

特集：SKYACTIV TECHNOLOGY

7

SKYACTIV-シャシーのダイナミクス性能

Dynamics Performance of SKYACTIV-CHASSIS

村田 親^{*1}

Shin Murata

中村 聡^{*4}

Akira Nakamura

岩野 光男^{*2}

Mitsuo Iwano

戸田 良二^{*5}

Ryouji Toda

田中 稔^{*3}

Minoru Tanaka

林 義博^{*6}

Yoshihiro Hayashi

要約

SKYACTIV-シャシーは、走る歓びの更なる進化と環境性能に貢献する大幅な軽量化を実現した上で、「人馬一体のドライビングプレジャー」と、快適性や安心感改善による「走りの質」の向上を実現した。このブレークスルー技術の基本構造を共通としながら、サスペンションジオメトリやステアリングギヤレシオ、その他多くの細かな造りこみを行うことで、クロスオーバー SUV の CX-5 と、フラッグシップセダンの新型アテンザのキャラクタへ進化させた。また、車両応答と操舵力の関係をリニアに見直し、他のダイナミクスフィールと調和させ、クルマ全体で一体感を実現した。これらのダイナミクス性能の進化を実現しながら、骨格の最適化などにより大幅な軽量化を達成した。

Summary

With further evolved fun-to-drive and significant weight reduction to support environmental friendliness, Mazda SKYACTIV-chassis has also achieved “enhanced driving pleasure with oneness between a driver and a car”, and improved “driving quality” with enhanced comfort and a sense of confidence. With this technological breakthrough and base structure used as in common, suspension geometry, steering gear ratio and many other detailed specifications were developed to characters of CX-5 as crossover SUV and New ATENZA as a flagship sedan. Furthermore, oneness between a driver and a car was achieved by linearly-related vehicle response and steering wheel torque. With these evolved dynamic performance, significant weight reduction was also achieved by optimization of base structure.

1. はじめに

SKYACTIV-シャシーは走る歓びの更なる進化と環境性能に貢献する大幅な軽量化を実現し「人馬一体のドライビングプレジャー」の向上、安心感や快適性の改善による「走りの質」の向上を狙い、サスペンション・ステアリング機能を根本から見直すことで、一体感・安心感・快適性の間にある背反性能を高次元で両立するため、技術開発によるブレークスルーを実現した⁽¹⁾。

本稿では、マツダ新世代商品のトップバッターでクロスオーバー SUV の CX-5 と、これまでスポーティな走りでの好評を得てきたフラッグシップセダンの新型アテンザについ

て、SKYACTIV-シャシーのブレークスルー技術と基本構造を共通としながら、それぞれの異なるキャラクタをどのように具現化したか、その手段と達成性能を紹介する。

2. 開発のねらい

SKYACTIV-シャシーは、基本機能に立ち返りその役割分担を見直すことで、以下の一体感・安心感・快適性の間に存在する背反課題の両立（ブレークスルー）に取り組んだ。

- (A) 中低速域の軽快感と高速安定性の両立
- (B) 中低速域の軽快感と乗心地の両立
- (C) 軽量化とダイナミクス性能、NVH 性能の両立

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

*6 NVH 性能・CAE 技術開発部
NVH & CAE Technology Development Dept.

*4, 5 操安性能開発部
Chassis Dynamics Development Dept.

これに加え、現行プレマシーから注力してきた、「走る・曲がる・止まる」に関する他のダイナミクスフィールとの「統一感」の実現を SKYACTIV-シャシーの進化として取組んだ。ドライバの操作とクルマがシンクロしたような、予測しやすいリニアなフィードバックを得られることを狙った。加えて、他のダイナミクスフィールとの調和により「一体感を持ってクルマを操る喜び」の実現を目指した。

これらのダイナミクス性能を向上しながら、お客様に提供する商品として様々な要件を満足させるべくサスペンション・ステアリングシステムの開発を行った。

CX-5 は新世代クロスオーバーSUV として悪路走破性を担保しながら「乗用車に近い運転感覚」を併せ持った競合車にない魅力としてオンロード性能に注力した。

新型アテンザでは、現行モデルの「軽快でスポーティな走り」をいっそう進化させる。フラッグシップとしてスムーズなストローク、インパクト入力を抑えた質感の高い乗心地と、予見性のある挙動で欧州競合車レベルまで安定性を向上させつつ、ドライバの期待どおりの挙動となるよう操舵フィール、初期応答、ロール姿勢を造りこむことで欧州プレミアム車同等以上の「意のままに操る楽しさを実感する真のZoom-Zoom」の実現を目指した。

3. 達成手段

3.1 構造と特徴

SKYACTIV-シャシーでは、性能と軽量化の高次元のバランスを狙い、フロントにマクファーソンストラット式サスペンションを、リヤに E 型マルチリンク式サスペンションを新開発した(Fig.1,2)。CX-5 と新型アテンザは車幅、車高やタイヤサイズ等の車両諸元の違いに適合させながら、共通の基本構造を実現した。

ステアリングは軽量かつ燃費性能の高いコラム式電動パワーステアリングを採用、ハードとソフト面に工夫を施しシステムを新開発した。ハード面ではブラシレスモータ採用によりイナーシャ感およびフリクション感を低減、また、ソフト面は従来制御では操舵トルクおよび車速情報でのアシスト量調整だったのに対し、新制御では絶対舵角およびハンドル操舵方向を情報に加えより緻密でフレキシビリティの高いアシスト量調整を可能にした。

3.2 (A) 中低速域の軽快感と高速安定性の両立

SKYACTIV-シャシーでは特に後輪のコーナリングパワーを増加させ安定性を高めた上で、ステアリングギヤレシオを高速化しヨーレイトゲインを高め、パワーステアリングのアシスト量を最適化することで、中低速の軽快感と高速安定性を両立させた。

後輪のコーナリングパワーを増加させるため、サスペンションのリンク配置とブッシュばね定数を最適化した。横力コンプライアンスステアをトーイン特性としつつキャ

ンバコンプライアンスを適値に設定、ロールステア変化を調整し、コーナリングパワーに占めるサスペンションジオメトリ、コンプライアンス分の割合を増加させた。

CX-5 と新型アテンザはコンプライアンスとロールステア変化量で必要なコーナリングパワーを調整した。CX-5 は SUV としての穏やかな動きを持ちながら乗用車に近い運転感覚を得るのに必要十分なコーナリングパワーを設定し、新型アテンザではより高速までをカバーしながらスポーティセダンにふさわしい軽快な応答を実現するため大幅に増加させた (Fig.3)。



Fig.1 Front Suspension and Steering



Fig.2 Rear Suspension

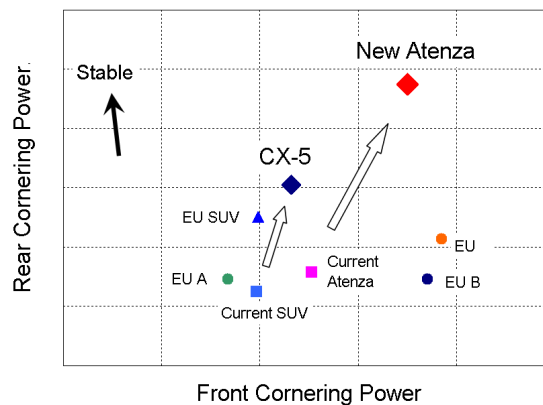


Fig.3 Rear Cornering Power Comparison

トータルギヤレシオは CX-5 の 15.5, 新型アテンザの 14.2 と現行比約 10% 高速化し中低速のヨーレイトゲインを増加させた。

フロントサスペンションはキャスト角を約 7deg と大きく取りキャストトレールを拡大することで, セルフライニングトルクを増やしステアリングホイールの手応え増加, 外乱に動じない安定性を確保した。また, 車速や操舵角, 操舵速度に応じたきめ細かなアシスト特性を持たせ, 様々なシーンに適応した操舵フィールを実現した。

3.3 (B) 中低速域の軽快感と乗心地の両立

サスペンションのジオメトリとコンプライアンスを最適化することで, 車両運動に必要なコーナリングパワーに占めるタイヤ接地荷重変動成分を減らした, これによりダンパ減衰力とブッシュのばね定数を低くでき, 軽快感と乗心地を両立させた。また, リヤダンパはアクスルに取り付け点を設けることで, ダンパレバー比を 1.0 とし減衰力の応答を向上させた。

前後入力を主に受け持つトレーリングリンクはボデー取り付け点を, 現行アテンザ比 45mm 上方に設置し上下ストロークに対する後退軌跡を大きく取った。これにより突起乗り越し時のショックや粗粒路面の細かな入力をリンク前後方向に伝えにくくして車体乗員位置の振動を低減した。

3.4 (C) 軽量化とダイナミクス性能, NVH 性能の両立

SKYACTIV-シャーシでは基本骨格の最適化により軽量化と高剛性の両立を実現した。

リヤサスペンションクロスメンバのボデーマウントはラバーマウントとし, フロントペリメータフレームは従来のラバーマウントからリジッドマウントとすることで, 操舵時の剛性感や応答遅れと NVH や乗心地を両立しながら全体で軽量化を計った。

サスペンションの構造部材は, 入力をストレートに受け止めるよう最適化した基本骨格とすることで薄板化ができ, 軽量化と高剛性の両立をはかった。例えば, リヤサスペンションクロスメンバは現行から約 20% の軽量化をしながら剛性は同等を達成した。

ロードノイズの低減は, サスペンション部品の共振点を重なり合わないように調整することで, 特定の周波数の音が大きくなることを防止した。部品ごとの共振点配置を Fig4 に示す。更にホイールについては, 各部位の構造とロードノイズに寄与の大きい特性との関係を解明することで, デザイン性を確保しながら最も重量効率が優れる仕様を導出, 大径化に関わらず重量増加を最小限に抑え, 大幅な特性改善を実現した。

サスペンションブッシュは, 前述のように軽快感と乗心地を両立しながら, ばね定数を低減させたが, 更にロードノイズに寄与の高い部位のブッシュについては, 構造とラバー材料を工夫することで動的ばね定数の低減に配慮した。たとえばフロントストラットマウントは現行比 24% 減, リ

ヤクロスメンバブッシュは約 80% と大幅に低減した。

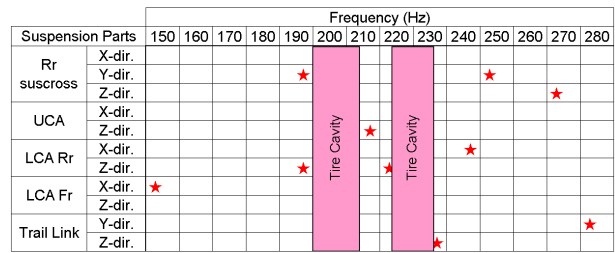


Fig.4 Suspension Modal Map

3.5 ダイナミクスフィールの統一感の実現

SKYACTIV-シャーシの進化として取り組んだダイナミクスフィールの統一感とは, 車両のヨーレイト, 横 G およびロール応答の位相遅れを適正化し, 車両応答のつながりを向上, 操舵力と車両応答の関係を, 切り込み側のみならず戻し側も見直すことにより, リニアでドライバ操作と車両の一体感が得られることに注力した。このために, コーナリングパワーの前後輪のバランスを微妙に調整しヨーレイト, 横 G 応答のリニアなつながりを実現した。

ロール軸は前下がりのダイヤゴナルな設定にするとともにアンチダイブ/スクワット, アンチリフトジオメトリの最適設定を行った。CX-5 はセダン比で高い重心に合わせてロールセンターを高く設定した。

スムーズなストローク感を実現するためフロントコイルスプリングの配置と横力制御量を適正化, フロントロアアーム前後ブッシュ特性のバランスにより抗力を減らしストロークに対するフリクション低減を行った, リヤサスペンションでは従来に対して十分長いリンク長を確保しブッシュのねじり角度変化を抑え二重ブッシュとしてストローク抗力を低減した。

その上で CX-5, 新型アテンザそれぞれのキャラクタにあわせ, 前後のスプリングとスタビライザの調整により, ばね上の動き量と動きモードを造りこんだ, これらにより荷重移動に対して初期からスムーズでリニアなサスペンションストローク感, ボデーモーションを実現した。

4. 達成性能

SKYACTIV-シャーシでは走る歓びの更なる進化「人馬一体のドライビングプレジャー」の向上, 快適性や安心感改善による「走りの質」の向上を目指してきた。これらの基本性能のポテンシャル向上の造りこみに加えて, 個別車種としてのキャラクタ造りに注力した。

CX-5 は SUV としての穏やかな動きを持ちながら, 一体感のある乗用車に近い運転感覚で競合車にない魅力を狙い, 新型アテンザでは上質で気持ちのよい走りを目指して, より高速域までをカバーしながらスポーティセダンにふさわしい一体感のある応答の実現を目指した。これらの達成性能を以下に紹介する。

4.1 人馬一体感と安心感の達成

Fig.5 に車速によるヨーレイトゲインの変化を示す。後輪のコーナリングパワーを増加させ、ステアリングギヤレシオを高速化することで、ヨーレイトゲインを中低速では高く、高速域では低くすることを目指した。

CX-5、新型アテンザとも現行と比較して、ピークはより低速側に移動し、中低速ではヨーレイトゲインを高く軽快に、高速ではゲインを低く安定感を得ることを達成した。その上で、CX-5 は SUV としての一体感を得るのに十分高いヨーレイトゲインを設定し、新型アテンザは、より高いゲインを持たせることで、スポーティセダンに相応しい軽快感を実現した。欧州現地で 200kph の高速域でも安心感が大幅に向上していることを確認できた。

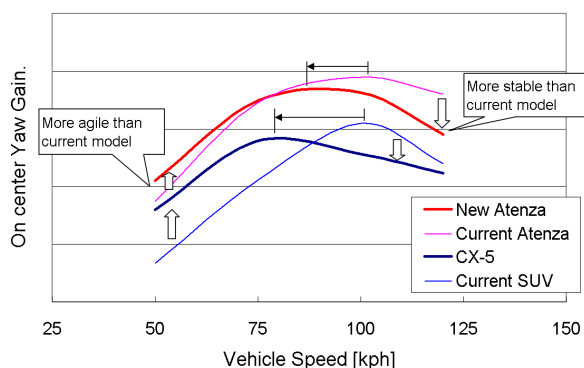


Fig.5 Improvement of Yaw Rate Gain

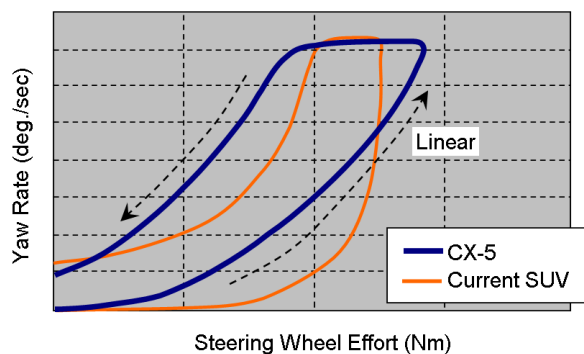


Fig.6 Steering Torque-Yaw Rate Linearity

統一感の実現については、操舵力と車両応答の関係を見直した。Fig.6 に操舵力と車両応答の一例としてヨーレイトの関係を示す。ヨーレイト、横 G 応答やロールなどの動きがリニアでスムーズにつながるよう造りこむことに注力した。これに加え、パワーステアリングのアシスト特性を小舵角付近では操舵力を軽めにして明確で軽快に、舵角が進むとアシストを小さく重めでしっかりした感じを出すことで、車両応答と手応えのリニアな関係を実現した。また、切り込み時にリニアと感ぜられる特性の実現と、戻り側でのコントロール性を向上させる適切なヒステリシスの

設定を行った。

CX-5 では重心の高い SUV で軽快感と安心感を両立させるため、特にロールのモードの造りこみに注力した。Fig.7 はブレーキング～ターンイン～定常旋回の一連のシーンの中で、ターンインの瞬間の四輪それぞれの上下変位、つまりロールモードを示したものである。CX-5 のロールはダイアゴナルモードが強く、前輪の旋回外輪はしっかり沈みこみ、内輪は浮きが小さく抑えられ不安感なく軽快と感ぜられる、また、定常に至る過渡的な動きの変化を穏やかにして、ドライバが感ぜる車両の応答性を弱アンダーでリニアな特性に合わせ込んだ。

新型アテンザでは、更に応答遅れを短縮しながら、コーナリングではステアリングを切った分だけのリニアなフィードバックから感ぜる一体感のある操舵フィーリングとコントロール性、フロントの内外輪がしっかりと路面をつかんでカーブを曲がりきる、意のままの運転感を実現した。

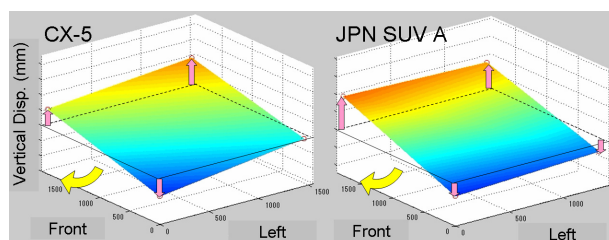


Fig.7 Roll Mode Comparison

4.2 快適性の達成

快適性では乗心地とロードノイズ性能の向上を実現した。突起乗り越し時のインパクトショック入力レベルを Fig.8 に示す。大径タイヤで地上高を確保した SUV は後退軌跡が取りやすくインパクト入力は低く抑えやすいが CX-5 は競合車と比べても低いレベルを達成した。新型アテンザも軽快感を確保しながら欧州プレミアム以下のショックレベルに抑えた。また、荒れた路面でのビリビリ、ゴツゴツとした振動レベルも低減し、入力を抑えスッキリとして減衰感のある質感の高い乗心地を実現した。

Fig.9 は粗粒路ロードノイズの音圧レベルを示すが、前述のようなダイナミクス性能と軽量化で進化を実現しながら、現行車からの低減を達成した。新型アテンザは更に欧州プレミアム車並みの上質さを出すため一段低いレベルを実現した。

まとめとして SKYACTIV-シャシーで目指した「人馬一体のドライビングプレジャー」の向上、快適性や安心感改善による「走りの質」の向上についての達成状況を Fig.10,11 に示す。

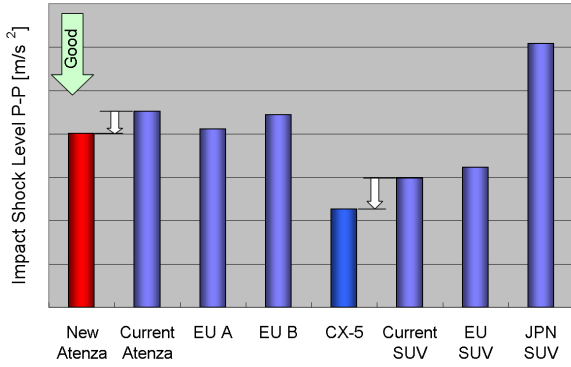


Fig.8 Result of Impact Shock Measurement

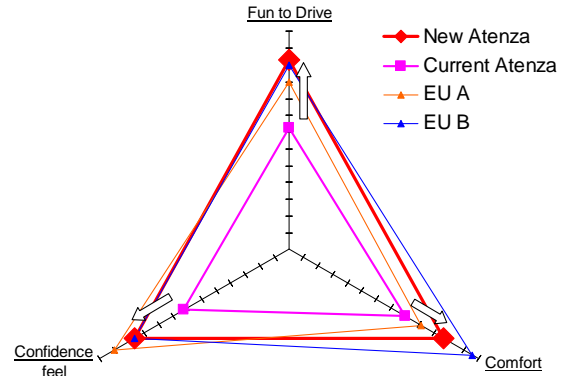


Fig.11 New Atenza Dynamics Result

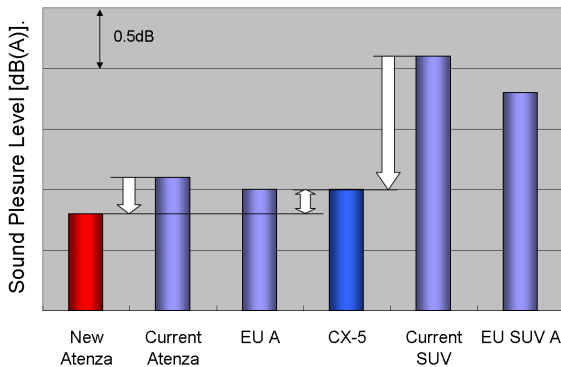


Fig.9 Result of Coarse Road Noise Level

5. おわりに

SKYACTIV-シャシーのダイナミクス性能について、CX-5 と新型アテンザの商品開発のエッセンスを紹介した。チームはマツダのダイナミクス性能レベルを大きく引き上げられたと自負しており、CX-5 も市場で好評に受け入れられている。今後、更なる高みを目指して取り組みを続けていく。

参考文献

- (1) 山本忠信ほか:SKYACTIV-シャシー, マツダ技報, No29, pp.53-60 (2011)

評価指標は一体感・安心感・快適性の3軸で定義しているが、この3軸はお互いに背反するため、三角形の大きさは、つまりシャシーのポテンシャルの高さを表現している。

CX-5 は快適性で欧州競争車レベルをキープしながら一体感・安心感でそれを超える性能を達成した。

新型アテンザも大幅なポテンシャル向上を達成し安心感・快適性で欧州プレミアム群と同等に、一体感では同等以上を達成し、質が高く意のままの走りを実現した。

これらのダイナミクス性能の大幅なポテンシャルアップを達成しながら、サスペンション・ステアリングの重量は現行に対して約28kg(新型アテンザ)低減し環境性能に貢献する大幅な軽量化を実現した。

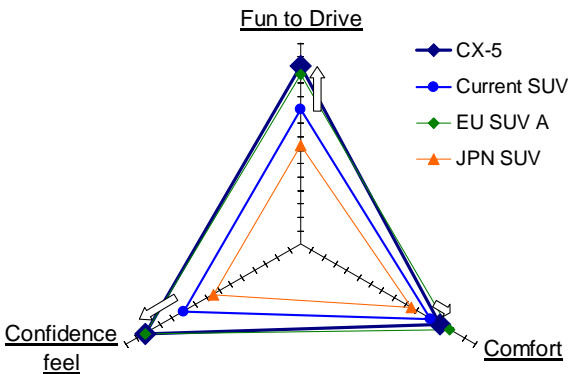


Fig.10 CX-5 Dynamics Result

著者



村田 親



岩野 光男



田中 稔



中村 聡



戸田 良二



林 義博