

氏名（本籍）	久保田 哲也（千葉県）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第38号
学位授与日付	平成22年3月25日
専攻	システム工学専攻
学位論文題目	二輪車の運動性能と安定性の研究
学位論文審査委員	(主査) 教授 安田 一則 (副査) 教授 八木 栄一 准教授 長瀬 賢二

## 論文内容の要旨

移動手段としての二輪車は、交通手段のなかで一定の地位を占めている。近年、温室効果ガス削減が社会目標になる中、軽量で相対的に排出ガスを少なくすることが可能な二輪車の割合は、将来的に増えていくことが予想される。このような状況で、二輪車の特性を理解し、その特性を有効活用した安全で高性能な二輪車の開発が、今後さらに望まれるようになる。本論文では、二輪車固有であるために十分な把握がなされていない運動性能および安定性のうち、要素制約による限界特性、ウォブルモードに関する安定性、およびその応用として主要振動モードの安定化制御時のトレードオフを、準静的モデル、機構解析言語による詳細モデル、および線形化した走行モデルという目的に応じた解析モデルを使用することにより、理論的および実験的側面から明らかにしている。まず、二輪車の加速および減速の上限を規定する3つの要素制約、すなわちタイヤ摩擦、ウイリー・ストッピー、およびエンジン出力の制約による限界を示す式を提示している。能力の高いライダーはその限界近傍で走行可能であることをデータで示すとともに、サーキットのラップタイム予測やコースに応じた最適重心位置の計算方法を示し検証している。次に、機構解析言語を使用した二輪車のモデリング手法を解説している。軽量で車体が傾斜することから、計測による把握が困難なタイヤ力などの物理量を、計測値を機構解析言語によるシミュレーションで補完することにより取得することができ、それにより走行中のタイヤの摩擦限界に対する余裕度を把握できることを示している。さらに、二輪車の安定性に関する現存する課題のうち、ウォブルモードが不安定になるシミーを、最も基本となる3自由度モデルにより解析し、実験から得られる状況と一致することを確認している。そのモデルを3次元に拡張して各種パラメータの安定性への影響を調べるとともに、搭乗者の安定性への影響を排除するため、無人走行を可能にした試験用自動二輪車を対象に、シミーとウィーブのトレードオフを考慮したフィードバック制御のゲイン設定で安定走行が可能であることを解析で示している。最後にこの無人走行二輪車による走行実験で安定走行を実現して、解析モデルが妥当であることを検証している。これらの成果により、制約条件で収束してきた現状のモータサイクルに対し、今後の電子制御化や高性能部品の採用による条件の変化に適応した高性能化が、モデルをベースにした解析で対応可能となる。

## ABSTRACT

Two-wheeled vehicles are one of the major transportation means. It is inevitable that the recent world-wide effort toward the green-house effect will facilitate the growth of two-wheeled vehicles because of their relatively light weight. In this situation, we are obliged to understand their characteristics and to develop more safe and high performance vehicles. In this thesis, as the issues of the maneuverability and stability of two-wheeled vehicles, which are not yet fully disclosed due to their singularity, the limitation of maneuverability by the physical constraints, the stability related to the wobble mode, and the stabilization control with the consideration of trade-offs are analyzed by using the quasi-static model, detailed model by a multibody dynamics code, and

linearized running-vehicle model. First, three constraints that limit acceleration and deceleration, namely the friction of tires, wheelie or stoppie, and engine power are formulated. The data shows that a competent rider can maneuver a vehicle along its limitations, and with this fact, a lap time at the circuit is estimated and the optimal location of the center of gravity is calculated. Then, the modeling method of two-wheeled vehicles with the multibody dynamics simulation program is explained. It is shown that physical values such as tire friction forces, which cannot be easily obtained because of the weight constraint and body leaning, can be obtained by using the program along with measured data and the margin to the limitation can thus be estimated. Furthermore, as one of the remaining problems on two-wheeled vehicles, motorcycle shimmy as instability of the wobble mode is analyzed with the basic three-degree-of-freedom model. The results are verified by the experiments. Then, the effects of the vehicle parameters are examined with the expanded three dimensional model, and by using the unmanned motorcycle, which has been developed for eliminating the human effect on stability, the feedback control gains are determined with the consideration of the trade-off between shimmy and weave. The analysis model is verified by the experiments of the unmanned motorcycle. By the methodology described in this thesis, the current motorcycles, which have evolved within the constraints of two-wheeled vehicles, will be progressed with the adaptation of future electronic control and high performance elements using model-based analysis.

## 論文審査の結果の要旨

この論文は、自動二輪車の運動性能と安定性に関するメカニズムの把握を目的に、解明すべき現象に応じた数式モデルあるいは機構解析言語モデルを提案するとともにその妥当性を実験データで検証し、実用に耐える解析モデルおよび制御モデルを構築している。また、これらのモデルによって、要素制約による限界性能、ウォブルモードに関する安定性、主要振動モードの安定化制御時のトレードオフについてのメカニズムが解明できることを示している。

本論文を審査した結果、新規性・実用性・完成度のいずれの観点からも博士論文として十分な水準にあることを認めた。なお、本論文での研究成果は、現時点で、学術誌掲載論文5編、国際会議発表論文5編で公表されている。

## 最終試験の結果の要旨

2月10日に公聴会を開催し、研究発表後、

- ・ モデルパラメータはどのように決定したのか。
- ・ シミーという現象が起こる原理を説明してほしい。
- ・ 四輪車に対して二輪車にABSを適用する場合の難しさを、研究結果から説明してほしい。

等の質問があった。これらに対し学位申請者から、質問内容を十分に把握した上での的確な回答があった。これにより、学位審査会は全員一致で最終試験を合格と判定した。