

柔軟物ハンドリング ー実用化と学術研究の両面からー

Handling of Deformable Objects - Towards Practical and Academic Research -

平井 慎一
立命館大学 ロボティクス学科

日本機械学会
ロボティクスメカトロニクス部門
第7地区講演会



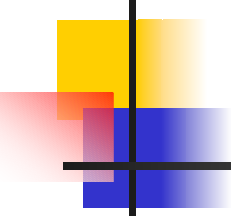
学術的背景

剛体 ハンドリング

→ 技術的・学術的に完成

柔軟物 ハンドリング

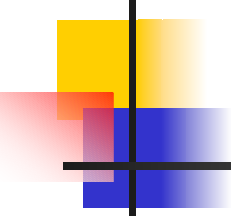
→ 未開拓



受託研究

- 靴下の自動リンクング
- ピザ生地 of 自動成形
- パッケージの整列

柔らかく変形しやすい対象物



社会的背景

食品産業・生物生産産業

食材のピックアップ・プレース

食材の包装, 整列, 箱詰め

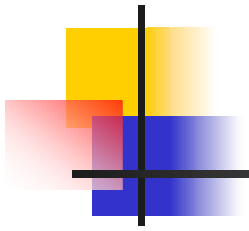
生物・生体のハンドリング

リサイクル産業・インバース生産

家電, 自動車の分解, 分別

遠隔手術・医療支援ロボット・バイオ

生体組織, 細胞のハンドリング



方針

単純な制御則

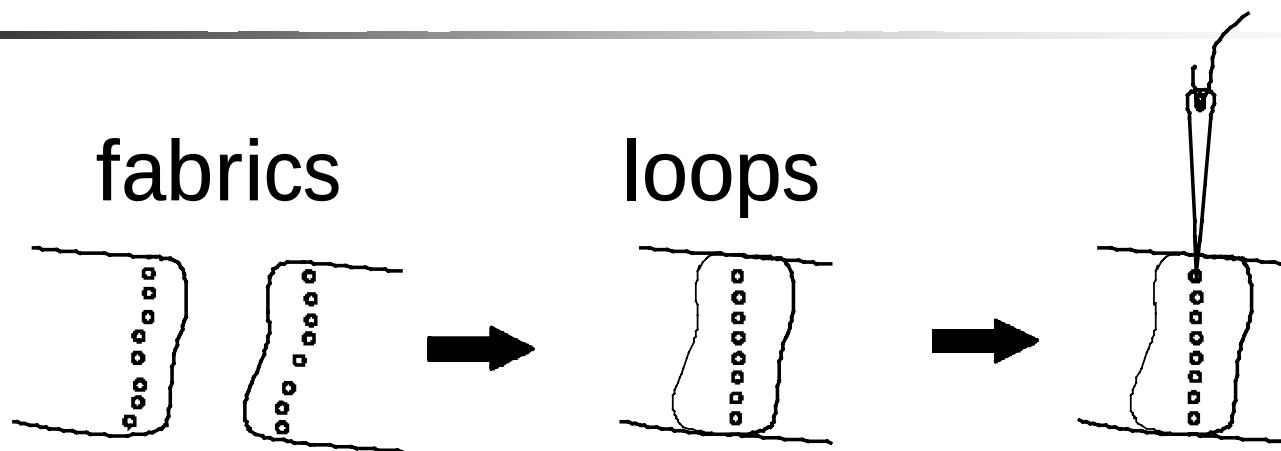
粗いモデル

ロバストな制御則

単純なメカニズム

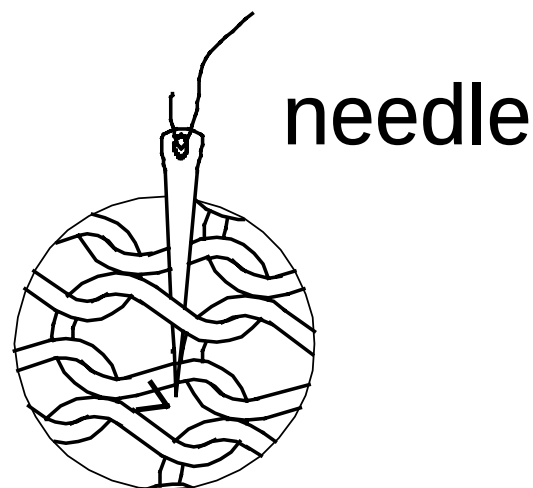
分散マニピュレーション

靴下の自動リンクング



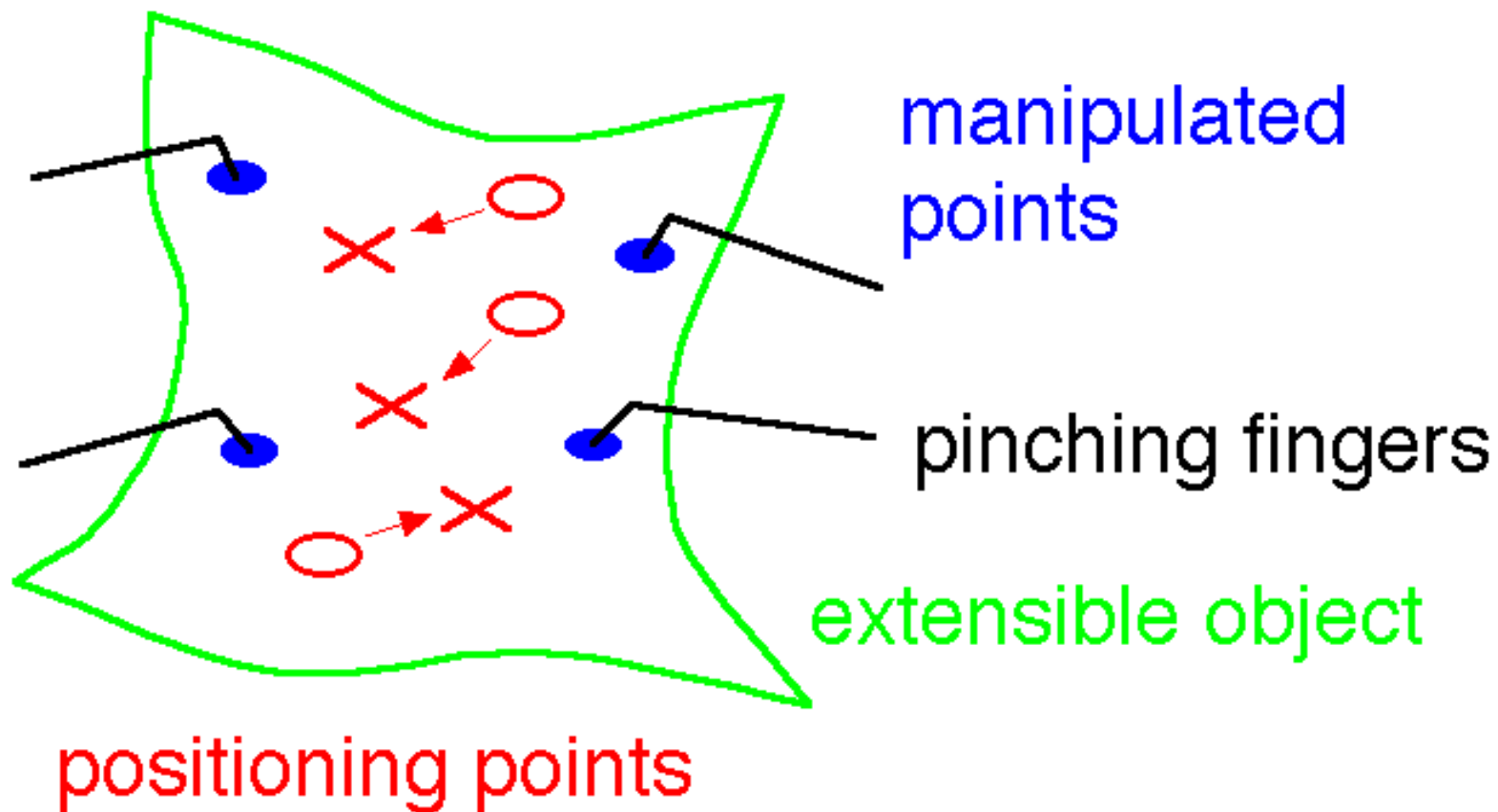
リンクング linking

二枚の布地の
ループを合わせ
縫製する



布地の間接同時位置決め

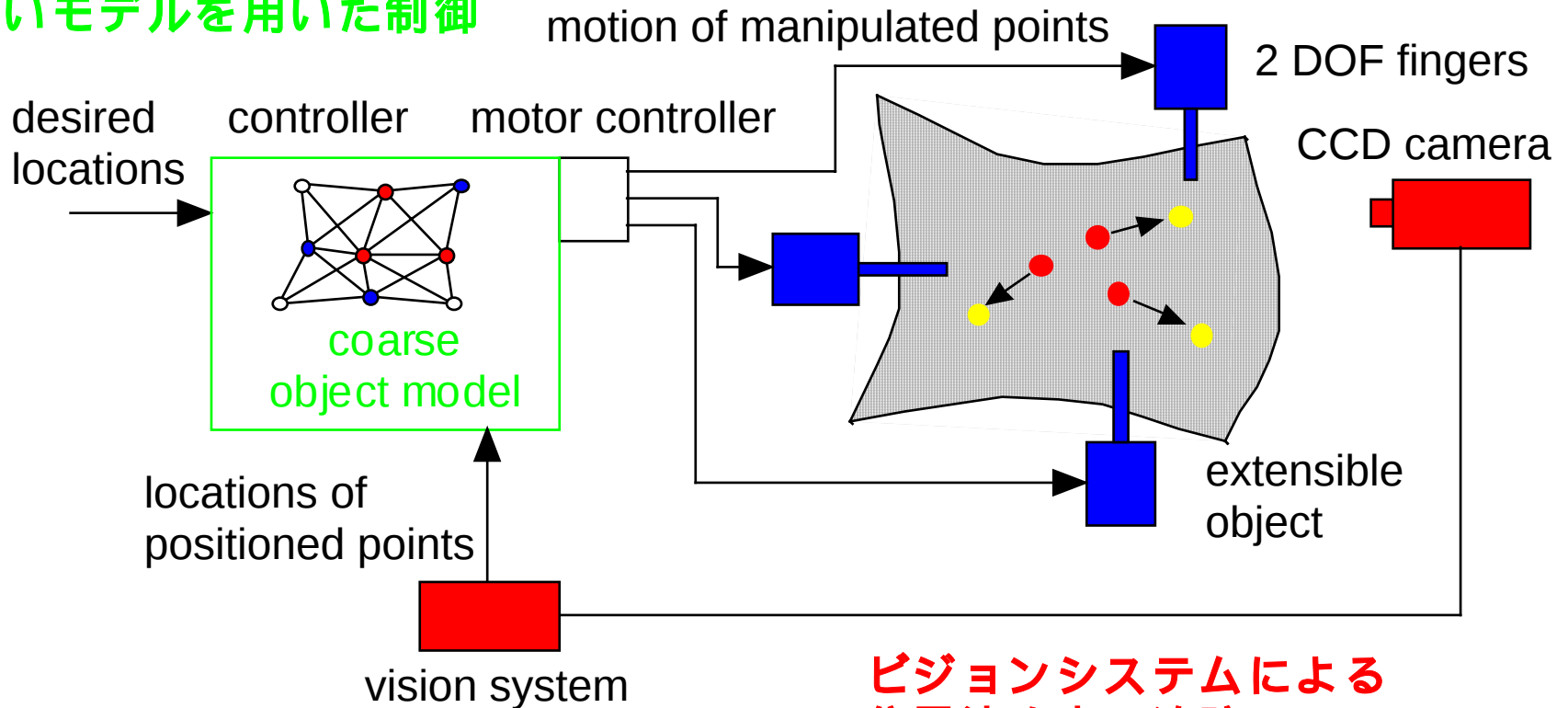
Indirect Simultaneous Positioning



粗いモデルに基づく制御

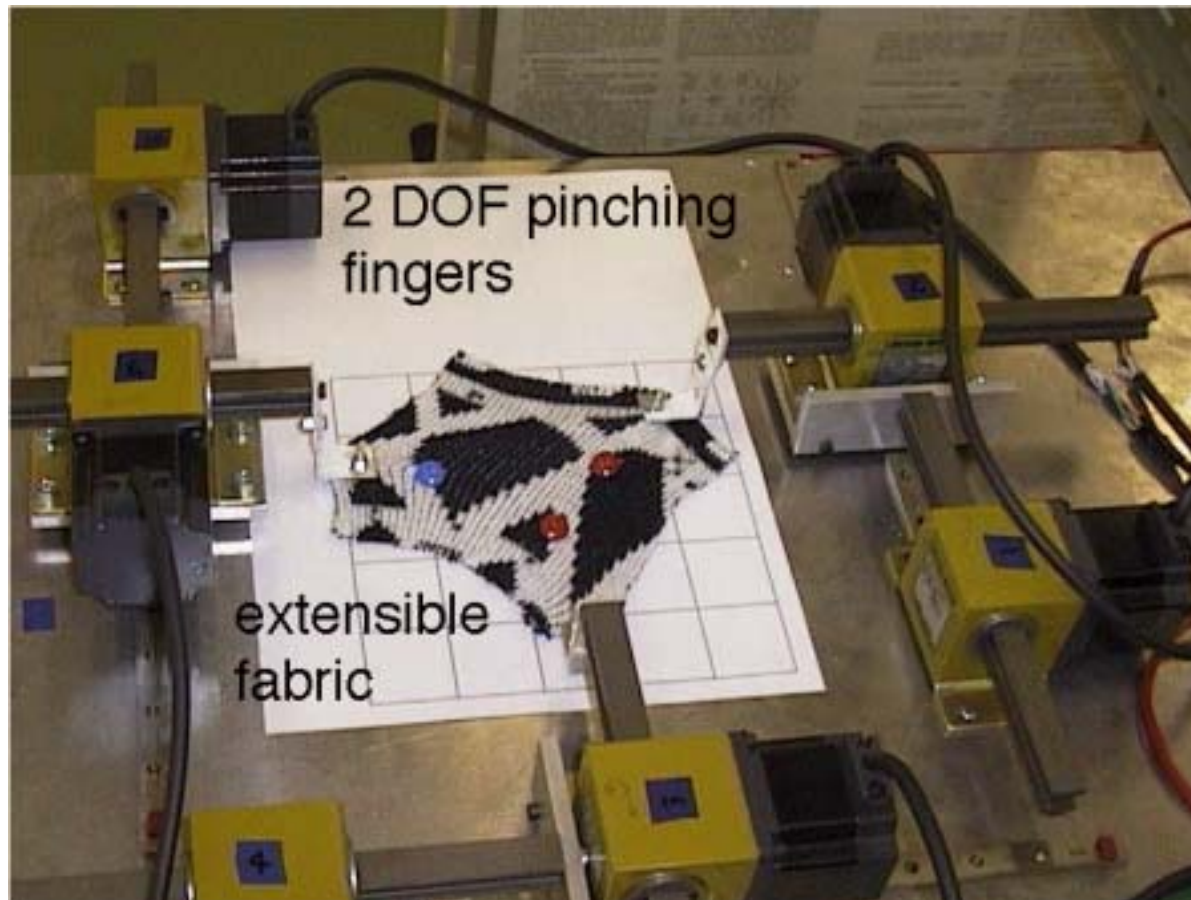
複数2自由度指による操作

粗いモデルを用いた制御

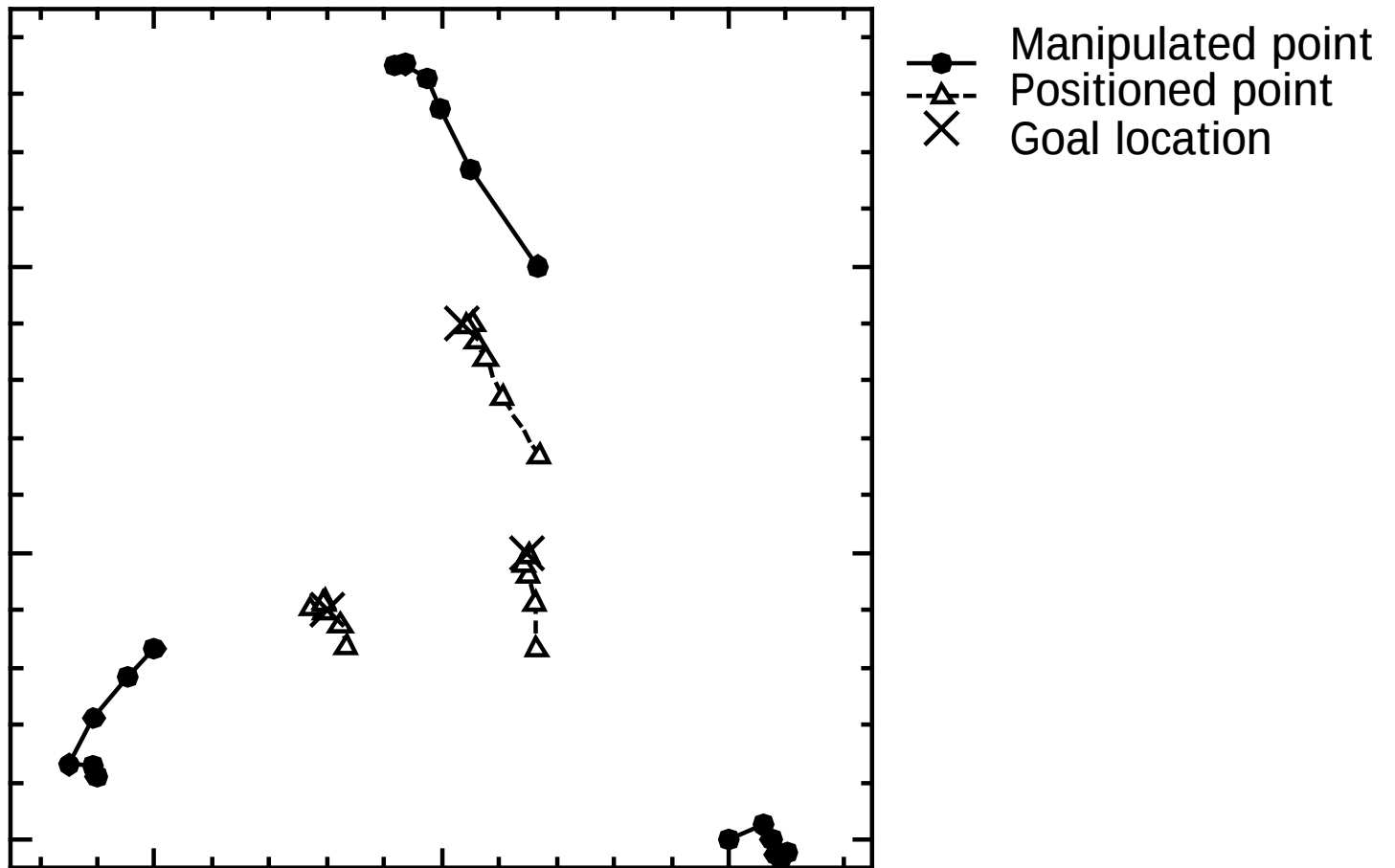


ビジョンシステムによる
位置決め点の追跡

制御システムの構成



実験結果





間接同時位置決めのロバスト性

粗いモデル

離散線形バネモデル

パラメータ推定誤差 (10倍 or 1/10倍)

位置決め作業が成功

理論的にも一部証明

忠
 小売へ本格参入

日本とヨーロッパで注目の動き

靴下のリンキング問題 今世紀中解決の可能性

立大と産学協同で
 今年中にも実用機
 開発中、ダン

靴下、特にソックスのリンキング（爪先がかり）は、もとより手作業による本かりが行われていた。人手に頼るほかなく、高い熟練度を要することから、その確保も難しくなる中で、中級品以下の商品では、ほとんどが「ロソ」に代表される自動機による機械がかりへと移行してきた。しかし国内の靴下業界には、かねてから品質面を重視した、より本かりに近い自動機の開発を希望する両者が数多くあり、高品位な自動リンキング機の開発は水産のテーマとされてきた。

FASTで発表
 6月

ロナティ、マテッ
 ーズド・トゥ編

ダンが特許

靴下業界が永遠の課題としてきたリンキングの自動化が、二つのアブ
 能性が出てきた。靴下の専門店チェーン「靴下屋」を推進するダン（本
 座業革新基盤整備（TIP）事業の関連で、かねてから立命館大学と
 結んでいたが、先日この試作機が完成、既に特許を申請した。年内にも実用
 国内の靴下業者などへの販売を想定している。一方、欧州ではロナティ、
 軸に、編機上でリンキングを行う「クロースド・トゥ」編機の開発が進
 ・ペローナが開発される国際靴下機械展「FAST」への出展が見込ま

年間の予備調査を経て一昨
 年四月から、TIP事業
 の一環として立命館大学と
 の産学協同でソックス用の
 高品質な自動リンキング機
 の開発に着手。ダン側が七
 人、立命館大学側が山村教
 授をはじめとする三教授と
 大学院生五人の八人の合計
 十五人による「リンキン
 ・プロジェクト」によって
 今年一月十九日には試作機
 が完成し、四月二十日付で
 基本特許を申請した。

現在、特許申請中の段階
 であることから、その詳細
 は明らかにされていない
 が、同社の説明を総合する
 と、今回開発された自動リ
 ンキング機は、ロボット技
 術と光学カメラ技術を用
 したコンピュータ制御の
 一対一リンキン
 に似ては、工程
 の自動化、省力化に
 ら、コスト削減、
 力低下、編機メカ

マートが八一年に発売して
 以来、製品調達が物量面で

伊勢田によると、
 東京、神、物産型

柔軟物の把持操作

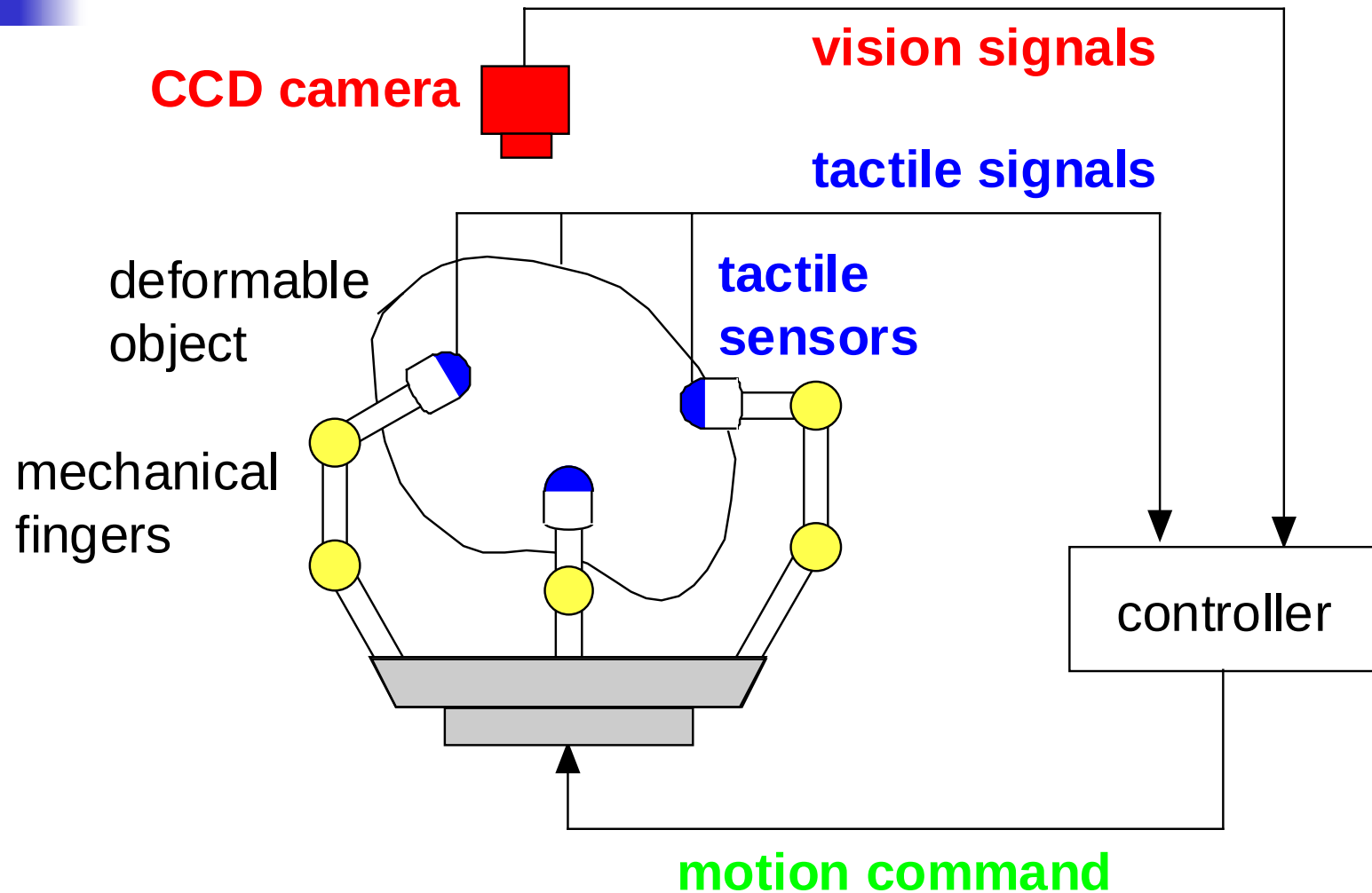


把持 grasping
操作 manipulation

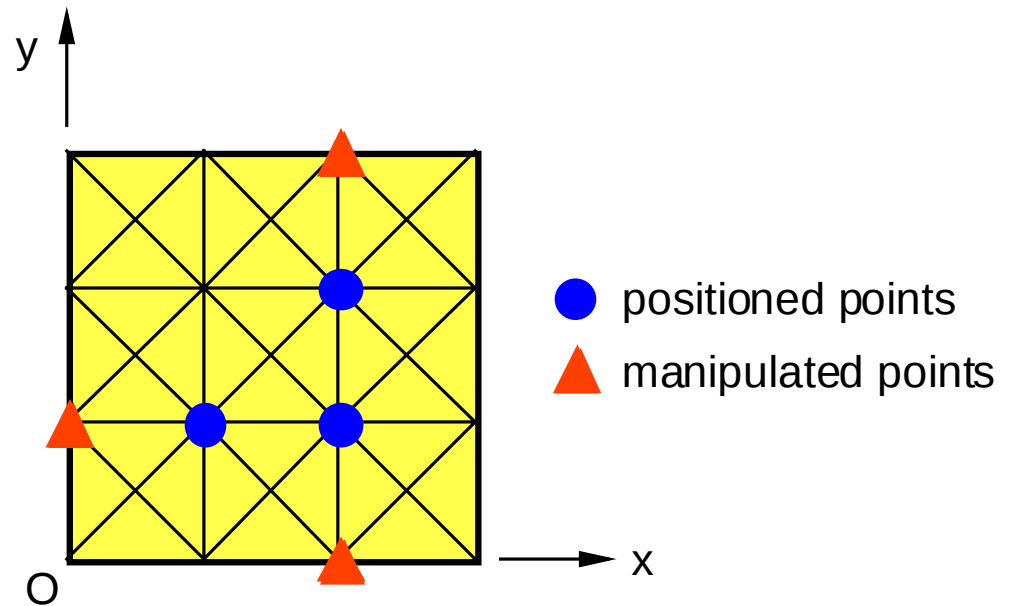
不可分

面接触
変形
滑り・転がり

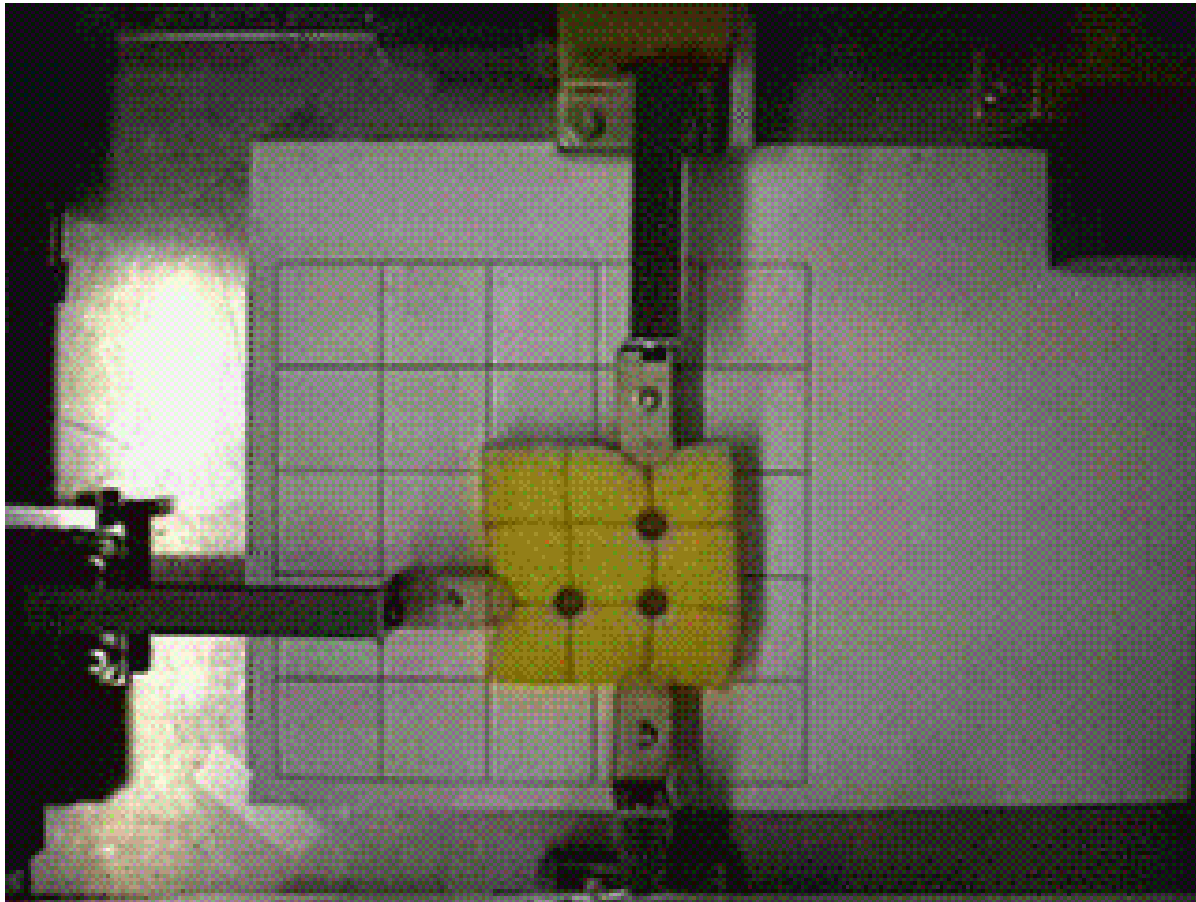
把持操作制御システム



把持操作の粗いモデル



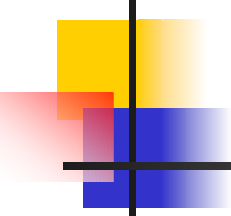
スポンジの回転操作





結論

- 間接同時位置決め
柔軟物ハンドリングの基本操作
- 粗いモデルに基づく制御
ロバスト性を実験的に示す
理論的に一部証明
- 柔軟物の把持制御
シミュレーションによる評価
実験的に一部示す



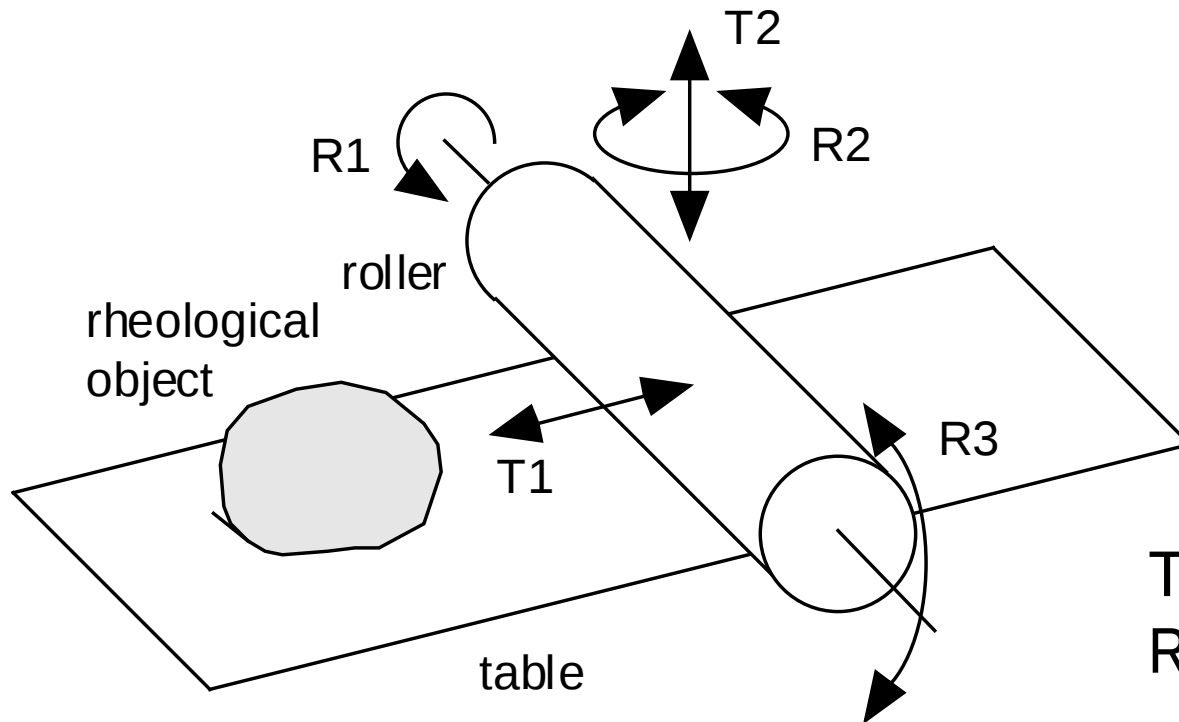
ピザ生地 of 自動成形

材料の混合 , 生地 of 伸長は自動化
生地 of 成形は , 人手に依存

- 伸ばしつつ成形
- × 型に入れる方式は , ガスが抜けない

食品生地 **レオロジー物体**

成型機械の自由度



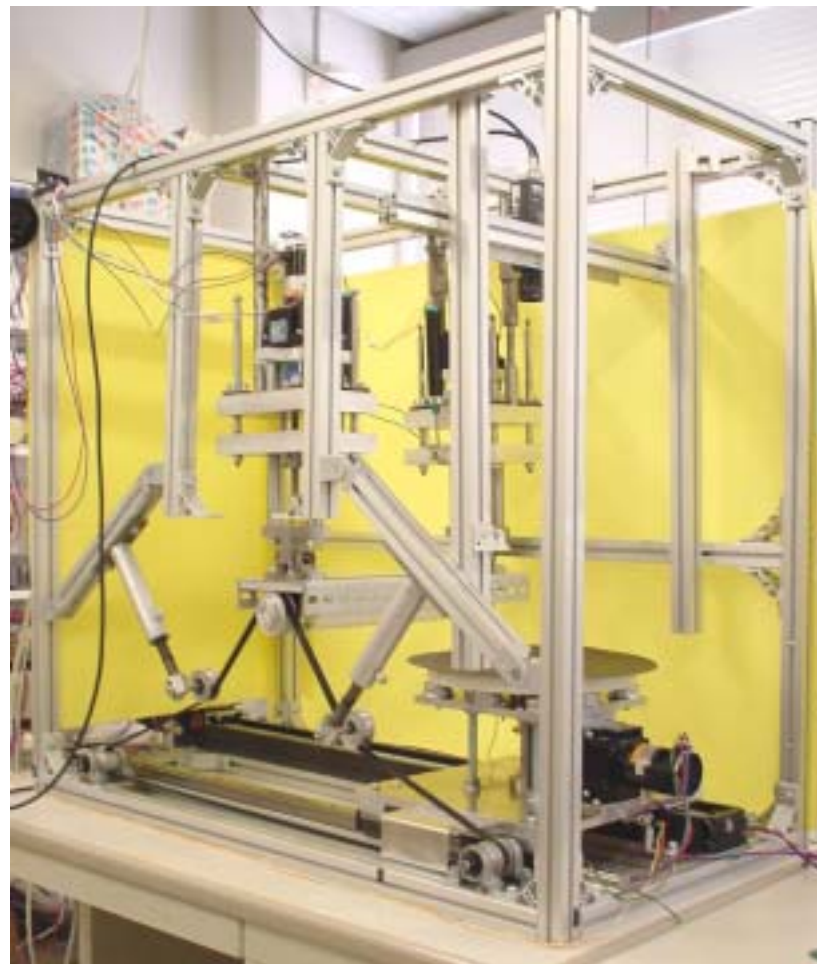
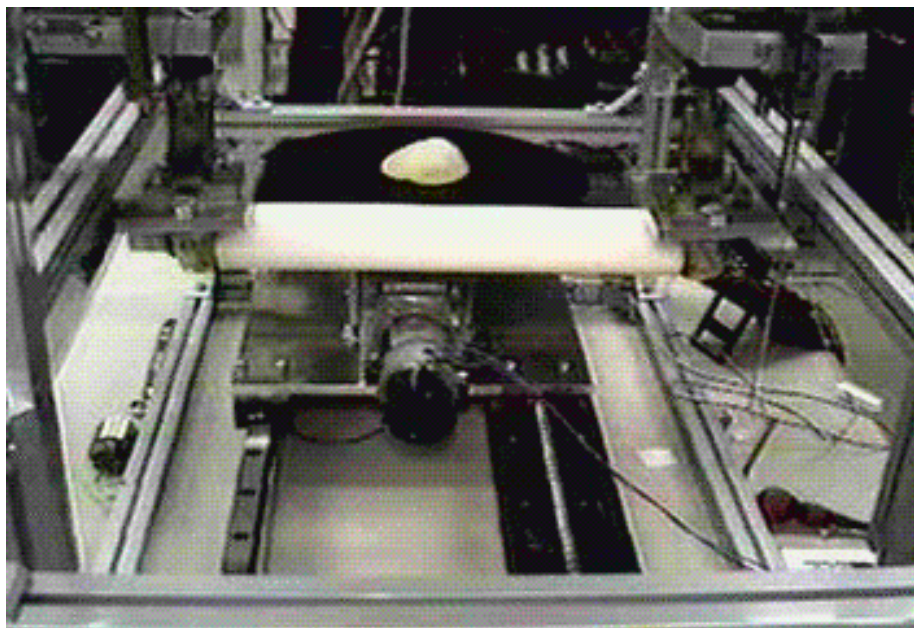
並進2自由度
回転3自由度

R1はT1に同期

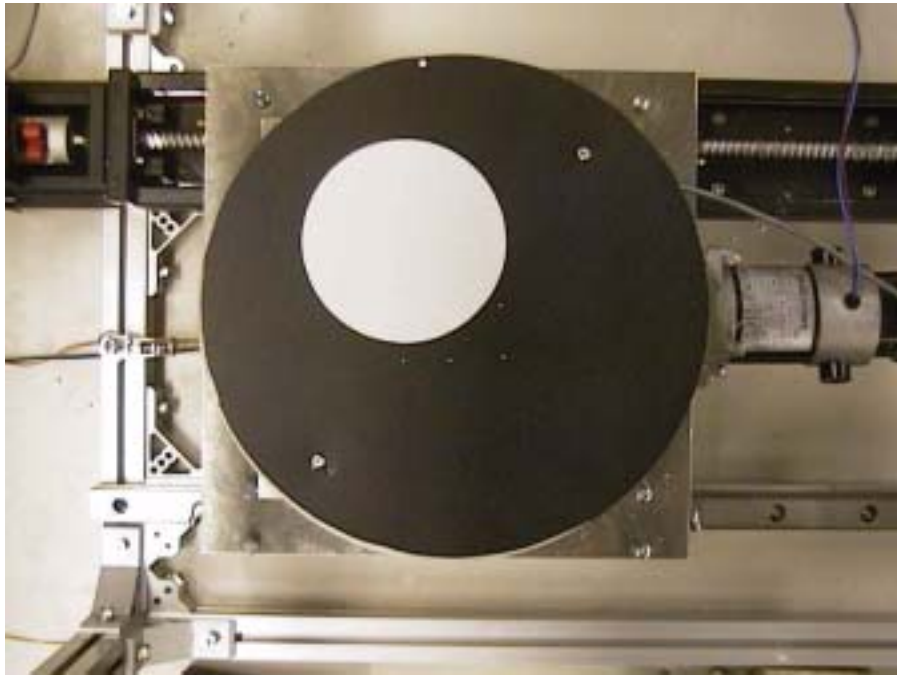
Translation	2 DOF
Rotation	3 DOF

R1 and T1 are synchronized

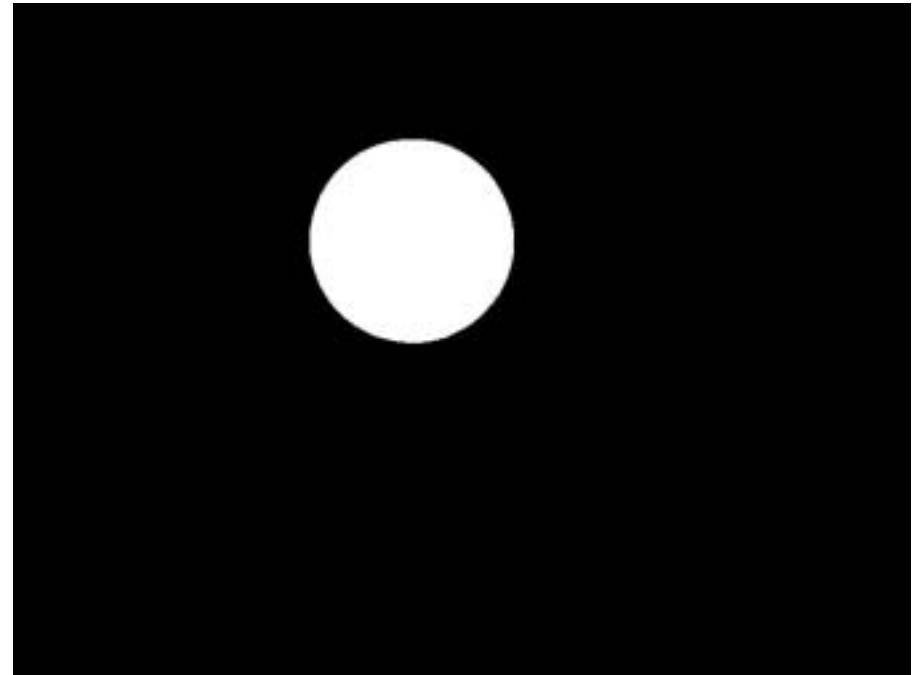
レオロジー物体伸長成形機械



生地形状の抽出

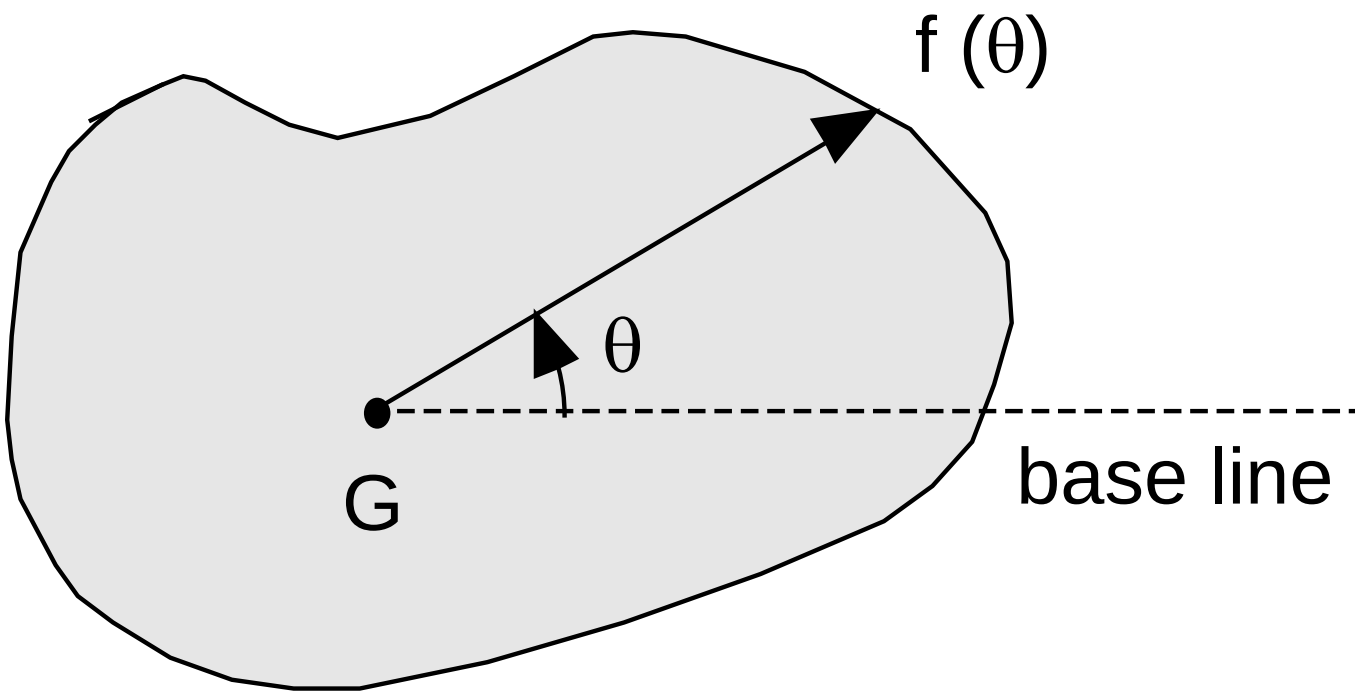


原画像 Original image



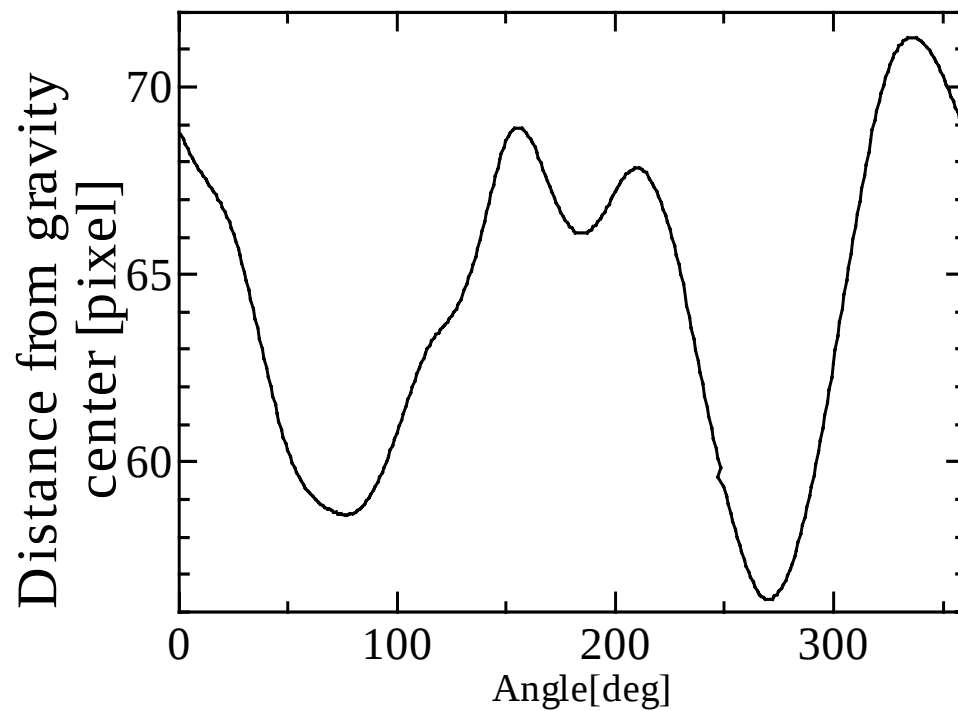
抽出形状 Extracted shape

輪郭関数による形状表現



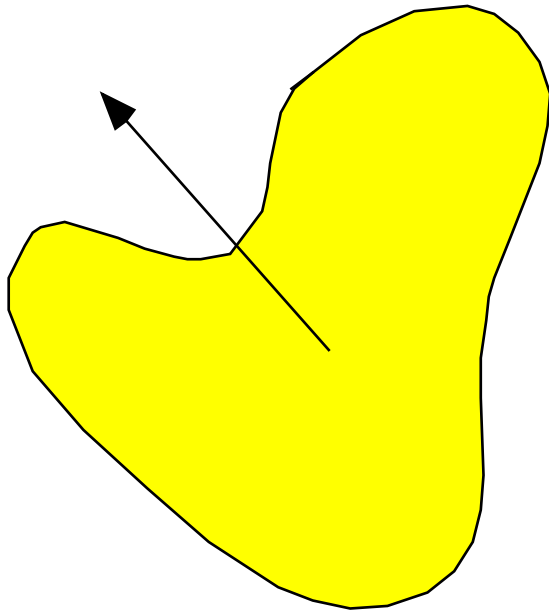
G 画像重心

輪郭関数の例





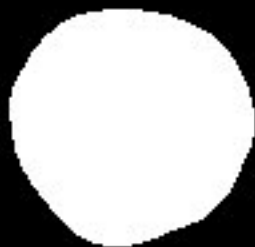
円形への成形

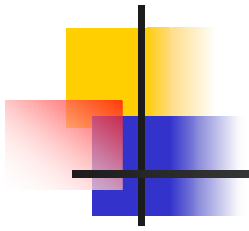


輪郭関数の最小

Global minimum of
outline function







仮想レオロジー物体

食品生地
生物・生体組織

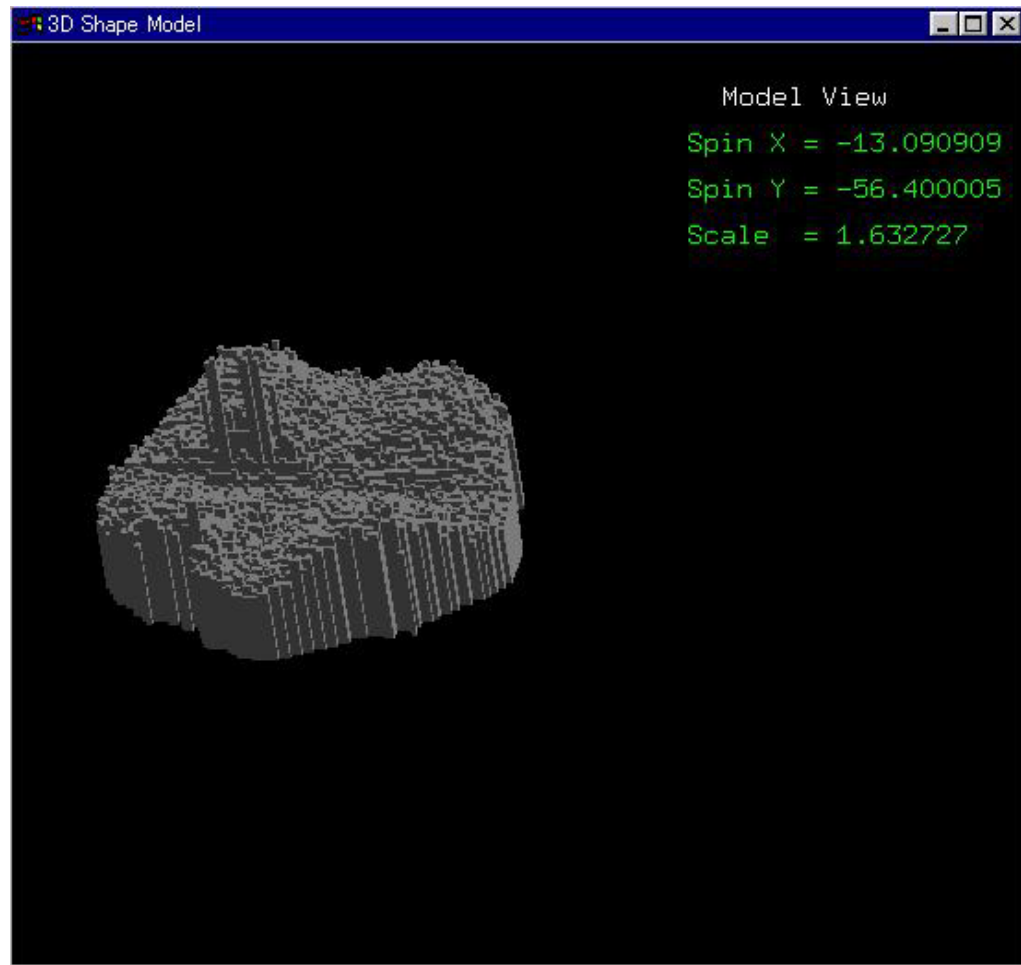
レオロジー物体

遠隔手術シミュレータ
生体組織のモデリング
変形，触覚の提示

変形の計測

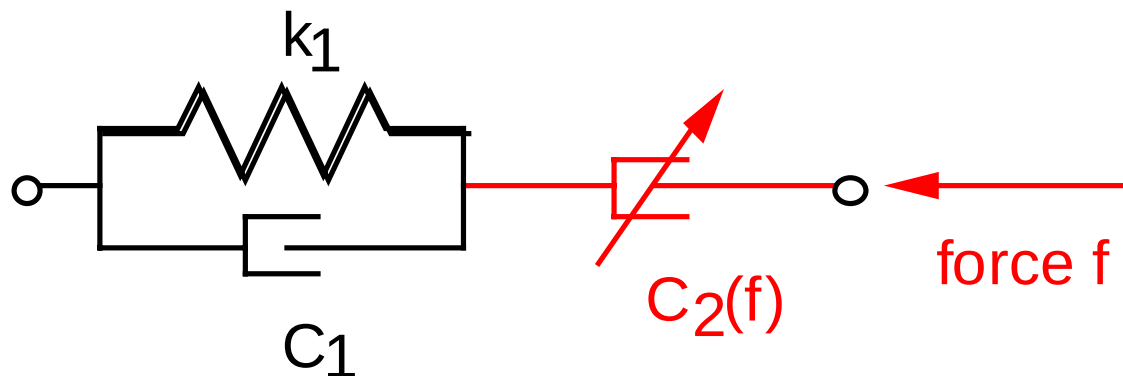


変形の計測



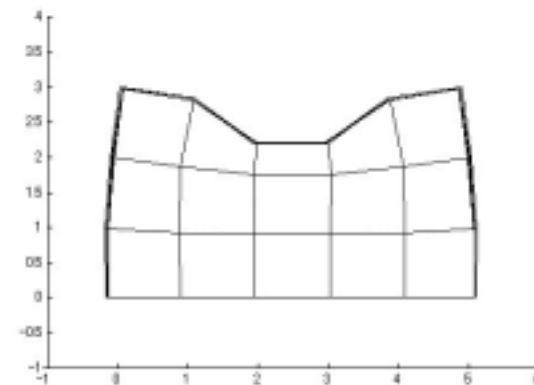
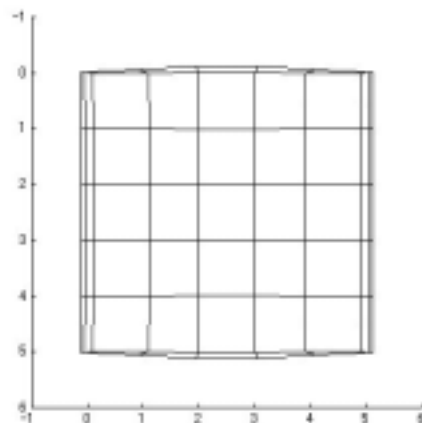
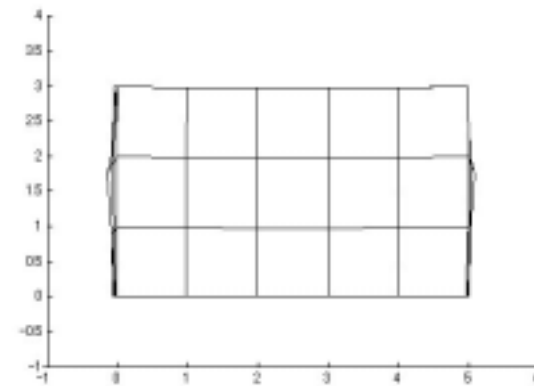
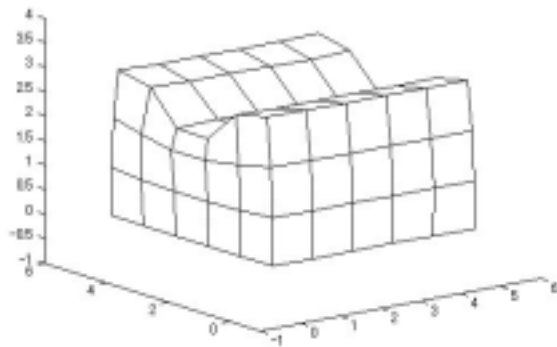
レオロジー要素の選択

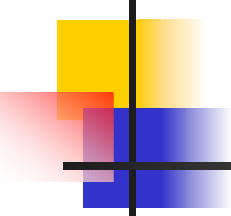
力依存3要素モデル



レオロジー物体の変形特性を表現可能
変形実験からパラメータを同定可能

変形シミュレーション

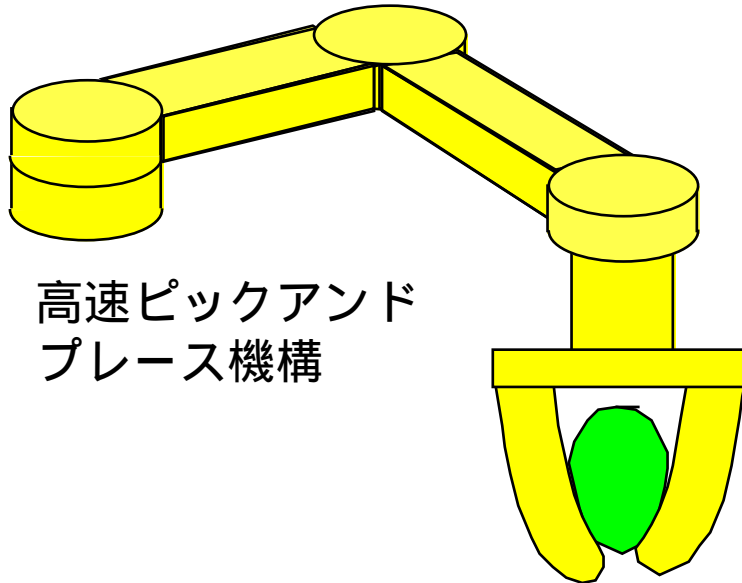




結論

- レオロジー物体の成形
4自由度メカニズム
輪郭関数による形状認識が有効
自動成形が可能であることを実証
- 仮想レオロジー物体
力依存3要素モデル
モデルパラメータの同定法を確立

パッケージの整列

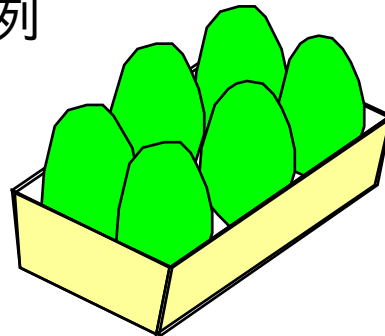


高速ピックアンド
ブレース機構

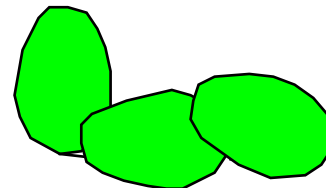


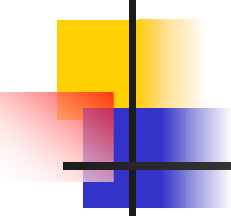
ビジョン
システム

整列



未整列パッケージ

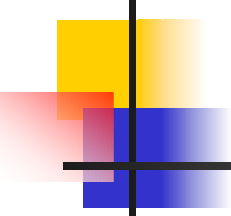




ビジュアルサーボの問題点

1. 点ベース手法の限界
橋本(ロボティクスシンポジア2000)
2. リアルタイム性の不足
並進移動 + 回転移動
種類の識別

平面運動検出ビジョン
アルゴリズムの開発



片側ラドン変換法

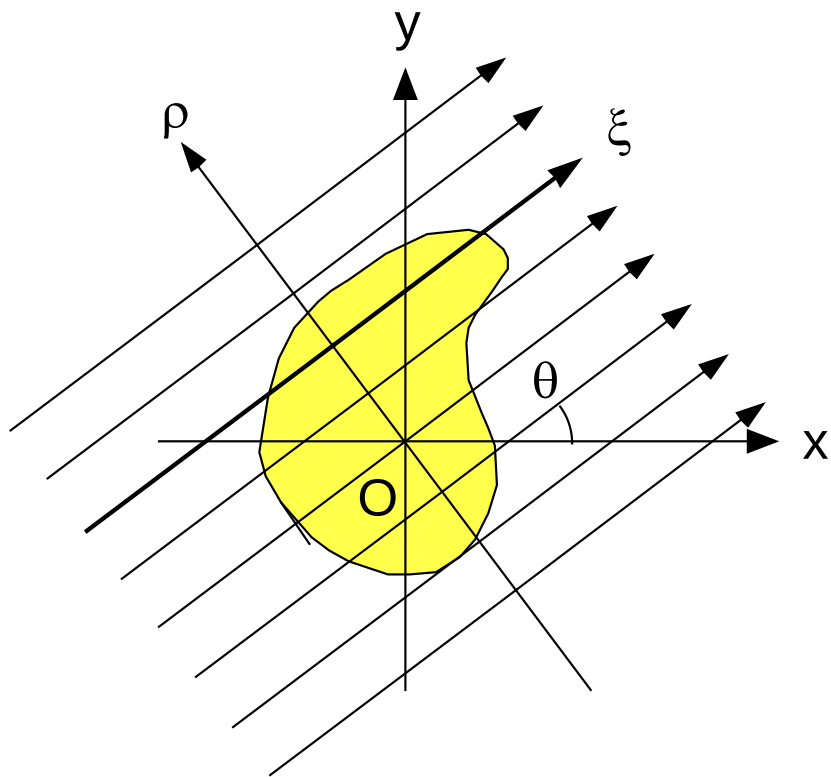
平面運動物体の位置と**姿勢**を検出

凹部や**穴**を有する物体

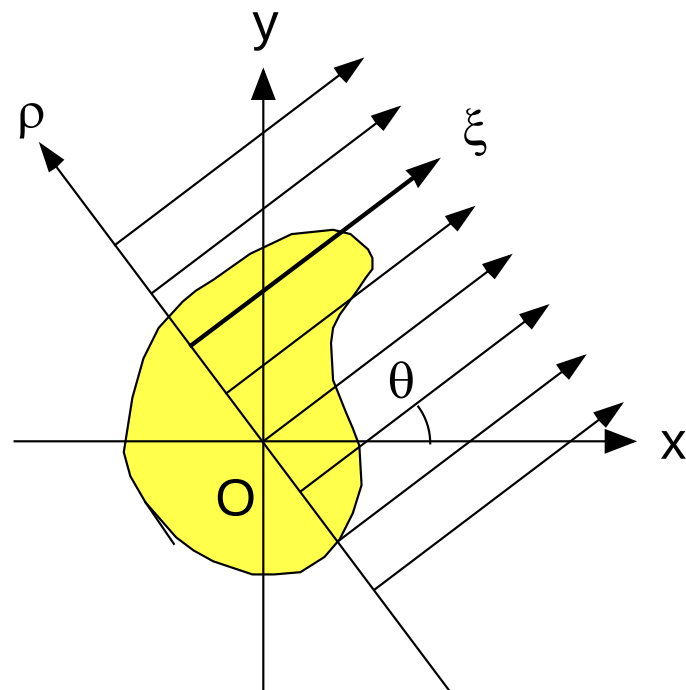
曲面を有する物体 → 適用可能

ビデオフレームレートで計算可能

片側ラドン変換

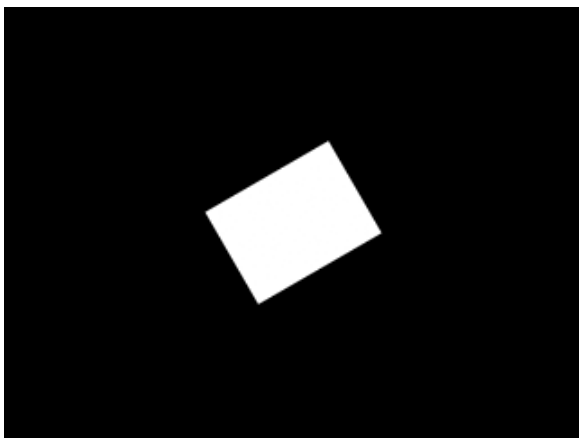


ラドン変換

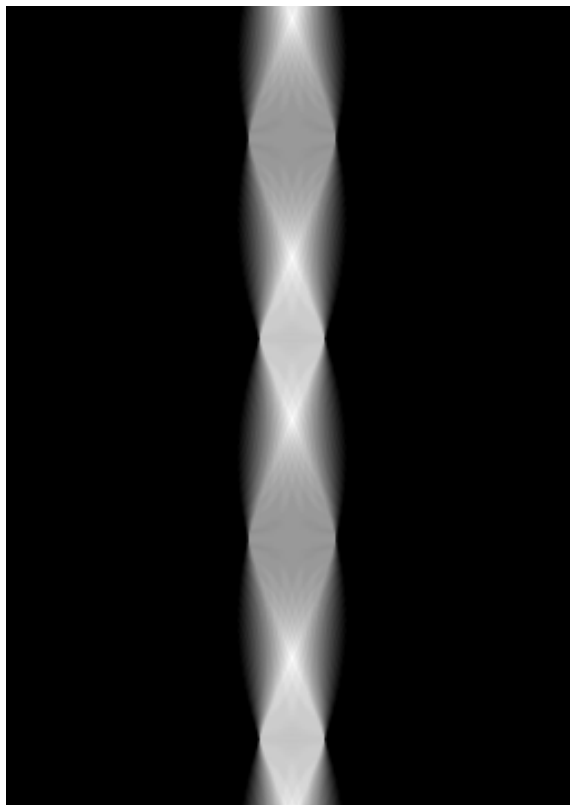


片側ラドン変換

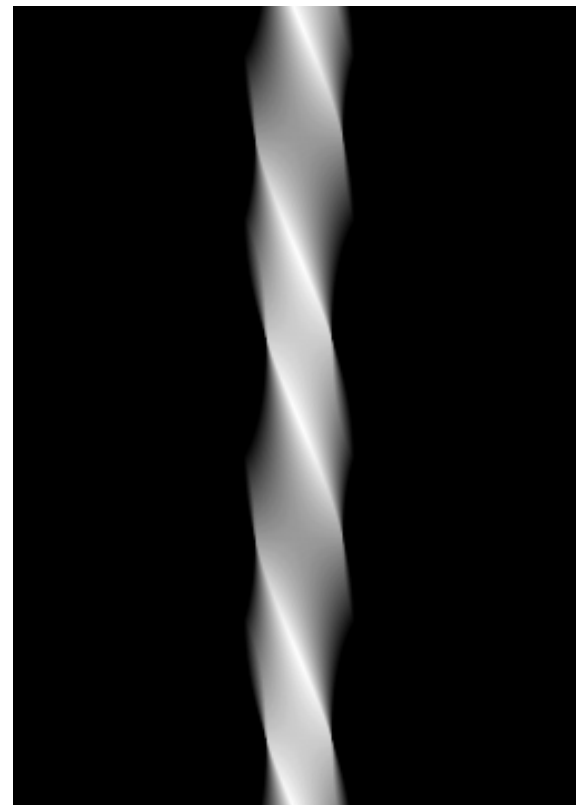
片側ラドン変換の例



原画像

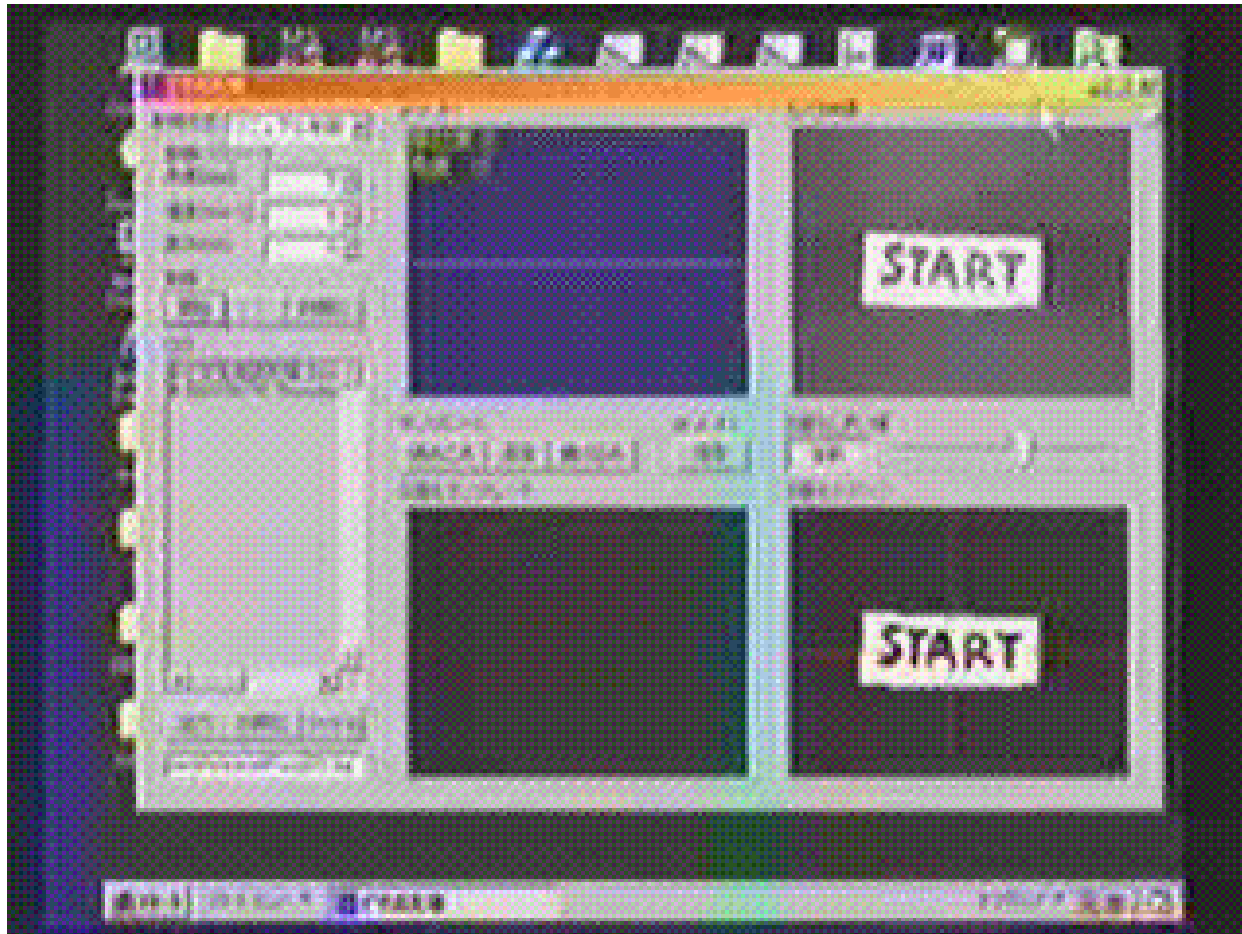


ラドン変換

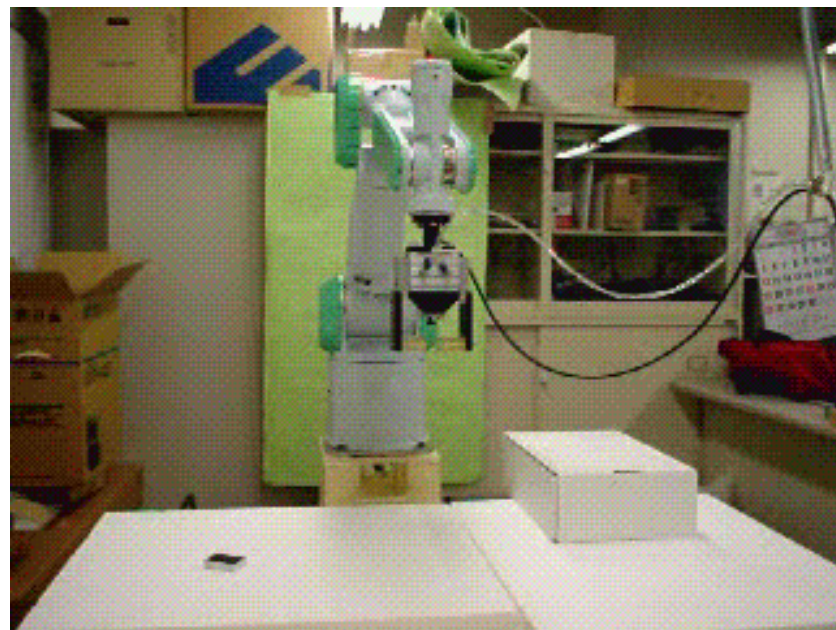
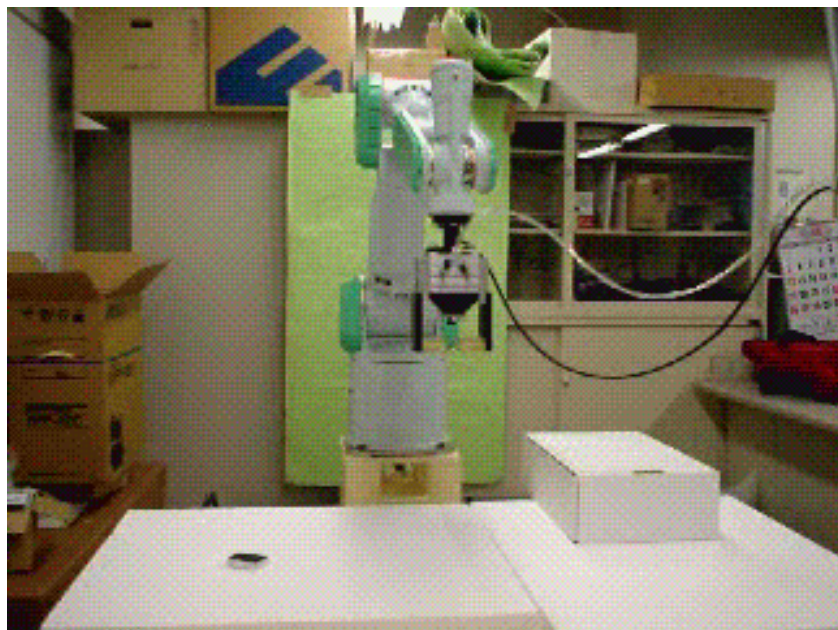


片側ラドン変換

開発システム

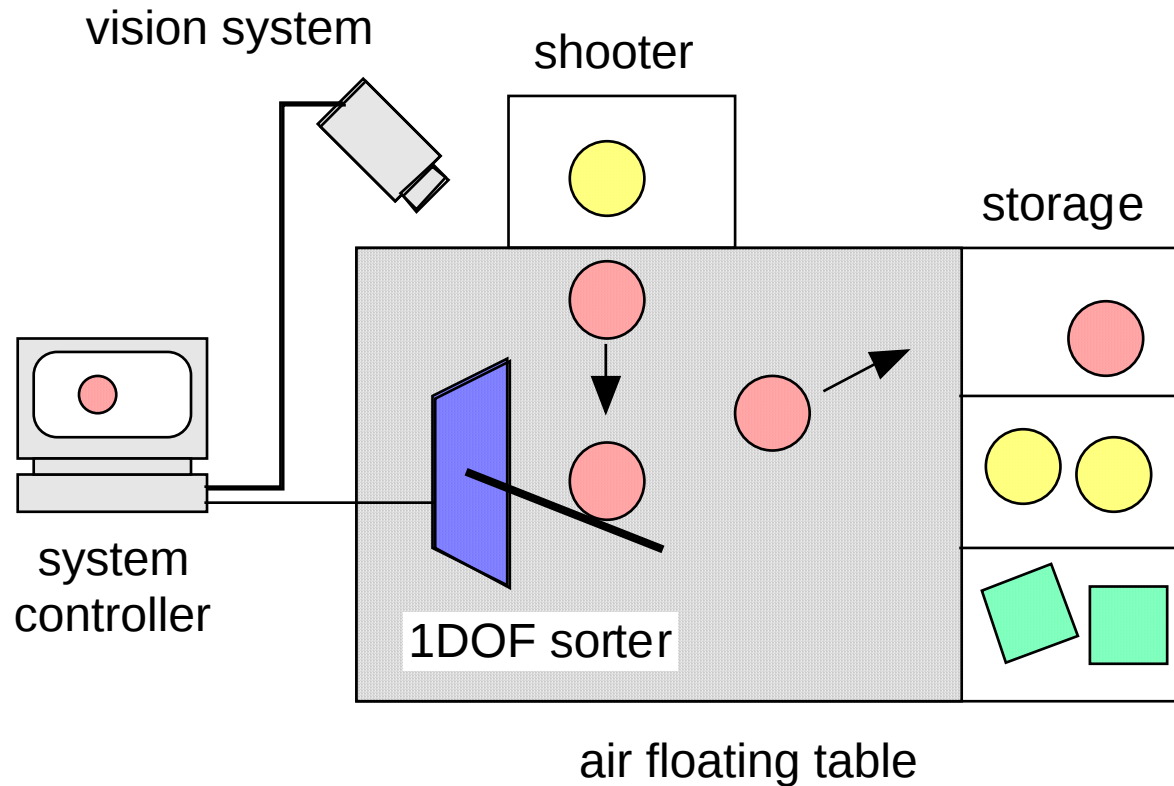


カメラ内蔵型グリッパー

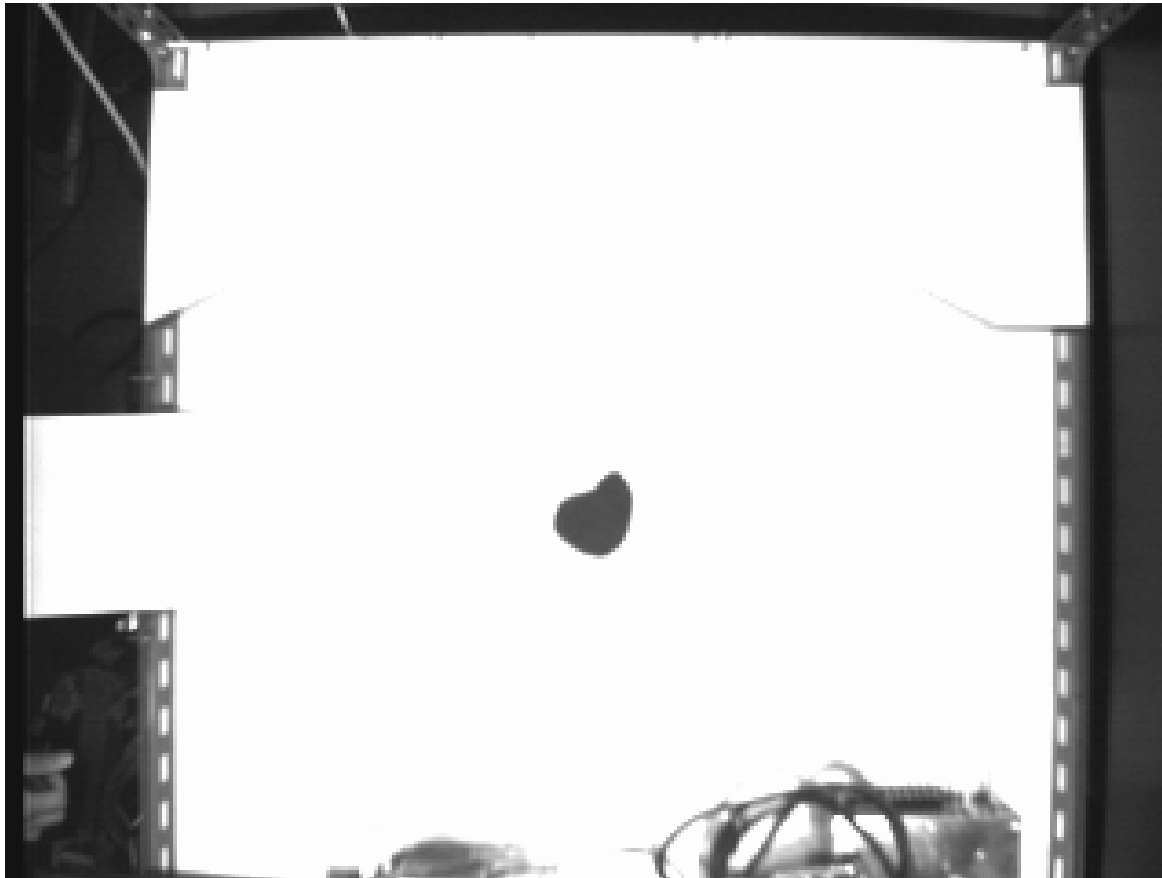


インパルスソータ

Impulsive Object Sorter

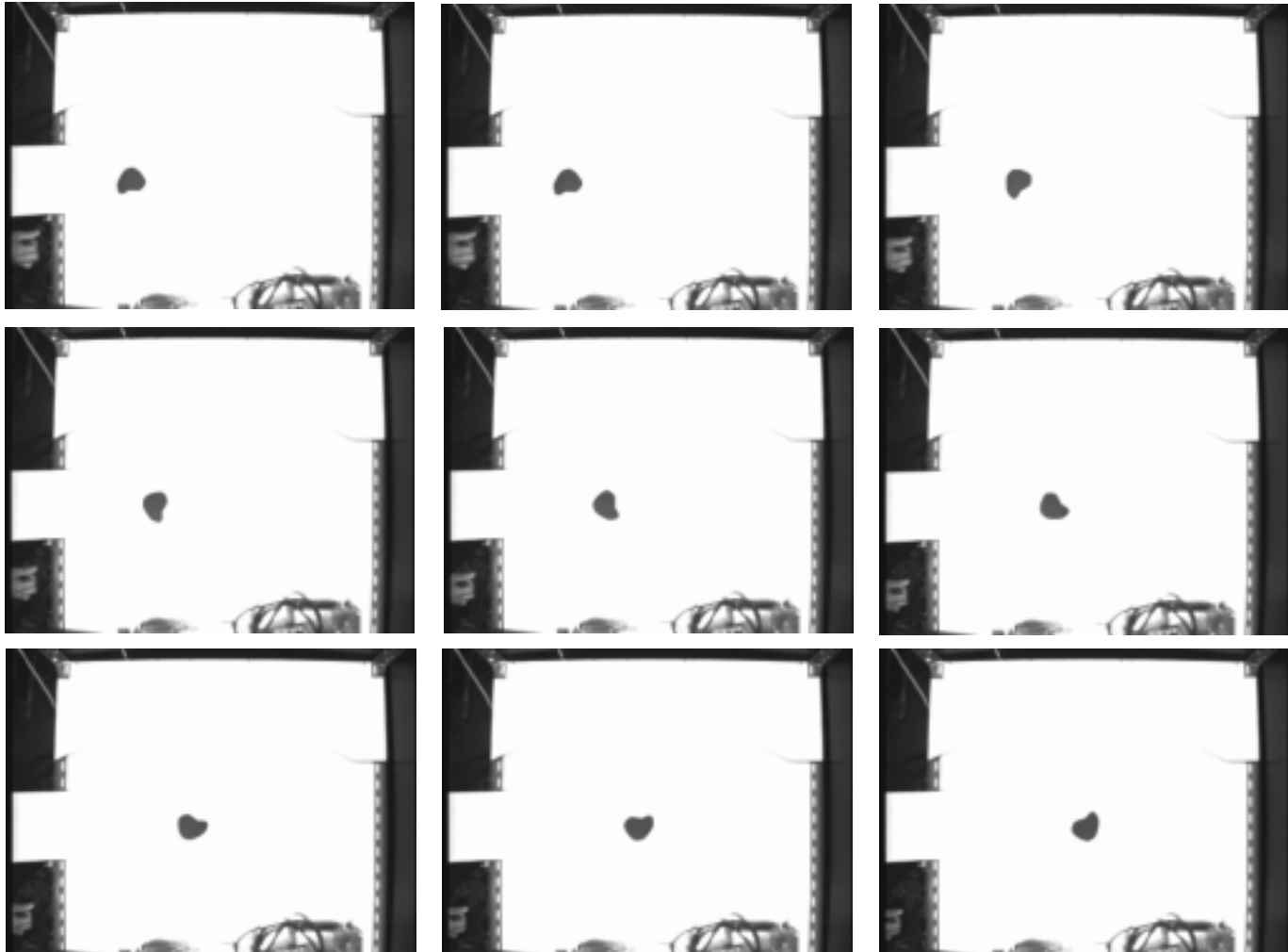


エアテーブル上の運動

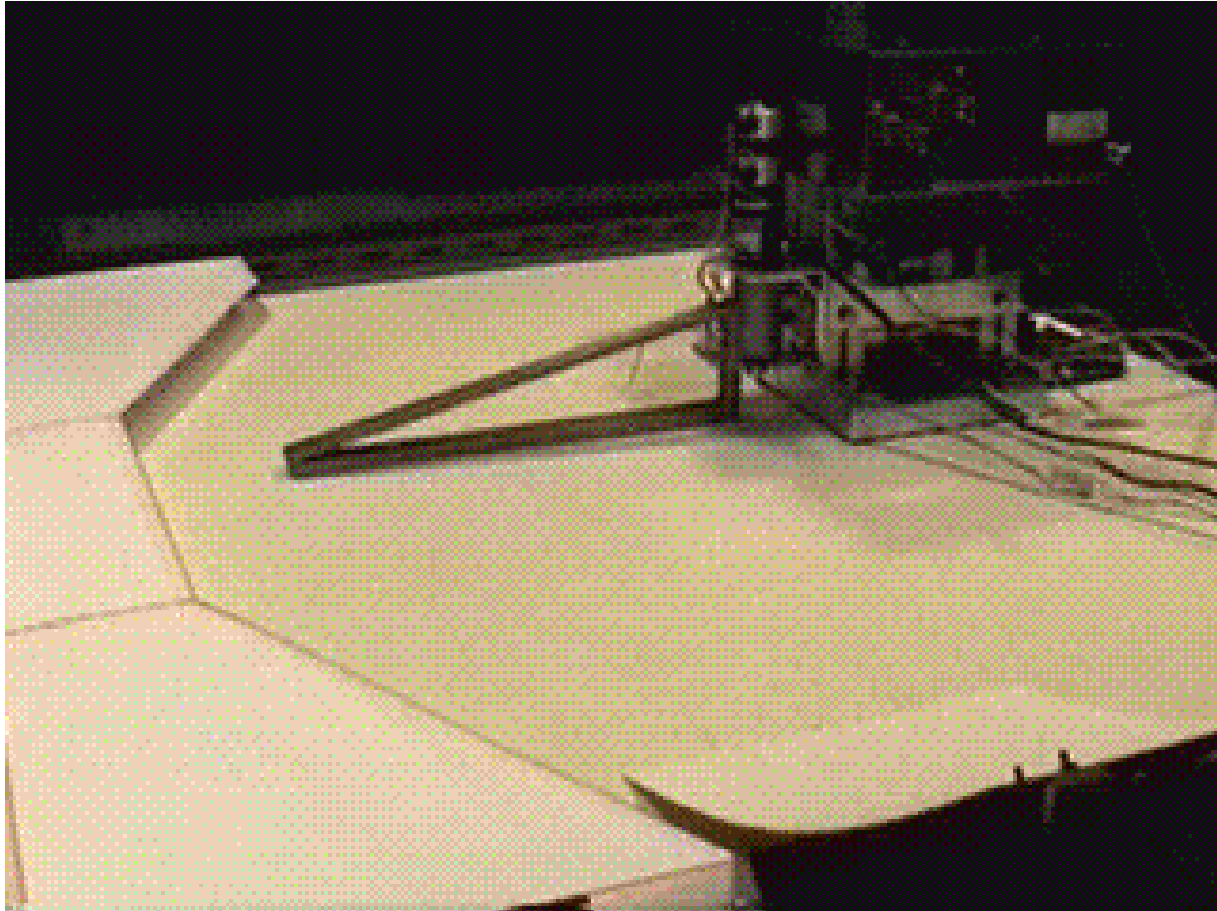


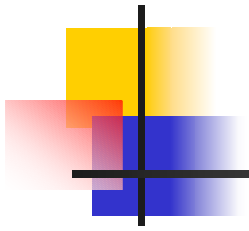
等速度
等角速度

平面運動のビデオフレームレート検出



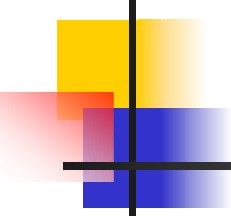
平面物体のソーティング





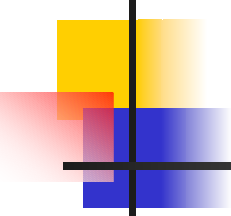
結論

- 片側ラドン変換法
 - 位置・姿勢を計測
 - 凹部, 穴部, 曲面を含む物体に適用可能
 - ビデオフレームレートで計算可能
- カメラ内蔵型グリッパーを用いたハンドリング
 - 姿勢誤差に対処して整列
- インパルスソータ
 - 衝突を利用するソーティングの可能性を示す



ロボティクス・メカトロニクス 研究開発の進め方

- 学術的な実学指向
 - 従来 基礎研究 → 応用
 - 今後 実際の課題 → 基礎理論
- 明確なプロジェクト
 - 期限, 予算, 数値目標
- 必要な技術の取得

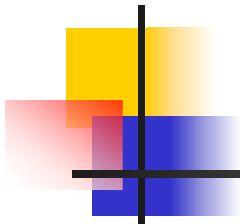


学術的な実学指向

実際の課題より基礎理論へ

靴下の自動リンクング →
間接同時位置決め制御則
柔軟物の把持操り
ピザ生地 of 自動成形 →
レオロジー物体成形制御
仮想レオロジー物体

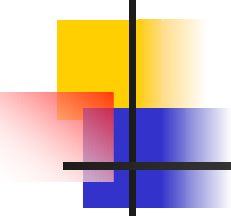
理論的な裏付けと他への適用



明確なプロジェクト

靴下の自動リンクング	3年
ピザ生地 of 自動生成	3年

パッケージの整列	2年(実施中)
2往復 / 秒 ~ 4往復 / 秒	
200万円以下の価格	



必要な技術の取得

靴下の自動リンキング

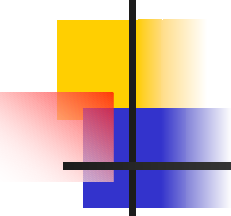
繊維，繊維機械，マシンビジョン

ピザ生地 of 自動成型

食品機械，レオロジー

パッケージの整列

ビジョン，ビジュアルサーボ



おわりに

柔軟物ハンドリング

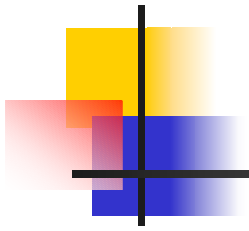
近年のLSI技術の発展
センサやCPUを数多く使用可能

単純な機構と単純な制御則

← 工学的な裏付け

役に立つ研究の宝庫

実世界を見よう



貢献者

- 和田 隆広 香川大学
靴下自動リンクング, 間接同時位置決め制御則
- 徳本 真一 立命館大学 D3
レオロジー物体成形, 仮想レオロジー物体
- 坪井 辰彦 立命館大学 D1
片側ラドン変換, リアルタイムビジョン
- 齋藤 拓也 M2 成形制御則
- 夏目 悟 M2 増渕 章弘 M1
カメラ内蔵型グリッパーによるハンドリング
- 森 宏滋 M2 小池 伸好 M1
柔軟物の把持操作



詳細

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