

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420180

研究課題名(和文) ジャイロアクチュエータ駆動による自律走行ロボットバイクの開発

研究課題名(英文) Self-sustaining driving control of two-wheeled vehicle by using gyro-actuator

研究代表者

大内 茂人 (Ouchi, Shigeto)

東海大学・情報理工学部・教授

研究者番号：20287030

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：近年、自動走行する自動車が提案され、目的地を入力すれば無人でも目的地まで人や物を運ぶことが可能になりつつあり、これは、特に高齢者や障害者の運転をも可能とするものである。しかし、自動車の場合は、4輪であるため狭い道は通ることができない。本研究は、災害援助活動・人命救助・障害者の搬送及び一般社会での活用に大きく道を拓くものである。このような背景のもと、ジャイロアクチュエータとハンドル操作による自立走行を融合したシステムの開発を行った。またツインカメラを用いた視覚情報システムの開発を行った。視覚情報システムを用いたバイクの自律走行制御に関しては今後の課題である。

研究成果の概要(英文)：Gyro is not only used as a sensor but also used as an actuator. In the beginning of 20th century, the gyro monorail using a gyro-actuator which was controlled by manual operation was proposed. In 1970's, the research on a gyro bike was reported. However, a standstill was only confirmed in it. On the other hand, the self-sustaining control of two-wheeled vehicles by using an inertia rotor are reported recently. However, it is difficult to make a large vehicle because this inertia rotor system has only a smaller power as compared with that using the gyro actuator which can obtain a larger power. The modeling is needed for the control system design of the vehicle with a gyro actuator. In this paper, first, positions, angles, and angular velocities are calculated from 3rd link system, then the model for the two-wheeled vehicle with a gyro actuator is made by using Lagrange equation, finally the effects of this theory are confirmed by experiments.

研究分野：機械力学

キーワード：ジャイロアクチュエータ 独楽 2輪車 ラグランジュの運動方程式 オイラーの運動方程式 視覚情報システム

1. 研究開始当初の背景

自律走行ロボットバイクの開発では、重力により倒れようとするバイクを起こすために大きなトルクが必要である。申請者は高速回転のフライホイールを利用して一本のレールの上を走る鉄道が 20 世紀初めに提案されたことに着目した。これは、ジャイロ効果をアクチュエータとして用いることにより大きなトルクの発生が可能であることを示している。

(1) ジャイロアクチュエータ

ジャイロ効果はジャイロセンサとしての利用がよく知られているが、アクチュエータとしての利用はあまり知られていない。しかし、高速回転のフライホイールは、外部から力が加わらない限り回転軸を一定に保つ。(慣性の法則)
外部から回転軸に力が加えられるとその力と直角方向に回転しようとする。(プリセッション)

という 2 つの性質を利用して 1970 年台にはジャイロ二輪車に関する研究が行われた。しかし、静止時の安定性が確認できたのみで、走行時の安定性に関する研究は行われていない。近年、ムラタセイサク君に代表される無人自転車を行わせる技術が提案されているが、これは慣性ロータ(フライホイール)を動かしてバランスをとる方式であり、構造上駆動トルクが大きくできないため高速走行は難しく実用化には適していない。一方、ジャイロをアクチュエータとして使用する方式は高速回転するフライホイールを傾転させることでトルクを得るものであり、大きなトルクを得ることができ大型化も可能である。

申請者らは既に 2 段ゴマ理論を新たに開発している。

2. 研究の目的

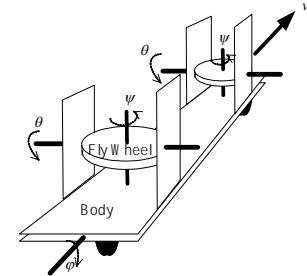
近年、自動走行する自動車が提案され、目的地を入力すれば無人でも目的地まで人や物を運ぶことが可能になりつつあり、これは、特に高齢者や障害者の運転をも可能とするものである。しかし、自動車の場合は、4 輪であるため狭い道は通ることができない。そこで、本研究では自律走行が可能な 2 輪車の開発を目的とする。このような 2 輪車の実現により、狭い道も通行可能となり、しかも前進だけでなく自律して後退することもできるため、自動車のような切り返しにより駐車場に入れることが可能となる。さらに、この 2 輪車に人間の眼に知見を得た視覚装置を装備することにより、目的地までの無人走行が可能な自律走行ロボットバイクが実現する。本研究は、災害援助活動・人命救助・障害者の搬送及び一般社会での活用に大きく道を拓くものである。

3. 研究の方法

平成 26 年度

旋回を伴わない場合のバイクに関する運動方程式は導出済みであり、実験においても Fig.4 のような効果を確認している。そこで、初年度は、これまでの経験を元に、以下に示すようなロボットバイクを製作し、実験による基本動作の確認を行う。

既に開発した運動方程式に旋回要素を加えて新たな運動方程式を導出する。(運動方程式が複雑にならないようにジャイロの取付方法、寸法などを考量して運動方程式を開発する。)



1 の運動方程式に基づいた前進・後退・旋回が可能なロボットバイクの車体製作及びジャイロアクチュエータの製作を行う。

2 で製作したバイクに関する走行用モータ・旋回用モータ・フライホイールの傾転用モータの制御装置の製作を行う。

実験による基本動作(起き上がり、静止安定、前後動作時の安定性)の確認を行う。

平成 27 年度

2 年目は、無線操縦機能を追加した実験及び視覚情報機能の設計を行う。

直線走行のみでなくカーブでの走行における旋回半径、前進時の速度などを変化させてロボットバイクの自律走行時の安定性を確認する。

車庫入れなど後進時の安定性についての実験を行う。

実験に伴い発生する不具合に対して理論の修正を行い理論の完成度を上げる。視覚情報機能を持ったロボットバイクの設計を行う。

平成 28 年度

3 年目は通常の運転での安定性を確認、及び研究のまとめを行う。

人間の眼に知見を得た視覚装置を搭載したロボットバイクシステムを製作する。

実験による性能確認を行う。

今後の方向性について検討を行う。

4. 研究成果

(1) ジャイロアクチュエータを用いた 2 輪車の自立走行制御

ジャイロアクチュエータの動作原理であるジャイロ効果に関しては、一般にジャイロセンサとしての利用がよく知られているが(多摩川精機, 2002)、アクチュエータとして

の利用はあまり知られていない。ジャイロ効果とは、高速で回転するフライホイールは、外部から力が加わらない限り、その回転軸を一定に保つように働く（慣性の法則）、外部から回転軸に力が加えられるとその力と直角方向に回転しようとする（プリセッション）という主に2つの性質を指す（阿部，堂寺，2001），（太田，1992）。

この性質を利用して，20世紀初めには一本のレールの上を走る鉄道（ジャイロモノレール）が提案されたが，学術的な報告はない（Brennan，1905）。1970年台にはジャイロ2輪車に関する先駆的研究も行われたが（佐藤，宮下，1981），力学モデルには未定義の非線形関数を含んでいるため再現が難しく，また静止時の安定性が確認できたのみで，走行時の安定性に関するデータはない。最近，佐藤

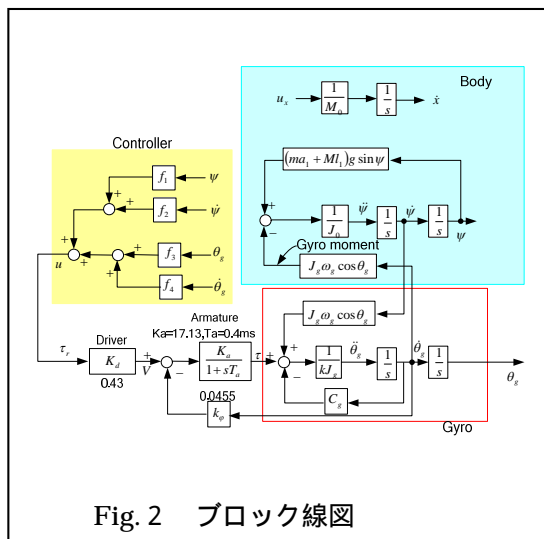


Fig. 2 ブロック線図

らの研究を参考にした研究も行われているが実験による確認は出来ていない（工藤，田中，2010）。また海外でも研究が行われているが，シミュレーションと簡単な静止制御実験のみである（Jorgensen and Hurtado，2012）。一方，自立走行2輪車に関しては，近年，ムラタセイサク君という無人の自転車を行走させる技術が提案されており（村田製作所，2013），関連した研究は多い（出口他，2010）（山北他，2006）。しかし，これは慣性ロータという逆さ振り子でバランスをとる方式でありトルクが小さく大型化は難しい。また，ハンドル操作のみで制御しようとする研究もあるが，（佐藤，滑川，2006）は静止時の安定性に着目した研究であり，（佐口他，2007）は簡易線形モデルに基づいた走行時の安定性に関する研究であり，停止時の制御は確認されていない。一方，2輪車の厳密なモデル化に関しては，Sharpにより提案されたモデルが知られているが（Sharp，1971），これは構造の振動解析を目的としたモデルであり姿勢制御に使うことは困難である。

本論文の目的はジャイロアクチュエータを使った2輪車の自立走行制御であるので，最初に2輪車の前後動作とローリングに特化したモデルを導出し，さらにジャイロ部分を

結合して新たなジャイロ搭載2輪車モデル（Fig.1）を導いた。ジャイロ2輪車に適用してラグランジュの運動方程式を使ってモデリングを行った。制御系設計にあたってはモデルの線形近似式より制御則を導出した（Fig.2）。実験では，車体の上にジャイロを乗せた構造の2輪車（Fig.3）を用い，姿勢安定のためのコントローラとしてはDSPを使いジャイロの傾きを制御することにより自立走行実験を行った。その結果，静止時の安定性や外乱がある場合も自立走行できることを確認した（Fig.4）。

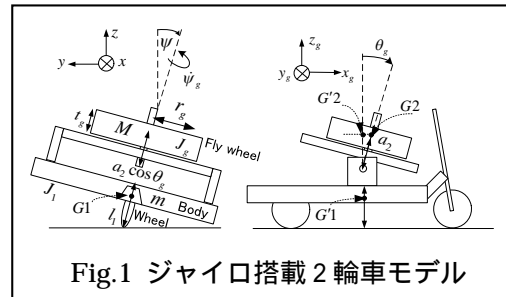


Fig.1 ジャイロ搭載2輪車モデル



Fig. 3 実験機

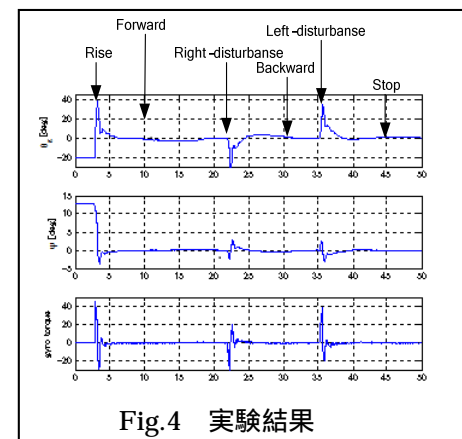


Fig.4 実験結果

(2) 視覚情報による2輪車の走行制御

本研究で使用する実験機を Fig5 に示す。2全節に示すように，既に我々はジャイロ効果を用いた自立2輪車を開発しており，自立と遠隔操作による走行を実現させているが，よく知られているように2輪車は4輪に比べ小

回りがきき、狭いスペースでも走行できるため災害調査ロボットとして活躍が期待できる。しかし、遠隔操作の場合は通信が確保できない場所では使用できない。この課題を解決する手段として自動操縦が有効であると考えられる。しかし、遠隔による人の操作と違い、ロボットが取得できる情報のみで判断する必要があるため、より正確な情報が必要となってくる。さらに災害現場では落石などの影響で既存のマップが役に立たない可能性がある。そのためロボットの位置姿勢と周辺の3次元環境情報をリアルタイムで推定することが必要不可欠である。この手法はSLAM(Simultaneous Localization And Mapping)と総称されており、移動ロボットの分野で研究が盛んに行われている。

本研究ではSLAMによる危険度判定システムの開発を行った。ステレオカメラによる取得情報を元に危険度を付加したグローバルマップおよびマップ内での移動ロボットの自己位置を同時に推定するシステムを開発し、実験によりシステムが妥当であるかの検証を行った。実験結果をFig.6, Fig.7に示す。



Fig.5 カメラを装備した実験機



Fig.6 実験場所

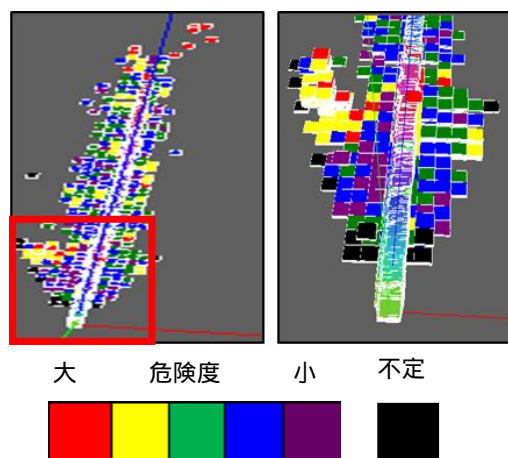


Fig.7 3D マップ

(3) まとめ

「ジャイロアクチュエータを用いた2輪車の自立走行制御」に関しては、本研究で得た知見を元に、操舵を切ることによる旋回動作(ヨーイング)、段差のある坂道におけるピッチング、また運転者の重心移動などに対する制御系の安定性の問題などに対応できるような操舵系を含んだ2輪車モデルの開発、さらに急旋回時にも自立走行が可能なジャイロトルクを発生する3軸ジャイロアクチュエータ搭載のジャイロ2輪車モデルを開発し、実用的な自立2輪車の開発を目指す。

「視覚情報による2輪車の走行制御」に関しては、現在のシステムの改善により危険度評価を利用した経路探索アルゴリズムを作成し、より実用的な2輪車の自動運転システムの開発を行っていきたい。

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)

[雑誌論文](計 4 件)

T.Sohaimi,S.Ouchi,N.Kodani,H.Hirata, M.Mubin,K.Takahashi: Self-sustaining Drive Control of Bike by Gyro Actuator, Mecatronics-2014-Tokyo, PP.291-296, (2014.12)

S.Ouchi,N.Kodani,H.Hirata,M.Mubin,K.Takahashi: Self-sustaining Drive Control of Gyro-Bike, IEEJ International Workshop on SAMCON, IS3-1-6,(2015.3)

大内,小谷,平田,高橋,千田:ジャイロアクチュエータを用いた2輪車の自立走行制御:機械学会論文集,Vol81.No832,pp1-16 (2015.12)

N.Kodani,K.Miyamoto,S.Ouchi,S.Shimizu,K.Takahashi,M.Mubin:Self-sustaining drive control of a bike by using a gyro actuator, IEEJ International Workshop on SAMCON2016, IS3-1-6,(2016.3)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)
神奈川県ものづくり技術交流会 2014 ,
2015 , 2016

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

大内 茂人 (Ouchi,Shigeto)
東海大学・情報理工学部・教授
研究者番号：20287030

(2)研究分担者

清水 創太 (Shimizu,Sota)
慶應義塾大学・理工学研究科・特任准教授
研究者番号：20328107

(3)連携研究者

千田 有一 (Thida,Yuichi)
信州大学・学術研究院工学系・教授
研究者番号：00345753

(4)研究協力者

小谷 齊之 (Kodani,Nariyuki)
高橋 孝一 (Tkahashi,Koichi)