

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12014

研究課題名（和文）ロボットから人間の2足歩行に応用する安定化ペースメーカーの研究

研究課題名（英文）Study of stable pacemaker for biped locomotion from robot to the human walk

研究代表者

米田 完（Kan, Yoneda）

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） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：おもりの運動の反力などにより補助を行う慣性アシストを用いて、脚力の弱い人がしばしば行う周期が短く歩幅が小さい歩行運動に対して、周期が長く歩幅が大きい歩行に誘導するようなアシスト方法を検討した。周期は揺動の振幅に依存し、大振幅にすると飛躍的に周期が長くなる一方、重心が支持脚直上を越して反対側に転倒する恐れがある。このため、長い周期の歩行を安定させるには精密なアシスト調整が必要となる。具体的な方法として、遊脚の地面からの高さをレーザーセンサで測定してアシスト量を制御する方法を考案した。実験によって周期の短い歩行を長い歩行に誘導できることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2足歩行ロボットにおいて、効率の良い運動を生成する模範として、受動歩行にその運動を阻害しないような動力を付加して平坦地歩行を実現する試みが多くなされている。本研究はこれに類似して、もとの運動を阻害しないが、アシストによってより望ましい運動に誘導し、かつ安定性を向上させる手法を探索したものである。考案した制御手法が有効であることを実験によって検証している。また人の歩行の補助としても筋力の不足などを補って安定した歩行を行える可能性がある。

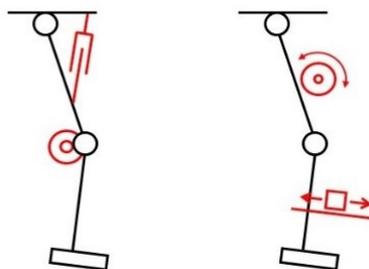
研究成果の概要（英文）：Using an inertial assist method by an acceleration of weight, this study aimed to produce an assist on a relatively short cycle step, which often observed in weak leg person, leading to a longer step cycle and wider stride. A cycle time strongly depends on the swing amplitude. Large swing makes much longer cycle time, but have a risk of overturn beyond the supporting leg. Thus, a precise assist control is required. Concrete algorithm to adjust the amplitude of assist by a laser sensing information of swing foot height is introduced. By an experiment, short cycle step can be assisted to longer one.

研究分野：ロボティクス

キーワード：2足歩行ロボット

1. 研究開始当初の背景

2足歩行ロボットの研究では、ヒューマノイドのように多くのアクチュエータを装備して多機能なものがある一方で、受動歩行を規範とした省エネルギー歩行を目的としたものがある。後者は人間の歩行の補助にも応用できると考えられている。本研究では受動歩行ロボットの能動化や人間の歩行補助におもりの加減速の反力を利用する慣性アシストと呼ぶ手法を提唱している。これは、図1 (a)のようにジョイントの両側の節の一方ともう一方の間に力を作用させる筋肉と同じような形式ではなく、(b)のように1つの節にだけ力を作用させるものである。アクチュエータは通常、バックドライブに多少の力を必要とするため、直接アシストでは、もともと持っている筋肉による運動を妨げる傾向がある。慣性アシストはバックドライブの力がもとの運動を阻害しない特徴がある。しかし、慣性アシストは関節等の動きを直接制御しないため、行き過ぎによる転倒などの恐れがあり、安定性確保との両立が課題である。



(a) 直接アシスト (b) 慣性アシスト
図1 直接アシストと慣性アシスト

2. 研究の目的

慣性アシストにおいて、運動の状況をセンシングしながらアシスト量を調整して安定性を確保しつつ、スムーズで効率よく前進できる制御法を考案し、実験による検証も行うことを目的とする。具体的には、効率の良いスムーズな前進のために、歩行周期を長くし、1歩の歩幅を大きく取れるようにする。これはからだ全体の左右揺動の振幅を大きくすることで実現できるが、重心が支持脚の直上を越えて反対側に転倒しやすくなる。それを解決して左右揺動の振幅を適正に保って長周期化を実現する制御法を探求する。

また、慣性アシストの方法として、おもりの加減速よりも小質量で大出力が期待できるコントロールモーメントジャイロ方式を取り入れ、その制御を試みる。

3. 研究の方法

はじめに左右揺動の振幅安定化に特化した検討と実験を行い、これを2足歩行ロボットに適用する。左右揺動については、計算による検討と実験を並行して行い、妥当性を相互チェックして進める。

運動の把握には人間に装着した場合の軽便性を考え、関節角計測などではなくレーザーセンサによって足先と地面との間の距離を計測する手法とした。ジャイロによる角速度計測も試みたが、ドリフトが発生するため積分した角度算出値でロール角を知るには精度に問題があり、ロール角度が最大となる瞬間すなわち角速度がゼロになるタイミングを知るのには有効であった。

また、アシスト装置として市販のジャイロスタビライザーを使用する方法も試みたが、製品本来の目的である静止状態を安定させるのと異なり、運動させて用いたため製品を損傷させてしまうことが多く、使用を断念した。内部のベアリングに過大な負荷がかかって異音を発生するようになることが損傷の典型であった。

以上のような試行を経て、良好な結果が得られるようになったものが次項以降に示す成果である。

4. 研究成果

4.1 左右足踏みの安定化

図2のような一剛体の左右2点接地で、(a)のキックによって運動するものと(b)のリアクションホイールによる慣性アシストのものを製作したところ、(a)の方が安定性が高かった。受動歩行の研究で言うところの引き込みが強い状態である。これはキックタイプではキックのストロークが一定のため、左右揺動速度が遅い、すなわち振幅が小さく周期が短い場合には、キック時間が長くなり、与える角運動量の力積が大きく、逆に左右揺動振幅が大きいときにはキックの力積が小さくなるというフィードバック効果があるためと考えた。一方の慣性アシストタイプは一定時間のホイール加速をしており、アシスト量がほぼ一定と考えられる。

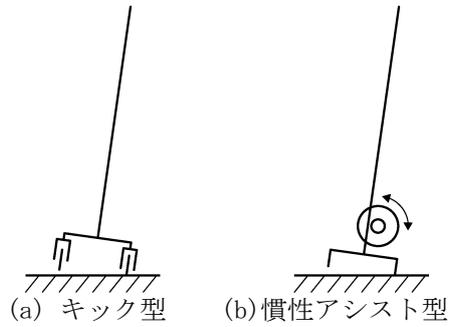
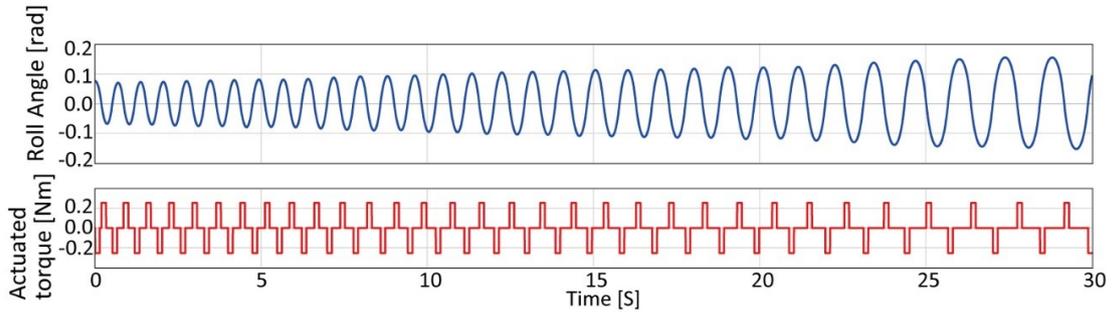
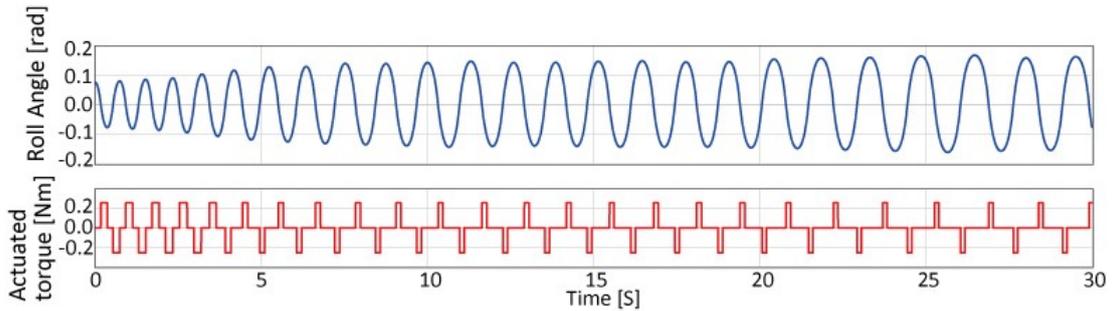


図2 左右足踏み実験2種

上記の現象を数値計算によって検証した。図3 (a)は一定時間のアシスト、(b)はキックを模擬してアシストを遊脚高さが規定値に達するまでの間だけ一定トルクでアシストしたものである。可変アシストの(b)の方が若干収束が速くなっている。アシスト ON/OFF のグラフを見ると(b)は初期の小振幅の期間のアシスト時間が長くなっている。



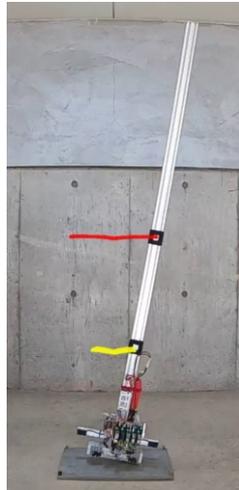
(a) 一定アシスト



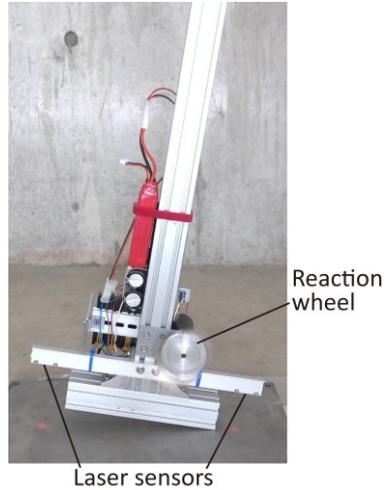
(b) 遊脚が一定高さになるまでの可変アシスト

図3 シミュレーションによる左右足踏みの安定性の比較

図4に示す実験装置を用いて、一定アシストと可変アシストの比較を行った。(a)にはビデオからトレースした2か所の運動軌跡も表示している。図5はロール角のピーク値の時間変化を示したもので、初期振幅の大きさを合わせるために時間をずらして描いている。シミュレーションと同じく、高さ計測を行って一定高さまでアシストした方が収束が若干速くなっている。



(a) 全景と軌跡



(b) 下部拡大

図4 慣性アシスト付き左右足踏み実験装置

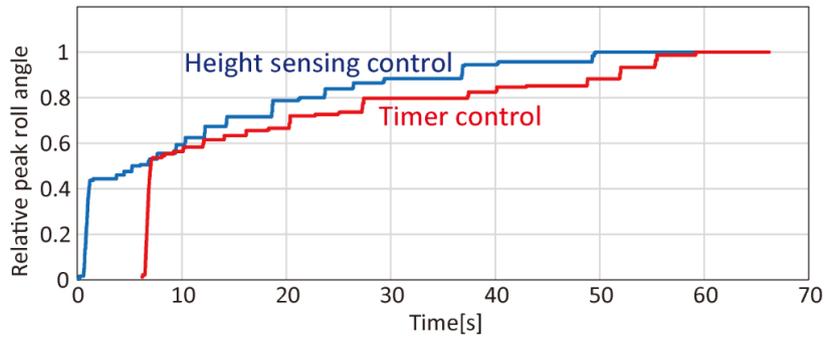
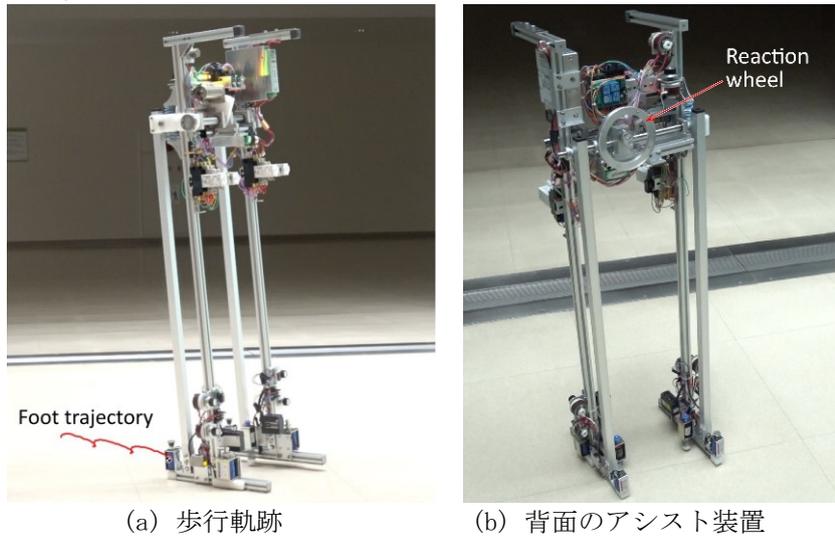


図5 左右足踏み実験の収束速度比較

4.2 2足歩行の安定化

図6の2足歩行ロボットは足先のソレノイドで地面を蹴り、腰のピッチ軸にモータでトルクを加えて歩行する。これに図6(b)のようにリアクションホイールを付け、足先のレーザセンサの高さ計測情報で切り替える制御を行った。図6(a)のように歩行ができ、左右揺動運動が安定して継続できた。



(a) 歩行軌跡 (b) 背面のアシスト装置
図6 リアクションホイールによる左右揺動アシストを行うロボット

図7の2足歩行ロボットは足先ソレノイドはあるが、腰部のアクチュエータは無く、フリーである。これに左右揺動を生み出すロール軸トルクと、遊脚振り出しを生み出すピッチ軸トルクの両方を発生できるようにコントロールモーメントジャイロを取り付けた。ジャイロの制御には足先レーザセンサの信号を用いている。図8のロール角の時間変化グラフは、振幅が比較的小さな短周期の足踏み運動から、振幅が大きくなって前進するときのようすである。前進が始まると支持脚切り替えに伴うエネルギー損失が大きくなるため、揺動幅は少し抑制される。

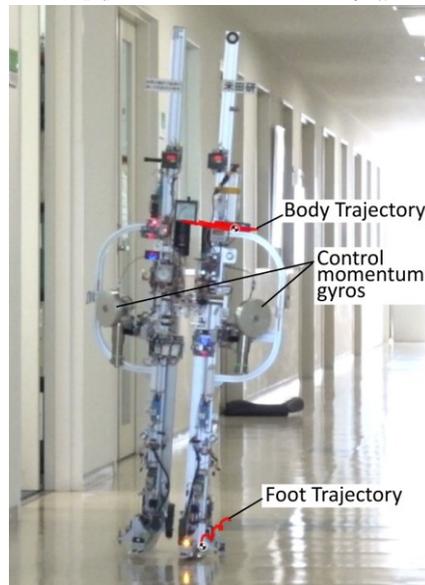


図7 コントロールモーメントジャイロで左右揺動と遊脚振り出しアシストを行うロボット

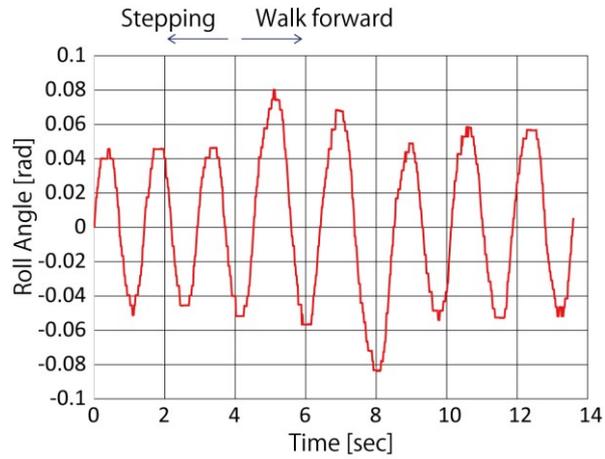


図8 コントロールモーメンタムジャイロによるアシスト時の左右揺動振幅の変化

人間の歩行に対するアシストの実験は、図9のアシスト装置で上下方向の力を発生させることのみを試みた段階である。このアシストもレーザーセンサで地面からの距離を計測して行っている。アシスト効果の計測方法については、もとの歩行能力を一定にすることがむずかしく、いまだ確立できていない。しかし、アシスト効果は十分ではないと思われ、さらに方法を検討する必要がある。



図9 人間のすねに付けたアシスト装置

4.3 まとめ

本研究では2足歩行の慣性アシストにおいて左右揺動振幅を適正に保って安定性を確保しながら歩行周期を長くするために、足先と地面との距離を計測して状態を把握し、アシスト量を調整する制御法を導入した。また、アシスト装置として、ロボット用にリアクションホイール、コントロールモーメンタムジャイロ、人間用におもりの加減速装置を導入した。人間用のアシストについては、もとの歩行能力が一定化せず、検証はまだ不十分である。もとの運動が一定のロボットにおいては、左右足踏み実験装置、および2足歩行ロボットに適用して検証を行い、歩行周期を長めに安定化させる効果を確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1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
2. 発表標題 慣性アシスト型2足歩行ロボットの安定制御
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2022
4. 発表年 2022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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------