

ブラジル向けCIVIC用 1.8L フレックスフューエルエンジンの開発

Development of 1.8L Flexible Fuel Vehicle System for 2007 Model Year CIVIC for Brazil

齊 木 良 治*
Ryoji SAIKI
三 木 健太郎*
Kentaro MIKI

中 島 進*
Susumu NAKAJIMA
沖 秀 行*
Hideyuki OKI

中 島 寛 明*
Hiroaki NAKASHIMA
御領園 陽 一*
Yoichi GORYOZONO

要 旨

Honda はブラジルの市場ニーズに対応した Flexible Fuel Vehicle(以下 FFV)用 1.8L VTEC 4 気筒エンジンを開発した。本エンジンはガソリンおよびエタノール、また両者のいかなる混合割合の燃料でも運転を可能とする機能を有する。エンジン本体については VTEC によるバルブタイミングの最適化、圧縮比の変更等により、ブラジルの燃料に適した諸元を選定するとともに、燃料系部品については、エタノールの耐食性を考慮した材料を適用してブラジル市場への対応をおこなった。本稿では、当エンジンの達成性能、および採用技術について紹介する。

ABSTRACT

Honda has developed a 1.8L VTEC 4-cylinder engine for a Flexible Fuel Vehicle (FFV) that meets the needs of the Brazilian market. This engine has a function that enables it to be run on either gasoline or ethanol, or on both fuels mixed in any ratio. Engine specifications that are suitable for Brazilian fuel were selected by optimizing the valve timing using VTEC and changing the compression ratio. For the fuel system parts, materials with ethanol corrosion resistance were chosen and applied to the Brazilian market. In this paper, the performance achieved by this engine and the applied technology are described.

1. まえがき

近年、地球温暖化の問題に対して CO₂ 低減の要求が高まり再生可能なバイオ系燃料が注目されている。ガソリンの代替燃料としてサトウキビやとうもろこしを原料としたバイオエタノール、軽油の代替燃料として大豆や菜種を原料としたバイオディーゼル燃料が存在する。ブラジルなどで使用されているバイオエタノールは、サトウキビ等植物を原料としている。これら植物が成長する際に CO₂ を吸収するため、自動車用燃料として使用した場合に、CO₂ 排出量がゼロとみなされる燃料である。バイオ系燃料は、石油の代替燃料であると同時に、地球温暖化の対策としても注目されている燃料である。

ブラジルでは、サトウキビの生産量が豊富なおうえ、バイオエタノールの製造工場が数多くあり、これまで国策により、バイオエタノール燃料の販売がおこなわれてきた。ブラジルにて販売されるガソリンにはエタノールを20-25%混合(以下ガソホール)することが義務づけられている。ガソ

ホールのみならず、エタノールのみの燃料(以下E100)も販売されている。

Honda は代替燃料車として天然ガスで走行可能な CIVIC GX^{(1)・(3)}を 1998 年より発売している。この度、2005 年に発売した新型 CIVIC⁽⁴⁾をベースに、CIVIC FFV 用フレックスフューエルエンジンを開発した。本稿では、CIVIC FFV の採用技術について紹介する。

2. 開発のねらい

本エンジンを搭載する CIVIC は、ブラジルにおいて Fit に次ぐ販売台数であり、ブラジルにおける基幹機種である。エネルギーの多様化に対応するガソホールでもエタノールでも使用可能なユーザーニーズに応じた車両として下記項目を開発目標とした。

- (1) 使用燃料の選択自由度があること
- (2) 使用燃料に左右されない走行性能が保証されていること
- (3) 給油時の商品性が確保されていること

*四輪開発センター

Table 1 Fuel properties

	E0	E100
Heating value (MJ/Air kg)	2.95	2.99
Octane number RON/MON	93/81	110/92
Stoichiometric air fuel ratio	14.6	9.0
Latent heat of evaporation (kJ/Air kg)	30.2	101
Boiling point (°C)	25-200	78
Theoretical air fuel ratio (Volume after carburetion)	43.1	14.3
Ratio of the number of moles of combustion before and after	1.07	1.14

3. 燃料性状について

Table 1に主要燃料の代表的性状を示す。ブラジルで一般的に流通している燃料としてはガソホル、およびE100がある。一般的にエタノールを内燃機関の燃料に使用することの利点としてオクタン価が高い(RON110)ことがあげられる。それにより圧縮比を上げることが可能となるため、熱効率の向上が見込める。反面、燃料系部品の腐食、ゴムや樹脂材の劣化、発熱量の低下による燃費の低下、および蒸気圧が低いことによる低温始動性やドライバビリティ等に課題がある。

4. エンジンの概要と主要諸元

4.1. エンジン

Fig. 1にR18A型FFVエンジンの外観図を、Table 2にベースとなるガソリンエンジンと比較した主要諸元を示す。2006年モデルのガソリンエンジンに対し、次の改良をおこなった。

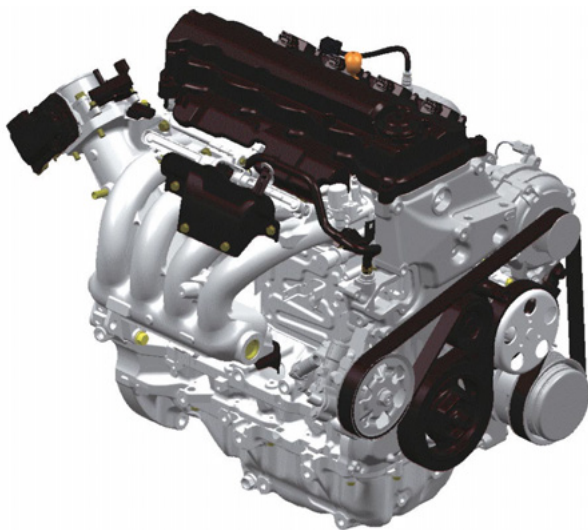


Fig. 1 R18A FFV engine

Table 2 Engine specifications

	2006 Gasoline engine	2007 FFV engine
Fuel	E20-E25	E20-E100
Cylinder configuration	In-line 4-cylinder	In-line 4-cylinder
Bore × stroke (mm)	81 × 87.3	81 × 87.3
Displacement (cm ³)	1799	1799
Compression ratio	10.5 : 1	11.5 : 1
Valve train	SOHC i-VTEC Inlet delayed closure	SOHC i-VTEC 1 intake valve inactive
Number of valves	4 per cylinder	4 per cylinder
Valve diameter (mm)	In.	32
	Ex.	26

- (1) 燃料特性に合わせた高圧縮比化
 - (2) 低温始動性確保のためにインテークマニホールドへのサブ燃料供給デバイスの追加とインテークマニホールドのアルミニウム化
 - (3) 低温ドライバビリティ向上を目的としたバルブタイミングの変更
 - (4) エタノール使用時のバルブリセッション対策(バルブとバルブシートの材質変更)
- 等である。

4.2. 燃料供給系

Fig. 2にFFVの燃料タンクと燃料供給システムの配置を示す。エンジンへの燃料供給は、メイン燃料タンクの燃料が供給されるメイン燃料系と、サブ燃料タンクの燃料が供給されるサブ燃料系から構成される。Fig. 3にメイン燃料供給システムを示す。エタノールへの耐腐食性向上を目的としてSUS304に材料変更したデリバリパイプとFig. 4に示すFFV用メインインジェクタから構成される。Fig. 5にサブ燃料系を示すが、低温始動用に設置したサブデリバリパイプ、サブフューエルインジェクタおよびソレノイドバルブから構成される。

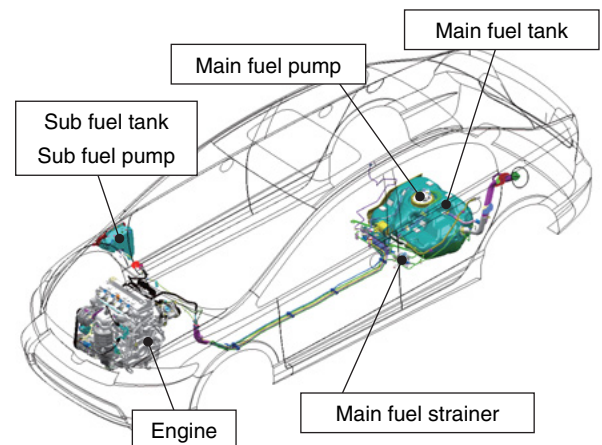


Fig. 2 Overview of CIVIC FFV fuel supply system

燃料タンクは、2006年モデルで開発したガソリン車のものを流用し、E100の使用に対応したフューエルポンプモジュールを新たに採用している。また、燃料ストレーナは、整備や交換の容易さを図るために従来のフューエルポンプモジュール一体式から燃料タンク外置きとした。

右側フロントフェンダ内に始動用の補助燃料タンク(以降サブタンク)を有するが、給油時の商品性向上の目的より、

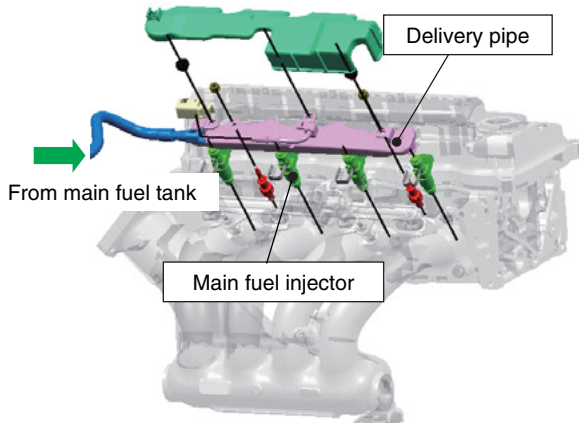


Fig. 3 Main fuel supply system

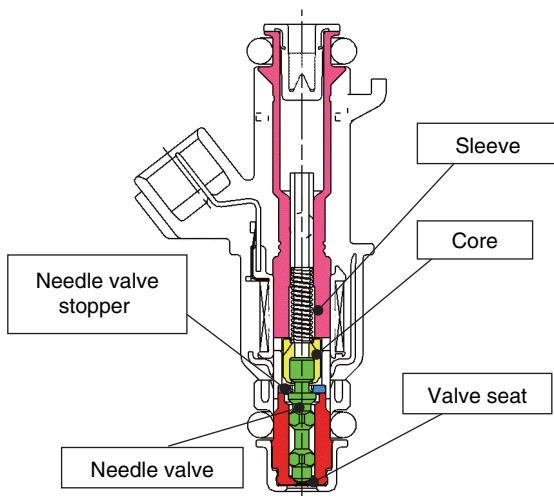


Fig. 4 Fuel injector for FFV

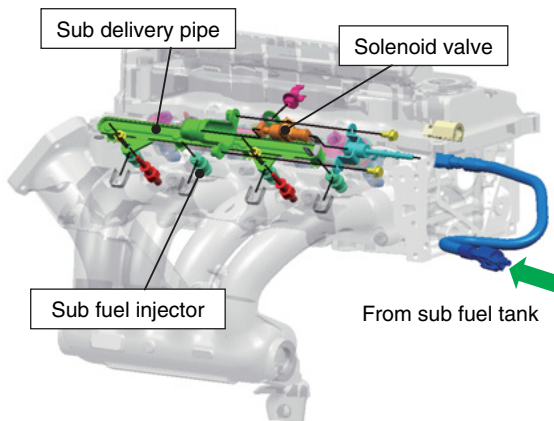


Fig. 5 Sub fuel supply system

Table 3 Material for main fuel system

Parts		Gasoline engine	FFV engine
Fuel injector	Valve seat	SUS440C	ATS34 Passivation film
	Needle valve	SUS440C	ATS34 Passivation film
	Needle valve stopper	SUS440C	SUS440C Passivation film
	Core	PB	K-M62F Passivation film
	Sleeve	K-M35FL	K-M62F
Delivery pipe		JSH270C Electroless Ni-P plating	SUS304L

右側フェンダにサブタンク専用の給油口を設置した。E100や高濃度エタノール燃料使用時は、低温時に始動困難となるためにサブタンク内のガソホルをエンジン始動時に供給し、始動の補助とする。サブタンクの燃料は、低温始動時のみ使用するため、消費量と給油頻度を考慮して700cm³の容量設定とした。サブタンク内のフューエルポンプモジュールはガソリン車で使用しているものを流用している。

4.2.1. メイン燃料供給系

メイン燃料系は、高濃度エタノールや E100 がメイン燃料タンクより供給されるため、デリバリパイプやインジェクタは耐腐食性と耐磨耗性を向上させた材料を採用した。

Fig. 3 に示すように、メイン燃料タンクからの燃料はデリバリパイプからインジェクタを介して各気筒に供給されるが、デリバリパイプは SUS304 へ材料変更し、エタノールに対する耐腐食性を向上させた。

Fig. 4 にメインインジェクタの構造を示す。ガソリン用のインジェクタに対して、各部位の材料変更をおこない、耐腐食性および耐磨耗性の向上を図った。また、Table 3にメインインジェクタとデリバリパイプの材料をガソリン用と比較して示す。

4.2.2. サブ燃料供給系

高濃度エタノール使用時には、低温始動性が低下するためサブタンクよりガソホルを供給し、始動の補助とする。

Fig. 5 にインテークマニホールドに取り付けた始動用サブ燃料系を示す。Fig. 6にインテークマニホールドへ取り付けしたサブフューエルインジェクタの断面図を示す。アルミニウムのインテークマニホールドにサブフューエルインジェクタ、サブデリバリパイプおよびソレノイドバルブを取り付けた構造とした。高濃度エタノール使用時かつ低温始動時にはサブタンクからガソホルを供給し、ソレノイドバルブを介しサブデリバリパイプ内が燃料で充填され、各気筒に設置したサブフューエルインジェクタから燃料が各気筒へ供給される。エンジン始動完了が判定されると、サブタンクの燃料供給が停止し、ソレノイドバルブを閉とし

て、燃料を遮断する機構としている。

エンジンが暖機状態下あるいはメイン燃料タンク内の燃料がガソールの場合は、メイン燃料のみの供給でエンジン始動可能であり、サブ燃料は供給しない。

4.3. 出力特性

4.3.1. エタノールの燃焼時の特性

エタノールを内燃機関用燃料として使用した場合のガソリンとの比較は Table 1 に示した通りである。Fig. 7 にエタノール濃度と設定点火時期、充填効率および発生トルクの関係を示す。試験結果より以下を確認した。

- (1) 全開時の MBT はほとんど変化なし
- (2) RON 向上のため点火時期進角可能(低回転で効果大)
- (3) 気化潜熱増加のため充填効率向上(高回転で効果大)
- (4) 点火時期進角と充填効率向上による出力向上(低回転で効果大)

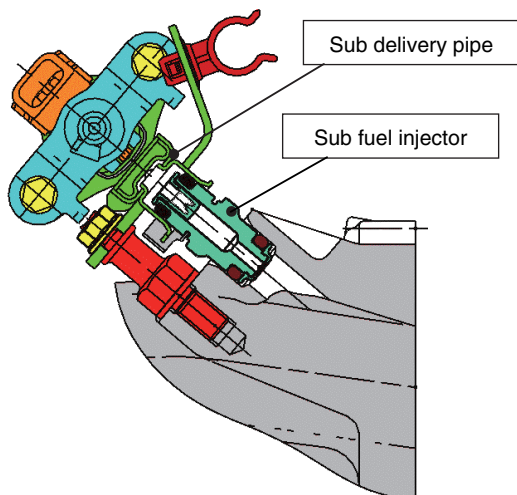


Fig. 6 Side view of sub fuel injector

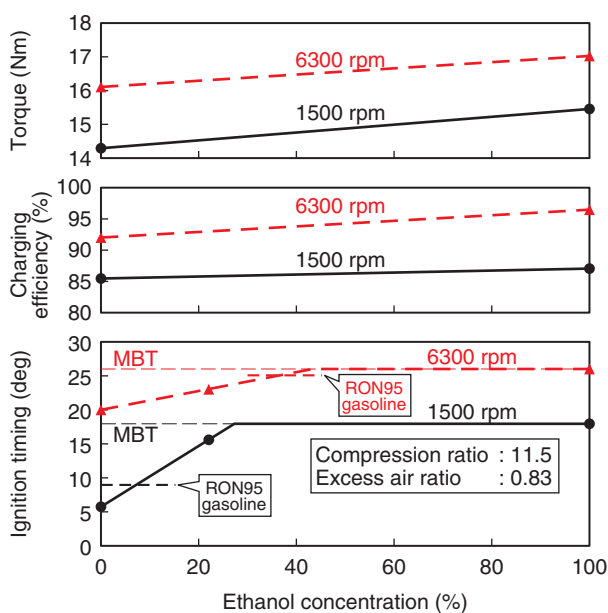


Fig. 7 Relation of ethanol concentration to ignition timing, charging efficiency and engine torque

Table 4 Comparison of engine power for ethanol and gasoline

	Ethanol	Gasoline
Output power (kW)	107.6	103.6
Max. cylinder pressure (kPa)	7100	6910
Max. cylinder temperature (K)	2430	2620

点火時期進角については、エタノール濃度が増すとRONが向上し、点火時期進角が可能となることが確認できる。ブラジル市場で最低の RON となる E22 では、低回転では RON95 ガソリンを大幅にしのぐ RON であると推定できるが、高回転では RON95 ガソリンよりも低い RON であると推定できる。気化潜熱による充填効率向上は、単位時間当たりの燃料噴射量が多い高回転ほど影響が大きいと考えられる。

Fig. 8 に同一条件でのエタノールとガソリンの高回転領域における筒内圧と温度の関係を示す。筒内圧が増加しているにもかかわらず、燃焼後のモル数増加により筒内温度は低下している。Table 4にエタノールとガソリン運転時の出力、最高筒内圧および最高筒内温度の関係を示す。出力は約4%増加しているが、最高筒内温度は低下している。

4.3.2. 全開性能

本エンジンの特徴は、

- (1) 低回転域の充填効率を高め、流速向上により低温時燃焼および部分負荷時の BSFC を向上させた吸気1バルブ運転
- (2) 高回転域の出力を発揮する吸気2バルブ運転
- (3) エタノール濃度 100%時の気化性とエタノール濃度下限時のノック特性を考慮した圧縮比

である。

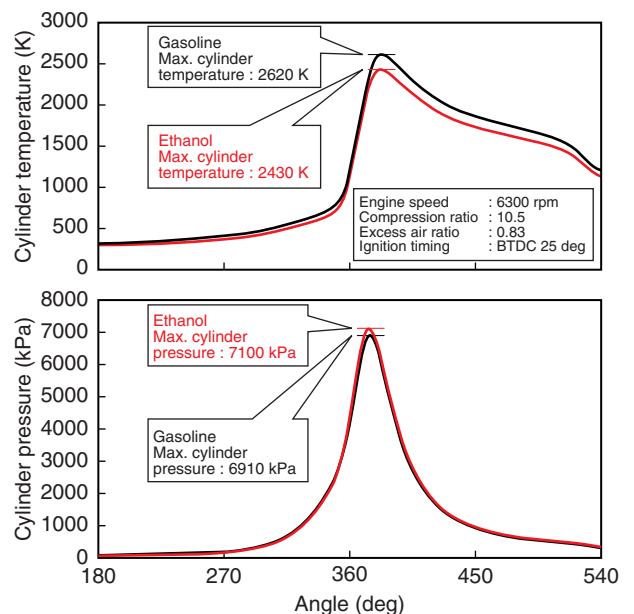


Fig. 8 Comparison of cylinder pressure and temperature for ethanol and gasoline

Fig. 9 および Table 5 にエタノール濃度上下限各々の出力を示す。

4.4. 低温時のエンジン性能

4.4.1. エタノールの低温時の特性

エタノールを自動車用燃料として使用する場合の課題として、低温時の飽和蒸気圧が低いことによる始動性不良があげられる。ガソリンは低温においても含有するブタン等の低沸点成分により十分な蒸気圧を有するが、エタノールは低温では可燃範囲に到達する蒸気圧は得られない。単一成分であるため、増量も効果的ではない。その特性を考慮して、FFV に適した諸元選定が重要である。

FFVに適した基本仕様を考察する。充填効率を考慮し圧縮後の圧力と温度を示すと、

$$P_c = P_0 (\eta_v \varepsilon)^\kappa \quad (1)$$

$$T_c = T_0 (\eta_v \varepsilon)^\kappa \quad (2)$$

P_c : 圧縮後の筒内圧

P_0 : 吸気圧力

T_c : 圧縮後の筒内温度

T_0 : 吸気温度

η_v : 充填効率

ε : 圧縮比

κ : 比熱比

飽和蒸気圧は温度に対して急激に増加するので、

(1) 充填効率増加(低回転)

(2) 圧縮比増加

は筒内温度を上昇させ、低外気温時のエタノールの気化性を大きく向上させる。また、吸気1バルブ休止は混合気の流

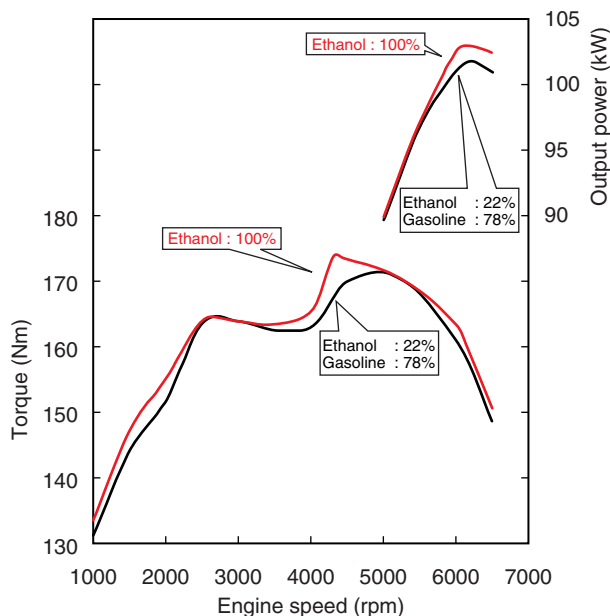


Fig. 9 Engine performance

Table 5 Engine power

	Ethanol	Ethanol 22% Gasoline 78%
Max. power (kW/rpm)	103/6200	102/6200
Max. torque (Nm/rpm)	174/4300	172/5000

速を増し、エタノールが吸入空気およびシリンダ壁面などとの接触を増やすため、気化性を向上させる有力な手法である。

本エンジンではエタノール含有率が20%から100%まで変化することを考慮して圧縮比を決定した。充填効率を決定するバルブタイミングはVTEC機構を採用して、

(1) 始動および低速で使用する吸気1バルブ

(2) 高回転で使用する吸気2バルブ

を切り替えることにより、商品性と十分な最高出力を各々発揮可能のように設定した。

4.4.2. エタノールの低温時の燃焼特性

エタノールを自動車用燃料として使用する場合の二つめの課題は、低外気温時の始動および直後の発進に相当する高負荷運転である。Fig. 10に低吸気温かつ低水温時の空燃比特性を示す。吸気圧-60kPaは始動直後のアイドル状態を、吸気圧-13kPaは発進時の高負荷状態を代表している。エタノールでの高負荷運転ではTHC濃度が高い。これは低吸気温かつ低水温であるため、高負荷運転時の大量のエタノールが気化できないためであると考えられる。通常、理論空燃比でCO₂濃度は最大となるが、気化しないエタノールは燃焼に関与しないため、 $\lambda = 0.9$ 近辺で最大となっている。Table 6 に吸気圧、水温、吸気温とMBTの関係を示す。MBTの変化は負荷により異なり、高負荷の方

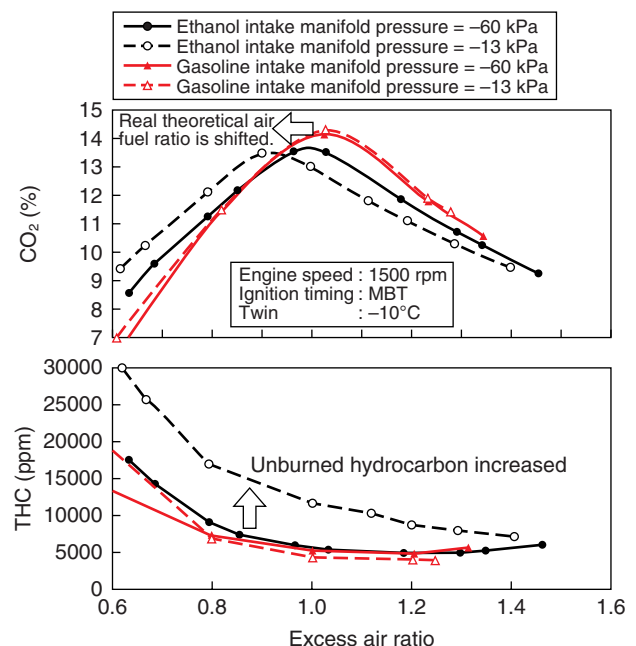


Fig. 10 Characteristics of excess air ratio at low temperature

Table 6 Comparison of MBT after cold start and after warm-up

Intake pressure (kPa)	MBT BTDC (deg)	
	Tw=80°C Ta=25°C	Tw=-10°C Ta=-10°C
-60	25	30
-13.3	10	25

がよりアドバンスする。これは大量の燃料を噴射する高負荷の方が気化性が低いため、早期に点火しなければ良好な燃焼を得られないためである。

4.4.3. 過渡燃焼特性

エタノール燃料使用時の厳しい運転条件のひとつに始動直後に高負荷運転をおこなう場合がある。その評価の指標として高負荷運転移行時のトルクを計測した。Fig. 11に始

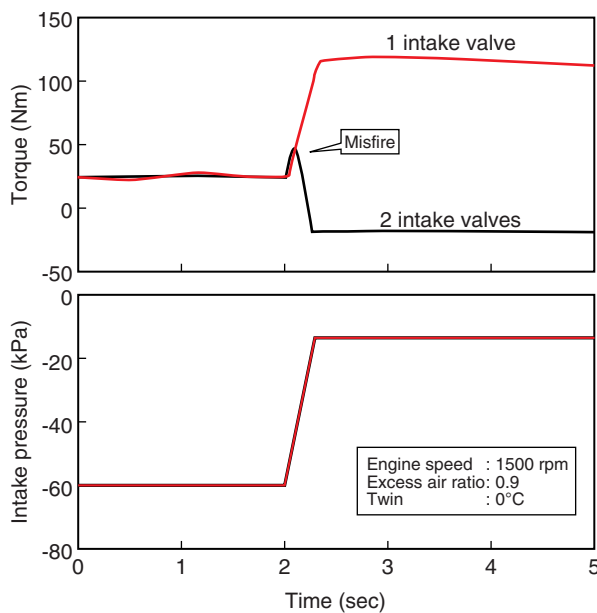


Fig. 11 Comparison of torque during acceleration between 1 intake valve and 2 intake valves

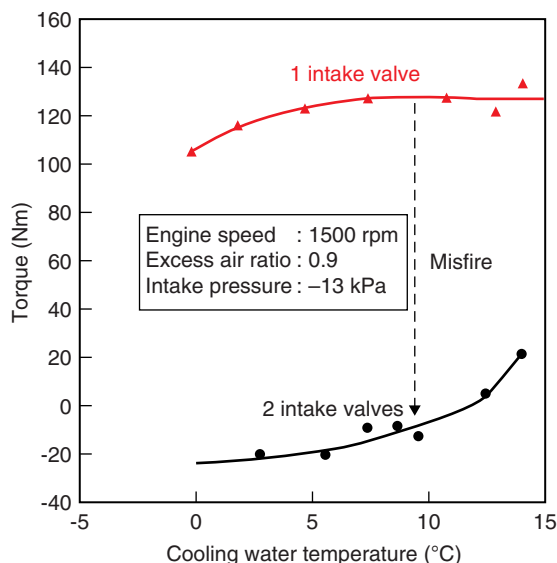


Fig. 12 Comparison of torque during acceleration between 1 intake valve and 2 intake valves

動直後に部分負荷状態から急激に高負荷運転をおこなった場合の過渡期のトルク特性を示す。Fig. 12に始動直後に高負荷運転をおこなった場合の定常状態におけるトルク特性を示す。吸気2バルブ運転では冷却水温度13°Cまで暖機運転しても高負荷運転をおこなうと失火をおこしてしまう。

吸気1バルブ運転ではブラジル最低気温での始動直後に相当する冷却水温度0°Cでも良好な燃焼を得られる。理由は流速の増加およびスワール流発生により、燃料と吸入空気および壁面との接触頻度が上がり、気化が改善したためと考えられる。

5. 燃料制御

5.1. メイン燃料制御

FFVではガソリンエンジンとの使用燃料の性状違いに基づく燃料制御仕様の変更をおこなった。

5.1.1. エタノール濃度学習

本エンジンではガソリンエンジンと同様に Universal Exhaust Gas Oxygen sensor(以下 UEGO センサ)を用いてストイキフィードバック(以下 F/B)運転をおこなうが、エタノールとガソールでは理論空燃比が異なるため、エタノール使用時にはガソール使用時に対して必要燃料量が増加する。必要燃料量増加分をUEGOセンサにより検出し、メインタンク内燃料のエタノール濃度を推定する。

燃料給油時には、現在使っていた燃料とは異なる燃料が給油される場合があるため、燃料タンク内のフューエルレベルセンサ出力を用いて給油判定をおこない、給油発生時にはエタノール濃度を再学習する。

5.1.2. エタノール濃度別燃料補正

エタノールはガソールに比べ沸点が高く、蒸気圧が低いため、低温では気化しにくい。そのため低水温下での燃焼では、ガソールに比べて理論空燃比差以上に、より多くの燃料供給を必要とする。そこで、エタノール濃度学習値に応じた始動増量係数の選択をおこない、また燃料付着補正制御をエタノール濃度別に実施する。

5.1.3. A/F F/B 係数のアクティブリミット

通常のガソリンエンジンの場合、ストイキ運転中のUEGOセンサ出力に影響を及ぼす要素はほぼ部品ばらつきのみであるため、F/B幅を広く設定する必要がない。FFVではそれに加えて理論空燃比が大きく異なる燃料を使用してストイキ F/B するため、F/B幅を広く設定する必要がある。しかし、単純にガソリン車に対してF/B上下限リミットを広げてしまうと不必要な燃料F/Bを助長してしまう場合がある。そのため、上下限リミットの初期値はガソリン車相当とし、F/B係数がリミット値に達した際は、今までと異なる燃料が使用されたと判断し、徐々にリミットを広げる設定とした。これにより、良好な燃料F/B性能と、燃料切り替え学習性能を両立した。

Table 7 Emission standard

Stage	(g/km)		
	CO	NMHC	NOx
PROCONVE L-4	2.0	0.16	0.25
PROCONVE L-5	2.0	0.05	0.12

5.2. サブ燃料制御

低温かつ高濃度エタノール使用時には、始動時間が長くなったり、始動不能となったりするために、始動時水温が所定温度以下かつエタノール濃度が所定濃度以上時にはサブタンクよりサブ燃料をインレットポート内に噴射し、エンジンの始動を補助する制御とした。これにより、全温度域に渡り、使用燃料に左右されない良好な始動性を確保した。

6. ブラジル排気ガス法規と低排出ガス技術

6.1. ブラジル排気ガス法規

Table 7に2005年1月1日より施行されているPROCONVE L-4 法規を示す。また参考に 2009 年より導入予定のPROCONVE L-5 法規も示す。本エンジンは PROCONVE L-4に対応している。ブラジルにおける特徴的な法規要求としては、下記に示す3種の試験燃料で上記法規規制値を満足することが必要である。

- (1) 標準 AEHC(気化含水エチルアルコール)
- (2) 標準 E-22 ガソリン(標準ガソリン 78%と無水エタノール 22%の混合物)(v/v)
- (3) 標準 E-22 ガソリン 50%と標準 AECH50%(v/v)からなる混合物

FFV はいかなる混合比の燃料でも使用可能であるため、このような法規要求となっている。

6.2. 排気ガス処理システム

Fig. 13にエミッション達成結果を示す。ベースとなるガソリン車の排気ガスシステムに対して、EGRバルブは廃止した。図中の(1) - (3)は、前項に示した各試験燃料を示

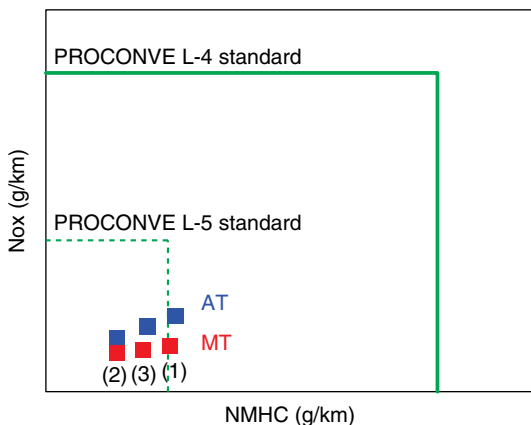


Fig. 13 Achievement of exhaust emission

す。エタノール濃度が高いほど、始動時および始動直後にガソリンに対して多くの燃料を必要とするために、NMHCの排出量が多くなる傾向を示す。

7. あとがき

本開発の FFV エンジンはブラジルで発売される CIVIC に搭載され、VTEC と高精度燃料制御により多様な燃料への対応とエミッション性能を両立し、当初のねらいであった開発目標を達成した。

本開発は、今後強化されるエミッション規制、および全世界で導入が加速しているエタノール混合燃料に対して、基本となる技術を確認したと確信している。今後は、さらなる改良を重ねて、地域および時代の要請に応えられる高効率パワートレインの開発を目指していきたい。

参考文献

- (1) 新井作司, 村石忠: ホンダ圧縮天然ガス専用乗用車, HONDA R&D Technical Review, Vol.9, p.17-24
- (2) 戸田琢士, 松木正人, 大森忠信, 山本裕司: CIVIC GX 用 1.7L CNG エンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.1, p.49-56
- (3) 中島進, 後藤博之, 渡辺修, 松永俊英, 中島寛明, 中島摩沙洋: 新型 CIVIC GX 用 1.8L CNG エンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.18, No.2, p.116-124
- (4) 瀬古一行, 多賀渉, 鳥居建史, 中村聡, 秋間和洋, 関谷明堂: 新型 CIVIC 用 1.8L i-VTEC エンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.18, No.1, p.8-15

■著 者■



齊木 良治



中島 進



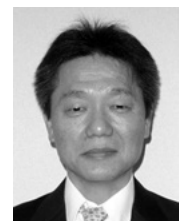
中島 寛明



三木 健太郎



沖 秀行



御領 園陽一