

手の科学・手の工学

平井 慎一
集積機械知能研究室

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

予定

- 手に関する研究の動機
- 手の科学:なぜヒトは物体を操作できるのか
- 手の工学:巧みなロボットハンドを作る
- 研究室紹介

ヒト固有の機能



最古の二足歩行動物:恐竜



エオラプトル eoraptor
三疊紀後期 late Triassic period
2億3000万年前

デイノニクス deinonychus
白堊紀前期 early Cretaceous period
1億4000万年前 - 1億年前

恐竜から進化した動物:鳥類



オルニトミムス ornithomimus
白堊紀後期 Late Cretaceous period
1億年前 - 6400万年前



道具を使用する動物



チンパンジー



カレドニアカラス



フサオマキザル

道具を作る道具はヒトのみ?

なぜ手による操作の研究か



ヒトの手の巧みさは
他の生物を凌駕

手の科学

巧みさの源は?

手の工学

巧みなロボットハンド

手による巧みな操作



ヒトによる操作の不思議



脳神経系

信号伝達の遅れ
30 - 50 ms

ロボット

数msの遅れが限界

なぜヒトは信号伝達の遅れに関わらず物体を操作できるのか?

ヒトによる操作の不思議



ヒトの指

柔らかい指先
裏に硬い爪

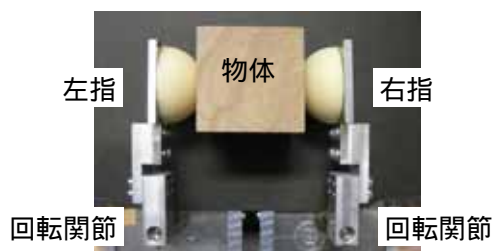
他の動物とは異なる



指と爪の構造が巧みさに寄与しているのではないか?

柔軟指操作: 観察

一对の硬い爪部で支えられた
柔軟指による物体操作



柔軟指操作: 観察

両方の指を内側に動かす



変形(把持力)が小さい

変形(把持力)が大きい

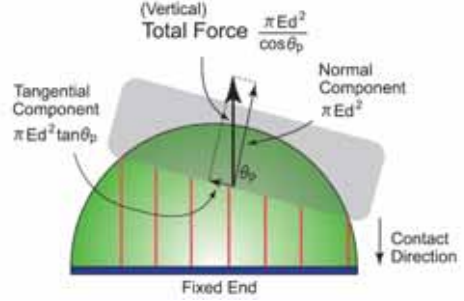
把持力を制御できる

柔軟指操作: 観察
両方の指を同じ向きに回す



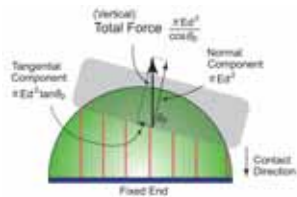
物体の姿勢を制御できる

柔軟指操作: モデリング
平行分布モデル



Inoue and Hirai, IEEE TRO, 22-6, 2006

柔軟指操作: モデリング



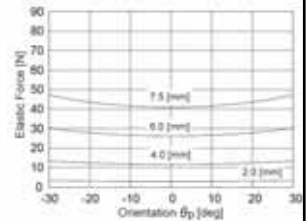
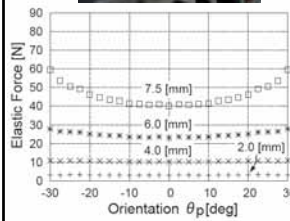
$$F_{\text{perp}} = \frac{\pi E d^2}{\cos \theta_p}$$

力の大きさは物体の接触面と爪の面との相対角度に依存

柔軟指操作: モデリング



$$F_{\text{perp}} = \frac{\pi E d^2}{\cos \theta_p}$$



柔軟指は必要な自由度を減らす



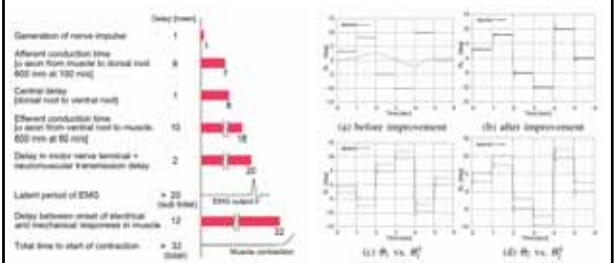
剛体指



柔軟指

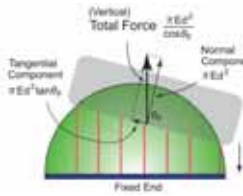
把持力のみ制御	一対の一自由度指 (合計2自由度)	→	一本の一自由度指 (合計1自由度)
把持力と物体の姿勢を制御	一自由度指と二自由度指 (合計3自由度)	→	一対の一自由度指 (合計2自由度)

柔軟指は遅れを許容する



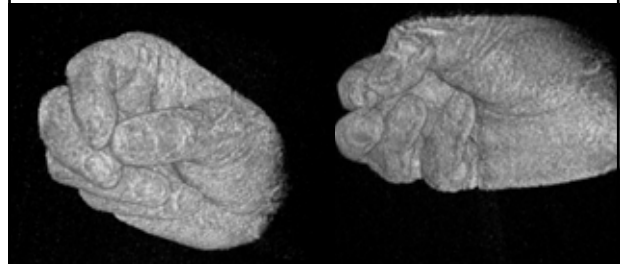
Inoue and Hirai, IEEE/ASME AIM, 2010

柔軟指操作



Inoue and Hirai, Springer, 2009

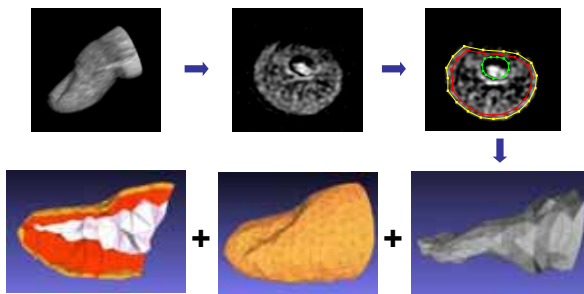
ヒトの指のモデリング



摘み動作

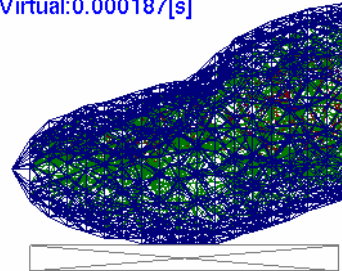
ペンの把持

ヒトの指のモデリング



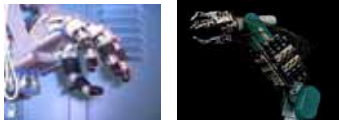
ヒトの指のモデリング

Virtual:0.000187[s]



手の工学

多指ハンド



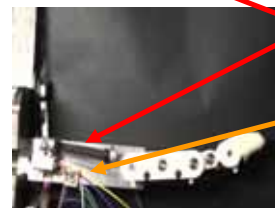
三本以上の指
各指:二自由度以上
複雑なメカニズム
複雑な制御則

↓
単純な構造
単純な制御則

一自由度指の試作



ヒトと同程度のサイズ
指先をスキャン
形状データ作成
ラピッドプロトタイピング



マッキベン空気圧
アクチュエータ

小型無拘束ポペット弁

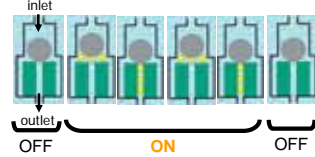
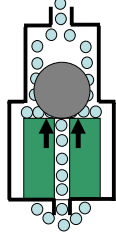
小型空気圧弁



小型無拘束ポペット弁



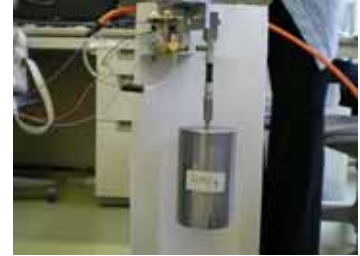
駆動回路



小型空気圧弁



マッキベン空気圧アクチュエータ



Sumadi, Honda, and Hirai, IEEE/ASME Trans Mech., 2009

触覚



柔軟指による触覚



Van and Hirai, IEEE ICRA, 2010

メンバー

助手	1名
ポストドクトラルフェロー	1名
博士後期課程	3名
博士前期課程2回生	6名
1回生	8名
学部4回生	9名

アクティビティ

2011年5月まで

論文	3編	IEEE TRO, Advanced Robotics, J. Food Eng.
国際会議	3件	IEEE ICRA x 2, ICMMA
口頭発表	1件	ロボティクスシンポジア

2010年

論文	2編	J. Robotics & Mech., 日本ロボット学会誌
国際会議	15件	IEEE ICRA x 3, IEEE/ASME AIM, IEEE/RSJ IROS x 2, IEEE ROBIO x 2 等
口頭発表	13件	RoboMec x 4, 生体医工学, センサシンポ, ロボット学会 x 4 等

集積機械知能研究室 平井研究室

教授 平井 慎一

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

集積機械知能研究室では、ソフトロボティクス、柔軟指操作、柔軟ハンドリング等、力学を基礎とする機械システムの知能化に関する研究を幅広く推進しています。

CMOS+FPGA ビジョン
高速(1msec)で高精度
(1000x1000画素)のビジュアル
フィードバックを実現



柔軟指操作
柔軟な指先を持つハンドに
より物体を安定かつ繊細に
操作



移動距離ソフトロボット
最も小さいボディの形状
により移動し展開する
ロボット



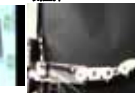
生体組織モデリング
MR画像を基に非一様な
特性を示す生体組織の
力学モデルを構築



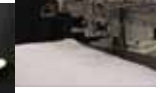
マイクロ振動輸送
非対称な表面と対称な膜により
マイクロパーツの一方向の輸送を
実現



マイクロ流体弁
微拘束弁という新しい機
能を有する小面積空気圧
弁



布地操作
布地の広げ操作を実行する
機械システムを構築



テンセグリティロボット
テンセグリティ構造の形状
により移動するロボット



テンセグリティロボット



テンセグリティロボット



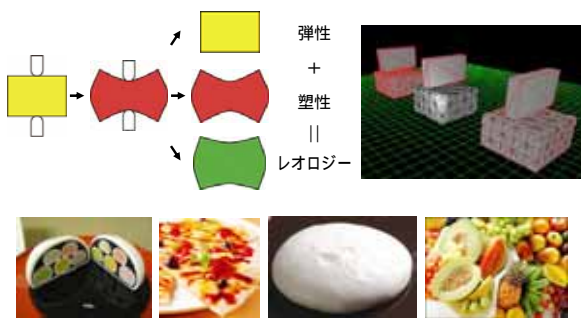
造語: 完全な張力
tension + integrity

構成要素
- 剛体棒
- 弾性系

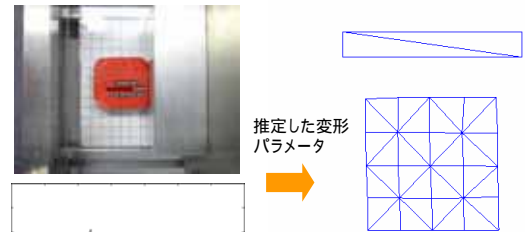
弾性系 → マッキベン
空気圧アクチュエータ

Shibata and Hirai, CLAWAR, 2010

レオロジー物体モデリング



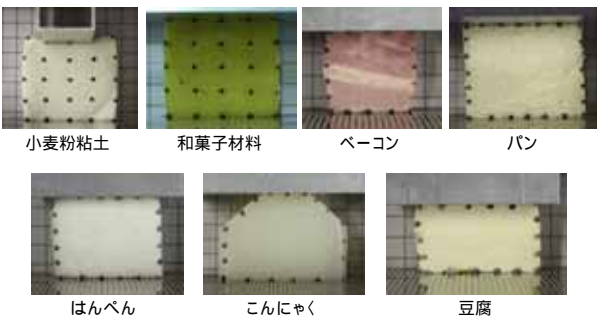
レオロジー物体モデリング



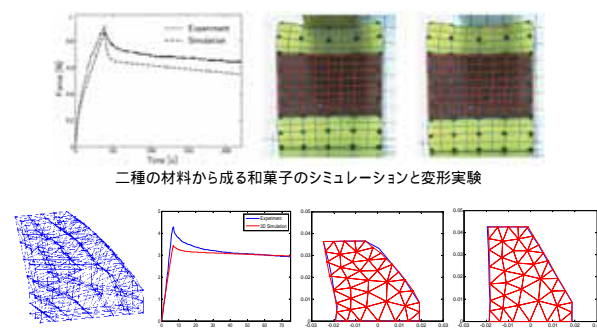
Progress : Virtual:8.600000[s]

Wang and Hirai, J. Food Eng.,
102, 2011

レオロジー物体モデリング



レオロジー物体モデリング



二種の材料から成る和菓子のシミュレーションと変形実験

自然形状のベーコンのシミュレーションと変形実験