

論文審査の結果の要旨

氏名：Sharad Singhania

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名： Study on Motorcycle Dynamics at Low Speeds for Rider Support System

(和文題目)ライダ用サポートシステム構築に向けた二輪車低速走行時の運動力学に関する研究

審査委員：(主査) 教授 景山一郎

(副査) 教授 綱島均 教授 高橋進

オートバイまたはスクータと呼ばれる原動機付き二輪車は、運動解析の結果3つのモード（キャブサイズ、ウィーブ、ウォップル）があることが過去示され、特に2つのモード（ウィーブ、ウォップル）は振動モードとなり、高速走行時に強く表れ、車両諸元によっては発散運動を起こす可能性が指摘されている。このため、その後の多くの研究は、特にこれらウィーブやウォップルと呼ばれる振動モードに注目したものが多く、これを安定化させるためのパラメータスタディ等が主に行われてきた。しかし、これらの振動は主に150 km/h以上で発生しており、国内では一般走行状態で問題となることはほとんどない。

他方、台湾、東南アジア諸国やインド等の南アジア諸国においては、毎日の生活の中で原動機付き二輪車が広く輸送手段として使用されている。特に、これらの国々では、交通渋滞、人口増加、インフラの許容限界などの問題が発生し、二輪車であってもライダは街中で低速における操縦を強要され、直立安定の維持等から疲労を引き起こす可能性が非常に高くなっている。このような状況で特に問題となるのは、上記3つのモード中で、主に倒れ込みを現すキャブサイズモードとなるが、これは非振動系モードで特に極低速走行時に強く現れ問題となることから、二輪車のふらつきや横転問題に繋がり非常に危険な状況を作り出す可能性がある。このように、低速域における二輪車の、特に直立安定性は非常に重要な研究課題となるが、これまでこの関係の研究はほとんど行われていないのが実状である。

このような解析を行うには二輪車の運動力学が重要となるが、これまで使用されている運動方程式では速度を基に立てられていおり極低速走行時には解析が行えないため、今後できるだけ早く構築される必要がある研究課題となっている。

一般的に直立安定性を議論する場合、中高速走行時には回転する車輪と操舵系のセルフステアから発生するジャイロモーメントが直立安定性には非常に重要であり、このモーメントが主要因であると言われている。しかし、低速走行時にはタイヤの回転数が極端に小さくなるためこのジャイロモーメントが小さくなり、この速度領域の直立安定性にあまり寄与しないことから、さらに安定性が低下する。このため、このような低速時の直立安定性はライダの操縦動作により確保される必要があり、ライダにとって大きな負担となるが、これを改善するためには補助輪等を含め二輪車の低速安定性を向上させるシステム構築が要求されている。そこで、近年このような制御系の提案が二輪車メーカーにより行われており、このようなシステムの導入によりライダの運転負荷を低減し、運転疲労を軽減することが期待されている。しかし、現状で提案されているシステムを市場に投入するにはまだ相当な時間を要し、普及は期待できない。そこで、本研究では、二輪車の低速域、特に3-10km/hでの直立安定性向上と操縦が可能なライダ支援システムの開発を目指し、熟練ライダが行う安定化制御操舵をベースにして、これを基にこの速度領域に特化した運動力学モデルの構築およびライダがこの速度域でどのように操縦しているか等を明確にする必要がある。

本研究では、これらを実施するにあたり次の3つの段階に分けて系統だて検討を行っている。

研究の第1段階では、二輪車の極低速時の走行実験を多くの被験者に対し実施し、二輪車の様々な入出力応答を実験的に計測している。実験結果は統計的手法を用いて解析され、入力および出力パラメータ間の関係を解析・検討している。入力パラメータと出力パラメータとの間の相関係数および応答時間を比較して、二輪車のバランスをとるための主要なパラメータおよびその制御アルゴリズムを特定している。これらにより、解析結果から同定された出力パラメータが、車両制御中に識別された入力パラメータを推定できることを示している。これらの研究結果は、議論された制御アルゴリズムが対象とする速度領域で二輪車を安定化させることが出来る可能性を示している。

研究の第2段階では、これまでの運動方程式では十分に検討出来なかった極低速時の運動を表現できる理論モデルの構築を行っている。このモデルをもとに線形運動方程式の構築と理論解析結果を明確に示し

ている。

研究の第3段階では、前述の分析の結果を用いて、ライダーを低速でサポートすることができる制御アルゴリズムを開発している。市販のソフトウェア VI-Motorcycle を使用して、2輪車の有効なマルチボディダイナミクス (MBD) モデルを構築している。次に、制御系ツールである MATLAB の Simulink でモデル化された制御アルゴリズムと前述の MBD モデルとを統合し、協調シミュレーションを使用して解析を実施している。これらの研究の結果は、議論された制御アルゴリズムを用いることで、極低速時の目標速度で2輪車を安定化させることを確認している。また、ライダーの操縦目的は、車両の直立安定性を保つだけでなく、方向安定性 (2輪車を希望する方向に操縦する) および速度制御も確保する必要がある。そこで、基本モデル中に速度制御アルゴリズムを組み込み指定速度による走行を可能としている。また、方向安定性についてもシミュレーションを用いて検討を行った。検討の結果は、ステアリング入力に指向性ゲイン値を加えることにより、2輪車の方向制御が可能となることを示している。その結果、ステアリング軸に与えられるトータルゲイン入力は、直立安定性による項と方向性による項の重ね合わせにより示している。

以上により、本研究で目的とした極低速時の直立安定性を検討するための運動方程式、ライダーが行う制御動作ならびに MBD を用いたこれらの制御動作の確認を行うことで、本研究の目的を達し得たと判断される。これら研究の流れを明確に表現するために、本論文は全5章から構成されている。

第1章は「まえがき」であり、この研究のバックグラウンド、関係する文献検索結果、本研究の位置づけおよび研究全体の流れについてまとめている。

第2章は「2輪車の直立安定性に関する理論モデルの構築」であり、この章では本研究で使用する理論モデル構築であり、極低速時の線形2輪車モデルの構築を行っている。このモデルでは、特に通常の2輪車の運動力学モデルとは異なり、各タイヤが横すべり角を持たずに、倒れ込み自体を表現することに努め、距離型と時間型の運動方程式を融合させて構築されている。結果として、極低速時の2輪車の運動を表現する運動方程式の誘導結果を示している。

第3章は「実験の準備と方法論」であり、本研究で実施した2輪車の極低速時の走行実験の概要および実験結果を示している。この結果に基づきパラメータスタディを実施し、さらに統計的処理方法について示している。

第4章は「極低速における制御アルゴリズム構築」であり、まず制御アルゴリズムの概要を検討し、定義している。次にマルチボディダイナミクスソフトウェアを用いたモデル構築を行い、このモデルを用いた運動解析を行っている。この結果を基に、前述で構築した制御モデルを用いた安定性の確認をおこなっている。これにより、極低速時にライダーが行っている直立安定制御だけではなく方向制御に関する検証をおこなっている。

第5章は本論文の「結論および今後の課題」であり、これまで実施した各章で求めた結論を要領よくまとめている。またさらに今後実施すべき研究について明確に示している。

この成果は、生産工学、特に2輪車の運動力学に寄与するものと評価できる。

よって本論文は、博士 (工学) の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令 和 元 年 9 月 1 2 日