跳躍ロボットの姿勢の安定性

Postural Stability of Jumping Robot

○ 金山 英樹 (富山県立大学) 正 大島 徹 (富山県立大学)
 熊本 水頼 (イメージ情報科学研究所) 正 藤川 智彦 (富山商船高等専門学校)
 Hideki KANAYAMA, Toru OSHIMA, Minayori KUMAMOTO and Tomohiko FUJIKAWA
 Toyama Prefectural University, Kurokawa5180, Kosugi-machi, Imizu-gun, Toyama

1. はじめに

近年, 様々な形態の跳躍ロボットが開発, 提案されており, その跳躍方法を工夫した研究が報告されている. その研究対象とされている跳躍ロボットの多くは, 従来のロボットの関節駆動にみられるように, 一つの関節を一つのアクチュエータで駆動して跳躍を行う一関節駆動型ロボットである¹⁾.

機械工学分野におけるバイオメカニズム領域の急速な発展により, 生体の四肢の運動制御といった従来のロボットのメカニズムとそのコンピュータ制御では対応しきれない複雑で柔軟な制御に, 二つの関節を一つのアクチュエータで駆動する二関節筋機能が有効であることが明らかになった²⁾.

そこで本研究では, 生体特有な筋である二関節筋に注目した跳躍ロボットの開発を目指し, 跳躍姿勢の安定性という観点から, 下肢の関節の運動について解析を行った. 跳躍モデルでは膝関節及び足関節部にバネを配置した一関節駆動型の跳躍モデルと生体特有な駆動源である二関節筋を装備させた跳躍モデルをそれぞれ構築し, 重心位置と床反力の関係, エネルギーの関係から検討を行い, 跳躍ロボットにおける二関節筋機能の有効性を示す.

2. 一関節駆動型跳躍モデルによる解析

2.1 跳躍モデルの構築

一関節駆動型の跳躍ロボットの跳躍姿勢の安定性について検討するため図1(a)に示す跳躍モデルの構築を行い, その重心位置と床反力の関係について解析を行った. 図1(a)は動力源として膝関節, 足関節にそれぞれバネ k_1 , k_2 を配置し, リンク長をそれぞれ ℓ_1 , ℓ_2 , ℓ_3 としその角度を θ_1 , θ_2 , θ_3 とした. 股関節, 膝関節, 足関節部をそれぞれH, K, A, 床面に対する力の作用点(系先端部)をEとした.

2.2 解析条件

跳躍モデルは, 初期状態として図1(b)に示すように股関節H, 系先端Eが垂直になるようにモデルを押し縮め, 足関節Aを床についた状態($\theta_1=0^\circ$)でモデルを完全に静止させる. この状態においてモデルの運動は拘束されており, この拘束力を解除することにより, モデルは蓄えていたエネルギーを解放し, 跳躍を行うものとする. また, モデルの跳躍中の姿勢条件として膝関節角度 θ_3 の最大角度は 180° とし, それ以上の膝関節の伸展はないものとする.

2.3 重心と床反力の関係

図1(b)には, 跳躍モデルの拘束が解除され系先端部Eが床から離れる直前までの重心位置Gと床反力Rの関係を示す. F_{k1} はバネ k_1 によって系先端に発揮される出力, F_{k2} はバネ k_2 による系先端に発揮される出力, F は F_{k1} , F_{k2} の合力であり, R は F に対する床反力である. この床反力の方向がモデルの重心位置を通過することができれば, モデルは安定した姿勢で跳躍を行うことが可能である. ここで, 床反力 R の方向は跳躍時の関節角度の変化により, 初期状態の一定の方向を維持することができない. よってこの跳躍モデルでは, 跳躍姿勢の安定性を得ることが非常に困難である.

次に, 同じ一関節駆動型モデルとして図2(a)に示すような膝関節にのみバネ k を配置し, 足関節Aを固定し, 足関節部の影響を考えないモデルを構築した. このモデルの拘束が解除され系先端部Eが床から離れる直前までの重心位置Gと床反力 R の関係を図2(b)に示す. 床反力 R の方向はバネ k によって系先端Eに発揮される出力 F_k の方向となり, この一関節駆動モデルの場合も床反力 R の方向が重心位置を通過することができない.

これらの解析により, 一関節駆動モデルでは, 床反力 R の方向が重心位置Gを通過することができないため, 跳躍姿勢を安定させることは困難である.

Fig.1 Jumping model 1 and relationship between the center of gravity and the ground reaction force under the restraint release

Fig.2 Jumping model 2 and relationship between the center of gravity and the ground reaction force under the restraint release

3. 二関節駆動型跳躍モデルによる解析

そこで、ヒトの跳躍動作において有効に貢献していると考えられている二関節筋を一関節駆動モデルに装備させ、姿勢の安定性についてエネルギーの関係も含めて検討を行った。

3.1 生体における二関節筋機能

ヒトをはじめとした生体は従来のロボットには存在しない二関節筋を有しており、その筋群が一関節筋群とともに協調活動することにより、生体特有な複雑かつ迅速な制御を可能にすることが明らかになっている。そこで、一関節駆動モデルにヒトの下肢下腿部の二関節筋である腓腹筋 (Gs) に相当するワイヤを装備させ、重心位置と床反力の関係について検討を行った。図3(a)にヒトの跳躍動作に有効に貢献していると考えられている下肢筋群、図3(b)にその筋群を装備させた跳躍モデルを示す。

3.2 重心と床反力の関係

図4にこの二関節筋装備モデルでの重心位置 G と床反力 R の関係を示す。拘束が解除された場合、床反力 R は、バネ k による出力 F_k とワイヤ G_s の張力による出力 F_{G_s} の合力 F の方向となる。この結果、床反力 R がモデルの重心位置 G を通過することができる。

3.3 シミュレーションによる解析

この二関節筋を装備した跳躍モデルの跳躍時におけるエネルギーの関係について、シミュレーションを行った。このシミュレーションでは、ラグランジュ法を用い各リンクのエネルギーの総和からラグランジュ関数を求め、運動方程式の導出を行う。図5にエネルギーの関係及びモデルの跳躍軌跡を示す。横軸は時間(sec)、縦軸はエネルギー(J)を示す。

初期姿勢においてモデルの有するエネルギーはバネのポテンシャルエネルギーが主であり、そのエネルギーが解放され、並進・回転運動エネルギー、位置エネルギーに変換される。また、モデルは跳躍後、膝関節が完全に伸展した際にエネルギーが損失するため、全体のエネルギーとしては減少するが、その後の全体のエネルギーの総和は一定である。

膝関節が完全に伸展したとき、回転の運動エネルギーは急激に減少し、跳躍中においても回転の運動エネルギーはほとんど使われていないことがわかる。そして、その後のモデルの運動は位置エネルギーと並進の運動エネルギーのみによる放物運動となる。このことより、二関節筋を有するモデルは、跳躍時に回転運動を押さえることで、安定した姿勢で跳躍することがわかる。

また、一関節駆動型モデルでも同様にシミュレーションを行い、比較を行った。

4. おわりに

本研究では、跳躍ロボットの姿勢の安定性について検討するため、ヒト下肢の筋配列を単純化した跳躍モデルを作成し、一関節駆動、二関節同時駆動、それぞれのモデルが跳躍姿勢に与える影響に関して解析を行った。その結果、跳躍モデルに二関節同時駆動源を装備させることで、安定した姿勢で跳躍を行うことが明らかになった。このことより跳躍ロボットにおける二関節筋機能の有効性が示された。

(a) Examined muscles of (b) Model equipped with which contribute to jump Vs and Gs muscles

Fig.3 Jumping Model 3

Fig.4 Relationship between the center of gravity and the ground reaction force under the restraint release

Fig.5 Result of Simulation

参考文献

- 1) 大久保宏樹, 中野栄二, 藤原浩幸, 松下修巳: 自己振動を利用した跳躍機械に関する研究 -高い跳躍の検討-, 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.6 pp890~895, 2000
- 2) 島田育弘, 大島徹, 藤川智彦, 熊本水頼: 二関節筋装備ロボットアームの制御機能, 2000年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, p636, 2000