

ヒューマンデジタルツインを活用した 身体モビリティデザイン



産業技術総合研究所：多田 充徳



東京理科大学

東京理科大学：保原 浩明

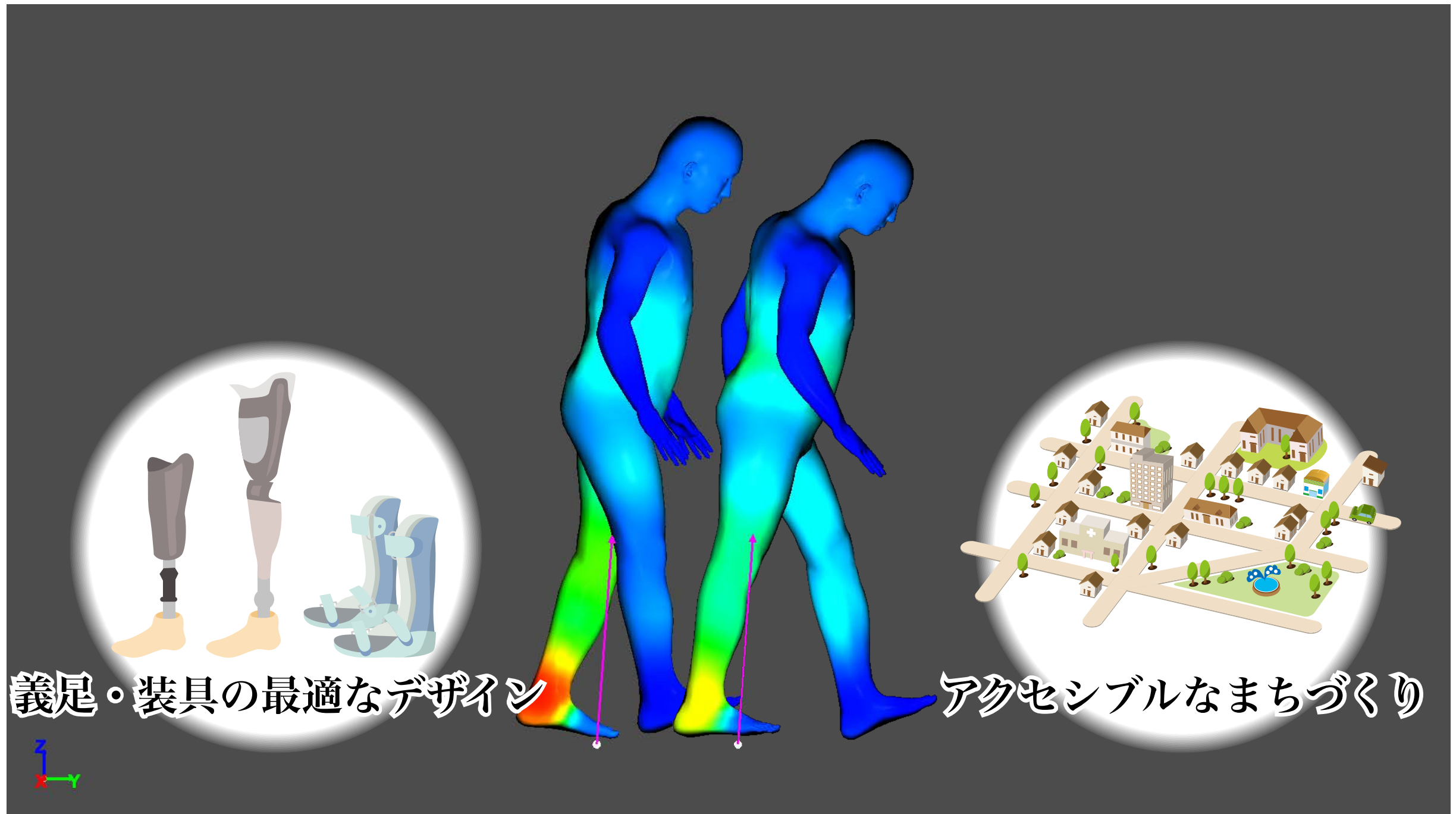


BionicM株式会社：孫 小軍



福祉のまちづくり研究所：戸田 晴貴

モチベーション：義足ユーザの支援



生活歩行データの収集と個人・社会のための活用

義足を介した身体モビリティデザイン

■ 現況の計測



リハビリ室内



日常生活中

■ 変容の予測



経験・ノウハウ



身体モデル・DB

■ 最適な介入



チューニング



制御・まちづくり

生活中的身体モビリティデータの個人と社会循環

主要な研究項目

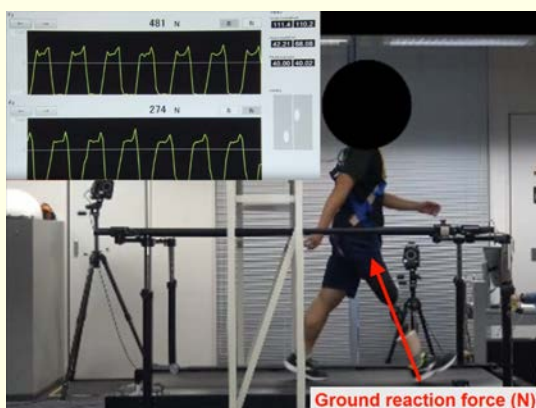
■ 現況の計測



簡易計測 (生活)

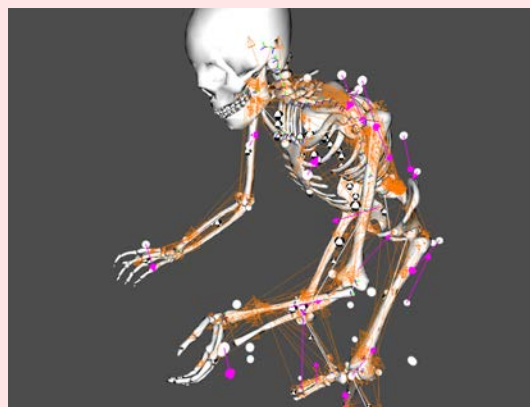


東京理科大学



詳細計測 (ラボ)

■ 変容の予測



モデル・短期予測

HYOGO
ASSISTECH



DB・長期予測

■ 最適な介入



義足制御

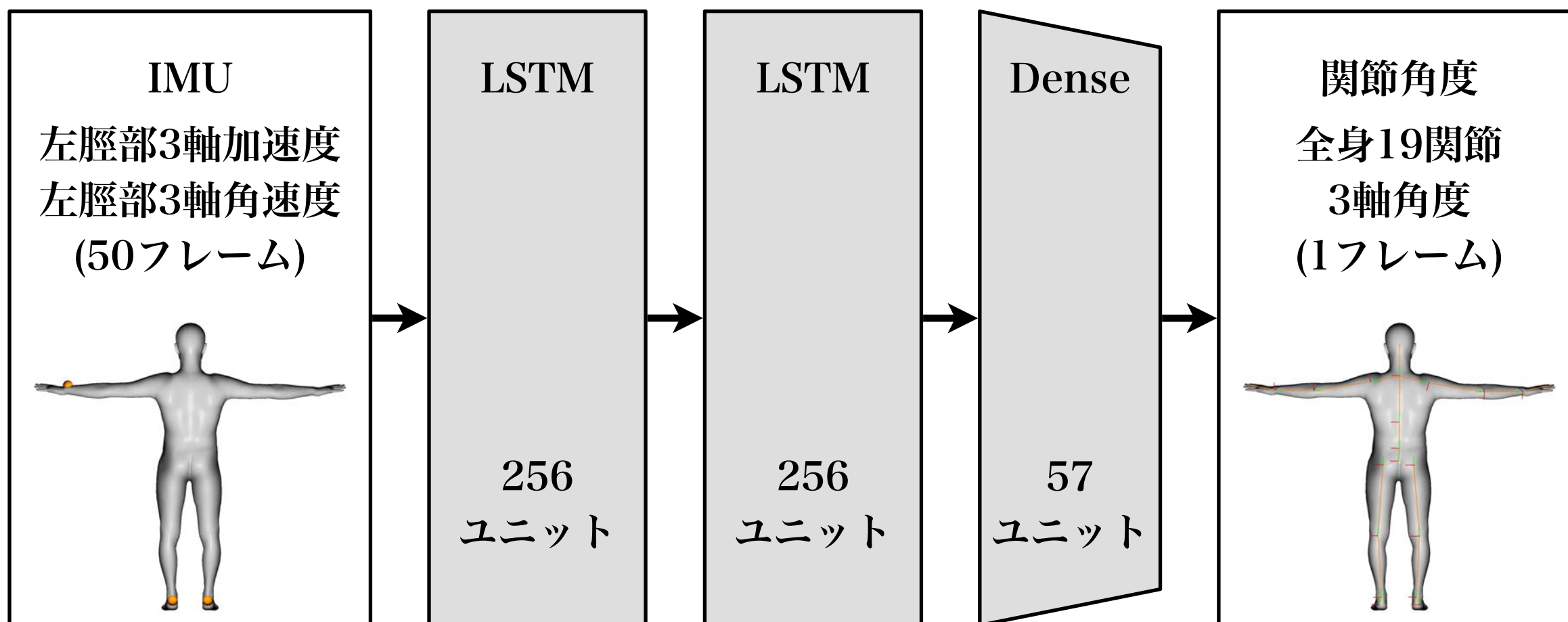


まちづくり

少数IMUと深層学習を用いた歩行運動推定

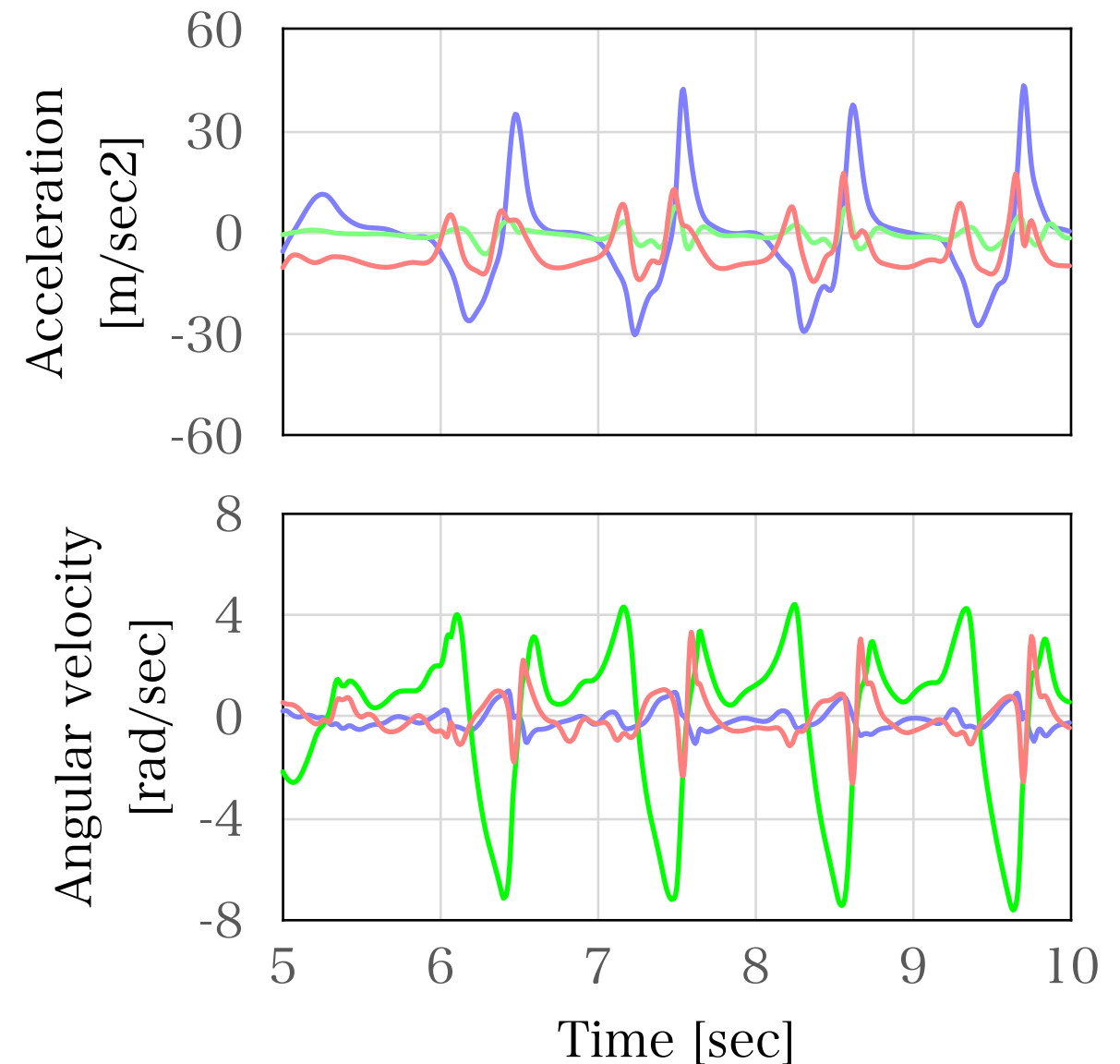
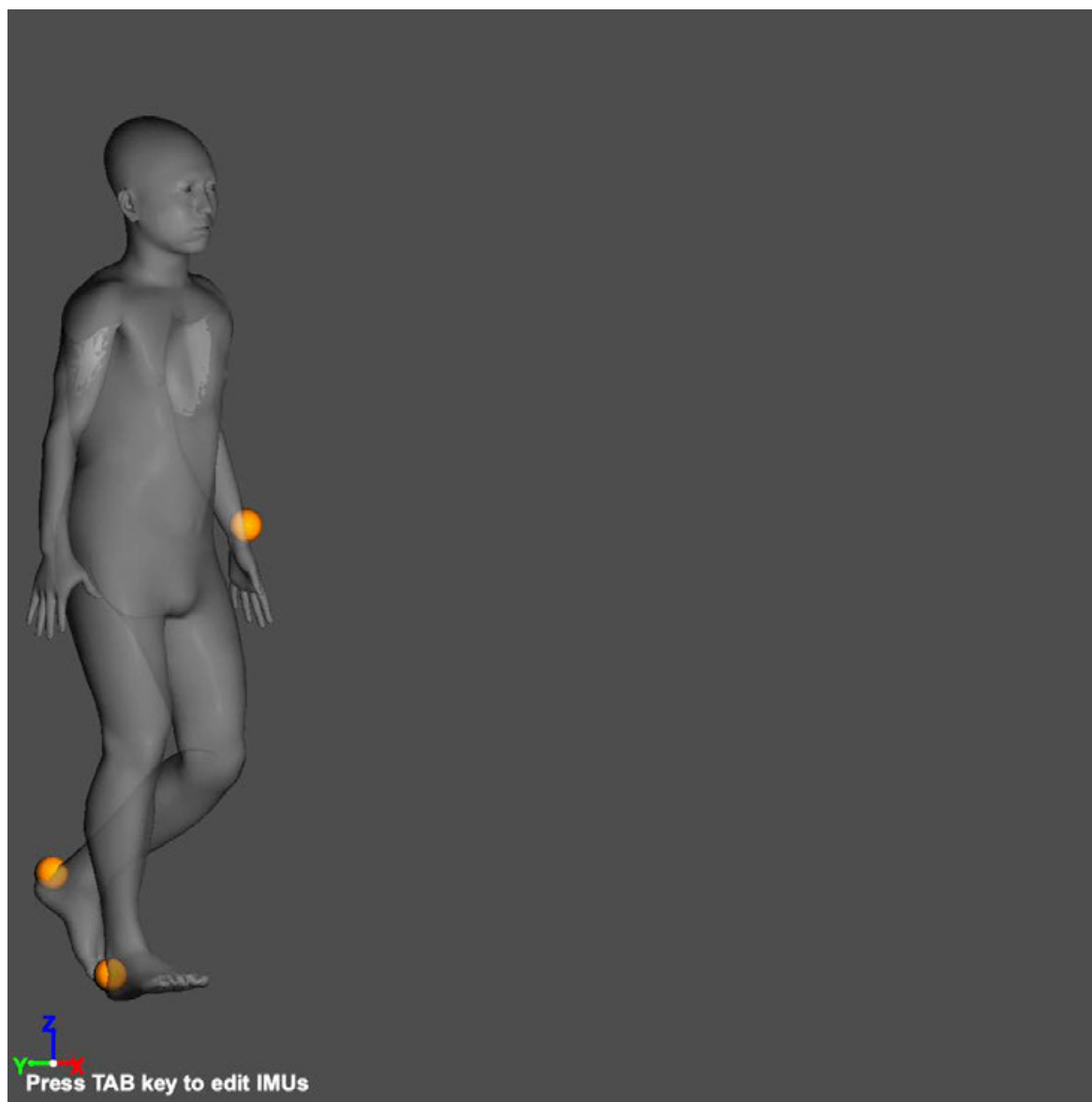
■ ネットワークアーキテクチャ

- 入力： $n \times 6$ 次元
 - IMUの数 $\times$ 3軸加速度 $\cdot$ 3軸角速度 (現フレーム + 過去49フレーム)
- 出力：57次元
 - 全身19関節の3軸角度 (現フレーム)



IMUデータオーグメンテーション

- 歩行データベースからのデータセット生成
 - 身体モデル体表面への仮想IMUの貼付
 - 仮想IMU位置における加速度・角速度の計算

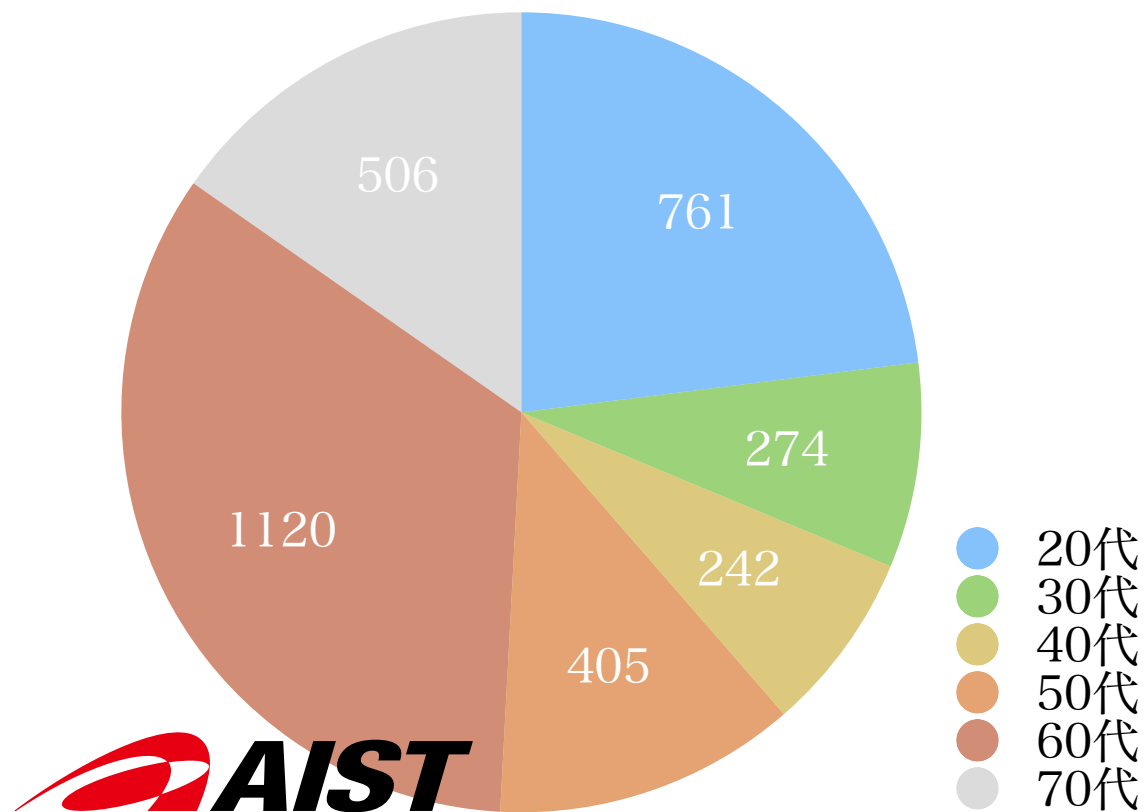


利用可能なデータベース

■ AIST歩行データベース

- 20から70代の健常者
- 被験者あたり5から10試行
 - 男性165名・1546試行
 - 女性185名・1762試行

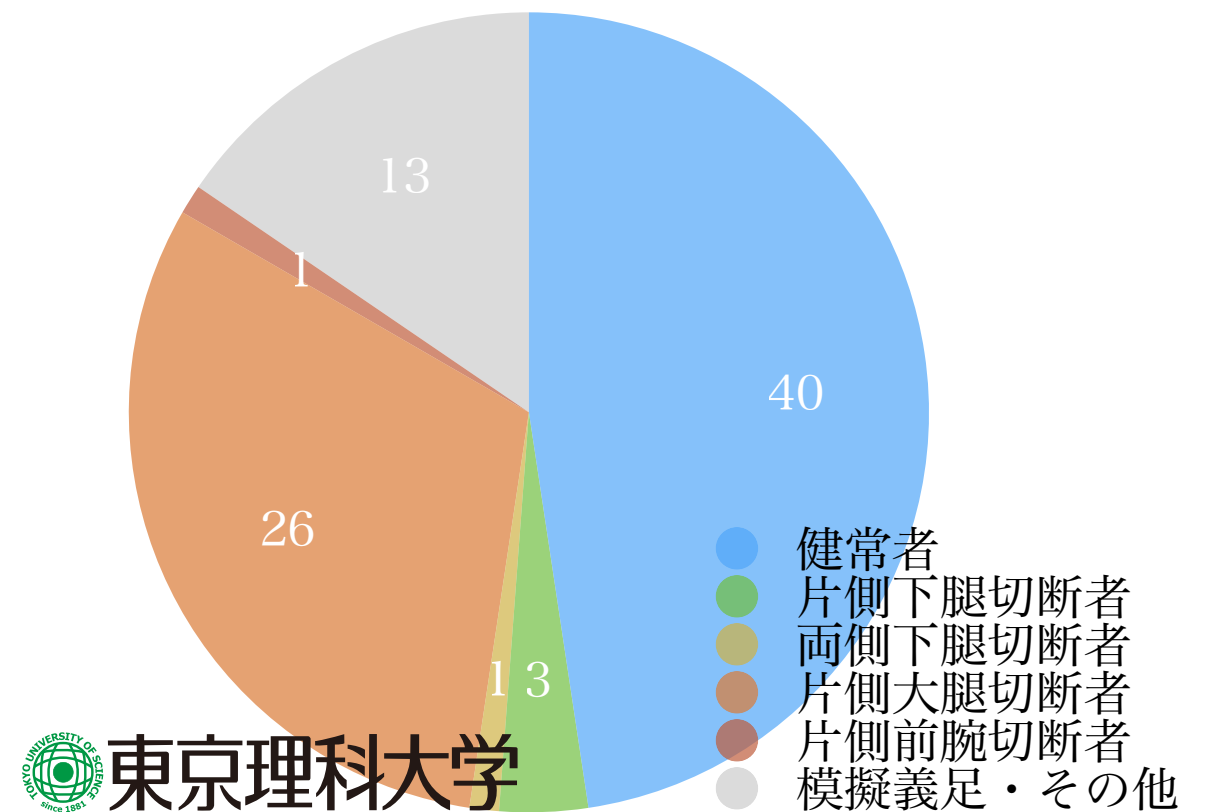
年代ごとの試行数



■ 理科大歩行データベース

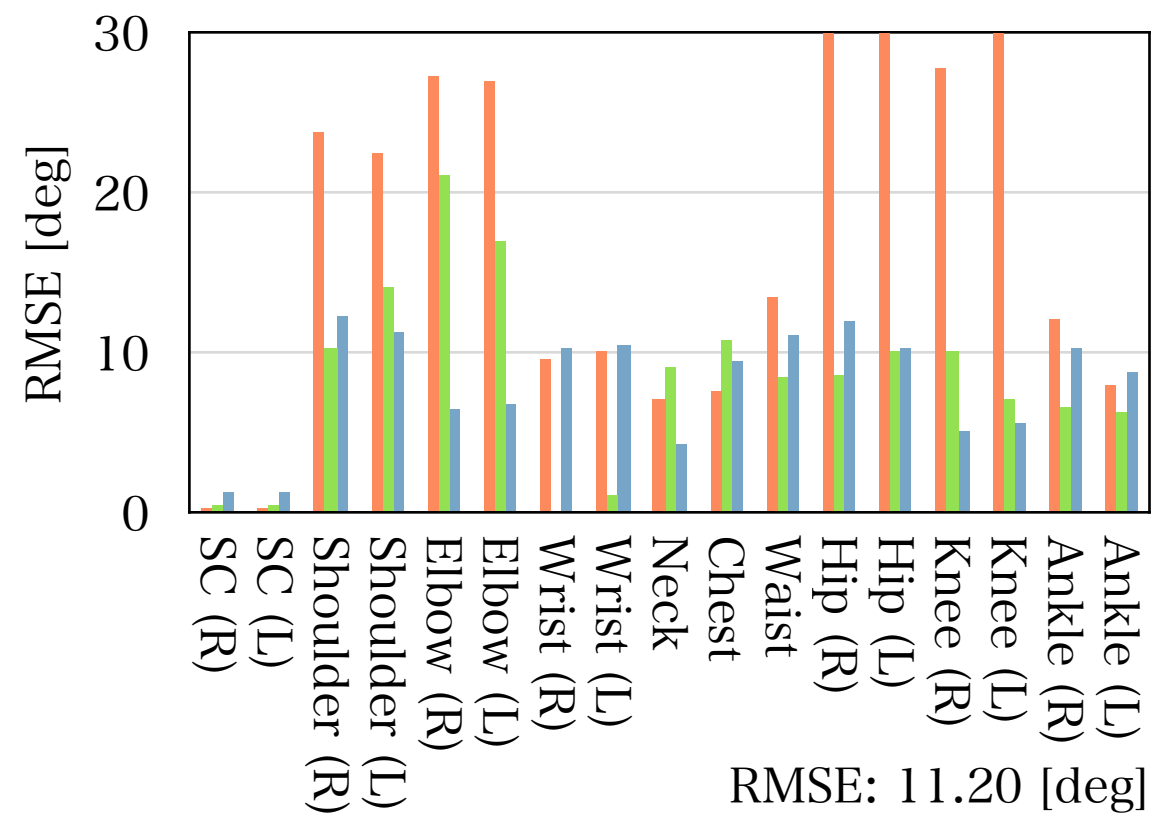
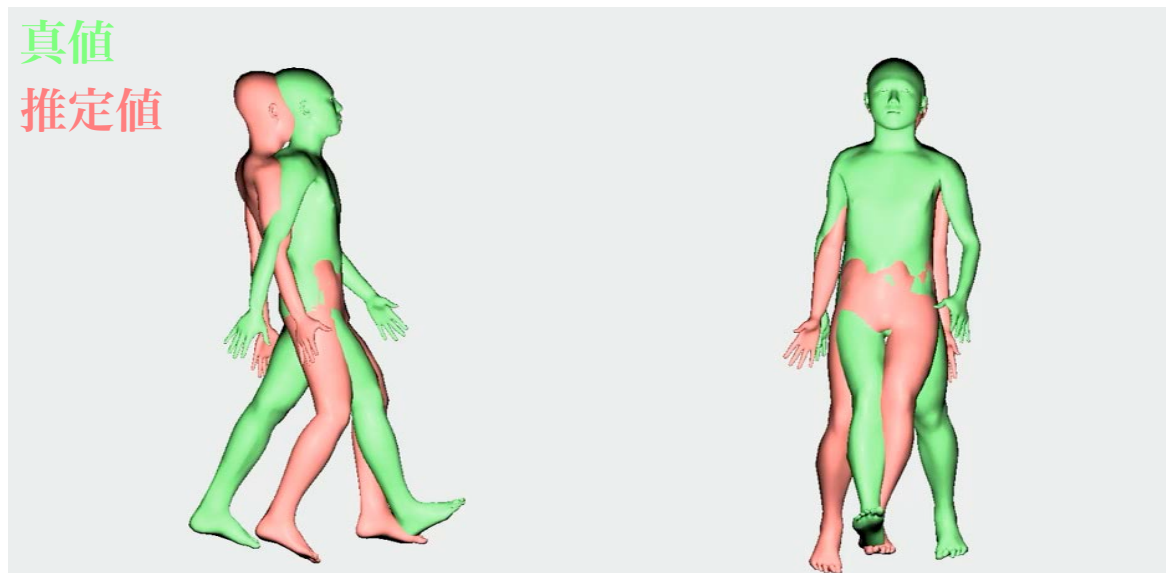
- 多様な生活者
 - 片側大腿切断者：26名
 - » 伸び上がりなし
 - » 伸び上がりあり
 - 片側下腿切断者：3名 他多数

身体特性ごとの試行数

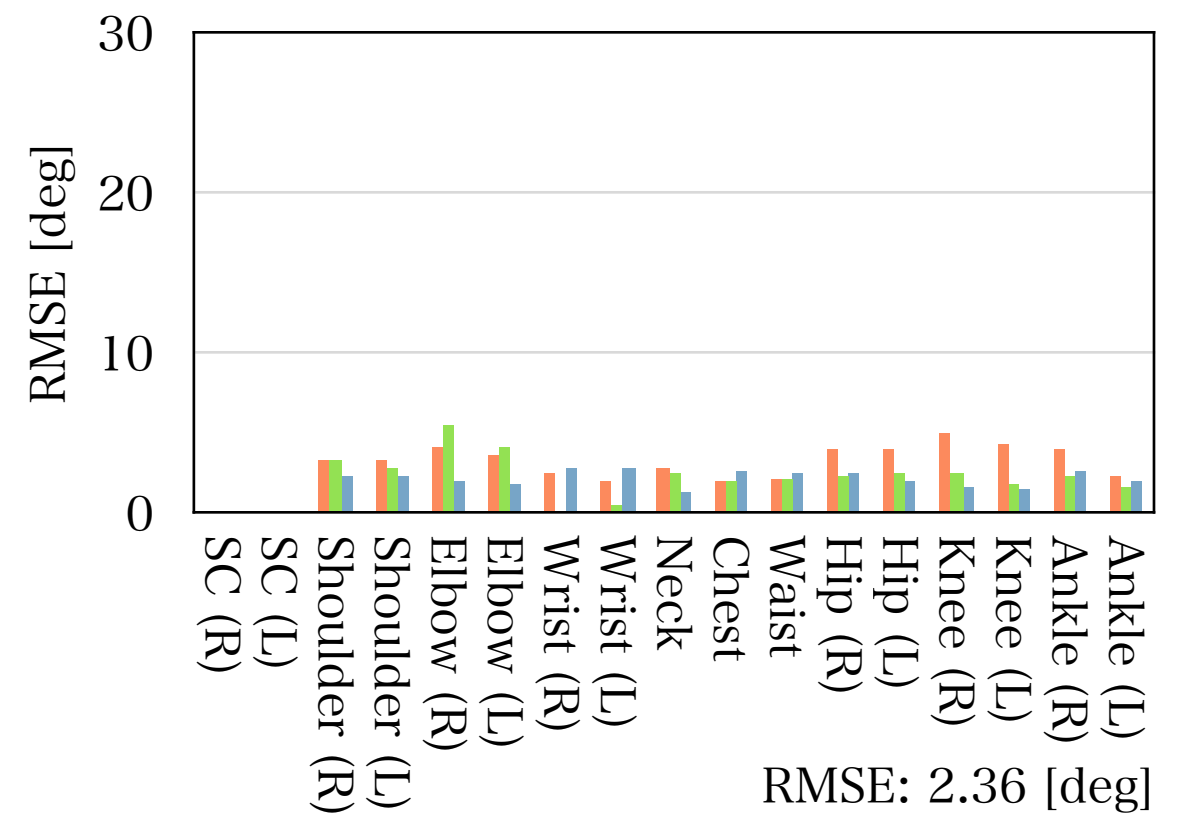
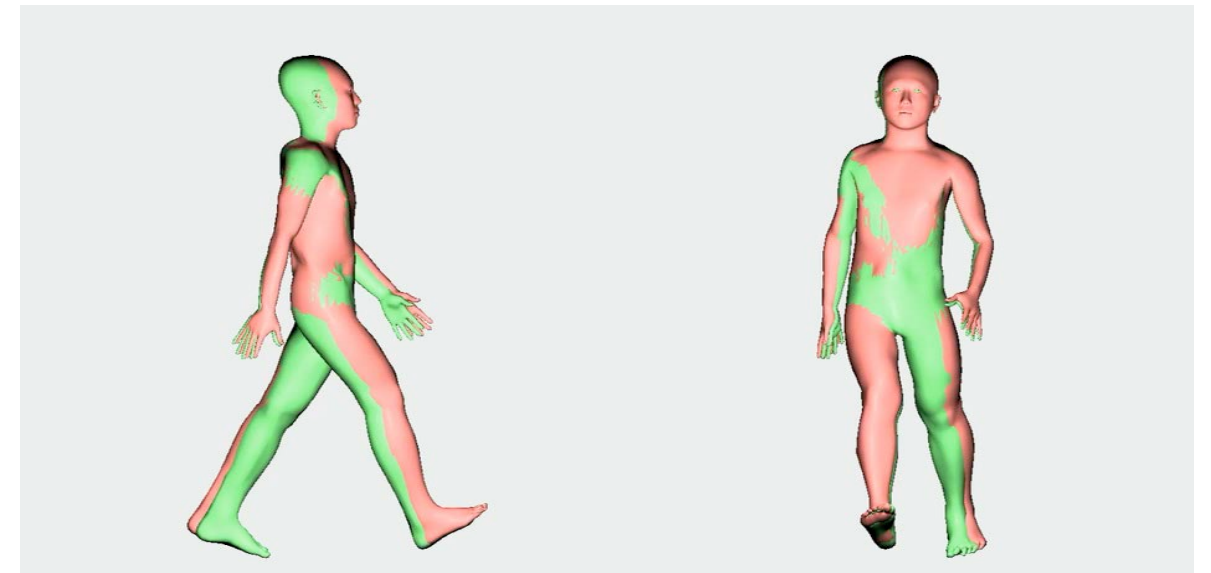


全身運動の推定結果

■ 健常者モデル



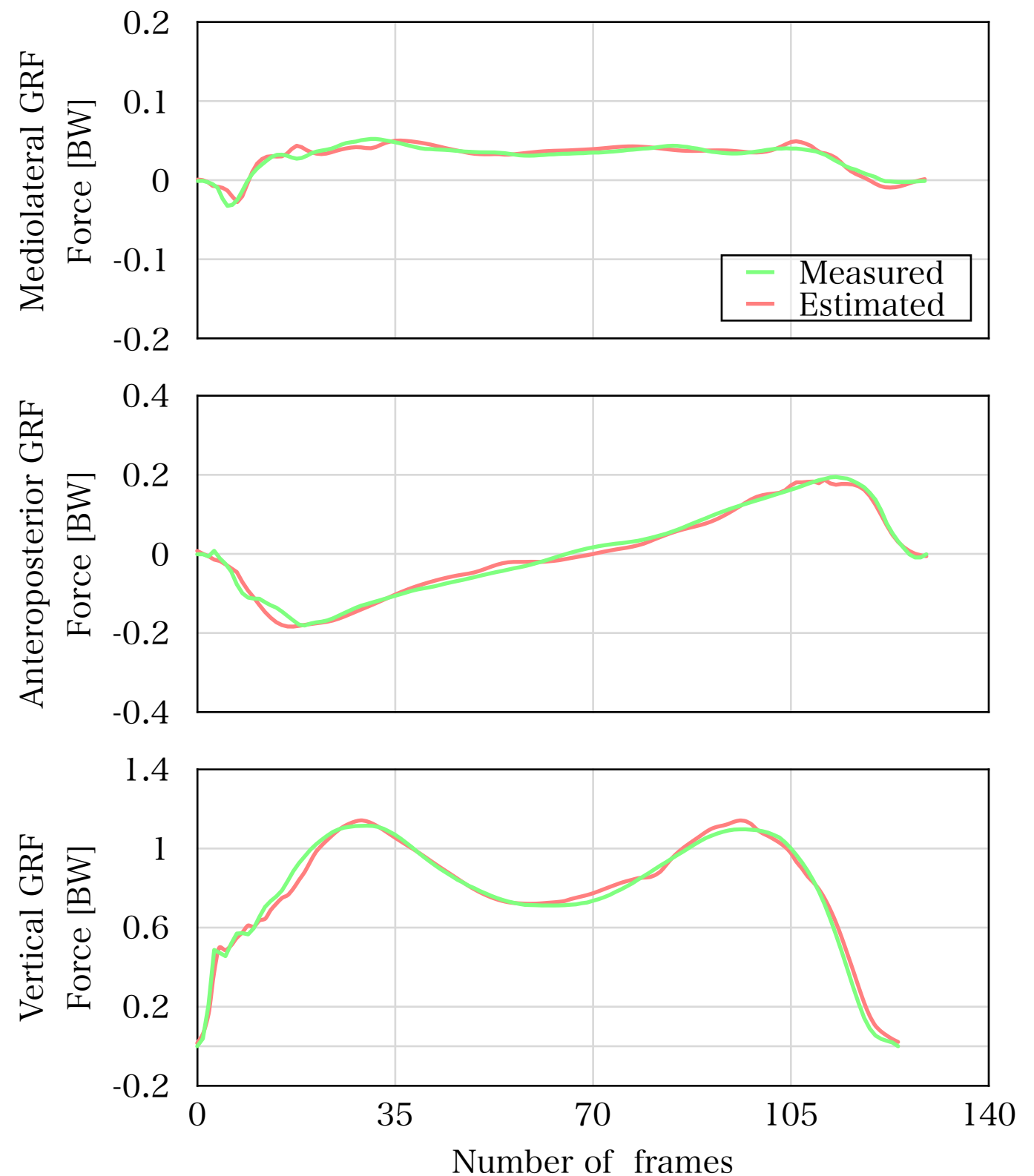
■ 個別化した健常者モデル



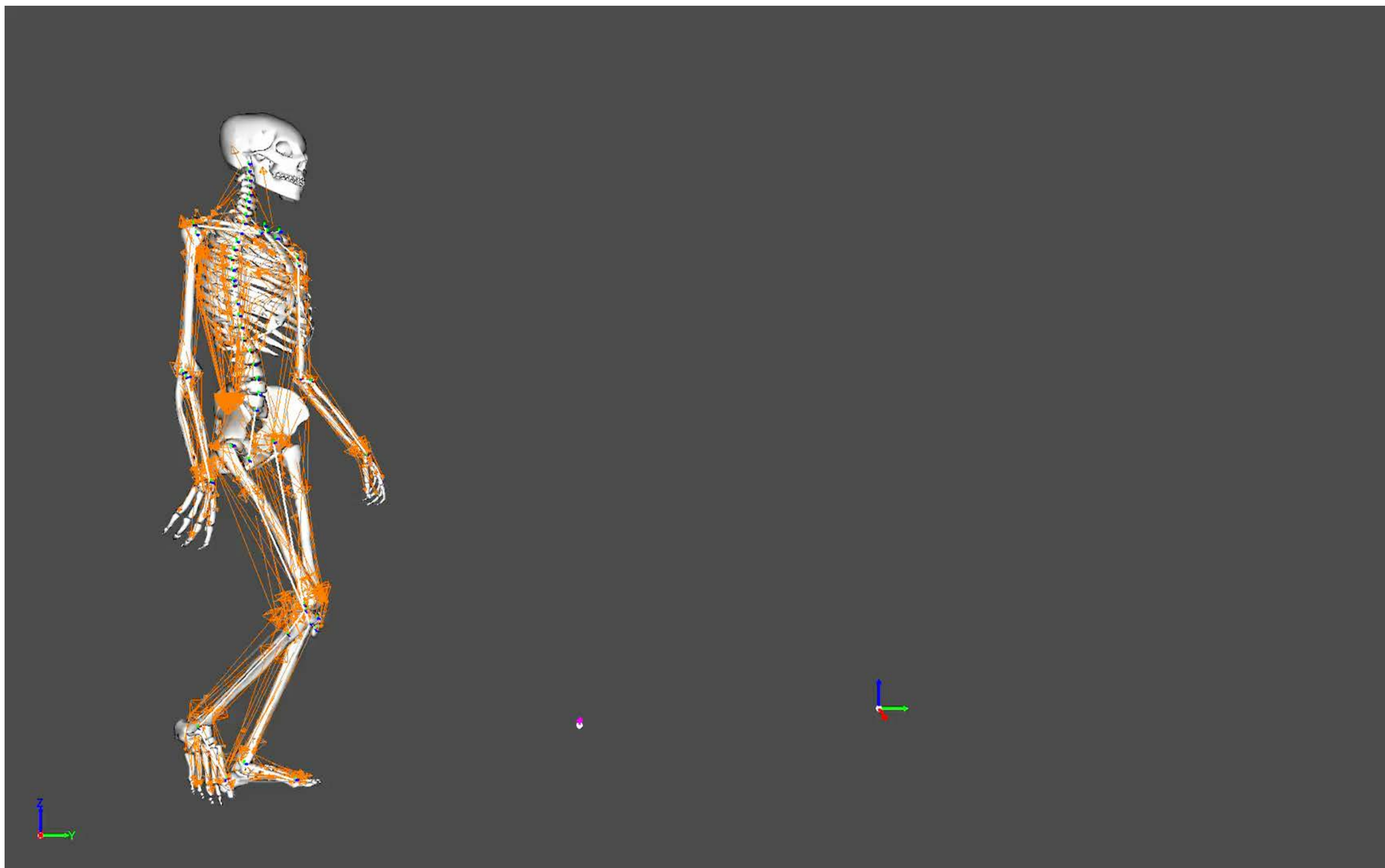
深層学習による地面反力の推定

■ IMU2Poseの拡張

- ネットワーク
 - LSTM2層
 - 全結合層
- 追加処理
 - 立脚期の検出
 - 立脚期のみ推論



全身運動 × 地面反力 = 全身動力学解析



神経筋骨格モデル：人のデジタルツイン

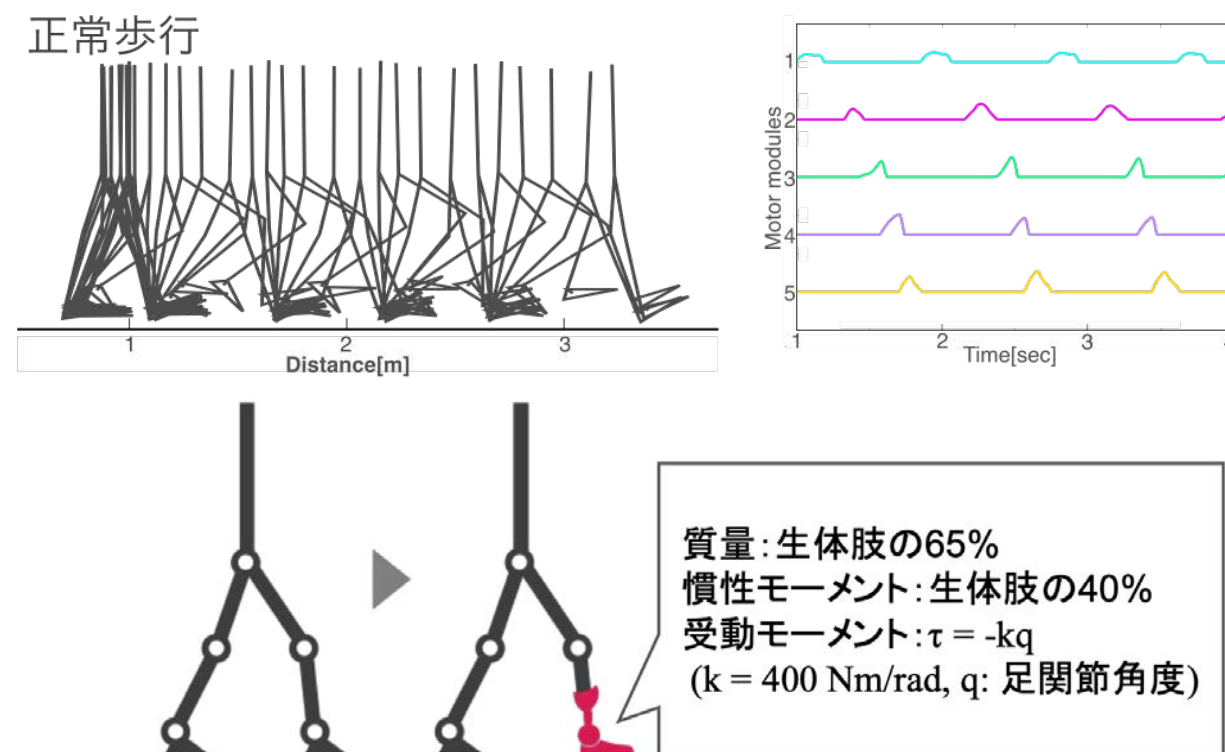
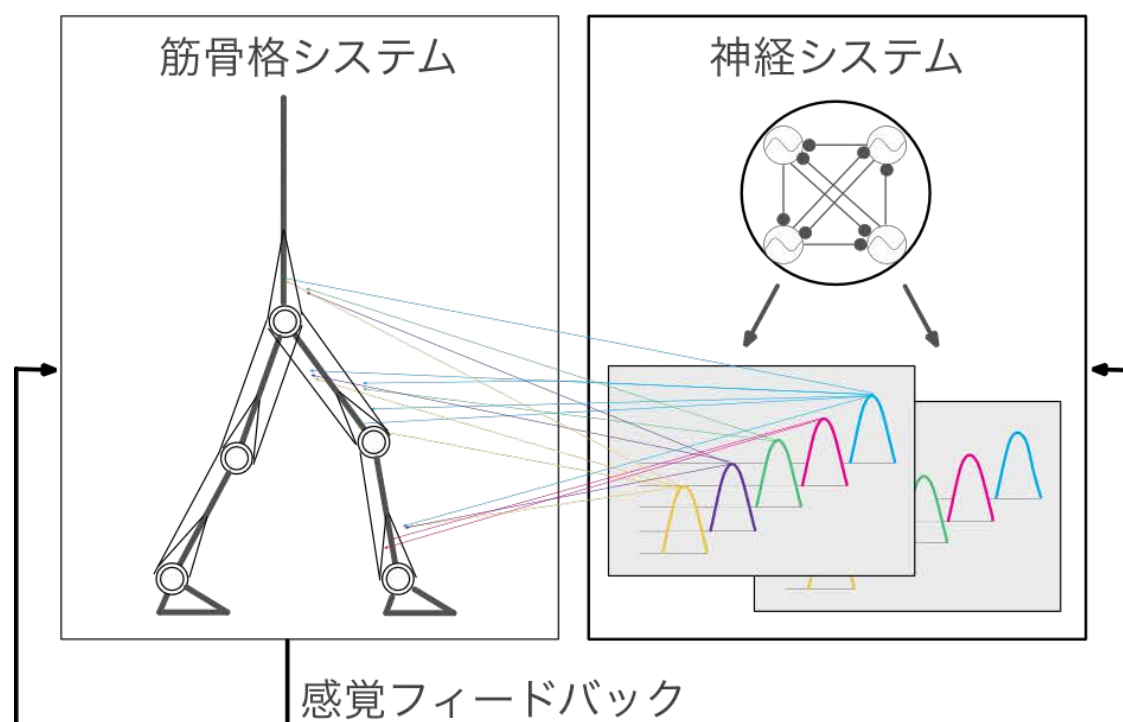
■ 義足特性や外部環境の変化による歩行運動変容の予測

— 神経筋骨格モデル

- 7リンク・18筋を有する筋骨格系
- 歩行リズムを生成する神経系 (CPGによる各筋肉の周期的な駆動)
- 関節角度や接地情報の筋骨格系・神経系へのフィードバック

— 下腿義足モデル

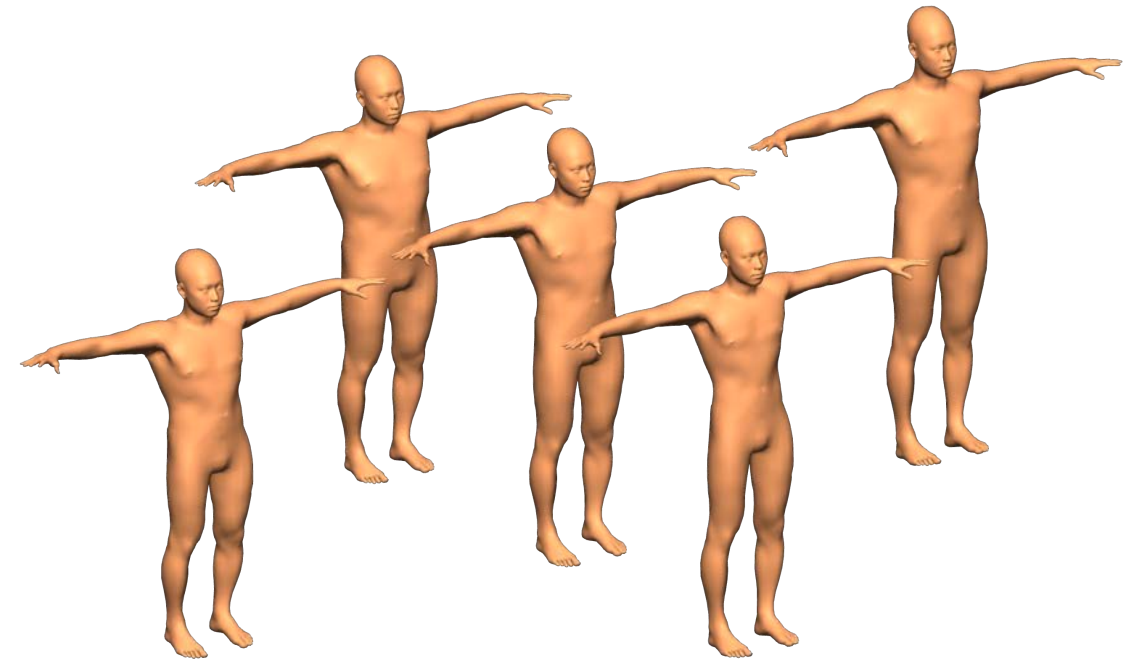
- 質量・慣性モーメント・受動モーメント



パラメータ探索による歩行の獲得

■ 既知パラメータ

- 各セグメントの長さ
- 質量特性
(重心・質量・慣性テンソル)
- データベースから参照可能



■ 未知パラメータ

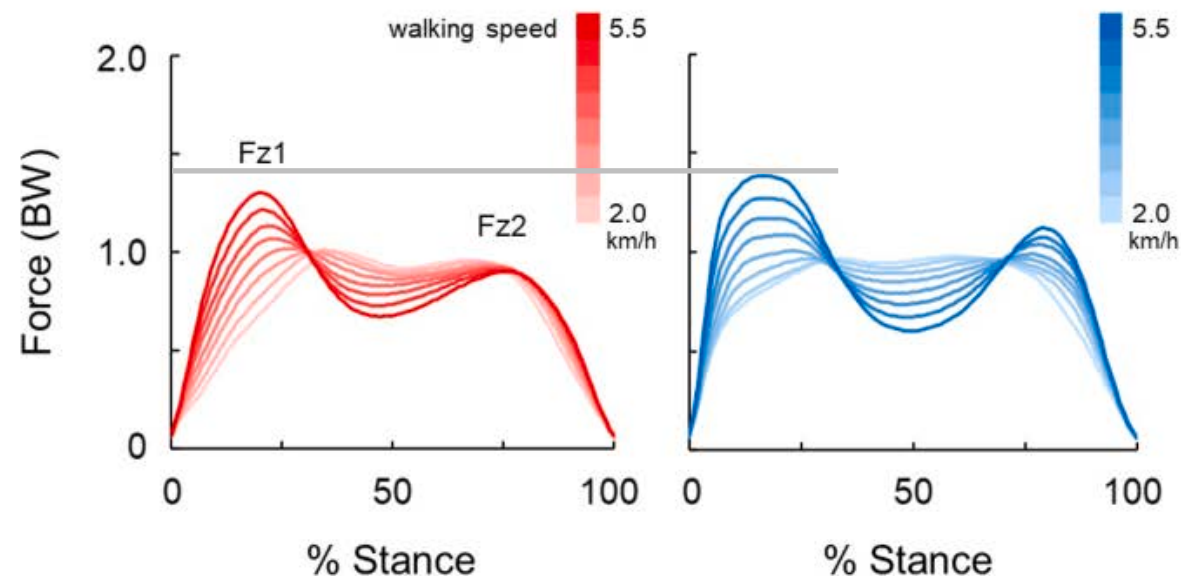
- 筋骨格モデル：最大筋張力
- 神経モデル：神経活動強度
- 遺伝的アルゴリズムを用いたパラメータ探索



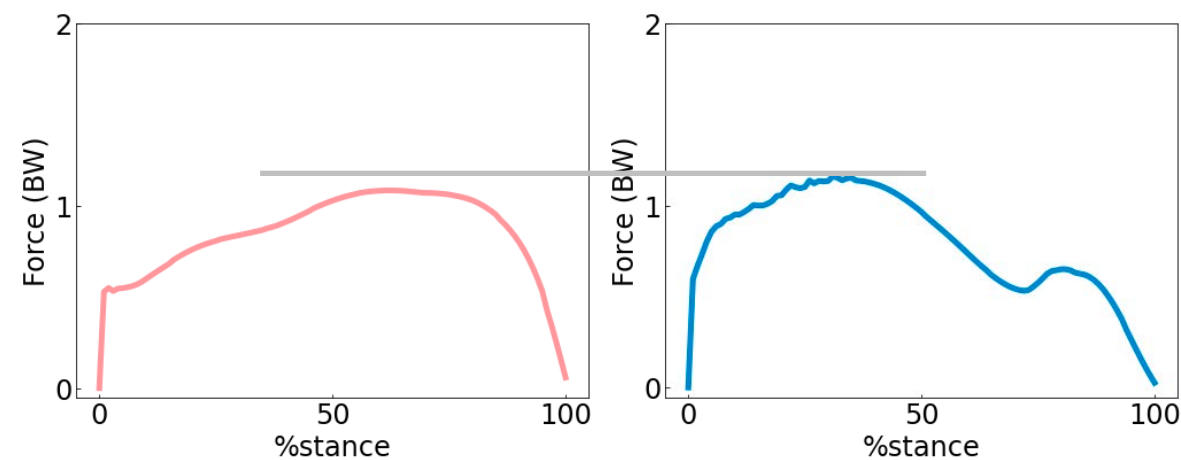
計測とシミュレーションの比較

■ 地面反力

— 実測



— シミュレーション

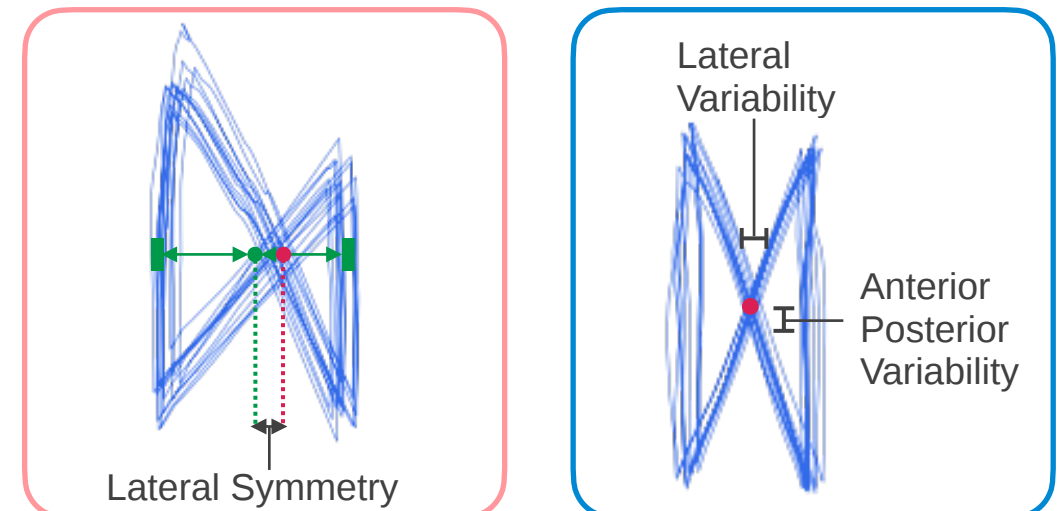


義足肢

健側肢

■ 左右非対称性

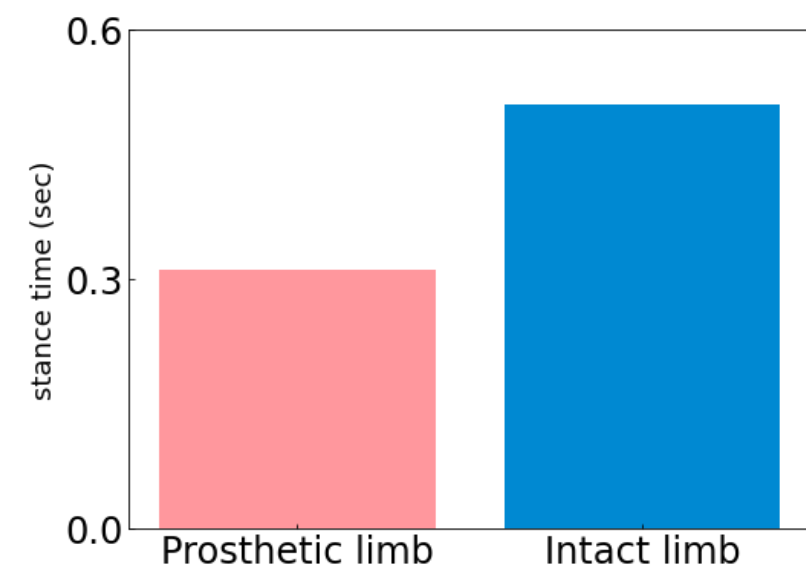
— 実測 (足底圧中心の軌跡)



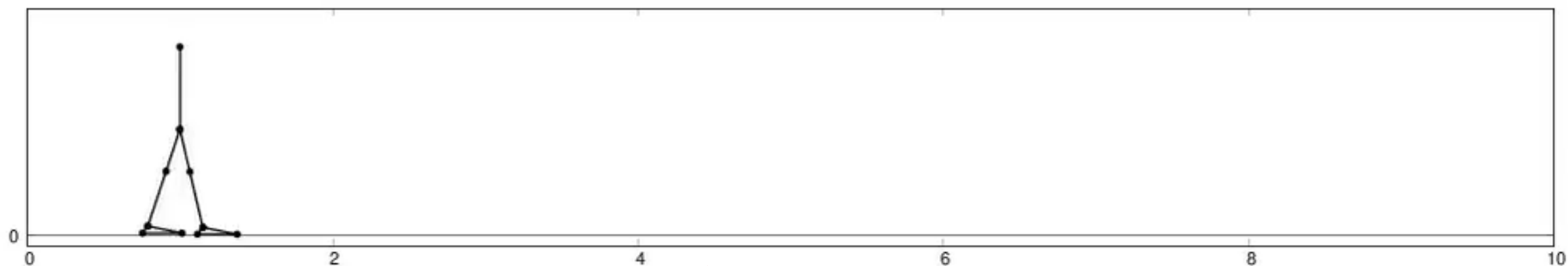
義足歩行

正常歩行

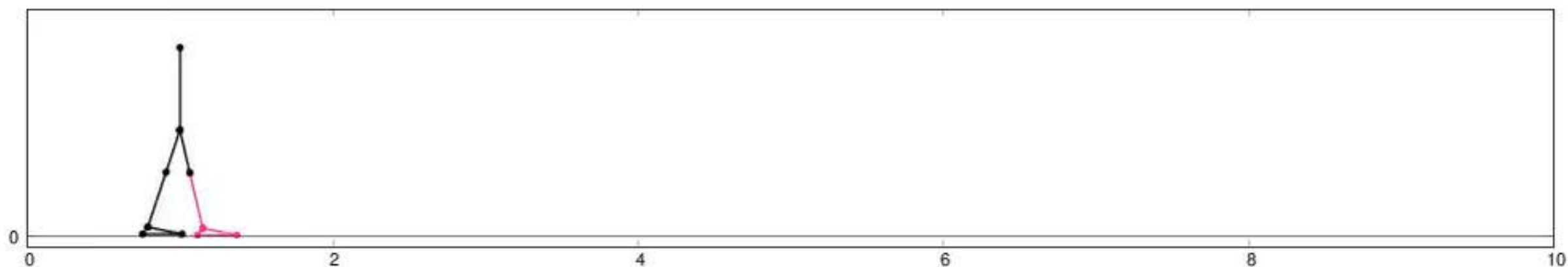
— シミュレーション (立脚)



様々な歩行の再現



健常者の歩行



大腿切断者の歩行

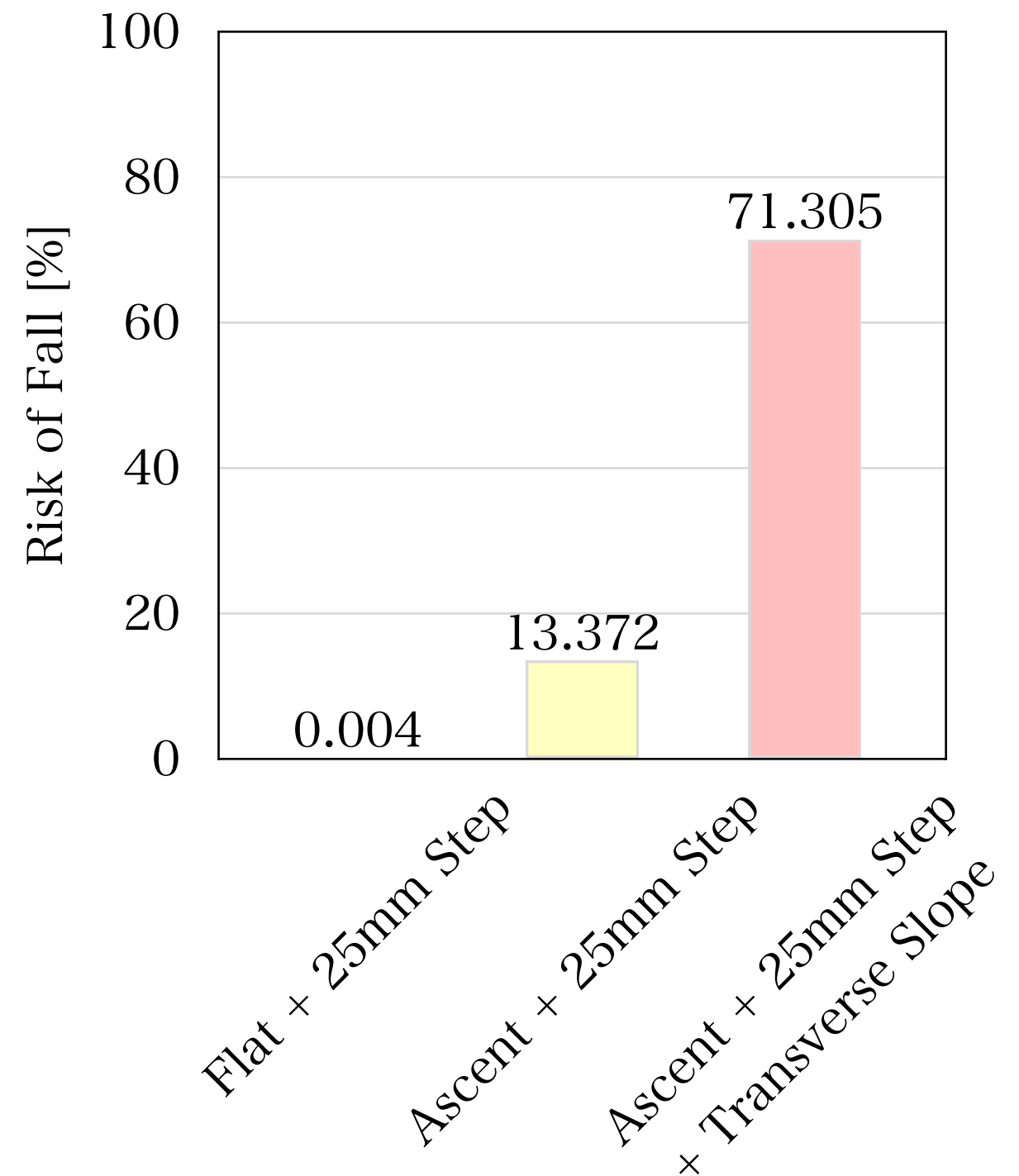


片麻痺患者の歩行

地形の違いが転倒リスクに与える影響

■ シミュレーション条件

- 平地 + 25mm 段差
- 登坂 + 25mm 段差
- 登坂 + 25mm 段差 + 横断傾斜

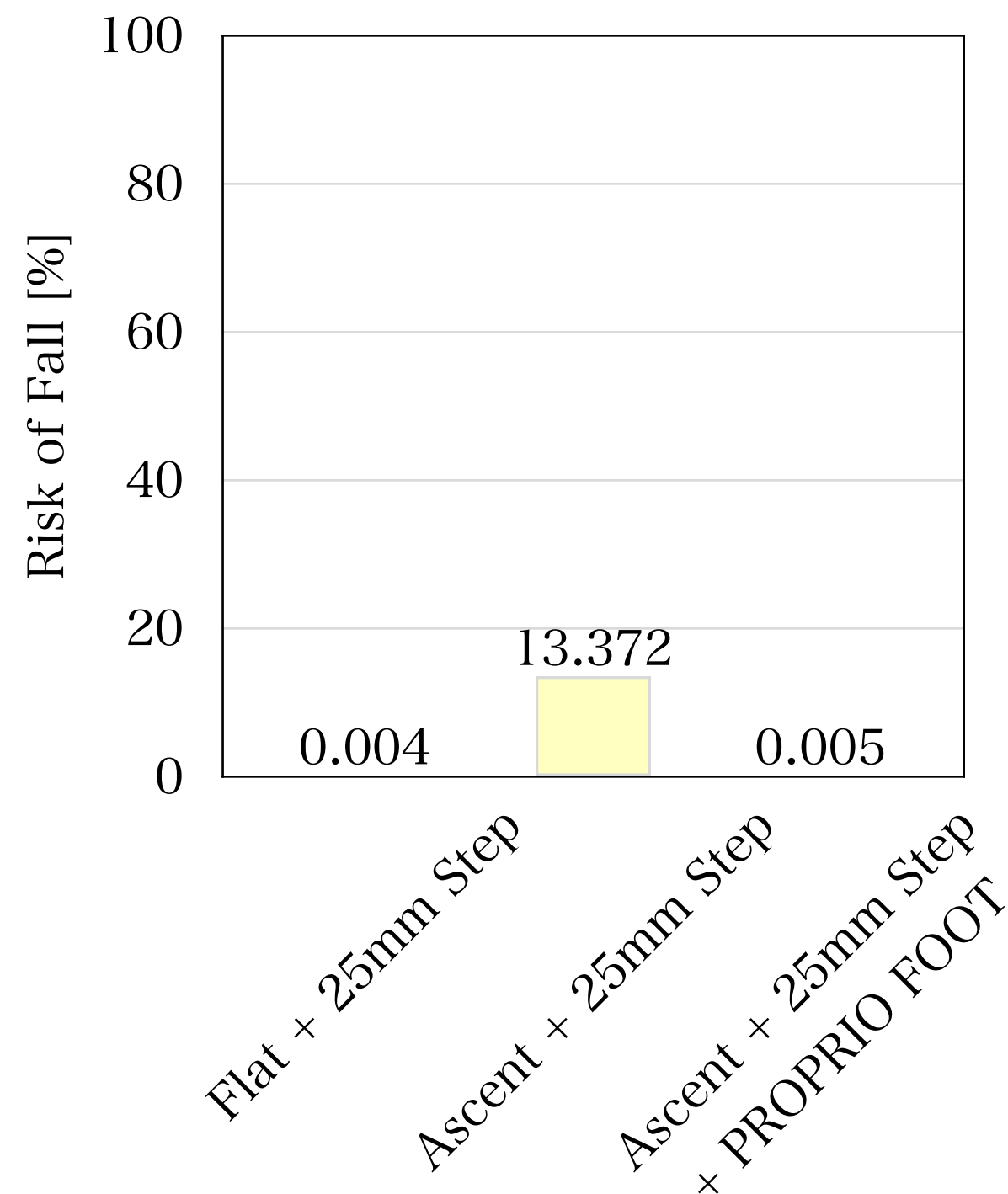


実際の歩行地形への適用

背屈支援機能が転倒リスクに与える影響

■ シミュレーション条件

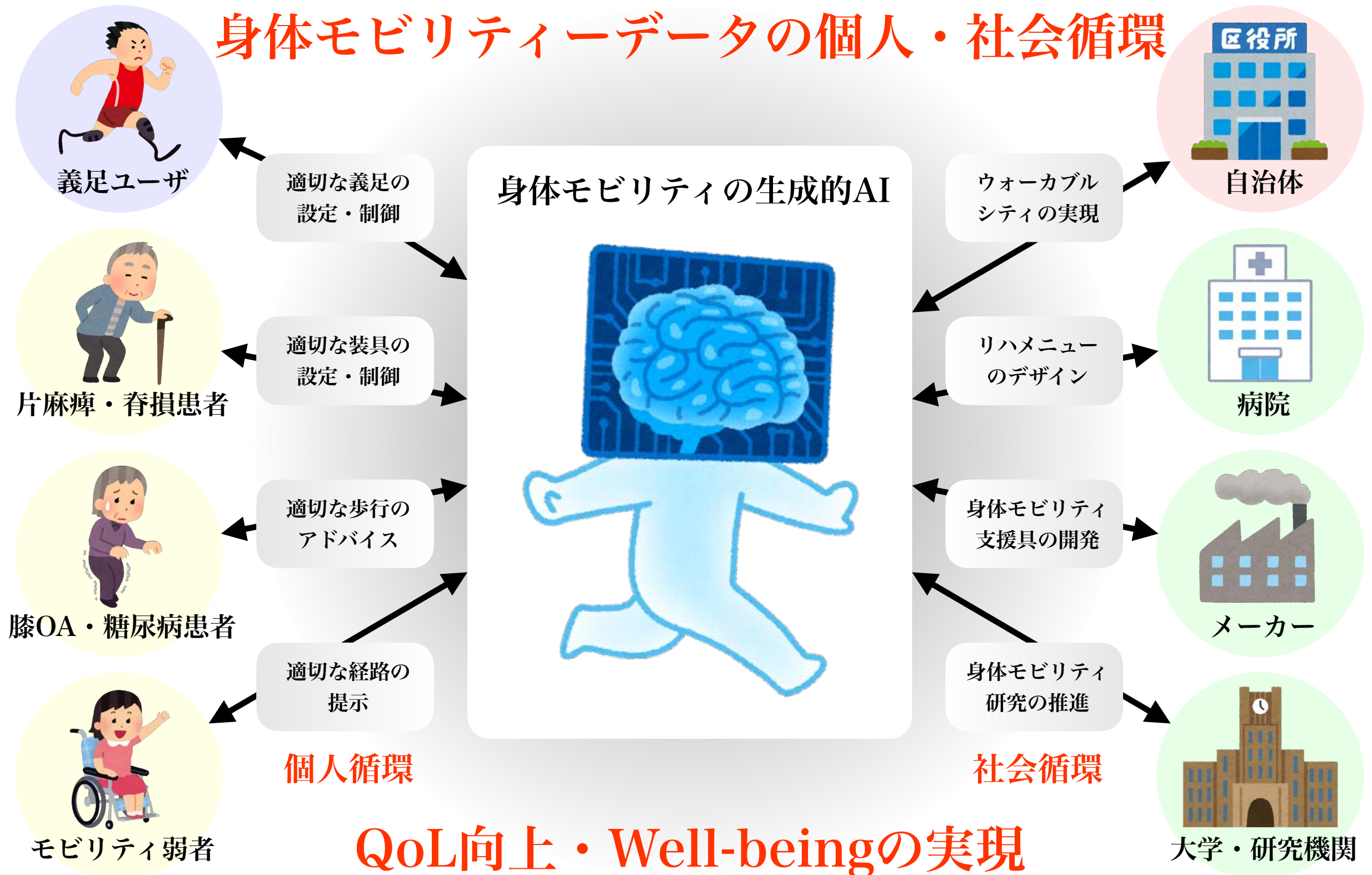
- 平地 + 25mm 段差
- 登坂 + 25mm 段差
- 登坂 + 25mm 段差
+PROPRIO FOOT



介入効果の予測

身体モビリティデザイン・プラットフォーム

身体モビリティデータの個人・社会循環



技術のコア：ヒューマンデジタルツイン

■ 短期的な変容の予測

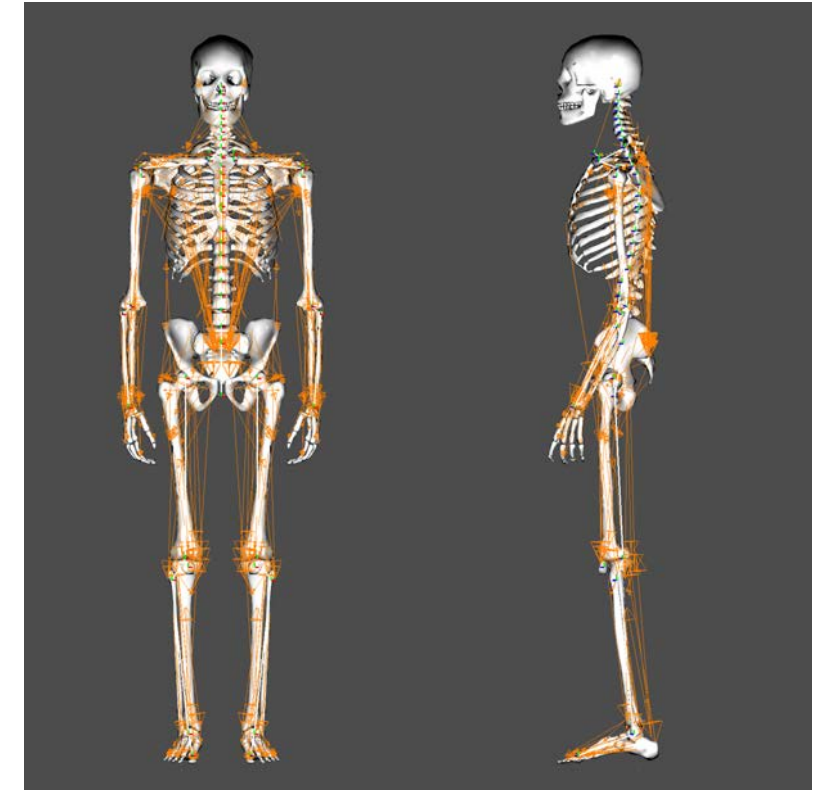
- 神経筋骨格モデルを用いた変容の予測

■ 長期的な変容の予測

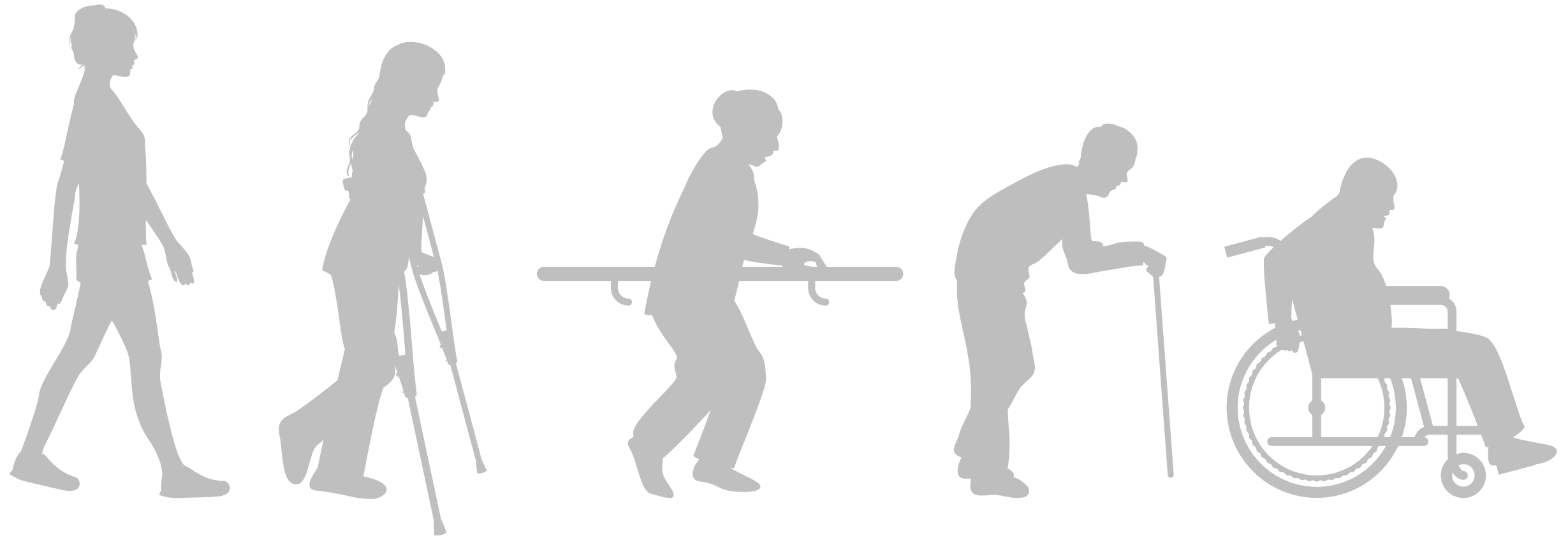
- データ蓄積のための共通言語の提供
- 筋骨格モデルを用いた身体力学の計算

■ 現況の計測

- 深層学習モデル構築のための歩行データ拡張の実現
 - 多様な歩行運動を生成
 - 歩行運動に伴うIMUデータを計算
- アクセシビリティ評価のための歩行データ拡張の実現
 - 3次元環境モデル内で多様な歩行運動を生成
 - アクセシビリティや転倒リスクを計算



思い描く未来社会



全生活者の生活歩行データの常時モニタリング



生活歩行データの個人・社会循環



QoL向上・Well-beingの実現