



# 新たな機能を持つ筋骨格モデル Muskejoの研究 ～膝関節組織レベルの生体力学解析ができる 世界初の筋骨格モデル～

研究・開発機関 : 株式会社HumTec、東京都立大学  
 利用施設 : 東京都立大学 長谷研究室保有計算機施設  
 計算規模 : 13th Gen Intel (R) Core (TM) i9-13900 2.00 GHzコア数24  
 規模により40分～20時間。(例: 歩行立脚1周期の解析時間: 2時間)  
 利用ソフトウェア : Muskejo, JoDyn, MATLAB

## Before

- 筋骨格モデルを用いることで、身体の運動や負荷といった、直接計測が困難な関節のバイオメカニクスを推定することが可能となります。
- 通常の筋骨格モデルでは、骨を剛体とし、関節を機械軸とする剛体で表現するため、関節組織レベルまで考慮したバイオメカニクス解析ができませんでした。

## After

- 新たな機能を持つ筋骨格モデルMuskejoの開発・発展により、正確で実用的な体の仕組みの理解が進み、健康や医療の分野で活用することが期待できます。
- 関節の生体力学的評価、リハビリテーション手法の提案、装具の評価などに貢献するシミュレーションツールとして期待できます。

## 背景と目的

筋骨格モデルとは、筋肉や骨、関節の軟組織で構成された人体をシミュレーション(模擬実験)するモデルのことです。このモデルを使うと、人間の動作をコンピュータ上で再現することができ、動作中の筋肉の活動や骨・関節にかかる力や動きなどを解析することができます。これにより、動作に伴う体への負担を非侵襲的(体を傷つけずに)に評価できるため、体の動きや筋肉の仕組みを調べるなど医療やリハビリテーションの分野で幅広く活用されています。

ただし、従来の筋骨格モデルには限界もありました。一般的なモデルでは、骨を硬い棒のように扱い、関節を単純な回転軸として解析します。そのため、関節が変形しながら動く様子や、関節の接触による力や圧力、接触する面積などを正確に推定するのは難しいという課題がありました。そこで、私たちは、筋、骨、関節の組織など、体のすべての解剖学的な構造を取り入れた「Muskejo」(図1)<sup>1,2)</sup>という筋骨格モデルを開発しました。このモデルは膝関節の接触や変形を

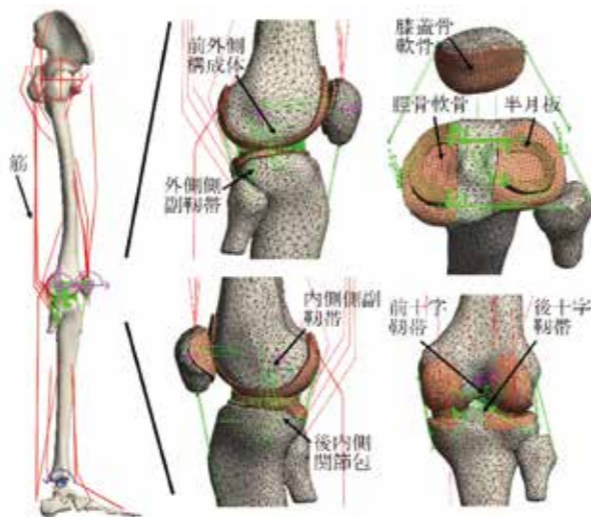


図1 筋骨格モデルMuskejo

考慮しており、身体全体から関節の細かい動きに至るまで、バイオメカニクス(生体力学)を詳しく解析することが可能です。Muskejoを使うことで、より正確で実用的な体の仕組みの理解が進み、健康や医療の分野で役立つことが期待されています。

## 利用成果

Muskejoは、筋、骨格、関節組織など主要な解剖学的構造をすべて含み、筋活動と膝関節運動の相互作用が表現できる世界初の筋骨格モデルです。身体運動における膝の運動学、接触圧力分布、軟組織応力、筋力、靭帯力を求められます(図2)。Muskejoには、膝関節の組織形状および材料特性が組み込まれており、筋力最適化と膝関節の有限要素解析を単一のフレームワーク内で統合する筋骨格解析が実現されます。

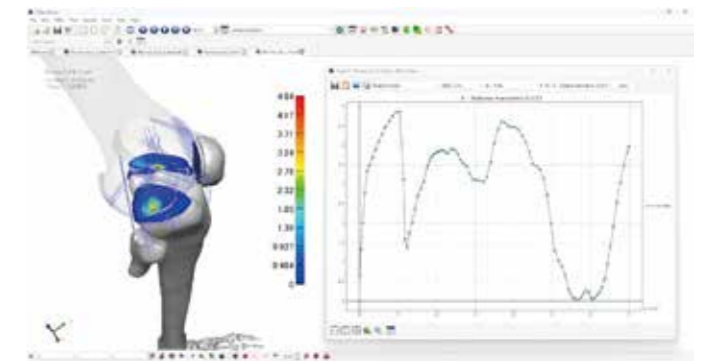


図2 関節軟組織レベルまでの力学計算

## 筋骨格モデルMuskejoの応用例:

### 1) 半月板亀裂の力学評価

膝のバイオメカニクスに半月板の様々な部位や程度の亀裂が表現でき、亀裂が膝関節の軟骨へ及ぼす負担などの生体力学的影響を定量的に調査することができます(図3)。これにより、予防法の開発や外科手術のナビゲーションなどに貢献することができます。

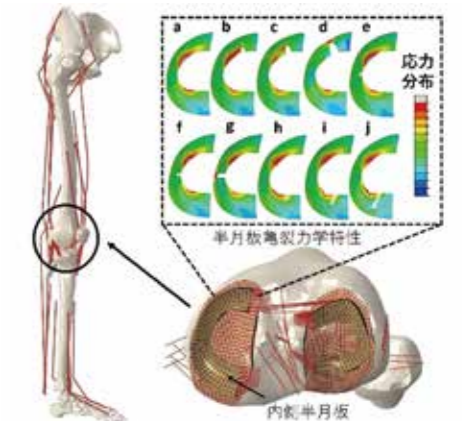


図3 半月板亀裂の力学評価

### 2) 装具の機能評価

関節装具を装着した関節動作をシミュレーションによって再現し、関節運動や軟組織の力学量の変化などを調査しながら装具の機能評価(図4)を行うことができます。これにより、膝装具や下肢装具の設計に寄与することが期待できます。

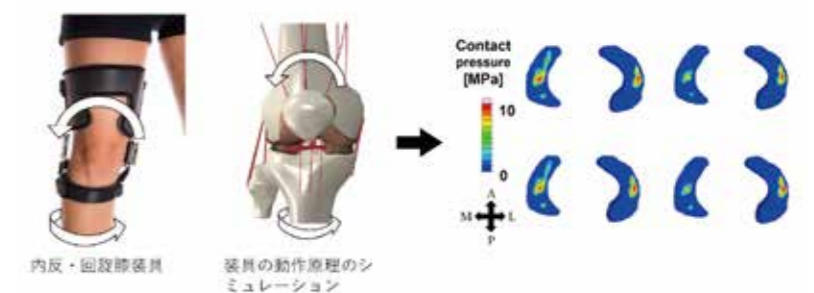


図4 装具の機能評価

### 3) 人工関節インプラントの機能評価

人工膝関節の構築が可能です。また、筋骨格シミュレーションにより、インプラントの運動や力学的変化を調査することができます(図5)。これにより、人工膝関節の手術後の評価や手術ナビゲーションなどに貢献することができます。

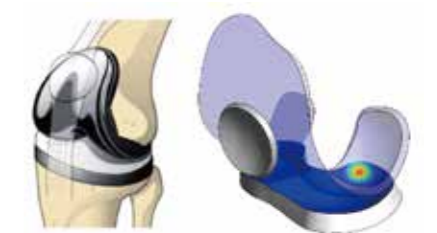


図5 人工関節置換術後評価

出典: 1) Wang, et al; Biomechanics 1(3): 293-306, 2021  
 2) Wang, et al; J Biomech Eng 144(5): 051011, 2022