

ヒューマノイドロボット H7 の歩行計測と人間の歩行との比較

(産業技術総合研究所, CREST・JST) ○加賀美 聡, 宮田 なつき, 倉林 準, 持丸 正明
(帝京大学) 江原 義弘 (東京大学) 西脇 光一, 井上 博允

Measurement and Comparison of Humanoid H7 Walking with Human Being

*Satoshi KAGAMI, Natsuki MIYATA, Jun KURABAYASHI, Masaaki MOCHIMARU, AIST
Yoshihiro EHARA, Teikyo Univ. Koichi NISHIWAKI, Hirochika INOUE, Univ. of Tokyo.

1. はじめに

近年ヒューマノイドロボットの研究が盛んに行われ、二足歩行の安定性、適応性、実時間性等の諸機能が飛躍的に向上してきている。ヒューマノイドロボットは多様な環境とその変化に応じて安定な移動を実現する必要があり、そのために即応性や軌道生成法について改善する必要があるといえる。

著者らは実世界で知的に行動するロボットを実現するために、視覚認識、モーションプランニング、二足歩行などの移動やマニピュレーションにかかわる自律性を向上させるための諸機能を統合して研究することが可能な枠組みとして、RT-Linux を用いて PC ベースのリアルタイムOSの上でソフトウェアサーボから画像処理までを透過的に構成するロボットシステム構成法を提案してきた。この考えに基づき東京大学井上研においてヒューマノイドロボット H6, H7 は設計され、川田工業により製作が行われた。これらのロボットを用いて素軌道の重ねあわせによるオンライン歩行¹⁾や歩行軌道の実時間生成によるオンライン歩行²⁾などの成果をあげ、一步単位での環境に応じた歩行が可能となってきた。

一方、人間工学の分野ではモーションキャプチャシステムとフォースプレートを用いて人間の歩行解析の研究が行われ、特にリハビリなどの医療、高齢者の歩行介助といった福祉、親和性の高い製品設計のためのコンピュータマネキンなどへの応用を目的とした研究がなされている。

本研究では人間と同様の手法で外部からヒューマノイドロボット H7 の歩行を計測し、人間の歩行と比較することにより、人間の歩行について理解すると共に、ロボットへの応用について議論する。

2. 歩行計測実験

Fig.1 にヒューマノイドロボット H7 と人間の歩行計測の様子を示す。H7 は身長 147[cm], 体重 55[kg] であり、比較の対象とした人間は身長 168[cm], 体重 61[kg] であった。歩行は2枚のフォースプレートを両足で別々に踏みながら歩きぬける運動を Vicon 社製モーションキャプチャシステムのカメラ7台で計測し、その右足1サイクル(着地から立脚期を経て離陸し遊脚が終わるまで)分を床反力、COP、重心位置、関節角軌道、関節のモーメント、上体の姿勢などのデータとして整理

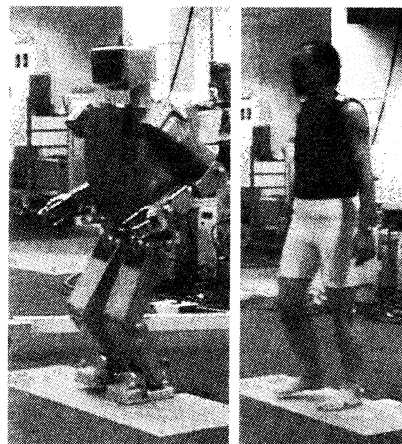


Fig.1 Motion capture scene for humanoid H7 and human being while they are walking

した。マーカー位置の計測精度は約 1mm である。

2.1 床反力

床反力の3軸力を Fig.2 に示す。左が H7, 右が人間のデータである。人間は着地の瞬間に体重の約 1.2~1.4 倍の z 方向反力が発生し、いったん体重の約 0.6~0.7 倍まで減った後に離陸の直前にほぼ体重程度の力が発生している。

これに対して、H7 ではほぼ体重と同程度の力が一貫して働いていると共に、床に平行な二軸の力は人間に比べて比較的小さく抑えられている。

2.2 矢状面内での重心の移動

Fig.3 に矢状面での重心の移動を示す。H7 はほぼ一定の高さを保つように軌道計画されているのに対して、人間は着地の直後に重心が最下点となり、両足立脚期に床反力の増大に同期して重心を上へ押しあげ、片足期にピークを迎えた後、再び次の両足立脚期に下に降りるといった軌道を辿っている。

2.3 膝関節の軌道

Fig.4 に膝の関節角軌道を示す。H7 の場合には遊脚期の初期に足を持ち上げるために膝関節が大きく用いられている。人間の場合には着地と共に膝が一度伸びてから次に重心が降下するのに伴って膝が曲がり、も

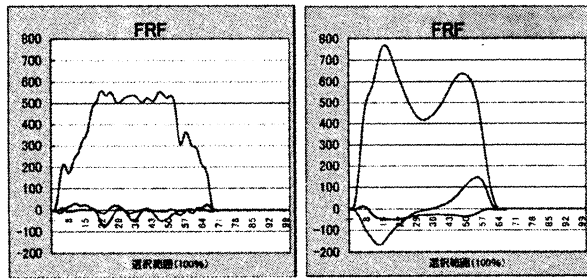


Fig.2 Three Axis Floor Reaction Force for 1 Cycle of Right Leg: H7 (left), Human (right)

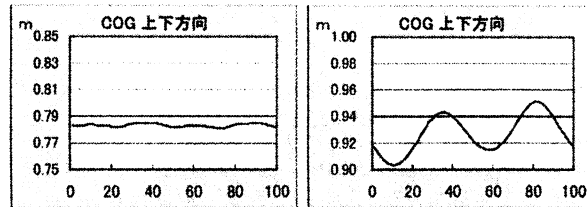


Fig.3 Sagittal Movement of Center of Gravity: H7 (left), Human (right)

う一度離陸期に伸びた後に遊脚期に大きく曲がるダブルニーアクションと呼ばれる運動を行っている。

3. 考察

得られたデータからロボットは設計上のパラメータを用いて、人間は各節の力学的パラメータを回帰式により推定し、関節位置は人体上の特徴点から得られた値を用いて解析した。今回の実験により、遊脚を前に運ぶ動き、および重心の上下動の2点でロボットと人間とが大きく異なっていることが観察された。

3-1 遊脚を前に運ぶ運動

ロボットは遊脚を膝の関節を用いて遊脚期に持ち上げて降ろしている (Fig.4 左)。しかし人間は前述の腰の上下動に伴って両足立脚期の最後に、次の立脚で重心を上を持ち上げると共に、次の遊脚の足首でモーメントを発生させ、前上方に蹴ることにより足を前に運んでいる (Fig.6 右)。併せて腰をロール角方向に最大2度程度回旋させることにより遊脚を持ち上げている現象が観察された。

3-2 重心の上下運動

ロボットは重心を上下動させていないが、人間は数cm 重心を上下させており (Fig.3)、これが床反力にも現れている (Fig.2 右)。このような動作は 1) 視覚や三半規管を担う頭部が動いてしまう、2) エネルギー的には無駄である、といった欠点がある。床反力の二つのピークでは床面への摩擦が最大化されており、それぞれのピークが股関節ピッチ軸周りの筋肉が最も仕事をしている瞬間と一致する (着地時と離陸時には逆方向に最大力がかかる) ことから、特にヨー軸周りのモーメントを打ち消すのに役立っていると考えられる。

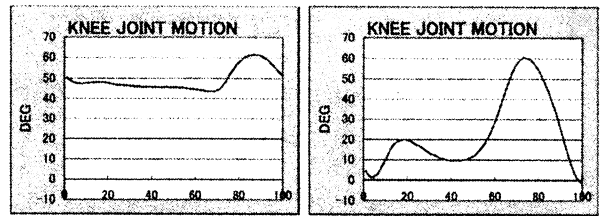


Fig.4 Knee Trajectory: H7 (left), Human (right)

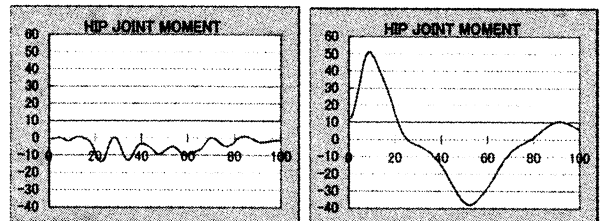


Fig.5 Crotch Pitch Moment : H7 (left), Human (right)

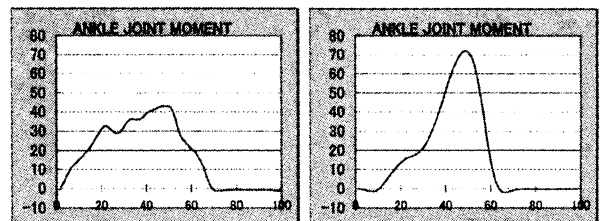


Fig.6 Ankle Pitch Moment : H7 (left), Human (right)

4. おわりに

本論文ではモーションキャプチャシステムを用いてヒューマノイドロボット H7 と人間の歩行動作の比較を行った。各リンクの物理パラメータ、歩行周期、歩行速度などが異なるために厳密な比較は困難であるが、得られたデータから定性的な比較を行うことにより、特に足首関節の蹴りの動作と重心の上下動に伴う安定性向上の知見が得られた。これらの知見をロボットの歩行に利用して行くと共に、体内のセンサと外部からの計測結果の違いからロボットのセンサ系の検証についても調べてゆきたい。

また ZMP(COP) 軌道に関しては人間は踵から爪先に抜ける軌道を持つことが知られており、実際にそのようなデータが得られているが、これまでのモーションキャプチャでは足の形を詳細には計っていない為、どのような安定余裕を持って歩いているのか、あまり知られていない。そこで昨年度作成した六軸力計測下駄³⁾を改良し、人間の歩行の安定性についてさらに調べてゆきたい。

参考文献

- 1) 西脇光一, 杉原知道, 加賀美聡, 稲葉雅幸, 井上博允. 素軌道の合成・接続によるヒューマノイドの目標歩行のオンライン生成- 感覚行動統合全身型ヒューマノイド h6 での実現 - 第 18 回ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 1473-1474, 2000.
- 2) 西脇光一, 加賀美聡, 國吉康夫, 稲葉雅幸, 井上博允. 目標 ZMP 追従軌道高速生成法に基づくヒューマノイドのオンライン歩行動作生成. 第 19 回ロボット学会学術講演会講演論文集, pp. 985-986, 2001.
- 3) 西脇光一, 村上好文, 加賀美聡, 稲葉雅幸, 井上博允. 人間型ロボットの床反力計測のための並列支持機構を持つ 6 軸力センサ. 第 6 回ロボティクスシンポジウム予稿集, 2001.