



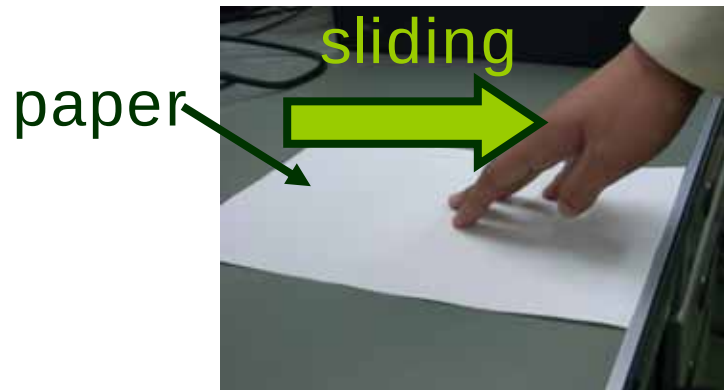
把持/非把持状態に対応した 多指ハンドによる物体拘束の計画

小田浩太郎*，○榎田諭，前田雄介
(横浜国立大学)

*現・リコー

研究背景

把持と非把持を組み合わせた操作



ロボットに実行させる

ハンドの
指先配置や
姿勢等の決定

把持/非把持のどちらにも対応した
物体拘束の計画アルゴリズムが必要

物体拘束計画の従来研究

- 対象物とハンドの把握領域を簡単なモデルとして認識する手法[原田 2007]
- 対象物に対してハンドが近づく方向をあらかじめ決めておく手法[Miller 2003]
- ハンドの手首の姿勢から，アームやハンド自体の姿勢を決定する手法[河原崎 1999]



把持のみを想定した計画もしくは，
非把持のみを想定した計画しか無い



研究目的

把持/非把持のどちらでも使えるような
物体拘束の計画アルゴリズムの構築と実装

- 拘束計画手法として，把持の自動計画プログラム GraspIt! [Miller 2001]を利用
- 評価関数として操作の確実性 [Maeda 2006]を修正して利用

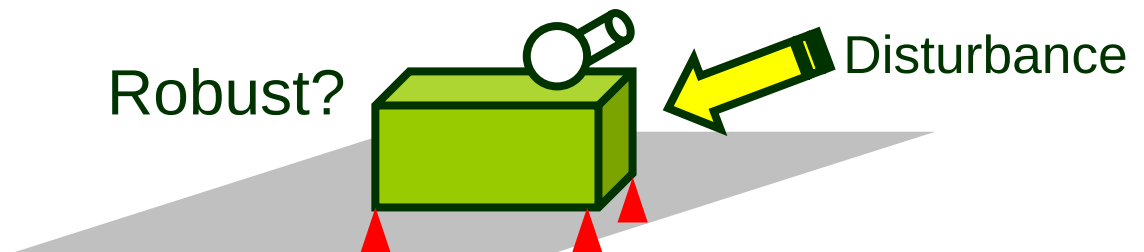
把持/非把持に対応した評価関数

物体拘束の計画のためには，評価関数が必要



操作の確実性[Maeda 2006]

外乱に対して物体の拘束がどの程度まで耐えることができるか



正確に接触力を見積もるために，静止摩擦力の制約条件[小俣 2001]を拡張した手法[小田 2006]を利用

接触力の範囲の求め方[小俣 2001][小田 2006]

静止摩擦力（仮想滑り）に関する制約条件[小俣2001]

起こりうる仮想滑りかどうかを判定



静止摩擦力の発生する組み合わせを限定



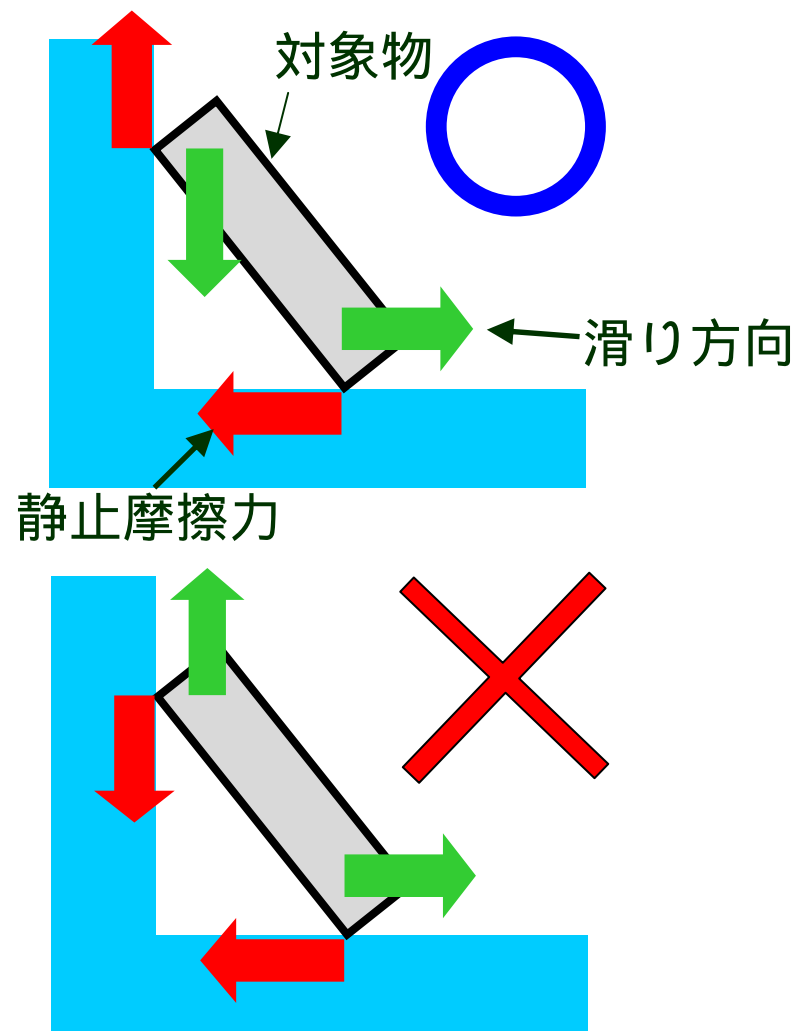
静止摩擦力の範囲



+

力のつりあい

接触力の範囲



操作の確実性 [Maeda 2006]

外乱に対して物体の拘束がどの程度まで耐えることができるかを定量的に評価する手法[Maeda 2006]

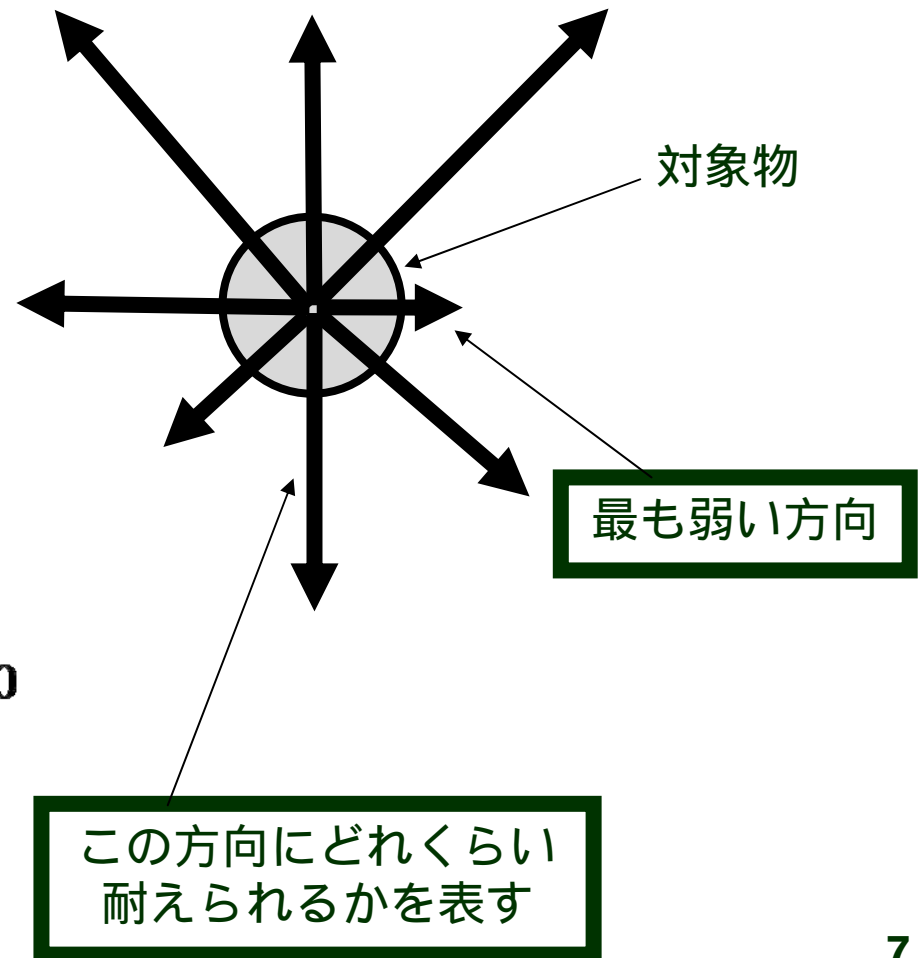
力, モーメントの六次元方向

外乱力に対する抵抗力
= 接触力, 重力など

maximize z_{ij}
 z_{ij}, k_{ij}

$$\text{subject to } \begin{cases} z_{ij} \mathbf{R}^{-1/2} \mathbf{l}_i = \mathbf{Q}_{\text{known}} + \mathbf{W} \mathbf{C} \mathbf{k}_{ij} \\ \mathbf{J}^T \mathbf{C} \mathbf{k}_{ij} = \boldsymbol{\tau} \\ \mathbf{T}^T \{ \mathbf{I}_{3M} - (\mathbf{B}_j + \mathbf{D}) \} \mathbf{C} \mathbf{k}_{ij} = 0 \\ \mathbf{S}_j \mathbf{T}^T \mathbf{C} \mathbf{k}_{ij} \leq \mathbf{0} \\ \mathbf{k}_{ij} \geq \mathbf{0} \end{cases}$$

$$z = \min_i \max_j z_{ij}$$



操作の确实性の計算における変更点

Maedaらの操作の确实性
関節トルク一定

計算量多

物体拘束の計画
関節トルク = 未定

関節トルクをある一定の
範囲内で変化させる

maximize z_{ij}
 $z_{ij}, k_{ij}, \tau_{ij}$

$$\text{subject to } \begin{cases} z_{ij} \mathbf{R}^{-1/2} \mathbf{l}_i = \mathbf{Q}_{\text{known}} + \mathbf{W} \mathbf{C} \mathbf{k}_{ij} \\ \mathbf{J}^T \mathbf{C} \mathbf{k}_{ij} = \tau_{ij} \\ \mathbf{T}^T \{ \mathbf{I}_{3M} - (\mathbf{B}_j + \mathbf{D}) \} \mathbf{C} \mathbf{k}_{ij} = 0 \\ \mathbf{S}_j \mathbf{T}^T \mathbf{C} \mathbf{k}_{ij} \leq 0 \\ k_{ij} \geq 0 \\ \tau_{\min} \leq \tau_{ij} \leq \tau_{\max} \\ z = \min_i \max_j z_{ij} \end{cases}$$

各方向の外乱力に対して，ある範囲内での最適な関節トルクでもってどれだけ耐えられるかを評価

最も弱い方向の値が拘束の評価値

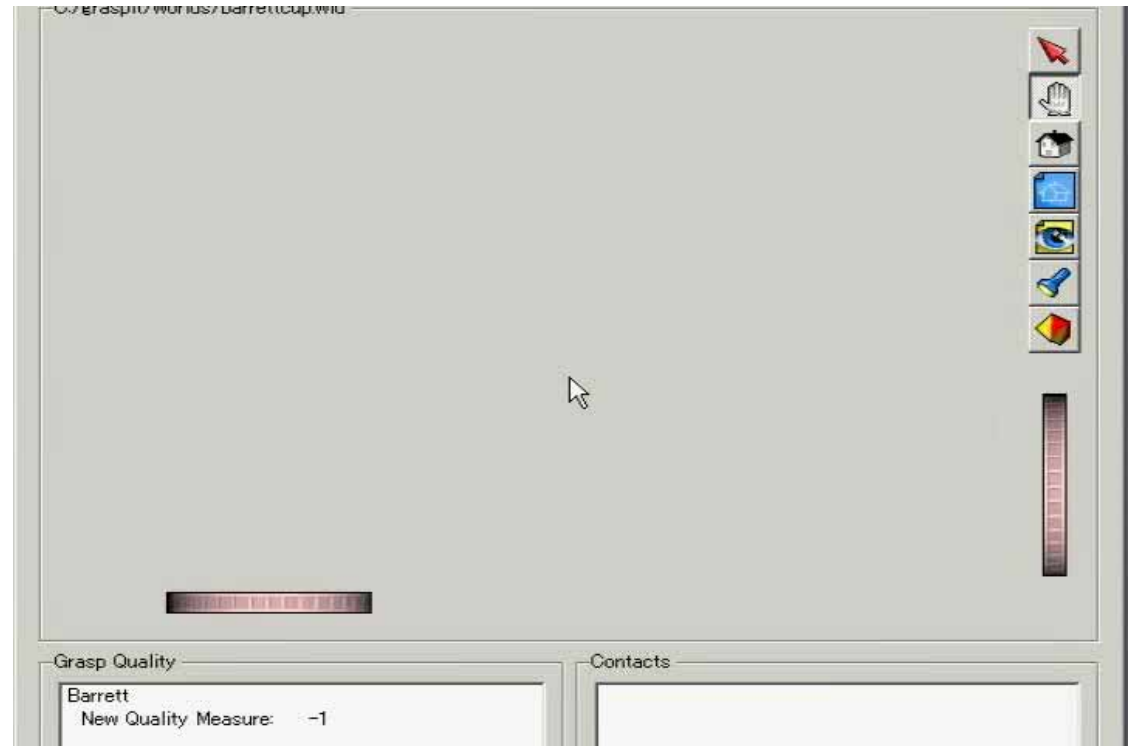
物体拘束計画手法

GraspIt! [Miller 2001]を応用

- ハンドの形状
- 把握する方向
- 対象物の形状，位置



- 最適な指先配置等を決定
- 計算結果が視覚的
- 把持による拘束のみの評価



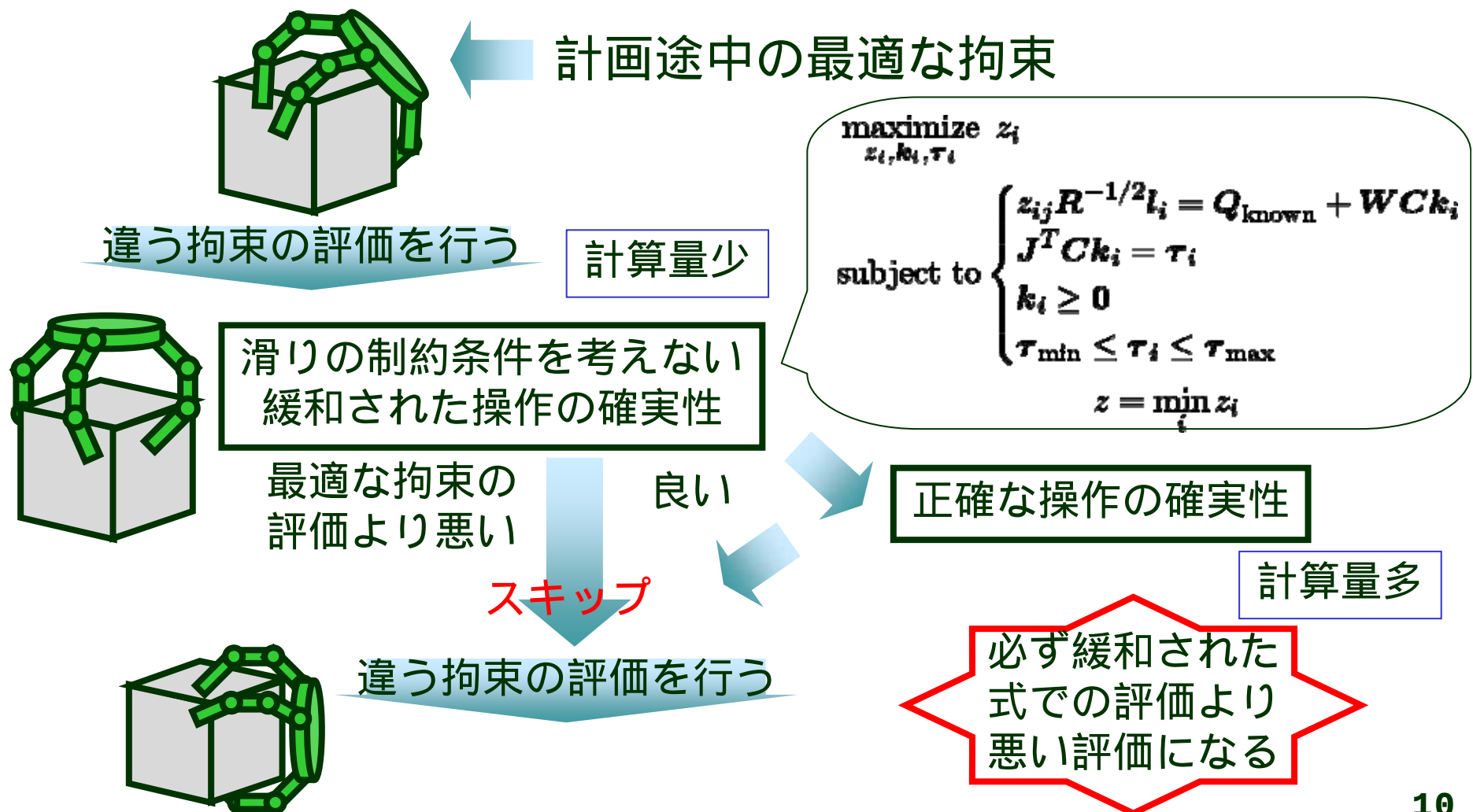
評価関数を「操作の確実性」とする



把持/非把持のいずれの拘束も評価できる

緩和問題を利用した計算の高速化

最適な拘束として見込みがない拘束の計算をスキップ



拘束計画結果

設定条件

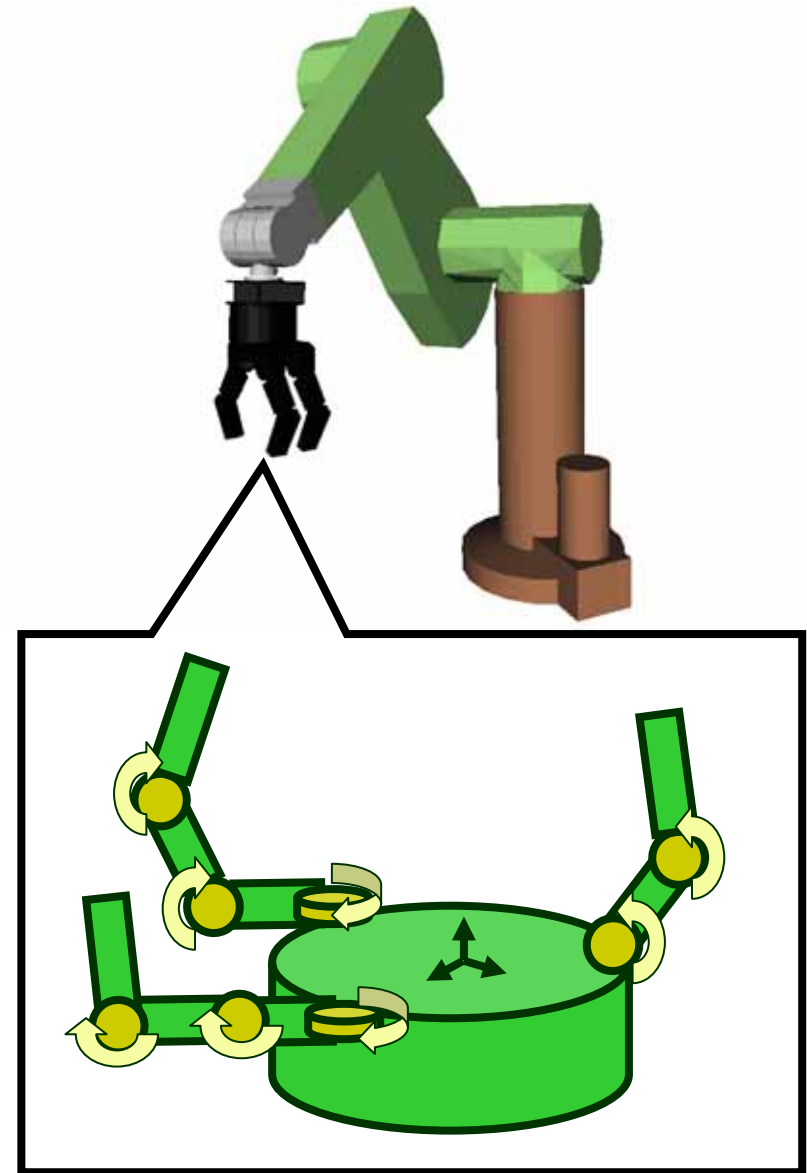
- 対象物は剛体
- 対象物には0.98[N]の重力
- 対象物と環境との摩擦係数は0.3
- ロボットハンドとの摩擦係数は0.5
- 各関節は同じ性能で

$$-0.5 \cdot 1 [\text{Nm}] \leq \tau \leq 0.5 \cdot 1 [\text{Nm}]$$

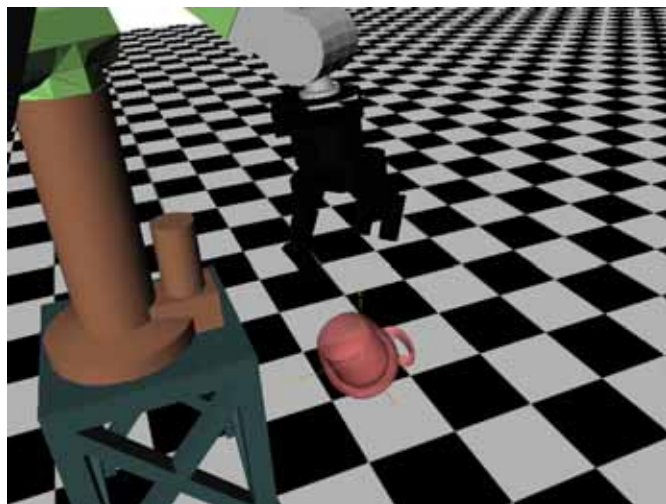
のトルクが出せる

•操作の確実性は、力・モーメント空間の方向として以下の12方向について調べる

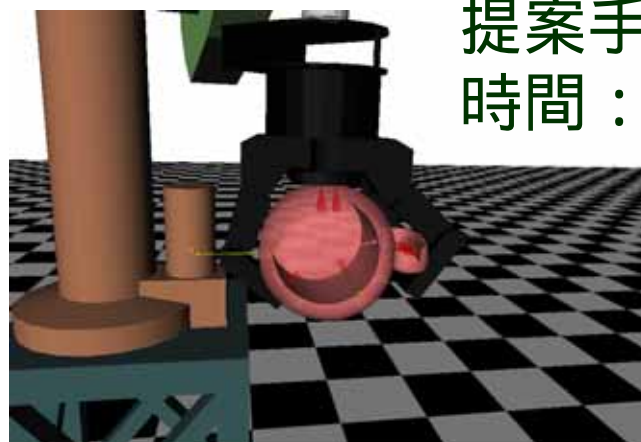
$$l_i = \begin{cases} \begin{bmatrix} \pm 1, 0, 0, 0, 0, 0 \end{bmatrix}^T \\ \begin{bmatrix} 0, \pm 1, 0, 0, 0, 0 \end{bmatrix}^T \\ \begin{bmatrix} 0, 0, \pm 1, 0, 0, 0 \end{bmatrix}^T \\ \begin{bmatrix} 0, 0, 0, \pm 1, 0, 0 \end{bmatrix}^T \\ \begin{bmatrix} 0, 0, 0, 0, \pm 1, 0 \end{bmatrix}^T \\ \begin{bmatrix} 0, 0, 0, 0, 0, \pm 1 \end{bmatrix}^T \end{cases}$$



例1：Mugの静的な拘束計画



Graspl!
時間：1分45秒

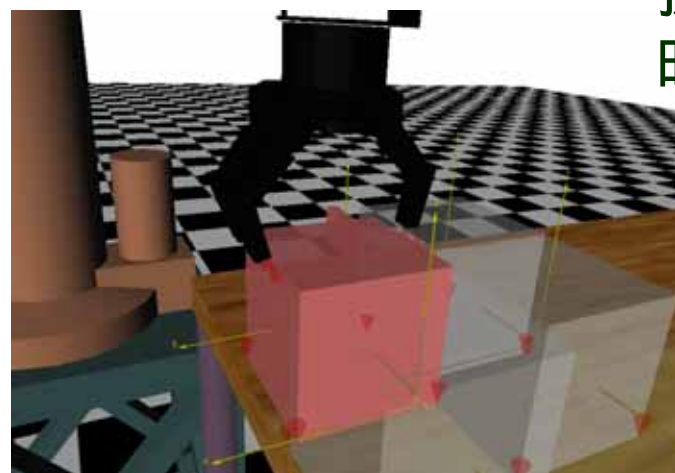
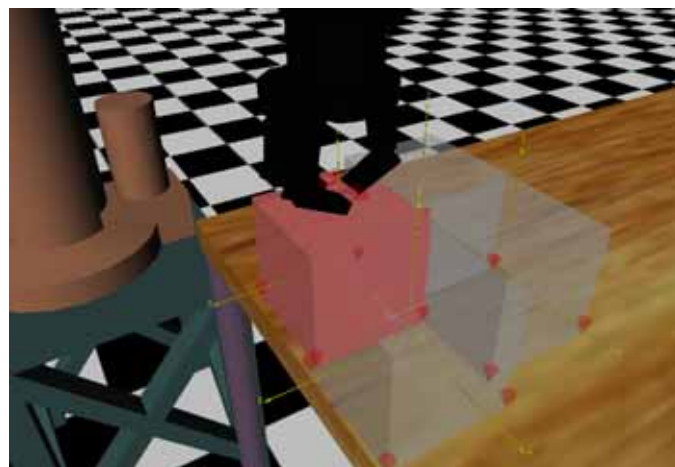
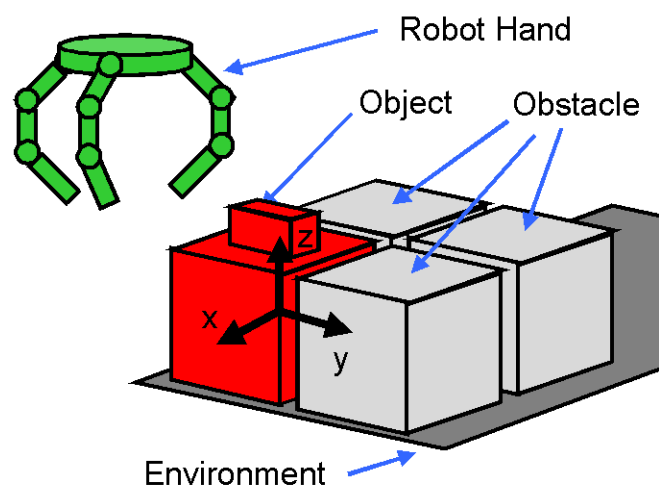


提案手法
時間：1時間42分

把持の物体拘束の計画が可能

計算時間がかかる

例2：机上のBoxの静的な拘束計画

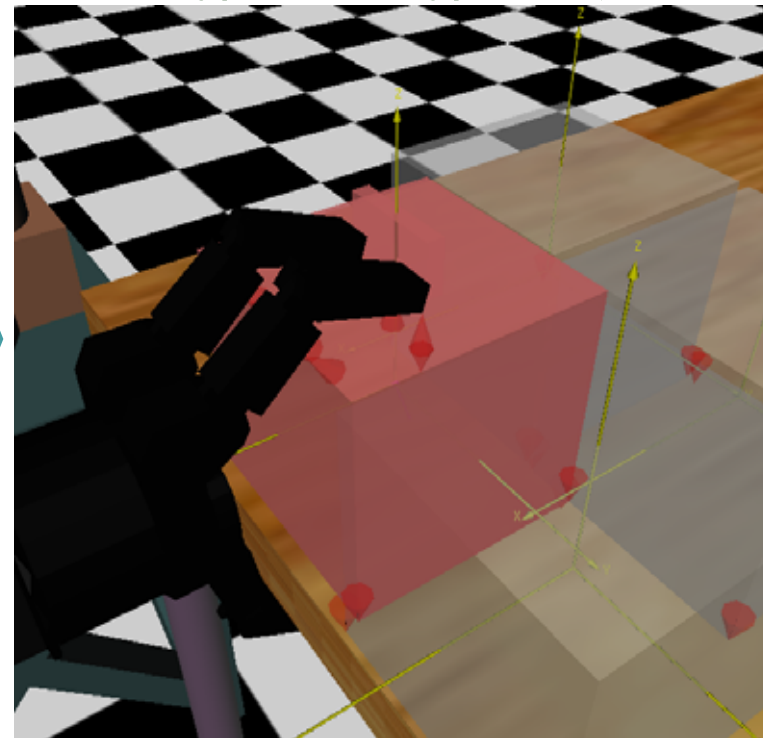
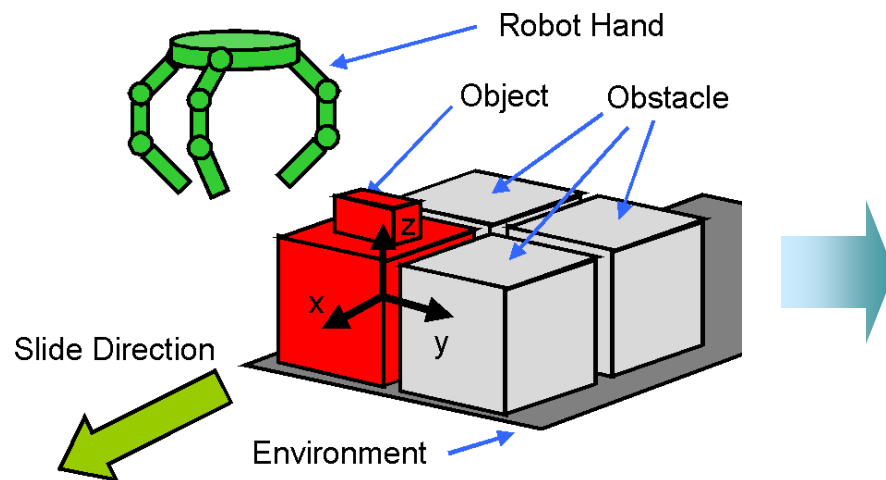


把持しにくい拘束でなく，机に押し付けるような非把持の拘束

例3：机上のBoxの準静的な拘束計画

提案手法

時間：1時間35分



人間がするのと同じような非把持の拘束



結論と今後の展望

結論

評価関数に操作の確実性を使うことで、
把持/非把持状態に対応した物体拘束の計画
が可能になった。

今後の展望

- マニピュレーション計画への拡張
- 物体拘束評価の計算の高速化
- 実際のロボットハンドにより
Grasplt!の計算結果の検証