

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

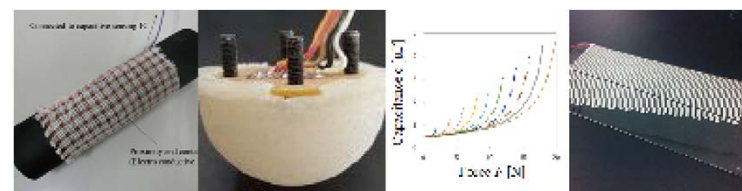
特殊講義I 2024/5/23

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



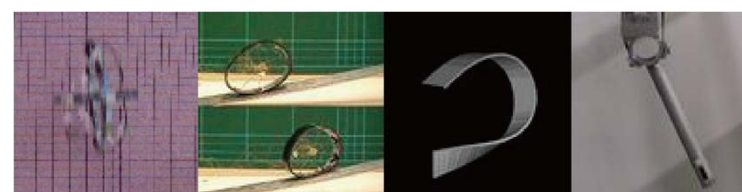
食品マニピュレーション



ソフトセンサ



空気圧システム

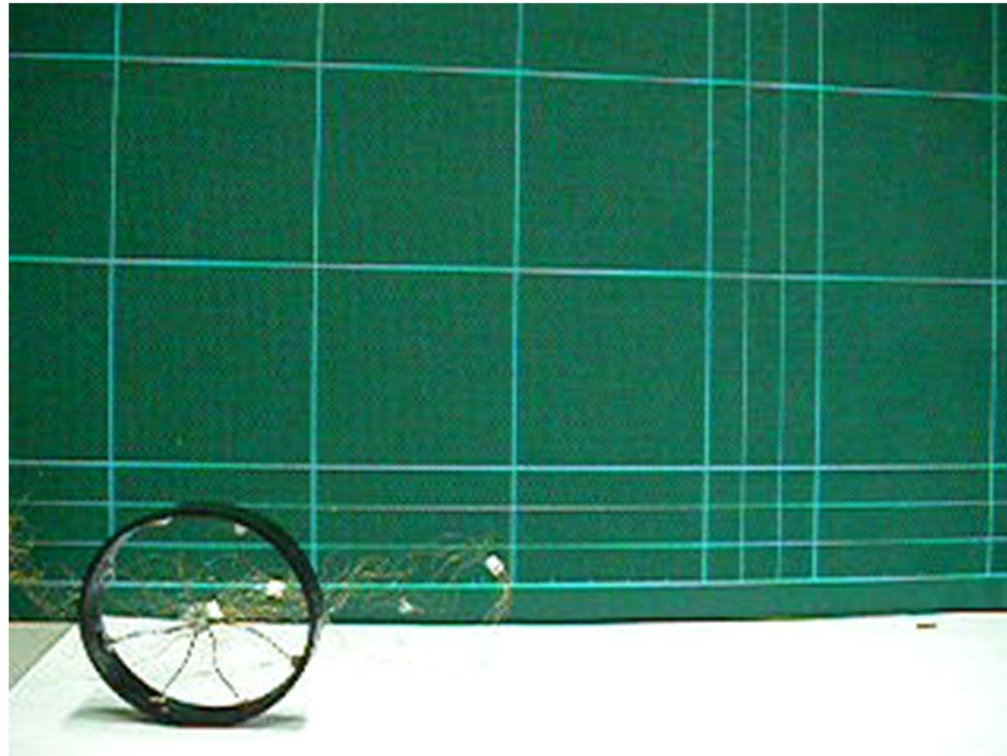


ソフトコンタクト



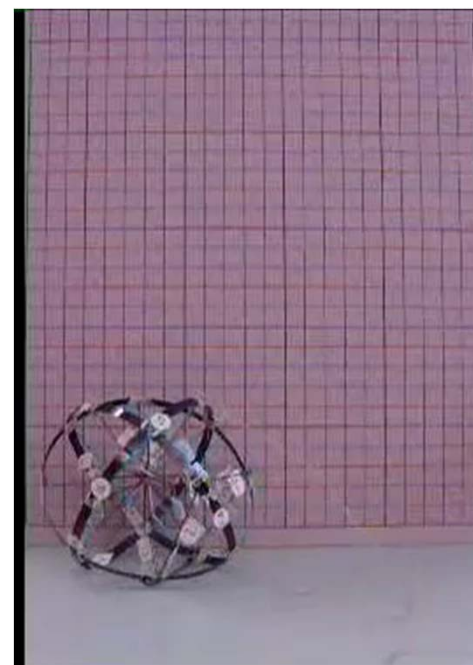
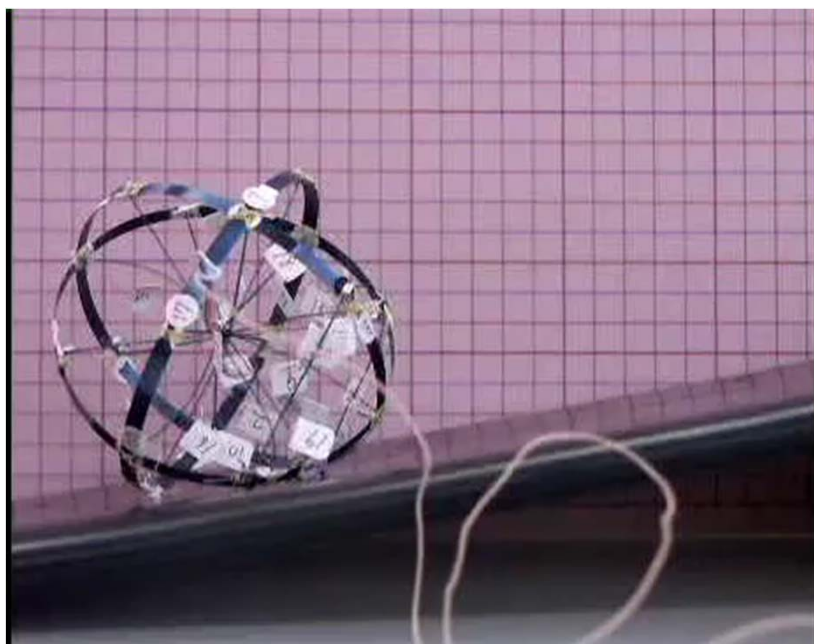
生体力学モデリング

円形ソフトロボット

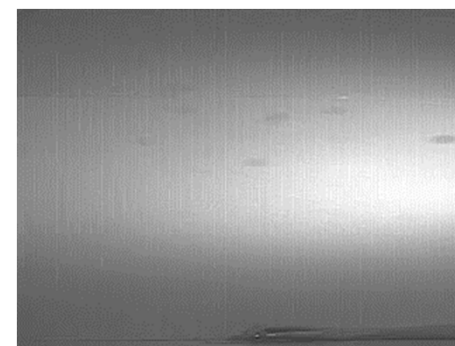


Sugiyama and Hirai, Crawling and Jumping by a Deformable Robot, IJRR, 25-5/6, 603-620, 2006

球形ソフトロボット



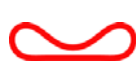
変形による跳躍

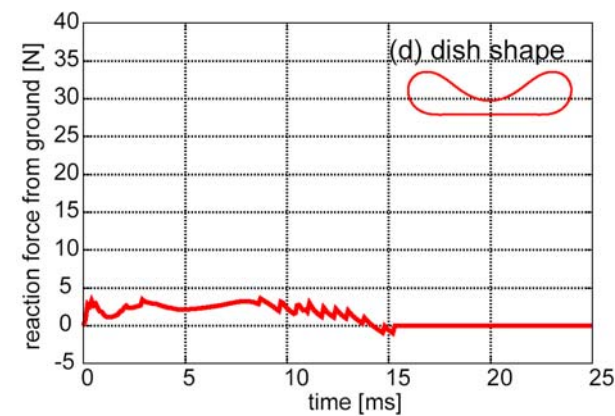
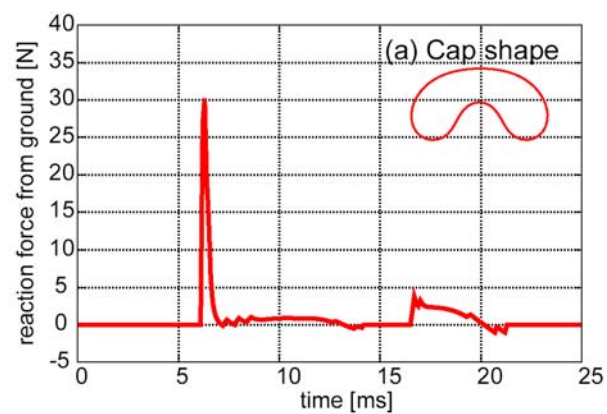


Cap 

Cup 

Peanut 

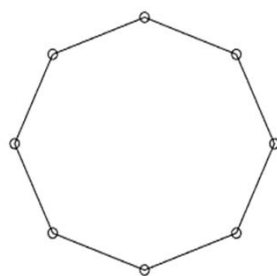
Dish 



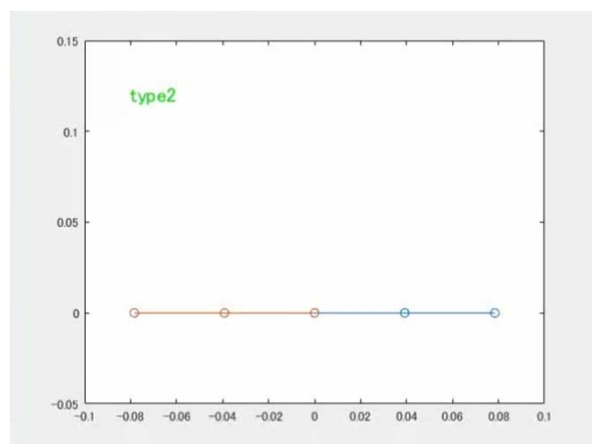
Matsuyama and Hirai, IEEE ICRA, 2007

特殊講義I 2024/5/23

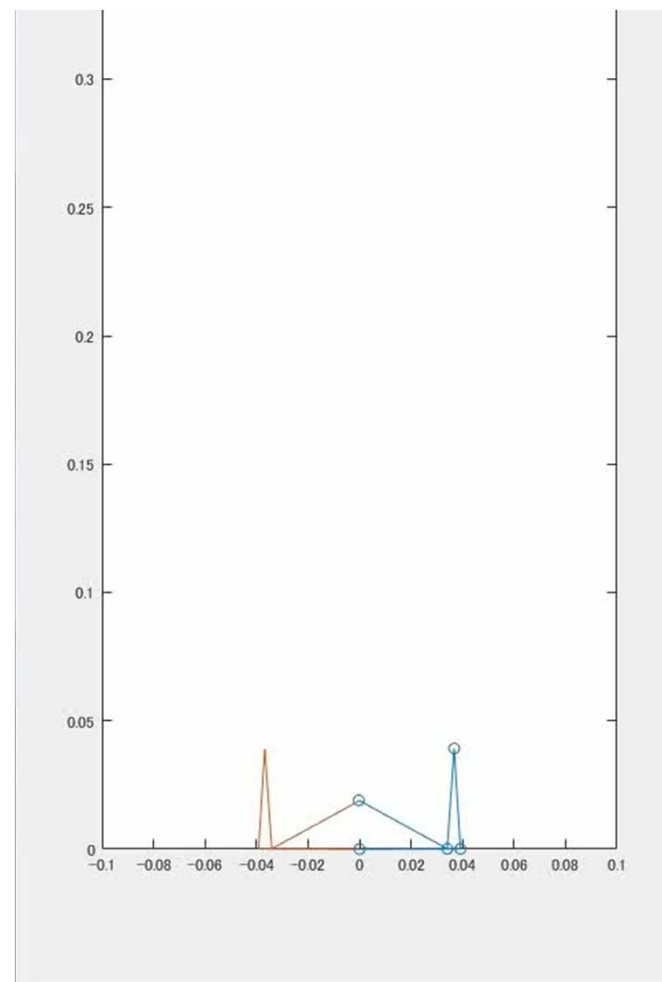
変形による跳躍



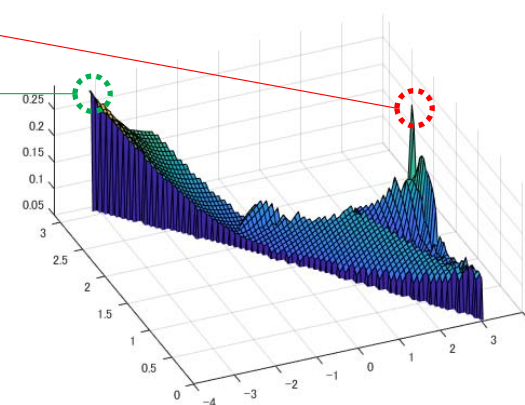
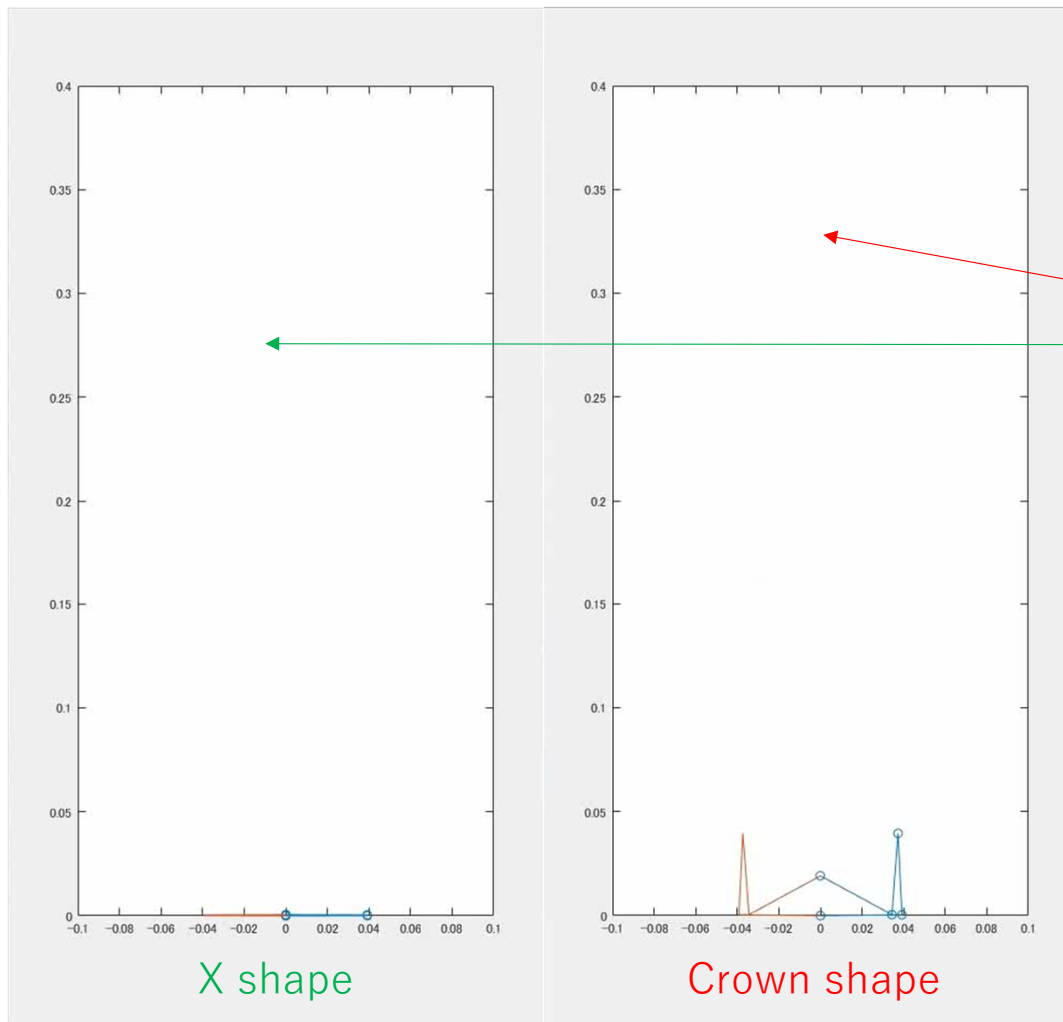
跳躍ロボットのモデル



計算過程



変形による跳躍

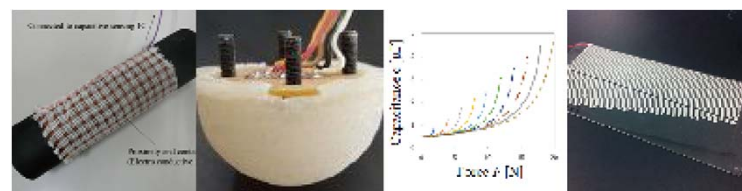


ソフトロボティクス研究室

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



食品マニピュレーション



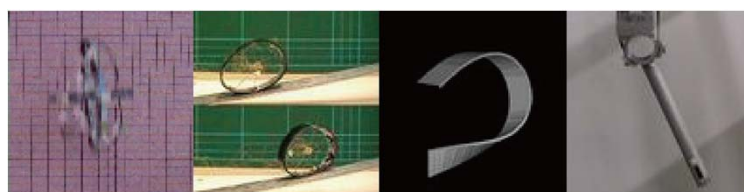
ソフトセンサ



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

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プが必要

ハードウェア全体をシステムとして動かす

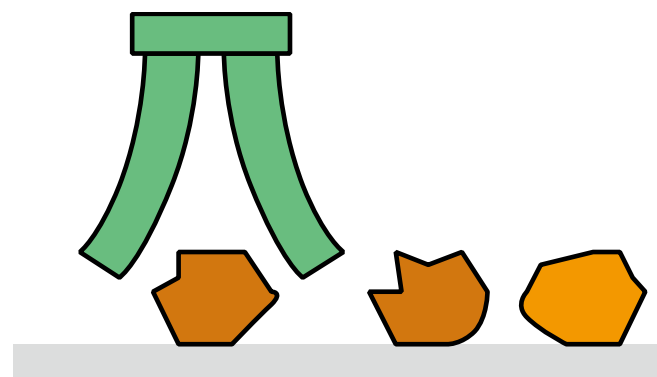


ハードウェア＋ソフトウェア＋運用が必要

価値観の転換

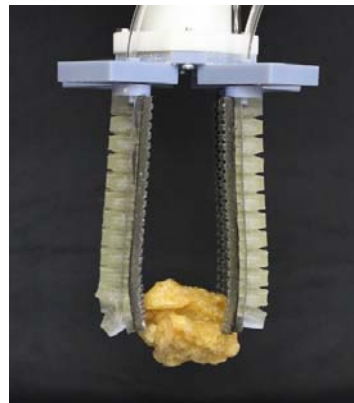
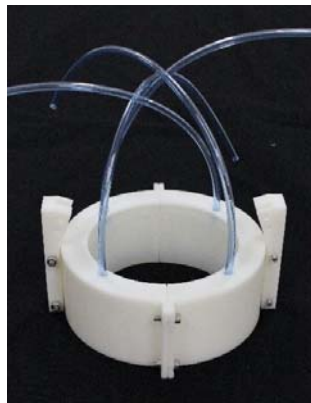
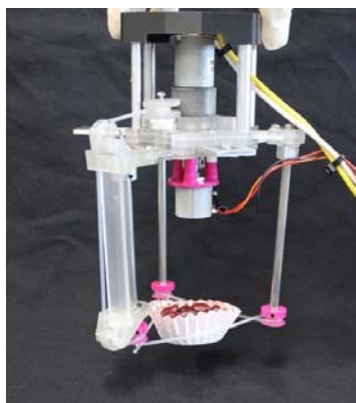
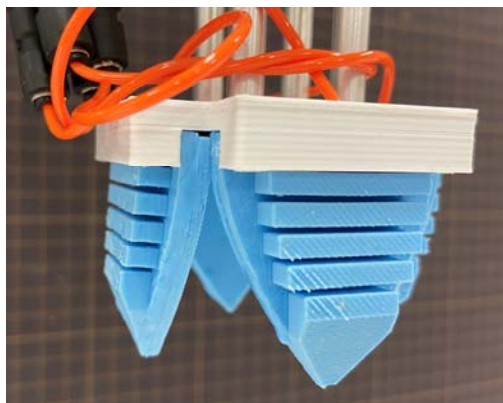


柔らかい
形状や寸法，性質にバラツキ
多品種変量生産
高い精度は要求されない

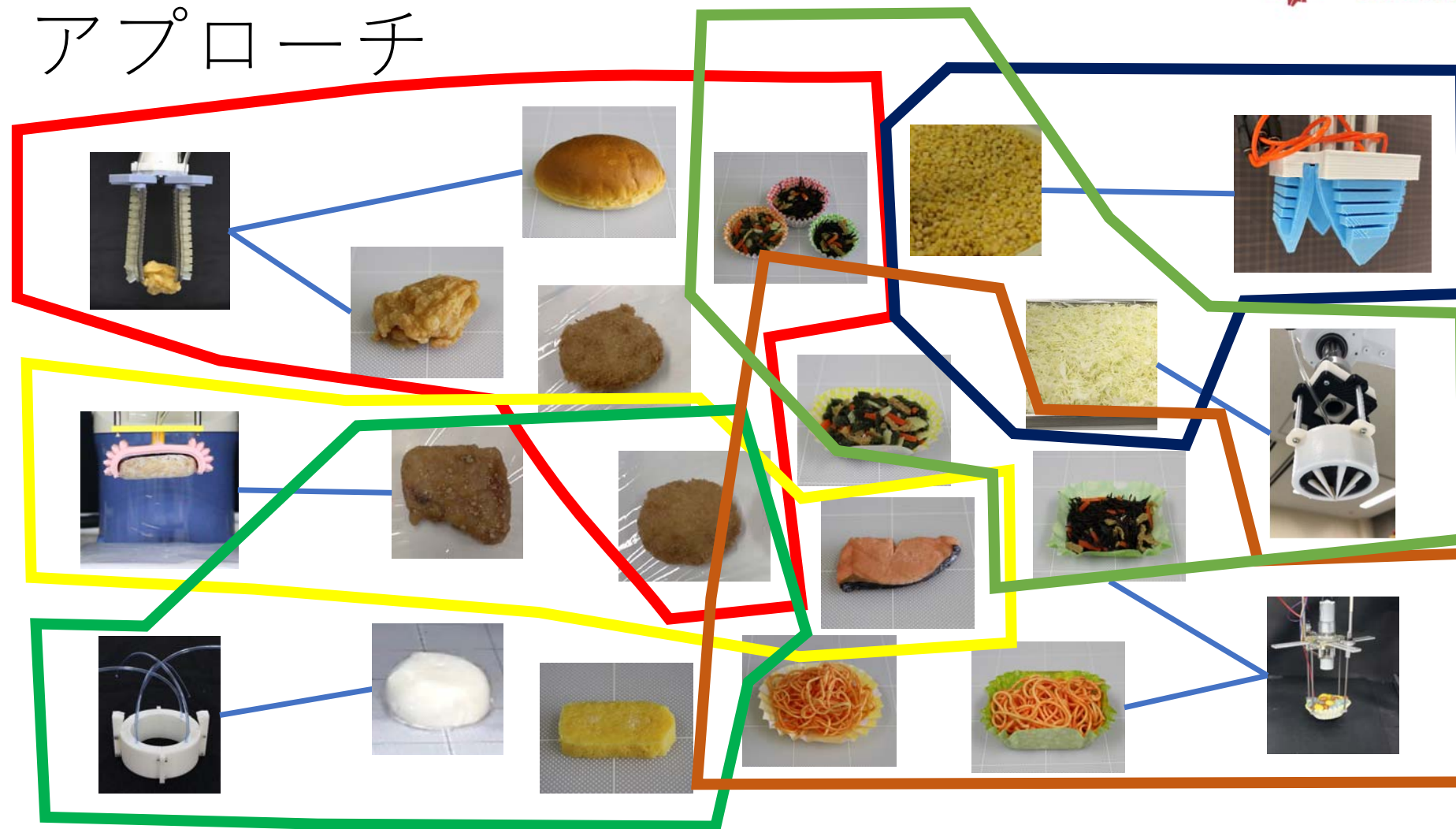


ソフトロボティクスの方法論で
バラツキに対応

ソフトハンド



アプローチ



SIP 実証実験室



屈曲指グリップ

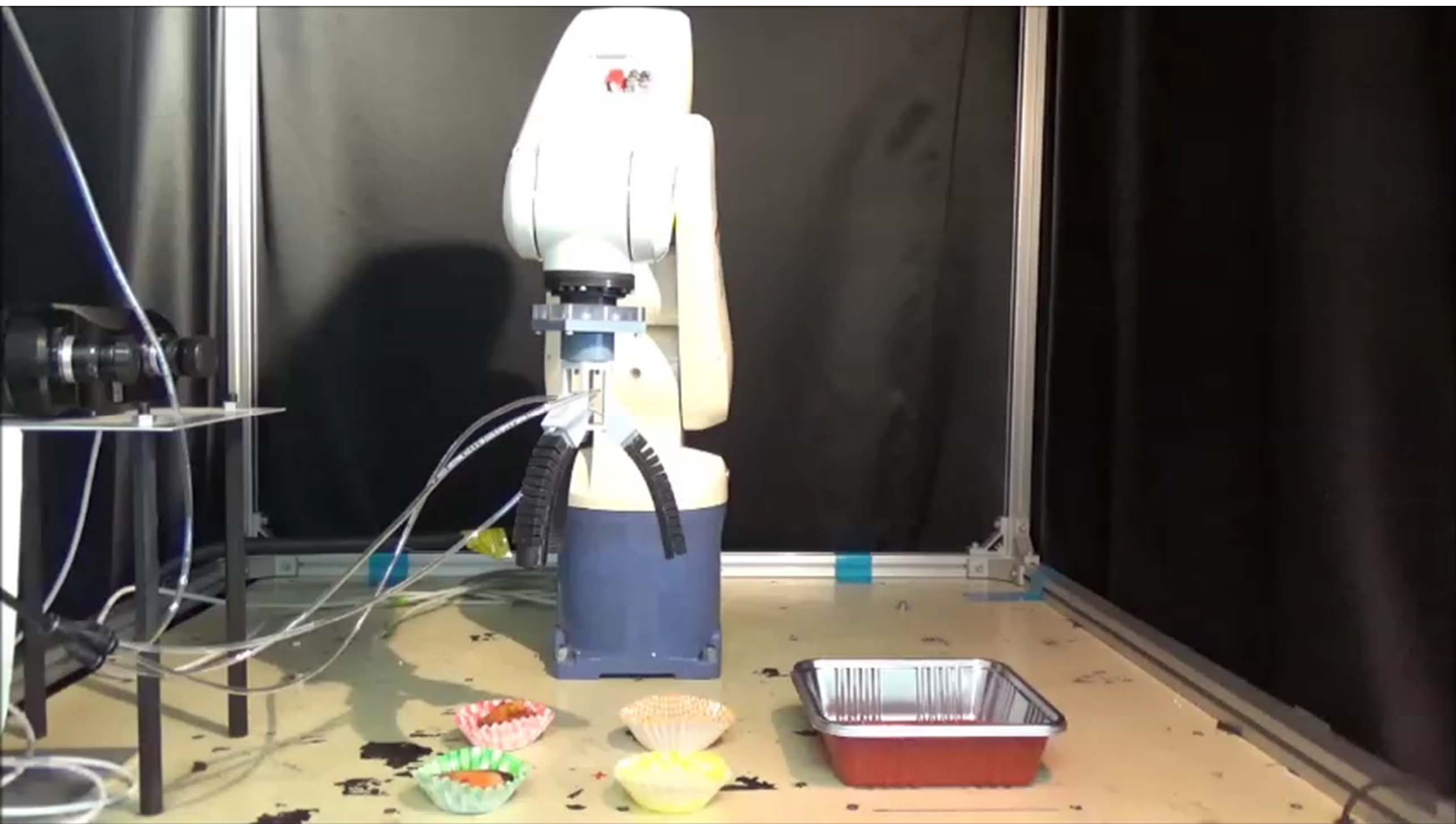
socket (hard)

air chambers (soft)

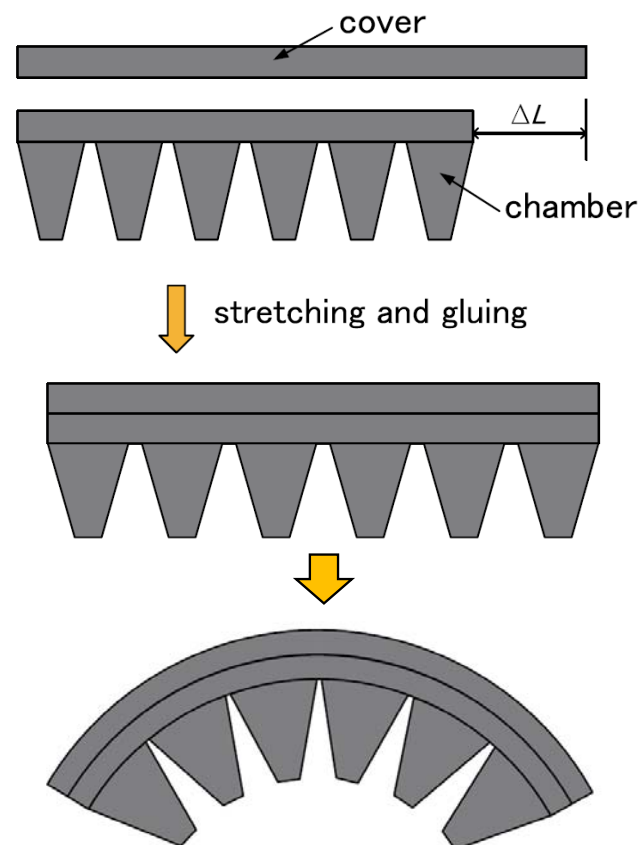


cover (soft)

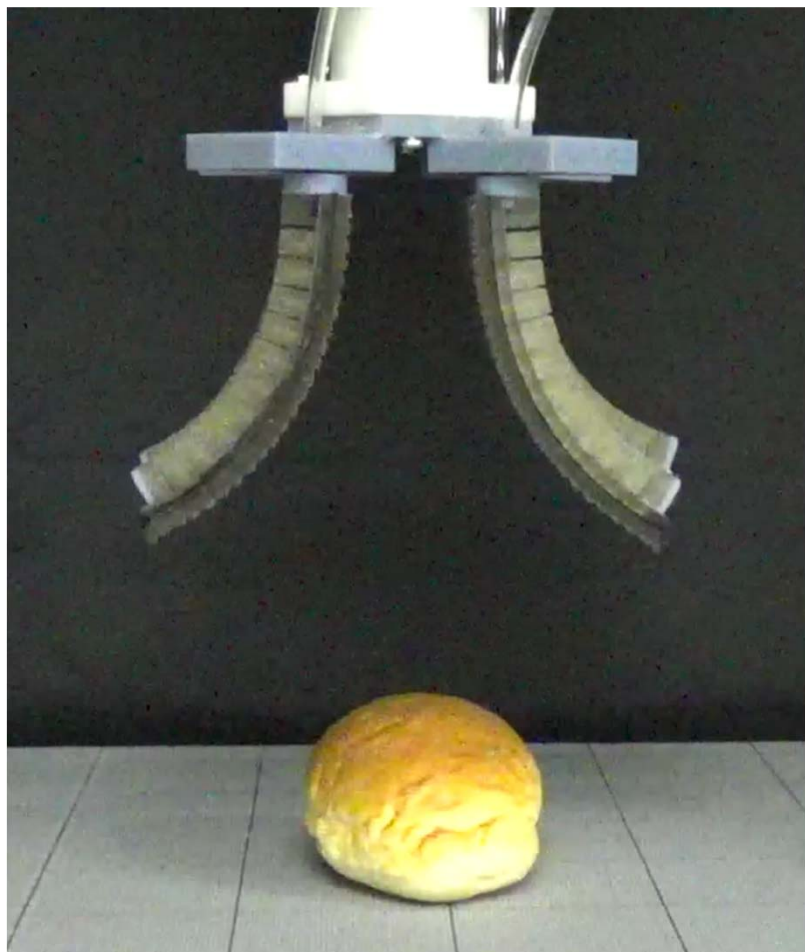
Each part can be printed in one shot



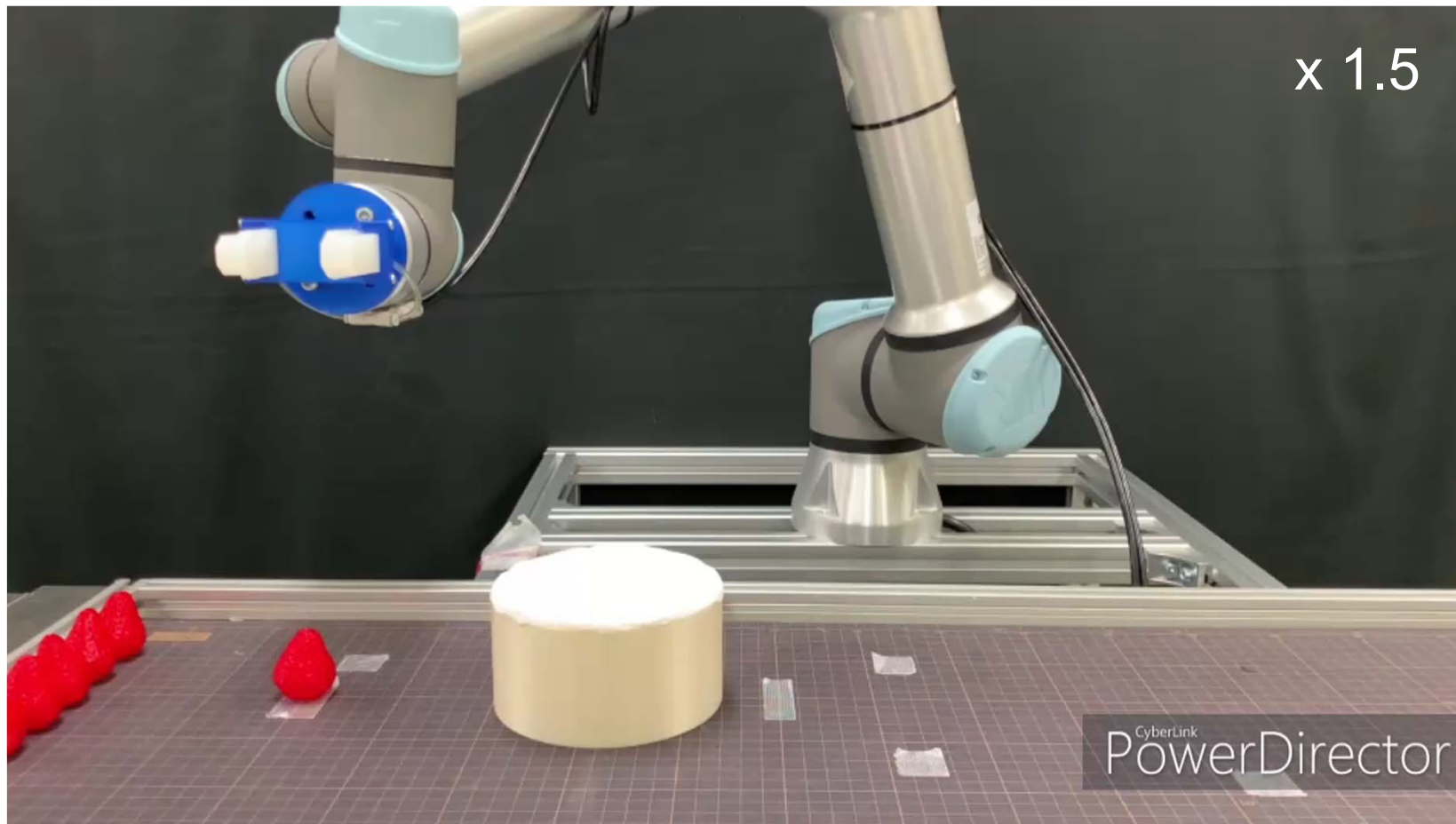
プレストレッチ指グリップ



Wang et al., IEEE RAL, 2017



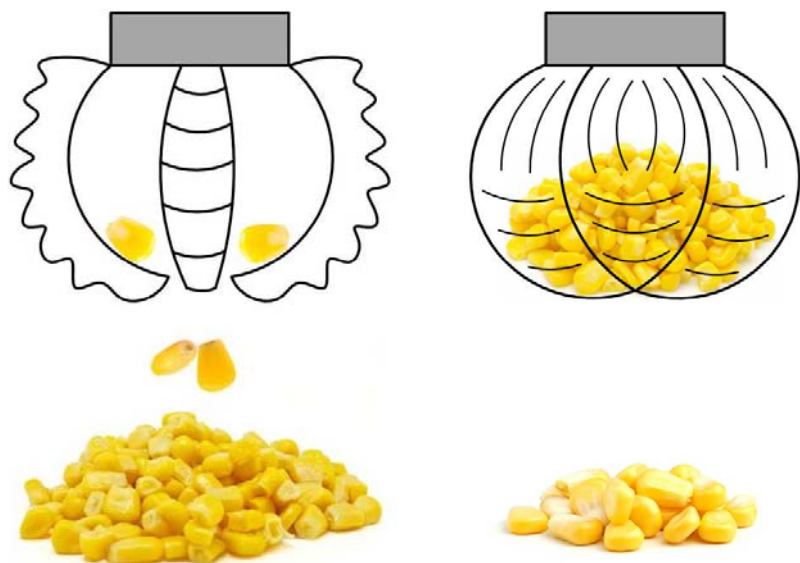
トッピング



Matsuno et al., IEEE/SICE SII 2024

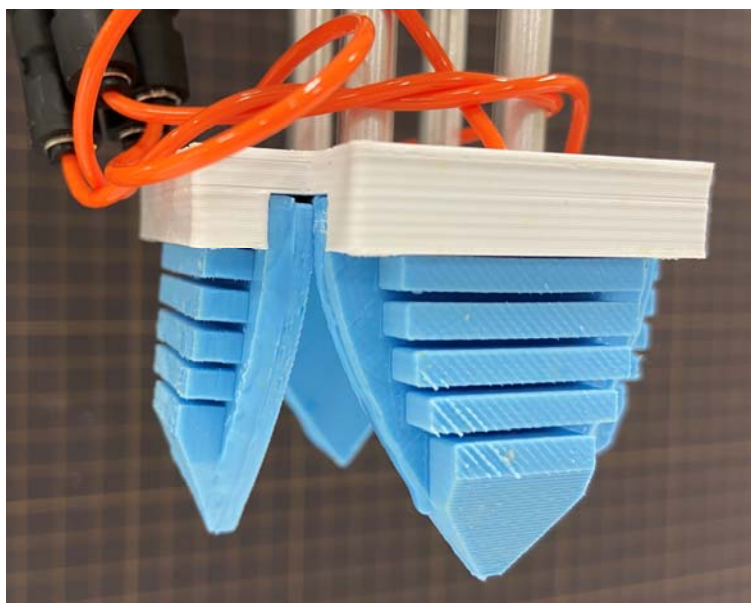
特殊講義I 2024/5/23

包み込みグリップ

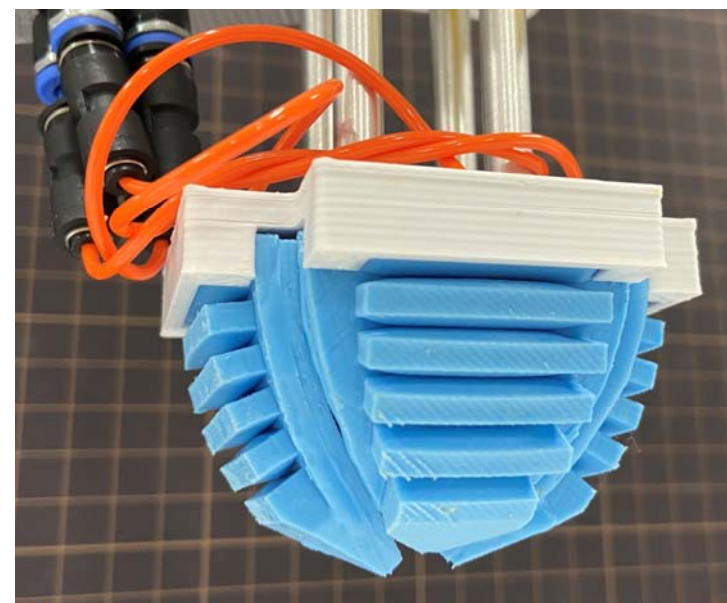


Kuriyama et al., IEEE RoboSoft 2019

包み込みグリップ



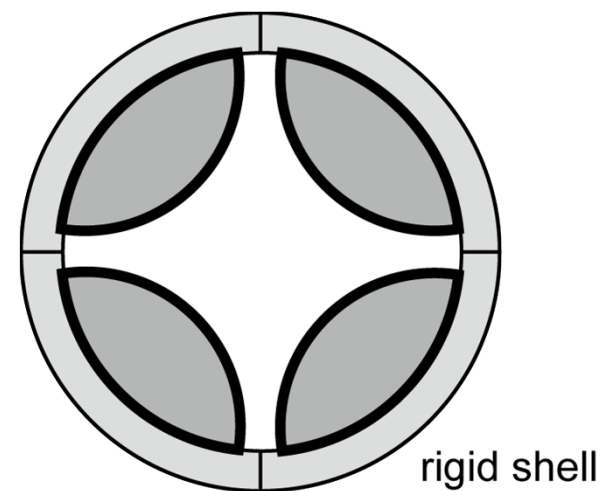
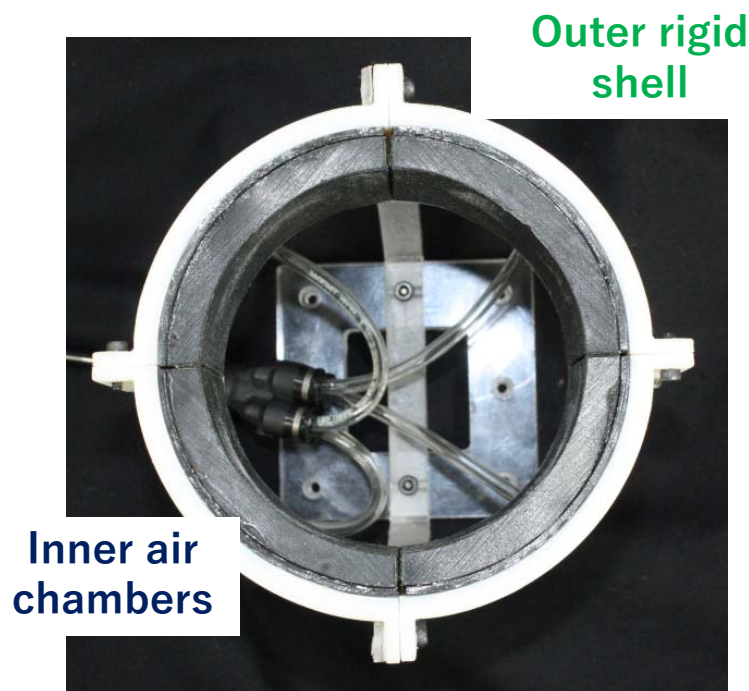
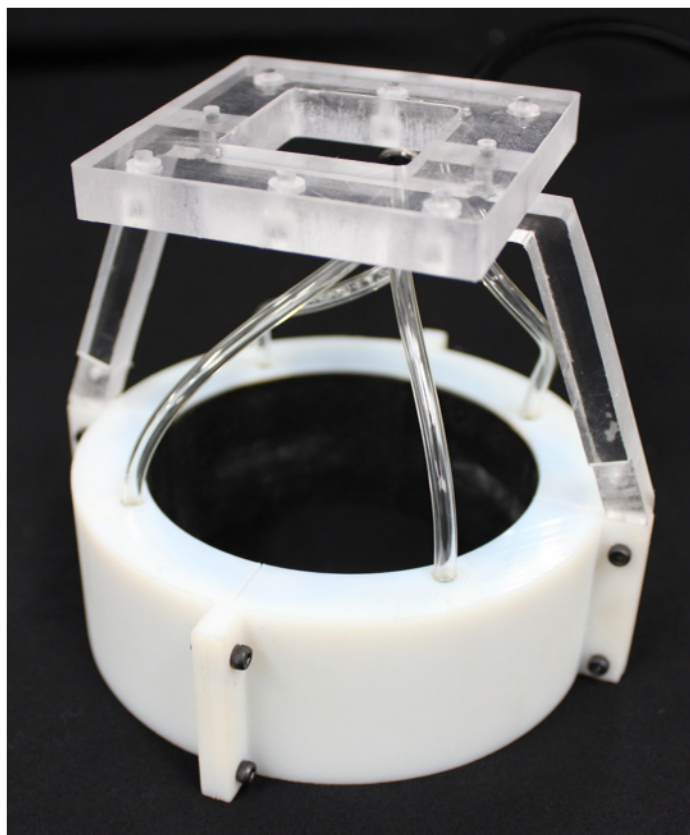
空気圧
(100kPa)



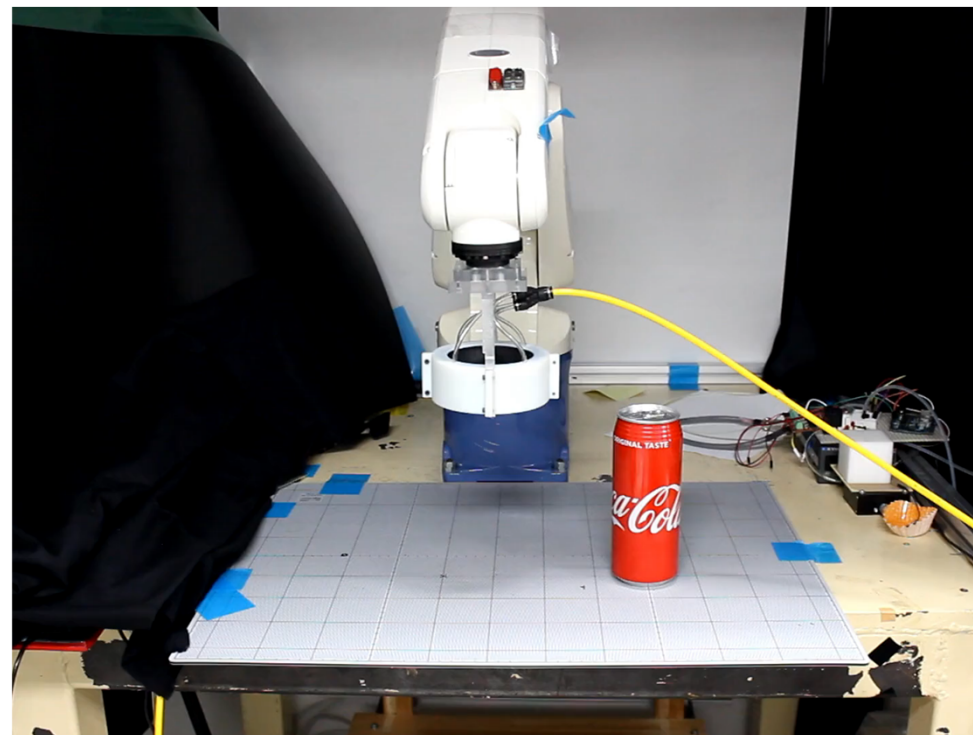
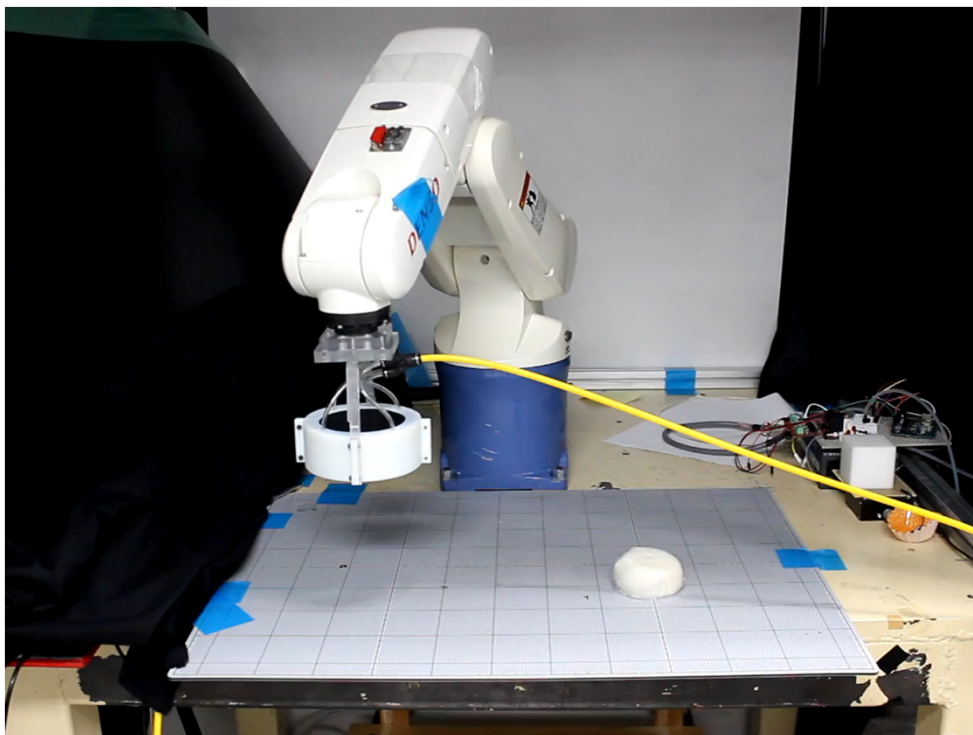
栗山 他, 包み込みグリップによる粒状食品把持量の安定化,
ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020



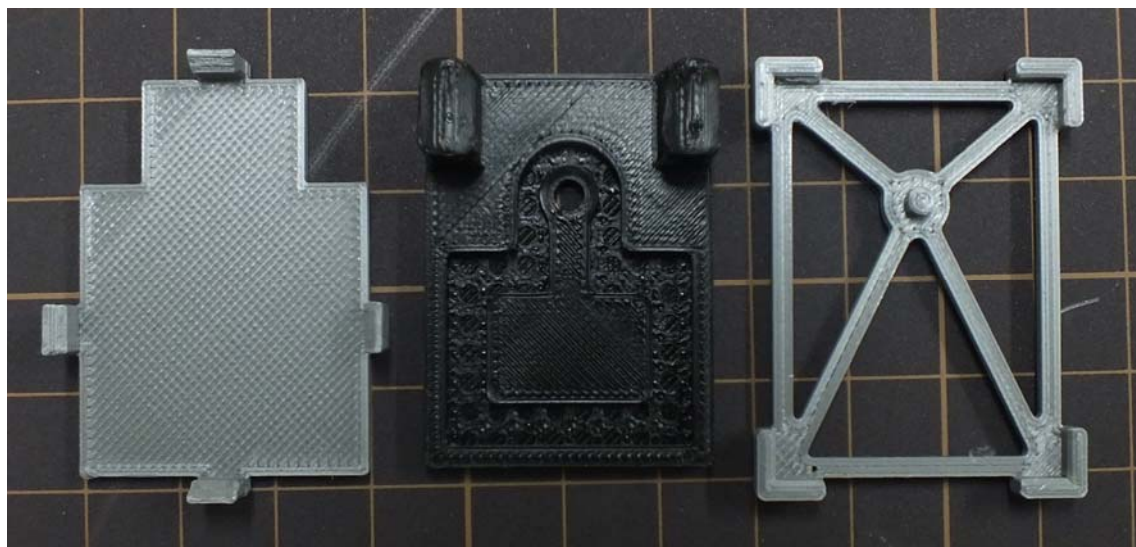
シェルグリッパ



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



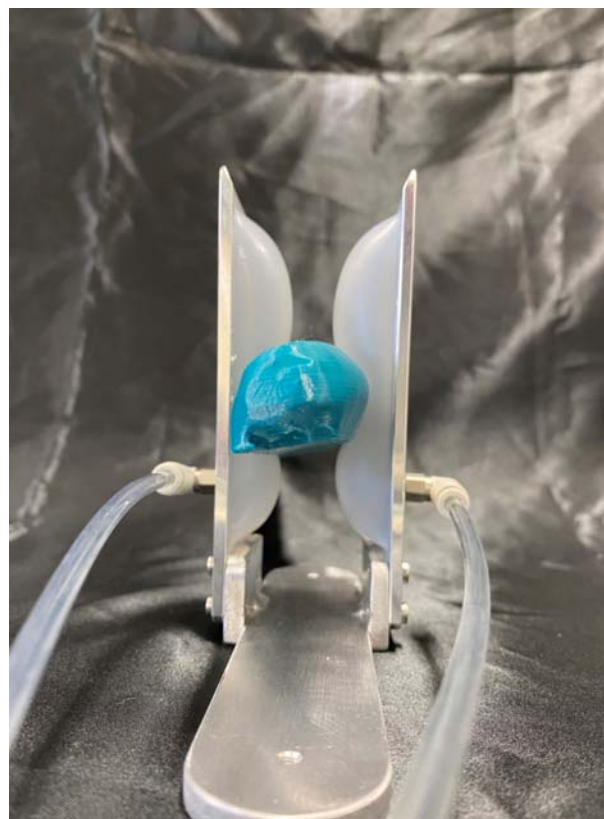
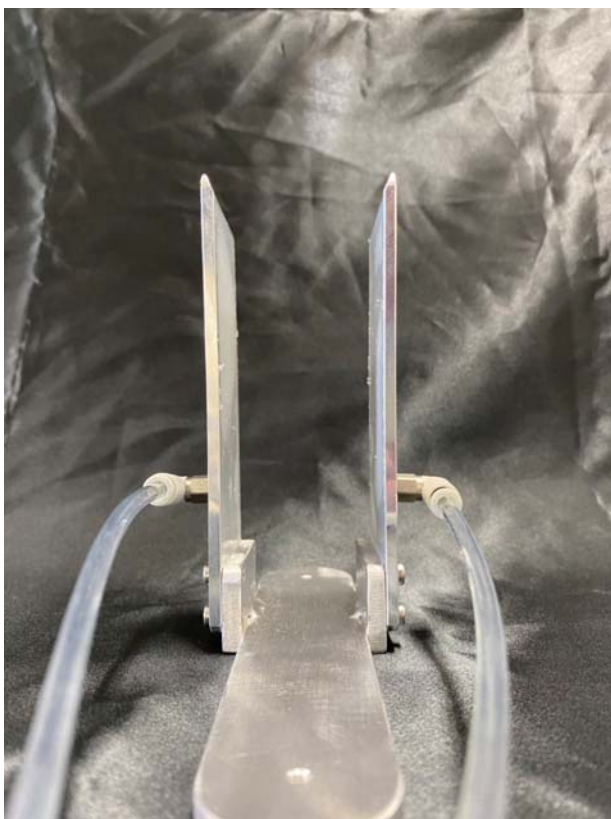
シェルグリッパ



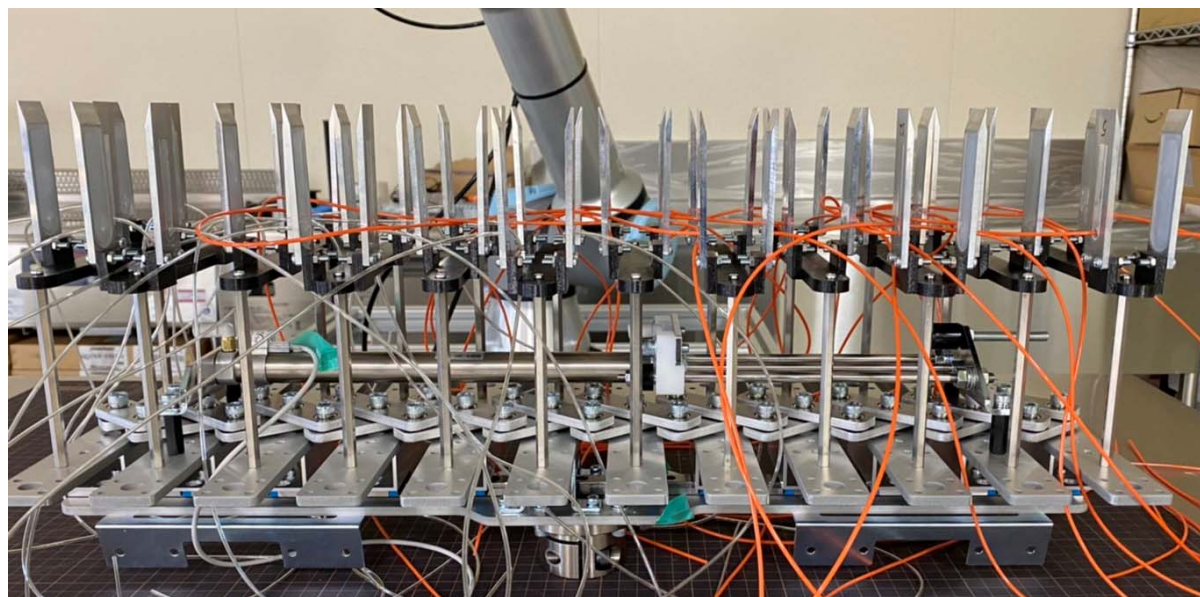
鐘江 他, きゅうりの箱詰め作業を目的とした接着レス薄型平面シェルグリッパの開発,
ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020

特殊講義I 2024/5/23

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

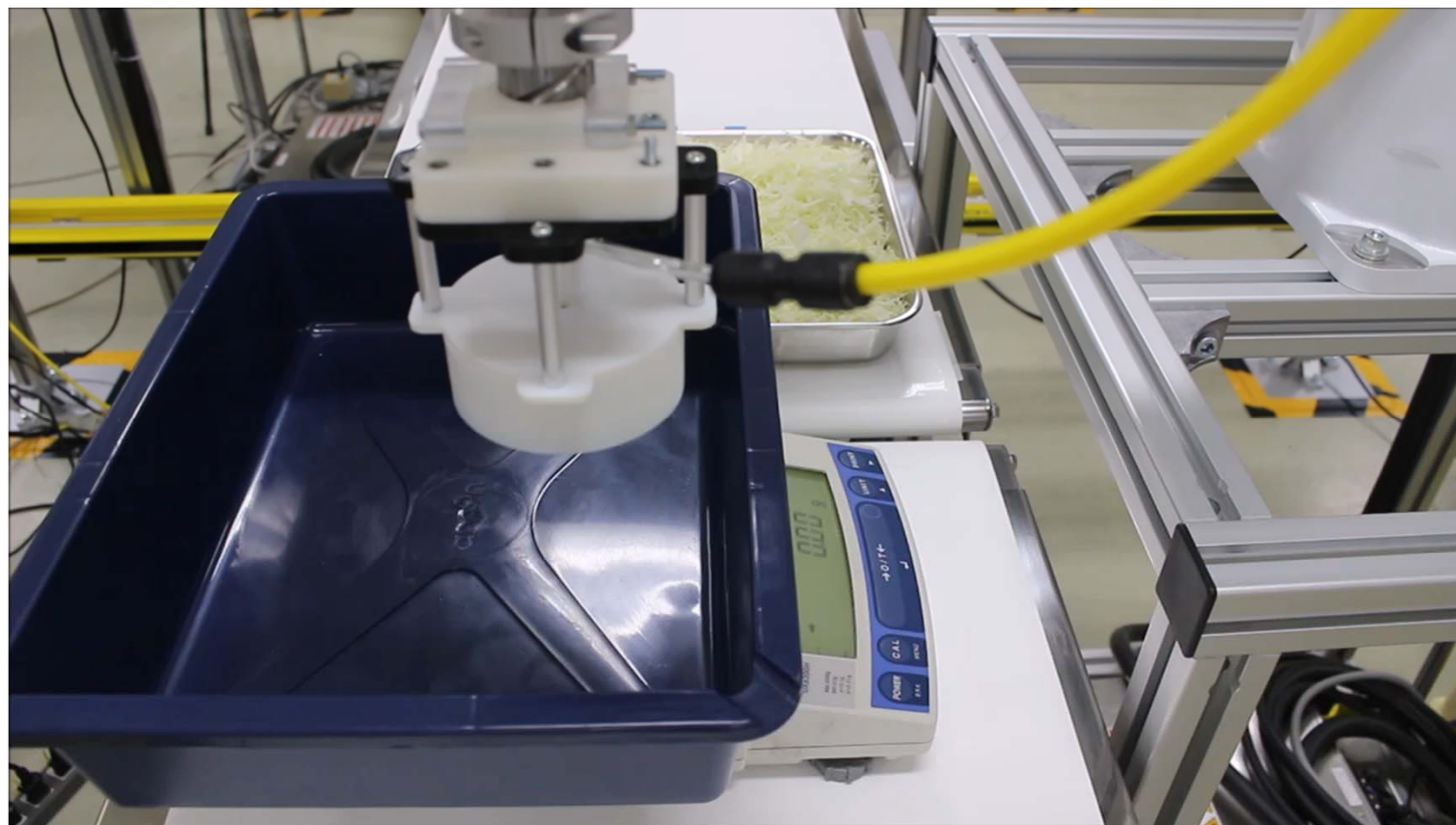


Aoyama et al., IEEE Humanoids 2022

ニードルグリッパ



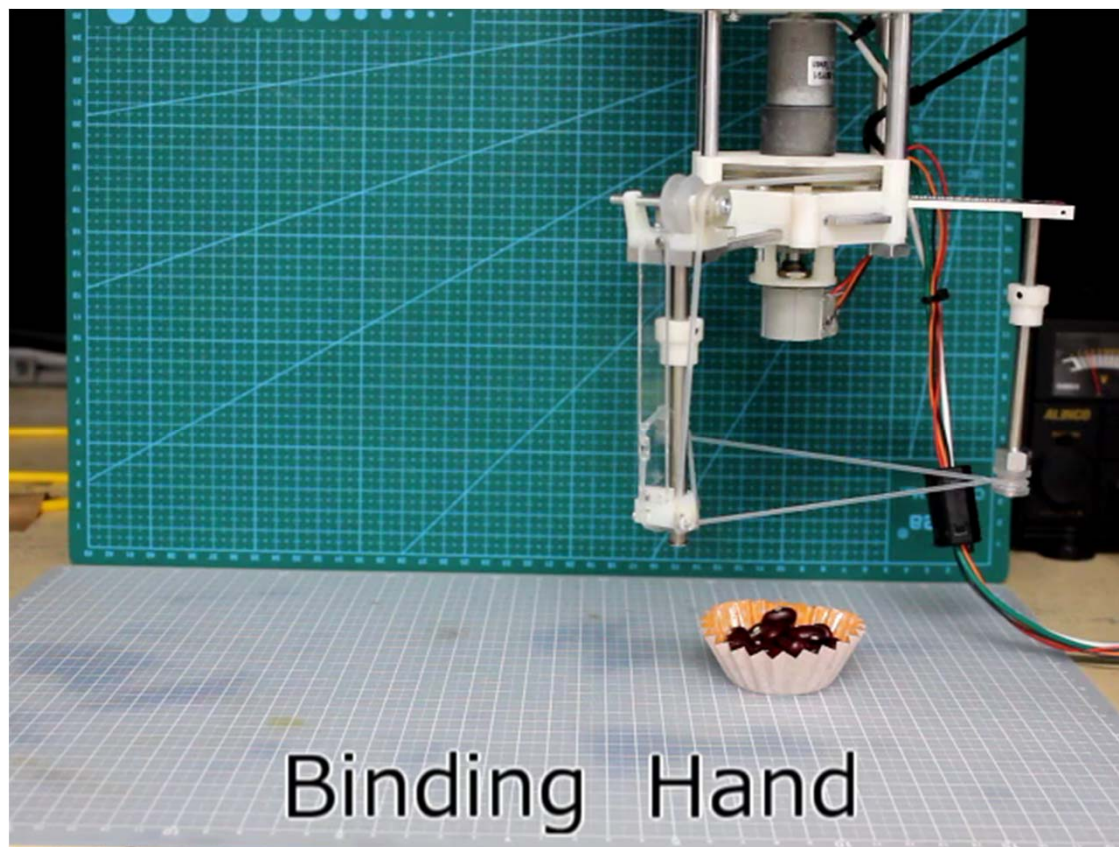
4 倍速



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

特殊講義I 2024/5/23

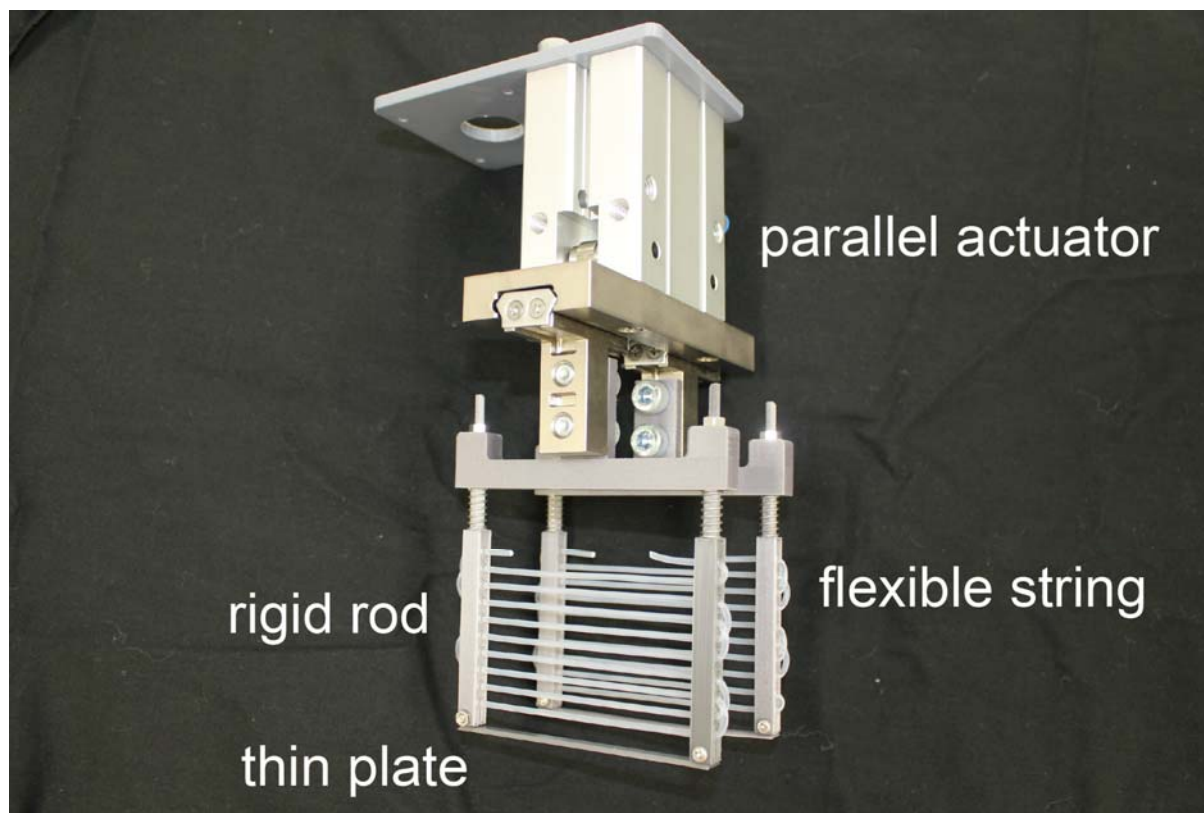
バインディングハンド



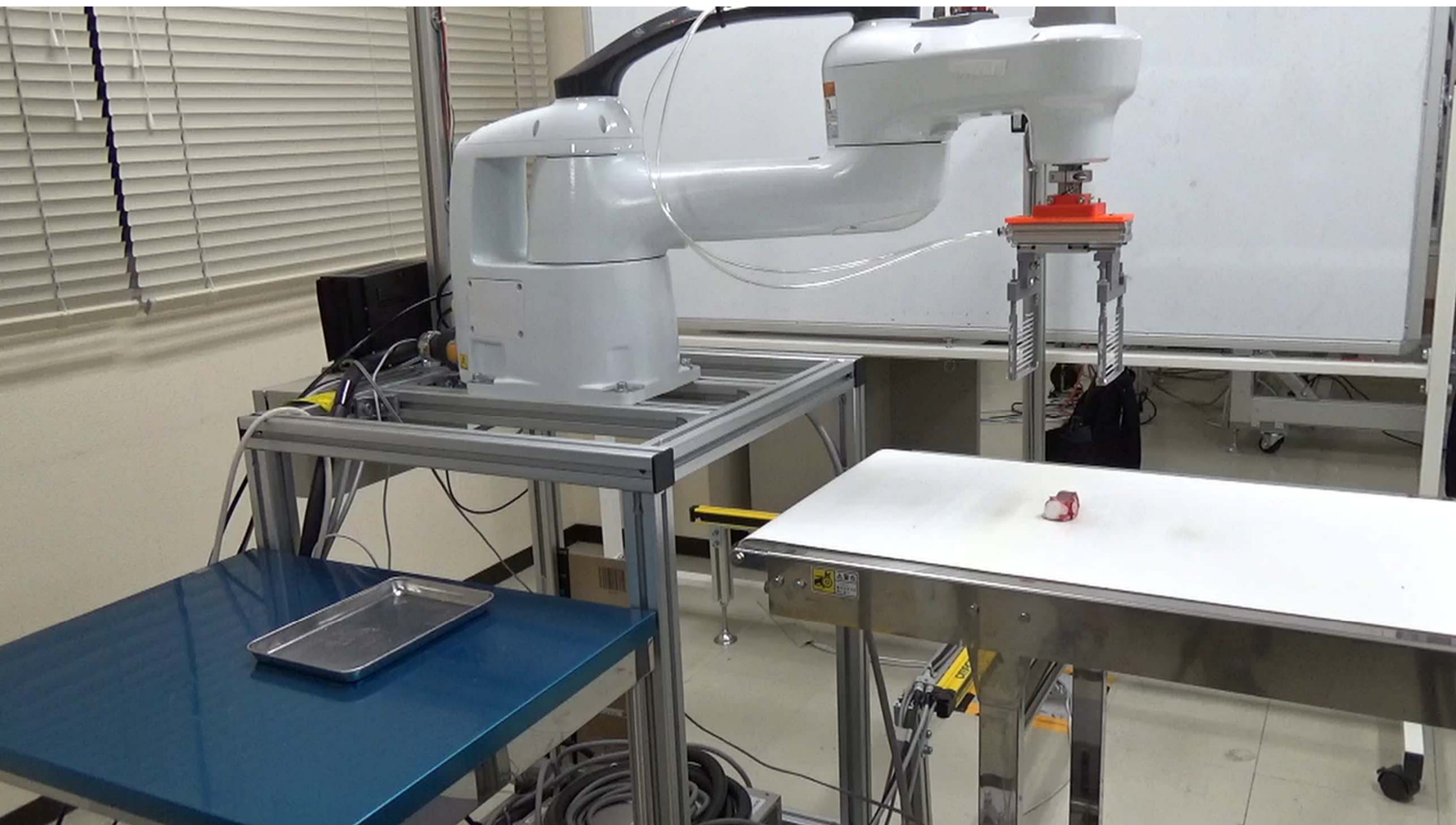
Okada et al., IEEE RoboSoft 2019

特殊講義I 2024/5/23

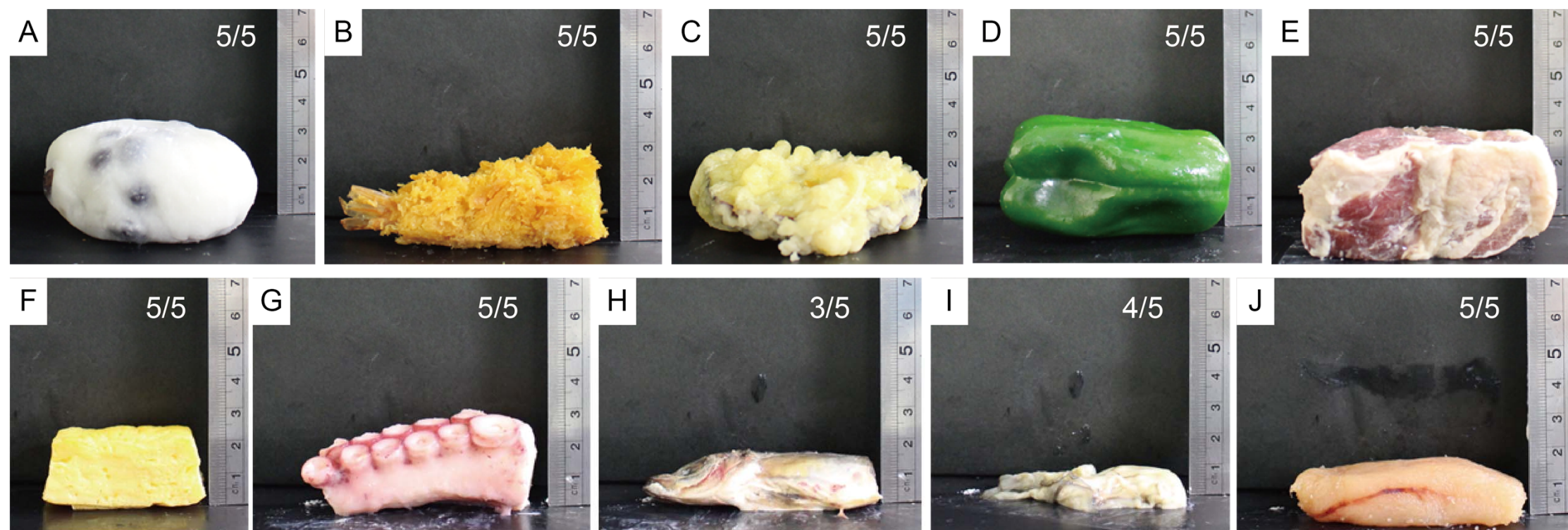
掬い込みバインディングハンド



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 ルグリップ	平面シェ ルグリップ	バイン ディング	拘い込 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 ルグリップ	平面シェ ルグリップ	バイン ディング	拘い込 みバイン ディング	形状分類
卵焼き	5	5	5	5	0	0	0	5		5	5	5	5	5	0	0	5	1
えび寄せ フライ	5	5	5	5	0	0	4	5		5	5	5	5	0	0	0	5	1
6Pチーズ	3	1	5	5	0	0	0	0		5	5	5	5	0	0	0	0	1
かまぼこ	5	5	5	0	0	0	0	0		5	5	5	5	0	0	0	0	1
ゆで卵	5	5	5	5	5	0	0	5		5	5	5	5	5	0	0	5	2
ゆで卵半 身	5	5	5	5	0	0	0	5		5	5	5	5	0	0	5	5	2
ミニトマ ト	5	5	5	5	5	0	0	5		5	5	5	5	5	0	0	5	2
ピーマン	5	5	5	5	5	5	5	5		4	5	5	4	5	5	5	5	2
大福	5	0	5	5	5	0	0	5		5	5	5	5	5	0	5	5	2
から揚げ	5	5	5	5	0	0	0	5		5	5	5	5	5	5	0	5	2
アナゴ寿 司	5	5	5	0	0	0	0	0		5	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

Qiu et al., An Evaluation System of Robotic End-Effectors
for Food Handling, Foods, 2023

NEDO先導調査研究

三次元形状

粘弾性

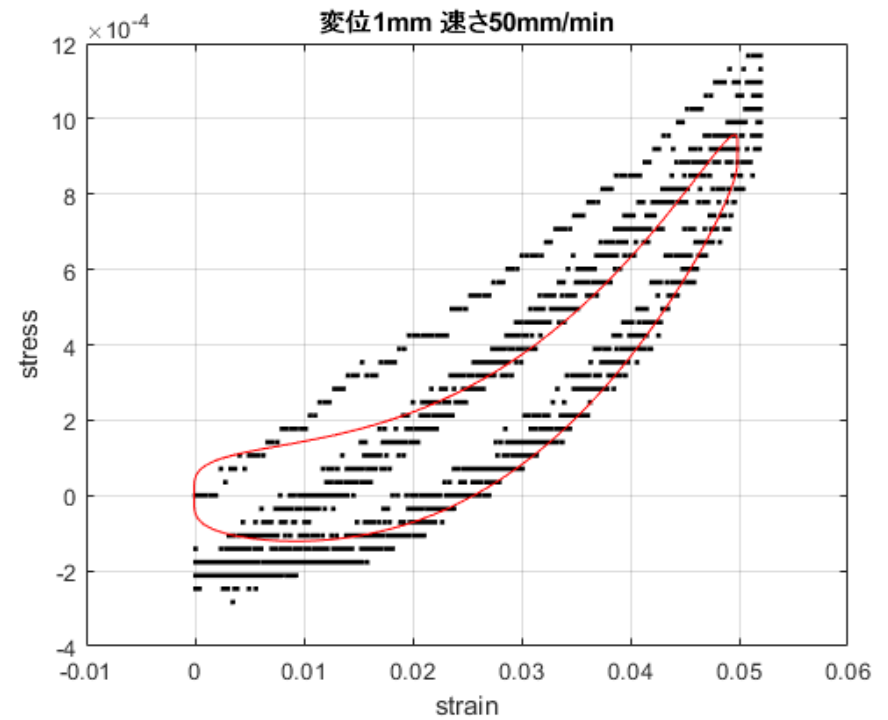
摩擦



NEDO先導調査研究

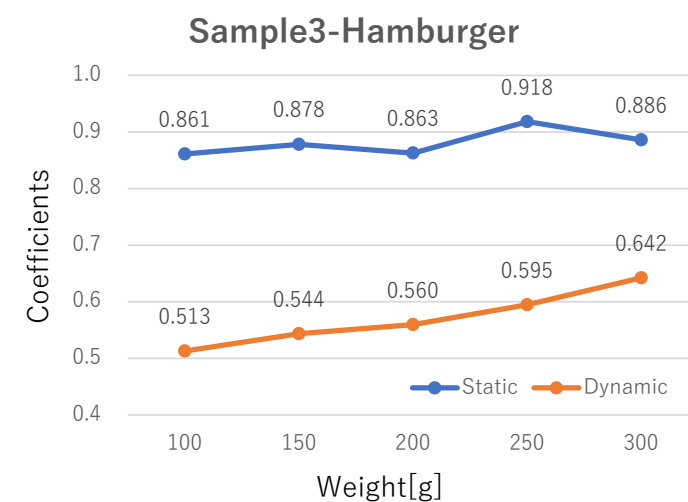
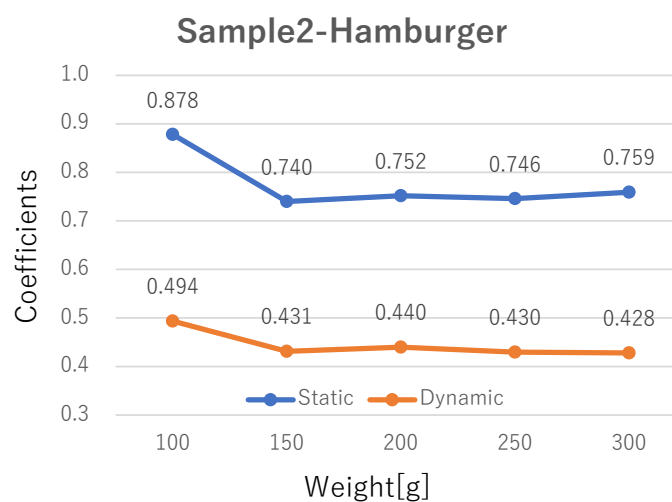
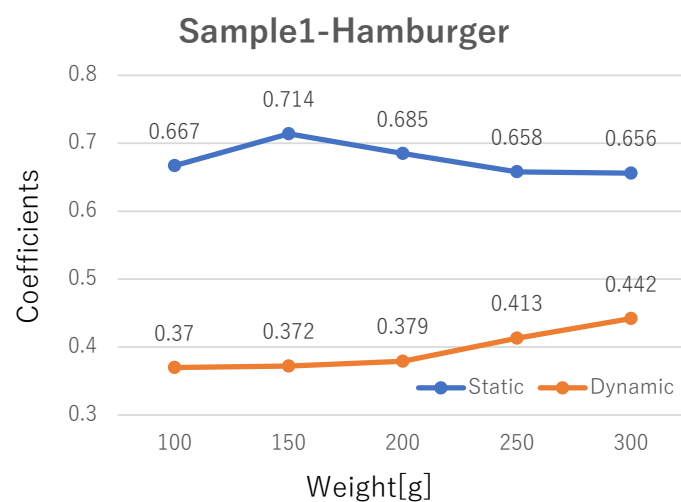


応力－ひずみ曲線



NEDO先導調査研究

摩擦特性



NEDO先導調査研究

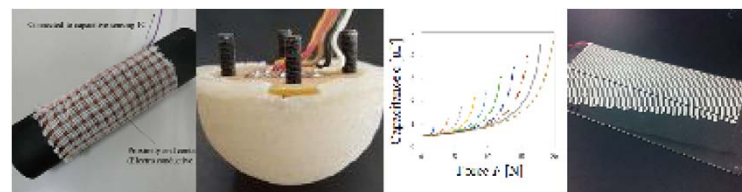


ソフトロボティクス研究室

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



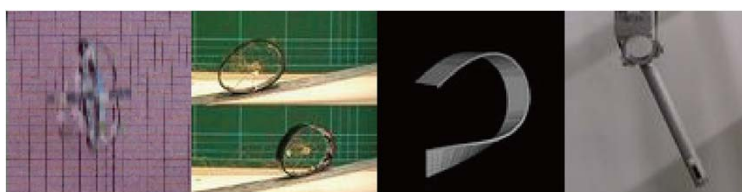
ソフトセンサ



生物マニピュレーション



空気圧システム



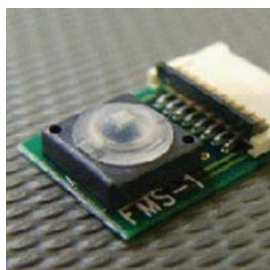
ソフトコンタクト

触覚センシング



材料特性や表面特性を感知

2011



micro force sensor

2012



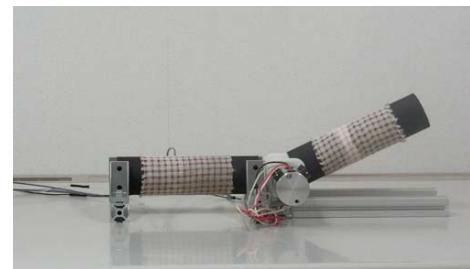
fabric sensor

2015



fiber sensor

2019

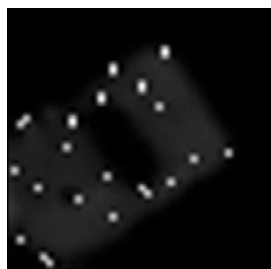


fabric proximity sensing



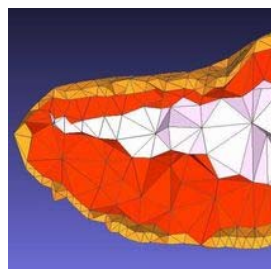
area-independent
force sensing

2012



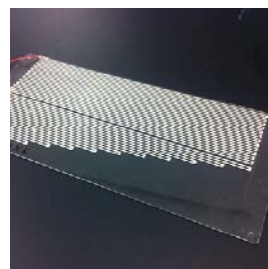
tactile image processing

2014



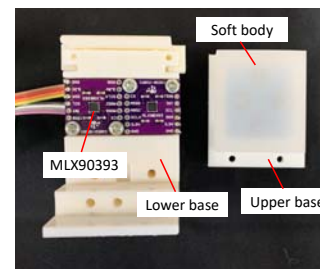
fingertip model

2017



bend sensing

2020



contact estimation

2021



embedded soft sensor

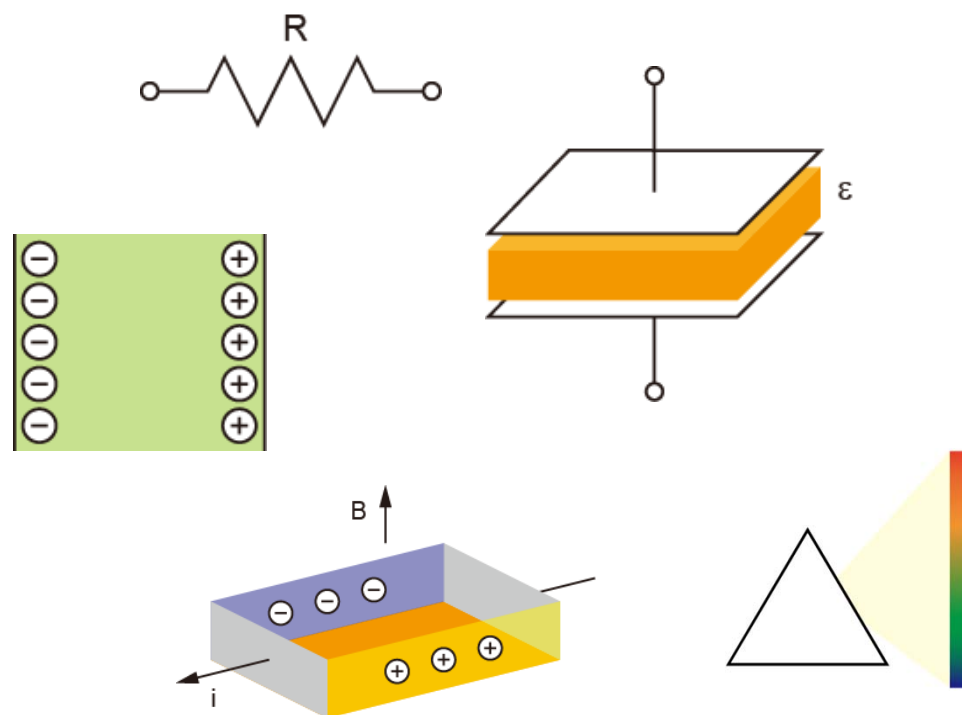
2010

2015

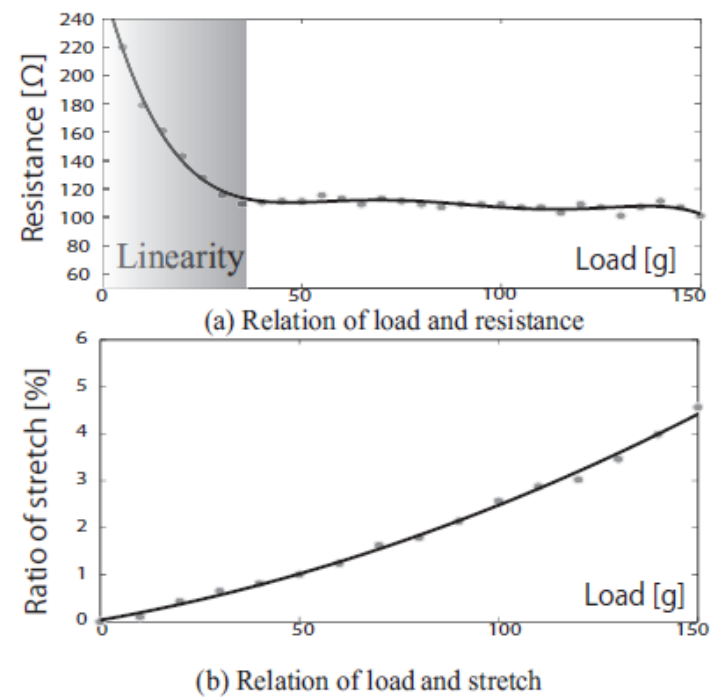
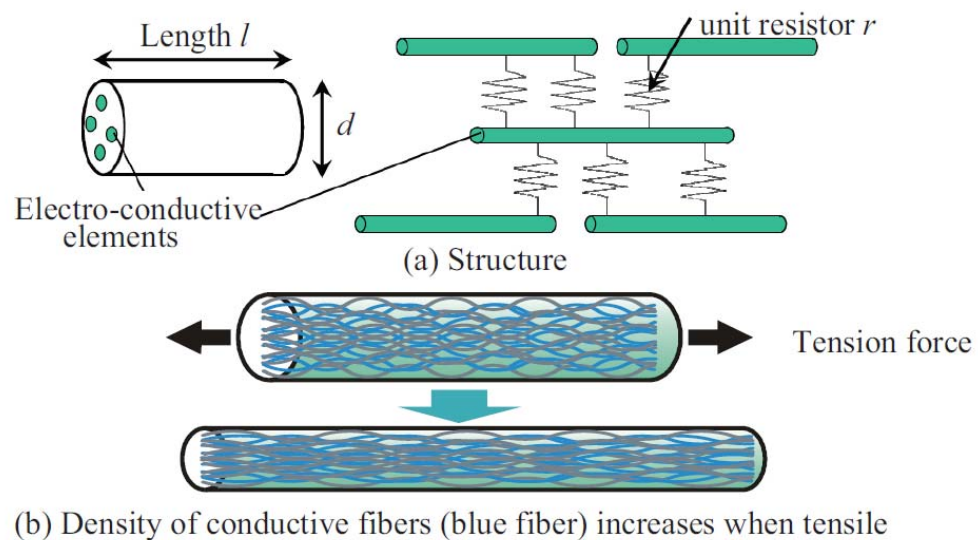
2020

センシング方式

- 電気抵抗
- 静電容量
- 圧電効果
- 磁気
- 光（画像）



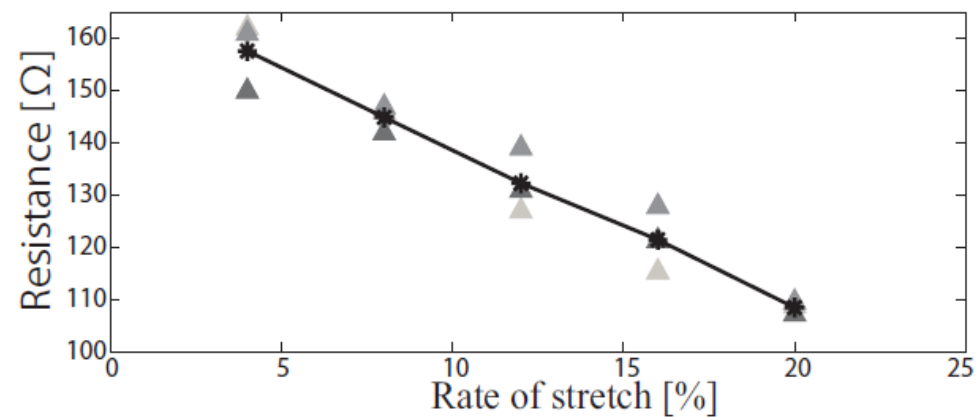
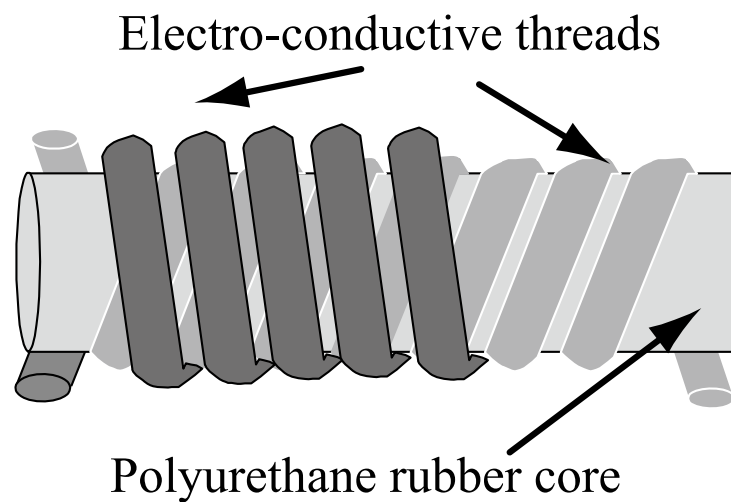
導電糸センサ



計測範囲 $\sim 2\%$

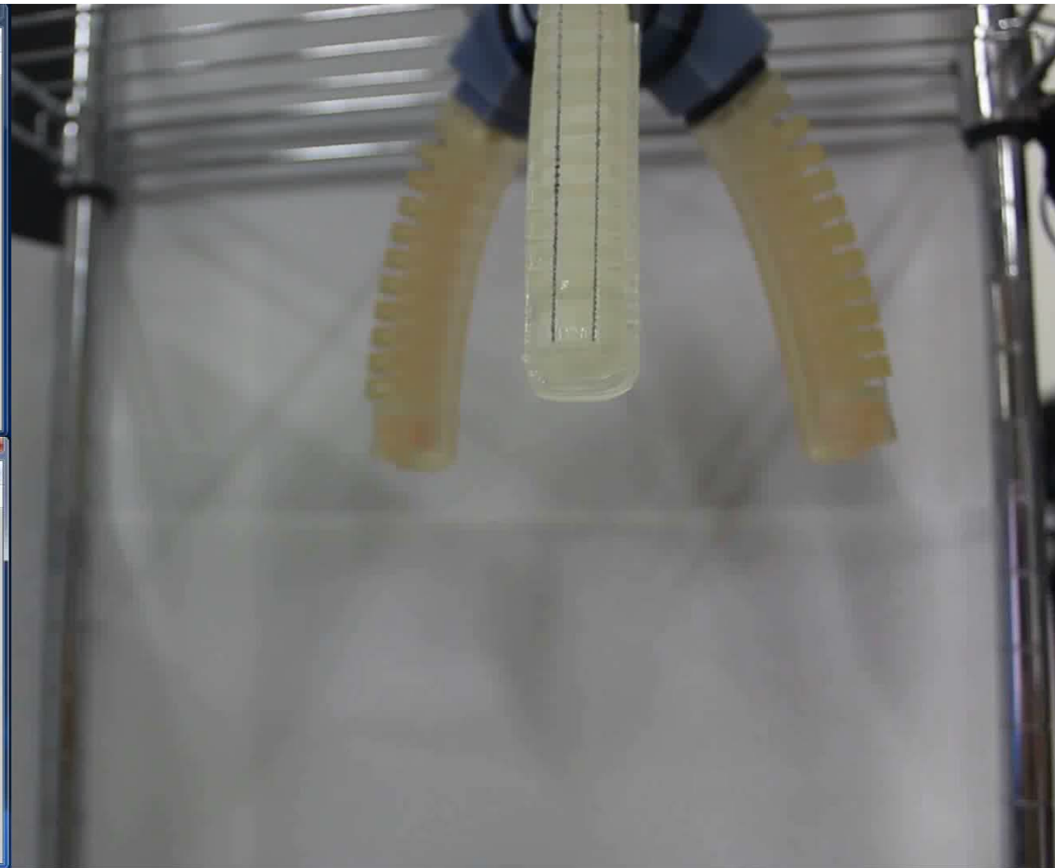
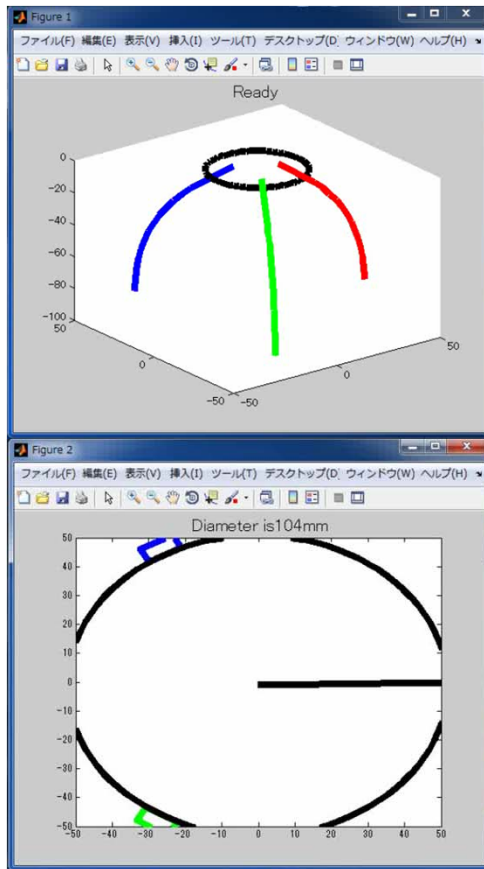
Ho et al., IEEE Sensors J., 13(10), 2013

ダブルカバリング構造



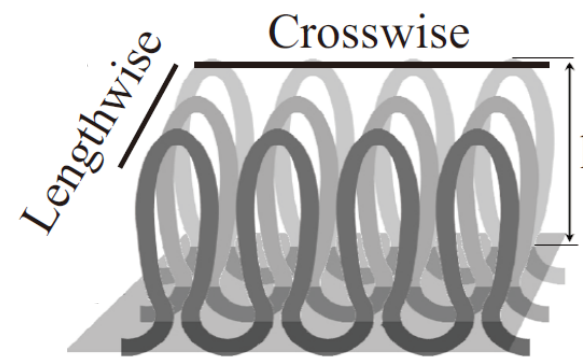
計測範囲 ~ 20%

柔軟指の曲げの推定



Matsuno et al., IEEE RCAR 2017

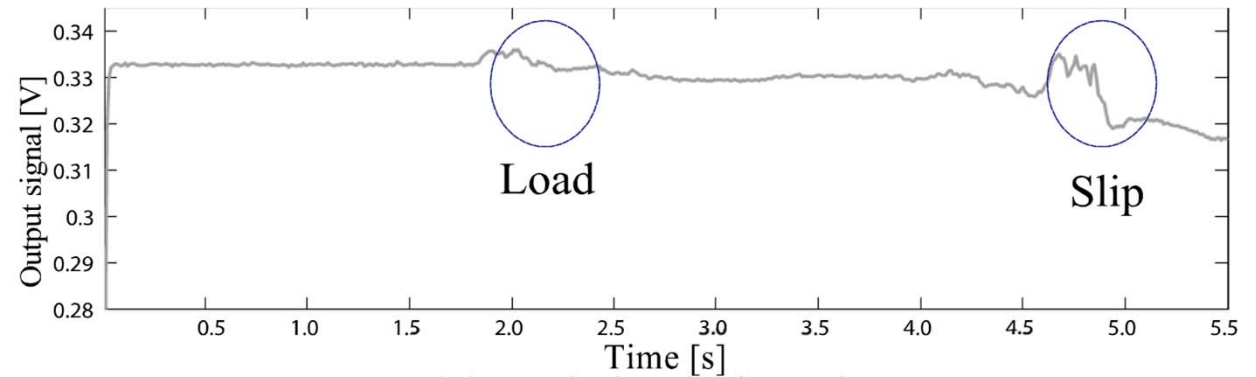
布地センサ



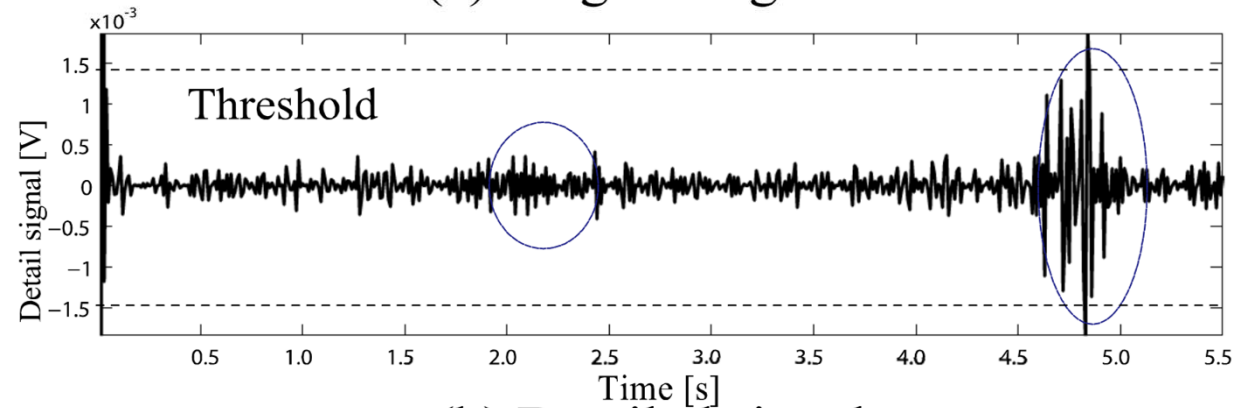
滑りの検出

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

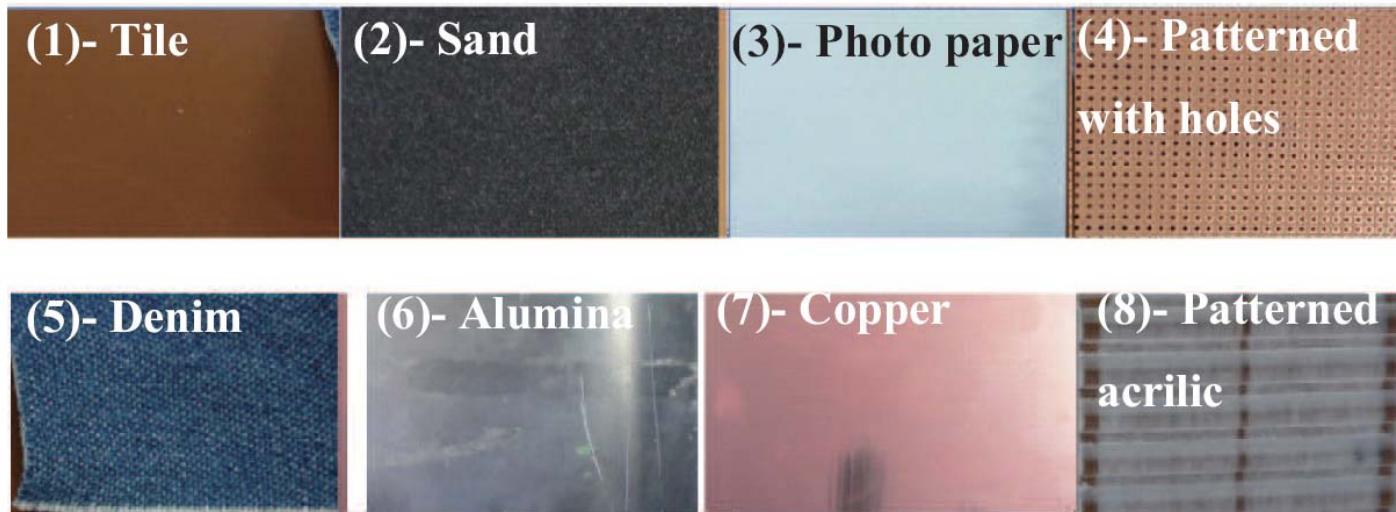
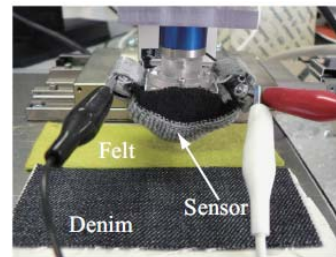
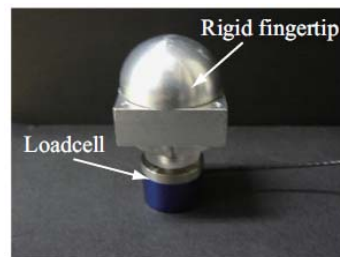


(a) Original signal



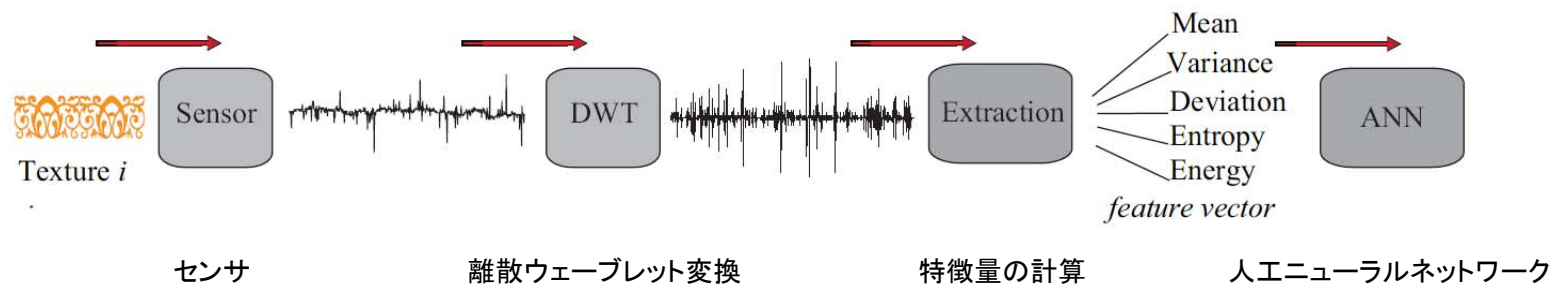
(b) Detailed signal

表面テクスチャーの識別

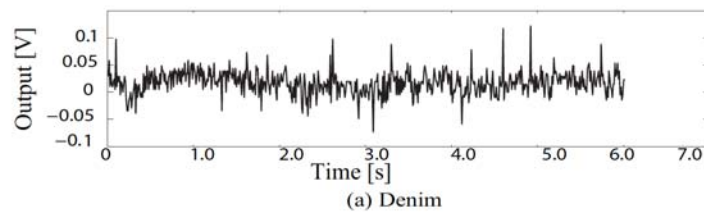


Ho, Makikawa, and Hirai, IEEE Sensors Journal, 2013

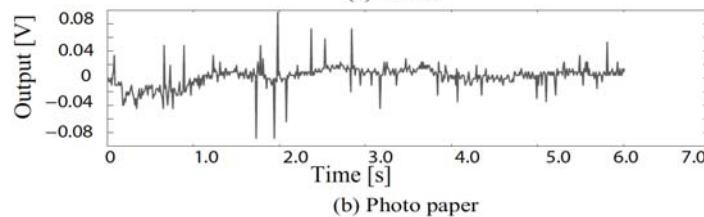
表面テクスチャーの識別



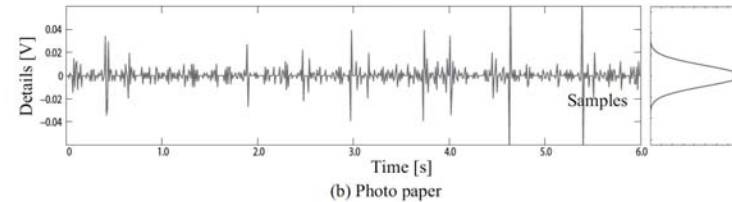
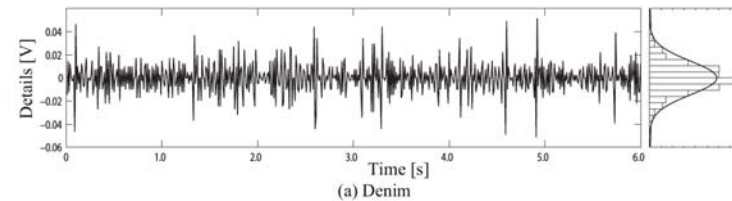
デニム



写真用紙



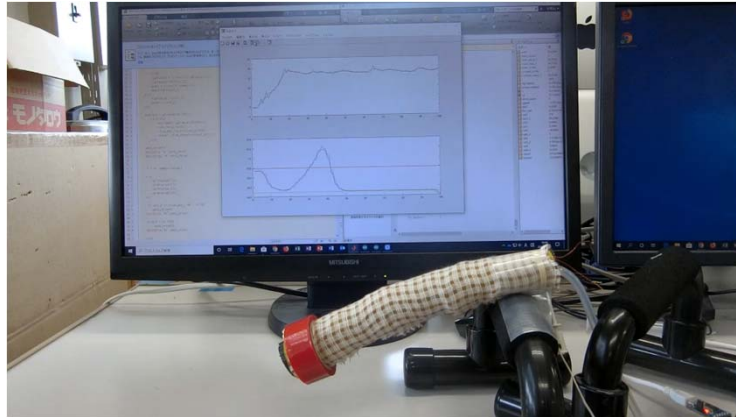
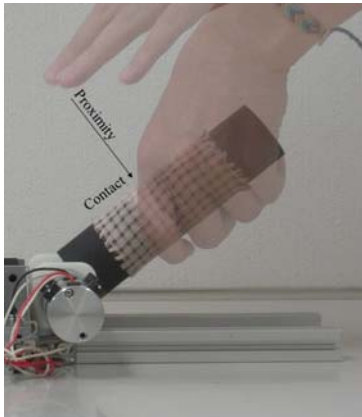
布センサの出力



離散ウェーブレット変換の詳細係数

Fabric-based Proximity/Contact Sensor

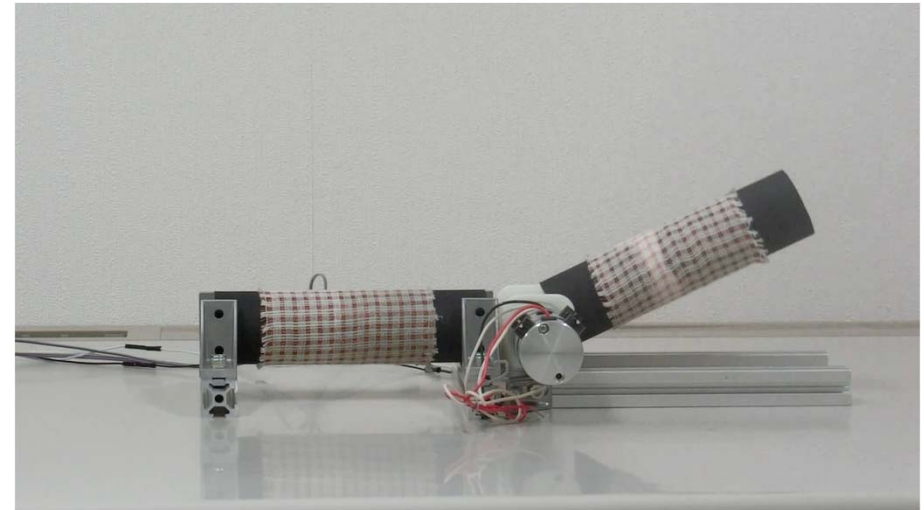
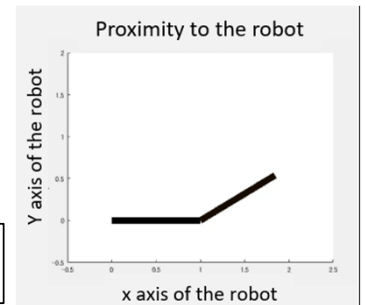
Sensor made of conductive fabric
Can detect approaching/contacting objects



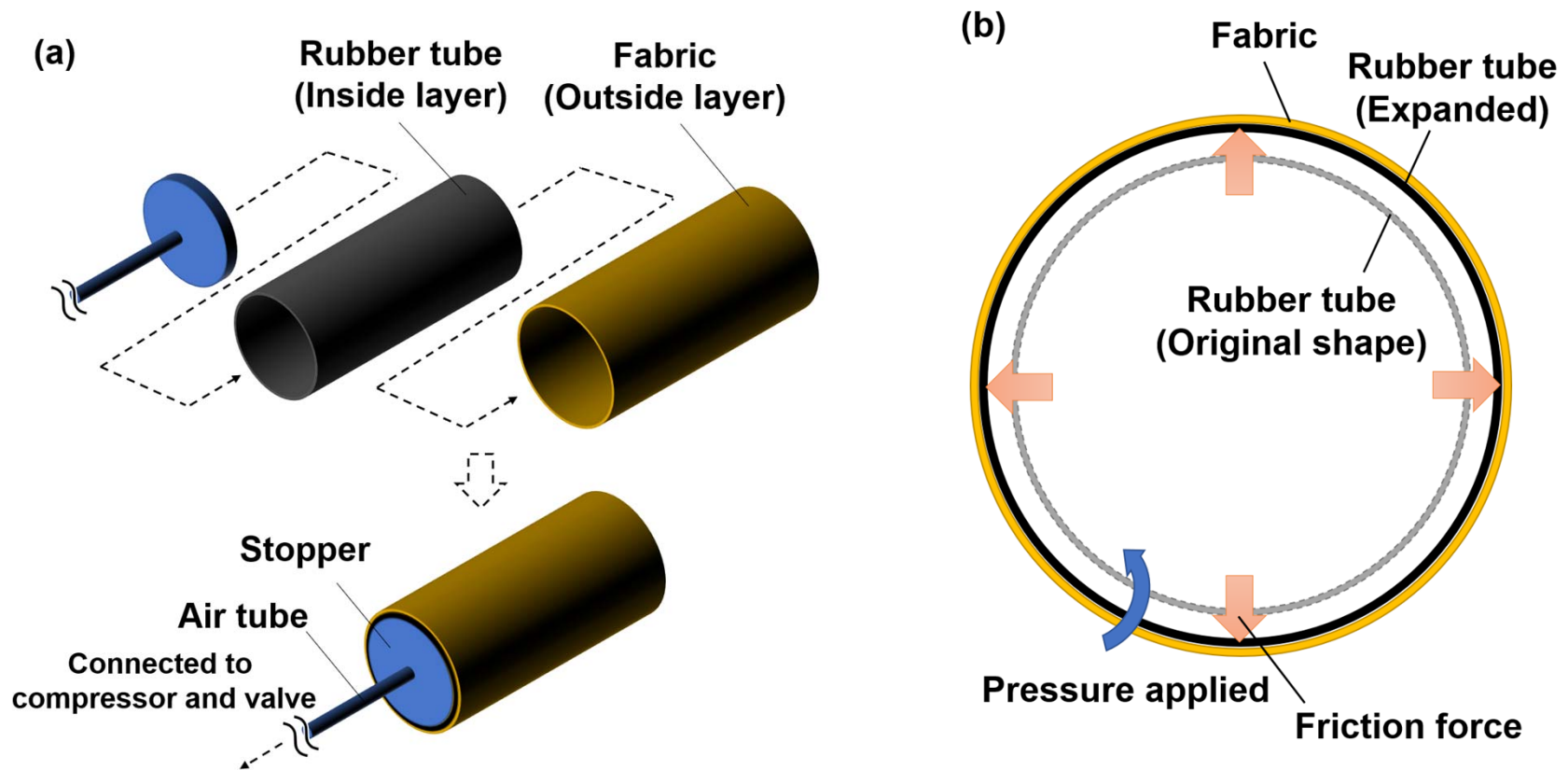
Can cover curved surfaces of rigid/soft robots
Applicable to safety sensors of robots



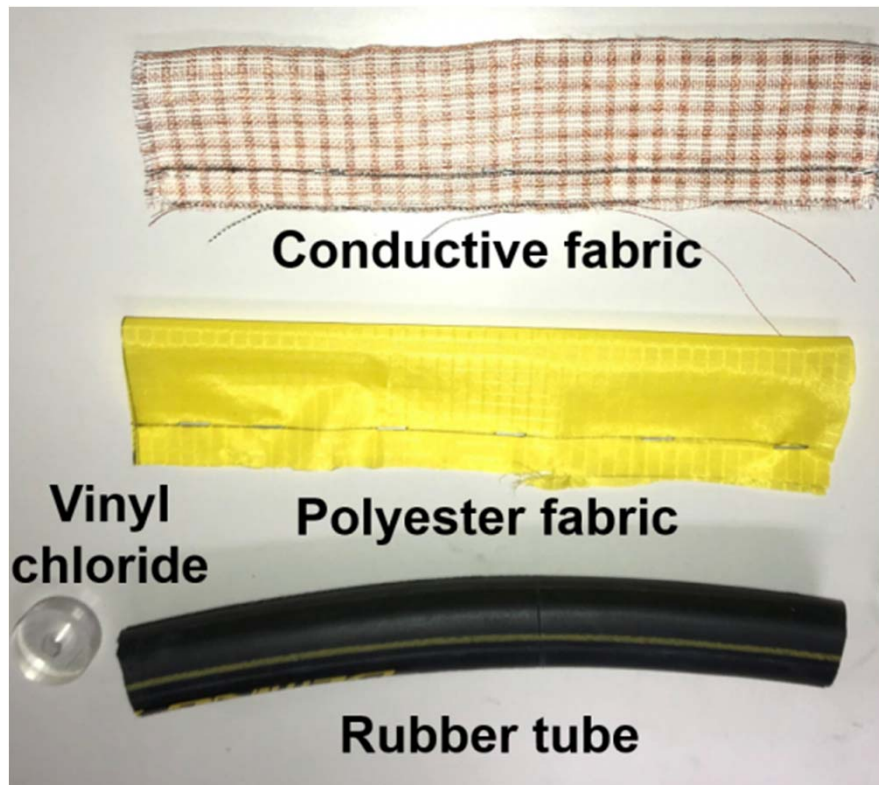
■ → ■:Proximity
■:Contact

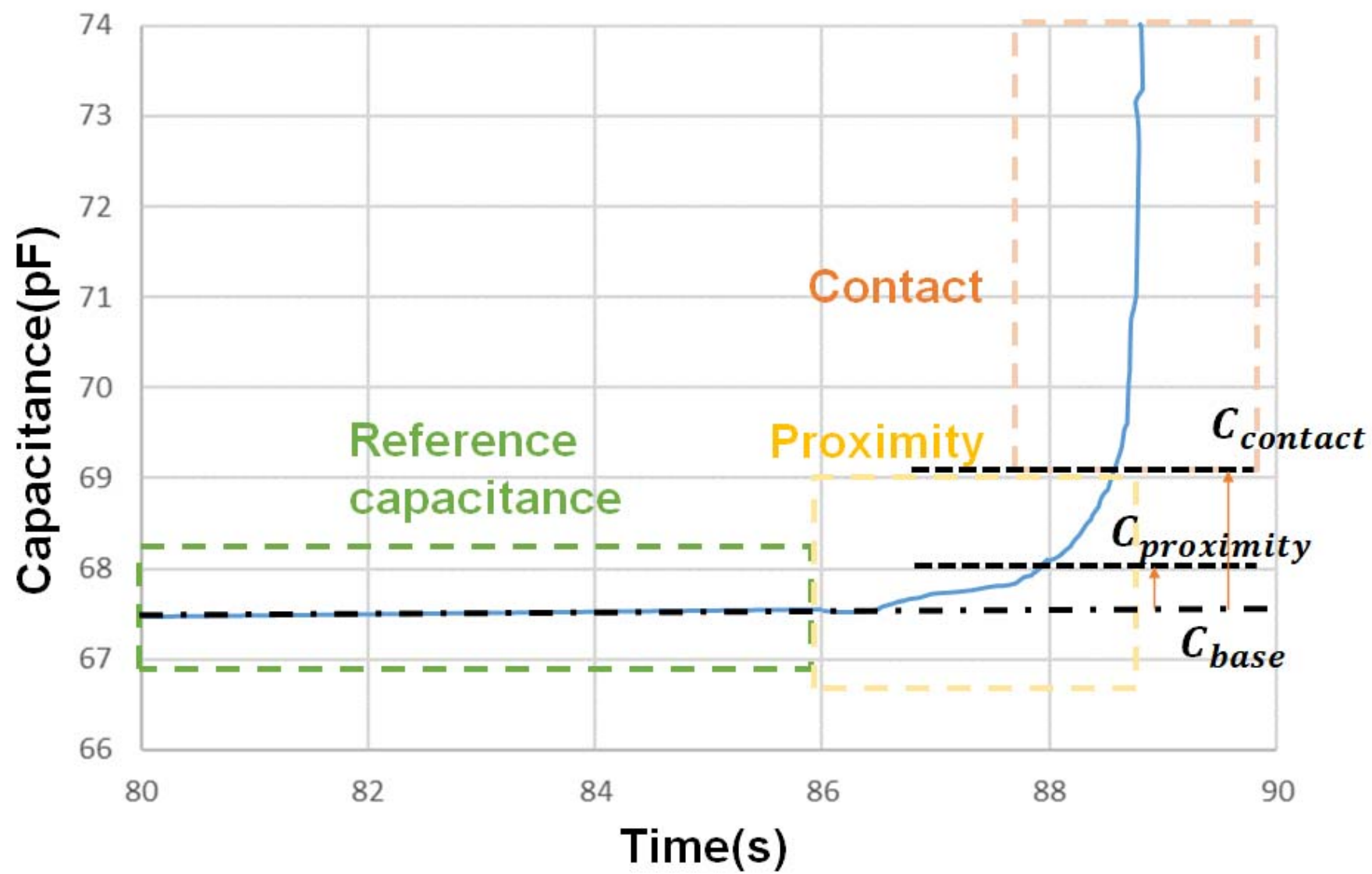


Variable Stiffness Link with Fabric Sensor



Variable Stiffness Link with Fabric Sensor

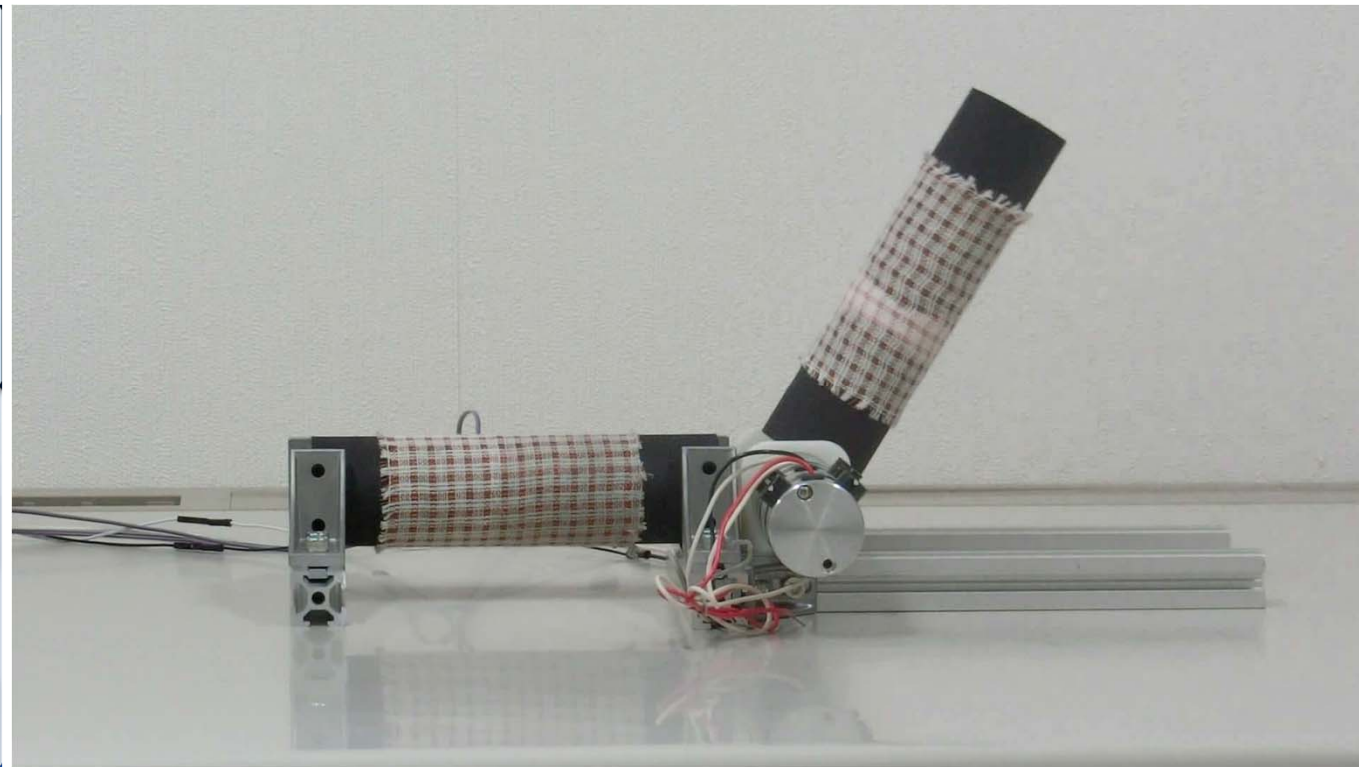
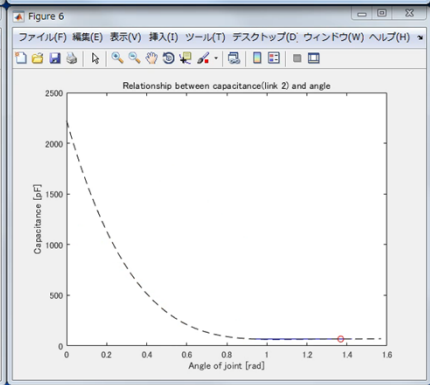
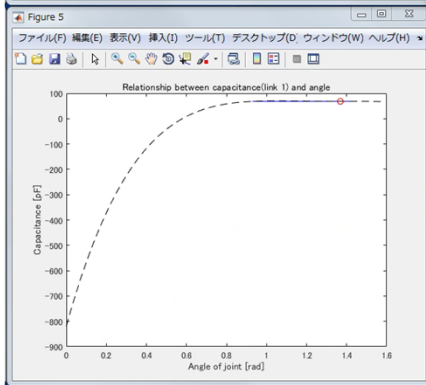
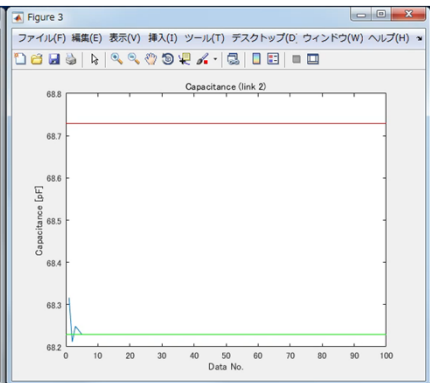
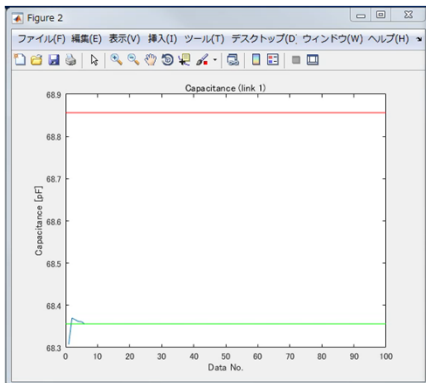
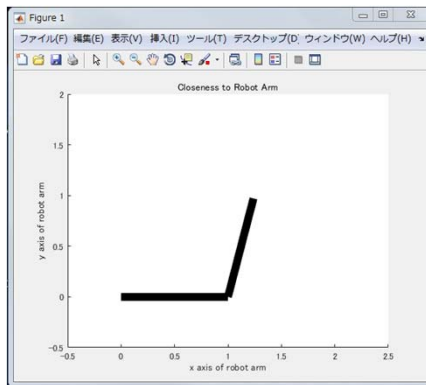




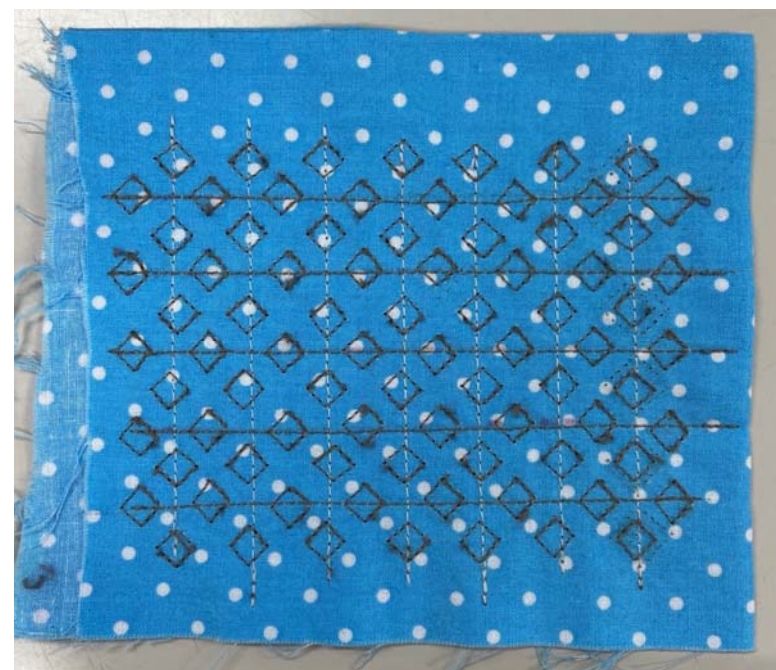
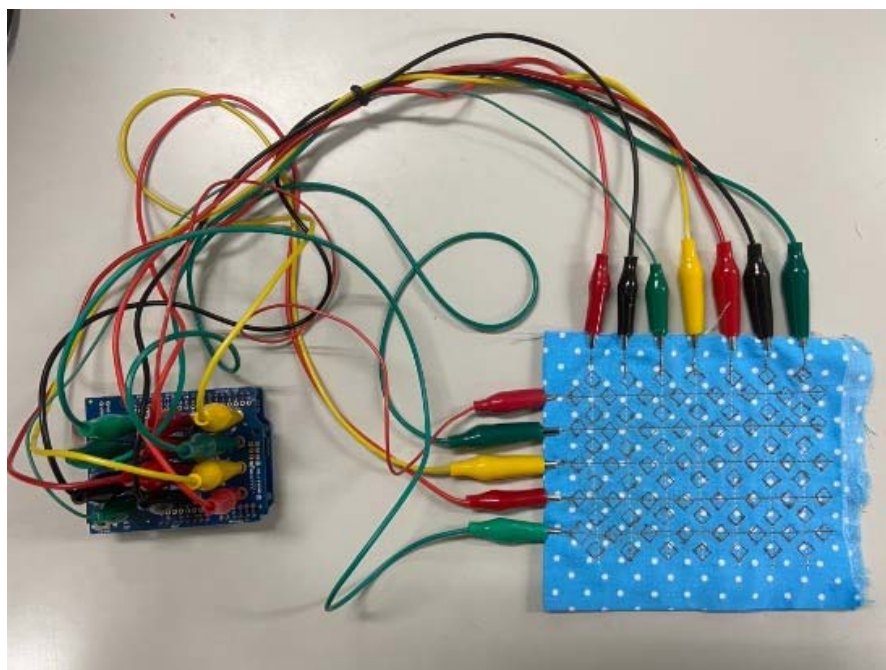
Matsuno et al., IEEE RAL, 4(2), 2212-2219, 2019

■:Proximity
■:Contact

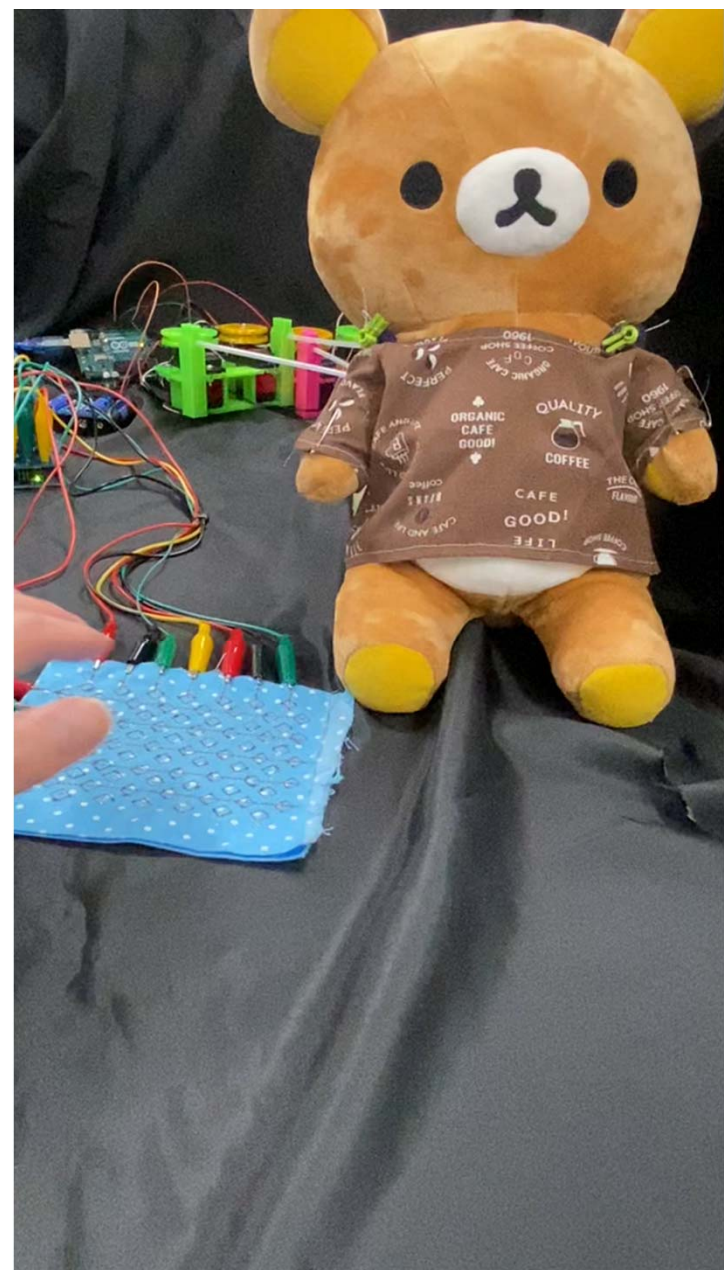
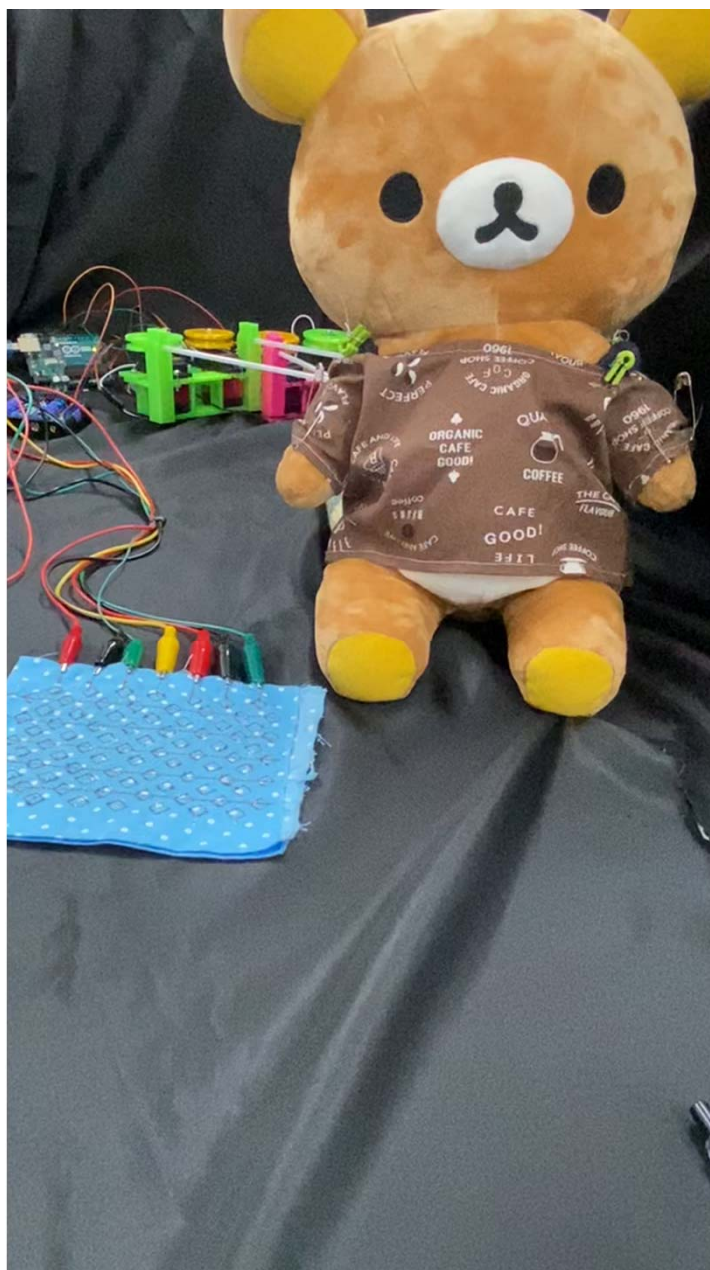
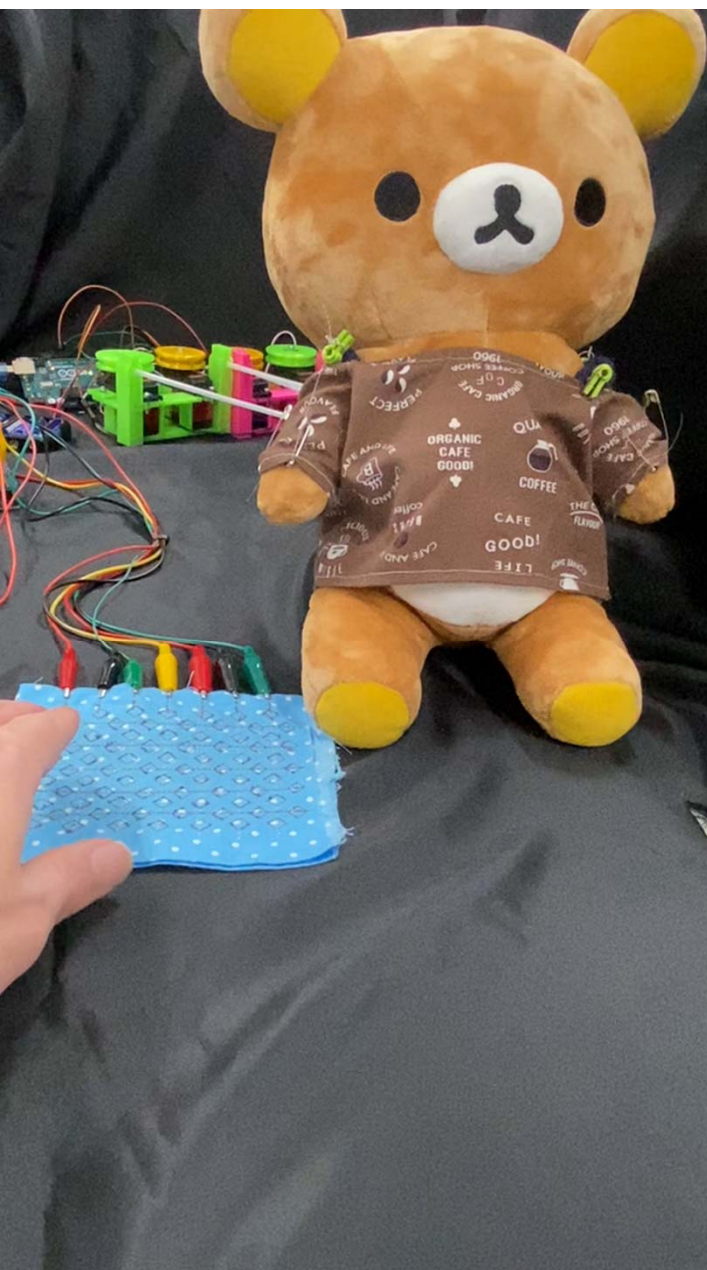
—:Measured
—:Reference



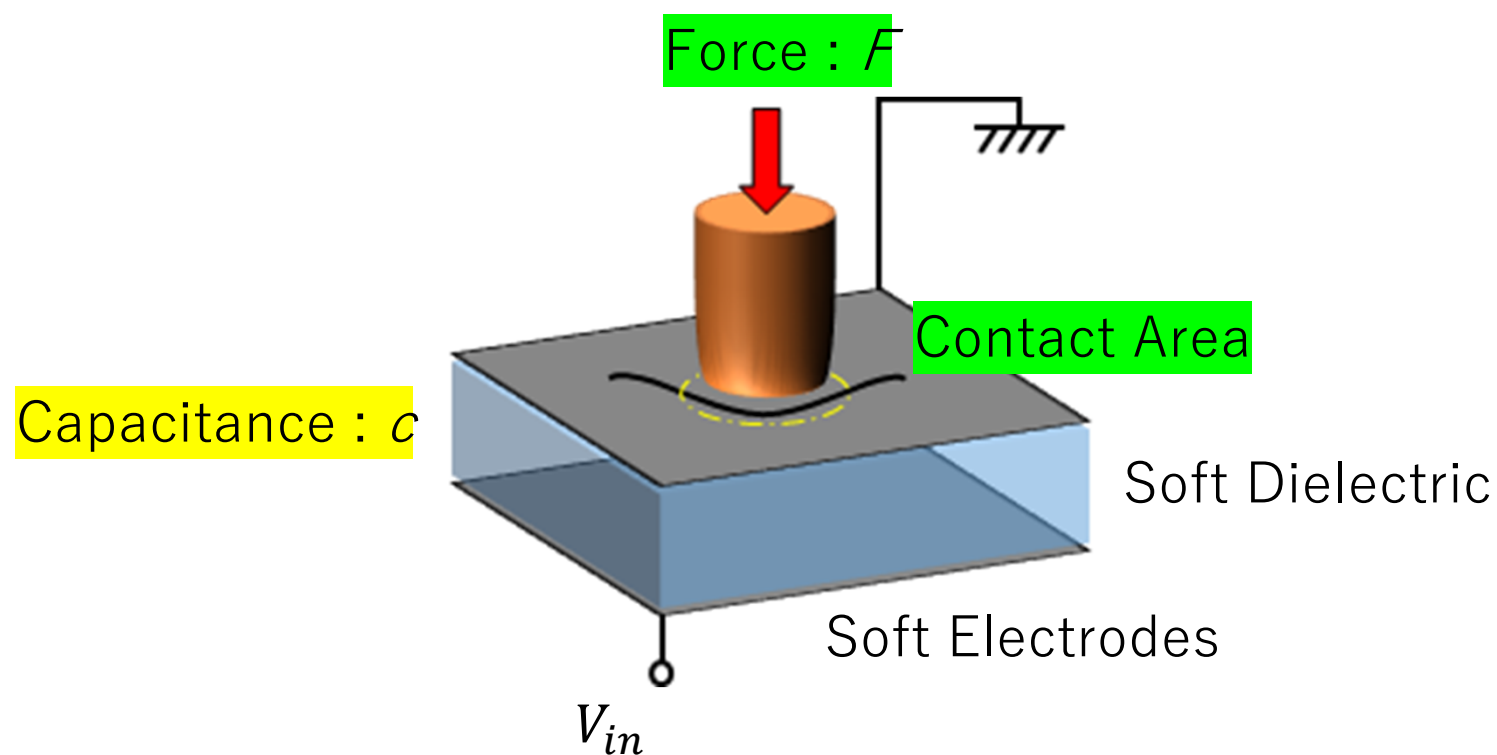
布地タッチセンサ



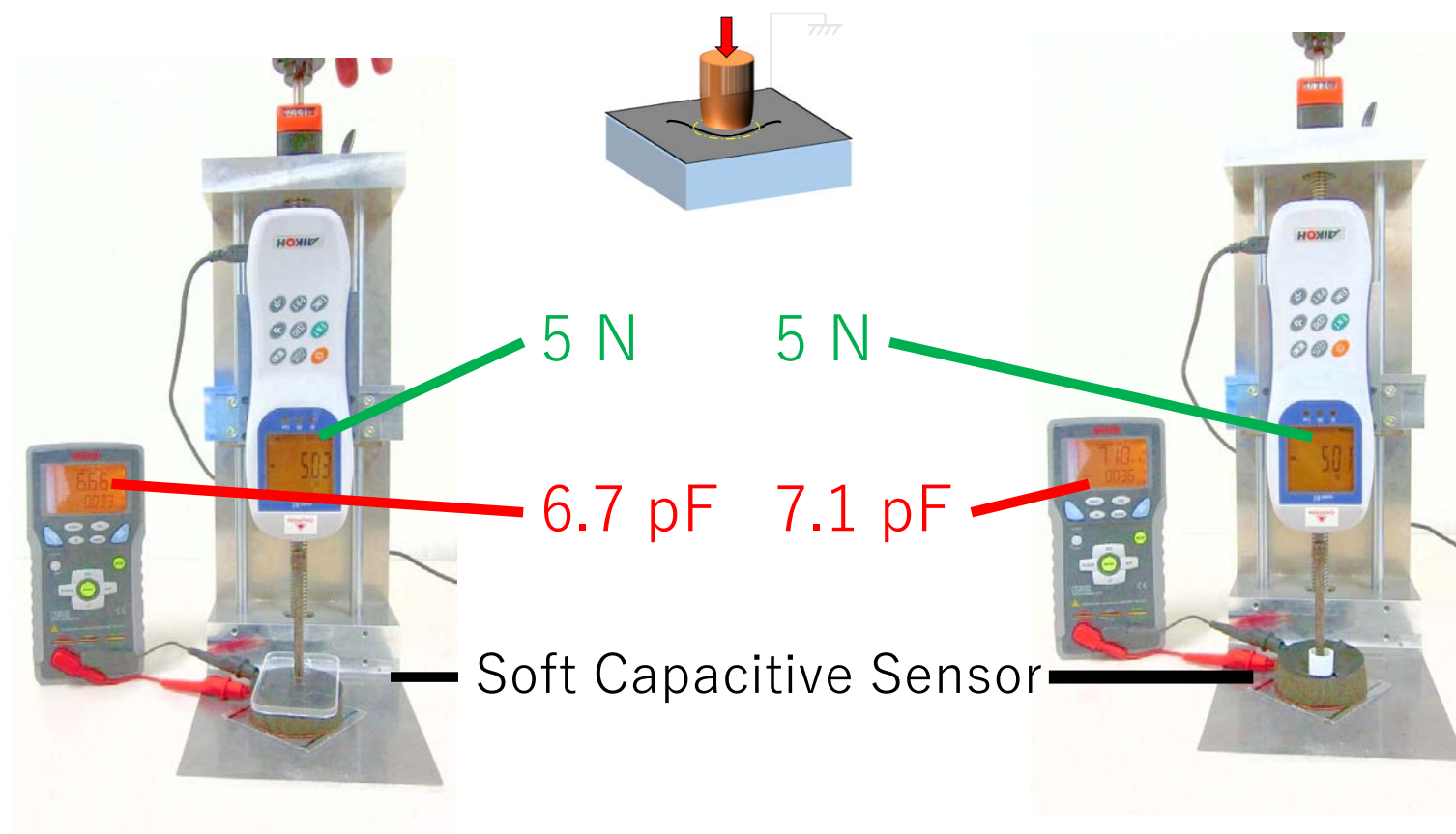
藤本 他, 撫で検知布製タッチパネルの開発とぬいぐるみロボットへの応用,
ロボティクス・メカトロニクス講演会 2024



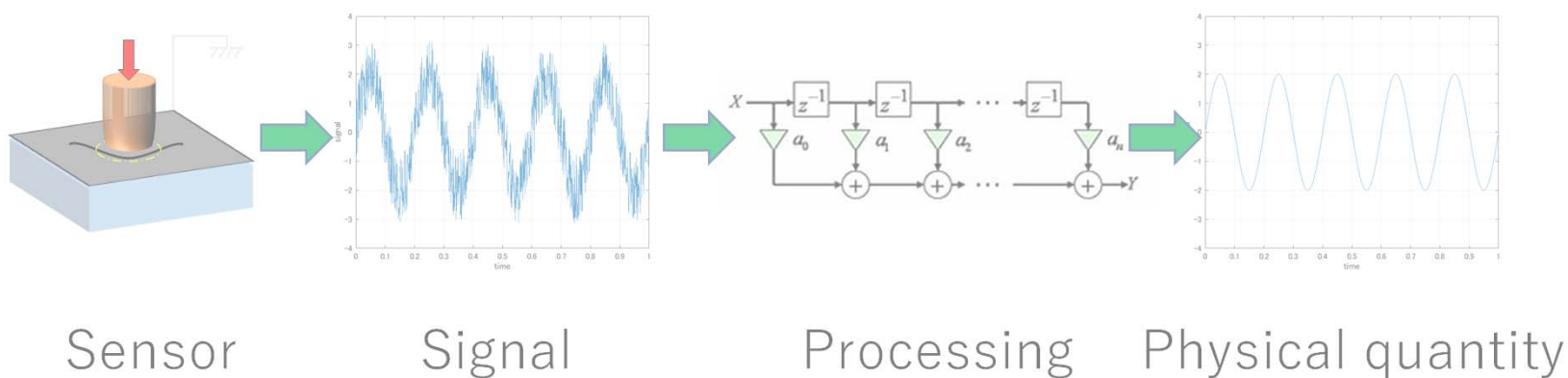
柔軟力覚センサ



柔軟力覚センサ

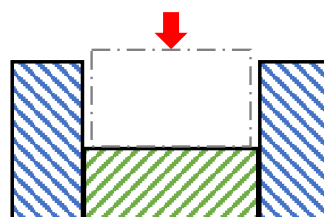
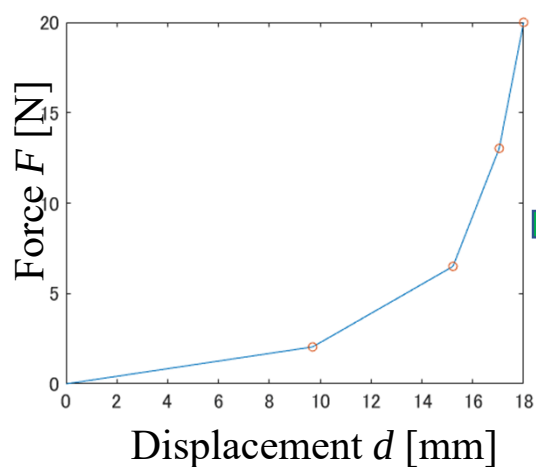


柔軟力覚センサ

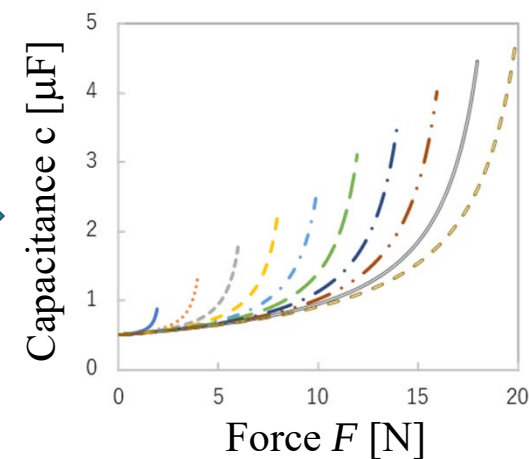


柔軟力覚センサ

Mechanical property of dielectric



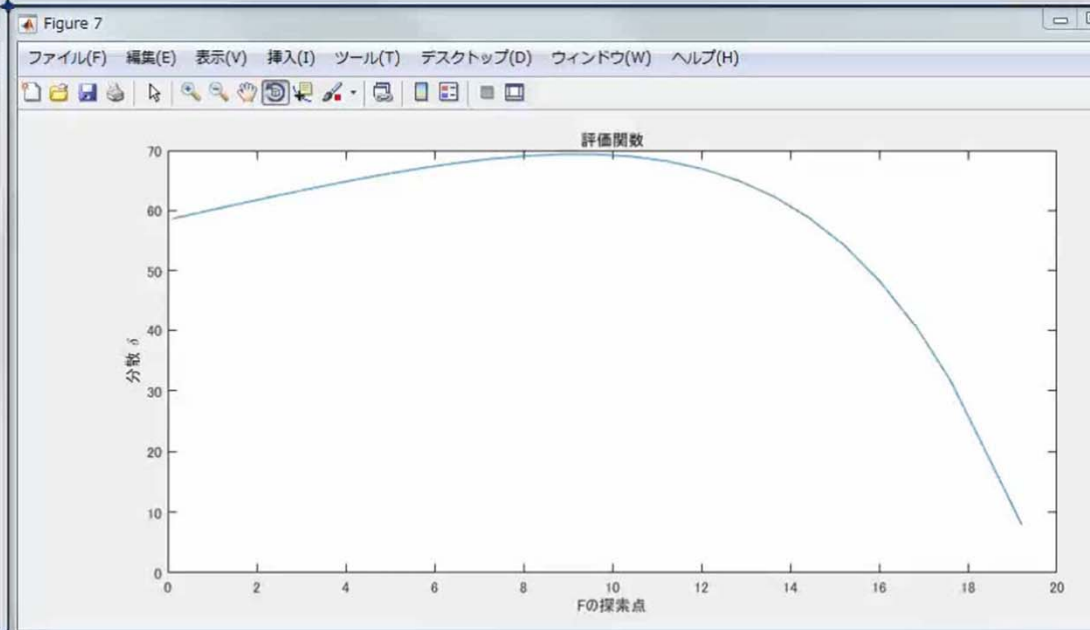
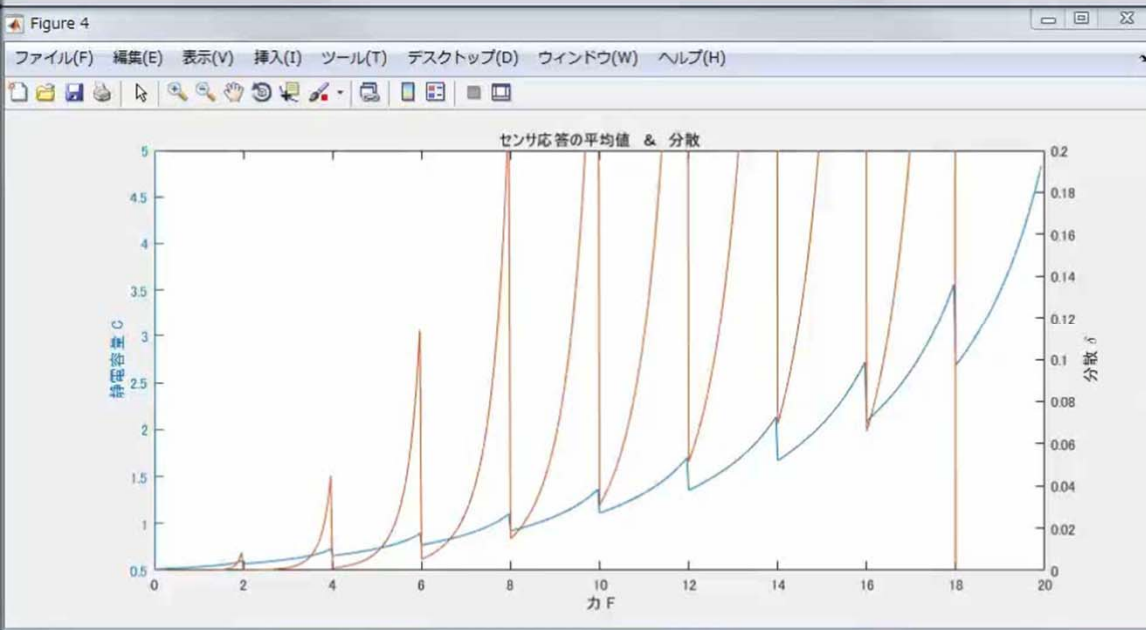
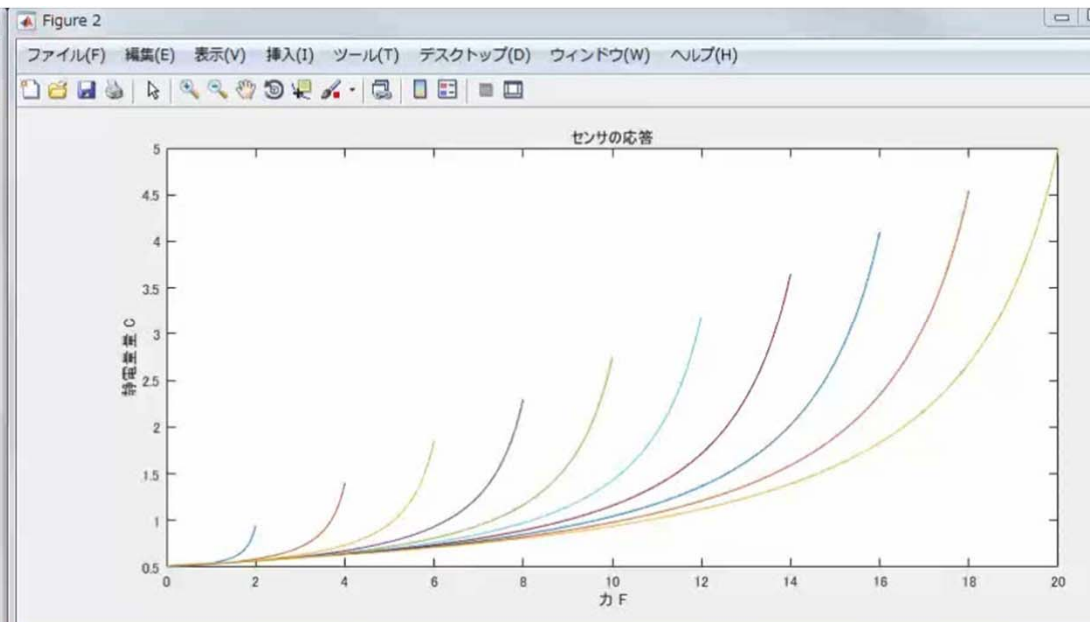
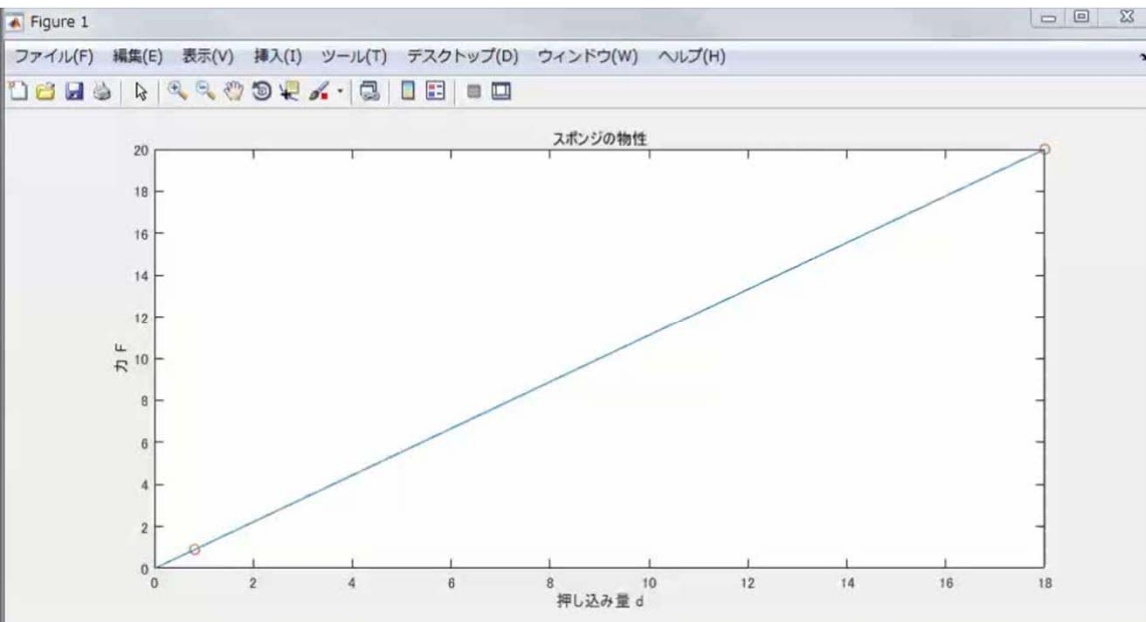
Response for different areas



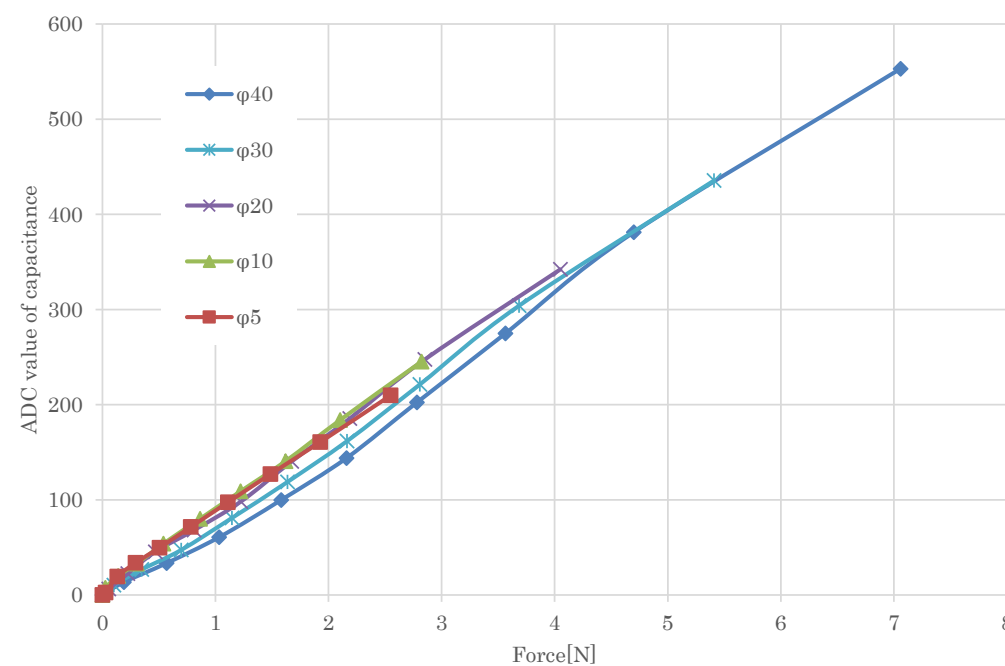
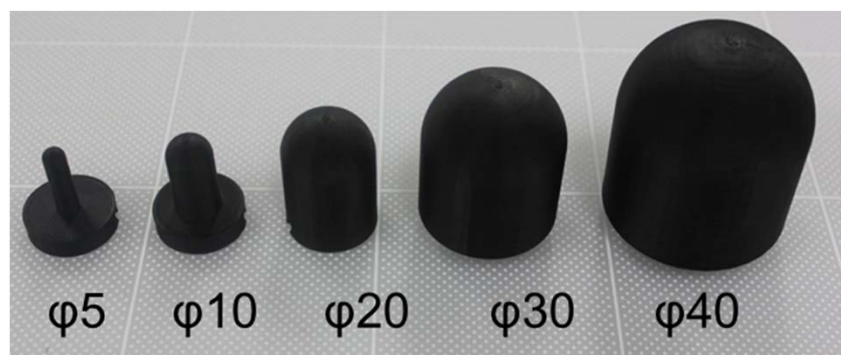
optimization

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

Matsuno and Hirai, IEEE Robotics and Automation Letters, 2021



柔軟力覚センサ



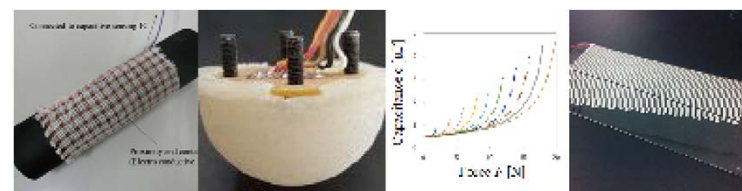
Matsuno and Hirai, IEEE Robotics and Automation Letters, 2021

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



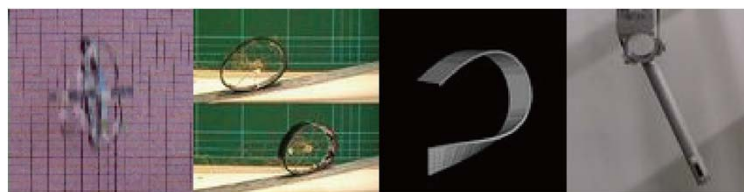
ソフトセンサ



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>

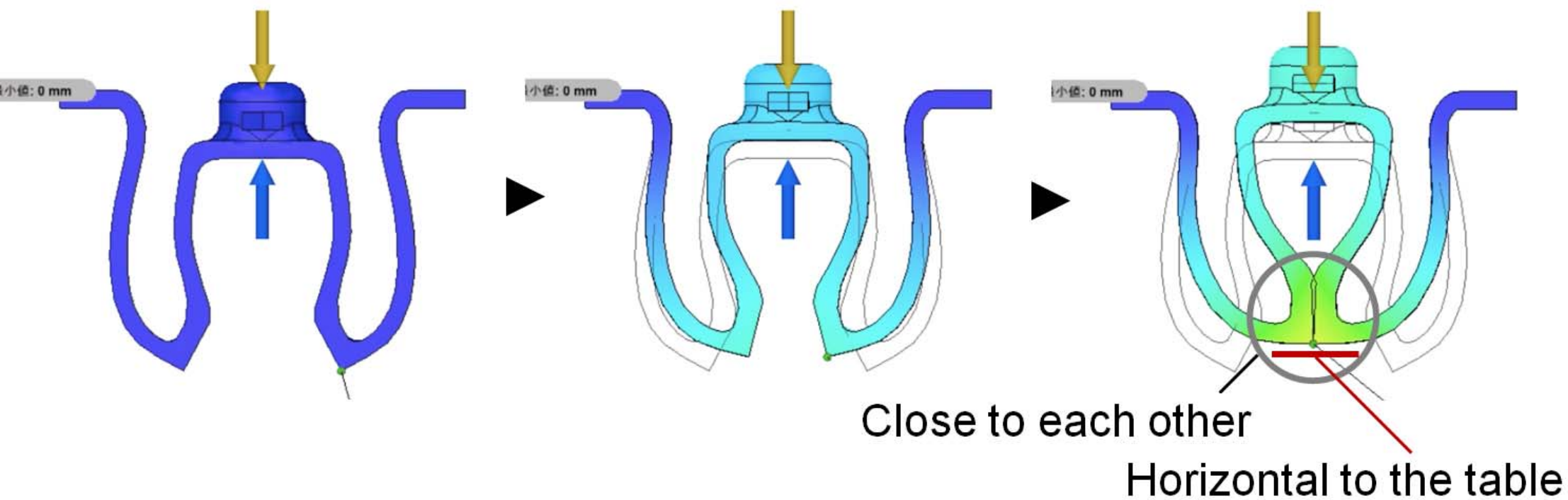
<https://www.chunichi.co.jp/article/497699>

蚕の割愛

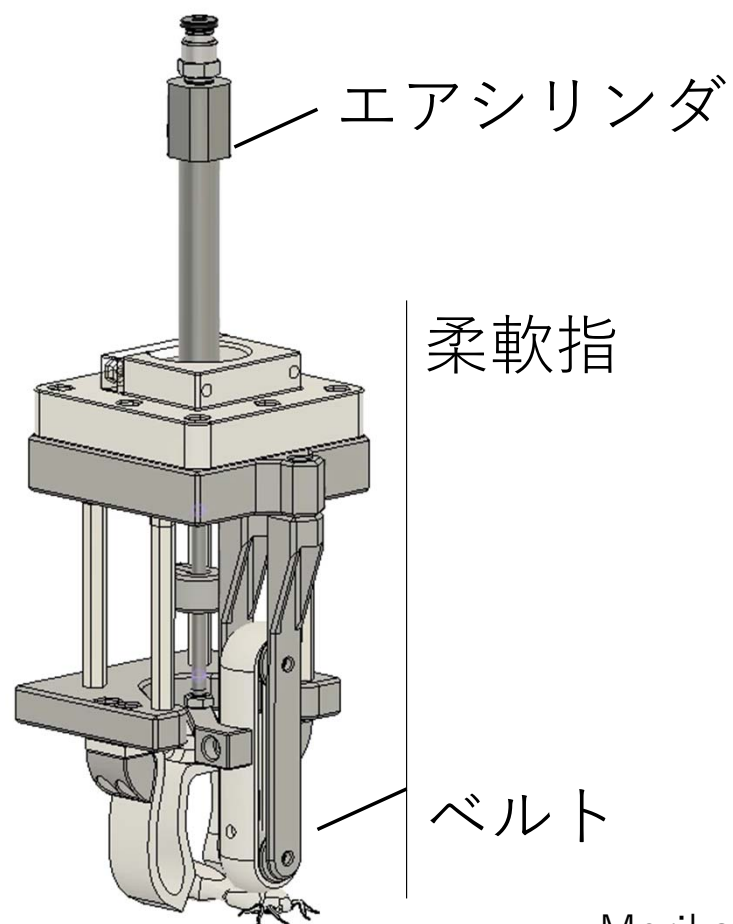


- 雌雄を分離
- 把持運搬

蚕の割愛



蚕の割愛



Morikage et al., RoboSoft 2023

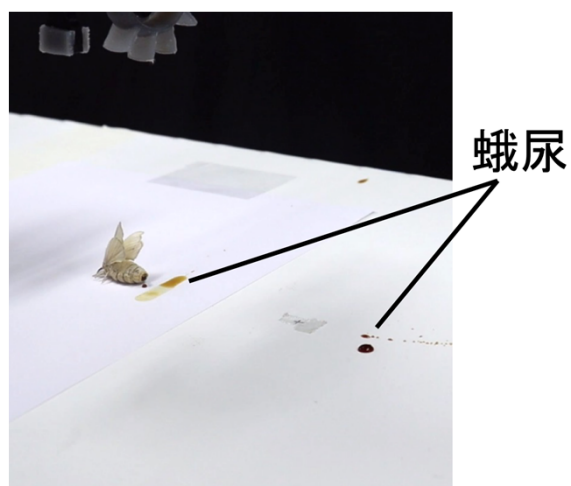
蚕の割愛



蚕の割愛



蚕の割愛



手作業でも生じる



運動は正常



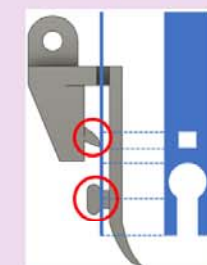
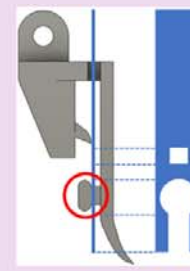
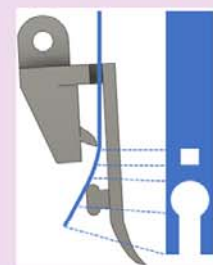
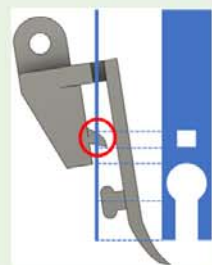
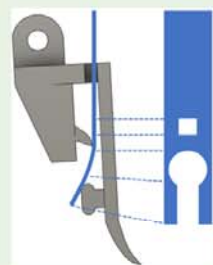
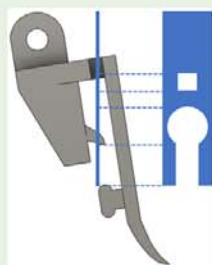
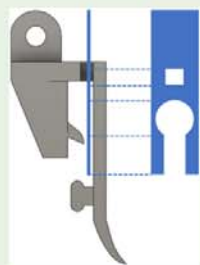
正常に産卵

双安定ソフトハンド

Positional relationship between the tip of the finger and the plate

Action to lock

Action to unlock



Initial state

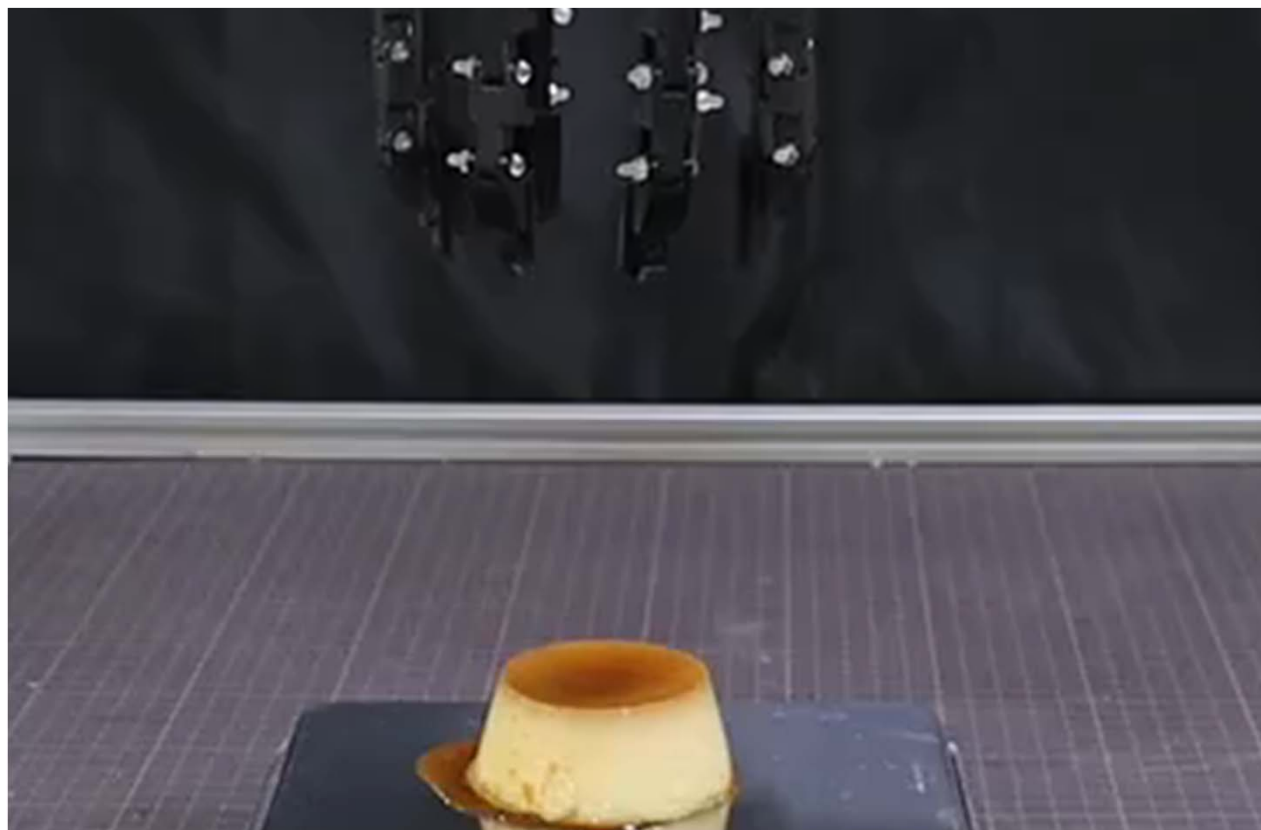
Lock

Unlock

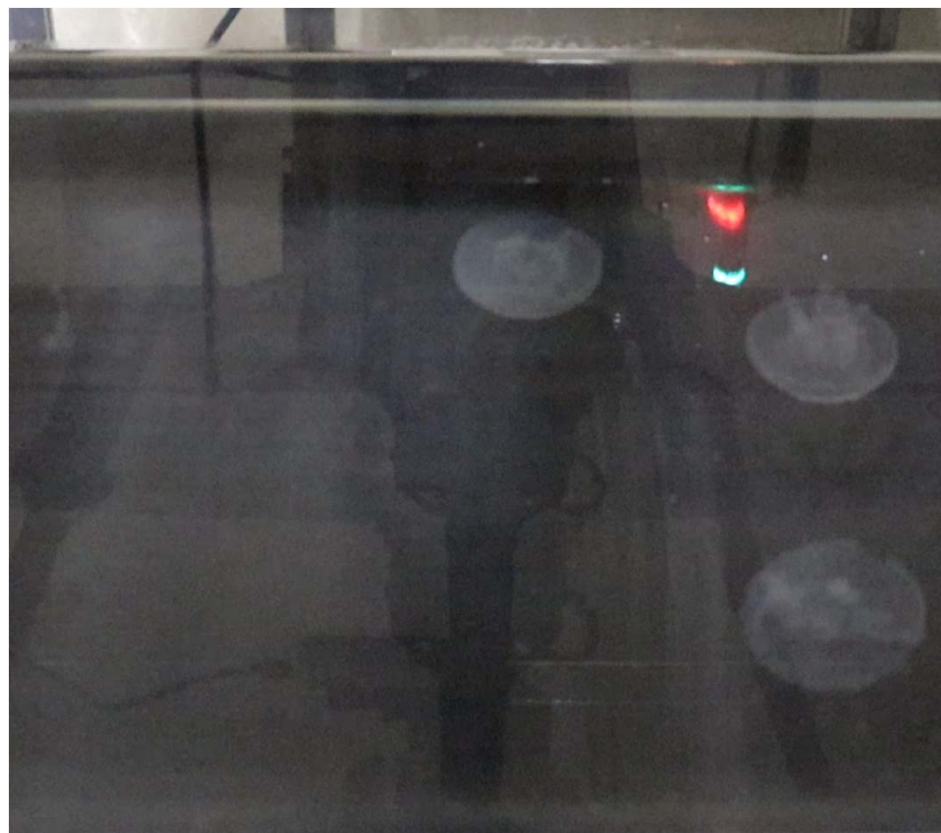
Approach to the ground

Leave the ground

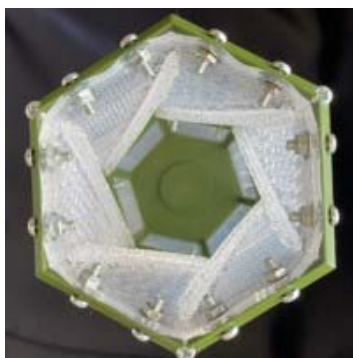
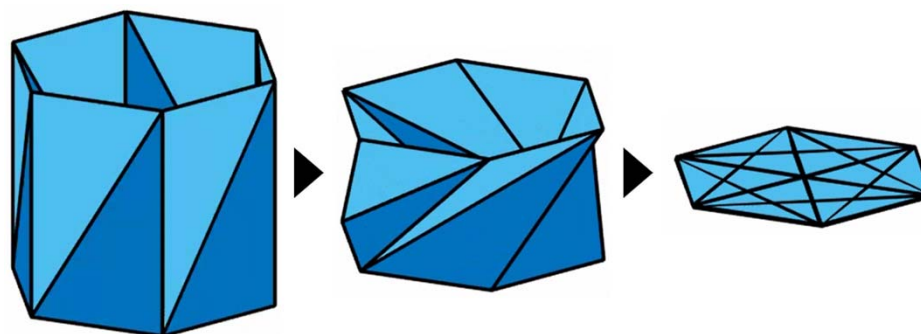
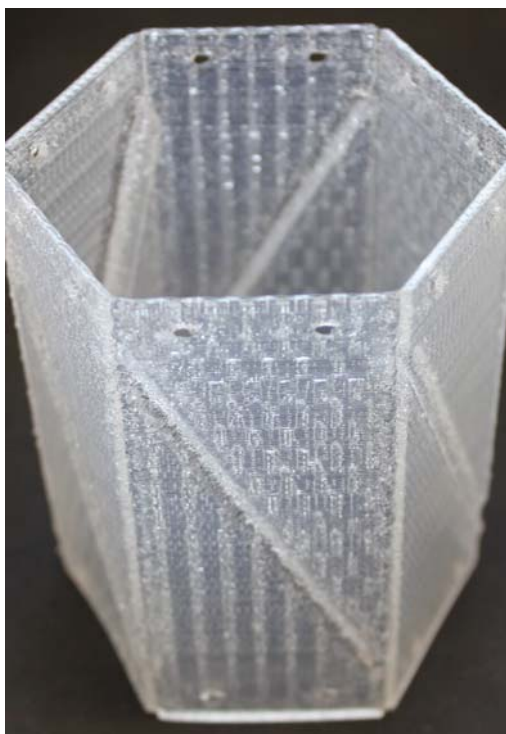
プリンの把持



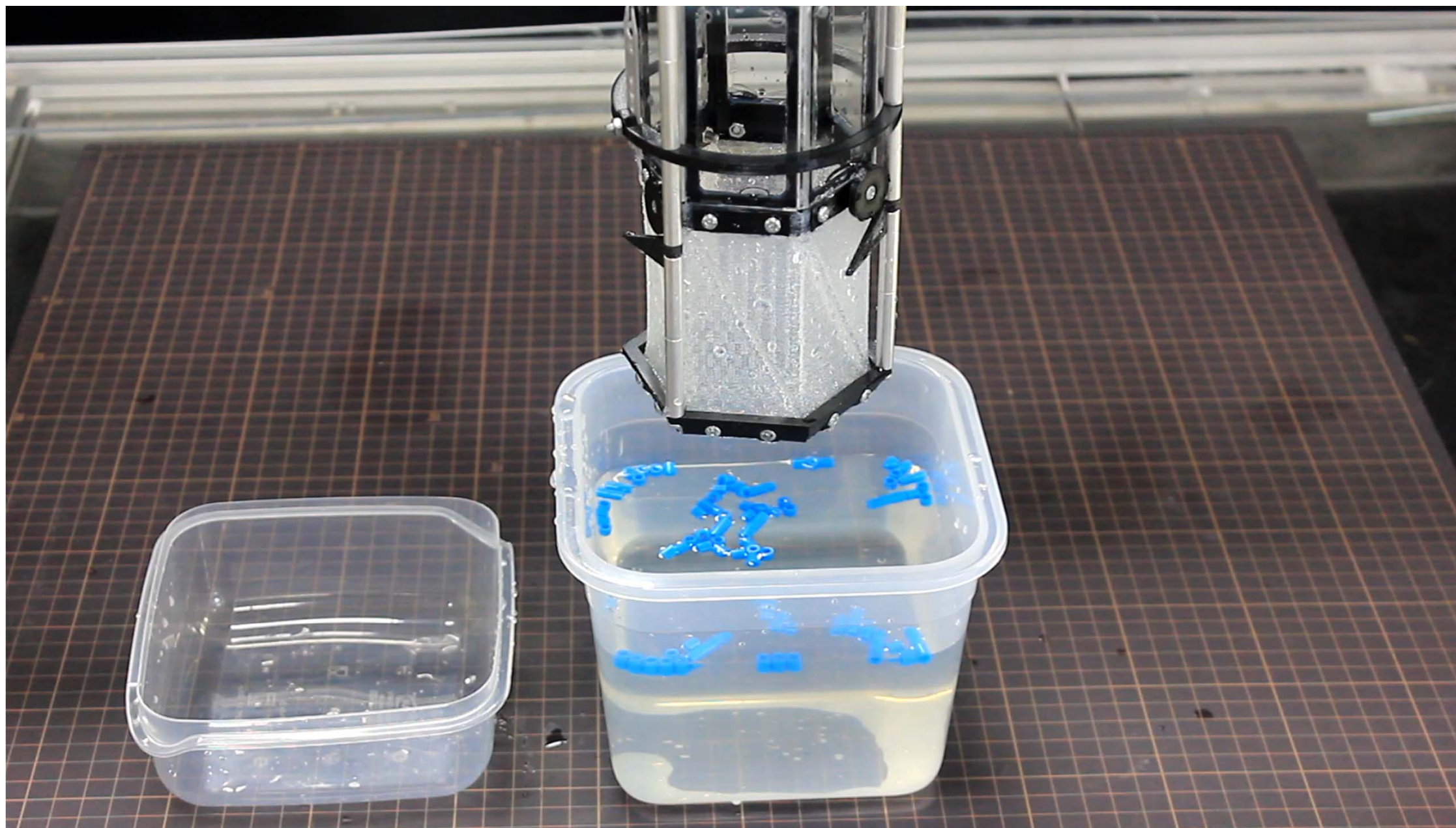
クラゲの把持



折り紙構造ソフトハンド



Nate et al., IEEE/SICE SII 2024



Softness is Opportunities

詳しくは

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

hirai@se.ritsumeai.ac.jp

