

## 大型ディーゼル車からの汚染物質排出実態

舟島 正直 福岡 三郎 飯田 靖雄  
 泉川 碩雄 茅島 正資 鈴木 正次  
 石黒 辰吉

### 1 はじめに

ディーゼル車の排出ガス規制は表1に示すとおり、ガソリン車の規制により幾分ゆるやかであり、NOx第2段階規制措置も排出ガス対策の技術的困難性からガソリン車に比べかなり遅れた。また、ディーゼル車一台あたりから排出される汚染物質排出量は、NOxのみならず、HC、CO、粒子状物質においてもガソリン車より多く、とくに粒子状物質はガソリン車の10倍以上排出している。このような粒子状物質に対する規制は表1にみるように、1975年から実施されている黒煙規制のみであり不十分なものである。

表1 ディーゼル車の排出ガス規制

年度 規制	50年	52年	54年	57年	試験方法
HC ppm	670 (510)	←	←	←	台上 6モード
CO ppm	980 (790)	←	←	←	
NOx 副室	590 (450)	500 (380)	450 (340)	390 (290)	
直噴 ppm	1,000 (770)	860 (650)	700 (540)	※2610 (470)	
※1 黒煙 %	新車 50 ※2	←	←	←	台上3モード (新車) 無負荷急加速 (使用過程車)
使用 過程 車	50	←	←	←	

○規制値は許容限度を示す。( )内は規制平均値を示す。

※1 新車：全負荷運転時 最高出力時の回転数の40%、60%、100%の3モード測定で汚染度50%。  
 使用過程車：無負荷急加速時測定で汚染度50%。  
 (反射式スモークメータ (JIS P-8004))

※2 58年以降 D8004

一方、環境濃度に対する汚染源寄与率をみると、NOxでは75%が移動発生源からと推定されているが、<sup>1)</sup>

粒子状物質については、その排出実態が十分把握されていないため明確でない。しかし、近年の集じん装置の普及や燃料転換等により、固定発生源から排出される粒子状物質は減少しつつあるが、その反面、移動発生源からの粒子状物質排出量はディーゼル車の増加とともに増大しているものと思われ、根本的な大気中浮遊粒子状物質対策を考えるためには、ディーゼル車を主とした移動発生源からの粒子状物質の排出実態を早急に把握する必要がある。

このような観点から著者らは前年報で過室式ディーゼル車からの汚染物質の排出実態を報告したが、今回は、それよりもやや大型の予燃式および直噴式のディーゼル車についてシャーシーダイナモメータ実験を行い粒子状物質、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等の汚染物質の排出実態を調査し、小型ディーゼル車汚染物質排出実態との比較検討を行ったので、以下に報告する。

### 2 実験方法

#### (1) 実験装置

表2 シャーシーダイナモメータ諸元

型 式	万才自動車(株)製 BCD1100E	
ローラ本数	2×2	
ローラ径	370φ×1,100	
ローラ軸間距離	500 mm	
ローラセンタ間距離	1,700 mm	
動力 吸収 部	型 式	水冷うず電流式電気動力計
	吸収トルク	150 kg・m (500~1,430 rpm)
	吸収動力	300 ps (最大)
	最大回転数	2,500 rpm
フライホイール	1,000~10,000 kg (250kgとび7枚)	

ア シャーシーダイナモメータ

実験に用いたシャーシーダイナモメータの諸元は表2に示すとおりである。

イ 分析計

排出ガス分析計 (MEXA 2300) の諸元は表3に示すとおりである。

表3 分析計

型式	堀場製	型式MEXA 2300
CO	NDIR	0~1 0~3%
CO	NDIR	0~1,000 0~3,000ppm
CO <sub>2</sub>	NDIR	0~5 0~16%
CO <sub>2</sub>	NDIR	0~2 0~6%
THC	FID	0~100ppm ×1~×500(9レンジ)
NOX	CLD	0~10 ×1~500(9レンジ)
精度	NDIR	再現性 FSの±1%
	FID	ゼロドリフト ±1%/8h
	CLD	スバンドドリフト ±1%/8h

ウ 燃費計

小野測器製：型式AFM140

範囲：0.5~40 ℓ/h, 指示精度：最大流量時の1.5%以内

エ データ処理装置

ミニコンピュータ (日立製)

型式：HITAC-10II コア容量8kw

オ 希釈トンネル

直径45cm, 有効長さ9m, プローア40 ml/min

(2) 実験車

実験に使用した大型ディーゼル車の主要諸元は、表

表4 実験車仕様

	予燃焼式	直噴式	渦室式
規制年度	54	52	52
車両重量 (kg)	3,560	5,360	1,910
車両総重量 (kg)	7,975	12,025	4,075
最大積載量 (kg)	4,250	6,500	2,000
総排気量 (cc)	5,430	5,780	2,977
最高出力 ps/rpm	135/3,100	160/3,200	85/3,600
積算総走行 (km)	6,880	32,400	4,000

4に示すとおりである。

(3) 走行条件

ア 荷重条件：1/2積載として等価慣性重量を設定

イ 走行条件：①定速走行 (20km/h, 40km/h, 60km/h, 80km/h, アイドリング以下IDと略す。)

②M-15

③綱渡運転 実走行パターン10本

(4) 測定

① NO<sub>x</sub>, HC, CO, CO<sub>2</sub>, : MEXA 2300 による。

② 燃費：燃費計

③ 粒子状物質質量：アンダーセンハイボリュームエアサンプラーダイレック製 AH-600型, 吸引流量566 ℓ/min 分級特性 (5段分級) 7.1 μ以上, 7.1 μ~3.3 μ, 3.3 μ~2.1 μ, 2.1 μ~1.1 μ, 1.1 μ以下

④ HCHO：2-4ジニトロフェニルヒドラジン法 (ガスクロ分析)

⑤ SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>：高速液クロロニル酸バリウム法

⑥ 粒子状物質の元素分析

1) C・H・N量：柳本C・H・Nコーダー MT-2型

2) 重金属成分：放射化分析

3 測定結果と考察

(1) 走行条件別汚染物質測定結果

走行条件別汚染物質測定結果を表5に示す。

ア 定速走行の排出状況

一般に自動車の経済速度はガソリン車でもディーゼル車でも40 km/h前後で、この車速の時燃費が一番良く汚染物質排出量は、もっとも少なくなる。しかし、今回実施した直噴式ディーゼル車では、60 km/hで燃費がもっとも良く、これにともないSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>をのぞいた粒子状物質・NO<sub>x</sub>・HCHOなどの排出量は、60 km/hで一番少ない。一方、予燃焼式ディーゼル車では、前年行った渦室式ディーゼル車同様40 km/hの燃費が一番良く、HC・NO<sub>x</sub>・CO<sub>2</sub>・SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>などの排出量もこの車速でもっとも少ないが、粒子状物質のみは、直噴式の場合と同じで60 km/hでの排出量ももっとも少なかった。小型ディーゼル車 (渦室式) と大型ディーゼル車 (予燃焼式・直噴式) と比較

表 5 走行条件別汚染物質測定結果

	予 燃 焼 式					直 噴 式					渦 室 式											
	粒子状物質	HC	CO	NOx	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	粒子状物質	HC	CO	NOx	CO <sub>2</sub>	HCHO	SO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	粒子状物質	HC	CO	NOx	CO <sub>2</sub>	HCHO	SO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	燃費	
20km/h	316	0.24	1.63	2.81	435.8	20.6	564	2.71	3.57	2.57	484.2	10.9	25.6	204	0.19	1.20	1.65	255.9	-	9.0	10.0	
40km/h	265	0.10	0.64	1.79	279.5	11.1	294	1.18	1.82	2.40	308.5	3.1	14.6	169	0.09	0.80	1.96	211.0	-	8.0	12.3	
60km/h	194	0.14	0.61	2.80	312.2	19.2	205	0.73	1.54	2.13	307.6	1.5	19.4	358	0.53	1.40	1.37	248.9	-	38.6	10.1	
80km/h	288	0.11	0.59	3.39	369.2	27.9	276	0.54	1.49	2.40	401.9	2.4	30.3	238	0.82	1.39	1.95	322.7	-	40.3	7.6	
M-15	909	0.56	3.63	3.05	609.2	40.4	803	1.74	3.22	5.23	695.1	5.3	41.0	461	0.46	1.96	2.68	441.3	25.8	35.4	5.8	
No 1	1,066	0.75	4.42	5.40	904.9	59.7	1,177	4.72	5.31	6.47	835.9	10.9	84.5	879	1.09	4.29	4.34	753.1	54.0	82.3	3.3	
No 2	1,005	0.63	4.06	4.07	745.2	40.8	945	3.17	4.76	5.82	801.9	6.0	81.2	783	0.81	3.35	3.76	614.1	37.9	76.4	4.2	
No 3	715	0.56	3.50	3.35	594.9	34.3	746	2.23	3.26	4.62	645.3	7.4	32.1	509	0.62	2.56	3.47	484.5	21.9	47.5	5.2	
No 4	757	0.50	3.23	2.91	544.6	32.1	540	1.78	3.49	4.39	639.5	2.2	37.9	555	0.53	2.22	2.95	467.4	19.8	78.9	5.9	
No 5	474	0.39	2.21	2.78	476.6	23.3	548	1.50	2.67	3.77	528.9	5.4	40.6	536	0.51	2.03	2.76	405.8	23.5	65.4	6.6	
No 6	498	0.34	2.03	2.59	478.4	29.8	675	1.48	2.93	3.83	555.9	5.3	36.8	449	0.43	1.80	2.68	388.3	16.8	39.3	6.8	
No 7	626	0.33	2.13	2.36	450.9	25.4	767	1.17	2.59	3.87	545.4	4.0	39.6	447	0.36	1.60	2.50	370.2	15.7	28.1	7.2	
No 8	495	0.26	1.65	2.28	410.9	26.4	602	1.01	2.27	3.45	498.2	4.4	26.4	278	0.34	1.54	2.38	343.8	15.0	46.0	8.0	
No 9	548	0.28	1.86	2.23	406.8	42.6	657	0.91	2.41	3.29	511.9	3.9	30.1	365	0.33	1.44	2.27	331.7	15.4	47.0	8.2	
No 10	591	0.26	1.74	2.22	396.2	44.5	795	0.83	2.40	3.28	509.7	2.8	34.2	426	0.33	1.41	2.25	333.6	18.0	60.1	8.3	
ID*	57.2	0.05	0.30	0.53	49.1	-	22.4	0.21	0.26	0.33	34.3	-	14.0	22.9	0.026	0.178	0.205	14.46	-	1.2	11.3	

単位：粒子状物質，HCHO，SO<sub>2</sub><sup>-</sup>：mg/km HCHO，CO，NOx，CO<sub>2</sub>，HC：g/km 燃費：km/l

\*ID：HC，CO，NOx，CO<sub>2</sub>：g/min 粒子状物質：mg/min 燃費：cc/min

した場合、粒子状物質の排出量が、小型車では60km/h・80km/hの高速側で多いのに比べ（とくに60km/hでは、大型車より排出量が多くなっている。）大型車では、むしろ20km/h・40km/hの低速側で多い傾向がみられた。

さらにこの時のHC排出量に着目すると、直噴式ディーゼル車では、20km/h・40km/hの低速域で渦室式ディーゼル車では、60km/h・80km/hの高速域でそれぞれ排出量が著しく多くなっており、何れも燃焼状態が悪く、これにより未燃炭素等不完全燃焼生成物の排出が多くなっていると推定される。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は、どの車種でも40km/hの時排出量が最も少ない。ただ小型ディーゼル車では、粒子状物質排出量に対応して60km/h・80km/hの高速域のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の排出量が多く、大型ディーゼル車の排出量を上回っている。

イ 過渡運転の排出状況

ア) M-15モードの排出状況

燃費は、渦室式ディーゼル車が予燃焼式ディーゼル車より2割、直噴式ディーゼル車より4割程度良く、これにともなって小型ディーゼル車（渦室式）の粒子状物質は、大型車の1/2程度の排出量となっている。NO<sub>x</sub>・HCの排出量は、いわゆる副室式ディーゼル車のはんちゅうに入る予燃焼式ディーゼル車・渦室式ディーゼル車では、排出量が同じ程度であるが、直噴式ディーゼル車のNO<sub>x</sub>の排出量は、副室式ディーゼル車のその1.5倍多くっており、HCの排出量は、さらに4.1倍も多い。COの排出量は、小型車は大型車に比べ約5割程度少ない。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の排出量は、エンジン型式による差は、ほとんど認められない。

HCHOは、予燃焼式ディーゼル車での測定がないが、渦室式ディーゼル車は、直噴式ディーゼル車の5倍高い排出量となっている。米国の測定例では、排気量が多くなるにしたがってHCHO排出量も多くなっており、<sup>3)</sup>この測定結果とは逆の傾向となっている。大型ディーゼル車のHCHO排出量が小型ディーゼル車より少ない原因については、今後なお測定事例を重ねて検討したい。

(イ) 実走行パターンにおける各汚染物質の排出特性

① 燃費特性

図1に各エンジン型式別の燃焼特性を示す。ディーゼル車の燃焼は、区間平均車速の遅い領域で著しく悪く、25km/h（実走行パターンNo.7）をこえる車速領

域からは、一定レベルになる。この傾向は、エンジン型式が異なってもそれ程の差異はない。3種類の実験車のなかでは、各車速領域で渦室式ディーゼル車の燃費が一番良く、次いで予燃焼式・直噴式の順になっており、とくに高速域（実走行パターンNo.9, No.10）では、渦室式は直噴式より6割程度、燃費が良くなっている。

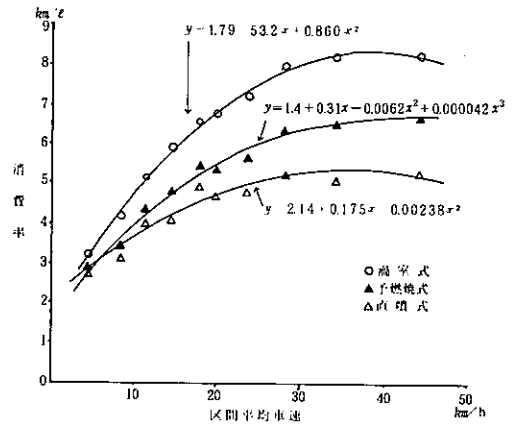


図1 燃料消費率

② HC・CO・NO<sub>x</sub>の排出特性

各エンジン型式別のHC・CO・NO<sub>x</sub>の排出特性

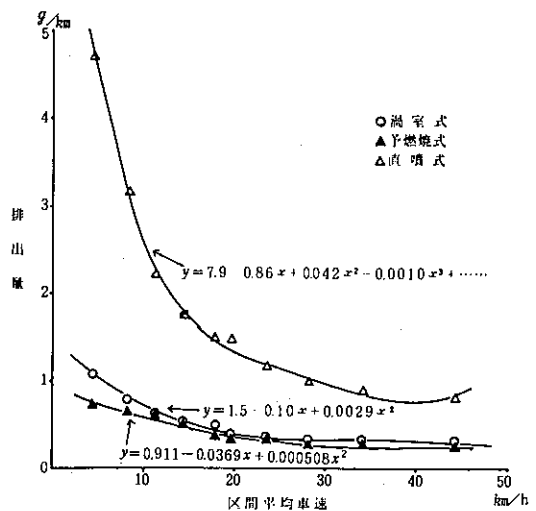


図2 HCの排出特性

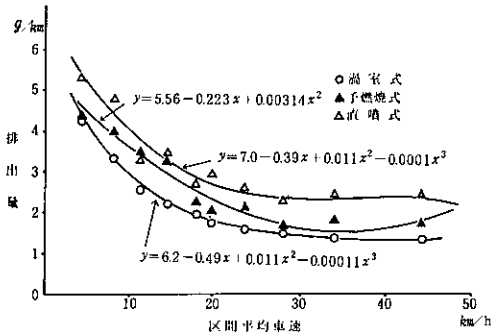


図3 COの排出特性

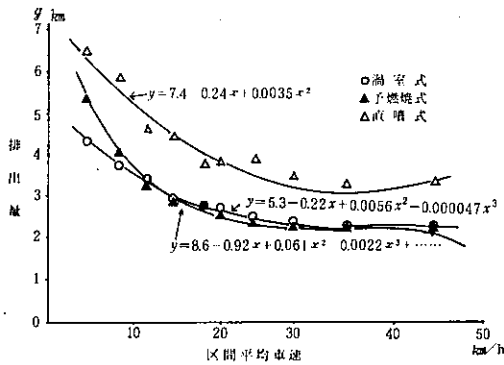


図4 NOx排出特性

を図2～図4に示す。一般的に汚染物質排出特性は、燃費特性とは逆の傾向をもつものであり、平均车速の遅い領域で汚染物質の排出量が多く、その後排出量は漸減し25km/hをこえる領域で排出レベルが一定となる。

HCの排出量は、定速条件の場合と同様、直噴式ディーゼル車が副室式ディーゼル車（渦室式・予燃焼式）に比べ、3～6倍排出量が多く、とくに区間平均车速の遅い領域（実走行パターンNa1, Na2）では、著しく排出量が多い。区間平均车速の遅い領域の走行パタ

ーンでは、ID時間の占める割合が多く、ID時の排出濃度が直接影響している。例えば、区間平均车速5km/h付近でのHC排出量の35%は、ID時の排出量が寄与していると言われている<sup>4)</sup>。この直噴式ディーゼル車の場合ID時のHC排出濃度は、247ppmであり予燃焼式ディーゼル車のそれの63ppmと比較して4倍近い濃度である。

直噴式ディーゼル車のCO排出量は、各车速領域で、副室式ディーゼル車（予燃焼式・渦室式）により2～3割多くなっている。NOx排出量も傾向は同じで直噴式ディーゼル車の排出量が、副室式ディーゼル車に比べ4～6割多い。

③ 粒子状物質の排出特性

各エンジン型式別の粒子状物質排出特性を図5に示す。粒子状物質の場合も平均车速の遅い領域で排出量が多く平均车速の早い領域で漸次排出量が少なくなっていくが、HC・CO・NOxなどとちがって、粒子状物質では、高速領域で再び排出量が増加する傾向が各エンジン型式すべてにみられる。また平均车速の遅いところでは、エンジン型式による排出量の差異はそれ程ないが、20km/hの平均车速をこえる領域からエンジン型式による差異が目立ちはじめ、直噴式ディーゼル車の粒子状物質排出量が著しく多く、次いで予燃焼式、渦室式の順になっている。この傾向は、燃費特性と良く対応している。ディーゼルエンジンの場合、負荷に対応して排出粒子状物質量が増加する<sup>5)</sup>ことか

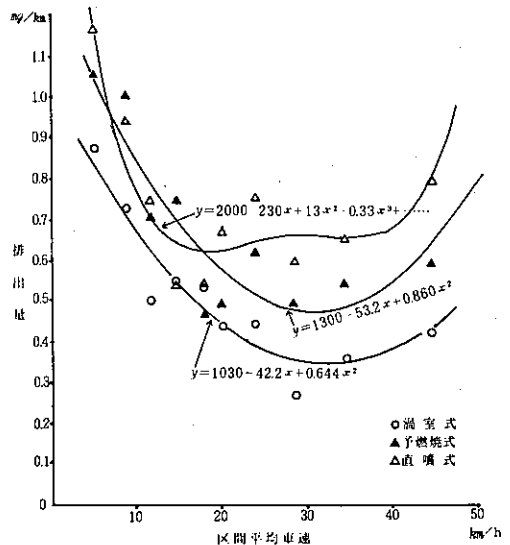


図5 粒子状物質の排出特性

ら考えれば、高速領域で再び粒子状物質排出量が多くなるのは当然であろう。

④  $\text{SO}_4^{2-}$  の排出特性

各エンジン型式別の  $\text{SO}_4^{2-}$  排出特性を図 6 に示す。 $\text{SO}_4^{2-}$  の排出特性も一般的には、粒子状物質の排出特性に良く似ていて、低速領域と高速領域とでその排

出量が多くなっているが、渦室式ディーゼル車の場合には変化パターンがやや激しい。また、粒子状物質の場合とちがって、高速領域では、渦室式ディーゼル車の排出量が一番多く、予燃焼式ディーゼル車排出量がこれに次ぎ、直噴式ディーゼル車の排出量が一番少ない。

⑤ HCHO の排出特性

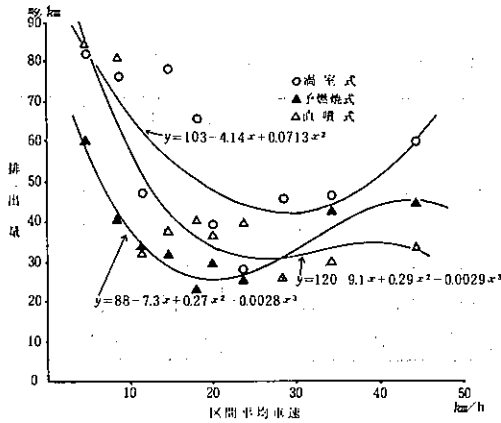


図 6  $\text{SO}_4^{2-}$  の排出特性

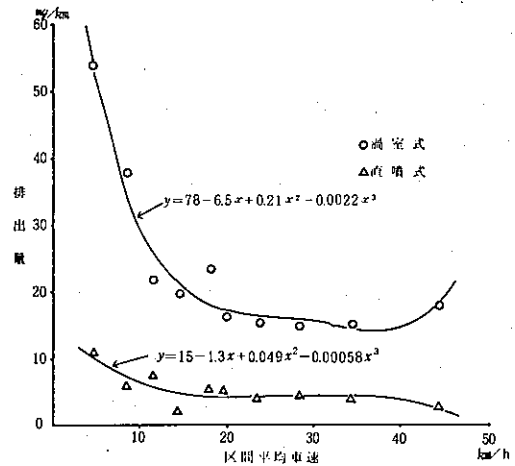


図 7 HCHO の排出特性

表 6 粒子状物質の粒径特性

単位: mg/km (%)

	予 燃 焼 式						直 噴 式					
	I (7 $\mu$ ~)	II (3.3 $\mu$ ~7.0 $\mu$ )	III (2.0 $\mu$ ~3.3 $\mu$ )	IV (1.1 $\mu$ ~2.0 $\mu$ )	V (1.1 $\mu$ 以下)	TOTAL	I (7 $\mu$ ~)	II (3.3 $\mu$ ~7.0 $\mu$ )	III (2.0 $\mu$ ~3.3 $\mu$ )	IV (1.1 $\mu$ ~2.0 $\mu$ )	V (1.1 $\mu$ 以下)	TOTAL
20km/h	2 (0.6)	1 (0.3)	4 (1.3)	13 (4.1)	296 (93.7)	316	1 (0.2)	2 (0.4)	2 (0.4)	25 (4.4)	534 (94.7)	564
40km/h	1 (0.4)	5 (1.9)	7 (2.6)	6 (2.3)	246 (92.8)	265	3 (1.2)	4 (1.6)	7 (2.7)	12 (4.7)	230 (89.8)	294
60km/h	3 (1.5)	3 (1.5)	7 (3.6)	11 (5.7)	170 (87.6)	194	1 (0.5)	1 (0.5)	2 (1.0)	6 (2.9)	195 (95.1)	205
80km/h	5 (1.7)	3 (1.0)	8 (2.8)	4 (1.4)	268 (93.1)	288	1 (0.4)	9 (3.3)	3 (1.1)	21 (7.6)	242 (87.7)	276
M-15	11 (1.2)	14 (1.5)	15 (1.7)	17 (1.9)	852 (93.7)	909	28 (3.5)	48 (6.0)	24 (3.0)	31 (3.9)	672 (83.7)	803
Na 1	10 (0.9)	21 (2.0)	10 (0.9)	69 (6.4)	956 (89.7)	1,066	97 (8.2)	65 (5.5)	25 (2.1)	86 (7.3)	904 (76.8)	1,177
Na 2	43 (4.3)	42 (4.2)	7 (0.7)	23 (2.3)	890 (88.6)	1,005	9 (1.0)	5 (0.5)	12 (1.3)	79 (8.4)	840 (88.9)	945
Na 3	3 (0.4)	7 (1.0)	4 (0.6)	17 (2.4)	684 (95.7)	715	6 (0.8)	3 (0.4)	2 (0.3)	45 (6.0)	690 (92.5)	746
Na 4	4 (0.5)	26 (3.4)	2 (0.3)	30 (4.0)	695 (91.8)	757	3 (0.6)	25 (4.6)	2 (0.3)	27 (5.0)	483 (89.4)	540
Na 5	3 (0.6)	7 (1.5)	5 (1.1)	31 (6.5)	428 (90.3)	474	3 (0.5)	12 (2.2)	4 (0.7)	35 (6.4)	494 (90.1)	548
Na 6	6 (1.2)	6 (1.2)	5 (1.0)	22 (4.4)	459 (92.2)	498	6 (0.9)	10 (1.5)	3 (0.4)	44 (6.5)	612 (90.7)	675
Na 7	5 (0.8)	15 (2.4)	17 (2.7)	29 (4.6)	560 (89.5)	626	1 (0.1)	25 (3.3)	10 (1.3)	44 (5.7)	687 (89.6)	767
Na 8	9 (1.8)	11 (2.2)	24 (4.8)	15 (3.0)	436 (88.1)	495	7 (1.2)	1 (0.2)	12 (2.0)	36 (6.0)	546 (90.7)	602
Na 9	3 (0.5)	7 (1.3)	19 (3.5)	26 (4.7)	493 (90.0)	548	8 (1.2)	9 (1.4)	25 (3.8)	32 (4.9)	583 (88.7)	657
Na 10	11 (1.9)	4 (0.7)	3 (0.5)	40 (6.8)	533 (90.2)	591	25 (3.1)	25 (3.1)	76 (9.6)	73 (9.2)	596 (75.0)	795

HCHOは、渦室式と直噴式のディーゼル車のみの測定であるが、その排出特性を図7に示す。定速条件の測定結果のところでも述べたが、直噴式ディーゼル車の排出量は渦室式に比べてかなり少なく、この差異は各車速領域において変わらない。

(2) 粒子状物質の粒径特性

走行条件別の粒子状物質の粒径特性をエンジン型式別に表6に示す。

ア 定速走行

各走行条件とも予燃焼式ディーゼル車と直噴式ディーゼル車の排出粒子状物質中の1.1μ以下の粒子の割合が85%以上で、渦室式ディーゼル車(3台平均78%)より小さい粒子の占める割合が大きくなっている。

イ 過渡運転

M-15モードも定速走行同様予燃焼式ディーゼル車、直噴式ディーゼル車では、1.1μ以下の小さい粒子の占める割合が大きく、予燃焼式ディーゼル車では94%、直噴式ディーゼル車では84%と渦室式ディーゼル車の65%に比べ1.1μ以下の粒子の占める割合が大きい。実走行パターンの各車速領域でも、大型ディーゼル車での1.1μ以下の小さい粒子の存在は76~96%で、小型ディーゼル車の72%より、小さい粒子の存在比は高くなっている。また、予燃焼式ディーゼル車と直噴式ディーゼル車の比較では、予燃焼式ディーゼル車の方が多少小さい粒子の占める割合が高くなっている。

定速走行及び過渡運転とも大型車の方が小型車より小さい粒子の占める割合が大きくなっているが、これは、排ガス温度が大型ディーゼル車では高いため小さい粒子の発生が多くなるのではないかと考えられる。

(3) 汚染物質相互の関係

3(イ)の実走行パターンにおける汚染物質の排出特性の項で述べたように一般的に汚染物質の排出特性は燃費特性と良く対応するものであり、区間平均車速の遅い領域で排出量が多く、その後平均車速が早くなるにしたがって排出量が少くなる傾向をもっている。このような傾向から判断して汚染物質相互の関係も一般的に良好になるはずで、表7~9の相関係数算出結果にもそれが表れている。ただ、各車種において若干相関の良くない物質がある。予燃焼式ディーゼル車では、NOxが他汚染物質と相関が悪く、直噴式ならびに渦室式ディーゼル車ではHCが他汚染物質との相関が悪

表7 予燃焼式ディーゼル車の各汚染物質の相関係数

粒子状物質	粒子状物質	HC	CO	NOx	CO <sub>2</sub>	燃費
粒子状物質						
HC	0.945					
CO	0.960	0.993				
NOx	0.652	0.739	0.688			
CO <sub>2</sub>	0.913	0.960	0.942	0.873		
燃費	0.892	0.941	0.945	0.705	0.923	

表8 直噴式ディーゼル車の各汚染物質の相関係数

粒子状物質	粒子状物質	HC	CO	NOx	CO <sub>2</sub>	燃費
粒子状物質						
HC	0.721					
CO	0.833	0.945				
NOx	0.876	0.766	0.871			
CO <sub>2</sub>	0.899	0.777	0.911	0.973		
燃費	0.879	0.653	0.829	0.883	0.952	

表9 渦室式ディーゼル車の各汚染物質の相関係数

粒子状物質	粒子状物質	HC	CO	NOx	CO <sub>2</sub>	燃費
粒子状物質						
HC	0.706					
CO	0.952	0.792				
NOx	0.944	0.689	0.961			
CO <sub>2</sub>	0.932	0.787	0.984	0.941		
燃費	0.854	0.788	0.870	0.803	0.917	

い。これらの汚染物質は燃費との関係も他汚染物質に比べ悪く、やや異なった排出傾向をもっていることが想定される。このような傾向をよりはっきりさせるために、各車種別汚染物質測定結果を主成分分析したところ、図8に示すような結果が得られた。図8にみるように、直噴式ディーゼル車では、HC・COといった不完全燃焼生成物がやや離れた存在であり、粒子状物質・NOx・CO<sub>2</sub>といった完全燃焼生成物とは割合近い関係にあり、一つのグループを形成している。それに対して予燃焼式ディーゼル車では、これとは逆に完全燃焼生成物のNOx・CO<sub>2</sub>がやや離れた存在であり、粒子状物質は、不完全燃焼生成物のCO・H

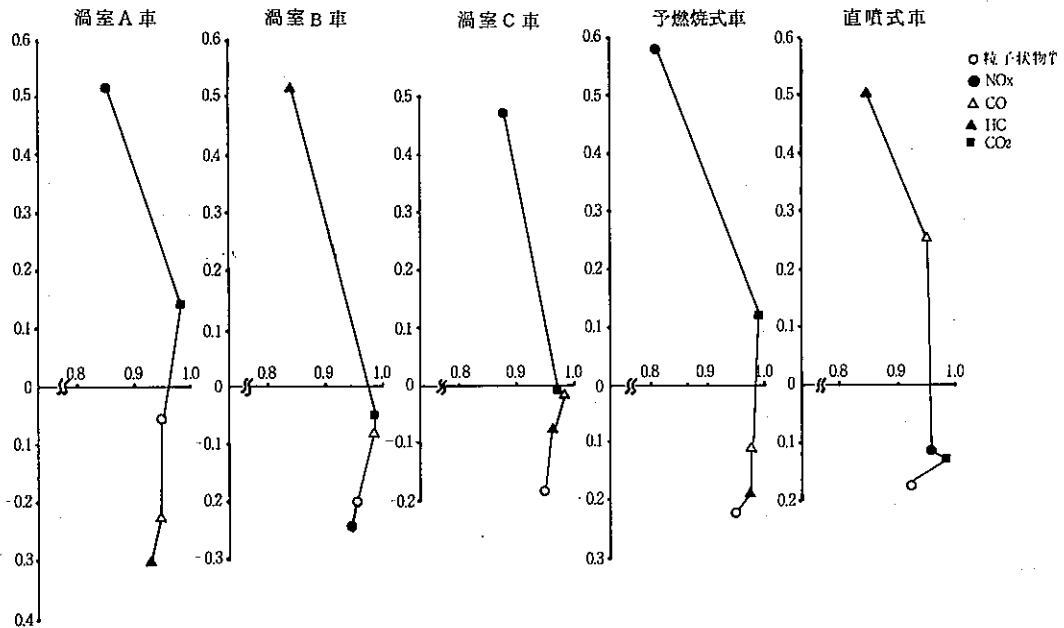


図8 汚染物質の挙動パターン (Z<sub>1</sub> および Z<sub>2</sub> に対する因子負荷量)

Cに近い。また、渦室式ディーゼル車では直噴式ディーゼル車の傾向に近く、HCのみ他汚染物質とは離れた存在となっている。以上のように、相関係数算出結果ならびに主成分分析結果からみたディーゼル車からの汚染物質排出傾向は車種によって若干異なることがわかった。HCやNO<sub>x</sub>は、車輛の整備状況によって排出傾向が著しく変わるものであり、今回の解析結果からディーゼル車汚染物質排出傾向を結論づけることは危険であるが、粒子状物質についていえば、ちょっとした燃焼状態の変化で完全燃焼生成物のグループに入ったり、不完全燃焼生成物に近くなったりする傾向が強いことが指摘できる。

(4) 燃料(軽油)中のイオウ(S分)とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>排出量の関係

粒子状物質中に占めるSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の割合および燃料中S分に対するSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>中S分比を算出した結果を表10に示す。一般的軽油中のS分の大部分は、SO<sub>2</sub>として排出されるが、一部はSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>として排出される。また、その割合は表10にみるとおり定速走行で、1.0%~1.9%であり、また過度運転では、1.1%~2.7%程度である。小型ディーゼル車に比べ大型ディーゼル車では、若干SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>として排出されるS分の

割合は少ない。

表10 粒子状物質及び燃料中S分に対するSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の占める割合

単位: %

	予燃式		直噴式		渦室式	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / 粒子状物質	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / Fuel	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / 粒子状物質	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / Fuel	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / 粒子状物質	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / Fuel
20km/h	6.5	1.1	4.5	1.3	4.4	0.8
40km/h	4.2	1.0	5.0	1.1	4.7	0.7
60km/h	10.0	1.5	9.5	1.5	10.8	3.3
80km/h	9.7	1.8	11.0	1.9	16.9	2.5
M-15	4.4	1.5	5.1	1.4	7.7	2.2
Na 1	5.6	1.5	7.2	2.4	9.4	2.3
Na 2	4.1	1.3	8.6	2.4	10.4	2.7
Na 3	4.8	1.3	4.3	1.2	9.3	2.1
Na 4	4.2	1.4	7.0	1.4	14.2	3.9
Na 5	4.9	1.1	7.4	1.8	12.2	3.7
Na 6	6.0	1.4	5.5	1.6	8.6	2.2
Na 7	4.1	1.3	5.2	1.8	6.3	1.7
Na 8	5.3	1.5	4.3	1.3	16.5	3.1
Na 9	7.8	2.5	4.6	1.5	12.9	3.3
Na 10	7.5	2.7	4.3	1.7	14.1	4.2

注) 軽油中S含有率  
 予燃焼直噴式 0.426%~0.448%  
 渦室式 0.462%



(5) 粒子状物質の組成

ア 粒子状物質中の  $\text{SO}_4^{2-}$  の占める割合

表10にみるとおり粒子状物質中に占める  $\text{SO}_4^{2-}$  の割合は、予燃焼式ディーゼル車・直噴式ディーゼル車は、 $60\text{km/h} \sim 80\text{km/h}$ の高速域で、 $20\text{km/h} \sim 40\text{km/h}$ の低速域に比べ高く、直噴式ディーゼル車  $80\text{km/h}$ では、10%をこえる存在割合を示している。しかし、一般的に小型ディーゼル車は大型ディーゼル車に比べ  $\text{SO}_4^{2-}$  の割合が高い。過渡運転の場合、大型車ではその割合が4%~9%で小型車の6%~14%に比べやや低い割合となっている。このような大型車では小型車に比べ粒子状物質中に占める  $\text{SO}_4^{2-}$  の存在割合が低くなっている理由としては、①大型車の実験で使用した軽油のS含有量が若干低かった。②小型車より大型車の方が粒子状物質排出量が多くなっている。

イ 粒子状物質中のC・H・N元素の分析

ディーゼル車排出ガス中の粒子状物質の成分組成について、 $\text{SO}_4^{2-}$ は前述したとおりであるが、他の組成については、まったくわかっていない。そこで粒子状物質成分組成についておおまかな傾向を把握するために、希釈トンネル壁付着ディーゼル粉じんをかき集めて、粉じん中のC・N・Hの元素分析ならびに灰分測定を行った。その結果を表11に示す。表にみるとおり粉じん中のCは平均50.8%・Hは平均2.7%、Nは平均1.6%であり、分析終了後秤量した灰分は平均14.1%という結果が得られた。EPAのSTA HMA Nらの分析結果<sup>31)</sup>では、小型ディーゼル車の粒子物質中のCは一般的に70%~80%、Hは2.5%~5%と報告されているが、(粒子状物質をグラスファイバー紙で採取)小型ディーゼル車でも一部の車種(ブジョー204P)では、Cが50%前後、Hが8%~9%という数値が得られている。ブジョー204DでHの割合が高いがこれは、粒子状物質中に高分子量の

表11 ディーゼル粉塵中のC・N・H灰分の分析結果

単位：%

試料No.	元素	C	H	N	灰分
1		50.8	3.0	1.4	-
2		51.2	2.4	1.6	13.2
3		50.5	2.8	1.7	15.0

柳本C・H・Nコーダー MT-2型

炭化水素を多く含んでいるためとっている。この数値と今回筆者らが得た結果を比較すると、Hは米国の一般的数値に近いが、Cはブジョー204Dのみでやや低い割合となっている。これは、今回の採取粒子状物質がトンネル壁の付着物なので、やや粒子が粗大であり、微細カーボン粒子量がやや少ないことに起因すると思われる。なお、C・N・Hの各分析結果(計55.1%)と灰分(14.1%)これに  $\text{SO}_4^{2-}$  平均10%を加えても80%程度にしかならないが、残りの20%のうち  $\text{SO}_4^{2-}$  以外の塩、水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) を構成しているOやハロゲン元素などがその主要部分を占めていると思われる。

ウ 粒子状物質中の金属成分

粒子状物質中の重金属を放射化分析で分析した結果、定性的ではあるが、Fe・V・Na・Al・Mn・Caの存在が認められた。今後は、分析試料の量その他を検討し定量分析を行う予定である。

またディーゼル車排ガス中のB(a)pなどの多環芳香族炭化水素については、検体採取法、分析法を中心に検討をすすめている。

4 ま と め

大型ディーゼル(予燃焼式・直噴式)車からの汚染物質排出実態を小型ディーゼル(渦室式)車と比較しながら検討した結果つぎのようなことがわかった。

- (1) 大型ディーゼル車と小型ディーゼル車に共通した汚染物質の排出傾向は、次のとおりである。
  - ① 燃費が悪くなると粒子状物質排出量は増加する。
  - ② 汚染物質排出特性は、一般的に平均車速の遅い領域で排出量が多い傾向をもつが、粒子状物質、 $\text{SO}_4^{2-}$ では、高速領域でも排出量が多くなる傾向をもっている。
- (2) 大型車と小型車で汚染物質の排出傾向が異なる点はずつぎのとおりである。
  - ① 粒子状物質排出量は、小型車は大型車に比べ少なくM-15モードで、大型車は $800\text{mg/km} \sim 900\text{mg/km}$ 、小型車は $460\text{mg/km}$ 程度の排出量であった。
  - ② HCHOは、逆に小型車が大型車より排出量が多い。また  $\text{SO}_4^{2-}$  はM-15モードではエンジン型式による差は認められないが、実走行パターンでは一般的に小型車の排出量の方が大型車のそれより多かった。
  - ③ HC、 $\text{NO}_x$ は大型車とくに直噴式ディーゼル車

の排出量が多く、COも一般的に大型車の方が排出が多かった。

④ 大型車は、小型車に比べ1.1  $\mu$ 以下の小さい粒径の粒子状物質の排出量がやや多かった。

⑤ 燃料中S分のうち $\text{SO}_4^{2-}$ として排出される割合は、小型車に比べ大型車はやや小さく、実走行パターンでは平均1.6%～1.7%（渦室式）であった。

⑥ 粒子状物質中に占める $\text{SO}_4^{2-}$ の割合は、小型車に比べ大型車はやや少なく実走行パターンの平均で5.4%～5.8%（小型車は平均11.4%）であった。

最後にこの実験にあたり、財日本車両検査協会、三好和雄氏ほか関係職員から種々の御協力をいただいたことに対し厚く謝意を表したい。

#### 参 考 文 献

- 1) 環境保全局事業概要：昭和56年版。
- 2) 福岡三郎ほか：小型ディーゼル車からの汚染物質排出実態，東京都公害研究所年報1981年。
- 3) Springer, K. J. Stahaman RC: Diesel Car Emission Emphasis on particulate and Sulfate SAE paper.
- 4) 芳住邦雄：直噴式ディーゼルエンジンの排気特性，東京都公害研究所年報1981年。
- 5) 芳住邦雄：ディーゼル機関からの微粒子状物質の測定，第7回環境保全・公害防止研究発表会講演集，1980年。