

特集：新型CX-9

8

新型CX-9の軽量・高剛性ボディーシェル Light-weight・high-rigidity Body Structure of New CX-9

吉武 晃司*¹ 清下 大介*² 兼森 正英*³
Koji Yoshitake Daisuke Kiyoshita Masahide Kanemori
川野 晃寛*⁴ 中内 繁*⁵
Akihiro Kawano Shigeru Nakauchi

要 約

新型CX-9は、マツダのハイエンドモデルであり、マツダ技報29号で発表したSKYACTIV-BODY⁽¹⁾技術を基に、ホイールベースを延長し、3rdシートを搭載したパッケージに発展させた商品である。このパッケージの実現とともに、高い操縦安定性と衝突安全性、突き抜けた静粛性を、先代モデルからの質量増加なしで実現することを目指した。この達成手段として、各性能の寄与度が高い部位を見極め効率的に強化し、各ロードパスの分担荷重が車両トータルで最も効率的となるように配分を決めて強化した。これらを、CAE検証を繰り返して行うことで適正構造にした。

この結果、先代モデルに対して、ねじり剛性60%向上、市場評価で最高ランクを獲得可能なボディー強度の確保(社内テストによる)、静粛性向上を果たした。また、7.3kgの軽量化を実現し、ベストインクラスに肉薄するボディーシェル質量も達成した。

Summary

The All-New CX-9 is Mazda's high-end model, based on the SKYACTIV-BODY technology that was presented at the Mazda Technical Review No.29, extending the wheelbase, is a commodity that has developed long wheelbase and the layout package the 3rd sheet. CX-9 is aimed at realization of package and high steering stability, high crash safety and extremely high quietness performance without the weight increase from the previous model. To realize them, to strengthen effective area seeking the high contribution of each performance, to strengthen the amount needed each part that reconsider the load path, an optimal structure was developed by repeated CAE studies.

As a result, the torsional stiffness has increased by 60%, ensuring of body strength that it's capable to getting the best rank by a market evaluation (according to the internal test), and silence performance has improved from the previous model. Furthermore, while reducing the weight approximately 7.3kg, was closely achieved a body shell weight Best-In-Class.

1. はじめに

マツダのボディーエンジニアの使命は、「高性能なボディーを軽く設計すること」である。新型CX-9も「人馬一体」を感じていただける商品を目指して、SKYACTIV-BODYで初めての3列シート車に挑戦し、ハイエンドモデルに相応しい性能をもちながらも、先代モデルより軽量のボディーを実現した。この過程には、さまざまな問題の発生と解決の繰り返しがあったが、その都度、原理・原則に立

ち返って検討し、一つ一つの部位に命を吹き込んできた。本稿では、各性能開発に焦点を当て、軽量化しながら劇的な進化を可能にした設計手法や構造について紹介する。

2. 3列シート車用プラットフォーム

新型CX-9は、生産設備の共通化とボディーの軽量化を実現するため、先代モデルで採用しているラダーフレーム構造ではなく、CX-5から踏襲してしたSKYACTIV-

*1~5 ボデー開発部
Body Development Dept.

BODYを派生させて新設した(Fig. 1)。具体的には、3rdシート導入の影響を受けないNo.3クロスメンバーより前方は、部品自体や形状の共通化を積極的に行い、板厚や材質の変更と部分的な強化により各性能の向上を図った。No.3クロスメンバーより後方では、リアフレームの高さを下げて3rdシート乗員の居住空間を確保することをはじめ、CX-5からの諸元変更量に合わせて部材を新設し、質量やコスト、機能の適正化を図った。

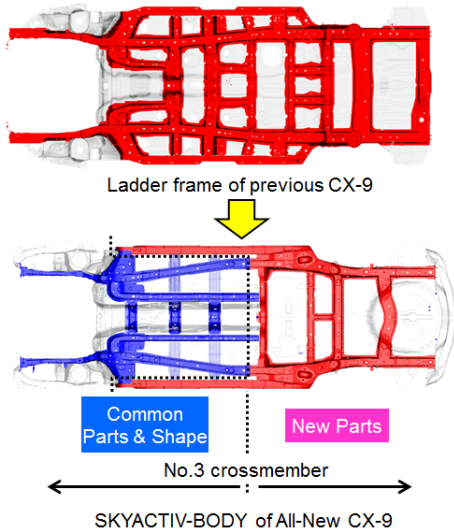


Fig. 1 Derivation of Platform

3. NVH性能 (静粛性)

新型CX-9は、本技報の特集6でも紹介した突き抜けた静粛性の実現を目指して開発を進めてきた(Fig. 2)。ここではボディー領域での貢献事例を3つ紹介する。

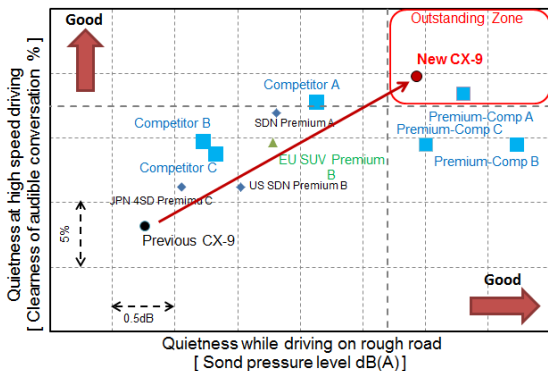


Fig. 2 Balance Chart of Quietness

3.1 板厚適正化による「会話のしやすさ」の向上

新型CX-9では、高速走行域の「会話のしやすさ」を向上させるため、特集6で紹介した内装領域の工夫と並行し、ボディーパネルの板厚アップにより遮音性を高めた。各パネルの板厚は、フレキシブル生産性への影響の有無と、衝

突性能や操縦安定性といった他機能への寄与度も明確にしながらか決定した(Fig. 3, Table 1)。

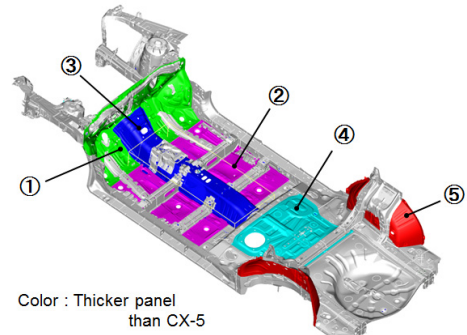


Fig. 3 Widening the Panel Thickness

Table 1 Effect by Widening the Panel Thickness

	Noise Insulation	Crash Safty	Steering Stability	Strength
① DASH LOWER	○	○	×	×
② FRONT FLOOR	○	○	○	×
③ TUNNEL	○	○	○	×
④ CENTER FLOOR	○	×	○	×
⑤ RR WHEEL HOUSE	○	×	×	○

3.2 パネル等価放射パワー (ERP)改善による

「荒れた路面での音圧」の低減

荒れた路面での音圧低減は、特集6で紹介したとおり、ERPという指標を用いて開発を進めてきた。ボディーでは、ダッシュロアやフロア、ルーフなどの領域ごとに、寄与度の高い周波数帯におけるERP目標を設定し、遮音性を高めるためのパネルの板厚アップに加えてパネル形状や塗布型制振材^②を最適化したことで、先代モデルからの性能改善に貢献した。

パネル形状は、ビードと面剛性を高める曲面形状を適正に配置した (Fig. 4)。各部位において、ねらいとする周波数帯は複数存在し、周波数帯によってパネル振動は異なる挙動をするため、それぞれの周波数帯の挙動を確認し、最も効果的なパネル形状とした。

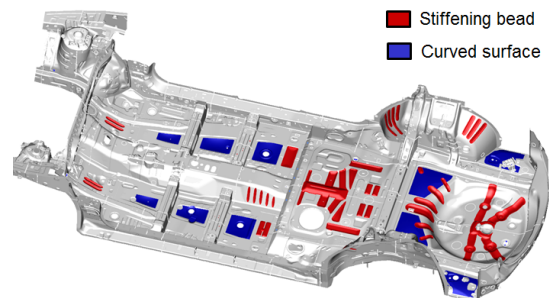


Fig. 4 Optimization of Body Panel

次に塗布型制振材の最適化事例を紹介する。トランクフロアパンへの塗布パターンはCAEの最適化計算で求め、重量効率を最大限に高めた。これにより最適化前の仕様に比べ、0.2kgの質量低減をしながらERPを改善した(Fig. 5)。

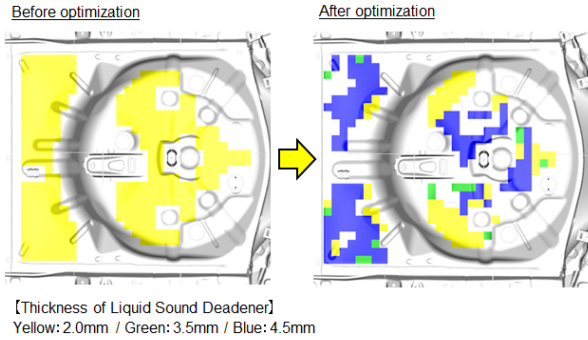


Fig. 5 Optimization of Liquid Sound Deadener

3.3 材料の見直しによる軽量化と

「会話のしやすさ」の向上

空力性能の要求が高まるにつれ、アンダーカバーの設定範囲が増え、質量も増加の一途を辿っている。先代モデルはフロア下カバーにPP材を用いていたが、新型CX-9では、軽量で吸音機能を有するガラス繊維入りPP材を採用した。またその前後分割部の構造では、前側のフロア下カバーをフロア面近くまで持ち上げて、ボディーとの隙間を減らすことで遮音性を高める工夫も施した(Fig. 6)。これによりPP材比で約2.0kgの軽量化を達成しながら、高速走行域での「会話のしやすさ」を向上させた。

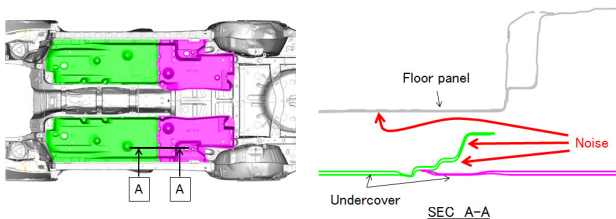


Fig. 6 Section on Division Part of Undercover

4. 操縦安定性

新型CX-9は、CX-5比でホイールベースを230mm延ばして3列シート化したことで、フロントの軸重が10%、リアの軸重が30%増加し、タイヤの大径化に伴うトレッドの拡張で横力も増加する。このホイールベース延長と入力増加により、操縦安定性の指標にした箱感⁽³⁾を測る部位の変位が、CX-5比で約2倍にも大きくなることを、同等以下に抑える構造を検討してきた。本章では、車体剛性と各部位の支持剛性の向上により、箱感の目標達成とねじり剛性をCX-5比で20%、先代モデル比で60%以上向上させた構造事例を4つ紹介する。

4.1 フロントサスペンションタワー部の支持剛性向上

フロントサスペンションタワー部は、前面衝突性や強度・信頼性の確保にも効果的なサスペンションハウジングアッパー・ロアの板厚アップに加え、カウルメンバー固定

BRKT, レインフォースメントの板厚アップ, ボディーとの固定点を増加することで支持剛性を向上させた(Fig. 7)。

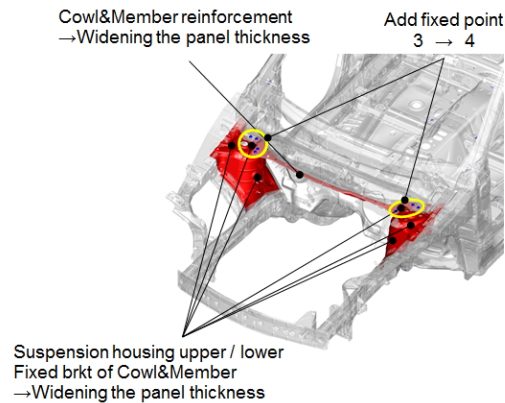


Fig. 7 Rigidity Improvement of Front Suspension Tower

4.2 ドア開口変形の抑制

ホイールベース延長に伴い、フロントとリアボディーの変形位相差が増加することも課題であった。これについては、ドア開口の変形を抑制することで改善した。

まずヒンジピラー下部は、衝突対策も兼ねたレインフォースメントを追加して(Fig. 8①), Bピラー上部はコーナーRの寸法拡大で強化した(同②)。リアドア開口後部下側のコーナーは、厚板のサイドシルレインフォースメントを上へ引っ張り(同③), ホイールハウスの最小断面になる部位にはガセットを追加し、断面崩れを抑制した(同④)。Cピラー上部は、レインフォースメント同士を重ね合わせ、開口部のコーナーRを強化した(同⑤)。この各コーナー部の強化でドア開口の変形を抑制し、フロントとリアボディー間の変形位相差を低減させた。

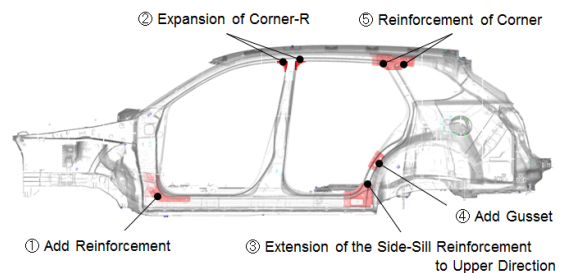


Fig. 8 Reinforcement of Door Opening

4.3 リアボディーのボックス変形の抑制

リアの軸重増加に加え、商品性目標としてCX-5同等のロール率を確保するために、スプリングのバネレートも上げた。この対応として、CX-5以降車体剛性確保の肝として踏襲してきたCピラー環状構造の機能配分を見直した。具体的には、リアフレームからCピラーに向け連続断面を通し(Fig. 9①), これをNo.4クロスメンバーと結合し(同

②), これらを3rdシートの下, 横の空間の中に直線的に配置したブレイスで結合することで, 環状構造の機能を向上させた(同③)。更に, ダンパートップとクォーターウィンドウのガゼットを, Cピラー方向へ直線的に向け直し, ダンパートップの支持剛性を高めた(同④)。これらの構造の見直しにより, 箱感に効果が高い部材でも1%/kg程度の質量効率である中, 約2.7%/kgの質量効率を誇る新環状構造を実現した。

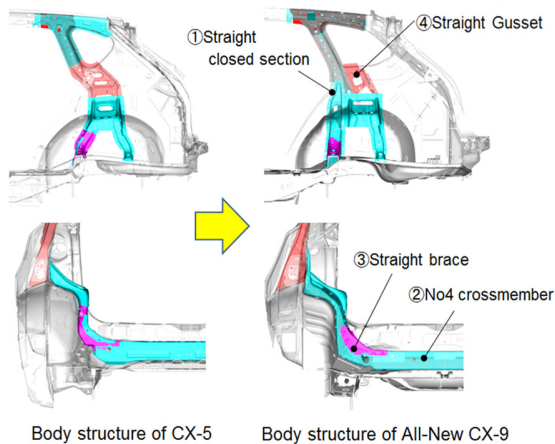


Fig. 9 Ring Structure of C-Pillar

次に, リフトゲート開口部は断面を拡大して, 断面内のレインフォースメントをリアヘッダーへつなげて連続断面化した(Fig. 10①)。更に, クォーターウィンドウ上部を強化するアウター側のレインフォースメントと, リフトゲート開口上部のコーナプレート稜線が通るように, この結合部を節化した(同②)。クォーターウィンドウ下部は, リアピラーインナーの形状に稜線を入れ, リフトゲート開口断面へと通した(同③)。これらの構造の適正化に加え, 主要となるレインフォースメント同士の結合部に, 高剛性発泡充填材を配置して断面崩れを抑制することで, リフトゲート開口の対角変位も抑制しながら, 新環状構造とでリアボディーのボックス変形を抑制した。

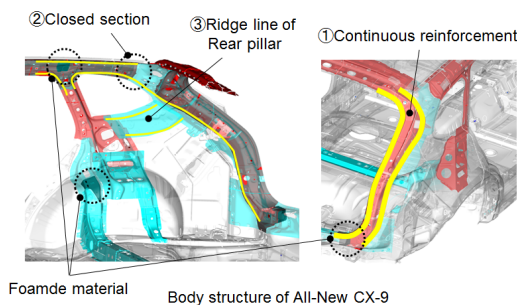


Fig. 10 Change of Rear Body Structure

4.4 トレーリングリンク固定部の変形抑制

No.3クロスメンバーの下には, 側突のロードパスの機

能もたせたトンネルメンバーを追加した。トンネル下を左右に橋渡することで, No.3クロスメンバー付近でのボディーの上下変形を抑制でき, 更にトレーリングリンク固定部を2階建て構造化し, ボルトを上下2点支持に変更することで, 支持剛性も向上させた(Fig. 11)。

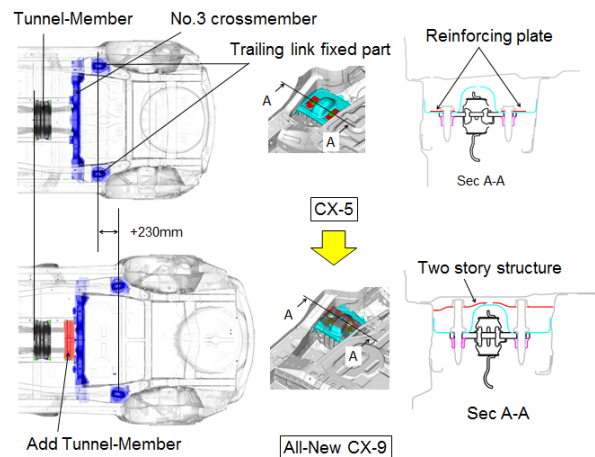


Fig. 11 Body Structure of Trailing Link

5. 衝突安全性

新型CX-9は, 市場評価で最高ランク獲得を目指し開発を行った。CX-5比で290kgの車重アップをエネルギー吸収するために, SKYACTIV-BODYを更に進化させたフロントキャビン, リアボディー周りの開発事例を紹介する。

5.1 米道路安全保険協会 (IIHS) のスモール

オーバーラップ評価最高ランク獲得に向けて

CX-5からの車重アップにより増加した衝突エネルギーを全てキャビンで受けた場合, 2倍程度の耐力が必要であった。そのため, 衝突時の車両挙動のコントロールや, 荷重の分散構造 (マルチロードパス化) によりキャビンが受ける衝突エネルギーを減らした。こうして, キャビン各部位の必要な耐力増加量を最小限に抑えた上で, 各部位の詳細設計に着手した。

(1) Aピラー断面の適正化

AピラーはCX-5比で1.2倍程度の耐力向上が必要であった。板厚やハイテン率をCX-5から据え置くと, 断面の幅と厚みを約10mm以上拡大する必要があり, 視界の悪化だけでなく, Aピラーを細く見せたいデザイン意図を実現できない問題があった。しかし, 板厚やハイテン率を上げると質量とコストがかかるだけでなく, 成形性の難易度も上がってしまう。そこで, 前面衝突・側面衝突・ルーフラッシュ性能に寄与する必要な軸を定義し, その軸周りに発生するモーメントに耐えるように, 各部品の断面形状や板

厚, 材質をユニットCAB評価により最適化した。その結果, 断面の拡大量は厚み方向に3mmで抑えられ, 視界とデザイン意図を実現した(Fig. 12)。

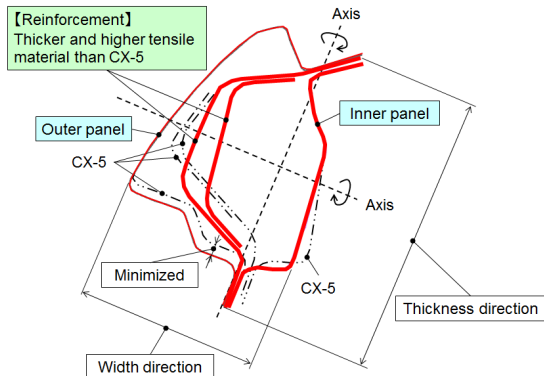


Fig. 12 A-Pillar Section

(2) 乗員生存空間を保つためのヒンジピラー二分割構造
 バリアに押し込まれたホイールにより, ヒンジピラー断面のドアヒンジ取付部へ局所的な入力に加わり, ヒンジピラー断面が崩れ, 内倒れを引き起こし, キャビンの変形量を増幅させる要因となる。ヒンジピラー断面からドアヒンジ取付構造(Fig. 13①)を, ドア保持剛性や取付強度を確保したまま, 二分割構造とすることで, 衝突時の断面崩れをドアヒンジ取付部に留め, 断面本体(同②)の崩れを抑制した。また, ヒンジピラー自体も板厚アップや高ハイテン化し, ダッシュロアとヒンジピラー結合部をガセットやレインフォースメント(同③)で強化し, キャビンの変形量を抑制した。

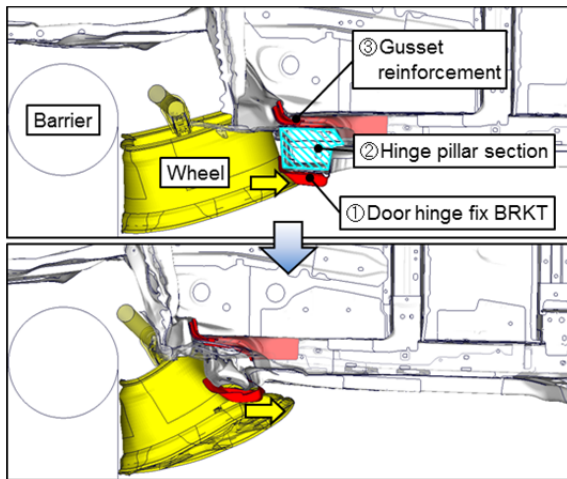


Fig. 13 Deformation Mode of Hinge Pillar

(3) 前面衝突時に側面衝突ロードパスを有効活用したサイドシル

ロードパスを有効活用できるように, サイドシルとフロアの各結合部に配置したレインフォースメントの形状を見

直すことで, 材質と板厚のアップ量を必要最小限に抑えることもできた。先述したヒンジピラーによって, 車両側面に押し出されたホイールはサイドシルを車両内側へ押し込む。それにより, サイドシルは正面のバリアと側面のホイールの二方向から荷重を受け, 内折れを引き起こす。これもキャビンの変形量を増幅させる要因となる。側面衝突ロードパスであるサイドシルとNo.2クロスメンバーの結合部を強化し, ホイールによりサイドシルに入る荷重を側面衝突ロードパスに効率よく伝達させることでサイドシルの内折れを抑制した(Fig. 14)。

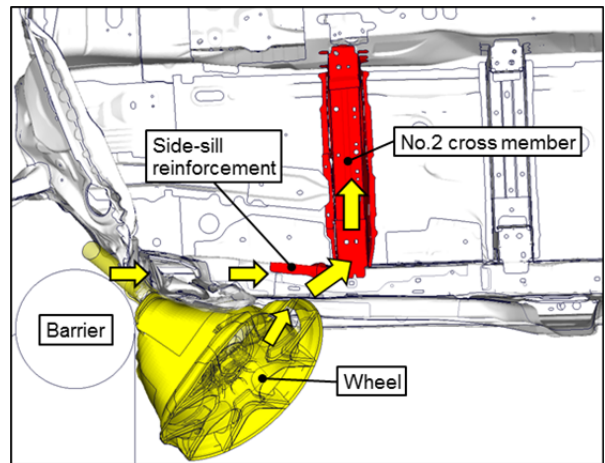


Fig. 14 Detailed Design of Side-Sill

5.2 後面衝突時における3rdシート保護

新型CX-9のリアボディ開発においては, 後面衝突時にSKYACTIV-BODYで初搭載となる3rdシートを保護するために, 二つのポイントに注力した。

一つ目は, 3rdシート後方での高いエネルギー吸収の実現である。サスペンションクロスメンバー締結部より前方のリアフレームのくびれをなだらかにし, 断面を確保することで耐力を上げるとともに, 延長したリアフレーム後方のWハット断面をストレート化することで, 高いエネルギーを効率的に吸収できる構造とした(Fig. 15)。

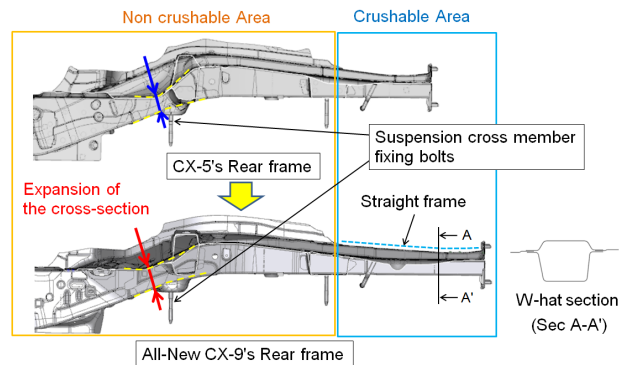


Fig. 15 Changed of Rear Frame

二つ目は、3rdシートにアタックしにくいスペアタイヤの搭載姿勢である。タイヤを前傾搭載し、後面衝突時には3rdシートとサスペンションクロスメンバー間に設けた空間に潜りこませることで、3rdシートのクッションを下から突き上げない構造とした(Fig. 16)。

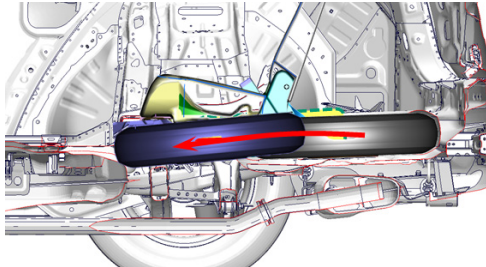


Fig. 16 Concept of Moving Spare Tire

6. 質量

新型CX-9のホワイトボディは、先代モデルと同等のサイズながら各性能を大幅に向上させた上で、7.3kgの軽量化を実現し、ベストインクラスのボディーシェル質量に近づけた(Fig. 17)。この軽量化は、先述したような構造の適正化に加えて、高ハイテン化やフロントフェンダーのアルミ化により実現することができた (Fig. 18)。

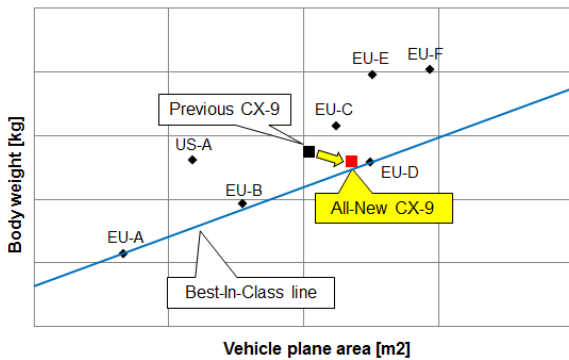


Fig. 17 Vehicle Weight per Projected Area

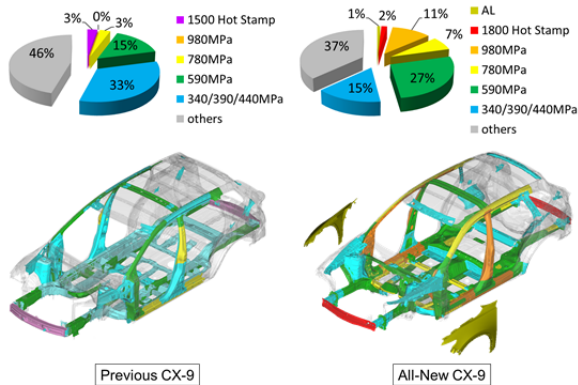


Fig. 18 Application Rate of Sheet Metal

7. おわりに

新型CX-9は、次世代を見据えた新技術を取り入れながら、ハイエンドモデルに相応しい性能を実現することができた。これらの成果は、企画・デザイン・設計・実研・生産技術及び製造部門が同じ志をもち、ONE MAZDAで活動することにより成し得ることができたと考える。今後もお客様により喜ばれる商品を提供するため、ONE MAZDAで商品開発を進化させていく所存である。

参考文献

- (1) 木村隆之ほか：SKYACTIV-ボディ，マツダ技報，No.29, pp.61-67 (2011)
- (2) 高崎政憲ほか：塗布型制振材の高精度塗布工法，マツダ技報，No.30, pp.234-239 (2012)
- (3) 松岡秀典ほか：新型デミオ・CX-3の軽量ボデーシェル開発，マツダ技報，No.32, pp.48-55 (2015)

■ 著 者 ■



吉武 晃司



清下 大介



兼森 正英



川野 晃寛



中内 繁