

特集：新型ロードスター

21

新型ロードスターのエンジン技術 Engine Technology for New Roadster

星野 司*1 早川 元雄*2 村中 宏彰*3
Tsukasa Hoshino Motoo Hayakawa Hiroaki Muranaka

要 約

2014年に25周年を迎えたロードスターの4代目となる新型モデルへ搭載するFRスポーツ用ガソリンエンジンSKYACTIV-G 1.5を開発した。ロードスター伝統の人馬一体コンセプトを実現するために、SKYACTIV-Gの究極の内燃機関を実現するという考えに基づき、ドライバの意のままに高回転まで軽快で伸びのあるエンジンを開発した。本稿では、このエンジンの諸性能と採用技術について紹介する。

Summary

SKYACTIV-G engine for FR Sports car was newly developed to be installed in the 4th generation All-new Roadster that reached its 25th anniversary in 2014. The new engine was developed with the SKYACTIV-G's basic concept of "realization of an ultimate internal combustion engine" added to the Roadster's inheriting "Jinba-Ittai" concept, resulting in more lively performance which is extensive up to high rpm. This article introduces the engine performances and technologies applied to the engine.

1. はじめに

SKYACTIV-G 1.5は、2013年に3代目アクセラに搭載され、マツダのブランドメッセージである「サステイナブル“Zoom-Zoom”」を具現化したエンジンである。

新型ロードスターに搭載するSKYACTIV-G 1.5は、初代ロードスターから受け継いでいる人馬一体をコンセプトに、走る歓びと優れた環境性能を高い次元で両立させるために、究極の内燃機関を実現するという理想を掲げてエンジン開発に取り組んできた。

理想を具現化するために、開発したロードスター用SKYACTIV-G 1.5 (Fig. 1) に採用した技術を紹介する。

2. 開発のねらい

スポーツカーに搭載するエンジンといえども、地球環境保全に対応する期待は年々増している状況である。アクセラに搭載しているSKYACTIV-G 1.5の高圧縮燃焼による高効率及び、低排出エミッション性能はそのままに、スポーツカーにふさわしい、高回転域までどこまでも軽快に伸びていくエンジントルク特性とすることを目標に開発に取り組んだ。



Fig. 1 New Roadster SKYACTIV-G Engine

3. エンジン諸元

エンジン本体は3代目アクセラ用SKYACTIV-G 1.5をベースとし、パフォーマンスフィールド領域では伸び感、軽快レスポンス及び、スポーツカーサウンドの造り込みを実施し、FRフロントミッドシップ搭載への対応として、コンパクト化と軽量化を目的にTable 1に示す領域を開発した。

*1, 3 エンジン設計部
Engine Engineering Dept.

*2 エンジン性能開発部
Engine Performance Development Dept.

Table 1 Principal Specification

Engine	AXELA SKYACTIV-G1.5	New Roadster SKYACTIV-G1.5
Mouting type	FF	FR
Max Power(JIS net)	82kW/6,000rpm	96kW/7,000rpm
Max Torque(JIS net)	144N·m/3,500rpm	150N·m/4,800rpm
Max Engine speed(rpm)	6500	7500
Bore×Stroke(mm)	φ74.5 x 85.8	←
Displacement(cc)	1,496	←
Compression ratio	13.0	←
Crank Shaft Material	Cast Iron	steel
Crank Shaft Type	semi full counter	full counter
Intake-valve event angle	254°	←
Exhaust-valve event angle	244°	249°
Int. Manifold Runner Length(mm)	395	365
Exh. Manifold Runner Length(mm)	600	450
Throttle Dia(mm)	50	55
Exh. Manifold	4-2-1type	←
Induction Sound Enhancer	w/o.	w/.
Fuel Grade	Regular	Premium

4. パフォーマンスフィール

4.1 伸び感への取り組み

高回転まで気持ちよく回る「伸び感」の実現を狙い、エンジン回転限界をベースエンジン比で1000rpm高い7500rpmとした。高回転化に伴い往復系の慣性荷重が増加する。そのためクランクシャフトを高剛性化し、バランス率を高めた。高剛性化はスチール材を採用し、ウェブ形状を最適化することで軸径を増やすことなくベース比剛性を16%向上した。フルカウンタウエイト構造を採用しウエイトの配置を最適化することでバランス率を高め、7500rpmまでのスムーズな吹け上がりを実現している。不快な可聴領域の共振周波数モードを抑えることを狙いとしてカウンタウエイト周りの形も最適化した (Fig. 2)。

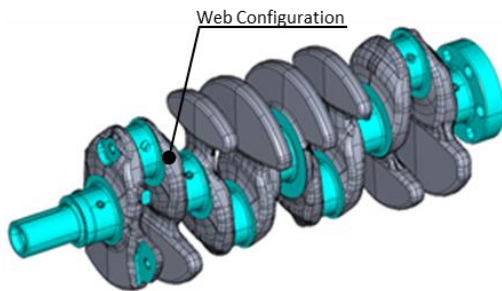


Fig. 2 Optimized Crank Shaft

4.2 軽快レスポンスの取り組み

スポーツカーにふさわしい軽快な吹け上がりを実現するために、主運動部品のイナーシャ低減に取り組んだ。主にフライホイールに関しては吹け上がりに加え、シフトチェンジの操作感、クラッチ操作のダイレクト感を求めて、新設計のソリッドフライホイールを採用した (Fig. 3)。パワープラント全体の振動減衰を見直すことでフライホイールイナーシャを17%、質量で9%低減を実現し、無負荷レーシング時の吹け上がり感やレスポンスの代用値である0.1G発生時間を改善した (Fig. 4)。また、ピストンとコ

ンロッドの往復系部品は質量を増加させることなく高回転化に対応しBIC質量を実現した。

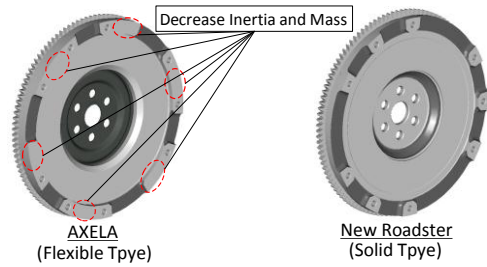


Fig. 3 Flywheel Comparison

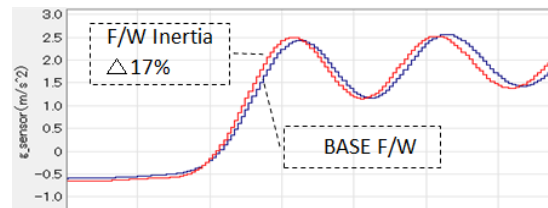


Fig. 4 Improvement of Response

4.3 吸排気系によるトルク特性の取り組み

SKYACTIV-Gの排気系の特徴は、4-2-1排気マニフォールド集合部、プリサイレンサ、メインサイレンサからの反転負圧波が吸気バルブと排気バルブのオーバーラップ期間に同調する回転数をコントロールすることである⁽¹⁾。新型ロードスターへ搭載するエンジンでは、高回転まで気持ちよく回ることが重要であるため、排気マニフォールド集合部までの長さを高回転チューニングした。具体的には、排気カム角の変更を考慮した上で、排気マニフォールド集合部までのランナ長さを450mmとすることで、4500rpmと6000rpmで同調するようにした。

排気マニフォールド同調点を高回転化することにより、低中回転域の体積効率低下といった弊害が発生する。吸排気系の超低抵抗化により弊害をリカバーした。吸気系についてはスロットル部内径を拡大し、吸気ダクト最狭部断面積を30%拡大した。排気系については各部径拡大及びFR搭載化に伴い、ストレート形状化を実施した (Fig. 5)。これらのことにより、吸気系通気抵抗及び、排気系背圧をアクセラ用SKYACTIV-G 1.5比で25%低減した。

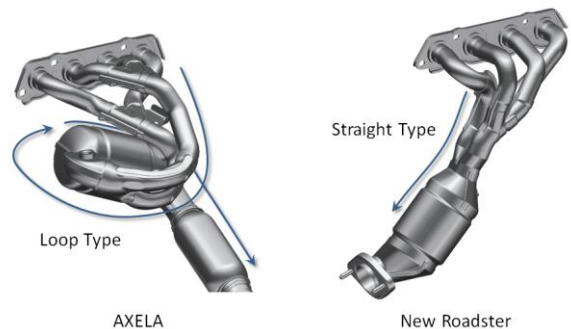


Fig. 5 Improvement of Exhaust Manifold Shape

4.4 ポンプ損失と機械抵抗低減の取り組み

(1) ポンプ損失低減技術

全回転及び全負荷領域において、高いバランスを示す開弁角249degの広角排気カムと排気ポート拡大専用ヘッドを含む低背圧排気系を織り込んだ。広角排気カムと低背圧排気系を組み合わせることで、高回転時の排気押し出しロスを抑制するとともに、ノック改善による効率アップを後押しする残留ガス低減も実現した。

(2) 機械抵抗低減技術

クランクケース内における各気筒間のオイル連通路面積を広く取ることで、高回転のオイル攪拌抵抗を抑制した。

4.5 トルク特性

以上に記述した高回転化、ロス低減及び吸排気系の取り組みにより、低中速トルクを十分に維持しつつ高回転域まで気持ちよく回るトルク特性を実現した (Fig. 6)。

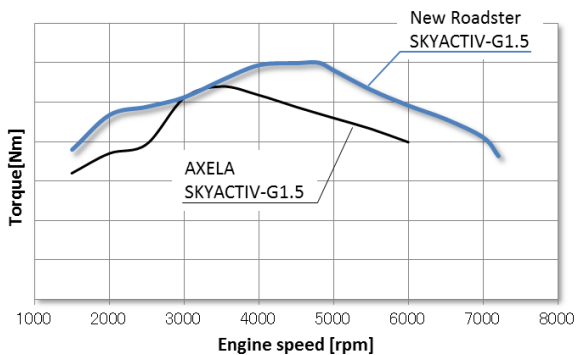


Fig. 6 WOT Performance

5. コンパクト化と軽量化の取り組み

FRスポーツカーへ搭載するに当たり軽量化とエンジン全高の低減による低重心化へも取り組んだ。軽量化ではFR搭載のマウント位置をパワープラント変形の節に配置することで振動レベル低減を図るとともに不要なリブをなくし肉厚低減による軽量化を実施した (Fig. 7)。冷却系配管レイアウトにおいても、ウオータアウトレットを車両前方に配置し、水配管を最短レイアウトで接続できるようにするために、シリンダブロック及びヘッドを新設し冷却水の流れ方をFF用のU字フロータイプから縦流れタイプへ変更した。また、開発初期から生産部門と開発部門が同時進行で詳細の形状検討を行うコンカレント活動を実施し、グラム単位での軽量化に取り組んだ結果、アクセラ用SKYACTIV-G 1.5エンジン比17kgの軽量化を行った。

エンジン全高低減に対してはオイルパンとロアブロックの幅を広くし高さを減らす変更を行った。旋回時にエンジンオイルが偏りがやすくなるがオイルパン形状を3次元的に最適化し適正な油面を確保するようにした結果、エンジン全高を20mm低減し低重心化を図った (Fig. 8)。

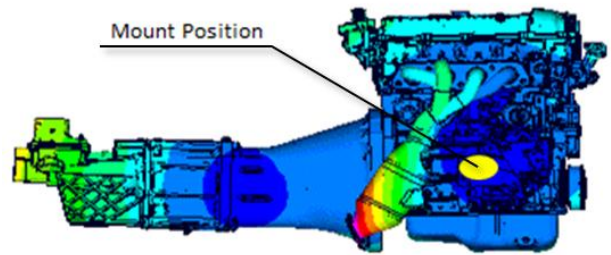


Fig. 7 Optimized Mount Position

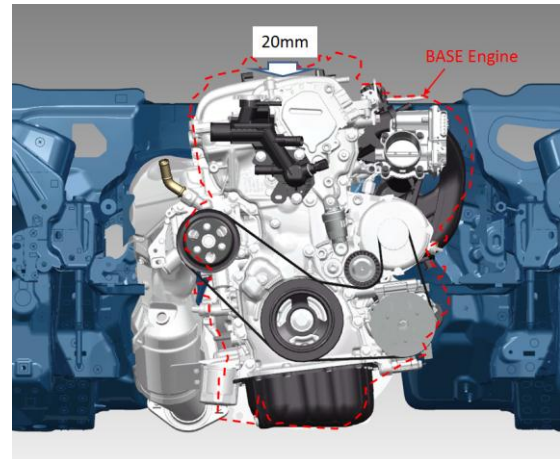


Fig. 8 Reduction of Engine Height

6. エンジンサウンド

スポーツカーにとってドライバーの感性を刺激する「走り感」を演出することが重要である⁽²⁾。低回転域での軽快感、中回転域での力強さを強調する鼓動感、高回転域での伸び感をイメージさせるエンジンサウンドを実現することで聴覚の側面から走り感を演出した。

低回転域では排気音を強調することで軽快感を実現することとした。4気筒エンジンの回転基本次数とその倍音成分である偶数次数がきれいに強調された澄んだ音質とするために各気筒の燃焼圧力波の干渉が均等になる等長4・2・1排気マニフォールドを採用した。また、メインサイレンサ内のパイプ長さ及び拡張室長さ共鳴により、低回転域のエンジン回転4次及び6次成分である130Hzから250Hzの排気音圧を強調した。加えて、100Hzにて車体キャビン空間と排気音が共鳴することで発生する不快なこもり音を抑制するためにメインサイレンサ内に100Hzのヘルムホルツ共鳴器を設けた。このことにより、排気音による低回転域での軽快感を実現した。

中回転域における鼓動演出のために、パワープラント振動を車体に伝達しているリヤデフマウントの振動特性をチューニングする必要がある。中回転域でのエンジン回転4次及び6次と隣り合うハーフ次数成分とが干渉するうなり効果により鼓動感を実現するため、振動特性を350Hzにチューニングした。

高回転域における伸び感は、旧型ロードスターから採用しているインダクションサウンドエンハンサー (ISE) ⁽³⁾ を用いて吸気音にて演出した。新型ロードスターで採用しているISEの概略図をFig. 10に示す。旧型ロードスターではカウルアップ内へ音を開放していたが、新型ロードスターではダッシュパネルを貫通し、直接キャビン内へ音を開放するレイアウトを採用した。このことにより、ドライバーのアクセル操作に対し、よりダイレクトに周波数300Hzから400Hzの領域で吸気音を演出することが可能になった。

排気音、パワープラント振動伝達音、吸気音を使って実現した新型ロードスターとアクセラ1.5Lエンジンの全開加速車内音マップをFig. 9に示す。乗用車らしいアクセラのサウンドと比較し、スポーツカーにふさわしい低回転から高回転までつながりを持って「走り感」の演出を実現した。

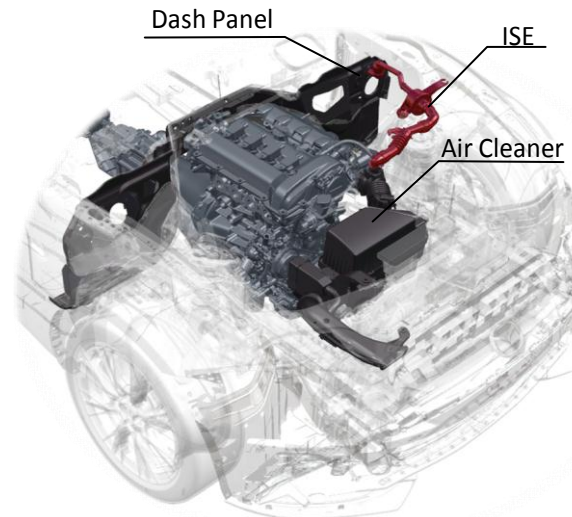


Fig. 10 ISE Layout of New Roadster

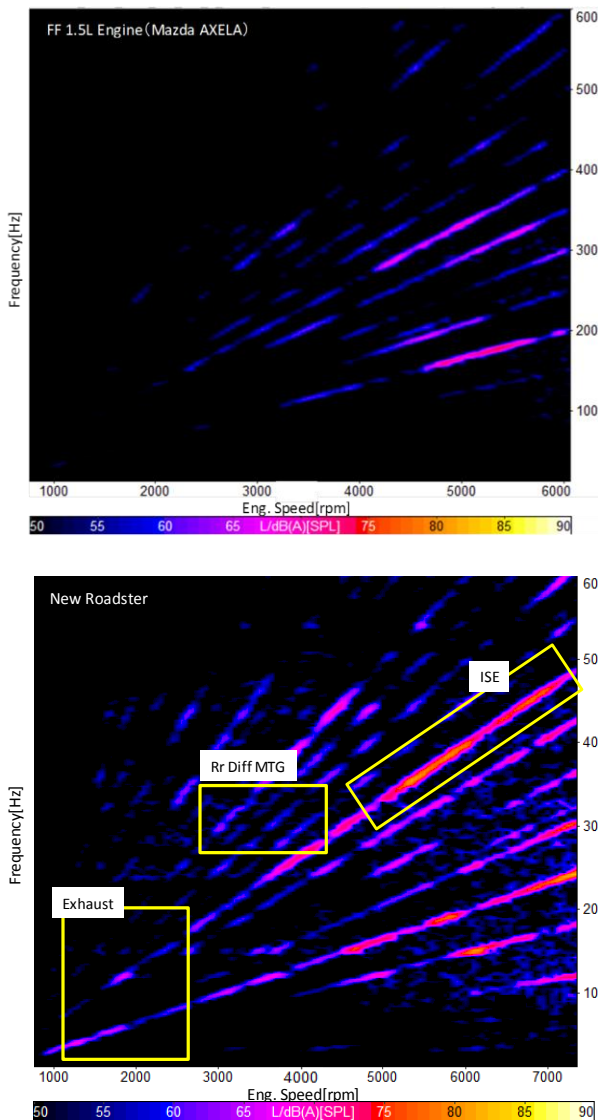


Fig. 9 Interior Sound Pressure Map

7. おわりに

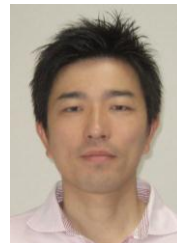
4代目となる新型ロードスターにふさわしいエンジンを開発するために、アクセラ用SKYACTIV-G 1.5をベースに主運動系、シリンダヘッド、シリンダブロック、吸排気系、冷却系というほぼすべての部品を新設した。

固定と変動要素を明確にしたコモンアーキテクチャ構想を活用することで、開発期間と投資の効率化を図り、アフターダブルスポーツカーに搭載できる理想を追求した専用エンジンを開発した。

参考文献

- (1) 富澤ほか：SKYACTIV-G 新型ガソリンエンジンの紹介，2012年自動車技術会シンポジウム (2012)
- (2) 山本：ロードスター20周年の総括，マツダ技報，No.28, pp.106-110 (2010)
- (3) 若狭ほか：新型ロードスターのパワートレインの進化，マツダ技報，No.27, pp.103-107 (2009)

■ 著 者 ■



星野 司



早川 元雄



村中 宏彰