

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03952

研究課題名（和文）筐体の内部構造歪みを用いた受動的相互作用の表現化と走行状態予測アルゴリズムの構築

研究課題名（英文）Representation of Passive Interaction Using Internal Structural Deformation of the Enclosure and Development of a State Prediction Algorithm for Driving Conditions

研究代表者

飯塚 浩二郎（Iizuka, Kojiro）

芝浦工業大学・システム理工学部・教授

研究者番号：10453672

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本申請では、自律性が求められる月惑星探査ローバに、生物機能を模倣・応用した特徴的なセンシングシステムを組み込んだ走行制御に関する研究に挑戦した。月や火星のような重力天体の表面には、レゴリスと呼ばれる軟弱地盤が堆積している。軟弱地盤を含んだ不均一地盤環境では、ローバの移動により動的な負荷が地盤に与えられると予想できない滑り、崩れ、破壊などが発生する。そこで、探査ローバの移動時に発生する振動の動的負荷をセンシングし、外部環境を推定させ、走行時に発生する滑りと沈下現象を生物のように反射的に同定させ、経路計画のための走行アルゴリズムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究にて実施した斜面走行試験では、車輪のシャシには小さい歪み（搭載した歪みセンサにより実時間データ獲得）を起こし、“滑”走とともにその歪み値の上昇や解放が確認されている。このシャシの歪みデータの独自性（値のボリューム（振幅）と上昇・下降率、周期）と、外部環境との相関性を数学的モデルに落とし込むことによって、危険な外部環境と対峙した瞬間、モバイルロボットに起きる現象を事前予測できることは大変画期的であり、学術的意義および高い必要性があると言える。

研究成果の概要（英文）：This application aimed to challenge research on the control of locomotion by incorporating a distinctive sensing system that mimics and applies biological functions into a self-reliant lunar rover exploration. The surfaces of celestial bodies such as the moon and Mars are covered with soft terrain called regolith. In heterogeneous ground environments including soft terrain, unexpected slips, collapses, and destruction can occur due to dynamic loads applied to the ground by rover movement. Therefore, we developed a locomotion algorithm for path planning by sensing the dynamic loads of vibrations generated during rover movement, estimating the external environment, reflexively identifying slips and sinkage phenomena occurring during locomotion similar to biological responses.

研究分野：ロボティクス

キーワード：モバイルロボット 軟弱地盤 地盤環境センシング

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自律型モバイルロボットは原発対応、災害現場レスキュー用、自動配送システム、さらには月や火星のような地球外惑星の探査活動など、実際に多くの現場で活用・実施・検討がなされている。自律型ロボットが無人環境や自然環境で運用される場合、環境状態に依存した外部からの力学的インタラクションを受動的に受け入れなければならず、受入後に対応(経路補正)がなされる。フィールド環境走行において日常的・慢性的に起きる“不測な事態”を事前に把握する予測能力を準備する必要がある。軟弱地盤のような地盤と車両との接地状態を正確に把握することは難しいため、予測の確実性や確率をあげていくのは大きな課題と言える。モデル予測制御など複数提案されているが、砂や泥、あるいは不支持な石や砂利を走行する場合、その行動予測は難しく(突発的に起こる)、補正できないレベル(走行悪化、スタック、故障)に陥ってしまう可能性もある。そこで予測が難しい環境において、モバイルロボットの本来持っている特性を利用して適用させる画期的な制御(トラクションコントロール)にチャレンジする。

2. 研究の目的

軟弱地盤などの不整地環境を走行する際に、外部から働く不均衡な力をモバイルロボットの筐体の内部構造歪みを用いて、その相関関係を定量的に表現し、蓄積・学習後、走行状態推定アルゴリズムを構築することを本研究の目的とする。また、実際のローバの用いて、トラクションコントロールを実施し、本提案アルゴリズムの有効性を示す。

3. 研究の方法

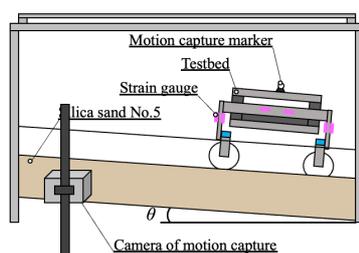
対象は4輪車両とし、内部構造歪みの変化状態を把握するため、ローバの走行時から、内部構造歪みデータとの関係を明確にする。車輪のシャシーに搭載するセンサは、歪みゲージ[KFG-5(Kyowa)]とし、ログ(外部測定器)による内部歪み状態を把握する。そして、外部環境とのインタラクションによって発生する受動的な現象について、現象発生前(デフォルト状態)と発生中に分類し、その時の内部歪み情報および時系列変化情報を明確化する。手順としては以下の①～③のように進める。

- ①内部構造歪みの運動・現象との相関性を把握
- ②外部環境とのインタラクションと内部構造歪みを用いた相関を知る
- ③内界センサ情報を利用したシステム構築

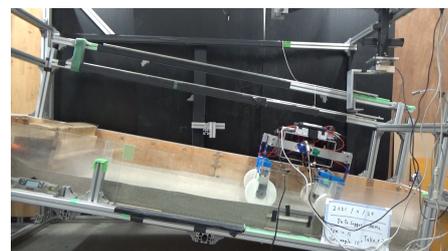
これらの走行システムをベースとした走行試験を実施する。任意に用意した不整地(せん断地盤)上を、センシングユニットおよび解析システムを実装したモバイルロボットを走行させる。変化状態をセンシングしながら、環境と内部構造歪みの相関性から滑りや沈下を起こした際、適切なトラクションコントロールを行い、走行評価を行う。

4. 研究成果

前記載のように内部構造歪みのデータ解析からトラクションコントロールを実施し、成功した。図1に4輪ローバを用いた実験概要図および実験の様子を示す。この実験では、獲得された筐体歪みデータとスリップ率の関数を内部コンピュータに書き込み、判断している。



(a)実験の概要

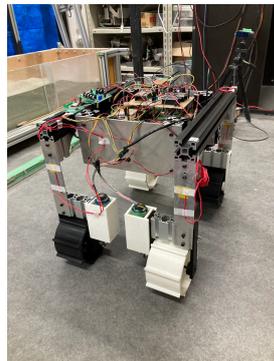


(b)実際の実験の様子

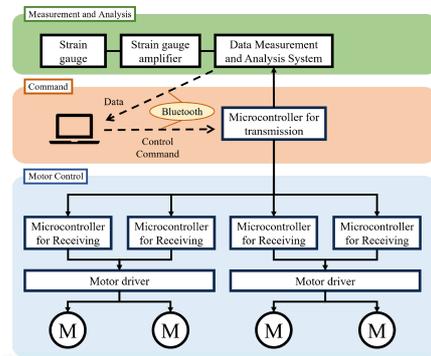
【1 研究目的、研究方法など (つづき)】

図1 4輪ローバを用いた軟弱地盤走行試験

また、高いスリップ率時と低スリップ率の特徴を解析データから抜き出すことに成功し、生物に近い感覚で、“滑り”状態が獲得でき、高い滑りに近づいてきたときにトラクションコントロールを実施することができた。実際の実験では4輪ローバ(図2(a))と図2(b)に示すシステム構成で運用した。ローバ搭載マイコン(ESP32)がデータ取得・解析し、無線にてメインコントロールPCにデータを送信し、制御システムにて自律的判断をさせ、車輪の回転速度を決定させた。また、試験用走行地盤および実験の様子を図3に示す。斜度がない状態から、ローバにスリップの負荷を与えるため斜度20°を設けて(図3(a)), 斜面登坂時に滑りを検知した際にトラクションコントロールを行う。図3(b)に示すように斜度がない状態から斜面に突入し、登坂するまでの走行試験をトラクションコントロール有・無で実施した。試験結果から、筐体歪みデータを用いたトラクションコントロールを用いた際の登坂時間はトラクションコントロール無と比較し走行性能が大幅に改善された。

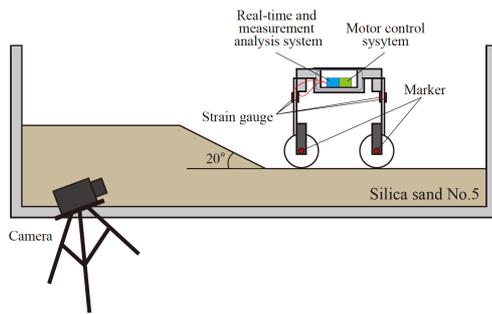


(a)4輪試験用ローバ

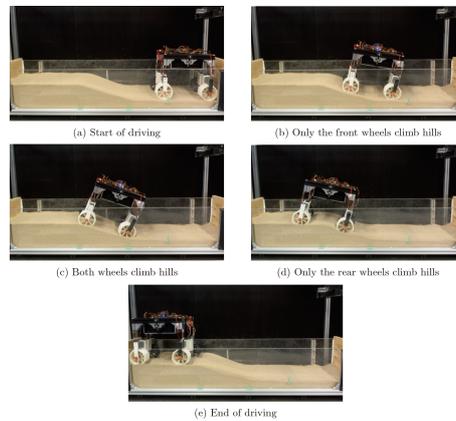


(b)システム構成図

図2 トラクションコントロール用試験ローバおよびシステム



(a)試験地盤



(b)実際の試験の様子

図3 トラクションコントロール用試験地盤と実験の様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Inaba Kohei, Iizuka Kojiro	4. 巻 39
2. 論文標題 Proposal of a Planetary Exploration Rover with a Wheel using Sinking Performance for Crossing Slope	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Robotics Society of Japan	6. 最初と最後の頁 958 ~ 965
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7210/jrsj.39.958	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kohei Inaba, Kojiro Iizuka
2. 発表標題 Study on Relationship between Traveling State and Chassis Strain at Traveling Loose Soil for Rovers
3. 学会等名 2021 6th International Conference on Mechanical Engineering and Robotics Research, ICMERR 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉康平, 飯塚浩二郎
2. 発表標題 月・惑星探査ローバのための内部構造情報による走行状態認識
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉康平, 飯塚浩二郎
2. 発表標題 部感的アプローチによる月・惑星探査ローバの走行状態推定
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉康平, 飯塚浩二郎
2. 発表標題 月・惑星探査ローバの内部構造の微小形状変化を利用した走行状態認識
3. 学会等名 第42回テラメカニックス研究会
4. 発表年 2021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
---------	---------