

アコード／トルネオ用1.8L リーンバーンエンジンの開発

Development of 1.8L Lean-burn Engine for "ACCORD/TORNEO"

林 有 登*	櫻 原 一 雄*
Aruto HAYASHI	Kazuo SAKURAHARA
高 林 徹*	遠 藤 太 郎*
Toru TAKABAYASHI	Taro ENDO

要 旨

エンジンの図示熱効率向上による燃費低減に対してリーンバーンは有効な技術の一つであるが、高出力と低燃費との両立およびNOx排出量抑制という点では改良の余地があった。今回新型の1.8Lリーンバーンエンジンの開発にあたり、可変バルブタイミング・リフト機構と希薄混合気の燃焼改善技術を用い、従来機種に対して12%の出力向上と24%の燃費向上および排出ガス量低減を両立させることができた。このエンジンの特徴は、筒内流動シミュレーション解析を応用した新しいコンセプトの吸気ポートと燃焼室形状により、希薄混合気の安定した燃焼を実現したことにある。本稿では、燃焼改善技術と効果をシミュレーション解析結果と合わせて述べる。

ABSTRACT

Lean-burn is one of the available technology to improve fuel economy arise from development of the engine indicated thermal efficiency. Though it is required not only higher performance and more good fuel economy but also lower NOx emission, lean-burn leaves much to be desired. To develop of a new 1.8L lean-burn engine, variable valve timing and lift mechanism (VTEC) and combustion improvement systems under lean mixture operation are introduced. A new 1.8L lean-burn model vehicle achieved 12% more power and 24% better fuel economy and lower exhaust emissions equally against our previous 1.8L vehicle. This engine features the new concept intake port and combustion chamber that designed on the basis of computational fluid analyses. In this paper, technologies and that effects such as improvement of new lean-burn engine and computational fluid analyses results are described.

1. まえがき

環境問題に対し様々な施策が打たれており、国内においても地方自治体が独自の環境基準を打ち出すような状況下にある。自動車メーカーの対応としては内燃機関の正味熱効率向上を主とした低燃費、低排出ガスの技術開発が急務である。その中でエンジンの図示熱効率向上手法としてリーンバーン、筒内直噴^{1)、2)}、ミラーサイクル³⁾などが研究、商品化されている。ホンダにおいても、1.5L/1.6Lクラスのリーンバーンエンジンをシビックに搭載し実用化してきた。Fig.1に量産車のリッター当り出力

と10・15モード燃費を示す。図よりリーンバーンエンジンの燃費は各排気量クラスの高水準にあるが、出力との両立という面ではまだ改良の余地がある。今回の1.8Lエンジンの開発にあたっては低燃費と高出力を両立させるため新しいコンセプトに基づいた吸気ポートと燃焼室形状による燃焼改善を行った結果、出力を12%向上するとともに7都県市／6府県市低公害車指定制度のNOx排出量1/2規制を満たし燃費を24%向上することができた。本稿では燃焼改善技術をシミュレーション結果と合わせて述べる。

*栃木研究所

2. 開発のねらい

エンジンの図示熱効率向上による燃費向上には希薄混合気を燃焼させるリーンバーンが有効な手段の一つであ

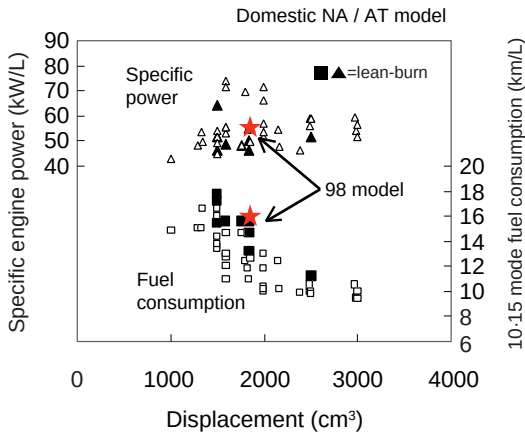


Fig.1 Performance of lean-burn model in production vehicles

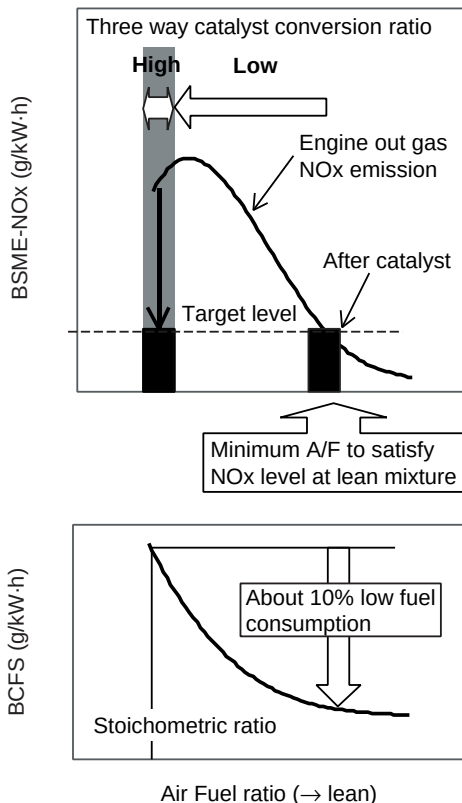


Fig.2 NOx and fuel consumption under lean mixture operation

る。リーンバーンではポンピングロスの減少および比熱比の向上によりサイクルの熱効率が向上する。Fig.2に混合気の空燃比(A/F)と燃費、排出ガス中のNOxの関係を模式的に示す。空燃比をリーンとした場合、熱効率の向上により燃費は向上する。しかしながらリーンバーンでは三元触媒による排出ガス浄化性能が低下するため、NOx排出量が目標値以下に減少するまで混合気の空燃比を希薄にしなければならない。従ってリーンバーンエンジンではNOx排出量を満足できる十分希薄な空燃比において安定した燃焼を得られることが絶対の成立条件となる。この条件を満足させるため混合気に幾何学的な方向性を与えた場合、空気の流路が減少するため高出力との両立という点では十分な性能を得にくかった。

そこで新型の1.8Lエンジン開発にあたり、

- (1) 従来型1.8Lエンジンに対しVTEC機構(VTEC; Variable Valve Timing and Valve Lift Electric Control)を採用することにより出力を下げることなく低燃費化を図る。リッター当りの出力55kW以上の高出力と燃料消費量を従来機種比15%以上低減。
 - (2) 筒内流動計算による吸気ポート、燃焼室形状の最適化と高精度な燃料噴射制御の実現。
- という目標を設定した。

3. エンジン諸元

Table 1に今回開発したリーンバーンエンジン(98 model)の主要諸元を従来型エンジン(94 model)と比較し示す。従来型エンジンに対して出力向上として高圧縮比化、吸気バルブ径の拡大およびロッカアームにローラベアリングを採用しフリクションの低減を行った。

Table 1 Engine specification

Engine type	98 model (Lean-burn)	94 model (Previous)
Cylinder configuration	In-line 4-cylinder	←
Bore × Stroke (mm)	85 × 81.5	←
Displacement (cm³)	1849	←
Compression ratio	9.3 : 1	9.0 : 1
Valve train	SOHC VTEC	SOHC
Rocker-arm type	Roller	Slipper
Valve diameter × number	In. Exh. φ 34 × 2 φ 29 × 2	φ 32 × 2 ←
Intake port type	With window	Normal
Combustion chamber configuration	Pentroof +Bowl-in-piston	Pentroof
Fuel supply system	Programed fuel injection	←
Ignition system	Programed ignition	←

Fig.3に示すように、従来型エンジンに対し、低・中速域から高トルクを発生させ、最高出力は103kW(55.7kW/L)と12%の向上を達成した。

次に、Fig.4に示すようにピストン頂部を含めた燃焼室形状の見直し、連通部(ウインドウ)を設けた吸気ポートとVTEC機構の採用により希薄燃焼限界の向上を図り低燃費と低排出ガスを実現した。

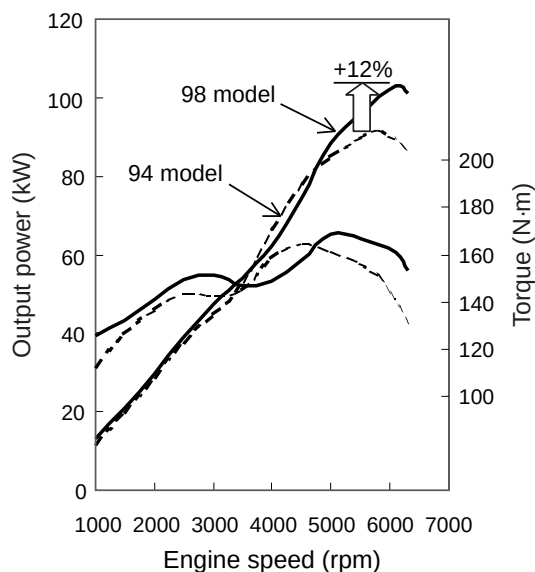


Fig.3 94 and 98 model engine output power

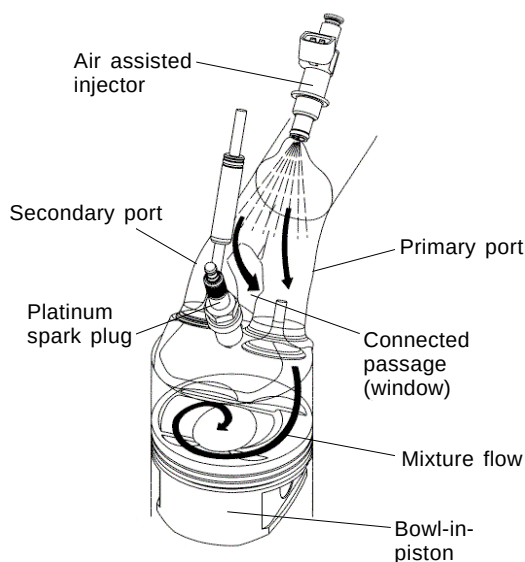


Fig.4 98 model engine layout

4. 希薄燃焼の要素技術

4. 1. 吸気ポート形状

シリンダ内に流入した希薄な混合気を安定して燃焼させるためには、点火プラグ周りに着火し易い混合気を形成し周囲の希薄な混合気に火炎をすばやく伝播させる必要がある。このとき、点火プラグ周りの混合気が過濃だと多量の NO_x が発生する反面、薄すぎると着火ができない。通常のエンジンに希薄混合気を供給した場合は、たとえ一旦着火することができても混合気の燃焼速度が遅いため火炎の伝播が不十分で安定した燃焼が得られない。したがって、リーンバーンエンジンにおいてはシリンダ内の混合気形成すなわち流入する燃料濃度分布の均一性と適度な偏在性の両立および急速な燃焼の促進が重要となる。混合気形成については従来から多くの研究がされておりスワール(横渦)やタンブル(縦渦)といった渦をシリンダ内に発生させる手法の有効性が燃焼の解析結果と関連付けて報告されている^{4), 5)}。一般的にスワールは流れの保存性が大きくサイクル毎での変動も少ないため燃焼が安定し、タンブルは渦の自己崩壊による乱れエネルギーの拡散により燃焼速度が向上するとされており、各々が燃焼限界拡大に寄与していると考えられる。

Fig.5に先行エンジンにおいてスワール比(S.R.)とタンブル比(T.R.)を種々に変化させた場合の希薄燃焼限界を示す。また希薄燃焼限界のデータから推測されるおおよ

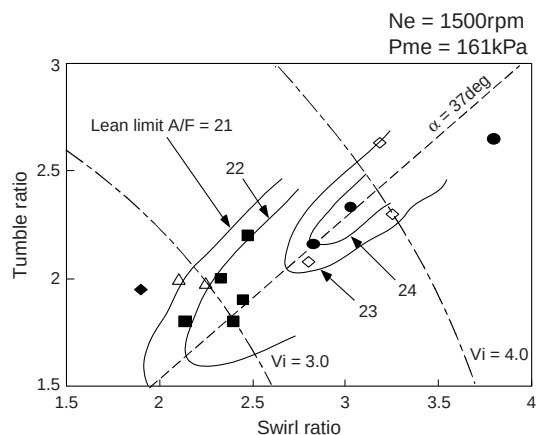


Fig.5 Relation between swirl and tumble intensity and lean-limit

その等リーン限界線および次のように定義する渦強度 V_i
 $\{V_i = ((S.R)^2 + (T.R)^2)^{0.5}\}$ の等渦強度線も合わせて示す。
 図より渦強度を強くした場合、燃焼限界は向上する傾向があるが同一強度においてリーン限界を向上させるためのスワール比とタンブル比には一定の割合があるといえる。これをスワール傾き角 α $\{\alpha = \tan^{-1}(T.R/S.R)\}$ と定義すると $\alpha = 37\text{deg}$ となる。従って、一方のバルブを休止させて筒内に渦を発生させる構造の場合、スワール傾き角を 37deg となるように吸気ポートを設計すれば最も燃焼が安定する。

Fig.6に新開発の吸気ポート形状を示す。ポートは低回転のバルブ休止時にも作動するプライマリポート、高回転時に作動するセカンダリポートおよび両方を結ぶ連通部(ウィンドウ)で構成されている。バルブ休止時、セカンダリ側のバルブはわずかにリフト(1.0mm)しているが吸入される混合気は主としてプライマリ側バルブから筒内に流入することになる。このとき、セカンダリポートからウィンドウを通して強い指向性を持った流れが生じシリンダ内にスワールを形成する。

Fig.7にウィンドウの効果についてシミュレーションを行った結果を示す。条件を同じにするためウィンドウ中央部を遮断したモデルとの流れ比較を行った。ウィンドウを遮断したモデルではバルブから吸入される空気はほぼ均一に流れるのに対し、ウィンドウを設けた場合ウィンドウを通る空気流によりバルブからシリンダ壁側へ向

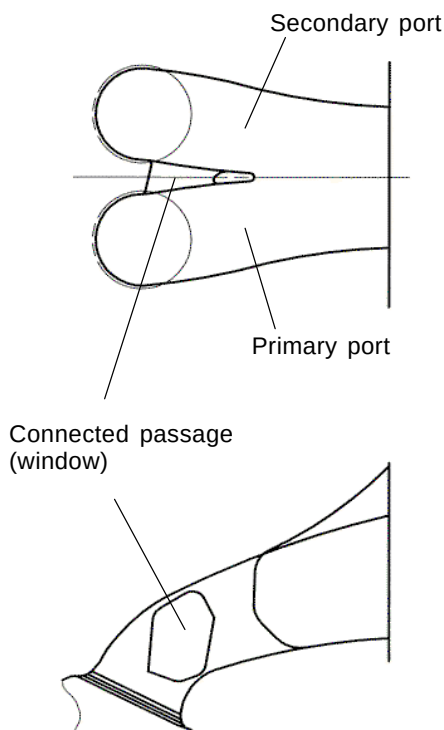
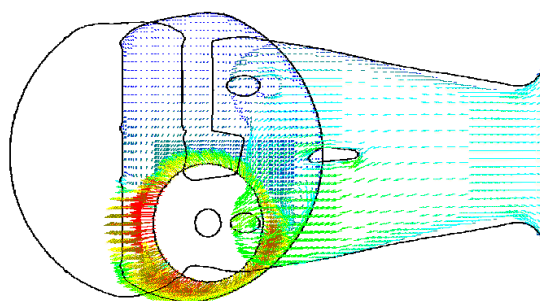
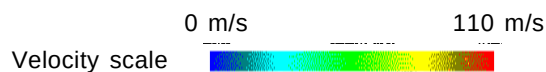
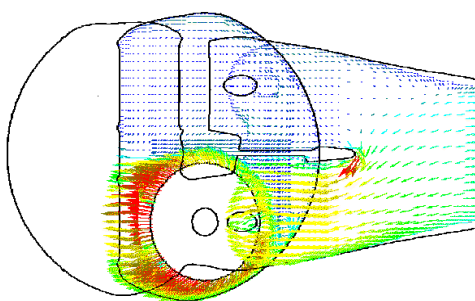


Fig.6 98 model intake port configuration



A. With window



B. Without window

Fig.7 Effect of connected passage on computational fluid analyses

かう流れは半径方向外側へと偏向し、スワールが強化されている。ポート形状およびウィンドウ部の形状はスワール比と吸気2バルブ時の流量係数について最適化を図り決定した。これにより、平均流量係数=0.294、スワール比=3.05、タンブル比=2.25、スワール傾き角 $\alpha=36.4\text{deg}$ とした。

4.2. ピストン形状

Fig.8に検討の結果得られたピストン形状を示す。

ピストン頂部には圧縮行程においてピストンから上方に向かう流れを促進し水平方向の渦を中心へ向ける凸部と点火プラグ近傍に混合気を集中させるための凹部を設け、ボウルイン形状とした。あわせてピストン裏側も肉抜きを施すことにより軽量化と高負荷時におけるピストン温度上昇の抑制を図った。

4.3. シリンダ内流れ

4.3.1. 定常流れ可視化結果

燃焼室形状は高いスワール比を発生させる吸気ポートと共に希薄燃焼限界向上に大きな影響を持つ。新開発のリーンバーンエンジンでは従来手法であるスキッシュエリアとともにピストン形状の改良による燃焼の改善を図るため、筒内流動の可視化とシミュレーションを行った。Fig.9にトレーサ法で求めた定常流でのシリンダ内流れを示す。テストは、Fig.6と同一仕様のポート形状をテストの都合上ボア径 $\phi 75$ 用に改修して行い、定常流でスワール比やタンブル比を発生させる渦の流動状態について

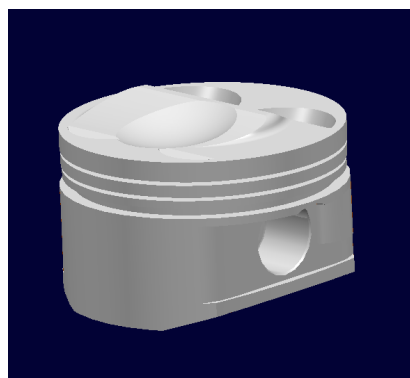


Fig.8 98 model piston configuration

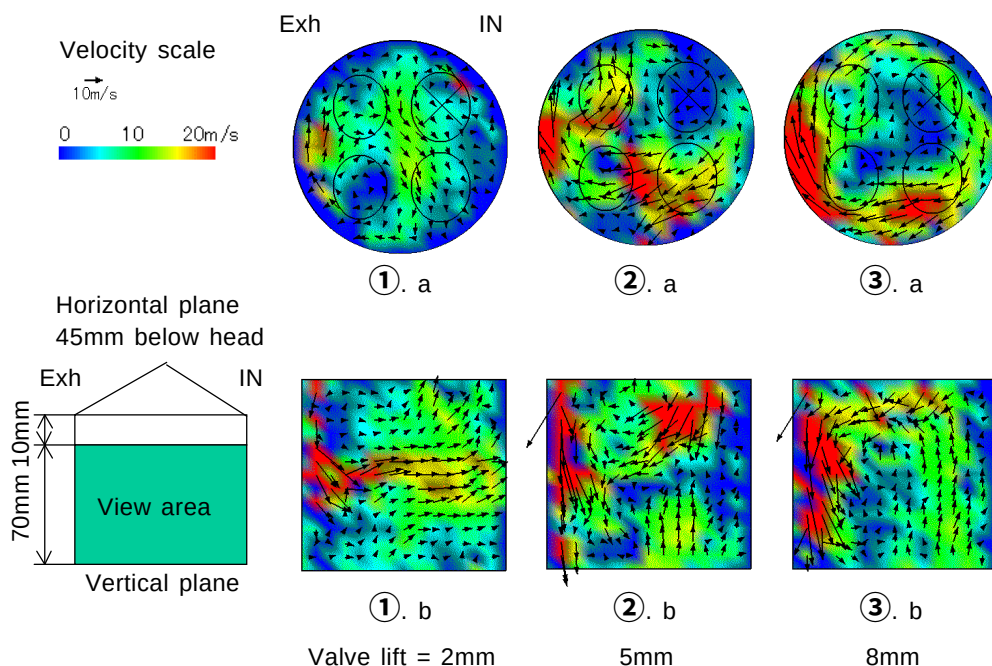


Fig.9 Variance of in-cylinder flow velocity in steady state

て測定を行った。水平断面①．aから③．aに注目すると、吸気バルブが低いリフト時には、作動側バルブからエキゾーストバルブに向かう流れはシリンダ壁面に衝突した後中心へと向かい渦を形成する。それに巻き込まれるように反対方向の渦が発生し、全体としては相反する回転方向を持つ二つの渦ができる。これらの渦はウィンドウにより強化された周方向成分の流れが成長するにつれ一つの大きな渦を形成し、強いスワール流に発達する。

次に垂直断面をみると、最初はエキゾースト側シリンダ壁面からインレット側への弱い流れが存在するが全体としてははっきりとした軸方向の旋回流はみられない(①．b)。中リフトでは、エキゾースト側の壁面に下向きの強い流れが発達し、シリンダ全体がこの流れに引き込まれていく。高リフトになるとさらに流れが発達し

シリンダ中心よりもややエキゾースト側を軸とした渦(③．b)が形成される。

従って、吸気行程中のシリンダ内流れは、作動側バルブからエキゾースト側、さらに休止側バルブに向かい下向きにねじれていると予想され、流入された混合気もこの螺旋状の流れに沿ってピストン側へ向かうと考えられる。そこで、吸気行程で得られた運動エネルギーの減衰と混合気の拡散を抑制するため、ピストン頂部形状による流れ場の制御を検討した。

4.3.2. 非定常流れシミュレーション

ポートとピストン形状を組み合わせたときの筒内流れシミュレーション結果をFig.10および11に示す。吸気行程中(ATDC120deg)にバルブから吸入された混合気は定常流の結果と同様にエキゾースト側のシリンダ壁に沿って

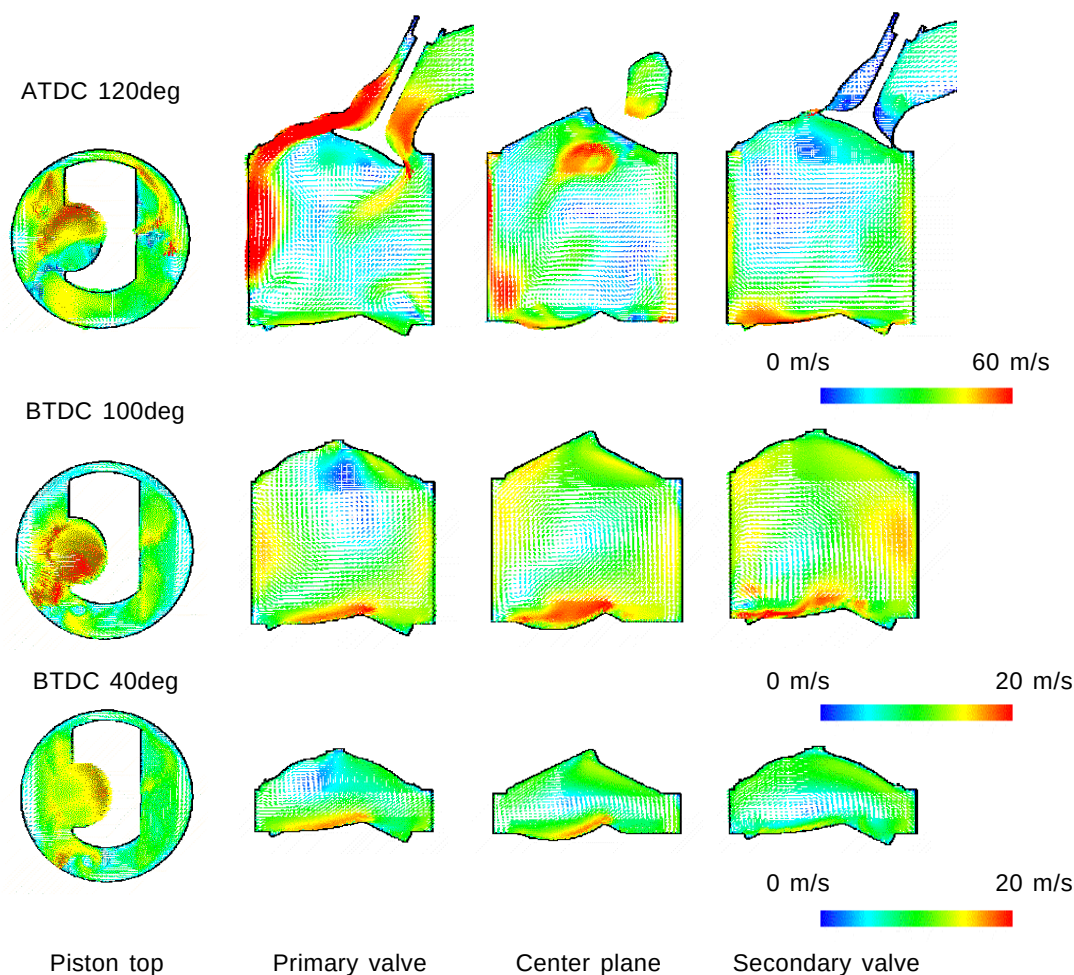


Fig.10 Unsteady in-cylinder flow of 98 model by computational flow analyses

ピストンへと向かう。ピストン頂部に到達した流れはボウル形状によって中心側上方へ方向を変えシリンダ中央から休止バルブ側へと渦を形成する。ピストン頂部のボウル部上方を中心とする渦は圧縮行程(BTDC100deg)においても保存され、圧縮行程終了直前(BTDC40deg)では縦渦の崩壊が始まり燃焼室中心付近に乱流強度の高い部分が広がっている。

ボウルインピストンとすることで吸気ポートからの強いスワール流がシリンダ壁面から中心部へ向かうことで

混合気の拡散が抑制され、着火直前まで保存されたタンブル流の崩壊により急速な燃焼が実現するものと考えられる。

4.4. 希薄燃焼時の特性

希薄燃焼限界空燃比についての比較テスト結果をFig.12に示す。ボウルインピストンによって希薄燃焼限界は0.4程向上した。これは、混合気形成の改善によって着火性が良くなり初期燃焼期間(M.B.F.; Mass Burned Fraction=0~10%)が短縮したためと考えられる。

5. 燃費、エミッション低減効果

以上のような要素技術と燃料噴射タイミングの最適化により希薄燃焼を可能にすることができ、希薄燃焼限界空燃比23.5を達成し設定空燃比において、Fig.13に示す

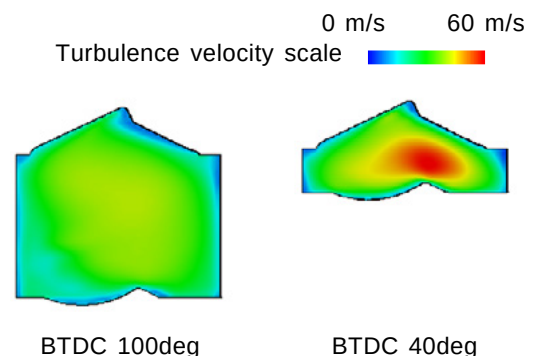


Fig.11 Comparison of turbulence intensity

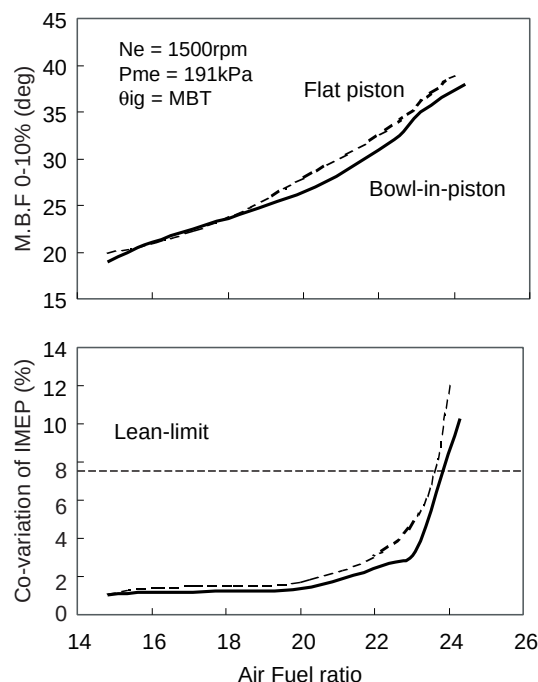


Fig.12 Influence of piston top configuration on lean-limit and combustion period

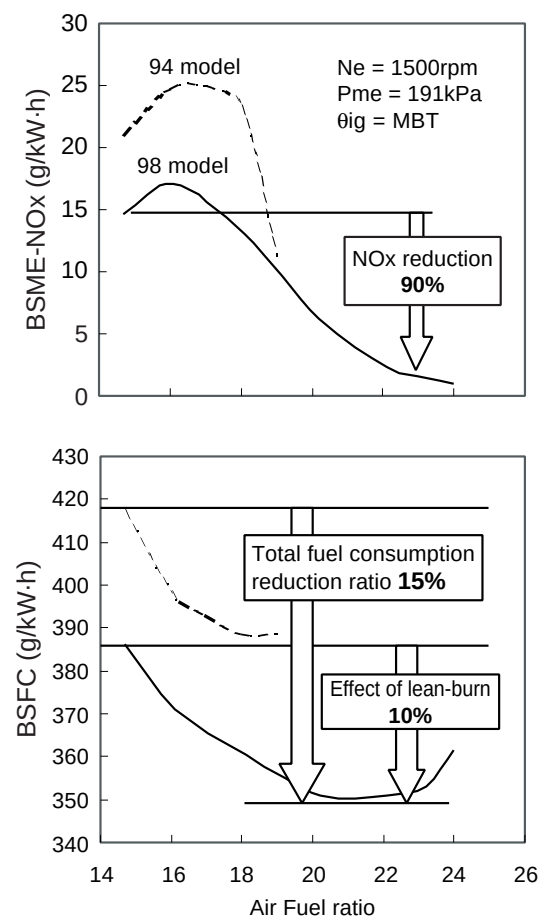


Fig.13 Performance of 98 model engine on BSNOx and BSFC at partial load

ように理論空燃比に対して10%の燃費低減を実現した。
これは、従来機種に対して15%の燃費低減となる。

次に、実車にて得られた燃費性能をFig.14に、排出ガス性能をFig.15に示す。クランクの角速度変動により空燃比を制御するシステムの採用と燃料マネジメントシステムの最適化や電動式パワーステアリングの採用、アイドリングの低回転化などを行った結果、AT車における10・15モードの燃料消費量は従来機種に対して24%向上した。さらに、エアアシストインジェクタによる燃料の微細化を図るとともにNOxの吸蔵効果を持つ新型触媒の採用により、10・15モードのHC排出量は37.5%減少し、NOx排出量も82.4%低減することができた。

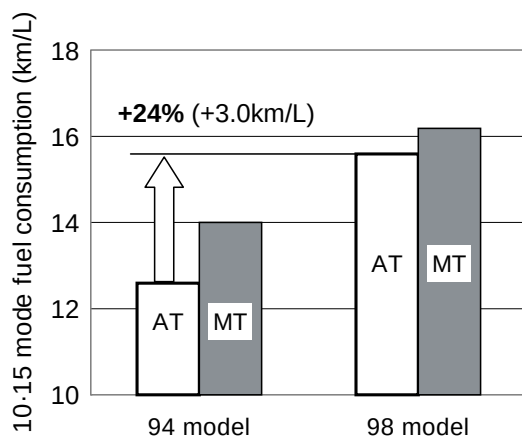


Fig.14 Comparison of 10-15 mode fuel consumption

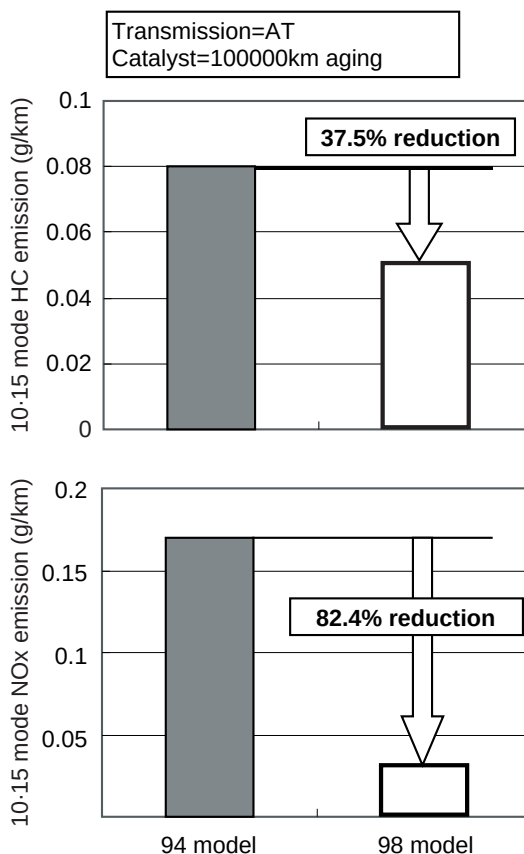


Fig.15 Comparison of 10-15 mode exhaust gas emission

6. まとめ

新型の1.8Lエンジン開発にあたりシリンダ内に生成する渦のシミュレーションおよび実機による解析を行った結果、以下のような結論を得た。

- (1) シリンダ内に生成するスワール流、タンブル流の方向(スワール傾き角)によって燃焼が大きく左右されることを明らかにした。
- (2) ピストン頂部形状により筒内の流れ場を制御し、着火性を向上させることにより希薄燃焼限界空燃比23.5を達成した。
- (3) 吸気ポートとピストン形状を最適化することにより、排出ガス低減と低燃費化を両立できる1.8Lリーンバーンエンジンを開発した。
- (4) 新開発のリーンバーンエンジンを搭載したアコード／トルネオの10・15モード燃費は、従来機種に対して24%向上した。

■著 者■



林 有 登



櫻 原 一 雄



高 林 徹



遠 藤 太 郎

参考文献

- 1) 松下、「直噴ガソリンエンジン(D-4)の開発」、自動車技術会シンポジウム、9733440,1997
- 2) 片岡 他、「筒内直噴ガソリンエンジンの開発」、自動車技術会シンポジウム、9733459,1997
- 3) 畑村 他、「ミラーサイクルガソリンエンジンの開発」、自動車技術会学術講演前刷、9302088,1993
- 4) 漆原 他、「スワール・タンブルによる乱流生成と燃焼特性」、第11回内燃機関シンポジウム、pp.573-578,1993
- 5) 桑原 他、「対向噴流流れ場の中の火炎構造」、第11回内燃機関シンポジウム、pp.109-114,1993