

特集：環境

7

## 次世代パワートレイン開発コンセプト 「マツダ SKY コンセプト」 Next-Generation Powertrain Development Concept “Mazda SKY Concept”

鈴木 敬<sup>\*1</sup> 石野 勅雄<sup>\*2</sup> 伊藤 あずさ<sup>\*3</sup>  
Takashi Suzuki                      Tokio Ishino                      Azusa Ito

### 要 約

マツダは、マツダ車をご購入いただいたすべてのお客様に『走る喜び』と『優れた環境安全性能』を提供する「サステイナブル “Zoom-Zoom” 宣言」の基、次世代パワートレインの開発を進めている。この次世代パワートレインの開発コンセプトを「マツダ SKY コンセプト」<sup>\*4</sup>として発表した。次世代ガソリンエンジンコンセプト「マツダ SKY-G」<sup>\*4</sup>では、ディーゼルエンジン並みの燃費率と低中速トルク的大幅改善を確認。次世代ディーゼルエンジンコンセプト「マツダ SKY-D」<sup>\*4</sup>では、約20%の燃費率改善とクリーンな燃焼を確認。次世代オートマチックトランスミッションコンセプト「マツダ SKY-Drive」<sup>\*4</sup>では約5%の燃費改善とダイレクトなシフトフィーリングを両立。

### Summary

Mazda's next-generation powertrains are currently under development based on our “Sustainable Zoom-Zoom” long term vision, which commits us to provide driving pleasure and excellent environmental and safety performances to all our customers. We have announced “Mazda SKY Concept” as the development theme for these next-generation powertrains. With the Next-Generation Gasoline Engine Concept “Mazda SKY-G”<sup>\*4</sup>, diesel-engine-level fuel economy and greatly improved low- and mid-end torque have been confirmed. With the Next-Generation Diesel Engine Concept “Mazda SKY-D”<sup>\*4</sup>, 20%-improved fuel economy and clean combustion have been confirmed. The Next-Generation Automatic Transmission Concept “Mazda SKY-Drive”<sup>\*4</sup> delivers roughly 5%-improved fuel economy and direct shift feel at the same time.

## 1. はじめに

2007年3月、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」を発表した。これは、「いつまでも『ワクワク』するクルマ、『見て乗りたくなる、乗って楽しくなる、そしてまた乗りたくなる』クルマを提供し、クルマも、人も、地球も、みんながワクワクし続けられる、サステイナブルな未来の実現に向けてマツダが取り組むこと」と宣言したものである。この約束の遂行に当たり、まず、パワートレイン、軽量化、空力特性といったベース技術の徹底的な改善が重要と、我々は考えている。そして、その上に、マツダ独自のアイドリングストップシ

ステム「i-stop」、減速エネルギー回生技術、ハイブリッドシステム等の電気デバイス技術を段階的に組み合わせていくというビルディングブロック戦略を採ることが、我々が進むべき方向である。本稿では、マツダ独自の環境対応方針とその中核を成す「マツダ SKY コンセプト」及び次世代パワートレインについて紹介する。

## 2. マツダの戦略

### 2.1 環境対応方針

サステイナブル “Zoom-Zoom” の基本ポリシーは、「マツダ車をご購入いただいたすべてのお客様に『走る喜び』と『優れた環境安全性能』を提供する」ということである。

\*1~3 パワートレイン企画部  
Powertrain Planning Dept.

\*4 2011年以降導入予定のエンジン、トランスミッションのコンセプト名。  
Concept name for engines and transmissions that are intended for launch from 2011 onward.

Fig.1は第三者機関による、グローバル市場における2020年までの環境対応技術の進化予測である。電気自動車も普及はしていくが、依然としてハイブリッド車を含むほとんどの車両は内燃機関等のベース技術の上に付加されたものである。従って我々は、車の基本性能となる、エンジンやトランスミッション等のパワートレインや車両の軽量化といったベース技術の革新が最重要課題であると捉えた。これは、サステナブル“Zoom-Zoom”を目指すマツダの方針とも一致する。そして、Fig.2に示すように、電気デバイスを技術の蓄積とともに進化させ、ベース技術に付加させるというビルディングブロック戦略を打ち出したのである。

■ Anticipated expansion in adoption of environmental technologies (through 2020)  
[Graphic representation of global market share of powertrain technologies]

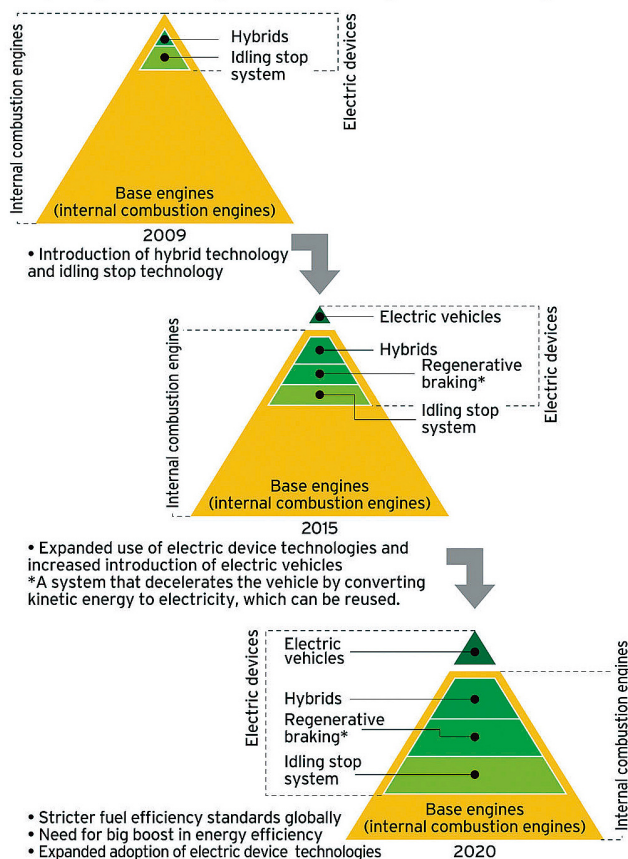


Fig.1 Environmental Technology Expansion Forecast

■ Gradual application of electric device technologies

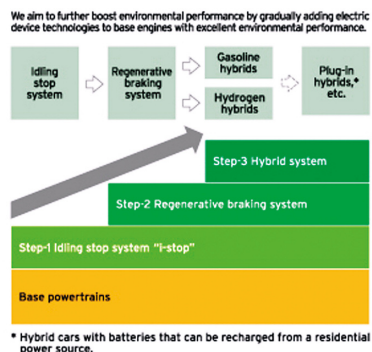


Fig.2 Gradual Application of Electric Device Technologies

2.2 環境目標

マツダは、この環境対応方針に基づき、2015年までにグローバルで販売するマツダ車の平均燃費を2008年比で30%向上させるという目標を策定した (Fig.3)。

■ Mazda target for average fuel economy improvement

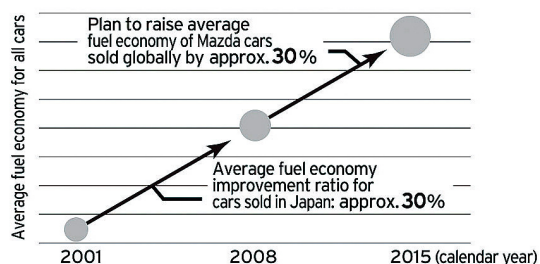


Fig.3 Mazda's Fuel Economy Improvement Target

具体的には、ガソリンエンジン車では各車種とも現在より1クラス下の車種同等の燃費を、また、ディーゼルエンジンをアテンザ (海外名Mazda6) に搭載した場合、現在のデミオ (海外名Mazda2) 並みの燃費、つまり2クラス下の車種同等の燃費を達成するという目標である。

2.3 「マツダ SKY コンセプト」

この挑戦的な目標には、未来に続く青空を守り、その青空の下で意のままに走る喜びをすべてのお客様に提供したいという想いが反映されている。また、それを支えるベース技術の革新を実現するために、エンジニアは高い志を持ち、「The sky is the limit」(無限の可能性) という言葉が表すように、限界にとらわれないのびのびと自由な発想で究極の効率を追及している。これらの想いを「SKY」という言葉で象徴し、次世代パワートレインの開発コンセプトを「マツダ SKY コンセプト」とした。

前述した燃費目標と、進化した走る喜びを高いレベルで実現するための中核技術が、理想燃焼を徹底追求した「マツダ SKY-G」と「マツダ SKY-D」であり、ダイレクトなシフトフィーリングを徹底追求し伝達効率を最大限改善した「マツダ SKY-Drive」である。

### 3. 次世代パワートレイン

#### 3.1 内燃機関の進化の考え方

内燃機関の熱効率を改善させるということは、Fig.4に示すように、主要な四つの損失—冷却損失、排気損失、ポンプ損失、そして機械抵抗損失—を低減させていくことに他ならない。そして、これらの損失を低減させるには、技術的にコントロールが可能なファクタ（制御因子）をいかに理想に近づけていくかが鍵となる。我々が制御できる因子は、膨張比（圧縮比）、燃焼期間、燃焼タイミング、比熱比、有効吸気容積、荷重、摩擦係数である。

#### Internal combustion engine improvement

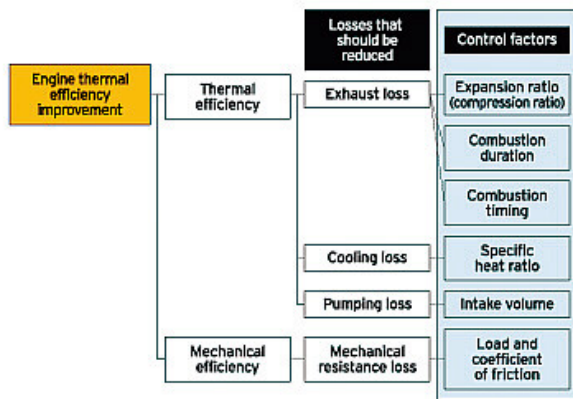


Fig.4 Internal Combustion Engine Improvement

これらの因子の理想状態を描き、目指すべき目標を定めて技術開発を行ってきた。つまり、ガソリンエンジン、ディーゼルエンジンともに理想の燃焼というゴールに向かって弛まず進化させたものが次世代エンジンである。

#### 3.2 「マツダ SKY-G」

Fig.5に「マツダ SKY-G」の外観を示す。ガソリンエンジンの更なる進化に取り組むため、ガソリンエンジンの燃焼という事象を改めて徹底的に理解することから始めた。そして、空気流動、燃料噴射による混合気の形成、火炎伝播、膨張等、シリンダ内でどのような現象がどのようなメカニズムで起こっているかを詳細に把握した。理想の燃焼に近づけるためには何をどのようにコントロールすべきかを定め、「マツダ SKY-G」の開発を行っている。



Fig.5 “Mazda SKY-G”

#### (1) 燃焼効率改善への取り組み

こうした研究開発を基に、「マツダ SKY-G」では、各種制御因子のうち、膨張比、燃焼期間、吸気容積制御（ポンプ損失）、荷重及び摩擦係数（機械抵抗損失）の改善を行うことが現段階では最も合理的であると判断した。

例えば、Fig.6に示すように、膨張比を上げれば燃費は向上していく。ただし、膨張比を上げるために圧縮比を高くすると、ノッキング等の異常燃焼が発生する危険性が急増する。異常燃焼回避のため点火時期を遅らせる（リタードさせる）必要があり、トルクが低下してしまうというジレンマが生じる。「マツダ SKY-G」では、直噴システムが持つ噴霧形成の自由度を活用し、CAE（Computer Aided Engineering）にて空気流動と燃焼室形状のマッチングを図り、燃焼を制御した。その結果、これまで燃費とトルクのバランスの限界と思われていた点を超える圧縮比を実現することが可能となった。

#### Expansion ratio control graph

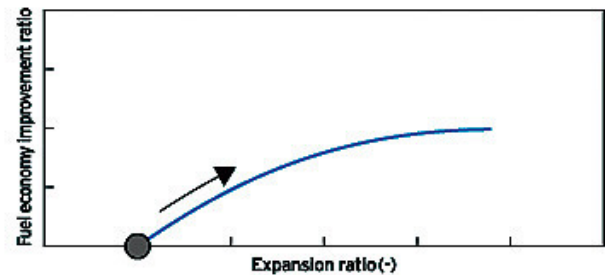


Fig.6 Expansion Ratio Control

#### (2) 大幅な燃費改善とトルク向上

「マツダ SKY-G」2.0Lは現在も開発中だが、現行2.0Lエンジン比約15%の燃費改善を確認している。これはマツダの現行ディーゼルエンジン（2.2L）並みの燃料消費率である（Fig.7）。また出力性能では、現行2.0Lエンジン比約15%のトルクアップを確認できている（Fig.8）。

#### Fuel economy improvement graph

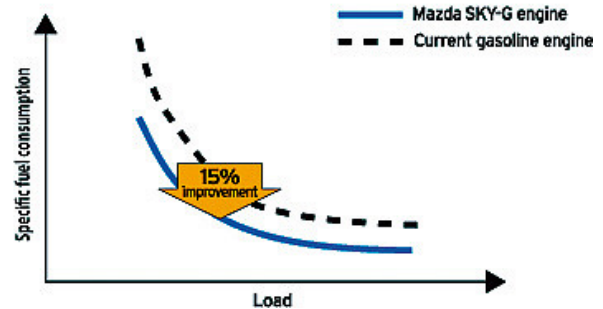


Fig.7 Fuel Economy Improvement

■Performance (torque) Improvement graph

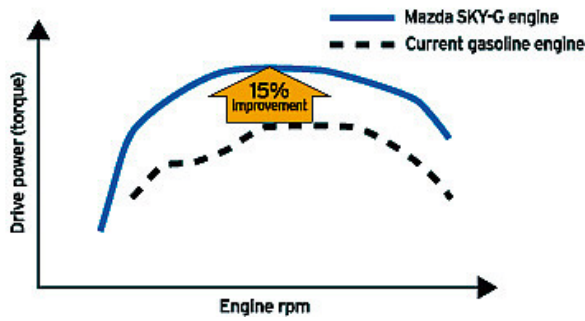


Fig.8 Performance (Torque) Improvement

(3) シングルナノ触媒

システム全体での更なるクリーン化を目指し、「マツダ SKY-G」には独自開発のシングルナノ触媒を組み合わせる。シングルナノ触媒技術とは、触媒に使用する貴金属を大幅に削減しながらも、高い排出ガスの浄化性能と耐久性を実現する技術である。Fig.9にシングルナノ触媒のメカニズムを示している。径がナノレベルの大きさである貴金属粒子を新開発のサポート材に保持させることで、熱凝集による貴金属表面積低減をなくし、耐久性能劣化を防ぐことができる。この技術の採用により、三元触媒に用いる白金やパラジウム等の貴金属の使用量を0.55g/Lから0.15g/Lと従来に比べ約70%削減することが可能になる。

Precious Metal Dispersion Achieved by New Catalyst Technology

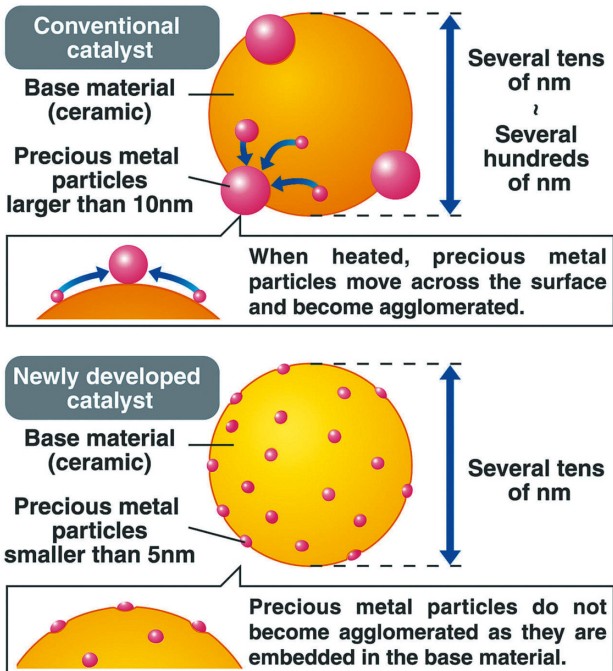


Fig.9 Mazda-Unique Single-Nano Catalyst Technology

3.3 「マツダ SKY-D」

理想の燃焼に近づけるための制御因子は、ディーゼルエンジンもガソリンエンジンも同じである。ディーゼルエンジンのジレンマは、高効率の燃焼を目指すこととNOx（窒素酸化物）や煤（スス）の発生が増加すること、また、高い圧縮比のまま高過給すると燃焼室内圧力がガソリンエンジンの2~3倍となるため、高い剛性が必要となり機械抵抗がガソリンエンジンに比べ大幅に増加することである。

「マツダ SKY-D」の開発では、燃焼を制御することにより、ディーゼルエンジンがガソリンエンジンに対して一般的に劣っている燃焼タイミングと荷重及び摩擦抵抗の領域を大きく改善させることに注力した。



Fig.10 “Mazda SKY-D”

(1) 燃焼効率改善への取り組み

熱効率を高めながらNOxや煤の発生を抑えるためには、  
 1) 燃料噴射から燃焼開始までのシリンダ内の圧力や温度、  
 2) 可能な限り燃料と空気を均質化する燃焼室形状、  
 3) 燃焼割合を制御する燃料噴射率、この三つの要素が鍵となる。従来のディーゼルエンジンでは、NOxや煤を抑えながら熱効率の最も良いタイミングで燃焼を開始させることは困難とされてきた。これに対して「マツダ SKY-D」では、上記三要素をマネジメントすることによって、燃焼タイミングの最適化を図りつつ、NOxや煤を従来比大幅に低減した。更に、革新的な燃焼により燃焼室内圧力を低減し、ガソリンエンジン並みの機械抵抗を実現した。その結果、低燃費・高出力を得られる燃焼システムを確立することができた。

(2) 大幅な燃費改善とワイドなトルクレンジ

開発中の「マツダ SKY-D」では、マツダの現行ディーゼルターボエンジン（2.2L）と比較して、燃費を約20%改善できる目処を得ている（Fig.11）。また、出力性能に関しては、低速側、高速側ともに現行エンジンに対する大幅なトルクアップを実現している（Fig.12）。これは2ステージターボチャージャーによる過給能力向上と、全運転領域で燃料と空気の混合を適正化する新燃焼室形状の効果に大きく起因している。

■ Fuel economy improvement graph

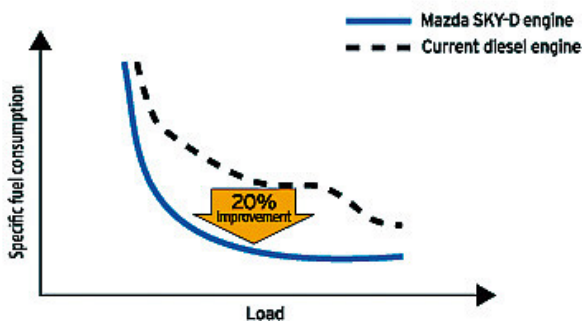


Fig.11 Fuel Economy Improvement

■ Performance (torque) improvement graph

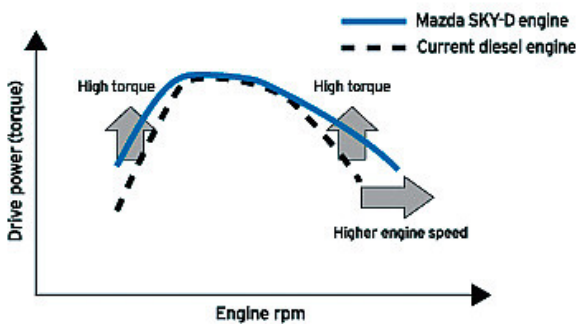


Fig.12 Performance (Torque) Improvement

3.4 「マツダ SKY-Drive」

「マツダ SKY-Drive」では、燃費への大幅な貢献とダイレクト感の向上を徹底的に追求した。「マツダ SKY-G」及び「マツダ SKY-D」と同様のアプローチによって、目標を達成するための制御因子を明確にし、それらの因子をいかにコントロールするかに取り組んできた。

「マツダ SKY-Drive」は全くの新設計でありすべての制御因子の改善を目指しているが、中でも、ロックアップ領域の拡大とダイレクト感向上のための因子に特に注力している。



Fig.14 “Mazda SKY-Drive”

(3) 高効率排気浄化システム

ディーゼルエンジンにおいては、マツダが独自開発した世界初の触媒活性メカニズムを持つ高耐熱性の触媒活性型ディーゼル・パーティキュレート・フィルタ (DPF) を採用する。エンジン制御の精密化とともに、煤を燃焼処理するための再生インターバルを従来の約2倍にし、再生時間を約3分の1に短縮した。

この煤燃焼触媒は、セラミックス・サポート材の中を酸素が移動しやすく、より多くの酸素が活用できるという特徴を持ち、煤の燃焼処理速度を大幅に高めることが可能である。これにより、煤の燃焼処理に必要な燃料を節約することができ、低燃費化つまりCO<sub>2</sub>の削減と排出ガスのクリーン化の両立が可能となった (Fig.13)。

■ Diagrams showing ceramic base materials

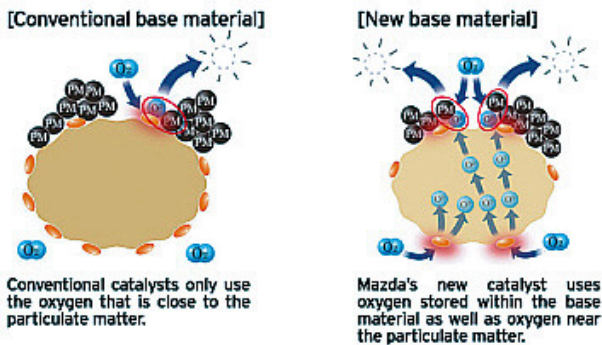


Fig.13 Comparison of Ceramic Base Materials

(1) ロックアップ領域拡大

ロックアップ領域の拡大については、入出力軸を直結させるクラッチの振動をいかにマネージメントしていくかが重要である。我々は高周波のクラッチ振動のメカニズムを解析することで、クラッチ表面の性状や材質の耐熱性、保持構造の剛性、油量、油圧等が制御因子であることを突き止めた。

そこで、CAEによる解析や、品質工学を適用し、これらの制御因子の相互影響を加味した最適化設計に取り組んだ結果、ロックアップ領域の大幅な拡大が可能となった。更に、トランスミッションの各部位に必要な最小油量を把握することで、オイルポンプのエネルギー損失を最小限に留めるだけでなく、効率的な油圧伝達によるクラッチの素早い動きを実現させ、ダイレクト感を向上させた。

(2) 燃費改善とダイレクト感向上

「マツダ SKY-Drive」搭載車による社内テストでは、日本のJC08モードでの走行時間の約80%でロックアップを行うことが確認された。参考までに、同条件での現行5速オートマチックトランスミッション搭載車のロックアップ時間は約50%である (Fig.15)。

このロックアップ領域の拡大と大幅な抵抗低減により、従来比約5%の燃費改善を実現するとともに、デュアルクラッチトランスミッション並みのスポーティで上質なダイレクトフィールを実現した。

■ Lock-up range improvement case

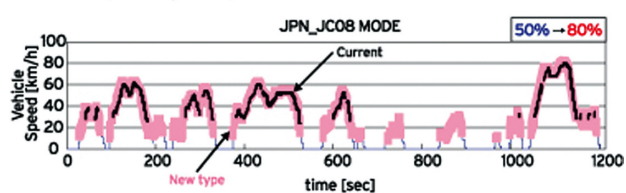


Fig.15 Expansion of Lock-Up Range

■ 著 者 ■



鈴木 敬



石野 勅雄



伊藤 あずさ

4. おわりに

以上、すべてのお客様に走る喜びと青空を将来にわたりお届けすることを目指す「マツダ SKY コンセプト」と次世代パワートレインの紹介を行った。究極の効率実現のためにこれまでの限界を超えることに挑み続け、のびのびと自由な発想で革新的技術を創造しながら、エンジニアは現在最終段階の開発を行っている。

また、将来ますます拡大すると予測される電気デバイスとの融合においても、基本技術の進化はなくてはならないものになると固く信じており、常に車の基本技術の理想を目指した姿勢を追求していきたい。