

# 多指ハンドによる三次元 ケーシングの動作計画手法

\* 榎田 諭 , 前田雄介 ( 横浜国立大学 )

1. ケーシングとは
2. 動作計画アルゴリズム
3. ケーシング成立の条件
4. 計画結果
5. まとめ

# ケーシング（Caging）とは

- ロボットによる囲い（cage）から物体が逃げられないようにする物体拘束手法



object

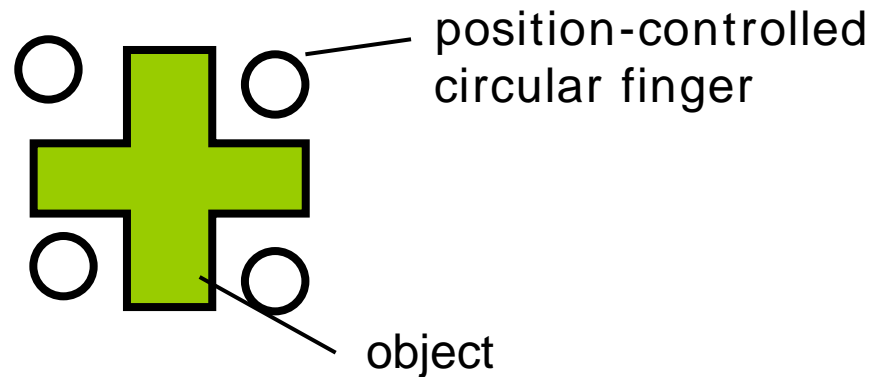
position-controlled  
mobile robot



- 位置制御ロボットで物体を拘束できる
- フォーメーションを維持するだけで物体を搬送できる

# 従来の多指ハンドによるケーシングの研究

- [Rimon 1996]
- [Pipattanasomporn 2007]

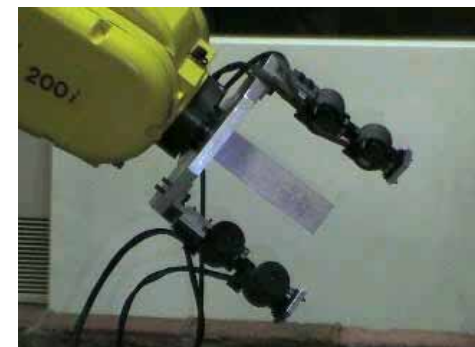
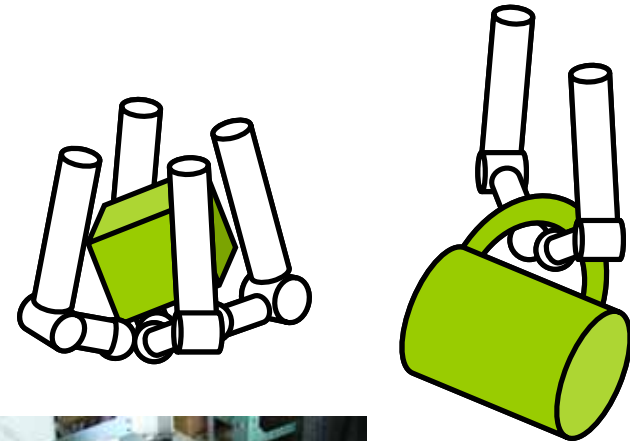


二次元平面内での円形指を用いたケーシングのみ

# 多指ハンドによる三次元ケーシング

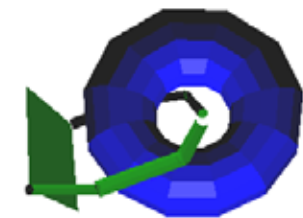
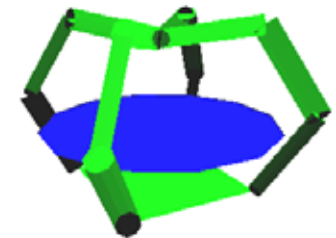
## ■ ハンドのつくるCageから逃げられないようにする

- 位置制御されたハンドで物体を拘束できる
  - カセンシング，力制御が不要
- 自由度の低いハンドでも物体を拘束できる
- 物体拘束にマージンを取ることで，モデル化誤差，位置制御誤差を許容できる．



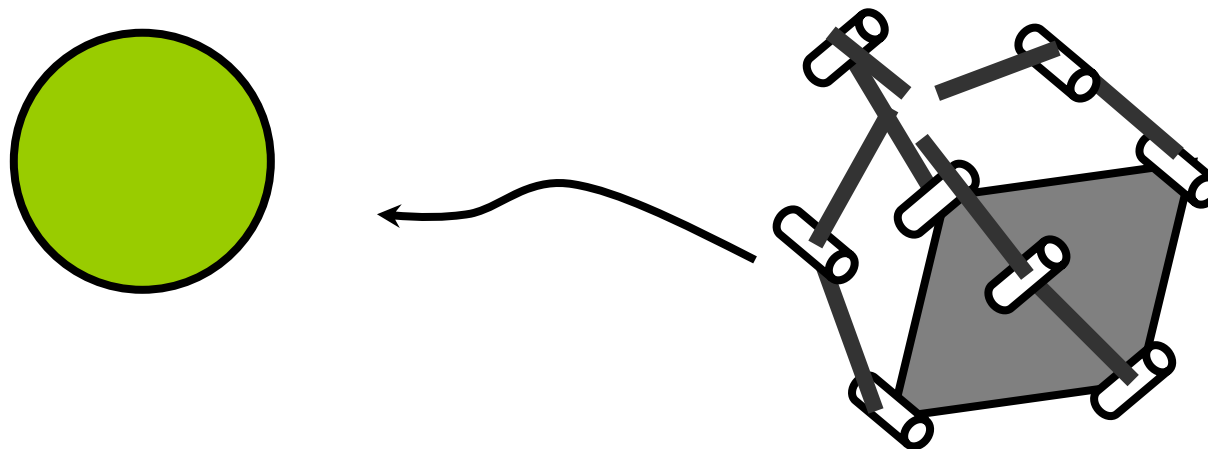
# これまでの取り組み

- 多指ハンド三次元ケーシングの定式化
  - 一般的なケーシングの必要十分条件を定義
  - ケーシング成立の”**十分条件**”の導出
    - 球，円板，リング状物体，のケーシング
- 動作計画アルゴリズムの構築
  - ケーシングを成立させるハンドコンフィギュレーションの生成
  - ただし，”**指の動き**”のみ（対象物とハンドの相対位置関係は固定）



# 研究目的

- 多指ハンドによる三次元ケーシングのロボットハンド全体の動作計画
  - 対象物への“アプローチ動作”
  - 対象物，障害物などとの衝突を避ける経路
  - 対象物のケーシング領域に対する内外判定



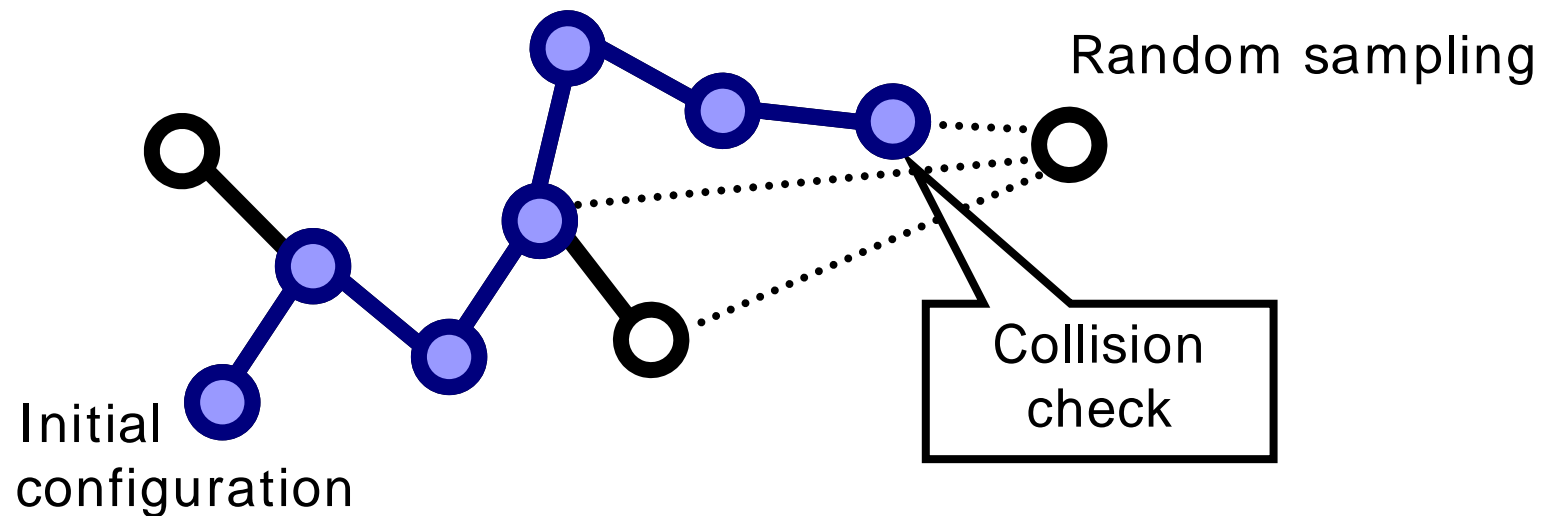


# 動作計画アルゴリズム


- Rapidly-exploring Random Trees (RRT) をベースに構築する
- ロボットと対象物および障害物との衝突がないかPQP (A Proximity Query Package)を用いて干渉チェックする
- 初期コンフィギュレーションから、ケーシングの十分条件を満たすゴールコンフィギュレーションまでの経路を求める

# 動作計画手順（RRTによる探索）

ロボットハンドのコンフィグレーション空間  
（指の関節変数，ハンドの位置・姿勢）







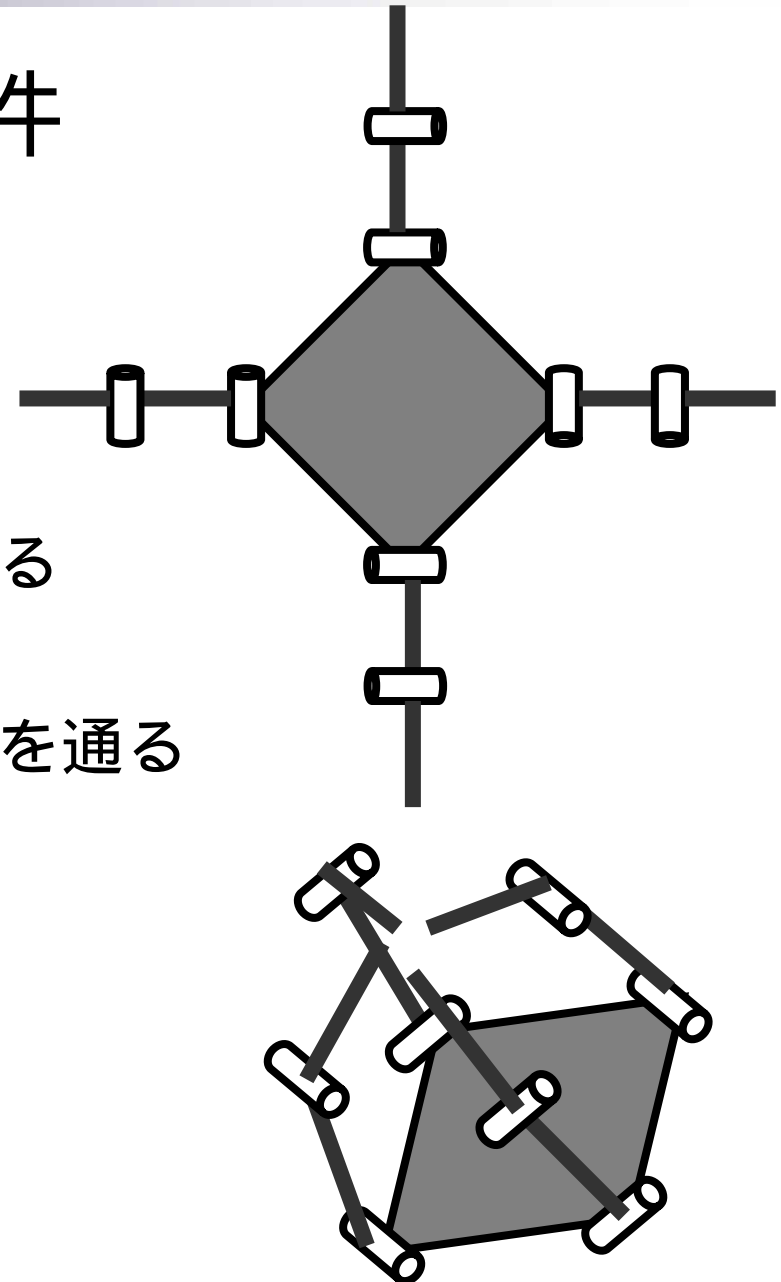
# ケージング成立の十分条件

- 対象物がケージング領域から抜け出せないこと
  - 対象物ごとに拘束条件を導出
- 対象物がケージング領域の内部にあること
  - 内外判定
- 対象物とロボットが干渉していないこと
  - 干渉チェック

# 拘束条件導出の前提条件

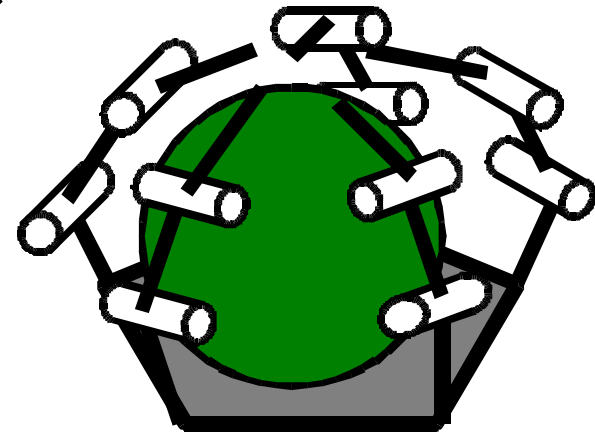
## ■ 対称ハンドを仮定

- 各指は同数の関節を持つ
- 関節はすべて回転関節とする
- パームは正多角形の平板とする
- 指は各頂点に配置する
- 各指はパームの中心と各頂点を通る平面内でのみ動く



## 拘束条件：球のケーシング

- リンク間に形成される面から対象物が抜け出さない
  - リンク間の台形面での条件



$$\frac{r_{\text{sphere}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{d_j(\bar{\theta}) - d_{j+1}(\bar{\theta})}{2l_j}\right)^2}} > \max\left(\frac{d_j(\bar{\theta})}{2}, \frac{d_{j+1}(\bar{\theta})}{2}\right) \quad (j = 1, \dots, \bar{L})$$

- 指先の正多角形面での条件

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

仮定：ハンドと対象物は十分に近づいているものとする

# 拘束条件：円板のケーシング

- 指と指の間から対象物が抜け出せない
  - 指先での条件

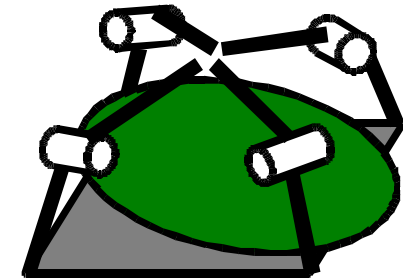
$$2r_c(\bar{\theta}) < t_{\text{disk}}$$

- 関節間での条件

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

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

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

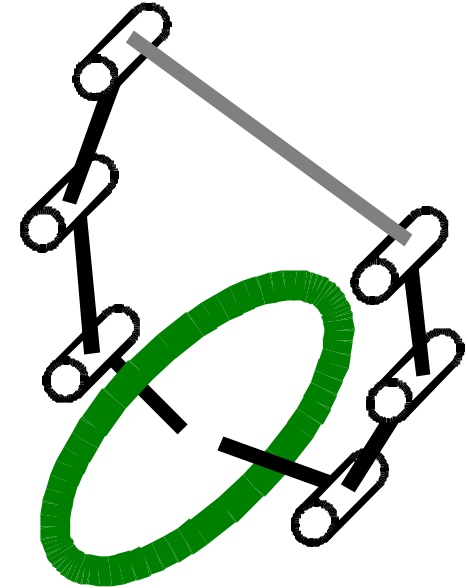


仮定：ハンドと対象物は十分に近づいているものとする

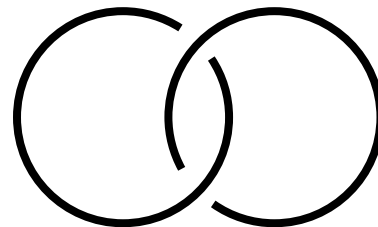
# 拘束条件：リング状物体のケーシング

- 指先の間から対象物が抜け出さない
  - 指先での条件

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



仮定：ハンドと対象物は“Hopf link”を構成する





# ケーシングの十分条件

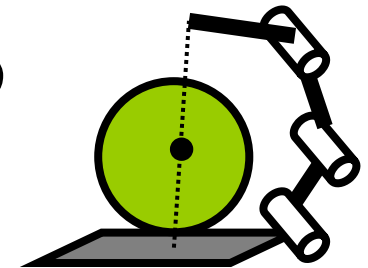
- 対象物がケーシング領域から抜け出せないこと
  - 対象物ごとに拘束条件を導出
- 対象物がケーシング領域の内部にあること
  - 内外判定
- 対象物とロボットが干渉していないこと
  - 干渉チェック

# 対象物のケーシング領域に対する内外判定

## ■ 球，円板のケーシング

- (ハンドと対象物は十分に近づいている)

⇒ **パームと指先を結ぶ線分の中点の対象物の内部にある**

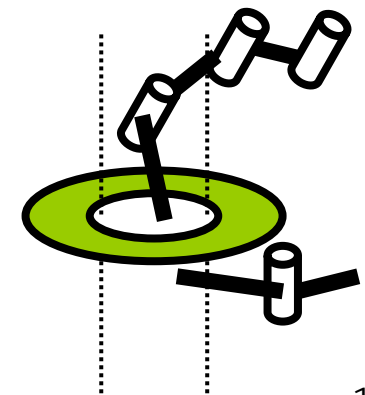


## ■ リング状物体のケーシング

- (ハンドと対象物はHopf linkを形成する)

⇒ **パームと指先を結ぶ線分の中点の対象物の内部にある**

**少なくとも一つのリンクまたは両方の指先が対象物の穴の領域にある**



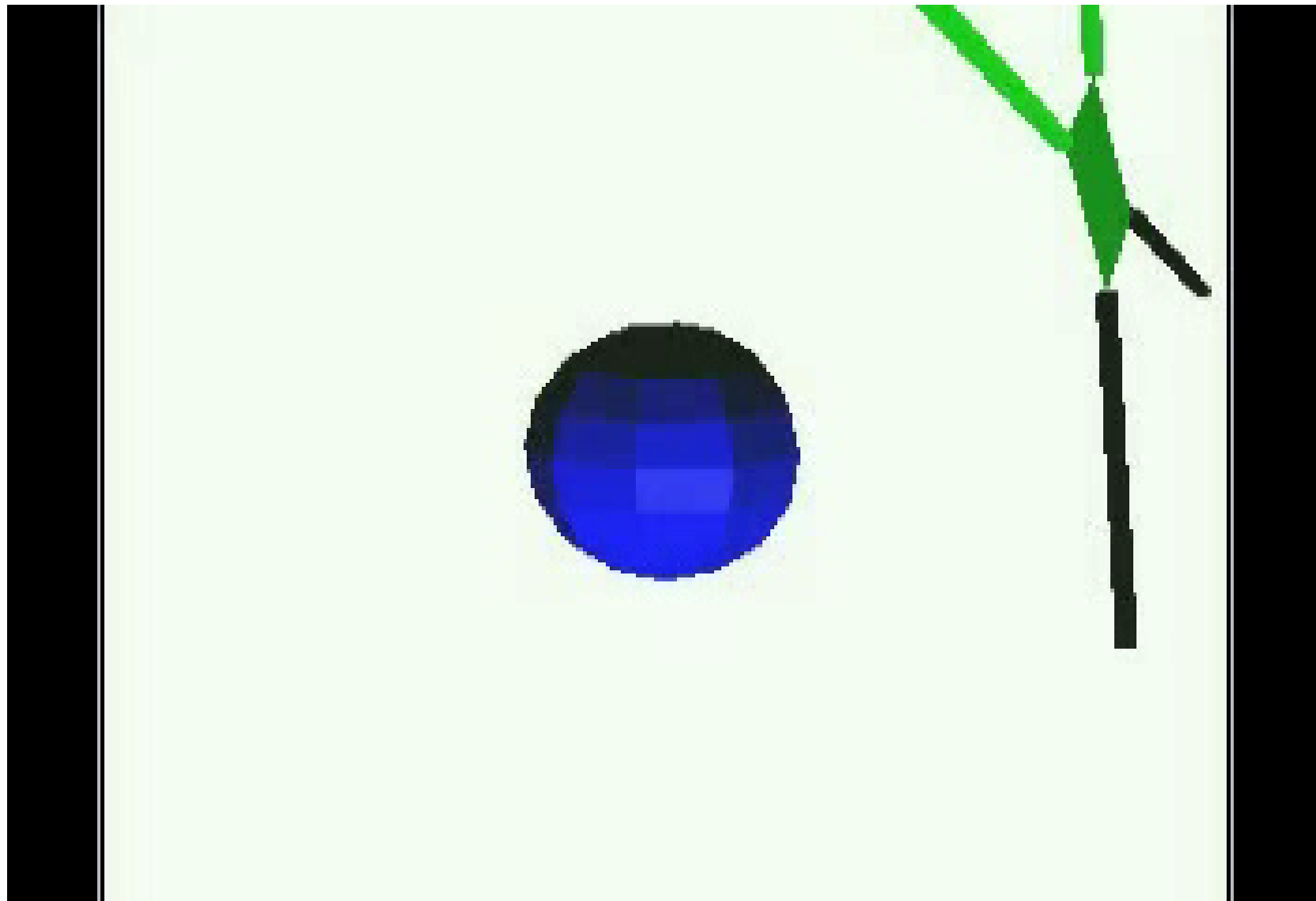
# ケージングの十分条件

- 対象物がケージング領域から抜け出せないこと
  - 対象物ごとに拘束条件を導出
- 対象物がケージング領域の内部にあること
  - 内外判定
- 対象物とロボットが干渉していないこと
  - 干渉チェック

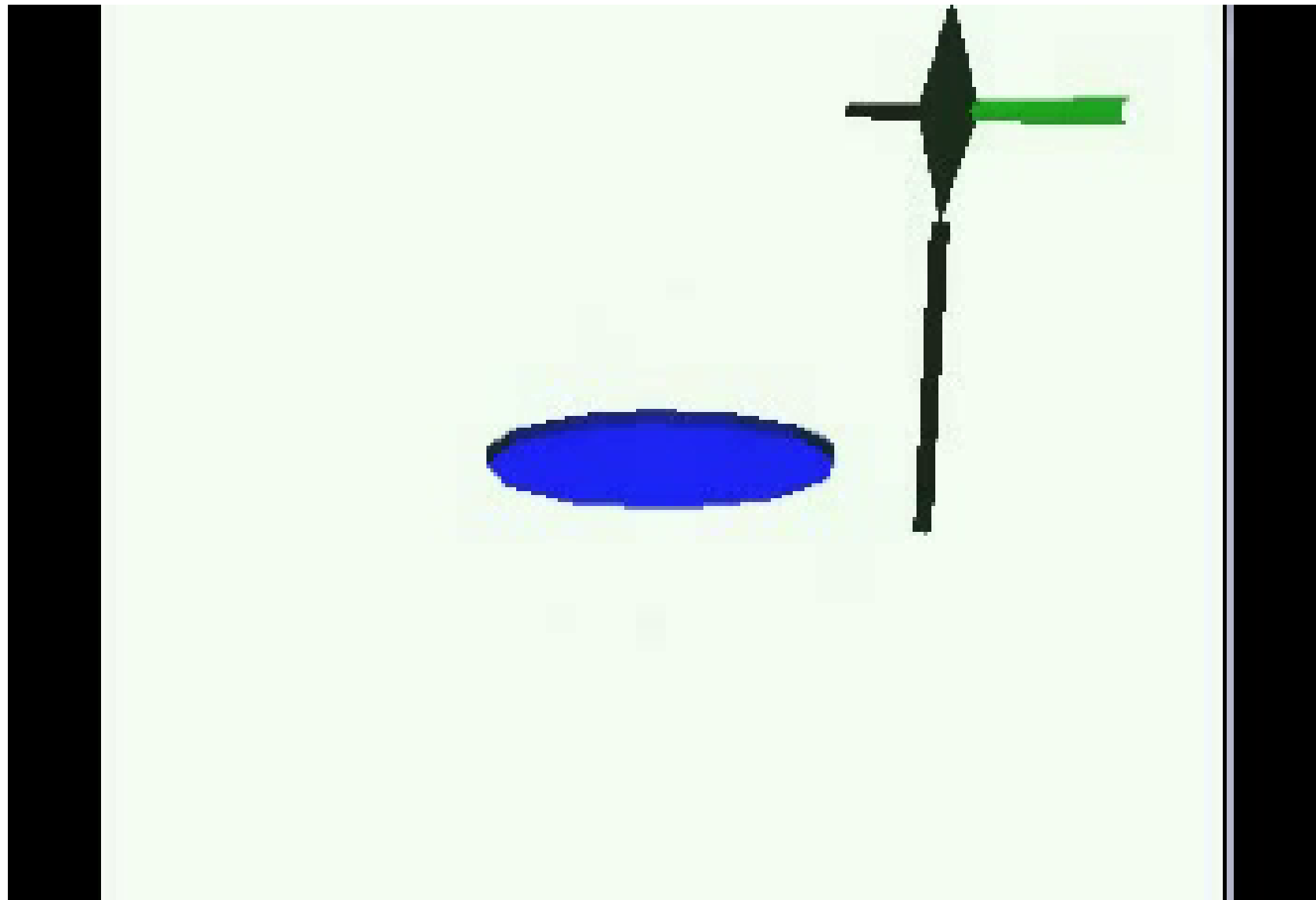
⇒ PQPを用いて，物体の三次元ポリゴンメッシュを作成，  
面同士の干渉を調べる



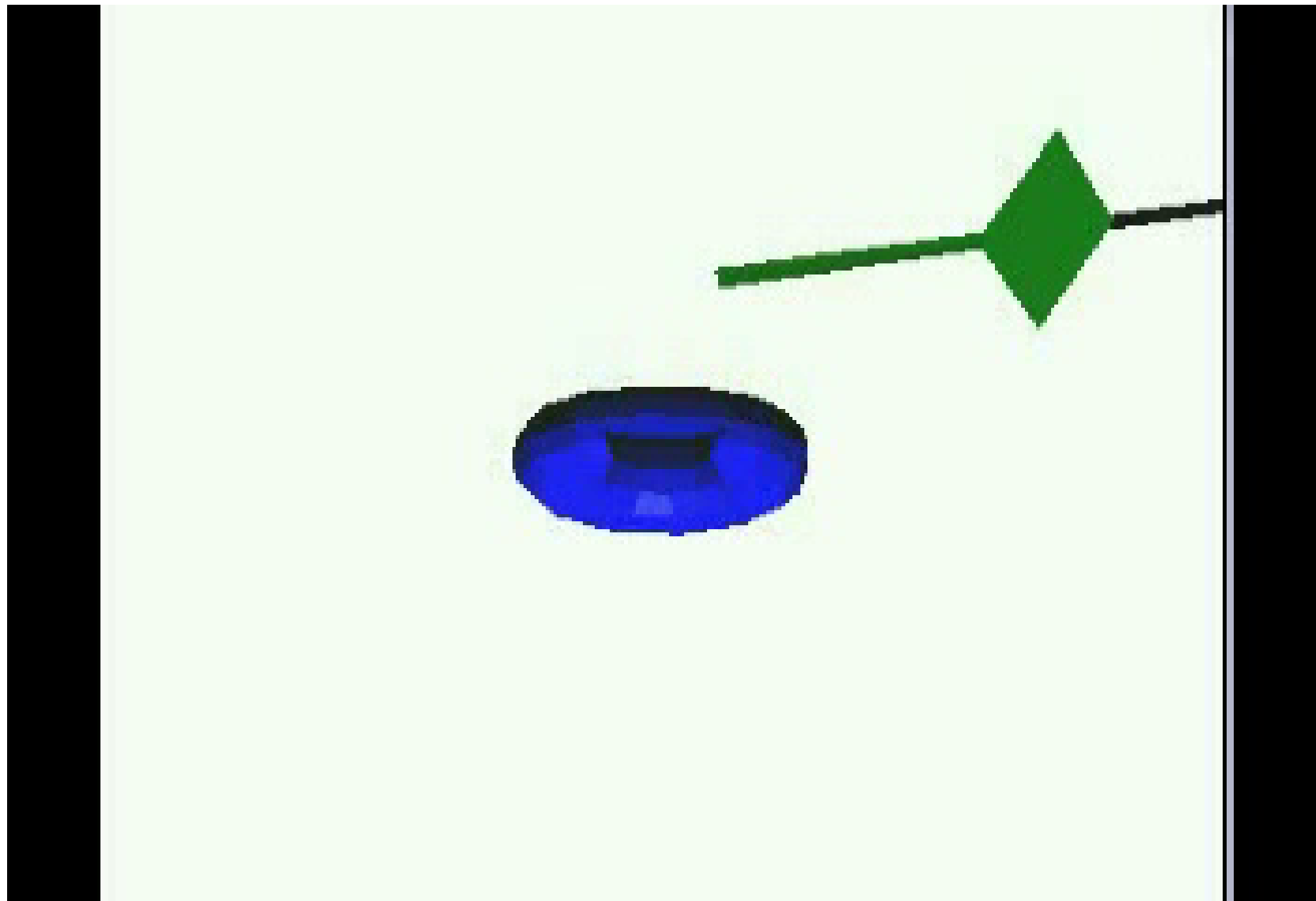
# 計画結果：球のケーシング



# 計画結果：円板のケーシング



# 計画結果：リング状物体のケーシング



# まとめ

- 多指ハンドによる三次元ケーシングの動作計画アルゴリズムの構築
  - 対象物へのハンドのアプローチも含めた動作計画
  - 衝突回避を行いながらの経路探索

## 今後の展望

- 複雑な形状の物体のケーシング
- 実機を用いたケーシング実験

