

特集：アクセラ

15

アクセラのダイナミクス性能 Dynamics of Axela

和田 仁 法*1 渡 邊 雅 哉*2 熊 田 拓 佳*3
 Hitonori Wada Masaya Watanabe Hiroyoshi Kumada
 高 橋 宏 行*4 林 義 博*5 飯 田 英 一 朗*6
 Hiroyuki Takahashi Yoshihiro Hayashi Eiichiro Iida

要 約

クラスを超えた、より高いレベルの「運転する楽しみ」を提供するため、優れたダイナミクスを実現するシャシー（サスペンション、ステアリング、ブレーキ）とボデーを開発した。

サスペンションは、フロントには液体封入式ブッシュなどを採用したマクファーソンストラット、リヤにはE型マルチリンク式サスペンションを採用し、操縦安定性と乗り心地、振動・騒音を高度にバランスさせた。ステアリングには、電動ポンプ式油圧パワーステアリングを採用し、優れた操舵フィールと低燃費を両立した。ブレーキでは、大径ブースターの採用やマスターシリンダのロストラベルの低減などによりクラストップの制動距離と優れたフィーリングを実現した。ボデーは、フレームやクロスメンバなどの大断面化やストレート化などによりボデー全体の曲げ剛性やねじり剛性を高めるとともに、局部剛性の向上にも取り組み、卓越した高剛性ボデーを実現した。

Summary

The chassis, or suspension, steering and brakes, and body used in Axela have enabled outstanding dynamics performance, which delivers superior “driving pleasure” far beyond the segment standard.

The suspension system accomplishes well-balanced performances of handling, ride comfort, and vibration/noise by adopting MacPherson strut with liquid-filled bushings for the front, and E-type multi link suspension for the rear. The steering system provides an excellent steering feel and high fuel efficiency by adopting a power-assist system equipped with an electric motor pump. The brake system accomplishes a best-in-class braking distance and an unparalleled brake feel by adopting a large-diameter booster and reducing the travel loss of a master cylinder. The body structure surpasses competitors in local body stiffness as well as global stiffness against bending and torsion by adopting the large cross-sections and straight structures of cross-members and frames.

1. はじめに

アクセラでは、コンパクトカーの常識を超える「運転する楽しみ」を提供するため、次のターゲットに取り組んだ。

操縦安定性

- ・リニアで俊敏な操縦性
- ・高速までドライバが安心して運転できる安定性

乗り心地

- ・剛性感のある、不快なゴツゴツ感を抑えた乗り心地

制動性能

- ・リニアで応答に優れた信頼感あるブレーキ性能
- ・クラストップレベルの制動距離

静粛性

- ・ロードノイズの大幅な低減

これらを実現するため、クラスを超えたプラットフォームを開発した。

本稿では開発したシャシーとボデーに関する、開発の狙い、構造と特徴、達成性能について紹介する。

*1, 2 操安性能開発部
Chassis Dynamics Development Dept.

*3, 4 シャシー開発部
Chassis Development Dept.

*5 NVH性能開発部
NVH Development Dept.

*6 ボデー開発部
Body Development Dept.

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、ハンドル操作に対するリニアで俊敏な車両の応答を達成し、かつ、快適で優れた安定性を実現するため、次の項目に注力した。

ジオメトリ/コンプライアンス特性の最適化

サスペンション取付部の高剛性化

ボデーへの振動入力の高減

(2) 構造と特徴

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、マクファーソンストラット式サスペンションを採用した (Fig.1)。ラバーブッシュを介してクロスメンバをボデーに締結することで、高いサスペンション支持剛性と、騒音・振動の抑制を両立した。更に、サスペンションからの振動入力をより効果的に遮断するため、ロアアームの後側にはブローオフバルブ付き液体封入式ブッシュを採用した (Fig.2)。このブッシュでは、二つの油室の間を低抵抗の長い流路でつなぐことにより、安定した振動吸収性を確保するとともに、油室間に設置したブローオフバルブが高周波・大振幅の入力の際にオイルを逃がすことにより、過大な荷重がボデーに伝わらないようにした。これにより、操縦安定性と乗り心地、騒音・振動を高次元でバランスさせた。

個々の部品の特性、構造、配置にも気を配った。まず、サスマウントを入力分離式にしてダンパの効きを上げたほか、ダンパとスプリングをオフセットして配置することでダンパにかかる横力を減らし、ダンパのフリクションを抑えた。また、フロント・リヤダンパともにリバウンドスプリングを内蔵させ、接地感のある安定したロールとフラットな車体の動きを実現した。更に、スタビライザのクロスメンバへの取付スパンも可能な限り広げ、スタビライザの効きを上げた。そして、ステアリングギアを通常よりも100mm程度低い位置に配置してタイロッド長を長く取ることで、ロール時のタイヤの接地性を維持しながら、タイヤのトー角がリニアに変化するようにした。これらにより、乗り心地や安定性を向上させながら、微小なハンドル操作に対する車両応答を大きく改善した。

ステアリングには、油圧システムと電動システムの長所を兼ね合わせた電動ポンプ式油圧パワーステアリングシステムを採用している (Fig.3)。油圧ポンプを従来のエンジン駆動式から電動ポンプに変更することにより、車速と操舵速度に応じて適切に油圧をコントロールできるようになった。これにより、正確でしっかりとしたステアリングフィールを実現するとともに、車両が直進している時には電動ポンプの回転を下げてエネルギー消費を抑えることにより1 - 1.5%程度の低燃費化にも貢献している。

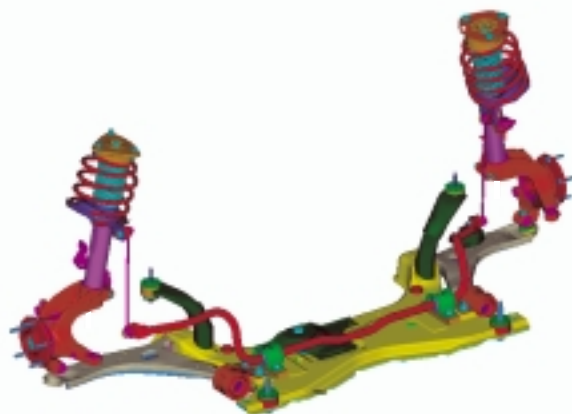


Fig.1 Front Suspension

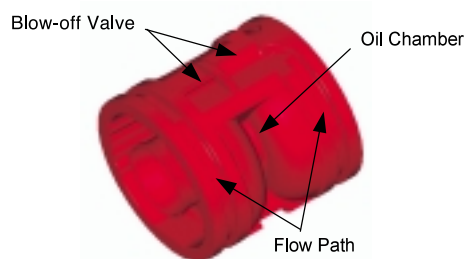


Fig.2 Liquid-filled Bushing

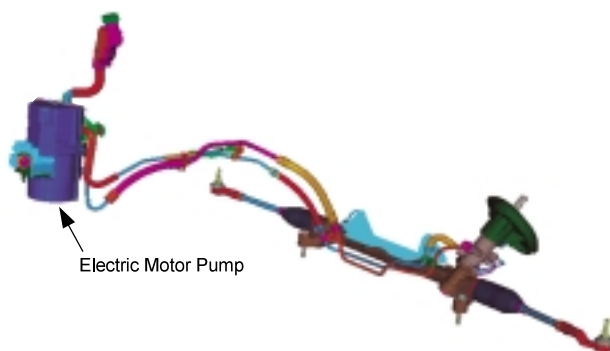


Fig.3 Electric Hydraulic Power Steering System

リヤサスペンション

リヤサスペンションには、E型マルチリンク式サスペンションを採用した (Fig.4)。これは、アテンザと同じ形式のサスペンションであり、次の四つの特徴を備えている。



Fig.4 Rear Suspension

i) ジオメトリ特性の最適化

E型マルチリンク式サスペンションでは走行時の車体姿勢や外力変化など、さまざまな状況変化に応じてタイヤの動きを適切に設定できる。たとえば、タイヤと車体を前後につなぐトレーリングリンクの車体側取付点をタイヤ中心よりも18mm高い位置に置くことで、制動時の車体のノーズダイブを小さく抑えた。また、サスペンションの前後剛性を抑えながら、キャンバ・トー方向の剛性を高め、ロールセンター軸を最適化することで、優れた乗り心地と直進安定性・ロードホールディングを実現した。

ii) サスペンション部品の高剛性化

走行中の荷重入力方向と大きさを考慮してクロスメンバ各部の剛性を引き上げた。また、トレーリングリンクのダンパ取付部もダンパ入力に合わせて高剛性化し、ハブベアリングには高剛性の第3世代ハブを採用した。このように、サスペンション各部に必要な剛性を持たせることで、ポテンシャルの高いサスペンションを実現した。

iii) プッシュ容量の拡大

フロント・リヤサスペンションともに、ほとんどのプッシュにクラス最大級の容量を持たせることで、プッシュが余裕を持って各リンクからの入力を吸収できるようにした。これにより、底つき感のないスムーズなサスペンションの動きが実現でき、リニアな車両応答に貢献した。

iv) ダンパとコイルスプリングの分離

スプリングをダンパと分離して床下に置いた。これにより、荷室の横幅の拡大に加え、ダンパのフリクションが減り、よりスムーズに減衰力が発生するようになった。

(3) 達成性能

操縦安定性

評価結果をFig.5に示す。全体としてアクセラのポテンシャルの高さがわかる。特に開発の目標である、正確で剛性感のある、安定性に優れた車両応答が実現できている。

ヨー共振周波数とヨーレイトゲインを比較した結果をFig.6に示す。アクセラは競合車と比べてヨー共振周波数、ヨーレイトゲインがともに大きく、高いリヤグリップによる優れた安定性と俊敏な応答を両立できた。

乗り心地

評価結果をFig.7に示す。減衰がよく効き、車体の動きを抑えた特性であり、ゴツゴツとした振動を効果的に低減できていることがわかる。開発の目標である、剛性感があり、不快なゴツゴツ感を抑えた乗り心地が実現できた。

荒れた路面を走行中の車体振動の大きさを比較した結果をFig.8に示す。アクセラは人間が特に感じやすい110 - 30Hzの周波数帯域での振動レベルが競合車よりも小さく、しっかりとした質感の高い乗り心地となった。

ロードノイズ

時速100kmで荒れた路面を走行した際の運転席でのロードノイズの比較結果をFig.9に示す。アクセラが優れた静粛性を備えていることがわかる。

フロントクロスメンバの高剛性化、タイヤの低ロードノイズ化やポデーパネルの工夫により、路面からの振動が音になりにくい構造を実現した。これにより、荒れた路面を走行した際の、低周波の“ゴ—”という音が減り、路面変化による車室内の音の変化を抑えることに成功した。

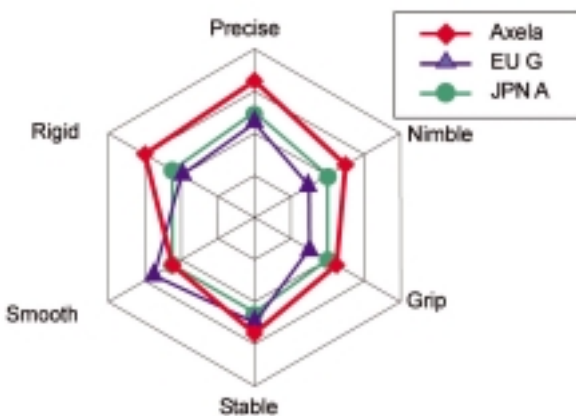


Fig.5 Steering & Handling Evaluation

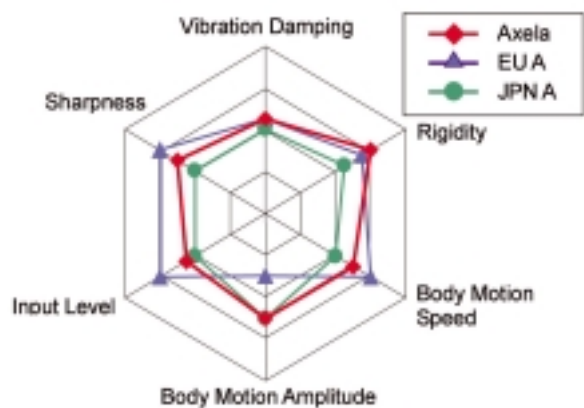


Fig.7 Ride Comfort Evaluation

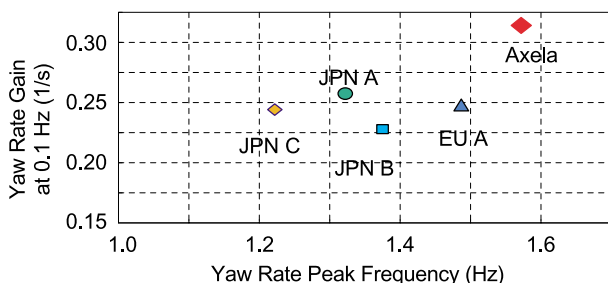


Fig.6 Comparison of Yaw Rate Response

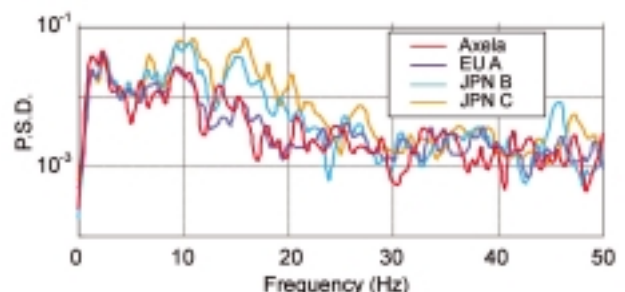


Fig.8 Comparison of Vibration Level

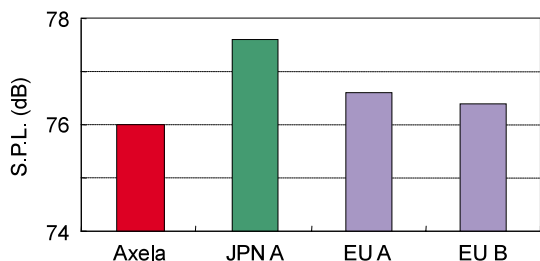


Fig.9 Comparison of Road Noise OA

2.2 ブレーキ

(1) 開発の狙い

ブレーキについては、リニアで応答性に優れた信頼感あるブレーキを実現するため、次の項目に注力した。

ペダル踏力とストローク・減速度のバランスの最適化
高いペダル剛性とブレーキが効き出すまでのペダルレベルの短縮化

クラストップレベルの制動距離

(2) 構造と特徴

マスタシリンダ・ブースタ

ペダルストロークの短縮化のため、大径のマスタシリンダを採用して内径を25.4mmとしたほか、ロストラベルを低減した。また、液圧に対する膨張率の低いブレーキホースを採用した。これらにより、ペダルの剛性感を高め、コントロールしやすいブレーキ特性を実現した。

ブースタは、大径シングル10インチサイズのパキュウムブースタを採用し、高いサーボ限界を確保した。

フロントブレーキ

ロータを大径化し2.3L車はクラストップの 300mm、その他の車両も 278mmのロータを採用した。

リヤブレーキ

リヤブレーキのロータも大径化し、2.3L車は 280mm、その他の車両も 265mmの大径ロータを採用した。1.5L車の一部にはドラム式ブレーキを採用しているが、ドラム径 228mmの大径ドラムとした。

DSC・EBD・ABS・BA

アクセラではDSC（横滑り防止機構）をオプション設定した。また、EBD（電子制御制動力配分システム）、ABS（4輪アンチロックブレーキシステム）とBA（ブレーキアシスト）を全車標準装備とし、制動停止距離の短縮と車両安定性を両立させた。特にBAはストローク速度と踏力に応じたアシストを可能にする機構を備えた機械式BAを採用した。信頼性が高く、スポーツ走行を妨げないアシストシステムを実現した（Fig.10）。

(3) 達成性能

ブレーキフィーリング

評価結果をFig.11に示す。アクセラはいずれの評価項目でも競合車に比べて高いレベルにあり、バランスの取れた、優れたブレーキフィールを達成していることがわかる。特

に開発の目標である、リニアで応答性に優れた信頼感あるブレーキが実現できている。

踏力と減速度、ペダルストロークと減速度の比較結果をFig.12に示す。アクセラは踏力に対して減速度がリニアに立ち上がるほか、微小なペダルストロークに対してもきちんと減速度が発生することがわかる。ドライバにとって、コントロールしやすいブレーキ特性となっている。

制動停止距離

ヨーロッパの著名な雑誌が実施しているブレーキ性能の評価方法に基づく制動停止距離の比較結果をFig.13に示す（アクセラは同条件にて社内で計測した結果）。アクセラが、狙いどおり、比較車両中トップの制動停止距離を実現していることがわかる。

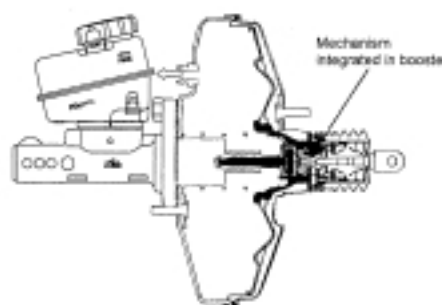


Fig.10 Example of Mechanical Brake Assist

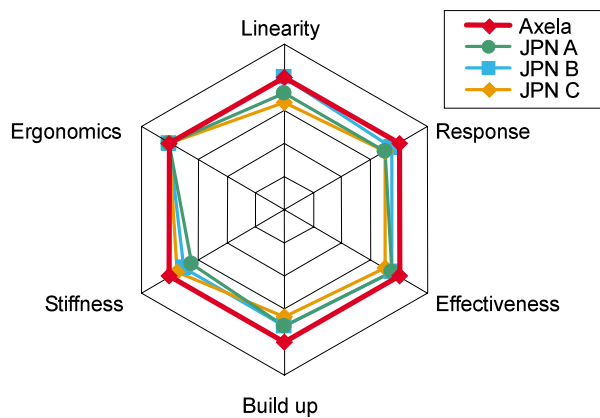


Fig.11 Brake Evaluation

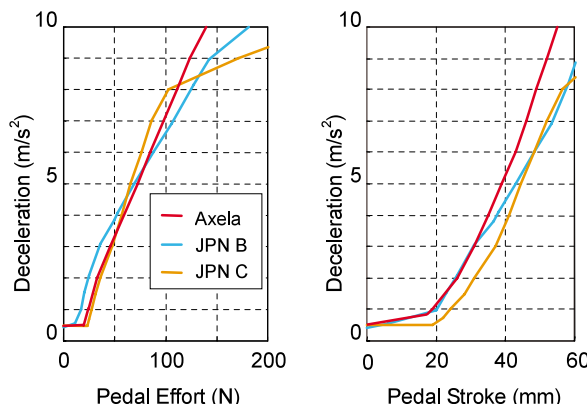


Fig.12 Comparisons of Brake Performance

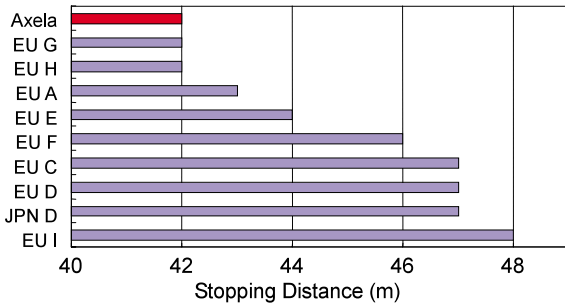


Fig.13 Comparison of Stopping Distance

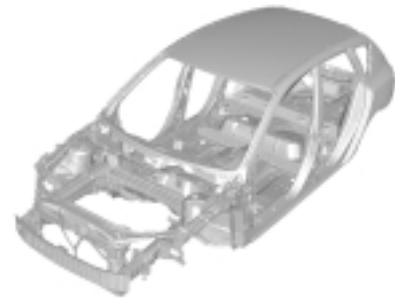


Fig.14 Body Structure Complete

3. ボデー

(1) 開発の狙い

アクセラのキーバリューの一つである“ハイバランスな運転する楽しみ”を実現できる高剛性ボデーの開発に取り組んだ。アテンザから操縦安定性に相関性の高いボデーの局部的な剛性向上に取り組んできたが、同様にアクセラでも、曲げとねじりの全体剛性だけではなく、サスペンション取付部などの局部的な剛性に注力し開発に取り組んできた。局部剛性目標は競合車の実車走行や4輪多軸加振機テスト等で測定した各部の変形量を基に設定し、目標達成にはコンピュータ解析等を駆使することで効率良く実現した。その結果、全体剛性と局部剛性の向上とを同時に実現することで競合車を凌ぐ高剛性ボデーが開発できた。ボデー全体図をFig.14に示す。

(2) 構造と特徴

ボデーフレームワーク

アンダーボデーのフレームワークをFig.15に示す。フロントサイドフレーム、サイドシル、リアサイドフレームといった前後方向の各主要フレームや、これら左右のフレームを結合する各クロスメンバの大断面化、ストレート化により車体全体の剛性を向上することができた。

フロントフロアトンネル部は縦壁立上り部にフレームを設定し、更にトンネル部フロア下には3本のクロスメンバを設定し、操舵時の車体のねじれ変形を抑え、操縦安定性フィーリングを向上した。また#4クロスメンバとリアサイドフレームの結合部はラップ代を拡大し結合部剛性を高めた。

フロントボデー構造

フロントボデー構造をFig.16に示す。

一体型のサスペンションタワーハウジングを、ダッシュクロスメンバで左右を結合されたフロントサイドフレームおよび閉断面のエプロンレインへ結合した。このサスペンションハウジングはカウルガセットにより前後方向に、またカウルクロスメンバによって左右方向に拘束することにより左右の相対変位抑制及びサスペンションストラットの支持剛性を高めた。

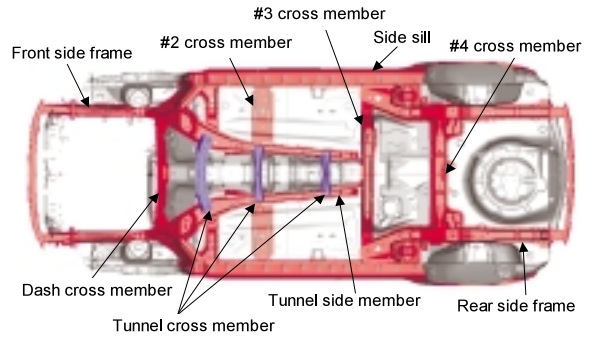


Fig.15 Body Frame Work

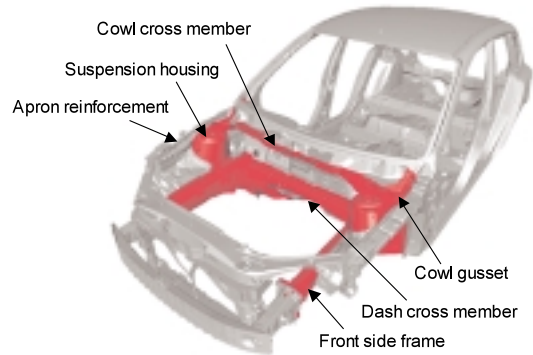


Fig.16 Front Body Structure

リアボデー構造

5ドア車のリアボデー構造をFig.17に示す。

リアサイドフレームからリアサスペンショントップにかけては厚板の補強部材で結合し、更にダンパ取付部は車室内よりガセットを重ね局部剛性を高めた。5ドア車においてはリアサスペンショントップからCピラー、リアヘッダーにかけて連続した補強部材を配置することにより#4クロスメンバからリアサスペンショントップ、リアヘッダーにかけて環状の骨格を形成した。また、ルーフとBピラーおよび、Cピラーとの結合部には発泡硬化剤を充填し、動的なボデー剛性感の向上を実現した。リアの開口部においては上下コーナ部にガセットや補強部材を最適に配置しリアサスペンション取付部剛性だけでなくリア開口部の剛性を向上できた。これらにより5ドア車はハッチバックタイプ

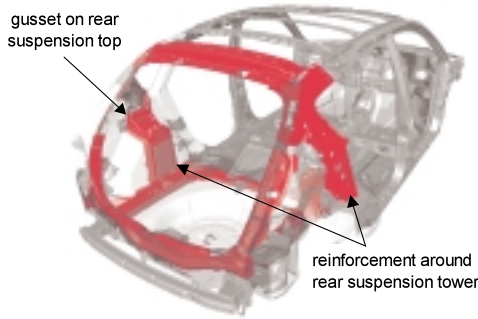


Fig.17 Rear Body Structure (5Dr)

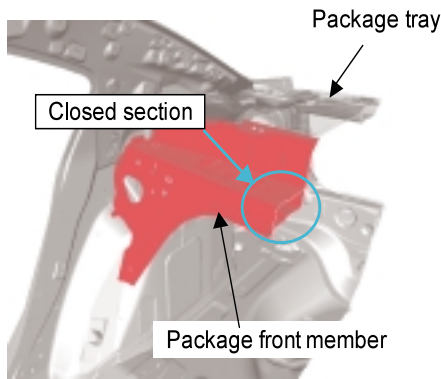


Fig.18 Rear Body Structure (4Dr)

でありながらセダン系のボデーに匹敵するねじり剛性を実現できた。4ドア車においてはFig.18に示すようにパッケージトレイの前端に閉断面を設け、キャブサイドインナーへ結合させる構造とし、剛性を向上させた。

(3) 達成性能

操縦安定性に密接に関係するボデー部位であるフロント、リヤサスペンション取付部の4輪多軸加振機による横振り加振時の変形状態をFig.19に示す。これらの個所の変形は、前項で述べた構造の採用により、操縦安定性が高いとされている競合他銘柄車と比較しても小さく抑えられて

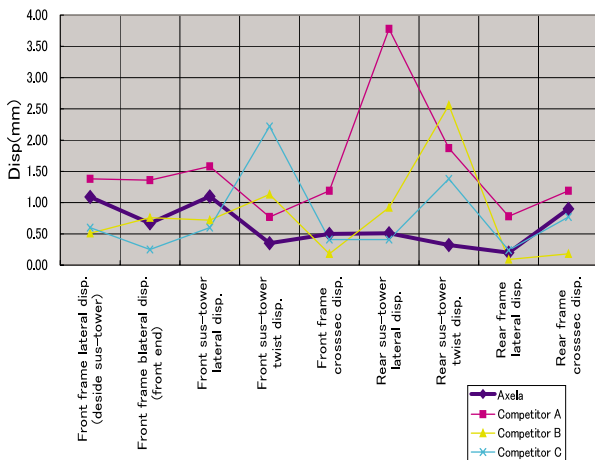


Fig.19 Body Rigidity

いることがわかる。結果、従来のコンパクトカーのレベルを超えた操縦安定性を支えるボデーが実現できている。

4. おわりに

以上、アクセラのダイナミクス性能を支えるシャシーとボデーについて、開発の狙い、構造と特徴、達成性能を簡単に紹介した。

アテンザ、デミオ、RX-8の開発を通じて培った技術と知見をもとに、マツダのDNAをコンパクトカーで実現すべく、基本を押さえながら細部へのこだわりを追求した。その結果、クラスを超えた操縦安定性、乗り心地、制動性能と静粛性を持つプラットフォームを実現できた。

このプラットフォームは、今後、様々な車種へ展開する予定である。アクセラは、このプラットフォームが持つポテンシャルを余すところなく具現化していると確信しているが、今後、更にそのポテンシャルを向上させるべく育成に努めていく。

著者



和田仁法



渡邊雅哉



熊田拓佳



高橋宏行



林 義博



飯田英一朗