

論文・解説

16

## 新型 1.5L ガソリンエンジンの紹介

### Introduction of a New 1.5-Liter Gasoline Engine

小田 裕介<sup>\*1</sup> 上村 匠<sup>\*2</sup> 吉田 健<sup>\*3</sup>  
 Yusuke Oda Takumi Uemura Ken Yoshida  
 山内 道広<sup>\*4</sup> 西田 智宣<sup>\*5</sup> 平林 千典<sup>\*6</sup>  
 Michihiro Yamauchi Tomonori Nishida Kazunori Hirabayashi

#### 要 約

マツダは技術開発の長期ビジョン「サステイナブル “Zoom-Zoom” 宣言 2030」に基づき、クルマのもつ魅力である「走る歓び」を通じて、地球・社会・人それぞれの課題解決を目指す新しいチャレンジに取り組んでいる。更に、2050年のカーボンニュートラルに挑戦することを表明した。このビジョンの実現に向けて、SKYACTIV-G 新型 1.5L エンジンは、特に燃費性能を重視し、走行性能を犠牲にすることなく、内燃機関の効率を徹底的に追求し、「走る歓び」と「優れた環境性能」を更に進化させた。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。

#### Abstract

Under its long-term vision for technology development “Sustainable Zoom-Zoom 2030”, Mazda has been pursuing a new challenge with an aim to solve issues facing the earth, society and people through “driving pleasure”, the fundamental appeal of the automobile. The company has also announced its endeavor for carbon neutrality by 2050. To proceed toward the realization of the vision, Mazda developed the new 1.5-liter Skyactiv-G engine with a particular focus on fuel efficiency. The engine has thoroughly pursued the efficiency of the internal combustion engine without sacrificing running performance and further evolved “driving pleasure” and “outstanding environmental performance”. This paper introduces various performances of the engine and technologies adopted for it.

**Key words** : Heat engine, Spark ignition engine, Performance/Fuel economy/Efficiency, Mixture formation

#### 1. はじめに

マツダは、将来においても地球・社会・人とクルマが共存する世界を思い描き、ライフサイクルアセスメントの考え方の中で CO<sub>2</sub> 削減効果の最大化を目指している。当社は、2030年グローバル生産電動化比率 100%を想定し、各地域における動力源の適性やエネルギー事情・発電構成を踏まえ、適材適所の対応を可能とするマルチソリューションを軸としたアプローチをとっていく。ハイブリッド車においても、その効果を十分発揮させるには、ベースとなる内燃機関の性能が重要であることはいうまでもなく、さらなる CO<sub>2</sub> 改善の継続的改善が必要である<sup>(1,2)</sup>。本稿では、クラス概念を打ち破る軽快なパ

フォーマンスと、優れた燃費・環境性能を発揮する新開発 1.5L エンジンの織り込み技術を紹介する (Fig. 1)。



Fig. 1 SKYACTIV-G 1.5

\*1 エンジン性能開発部  
 Engine Performance Development Dept.

\*3~5 エンジン設計部  
 Engine Design Engineering Dept.

\*2 MBD 革新部  
 MBD Innovation Dept.

\*6 PT 制御システム開発部  
 PT Control System Development Dept.

## 2. エンジン開発コンセプト

マツダでは、2019年にSKYACTIV-Xを市場導入し、日本燃焼学会「技術賞」を受賞するなど、高い評価を得ている。更なる地球環境負荷低減を推進していくためには、従来機種においても一層のCO<sub>2</sub>、粒子状排気物質（PN：粒子数/PM：粒子重量）の低減が求められる。今回紹介する新型1.5Lガソリンエンジンでは、SKYACTIV-Xの開発にて培った技術の一部を従来機種にも展開することにより（Fig. 2）、パフォーマンスを損なうことなく、環境性能を底上げすることを第一目標として開発を行った。

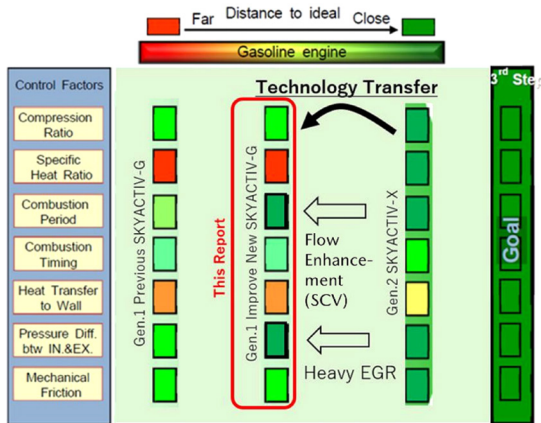


Fig. 2 Development Concept

Table 1 Dimension and Specification

Engine	Current 1.5 L	New SKYACTIV-G 1.5 L
Engine Type	In-line 4	←
Displacement (cc)	1496	←
Bore×Stroke (mm)	Φ 74.5×85.8	←
Compression Ratio	12.0	14.0
Combustion Chamber	Cavity Piston	Flat Piston
Intake-valve Time	Open (BTDC)	-36~38
	Close (ABDC)	110~36
Exhaust-valve Time	Open (BBDC)	14~59
	Close (ATDC)	5~50
Int. S-VT	Electric	←
Ex. S-VT	Hydraulic (0~45)	Hydraulic (0~55)
Fuel Injection	DI	←
Swirl Control Valve	w/o.	w/.
Cooled EGR	w/o.	w/.
Max Power	81kW/6000rpm	←
Max Torque	141Nm/4000rpm	142Nm/3500rpm
Fuel Octane Number	RON 90	←

## 3. エンジン諸元

今回の新型エンジン主要諸元を Table 1 に示す。基本骨格は、従来エンジンから引き継ぎつつ、燃費、エミッションの改善メニューとして、SKYACTIV-Xでの織り込み技術である以下の2点を採用した。

- ・スワールコントロールバルブ（SCV）
- ・クールド EGR システム

## 4. 燃焼改善技術

ガソリンエンジンでは、燃焼室内の混合気状態が燃費や排気ガス特性に大きな影響を及ぼす。新型エンジンではSCVの採用により、筒内混合気の流動を斜め渦状とし、流動に燃料噴霧を当て、点火プラグ付近に混合気を集め、燃焼速度を上げる新燃焼技術「斜め渦燃焼 Diagonal Vortex Combustion」を適用することで、燃費（WLTC モード従来比最大 6.8%向上）、エミッション PN（WLTC 現行比 57%低減）の改善を行った。

本章では、斜め渦燃焼の概要（4.1）、新燃焼技術による燃費改善（4.2）、エミッション改善（4.3）、及び新燃焼技術の構築により生じた弊害への対応（4.4）を紹介する。

### 4.1 「斜め渦燃焼 Diagonal Vortex Combustion」の概要

Fig. 3 に従来エンジンと、新流動形態を適用した新型エンジンにおける混合気の流線を示す。

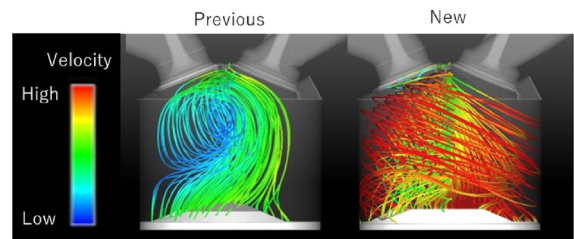


Fig. 3 Comparison of In-Cylinder Flow in Compression Process

従来エンジンでは、タンブル流（縦渦）を主とした流動形態としていたものに対し、新型エンジンでは運転条件に応じてスワール流（横渦）を付与することで、上図のような斜め渦（Diagonal Vortex）を形成させている。この混合気形態は Fig. 4 に示す SCV により、吸気行程中に斜め渦流動を生成、更に Fig. 5 に示すピストン形状の最適化によって、圧縮行程後半までこの流動形態を維持させている。

新型エンジンでは、この斜め渦流動を活用することにより、以下2つの機能を得ている。

- ① 燃焼急峻化
- ② 混合気制御性の向上

以降の項目にて、これらの機能を活用した燃費，PN/PM 改善技術を紹介する。

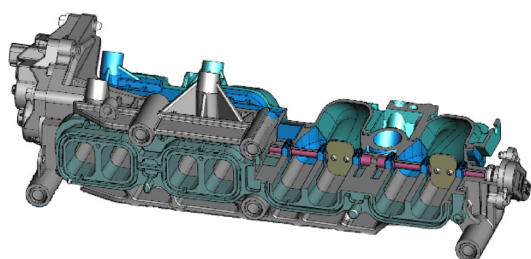


Fig. 4 Swirl Control Valve

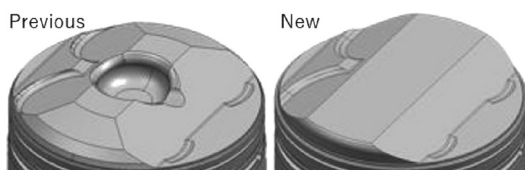


Fig. 5 Comparison of Piston Shape

#### 4.2 新燃焼技術を活用した燃費改善

まずは先述した斜め渦燃焼による機能①（燃焼急峻化）を活用した燃費改善技術を説明する。これまでの開発経験において、EGR 量を増加させることによって、ポンプロスを低減でき、燃費を改善できる一方で、燃焼速度の低下による燃焼安定性、及び排気損失の悪化が課題となっていた。これに対して、Fig. 3 で示したとおり、新型エンジンでは流動形態を刷新し、圧縮行程後半まで渦中心を斜めに傾けた状態を維持させることにより、点火時においても燃焼室中央部の点火プラグ周辺に強い流動を配置することができ、初期燃焼から急峻化させることができている。これにより燃焼速度が向上し、これまでの開発課題となっていた EGR 導入によるポンプロス改善と燃焼速度悪化のトレードオフをブレイクスルーすることができた (Fig. 6)。

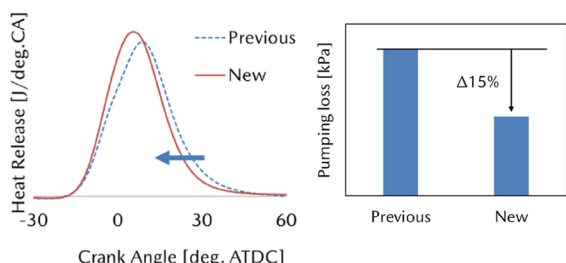


Fig. 6 Heat Release and Pumping Loss

また、新燃焼技術によるイネーブラを最大限に活用するため、EGR システムも刷新した (Fig. 7)。具体的には、流量制御性に優れたバタフライ式 EGR バルブを採用することにより、燃焼安定性を損なわない範囲内で限界まで EGR を導入することが可能になった。更に、レイアウト

の工夫によって EGR 経路を最短とすることで、レスポンス性と車両への搭載性も向上している。ユニット単体での、新旧燃費率マップ比較を Fig. 8 に示す。白枠で示す燃費良好な領域が、SCV，クールド EGR システム，及び EGR バルブの導入により大きく拡大した。これらにより WLTC モード従来比最大 6.8% の車両燃費改善に貢献した。

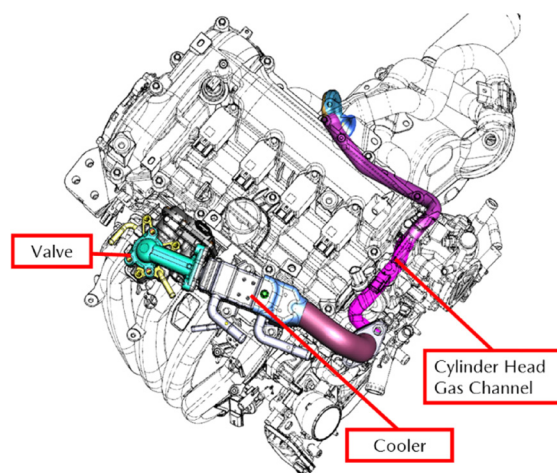


Fig. 7 Cooled EGR System

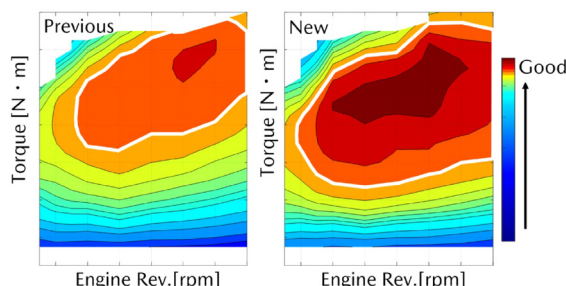


Fig. 8 Fuel Consumption Map

#### 4.3 新燃焼技術を活用した PM/PN 改善

次に、斜め渦燃焼による機能②（混合気制御性の向上）を活用したエミッション改善技術について説明する。ガソリンエンジンでは、触媒の早期暖気を行うため、冷間始動直後に点火タイミングを膨張行程まで大幅にリタードし、排気ガス温度を上昇させる必要がある。その結果、点火タイミングにおける燃焼室内の温度低下により着火性が悪化するため、点火プラグ周辺に着火性の良い濃い混合気を集める（成層する）必要がある。従来エンジンでは、圧縮工程後半にピストンに噴霧を衝突させることによって、燃料をプラグ周辺に輸送 (Wall Guide) していた。しかし、その際にピストン頂面に生じる燃料液膜が、PN の発生要因となっており、トータル排出の大部分を占めていた。そのため、新型エンジンでは Wall Guide 成層方式を廃止し、先述した新たな流動形態を活用した Air Guide 成層方式を採用している。Fig. 9 に Air Guide 成層方式の模式図を示す。

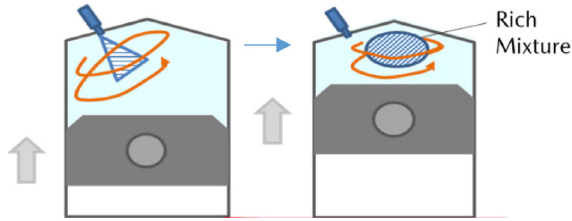


Fig. 9 Image of Air Guide Process

この Air Guide 成層方式では、SCV 開度を調整し、インジェクタ先端に流速の遅い渦中心を配置することによって、流動と噴霧が干渉することなく、燃焼室中央部に燃料を噴射することができる。渦中心に噴射された燃料噴霧は、ピストンにほとんど衝突することなく中心部で漂い蒸発する。蒸発した燃料は、拡散することなくピストンの上昇によってプラグ近傍に輸送される。

Fig. 10 に従来型の Wall Guide 方式と新型の Air Guide 方式での点火時混合気分布の解析結果を示す。混合気形成過程は異なるものの、燃焼安定性に必要とするプラグ近傍燃料濃度を実現できている、実機検証においても従来エンジンと同等の燃焼安定性を有していることを確認している。

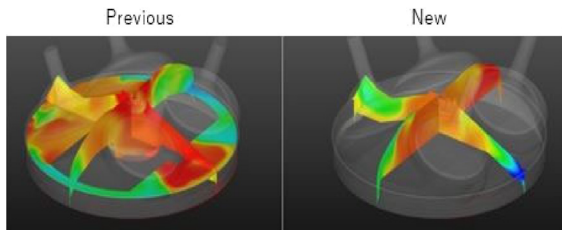


Fig. 10 Comparison of A/F in Cylinder at Ignition Timing during Catalyst Warming

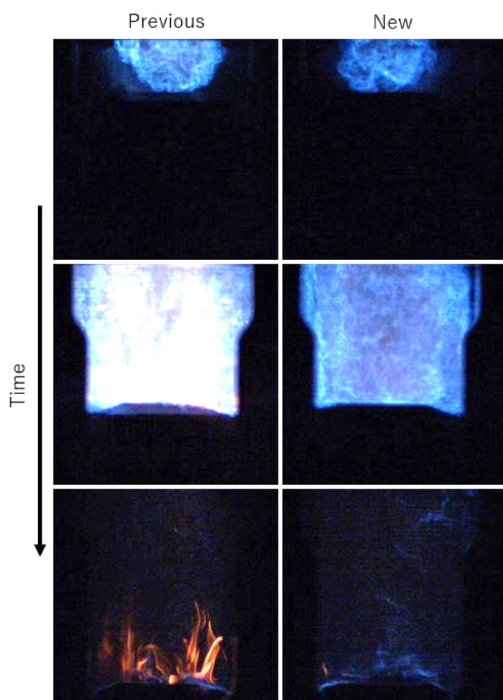


Fig. 11 Comparison of Flame during Catalyst Warming

また、可視化エンジンにて両者の燃焼を観察した結果、新型エンジンでは PN・PM 発生と相関があると考えられている輝炎（オレンジ色の火炎）を大幅低減できていることを確認できた (Fig. 11)。PN の実測結果においても、WLTC モードで現行比 57% 粒子数低減できていることを確認した (Fig. 12)。

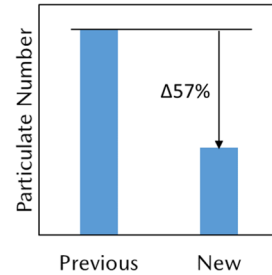


Fig. 12 Particulate Number

#### 4.4 新燃焼技術の構築による弊害と対応

Fig. 13 に従来エンジンと新型でのインマニ／吸気ポートの通路断面形状を示す。

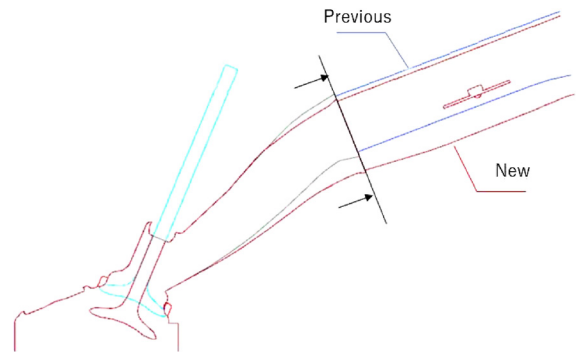


Fig. 13 Comparison of Intake Port

斜め渦流動を生成するための SCV は、応答性が優れているバタフライ式 SCV を採用し、市街地走行で使用頻度が高い部分負荷域での燃焼改善を行い、高速高負荷はシリンダーヘッドの吸気ポートと併せてインマニランナーを最適形状とすることで、現行比同等の吸気 Cf を担保した。またこの変更により、タンブル比も改善することができている (Fig. 14)。

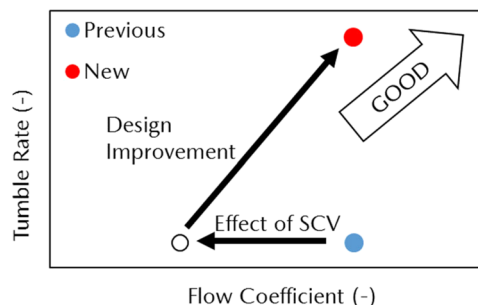


Fig. 14 Evolution of Intake System

## 5. おわりに

SKYACTIV-G 新型 1.5L エンジンは、お客様とクルマがもつ「自由」という価値の最大化に向き合い、自分らしく生きるとともに、大切なご家族やご友人と過ごす貴重な時間においても、豊かな人生を楽しんで頂けることを目指し開発を行った。コモンアーキテクチャ構想に基づき、今後本技術を排気量が異なるエンジンにも展開し、全てのお客様に優れた環境性能と走行性能をお届けしていく。

## 参考文献

- (1) 西田ほか：新世代 C セグメント向け「SKYACTIV-G 2.5T」の紹介, [マツダ技報, No.37, pp.12-18 \(2020\)](#)
- (2) 西田ほか：新型 2L 直列 4 気筒「SKYACTIV-X」のエンジン技術, [マツダ技報, No.36, pp.51-58 \(2019\)](#)

## ■著者■



小田 裕介



上村 匠



吉田 健



山内 道広



西田 智宣



平林 千典