

特集：新型CX-5

3

新型CX-5の軽量・高剛性ボディシェル Light-Weight・High-Rigidity Body Structure of All-New CX-5

杉山 豪*¹ 清下 大介*² 檜原 隆志*³
Go Sugiyama Daisuke Kiyoshita Takashi Narahara

要 約

新型CX-5はSKYACTIV-BODY⁽¹⁾を初めて採用した先代モデルの車体骨格を踏襲しながら、基本性能の「質」の飛躍的向上を図るべく、構造を進化させた。効率的な進化を目指し、SKYACTIV-BODYのコンセプトである、可能な限り直線で構成する「ストレート化」と各部の骨格を協調して機能させる「連続化」、入力を特定部品に集中させるのではなく、多くの部品に最適なバランスで分散させる「マルチロードパス」の視点で力学の原理原則に立ち返った再検証をし、注力すべき領域を見出した。また構造化にあたっては、最新のCAE検証技術を駆使し、寄与度の高い部品の構造最適化を行った。

細部におたる進化の積み重ねと同時に軽量化も行うことで、突き抜けた静粛性、ワンランク上の操縦安定性、そして世界各国の厳しい衝突テストで最高ランクを獲得する衝突性能（社内テストによる）を実現した。

Summary

In the All-New CX-5, while making use of the body structure of its predecessor who first featured the SKYACTIV-BODY technology, we thoroughly pursued significant advancement in “quality” of basic performance by further evolving the body structure. To do so efficiently, we returned to and considered the principles of mechanics that composes the concept of the SKYACTIV-BODY technology. Specifically, the body was reviewed from perspectives of 1) "Straight structure" where frames are straightened as much as possible; 2) "Continuous structure" where frames function in union and; 3) "multi load path" which disperses loads to multiple parts rather than concentrating on a specific part. Through this effort, we were able to find some areas we should mainly work on. When creating the structure, we made full use of the latest CAE verification technology, looked at the large contribution areas and optimized the structures of these parts.

By building up these meticulous evolutions, we realized ultimate quietness, one rank higher driving performance and crash performance that achieves top ratings in strict tests around the world.

1. はじめに

新型CX-5は「走る喜びの深化」を合言葉にドライバーはもちろんのこと、同乗者にも走る喜びを感じていただけるよう全ての性能を飛躍的に向上させることを目指し開発した商品である。車の屋台骨であるSKYACTIV-BODYを更に発展させるべく機能量を向上させ、飛躍的に各性能を引き上げることに成功した。開発過程において、性能間で相反する課題の解決や、性能向上させながらも軽量化することを目指し、その都度、原理原則に立ち返って検証し、

お客様にとっての価値向上を追求した。その実現を可能にした設計手法や構造について紹介する。

2. 新型CX-5のSKYACTIV-BODY

新型CX-5では、先代から導入したSKYACTIV-BODYのプラットフォームを活かしつつも、直近モデルまでに蓄積してきた技術を全て注ぎ込んだ。また、次世代モデルに適用すべく開発してきた技術も積極的に取り込むことでSKYACTIV-BODYを発展させた(Fig. 1)。次項から具体的に各性能を実現する上での考え方及び手段を紹介する。

*1~3 ボデー開発部
Body Development Dept.

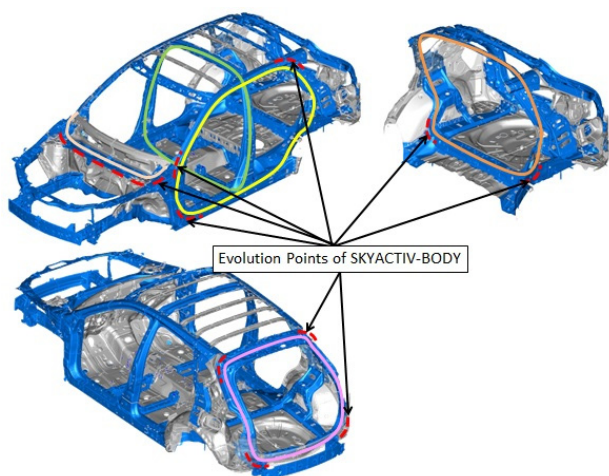


Fig. 1 Structure of New CX-5

3. NVH性能（静粛性）

新型CX-5は、ドライバーだけでなく、乗る人全てが快適に過ごせる車室内を目指し、静粛性の大幅な向上を実現した(Fig. 2)。これまでのモデルを開発してきた中で解明した「遮音のカラクリ」から「空気伝搬音の伝達経路遮断シナリオ」と、「ロードノイズ伝達メカニズム」から「最適なボディー放射音低減シナリオ」を構築し、内外装を含めた「機能量の再配分」を行った。

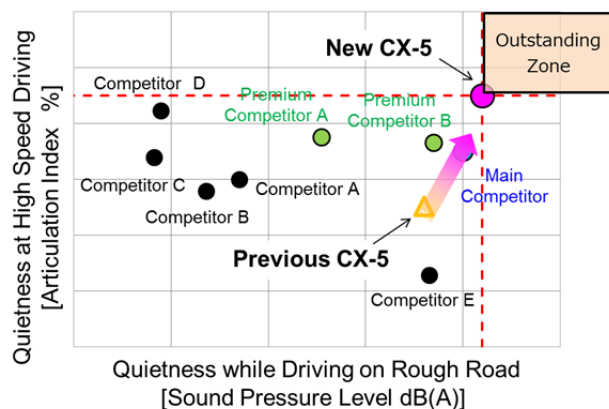


Fig. 2 Balance Chart of Quietness

3.1 音の経路遮断シナリオと機能配分

遮音のカラクリは、「音源（エンジン、タイヤ）」「伝達（車体・内外装）」の大きく2つに分けられる。その中で、伝達の着目点を音のパネル寄与度解析を用いて分析し、部位を特定して最適な個所に機能を配分し、遮音特性を向上させた。ボディー領域の一例としては、ダッシュロアーパネルの板厚アップにより遮音性能を強化し、車室内の静粛性向上を実現した。これを採用するに当たり、操縦安定性能への影響も考慮しながら構造を決定した(Fig. 3)。

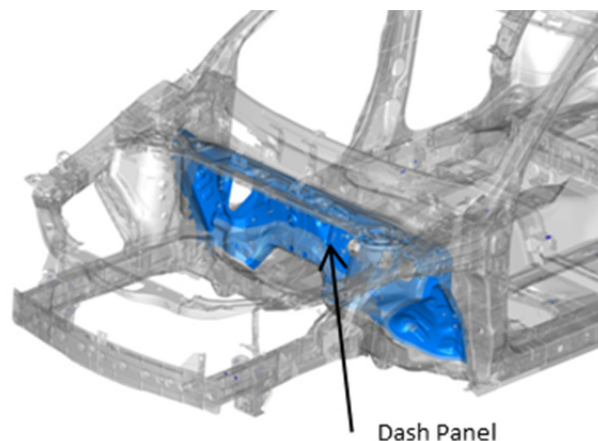


Fig. 3 Up Gauging of Panel Thickness

3.2 最適なボディー放射音低減シナリオと機能配分

走行中の車内音の要因の一つとして、タイヤを起振源にサスペンションやボディー骨格を介してボディーパネルから放射される音がある。荒れた路面でも快適に過ごすことができる車内空間の実現にむけて、この放射音を低減する活動を行った。この活動では、CX-9の開発から用いているパネル等価放射パワー(Equivalent Radiated Power)の評価指標^②で実車とCAE解析によるスタディを行い、寄与が高い経路と部品を特定し、最適な機能配分を実現した。具体的には後席足元のパネルとカウルメンバーにマスを設定し、リアフェンダーに制振機能のある制振材を付与することで、パネル振動を抑制し、音の低減を実現した(Fig. 4)。

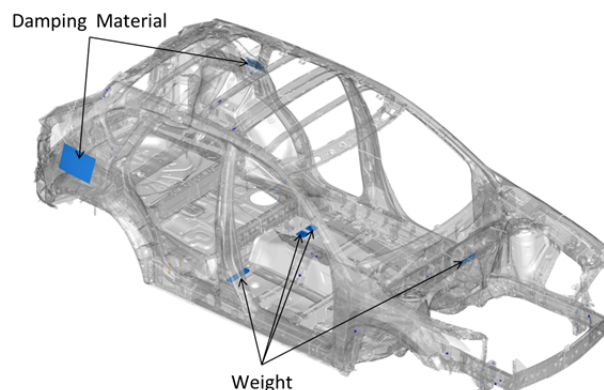


Fig. 4 Optimization of Body Panel

3.3 NVH性能と空力性能に対するボディー部品の機能統合

先代CX-5では空力性能に対する機能のみ持たせていたフロアアンダーカバーに対して、新たに吸音機能を付加した。タイヤから発生した音は、路面と車両との空間で反射を繰り返しながら伝搬する。この音が車室内へと侵入する経路としてフロア部がある。そこで、ボディーパネルとアンダーカバーの隙を縮小し、遮音性を向上させた。更に、

アンダーカバーの材質をPP材からPET繊維材に変更することで吸音特性を持たせ、車室内への音の侵入量を低減した(Fig. 5)。これにより、会話のしやすさの指標を先代に対して改善した。更に、この材質変更により2.75kgの軽量化も実現した。

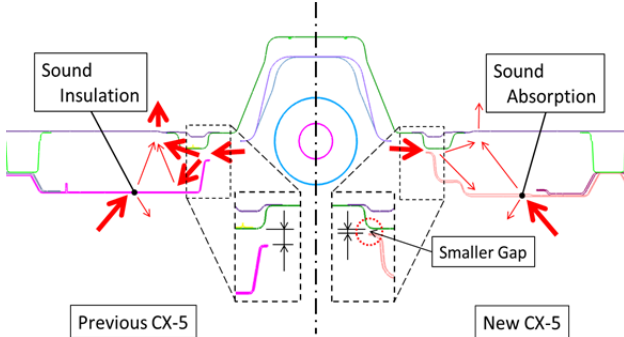


Fig. 5 Sound Absorbing and Insulating Floor Undercover

4. 操縦安定性

新型CX-5は、ドライバーだけでなく乗る人全てが移動する時間を楽しむことができる人間中心の車を目指し開発を行った。具体的には、機械的な応答を高めドライバーのインプットのみならず、車からのフィードバックを向上させることで車体のねじれによる力の伝達ロス低減をねらった。性能上寄与度の高い部位を見極め、効果的な部位に効果的な手法を織り込むことを達成シナリオとした。それを各部位へ適用することで、ねじり剛性を先代比15.5%向上させ、車を意のままに操る楽しさや、同乗していて疲れにくい車両性能を実現した。本章では、その構造事例を紹介する。

4.1 フロントサスペンションタワー部の剛性向上シナリオとその達成手段

フロントサスペンションタワー部のねじり挙動から圧縮荷重が集中する部位に着目し、その圧縮荷重に耐える適正な構造を追求した。具体的には、フロントダンパートップ間をつなぐクロスメンバーの直線化やサスペンションタワーとの結合位置の適正化及びサスペンションタワーとダッシュアッパーをつなぐレインフォースメントを追加することで剛性向上を図った(Fig. 6)。

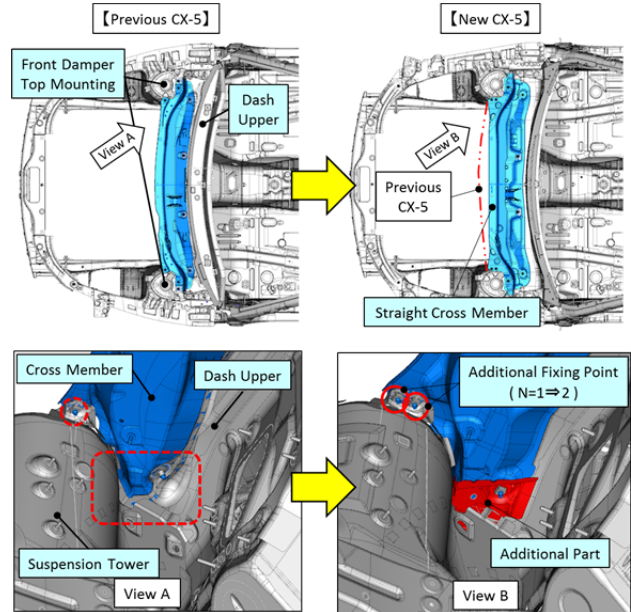


Fig. 6 Rigidity Improvement of Front Suspension Tower

4.2 リアボディのマッチ箱変形抑制シナリオとその達成手段

リアボディの基本的な構造は、先代同様SKYACTIV-BODYの特徴であるデュアル・ブレース構造やリアダンパートップ取り付け部からCピラー、ルーフサイドレインへ連続して結合する環状構造を踏襲した。その上で、フロントサスペンションタワー部と同様に、圧縮荷重が集中する部位に着目し、マッチ箱変形抑制の肝となる結合部位を見極め、Fig. 7に示す3部位へ圧縮方向の変位に大きな効果を発揮する高剛性発泡充填材を設定した。

まず、No.4クロスメンバーとデュアル・ブレースとの結合部に設定した高剛性発泡充填材は、リアダンパートップから入る荷重によってキャブサイドが車両室内側に倒れようとする挙動を抑制している。この部位を別の手段で補強すると、厚板のレインフォースメント追加による質量増加や断面拡大による室内寸法阻害の要因となってしまうが、高剛性発泡充填材追加によりそれらの問題をクリアした。更に、同じくCピラーの内倒れ抑制としての機能を持つサスハウジングガセットの負荷を減らすことができ、同部品の板厚ダウンによる軽量化も達成した。

このほかにも、車体構造上接合が困難であったルーフサイドレインの接合部や、リフトゲート開口部剛性向上に効果的なリアエンドコーナー部にも高剛性発泡充填材を設定することで力の伝達ロス低減を図った。

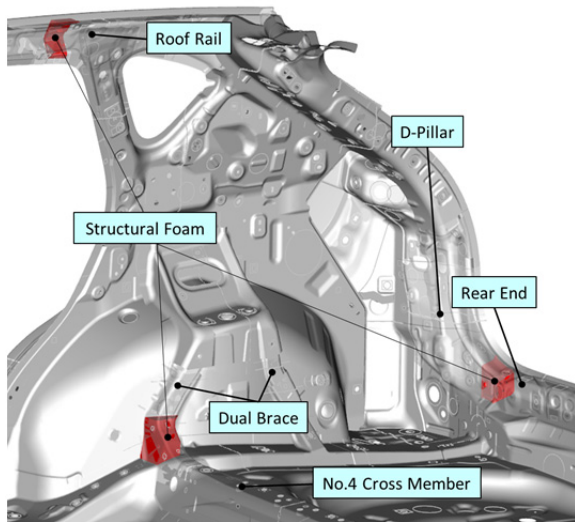


Fig. 7 Rigidity Improvement of Rear Body

4.3 リフトゲート開口部の剛性向上シナリオとその達成手段

リフトゲート開口部についても同様に、圧縮荷重が集中する部位に着目し、コーナー上下左右4カ所への補強を行った。コーナー下部は上述と同様に高剛性発泡充填材を設定することで断面崩れを抑制し、コーナー上部はDピラーとヒンジレインフォースメントとの断面のつながりを強化することで、リフトゲート開口部のマッチ箱変形を抑え剛性向上を図った(Fig. 8)。

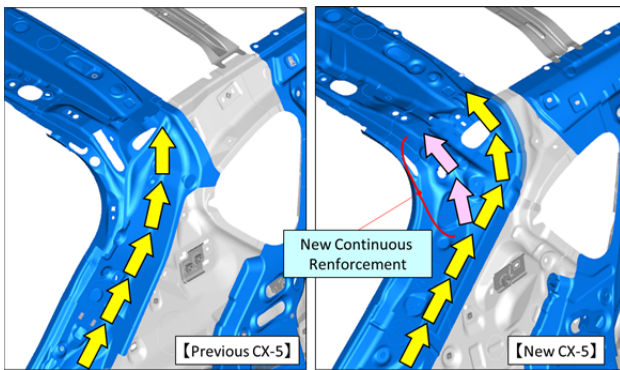


Fig. 8 Change of Rear Body Structure

5. 衝突安全性

新型CX-5は、世界各国の市場評価で最高ランク獲得を目指し開発を行った。各市場における評価基準が高くなる中で、更にSKYACTIV-BODYを進化させたフロントキャビン周りの開発事例について紹介する。

5.1 米道路交通安全保険協会 (IIHS) Top Safety Pick+ 獲得に向けて

先代モデルではIIHSのSmall Overlap前突のStructure評価はAcceptableであったが、これをGoodまで改善を行

った。衝突時の入力特定の部位で受けるのではなく、周辺部材へ効率よく分散させることをコンセプトとした。キャビンへの入力、バリア及びタイヤ・ホイールの2系統ある。それぞれに対して、Aピラーの結合部やサイドシルに新たなロードパスを追加し、周辺部品への荷重伝達を増やすことにより、衝突エネルギーを効率よく吸収することで、キャビン変形量を減らし、車室内空間を確保した。

5.1.1 Aピラーの結合強化

衝突時の入力エネルギーは、「サスペンションタワーからヒンジピラーへ」、「ヒンジピラーからAピラーへ」と伝達される。その時、ヒンジピラーとAピラーの結合が弱いと、応力集中により結合部で折れが発生し、エネルギーの伝達が悪化する。そこで、衝突エネルギーが主に構造体の稜線部分を通して伝わることに着目し、Aピラー接合部に新たにロードパスを追加し、前方からの入力をより広くに分散した。これによってエネルギーの吸収効率を上げた。更にAピラー付近の各部品の耐力を見直し、レインフォースメントの材質は1ランクUPした780MPa級へ、インナーの材質は2ランクUPした1180MPa級に変更することで断面耐力を向上させ、インナーの板厚1ランクダウンを実現し、質量低減を実現した。超ハイテン材の適用にあたっては、成形の難易度が高く、精度保証に課題が多かったが、生産技術部門やサプライヤー様との共創活動で得られた細かな形状工夫によって克服し、実現した(Fig. 9)。

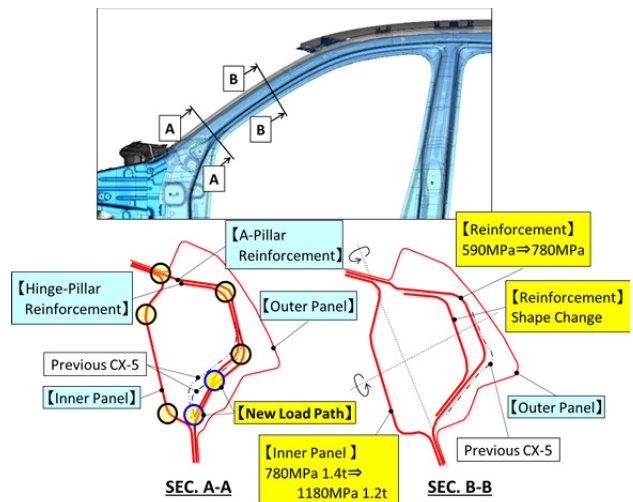


Fig. 9 A-Pillar Section

5.1.2 サイドシル構造適正化

バリアに押し込まれたタイヤ・ホイールからの入力は、「ヒンジピラーからサイドシルへ」伝達される。この伝達時のロードパスを増やすことでエネルギーを分散し、サイドシル前面部の吸収効率を高めた。これにより、サイドシルの耐力配分を減らし、サイドシルを構成する部品の板厚低減を実現した(Fig. 10)。

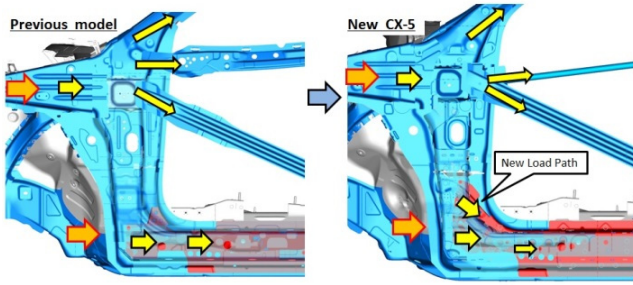


Fig. 10 Deformation Mode of Hinge Pillar

5.2 歩行者保護対応のためのカウル構造

車対歩行者の衝突時、頭部が受ける障害を更に低減するため、新型CX-5ではデミオ/CX-3以降の各モデルで採用してきた一体型のS字型カウルパネル^③を採用した。この一体型のS字カウルパネルにより、頭部インパクト時にカウルパネル自体が上方から折りたたまれる挙動を示し、頭部傷害の抑制に効果的に寄与する(Fig. 11)。

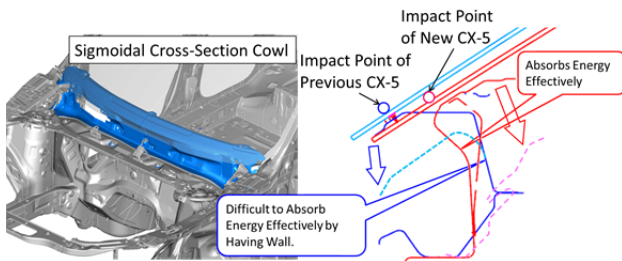


Fig. 11 Pedestrian Head Protection

6. 軽量化

新型CX-5の車体は、機能量の大幅な向上に対して先に述べたような構造適正化とハイテン展開率アップの結果(Fig.12)、質量効率を表すLight Weight Indexは先代比5%改善し、競合他車と比べてもベストインクラスの高効率軽量ボディを実現することができた(Fig.13)。

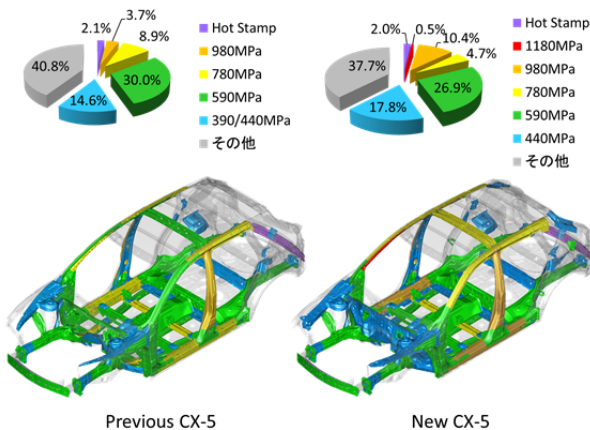


Fig. 12 Application Rate of Sheet Metal

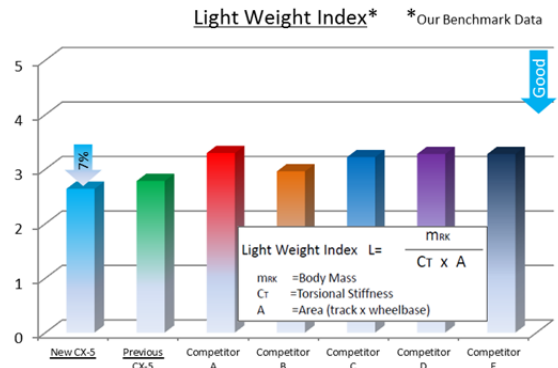


Fig. 13 Achievement of High Weight Efficiency

7. おわりに

新型CX-5は、先代から直近モデルまでに蓄積してきた技術を実際に反映し、更に次世代モデルに適用すべく開発してきた技術を取り入れ、各性能を飛躍的に向上することに成功した。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そしてサプライヤー様がOne MAZDAで活動した結果、収めることができたと思信じている。今後もお客様に喜んでいただける商品の開発に邁進する所存である。

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) 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)
- (3) 吉武晃司ほか：新型CX-9の軽量・高剛性ボディーシェル，マツダ技報，No.33, pp.44-49 (2016)

■ 著 者 ■



杉山 豪

清下 大介

檜原 隆志