

6脚作業移動ロボットの脚先力センサの特性計測

Characteristics of Foot Force Sensors for Working Six-Legged Robots

○馬籠恭平, 李秀雄, 井上健司

○Kyohei Magome, Suwoong Lee, Kenji Inoue

山形大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

連絡先: 〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16 山形大学大学院理工学研究科応用システム工学専攻
井上健司, Tel & Fax: 0238-26-3335, E-mail: inoue@yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

災害現場でのレスキュー活動, 橋やトンネルの点検保守などに用いられるロボットは, 1台で高い移動能力と作業能力を合わせ持つ必要がある. また, エネルギー効率や活動時間の点から, ロボットの小型軽量化も重要となる. そこで我々は, 高速安定な移動を行う6脚モード, 低所での腕作業が可能な水平4脚2腕モード, 高所での腕作業が可能な垂直4脚2腕モードを切り替えることで, 高い作業移動能力を発揮する6脚ロボットを開発している[1-3].

6脚モードにおける不整地歩行, 両4脚2腕モードにおける4脚歩行や物体押し作業[3], 2腕マニピュレーションを行うためには, 脚先に作用する力を測定するセンサが必要となる. このとき, 脚先が地面や物体に接触する角度は垂直とは限らないため, センサは接触角度が変わっても力を測定できなければならない. また, ロボットの脚先に実装可能なように, センサを小型化することも重要である.

本論文では, 開発中の6脚作業移動ロボットの脚先につける力センサの構造を提案し, そのプロトタイプを製作する. 次に, 接触角度を変えて, 脚先に作用する力とセンサ出力の関係を測定する. さらに, センサをロボット脚先に実装し, 歩行時の脚の接触検出および力計測が可能かを検証する.

2. 6脚作業移動ロボット

開発中の6脚作業移動ロボットをFig.1に示す. ボディは直方体の隅を切り取ったような形状で, 広い下面の四つの隅に4本の脚を, 上面の二つの隅に2本の脚を配置している. この脚の空間的な配置により, 6脚モード, 水平4脚2腕モード, 垂直4脚2腕モードの3つのモードが可能となる. 脚の自由度は3, よってロボットの自由度は18である. 関節のアクチュエータには, ROBOTIS社のロボット用インテリジェントサーボモータ

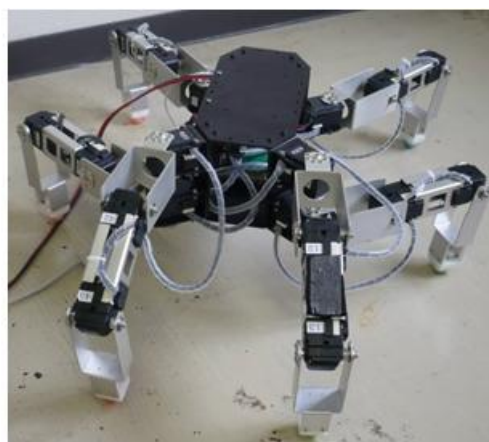


Fig.1 Working six-legged robot

Dynamixel DX-117とRX-28を使用した. ボディのサイズは200[mm]×100[mm]×93[mm], 脚1本の全長は350[mm], ロボットの全重量は2.73[kg]である. 力センサ実装前の脚先にはゴムボールを埋め込み, 脚先が傾いた状態でも地面や物体に接触できるようなになっている. また, ゴムの効果により, 接地時の衝撃を緩和するとともに, 摩擦力を向上させている. その他, ロボットの詳細は文献[1]に記す.

3. 脚先力センサの構造

脚は3自由度なので, 脚先の姿勢を制御することはできない. よって, 脚先が地面や物体に接触する角度は垂直とは限らないため, センサは接触角度が変わっても力を測定できなければならない. 方向が一定でない力を測定するひとつの方法は, 脚先に3軸以上の力センサを搭載することである. しかし, 3軸以上の力センサを本ロボット脚先に搭載することは, サイズの点から不可能である. よって, 一方向の力を測定できる小型の感圧センサを用い, 接触角度の変化にも対応可能な新しいセンサが必要となる.

脚先に作用する力を感圧センサに伝える方法の一例をFig.2に示す[4]. この構造では, 脚先に作

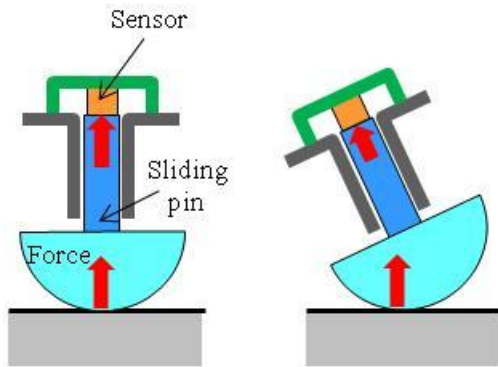


Fig. 2 Force sensor structure using sliding pin

用する力によりピンが一方方向に並進移動し、ピンが感圧センサを押して力が測定される。よって、脚先がピンの移動方向に押された場合は、ピンが滑らかに動いて力が感圧センサに伝わる。しかし、斜めに押された場合は、力の方向とピンの移動方向が異なるために、ピンが動きにくくなり、感圧センサに力が伝わりにくくなる。

そこで、Fig.3のように球体を利用したセンサ構造を提案する。球体は、脚先内で動くことができ、かつ外れない程度にわずかな隙間を持って挟み込まれている。球体の脚先から突出した部分が地面に接触し、反対側は感圧センサに接触している。

この構造では、脚先の接触角度によらず、球体は力の方向に移動するため、Fig.2の構造とは異なり、力が感圧センサに伝わる。ただし、接触角度が大きすぎると、感圧センサの検出方向と力の方向の差が大きくなり、センサの感度は落ちる。

4. 脚先力センサの設計

設計製作した脚先力センサをFig.4に示す。球体には、直径20[mm]のゴムボールを使用した。ボールを保持するフレームのサイズは図に示す通りで、球体が動くようにわずかな隙間を作っている。

使用した感圧センサは、浅草ギ研社製の感圧センサAS-FSである。このセンサは、荷重を電圧値に変換する電圧変化型で、荷重が大きくなると出力電圧が高くなる。また、検出部分のサイズは5[mm]×5[mm]である。

5. 脚先力センサの特性計測

Fig.5に示す接触角度 θ [deg]を変えて、脚先に作用する力 F [N]とセンサ出力の関係を測定した。

接触角度 θ [deg]を保ち、センサをバイスで固定した状態で、上からフォースゲージを押しつけて力 F [N]を測定する。フォースゲージは、イマダ製のZPS-DPU-20N（分解能：0.01[N]）である。センサの出力電圧の範囲は0～5[V]で、これをA/D変換（10ビット）してコンピュータで記録した。

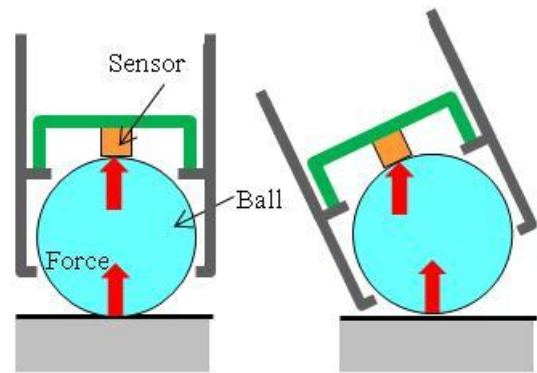


Fig. 3 Force sensor structure using ball

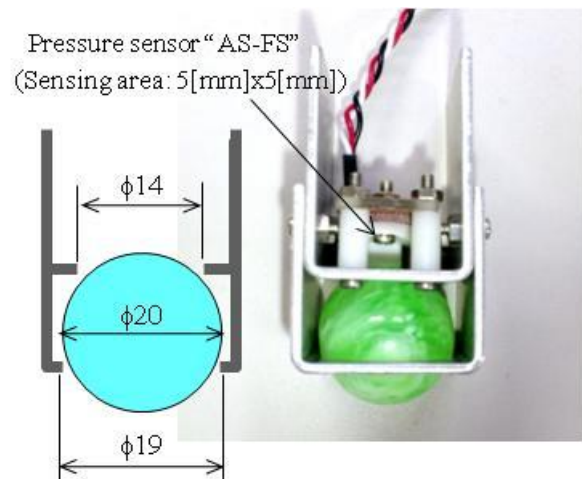


Fig.4 Prototype force sensor

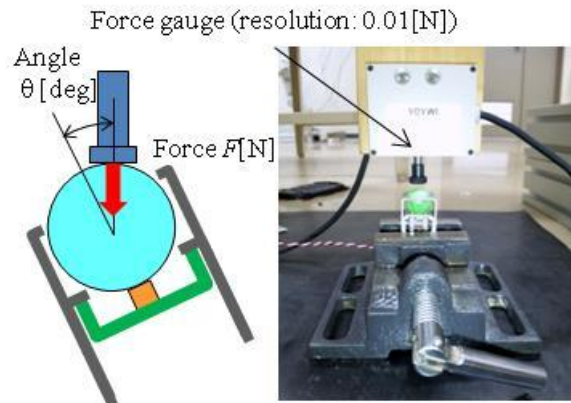


Fig.5 Measurement of relationship between force and sensor output

接触角度 θ を0, 5, 10, 15, 20, 25[deg]と変えて測定した結果をFig.6に示す。グラフから、接触角度が変化しても、力 F [N]とセンサ出力の関係はほぼ同じになることがわかる。

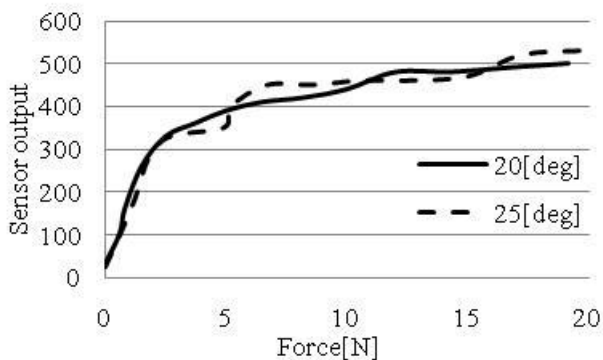
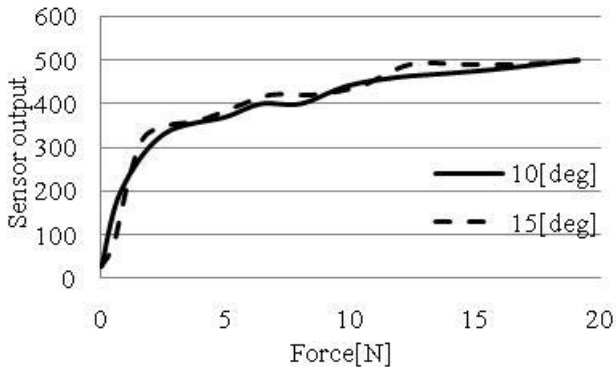
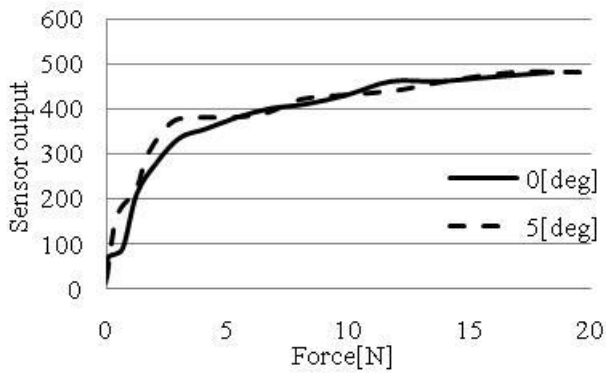


Fig.6 Relationship between force and sensor output

6. ロボット歩行中の脚先力の計測実験

ロボットの一つの脚先にセンサを実装し、歩行時の脚の接触検出および力計測が可能かを検証した。

Fig.7は、ロボットの脚先に力センサを実装した状態である。ロボットにトライポッド歩容させたときに、脚先力センサによって測定された力の時間的変動の様子をFig.8に示す。横軸は時間、縦軸はセンサ出力である。

Fig.8で、センサ出力が0近くまで下がっている期間では、脚が地面から離れ、センサが無負荷になっている。脚が接地するとセンサ出力が200以上に急激に増加しており、脚の接地をよく検出できることがわかる。一方、歩行の中間あたりでは、



Fig.7 Force sensor attached to robot's foot

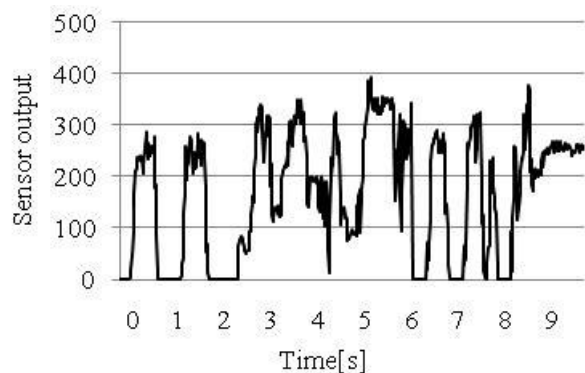


Fig.8 Sensor output when robot is walking

脚が地面から離れたにもかかわらず、センサ出力が0まで下がっていないときがある。これは、ゴムボールがフレームに挟まってしまい、ボールがセンサから離れなかったためと考えられる。

7. おわりに

本論文では、開発中の6脚作業移動ロボットの脚先につける力センサの構造を提案し、そのプロトタイプを製作した。接触角度を変えて脚先に作用する力とセンサ出力の関係を測定した結果、接触角度0~25[deg]の範囲で、ほぼ同様の特性が得られることを確認した。さらに、センサをロボットの脚先に実装して歩行時の脚の接触検出および力計測の実験を行い、その可能性と問題点を明らかにした。

今後の課題は、センサの改良とロボットのすべての脚への実装、6脚不整地歩行や4脚歩行への応用などである。

本研究は科学研究費補助金・基盤研究(C) (課題番号 21560256) の助成を得た。

参考文献

- [1]井上健司, 大江寛次郎: “3つのモードを切り替え可能な6脚作業移動ロボットの開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007 論文集, 1A1-E04, 2007.
- [2]大江寛次郎, 井上健司: “6脚作業移動ロボットの段差登り能力の解析”, 第51回自動制御連合講演会論文集, pp.796-799, 2008.
- [3]大江寛次郎, 李秀雄, 井上健司: “6脚作業移動ロボットによる物体押し動作の解析”, 第27回日本ロボット学会学術講演会論文集, RSJ2009 AC1P2-02, 2009.
- [4]T. Takubo, T. Arai, K. Inoue, et al., “Integrated Limb Mechanism Robot ASTERISK”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.18, No.2, pp.203-214, 2006.