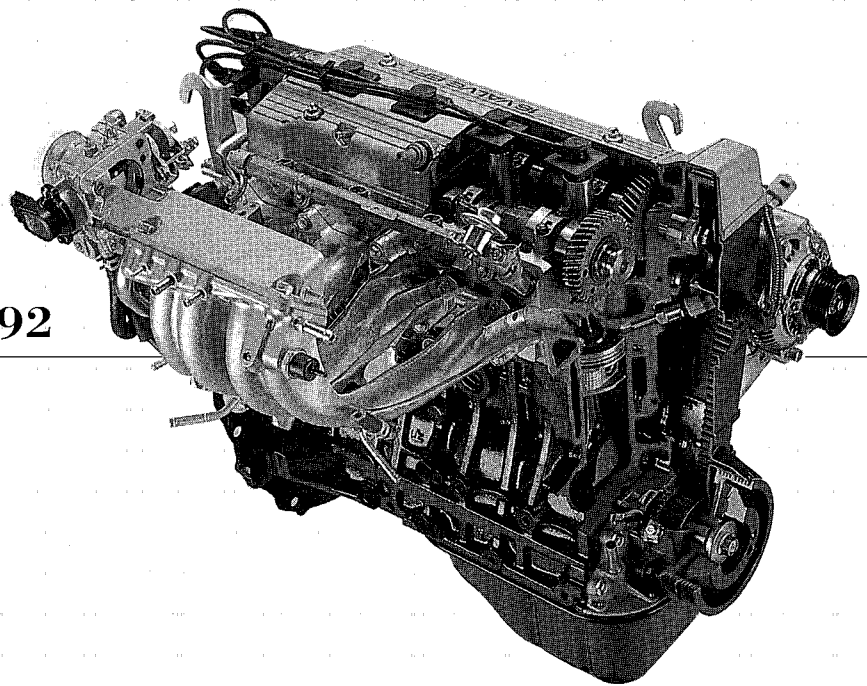


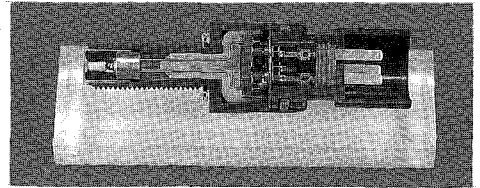


新世代希薄燃焼エンジン

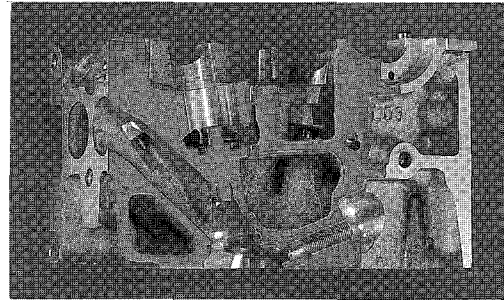
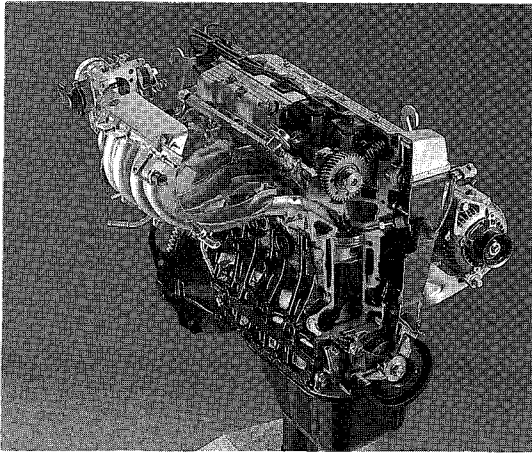
Press Information '92



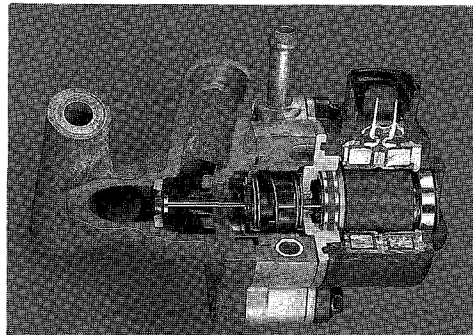
トヨタ自動車株式会社



燃焼圧センサー
(カットモデル)



独立ヘリカル吸気ポート
(シリンダーヘッドカットモデル)



電子制御EGRバルブ
(カットモデル)



目次

1. はじめに	2
2. 希薄燃焼エンジンとは	3
3. 新世代希薄燃焼エンジンの開発の狙い	4
4. 新世代希薄燃焼エンジンのシステム概要	5
5. 燃焼圧センサーによる 希薄燃焼限界空燃比フィードバック制御	6
5-1 燃焼圧センサー	7
6. 燃焼改善	8
6-1 独立ヘリカル吸気ポート	8
6-2 独立噴射制御	10
6-3 点火系	10
6-4 効果	11
7. 電子制御EGRシステム	12
8. 三元触媒	12
9. 燃費改善効果	13



1.はじめに

省資源ならびに地球温暖化抑制の観点から、自動車における燃費向上(CO₂の低減)は大きな社会要請となっています。

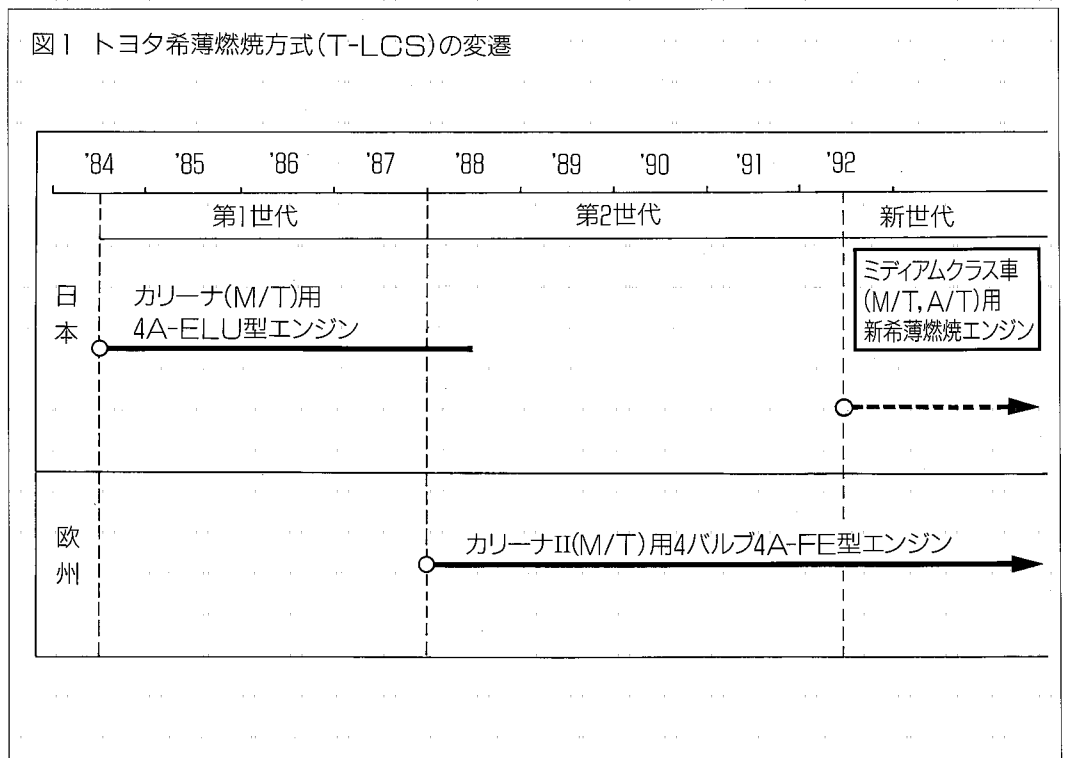
O₂センサーを用いた三元触媒システムは、触媒の浄化率が高く、排気ガス浄化という観点からは有効な手段ですが、制御される混合気の空燃比(空気と燃料の重量比)は理論空燃比(約14.5:1)となり、燃費改善という観点からは、改良の余地が残されています。

こうした中、排気ガス浄化と燃費改善の両立を図る手段として、希薄な空燃比で燃焼させる希薄燃焼エンジンが注目され、多くの研究がなされてきました。トヨタでは、早くから希薄燃焼エンジンの燃焼改善と空燃比制御方法の研究を進め、いくつかの希薄燃焼エンジンを市場に導入してきました(図1)。

1984年、トヨタ希薄燃焼方式(T-LCS: Toyota Lean Combustion System)を世界で初めて実用化し、国内市場に導入。また、1987年にはトヨタ希薄燃焼方式の高性能4バルブハイメカツインカムエンジンを欧州向けに開発し、現在も欧州向けの車両用に量産しています。

この度の新世代希薄燃焼エンジンは、これら希薄燃焼方式の先駆的実用化による長年の技術の蓄積に、量産世界初の燃焼圧センサーをはじめとする新技術を組み合わせることにより実現したものであり、低燃費と高性能を両立させるとともに、従来、排気ガス対策上困難とされていたミディアムクラス(等価慣性質量1250kg)の車両およびオートマチックトランスミッション車にも搭載を可能にした点で、従来の希薄燃焼エンジンを一新するものです。

図1 トヨタ希薄燃焼方式(T-LCS)の変遷





2. 希薄燃焼エンジンとは

一般に、希薄空燃比でエンジンを運転した場合、理論空燃比で運転するときと比べ、燃費は向上しますが、三元触媒によるNOx浄化ができなくなります。このため、希薄燃焼エンジンでは、エンジンから排出されるNOxを、理論空燃比を使うエンジンに比べ、大幅に低減させる必要があります。

図2は、希薄燃焼エンジンで燃費改善とNOx排出量の低減が両立する原理を示したものです。一般的なエンジンを希薄空燃比で運転しますと、空燃比が19付近で燃焼が不安定となり、トルク変動が増加して円滑な運転ができなくなります。この程度の空燃比では、ある程度の燃費改善は得られますが、十分なNOx排出量の低減はできません。しかし、スワール（旋回流）の生成などの燃焼改善によって希薄燃焼限界を向上させれば、NOx排出量をさらに減少させることができ、NOx許容値を満足させながら燃費の改善が可能となります。

ただし、NOx許容値とトルク変動許容値の両立を図るには、ある狭い範囲に精密に空燃比を制御することが必要となります。

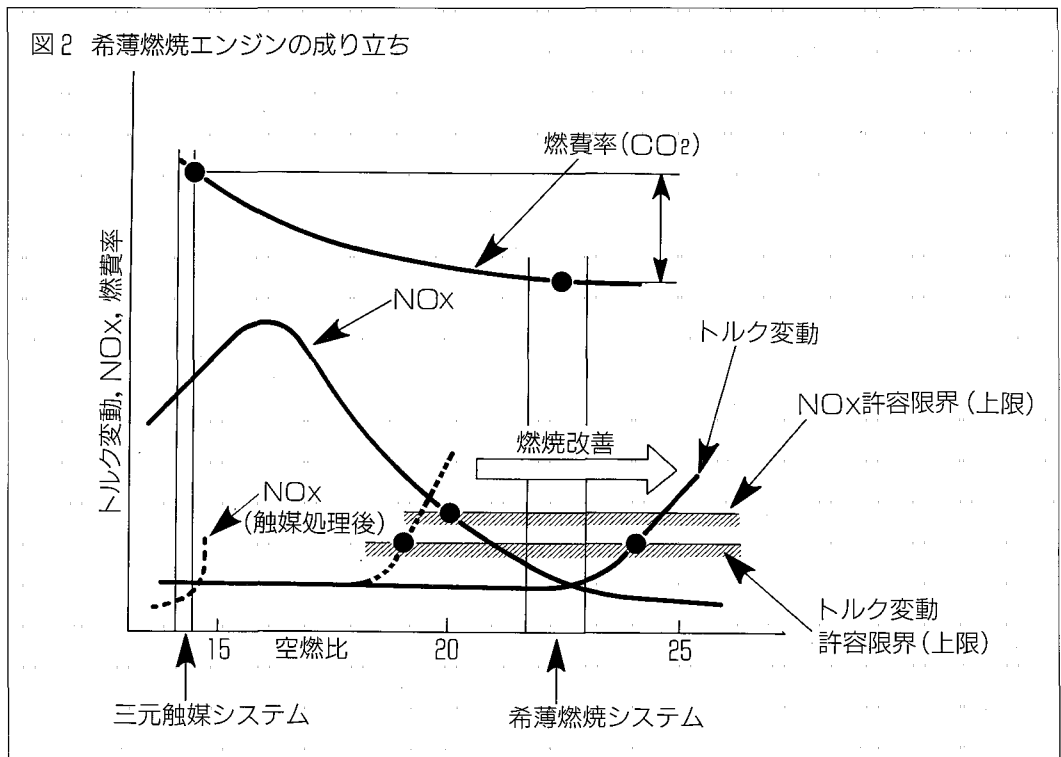
また、希薄な空燃比で発生する出力には限界があるため、加速時など高い出力が要求される場合には、空燃比を三元触媒が性能を発揮できる理論空燃比に設定して、NOxを三元触媒で浄化する方法が考えられます。

しかし、この場合NOxの低減は可能になるものの燃費改善はできず、特に高負荷走行の多いオートマチックトランスミッション車では燃費改善効果は小さくなる傾向にあります。このような理論空燃比域の燃費改善手法として、EGR（排気ガス再循環）で吸入混合気を希釈する方法がありますが、希薄燃焼が可能なエンジンでは、通常理論空燃比を使うエンジンに比べ、このEGRガスを大幅に増量することが可能となるため、かなりの燃費改善効果が得られます。

以上、希薄燃焼エンジン成立の要件をまとめますと次のようになります。

- (1) 希薄空燃比域での燃焼改善（混合気乱れ・混合気生成・燃料制御・点火制御等）
- (2) 希薄空燃比域での精密な空燃比制御
- (3) 理論空燃比域の燃費改善のための大量のEGR

図2 希薄燃焼エンジンの成り立ち



3. 新世代希薄燃焼エンジンの開発の狙い

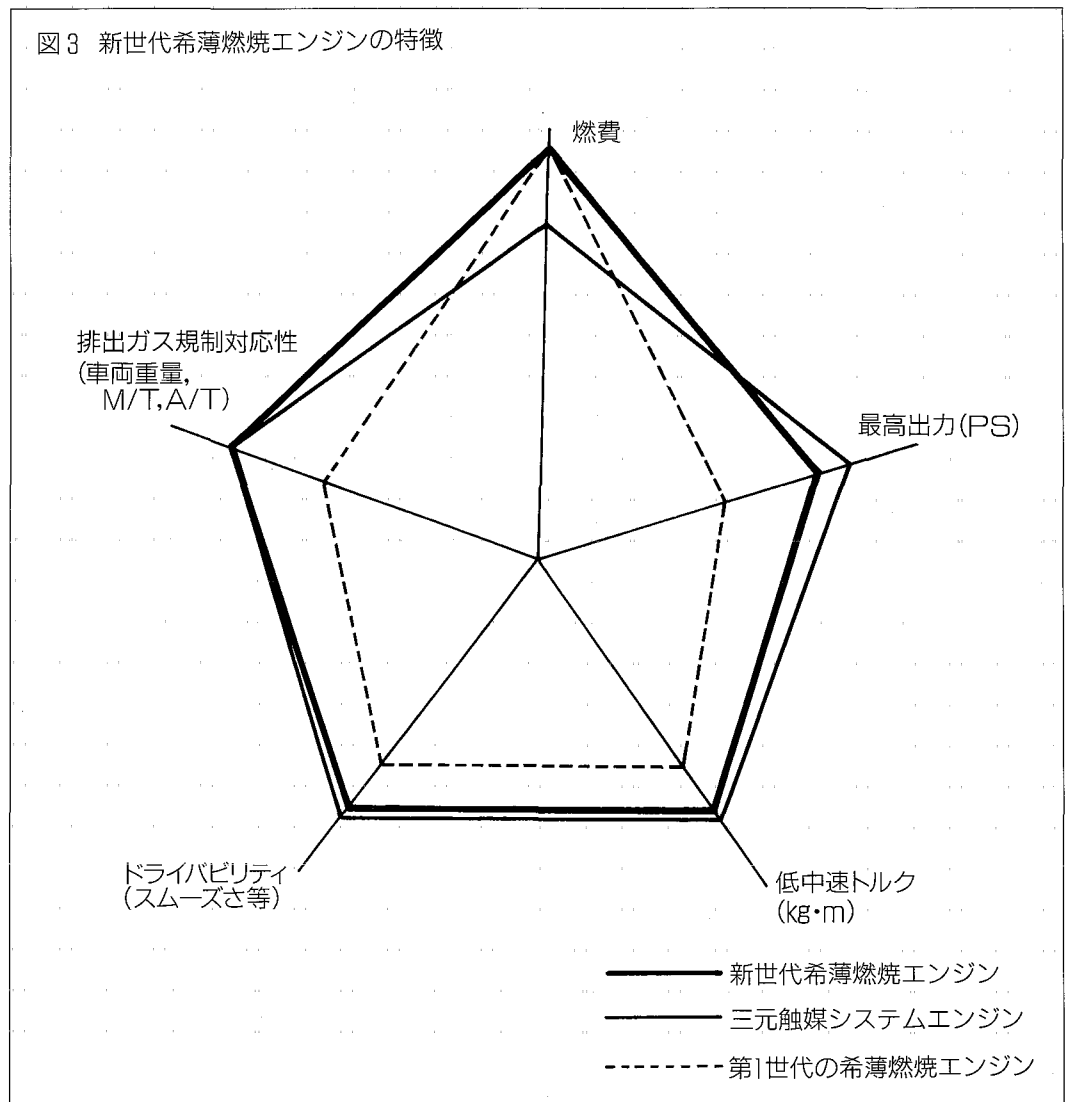
これまで希薄燃焼エンジンを搭載した車両は、排出ガス規制対応上の制約により等価慣性質量1000kgのマニュアルトランスミッション車に限られていました。また、低燃費化を追求する結果、出力をはじめとするエンジンの性能、あるいはドライバビリティは、多少犠牲になるくらいがありました。

新世代希薄燃焼エンジンは、「高性能感を残したまま、燃費の良いエンジンを、等価慣性質量1250

kgの車両ならびにオートマチックトランスミッション車にも搭載を可能にすること」と目標を定め、その普及によって、省資源ならびに地球温暖化抑制という社会要請により応えることができるように開発を進めてまいりました。

図3は、従来の希薄燃焼エンジン、三元触媒システムエンジンと新世代希薄燃焼エンジンの特徴をイメージで示したものです。

図3 新世代希薄燃焼エンジンの特徴





4. 新世代希薄燃焼エンジンのシステム概要

新世代希薄燃焼エンジンは、高性能4バルブハイメカツインカム、4気筒1587ccで、等価慣性質量1000~1250kgのマニュアルトランスミッション車、およびオートマチックトランスミッション車への搭載を想定し、開発されました。図4はそのシステム構成を示しています。その特徴は次のとおりです。

(1) 希薄空燃比域での精密な空燃比制御

- ・燃焼圧センサーを用いた希薄燃焼限界空燃比フィードバック制御

新開発の燃焼圧センサー、およびクランク角センサーを用い、シリンダー内の燃焼状態を直接的に検知し、トルク変動限界ぎりぎり空燃比を制御する方法を採用。

(2) 希薄空燃比域での燃焼改善

- ・独立ヘリカル吸気ポート

吸気の流れ解析によって最適設計された吸気ポートにより、優れた希薄燃焼性能は維持しつつ、希薄燃焼領域を拡大し、全負荷性能を向上。

- ・独立噴射制御

吸気行程の最適時期に噴射し、低トルク変動と低NOxを両立。

- ・強力な点火系

ワイドギャップの白金プラグと高エネルギー点火コイルを採用。

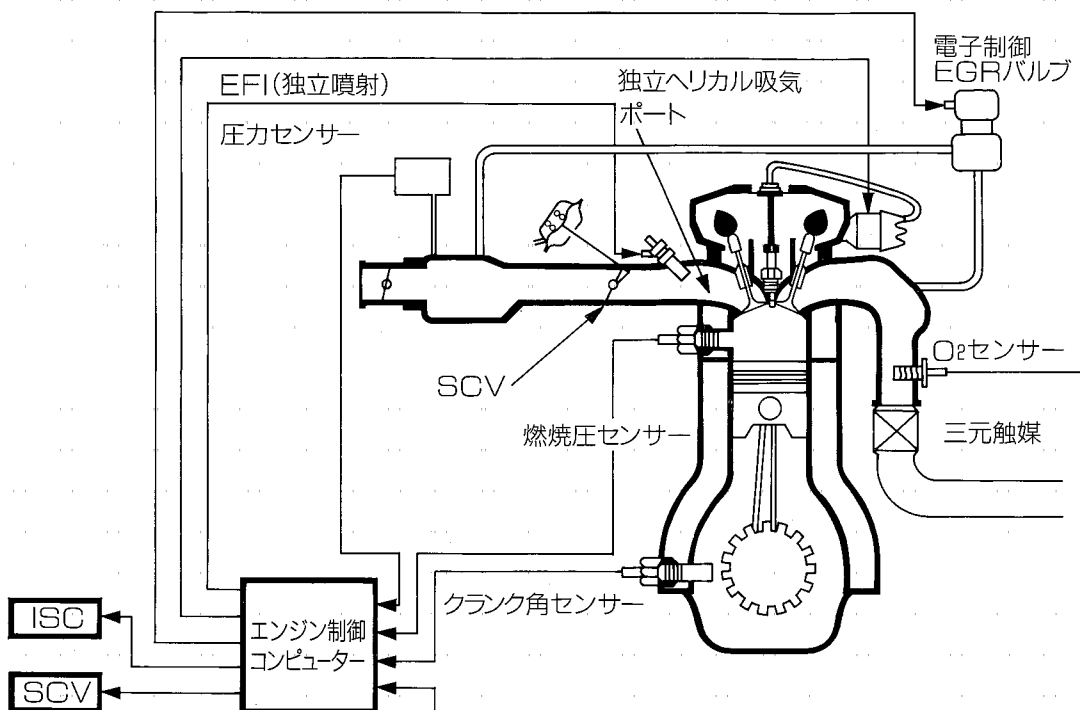
(3) 理論空燃比域の燃費改善

- ・電子制御EGRシステム（オートマチックトランスミッション車のみ）

大量のEGRを、エンジンの運転状態に応じてきめ細かく制御する電子制御EGRバルブを採用。

- ・三元触媒、O₂センサーの採用

図4 新世代希薄燃焼システムの構成



5. 燃焼圧センサーによる 希薄燃焼限界空燃比フィードバック制御

従来の希薄燃焼エンジンは、リーンミクスチャーセンサーを用いて空燃比22~23を狙い、空燃比制御を行っていました。これは、排気ガス中の酸素濃度から空燃比を検知するために、希薄燃焼限界ぎりぎりでの空燃比フィードバック制御をすることが困難であったためです。新世代の希薄燃焼エンジンでは、リーンミクスチャーセンサーに代えてエンジンの燃焼状態を直接検知する新開発の燃焼圧センサーを採用することによって、シリンダー内の燃焼圧力から、より精密な空燃比フィードバック制御を実施しています。図5は、燃焼圧センサーを採用したシステムが希薄燃焼限界近傍(空燃比:24)での安定燃焼を可能にし、従来シ

ステム以上にNOx排出量の低減と低燃費を実現していることを示しています。

燃焼圧センサーは、エンジンの1番気筒に装着され、シリンダー内部の圧力を検出します。実際の燃焼圧力は図6のようになり、膨張行程の所定のクランク角度で4回計測してトルク値を計算します。

そして、この値を燃焼サイクル毎に比較し、トルク変動量を求め、トルク変動量が大の時には希薄燃焼限界に達しているため燃料噴射量を増量、トルク変動量が小の時には希薄燃焼限界に対して余裕があるため燃料噴射量を減量し、空燃比を精密に制御しています。

図5 空燃比制御システムの比較

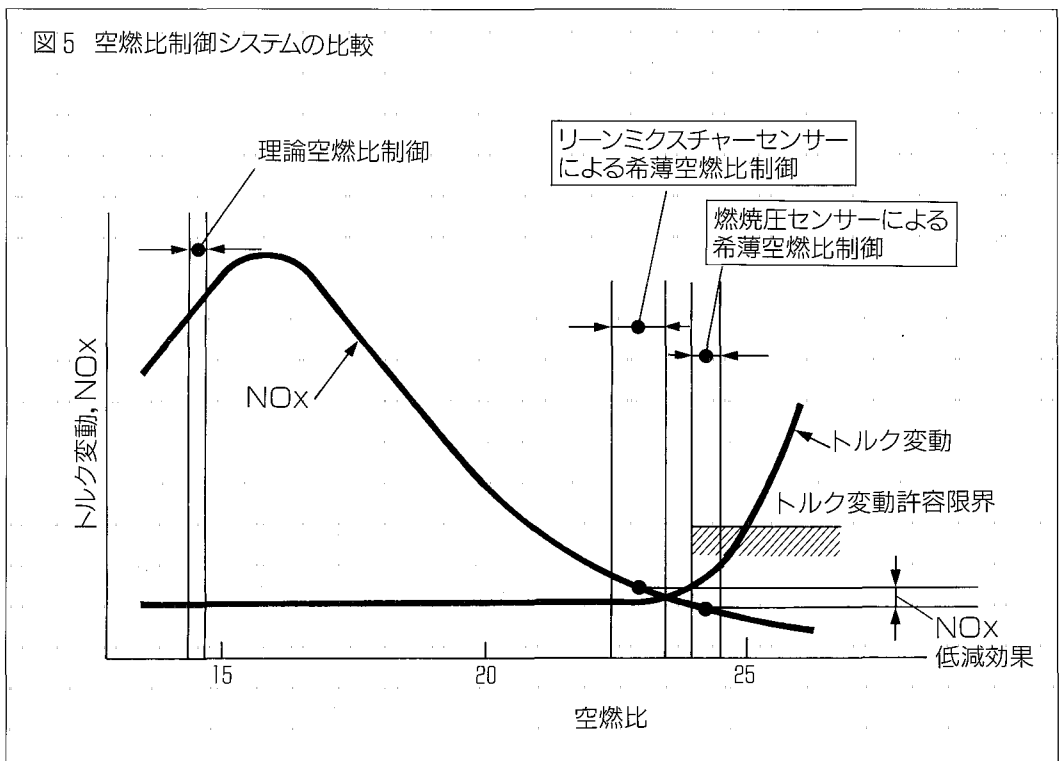
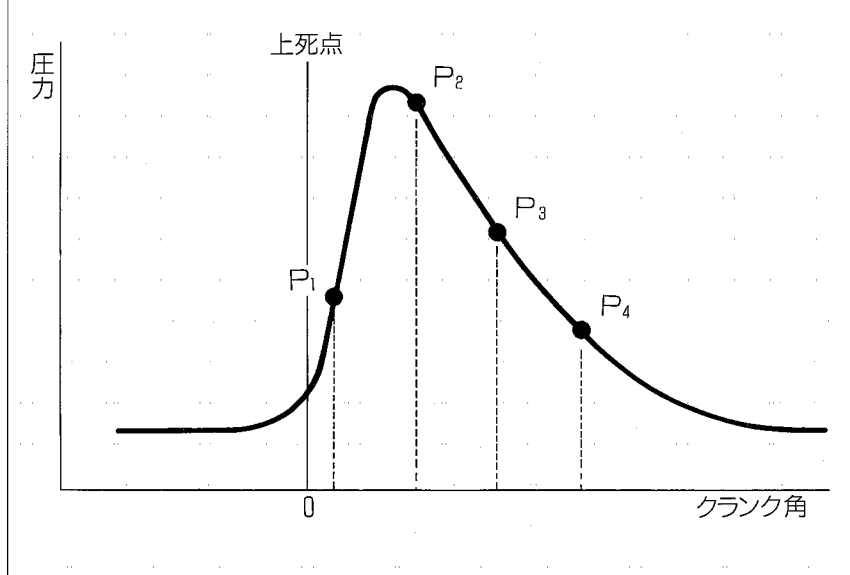


図6 燃焼圧の波形と測定点



5-1 燃焼圧センサー (量産世界初)

燃焼圧センサーは、シリンダー内の燃焼圧力を機械的に受けるダイヤフラム・ロッド・半球、圧力を微小電圧に変換する素子、微小信号を増幅するアンプの3つの主要部位から構成されています(図7)。燃焼圧力は、ダイヤフラムで受けられ、熱遮断・力伝達をロッドを用い、さらには半球で均一な力が素子に伝わるようにしています。圧力検出は、図8に示すような素子で行います。力伝達ブロックに伝えられた力が台座と接合されたシ

リコン歪みゲージに伝わり、そのシリコン結晶のピエゾ抵抗効果により電圧信号が発生します。ピエゾ抵抗効果とは、半導体の単結晶にある外力が加わるとその電気伝導度が変化し、その結果として抵抗変化が発生する現象です。しかし、ここで発生する信号は、微小信号であるためアンプが必要ですが、これを極めてコンパクトにすることでセンサーへの内蔵を可能にし、耐ノイズ性・信頼性を確保しています。

図7 燃焼圧センサーの構造

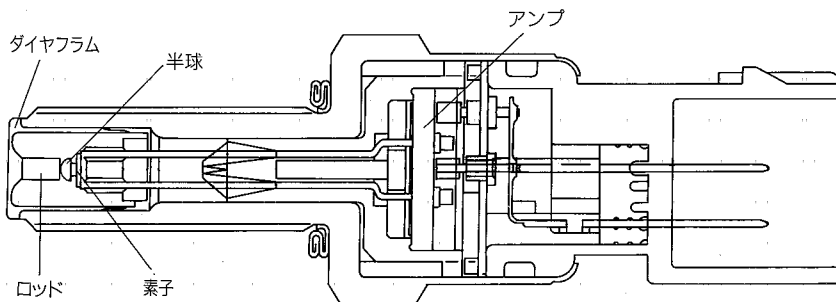
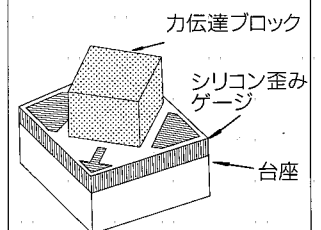


図8 素子の構造



6. 燃焼改善

6-1 独立ヘリカル吸気ポート

実際の走行時の燃費を改善するには、低速域から高速域まで広い領域で希薄燃焼が可能であることが必要であり、また、一般的なエンジン搭載車に遜色のない動力性能を得るためにも、全負荷性能の向上は、不可欠です。しかし、希薄燃焼エンジンでは、希薄空燃比で運転するために、吸気ポートを絞り、シリンダー内の混合気の乱れを強化して燃焼改善を図っている関係上、燃焼改善と希薄燃焼領域の拡大および全負荷性能の向上とを両立させることは非常に困難な課題です。

この課題を克服するため、図9に示すような新設計の「独立ヘリカル吸気ポート」を開発しました。このポートは、お互いに独立したヘリカルポートとストレートポートから構成され、ヘリカルポートにはスワール生成のために小突起があります。また、ストレートポートの上流にはストレートポートへの吸気を制御するSCV（スワールコントロールバルブ）があります。インジェクターはSCVの下流に位置し、両ポートに燃料を供給

するように2ホールタイプが採用されています。

この独立ヘリカル吸気ポートでは、ポート間の連通部を流れる空気によって燃料の微粒化・混合気の均質化を図っていますので、小さなスワール比（エンジン1回転あたりのシリンダー内の混合気の回転数）でも希薄燃焼性能が確保できます。この結果、ヘリカルポートの絞りが緩和でき、SCV閉弁時にも吸気流量を大幅に増加させることが可能となり、希薄燃焼領域を大幅に拡大することができました。（図10）

また、高負荷時には出力の向上をねらいSCVを開きますので、吸入空気は両ポートを流れますが、前述のようにヘリカルポートの絞りが緩和されているため、全負荷性能の向上も果たされています。

写真はSCV閉弁時の吸気ポートおよびシリンダー内の空気の流動をシミュレーションしたもので、適切なスワールが生成されているのが観察されます。

図9 独立ヘリカル吸気ポートの構造

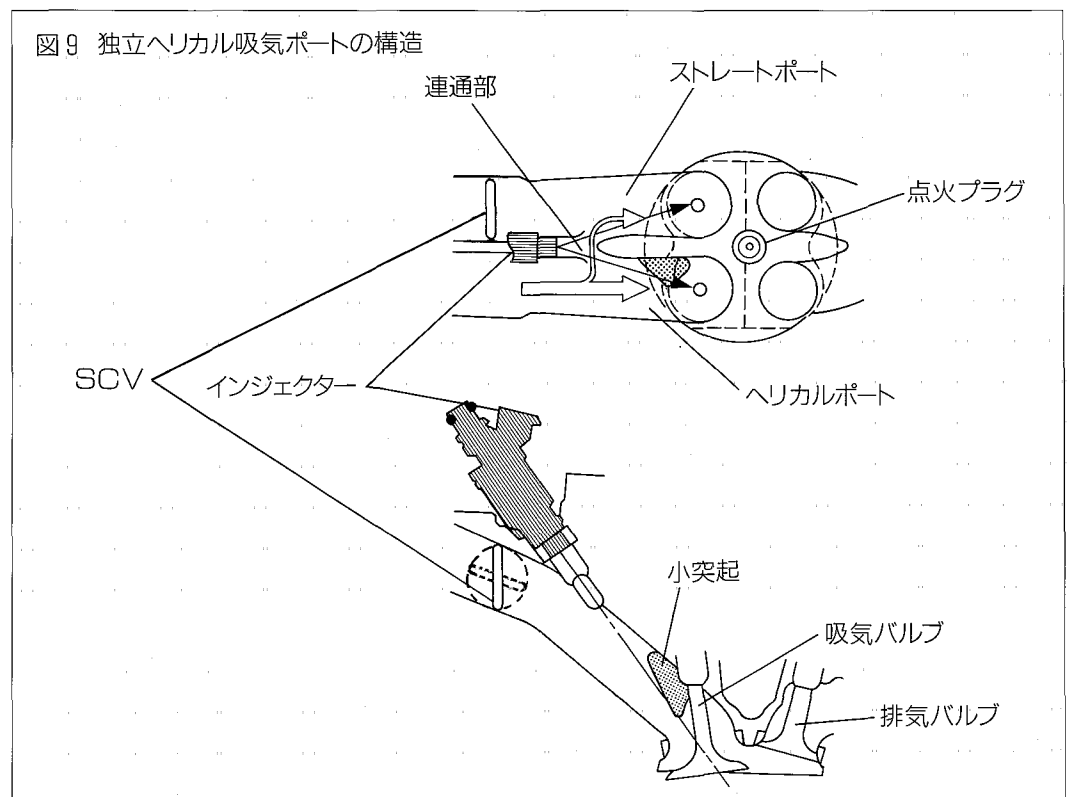


図10 SCVの作動とスワールの生成

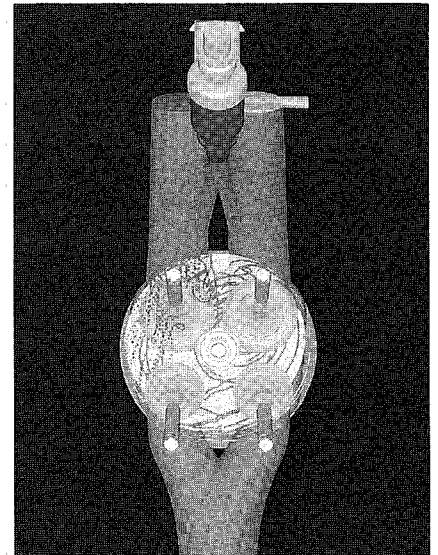
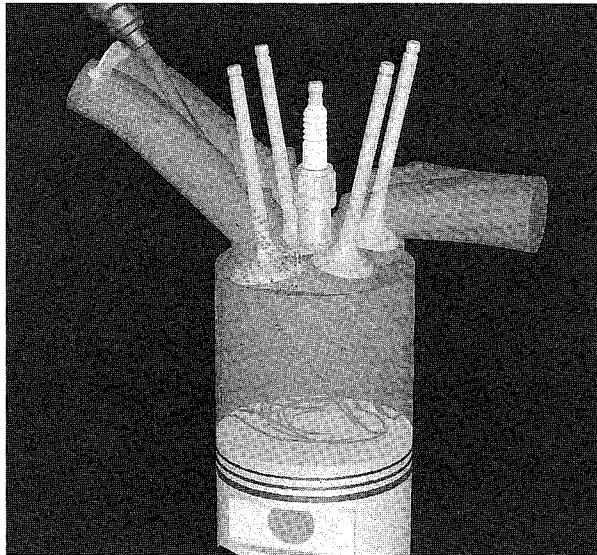
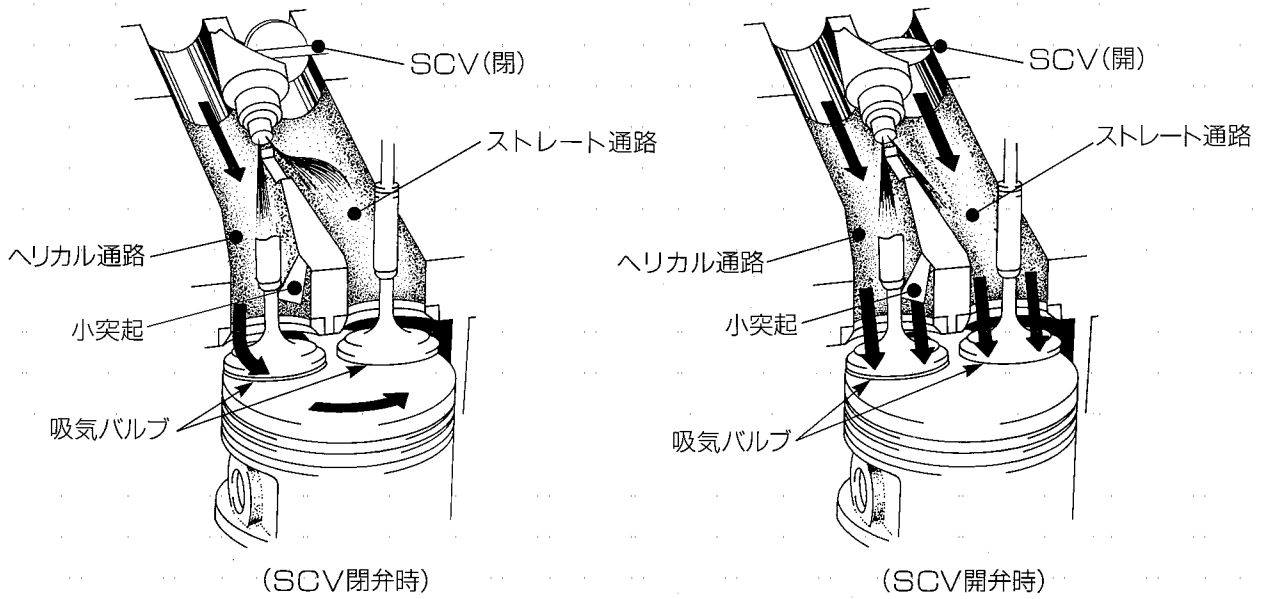
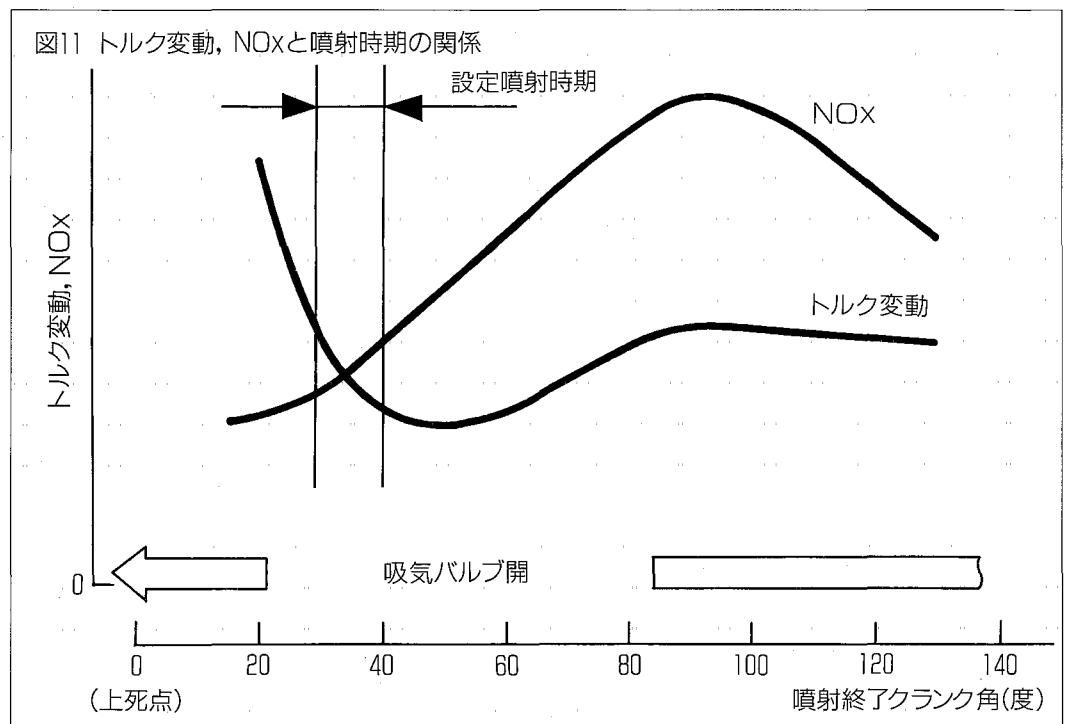


写真 SCV閉弁時の数値流体計算による独立ヘリカル吸気ポートとシリンダー内の空気流動の解析結果

6-2 独立噴射制御

トルク変動、NOxと噴射時期の関係を図11に示していますが、噴射時期によるNOxの変化率は非常に大きいことがわかります。このため、NOxの排出量が少なく、トルク変動も少ない最適噴射時期の選定が必要ですが、この最適噴射時

期は、エンジンの運転条件により変化するため、エンジン制御コンピューター内にそれぞれの運転条件に対応した最適噴射時期をプログラミングし、気筒毎に独立して噴射を制御し、常に低NOxと低トルク変動が両立するよう図られています。



6-3 点火系

点火系も次のように強化し、独立ヘリカル吸気ポート、独立噴射制御とともに希薄空燃比域での燃焼改善に貢献しています。

(1)ワイドギャッププラグの採用

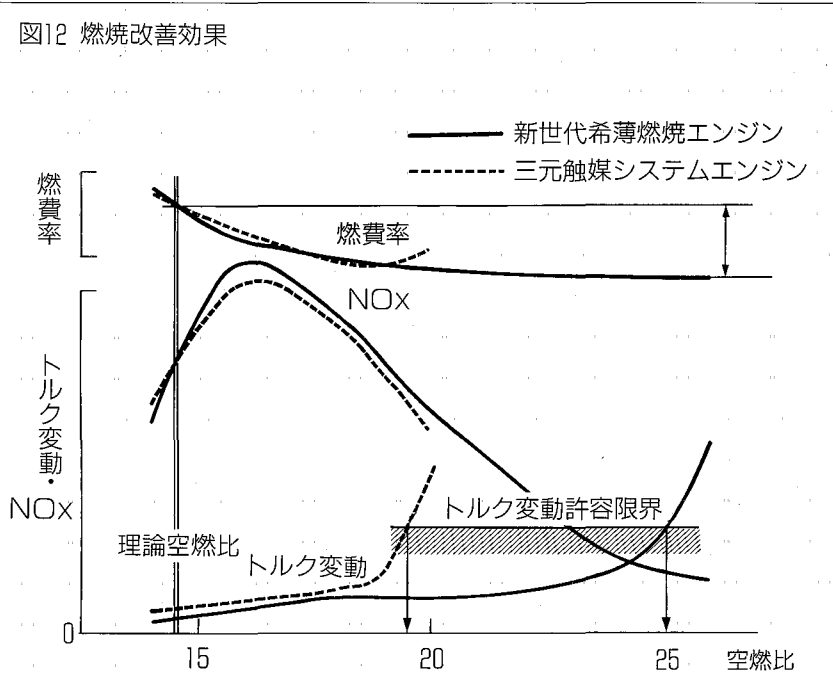
1.3mmのワイドギャップを採用した白金プラグの採用により、強力な着火性能を実現。

(2)高エネルギー点火コイルの採用



6-4 効果

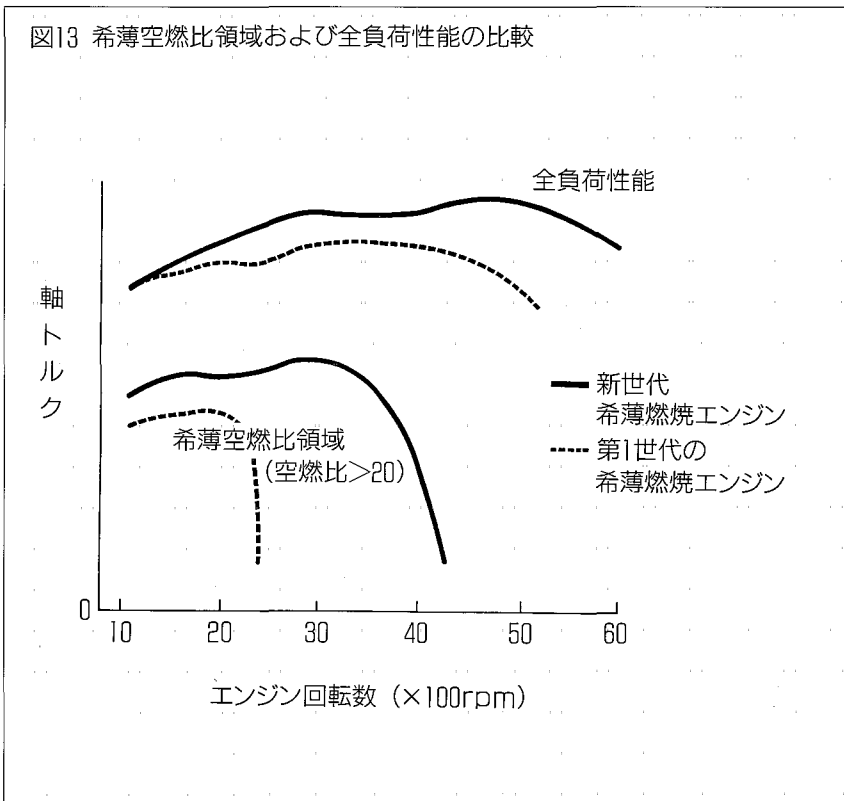
図12 燃焼改善効果



(1) 燃焼改善効果

図12はトルク変動、NOx、および燃費率と空燃比の関係を、今回開発しました新世代希薄燃焼エンジンと一般的な三元触媒システムエンジンとを比較したものです。希薄燃焼限界は、空燃比で25程度で、三元触媒システムエンジンより空燃比で6程度希薄側に拡大し、低NOxと同時に、燃焼改善を達成しています。

図13 希薄空燃比領域および全負荷性能の比較



(2) 希薄空燃比領域の拡大および全負荷性能の向上

図13は希薄空燃比領域と全負荷性能を、新世代希薄燃焼エンジンと第1世代の希薄燃焼エンジンとで比較したものです。独立ヘリカル吸気ポートの採用などで、希薄空燃比領域が拡大するとともに、全負荷性能も向上しました。

7. 電子制御EGRシステム



オートマチックトランスミッション車の加速時等で使われる電子制御EGRバルブを、理論空燃比域の燃費改善を目的として、新たに採用しました。(図14)

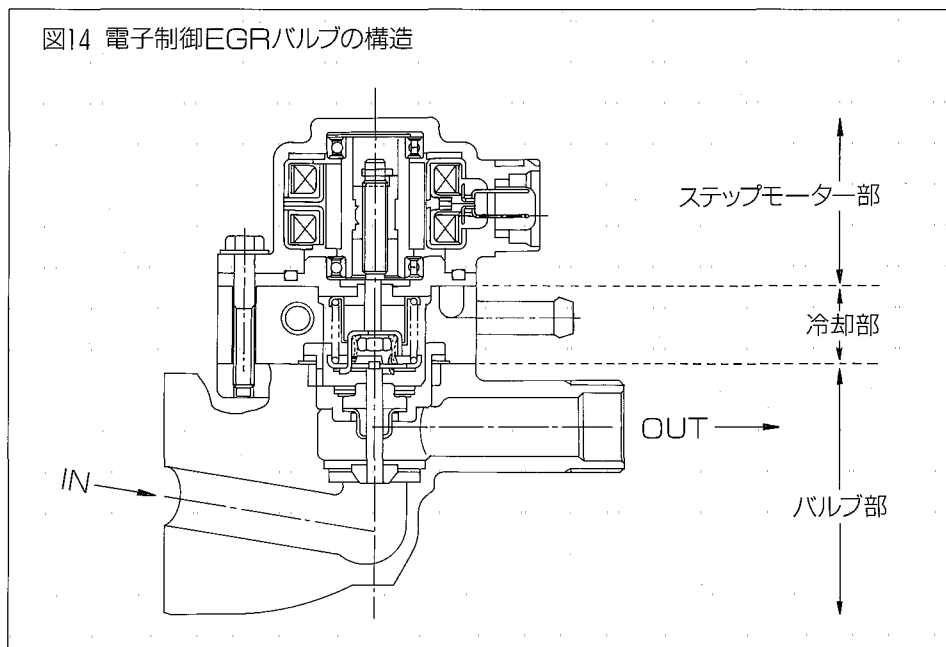
電子制御EGRバルブは、エンジン制御コンピューターの指示にもとづいて作動するステップモーター部と、これに連結されEGRガスを調量するバルブ部、および水冷方式の冷却部から構成されています。

このEGRバルブは、エンジン制御コンピューター

の指示にもとづいてEGRガスが調量されるため、従来から用いられてきた背圧制御式EGRバルブに比べ、大量のEGRガスをエンジンの運転状態に応じてきめ細かく、正確に制御することが可能となりました。そして、EGRバルブの作動に負圧源を必要としないため、インテークマニホールド負圧が低い高負荷域においても、大量のEGRが可能となりました。

この大量EGRが可能となった結果混合気が希釈され、低燃費の実現に寄与しています。

図14 電子制御EGRバルブの構造

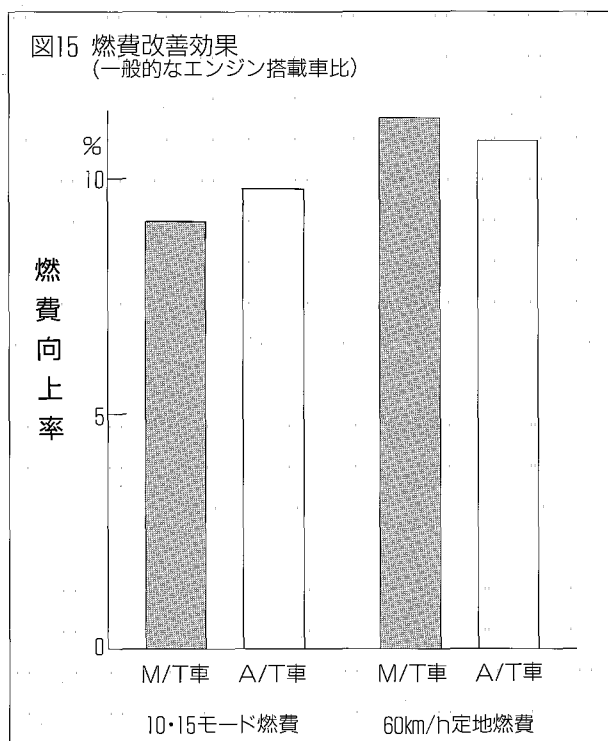


8. 三元触媒

本エンジンは、一般的なエンジンと同様、三元触媒を搭載しています。この三元触媒は、希薄空燃比運転域でのHC、COの浄化、および加速時など理論空燃比運転域でのHC、CO、NOxの浄化を行います。なお触媒の搭載は、エキゾーストマ

ニホールドの直下とし、排気ガス温度が低い希薄燃焼エンジンでの触媒の反応温度を確保しています。また、触媒の担体にはメタルを採用し、排気抵抗の低減に配慮しました。

9. 燃費改善効果




この新世代希薄燃焼エンジンを搭載した車両の燃費改善効果は、一般的なエンジン搭載車と比較して、駆動系の寄与等も含めて約10%と見込まれています。このうち、エンジン単体での燃費改善効果は、マニュアルトランスミッション仕様で約8%、オートマチックトランスミッション仕様で約4%（いずれも10・15モード燃費社内試験値から解析）と見積もっています。

■エンジン主要諸元

	新世代希薄燃焼エンジン	三元触媒システムエンジン (4A-FE)	従来の希薄燃焼エンジン (4A-ELU)
シリンダー数・配置	直列4気筒・横置	←	←
総排気量(ボア×ストローク)	1587(φ81×77)	←	←
動弁機構	DOHC 4弁	←	SOHC 2弁
燃焼室形状	ペントルーフ	←	ウェッジ
圧縮比	9.5	←	9.2
燃料供給方式	EFI 噴射時期制御独立噴射	EFI グループ噴射	EFI 噴射時期制御独立噴射
点火進角方式	電子進角方式 ノックコントロール装置付	←	← ノックコントロール装置なし
点火プラグ(ギャップmm)	白金(1.3)	ノーマルタイプ(1.1)	白金(1.3)
吸気ポート	SCV付独立ヘリカル	ストレート	SCV付ヘリカル
空燃比制御	燃焼圧センサー O ₂ センサー	O ₂ センサー	リーンミクスチャーセンサー
触媒	三元触媒	←	酸化触媒



シートベルトを締めましょう

人へ。社会へ。地球へ。  **TOYOTA**

スピードひかえて安全運転

Press Information May 28 1992

森林資源保護のため再生紙を使用いたしました。