

東京都環境科学研究所

No. 5

ニュース

浮遊粒子物質の削減に向けて

東京の大気中の浮遊粒子状物質濃度は、図-1に示すとおり、近年、横ばいの状況にあり、環境基準の達成状況も悪く、健康影響の面からもその改善が課題となっています。

このため、当研究所では、浮遊粒子状物質の削減対策に役立てるため、この物質の大気中にある性状の調査や発生源別の寄与割合の推定などを行うとともに、ディーゼル自動車から排出される粒子状の物質を削減する技術の開発などに取り組んでいます。

今回は、これらの調査・研究の概要を報告します。

1 浮遊粒子状物質とは

浮遊粒子状物質（「SPM」とも言います。）は、粒子

状物質（「PM」とも言います。）のうち、直径 $10\mu\text{m}$ （ 0.01mm ）以下の小さな粒子の総称で、非常に軽いため、長期間にわたり大気中を漂い、私たちが息を吸うときに空気と一緒に体内に入り、気管や肺の中に沈着します。

このような性質を持つため、浮遊粒子状物質は二酸化窒素や二酸化硫黄といった大気汚染物質とともに、呼吸器疾患の原因の一つとされています。

また、自動車等から排出される浮遊粒子状物質の中には、ベンツピレン（ベンゾ(a)ピレン）のような発ガン性のある多環芳香族炭化水素も含まれているため、その影響も心配されています。

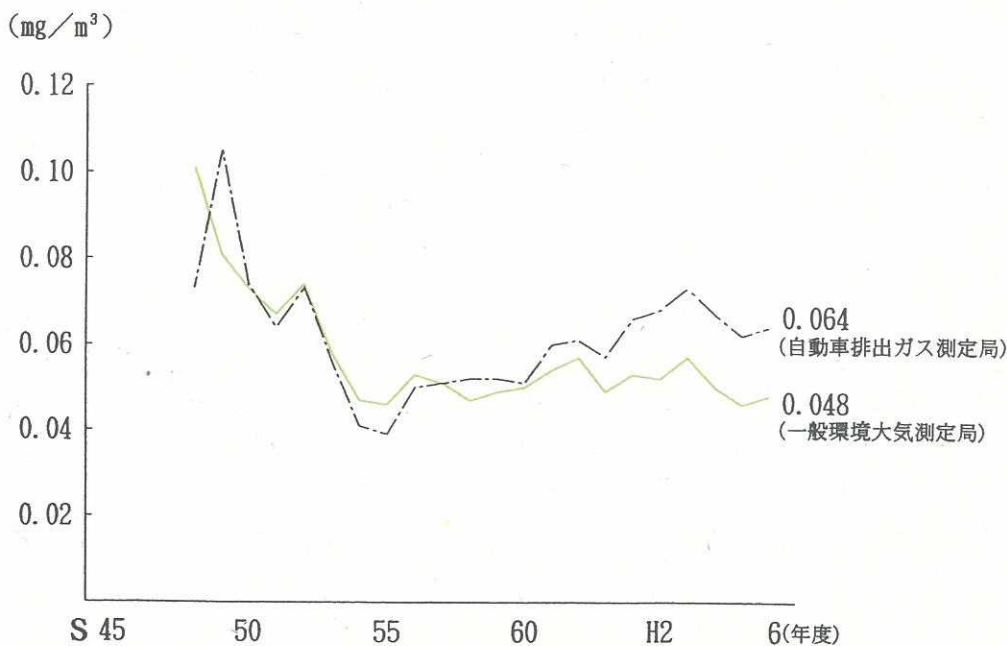


図-1 浮遊粒子状物質の濃度の経年変化図

② 浮遊粒子状物質についての調査

(1) 発生源について

浮遊粒子状物質の主な発生源を図-2に示します。

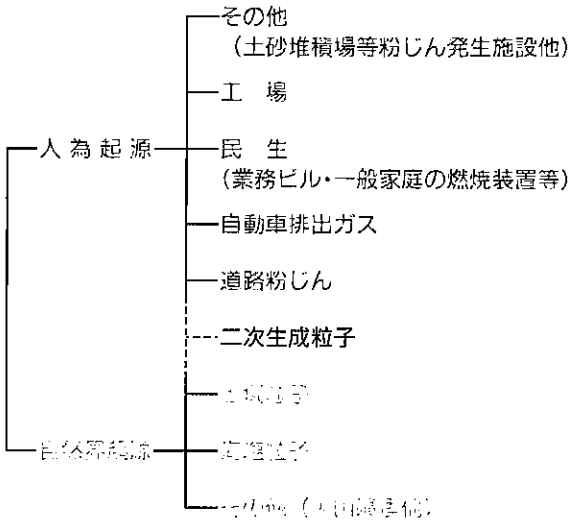


図-2 遊粒子状物質の分類

「人為起源」のうち、工場、民生、自動車排出ガスから排出される浮遊粒子状物質は、石油の燃焼などにより発生する未燃分や灰分などであり、道路粉じんは、自動車の走行により大気中に巻上げられる土壌粒子やタイヤの磨耗粒子などです。

「自然界起源」のうち、土壌粒子は、風により土が舞い上がったもので、海塩粒子は、海面から飛散した海の水が大気中で蒸発し、析出した塩などの微粒子です。

「二次生成粒子」は、石油の燃焼やプラスチックの焼却などにより発生する窒素酸化物、硫黄酸化物、塩化水素などといった大気汚染物質や、微生物の働きにより土壌等から発生するアンモニアなどが大気中で化学変化し生成されたものです。

また、この二次生成粒子は、酸性雨とも密接な関係があることが分かっています。

当研究所では、現在、二次生成粒子の生成機構の解明に取り組んでいて、その一環として、大気中の硝酸イオンや塩化物イオンなどの測定機器（連続濃縮器）の開発なども行っています。

(2) 採取と測定分析

当研究所でも、図-3に示すようなハイボリウムエアサンプラーを用い、浮遊粒子状物質をろ紙上に採取しています。また、これを粒径別に採取するときは、図-4に示すようなアンダーセンエアサンプラーを使用しています。

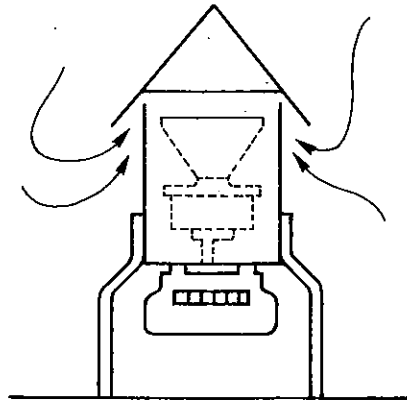


図-3 ハイボリウムエアサンプラー模式図

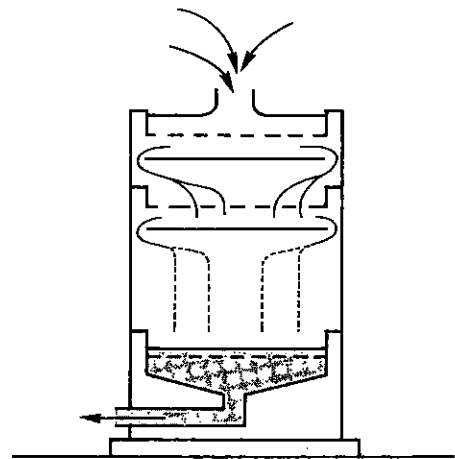


図-4 アンダーセンエアサンプラー模式図

採取した浮遊粒子状物質は、重さを測り、化学成分の分析などを行います。

参考に、当研究所と小笠原における浮遊粒子状物質の採取後の「ろ紙」を、写真-1に示します。研究所の「ろ紙」の方が浮遊粒子状物質の濃度が高いため黒く見えます。

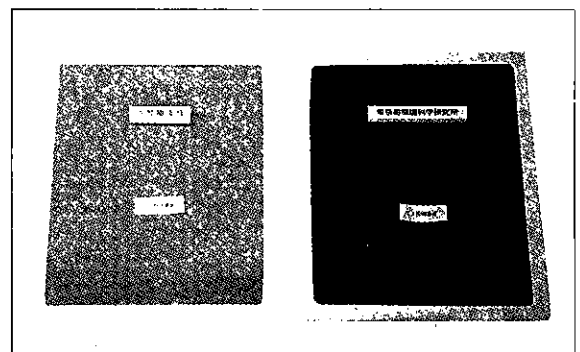


写真-1 浮遊粒子状物質採取後の「ろ紙」

(3) 微小粒子と粗大粒子

浮遊粒子状物質を粒径別に分けてみると、図-5のようになります。

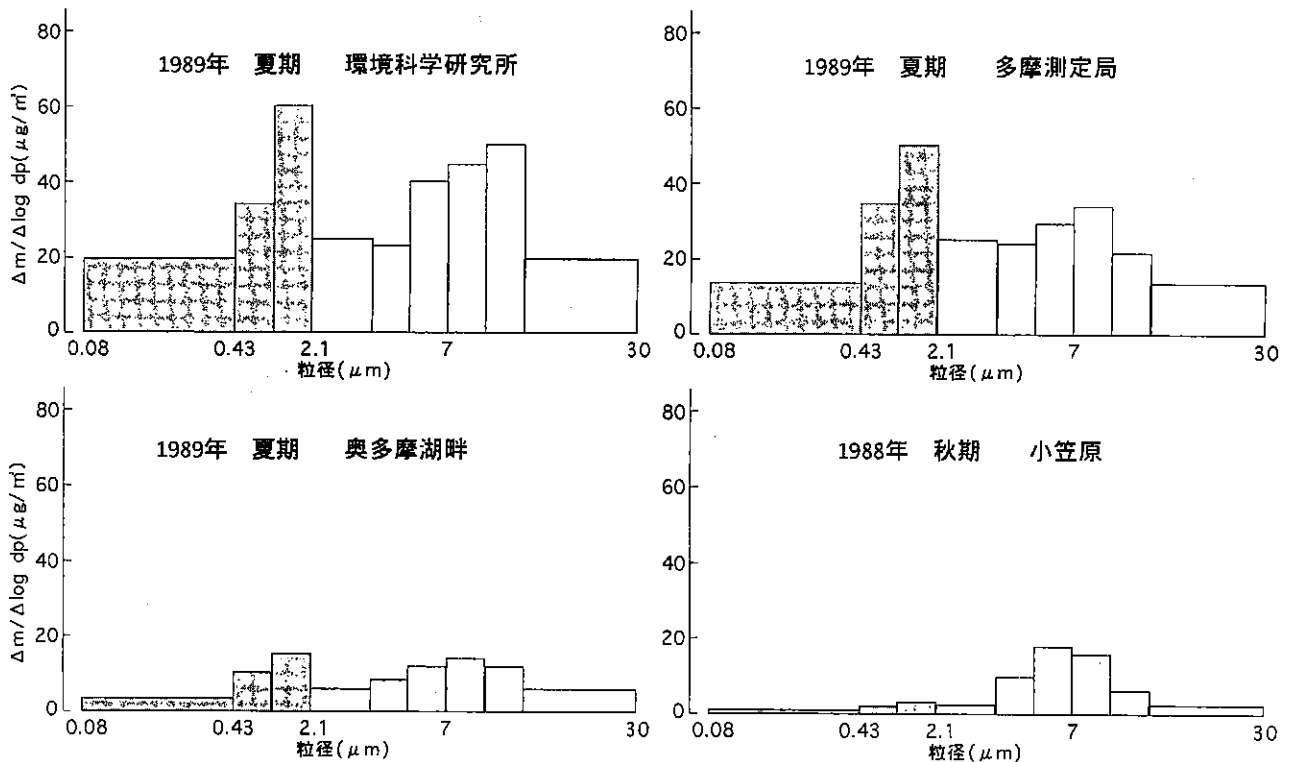


図-5 浮遊粒子状物質の粒径別分布（環研、多摩、奥多摩湖畔、小笠原）

当研究所（江東区新砂）と多摩測定局（多摩市愛宕）の測定結果をみると、粒径が2μm以下のところと粒径が2μmを超えたところに、それぞれ粒子の存在割合の高い山があることがわかります。

奥多摩湖畔（奥多摩町）も高さは低いですけど二つの山が見えます。これに対し、小笠原の測定結果では、一つの山しか見えません。

浮遊粒子状物質を粒径2μm以下の微小粒子と、粒径2μmを超え10μmまでの粗大粒子とに分け、化学成分を比較すると、表-1に示すように、微小粒子は、元素状炭素（注1）や硝酸イオンといった石油の燃焼などに伴う生成物や、それらが化学変化して生じたものが多く含まれるのに対し、粗大粒子はアルミニウム、ナトリウムといった土壌や海塩の成分が多く含まれています。

（注1）元素状炭素とは、炭素のうち、350℃から900℃までの温度で二酸化炭素に分解されるものです。

表-1 微小粒子と粗大粒子の主要化学成分

（単位：％）

成分 粒子	元素状炭素	硝酸イオン	アルミニウム	ナトリウム
微小粒子	36.73	8.19	0.21	0.54
粗大粒子	17.29	5.84	3.27	2.54

このような調査を進めた結果、微小粒子には人為起源の粒子や二次生成粒子が多く含まれ、粗大粒子には自然界起源の粒子が多く含まれるということが分かってきました。

このことから、小笠原では、一つの山にしか見えないのは人為起源の微小粒子の存在が少ないためであり、奥多摩湖畔では、微小粒子が風により市街地から運ばれてくるため、高さは低いけど二つの山が見えるのだということがわかります。

(4) 微小粒子の環境保全上の問題点

微小粒子と粗大粒子を比較すると、微小粒子の方が、次のような理由により、環境保全上の問題が多いと言えます。

第一に、微小粒子は、粒径が小さいので、肺の奥深く吸込まれ、沈着するので、呼吸器に対する影響が大きくなります。

第二に、微小粒子は、石油の燃焼などにより生成される人為起源の粒子が多いため、ベンツピレンのような発ガン性のある多環芳香族炭化水素の濃度が高くなっています。図-6に、当研究所で測定したベンツピレンを含む粒子の粒径別分布を示しますが、これが微小粒子側に多いことが分かります。

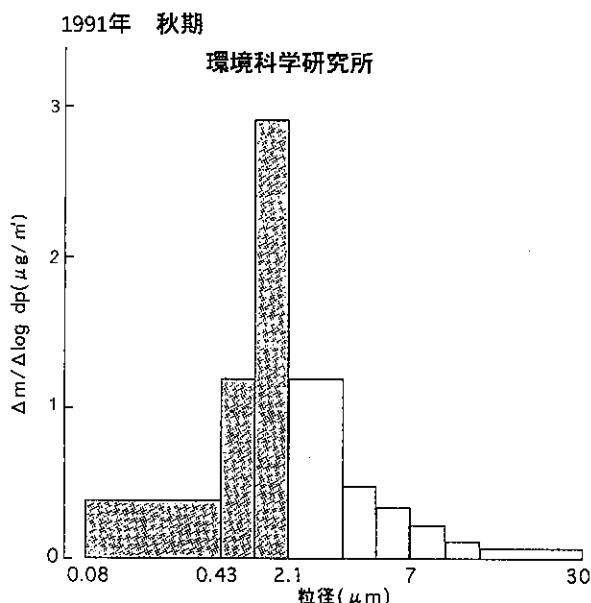


図-6 ベンツピレン(ベンゾ(a)ピレン)を含む粒子の粒径別分布

2 自動車からの粒子状物質について

(1) 自動車排出ガスからの発生量

当研究所では、自動車排出ガスについて、車種別・規制年次別の粒子状物質排出量 (g/km) をシャーシダイナモメーターを用いて測定しています。このデータは、浮遊粒子状物質の削減対策の基礎資料として利用されています。

表-2は、当研究所が測定した自動車の車種別の粒子状物質排出量ですが、これで見ると、10トンのディーゼルトラックの排出量は、ガソリン乗用車の約55台分に相当することが分かります。

表-2 粒子状物質の車種別排出量

(単位: g/km)

項目	ガソリンエンジン		ディーゼルエンジン	
	乗用車	バン (1トン)	トラック (2トン)	トラック (10トン)
排出量 (相対比)	0.012 (1)	0.022 (1.8)	0.173 (14.4)	0.656 (54.7)

(2) 自動車からの粒子状物質の発生原因

ディーゼル自動車は、エンジンの構造の関係で、粒子状物質が発生し易いという特徴があります。

これは、ディーゼルエンジンが、ガソリンエンジンのように、空気を混合した後、燃焼させるのではなく、高圧の空気中に軽油を噴射して燃焼させる方式をとっているためです。

このため、ディーゼルエンジンでは、空気と軽油が完全混合しにくく、燃焼過程で部分的な酸素不足を生じ、これが不完全燃焼を起こすので、微小粒子を主体とした黒煙が発生します。

(3) 発生源別の寄与割合

大気中の浮遊粒子状物質の削減を図るためには、その発生源を知ることが重要になります。

このため、当研究所では、大気保全部と協力し、ケミカルマスバランス法 (以下、「CMB法 (注2)」と略します。)を用いて発生源別の寄与割合を推定してみました。

CMB法で求めた、大気中の浮遊粒子状物質の発生源別寄与割合を図-7に示します。

(注2) CMB法とは、大気中の浮遊粒子状物質の化学成分の測定値と、代表的発生源における粒子状物質のそれを用いて、化学成分別に物質収支を示す式を作り、最も合理的な解を求めることにより、発生源の寄与率を算出する方法です。

ただし、二次生成粒子の算定に当たっては、実測に基づくイオン性物質 (硝酸、硫酸、アンモニアなど) の合計値を用います。

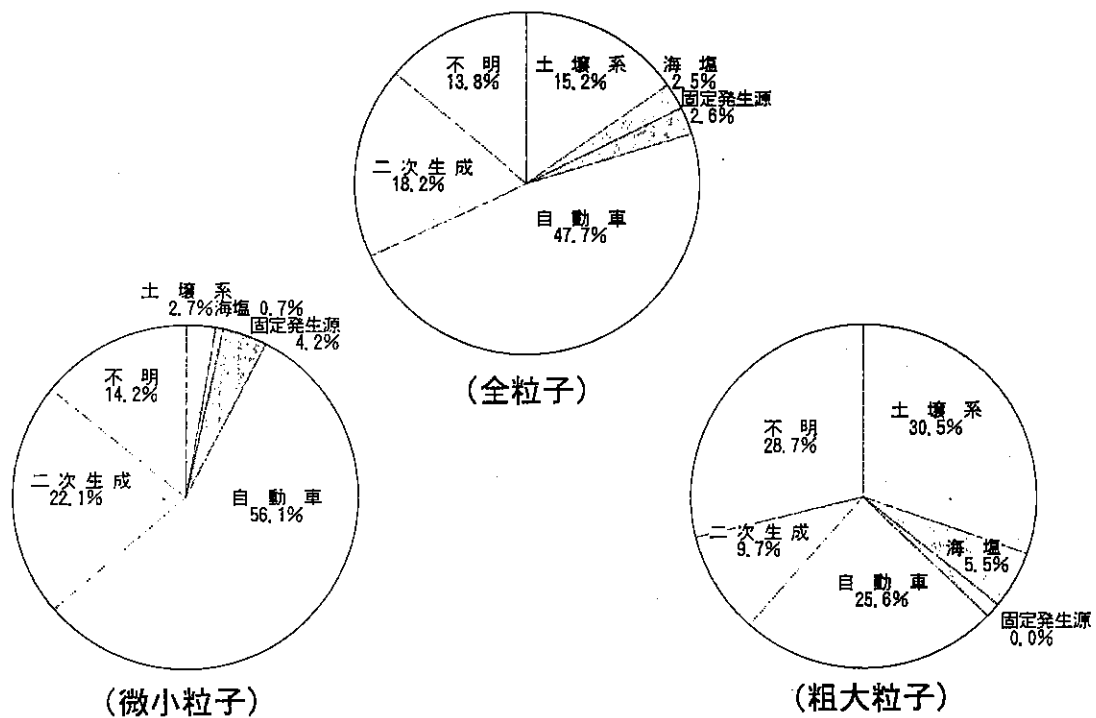


図-7 浮遊粒子状物質の発生源別の寄与割合 (平成4年11月)

これをみると、発生源別寄与割合は、自動車排出ガスの影響が最も大きくなっています。この大部分は、ディーゼル自動車から発生したものです。

微小粒子と粗大粒子との発生源別の寄与割合を比較すると、微小粒子では、自動車排出ガスと二次生成粒子が78.2%を占めるのに、粗大粒子では、微小粒子で3.4%を占めるにすぎない土壌系粒子(注3)と海塩粒子が36.0%を占めるなど、両者の起源の相違が明確に現れています。

したがって、環境保全上問題の多い、大気中の微小粒子の濃度を改善するためには、自動車、特にディーゼル自動車から排出される粒子状物質の削減を図ることが重要になります。

なお、図-7中の「不明」とは、CMB法では発生源を推定できない粒子です。

この原因としては、工場の煙などが、煙突から排出され、冷やされる過程で生成される凝縮性粒子の影響も大きいのではないかと考えられています。

凝縮性粒子は、その実態が不明のため、当研究所でも、本年度から調査を開始しました。

(注3) 土壌系粒子とは、自然界起源の土壌粒子と道路粉じんなど人為的に発生させた土壌粒子を合わせたものです。

4 削減技術の開発

(1) ディーゼル排気微粒子の削減技術

現在、浮遊粒子状物質のうち、ディーゼル自動車から排出されるディーゼル排気微粒子については、ヒトに対する発ガン性や気管支喘息・花粉症との関連性が懸念されています。

ディーゼル自動車における削減対策としては、①粒子状物質の発生を減らす方法と、②発生した粒子状物質を処理する方法に大別されます。

発生を減らす方法としては、燃焼方法の改善や同一車種でガソリン車がある場合には、ガソリン車に代替えることが考えられます。また、LPGやCNG(圧縮天然ガス)を燃料とする自動車や、ディーゼルエンジンと電気モーターを併用したハイブリット車といった低公害車の使用も有効です。

当研究所の調査によれば、これらの低公害車は、粒子状物質の排出量が大幅に減るだけでなく、窒素酸化物の排出量も減ることが確認されています。

低公害車は、窒素酸化物等起源の二次生成粒子の削減にも効果があるので、その普及が望まれます。

一方、発生した粒子状物質を除去する方法としては、酸化触媒や、ディーゼル・パーティキュレート・フィルターを用いる方法があります。

ディーゼル排気微粒子の削減対策を、早期に進めるためには、排出ガス中の粒子状物質を除去する装置を取り付ける方法が、最も効果的です。

このため、当研究所では、ディーゼル・パーティキュレート・フィルター（以下、「DPF」と略します。）について、実用化のための研究を行っています。

(2) DPFシステム

DPFは、図-8に示すような多孔質のセラミックフィルターで、一端が交互に閉じた多数の穴（チャンネル）があいた構造となっています。エンジンから出た排出ガスは、入口が開口したチャンネルに入り、多孔質の壁を通り、出口が開口したチャンネルから外へ出ていきます。この際、粒子状物質は、多孔質の壁を通過できず捕集されることとなります。捕集された粒子状物質は、一定量溜まると電気ヒーター等で焼却されます。

ター等で焼却されます。

実用システムでは、DPFを2本装着し、1本が再生中の場合は、他の1本で粒子状物質を捕集するようにしています（写真-2参照）。

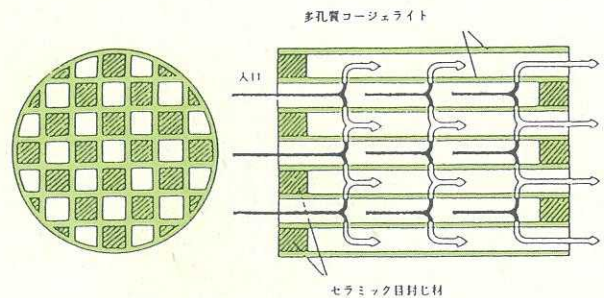


図-8 ウォールフローハニカム型 DPFの構造



写真-2 DPFシステムを装着した実験車

(3) 実用化のための研究

当研究所では、DPFの実用化のため、これまでに、

- ①エンジンダイナモメーターによる耐久性試験
- ②シャーシダイナモメーターによる排出ガス試験
- ③路線バスを改造した実験車による路上試験

などを行ってきました。

これまでの研究結果では、表-3に示すように、DPFシステムの装着により、粒子状物質は80%以上除去される一方、他の汚染物質への影響は軽微であり、燃費悪化もそれほどなく、十分実用に供し得ることが分かりました（粒子状物質の分析結果によれば、発ガン性のある多環芳香族炭化水素は90%以上除去されています）。

今後は、DPFシステムを実車に導入するのに必要な資料作成のため、営業車で試験をするとともに、エンジン使用条件のより厳しい大型ディーゼルトラックについてもこのシステムが適用できるよう研究を進めていく予定です。

表-3 DPFシステムの仕様と性能

項目	仕様と性能	
形式	デュアルタイプ	
再生方式	自動再生（ヒーター：DC24V、3.6kW）	
再生インターバル	155分（平均車速24.4km/h）	
性能	粒子状物質	80%以上除去
	窒素酸化物	DPFなしとほぼ同様
	一酸化炭素	同上
	炭化水素	13~20%低減
燃費	DPFなしとほぼ同様	

当研究所では、今後とも、大気中の浮遊粒子状物質の削減に向けて多方面から調査研究を進めます。