

ホンダ圧縮天然ガス専用乗用車

HONDA Compressed Natural Gas Vehicle

新井 作 司* 村 石 忠*
Sakuji ARAI Tadashi MURAISHI

要 旨

ホンダは小型乗用車、シビック 4 ドアをベースに圧縮天然ガス（以下、CNG）を燃料とした天然ガス自動車（以下、NGV）「シビック GX」の開発を行ってきた。ここでは次世代の NGV を目指して取り組んできたエンジンおよび車体技術を紹介する。エンジン性能向上のために、高圧縮比化、VTEC-E（Variable valve Timing and lift Electronic Control）機構の採用や各部品の高剛性化を行った。エンジンの耐久性確保のため、バルブ、バルブシートの材料および熱処理方法を変更した。CNG 専用構造の電子制御マルチポイントインジェクタと集積二段圧力レギュレータを新開発し、高精度で応答性の良い燃料制御や圧力制御で最適な空燃比コントロールをおこなうと共にデュアル・600 セルキャタライザで浄化性能の向上を図り、世界最高水準のクリーンな排出ガスレベルを達成した。車両重量の増加を防ぎ、長い航続距離を確保するために、CNG 燃料容器として軽量・大容量オールコンポジット（複合素材）タンクを開発した。その結果、ガソリン車並みの性能および航続距離を達成した。

また、CNG 燃料容器（タンク）とタンクバンド、高圧配管等を一体としたモジュール構造を採用し、車体搭載性や衝突安全性、高圧ガスシール性を最優先したデザインとした。

ABSTRACT

Honda has developed a compressed natural gas-powered "Civic GX".

In order to optimize the engine for natural gas, the high compression ratio, VTEC technology and high strength engine components are employed. Engine durability is substantially improved by developing new materials for the valve and valve seat. A sequential multi-point manifold gaseous injection system and the integrated 2-stage pressure regulator provide precise air-fuel control. Coupled with 600 cell dual catalysts bring extremely low emission capabilities. An all composite CNG tank reduces the weight of vehicle and extends the driving range.

A CNG tank and its associated fuel lines are assembled in a rigid frame. This module assembly create the ease of installation and the protection of essential CNG components from a rear end collision.

1. まえがき

近年、自動車からの排出ガス低減やエネルギー資源枯渇の観点から、地球環境および代替燃料への社会的要求が高まっている。次世紀には、この傾向は更に強くなって行くと思われ、天然ガスは環境問題とエネルギー問題

への対応を両立出来る、最も可能性の高い燃料と考えられている。ホンダにおいても、この圧縮天然ガス（以下、CNG）を燃料とした自動車（以下、NGV）の研究・開発を長年に渡って推し進めてきた^{1)~3)}。今回のシビック GX には次世代の NGV を目指した数々の技術を投入し、

* 栃木研究所

エンジンおよび実車性能、排出ガス性能、安全性、耐久信頼性を向上させた。以下に、これら具現化した技術について述べる。

2. 車両概要

この車両の燃料供給系および排出ガスコントロールシステムを模式的に Fig.1 に、主要諸元を Table 1 に示す。CNGエンジンは1.6L、4気筒のガソリンエンジンをベースとし、VTEC-E（Variable valve timing and lift electronic control）機構の採用、圧縮比をエンジン出力および燃費の向上のため、9.4から12.5に高めている。天然ガスのような性質のガス燃料は、潤滑性や気化潜熱を持たないので耐久性確保のため、エンジン部品の一部材料変更や熱処理方法も改良した。排出ガス低減化としてはエキゾーストマニホールドの直後と床下に600セルキャタライザを採用した。NGVは高圧ガス燃料のため、ガソリン車で必要なエバポシステムは取り外されている。極力車両重量の増加を抑えるため、燃料容器（以下、CNGタンク）は一本のオールコンポジット（複合素材）CNGタンクを用

いた。このCNGタンクは、120リットルの容積で、41.0kgの重量である。このCNGタンクはトランクルームの最適な位置に搭載され、さらにインタンク燃料遮断弁を装着して、急速充填時における燃料充填配管系での著しいガス温度の低下を防止するための工夫がなされている。高圧の天然ガスは、高圧配管を通してCNGタンクからエンジンルーム内にある集積二段式圧力レギュレータに供給される。燃料残量を計算するために、圧力センサと温度センサを高圧配管内に取り付け、燃料残量は電子制御装置（ECU）で計算され、計器盤上にアナログ表示される。集積二段式圧力レギュレータは一次圧力レギュレータと二次圧力レギュレータおよび電磁遮断弁から構成されている。この集積二段式圧力レギュレータに供給された高圧のガスは、最終的に255kPaまで減圧され、電子制御マルチポイントインジェクタに供給される。噴射される天然ガスの量は、ガソリンと同様にECUによって制御される。これら集積レギュレータと電子制御マルチポイントインジェクタはホンダで開発されたものである。

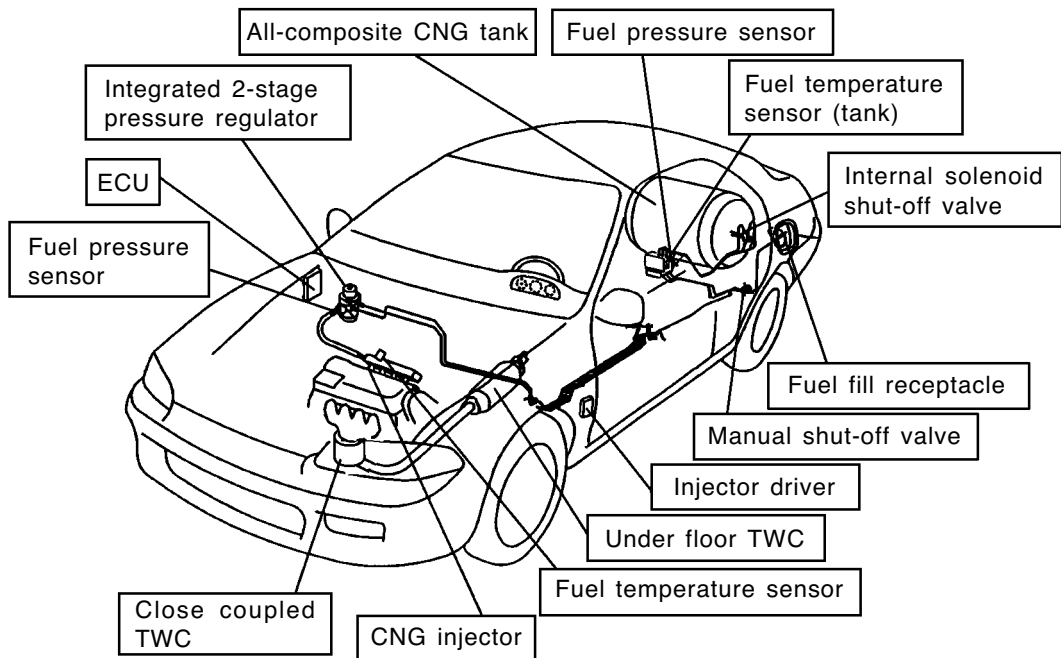


Fig.1 Overview of CIVIC GX

Table 1 Main vehicle specifications

	CNG	Gasoline
Curb weight (kg)	1179	1113
Length (mm)	4450	←
Width (mm)	1700	←
Height (mm)	1390	←
Passengers	4	5
Tire size	P185/65R14	P175/70R14
Fuel tank volume (L)	120	45
(equivalent of gasoline)	36.3/32.6	—
Charging pressure (psig)	3600/3000	—
(MPa)	24.8/20.8	—

3. 燃料供給系

マルチポイントインジェクション (MPI) システムは、気体燃料に固有の問題に対し改良がなされている。ガソリンインジェクタに比べ凡そ770倍の流量を確保し、無潤滑への対策を行うことが、CNGインジェクタには要求される。それゆえ、本インジェクタは内部部品の材料選定や圧力損失の低減、高効率な磁気回路確保に留意して設計されている。Fig.2にCNGインジェクタの断面を示す。耐久性を確保し作動音を低減するため、ラバーシートとラバーストップがプランジャに取り付けられた。また、このCNGインジェクタには専用の駆動ユニットが使用されており、インジェクタの応答性を高めるために、電流ピークホールド制御を行っている。

Table 2にCNGインジェクタと一般的なガソリンインジェクタの諸元比較を、Fig.3にCNGインジェクタの流量特性を示す。このCNGインジェクタの全開流量は177.7L/minである。リニアフローレンジ (LFR) は13.0に到達しており、一般的なガソリンインジェクタの凡そ72%程度の能力で、このCNGインジェクタがガソリンエンジンをベースにしたCNGエンジンの大半に適合しうることを示している。このCNGインジェクタの耐久性をFig.4に示す。耐久テスト中の流量変動は±4%以内であり、流量はほぼ安定していると見なすことができる。

Fig.5に集積二段式圧力レギュレータの構造を示す。この図の下部が一段目の圧力レギュレータを、上部が二段目の圧力レギュレータを示す。これら圧力レギュレータは電磁遮断弁およびガス圧力センサと一体に集積化されている。Fig.6中に示すレギュレータの圧力センサとフューエルデリバリーパイプ上のガス温度センサ (Fig.1)

Table 2 Comparison between injector specifications for CNG and gasoline

	CNG	Gasoline
Static flow (L/min)	177.7	0.23
Linear flow range	13.0	18.00
Weight (g)	120.0	82.5
Pressure of fuel (kPa)	275.0	245.0
Driver	Current peak hold type	Saturated type

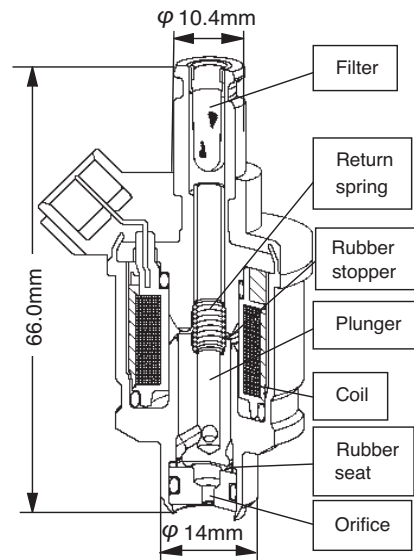


Fig.2 Sectional view of CNG injector

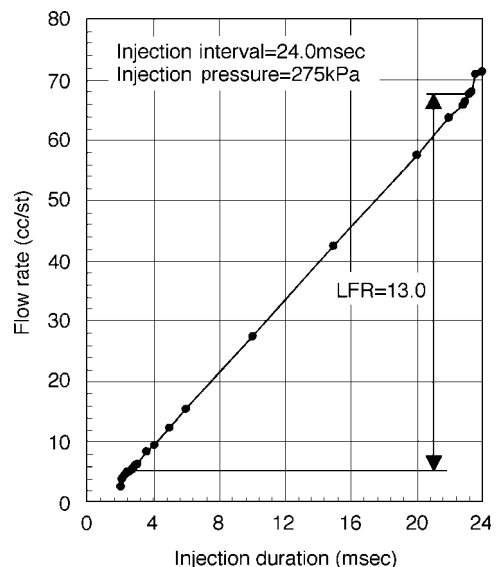


Fig.3 Flow rate of CNG injector

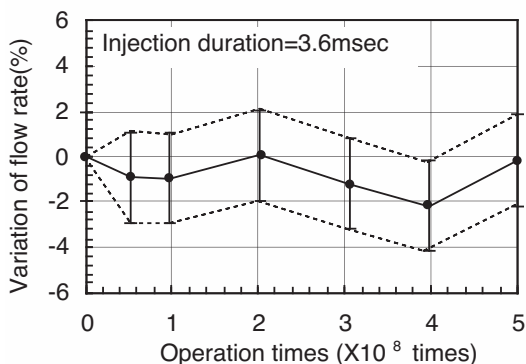


Fig.4 Durability of CNG injector

は噴射されるガス量を正確に制御するために用いられる。集積化の結果、接続部の数を大幅に低減し、圧力減圧システムの小型化ができ、重量も低減することが可能となった。圧力レギュレータは圧力脈動の発生防止と、どのような状況下でも一定の圧力を供給可能とすることに留意して設計されている。各々のレギュレータによって減圧された圧力は、Fig.6に示すように、一定圧力を確保するために各々の減圧弁自体の背面に導入されている。結果的にFig.7に示すように、一定圧力が達成され、最終的な減圧圧力の変化は22kPa以内である。ジュール・トムソン効果によるCNGの著しい温度低下の影響を防ぐために、この圧力レギュレータの一次側はエンジン冷却水によって加熱され、サーモスタットを加熱ラインに設けることによりライン水温が70℃以上で冷却水の流れが遮断されるようにした。

インタンク電磁遮断弁はインとアウトの独立した二つの通路を持っている。Fig.8に示すように、このインタンク電磁遮断弁は急速充填時におけるジュール・トムソン効果による燃料充填ラインの燃料温度低下を防ぐために、燃料充填ラインの最後にオリフィスを設けている⁴⁾。

通常、燃料充填ラインの上流部に最小断面が存在し、そのため燃料充填ライン部品は極めて低温のガスにさらされることになる。このオリフィスの直径は燃料充填ライン通路の中で最小断面積となるように選定され、オリフィス上流におけるジュール・トムソン効果によるガス温度低下が防止されている。オリフィスを持ったこのインタンク遮断弁は急速充填時における燃料充填ライン内の急激なガス温度低下を防止するのに大変有効である。

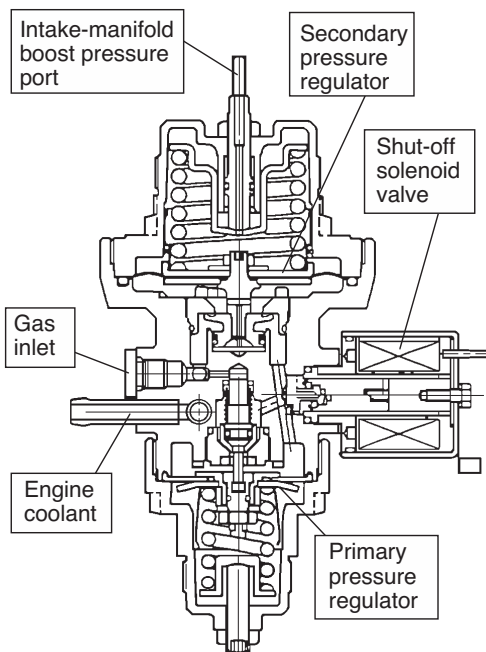


Fig.5 Structure of 2-stage pressure regulator

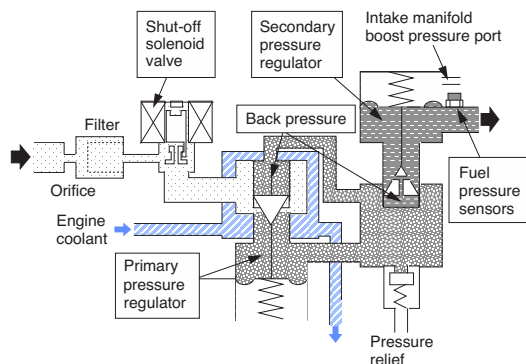


Fig.6 Schematic diagram of 2-stage pressure regulator

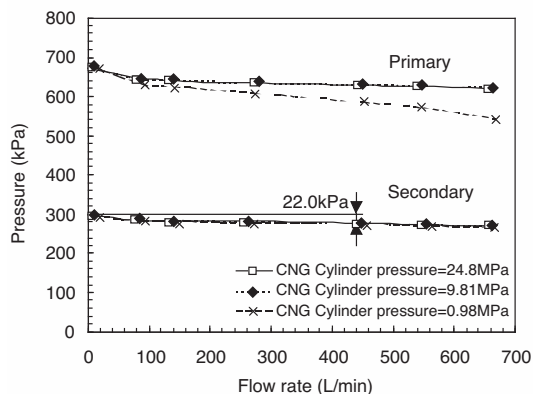


Fig.7 Pressure vs. flow rate of pressure regulator

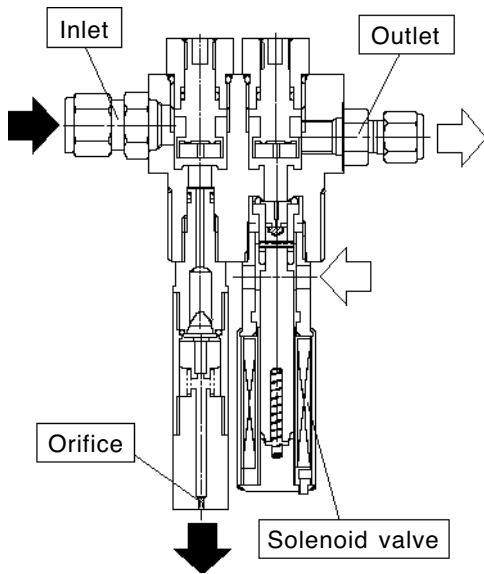


Fig.8 Internal shut-off solenoid valve

4. エンジンの改良および性能

Table 3およびFig.9に示すように、エンジンの多くの部品が出来るだけ天然ガスの長所を生かし、十分な信頼性と耐久性を確保するために、改良されている。Fig.10はCNGエンジンの体積効率をガソリンエンジンとの比較で示す。CNGエンジンの体積効率はガソリンエンジンに比べて10～15%劣っている。これは、一つには天然ガスの体積が理論空燃比において吸入空気の体積のおよそ10%を占めており、又混合気に気化潜熱作用が無いために上昇することに起因もしている。それゆえCNGエンジンの出力は必然的にガソリンエンジンの出力を下回る。この低下したエンジン出力を回復し、燃費を向上させるために圧縮比は9.4から12.5に高められている。エンジンのインテークマニホールド、動弁系、排気システムも体積効率を改善するため改良されている。SOHC-VTECシステムの採用により3500rpm以下の低回転と5000rpm以上の高回転における体積効率の改善を図っている。

本エンジンの出力特性およびトルク特性をTable 3とFig.11に示す。天然ガスは非常に高いオクタン価を有しているために、CNGエンジンの点火時期は全ての回転条件で、MBT(minimum advance for best torque)に設定する事が可能である。従って、1500rpm以下の低回転条件でのエンジン出力は低い体積効率にもかかわらずベースガソ

Table 3 Comparison between engine specifications of CNG and gasoline

	CNG	Gasoline
Bore × Stroke (mm)	φ 75 × 90	←
Displacement (cc)	1590	←
Compression ratio	12.5	9.3
Combustion chamber	Pentroof 4valves	←
Spark plug (NGK)	PFR7G	ZFR5F11
EGR system	applicable	non applicable
Valve train	SOHC-VTEC	SOHC
Fuel supply	MPI	MPI
Catalytic converter	C/C:1.20L + U/F:1.24L (Pt/Pd/Rh)	C/C:1.0L (Pt/Pd/Rh)
Output power (kW)	81.0/6500rpm	78.0/6000rpm
Torque (N・m)	130/5500rpm	141/4500rpm

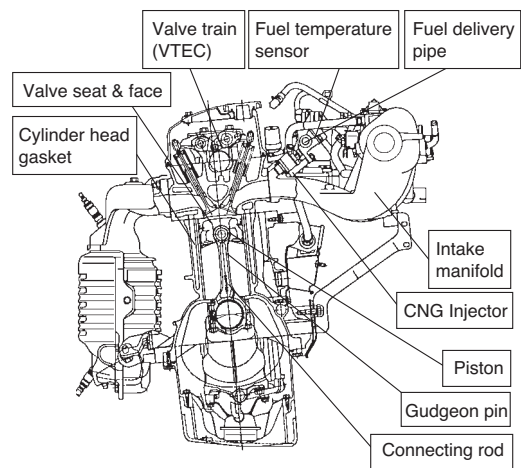


Fig.9 CIVIC CNG engine

リンエンジンと同等であり、最大出力はベースガソリンエンジンより6.6kW高くなっている。一方、最大トルクはそれら改良にもかかわらず、依然ベースガソリンエンジンより7 N・m低くなっている。

ヘッドガスケット、ピストン、ピストンピン、コネクティングロッドなどのいくつかのエンジン部品について高圧縮比による筒内圧力の上昇に対して改良する必要がある。ピストン材料も気化潜熱が無いため、耐熱性の高い合金に変更されている。CNGエンジンにおいて、バルブシートおよびバルブフェースの磨耗は最も重大な問題で、各々に材料が開発された。バルブシート材には生地の高

温強度の増大がなされ、高潤滑性材料が添加されている。バルブフェース材には、硬度が増され、硬質粒子が添加されている。開発されたバルブシート、バルブフェース材の磨耗は Fig.12 に示すように最大でベース材料の 1/100 以下となっている。点火プラグも燃焼ガス中の水分および高温による電極腐食防止のため、白金チップのものに変更している。

5. 実車動力性能

Table 4 に示すように、実車動力性能はベースのガソリン車より若干劣っている。これは主にエンジントルクの減少と車重の増加が原因である。しかし本車両のドラ

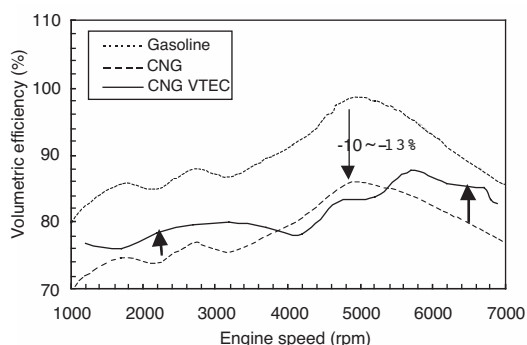


Fig.10 Comparison between volumetric efficiency of CNG and gasoline

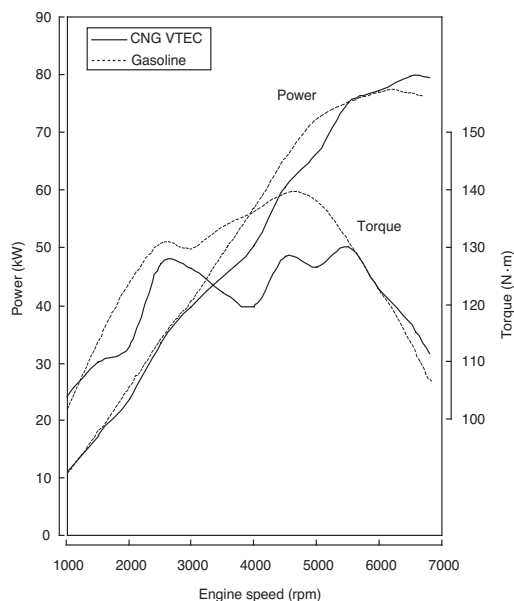


Fig.11 Comparison between output power of CNG and gasoline

イブアビリティはベースガソリン車とほぼ同等であると考えられる。航続距離は充填圧力に依り、充填圧力が 25.4kPa (3600psig) および 20.8kPa (3000psig) の時に、それぞれガソリンの 80%と 71%である。Table 5 に CNG とガソリンの航続距離を FTP-75 におけるコンバイン燃費で示している。NGV の燃費は高圧縮比による高い熱効率にもかかわらず、車重の増加によってガソリン車より若干劣っている。

6. 排気エミッション

シビック GX の排気エミッション目標はカリフォルニアにおける ULEV 基準である。Fig.1 に示すようにこの車両には O₂ フィードバック三元触媒システムを採用しており、触媒は NGV 専用に開発したパラジウムと白金から構成されたものが直下と床下に搭載されている。容量は直下が 1.2L、床下が 1.24L の容積を有している。

Fig.13 に CNG 車とガソリン車の LA-4 モードにおける排気エミッションの NO_x と NMOG の関係を示す。Table 6 にガソリン車の 50kmile 走行後と CNG 車の 100kmile 走行後の排気エミッション値を示す。CNG 車は、ガソリン車に比べ、極めて低い排気エミッションを達成している。NMOG の値はガソリン車からおよそ 97% 低減され、同じく CO は 86% 低減された。一方 NO_x の値もガソリン車から 74% 低減された値となっている。

温室効果に影響のある CO₂ の低減は NGV の利点の一つで、Fig.14 に示すように、ガソリン車よりおよそ 23% 低減されている。

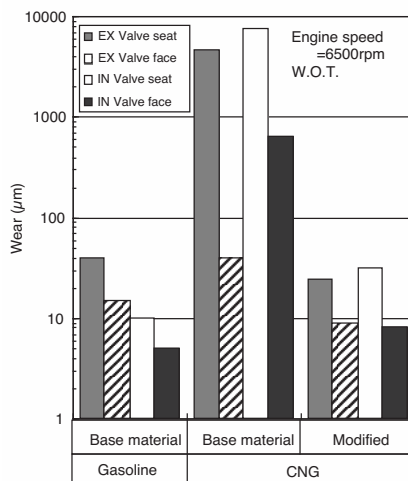


Fig.12 Wears of valve seat and valve face

Table 4 Comparison between vehicle performance of CNG and gasoline

	CNG	Gasoline
0-400m Acceleration(sec)	18.89	18.10
0-100km/h (sec)	13.00	11.30
80-120km/h (sec)	10.00	9.4
Max. Speed (km/h)	172	177
Driving range (km)	552/496	717
Charging pressure (MPa)	24.8/20.8	—
(psig)	3600/3000	

7. 車両安全性

NGVにとって、大きなCNGタンクの搭載は困難な問題である。それ故、シビックGXは車体後部を改造し、トランクルームに大きなオールコンポジットCNGタンクを搭載するためにいくつかの部品が新しく設計された。このCNGタンクとタンク架台ならびに接続配管等の部品はFig.15に示すように、工場内のガソリン車と同じ組立ラインで車を組み立てられるように一つのモジュールとされている。このモジュールの組立およびリーク検査は組立ラインの外で実施され、組み立てラインに投入された後、車体に搭載されることになっている。

増加した車重の大半が車両後部に位置しているため、リアサスペンションにスタビライザが追加され、リアサスペンションスプリングの仕様も変更されている。それら改良の結果、シビックGXはベースガソリン車と同等の操縦安定性を確保している。

トランクルームのスペースは米国運輸省によってNGVに要求されている衝突安全基準であるFMVSS303に対して十分満足する容量を確保している。後方障壁衝突テストの場合、クラッシュエリアが燃料タンクや車両の燃料供給ラインに至ることはない。もし更に高い車速の衝突によって、CNGタンクモジュールが動かされたとしても、トランクルーム内のこれら燃料配管は本モジュールの架台にしっかりと固定されているので、燃料供給ラインはこのモジュールと一緒に動き、被害を被ることはない。

Fig.16に示すように、トランクルーム内の全ての燃料配管はNFPA-52（米国消防規格）に従って、ブーツで覆われている。

Table 5 Fuel economy (LA-4 mode) (g/mile)

		CNG	Gasoline
Fuel economy (mile/eq.gal)	City	31	32
	HWY	44	46
	Comb.	35.8	37.5

Table 6 Exhaust emissions under durability running (LA-4 mode) (g/mile)

	CO	NMOG	NO _x
CNG (100kmile)	0.11	0.003	0.018
Gasoline (50kmile)	0.79	0.055	0.07

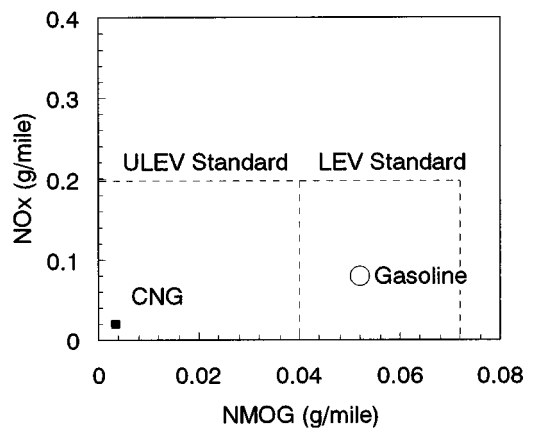
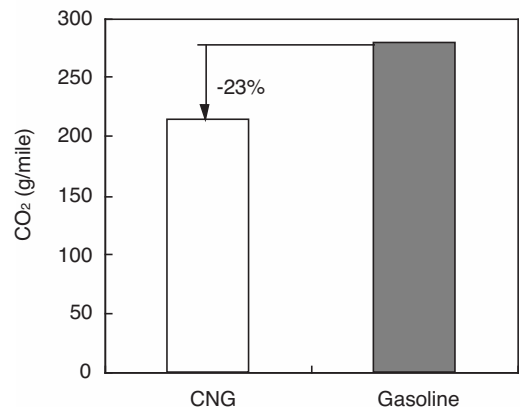


Fig.13 Comparison between exhaust emissions of CNG and gasoline

Fig.14 Comparison between CO₂ emissions of CNG and gasoline

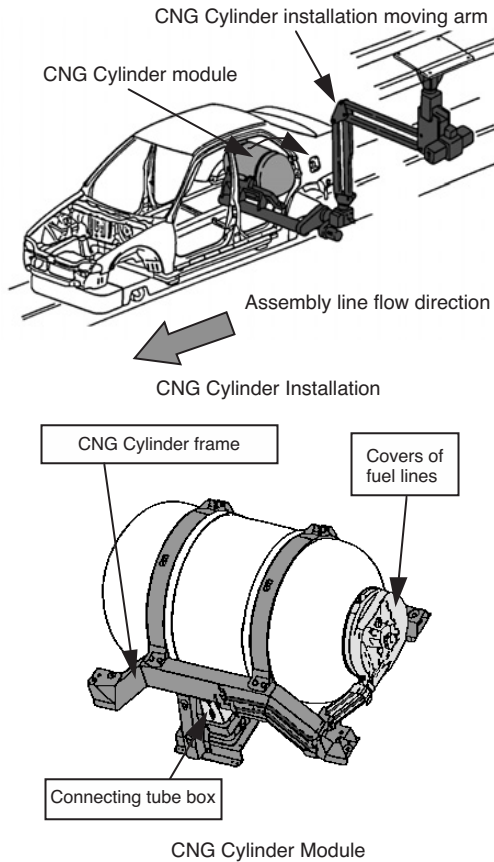


Fig.15 CNG cylinder installation method and CNG cylinder module

8. まとめ

- (1) CNGエンジンは天然ガスの長所を生かすように改良され、ベースガソリンエンジンとほぼ同等のエンジン性能が得られた。又、耐久性および信頼性はベースガソリンエンジンと同レベルを達成した。
- (2) 軽量オールコンポジット CNG タンクの採用により、ベースガソリン車と同等のドライバビリティが得られ、航続距離は充填圧力24.8MPa (3600psig) でベースガソリン車の80%となった。
- (3) シビックGXはULEV基準に適合しうる能力を有しており、CO₂排出量はベースガソリン車より23%低いことが確認された。
- (4) トランクルーム内の大容量CNGタンクはその他の部品と一緒に一つのモジュールを構成することによって、既存車体組立ラインで車体に搭載可能とし、また本車両の衝突安全基準適合にも対応した。

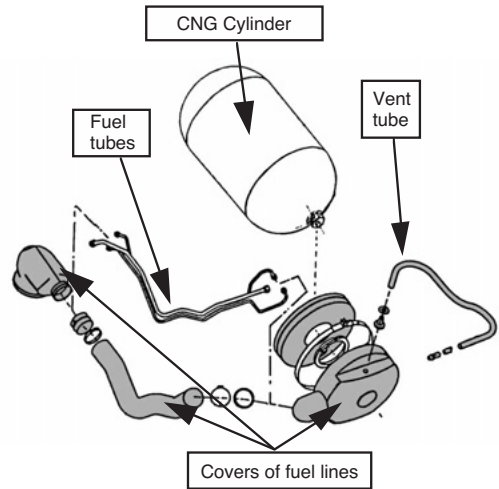


Fig.16 Boots of fuel lines in luggage compartment

参考文献

- 1) 松浦、加藤、安食、藤井、「圧縮天然ガス専焼車の研究」、日本機械学会、No.940-23, Symposium of the Environmental, 1994
- 2) H.Matsuura, A.Kato, Y.Ajiki, I.Fuii, 「Research and Development of Dedicated Compressed Natural Gas (CNG) Passenger Vehicle」, IANGV, The 4th Biennial International Conference and Exhibition on Natural Gas Vehicle, 1994
- 3) 松浦、石橋、藤井、梶谷、「MPIシステムCNGエンジンの燃焼過程」、自動車技術会、No.9540444, 1995
- 4) M.Tsuchiya, H.Ogasa, H.Matsuura, H.Shimanuki, I.Fujii, 「Thermodynamic Behavior of Supply Gas and Influence on Vehicle Fuel Fill Line During CNG Fast Fill」, 961173, International Spring Fuels and Lubricates Meeting, 1996

■著者■



新井 作司



村石 忠