

令和 2 年 5 月 20 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00369

研究課題名(和文) 慣性アシスト付き2足ロボットおよび人の歩行のスムーズな補助

研究課題名(英文) Biped robot with inertial assist and smooth assist of human locomotion

研究代表者

米田 完 (YONEDA, KAN)

千葉工業大学・先進工学部・教授

研究者番号：70221679

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：2足歩行の運動を補助するために、腿と脛など、節間に力を加えて関節を動かそうとするのではなく、おもりの加減速や円板の角加速をする反力を利用する「慣性アシスト」と呼ぶ手法を探求した。受動関節の2足歩行ロボットにおいては、脛部でおもりを前後に加速運動させて足先が前に入る運動を誘起し、腰部で円板を角加速運動させて腰を支持脚の方に傾かせ、遊脚を上げる運動を誘起することができた。人間の歩行についても上述と同様の脛部のおもりによるアシストを試みた。さらに遊脚高さの計測値にもとづいてアシストを制御することによって歩行周期が長く、歩幅の大きな歩行を安定して行える手法を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2足歩行を効率よく行うことを目標に行われている受動歩行ロボットの研究、および同様の目的のアクチュエータ付きで受動歩行を規範とした制御を行う歩行ロボットの研究において、新たな駆動法と制御法を提唱し、その効果を実験により示した。これらは人間の歩行をアシストする手法としても有効で、もとの人間の筋力による運動を阻害する感覚を持たせず、弱くて角度の小さい運動をより大きな運動へ誘導することができる。またアシストをしながら歩行を安定化させる手法を見いだしたことにより、長い周期で歩幅の大きい歩行においても転倒やつまづきを抑制できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：To assist a biped walking motion, we studied an “Inertial Assist”, using a reaction force/torque of accelerating weights and wheels, instead of using direct actuating assist force/torque between two bars such as shin and thigh. This can be achieved on the biped robot with free hip joint as producing a foot forwarding motion by acceleration of weights at shin, and upward motion of swing leg and hip shifting to the supporting leg by rotational acceleration of wheels at waist. As for the human locomotion, it is done with similar shin assist. Further research have revealed a control method of assisting stably producing a longer cycle time and longer stride.

研究分野：ロボティクス

キーワード：ロボット 2足歩行 歩行アシスト

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 2足歩行を少ないエネルギーで行う手法を探求するため、斜面を動力なしで歩く受動歩行ロボットの研究が盛んに行われている。実際には平地で歩行させるためには、何らかの駆動が必要であるが、一般的なモータと減速機を用いた手法では、摩擦の増大や慣性質量の増大によって、脚のもとの動きを阻害してしまう。そのため、歩行運動を直接生成しない方向に力を加えるパラメータ励振手法や、遊脚中に足先を引き上げる運動のみを行うような空中動作に限定した駆動を行うなどの工夫が研究されている。

(2) 人間の歩行においても、腰、腿、脛にまたがって装着する外骨格型のアシスト装置は、荷役作業のような連続した力出力には好適であるが、慣性を利用した揺動的な運動である通常の歩行では、もとの運動を阻害してしまうものであった。

2. 研究の目的

(1) もとの運動をできるだけ生かしてアシスト力を加える手法として、おもりの加減速やホイールの角加速の反力や反トルクを利用した「慣性アシスト」を提唱し、その実現の機構的な手法を探求し、効果を明らかにする。また、慣性アシストの制御法を探求し、もとの運動に同期した適切なタイミングの駆動を行って動作を増大させることを目的とした。

(2) さらに研究中に明らかになってきた課題として、アシストにより運動を大きくした場合にも、運動の偏差が生じて転倒運動に向かったり、つまづきを生じたりすることが無いように制御する必要があり、これを解決することも目的とした。すなわち運動を増大させるだけでなく、安定化も実現することをめざした。

3. 研究の方法

(1) はじめに、前進するアクチュエータを持たない図1の2足歩行ロボットによって慣性アシストの効果を確認した。このロボットは腰部の関節がフリーで左右の脚は振り子のように揺動する状態である。ただし、最上部の胴体に対する部分が地面と平行に保たれるように、左右の脚が胴体に対して反対方向に同角度だけ動く歯車を用いた平衡機構（動力なし）が付けてある。これに図2のようなおもり（図1では金色に見える部分）が連続回転する機構をつけ、アシストを行った。このおもり回転は脚先の伸縮と機構的に連動していて、脚先を伸ばして地面を蹴った後に、おもりが下方に動いて遊脚の上昇をアシストし、つづいておもりが後方に動いて遊脚を前方に振り出すようにアシストする。また、安定化の実験では、腰部両側のホイールを回転させてロール運動の抑制を試みた。



図1 おもり定速回転型アシストのロボット

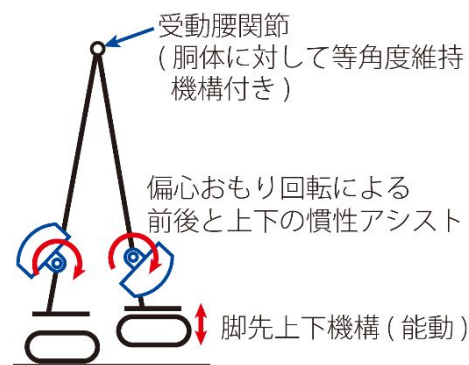


図2 駆動部分と受動関節

(2) つぎに、図3の等身大（全高1680mm）の2足歩行ロボットによって実験を行った。このロボットは腰部の関節は基本的にはフリーで、さまざまな試行が行えるように若干のトルクも出せるように低減速でほとんど摩擦抵抗のないモータも装着したが、本報告で紹介する実験では使用していない。脛に相当する高さにおもりをベルトで直動させるアシスト装置、腰付近にはモータ駆動のホイールを付けている。直動の方向とホイールの方向は可変で、アシストに好適な方向を探るようになっている。本報告では、直動を前上がりの斜め方向にし、ホイール軸を前向き水平にした状態がアシスト効果が高いと判断し、その状態での実験結果を述べる。

(3) 人間の歩行への適用については、図4のように脛部だけに直動アクチュエータ（エアシリンダ）を付けて、そのロッド両端のおもりの加減速によるアシストを試みた。アクチュエータの駆動は脚と地面との距離計測にもとづいたパターンで行っている。



図3 等身大ロボット



図4 人間の脛に付けたアシスト装置

4. 研究成果

(1) 図1の小型ロボットによる実験では、一定のリズムで定速歩行が安定してできることを確認した。その一例を図5に示す。腰部を上下させながら若干の左右揺動を伴って遊脚を上げ、おもり回転の反力によって腰簿フリー関節が動き、遊脚を前方に振り出して前進している。また、駆動の周期を変えた場合、20%増大程度まで安定して歩行し、さらに長くすると左右の揺動が大きくなりすぎて転倒する傾向があった。なお、このロボットでは周期を長くすると歩幅が増える傾向はあったが、時間当たりの歩数減少効果の方が大きく、歩行速度は短周期の方が速かった。

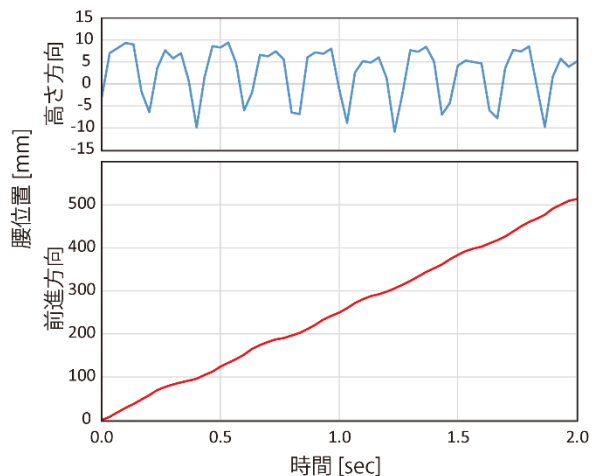


図5 定回転アシストによる歩行

(2) 図3の等身大ロボットでは、脛部のおもりの直動の方向、ストローク、途中の加減速の強弱のパターンをさまざまに変えて、前進が良好に行える手法を探求した。その結果、方向は前方を上にした斜め配置が良好であった。これは先の図1のロボットと同様に、足を上げるアシストと前に出すアシストが両方行えるためと考えられる。直動の振幅については、大きくすると加減速の効果だけでなく、位置の変化による重心の変動があり、加減速と位置は位相が180度ずれてしまう。このため、振幅を小さめに抑制した。加減速パターンについては、加速による振り出しアシストを大きくするために後ろ向きに急加速し、一方で減速は緩やかに進むようにした。なお、支持脚期間中におもりを戻す動作については加減速を等しくしている。またこのロボットは脚先で地面を蹴る機構をつけており、その場での足踏み動作が生成できる。その蹴り出しの強さを変えることにより、左右揺動の振幅を変え、周期の長短が変えられる。図6に長周期と短周期の比較を示す。周期を長くすると時間当たりの歩数が減るが、その効果以上に歩幅の増大によって歩行速度が大きくなった。このことから、長周期の歩行を誘導することが望ましいと考えられる。

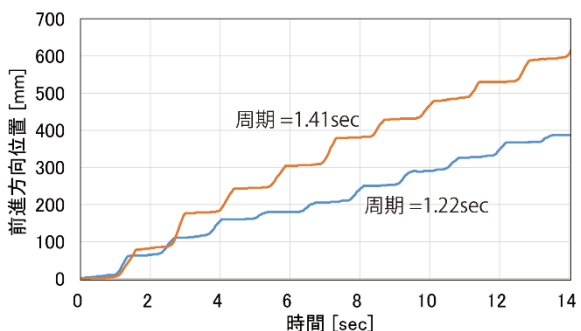


図6 周期長短による歩行速度の違い

(3) 人間の歩行への適用は、部分的にしか実施できていない。図4の装置による実験では、図7のように、おもり駆動速度とかかと前進速度が変化した。おもりを後方に加速する期間に遊脚の前進速度が増し、おもりの加速度が前向きに転じた後に脚運動は減速し、着地した後におもりが停止するパターンとなっている。一方、アシスト効果を期待していない支持脚中のおもりの運動は、支持脚期間初期に復帰運動を終了している。この実験はアシストなしでも前進するような歩き方をしているため、アシストによる歩幅増大量は分離して計測はできていない。

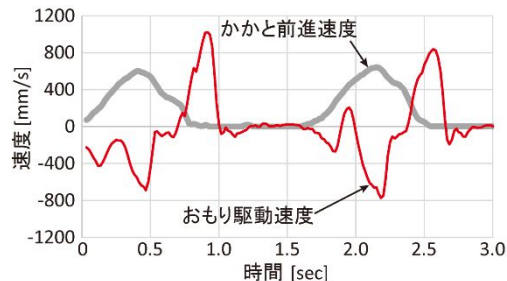


図7 人の歩行アシスト実験の計測値

(4) 図1の小型ロボットの腰部の両側にホイールを付け(図1は付いた状態)、一定速度の回転をさせて、ジャイロ効果によりロール方向とヨー方向の回転が抑制されて、周期の長い歩行をさせる試みをした。その結果を図8に示す。これは、ほぼ同じ周期の運動において、ホイールを回転させた場合と静止させた場合の比較である。安定化と表記したホイール回転ありの方が若干小さなロール振幅で歩行していることがわかる。一般には振幅が大きいほど長周期になることから、ホイール回転によってこの関係を小振幅で長周期の方向に若干シフトできていることがわかる。

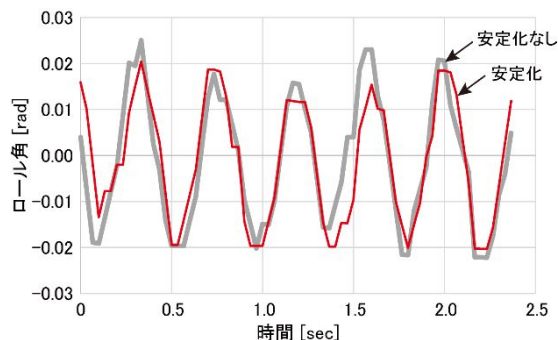


図8 定回転ホイールによる安定化の効果

(5) 図3の等身大ロボットにおいて、上記と同様の腰部ホイールによる長周期化を試みた。図9のように若干ではあるが振幅を変えずに周期を伸ばすことができている。また、同様の安定化を軸を前向きに配置した腰部ホイールで実現するため、脚先と地面との距離を計測してホイールの加減速パターンを変化させる手法を探求した。これは脚が地面を離れてからの時間だけで制御する手法にくらべて、揺動運動の振幅が大きいときは脚の上昇速度が速いことが検出できるため、振幅を安定させる効果を出しやすい。受動歩行分野で言われる「引き込み」を強めることができるものである。なお、この発想は、先立って行った単脚ロボットの揺動実験において、ホイールアシストによって歩行継続を行うものよりも、蹴り出しによって歩行を継続させる方式が強い引き込みを持っていたことから生まれたものである。蹴り出しは脚の上昇速度が速いときには持続時間が短くなるためと考えた。本ロボットにおいて、地面を蹴る強さを変えることも加えて、長周期化を試みたのが図10である。振幅も大きくなっているが周期が大幅に長くできている。

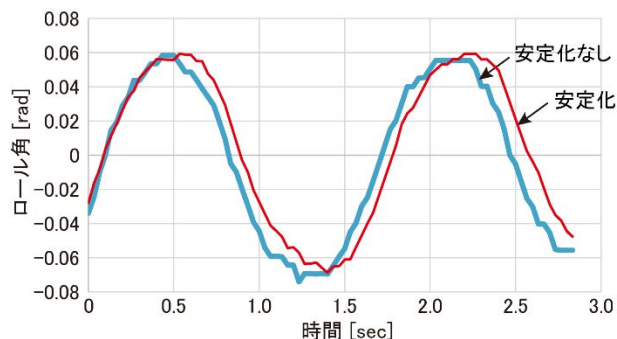


図9 等身大ロボットの安定化の効果

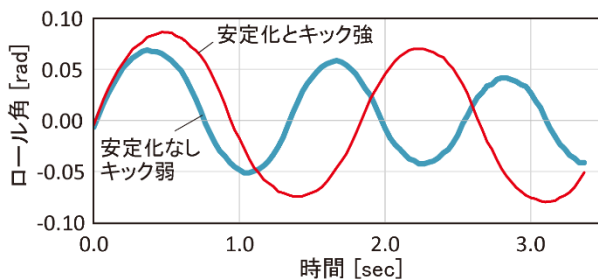


図10 安定化にキック増大も加えた効果

(6) 以上のように慣性アシストの手法は、適切な制御を行えば、歩行周期を長くして歩幅を増大させ、ゆっくりとした歩調でありながら歩行速度を高めることができることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 米田 完, 伊東稔明
2. 発表標題 慣性アシストと自励同期駆動による2足歩行の研究
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 米田 完, 安藤雅幸
2. 発表標題 慣性アシスト付き2足歩行ロボットの研究
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会2017
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考