

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/>

特殊講義I 2021/5/27

特殊講義I 2021/5/27

ロボット vs 生物

ソフトロボティクス Soft Robotics

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

特殊講義I 2021/5/27

特殊講義I 2021/5/27

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



SIG Soft Robotics
Special Interest Group on Soft Robotics



特殊講義I 2021/5/27

特殊講義I 2021/5/27

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 2021/5/27

ソフトロボティクス研究室



Soft Robotics Lab

指導 平井 慎一 ロボティクス学科 教授
 設立 1996年4月

ひわご-くまづキャンパス(BKC) アクセス
 ひわご-くまづキャンパス(BKC) マップ
 決定表

ソフトロボティクス研究室では、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。
 近年のメインテーマ

魚気マニピュレーション

ソフトセンサ

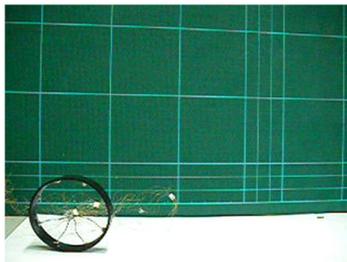
空気圧システム

ソフトコンタクト

生体力学モデリング

2021/5/27

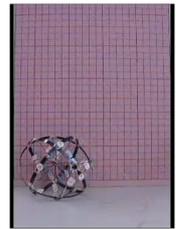
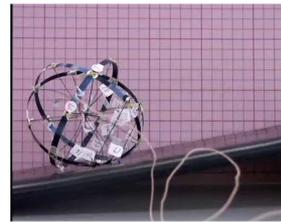
円形ソフトロボット



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

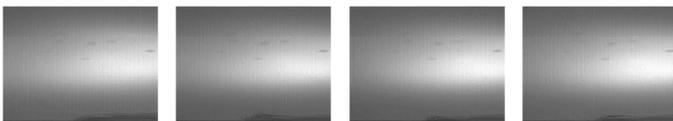
特殊講義I 2021/5/27

球形ソフトロボット

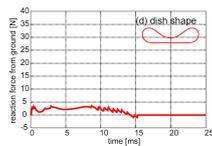
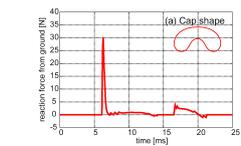


特殊講義I 2021/5/27

変形による跳躍



Cap Cup Peanut Dish



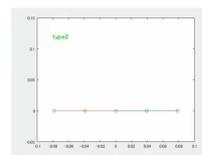
Matsuyama and Hirai, IEEE ICRA, 2007

特殊講義I 2021/5/27

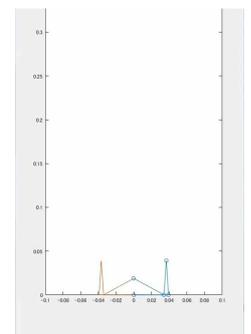
変形による跳躍



跳躍ロボットのモデル



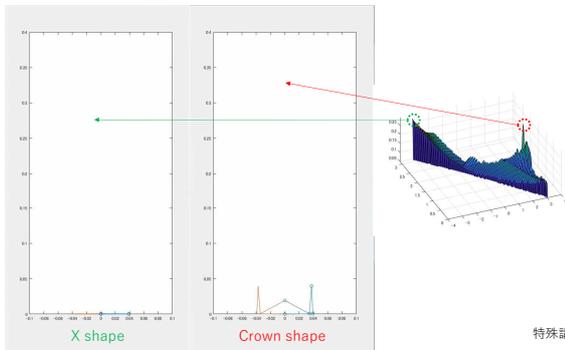
計算過程



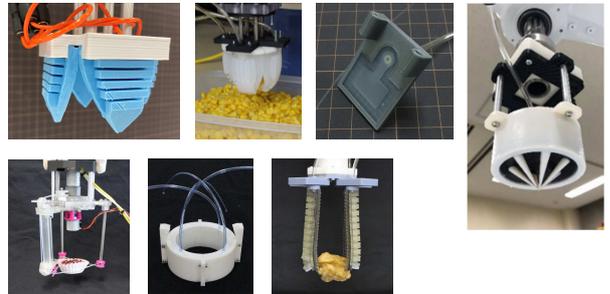
Matsuno and Hirai, RoboSoft 2020

特殊講義I 2021/5/27

変形による跳躍



ソフトハンド



食品製造業の現状

食品製造業に対する COVID-19 の影響

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

Special Lecture | 2021/5/27

<https://mainichi.jp/english/articles/20200925/p2a/00m/0na/003000c>
<https://www.bbc.com/news/uk-scotland-tayside-central-53861293>

Special Lecture | 2021/5/27

自動化が進んでいる／進んでいない

自動化が進んでいる／進んでいない

産業用ロボットの基本的な原理は、Devolの**教示再生**に関する特許以来、約60年に渡って変わっていない。教示再生では、**周辺環境を整える**ことが必要であり、製造環境を整えることができる多くの工程で自動化が進んでいる。一方、環境を整えることが困難な工程では自動化が進んでいないのが現状であり、このような工程の自動化には、新たな技術イノベーションが必要になると考える。

RSJ 2013 OS 「製造業用ロボットにおける技術イノベーション」の趣旨説明

<https://www.youtube.com/watch?v=puxNM0NUXkk>

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

Special Lecture | 2021/5/27

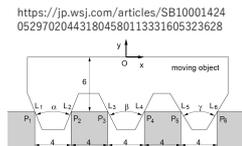
Special Lecture | 2021/5/27

自動化が進んでいる／進んでいない



1980年代
アセンブリ（組立）の自動化
当初は可能性が高いとの楽観論

技術的なバリア
- 不確定性への対応が困難
- センサの利用が困難
経営的なバリア
- 自動化よりセル生産



特殊講義I 2021/5/27

食品製造業



2013 FOOMA AC
弁当製造業の技術担当役員との会話

数百万食／日
朝：販売 夜中に製造
弁当製造は消費地の近く
人件費が上がり続けている
10年後には立ち行かなくなる

必要性は COVID-19 で加速

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

特殊講義I 2021/5/27

製造業共通の課題

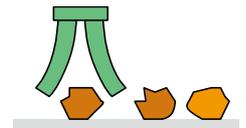


食品製造業（中食、冷凍食品、集荷）
衣料製造業
電気電子産業における組立

柔らかい
形状や寸法、特性にバラツキ
多品種変量生産（大量生産ならば専用の自動化ライン）
高い精度は要求されない場合も多い

特殊講義I 2021/5/27

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

特殊講義I 2021/5/27

価値観の転換



1980年代
フレキシブルロボット
柔らかさは障害物



https://robogaku.jp/content/images/history/088_01-300x211.jpg

2000年代以降
ソフトロボティクス
柔らかさを活用



<http://www.ritsumeikai.ac.jp/~kawamura/research01-03.html>

特殊講義I 2021/5/27

SIP



外食/中食産業、中小企業、農林水産業における自動化

外食（約25兆円産業） 食洗器への食器の投入、盛り付け
中食（約8兆円産業） 弁当への食材のパッキング、菓子のパッキング
中小企業 多様な対象物のハンドリング
農林水産業 農作物の仕分け作業、調理機器への食材の投入

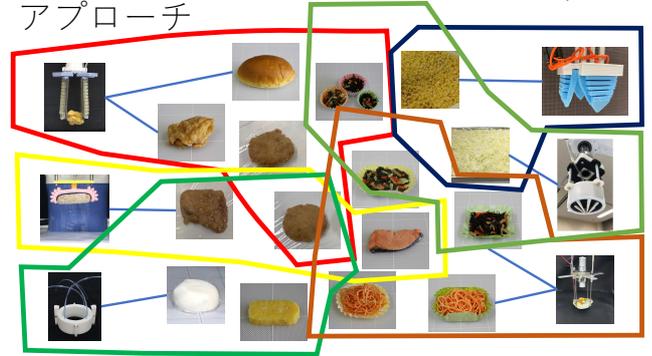
特殊講義I 2021/5/27

SIP 実証実験室



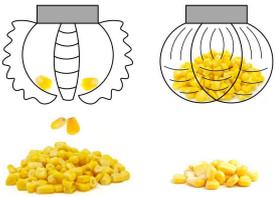
特殊講義I 2021/5/27

アプローチ



特殊講義I 2021/5/27

包み込みグリップ

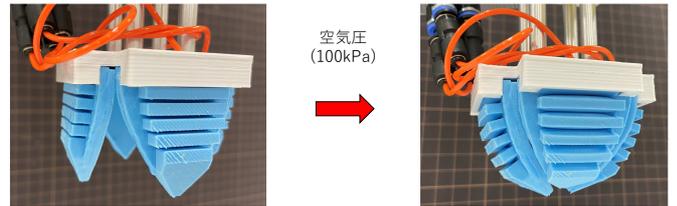


Kuriyama et al., IEEE RoboSoft 2019



特殊講義I 2021/5/27

包み込みグリップ



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

特殊講義I 2021/5/27

包み込みグリップ



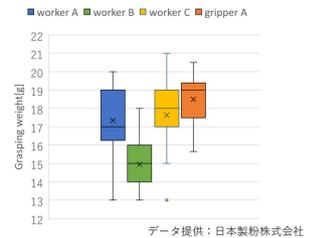
コーン把持実験動画(2倍速)

特殊講義I 2021/5/27

包み込みグリップ



RealSense Depth Camera D435 で
コーン表面の高さを計測
ROS を通してロボットに高さ情報を送信



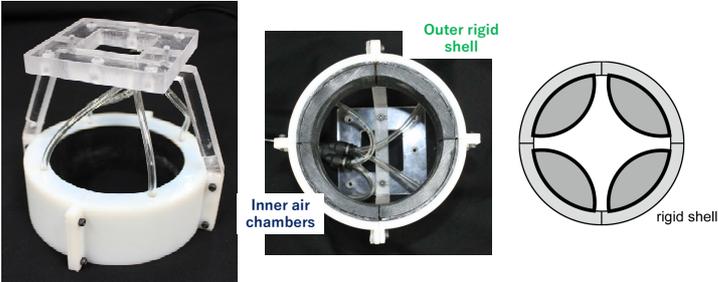
データ提供: 日本製粉株式会社

コーン把持実験(20回)
作業員 (3名) による把持と比較

nippon

特殊講義I 2021/5/27

シェルグリッパ



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

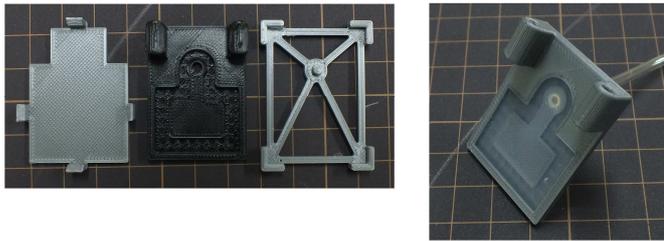
特殊講義I 2021/5/27

シェルグリッパ



特殊講義I 2021/5/27

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 2021/5/27

シェルグリッパ



特殊講義I 2021/5/27

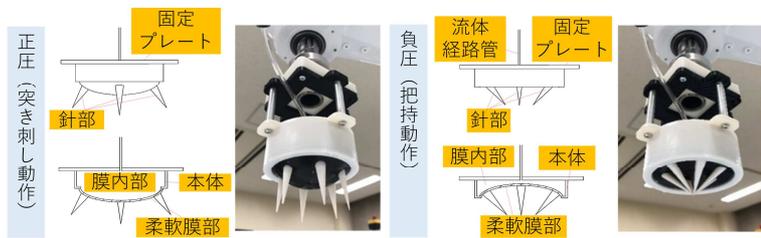
シェルグリッパ



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

特殊講義I 2021/5/27

ニードルグリッパ



卷山 他, 突き刺しと把持が可能なニードルグリッパの開発と評価, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020

特殊講義I 2021/5/27

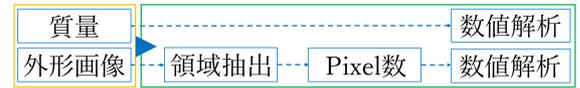
ニードルグリッパ



4倍速

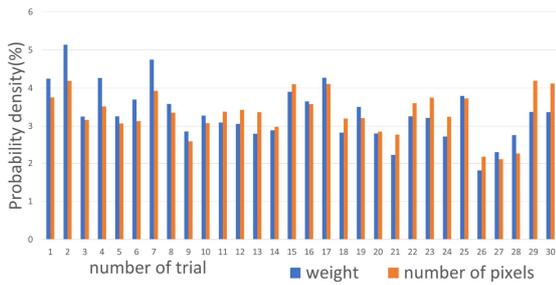
特殊講義I 2021/5/27

ニードルグリッパ



特殊講義I 2021/5/27

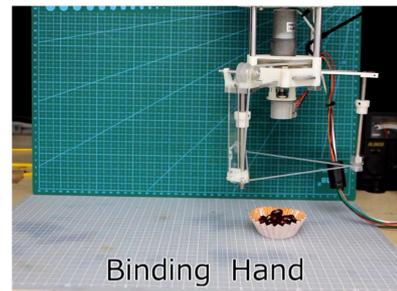
ニードルグリッパ



質量・外形ともにRSD約20%

特殊講義I 2021/5/27

バイディングハンド

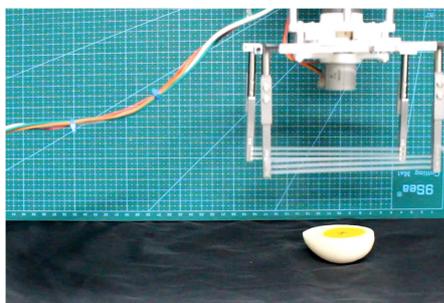


Binding Hand

Okada et al., IEEE RoboSoft 2019

特殊講義I 2021/5/27

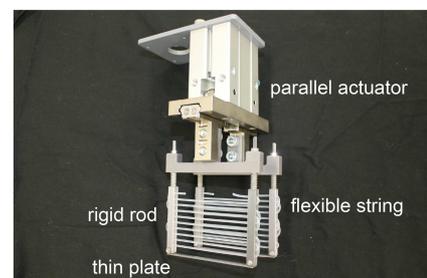
バイディングハンド



岡田 他, 複数の弾性系による巻取り無しバイディング, SI2019

特殊講義I 2021/5/27

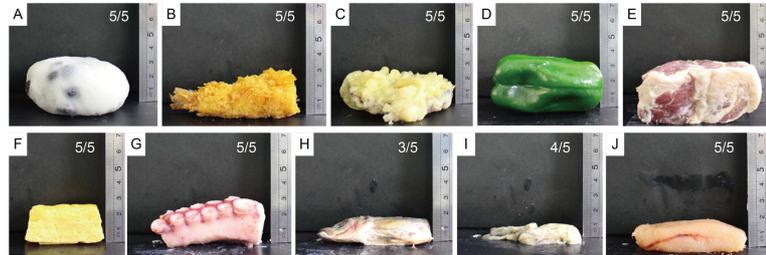
掬い込みバイディングハンド



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

特殊講義I 2021/5/27

掬い込みバイディングハンド



特殊講義I 2021/5/27

触覚 Sense of Touch



材料特性, 表面特性を感知

特殊講義I 2021/5/27

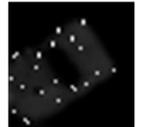
触覚センサ



Micro force/moment sensor
Ho, Dao, Sugiyama, Hirai
IEEE TRO, 27-3, 2011



Fabric Tactile Sensor
Ho, Araki, Makikawa, Hirai
IEEE/RSJ IROS 2012



Tactile image processing
Ho, Nagatani, Noda, and Hirai,
IEEE CASE 2012

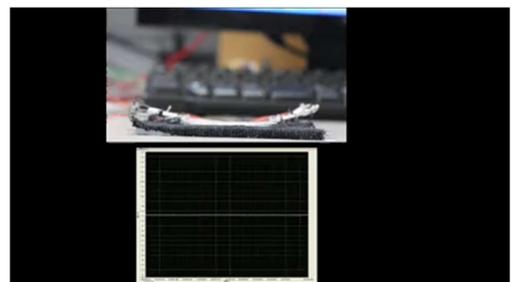
特殊講義I 2021/5/27

触覚センサ

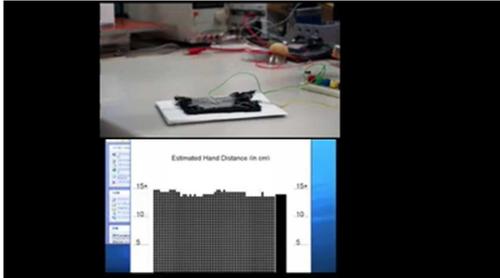
- 柔らかい (ソフトロボットに組み込む)
- ロバスト (整備されていない環境で作動する)
- 安価 (数多く使う, ディスポーザブル)

特殊講義I 2021/5/27

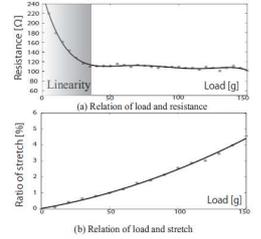
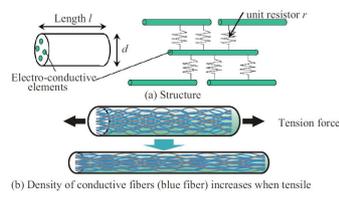
布地センサ：接触センシング



布地センサ：近接センシング

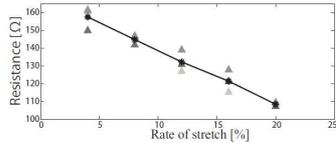
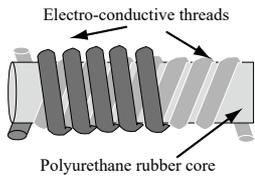


感圧導電糸



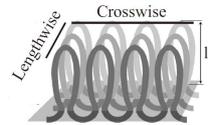
計測範囲 ~ 2%

感圧導電糸



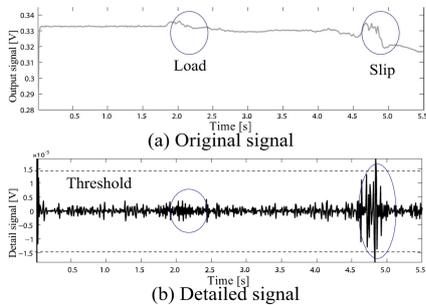
計測範囲 ~ 20%

布地センサ



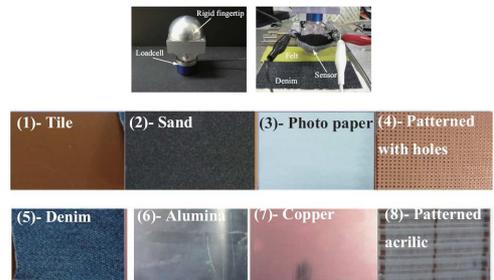
滑りの検出

ウェーブレット変換
高周波成分の振幅

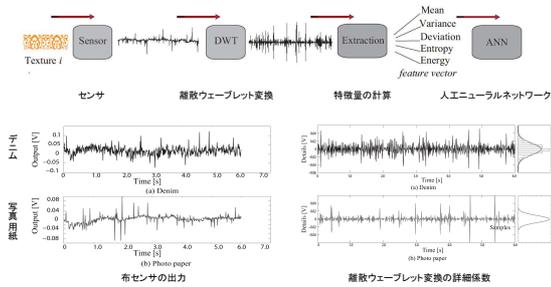


Van Ho and Shinichi Hirai
Robotics: Science and Systems VII
pp.129-136, 2012

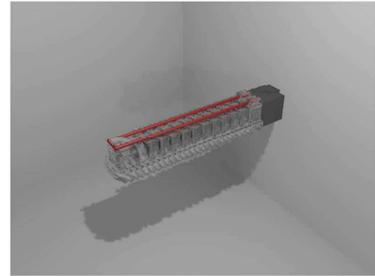
表面テクスチャーの識別



表面テクスチャーの識別

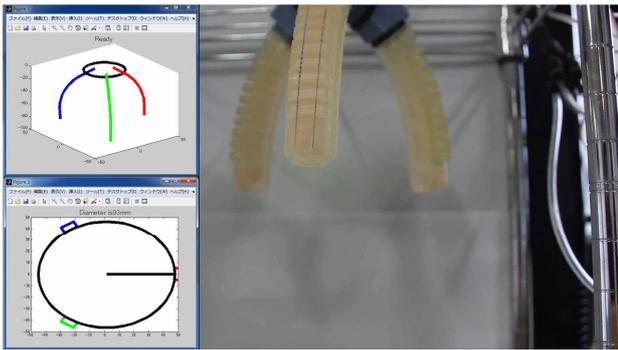


繊維センサ：曲げセンシング

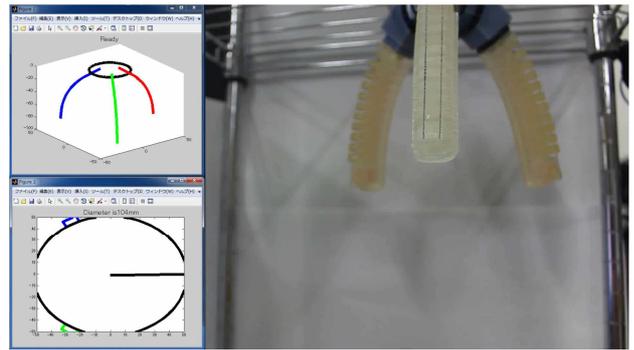


Matsuno et al., IEEE RCAR 2017

繊維センサ：曲げセンシング



繊維センサ：曲げセンシング



導電布を用いた近接センサと 基準値更新アルゴリズム

柔らかいセンサで人間の接近を検出

研究内容

- 導電布を用いた柔軟な静電容量式の近接センサを開発
- 導電布と周囲の人や物体の間に発生する静電容量を計測近接を検出
- 静電容量が変化する環境下での基準値の自動更新が可能



背景

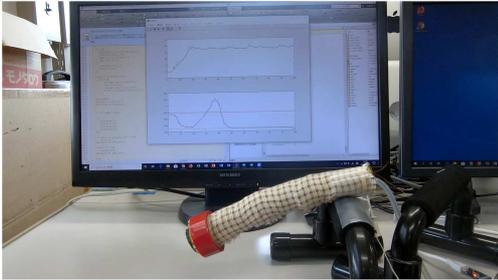


協働ロボット
人とロボットが空間を共有



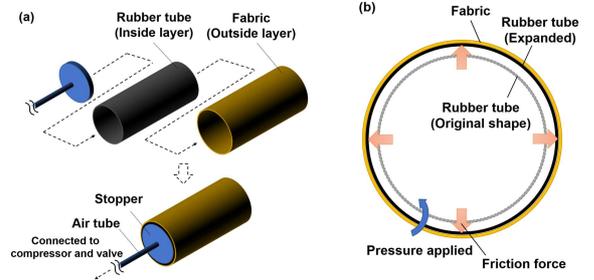
安全性を確保する必要

可変剛性リンク Variable Stiffness Link



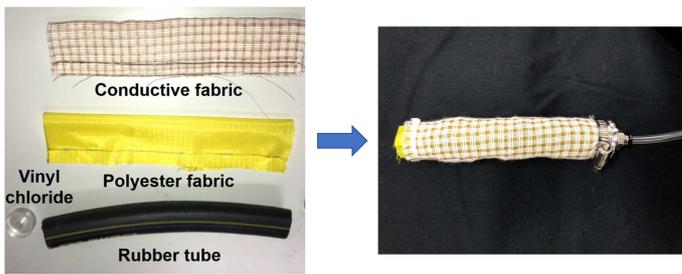
特殊講義I 2021/5/27

可変剛性リンク Variable Stiffness Link



特殊講義I 2021/5/27

可変剛性リンク Variable Stiffness Link



特殊講義I 2021/5/27

布地を用いた近接・接触センサ

近接・接触の測定原理

柔軟な導電布のみでセンサを構成

電極

原理
電極と人・物体の間に発生する静電容量を計測

人・物体など

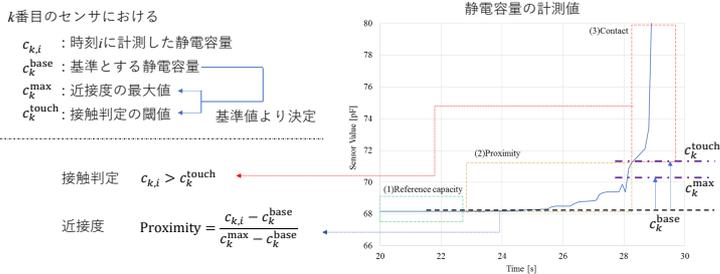
応用例
物体通過計測
家電のスイッチ
タッチパネル

既存の市販品は剛体部品で構成
→VSLへの導入困難

VSLへの導入：リンクの柔軟性を損わずに近接・接触の計測が可能

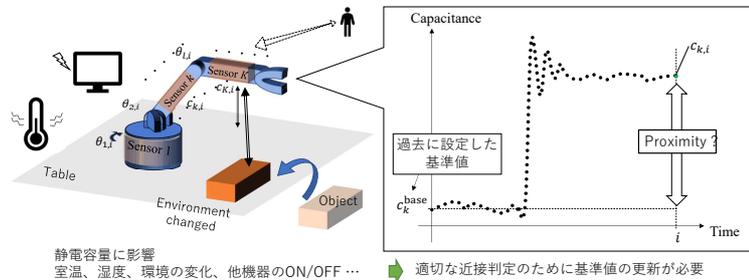
特殊講義I 2021/5/27

近接・接触の判定方法



特殊講義I 2021/5/27

静電容量基準値と外的要因



特殊講義I 2021/5/27

静電容量基準値の更新(ロボット停止時)

最新の計測データから*n*個前までのデータの平均値

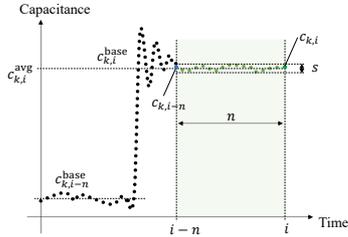
$$c_{k,i}^{avg} = \frac{1}{n} \sum_{m=i-n}^i c_{k,m}$$

最新の計測データから*n*個前までのデータの分散

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{m=i-n}^i (c_{k,m} - c_{k,i}^{avg})^2}$$

分散が閾値以下であれば、平均値を基準値とする

$$s < \alpha \quad c_{k,i}^{avg} \rightarrow c_{k,i}^{base}$$



静電容量基準値の更新(ロボット動作時)

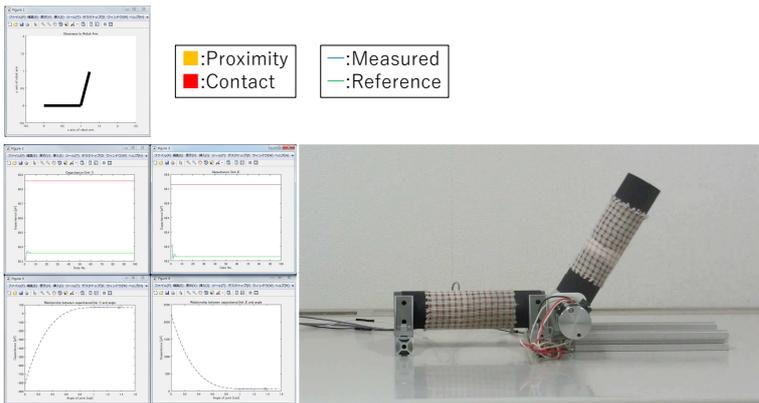
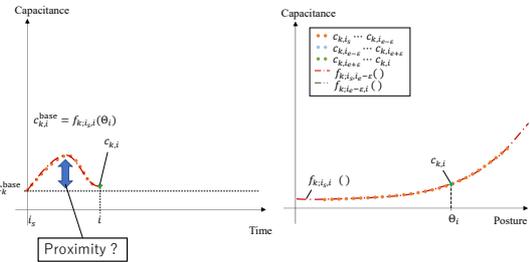
アームの姿勢により静電容量変化
→一定数の基準値では近接判定不可

補償方法

Step①
過去の計測値を
姿勢と静電容量の関係にまとめる
↑ 基準値と仮定

Step②
関数にフィッティング
 $c_{k,i}^{base} = f_{k,i,j}(\theta_i)$

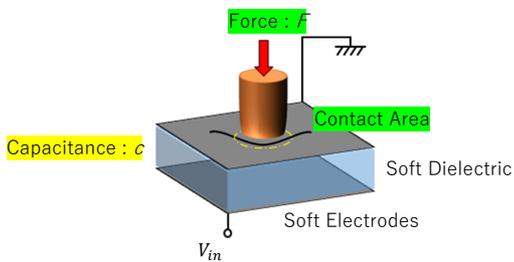
アームの姿勢に合わせて
基準値を変更



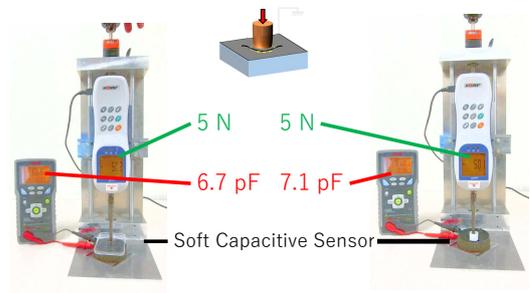
Adaptive Update of Reference Capacitances
in Conductive Fabric Based Robotic Skin

Takahiro Matsuno, Zhongkui Wang, Kaspar Althoefer and Shinichi Hirai

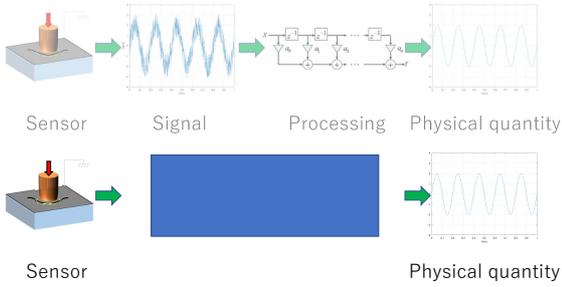
柔軟力覚センサ



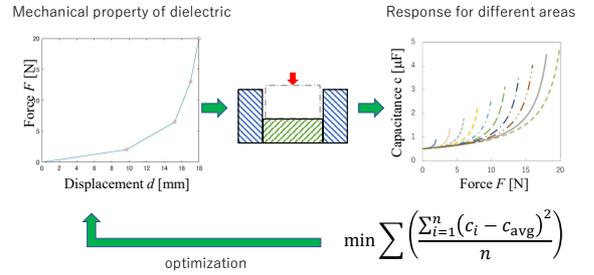
柔軟力覚センサ



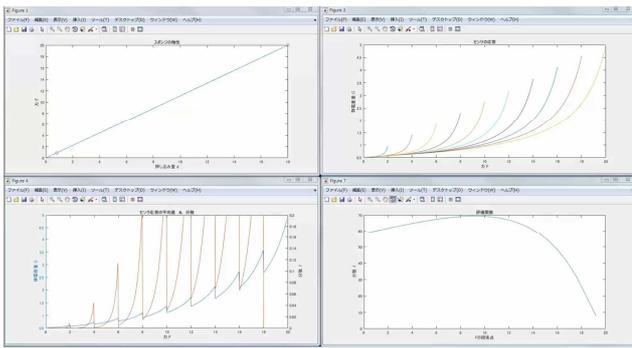
柔軟力覚センサ



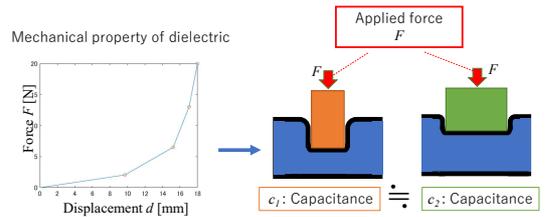
柔軟力覚センサ



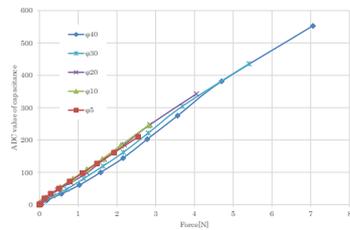
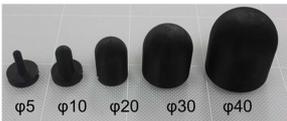
柔軟力覚センサ



柔軟力覚センサ



柔軟力覚センサ



Softness is Opportunities

詳しくは



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

hirai@se.ritsumei.ac.jp



特殊講義I 2021/5/27

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。

特殊講義I 2021/5/27

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 2021年6月11日 0:10 AM

特殊講義I 2021/5/27