

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：53901

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K14209

研究課題名（和文）機構と制御系の最適設計を指向した低重心型同軸平行二輪ビークルの開発

研究課題名（英文）Development of the coaxial parallel two-wheeled vehicle with a low center of gravity for optimal design of the mechanism and control system

研究代表者

佐郷 幸法（Sagoh, Yukinori）

豊田工業高等専門学校・機械工学科・講師

研究者番号：70766435

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：令和4年度では、搭乗者や搬送物に相当する重りを様々に変更できる機構を低重心型同軸平行二輪ビークルに構築した。この機構は、ビークルの移動方向である前後方向に加えて上下方向の駆動を増加させた2軸方向に駆動可能である。実機実験により、2軸の重心移動により車体傾斜に影響を与えることを確認した。令和5年度では、低重心型同軸平行二輪ビークルの挙動を外部から計測する全方向移動ロボットを構築した。この計測ロボットは、低重心型同軸平行二輪ビークルと並走して画像撮影を行い、画像認識により車体の傾斜角度計測および車輪の回転角度計測を行う。構築した計測ロボットを走行時の車体と車輪の挙動の計測に利用できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究代表者の従来研究において、用途に合わせた低重心型同軸平行二輪ビークルの設計手法の確立が解決すべき課題となっている。令和4年度に構築した2自由度重心移動機構は重心位置を静的に変更するだけでなく、走行中においても動作させて動的に変更できる。そのため、加減速時に生じる積荷の揺動による重心の変化を再現するなど、実際の利用を想定した実験が可能となる。また、このビークルは車体傾斜と連動して車輪が回転する場合があり、車体側に搭載された車輪モータのロータリエンコーダではこの回転情報を得られない。令和5年度に構築した計測ロボットにより、走行時の車体と車輪の挙動の計測、詳細なモデル検証に利用できる。

研究成果の概要（英文）：In FY2022, the mechanism that can change the mass equivalent to that of the passenger or object to be carried was developed for the low center of gravity coaxial parallel two-wheel vehicle. This mechanism can be driven in two axial directions, back and forth and up and down. Experiments using the actual vehicle confirmed the effect of the mechanism on the tilt of the vehicle body. In FY2023, the omni-directional mobile robot was developed to externally measure the behavior of the low center-of-gravity type vehicle with coaxial parallel wheels. This measurement robot runs alongside the low center-of-gravity vehicle and captures images to measure the inclination angle of the vehicle body and the rotation angle of the wheels through image recognition. The constructed measurement robot is used to measure the behavior of the vehicle body and wheels during traveling.

研究分野：ロボット工学，制御工学，情報工学

キーワード：同軸平行二輪ビークル 移動ロボット 重心移動 姿勢制御

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

Segway 等の従来型の同軸平行二輪ビークルは車輪移動ロボットとして幅広い用途への適用が期待されているが、車軸より上に重心がある不安定な構造であり、車輪を駆動させ続けることで倒立を保つため機械式の制動装置で減速できず、無制御時に転倒するなど機構的な問題点が残されていた。そこで、研究代表者はこれまでに、車両の走行制御には車輪の駆動力を用い、車体の倒立制御にはビークルの重量物をおもりとして移動させる重心移動を用いる「低重心型同軸平行二輪ビークル(以下、本ビークルと呼ぶ)」を開発している。本ビークルの研究・開発によって、安定性を確保し、より安全な同軸平行二輪ビークルとしてその応用が期待される。

本ビークルの重心移動にはアクティブマスシステムを用いる。アクティブマスシステムは車体に内蔵されたウェイトを前後に駆動させる機構であり、車体に加わる重力によるモーメントがアクティブマスシステムの位置によって変更される。これにより車輪駆動時に車体に加わる外乱トルクを打ち消し、車体揺動を抑制して安定化させる。研究代表者の従来研究において、従来機の機構的な問題点を解決した本ビークルを構築した。しかし、次の解決すべき課題がある。

本ビークルは経験的・実験的に製作されてきたため、様々な用途に適用を拡大するには仕様に合わせて寸法や重量、重心位置の制限、重心移動を行うアクチュエータなどの機構を最適に設計する必要がある。

研究代表者のこれまでの研究において、本ビークルの機構だけでなく搭乗者や搬送物の寸法や質量、重心位置の違いにより、車体揺動の減衰比や固有角周波数などの挙動特性がそれぞれ異なることが明らかになっており、搭乗者や搬送物を含めた本ビークルの挙動特性の変化に対応した最適な制御系設計が必要である。

本研究では、上記 と の機構や制御系の最適設計の検討を行い、本ビークルの最適設計手法を確立する。本研究成果により、本ビークルが人搭乗ビークルや搬送支援ビークル、遠隔監視ロボットなどの様々な用途に適用範囲を広げることができると考える。

2. 研究の目的

研究代表者が保有している着座式二輪ビークルに対し、「機構と制御系の最適設計を指向した本ビークルの開発」のため、次の研究開発を行うことを目的とする。

任意の質量の重りを任意の位置に設置可能な機構の開発

重りやスライドレールを用いて「任意の質量の重りを任意の位置に設置可能な機構」を開発し、着座式二輪ビークルを改造する。様々な変更可能な重りを使用することで機構や制御系の最適設計の条件に与える影響を定量的に評価する。

詳細な車体揺動の挙動モデルの構築と車体傾斜角度制御系の開発

幅広い社会実装を目指し、斜面や段差を考慮した着座式二輪ビークルの詳細な車体揺動の挙動モデルをラグランジュの運動方程式により構築する。また、質量や重心位置などの変動に対応することを考慮し、適応制御の観点から車体傾斜角度制御系を開発する。申請物品のワークステーションによるシミュレーション解析により制御系の構築およびパラメータ設計、安定性解析を行う。そして、申請物品の組み込みコンピュータに制御プログラムを実装し、構築した制御系の実験検証を行う。

機構と制御系の最適設計を志向した本ビークルの開発

上述の および で得た知見より、本ビークルの用途から仕様の決定、機構と制御系の最適設計までを可能にする。本研究の成果により開発される着座式二輪ビークルは、同軸平行二輪ビークルを様々な用途に適用範囲を広げることができると考える。

3. 研究の方法

まず、「任意の質量の重りを任意の位置に設置可能な機構の開発」および「詳細な車体揺動の挙動モデルの構築」を行う。搭乗者や搬送物に相当する重りを様々な変更できる機構を着座式二輪ビークルに対して構築し、重りの様々な変化が車体揺動に与える影響を検証する。そのために、本システムや斜面、段差を含めた着座式二輪ビークルの車体揺動の詳細な挙動モデルをラグランジュの運動方程式により構築し、様々な用途への適用可能性についてシミュレーション解析と着座式二輪ビークルでの実験により検証する。

次に、「車体傾斜角度制御系の開発」および「機構と制御系の最適設計を志向した着座式二輪ビークルの開発」を行う。研究代表者の従来研究により、本ビークルは質量分布が変化する可変慣性項を有することが判明している。そのため、小澤らの「可変慣性項を持つシステムの制御と構造の同時設計、日本機械学会 最適化シンポジウム講演論文集 2000(4)」を本ビークルの車体傾斜角度制御系と機構の最適設計に適用する。ただし、本ビークルは可変の粘性項も有しているため、小澤らの設計法を改良し、着座式二輪ビークルに適用して有効性を検証する。

本研究により、本ビークルの機構と制御系の最適設計について検討を行い、シミュレーション解析と実機実験により有効性を検証する。

4. 研究成果

令和4年度では、搭乗者や搬送物に相当する重りを様々に変更できる機構を本ビークルに構築した。従来研究では、移動方向と同一方向の1軸駆動で重りを移動させて重心位置を変化させた。本研究では、ビークルの移動方向である前後方向に加えて上下方向の駆動を増加させた2軸方向に駆動可能な「2自由度重心移動機構」を構築した。1軸で制御する場合、ウェイトの位置を最大まで移動させても重心位置が十分に移動しない場合がある。このとき2軸であれば図1に示すようにウェイトは前後の移動に加え上下に移動する。そうすることで、重心は1軸で移動させたときより長い距離を移動させることができる。長い距離を移動させることによってモーメントが増加し、より大きな力で制御できる。したがって1軸の場合よりも大きい角度でも制御でき、より広い範囲での制御が可能である。

2自由度の重心移動が車体傾斜に影響を与えるか確認するために実機実験を行った。図2に2軸動作による車体傾斜の様子、図3にグラフを示す。図3(a)は前後移動のモータと上下方向のモータの回転数の指令値を表し、図3(b)は車体のピッチ角度を表す。10秒から20秒まで前後方向にウェイトを移動させており、車体が大きく傾いていることが分かる。その後、38秒から鉛直方向にウェイトを移動させており、わずかであるが車体傾斜が増大していることがわかる。2自由度重心移動機構は重心位置を静的に変更するだけでなく、走行中においても動作させて動的に変更できる。そのため、加減速時に生じる積荷の揺動による重心の変化を再現するなど、実際の利用を想定した実験が可能となる。

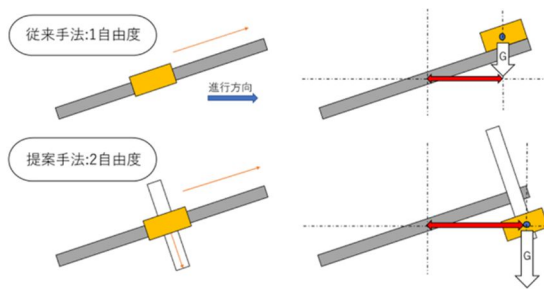
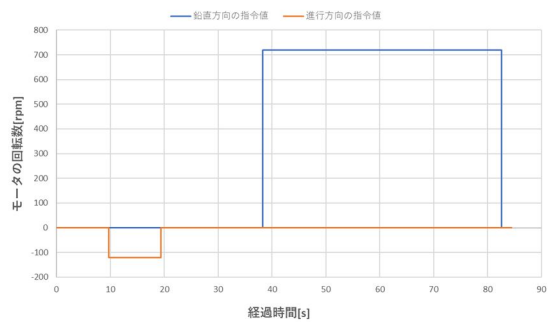


図1 従来手法と提案手法の違い



(a) 各モータの回転数の指令値

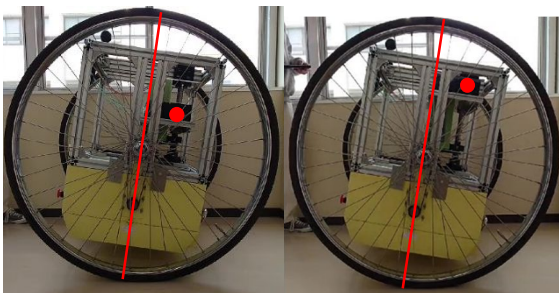
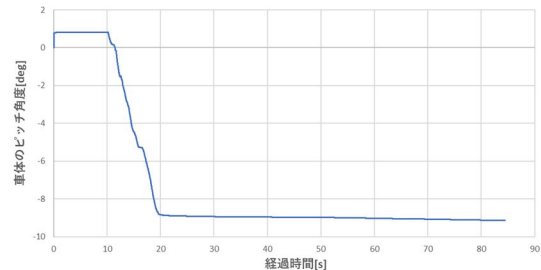


図2 2軸動作による車体傾斜の様子



(b) 車体のピッチ角度

図3 2軸動作による車体傾斜実験

令和5年度では、本ビークルの挙動を外部から計測する全方向移動ロボットを構築した。図4に示す計測ロボットは本ビークルと並走して画像撮影を行い、画像認識により車体の傾斜角度計測および車輪の回転角度計測を行う。急停止時や車輪ロック時の外乱入力などで車体傾斜と連動して車輪が回転する場合があります。車体側に搭載された車輪モータのロータリエンコーダではこの回転情報を得られない。計測ロボットには、画角を変更可能なズームレンズ付きカメラとLiDARを搭載しており、広角端なら本ビークルと人を十分に画角内に入れることが可能である。図5に広角端での撮影状況を示す。また、図6に示す通り、OpenCVを用いた画像認識によるマーカ検出が可能な事を確認している。今後、車体と車輪にマーカを設置し、並走システムと角度計測システムを構築する。そして、車体と車輪の挙動を計測してモデル検証に利用する。

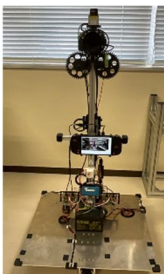


図4 計測ロボットの外観



図5 計測ロボットによる撮影状況



図6 マーカ検出

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------	---------