

Computer Simulation of Human Lower Limb Motions Using a Three-Dimensional Musculoskeletal Model

長野明紀 (理化学研究所)

深代千之 (東京大学)

姫野龍太郎 (理化学研究所)





研究内容の概略

- ヒトの身体運動のコンピューター・シミュレーション
- 特に下肢の運動
- 神経・筋・骨格系モデル
- 2次元
- 3次元



本発表の構成

- 現在までの主な研究成果
- 現在取り組んでいる課題
- 将来(2004年～2010年)の方向性



現在までの主な研究成果

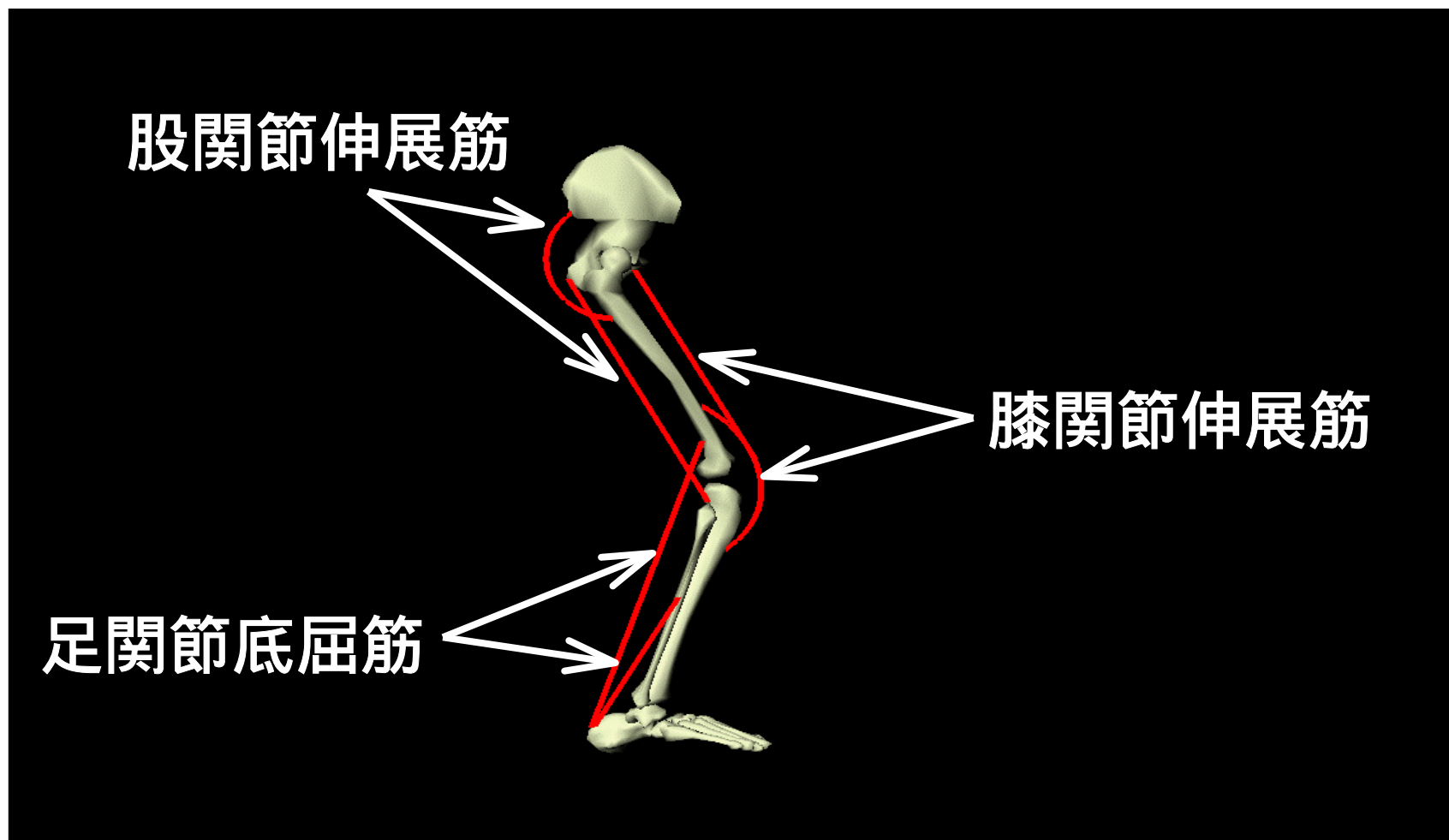
- 3つの具体的な例
 - ヒトの跳躍動作
 - 足関節に於ける力学的出力
 - アウストラロピテクスの歩行



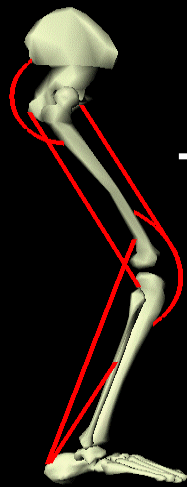
1. ヒトの跳躍動作(2次元モデル)

- Nagano and Gerritsen, 2001. *Journal of Applied Biomechanics*.
- 跳躍能力を高めるために、筋肉のどのような特性をトレーニングすることが有効か？
- どの筋肉をトレーニングすることが有効か？

2次元筋骨格系モデル



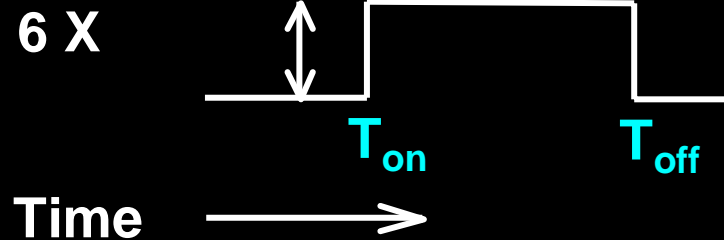
跳躍動作の生成



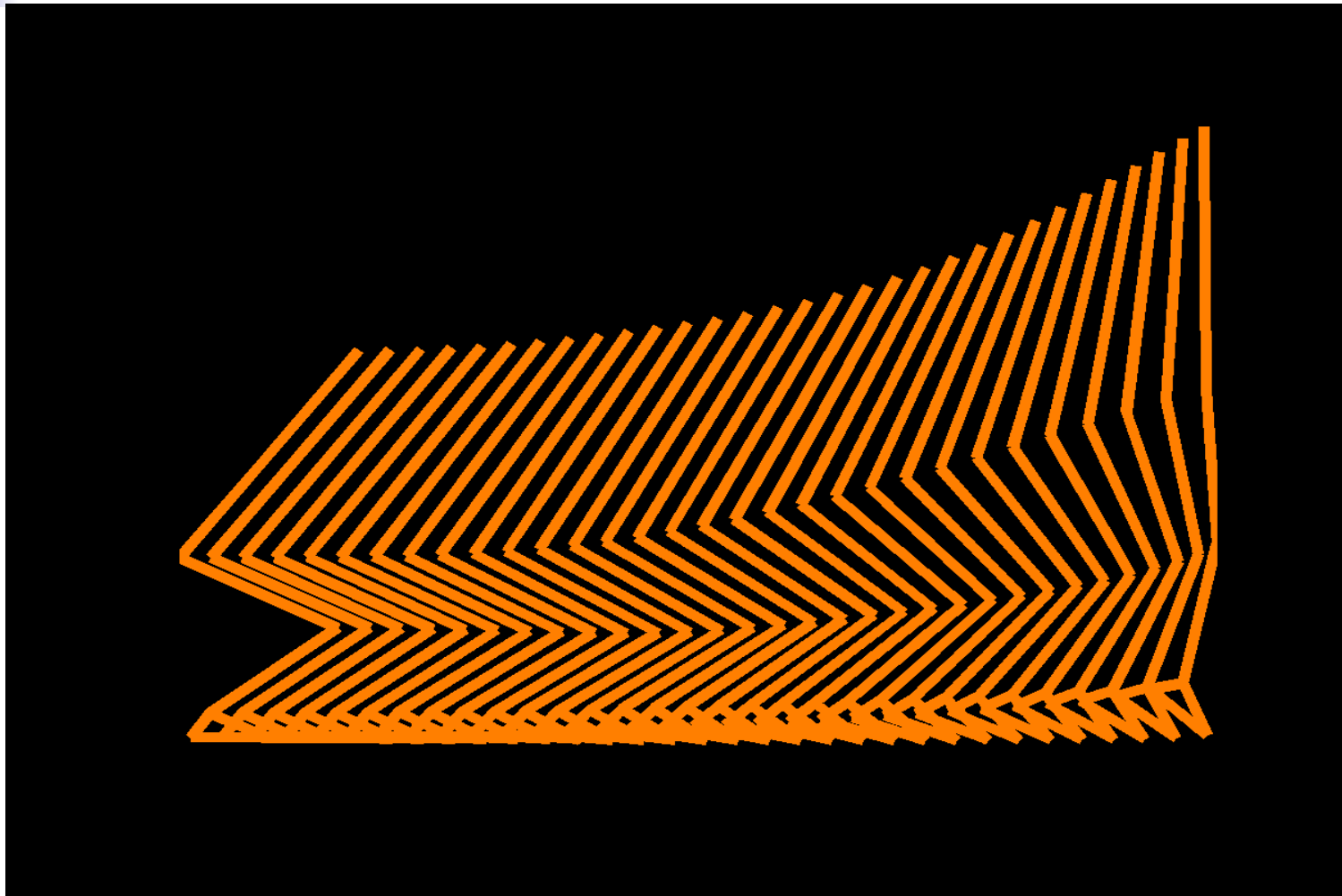
最適化：
Bremermann アルゴリズム
目的：
跳躍高の最大化

SGI Octane
DADS
MATLAB

Amplitude



生成された跳躍動作の例

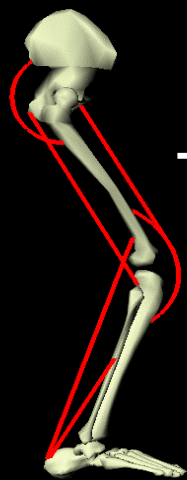




トレーニング効果のシミュレーション

- 発揮張力、収縮速度、刺激強度
- 股関節、膝関節、足関節の筋群
- パラメーター値を変更することでシミュレート
- 跳躍高を比較

トレーニング効果のシミュレーション

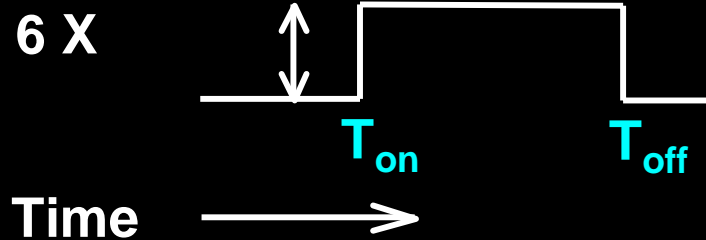


ΔF_{max}
 ΔV_{max}
 ΔACT_{max}

最適化：
Bremermann アルゴリズム
目的：
跳躍高の最大化

SGI Octane
DADS
MATLAB

Amplitude





結果の要点

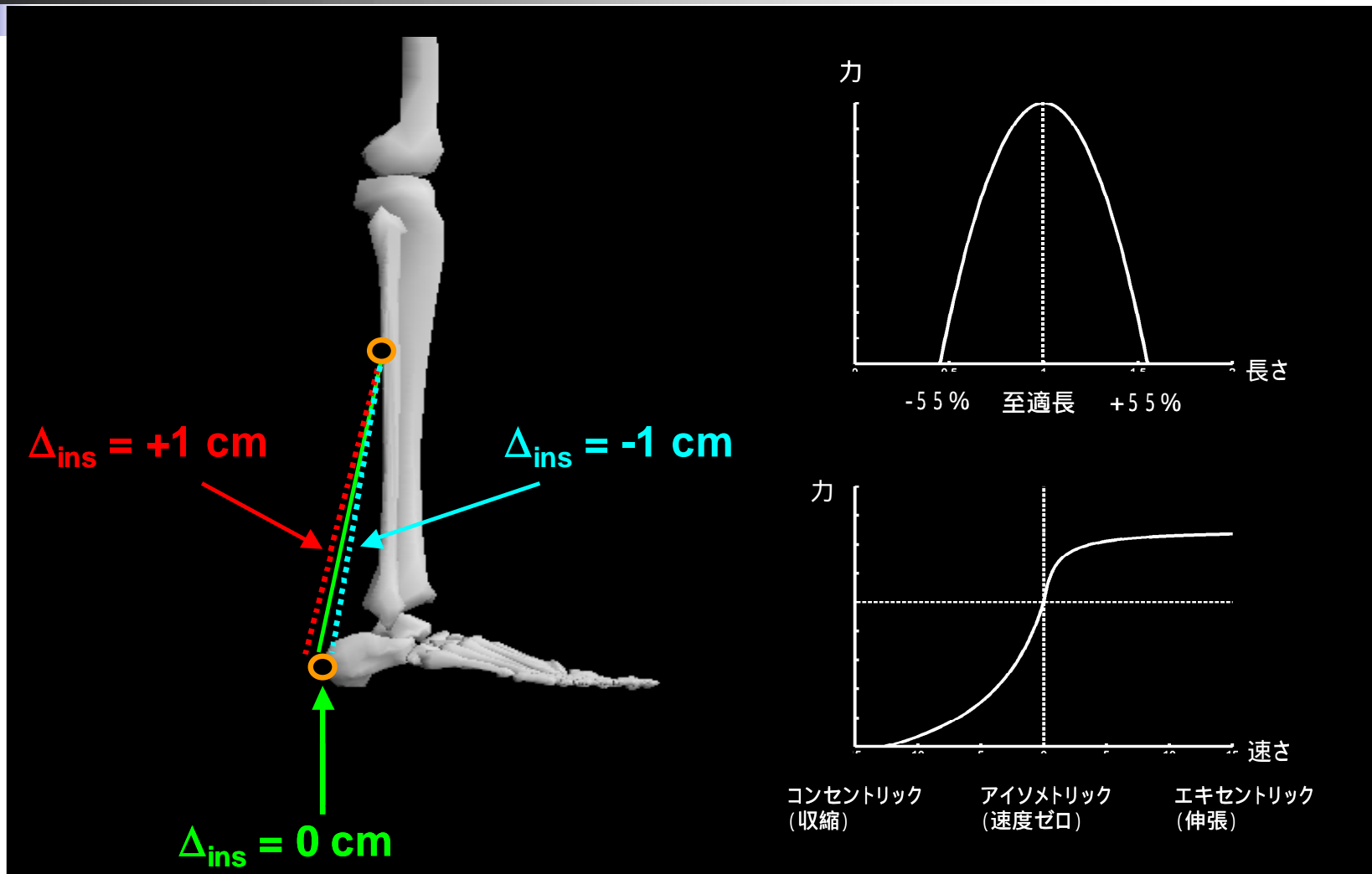
- 筋肉の最大発揮張力を高めるようなトレーニングが最も有効である
- 膝関節の筋群が最も重要である



2. 足関節に於ける力学的出力

- Nagano and Komura, 2003. Journal of Biomechanics.
- モーメントアーム長が関節における力学的出力に及ぼす影響を評価
- 力、モーメント、パワー、仕事

足関節の筋骨格系モデル

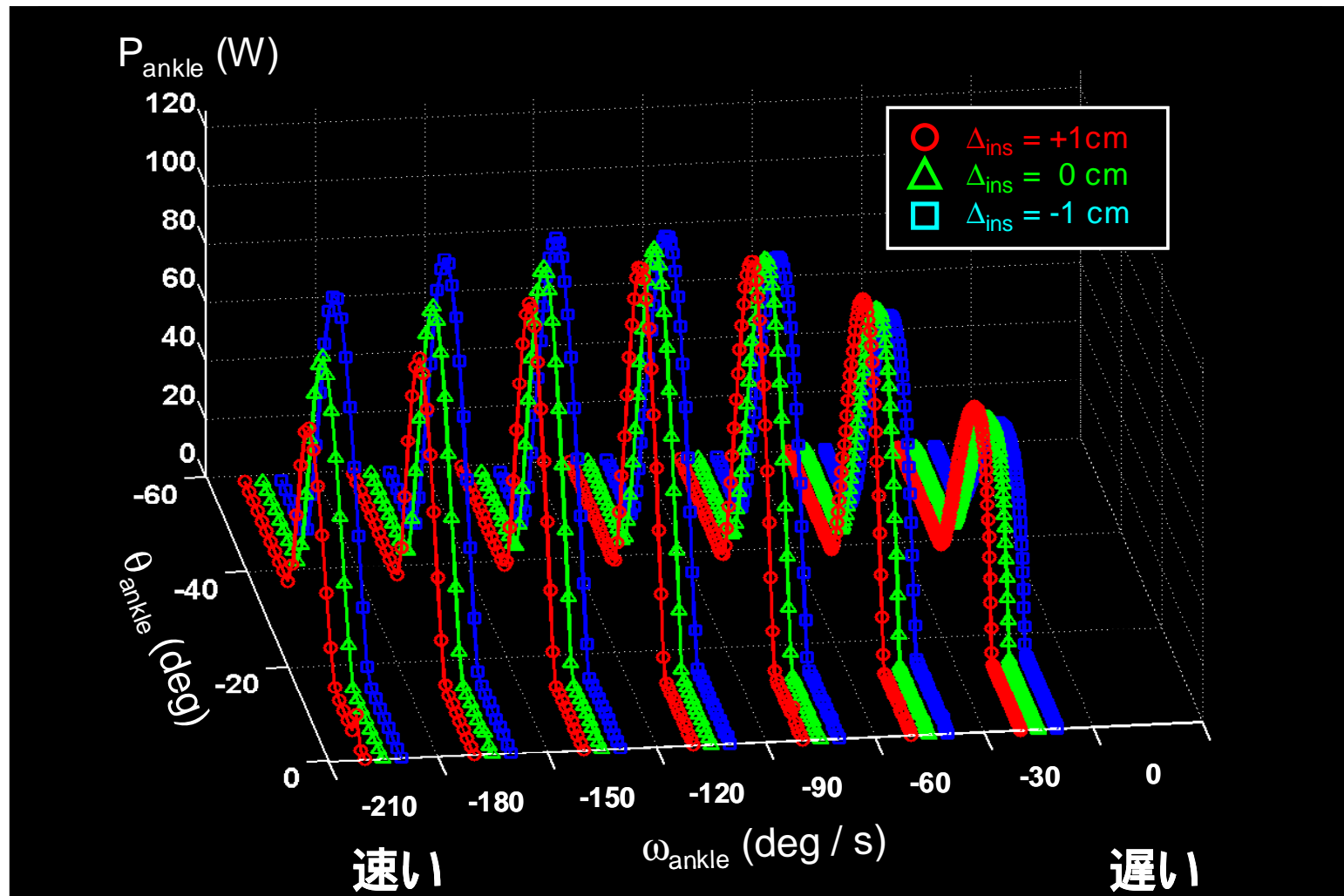




シミュレーションを用いた考察

- モーメントアーム長の異なる3つのモデル
- 様々な角速度での運動をシミュレート
- 3つのモデルの挙動を比較
 - 力
 - モーメント
 - パワー
 - 仕事

力学の出力





結果の要点

- 遅い動作 (~ 120 deg/s) には、モーメントアーム長が長いほうが有利
- 速い動作には、モーメントアーム長が短いほうが有利



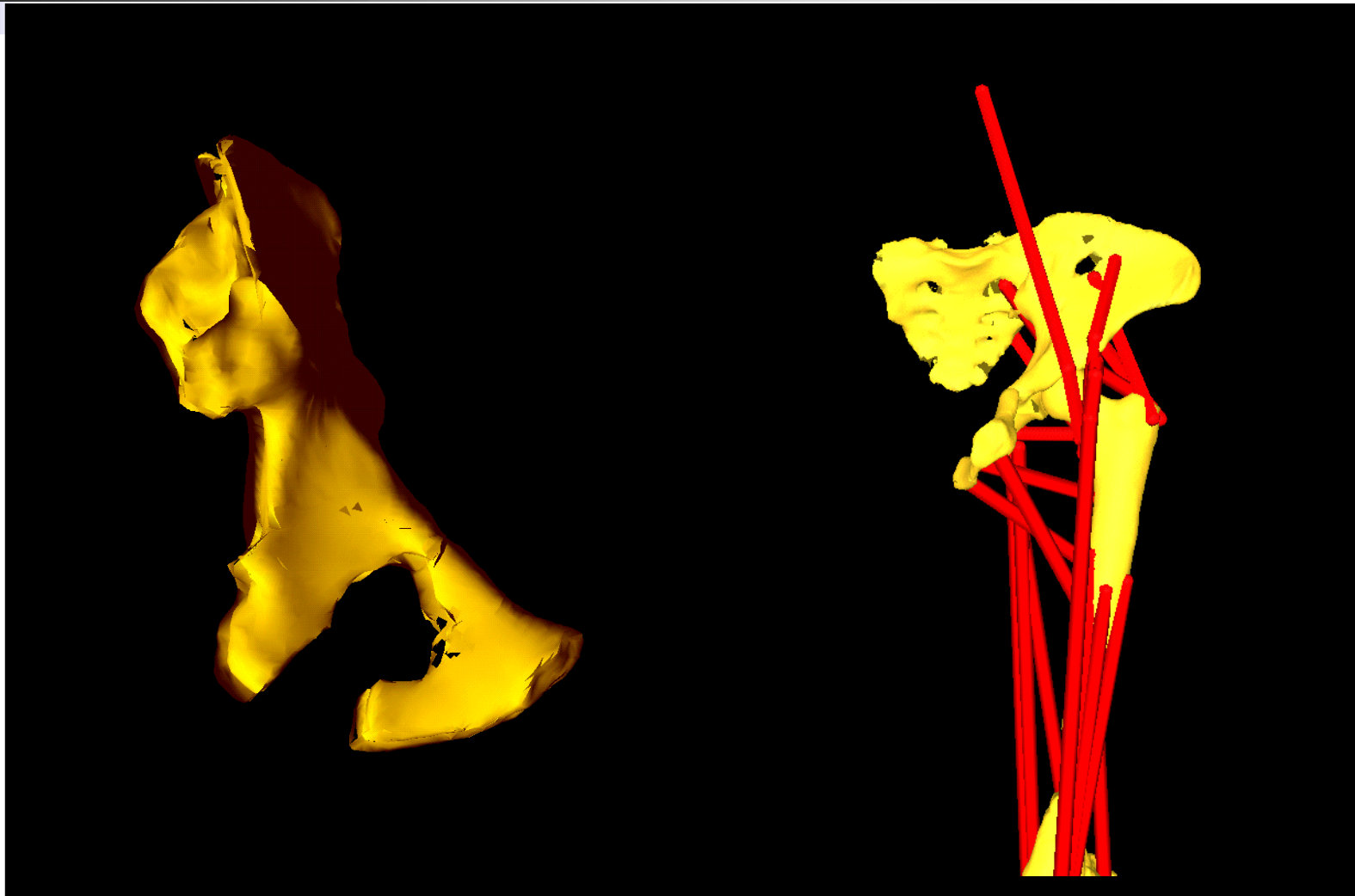
3. アウストラロピテクスの歩行

- Nagano, Umberger, Marzke and Gerritsen, in press. American Journal of Physical Anthropology.
- アウストラロピテクスの歩行動作をシミュレーション
- 歩行に伴うエネルギー消費を評価

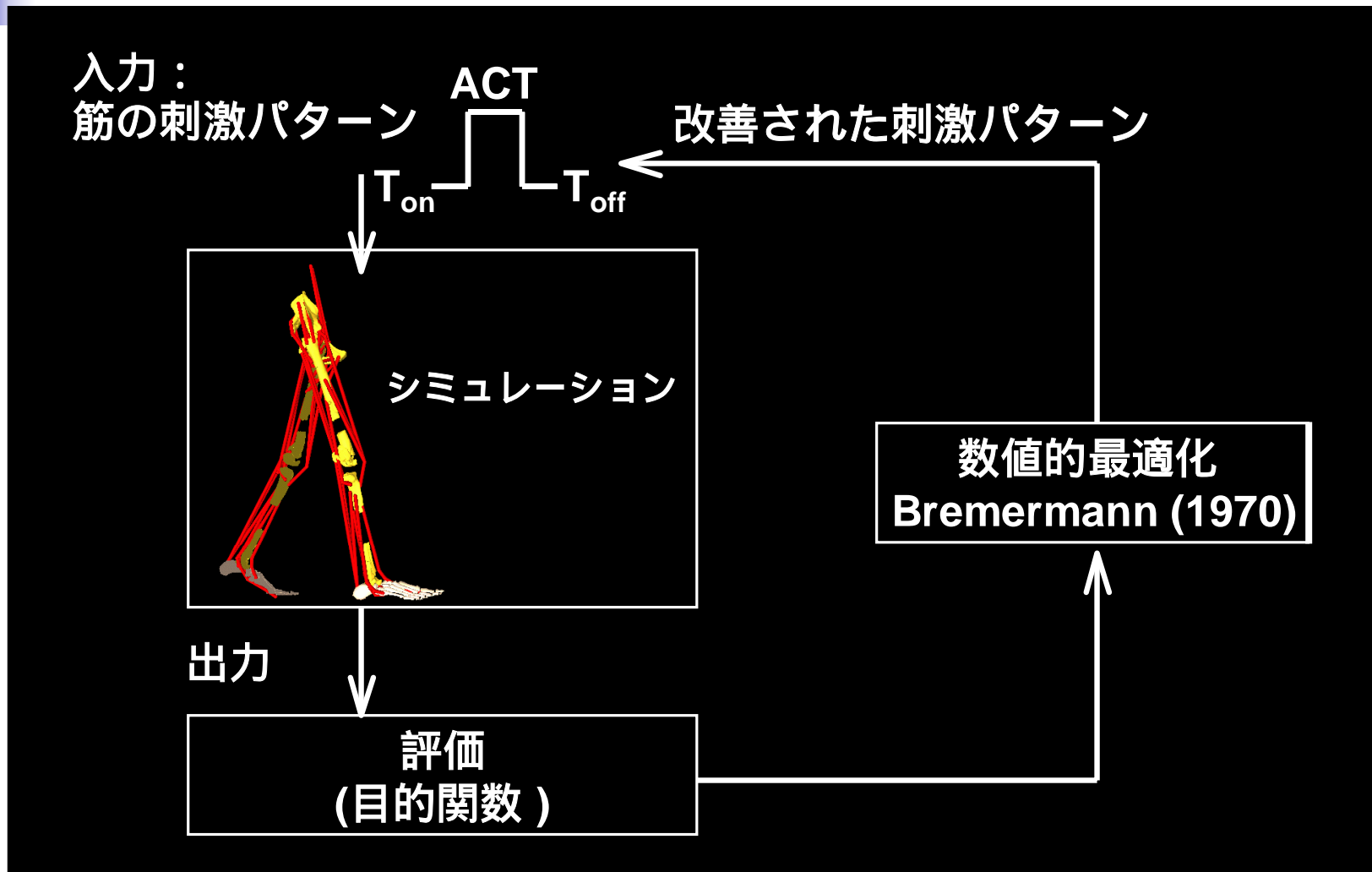
化石標本からのモデリング



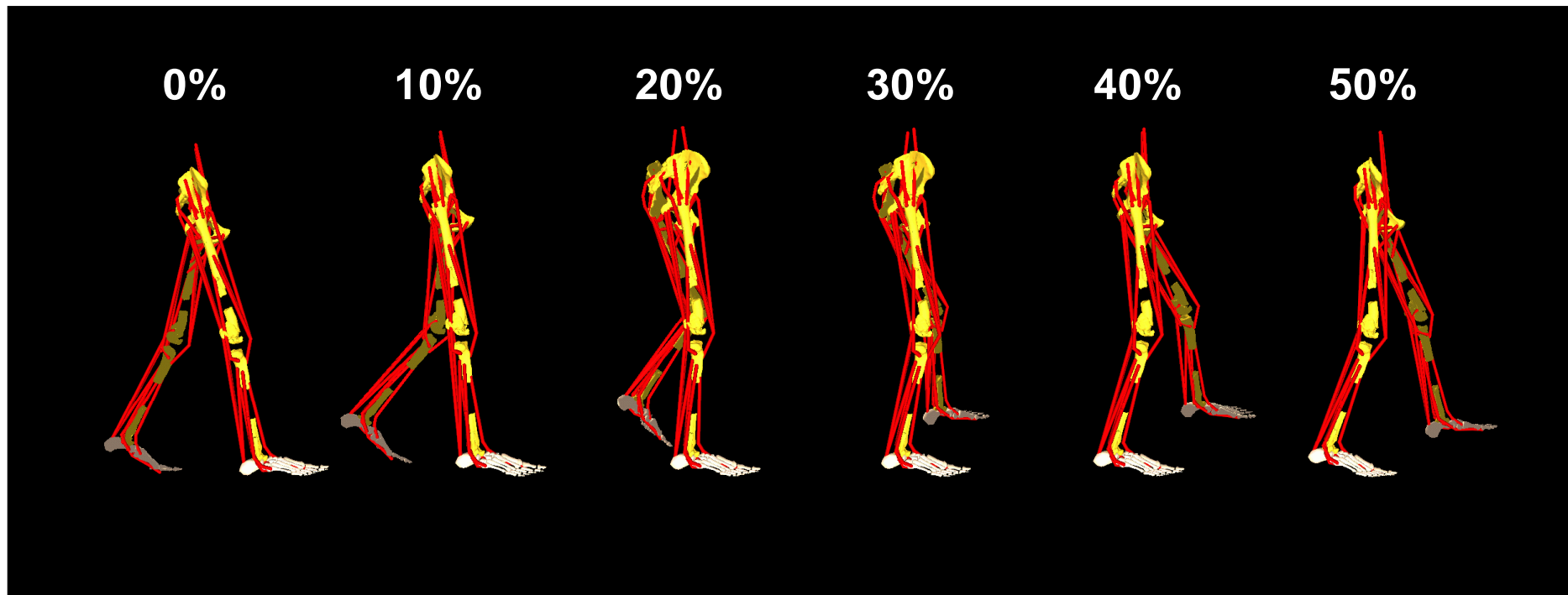
化石標本からのモデリング



歩行動作の生成



得られた歩行動作





結果の要点

- 滑らかな歩行動作(一歩)が生成された
- エネルギー消費は、ヒトを始めとする様々な哺乳類の歩行に伴うエネルギー消費と比較して妥当と見なせる値であった
- アウストラロピテクスが直立歩行を行っていたことを示唆する結果



その他の研究成果 (国際誌)

- Nagano, Fukashiro, Gerritsen, 2000. JB.
- Nagano, Komura, Himeno, Fukashiro, 2003. IJSHS.
- Nagano, Fukashiro, Komura, 2003. JAB.
- Nagano, Komura, Fukashiro, 2004a. JAB.
- Nagano, Komura, Fukashiro, 2004b. JEK.



現在取り組んでいる課題



現在取り組んでいる課題

- ヒトの下肢運動
- 3次元モデル
- 単一のモデルを用いて様々な動作をシミュレートする
 - 自由度

構築したモデル

- 3次元
- セグメント数9
- 自由度20
- 筋肉86

DADS 3D
LMS-CADSI





下肢關節

- 股關節
 - 自由度 3
- 膝關節
 - 自由度 1
- 足關節
 - 自由度 2
- 足部
 - 自由度 1



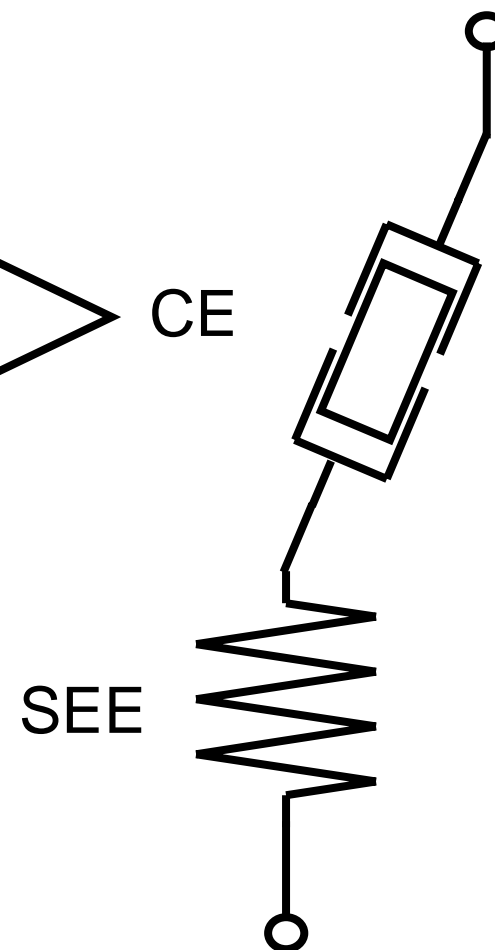
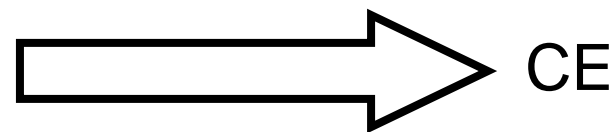
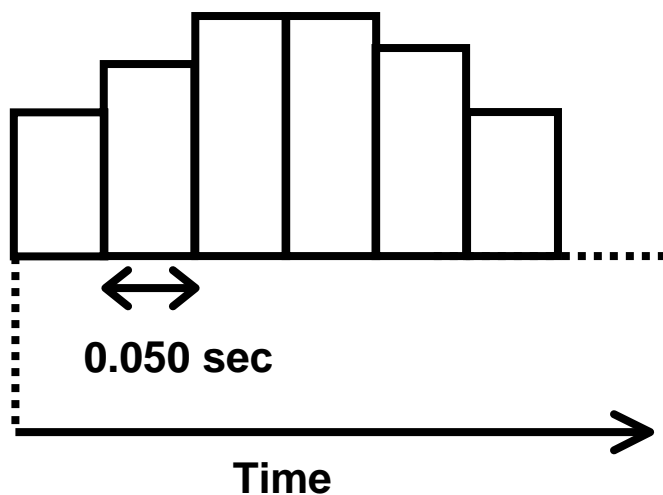
筋肉のパラメータ値

	F_{\max} (N)	L_{CEopt} (m)	α_{pen} (deg)	L_{slack} (m)
ILIOP	1544	0.104	8	0.130
GMAXI	1883	0.142	5	0.125
GMEDI	1966	0.054	8	0.078
GMINI	849	0.038	1	0.051
ADDLO	716	0.138	6	0.110
ADDMA	1916	0.087	5	0.060
ADDDBR	531	0.133	0	0.020
HEXRO	1512	0.054	0	0.024
RECTF	1353	0.084	5	0.432
HAMST	3054	0.080	15	0.359
VASTI	6718	0.087	3	0.315
BFESH	256	0.173	23	0.100
GASTR	2044	0.045	17	0.408
TIBAN	532	0.098	5	0.223
SOLEU	5881	0.030	25	0.268
OPFLE	3137	0.031	12	0.310

解剖データ
Delp (1990)

中枢からの指令のモデル

Neural Activation Input



He et al. (1991)
Nagano et al. (2003)



運動の生成

神経系からの刺激入力



筋肉の力発揮

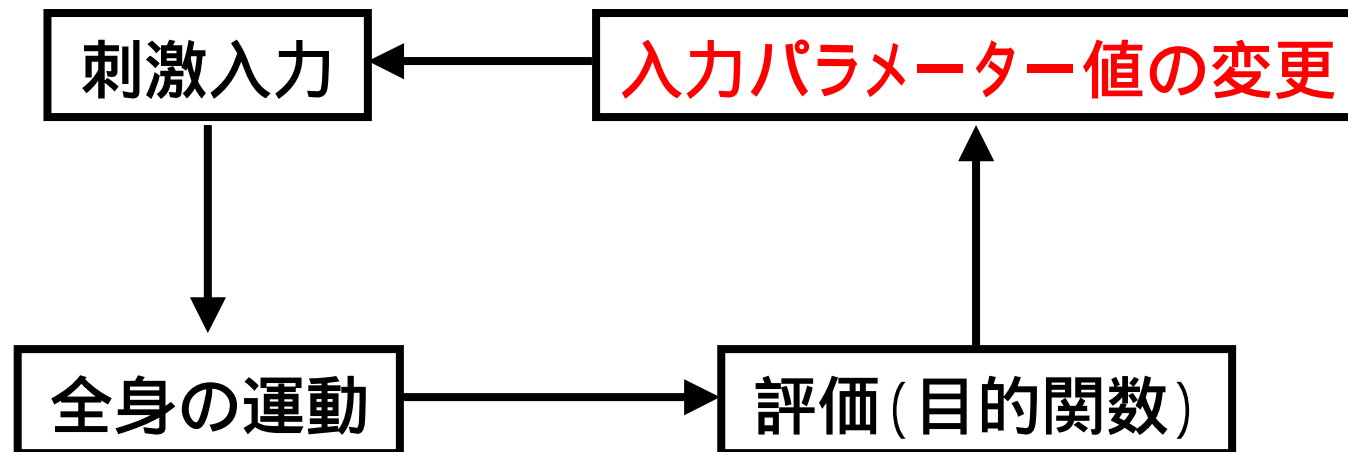


骨格の運動、筋肉の収縮



全身の運動

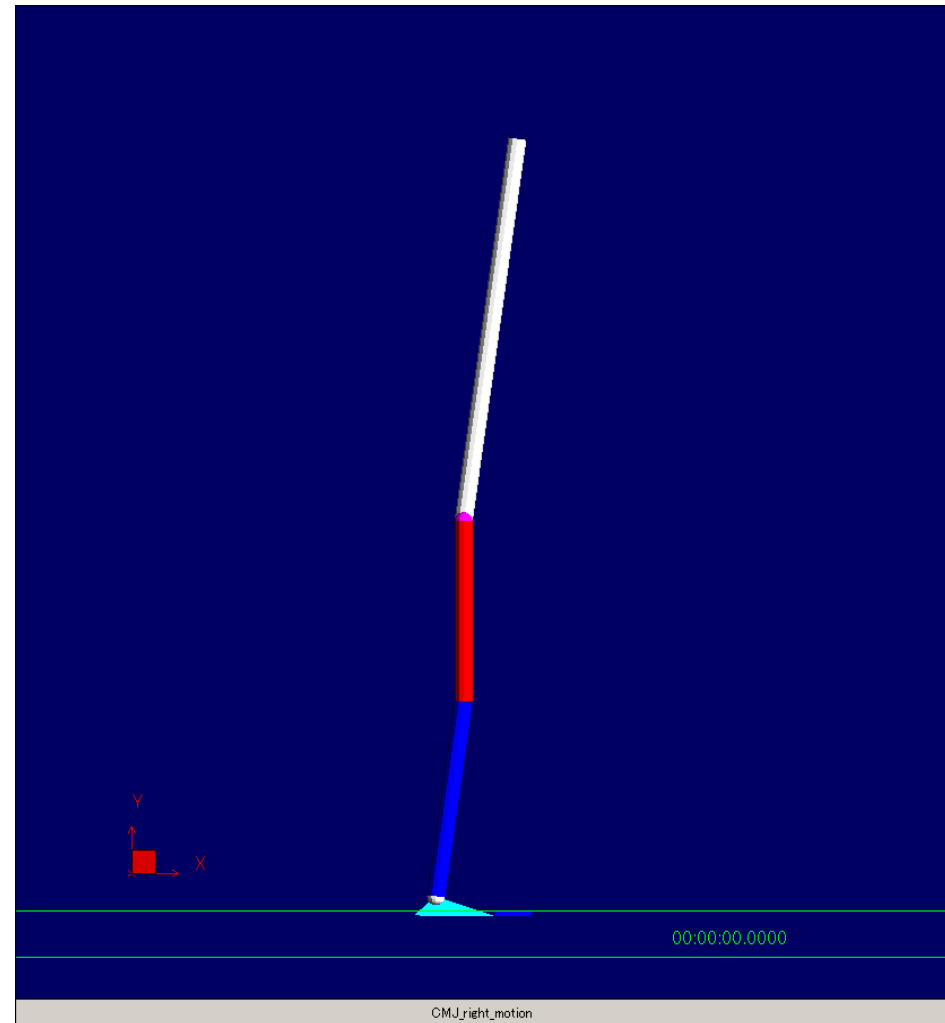
数値的最適化による探索



数値的最適化 Bremermann (1970)
最適な神経刺激入力を探査する

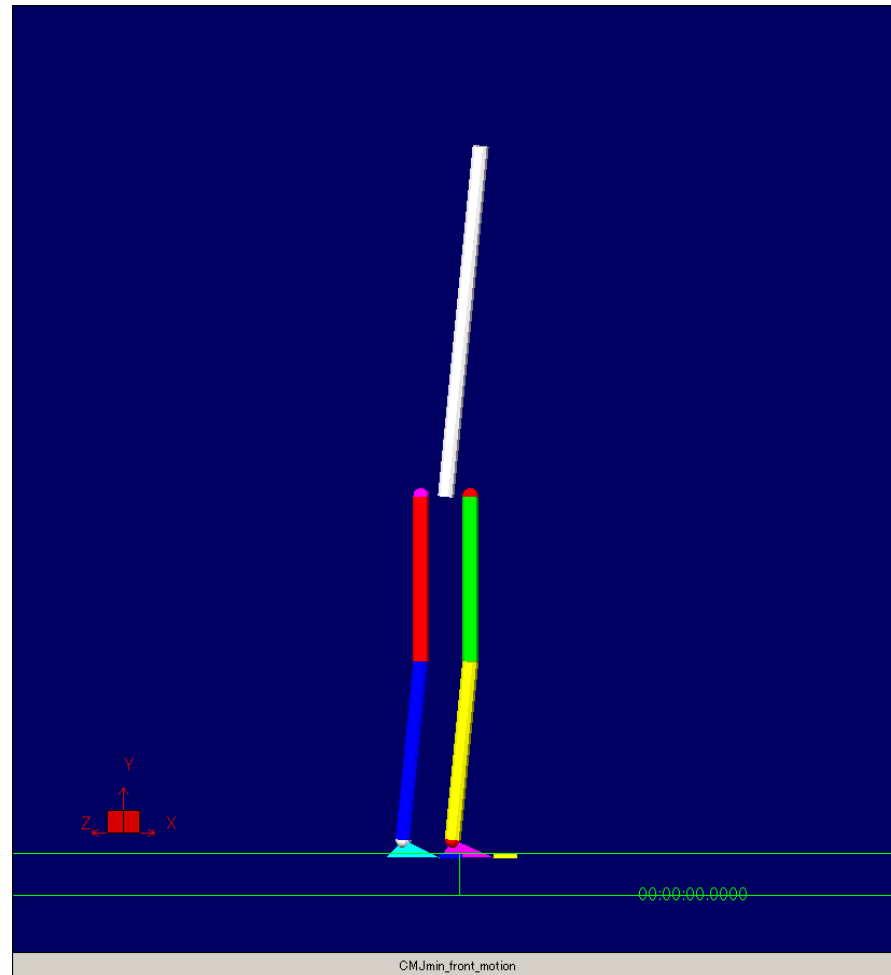
シミュレーションの例：跳躍動作

目的関数：
跳躍高を最大化する



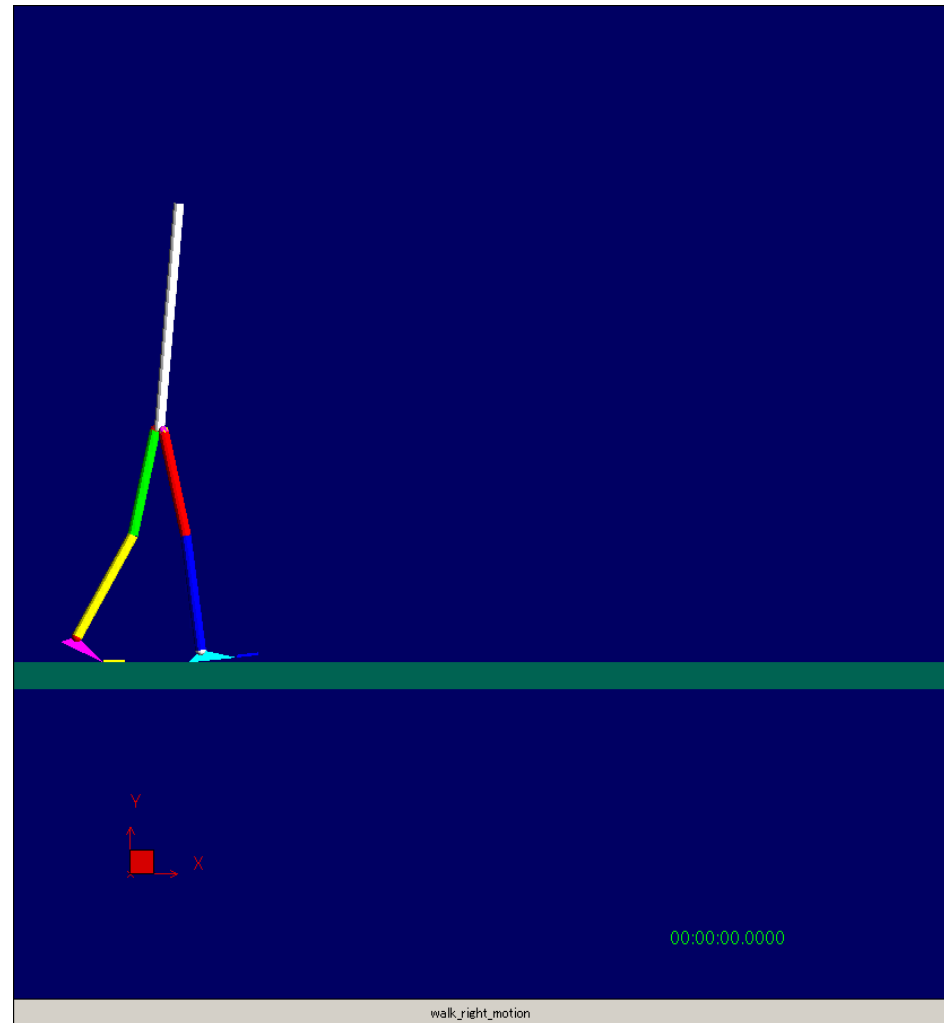
シミュレーションの例：跳躍動作

目的関数：
跳躍高を最大化する



シミュレーションの例：歩行動作

目的関数：
踵接地時の姿勢を
初期姿勢と似たものにする





将来(2004~2010)の方向性

- 歩行動作
 - 歩行が不可能になる際のメカニズム
 - 転倒のメカニズム
- 走行動作
 - スポーツ選手の強化
 - スポーツ障害



将来(2004~2010)の方向性

- 姿勢制御
 - 制御機構に焦点を置く
 - 立位姿勢
 - 重心動揺
 - 実験とシミュレーション
- 上肢の運動
 - 現在のものと合わせて全身を表現
 - 新たなモデリング作業
 - 自由度が3倍~4倍に増加