906 走行ロボットのエネルギー損失に関する研究

A study on energy loss of running robot

○学 濱脇真(高知工大院) 正 井上喜雄(高知工大) 正 芝田京子(高知工大)
 学 今西望(高知工大院) 学 大池達也(高知工大院) 学 島崎太郎(高知工大)
 Makoto HAMAWAKI, Kochi Univ. of Tech, Miyanokuti185, Tosayamada-cho, Kochi

Yoshio INOUE, Kochi Univ. of Tech Kyoko SHIBATA, Kochi Univ. of Tech Nozomu IMANISHI, Kochi Univ. of Tech
 Tatsuya OIKE, Kochi Univ. of Tech Taichiro SHIMASAKI, Kochi Univ. of Tech

Keywords: Robot, Running, Numerical Simulation, Multi-body Dynamics, Analytical Model

1.緒言

現在, 2 足ロボットによる走行の研究が多く行われている。しかし, 現状の 2 足ロボットの走行速度は人間の走行速度には達していない。そこで, 走行のメカニズムについて考える。人間の走行のメカニズムは, 足首, 膝, 股関節に力を入れることで跳躍し, 姿勢を整え着地するという動作を両足で交互に繰り返す。この際運動エネルギーは, 跳躍時に流入され, 着地時に損失する。そして, 流入するエネルギーと損失するエネルギーが等しくなると, 定常走行になる。したがって, 流入するエネルギーと損失するエネルギーの関係で走行速度が決定すると考えられる。

ロボットが人間の走行速度に達していないということは, モータによって流入されるエネルギーが十分ではない, もしくは着地時の衝撃を緩和できておらず, 損失するエネルギーが大きいと考えられる。したがって, ロボットの走行速度を向上させるには, 流入エネルギーを大きくするか, 損失エネルギーを抑制するか 2 通りが考えられる。流入されるエネルギーを大きくすると, 装置が大掛かりになり, 重量が増えてしまい, エネルギー効率が悪くなると考え, 着地時のエネルギー損失を抑制する方法を検討する。

着地時の衝撃を緩和する方法として, 図 1 に示すように, (a)剛体のロッギング現象と, (b)単純なコンパス型の受動歩行モデルが似ていることから歩幅の変更が考えられる。ロッギングの場合では, 縦横比を変更することで減衰比を変更できる⁽¹⁾が, 受動歩行モデルで考えた場合, 歩幅の変更に置き換えられる。つまり, 歩幅を小さくするほどエネルギー損失は抑えられるが, その代わり走行速度は下がってしまう。一定の歩幅を保ったまま, 走行速度を上げるには, 着地によって損失するエネルギーを別の媒体に蓄える必要がある。そこで, 本研究では, ばねを利用した方法を検討する。

具体的には, 足首関節や膝関節にばねを挿入することで, 着地時のエネルギー損失を抑制する方法を提案し, どの程度抑制できるかを比較, 検討する。

Fig.1 Similar model

2.解析モデル

剛体マルチボディの運動のシミュレーションには Working model 2D と MSC.visualNastran4D を使用した。

モデル寸法は, ヒトの脚部の寸法を考慮して設定し, モデルの質量は, 人間の質量比と同じように設定した。作製したモデルを図 2 に, 寸法を表 1 に示す。(a)足首関節のみを有す

るモデルと(b)膝関節のみを有するモデルの 2 つを作製した。尚(b)モデルでは, エネルギー損失は地面と接地する脚が大きく影響すると考え, 着地する方の脚にのみ膝関節を作製し, 純粋に膝の効果だけを考えたため(b)のモデルには足部を作製せず, 膝関節のみ作製した。モデルはそれぞれ, 質量部, 脚部, 足部で構成され, (a)のモデルは足首関節にばねを挿入し, (b)のモデルは膝関節にばねを挿入した。質量部と脚部の拘束は回転ジョイントで行っている。尚今回は, 前述した受動歩行の単純なコンパス型モデルと同じように考えたため, 脚の質量を軽くし, シミュレーション開始時には, モータなどによるエネルギーの供給は行わず, 初期速度のみを与えて検討を行っている。

今回は, Y 軸方向の運動は拘束し, X-Z 平面の二次元上のみで動作解析を行った。

Fig.2 Simulation Model

Table1 Specification of Model

	Weight[kg]	X[m]	Z[m]
Mass	8	Diameter 0.05	
Leg	0.001	0.05	0.8
Foot	1	0.26	0.05
Ball	1	Diameter 0.05	

3.数値シミュレーション

3-1 足首関節モデル

脚の開き角度 θ_1 を 30 度, 初期速度として 0.5m/s という条件を与え, この際にばね定数を 20~80Nm/rad まで, 20Nm/rad 刻みで与えた場合でシミュレーションを行った。この時の, 地面と脚が接地する直前と直後のそれぞれのばね定数でのエネルギー差を比較する。

それぞれのばね定数における, 地面に接地する直前と直後の系全体のエネルギーの差を図 3 に, モデルが地面に接地した時のエネルギー損失の内訳を図 4 に示す。尚, 図 4 にはかかと, 足裏がそれぞれ地面に接地する瞬間のエネルギー差と, ばねに蓄えられたエネルギーを示している。図 3 より, ばね定数を大きくしていく程エネルギー損失量が小さくなっていくことが分かる。そして, 図 4 を見ると, ばね定数が大きくなるに連れて, ばねのエネルギーの持つ割合が大きくなり, 衝突時のエネルギーの割合が小さくなっていることが分かる。

かかとが地面に接地してから足裏全体が接地するが、最もエネルギーを損失するのは、足裏全体が接地した時である。ばねを挿入することにより、かかとが地面に接地してから足裏全体が接地するまでの速度が抑えられ、地面との衝突が緩和されていると考えられる。したがって、足首にばねを挿入することで、着地時のエネルギー損失を抑制できていると言える。しかし、足首にばねを挿入した場合では、ばね定数が小さすぎるとエネルギーを蓄えられず、ばね定数を大きくしすぎてもモデルの運動を邪魔する方向に働いてしまうことがある。そこで、次に膝関節をもったモデルを考え、その時のエネルギー損失を検討する。

Fig.3 Energy loss of ankle model

Fig.4 A rate of energy loss

3-2 膝関節モデル

脚の開き角度 θ_1 を 20, 25, 30 度、膝の角度 θ_2 を 5 度～30 度まで、5 度刻み、初期速度として 1m/s という条件を与え、この際の膝を固定した場合と、ばね定数として、0～50Nm/rad まで、5Nm/rad 刻みで与えた場合でシミュレーションを行った。尚、脚の開き角度は、Mass と Ball を直線で結んだものと、膝関節のない脚がなす角度を θ_1 としている。足首関節モデルと同じく、地面と脚が接地する直前と直後のそれぞれのばね定数でのエネルギー差と固定した場合のエネルギー差を比較する。

基本的に同じような傾向であったため、代表として $\theta_1=25$ 度、 $\theta_2=5$ 度の時の Ball が地面に接地する直前のエネルギーと接地した直後のエネルギーの差を図 5 に、図 5 の膝固定の値を除け、ばね定数によるエネルギー差のみ比べたものを図 6 に示す。図 5 から、膝を固定した場合と比べると、ばね定数に関わらず、ばねを挿入したほうがエネルギーは 80% 程抑制できていると分かるが、それぞれのばね定数のエネルギー差を比較してみると、総合的な損失エネルギーの違いはあまりない。

図 6 の運動エネルギーを見ると、ばね定数が大きくなるにつれて損失が大きくなっていると分かる。これは、ばねにより衝突の速度が抑えられているためと考えられる。そのため、

運動エネルギーによる損失が大きくなっているが、その分ばねにエネルギーが蓄えられ、結果的にエネルギーの差がなくなっていると考えられる。しかし、ばね定数によるエネルギー損失の違いはないが、ばねに蓄えられたエネルギーは、その後の位置エネルギーに変換されているため、跳躍時の蹴りだしに使うエネルギーは抑えることができると考えられる。このことより膝関節のばねは、着地時のエネルギー損失抑制というよりは、跳躍時の流入されるエネルギーに使われていると考えられる。膝関節にばねを挿入した場合でも、ばねが弱すぎると、逆側の脚が前に振り出される前に跳ねてしまい何度も地面と衝突してしまう。よって、逆側の脚が前に振り出されている間は、ばねをロックする機構などを搭載すればよいと考えられる。

Fig.5 Energy loss of knee model

Fig.6 Difference of spring constant (Except fixed knee model)

4. 結言

単純な 2 足モデルで、エネルギー損失についてシミュレーションで検討した結果、足首関節にばねを挿入することで、エネルギー損失を抑制することができた。しかし、ばね定数が小さすぎるとエネルギーが蓄えられず、また大きすぎると、モデルの運動を邪魔する方向に働いてしまった。そこで、膝関節にばねを挿入した場合を検討した。

膝関節を付けることで、エネルギー損失は大幅に抑制できたが、ばね定数によるエネルギー損失の違いはなかった。しかし、ばねに蓄えられたエネルギーは、その後の位置エネルギーに変換されているため、ばねは着地時のエネルギー損失の抑制ではなく、跳躍時に流入するエネルギーに効果的に働いていると分かった。

今後は、足首関節と膝関節にばねを組み込んだモデルや、両足に膝関節を有するモデルの検討をしていく必要がある。

参考文献

- (1) 佐藤品朋, 井上喜雄, 芝田京子, 剛体の底面形状がロッキングの減衰特性におよぼす影響, 機構論, No. 095-1, pp. 393-394, 2009