

特集：新型デミオ

9

新型デミオ・CX-3の軽量ボデーシェル開発

Development of Light Weight Body Structure for New DEMIO and CX-3

松岡 秀典*¹ 山本 裕士*² 田代 邦芳*³ 宮本 康史*⁴ 影山 和宏*⁵
 Hidenori Matsuoka Hiroshi Yamamoto Kuniyoshi Tashiro Kouji Miyamoto Kazuhiro Kageyama
 山崎 忠*⁶ 檜原 隆志*⁷ 西村 佳和*⁸ 阿部 健*⁹ 藤谷 駿介*¹⁰
 Tadashi Yamazaki Takashi Narahara Yoshikazu Nishimura Ken Abe Shunsuke Fujitani

要約

新型デミオはマツダ独自の新世代技術であるSKYACTIV TECHNOLOGYをコンパクトカーに全面導入した最初の商品である。CX-3は新世代商品のクロスオーバーとしては第2弾である。新型デミオとCX-3の開発目標であるクラスを越えた価値をお客様に提供するため、マツダの世界中の製造拠点で製造可能でかつ軽量で高性能なプラットフォームを新規開発した。CX-5以降の新世代商品群の高いダイナミクス性能や衝突性能と軽量ボデーを両立させるため、これまでのSKYACTIV-BODYの設計思想に加え、新たな技術を導入することで、理想構造を追求した。新型デミオでは先代比22%のねじり剛性向上やトップクラスのパッシブセーフティを実現しながらも同クラスの最軽量ラインより8%もの軽量化を実現した。加えて、CX-3は新型デミオ以上に高性能を実現した。更に新開発プロセスを導入することで短期間開発にも成功した。本稿では新型プラットフォームの戦略や新型デミオとCX-3に織り込んだ高性能と軽量化を実現させるための新技術、新開発プロセスについて紹介する。

Summary

The new Demio is the first mini-segment vehicle with the Mazda's unique new-generation technology, SKYACTIV TECHNOLOGY is fully incorporated. The CX-3 is a compact-crossover vehicle, which is the second crossover in Mazda's new-generation vehicles. A lightweight and high performance platform was newly developed to provide "values beyond the class concepts" which was the target of the new Demio and CX-3 development. This is a "global platform" that can be manufactured at Mazda plants all over the world. To realize lighter body and high dynamic/safety performance of the new generation products after CX-5, ideal body structure was pursued by adopting new technologies in addition to the current engineering concept of SKYACTIV-BODY. The new Demio successfully reduces weight by 8% comparing with the predecessor while realizing the class top level passive safety and 22% increase in torsional rigidity. High performance is achieved in CX-3 moreover than this Demio. And also a short-term development was realized due to the newly introduced development process. This article introduces the new-type platform strategy and new technologies and development process performed for the new Demio and CX-3.

1. はじめに

CX-5に始まるSKYACTIV-BODY採用車は新型デミオで4車種目、CX-3で5車種目となる。これまで新車開発のたびに成熟と進化を続けてきた本技術であるが、新型デミオ・CX-3のコンパクトカー開発において更なる進化を成し遂げ、高性能と軽量化を両立させることに成功した。本稿では高性能と軽量化を両立させた新型プラットフォーム戦略、新技術及び新開発プロセスを紹介する。

2. プラットフォーム戦略

2.1 ニュープラットフォームのターゲット

世界市場の要求は年々高まってきており、競争力を確保するため次のことを達成する必要がある。

- ・世界中の工場生産可能である
- ・商品目標に対してフレキシブルに対応できる
- ・高品質で費用対効果の優れたコンポーネントを採用する
- ・軽量で高いダイナミクス性能と衝突性能を達成する

*1~10 ボデー開発部

Body Development Dept.

上記の4点を踏まえたプラットフォームを短期間で作り上げることを命題に、以下3点を具体的達成目標として開発に挑んだ (Fig. 1)。以下、先代デミオプラットフォーム比。

- ・派生可能な車種数を1.5倍に増加
- ・開発期間の40%短縮
- ・製造拠点を66%増加

更にSKYACTIV TECHNOLOGYの優れた特質をコンパクトカーにも織り込むことでセグメントを越えたダイナミクス性能の達成に取り組み、新技術を導入することで目標達成を可能にした。

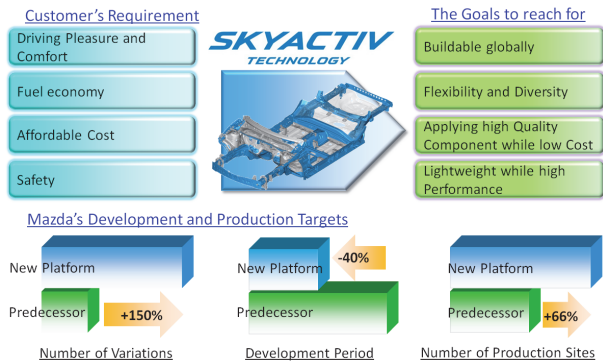


Fig. 1 Target

2.2 ニュープラットフォームの位置づけ

CX-5, アテンザ, アクセラのプラットフォームはCセグメントより上の質量レンジを想定して開発したものである。軽量化と高性能を両立するにはコンパクトカーとして、更に進化させたプラットフォームを構築する必要があった。

コンパクトカー用のニュープラットフォームは、空車質量レンジで960kg~1500kg弱のワイドな質量レンジをカバーでき、今後もさまざまなB・Cセグメントの派生車種に対応可能なものとした (Fig. 2)。

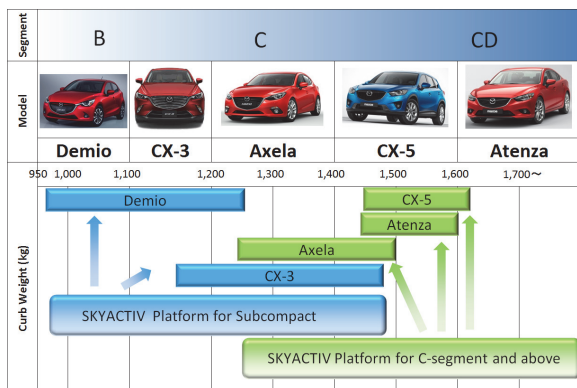


Fig. 2 New Platform Range

2.3 アーキテクチャ構築

先述のとおり、ニュープラットフォームは先代デミオの

プラットフォームとは切り離し、SKYACTIV-BODYをベースに、単なるダウンサイジングではなく、新技術の導入、コンパクトカーとしての適正化をコンセプトに、アーキテクチャを進化させた。結果、先代デミオのプラットフォームから性能を改善しながらも12%の軽量化を達成した (Fig. 3)。

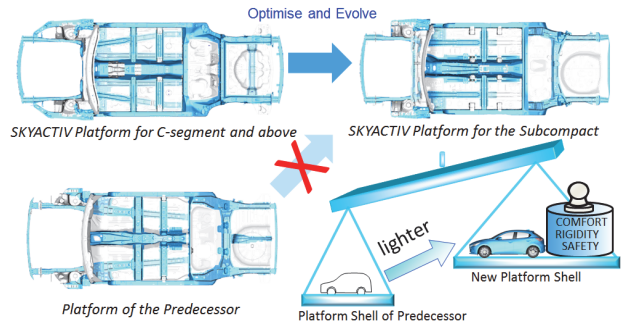


Fig. 3 Architecture

2.4 派生車種への対応

今後の派生展開を見越し、あらかじめ変動要素を決めることで、その変動に対してフレキシブルに対応できるプラットフォームとした。具体的には、ヒップポイント、ホイールベース、オーバハング、ダンパマウント位置等の変動に対応可能である。

プラットフォームはフロントボデー、フロア、リヤと3つのモジュールに大別し、モジュールごとに固有の変動要素に対応した仕様バリエーションを設定した。フロントモジュールは車両質量により2種類のモジュールを設定しており、各モジュールを選択することで容易に幅広い派生車種を作り出すことを可能とした (Fig. 4)。

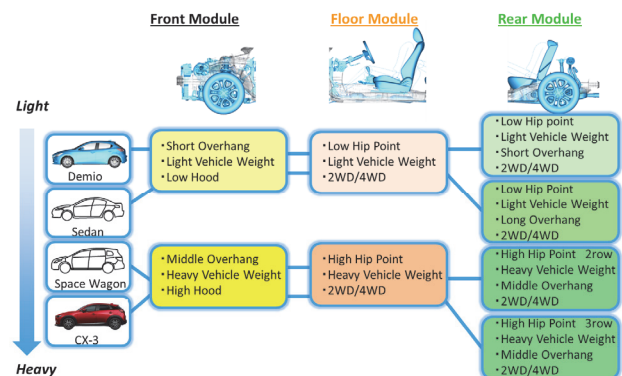


Fig. 4 Flexible Platform

3. 新技術及び開発プロセス

SKYACTIV-BODYではマルチロードパス、連続構造、ストレートフレームの設計コンセプトで、性能と軽量化を両立させたが、新型デミオ, CX-3の開発では更なる軽量化追求のため、材料に最大限の仕事をさせるという観点で改善の余地ありと考えた。まずは高コスト工法やアルミ等

の高価格材料には頼らず、従来の工法でかつスチールを用いながら、より高効率な効果を生み出す技術追求を行った。

ここでは、開発段階で注力したマルチロードパスの進化、使い切り断面(性能最大化断面)、コンセプト CAE についての説明を行う。

3.1 マルチロードパスの進化

フレームワークのマルチロードパス (Fig. 5) に加えて、部品にもマルチロードパスのコンセプトを応用した。高い荷重が伝わる稜線に対して、稜線の本数を増やすことで更にエネルギー吸収効率を向上させた (Fig. 6)。

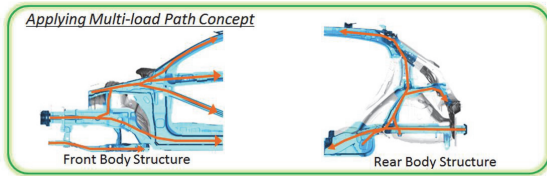


Fig. 5 Multi-Load Path

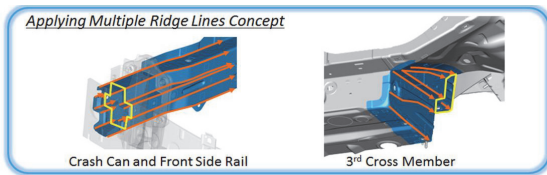


Fig. 6 Multi-Ridge Lines Load Path

また、ボデーパネルにも荷重伝達させることで、伝達効率と軽量化の両立を行った。従来は骨格部材が中心にその機能を担っていたが、新型デミオ、CX-3からは材料強度をあげることで、ボデーパネル自体にも荷重を分担させる考え方をボデーの広範囲に適用した (Fig. 7)。

これらの考え方を導入することで、大幅な軽量化と構造の簡素化を実現した。

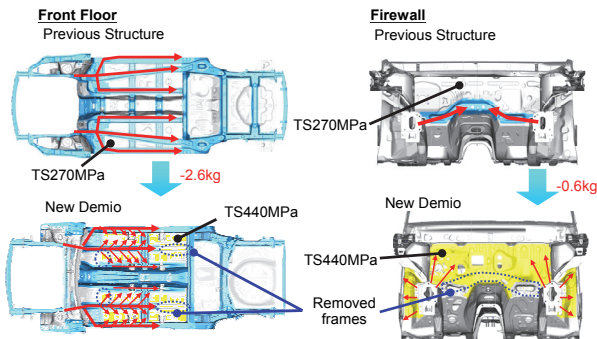


Fig. 7 Panel-Load Path

3.2 使い切り断面 (性能最大化断面)

部材により高い強度を持たせるため、断面構造の工夫に注力した。

以下のグラフの縦軸は理論強度に対する実強度の達成率、横軸は板厚及び断面高さである (Fig. 8)。

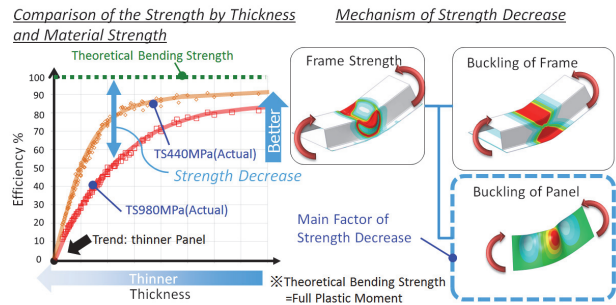


Fig. 8 Material Strength

中空フレームの曲げ荷重は、一般的に断面が大きく薄板で材料強度が高いほど理論的な強度から減少していく傾向があり、薄板を多用することが多いコンパクトカーは、高張力鋼板を採用しても、材料のポテンシャルを十分に発揮させづらい。特に自動車の骨格部材のような薄板中空フレームでは、強度の減少は主に各面の平面部であるパネル自体の変形や座屈が支配的となる。そこで、フレームの稜線部に変形や座屈が発生する強度とパネル自体が変形や座屈する強度を等価にすることで、フレームの曲げ荷重を理論値に近づけることができる。

この考え方をベースに新型デミオ、CX-3の開発ではパネルの変形、座屈を抑制する断面形状を追求した。この曲げ強度を最大限に発揮する断面を「性能最大化断面」と呼んでおり、ポイントは以下の3点である。

- ① 側面の適切な位置に第一のくびれを設定すること。
 - ② 上面と側面をつなぐ面の角度をできるだけ直角に近づけること。
 - ③ 上面の幅を最小化することで、上面の座屈を防ぐこと。
- 下図に断面の1例を示す (Fig. 9)。

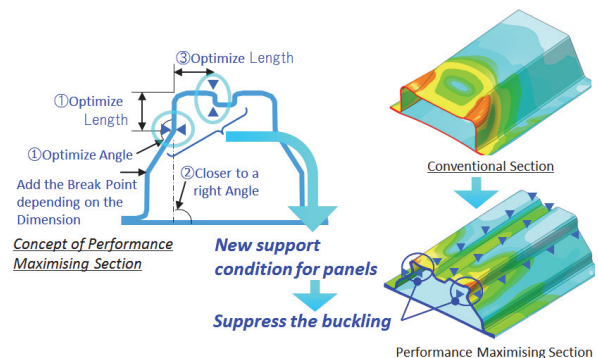


Fig. 9 Parts Sectional Example

この基本形状を基に断面のサイズや形状によって最適化を行った。下図は性能最大化断面を適用した結果である (Fig. 10)。

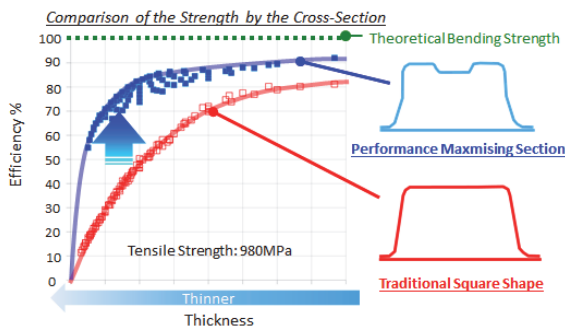


Fig. 10 Sectional Strength Comparison

この断面は一般的な断面に比較し、薄板の領域では最大で約4倍の強度が得られ、薄板のハイテン材を多用している新型デミオとCX-3ではこの断面を車体の各部に適用することで大幅な軽量化を実現した。

3.3 コンセプトCAE

(1) 構造最適化の開発アプローチ

従来は、3段階のステップを回すことによって構造の適正化を行ってきた。1stステップでトポロジによるフレームワークの検討を行い、2ndステップで3次元バネ・マスモデルを用いて部材の耐力を決める。そして、3rdステップでCADデータを作成し、フルFEMのCAEで検証していくというステップである (Fig. 11)。

しかし、性能・質量・コストの更なる改善、開発期間の短縮の使命を背負った新型デミオ、CX-3の開発にとって、いかに精度の高い机上検証を開発の初期段階で完了させるかが重要な課題であった。

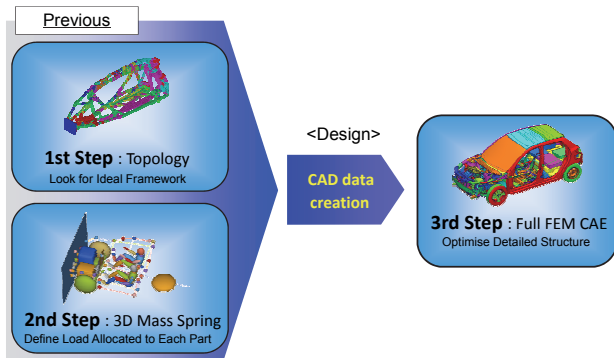


Fig. 11 Conventionally Process

そこで、従来の検証プロセスを一から見直し、軽量化・短期開発をサポートすべく、量産開発へ新しいプロセスを導入した。これをコンセプトCAEと定義し、CADデータ製作前の段階で構造最適化検証を目指した (Fig. 12)。

この新しいプロセスは、軽量化ボデー構造や形状を構築していく上での、キーイネーブラであると考えている。

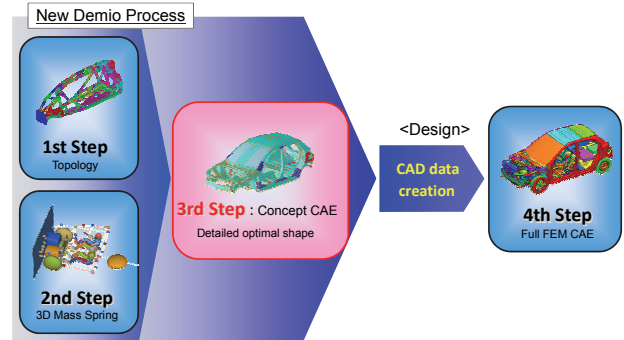


Fig. 12 New Process

実際にコンセプトCAEを開発に適用し、期間短縮を実現したプロセスを以下に示す (Fig. 13)。

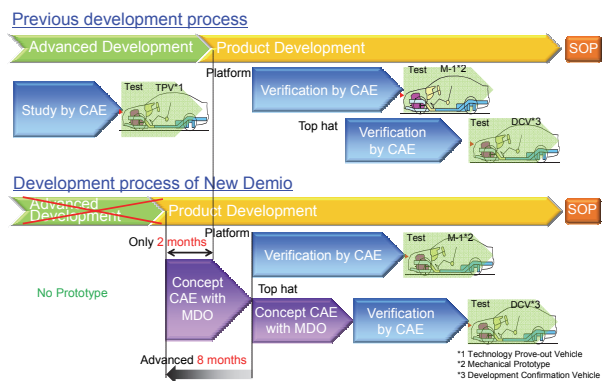


Fig. 13 Development Schedule

マツダでは従来、先行技術開発期間を設け、試作車での検証後に量産開発に移行するという開発プロセスを採用していたが、コンセプトCAEの導入により従来のプラットフォーム開発から8か月の開発期間の短縮につなげた。

(2) コンセプトCAEの適用

アテンザのモデルをベースに、ボデーをコンパクトカーサイズに縮小させ、先代の解析モデルのリヤボデーと結合させることにより、新型デミオのコンセプトCAEモデルを構築した。このモデルを前面・側面・後面衝突に加えNVH性能や剛性解析に適用した (Fig. 14)。このアプローチにより、トップハットも含めた構造適正化、開発効率化に貢献した。

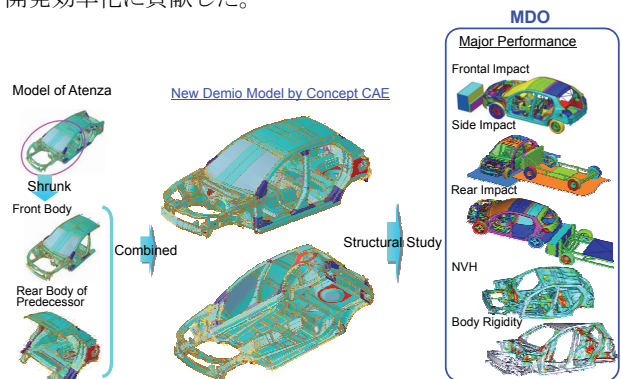


Fig. 14 Concept CAE Application Process

新型デミオ，CX-3は車両質量が軽く，上位セグメント車よりも構造をシンプル化できるとの考えのもと，クロスメンバの位置やスレッドランナの位置・長さ及び断面サイズを変動パラメータとし，実験計画法による構造最適化でベースモデルから大幅に構造をシンプル化した。

結果，フロントフロアのNo.2クロスメンバを移動（かつ2.5クロスメンバと統合）し，スレッドランナの短縮化による軽量化を実現した（Fig. 15）。

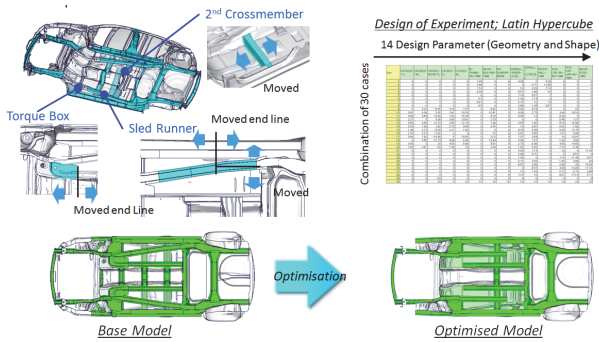


Fig. 15 Framework Optimization

(3) 前面衝突時の構造適正化に適用した事例
フルラップ衝突のクラッシュパルスとオフセット衝突時のトーボード変形量を制約条件とし，最軽量な断面サイズを探索した。

その結果フロントフレームの上下方向や，スレッドランナの左右方向への断面縮小が可能であることを見出し，2.0kgの軽量化を実現させた（Fig. 16）。

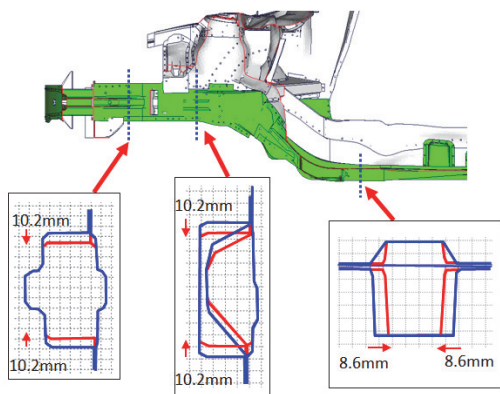


Fig. 16 Parametric Analysis Application Example

このような適用を車体各部に行い，形状最適を行った。60000回に及ぶ計算や新設計コンセプトの適用により新型デミオでは35.6kgの軽量化効果を生み，Body In White (BIW) の軽量化目標を達成した。特に性能最大化断面とマルチロードパスコンセプトの適用や構造最適化が大きな割合を占めている（Fig. 17）。

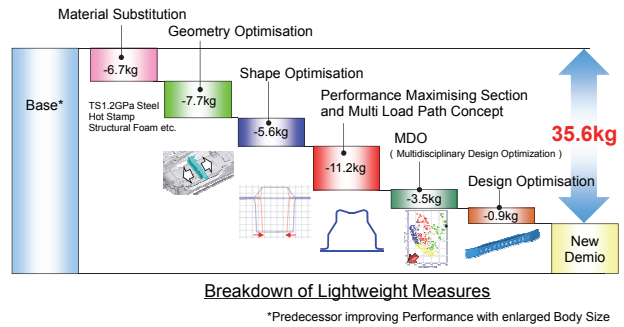


Fig. 17 Effect of Concept CAE

4. 性能と構造

4.1 材料

新型デミオはタイ・メキシコなど世界各地の生産拠点で製造するため，ホットスタンプ（1800MPa級）は調達性の関係よりバンパビームへの適用に留めたが，マツダ初の採用となる1180MPa級ハイテンを代表に，コールドスタンプハイテン材の使用比率を大幅に引き上げた。

780MPa級以上の使用比率（質量比）は，先代デミオ10.6%に対し30%とし，高強度発泡充填材の新規開発材料（4.3 側面衝突性能欄参照）の採用により，軽量化を追求した（Fig. 18）。CX-3もほぼ同様のハイテン使用比率とした。

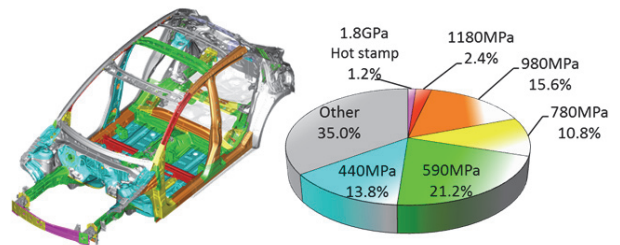


Fig. 18 Application Rate of Sheet Metal

4.2 前面衝突性能

先代デミオはシングルロードパスとスクエア断面のフロントフレームのコンベンショナルな構造を採用したが，新型デミオとCX-3では，サスペンションクロスメンバにエクステンションメンバとクラッシュカンを設定することでロードパスを追加し，効率的なエネルギー吸収が可能な十字型のクラッシュカンとフロントフレームを採用した。

また衝突時にサスペンションクロスメンバを離脱させクラッシュストロークを拡大する構造を採用した。

上記構造を採用することで，4.7kgの軽量化を実現した（Fig. 19）。

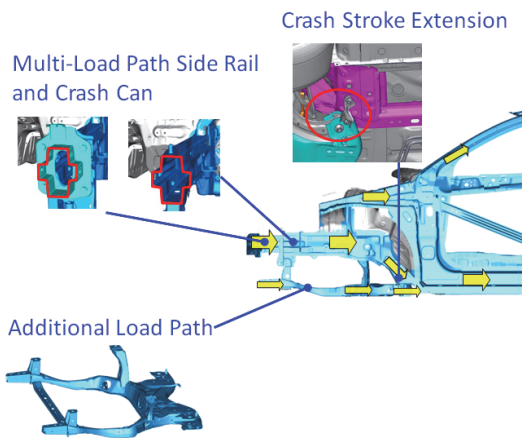


Fig. 19 Multi-Load Path

4.3 側面衝突性能

SKYACTIV-BODYの思想の反映によりNo.3クロスメンバは閉断面とし、多稜線化によるサイドシル間の結合強化を行った。更に、先代デミオでは2本あったフロントフロアのクロスメンバを統合し、最も効率のよいBピラーの根元に配置することで、目標性能を落とすことなく、2.3kgの軽量化を実現した。

またBピラーには、新たに技術開発した高強度発泡充填材を採用した (Fig. 20)。これは、側突バリアが侵入する際に最も応力がかかるベルトラインを補強し、衝突荷重を部材の広い範囲に分散させることで局部座屈を抑えることが可能で、スチールでの補強比で1.0kgの軽量化を実現した。

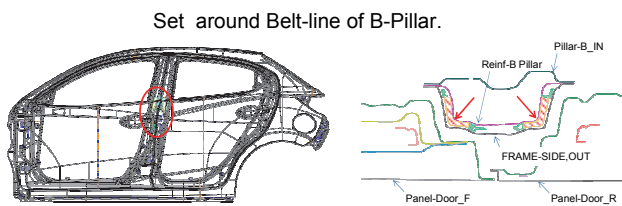


Fig. 20 High Strength Structural Foam

4.4 後面衝突性能

クラッシュスペースが限られるコンパクトカーでは一般に高速後突の対応が難しく、また一般的にリヤサスがトーションビームアクスルの場合、高速後面衝突時にロバスト性を確保するのが難しくなる傾向がある。

限られたクラッシュスペースでロバストに高速後突に対応させるには、保護する領域とクラッシュさせてエネルギー吸収する領域を分け、モードコントロールを行う必要がある。新型デミオではエネルギー吸収を行いつつ、ロバスト性を持った構造にするために、3か所にクラッシュビードを設定し、リヤサイドレールを横に曲げるようにした。

また曲げない部位は変形防止ビードを設定することで、リヤサイドレールの変形を効果的にコントロールできる構造とした (Fig. 21)。

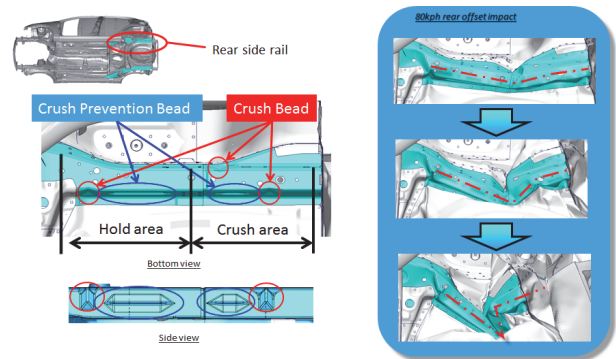


Fig. 21 Bending Concept

4.5 歩行者保護性能

(1) 脚部の保護

ロアレグサポータとバンパビームの前に設定したエネルギーアブソーピングフォームで同時に脚部を押すことで、膝の靭帯の傷害の抑制に効果的な構造にした (Fig. 22)。

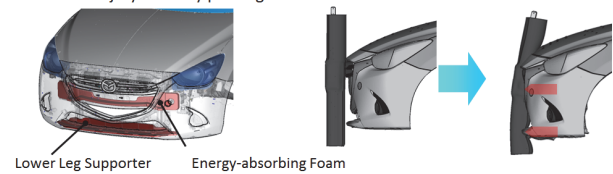
(2) 頭部の保護

一体型のS字型カウルパネルを採用し、インパクト時にこのカウルパネルが上方から折りたたまれる挙動にコントロールすることで、頭部傷害の抑制に効果的な構造とした (Fig. 22)。

また効果的な補強を追加することでロードノイズ性能とも両立させた。

■ Pedestrian Leg Protection

- Reduced Injury Index by pushing Knee and Shin at the same Time.



■ Pedestrian Head Protection

- Reduced Injury Index by applying sigmoidal Cross-section Cowl deforming like a Spring.

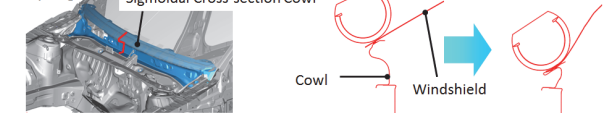


Fig. 22 Pedestrian Protection

4.6 操縦安定性

車体の剛性感の開発に当たり、従来の静的剛性やローカルスティフネスに代わる新たに二つの指標を設定した。

(1) 箱感

実車の走行評価で、コーナリング時に路面からタイヤに入る荷重の変化を時系列で測定した。その情報を元に、入

力を模擬した CAE 評価を行い車体の変形を抑制するボデーを作り上げた (Fig. 23)。

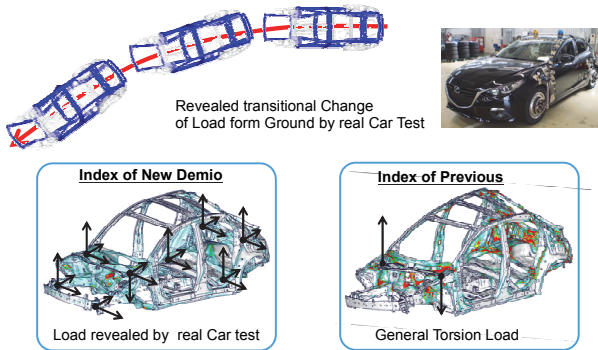


Fig. 23 Body Stiffness Feeling

新たな指標で検証した結果、リフトゲート開口部の変形を抑制することが、箱感を大幅に向上させることが分かった。そこで、トポロジ解析を用いて、どこに効率的なパスがあるか検証した結果、クロスメンバからリヤダンパマウントを経由してリフトゲート開口につなぐ構造が、最も効率的であることが判明した。よって、リヤダンパマウントからつながる三又構造を採用した (Fig. 24)。

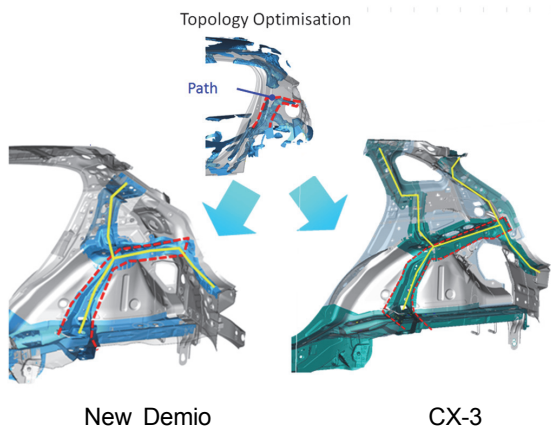


Fig. 24 Improvement of Body Stiffness Feeling

(2) 減衰感

振動領域については、実車のベンチテストにより、車両として満足すべき特性を決めた。そしてCAEで求めた振動レベルをモード分離して分析することにより、抑えるべき車体の振動モードを明らかにした。そして主要車体振動モードを抑制することにより、乗員に伝達する振動レベルを低減した。これらにより新たな開発指標を定義し、適切な構造を決めた (Fig. 25)。

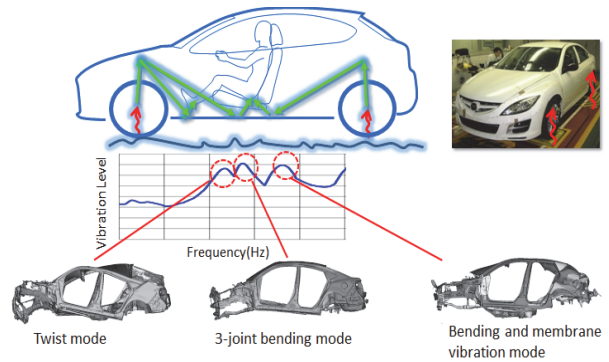


Fig. 25 Body Damping Feeling

この考え方を適用しリヤシートバッグにダイナミックダンパ機能を持たせて車体の減衰性能を向上させた。シートバックをマス、固定ブラケットをバネとしてとらえ、シートと車体の共振を回避するよう、シート固定ブラケットの剛性を厳密に計算して決めた。車として必要なリヤシートを機能部品として最大限活用することで、軽量で高い性能目標を達成した (Fig. 26)。

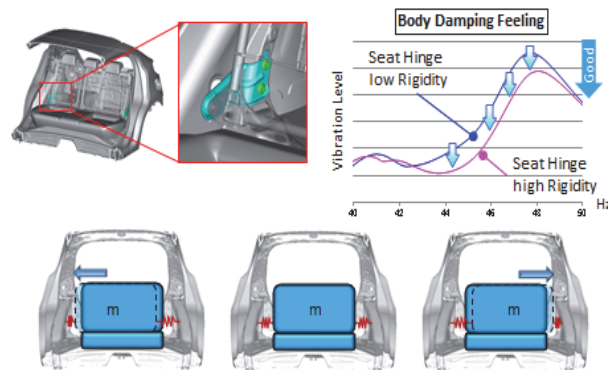


Fig. 26 Improvement Body Damping Feel

4.7 NVH性能の進化

新型デミオ、CX-3では、入力に対して励起されにくいボデーを実現するというコンセプトで取り組んだ。低周波数領域のロードノイズについては、サスペンション入力を使いエネルギー分担が高い車体振動の主要モードを絞り込んだ。

これら主要モードの骨格変形量を減らすため、パネル形状を最適化し、音響放射エネルギーを抑制した。この取り組みで顕著なピークをもたない平坦なエネルギーフロ特性を実現し、1kgの軽量化と5dBのロードノイズ低減を両立した (Fig. 27)。高い周波数領域のロードノイズについては、音の侵入経路で集中的に音を吸収し、経路を遮断する設計を採用した。リヤのエアークエストラクタ付近に吸音材を設定することで3dBのロードノイズ低減を実現した。

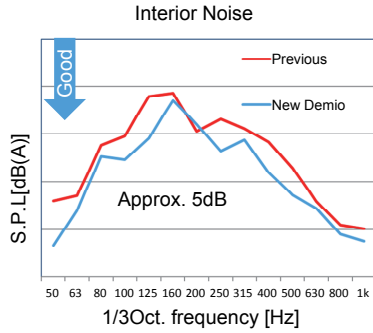


Fig. 27 Sound Pressure Level at a Driver's Ear

4.8 質量

新型デミオは車両サイズが大きくなり各性能の大幅な向上を図ったにもかかわらず、先代デミオ比で10.2kgの軽量化を実現した。サイズや性能を同条件で合わせると、約16% (35.6kg) の軽量化に相当する。これらの軽量化は先に述べた新設計技術の適用により、成し遂げることができた。

結果、先代デミオもBest In Classレベルの軽量化を実現していたが、新型デミオではBest In Classから更に8%以上の軽量化を実現した。スチール製のボデーとしてトップクラスを実現した (Fig. 28)。CX-3も新型デミオ同様にトップクラスの軽量化を実現した。

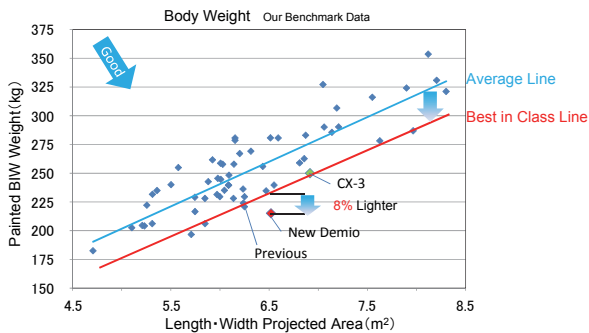


Fig. 28 Top-Level Light Weight Body

質量効率を表すLight Weight Indexは先代デミオから26%向上させ、新型デミオでクラストップの3.0を実現している (Fig. 29)。CX-3では2.7を実現した。

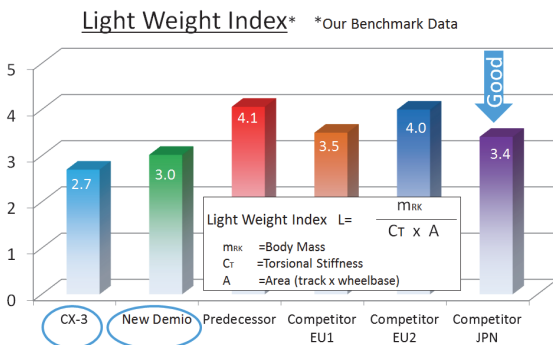


Fig. 29 Achievement of High Weight Efficiency

5. おわりに

新型デミオとCX-3の軽量ボデー開発について報告した。新プロセス・新技術の開発は設計部門単独で成し遂げたものではなく、企画・デザイン・実研・他開発設計・生産技術及び製造部門とONE MAZDAで活動することにより達成することができたと考える。今後もお客様に共感していただけるよりよい商品を生み出していくため、ONE MAZDAでSKYACTIV-BODY技術を進化させていく所存である。

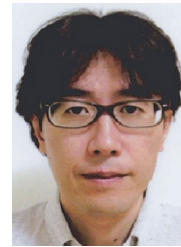
参考文献

- (1) 松岡秀典ほか：EuroCarBody2014 MAZDA2, pp.33-89 (2014)

■ 著 者 ■



松岡 秀典



山本 裕士



田代 邦芳



宮本 康史



影山 和宏



山崎 忠



榎原 隆志



西村 佳和



阿部 健



藤谷 駿介