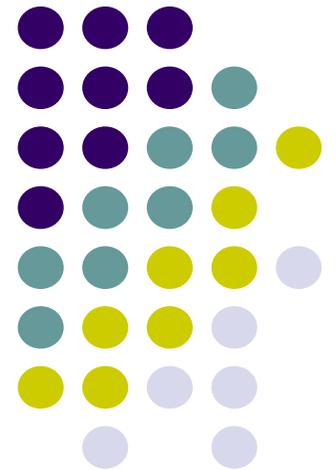


三次元多指ケーシングの条件 精緻化とアーム・ハンドによる ケーシング動作計画

榎田諭, 沖田賢亮, 前田雄介
(横国大)

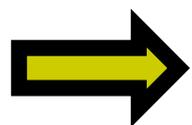


1.1 三次元多指ケージング



位置制御ハンドの囲い込みに
よって、物体が逃げられないよう
にする、幾何学的拘束手法

- 力制御, 力センシングが不要
- 把持しにくい物体でも拘束可能
- 拘束マージンをとることで誤差を許容
 - 制御誤差, モデリング誤差, 絶対位置誤差



実際のロボットによる実行の面で有利



1.2 把持との比較

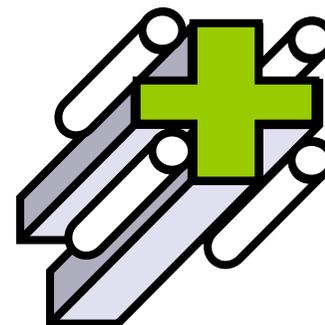
把持

- 多指ハンドによる物体拘束の代表的手法
- 力学的拘束 **幾何学的拘束**
- 力制御, 力センシングが重要 **位置制御**
- 拘束のために必要な情報が多い
 - 対象物の形状, 質量, 表面状態 (摩擦係数) **形状のみ**
- 高級なハンドが必要
 - 多指, 多関節
 - 柔軟指先**単純なハンドでも拘束可能**

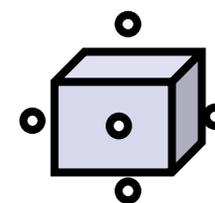


1.3 関連研究

- 二次元空間でのケーシング [Rimon1999]
- 三次元空間での多指ケーシング
 - [Pipattanasomporn 2007]
 - 二次元空間の問題として扱える例のみ
 - [Pipattanasomporn 2008]
 - 点近似指による n 次元空間の問題
 - 実際の多指ハンドへ適用する条件が未導出
 - [Diankov 2008]
 - 把持の代替としての物体拘束(ドアノブの拘束)
 - 対象物の把持点, 位置, 姿勢が未決定でも拘束可
 - ケーシング成立の条件は示されていない



position-
controlled
fingers



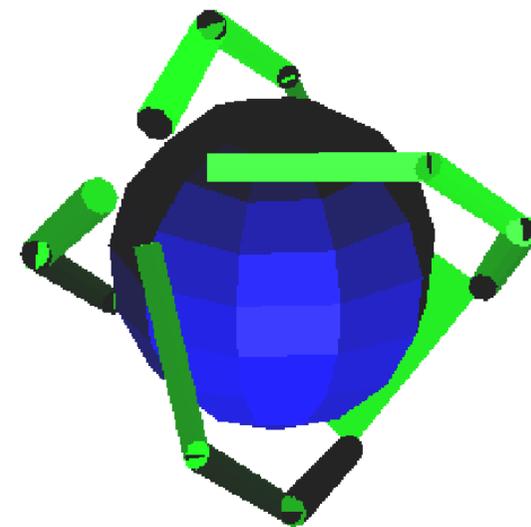
Pointed fingers



1.3 これまでの研究成果

- [Makita 2008]
 - 三次元空間における多指ケーシング
 - 実際の多指ハンドへの応用を想定
 - ケーシングによる拘束成立の十分条件を提示, 定式化
 - ハンドの位置, 姿勢, 指の曲げを計画

- 成立の十分条件のうち, 一部が未定式化
- ハンド単体を用いた動作計画
 - 通常, ハンドはアームのエンドエフェクタである





1.4 研究目的

- ケーシング成立条件の完全な定式化
 - 未導出の条件の定式化
- アーム / ハンド系による多指ケーシングの実現
 - 定式化した十分条件の利用
 - RRTを用いた動作計画アルゴリズム
 - 実機を用いた検証実験

2.1 ケージング成立の十分条件



〔物体拘束条件〕 対象物が逃げられないような拘束領域をハンドが形成する

- ロボットハンドの作るケージから対象物が抜け出さない条件

〔内外判定条件〕 ハンドが形成する拘束領域内に対象物が存在する

- 拘束領域に対する対象物の内外判定条件

〔干渉判定条件〕 ロボットが対象物および障害物と干渉していない

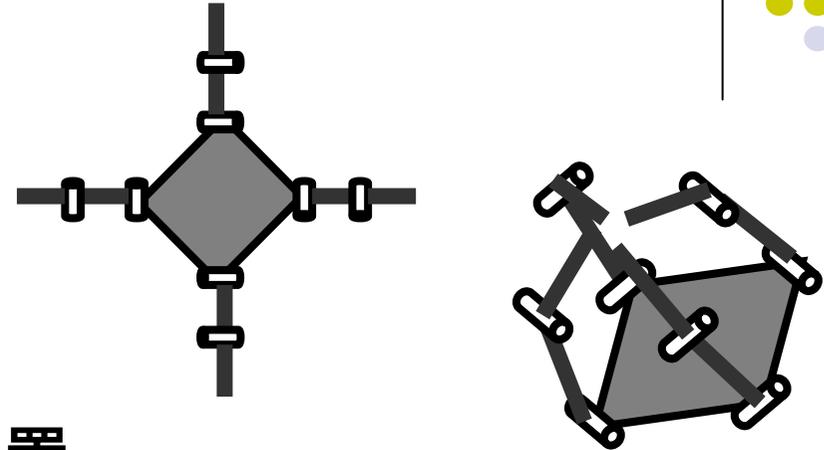
- ロボットハンドが何にもぶつからないように対象物を拘束するための条件

2.2 前提条件



- 対称ハンド

- 各指は同数の関節を持つ
- 指の関節は回転関節
- 細い円柱のリンク
- 指は同心円上の等間隔に配置
- 各指はパームに垂直な中心線に対して回転対称的に動く



- 対象物

- 球
- 円板
- リング状物体

2.3.1 球および円板のケーシング



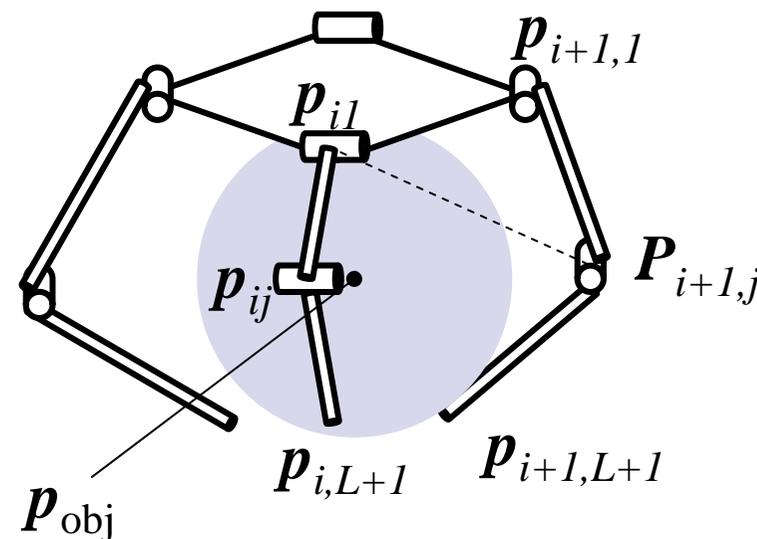
対象物がハンドによる拘束領域の
内部にある



ロボットハンドが形成する多面体の
内部に、対象物中心が存在する



一般的な多面体と点の内外判定が
適用可能

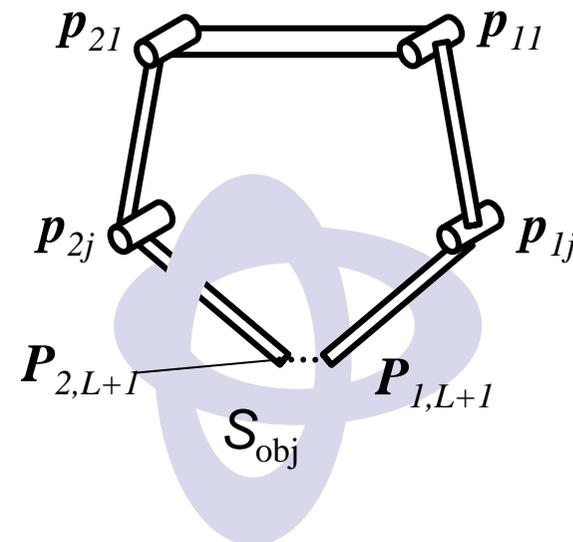
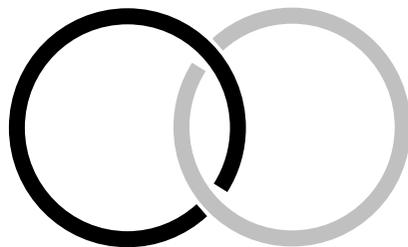


2.3.2 リング状物体のケーシング



対象物がケーシング領域にある

ハンドと対象物で Hopf link を形成する

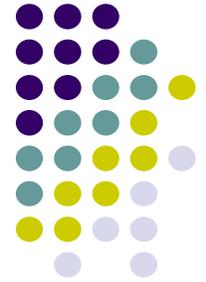


対象物の閉曲線内領域 S_{obj} を ロボット
が奇数回通過する

直線と平面の交点から判定

- ・指のリンク
- ・パーム
- ・指先を結ぶ線分

3. 動作計画手法



- RRTを適用したアルゴリズム

- RRT (Rapidly-exploring Random Trees) [LaValle 1998]:
ランダムサンプリングを用いた経路探索

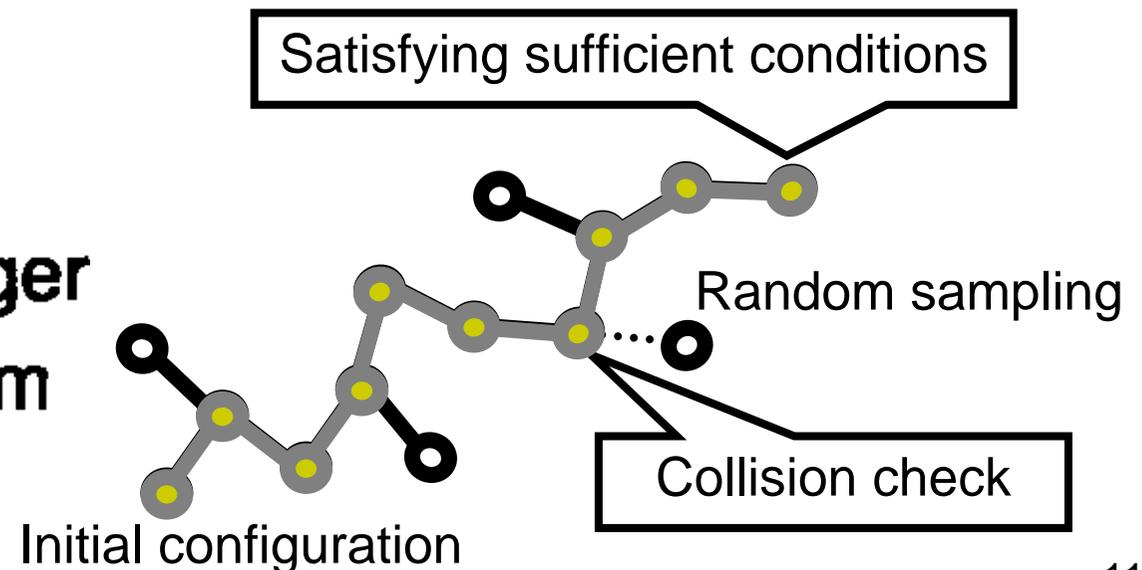
- アーム / ハンド系の動作計画

探索空間

$$z = [\bar{\theta}^T, \Theta^T]^T$$

$\bar{\theta}$: Joint variables of finger

Θ : Joint variables of arm



3. 動作計画手法



- Nearest Neighbor 探索時のノルム計算

$$d_{\text{cfg}}(z, z_{\text{rand}}) :=$$

$$\sqrt{\sum_{i=1}^{\bar{L}} \left(\frac{\theta_{\text{rand},i} - \theta_i}{\dot{\theta}_{\text{max},i}} \right)^2 + \sum_{i=1}^{L_{\text{man}}} \left(\frac{\Theta_{\text{rand},i} - \Theta_i}{\dot{\Theta}_{\text{max},i}} \right)^2}$$

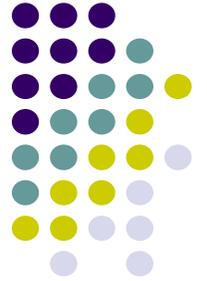
- ノード候補への探索枝の伸ばし方
 - 線形補間

$$z_{\text{cand}} := (1 - a_{\text{br}})z_{\text{near}} + a_{\text{br}}z_{\text{rand}}$$

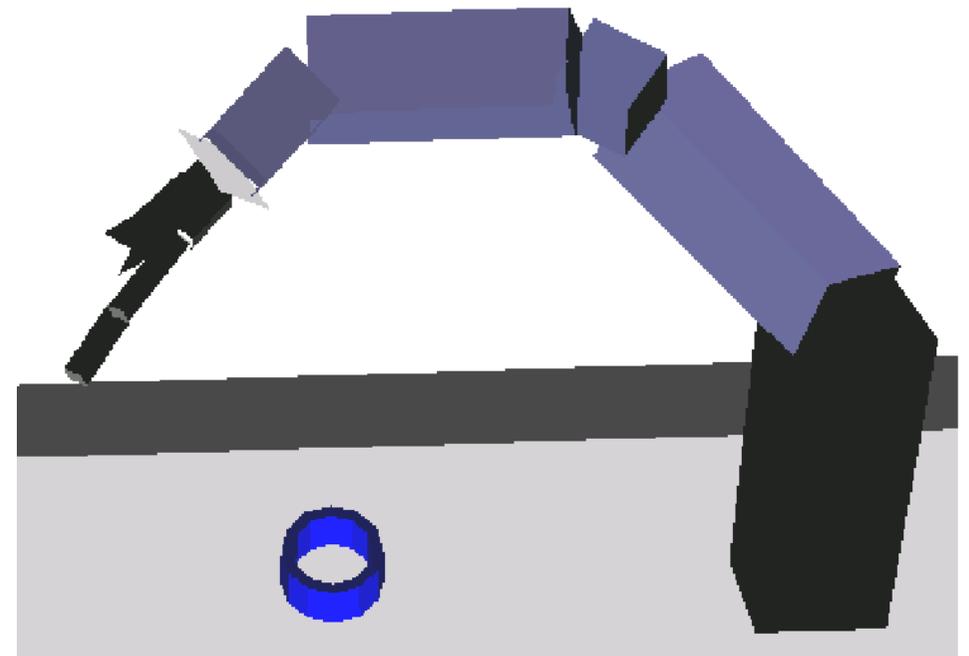
$$a_{\text{br}} := \frac{\alpha}{d_{\text{cfg}}(z_{\text{near}}, z_{\text{rand}})}$$

$$0 \leq a_{\text{br}} \leq 1$$

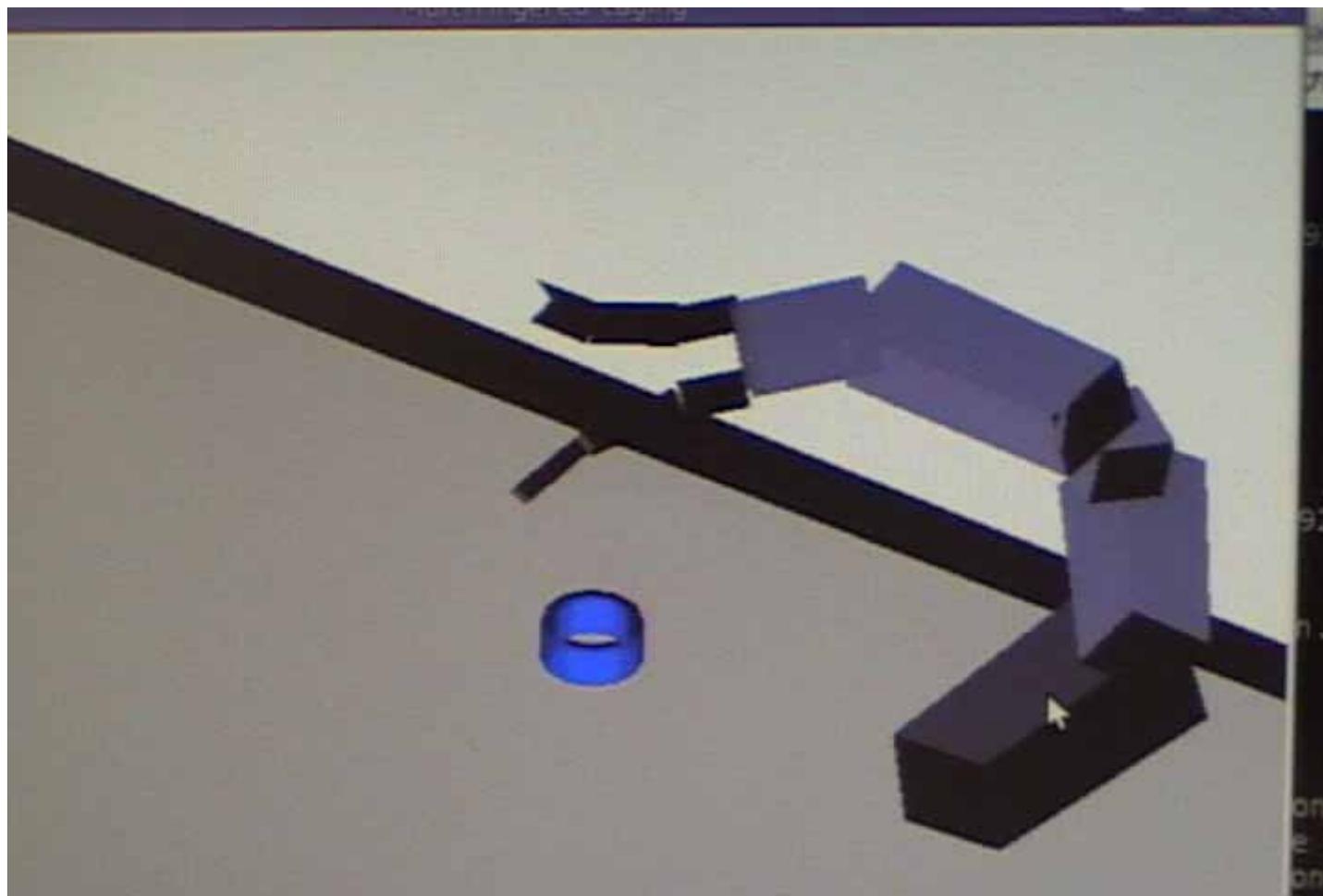
4.1 動作計画条件



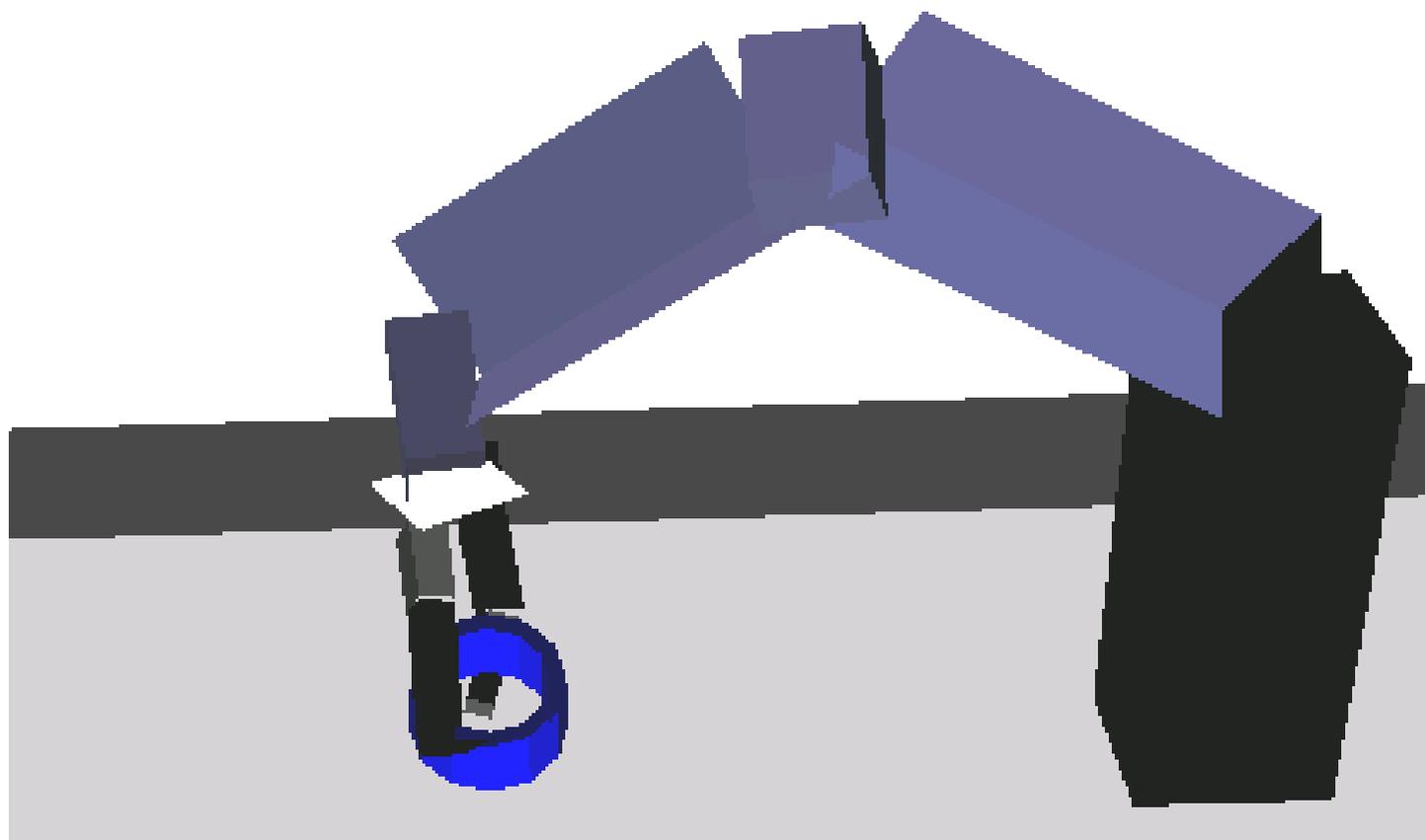
- ハンド
 - 根元固定関節(1) + アクチュエータ(2)
- マニピュレータ
 - 汎用六関節マニピュレータ
- すべてのリンク
 - 四角柱に近似して表現
- 対象物: 円筒状物体



4.2 動作計画結果



4.2 動作計画結果



計画時間:3.3 CPU 秒

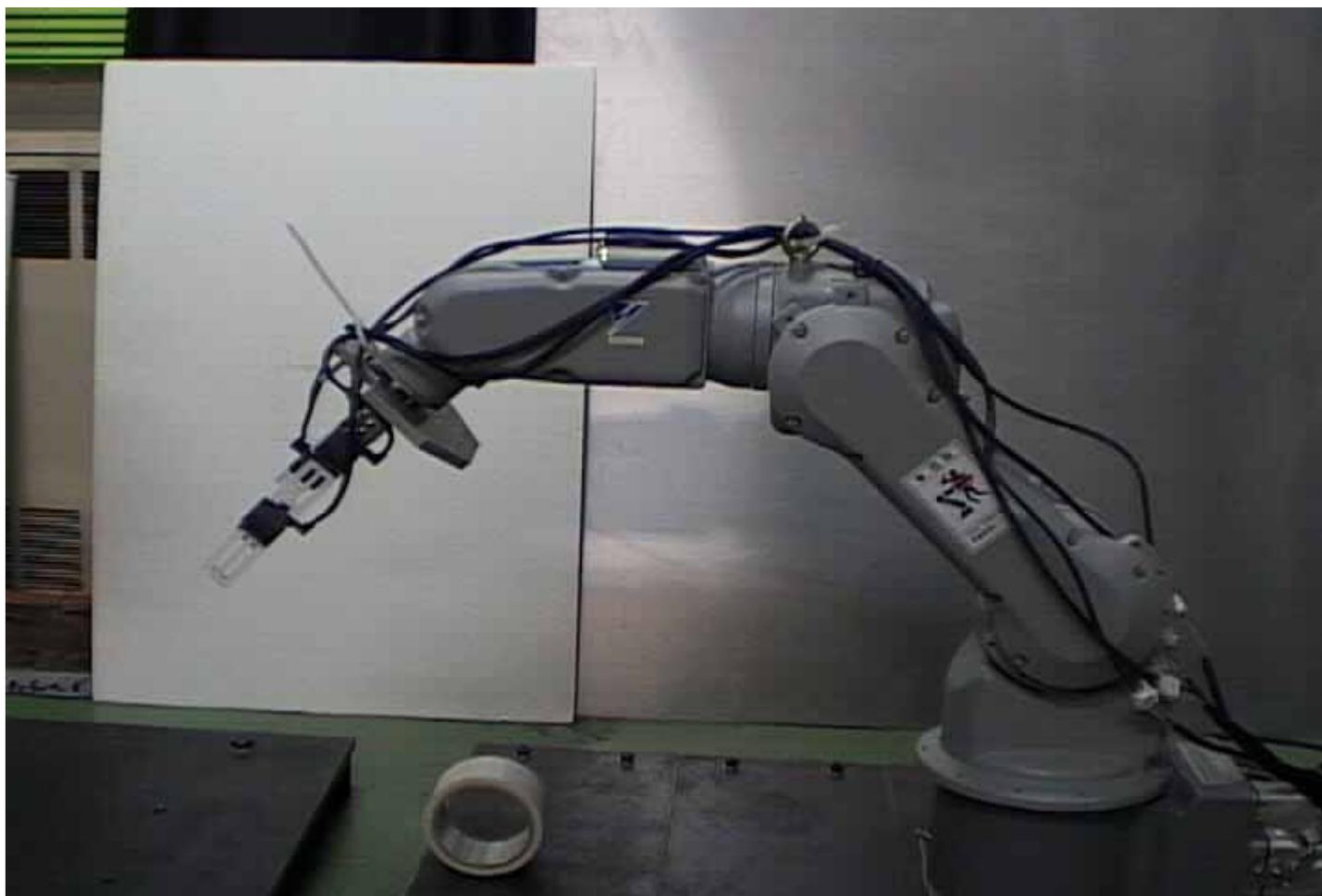
5.1 実機を用いたケーシングの実行



- ハンド
 - 根元固定関節(1) + アクチュエータ(2)
- マニピュレータ
 - 汎用六関節マニピュレータ
- PID制御による位置制御
- センサレス



5.2 実行結果



5.2 実行結果



計画通りの動作を実現

6. 結論



- 三次元多指ケーシングの成立条件の定式化
 - 対象物の拘束領域に対する内外判定条件
 - 球, 円板, リング状物体について導出
- アーム / ハンド系によるケーシングの実現
 - RRTを用いた動作計画アルゴリズム
 - 実機による検証実験

今後の展望

- より多くの物体に対するケーシングの実行
- 効率的な動作計画アルゴリズムへの改良