

特集：新型ロードスター

6

新型ロードスターのダイナミクス Dynamics of All-New Roadster

高橋宏治*¹ 小林茂*² 小宮勝行*³
 Koji Takahashi Shigeru Kobayashi Katsuyuki Komiya
 立畑哲也*⁴ 當舎浩光*⁵ 新田祐司*⁶
 Tetsuya Tachihata Hiromitsu Tosha Yuji Nitta

要約

“人馬一体”のキーワードであらわされるロードスターで代々継承されてきた“Lots of Fun”という基本コンセプトの実現と、更なる進化のため新型ロードスターではライトウエイトスポーツの軽快感と安定性、乗り心地とロードノイズの低減に代表される快適性を徹底追求した。

サスペンションは、フロントにダブルウィッシュボーン式、リヤにロングリンクマルチリンク式を採用し、リニアなジオメトリ変化、コンプライアンス特性の最適化を図り操縦安定性、乗り心地及びロードノイズを高次元でバランスさせた。ステアリングには従来のラックドライブ式油圧パワーステアリングを採用しながら、低速から高速まで自然で違和感のないリニアなステアリングフィールを実現した。

ブレーキはフロントロータの直径を拡大し、リヤについてはホイールシリンダ径を大きくしてスポーツドライビングをサポートする高い制動能力を確保した。ブレーキブースタの大型化により全域でリニアなブレーキングを実現した。

ボデーについては、オープンボデーであると感じさせない剛性感と操縦安定性を実現するため、ボデー全体の静的な曲げ剛性や、ねじり剛性ととも、運動状態での変形解析による局部剛性の向上に取り組んだ。そして強固なアンダーボデーフレームワークや、車体各部に新材料の超高張力鋼板・高張力鋼板を効果的に使用することにより軽量高剛性ボデーを実現した。

Summary

In order to embody the basic concept of Roadster “Lots of Fun”, which is expressed in its catchword “Jinba Ittai”, or oneness of motion between Rider and Horse, and to further evolve it, stability and nimbleness as a light-weight sports car and ride comfort and road noise reduction have been thoroughly pursued in the development of new Roadster.

With a double wish bone front suspension and a long link, multi-link rear suspension, by pursuing linear geometry changes and optimizing compliance characteristics, a high-level balance among handling stability, ride comfort, and road noise reduction has been achieved. Despite a conventional rack drive hydraulic power steering, natural and comfortable linear steering feel has been accomplished throughout the whole speed range from low to high speeds.

Each brake ensures braking performance high enough to support sporty driving, which has realized by enlarging the diameter of each of brake front rotor and rear wheel cylinder. Furthermore, adoption of an upsized brake booster has accomplished linear braking under all conditions.

For the body to have high stiffness even with an open body and handling stability, improvements were pursued in static bending/torsional stiffness of the whole body, and local stiffness using deformation analysis under dynamic conditions. A stiff under body framework and effective use of ultra high tensile steel/high tensile steel for various areas of body, has accomplished the lightweight body with stiffness maintained.

*1, 2 操安性能開発部
Chassis Dynamics Development Dept.
*5 車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.

*3, 4 シャシー開発部
Chassis Development Dept.
*6 NVH性能開発部
NVH Development Dept.

1. はじめに

新型ロードスターでは、“Lots of Fun”の実現と更なる進化のため、ライトウエイトスポーツの軽快感と安定性を高次元で両立させるとともに、乗り心地とロードノイズの低減に代表される快適性を徹底追求すべく、次の項目を開発ターゲットとして取り組んだ。

① 操縦安定性

- ・一般走行でもきびきび軽快で楽しさを感じられる動き
- ・限界までコントロールしやすく楽にあやつれるハンドリング
- ・路面からのフィードバックを感じとれるステアリング

② 乗り心地

- ・剛性感とフラット感を重視し更に角感がなく質感の高い乗り心地を実現

③ 制動性能

- ・レスポンスが良くリニアなブレーキ性能を実現

④ 静粛性

- ・ロードノイズの大幅低減

これらを実現するため、オープンカーとしてのプラットフォームのあり方を一から検討し、シャーシ及びボデーを新開発した。

本稿では、新開発したサスペンション、ステアリング、ブレーキ及びボデーの構造と特徴、達成した車両性能/システム特性について紹介する。

2. シャーシ

2.1 サスペンション・ステアリング

(1) 開発の狙い

サスペンション・ステアリングについては、剛性感のある自然でリニアな手応えや、ハンドル入力に対する車両の応答性向上、滑らかでスムーズな車両挙動を実現することを最大の開発テーマとした。

また部品一つ一つで妥協を許さない徹底したグラム作戦を実施し軽量化を狙った。

(2) 構造と特徴

① フロントサスペンション

フロントサスペンションにはコンパクトでジオメトリの設定自由度が高いインホイールダブルウィッシュボーン式 (Fig.1) を採用した。

サスペンションのジオメトリは、制動時の車両の姿勢変化を抑制するためにアンチノーズダイブジオメトリを最適化した。

アッパー及びロアアームはタイヤのストロークに対するリニアなアライメント変化を実現するためアーム長を長く設定し、材料をアルミ化することで軽量化との両立を図った。アッパーアームのアルミ製法はRX-8で採用したスイズキャストから更に高強度化が可能な半凝固鑄造を採用し

強度と軽量化を両立した。

アッパー及びロアアームのブッシュには、RX-8と同様のゼロストップクリアランス構造を採用することでリニアなストッパー特性を実現し、微少な路面入力やハンドル入力に対するサスペンションコンプライアンスを抑え、正確な操縦性とブルブルしないしっかりとした乗り心地を実現した。

ダンパはモノチューブタイプを全車に採用。封入された高圧ガスによりキャビテーションの発生を防ぎ、かつピストン径を大径化することで単位ダンパストロークに対するピストンバルブのオイル流量を増やし、タイヤの微少な動きに対して常に安定した減衰力を確保し、操縦安定性と乗り心地の両立を実現した。

クロスメンバのサイドメンバ形状はロアアーム前側のボデー締結部に対する左右入力を分散させるためハの字形状とし、後側締結の左右をトランスバースメンバで結合、更に中央部には厚さ2.0mmの補強アンダーカバーを設定 (Fig.2) して徹底した剛性アップを図り、ハンドル入力に対する車両の応答性を向上させた。



Fig.1 Front Suspension

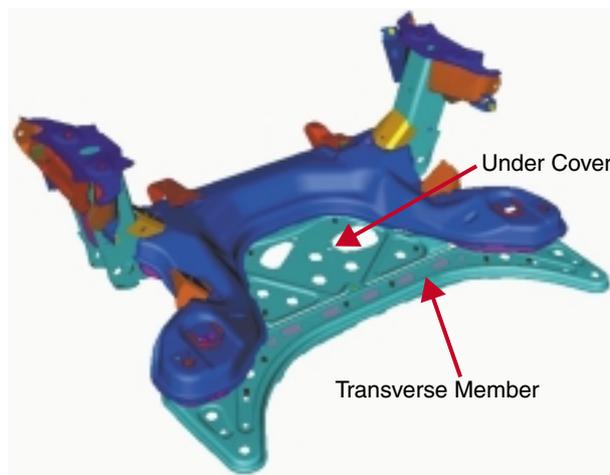


Fig.2 Front Cross Member

② リヤサスペンション

リニアなアライメント変化及びコンプライアンスの最適化を図るためにRX-8同様マルチリンク式サスペンション (Fig.3) を採用した。

各リンクはリニアなアライメント変化を実現するため長くし、かつ加減速時の車両挙動を少なくすることを狙い、アンチスコット・アンチリフトジオメトリを最適化した。

ダンパはフロント同様のモノチューブタイプを採用。ダンパのバネ下への取り付けは直接アクスルハウジングとすることで、バネ下の動きに対するダンパストロークのレバ-比を高め、高効率で安定した減衰力を確保し操縦安定性と乗り心地の両立を図った。

またダンパのボデー側を支える筒型スプリングシートはRX-8の複数のスチールパイプの組み合わせから一体のアルミダイキャストへ変更し軽量化を図った。

サブフレームはボデーとの締結を6点とし、かつラバーを介さないリジット結合 (Fig.4) とすることで、オープンボデーの主要構造部材の一つとして車体剛性の向上に大きく貢献した。



Fig.3 Rear Suspension

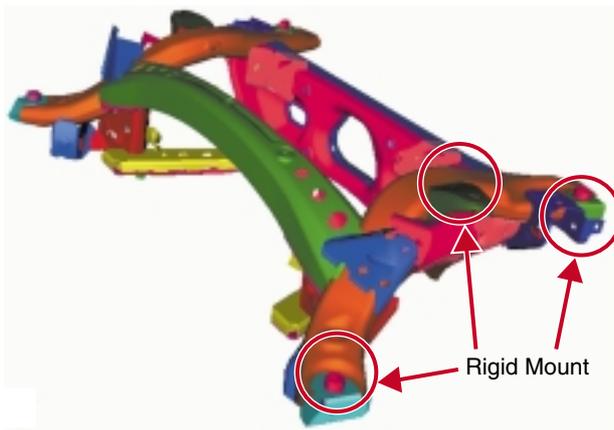


Fig.4 Rear Subframe

③ ステアリング

ステアリングシステムには油圧式ラック & ピニオンステアリング (Fig.5) を採用。

ステアリングギアはラック軸の外径を拡大し剛性アップを実施。また路面からの逆入力に対するステアリングキックバックを抑制するために新たにワンウェイバルブを採用した。

油圧ポンプには、車速に合わせたリニアでしっかりとした操舵フィーリングを確保するために、流量・圧力の最適化を実現する無復帰バルブを採用した。

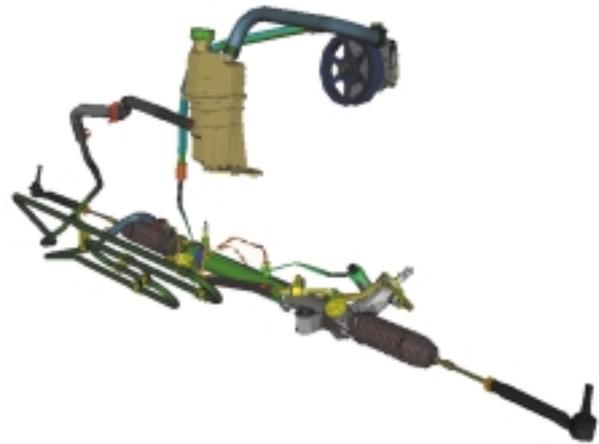


Fig.5 Power Steering System

(3) 達成性能

① 操縦安定性

Fig.6は操縦安定性能の評価結果を示す。

グラフの形状は変わらず、大きさが一回り大きくなっている。このことからロードスターのキャラクターを継承しながら、各性能が向上していることが分かる。

軽快感を高めながらグリップレベルを必要以上に上げることなく高い安定性を実現した。

またサスペンションクロスなどの局部剛性と車体剛性を高めることにより剛性感を大幅に向上させた。

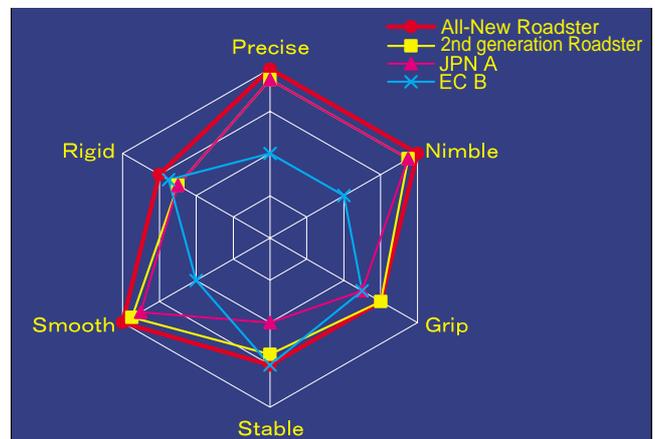


Fig.6 Steering & Handling-Evaluation

② 乗り心地

評価結果をFig.7に示す。新型ロードスターは、これまでのロードスターの乗り味を残しつつ車体剛性を高めることでオープンカー固有の車体振動を抑え剛性感を高めた。Fig.8に荒れた路面を走行した時の車体振動の比較を示す。車体のねじり共振を従来車に比べ共振周波数を6.0Hzアップし振動レベルも低減させた。これによりオープンカーでありながら高い剛性感を実現した。Fig.9に荒れた路面を走行した時のフロア上下振動の比較を示す。従来車比20Hz以上の振動レベルを低減し不快なゴツゴツ感を改善した。

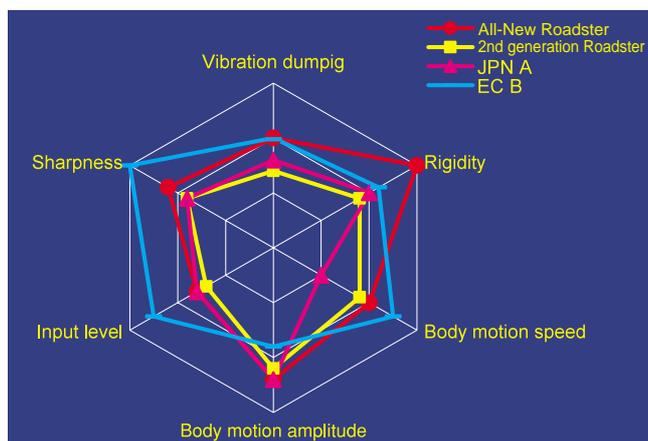


Fig.7 Ride Comfort-Evaluation

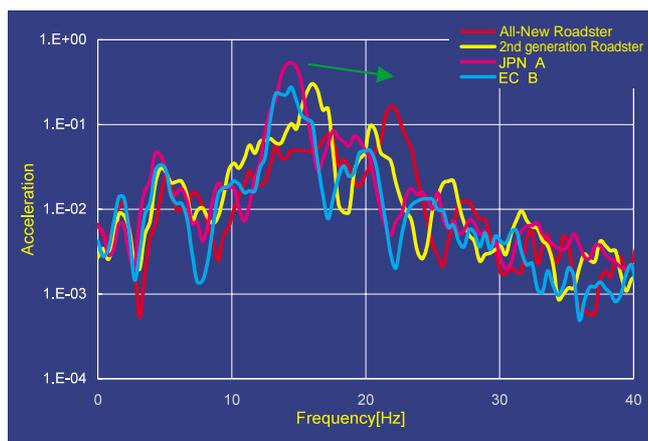


Fig.8 Body Lateral Vibration on Coarse Road

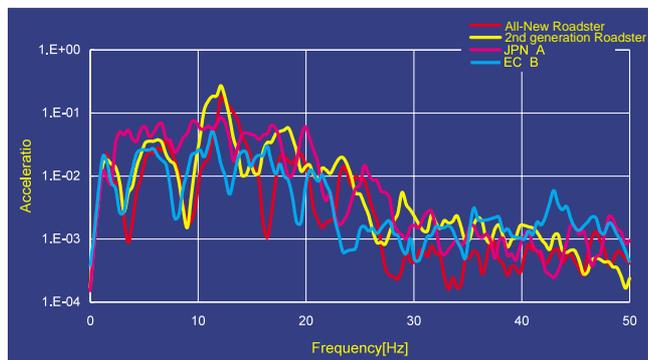


Fig.9 Floor Vertical Vibration on Coarse Road

③ ロードノイズ

粗粒路走行時の評価結果をFig.10に示す。2代目ロードスターは荒れた路面で「ガー」という音が大きく全体の音圧(O.A.)が大きかったが、新型ロードスターではロードノイズに悪影響を及ぼすRear Subframeの振動モードを改善し、車体側の対策と合わせてロードノイズを低減、静粛感を向上させた。

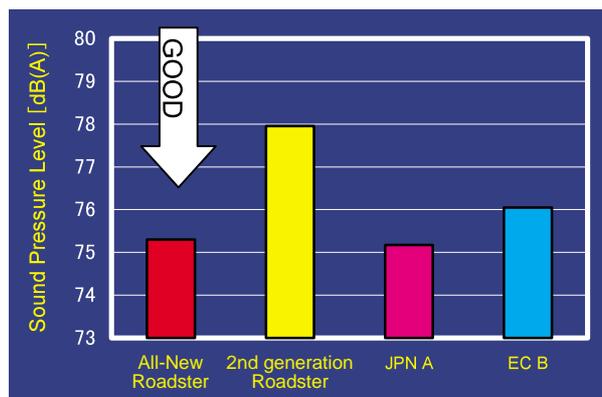


Fig.10 Road Noise O.A. on Coarse Road

2.2 ブレーキ

(1) 開発の狙い

ブレーキについては、スポーツドライビングをサポートする、意のままにコントロールできる安心感の高いブレーキ性能と、ワインディングロードから日常走行まで扱いやすい効きと操作感の実現をテーマとし、下記2点を特に注力して開発した。

① 高レスポンスでリニアなブレーキ

・ブレーキペダルの踏力 - トラベルのつながりを重視し、効き始めのロスストローク低減によるレスポンス向上と、高い減速域までのリニアな特性を確保する。

② 圧倒的なペダル剛性

・高いペダル剛性を確保し、街中での使いやすさと、スポーツ走行時の安心感を両立する。

(2) 構造と特徴

① ブレーキペダル/ブースタ/マスタシリンダ

マツダDNA実現のデザイン手法である、ブレーキペダルの低レバー比化 (4.1 2.9 (新型)), 及びマスタシリンダの小径化 (23.8 22.2mm (新型)) により、ブレーキ効き始めのロスを最小化した。また、大径シングル9インチバキュームブースタを採用し、高減速域まで倍力を確保した。

② ブレーキ

フロントブレーキは、20%以上剛性を高めた新開発キャリアと、大径ブレーキロータ (290mm) を採用した。

リアブレーキは、ホイールシリンダ径拡大 (38.1mm) とアルミポデーの採用により、制動能力の向上と軽量化を両立した。

(3) 達成性能

① フィーリング性能

Fig.11は、踏力と減速度の関係、及びペダルトラベルと減速度の関係を示す。新型ロードスターのターゲットとした、リニアで高いペダル剛性を確保し、優れた制動フィーリングを実現している。

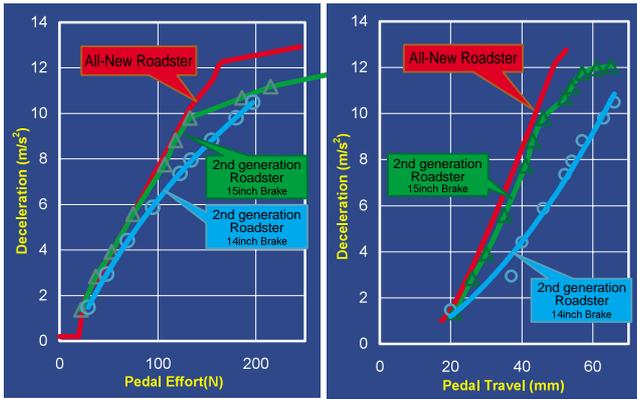


Fig.11 Brake Feeling Data

② 制動停止距離

Fig.12は、JNCAPで公表されている、100km/hからの制動停止距離を示す(1,500cc超の乗用車 2003年以降)。比較車中トップクラスの停止距離を実現している。

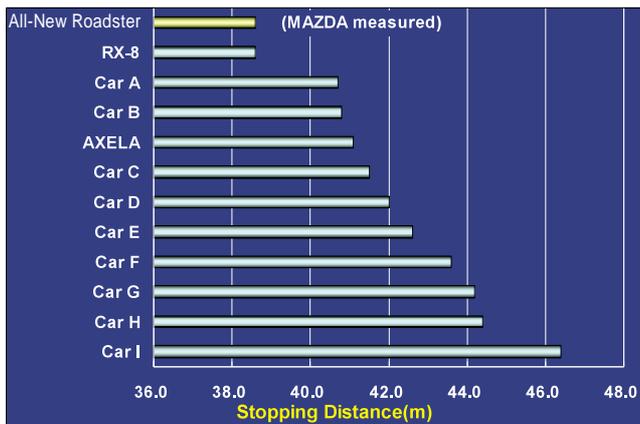


Fig.12 Stopping Distance

3. ボデー

(1) 開発の狙い

ライトウエイトスポーツとして更に卓越した操る楽しさを追求した人馬一体感のあるハンドリングを実現させるには、高剛性・軽量という相反する特性を高次元で両立させる必要がある。

ライトウエイトスポーツクラスにおいて操縦安定性評価における剛性感とボデー全体の静剛性値とは必ずしも一致しない(Fig.13)。これは、ボデー全体の静剛性値を上げ

るだけでは剛性感は得られないことを示しており、他の代用特性も押さえる必要がある。

新型ロードスターでは、従来のボデー全体の静剛性値に加え、RX-8で適用した運動状態でのボデー各部の2点間距離変化量もボデー剛性をあらかず代用特性として目標項目に取り入れ開発に取り組んだ。

(2) ボデー全体の静剛性

ボデー全体の静剛性値は重量に大きく影響する値であることからトップレベルとせず、ライトウエイトスポーツクラスにおいて操縦安定性リーダーである2代目ロードスター(Fig.14)並とした。

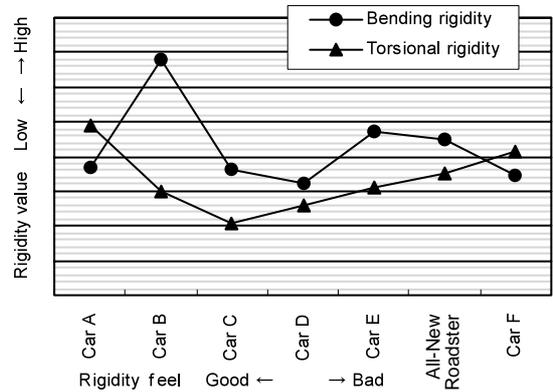


Fig.13 Correlation of Body Rigidity Feel and Static Rigidity

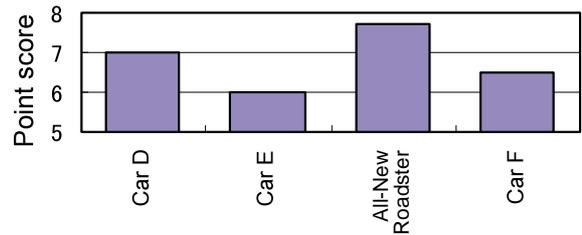


Fig.14 Comparison of Handling Stability Point Score

(3) 運動状態での特性目標

ライトウエイトスポーツの要となる軽量化を実現するため、実走評価におけるボデーの微小変化に対する体感から、操縦安定性・乗り心地に大きく影響すると考えられる部位(Table 1, Fig.15)及びモードを選定し、それらについて4輪多軸加振機を活用しRX-8で行った①横振りモード(レーンチェンジ想定)に加え、②ネジリモード(高い横Gが発生する操舵想定)における運動状態での2点間距離変化量について目標値を設定した。加振機での評価、CAE、実走確認を繰返し、無駄のない最適なボデー構造へと育成した。

Table 1 Target Items for Two-point Distance

Targets	Excitation Mode	
	Lateral	Torsion
① Fr. suspension tower diagonal	○	○
② Fr. suspension tower pitch	○	/
③ Diagonal from A pillar base to B pillar under	/	○
④ Rr. package diagonal	/	○
⑤ Fr.suspension crossmember diagonal	○	○
⑥ No.1 pitch	○	/
⑦ Tunnel diagonal(the longer)	○	○
⑧ Tunnel diagonal(the shorter)	○	○
⑨ Rr.suspension crossmember diagonal	/	○

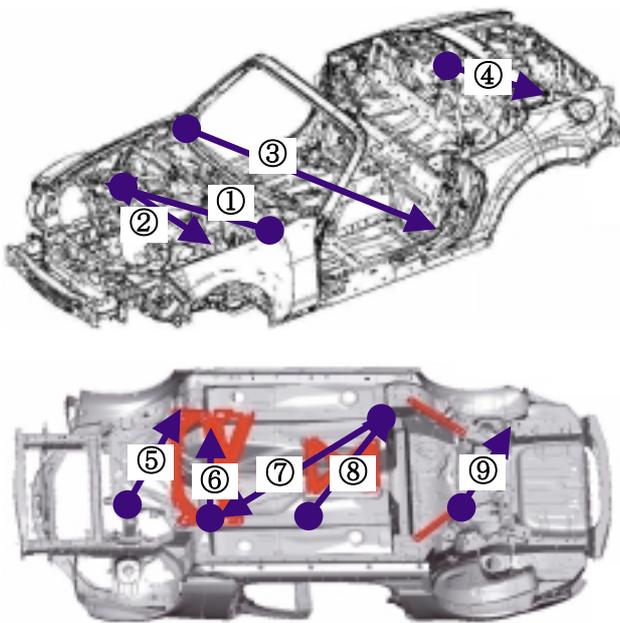


Fig.15 Measurement Location for Two-point Distance

(4) 人馬一体感の実現

その結果、2代目モデルに対し新型ロードスターは、運動状態での2点間距離変化量を横振りモードにおいては30%減少、ネジリモードにおいては半減させた (Fig.16) にも拘わらず、ボデーストラクチャ単位の質量で 1.6kg 軽量化し247.5kgを達成した。また、ボデー全体の静剛性も2代目モデルに対し、曲げで22%、ねじりで47%と大幅に向上させることができた。このボデー剛性向上が、あらゆるシーンにおける軽快感・安定性に貢献している。

4. おわりに

以上、新型ロードスターのダイナミクスについて狙いの性能と構造について簡単に紹介した。

“Lots of Fun” というこれまで継承されてきたコンセプトを更に進化させるため、シャシー、ボデーといった領域を超え、従来の技術、開発手法にとらわれず、新しい発想を持ってワンマツダの精神で意欲的に取り組んできた。そしてライトウエイトスポーツの軽快感と安定性を高次元で両立させるとともに、乗り心地、ロードノイズに代表される快適性を大幅に進化させることができた。

この新型ロードスターはマツダのDNAを象徴するにふさわしい高いポテンシャルを秘めていると確信しており、これまでのロードスターがモデルチェンジ毎に更なる進化を遂げてきたように、更に磨きをかけて進化させていく所存である。

著者



高橋宏治



小林 茂



小宮勝行



立畑哲雄



當舎浩光



新田祐司

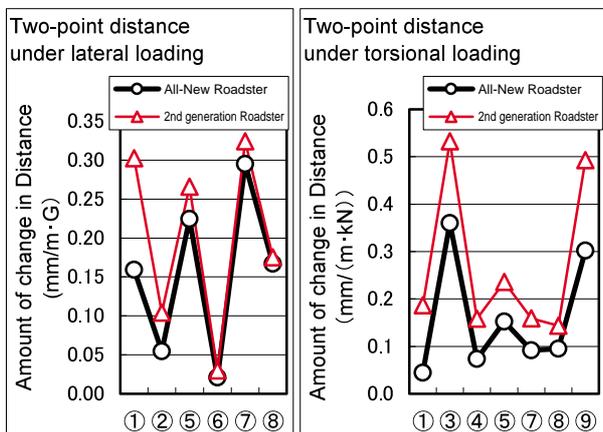


Fig.16 Measurement Result of Two-point Distance