

特集：MAZDA CX-60

16

## CX-60 の衝突安全性能

## Passive Safety of CX-60

辻 大介 \*1  
Daisuke Tsuji澤田 庸介 \*2  
Yosuke Sawada黒田 一平 \*3  
Ippei Kuroda谷本 晃一 \*4  
Kohichi Tanimoto松下 幸治 \*5  
Kouji Matsushita安藤 亮 \*6  
Ryo Ando水口 浩爾 \*7  
Hiroshi Mizuguchi

## 要約

マツダでは、「走る歓び」と「優れた環境・安全性能」を目標に、安全・安心なクルマと社会の実現を目指した商品開発を実施している。その中で、衝突安全性能開発は高い安全性能と軽量化という背反傾向の関係を高次元で両立させるために、MBD (Model Based Development) を駆使して車両構造を開発している。「SKYACTIV-VEHICLE ARCHITECTURE」に代表される車体開発では、高精度 CAE 技術を用いて衝突時の荷重を効率的に吸収し、分散して支えるマルチロードパスを進化させた新しいアーキテクチャーを作り上げた。

新型 CX-60 では、後輪駆動をベースとした新たなプラットフォームに、実際の事故・傷害形態の分析からバックキャストした衝突安全技術を高次元で融合し、高いエネルギー吸収効率を備えた車体構造、相手車保護及び歩行者保護を進化させ、欧州の衝突安全アセスメント (New Car Assessment Program: NCAP) である Euro NCAP で、2022 年に最高ランクの 5 星を獲得した。本稿では、代表的な衝突形態である前面衝突、側面衝突、後面衝突及び歩行者保護について織り込んだ技術を紹介する。

## Abstract

Mazda has been developing products to realize safe and secure cars and society, aiming to achieve “outstanding environmental and safety performance” and “driving pleasure”. In crash safety development, Mazda uses MBD (Model Based Development) to develop vehicle structures with the aim to combine conflicting relationship, light weight and safety performance, at a high level. In vehicle body development characterized by Mazda Skyactiv-Vehicle Architecture, the new architecture was developed by using high-accuracy CAE technology. This is a structure evolved from the multi-load path structure with which a collision load is efficiently absorbed and dispersed to endure it.

The CX-60 combines a new platform based on rear-wheel drive with the crash safety technology that is backcast from the analysis of real-world accident/injury forms, at a high level. It won the best five-star rating in the 2022 Euro NCAP by evolving the technologies of high energy absorption efficiency-equipped body structure, partner and pedestrian protection. This report introduces the technologies incorporated in typical crash modes: frontal, side, and rear collision, and pedestrian protection.

**Key words** : Safety, Passive Safety, Crash Safety, Pedestrian Protection, Compatibility, Body Structure, Energy Absorption, Partner Protection, Platform, CAE

## 1. はじめに

交通事故による死者数は、日本では減少傾向にあるものの、世界的には依然として大きな社会問題であり、更なる安全性能の向上が求められている。そのため、MAZDA3 以降の新型車では、万が一の衝突事故における

乗員や歩行者の保護性能を向上するため、市場でのさまざまな事故・傷害形態の分析と人体における傷害発生メカニズム (人間研究) を開発の軸とした。

また、深化した魂動デザインと意のままに操る楽しさを実現するために、高効率な衝突エネルギー吸収技術を最軽量の構造として具現化するための進化にも取り組ん

\*1~7 衝突性能開発部  
Crash Safety Development Dept.

だ。この進化のポイントは、机上開発の段階において、衝突及び衝突に関連する他性能の進化の構想をエネルギーの状態（伝達・吸収・反射・減衰）で分類し、衝突と同体質なものを統合することで、全体最適・高効率なロードパスを創出・構造化する MBD 技術の高精度化と適用拡大である。

新型 CX-60 では、特徴である後輪駆動やエンジン縦置き方式、PHEV の大容量リチウムイオンバッテリーの床下配置などの技術と、MAZDA3<sup>(1)</sup> で衝突安全性能を大きく進化させた新世代車両構造技術「SKYACTIV-VEHICLE ARCHITECTURE」を融合させた。更に、大型化による車両質量の増加への対応として、高強度材料への置換や、車体骨格の結合部強化・断面形状工夫、フレームのストレート化による軸方向への荷重の伝達率向上により、衝突時の荷重を吸収・分散して支える機能を更に進化させた構造で、軽量化と衝突安全性能の向上に取り組んだ。

本稿では、衝突安全性能と新型 CX-60 の特徴を高次元で両立させた「SKYACTIV-VEHICLE ARCHITECTURE」の進化について、代表的な衝突形態である前面衝突、側面衝突、後面衝突及び歩行者保護の各観点から紹介する。

## 2. 前面衝突性能開発

### 2.1 Large 商品群における前面衝突対応車体技術の進化

前面衝突は、エンジンルームを潰して衝突エネルギーを吸収し、乗員の傷害を軽減するのが一般的だが、CX-60 は、6気筒エンジンの縦置きパワートレインとショートオーバーハングデザインにおけるクラッシュブルゾンの確保や、プラグインハイブリッドによる重量増加、高電圧保護など、多くの課題があった。CX-60 はこれらの課題に対し、マルチロードパスによる荷重分散、高エネルギー吸収構造及び骨格部材の高強度化という3つのブレークスルー技術によって、軽量かつ優れた前面衝突安全性能、そして CX-60 のデザインを実現するトップレベルのショートオーバーハング（852mm）を達成している。

#### (1) マルチロードパスによる荷重分散

CX-60 はあらゆる方向の入力に対して乗員に加わる衝撃を和らげ、客室の変形を最小限にとどめるため、前突時の入力をメイン系列（フロントフレーム）・アップー系列（エプロン）・ロアー系列（サスクロス部品）の3つのロードパスで効率的にエネルギーを吸収する構造を採用した（Fig. 1）。更にフロントフレームからの入力は、従来の B フレームに加え、トンネルサイドやトルクボックス、アップーロードパスに伝達するなど、各系列の入力をキャビンの各部材に分散させることで、客室変形を抑え乗員への直接的な被害の軽減を図った。

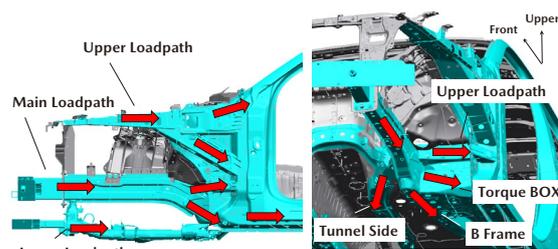


Fig. 1 Multi-Load-Path Structure for Frontal Crash

#### (2) 高エネルギー吸収構造

CX-60 は限られたスペースの中でより効率的に衝突エネルギーを吸収するために、縦置きエンジンのメリットを生かし、メインロードパスのクラッシュボックス〜フロントフレーム〜キックアップ〜B フレーム、ロアーロードパスのクラッシュボックス〜サスクロスなど、骨格部材を最大限ストレート化することで荷重の伝達率を上げ、質量効率の良い骨格を実現した（Fig. 2）。

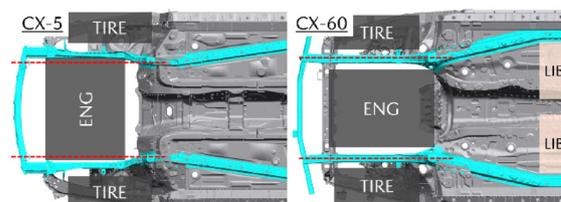


Fig. 2 Comparison of Body Structure

また、フロントフレーム部においては、安定的な軸圧縮変形を実現し、エネルギー吸収効率を倍増させながら省スペース化と軽量化を両立させる断面中心のストレート化や、変形周期コントロールの節、フレーム前部と後部で断面構造を変える稜線徐変構造を織り込んだ（Fig. 3）。これにより、CX-60 はひとつのボディで ICE と PHEV を搭載可能な構造としつつ、高い前面衝突安全性能と軽量化を実現している。

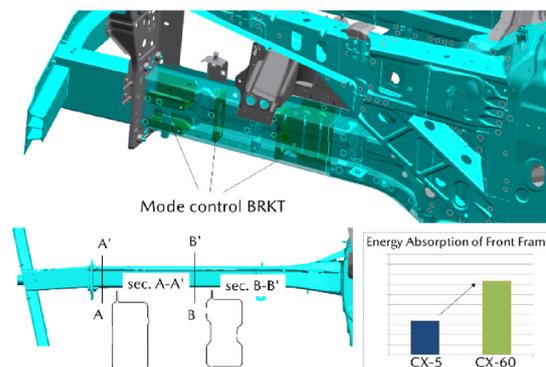


Fig. 3 Mechanism of Straight Frame

#### (3) 骨格部材の高強度化

CX-60 は前突時の客室エリアの変形抑制と軽量化のため、A ピラーからルーフサイドに冷延 1470MPa 級の超

高強度鋼板を、ヒンジピラーとダッシュクロスにはホットスタンプ材をマツダ車として初めて採用し、高強度化を図った (Fig. 4)。これにより、荷重入力に対して客室の変形を最小限にとどめ、乗員傷害の低減に繋がった。また、これらの構造化のために、新たに開発したホットスタンプのスポット溶接強度を高精度で評価できる CAE 技術を確立した。

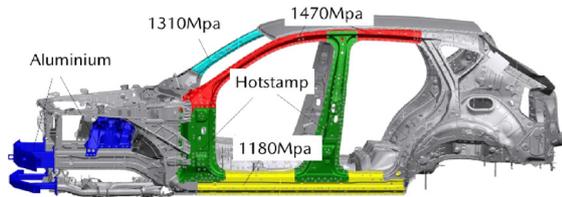


Fig. 4 High-Tensile

### 2.2 相手車保護構造の進化

CX-60 では万が一の車対車衝突時に相手車両も保護する技術として、車両フロント部の発生荷重均質化構造を採用した。相手車保護には、自車と相手車双方のエンジンルーム内におけるエネルギー吸収を最大化することが効果的である (Fig. 5)。これを実現するために、車両フロント部のサブフレーム前にペリメータービームを新たに設置し、バンパーレインとともにワイド化することで、自車と相手車双方のエネルギー吸収発生機会の最大化を実現した (Fig. 6)。

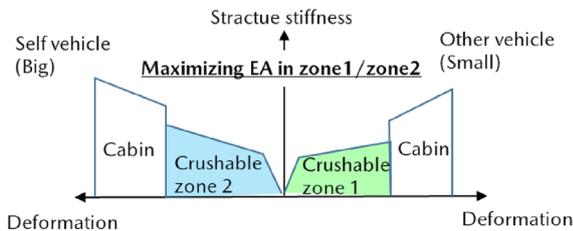


Fig. 5 Maximizing EA in the Two Vehicle's Collision

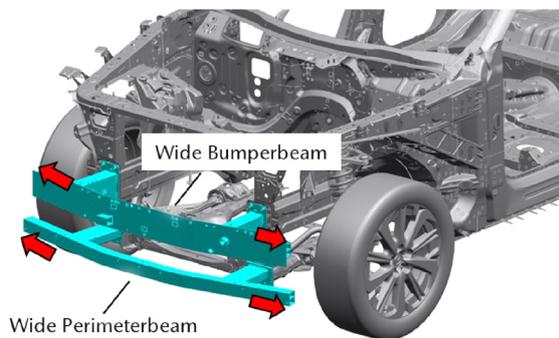


Fig. 6 Load Homogenization Structure of CX-60

本構造と従来構造にて、車対車衝突 (車両幅方向干渉量 3 水準) で効果確認を実施したところ、相手車における車体減速度は平均 10%、車体変形は従来構造よりも 30%改善した (Fig. 7, 8)。相手車保護構造の進化によ

り、自車及び相手車のエンジンルーム内におけるエネルギー吸収が増加し、衝突時の相手車に対する自車の進入挙動緩和傾向が確認でき、これが相手車両の車体減速度や車体変形の減少に寄与したと考えられる (Fig. 9)。

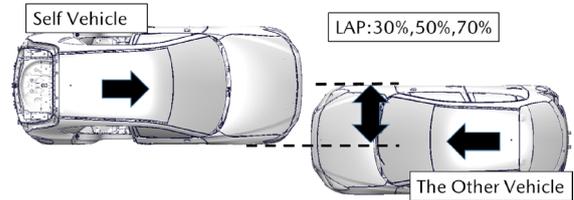


Fig. 7 Conditions for Confirming Load Homogenization Structural Effects in Vehicle-to-Vehicle Collision

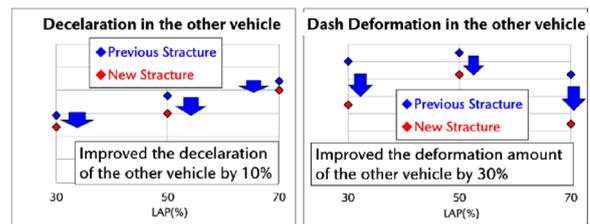


Fig. 8 Deceleration Speed and Deformation in the Other Side Vehicle at the Collision with or without Load Homogenization Structure

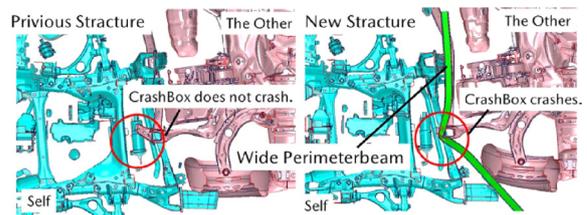


Fig. 9 Comparison of Behavior of Previous and New Structures in Vehicle-to-Vehicle Collision

## 3. 側面衝突性能開発

### 3.1 側面衝突時のバッテリー保護構想

法規 (UN-R135) や各国 NCAP でも採用されている電柱などへの衝突を想定したポール側面衝突時は、車両の局所変形が大きいため、車両搭載のバッテリーパックをポールや潰れ残った車体などに衝突させないことが必要である。特に、車両の中央部は、重心に近いので、高いエネルギー吸収性能が車両に求められる (Fig. 10)。

CX-60 では、動力源が異なる内燃機関・電気駆動方式 (PHEV, Mild Hybrid) のプラットフォームの基本構造を共通とした上で、床下に配置された PHEV の大容量リチウムイオンバッテリーの衝突安全性能を確保するため、主にサイドシルで衝突エネルギーを吸収する従来の構想から、トンネル部も併せて活用する構想に発展させ、エネルギー吸収量が 10%改善した (Fig. 11)。

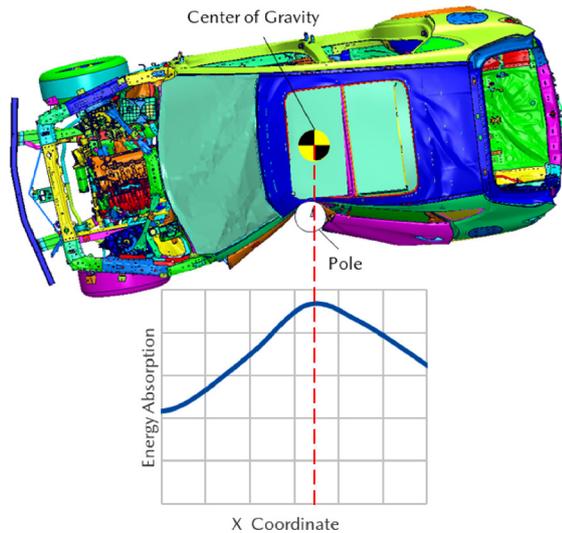


Fig. 10 Energy Absorption for Each Collision Position

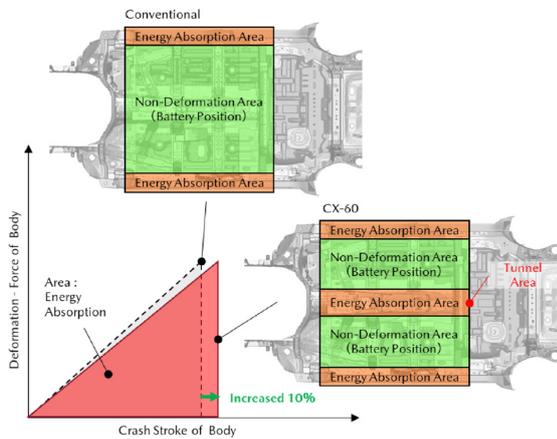


Fig. 11 Battery Protection Concept

### 3.2 バッテリー保護構造によるエネルギー吸収制御

トンネル部のエネルギー吸収機能を最大限に活用するため、一体型のバッテリーパックをトンネル部の左右に分割して配置し、フレキシブルチューブで左右のパック間を繋ぐマルチパック構造を採用した。これにより、左右のパックを一体の挙動から別々の挙動で制御することが可能となり、トンネル部で非衝突側パックのエネルギーを吸収させることで、衝突側パックの衝突エネルギーを50%低減した (Fig. 12)。

更に、車両に高いエネルギー吸収性能が求められる重心付近への衝突時に、バッテリーパックとポールとの衝突を防止するため、車体とバッテリーパックとの締結部品にエネルギー吸収機能を付与した (Fig. 13)。

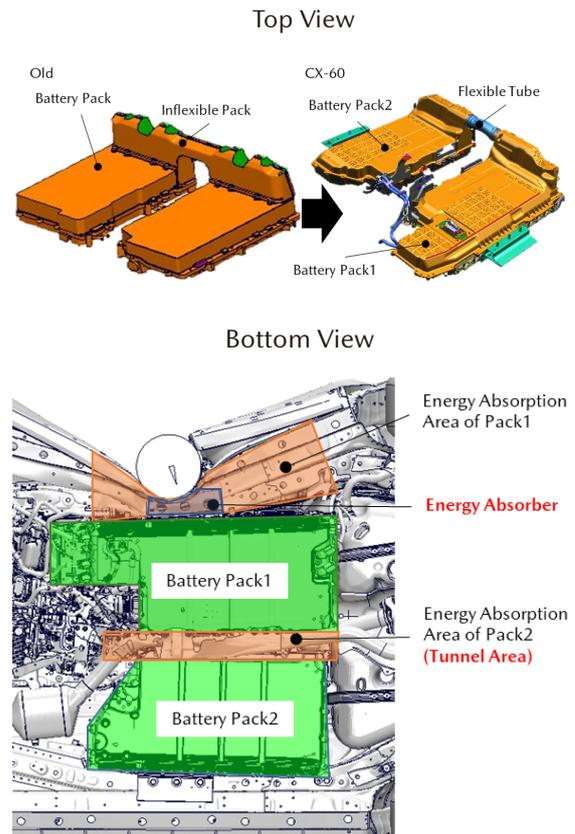


Fig. 12 Battery Pack Split Structure

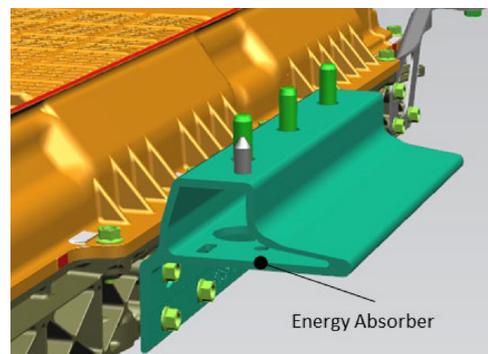


Fig. 13 Energy Absorber

## 4. 後面衝突性能開発

CX-60では、従来車と同様に時速80km/hで車幅70%に可動バリアが追突する衝突モードにおいて、キャビンの変形を抑え、衝突後もドアの開閉を可能とし、フロア下に配置した燃料タンクやバッテリーパックも保護することを目指した。そのために、荷室エリアで高効率に衝突エネルギーを吸収するリアフレーム構造を採用した。

従来まではリアフレームの曲げ変形を主体にエネルギー吸収させていたが、CX-60ではリアフレームをテーパ形状にすることで軸圧縮させて2倍のエネルギー吸収を可能とした (Fig. 14, 15)。また、高い効率の軸圧縮特性により、リアフレームの板厚を1ランク下げることでも実現し、軽量化に寄与した。

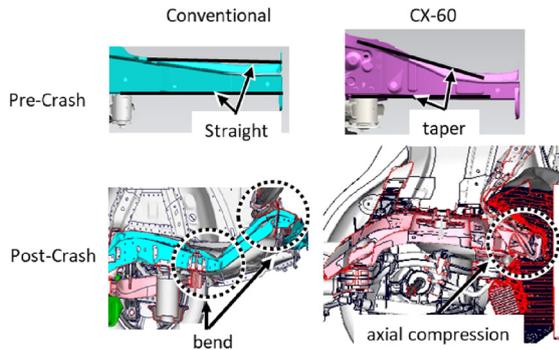


Fig. 14 Crash Behavior of Rear Frame

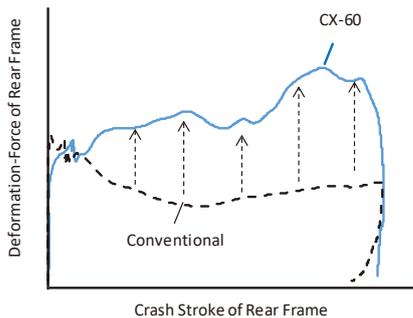


Fig. 15 Energy Absorption Performance of Rear Frame

### 5. 歩行者保護性能開発

歩行者の傷害を低減するためには、ボンネットやバンパーフェイスの強度を下げ、内部部品や車体骨格との間に衝撃吸収スペースを確保し、歩行者を軟らかく受け止める必要がある。

#### 5.1 頭部保護

ボンネット中央部は、MAZDA3<sup>(1)</sup> から採用した頭部衝突時の初期エネルギー吸収効率を高めたボンネットインナーのフレーム構造 (Fig. 16 青部) を採用し、外周部 (Fig. 16 赤, 緑部) は車体との支持剛性と頭部衝撃吸収性を両立した新構造を採用した。この構造の特徴は、頭部衝突時にインナー断面を変形させて頭部を保護する領域と、ボンネットの開閉操作や高速走行時の振動抑制のための剛性を確保する領域に上下方向で分けたことである (Fig. 17)。変形させる領域のインナー面の角度を変えることで変形しやすくなり、頭部への衝撃を緩和できる。

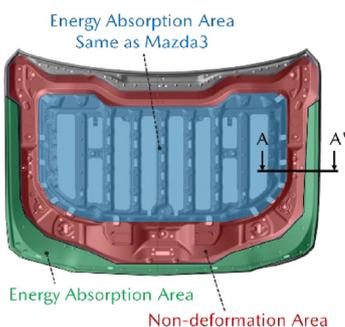


Fig. 16 Structure of Bonnet

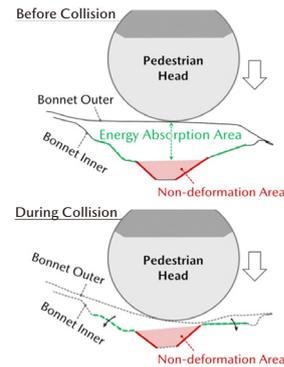


Fig. 17 Section A-A'

#### 5.2 腰部/脚部保護

CX-60 は、新支持部品『サポートブラケット』により高いバンパーフェイス支持強度と低強度で傷害抑制する腰部・脚部保護性能の両立を実現した。

従来構造では、バンパーフェイスはフェイス上部の車体 (シュラウドアッパーメンバー) との固定部品 (グリルブラケット) の強度を上げることで、自重による垂れ下がりの変形を防止し、ボンネットとの隙間の外観品質を確保している。CX-60 では、バンパーフェイスサイズの大型化やセンサーなどの機能追加で重量が増加するため、グリルブラケットの更なる高強度化が必要であったが、歩行者腰部・大腿部保護と背反することから、機能の両立が課題であった (Fig. 18)。

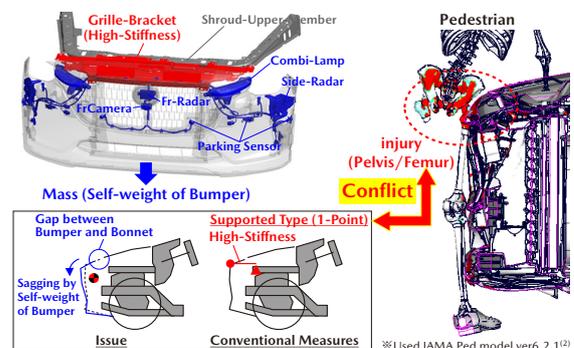


Fig. 18 Conflict between Supporting Self-weight and Pedestrian Protection

そのため CX-60 では、より効果的にバンパーフェイスの支持が可能なフェイス中部に新たな支持点 (以下、サポートブラケット) を追加して 2 点支持方式とした。フェイス中部は、バンパーフェイス全体の重心に近い位置で、高強度である①メッキシグネチャーウイング・グリルレイフォースを②バンパーレイフォースに固定できるため、上部の支持強度を大幅に下げることが可能である (Fig. 19)。これにより、グリルブラケットは歩行者腰部・大腿部の保護に最適な特性とすることができた (Fig. 20)。

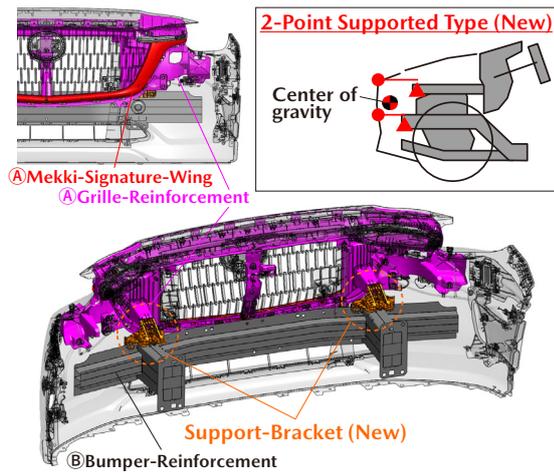


Fig. 19 New Bumper Supporting Structure

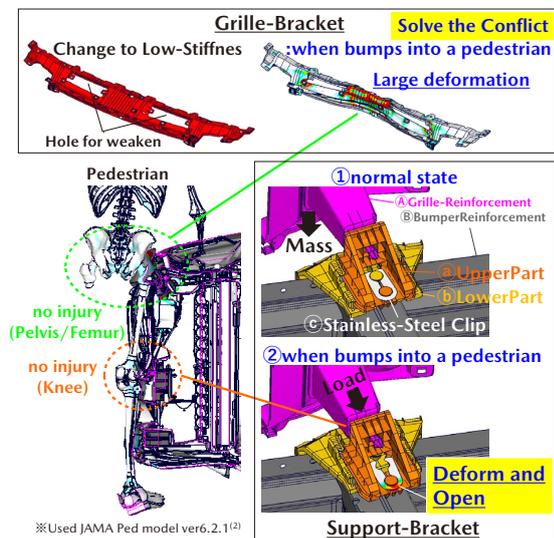


Fig. 20 Two Functions of Support-Bracket and Weakened Grille-Bracket

フェイス中部を支持するサポートブラケットには、①通常時は上下及び前後方向に強力な支持機能を発揮するが、②歩行者衝突時は前後への脱落機能を発揮することで歩行者膝部への反力を小さくする、という2つの機能を織り込んだ。

具体的な構造としては、高い支持機能のために本体の材料にはグラスファイバー配合強化樹脂を採用し、脱落機能のために本体を①アッパーと②ロアーに分け、その間を前後方向の規定入力を受けると変形して開く③ステンレスクリップでつないだ。規定入力を歩行者衝突時に膝部に傷害を与えない荷重で設計することで、走行中や洗車などの通常使用時には脱落させず、歩行者衝突時にのみ③が開いて①と②を分離し脱落させることが可能となった (Fig. 20)。

## 6. おわりに

本稿では、新型CX-60の衝突安全性能について紹介した。カーボンニュートラルやCASEなど、車に対するニ-

ズが多様化する中で、市場におけるさまざまな事故・傷害形態の分析と人間研究を軸とした新型CX-60の取り組みに基づき、より高い衝突安全性能を実現する技術開発を進め、今後もより良い商品をお客様に提供していく所存である。

## 参考文献

- (1) 竹村征樹ほか：新型 MAZDA3 の衝突安全性能，マツダ技報，No.36，pp.113-118 (2019)
- (2) Kunitomi S et al. : The Development of the Lower Extremity of a Human FE Model and the Influence of Anatomical Detailed Modelling in Vehicle-to-Pedestrian Impacts, IRCOBI conference, pp.469-493 (2017)

## ■ 著 者 ■



辻 大介



澤田 庸介



黒田 一平



谷本 晃一



松下 幸治



安藤 亮



水口 浩爾