

圧縮天然ガスの自動車用燃料としての適合性検討

Study of Combustion Characteristics of Compressed Natural Gas as Automotive Fuel

山 本 雄 二* 佐 藤 勝 彦**

Yuji Yamamoto Katsuhiko Sato

松 本 誠 司* 都 築 俊 一*

Seiji Matsumoto Shunichi Tsuzuki

要 旨

圧縮天然ガス (Compressed Natural Gas = CNG) を燃料とする車両の研究は、これまでにいくつか報告されているが、CNG 自体の自動車用燃料としての適合性を確認した例は少ない。本稿では CNG の燃焼特性を明らかにし、代替燃料、クリーン燃料としての可能性を検討した。

CNG は、気体燃料であり、またオクタン価が高く、希薄燃焼限界が広いなどガソリンと比較して優れている部分があり、その特性を活かしたエンジン設計により、ガソリンを燃料とした場合には実現できない高度な排出ガスレベルの制御を行なえるエンジンシステムの構築が可能である事が解った。

一方、問題点として一般的に言われている出力低下等の他に、材料の部分的な温度上昇、部品の信頼性等の点で対策が必要であり、今後も研究を継続する必要がある。

ABSTRACT

Some test results of CNG (Compressed Natural Gas) fueled vehicle have already been reported by gas companies, but they say little about the qualification of CNG for automotive fuel.

This paper reports on the combustion characteristics of CNG and establishes its qualification for alternative fuel and for clean fuel.

CNG has many advantages when used in automotive engines. Since it comes as gas, it has higher octane number and allows a leaner burning than gasoline.

Under designs specially created to take advantage of CNG, an unique engine system was achieved which would not have been realized with gasoline fuel.

CNG has some demerits, however, such as decrease in power, poor component durability, and short driving range by one tankfull. Thus its study should be continued to establish CNG as automotive fuel.

1. まえがき

1992 年 1 月のロスアンゼルスオートショウに、筆者らはアコードをベースとした天然ガス自動車 (Natural Gas Vehicle = NGV) を、代替燃料車の研究例として出展した。

この NGV 製作の過程で得られた結果をもとに、圧縮天然ガス (Compressed Natural Gas = CNG) の燃焼特性を整理してみた。

これまでに、CNG を燃料とする車両の研究例は、ガス

事業者を中心にいくつか報告されてきたが⁽¹⁾、自動車メーカーの立場としてエンジン開発を前提とした検討は、あまり行われていない。本稿では CNG の自動車用燃料としての車両への適合性を中心にして、代替燃料、クリーンフューエルとしての可能性を述べる。

尚、今回のテスト結果は、テスト用車両製作の過程でのデータであり、確認が不十分な部分もあり定量的には必ずしも一般論と合致しない部分もあるが、それらについては今後の研究課題としたい。

* 栃木研究所

** 和光研究所

2. ホンダ NGV のシステム

2.1. システム

NGV の構造を Fig. 1 に、そのシステムを Fig. 2 に示す。NGV のシステムとしては、従来のものを踏襲しているが、特徴的なのは、ホンダ内製の燃料噴射システム

(PGM-FI)をそのまま用いた PGM - ガスインジェクション (G1) システム (Fig. 1 - ⑦) の採用、および米国の厳しい排出ガス規制をクリアする事をターゲットとしたエキゾーストマニフォールド直下型触媒の追加である。燃料圧力は、最終的に 127KPa (1.3kg/cm²) にコントロールされ、CNG はインジェクタで吸気ポートへ

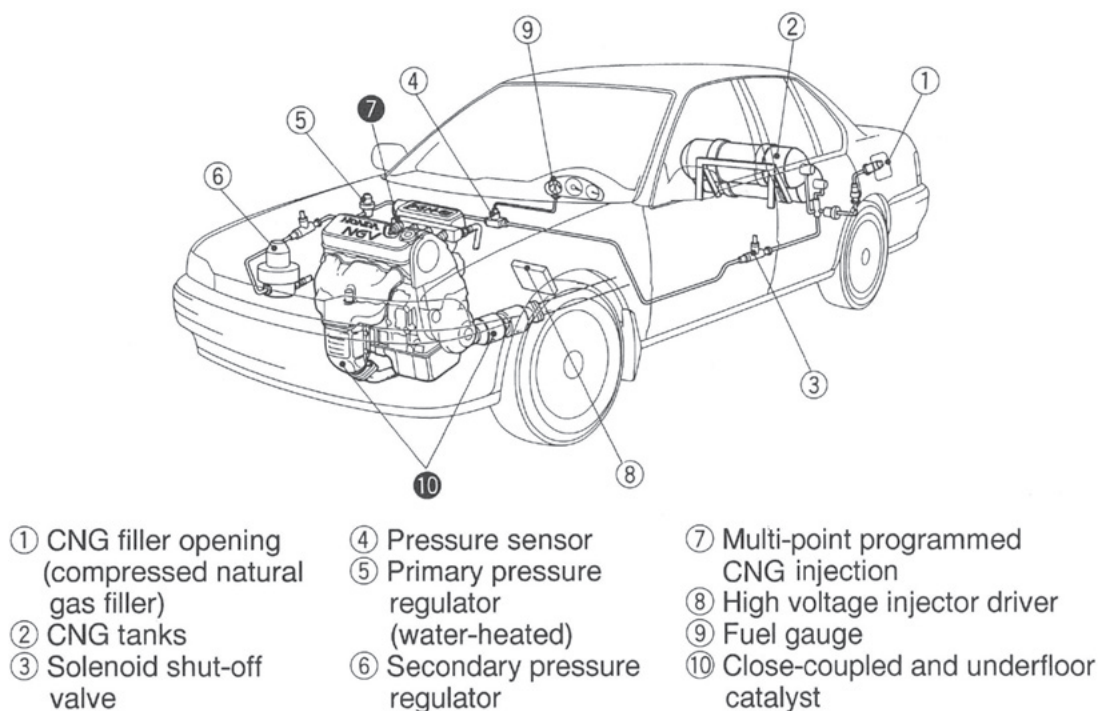


Fig. 1 Honda Accord NGV

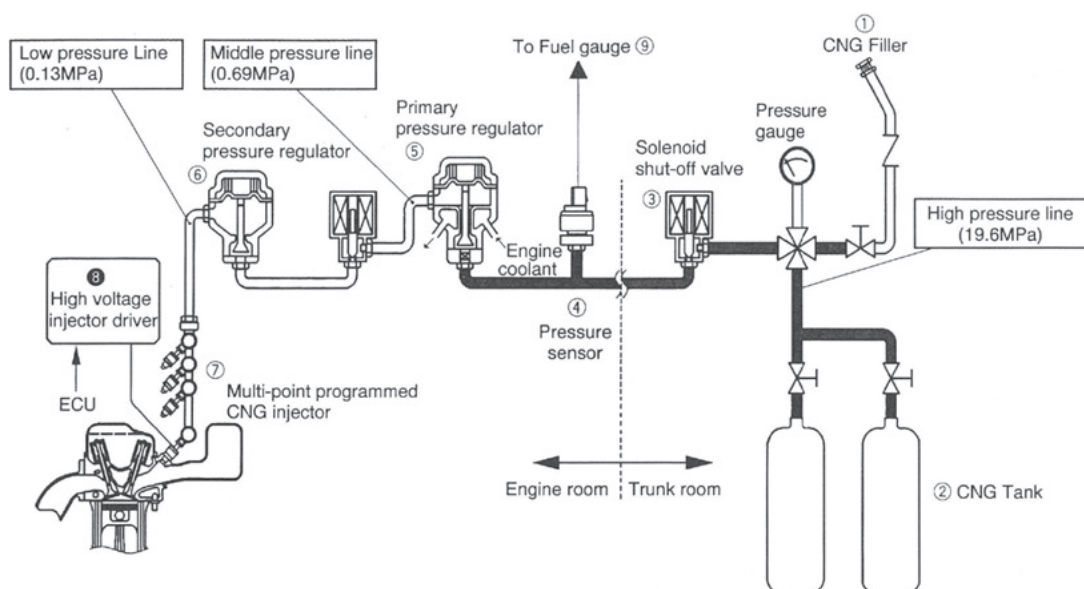


Fig. 2 Fuel System of Honda NGV

供給される。特に、ガスインジェクタでは気体燃料を瞬時に大量に噴射するため、大開口面積、ロングストロークが必要となり、応答性を向上させる目的で、駆動電圧を通常の12Vから70Vに変更するためのインジェクタ用電圧昇圧ドライバを採用している (Fig. 2-⑧)。

エンジンコントロール系を、従来のガソリンエンジンと共通にした事で、システムの簡素化が図れ、信頼性も確保する事が出来た。またマルチインジェクションシステムの採用により、排出ガスレベルのより高度な制御が可能となった。

2.2. 主要緒元

ホンダ NGV の主要諸元を Table 1 に示す。エンジンのハードウェアは、ほとんど変更しておらず吸気系、圧縮比、バルブタイミング等は、量産ガソリンエンジンのままである。その他、エンジンオイル、動力伝達系等にも変更はない。車両重量については、CNG タンクとして軽量のアルミライナ FRP (繊維強化プラスチック) 製タンクを搭載しており軽量化を図っているものの、タンク固定用に鋼製のブラケットを取り付けたために約 28kg の増加となった。

全開出力性能は、最高出力で 11KW (15PS)、最大トルクで 25.5N・m (2.6kg・m) の低下となっており、これらの詳細については次項に示す。

3. エンジン出力性能

3.1. 出力特性

今回用いたエンジンの出力特性を、Fig. 3 に示す。

CNG を燃料とした場合、最高出力で 12%、最大トルクで 13% の低下となった。このときの A/F (空燃比) は、CNG=16.8 (λ : 空気過剰率=1.0)、ガソリン=12.5 (λ =0.85) である。ガソリンの燃焼では、理論空燃比付近での熱解離現象によって出力が低下するため、A/F が若干過濃な領域で熱解離を避け、最大出力を得ている。それに対し、CNG を燃料とした場合は理論空燃比付近での燃焼温度が低く、熱解離現象が比較的少ないため、Fig. 4 に示すように、 λ =1.0 付近で最も出力が高くなる。

CNG とガソリンのトルク特性はエンジン低回転側でのトルク差は少なく、1,500rpm 迄はほぼガソリンエンジンと同等である。これは CNG のオクタン価が非常に

Table 1 Honda NGV Specifications

ENGINE	Honda NGV	Base Car
Type	Aluminum-Alloy In-Line 4	←
Displacement (cc)	2156	←
Max Power (kw/rpm)	81.0 / 5200	92 / 5200
Max Torque (N・m/rpm)	160.7 / 4500	186.2 / 4000
Compression Ratio	8.8 : 1	←
Valve Train	SOHC 16-Valve	←
Fuel System	Multi-Point Programmed Gas Injection	Multi-Point Programmed Fuel Injection
Ignition System	Programmed Ignition (PGM-IG)	←
Emissions Control System	Two Catalytic Converters and EGR	Underfloor Catalytic Converter and EGR
Fuel Type	Compressed Natural Gas	Gasoline
DRIVETRAIN		
Type	Front-Wheel Drive	←
Transmission	4-Speed Automatic	←
Final Drive Ratio	4.29	←
OTHERS		
Required Engine Oil	Standard 5W-30	←
Fuel Capacity	50 liters (2 Tanks)	60 liters
Fuel Pressure at Tank (MPa)	19.6	—
Curb Weight (kg)	1354	1326
EMISSIONS TARGETS - LOW EMISSION VEHICLE (LEV) STANDARDS		
NMOG (non-methane organic gases)	0.075	9 / mile
CO	3.4	9 / mile
NOx	0.2	9 / mile
HCHO (formaldehyde)	15	mg / mile

高く(メタン 100% で RON=130)、エンジン回転全域で、MBT(Minimum Spark Advance for Best Torque = 最大トルクが得られる点火時期)を設定点火時期に出来、そのために通常ガソリンエンジンでのノッキング回避によるトルク損失をゼロにする事が出来たためと考えられる。これにより、フラットトルク化が達成でき、最大トルクの減少をあまり感じさせない運転性が得られている。最大トルク値の 90% を発生するエンジン回転域の幅が、ガソリンの 3,200rpm に比べ CNG では 4,100rpm となっている事からも、その事が確認できる。

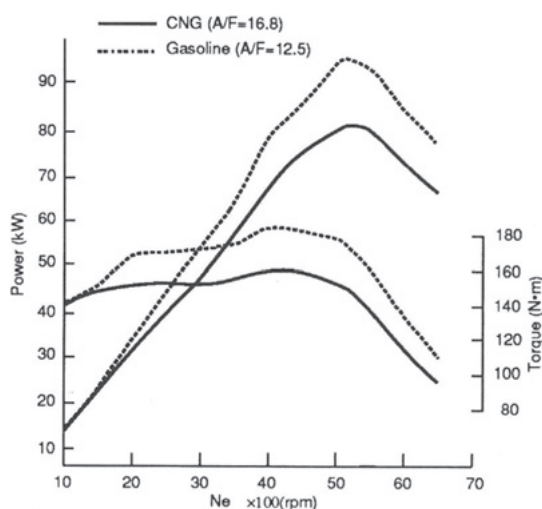


Fig. 3 Engine Power of CNG and Gasoline

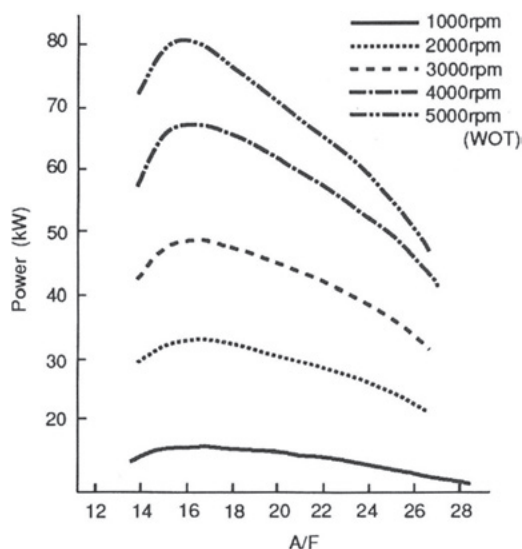


Fig. 4 Relationship between CNG Engine Power and Air-Fuel Ratio

次に、CNG を燃料とした場合に起きる出力低下の原因を検討する。

3.2. 体積効率の影響

まず第一に考えられるのは、体積効率 (η_v) の低下で、CNG とガソリンを燃料とした場合の η_v 特性の比較を Fig. 5 に示す。

液体粒子の状態ではエンジンのシリンダ内に燃料を送り込むガソリンと違い、CNG の場合は、吸入空気量の約 10Vol% のガスを常に噴射しており、実質の吸入空気量は当然低下する。またガソリンの場合にベストとなるインテークマニフォールドの設計となっていることから、ガスを正圧で噴射しインテークマニフォールド内の負圧状態を変化させると、 η_v 特性が大きく変化すると考えられ、図においても低回転でのピークは、より低回転側にずれているのが確認される。また正圧でガスを噴射しているため、逆に高回転側では η_v の低下を助けているとも考えられる。

それらの結果、最大値付近で約 9.6% の η_v の低下となった。

3.3. 発熱量の影響

次に発熱量の影響について考える。Table 2 に示すように燃料自体の発熱量を比較すると、単位重量あたりでは、CNG の方が大きいですが、エンジン内に吸入される混合気として考えた場合、単位容量あたりの発熱量は、CNG がガソリンより小さい。両者の比較では、CNG 混合気の方が、約 11.6% 発熱量が少なくなる。

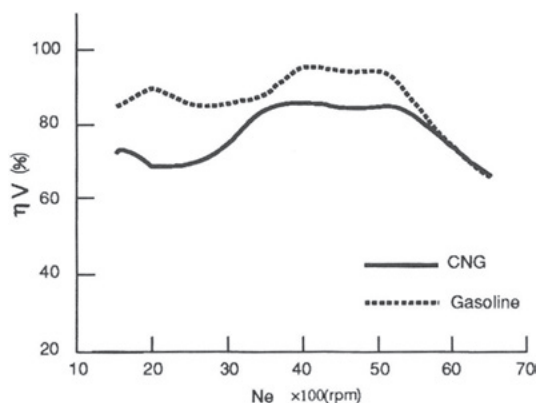


Fig. 5 Comparison of Volumetric Efficiency between CNG and Gasoline

Table 2 Comparison of Calorific Values between CNG and Gasoline

Fuel	CNG (Methane)	Gasoline	CNG/Gasoline Ratio
Stoichiometric Mixture Condition (Air : Fuel)	17.2 : 1	14.7 : 1	——
Mixture Weight (g/ℓ)	1.24	1.37	——
Calorific Value of Unit Weight of Fuel (kcal/kg)	11,900	10,500	+ 13.3%
Calorific Value of Unit Weight of Mixture (kcal/kg)	(11900 ÷ 1.24 =) 654	(10500 ÷ 1.37 =) 669	- 2.2%
Calorific Value of Unit Volume of Mixture (kcal/ℓ)	(654 × $\frac{1.24}{1000}$ =) 0.811	(669 × $\frac{1.37}{1000}$ =) 0.917	- 11.6%

尚、この計算では、便宜的に CNG をメタン 100% としているが、通常の CNG にはエタンおよびプロパン等が若干含まれており、その差は小さくなくと考える。

3.4. 燃焼前後のモル数変化の影響

さらに、出力低下の原因として、Table 3 に示すように燃焼によるモル数増加の影響が考えられる。CNG (メタン) の燃焼時には、1 モルのメタンに対して 2 モルの O_2 が必要であり、それに伴い空気中の 8 モルの N_2 も同時に燃焼室内に吸入される。燃焼後は 1 モルの CO_2 と 2 モルの H_2O が出来、 NO_x 等の生成は CO の生成量と比較すると微量なため無視できると考えると、 N_2 は 8 モルのままだ。この結果、メタンの場合は燃焼の前後とも 11 モルの分子が存在し、燃焼によるモル数の変化は基本的に起こらない。

一方、ガソリンでは計算を簡略にするため、代表的な分子を分子量 100 のパラフィン (C_7H_{16}) とすると、同様に 1 モルが燃焼するために 11 モルの O_2 が必要であり、それに付随して 44 モルの N_2 が燃焼室内に導かれる。燃焼後は、7 モルの CO_2 と 8 モルの H_2O が生成され、 N_2 は 44 モルのままだ。結局、燃焼前の 56 モルが燃焼後は 59 モルとなり、5 % のモル数増加となる。

CNG では、ガソリンを基準とした場合、約 5 % 分モル数増加の効果が無くなったと言える。

3.5. 燃料の比熱比 (K) の影響

燃焼における断熱膨張による仕事 (W) は、一般に次の式で表される。

$$W = \frac{p_0 v_0}{K} (1 - \varepsilon^{-K}) \quad (\text{但し } K = \kappa - 1)$$

Table 3 Increase of Molecular Number by Combustion

Fuel	CNG (Methane)	Gasoline	CNG/Gasoline Ratio
Before combustion	$CH_4 + 2O_2 + 8N_2$ (11 mole)	$C_7H_{16} + 11O_2 + 44N_2$ (56 mole)	——
After combustion	$CO_2 + 2H_2O + 8N_2$ (11 mole)	$7CO_2 + 8H_2O + 44N_2$ (59 mole)	——
After/Before Combustion Mole Ratio	$\frac{11}{11} = 1.0$	$\frac{59}{56} = 1.05$	- 4.8%

ここで、 p_0 = 断熱膨張を開始する時点の圧力

v_0 = 断熱膨張を開始する時点の体積

ε = 圧縮比

κ = 比熱比 (c_p/c_v)

CNG_(M) (メタン) とガソリン_(G) の比熱比をそれぞれ、

$$\kappa_M = 1.3$$

$$\kappa_G = 1.1$$

とし、 p_0 を同一と仮定する (燃焼圧力は、他の項目で影響を検討する) と、本エンジンの圧縮比は 8.8 であるので、それぞれの仕事は、次の様になる。

$$\begin{aligned} W_M &= 1.60 p_0 v_0 \\ W_G &= 1.95 p_0 v_0 \end{aligned} \quad \leftarrow -18\%$$

これから、CNG での燃焼による仕事はガソリンに比較し、比熱比に起因する部分で約 18 % 少ないと考えられる。

以上の事象等が関係し合い、出力低下を招いていると推定する。

4. CNG の燃焼特性

4.1. MBT 特性

CNG のスロットル全開時 (WOT) の MBT 特性を、Fig. 6 に示す。一般に言われている様に、CNG (メタン) は燃焼が遅い為、MBT の点火時期はガソリンに対して、約 3~5 deg 進角している。但し、オクタン価が高いため、エンジン回転全域で MBT を設定点火時期にすることが可能である。ガソリンの場合はノッキングの発生により、設定点火時期が MBT より大きくリタードし、ベストのトルクを発生させることが出来ない。特に、エンジン低回転域ではその差は著しく、低速トルクの低下の原因となっている。

また、部分負荷での MBT 特性を Fig. 7 に示す。ガソリンと比較し、CNG は負荷に左右されず、MBT の点火時期

がほとんど変動しない。言い換えれば、CNG は、低負荷の状態でも安定した燃焼が可能であると考えられる。

4.2. 燃焼圧力の検討

次に、燃焼圧力について検討する。

CNG とガソリンの燃焼圧力および燃焼時間について Table 4 に示す。CNG の最大燃焼圧力はガソリンに比べかなり低くなっており、出力の差を裏付けている。しかし、そのばらつき (Pmax 偏差) は CNG の方が少なく、個々のサイクルでの燃焼が安定していると判断出来る。また燃焼期間 (10-90% 質量燃焼期間) は、CNG の燃焼の遅さを顕著に現しており、ガソリンに比べ約 20% 長くなっているが、着火遅れは逆に CNG が短く、初期の着火性に優れている事が判った。燃焼圧の立ち上がり ($dP/d\theta$) については、予想以上に CNG が遅く、専用エンジンの設計に際しては、この点を十分考慮する必要があると思われる。

また負荷に対する燃焼期間の変動を Fig. 8 に示す。ガソリンを燃料とする場合、負荷が低くなるにつれて燃焼が不安定になり、燃焼期間が長くなる。これに対し CNG では、その差は小さく、部分負荷状態でも安定した燃焼が可能である事がうかがえる。

4.3. 燃焼限界空燃比

今回用いた 4 バルブエンジンのシステムを一切変更

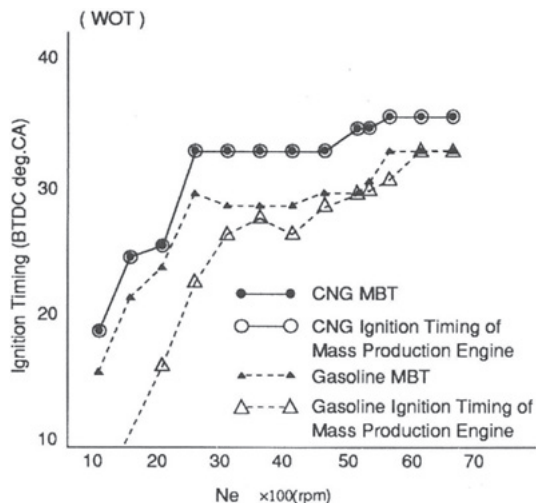


Fig. 6 MBT Characteristics of CNG and Gasoline

Table 4 Comparison of Combustion Chamber Pressures and Combustion Periods

Fuel	P max (kPa)	P max deflection (kPa)	dP/d θ (kPa/deg)	Ignition Delay (deg.CA)	10 - 90 % Combustion Period (deg.CA)	IG - END Combustion Period (deg.CA)
CNG	1098	111.8	26.5	30.48	28.98	78.0
Gasoline	1441	125.5	50.0	32.36	23.61	73.0
CNG / Gasoline	- 24 %	+ 11 %	- 47 %	+ 5.8 %	- 18.5 %	- 6.4 %

せずに、燃料を CNG に変更した際の燃焼限界を確認した。燃焼時の IMEP (図示平均有効圧力) 変動率を基準に、リーン／リッチ限界を Fig. 9 に示す。同一エンジンでガソリンを燃料とした場合、リーン限界は $\lambda = 1.2$ 程度であるが、CNG では $\lambda = 1.6$ 付近まで燃焼が安定している。従来報告されている値より若干限界が延びているのは、PGM-GI システムによる高精度な燃料供給制御によるものと考ええる。CNG での限界値は、市販のガソリンリーンバーンエンジンで設定されているリーン限界 ($\lambda = 1.5$ 程度) より更に広い ($\lambda = 1.7$)。

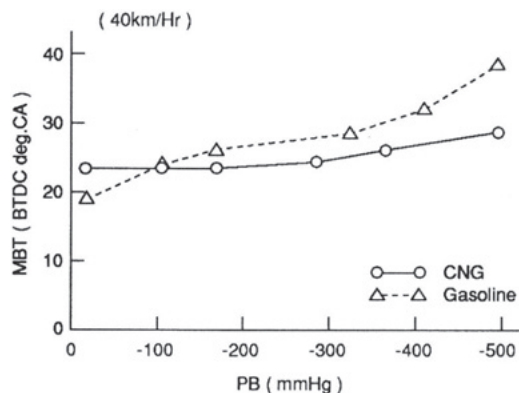


Fig. 7 MBT Characteristics of Vehicle Cruise Condition

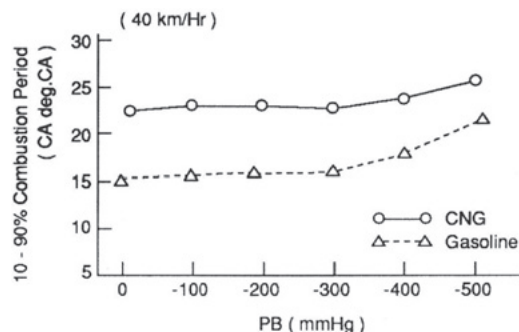


Fig. 8 Influence of Engine load on 10-90% Combustion Period

一方、リッチ側については $\lambda = 0.8$ 程度に留まり、ガソリン4バルブエンジンと比較して、限界としては狭くなっており、従来の研究の通りである。但し、限界値そのものは、他のCNGエンジンに比べて若干狭くなっている。これは、従来の燃料供給システムがミキサ方式を採用しており、シリンダに燃料が導入されるまでにある程度の距離があり、その過程で燃料と空気の混合が促進されているのに対し、今回のポートにインジェクタを設けたシステムでは、混合が不完全でトータルのA/F値以上に部分的にリッチなゾーンが存在し、そのために不正燃焼を起こしていると考ええる。気体燃料では、一般に空気との混合性がよいと考えられているが、システムの構成によっては必ずしもそうでない場合もあり得る。

これらの事から、CNGを自動車エンジンの燃料として使用する際には、そのリーン燃焼特性を活かし、またリッチ側では充分なA/Fコントロール性を持ったシステムが必要である。

4.4. 温度による影響

CNGは気体燃料であるため、低温での燃焼性に優れている事が予想されるが、それを確認したものがFig. 10である。パラメータとしてエンジン冷却水温度をとり、IMEPの変動率を比較した。

ガソリンでは、低温域から60℃付近までの燃焼状態が悪くIMEP変動率が大きい。CNGにおいてはほとんど

その差はなく、低温でのドライバビリティ改善のための燃料増量、点火時期の進角等も必要ない。

5. 排出ガス特性

5.1. A/F～エンジン排出ガスの関係

今回使用したエンジンの2,000rpm全負荷(WOT)での、A/Fに対するエンジン排出ガス(触媒前の排出ガス)の関係を、Fig. 11に示す。現在の設定A/F = 16.8($\lambda = 1.0$)から、例えばA/F = 23.0に設定変更したとすると、COは98%、HCは12%、NO_xは51%、およびCO₂では21%の低減が可能である。

この設定例では、三元触媒のウインドからはずれ、特にNO_xの浄化率が低下するため、リーンバーンエンジンの設計に際しては、エンジン排出ガスの低減率と触媒浄化率の低下がバランスするポイントを選び、NO_xの増加を抑える必要がある。またリーンNO_x触媒(希薄燃焼状態でもNO_xの浄化率が低下しない触媒)が実用化されれば、CNGによる超リーンバーンエンジンの可能性も出て来る。

5.2. ガソリンとの比較

2,000rpmWOT 負荷一定での、ガソリンとCNGのエンジン排出ガスの比較を、Table 5に示す。両者共、各条件を考慮した設定状態での排出ガスであり、A/F、点火時期はそれぞれ異なる。

ここではCOとHCの低減効果が著しく、これはA/Fのリーン化が起因しているものと思われる。しかし、

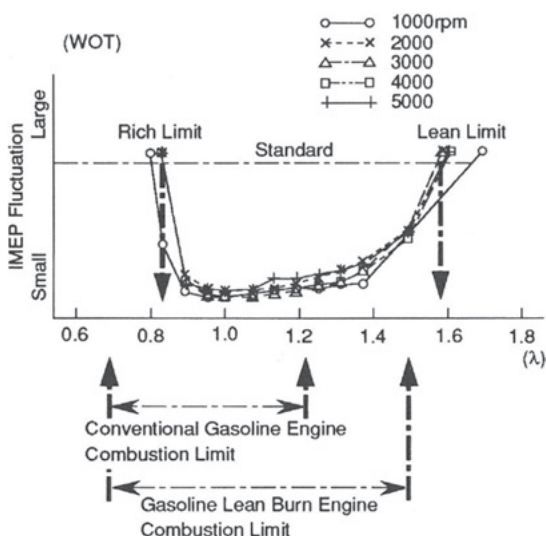


Fig. 9 Combustion Limit Excess Air Ratio of CNG and Gasoline

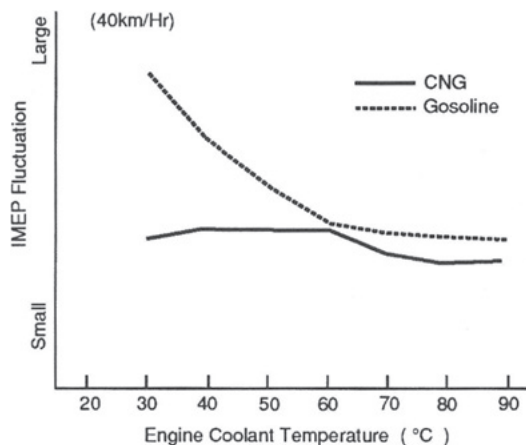


Fig. 10 IMEP Fluctuation by Engine Coolant Temperature

Table 5 Comparison of Exhaust Emissions between Gasoline and CNG

Fuel Emissions	(2000 rpm WOT)		
	CNG	Gasoline	CNG/Gasoline Ratio
A/F	16.8	12.5	—
CO	1.1 %	5.0 %	-78 %
HC	612 ppm	3060 ppm	-80 %
NO _x	1234 ppm	810 ppm	+52 %
CO ₂	10.9 %	11.9 %	-8 %

NO_xは逆に増加しており、ガソリンの設定点火時期がMBTから大きくリタード(遅角)しているのに対して、CNGではMBTが設定点火時期となっているのが原因である。負荷一定状態のCO₂については大きな低減は得られていないが、燃焼が安定しており、また加速時の燃料増量が不要等の理由から、過渡状態がある市街地走行やモード走行のような場合は、CNGでの低減効果が更に大

Table 6 Temperature of Sleeves between Cylinders

Fuel	Engine Part	Temperature (°C)		
		1~2 Cylinder	2~3 Cylinder	3~4 Cylinder
Gasoline	Cylinder Head	153	158	162
	Cylinder Block	172	170	163
CNG	Cylinder Head	168	174	165
	Cylinder Block	189	191	206
CNG (Countermeasured)	Cylinder Head	153	155	148
	Cylinder Block	167	168	178

きなものになると予想される。

5.3. 実車排出ガスレベル

現状のシステムでは、インジェクタおよびエキゾーストマニフォールド直下型触媒の信頼性に問題があり、実車排出ガスの達成値を論じる事が出来るレベルではない。但し低温での燃焼安定性や、燃料成分のほとんどがメタンである事を考慮すると、実車排出ガスの特に非メタン系HC(NMHC/NMOG)での優位性はかなり大きいと考えられる。

6. 今後の検討課題

今回のテストを実施していく段階で、CNGを燃料とした場合の問題点をいくつか経験した。ここでは、それらについて簡単に検討を加える。

6.1. シリンダブロック軸間温度の異常上昇

Table 6に今回テストしたエンジンのシリンダブロック軸間温度を示す。通常ガソリンエンジンと比較し、最高温度で30℃以上高くなっており、ヘッドガスケット吹き抜けの可能性はある。特に、ブロックとヘッドの温度差が大きく、ガソリンエンジンでは燃料冷却による冷却効果があるがCNGではその効果がほとんど無く、エンジンの構造上ブロック側軸間の冷却性の低い事が証明された。

現在迄に製作されているCNGエンジンは、ほとんどがFC製シリンダブロックを用いていたり、また出力的に限界まで追究していない場合が多く、そのため大きな問題

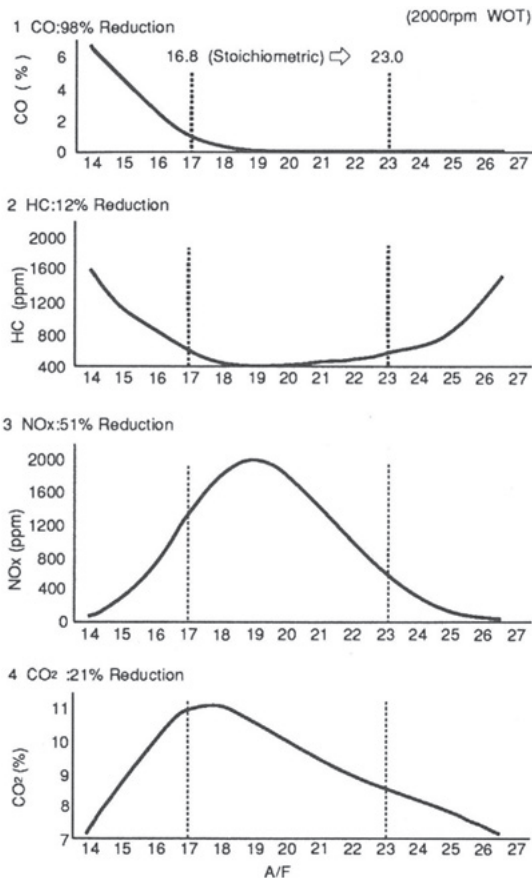


Fig. 11 Influence of CNG Air-Fuel Ratio on Exhaust Emissions

に到っていないものと思われる。従ってアルミ製ブロックのエンジンをCNG用に転用する際には、冷却系の改善は不可欠である。

6.2. ピストン、バルブシートの異常昇温

ピストンの各部温度を、リンク法により測定した結果をFig. 12に示す。ガソリンを燃料とした場合に比べ、15～30℃程度高温となっている。冷却系の設計が適切でない場合は、ピストンおよび燃焼室の溶損が考えられる。

バルブシートの温度をガソリンの場合と比較したものをFig. 13に示す。測定位置によりガソリンより温度の高い部分、低い部分があるが、CNGで特徴的なのは高温と低温の差が大きく、その結果バルブシートが歪み、バルブと片当たりする事によって、摩耗が促進される事である。実際、CNGを燃料としてエンジンを運転すると、かなり早い速度でバルブシート摩耗が進行することが確認された。

この様に、燃焼室関連でも温度的に非常に厳しい場合があり、CNGエンジンの設計に当たっては、材料の見直しも含めた最適化が必要である。

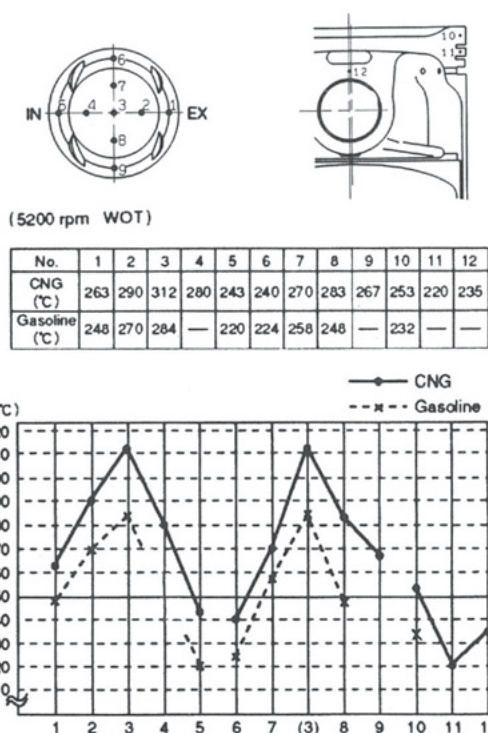


Fig. 12 Piston Temperature of CNG Engine and Gasoline Engine

6.3. バルブステムシールよりのオイル下がり

インテークおよびエキゾーストバルブのステムシールからのオイル下がり起因因と思われるバルブデブリの生成、テールパイプからの白煙吹き出しの問題を経験した。この原因として、次の様ないくつかの要因が考えられる。

- ①正圧でガスを噴射している事によるステムシールリップのめくれ
- ②メタンによるステムシール材の劣化
- ③バルブステムの異常昇温によるステムシールの運転中のシール性低下

しかし、問題が出たステムシールを、単体でテストしてもオイル下がり量は再現しなかった。また③の高温での条件を除くそれぞれの状況下でも新品のステムシールのオイル下がり量に異常はなく、明確な原因は掴めていない。上記の原因が複雑に関連して、発生しているものと思われる。

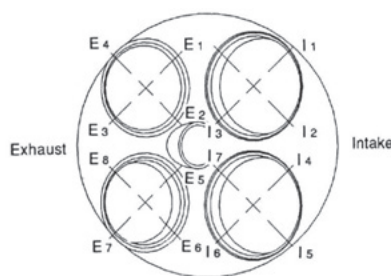


Fig. 13 Valve Seat Temperature of CNG Engine and Gasoline Engine

6.4. インジェクタおよび触媒の耐久信頼性不足

インジェクタは気体燃料の制御をしているため、燃料による潤滑がほとんど期待できず、耐久性を向上させる事が最大の難関となっている。

エキゾーストマニフォールド直下型触媒は、エンジン出力ベストの設定にすると、現状では温度的に厳しく耐久性に問題がある。レイアウトの最適化、設定条件の見直し等が必要である。

6.5. コストとウエイト

CNG 専用車として製造した場合には、ガソリンの燃料系およびエバポレーション（蒸散ガス回収）システムが不要になり、コスト的には若干の増加に留まると考えられる。当局による何らかのインセンティブにより、コスト競争力は充分成り立つと考える。

但し、ガソリンと CNG のデュアルフュエル車を前提とすると、コスト的には量産性がない。

一方、重量については、FRP タンクの更なる軽量化、タンクレイアウトの適正化、要素部品の小型軽量化により CNG 専用車ではガソリン車に非常に近いレベルまでは、比較的容易に到達できるものと考えられる。

6.6. 航続距離

いくつかの研究例と同様に、今回製作した NGV もガソリン車の $\frac{1}{4}$ 程度の航続能力しか持っていないが、エンジン設計の最適化、燃料タンクの車載レイアウトの見直しによる燃料搭載容量増加等により、確実に航続距離を延ばす事が出来ると考える。

また車両の使われ方の工夫により、航続距離が短い事がハンディにならないようにする事は可能なはずであり、今後の NGV の普及には重要な項目となる。

7. まとめ

自動車用燃料として CNG の燃焼特性を明らかにするとともに、代替燃料、クリーンフューエルとしての可能性を調べ、以下に示す結果を得た。

- (1) CNG を燃料とする事で、エンジン出力は低下するが、ベストのエンジン設計をする事によりガソリンエンジン並の性能を確保できる。
- (2) CNG の燃焼は速度が遅いが、リーン燃焼限界、低温での燃焼性等ガソリンに勝る点もあり、特性を生かしたエンジン設計により、独特の方向性を示せる可能性がある。
- (3) 排出ガス特性としては、NO_x がキーポイントとなり、触媒開発との組み合わせで取り組んで行くべき問題である。
- (4) 今回試作したシステムを実用化するためには、材料および信頼性の部分でいくつかの解決しなくてはならない問題があり、引き続き研究の推進が必要。

いずれにしても、国際的に環境問題が叫ばれるなか、代替エネルギー、クリーンエネルギーについての研究は、自動車会社の使命としてとらえ、今後とも続けていく必要があると考える。

謝 辞

本研究を進めるに当たって、多大なご支援を頂いた、東京ガス株式会社天然ガス自動車プロジェクトチームの皆様に、心より感謝を申し上げます。

参考文献

- (1) 天然ガスの実用化に向けて (1991) (株)日本ガス協会編

■ 著 者 ■



山 本 雄 二



佐 藤 勝 彦



松 本 誠 司



都 築 俊 一