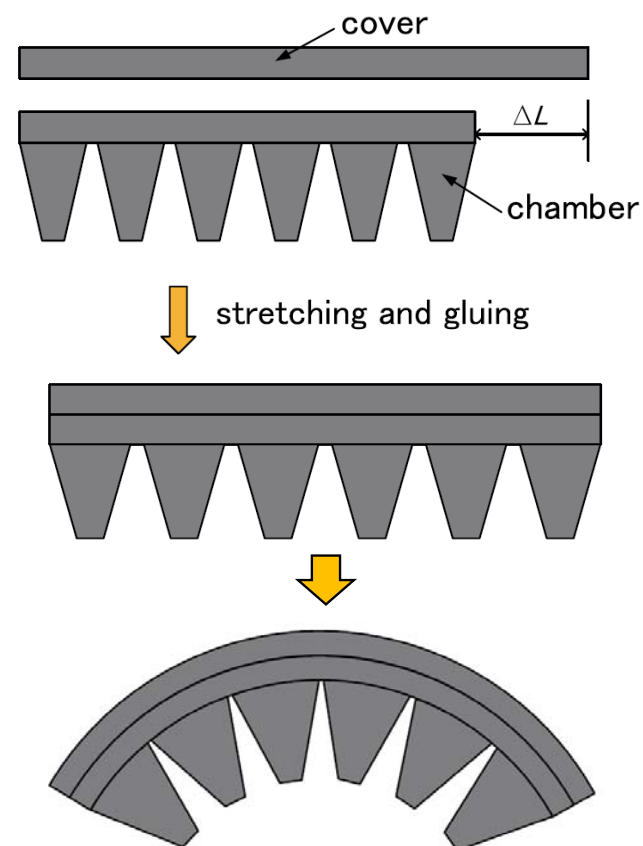
cover (soft)

Each part can be printed in one shot

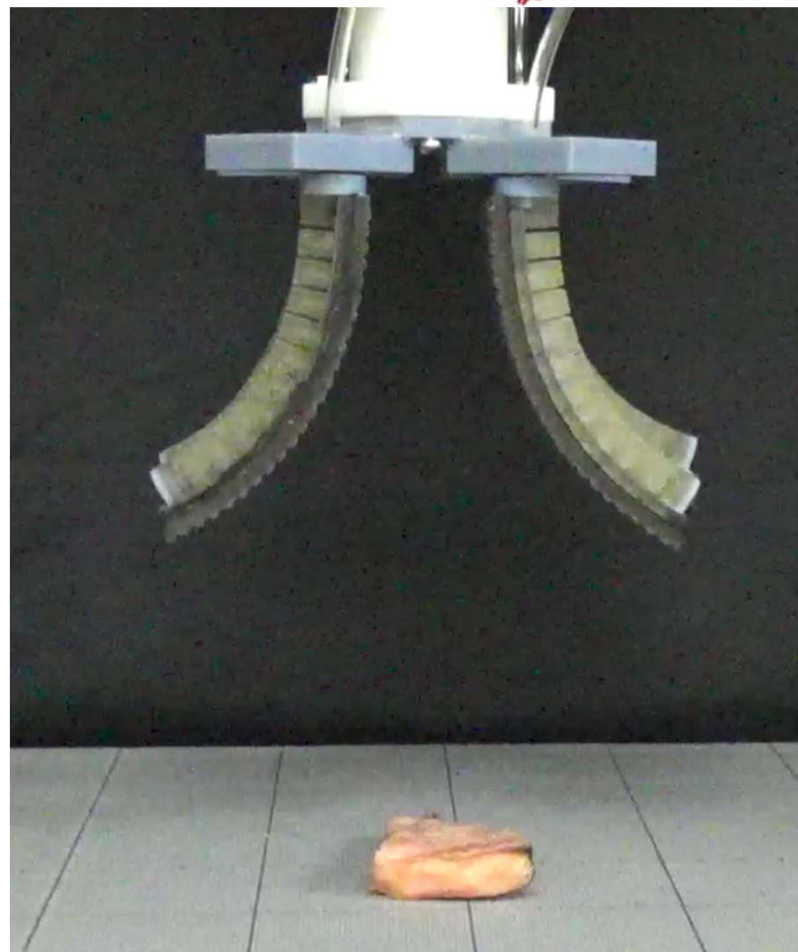
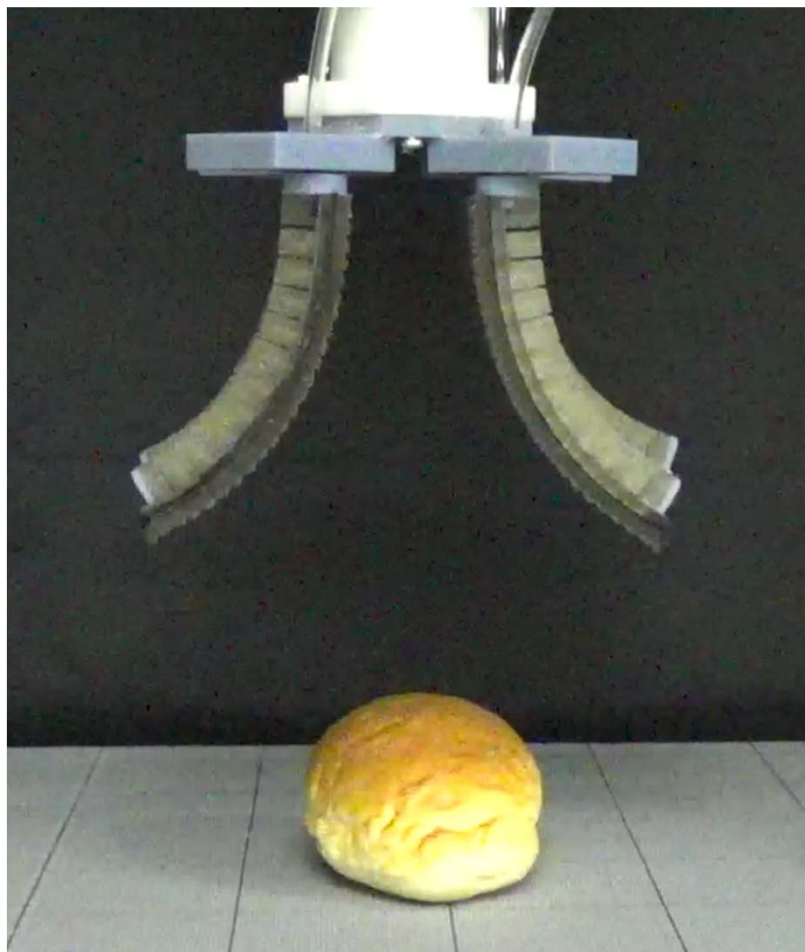




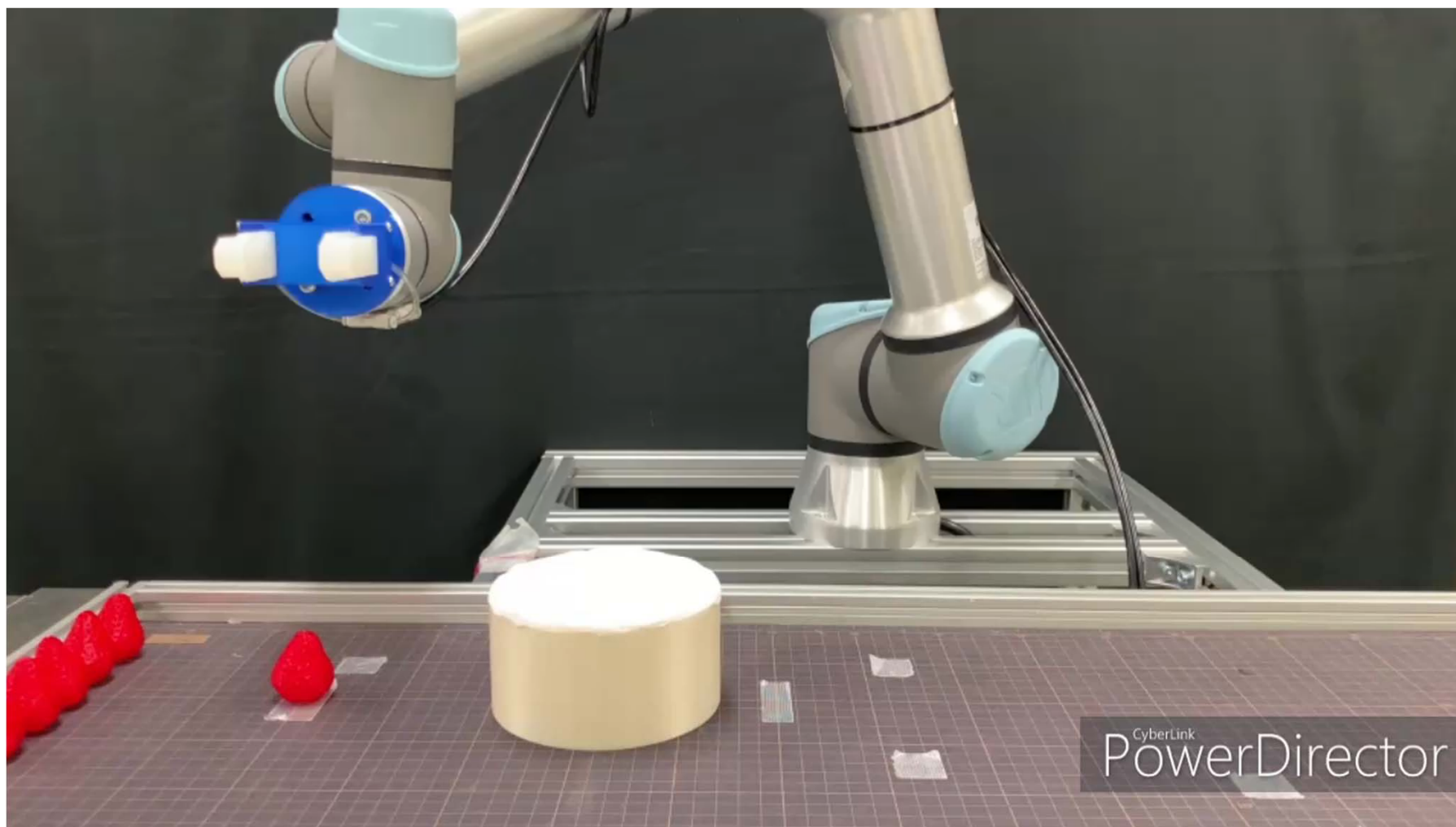
# プレストレッチ指グリッパ



Wang et al., IEEE RAL, 2017

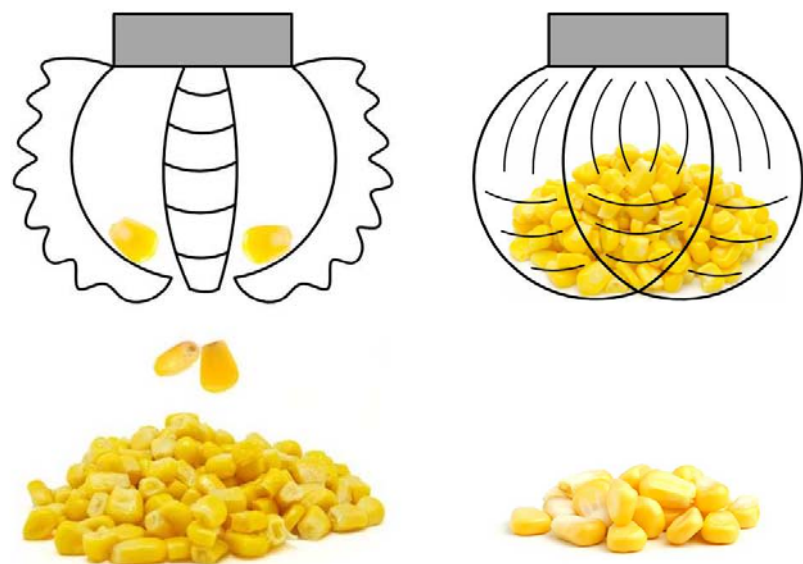


# トッピング



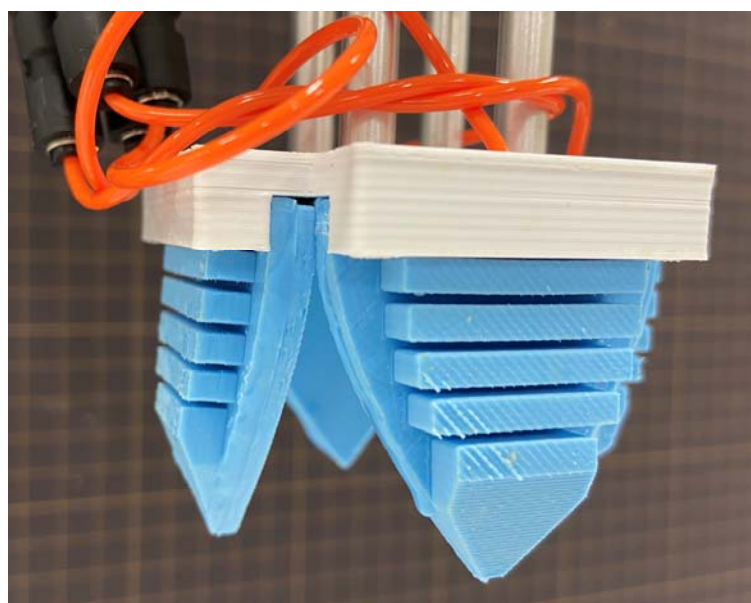


# 包み込みグリップ

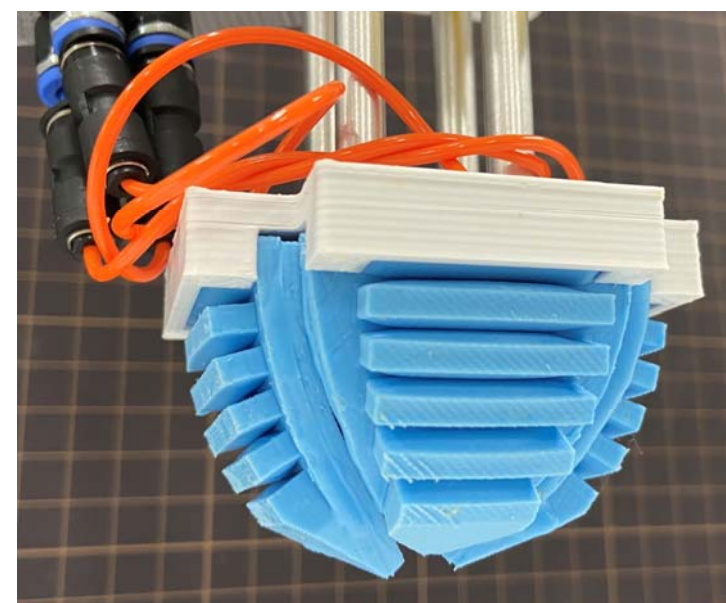


Kuriyama et al., IEEE RoboSoft 2019

# 包み込みグリッパ



空気圧  
(100kPa)

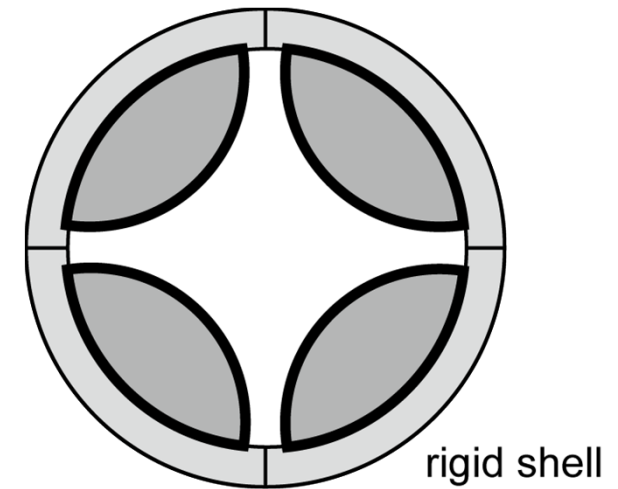
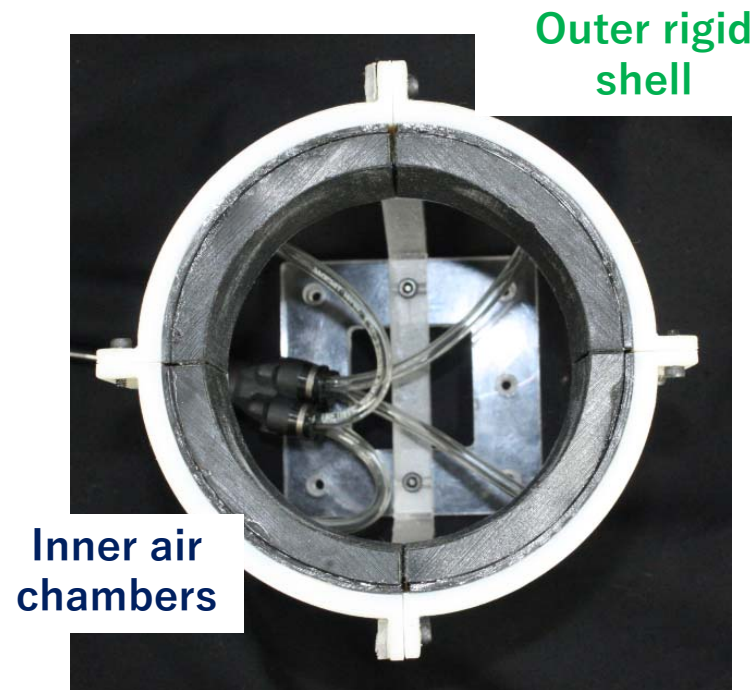
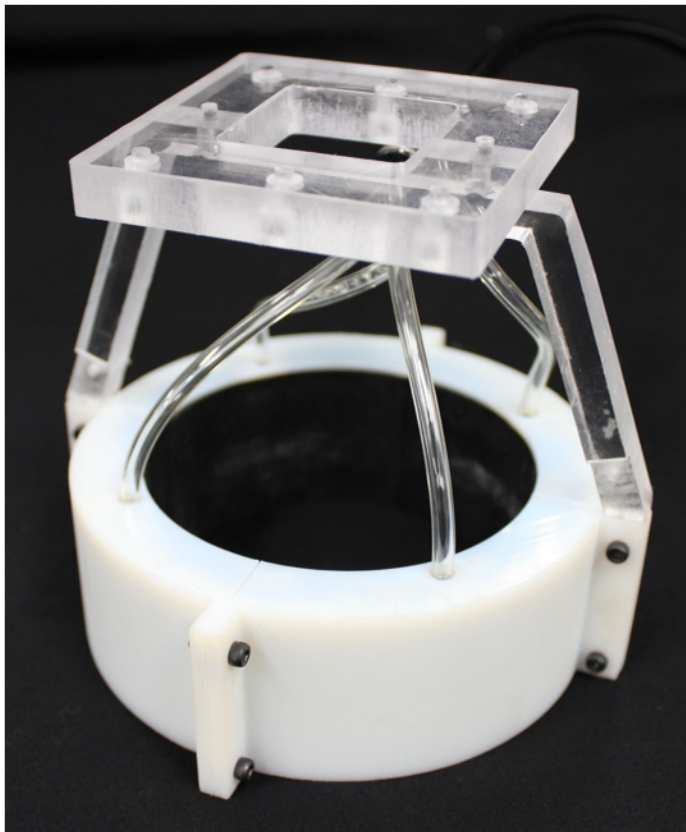


栗山 他, 包み込みグリッパによる粒状食品把持量の安定化,  
ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020



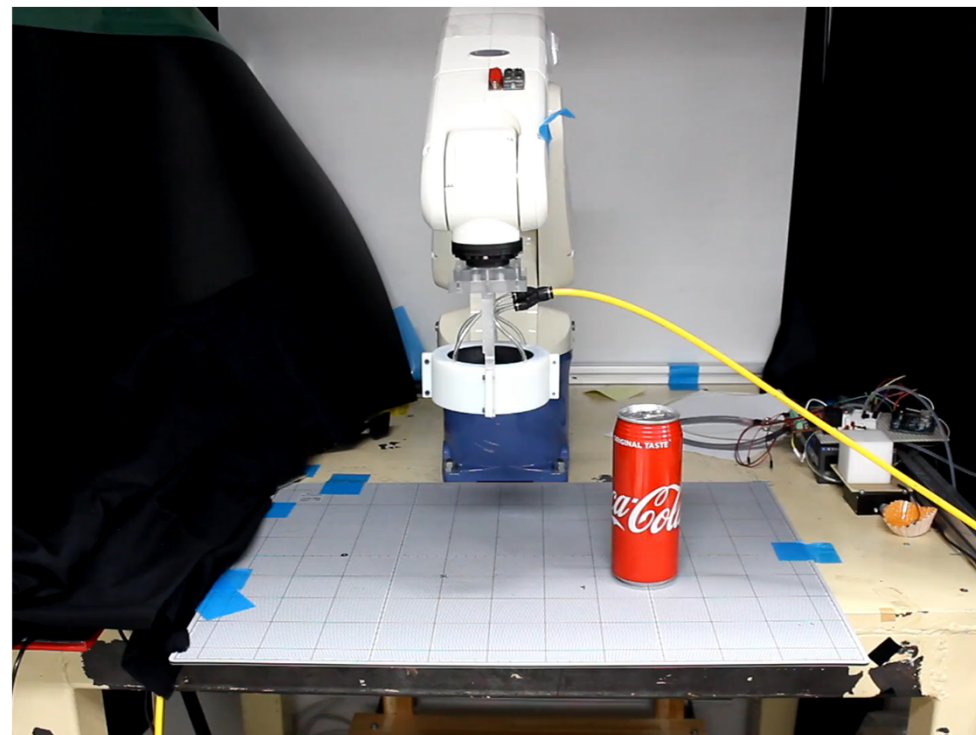
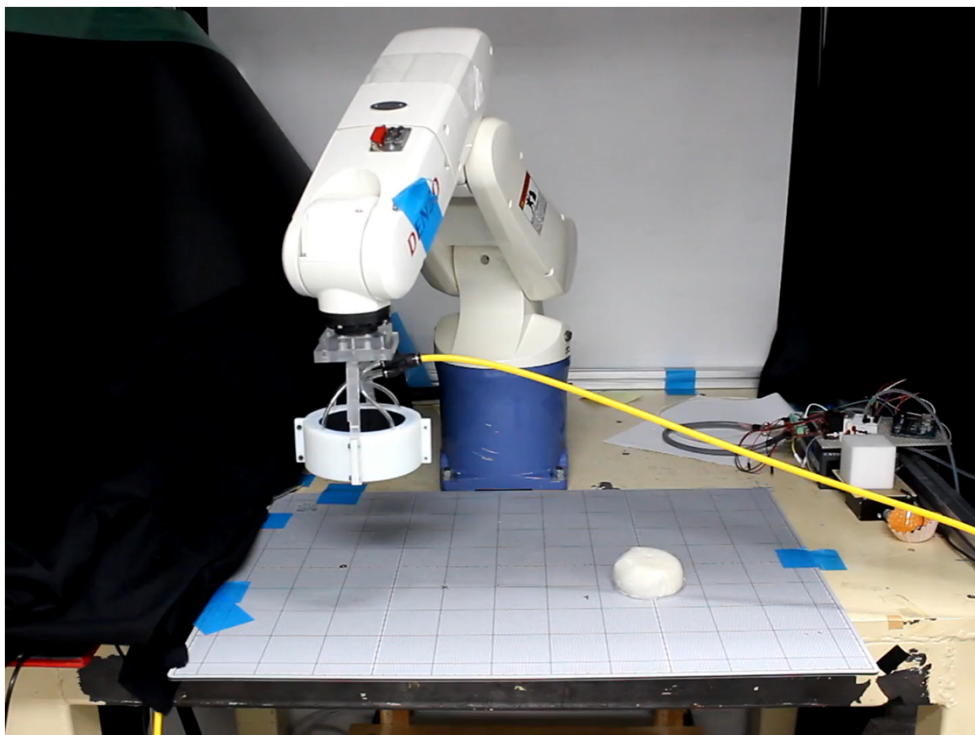


# シェルグリッパ

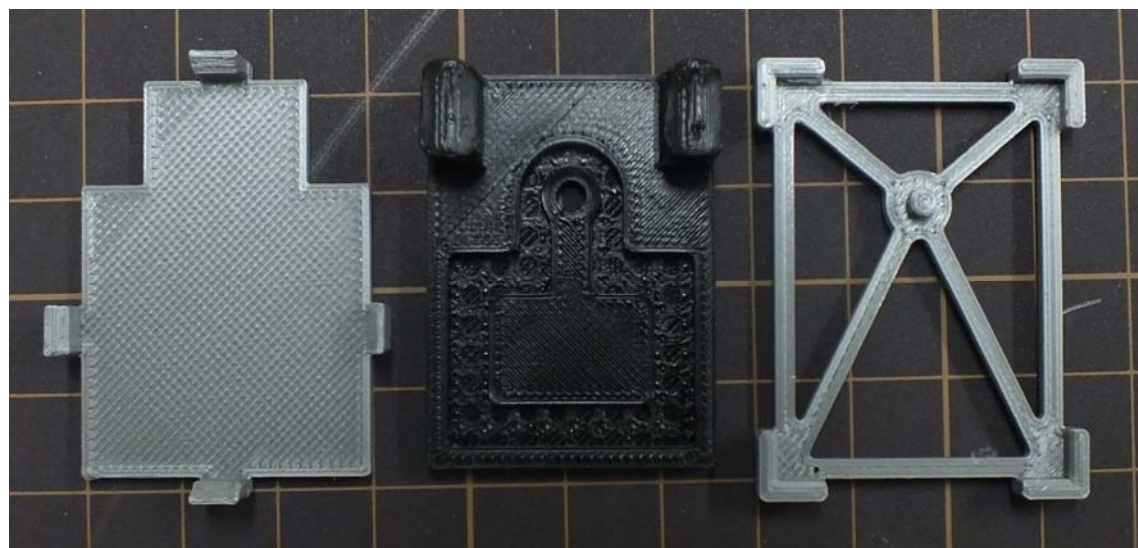


Wang, Kanegae, and Hirai, Circular Shell Gripper for Handling Food Products, Soft Robotics, 2020



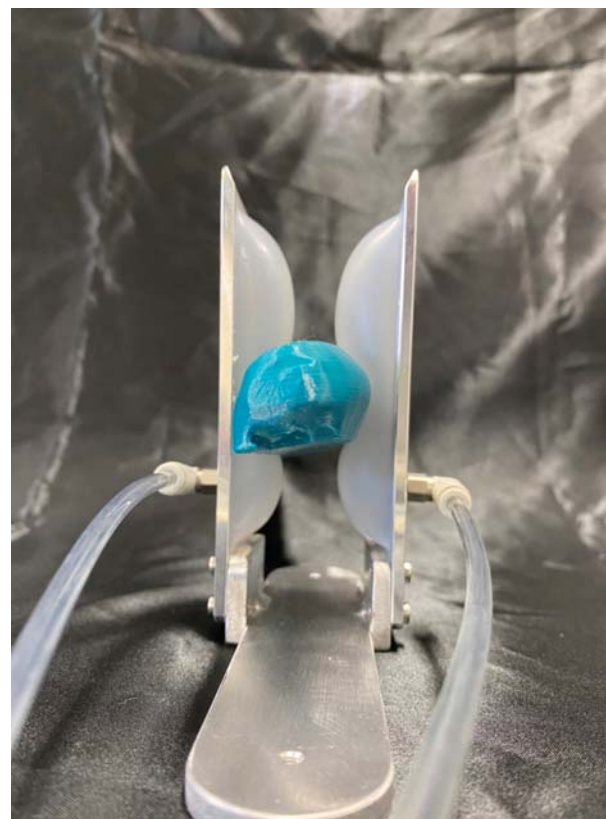
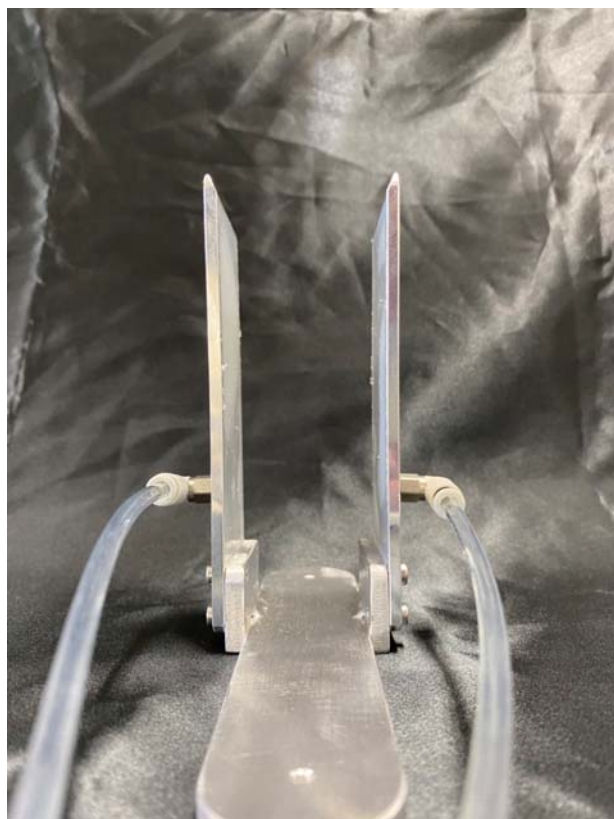


# シェルグリッパ



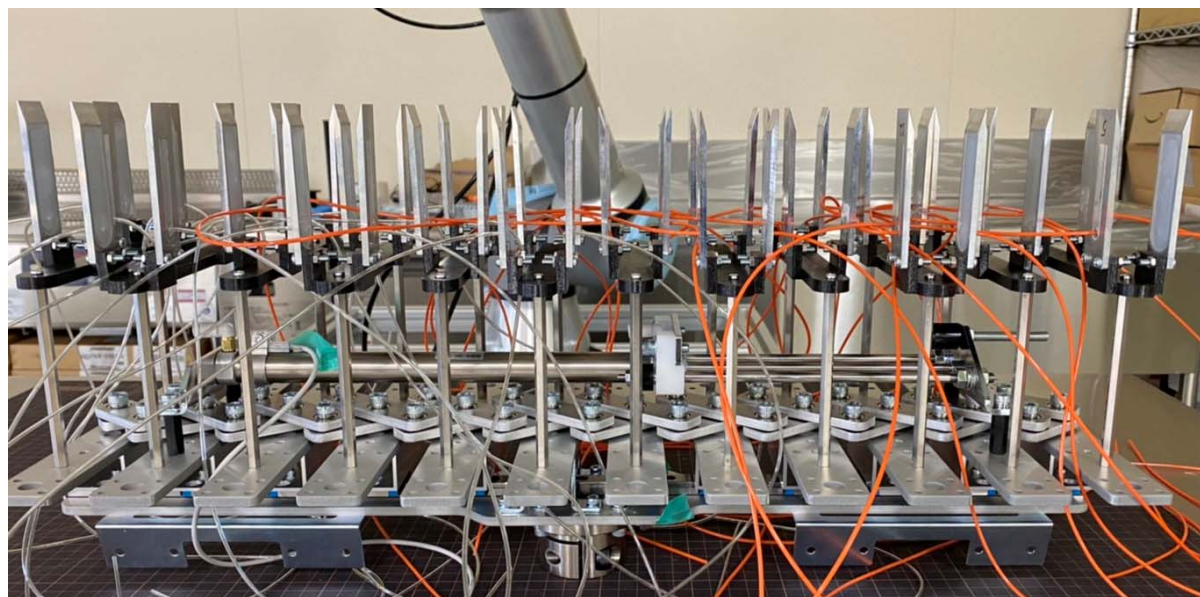
鐘江 他, きゅうりの箱詰め作業を目的とした接着レス薄型平面シェルグリッパの開発,  
ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020

# 平面シェルグリッパ

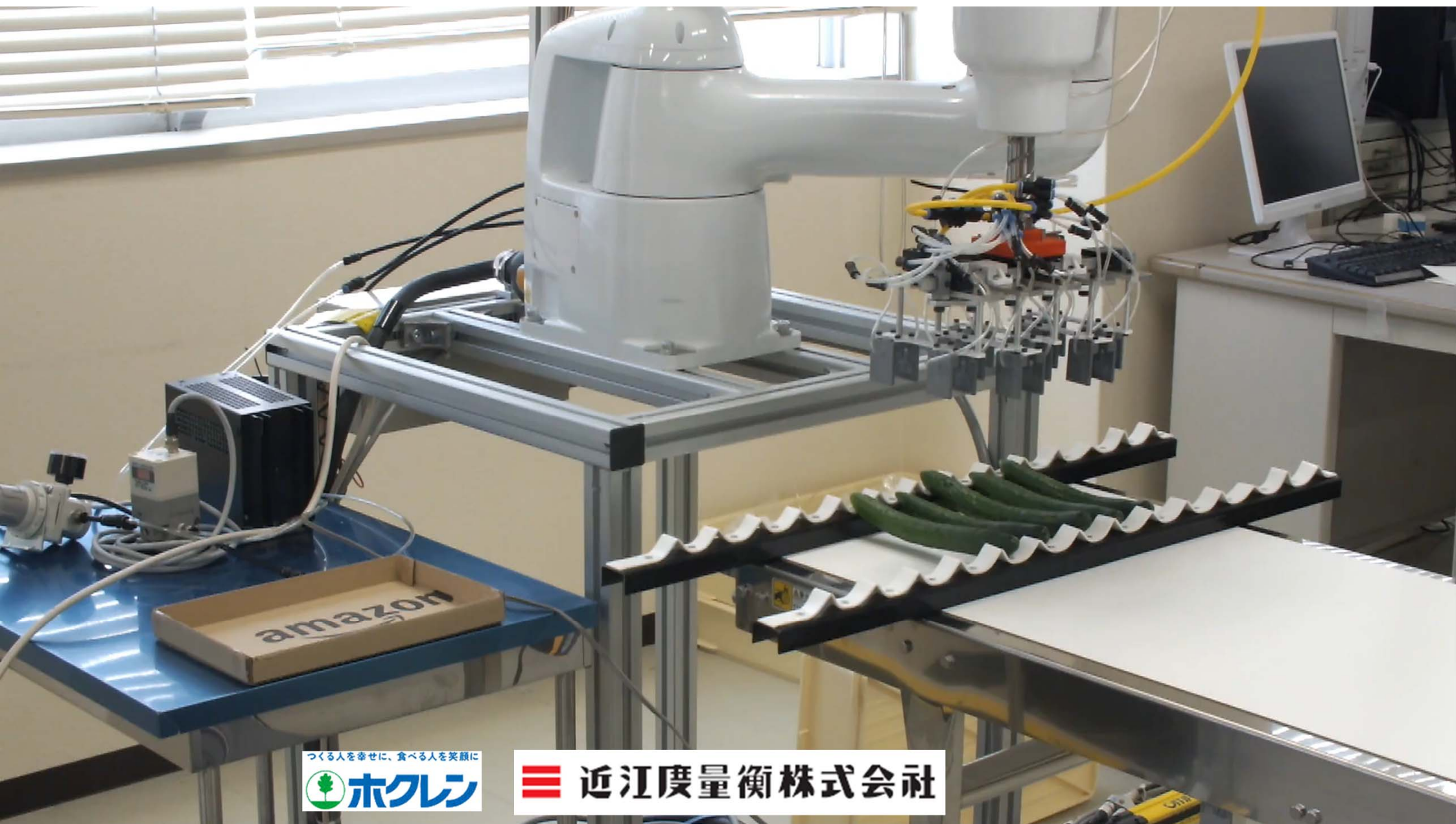




# 平面シェルグリッパ



複数のキュウリを把持するグリッパ

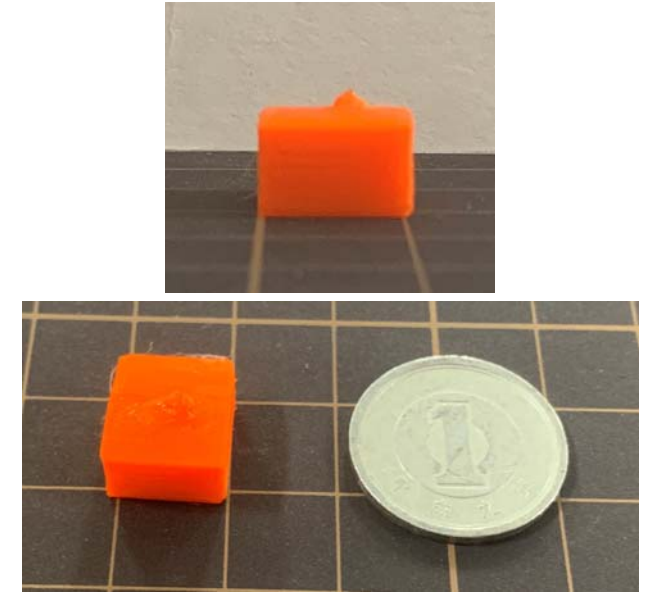
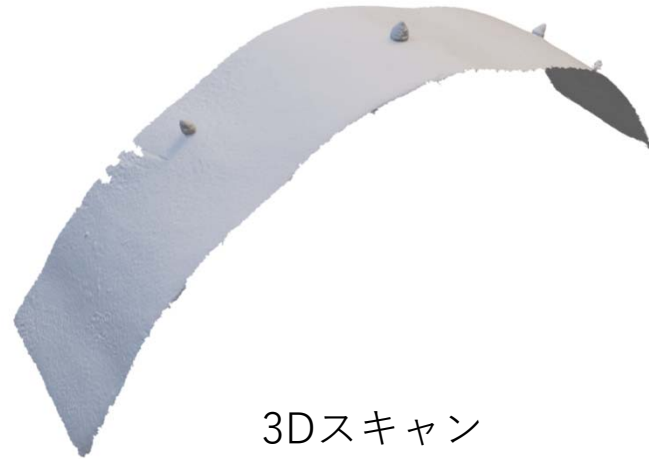


つくる人を幸せに、食べる人を笑顔に  
 **ホクレン**

 **近江度量衡株式会社**

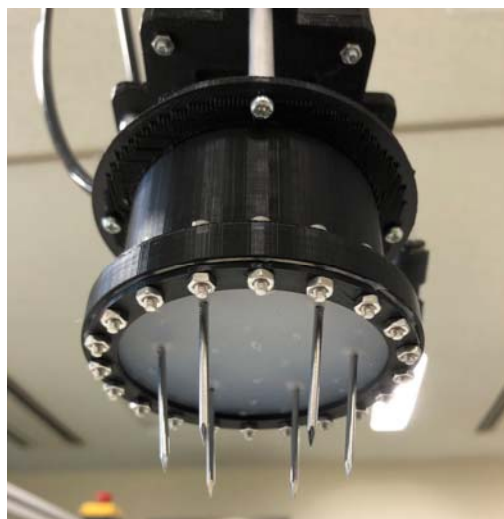


# シェルグリッパ

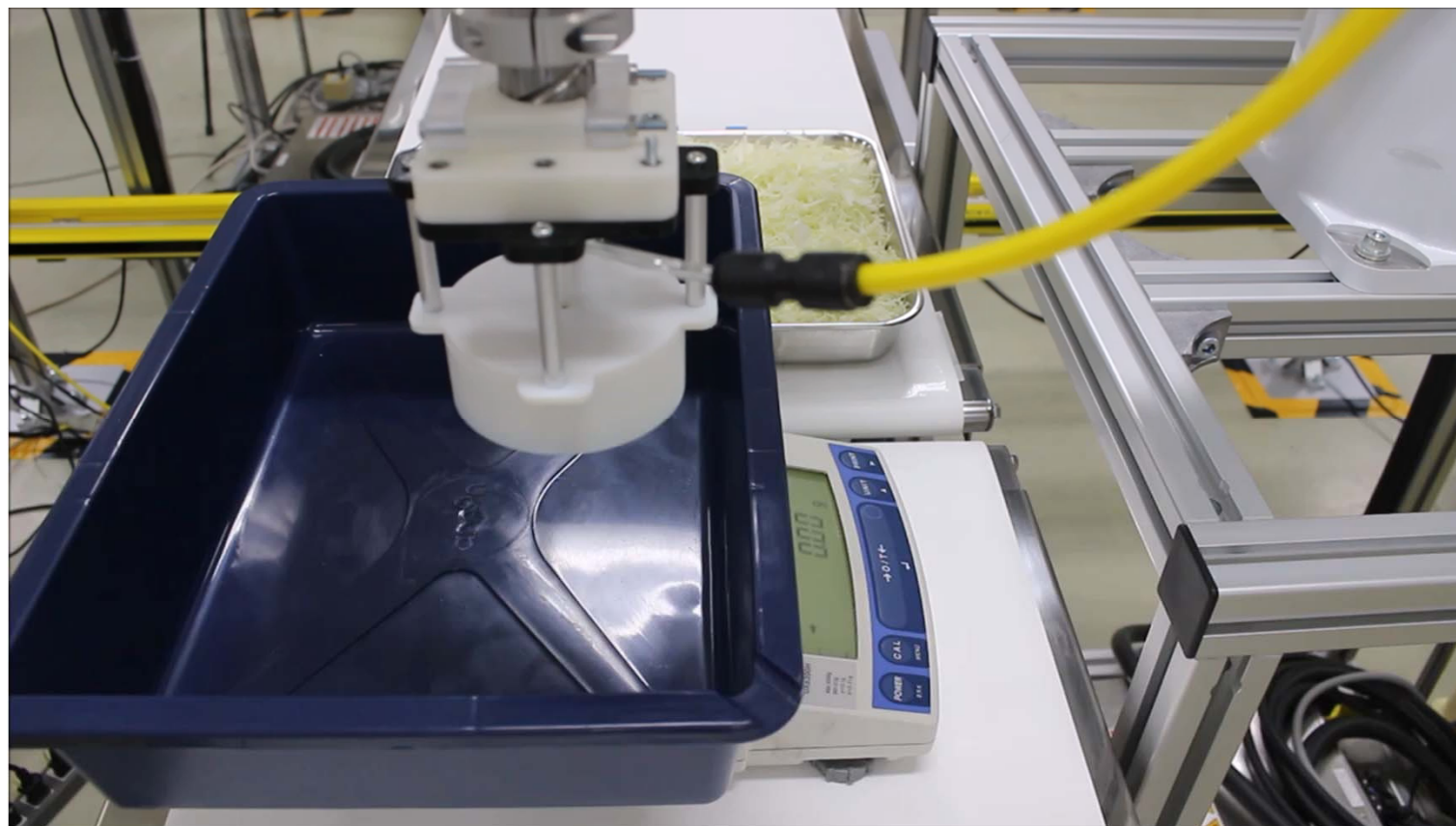


きゅうりの棘を模したモデルへグリッパを押し当て耐久性能を評価  
10000回の動作を確認

# ニードルグリッパ



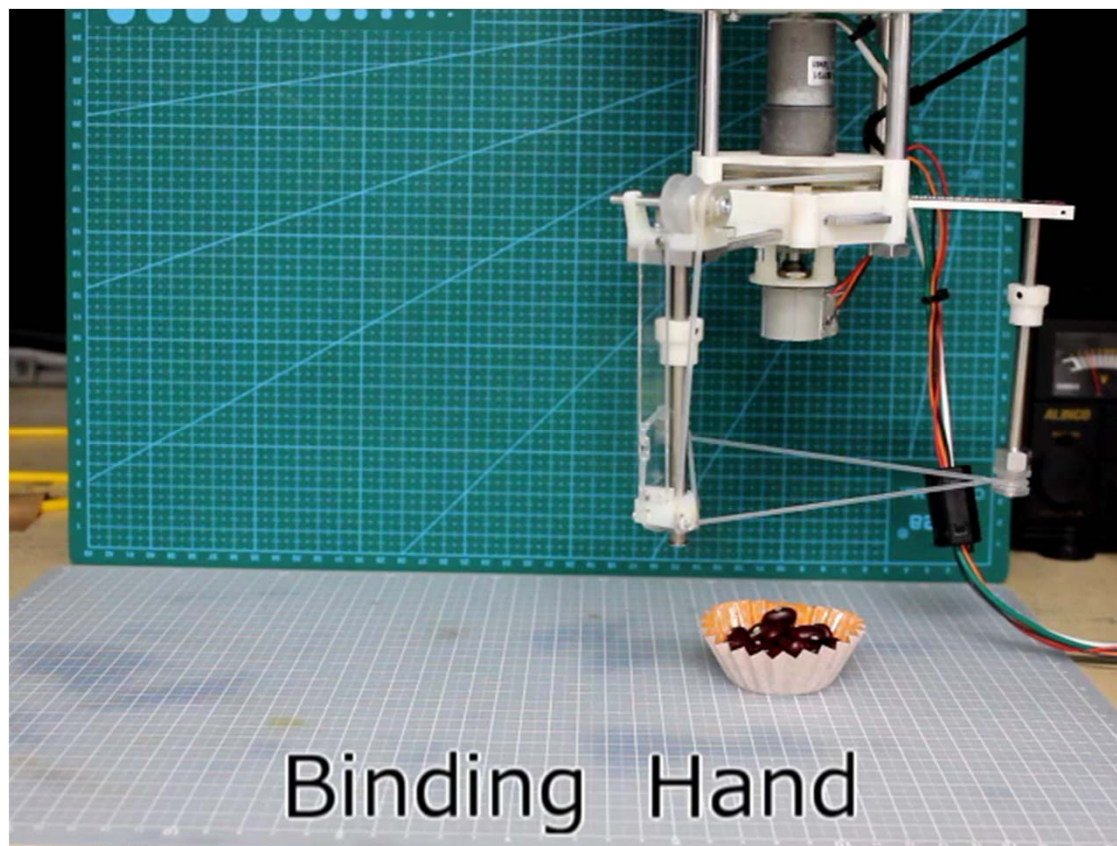
4 倍速



Wang et al., Journal of Robotics and Mechatronics, 2021

特殊講義I 2023/5/25

# バインディングハンド

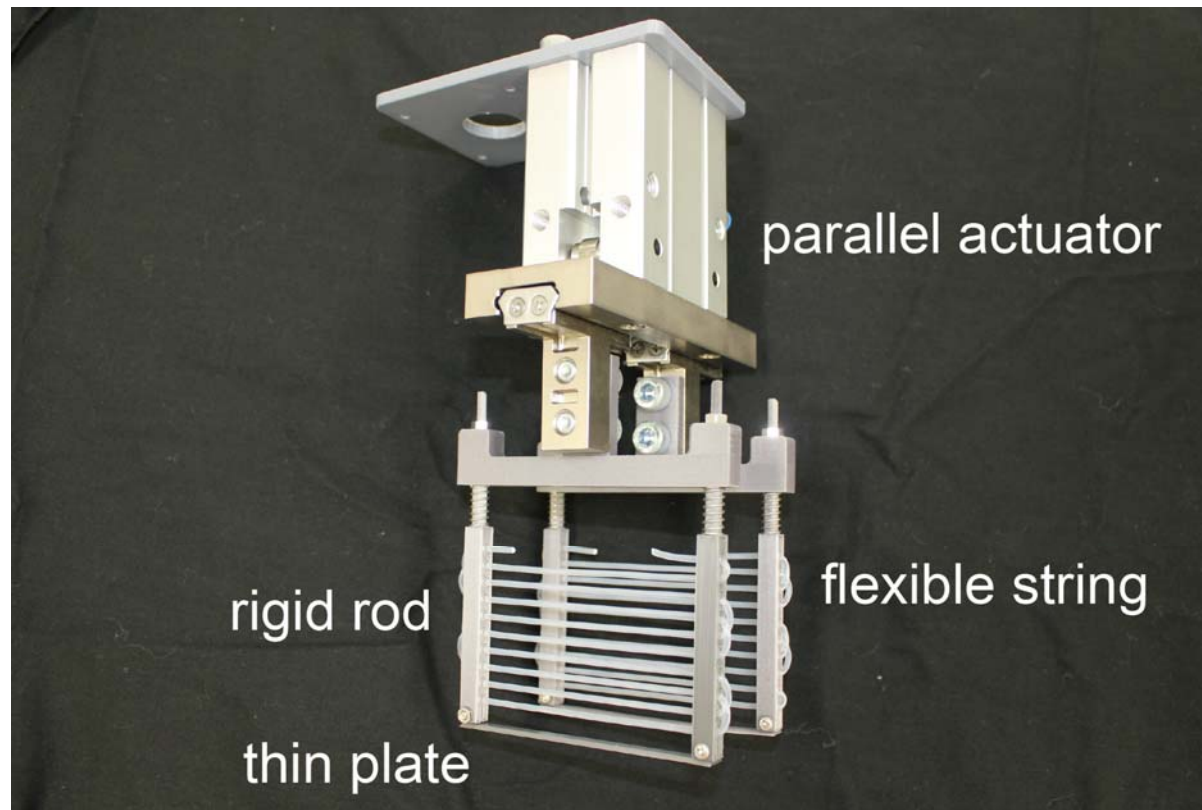


Okada et al., IEEE RoboSoft 2019

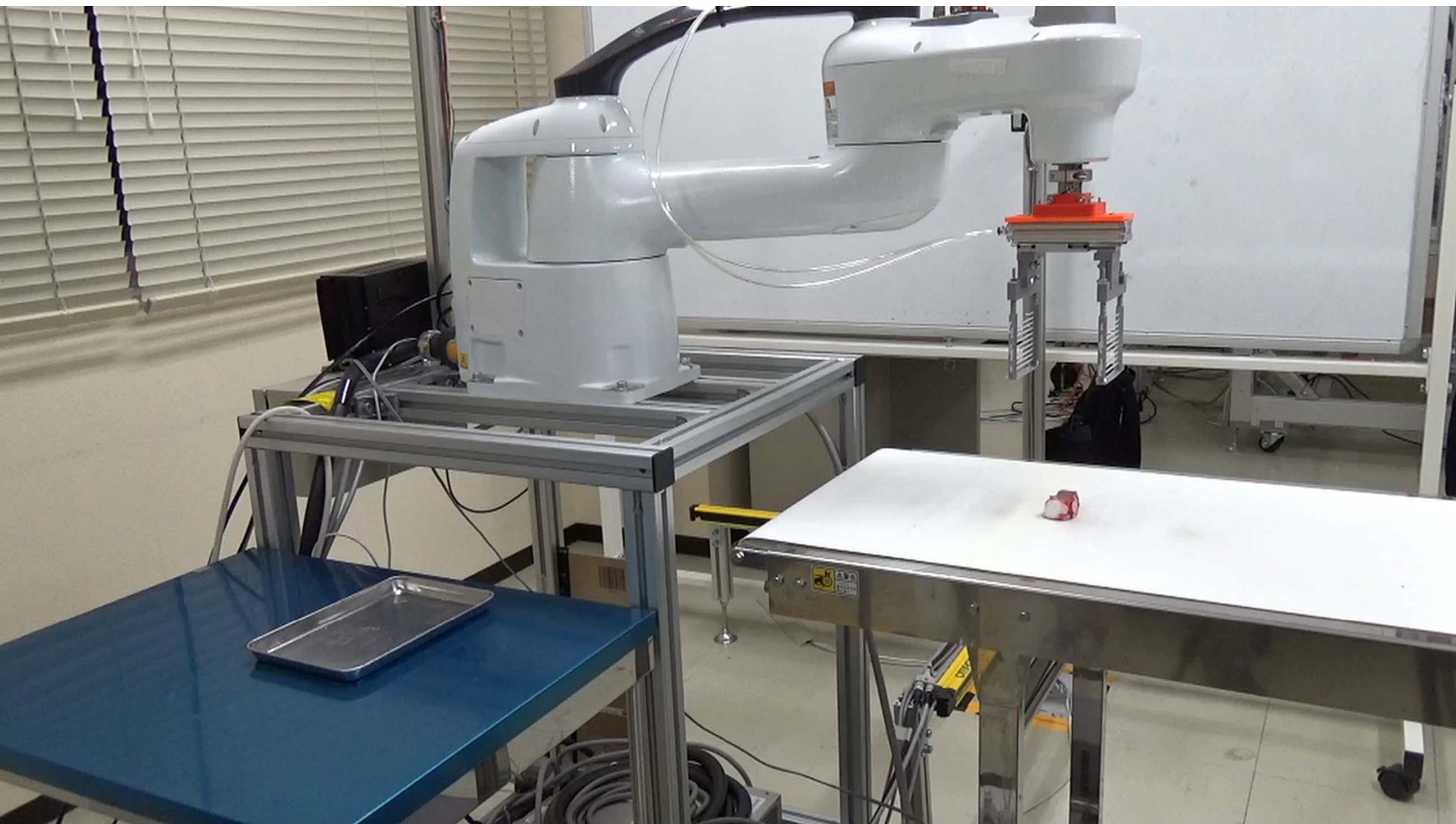
特殊講義I 2023/5/25



# 掬い込みバインディングハンド

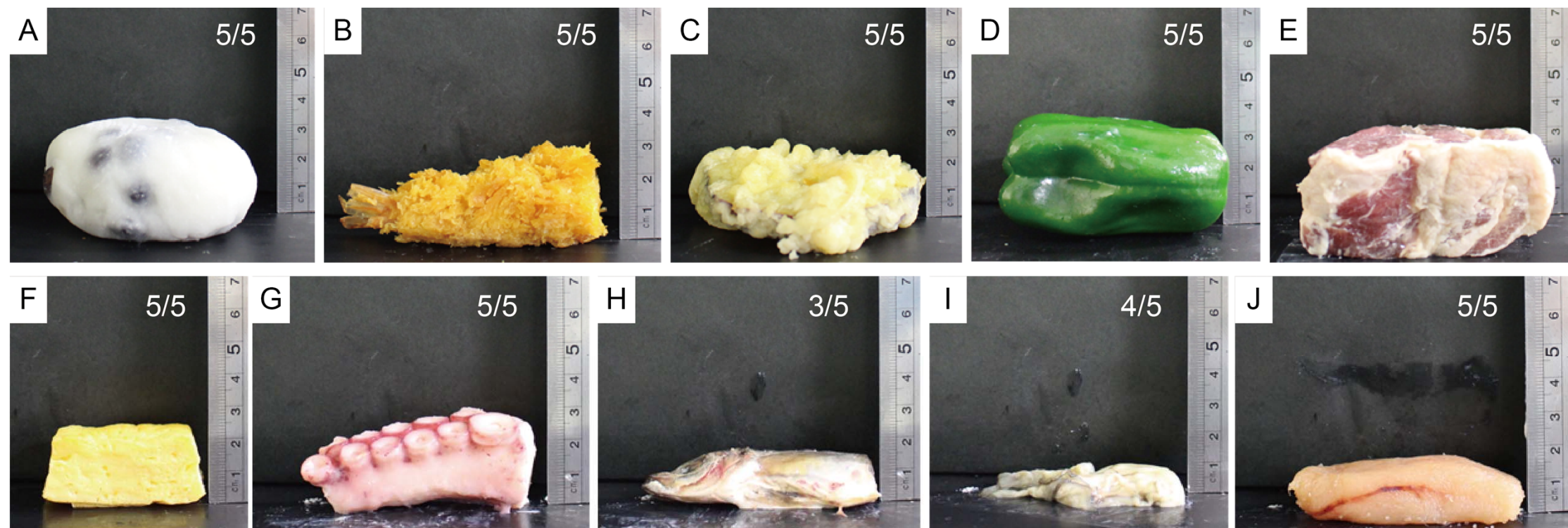


Wang, et al., A Scooping-Binding Robotic Gripper for Handling Various Food Products, *Frontiers in Robotics and AI*, 2021





# 掬い込みバインディングハンド



# グリップの評価

	mGrip P2 グリップ	RG2グ リップ	piSOFTG RIP	幅広グ リップ	環状シェ ルグリッ パ	平面シェ ルグリッ パ	バイン ディング	掬い込 みバイン ディング	mGrip P2 グリップ	RG2グ リップ	piSOFTG RIP	幅広グ リップ	環状シェ ルグリッ パ	平面シェ ルグリッ パ	バイン ディング	掬い込 みバイン ディング	形状分類
卵焼き	5	5	5	5	5	0	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5	1
えび寄せ フライ	5	5	5	5	5	0	0	4	5	5	5	5	0	0	0	5	1
6Pチーズ	3	1	5	5	5	0	0	0	0	5	5	5	5	0	0	0	1
かまぼこ	5	5	5	5	0	0	0	0	0	5	5	5	5	0	0	0	1
ゆで卵	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5	2
ゆで卵半 身	5	5	5	5	5	0	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5	2
ミニトマ ト	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5	2
ピーマン	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	2
大福	5	0	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	0	5	5	2
から揚げ	5	5	5	5	5	0	0	0	5	5	5	5	5	5	0	5	2
アナゴ寿 司	5	5	5	5	0	0	0	0	0	5	5	5	5	0	3	5	2
あじ	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0	0	0	0	0	0	3
きゅうり	0	5	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	4



# NEDO先導調査研究

三次元形状

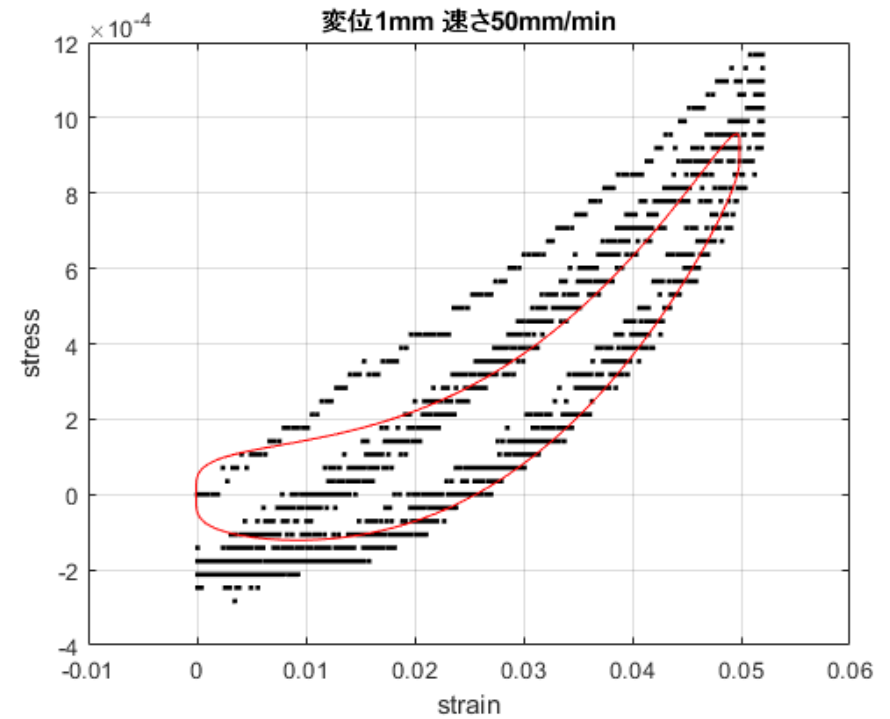
粘弾性

摩擦



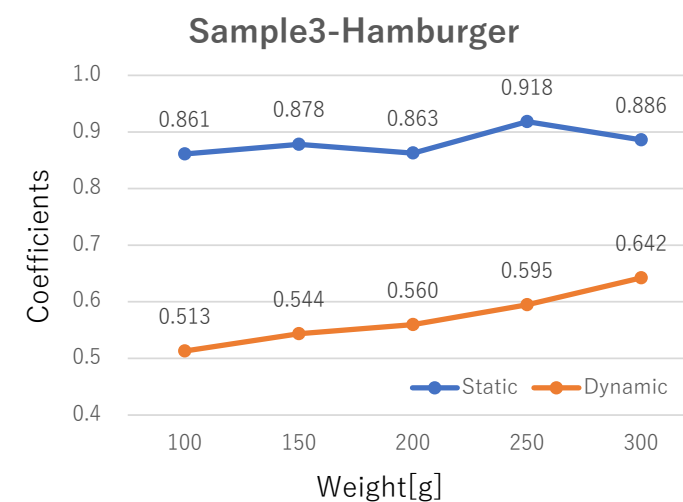
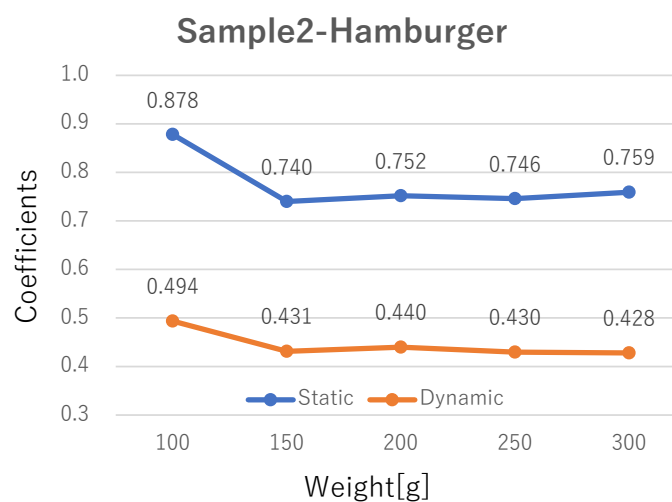
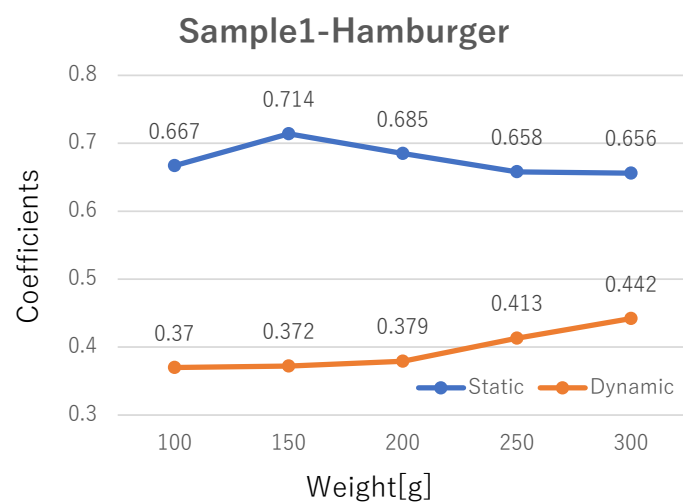
# NEDO先導調査研究

## 応力-ひずみ曲線



# NEDO先導調査研究

## 摩擦特性



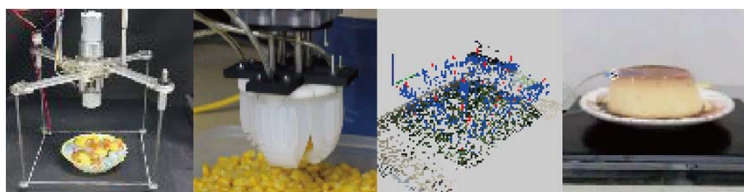
# NEDO先導調査研究



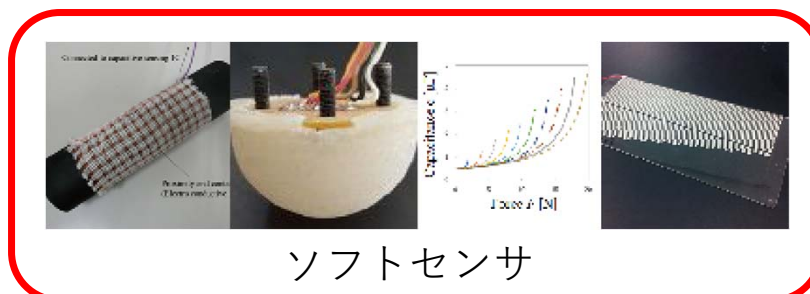


# ソフトロボティクス研究室

柔らかい材料を積極的に用いて新しい機能を発現するロボットに関する研究を幅広く進めています



食品マニピュレーション



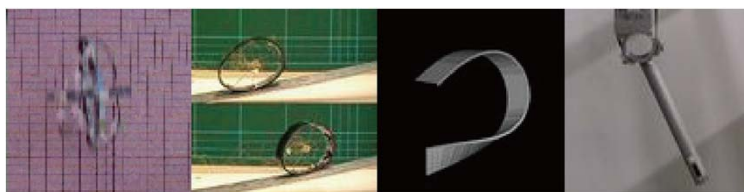
ソフトセンサ



生物マニピュレーション



空気圧システム



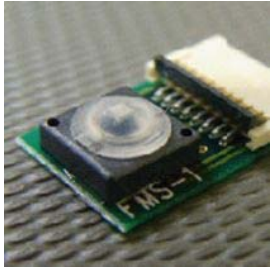
ソフトコンタクト

# 触覚センシング



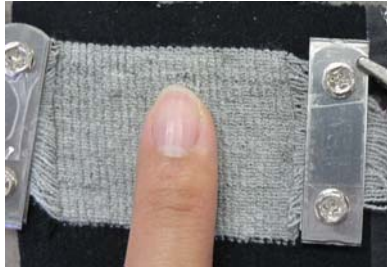
材料特性や表面特性を感知

2011



micro force sensor

2012



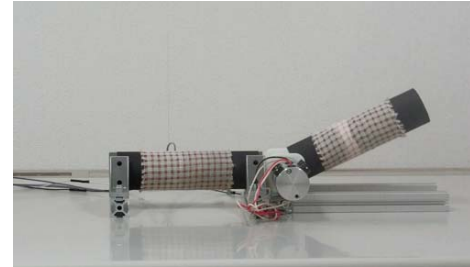
fabric sensor

2015



fiber sensor

2019

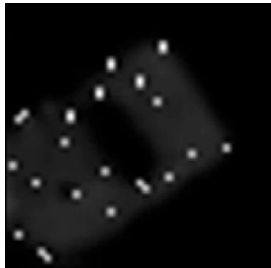


fabric proximity sensing



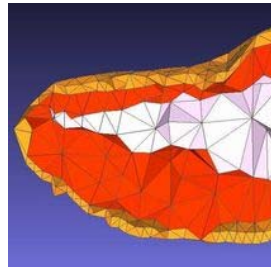
area-independent force sensing

2012



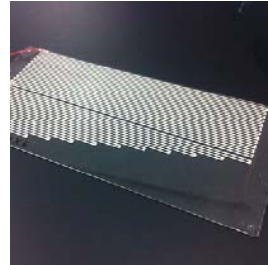
tactile image processing

2014



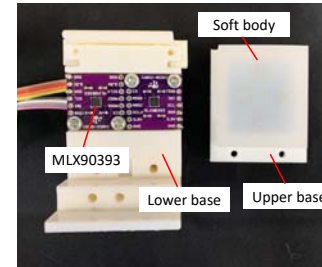
fingertip model

2017



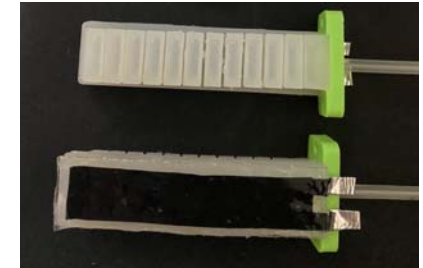
bend sensing

2020



contact estimation

2021



embedded soft sensor

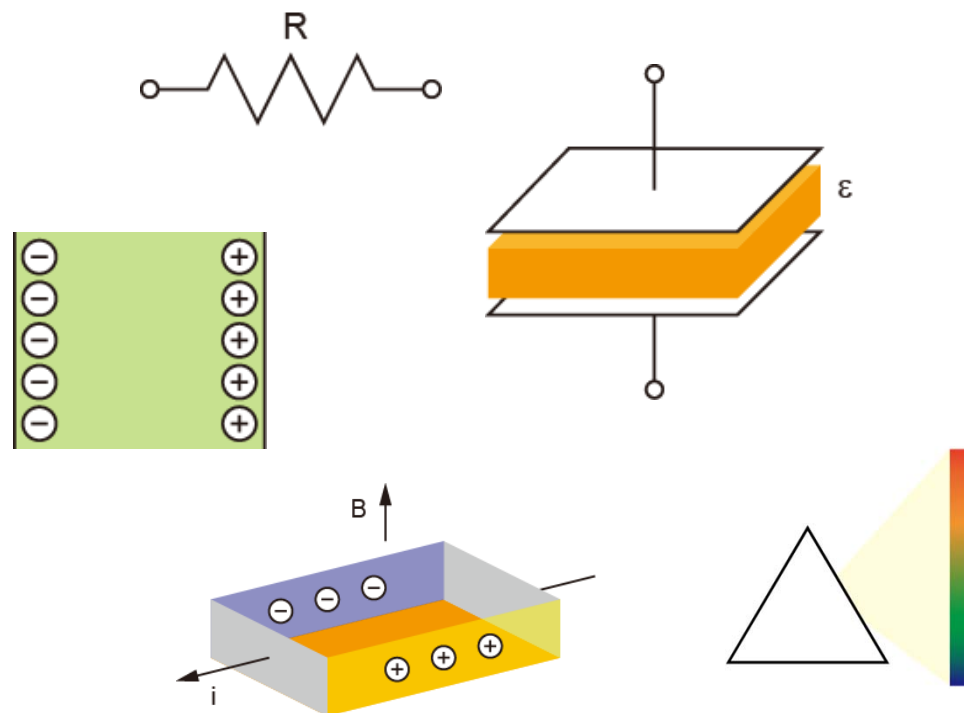
2010

2015

2020

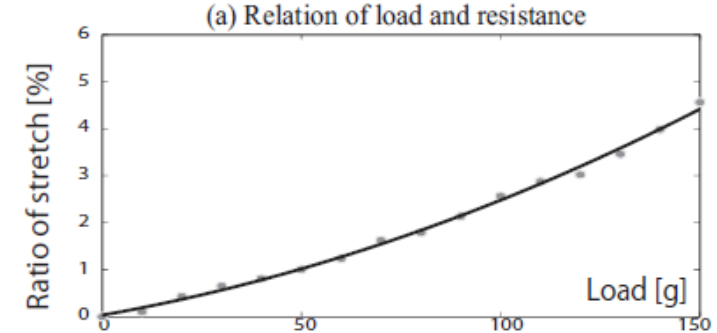
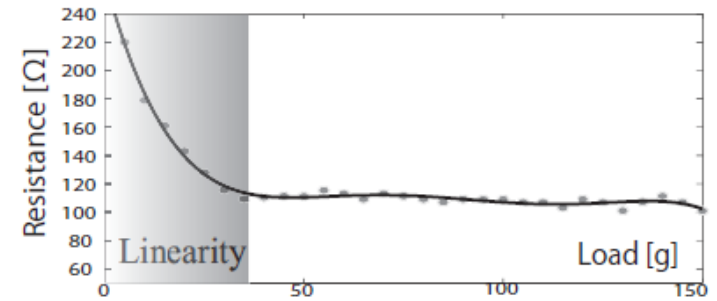
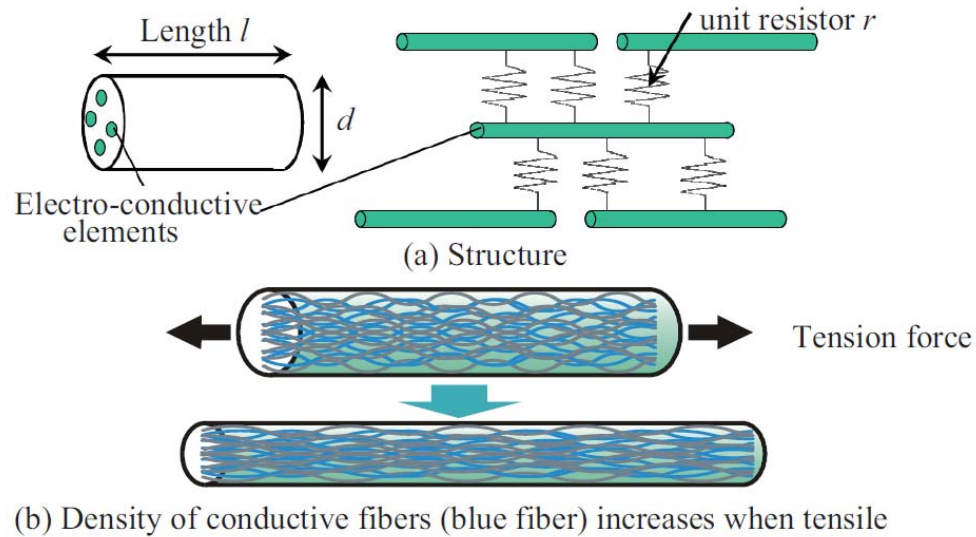
# センシング方式

- 電気抵抗
- 静電容量
- 圧電効果
- 磁気
- 光（画像）



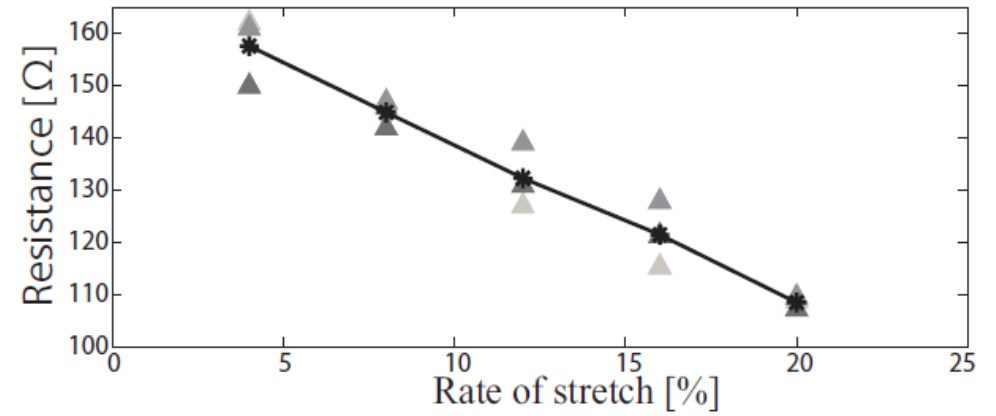
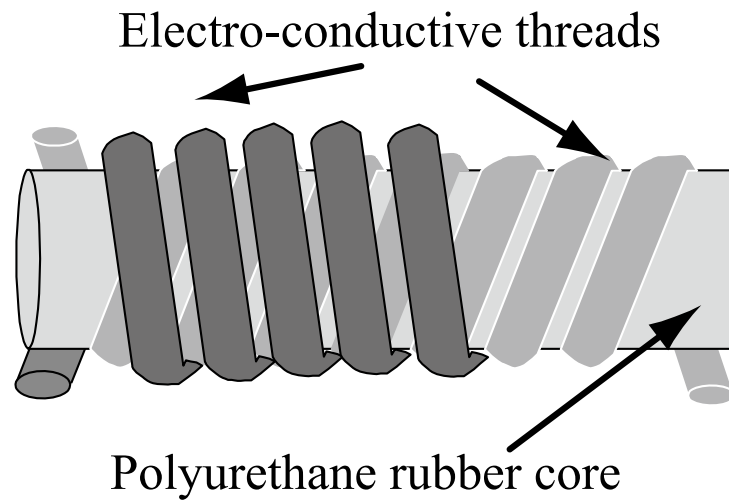


# 導電糸センサ



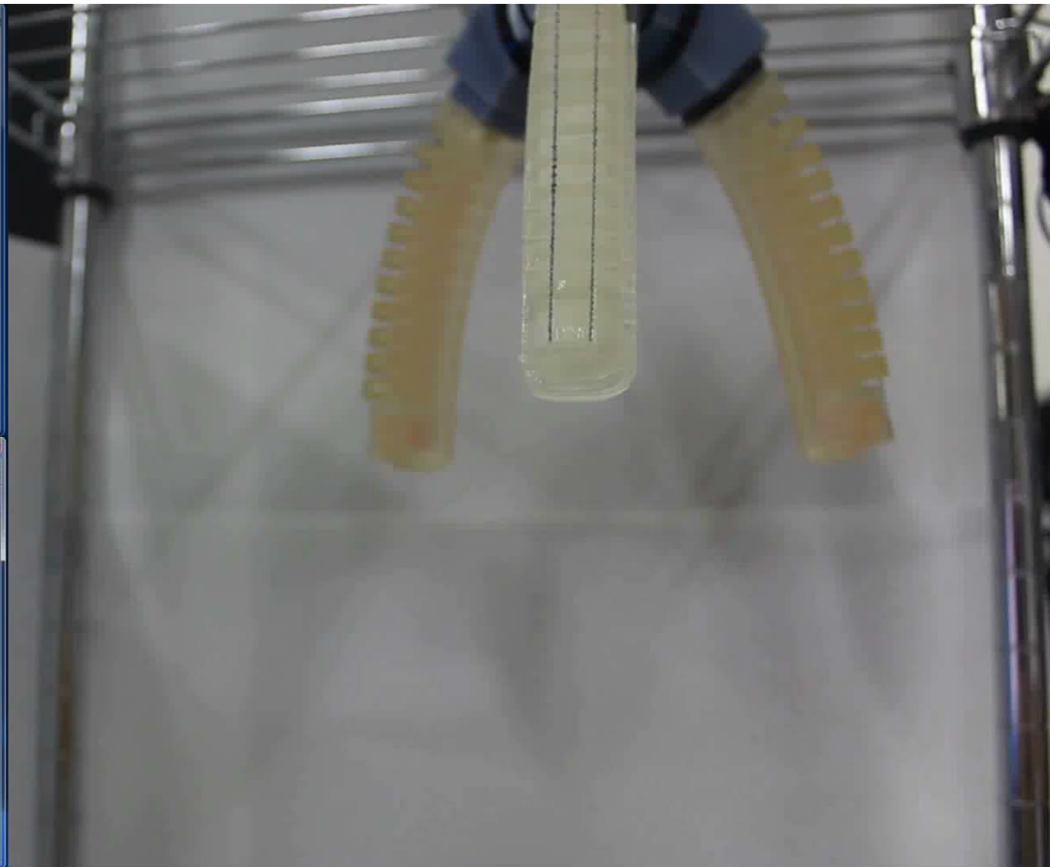
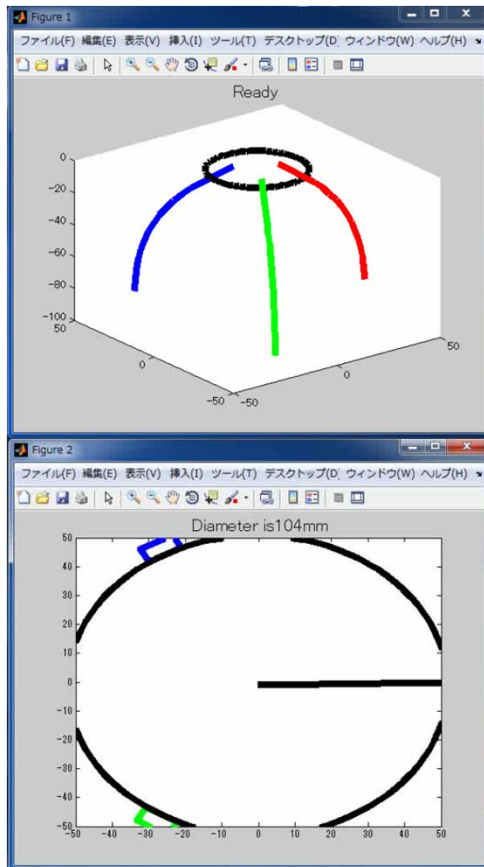
計測範囲 ~ 2%

# ダブルカバリング構造

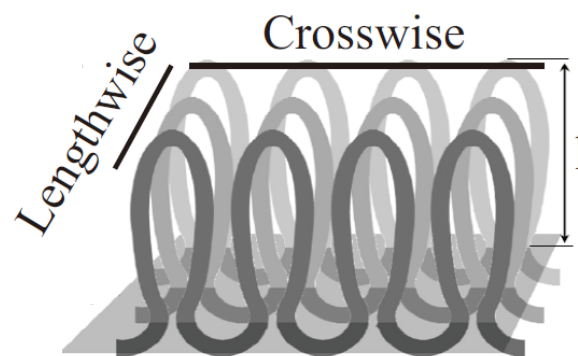
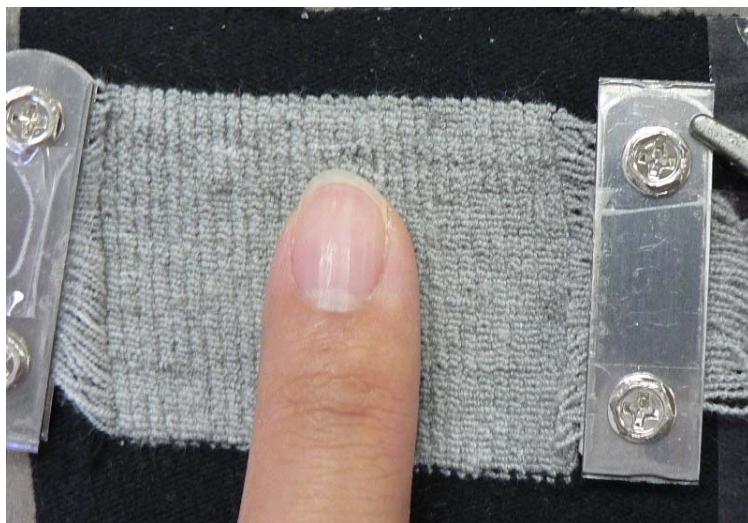


計測範囲 ~ 20%

# 柔軟指の曲げの推定

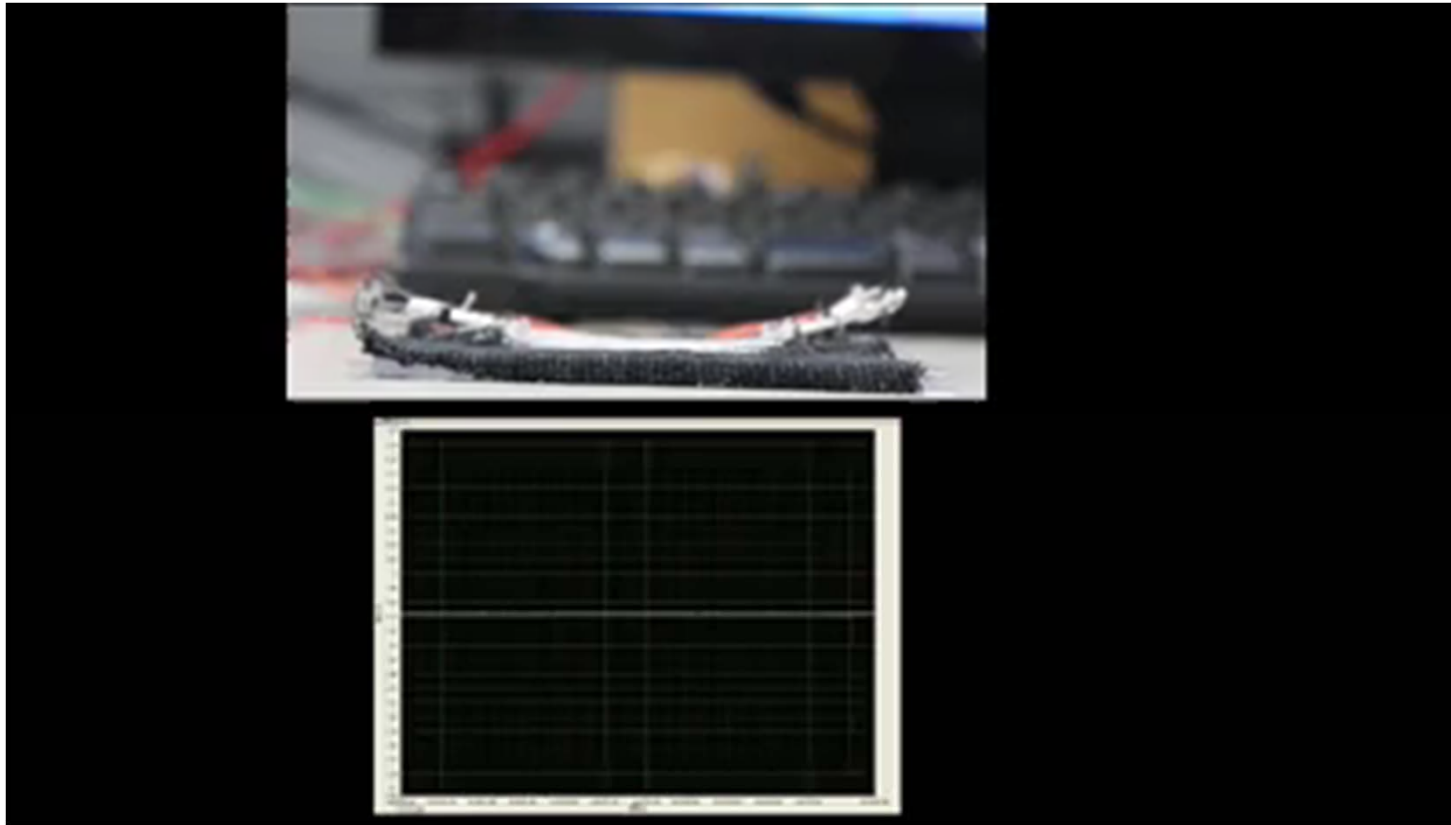


# 布地センサ

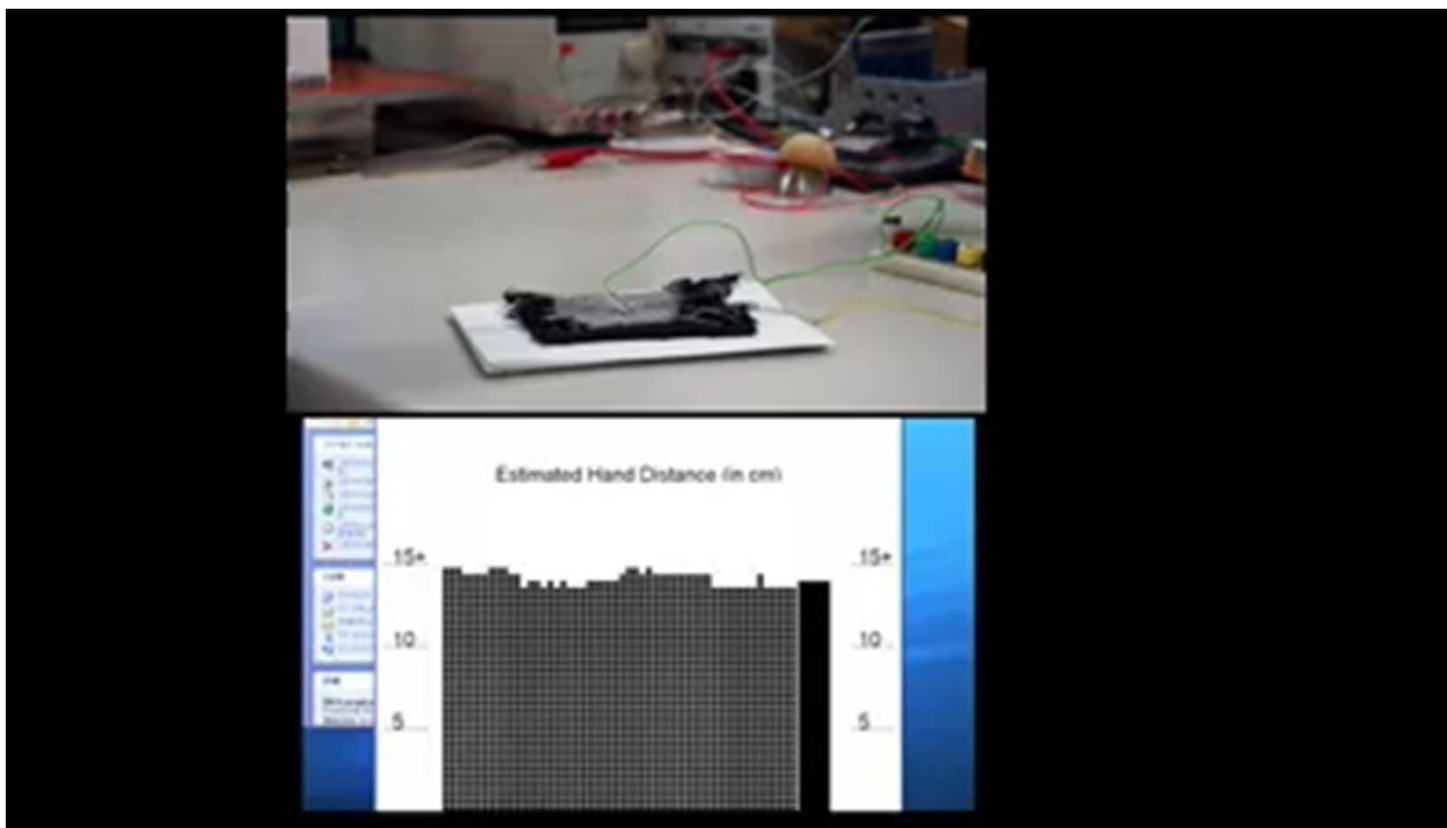




# 布地センサ：接触センシング



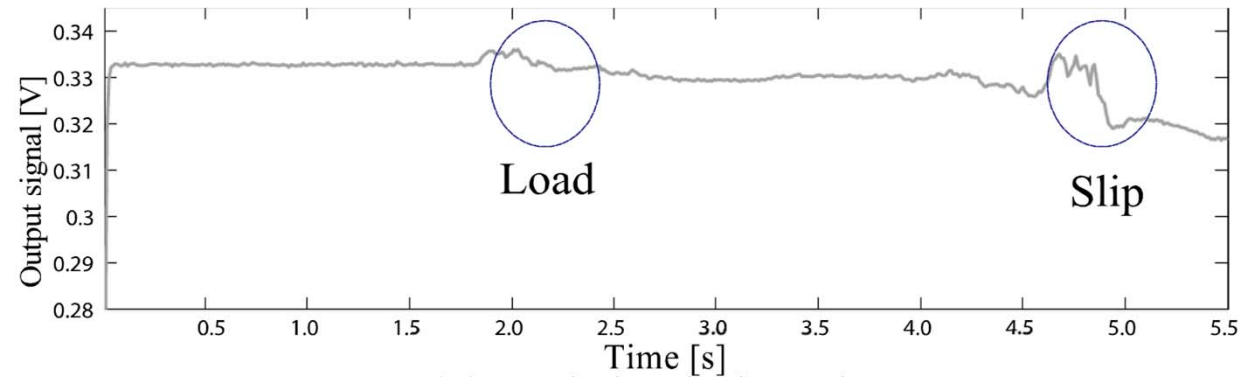
# 布地センサ：近接センシング



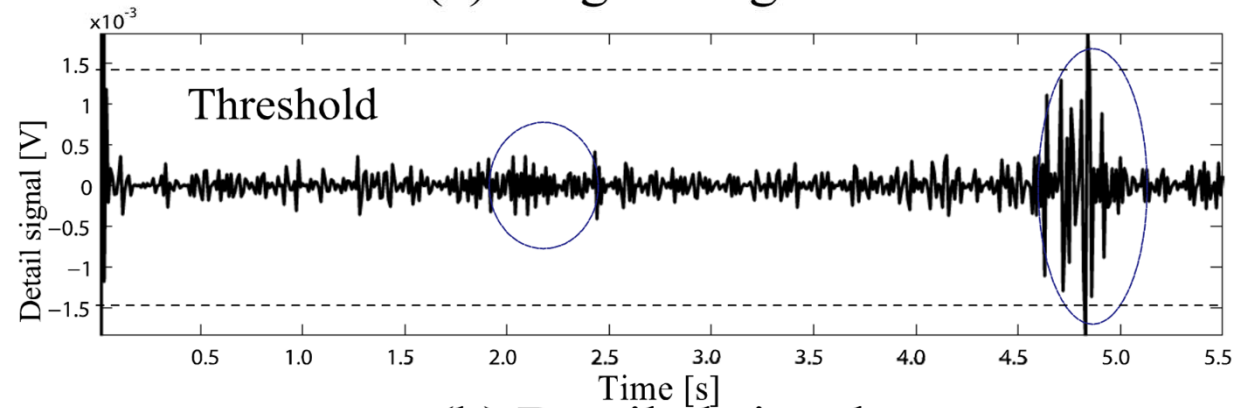
# 滑りの検出

ウェーブレット変換  
高周波成分の振幅

Van Ho and Shinichi Hirai  
Robotics: Science and Systems VII  
pp.129-136, 2012

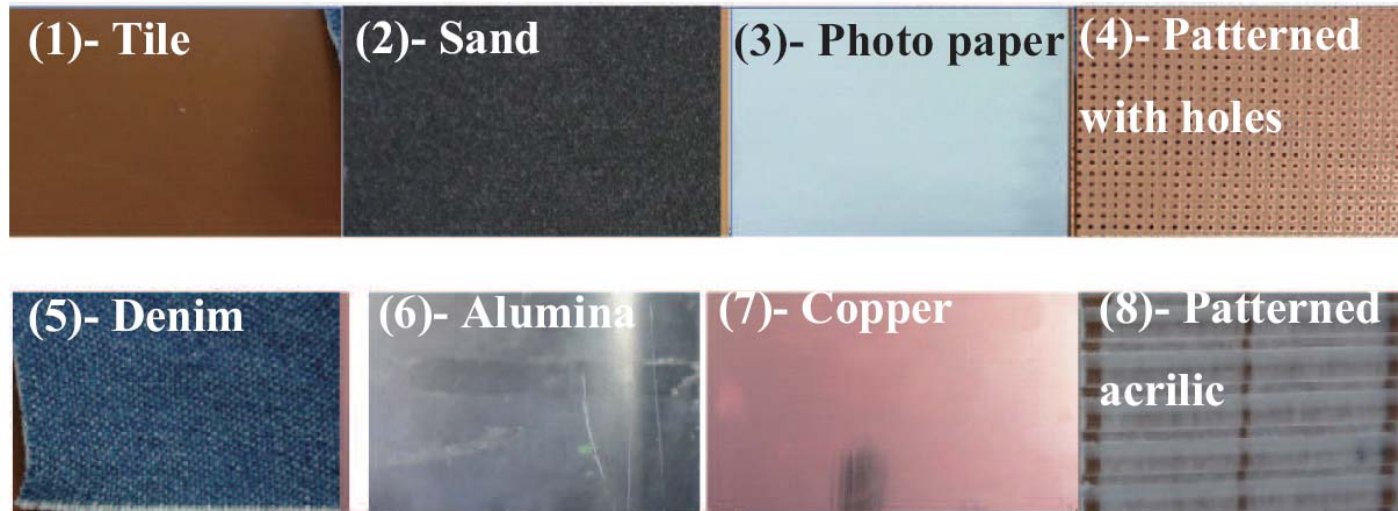
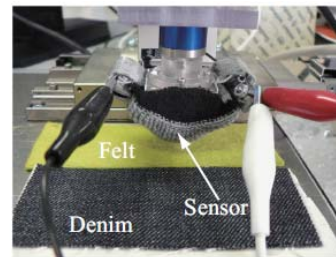
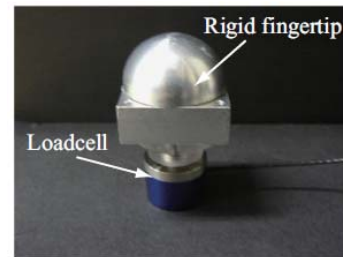


(a) Original signal



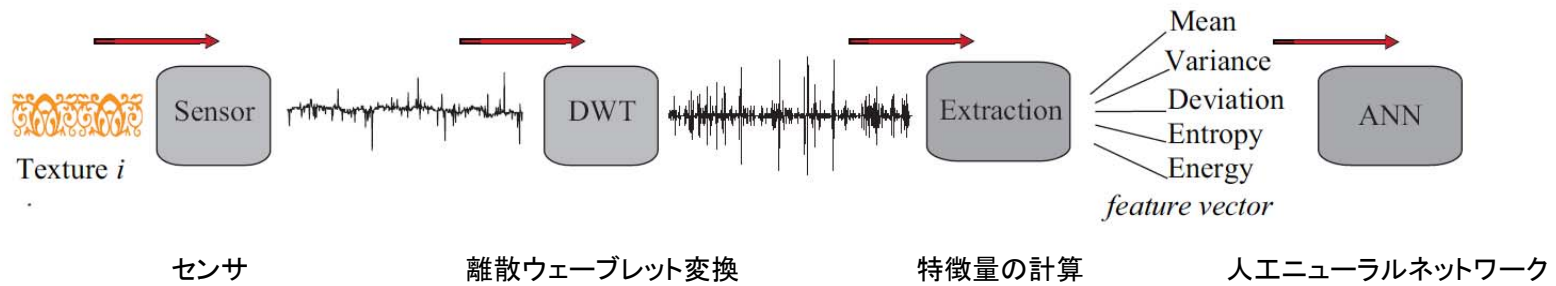
(b) Detailed signal

# 表面テクスチャーの識別

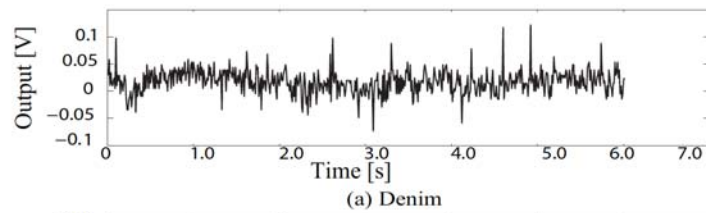




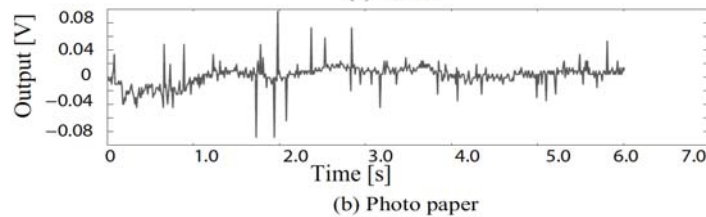
# 表面テクスチャの識別



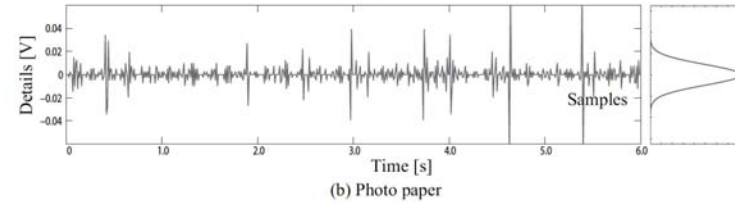
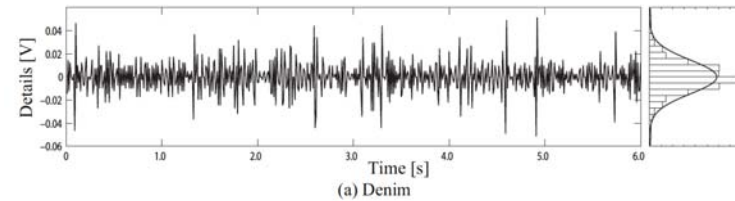
デニム



写真用紙

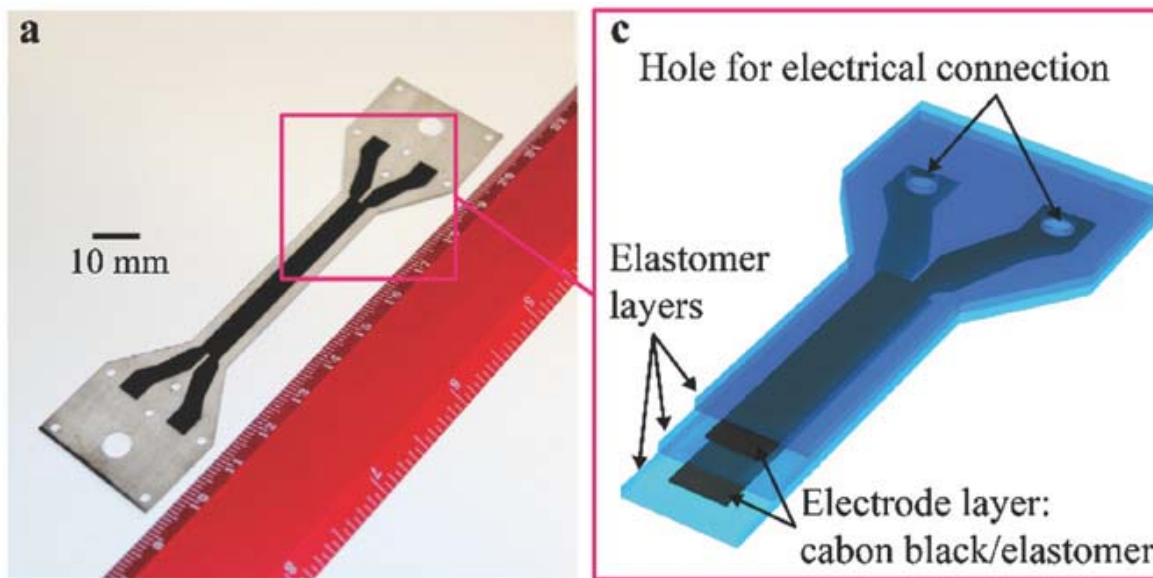


布センサの出力



離散ウェーブレット変換の詳細係数

# ソフト歪みセンサ

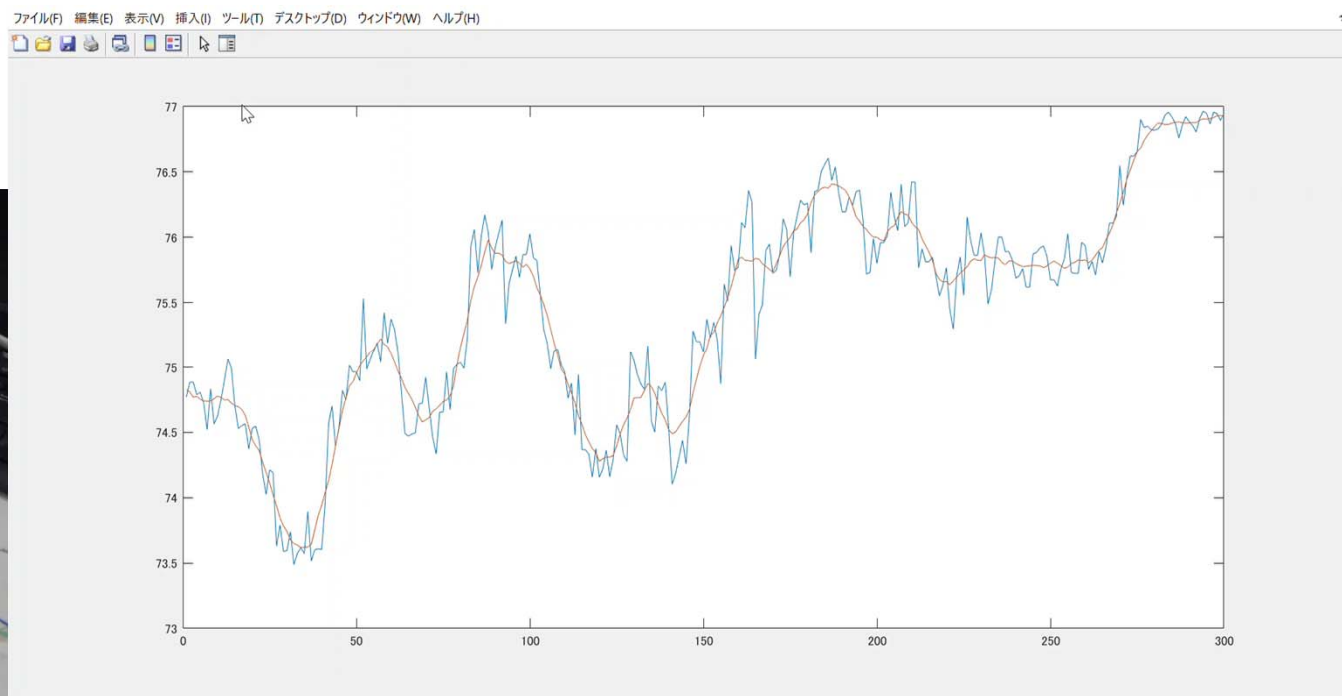
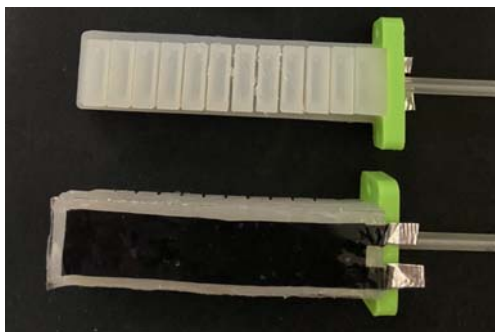


新竹 純 (電気通信大学)

Jun Shintake et al., Advanced Materials Technologies, 2018

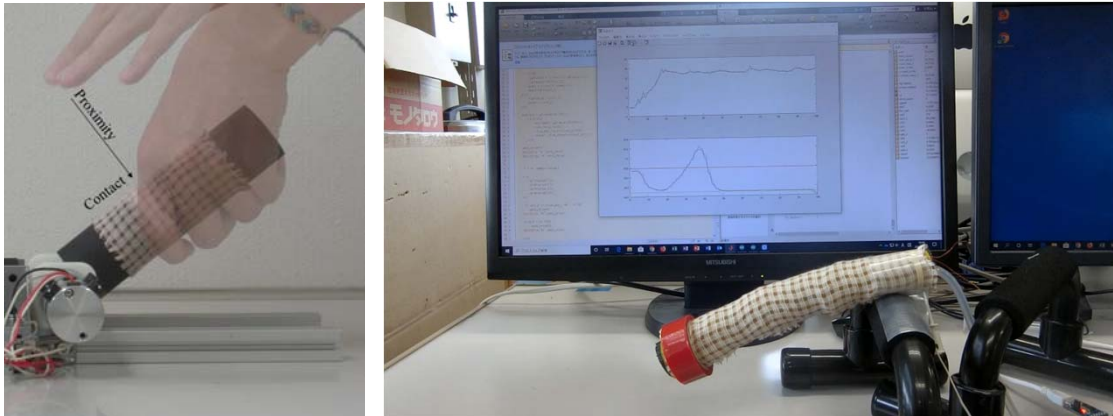
# ソフト歪みセンサによる曲げ計測

宮越 他, 第39回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2021)



# Fabric-based Proximity/Contact Sensor

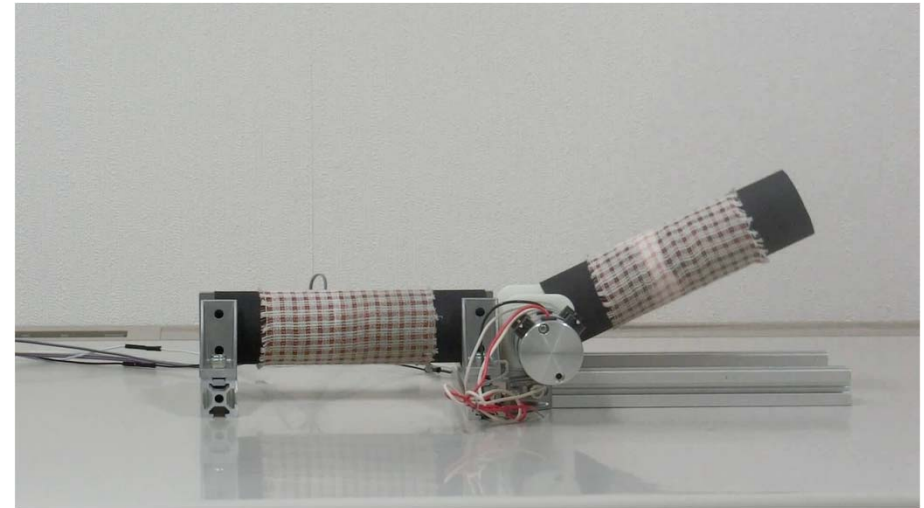
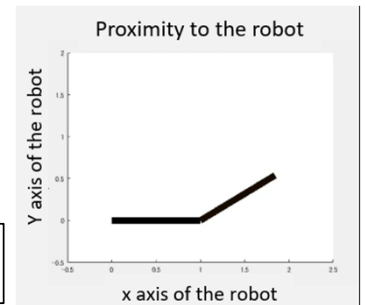
Sensor made of conductive fabric  
Can detect approaching/contacting objects



Can cover curved surfaces of rigid/soft robots  
Applicable to safety sensors of robots

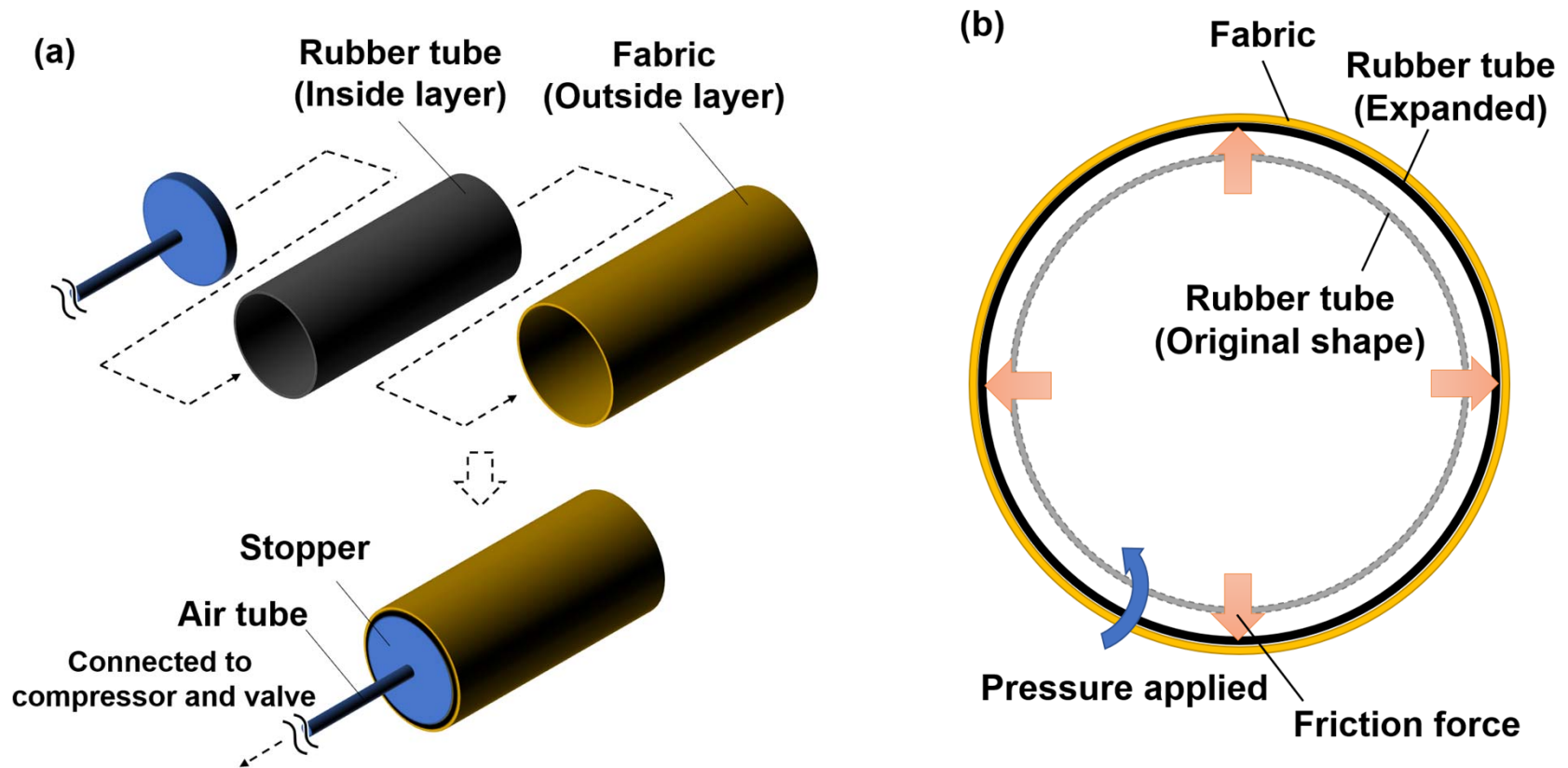


■ → ■: Proximity  
■: Contact

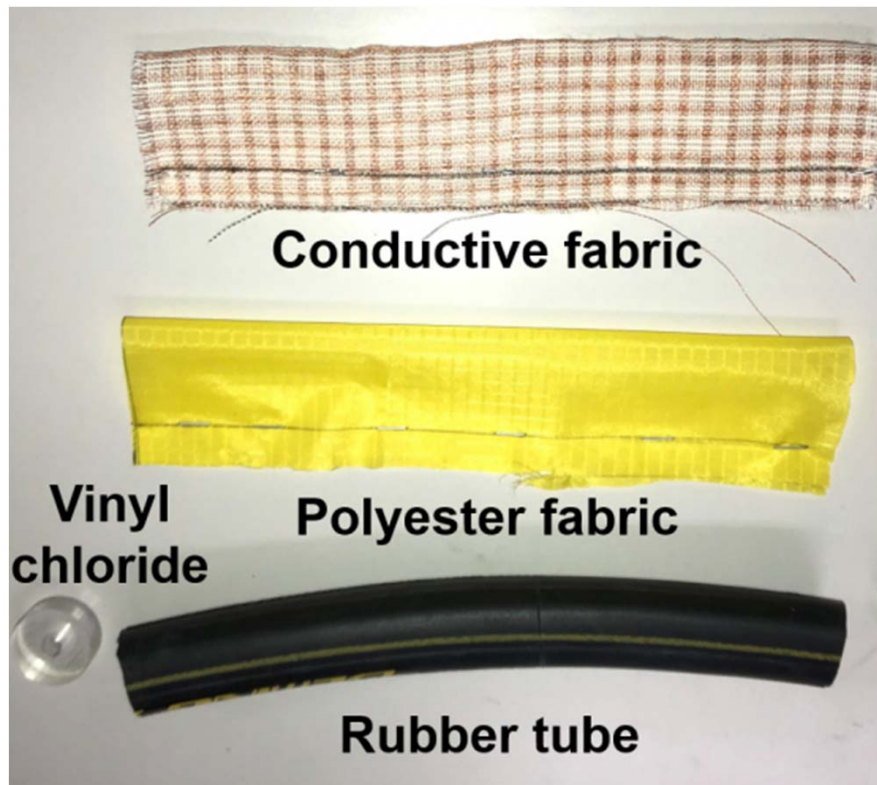


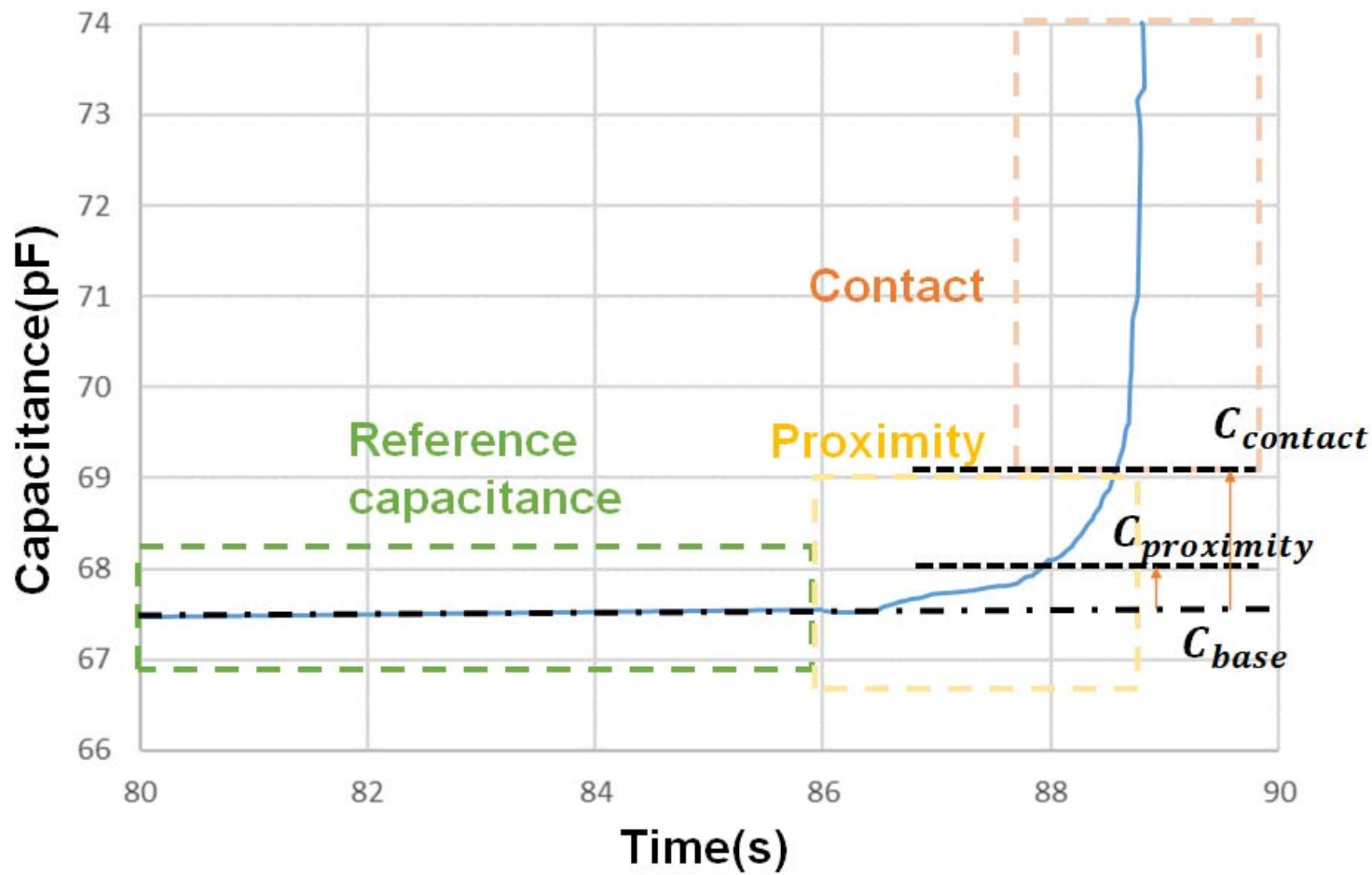


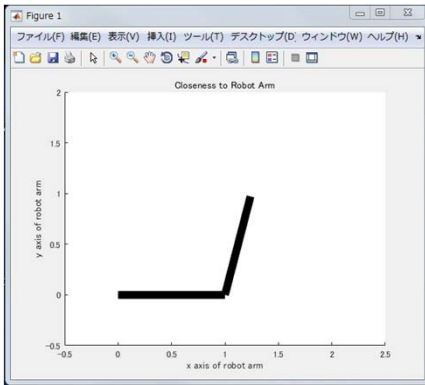
# Variable Stiffness Link with Fabric Sensor



# Variable Stiffness Link with Fabric Sensor

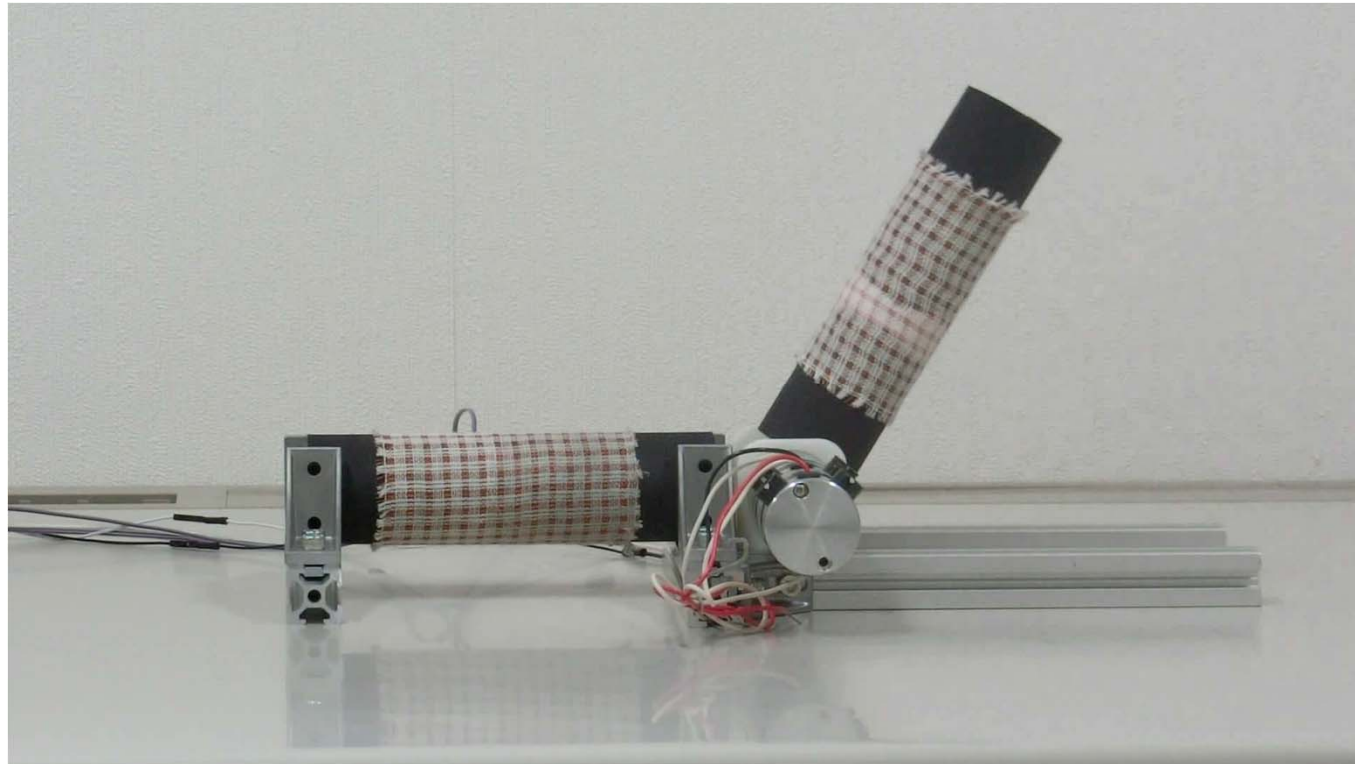
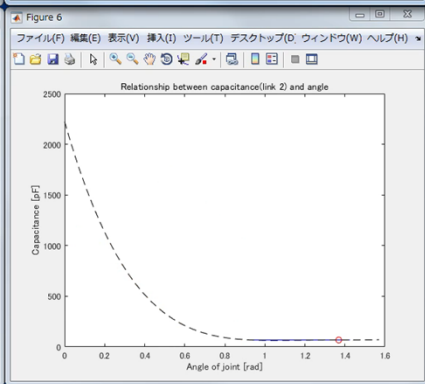
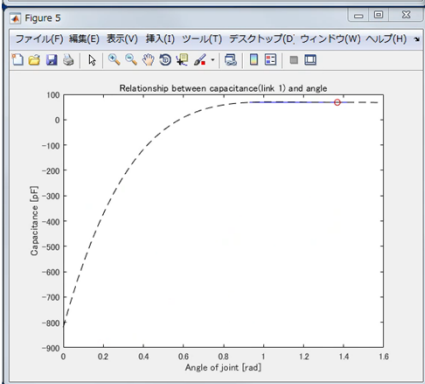
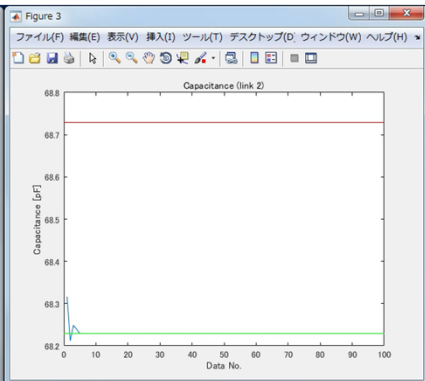
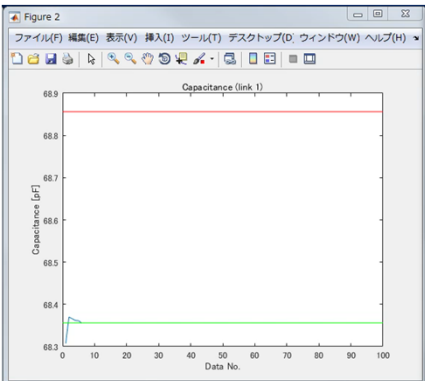






■: Proximity  
■: Contact

—: Measured  
—: Reference

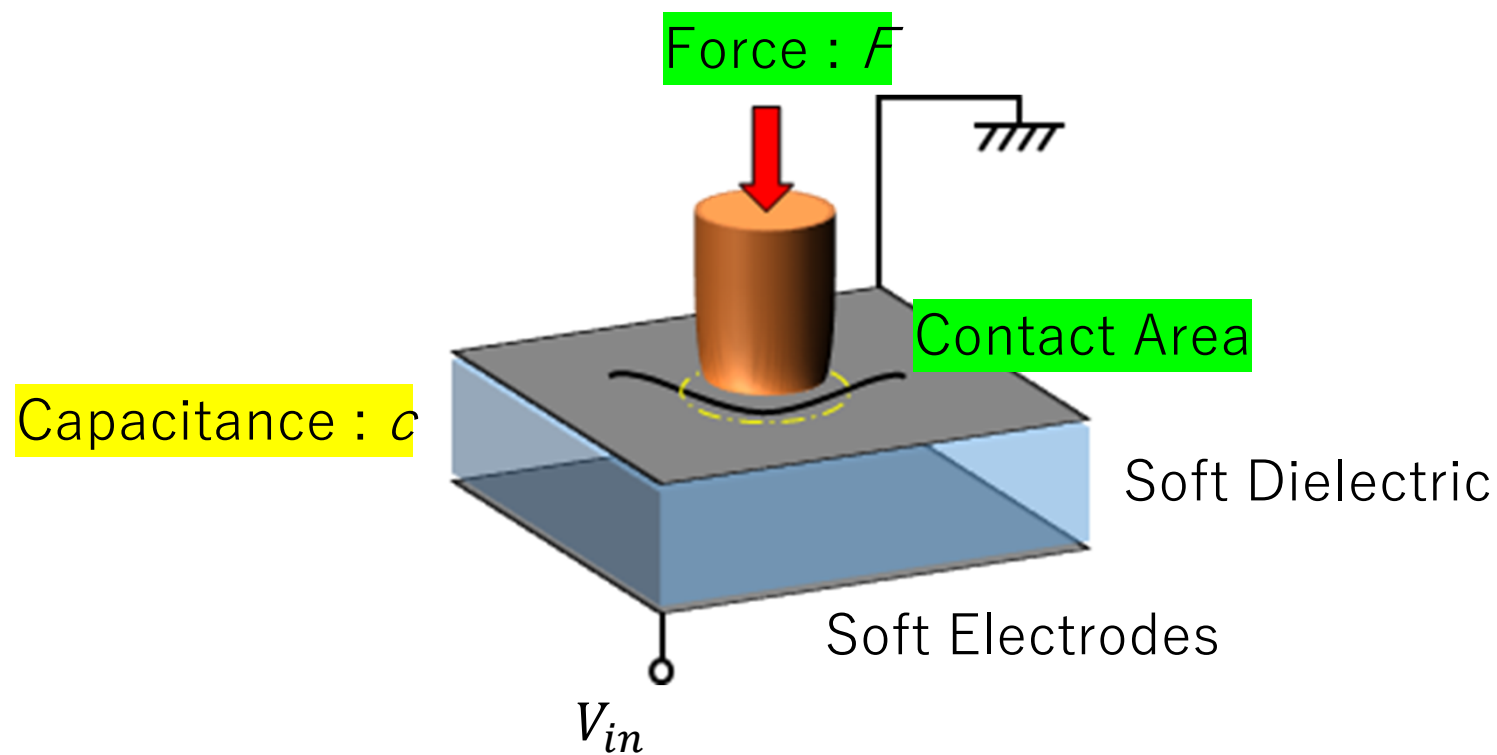




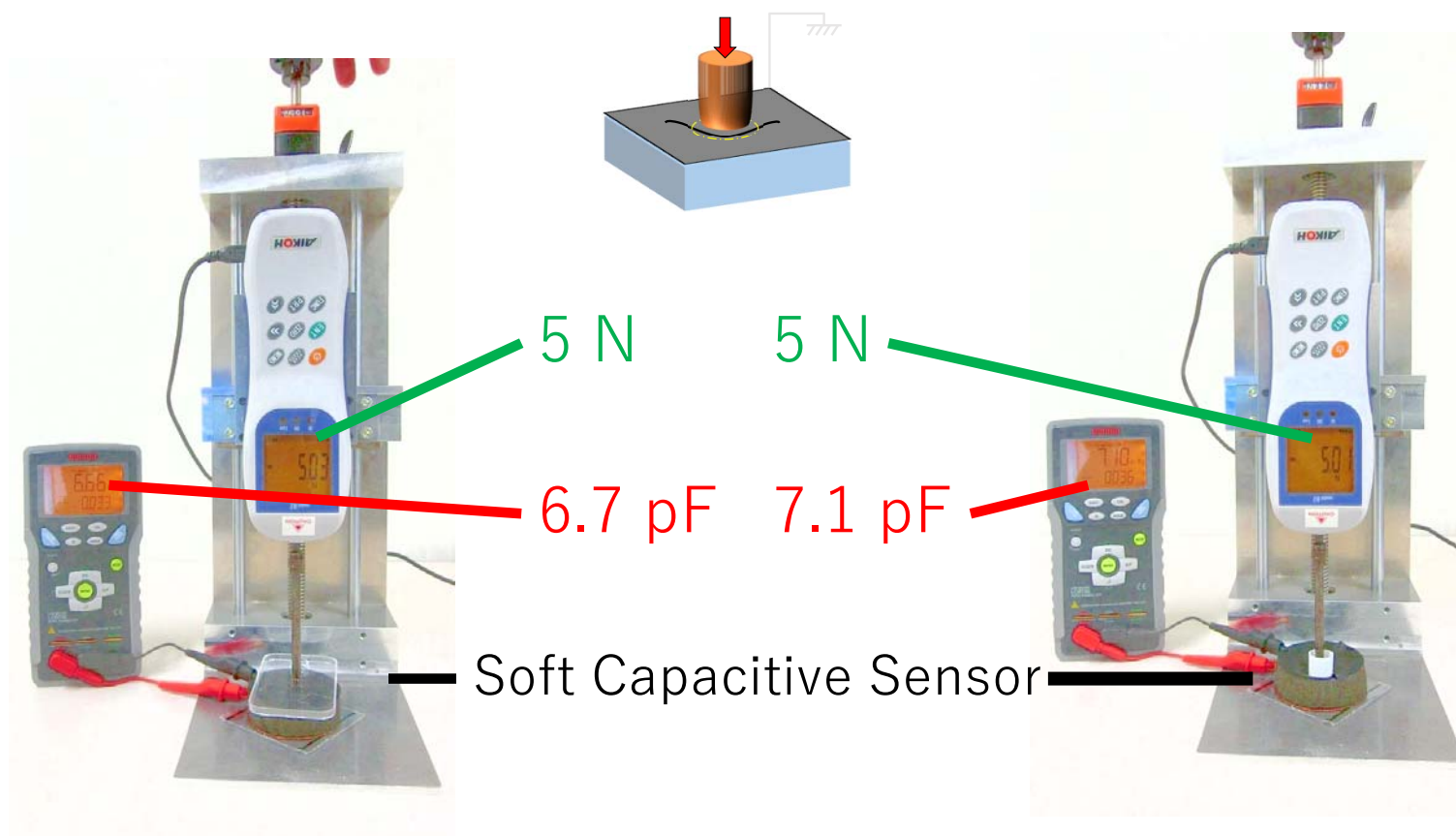
# Adaptive Update of Reference Capacitances in Conductive Fabric Based Robotic Skin

Takahiro Matsuno, Zhongkui Wang, Kaspar Althoefer and Shinichi Hirai

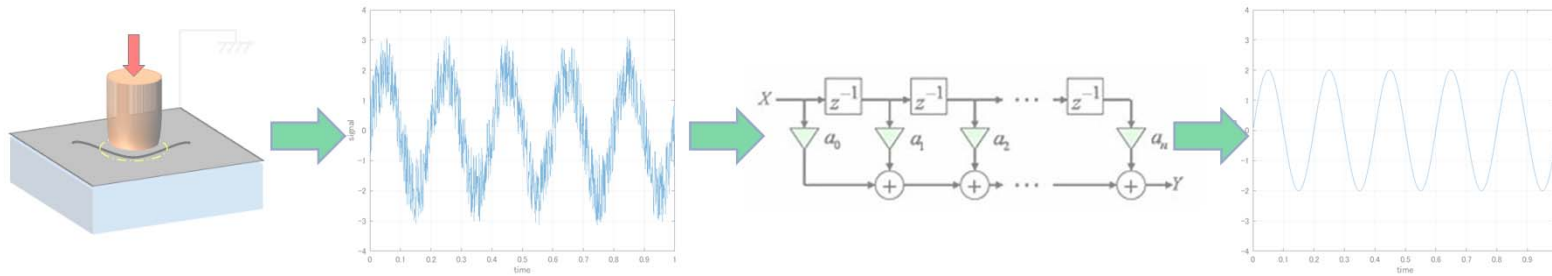
# 柔軟力覚センサ



# 柔軟力覚センサ



# 柔軟力覚センサ



Sensor

Signal

Processing

Physical quantity



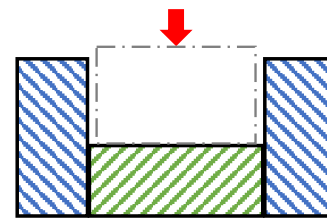
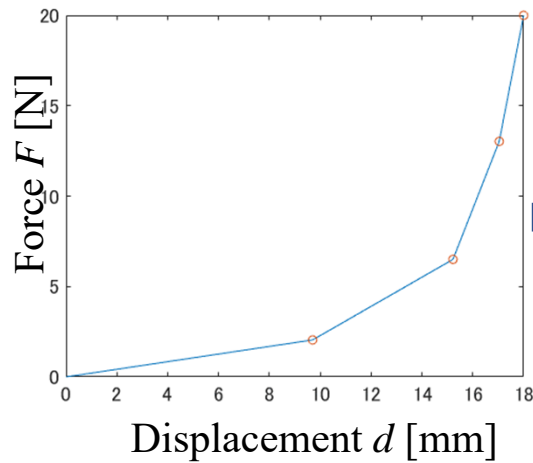
Sensor

Physical quantity

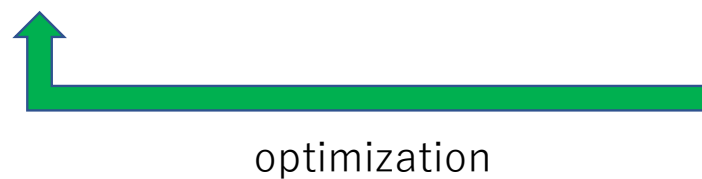
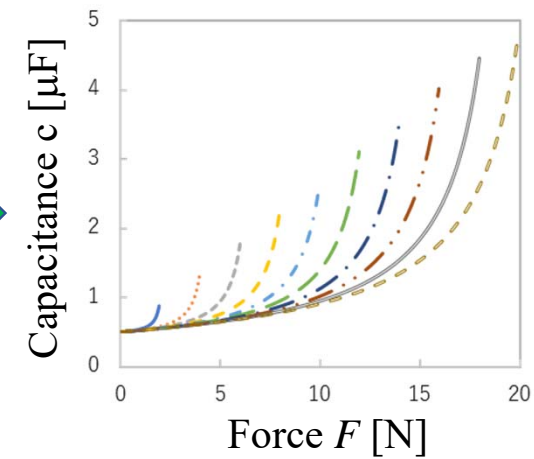


# 柔軟力覚センサ

Mechanical property of dielectric

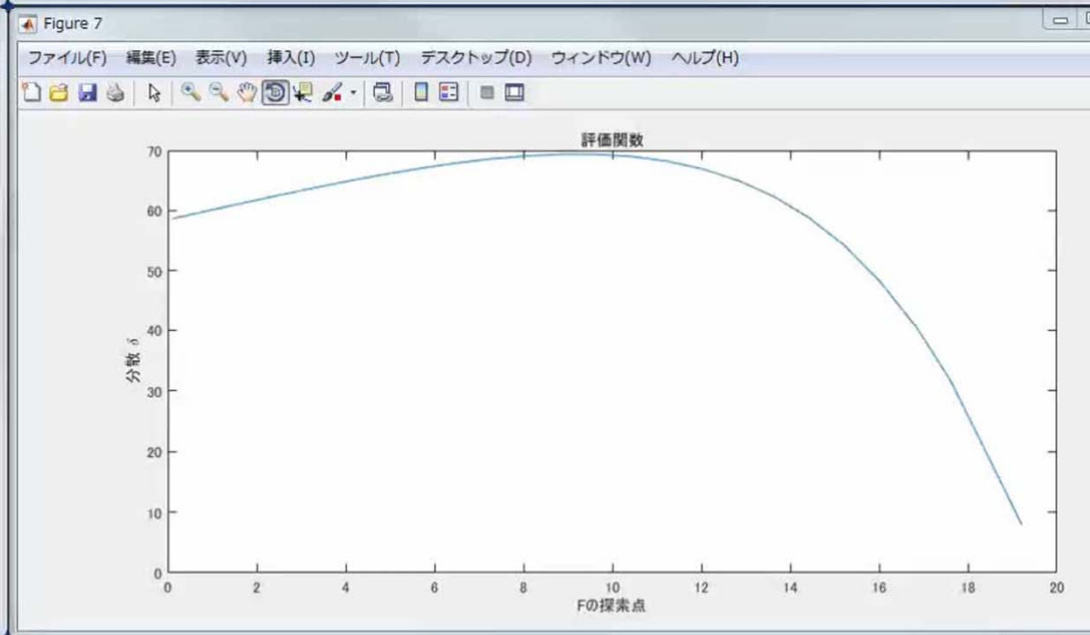
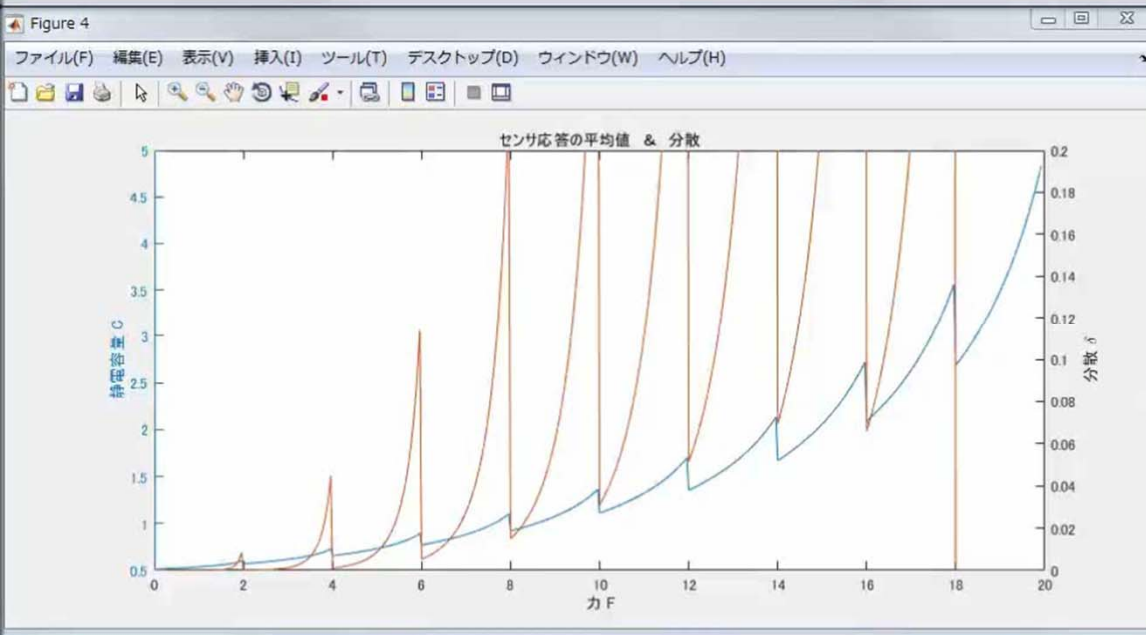
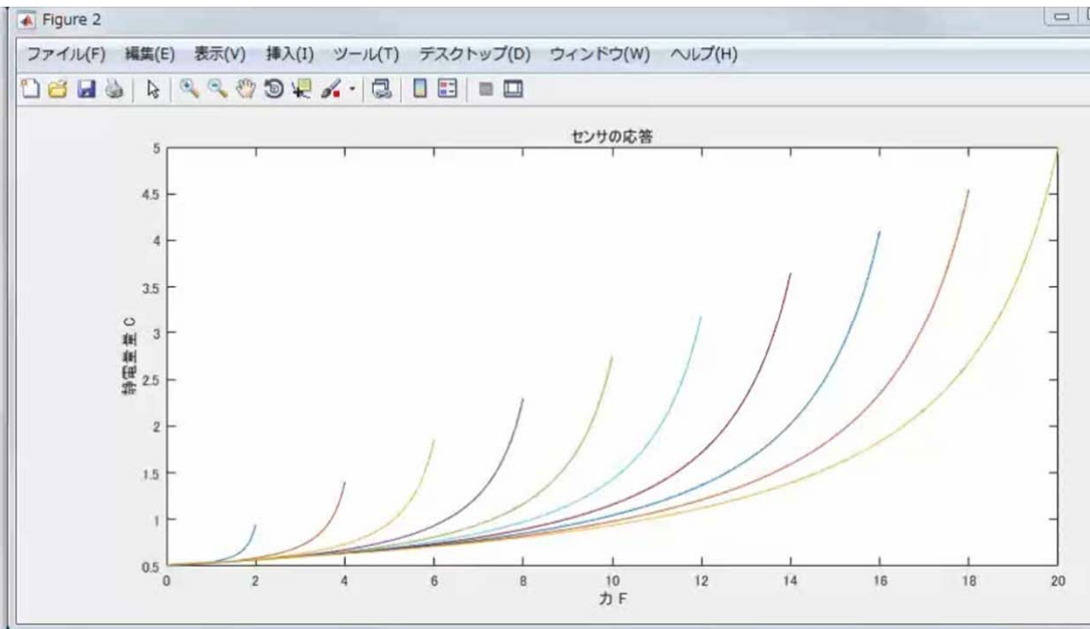
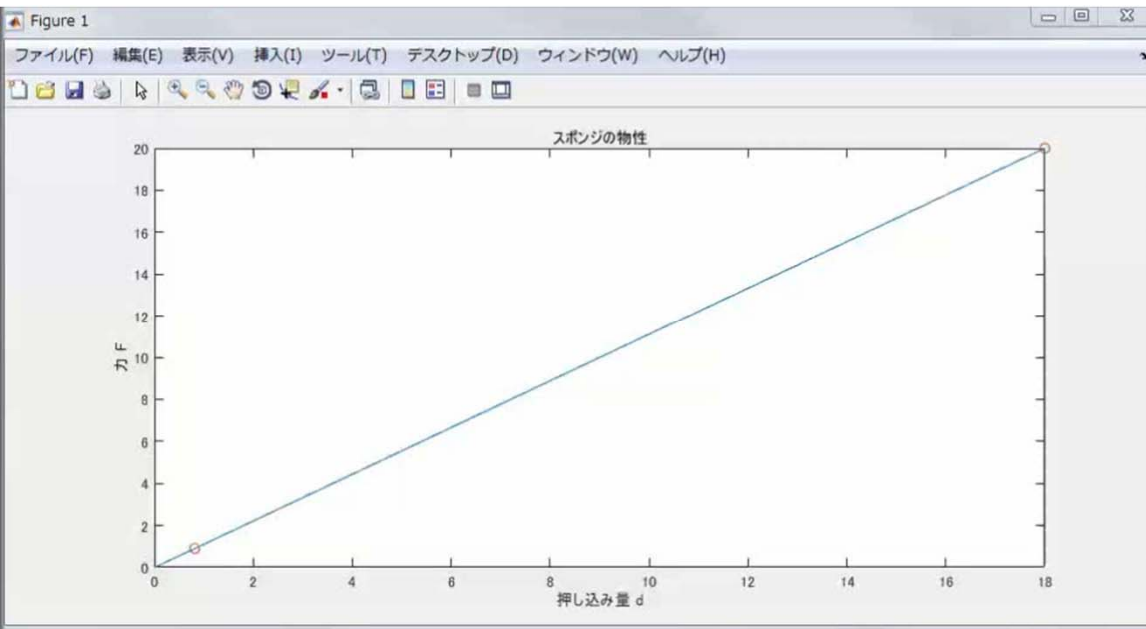


Response for different areas

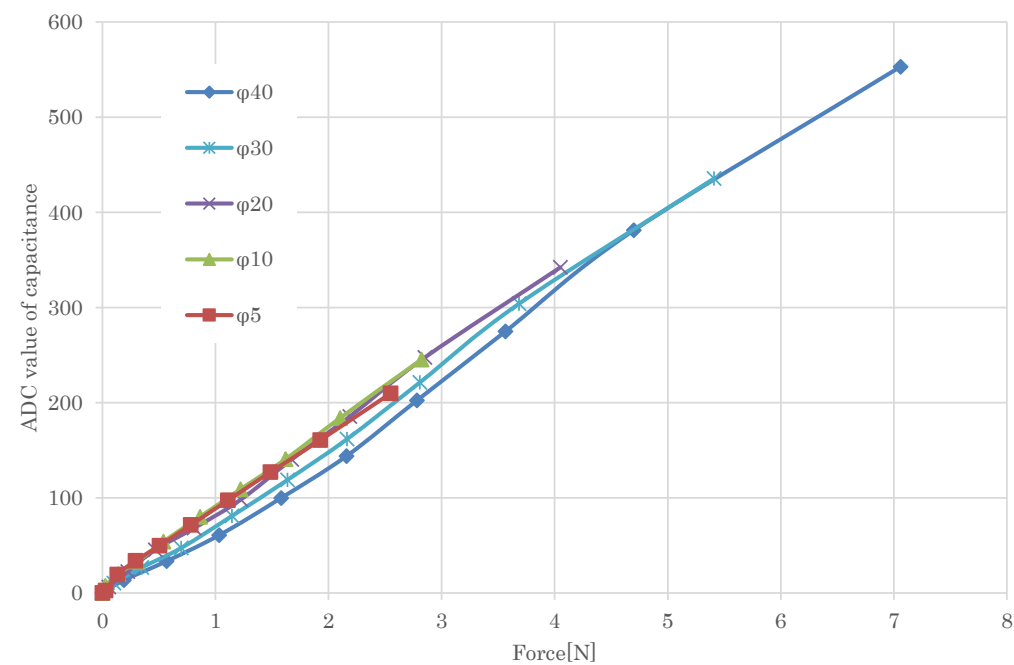
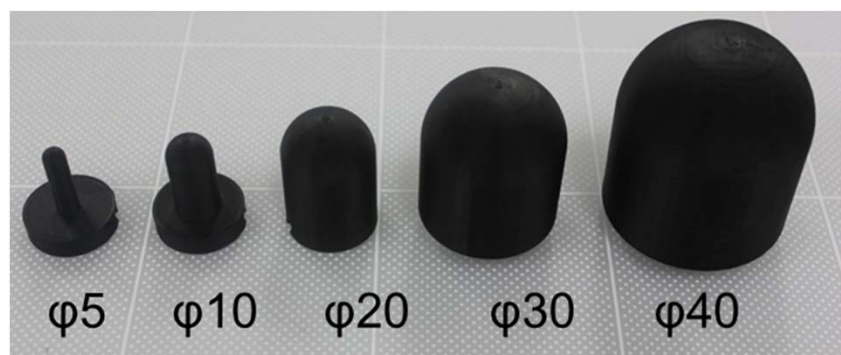


$$\min \sum \left( \frac{\sum_{i=1}^n (c_i - c_{\text{avg}})^2}{n} \right)$$

Matsuno and Hirai, IEEE Robotics and Automation Letters, 2021



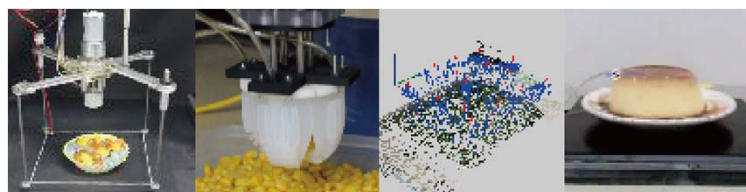
# 柔軟力覚センサ



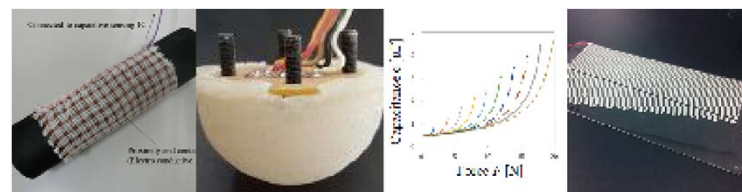
Matsuno and Hirai, IEEE Robotics and Automation Letters, 2021

# ソフトロボティクス研究室

柔らかい材料を積極的に用いて新しい機能を発現するロボットに関する研究を幅広く進めています



食品マニピュレーション



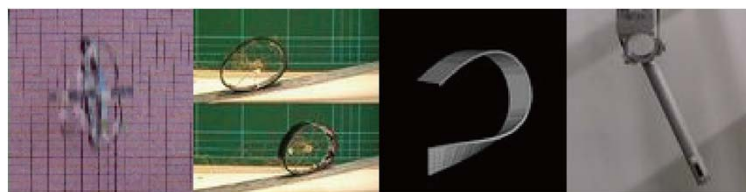
ソフトセンサ



生物マニピュレーション



空気圧システム



ソフトコンタクト



# 生物マニピュレーション



<https://mainichi.jp/articles/20200217/k00/00m/040/024000c>

<https://www.chunichi.co.jp/article/497699>

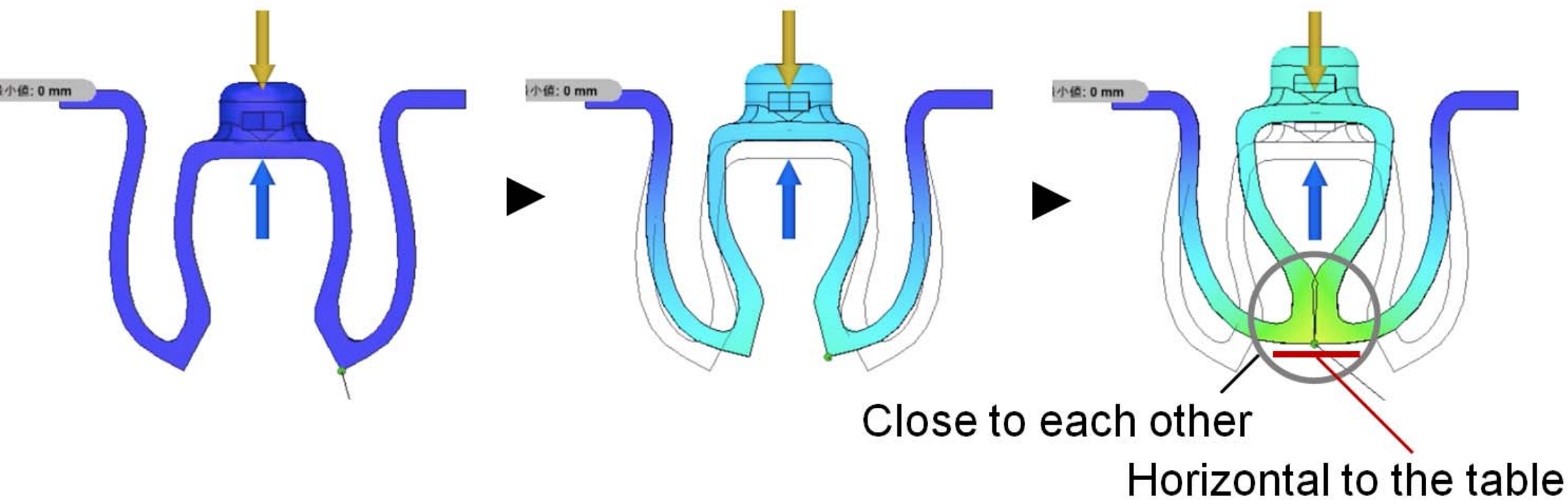
# 蚕の割愛



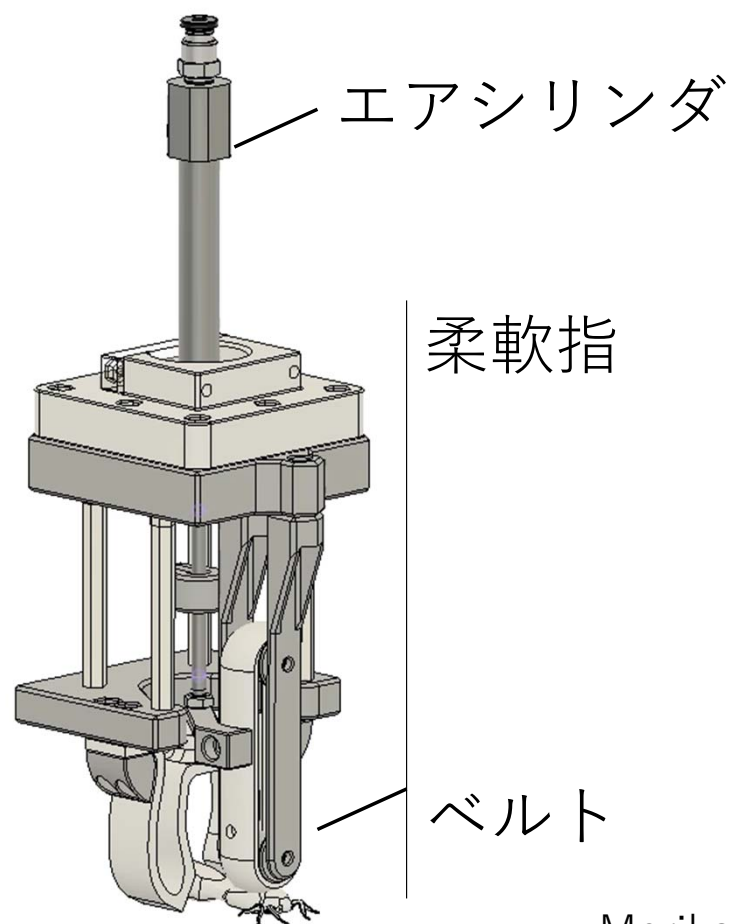
- 雌雄を分離
- 把持運搬



# 蚕の割愛



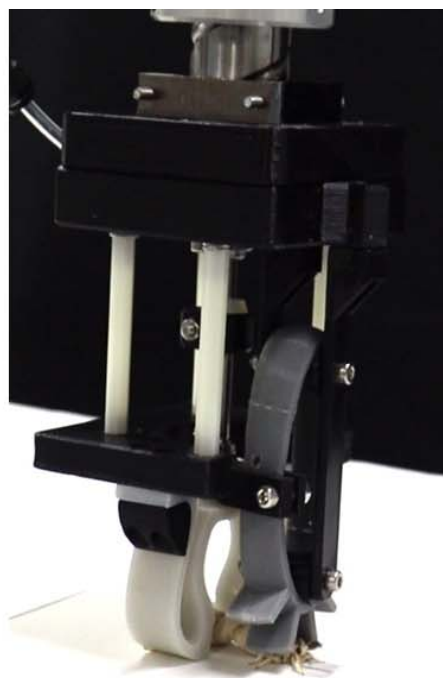
# 蚕の割愛



Morikage et al., RoboSoft 2023



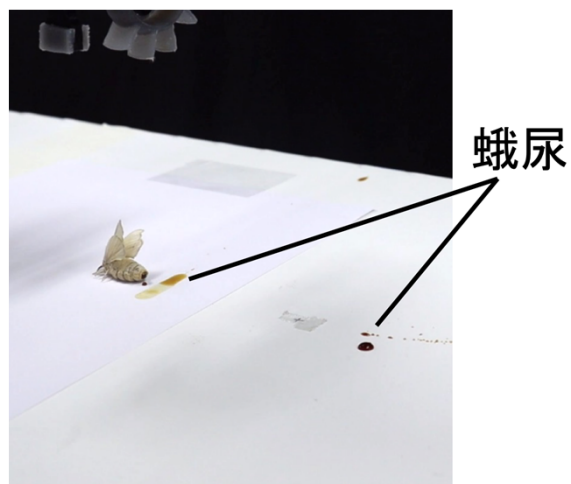
# 蚕の割愛



# 蚕の割愛



# 蚕の割愛



手作業でも生じる



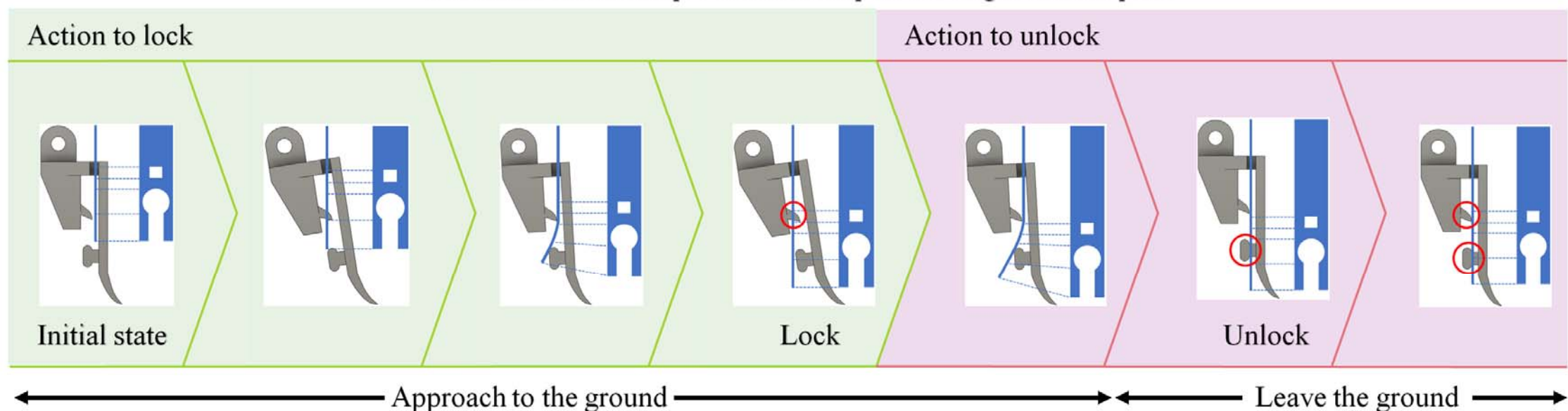
運動は正常



正常に産卵

# クラゲの把持

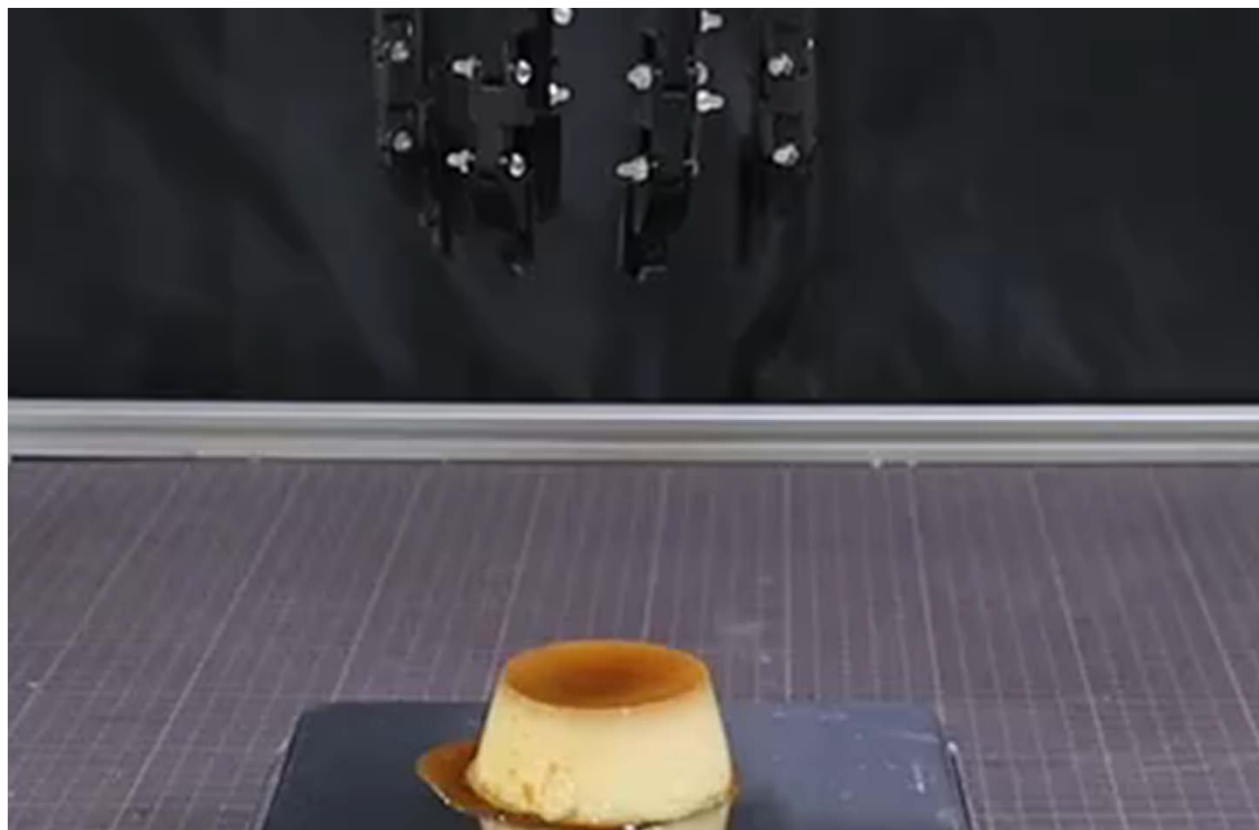
Positional relationship between the tip of the finger and the plate



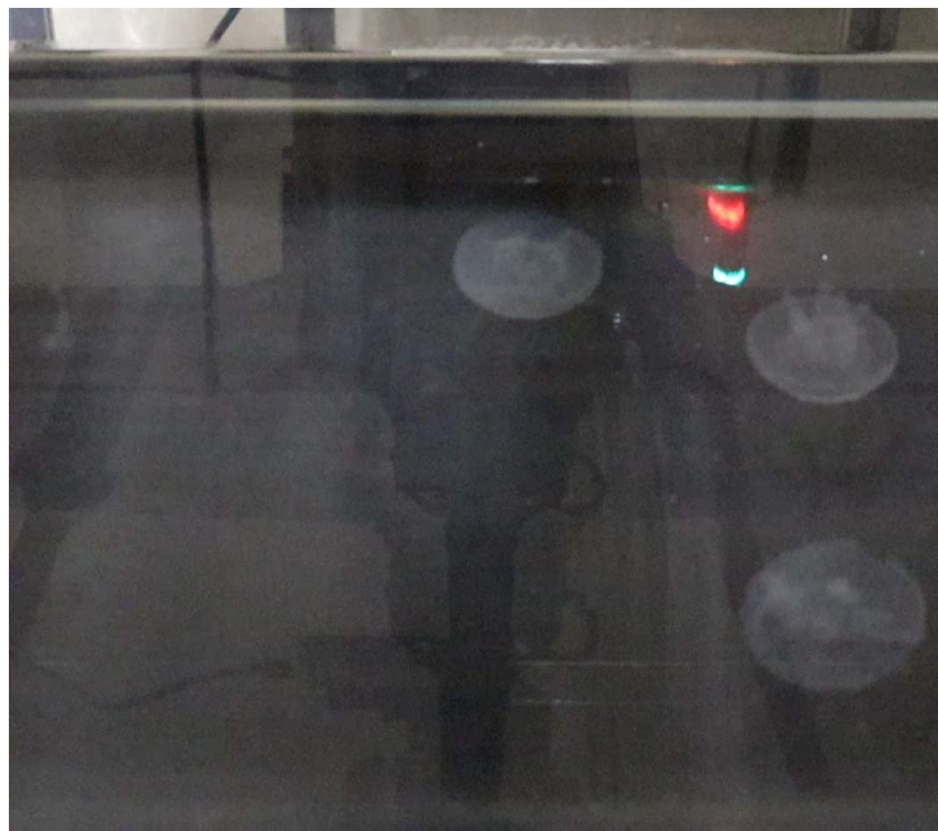


# プリン

## の把持



# クラゲの把持



# Softness is Opportunities

詳しくは

<http://www.ritsumei.ac.jp/~hirai/>

[hirai@se.ritsumei.ac.jp](mailto:hirai@se.ritsumei.ac.jp)





# レポート課題

ある食材・食品（おかず，麺類，菓子，野菜など）を箱詰めする。  
食材・食品を定め，その箱詰め作業を実現するロボットシステム  
を構想し，ハンドやアームの機構や材料，センサや情報処理につ  
いて検討せよ。



# レポート課題

レポートは一個のpdfファイルでmanaba+Rに提出

pdfファイル以外は採点対象外

ワードや写真のファイルはpdfに変換し、アップすること

期限 2023年6月8日 0:10 AM

