

ディーゼル車における黒煙濃度とPM排出量との関係

福岡三郎 横田久司 竹永裕二*
坂西丕昌 (*下水道局)

要 旨

車両総重量3.5t以上の大型ディーゼル車24台について、法定モードにおける黒煙排出状況並びに黒煙濃度と粒子状物質 (PM) 排出量との関係について検討した結果、次のことが明らかになった。

法定モードのうち、無負荷急加速モードにおける黒煙濃度は、13モードPM値、並びに実走行パターンPM平均排出量と相関が低く、黒煙濃度からPM排出状況を推定することは難しい。

一方、全負荷モードの黒煙濃度測定では、回転数60%のモードの黒煙濃度値と13モードPM値、実走行平均PM排出量との間にある程度の相関が認められた。その関係式から推定すると、黒煙濃度を50%から40%に規制強化することは、PM排出量を13~15%低減することに相当する。

また、同一条件下における黒煙濃度とNO_x濃度とは背反関係にあり、黒煙とNO_x濃度とを同時に低減することが未だ難しいことが明らかになった。

Relationship between Pollution Degree of Diesel Smoke and the Amount of PM Emitted in Diesel Vehicles

Saburo Fukuoka, Hisashi Yokota, Yuji Takenaga* and Motomasa Sakanishi

*Bureau of Sewerage

Summary

An investigation was carried out on the relationship between pollution degree of the diesel smoke and the amount of particulate matter (PM) emitted using the regulated test mode. The test was carried out on 24 heavy duty diesel vehicles with gross weight exceeding 3.5 tons. The following points were evident from the investigation.

In the regulated test mode, at non loaded rapid accelerating test, the pollution degree of diesel smoke was of the 13 mode PM value and the average emission had a transient cyclic pattern with a low correlation. In such situations, it is difficult to predict PM emission from the diesel smoke pollution degree.

On the other hand, at full load test, the measurement of diesel smoke pollution degree taken at the rotating rate equal to 60% of the rate at the maximum output showed good correlation between the diesel smoke pollution degree and the average PM emissions. Considering this relationship, it is reasonable to presume that when the diesel smoke pollution degree is regulated from 50% to 40%, the PM emissions would be reduced by 13 or 15%.

In addition, the concentration of diesel smoke and NO_x under similar conditions behave in an opposite manner. As such, it was found out that reducing the concentration of both the diesel smoke and the NO_x simultaneously would be difficult.

1 はじめに

ディーゼル車の黒煙・粒子状物質に対する規制は、平成6年規制から従来の黒煙規制が強化(50%→40%)されるとともに、新たに粒子状物質に対しては、仕事当たりの重量規制(g/kwh)が適用された。

これまでの黒煙規制は、反射式スモークメータを用いた測定で行うことが規定されており、その測定モードは新型車に対しては全負荷3モード、使用過程車に対しては無負荷急加速モードが適用されている。これらのモードによって測定される黒煙濃度は、ろ紙に生じたスポットの黒化度を光りの反射率(%)で表わす相対濃度である。この黒煙測定値と平成6年規制から始められている重量規制における粒子状物質(以下「PM」と言う。)の測定値との関係を検討することは、規制の継続性や効果を判定する上で重要である¹⁾。

筆者らは、1991年度から大型車自動車排出ガス測定システムを用いて、大型ディーゼル車の全負荷3モード、無負荷急加速モードにおける黒煙測定と13モード並びに東京都実走行パターンのPM測定を行った。本報告は、これらの測定結果からディーゼル黒煙の排出特性並びに黒煙濃度とPM排出量との関係を検討したものである。

2 調査検討内容

(1) 調査対象車種・規模

車両総重量3.5t以上の平成元年規制直接噴射式大型ディーゼル車24台

(2) 黒煙測定法

反射式スモークメータ(ゼクセル(株)製DMS2型)

(3) 黒煙測定モード

ア 全負荷3モード

試験車を大型シャシダイナモメータ上で暖機運転したのち、次の各号の運転条件で運転した時、排出される黒煙を測定する(各運転条件において2回以上測定)。

①最高出力時の回転数の40%の回転数で全負荷運転している状態。ただし、その時の回転数が1000rpmに満たない時は1000rpmで全負荷運転状態(以下「回転数40%のモード」と言う。)

②最高出力時の回転数の60%の回転数で全負荷運転している状態(以下「回転数60%のモード」と言う。)

③最高出力時の回転数で全負荷運転している状態(以下「回転数100%のモード」と言う。)

イ 無負荷急加速時モード

試験車のエンジンを暖機後アイドルリング(以下「ID」と言う。)から加速ペダルを急速に一杯踏み込み、空吹かしを2~3回行ったのち、IDを5~6秒行う。その後加速ペダルを急速に一杯踏み込む。踏み込み始めてからディーゼル黒煙の採取を開始し、踏み込み始めてから4秒間持続したのち加速ペダルを離す。この操作を15秒おきに3回繰り返す。ディーゼル黒煙濃度は、3回の測定値を平均して求める(図1)。

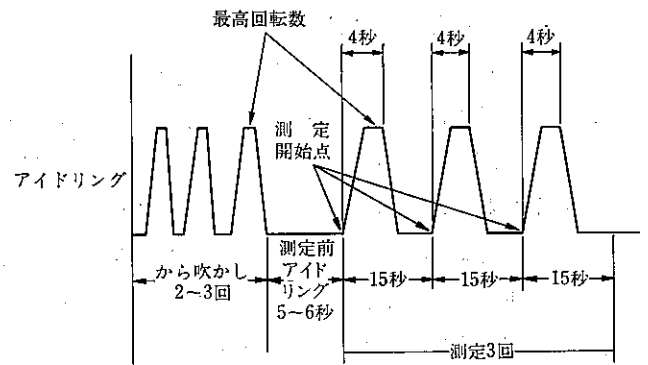


図1 無負荷急加速時検査法

(4) PM等の測定法

東京都環境科学研究所大型車排出ガス測定システムを用いて測定した。測定施設の詳細並びに測定車両の概要は既報²⁾³⁾のとおりである。

3 結果と考察

(1) 各モード別黒煙測定結果

各測定モード別の黒煙濃度平均値(\bar{X})、標準偏差(σ)を表1に示す。黒煙濃度の \bar{X} は、無負荷急加速モ

表1 黒煙測定結果

(単位:黒煙濃度%)

| 運 転 条 件 | N | 最高 | 最低 | \bar{X} | $\sigma (n+1)$ |
|-----------|-------|-----|-----|------------|----------------|
| 無負荷急加速 | 24(6) | 5.4 | 1.0 | 33.7(34.2) | 10.1(13.1) |
| 最高出力時回転数 | 24(6) | 5.9 | 6 | 33.1(18.2) | 15.0(15.9) |
| 同上的60%回転数 | 24(6) | 5.7 | 6 | 29.5(15.7) | 12.9(9.3) |
| 同上 40%回転数 | 24(6) | 4.8 | 2.2 | 31.3(28.8) | 7.7(5.1) |

注) ()内の数は、ターボチャージャー車数を示す。

ード、並びに回転数100%のモードでやや高い。回転数

40%のモードでは、黒煙20%以下の濃度がなく、 $\sigma(n+1)$ も他の測定モードに比べ小さく、データが25~35に偏在している。また、ターボチャージャー（過給）を行っている車両（6台）では、回転数100%並びに回転数60%のモードで黒煙濃度が低く、過給の黒煙低減効果がみられている。しかし、無負荷急加速モード並びに回転数40%のモードでは、過給を行っている車両の黒煙濃度は全体の平均値と差がない。これは、これらのモードでは、過給が行われていないか、行われていてもその量が少ないためと思われる。なお、黒煙排出基準（50%）を超えた車両は3台で、その内訳は無負荷急加速モードで基準を超えたもの1、回転数100%のモードで超えたもの1で、全負荷モードの3条件全てで基準を超えたもの1である。次に各測定モード間の黒煙濃度相互の相関係数を表2に示す。測定モードの中で、無負荷急加速モー

表2 黒煙測定結果の各測定モード間の相関係数

| | | | | |
|---------|--------|---------|--------|--------|
| 無負荷急加速 | | | | |
| 回転数100% | 0.291 | | | |
| 回転数60% | 0.162 | 0.833 | | |
| 回転数40% | 0.213 | 0.647 | 0.642 | |
| | 無負荷急加速 | 回転数100% | 回転数60% | 回転数40% |

ドは他のモードとは相関が低く、このモードの黒煙排出メカニズムが特異であることが示されている。全負荷モードの中では回転数100%のモードと回転数60%のモードとの相関が図2にも示すように高く、黒煙の排出メカニズム、低減対策効果等が共通していると想定される。回転数40%のモードでは、その測定値が黒煙濃度25~35%周辺に偏在するという傾向があり、これが同じ全負荷

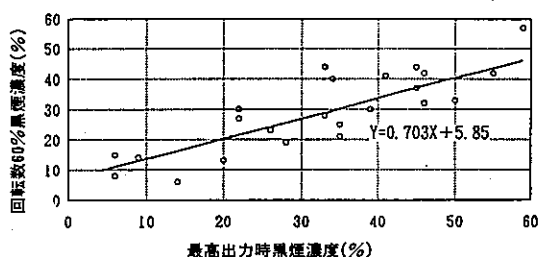


図2 最高出力時回転数濃度と60%黒煙濃度との関係

条件の他の回転数のモードとの相関を低くしている。同じ黒煙対策を行っても回転数領域によって、その効果が違いが生じていることが想定される。

(2) 車両の既走行距離と黒煙濃度

一般的に車両が古くなり走行距離が伸びるにしたがって黒煙の排出が多くなる筈であるが、今回の調査対象車両24台は、最新規制車両の使用過程車調査として排出ガス測定を行っているもので、走行距離は概して短い車両が多い。ディーゼル車の耐用年数を考えた場合、50~100万km時点における黒煙排出状況を対象にすべきかも知れないが、ここでは初期のディーゼル車使用段階における走行距離と黒煙排出との関係を調べた。

図3に走行距離2万km未満、2~5万km未満、5万km以上に分けた場合の黒煙平均濃度を測定モード別に示した。無負荷急加速モードでは、走行距離による黒煙濃度の違いがみられない。走行距離が伸びるにしたがって黒煙濃度が増加するのは、回転数100%と60%のモードである。回転数40%のモードでは、2~5万km未満の走行距離での黒煙濃度が一番高く、走行距離と黒煙濃度との関係がややはっきりしない。いずれにしても全負荷モードでは、使用開始直後の期間は、黒煙の排出が少ないことが示されている。

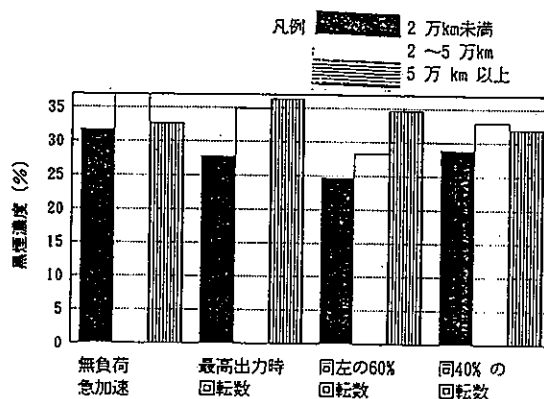


図3 走行距離別平均黒煙濃度

(3) 黒煙濃度とPM排出量

ア 無負荷急加速モード黒煙濃度とPM排出量

ア ID時PM排出量との関係

無負荷急加速モードとエンジン条件に近いID時PM排出量と黒煙濃度との関係を図4に示した。図4に見るようにID時PM排出量と無負荷急加速黒煙濃度とは全く関係がみられない。ID時はエンジン内が高温でなくO₂も豊富にあり、黒煙・粒子状物質を多く発生する状態では

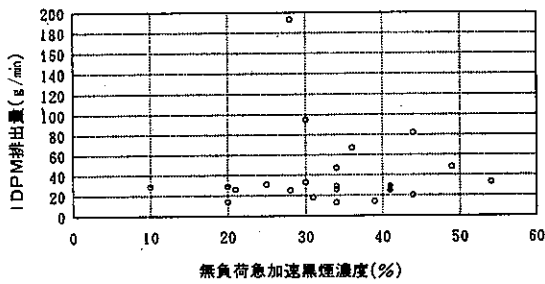


図4 無負荷急加速黒煙濃度とアイドリング時PM排出量との関係

い。無負荷急加速時の黒煙は、急加速いわゆる空吹きにより発生するもので、ID時PMとは無関係なものと思われる。

(イ) 13モードPM値との関係

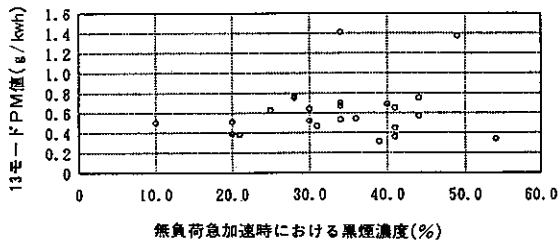


図5 無負荷急加速黒煙濃度と13モードPM値との関係

無負荷急加速モード黒煙濃度と13モードPM値との関係を図5に示した。図5に見るとおり黒煙濃度30%以上において、PM測定値にばらつきが著しく、両者の間に関係があるとは言い難い。

また、黒煙濃度を20%以下、21~30、31~40、41%以上の4段階に分けた場合の、各々のクラス別の13モードPM値を、全負荷モードの場合も併せて図6に示す。無負荷急加速モードの黒煙濃度21%以上では、13モードPM値はほぼ同じレベルで、黒煙濃度クラス別の差異は

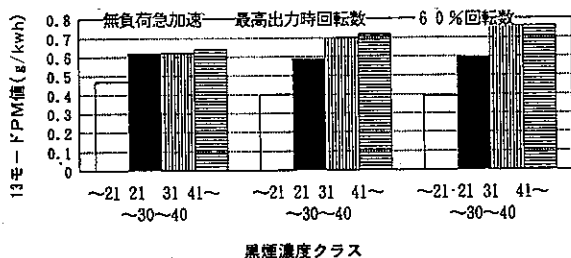


図6 黒煙濃度クラス別13モードPM値

見られない。

(ウ) 実走行平均PM排出量との関係

図7に無負荷急加速モード黒煙濃度と東京都実走行パターン平均PM排出量との関係を示した。図7に見るとおり、100mg/t.km以上のPM高排出量の出現が黒煙濃度40以上の領域のみならず、30%以下でも出現するなど、黒煙濃度とPM平均排出量との間に一定の傾向を見出し難い。

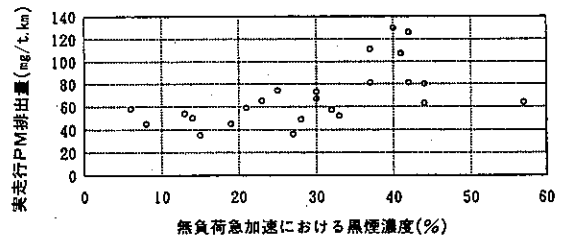


図7 無負荷急加速黒煙濃度と実走行平均PM排出量との関係

イ 全負荷モードにおける黒煙濃度とPM排出量

(ア) 13モードPM値との関係

全負荷モードにおける黒煙濃度と13モードPM値との

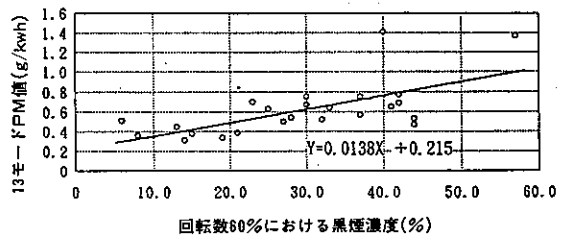


図8 回転数60%黒煙濃度と13モードPM値との関係

関係の代表例として、回転数60%における黒煙濃度と13モードPM値との関係を図8に示す。黒煙濃度20%以下では13モードPM値は0.4g/kwh近辺に、黒煙濃度30%では13モードPM値は0.6g/kwhを超えるなど黒煙濃度と13モードPM値との間に、ある程度の関係が認められる。相関係数はあまり高くないが ($r: 0.656$)、回帰直線を引いてみると、黒煙濃度40%の場合のPM値は0.76g/kwh、同50%でPM値0.90g/kwhと読み取れる。この結果から、黒煙の規制強化 (50%→40%) による13モードPM値の低減は15%と見込まれる。回転数100%並びに40%における黒煙濃度と13モードPM値との相関は回

回転数60%の場合に比べやや悪い ($r:0.529$ 、 $r:0.508$)。

また、先に示した図6に見るとおり、全負荷モードの場合、黒煙濃度クラス別13モードPM値は、黒煙濃度31%を超える段階で区分がはっきりしなくなる。

(イ) 実走行平均PM排出量との関係

図9に回転数60%における黒煙濃度と仕事当たりの

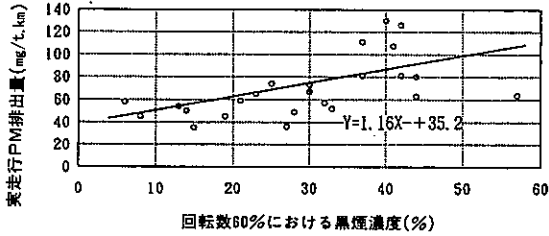


図9 回転数60%黒煙濃度と実走行平均PM排出量との関係

実走行平均PM排出量との関係を示す ($r:0.571$)。図9に見るとおり黒煙濃度が40%を超えるとPM平均排出量が著しく増加する。この傾向は回転数100%のモードの場合も同様である。黒煙濃度と実走行平均PM排出量との関係式からPM排出量の低減率を推定すると、黒煙濃度50%のPM平均排出量は93mg/t.km、同じく40%の場合は81.4mg/t.kmであり、黒煙濃度50%を40%にすることにより、13%の実走行平均PM排出量の低減が見込まれる。また、13モードPM値同様、回転数100%、回転数40%のモードの黒煙濃度と実走行平均PM排出量との相関は、回転数60%の場合に比べ低い ($r:0.499$ 、 $r:0.391$)。

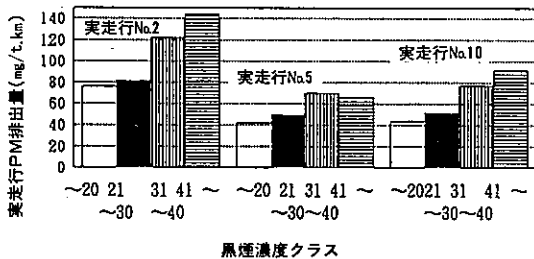


図10 回転数60%における黒煙濃度クラス別実走行PM排出量

次に回転数60%における黒煙濃度階級別実走行PM排出量を東京都実走行パターンNo.2、5、10について図10に示す。各実走行パターンともに黒煙濃度階級が上に行くにしたがってPM排出量が増加しており、特に黒煙濃度

31%を超すとPM排出量が著しく増加する傾向にある。

以上述べたとおり無負荷急加速モードにおける黒煙濃度からPM排出状況を推定することは難しい。一方、全負荷モードでは回転数60%における黒煙濃度と13モードPM値並びに実走行平均PM排出量との相関関係が良く、黒煙濃度からPM排出状況を類推することがある程度可能である。

(4) 黒煙濃度とNOx濃度の関係

黒煙測定の実全負荷モードのうち、回転数40%と60%のモードは、ディーゼル6モードのNo.2とNo.4のモードとエンジン条件が同一である。ディーゼル6モードのNo.2及びNo.4のNOx濃度と回転数40%、回転数60%のモードの黒煙濃度との関係を図11、12に示す。両エンジン条件ともにNOx濃度と黒煙濃度が背反関係にあることが分かる。黒煙濃度の低い車両は、NOx濃度が高いことが裏付けられている。今後、粒子状物質(黒煙)並びにNOx排出規制の強化が進むに従い黒煙の低減化と同時にNOx濃度も低く抑える技術の開発が急務になるものと思われる。

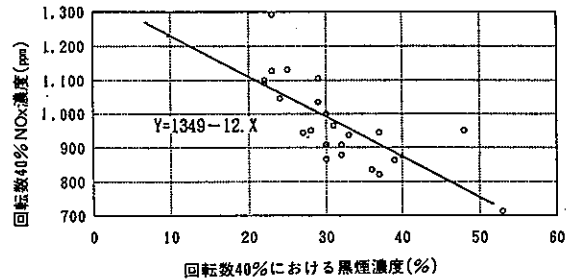


図11 回転数40%における黒煙濃度とNOx濃度との関係

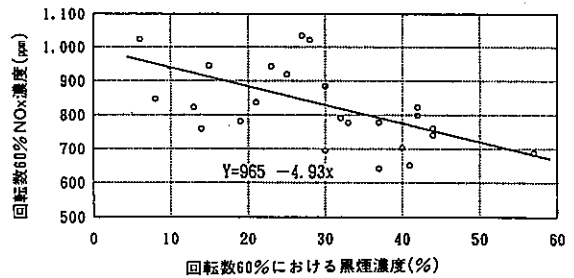


図12 回転数60%における黒煙濃度とNOx濃度との関係

4 まとめ

大型ディーゼル車における黒煙排出傾向、黒煙濃度とPM排出量との関係について検討したところ次のようなことが分かった。

①ディーゼル車黒煙排出基準（50％）を超える黒煙を排出している車両は、24台中3台であった。また回転数100％、同60％の測定モードでは、過給を行っている車両の黒煙濃度は低い傾向にある。

②走行距離と黒煙濃度との関係は、無負荷急加速モードでは明確な傾向が出ていないが、回転数60％のモードでは走行距離が短い車両の黒煙濃度が低い傾向がみられている。

③回転数60％における黒煙濃度と13モードPM値、実走行平均PM排出量とにある程度の関係が認められた。その関係式から推定すると、黒煙濃度を50％から40％に規制強化することにより、実走行平均PM排出量、13モードPM値が13～15％低減することが見込まれる。しかし、無負荷急加速モードの黒煙濃度とPM排出状況とは明確な関係が認められなかった。

④同一エンジン条件下の黒煙濃度とNO_x濃度とは、明確な背反関係にあることが認められる。

引用文献

- 1) 竹永裕二ら：大型ディーゼル車汚染物質排出実態について(2)粒子状物質, 東京都環境科学研究所年報1993, p.158-161.
- 2) 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1992-2, p.39-45.
- 3) 横田久司ら：平成元年規制適合の大型ディーゼル車の汚染物質排出実態について, 東京都環境科学研究所年報1995, p.168-175 .