

特集：MAZDA CX-90

04

SKYACTIV-G 3.3T のパッケージ開発 Package Development of Skyactiv-G 3.3T

谷所 正彦^{*1} 濱詰 嘉浩^{*2} 吉武 勇人^{*3}
Masahiko Tanisho Yoshihiro Hamazume Hayato Yoshitake
徳島 和宏^{*4} 山谷 光隆^{*5}
Kazuhiro Tokushima Mitsutaka Yamaya

要約

マツダは、技術開発の長期ビジョン「サステナブル“Zoom-Zoom”宣言 2030」にて、クルマ本来の魅力である走る歓びによって「地球」、「社会」、「人」それぞれの課題解決を目指すと言明した。今回、マツダの技術開発ビジョンに基づき、走る歓びと優れた環境性能を高次元で両立することを目指して直列 6 気筒ガソリンターボ縦置きエンジン SKYACTIV-G3.3T を開発した。この新型エンジンは、SKYACTIV エンジン群の一括企画構想に基づき、さまざまな要件に適合させ CX-90 へ搭載した。本エンジンのパッケージ開発で注力したポイントは、マツダ独自の価値である魂動デザインや人馬一体といった、人間中心のクルマ作りに貢献している。本稿では、SKYACTIV-G3.3T のパッケージ開発について紹介する。

Abstract

Mazda announced in “Sustainable Zoom-Zoom 2030”, Mazda’s long-term vision for technology development that we will aim for solving issues that the earth, society and people are facing, by providing driving-pleasure — a fundamental appeal of automobiles. Now, based on Mazda’s technology development strategy, we developed Skyactiv-G3.3T, a new gasoline engine which has straight 6-cylinders and is longitudinally mounded, to realize both fun-to-drive and excellent environmental performance at high level. This new engine firmly adheres to the bundled concept of the Skyactiv engine group, meets various package requirements, and is mounted on the All-New Mazda CX-90. The points we focused on package development of this engine contribute to human-centric car development represented by KODO design and Jinba-ittai that are Mazda’s unique values. This report introduces the package development of Skyactiv-G3.3T.

Key words : Engine Package, Car Package, Layout

1. はじめに

マツダは、走る歓びと優れた環境性能を両立するため、大排気量化、後輪駆動化、電動化を組み合わせる SKYACTIV マルチソリューションスケラブルアーキテクチャー、また固定と変動を定義し効率的にユニットを派生するコモンアーキテクチャー構想に基づいてラージ商品群を開発している。国ごとのエネルギー事情やお客様のニーズに応じた技術を展開し、既に 2.5L 直列 4 気筒ガソリンエンジン SKYACTIV-G2.5 や 3.3L 直列 6 気筒ディーゼルエンジン SKYACTIV-D3.3 などを CX-60 に搭載している⁽¹⁾。これらの優れた基本性能⁽²⁾⁽³⁾をベースに更なる進化を織り込み、マツダが開発した量産用ガソリ

ンエンジンとして史上最高となる高出力、中低速域の力強いトルクとレスポンス、高熱効率での運転を広範囲で達成する 3.3L 直列 6 気筒ガソリンターボ縦置きエンジン SKYACTIV-G3.3T を新開発し、CX-90 に搭載した。本稿では、この新型エンジンをパッケージする際のコンセプトとブレークスルー技術を紹介する。

2. 開発コンセプト

2.1 パッケージとは

パッケージとは、複数のシステムとその構成部品をそれぞれの機能目標や制約を満足した上で所定の空間内に収め、全体としてねらいの機能を発揮し、一つの商品として成立させることである。

*1~5 エンジン設計部
Engine Design Engineering Dept.

近年、環境性能の改善を目的に多気筒化や電動化技術、また各種センサー類の導入などによりシステムは複雑化し、エンジン寸法は拡大傾向にある。その一方でマツダは走る喜び、魂動デザイン、人間中心の空間設計や高い衝突安全性能等を両立したいと考えている。エンジン周辺の空間制約の厳しさが増し続ける中で、これらを高次元で達成することがエンジンパッケージに求められている。

2.2 エンジンシステム構成

Fig. 1 にエンジン単体図を示す。排気側に電子制御ウェイストゲート付きのツインスクロール式ターボチャージャーとキャタリストを備え、ターボチャージャー下流吸気経路に順にエレキスロットルバルブ、大容量水冷インタークーラー、インテークマニフォールドをもつ。またシリンダーヘッド内から排ガスを取り出して冷却後にインテークマニフォールドへ戻す High-pressure EGR (Exhaust Gas Recirculation) Cooler と冷却水用サブタンクをインテークマニフォールド上部に備え、エンジンの各電子部品と PCM (Powertrain Control Module) をつなぐ大型のハーネスシステムがエンジン長手方向に通る。更に Fig. 2 に示すように、優れた実用燃費性能と高い遮音性能を実現するため、エンジンルーム内カプセルカバーでエンジン全体を覆う構成となっている。

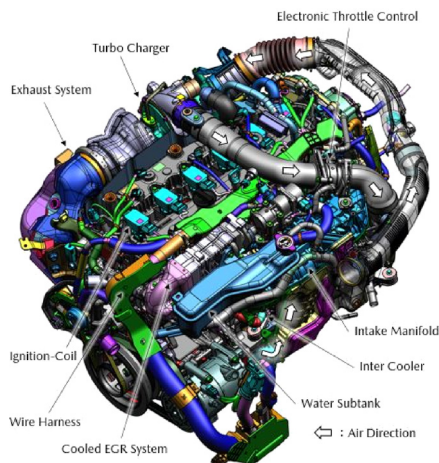


Fig. 1 Engine General View

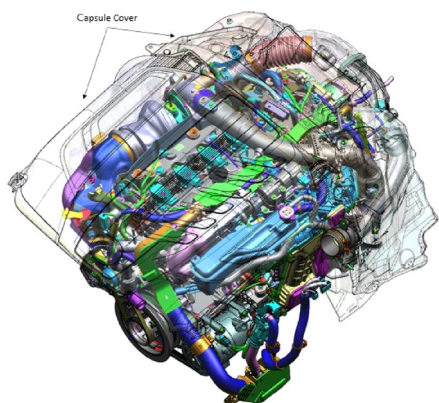


Fig. 2 Engine General View with Capsule Cover

2.3 エンジンパッケージ構想と課題

1. に述べたコモンアーキテクチャー構想により、SKYACTIV-D3.3 との共通/変動要素をあらかじめ定め、開発効率を最大化、投資を最小化しつつ、求められる高い出力性能と環境性能を限られた空間内で実現することが SKYACTIV-G3.3T のパッケージに求められた。

(1) 共通要素

a. エンジンユニット搭載位置

車両上の搭載位置、角度を SKYACTIV-D3.3 と合わせることでフロントデファレンシャル及びプロペラシャフト、エンジンマウントなどの大物構造系だけでなく、車両とエンジンを接続する燃料系、温水系、冷媒系、電気系の長尺物部品を共通化した。

b. エンジンユニット内部

シリンダーブロックなどの本体構造系、FEAD (Front End Accessory Drive) やクランクシャフトなどの回転系、オイルフィルターやオイルポンプなどの潤滑系及びウォーターポンプなどの冷却系基本構造や配置を共通化した。SKYACTIV-D3.3 同様、カムシャフトと燃料ポンプをリアチェーン駆動、ドライブシャフトをオイルパン貫通構造としエンジン全高を低減した。

c. エンジンユニット外部

Fig. 3 にエンジン周辺部品関係図を示す。エアクリナーなどの車両搭載部品と接続する吸気経路や排気経路も共通化した。例えばターボチャージャーは SKYACTIV-D3.3 と仕様は異なるが基本位置を合わせることで、ターボチャージャー上流で車両ダッシュパネルに固定される吸気経路を共通化した。また、左右ステアリングシャフトとはあらゆる走行シーンを想定したクリアランスを確保した。

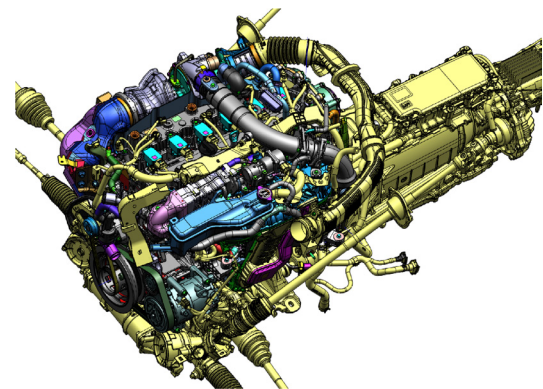


Fig. 3 Engine Package View

以上のように、SKYACTIV-D3.3 と共通骨格をもつガソリンターボエンジンを生み出した。単に部品共通化を図るだけでなくエンジンルーム内の衝突、熱害、防錆、NV (Noise, Vibration) 対策までも含めて効率的な開発を行った。更に、新設した直 6 エンジン組立ラインにおいてはディーゼル、ガソリンエンジンの高効率な機種混流フレ

キンプル生産も可能にした⁽⁴⁾。

(2) 変動要素

本エンジンはSKYACTIV-D3.3にはないユニーク要素ももつ。Fig. 4に示すようにSKYACTIV-G3.3Tのシリンダーヘッド内燃焼室はペントルーフ形でシリンダーヘッド高さやカム間ピッチ、吸気ポートの形状がSKYACTIV-D3.3と異なり、シリンダーヘッドが高く、その上に設置されるシリンダーヘッドカバーの位置が高い。また、Fig. 5に示すように吸気ポート形状、サージタンクの関係からインテークマニフォールド上面の位置も高く上部に残された空間は狭い。

更に、SKYACTIV-G3.3Tはイグニッションコイルやガソリンタンク内で気化した燃料を燃焼室へ取り込むパージシステム、またヘッドカバーにはベンチレーション経路/PCV (Positive Crankcase Ventilation) 経路を共用したオイルセパレータや吸気系と接続する換気用PCVホース、ブリーザーホースをもつため、ヘッドカバー上部に残された空間はSKYACTIV-D3.3よりも狭い。このように、ヘッドカバー上及びインテークマニフォールド上のパッケージが課題であった。

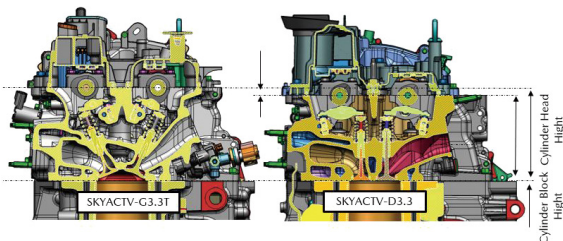


Fig. 4 Cross-Sectional Diagram of Cylinder Head

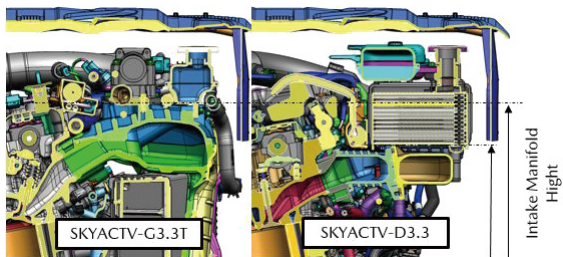


Fig. 5 Cross-Sectional Diagram of Intake Manifold

(3) カプセルカバー開発

2.2で述べたように、ラージ商品群はエンジンルーム内にエンジン全体を包み込む、車体固定のカプセルカバーをもつ。SKYACTIV-G2.5やSKYACTIV-D3.3と両立するカプセルカバーの基本構造共通化を進めるためには、上記(1)(2)の共通/変動要素を考慮しエンジンの輪郭を決めつつ、部品間公差とあらゆる走行条件におけるエンジン振動を考慮してカプセルカバーとのクリアランスを確保し、同時に他エンジンとの整合性も確認しなければならない。従来手法では、これら部品間公差、エンジン振動による部品位置変化、部品間クリアランスの計算

を一つ一つ手作業で繰り返す必要があった。SKYACTIV-G3.3Tのパッケージ開発にて、この解を見出す作業は極めて複雑なものであった。以降の章では、上記課題をブレークスルーするための技術を紹介する。

3. ブレークスルー技術

3.1 吸気パッケージ技術

インテークマニフォールド上のパッケージ問題を解決するため、Fig. 6に示すようにインタークーラーをインテークマニフォールド下に配置した。これにより空いたインテークマニフォールド上にEGRシステム、ターボチャージャー下流吸気経路、エレキスロットルを配置し吸気経路をスムーズにつなげた。インテークマニフォールド下に配置される燃料ポンプや燃料レールとの衝突安全性との両立が課題であったが、Fig. 7に示すように燃料ポンプ、燃料レールとインタークーラー間のクリアランスを確保しつつ、それらの間に強固なプロテクタを斜め配置することでクリアした。万一の衝突時には荷重を受けたインタークーラーがプロテクタに沿って滑り、後方へスライドすることで、プロテクタ内側の燃料系に衝突荷重を与えず、これらを強固に保護する。このアイデアによりパッケージと機能を同時に満足し、課題解決した。

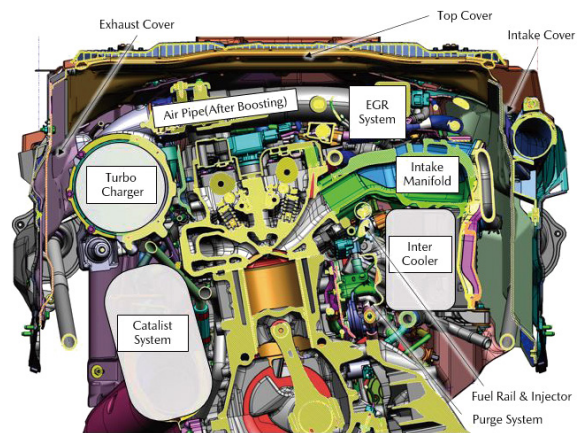


Fig. 6 Cross-Sectional Diagram of Engine (Longitudinal Direction View)

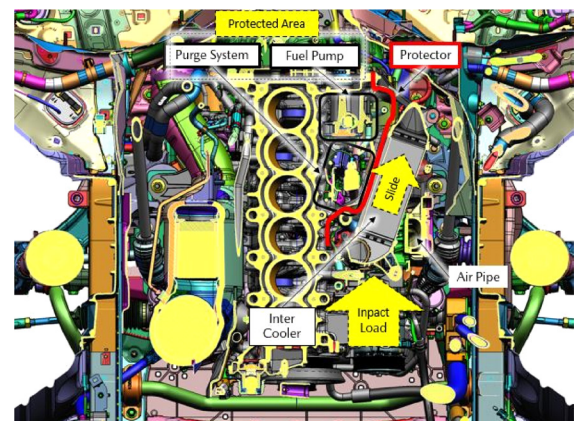


Fig. 7 Cross-Sectional Diagram of Engine (Plan View)

また、2.3(2)で述べたパーズシステムは従来のエンジンであれば、ヘッドカバー上やインテークマニフォールド上に配置されることが多いが、上述のインテークマニフォールド下プロテクタ内側へ内包した。近接する燃料レールとインジェクター及びそれらに接続されるハーネス、ロックセンサーなど周辺部品との緻密なクリアランスを確保することにより実現した。パーズバルブシステムを従来よりも短い経路でインテークマニフォールドへつなぐことで、パッケージと機能を両立した。

このように、さまざまなシステムや部品を一つ一つ整理し、無駄な空間を残すことなく合理的にパッケージしていくことで、機能を担保しつつエンジンと車両のパッケージを高次元にバランスした。

3.2 ヘッドカバー上パッケージ技術

ヘッドカバー上及びエンジンとカプセルカバー間のパッケージ検討を効率化するため、部品 3D モデルと公差値、エンジン振動データを入力することで部品周辺に必要な空間の 3D モデルを自動生成する簡易プログラムを開発した。これによりクリアランス計算や管理作業時間を 70%程度削減し、検討を大幅に効率化した。

ヘッドカバー上ハーネスシステムにおいても、パッケージ開発初期から経路のコンセプトを精度高く立て、分岐位置や固定個所を具体的に定めてばらつきデータを描くことで、機能要件や周囲の必要クリアランスを明確化した。ここでも上記プログラムを活用し効率化を図ることで従来比大幅に開発工数を削減できた。また、いくつかの技術アイテムを先行してパッケージしており、将来のエンジン技術進化に対応可能としている。

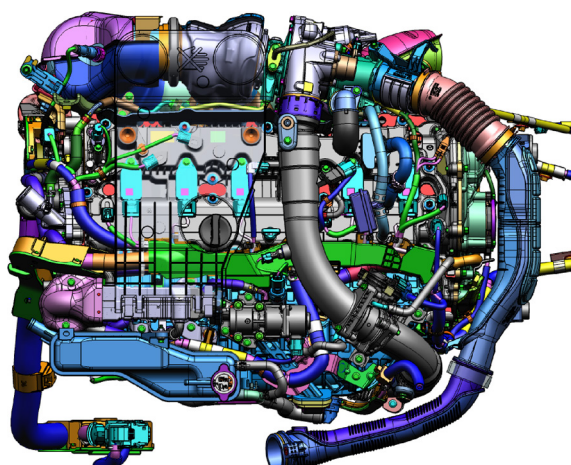


Fig. 8 Diagram Seen from Above Engine (Plan View)

Fig. 8 にエンジン全体を真上から見た図を、Fig. 9 にエンジンと車両の断面を示す。仮にターボチャージャー下流吸気経路として、ヘッドカバー上配置を選択しなかった場合、エンジンフロント側もしくはリア側を通過させる手段が考えられる。しかし前者はエンジン直付けの

キャタリストと干渉し、成立しない。後者はターボチャージャー上流経路と干渉する上、エンジンと車両のクリアランスが確保できずエンジン全体を車両前方へ移動させる必要がある。これはボンネット面の上昇や車両フロントオーバーハングの延長、更には乗員の視点にも影響を及ぼすことになり、車両パッケージやデザインを大幅に変更することにつながる。これらの理由により、ターボチャージャー下流吸気経路にヘッドカバー上配置を選択した。重量物であるエンジンを車両重心に近づけるパッケージは、車両のヨー慣性モーメントの低減により運動性能を向上でき、マツダらしい人馬一体の走りの提供に貢献している⁽⁵⁾。

このように、一つ一つの部品は小さなものであるが、細かいエンジンパッケージの知恵や工夫が魂動デザインや人馬一体、走る喜びをサポートし、マツダブランドを支えている。

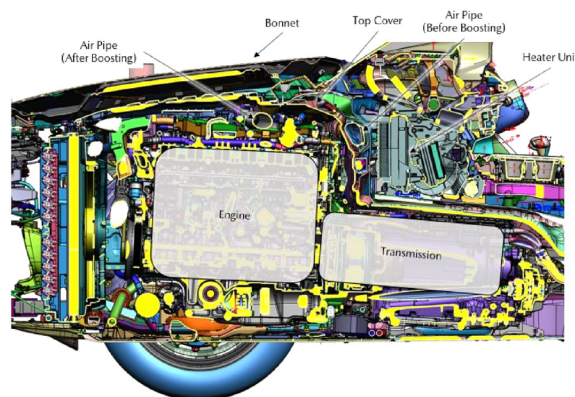


Fig. 9 Cross-Sectional Diagram of Car (Side Direction View)

4. おわりに

走る喜びと優れた環境性能を高次元で両立する SKYACTIV-G3.3T のパッケージ開発の事例を紹介した。ユニット内外のさまざまな課題をひとつひとつ解決し、実現したものである。

今後もマツダは独自の価値である魂動デザインや人馬一体、また人間中心のクルマ造りに求められるパッケージを進化させ、運転するたびにお客様の笑顔を生み出す商品を提供し続けていく所存である。

参考文献

- (1) 和田ほか：CX-60 の紹介、[マツダ技報, No.39, pp.3-6 \(2022\)](#)
- (2) 志茂ほか：SKYACTIV-D3.3 の開発、[マツダ技報, No.39, pp.21-27 \(2022\)](#)
- (3) 岡澤ほか：SKYACTIV-D3.3 の開発、[マツダ技報, No.39, pp.28-35 \(2022\)](#)
- (4) 永尾ほか：直列 6 気筒エンジン組立ラインの紹介、

[マツダ技報, No.39, pp.145-151 \(2022\)](#)

(5) 中村ほか：新型ロードスターのパッケージング, [マツダ技報, No.32, pp.108-113 \(2015\)](#)

■ 著 者 ■



谷所 正彦



濱詰 嘉浩



吉武 勇人



徳島 和宏



山谷 光隆