

特集：RX-8

10

RX-8のダイナミクス Dynamics of RX-8

小宮 勝行*¹

Katsuyuki Komiya

景山 文雄*³

Fumio Kageyama

来島 光利*⁴ 清水 勝矢*⁵

Mitsutoshi Kijima

Katsuya Shimizu

要約

“New 4Door Sports for 4Adults”という基本コンセプトを実現するため、RX-8では、比類ないスポーツドライビングプレジャーを提供する優れたコントロール性とハンドリング、そして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った。ステアリングにはラックドライブ式電動パワーステアリングを採用し、低速から高速まで自然で違和感のないしっかりしたステアリングフィールを実現した。リヤの高剛性サブフレームには6点ラバーマウントを装着し、操縦安定性向上とロードノイズ抑制を両立した。

スポーツサスペンションのフロントブレーキには、17インチサイズの大径ベンチレーテッドディスクを採用し、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。

ボデーは、センターピラーレスであることを感じさせない高いボデー剛性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キャビンの効果的な補強を行うことによって、高剛性・軽量ボデーを実現した。

Summary

In order to realize a basic concept of “New 4-Door Sports Car for 4-Adult”, in RX-8, we had thoroughly pursued superior controllability and handling which presents incomparable sports driving pleasure, and ride comfort such as reduction in road noise, thus having improving them significantly.

Double wishbone type is adopted for a front suspension, and multi-link type is adopted for a rear suspension respectively, which produces a linear geometry change and optimizes a compliance characteristic. The adoption of a rack-drive type electric power steering has realized natural and stable steering feel without strange feeling from low to high speeds. A rear high-rigidity sub-frame is equipped with six rubber mounts, thus achieving steering & handling improvement and road noise restraint.

For the front brake of a sports suspension, a 17-inch large-diameter ventilated disc is adopted to ensure braking power high enough to support sports driving.

For a body, in order to realize so high body rigidity that is absolutely unthinkable in a center pillar-less body and driving stability, static flexural rigidity and torsional rigidity of the whole body have been improved, as well as local rigidity improved by dynamic transformation analysis. Furthermore, strong underbody framework and effective reinforcement of cabin have realized a lightweight body with high rigidity.

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

* 4 ボデー開発部
Body Development Dept.

* 5 NVH性能開発部
NVH Development Dept.

1. はじめに

RX-8では、比類ないスポーツドライビングプレジャーを提供する優れたコントロール性とハンドリングそして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
 - ・一般走行でも楽しさを感じられる切れのある動き
 - ・限界までコントロールしやすくリニアな操舵フィール
 - ・高速まで抜群に収まりのよい安定感
- 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、プラットフォームのあり方を一から検討し、シャシーおよ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、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. シャシー

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ハンドル入力に対する車両のレスポンスやリニアな応答を高めるため次の項目を注力ポイントとした。

- ① ジオメトリ/コンプライアンス特性の最適化
- ② ダンパ・ばねの高効率レイアウト
- ③ サスペンション取付部材の高剛性化
- ④ ボデーへの振動入力の低減

(2) 特徴と構造

① フロントサスペンション・ステアリング

フロントサスペンションにはジオメトリやコンプライアンスの最適化を図るべくインホイールタイプ・ダブルウィッシュボーン形式 (Fig.1) を採用した。軽量・高剛性とするためアッパーアームをアルミスクイズキャスト、ロアアームをアルミ鍛造製とした。アーム長はアッパー、ロアともにRX-7よりも約32mm長くし、限界域までリニアなアライメント変化を実現した。

アッパー/ロアアームのクロスメンバー側取付には、新開発のストップクリアランスゼロ構造 (Fig.2) のラバーブッシュを採用。これにより前輪に入る外力によってアームに発生する前後方向の動きを抑制し、かつ、ブッシュのばね特性を初期からリニアに立ち上げることができ、コンプライアンスの挙動を常に最適に

コントロールすることを可能にした。

ショックアブソーバにはハードな走行にもエアレーションやキャビテーションの発生を抑制し、常に安定した減衰力を発生する高圧ガス封入式モノチューブダンパを採用した。オイルの圧力変動に対するレスポンスを高め、しっかりとしたストローク感と減衰感を得るため、ピストンを大径化するとともに、ピストンのポート形状を大口径とし、乗り心地との両立を図った。

ステアリングには、ピニオン軸にトルクセンサを、ラック同軸にモータを配したラックドライブ式電動パワーステアリング (Fig.3) を採用し、フリクションやピニオン軸回りのイナーシャを低減して、スポーツカーにふさわしい俊敏でダイレクトな操舵フィールを実現した。また、日常ユースの快適性を確保するため、据え切り時の操舵力をRX-7から約20%低減した。



Fig.1 Front Suspension

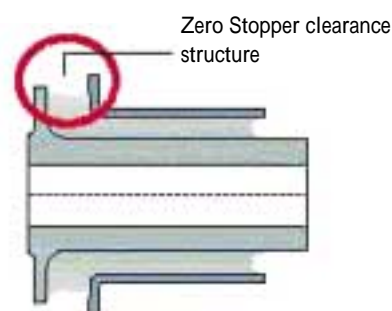


Fig.2 Zero Stopper Clearance Structure



Fig.3 Rack-drive Type Electric Power Steering System

② リヤサスペンション

リヤには5本のリンクを持つ新開発のマルチリンク式サスペンション (Fig.4) を採用した。走行時の外力に対して、常に理想的なジオメトリ変化を実現するため、各リンクをロング化するとともに、それらのレイアウトを最適化し、ハイレベルな操縦安定性と乗り心地、更にロードノイズの低減を追求した。

まず、タイヤの微小ストローク域でも効率よく減衰力を発生させるため、ホイールストロークに対するダンパストロークの比率を1:1とするようにダンパ下端を直接ハブサポートに締結するレイアウトを採用した。

また、コイルスプリングを床下配置とし、ダンパロッドに対するスプリング横力を減少させてフリクションを低減すると同時に、トランクルームの幅方向のスペース拡大にも貢献している。ダンパはフロント同様、大径ピストンの高圧ガス封入式モノチューブを採用している。

このマルチリンクサスペンションの最大の特徴は、リンク類とダンパの位置関係を最適化することにより、タイヤの上下荷重に比例したトーインモーメントおよびネガキャンバモーメントを発生させ、各リンクにあらかじめ荷重を付与した点である。これにより各リンクのラバーブッシュやボールジョイントは、常に片側に押し付けられているため、センター付近の微小な遊びといった不感帯を除去し、常にリニアな特性を使うことができ、操舵に対する応答遅れを最小限に抑えるとともに、外乱に対するタイヤの不要な動きを抑制することが可能となった。

このトーインおよびネガキャンバのモーメント発生概念について次に説明する。

i) トーインモーメントコントロール (Fig.5)

リヤダンパは上部を車体側に、下部をハブキャリアに締結し、ダンパの中心線 (ダンパ軸) が、5本のリンクの配置によって決定される仮想キングピン軸に対して、車両外側かつ後方で交差するようレイアウトした。これにより、後輪のスプリングの反力によって、後輪には常に仮想キングピン軸を中心として進行方向の内側に向くトーインモーメントが発生することになる。

ii) ネガキャンバモーメントコントロール (Fig.6)

ダンパをタイヤ中心に対して車両内側へオフセットした配置とすることで、オフセット長に掛かる上下荷重に比例したネガキャンバモーメントが発生する。そのモーメントに釣り合うようにロアおよびアッパーのラテラルリンクには、常にイニシャル荷重が加わっている。

またこのマルチリンクには、フロントサスペンシ

ョンと同様に、ロングリンクを採用した。

アッパーのラテラルリンク長は289.6mmで、RX-7のダブルウィッシュボーンアッパーアームより76mm長く、ロアのラテラルリンク長は529mmで、RX-7のロアアームに比べ実に約173mmもロング化した。これにより、アライメント変化率を少なくし、かつ、リニア化を実現した。また、ロングリンク化により、後輪の上下動に伴ってサブフレーム側締結部のラバーブッシュに加わるねじれの負荷を減少させ、後輪のスムーズな上下動を実現し乗り心地にも大きく貢献している。



Fig.4 Rear Suspension

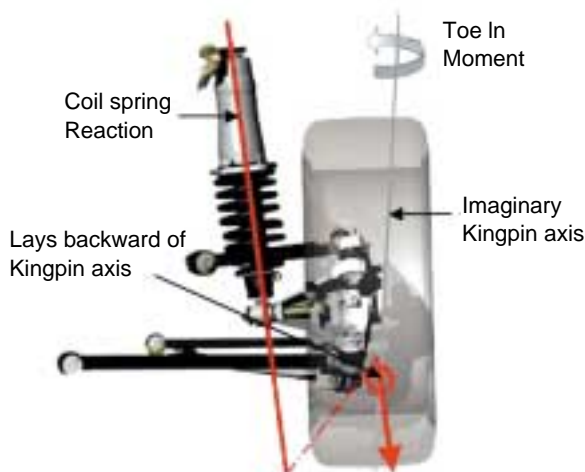


Fig.5 Toe in Moment Control

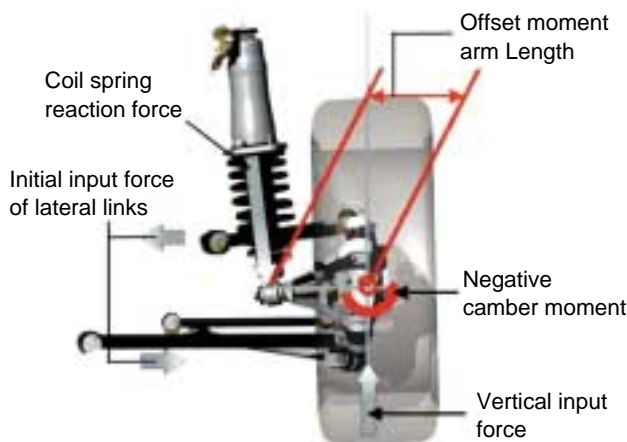


Fig.6 Camber Moment Control

リヤサスペンションをマウントするサブフレーム（溶接一体構造）は、両サイドのハイドロフォーム製の立体的なブーメラン型サイドメンバと、それらを結ぶ前後のクロスメンバで構成されており、サイドメンバの前後端と中央の3カ所（両側で計6カ所）に、3次元的な3角形を形成するようにストップクリアランスゼロ構造のラバーマウントを配置している（Fig.7）。

この独自の構造により、横力入力時のサブフレームの回転を抑え込んで高いキャンバ剛性を確保しながら、ラバーマウントをやわらかくすることが可能になり、高い操縦安定性ととも、振動の伝達を抑え込んだ上質な乗り心地と、ロードノイズの低減を実現した。

(3) 達成性能

① 操縦安定性

Fig.8は操縦安定性能の評価結果を示す。

操縦安定性の全体ポテンシャルは非常に高くRX-7の軽快なハンドリングをほぼ維持しながら、特に操縦の正確さ、剛性感、安定性が大きく向上している。

② 乗り心地

Fig.9は路面突起を通過した時の、突き上げショックの大きさをフロアの上下振動加速度で表したものである。グラフの左側の山は前輪が突起を乗り越えた時の振動、右側が後輪の振動。RX-8は 加速度ピークレベルが小さく、突き上げショックが小さいことが分かる。

Fig.10はうねり路を走行した時の、車両のフラット感を評価したものである。他銘柄車にくらべ加速度ピークが低く、ボデーの動きが少ないことが分かる。このように、不快な突き上げを抑えながら、フラットでしっかりした乗り心地が実現できている。

③ ロードノイズ

Fig.11は60km/hで粗粒路を走行したときの運転席窓側のロードノイズ音圧レベルを示す。225/45R18タイヤを装着したスポーツサスペンションは十分競合できるレベル、225/55R16タイヤを装着したスタンダードサスペンションでは、ほぼトップクラスの静粛性を実現している。

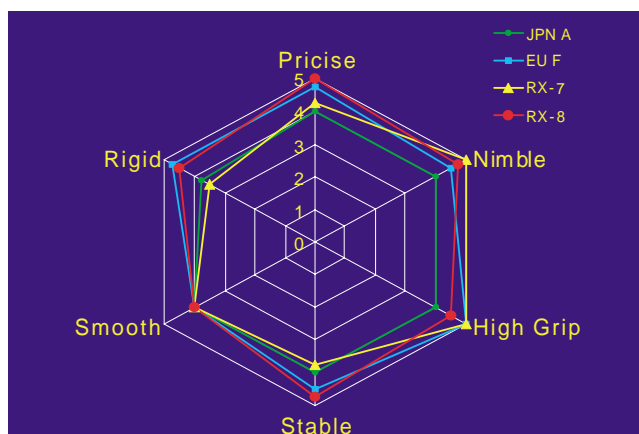


Fig.8 Steering & Handling-Evaluation

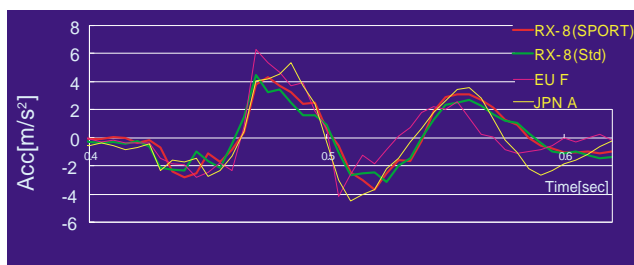


Fig.9 Floor vibration at bumping (50km/h)

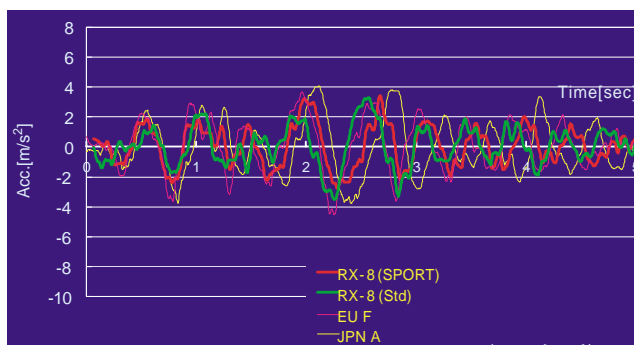


Fig.10 Flat Feeling in High-speed Waving Road

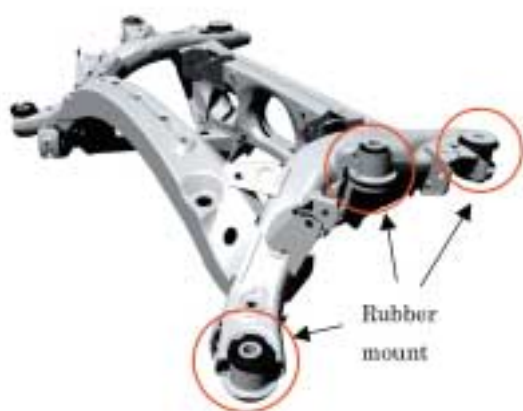


Fig.7 Rear Subframe

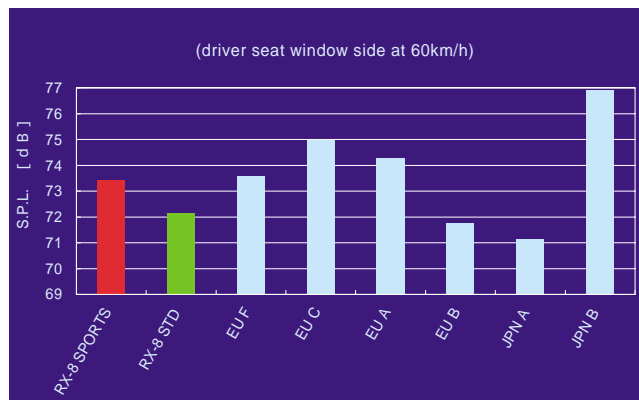


Fig.11 Road Noise OA

2.2 ブレーキ

(1) 開発の狙い

RX-8のブレーキ開発の狙いは、単純によく止まるブレーキではなく、「信頼感とスポーツドライビングプレジャーの創造」である。信頼感のあるブレーキとは、2002年5月に発売したアテンザでその答えを得ることができた。

それは、「レスポンス」「リニアリティ」そして「ストッピングパワー」の3つのキーワードからなる。レスポンスとリニアリティでは、ペダルを踏む力、ペダルストローク、そして減速度の関係において目標を定義した。

特にレスポンス領域ではロスストロークを低減させた上で、踏み初めのコントロール性を維持すること、リニアリティと減速の関係では、文字通り直線的になるのではなく、踏み不足につれ減速度が高まっていくようなカーブを達成することにこだわった。

また、ストッピングパワーについても、スポーツカードライビングを重視したチューンを行った。ペダル剛性感を高め、踏力コントロールを容易にすることを目標にし、フロントの大径ベンチレーテッドディスクと相まっ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。これにより、RX-8はクラストップの制動停止距離を達成した。

(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（アテンザより導入）となる低ペダル比、マスタシリンダ小径化を踏襲した。その手法の中で、よりスポーツドライビング実現のため、ペダル比は2.8、マスタシリンダ内径は22.22mmとRX-8の狙いにあわせてチューニングを施した。

マスタシリンダは、DSC（Dynamic Stability Control）システムとのマッチングを図り、ハイフロー対応¹のプランジャタイプを新規に開発した（Fig.12）。

また、バキュームブースタは大径シングル10インチサイズを採用し、高いサーボ限界を確保しスポーツドライビングをサポートしている。

② フロント・ブレーキ

スポーツサスペンション車（18インチタイヤ）はトップクラスの323mm大径ロータを採用し、スタンダードサスペンション車（16インチタイヤ）は303mmの2種類の新開発ブレーキを採用した。

③ リヤ・ブレーキ

スポーツサスペンション車とスタンダードサスペンション車ともに、ロータ径302mmベンチレーテッドのビルトインタイプブレーキを採用した。このブレーキは、オーバアジャスト防止機構を内蔵しており、

ハードなブレーキの繰り返しについても、オーバアジャストによるブレーキの引き摺りを防止している。

④ EBD / ABS / DSC

EBD（Electronic Brake force Distribution）とABSは全車標準装備とし、そのセッティングにあたっては、タイヤ性能を最大限引き出し、制動停止距離短縮と車両安定性の両立を目指しチューニングを施した。また、DSCについては、マツダの基本コンセプトである「効果的に横滑りを抑えながら、ヨーレートと操舵のスムーズさ」を目指しながら、RX-8のスポーツドライビングプレジャーを損なわないセッティングを目指した。

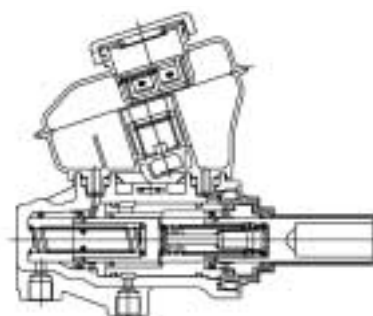


Fig.12 Master Cylinder

(3) 達成性能

① フィーリング性能

Fig.13は、踏力と減速度との関係、およびペダルラベルと減速度の関係を示す。RX-8のターゲットとしたスポーツドライビングの踏力コントロール性を確保し、優れた制動フィーリングを実現している。

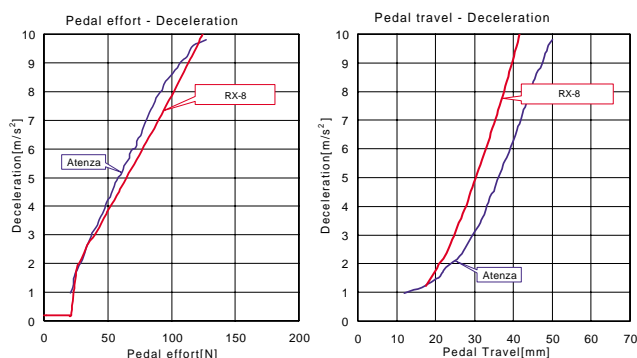


Fig.13 Brake Feeling Data

② 制動停止距離

Fig.14は、ヨーロッパの著名な雑誌が実施している評価条件下での制動停止距離の比較を示す（RX-8は同条件下での社内測定値）。比較車中トップクラスの停止距離を実現している。

1 DSCポンプ用のブレーキ液を、マスタシリンダリザーブタンクから吸い込むため十分な流路を確保するもの

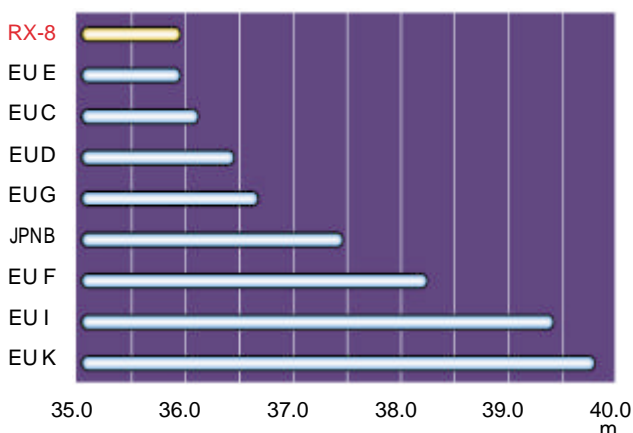


Fig.14 Stopping Distance

3. ボデー

(1) 開発の狙いと取り組み

RX-8のボデーシェル開発では、センターピラーレスフリースタイルドアという従来にない新しいボデー形式において、競合4ドアスポーツセダンを凌ぐ軽量・高剛性ボデーを実現することを目指した。剛性開発においては、ボデー全体の静的曲げ剛性やねじり剛性ととも、運動状態での変形測定解析により操縦安定性能と関連のとれた局部剛性の向上に取り組んだ。

テストコースでの走行と4輪多軸加振装置を用いた台上加振シミュレーションにおいて、ボデー各部のダイナミック変形を計測し、操縦安定性が向上するポイントを分析。かつ、コンピュータ解析によって、走行状態での車体への入力、それによる変形や歪みエネルギー分布を分析し、剛性向上の効果的な手段を追求した。

その結果に基づいて、強固なアンダーボデーフレームワークやキャビンの効果的な補強構造を構築することに注力し、センターピラーのないキャビンであることを感じさせない剛性感のあるボデーを開発した。Fig.15にボデー全体図を示す。

(2) 構造と特徴

① アンダーボデー構造

センタートンネル上部に、前から後まで同じ高さで閉断面のハイマウントバックボーンフレームを通し、これを中心に主要部材の最適配置と大断面化により高いプラットフォーム剛性を確保した。アドバンスドフロントミッドシップレイアウトにより可能になった、エンジンルーム内のフレーム間ヘクロスメンバによりフロントサスペンションの横方向支持剛性を高めた。加えて、フロントサスペンションタワー左右をつなぐフロントストラットタワーバーを装着し、フロントダンパの支持剛性とフロントボデー回りの局部剛性を高めた。

トンネル下の開口部には、左右をつなぐ3本のクロスメンバを設定した。これらは、操舵時の車体のねじ

れ変形を抑え、またフロントシートの支持剛性を高めて、操縦安定性フィーリングの向上に寄与している。

Fig.16にアンダーボデーのフレームワークを示す。



Fig.15 Body Structure Complete

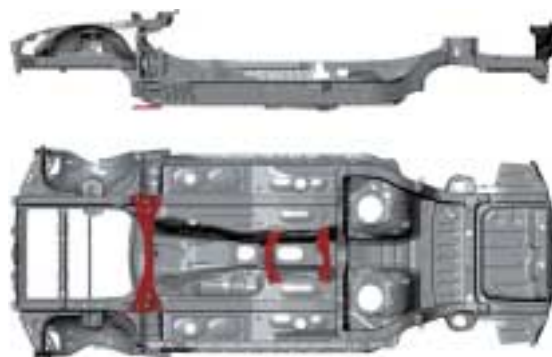


Fig.16 Underbody & Tunnel Member

② キャビン構造

サイドパネル内のレインフォースメントは、部位によって最適な板厚・材質に設定した5種の鋼板をあらかじめ溶接したうえで一体プレス成形するT.W.B. (Tailor Welded Blanks) 工法により、強固な環状の構造部材として形成した。同様にフロントピラーからリヤピラーまで3種の鋼板でT.W.B.したインナーパネルを組み合わせて、ドア開口まわりを効果的に補強し、軽量で高強度・高剛性のキャブサイドを実現した。Fig.17にキャブサイド構造を示す。



Fig.17 Cab-side Structure with T.W.B. Parts

さらに、ハイマウントバックボーンフレーム後端と左右リヤダンパの上部マウント部を結合する高剛性ブレースをV字型に設定した。これにより、ダンパの支持剛性とリヤボデー回りのねじり剛性を大幅に向上させた。

また、前後フレーム、サイドシル、クロスメンバ、フロントピラーの一部に590Mpaの高張力鋼板を採用した。ルーフパネルの中央を横断するルーフレインフォースメントは、普通鋼板をプレス成形した後、窒化処理（鋼板に含まれるチタニウムと窒素を化合させる熱処理）により、材料強度を約1,000Mpaに上げる新技術を採用した。これらにより、剛性と強度のバランスを取り軽量化を図った。

(3) 達成性能

操縦安定性に関するボデーの変形として、Fig.18に示す部位を評価ポイントとして剛性向上を図った。Fig.19に4輪多軸加振装置による横振り加振での各部の変形量を示す。Fig.20はねじり加振におけるトンネル下の変形を時間軸で示したものである。これらのポイントの変形量は、前項で述べた構造の採用により、競合スポーツセダンに優るレベルに抑えることができ、スポーツカーとしての高い操縦安定性能に寄与する特性を達成できた。また、いかに重量を掛けずに剛性向上が実現できているかを静的全体ねじり剛性ベースでマクロ的に表すものとして、欧州で一般的に使用されている指標を用いてFig.21を示す。RX-8のボデーは競合多銘柄を超える軽量・高剛性を実現できている。

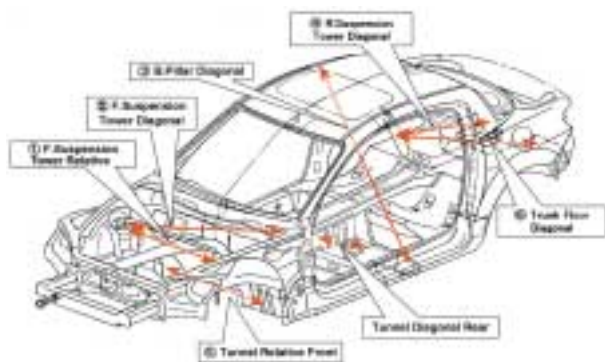


Fig.18 Evaluated Location

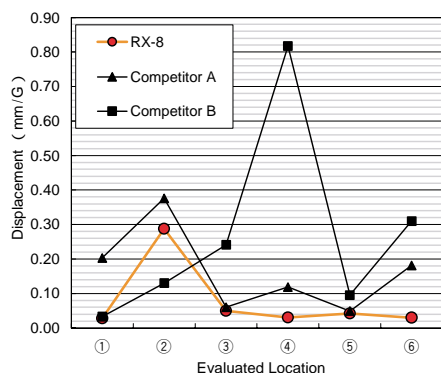


Fig.19 Body Rigidity

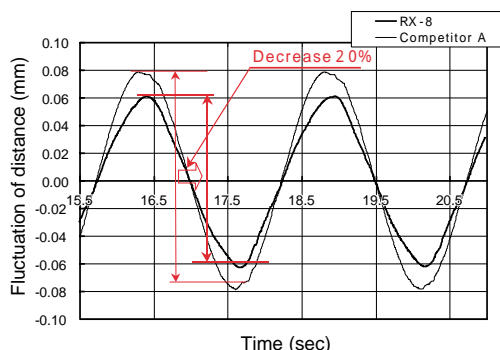


Fig.20 Deformation of Tunnel

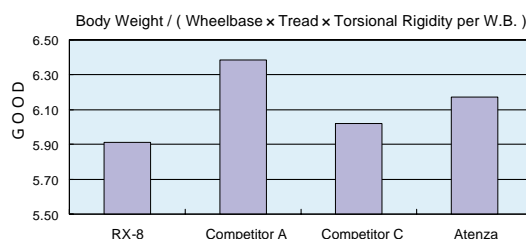


Fig.21 Index of Weight Efficiency

4. おわりに

以上、RX-8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。

“New 4Door Sports for 4Adults” という全く新しいコンセプトをシャーシ・ボデーといった領域で実現するために、従来の技術、開発手法にとらわれず、新しい発想を持って意欲的に取り組んできた。そしてピュアスポーツの操縦安定性とスポーツセダン並の快適性を高い次元で両立させる『ダイナミックパフォーマンス革新』を実現した新しいプラットフォームを具現化することができた。

このプラットフォームはマツダスポーツカー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、更に磨きをかけて進化させていく所存である。

著者



小宮勝行



景山文雄



来島光利



清水勝矢