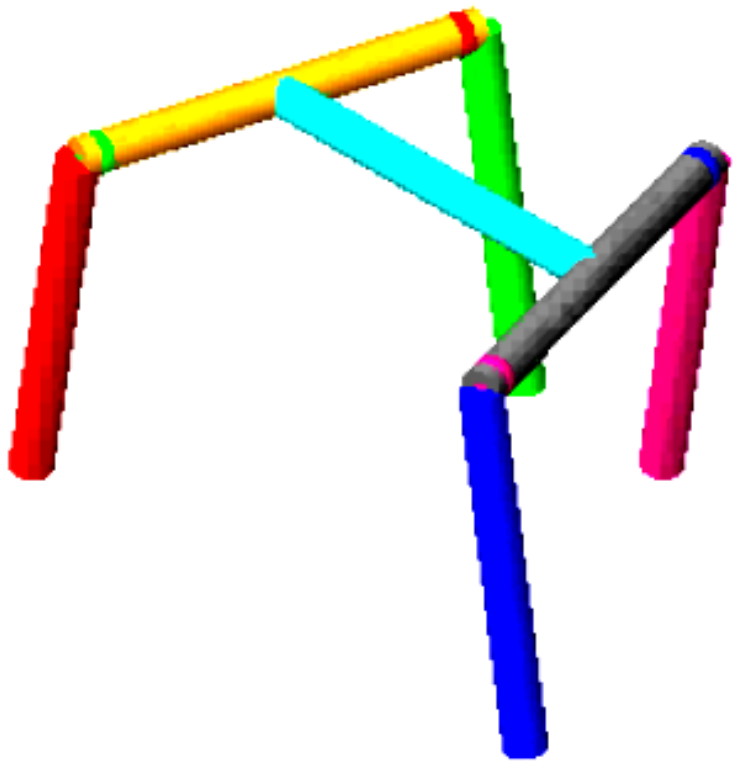


# 4足歩行の歩容と固有振動モードの関係

滋賀県立大学大学院

絹笠 裕直



- ①歩行速度と歩容の関係.
- ②動物の各歩容に似た固有振動モードが存在することを確認.
- ③各モード生成に必要な身体構造.

# 本研究の目的

---

## 4足歩行動物

- ・歩行速度に応じて歩行周期が変化する.
- ・各移動速度で効率の良い歩容を自然発生的に選択する.

各歩容はその周期で繰り返し運動するのに適した力学特性をもつ.



4足歩行動物の骨格系を模擬した剛体リンクモデルを作成.



機構の固有振動数を活かした駆動法の確立

# ウマの歩容

歩容(足の動かし方)

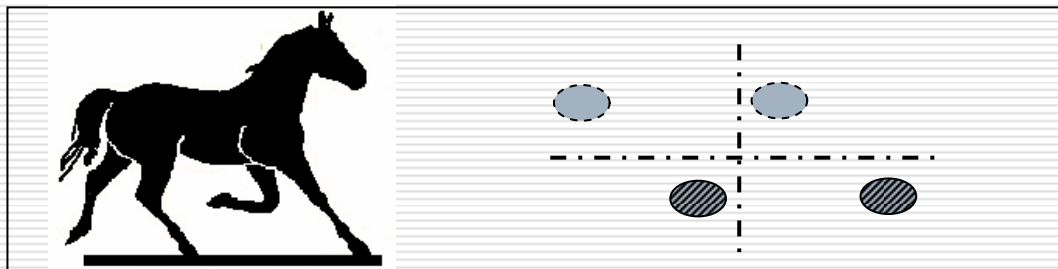
ウォーク→トロット→ペース→キャンター→ギャロップ



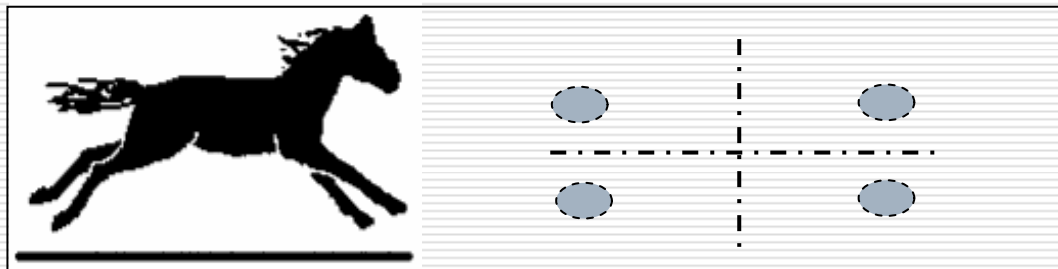
・トロットの場合:



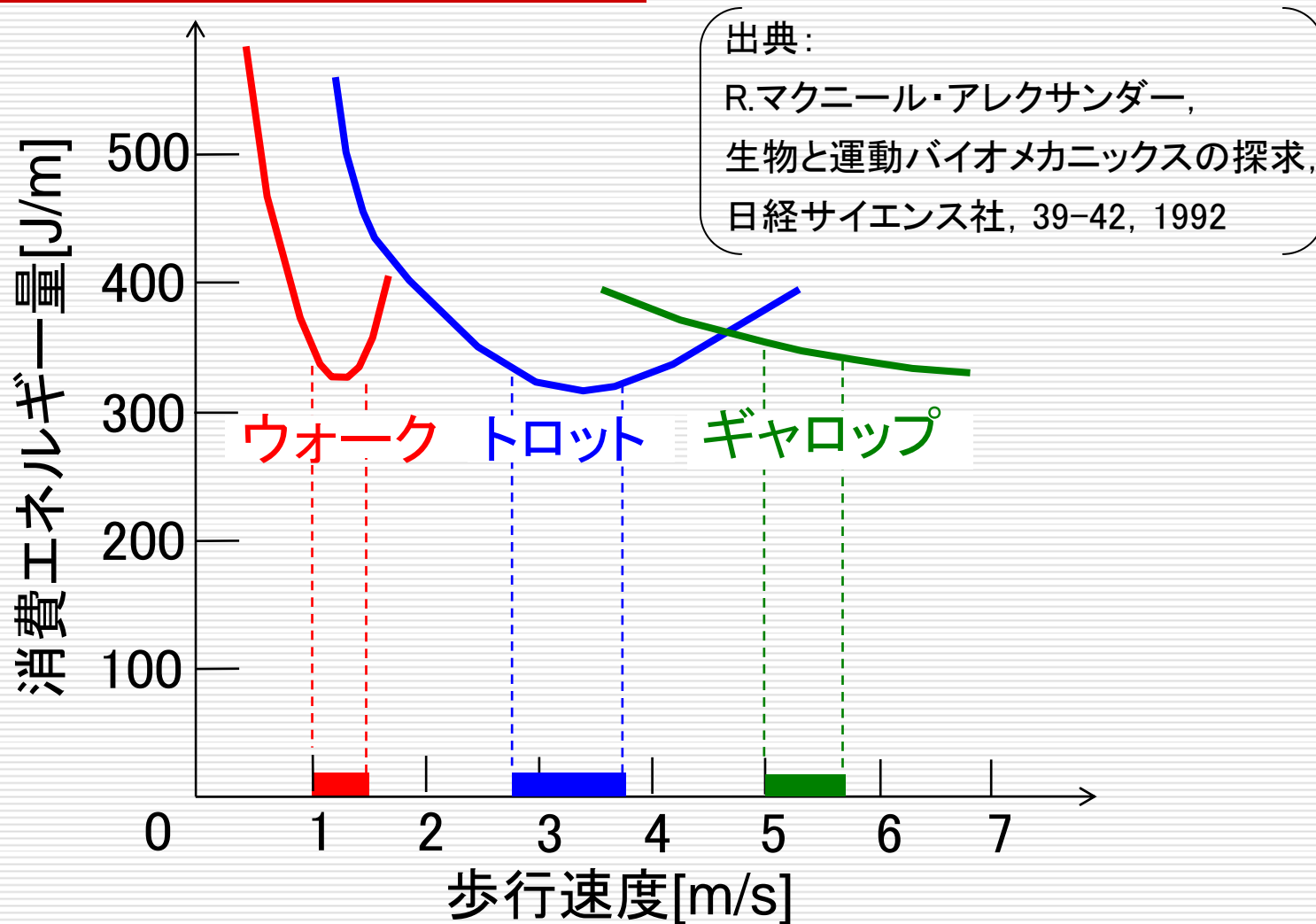
・ペースの場合:



・ギャロップの場合:



# 歩容と消費エネルギー



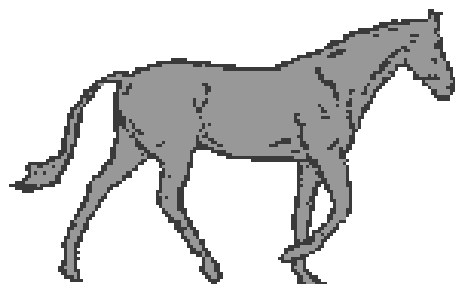
歩行速度に応じて効率の良い歩容を自然に選択する

# 歩容の選択

## ウマの歩行周期

	Gait				
	Walk	Trot	Pace	Canter	Gallop
Walking period [s]	0.97	0.71	–	0.53	0.44

歩容によって歩行周期が異なっている



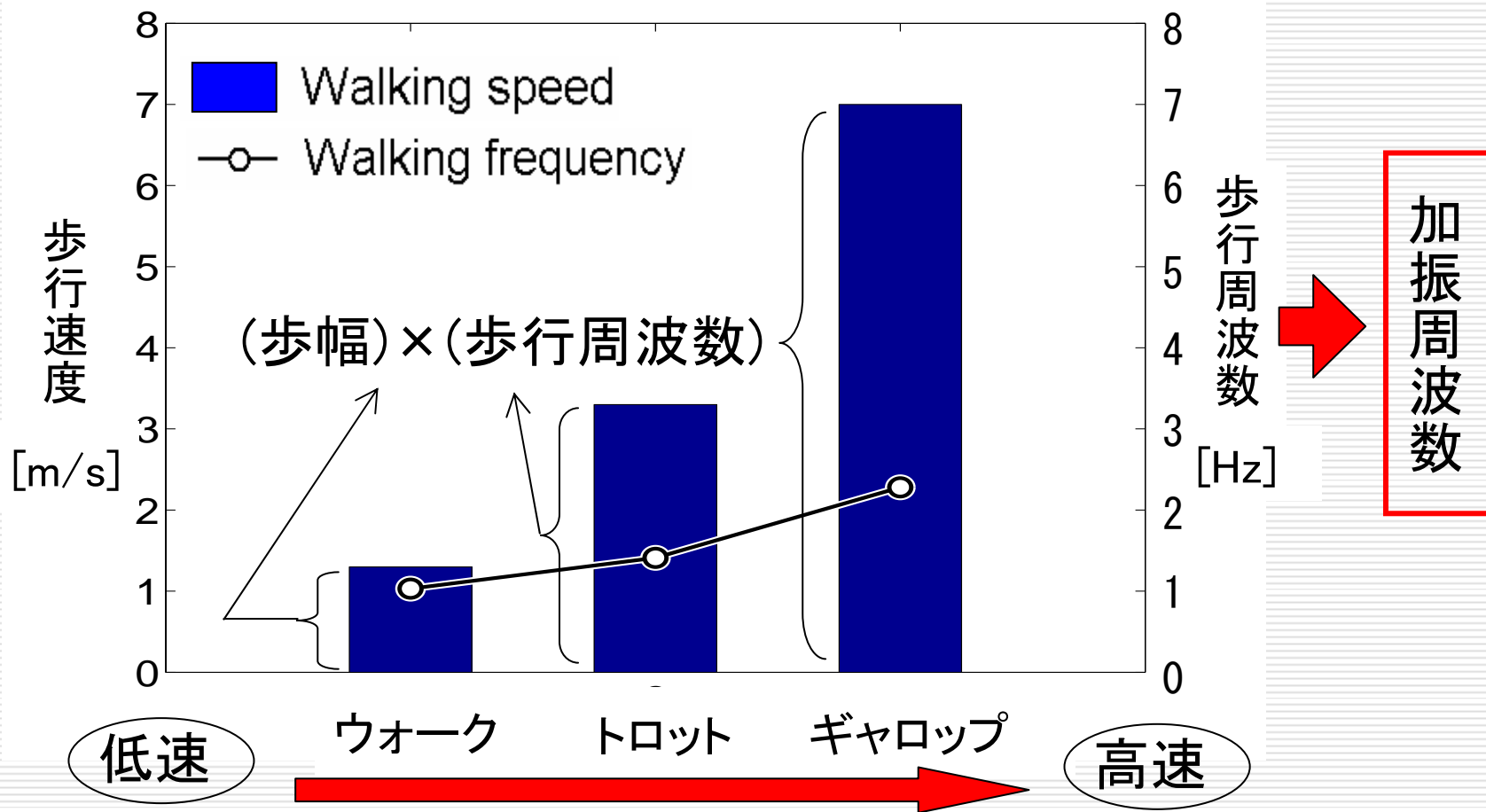
ウォーク  
トロット  
ペース  
キャンター  
ギャロップ



ペース  
ギャロップ

脚の長さや、胴体の質量、骨格の構造などの身体的特性に適した歩容を選択している

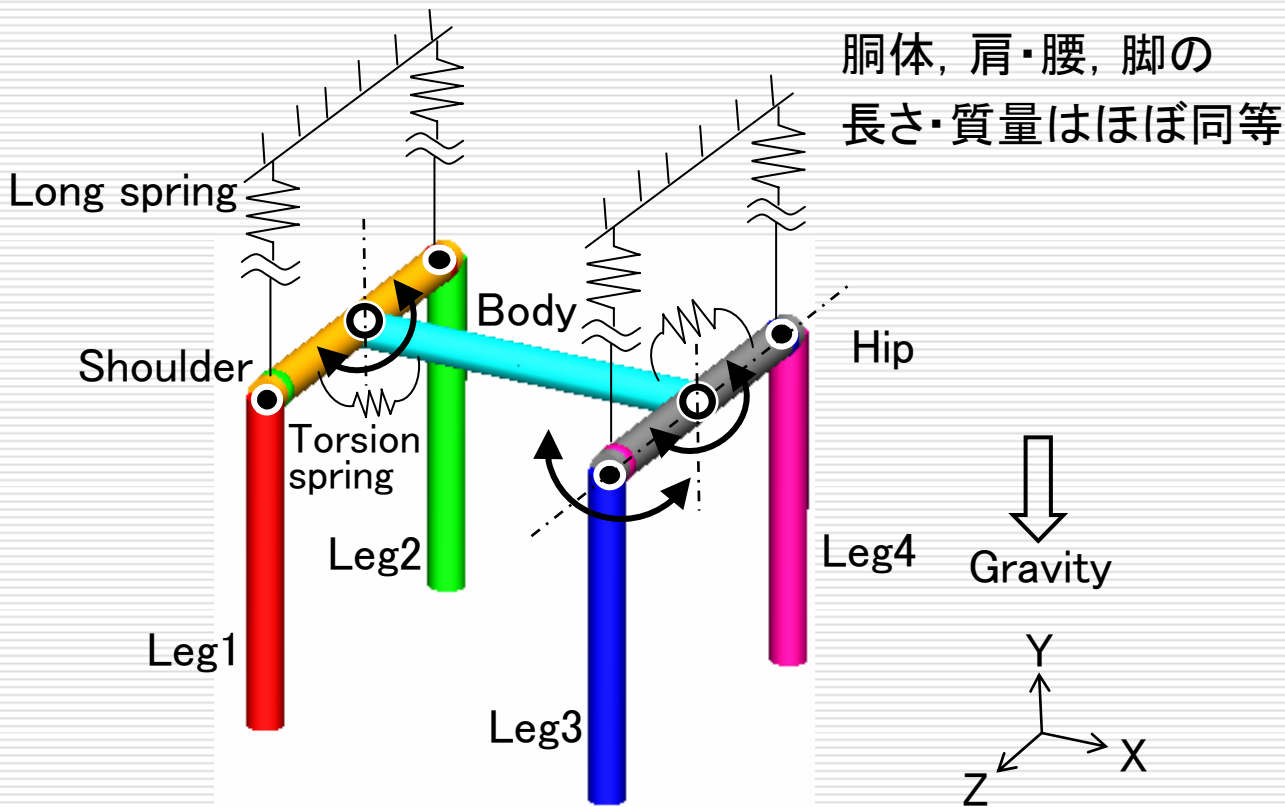
# 歩容と歩行周波数



加振周波数で励起される固有振動モードと歩容との関係について調べた。

# 解析モデル

骨格系を剛体リンクモデルで模擬

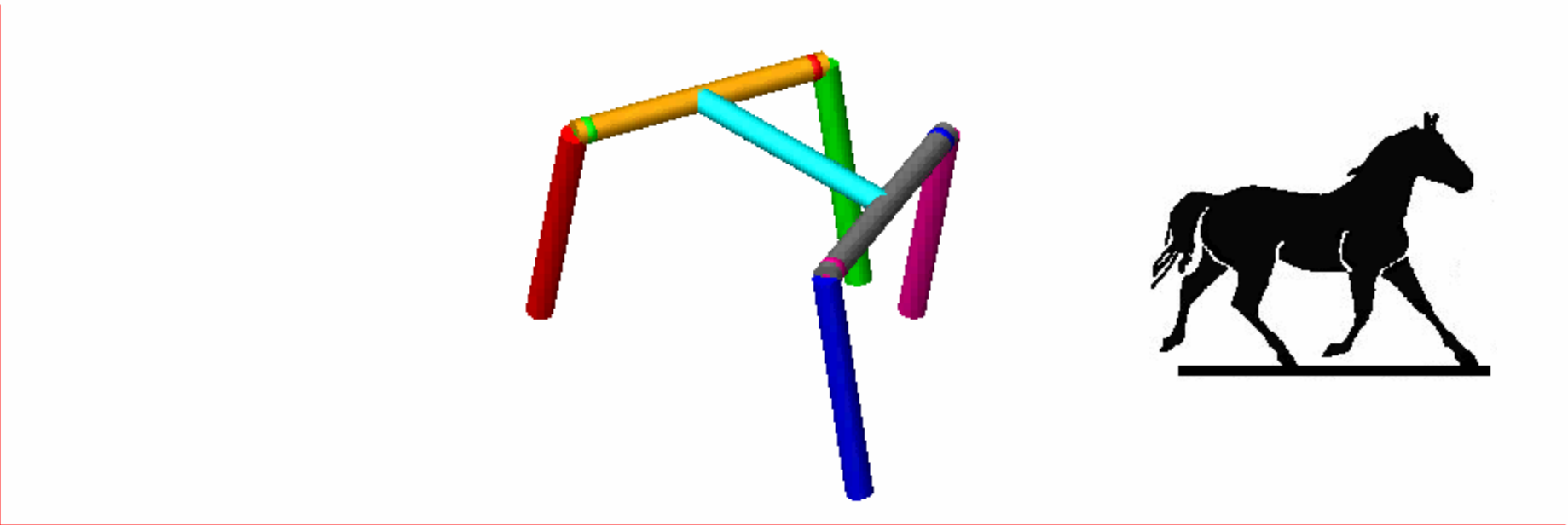
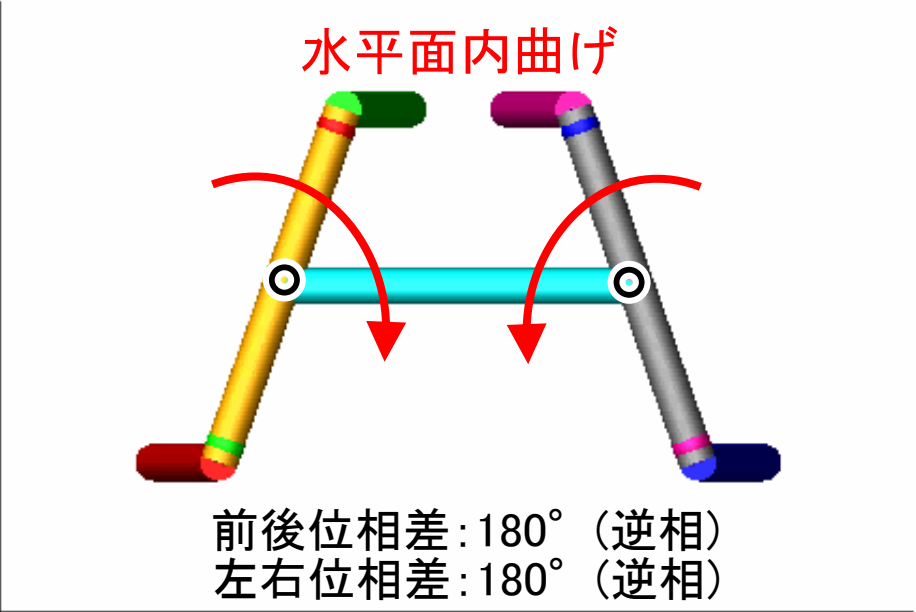
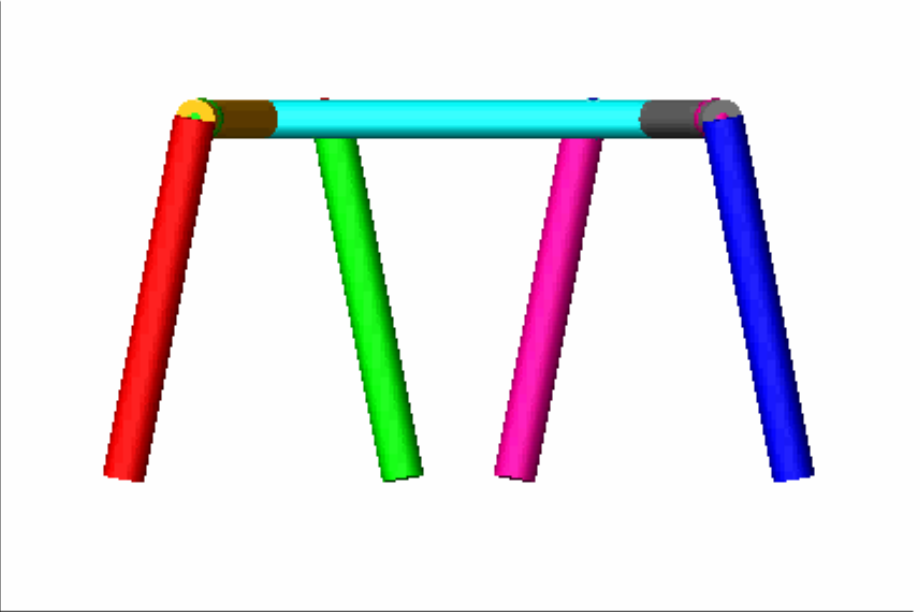


ADAMS/Linearを用いた線形固有値解析



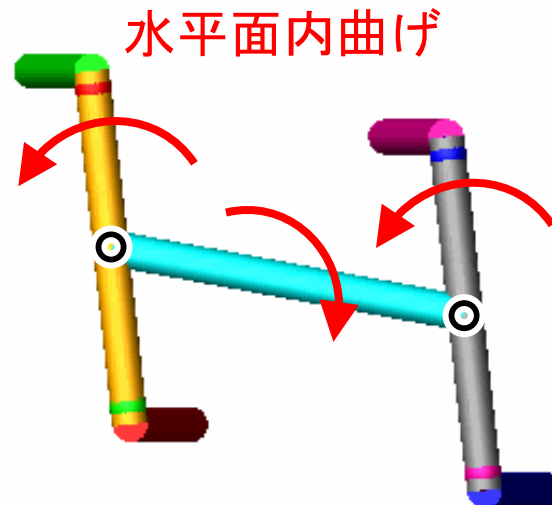
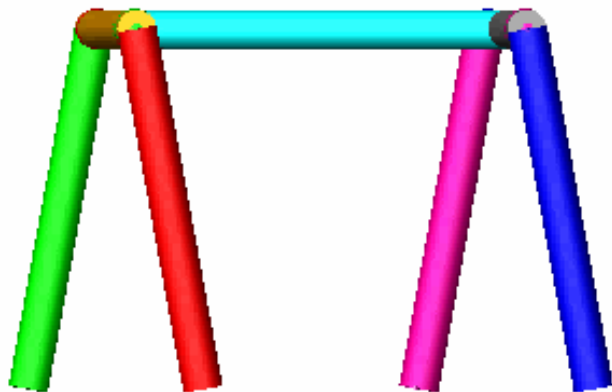
実際の動物と同様の順にモードが生成される。

# トロット歩行 (0.645Hz)

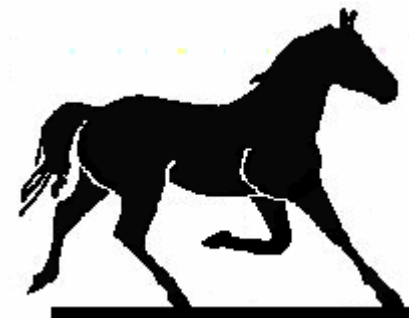
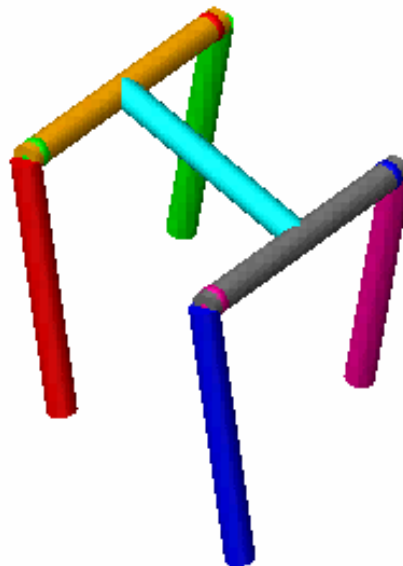




# ペース歩行 (0.824Hz)

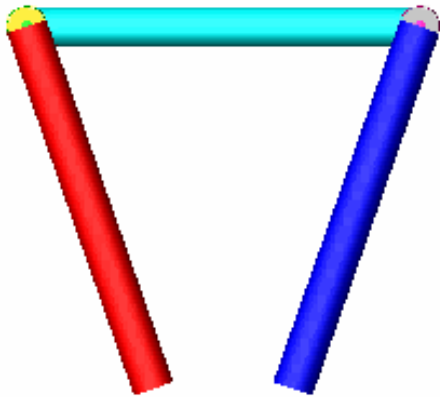


前後位相差:  $0^\circ$  (同相)  
左右位相差:  $180^\circ$  (逆相)

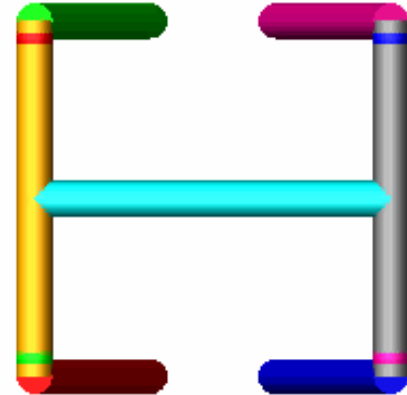


# ギャロップ歩行 (1.003Hz)

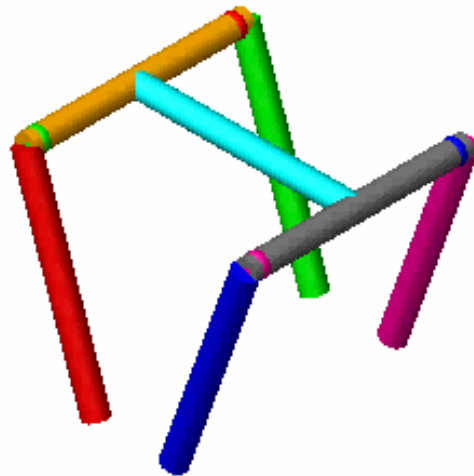
← 遊脚の固有振動数



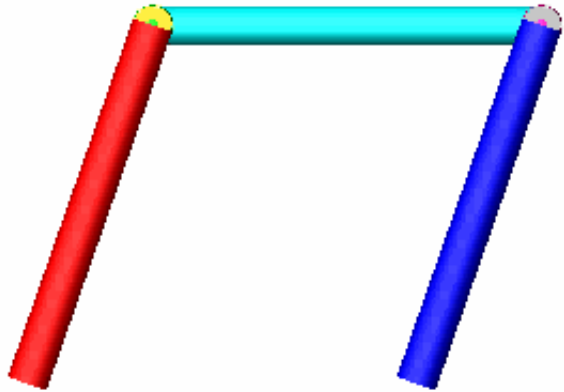
水平面内曲げなし



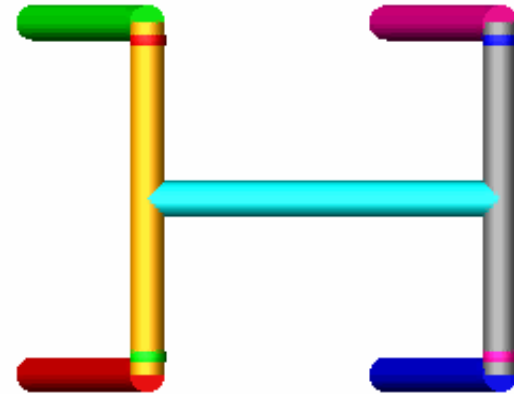
前後位相差:  $180^\circ$  (逆相)  
左右位相差:  $0^\circ$  (同相)



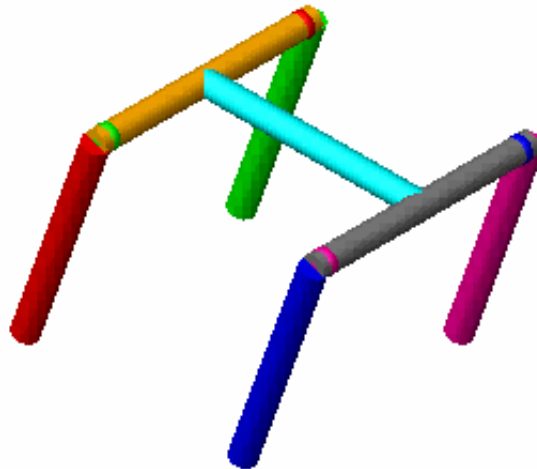
# ホップ歩行 (1.308Hz)



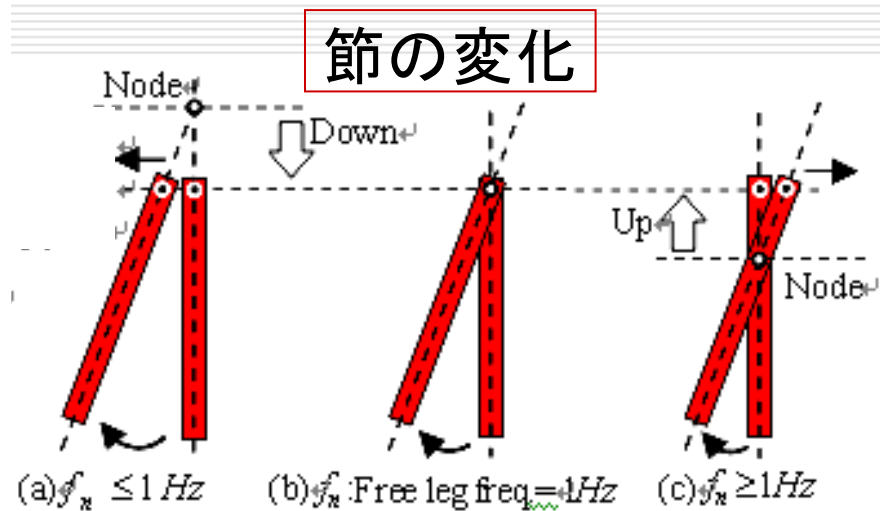
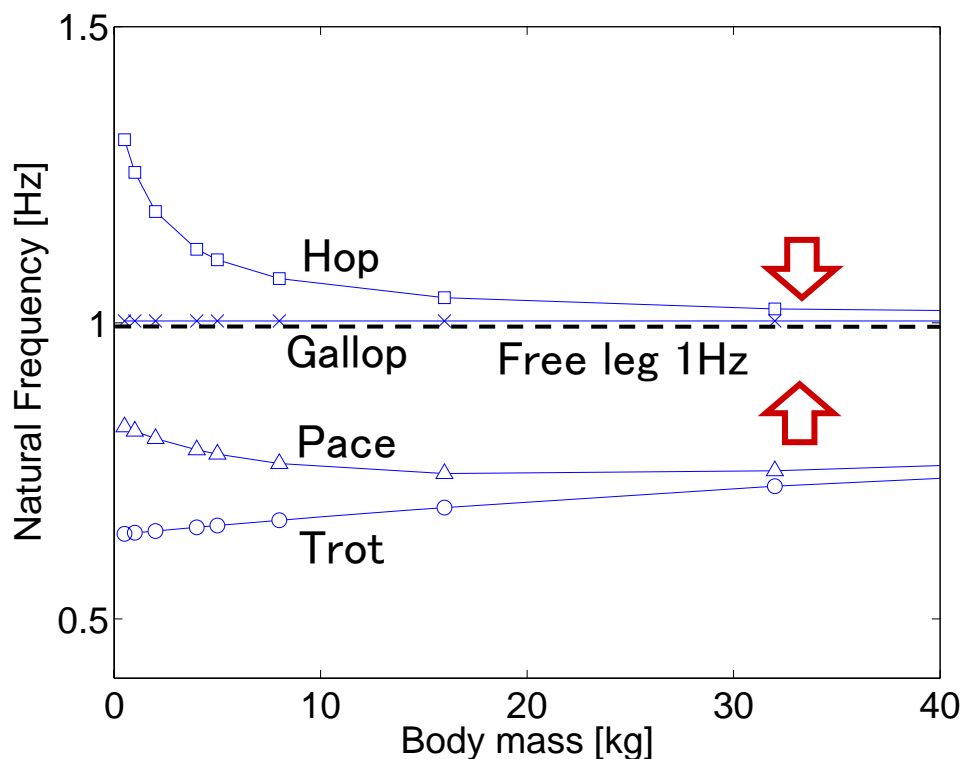
水平面内曲げなし



前後位相差:  $0^\circ$  (同相)  
左右位相差:  $0^\circ$  (同相)



# 胴体部質量の影響

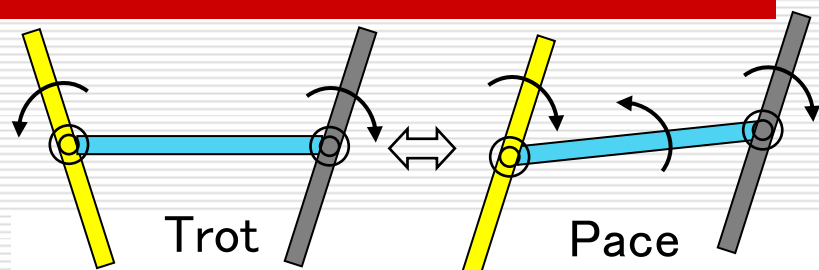


胴体質量 → 大

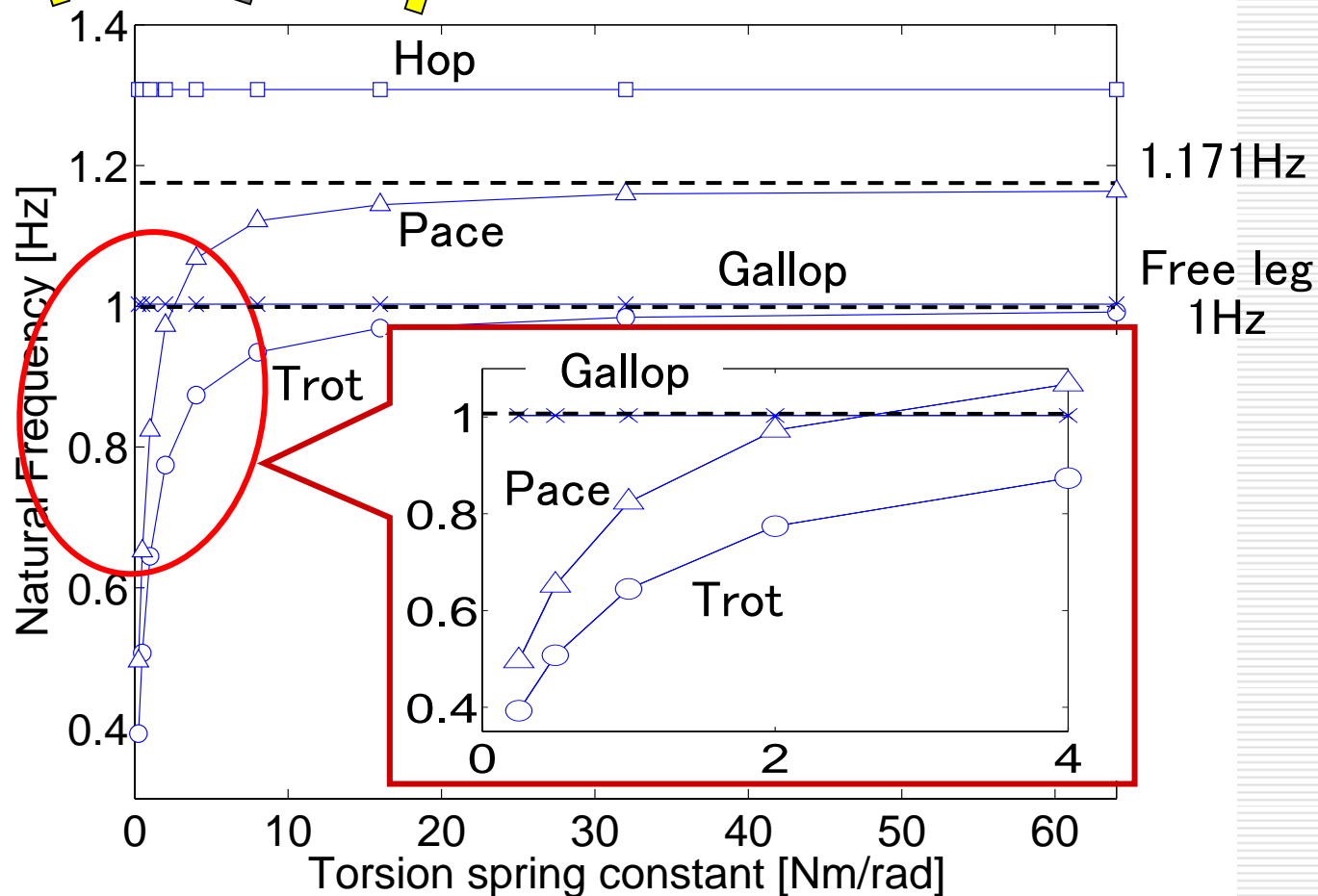
胴体が固定端 → 回転中心が肩・股関節

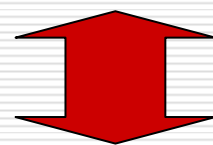
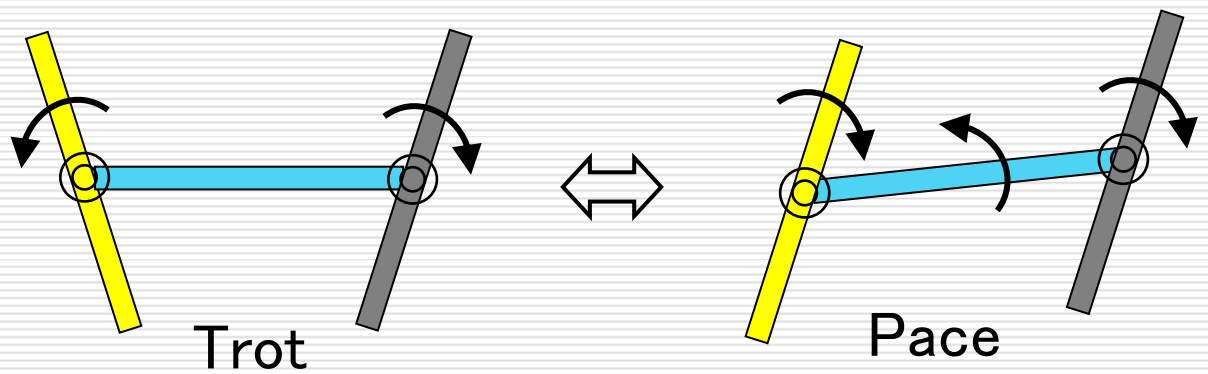
各モードの固有振動数 ≒ 遊脚振り子運動の固有振動数

# 背骨関節と固有振動数の高低

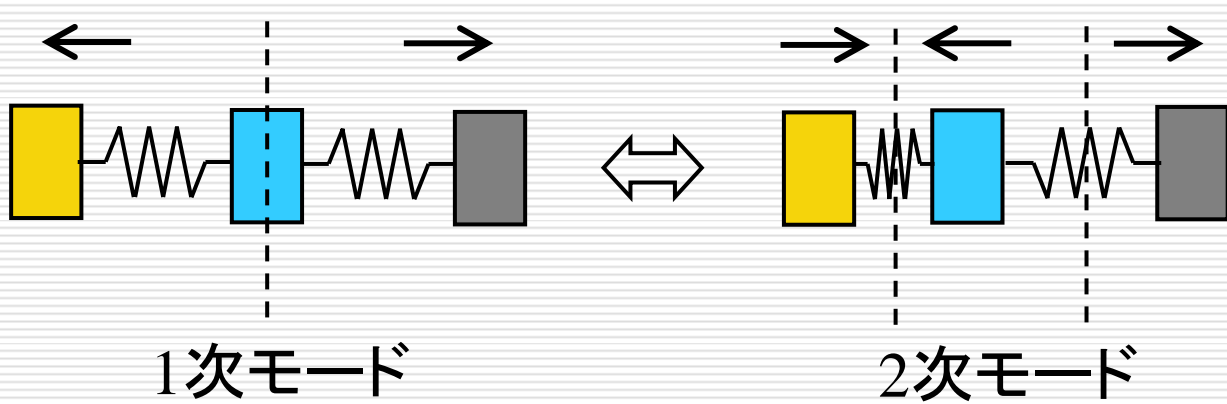


背骨関節数・・・2  
(運動学的自由度・・・2)





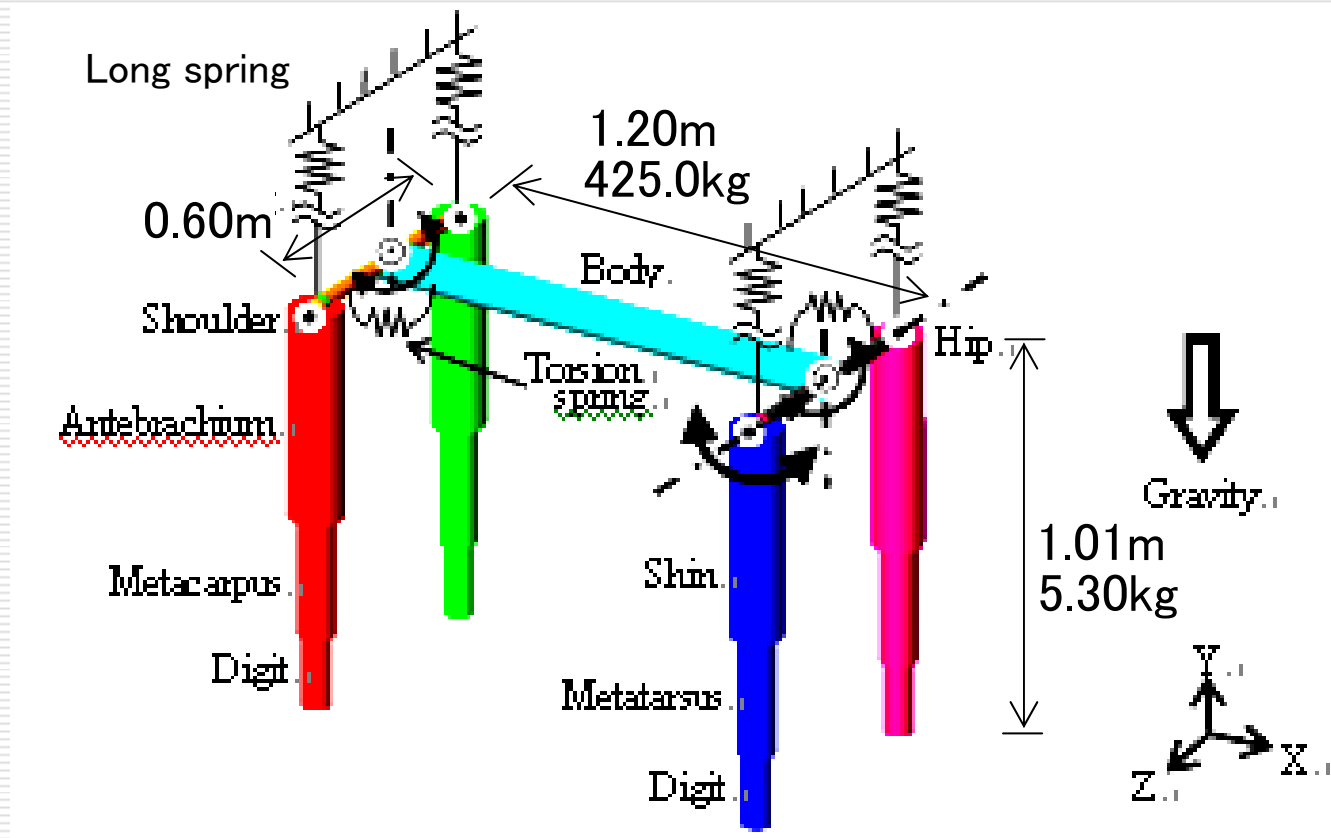
3質点振動系と等価



トロットが必ずペースより低次となる

# 動物との比較

ウマの身体特性を与えた解析モデルの固有振動数と実際のウマの歩行周波数を比較



モデルのトロット固有振動数 : 0.499Hz

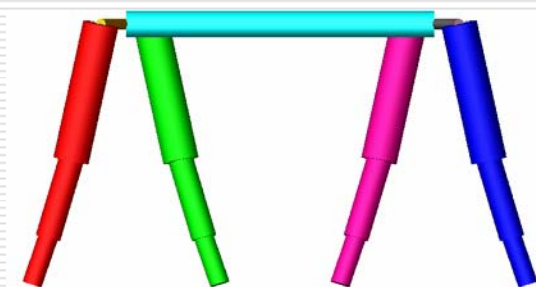
実際のウマのトロット歩行周波数 : 1.408Hz

3倍差

# 脚を3重振り子にしたときのモデル解析

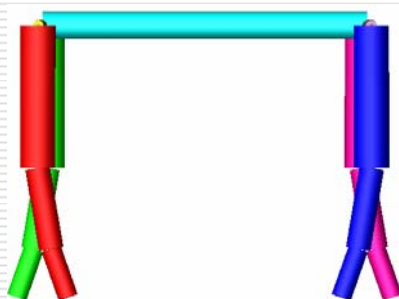
## トロット時の固有振動数

1次



0.497Hz

2次



1.073Hz

ウマ:

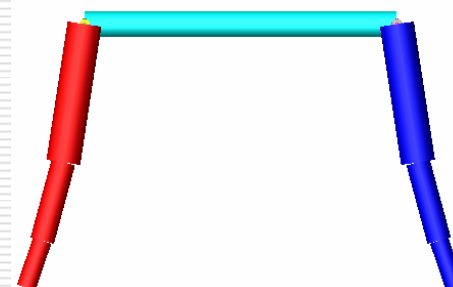
1.408Hz

3次

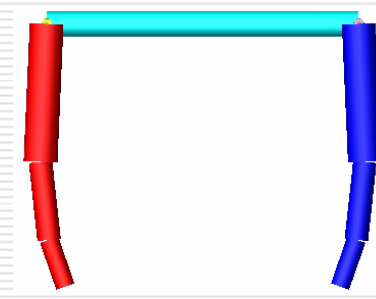


1.944Hz

## ギャロップ時の固有振動数



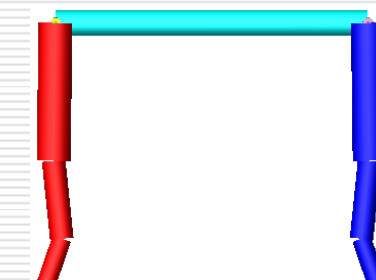
0.646Hz



1.285Hz

ウマ:

2.272Hz



2.171Hz

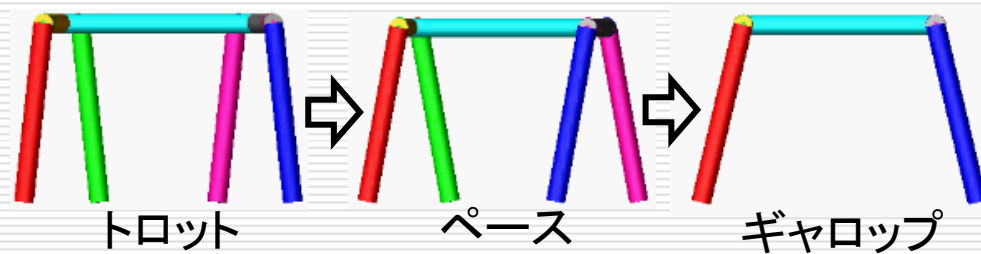


# まとめ

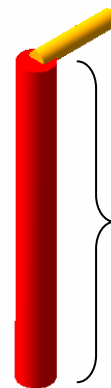
- ①歩容に似た固有振動モードを生成できた.



- ②自然界の動物と同じようにトロット, ペース, ギャロップの順になった.



- ③すべてのモードの固有振動数は遊脚単体の振り子運動の固有振動数付近に現れる.



脚長 胴体固定端時  
0.37m 遊脚→振り子運動  
遊脚固有振動数1Hzで固定