

環境を利用した二次元ケーシングマニピュレーションの計画

Planning of 2D Caging Manipulation by Robots and Walls

横井 亮 (横国大)
Ryo YOKOI, Yokohama National University

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

Abstract

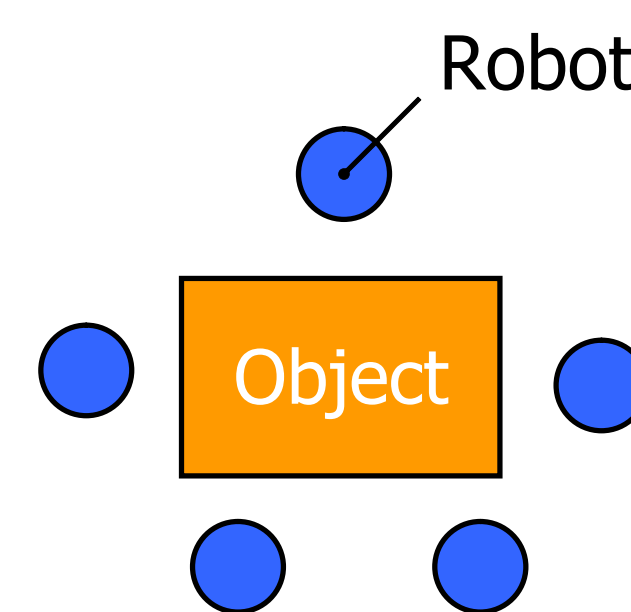
In this paper, we propose an algorithm for planning of 2D caging manipulation by robots and walls. Caging is a method to make an object inescapable from a closed region by rigid bodies. Previous studies use only robots for caging, while we use walls as well. In our previous study, we proposed a method to plan 2D caging manipulation of a circular object by circular robots and straight walls. We make some improvements to the previous planning method so that it can plan in a wide variety of environments.

研究背景

ケーシング (caging)

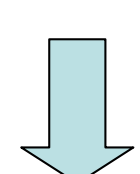
対象物を逃げられないようにロボットのボディで幾何学的に拘束

- 位置制御のみで物体を拘束・マニピュレーション可能 (カセンシング・力制御が不要)
- 現状のロボットにおいて実装が容易



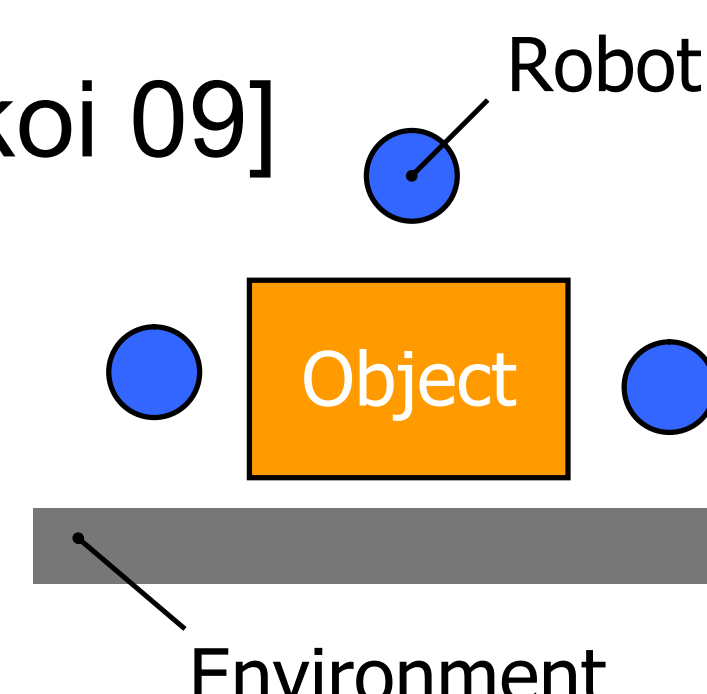
従来研究

これまで、ロボットのみによるケーシングの研究が行われてきた (e.g. [Rimon 99] [Wang 02] [Makita 08])



ロボットだけでなく、壁などの環境を利用してケーシングを行ったら? [Yokoi 09]

- より少ない数のロボットで物体を拘束可能
- 狭い場所などロボットのみではケーシングが不可能な場合も拘束可能
- しかし、マニピュレーションには制約あり



補完的に環境を利用することでケーシングマニピュレーションの適用範囲が広がる

研究目的

環境を利用したケーシング手法の確立

具体的には...: ケーシングマニピュレーションの自動計画手法の提案

環境を利用したケーシングの定式化 [Yokoi 09]

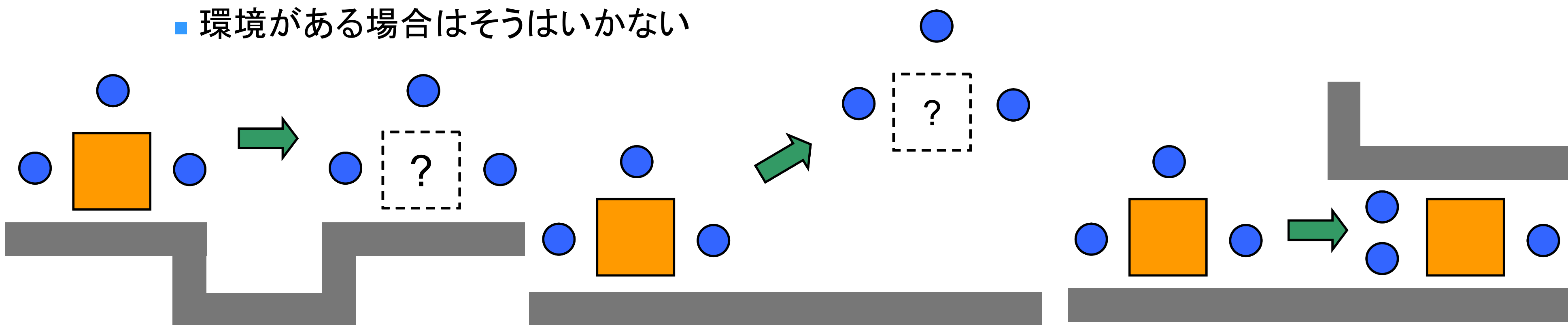
ケーシングの成立条件

ロボットのみによるケーシングの成立条件を trivial に拡張することで対応可能

ケーシングマニピュレーション可能条件

新たな条件の導出が必要

- ロボットのみによるケーシングでは、ロボットが相対位置関係を保って移動すればマニピュレーションできた
- 環境がある場合はそうはいかない



ケーシング内部領域が不連続に減少しなければマニピュレーション可能

- 条件式

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

$\mathcal{C}_{\text{free_obj}}(t)$: 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

ケーシング内部領域の不連続な減少に着目

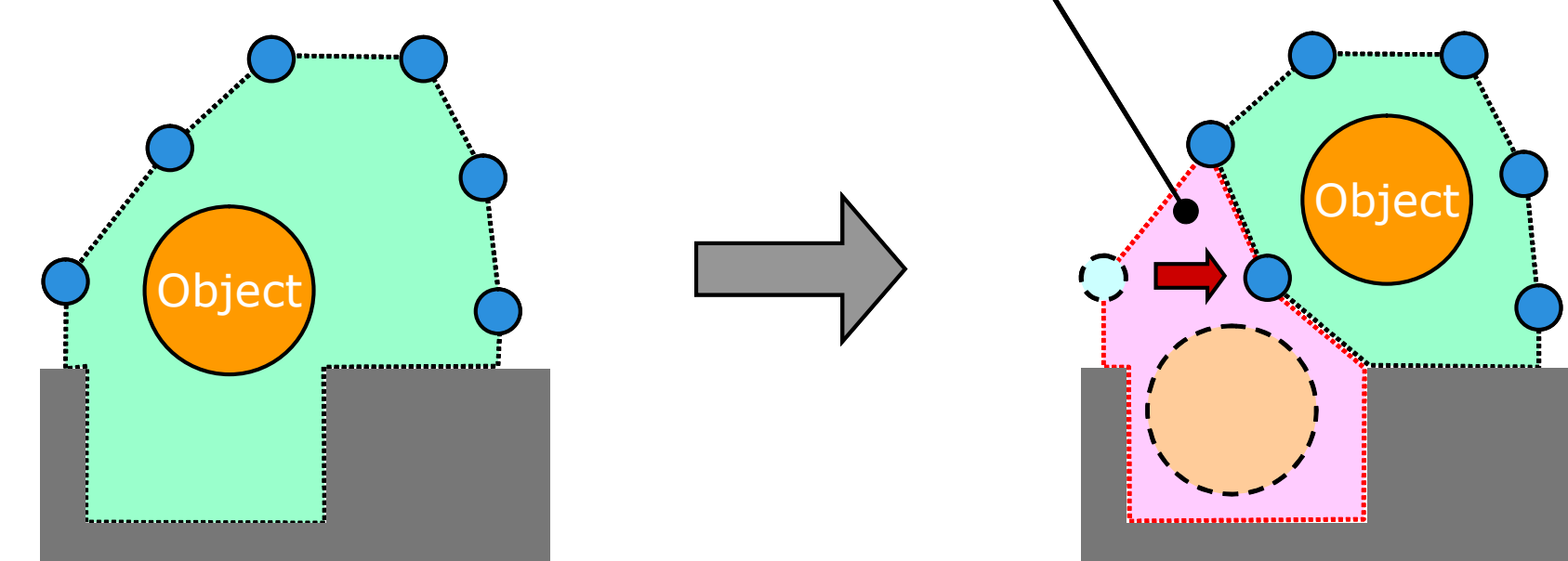
- ロボットが連続的に動いた場合でもケーシング内部領域が不連続に減少することがある

不連続な減少

物体の不連続な移動の可能性

マニピュレーション不可

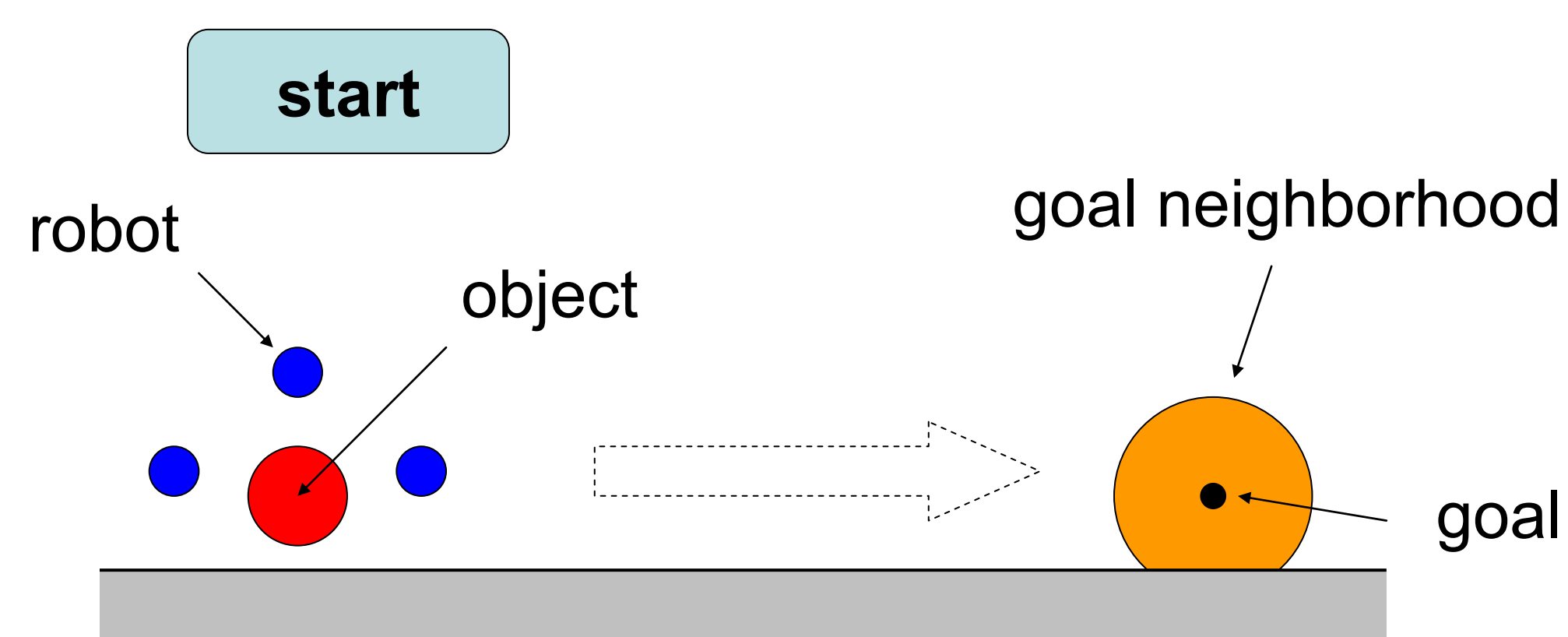
Discontinuous Shrinkage



- この条件はロボットのみによるケーシングマニピュレーションにも当てはまる (ただしロボットが相対位置関係を保って移動する限り自動的に満たされる)
- ケーシング内部領域の不連続な増加は問題ない

動作計画問題

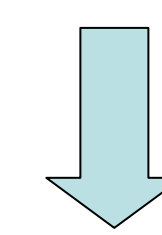
対象物を初期位置から目標位置の「近傍」まで搬送するためのロボットの動作を決定する



仮定

- 対象物は円形
- ロボットはすべて同一の円形
- ロボットは非ホロノミックな移動が可能
- 初期状態においてケーシングが成立している
- ケーシ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

マニピュレーション中、ケーシング内部領域内のどこに対象物があるかは特定できない(しない)

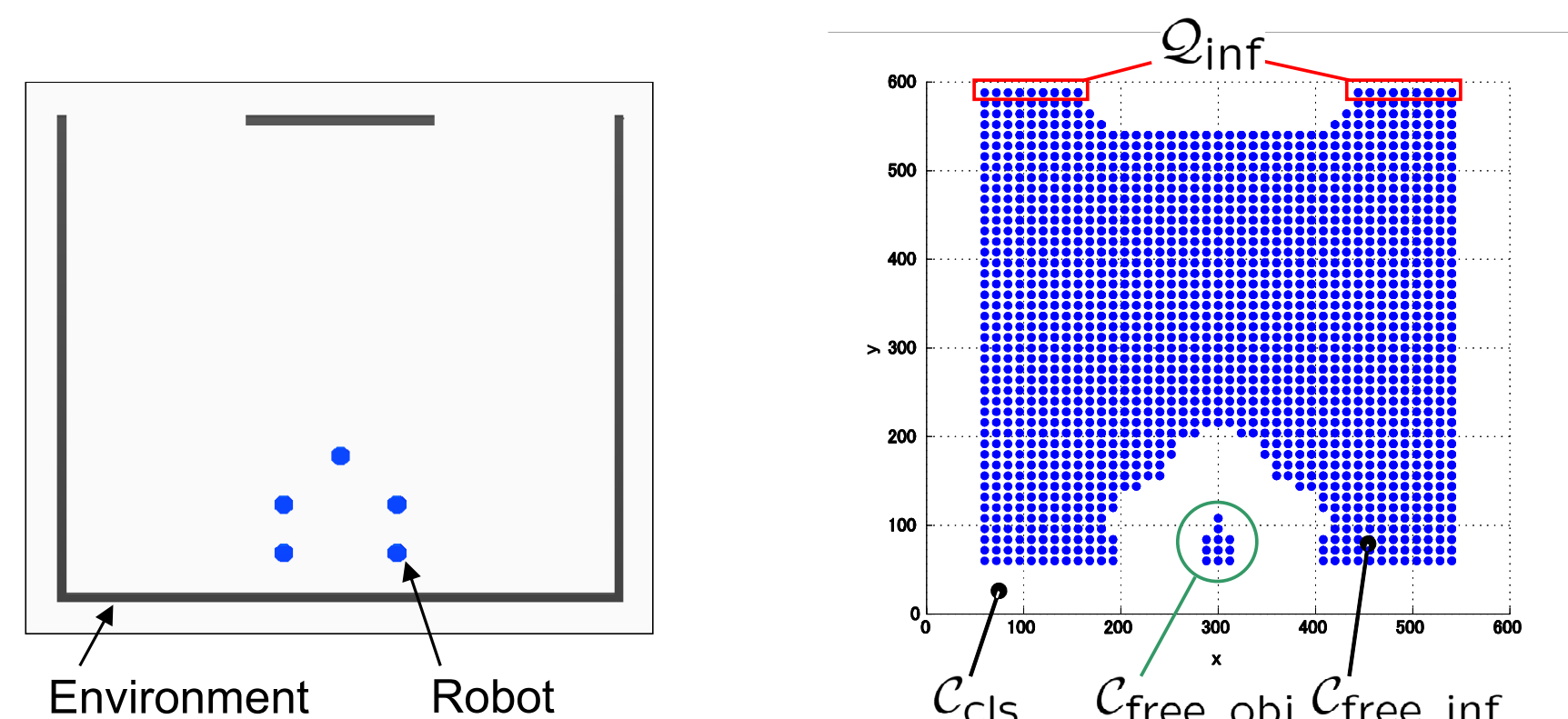


対象物の挙動にかかわらずマニピュレーション可能であることを保証

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

- コンフィギュレーション空間をグリッド表現
- ケーシング成立を常にチェック
- ケーシ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
- 環境を用いないケーシングマニピュレーションにも適用可能



通常は各ロボットのランダムな移動を考える

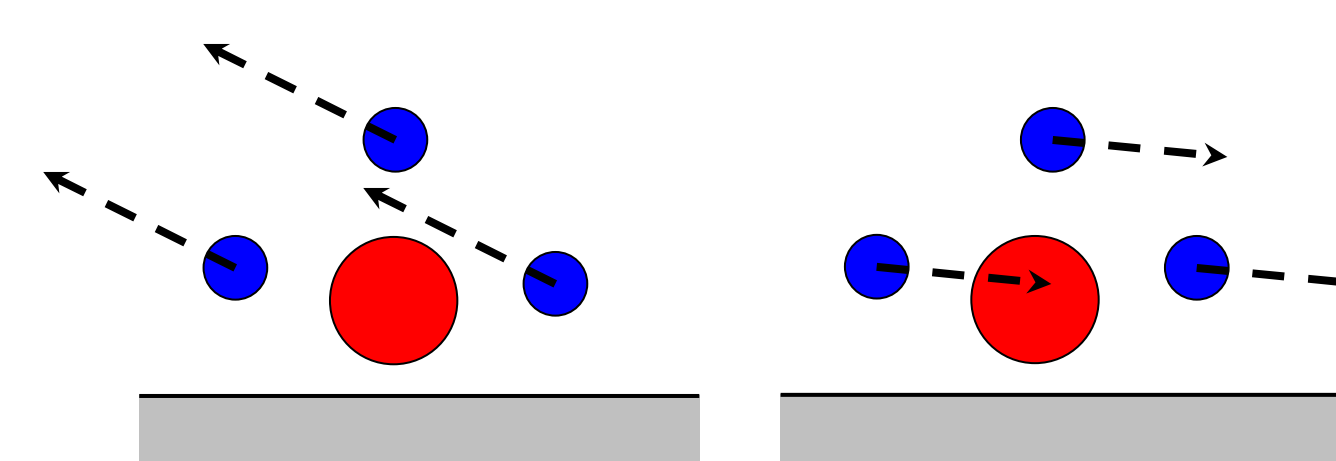
しかしこれだけではケーシングが維持できないことが多く計画が非効率

確率的にヒューリスティクスを利用

ヒューリスティクス

1. ランダムな方向への平行移動

- ケーシングを維持しつつ探索的な動作を取ることを狙う



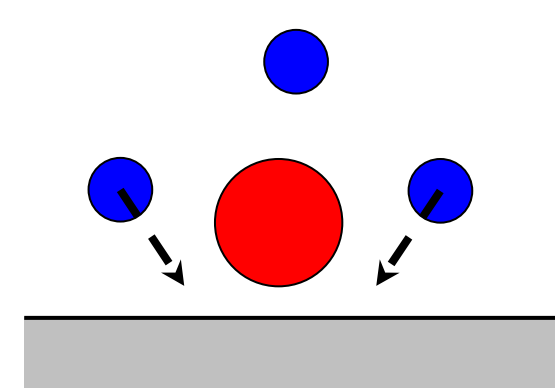
2. 目標位置方向への平行移動

- ケーシングを維持しつつ目標へ接近することを狙う



3. 対象物を取り囲むような移動

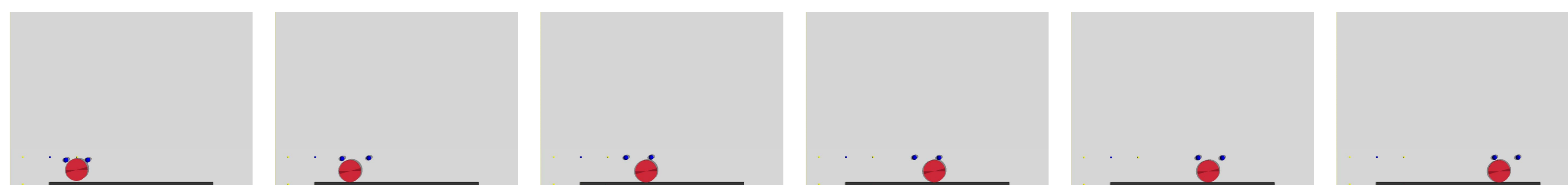
- ロボット間距離が等間隔になるようにして環境を利用しないケーシングの実現を狙う



計画結果

ロボット2台によるマニピュレーションの計画例

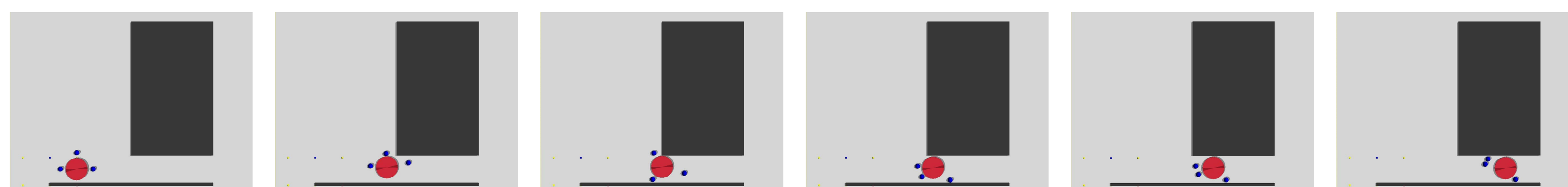
計画時間: 990 [CPU sec]



(Core2Quad Q9450 2.66GHz 搭載の PC を使用)

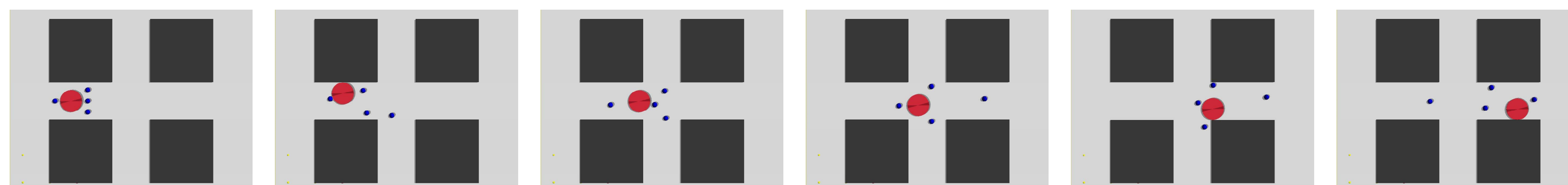
ロボット3台によるマニピュレーションの計画例

計画時間: 2615 [CPU sec]



ロボット4台によるマニピュレーションの計画例

計画時間: 3450 [CPU sec]



考察

- さまざまな問題においてロボットの動作を自動生成できることを確認
- 対象物の位置は特定できない前提で計画しているため、左の図の対象物位置はあくまで例であることに注意

まとめ

結論

- 環境を利用したケーシングマニピュレーションのためのロボットの動作計画アルゴリズムを開発
- 種々の問題に適用可能であることを確認

今後の展望

- ロボット・物体の形状制約の緩和
- 計画の高速化
- ロボット経路のスムージング
- パーツフィーダなどへの応用