

続運転を行った。試験中はDPF前後の差圧と温度、燃料消費量を記録した。再生後と次の再生前にDPFを取り外し、光学天秤を用いてDPF重量を測定し1再生当たりの捕集量を求めた。また、エンジンの排出ガスを測定し、エンジンの燃焼状態によらずDPFシステムの影響を調査した。排出ガスは1走行運転パターン中のCO、THCおよびNO_xを測定した。

④実用性試験終了時の性能評価の定常試験

(DPF有り、無し)

400時間試験を終了した後、試験前と同じ条件でDPFの性能試験を行った。ただし、大型都市バスの試験終了後の測定条件はエンジン回転速度1000rpmで、エンジン負荷率100%、小型エンジンの場合は50%エンジン回転速度の100%負荷率の1条件とした。

⑤DPFの分解調査

以上の試験を終了した後、DPFを包んでいるキャニンを切断し、DPFの損傷等の有無を調べた。DP

Fの詳細な調査はDPFメーカーで行った。

4. 試験結果

表4・1に大型エンジン、表4・2に小型エンジンの試験結果を示す。

①システムA

試験中に再生用バーナの点火不良があったが、試験が長時間中断することなく予定の試験項目を実施した。点火不良の原因はノズル部品の加工ミスによるものであった。

DPF無しの汚染度およびHSUは30～40%のレベルで、DPF有りは数%であった。高負荷時の捕集効率は90%以上で低負荷時の捕集性能は50%であった。400時間試験前後のDPFのPM重量濃度は変わらなかった。

表 4・1 大型都市バス供試DPFシステムの試験結果

システム名	システムA			システムB			システムC			システムD		
DPF性能に関する試験												
排出PM重量低減率 (%) 1000rpm												
負荷率 (%)	0	25	100	0	25	100	0	25	100	0	25	100
試験前	53	40	96	18	84	68	13	23	63	8	26	94
エンジン回転速度率 (%)	40	60	100	40	60	100	40	60	100	40	60	100
400時間試験前の汚染度 (%)												
DPF無し	41	45	34	39	36	30	30	26	21	36	34	25
DPF有り	6	3	3	10	0	0	22	18	16	0	0	0
PM重量濃度低減率 (%) 100%負荷率												
試験前	82	87	78	75	82	76	32	32	22	83	81	70
試験後	75	85	80	76	69	76	35	25	18	84	80	73
400時間試験												
捕集重量 (g)	30～35			20～35			15～35			200		
残留PM (g)	70			95			60			40		
DPF最大前後差圧 (mmHg)	74			316			588			220		
DPF温度 (℃)	730			830			1000			1000		
燃費の増加率 (%)	3.1			4.2			4.4			7.1		
	(バーナ分を含む)			(消費電力分を含む)			(消費電力分を含む)			(消費電力分を含む)		
排出ガスの浄化率 (%)	—			HC: 67、CO: 87			—			—		
分解調査の結果												
	・全断面に達するクラックが発生している。			・全断面に達するクラックが発生している。			・マイクロクラックが見られる。			・燃え残りが多い。		
	・バーナー燃焼ガスの偏りによって燃え残りが見られる。			・DPF前のガス拡散板が粒子で閉塞した。								
所 見	・クラックの発生による浄化性能の低下は見られなかったが、1.5ヵ月毎のDPFの保守点検が必要である。			・クラックの発生による浄化性能の低下は見られなかったが、1.5ヵ月毎のDPFの保守点検が必要である。			・燃え残りの定期的な清掃が必要である。					

表 4-2 供試DPF付小型エンジン

システム名	システムE			システムF			システムG			システムH			システムI		
DPF性能に関する試験															
排出PM重量低減率 (%) 50%rpm															
負荷率 (%)	0	50	100	0	50	100	0	50	100	0	50	100	0	50	100
試験前	76	91	-287	42	10	44	22	73	96	53	48	47	29	57	96
エンジン回転速度率 (%)	40	60	100	40	60	100	40	60	100	40	60	100	40	60	100
400時間試験前の汚染度 (%)															
DPF無し	14	14	14	28	37	7	12	23	24	15	11	12	29	36	32
DPF有り	0	0	0	16	28	2	0	0	0	3	1	2	0	0	0
PM重量濃度低減率 (%) 100%負荷率															
試験前	49	49	49	44	35	22	45	68	69	44	39	38	76	83	79
試験後	49	39	39	44	38	22	47	69	73	47	42	52	76	80	76
400時間試験															
捕集重量 (g)	11			9			23			9			23		
残留PM (g)	18			10			20			20			25		
DPF最大前後差圧 (mmHg)	48			235			155			200			220		
DPF温度 (℃)	840			600			610			900			1000		
燃費の増加率 (%)	1.4			17			9.1			3.1			3.7		
排出ガスの浄化率 (%)	—			HC : 60、CO : 79			—			—			—		
分解調査の結果	・軽微な溶損														
所 見															

た。 ΔP_{max} の最大値は74mmHgで T_{max} の最大値は730℃であった。捕集重量は30～35gで設計上の捕集重量35gを大体満足した。試験終了後のDPF重量は約70g増加し、DPFの細孔に堆積した残留PMの堆積が原因と考えられる。DPF有りの燃料消費率は、DPF無しに比べてエンジンの燃料消費率で0.51%、バーナに使用した燃料を含めると3.1%増加した。

試験を終了した後、DPFを包んでいるケースを切断しDPF損傷等の有無を調べた結果、DPF軸方向の中央部にクラックが発生していた。図4-1に試験終了後のDPF断面を示す。供試DPFメーカーに調査を依頼した結果、クラックは全断面に達しており出口側の端面にも軸方向に4本のクラックが発生していることがわかった。SOOTジェネレータ（ばい煙発生装置）を使い試験終了後のDPFの捕集効率を測定したところ、平均捕集効率は96%で、未使用品の標準的な捕集効率93%と同等で、クラックによる捕集性能の低下はないことが確認された。クラックの原因としては、ケースの熱膨張による張力がDPFに働いたことが考えられ、その際、張力を分散するDPFを包む緩衝材にPM漏洩の痕跡ができることがあるが、それは見られなかった。400時間試験中の350時間以降においてDPF前後差圧が低下したことから、この時期にクラックが発生した

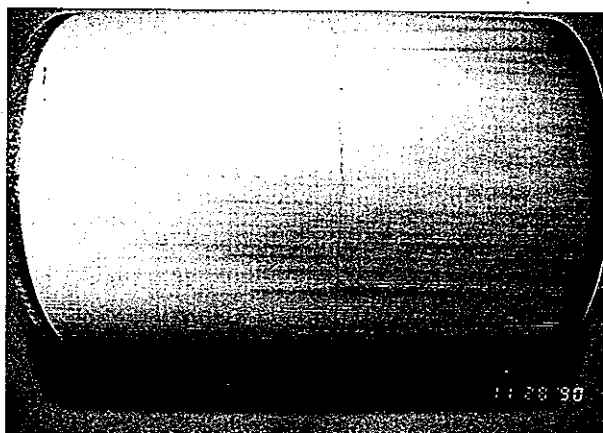


図 4-1 400時間試験後のDPF(システムA)

ことが考えられるが、試験終了後のPM測定でも、クラックが原因と考えられる捕集性能の低下はなかった。

DPF前面には三日月状に残った残留PMを確認することができた。電気炉を用いて燃え残ったPMを焼却した結果、DPF重量は45.6g減少した。さらにDPFに振動を与え、落下した灰分の重量を測定した結果は8.3gであった。X線分析による灰分の成分は、Ca, Ti, Feの化合物であることがわかった。

図4-2にバーナの燃焼ガス流路を示す。三日月状に残ったPMの原因は、バーナからの高温ガスの導入管

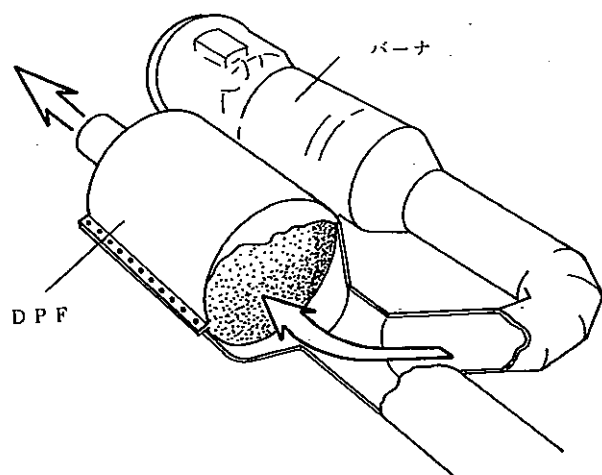


図4-2 バーナの燃焼ガス流路

の曲率が大きいために高温ガスの流れが偏ったためと考えられる。その際に、DPFに働く膨張率の差による曲げ応力がクラックの原因と考えられる。

システムAを実車に搭載する場合は、積算捕集400時間相当で何等かの保守管理が必要と考えられる。捕集積算400時間は、実際の路線バスの運転時間で約1.5カ月に相当する。

②システムB

試験の途中にヒータが断線し交換することがあったが、長時間試験が中断することもなく予定通りの試験項目を実施した。ヒータの断線の原因はヒータ絶縁体の構造に問題があったためである。

DPF無しの汚染度レベルは、30～40%で、DPFを取り付けた場合、100、60%のエンジン回転速度率の汚染度は0%、1000rpmでは10%であった。HSUにおいても同レベルの汚染度が確認された。DPFを取り付けることによって全負荷では排出PM重量が約70%減少し、25%負荷率では85、負荷率0%では20%の減少であった。また、全負荷試験条件では硫酸ミスト(SO_4^{2-})の増加が認められた。触媒による硫酸ミストの発生が考えられる。この時のDPF温度は500℃であった。

400時間中の ΔP_{max} は、徐々に増加し続け140、250、270時間時の再生時の T_{max} が500℃と低く、再生不良を起こしたことが確認された。そのため、運転時間280時間でDPF本体を点検した結果、ヒータの放射熱を有効に利用するために設けられた輻射板（通気性のあ

るセラミック板）がPMで閉塞していることがわかった。DPFに捕集されるPMが先に輻射板に捕集されたため、DPFに捕集されるPM量が少なくなり再生不良を起こしたものと考えられる。再生不良時の残留PMは次の再生PM量に加えられるため、 T_{max} は通常時より高くなることがわかった。再生時にPM燃焼が持続するためには、燃焼が持続できるPMの密度が必要である。

捕集重量は20～35gの範囲で、設計捕集重量35gに比べて少なかった。 ΔP_{max} は316mmHgで、 T_{max} は830℃であった。DPF本体内に残存するPMは、運転時間200時間で約70g、拡散板を清掃した後は約40gに減少した。DPFを付けることによるエンジンの燃料消費率は約2.8%悪化した。ヒータの供給電力を軽油燃料の発熱量に換算すると、システムとしての燃料消費率は4.2%増加することになる。計算にはエンジンの熱効率を20%、軽油の発熱量には10,700kcal/kgを用いた。触媒の浄化作用によってHCは67%、COは86%減少しNOxは変わらなかった。

試験を終了した後、DPFのキャニングを切断し、DPFの損傷等の有無を調べた結果、DPF軸方向の中央部にクラックが発生し、クラックは全断面に達していた。400時間試験後の捕集性能は特に低下していないが、システムBを実車に搭載する場合は積算捕集400時間で、何等かのDPFの保守管理が必要となる。捕集積算400時間は実際の路線バスの運転時間で1.5カ月に相当する。

③システムCの試験結果

試験の途中に捕集時間を変更することがあったが、長時間の中断もなく予定の試験を終了した。

DPF無しの汚染度は20～30%のレベルで、DPFを取り付けることによって汚染度は15～20%のレベルに下がり、PM重量濃度では約30%減少した。HSUにおいても同様のレベルであった。DPFによって全負荷時の排出PM重量は約60%以上低減し、25、0%の部分負荷では10～20%ほどの低減であった。

400時間試験中に ΔP_{max} は、徐々に増加し続けたため、運転220時間から捕集時間を8時間から7時間に短くした。しかし、その後も ΔP_{max} は増加し続ける傾向があった。 T_{max} は1000℃であった。DPFのPM捕集量は15から35gの範囲で、許容捕集重量59gに比べて半分以下であった。400時間試験後のDPF重量は約60

g増加した。燃料消費率は捕集時間を7時間に変更した後はやや回復したが、約4.4%の増加でヒータへの供給電力を軽油燃料に換算した場合では、4.6%の増加となった。400時間試験前後の捕集効率は試験後の方がやや低くなった。

試験を終了した後、DPFのキャニングを切断しDPFの損傷等の有無を調べた。DPF軸方向のヒータ側から1/3の箇所にクラックが発生していた。クラックは全断面には達していないようであるが、DPF中心部と周辺部にかなりの残留PMを見ることができた。

④システムD

400時間試験途中にヒータが断線し、ヒータの一部を交換した。また、熱電対を1本交換した。試験開始時の再生時間は6時間であったが、DPFの温度が上昇するようになり再生時間を長くする必要があった。

DPF無しの汚染度は25~35%のレベルで、DPFを取り付けることによって汚染度は0%のレベルに下がった。HSUにおいても同様のことが言える。

400時間試験の T_{max} は1000℃で、平均的な T_{max} は900℃であった。試験中の平均的な捕集重量は200g弱で、試験終了後の残存PMは約40gであった。エンジン燃料消費率の悪化は約2.2%で、ヒータへの供給電力を考慮すると7.1%増加したことになる。試験前後のPM捕集効率は変わらなかった。

試験終了後、DPFのキャニングを切断しDPFの損傷等の有無を調べた。クラック等の損傷はなかった。試験終了後のDPFを電気炉に入れ可燃PMを焼却し、不燃物として残った灰分は1.8gであった。

⑤システムE

特に大きなトラブルもなく予定の試験を終了した。DPF無しの汚染度は14%、DPFを取り付けることによって汚染度は0%のレベルに下がった。HSUにおいても同様のことが言える。DPFを付けることによって、中低負荷時のPM排出量は約80%低減し、全負荷時にはPM重量濃度は約50%低減したが、重量測定では約3倍に増加した。PMの成分を分析した結果、DPFを付けることによって黒煙を主成分とするISOは減少するが、硫酸ミストが大量に増え、SOFも増加していることがわかった。触媒付きのDPFに硫黄含有率の高いLS20%の燃料を用いたために、高負荷時に大量の硫酸ミストが発生した。

400時間試験 ΔP_{max} は徐々に増加し、数サイクル毎に差圧が下がる圧力変化を繰り返した。正常な再生時の T_{max} は600℃以上の温度であるが、再生不良時は400℃であった。平均的な捕集重量は11g弱で残留PM重量は18g、エンジン燃料消費率はDPFを付けることによって約1.4%悪化した。試験前後の捕集効率はPM重量濃度で比較すると、試験後の方が低くなった。

試験終了後、DPFのキャニングを切断しDPFの損傷等の有無を調べた。捕集性能に影響をおよぼすようなクラック等の損傷はなかった。DPF本体の重量は18g増加したが、DPF中の灰分は0.6gであった。

⑥システムF

大きなトラブルによる長時間の中断もなく予定の試験を終了した。DPF無しの汚染度は30~40%で、DPFを取り付けることによって汚染度は約1/3の濃度に下がった。HSUにおいても同様のことが言える。DPFを取り付けることによって排出PM重量は約50%低減した。

400時間試験中の ΔP_{max} の増加はなかった。 T_{max} は600℃で非常に安定している。PM捕集量は9gで設計捕集重量10gに近い値であった。残留PMは400時間後に約10g増加した。DPFを付けることによるエンジン燃料消費率は約2.4%悪化し、吸排気絞りによる悪化分を含めると燃料消費率は17%増加した。触媒の浄化作用によりHCおよびCOが低減した。400時間試験終了後もPM重量濃度は変わらなかった。

試験終了後、DPFのキャニングを切断しDPFの損傷等の有無を調べた。クラック等の損傷はなかった。

⑦システムG

大きなトラブルもなく予定の試験を終了した。DPF無しの汚染度は25%のレベルで、DPFを取り付けることによって汚染度は0%レベルになった。HSUにおいても同様のことが言える。各エンジン回転速度におけるPM低減率は、高負荷で90%以上である。400時間試験の残留PMによる ΔP_{max} の上昇もなく、 T_{max} は600℃で常に安定している。平均的な捕集重量は22gで許容捕集重量の約半分の量で試験を行ったことになる。400時間試験終了後、残留PM重量は約20gであった。DPFを付けることによるエンジン燃料消費率は約2%悪化し、吸排気絞りによる悪化を含めると総燃料消費率は9.1%増加した。400時間試験前後の汚染度

から求めたPM重量濃度の低減率は変わらなかった。

図4・3に400時間試験中のDPF前後差圧と温度履歴を示す。1捕集再生期間における再生後および再生前の1運転パターン中のDPF差圧の最高値は変わらない。DPFのキャニングを切断しDPFの損傷等の有無を調べた結果、クラック等の損傷はなかった。

⑧システムH

大きなトラブルもなく予定の試験を終了した。DPF無しの汚染度は10～15%で、DPFを取り付ることによって2から3%のレベルに下がった。HSUにおいても同様のことが言える。PM排出量は、DPFを付けることによって約40%減少した。

T_{max} は850℃であった。捕集重量は9gで設計捕集重量10gに近い試験を行ったことになる。400時間試験後の残留PMは約20gであった。燃料消費率は約1%悪化し、再生用のバーナに消費された分を含めると3.1%の悪化となる。400時間試験後のPM排出重量濃度の低減率は、試験終了後若干高くなった。

図4・4に400時間試験中のDPF前後差圧と温度履歴を示す。1捕集再生期間における再生後および再生前の1運転パターン中のDPF差圧の最高値は、毎回安定しているが、吸排気絞り再生方式のシステムGに比べては変動幅が大きい。分解調査におけるDPFのクラック等の損傷は無かった。

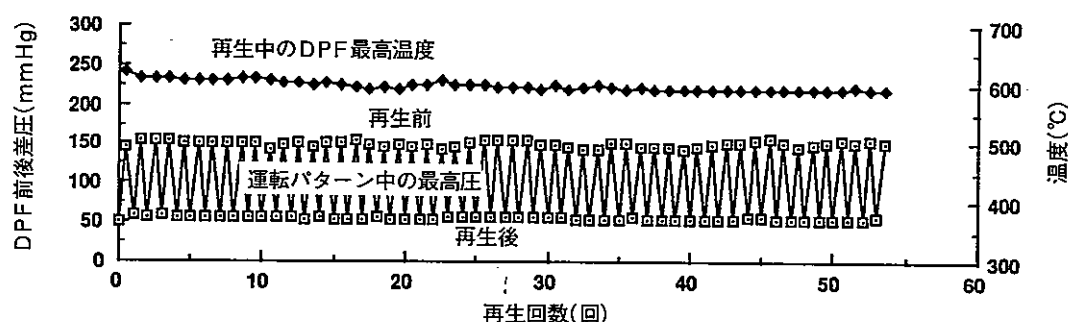


図4・3 400時間試験中のDPF前後差圧と温度履歴(吸排気絞り再生方式システムG)

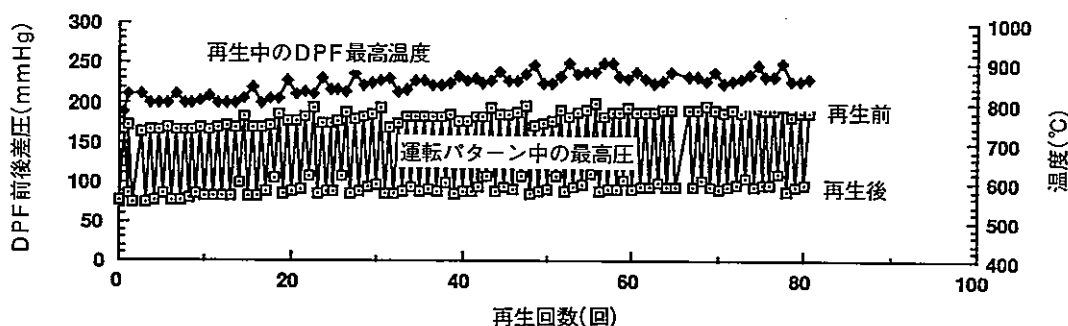


図4・4 400時間試験中のDPF前後差圧と温度履歴(バーナ再生方式システムH)

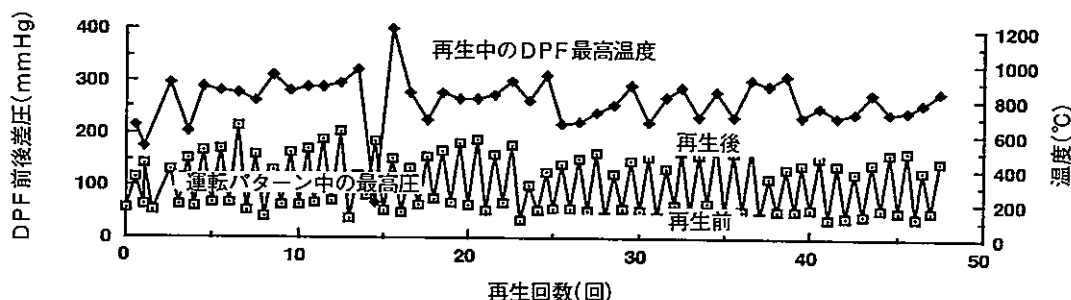


図4・5 400時間試験中のDPF前後差圧と温度履歴(電気ヒータ再生方式システムI)

⑨システムI

試験中に再生時の着火不良が1回発生した。原因はバッテリーの充電不足が原因であったが予定の試験は長時間の中断もなく終了した。DPF無しの汚染度は35%で、DPFを取り付ることによって汚染度は0%のレベルに下がった。HSUにおいても同様のことが言える。

400時間試験中に ΔP_{max} は徐々に増加し、6, 7回毎の捕集再生時に蓄積された残留PMが一挙に燃えたと考えられる ΔP_{max} の低下が認められた。14回目の再生時に着火不良が発生した。原因はバッテリーの電圧降下のためであることがわかった。電圧降下のためコントローラが自動的に再生を中断した。次の再生は、DPFの温度上昇を抑えるため空気量を調整しながらの手動再生を行った。しかし、DPF温度が約1分間1000℃を越えることがあった。400時間試験中の平均的な再生温度は800℃であった。試験中の平均的な捕集重量は23gで、許容捕集重量24gに近い試験を行ったことになる。試験終了後の残留PM量は25gであった。再生に要する燃料分も含めたエンジン燃料消費率は約3.7%悪化した。試験終了後のDPF低減率が約15%低下した。

図4・5に400時間試験中のシステムIのDPF前後差圧および温度履歴を示す。15サイクル目の手動再生によるDPF温度は1200℃近くまで上昇しており、1回の捕集再生期間における再生後および再生前の1運転パターン中のDPF差圧の最高値は毎回大きく変動しており、DPFが受けた温度履歴は良好な状況にあったとは言えない。

そこで、DPF内の再生中の温度分布を調査した。図4・7にシステムIの連続した9回分の再生時の温度分布を示す。図中のAからG点はDPFの半径方向の温度測定点である。再生番号2～7は比較的安定した温度分布を示した。しかし、1と8では再生温度が全体に上昇している。この時のDPF周辺温度は中心に比べて低いことから、周辺部に残留する未着火のPMが、何回かの再生に一度の割合で燃焼することが考えられる。

試験を終了した後、DPFのキャニシングを切断しDPFの損傷等の有無を調べた。図4・6に400時間試験終了後のDPFの断面を示す。DPF外観上のクラック等の損傷はなかったが、DPF内部には数本のクラックとDPF後端部のセル壁に溶損が確認された。また、20倍の拡大鏡による調査ではDPF後端面および内部に微細なクラックが見られた。

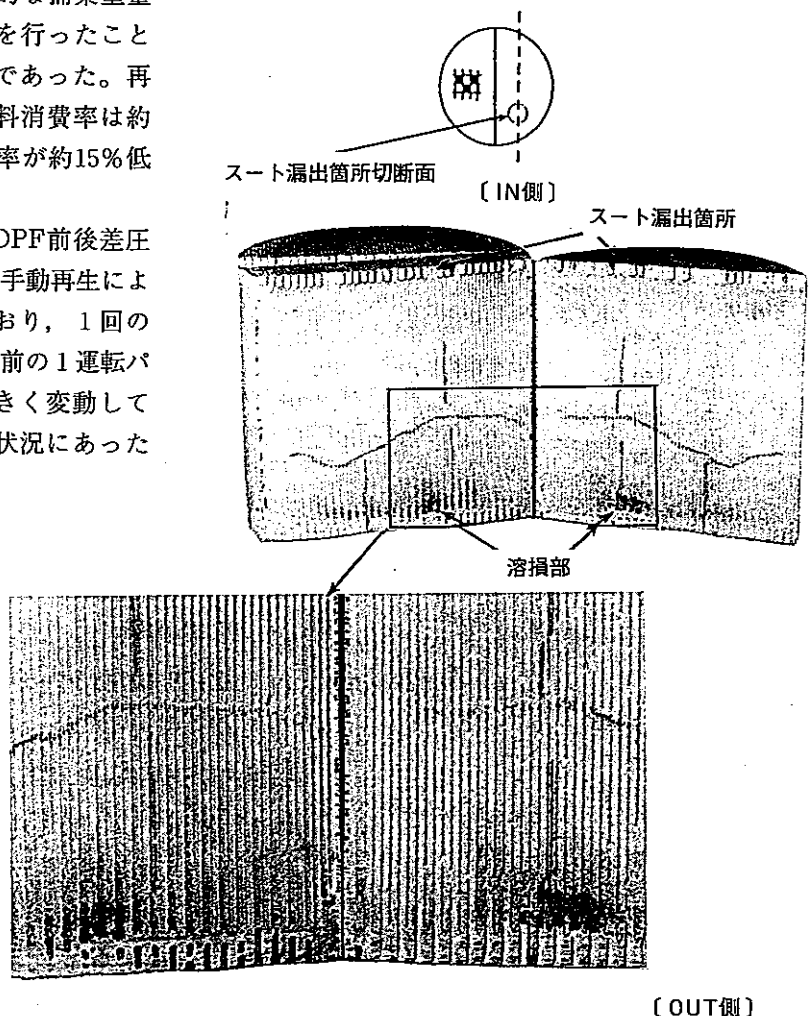
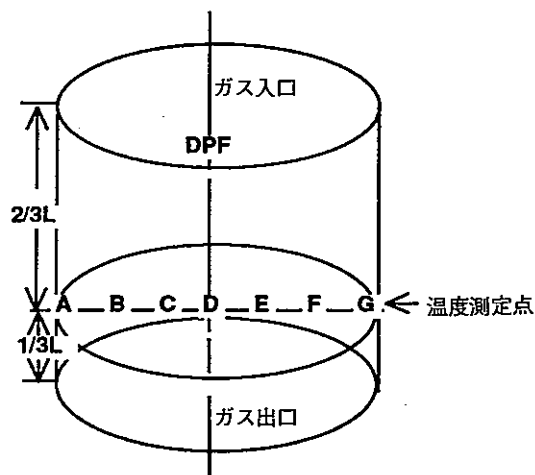


図4・6 400時間試験終了後のDPF断面(システムI)



Ⅲ-4 車両試験

1. 実用性試験用路線バス

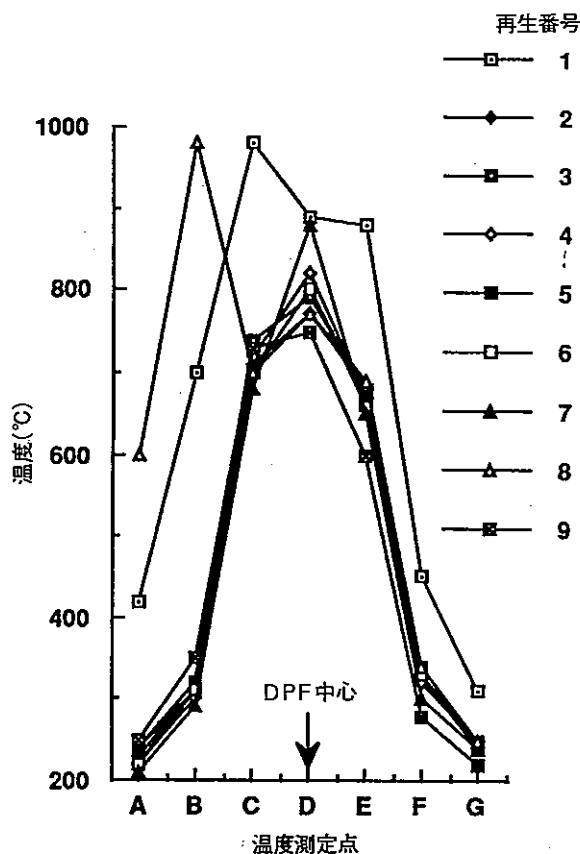


図 4-7 電気ヒータ再生方式における再生時の温度分布

①供試車両A

図1・1に供試車両Aを、図1・2に改造部および変更点を示す。DPF、再生用バーナおよびバイパス配管ならびに制御装置とバーナ用燃料パイプが新設されたが、車体の大幅な改造は無い。DPFは消音マフラの後部に取り付けられており、消音マフラには従来品が使われている。

運転席に取り付けられた操作盤には再生指示の表示ランプならびにバイパススイッチと再生スタートのカバー付スイッチが取り付けられた。バス路線に相当する走行では、約5時間の捕集走行が可能である。

捕集時間は、タイマによって管理され運転士が再生ボタンを押すことによって再生が始まる。運輸省の安全上の指摘を受け、再生が実行されるためには停車およびアイドリングの二つの運転条件が必要で、再生中の走行はできない。再生中に走行が必要になった場合はサイドブレーキの解除によって再生を中断し、逆に走行中に故意に再生ボタンが押されても、サイドブレーキは解除されているため再生装置が働かない機構である。再生時間は約20分であるが、再生直後は排出ガス温度が高いため捕集運転に切り替わるまで10分の遅延時間が設けられている。また、500℃以上のDPF入口温度、再生中のDPF内の異常高温ならびに走行中のDPF周辺の異常高温を検知した場合は、警報装置が働き、排出ガスはバイパスされる。