

足首角度操作による準受動歩行ロボットの歩幅制御

Control of the Step Length of a Powered Passive Walking Robot by Manipulation of the Ankle Joint

○ 佐々木駿*, 尾崎三郎*, 水戸部和久*
○ Shun Sasaki*, Saburo Ozaki*, Kazuhisa Mitobe*

*山形大学
Yamagata University*

キーワード 準受動歩行(Powered passive dynamic walking), バネ質点系(Spring Mass Systems), ZMP(Zero Moment Point), 足首角度操作(Manipulation of the Ankle Joint)

連絡先: 〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-6 山形大学 工学部 機械システム工学科
水戸部研究室 水戸部和久, Tel.: (0238)26-3230, E-mail: mitobe@yz.yamagata-u.ac.jp

1. 緒言

現在,二足歩行ロボットは企業,大学で多く研究されている.その多くは ASIMO に代表されるように,関節に高減速の減速機を有し,関節軸をモーターにより駆動するロボットである.しかし,生物の歩行と比べエネルギー効率が悪く,目標軌道への追従による制御のため,自然で柔軟な歩行となっていない.

McGeer によって提唱された受動歩行ロボット[1]は,重力や慣性力を利用することによって斜面をアクチュエータなしで歩行可能なロボットである.この受動歩行ロボットにアクチュエータをつけることで平地での歩行を可能にしたものは準受動歩行ロボットと呼ばれる[2].準受動歩行ロボットは,より柔軟な歩行のできる受動歩行ロボットの特徴を歩行動作の生成に積極的に利用した歩行ロボットである.関節駆動型の二足歩行ロボットと比べてエネルギー効率が良く,連続的な歩行が可能で人間に近い柔軟で滑らかな歩行を実現している.しかし歩行の安定性に乏しく,歩行速度の制御が難しいなど,ロボットの移動手段としての応用には課題が多い.

本研究で開発したバネ質点系の振動を利用

して歩行する準受動歩行ロボットは,左右方向の ZMP 制御を行い継続した歩行が可能となっている.しかし,遊脚の振り出しは非駆動関節まわりの脚の回転であり,重力のみに頼るため,遊脚の振り出し角度を制御することができない.そのため歩幅および歩行速度の制御をいかに行うかが問題である.人間程度の大きな歩幅を実現することを目的とし,研究を行っている.

開発中のロボットは,多くの準受動歩行ロボットと同様に足首の自由度がなく,足底面に曲率を有するものである.本稿では,足部品の脚に対する取り付け角度(以下では「足首角度」と呼ぶことにする)を調節することで,遊脚の振り出しを制御することを試みる.足首角度を遊脚の期間内に操作し,支持脚期間は固定とするメカニズムを製作する.歩行可能な足首角度,足首角度の変化による歩行の方向などを調べた.

2. バネ質点系振動を用いた準受動歩行ロボット

2.1. ロボットの構成

本研究では Fig. 1 に示すようにバネ質点系を用いて歩行する 2 足歩行ロボットを扱う.ロ

ボットは **Fig. 2** に示すように中央にあるサーボモータ 1 つを動力とし、左右に取り付けたバネ質点系と、腰関節と膝関節のある 2 本の脚、円弧の脚裏を持つ。ロボットは幅 830mm、高さ 400mm、錘を含めた総重量 1.55kg である。バネ質点系はバネ定数約 30N/m のゴムひもと 0.5kg の錘で構成され、ロボット中央のサーボモータを用いて加振する。腰関節は進行方向に垂直な軸周りの自由度に加え、平行な軸方向に対してはゴムを用いて剛性のある回転自由度を与えた。脚裏には曲率半径 600mm の円弧を設けた。歩行速度は約 60mm/s である。

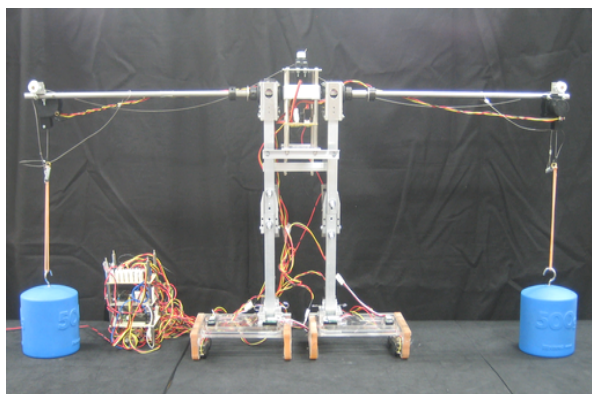


Fig. 1 Powered Passive Walking Robot

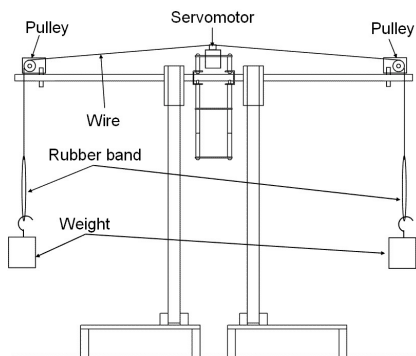


Fig. 2 Mechanism of the spring mass system

2.2. 遊脚相の生成と振り出し

Fig. 3 に示すようにバネ質点系の振動に合わせて ZMP 位置が変化すると共に、脚のつけ根周りのモーメントは増大することで脚が回転し遊脚相が生成される。

ロボットは初期状態で前傾姿勢になっているため、重力により遊脚が振り子のように前へ振られる現象を利用して遊脚の振り出しを行う。

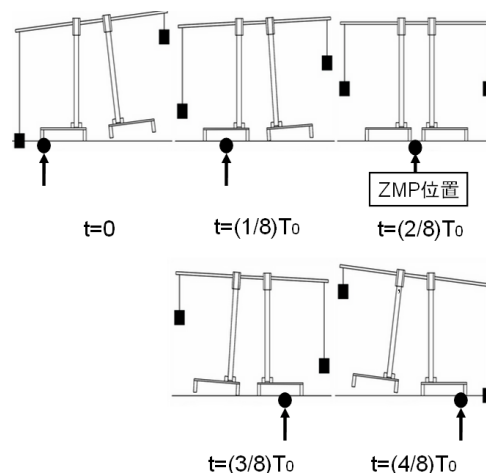


Fig. 3 Lateral motion and the ZMP position

2.3. 足首角度調節機構

試作したメカニズムは **Fig. 4** に示すように、脚と足の取り付け部にくさび形の部品を挟むことで、支持脚時の足首角度を操作するものである。くさび形の部品は遊脚期間には前後方向へ位置調整が可能としてある。今回の試作では、くさび形の部品のみで足首角度の固定が充分でないため、補助的にくさび形部品と連動させ直接脚を支える部品も取り付けた。

遊脚時には重力により足部品と脚部品底部の間には隙間が生じ、くさび形部品の位置調整が可能とした。この際、隙間が大きすぎると足部品と地面が接触し遊脚の振り出しが妨げられる。これを避けるために、足部品の可動角度が -2deg から 6deg までの範囲で収まるようにワイヤーで拘束してある。

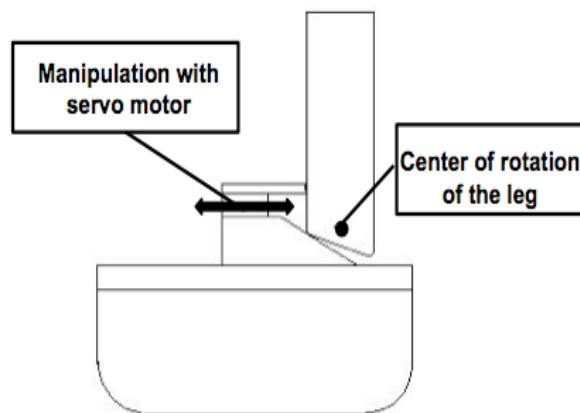


Fig. 4 Mechanism to adjust the ankle joint

3. 足首角度制御

3.1. 足首角度制御について

足首角度の制御は **Fig. 5** の左に示すように、すべて遊脚時に行っている。支持脚時には脚に作用する重力により、足部品と脚が固定された状態となる。これにより角度調整のためのモーターが常に重力を支え続けることを回避している。脚が支持脚状態にあるか、遊脚状態にあるかの判断は、足裏に取り付けてあるタッチセンサによって行っている。足首角度は -2deg から 6deg まで 2deg 刻みで外部からの有線でのコマンド送信により制御している。

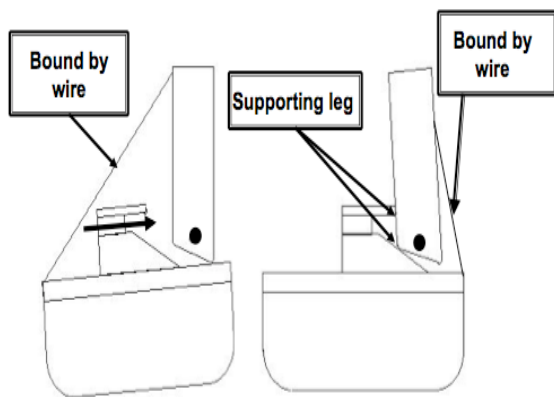


Fig. 5 Control of the ankle joint

3.2. 脚関節角度の制限による発散防止

脚角度の発散を防ぐために **Fig. 6** に示すように脚の最大角度を制限した。これにより歩幅の発散を防いでいる。

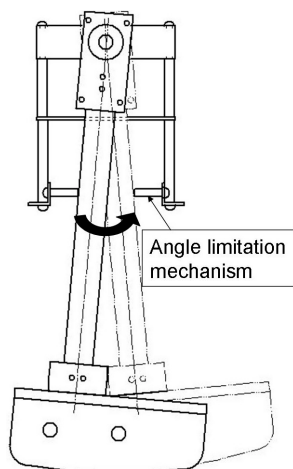


Fig. 6 Leg angle limitation

4. 歩行実験

歩行状態において試作したメカニズムが目的の動作を行うことを確認した。さらに足首の操作により歩行速度および歩幅の制御が可能であることを実験により確認した。

初期状態における足首角度を 0deg として、バネ質点系を加振することで歩行状態にする。その後、徐々に足首角度を増大、減少してこれによる歩行の変化を調べた。

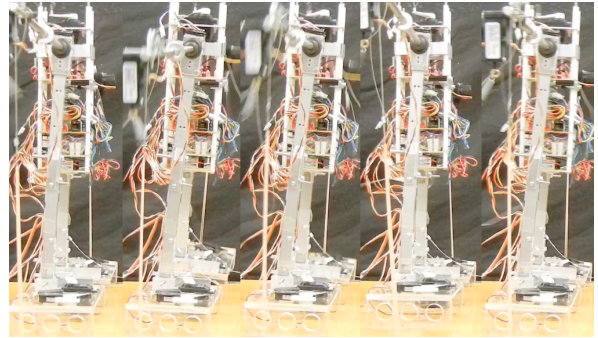


Fig.7 Experimental walking of the robot of ankle joint of 0 degrees

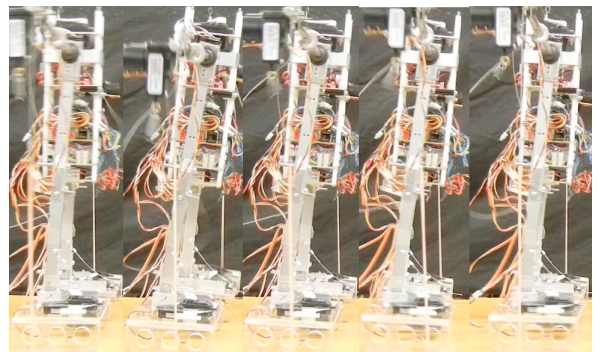


Fig.8 Experimental walking of the robot of ankle joint of 2 degrees

Fig.7,8 に歩行実験の連続写真を示す。 **Fig.7** の足首角度 0deg の時は足踏み状態となることを確認した。 **Fig.8** の足首角度をプラス方向に操作した場合にロボットが前進歩行し、角度をマイナス方向へ操作した場合には後方へ歩行することが確認できた。

5. 結言

本研究ではバネ質点系の振動を利用した準受動歩行ロボットの歩容制御を目的とし、歩行中に足部品の取り付け角度（足首角度）を操作する機構を開発した。開発した機構を用いることで、歩行速度および歩幅の変更が可能である

ことを確認した。また、前方だけではなく後方にも歩行できることを確認した。

今後の課題として、1.試作した足首角度調節機構では、足首角度の固定が充分でないため、脚を直接支える部品が付加されている。この部品により支持脚時の重力の一部をモーターが支え続ける必要がある。くさび型の機構を改良し、足部品の固定を確保すれば現状よりも小出力のモーターにより制御が可能と考えられる。

2.足首角度をなるべく大きくすることで歩幅拡大につなげる。3.ジャイロセンサを使って脚角度を算出してその脚角度に最適な足首角度を与えることで安定した歩行を実現する 4.前年度までの研究で脚を長くすることで台の上でなく平地での歩行が可能なので、平地で左右の足首角度を変えることで自由な方向に歩行可能なロボットを制作したい。

参考文献

- [1] T. McGeer: Passive Dynamic Walking; Int. J. Robotics Research, Vol. 9, No.2(1990), pp.62-82,
- [2] S.H.Collins, A. Ruina, R.L. Tedrake and M. Wisse: “ Efficient bipedal robots based on passive-dynamic walkers ” , Science, Vol.307, pp.1082-1085, 2005