

報告

# 低公害車 (CNG、LPG車) の汚染物質排出特性について

舟島 正直      飯田 靖雄      竹永 裕二  
 横田 久司      福岡 三郎      坂西 丕昌  
 梅原 秀夫 (囑託員)

## 1 はじめに

都市地域を中心とする大気環境基準の達成率は、二酸化窒素及び浮遊粒子状物質に関しては低い。これら2成分の主な発生源は、自動車と考えられている。自動車排出ガスによる大気汚染を改善する一つの施策として、各種の低公害車 (LEV: Low Emission Vehicle) の普及促進事業が進められている。我々は、今までに各種の車両について低公害性の調査を実施して評価してきた。本報では、メーカーが試作したCNG (圧縮天然ガス) 及びLPG (液化石油ガス) 燃料を用いるごみ収集車について、その排出ガスの性状について調査をした。また、あわせて同規模のディーゼルごみ収集車 (以下対照車と略す。) との比較をしたので報告する。また、CNG車の排出ガス低減システムについて排出ガス低減対策上いくつかの問題点が明らかとなったので、改良を施した結果について、併せて報告する。

## 2 実験装置及び実験条件

### (1) 実験装置

- ア シャーシダイナモメータ: 直流式 吸収動力 370 kw
- イ 分析装置: MEXA 9400 F  
(NO<sub>x</sub>、CO、THC、CH<sub>4</sub>)
- ウ 希釈トンネル: DLT-24120 W (直径 24 インチ)
- エ CVS装置: CVS -120 T
- オ ボッシュメーター: 黒煙
- カ Low-vol 法: 粒子状物質
- キ ガスクロマトグラフ法: HCHO

### (2) 実験車両

主要諸元<sup>12)</sup>を表1に示す。表1に示すとおりCNG車、LPG車及び対照車は、2 t積のごみ収集車で規模及び運転性能はほぼ同じである。CNG車及びLPG車には、排出ガス低減システムとして三元触媒が装着されている。

表1 CNG車・LPG車及び比較対照車の主要諸元

|              | C N G 車      | L P G 車      | 対照ディーゼル車     |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| エンジン 型式      | 4 B E 1      | 試 作          | 4 B E 2      |
| 排 気 量 c c    | 3 6 3 6      | 2 6 9 3      | 3 6 3 6      |
| 最大出力 ps/rpm  | 100/3400     | 125/5200     | 100/3000     |
| 最大トルクkgm/rpm | 25.5/1500    | 22.3/2000    | 24.0/2000    |
| エンジン種別       | CNG火花点火式     | * ガソリン       | 副室式ディーゼル     |
| 燃料供給装置       | ガスミキサー       | LPGレギュレーター   | 噴射ポンプ        |
| 車両重量 (総重量)   | 4240(6405)Kg | 3735(5900)Kg | 3590(5755)Kg |
| 最大積載量 Kg     | 2,000        | 2,000        | 2,000        |
| 登坂能力 tan θ   | 0.31         | 0.38         | 0.38         |
| 排気ガス対策       | 三元触媒         | 三元触媒         | -            |

\*ガソリンエンジン (ペントルーフ型)

表2 法定走行モードにおけるNOxおよび黒煙、粒子状物質測定結果

| 規制年次          | NOx              |                     | 黒煙     | 粒子状物質      |
|---------------|------------------|---------------------|--------|------------|
|               | 元年規制             | 平成4年規制              |        |            |
| 法定モード         | G6モード            | G13モード              | 無負荷急加速 | G13モード     |
| 規制平均値         | 650 ppm          | 5.5 g/kWh           | 40%    | 0.25 g/kwh |
| CNG車<br>(低減率) | 27 ppm<br>(96%)  | 0.33 g/kwh<br>(94%) | 0%     | 検出限界<br>以下 |
| LPG車<br>(低減率) | 370 ppm<br>(43%) | 2.5 g/kwh<br>(55%)  | 0%     | 検出限界<br>以下 |

表3 各種走行パターンにおけるNOx測定結果

単位：g/km

|      | 準公定法・東京都実走行パターン |           |           |           |           | (%) 低減率       |
|------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|
|      | M-15            | NO. 2     | NO. 5     | NO. 8     | NO. 10    | 清掃モード<br>(作業) |
| 平均車速 | 15km/h          | 8.2km/h   | 17.9km/h  | 28.1km/h  | 42.9km/h  | 3.0km/h       |
| CNG車 | 0.34(86%)       | 0.21(94%) | 0.19(91%) | —         | 0.29(80%) | 0.55(94%)     |
| LPG車 | 0.71(71%)       | 0.39(89%) | 0.62(71%) | 0.73(55%) | 0.58(59%) | 0.37(96%)     |
| 対照車  | 2.48            | 3.41      | 2.11      | 1.63      | 1.42      | 9.92          |

(3) 走行条件

法定モードのガソリン-6(以下G-6と略す。)モード、ガソリン-13(以下G-13と略す。)モード、M-15モード、東京都実走行パターン(No.2, No.5, No.8, No.10)、清掃ごみ収集パターン、定速(ID, 20 km/h, 40 km/h, 60 km/h, 80 km/h)

(4) 測定項目

ア 汚染物質：NOx、CO、THC、CH<sub>4</sub>、HCHO、黒煙、粒子状物質

イ 悪臭：三点比較式臭袋法

ウ 騒音：近接排気騒音、近接エンジン騒音

3 結果及び考察

法定モード(G-6、G-13)におけるNOx及び黒煙、粒子状物質の測定結果を表2、各種走行パターンにおけ

るNOxの測定結果を表3に示す。

(1) 法定モードでのNOx測定結果と規制値との比較  
元年規制(650 ppm)に対してCNG車は96%減、LPG車は43%減であり、平成4年規制(5.5 g/kwh)に比べるとCNG車は94%減、LPG車は55%減と低いレベルの排出量であった。

また、CO及びTHCの測定結果は、CNG車及びLPG車のいずれも平成元年規制、平成4年規制値よりも大分低い値であった。なお、黒煙及び粒子状物質濃度は、0%及び検出限界以下であった。

(2) 各種走行パターンにおける排出量

CNG車及びLPG車のNOx排出量は、対照車に比べてCNG車は80%~94%、LPG車は55%~96%低減していた。特に清掃ごみ収集パターンでは、94%以上の低減が見られた。CO及びTHCの排出量は、対照車に比べて多かったが、対照車はディーゼル車でもともとCO

及びTHCの排出量は少ないためである。粒子状物質排出量は、どの走行パターンともCNG車及びLPG車は検出限界以下で極めて微量の排出であった。このため両車は、黒煙、粒子状物質対策としても充分効果がある。

また、HCHOの排出量は、CNG車及びLPG車ともいずれの走行パターンで検出限界以下の濃度であった。

(3) 悪臭

三点比較式臭袋法による定速走行及び清掃ごみ収集パターンでの測定の結果<sup>3)</sup>では、CNG車は、臭気濃度が30~230で対照車の約1/3以下であった。また、LPG車は臭気濃度が30~97で対照車の約1/10以下であり、臭いの面からも低公害車と考えられる。

(4) 騒音

近接排気騒音及び近接エンジン騒音とも対照車に比べ3~5dB(A)程度低く、静かであった。

表4 CNG車の触媒除去効率(低減率%)

単位: P P M

|                  |   | NO <sub>x</sub> | CO   | HC   |
|------------------|---|-----------------|------|------|
| I D              | 前 | 137.0           | 6790 | 3057 |
|                  | 後 | 3.7             | 165  | 191  |
|                  | % | 97.3            | 97.6 | 93.8 |
| 20 km/h<br>(3d)  | 前 | 1432.0          | 5580 | 1471 |
|                  | 後 | 28.2            | 283  | 140  |
|                  | % | 98.0            | 95.0 | 90.5 |
| 40 km/h<br>(4th) | 前 | 2385.0          | 4870 | 1398 |
|                  | 後 | 42.7            | 110  | 34   |
|                  | % | 98.2            | 97.7 | 97.6 |
| 60 km/h<br>(5th) | 前 | 3035.0          | 5170 | 1228 |
|                  | 後 | 60.2            | 107  | 185  |
|                  | % | 98.0            | 97.9 | 84.9 |
| 80 km/h<br>(5th) | 前 | 3603.0          | 5110 | 1418 |
|                  | 後 | 82.2            | 125  | 114  |
|                  | % | 97.7            | 97.6 | 92.0 |

( ) 内はギャ位置を示す。

(5) CNG車の触媒除去効率

定速走行時の排出ガス測定結果を表4に示す。今回装着している三元触媒は、白金-ロジウム系のハニカムタイプの触媒で、容量は2.5ℓである。定速走行におけるNO<sub>x</sub>、CO及びTHCの触媒前後の濃度と触媒除去効率は、表4のとおりNO<sub>x</sub>及びCOは95%以上の除去効

率が確認された。しかし、THCの触媒除去効率は、若干悪かった。CNG燃料の組成<sup>4)</sup>は、CH<sub>4</sub>が主成分(88%程度)であり、その他プロパン、ブタン等が含まれている。この触媒は、CH<sub>4</sub>に対しての活性が多少低いと考えられる。しかし、一般にCH<sub>4</sub>の浄化は、触媒との反応性が低いため触媒の素材を選ぶのは非常に難しいと言われている。しかし、酒井らは、前段にパラジウムを主体とした複合型のパラジウム・白金・ロジウム触媒を装着し、後段にパラジウム触媒を装着したCNG車専用触媒を開発してNO<sub>x</sub>、CO及びTHCの除去効率を上げたとの報告<sup>5)6)</sup>もある。

(6) CNG車の排出ガス低減システムの問題点とその対策

CNG車は、ガソリン車に用いられている三元触媒システムを装着し、O<sub>2</sub>センサーにて燃料を理論空燃比(14.7)になるようコントロールしている。三元触媒システムは、理論空燃比の狭い領域(ウィンド)で機能を十分に発揮するものである。しかし、燃料コントロールがリーン(希薄)領域になると三元触媒システムは、機能が働かなくなりNO<sub>x</sub>、CO及びTHCが多く排出されることとなる。今回試作した車も低回転(低速)全負荷

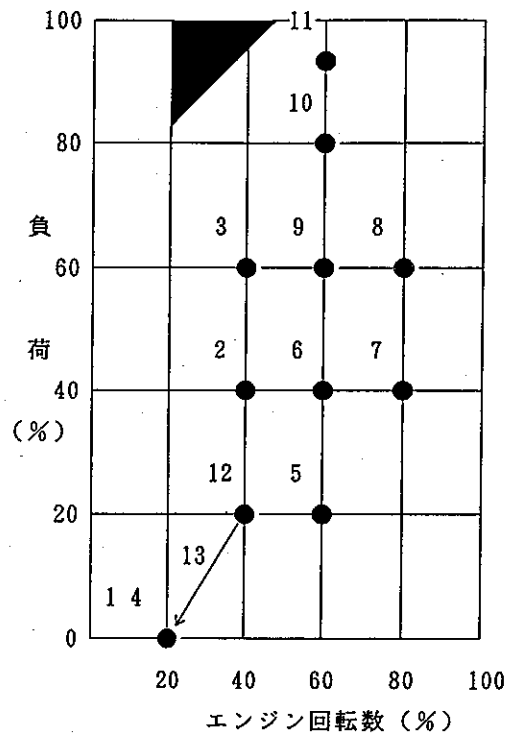


図1 燃料供給系改良部位

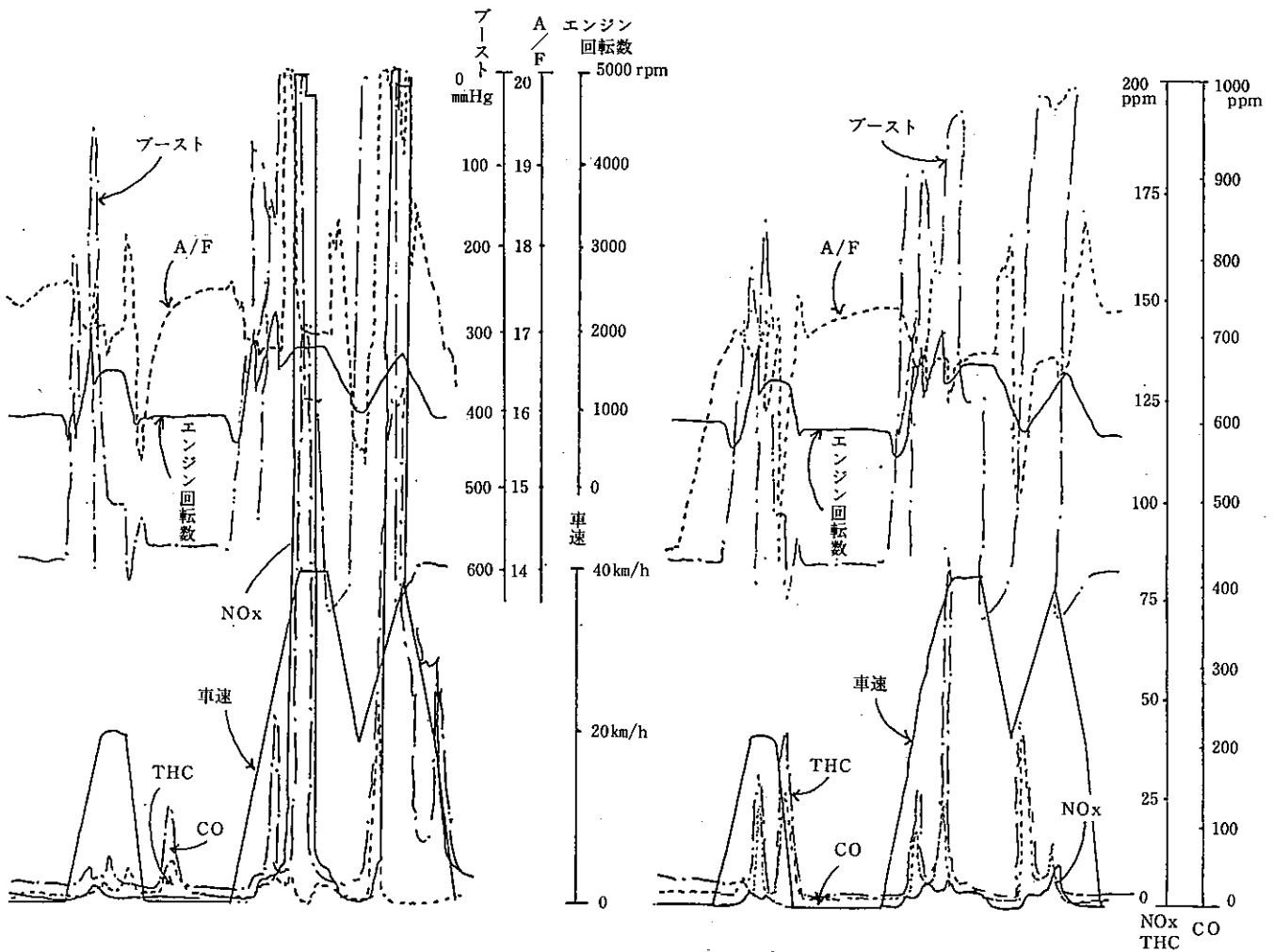


図2 改良前後のエンジン・汚染物質排出濃度の変化

時(発進加速時)にリーン領域の部分が認められ、NO<sub>x</sub>、CO及びTHCの排出量が非常に多くなる現象が認められた。この状態を改良するためメーカーと検討の結果、つぎの点を改良した。すなわち、リーン領域をなくすために燃料供給系に別経路の燃料供給系を設け、リーン領域の補正をして理論空燃比となるように改良する。改良点の一部(低回転・全負荷時の燃料リッチ化)を法定モード(G-13モード)試験法のエンジン使用領域で示したのが図1である。M-15モードでの改良前後のNO<sub>x</sub>、CO及びTHCの排出濃度、A/F(空燃比)、エンジン回転数、ブースト(吸気管負圧)、車速の関係を図2に示す。また、改良前後のNO<sub>x</sub>、CO及びTHCの排出量を表5に示す。

図1で分かるように法定モード(G-13モード)の測定には、全く関係しないポイントの改良である。このた

めNO<sub>x</sub>、CO及びTHCの規制物質の規制値には、全く影響しないことになる。また、走行時にリーン領域をなくすため燃料供給系に別経路の燃料供給系を設けリーン領域の補正をして理論空燃比となるようにする改良することにより、図2のようにM-15モードでは、NO<sub>x</sub>の低減効果が十分に発揮された。その他の各種走行パターンでも、同様の低減効果が認められた。改良前後でのエンジン回転数、ブーストは全く変化していない。しかし、A/Fは、改良する前は全般にリーン領域であったのが、改良することにより全般にリッチ(過濃)領域に傾むき、排出ガスが多量にでる加速時においても理論空燃比近傍になっていることも確認できた。

この結果、NO<sub>x</sub>濃度は、改良前の加速時には300ppmであったが、改良後は20ppmと大幅に低減した。また、COは700ppmから90ppmへ、THCは45ppmから

表5 CNG車排出ガス低減システム改良前後の排出ガス量

| 走行パターン     | 汚染物質(単位)               | 改良前  | 改良後  |
|------------|------------------------|------|------|
| M-15       | NO <sub>x</sub> (g/km) | 2.91 | 0.34 |
|            | CO (g/km)              | 0.32 | 0.57 |
|            | THC (g/km)             | 0.44 | 0.19 |
| NO. 2      | NO <sub>x</sub> (g/km) | 3.21 | 0.21 |
|            | CO (g/km)              | 1.98 | 2.06 |
|            | THC (g/km)             | 1.39 | 0.93 |
| NO. 5      | NO <sub>x</sub> (g/km) | 1.04 | 0.19 |
|            | CO (g/km)              | 0.76 | 0.94 |
|            | THC (g/km)             | 0.16 | 0.18 |
| NO. 10     | NO <sub>x</sub> (g/km) | 4.41 | 0.29 |
|            | CO (g/km)              | 0.42 | 1.68 |
|            | THC (g/km)             | 0.23 | 0.23 |
| 清掃<br>収集あり | NO <sub>x</sub> (g/km) | 0.70 | 0.55 |
|            | CO (g/km)              | 1.59 | 5.00 |
|            | THC (g/km)             | 1.50 | 3.24 |

40 ppm へと、ともに減少した。また、改良前後でのNO<sub>x</sub>、CO及びTHCの排出量を各種走行パターンで比較すると、NO<sub>x</sub>は1/10以下になった。しかし、CO、THCは、A/Fが多少リッチ領域になったため多少増加した。我々は、以前ディーゼル車の排ガス規制で最新規制ほど法定モード（ディーゼル6モード）の排出濃度は低くなるが、過渡運転の低速走行パターンでは、NO<sub>x</sub>の排出量が多くなる傾向があるとして試験法に問題があると指摘<sup>7)</sup>した。今回も法定モード規制の試験法(G-13モード)によるチェックだけでは、M-15モード等の各種走行パターンにおけるNO<sub>x</sub>排出量の低減効果は認められない可能性があることが分かった。このため、法定モード(G-13モード)の定点試験法だけではなく、実際の都市走行状態を反映した過渡運転(トランジェント

モード)の試験法の導入の必要性があるものと考えられる。4 まとめ

① メーカーが試作したCNG車及びLPG車は、ディーゼル車と比較してNO<sub>x</sub>の排出量は法定モード及び各種走行パターンにおいても非常に少なかった。

② CNG車、LPG車とも黒煙、粒子状物質は、ほとんど排出されないため今後の浮遊粒子状物質対策に充分効果を上げる手段となり得る。

③ 悪臭及び騒音もディーゼル車と比較して低いレベルであった。

④ CNG車の触媒除去効率の実験では、NO<sub>x</sub>及びCOは、95%以上の除去効率が認められた。しかし、THCは88%の除去効率で、多少低めの値であった。CNG燃料の主成分のCH<sub>4</sub>に活性のある触媒の開発と使用を検討する必要があると考えられる。

⑤ 法定モードとM-15モード等の各種走行パターンでのNO<sub>x</sub>排出量との関係は、試験法の違いから法定モードによる規制だけでは充分の低減効果が認められない可能性があることが分かった。このため、法定モード(G-13モード)の定点試験法だけではなく、実際の都市走行状態を反映した過渡運転(トランジェントモード)の試験法の導入の必要性があるものと考えられる。

⑥ CNG車の排出ガス性状調査で、高速の走行パターンでは、ディーゼル車よりNO<sub>x</sub>排出量が多い場合があった。しかし、燃料供給系を改良することにより低レベルの排出量となることを確認した。

また、現在同じ車種のCNG車6台も同様の改良をして試験走行中である。

#### 5 おわりに

CNG車及びLPG車はNO<sub>x</sub>及び粒子状物質等の排出量は少なく、現段階ではディーゼル車に代わりうる実用性の高い車と考えられる。しかし、装着している三元触媒システムは、ガソリン乗用車で実証済の信頼性の高い技術であるが、乗用車と比べエンジンの使用状態が過酷であるためその耐久性等を引き続き確認していく必要がある。また、CNG車の三元触媒システムの機能を充分発揮するためには、燃料供給系の精度の向上(安定化)も必要と考えられる。また、燃料供給用スタンドの設置等のインフラの整備も必要と考えられる。

本調査にあたって協力いただいた東京ガス（株）、いすゞ自動車（株）、トヨタ自動車（株）、東京都清掃研究所の方々に敬意を表します。

#### 参考文献

- 1) 天然ガス車の実用化に向けて、東京ガス（株）1993年12月。
- 2) 自動車と環境：人と地球にやさしい車づくり、トヨタ自動車（株）、1994年7月。
- 3) 谷川昇ら：低公害清掃車の排出ガスの臭気。大気汚染学会講演要旨集、1994年。
- 4) 天然ガス車の実用化に向けて、平成5年資源エネルギー庁補助事業、天然ガス自動車実用化調査報告書、（社）日本ガス協会、平成6年3月。
- 5) 酒井孝之ら：空燃比制御特性がCNGエンジンの排出ガス浄化性能に及ぼす影響、自動車研究、（財）日本自動車研究所、平成6年6月。
- 6) 酒井孝之ら：天然ガス車の実用化に関する開発調査研究（重量車用、三元触媒方式CNGエンジンの性能）日本機械学会 環境工学総合シンポジウム、93講演論文集、日本自動車研究所。
- 7) 舟島正直ら：ディーゼル車汚染物質排出実態における6モードと市街地走行モードとの関係、大気汚染学会講演要旨集、1985年。