

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.ritsumeai.ac.jp/~hirai/>

特殊講義 I 2017/4/13

ロボット



特殊講義 I 2017/4/13

ロボット vs 動物



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

特殊講義 I 2017/4/13

ソフトロボティクス



<http://www.liebertpub.com/overview/soft-robotics/616/>



<https://www.cems.riken.jp/topicalmeeting/soft2016/>

日本ロボット学会 ソフトロボティクス研究専門委員会



<http://softroboticstoolkit.com/>

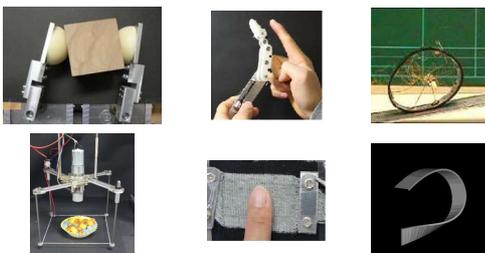


<http://www.robosoftca.eu/>

特殊講義 I 2017/4/13

ソフトロボティクス

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



特殊講義 I 2017/4/13

ソフトロボティクス研究室

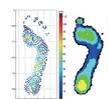
柔軟物ハンドリング



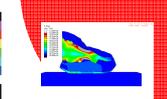
触知覚センシング



空気圧駆動ロボット



人体モデリング

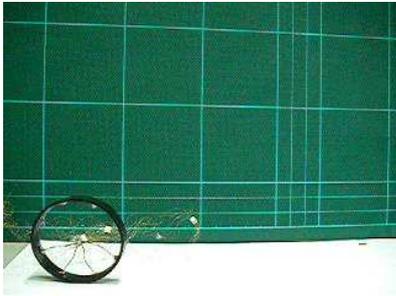


飛行ロボット



特殊講義 I 2017/4/13

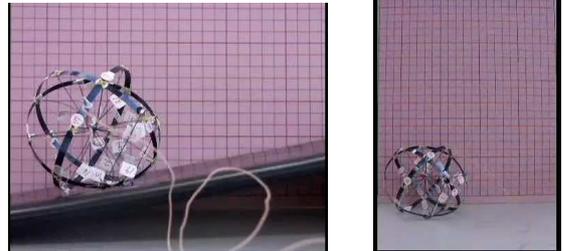
円形ソフトロボット



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

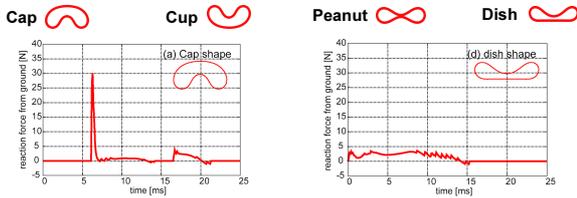
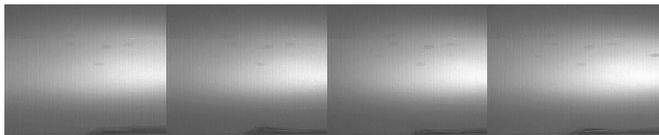
特殊講義 I 2017/4/13

球形ソフトロボット



特殊講義 I 2017/4/13

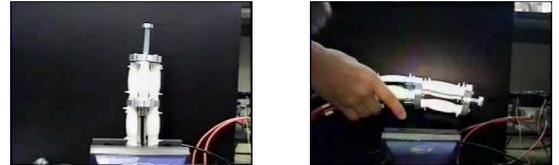
変形による跳躍



Matsuyama and Hirai, IEEE ICRA, 2007

特殊講義 I 2017/4/13

ソフトアクチュエータ



Hirai *et al.*, Prototyping Pneumatic Group Actuators Composed of Multiple Single-motion Elastic Tubes, IEEE ICRA, 2001

特殊講義 I 2017/4/13

ソフトロボティクス研究室

柔軟物ハンドリング

空気圧駆動ロボット

触知覚センシング

飛行ロボット

人体モデリング

飛行ロボット

特殊講義 I 2017/4/13

Binding of Food Materials with a Tension-Sensitive Elastic Thread

Hisashi Iwamasa and Shinichi Hirai

Department of Robotics
Ritsumeikan University
Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

食品のパッキング

コンビニエンスストアの弁当 200~300万食/日



変形しやすい
形状や寸法のバラつきが大きい

特殊講義 I 2017/4/13

柔らかさが障害か



<http://www.civillink.net/esozaiprinter.html>
https://www.kamipa.co.jp/business/environment/paper_making/img/p_main.jpg

特殊講義 I 2017/4/13

バラつきが障害



<http://cdn.amanaimages.com/preview640/11012020276.jpg>
<http://cdn.amanaimages.com/preview640/11070006246.jpg>

特殊講義 I 2017/4/13

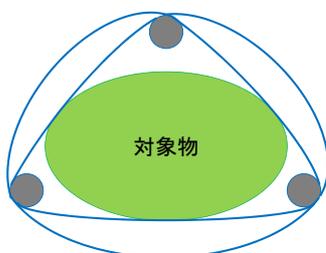
食品のパッキング

2020年までに弁当のパッキングを自動化
そのために必要な技術基盤を確立



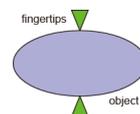
特殊講義 I 2017/4/13

バイディング (binding)

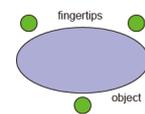


特殊講義 I 2017/4/13

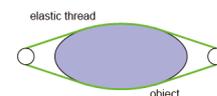
バイディング (binding)



フォースクローージャ (force closure)



ケーシング (caging)

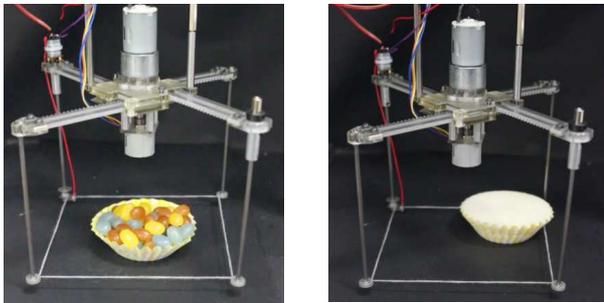


バイディング (binding)

Iwamasa and Hirai,
IEEE ICRA 2015

特殊講義 I 2017/4/13

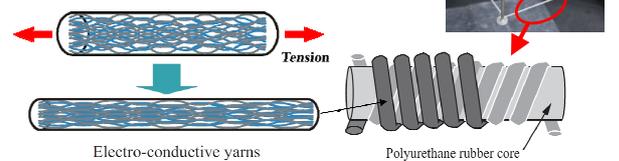
バイディングハンド



特殊講義 I 2017/4/13

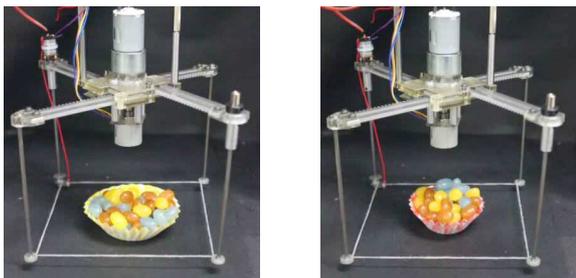
感圧導電糸

- ・ 導電性繊維と絶縁性繊維の混紡 (ステンレス短繊維とポリエステル)
 - ・ 伸縮すると抵抗が変化
- 抵抗を計測することで把持力を推定



特殊講義 I 2017/4/13

カップの把持

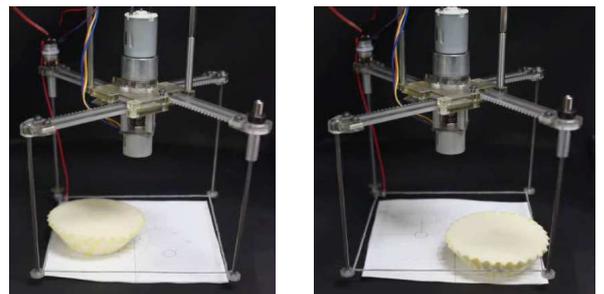


Φ80mm - 47mm

Φ65mm - 35mm

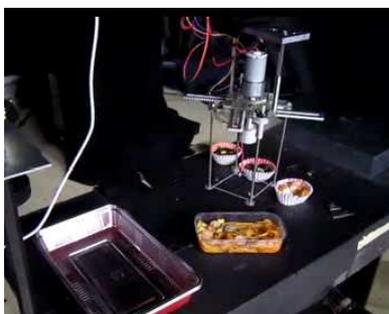
特殊講義 I 2017/4/13

自動センタリング



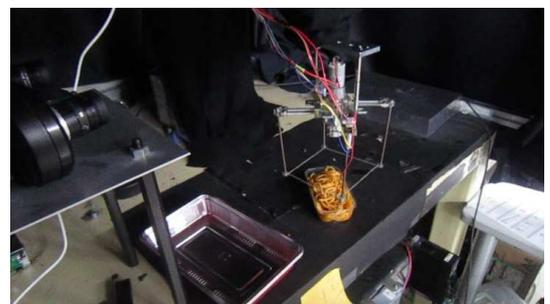
特殊講義 I 2017/4/13

カップのパッキング



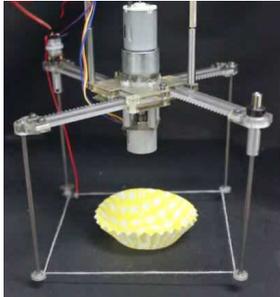
特殊講義 I 2017/4/13

パイレックス容器の把持

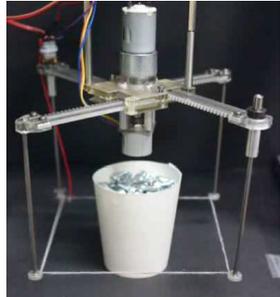


特殊講義 I 2017/4/13

様々な対象物の把持



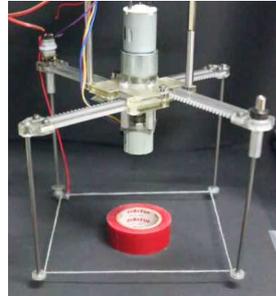
1 g φ80mm - 47 mm



512 g φ65mm - 51 mm

特殊講義 I 2017/4/13

様々な対象物の把持



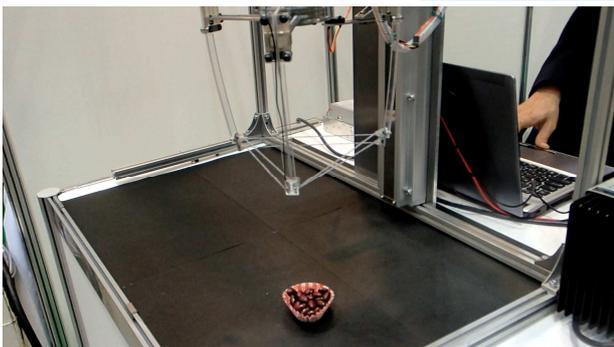
27 g φ51 mm



102 g φ93 mm

特殊講義 I 2017/4/13

国際ロボット展2015での展示



特殊講義 I 2017/4/13

ソフトロボティクス研究室

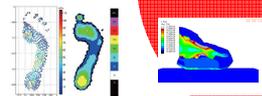
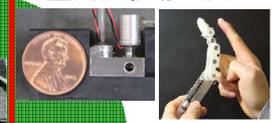
柔軟物ハンドリング



触知覚センシング



空気圧駆動ロボット



人体モデリング



飛行ロボット

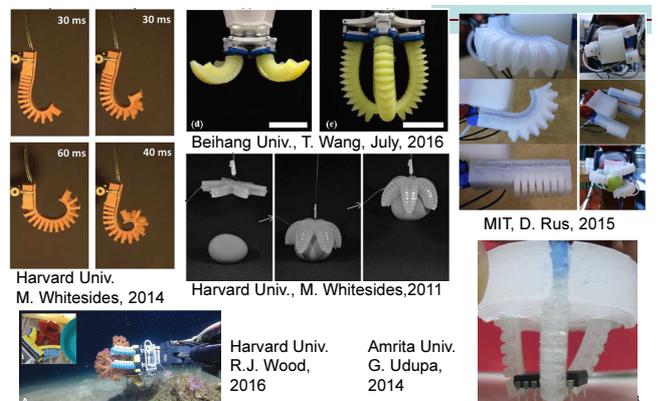
特殊講義 I 2017/4/13

プリンタブルハンド



特殊講義 I 2017/4/13

ソフトハンド



Harvard Univ. M. Whitesides, 2014

Beihang Univ., T. Wang, July, 2016

Harvard Univ., M. Whitesides, 2011

MIT, D. Rus, 2015

Harvard Univ. R.J. Wood, 2016

Amrita Univ. G. Udupa, 2014

三次元プリンタ



Objet260 Connex (Stratasys)

Item	Connex260
Work space	X255mm x Y252mm x Z200mm
Resolution	600dpi x 600dpi x 1600dpi
Layer thickness	30 μm
Input file	STL / SLC format
Material	Photopolymer
Multi-material	14 kinds material simultaneously



ValoWhite (hard)

TagoBlack+ (soft)

特殊講義 I 2017/4/13

プリンタブルハンド



特殊講義 I 2017/4/13

指の設計



(a) Design 1: uniform finger without link



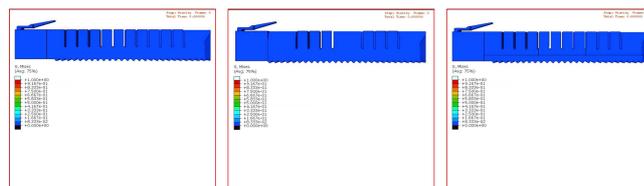
(b) Design 2: uniform finger with link



(c) Design 3: non-uniform finger without link

特殊講義 I 2017/4/13

指の動作のシミュレーション



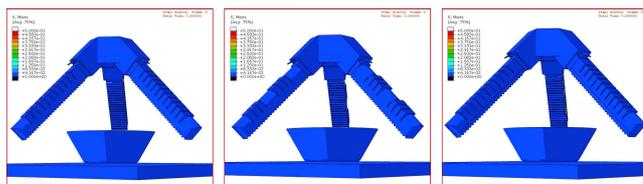
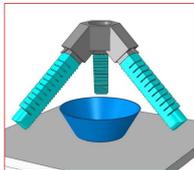
Design No. 1

Design No. 2

Design No. 3

特殊講義 I 2017/4/13

把持のシミュレーション



特殊講義 I 2017/4/13

実験



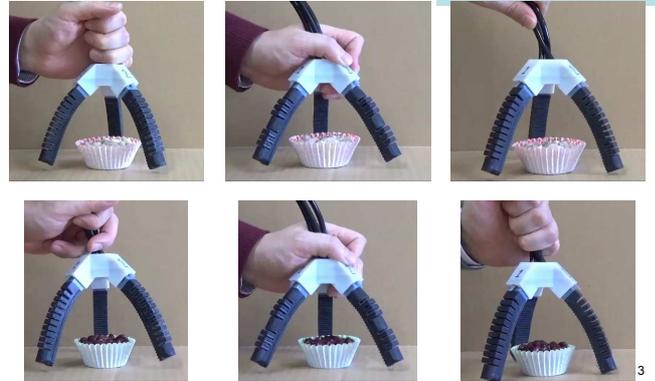
特殊講義 I 2017/4/13

ハンドの組立



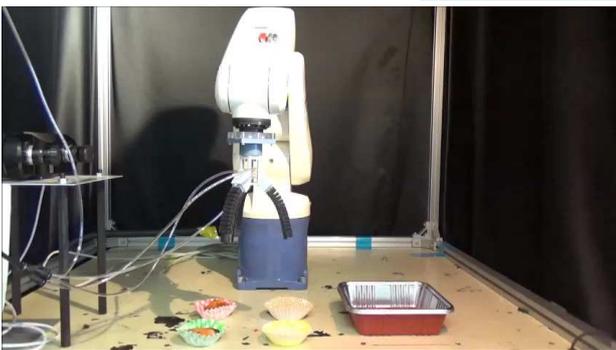
特殊講義 I 2017/4/13

把持実験



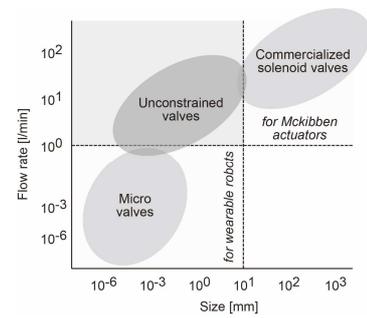
3

パッキングデモ



特殊講義 I 2017/4/13

バルブの現状

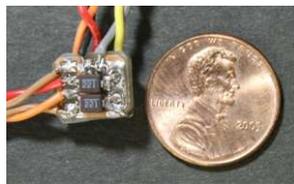


特殊講義 I 2017/4/13

無拘束マイクロ空気圧弁



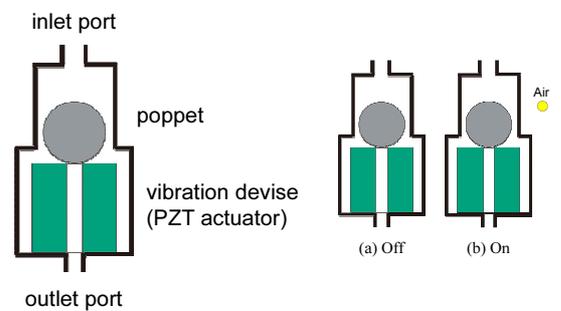
空気圧弁



駆動回路

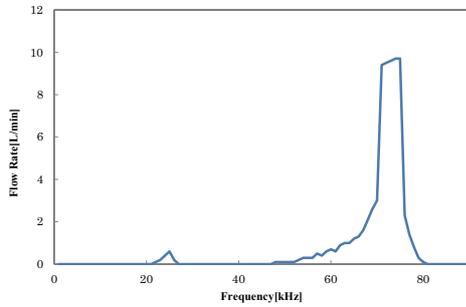
特殊講義 I 2017/4/13

原理



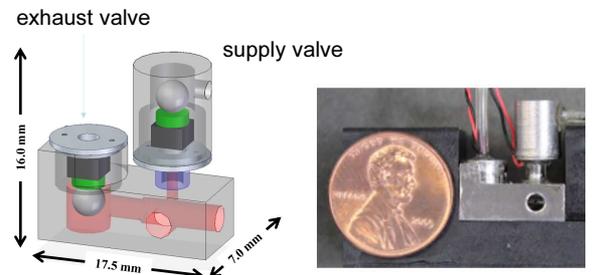
特殊講義 I 2017/4/13

駆動周波数 - 流量



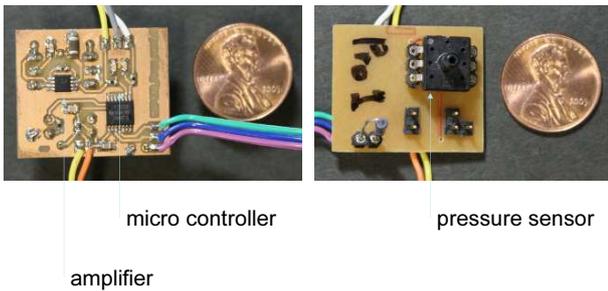
特殊講義 I 2017/4/13

三方向弁



特殊講義 I 2017/4/13

圧力制御回路



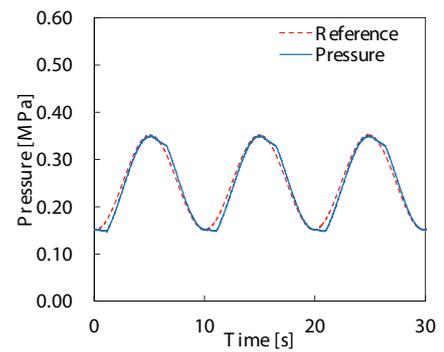
micro controller

pressure sensor

amplifier

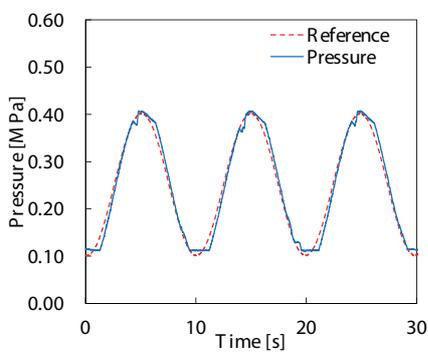
特殊講義 I 2017/4/13

圧力制御



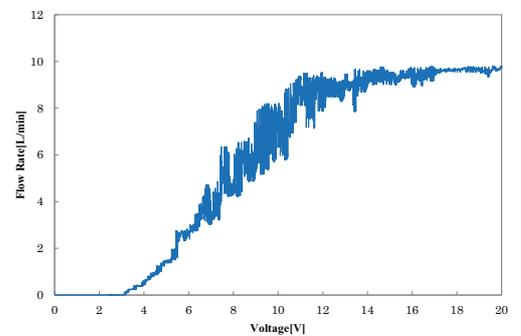
特殊講義 I 2017/4/13

圧力制御



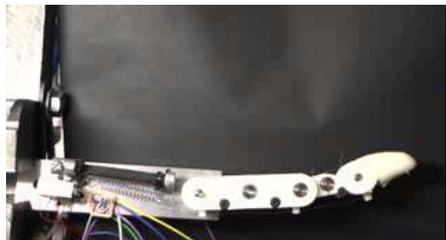
特殊講義 I 2017/4/13

駆動電圧 - 流量



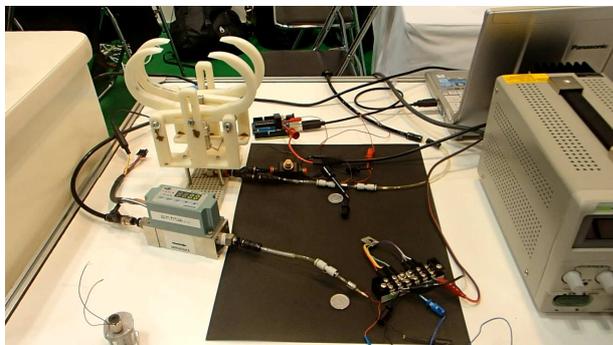
特殊講義 I 2017/4/13

マッキベンアクチュエータの駆動



特殊講義 I 2017/4/13

ハンドの駆動(国際ロボット展)



特殊講義 I 2017/4/13

ソフトロボティクス研究室

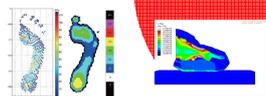
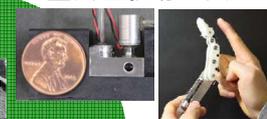
柔軟物ハンドリング



触知覚センシング



空気圧駆動ロボット

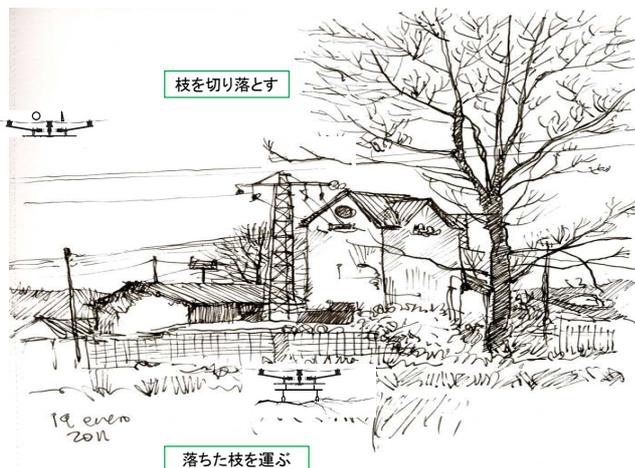


人体モデリング



飛行ロボット

特殊講義 I 2017/4/13



資料Ⅲ-29 我が国の高性能林業機械を使用した作業システムの例

車両系作業システム



伐倒：チェーンソー



木寄せ：ワインチ付きグラップル



造材：プロセッサ



伐倒・造材：ハーベスタ



集材：フォワーダ

架線系作業システム



伐倒：チェーンソー



集材：タワーヤード又はスイングヤード



造材：プロセッサ

枝の搬送



特殊講義 I 2017/4/13

上向きグリッパー＋ノコギリ



特殊講義 I 2017/4/13

ぶら下がり＋枝切り



Grasping speed: 1x

パッシブグリッパー



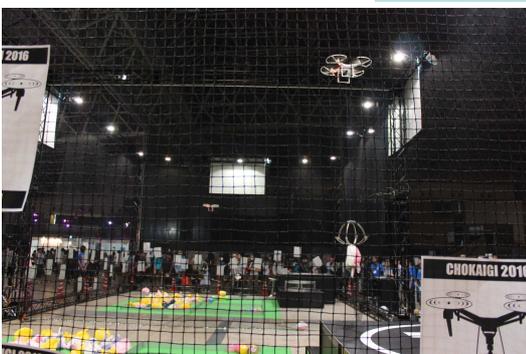
特殊講義 I 2017/4/13

パッシブグリッパー



特殊講義 I 2017/4/13

パッシブグリッパー



特殊講義 I 2017/4/13

ソフトロボティクス研究室

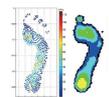
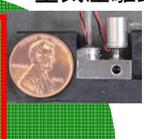
柔軟物ハンドリング



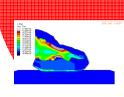
触知覚センシング



空気圧駆動ロボット



人体モデリング



飛行ロボット

特殊講義 I 2017/4/13

触覚



特殊講義 I 2017/4/13

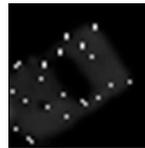
触覚センサ



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



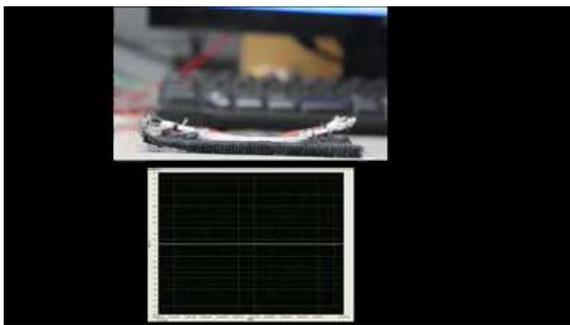
Fabric Tactile Sensor
Ho, Kondo, Okada, Araki, Fujita,
Makikawa, and Hirai, IEEE/RSJ IROS 2011
Ho, Araki, Makikawa, Hirai,
IEEE/RSJ IROS 2012



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

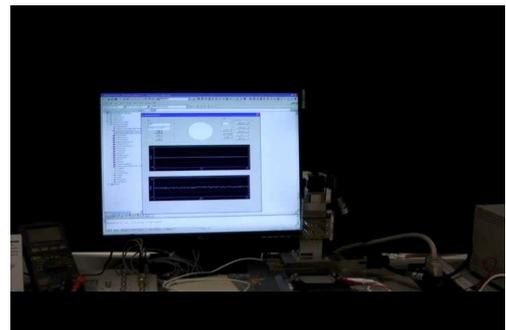
特殊講義 I 2017/4/13

接触センシング



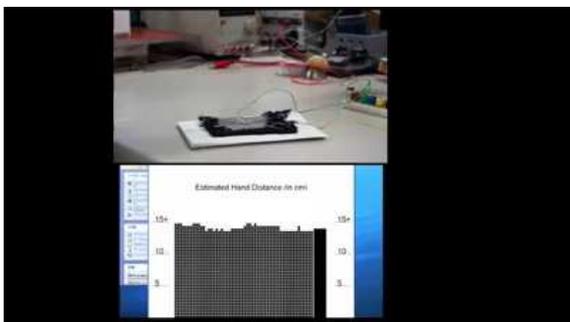
特殊講義 I 2017/4/13

滑りセンシング



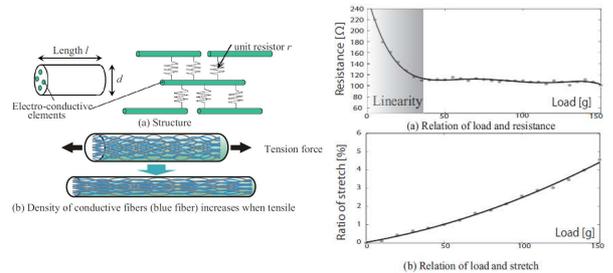
特殊講義 I 2017/4/13

近接センシング



特殊講義 I 2017/4/13

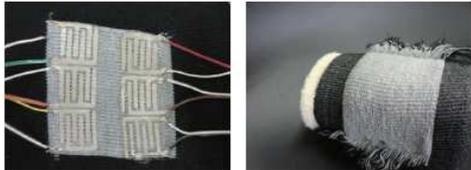
感圧導電糸



計測範囲 ~ 2%

特殊講義 I 2017/4/13

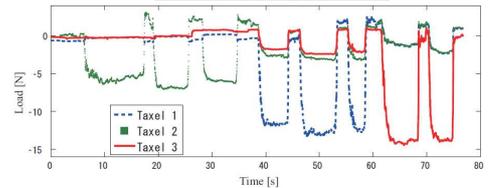
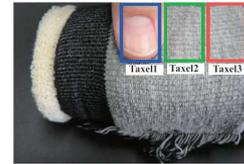
多点でのセンシング



くし状電極

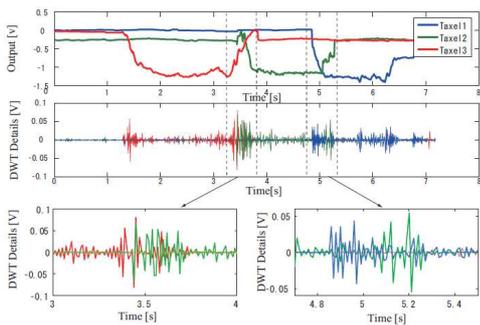
特殊講義 I 2017/4/13

多点でのセンシング



特殊講義 I 2017/4/13

多点でのセンシング

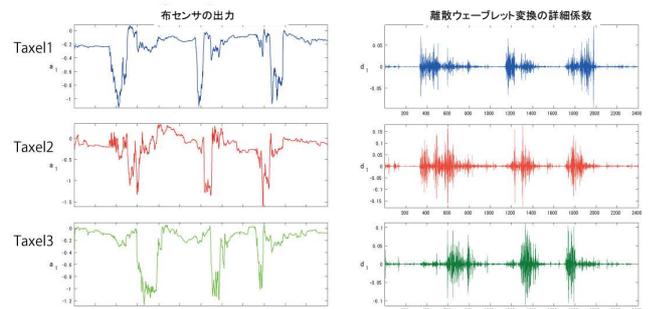


taxel 3からtaxel 1に向けて指を滑らせる

特殊講義 I 2017/4/13

多点でのセンシング

指が動く向き



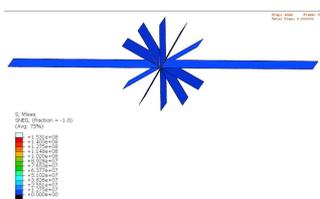
特殊講義 I 2017/4/13

ソフトロボティクスの確立には

ファブリケーションとモデリング



Objet260 Connex (Stratasys)



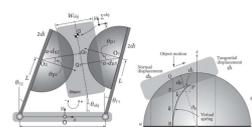
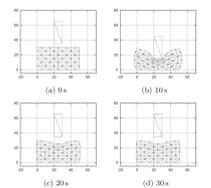
ABAQUS + MATLAB

特殊講義 I 2017/4/13

ソフトロボティクスの確立には

力学的解析

$$\begin{aligned} \text{フオークト} \quad & \sigma = E\varepsilon + c\varepsilon^2 \\ \text{マックスウェル} \quad & \dot{\sigma} + \frac{E}{c}\sigma = E\dot{\varepsilon} \\ \text{三要素 (直列)} \quad & \dot{\sigma} + \frac{E}{c_1 + c_2}\sigma = \frac{c_1 c_2 \dot{\varepsilon} + E c_2 \varepsilon}{c_1 + c_2} \\ \text{(並列)} \quad & \dot{\sigma} + \frac{E}{c_1}\sigma = c_2 \dot{\varepsilon} + \frac{E(c_1 + c_2)}{c_1} \varepsilon \end{aligned}$$



特殊講義 I 2017/4/13

謝辞



Van Anh Ho



Zhongkui Wang



Damith Chaturanga



Takahiro Inoue



Hisashi Iwamasa



Kaspar Althoefer



Thrishantha Nanayakkara



特殊講義 I 2017/4/13

レポート課題

物流センター(図書館)の棚から、必要な商品(本)を取り出して、カートに入れる。その作業を実現するために必要なロボットハンドを構想し、ハンドの機構や材料、センサー、情報処理について検討せよ。



Amazon Picking Challenge <http://amazonpickingchallenge.org/>

特殊講義 I 2017/4/13