



ハンドリング工学特論

大阪大学大学院 工学研究科 マテリアル生産科学専攻
システムインテグレーション講座
生産システムインテグレーション領域
若松 栄史



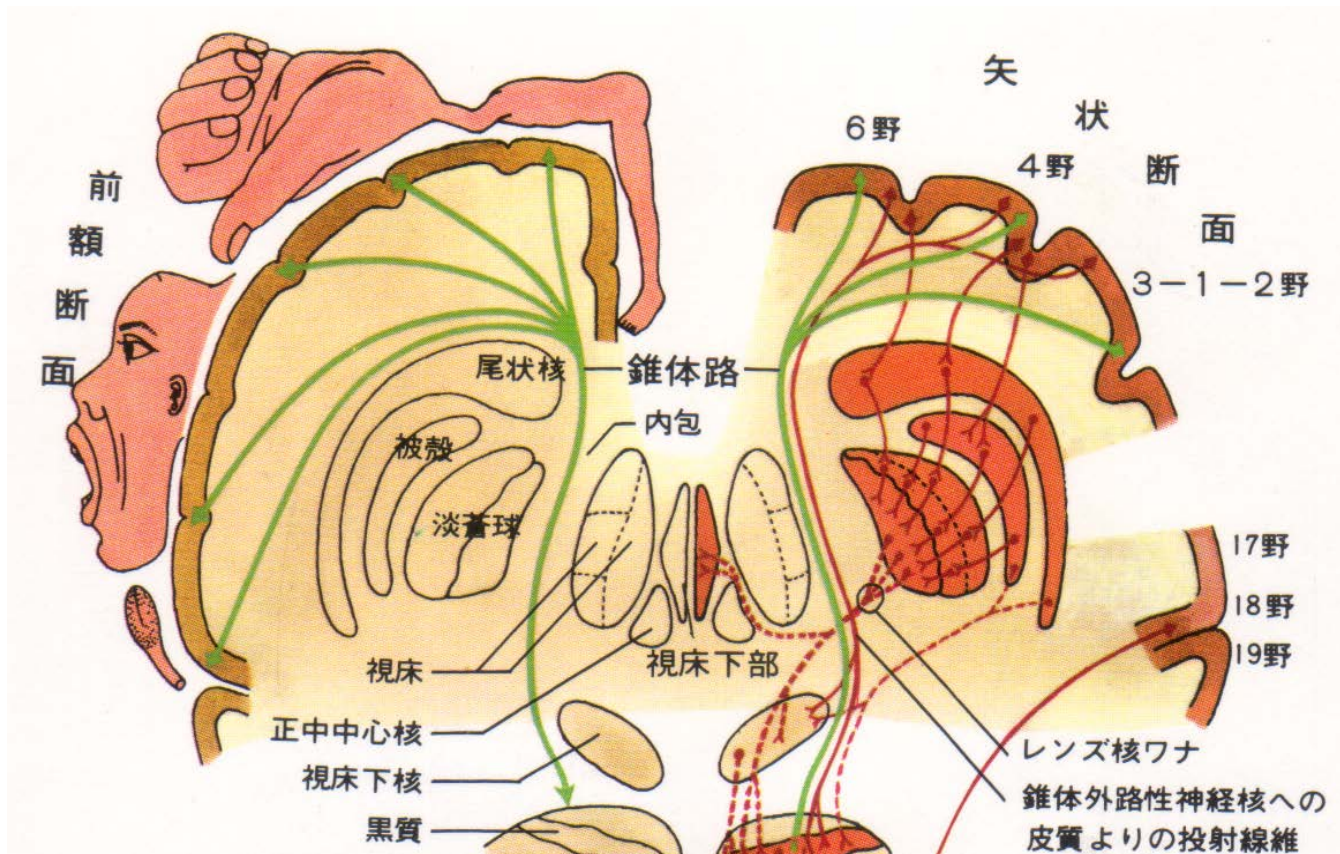


はじめに



「手は脳の出張所」

- 大脳皮質における手の運動と感覚に関わる部分: 約3分の1
- 「手の(運動機能の)発達 ⇄ 脳の発達」⇒ 現在の文明社会





ハンドリングとは

ハンドリング (handling) ...人が手を用いて行う作業

Handle :

- ◆ To touch, lift, or hold with the hands
- ◆ To operate with the hands; manipulate

The American Heritage Dictionary of the English Language, Fourth Edition

■ 把持 (grasping) ...掴む

Grasp :

- ◆ To take hold of or seize firmly with or as if with the hand
- ◆ To clasp firmly with or as if with the hand

The American Heritage Dictionary of the English Language, Fourth Edition

■ 操作 (manipulation) ...操る

Manipulate :

- ◆ To move, arrange, operate, or control by the hands or by mechanical means, especially in a skillful manner

The American Heritage Dictionary of the English Language, Fourth Edition



ハンドリング工学とは

ハンドリング工学(handling engineering)

...ハンドリングの原理の探究とハンドリングの工学的実現が目的

「人間にできることは、20年の内にすべて機械システムでできるようになるだろう」...ロボット元年(1980年)の予測

実際は...





「作業を実現する」技術

何故機械システムによる多様なハンドリングが実現しなかったのか？

→メカニカルな腕や手を「作る」技術・「動かす」技術とそれを使って「作業を実現する」技術の違い

- 腕や手の構造や動作原理：観察・観測により理解可能
- 作業を実現する技術：目に見えにくい

「人間のハンドリングにおける巧さは無意識の中にある」

機械システムによるハンドリングの実現：

人の無意識の中にあるハンドリングの原理を見い出す必要性
「何故人は対象物を自在に操ることができるのか？」

→ハンドリング工学



ハンドリングの特徴

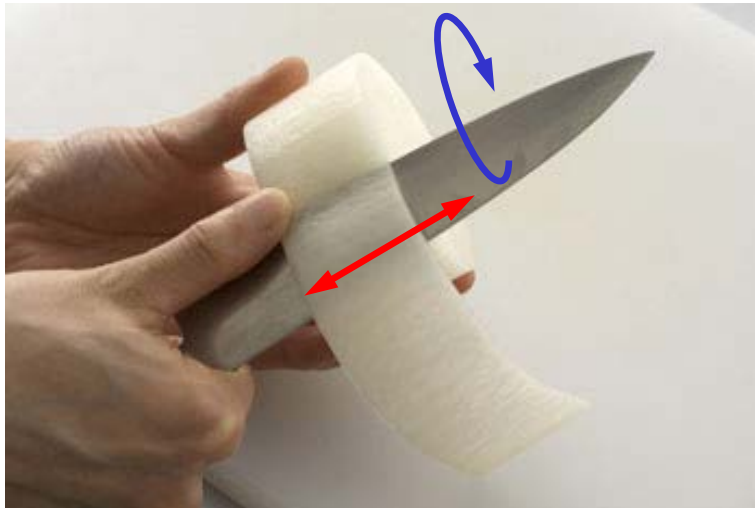
物体同士の相互作用(interaction)

- 接触(contact)による相互作用

→接触を通して力をやりとりし、物体の運動を制御

- 接触を伴わない相互作用(空気圧、静電力)

例) 桂剥き





ハンドリング過程の運動学





再びハンドリングとは

ハンドリング:

- 人が手を用いて行う作業で、把持と操作とから成る
- 人間は無意識のうちに巧みに実現している
- 物体同士の相互作用、特に接触による相互作用が重要な役割を演じる

よって、ハンドリングとは...

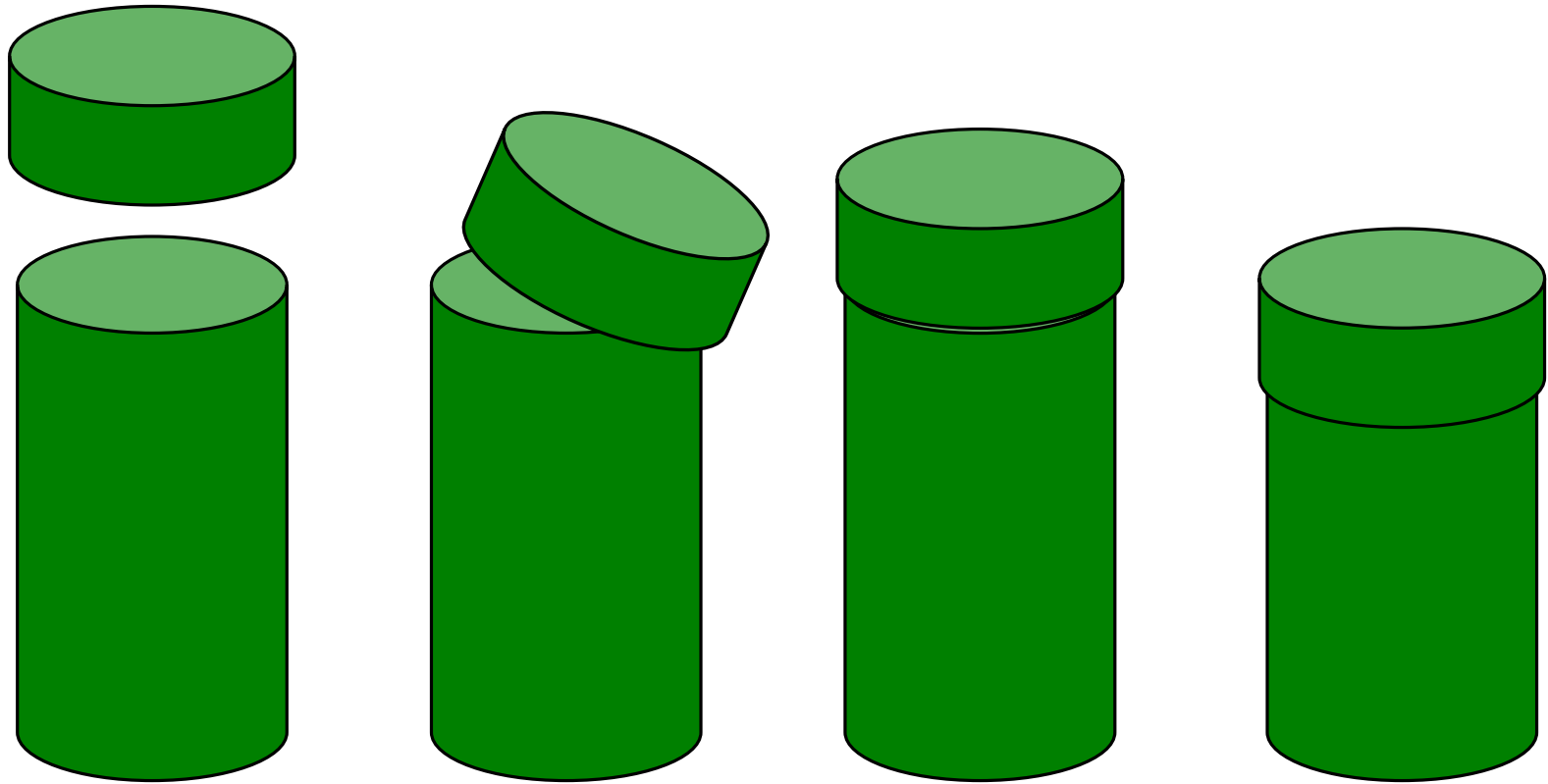
対象物を制御物体(ロボット等)や環境(作業台等)と接触させ、力をやりとりさせながら、目標を満たすようにその接触状態(位置や姿勢)を巧みに変化させていくこと

ハンドリングの過程:

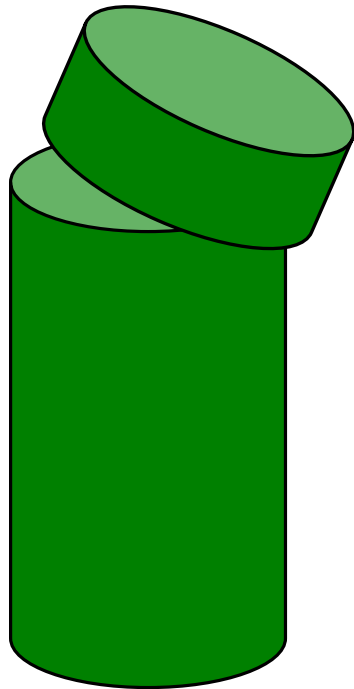
対象物の接触状態とその移り変わりで表現することができる



組立作業の例：茶筒に蓋をする①



組立作業の例：茶筒に蓋をする②



筒の外面に蓋の内面を**接触させる**

→蓋の**動きに制約**を与えて、縁の**位置を固定**する

組立過程：

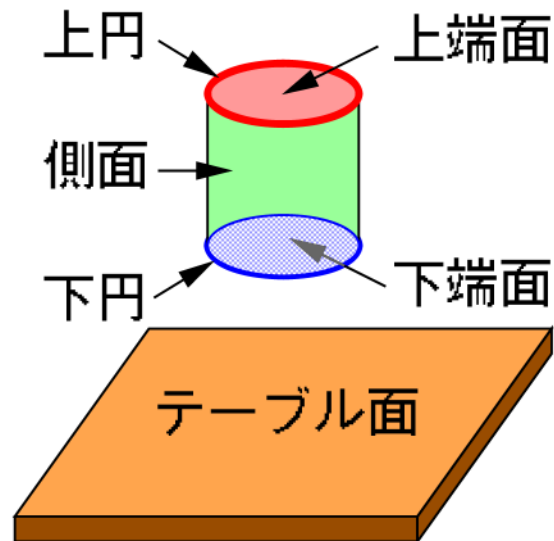
物体の運動自由度を減らし物体を位置決めする過程

運動の制約：

- 物体同士の接触に起因
- 物体同士がどのような接触をしているかによって異なる

接触状態の表現①

- 二つの物体(共に剛体)
- 運動物体(moving object)と固定物体(fixed object)
- 運動物体と固定物体はそれぞれの物体表面において接触
- 表面を構成要素に分割
 - 頂点(vertex)、稜線(edge)、面(face)



接触状態の表現②

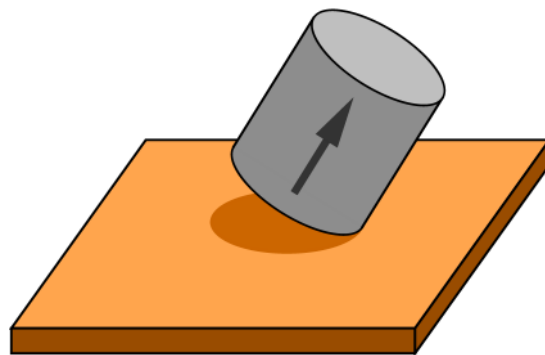
運動物体が受ける運動の制約:

運動物体の面、稜線、頂点が、固定物体のどの面、稜線、頂点と接触しているかによって異なる

「運動物体の構成要素が、固定物体のどの構成要素に接触しているか？」

→接触状態 (contact states)

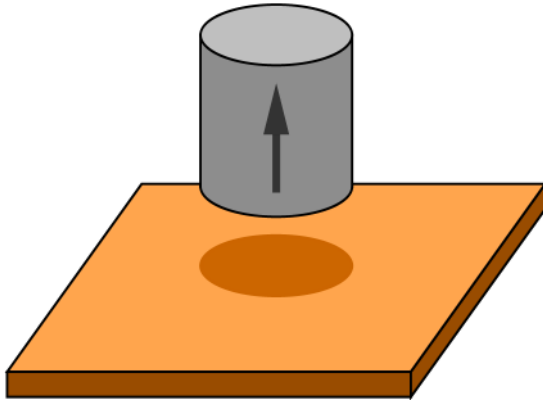
{運動物体の構成要素—固定物体の構成要素}



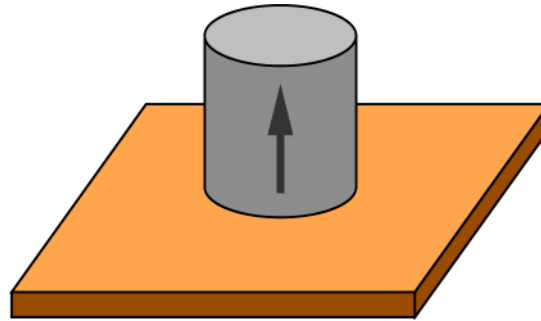
例) {下円—テーブル面}



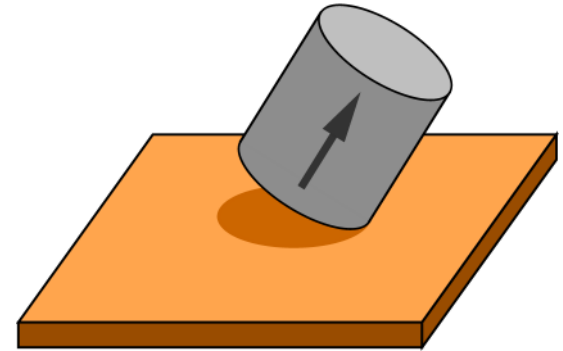
接触状態の表現③



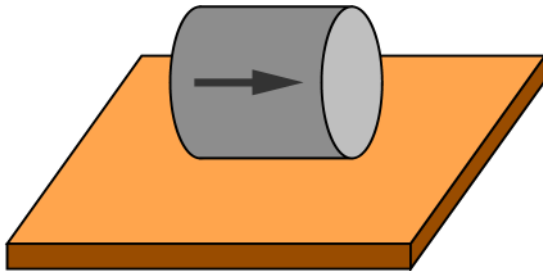
(a)



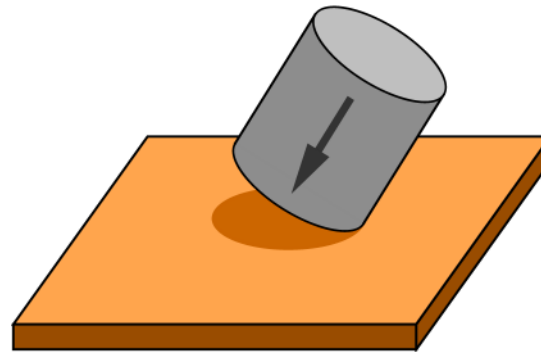
(b) {下円-テーブル面、
下端面-テーブル面}



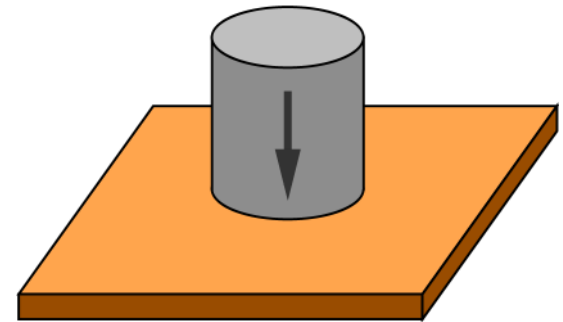
(c) {下円-テーブル面}



(d) {上円-テーブル面、
側面-テーブル面、
下円-テーブル面}



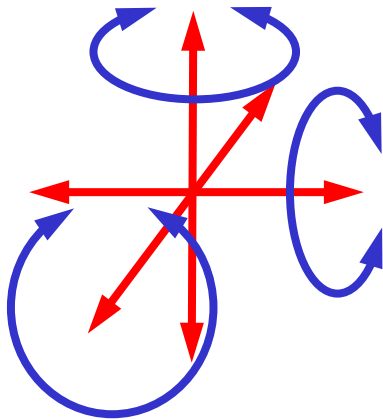
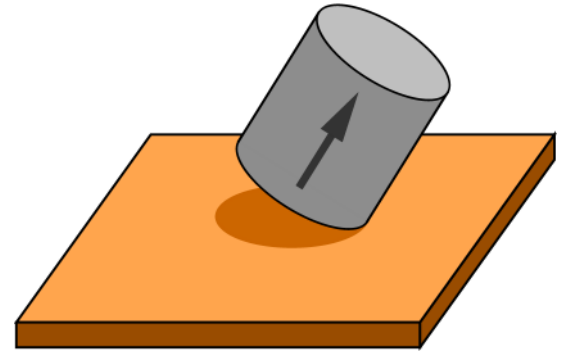
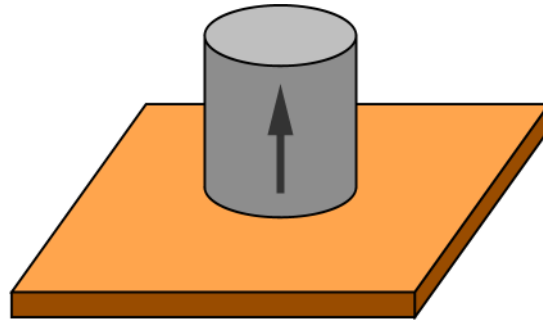
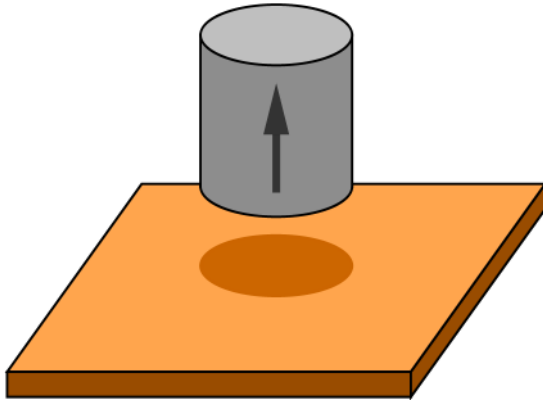
(e) {上円-テーブル面}



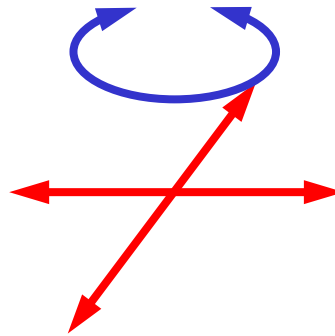
(f) {上円-テーブル面、
上端面-テーブル面}



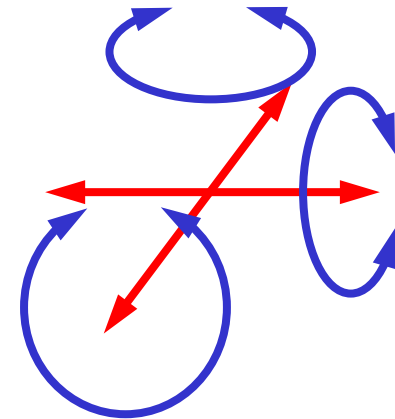
接触状態の表現④ ~可能な運動について~



(a)



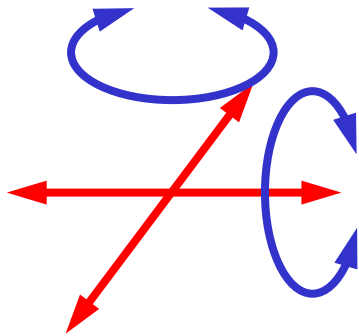
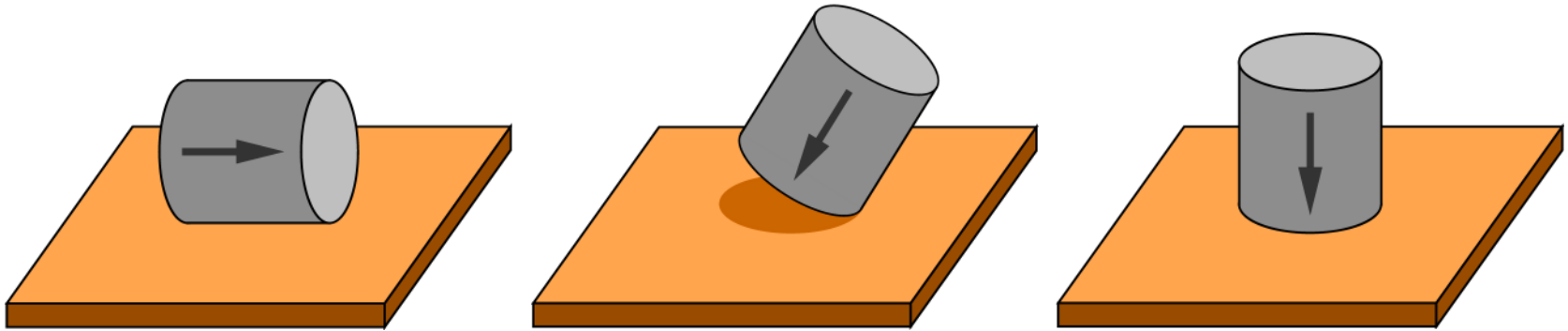
(b)



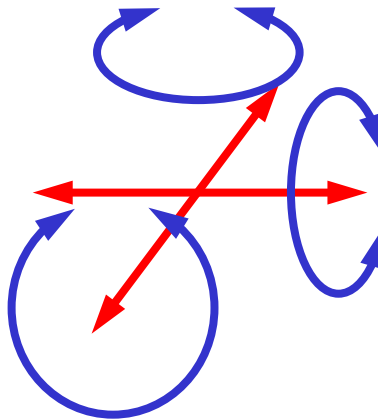
(c)



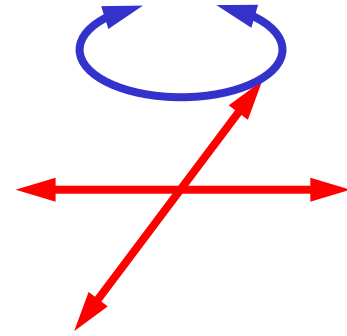
接触状態の表現⑤ ~可能な運動について~



(d)



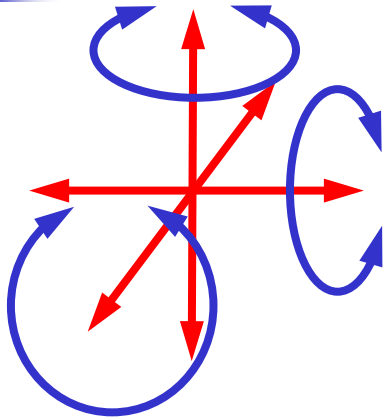
(e)



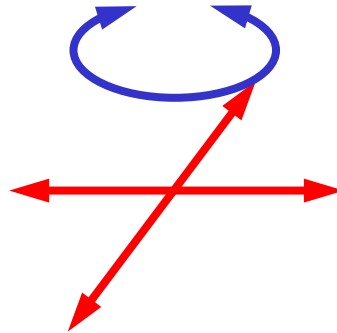
(f)



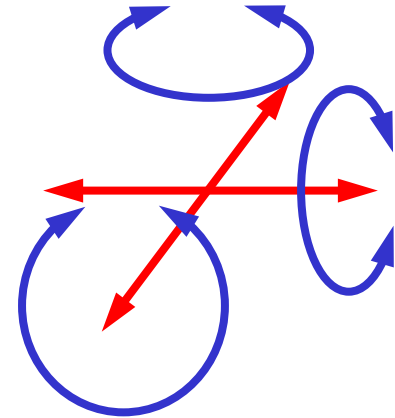
接触状態の表現⑥ ~可能な運動について~



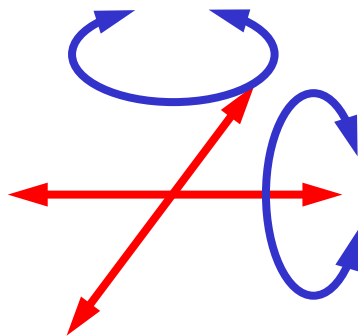
(a)



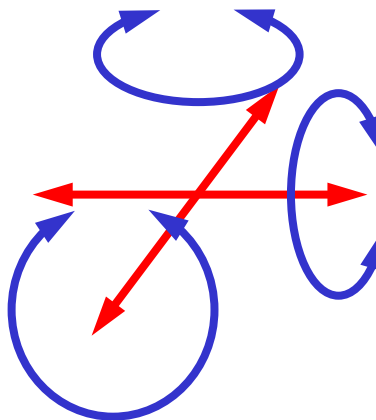
(b)



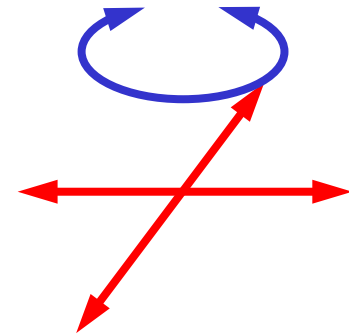
(c)



(d)



(e)

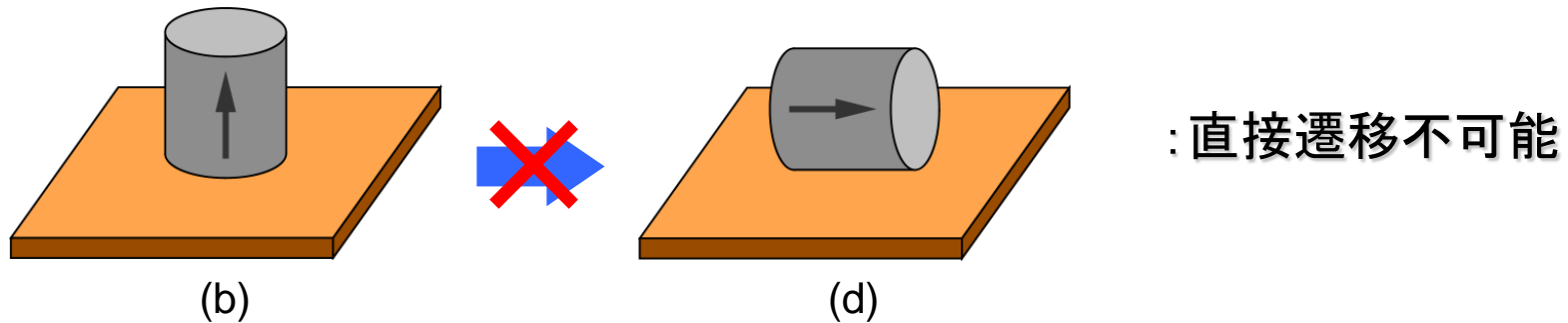
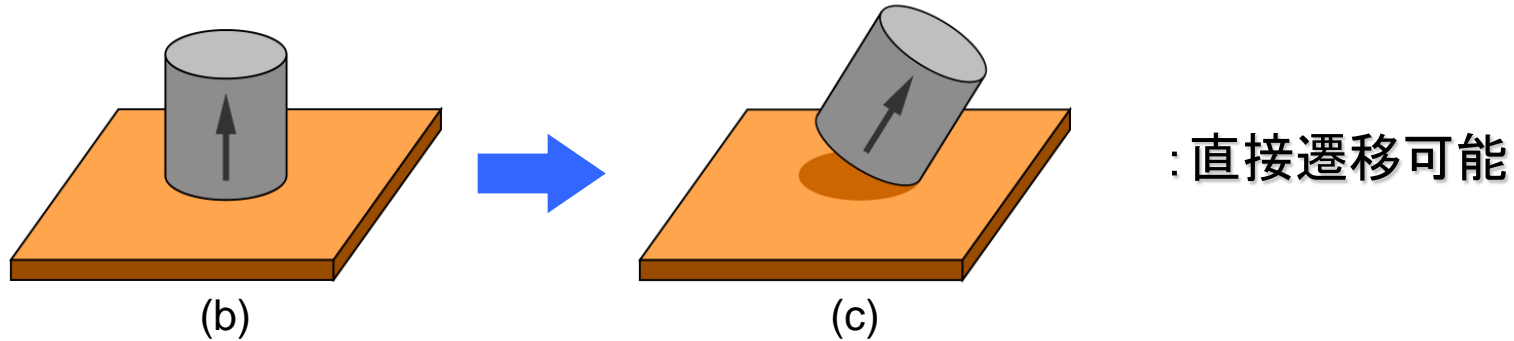


(f)



接触状態遷移のグラフ表現①

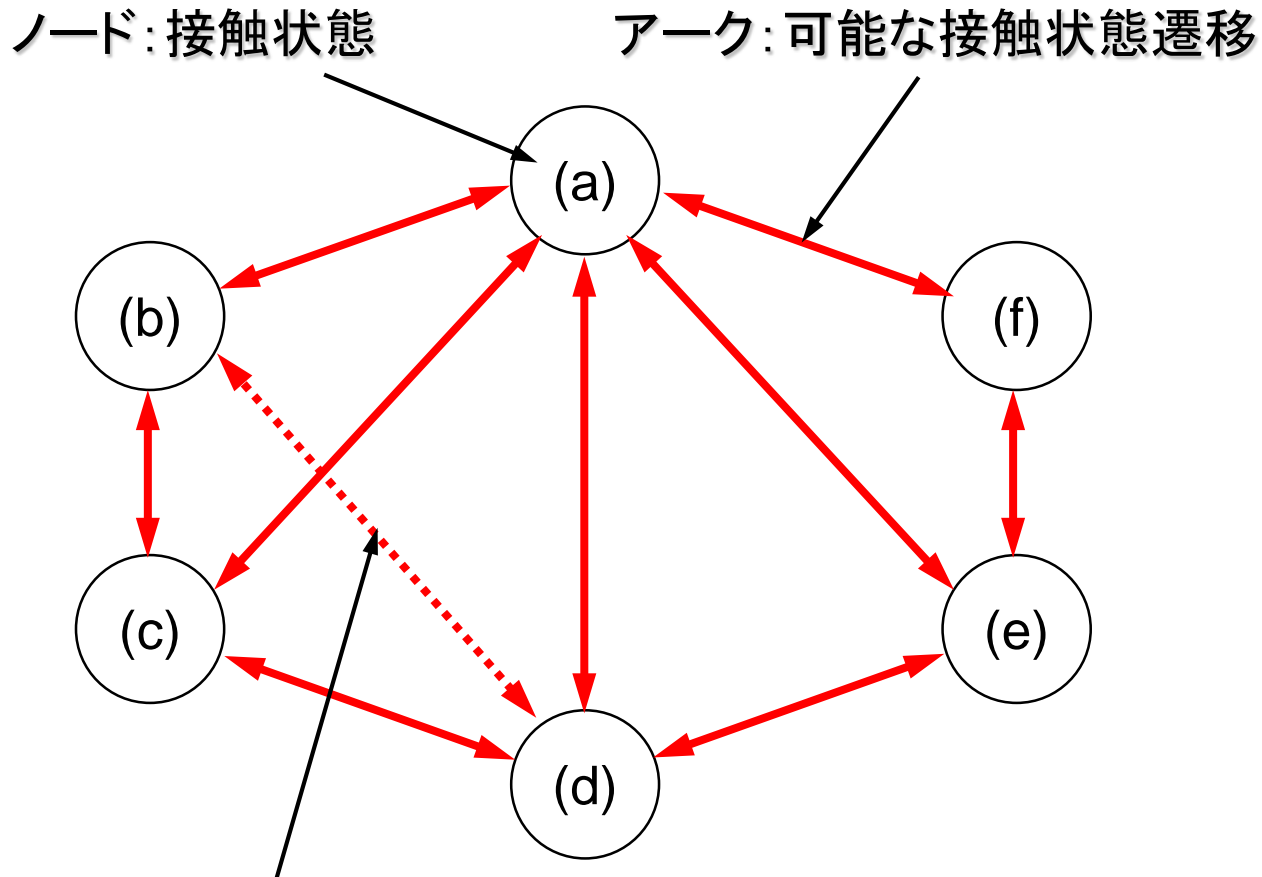
組立過程：接触状態の移り変わり



→ 接触状態グラフ (contact state graph)



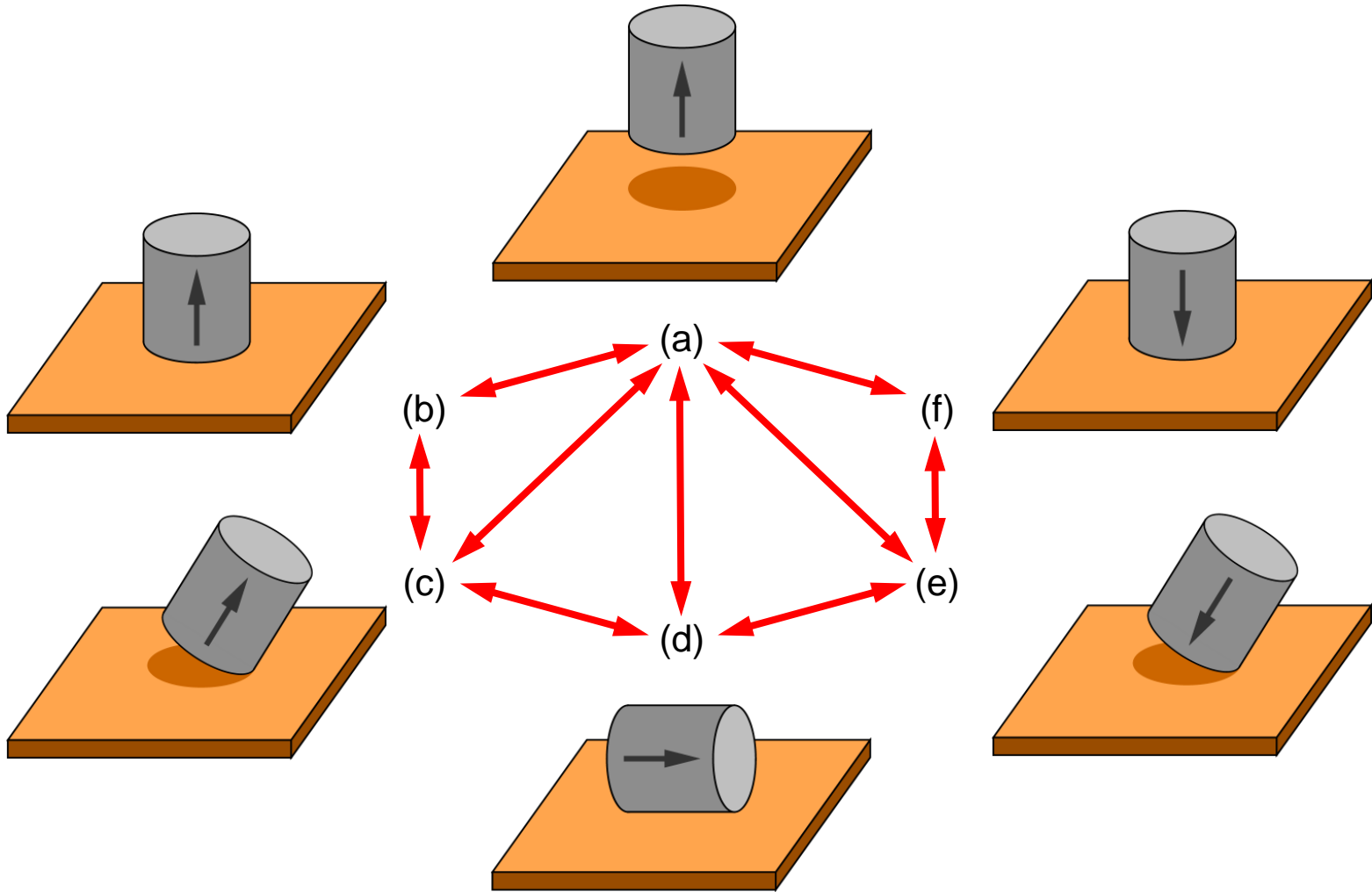
接触状態遷移のグラフ表現②



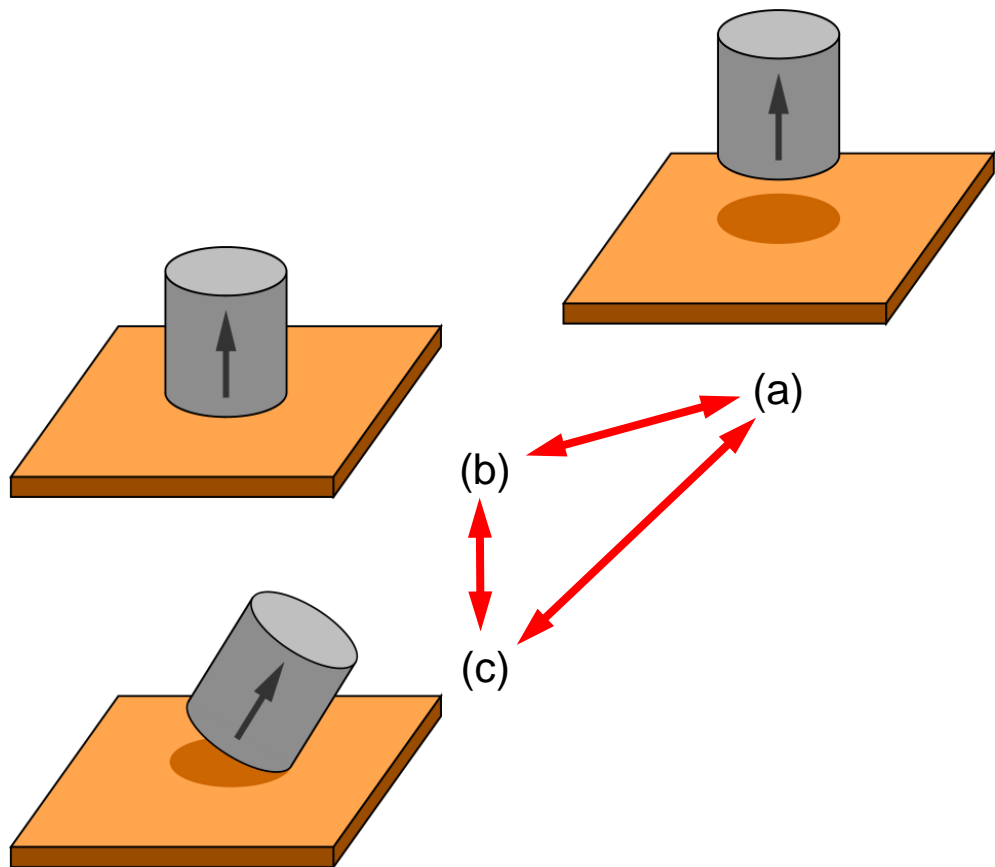
アークのないノード(接触状態)間は直接遷移できない



接触状態遷移のグラフ表現③



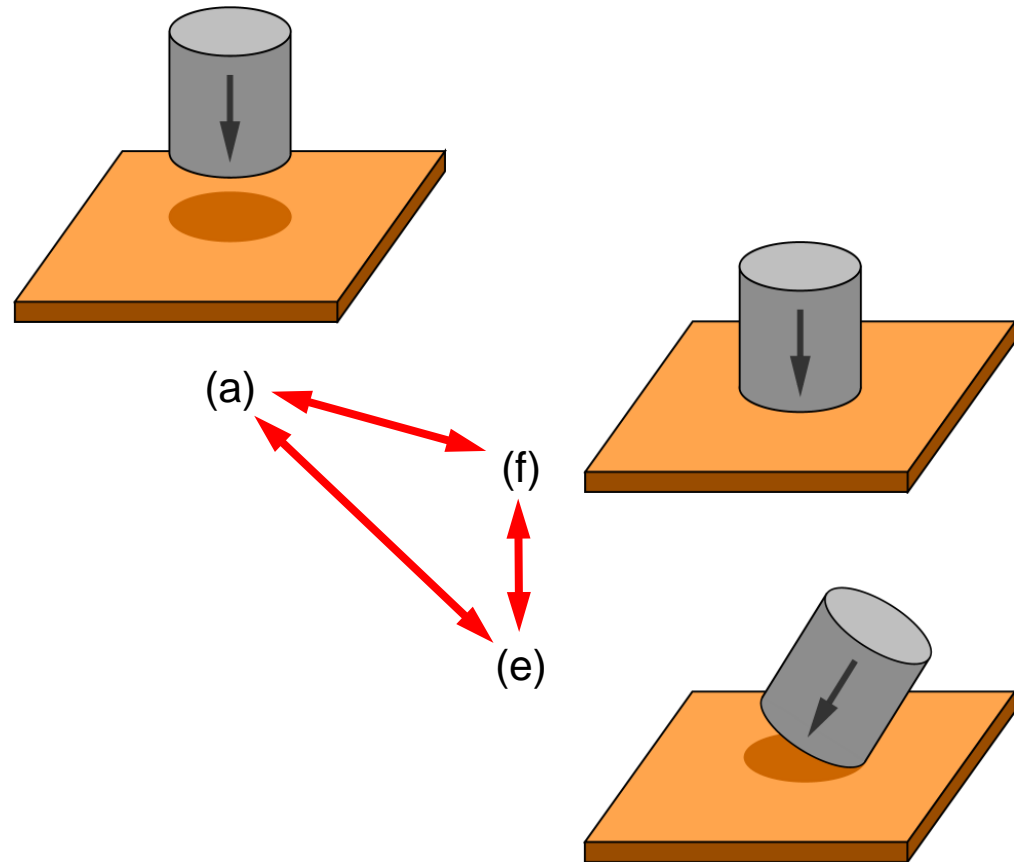
接触状態遷移のグラフ表現④—1



姿勢誤差が小さい場合のグラフ



接触状態遷移のグラフ表現④ー2

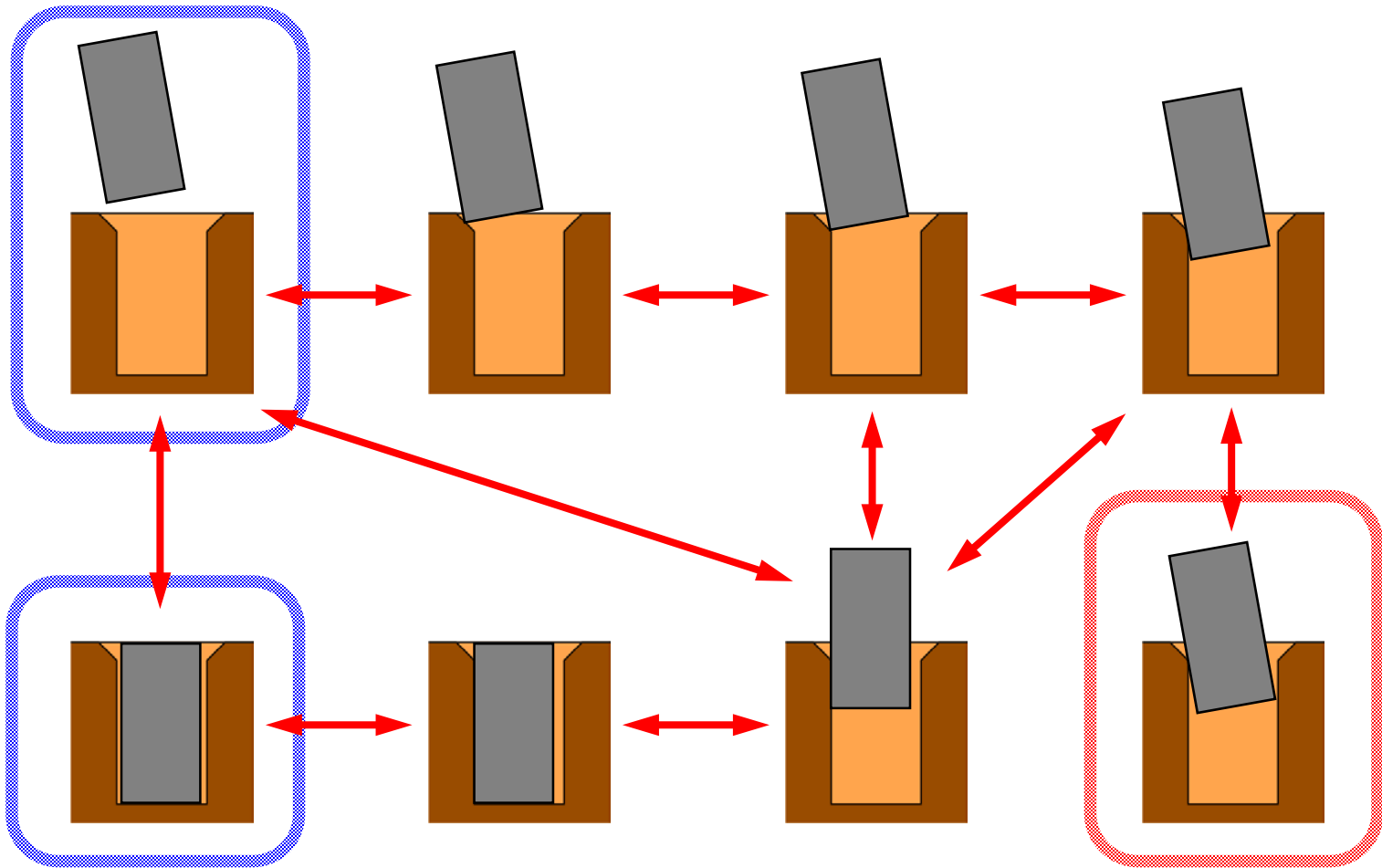


姿勢誤差が小さい場合のグラフ



接触状態遷移のグラフ表現⑤

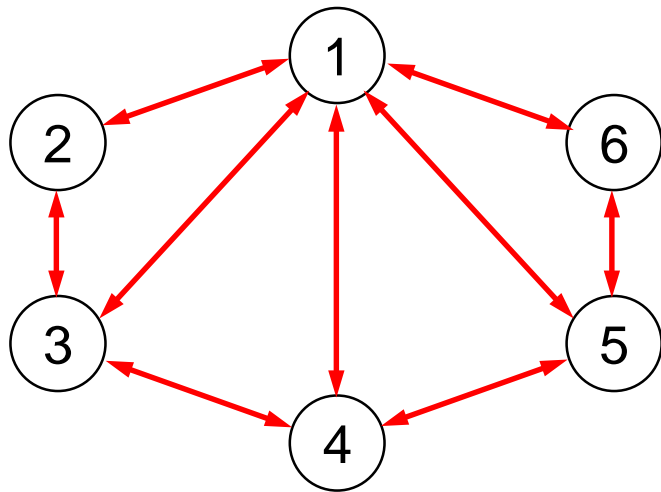
軸を穴に挿入する過程の場合



接触状態遷移のグラフ表現⑥

遷移行列:

- グラフのノードを番号で表す
- ノード i から j に至るアークがあるときには (i, j) 要素を1、アークがないときには (i, j) 要素を0に
- 対称行列



	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	0	0	0
3	1	1	1	1	0	0
4	1	0	1	1	1	0
5	1	0	0	1	1	1
6	1	0	0	0	1	1



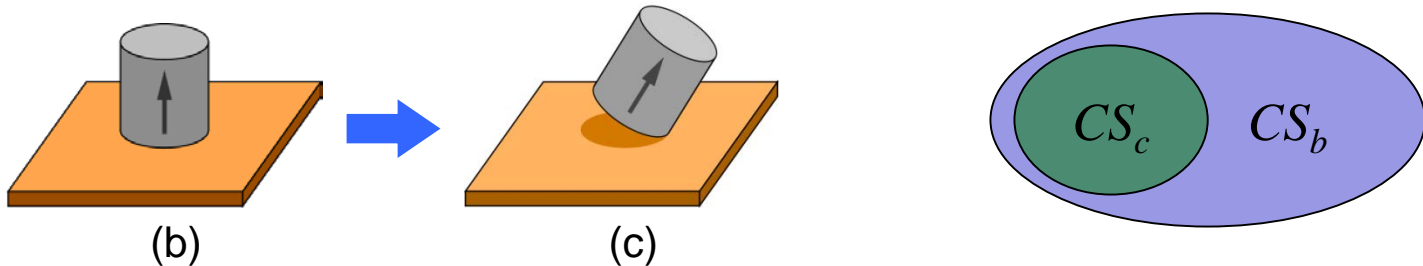
接触状態の遷移可否判定

$CS_b = \{\text{下端面-テーブル面、下円-テーブル面}\}$

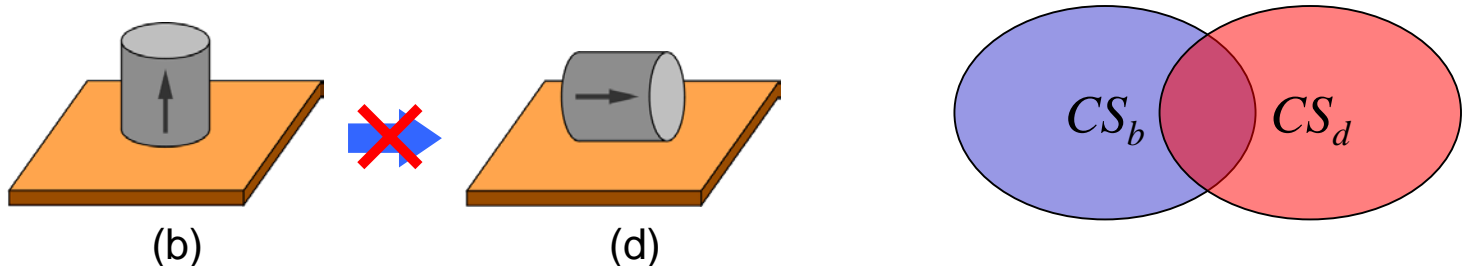
$CS_c = \{\text{下円-テーブル面}\}$

$CS_d = \{\text{側面-テーブル面、上円-テーブル面、下円-テーブル面}\}$

直接遷移可能: $CS_b \subset CS_c$ あるいは $CS_c \subset CS_b$

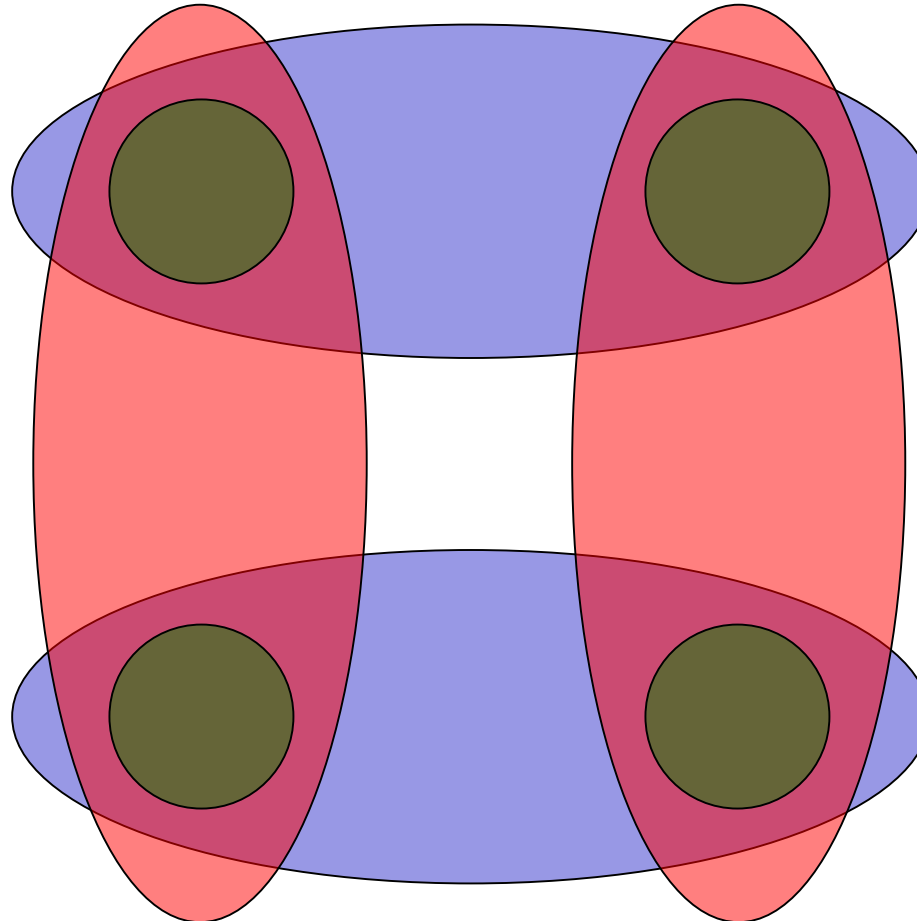


直接遷移不可能: $CS_b \not\subset CS_d$ かつ $CS_d \not\subset CS_b$



状態遷移のイメージ

接触している構成要素の組の集合



接触状態グラフの生成例①

以下の接触状態が与えられた際の接触状態グラフを描け。

状態 (a): $\{\}$

状態 (b): $\{\text{球面一平面1}\}$

状態 (c): $\{\text{球面一平面2}\}$

状態 (d): $\{\text{球面一平面3}\}$

状態 (e): $\{\text{球面一平面1、球面一平面2}\}$

状態 (f): $\{\text{球面一平面2、球面一平面3}\}$

状態 (g): $\{\text{球面一平面1、球面一平面3}\}$

状態 (h): $\{\text{球面一平面1、球面一平面2、球面一平面3}\}$



接触状態グラフの生成例②

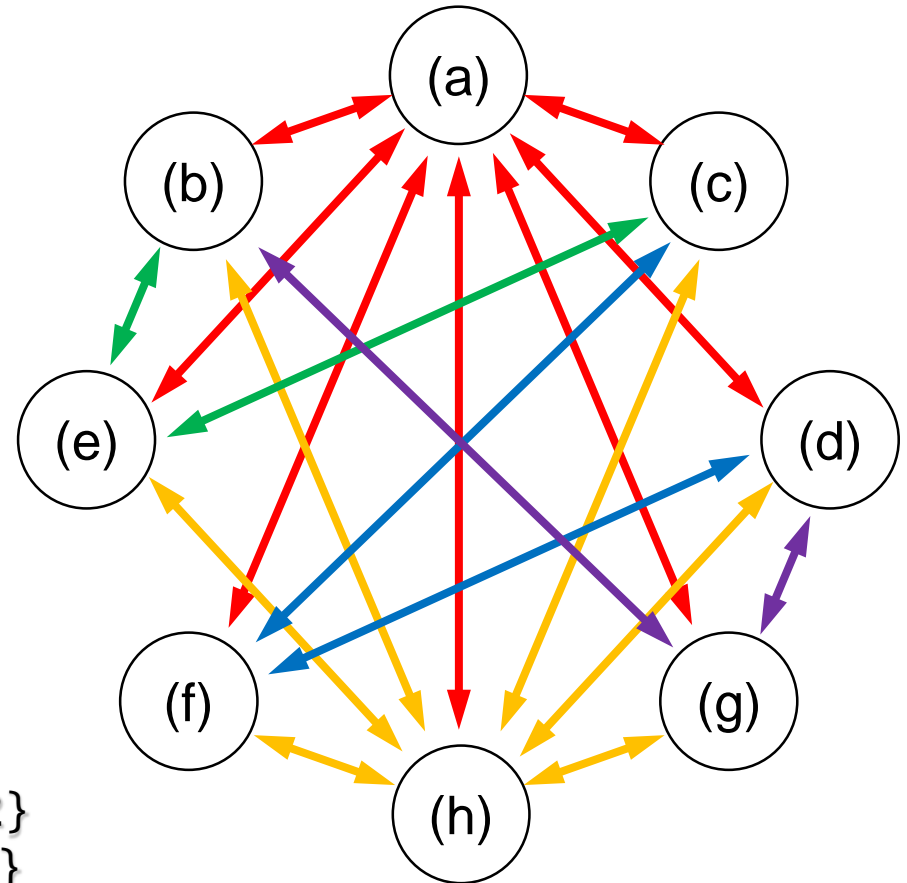
状態 (a) は全ての状態に含まれる

状態 (h) は全ての状態を含む

状態 (e) は状態 (b), (c)を含む

状態 (f) は状態 (c), (d)を含む

状態 (g) は状態 (b), (d)を含む



状態 (a): { }

状態 (b): { 球面一平面1 }

状態 (c): { 球面一平面2 }

状態 (d): { 球面一平面3 }

状態 (e): { 球面一平面1、球面一平面2 }

状態 (f): { 球面一平面2、球面一平面3 }

状態 (g): { 球面一平面1、球面一平面3 }

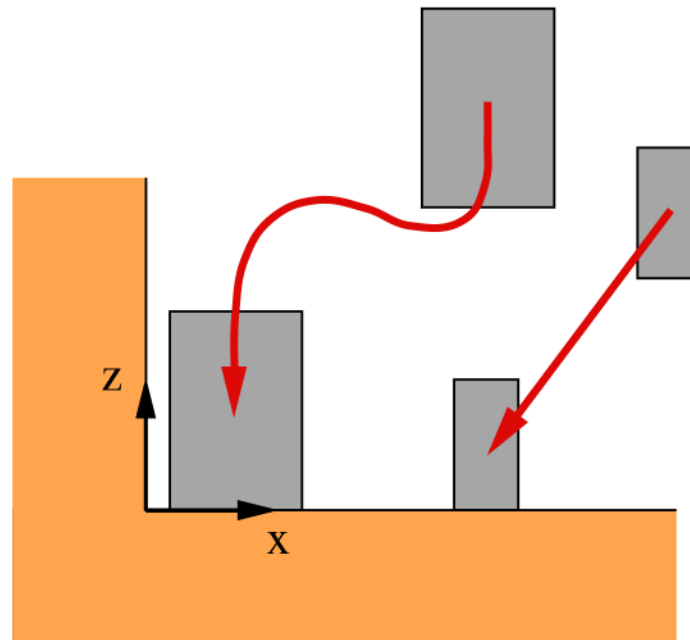
状態 (h): { 球面一平面1、球面一平面2、球面一平面3 }



接触状態グラフ表現の利点①

何がうれしいのか？

- 物体の具体的な大きさや位置、運動の軌跡に依存しない**定性的表現**

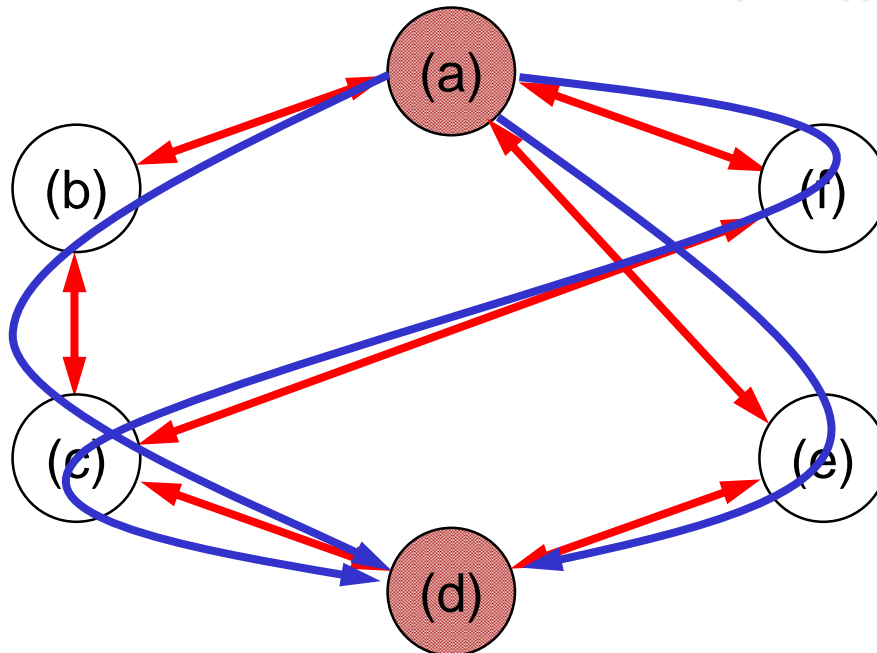


接触状態グラフ表現の利点②

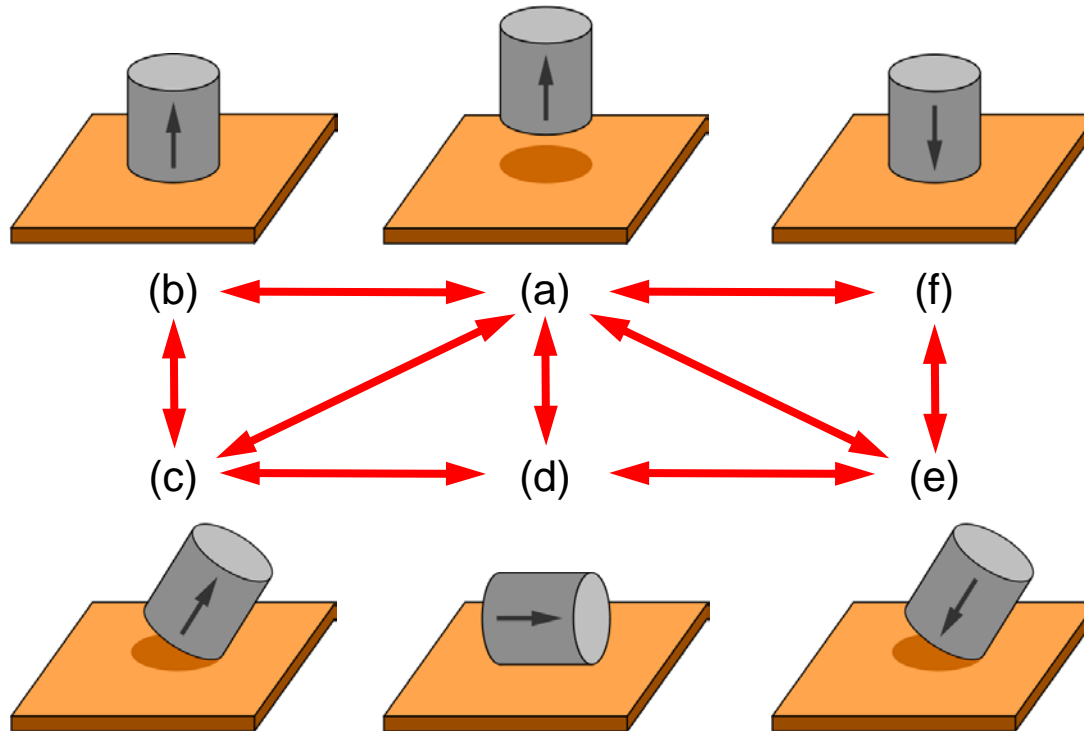
何がうれしいのか？

- ハンドリング過程を有限個の(接触)状態で表現できる
- 要求される作業目標／作業内容を計算機で処理できる
- 可能性のある全てのパス(状態遷移経路)を導出できる

→組立作業計画に適用できる



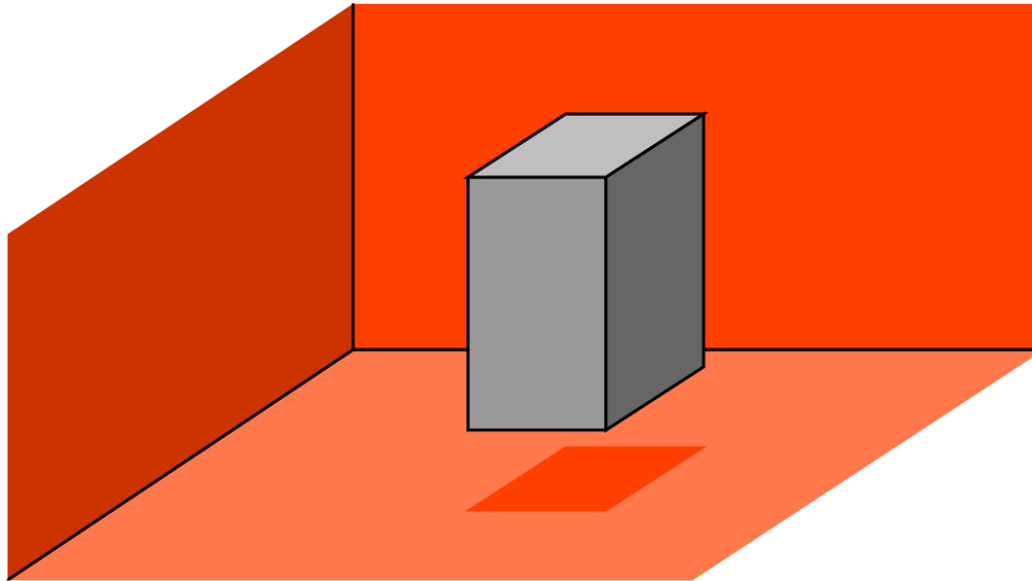
三次元の接触状態① ~構成要素が少ない場合~



運動物体: 頂点 0
 稜線 2
 面 3

固定物体: 頂点 0
 稜線 0
 面 1

三次元の接触状態② ~構成要素が多い場合~



運動物体: 頂点 8
稜線 12
面 6

固定物体: 頂点 1
稜線 3
面 3

計算機による接触状態グラフの自動生成→重要



- 物体(剛体)の接触の様子は、二つの物体の構成要素の対で表すことができる→**接触状態**
- 接触状態が変われば、物体の可能な運動も異なる
- ハンドリング過程は有限個の接触状態とその移り変わりによってモデル化できる→**接触状態グラフ**