

Civic GX 用 1.7L CNG エンジンの開発

Development of a 1.7L CNG Engine for the 2001 Civic GX

戸田 琢士*

Takushi TODA

大森 忠信*

Tadanobu OHMORI

松木 正人*

Masato MATSUKI

山本 裕司*

Yuji YAMAMOTO

要 旨

Hondaは、1998年より量産している天然ガス自動車Civic GXを2001年モデルとして改良し、新たなCNGエンジンを開発した。この新型CNGエンジンは、2001年モデルCivicのガソリンエンジンを基本として中低速トルクの向上を目的に排気量拡大と吸気系の改良を行った。またパワープラントのコンパクト化を目的として吸気系、CNG用レギュレータを集積したレイアウトとしている。新しいCivic GXは米国CARBより世界初の“Advanced Technology P-ZEV”として認定された。AT P-ZEV規制に適合させるため、コールドスタート時の早期触媒活性化、高精度A/F制御を行い、排出ガスの低減を実現した。日本では、平成12年基準排出ガスの75%低減レベルの「超一低排出ガス認定」を取得した。このCNGエンジンに組み合わされる変速機を4速ATからCVTに変更することで、市街地走行の燃費を1998年モデルに対し7%向上することができた。

ABSTRACT

Honda has upgraded the natural gas Civic GX, which has been in production since 1998, with a newly developed CNG engine for the 2001 model. Based on the gasoline engine in the 2001 model Civic, this CNG engine was given larger displacement and an improved air intake system for better torque at low to medium speeds. A layout that integrates the air intake system and the CNG regulator was adopted to make the power plant more compact. The new Civic GX is the world's first vehicle to be certified as an AT P-ZEV by the CARB. In order to satisfy the AT P-ZEV requirements, the vehicle was given the capability for quick light-off of the catalyst from a cold start, high-precision air-fuel ratio control, and reduced exhaust emissions. It has qualified for Japan ULEV status. This model also achieved a 7% improvement in city driving fuel economy over the 1998 model by changing the transmission that is paired with the CNG engine from a 4AT to a CVT.

1. まえがき

自動車からの排出ガスによる大気質の悪化が世界的に問題になっている中で排出ガスの低公害化を図るためにガソリン以外の代替燃料を使用したパワープラントの開発が行われている。代替燃料のうち、燃料自体が大気質に与える影響の少ないCH₄(メタン)を主成分とする圧縮天然ガスCNG(Compressed Natural Gas)は、埋蔵量の豊富な天然ガスを、都市ガス網を基盤として容易に供給可能なことから有望視されている。

Hondaでは、CNGを燃料とする専用エンジンを搭載して、世界最高の低排出ガス性能とガソリン車と同等の出力性能を両立したCivic GXを1998年から量産している。2001年のCivicシリーズのフルモデルチェンジに合わせて、さらに低排出ガス化を図り新たに制定された排出ガス規制に

適合するとともに、航続距離の延長をねらいとしたCNG用パワープラントの開発を行ったので紹介する。

2. 開発のねらい

CNGを燃料とする量産の乗用車として、世界最高水準の環境対応と、ガソリン車に遜色のない使い勝手を両立させるために以下の性能を目標とした。

(1) 世界最高の低排出ガス性能

世界で一番厳しいとされている、米国・カリフォルニア州のAT P-ZEV(Advanced Technology Partial-Zero Emission Vehicle)カテゴリーへの適合

日本では、平成12年基準の75%低減レベルの「超一低排出ガス」認定基準への適合および圧縮天然ガス自動車の排出ガス技術指針値への適合

(2)航続距離の延長

タンク容量を変更せずに航続距離を延長するために市街地走行を中心に5%以上の燃費向上を図る。

3. 概要と諸元

3.1. エンジン

2001年モデル Civic のガソリンエンジンを基本としてCNG対応を追加した。エンジン本体は1998年モデル同様にバルブリセッション対策⁽¹⁾(吸排気バルブとバルブシートの材質変更)と、高圧縮比化を行った。

吸気系はエアクリーナ、レゾネータまでパワープラントに取り付け、後述する燃料系と含め一体化することでパワープラントの小型化、工場生産時のエンジン搭載性を向上した。

排気量の拡大と吸気系の変更は中低速トルクの向上を目的としていて、後述するCVT(Continuously Variable Transmission)と組み合わせることで中低速回転領域を使用する市街地の使い勝手を向上させた。

CNGエンジンの主要諸元をTable 1に、出力特性をFig. 1に、エンジン外観をFig. 2に示す。

3.2. 燃料供給系

CNG用燃料タンクと燃料供給システムの車体への配置をFig. 3に示す。

燃料タンクは、1998年モデルで開発した容量100L(20MPa充填時20Nm³)のオールコンポジットタンクを踏襲している。タンクの搭載場所はリヤシートとトランクの間である。搭載位置を新構造リヤサスペンションのレイアウトにより発生したスペースを利用して前方、低位置に配置

Table 1 Engine specifications

Engine code		D17A
Cylinder configuration		In-line 4-cylinder
Bore x stroke (mm)		75.0 x 94.4
Displacement (cm ³)		1 668
Compression ratio		12.5 : 1
Valve train		SOHC
Number of valves		4 per cylinder
Valve diameter (mm)	In.	30
	Ex.	26
Fuel supply system		Multi-point injection
Ignition system		Programmed ignition (Plug hole coil)
Max. power (kW/rpm)		74 / 6 100
Max. torque (N·m/rpm)		132 / 4 000

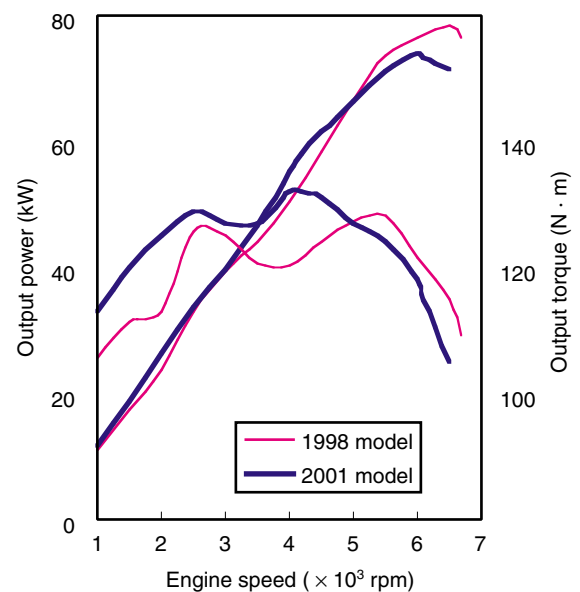


Fig. 1 Engine performance

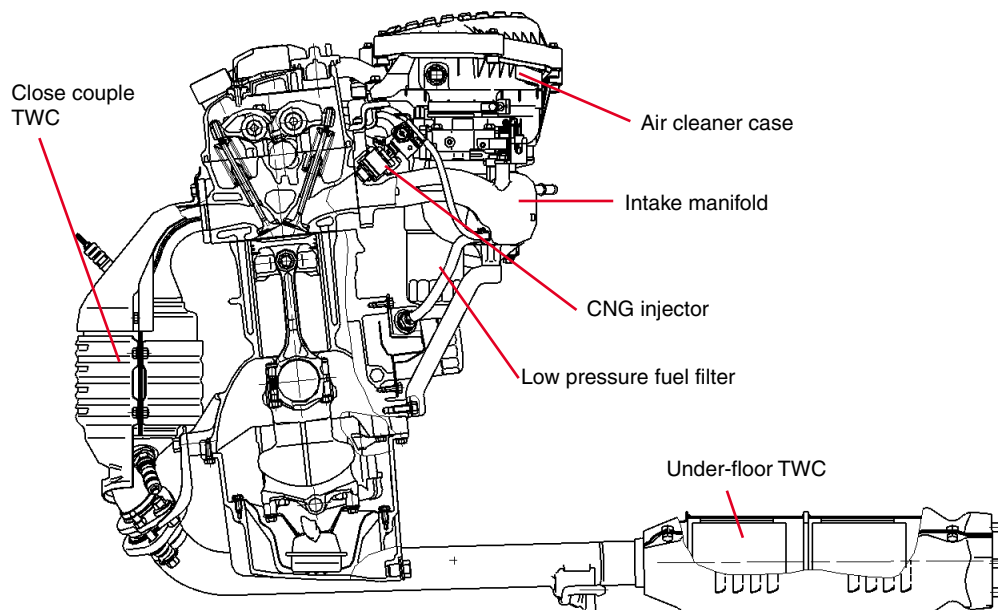


Fig. 2 2001 model CNG engine

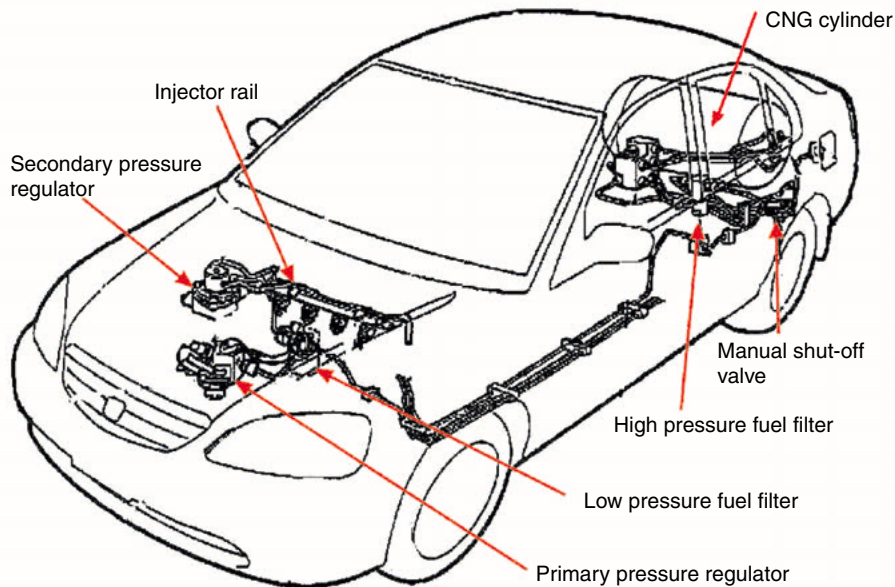


Fig. 3 Overview of Civic GX CNG fuel supply system

した結果、CNG車で問題となるトランクスペースの前後長を 1998 年モデル比 82.5mm 拡大している。

燃料調圧用レギュレータは 2 段階の減圧を行い安定した燃料圧力を得る方式としている。1998 年モデルでは 1 段目と 2 段目のレギュレータを集積して一体構造としたが、2001 年モデルでは分割構造とした。1 段目レギュレータ後の低圧部分にフィルタを組み込み、燃料に含まれるオイル分、水分の除去を図っている。1 段目のレギュレータはエンジンルームトーボード下部の車体側に、2 段目のレギュレータと低圧側燃料フィルタをエンジンに搭載した。体積の大きいレギュレータを分割することにより燃料系レイアウトの自由度を高めた。

エンジンへの燃料供給方法は CNG 専用設計のインジェクタ⁽²⁾を各気筒に配置してインテークポート部に噴射する MPI(Multi Point Injection)システムとした。インジェクタと燃料配管はインテークマニホールドに取り付けるレイアウトとしている。これら CNG 対応のため、基本としたガソリンエンジンとは異なるインテークマニホールドを専用設計した。

4. 低エミッション技術

世界で一番厳しい排出ガス規制といわれている米国・カリフォルニア州の P-ZEV カテゴリーに適合することを目的として、排気系と触媒のレイアウト、A/F 制御を中心としたエミッションシステムをデザインした。

その結果、2001 年モデル Civic GX は世界最初の AT P-ZEV として CARB(California Air Resources Board)に認定された。

4.1. AT P-ZEV

P-ZEV カテゴリーは、排出ガスレベル(テールパイプエミッション)が SULEV(Super Ultra Low Emission Vehicle)、エバポエミッション(燃料蒸発エミッション)がゼロエバポのエミッションカテゴリーで、耐久保証距離は 240 000km (150kmile)が要件である。

P-ZEV では炭化水素(HC)の中の NMOG(Non-Methane Organic Gas)が規制対象である。CH₄ は大気質に与える影響が小さい(光化学反応性が極めて低い)ため CH₄ 以外の炭化水素を規制対象としている。また CNG を燃料に使用するエンジンから未燃焼で排出される炭化水素の約 80%は CH₄ である。P-ZEV レベルまで NMOG を低減する場合、CNG エンジンはガソリンエンジンと比較して有利である。

したがって CNG を燃料として P-ZEV レベルの排出ガス性能に到達するためには NO_x の低減が主要な課題となる。1998 年モデルで到達した ULEV(80 000km 走行)規制値に対して 1/10 の NO_x 排出レベルをさらに長い走行距離(240 000km)で保証する必要がある(Fig. 4)。

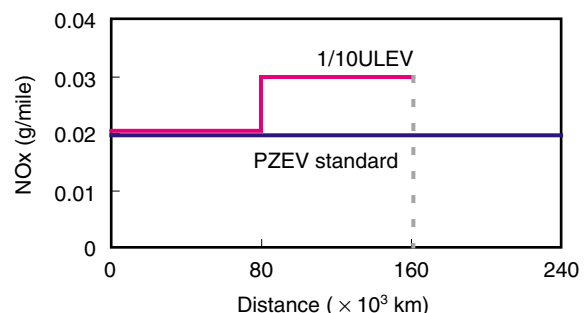


Fig. 4 P-ZEV emission standard and 1998 model Civic GX emission target (1/10 ULEV)

エバポエミッションは、圧力容器を使用して燃料系が密閉されることと燃料の主成分が CH_4 であることから適用されない。さらにCNG燃料は、燃料の製造や流通サイクルを含めて大気質に与える影響を最小に抑えることが可能である。これらの理由でCNGを燃料とするP-ZEVにはAT P-ZEV(Advanced Technology P-ZEV)カテゴリーが適用される。

240 000km 耐久保証は、他の Honda 車と同様の濃縮耐久法を 160 000km(100kmile)相当から 240 000km(150kmile)相当に延長して確認テストを実施している。その結果、240 000km走行後でもエミッションシステムはP-ZEVの排出ガス性能を維持していることが確認された。

以下、AT P-ZEV達成を可能としたエミッションシステムのうち、(1)エンジン始動後の早期触媒活性に大きな影響を持つ排気系、触媒コンバータ、(2)A/F フィードバックの要となる O_2 センサ、(3)触媒活性後 NO_x 低減のためのA/F コントロール、を中心に低エミッション技術について述べる。

4.2. 排気系、触媒コンバータ

排気系は 1998 年モデルと同様に直下+床下の触媒コンバータシステム(Fig. 5)を採用した。直下コンバータは昇温特性が優れているので触媒活性までの時間を短縮することができ、エンジン始動後の排出ガスの低減に有効である。床下コンバータは暖機後の排出ガス低減を目的としている。

エキゾーストマニホールドは従来鋳鉄だったものをステンレス板材のプレスと溶接により組み立て、直下コンバータと一体溶接した。またフランジで結合されていた床下コンバータとエキゾーストパイプを溶接で一体化することで軽量化した。直下コンバータ出口とエキゾーストパイプの接合部は球面のフレキシブルジョイントを採用した。これらの改良でエンジン出口から床下コンバータまでの排気系重量を従来比 1.5kg 軽量化し熱容量の低減を図った。

2001 年モデルでは燃費向上を目的として CVT を採用してエンジン回転数を 1998 年モデルに対し低回転側に制御している(Fig. 6)。そのためエンジン始動後の触媒温度の上昇に対し不利となるが排気系の熱容量低減により昇温特性を補い、1998 年モデル同等の昇温特性(Fig. 7)を達成した。

4.3. O_2 センサ

A/F 制御には O_2 センサを用いており、エキゾーストマニホールド部にプライマリ、直下コンバータ出口にセカンダリの 2 個の O_2 センサを配置している(Fig. 5)。 O_2 センサはCNG専用開発したものである⁽³⁾。CNGエンジンの排出ガスは H_2 (水素)を多く含むため、本来理論空燃比付近にあるプライマリ O_2 センサの制御 A/F(入点)が空気過剰側にシフトして NO_x 排出量が増加する。その対策としてセンサ素子表面に触媒コーティングを追加し H_2 の影響を除去す

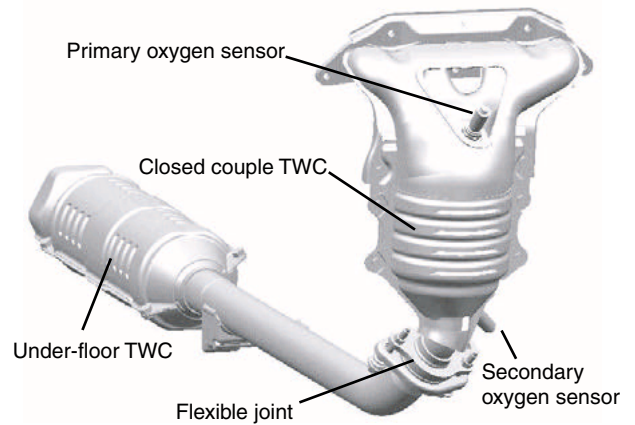


Fig. 5 Exhaust and catalytic converter system

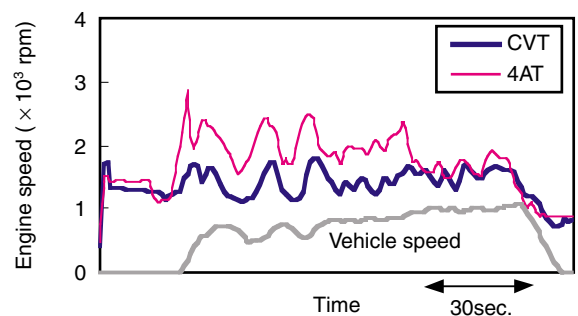


Fig. 6 Engine speed comparison between CVT and 4AT

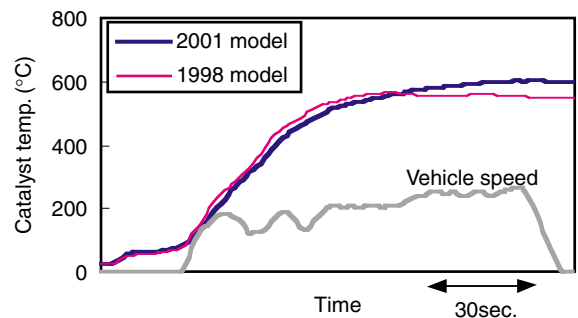


Fig. 7 Catalyst temperature after engine start

ることで入点の検出精度を向上した。一方触媒を通過した排出ガスに含まれる CH_4 はセンサ素子上で酸化反応してセンサ出力のリッチ、リーンの反転を早める作用がある。直下コンバータ後に配置したセカンダリ O_2 センサは、この反応を抑制するため Ag(銀)をセンサ素子に担持した。

4.4. A/F 制御

触媒活性後の NO_x を低減するために 2 個の O_2 センサによる A/F 制御を行っている。プライマリ O_2 センサによる $\lambda = 1.0$ のフィードバックに、セカンダリ O_2 センサ出力による A/F 補正を加えエンジン運転状態に対して常

に NMOG および NO_x の排出量を低く保つコントロールとした。

通常のクルーズや加速時は $\lambda=1.0$ で制御してCO, NMOGを抑制している。一方触媒内に余剰酸素が存在する場合は NO_x を還元する能力が不足する。触媒を通過した余剰酸素をセカンダリ O_2 センサが検出してセンサ出力がリーン側(0V側)を示す場合は O_2 フィードバック中心(コントロール A/F)をリッチ側($\lambda < 1.0$)にシフトする(Fig. 8)。リッチ側にシフトして余剰酸素を消費することで触媒内部を NO_x 還元に適した状態にしている。また低燃費化を目的とした燃料カット後などで触媒内が酸素過剰となる場合、瞬間的なリッチ制御を行い酸素を短時間で消費することで NO_x 排出を抑制している(Fig. 9)。これらの制御により触媒活性後の NO_x を低減してNMOGと低い値でバランスさせることが可能になった(Fig. 10)。

CNGエンジンはガソリンエンジンと異なり常温下でのエンジン始動直後の燃料増量は不要であるが、あらかじめ触媒内をリッチ化して NO_x の排出を抑えることを目的として O_2 フィードバック開始前の A/F を $\lambda=1.0$ よりリッチに制御している。

4.5. 排出ガス達成値 米国／日本

これらの排気系, A/F 制御の改良により NO_x を低減した結果 P-ZEV カテゴリーの排出ガスレベルを達成した。Table 2 は P-ZEV 規制値に対する達成値, Fig. 11 に LA-4 モード各 Phase 別の NO_x エミッション値を前モデルと

比較したものを示す。

日本においては圧縮天然ガス自動車の排出ガス技術指針を満足するとともに平成 12 年度規制値の-75%「超一低排出ガス認定」を取得した。Table 3 に 10-15 モード, Table 4 に 11 モードの諸元値を示す。

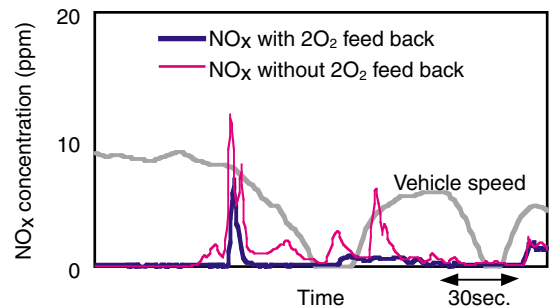


Fig. 10 NO_x reduction from use of 2O_2 feed back system

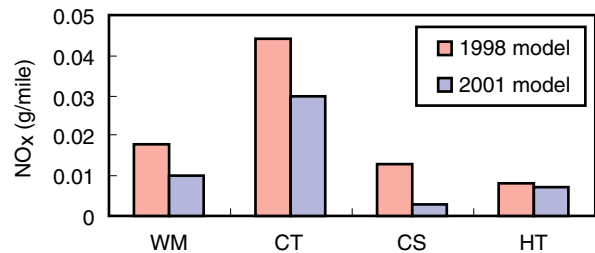


Fig. 11 NO_x emission comparison between 2001 and 1998 model

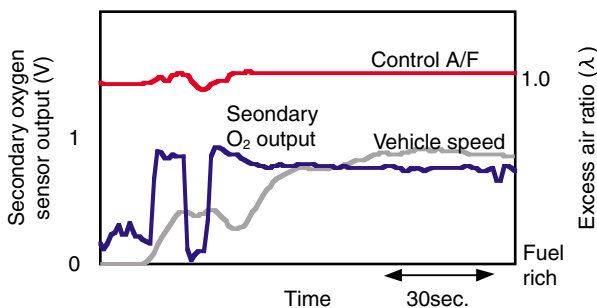


Fig. 8 A/F feed back control with secondary oxygen sensor

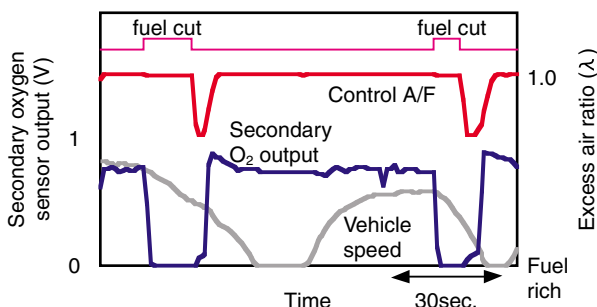


Fig. 9 A/F control after fuel cut

Table 2 USA emission values (in-house test result)

	CO	NMOG	NO_x	Highway NO_x
P-ZEV standard	1.0	0.01	0.02	0.03
Achieved Value	0.088	0.001	0.008	0.011

(g/mile)

Table 3 Japan 10-15 mode emission values

	CO	THC	NMHC	NO_x
2001 Civic GX	0.06	0.01	0.01	0.01
J-ULEV standard	0.67	0.02	—	0.02
CNG standard	0.67	0.04	0.03	0.04

(g/km)

Table 4 Japan 11-mode emission values

	CO	THC	NMHC	NO_x
2001 Civic GX	0.3	0.4	0.1	0.1
J-ULEV standard	19.0	0.55	—	0.35
CNG standard	19.0	1.10	0.88	0.70

(g/test)

5. 低燃費技術

5.1. エンジンフリクション低減

エンジン単体のフリクション低減を目的としてピストンスカート部表面のMD処理⁽⁴⁾、エンジンオイルの低粘度化、クランクシャフトのピンメタル幅縮小、バルブスプリング荷重低減を採用した。その結果1998年モデル(1.6L)に対して排気量を拡大したにもかかわらず同等のエンジン単体フリクションを達成した。

5.2. CVT

変速比を無段階に切り替えられる CVT は、エンジンの燃料消費率の低い領域を連続して使用することが可能である。Fig. 12 に示すように4速 AT はシフトアップしながら加速するので高回転低負荷を使用する。これに対して CVT は低回転高負荷を連続的に使用して加速することが可能で、エンジンの摩擦損失とポンピングロス低減することができる。その結果、CVT は加減速の多い市街地走行の低燃費化が可能である。CVT 内部の制御は油圧を使用しているが変速比(ブーリレシオ)および発進クラッチの制御精度向上を目的として油圧制御用ソレノイドバルブ、油圧回路の改良を行った。また金属ベルト側圧低減による伝達効率の向上を図った。

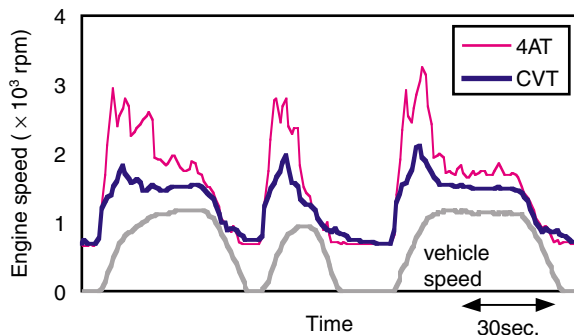


Fig. 12 Engine speed comparison between CVT and 4AT

Table 5 USA fuel economy (Label FE)

	City	Highway
2001 model	30	34
1998 model	28	34

(mile/GGE)

Table 6 Japan 10-15 mode fuel economy

	10-15 mode
2001 model	18.8
1998 model	17.0

(km/Nm³)

5.3. 達成燃費

CVT 採用を主とした低燃費技術により、1998 年モデルに対し米国の City(LA-4)モードで7%低燃費化した(Table 5)。また日本の 10-15 モードで 10%の低燃費化を図り航続距離 380km を達成した(Table 6)。

燃費表示中の CNG 量を、米国はガソリン相当に換算したガロン(GGE: Gasoline Gallon Equivalent)で表示している。一方日本は標準状態での体積により CNG 量を表示している(Nm³)。

6. CNG用エミッションシステムの市場での劣化

Honda として始めて量産、販売した 1998 年モデル Civic GXのエミッションシステムの劣化度合いを調査するために市場で使用された長距離走行車の排出ガス測定テストを実施した。試験車両には米国コネティカット州でタクシーとして使用されている5台を使用した。全車、耐久保証距離である 160 000km (100kmile)以上を走行しており、最長車は 222 000km(138kmile)に達している。

測定の結果を Fig. 13 に示す。全車とも開発時に目標とした排出ガスレベル… NMOG, NO_x が ULEV の 1/10 (160 000km 走行時の規制値に対して)を維持していることが確認できた。また 160 000km を超過しても排出ガスレベルの劣化度合いに変化が起きていないことがわかった。

これらの結果から社内での実走耐久および濃縮耐久による確認結果と実際の使用過程におけるエミッションシステム劣化の差が無く、また 160 000km 以降も同様の劣化形態が維持されていることが確認できた。

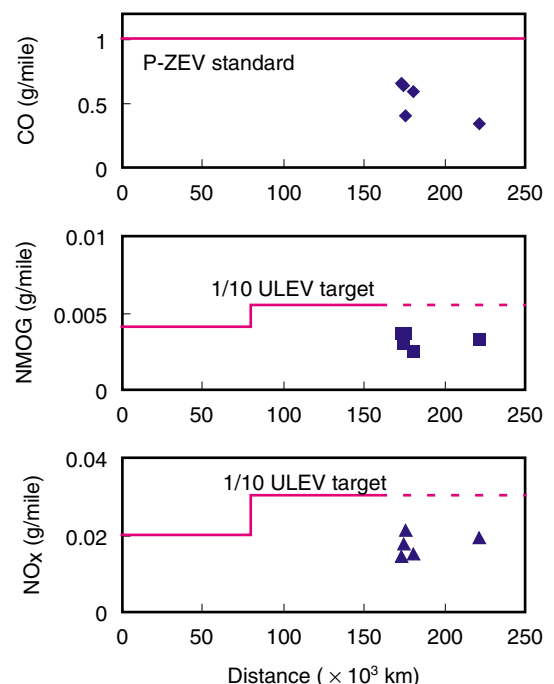


Fig. 13 Emission test results for 1998 Civic GX obtained on market

7. まとめ

2001 年モデル Civic GX は排気系の昇温特性および A/F 制御の改良により、世界最高水準の低排出ガス性能を達成した。その結果、米国・カリフォルニア州において世界初の AT P-ZEV として認定された。日本では「超一低排出ガス認定」を取得した。

また CVT 採用を中心とした低燃費技術により市街地走行の燃費を 7% 向上した。

一方、実際に市場で走行した 1998 年モデルの排出ガスを測定した結果、160 000km 超過の車両においても開発時に目標とした 1/10ULEV の排出ガス性能を維持していることを確認した。

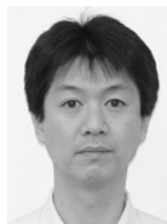
8. あとがき

CNG は気体燃料であるため自動車用内燃機関に使用した場合、低温時や始動直後でも安定した燃焼が可能である。またエミッションシステムの耐久劣化に与える影響が少ない。したがって車両の使用過程トータルで低排出ガス性能を維持することが可能である。さらに製造や流通過程を含めて大気質に与える影響を最小限に抑えられる。これらの理由から CNG 車は代替燃料車、低公害車として有望である。CNG 車の比率を高めることで都市部の大気質の改善に貢献することが可能である。CNG 車を普及させるためには航続距離の心配をしないで使用できるよう CNG 充填所の増設（インフラ整備）や、CNG 燃料の価格設定や CNG 車に対する優遇税制などを検討する必要があると考える。

参考文献

- (1) Sato, K., Takahashi, T.: Development of Valve Seat Material for CNG Fueled Engines, IANGV, NGV 2000 Proceedings, p.195-204 (2000)
- (2) Matsuura, H., Kato, A., Yamashiro, M., Fujii, I.: HONDA Dedicated CNG Passenger vehicle, Conference Proceeding of NGV '96 Volume 2 (1996)
- (3) 細貝誠一, 久保田宏: 天然ガス自動車の超低エミッション技術, 自動車技術会 1998 年秋季大会, 学術講演会前刷集 (No.87-98) p.1-4 (1998)
- (4) 松木正人, 大浦秀二, 渡辺勝志, 木下裕介: 2001 モデル「Civic」用 1.5L リーンバーンエンジンの開発, HONDA R&D Technical Review Vol.12, No.2, p.29-36 (2000)

■ 著 者 ■



戸田 琢士



松木 正人



大森 忠信



山本 裕司