

論文の内容の要旨

論文題目 足裏に局所滑り覚を有する跳躍ロボットの研究

氏名 岡谷 泰佑

第1章 序論

本研究の目的は、着地した時に路面の滑りやすさを判別し、路面の滑りやすさに合わせた跳躍動作を行うことで、転倒せずに跳躍し続けられるロボットを実現することである。そのために、着地してから足が滑る前に路面の滑りやすさを判別することができる「局所滑り覚センサ」をロボットの足に取り付ける。

足と路面の間の滑り始めを検出する「滑り覚センサ」を用いて路面の滑りやすさを判別する場合には、足が滑り始めた後でしか路面の滑りやすさを判別することはできない。これに対して、本研究で提案する「局所滑り覚センサ」は足が滑り始める前にも路面の滑りやすさを判別することができるセンサである。本研究では、跳躍ロボット実機を用いて、着地後、跳躍動作開始前に路面の滑りやすさを判別し、路面の滑りやすさに合わせて跳躍動作を選べることを実証する。

第2章 原理

跳躍ロボットの力学を考慮し、路面の滑りやすさに合わせた跳躍ロボットの制御則を導出する。まず、跳躍中の運動と着地中の運動を分けて考え、跳躍直後、着地直前、着地直後、跳躍直前の状態遷移を表す方程式を求める。次に、胴体の水平面に対する角度および角速度に着目し、これらを共にゼロへと制御する跳躍ロボットの制御側を導出す

る。十分に摩擦力が作用する路面でも、ほとんど摩擦力が作用しない路面でも、適切なフィードバック制御を行うことで姿勢を安定化できることを示す。

ロボットの足に取り付ける路面の滑りやすさを判別可能な局所滑り覚センサの原理について述べる。弾性体と剛体平面の接触面で生じる局所滑り領域の接触面全体に対する割合（局所滑り率）に着目することで、接触面全体が滑らなくとも路面の滑りやすさを判別できることを示す。有限要素法シミュレーションの結果から、弾性体と基板の接着面中央に生じる圧力と弾性体全体にかかる押し付け力を計測することで、近似的な算出式を利用して局所滑り率を推定できることを示す。

第3章 設計・製作

局所滑り覚センサと跳躍ロボット実機の設計・製作方法について述べる。局所滑り覚センサは、弾性体と基板の接着面に生じる圧力・せん断応力分布から局所滑り率を推定するセンサである。圧力・せん断応力分布を計測するために、弾性体と基板の接着面にピエゾ抵抗効果を利用したMEMS圧力・せん断応力センサが配置されている。弾性体に押し付け力を与えた時に弾性体と基板の接着面中央に作用する圧力とその周囲に生じるせん断応力分布を計測するため、局所滑り覚センサチップを設計・製作する。

第2章で述べたような跳躍ロボットの制御を実現するためには、路面に対して垂直な押し付け力と水平な摩擦力を独立に操作できる必要がある。したがって、2つのモータを使って、足先の動きに2自由度を持たせる必要がある。本研究では2つのスライダクランク機構を組み合わせて足先を動かす機構を用いる。

第4章 局所滑り覚センサ

試作した局所滑り覚センサの3軸力に対する応答を確認する。次に、傾いて接触させた時の局所滑り覚センサの応答を確認する。最後に、局所滑り覚センサを路面に対して衝突させたときの応答を確認する。

実験セットアップは6軸力・トルクセンサ、x軸手動直動ステージ、y軸手動直動ステージ、z軸手動直動ステージ、 α 軸ゴニオステージ、 β 軸ゴニオステージ、z軸手動回転ステージ、z軸手動回転ステージと6軸力・トルクセンサを固定するための治具、ゴニオステージと6軸力・トルクセンサを固定するための治具、アクリル板およびそれを固定するための治具からなる。局所滑り覚センサとアクリル板の間に介在物を置くことで、局所滑り覚センサとアクリル板の間の静止摩擦係数を変えることができる。実験結果より、接触面の静止摩擦係数が異なる条件下でも、押し付け力と摩擦力を計測でき、ある大きさの力が加わった時の弾性体の広がりや静止摩擦係数の関係性を評価することで、ベビーパウダーで得られる0.25から0.74の範囲で静止摩擦係数が異なる状況でも、静止摩擦係数と3軸力を同時に計測可能であることを示した。また、曲面表面を有するセンサと平面表面を有するセンサについて、傾けて接触した場合でも、静止摩擦係数と

接触角度を同時に推定可能であることを示した。

アクリル板に対して曲面表面を持つ局所滑り覚センサを落下させ、衝突させた時の応答を調べることで、局所滑り覚センサによって計測されるアクリル板に直接触れる弾性体の変形と力センサで計測される押し付け力から、アクリル板と弾性体の間の滑りやすさを衝突後の短い時間の中でも評価できることを示した。

第5章 跳躍ロボット

足先に局所滑り覚センサを取り付けた跳躍ロボットを用いて、着地後に路面の滑りやすさを判別し、路面の滑りやすさに合わせて跳躍動作を選ぶ制御について検証を行う。

設計・製作した跳躍ロボットは水平面からある角度だけ傾いた台の上を滑るように移動することで、二次元平面上に拘束された運動が可能になっている。実験に用いた台の角度は約5度とした。カメラで撮影した跳躍ロボットおよび台に取り付けたマーカーからロボットの位置および姿勢を計算することができる。

跳躍ロボットを十分に摩擦力が作用する路面とほとんど摩擦力が作用しない路面それぞれの上で局所滑り覚センサおよび力センサを足に取り付けた跳躍ロボットを跳躍させることを繰り返し、得られたデータから局所滑り率の算出式を求めた。また、センサ出力を計測すると同時にロボット着地時の足先の様子を高速度カメラで撮影し、足全体が滑る前の局所滑り状態の間にセンサ出力から路面の滑りやすさを判別可能であることを確認した。

十分に摩擦力が作用する路面とほとんど摩擦力が作用しない路面のそれぞれで姿勢を安定化できる制御を実装した。路面の滑りやすさを判別し、路面の滑りやすさに合わせて制御を切り替えることで、ある時点から十分に摩擦力が作用する路面からほとんど摩擦力が作用しない路面に移ったとしても転倒することなく姿勢を安定化できることを示した。

第6章 結論

本研究では、滑りやすい路面に着地しても転倒を回避できる跳躍ロボットを目指して、滑らなくとも路面の滑りやすさを判別できる足裏に局所滑り覚を有する跳躍ロボットを実現した。滑りが生じるか否かに関わらず着地時に路面の滑りやすさを判別できることで、路面の滑りやすさに合わせた跳躍動作が可能であることを実機により確認した。

本研究では十分に摩擦力が作用する路面とほとんど摩擦力が作用しない路面の二つを見分けることを行ったが、足と路面の間の静止摩擦係数を細かく知る方法については未だ達成できていない。足裏の弾性体の変形から路面の滑りやすさを含む路面の特性を定量的に評価できる手法が今後のロボットには必要になるであろうと考えられる。