

階段昇降可能義足 NAL-Knee を用いた歩行動作に関する研究

—光学式モーションキャプチャによる手法—

県立長崎シーボルト大学 情報メディア学科 長門天子

1. はじめに

長崎かなえ義肢製作所で開発されてきた階段昇降可能義足 NAL-Knee は自らの筋肉を上手く利用し坂を歩行できる大腿義足として考案された[1]. 義足の分野では、現在まで様々な研究がなされてきたが[2]-[3], これらの研究では平地のみの歩行を想定しており, NAL-Knee は昇降中膝を屈折したまま固定させることによって階段昇降を可能としている. 本稿では, NAL-Knee を装着した被験者が, 平地歩行をする場合と階段昇降をする場合の歩行動作について解析を行った.

2. 平地歩行動作の解析

2.1 被験者

被験者は先天性の疾患による右大腿切断で18歳の男性(被験者1と呼ぶ)と, 交通事故による左大腿切断で41歳の男性(被験者2と呼ぶ)の2名と, 健常者(被験者3と呼ぶ)の1名である.

2.2 実験内容

本実験では, モーションキャプチャ手法により, 被験者の動きを非接触で計測した. 被験者の特徴点にマーカーを装着し, その動きを6台のデジタルビデオカメラで撮影する. 6台のカメラは可能な限りオクルージョンを避ける位置に配置した.

マーカーは歩行動作を表現するために必要な特徴点に装着した. その際, 頭部の動きを計測するために, 被験者にはつば付きの帽子をかぶってもらった. マーカー装着位置は, 帽子の頭頂部, 帽子のつば, 両肩, 両肘, 両手首, 両腰, 両膝, 両足首, 足の小指の付け根(MP関節), の計16ヶ所である. マーカー装着位置を Fig.1 に示す.



Fig.1 Marker positions.

歩行環境は屋内の平地である. 歩行速度は, ゆっくりした歩行速度(歩行速度1)と, 速い歩行速度(歩行速度2)の2種類とした. また, 実験には NAL-Knee を含めて6種類の義足を用いた. それぞれの歩行に際して, 6種類の義足の中から4種類を選択して実験を行った. 各被験者が, 実験に用いた義足の組み合わせを Table 1 に示す.

Table 1 Combination of a trans-femoral prosthesis used in the experiment.

Subjects	Kinds of a trans-femoral prosthesis			
1	NAL-Knee	Swan M0780	Otto Bock 3R95=1	Intelligent NI-C111
2	NAL-Knee	Otto Bock 3R106	Otto Bock 3R95=1	Intelligent NI-C411

2.3 実験結果

実験結果の一例を Fig.2 に示す. 同図は, 被験者1が NAL-Knee を装着した状態で, 歩行速度1で歩いている時の足部スティックピクチャを示している.

義足が健足に近い動きをしているかどうか, 義足評価の一基準になると考えられる. そこで, 歩行動作時における, 健足と義足との特徴点間の平均距離 AD を評価基準として導入し, 6種類の義足について評価を行った. i サンプル目の, 健足の特徴点の xy 座標を (m_i, n_i) , 義足の xy 座標を (u_i, v_i) とすると, 健足と義足との特徴点間の平均距離 AD は次式で表される. ここで, N はサンプル数である.

$$AD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{(u_i - m_i)^2 + (v_i - n_i)^2}$$

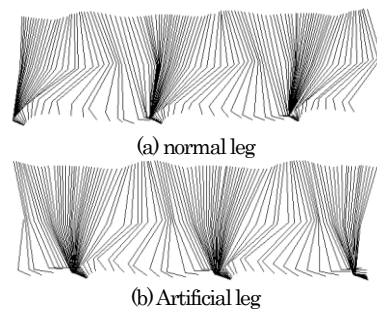


Fig.2 The walking motion using NAL-Knee.

Fig.3 に健足と義足との平均距離 AD を示す. 同図には各被験者の歩行速度ごとに, 腰, 踵, 踝の結果を示してある. NAL-Knee は, Fig.3(b)の踝の AD 以外は, おおむね良好な結果が得られており, NAL-Knee が平地での歩行についても, 有効であることが確認できた.

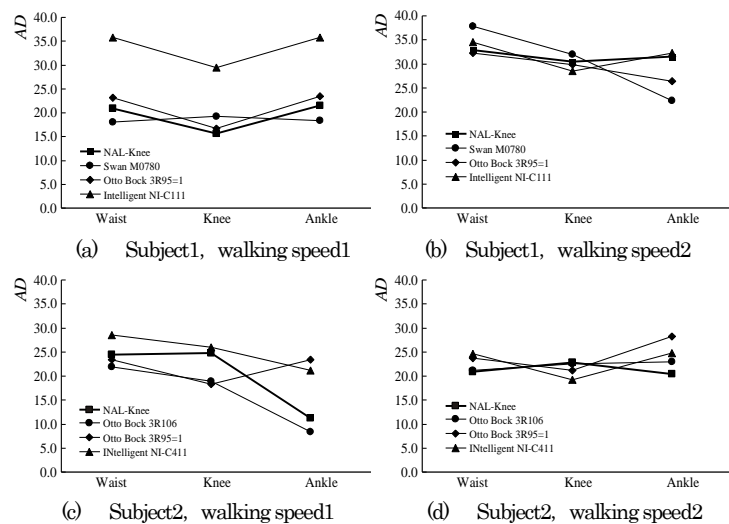


Fig.3 Average distance between normal leg and artificial leg.

3. 階段昇降動作の解析

3.1 被験者

階段昇降実験では健康者を一名増やし、義足使用者2名、健康者2名で実験を行った。

3.2 実験内容

屋内に階段のモックマップをセットし、そこで実験を行った。被験者はNAL-Kneeを装着し自由な速度で階段昇降を行う。つま先と踵に圧力センサーを装着し、その荷重を計測した。それ以外の条件（マーカー装着位置やカメラ配置）は2.2と同じとした。

3.3 実験結果

実験結果の一例をFig.4に示す。同図はNAL-Kneeを装着した状態で階段を昇っている際の、下肢のスティックピクチャである。(a)は被験者1、(b)は被験者2の結果を示す。歩行周期は「立脚期」と「遊脚期」に分けられ、踵接地から爪先離れまでを立脚期、地面から足が離れている間を遊脚期と呼ぶ(Fig.5)。立脚期には、左右脚の踏み替えが行われるため、脚に荷重がかかることになる。Fig.4では、スティックが密集している部分が立脚期、スティックが疎らである部分が遊脚期にあたる。同図より、立脚期において膝が曲がっていることが確認できる。これは、膝が曲がった状態で、左右脚の踏み替えが行われていることを意味している。すなわち、NAL-Kneeは膝継手が曲がった状態で膝屈曲抵抗を増しているといえる。

立脚期の膝角度を詳しく調べるため、膝角度と圧力の時間変化をFig.6に示す。(a)は被験者1、(b)は被験者2の結果である。ここでいう膝角度は、膝が伸びた状態を0度として計算してある。同図中の薄い四角は、立脚期にあたる部分を示している。被験者1、被験者2とも、立脚期の膝角度が5.2度～6.8度となっており、この角度でもNAL-Kneeの膝屈曲抵抗が増していることがわかる。また、このときのつま先圧力は1.8kgfから2.8kgfの数値を示している。健康者の膝角度は6.5度から7.0度であった。

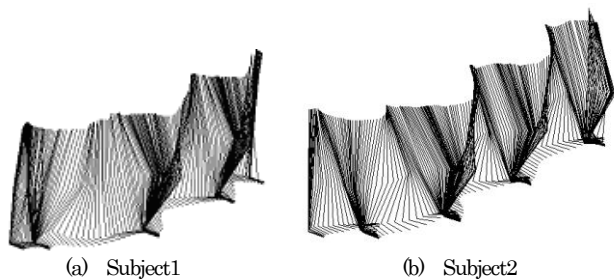


Fig.4 The walking motion using NAL-Knee.

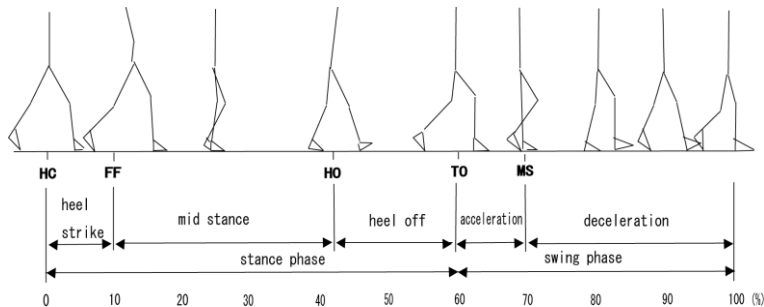
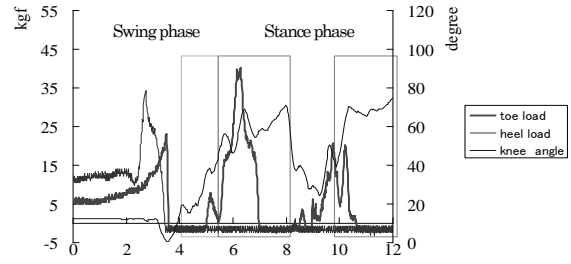
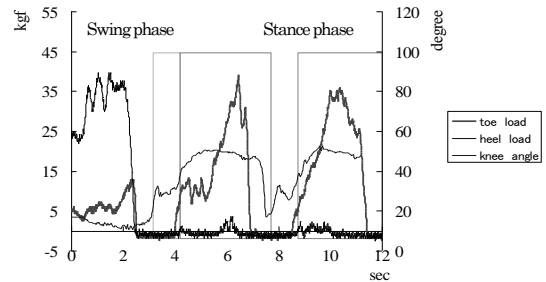


Fig.5 Walking cycle.



(a) Subject 1



(b) Subject 2

Fig.6 The knee angle and the sole pressure in the motion

4. あとがき

本稿では、NAL-Kneeを用いる際の平地歩行動作と階段昇降動作を行い、膝角度について検証を行った。平地歩行実験ではNAL-Kneeを含む6種類の義足による平地歩行特性について、健足と義足との特徴点間の平均距離を評価基準とし、検証を行った。その結果、NAL-Kneeは平地での歩行を行う場合でも、十分な性能が得られることが確認できた。階段昇降実験では、膝角度と踵とつま先の圧力に注目し検証を行った。その結果、階段の上りではつま先接地で体重が支持され、階段の下りでは踵接地で膝固定されており、NAL-Kneeが5.2度～6.8度で膝継手の屈曲抵抗を制御できていることが確認できた。

今回の義足使用者の被験者は2名であったが、さらに被験者の数を増やして検討を行う必要がある。これについては今後の課題としたい。

参考文献

- [1] 二宮誠：大腿義足の立脚制御と遊脚制御の工夫, PO アカデミージャーナル, Vol. 11, No. 4, 307-313, 2004.
- [2] 広川俊二・加藤清国・竹本信之；感覚フィードバックや筋電制御を含む生理的な義足系の開発と適応評価に関する基礎的研究, バイオメカニズム5, 78-87, 1980.
- [3] 藤本浩志, 滝田久芳, 有田道生, 小金沢鋼一, 加藤一郎：電気=油圧ハイブリッドアクチュエータを搭載した階段昇降可能な大腿義足, バイオメカニズム9, 240-250, 1988.