

特集 : Virtual Testing

7

## ブレーキジャダ及びシミーの解析技術の開発 Brake Judder and Shimmy Simulation Technology Development

竹川 隆茂\*<sup>1</sup> 日比野 忠和\*<sup>2</sup> 大原 司\*<sup>3</sup>  
Takashige Takegawa Tadakazu Hibino Tsukasa Ohhara

### 要 約

商品開発期間の短縮や開発コスト削減のためには、試作車の存在しない開発初期において、対象となる性能を机上検討することが有効である。

今回、Virtual Testing技術の一つとして、これまで実験主体で性能開発されていたブレーキジャダ及びシミーについて、両現象に共通するステアリングホイールの回転方向の振動を予測する技術を開発した。

本稿では、ステアリングホイール回転方向の振動を表現する上で必要不可欠であるステアリング系のフリクション特性のモデル化概要、ジャダ及びシミーの現象再現性及びジャダの性能改善検討に使用した事例について報告する。

### Summary

To achieve shorter lead time and cost saving for product development, analytical verification of performance to be studied would be effective in the early development phase where no hardware is available.

As one of virtual testing technologies, we have developed an approach to predicting steering wheel vibration in the rotational direction, common to both phenomena, namely brake judder and shimmy, whose performance development was conventionally driven by experiment.

This paper covers a modeling description of the steering friction characteristics essential to represent the steering wheel vibration in the rotational direction, reproducibility of the judder and shimmy phenomena, and a case where this approach was used to make a study of judder performance improvement.

### 1. はじめに

開発期間の短縮や開発コストの削減のためには、開発初期において、対象となる性能を机上で検討することが有効である。ブレーキジャダ及びシミーは乗員の快適性に大きな影響を持つ振動現象であるが、これまで試作車を用いた実験により開発されており、予測技術の開発が急務であった。

### 2. ブレーキジャダ及びシミー現象とは

ブレーキジャダは、車両の制動時に発生するフロア・ペダル振動のことで、ステアリングホイール回転方向に振動

を伴う場合もある。ブレーキディスクのDisk Thickness Variation (以下、DTV) により発生する制動トルク変動が起振源で、車輪の回転の一次及び高次成分を持つ。これがサスペンションの前後共振などで増幅され、車体やステアリング系を伝達して、フロア・ペダル振動やステアリングホイール回転方向の振動となる。

一方、シミーは車両定常走行時にステアリングホイール回転方向に発生する振動のことである。タイヤ及びホイールなどの回転部分のアンバランスやノンユニフォミティが起振源となり、サスペンション共振で増幅され、ステアリング系を介してステアリングホイール回転方向の振動となる。

\*1, 3 CAE部  
CAE Dept.

\*2 NVH性能開発部  
NVH Development Dept.

両振動現象ともに、ステアリングホイール回転方向の振動が発生することが共通している。

### 3. モデルの概要と精度

解析モデルは、ステアリング系とサスペンションに分けてモデル化している。ステアリングホイール回転方向の振動を表現するため、特にステアリング系のフリクション特性の再現に重点を置いてモデル化を行った。

各々で比較検証を行った上で、フルビークルモデルを構築した。

#### 3.1 ステアリング系モデル

ステアリング系はFig.1に示すような非線形な振動伝達特性を持っている。これは、パワーステアリング作動の状態ではラック端を加振したときのステアリングホイール回転方向のイナータンスを示したもので、加振力の増加によってステアリングのねじり共振が下がるという現象を示している。Fig.2はラック端加振試験の概略図である。

線形モデリングでは、フリクションを等価粘性減衰としてモデル化することは可能であるが、Fig.1のような特性

を再現することは難しく、モデル化してもフリクションの値を設計スペックに置き換えることができないという問題がある。これを実現するためには非線形モデリングによってフリクション特性を忠実に再現する必要があると考えた。そのため、以下に述べるモデル化手法によってフリクション特性の再現を試みた。

- (1) ステアリング系の各部品に多数存在すると考えられる摺動部位を一つ一つ直接的にモデル化するのではなく、ステアリング系オーバーオールでの振動伝達特性（非線形性）を表現できることを狙った簡易物理モデルとした。
- (2) フリクションはコラム、インプットシャフト、ラック部の3ヶ所に定義しており、それぞれにFig.3のようなスティック状態を表すばねとスリップ状態を表すクーロン摩擦を直列に結合したものを複数個並列にモデル化した。

Fig.4にステアリングホイール回転方向イナータンスの実測と解析結果を重ね書きしたものを示す。解析結果が加振力依存によるステアリングねじり共振の非線形特性を再現しており、現象を十分再現できていることが確認できた。

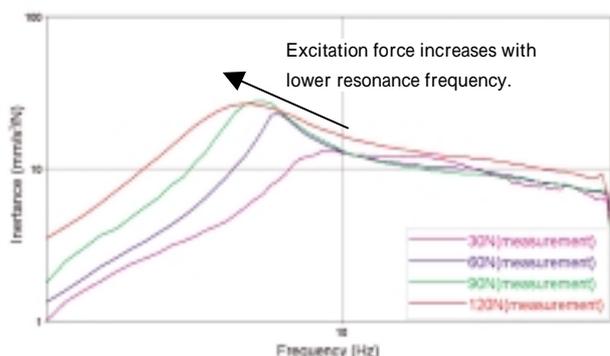


Fig.1 Excitation Dependency of Steering Torsional Resonance (Test Result)

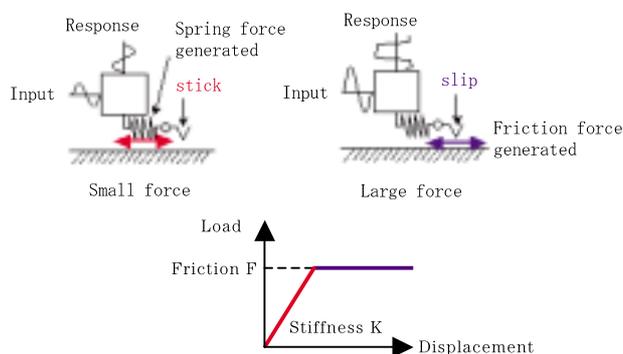


Fig.3 Friction Model

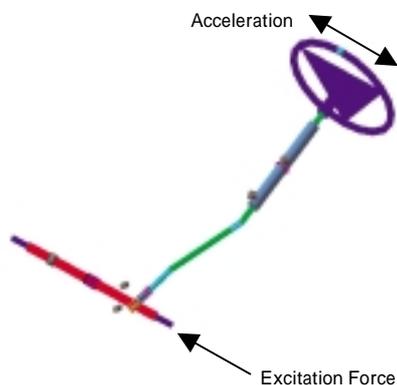


Fig.2 Rack End Excitation

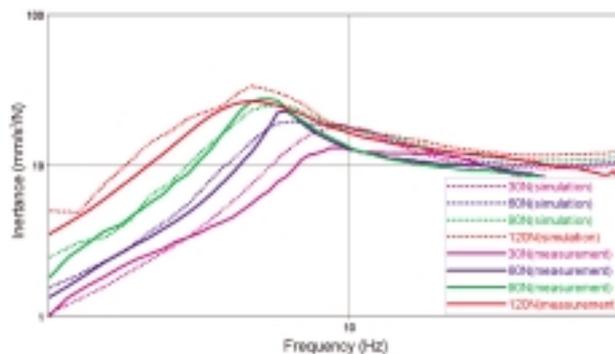


Fig.4 Test vs. Analytical Steering Torsional Resonance

3.2 サスペンションモデル

ストラット式のサスペンションについてモデル化を行った。ジャガとシミー現象は、減速度の違いから、Fig.5に示すように、振動時に使用するサスペンションブッシュのばね特性の領域が異なるため、線形解析ではこの2つの現象を同一モデルで解析することは不可能である。モデル作成工数の削減からも同一モデルで解析できることが望ましいため、サスペンションに含まれる個々のブッシュの変位と力の特性を忠実にモデル化することにより、外力による振動特性の変化を表現することで、同一モデルでジャガ及びシミーの解析を可能とした。Fig.6とTable 1にジャガやシミーに影響が大きいサスペンションの前後共振（固有モード）の解析結果を示す。解析結果が台上4輪加振試験とほぼ同等の周波数帯にあることが分かり、現象を再現できていることが確認できた。

3.3 フルピークルモデル

ステアリング系モデルとサスペンションモデルから、フルピークルモデルを構築した。

フルピークルモデルはシャシーダイナモ走行試験を模擬しており、ジャガやシミー現象に影響が小さいと考えられるリヤサスペンションは等価バネで表現している (Fig.7)。入力については、ジャガに関しては、ブレーキトルク変動がDTVと比例関係にあると仮定し、ブレーキトルクに換算して入力した。また、シミーに関しては、タイヤホイールに質量を付加しアンバランスとした。

フルピークルモデルの精度を検証するため、ステアリングのフリクションを変更した仕様でのステアリングホイール回転方向の加速度レベルを実測と比較した。その結果をFig.8, Fig.9に示す。なお、実機でのステアリングフリクションの仕様差は、ラック&ピニオンのサポートヨークを調整することで表現した。

この結果より、解析がフリクション増による加速度の減少を再現していることが分かる。このことから、解析モデルはステアリングフリクションの仕様差を定性的に評価可能であることを確認した。

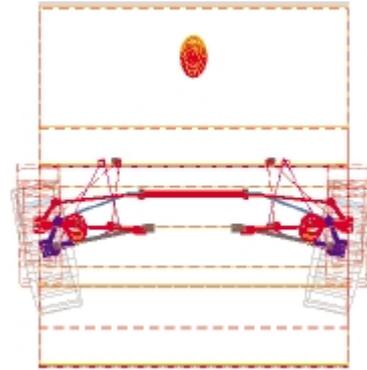


Fig.6 Fore and Aft Mode of Suspension (Top of view)

Table 1 Eigenmode Frequency Comparison in Judder Range

Simulation	Measurement (biaxial 4 poster)
21.7Hz	22.3Hz

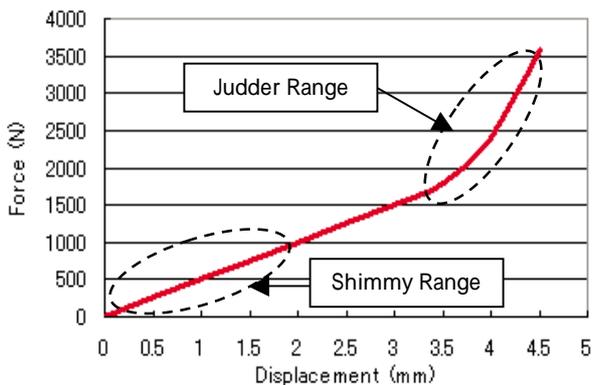


Fig.5 Range Where Suspension Bushing is used for Each Phenomenon

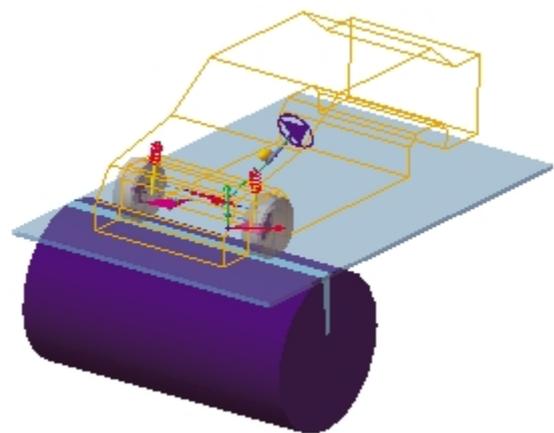


Fig.7 Full Vehicle Model

### 4. ジャダへの適用事例

ブレーキジャダに関して、ステアリングホイール回転方向の振動レベルが大きかった車両（以下、ベース仕様）に対し、対策案としてロアアーム後側プッシュ特性を変更した仕様（以下、対策仕様）について検討した。これら仕様違いでジャダ解析を行い、それぞれの仕様でのステアリングホイール回転方向の加速度レベルをFig.10に示す。この結果から、対策仕様はプッシュ特性を変更することで、サスペンションの動きが抑制され、ベース仕様に対して振動が低減されることを確認できた。

ベース仕様と、解析にて振動低減効果が確認された対策仕様について実車テストを実施し、ステアリングホイール回転方向の加速度レベルを比較した結果、解析と同様に減少することを確認した（Fig.11）。

この結果から、プッシュ特性変更による加速度レベルの変化が評価可能であることを確認した。

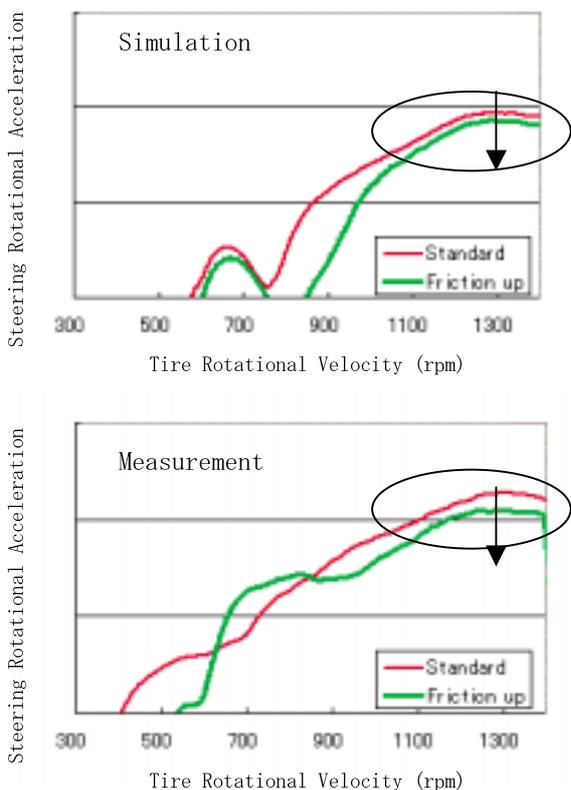


Fig.8 Acceleration Level at Different Steering Friction (Judder)

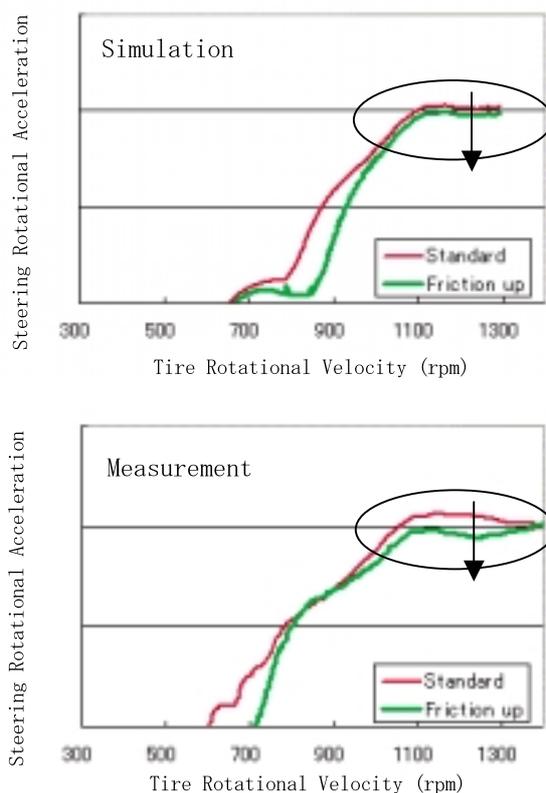


Fig.9 Acceleration Level at Different Steering Friction (Shimmy)

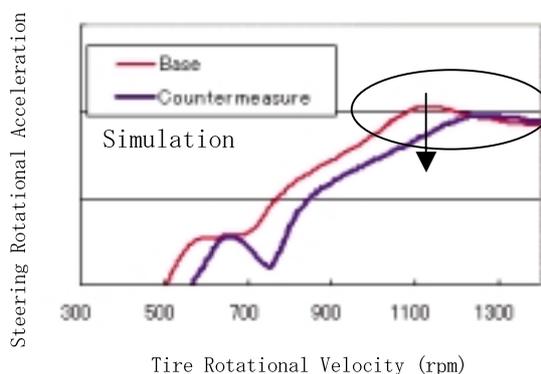


Fig.10 Acceleration Level at Different Lower Arm Rear Bushing Characteristics in Simulation (Judder)

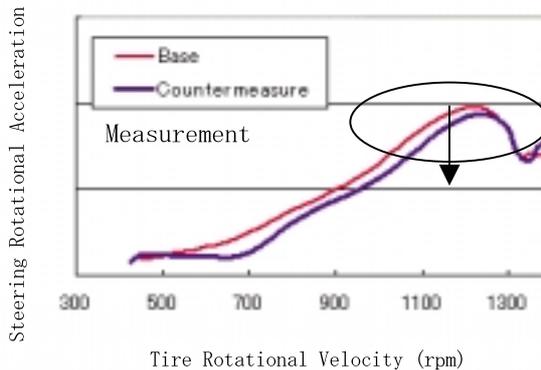


Fig.11 Acceleration Level at Different Lower Arm Rear Bushing Characteristics in Measurement (Judder)

## 5. まとめ

バーチャルテスト技術の一つとして、ブレーキジャダ及びシミーの解析技術を開発した。

- (1) 両現象に共通しているステアリングホイール回転方向の振動に重点を置いてモデル化を行った。
- (2) ステアリング系の非線形な振動伝達特性を再現することで、仕様違いによる振動レベルの変化を定性的に評価可能であることを確認し、開発適用への見通しを得た。

## 6. おわりに

開発期間の短縮や開発コストの削減が重要視される中、本技術開発では、ブレーキジャダ及びシミー領域に着目し、ステアリングホイール回転方向の振動を評価・予測できるレベルにまで向上させることができた。

最後に、この解析技術の開発に際し多大なるご協力を頂いた(株)エステック殿をはじめ関係各位に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) Yasushi Suganuma, et al. : Dynamometer Simulation Study for Market Brake Judder, SAE2001013191. (2001)
- (2) Masahiro Kubota, et al. : A Study of the Mechanism Causing High-Speed Brake Judder, SAE980594. (1998)
- (3) Mohamed Khalid Abdelhamid : Brake Judder Analysis : Case Studies, SAE972027. (1997)
- (4) Stefan Gassmann, et al. : Excitation and Transfer Mechanism of Brake Judder, SAE931880. (1993)
- (5) Myung-Gyu Kim, et al. : Sensitivity Analysis of Chassis System to Improve Shimmy and Brake Judder Vibration on Steering Wheel, SAE960734. (1996)
- (6) 江口 真 : シミー、ジャダーのサスペンション系を中心とした解析, JSAE9541434. (1995)
- (7) 山口哲也ほか : ブレーキジャダ低減に関するサスペンション動特性の研究, Honda R&D Technical Review Vol.13 No.1 (April 2001)

## 著者



竹川隆茂



日比野忠和



大原 司