

特集：新型デミオ

3

スモールカー群の車両アーキテクチャ Vehicle Architecture of Small Car Series

吉村 康志*1 豊田 稔*2 長尾 治典*3
Yasushi Yoshimura Minoru Toyota Harunori Nagao
高橋 達矢*4
Tatsuya Takahashi

要 約

新型デミオ、CX-3のスモールカー群の車両全体の構想（車両アーキテクチャ）は、CX-5以降の一括企画の範囲の中で立案されたものである。本稿では、CX-5以降の車種群一括の考え方を踏まえつつ、スモールカーとしてどのように各機能、システムを統合していったかについて記述する。マツダのクルマ造りは、車両全体の構想を立案し、これを実現させるために各システムがブレークスルーする方向と、これとは反対に各システムの重点ポイントを実現するために、車両全体の構想が構築される方向の双方が存在することを一つの特徴とする。本稿ではこのような、車両全体からのアプローチとシステムからのアプローチが同時、かつ相互に機能した具体例を紹介する。これはフォルクスワーゲングループが開発したMQB（モジュラ・トランスバース・マトリックス）に代表されるような、厳格なデザインルールによって事前に全体構想を規定するモジュラ戦略とは一線を画すやり方である。他社に秀でた高い商品力を効率的に創出していくことに着目すると、増大する各機能や各構造のコンフリクトを理解し、これを最適に解決する全体構想が必要となる。従ってこうした統合機能の強化が、厳しい環境の中においてもブランドを体現する商品を創出していくのに必要不可欠であると考えている。

Summary

The overall concept (vehicle architecture) of a series of small cars such as New Demio and CX-3 was developed within the scope of a bundled planning which started with CX-5. In this article, we describe how varying functions and systems were integrated in the small cars based on the idea of such bundled planning. Mazda's car manufacturing is characterized by its development approach in which each of the systems break through to turn the whole concept of the vehicle into reality, and reversely, the overall concept is developed to materialize prioritized points of respective systems. In this article, we introduce a concrete example of the vehicle-based and system-based approaches going together well. This development style draws a clear line from the modular strategy, as represented by Volkswagen Group MQB (Modular Transverse Matrix), which defines the overall concept in advance in accordance with strict design rules. Focusing on achieving a higher level of product competitiveness than that of our competitors efficiently, we need to come up with an overall concept that reconciles increasingly conflicting structures and functions and provides solutions in an optimal way. For this reason, we believe the enhanced functional integration is essential to design competitive products that embody Mazda brand even under challenging circumstances.

1. はじめに

新型デミオ、CX-3は、CX-5以降のモノ造り革新、コモンアーキテクチャ構想を進化させ、SKYACTIV技術、魂動デザインを体現する車両全体のアーキテクチャをスモー

ルカーで実現した。PT（パワートレイン）、ボデー、シャーシといったシステム、要素の技術進化、魂動デザインなどを一つの商品として、どのように空間制約の大きいスモールカーで統合してきたか、その思想と技術について記述する。

*1～4 企画設計部
Architecture Design Dept.

2. コモンアーキテクチャ構想に基づく 車両アーキテクチャ

コモンアーキテクチャ構想（以下CA構想）とは、車格を越えて各ユニットや基本レイアウトの設計思想を共通化することで、多種多様な商品を効率的に創出する取り組みである。PT、ボデー、シャシーといった各機能、各システムにおいて共通の設計思想を貫くのと同様、車全体においても共通の考え方に基づいた開発を実践している。

CX-5以降の商品群は、それ以前の“セグメントごとにプラットフォームを共通化する車づくり”から、“セグメントを超えた共通のCA構想に基づく車づくり”へと刷新した。その範囲はプラットフォームに限らず車全体を対象にしている。一例を示すと、プラットフォーム戦略を推進していた時代、デザインはトップハットで主に開発する傾向があった。しかし、CX-5以降の魂動デザインでは、タイヤの車両に対する位置といったプラットフォーム領域にまでデザインの基本骨格を織り込んでいる。このような各機能の理想を車全体で最適に実現する構想を、プラットフォーム構想に対して車両アーキテクチャと称す。

車両アーキテクチャでは、着座位置や空間形成の考え方、タイヤ/サスペンション/PT/インパネ等の基本配置の考え方を構築し、この考え方に従った固定/変動構想を確立する。この際に重要なことは、各システム、ユニットの技術進化、特に機能の理想状態を実現するための“寸法上の重点ポイント”を、いかに車として成立させるか、という“賢いモノの配置計画”を体現することにある。

同種の取り組みには、昨今VW（フォルクスワーゲン）MQBに代表されるようにモジュール戦略、プラットフォーム戦略が各社で展開されている。これらに対するマツダの特徴を車両統合という視点で分析する。各社の考え方は、粒度の違い（VW MQB：30程度、日産自動車とルノーが共同開発したCMF（コモン・モジュール・ファミリー）：4+1、トヨタが提唱するTNGA（トヨタ・ニュー・グローバル・アーキテクチャ）：アッパ/アンダ）はあるものの、車をいくつかのモジュールに分け、モジュールの中で仕事が完結できる状態を作ることによって構造的、機能的に分業化し、統合作業の効率化（例えば、組み合わせによるカーラインごとの開発要素の低減や部品共通化など）を図っている。

ところで自動車はデスクトップパソコンなどとは違い、機能と構造の関係が複雑に絡むインテグラルアーキテクチャといわれている。機能と構造が一体であることが前提のモジュラ概念をインテグラルアーキテクチャである自動車に適用するには、モジュール間のインターフェースやモジュールごとの役割をモジュールの開発に先行して厳格に規定、確立させることが前提となる。各社の組織改革などの施策を見ても、このような事前のデザインルールの規定が、モ

ジュラ戦略のキーポイントであるように見受けられる。

一方、事前のデザインルールの規定は、もし事後に予測を超える新技術の織り込みや仕様変更が発生した場合、必ずしも最適な前提条件であるとはいえず、結果的に期待する機能、性能に対して冗長となる可能性がある。そのため、事前予測の精度が重要となる。

これに対してマツダの場合は、各ユニット、システム間のルールの規定を、各機能/システムのCA構想の確立と同時に並行で実施している。同時並行とする理由は、“マツダのクルマ像”を高い次元で実現するには、各機能、システムの重点ポイント、及び、これによるコンフリクト要素を十分熟知したうえで、ルールを規定する必要があるためである。すなわち、機能-構造の複雑性に対して、高度な統合機能を発揮して最適解を導くことで冗長性を回避し、高い商品力を効率的に生み出していくアプローチといえる。

これは、大規模メーカーが、厳しい環境によって増大する新規開発要素を、効率的な開発によるリソースの再配分という視点で対処しようとしているのに対して、中規模メーカーのマツダでは、ブランド戦略により商品の目指す方向が一致していることを利して、全体集約志向で新技術の具現化と効率化を一挙に達成しているといえる。

以下に、CX-5以降、一括で構築してきた車両アーキテクチャを紹介しつつ、マツダの商品ラインナップにあって最もコンパクトであり、そのために構造面の制約条件も厳しい新型デミオ、CX-3における車両統合の注力ポイントを、フロント、センタ、リヤに分けて述べる。

3. フロントアーキテクチャ

3.1 横置きFFアーキテクチャの新しい考え方

横置きFFは、1960年代後期から、小型車を中心に普及したレイアウトである。フロントタイヤとトランスミッション、エンジンが一体で配置されることで小型化を図ることができ、初代フォルクスワーゲンゴルフなど小型車のスタンダードとなった。横置きFFのレイアウトは、エンジン自体の小型化に加えて、タイヤ～アクセルペダル間の寸法を極力小さくすることが原則であり、これによりエンジンルーム長を最小化し圧倒的な空間効率を実現している（Fig. 1）。

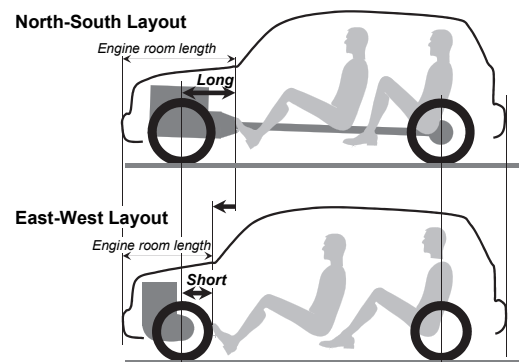


Fig. 1 East-West FF Layout

一方タイヤ～アクセルペダル間の寸法を小さくすることは、①タイヤサイズを大きくすることが困難である、②室内にホイールハウスが出っ張り、ペダルが内側に寄った窮屈なドライビングポジションを強いる、などの弊害がある。

マツダではCX-5以降の商品において、マツダの走る喜びを体現する車両アーキテクチャとするため、従来の横置きFFの概念を根本的に変革した。まず、従来のFFの定石とは異なり、タイヤ～アクセルペダル間の寸法を拡大した。この拡大されたスペースを活用して、ペダルが乗員に正対する理想的な運転操作配置と、SKYACTIVエンジンの重点ポイントである「ガソリン：4-2-1排気システム、ディーゼル：後処理システム（DPF）」を実現した（Fig. 2）。

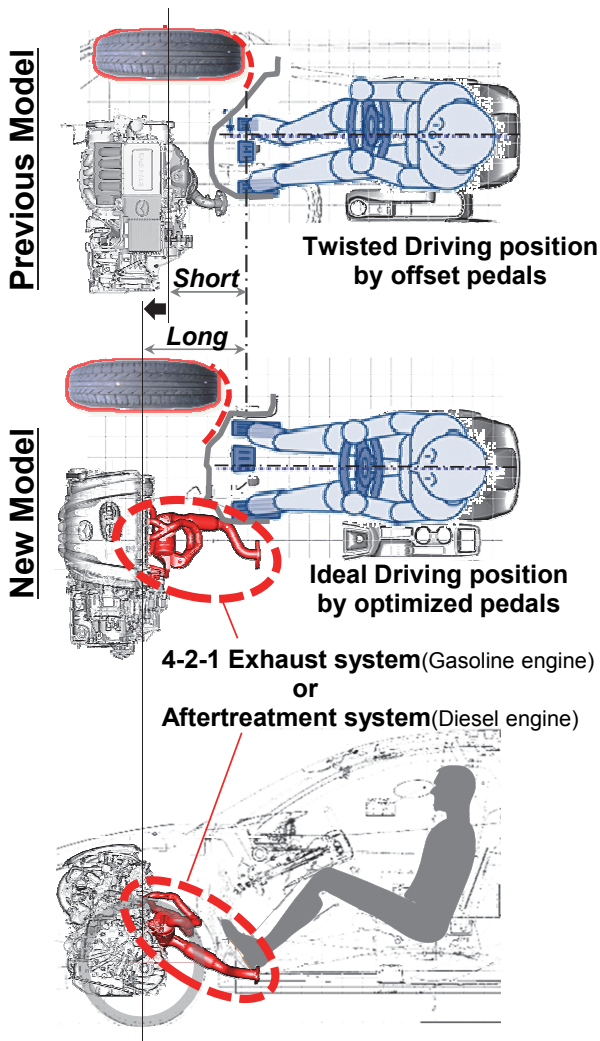


Fig. 2 Key Points of New Model Layout

また、このタイヤ～アクセルペダル間の寸法拡大は、大径タイヤの装着を可能とするとともに、タイヤに対してキャビンを相対的に後方化することができ、「魂動デザイン」を基本骨格、プロポーションレベルで実現することにも貢献している（Fig. 3）。

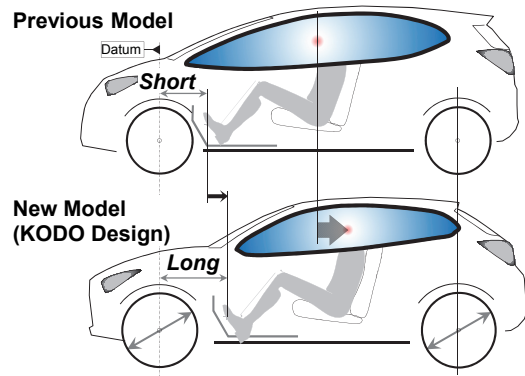


Fig. 3 Cabin Proportion

3.2 コンパクトなエンジンルームの実現

車両サイズの制約が厳しいスモールカーでは、コンパクトなエンジンルームの実現は不可欠である。そこで、タイヤ～アクセルペダル間寸法は拡大しつつ、タイヤよりも前のフロントオーバーハング部分を極小化することが、車両アーキテクチャ実現のブレークスルーポイントである。

具体的には、フロントオーバーハングを決める機能、部品構成を全て記述した、主要寸法の決定ルートを策定し、各機能、システムがオーバーハング値にどのように影響しているかを明確化した。これにより、部品構成の最適化と、各部品の効率的な最小化を実現した（Fig. 4）。

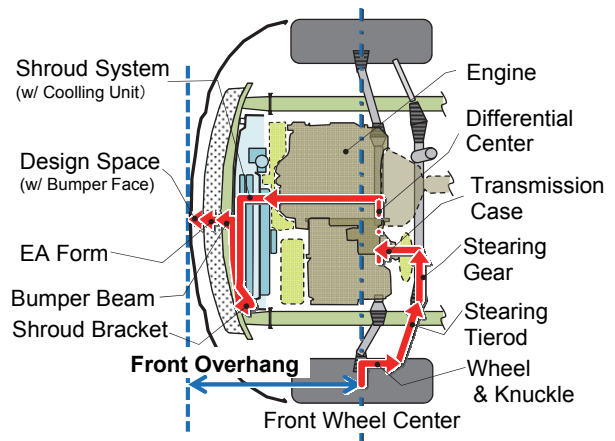


Fig. 4 Example of the Route to Decide Front Overhang

またこれにより、エンジンやラジエータの搭載位置といったデザインルール、固定変動構想をユニットの機能、構造とセットで最適に設定することができた。主要寸法の決定ルートには静的な寸法構成に加えて、衝突時のエンジン挙動といった動的要件も考慮し、乗員に障害を及ぼさない部品配置構成を明確にした。その結果、新型デミオ、CX-3は、全世界の衝突安全性能をクリアしつつ、コンパクトな外観諸元を達成した。

3.3 骨格革新による新たなクロスオーバ価値の実現

タイヤ〜アクセルペダル間の寸法拡大は、クロスオーバの新しい骨格実現にも貢献している。クロスオーバに相応しい大径タイヤを装着するには、従来の横置きFFでは、ドライバーの足元フロアを上昇させて対応する必要がある。CX-3では、タイヤ〜アクセルペダル間の寸法拡大により、足元フロアを上昇させることなく、大径タイヤの装着を実現している (Fig. 5)。これにより、グランドクリアランスを確保しつつ、全高を国内機械式立体駐車場に納まる1550mmに設定でき、他社が追従できない独自のポジショニングを達成した。また、足元フロア位置を新型デミオと共通にすることができ、新型デミオとの共通構造でクロスオーバを実現することができた。

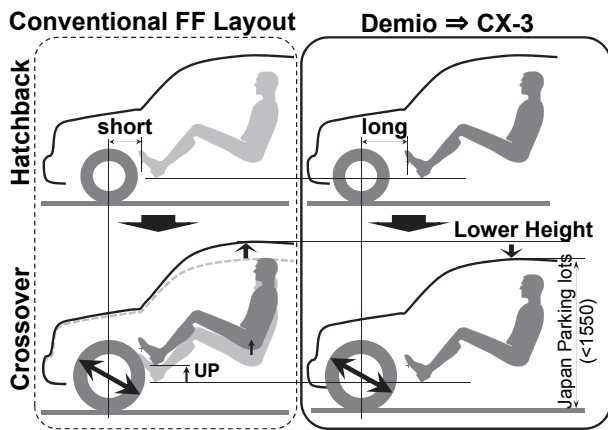


Fig. 5 Large Tire and Passenger Layout

4. センターアーキテクチャ

4.1 コンソール周りの操作系の革新

前述、Fig. 2に示すように、従来の横置きFFでは、室内にタイヤハウスが張り出すために、ペダル配置が内寄りになると同時に、乗員も内側に着座する配置が基本である。これは、スモールカーで特に顕著である。タイヤ〜アクセルペダル間の拡大は、ペダル配置の最適化とともに、乗員全体を車両外側に配置することを可能とし、従来のコンパクトカーでは実現できなかった、幅広いコンソールスペースを使った操作系の最適配置を実現した。具体的には、新たな操作デバイスであるコマンドなどを追加しながらも、従来は直列にしか配置できなかったパーキングブレーキとカップホルダを、上級車種と同様の並列配置とした。これにより、全ての体格の人が、適切にリーチの中で一連の操作ができるドライバーズカーとして理想的な運転環境をスモールカーで実現した (Fig. 6)。

また、前席乗員を車両外側に配置したのに対して、後席乗員は相対的に内側に着座するポジションとした。これによって、センタ部分が前方へ抜けていることにより後席乗員に広さ感をもたらすと同時に、前後席でコミュニケーションが広がる空間を実現した (Fig. 7)。

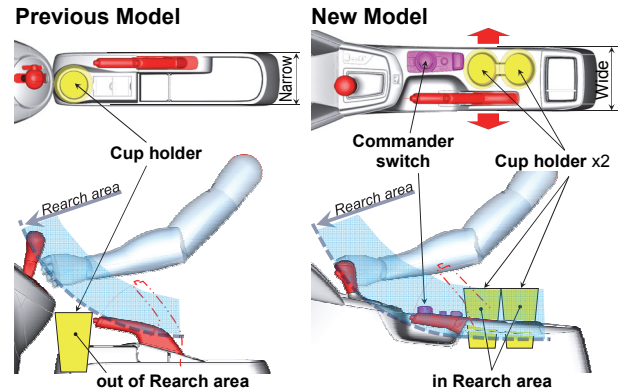


Fig. 6 Rear Console Layout

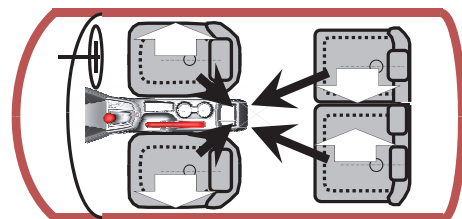


Fig. 7 Communication Space

4.2 乗員〜車両外側スペースの効率化

乗員着座位置を車両外側に配置することによる課題は、乗員〜車両外側スペースの縮小であり、特に国内5ナンバー幅を達成するには、側面衝突に対応するスペース、構造確保が最重要課題である。乗員より外のスペースにおいても、寸法制約となる機能、構造を明確にする、主要寸法の決定ルートの考え方を採用し、最小スペースでグローバルな側面衝突要件を満足する寸法と構造を明確にした (Fig. 8)。

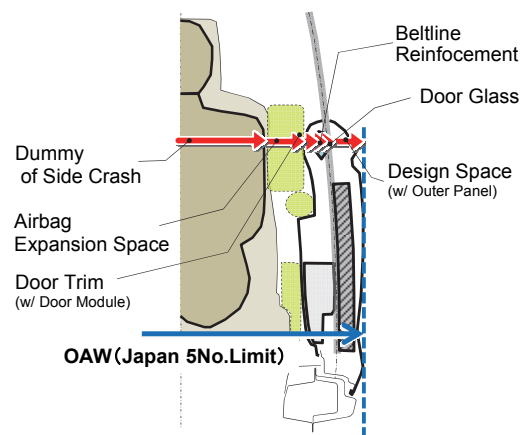


Fig. 8 Example of the Route to Decide Overall Width

4.3 運転環境におけるCA構想と乗員着座位置

(1) 運転環境におけるCA構想、固定／変動構想
CX-5以降の商品群は、“デミオでもアテンザでも人間にとって理想の運転席は共通”という考え方の基、車種群

共通の理想のドライビング環境を目指している。スモールカーでこれを達成する方策として、オルガンペダルなど、従来上級車種にのみ適用されてきたユニットをスモールカーに展開することに加え、立ち姿勢から寝姿勢まであらゆる着座姿勢に対応する固定/変動構想を構築した (Fig. 9)。

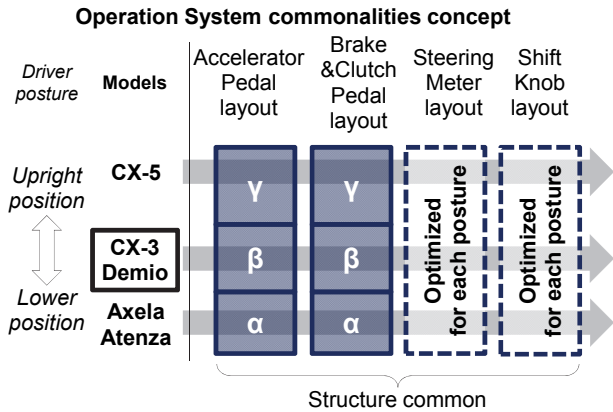


Fig. 9 Concept of Operation System Commonalities

Fig. 9に示すように、着座姿勢に応じて、ペダル、ステアリング、シフトの理想を実現するレンジをそれぞれ規定し、これに応じてきめ細かい固定/変動構想を設定した。具体的には、ペダル類は、理想レンジが比較的大きいので、3種類の構造で全姿勢をカバーする構想とし、ステアリング、メータ、シフト配置については、理想のレンジが狭いため、着座姿勢が比較的近い車種群で共通構造とした上で、その中で変動要素をきめ細かく設定することで各車要件に対応した。新型デミオ, CX-3のステアリング、メータ、シフト周りは乗員着座姿勢が近いため共通構造とし、一括で効率的に理想運転環境を実現した。

(2) 新型デミオ, CX-3の乗員着座位置

乗員着座位置は、スモールカーの「魂動デザイン」である躍動感の表現と、空間を有効活用するために、アップライトポジションとし、アクセラ、アテンザに対して立ち姿勢とした。また、CX-3については、前述の国内機械式立体駐車場に納まる1550mmの全高に加え、高い乗車姿勢による視界の良さ、乗り降り性の良さなど、クロスオーバとして訴求点となる複数の要件を最適に満たす乗員ポジションに設定した (Fig. 10)。

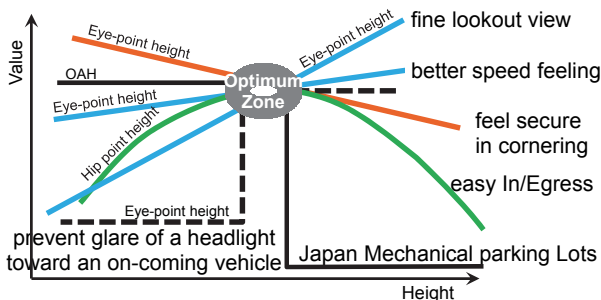


Fig. 10 Optimum Zone of Height

5. リヤアーキテクチャ

5.1 スモールカーのリヤアーキテクチャのねらい

新型デミオ, CX-3のリヤサスペンション形式はCX-5, アテンザ, アクセラのマルチリンクに対してトーションビームアクスル (以下TBA) を採用した。両者は構造面での違いが大きいためTBAに最適化したアーキテクチャとした。

CX-5, アクセラ, アテンザのマルチリンクは、トレーリングアーム取り付け位置を上方配置することが重点ポイントである。これは、突起などの路面入力をサスペンションストロークにより吸収させ、ブッシュへの前後入力を低減することで、乗り心地性能を向上させる方策である。これはマツダ共通の乗り心地性能向上の考え方であるため、サスペンションが異なるスモールカーでも共通の注力点である (Fig. 11)。

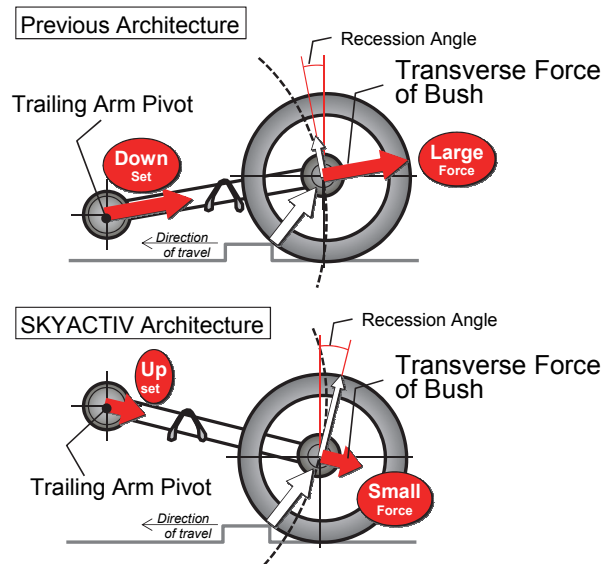


Fig. 11 Reduction of Rear Suspension Transverse Force

また、クロスオーバを持つスモールカーでは4WDの設定が必要である。従来構造ではTBA 4WDは2WDに対してサスペンションやボデーに大幅な変更を加える必要があり、性能面でも十分とはいえないなどの課題がある。この理由は、TBAの左右を連結するクロスビームが4WDのプロペラシャフトと干渉するためである。クロスビームの上下位置は、トレーリングポイントと連動するジオメトリ上の制約があり、かつクロスビームが横剛性を分担するため、剛性確保のためにクロスビームをストレートに配置する必要があるなどレイアウトの制約が大きい。

従来は、2WDで理想のジオメトリとストレート配置を実現し、4WDはそれをベースに、クロスビームを湾曲させて4WDを成立させてきた (Fig. 12)。

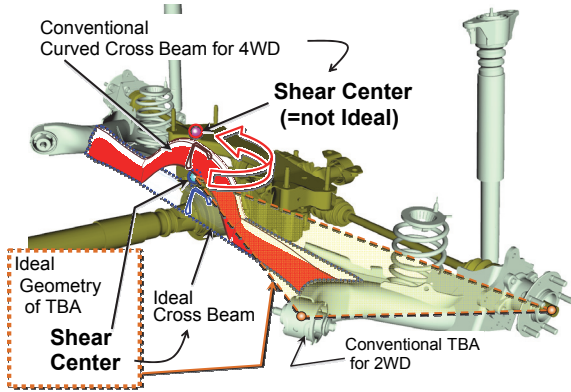


Fig. 12 Conventional TBA for 4WD

以上から、以下2点をレイアウトの最重点課題とした。

- ① トレーリングブッシュの上方化を、TBAにおいても実現する。
- ② 性能面で妥協のないメカニカル4WDを実現し、2WD/4WD、ハッチバック（新型デミオ）/クロスオーバー（CX-3）で共通構造を実現する。

5.2 ねらいを実現するブレークスルーポイント

トレーリングブッシュを上昇させる実現構造における工夫について記述する。TBAは構造上、サスペンション入力を全てトレーリングブッシュで受けるため、マルチリンクのようにフレーム下面に穴を空けて、ブッシュをフレームの中に入れて上昇させることは困難である。従って、フレーム断面形状の最適化に加えて、マルチリンクに対して乗員を内側に着座させるなどの工夫をすることでトレーリングブッシュの上方化を達成した。この乗員位置の内側配置は、前述Fig. 7の前後席のコミュニケーションが広がる空間構成の実現のソリューションにもなっている (Fig. 13)。

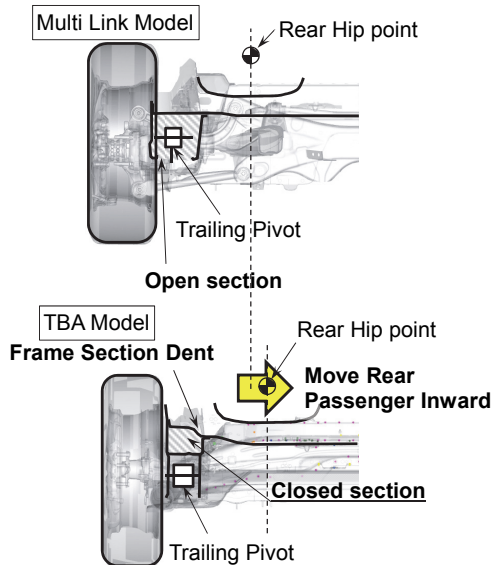


Fig. 13 Trailing Arm Pivot Position and Frame Section

トレーリングブッシュの位置を上昇させると、クロスビームも連動して上昇させる必要がある。これまでの構造はクロスビームの上方に排気管を配置していたため、クロスビームが上昇すると排気管のスペースが不足する。このため、クロスビームの下方に排気管を配置するコンセプトを採用した (Fig. 14)。

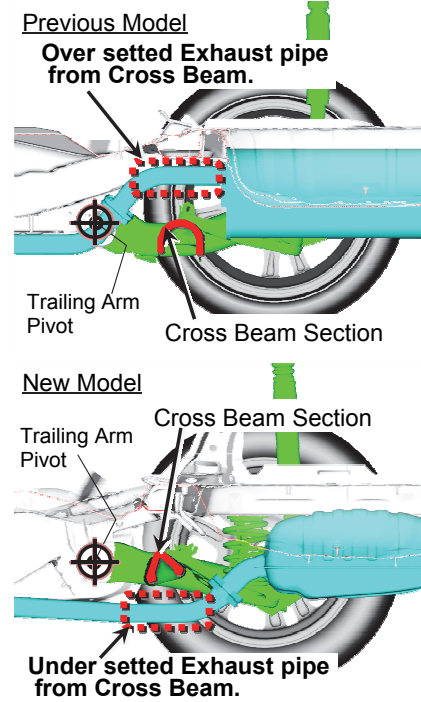


Fig.14 Rear Architecture - Previous and New Model

このコンセプトを実現するため、クロスビーム形状の最適化、排気管を部分的に扁平化、クロスビームの上方に配置せざるを得ないフィルターパイプの経路を給油性能とセットで最適化するなどの工夫を実施した (Fig. 15)。

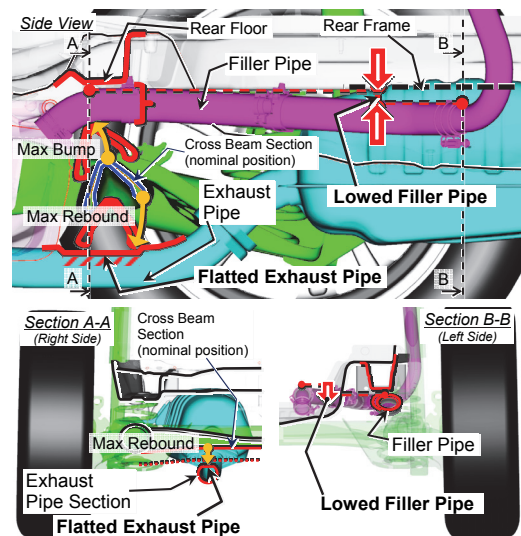


Fig. 15 Optimized Exhaust Pipe Shape and Fuel Pipe Route

こうして実現したクロスビームの上方化は、4WDにおいても駆動系を避けてクロスビームを極力ストレートに通すことを可能とし、2WD/4WD双方の理想を実現させた。

このように、排気系の下通し配置の実現は、2WD/4WD、ハッチバックとクロスオーバを含めた共通構造を実現するキーとなるブレークスルーであったといえる。TBA 2WDでの排気系の下通しは世界初であり、骨格レベルでの他社に対するアドバンテージとなっている (Fig. 16)。

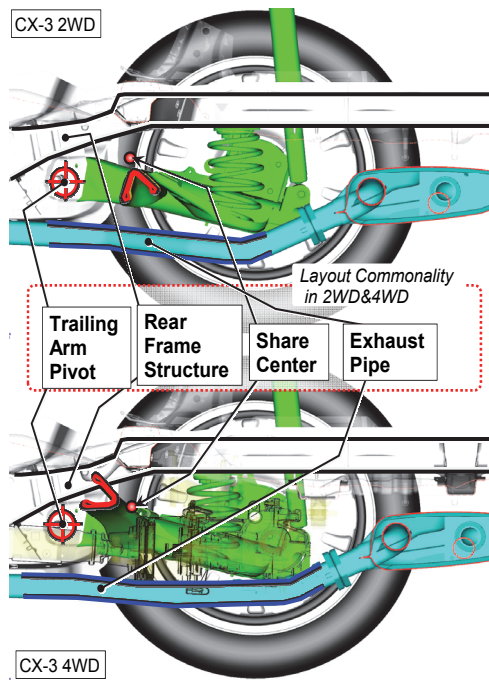


Fig. 16 TBA Layout Commonality between 2WD and 4WD

6. おわりに

本稿ではスモールカーにおける統合化の具体策を紹介した。フロントの例では、タイヤの前出しが、パワートレイン、デザイン、ペダル配置、コンソール幅広化のソリューションとなったと同時に、スモールカーでタイヤ前出しを実現するために、ショートオーバハンクなどのブレークスルーが貢献したことを示した。同様にリヤでは、排気系の下通しが理想的な乗り心地とクロスオーバを含めた4WDの理想構造を達成した一方で、排気系の下通しを実現するために各ユニットのブレークスルーが必要であったことを示した。これは、各機能、システムの重点ポイントを実現するために車両アーキテクチャとして前提条件やレイアウト方針を定める一方で、車両アーキテクチャで定めた前提条件やレイアウトは、逆にシステム側のブレークスルーによって実現されるといった高度なすりあわせの実例である。

自動車は機能と構造が複雑に絡み合うアーキテクチャであり、かつ人間を乗せて高速で走るうえに、環境、安全等の要請、快適性や楽しさを求める顧客ニーズに応じていく

必要がある。従って常に新しい技術を導入しつつも、冗長性を許容しない構造が要求される。このような環境におけるマツダのクルマ造りは、厳格なデザインルールに基づくモジュラ志向による分業とは異なり、各機能、システムの理想構造を熟知したうえで、車両全体で最適に統合することにある。このアプローチこそ、マツダのブランドを体現する一貫した商品を創出し、商品力でリードし続けていくために必要不可欠なものであると考える。

参考文献

- (1) 長島聡：欧州OEMのモジュール戦略，自動車技術，Vol.67, No9 (2013)
- (2) 藤本隆宏：いわゆる「自動車のモジュール化」に関する一考察，自動車技術，Vol.68, No.6 (2014)
- (3) 目代ほか：新たな車両開発アプローチの模索 - VW MQB, 日産 CMF, マツダ CA, トヨタ TNGA -, 赤門マネジメント・レビュー, 12巻, 9号

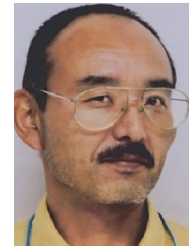
■ 著 者 ■



吉村 康志



豊田 稔



長尾 治典



高橋 達矢