

# 次世代大型低公害 CNG トラックの研究開発

環境研究領域

後藤 雄一 野田 明 成澤 和幸

## 1. はじめに

圧縮天然ガス（CNG）自動車は、低公害車および石油代替燃料車として広く社会に受け入れられつつあり、国内では現在約2万台以上普及している。このうち、トラック、バス等のディーゼル代替車は約55%を占めており、その比率は年々増加傾向にある。CNGトラックは、これまでに積載量2トンクラスを中心として商品化されている。しかしながら、GVW20トン超クラスの高出力大型トラックは開発されておらず、大型車への天然ガス車の導入が進んでいないのが現状である。したがって、320PS以上のGVW20トン超クラスの大型CNGトラックを開発することは、喫緊の課題となっている。

以上の背景の中で平成14年度から開始された次世代大型低公害車の開発プロジェクト<sup>1)</sup>の中で超低公害大型天然ガストラックの開発試作が行われている。本プロジェクトにより従来適当なディーゼル代替車が開発されていない大型トラックや高速バス等をCNG自動車に代替することが可能となり、大気環境や地球環境の大幅な改善に寄与することが期待される。

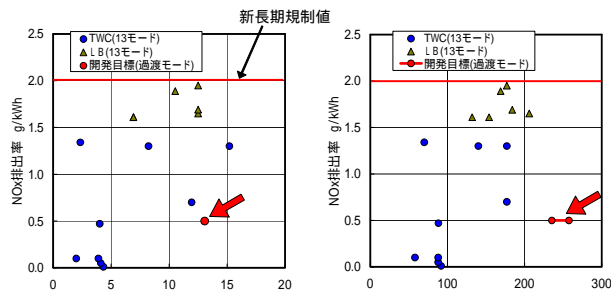
本報告は、プロジェクトの最終段階における成果と当初の目標が達成できたことを述べる。

## 2. 目標

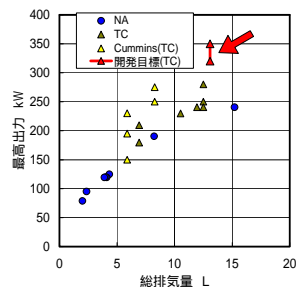
- **超低公害大型天然ガスエンジンの開発試作**
  - 排出ガス(NOx排出率)
    - NOx排出率を新長期規制値の1/4以下(13Aガス使用)
    - 2010年以前の可能な限り早い時期に1/10レベルまで低減する技術検討
  - 温暖化ガス(CO<sub>2</sub>)
    - ベースディーゼルエンジン以下(13Aガス使用)
  - エンジン出力
    - 235~257kW(320~350PS)
- **超低公害大型天然ガストラックの開発試作**
  - GVW25tクラス
  - 車両航続距離
    - 高速道路走行で600km以上(事業当初目標の500km以上から変更)
- **高濃度メタン燃料の実用化可能性調査**
  - エンジン技術調査(高濃度メタン燃料を用いた場合の熱効率向上を追及)
  - 需要と供給の可能性調査

図1 開発試作の目標

図1にエンジン、トラック、燃料の3項目について目標を示す。NOxは従来CNG車は準定常のG13モードで認証されているが、規制が過渡モードに移行することからJE05モードによる排出量である。CNGエンジンは、PMはほぼゼロであるため目標に入っていない。天然ガスは発熱量当りのCO<sub>2</sub>排出量が軽油に比べ約2~3割少ないため温暖化ガス(CO<sub>2</sub>)の排出量は少ない。



国産CNGエンジン(ディーゼルベース)のNOx排出率諸元値



CNGエンジン(ディーゼルベース)の最高出力諸元値

## 図2 開発目標値の位置づけ

図2に総排気量、最高出力、NOx排出率において従来エンジンに比べ高い開発目標である事を示す。天然ガストラックの課題である航続距離は市場調査から都市内・高速道路走行を含めた東京 大阪間を600km以上とした。エンジンの高熱効率化を目指すため高圧縮比化を可能とする燃料の高オクタン価(高濃度メタン化)の可能性を調べることにした。

## 3. 目標達成方法

排出ガス性能：排ガス浄化装置に三元触媒を用いる。燃料供給系に信頼性が確保されているSPI(Single Point Injection)方式を採用し、空燃比の電子制御精度を高めて過渡運転時の排出ガスを低減する。また、NOx と排気温度の更なる低減のために排気ガス再循環(EGR)システムを採用する。

低CO<sub>2</sub>排出(燃費)性能：13A ガス仕様の開発試作エンジンでは、前記の排出ガス性能を確保しながら点火時期の最適化を図るとともに、EGR効果による熱効率向上を図る。また、高濃度メタン仕様のエンジンでは、メタンが高オクタン価であることを利用して圧縮比を高め、熱効率の向上を迫及する。

エンジン出力：インタークーラー付きターボ過給方式を採用し高出力化を図る。

航続距離：目標を確保するために必要な容量の圧縮天然ガス(CNG)容器を搭載可能にする。

動向調査：高濃度メタン燃料については、需要と供給の動向調査と、エンジンの動向を調査し、国内における将来の実用化の可能性を探る。

試作エンジンは、定常運転用、過渡運転用、車載用の3種を13A仕様で開発し、過渡運転用は高濃度メタン仕様としても利用する。大型エンジンでは吸気系容量が大きいこと、天然ガスは空気と混合しに

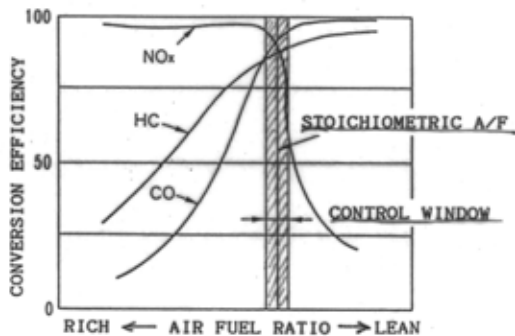


図3 三元触媒の作動ウインドウ

くい事など混合気形成の過渡応答特性に技術課題を持つと予想された。特に三元触媒方式では高い浄化性能を得るために触媒入口での空燃比を理論等量比(空燃比ウインドウ)に合わせる必要があり、不十分な過渡応答特性によりウインドウを外れた際に排気ガスが悪化する。(図3)

そこで G13 モード対応の既存の三元触媒付小型CNGトラックでJE05 過渡モードの排出ガス挙動を調

表1 試作エンジンの主要諸元

	ベースエンジン	開発試作エンジン
エンジン型式	日産ディーゼルGE13TA	-
気筒配置	直列6気筒	
ボア×ストローク	φ136mm x 150mm	
排気量	13.074L	
バルブ方式	SOHC 4バルブ	
吸気方式	インタークーラー付きターボ過給	
燃料供給方式	直接噴射方式	SPI(シングルポイント噴射方式)
着火方式	自己着火	火花点火
最高出力	250kW / 1,900rpm	235 - 257kW / 1,900rpm (開発目標)
排ガス処理装置	EGR	三元触媒(Pt/Rh/Pd), EGR
排出ガス	長期規制適合	NOx: 0.5 g/kWh以下 (開発目標)

表2 主要変更点

吸気系	マニホールド/吸気管の形状変更 電子制御スロットルの採用
燃料噴射系	SPIシステムの搭載
シリンダヘッド	点火プラグ取り付け、バルブ座面材質変更
燃焼室(ピストン)	圧縮比低下、燃焼室形状変更
排気系	マニホールド形状・材質変更 ターボチャージャーの仕様・材質変更
EGR系	EGRシステムの搭載
触媒	三元触媒の製作
その他	クランク角度センサの搭載

べ、既存の天然ガス燃料供給システム過渡応答特性の課題を明らかにすることとした。

## 4. 開発試作成果

### 4.1. 大型CNGエンジン開発

表1に試作エンジンの主要諸元を、表2にベースエンジンからの主要変更点を示す。過渡対応の吸気系、燃料供給系への変更、排気高温化対策、後処理装置装着などの変更を行った。燃料噴射系はMPIシステム搭載も検討したが、短い開発期間中の車の完成を考慮し、実績からSPIを採用した。

図4に定常運転における全負荷出力の推移を示す。エンジン回転数の上昇とともにノック限界、排気ポートの排気温度限界から出力の低下を示したが、スワールの強化による燃焼速度の向上とEGRの使用によるノ

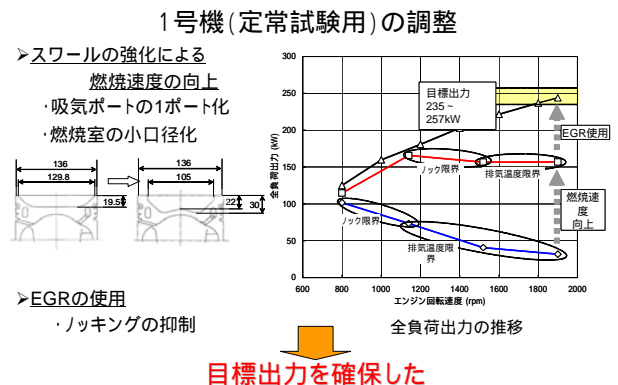
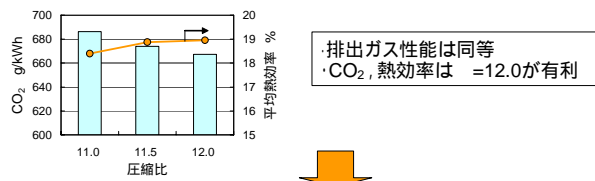


図4 定常運転における全負荷出力の推移

ガソリン13モード試験結果(エンジン1号機)

圧縮比	排出ガス排出率 (g/kWh)					燃料消費率 g/kWh	エネルギー消費率 MJ/kWh	平均熱効率 %
	CO	THC	NMHC	NOx	CO <sub>2</sub>			
11.0	0.465	0.151	0.035	0.060	686	245	12.1	18.4
11.5	0.647	0.210	0.024	0.039	674	241	11.9	18.9
12.0	0.581	0.189	0.023	0.034	667	239	11.7	19.0



開発試作エンジンの圧縮比は12.0とした

図5 圧縮比ごとの排出ガス排出率と平均熱効率

ッキングの抑制を図った。その結果、目標出力を達成できた。図5に圧縮比ごとの排出ガス排出率と平均熱効率を示す(ガソリン13モード)。排出ガスの面では同等であったが、CO<sub>2</sub>排出量と平均熱効率の面で12.0が有利であるので圧縮比を12.0とした。図6に定常運転時の正味熱効率、排気温度、EGR率を示す。最

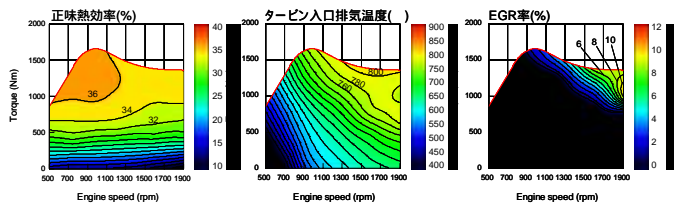


図6 定常条件におけるエンジン性能

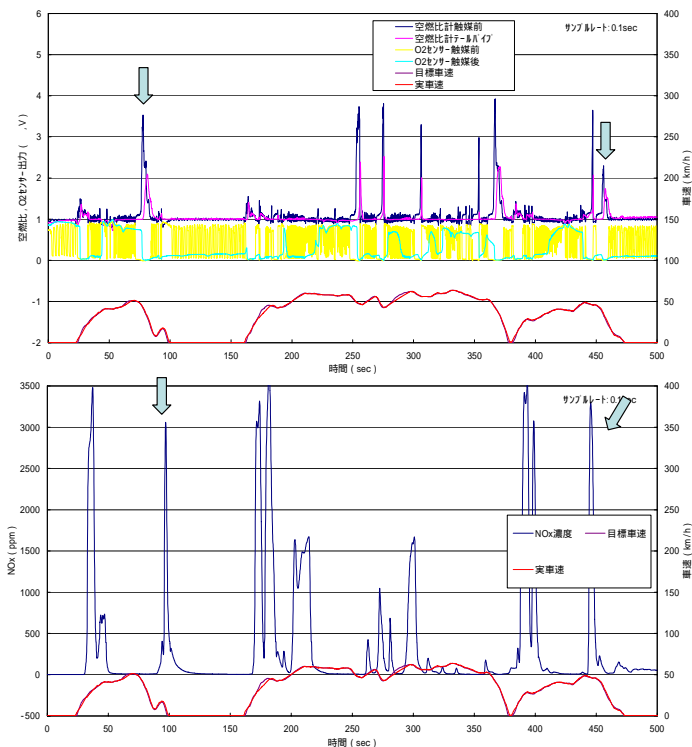
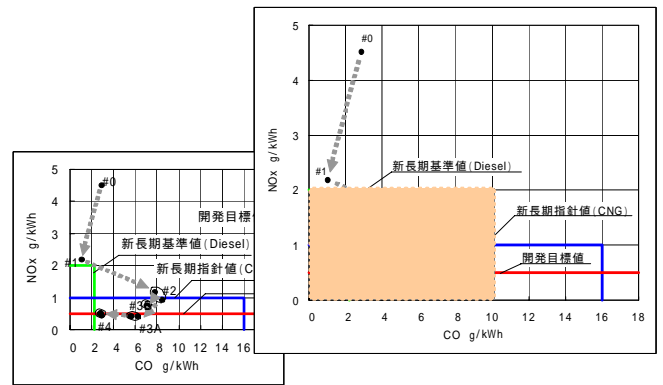


図7 JE05 過渡モード一部における三元触媒前後空燃比とNOx 排出量

高36%の熱効率を低・中速域に持ち、最高12%のEGR率を排気温度低下・NOx低下のために高速・高負荷域で導入した。

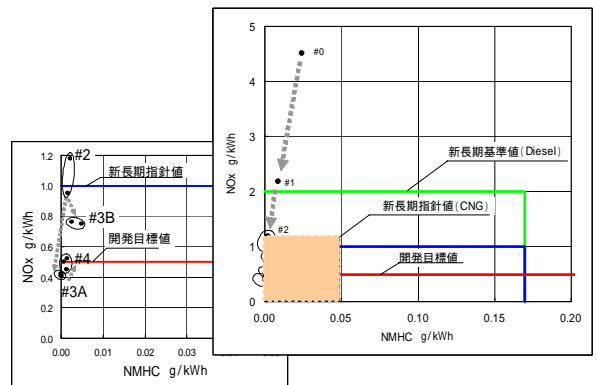
図7に既存の小型CNGトラックのJE05過渡モードにおける三元触媒前後のλとNOxの排出挙動例を示す。既存燃料供給システムでは車両減速時に燃料カットをした後、加速に入るときに燃料供給が間に合わず空燃比が理論空燃比から大きく希薄側に外れる結果、NOxの排出量が增大することを示している。従って、加速時に燃料増量を行い空燃比ウインドウからの外れを極力抑える必要がある。

過渡運転におけるNOx排出量低減のために、アクセルオフ時燃料カット、定常時PID調整、加速時燃料増量などの論理により燃料供給を行った。図8にJE05モードにおけるCOとNOx排出ガスについての開発過程を示す。図中の#番号は開発段階の番号を示す。#4の段階でNOxは開発目標値を達成できた。従来、天然ガスエンジンではCO排出量がディーゼルエンジンに



JE05モード試験結果(エンジン2号機)

図8 JE05モードにおけるCOとNOx排出ガスについての開発過程



JE05モード試験結果(エンジン2号機)

図9 JE05モードにおけるNMHCとNOx排出ガスについての開発過程

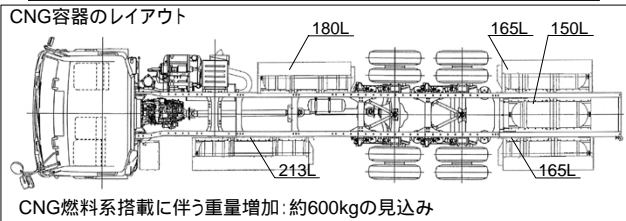
比が高いが、CNGの新長期指針値以下を満足するだけでなく Diesel エンジンの新長期規制値に近い値まで達成できた。

図9にJE05モードにおけるNMHCとNOx排出ガスについての開発過程を示す。NMHCはCNGの新長期指針値とDieselの新長期基準値の値を十分に下回る問題のないレベルまで低減することができた。

一方、開発の途中でオイル消費の増大、触媒劣化、出力の低下、PMの排出、ノッキングの発生などの不具合が認められた。燃焼室へのオイル上がりと過給器の不良が原因と考えられ、ピストン、ピストンリングの改良、過給器の交換を行い評価する予定である。

エンジン3号機を搭載した大型CNGトラックの搭載設計を行った開発試作車両の諸元

車両総重量	25トン
航続距離	高速道路巡航で600km以上
燃料搭載量	CNG 873L (174.6Nm <sup>3</sup> ) @20MPa (走行燃費を3.5km/Nm <sup>3</sup> とすると航続距離611km)



CNG燃料系搭載に伴う重量増加:約600kgの見込み

図10 開発試作車両の諸元と平面図

#### 4.2. 大型CNGトラック試作

図10に3号機エンジンを搭載した開発試作車両の諸元と平面図を示す。航続距離600km以上を確保するためにCNGタンク容量を873L@20MPaとした。図11に完成車概観図を示す。

表3に開発目標値に対する現段階の開発達成値を示す。NOx排出率は目標を達成し、温暖化ガス(CO<sub>2</sub>)は同クラス排気量ディーゼルエンジンのCO<sub>2</sub>排出量の同等以下の排出量に到達できた。エンジン出力は目標値を達成し、実験時の燃料消費量から計算した走行距離

表3 開発目標値に対する現段階の開発達成値

	項目	目標値	現状
開発目標	NOx排出率 <sup>1</sup>	0.5g/kWh以下	0.449~0.524g/kWh
	温暖化ガス <sup>1</sup>	ペーस्टディーゼルエンジン以下	686g/kWh
	エンジン出力	235~257kW (320~350PS)	244kW (332PS)
	走行距離	600km以上 (高速走行時)	740~832km以上 <sup>3</sup>
参考	CO排出率 <sup>1</sup>	16g/kWh <sup>2</sup>	2.698~2.932g/kWh
	NMHC排出率 <sup>1</sup>	0.17g/kWh <sup>2</sup>	0.001g/kWh

1: JE05モード試験値

2: 新長期指針値(CNG)

3: エンジンベンチデータ(HH6モード、HH8モード試験値)

も大幅に目標値を達成した。今回の開発目標には含まれていないが、CO排出率、NMHC排出率のいずれもCNG車に対する新長期指針値以下の全く問題ないレベルにまで達成できた。

#### 4.3. 高濃度メタン燃料による実用化可能性

高オクタン価の高濃度メタン天然ガス燃料を使用することにより、ノッキング限界を拡大が可能となる。過渡運転用2号機エンジンを利用して高濃度メタン燃料と13Aガスの両燃料における排出ガス性能と燃料消費率を比較し、高圧縮比化した際の熱効率向上の可能性を調べる予定である。

### 5. まとめと今後の展望

次世代大型低公害車の開発プロジェクトの中で超低公害大型天然ガストラックの開発試作を行った結果、現段階で開発目標をすべて達成することができた。天然ガスエンジンは熱効率ではディーゼルエンジンに劣るものの、天然ガスは発熱量当りのCO<sub>2</sub>発生量が軽油に比べ2~3割少ない利点を生かすことにより、地球温暖化物質のCO<sub>2</sub>排出率では同一排気量エンジンでディーゼルエンジンのトップクラスに並ぶ低CO<sub>2</sub>排出量とすることができた。今後は、新長期規制値の1/10のNOx排出率を目指した超低公害大型エンジンの開発、航続距離の大幅改善を目指した液化天然ガス燃料の導入などを計画している。

最後に大型CNGトラック開発試作に当たっては、日本ガス協会の本プロジェクトに対する積極的な活動の下に日本自動車研究所および関連各社の多大な協力を得られた。石井光教氏(現日立製作所)にも貴重な助言を頂いた。当初の目標以上の達成に努力をされた関係各位に深く感謝する。

### 6. 参考文献

1) <http://www.ntsel.go.jp/teikougai/teikougai01.html>



図11 完成車概観図