

# 多指ハンドによる3次元ケーシングの指配置計画問題

## Planning of finger configuration for 3D multifingered caging

榎田 諭 (横浜国立大学)

Satoshi MAKITA (Yokohama Nat. Univ.)

 makita@iir.me.ynu.ac.jp

正 前田 雄介 (横浜国立大学)

Yusuke MAEDA (Yokohama Nat. Univ.)



### Abstract

In this paper, three-dimensional caging by a multifingered hand (3D multifingered caging) is studied. Caging is a method to constrain an object in which robot bodies surround the object and make it inescapable from the “cage” composed of the robot bodies. In 3D multifingered caging, position-controlled robot hands can manipulate objects, and force control is not necessary. Furthermore, even a robot hand with low degrees of freedom can constrain an object to manipulate. We formulate caging problems and derive sufficient conditions. In addition, we propose a method to plan robot motion with the sufficient conditions.

## ケーシング (Caging) とは

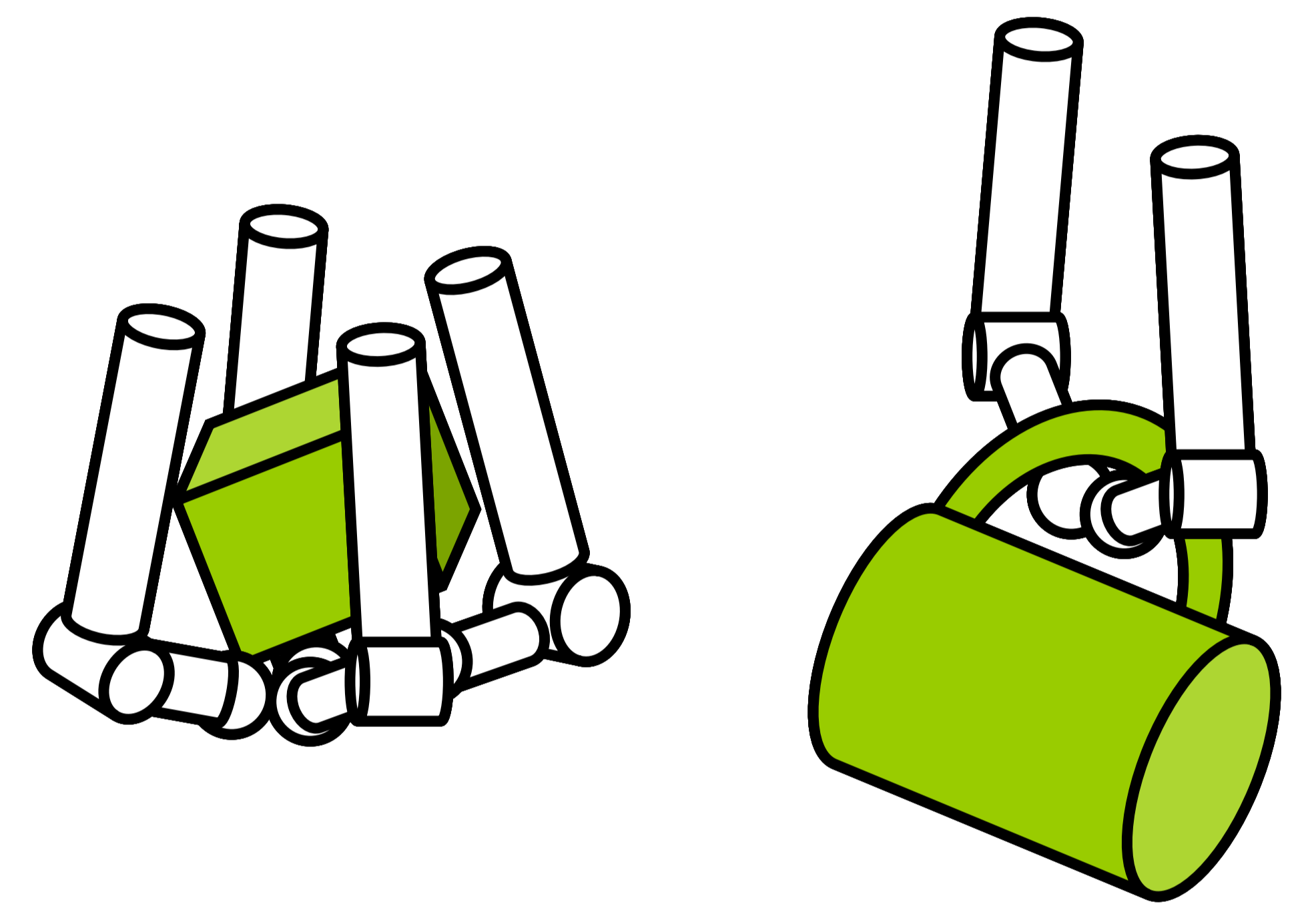
ロボットによって物体を囲い込み、  
逃げられないようにする物体拘束手法

- 位置制御されたロボットのみで物体拘束が可能 (Position-controlled) (力センシング, 力制御が不要)
- 自由度の低いロボットハンドでも物体拘束が可能 (Low d.o.f. hand)

⇒ 制御を簡単にできる

- 拘束にマージンを取ることで, 多少の誤差を許容 (Constraint margin)

⇒ 実機のモデル化誤差, 絶対位置制御誤差を許容できる



3D multifingered caging

実際のロボットハンドでの実行に有利

対象物はある程度の可動領域をもつため、  
対象物の位置・姿勢を正確には決定できない

## 研究目的 Objective

多指ロボットハンドによる3次元ケーシングの実現

### Approach

- ケーシング成立条件の定式化 [榎田2007]
- ロボットハンドの動作計画アルゴリズムの構築

### Examples

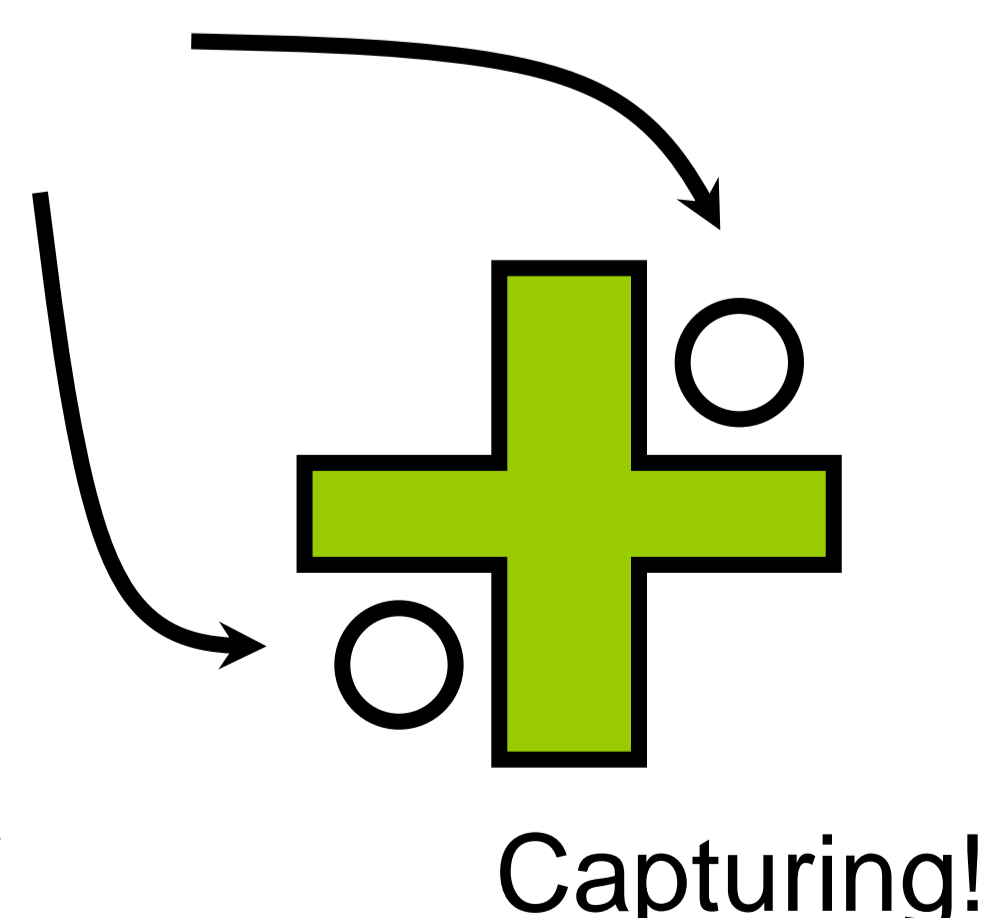
- 球 sphere
- 円板 disk
- リング状物体 ring-like object

## 2次元から3次元へ Expansion of caging problem

従来研究  
Previous works

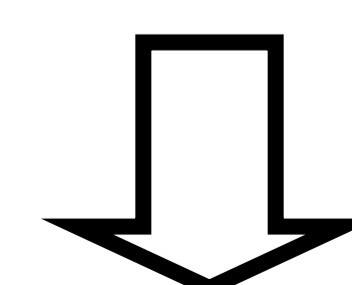
- Rimon and Blake [1996, 1999]  
2指ハンドによる平面ケーシング
- Pipattanasomporn and Sudsang [2006, 2007]  
2指ハンドによる凹多面体のケーシング

⇒ 2次元の問題, もしくは3次元だが  
2次元に帰着できる問題のみ

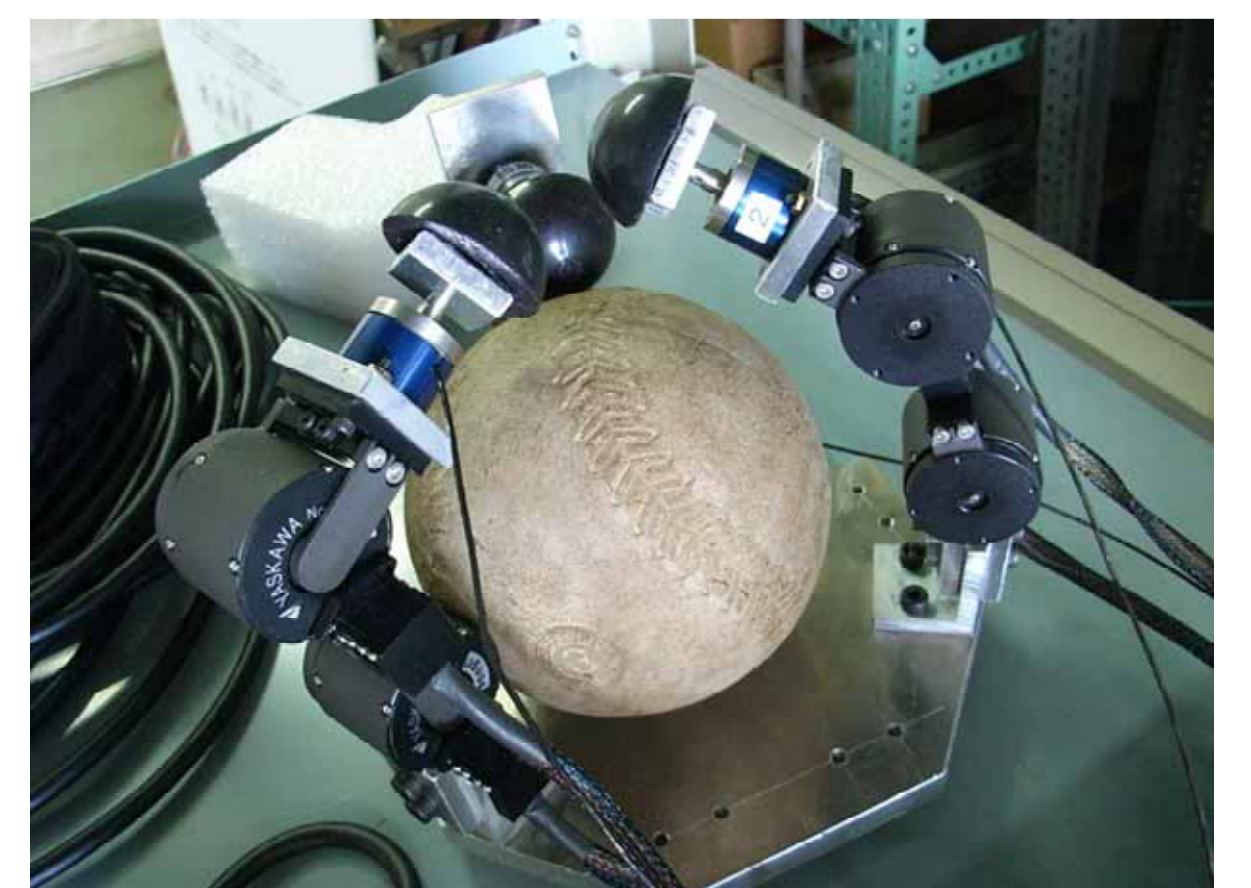


本研究  
Our work

- 対象物, ロボット: 3次元物体  
(位置・3次元 + 姿勢・3次元)



多様なロボットマニピュレーション  
を可能にする



The ball cannot escape  
from the hand?



# ケージング問題の定式化と簡略化

## Formulation and Approximation

ロボットに囲まれた閉鎖内部空間に物体が存在すること

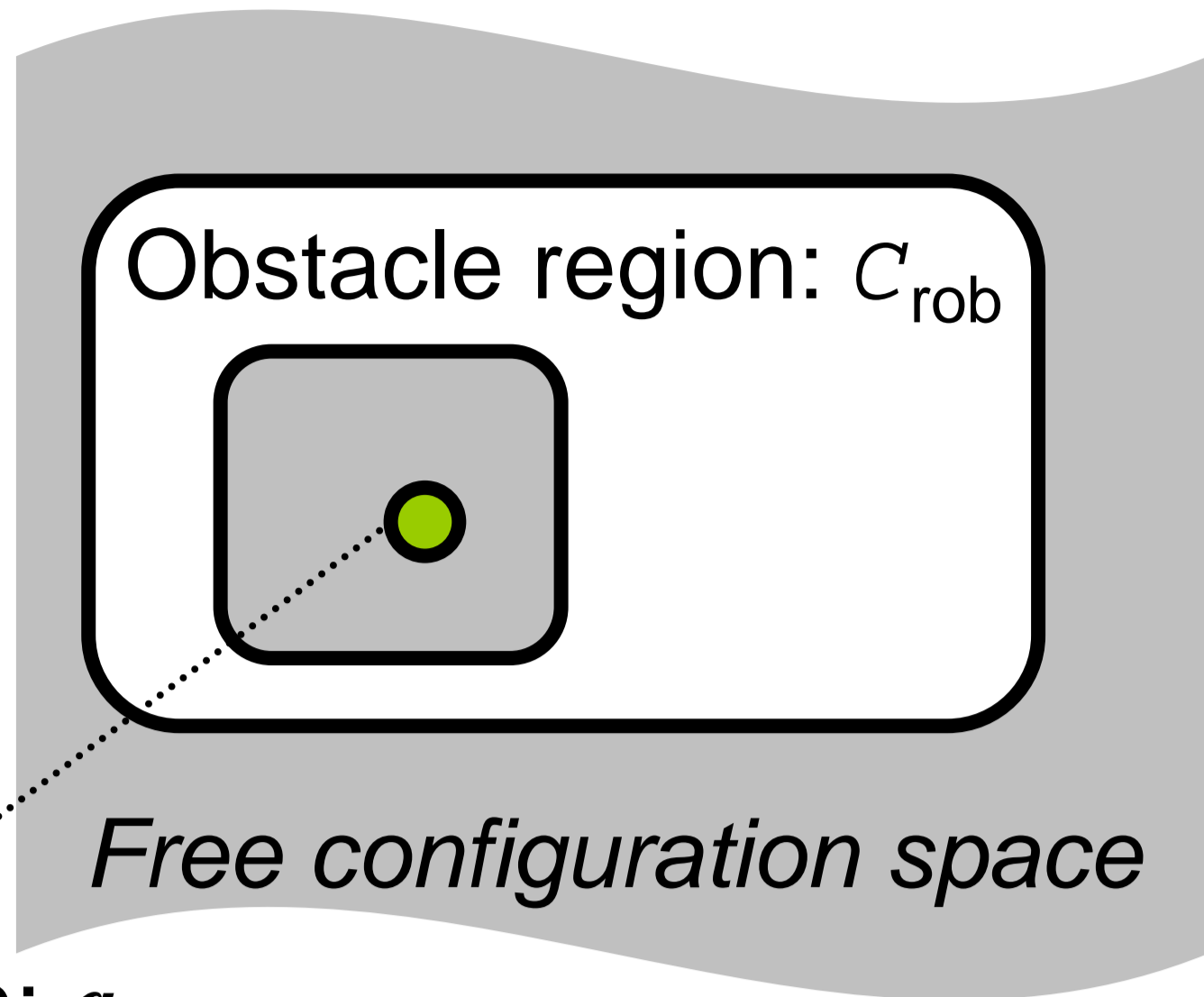
$$C_{ij}(q_{plm}, \theta_i) := \{q_{obj} \in \mathcal{C} \mid \mathcal{A}_{obj}(q_{obj}) \cap \mathcal{A}_{ij}(q_{plm}, \theta_i) \neq \emptyset\}$$

$$C_{rob}(q_{plm}, \theta) := \left( \bigcup_{i=1}^N \bigcup_{j=1}^{L_i} C_{ij}(q_{plm}, \theta_i) \right) \cup C_{plm}(q_{plm})$$

$$q_{obj} \in C_{free\_obj} \neq \emptyset$$

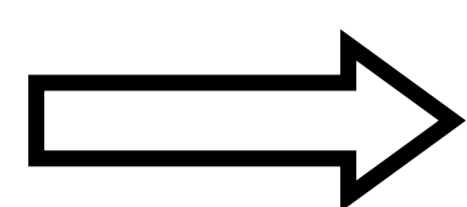
$$q_{inf} \in C_{free\_inf} \cap C_{free\_obj} = \emptyset$$

Object configuration:  $q_{obj}$



- パーム: 正多角形
- 指: 各頂点に配置

関節数, リンク長さは全て等しい  
回転対称的に動く



- 十分条件の簡略化
- 探索空間の次元を減少 (ロボットハンドのコンフィグレーション)

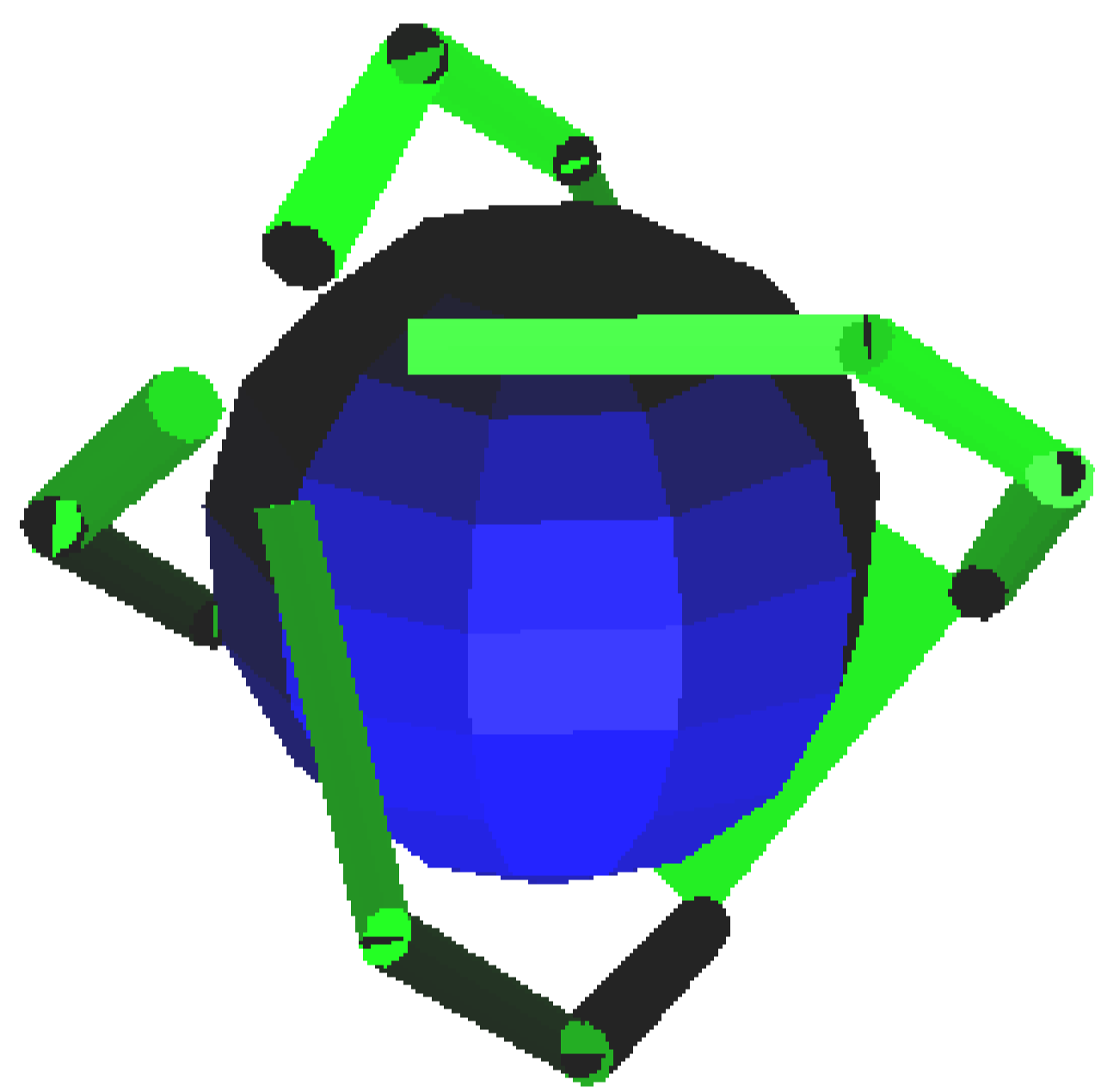
# RRTを使った動作計画手法

## Motion Planning using RRT

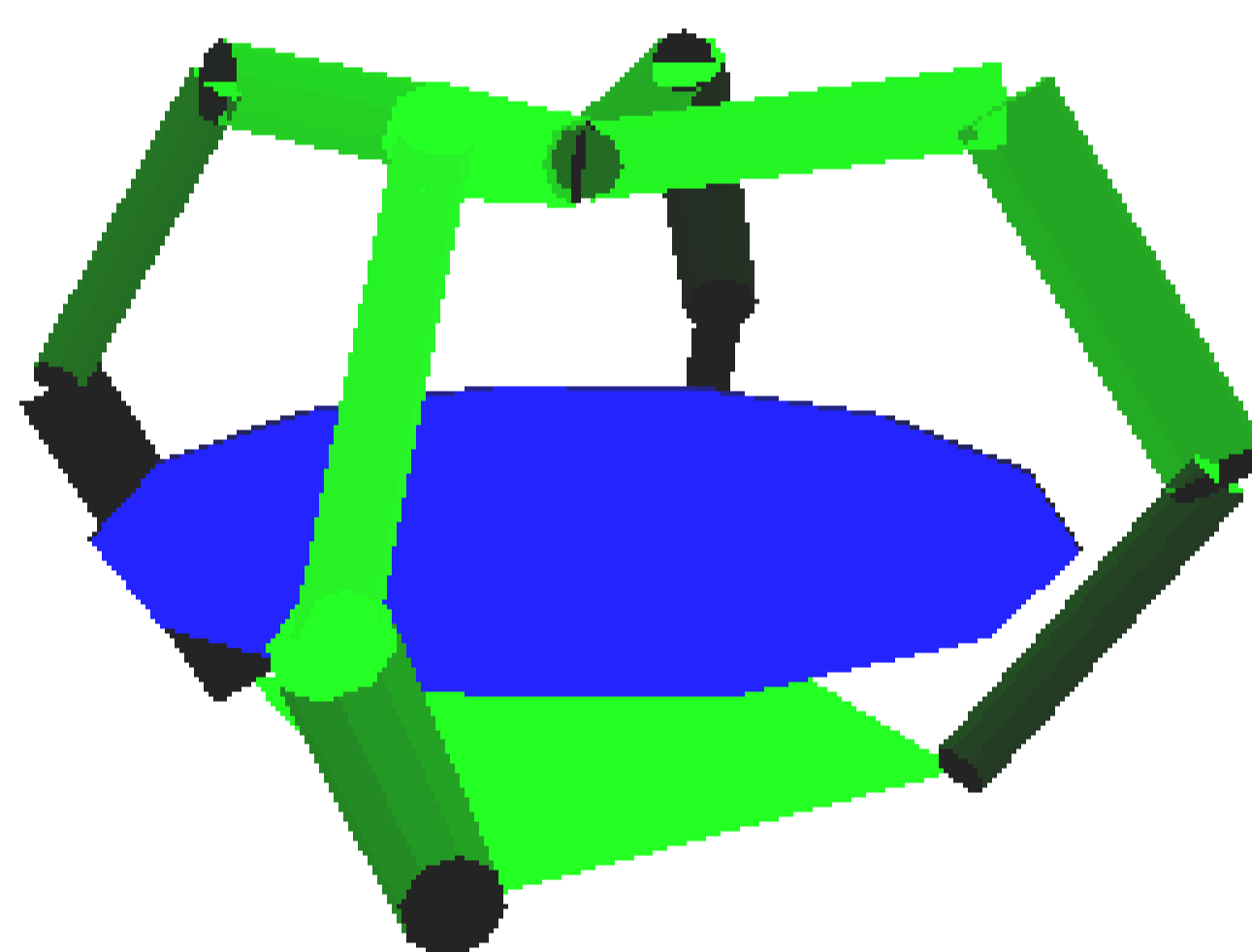
1. 初期コンフィグレーション  $z_{ini}$  を設定する.
2. ランダムなコンフィグレーション  $z_{rand}$  を発生させる.
3. 現在の経路木の中から最も近いコンフィグレーション  $z_{near}$  を選ぶ.
4.  $z_{rand}$  と  $z_{near}$  の間で, 新しいコンフィグレーションの候補  $z_{cand}$  を設定する.
5.  $z_{rand}$  と  $z_{near}$  の間で, ハンドと対象物の衝突判定を行う (PQP を用いる).
6. 衝突がない場合,  $z_{cand}$  は新たなコンフィグレーション  $z_{new}$  として経路木に追加される.
7.  $z_{new}$  が十分条件を満たすまで, 手順2から手順6を繰り返す.

## 動作計画の結果 Planning results

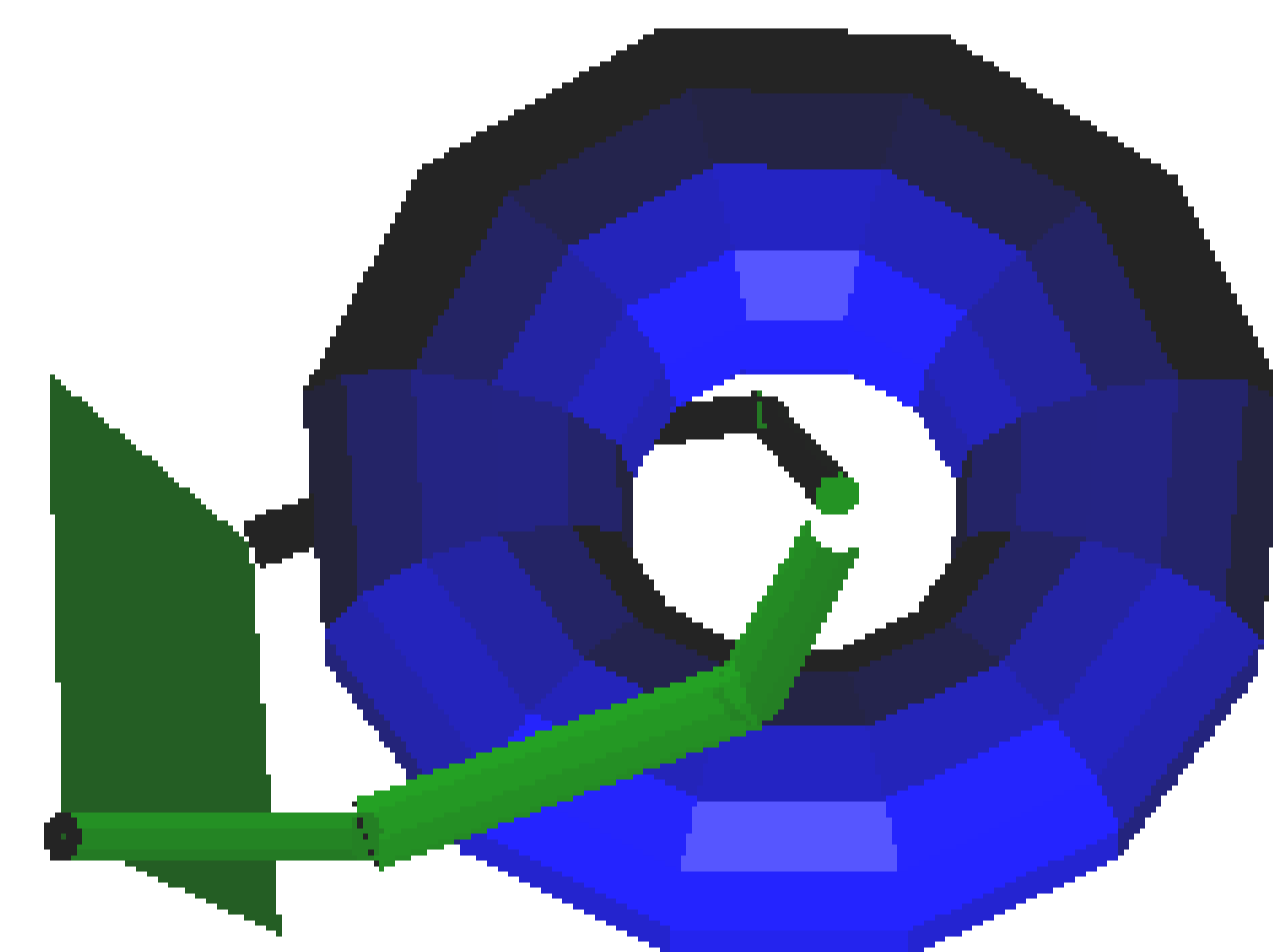
球のケージング  
Caging a sphere



円板のケージング  
Caging a disk

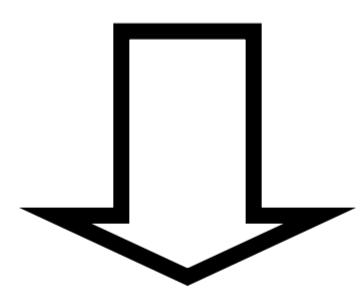


リング状物体のケージング  
Caging a ring-like object



[ケージング成立の十分条件]

指と指の間から対象物が抜け出さないこと



[計画する指の配置]

リンク間の各面が障害物領域に覆われる

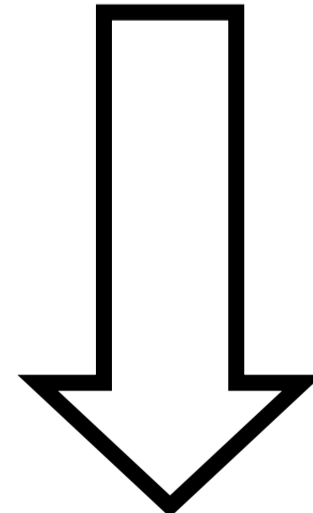
$$r'_j = \frac{r_{sphere}}{\sqrt{1 - \left(\frac{d_j(\bar{\theta}) - d_{j+1}(\bar{\theta})}{2l_j}\right)^2}} > \max\left(\frac{d_j(\bar{\theta})}{2}, \frac{d_{j+1}(\bar{\theta})}{2}\right)$$

$$r_c(\bar{\theta}) < r_{sphere}$$

[計画結果 (指の関節変数)]

$$\theta = [1.060, 1.096, 0.553]^T \text{ (rad)}$$

指と指の間から対象物が抜け出さないこと



関節および指先の間距離が円板の直径より短い

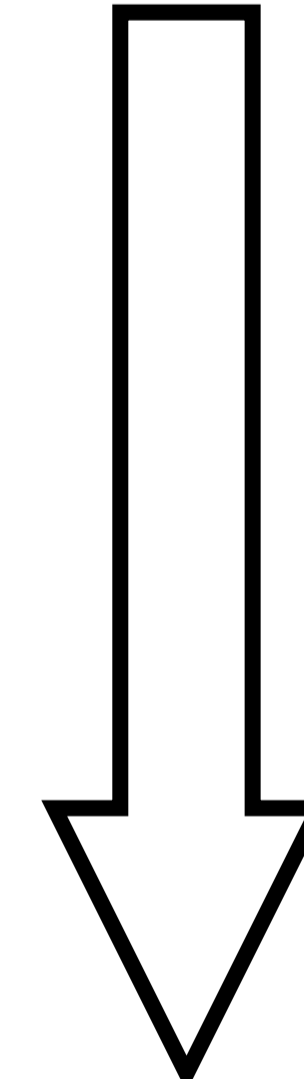
$$d_{ijk}(\bar{\theta}) < 2r_{disk} \quad (k \neq j)$$

$$d_{ij(i+1)k}(\bar{\theta}) < 2r_{disk}$$

$$(i = 1, \dots, N) \quad (j = 1, \dots, \bar{L}) \quad (k = 1, \dots, \bar{L} + 1)$$

$$\theta = [0.994, 1.164, 1.152]^T \text{ (rad)}$$

穴の中で指先間距離が対象物の太さより狭いこと



$$d_{L+1}(\bar{\theta}) < d_{ring}$$

$$\theta = [1.180, 0.682, 1.026]^T \text{ (rad)}$$

## 結論 Conclusion

多指ハンドによる3次元ケージングの定式化と動作計画

- 成立条件の定式化
- 十分条件の導出: 球, 円板, リング状物体
- ロボットハンドの動作計画アルゴリズムの構築
- 動作計画例: 球, 円板, リング状物体

## 今後の展望 Future works

- 複雑形状の物体に対するケージング
- 対象物に近づく, アプローチ動作の計画
- 実機のロボットハンドによる実行

