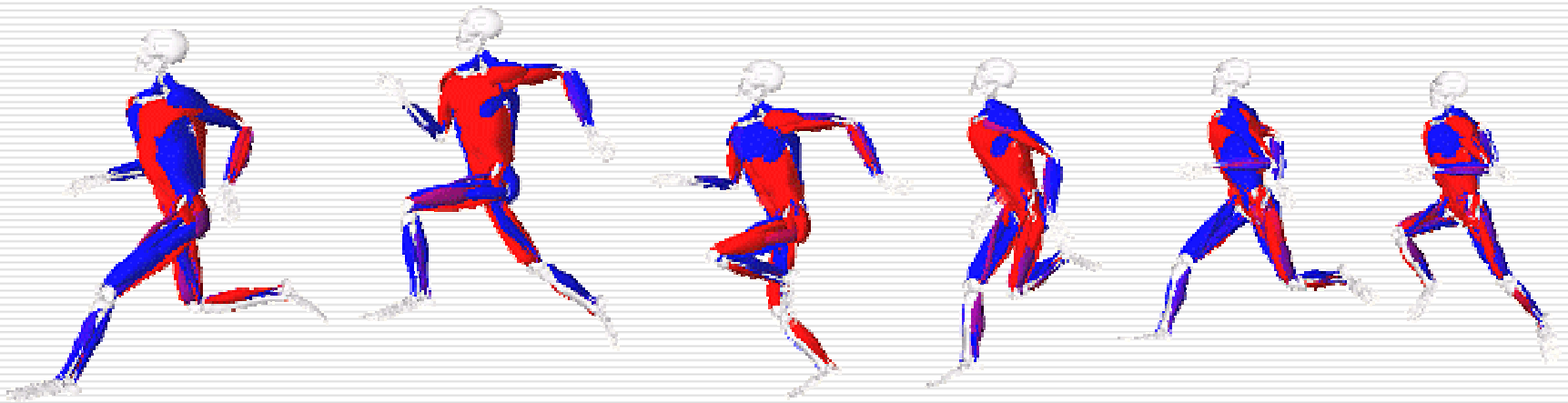


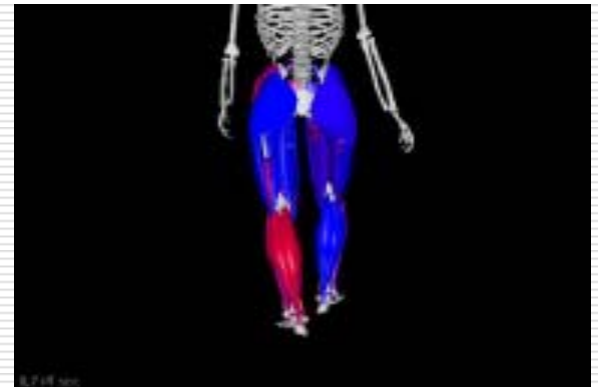
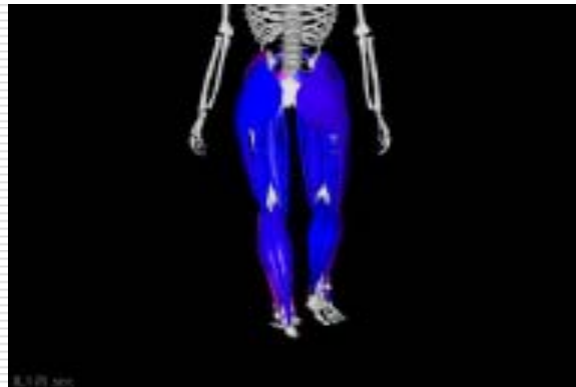
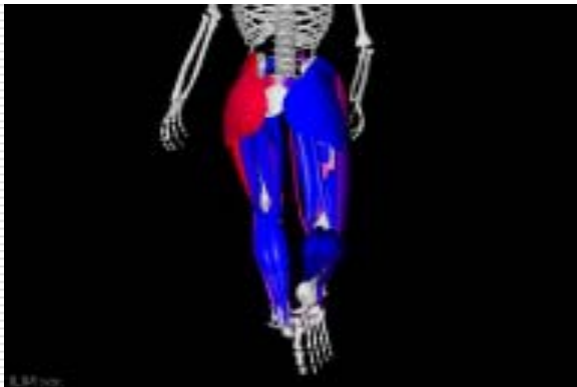
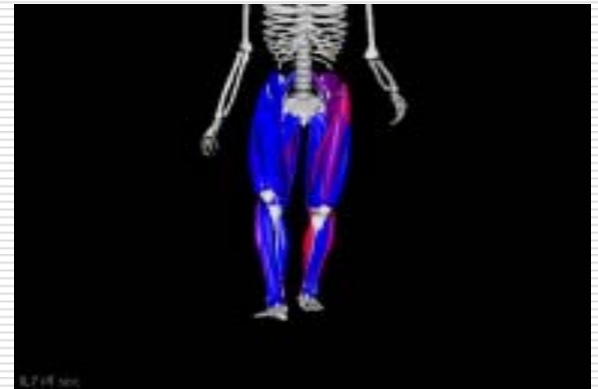
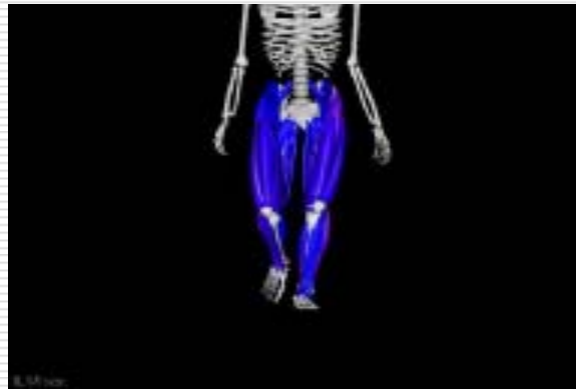
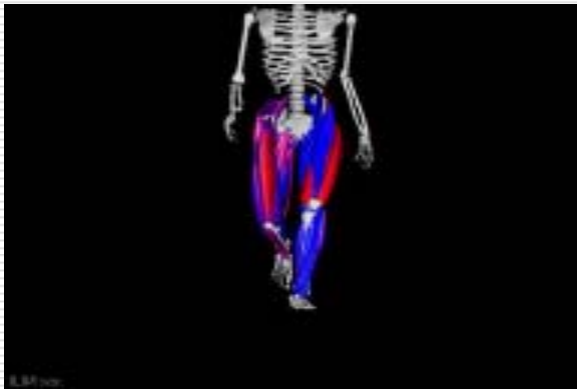
人間の動作理解のための運動機能の 可視化技術

～子どもの動作改善と、動作分析への応用例～

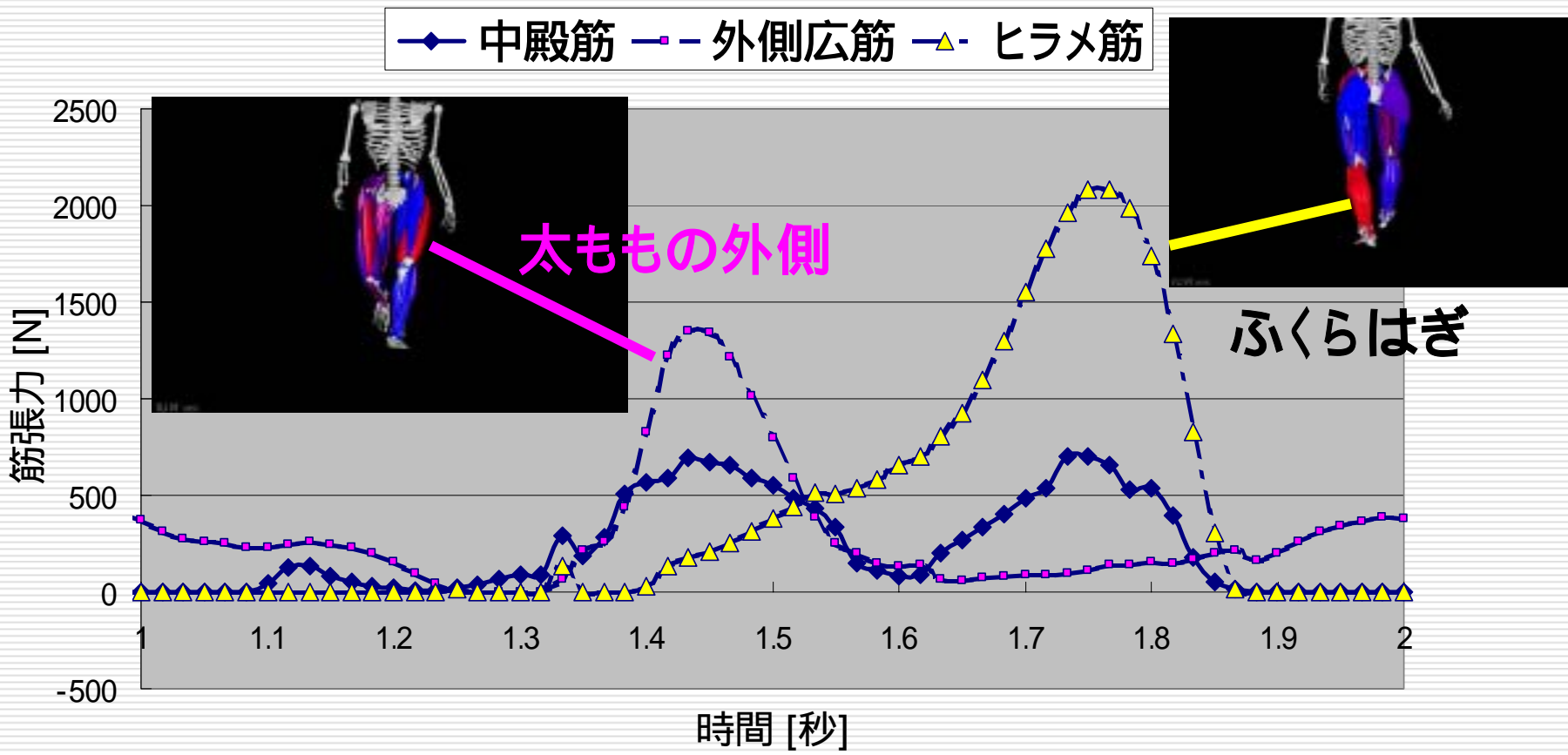


gsport , inc.

歩行中の筋力



歩行中の主な筋の張力



「子どもの動作改善」

背景

～ 2003年

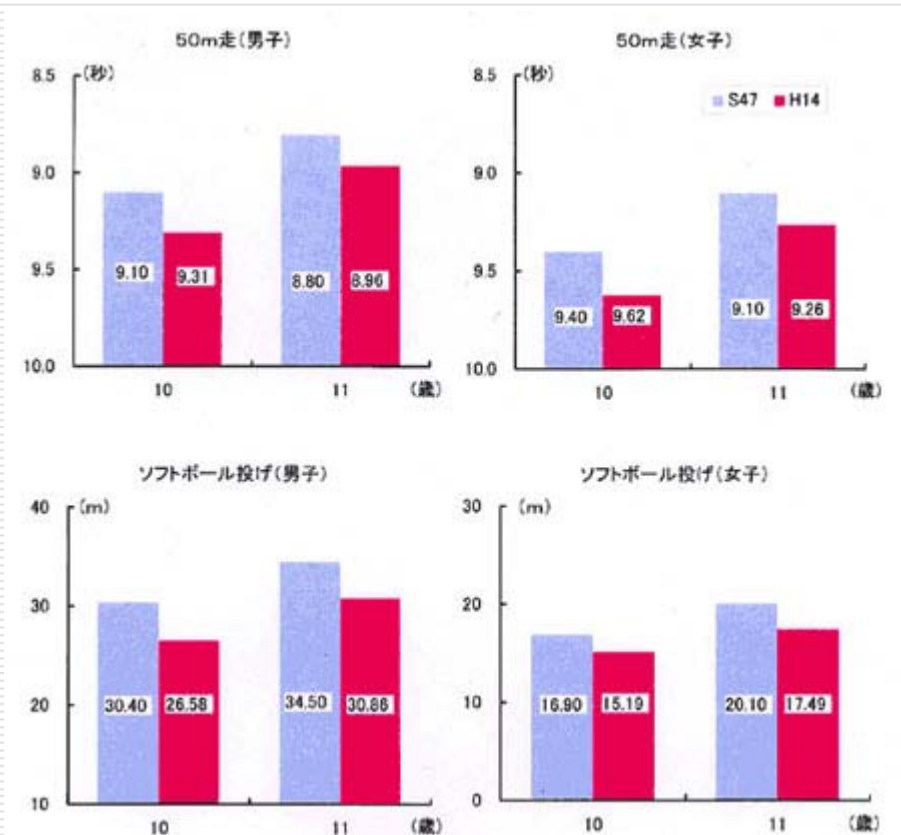
● **子どもの体力・運動能力の低下は深刻**

- 30年前の親世代と比較して大きく下回る。
- 10歳男子のソフトボール投げ 4m違い
- 10歳の50m走 男女とも0.2秒以上遅い

● **過去20年以上にわたる低下傾向**

- 最近10年間の低下が著しい
- 身体能力ではない複合的な社会的要因

文科省調査



「子どもの動作改善」

～コンセプト～

● コンセプト

- 「運動能力の測定、評価」を通じて、子どもの「モチベーションを上げる」ための指導法を学校等に提案。
- 基本運動を対象とした「子どもの動作改善」。
- 指導方法については、一般指導者と子どもを対象とし、高度に専門な内容は含まない。
- 子どもに筋肉と骨格を意識させる
 - 筋肉と骨格の運動を可視化することで、股関節のはたらしを意識させる

「子どもの動作改善」

第1段階 「走る」 2003年～



- 「運動能力の測定、評価」を通じて、子どもの「運動へのモチベーションを上げる」ための指導法、「運動会で1番になる方法」を企画(東京大学 深代助教授監修)
- 2003年秋にある小学校の3年生60名を対象に走力改善の練習を体育の授業を利用して、週2回、毎回15分間程度を一ヶ月間行う。
 - 練習前に50m走のタイムを計測し、走り方から3つのグループに分類、それぞれのグループに効果的な練習を1ヶ月間指導。1ヶ月後に再度50m走を測定し、練習効果を確認。
- 2004年春に横浜F・マリノスの小学3、4年生で構成されるジュニアチーム(横浜M・マリノスプライマリー新子安)の子供たち16人を対象に、週2-4回 毎回10-15分間程度 の練習時間を利用して1ヶ月間ドリルを行う。

「子どもの動作改善」

第2段階 「蹴る」 2005年～



- 「運動会で1番になる方法」の成果を元に、運動の基本動作「蹴る」動作に対して、「運動能力の測定、評価」を通じた、子どもの「モチベーションを上げる」ための指導法「1日でキックがうまくなる方法」を企画
- 測定指標
 - ボールをどれだけ遠くに蹴れるかの飛距離測定
 - 身体の柔軟性
 - 「蹴る」動作が3分の2の子どもたちで改善。
- 「コーディネーショントレーニング」を基本として、「誰でも簡単に、そして楽しく」できるドリル
- 3DCGアニメーションを利用し、子どもにも分かり易く解説。

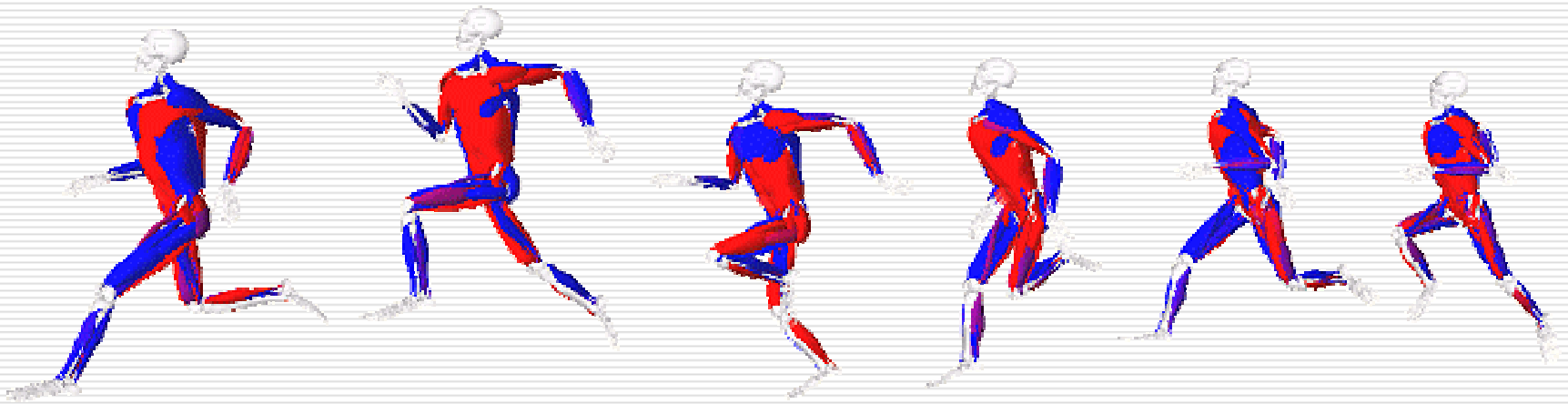
「子どもの動作改善」

第3段階 「投げる」 2006年～

- 運動の基本動作「投げる」動作に対して、「運動能力の測定、評価」を通じた子どもの「モチベーションを上げる」ための指導法「背番号1をつける方法」を企画
- 測定指標
 - ボールの持ち方
 - 投げるフォームの姿勢
 - 「投げる」動作が、3分の2の子どもたちに改善。
- 「コーディネーショントレーニング」を基本として、「誰でも簡単にそして楽しく」できるドリル
- 肩や肘にけがをし易い「投げる」動作に対して、女の子にも安全に楽しめるドリル

「動作分析手法のご紹介」

～ 運動の測定 ～



gsport , inc.

目次

1. 動作計測の基礎 ~
2. 身体運動の力学的解析
3. 1歩進んだ使い方
 - ~ ARMOでの身体運動の力学的解析 ~
 - ~ 比較しやすい身体運動の力学的解析 ~

動作計測

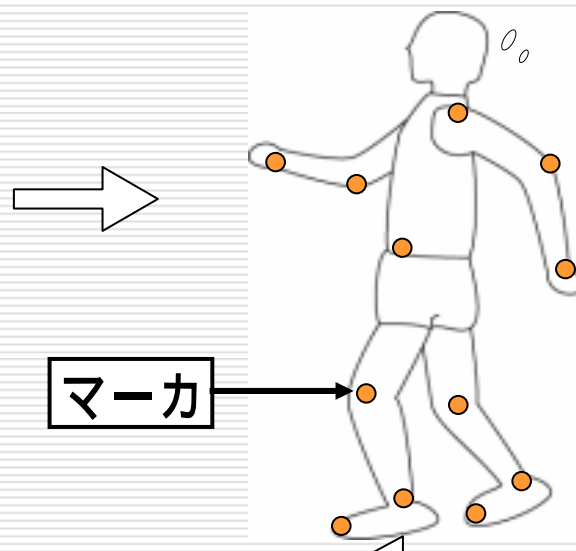
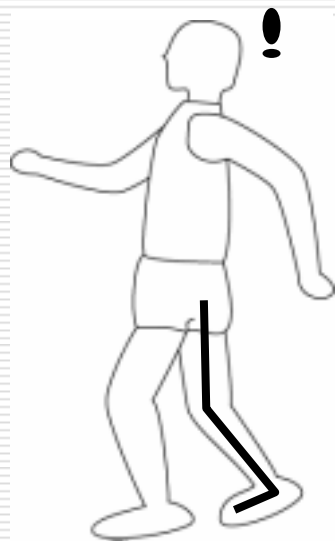
～なぜ、動作計測？～

関節にマーカを貼ることで関節の位置がわかるので、関節の動きを知ることが出来ます
このマーカの貼る位置は、目的によって変わってきます

この運動を調べたい

関節の動きを知ればよい

関節の動きを計測



動作計測システムについては次ページ

マーカの貼る位置が定義された貼り方を「**マーカセット**」と呼びます

動作計測

～ 動作計測システム～

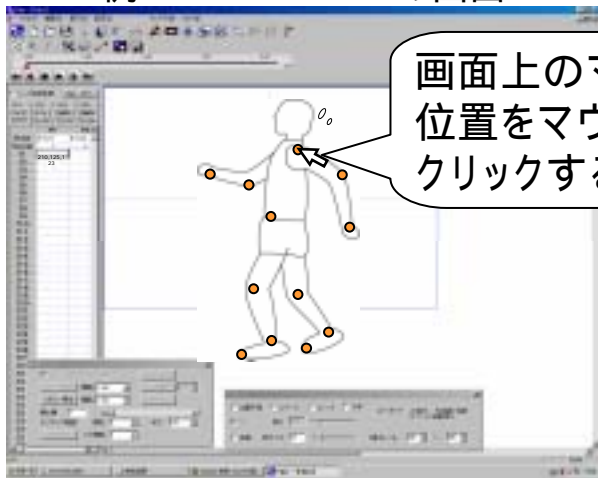
現在、動作計測システムとして以下の2つが主流

デジタイズソフト

主な特徴

- マーカ位置を画面上でデジタイズする
- 大半のビデオカメラに対応している
- 比較的安価である

例 . Frame-DIASの画面

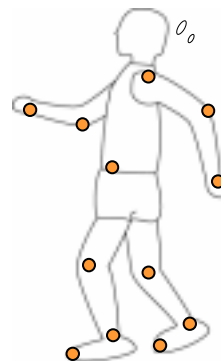


画面上のマーカ位置をマウスでクリックする

モーションキャプチャ

主な特徴

- 赤外線カメラを用いて、マーカ位置を取得する
- 比較的高価格帯である



赤外線カメラを使ってマーカ位置データを計測する

動作計測

～ 動作計測システムの仕組み～

RT-ARMOは、Gig-Eネットワークカメラを利用し、「低価格、自動的に」動作を測定します。

RT-ARMO

主な特徴

- Gig-Eネットワークカメラ
- リアルタイムで動作測定が可能
- 比較的安価である



骨格モデルをリアルタイムで確認できる。

動作計測システムの原理は同じ

- それぞれのカメラは、画像中のマーカーの位置を「色から」測定する。
- 2つ以上のカメラから「同じマーカー」が見えていたら、「三角測量」の原理（正確にはDLT法）で、その3次元位置を計算する。

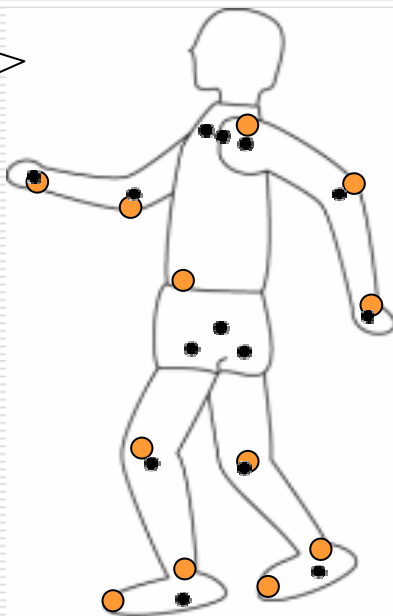
動作計測

～ 姿勢の計算 ～

姿勢を求めるには関節中心位置が必要
マーカ位置から関節中心位置計算する必要

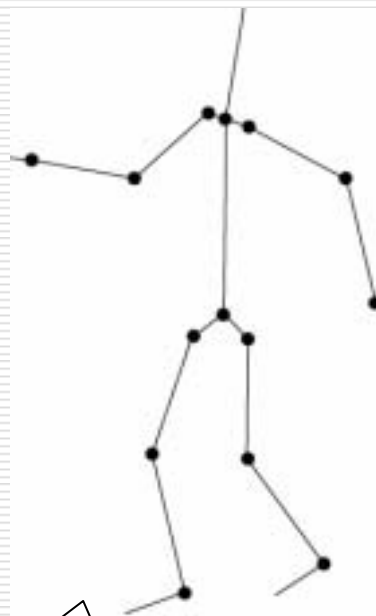
マーカ位置取得

関節中心位置の計算



- マーカ位置
- 関節中心位置

関節角度の計算



結果

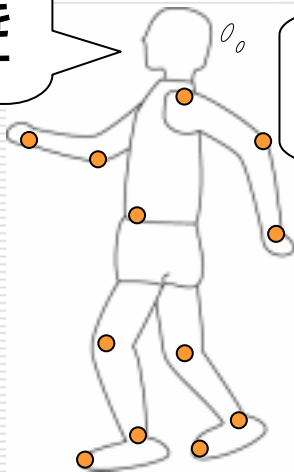
3点以上の関節中心位置から任意の関節角度を求める

力学的解析を行うには ～一般的な手順～

身体パラメータ情報が入った
剛体リンクモデルに適應する
身体パラメータ
各四肢の長さ、質量、慣性モーメント

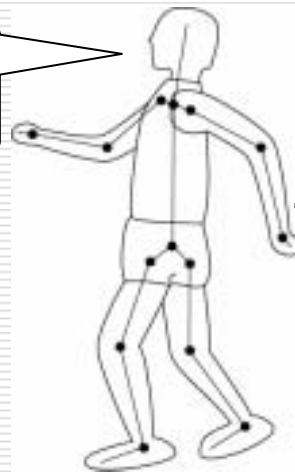
マーカを貼付
けて運動を
計測します

動作計測

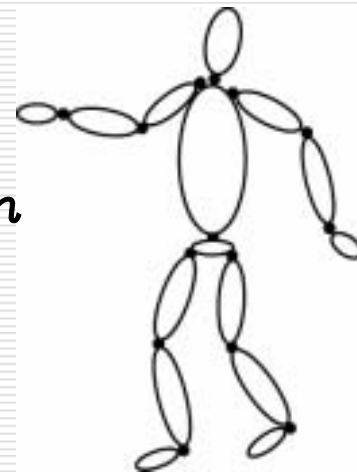


計測したマーカ位置
より関節中心位置を
推定します

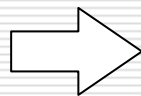
関節中心位置の推定



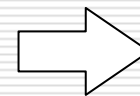
剛体リンクモデルの作成



データの流れ

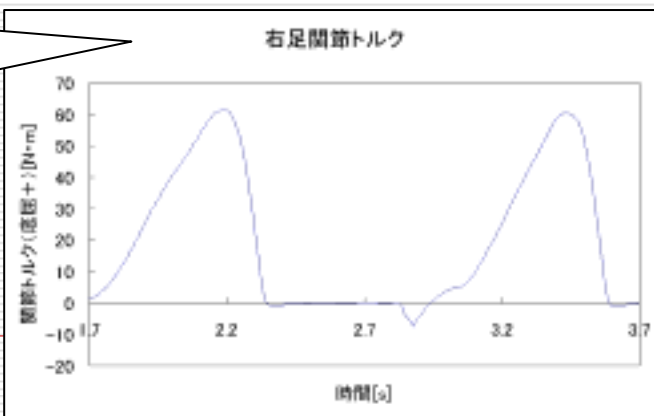


データの流れ

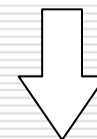


計算結果

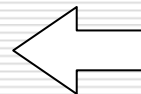
関節に
掛かるトルク



データの流れ



データの流れ



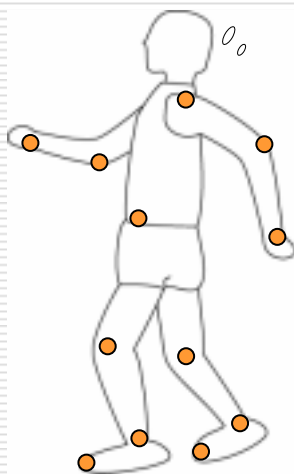
計算
(運動方程式の作成)

基本的にニュートン・オイラ法
が用いられます

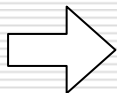
～ ARMOでの力学的解析の手順～

ARMOでは手順 ～ を自動で計算

運動計測



データの
流れ

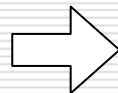


ARMOで計算



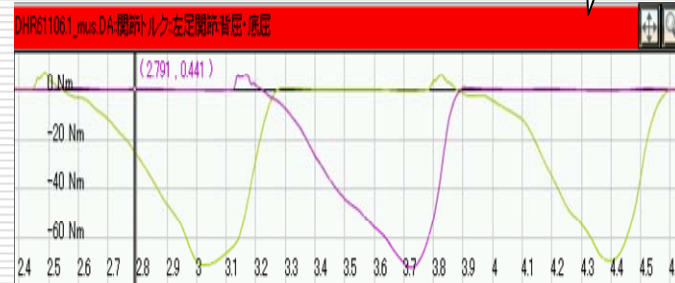
手順 ～ は
自動で計算

データの
流れ



結果結果

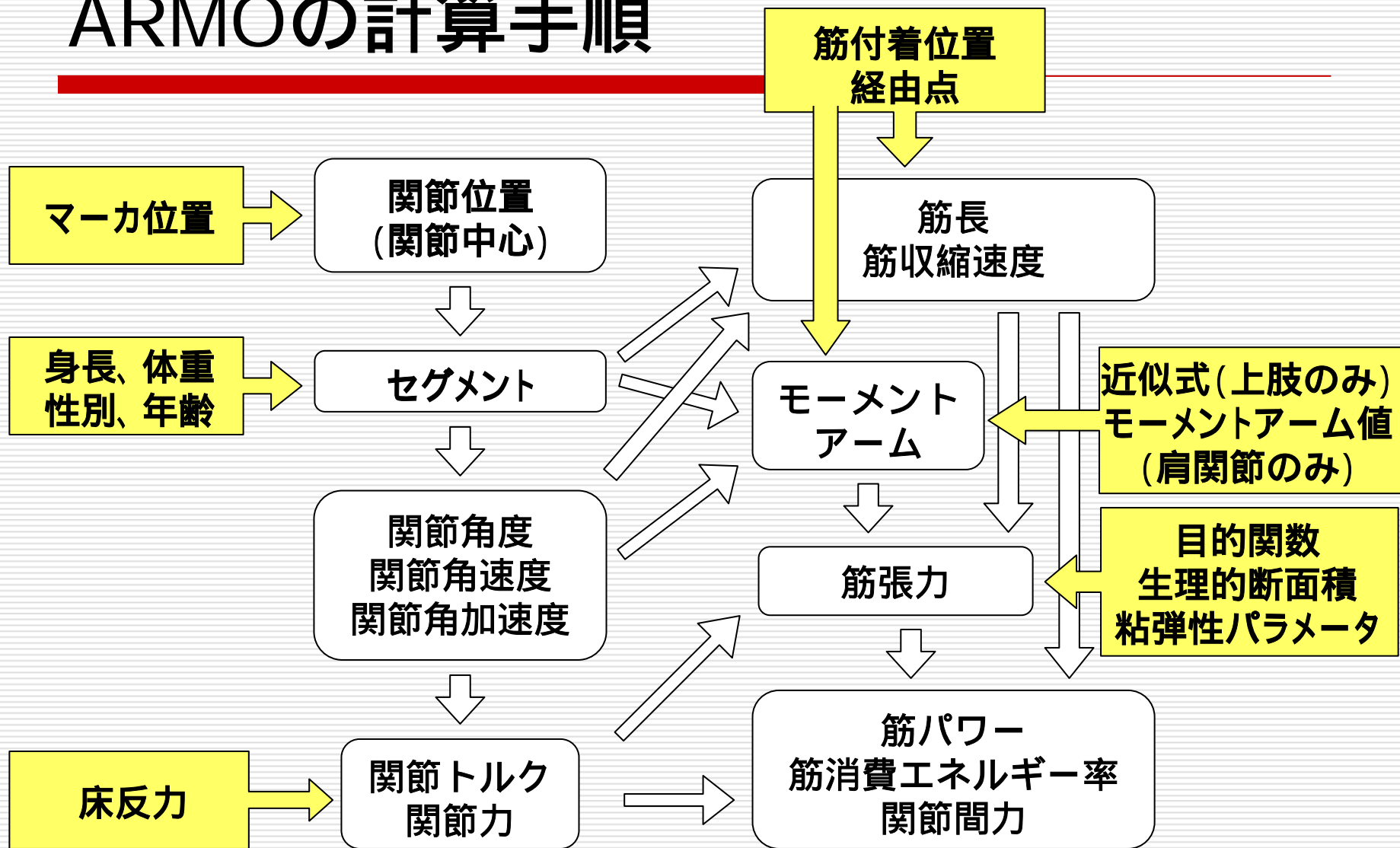
ARMOで開く



データを開くと
すぐにグラフ
表示

データはDA形式に
コンバートする必要があります

ARMOの計算手順



関節位置 (関節中心)

- 必要なパラメータ:
マーカの位置 (空間位置データ)
- 求め方:
 1. データの欠側値の補間とノイズを除去するため、フィルタリングを行います
 2. 骨格モデルをマーカ位置と合わせ、スケーリングを行い、関節位置を求めます

セグメント

- 必要なパラメータ：
身長、体重、年齢、性別
- 求め方：
身長、体重、年齢、性別から各セグメントの質量
と慣性モーメントは近似式やBSP を用いて求めます

BSP: 身体部分慣性特性

詳しくは次ページより掲載

ARMOで使用している BSP (身体部分慣性特性) について

— 身体運動力学的解析を行うには —

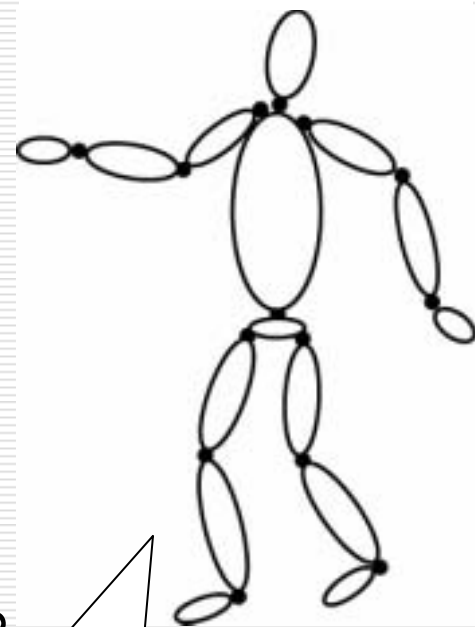
身体各部分のセグメント質量、セグメント重心位置、セグメント慣性モーメントといったパラメータが必要となります

これらのパラメータことをBSP(身体部分慣性特性)と呼ぶ

— ARMOが用いているパラメータ —

シミュレーション対象者を日本人としておりますので、被験者に日本人を対象としている阿江ら、横井ら、岡田らの論文を参考に算出しています

人の剛体リンクモデル



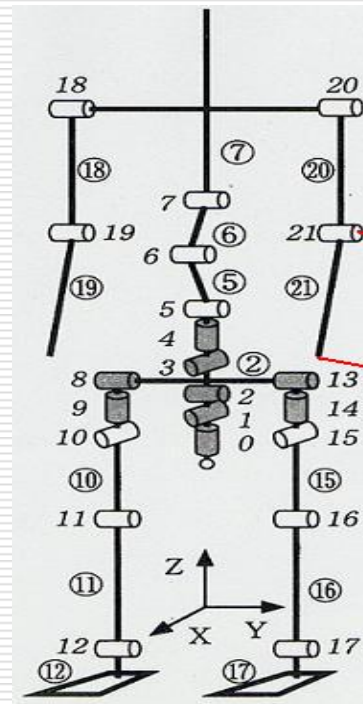
セグメント質量
セグメント重心位置
セグメント慣性モーメント
が必要

ARMO身体区分

ARMO身体区分は長谷(1999)の手法を用いています

一身体区分リスト

1. 骨盤
2. (下部)腰椎
3. (上部)腰椎
4. 胸部
5. 下腿
6. 上腕
7. 前腕



阿江ら、横井ら、岡田らの身体区分リストと異なるため、セグメントの合成または分離を行い対応させている

関節角度、関節角速度、関節角加速度

- 必要なパラメータ：
各セグメント(脚、腹、首、腕など)の相対位置
- 求め方：
 1. セグメントの相対位置から一般化座標(関節角度)を求めます
 2. 一般化速度(関節角速度)は一般化座標の1次微分を行い、一般化加速度(関節角速度)は2次微分を行って求めます

関節トルク

- 必要なパラメータ:

外力(床反力)、一般化座標、一般化速度、一般化加速度

- 求め方:

セグメントの質量および慣性モーメントと一般化座標、速度、加速度と床反力よりニュートン・オイラ法を用いて関節力と関節トルクを求めます

筋長、筋収縮速度 筋腱複合体(Hillモデル)

- 必要なパラメータ:
一般化座標、筋付着位置、経由点
- 求め方:
 1. 一般化座標よりセグメントの姿勢状態を求めます
 2. 姿勢状態から幾何学的に筋長を求めます
 3. 筋収縮速度は以下の式で求めます
筋収縮速度_t = -(筋長_t - 筋長_{t-1}) / dt

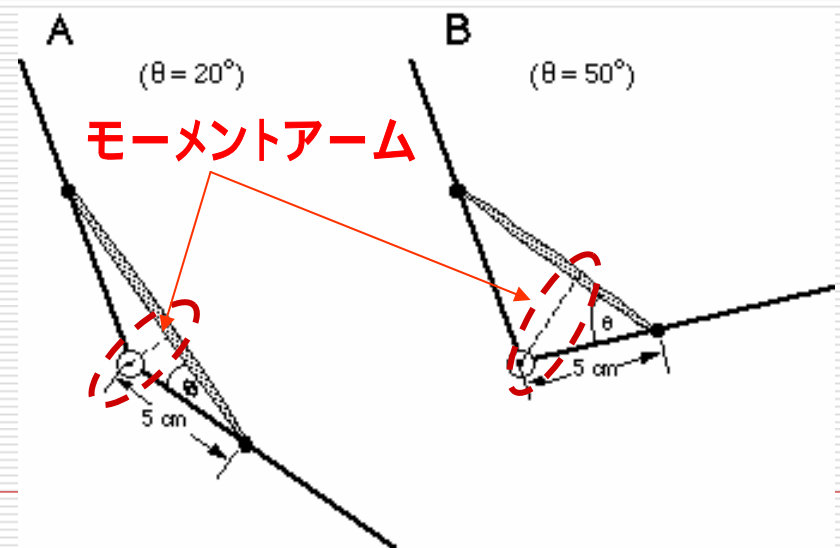
モーメントアーム - 下肢 -

- 必要なパラメータ:

関節位置、筋付着位置、経由点

- 求め方:

関節位置と相対位置からモーメントアームを幾何学的に求める

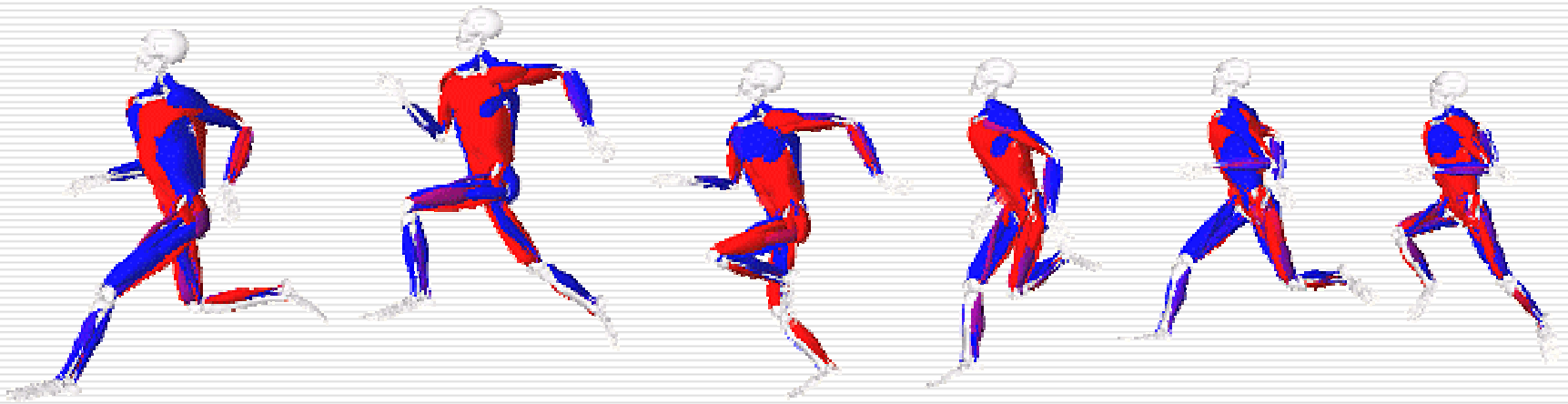


筋張力

- 必要なパラメータ：
 - 関節トルク、筋収縮速度、筋長、筋モーメントアーム、筋生理断面積(PCSA)等
- 求め方
 - 筋肉数 > 関節自由度のため、最適化手法を用いる。
 - 筋断面積あたりの筋張力の2乗を最小にするよう筋力を求める手法が一般的

「可視化による運動理解」

～ 運動の可視化 ～



gsport , inc.

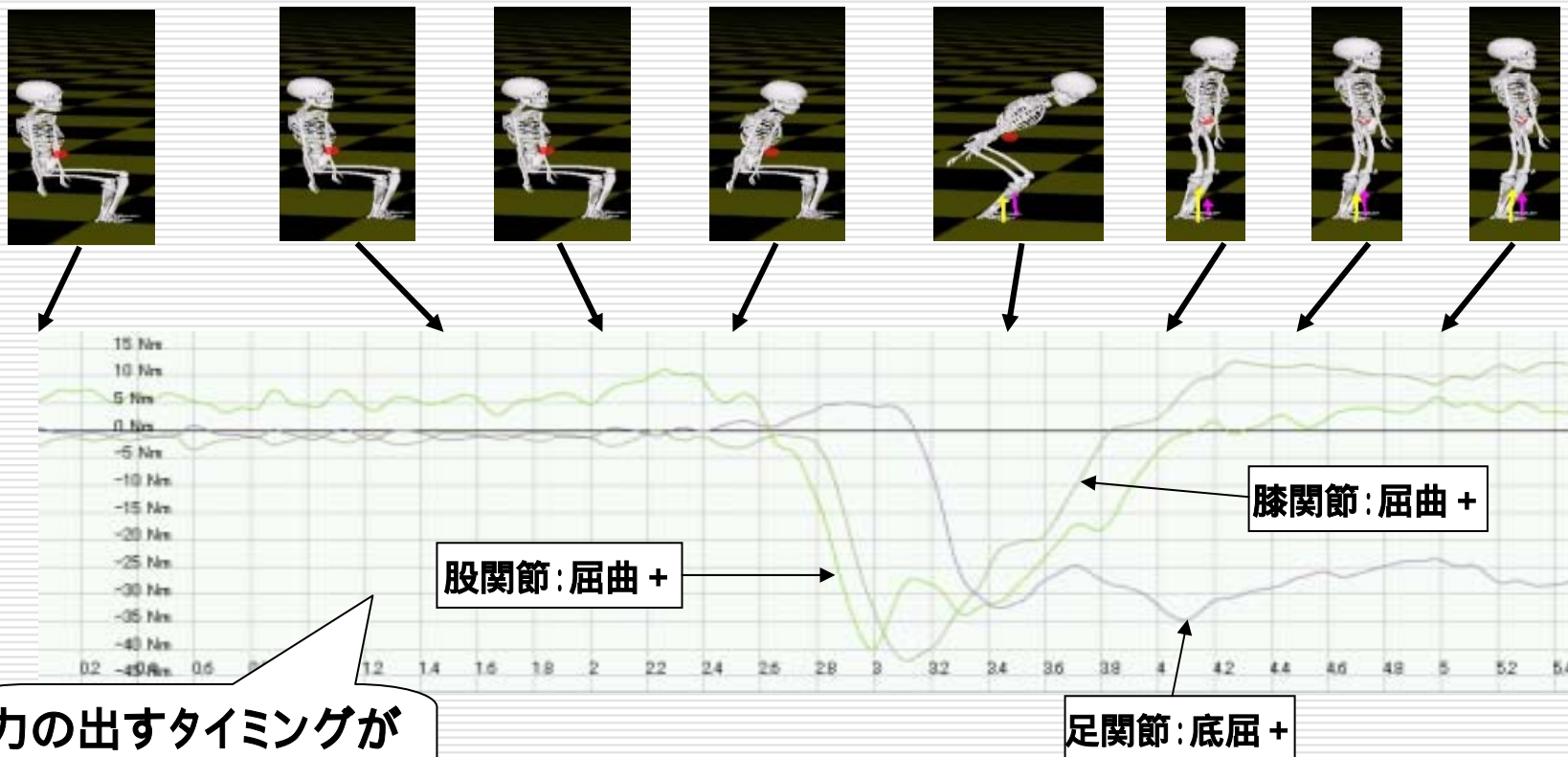
関節トルク、筋張力の可視化のメリット

- 人体の3次元的な動作分析手法
- (従来) スティックピクチャ、グラフ
 - 抽象度が高く、専門性の高い知識経験が必要
- (近年) 骨格モデルと連動した、解析値のビジュアル表示
 - インタラクティブな操作で、運動理解が容易

身体運動の力学的解析

力学的な解析をすることで運動の**理解がしやすい**

例．椅子の立ち上がりと関節トルク



～ 計測 ～ スティックピクチャ ～ 骨格モデル表示 ～

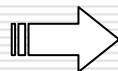
計測を行ったモーションデータをARMOでCGに

計測



マーカを
貼付け

データの
流れ



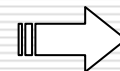
モーションデータ

Viconの画面上



マーカ間を
線で表示

データの
流れ



ARMO

ARMOの画面上

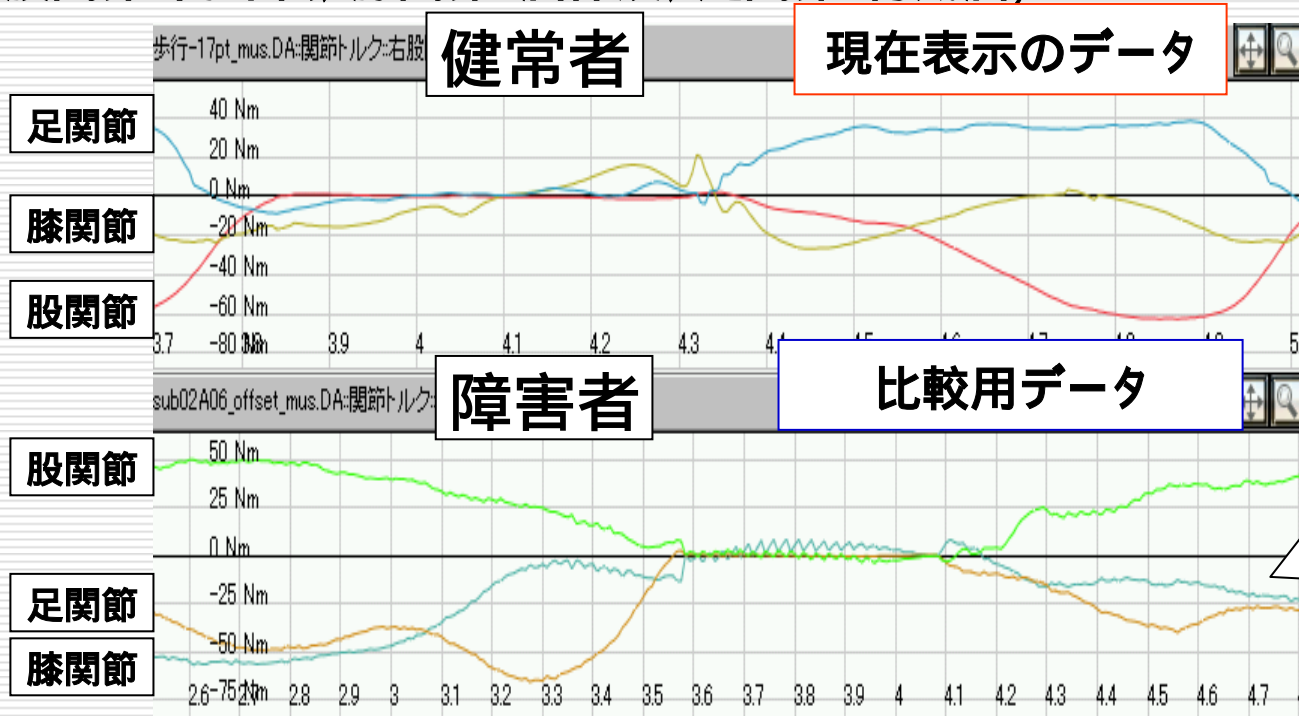


骨のポリゴン
で表示
関節中心位置
も自動で計算

～ 比較ができる身体運動の力学的解析 ～

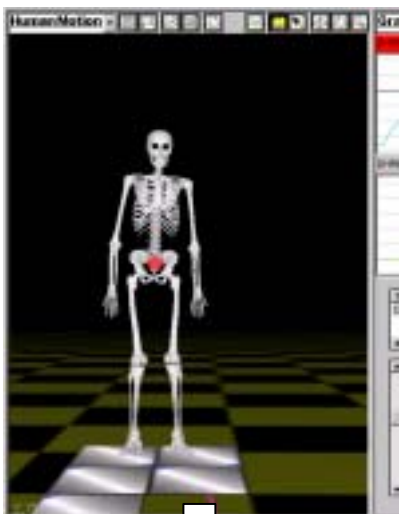
複数のデータを『同時に表示』して比較

例. 健常者(上)と障害者(下)の歩行時の関節トルク
(股関節:内外転、膝関節:屈伸展、足関節:背底屈)



～ CG映像による比較～

ARMOの画面



動画ファイルで違いを示す

動画として保存

プレゼンテーション資料作成例

(健全者と身障者の歩行違い)

健全者と身障者の歩行の違い

健全者の歩行



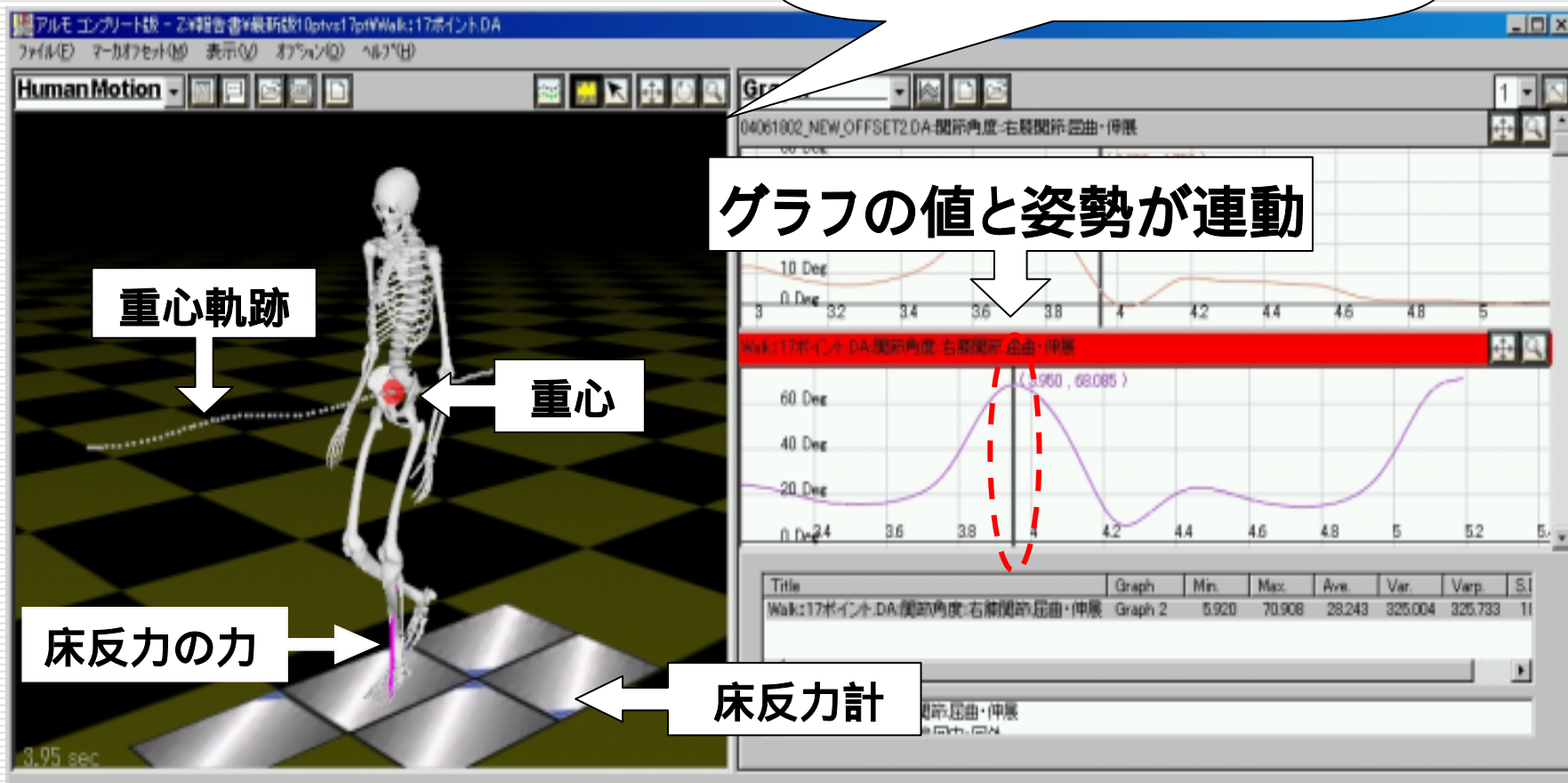
身障者の歩行



~ CGによる姿勢と解析値の連動 ~

例. 歩行をARMOで表示

歩行中の重心軌跡や任意の関節角度が最大値の時と姿勢の関係

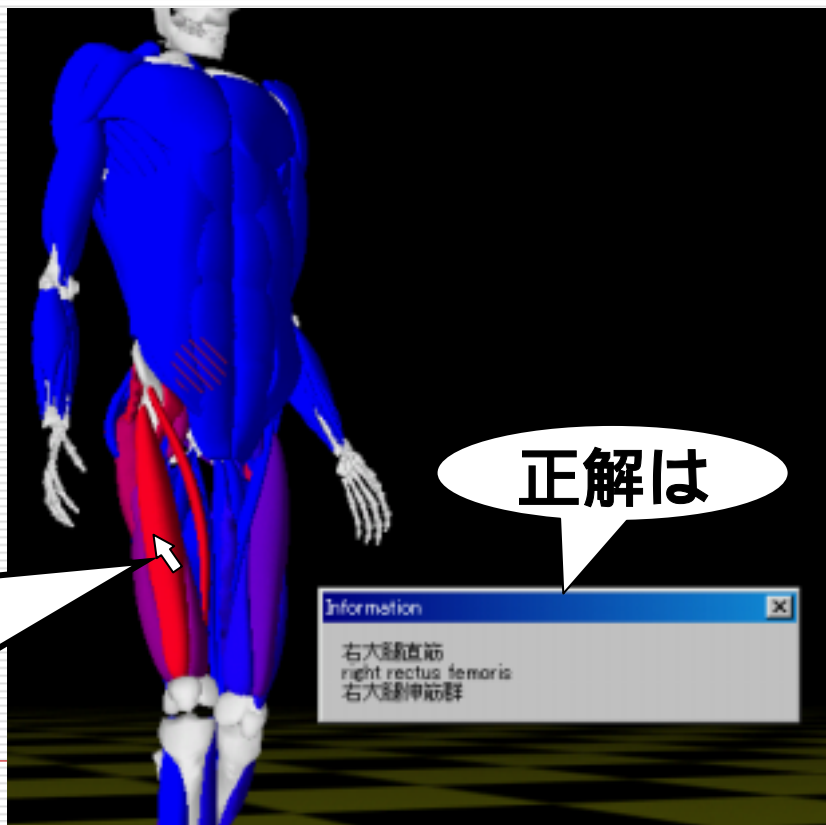


~ CGによる表現:教育用 ~

運動中の筋肉の名称が簡単に調べられる

例. この一番赤く光っている筋肉の名称は？

マウスでクリック
すれば筋肉の
名称を表示でき
ます

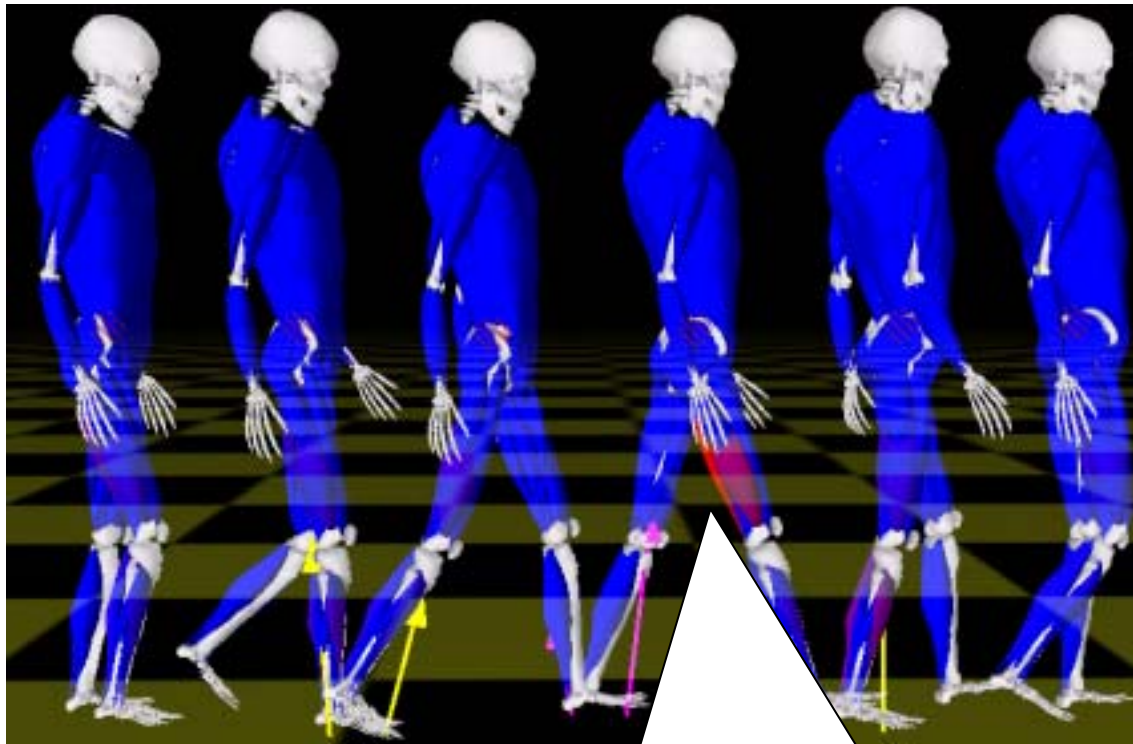


正解は

Information
右大腿直筋
right rectus femoris
右大腿伸筋群

～ 筋活動パターンをCGで表現:EMG～

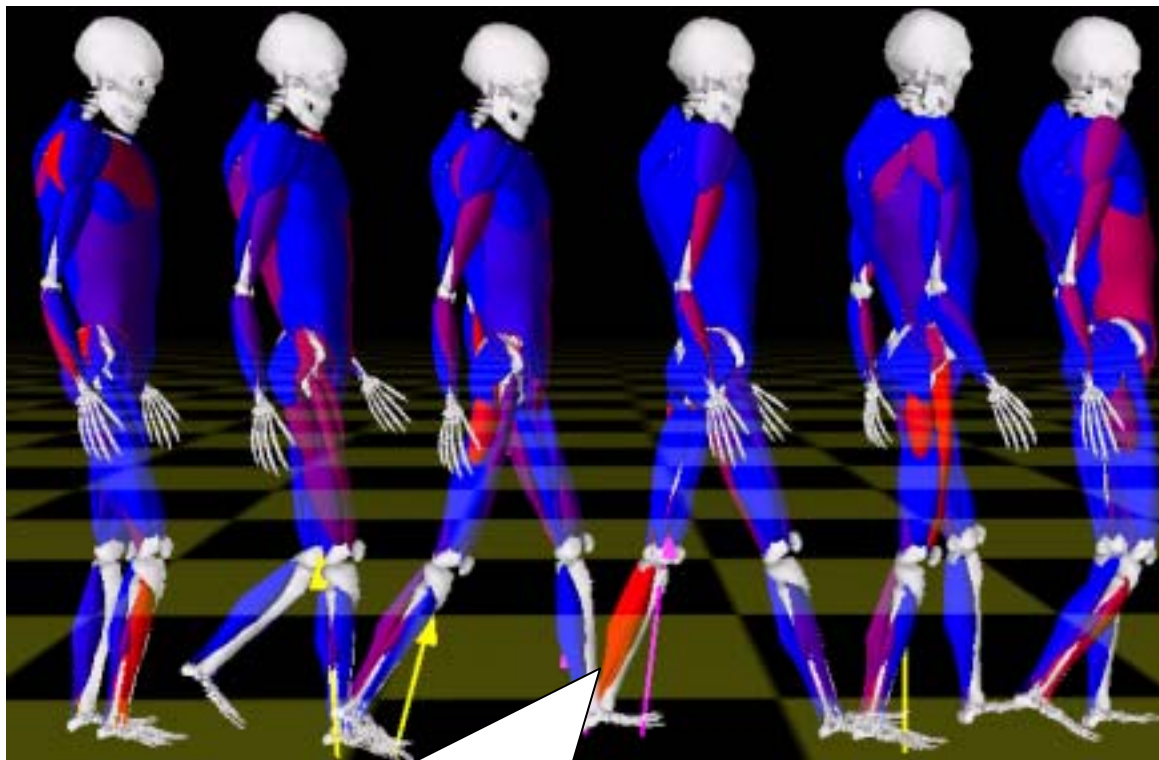
EMG



EMGデータより筋活動状態を視覚に表現
(筋が活動状態の時は青から赤)

～ 筋活動パターンをCGで表現：筋張力 ～

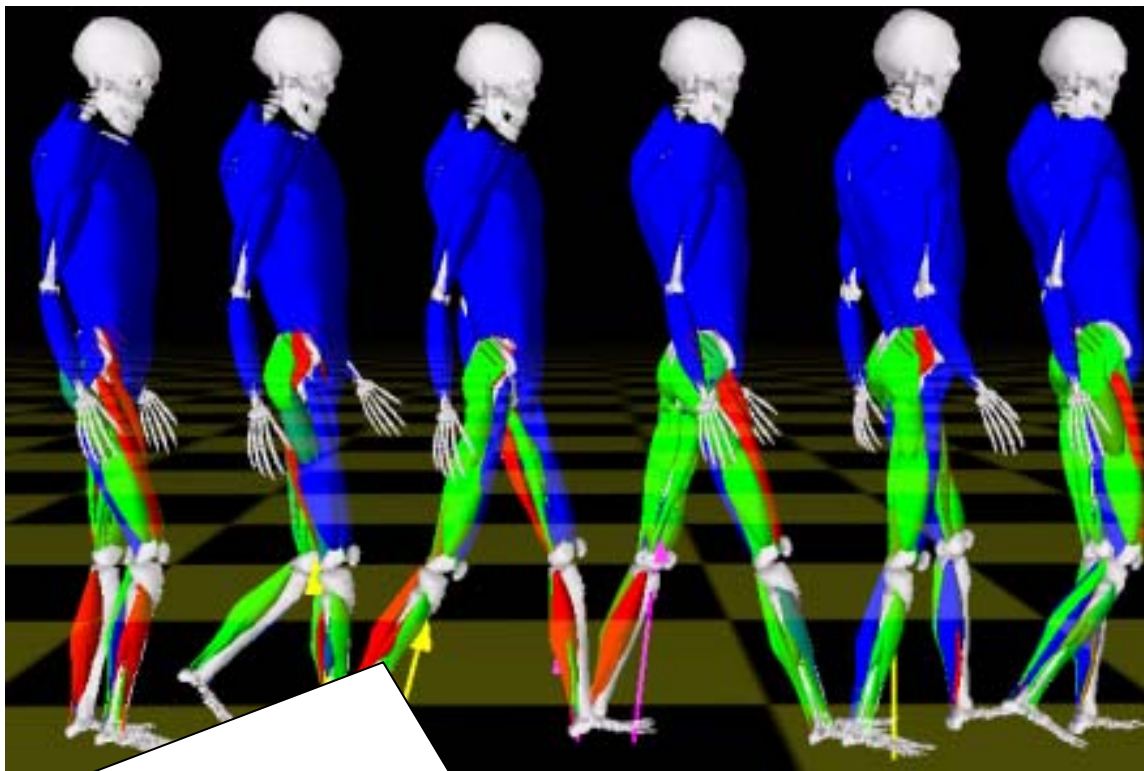
筋張力



筋活動状態を視覚的に表示
(筋張力0 筋張力大:青 赤)

～ 筋活動パターンをCGで表現：筋の収縮様式～

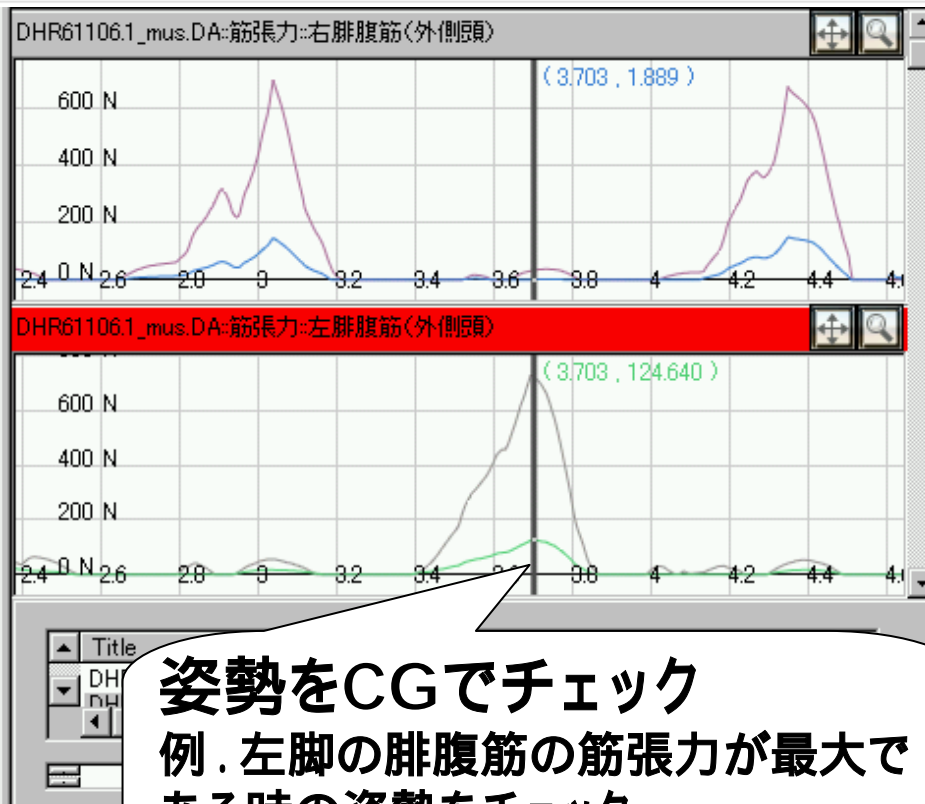
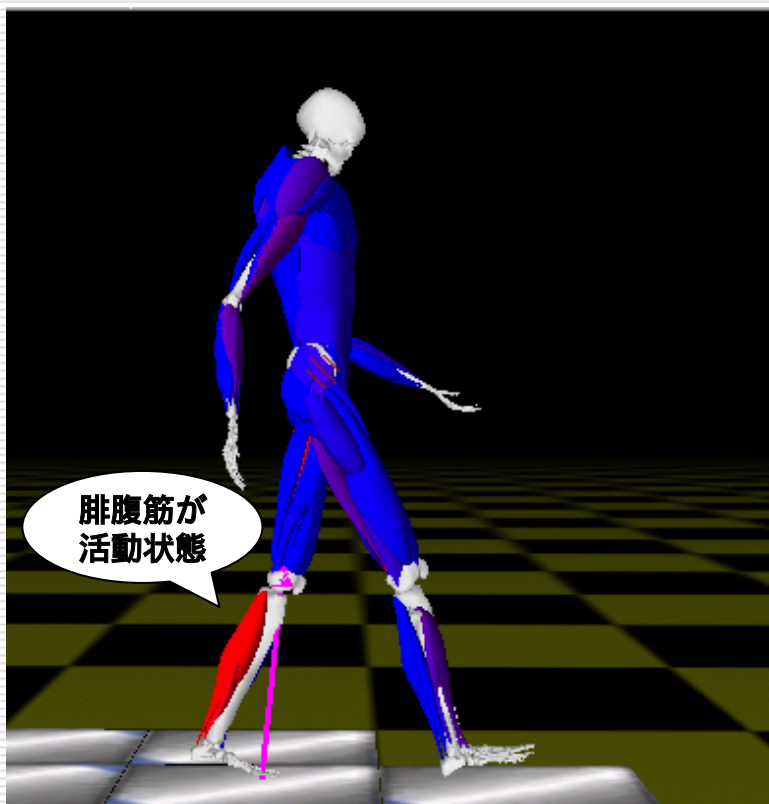
筋収縮様式



筋肉の収縮状態(エキセントリック、コンセントリック)を視覚に表現
(エキセントリック:青 アイソメトリック or 筋発揮なし:緑 コンセントリック(+):赤)

～ 理解しやすい筋活動と姿勢の関係 ～

筋活動と姿勢の関係



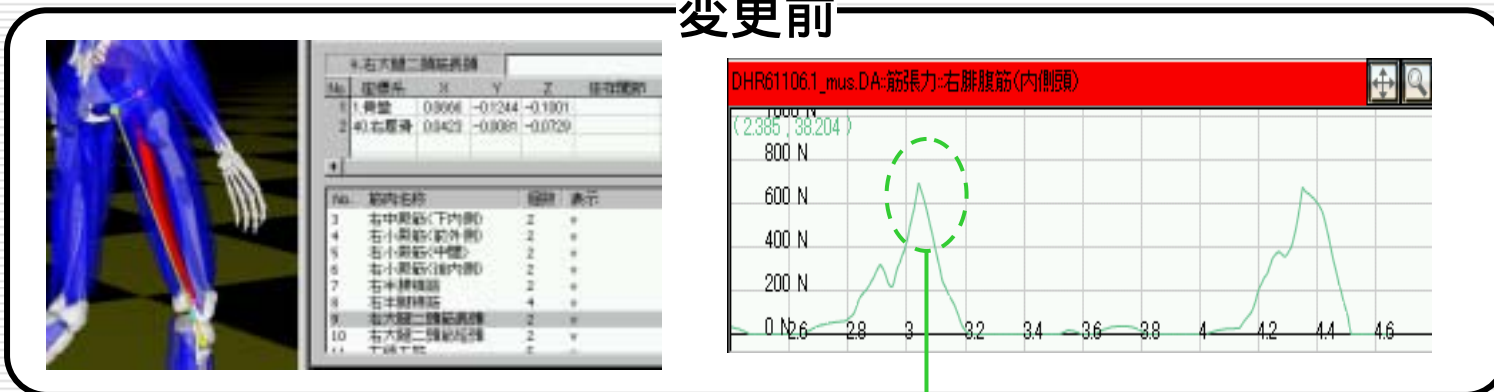
姿勢をCGでチェック
例. 左脚の腓腹筋の筋張力が最大である時の姿勢をチェック

~ 筋肉モデル: 付着位置の変更 ~

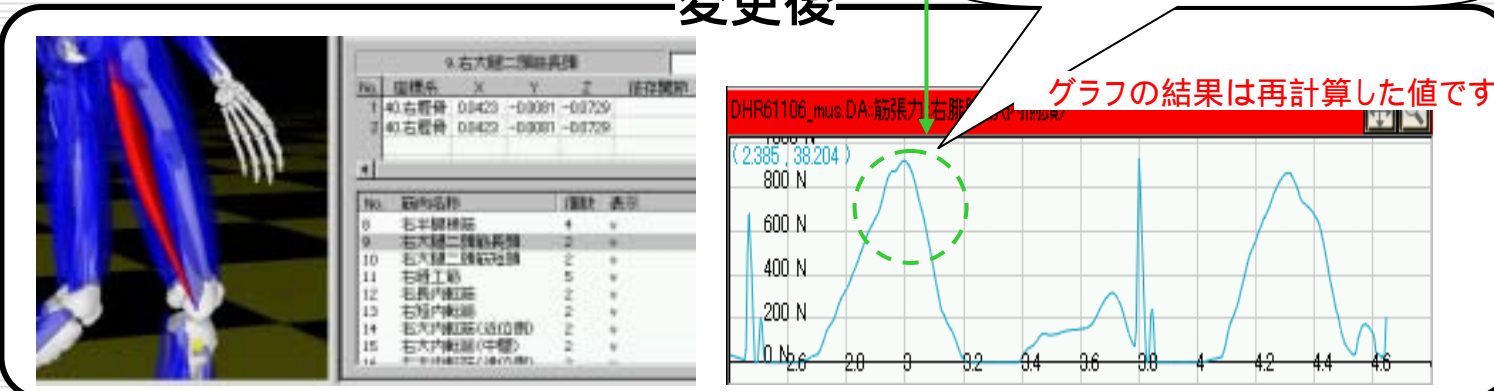
筋肉モデルを自分で筋張力の計算が可能 (下半身のみ)

例. ハムストリングが無い場合での腓腹筋の変化

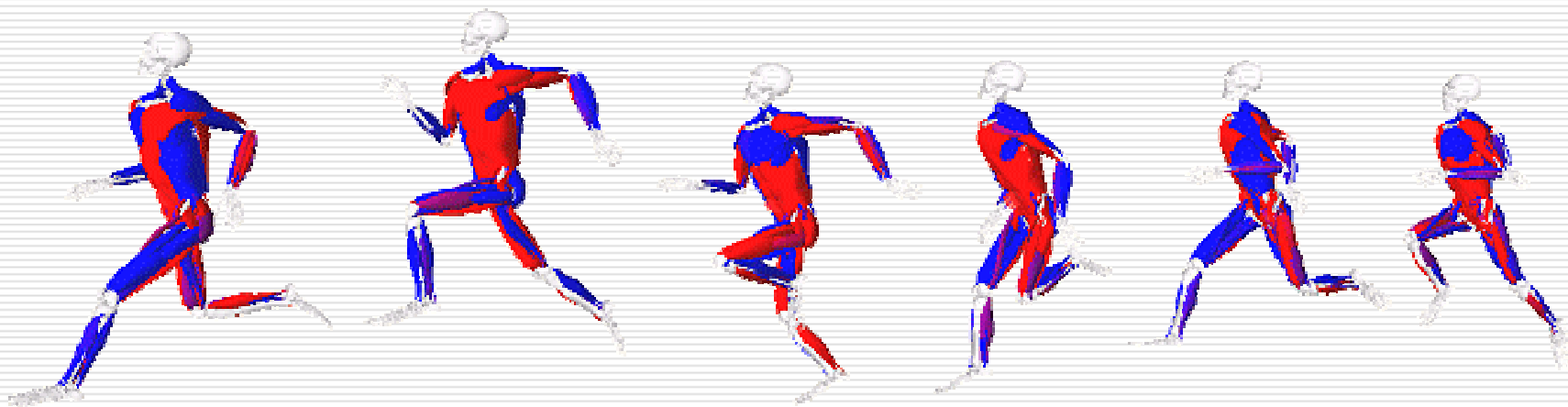
変更前



変更後



「身体運動の機能解明ソフトARMO」 ～ 付録: ARMOの中身～



gsport , inc.

上肢・体幹筋骨格系モデルの特徴

上肢・体幹骨格モデル

- 自由度

腰関節 × 3、(右)肩関節 × 3、(右)肘関節 × 2、
(右)手首関節 × 2の合計17自由度の
剛体リンクモデルです

- 筋肉数

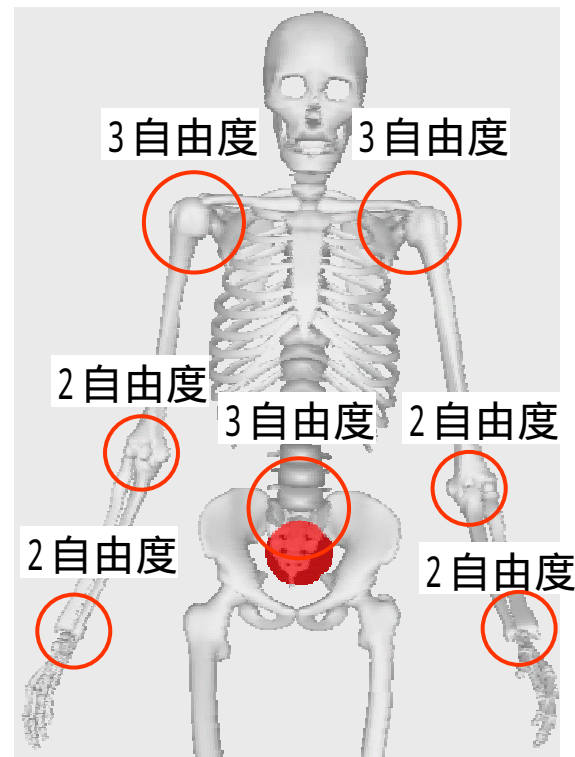
モデル化した筋肉は92本です

- モーメントアーム

肩関節の内外旋、肘関節、手首関節は近似式
を用いて求めています。

- 外力

指定したセグメントに外力を加えることが
出来ます



下肢筋骨格系モデルの特徴

下肢骨格モデル

- 自由度

片側の関節が(右)股関節×3、(右)膝関節×1、(右)足関節×1の合計10自由度の剛体リンクモデルです

- 筋肉数

モデル化した筋肉は88本です

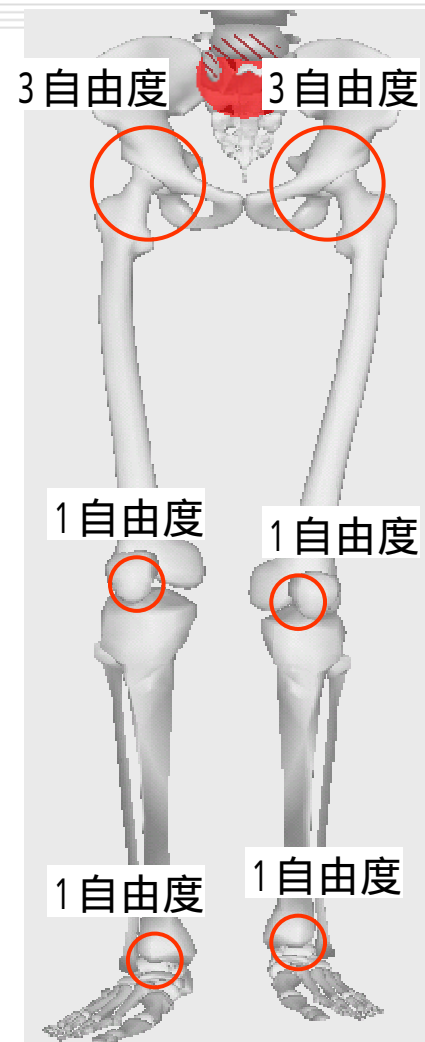
- モーメントアーム

筋肉と関節中心との距離から求めています

- 外力

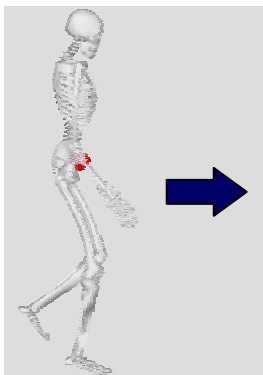
床反力計を用いることで床への反力を考慮に入れることができます

また、これ以外にも指定したセグメントに外力を加えることができます

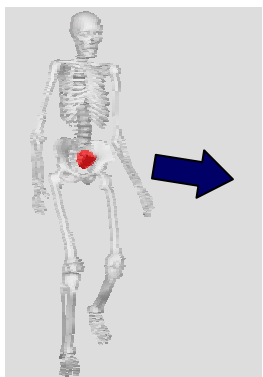


～ 計測動作で測定マーカセットを選択～

どういう解析？

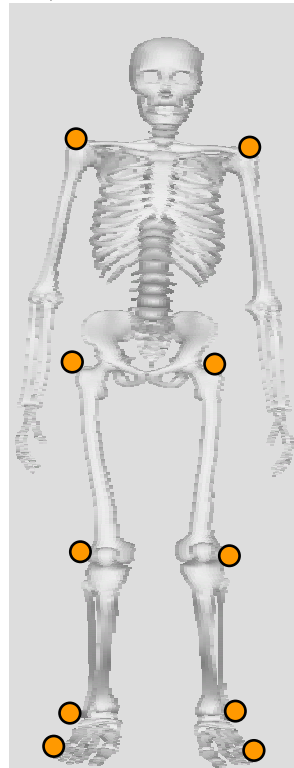


行いたい解析
• 通常の生活動作
(例. 歩行計測
立ち上がり動作)

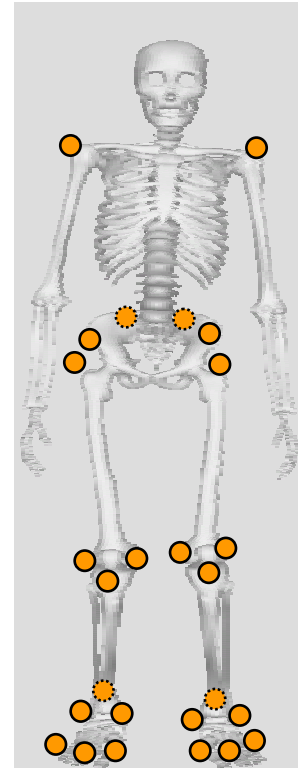


行いたい解析
• スポーツ動作
(例. ゴルフスイング
テニススイング
スクワット運
動)

簡易マーカセット



詳細マーカセット



簡易マーカセット(DIFFマーカセット)

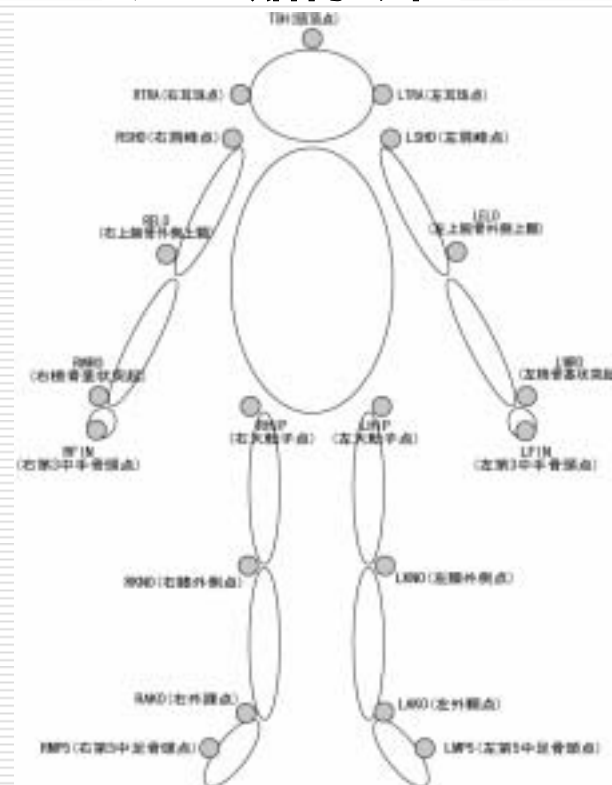
マーカ個数

- 下肢: 10個、上肢、体幹: 11個
(下半身の解析だけなら下肢の10個で解析可能)

特徴

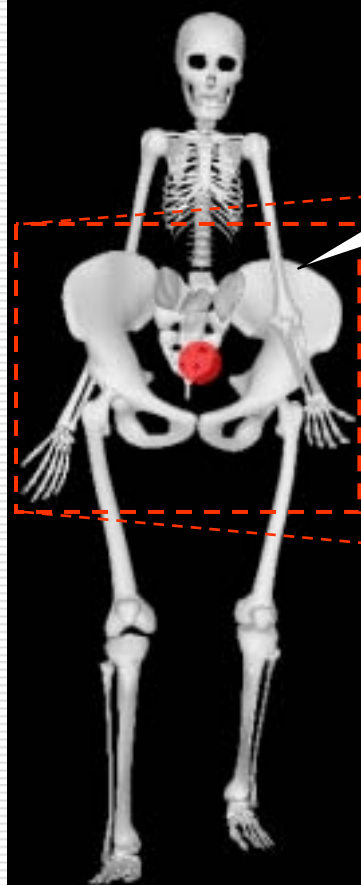
- 下肢
DIFF形式の下肢解析のための最小マーカセットです。関節中心は各マーカ位置から**オフセットを指定する**ことで、関節中心位置を指定します
- 上肢
上肢の各マーカ位置に対応する上半身動作を表示することができます

マーカ貼付け位置

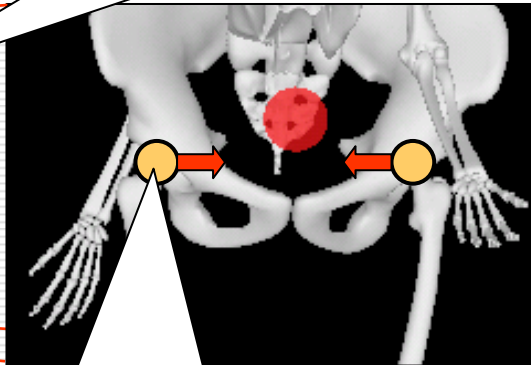


簡易マーカセット(関節中心)

マーカオフセットなし



大転子点のマーカ位置は股関節中心に来るように設定されているため、骨盤が大きく表示される

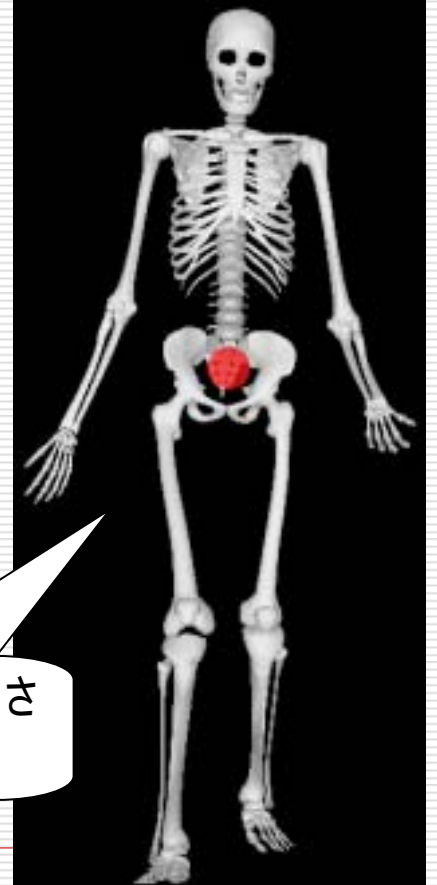


大転子点のマーカ位置をオフセットする

マーカオフセットを加えると



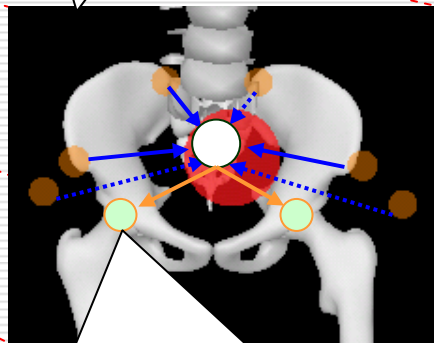
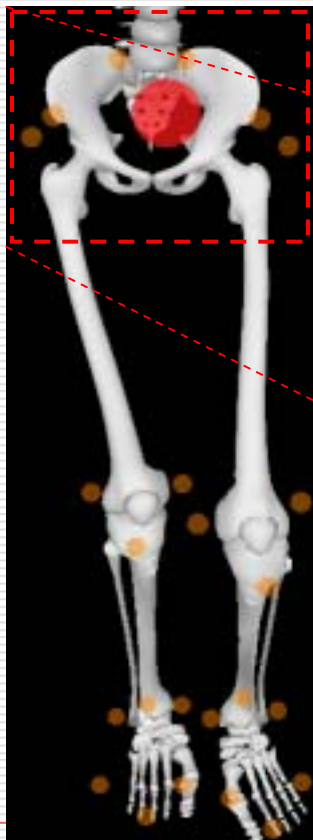
マーカオフセットあり



自然な骨盤の大きさになる

詳細マーカセット(関節中心)

複数のマーカを使い、
関節中心位置を求める



例. 股関節中心

右上前腸骨棘、 左上前腸骨棘、 右上後腸骨棘、
左上後腸骨棘、 右大転子、 左大転子の内、数が
小さい番号のマーカを優先的に3点を用いて骨盤の
座標軸を決める

この座標軸より解剖学的データから骨格モデルを構築し、
股関節中心の位置を求める

関節中心位置

関節中心

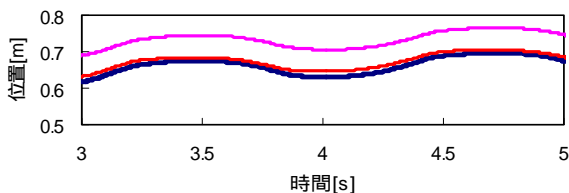


簡易マーカセットの精度

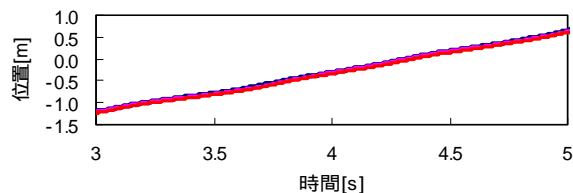
歩行における簡易モデルと詳細モデルの関節位置

— 詳細モデル — 簡易モデル(マーカオフセットなし) — 簡易モデル(マーカオフセット済み)

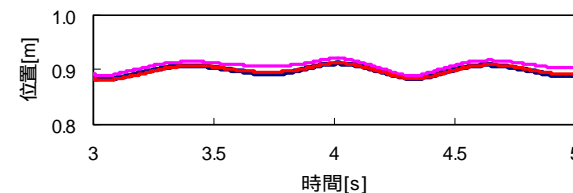
股関節位置 : x



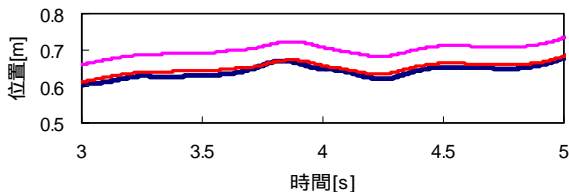
股関節位置 : y



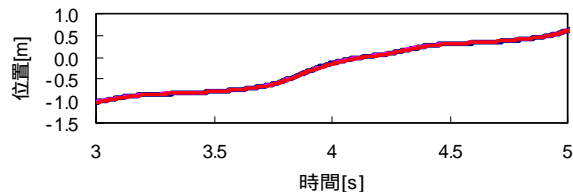
股関節位置 : z



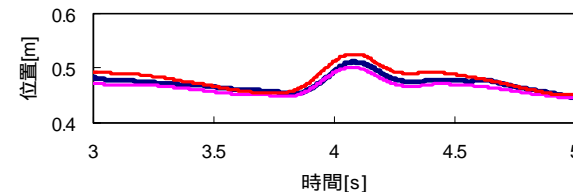
膝関節位置 : x



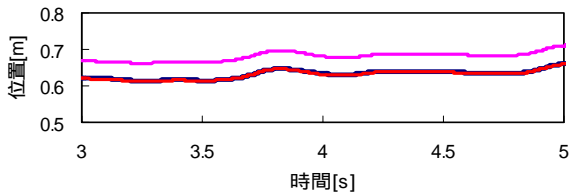
膝関節位置 : y



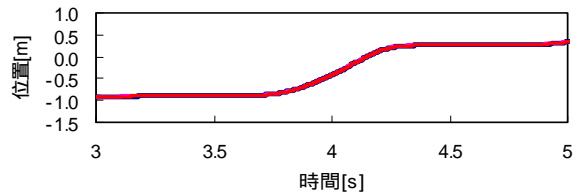
膝関節位置 : z



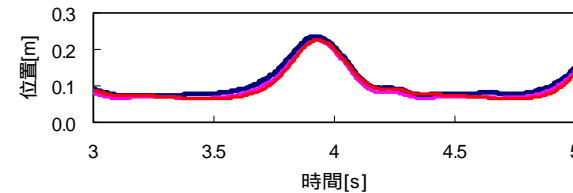
足関節位置 : x



足関節位置 : y



足関節位置 : z

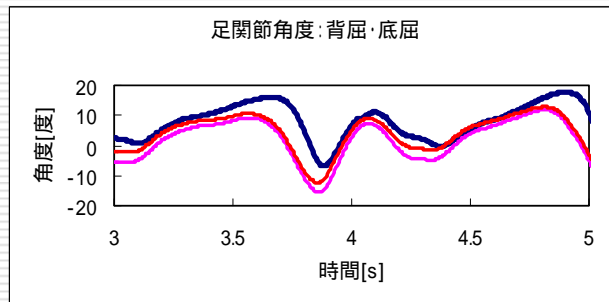
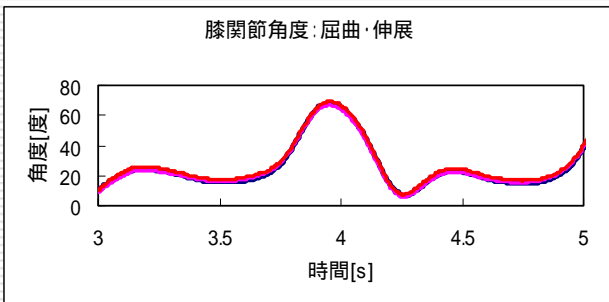
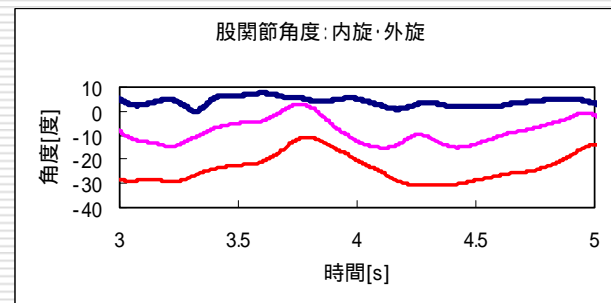
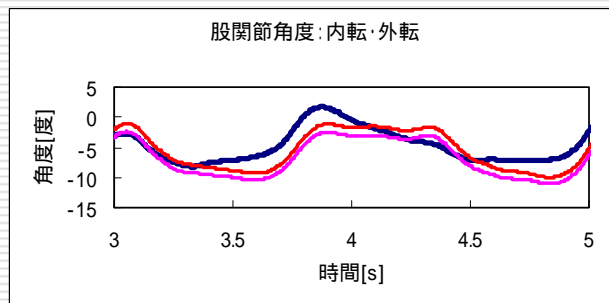
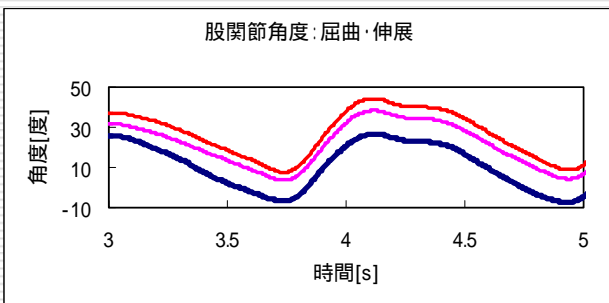


簡易モデルではマーカオフセットが必要

簡易マーカセットの精度

歩行における簡易モデルと詳細モデルの関節角度

— 詳細モデル — 簡易モデル(マーカオフセットなし) — 簡易モデル(マーカオフセット済み)



簡易モデルでは股関節の内外旋は正確に出ない

簡易モデルと詳細モデルのまとめ

ー簡易モデルの特徴ー

- マーカ数が少なく、簡単に計測が行える

マーカ数が 10 個で簡単な歩行解析可能 注) マーカオフセットの設定が必要

- マーカの貼付け位置は、ずれにくい位置に設定されている

計測例: 椅子から立ち上がり動作、(股関節の回旋が無い) 簡単な歩行解析など

ー詳細モデルの特徴ー

- マーカオフセットの設定が必要無し

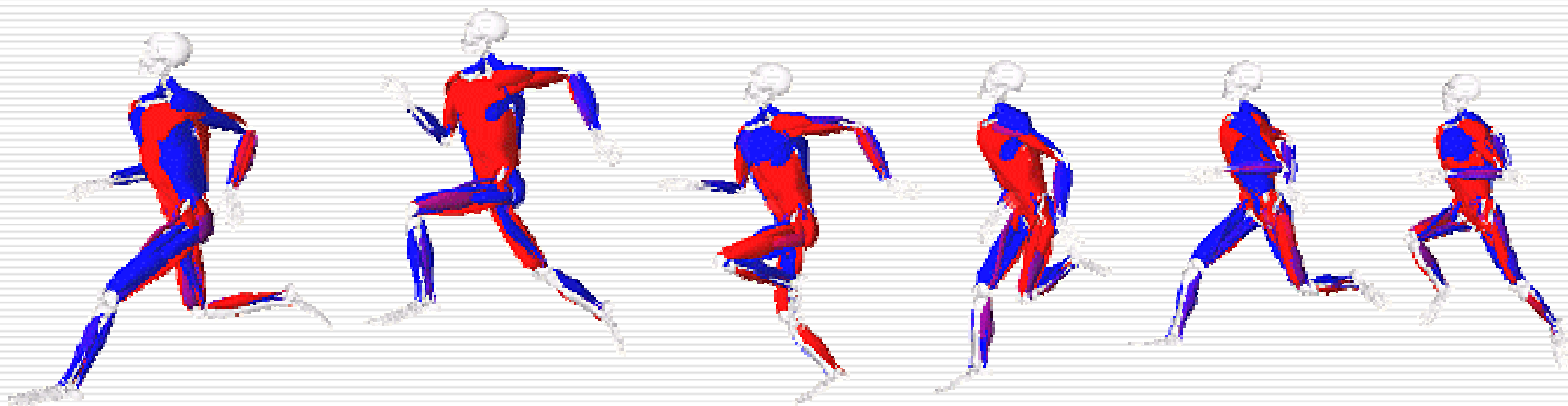
- 関節中心位置の推定精度が高い

解析精度が高い 注) マーカを所定位置に正確に貼ること、計測中にマーカ位置がずれないこと

- 複雑な動作が計測可能である

計測例: 推定精度の高い歩行解析、スクワット、テニスやゴルフスイングなど

「ARMOの運動分析と可視化の限界」 ～ ARMOシミュレーションの限界～



gsport , inc.

運動分析の限界

運動分析はマーカ位置や床反力計の計測誤差が大きく影響

1. 関節中心の誤差によるもの
2. 床反力計を用いない下肢の運動
足が地面と接触する運動は、摩擦などの外力が働くため、床反力計が必須
3. 筋肉に関するパラメータの個人間誤差
被験者本人ではなく、文献値より筋肉に関するパラメータを求めているため、常に正確に求めることが困難。筋張力は筋肉の出す力が最小になるよう仮定して求めており、運動の種類や姿勢によっては、二関節筋や拮抗筋などで誤差が大きい。

ARMOによる可視化の限界

計測と可視化のトレードオフにより、以下の表示は通常困難

1. 背骨や前腕の骨

人間の脊柱は骨が複数存在しますが、ARMOでは1つの骨として仮定していますので、背骨が曲がる動きは表現できません。また、前腕の骨は2本ありますが、1本として表現。

2. 肩甲骨の動き

人間は腕を肩より高く上げると肩甲骨が動きますが、ARMOでは動きません

3. 筋肉の付着点や腱の表示