

論文審査の結果の要旨

氏名：伊 澤 正 樹

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：非線形車両運動方程式の線形化手法および筋骨格数理モデルを用いた自動車のロールフィール
定量化に関する研究

審査委員：(主査) 教授 見 坐 地 一 人

(副査) 教授 角 田 和 彦 教授 景 山 一 郎

自動車は社会生活を営む上で必要不可欠なものの一つとなり、望めば所有できる対象となった。それに伴いユーザーが自動車に求めている条件も変化し、性能の良い車はもちろん運転に対する快適性を求めるようになってきた。現在自動車業界を取り巻く環境は CASE(Connected, Autonomous, Shared & Services, Electric Drive)と呼ばれる IT 企業も巻き込んだ大きな技術革新の潮流の中にあり、従来にも増して車両運動性能の設計ニーズが高まると同時に自動運転の普及に伴い乗員の快適性への欲求が高まって来る。これらの背景から車両全体を统一的に表す線形運動方程式モデルを導出しよりきめ細かな車両運動性能設計のニーズに応えるとともに快適性向上のため従来からの官能評価に代わり筋骨格数理モデルを適用しロールフィールの定量化手法の提案を行った。

本論文は全 8 章から構成されている。

第 1 章は序論であり自動車業界を取り巻く現状の課題・環境を示し解決手法の技術領域を提案している。

第 2 章は車両の操縦安定性と乗り心地を同時に扱うことが可能な多自由度の線形運動方程式の構築を行う章として、まず座標軸の定義、自由度の設定、作用力の定義を行い具体的な数式展開として非線形運動方程式を構築し、その上でテイラー展開により多自由度方程式を線形化するとともにタイヤモデルに関してはタイヤスリップ角による偏微分でコーナリングパワーを求め、車両運動全体を表す線形運動方程式を導出した。

第 3 章は第 2 章で求めた線形モデルの検証の章であり、多自由度非線形運動方程式との比較を行い車両の直進状態からの操舵操作、一定の横加速度が加わった状態からの切り増し操舵に対し非常に良い一致が確認できる。また平面運動に関しては簡易的な近似モデルである従来手法の平面 2 自由度モデルに対し多自由度モデルのロール挙動を抑制するパラメータ設定を行ったところ根軌跡において基本挙動が一致することを確認し、多自由度非線形モデルは従来の簡易 2 自由度モデルの拡張構造となっていることを確認した。これらにより提案手法による多自由度線形モデルは実用上十分な精度をもって線形化できたことを確認した。

第 4 章は線形モデルを用いた線形解析手法の応用例であり、タイヤの剛性違い、ばね剛性違いに対し直線走行からの微小攪乱のみならず、一定の横加速度下からの微小攪乱に対しても車両挙動の解析ができることを示した。また従来の簡易モデルでは考慮できなかった減衰特性違いでの車両挙動を明示的に比較検討できることを示しサスペンション特性設計に有効な手段の提案になった。さらにモード解析に言及し提案手法で得られる状態空間表現を直接使い、システムの固有値と固有ベクトルからモード解析が可能であることを示した上で車両挙動に関する関連の深い連成モードを探索する手法を示した。

第 5 章はタイヤの非線形特性の考察として、定常円旋回中に路面から周期的外乱を受ける場合に発生する横力が低下する現象 (Static loss, Dynamic loss) に関し線形解析手法の適用を検討した。現象としては線形時変パラメータとなるため通常の線形解析を行うことは困難であるが、時間毎のシステムの固有値解析を連続的に行うことにより、タイヤの等価コーナリングパワーの時間変化及びそれに起因する根軌跡の時間変化を図示し路面外乱を時間ごとの根軌跡として評価する手法の提案を行った。

第6章では従来介護現場あるいはスポーツ科学の現場で使用実績のある筋骨格数理モデルを初めて走行中の車両に適用して筋骨格数理モデルの構築と筋負担解析による官能評価の定量化を行った。走行中の車両は通常の解析環境とは大きく異なり、狭い室内空間でのモーションキャプチャーカメラの搭載手法、太陽光線の影響を受けながらモーションキャプチャー撮影を行うなどのノウハウを積み上げ車両計測に適用可能な筋骨格数理モデルを構築した。これを用いてサスペンション減衰力の大きい小さいで作り分けた車両特性（Sport, Comfort）に対するロールフィールの良し悪しを、筋骨格数理モデルによる得られた関節回転トルクと筋駆動トルクの解析結果から定量化し、運転しやすい車両には適正なロール姿勢があることを見出した。

第7章は線形多自由度モデルを用いて減衰力特性違いの際の操舵時と路面外乱時の車両のヨーとロール挙動の連成について考察を行った。減衰特性違いで操舵時のヨー変化は少なくロール変化は大きい一方で路面外乱時はヨーもロールも大きく変化することが確認できる。この理由を線形解析の極ゼロ解析を用いて理論的に説明した。操舵の主目的はヨー挙動を変化させることであり減衰特性によりヨー挙動は大きく変化しないことから減衰特性は専らロール挙動の調整に用いて良く、一方で路面外乱による望まないヨー挙動は減衰力特性で調整可能であることを示唆した。これらの事から第6章で見出した運転しやすい適正なロールフィールの実現と路面外乱によるヨー挙動を抑えるために必要な減衰特性の両立の可能性を示唆した。

第8章は本論文の結論であり各章による成果と展望を述べている。非線形多自由度運動方程式の線形化で得られた多くの線形解析の有効性と操縦性と乗り心地を統一的に扱うことが可能となり従来明示的に記述できなかった車両減衰特性を陽に記述可能にしたことでロールフィールとヨー変化の最適化に向けた手法を示唆した。将来構想として線形モデルと筋骨格数理モデルの連成計算により机上で最適なロールフィールを実現し、かつヨー挙動に関する外乱感受性の良好な車両特性実現に向けた展望を示すとともに課題についても明確に示した。

本研究で示された成果は、生産工学、特に数理情報工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

平成 31年 3月 7日