

論文要旨

自動車の乗心地向上、さらには操縦安定性のため、これまでに多くの制御デバイスと制御手法が提案され、実用化されてきた。近年では、更なる性能向上のために、人間の振動特性に関する研究や、路面外乱に対する車両挙動解析などの基礎研究も盛んに行われている。

本論文では、人間の振動特性と、車速による車両ダイナミクスの変化を考慮した自動車用サスペンションの制御系設計法を確立することを目的とする。人間の振動特性とは、乗員が着座姿勢において着座位置の振動に対する乗員挙動のダイナミクスを示す。また、車速による車両ダイナミクスの変化とは、車両が走行する際に路面の凹凸によって生じる車両挙動のダイナミクスの車速依存特性を示す。はじめに、着座姿勢の乗員挙動のダイナミクスを考慮した乗員挙動制御の制御系設計を提案し、性能を検証する。次に、路面の凹凸による車両ダイナミクスを考慮した制御系設計を提案し、性能を検証する。さらに、路面の凹凸による車両ダイナミクスが車速によって変わることを考慮した制御系設計を提案し、性能を検証する。

第1章では、本論文に関わる背景と目的を述べた。

第2章では、先行研究で明らかになっている人間の着座姿勢における着座位置の振動に対する頭部の挙動データに基づき、乗員のダイナミクスをモデル化し、アクティブサスペンションを備えた車両モデルと組み合わせ、 H_{∞} 制御を適用して路面 PSD (Power Spectral Density) 特性を踏まえた外乱包含 H_{∞} 制御系を設計する。数値シミュレーションにより、従来の制御系よりも乗員の振動を抑制する効果があることを示した。

第3章では、第2章で設計したアクティブサスペンションにおける制御系をセミアクティブサスペンションに適用するため、車両と乗員の共振周波数といった代表的な周波数において、サスペンション速度とセミアクティブダンパの減衰力のリサージュ波形に着目し、速度がゼロ付近において減衰力の急激な変化を抑制し、ジャークを低減する制御系を設計する。数値シミュレーションにより、従来の制御系よりも乗員の振動を抑制する効果があることを示した。

第4章では、路面の凹凸によって発生するサスペンションのストロークおよびタイヤ横力がタイヤ横力変化を生じさせることによるサスペンション特性を踏まえ、車両平面運動も考慮した車両モデルに、車速を一定とした条件において、前後輪の路面入力の間時間差を導入し、前輪2輪から外乱が加わる車両モデルを構築する。本モデルにおいて、アクティブサスペンションを用いて、乗心地のみならず、車両平面方向の挙動を制御量とする外乱包含 H_{∞} 制御系を設計する。数値シミュレーションにより、従来手法よりも、路面凹凸に対する車両平面運動を抑制する効果があることを示した。

第5章では、第4章で構築した詳細なサスペンションおよび前後輪の路面入力時間差を踏まえた車両モデルを車速に対する LPV (Linear Parameter Varying) 系で再定義し、アクティブサスペンションを用いて、LMI (Linear Matrix Inequality) により車速によるゲインスケジュール型 H_{∞} 制御系を設計する。数値シミュレーションにより、提案手法を詳細なサスペンション特性を踏まえて、ある車速で最適と設計した制御系と比較し、車速による車両ダイナミクスの変化に対するロバスト性を検証した。

最後に、第6章において、本論文の結論を述べた。

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

Automotive performance has improved from a demand for riding comfort and driving stability. Many research have proposed various control system design methods for active and semi-active suspension systems. In recent year, research on dynamics of human body and vehicle dynamics are actively done. However, there are few research about a suspension control method considering those characteristics.

A purpose of this study is to establish a design method of control system considering dynamics of human body and vehicle dynamics at different vehicle speed for the vehicle suspension. The dynamics of human body means response of seated human due to vibration in seated position. The vehicle dynamics means vertical and lateral motion of the vehicle due to road input. First of all, to consider the dynamics of human body, seated position and vertical motion of the vehicle, "Passenger Control" is proposed. Second, the design method of control system which considers lateral motion of the vehicle due to change of tire side-force is proposed. In addition, the control system considers the characteristic of vehicle motions change depending on the vehicle speed is proposed. Those control performances are verified by some numerical simulations.

The contents of this dissertation are summarized as follows.

Chapter 1 describes the background and the purpose of this study.

In chapter 2, a vehicle and passenger model including the dynamics of human body at seated position is constructed. The disturbance accommodating H_∞ control which considers both dynamics of human body and power spectral density of road disturbance is proposed. In order to verify the effectiveness of the proposed control system, the numerical simulations are carried out by using a full vehicle model. From numerical simulation, it was confirmed that in nearly the resonance frequency of a passenger's head, the proposed control system is effective in reducing a passenger's vibration better than the general control system.

In chapter 3, the control system for the active suspension designed in Chapter 2 is applied to a semi active suspension. In order to control the jerk which is generated by changing of a damping coefficient rapidly, the robust controller is designed based on Lissajous figure of damping force. From numerical simulation, it was confirmed that the proposed control system reduces the jerk better than general control system.

In chapter 4, to consider suspension characteristic, which is change of tire side force caused by suspension stroke and tire side-force, a vehicle model including lateral motion is constructed. The disturbance accommodating H_∞ control which considers the vehicle model, and sets the lateral acceleration of the vehicle to one of controlled outputs is proposed. From numerical simulation, it was confirmed that the proposed control system is effective for reducing the lateral motion of the vehicle due to antiphase road disturbance.

In chapter 5, the vehicle model in chapter 4 is defined as the linear parameter varying system taking amount of vehicle speed. The gain-scheduling controller based on the linear matrix inequalities which sets the vertical and lateral acceleration of the vehicle to one of controlled outputs is proposed. From the numerical simulation, the proposed gain-scheduling controller can reduce the vertical and lateral motions caused by road disturbance at a different vehicle speed better than a normal H_∞ controller.

Chapter 6 is the conclusion of this dissertation.