

## ディーゼル車から排出される粒子状物質の成分組成 (1)

— ションダイナモメータによるディーゼル排ガスからの粒子状物質の成分組成の測定 —

## The Composition of Particulate Matter from Diesel Exhaust (1)

— Measurement of Particulate Matter from Diesel Exhaust Gases on Chassis  
Dynamometer —

小池 順一	Jun-ichi	KOIKE
早坂 孝夫	Takao	HAYASAKA
井上 康明	Yasuaki	INOUE
林 久緒	Hisao	HAYASHI
黒沢 芳則	Yoshinori	KUROSAWA
中村 清治*	Seiji	NAKAMURA

## 1. はじめに

川崎市では、大気汚染防止対策に資するために市内主要道路の走行状態調査から得られた実走行モードを用いて、ションダイナモメータ上でディーゼル貨物車及びバスの排出ガス測定を行った。<sup>1) 2)</sup>

本報では、その際得られた排出ガス中の粒子状物質について、ディーゼル車の指標元素といえる元素状炭素 (Cel) 等の分析を行ったので報告する。

## 2. 調査方法

## 2.1 調査期間 (粒子状物質試料採取)

昭和59年10月23日～昭和60年3月26日

## 2.2 試験車両

測定に供した自動車の諸元を表1に示した。これらの自動車は、一般から借り上げた使用過程車で、通常の整備点検が行われたものであり、この測定のために特に整備が施されたものではない。

2.3 測定に用いたモード<sup>1) 2)</sup>

測定に用いたモードは、次のとおりである。

貨物車及びバスについては、M-15モードを基本モードとした。

これは10モードの加速部分が0.08Gの加速度であるのに対して、加速性がガソリン燃料の自動車に比べて低い点を考慮して0.06Gとしたもので、10モードの平均車速17.7Km/hに対して15Km/hとなっている。

その他、貨物車に用いたモードは、ガソリン燃料の自動車で得られたG1～G5のモードをションダイナモメータ上でディーゼル貨物車でトレースしディーゼル車用として作成したD1～D5のうちD1とD3の実走行モード (表2) である。

又、バスは昭和58年度の走行状態調査のとき、バスを追尾して作成したB1とB3 (表3) を用いた。

\* 川崎市環境保全局公害部大気課

試験車と適用モードは、表4のとおりである。

表1 試験自動車の諸元

試験車記号	車種区分	メーカー	通称名(車式)	登録年	総排気量(cc)	車両重量(Kg)	車量総重量(最大積載量又は法定員)(Kg)	既走行距離(Km)	サイクル	気筒	対応規制年	変速缶(前進缶)	備考 燃焼室形状 (排出ガス対策装置)
E	貨物車	三菱自動車	ふそう(K-FK115H)	58	6,557	3,400	7,815 (4,250)	22,685	4	5	54	手動(5)	直噴式(EM)
G	"	いすゞ自動車	エルフ(P-NKR55E)	59	2,771	1,780	3,945 (2,000)	2,834	4	4	58	"(5)	"(")
H	"	日野自動車	日野レンジャ(P-FD174BA)	59	6,728	3,490	7,905 (4,250)	29,051	4	6	58	"(6)	"(")
L	バス	いすゞ自動車	いすゞ(P-LV314K)	59	11,044	9,360	13,705 (79人)	24,320	4	6	58	"(4+OD)	"(")

(注) EM: エンジン改良

表2 ディーゼル車実走行モード

記号	所要時間(分・秒)	平均車速(Km/h)	走行時間割合(%)			
			アイドリング	加速	定速	減速
D1	11.20	7.6	59	16	10	15
D3	10.27	20.5	26	27	18	29

表3 バス実走行モード

記号	所要時間(分・秒)	平均車速(Km/h)	走行時間割合(%)			
			アイドリング	加速	定速	減速
B1	12.41	11.8	50	22	7	21
B3	14.41	19.2	30	33	10	27

備考 記号B1は、ディーゼル車用パターンD1と共用である。

表4 試験対象車と適用モード

車種	試験車記号	規制車(昭和)	燃洗室形状	最大積載量(定員)	積載条件	適用モード		
						基本モード	実走行モード	
						M15	D1	D3
ディーゼル貨物	E	54	直噴	4~4.5t	1/2	○	○	○
	G	58	直噴	2~2.5t	1/2	○	○	○
	H	58	直噴	4~4.5t	1/2	○	○	○
バス						M15	B1	B3
	L	58	直噴	79人	1/2	○	○	○

## 2.4 測定装置及び機器

## 1) シャシーダイナモメータ (バンザイ 1100 E)

ローラ : 370 mm  $\phi$   $\times$  2列

ローラ軸間隔 : 500 mm

動力吸収部

型式 : 水流うず電流式電気動力計

吸収トルク : 150 Kgm ( 500 ~ 1430 rpm )

最大吸収馬力 : 300 ps

フライホイール : 1000 ~ 10000 Kg  
250 Kg とび7枚

エンジン冷却ファン : 車速運動型

風量 : 850 m<sup>3</sup>/min ( 100 Km/h )

## (2) 粒子状物質サンプリング装置

ダイリユーシヨントンネル (堀場 DLT-1240)

全長 : 6100 mm (有効径 3100 mm)

トンネル径 : 318.5 mm  $\phi$  (有効径 310 mm  $\phi$ )

CVS装置 (堀場 CVS-57 T)

吸引方式 : ベンチュリー型

流量 : 毎分 39 m<sup>3</sup> 30 m<sup>3</sup> 18 m<sup>3</sup> 9 m<sup>3</sup> の4段階

サンプリング装置

等速吸引サンプリング装置 (堀場 DLS 70)

採取フィルタ径 : 63.5 mm  $\phi$  90 mm  $\phi$  の2種

ハイボリュームサンプリング装置 (紀本)

採取フィルタ径 : 8  $\times$  10 inch

## (3) その他

マイクロ天秤 (メトラ H 51 AR)

秤量 : 160 g

読取限度 : 10  $\mu$ g

クリーンルーム (大西熱学 OUN 1-D)

ルーム : 3700 mm  $\times$  1800 mm  $\times$  2270 mmH

温度 : 設定温度  $\pm$  0.5  $^{\circ}$ C

クリーン度 : 10000

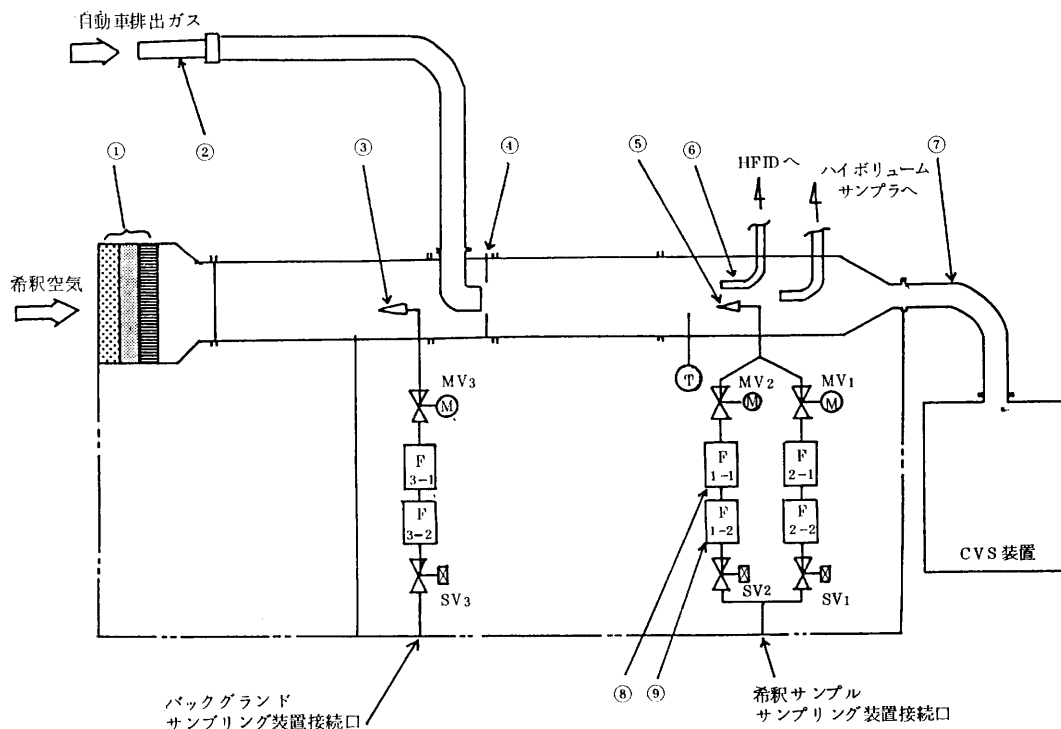
### 2.5 粒子状物質の測定方法

粒子状物質のサンプリングは、アメリカ連邦規格（FEDERAL REGISTER）に記載されているダイリュショントンネルを用いる方法によった。

この方法は、図1のように排出ガスを希釈空気と共にトンネル中を流し、このトンネル内の流速と等速度でローボリュームサンプラー装置により試料採取する方式で、粒子状物質は直径9.0mmのろ紙（紙質：テフロンコーティンググラスファイバー）に採取した。同時に、ハイボリュームサンプラーを用いて金属の蛍光X線分析用試料をテフロンろ紙で、元素状炭素等の分析用試料を石英繊維フィルター（クォーツろ紙）で採取した。

各ろ紙の付着粒子状物質は、次により求めた。

採取前後に、温度25℃、湿度50％に調節されたクリーンルーム内にろ紙を48時間放置したのち秤量し、その差を付着粒子状物質質量とした。なお、クォーツろ紙は秤量前に電気炉で550℃で2時間加熱処理したものを用いた。



No.	名 称	No.	名 称
1	フ ィ ル タ	6	H F I Dサンプリングプローブ
2	排出ガス導入管	7	中 継 管
3	希釈空気サンプリングフローブ	8	採取 フィルタ
4	オリフィス板	9	バックアップフィルタ
5	希釈ガスサンプリングプローブ		

図1 浮遊粒子状物質サンプリングの系統図

## 2.6 粒子状物質の分析方法

### (1) 試料の調整

分析用試料採取後のクォーツろ紙は、30 mmφベルトポンチで打ち抜き炭素成分、水溶性成分、多環芳香族炭化水素の分析のための分析試料とした。

分析用試料採取後のテフロンろ紙は、30 mmφベルトポンチで打ち抜き金属成分、水溶性成分の分析試料とした。

分析用試料採取後のテフロンコーティングのグラスファイバーろ紙は、30 mmφベルトポンチで打ち抜き水溶性成分の分析試料とした。

### (2) 有機炭素及び元素状炭素の分析<sup>3)</sup>

CHN計(MT-3型)を用い、熱伝導度法により定量した。

白金製ホルダー上に試料をとり、He気流中、燃焼炉550℃で揮発、分解した加熱生成物を酸化炉で燃焼し生成したCO<sub>2</sub>から求めた炭素量を有機炭素(Corg)とし、ひきつづき900℃He-O<sub>2</sub>気流中で燃焼し生成したCO<sub>2</sub>から求めた炭素量を元素状炭素(Cel)とし、それらを合計したものを総炭素(Ct)とした。

### (3) 金属成分の分析<sup>4)</sup>

蛍光X線又は、酸分解後原子吸光分析を行い定量した。

### (4) 水溶性成分の分析<sup>5)</sup>

試料にイオン交換水を加え超音波装置を用いて水溶性成分を20分間抽出したのち、イオンクロマトグラフィーでNO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>を定量した。

### (5) 多環芳香族炭化水素 { B(k)F, B(a)P, B(ghi)P } の分析

試料にエチルアルコールとベンゼン(3:1)を加え、超音波装置を用いて20分間抽出し5% NaOHで洗浄後、遠心分離機で粒子状物質と溶媒層を分離し溶媒層から一定量を分取し乾固する。その後、アセトニトリルに溶かし蛍光検出器を用いて高速液体クロマトグラフ法で定量した。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 粒子状物質の排出量について<sup>1)2)</sup>

粒子状物質の排出量(mg/Km)の測定結果を表5に示した。試料数が少ないので一概にいえませんが、粒子状物質の排出量と平均車速との関連性はあまりみられない。粒子状物質の排出量と排気量の間にも比例関係はなかった。4車種の中で排気量の少ないものが一番小さい値を示していたが、排気量が多いからといって一番大きな値を示していた訳ではない。

燃料消費量(ml/Km)と粒子状物質の排出量の関係を図2に示した。この図から粒子状物質の排出量は試験車と測定モードにより差異がみられた。しかし、総体的にみると相関が認められた(r=0.73)。

表5 車種別・モード別粒子状物質の排出量

試 験 車				試 験 モード	排 出 量 (mg/Km)	備 考	
記号	規制年	最大積載量 又は定員	燃 焼 室 形 状			燃料消費料 (mL/Km)	(FW:Kg)
E	54	4,250 Kg	直噴式	M 15	1069	213	5,500
				D 1	1159	233	
				D 3	1016	162	
G	58	2,000 Kg	"	M 15	332	116	2,750
				D 1	323	132	
				D 3	343	87	
H	58	4,250 Kg	"	M 15	662	213	5,500
				D 1	927	237	
				D 3	632	173	
L	58	79人	"	M 15	668	376	10,000
				B 1	558	403	
				B 3	1059	376	

3.2 成分組成について

(1) 炭素成分組成比について

走行モード別炭素成分の測定結果を表6～9に示した。

図3に、粒子状物質の排出係数\*と粒子状物質中の炭素の占める割合を示した。

各車種、各走行条件下で粒子状物質中のカーボンの占める割合を総炭素(Ct)でみると37～70%であった。有機炭素(Corg)が7～28%であるのに対し元素炭素(Cel)は20～60%と割合が多かった。

(\*表5の排出量(mg/Km)を排出係数とした。)

(2) 水溶性成分組成比について

水溶性成分の組成比を表10～12に示した。ろ紙による違いはあるが、最大値のみした場合NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は0.1～2.5%, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は2.8～3.2%で両者合わせても占める割合は少なく、5%以下であった。

(3) 金属成分組成比について

金属成分の組成比を表10に示した。Si, Ca, Fe, Cu, Zn, Pbいずれも少なく合計で1%以下であった。

(4) 多環芳香族炭化水素{B(k)F, B(a)P, B(ghi)P}成分組成比について

多環芳香族炭化水素{B(k)F, B(a)P, B(ghi)P}成分の組成比を表10に示した。ディーゼル排ガス中の多環芳香族炭化水素3成分の比較を図4に示した。

測定項目間には、B(ghi)P>B(k)F>B(a)Pという傾向がみられた。

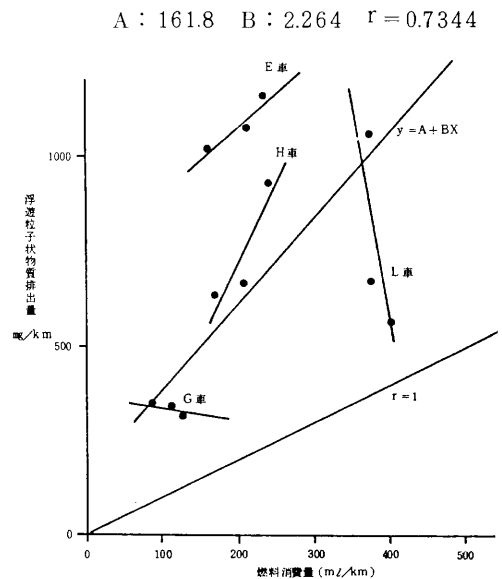


図2 燃料消費量と浮遊粒子状物質の排出量

今回調査の4車種による排ガス中の多環芳香族炭化水素3成分の比較をしたところ、1車種のみが他の車種よりも数倍高い数値を示したが、他の3車種は排気量に関係なくほぼ同レベルの値を示していた。

表6 車種別・走行モード別有機炭素成分排出割合\*

平均車速 (Km/h)	三菱 (6557cc)	いすゞ (2771cc)	日野 (6728cc)	いすゞ (11044cc)
15.7 (M-15)	4.1	2.9	2.0 ~ 2.7	4.3 ~ 6.0
7.6 (実走行)	4.9	3.4	2.2	3.5
19.2 (実走行)	—	—	—	5.3
20.0 (実走行)	4.3	3.0	2.0	—

表7 車種別・走行モード別元素炭素成分排出割合\*

平均車速 (Km/h)	三菱 (6557cc)	いすゞ (2771cc)	日野 (6728cc)	いすゞ (11044cc)
15.0 (M-15)	1.1	1.4	1.7 ~ 2.5	7 ~ 1.2
7.6 (実走行)	1.3	9	2.1	1.0
19.2 (実走行)	—	—	—	8
20.0 (実走行)	1.4	1.0	2.8	—

表8 車種別・走行モード別総炭素成分排出割合\*

平均車速 (Km/h)	三菱 (6557cc)	いすゞ (2771cc)	日野 (6528cc)	いすゞ (11044cc)
15.0 (M-15)	5.2	4.3	3.7 ~ 5.2	5.3 ~ 7.0
7.6 (実走行)	6.2	4.3	4.3	4.5
19.2 (実走行)	—	—	—	6.1
20.0 (実走行)	5.7	4.0	4.8	—

表9 車種別・走行モード別炭素成分排出割合\* (全車種平均)

平均車速 (Km/h)	有機炭素成分 (%)	無機炭素成分 (%)	元炭素成分 (%)
15.0 (M-15)	7 ~ 2.5	2.0 ~ 6.0	3.7 ~ 7.0
7.6 (実走行)	9 ~ 2.1	2.2 ~ 4.9	4.3 ~ 6.2
19.2 (実走行)	8	5.3	6.1
20.0 (実走行)	1.0 ~ 2.8	2.0 ~ 4.3	4.0 ~ 5.7

(排気量, 2771cc, 6557cc, 6728cc, 11044ccの4車種)

\* 排ガス中の粒子状物質に対する割合

表10 テフロンろ紙捕集分析結果

	粉じん量	粉じん濃度	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Si	Ca	Fe	Cu	Zn	Pb	S
三菱M-15	28.1	5.14	0	2.4	0.70	0.04	0.23	0	0.09	-	0.20
D-1	18.6	2.77	0	1.5	0.40	-	-	0.03	0.07	-	0.14
D-3	40.9	6.48	0	1.4	0.20	0	-	-	0.06	0	0.11
いすゞM-15	18.3	3.35	0	1.5	0.39	0.04	0.01	0.03	0.05	0.01	0.16
D-1	14.0	2.03	0	2.0	0.62	0.10	-	0	-	0.01	0.18
D-3	25.1	3.93	0	1.2	0.30	0.05	-	0.02	0.01	0.02	0.10
日野M-15	27.3	4.99	0	2.1	0.09	0.07	-	0.02	0.05	0.04	0.17
D-1	21.1	3.05	0	2.5	0.18	0.12	-	0.02	0.02	-	0.18
D-3	37.8	5.93	0	2.2	0.06	0.06	-	0	0.03	-	0.15
いすゞM-15	59.4	9.14	0.18	2.1	0.27	0.12	0.09	0.02	0.02	0.02	0.16
M-15	38.5	5.90	0	2.1	0.23	0.16	-	0.02	0.03	0.02	0.19
B-1	17.0	2.46	0	1.6	0.20	0.12	-	0.06	0.01	0.04	0.12
B-3	87.2	9.98	0	2.9	0.36	0.15	0.02	0.02	0.04	0.01	0.22

粉じん量：mg，粉じん濃度：mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>3</sub>～S：%

表11 クォーツろ紙捕集分析結果

	粉じん量	粉じん濃度	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Corg	Ce1	Ct	B(k)F	B(a)P	B(ghi)P
三菱M-15	68.9	7.60	-	2.0	11	41	52	21	15	17
D-1	48.0	4.32	-	1.6	13	49	62	14	15	24
D-3	90.8	8.73	-	1.7	14	43	67	25	16	30
いすゞM-15	76.0	8.39	0.1	0.9	14	29	43	44	52	86
D-1	58.4	5.12	-	1.0	9	34	43	39	63	96
D-3	90.7	8.56	-	0.08	10	30	40	35	37	54
日野M-15	66.2	7.31	-	2.1	25	27	52	16	10	23
M-15	47.3	9.11	-	1.6	17	20	37	14	6	20
D-1	54.2	4.75	-	1.7	21	22	43	10	9	16
D-3	87.9	8.29	-	2.2	28	20	48	17	8	20
いすゞM-15	91.6	5.15	0.07	1.7	7	60	67	14	6	8
M-15	106	11.7	0	2.3	12	58	70	20	12	22
M-15	68.4	7.53	-	2.2	10	43	53	12	8	15
B-1	40.1	3.52	0.05	1.8	10	35	45	7	6	15
B-3	184	12.7	0	2.8	8	53	61	10	4	10

粉じん量：mg，粉じん濃度：mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>3</sub>～Ct：%，PAH：ng/m<sup>3</sup>



表12 テフロンコーティング・グラスファイバーろ紙捕集分析結果

	粉じん量	粉じん濃度	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	
三菱 M-1	2.94	9.60	0.8	0.7	
	D-1	2.24	5.95	1.4	0.2
	D-3	4.66	13.2	0.6	0.6
いすゞ M-15	2.58	8.28	1.5	0.4	
	D-1	1.74	4.41	2.5	0.4
	D-3	4.34	12.1	1.2	0.2
日野 M-15	2.87	9.12	0.9	1.1	
	M-15	3.81	12.3	0.6	1.0
	D-1	2.73	6.98	1.2	0.5
	D-3	4.53	12.6	0.7	0.9
いすゞ M-15	3.33	5.31	0.7	1.5	
	M-15	2.86	8.99	0.9	2.1
	M-15	1.86	5.83	0.9	1.0
	B-1	1.03	2.57	2.2	-
	B-3	5.50	11.1	0.5	3.2

粉じん度：mg，粉じん濃度：mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>3</sub>，SO<sub>4</sub>：%

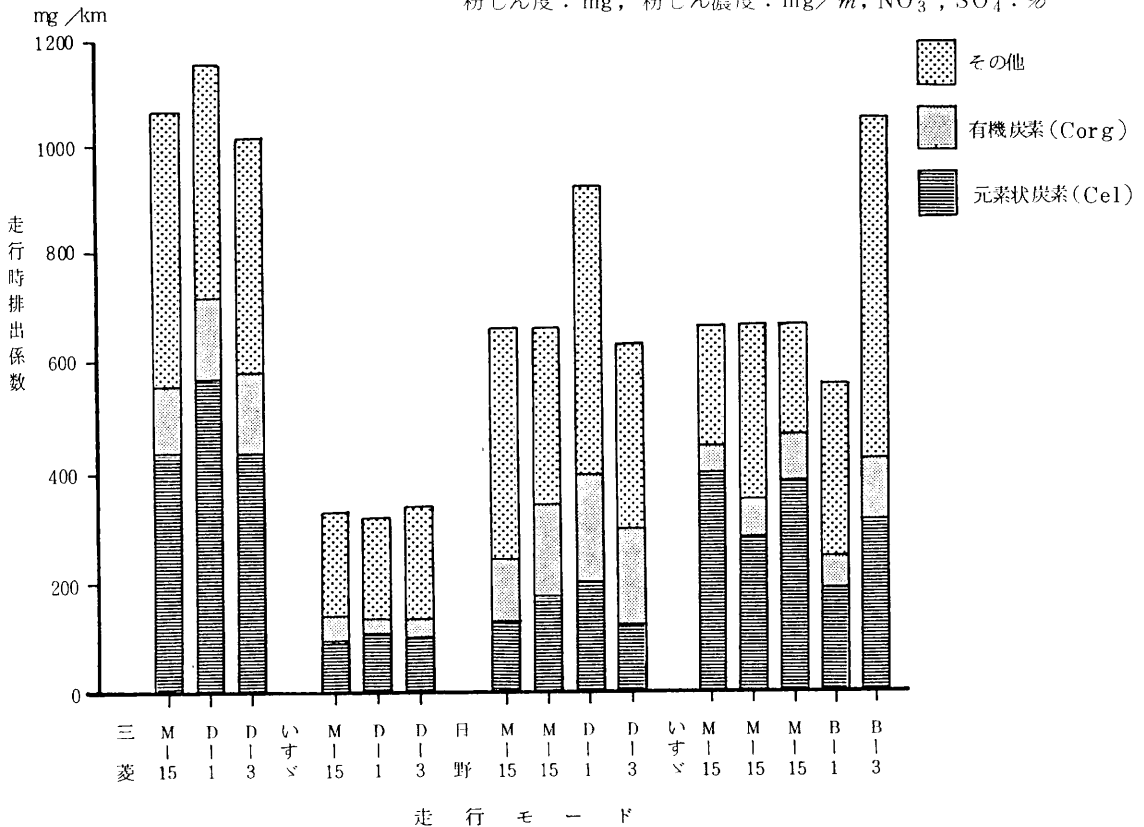


図3 炭素成分排出係数

### 3.3 ろ紙による粒子状物質

#### 捕集率の差異について

粒子状物質の捕集に際してテフロンろ紙・クオーツろ紙についてはハイボリュームサンプラーで捕集し、テフロンコーティングのグラスファイバーろ紙については等速吸引サンプラーで捕集したのでろ紙による捕集量の違いについては、捕集方法が異なり、単位面積当りの吸引速度が違うため単純な比較は難しい。

テフロンコーティングのグラスファイバーろ紙の捕集量(表11)に対する、テフロンろ紙の捕集量(表10)並

びにクオーツろ紙の捕集量(表11)の比をそれぞれ示したのが図5である。図5からも明らかなように捕集量は、テフロンコーティングのグラスファイバーろ紙>クオーツろ紙>テフロンろ紙の順であった。

テフロンコーティングのグラスファイバーろ紙の捕集量を100%とした時、クオーツろ紙88%、テフロンろ紙57%であった。

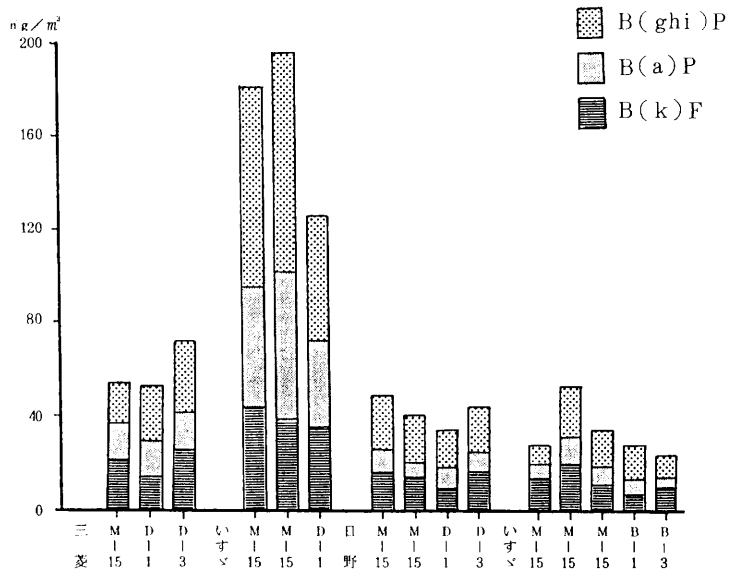


図4 ディーゼル排ガス中の多環芳香族炭化水素三成分の比較

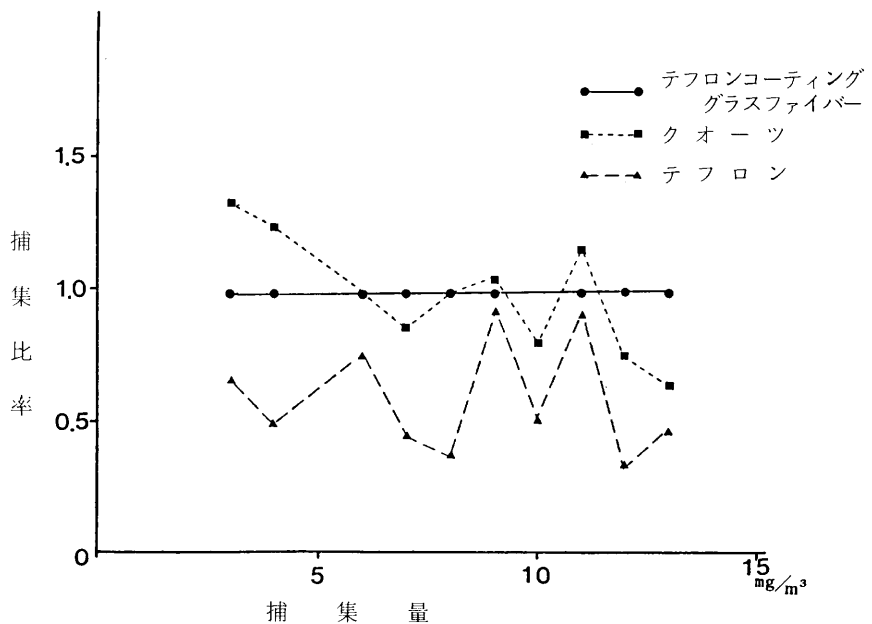


図5 ろ紙別粉じん捕集量の比較

#### 4. まとめ

シャシダイナモメータによりディーゼル車4種（トラック3，バス1）の排ガス測定を行うに際して排出ガス中の粒子状物質及び成分組成について分析調査したところ，各成分の粒子状物質に対する割合は次のとおりであった。

- (1) 総炭素（Ct）でみると37～70%であった。そのうち有機炭素（Corg）が7～28%であり，元素状炭素（Cel）は20～60%であった。
- (2) 水溶性成分（NO<sup>3-</sup>，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>）は5%以下であった。
- (3) 金属成分（Si，Ca，Fe，Cu，Zn，Pb）は1%以下であった。
- (4) 多環芳香族炭化水素（PAH）成分組成は，B(ghi)P>B(k)F>B(a)Pという傾向がみられた。粒子状物質の排出量と成分組成の結果評価にあたっての問題点及び今後の調査において注意すべき課題を以下に述べる。

今回4車種について行ったが，車種による違いはもちろん，同一車種であってもエンジン調整等によってバラツキが見られるので，平均的値は求めにくく限定条件下の値にしても検体数を増やす必要がある。

フィルターの化学的特性が異なるため捕集効率に差を生じた。ろ紙によりサンプリング方法が違ったが，統一する必要がある。テフロンろ紙は静電気の影響を受けるので秤量に当たり注意を要する。

#### 文 献

- 1) 川崎市公害局：自動車走行状態並びに自動車排出係数調査報告書，（昭和59年3月）。
- 2) 川崎市公害局：自動車排出係数調査報告書，（昭和60年3月）。
- 3) 林 久緒，井上康明，早坂孝夫，黒沢芳則，佐藤静雄：元素分析計を用いた浮遊粉じん中の炭素等の分析法，大気汚染学会誌，20（5），350～362（1962）。
- 4) 早坂孝夫，柴田幸雄，井上康明，林 久緒，黒沢芳則：浮遊粉じん中の金属分析について，川崎市公害研究所年報，12，5～12（1985）。
- 5) 沼川美登利，佐藤静雄，行方源六：Pbo<sub>2</sub>法による硫酸化物汚染度の測定法に関する比較研究（第2報），川崎市公害研究所年報，8，49～59（1980）。
- 6) 塩崎卓哉，田辺 潔，松下秀鶴：高速液体クロマトグラフィーによる大気浮遊粉じん中の多環芳香族炭化水素多成分分析法，大気汚染学会誌，19（4），300～307（1984）。