

論文・解説

28

4輪2軸加振機の導入と乗心地開発への適用

Introduction of Bi-axial 4-Poster and Application to Ride Development

水島裕文*¹ 森田俊樹*² 兼品直和*³
Hirofumi Mizushima Toshiki Morita Naokazu Kaneshina

要約

現在自動車業界では、シミュレーション技術が急速に進展しており、乗心地分野においてもフルビークルでの解析が盛んである。将来的には人間の感性に訴えるこの性能をどう数値化するかが重要なテーマとなる。そのためには、まず実走時の車両の動きを計測することから始めなければならないが、実走テストではデータの精度やばらつきが問題となる。そこで、実走状態をベンチ上で精度良く再現できる試験装置が必要となってくる。

既存の加振機でそれを再現しようとした場合、能力不足などいくつかの問題が生じるため、今回それらを解決した4輪2軸加振機を新たに導入した。その再現能力をデータやフィーリング評価などにより検証したところ、低周波/高周波とも再現精度の高さを確認することができた。そこで実際に、乗心地の主要課題の一つであるヨーロッパ市場でのバンピー現象への適用を試みた。その結果、実走時の車両運動や振動レベルが精度良く再現でき、試験機上でバンピー現象の評価/育成ができる環境を作ることに成功した。

今後はこの加振機を、乗心地の定量化など基礎技術の研究に活用していく予定である。

Summary

In the automobile industry, recently, simulation technology progresses rapidly, and analysis of Ride Comfort with a full vehicle model is on the increase. It will be an important theme how to transform this performance, which depends on human sensitivity, into index in the future. To realize this, we must measure vehicle response first, however, there are problems of accuracy and dispersion of data from a proving ground test. Therefore, test equipment to reproduce the proving ground test condition on bench is necessary.

When the existing test equipment reproduces Ride Comfort of the field test, there are some problems of deficiency in performance. So we introduced Bi-axial 4-Poster to solve these problems. As the result of verification of the new equipment for its reproduction accuracy, we were able to get favorable results at both high and low frequency. Moreover, we tried to reproduce bumpy phenomena, which are often concerned in Europe, on the equipment. Vehicle movement on the proving ground can be reproduced and it is able to evaluate and develop the bumpy phenomena with the new equipment.

We will utilize Bi-axial 4-Poster for quantitative analysis and technology of Ride Comfort.

* 1 ~ 3 シャシー開発部
Chassis Development Dept.

1. はじめに

現在自動車業界では、各性能とも開発期間の短縮や重量効率の向上を目指して、予測精度の高いシミュレーション技術が急速に進行している。乗心地分野においてもフルビークルでの解析が盛んであり、これらの技術は年々実車に近い方向に複雑かつ精度が良くなりつつある。今後これらのシミュレーション技術は人間の感性の部分にまで踏み込むことになると予想されている。その段階では、乗心地という人間の感性に訴える性能をどのように数値化するかが重要なテーマとなる。

当社でも、現在バーチャルテスト技術の開発を進めている。乗心地性能は、車両全体性能からボディシステム、シャシーシステム、更には個々の部品にまで要求特性をカスケードし、部品レベルで性能を育成していく開発を目指している。そして最終的には、種々のシミュレーションツールとのコリレーションをはかり、バーチャルテストングとして確立する計画である。しかし、人間の感性を主としたこれまでの開発スタイルでは、乗心地性能を示す指標はフィーリング評価点しかないため、システム/部品の定量特性との関連付けに苦慮している。

このように、乗心地の開発技術を発展させる上で、フィーリングによる評価指標を計測可能な物理量に置き換えることは、非常に重要な意味を持つことがわかる。

実現に向けては、まず加速度計や変位計などで、実走時における車体やステアリングなど各部の動きを物理量で捕らえることから始めなければならない。ところが実走テストでは、走行ライン(タイヤが通る場所)やアクセル開度といった人為的な条件や、外気温、天候といった環境条件のばらつきにより、データの精度/同期が得られず分析には困難を極める。よって、乗心地現象を解析するための質の高いデータを得るためには、実走状態を精度良く再現でき、かつ安定した計測が行えるベンチ試験機が必要となってくる。

2. 4輪2軸加振機の導入目的

2.1 乗心地ベンチテスト化の課題

国内外の自動車メーカーを見渡すと、フルビークルでのベンチテストが可能な加振試験機にはさまざまなタイプが存在している。1輪あたり1軸(上下方向のみ)の簡易的なものから、モーメント方向の加振もできる6軸のタイプのものまである。また、振幅や周波数などのパフォーマンスについても目的に応じて設定されている。ところがこれらの加振機の多くは、強度/耐久性の試験に運用されているケースが多く、乗心地の解析や開発に活用されているという例はほとんどみられない。そこで、当社が所有する振動解析用の2輪加振機と強度/耐久試験用の4ポスター、ロードシミュレータ¹⁾について、乗心地のベンチテスト化と

いう視点で、特徴と問題点を洗い出した(Table1)。

2輪加振機は前後どちらかのタイヤを上下または前後に加振する試験機で、実走行を再現する機能は持っていない。そのため主に車両各部の振動伝達特性を計測するために使用されていた。しかも、装置自体も旧式化しており、本来加振システムに要求されるリピータビリティの面でも十分な能力を持っていなかった。特に5Hz以下の低周波の精度が低く、フィーリングでは感じる性能差もテストパラッキに埋もれ、明確な特性差として表れなかった。それゆえ、データの同期性も低く、モーダル解析におけるモード分析結果も良好ではないなどの実害が生じていた。

一方4ポスターは、前後輪の同時加振が可能で、実走行を再現する機能を持っている。そのため、実走状態に近いテストができ、突き上げ感などの再現性は高い。しかし、前後方向の加振は不可能であるため、フロアのゴツゴツ感やステアリングホイールのブルブル感など、前後方向の入力を主成分とする現象の再現は不可能であった。

ロードシミュレータは、1輪あたり6自由度の加振ができ、実走行再現機能もあるため、実走状態をベンチで模擬するには最も理想的なシステムといえる。ところが、専用ホイールを装着する必要があるため、乗心地に影響が大きいタイヤ特性が結果に反映されなかったり、車体を固定する必要があるため、パネ上の自由運動が妨げられてしまうといったテスト条件の面で実走時との差が生じていた。また、車両をクレーンで持ち上げて固定しなければならないなど、準備が大掛かりになるため、量産開発での運用を考慮すると、工数がかかりすぎるのも難点であった。

2.2 4輪2軸加振機の役割

以上のような実走時の乗心地をベンチテスト化するための課題を解決するため、

- 1: 実走再現に必要な加振軸の最適化
- 2: 低周波でのリピータビリティを確保
- 3: 実車をベンチ上にウォークインで設置
- 4: 車体固定等の拘束は不要

という要件を設定し、これらを満たした4輪2軸タイプ

Table 1 Feature and Problem of Bench System

		2-Poster		4-Poster		Road Simulator	
Vibration Specification	Vibration Wheel	2 Wheel (Front or Rear)		4 Wheel		4 Wheel	
	Vibration Axis	Bi axial (not vibration at same time)		Mono Axial		6 axial	
Capacity & Problem	Ability to reproduce road	x	nothing	x	middle		high
	Repeatability	x	low (on low frequency)		high		high
	Fixed of body		without		without	x	with
	Man-hour of test		little		little	x	many



Fig.1 Bi-axial 4-Poster

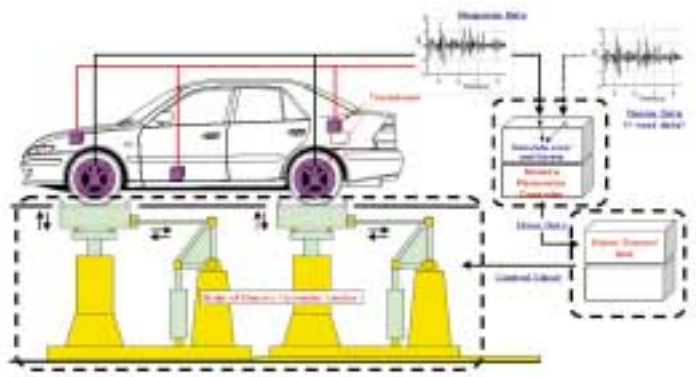


Fig.3 Structure of Bi-axial 4-Poster

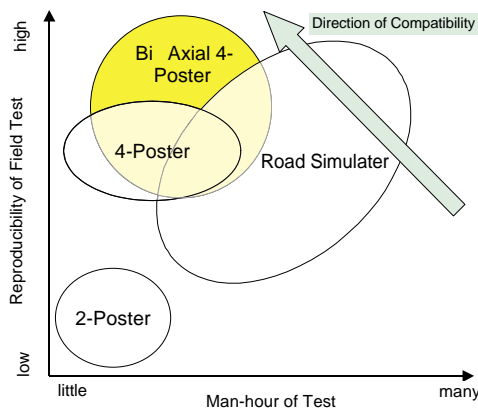


Fig.2 Positioning of Bi-axial 4-Poster

Table 2 Performance of Bi-axial 4-Poster

Vehicle Range	Demio - Titan(2t-14feet)	
Wheel Base Range	2200 mm - 3400 mm	
Max Force	Vertical	50 KN /1unit
	Longitudinal	15 KN /1unit
Max Displacement	Vertical	± 30 mm
	Longitudinal	± 35 mm
Max Frequency	100 Hz	
Dynamic Displacement (Demio)	Vertical	± 30 mm / 4Hz
		± 15 mm / 10Hz
		± 5 mm / 30Hz
	Longitudinal	± 0.4 mm / 100Hz
		± 35 mm / 10Hz
		± 6 mm / 30Hz
		± 0.6 mm / 100Hz

(上下/前後)の加振機を導入した (Fig.1)。このタイプは国内初の試みであり、Fig.2に示すように、既存の加振機の問題点を払拭し、再現性と利便性を高いレベルでバランスさせた試験装置である。

3. 4輪2軸加振機の特徴

3.1 全体の構成

4輪2軸加振機は、Fig.3に示すように大きく分けて三つのパートから成り立っている。実際に車両に力を与える「油圧システム本体」、加振台に力信号を送る「シグナルコントロールユニット」、データの分析/解析ツールである「リモートパラメータコントローラ」の三つである。それぞれのパートについて解説する。

(1) 油圧システム本体

加振装置はタイヤ接地面入力で、2軸(上下/前後)×4輪の計8自由度の油圧装置である。加振台は、床面と極力フラットになるように配置し、ウォークインで車両を設置できるようにした。このため、車両に乗り込んでのフィーリング評価も容易に行え、乗心地のみならず異音の検討なども可能である。また、8自由度の加振機能を備えつつも、ストロークは必要最小限にしてあるので、車両固定な

どのばね上の振動特性に影響するような安全装置は不要である。このため、ばね下/ばね上とも実走状態に近いばねマス系でのテストが可能であり、更には工数削減にも貢献している。この本体の性能をTable2に示す。乗心地の解析に十分な加振周波数帯を有しており、かつ小型乗用車から2tトラックまでテスト可能である。上下方向の最大荷重は50kNと大きなパフォーマンスを備えており、リピータビリティの確保に努めている。

(2) シグナルコントロールユニット

加振信号を本体へ供給する装置が、シグナルコントロールユニットであり、リモートパラメータコントローラを用いて実走行を再現するときも、これを介して加振機本体に信号を送る。従来のコントロールユニットと異なる点は、加振台の応答特性を調整できるようになったことである。この機能により、車両の重量に影響されることなく、目標通りの入力波形で加振台を動かすことができるため、安定した計測が行えるとともに、実走行の再現作業においては、その精度を向上させる役割を果たしている。また、各輪各方向の入力波形、位相、振幅を任意に設定できるシグナルジェネレータも内蔵されており、車体各部の振動伝達特性を計測することができる。

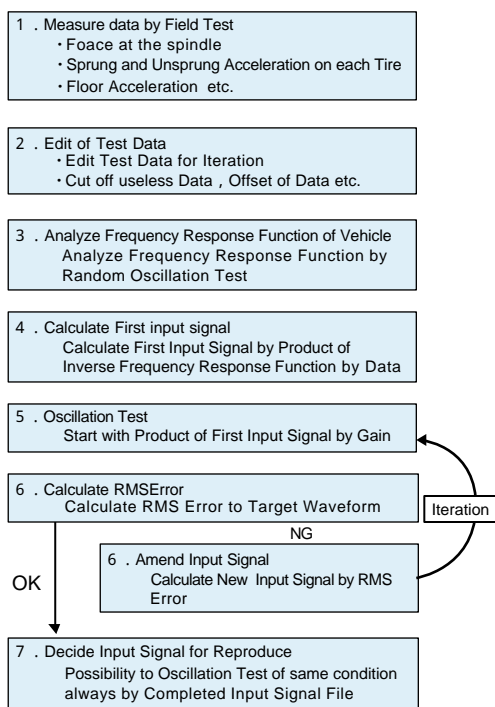


Fig.4 Flow Chart to Reproduced

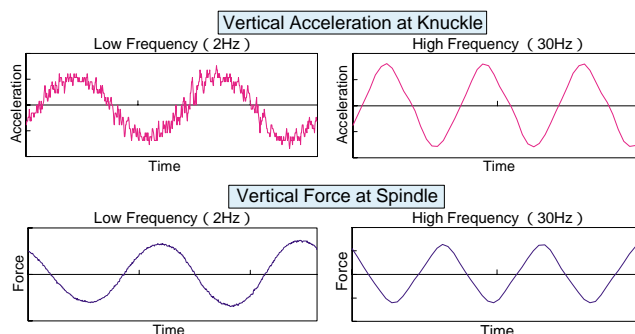


Fig.5 Dependence on Frequency Acceleration Transducer vs. Force Transducer

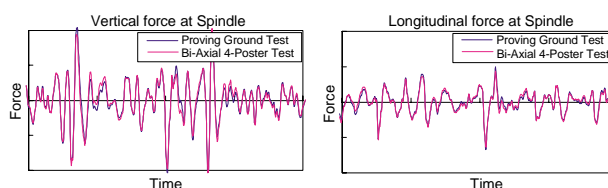


Fig.6 Reproduced Force at Spindle (high frequency)

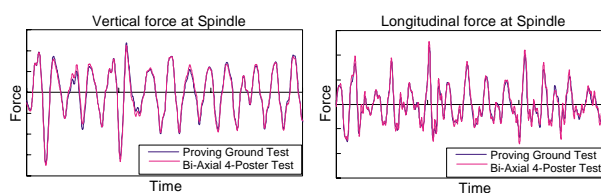


Fig.7 Reproduced Force at Spindle (low frequency)

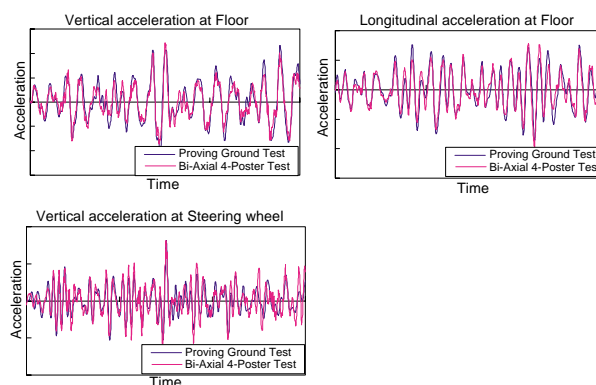


Fig.8 Reproducibility of Body Vibration (low frequency)

(3) リモートパラメータコントローラ

これは実走行を再現するための制御ソフトである。スピンドルに入ってくる力や車体の加速度など再現させたいパラメータを、このコントローラで計算/制御することにより、実走時の振動波形に近づけることができる。また、同時にデータの分析/解析ツールも備えており、応答点の周波数分析はもちろんのこと、各輪からの伝達関数も容易に求めることができる。このため、入力の寄与度分析も、従来の20%以下の工数で可能となった。

3.2 実走行の再現

(1) 実走再現方法

実走時の乗心地の再現は本試験機の大きな特徴である。走行している車両の運動状態を加振機上で作り出すことができるため、ベンチ上でフィーリング評価や各部の振動計測が可能である。以下に再現方法を示す。まず、4輪の上下/前後方向のスピンドルへの入力や各応答点の加速度などを実走により計測し、これを再現の目標波形とする。次に車両を加振台に設置しランダム加振を行い、個々の加振台に対する応答点の伝達関数をもとめる。これから逆伝達関数を計算し、目標波形を再現するための加振波形を決定し加振する。その結果の波形と目標波形のRMS Error値(誤差率)から加振波形を補正し、再度加振させ新たなRMS Error値を求める。この加振波形を補正する作業を繰り返すことによって、加振結果の波形を徐々に目標波形に近づけ、実走時の車両運動を再現していく。Fig.4にそのフローチャートを示す。

(2) 再現精度の検証

再現精度の検証は、周波数の網羅性も確認するために高

周波路面と低周波路面とに分類して行った。一般的に乗心地解析に必要な周波数レンジをもつ加速度計による計測では、Fig.5に示すように低周波域でのS/N比が悪化し精度が不足する傾向にあるため、今回はタイヤ6分力計によるスピンドル荷重を測定し、これを再現の目標波形とした。

まず、高周波の検証には、乗心地評価で頻繁に使用している荒れたアスファルトの路面を選定した。Fig.6に実走

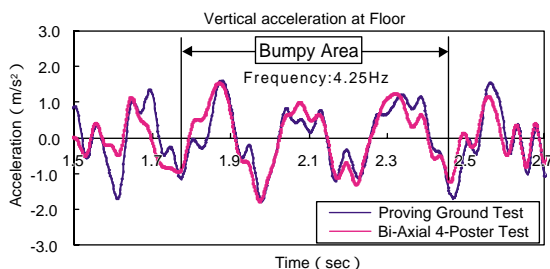


Fig.9 Result to Reproduce Bumpy Ride

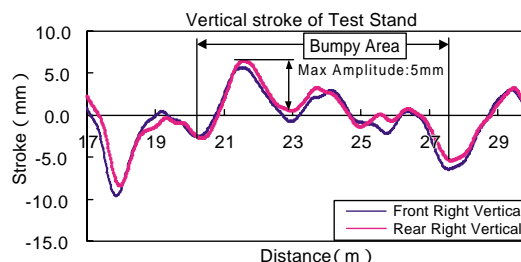


Fig.10 Profile of Bumpy Road

結果と再現結果を比較した時間軸波形を示す。スピンドル上下/前後方向ともに良く一致しており高い再現性を示している。また、誤差率の指標であるRMS Error値も上下方向で5%以下、前後方向で10%以下に抑えられていることから、再現性の高さが実証できた。

次に、低周波で振幅の大きな車両運動(車体のゆれ)を検証するために、凹凸の周期が長い路面の再現を試みた。Fig.7にスピンドル荷重の比較結果を示す。この路面でも上下/前後方向とも良好な結果が得られた。更にFig.8に示すように、この時のフロアとステアリングホイールの振動加速度についても高い再現結果となっており、加振機上の車両に乗り込んだフィーリング評価でも、路面の凹凸によるヨーやロールの運動が実走同様に発生していることが確認できた。このことから、スピンドル荷重を再現の目標波形すれば、低周波のコヒーレンスが向上し、振幅の大きな車両運動も模擬できることがわかった。

4. 開発への適用事例

4.1 バンピーの再現性検証

実走行の車両運動が高いレベルで再現できていれば、乗心地を加振機上で評価/育成することが可能はずである。実際にヨーロッパで発生した現象に適用し、検証した事例を示す。

ドイツのアウトバーン及び一般路走行時では、一見フラットに見える路面であるにもかかわらず、車体が低周波でヒョコヒョコ動くバンピーと呼ばれる現象が問題視されることが多い。現地で計測した振動データを分析すると周波数4.0~5.0Hzの車体の上下振動であった。発生路面に目地等の凹凸が確認できなかったため、路面のわずかな起伏によるものと推測できたが、長い波長の起伏は形状の計測が難しく起振源は特定できなかった。改善策を検討するために、テストコース内での再現を試みたところ、特定の部分を定常走行するとにより、同現象が発生することがわかった。しかし時間にして0.7秒であることと、車速やアクセル開度といった走行条件の違いにより大きければつくため安定した評価は難しく、改善策を決定するためには現地での再評価を余儀なくされることもあった。以上のような背景のもと、この現象を加振機で再現し、ベンチで評価/育

成できる環境づくりを試みた。更に、その時の加振台波形(路面形状)から、バンピーが発生する路面条件を検証した。

まず、テストコース内のバンピー発生路面を実走し、フロアの上下加速度とスピンドル荷重8自由度の計9自由度の応答を計測した。これらについて加振機上でイタレーションを実施し、フロアの上下加速度が実走時のレベルとほぼ合うまで繰り返した。その結果、Fig.9のように実走時で得られたものと同様の振幅/周波数を持ったフロア振動を再現できた。更に加振機上の車両に乗り込みフィーリング評価を実施したところ、実走と同じ振動レベルのバウンスモードが発生し、フィーリングでも高い再現性を確認できた。この加振波形をバンピー評価波形とし、また現地決定したフロア振動の基準を適用することで、バンピーの評価を加振機上で評価/育成することが可能となった。

更に、この時の加振波形を分析した結果がFig.10である。テストコース内のバンピーが発生する路面には、約3m間隔で高低差5mm程度の起伏があることが判明した。接地荷重の違う前後輪とも同じ形状の入力波形となっていることからその信頼性は高い。この路面の起伏を一定の速度で通過することによって4.0~4.5Hzの車体への入力が発生し、これが起振力となってバンピー現象を発生させていたことがわかった。このように、実走の現象を再現した加振波形を分析することにより、測定しにくい路面のプロファイルを解明することも可能となった。

5. 今後の展開

これまでの検討から、4輪2軸加振機を使用することで、実走時の乗心地現象が精度良く再現できることが、各部のデータとフィーリング評価の両面から証明できた。今の段階で、性能の定量化やメカニズムの解析など、乗心地の基礎技術を積み上げる土壌ができたといえる。このことを踏まえ、将来的な展開プランと達成手段を以下にまとめる。

(1) 乗心地開発のベンチテスト化

まず、現在乗心地の育成に使用しているテストコース路面を実走した時の車両運動を加振機上で再現させていく。これにより、同じ車両運動を繰り返し再現できるため、実走時の乗心地現象を精度良く解析できる環境が整う。また、

バンピーのように、市場の限られた路面でしか検討できなかった現象についても、加振機上での再現に取り組み、現象の解析や対策検討をベンチ上で行っていきけるしくみ作りを行う。

(2) 乗心地の定量化

乗心地は10以上の項目に分類されフィーリング評価されている。これらの評価項目のほとんどは複数の応答点の物理的な指標（例えば20Hzのシートの前後加速度とステアリングホイールの上下加速度など）から成り立っている。よって、個々の評価項目においてその構成と寄与度を明らかにし、物理的な指標で表現できるようにしていく。本試験機は実走再現波形から任意の周波数、加振方向、振幅などのパラメータについて特定の成分だけを抜き出すことが可能である。この機能を用いて、パラメータの絞り込みにより応答点の振動を抑制していき、応答点の定量的な変化とフィーリングの変化を比較/分析しながら評価項目を定量的な指標で表現していく。

(3) 関連部品へのカスケード

今までは各項目の現象（ゴツゴツ感など）が発生しているときの運動条件（周波数、振幅、振動モード）が完全に解明されていなかったため、現象とシステム/部品との定量的な関連づけが難しかった。しかし、(2)の取り組みにより現象が定量的な指標で表現できれば、テスト結果を蓄積し分析することにより、現象と部品特性との関連づけを定量的に行うことができる。更には、モーダル解析などを併用して、現象が発生している時の部品の運動を解析し、現象全体のメカニズムを解明していく。

6. おわりに

以上、乗心地開発のために導入した4輪2軸加振機の紹介とこれまでの成果を報告した。この試験機は導入してからまだ日が浅く十分な検討はできていないが、そのポテンシャルの高さを確認することができた。今後の展開により、乗心地の量産開発や技術開発に大きな成果をもたらすことが期待できる。

最後に、この設備の導入に、多大なるご協力をいただいた、エムティエスジャパン(株)殿をはじめ関係各位に深く感謝の意を表す。

参考文献

- (1) 田村ほか：車両の耐久強度解析手法の開発，マツダ技報 No.20 (2002)

著者



水島裕文



森田俊樹



兼品直和