

# ロボットシミュレーション

ODE Dynamics Engineによるロボットプログラミング

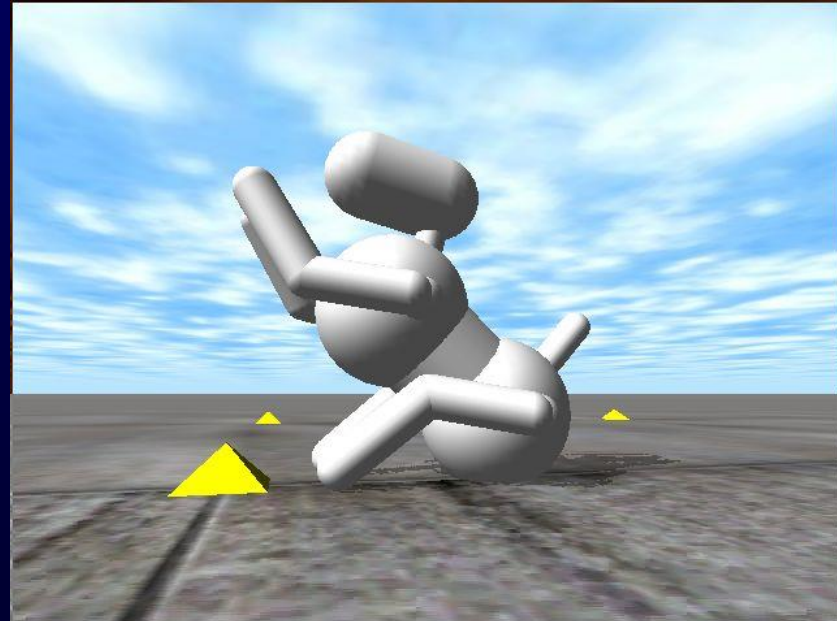
## Step8: 4脚ロボット

2008-6-27版

出村 公成(でむらこうせい)

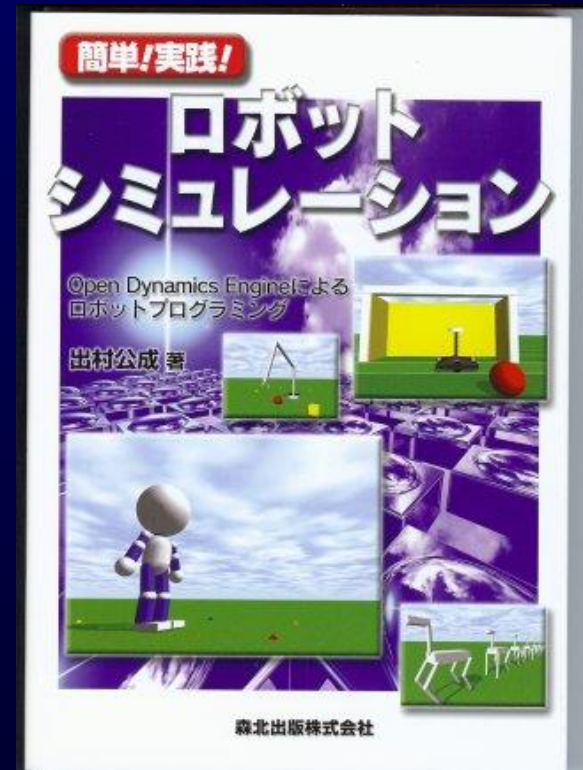
[Web] <http://demura.net>

[Mail] [info@demura.net](mailto:info@demura.net)



# 教科書

- 簡単！実践！ロボットシミュレーション  
Open Dynamics Engineによるロボットプログラミング
- 出村公成著
- 森北出版
- 2007年5月
- ISBN-13: 978-4627846913



簡単！実践！ロボットシミュレーションの表紙

# ○週目の内容

- 1限目
  - 歩き方の種類
  - 歩行制御
  - 歩かせよう
- 2限目
  - サンプルプログラムの説明
  - 演習
- 3限目
  - 演習

# 8.1 歩き方の種類 P198

- 言葉の定義
  - 歩行: 両脚が地面から同時に離れる期間のない運動
  - 脚: 太もも、すね、足を含む
  - 足: くるぶしより下の部分
- 2脚の歩行
  - 左右交互 (通常の歩き)
  - 片方を常に先 (武道の送り足)
- 4脚の歩行
  - 脚が多いので種類が多い

## 8.1.1 専門用語の説明

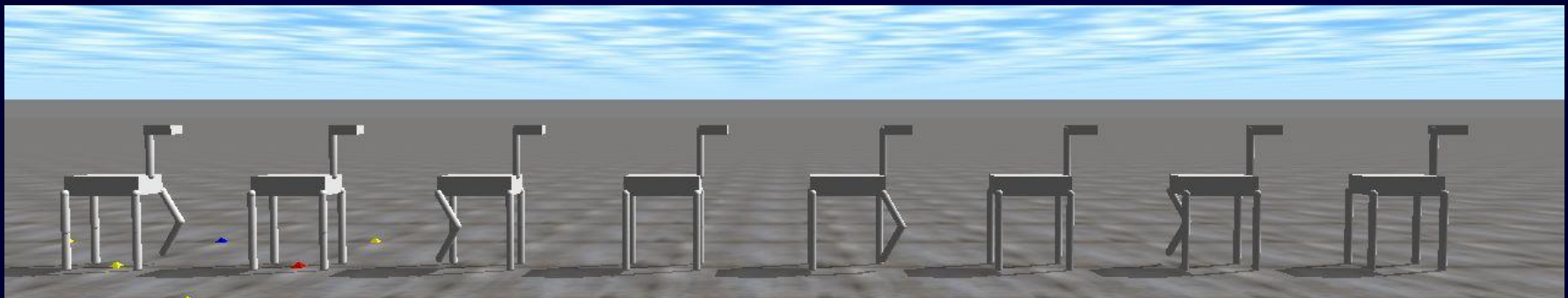
- 遊脚相: 脚を地面から持ち上げている期間  
持ち上げている脚を遊脚とよぶ
- 支持相: 脚が地面に着いている期間  
体を支えている脚を支持脚とよぶ
- 歩容(gait): 歩行パターン。各脚がこの相を  
どの  
ような順番で取るか。

# 用語

- デューティ比(duty factor)
  - 1周期中の支持脚の割合
- 位相(phase)
  - 周期的歩容において基準とする脚が着地した瞬間を時間0とし, 1周期後のその足の着地時間を1として, 他の脚の着地タイミング

## 8.1.2 歩行の種類

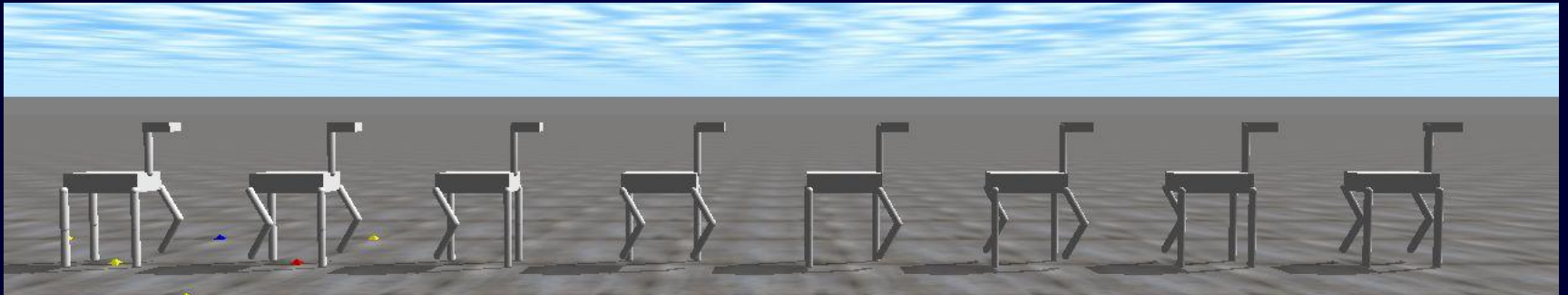
- クロール
  - 爬虫類など低速歩行動物の歩容
  - 左前脚→右後脚→右前脚→左後脚
  - 常に3脚が接地。最も安定している。



クロール（教科書P199から転載）

# ウォーク

- クロールより速い歩容
- 3脚と2脚が接地する期間がある
- 2脚だけの期間があるためクロールより不安定

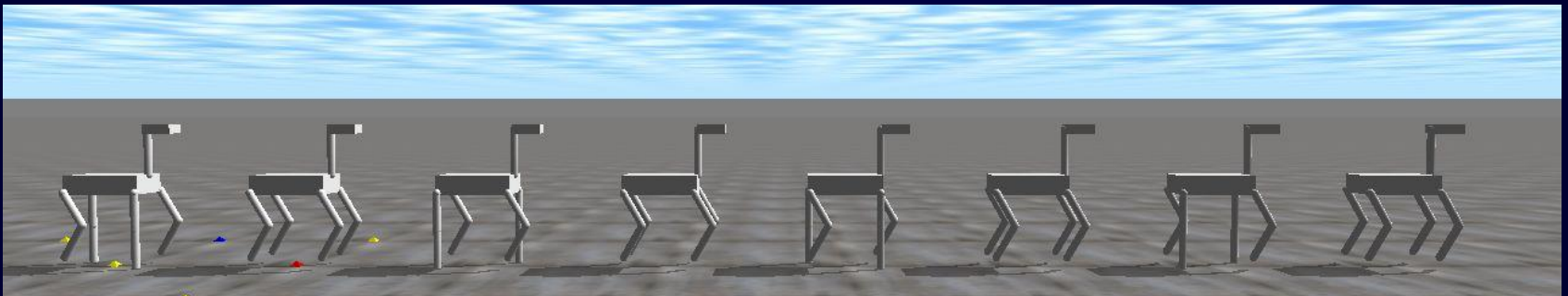


ウォーク（教科書P199から転載）



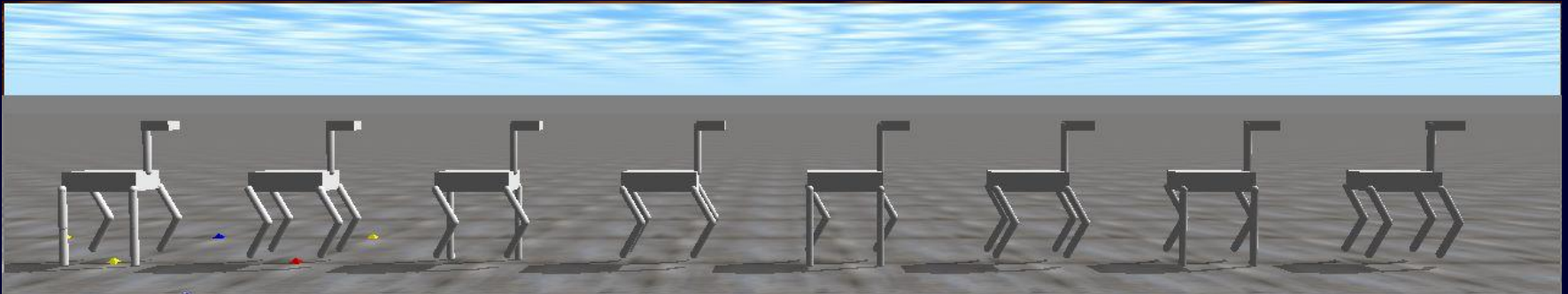
# トロット

- クロールよりさらに速い歩容
- 対角の2脚がペアとなって接地と離地を繰り返す
- 最大2脚しか接地しないのでウォークより不安定



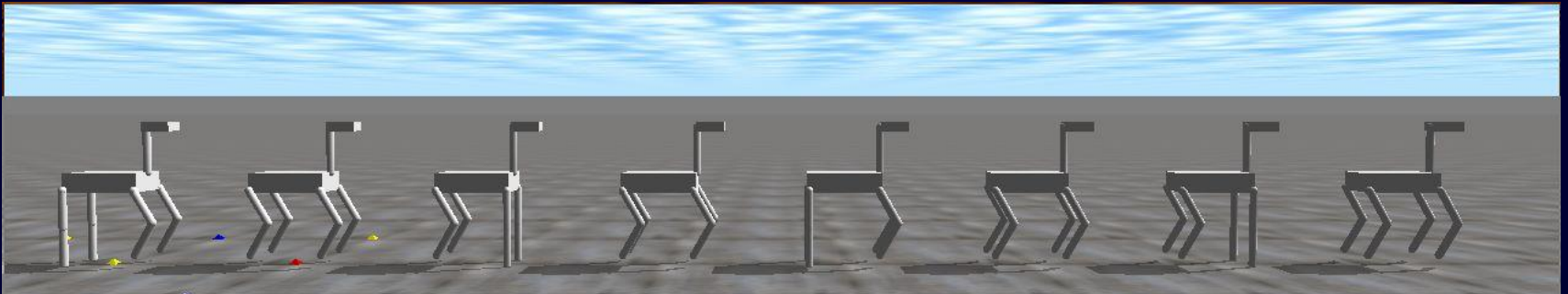
# ペース

- トロットよりさらに速い歩容
- 同側の前後2脚がペアとなって接地と離地を繰り返す



# バウンス

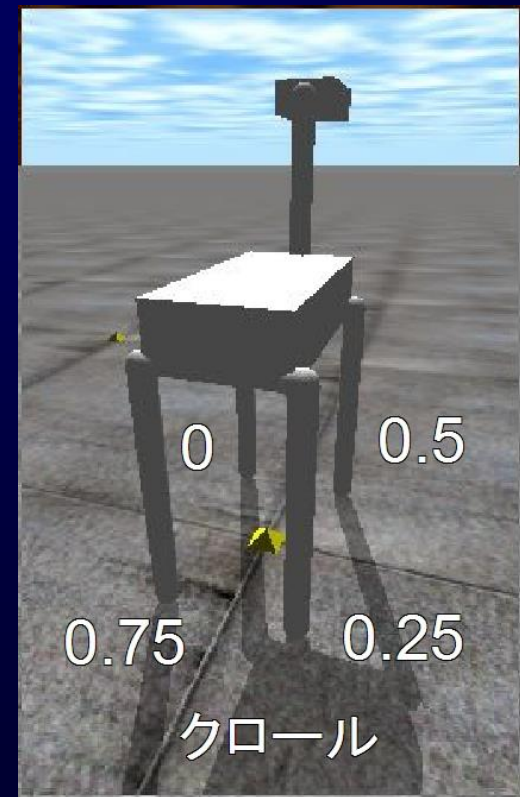
- 最も速い歩容
- 前2脚あるいは後2脚がペアとなって歩行
- 全ての脚が接地していない期間があるので、厳密には走行
- ギャロップ: 動物はタイミングが多少ずれる



## 8.1.3 歩行の位相

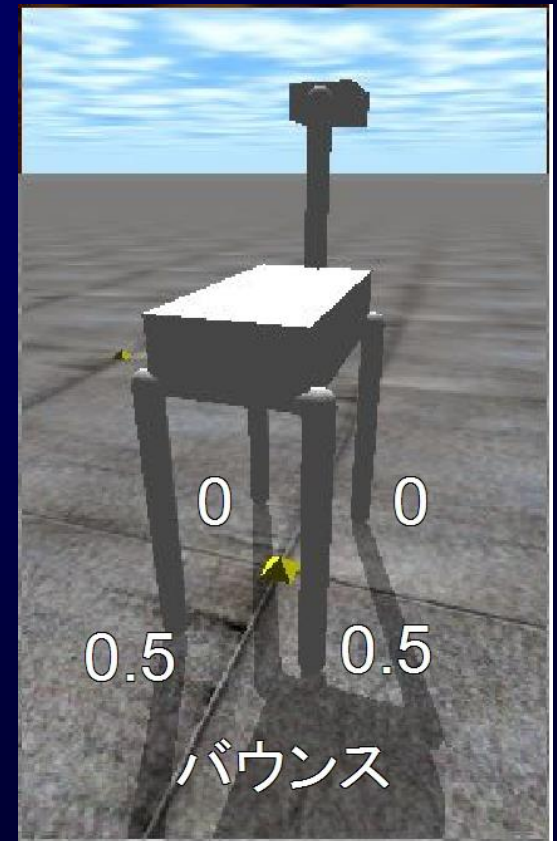
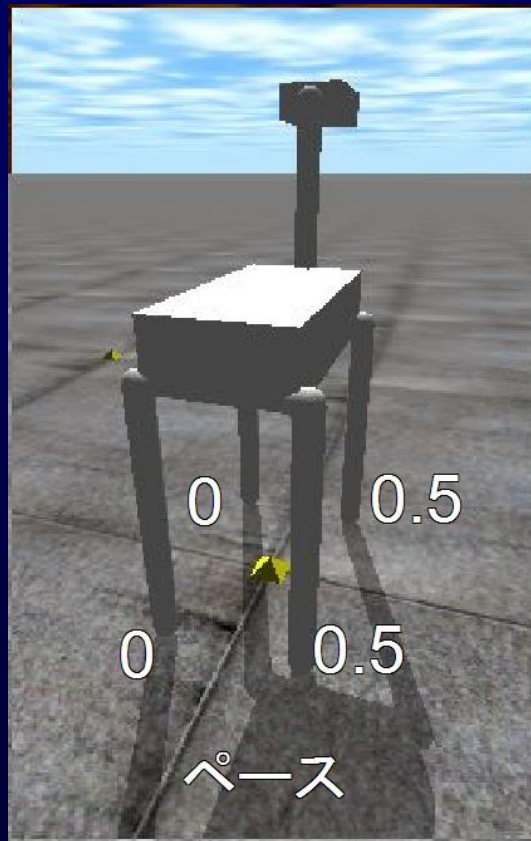
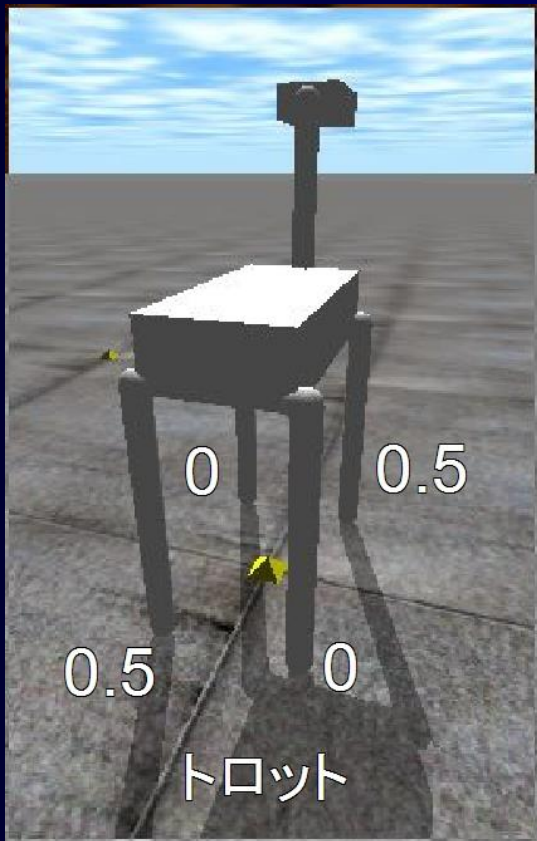
- 基準とする脚が着地した瞬間を時間0とし、1周期後のその足の着地時間を1として、他の脚の着地タイミング

- 0: 左前脚
- 0.25: 右後脚
- 0.5: 右前脚
- 0.75: 左後脚



(教科書P200から転載)

# 歩行の位相



(教科書P200から転載)

# 接地率と位相

歩容	接地率 $\beta$	支持 脚数	左右の 位相差	前後の 位相差	歩行速 度
クロール	0.75以 上	3, 4	0.5	$1-\beta$	低
ウォーク	0.75~ 0.5	2, 3	0.5	$1-\beta$	中
トロット	0.5	2	0.5	0.5	高
ペース	0.5	2	0.5	0	高
バウン ス	0.5	2	0	0.5	高

接地率：1周期中に脚が接地している時間

# 動物歩行の特徴

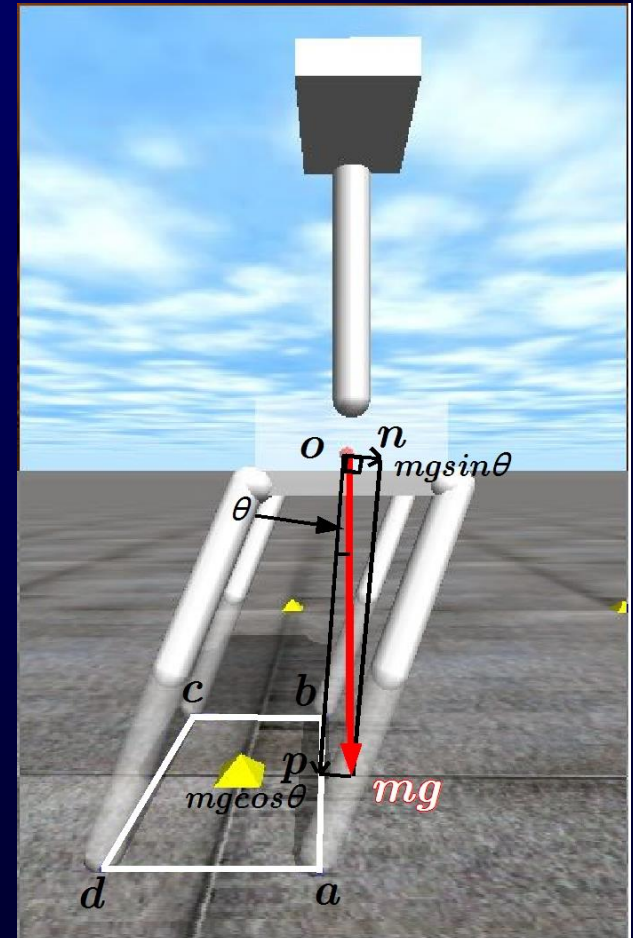
- 移動速度により歩行パターンを切り替える
- 移動速度が増加すると各脚の接地時間が短くなるが、遊脚の時間はほとんど変わらない
- 歩行速度の変化は連続だが、歩行パターンは不連続に変化する。消費エネルギーを最小にするモデルで説明可能。



# ロボットが転ぶとき

- 重心の地面への投影点が支持脚多角形の外にある時

辺abを回転軸として転倒モーメントが働く

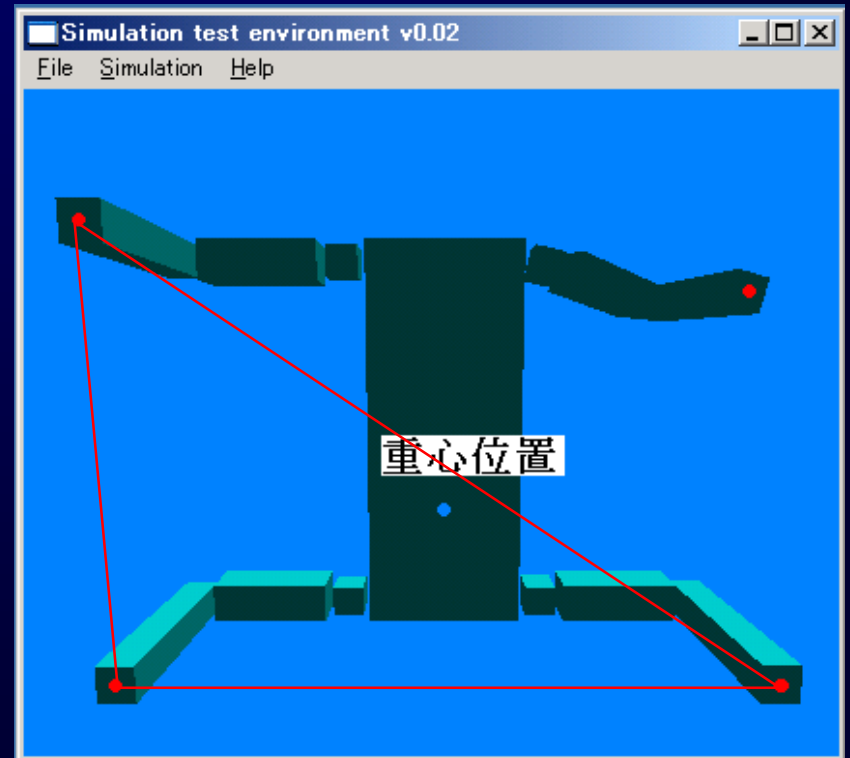


(教科書P202から転載)



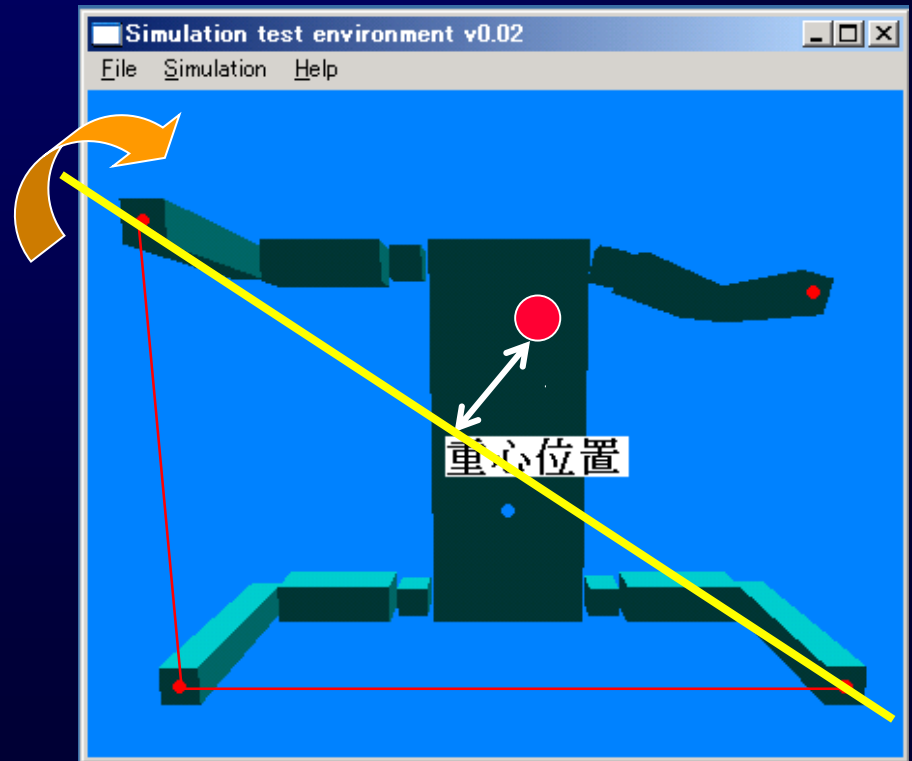
# 支持脚多角形

- 支持脚を結んだ多角形(三角形)



# 安定余裕

- 重心が支持脚多角の外にある場合
- 転倒モーメントがはたらく
- 安定余裕
  - 重心から支持脚多角形までの距離



# 重要

- 重心の地面への投影点 $m$ が支持脚多角形の中にあれば転倒モーメントは働かず外に出れば出るほど転倒モーメントは大きくなる
- 安定に歩行させるためには常に重心の投影点を支持脚多角形の中に入れてなければならない

# 静歩行と動歩行

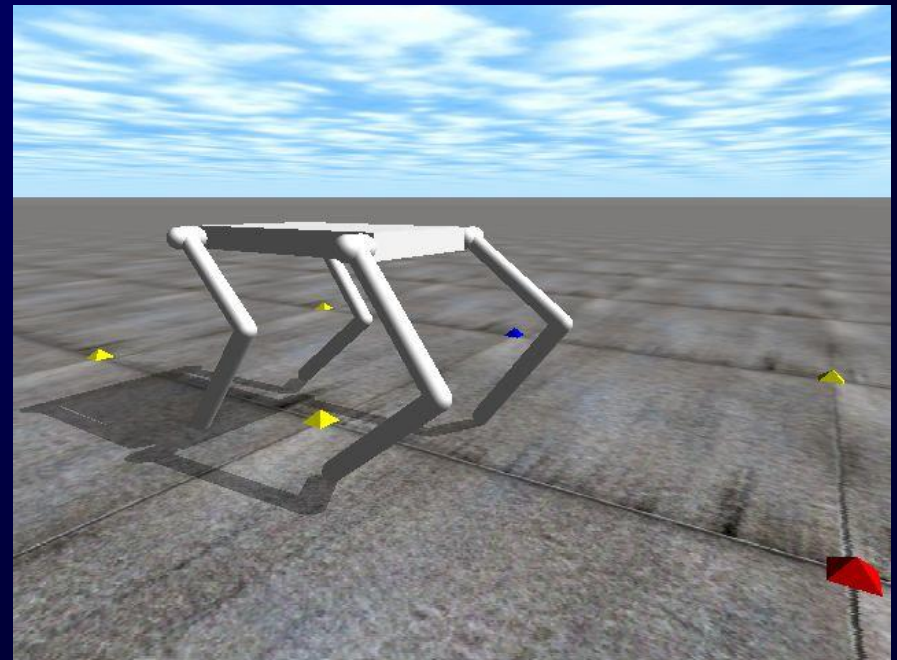
- 静歩行: どの瞬間をとっても安定している歩行
- 動歩行: 瞬間的に見れば重心の投影点が支持脚多角形の外にあるが、慣性姿勢の制御により安定な歩行を実現

# 歩行制御(静歩行)

- 歩行アルゴリズム
  1. 脚先軌道の決定
  2. 軌道上の代表点の決定
  3. 逆運動学により各代表点に対応する関節角度の算出
  4. 上の関節角度になるように各関節を制御

# 4脚ロボットのスペック

重量	胴体: 10 [kg] リンク1, 2: 0.5 [kg]
サイズ	胴体: 500 x 300 x 100 [mm]
自由度	脚3自由度 x 4本

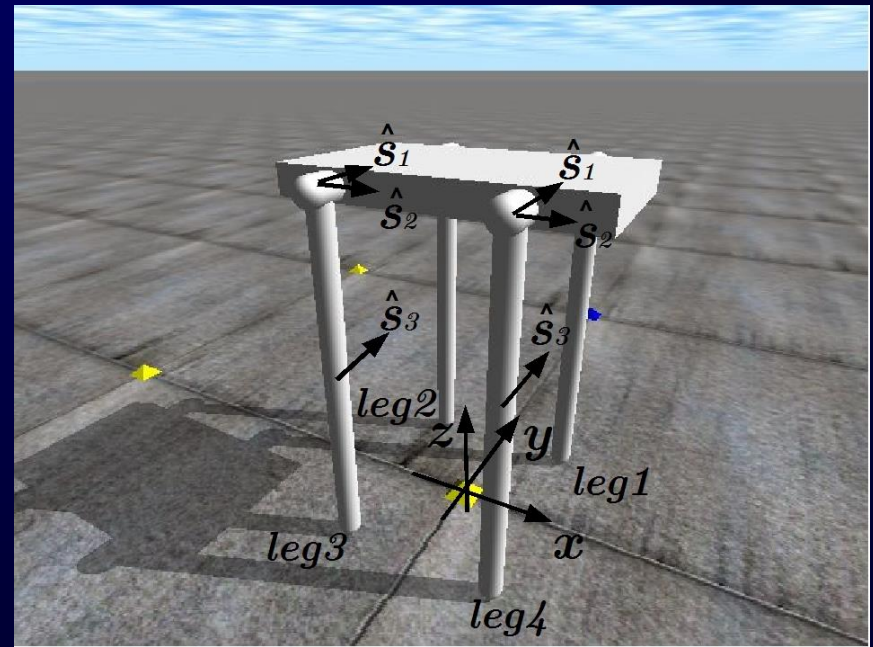
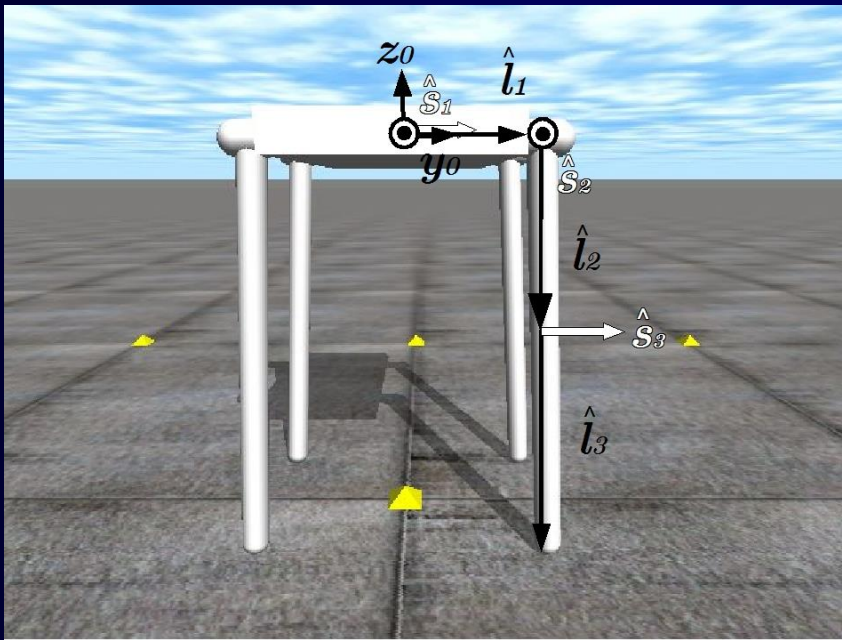


(教科書P206から転載)

このロボットを歩かそう！

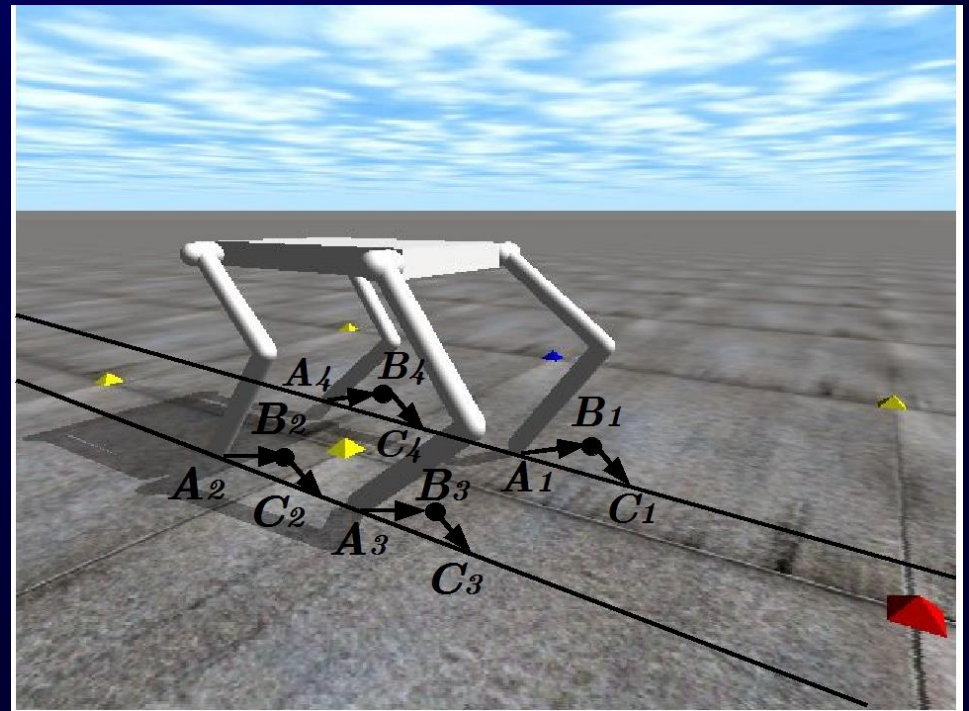
# 初期姿勢

- 計算を簡単にするため $x, y, z$ 軸にできるだけ沿うように初期姿勢を決める



## 8.2.2 脚先の軌道

- ここでは簡単にするために3角形  
– 台形や円弧などが一般的



(教科書P204から転載)

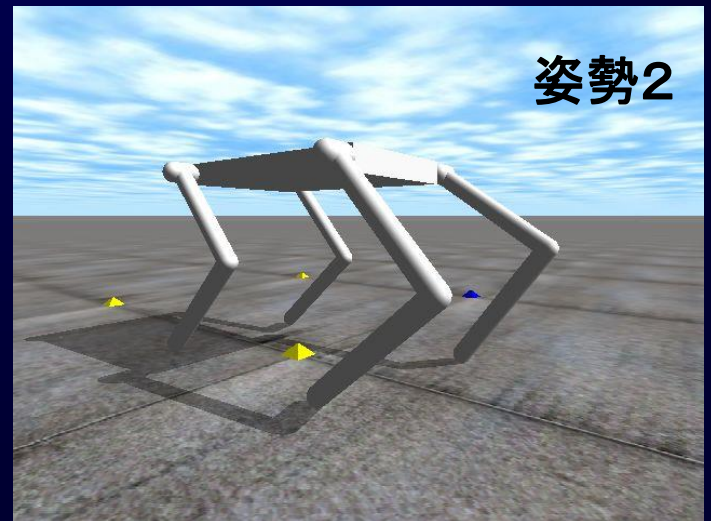
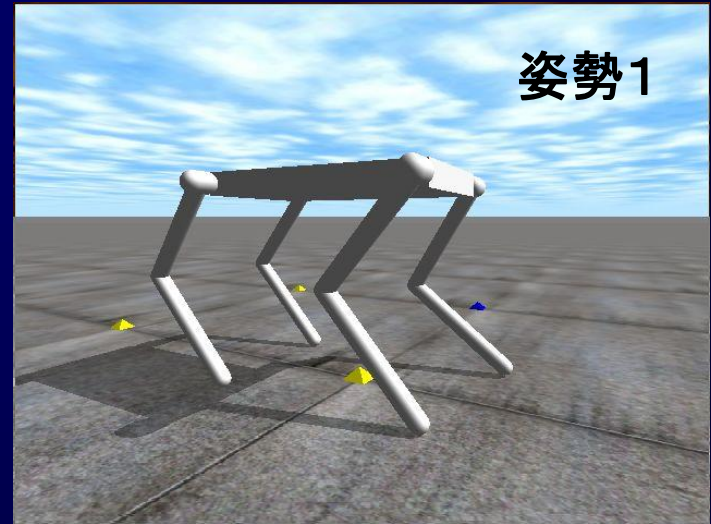


## 8.2.3 運動学と逆運動学

- EX8.1: 図8.5と8.6に示す4脚ロボットの運動学を求めよう。
- EX8.2: 逆運動学を求めよう。

# 逆運動学の解

	第1関節角	第2関節角	第3関節角
姿勢1	$\theta_1$	$-\theta_2$	$\theta_3$
姿勢2	$\theta'_1$	$-\theta_2$	$-\theta_3$
姿勢3	$\theta_1 + \pi$	$\theta_2 - \pi$	$\theta_3$
姿勢4	$\theta'_1 + \pi$	$\theta_2 - \pi$	$-\theta_3$

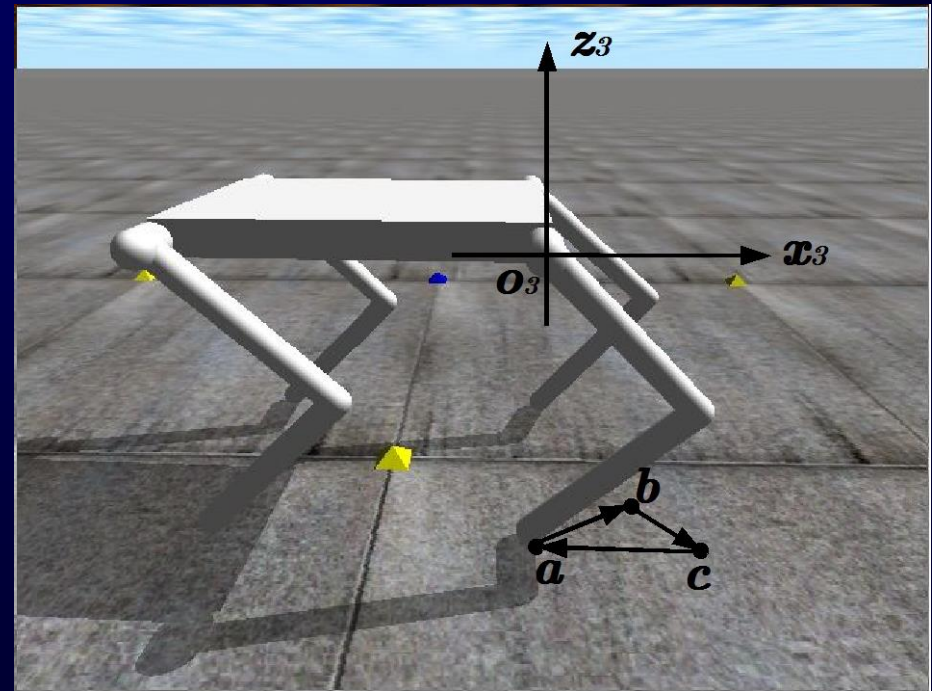


(教科書P206から転載)

# 目標関節角の決定

番号	x[m]	y[m]	z[m]
a点	0	0	-0.40
b点	0.05	0	-0.37
c点	0.1	0	-0.40

番号	$\theta_1[^\circ]$	$\theta_2[^\circ]$	$\theta_3[^\circ]$
a点	50.1	0	-98.1
b点	53.9	0	-105.3
c点	56.8	0	-97.3



•肩関節を原点としたロボット座標系  
(教科書P207から転載)

# 詳しいアルゴリズム

1. **重心移動**: 遊脚となる脚 $i$ を上げるため他の3脚を制御し、その3脚で構成される支持脚多角形内に重心を移動
2. **遊脚の離地**: 脚 $i$ を上げ、軌道上の最高点へ移動
3. **遊脚の着地**: 脚 $i$ を地面上の目標点へ移動し着地
4. **脚の切替**: 重心を歩幅の $1/4$ 前方へ移動し、次に遊脚となる脚を $i$ に設定し1.へ戻る

# 演習

- EX8.1: 図8.5と8.6に示す4脚ロボットの運動学を求めよう。
- EX8.2: 逆運動学を求めよう。
- サンプルプログラムpro8-1.zipのソースを読んで理解しよう。

おしまい。

