

# 高圧縮比高効率ガソリンエンジン

マツダ株式会社

代表取締役社長 山内 孝

パワートレイン技術開発部	山川 正尚
パワートレイン技術開発部	西田 正美
エンジン性能開発部	増田 幸男
パワートレインシステム開発部	江角 圭太郎

## はじめに

近年ハイブリッド車や電気自動車の開発が活発化し、電気デバイスによる燃費改善技術の採用が進んでいるが、2020年時点でも自動車の多くは内燃機関を動力源として搭載していると考えられている。さらに、今後、アイドリングストップや減速エネルギー回生等の電気デバイスが量産効果によるコスト低減で普及していくと思われるが、その効果を十分発揮させるためには、ベースとなる内燃機関の効率向上が重要である。そこで、理想の燃焼を追求した高圧縮比の新燃焼コンセプトを中心に、吸排気システムや機械抵抗損失を徹底的に見直すことで、高効率なエンジンを開発した。その結果、コンパクトカークラス(1.3Lエンジン)では10-15モードで30km/Lという他社のハイブリッド車と同等の燃費を実現した。今後は、次世代ガソリンエンジンとして、主力車種に広く展開していく予定である。

## 開発のねらい

内燃機関の仕組みは、ピストンが下がる時に空気を吸って燃料と混ぜ、次にピストン上昇

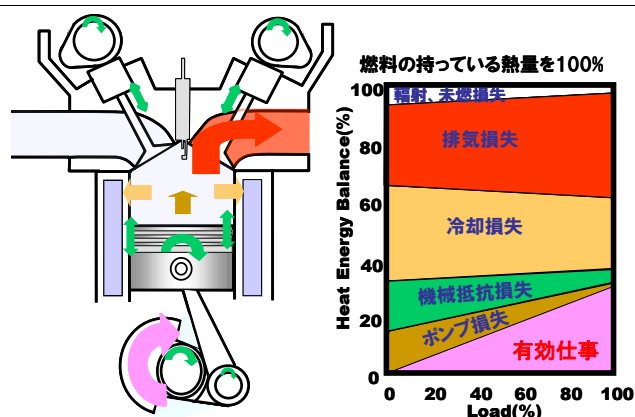


図1 ガソリンエンジンの効率の現状

に伴って圧縮し、火花で点火し燃焼させる。そのとき圧力が上がるのでピストンを押し下げることで仕事を取り出す。そしてまたピストンが上がるときに排気ガスを外に出す。これを繰り返して動力を連続的に取り出している。図1では、横軸に負荷（アクセル開度0がアイドル、100が全負荷）、縦軸に燃料の持っているエネルギーを100%として、仕事としてどの程度取り出せているかの割合を示している。これから分かるように燃料のエネルギーの内、仕事として取り出しているのはわずか30%程度である。つまり、内燃機関の燃費を改善するには、排気損失（排気ガスの熱）、冷却損失（冷却水などへの放熱）、ポンプ損失（吸入・吐出の抵抗）、機械抵抗の4つを低減する必要がある。図2はこれ

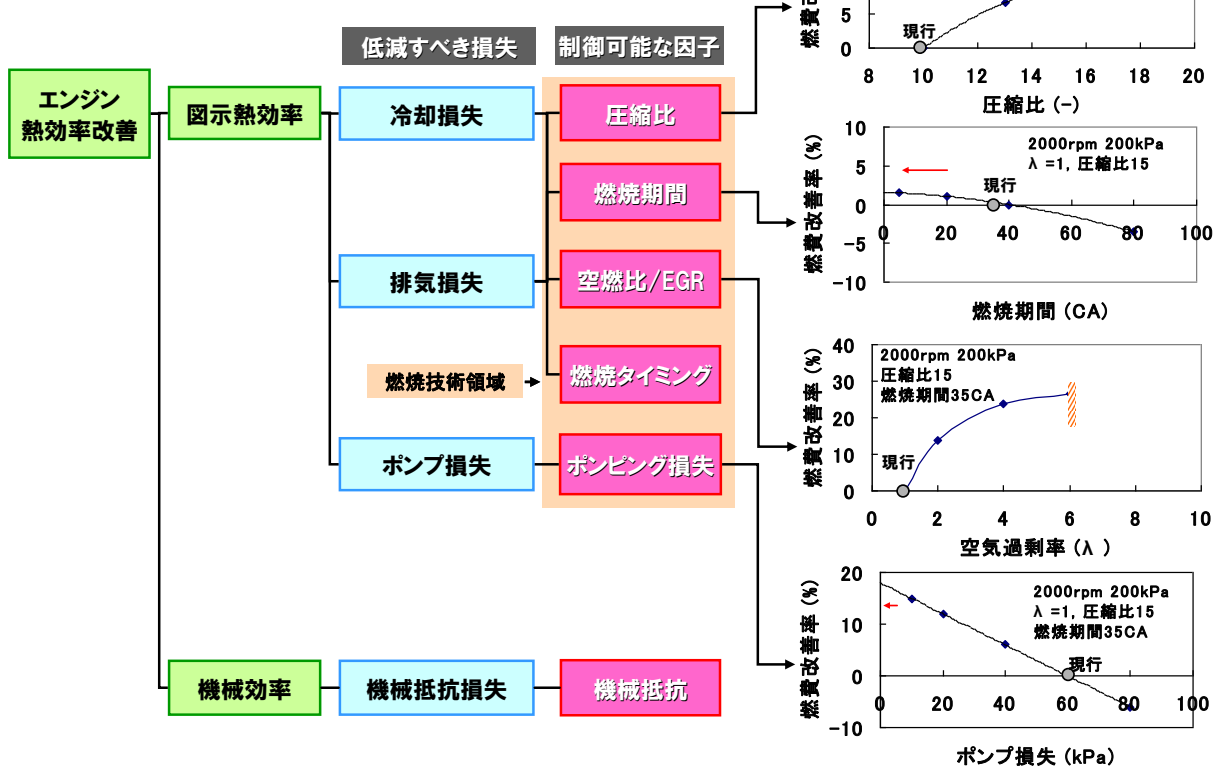


図2 ガソリンエンジンの燃費改善の可能性

ら4つの損失を低減するため、燃焼領域で制御可能な因子を理想に近づけるアプローチでシミュレーションしたものである。その結果、燃焼領域だけでも50%以上の改善の可能性があることが分かった。そこで、その中で燃費改善効果の比較的大きな高圧縮比化に取り組んだ。

### 装置の概要

図3に開発した高圧縮比ガソリンエンジンの主な採用技術を示す。以下では、その技術について説明する。

### 技術上の特徴

高圧縮比化によって効率向上を図る場合、全負荷付近において温度・圧力が高くなり過ぎて燃料と空気の混合気が通常の点火プラグからの

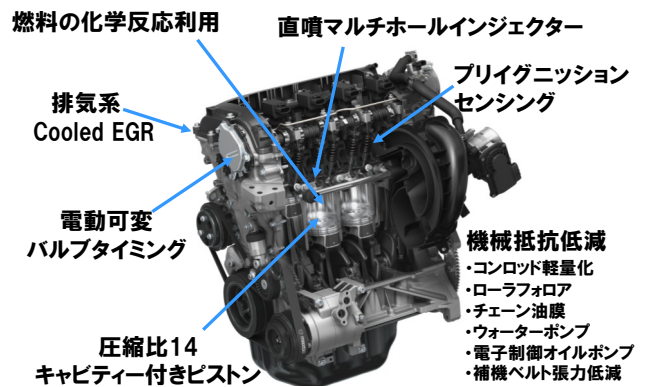


図3 高圧縮比ガソリンエンジンの概要

火炎伝播を待たずに自己着火するノッキングが発生し、激しい音やピストン溶損をもたらす。ノッキング防止のためには点火時期を遅らせる必要が生じる。そうすると、トルクが低下するため、圧縮比は10~11程度に留まっているのが現状である。そこで、本開発では、高圧縮比化に伴い現れる点火前の化学反応を発見したことにより、その活用と従来からのノッキング改善

手法である急速燃焼と混合気冷却に新技術を導入し、高圧縮比を実現する燃焼技術を開発した。

### 1. 燃料の化学反応

図4にノッキングの発生しやすい低速全負荷における、圧縮比とノッキング限界点火時期での正味平均有効圧力( $\propto$ トルク)の関係を示す。圧縮比11.2から13では正味平均有効圧力の低下はあったが、それ以上の圧縮比では低下しなかった。これは、圧縮比を13より高めると図5に示すようにピストンが最も上昇する上死点(TDC)付近で、燃料の化学反応による熱が点火前に発生し、それによる温度上昇で急速燃焼化できたためである。一般に、圧縮比11.2と15の低速全負荷では、トルクが30%以上低下すると予測されるが、この作用により12%程度の低下に留まった。そして、この現象の発見こそが高圧縮比エンジンを開発する大きなきっかけとなった。

### 2. 燃焼室形状によるノッキング改善

高圧縮比化でノッキングが発生しやすくなるのは、圧縮比の向上に伴って燃焼室形状が扁平になり火炎伝播に障害を及ぼし燃焼速度が低下することにもある。そこで、筒内流動を減衰させないことと、点火プラグ直下の初期火炎面をピストンに接触し難くして初期火炎をスムーズに成長できるよう図6のように圧縮比を14.5にしてピストン頂部のキャビティーを考案し、燃焼速度の向上を図ってノッキングを改善した。

### 3. 噴霧によるノッキング改善

燃料と空気の混合気を噴霧の気化潜熱によって効果的に冷却して温度を下げるため、図7に示すように、従来のスワールインジェクターから、噴射方向に自由度のあるマルチホールイン

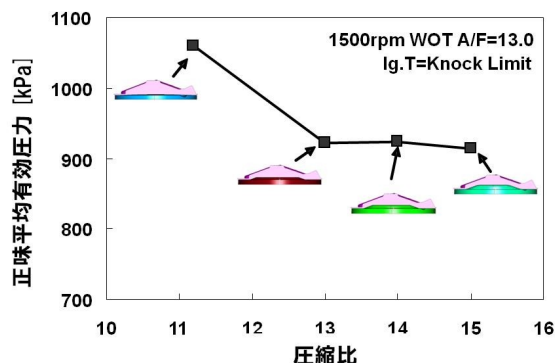


図4 圧縮比とノッキングによる出力低下

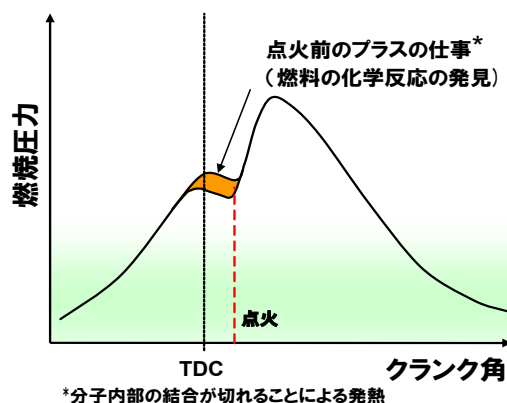


図5 燃料の化学反応による出力向上

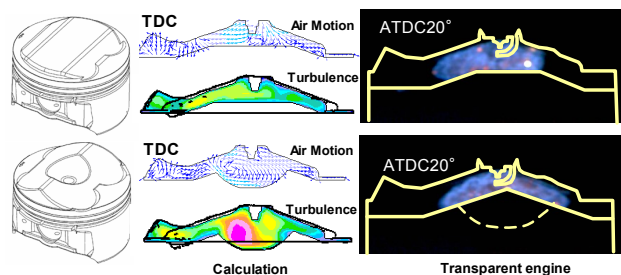


図6 キャビティー付ピストンの燃焼速度向上効果

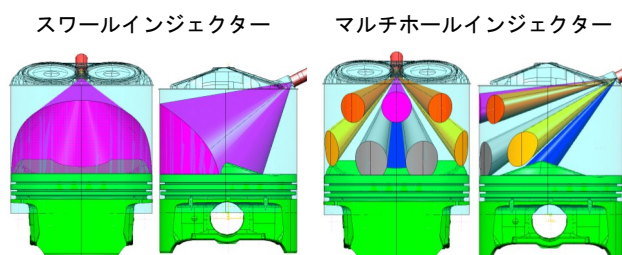


図7 噴霧による混合気冷却

ジェクターを新たに採用し、ピストンからではなく混合気から熱を多く奪える噴霧配置にした。その結果、シミュレーションでは筒内平均温度が10K以上低下し、ノッキングが改善した。

#### 4. 排気系によるノッキング改善

低コストでハイブリッド車同等の燃費を得るため、図8に示すようなCooled EGR（冷却-排気再循環）システムを開発した。EGRクーラで冷却された排気ガスを吸気に還流させ、自己着火発生までの時間を長くすることでノッキングの抑制を図った。

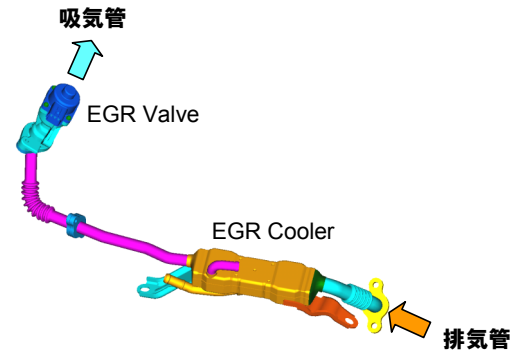


図8 Cooled EGR排気系

#### 5. 性能改善効果

図9に高圧縮比エンジンのトルク改善効果を示す。量産型の圧縮比11.2、ピストン改良前の圧縮比15、そして、これまで述べてきた各技術を導入した圧縮比14.5のトルクを示す。このように圧縮比14.5でも11.2とほぼ同等のトルクを得ることができた。また、燃費改善についてもキャビティー付ピストンによって燃焼が良好となり、図10に示すように、車走行燃費の代表点を加重平均した燃費指標は、理論熱効率の改善率に近いレベルにまで高めることができた。

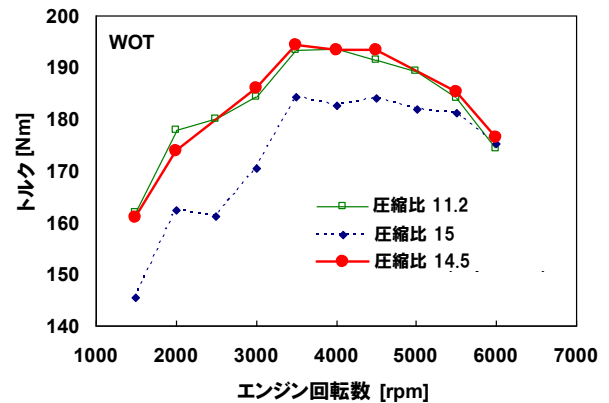


図9 高圧縮比エンジンのトルク改善効果

#### 実用上の効果

エンジン本体の燃費を約15%改善し、コンパクトカークラスでは10-15モードで30km/Lという他社のハイブリッド車と同等の燃費をモーターなどの大型電気デバイスなしで実現することができる。そのため、燃費面のみならずコスト面・重量面からも合理的な車づくりに貢献できる。

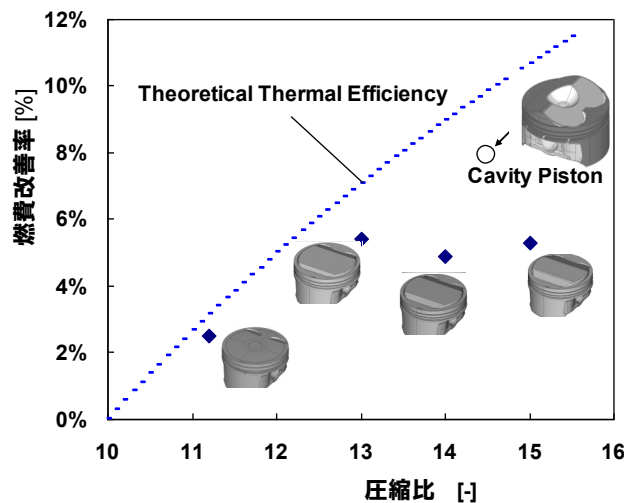


図10 高圧縮比化による燃費改善効果

#### 知的財産権の状況

本開発品の主要特許登録は下記の通りである。

- ① 日本国特許第4793295号  
名称：火花点火式ガソリンエンジン
- ② 日本国特許第4582217号  
名称：火花点火式直噴エンジン
- ③ 日本国特許第4702408号  
名称：火花点火式内燃機関の製造方法

#### むすび

全ての車種に展開可能なエンジン本体の効率をあげる技術の開発により、現在は車種が限定されているハイブリッド車を含めて、多様なガソリンエンジン搭載車でより広く地球環境保全への貢献ができるものと考えている。