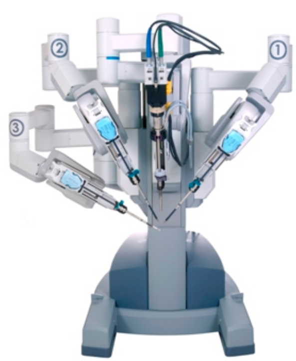
ソフトロボティクス

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





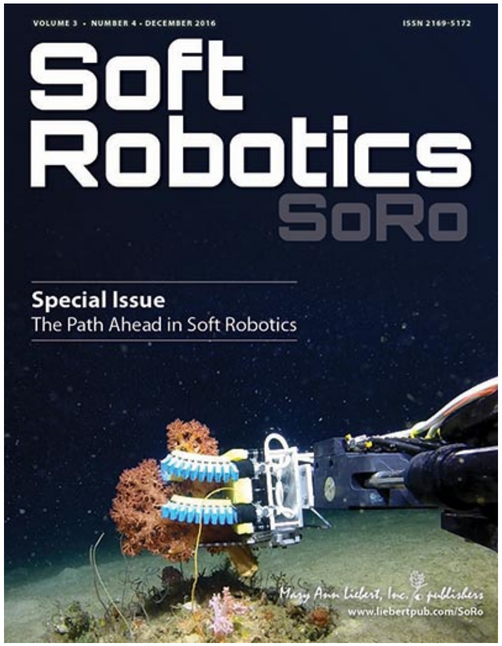



ロボット vs 動物

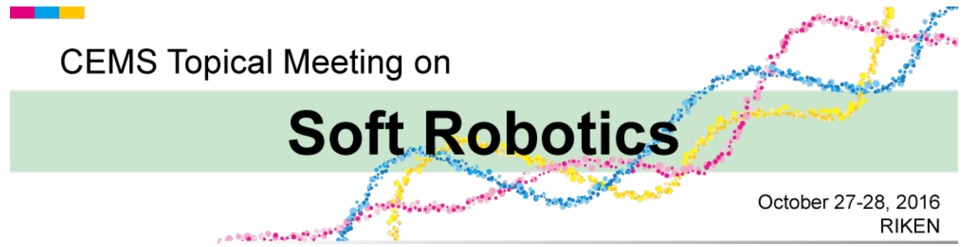
硬い材料が主
精密な機構

硬い材料と柔らかい材料
ルーズな機構

ソフトロボティクス



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



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

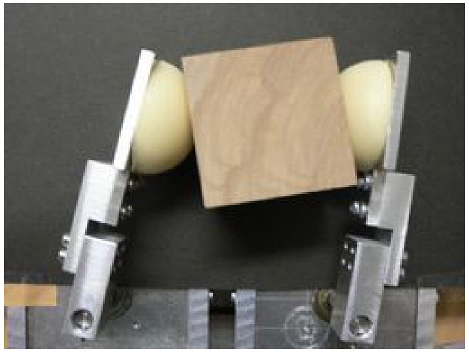
日本ロボット学会 ソフトロボティクス研究専門委員会

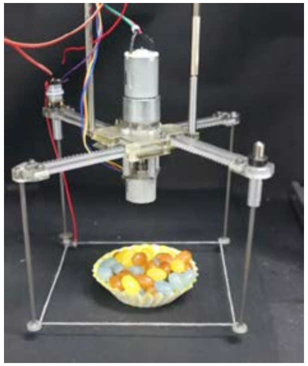
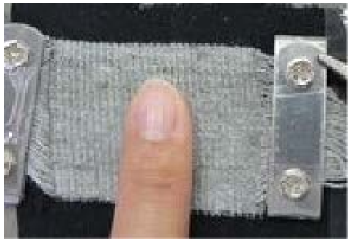
http://softroboticstoolkit.com/

http://www.robosoftca.eu/

ソフトロボティクス

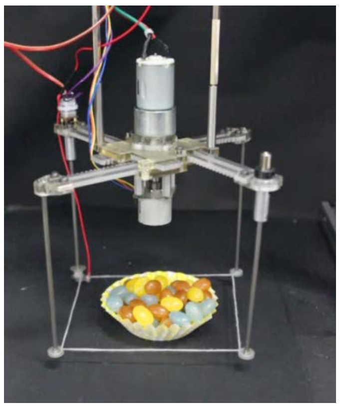
柔らかい材料を積極的に用いて
新しい機能を発現するロボットに関する研究



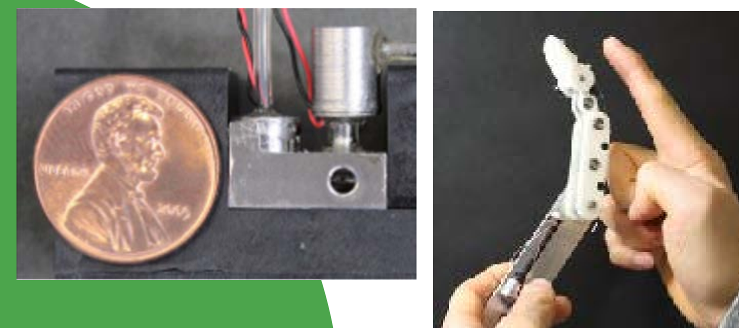

ソフトロボティクス研究室

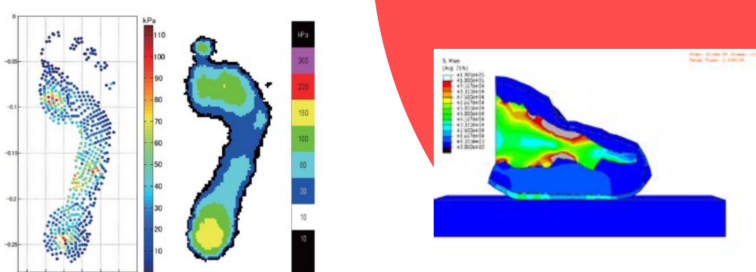
柔軟物ハンドリング



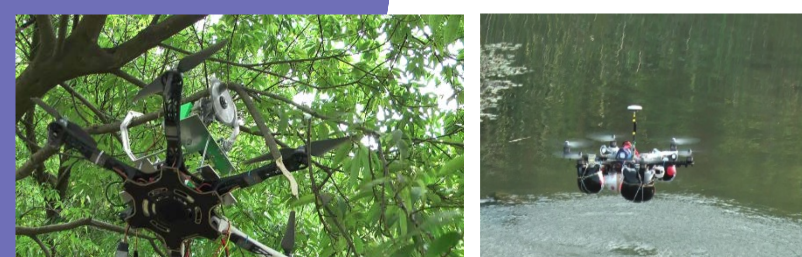
触知覚センシング

空気圧駆動ロボット



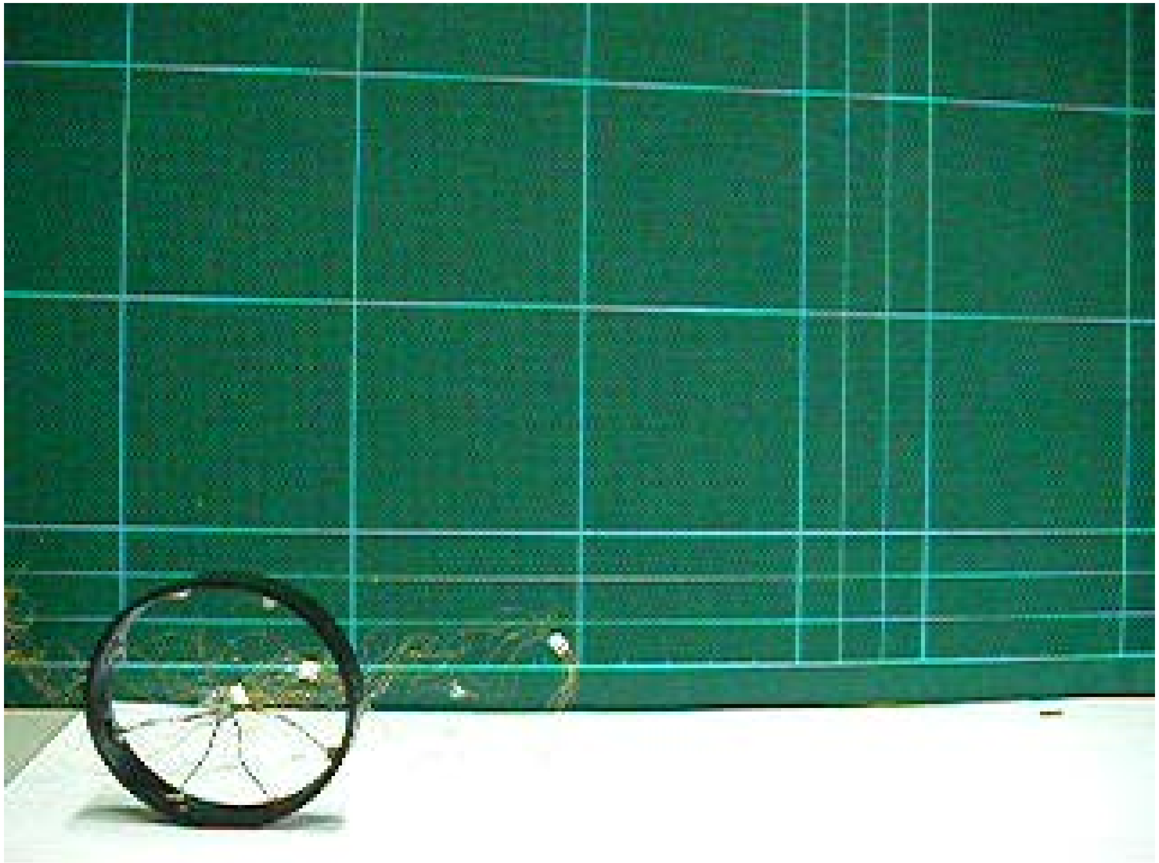


人体モデリング



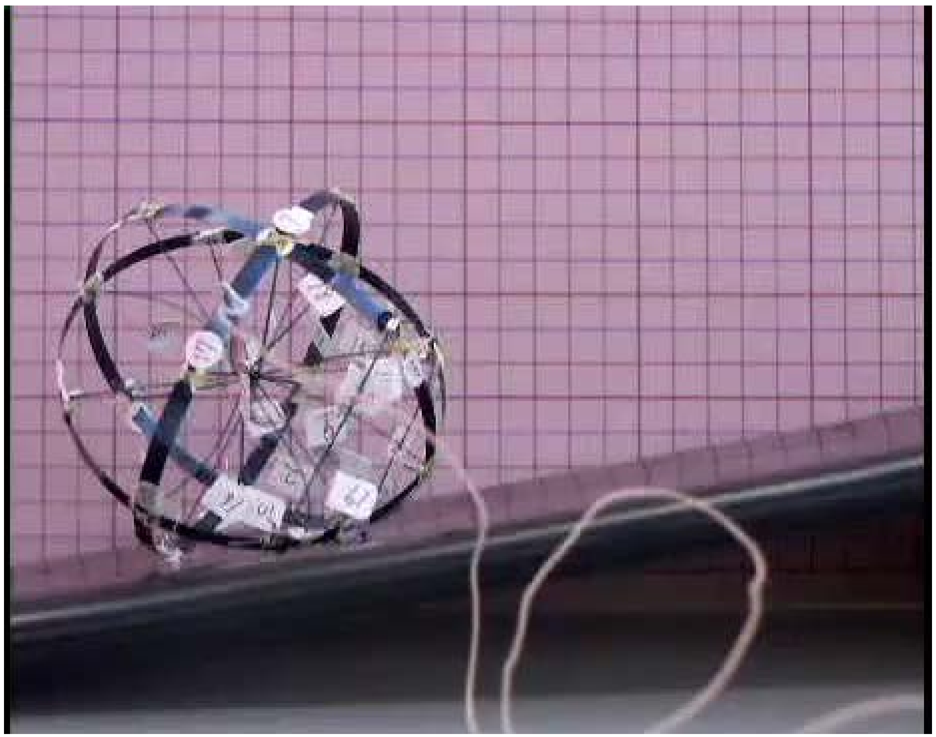
飛行ロボット

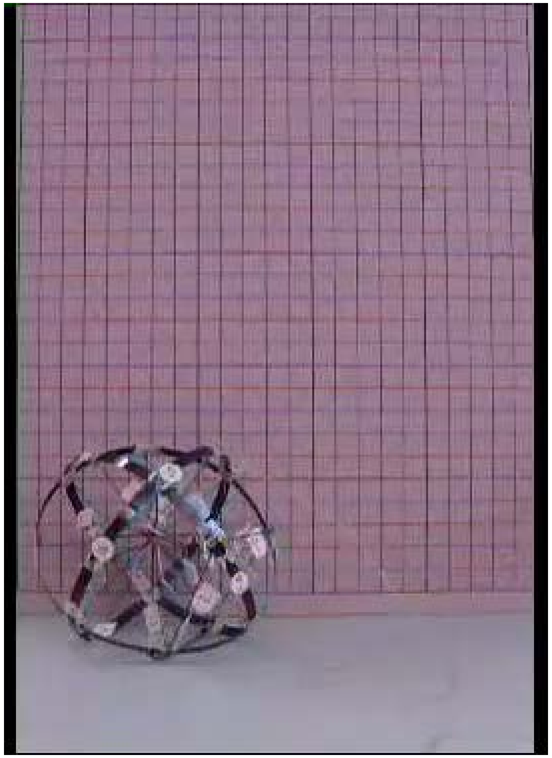
円形ソフトロボット



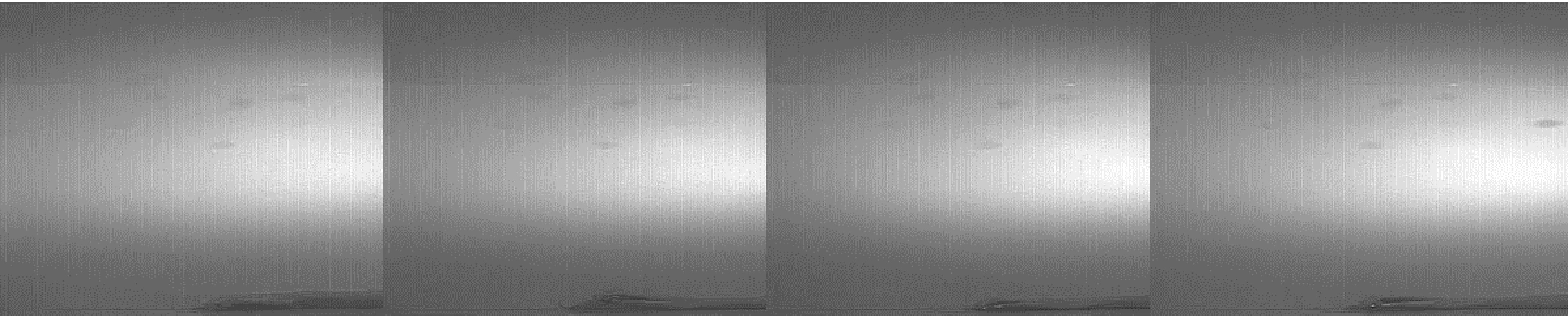
Sugiyama and Hirai, Crawling and Jumping by a Deformable Robot, IJRR, 25-5/6, 603-620, 2006

球形ソフトロボット





変形による跳躍

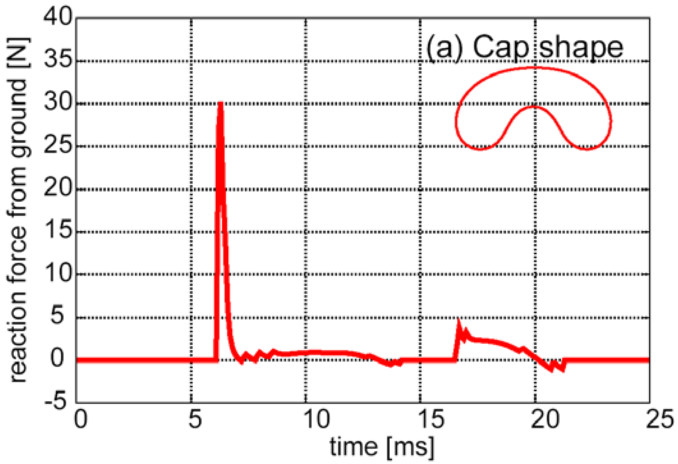


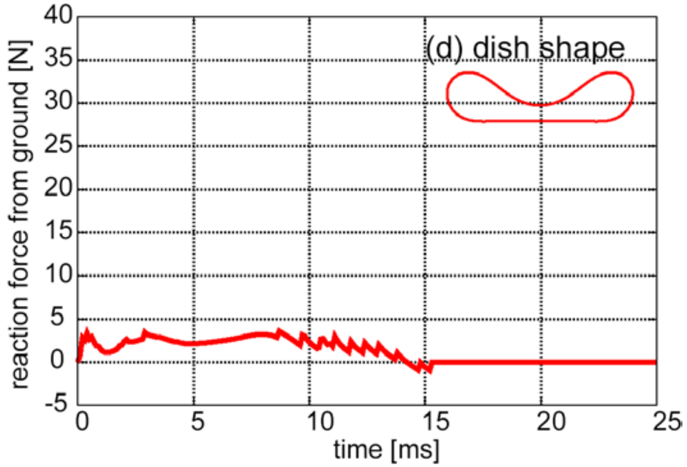
Cap 

Cup 

Peanut 

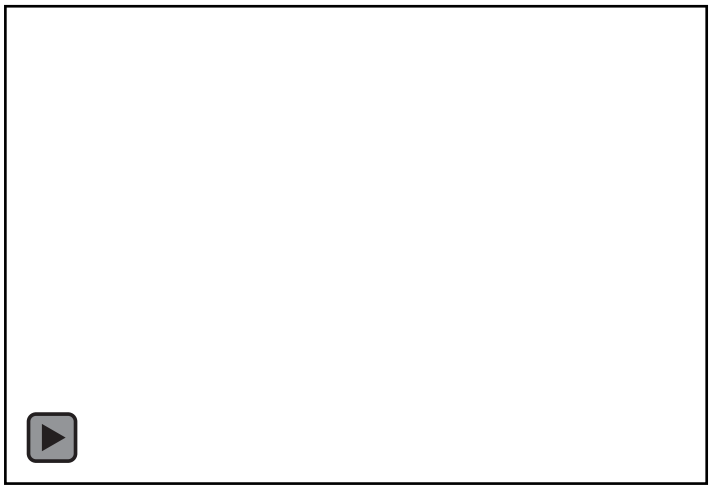
Dish 

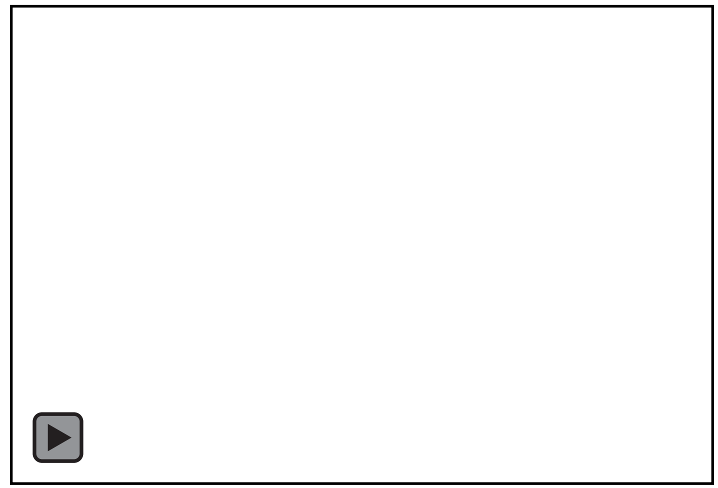




Matsuyama and Hirai, IEEE ICRA, 2007

ソフトアクチュエータ

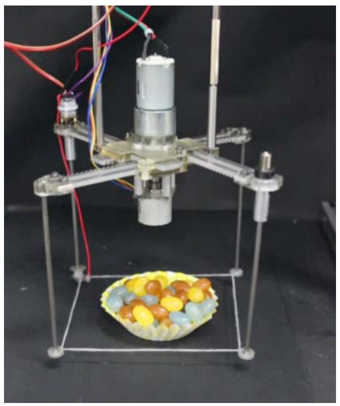




Hirai *et al.*, Prototyping Pneumatic Group Actuators Composed of Multiple Single-motion Elastic Tubes, IEEE ICRA, 2001

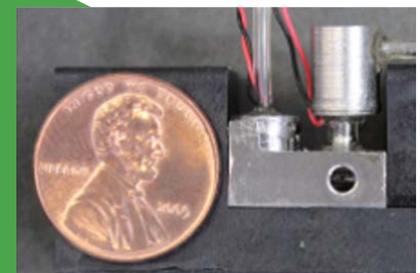
ソフトロボティクス研究室

柔軟物ハンドリング

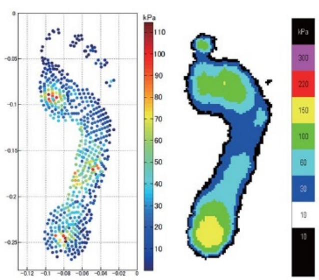


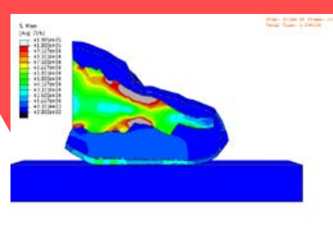
触知覚センシング

空気圧駆動ロボット

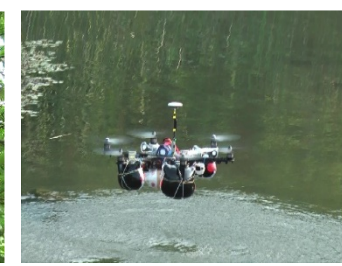


人体モデリング





飛行ロボット



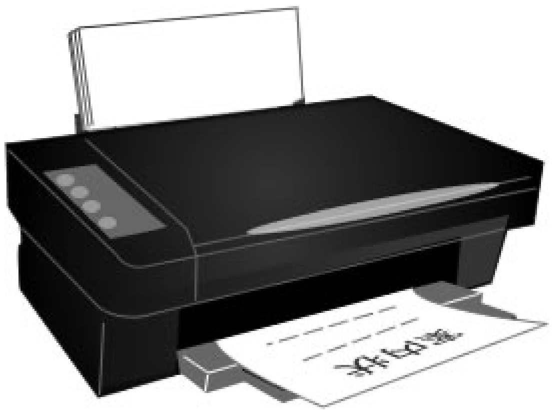
食品のパッキング

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

柔らかさが障害か



http://www.civillink.net/esozai/printer.html

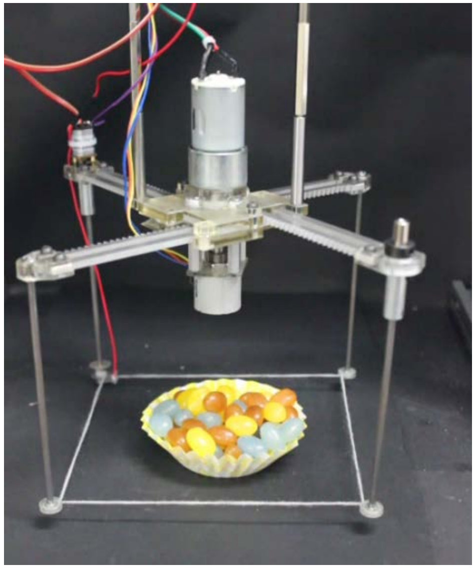
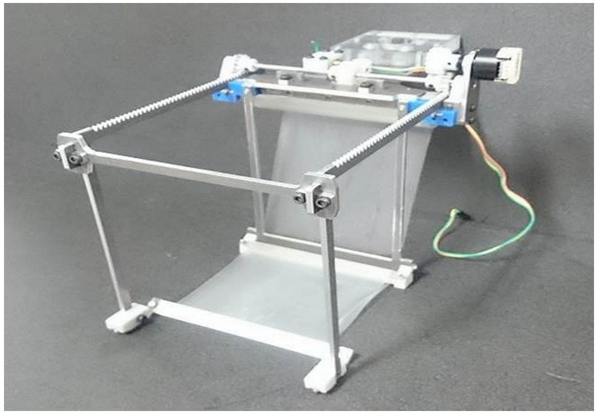
https://www.kamipa.co.jp/business/environment/paper_making/img/p_main.jpg

バラつきが障害

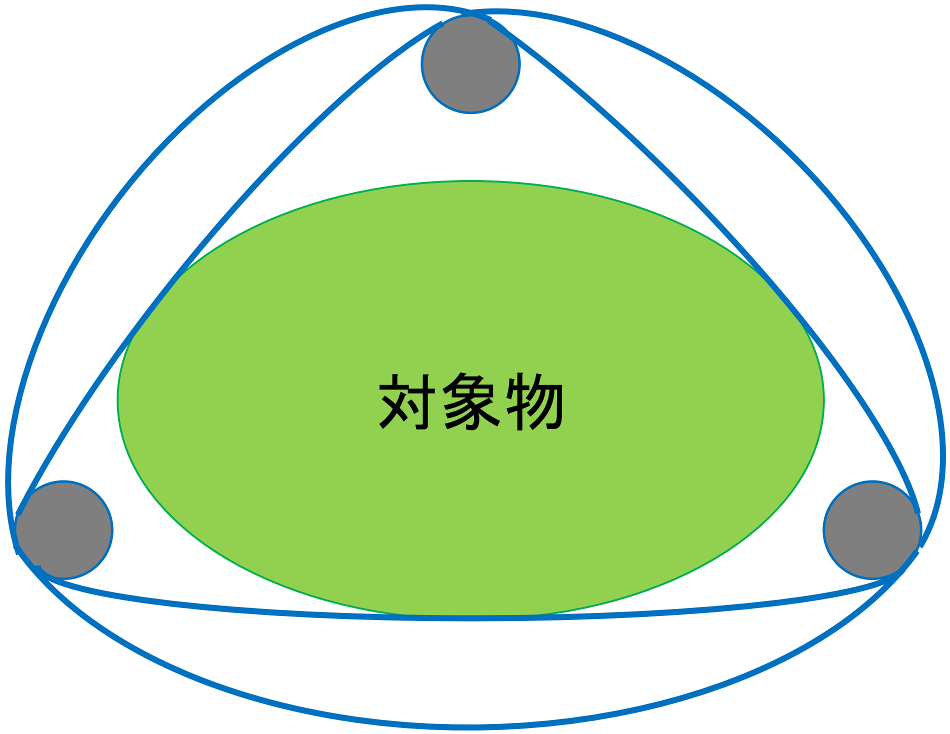
http://cdn.amanaimages.com/preview640/11012020276.jpg
http://cdn.amanaimages.com/preview640/11070006246.jpg

食品のパッキング

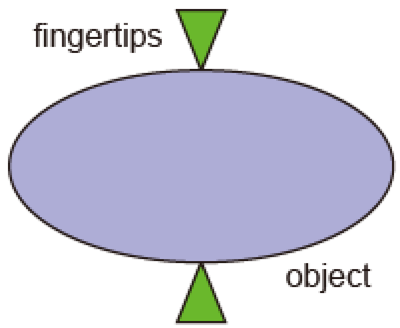
2020年までに弁当のパッキングを自動化
そのために必要な技術基盤を確立

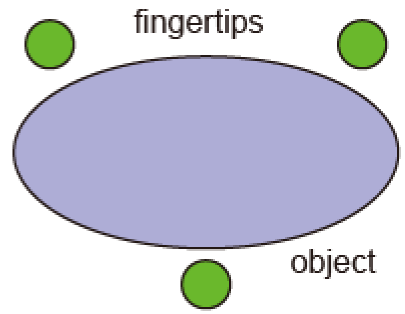

バインディング (binding)



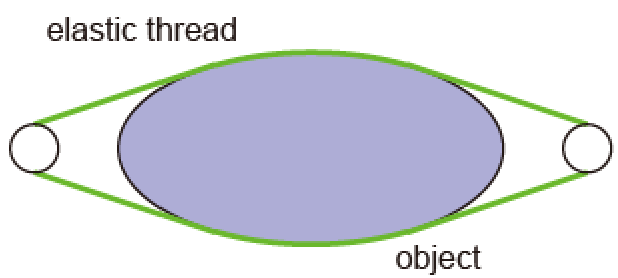
バインディング (binding)



フォースクロージャ (force closure)



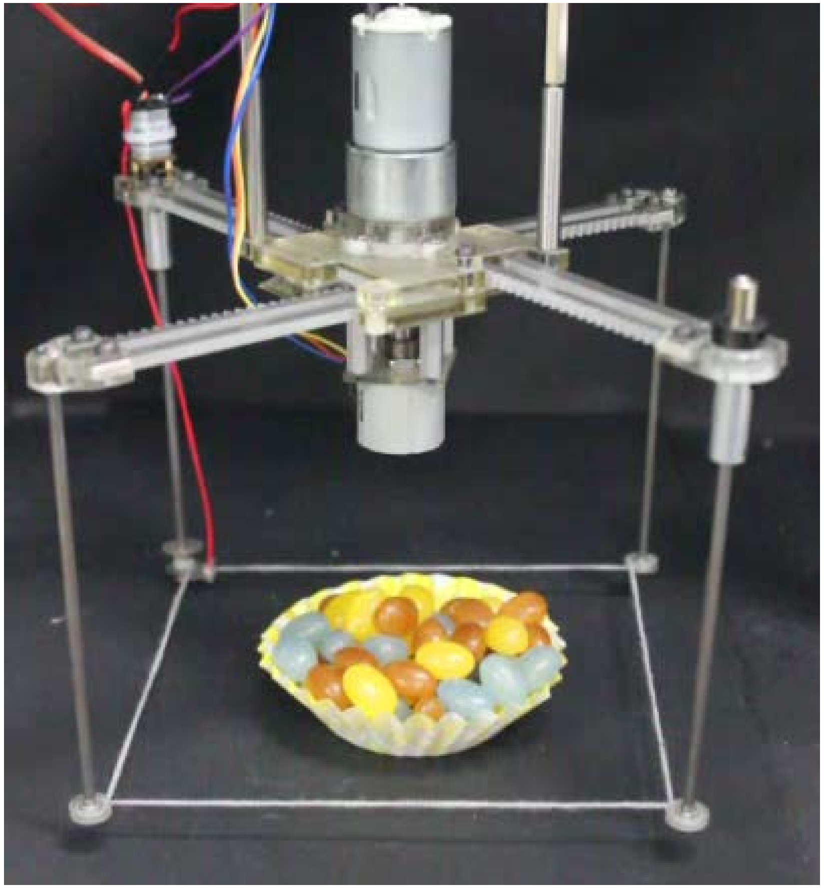
ケージング (caging)

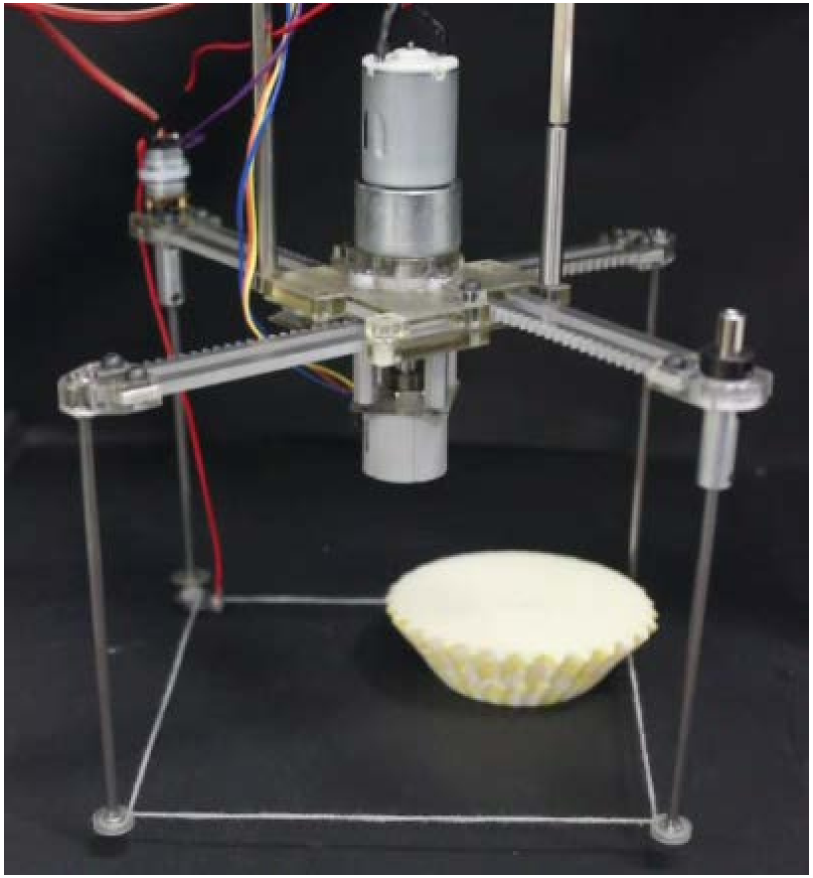


Iwamasa and Hirai,
IEEE ICRA 2015

バインディング (binding)

バインディングハンド

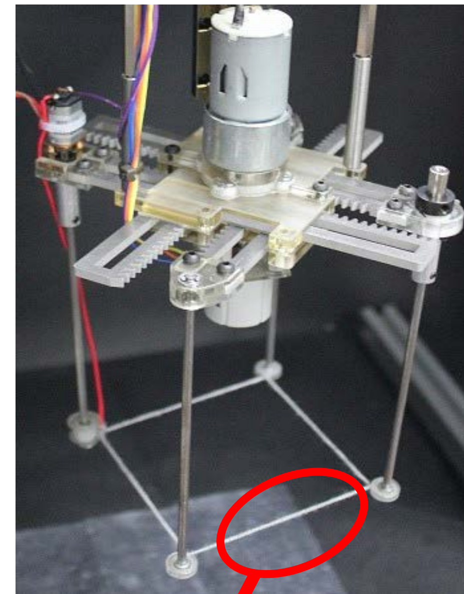


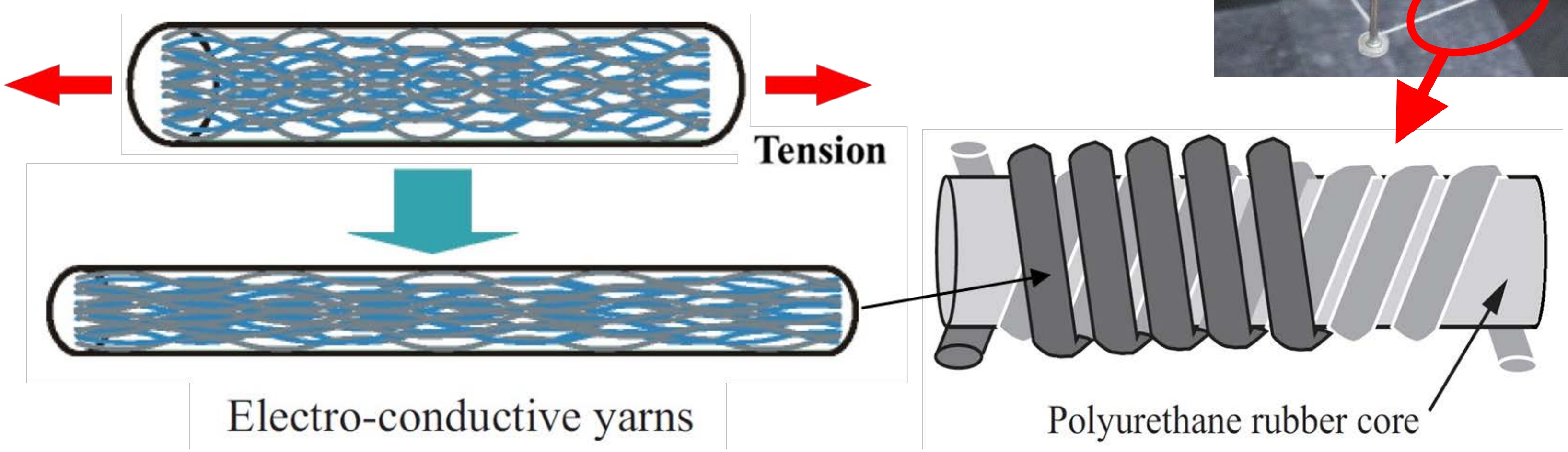


感圧導電糸

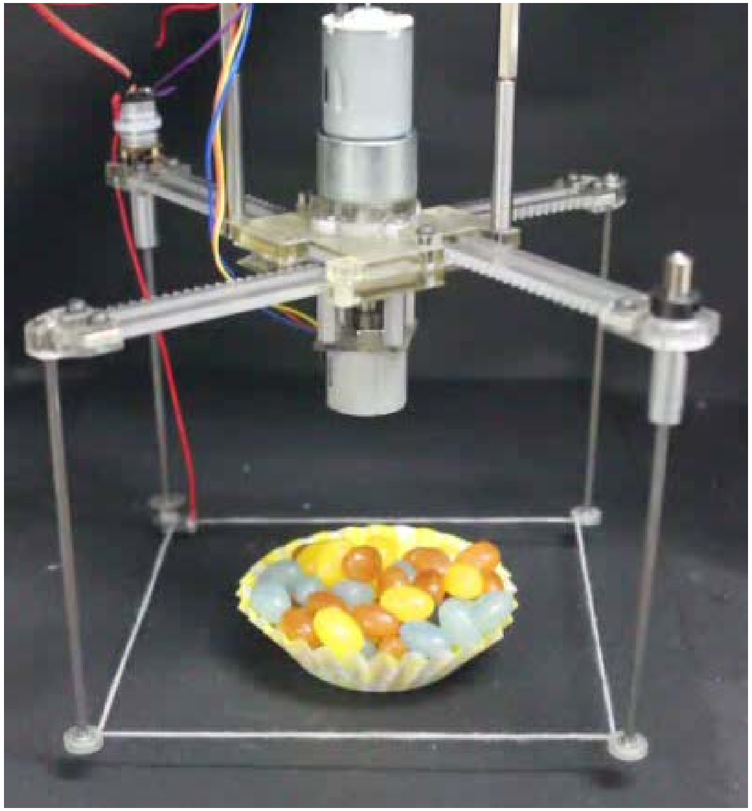
- 導電性繊維と絶縁性繊維の混紡（ステンレス短繊維とポリエステル）
- 伸縮すると抵抗が変化

➢ 抵抗を計測することで把持力を推定

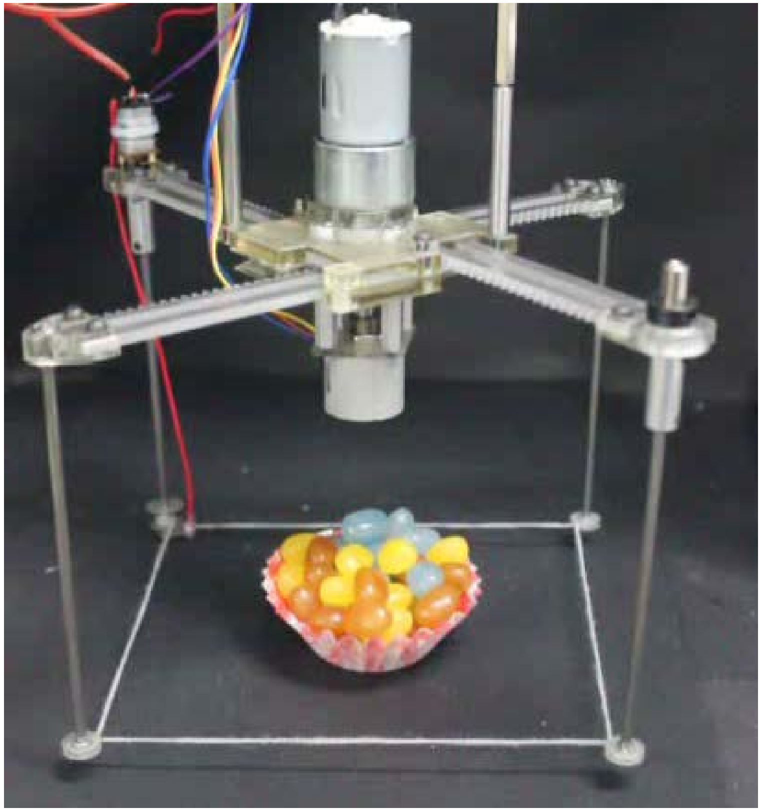




カップの把持

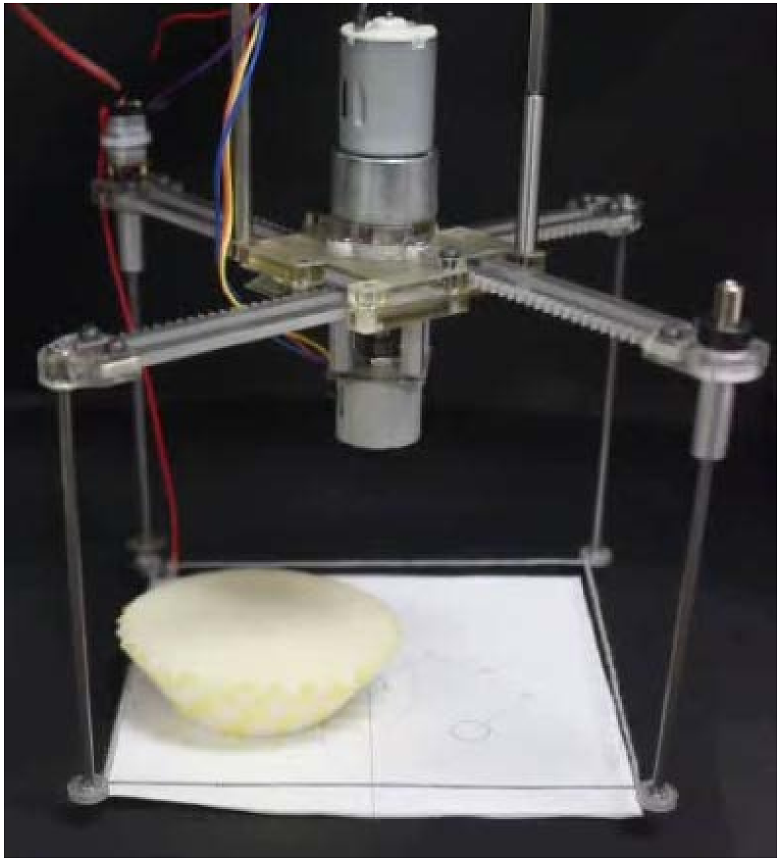


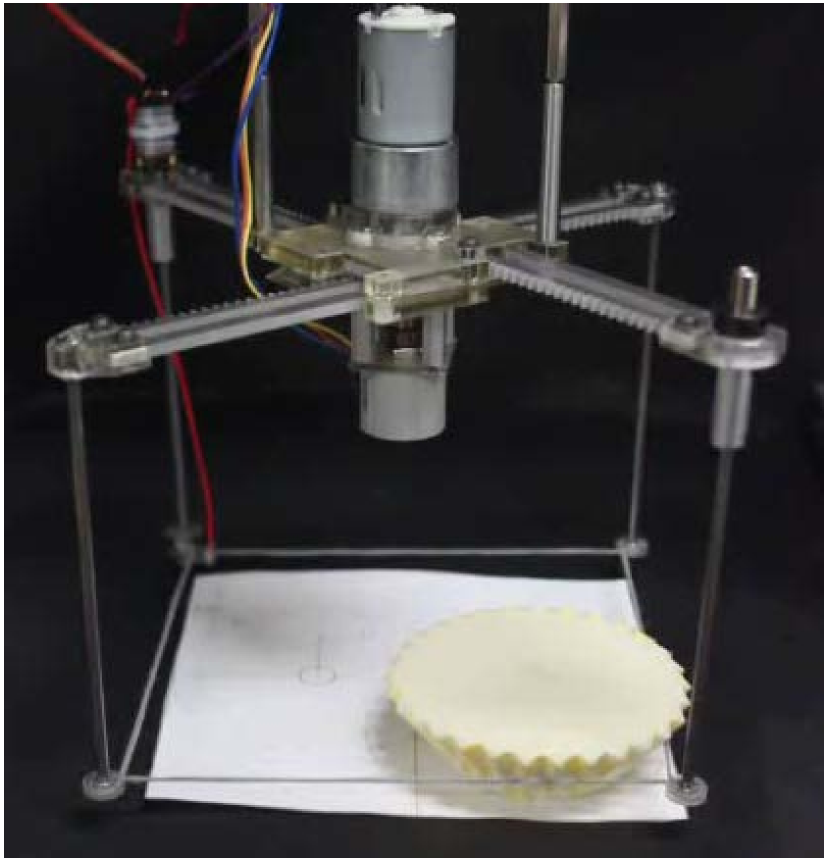
Φ80mm - 47 mm



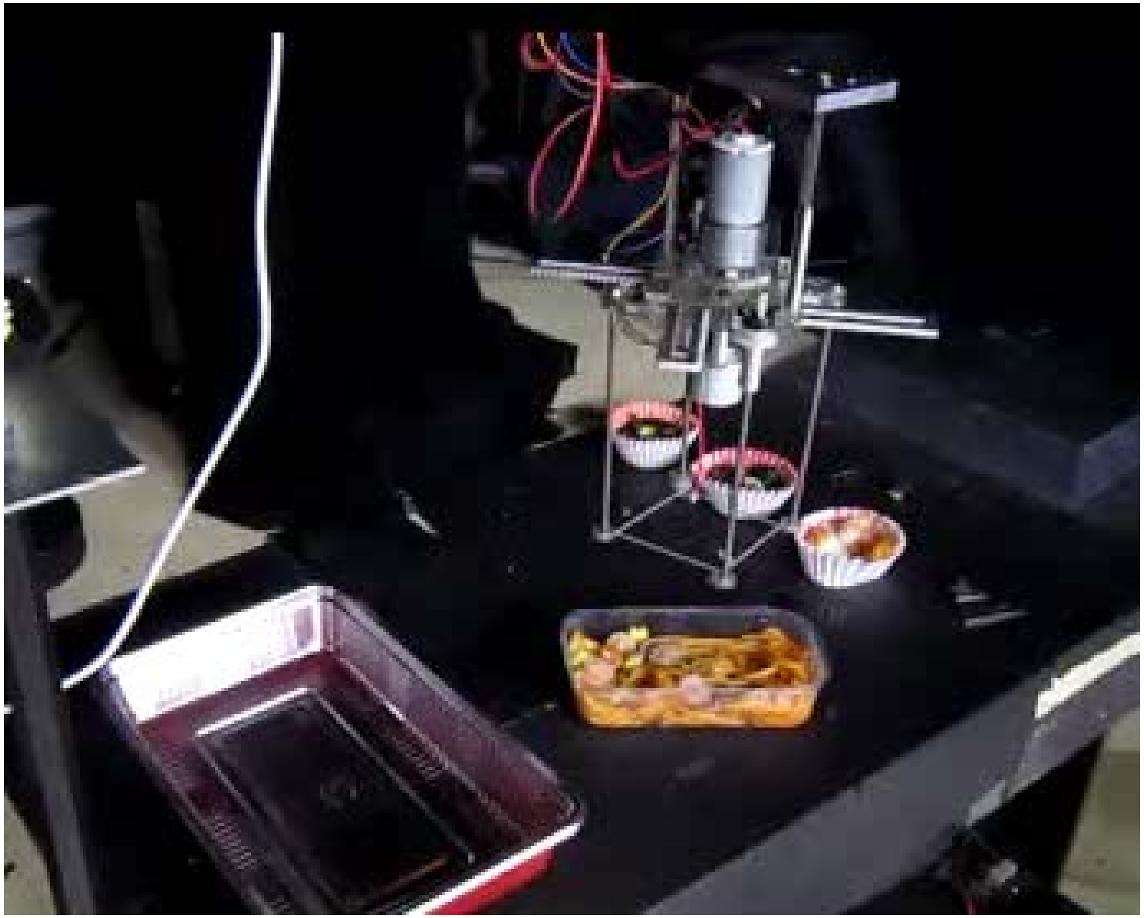
Φ65mm - 35mm

自動センタリング

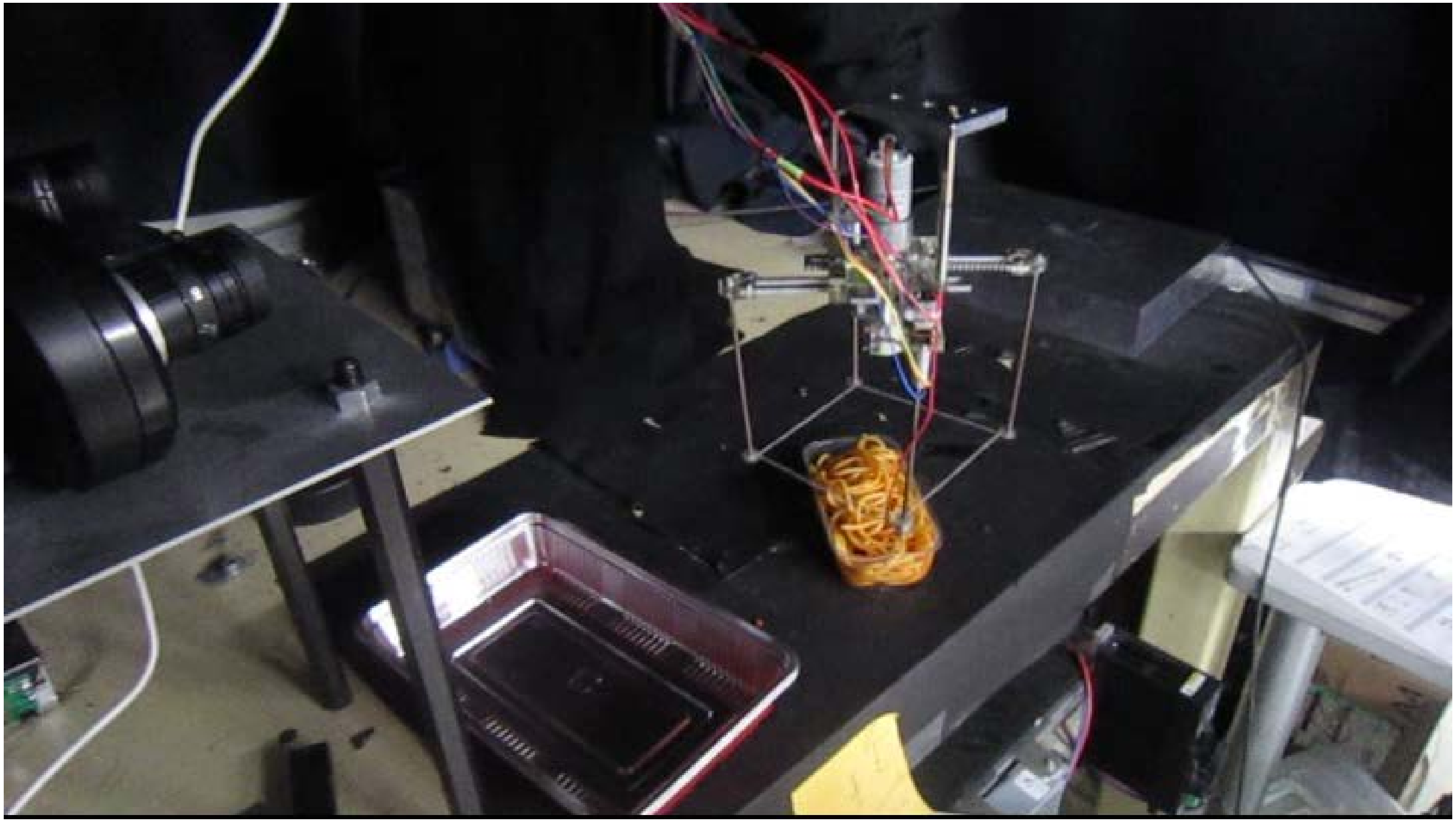




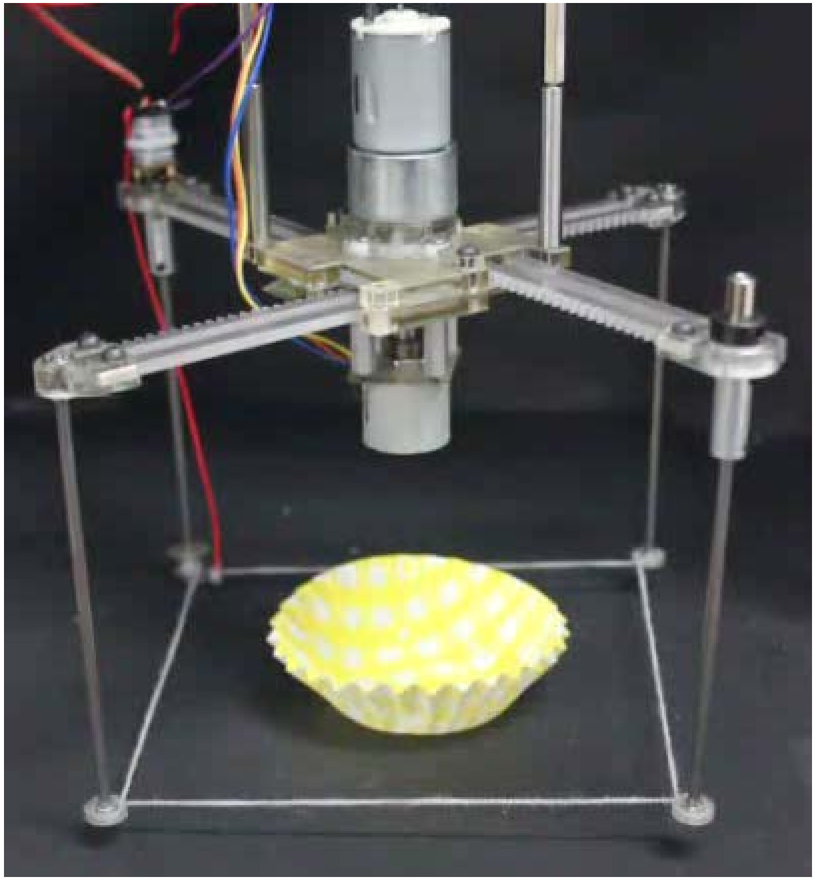
カップのパッキング



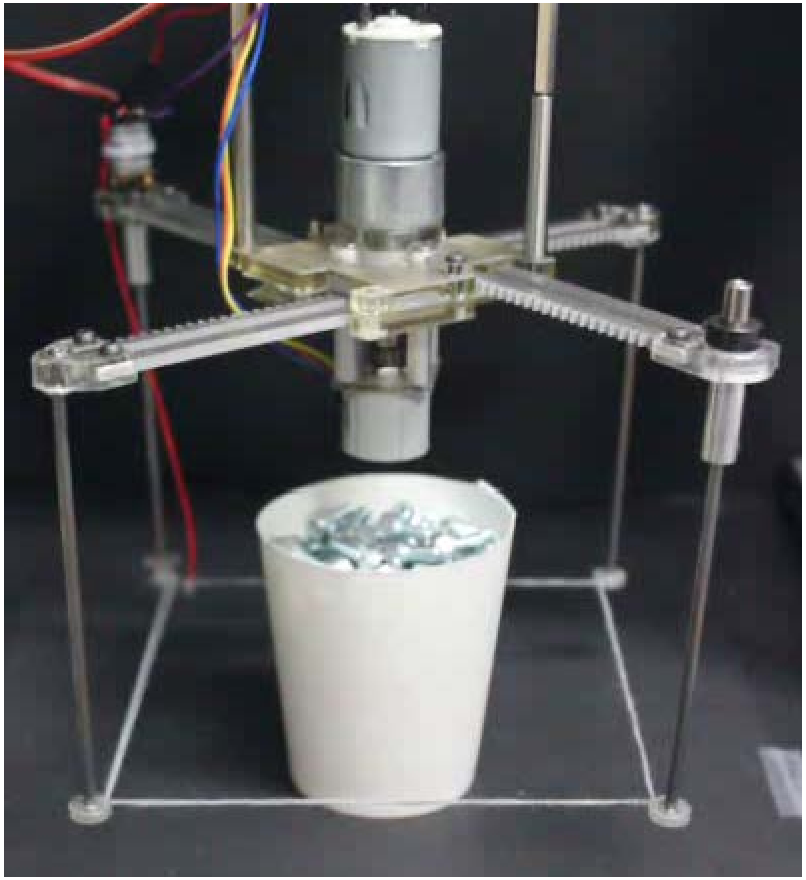
パイレックス容器の把持



様々な対象物の把持

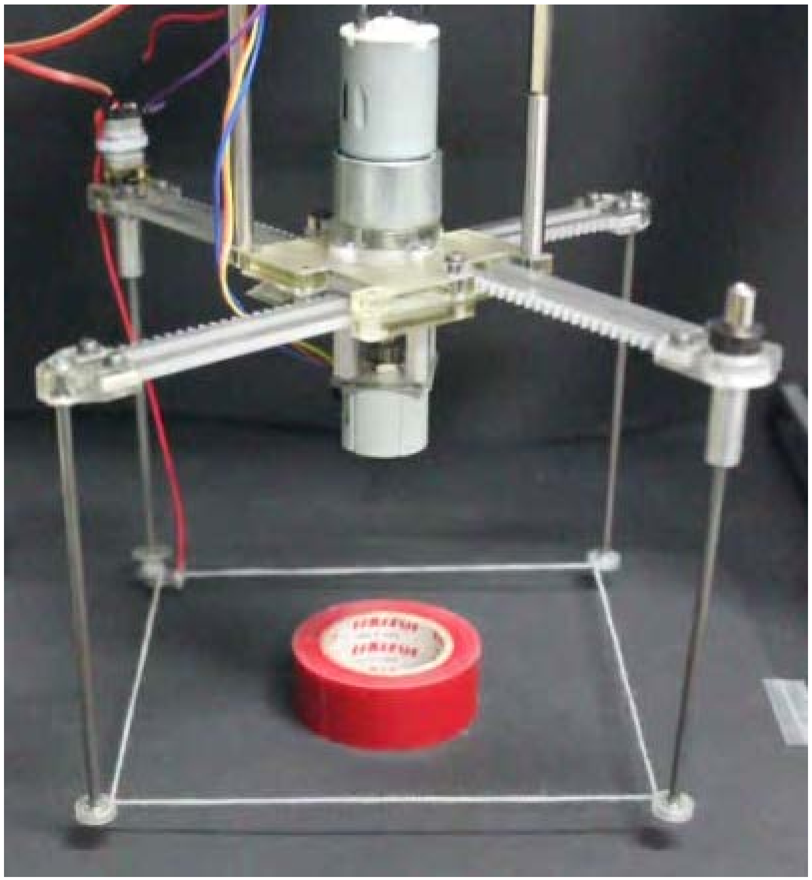


1 g　φ80mm - 47 mm

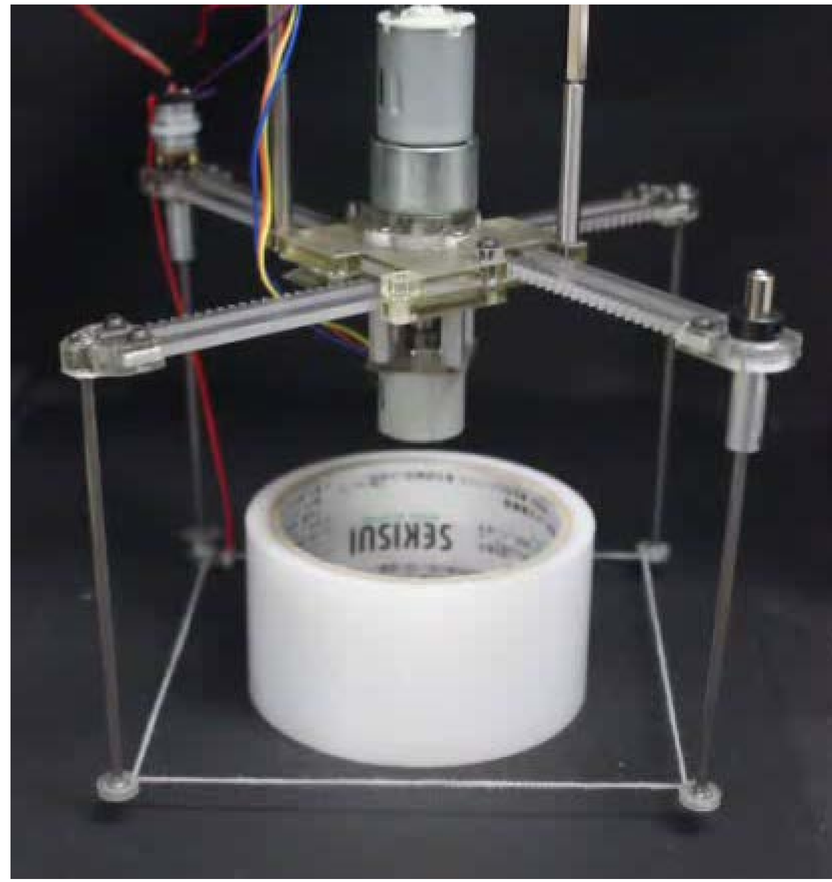


512 g　φ65mm - 51 mm

様々な対象物の把持

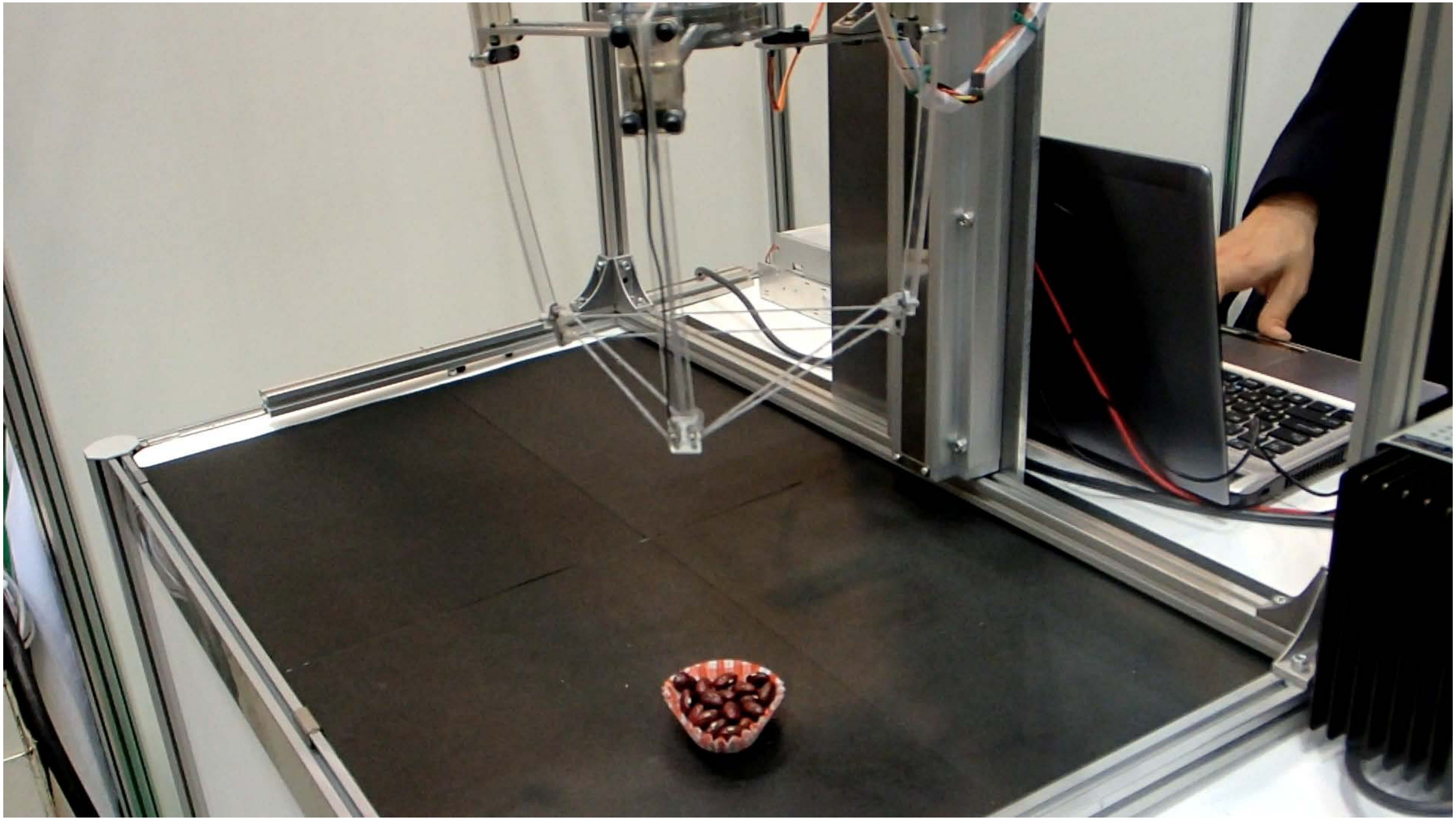


27 g　φ51 mm



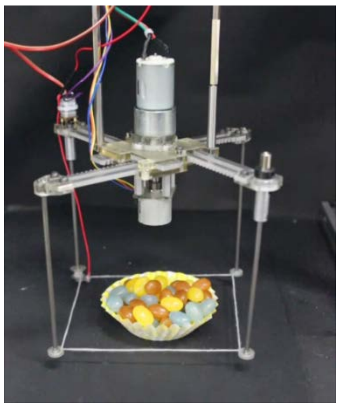
102 g　φ93 mm

国際ロボット展2015での展示

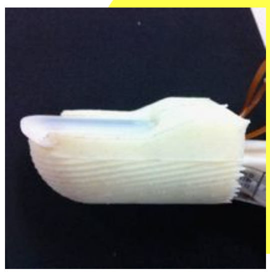


ソフトロボティクス研究室

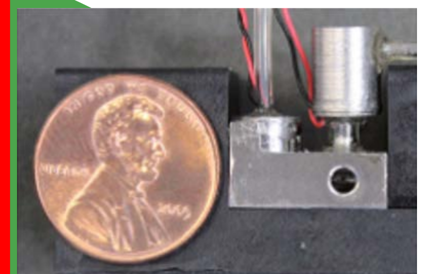
柔軟物ハンドリング

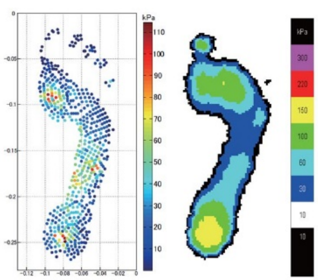


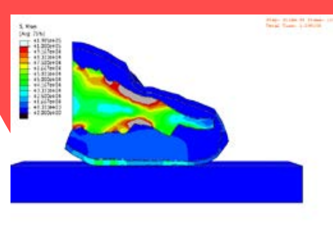
触知覚センシング



空気圧駆動ロボット





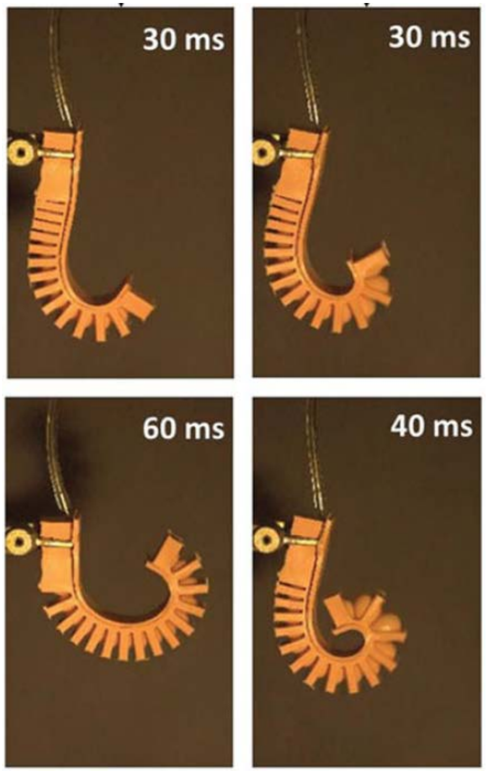


人体モデリング

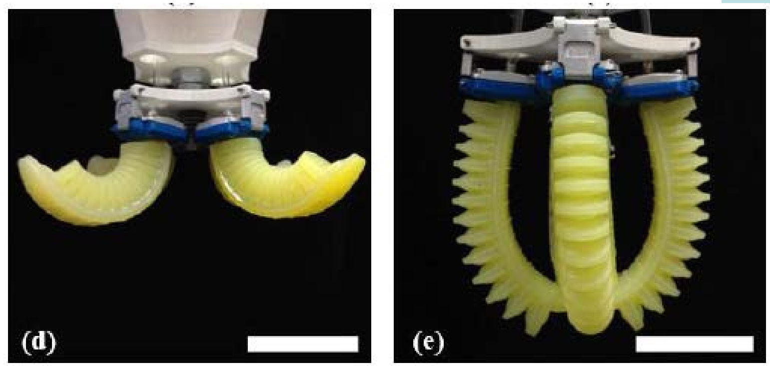
飛行ロボット

プリンタブルハンド

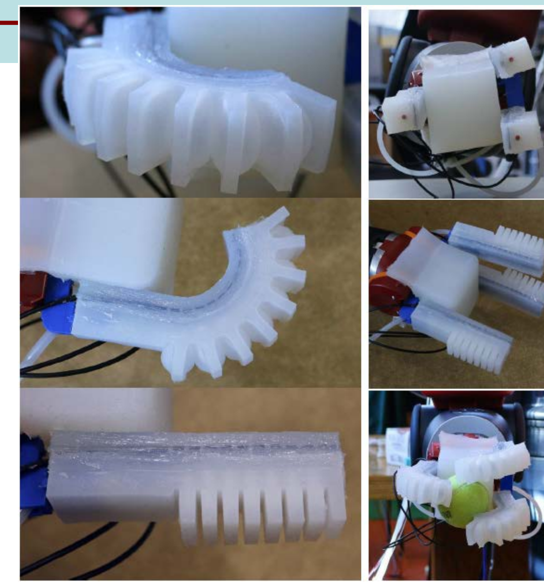
ソフトハンド



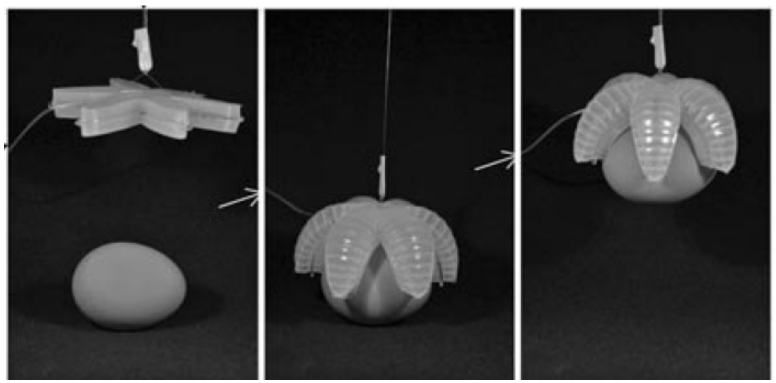
Harvard Univ.
M. Whitesides, 2014



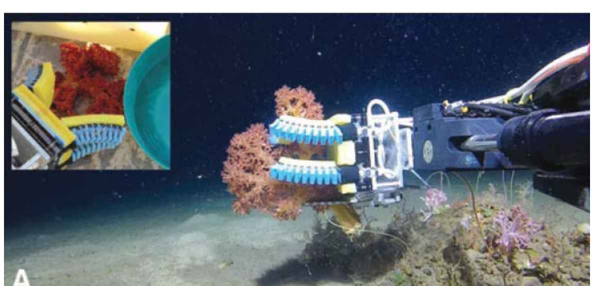
Beihang Univ., T. Wang, July, 2016



MIT, D. Rus, 2015



Harvard Univ., M. Whitesides,2011



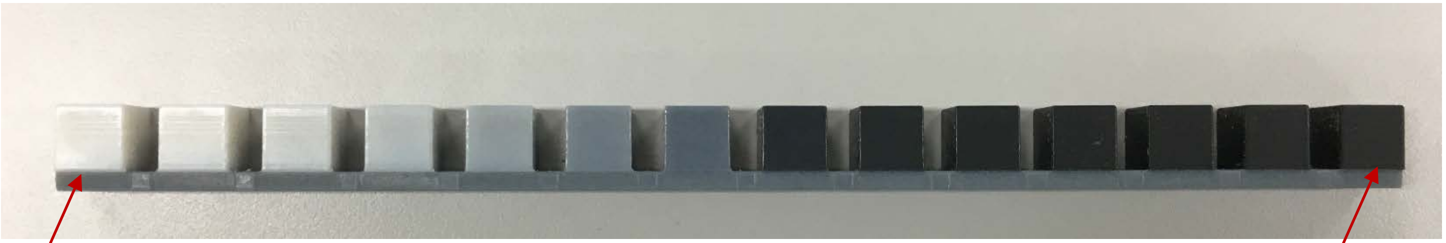
Harvard Univ.
R.J. Wood,
2016

Amrita Univ.
G. Udupa,
2014

三次元プリンタ

Objet260 Connex (Stratasys)

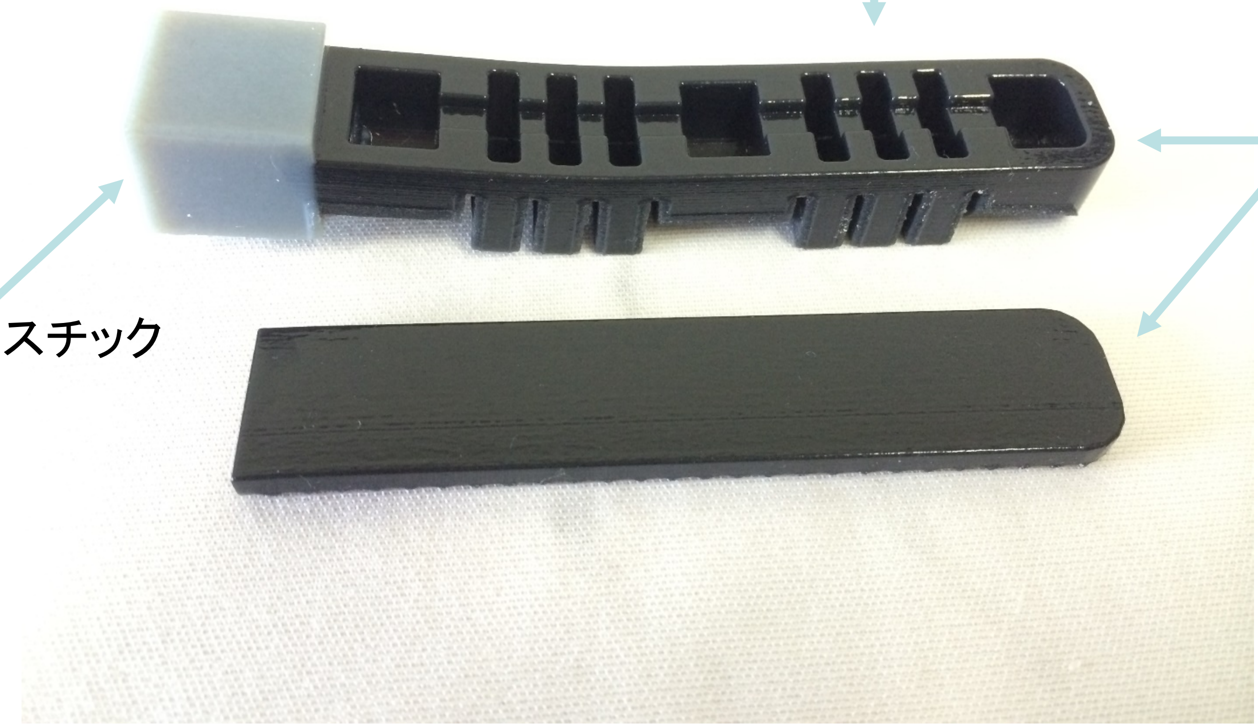
Item	Connex260
Work space	X255mm x Y252mm x Z200mm
Resolution	600dpi x 600dpi x 1600dpi
Layer thickness	30 μm
Input file	STL / SLC format
Material	Photopolymer
Multi-material	14 kinds material simultaneously



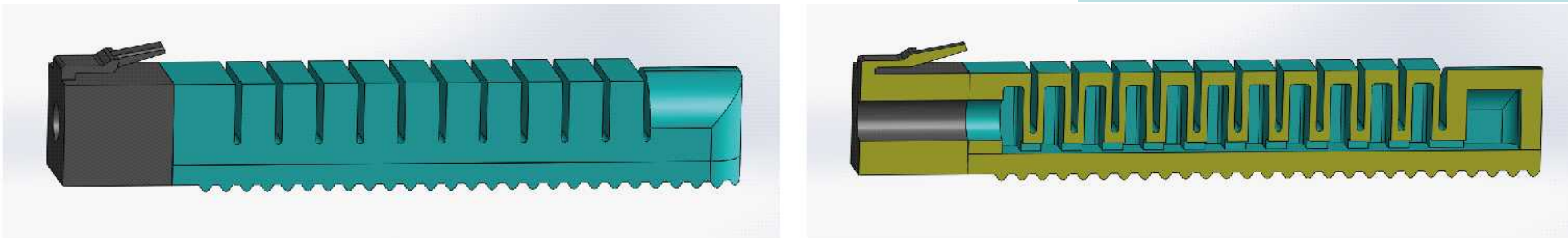
ValoWhite (hard)

TagoBlack+ (soft)

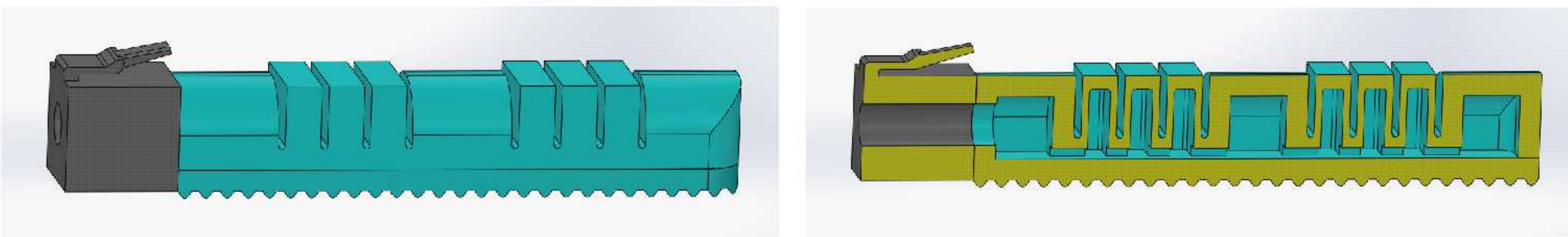
プリンタブルハンド



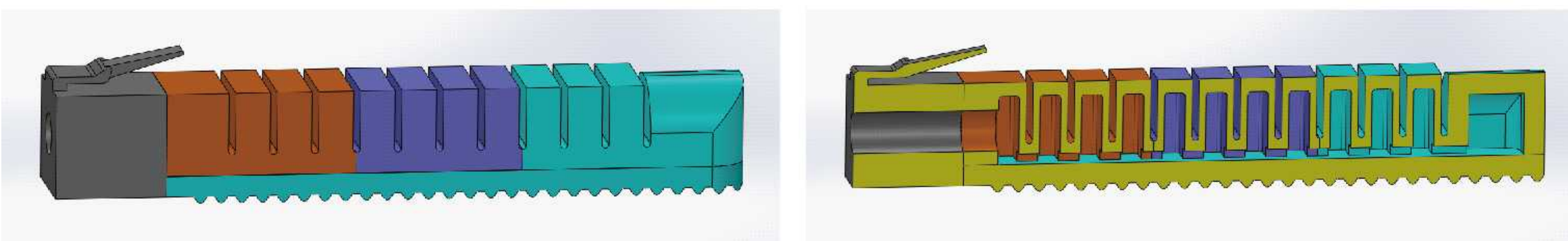
指の設計



(a) Design 1: uniform finger without link

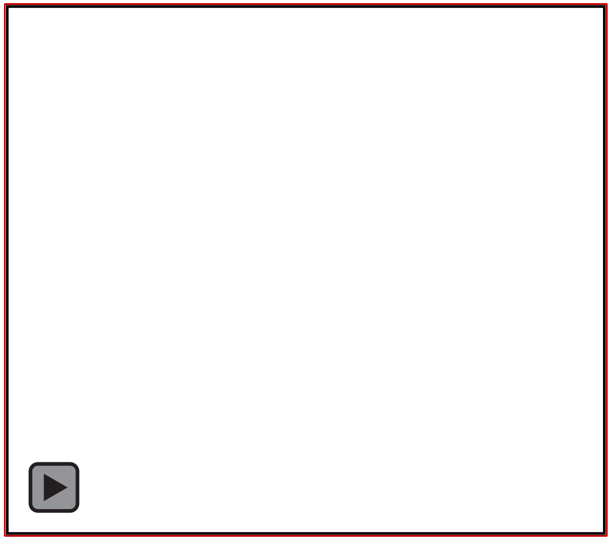


(b) Design 2: uniform finger with link



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

指の動作のシミュレーション

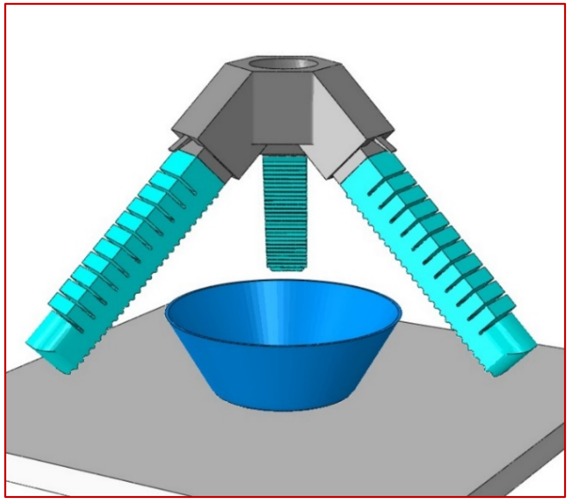


Design No. 1

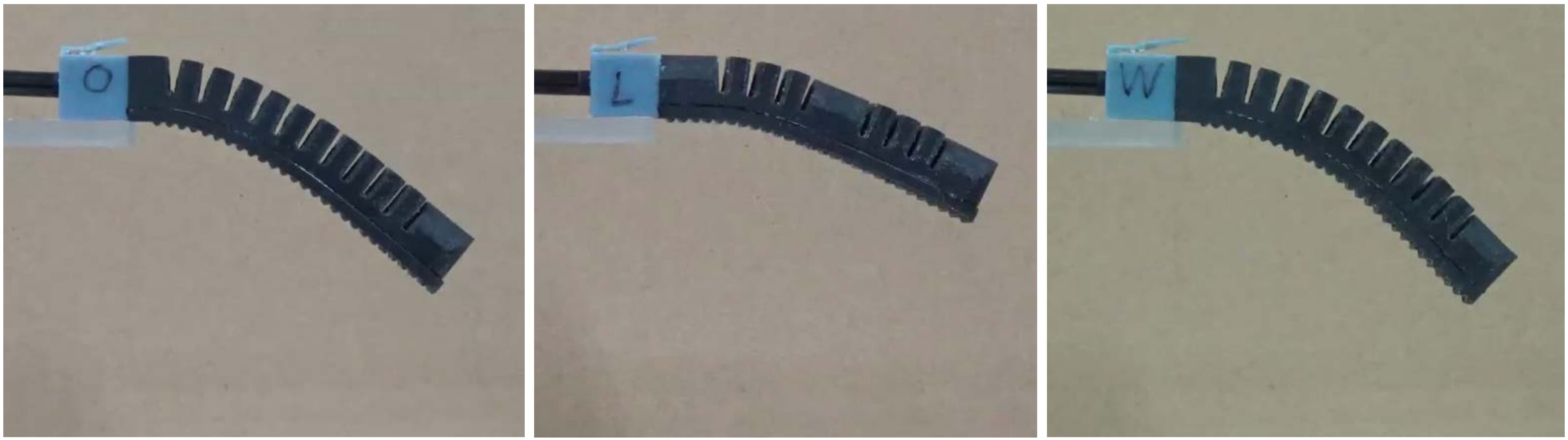
Design No. 2

Design No. 3

把持のシミュレーション



実験



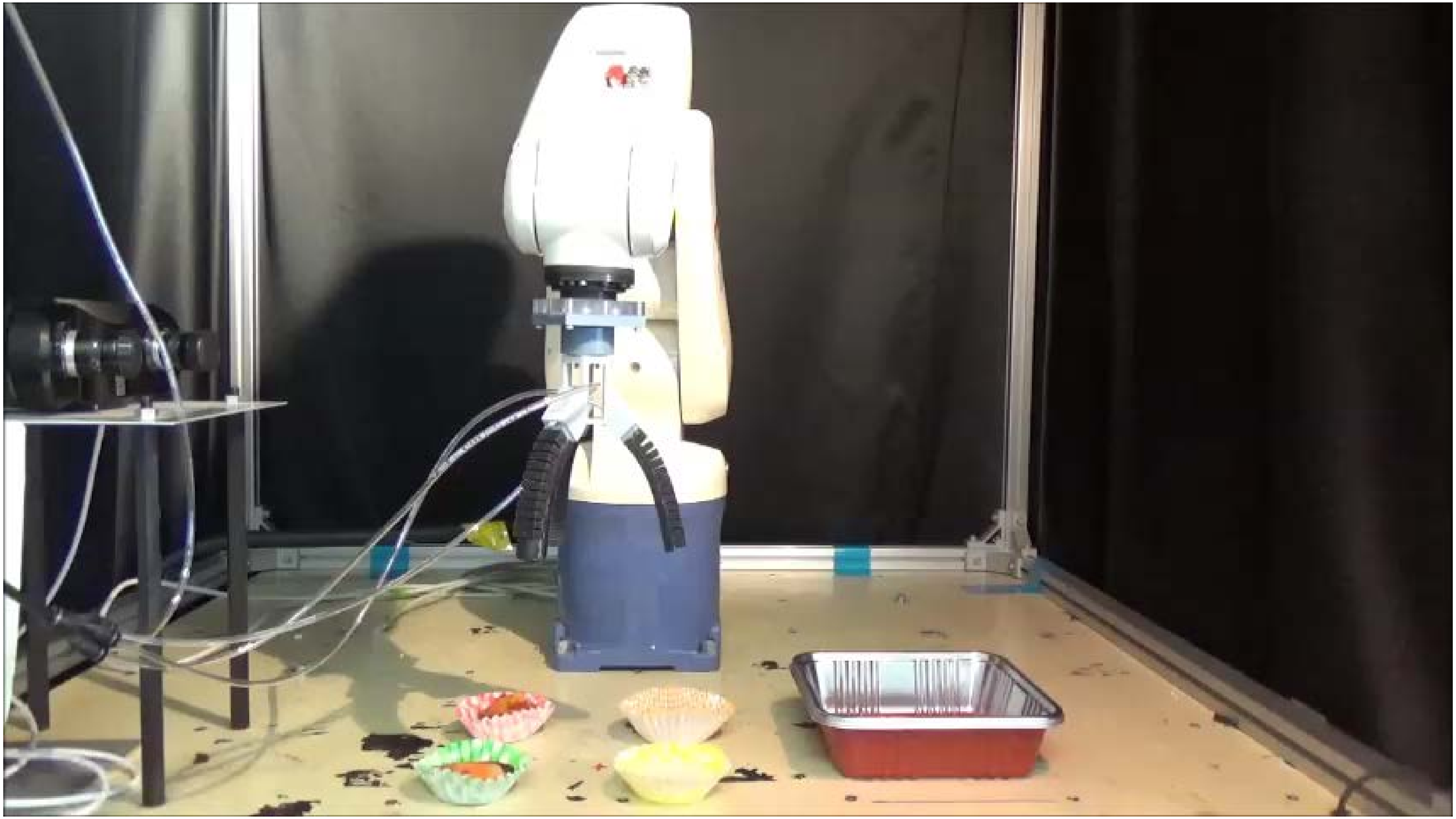
ハンドの組立

把持実験

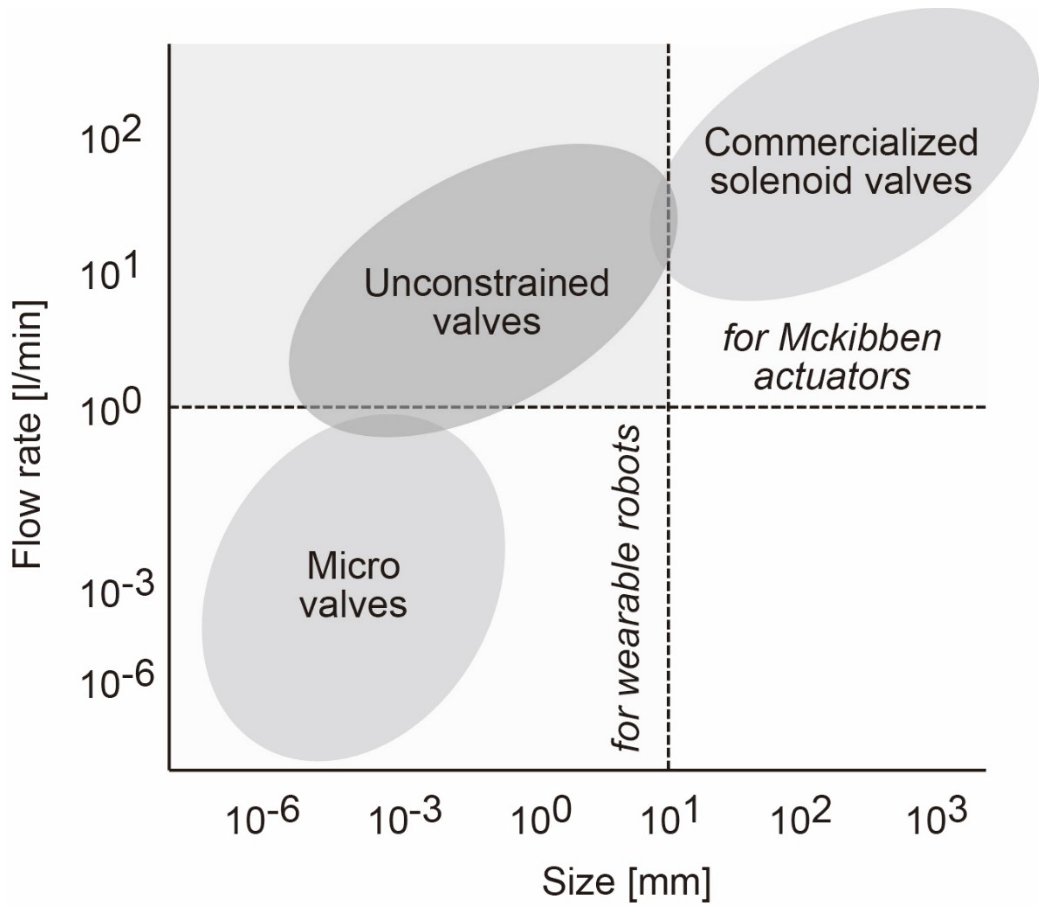





パッキングデモ

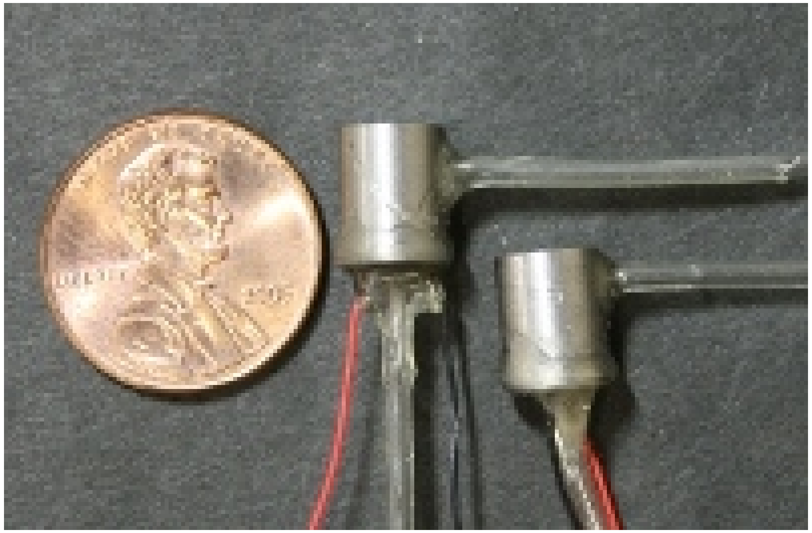


バルブの現状

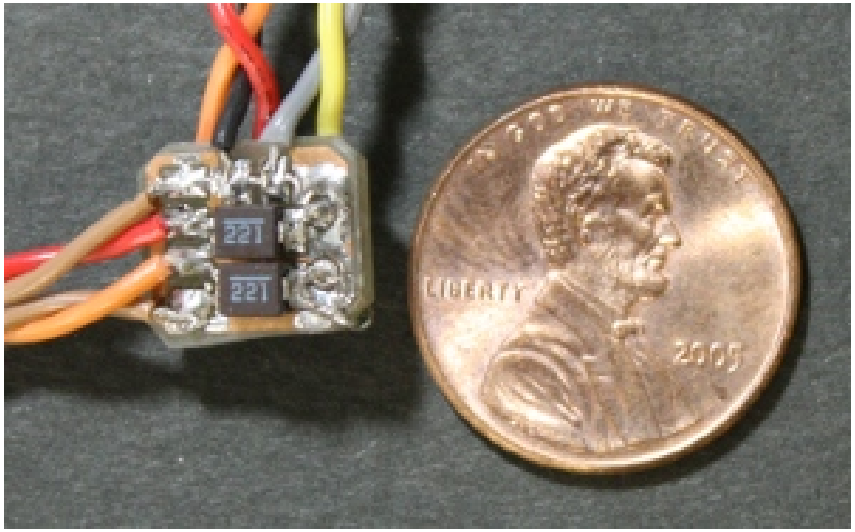


Commercialized solenoid valves
Unconstrained valves
for Mckibben actuators
Micro valves
for wearable robots
Flow rate [l/min]
10^2
10^1
10^0
10^{-3}
10^{-6}
10^{-6} 10^{-3} 10^0 10^1 10^2 10^3
Size [mm]

無拘束マイクロ空気圧弁

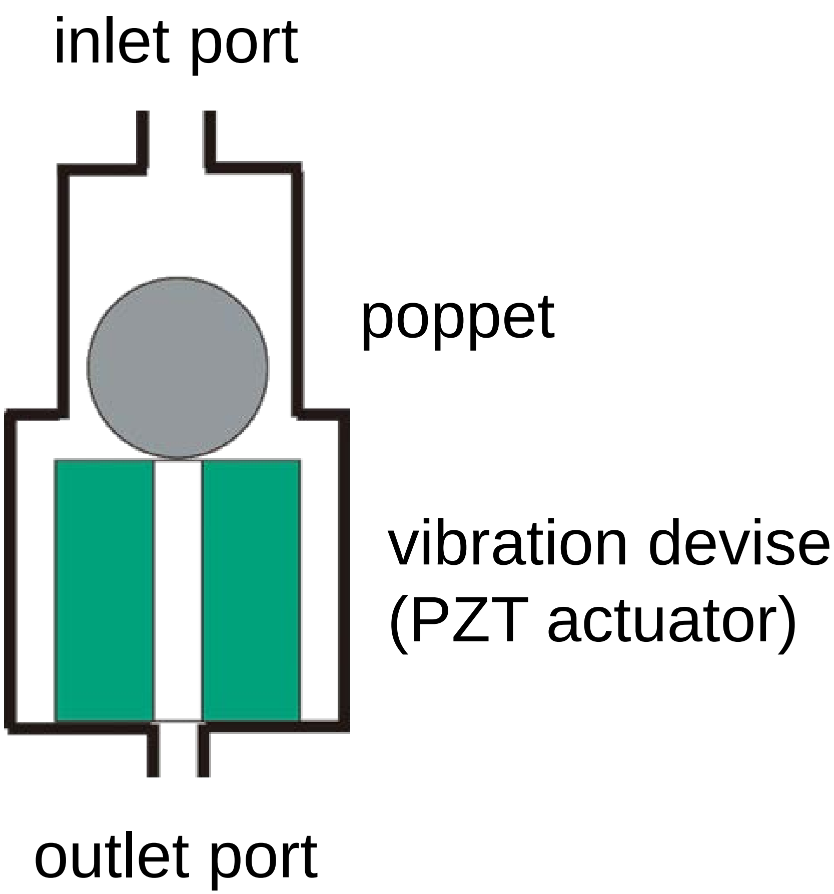


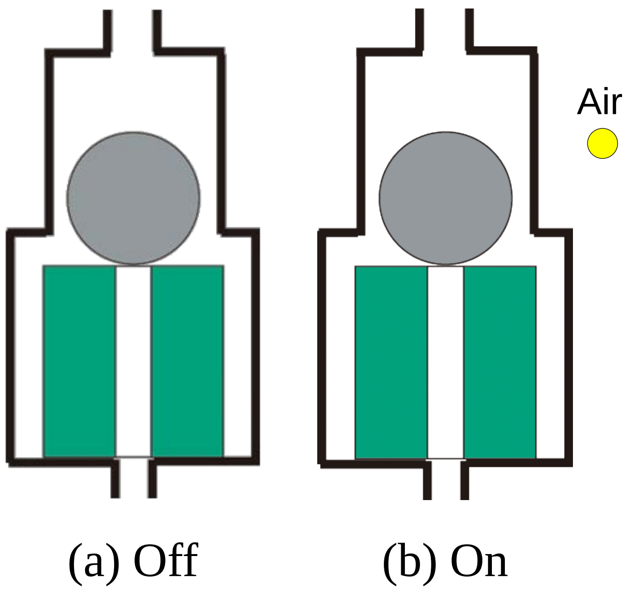
空気圧弁



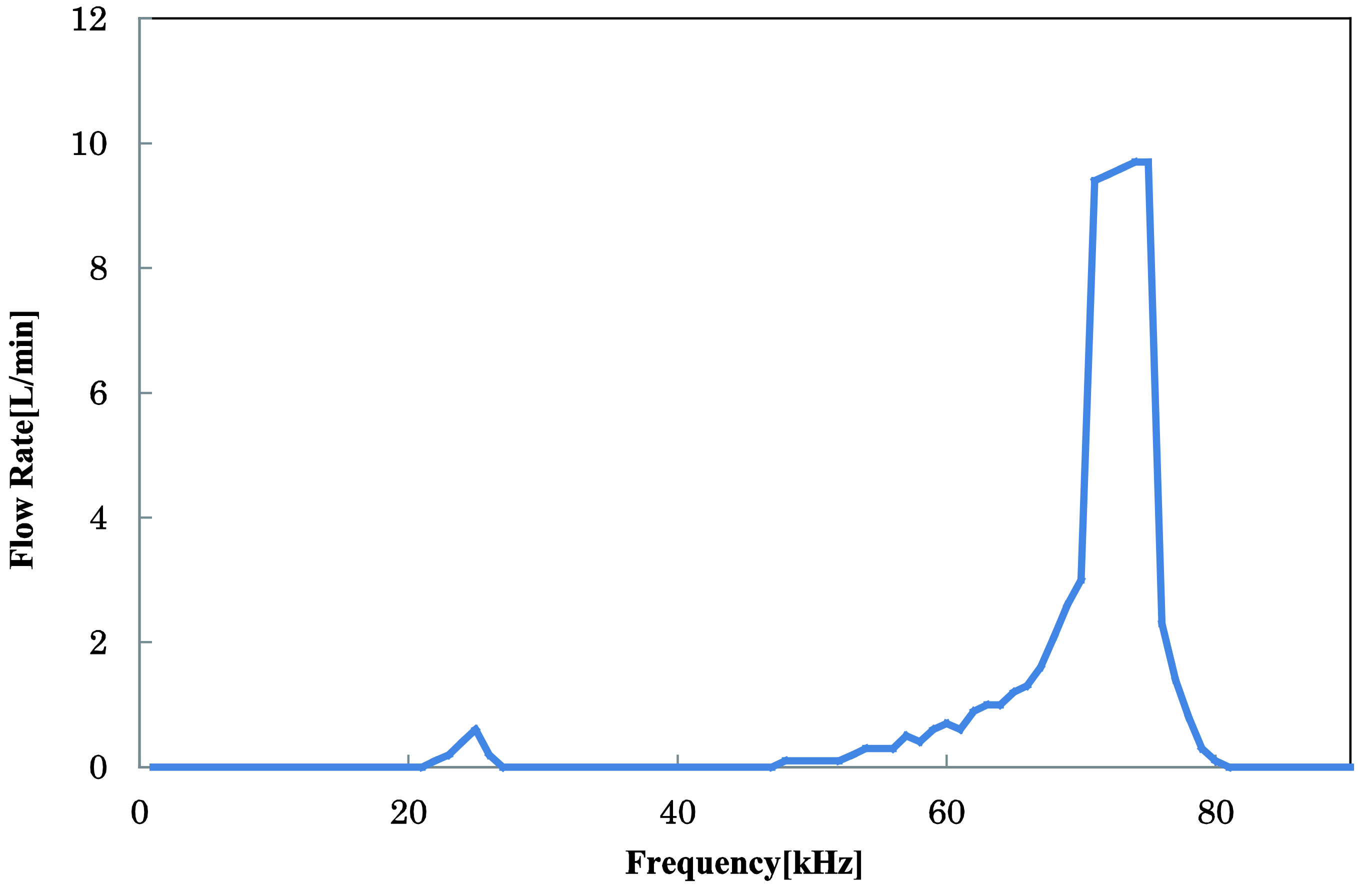
駆動回路

原理

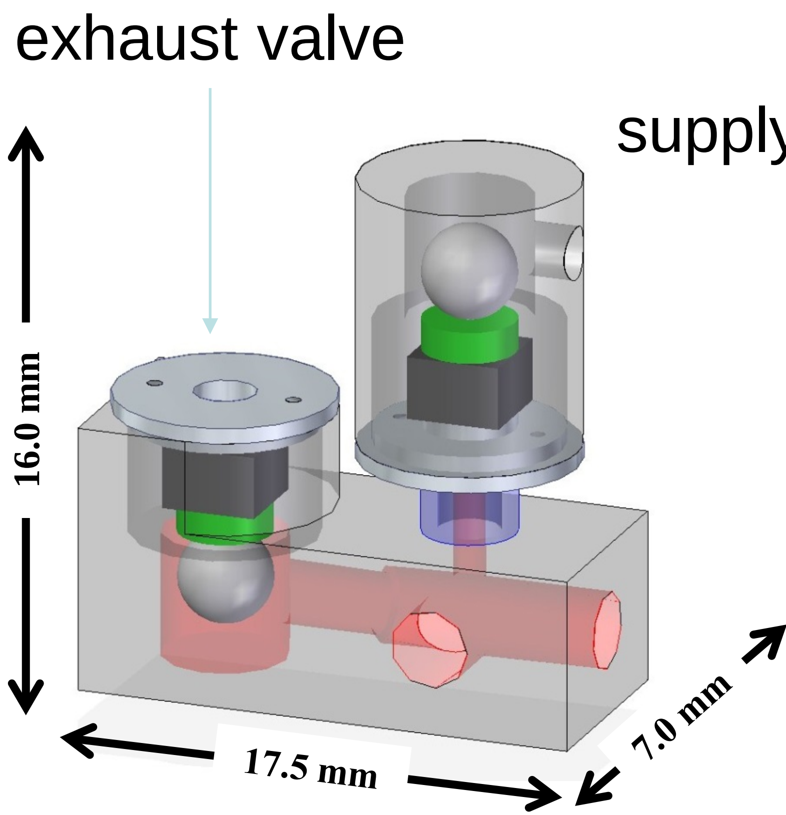

inlet port
poppet
vibration devise
(PZT actuator)
outlet port

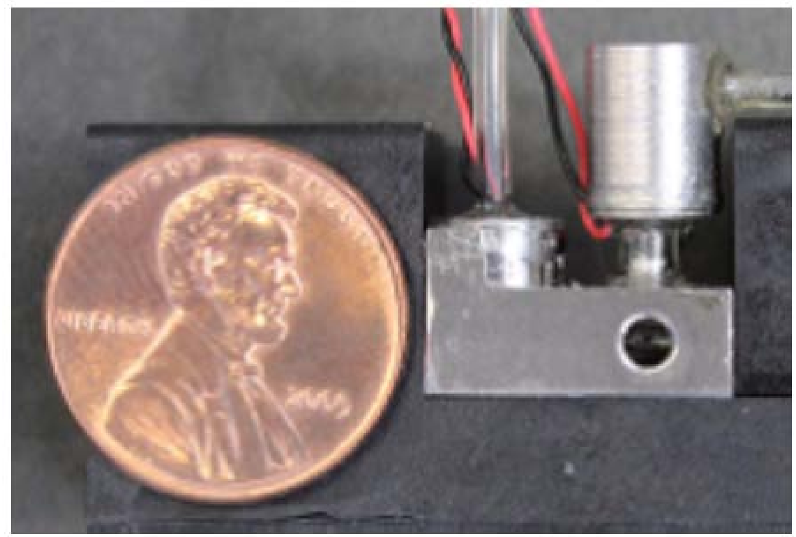

Air
(a) Off
(b) On

駆動周波数 ー 流量

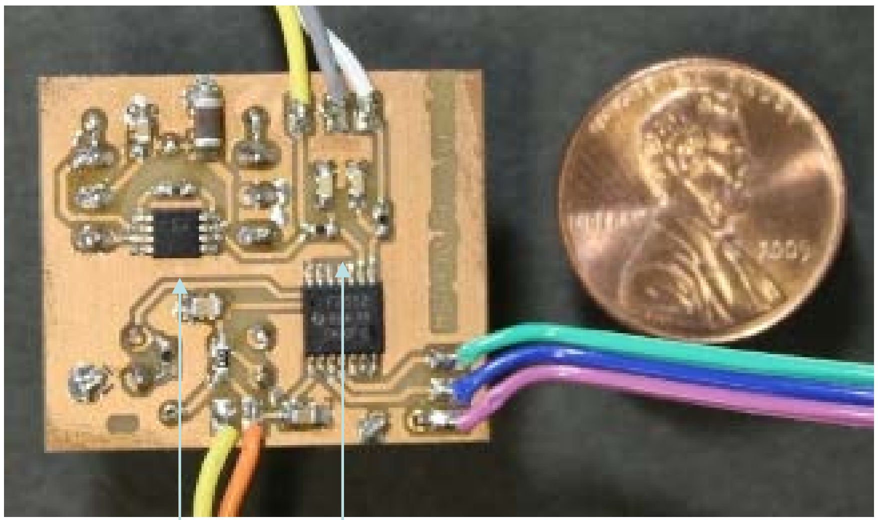


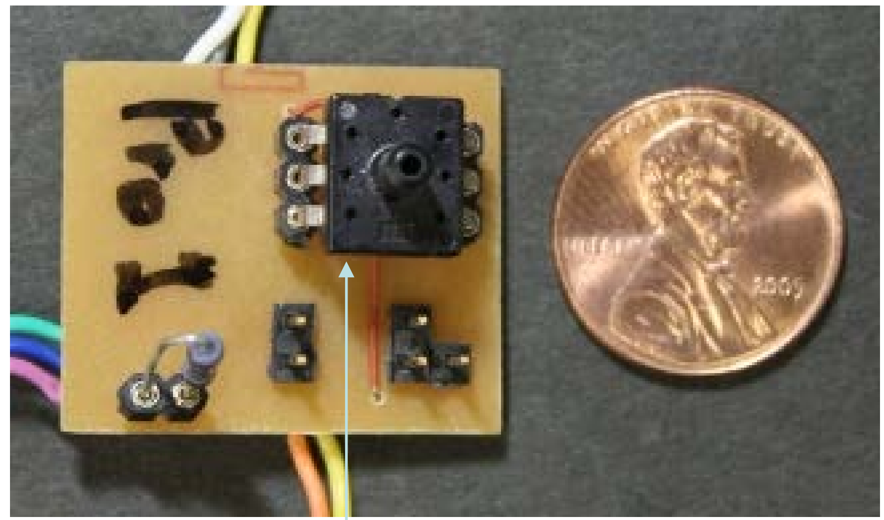
三方向弁





圧力制御回路



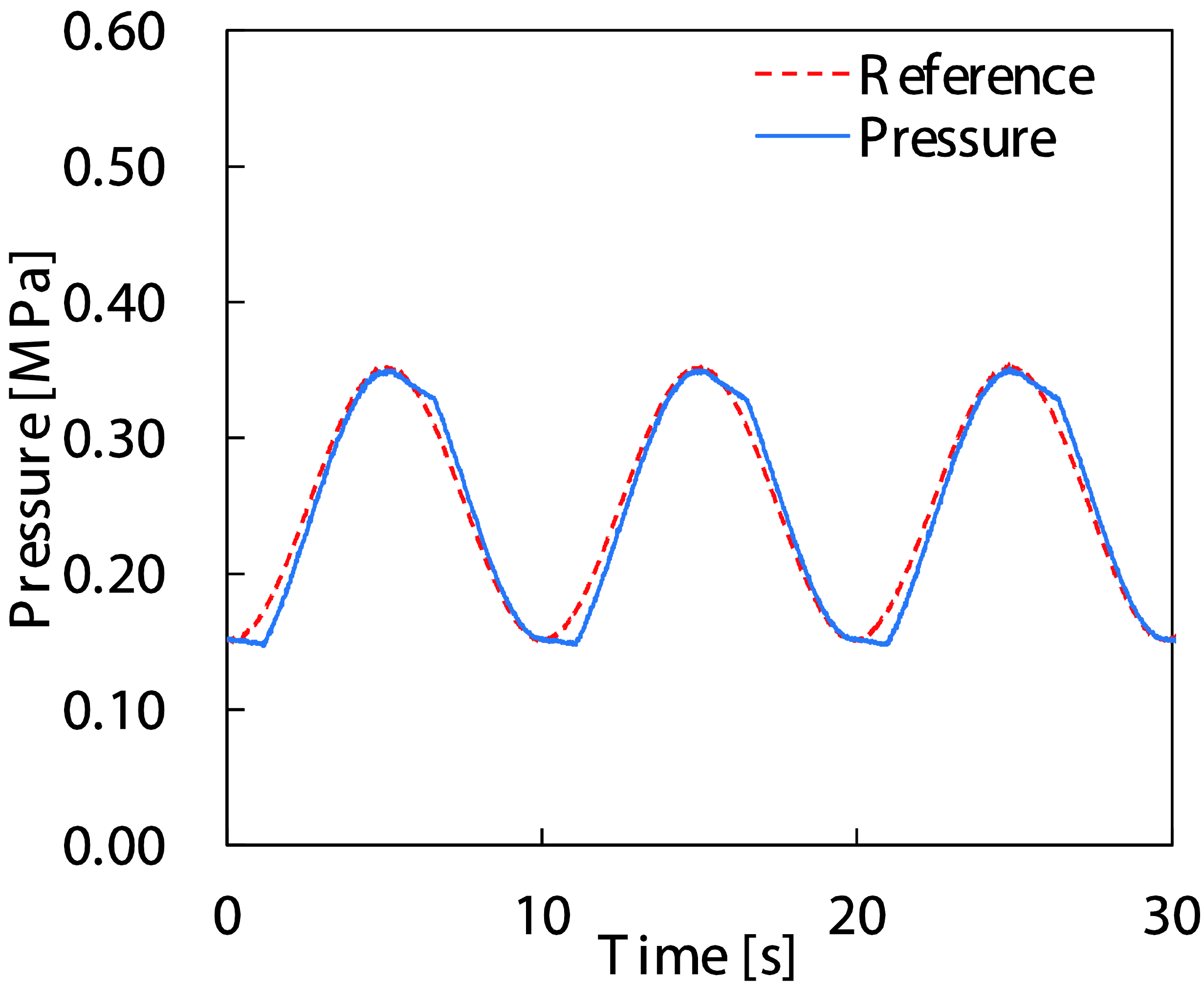


micro controller

pressure sensor

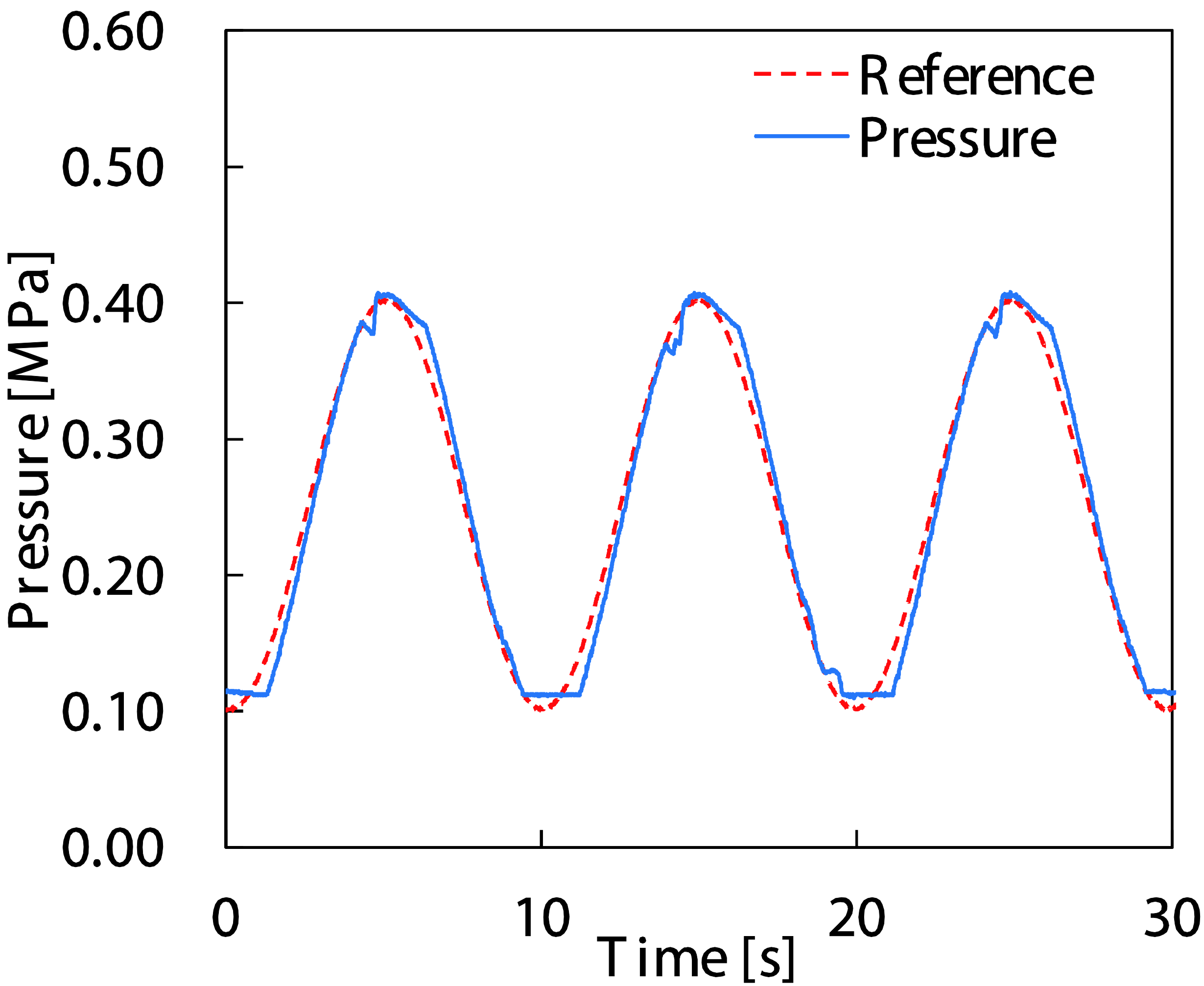
amplifier

圧力制御



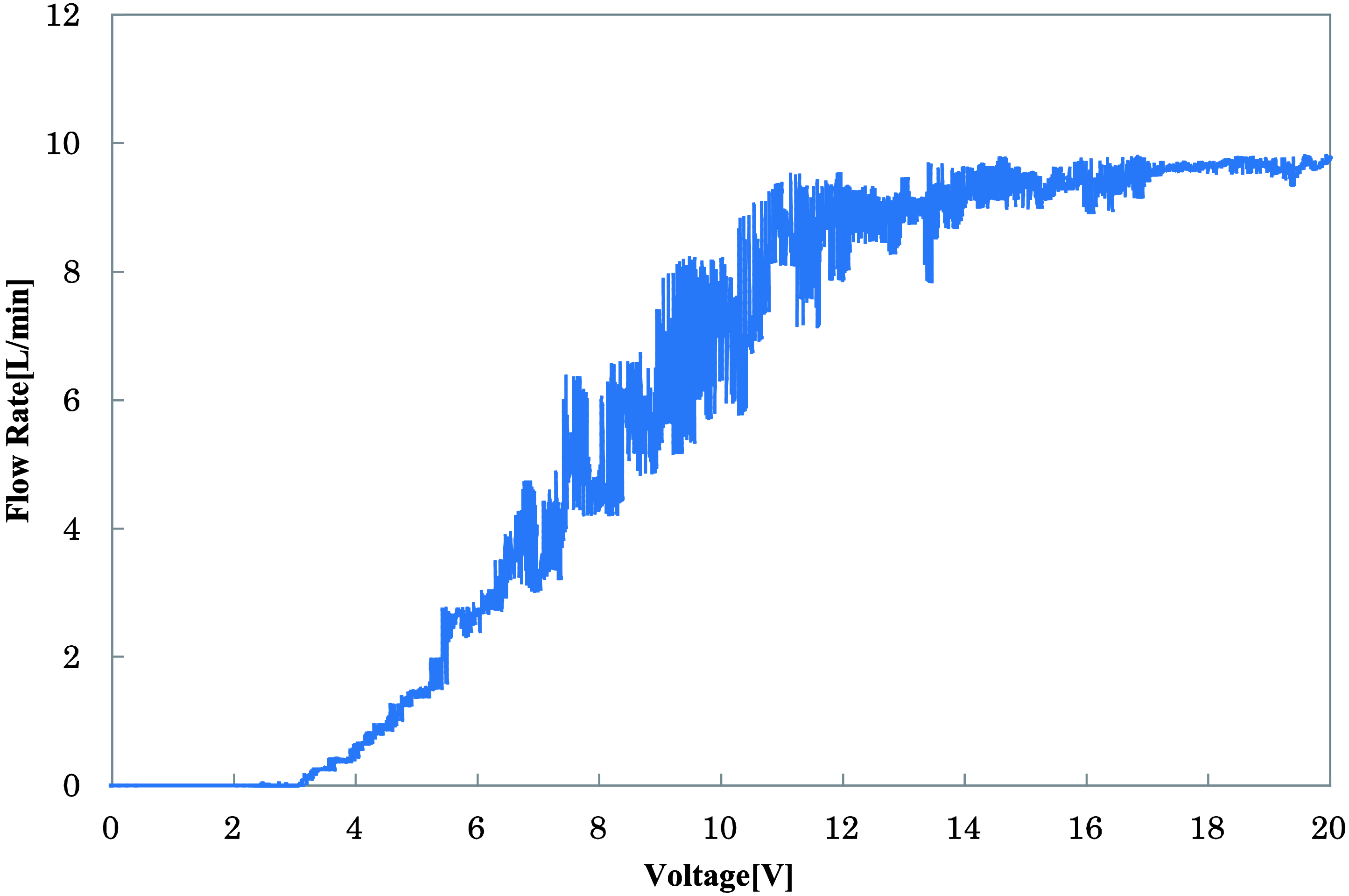
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
Pressure [MPa]
Reference
Pressure
0
10
20
30
Time [s]

圧力制御

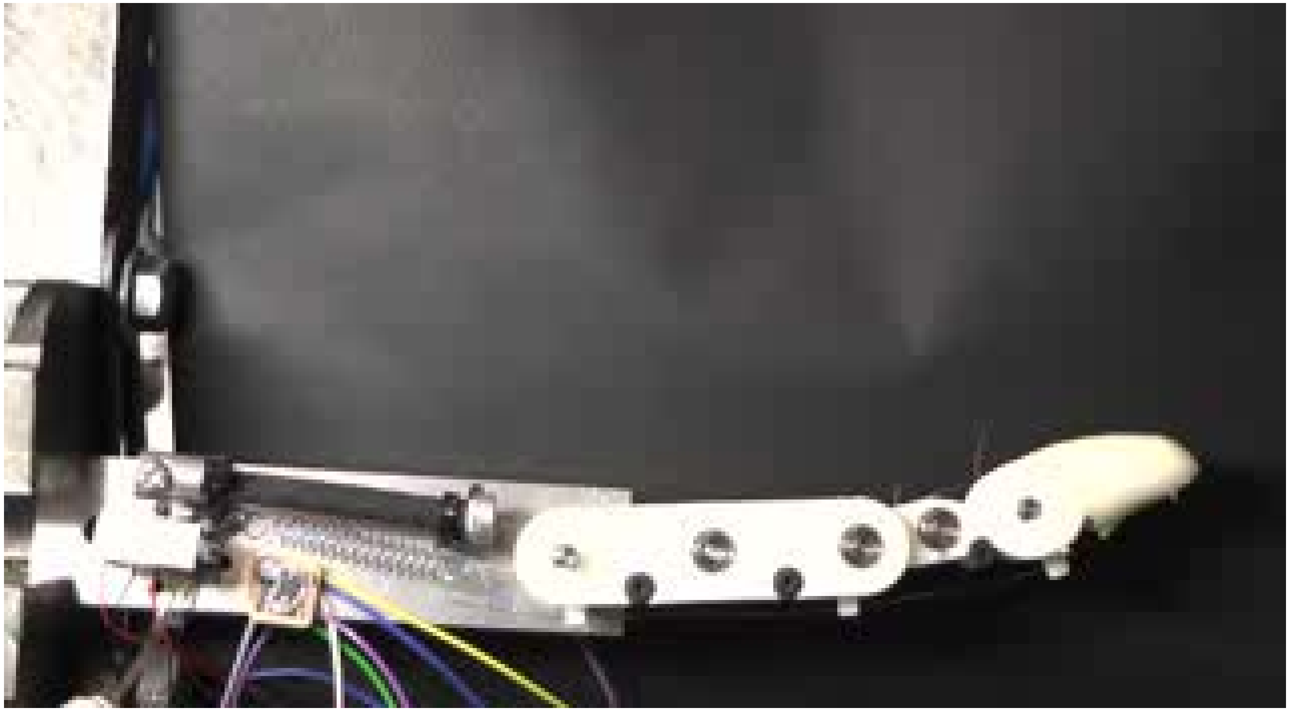


Reference
Pressure
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
Pressure [MPa]
0
10
20
30
Time [s]

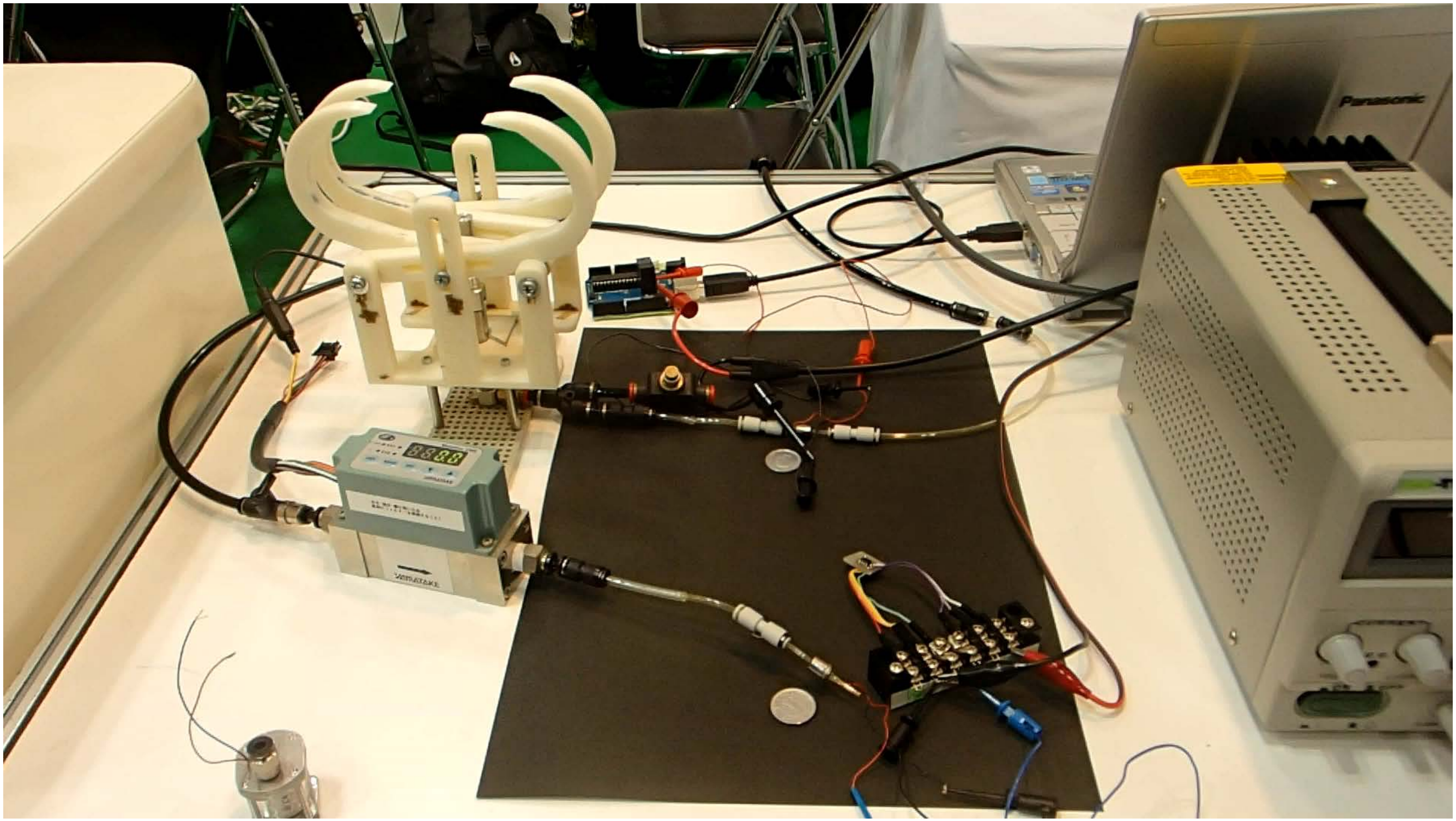
駆動電圧 - 流量



マッキベンアクチュエータの駆動

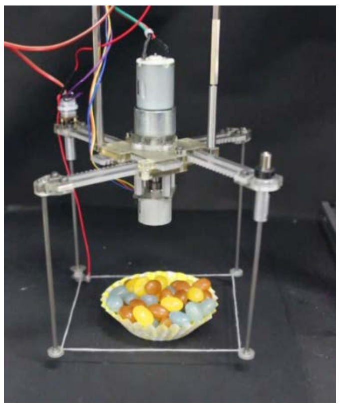


ハンドの駆動（国際ロボット展）

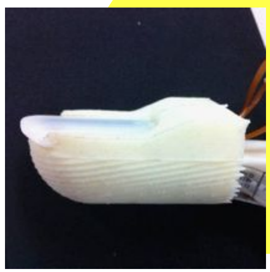


ソフトロボティクス研究室

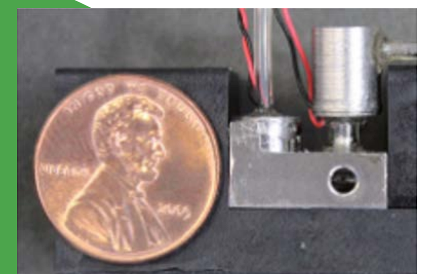
柔軟物ハンドリング

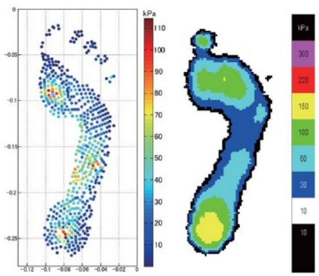


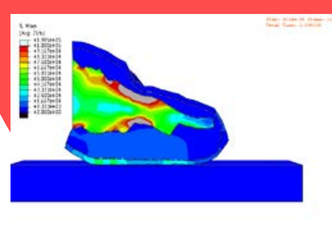
触知覚センシング



空気圧駆動ロボット

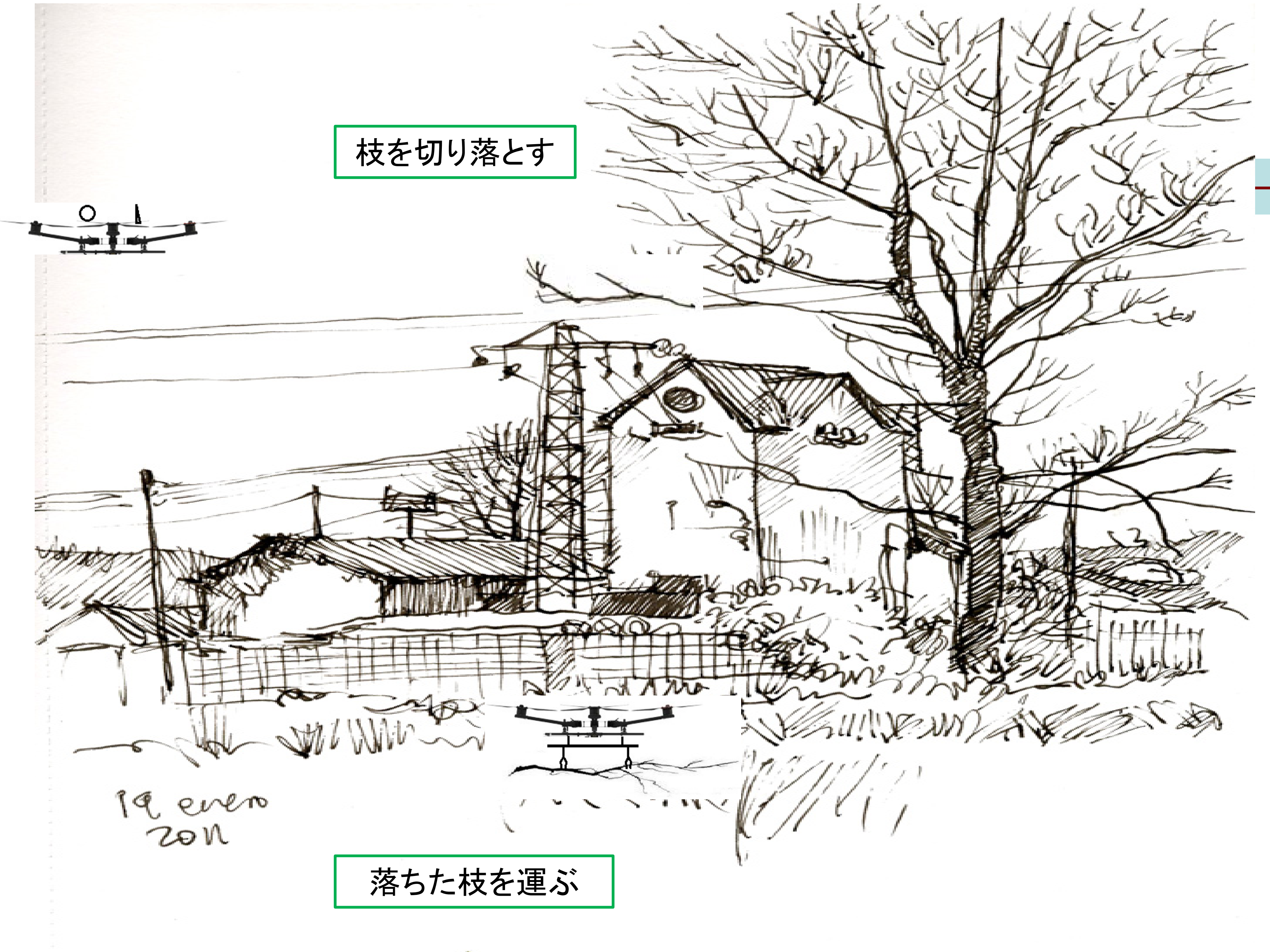






人体モデリング

飛行ロボット


枝を切り落とす
19 enero 2011
落ちた枝を運ぶ

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：ウ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：タワーヤーダ又はスイングヤーダ

造材：プロセッサ

枝の搬送

上向きグリッパー＋ノコギリ

ぶら下がり＋枝切り

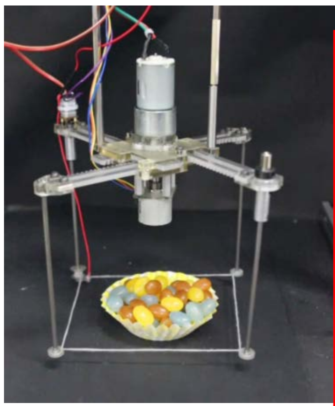
パッシブグリッパー

パッシブグリッパー

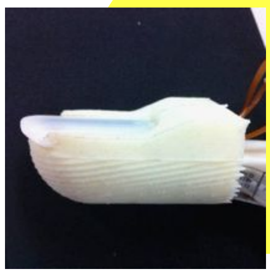
パッシブグリッパー

ソフトロボティクス研究室

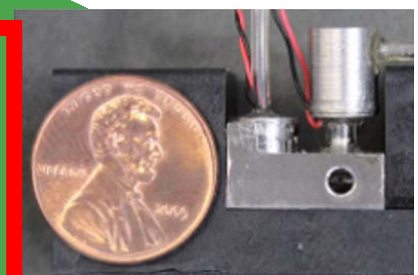
柔軟物ハンドリング

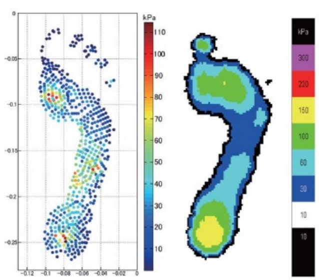


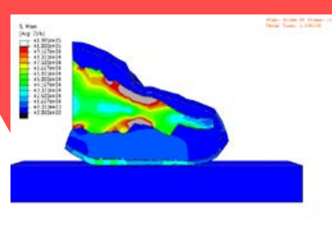
触知覚センシング



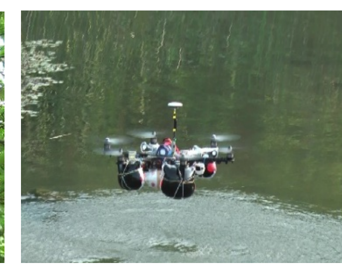
空気圧駆動ロボット







人体モデリング

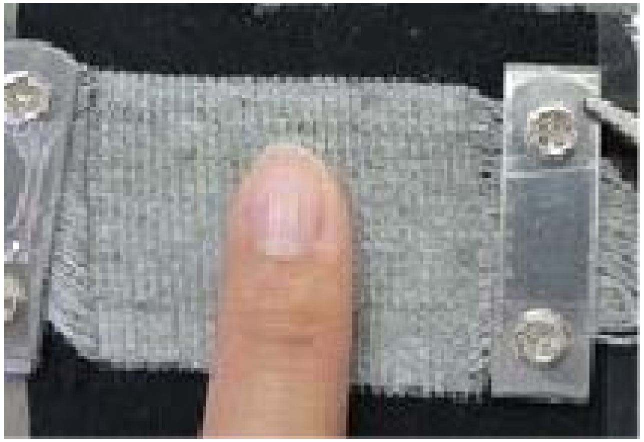


飛行ロボット

触覚

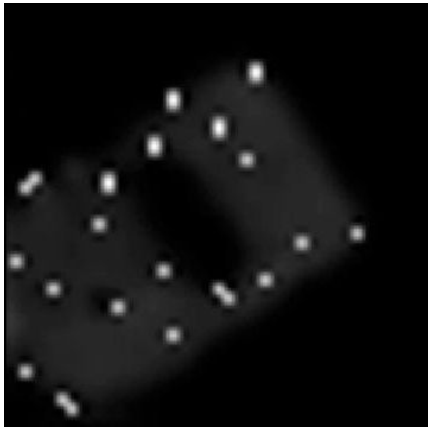
触覚センサ

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

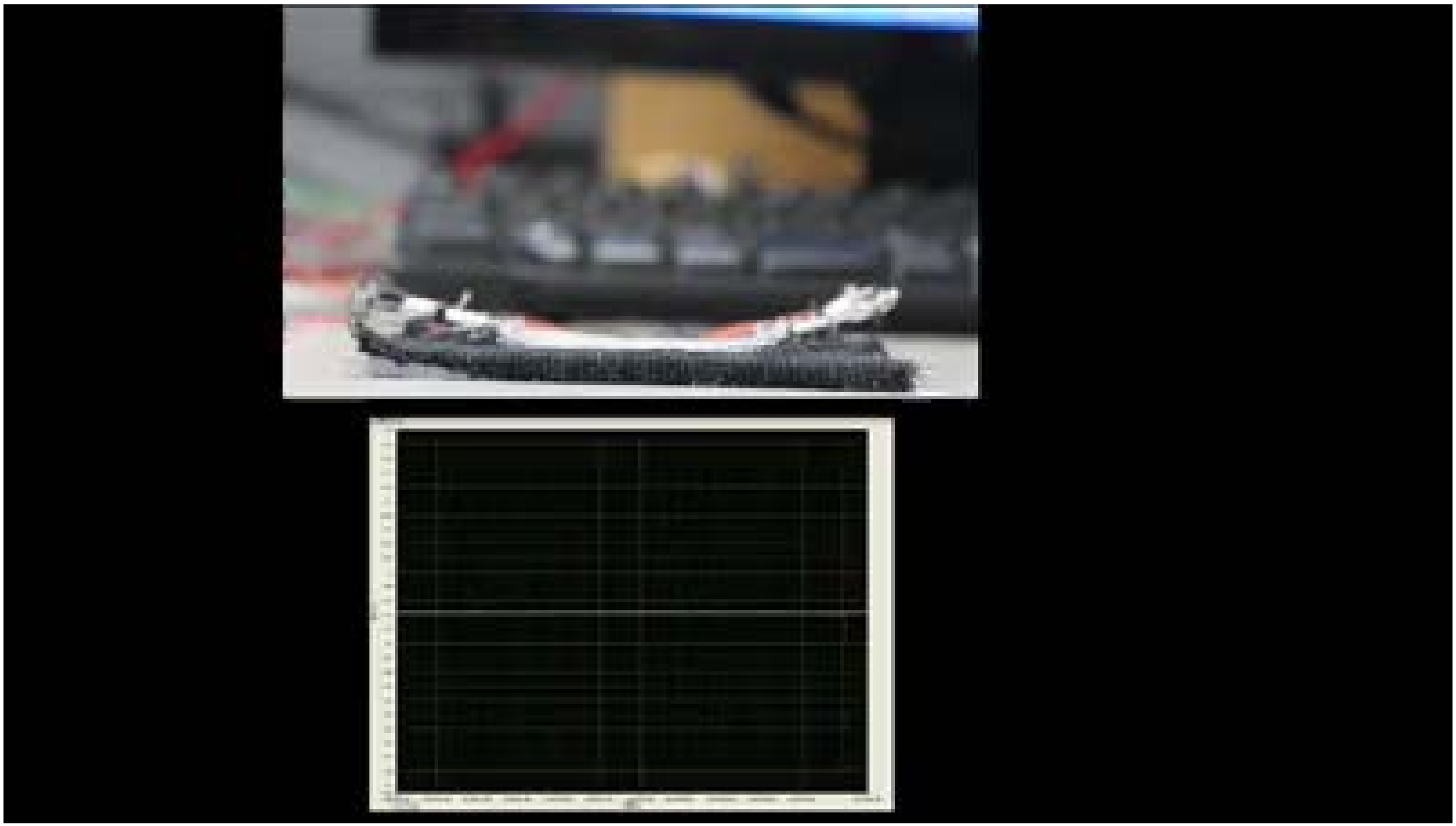
Ho, Araki, Makikawa, Hirai,
IEEE/RSJ IROS 2012



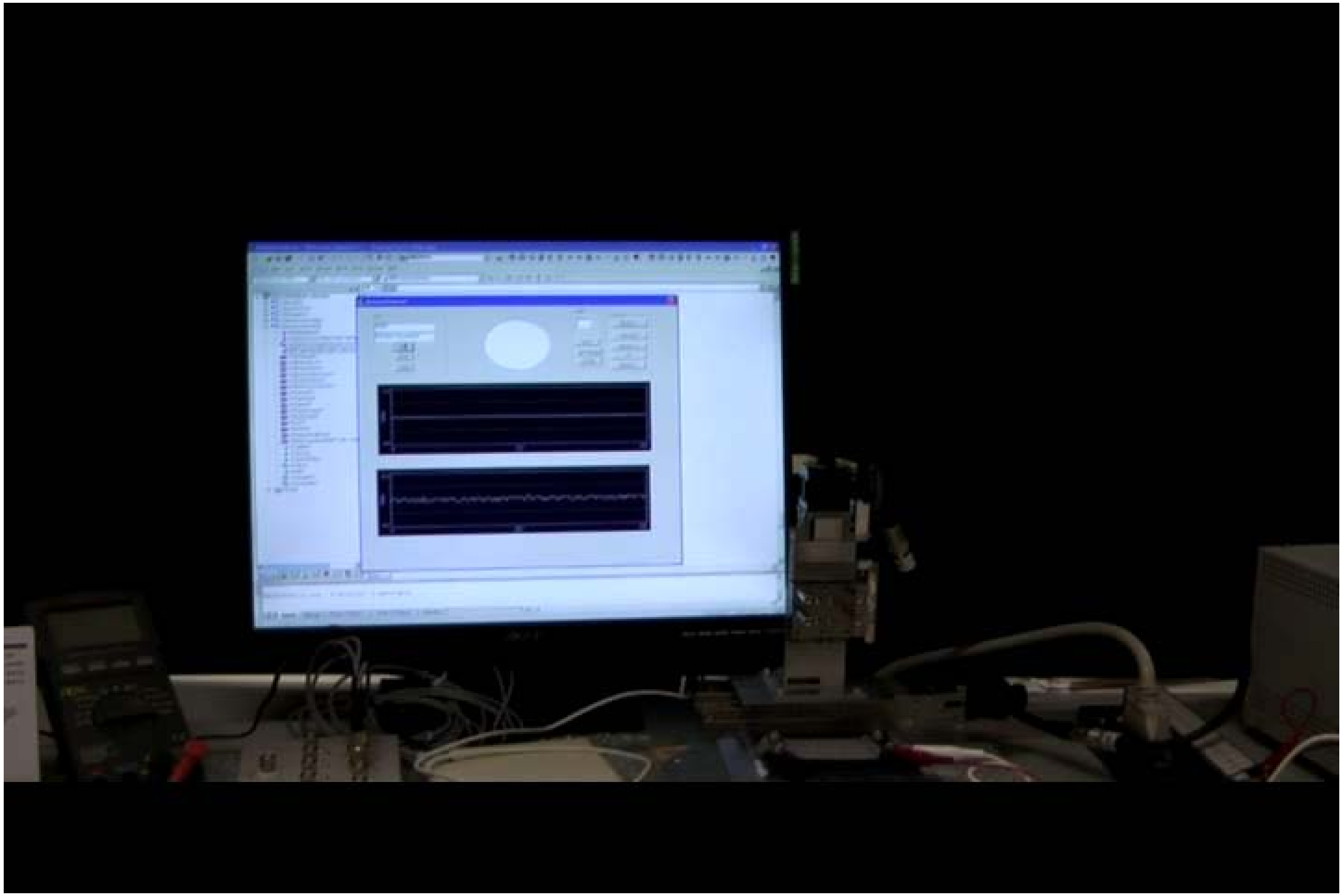
Tactile image processing
Ho, Nagatani, Noda, and Hirai,
IEEE CASE 2012

Ho and Hirai, IEEE HRI workshop, 2012

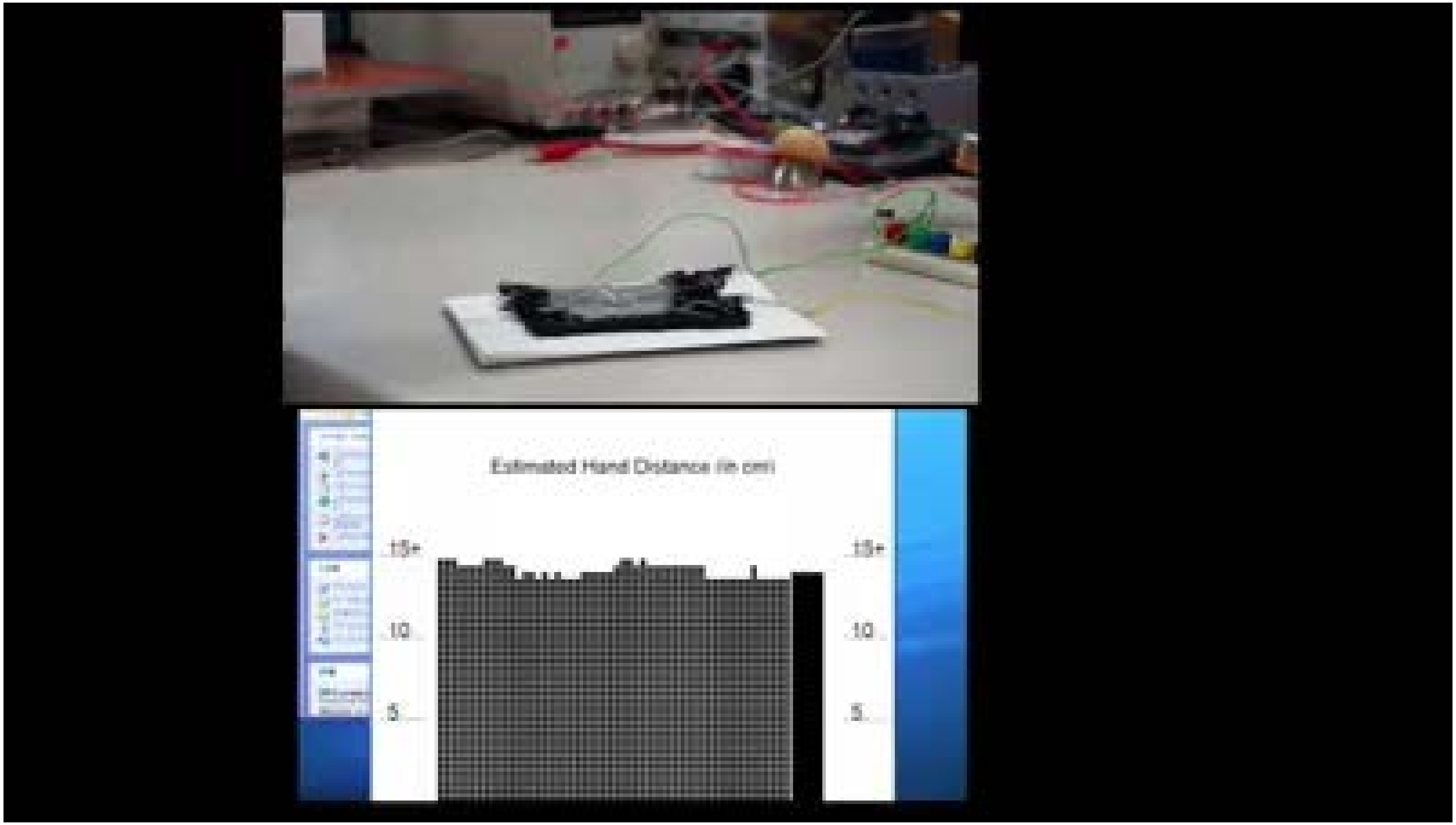
接触センシング



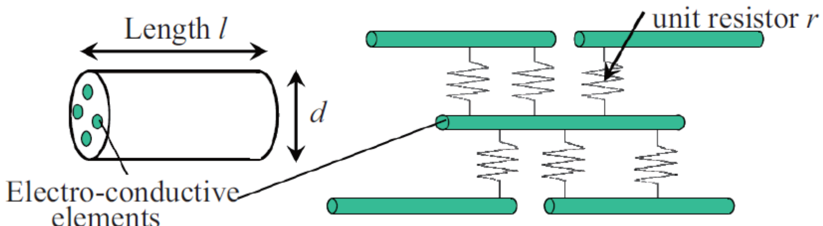
滑りセンシング



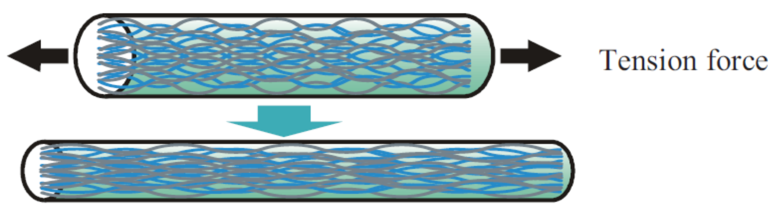
近接センシング



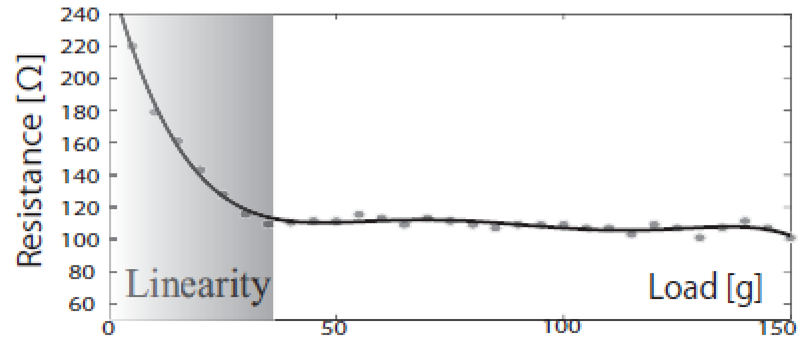
感圧導電糸



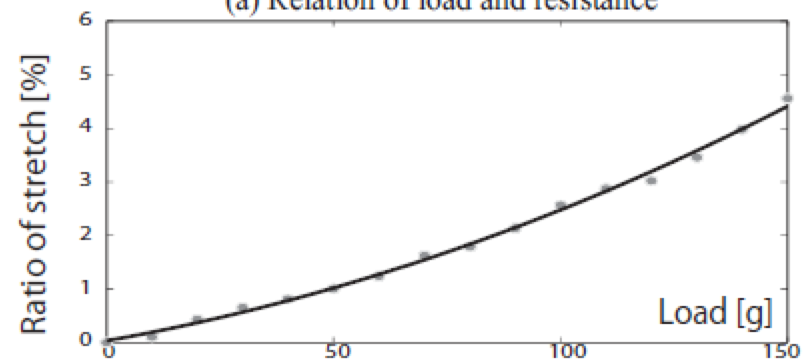
(a) Structure



(b) Density of conductive fibers (blue fiber) increases when tensile



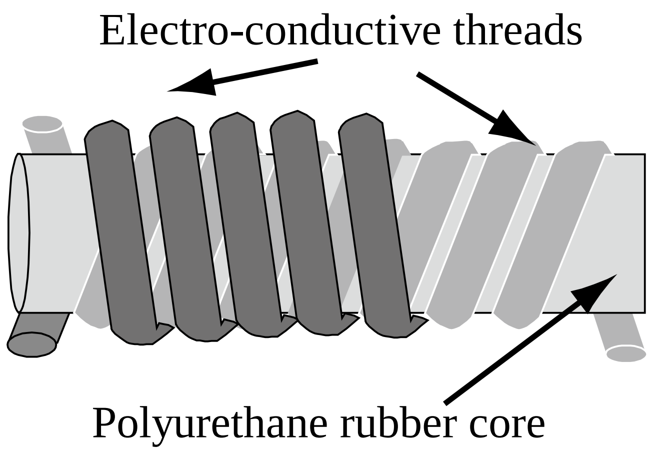
(a) Relation of load and resistance

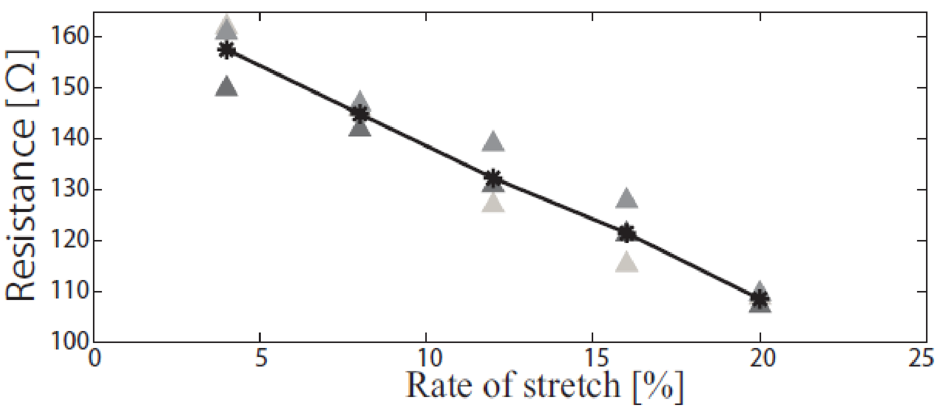


(b) Relation of load and stretch

計測範囲 ~ 2%

感圧導電糸

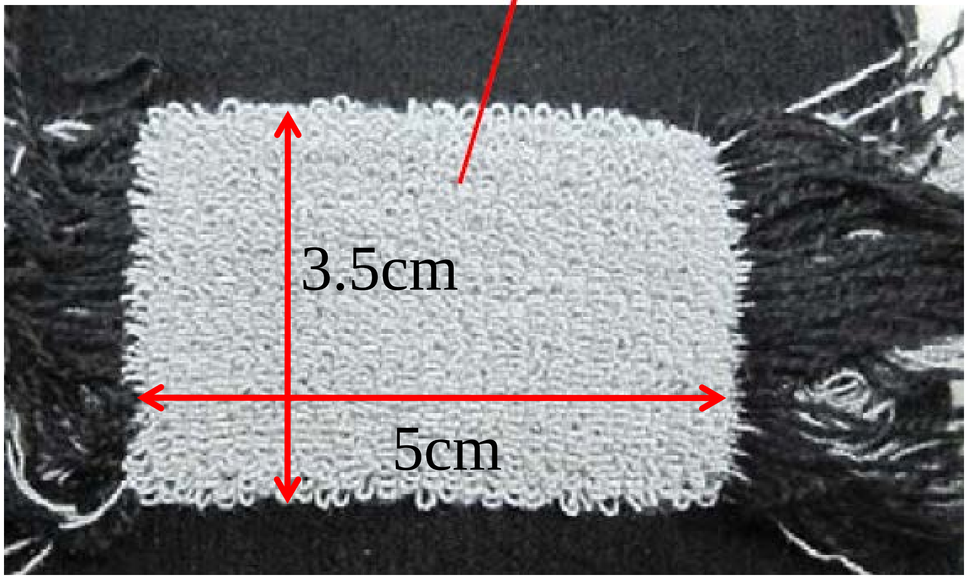


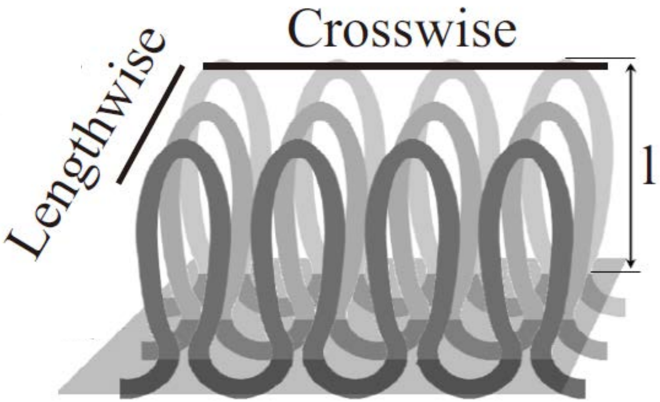


計測範囲 ~ 20%

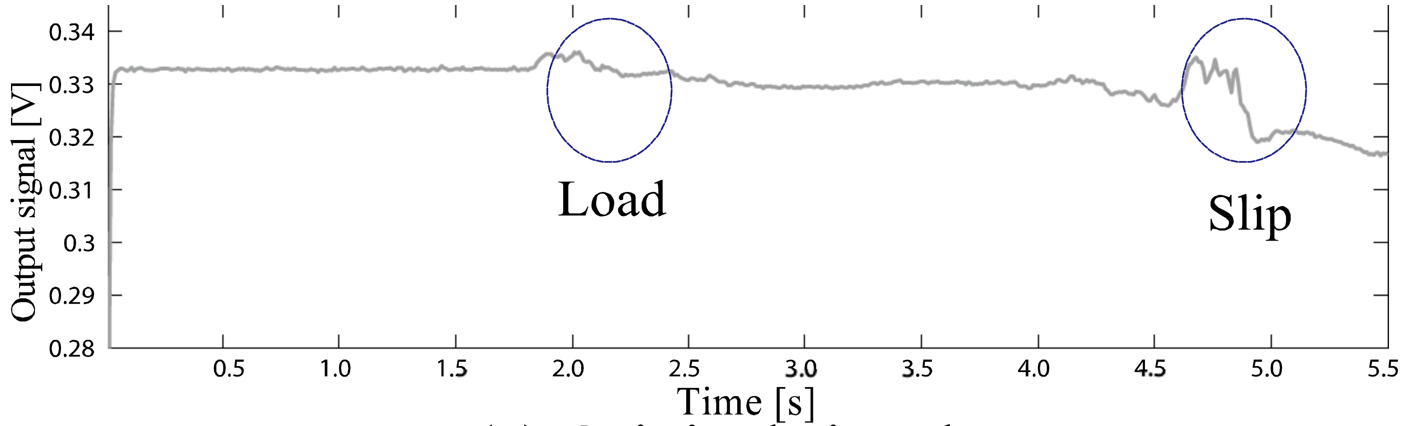
布地センサ

感圧導電糸から成るパイル生地

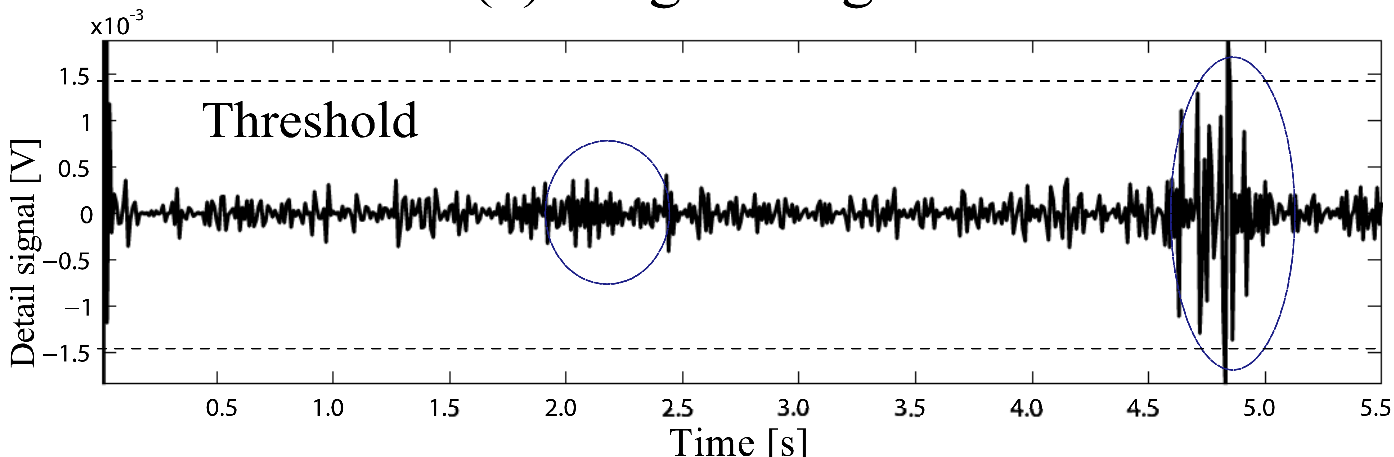




布地センサによる滑りの検出

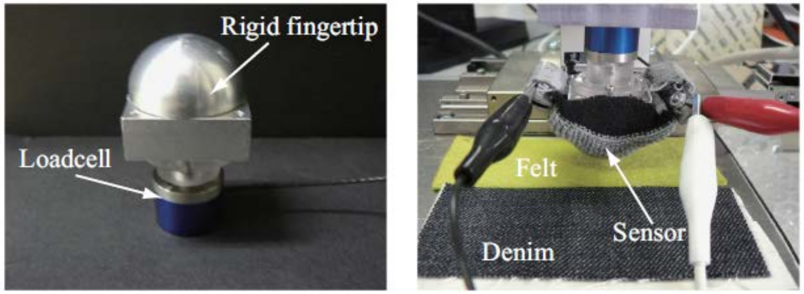


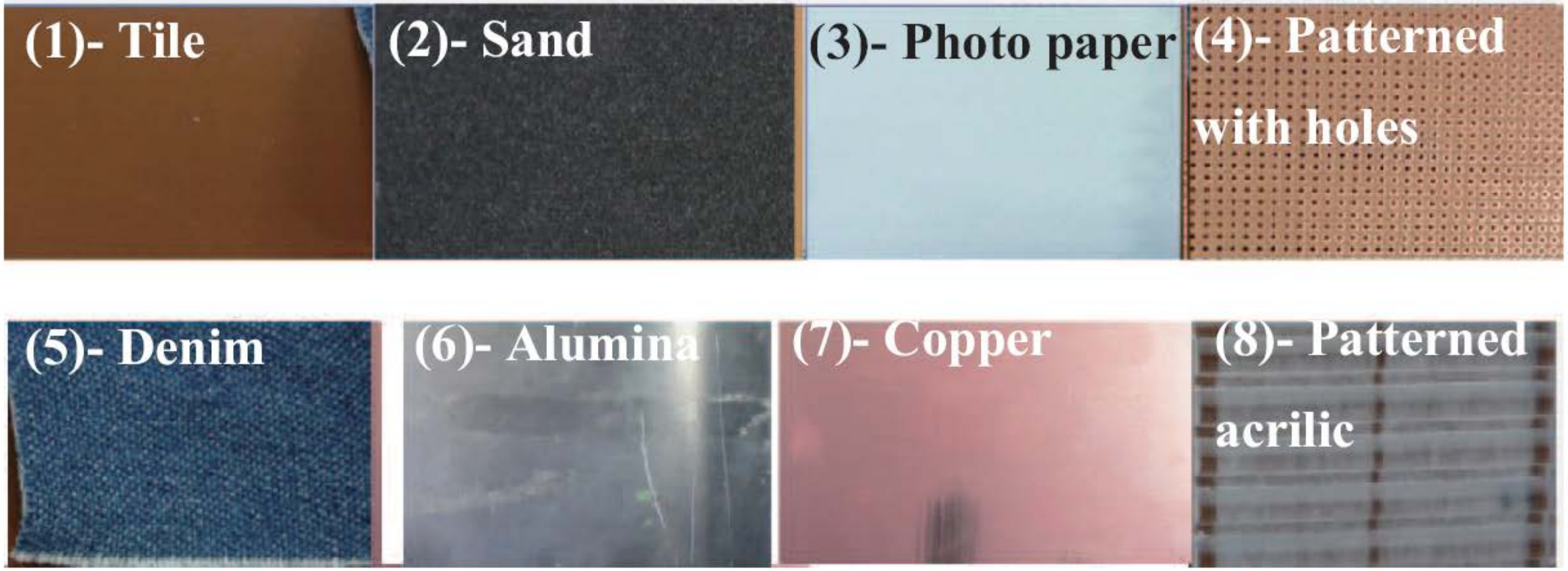
(a) Original signal



(b) Detailed signal

テクスチャーの識別





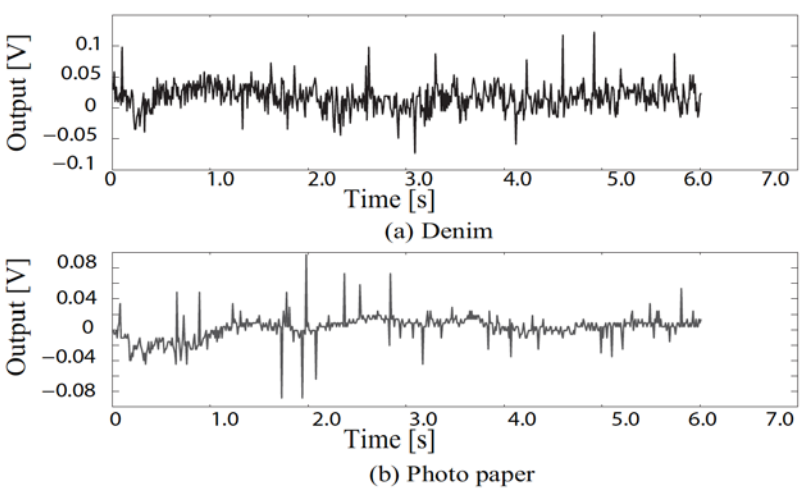
Ho, Makikawa, and Hirai, IEEE Sensors Journal, 2013

テクスチャーの識別

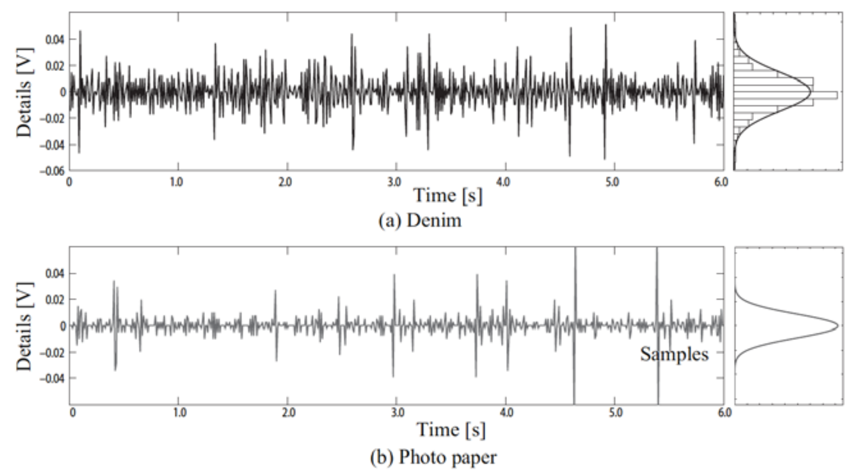
センサ　離散ウェーブレット変換　特徴量の計算　人工ニューラルネットワーク

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

テクスチャーの識別

1mm-pile Sensor

v = 6mm/s

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	90	0	0	0	0	0	0	0
2	0	77	5	0	0	0	0	0
3	10	11	85	8	0	0	6	0
4	0	0	0	73	0	0	0	0
5	0	12	5	19	100	0	0	0
6	0	0	0	0	0	80	5	0
7	0	9	5	0	0	20	89	0
8	0	0	0	0	0	0	0	100

Targeted Value / Predicted Value: 86.5

v = 3mm/s

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	68	0	0	0	0	0	14	0
2	0	93	6	0	11	0	0	0
3	0	7	73	0	13	27	0	0
4	0	0	0	86	13	0	0	0
5	0	0	12	14	63	0	0	0
6	0	0	9	0	0	73	0	0
7	32	50	0	0	0	0	86	0
8	0	0	0	0	0	0	0	100

Targeted Value / Predicted Value: 80.1

v = 1.5mm/s

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	37	0	0	0	0	0	0	0
2	0	81	25	0	0	0	0	0
3	12	0	75	0	0	0	0	0
4	6.5	7	0	68	31	0	0	0
5	6.5	12	0	16	56	13	0	0
6	24	0	0	16	13	87	0	0
7	0	0	0	0	0	0	100	0
8	14	0	0	0	0	0	0	100

Targeted Value / Predicted Value: 75.0

2mm-pile Sensor

v = 6mm/s

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	76	0	0	0	0	10	17	0
2	8	61	25	0	0	0	0	0
3	0	0	65	0	0	0	0	0
4	6	8	0	58	31	0	0	0
5	0	31	10	16	61	13	0	0
6	0	0	0	26	8	77	0	0
7	10	0	0	16	0	0	83	0
8	0	0	0	0	0	0	0	100

Targeted Value / Predicted Value: 72.5

v = 3mm/s

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	66	0	9	34	0	0	49	0
2	0	66	25	0	0	0	0	0
3	34	0	33	8	25	0	0	0
4	0	25	18	58	0	0	0	0
5	0	9	15	0	70	10	9	0
6	0	0	0	0	5	100	0	0
7	0	0	0	0	0	0	42	0
8	0	0	0	0	0	0	0	100

Targeted Value / Predicted Value: 66.3

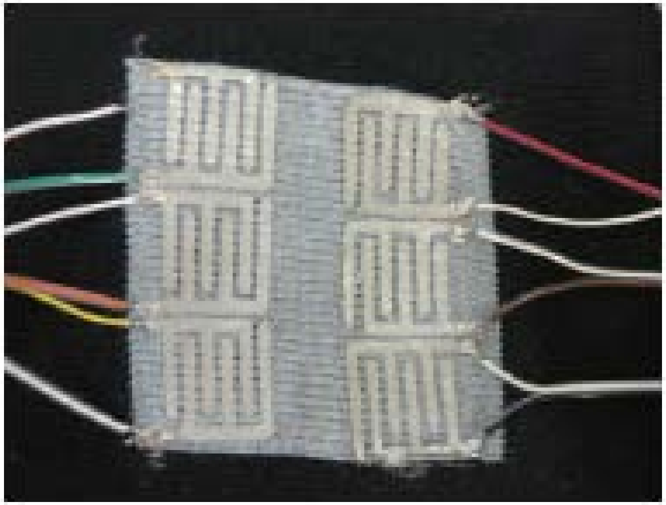
v = 1.5mm/s

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	72.5	12.5	0	6.5	0	0	0	0
2	0	75	6.5	0	15	0	0	0
3	12.5	0	31.5	0	16	0	0	0
4	6.5	0	18.5	50	0	0	0	0
5	8.5	12.5	18.5	18.5	56	10	0	13
6	0	0	0	0	13	90	0	0
7	0	0	12.5	6.5	0	0	100	0
8		0	12.5	18.5	0	0	0	87

Targeted Value / Predicted Value: 69.5

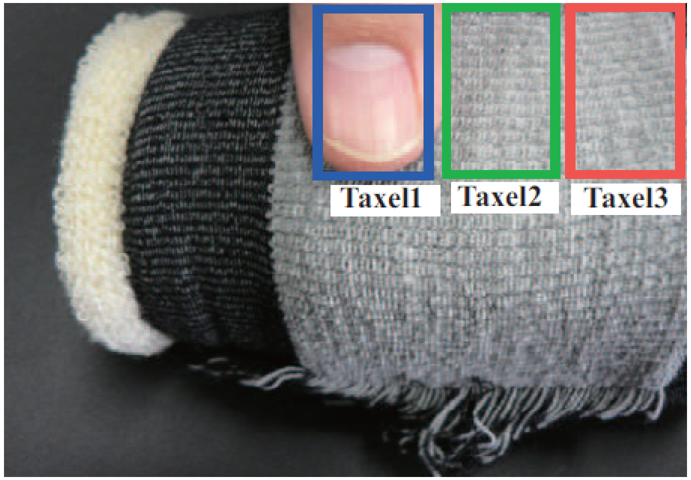
識別率85%程度を達成

多点でのセンシング

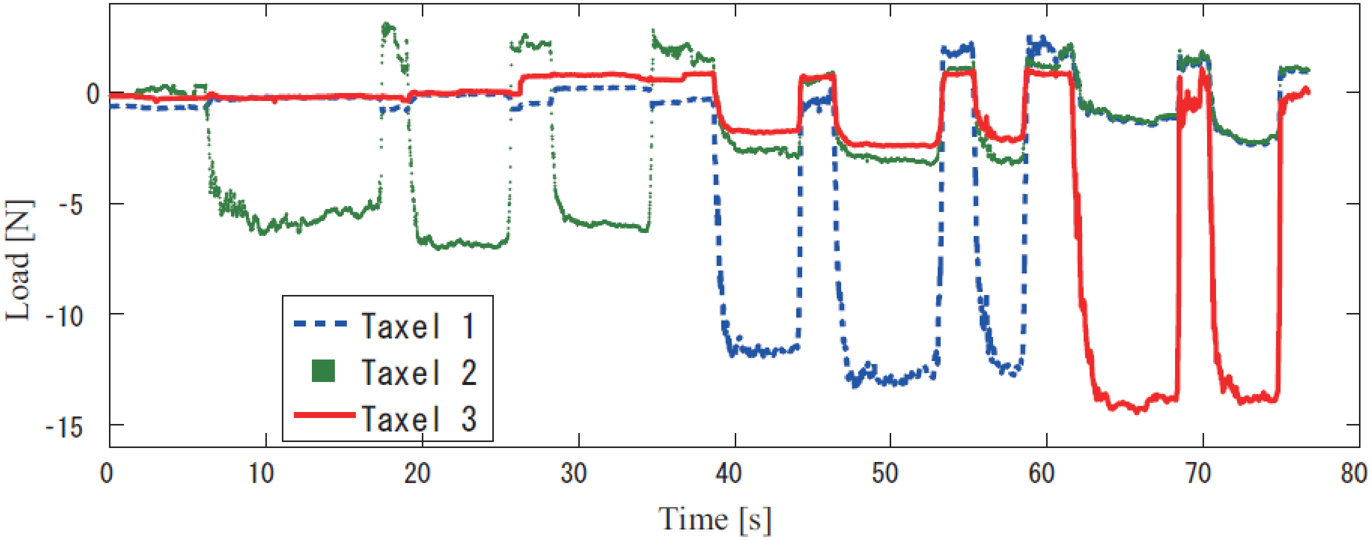


くし状電極

多点でのセンシング

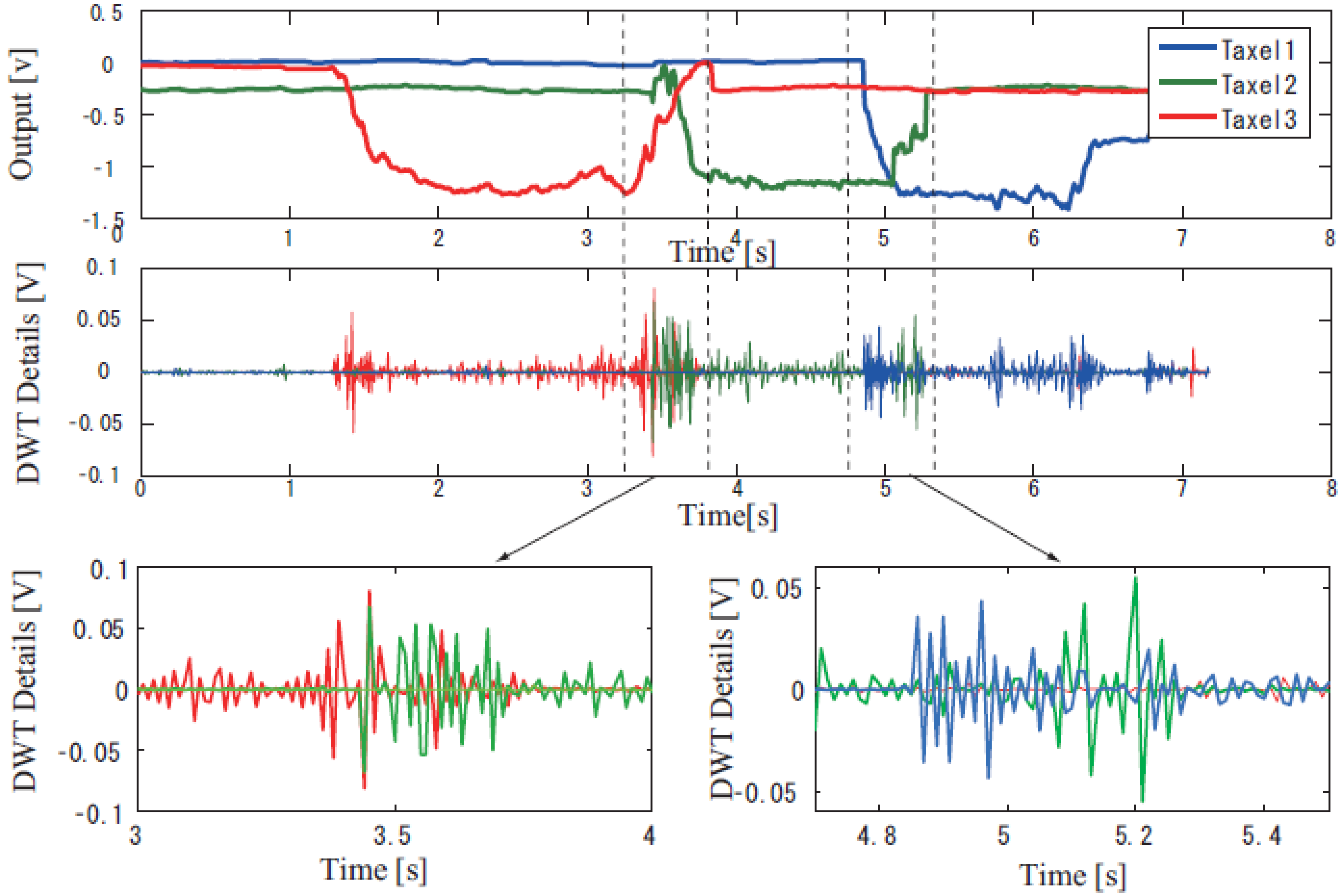


Taxel1
Taxel2
Taxel3



Load [N]
0
-5
-10
-15
Time [s]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Taxel 1
Taxel 2
Taxel 3

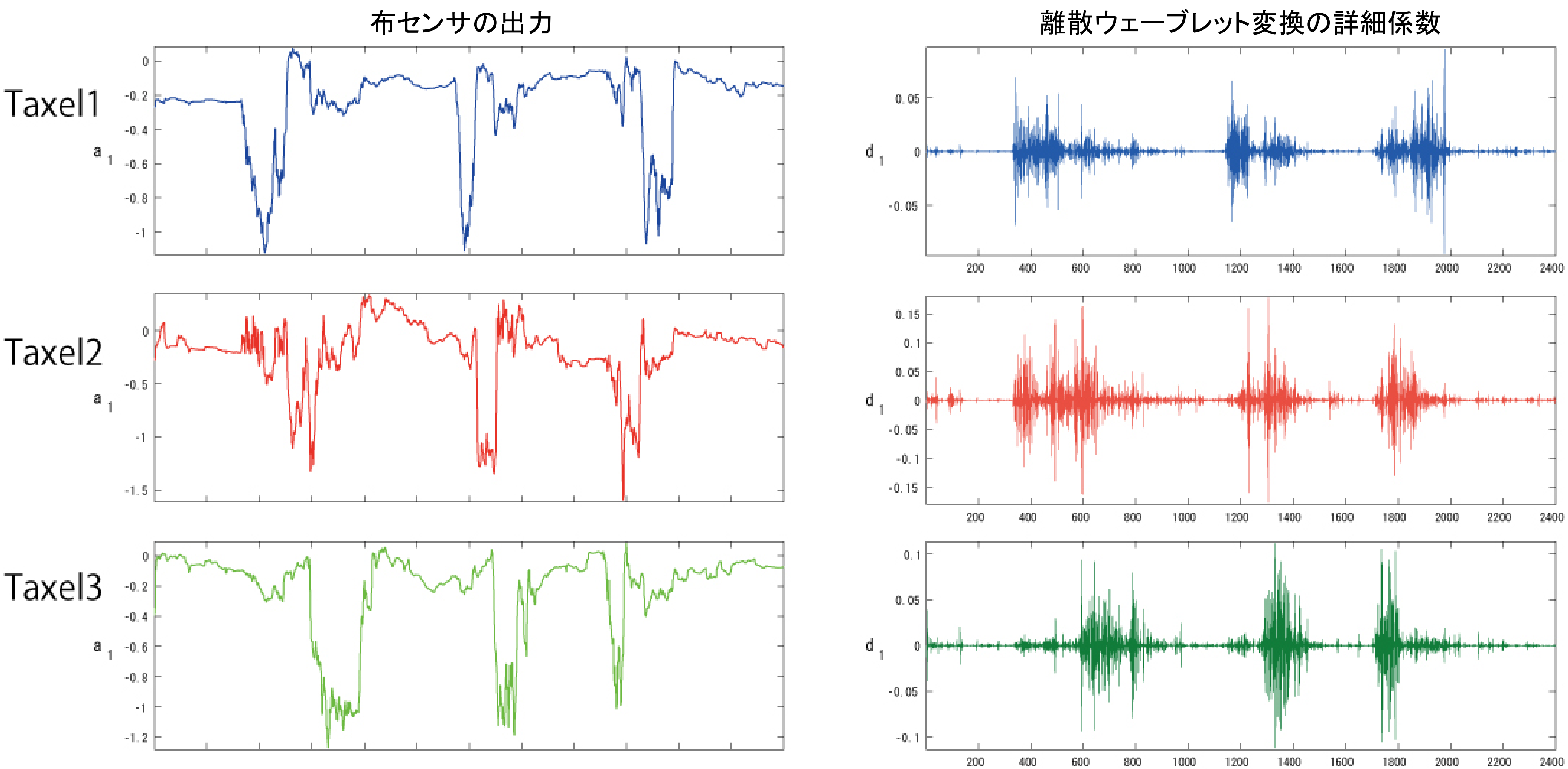
多点でのセンシング



taxel 3からtaxel 1に向けて指を滑らせる

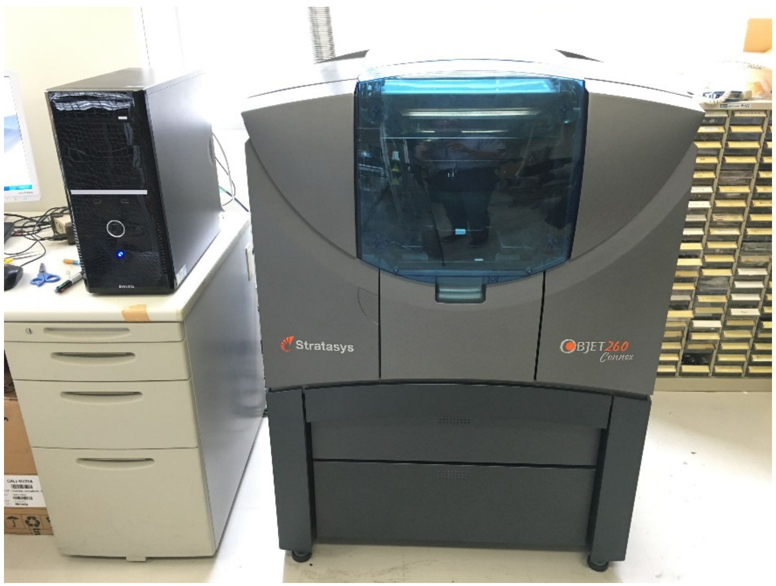
多点でのセンシング

指が動く向き

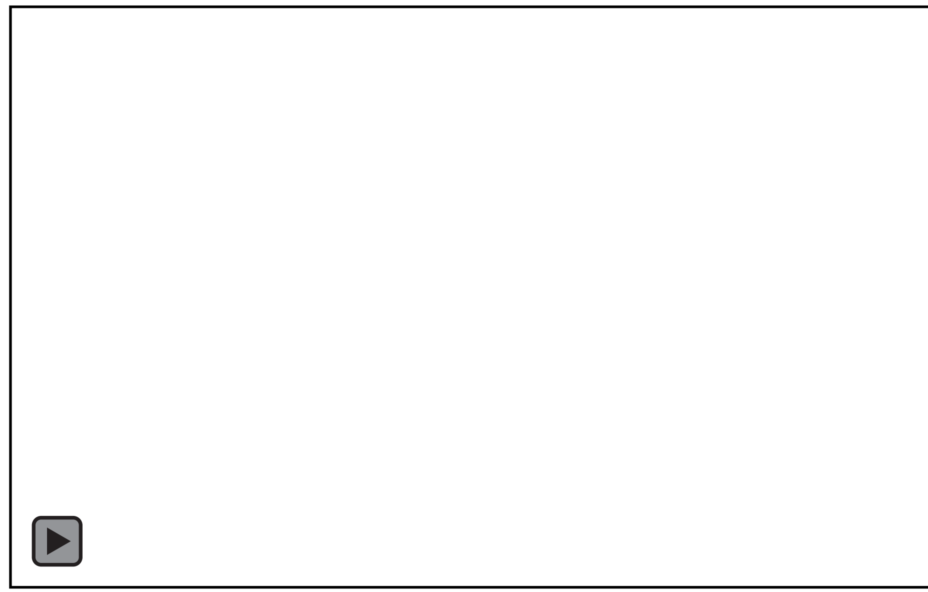


ソフトロボティクスの確立には

ファブリケーションとモデリング



Objet260 Connex (Stratasys)

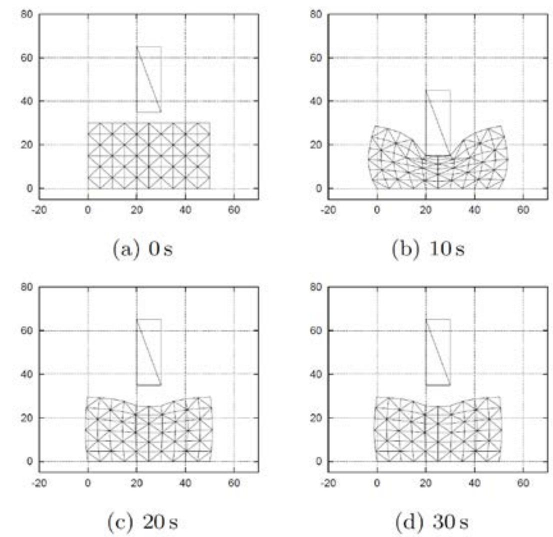


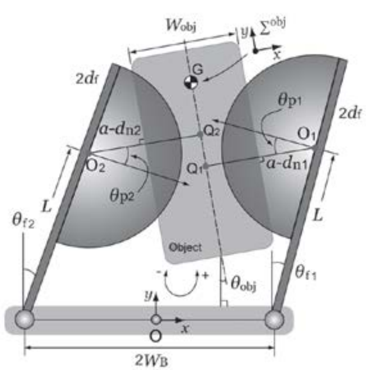
ABAQUS + MATLAB

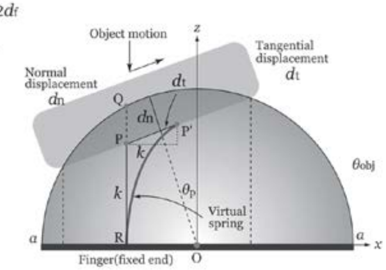
ソフトロボティクスの確立には

力学的解析

フォークト	$\sigma = E\varepsilon + c\dot{\varepsilon}$
マックスウェル	$\dot{\sigma} + \dfrac{E}{c}\sigma = E\dot{\varepsilon}$
三要素 (直列)	$\dot{\sigma} + \dfrac{E}{c_1 + c_2}\sigma = \dfrac{c_1 c_2 \ddot{\varepsilon} + E c_2 \dot{\varepsilon}}{c_1 + c_2}$
(並列)	$\dot{\sigma} + \dfrac{E}{c_1}\sigma = c_2 \ddot{\varepsilon} + \dfrac{E(c_1 + c_2)}{c_1}\dot{\varepsilon}$


(a) 0 s (b) 10 s (c) 20 s (d) 30 s





謝辞


Van Anh Ho


Zhongkui Wang


Damith Chathuranga


Takahiro Inoue


Hisashi Iwamasa


Kaspar Althoefer


Thrishantha Nanayakkara

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/