

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 6 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560231

研究課題名（和文） モーション装置を利用したタイヤサスペンション系の評価

研究課題名（英文） EVALUATION OF A TIRE-SUSPENSION SYSTEM WITH 6-DOF MOTION PLATFORM

研究代表者

下坂 陽男 (SHIMOSAKA HARUO)

明治大学・理工学部・教授

研究者番号：10139462

研究成果の概要（和文）：本研究は、路面からの入力を模擬する 6 自由度モーション装置と自動車のサスペンション部品及びタイヤを利用することにより、自動車の走行状況を再現する試験装置を開発したものである。タイヤに発生したタイヤ力に応じてリアルタイムに車両運動解析を行い、その結果に応じてモーション装置をタイヤの接地状態を制御することにより、サスペンション特性が車両の運動性能に及ぼす影響を精度よく評価することが可能となった。

研究成果の概要（英文）：A testing machine with 6-DOF motion platform and a suspension system of an actual automobile was developed in order to reproduce the running condition of the automobile. In this testing machine, the vehicle dynamics calculation is running in real-time according to the measurement result of the tire force. An accurate evaluation of the effect of the suspension properties on the vehicle dynamic characteristics can be realized with this testing machine.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学, 機械力学・制御

キーワード：交通機械工学、マルチボディダイナミクス、リアルタイム解析、HILS、タイヤ、サスペンション

### 1. 研究開始当初の背景

自動車の運動解析において、タイヤ力の特性は非常に重要である。このため、タイヤに発生する力を評価する試みは古くからされており、タイヤ試験機としては、直径数メートルから数十メートルという大型のドラムを利用したドラム型タイヤ試験機や、より実際の路面に近いフラットベルト型タイヤ試験機などが開発されている。これらは、タイヤ単体の特性を評価する装置であるといえる。一方、タイヤが実際に利用される条件は、路

面の摩擦特性や形状などといった路面側の条件に加え、ホイールのアライメントや荷重移動など、車両側の条件を考慮する必要がある。この車両側の条件を考慮する装置としては、車体を固定した状態でホイールに静的にストロークを与え、ホイールのアライメントや各部の荷重特性を計測するサステスターと呼ばれる試験装置がある。しかしながら、この試験装置ではタイヤは回転しておらず、タイヤにコーナリングフォースは発生しないため、車両の走行状況を模擬した試験装置

とはいえない。このような観点から、様々なタイヤ接地状態を再現し、タイヤとサスペンションの特性を複合的に評価する試験機が望まれていた。

## 2. 研究の目的

本研究では、路面からの入力を模擬する 6 自由度モーション装置と、自動車のサスペンション部品およびタイヤを利用することによって、自動車の走行状況を再現する試験環境を開発する。計測されたタイヤ力に基づきリアルタイムに車両運動解析を行い、解析の結果得られるスリップ角やロール角などの車両状態量に基づきモーション装置を制御することにより、様々な走行状況を再現する。この試験環境を利用して、サスペンション特性が車両の運動性能に及ぼす影響を精度よく評価することを目的としている。

## 3. 研究の方法

本研究では、6 自由度モーション装置を利用したタイヤサスペンション試験機を用いる。マルチボディ車両モデルを含めた様々な車両モデルを用いて、試験機によって計測されたタイヤ力に基づくリアルタイム車両運動解析を検討し、解析の実行速度と安定性、および得られる結果の精度について評価する。得られた解析結果に基づいて、モーション装置とアクチュエータの制御を行うクローズドループ系を構成することにより、仮想的な走行試験の実現を試みる。さらに、路面の凹凸やうねりなど実際の走行条件を考慮した試験を行うことにより、開発した試験環境によって得られるデータの妥当性を検証する。

## 4. 研究成果

### (1) 6 自由度モーション装置の動特性の改善

本研究で開発したタイヤサスペンション試験機を図 1 に示す。この試験機のハードウェア部は、実車のタイヤサスペンション機構やステアリングシステム、6 自由度モーション装置によって構成されている。

6 自由度モーション装置は車体姿勢及び路面状況などを再現するために用いられているが、搭載物の慣性や作用する負荷などの影響により応答の遅れが生じる。ここで生じる遅れは、車両挙動の再現性に影響を及ぼす。そこで、6 自由度モーション装置に生じる位相の遅れや安定性を改善する位相進み遅れ補償器を設計した。ここで設計した補償器を 6 自由度モーション装置の制御に適用することで、ハードウェア部の応答性を改善した。図 2 に、補償前後のモーション装置の応答特性を示す。



図 1 タイヤサスペンション試験機

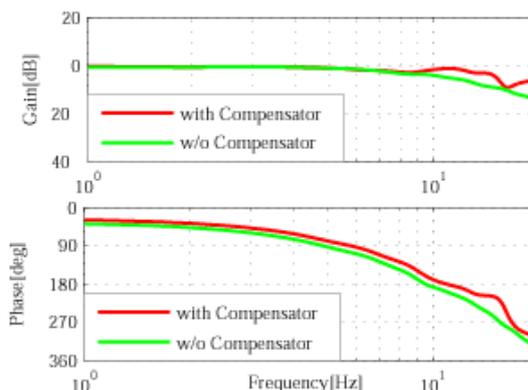


図 2 モーション装置の応答性

### (2) マルチボディ車両モデルを用いた HILS システムの構築

タイヤサスペンション試験機では、タイヤに発生するタイヤ力を直接計測することが可能である。この計測されたタイヤ力に基づきリアルタイムに車両運動解析を行い、解析結果をモーション装置の制御に用いる HILS (Hardware-in-the-loop simulation) システムを構築した。車両の挙動の変化に伴うタイヤの接地状態の変化をモーション装置によって再現することが可能となった。車両運動解析に用いるモデルとして、マルチボディ車両モデルを用いた。マルチボディ車両モデルは実際の車両の機構部を忠実に再現したモデルであり、精度の高い解析が可能であるが、モデルの自由度が大きいため、大規模な行列演算が必要となり多くの計算量が要求される。

本研究では、行列演算ライブラリ SuperLU を

用いて計算効率の向上を図ることにより、4ms 周期のリアルタイム解析を実現することができた。HILS システムに用いたマルチボディ車両モデルの図を図 3 に示す。

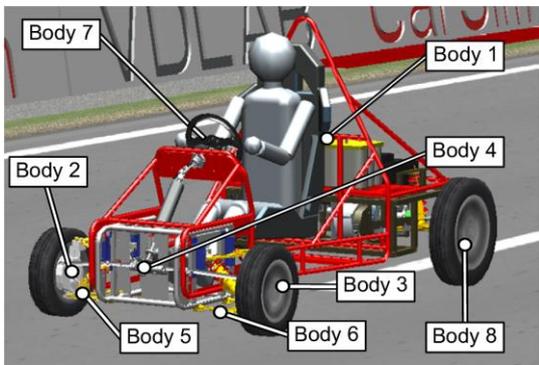


図 3 マルチボディ車両モデル

### (3) フラットベルト式転動装置の開発

タイヤに回転を与える転動装置については、従来の試験機ではローラ式転動装置を利用していた。タイヤ接地面の再現性を向上するために、新たにフラットベルト式転動装置の開発を行った。このフラットベルト式転動装置を用いた計測結果より、タイヤコーナリングフォースおよびセルフアライニングトルクの再現性が向上したことを確認した。図 4 に開発したフラットベルト式転動装置を示す。また、図 5 にはこのフラットベルト式転動装置を利用して計測されたタイヤの横力およびセルフアライニング特性を示す。

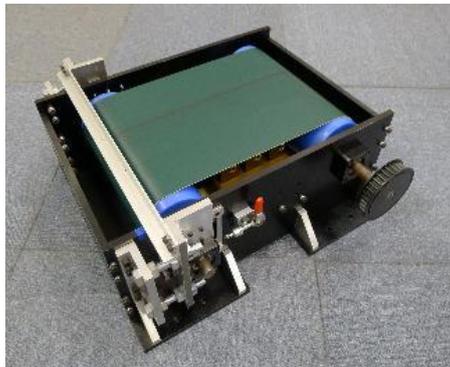


図 4 フラットベルト式転動装置

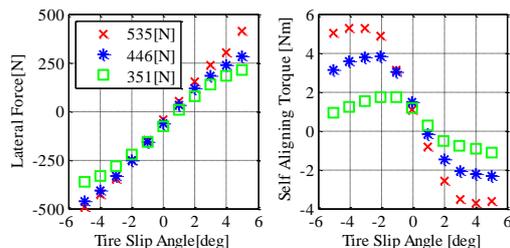


図 5 計測された横力 およびセルフアライニングトルク

### (4) 電磁ダンパの特性評価

開発した HILS システムを利用して、電磁ダンパの特性を評価する試験を実施した。電磁ダンパは従来のオイルを利用したダンパに代わり、電磁力により減衰力を発生させるシステムであり、車両の状態に応じてさまざまな減衰力特性を実現できるという特徴を持っている。このため、制御サスペンションとしての利用が可能である。図 6 に電磁ダンパの構成図を示す。路面凹凸を模擬した入力を車両モデルに与え、その解析結果に応じて 6 自由度モーション装置を制御することにより、複数の条件下において電磁ダンパの特性評価を実現することができた。図 7 は、電磁ダンパに通常のオイルダンパの特性を持たせた場合とスカイフックダンパ理論に基づくアクティブ制御を行った場合について、上下方向の振動伝達率を比較した評価結果である。アクティブ制御により、広い周波数領域にわたって上下振動を抑えることができたことが示されている。

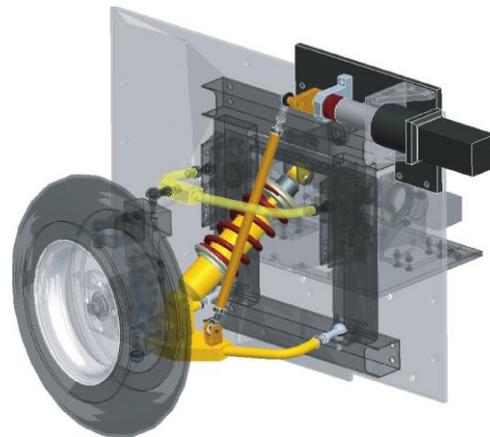


図 6 電磁ダンパ

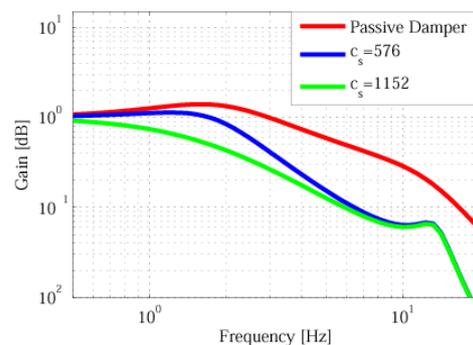


図 7 HILS システムによる電磁ダンパの評価

### (5) 実行周期の改善と安定性の評価

従来の HILS システムでは、単一の計算機においてハードウェアの制御とリアルタイム

車両運動解析を実行していたが、これらの処理を別々の計算機で行い、RS422 通信により制御および解析に必要な情報をやり取りする改良を加えた。この改良により、実行周期を 1ms としたリアルタイム車両運動解析が実現された。また、この HILS システムは実際に計測される物理量に基づきリアルタイム解析が実行されるため、計測情報の離散化やノイズの影響により、安定性が低下することが懸念される。そこで、Baumgarte の安定化手法と呼ばれるマルチボディダイナミクス解析の一手法を導入し、さらに試験条件や数値積分ソルバに応じて Baumgarte の安定化手法のパラメータを調整することにより、リアルタイム解析の安定性向上を試みた。図 8 は、Baumgarte の安定化手法のパラメータの設定と数値積分法の選択が解析の安定性に及ぼす影響を示したものである。

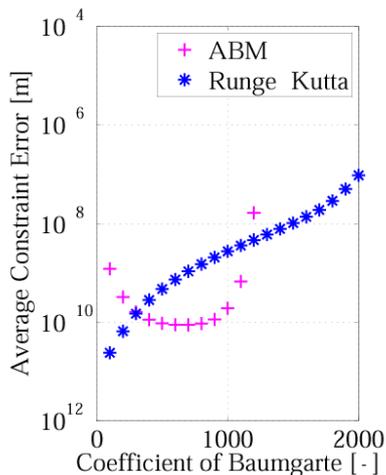


図 8 安定化パラメータと解析誤差

## 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 4 件)

1. Takanari Hoshida, Taichi Shiiba, Yosuke Matsumoto, Improving the Computational Efficiency of Tire-Suspension Hils System with Matrix Library, The 11th International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC2012), Fort Lauderdale, 2012. 10. 17-19
2. 小花 昂太郎, 松本 陽介, 小池 亮太, 椎葉 太一, 下坂 陽男, フラットベルト式転動装置を用いたタイヤ - サスペンション HILS システムの開発, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2011 (D&D2011), 高知, 2011. 9. 5-9
3. 小池 亮太, 松本 陽介, 椎葉 太一, 下

坂 陽男, タイヤ - サスペンション HILS システムを用いた電磁ダンパの評価, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2011 (D&D2011), 高知, 2011. 9. 5-9

4. Taichi Shiiba, Yosuke Matsumoto, Ryo Kawauchi, Ryota Koike, Haruo Shimosaka, Performance Evaluation of Electromagnetic Damper with Tire-Suspension HILS System, Multibody Dynamics 2011, ECCOMAS Thematic Conference, Brussels, 2011. 7. 4-7

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

下坂 陽男 (SHIMOSAKA HARUO)  
 明治大学・理工学部・教授  
 研究者番号：10139462

### (2) 研究分担者

椎葉 太一 (SHIIBA TAICHI)  
 明治大学・理工学部・准教授  
 研究者番号：10349839