

機械・人間・感性をつなぐ 統合的動力学解析

竹原研究室の研究領域

「機械・人間・感性をつなぐ統合的動力学解析」

学問領域



研究対象



竹原研究室の研究領域 「機械・人間・感性をつなぐ統合的動力学解析」

研究テーマ

乗り物の研究



- ・乗車中の人体の姿勢制御
- ・自転車に関する筋負担解析
- ・人体・車両の連成解析
- ・小径自転車の安定性解析

スポーツの研究



- ・ラケットと運動のマッチング
- ・キックモーション (サッカー)
- ・跳躍運動 (バスケット)

ケーブルの研究



- ・柔軟体・剛体系連成解析
- ・制御系システムの提案
- ・エレベータの巻き取り制御

心理評価の研究



- ・自動車座席の快適性
- ・スポーツ用具の使い心地

こんな悩みはありませんか？

ワイヤやロープが
たわんでしまう



ケーブルの動きが
制御できない

接触や摩擦が
設計の課題

設計・開発の
予算が厳しい

マルチボディダイナミクスで解決できるかもしれません

ロープのたわみを
活かした制御



ケーブルの
動きを制御

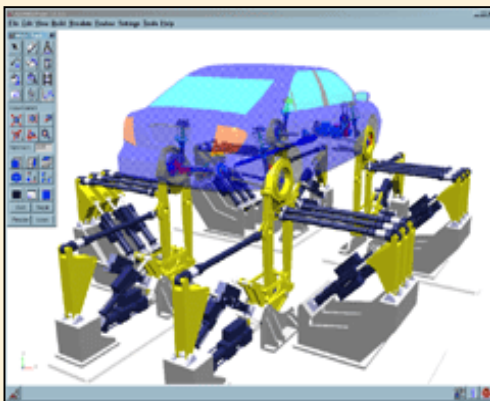
接触や摩擦を
抑えた設計

コンピュータ
シミュレーションで
開発コスト削減

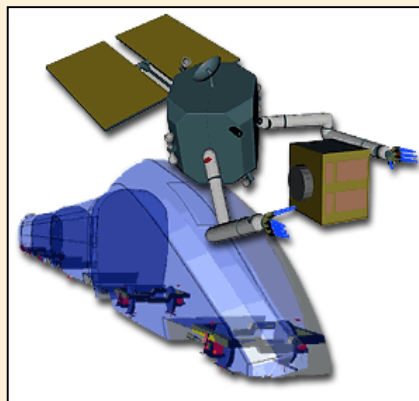
マルチボディダイナミクスとは

- 機械力学の一分野
- モノの動きをコンピュータシミュレーションで解析・理解する学問
- 対象を、硬いもの（剛体）と柔らかいもの（柔軟体）の集合として考える
- 硬いものと柔らかいものの接触や、ケーブルのような柔らかいものの動きを詳細にとらえるのが得意

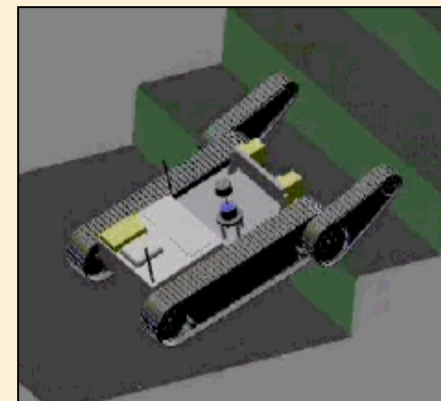
汎用ソフト例



ADAMS (MSC software)



SIMPACK



RecurDyn

マルチボディダイナミクスとは

例

マルチボディダイナミクスで
「自転車」を解析すると...

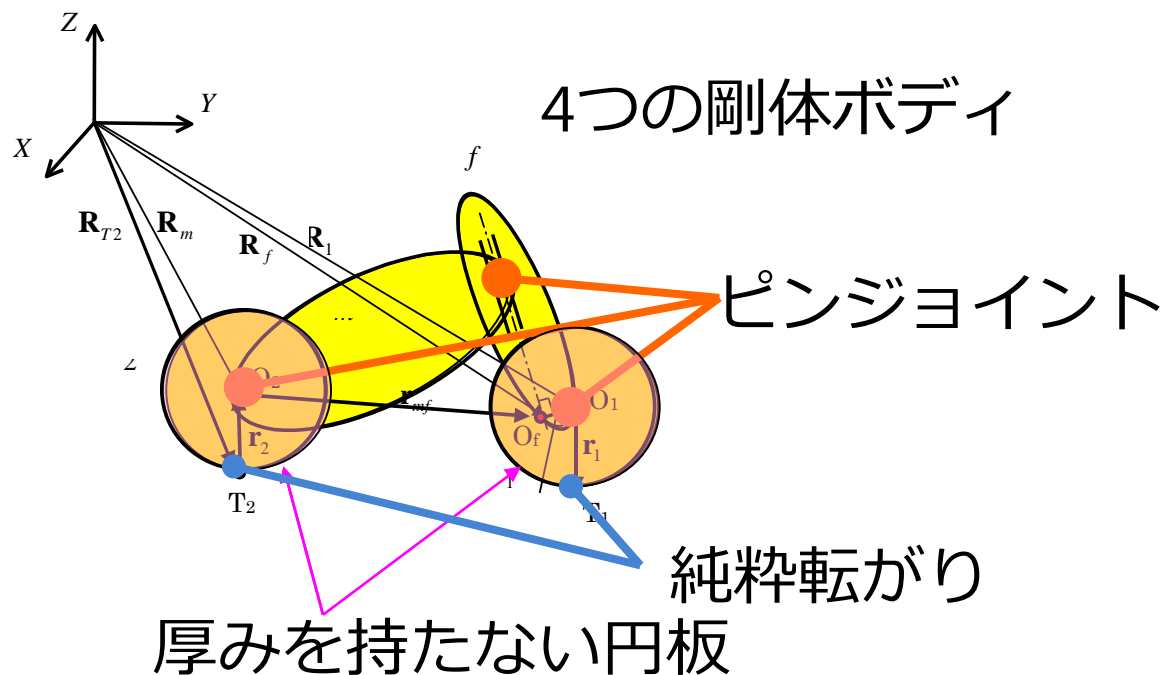


マルチボディダイナミクスとは

例

マルチボディダイナミクスで
「自転車」を解析すると...

各要素を分析



マルチボディダイナミクスとは

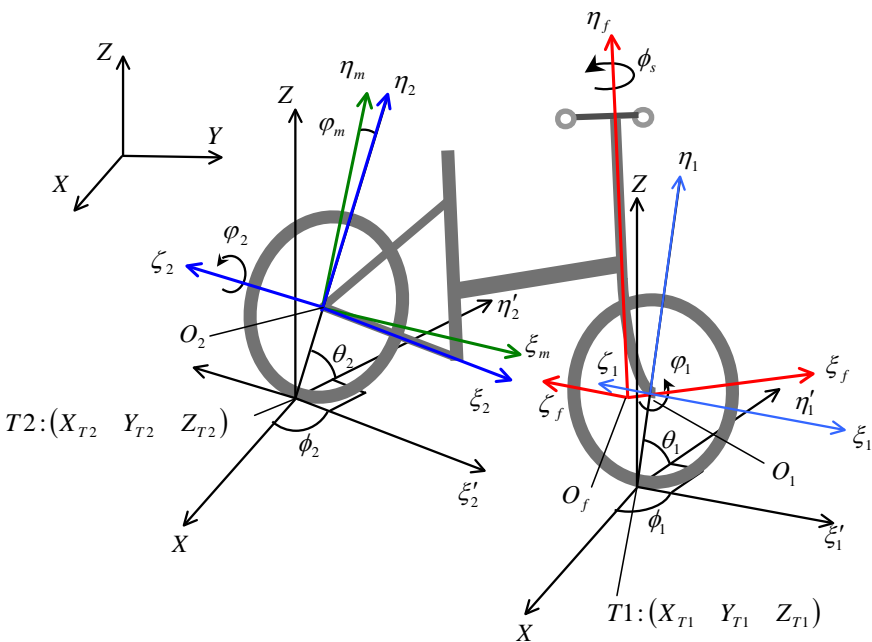
例 マルチボディダイナミクスで「自転車」を解析すると...

定式化

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}_{(\mathbf{x},t)} & \Phi_{(\mathbf{x},t)}^T \\ \Phi_{(\mathbf{x},t)} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{X}} \\ \Lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{F}_{(\mathbf{x},\dot{\mathbf{x}},t)} \\ \Psi_{(\mathbf{x},\dot{\mathbf{x}},t)} \end{bmatrix}$$

$\mathbf{M}_{(\mathbf{x},t)}$ 質量マトリクス Λ 未定乗数

$\Phi_{(\mathbf{x},t)}$ ヤコビアンマトリクス $\mathbf{F}_{(\mathbf{x},\dot{\mathbf{x}},t)}$ 外力



ヨー角 ピッチ角 ステア角

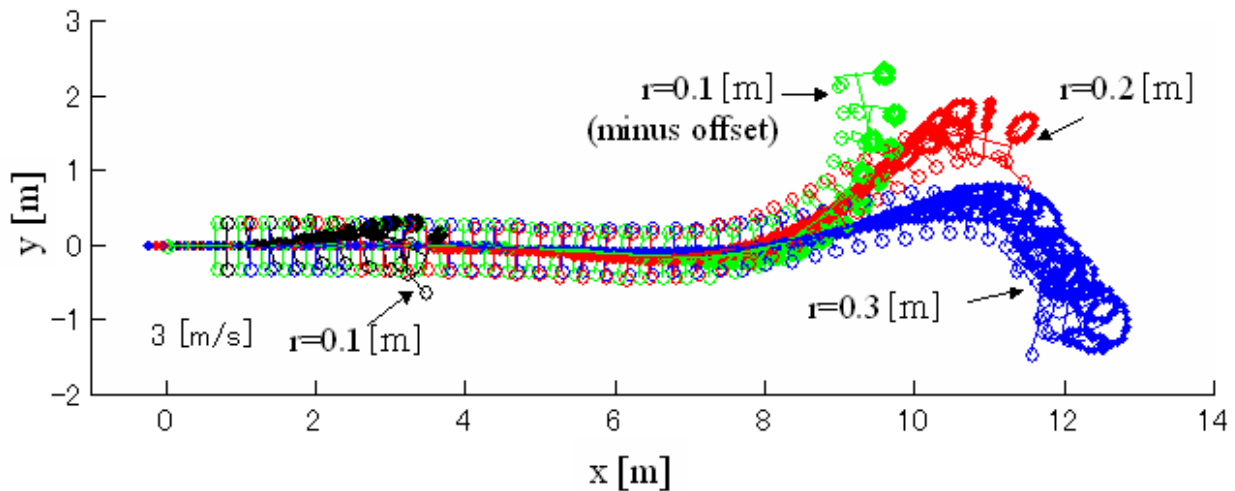
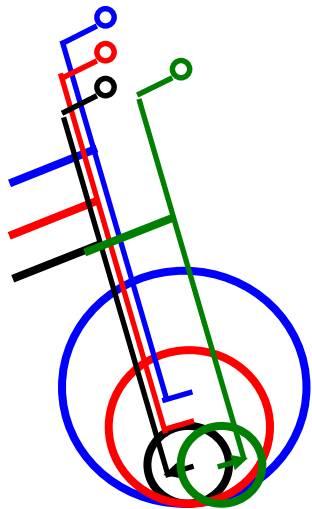
$$\mathbf{X} = \left(\underbrace{X_{t2} \quad Y_{t2} \quad Z_{t2}}_{\text{後輪接地点座標}} \quad \underbrace{\phi_2 \quad \theta_2}_{\text{ロール角}} \quad \underbrace{\phi_m \quad \phi_s \quad \phi_1 \quad \phi_2}_{\text{車輪回転角}} \right)^T$$

マルチボディダイナミクスとは

例

マルチボディダイナミクスで
「自転車」を解析すると...

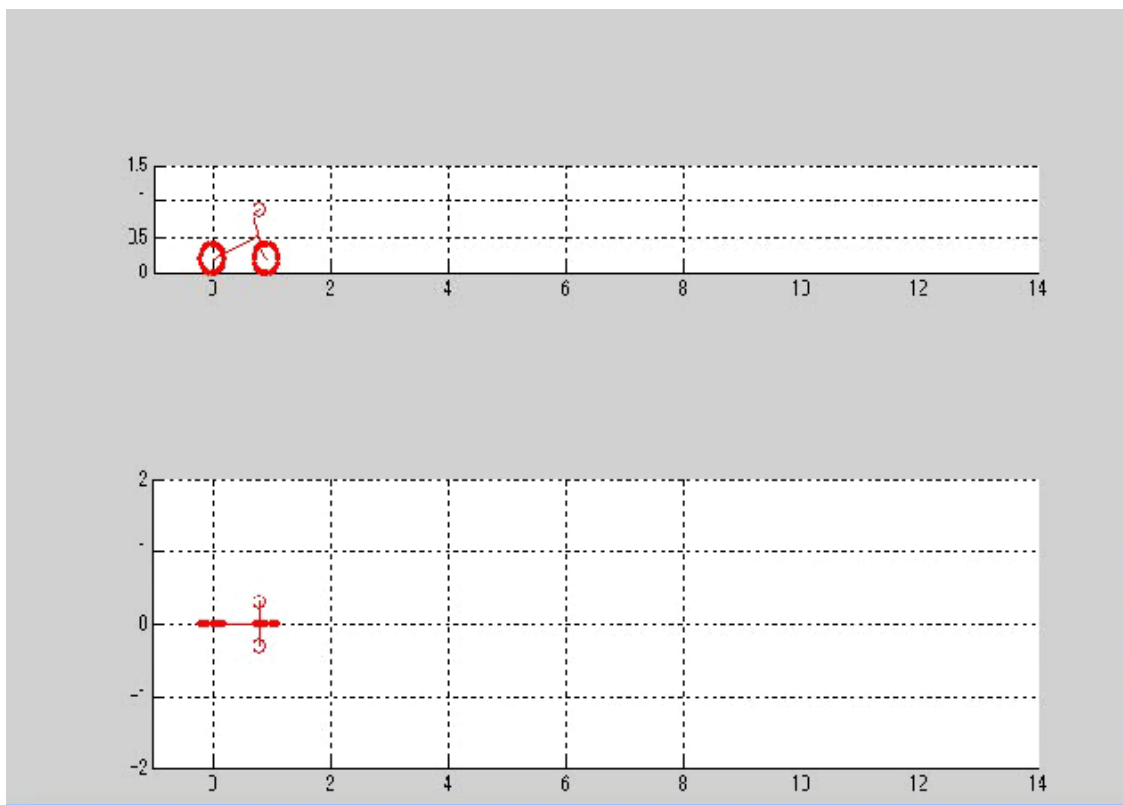
コンピュータによる数値シミュレーション



マルチボディダイナミクスとは

例

マルチボディダイナミクスで「自転車」を解析すると...



走行平面を真上から見た結果

マルチボディダイナミクスとは

例

マルチボディダイナミクスで
「自転車」を解析すると...

タイヤの大きさを変えた場合、
自転車がどのくらい蛇行するか
コンピュータ上でわかる

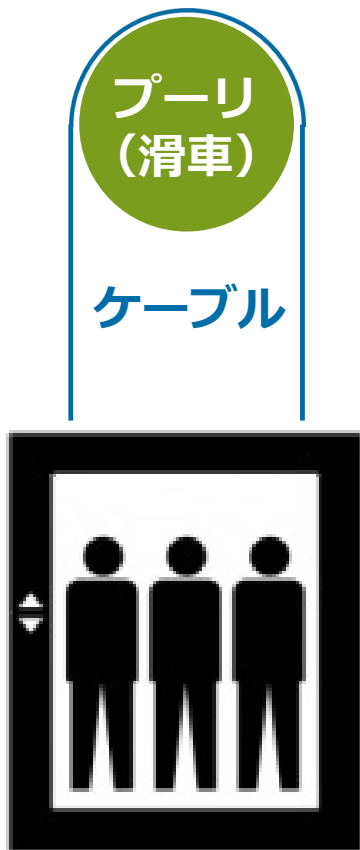


どこまでタイヤ径を
小さくしても問題ないか
運動の結果から検討できる



マルチボディダイナミクスを使った製品開発事例

エレベータケーブルの巻き取り時の挙動



エレベータのケーブルの張力差によって
予期せぬプーリ（滑車）上のすべりが発生



マルチボディダイナミクスで
エレベータのプーリ（滑車）と
ケーブルの摩擦やすべりを解析

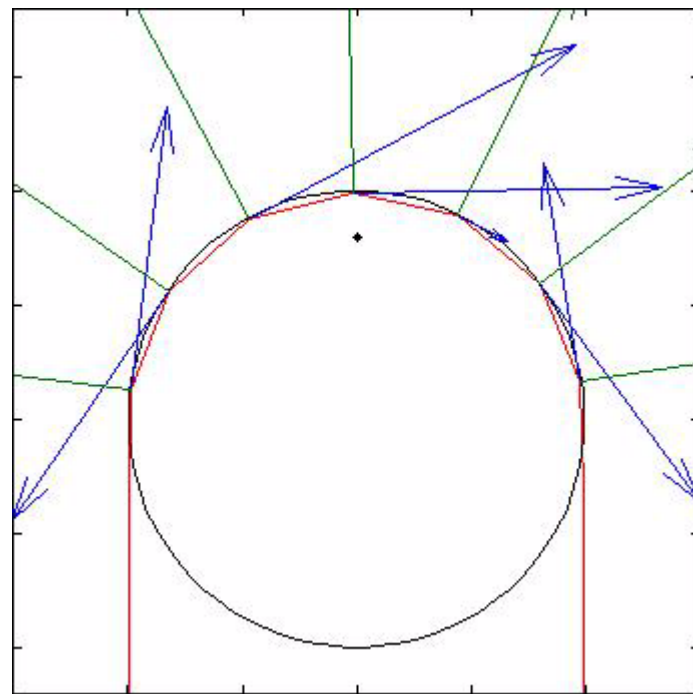
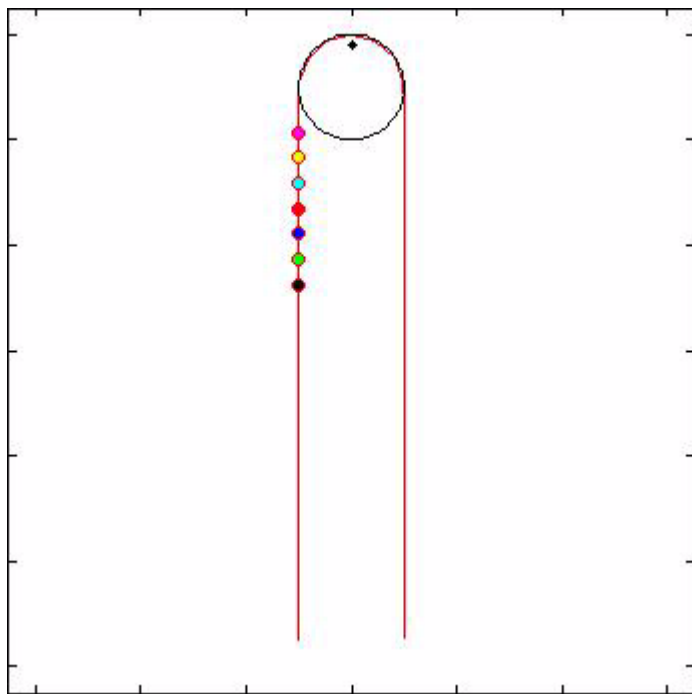


プーリの設計の指針を提案

安全性の向上

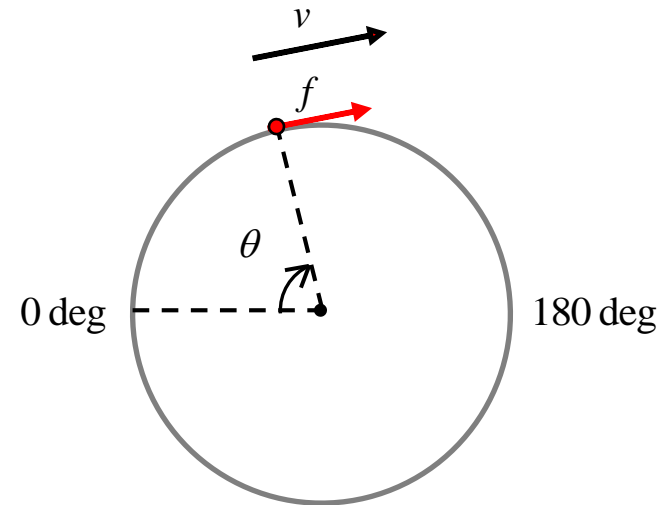
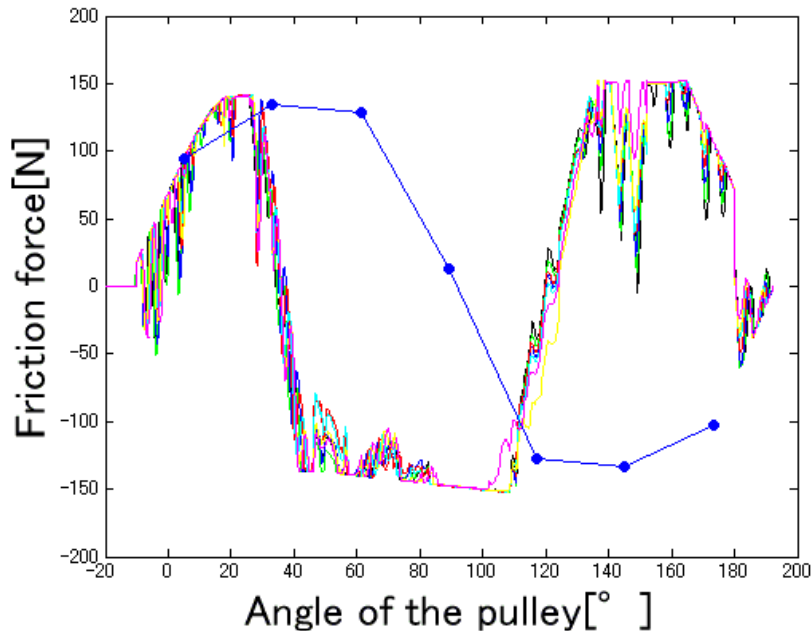
マルチボディダイナミクスを使った製品開発事例

エレベータケーブルの巻き取り制御（結果の例）



マルチボディダイナミクスを使った製品開発事例

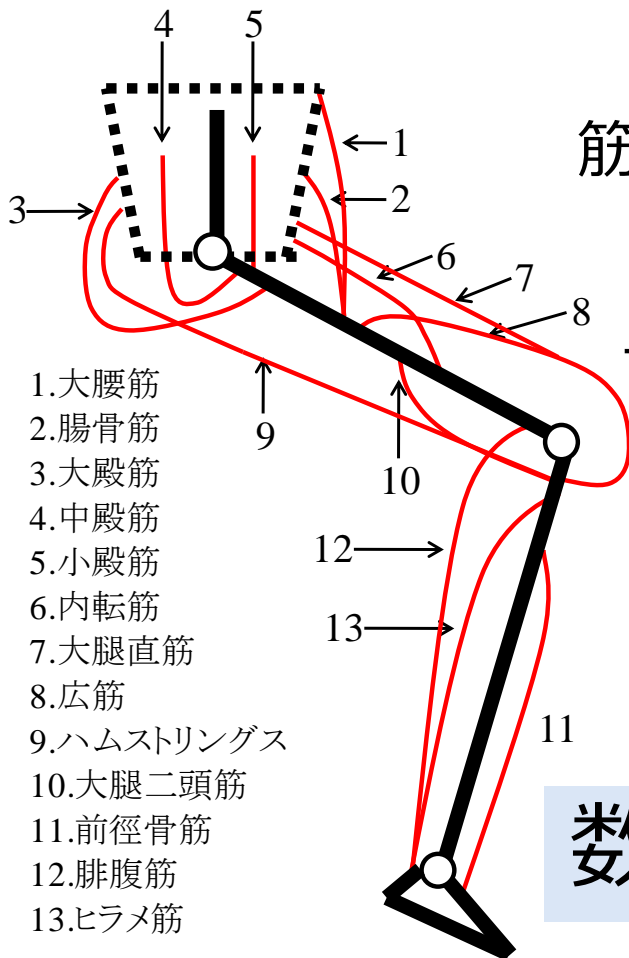
エレベータケーブルの巻き取り（結果の例）



プーリ上に均一な摩擦力が作用するのではなく、摩擦力の合計によってロープを移動させていることが判明

マルチボディダイナミクスを使った製品開発事例

電動アシスト付き自転車の評価



- 1.大腰筋
- 2.腸骨筋
- 3.大殿筋
- 4.中殿筋
- 5.小殿筋
- 6.内転筋
- 7.大腿直筋
- 8.広筋
- 9.ハムストリングス
- 10.大腿二頭筋
- 11.前脛骨筋
- 12.腓腹筋
- 13.ヒラメ筋

電動アシストが実際にどれくらい
筋肉の負荷を減らしているのか知りたい



マルチボディダイナミクスを使い、
下肢を4つの剛体で定義して解析
(筋骨格モデルを使用)



筋負荷減少を数字で示す

数値的根拠に基づいた評価

マルチボディダイナミクスを使った製品開発事例

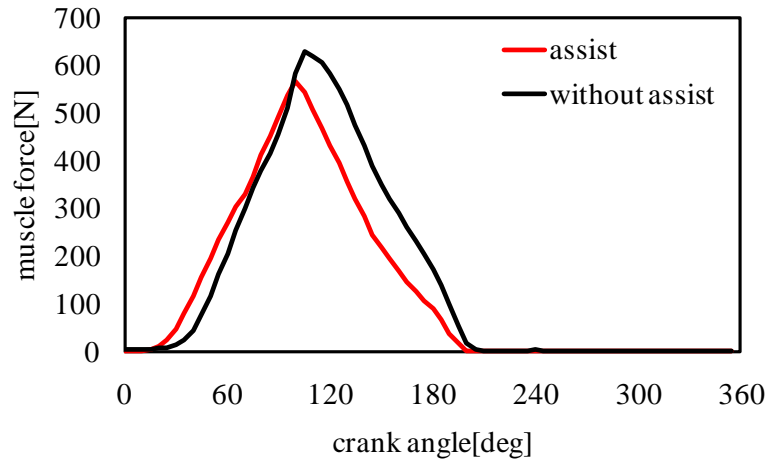
電動アシスト付き自転車の評価（結果の例）



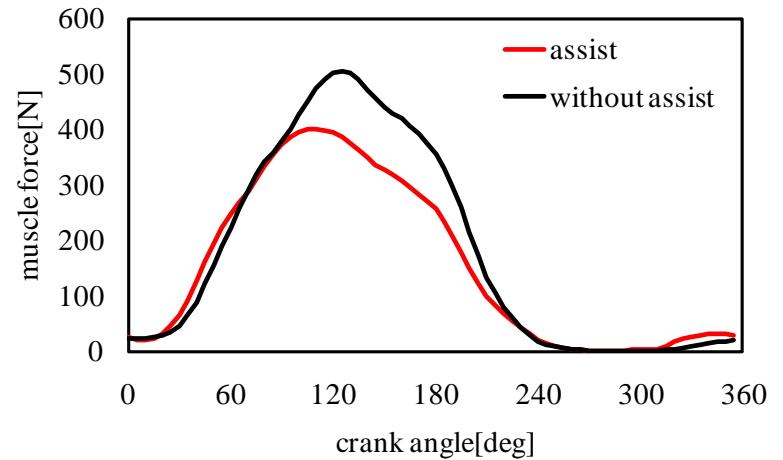
マルチボディダイナミクスを使った製品開発事例

電動アシスト付き自転車の評価（結果の例）

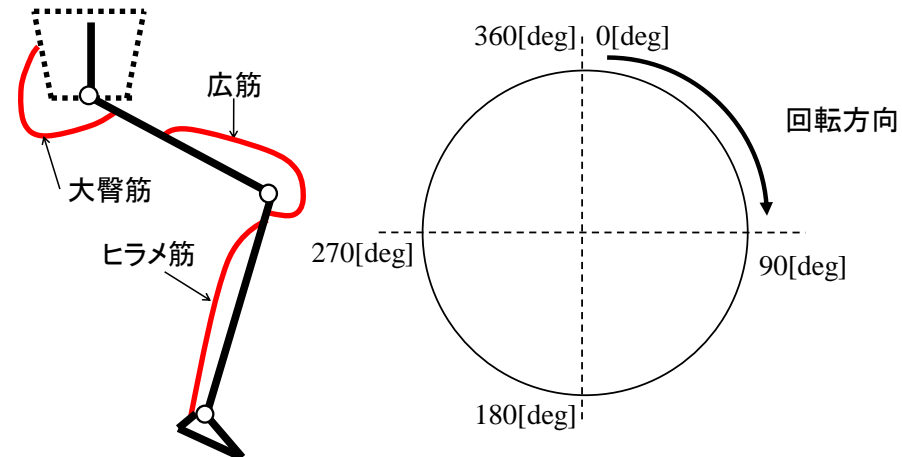
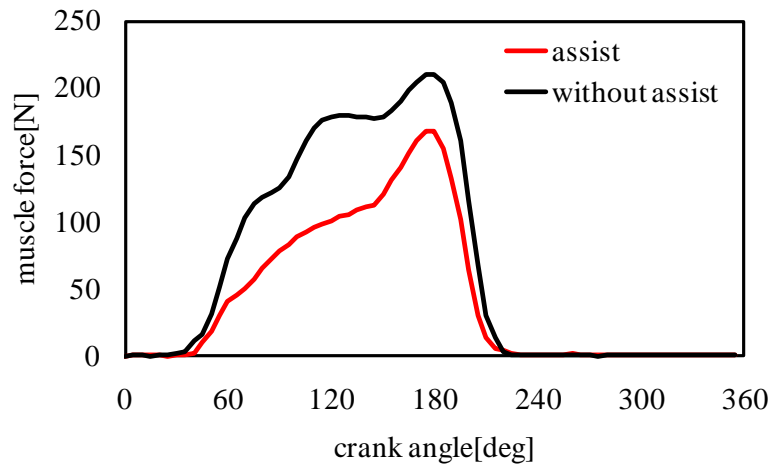
広筋



ヒラメ筋



大臀筋



こんな悩みはありませんか？

使う人の動きが
予想できない

負荷の違いが
みえない



せっかくつけた
機能の効果が
よくわからない

人の体の動きや
筋肉の動きが
わからない

人体や筋肉のモデルで解決できるかもしれません

人の姿勢や動きを
シミュレーション

設定を変えた場合の
負荷の違いを数値化



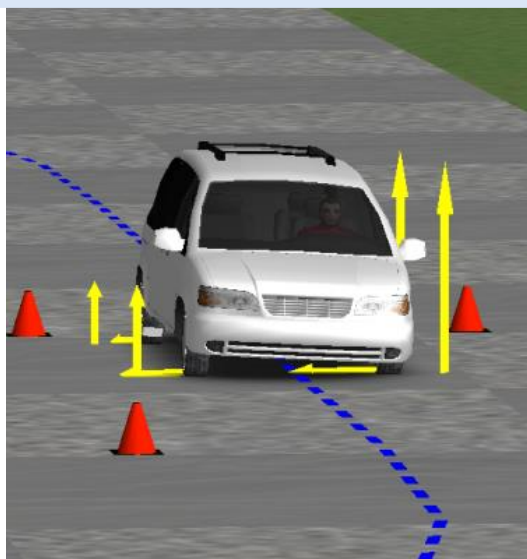
機能の効果を
数字で見て評価

人体の動きや
筋負荷を見える化

機械と人体の挙動の関係を分析

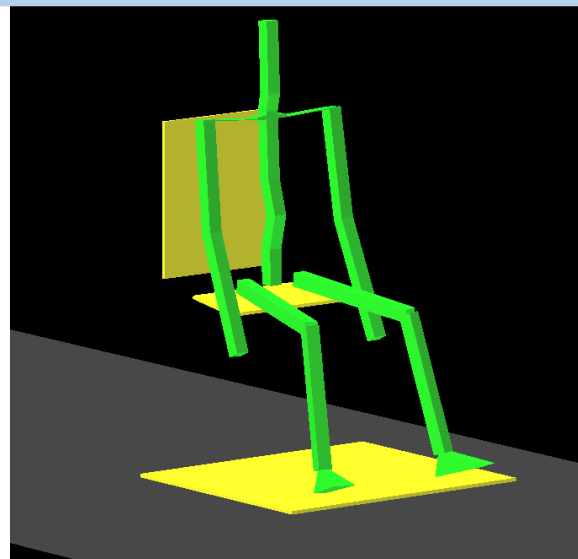
例 自動車と乗員

車両運動
(車両角度など)



車両モデル
(CarSim)

乗員の身体運動
接触点での反力



身体運動生成モデル

乗員の筋負荷
筋活性度



筋骨格モデル
(AnyBody)

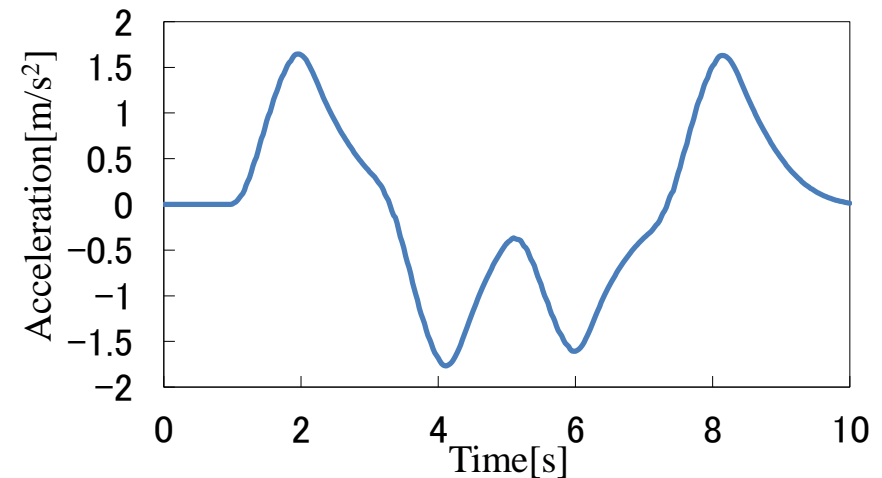
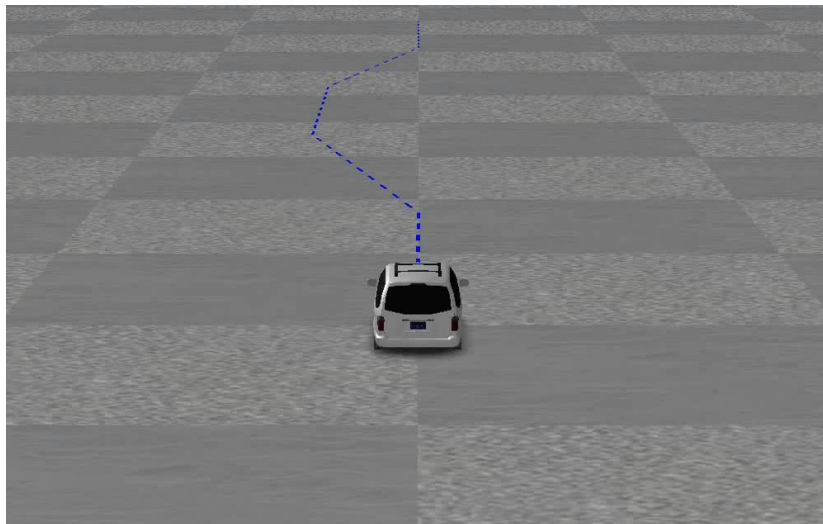
機械と人体の挙動の関係を分析

例 自動車と乗員

車両運動
(車両角度など)

乗員の身体運動
接触点での反力

乗員の筋負荷
筋活性度



横方向加速度 (0.15G)

車両モデル
(Simulink, CarSim)

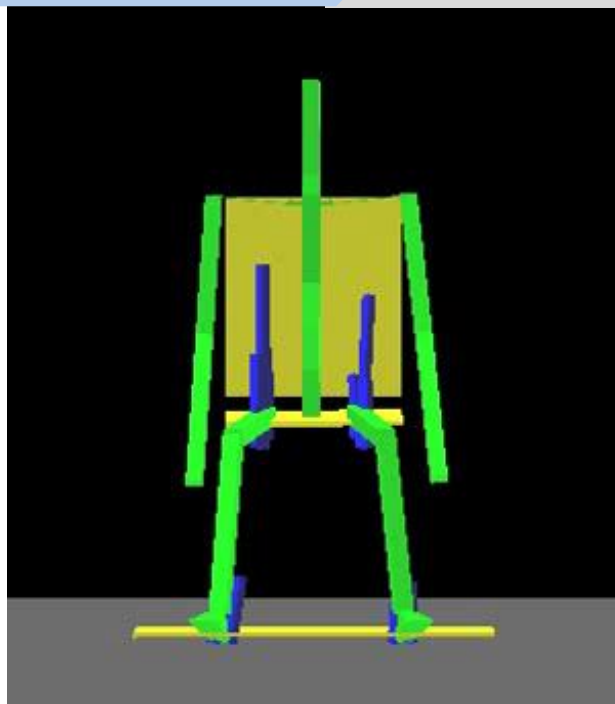
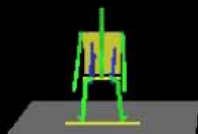
機械と人体の挙動の関係を分析

例 自動車と乗員

車両運動
(車両角度など)

乗員の身体運動
接触点での反力

乗員の筋負荷
筋活性度



身体運動
生成モデル

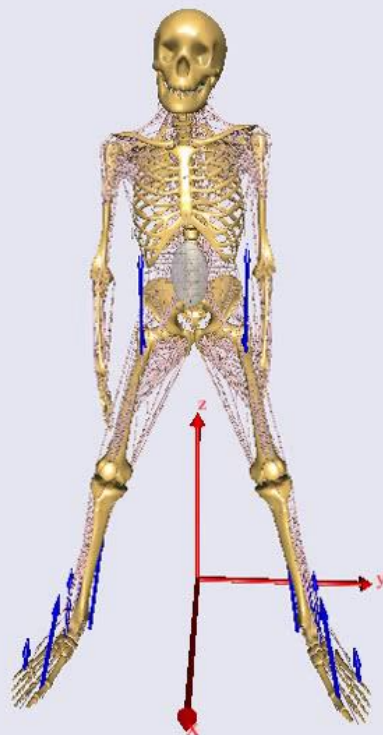
機械と人体の挙動の関係を分析

例 自動車と乗員

車両運動
(車両角度など)

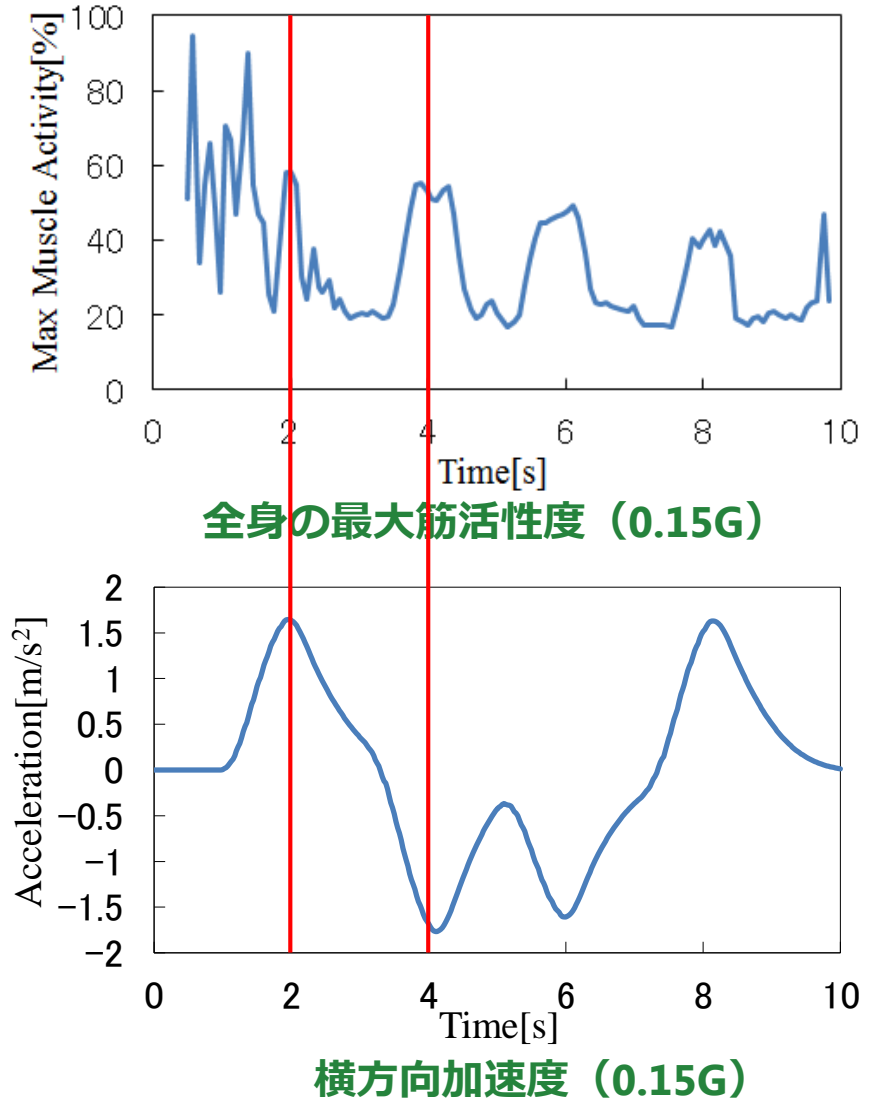
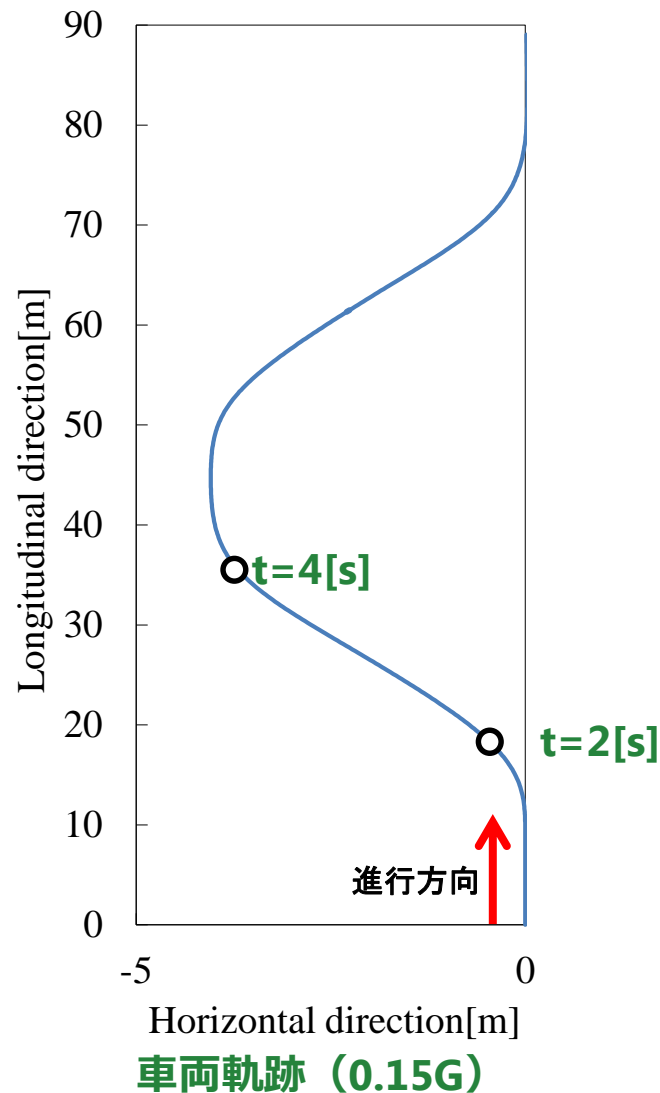
乗員の身体運動
接触点での反力

乗員の筋負荷
筋活性度



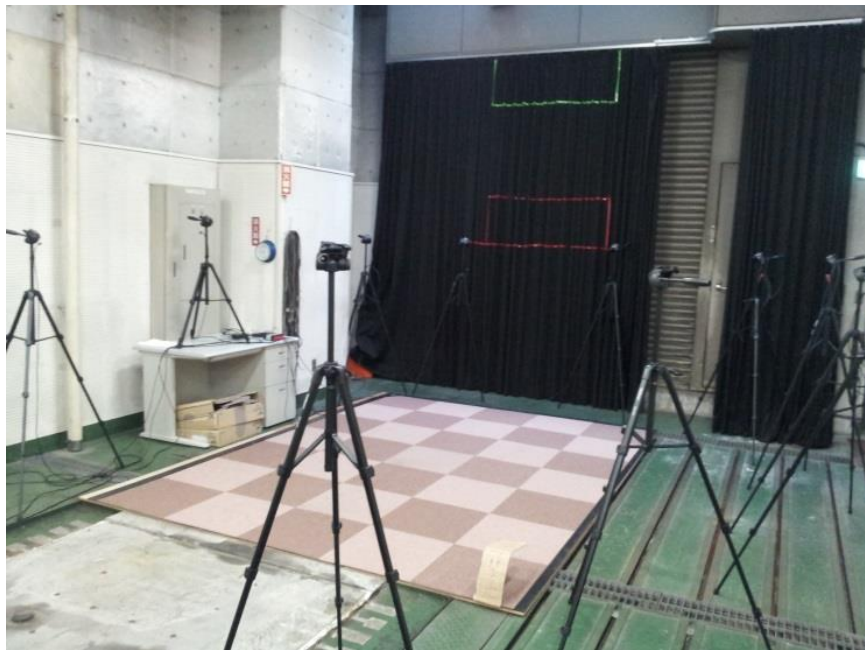
筋骨格モデル
(AnyBody)

■ 筋活性度と車両運動の関係について

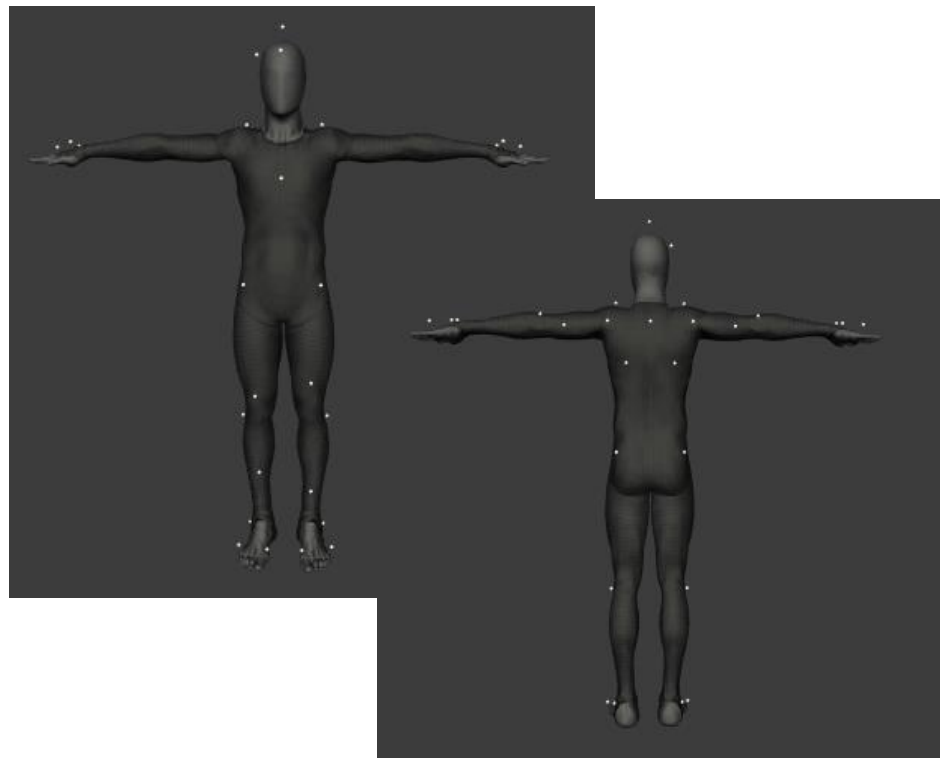


人体の動きを計測するモーションキャプチャ装置

モーションキャプチャ装置とは
カメラとマーカを使って、運動データを収集する装置

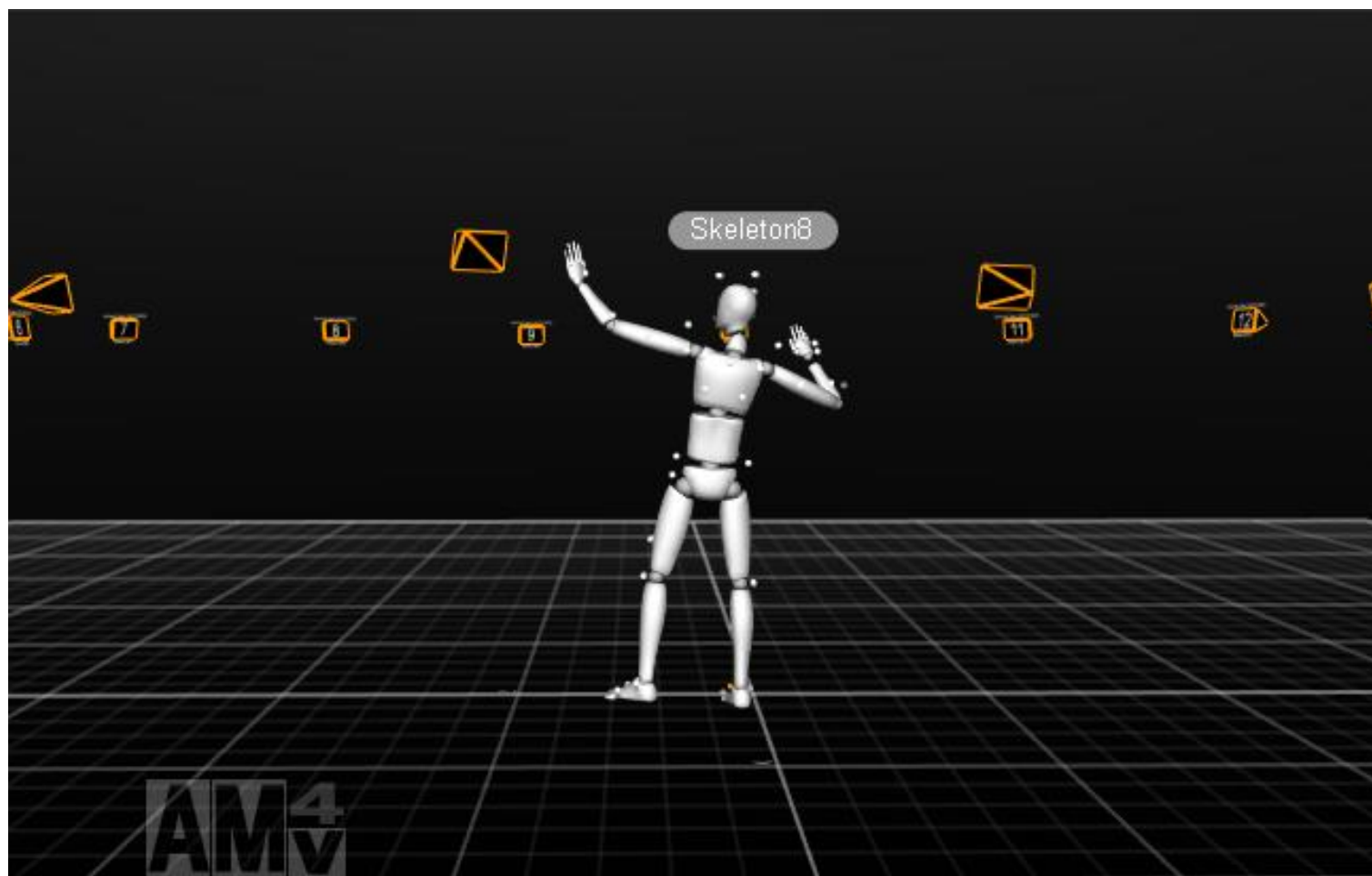


カメラを設置した実験室



計測用のスーツとマーカ

人体の動きを計測するモーションキャプチャ装置



例) スマッシュ動作の計測

こんな悩みはありませんか？

使い心地の
評価指標がない

もっと
省エネにしたい



アンケートを
開発に活かさない

機能をつけすぎて
コストがかかる

評価グリッド法を用いたアンケートで解決できるかもしれません

根拠に基づいた
使いやすさ

開発のヒントになる
アンケート

無駄な機能を省いて
省エネ性能向上

評価を下げずに
不要なスペックを
はずす



評価グリッド法を用いたアンケート項目の抽出

評価グリッド法とは
認知構造を同定するための方法

認知構造とは
人間が何を知覚して、
その結果どのような評価を
下しているかを示す構造

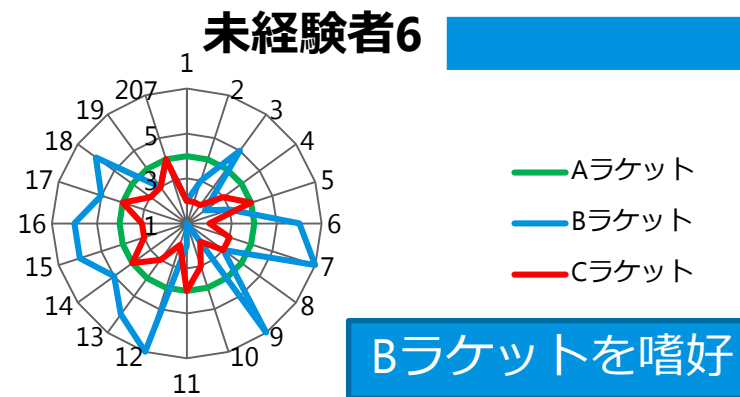
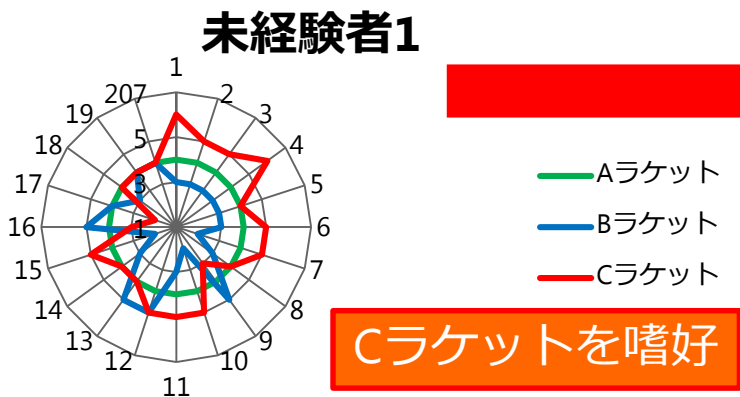
質問法
「ラダーリング法」を用いる



評価グリッド法が前提とする
人間の認知構造

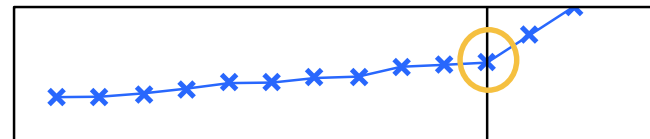
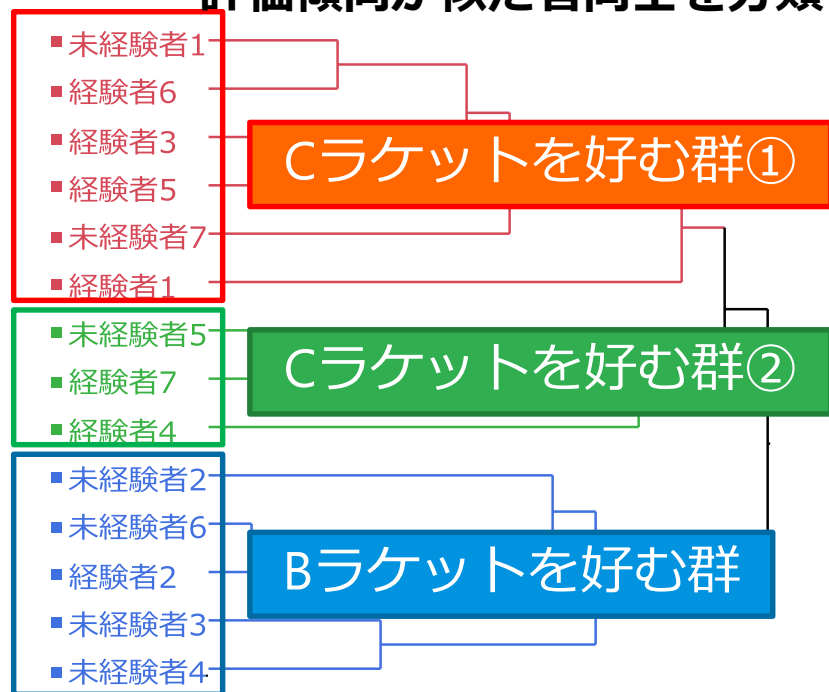
評価グリッド法を用いたアンケート項目の抽出 スポーツ用具の評価のためのアンケート例

①チャートによる分析



②クラスター分析

評価傾向が似た者同士を分類



③主成分分析

アンケートにより得られた26個の質問項目のデータを2つの指標に縮約

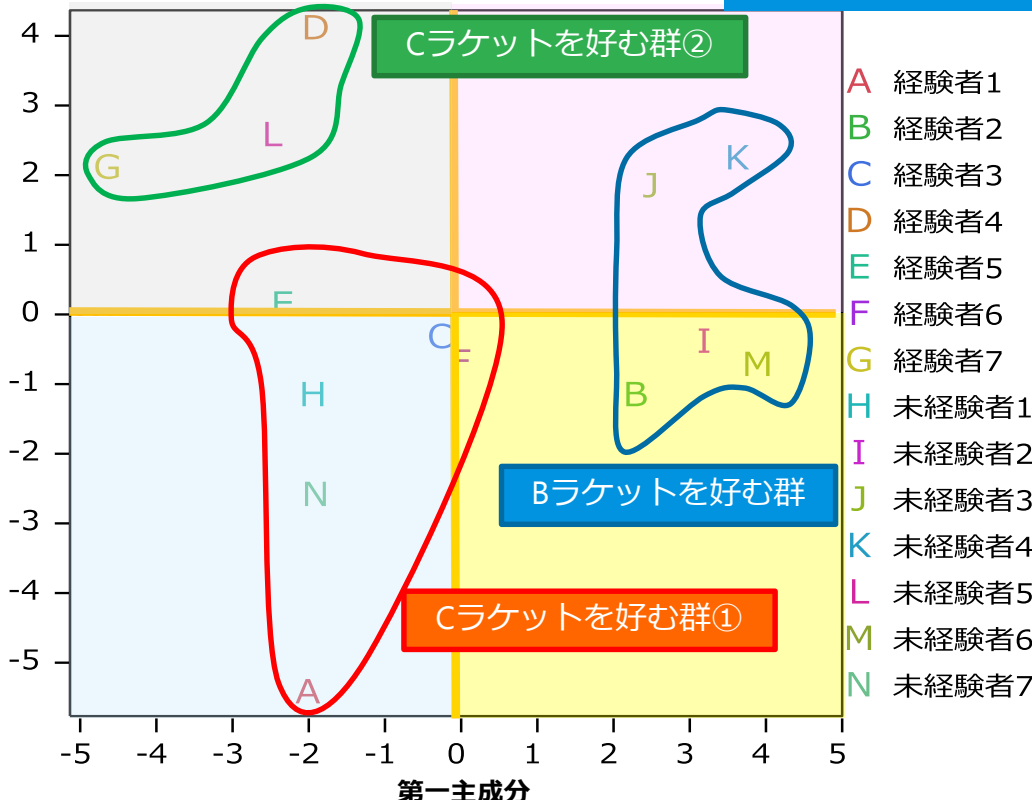
累積寄与率
約52%

$$\text{第一主成分 } Z_1 = 0.84895x_1 + 0.9195x_2 + \dots - 0.32397x_{26}$$

$$\text{第二主成分 } Z_2 = -0.03801x_1 - 0.28809x_2 - \dots - 0.71626x_{26}$$

26次元を2次元に縮約

主成分スコアプロット



第一主成分 Z_1

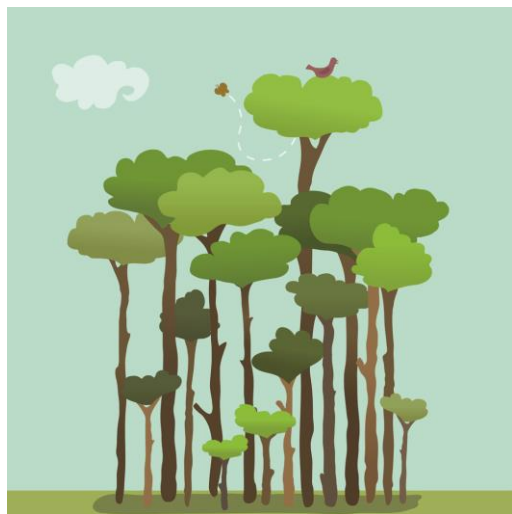


ラケットの総合的な嗜好に関する指標

第二主成分 Z_2



嗜好の中でのさらに細かい動向に関する指標



お問い合わせ先

上智大学 理工学部 機能創造理工学科 准教授 竹原昭一郎

〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町7-1 クルップホールK-326

(最寄駅：JR中央線、南北線、丸ノ内線 四ツ谷駅)

Tel : 03-3238-3863 E-mail : stakeha@sophia.ac.jp

HP : <http://pweb.sophia.ac.jp/takeha-labo/>