

フラットベルト式 サスペンションタイヤ試験機

Flat Belt Test System for Suspension and Tire Measurement

酒 井 智 紀*
Tomonori SAKAI

日 下 馨*
Kaoru KUSAKA

佐 藤 祐 二*
Yuji SATO

要 旨

実路を模したフラットベルト式路面を左右輪用に二つ備えた、サスペンションとタイヤの総合的な性能評価が可能な台上試験機を新しく開発し、その稼働を開始した。

サスペンション特性の実走計測では、計測精度の確保と環境要因を低減するため、多くのテスト工数を必要とする。しかし、本試験機を用いて、台上の一定環境下でのテストに置換し、計測時間を短縮することで、開発効率を向上することができる。

本試験機は、三つの計測状態を切り替えられ、車両の前軸と後軸のサスペンション特性、パネ下懸架系とタイヤのみを装着して計測するサスペンションアセンブリ特性、そしてタイヤ単体特性をそれぞれ計測することができる。

また、実走計測では、前軸と後軸の発生力が相互に影響し合いながら車両挙動を励起するため、発生したタイヤ力がサスペンションからボデーに伝達される入力量を、前軸と後軸に切り分けて解析することが困難となる。本試験機では、車両を台上に固定して試験をおこなうことで、前後左右輪の6分力を計測でき、定量値を元にした開発に有効なデータを提供することが可能となる。

ABSTRACT

A new chassis testing system equipped with flat belt roadways for both left and right vehicle wheels has been developed and put into operation. This system is designed to be capable of comprehensive performance evaluation of vehicle suspension and tires.

Testing of suspension characteristics using actual vehicles requires many work-hours of testing on the proving ground in order to assure measurement accuracy and to reduce deviation from environmental factors. The use of the present system, however, enables enhanced development efficiency by replacing proving grounds test evaluations with testing of the system in a fixed environment and by shortening measurement time.

This test system can be transformed into three measurement modes: the first mode can measure suspension characteristics of the front or rear wheels of a vehicle; the second mode can measure suspension assembly characteristics by testing just a suspension system with tires; and the third mode can measure the characteristics of tires alone.

In actual vehicle testing, the vehicle behavior is measured under the influence of forces generated in both front and rear axles, which are dynamically coupled with each other through the vehicle's motion. It becomes difficult, therefore, to separately analyze the influences of the front and rear axle tire forces on vehicle dynamics. The present test system can measure the component forces and moments of each tire of front or rear axles separately with a vehicle body constrained to the ground, and can provide analytical information to improve vehicle dynamics performance.

1. まえがき

車両開発メーカーには、安全性、快適性、運転する喜びと、高い環境性能とを両立する魅力ある商品の開発が一層求められている。車両性能はさまざまな部品の機能を組み合わせることによって成り立っているが、シャシに求められる操縦安定性、乗り心地、NV、燃費のすべてに大きな影響を与える部品の一つであるタイヤは、近年の燃費性能向上の要求

に伴い低転がり抵抗係数化（以下、低RRC化）が著しい。

一般にタイヤの低RRC化はグリップ性能低下を伴うため、この低RRCタイヤでシャシ性能向上を図るには、タイヤの特性を定量的に把握し、開発初期から最適なサスペンション設計をすることが極めて重要となる。

車両開発の現場では、時代と共に変化する顧客の要求により早く対応するため開発期間は年々短縮し、試作車による実走テストに替わり、コンピュータシミュレーションを

*四輪 R&D センター

活用した開発手法の導入も進んでいる。このため、検討に必要なタイヤとサスペンションを含めた各部品特性の定量化がますます求められるようになってきた。

この定量化に必要な計測を実走計測のみに依存すると、路面の温度や状態、わずかな起伏などの外乱要素により、所望のデータ精度を確保するためには多くの時間と工数が必要である。例えば、部品の仕様違いのような小さな差を定量的に比較する際には、検討に必要とされる十分な精度を得るために、膨大なデータ取得とその統計的な処理をおこなわなければならない、さまざまな部品を全て定量化しようとした場合には開発効率の面では大きな課題となる。

その点、台上計測は、計測可能な条件は制限されるものの、外乱要素や環境変化による変動は最小限に抑えることができ、高精度で再現性の高い計測が可能である。また、計測精度を活かした部品の仕様特性の定量化に適しており、シミュレーション技術と組み合わせるとさまざまな性能パラメータの最適設計検討が可能となる。

車両開発の各段階では、シャシを構成するさまざまな部品がシャシ性能に及ぼす影響を定量的に把握しながら開発を進める必要があるため、車両に装着した状態でのシャシ特性だけでなく、サスペンションアセンブリのみや、タイヤのみの特性を分析し、定量的に特性解析することも必要となる。例えば、サスペンションは、左右輪を連結するスタビライザを有し、カップルドビーム形式を代表とする構造的に連結している機構もある。さらに、サスペンションの緩衝機能を含めたサスペンションアセンブリ特性を定量解析する場合、凹凸路の実走状態を台上再現する必要がある。これらを台上解析する手法の一例としては、これまで、ドラムにタイヤを載せた状態で転動させて計測する手法がとられてきた。しかし、ドラムは曲率をもつため、タイヤの接地形状が本来の形状とは異なり、実走の特性を表わせない場合があった。

上記に述べたさまざまな課題の解決を目指し、シャシ性能の総合的な計測、および、解析を可能とするために、サスペンションの左右輪を同時にフラットベルトに載せることができ、かつ、加振機能を持つ、サスペンションタイヤ試験機を車両開発メーカーの観点で開発した。本稿では、この試験機の概要と計測結果の一例を紹介する。

2. 試験機の概要

本試験機は、目的に応じた三つの計測モードを有する。

- (1) ピークルテストモード (以下、VT モード)
- (2) サスペンションキャリアモード (以下、SC モード)
- (3) タイヤスタンドモード (以下、TS モード)

VT モード構成概要図を Fig. 1 に示す。

VT モード時に、車両乗り入れ試験が可能となるよう、フラットベルトユニットを2基地下に配置し、床面高さとベルト上面が同じ高さとなるよう装置の基本構成を設計した。また、前後軸に任意のスリップ角と上下入力を与えられるよう、各フラットベルトユニットが揺動および上下加振機能を持つ構成としている。

フラットベルトユニットは、スチールのベルトを二つの円筒形ドラムに渡して駆動する。一方のドラムはベルトを駆動し、他方はベルトの左右方向の蛇行制御をする。Fz を保持する構造には、フラットベルト平坦部にメンテナンス性に優れたエアベアリングを採用し、実路相当の摩擦係数 (μ) を模擬するため、スチール製ベルト表面には研磨材が接着されているシートを貼って計測をおこなう。

以下、各モードの構成、および仕様をまとめる。

2.1. VT モード

VT モードでは、車両の前軸または後軸をフラットベルトに載せ、車体を定盤に固定し、フラットベルトからスリップ角および上下力の入力をおこなう。試験機仕様を Table 1、実車搭載状態の写真を Fig. 2 に示す。

本モードでは、タイヤ発生力を計測するホイール6分力計とタイヤの位置と向きを計測するアライメント測定機を装着し、ボデー、サスペンションの特性を含めたタイヤの発生力を計測する。

実走計測では、前軸の発生力と後軸の発生力が相互に影響し、車両挙動によって各タイヤのスリップ角や上下荷重が変化するため、前軸と後軸、および左右輪を分けて解析することが困難である。このため、車両特性が所望の性能を発揮していない場合、タイヤ、サスペンション、ボデーのどこに技術的な課題があるのかを定量的に判定することが難しい。

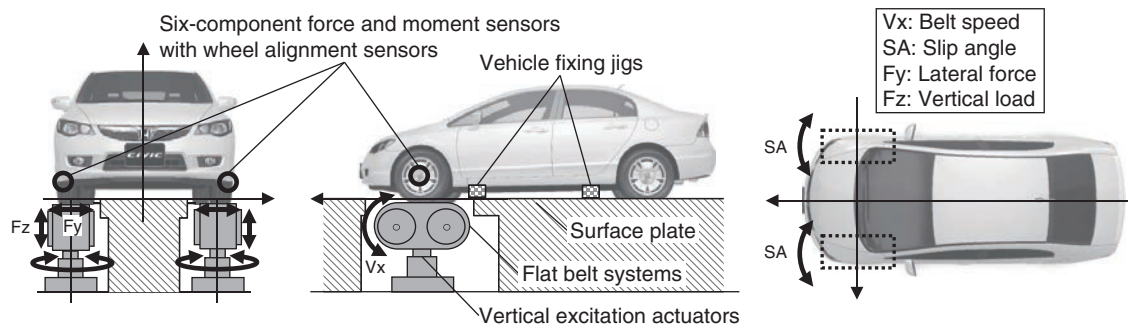


Fig. 1 Configuration of VT mode

Table 1 System specification of VT mode

Vx	0 to 180 km/h
SA	-20 to +20 deg (up to 3 Hz)
Fz	0 to 15000 N (up to 25 Hz)
Fy	-10000 to 10000N

本モードでは、車両の前軸、または、後軸を各々台上計測することでボデーの変形がアライメントに与える影響や、サスペンション機能を含めたタイヤ発生力を詳細に解析することができる。

また、サスペンションは、路面からの入力を緩和して乗員の快適性を確保する働きと、タイヤを路面に接地させ、操縦安定性を保つ働きをもつ。このような性能を同時に計測するためには、平坦路だけでなく、凹凸路に相当する入力が必要となる。本試験機では、上下加振機能を備えることで、平坦路に相当する状況ばかりでなく、凹凸路における車両の安定性やコーナリング限界性能の高さなど、さまざまな条件下で設計通りにサスペンションが機能しているかを検証することが可能になる。加えて、ベンチマーク車両と開発車両を比較することで、性能目標をより定量的な指標に置き換えることも期待できる。

さらに、サスペンション、ステアリングギヤボックス、ステアリングハンガの各取付点剛性が、操縦安定性や操舵反力に及ぼす影響などを解明するため、人のステアリングやブレーキ操作を模擬したテストをステアリングロボットやブレーキロボットを取付けておこなえる拡張性を考慮した装置仕様としている。



Fig. 2 Photograph of VT mode

Table 2 System specification of SC mode

Vx	0 to 180 km/h
SA	-20 to 20 deg (up to 3 Hz)
RA	-15 to 15 deg
Fz	0 to 15000 N (up to 25 Hz)
Fy	-10000 to 10000N

2.2. SC モード

SCモードでは、バネ下懸架系とタイヤを治具に組付け、ボデーの剛性影響を受けない状態で、サスペンションアセンブリの影響を含めた発生力を計測する。SCモードの試験機仕様を Table 2、構成概要図を Fig. 3、実際の計測状態の写真を Fig. 4 に示す。

本モードはVTモードと同様、計測輪に6分力計とアライメント計測機を装着し、各タイヤの発生力を計測できるだけでなく、治具側に備えた6分力計により、バネ下懸架系とタイヤ全体の発生力も計測が可能である。

VTモードでは、サスペンション特性によるジオメトリ変化、応答性の遅れやステアリング構成部品への入力を、ボデー特性を含んだ状態で測定するが、本SCモードではボデー寄与を取り除いた計測をおこなえることから、サスペンションの幾何学的ジオメトリやバネ、ダンパ、各種ゴムブッシュなどの構成部品が設計者の意図通りに機能しているのか、また応答性の遅れに何が寄与しているか、などを詳細に解析することが可能となる。

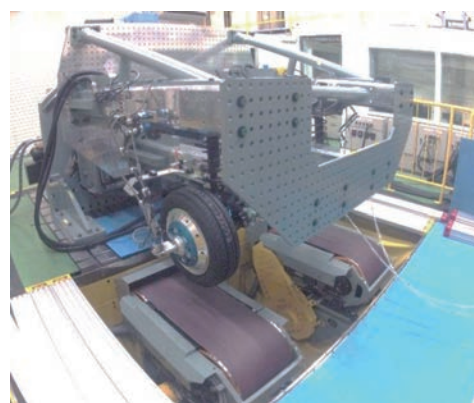


Fig. 4 Photograph of SC mode

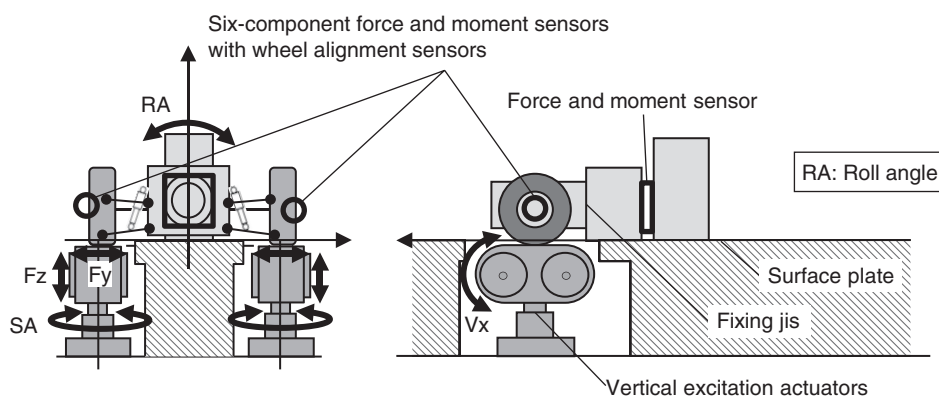


Fig. 3 Configuration of SC mode

Table 3 System specification of TS mode

Vx	0 to 180 km/h
SA	-20 to 20 deg (up to 3 Hz)
CA	-15 to 15 deg
Fz	0 to 15000 N
Fy	-10000 to 10000N
My	-2800 to 2800 Nm
Fx	-6600 to 6600 N
Slip rate	-100 to 100%

また、VT モードでは、実車の部品レイアウト上、高精度のセンサや計測機器を装着することが困難であった。しかし、本 SC モードでは、レイアウト制約が少ないので、例えば、左右輪のタイヤ発生力差によって生ずるステアリング系への入力、高精度センサを装着することによって計測し、ステアリング系構成部品の操舵力への寄与解析をおこなうことも期待できる。

2.3. TS モード

TS モードの試験機仕様を Table 3、構成概要図を Fig. 5、写真を Fig. 6 に示す。

サスペンション特性を解析するためには、タイヤ単体とサスペンションアセンブリでの計測結果を比較する必要がある。タイヤ単体の計測は、従来タイヤメーカーや計測機関が有するフラットベルト試験機でおこなってきたが、計測の考え方が異なり、また、試験機が異なることによる差も存在することから、同一条件でデータを比較することができなかった。したがって、VT モード、SC モードと同じ試験機でタイヤ単体の特性計測をおこなうことで、サスペンションがどの程度タイヤの性能を発揮させ、車両に伝えられているかを高精度に定量化することができるようになる。

TS モードでは、タイヤに上下変位、キャンバ角を与える装置と、転動速度、スリップ角を与えるフラットベルトを組合せることにより、タイヤが使用される条件を模擬したタイヤ単体特性の計測が可能である。車両がスピンモードやロールオーバーになるような、大舵角がついた走行状



Fig. 6 Photograph of TS mode

況のタイヤ単体特性計測を視野に入れ、スリップ角は 20 deg、キャンバ角は 16 deg まで計測可能とした。

制駆動特性の計測時は、試験タイヤの転動速度を制駆動用モータでコントロールし、タイヤ速度とベルト速度に速度差を発生させることで、-100% (駆動) から +100% (制動) のスリップ状態を再現する。

3. 計測結果

各モードでの計測結果を紹介する。

3.1. VT モード

車両前軸をフラットベルトに載せ、タイヤスリップ角をベルトユニット揺動で入力した計測結果と、スリップ角に加え凹凸路での入力を模した上下加振時の計測結果の比較を Fig. 7 に、その試験条件を Table 4 に示す。

Fig. 7 では、横軸がタイヤスリップ角、縦軸がコーナリングフォース (以下、CF) を示している。空車時のサスペンションの上下ストロークを 0 mm とし、20 mm、40 mm ストロークさせて Fz を増加させた時の左右輪の CF 合力を表す。右転舵時と左転舵時の発生横力を平均して CF として扱った。タイヤ単体の CF 特性は 6 deg から 10 deg で飽和状態になることが知られているが、車両特性を含めた状態でも 10 deg 以上では同様に飽和状態になり、サスペンション全体をタイヤ単体計測と同様に扱い定量化できる手

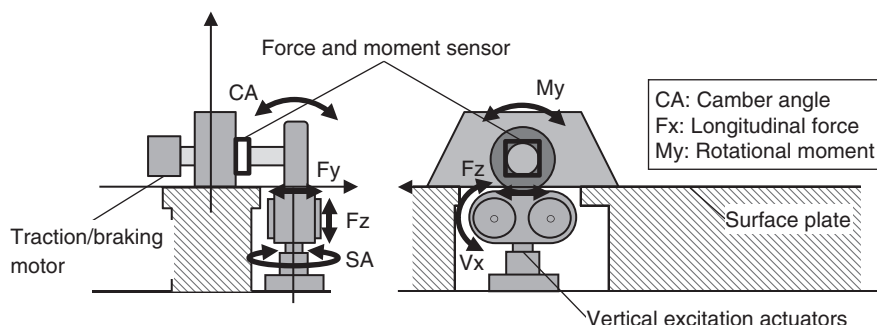


Fig. 5 Configuration of TS mode

Table 4 Cornering force test conditions in VT mode

Test vehicle	2010 model year JAZZ
Tire	175/65R15 84T
Vx	30 km/h
SA	0 to 12 deg
SA change speed	3 deg/sec
Air pressure	220 kPa
Suspension stroke	0, 20 and 40 mm
Vertical excitation	5 Hz, +/-5 mm

法になると考えられる。

また、上下加振を加えた時は、サスペンションがタイヤを路面に接地させる反力が加振に追従できなくなり、タイヤにかかる F_z が変動する。タイヤの摩擦係数は荷重依存性を持つため、変動荷重に対して発生する CF は減少する傾向となる。サスペンション特性を含めた状態で計測をおこなった今回の結果では、通常走行で使用する領域から加振による CF の低下が大きいことが確認できた。

3.2. SC モード

フロントサスペンションアセンブリを治具に組付け、スリップ角を入力した計測結果を Fig. 8 に、試験条件を Table 5 に示す。

Fig. 8 は、横軸には時間、縦軸には、左右輪の CF 合力、サスペンションアセンブリに与えたスリップ角、左右輪のステアリングタイロッドへの入力合力を表す。

実走計測では、路面凹凸に起因する入力変動に埋もれて解析が困難であった CF の応答遅れ Δt や、タイロッド入力の飽和する状態などを確認することができた。

さらに、実走計測では解析できなかった、各輪の CF とサスペンションアセンブリ全体の力を比較することで、サスペンション各部がどのように機能しているか分析していくことができると考えられる。

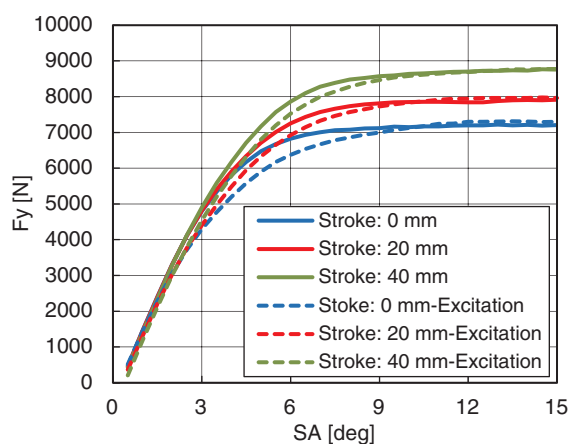


Fig. 7 Cornering force change to slip angle in VT mode with or without vertical excitation

Table 5 Cornering force test conditions in SC mode

Test suspension	2010 model year JAZZ
Tire	175/65R15 84T
Vx	30 km/h
Fz	7000 N
SA change	-4 to 4 deg, 0.5 Hz
Air pressure	220 kPa

Table 6 Cornering force test conditions in TS mode

Tire	205/60R16 92H
Vx	60 km/h
Fz	2000, 4000, 6000 N
SA	-12 to 12 deg, 6 deg/sec (triangle)
Air pressure	220 kPa

3.3. TS モード

タイヤ単体をフラットベルトに載せ、タイヤの代表的な特性であるスリップ角を入力した時の CF 計測結果を Fig. 9, 試験条件を Table 6 に示す。軸は、Fig. 7 と同じで、 F_z を 2 kN, 4 kN, 6 kN 加えた時の計測値を、3.1. 節と同様、左右 SA の平均値を発生 CF とした。

速度と荷重を変化させて測定した時の CF とタイヤ温度の変化を Fig. 10, 試験条件を Table 7 に示す。横軸は F_z 、縦軸は CF とタイヤ表面温度である。スリップ角 0 付近の単位 SA あたりの CF はコーナリングスティフネス (CP) と呼ばれており、車両運動の基本性能を支配する重要なタイヤ特性である。

計測速度とタイヤ表面温度が変化すると得られる CP の特性は大きく異なってくる。よって、高速走行時のレーン

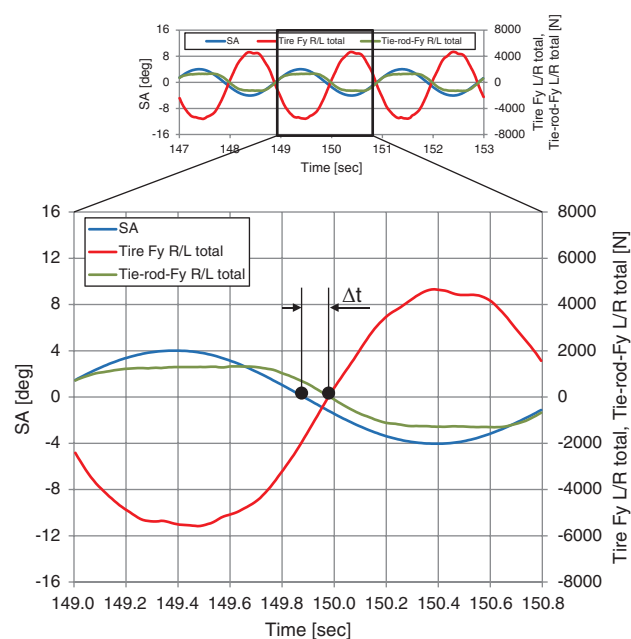


Fig. 8 Time history of cornering force and tie-rod end force

Table 7 Cornering stiffness test conditions in TS mode

Tire	205/60R16 92H
Vx	10 km/h, 100 km/h
Fz	200 to 7600 kN
SA	1 deg (const.)
Air pressure	220 kPa

チェンジ、中速でのワインディング走行、緊急回避モードなど、実走状態の刻々と変化する条件下でのタイヤの速度や温度を把握した上でタイヤ特性を適切に定量化する計測手法構築が重要となる。

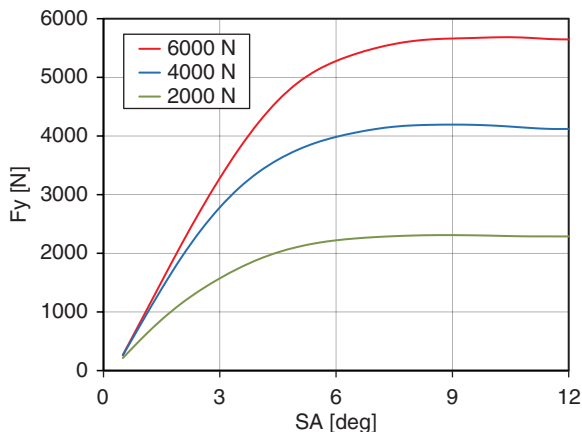


Fig. 9 Cornering force change to slip angle

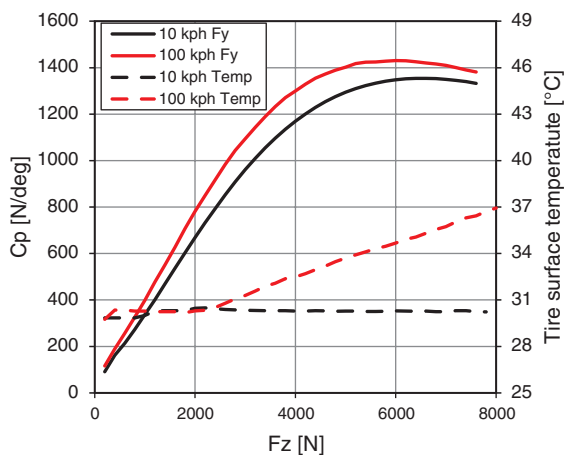


Fig. 10 Cornering stiffness change to vertical load

4. まとめ

サスペンションとタイヤの総合的性能評価をおこなう試験機の特徴を紹介した。

VT モードでは凹凸路を模した上下加振による CF 性能変化を、SC モードでは CF とタイロッド入力との関係を、TS モードではさまざまな要因で変化するタイヤ特性を例に示し、三つの試験機モードが開発にどのように活用でき

るか一例を紹介した。

これらの試験モードを用いることにより、従来の実走解析では困難なタイヤ発生力や各システムの精度の高い解析が可能となり、完成車を用いることができない開発初期段階でも、シミュレーションを利用した机上検討の精度向上や、サスペンション構成部品の検証精度向上が可能になると考えられる。これにより試作車の性能を初期段階から今まで以上に目標に近づけられることで、短期間の開発でも熟成度の高い量産車開発が期待できる。

また、開発後期においても本試験機の検証機能を課題事象の解析などにも適用することで、適切な対策が可能となり、シャシ性能の開発に有効な試験装置になると考えられる。

参考文献

- (1) Milliken, W. F., Milliken, D. L.: Chapter 8 Force-Moment Analysis, Race Car Vehicle Dynamics, SAE International, p.293-343 (1995)
- (2) 横浜ゴム株式会社編: 第 4 章 タイヤと路面に働く力, 自動車タイヤの研究, 山海堂, p.109-150 (1995)
- (3) 株式会社ブリヂストン 編: 第 4 章 タイヤの特性, 第 3 節 操縦安定性, 自動車用タイヤの基礎と実際, 山海堂, p.124-158 (2006)
- (4) 宇野高明: 第 2 節 シャシー運動性能とタイヤ性能, 車両運動性能とシャシーメカニズム, グランプリ出版, p.16-75 (2001)
- (5) 安部正人: 第 2 章 タイヤ力学, 自動車の運動と制御, 東京電機大学出版局, p.5-45
- (6) Pacejka, H. B.: Chapter 1 Tyre Characteristics and Vehicle Handling and Stability, Tyre and Vehicle Dynamics - Second Edition, Elsevier, p.5-60 (2006)
- (7) Gillespie, T. D.: Chapter 6 Steady-state cornering, Fundamentals of Vehicle Dynamics, SAE, p.195-235 (1996)
- (8) Reimpell, J., Stoll, H.: Chapter 2 Tyre and wheels, The Automotive Chassis: Engineering Principles, SAE International, p.72-96 (1996)

著者



酒井 智紀



日下 馨



佐藤 祐二