

二指ハンドによる In-hand ケージングマニピュレーションの計画と実行 Planning and Execution of In-hand Caging Manipulation by a Two-Fingered Hand

浅村 知洋 (三菱電機)
Tomohiro ASAMURA, Mitsubishi Electric Corp.

○前田 雄介 (横国大)
Yusuke MAEDA, Yokohama National University

Abstract

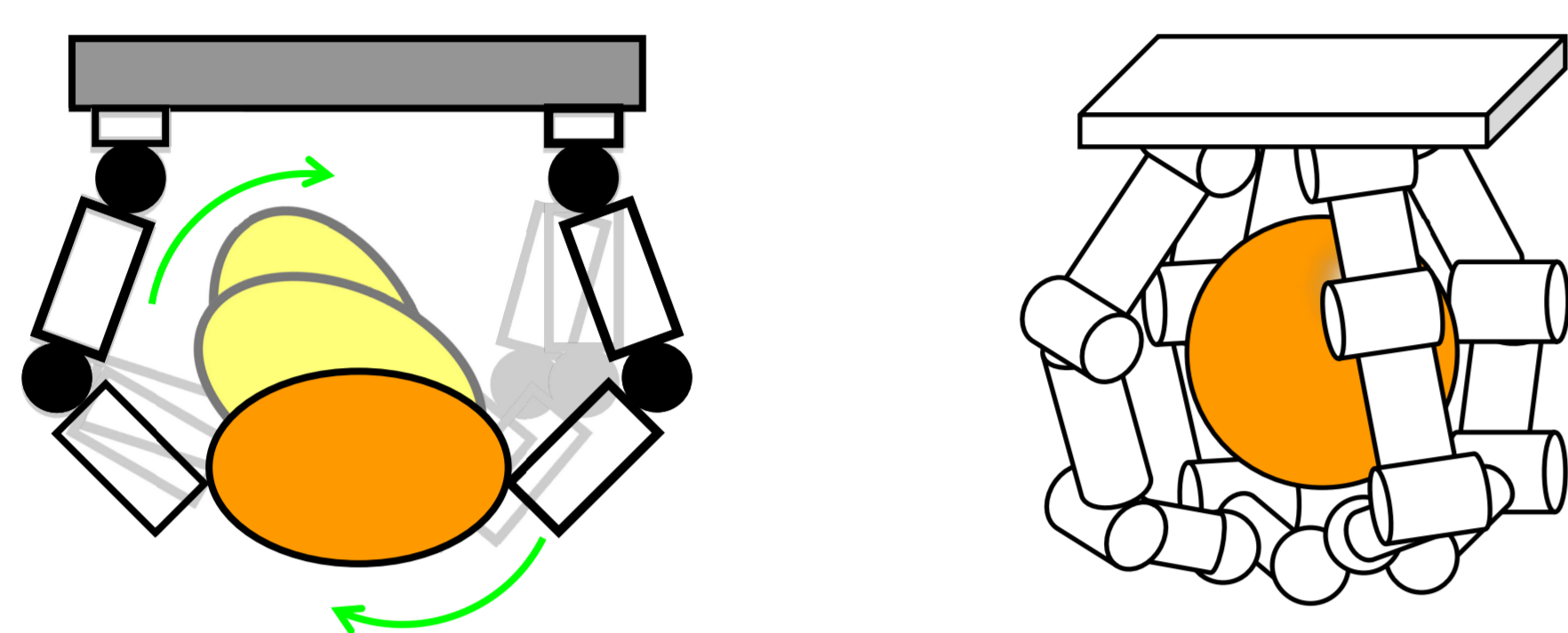
物体をケージングの状態に保ったままハンドの中で操る, In-hand ケージングマニピュレーションの研究を行った. 本手法では, 位置制御による In-hand マニピュレーションが可能である. 二指ハンドによる二次元平面内での円形物体の操りを対象に, RRT (Rapidly-exploring Random Trees) に基づく動作計画アルゴリズムを開発した. また, 計画結果の実機ハンドによる検証を行った.

In this paper, we studied a method to manipulate objects in position-controlled robot hands: in-hand caging manipulation. In this method, an object is caged by a hand throughout manipulation and localized around a goal as a result of the deformation of the cage. A motion planning algorithm for planar in-hand caging manipulation of a circular object was proposed. Planned motions by the algorithm were successfully performed by a two-fingered robot hand.

研究背景

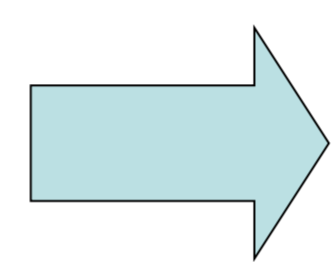
In-hand マニピュレーション

ハンドの中で物体の位置や姿勢を変化させたり物体を持ち替えるといった動作



多くの従来研究

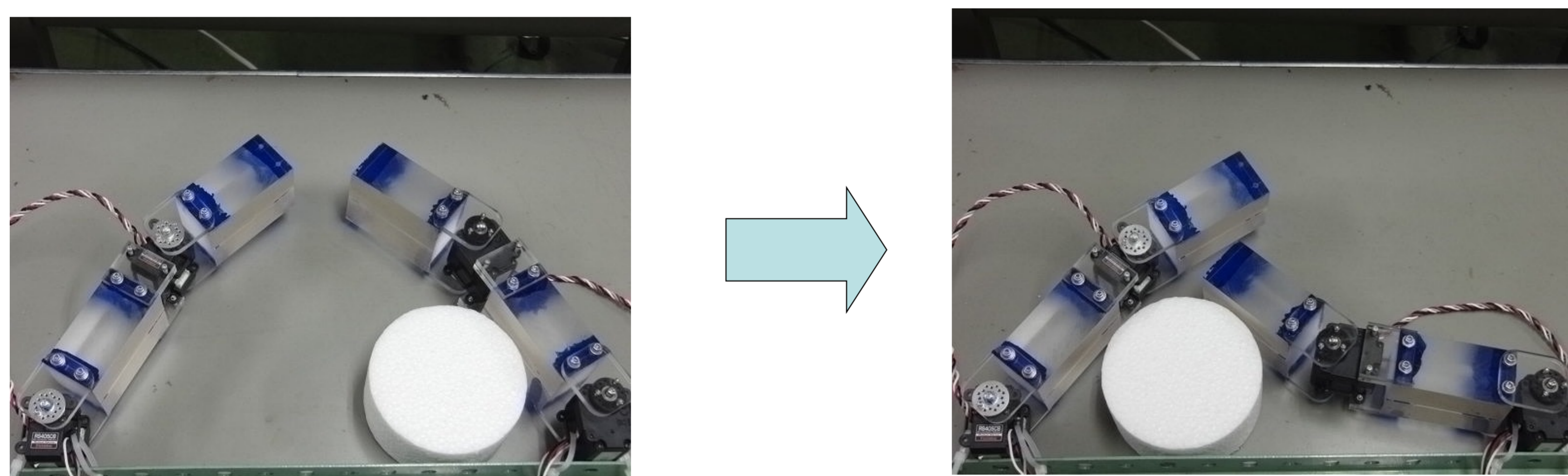
カセンシングや力制御, 力学的解析に基づいて器用な操りを実現 ex.) [Rus 1999] [八島 2003]



単純な操作に限定すれば, もっと簡単な in-hand マニピュレーションが実現できるのでは?

従来研究

In-hand ケージングマニピュレーション [浅村 2012]



- ケージングの状態を保ったまま in-hand マニピュレーション
- 位置制御, 外界センサレス
- 対象物の位置・姿勢のばらつき・外乱を吸収可能

マニピュレーション計画は人間が手動で作成

研究目的

In-hand ケージングマニピュレーションの自動動作計画の実現

今回は二次元平面内のマニピュレーションを対象

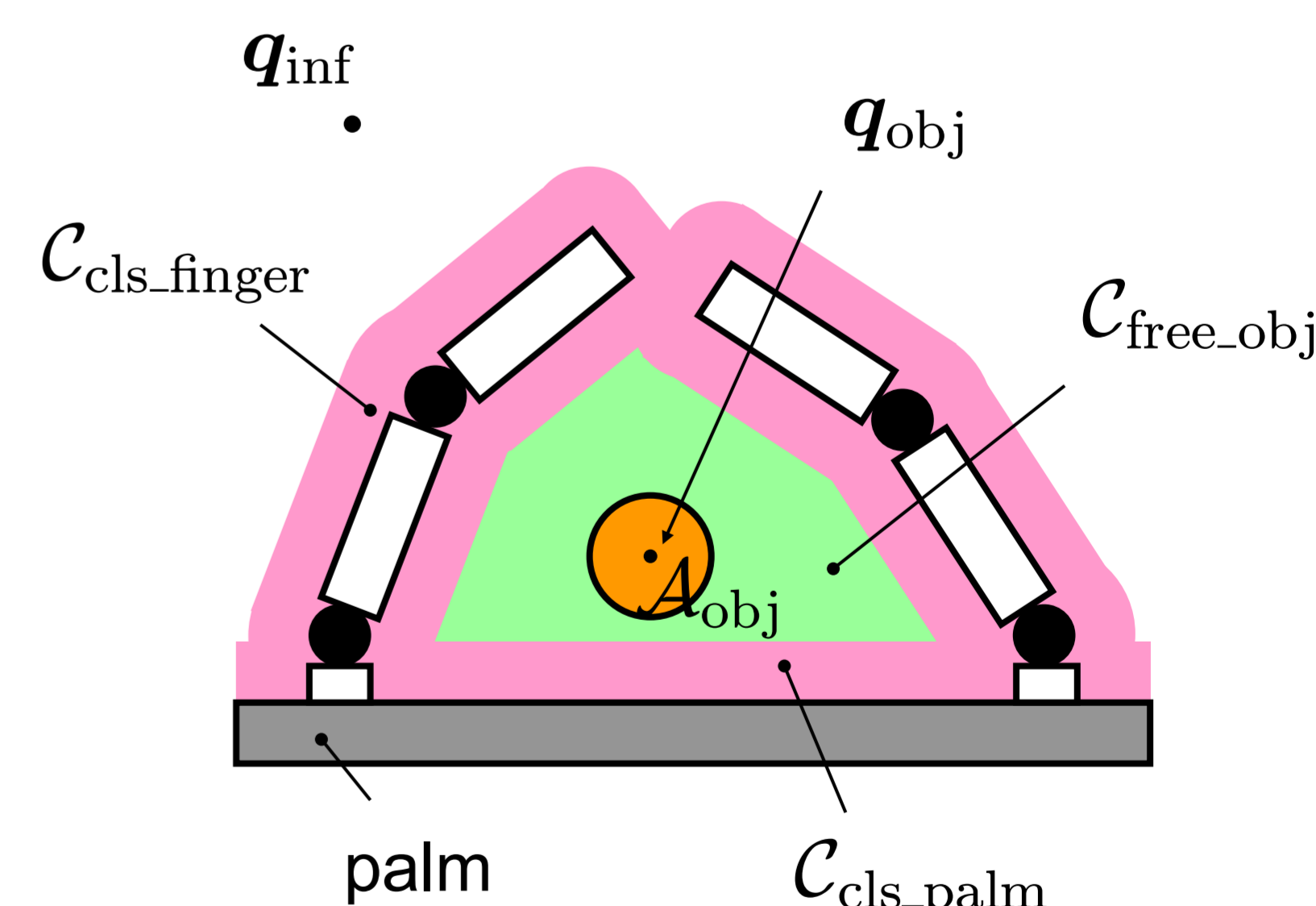
In-hand ケージングマニピュレーションの条件 [浅村 2012]

ケージング成立条件

$$\begin{cases} C_{\text{free_obj}} \neq \emptyset \\ C_{\text{free_obj}} \cap C_{\text{free_inf}} = \emptyset \end{cases}$$

$C_{\text{free_obj}}$: 対象物のコンフィギュレーション自由空間のうち, 現在のコンフィギュレーションを含む連結領域

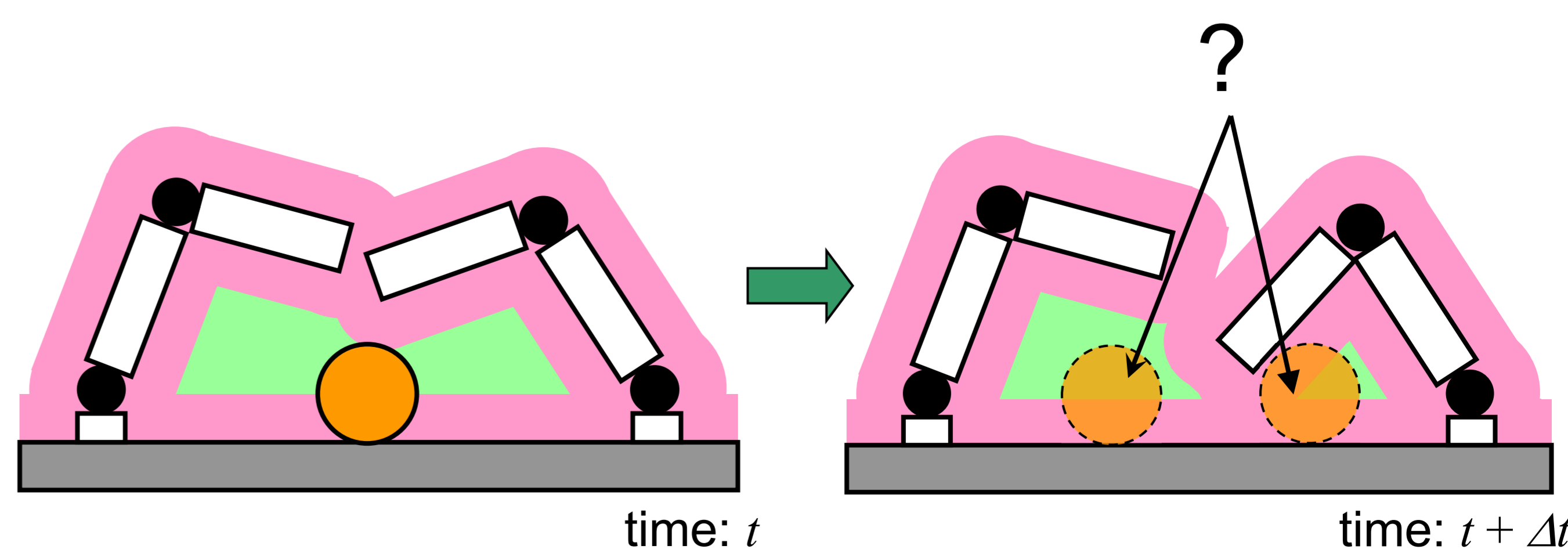
$C_{\text{free_inf}}$: 対象物のコンフィギュレーション自由空間のうち, 無限点を含む連結領域



ケージングマニピュレーション可能条件

ケージング内部領域の減少が連続的であり, 分断されない場合マニピュレーション可能

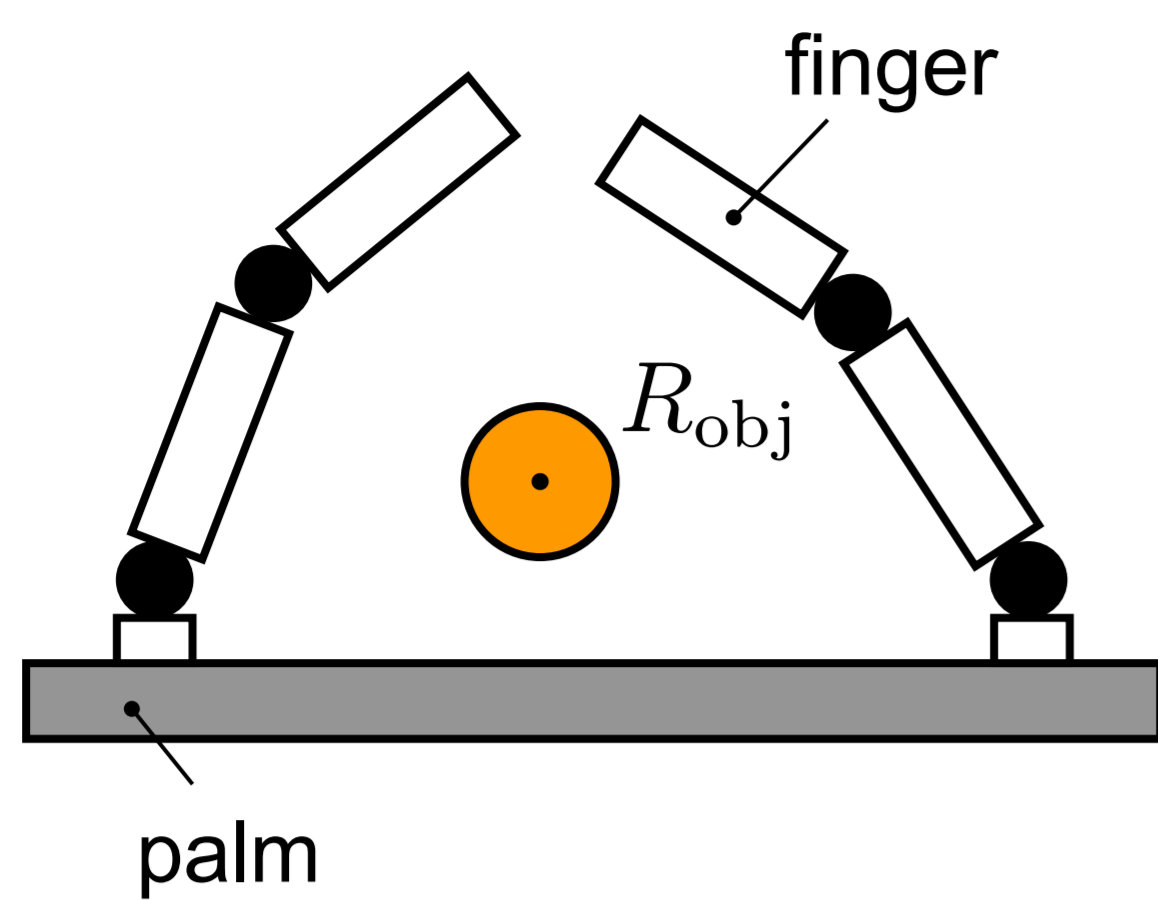
$$\lim_{\Delta t \rightarrow +0} (C_{\text{free_obj}}(t) \cap C_{\text{free_obj}}(t + \Delta t)) = C_{\text{free_obj}}(t)$$



Possible manipulation failure by discontinuous shrinkage of caged regions

動作計画問題

対象物を初期位置から目標位置の「近傍」まで搬送するためのハンドの動作を決定する



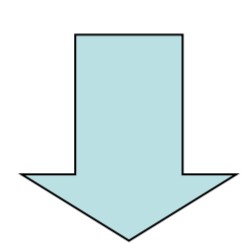
仮定

- 対象物は円形
- ハンドは4自由度(二指 × 二関節)
- 対象物のコンフィギュレーションは未知だが、初期状態においてケーシングが成立している
- ケージング内部領域が目標位置からの一定距離内に完全に含まれたら搬送終了

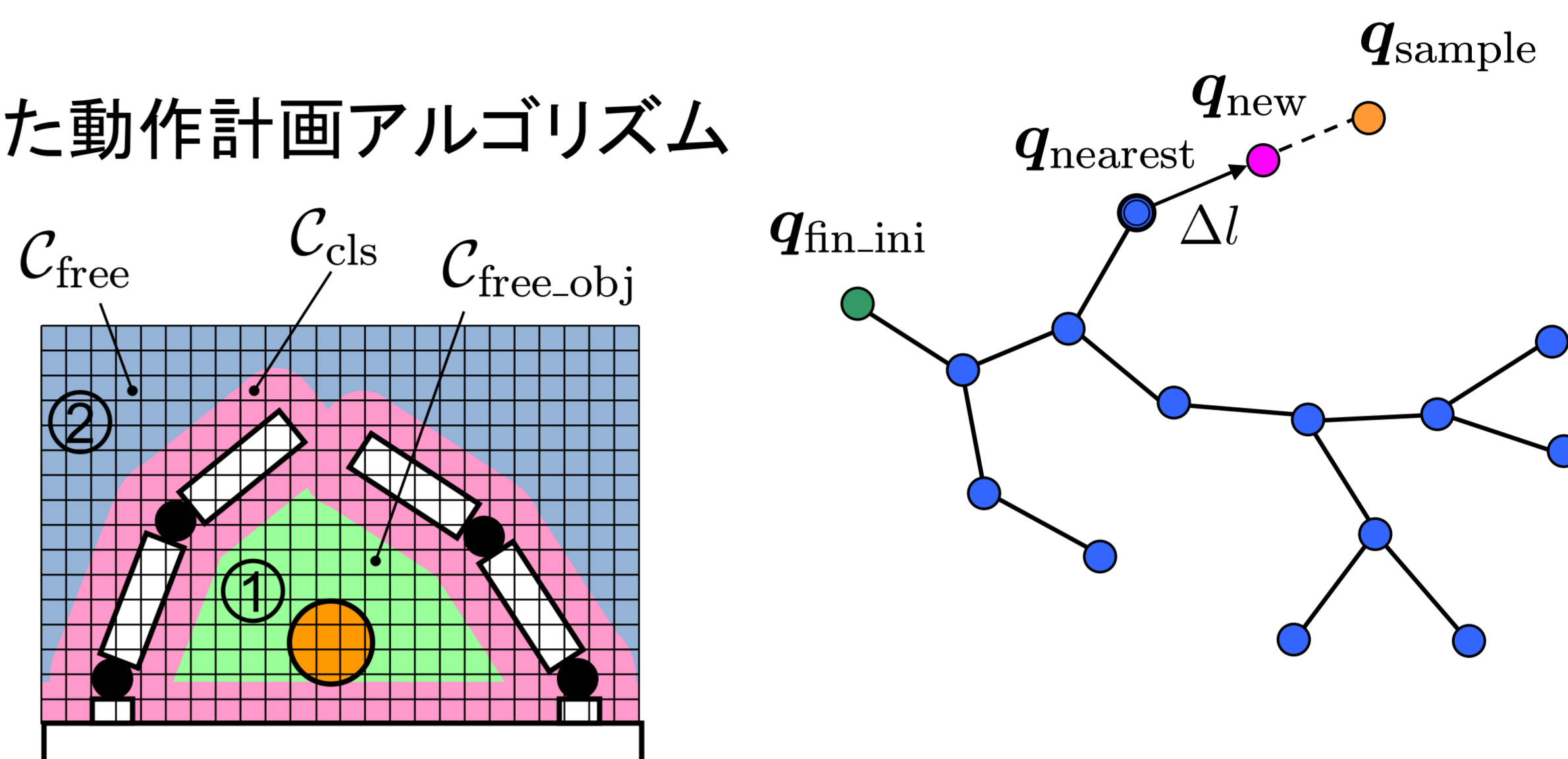
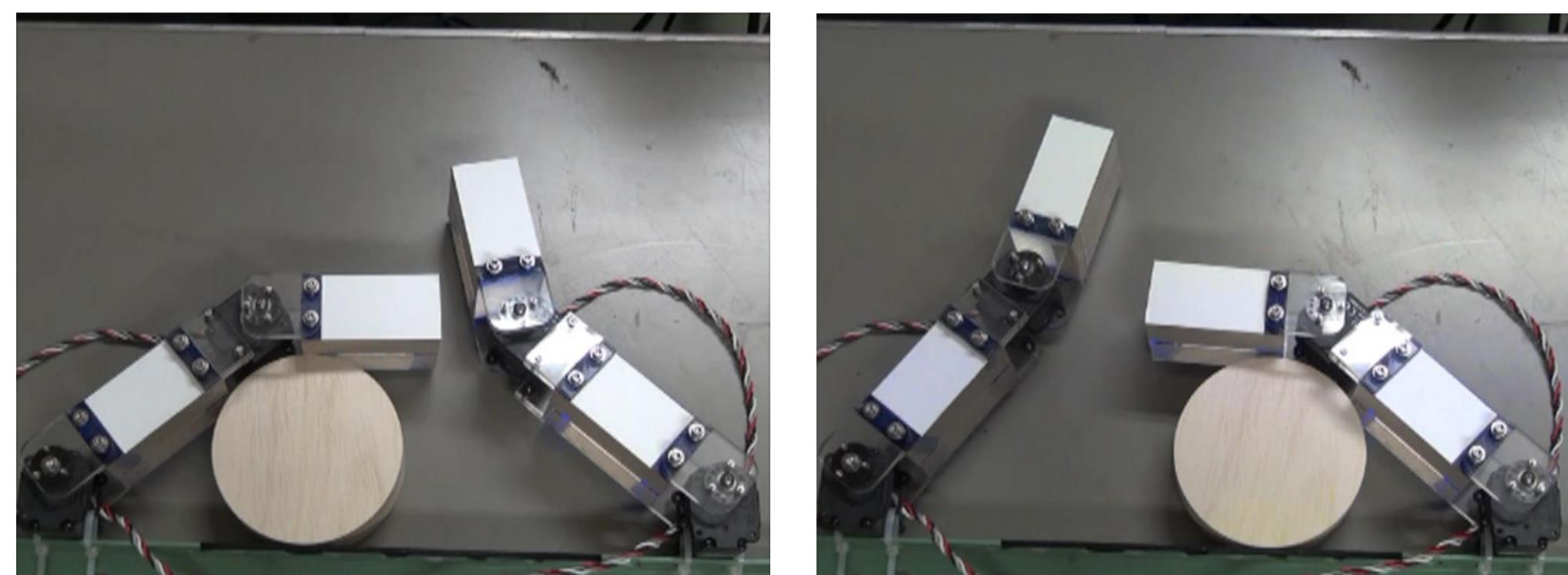
計画アルゴリズム

RRT (Rapidly-exploring Random Trees) [LaValle 01] をベースにした動作計画アルゴリズム

- 対象物のコンフィギュレーション空間をグリッド表現
- ケージング成立を常にチェック
- ケージングマニピュレーション可能条件の成立を常にチェック
- ランダムにハンドのコンフィギュレーション空間(4次元)内で枝を伸ばす

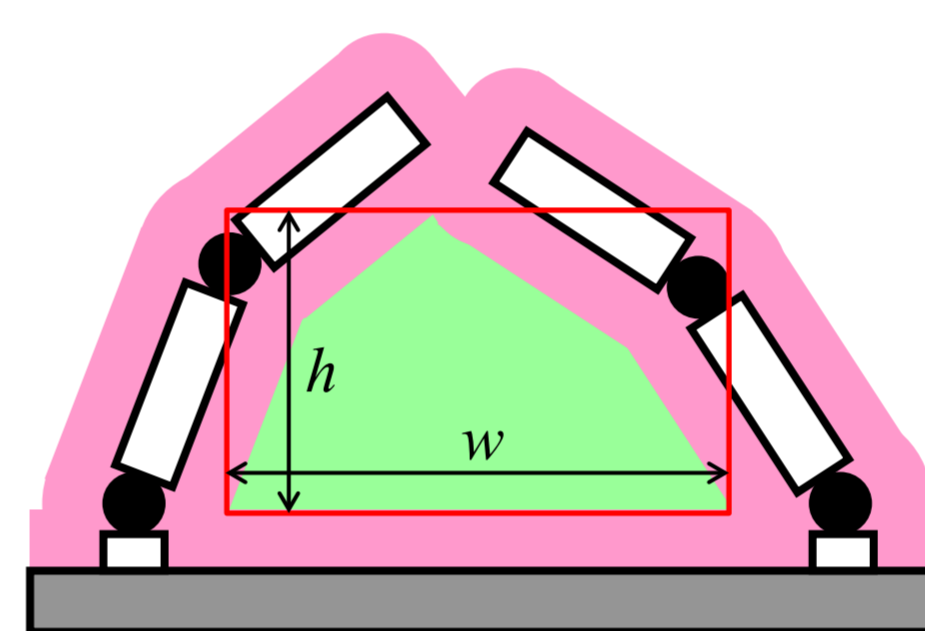


動作は生成できるがしばしば jamming が発生



Jamming 対策のヒューリスティクス導入

ケーシング内部領域が急激に小さくならないように探索



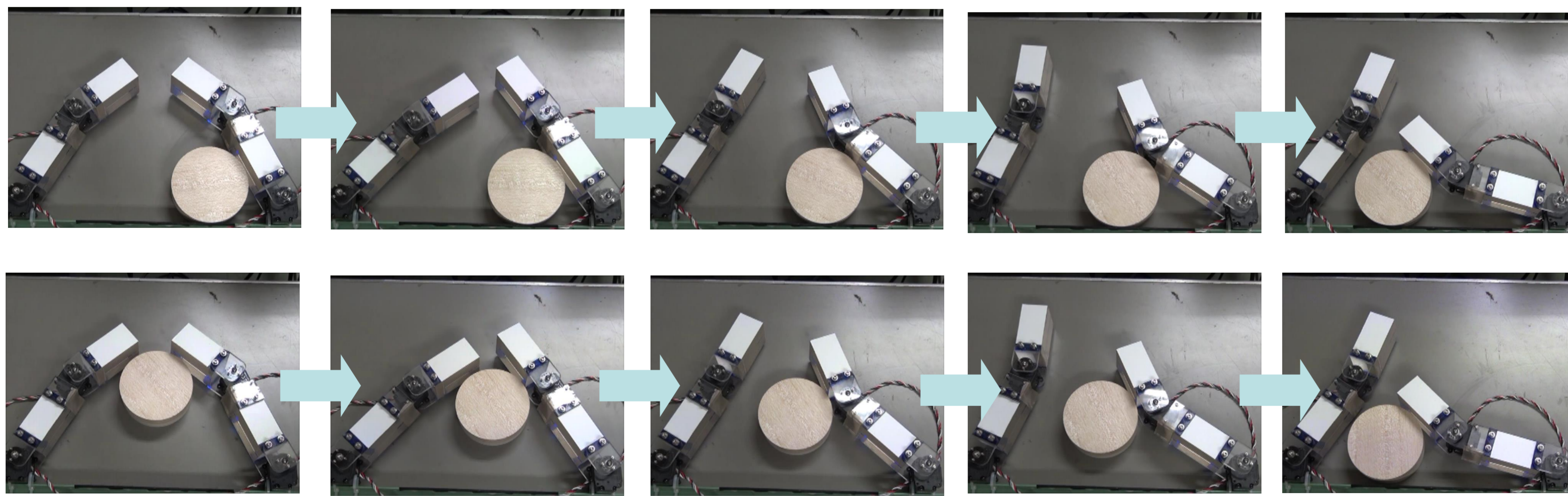
$$\begin{cases} \frac{w(t+\Delta t)}{w(t)} > 0.5 \\ \frac{h(t+\Delta t)}{h(t)} > 0.5 \end{cases}$$

この条件が満たされる場合のみ RRT の枝を伸ばす

計画結果の実行例

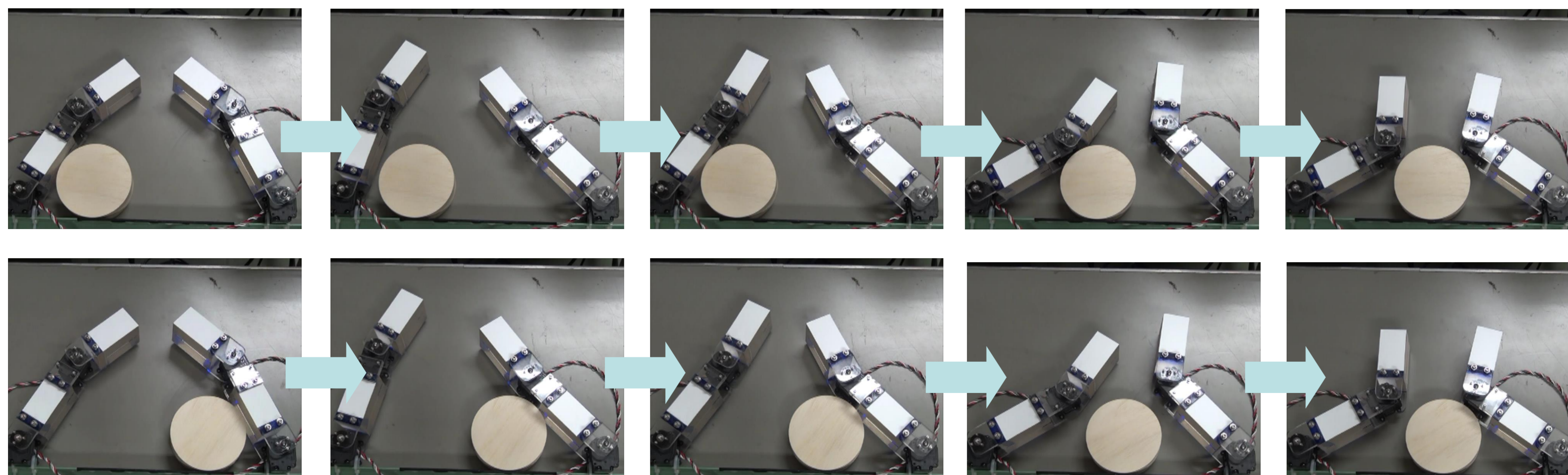
ハンド左部へのマニピュレーション

平均計画時間: 1120 [CPU s]



ハンド中央部へのマニピュレーション

平均計画時間: 5220 [CPU s]



条件

- Core i7 3930K/3.2GHz の PC を使用
- 生成された動作を複数の対象物初期位置に適用

考察

- 対象物の初期コンフィギュレーションに関わらず目標付近にマニピュレーション可能
- 低減されたが jamming は一定程度発生 (20~30% 程度)
- 計画はかなり遅い

まとめ

結論

- In-hand ケージングマニピュレーションの動作計画アルゴリズムの提案
- 二指 × 二関節ハンドによる円形対象物の操作に適用
- 実機ハンドでの動作を確認

今後の展望

- より適切な jamming 回避
- 計画の高速化
- 多様なハンド・対象物への適用
- 部品供給などへの応用