

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月 1日現在

機関番号：13601
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2011～2012
課題番号：23760223
研究課題名（和文） 地盤情報を獲得できる触覚型車輪を利用した軟弱地盤走行経路設定
研究課題名（英文） Consideration of Path Planning using Wheel with Tactile function to acquire Information of ground
研究代表者 飯塚 浩二郎 (IIZUKA KOJIRO) 信州大学・ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点・助教 研究者番号：10453672

研究成果の概要（和文）：本研究が対象としている不整地軟弱地盤は，“視覚的に認識できる障害に成り得る要因(岩など)”と“視覚的には認識困難な障害に成り得る要因(軟弱な地盤)”が存在し、自律移動ロボットにはこれらを自律的に回避する能力が求められる。そこで本申請では視覚的に認識困難な障害を回避する手段として車輪が砂地に埋まり走行不能に陥る原因である沈下を、局所領域において直接検出する車輪の開発を行い、沈下情報を利用した経路計画の検討を行った。

研究成果の概要（英文）：This study considers the path planning using the information of subsidence under the wheels. In the study, we are developing the sensing wheel to measure the subsidence of the wheels. The sensors for the wheel are used the strain gauges. The strain gauges are mounted on grousers of the wheel. When the grouse are contacted on the surface of the loose soil, the subsidence is predicted using the values of strain gauges and the rotation angle of the wheel. If the robot can inform the subsidence before it has poor condition by the subsidence of the wheels, it can traverse in safety and with efficiency. Moreover, the path planning is updated by using the information of the subsidence. The effectiveness of the proposed wheel was indicated by the running experiments. We considered furthermore in the path planning using the proposed sensing wheel.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：情報機器・知能機械システム

1. 研究開始当初の背景

車輪などの移動体の走行・移動において、経路における障害を計測し、それらを回避するシミュレーション及び実験が行われている[坪内, 2010]。本研究者らもこれまでに、不整地領域、特に砂のような軟弱地盤走行において、移動体と地盤の間に発生する物

理的特性に関する研究をし、移動体の走行状態の力学的関係を明らかにすることや軟弱地盤に有効な移動体の開発を行ってきた。これらの研究は天災被災地や湿原などでの車両の走行性能向上などに有用である。自律移動ロボットの軟弱地盤走行においては、常に車輪の沈下による走行不能状態に陥る

危険性がある [飯塚ら, 2006]. その解決として確実な沈下量の測定が重要となる. そこで, 軟弱地盤走行用に車輪表面に搭載されているフィンに着目し, そのフィン上にセンシング機能を設けることで幾何学的に沈下量を測定する触覚型車輪を開発した [笹木, 飯塚, 2010]. 車輪の表面(または内側)に応力センサなどを貼り, 法線応力を測定している研究では, 砂に埋まっている部分よりも小さい角度で応力が発生していることが確認されている [吉田ら, 2008] [A. Krebs et al., 2008]. 一方, 本研究が開発した触覚型車輪では, 微小な応力変化で反応するひずみゲージを採用しているため, 車輪が軟弱地盤に沈下している時の角度が正確に算出することができる. 角度を算出する方法として, 車輪表面のフィンにひずみゲージを取り付け, そのフィンが地盤中に侵入したときのデータをマイクロコンピュータ (dsPic) に取り込み, ひずみデータが立ち上がったところを角度とした.

この車輪は, 外界センサを用いずに沈下量を測定でき, データ処理を用いて沈下速度を算出できることから, 走行不能状態を回避させる方法の着想に至った. また, 経路設定において, 地盤情報を把握しながら移動することにより安定した走行経路設定が行えることを考えた.

2. 研究の目的

軟弱地盤走行時の沈下量やせん断応力値のような地盤情報を獲得できる”触覚型車輪”を利用し, 地盤情報を基にした沈下による走行不能状態からの脱出実証実験及びその知見を生かした走行経路設定の検討を行う. 図1に車輪が軟弱地盤に沈下する様子を示す. 図に示すような沈下による不安定状態を回避する経路設定法の構築を目指す. 具体的な研究目的を以下に示す.

- (1) 車輪のグラウザに搭載されている触覚機能による沈下量推定
- (2) (1)の方法を用いた走行不能からの脱出実証実験
- (3) (2)から得られた結果を用いた経路設定の検討

3. 研究の方法

本研究では, 触覚型車輪による沈下量測定技術に着目し, 触覚型車輪を搭載した自

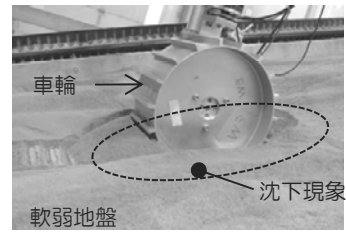


図1 車輪の沈下現象

律移動ロボットにおいて軟弱地盤走行時の経路設定について検討する. 触覚型車輪は, 搭載したセンサを用いて沈下量を推定し, “走行不能状態”を定量化する. それを基に自律移動ロボットが走行不能状態に陥りやすい危険地域へ侵入した際に, 回避するシステムを検証する. また, 軟弱地盤で覆ったフィールド内に安全領域と危険領域(走行不能状態に陥る地域)を想定し, 危険領域を回避及び脱出しながら, 目的地へ移動を促す走行経路設定の検証を行う.

- (1) 触覚情報を利用した“走行不能状態”の数値化

車輪がどのような現象で走行不能状態を招いてしまうかは, 本申請書によってすでに実証されている. そこで, 本研究が提案している車輪の触覚情報を利用して, 沈下量を推定し, 触覚情報と沈下量の相互間の関係を導出し, 走行不能状態の定量化を行う.

図2に本研究が提案した車輪の触覚情報を示す. 車輪用モータの回転量とひずみのデータが急激に立ち上がった位置から算出し, 沈下量を推定させる.

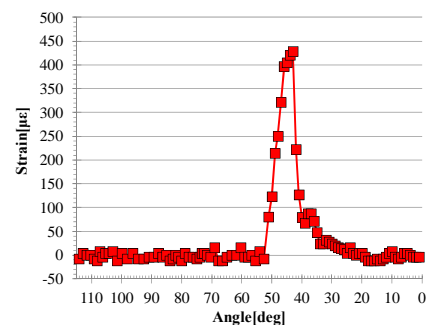


図2 触覚車輪が取得したひずみデータ

- (2) メカニズムを利用した走行状態回避アルゴリズムの構築
車輪が走行不能状態に陥る状態となる触覚

情報を得たときの車輪の回転運動に変化を与える(スイッチバック法を適用).

(3) 経路設定検証

(1)及び(2)により導出した“走行不能状態”の数式化を利用し, 任意的に想定した軟弱地盤フィールドを使い走行経路設定の検証を行う. 自律移動ロボットには, 目的地の座標を与え, 出発地の座標から目標値に対して走行不能状態”に陥る地盤を用意し, 任意に設定した経路中に沈下による走行不能となる高スリップ率エリアを準備しておく. また, 自律移動ロボットは常に目的地へ向くことおよび必ず通るランドマークを設定しておく. ここでは, スリップ率の高い地域を回避しながら目的地へ向かう経路設定の検証を行う. このような目標地までの経路を表現する.

4. 研究成果

本研究が対象としている不整地軟弱地盤は, “視覚的に認識できる障害に成り得る要因(岩など)”と“視覚的には認識困難な障害に成り得る要因(軟弱な地盤)”が存在し, ロボットにはこれらを自律的に回避する能力が求められる. そこで本申請では視覚的に認識困難な障害を回避する手段として車輪が砂地に埋まり走行不能に陥る原因である沈下を, 局所領域において直接検出する車輪の開発(高精度化)①を行い, その開発した車輪を用いた沈下検知システムの構築②及び沈下回避実証実験③, そして沈下情報を利用した経路計画の検討④を行った. 各研究成果の概要を以下に記す.

① 直接沈下量を検出する車輪の開発

以前開発した触覚型車輪よりも高精度検知が可能となった. これは接触情報を拡張する機械的機構を取り組んだこと及び高周波フィルタを用いたデータ処理により実現を可能とした.

② 沈下検知システムの構築

真のデータと比較するためのカメラを用いた沈下測定情報と車輪のデータ(回転角度, 回転速度, 触覚情報)を統合することにより実現した.

図3-4に本研究により開発された車輪を用いた接触角度及び沈下量推定結果を示す.

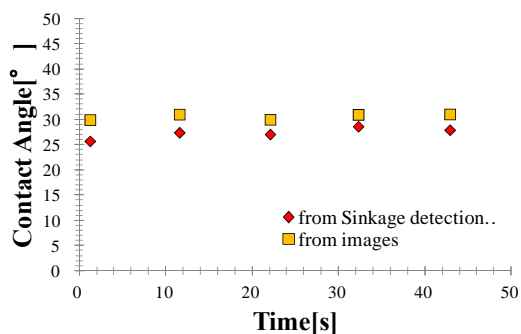


図3 接触角度推定結果

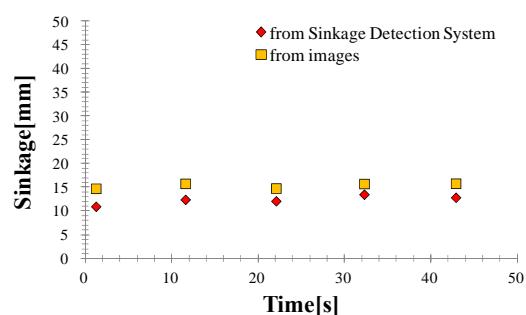


図4 沈下量推定結果

この結果より高い精度で沈下量推定が可能であることが示された

③ 沈下回避実証実験

開発した触覚車輪を用いて任意に滑りを与えた状態で地盤走行させた. この実験では触覚車輪に事前に回避の閾値である”判定沈



図5 脱出実験①: 車輪沈下状態



図 6 脱出実験①：脱出状態

下量”（沈下メカニズムにより導出された判定基準を利用）を与え、その値に達した時にその場所から離脱（車輪の逆回転により脱出）することができることを実証することができた。図 5 に車輪を任意に沈下させた走行実験の様子を示す。車輪の表面に搭載されたグラウザにより車輪下部の砂をかき出し、沈下している様子が示されている。一方、図 5 に沈下状態からの脱出を試みた実験の様子を示す。設定された沈下量に達した時、車輪の運動を止め、その後逆回転させ、走行不能状態から復帰することが実証できた。

④経路計画の検討では、この沈下量推定情報を加えたときに新しい経路の検討を行った。②及び③の実験結果を用い、センシング車輪の反応から予測して経路計画の検証を行った。図 7 に経路設定を示す。一辺 1000mm の移動を行い、各角に軟弱地盤領域を設定する。通常走行をスリップ率 10%とし、軟弱地盤領域には 0-100%のスリップ率を与える。本提案の触覚車輪がこの軟弱地盤領域を回避する場合、図に示されたような新しい経路が生成される。沈下量を考慮しない手法では、軟弱地盤領域に突入し、低スリップ率でない場合は目的値までの走行が不可能なるか、滑りながらの移動のために非効率となってしまう。一方、軟弱地盤領

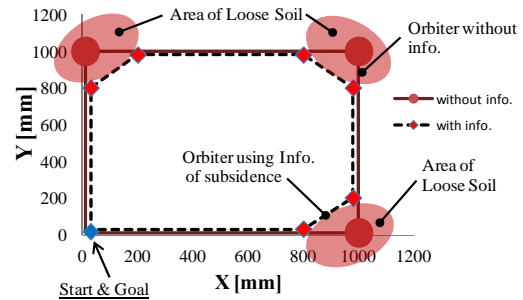


図 7 触覚車輪を用いた経路設定検証

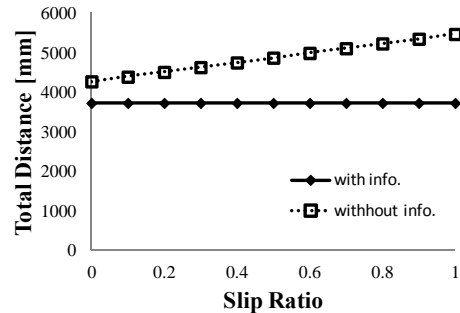


図 8 走行距離比較(触覚情報有無：任意環境)

域を考慮する場合、総走行時間が減少し、安全な走行及び効率的な走行が可能となる。図 8 にこの設定によるスリップ率と走行距離の関係を示す(スリップ率は軟弱地盤領域での定常状態として用いている)。

本研究により実証された成果である地盤の情報を用いるという新しい要素を追加した経路設定は未知環境を自律移動するロボットに有効な手段となる。特に軟弱地盤で覆われている環境、砂漠、泥地帯、月・惑星表面、雪上面移動で有効となる。

今後の展開として、以下のことを検討していく。

- (1) ステアリング時に発生する滑り及び沈下を把握できる機能を搭載
- (2) 回転運動により起きた砂の移動量を車輪により把握させ、砂の特性を外部から同定できるシステム構築を目指す。

(1), (2)の達成後、被災地探査や道環環境探査など社会に貢献できる自律移動システムとして実現させていく。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 3 件)

- (1) 笹木竜也, 飯塚浩二郎, 鈴木智, 河村隆, 久保田孝, (車輪と地盤の接触情報を利用した沈下量センシングに関する研究), ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2013. 5. 21-25, つくば国際会議場
- (2) 笹木竜也, 飯塚浩二郎, 河村隆, 久保田孝, (軟弱地盤走行ロボットのための沈下量センシング車輪の開発), 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2012. 12. 18-20, 福岡国際会議場
- (3) 飯塚浩二郎, (月面探査ロボットの開発: 軟弱地盤移動メカニズムと特殊移動機構の開発), 計測自動制御学会中部支部シンポジウム(招待講演), 2012. 9. 25, 長野市 (信州大学工学部)

[その他]

ホームページ等

<http://www.nexyzbb.ne.jp/~cozzy-i/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯塚 浩二郎 (IIZUKA KOJIRO)

信州大学・ファイバーナノテク若手研究者
育成拠点・助教

研究者番号: 10453672