

## ディーゼル排出ガス簡易測定方法の基礎的検討

中川 智史 横田 久司 古明地哲人 三好 康彦

### 要 旨

ディーゼル排出ガスの簡易な測定方法の開発に向けた基礎的検討として、短期規制及び長期規制適合の大型ディーゼル車17台を用いて、エンジン負荷の増加に伴う黒煙濃度や NOx の排出傾向と D13モードとの相関について調査検討を行った。その結果、黒煙濃度については、エンジン負荷が60%を超えると D13モードとの相関が高くなり、複数のポイントで有意な相関が認められた。また、NOx 濃度については、回転数60%~80%、負荷40%~60%の中回転・中負荷域においてのみ D13モードと高い相関が認められた。

定回転、定負荷における黒煙濃度、NOx 濃度の測定により、D13モード排出量を一定の許容範囲のもとで推定できる可能性はあると考えられる。今後は、調査対象車両を拡大し、簡易測定法としての有用性を検討する必要がある。

**キーワード** : D13モード、エンジンマップ調査、NOx、PM

## Fundamental study of simplified measurement method on diesel exhaust gas

Tomofumi Nakagawa, Hisashi Yokota, Tetsuhito Komeiji, Yasuhiko Miyoshi

### Summary

We studied about the correlation between black smoke-NOx and D13 mode for the development of simplified measurement method of diesel exhaust gas ,using seventeen heavy-duty trucks matched with the short and long term regulations.

As a result, the correlation between D13 mode and black smoke was high when engine load was over 60%, and significant correlation was recognized at several points. The high correlation between D13 mode and NOx was recognized only at half rotation (60~80%)–half load(40~60%).

Therefore, we thought there was a possibility of estimation of D13 mode exhaust amount within allowable level, by the measurement of black smoke-NOx concentration at constant rotation-load.

From now, we need to further investigate the reliability of a simplified measurement method with increasing the number of studying vehicles.

**Keywords** : D13mode, Engine map investigation, NOx, PM

1 はじめに

現在、新型車に対するディーゼル排出ガス規制の試験方法として、ディーゼル13モード<sup>1)</sup>(以下、「D13モード」という。)が採用されている。使用過程車については黒煙濃度規制が適用されているが、この場合の試験は無負荷急加速試験法<sup>2)</sup>によるものであり、D13モードとの関係は明らかにされていない。

ディーゼル排出ガス規制の強化に伴い、使用過程車に対する試験方法の見直しが求められているが、すべての使用過程車をD13モードで試験することは実用上困難である。また、使用過程車の整備不良による排出ガスの増加やDPFなどの後処理装置の不具合を早期に発見するため、D13モードより簡易な試験方法を開発する必要がある。

最近ではシャシーダイナモメータを用いて、一定のエンジン回転数や負荷を限定し、排出ガス濃度を測定する方法が検討されている<sup>3)</sup>が、未だ確立されていない。

そこで今回、D13モードによるPMの簡易測定法として定回転、定負荷における黒煙濃度測定がどの程度有用であるか検討することとした。同時にNOxについても同様の検討を行うこととした。

短期規制及び長期規制適合の大型ディーゼル車17台について、エンジン回転数と負荷の組み合わせが異なる複数の測定ポイントを設定し、黒煙濃度(%)とNOx濃度

(ppm)の測定を行った(以下、「エンジンマップ調査」という。)測定結果に基づき、黒煙濃度、NOx濃度について負荷の増加に伴う排出傾向を調べるとともに、D13モードによるPM及びNOx排出量との相関が担保できる領域を検討した。

2 実験

平成10~14年度にかけて、当研究所の大型自動車排出ガス実験システム(以下、「大型C/D」という。)により測定を行った。

(1) 車両諸元

平成6年規制適合車6台、平成10年規制適合車9台、平成11年適合車2台、計17台のディーゼル車を調査対象とした。これらは、運送事業者等から借り上げた車両であり、比較的整備点検が行き届いた車両である。このうち、9台は排気再循環装置(EGR)装着車、4台がインタークーラー装置(IC)付きターボチャージャー装置(TC)装着車、1台がターボチャージャー装置装着車である。調査対象車両の総重量は4,265~25,000kg、総排気量は4,104~17,990ccである。車両諸元を表1に示す。

(2) 測定条件等

ア 測定方法及び項目

エンジンマップ調査

エンジン回転数は、最高出力時回転数の100%、80%、

表1 車両諸元

車両記号	規制年次	車両型式	エンジン型式	総排気量(cc)	最高出力(kW/rpm)	車両総重量(kg)	過給装置等
D1	平成6年	KC-FRR33K4	6HH1	8,220	154/2850	7,990	NA
D2	平成6年	KC-FB5BEAT	15B	4,104	92/3200	6,515	NA
D3	平成6年	KC-FR1KZDA	K13C	12,880	265/2000	24,990	TC・IC
D4	平成6年	KC-RA531RBM	RG8	17,990	257/2200	15,580	NA
D5	平成6年	KC-CYL50V2W	6WA1	12,060	287/2000	25,000	TC・IC
D6	平成6年	KC-FU-517TX	6D24	11,945	221/2200	19,930	TC・IC
D7	平成10年	KK-AKR66LAV	4HF1	4,334	90/3100	5,455	NA・EGR
D8	平成10年	KK-FE53EEV	4M51	5,249	110/3200	6,485	NA・EGR
D9	平成10年	KK-FD1JLDA	JO8C	7,961	151/2900	7,990	NA・EGR
D10	平成10年	KK-FE51CBT	4D33	4,214	92/3200	4,265	NA・EGR
D11	平成10年	KK-FRD35L4	6HL1	7,166	151/2900	7,990	NA・EGR
D12	平成11年	KL-CD48ZVH	GE13	13,074	272/1900	24,930	TC
D13	平成10年	KK-XZU411M	S05D	4,899	103/3000	5,725	EGR
D14	平成10年	KL-FW1KXHA	K13C	12,882	272/2000	24,930	TC・IC
D15	平成11年	KK-MK25A	FE6	6,925	152/3000	7,990	NA・EGR
D16	平成10年	KK-FK71GH	6M61	8,201	132/2900	7,980	NA・EGR
D17	平成10年	KK-NKR71EA	4HG1	4,570	98/3100	4,425	NA・EGR

注)NA:自然給気、EGR:排気再循環装置、TC:ターボチャージャー装置、IC:インタークーラー装置

60%、40%となるようにシャーシダイナモ側から制御を行った。エンジン負荷は、各回転数での最大駆動力実測値に対して100%、80%、60%、40%、20%となるように車両運転を行った。したがって、エンジンマップ調査の測定ポイントは20点になる。なお、D1車及びD2車はエンジン負荷20%での測定を実施しなかった。

D13モード

ディーゼル13モード排出ガス測定の技術基準<sup>1)</sup>に基づき、NOx及びPMの排出量(g/kWh)を測定した。なお、D13モードの運転条件は表2のとおりである。

D13モードは、都市走行において出現頻度が高いとされるエンジン回転数と負荷を組み合わせた13ポイントで定常運転を行い、そのときの排出量に重み係数を乗じて時間仕事量あたりの排出量を算出するものである。

D13モード試験による排出量の計算方法を次に示す。

$$Q = (f_i \cdot q_i) \quad (1)$$

ただし、Q：D13モード排出量

$f_i$ ：重み係数(表2参照)

$q_i$ ：各モードの排出量

表2 D13モードの運転条件と重み係数

モードNo.	回転数比率	負荷比率	重み係数
1	アイドリング	0%	0.205
2	40%	20%	0.037
3	40%	40%	0.027
4	アイドリング	0%	0.205
5	60%	20%	0.029
6	60%	40%	0.064
7	80%	40%	0.041
8	60%	60%	0.032
9	80%	60%	0.077
10	60%	80%	0.055
11	60%	95%	0.049
12	80%	80%	0.037
13	60%	5%	0.142

イ 分析機器等

大型C/D付帯の排出ガス計測システムを用いて、NOx排出量、PM排出量等を算出した。PM排出量は秤量法により算出した。詳細は既報<sup>4)</sup>のとおりである。なお、黒煙濃度の測定は、ディーゼルスモークメータ(DSM-20A、バンザイ製)を使用した。

ディーゼルスモークメータは、排気中に含まれるカーボンをろ紙に付着させ、その汚染部に照射した光の反射率により汚染度を測定するものである。

3 結果及び考察

(1) エンジンマップ調査

ア エンジン負荷と黒煙濃度の関係

各エンジン回転数(最高出力時回転数に対する比率が100%、80%、60%、40%)毎の負荷と黒煙濃度の関係を車両別にまとめ、負荷の増加に伴う黒煙濃度の排出傾向を調べた(図1)。

その結果、以下のことが判明した。

80%を越える高負荷にならないと黒煙濃度が高くない車両が多い。

平成6年規制適合車(短期規制適合車)と平成10年以降の規制適合車(長期規制適合車)の黒煙濃度を比較すると全般的に長期規制適合車の方が低い傾向にあり、排出ガス規制の効果が認められた。特にエンジン型式が同一であるD3とD14については明らかに長期規制適合車の方が低くなっている。

長期規制適合車の60%までの中・低負荷における黒煙濃度は、D7、D12、D17を除き、5%以下と非常に低い。

60%や80%回転時に黒煙濃度が突出して高くなっている例(D7、D16、D17)があるが、原因は不明である。

イ エンジン負荷とNOx濃度の関係

アと同様にエンジン回転数毎の負荷とNOx濃度の関係を車両別にまとめ、負荷の増加に伴うNOxの排出傾向を調べた(図2)。その結果、以下のことが判明した。

黒煙濃度の場合と異なり、負荷の増加に伴いNOx濃度が増加している車両が多い。

40%及び100%回転でNOx濃度が高い車両が多く、60%、80%の中回転域では相対的にNOx濃度が低くなっている。

(2) D13モードとの比較

ア D13モードによるPM排出量と定回転定負荷時の黒煙濃度の比較

PM排出量の測定対象は、粒子状物質の質量であるのに対し、黒煙濃度はカーボンに照射した光の反射率であ

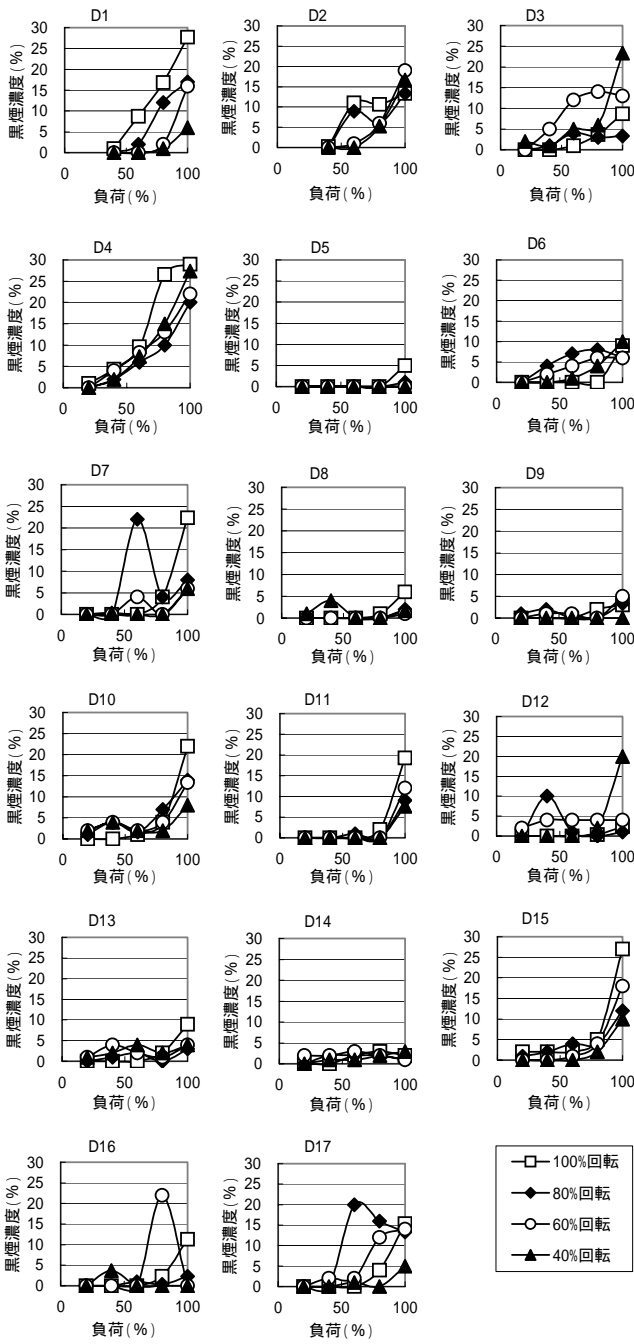


図1 エンジン負荷と黒煙濃度の関係

注) 1. 最高出力時回転数の100%,80%,60%,40%の位置で定常運転を行い、エンジン負荷は20～100%に増加させた。  
 2. 各図上部のD1～D17は車両番号を示す。

り、厳密には測定対象が同一ではない。しかし、エンジン負荷の増大に伴い、PM 排出量と黒煙濃度が同時に増大することは明らかである。ここでは、17台の車両について D13モード PM 排出量と黒煙濃度との関係を測定ポイント毎にまとめ、相関を調べた。その結果、以下のことが判明した。

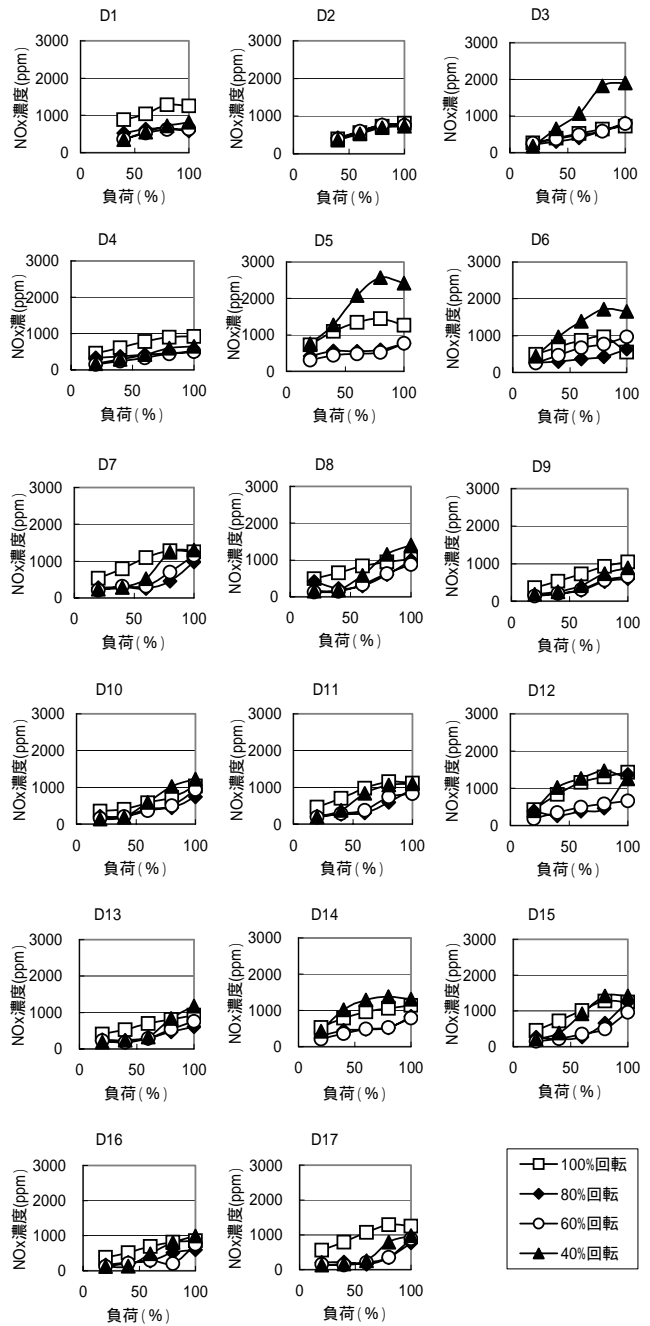


図2 エンジン負荷とNOx濃度の関係

注) 1. 最高出力時回転数の100%,80%,60%,40%の位置で定常運転を行い、エンジン負荷は20～100%に増加させた。  
 2. 各図上部のD1～D17は車両番号を示す。

40%負荷以下において黒煙濃度は低濃度でほぼ一定であり、PM 排出量とは相関が見られない。60%負荷を越えると回帰式の傾きが大きくなり相関係数も高くなる傾向にあり、60%負荷以上の測定ポイントでは12点中8点で有意な相関が見られる。

特に回転数40%、負荷80%及び回転数100%、負荷80%では相関係数が0.84以上と高い(図3参照)。以上の結果から、エンジン負荷が60%以上の領域においてPM排出量と黒煙濃度は高い相関を示しており、定回転、定負荷における黒煙濃度測定がD13モードによるPM排出量の簡易測定法として活用できる可能性はあると考えられる。

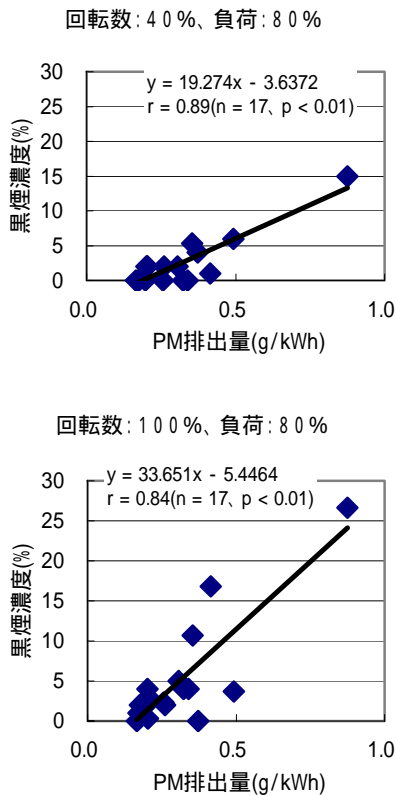


図3 D13モードによるPM排出量と定回転、定負荷時の黒煙濃度の比較

イ D13モードによるNOx排出量と定回転、定負荷時のNOx濃度の比較

前項と同様にD13モードNOx排出量とNOx濃度との関係を測定ポイント毎にまとめ、相関を調べた。その結果、以下のことが判明した。

黒煙濃度の場合と異なり、回転数60%~80%、負荷40%~60%の中回転・中負荷域4点においてのみ高い相関が見られる(図4参照)。

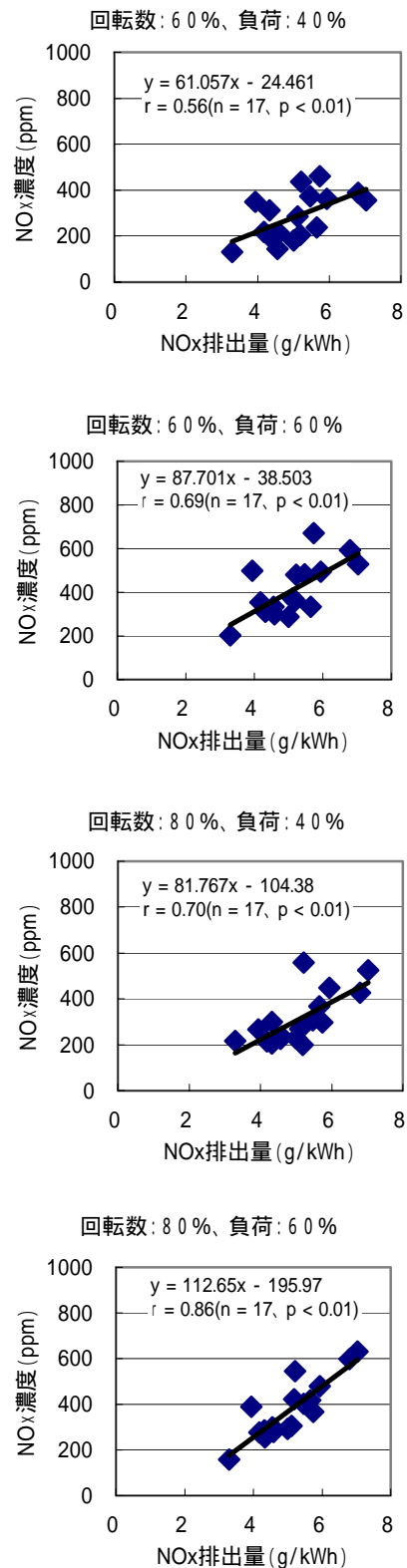


図4 D13モードによるNOx排出量と定回転、定負荷時のNOx濃度の比較

特に回転数 80%、負荷 60%では相関係数が 0.86 以上と高い。

その他の低・高回転域及び低・高負荷域では、ほとんど相関が見られない。また、回帰式の傾きがマイナスになっているケースもみられる。

以上の結果から、中回転・中負荷域において NOx 排出量と NOx 濃度は高い相関を示しており、定回転、定負荷における NOx 濃度測定が D13 モードによる NOx 排出量の簡易測定法として活用できる可能性はあると考えられる。

また、エンジンマップ調査の結果で述べたように、40%及び 100%の回転数で NOx 濃度が高い車両が多く、低・高回転域及び低・高負荷域では、D13 モードによる排出量とほとんど相関が見られない。したがって、40%、100%の回転数の重みがほとんど無い D13 モードを指標とする排出ガス規制では実走行時に規制の効果が現れにくい可能性があることが推定される。これは、小谷野らの報告<sup>5)</sup>と同様の結果である。

#### 4 まとめ

今回、D13 モードの簡易測定法の開発に向けた基礎的検討として、黒煙濃度測定と NOx 濃度測定の有用性を調べた。その結果は、以下の通りである。

黒煙濃度は、エンジン負荷 60%以下では非常に低く、80%以上の高負荷にならないと高濃度にならない。

NOx は、エンジン負荷の増加に伴い濃度が高くなる。また、40%、100%回転時の濃度は高く、中回転域は相対的に低い傾向にある。

エンジン負荷 40%以下では、黒煙濃度と D13 モードとの相関が見られないが、60%負荷を越えると相関係数が高くなり、複数のポイントで有意な相関にある。

NOx 濃度については回転数 60%~80%、負荷 40%~60%の中回転・中負荷域においてのみ D13 モードと高い相関が見られる。

以上の結果から、定回転、定負荷における黒煙濃度、NOx 濃度の測定により、D13 モード排出量を一定の許容範囲のもとで推定できる可能性はあると考えられる。今回の調査は、運送事業者等から借り上げた車両による結果であり、比較的整備点検の行き届いた車両である。今

後は、車両の整備不良や DPF などの後処理装置の不具合がある場合についても調査を進め、簡易測定法としての有用性を検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 運輸省自動車交通局長、自環第331号：道路運送車両の保安基準に係る技術基準の制定について、第21号、平成5年11月24日
- 2) 運輸省：無負荷急加速試験方法
- 3) 国土交通省、報道発表資料：「ディーゼル車の使用過程車に対する新しい排出ガス検査の実証試験を行います。～自動車検査場にオパシメータ、シャシダイナモメータを試験的に導入します。～」、平成15年5月14日
- 4) 横田久司ら：大型自動車排出ガス実験システムについて、東京都環境科学研究所年報1991-2、pp.39-45
- 5) 小谷野慎司ら：大型ディーゼル車の平成6年排出ガス規制による NOx 等の低減効果（速報）東京都環境科学研究所年報1997、pp.165-169