

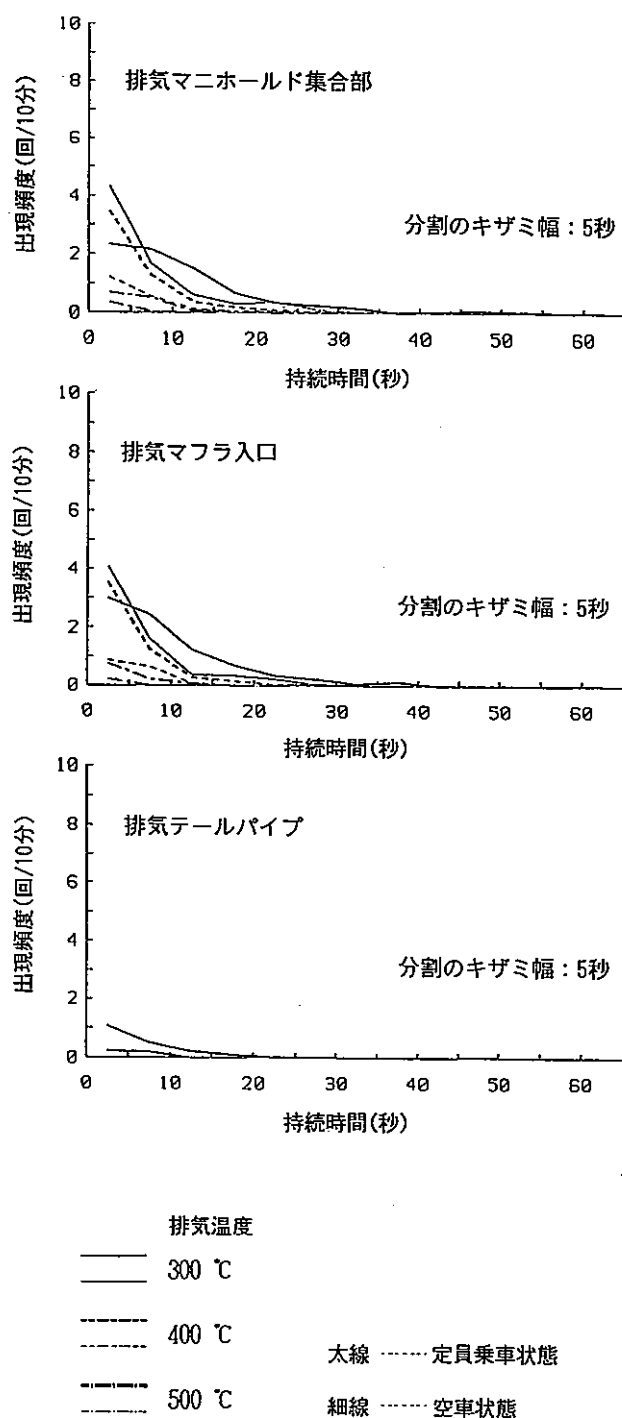


図2-6 排気温度の持続時間(都営バス05系統)

Ⅱ-3 DPFシステムの性能評価

大型路線バス用および小型エンジン車両を対象に自動車メーカーが供試したDPFシステムのエンジンベンチ試験を行い、捕集性能およびDPFのクラックなどの問題点を抽出するための実用性に関する評価を行った。

1. 供試DPFシステムと試験方法

表1-1に供試DPFシステムの諸元を示す。システムA, B, CならびにDは大型路線バス用に開発されたシステムで、排気量が11.1リットルのエンジンに取り付けて試験を行った。EからIは塵芥車を対象に開発されたDPF付きエンジンである。各システムに使われたDPFは、いずれもWFMコーディエライト ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) である。システムB, EならびにFのDPFは、再生効率を上げるための酸化触媒が付いている。

各システムの捕集時間は、対象車種の走行形態とDPFの容積に合わせて設定され、再生時の着火方法には電気ヒータ、軽油バーナならびに吸排気絞り方式が採用された。再生時間は、20から30分の短時間のものが多いが、システムDは最大420分をかけて再生を行う長時間再生方式である。評価試験としては、エンジンダイナモを用い、都市内の走行を模擬した運転パターンで、1システムあたり400時間の捕集再生を繰り返す運転(以下、400時間試験と記す)を行い、試験前後のPMの捕集効率ならびに試験中の燃料消費率と排出ガスを測定し、試験終了後にDPFの分解調査を行った。試験燃料には、各々のDPFの触媒の仕様に合わせた硫黄含有率の2号軽油を用いた。運転パターンは

表1-1 供試DPFシステム

システム	A	B	C	D	E	F	G	H	I
エンジン型式		無過給直噴			無過給うず室				
排気量 (ℓ)		11.1			3.4	3.3	3.0	2.8	3.6
最大出力 (kW)		162			72	71	66	60	77
DPF	WFM	←	←	←	←	←	←	←	←
DPF容積 (ℓ)	12.5	12.5	6.6	12.5	2.0	2.5	3.6	2.5	5.0
セル個数/cpi	17/100	17/100	17/100	17/100	17/200	17/100	17/100	17/100	17/100
基材	コーディエライト	←	←	←	←	←	←	←	←
捕集効率 (%)	90>	90>	55>	90>	75>	65>	90>	55>	90>
触媒	なし	貴金属	なし	なし	卑金属	あり	なし	なし	なし
使用燃料の硫黄含有率 (%)	0.18	0.04	0.18	0.18	0.18	0.04	0.18	0.18	0.18
再生方式	バーナ	電気ヒータ	←	←	←	吸排気絞り	←	バーナ	電気ヒータ
バイパス	あり	←	←	←	←	なし	なし	あり	あり
捕集時間 (h)	5	4	10	30	6	7	7.5	5	8.5
再生時間 (min)	18	20	14	420	20	20	10	12	20

東京都内を走行する対象車種の追従走行データを解析して作られたもので、1回の運転時間は30分である。

供試システムの詳細を資料Ⅲ-3の1に、試験および測定方法の詳細を資料Ⅲ-3の2および試験手順については資料Ⅲ-3の3に示す。

2. 実験結果および考察

(1) 400時間試験結果

図2-1に400時間試験前と終了後の、定常全開条件における捕集効率を示す。システムE、Fを除いた捕集効率は50%以上であった。試験前後の捕集効率に大きな変化はなかったが、システムIの試験終了後の捕集効率は試験前に比べてやや低下した。その原因としては、バッテリー電圧の低下により不完全再生が試験中に発生し、その次の再生時のDPF温度が異常に上昇したことによるものと考えられる。触媒付DPFのシステムEでは、硫酸ミストが大量に発生したために捕集効率はマイナスを示した。システムBとFも触媒付DPFであるが、低硫黄軽油を用いたために、システムEに見られるような硫酸ミストの大量発生はなかった。システムEのPMの増加の理由は、硫酸ミストの排出が少ないとされた卑金属触媒を使用したことで、低硫黄燃料を用いなかったことによる。しかし、触媒

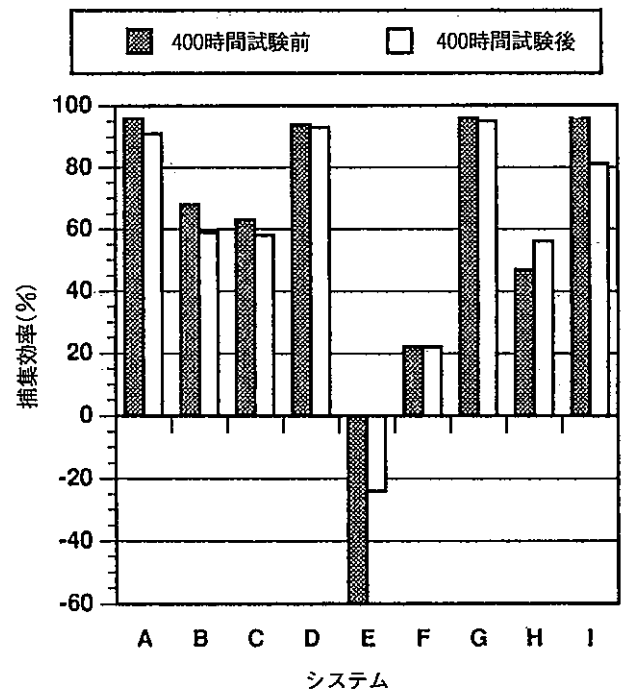


図2-1 400時間試験前後の捕集効率の変化
(全負荷, 40%回転速度 -A, B, C, D,
50%回転速度 -E, F, G, H, I)

付システムBとFの定常試験の捕集効率は諸元上の性能に比べて低く、硫黄含有率0.04%燃料でも硫酸ミスト発生分によるPMの増加が考えられる。表2-2に試験終了後の分解調査の結果を示す。システムA、Bにリングオフ (DPFのガス流方向と直角の面) クラックが発生していた。Aのクラックの原因は、再生時の高温ガスの偏流によるものである。Bのクラックの原因としては、再生後に残留する未燃のPMが他のシステムに比べて多いことから、次の再生時のDPF内の

表 2-2 分解調査

システム	A	B	C	D	E	F	G	H	I
容積当りの残留PM(g/ℓ)	3.7	7	—	0.13	3.5	若干	若干	若干	3.6
灰分(g)	8.3	—	—	1.8	0.6	若干	若干	若干	0.5
DPFのクラック等	リングオフ	←	—	なし	ラジアル方向	なし	なし	なし	リングオフ、 ピンホール状の溶融

温度勾配が大きくなり、DPFのもつ機械的強度の許容値を越えたものと考えられる。バッテリー電圧の低下があったシステム I のDPFには軽微な溶損が見られた。電気ヒータに比べて、吸排気絞りやバーナ再生方式を採用したシステムでは、残留するPMが少なく、DPFの分解調査結果は良好であった。また、長時間再生の電気ヒータ再生方式（システムD）の分解調査結果も良好であり、短時間再生方式に比べて、DPFの熱的な損傷に対しては有利であると言える。

(2) PMの捕集特性

表 2-3 に全開時の排気煙濃度を示す。諸元上の捕集効率が高いDPFを使用したシステム（A, B, D, E, G, I）の排気煙濃度はほぼ 0 % であった。表の値は、再生直後の測定結果である。捕集を開始してからの時間が経つにつれて、排気煙濃度はさらに下がる傾向を示した。DPFの壁面上あるいは気孔内にPMが堆積しているが、捕集効果が高くなる表面捕集型のWFM型DPFの特徴と考えられる。

表 2-3 排気煙濃度

システム	A	B	C	D	E	F	G	H	I
DPF	無-有	無-有	無-有	無-有	無-有	無-有	無-有	無-有	無-有
40%回転速度	6-41	10-39	22-30	0-36	0-14	16-28	0-12	3-15	0-29
60%回転速度	3-45	0-36	18-26	0-34	0-14	28-37	0-23	1-11	0-36
最高回転速度	3-34	0-30	16-21	0-25	0-14	2-7	0-24	2-12	0-32

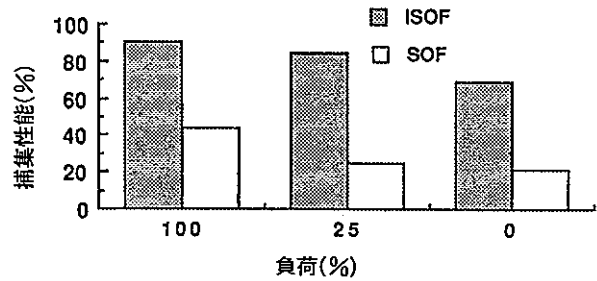


図 2-2 DPFの捕集特性(1000rpm回転速度におけるシステムA, B, CおよびDの平均値)

図 2-2 にシステム A, B, C, D のISOとSOFの平均値を示す。ISOに対して、最大で90%の捕集効率が得られた。しかし、SOFに対しては平均して約30%の低減率であった。

(3) 燃料消費量におよぼす影響

図 2-3 に捕集再生を 1 回行う運転期間中の、DPF システムのない場合との燃料消費量の増加率を示す。短時間再生の電気ヒータ（B, C）ならびにバーナ再生方式（A, H）の燃料消費量は 3 ～ 5 % ほど悪化した。そのうち、A, B および H のDPFの排気抵抗による悪化分は 1 ～ 2 % であるが、排気量の割には容積の小さいDPFを取り付けたシステムCでは 4 % を越えた。

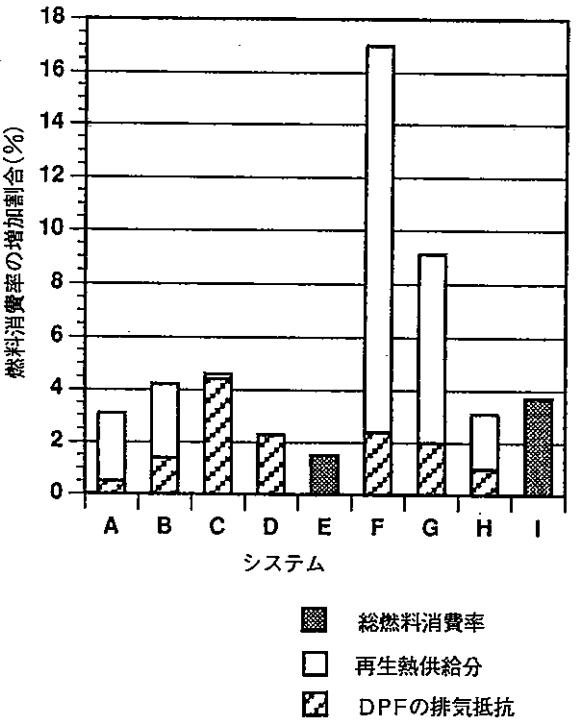


図 2-3 燃料消費率の増加(走行運転パターン)

吸排気絞り再生方式 (F, G) の燃料消費量の増加分は、他のシステムに比べて極端に大きくなった。

(4) 排出ガス特性

図2・4に400時間試験時の運転パターンにおける排出ガスの浄化率を示す。DPFを付けることによって、総じてHCが低減した。NO_xならびにCOはシステムによってその影響が異なり、定まった傾向はなかった。触媒付DPFシステムBとFのHCとCOの浄化率は60%以上である。しかし、システムEについては、触媒効果はなかった。これは試験中のDPF内温度は200～300℃であったことから、低温では活性が低いとされる卑金属系の触媒効果が得られなかったものと考えられる。

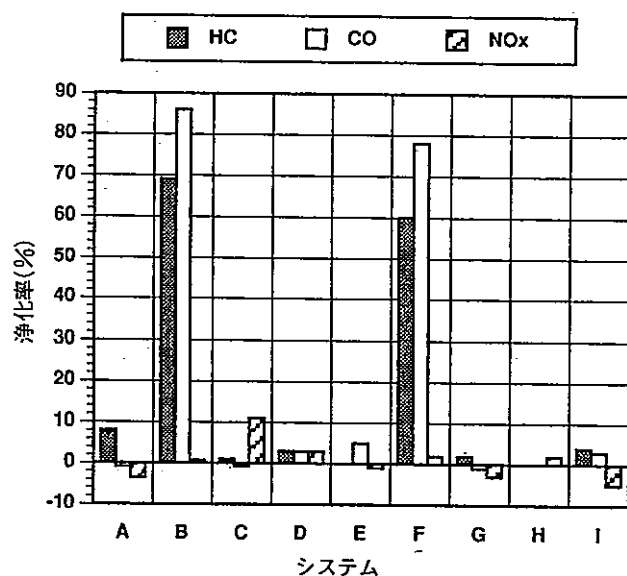


図2・4 排出ガス特性(走行運転パターン)

(5) 再生時のDPF内温度分布について

図2・5に吸排気絞りシステムG, 図2・6に電気ヒータ再生システムIの400時間試験中の1回の捕集再生期間中のDPF内の温度とDPF前後の最高差圧を示す。吸排気絞り再生 (G) のDPF温度ならびに差圧は比較的安定している。しかし、電気ヒータ再生 (I) においては、再生毎に大きく変化した。

400時間試験における電気ヒータ再生方式の分解結果からは、DPFが受けた温度履歴が良好な状況にあったとは言えない。そこで、DPF内の温度を詳細に調

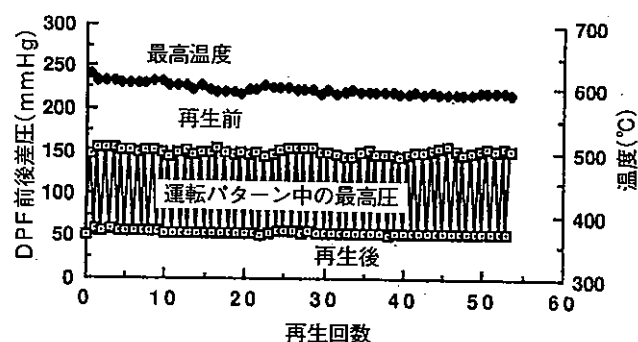


図2・5 DPF前後差圧と温度履歴(吸排気絞り方式G)

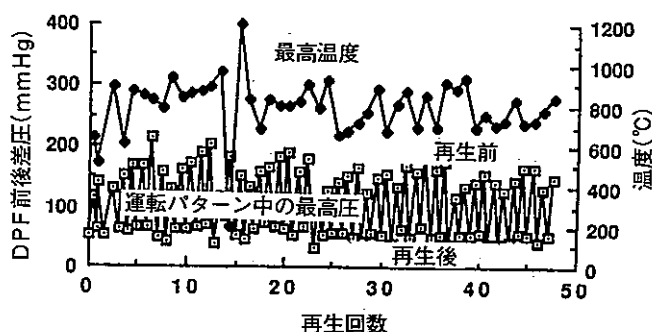


図2・6 DPF前後差圧と温度履歴(吸排気絞り方式I)

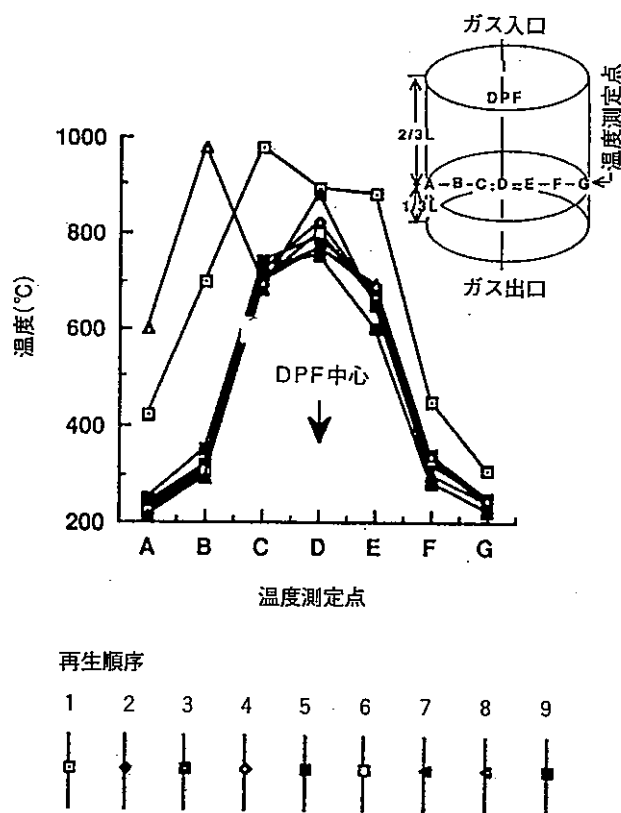


図2・7 DPF内の再生温度(システムI)

査した。

図2・7にシステムⅠの連続した9回の再生時の温度分布を示す。図中には、DPFの半径方向のAからGの温度測定点を示す。再生No. 2～7迄は比較的安定した温度分布を示している。しかし、No. 1と8では、各部の温度が全体に上昇する再生が起こっている。この時のDPFの周辺の温度は中心に比べて低い。未着火のPMが残留し、何回かの再生に一度の割合で、残留PMが燃焼すると考えられる。電気ヒータ再生方式は、再生時のガス量が少なく、DPF全体を均一な温度にすることが難しいものと考えられる。

3. まとめ

以上の結果をまとめると以下ようになる。

- ① DPFシステムによるPMの低減効果は大きい。
SOFの捕集効率はISOFほどは高くない。
- ② DPFによる燃料消費量の悪化は電気ヒータとバーナ再生方式で3～5%である。吸排気再生方式の燃料消費量は極端に多くなる。
- ③ 吸排気絞りの再生方式は、全量のエンジン排気を流すために、再生時の温度分布が均一になりDPFに与える熱的な影響は少ないと考えられる。電気ヒータ再生方式においては、より均一な温度分布になる燃焼法が必要となる。

Ⅱ-4 DPFシステム搭載車両の性能

前項のエンジンベンチ試験に供試したDPFシステムと基本的に同じ仕様のシステムを車両に搭載し、車両としての実用性について調査した。調査対象車は、大型路線バス4台である。DPFシステムを搭載し、実走行を行う上での初期トラブル、熱害、排出ガスおよびPMの低減率、騒音などについて評価した。

1. 供試車両

表1・1に供試車両諸元を示す。各供試車両のエンジン排気量は、9.8～12.5リットルで、最大出力が230PS前後の無過給エンジンである。各供試車両に取り付けられたDPFシステムのDPFは、いずれもセラミックのWFM型でシングルDPFバイパス方式である。車両Aがバーナ方式、他の3台の車両は電気ヒータ方式を採用し、車両Dは車外電源を使用して長時間の再生を行う特徴を持っている。いずれのDPFシステムも触媒は使用していない。資料Ⅲ-4の1にDPFシステムを搭載した車両の概要を示す。

表1・1 供試車両諸元

車 両	A	B	C	D
車両重量 (kg)	8950	9320	9560	9630
乗車定員 (人)	79	87	94	89
車両総重量 (kg)	13295	14105	14730	14525
供試エンジン				
気筒数	6	6	6	6
排気量 (ℓ)	11.8	11.2	9.9	12.5
燃焼室	DI-NA	DI-NA	DI-NA	DI-NA
最大出力 (PS)	230	225	230	235

2. 試験方法および結果・考察

(1) 安全性

走行中にDPFに捕集されたPMが自己再生し、DPF本体付近の温度上昇がないか、あるいは着火源として用いられるバーナなどの装置が熱害の原因にならないかなど、安全性について確認した。捕集時の走行中の安全性については、都市内の路線バスの走行を模擬した運転を行い、走行ならびに再生中のDPF内および装置周辺の温度を測定し、DPFシステム周辺の部品におよぼす熱害を調査した。走行試験は、JARI内の試験路を使用した。走行モードは、20と40km/hの定常走行に発進加速と減速停止ならびに加減速モードを組み合わせたもので、東京都内の実走行データをもとに作成したものである。資料Ⅲ-4の2に走行パターンおよび試験路を示す。再生時の熱害の試験は、通常

の捕集量の約2倍のPMを再生させ、DPF本体各部と周辺の温度を測定した。温度測定位置を資料Ⅲ-4の1の図2、4、6、8に示す。

表2・1に熱害に関する試験結果を示す。走行中のDPF内ならびにテールパイプ部の排気温度は200～250℃の範囲であり、走行中に捕集PMが白炽着火して、再生が起きるようなことはない。DPF上面の床部の温度は最高で70℃を示すことがあったが、走行中ならびに再生中に熱害を受けた部品はなかった。

バーナ再生方式のシステムAの再生時のDPF温度は約660℃で、電気再生方式の一部には1000℃を越えるシステムもあったが、周囲の温度は70～90℃であった。再生時の熱害試験でも、排出ガスによって熱害を受けた部品はなかった。

(2) 排気走行騒音

改造後の供試車両の走行騒音を測定し、現行規制値を超えないことを確認した。騒音試験は、TRIAS20-1988にしたがって行った。表2・2に騒音試験結果を示

表2・1 熱害に関する試験結果

車 両	A		B		C		D	
DPFシステム								
DPF周囲温度	DPF入口	250	DPF入口	255	DPF入口	240	DPF入口	235
(最高温度) (℃)	DPF内部	230	DPF内部	250	DPF内部	240	DPF内部	235
都市内模擬走行モード	DPF出口	210	DPF出口	245	DPF出口	240	DPF出口	235
運転時					ヒータ部	240	DPF外周	40
	テールパイプ、DPF	185	テールパイプ、DPF	230	テールパイプ、DPF	220	テールパイプ、DPF	180
	DPF 上面床部 (5cm)	70	DPF 上面床部 (5cm)	70	DPF 上面床部 (5cm)	50	DPF 上方パネル	25
	バーナー出口上面	70	テールパイプパイパス	35			ブレイキホース	30
熱害試験測定値	サイレンサマウントラバー	—/66	切替バルブシリンダー表面	—/47	トラップケーシング		排気ブレイキラバーホース	50/53
(最高温度) (℃)	バーナ	36/40	トラップ本体上パネル	55/55	(最下面)	—/185	エア配管	—/49
(正規の再生/過捕集時の再生)	ノイズシールラバー	—/73	トラップマウントラバー	—/61	DPF内部	1000/1065	ヒータ制御用	—/68
正規の再生：設計捕集量	(変速機垂れゴム)	—/73	ヒータハーネス	—/50	サイドフレーム (トラップ後)	—/72	温度センサハーネス	—/96
過捕集時の再生：設計捕集量の2倍	排気ブレイキホース	—/54	DPF内部	1039/1043	リッド床面 (トラップ前方)	60/69	ヒータ端子ラバーキャップ	—/75
再生装置は正規作動	エンジンマウントラバー	—/45	ケース表面	—/339	フレーム		ヒータハーネス	—/72
	DPF入口ガス温度		排気 (テールパイプ)	599/625	(バイパスパイプ近接部)	—/80	DPF上方壁面	70/72
	センサー用ハーネス	—/51	排気		エアドライヤホース		DPF後方壁面	—/54
	DPF内部	659/668	(出口100mm後流)	66/66	(トラップ前方)	—/72	DPF ケース外周表面	270/270
	DPF最下面	184/195			排気バルブ作動シリンダ		DPF内部	910/890
	テールパイプ部排ガス	200/216			及び空気配管 (前部)	—/95	DPF下方壁面	
	テールパイプ後流				排気バルブ作動シリンダ		(上面)	—/78
	100mm排ガス	183/199			及び空気配管 (後部)	—/76	DPF下方壁面	
	床面 (DPF上部)	—/41			排気 (テールパイプ出口)	100/105	(下面)	—/52
	シールラバー				排気		ヒータ端子ラバーキャップ	—/78
	(エンジンヘッドカバー)	—/54			(バイパスバルブ出口)	100/130	テールパイプ部排ガス温度	27/30
	燃料パイプ							
	噴射ノズル頭部	—/50						

表 2・2 騒音試験結果 (TRIAS 20-1985)

供試車両	定常走行騒音 (dB)	加速走行騒音 (dB)	排気騒音 (dB)
A	73.0	80.8	86.7
B バイパス側	72.2	81.1	89.5
DPF側	72.2	80.3	87.0
C	74.4	82.0	91.0
D	71.9	80.3	90.2
規制値	80	83	107

表 2・4 C/D台上試験条件

試験	エンジン回転 速度 (rpm)	エンジン負荷 割合 (%)	車速 (km/h) と変速位置
1	500	0(アイドリング)	0/ニュートラル
2	1300	5	40/4 th.
3	1300	40	40/4 th.
4	1300	60	40/4 th.
5	1300	80	40/4 th.
6	1300	95	40/4 th.

す。いずれの供試車両も現行の規制値を越えることはない。

(3) 排気煙濃度

表 2・3 に排気煙濃度スモーク 3 モード試験 (TRIAS 24-1972) および無負荷急加速試験の結果を示す。排気煙濃度は、車両 C 以外はいずれの条件でも 0 % であった。DPF システム C に使用されている DPF の捕集効率は他のシステムに使用されたものに比べて初期の PM 捕集効率が低いために、再生後の排気煙濃度が高いと考えられる。無負荷急加速試験の排気煙濃度はいずれのシステムにおいても 0 % であった。

表 2・3 排気煙濃度に関する試験結果

車 両	A	B	C	D
DPF システム				
排気煙濃度測定値 (TRIAS 24-1972)				
再生前				
1000rpm (%)	0	0	0	0
60% (%)	0	0	0	0
100% (%)	0	0	0	0
再生後				
1000rpm (%)	0	0	4	0
60% (%)	0	0	4	0
100% (%)	0	0	2	0
無負荷急加速 排気煙濃度測定値 検査基準 4-21-6				
再生前/再生後 (%)	0/0	0/0	0/0	0/0

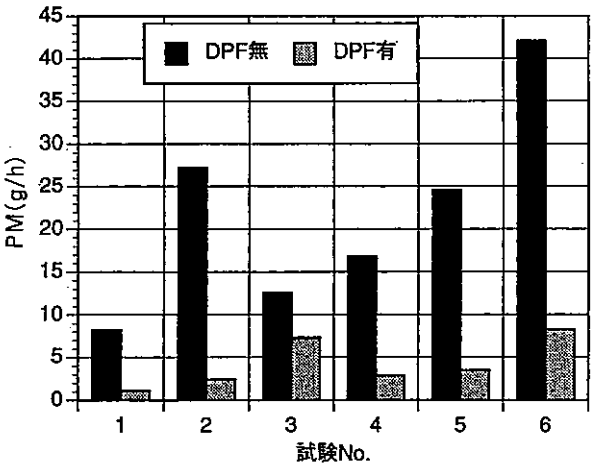


図 2・1 PM 排出率

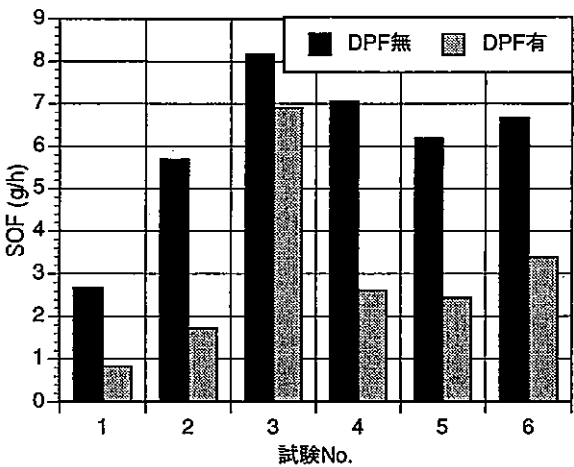


図 2・2 SOF 排出率

(4) PM および排出ガス重量

システムを搭載した車両 D を用いシャシダイナモ台上における定常走行条件の PM の排出量および排出ガスの調査を行った。表 2・4 に試験条件を示す。

PM のサンプリングには部分希釈トンネル装置を用

い、濾紙に採取した PM の重量の測定とその中に含まれる SOF を分析した。排出ガスとしては、THC、CO、NO_x および CO₂ を測定した。測定方法ならびに分析法は、前項のエンジンベンチ試験で用いた方法と基本的に同じである。

図 2・1 に PM を図 2・2 に PM 中に含まれる SOF の排

出率を示す。DPF有り無しのPMの排出率を比較すると、DPFを付けることによって全運転条件におけるPMは約80%ほど低減できそうである。PMに比べてSOFの低減効果は低いことがわかった。

図2・3にTHCの排出率を示す。各試験条件におけるDPF有りのTHCの排出率は、DPF無しに比べて低い。図2・4にCOの排出率を、図2・5に試験中のDPF後部中心の温度を示す。試験No. 1～5におけるCOのDPF有無の差はないと言えそうであるが、No. 6ではDPF有りのCO排出率は、無しに比べて高い。このときのDPF内温度は600℃を越えており、ディーゼルPMの自己着火温度は600℃前後であることから、試験中に自己着火が起きたことが考えられる。図2・6に試験中のエンジンに供給される燃料に対する空気の重量比を表す空気過剰率を示す。試験No. 6の空気過剰率は1.5で、残留酸素濃度が低いために不完全燃焼割合が増えてCOが増加したことが考えられる。このときの測定1条件当たりの試験時間は30分である。しかし、実際の路線バスの一般の走行条件では、本試験のように30分以上の高負荷運転は希で、COが大量に増加することはないであろう。

図2・7にNO_xの排出率を示す。DPFを付けることによるNO_xの排出率へおよぼす影響はないと考えられる。図2・8にCO₂の排出率を示す。DPF有りのCO₂排出率は、無しに比べてやや増加した。DPF有りの試験中は、設定駆動力を維持するためにごく僅かであるが、徐々に噴射量を増やす必要があった。試験中に捕集されるPMの増加に伴って、排気圧が上がり排気仕事が増えたことによると考えられる。しかし、試験No. 6のCO₂の増加は自己再生によるものと考えられる。

(5) 再生ガス（再生時に放出されるガス）

再生時に発生するガス（以下再生ガスと記述する）は、エンジンからの排出ガス同様に大気へ放出されるため、その排出量を調査する必要がある。再生ガスの測定には、TRIAS 23-1980に定められた10モード試験法のCVS法（Constant Volume Sampling）を用い、再生時のHC、CO、NO_x、CO₂濃度とガス流量を測定した。車両A、BおよびCのDPFシステムの再生は、車両が停止中でアイドリング時に作動する安全装置が付いているため、これらのシステムについてはアイドリングガスを含むPM燃焼ガスを測定し、車両D

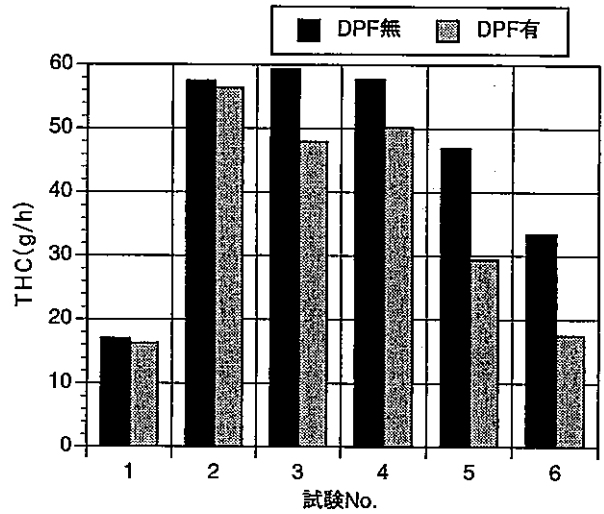


図2・3 THC排出率

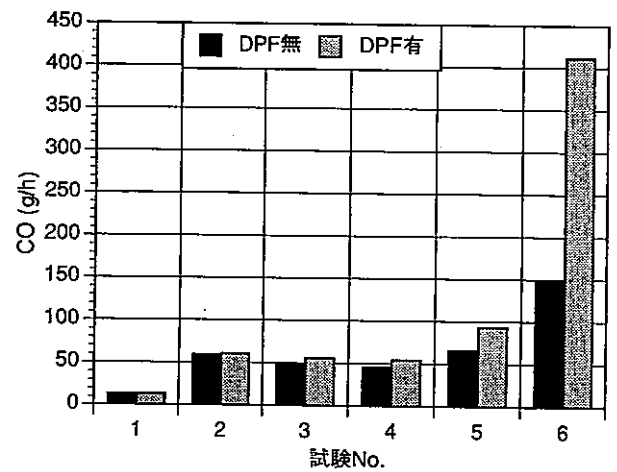


図2・4 CO排出率

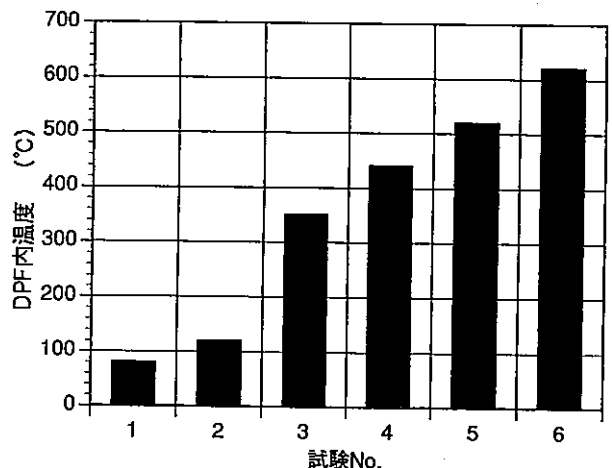


図2・5 後部中心のDPF温度

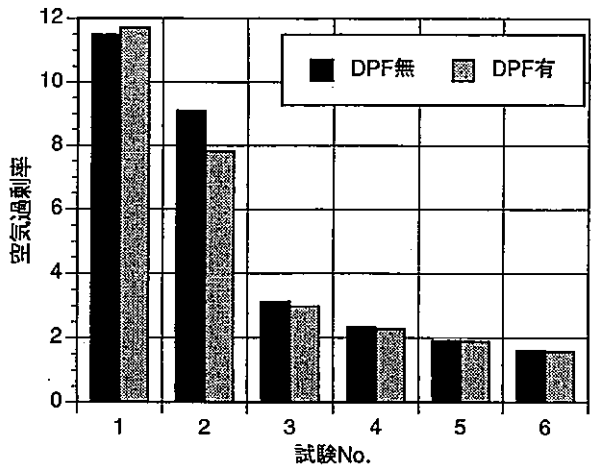


図 2-6 空気過剰率

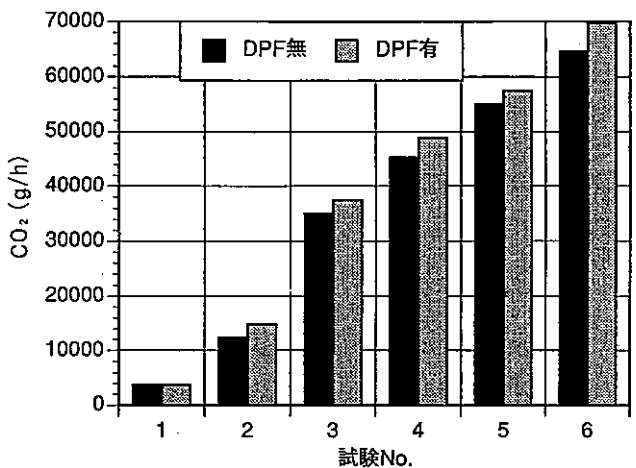


図 2-8 CO₂ 排出率

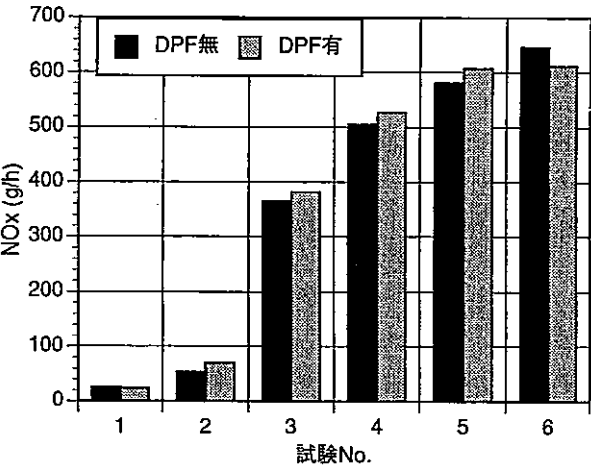


図 2-7 NO_x 排出率

ではPMの燃焼ガスを測定した。

表 2-5 に再生ガスの排出率と平均ガス濃度を示す。車両A、B、C、Dの順に再生ガス中のCO₂の排出率が大きい。車両Aはバーナの燃焼ガスが再生ガスに含ま

れるため、CO₂の量が多いと言える。電気ヒータ方式でも車両BのCO₂が車両Cに比べて多いのは、車両Bの場合、再生中に発電量を増やすためにアイドルアップが働くためである。

表の（ ）内は再生なしのアイドルリングガスの測定値を示すもので、再生ガスとの差がPMの燃焼ガスの排出率となる。再生によって、PM燃焼ガス中のNO_xの増加はないが、COはアイドルリングガスに比べて約4倍ほど増加した。車両A、BにおいてはTHCが増加した。

(6) 再生ガスを含む排出ガス

ディーゼル自動車排出ガス 6 モード試験 (TRIAS 24-2-1974) を行い、DPFを取り付けたときの排出ガスを測定し、再生ガスを含めた排出ガスの評価を行った。資料Ⅲ-4の3にDPFシステムの再生ガスを含めた排出ガスの考え方を示し、その考え方に基づく計算を行った結果を表 2-6 に示す。6 モード試験は、再生前後のDPFのPMの堆積量によって排気圧が異なるた

表 2-5 再生時の排出ガス (再生ガス)

車 両	A		B		C		D
DPFシステム							
アイドルリングを含む再生ガス							
THC (g/h)／(ppmc)	34/283	(14/146)	30/255	(16/213)	6.6/93	(6.6/95)	0.03/13
CO (g/h)／(ppm)	158/632	(45/236)	134/539	(29/188)	57.6/409	(15.8/111)	6.4/1276
NOx (g/h)／(ppm)	30/89	(29/104)	43/113	(26/107)	41.4/141	(40.2/131)	0.06/7
CO ₂ (g/h)／(%)	9776/2.33	(3564/1.2)	6778/1.79	(3300/1.37)	3456/1.6	(2996/1.3)	57.7/0.74

() 内はアイドルリングガス

表 2-6 排出ガス試験結果ならびに再生ガスを含めた評価

DPFシステム搭載車両名	システム A		システム B		システム C		システム D	
6 モード排出ガス測定値 (TRIAS 24-2-1974)								
再生前／再生後								
THC(ppm)	148／156		125／212		46／66		92／100	
CO (ppm)	232／235		296／295		301／272		244／190	
NOx (ppm)	322／324		335／334		364／353		361／370	
6 モード＋再生時の排出 ガス評価								
再生前／再生後 (規制値)								
THC(ppm)	158／167 (510)	重み 係数	140／237 (510)	重み 係数	51／74 (510)	重み 係数	92／100 (510)	重み 係数
CO (ppm)	255／259 (790)		324／323 (790)		318／287 (790)		253／197 (790)	
NOx (ppm)	324／326 (400)	1.060	340／339 (400)	1.083	371／360 (400)	1.125	361／370 (400)	1.060

め、再生前後の 2 条件で行った。

再生ガスを含めた排出ガスは、エンジン排出ガスに比べて THC は数%, CO は 4~10% レベルで増加するであろう。NO_x の増加分は小さい。再生後の THC の排出率は再生前に比べて小さい。これは、排気中の THC が捕集された PM へ吸着されることなどが考えられる。

(7) 初期に発生するトラブル調査

試験路において都市内の走行を模擬した走行試験を行い、初期に発生するトラブルを抽出した。走行中ならびに再生中の主要部の温度と再生時間を記録し、1 日に 1 回の無負荷急加速試験を行うことによってトラブルの発生を監視した。走行試験は乗車定員の半分に相当する半積条件で行った。走行は朝 8 時から夕方 5 時または 6 時まで連続して 10 日間、約 80 時間行った。試験の結果は以下のとおりである。

①試験車両 A

1 日 9 時間の走行を行い、午前の 4 時間走行後と午後は 5 時間の走行後の 2 回の再生を行った。特に大きなトラブルの発生は無く試験を終了した。走行中の DPF の温度は 200℃ 前後で、再生時の最高温度は 645℃ であった。毎回の再生時間は約 18 分間で安定しており、無負荷急加速試験の排気煙濃度は 0% であった。

②試験車両 B

1 日 8 時間の走行を行い、午前午後それぞれ 4 時間の走行の後、1 日 2 回の再生を行った。特に大きなトラブルの発生は無く試験を終了した。走行中の DP

F の温度は 220℃ 前後で、再生時の最高温度は 975℃ であった。再生時の燃え残りが原因と見られる電気ヒータ再生に特有の再生温度の変動があったが、毎回の再生時間は約 30 分で安定しており、無負荷急加速試験の排気煙濃度は 0% であった。

③試験車両 C

1 日 8 時間の走行を行い、午前午後それぞれ 4 時間の走行の後、1 日 2 回の再生を行った。走行中の DPF の温度は 290℃ 前後で、再生時の最高温度は 1100℃ 近くに達した。再生時の DPF 温度を一定値以下に制御する機構によって再生時の最高温度の変動は小さいが、制御が働くために再生時間が変化した。試験開始後 50 時間経過後排気煙濃度が高くなり、60 時間後、DPF の温度は 1100℃ 以上に上昇し、再生が自動停止した。原因は熱電対の断線であったが、その後の走行試験において排気煙濃度はさらに悪化した。分解点検を行ったところ、DPF にクラックが認められた。

クラックの原因は、残留 PM 量をできるだけ少なくするために再生温度の上限値を高めに設定したことによる。

④試験車両 D

1 日 9 時間の走行の後、6~7 時間の再生を行った。特に大きなトラブルの発生は無く試験を終了した。走行中の DPF 部の最高温度は 240℃ で、再生時の最高温度は 920℃ であった。電気ヒータ再生に特有な再生温度の変動は少なかった。DPF システム C と同様に、本システムも再生時の上限温度を制御しているために、走行開始後 DPF 内の残留 PM 量が多くなり、再生時間が徐々に長くなった。そのため、再生時間を長くする

必要があった。毎回の無負荷急加速試験の排気煙濃度は0%であった。

(8) 都市内の路線走行

前項の安全性、低公害性、経済性に関する確認試験を行い、ナンバー取得審査の結果、メンテナンス付きDPF試験バスとして、運輸省の道路運送法に基づく認可を受けた。その後、東京都内、横浜市内ならびにつくば市内における路上試験走行を行った。

東京都内と横浜市内の試験では、交通局の協力を得て実際の路線を走行し、ドライバならびに整備関係者から供試車両に関する意見、感想を聴取した。

路上走行試験の結果、ドライバならびに整備に関係する方々には安全な走行ができ、排気煙が目立たないDPFシステムの効果は十分に認められたが、停車再生や手動再生システムについて、実用上の煩わしさならびに再生時間に合わせた走行スケジュールなどの問題指摘をいただいた。

試験路を走行する約40日間の走行試験を行った。表2・7に40日間走行後の結果を示す。

各供試車両は熱害などの大きな問題もなく、安全に試験を終了した。しかし、すべての供試車両において何等かのトラブルが発生し、当初予定した走行距離に達しなかった。その大きな原因としては、夏期の炎天下の走行条件を上げることができる。予想以上にPM捕集量が増え、再生時のDPF温度が異常に高いことがわかった。PMの増加の原因としては、エンジン吸気の温度上昇により吸気効率が低下し、酸素が不足したため、またエアコンをフル稼働するために、エンジン負荷が増加して高負荷運転の割合が増えたことなどが考えられる。そのため、DPFの溶損と目詰まりが各1件づつ発生し、捕集量が多すぎて再生時間が長引き、運行スケジュールに支障をきたした。また、再生ボタンなどの押し忘れも起きた。捕集量センサの開発等も重要であるが、人為的なミスを誘発する手動再生等の見直しなどを含めたDPFシステムの再検討が必要となった。

(9) 耐久信頼性の評価

安全性の確認および初期トラブルの対策の後、再び

表 2・7 40日間の走行結果

車 両	A	B	C	D
DPFシステム				
捕集走行設定時間 (h/日)	9 (4+5時間)	8→6 (4+4→2+2+2時間)	8 (4+4時間)	9時間
捕集走行距離 (km/日)	134 (暖気走行を含む)	119→91 (暖気走行を含む)	119 (暖気走行を含む)	134 (暖気走行を含む)
再生時間 (分)	30 (一定)	30 (一定)	45以上	420→600→690に変更
再生回数 (回/日)	2	2→3	2	1
試験日数 (日)	40	40	40	40
捕集走行距離 (km)				
実走行/目標 (率)	5010/5360 (93%)	3325/3920 (85%)	4641/4760 (98%)	5107/5360 (95%)
再生回数 (回)	73	100	78	39
再生時間 (分) 最小/最大	30/30	30/30	45/130	280/640
無負荷急加速排気煙濃度 (%)				
最小-最大/最小-最大 (バイパス) (DPF付)	20-40/0-0	23-41/0-0	30-47/0-12	18-37/0-0
DPF交換回数 (回)	0	1	0	0
今後の検討事項	○バーナの着火不良 ○ボタン操作の誤認 ○ボタン操作の押し忘れ ○プロアーファンの干渉 ○着火センサの汚損	○過捕集によるDPFの破損 ○バイパスSWの切り替え忘れ ○過少捕集による未着火点灯	○再生時間の延長 ○操作ボタンの押し忘れ ○再生開始信号を受け付けず	○過捕集時の再生不良 ○操作ボタンの押し忘れ ○エアホースの装着未完

試験走行パターン：路線バス模擬走行パターン

試験路：JARI外周路

平均車速：14 km/h

走行期間：7月20日～9月30日

外気温：17～36℃

3. まとめ

1991年度に道路運送法に適合した4台のメンテナンスDPF試験バスを用い、バス路線を走行する際の走行環境（日時の異なる走行形態の変化）に対する試験車両の適応性を評価し、導入のための管理方法ならびに使用方法についての基礎資料を得た。

- ① シヤシダイナモを用い定常6条件についてPMを調査した結果、DPFを取り付けることによりディーゼル排ガス中のPMは約80%低減できることがわかった。
- ② 東京都内と横浜市内の試験では、交通局の協力を得て実際の路線を走行し、ドライバならびに整備に関係する方々から、停車再生や手動再生システムの問題指摘をいただいた。
- ③ 都市内の路線バスの走行を模擬した走行試験の結果、すべての供試車両において、何等かのトラブルが発生した。その大きな原因としては、夏期の炎天下の試験条件において、予想以上に補集量が増えたことがあげられる。

■残された課題

DPFには耐熱性が高く、通気性のあるセラミックスが使われている。しかし、再生時の高温の繰り返し耐久性には、まだ課題が残されている。再生時の温度をどのように制御して、フィルタ保護を如何に行うかが重要な技術的開発課題である。欧米においては、耐久信頼性に関する試験として自治体の運行する路線バスにDPFを搭載して大規模な営業試験運転が行われている。このような試験走行については、わが国では安全上の問題から簡単には行えないが、DPFの開発の上では重要であり自治体の受け入れやすいシステムの検討を早期に行うことが必要である。

II-5 営業運転に向けての調査

耐久信頼性に関する見直しと交通局の意見を反映したDPFシステムを開発し、エンジンベンチならびに実車試験を行い、営業運転を実施する上での必要事項を運輸省の指導のもとに調査した。

1. 営業運転用システム

営業運転用の走行中自動再生DPFシステムを装着したエンジンおよび実車の試験を実施し、その性能および安全性を調査した。表1・1に供試システムの諸元を示す。供試DPFシステムの再生方法は大別して3つに分けることができる。一つは捕集したPMをそのままDPF内で、電気ヒータおよびバーナを用いて燃焼させる再生方式のシステムB'、D'であり、もう一つは、PMをDPFの外に払い落としてから燃焼除去する逆洗方式のA'およびC'である。

エンジンベンチ試験には、逆洗方式のシステムA'と電気ヒータ燃焼再生方式のシステムB'およびバーナ再生方式のシステムD'を、走行試験にはシステムB'、C'およびD'を搭載した車両を供試した。供試車両は、実用性走行試験に用いた車両B、CおよびDである。

システムA'、C'およびB'のDPFの基材はコーディエライトで、D'は炭化珪素(SiC)である。図1・1にDPFシステム搭載レイアウトを示す。DPFシステムの4車両の基本的な搭載レイアウトは同じである。車両Dを除く3車両は、従来のマフラの取り付け場所にDPF本体を取り付けた。走行中の自動再生を示す表示ならびにDPFシステムの異常を知らせるランプは運転席に、DPFコントローラは車両後部座席の後ろに、再生回数を示すカウンタ表示部がエンジン室等に取り