

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04027

研究課題名(和文) 能動型地盤環境可変インテリジェンスタイヤの開発と低スリップアルゴリズムの構築

研究課題名(英文) Study on Low slippage Algorithm using Intelligence Tires with an Active Function of changing Ground Condition

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) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：災害地域に車両が侵入し救助活動をする際、緩い地盤によって滑り、瓦礫の鋭利な部分ではタイヤがパンクをし、ますます動けなくなってしまう。そこで空気レスかつ高い走行性能の維持させるタイヤの研究に挑戦する。そこで、ゆるい地盤状態に振動を能動的に与え、地盤粒子の密度上昇を積極的に促し、振動停止後の締め固め現象を利用し、タイヤに効果的な駆動力を与えるインテリジェンスタイヤの開発を行うことを本研究の目的とする。さらに、このタイヤ表面に触覚センシング機能をもたせ、地盤状態を観測しながら振動入力による低スリップ走行アルゴリズムの構築を行い、走行試験にてその効果(低スリップ制御)を実証していく。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本は自然災害が発生しやすい国土である。特に、震災、土砂災害の発生件数は近年増加傾向にあり、今後もいろいろな場所・地域で、高頻度で起きると予想されている。そこで、震災直後のレスキューや復興支援活動は極めて重要である。しかし、レスキュー隊員の減少や二次災害の危険があるため、被災地でこれらの活動を円滑に進めることができない。この問題の解決策としてレスキューロボットの導入が望まれている。レスキューロボットはこれまでも様々な災害に投入されており、一定の成果をあげたが、配備が進んでいない。以上のことから、本研究結果によってこれらの災害発生時に様々な活動の一助となること狙っている。

研究成果の概要(英文)： In the vehicle for operating on disaster areas, there has a lot of serious restrictions. The wheels mounted to the vehicles for doing various activity have risks of the puncture at traversing the ground with debris and are easy to stack by the tight influence like slipping or sinking at traversing loose soil, and so on. In this research, the wheels with a function of vibration have been proposed to overcome these severe tasks. The loose soil around a source of vibration has been hardened because of the density of soil becomes large rapidly after stopped some vibration. This is an actual phenomenon which the increase of the shearing stress had been confirmed on some measurements carried out by our research groups. Therefore, the special traveling using proposed wheels with this vibration device had been realized by the algorithm, which could judge the slipping condition of a wheel using a tactile sensor to install on the surface (tread) of a wheel and to makes the wheel vibrate.

研究分野：ロボティクス

キーワード：可変剛性 タイヤ 振動 軟弱地盤 自律

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災のような津波による災害地域に車両が侵入し、救助活動をする際、あるいは運搬活動する際、瓦礫の規則性のない凹凸や泥などの流れ込みによって形成された多くのゆるい地盤によって、車両は身動きがとれなくなってしまう。また、瓦礫の鋭利な部分によっていとも簡単に車両のタイヤはパンクをし、ますます動けなくなってしまう。その課題解決として本申請者はパンクしない空気レスタイヤを開発した。また、このタイヤには触覚センシング技術を搭載しており、触覚情報を検知しながら高い走行を実現させるアルゴリズムの構築を行なっている。被災地環境に介在する軟弱地盤等へと入り込むことができる技術として獲得することができた。実際の現場での利用を実現するために、次のステップでは、移動ロボットには一般車両とは違う特別な機能、つまり被災地のような不整地・軟弱地盤環境(瓦礫等も含んだ軟弱・せん断地盤等)走行時に、高走破能力を持たせることを検討していく必要がある。これは、車両あるいはタイヤが未知なる災害現場環境を走行する際に高い駆動力を得られる手法を必要とするということの意味する。

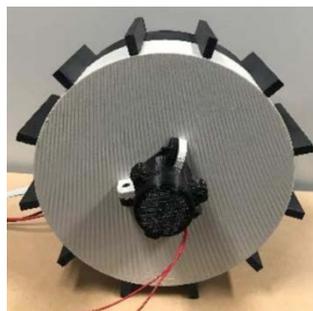
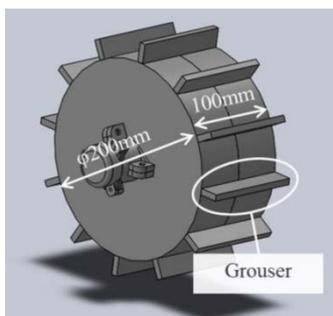
2. 研究の目的

ゆるい地盤状態に、高周波の振動を能動的に与え(伝播させ)、地盤粒子の密度上昇を積極的に促し、振動停止後の締め固め現象を利用し、タイヤに効果的な駆動力を与える能動的な地盤環境変化型インテジェンスタイヤの開発を行うことを本研究の目的とする。さらに、このタイヤ表面に触覚センシング機能をもたせ、地盤状態を観測しながら振動入力による低スリップ走行アルゴリズムの構築を行い、走行試験にてその効果(低スリップ制御)を実証していく。

3. 研究の方法

以下に研究方法を述べる。

(1)タイヤ内部に周波数及び振幅を可変できる振動子[偏心モータを使用]を搭載させ、表面部分に強制振動を伝播させるタイヤ本体を開発する。図1(a)の本研究にて設計した車輪および実際に製作した車輪(図1(b))を示す。車輪中央部に偏心モータを搭載し、車輪全体が縦振動を起こす設計となっている。



(a) 設計した車輪

(b) 実際に製作した車輪

図1 強制振動を発生させる車輪の開発

(2) (1)で開発した振動車輪による牽引力を測定し、振動停止による効果を確認する。

図2に牽引力測定機の様子を示す。牽引力測定機には試験用車輪が取り付けられており、DC電源装置の電源を入れると車輪がその場で回転する仕組みとなっている。PCでは、牽引試験機に取り付けられた力覚センサ(PFS055YA251U6)のデータの取得を行う。振動コンソールでは、振動のON/OFFの操作を行う。また、車輪重量は車輪取付け部分と繋がれた重りの重量の調整を行うことで設定する。実験手順について説明する。まず(1)砂面の耕耘を行う。(2)車輪を砂面に接地させる。(3)車輪を振動させる(10秒)。(4)振動が停止した後に力覚センサの測定を開始する。(5)車輪の回転を開始させる。(6)車輪の動きが停止したら力覚センサの測定を終了する。実験では振動の有無における効果(牽引力の差)について調査する。

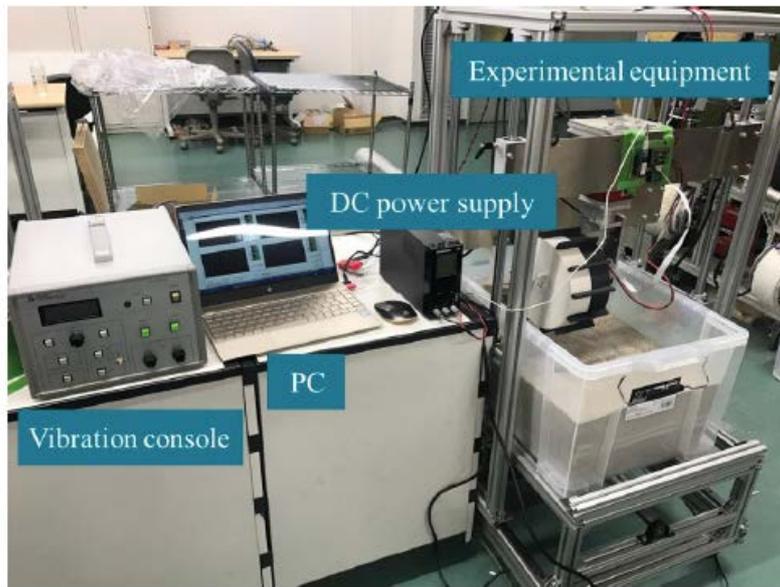
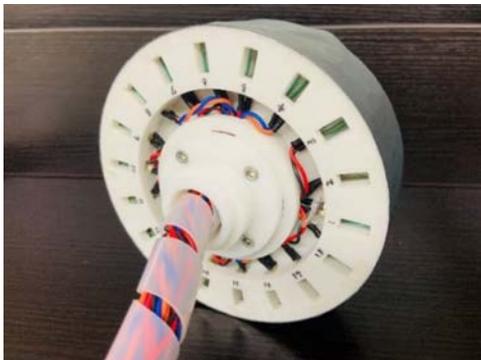


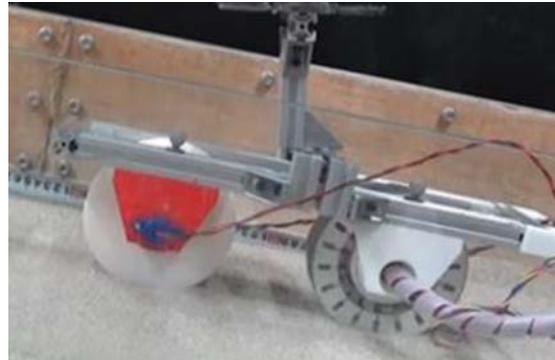
図2 牽引力測定機

(3) 触覚センシングを搭載した車輪および走行試験

触覚センシング用デバイス(タイヤ表面に搭載した圧力センサとデータロガーで構成されるユニット)を搭載し、振動発生とセンシングデータの実験的に導出していく。図3(a)に車輪表面に圧力センサを搭載した車輪を示し、図3(b)には2輪ローバ(試験用)に搭載した様子を示す。この圧力センサによって最大応力値を測定し、振動の有無による応力変化を確認する。



(a) 圧力センサを搭載した車輪

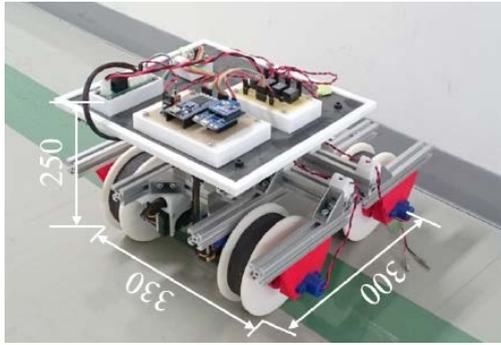


(b) 走行試験の様子

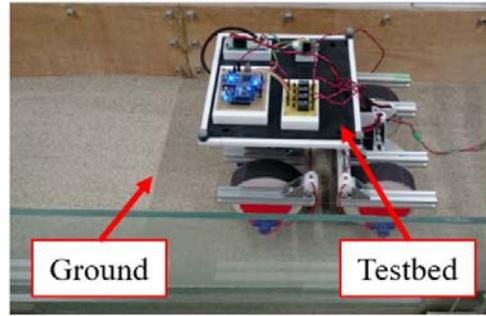
図3 触覚センシングを搭載した車輪および走行試験について

(4) 低スリップアルゴリズムの構築と実証試験

図4(a)に振動伝播・停止による締め固め効果を活用した低スリップアルゴリズムを実現するためのテストベッドを示す。テストベッドは4輪とし、制御用マイコンをテストベッド上部に配置している。図4(b)に実証試験用の走行の様子を示す。地盤には軟弱地盤であるけい砂5号を敷き詰め、その上をテストベッドを走行する形態となっている。



(a) テストベッド



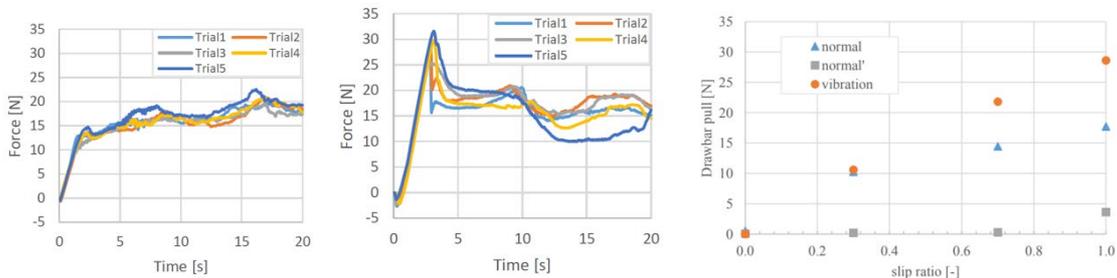
(b) 走行試験の様子

図4 低スリップアルゴリズム実証試験用のテストベッド

4. 研究成果

(1) 振動前と比較した振動・停止後の牽引力増加効果の確認試験および結果

図5に振動伝播・停止無および振動伝播・停止有の牽引力測定結果を示す。図5(a)は振動無しの通常状態を示している。牽引開始時に牽引力は上昇している。また、3回ほどピークがくるような牽引状態となった。これは圧縮・破壊を繰り返しているためだと考えられる。その最大値は約22~23Nあたりとなっている。一方、振動伝播・停止有の場合の牽引力を図5(b)に示す。振動伝播・停止無と同様に牽引時に牽引力は上昇しているが、振動伝播・停止有の場合、上昇する値が振動無と比較して大きく、その値は30Nを超えている。この値をピークとしてあとは振動無と同程度の値となっている。この結果から振動源周辺は、振動伝播・停止によって締め固めおよび密度上昇が起きており、牽引によって破壊されるまでの抵抗力が上がったと考えられる。次にスリップ率と牽引力の関係について図5(c)に示す。四角マークは、通常走行を示し、オレンジ○は振動伝播・停止後の走行を示し、三角青は、振動によって起きる沈下と同等沈下を任意に起こさせ、走行させたものである(三角青マークは振動させていない結果である)。この結果から、車輪がスリップしているときに振動伝播・停止による締め固めによる牽引力の増大効果があることがわかった。



(a) 振動伝播・停止無

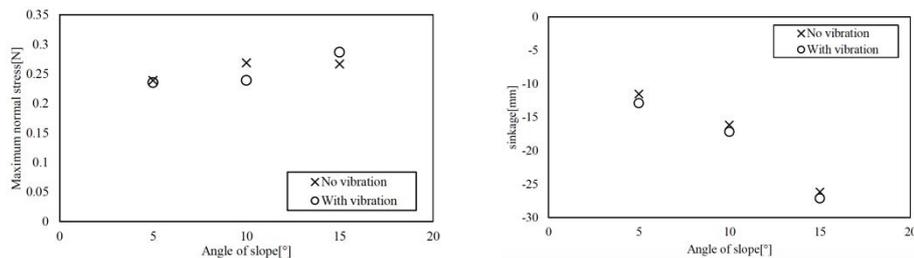
(b) 振動伝播・停止有

(c) スリップ率と牽引力の関係

図5 振動無しおよび振動伝播・停止の牽引力測定結果

(2) 触覚センシング用デバイスを用いた振動発生とセンシングデータの関係導出

図6に、振動伝播・停止無と振動伝播・停止有の場合の最大応力値の関係を示す。図6(a)は走行斜度と最大応力値の関係を示す。15度走行時に最大応力値の値がわずかに大きくなっていることがわかる。また図6(b)に走行斜度と沈下量の関係も示している。両ケースにおいて沈下量の差はないことがわかった。この結果から軟弱地盤の斜面走行時における最大応力値は、振動有無で大きな差がないということがわかった。



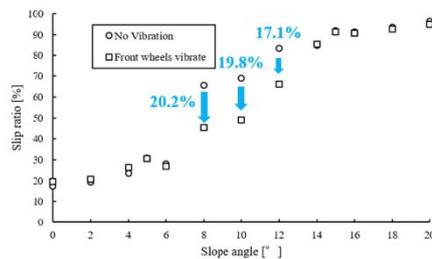
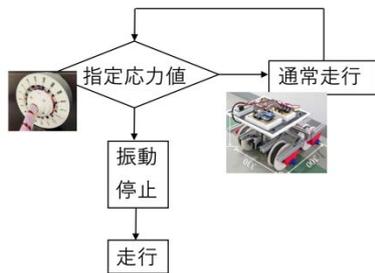
(a) 走行斜度 vs 最大応力値

(b) 走行斜度 vs 沈下量

図6 触覚センシング用デバイスを用いた振動発生とセンシングデータの関係

(3) 低スリップアルゴリズムを実装したテストベッドの走行試験

圧力センサを搭載した車輪は、振動による有意差はないものの、斜度ごとの最大応力値や沈下量に対する応力値が異なる。そこでこれらのデータ群を参照して低スリップアルゴリズムを構築した。図 7(a)に低スリップアルゴリズムの簡易表現を示している。実際には車輪に搭載された複数の圧力センサユニットが存在し、そこから接触面積を導出し、そこから最大応力値を算出している。さらに、車輪の駆動はPID制御によって回転速度を制御している。次に、振動伝播・停止の有無を考慮した場合の測定結果を図 7(b)に示す。低斜度や15度以上の高い斜度においては、大きな効果を示さなかったが、中斜度領域の10度付近で大幅なスリップ低減走行を実現することができた。斜度をつけることによって軟弱地盤の砂粒子にも重力の影響がかかるため、締め固められたとしても高斜度領域では破壊が起きやすいと予想する。一方で低斜度領域では、砂粒子にかかる重力の影響は少なく、そもそも反力が得られやすい状態となっているためどちらの状態において一定の走行性は保持されたと考えられる。8~14度付近の走行については、滑りが大きくなり始め、スタックのきっかけを作ってしまう領域でもある。そのため本アルゴリズムによってこの領域付近について低スリップ走行を実現できたことの意義は大きいと言える。



(a) 低スリップアルゴリズムの簡易表現

(b) 走行試験結果

図 7 触覚情報を用いた低スリップアルゴリズムおよび走行試験結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 渡邊智洋, 飯塚浩二郎
2. 発表標題 振動伝播を利用した車輪機構の軟弱地盤上における移動性能の実験的検証
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 2020年

1. 発表者名 Tomohiro Watanabe, Kojiro Iizuka
2. 発表標題 Study on Connection between Shape of Wheel and Resistance Force from Ground for Small Wheel Typed Rovers
3. 学会等名 The 5th International Conference on Mechanical, System and Control Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊智洋, 飯塚浩二郎
2. 発表標題 軟弱地盤における沈下量を低減する振動を用いた車輪の形状の提案
3. 学会等名 SICE中部支部シンポジウム&若手研究発表会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊智洋, 飯塚浩二郎
2. 発表標題 軟弱地盤における振動伝播を用いた車輪機構の走行性能に関する調査
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 Tomohiro Watanabe, Kojiro Iizuka
2. 発表標題 Study on Connection between Shape of Wheel and Resistance Force from Ground for Small Wheel Typed Rovers
3. 学会等名 The 20th ISTVS International and 9th Americas Regional Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊智洋, 飯塚浩二郎
2. 発表標題 軟弱地盤の振動伝播・停止によって起きる特性を利用した車輪移動に関する研究
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池田哲之, 藤原大佑, 飯塚浩二郎
2. 発表標題 Push-Pull Locomotion 機能を搭載した 月・惑星探査ローバのラグ付き車輪に関する研究
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会(2019)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 小見山瑞綺, 飯塚浩二郎
2. 発表標題 月・惑星探査ローバのゆらぎを用いた斜面横断制御に関する研究
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会(2019)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 大島徹也, 飯塚浩二郎, 藤原大佑
2. 発表標題 Push-Pull Locomotion 機能を搭載した月・惑星探査ローバの応力分布に関する研究
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会(2019)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 稲葉康平, 飯塚浩二郎
2. 発表標題 斜面横断性能に関する拡張Inching Locomotion型月・惑星探査ローバの提案
3. 学会等名 SICE中部支部シンポジウム(2019)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 藤原大佑, 辻川直生, 飯塚浩二郎
2. 発表標題 Push-Pull Locomotion機能を搭載した車輪型ローバの支持力に関する研究
3. 学会等名 第63回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 関麻実, 飯塚浩二郎
2. 発表標題 "振動・停止"による締め固め効果を利用した月面探査ローバ用車輪の走行性能評価
3. 学会等名 日本機械学会第58回関東学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019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
---------	---------