

【目的】 重度の変形性膝関節症に対しては人工膝関節置換術が行われる。しかしながら、人工膝関節置換術で用いられた人工膝関節の約 5% が力学的要因によって 5 年以内に再置換されている。このため、人工膝関節の滑りや摩擦・摩耗などの性能を評価することは、人工膝関節の緩みなどの故障原因の解明に非常に重要である。この評価方法の一つに、ヒトの筋骨化骨構造を再現した歩行ロボットの利用が考えられる。筋に模したワイヤで動作時の筋張力を再現することで、ヒトの日常動作を再現できる。また、歩行ロボットであるため、関節動態の計測を遮蔽するものは少なく、内蔵した荷重センサから関節負荷を直接計測することも可能である。そこで本研究では、二脚歩行ロボットを用いて、人工膝関節の力学負荷の解析を試みた。

【方法】 開発中の二脚歩行ロボットを用いて、日常動作を行わせた。二脚歩行ロボットは、平均的日本人の骨格寸法に基づいて形状を設計した。下肢人工関節の評価と制御の複雑さ回避のために、骨盤と左右大腿、脛骨、足部により構成した。骨格部はアルミパイプを用いて構成し、身体節の重心と慣性モーメントが一致するように重りで調整した。股関節と膝関節直上に 6 分力計を取り付け、動作時の 3 分力と 3 モーメントを取得することができるようにした。また、ヒトの解剖学的構造を参考に、片脚で 9 筋をワイヤを用いて再現した。筋の停止部中心にワイヤ取り付け部を設け、経路位置や起始にプーリーを設けることで筋走向を実現した。なお、ワイヤの停止部には張力センサを取り付け、伝達された筋張力を取得できるようにした。筋張力は、線形ばねとモータによって生成し、力制御を長さ制御に置き換えることで実現した。なお、動作時の筋張力は、筋骨格解析ソフト **OpenSim** を用いた。運動時の大腿骨および脛骨の相対位置と姿勢から、人工膝関節の大腿骨コンポーネントと脛骨インサートの相対位置と姿勢を求めた。これを入力条件として、有限要素解析を行った。またこの際、6 分力計から得られた力とモーメントも加えた。解析には、陽解析ソルバーである **Radioss** (Altair 社) を用いて行った。特に本稿では、歩行時の結果について評価を示す。

【結果】 二脚歩行ロボットは、健常成人と同様の歩行を行った。このため、踵接地から爪先離地までの歩行立脚期間を 100% とし、10% ごとにおける解析を行った。踵接地時の 0% では、膝関節は伸展位にあるため、応力集中部位は脛骨のやや前方であった。立脚中期にかけて膝が屈曲するに伴い応力集中部位が後方に移動し、再度、前方に移動した。立脚後期では、膝関節が再度屈曲するに伴って応力集中部位が後方に移動した。これは、既報の結果とも一致する。また、有限要素解析によって得られた最大応力値についても、簡略化した条件での既報結果と概ね一致していた。このことから、歩行ロボットの運動だけでなく、負荷した筋張力やその結果生じる関節動態も妥当なものと考えられる。本解析の結果、条件によっては有限要素計算が十分に収束しないことも確認された。しかし、むき出しの人工関節を用いて計測を行えることから、高精度な解析が可能であった。また、本歩行ロボットを用いて人工関節の動力学情報を取得することで、定量的な評価が可能となることが明らかとなった。

脛骨インサートの応力分布の移動の様子

