

学 位 論 文 題 名

ディーゼル排気微粒子の簡易・連続測定技術に関する研究

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ディーゼル排気微粒子に関する各種対策技術の研究に寄与するために、ディーゼルエンジンから排出される粒子状物質を簡易・連続測定する方法の開発を目的として行なった研究の結果について、論述したものである。

近年、自動車保有台数の増加にともない、排気ガスによる大気環境の悪化は一段と厳しい状況となってきた。とくに最近では、ディーゼル排気粒子状物質による汚染が深刻化してきており、その汚染物質としての特性の解明はもとより、測定法の確立と排出抑制対策の開発が強く望まれるようになってきた。しかしながら、ディーゼルエンジンでは NO_x と微粒子の排出はトレードオフの関係にあり、燃焼改善の方法だけで両者の同時低減を図ることは非常に困難な状況にある。このため、燃焼の改善に加えて、排気後処理による微粒子除去技術の開発が必要不可欠となっており、ディーゼルパティキュレートフィルター(DPF: Diesel Particulate Filter)に粒子状物質を捕集する、いわゆる微粒子トラップ法の研究が盛んに行なわれている。

また、これら対策技術の研究に寄与するためのディーゼル排気微粒子の測定方法に関する研究は、その重要度をますます高めてきている。このために、排気微粒子濃度の正確な測定を可能とする基準測定方法の確立が急務であると同時に、効率的で簡便な測定を可能とする簡易・連続測定技術の開発が切望されている。

これらの理由から、まず最初に、ディーゼル排気微粒子の基準となる測定方法を確立するために、希釈・フィルター捕集法の信頼性向上に関する基礎的な研究を行なった。つぎに、基準測定における試験手順の煩雑さを解消し、効率的でしかも簡便な計測手段を提供するために微粒子濃度の簡易・連続測定方法の開発を試みた。さらに、光透過式スモークメータによる捕集効率の簡易・迅速測定方法についても一連の研究を実施した。

論文は、7章31節から構成されている。すなわち、

第1章においては、本研究の目的と得られた成果の概要について記述するとともに、ディーゼル排気微粒子の規制、対策技術、成分特性、ならびに計測法の現状および計測技術に関する研究の動向について記述した。

第2章では、微粒子処理装置および微粒子濃度の測定に使用した主な試験設備について記述した。すなわち、低濃度域での測定試験を行なう際に使用した微粒子トラップの種類ならびに特徴を記述するとともに、その捕集性能ならびに捕集微粒子の再燃焼条件などについて明らかにした。また、微粒子濃度の測定試験に拘わる主な試験設備として、供試試験車輛、負荷試験装置、あるいは希釈風洞装置などに関する概要ならびに仕様を示すとともに、本研究で確立した台上測定における効率的な試験手順について論述した。

第3章では、基準的な濃度測定方法、すなわち希釈・フィルター捕集法によるディーゼル排気微粒子の重量濃度測定方法について、その手法の確立と信頼性向上とを目的とした、微粒子試料の最適採取・秤量条件、ならびに微粒子濃度の測定試験結果について記述した。すなわち、フィルター捕集法における捕集時間、捕集温度など試料採取条件が測定濃度におよぼす影響について検討を行ない、微粒子試料の最適捕集、ならびに秤量条件を明らかにした。さらに、種々の運転条件下において濃度測定試験を行なうとともに、 β 線吸収法、圧電天秤法、あるいは光散乱法などの間接測定方法との比較測定を行なった。その結果、秤量時の濾紙調湿時間、微粒子採取期間、捕集濾紙温度などの最適捕集・秤量条件を明らかにすることができた。また、測定方法の異なる各種間接測定方法の特性、ならびに問題点などについても明らかにした。これらの研究の結果、希釈・フィルター捕集法による測定が確立され、測定の繰り返し誤差を最終的には平均で $\pm 3\% \sim 5\%$ 程度に収めることが可能となった。

第4章では、振動天秤法による微粒子濃度の連続測定に関して、振動天秤の原理と特徴、フィルター捕集法との比較測定の結果について記述するとともに、捕集温度条件の影響、ならびにモード運転時における連続測定結果、および過渡応答性に関する検討などの結果について論述した。

近年、試験手順が煩雑であるという欠点のあった希釈・フィルター捕集法に代替する測定装置の一つとして、振動天秤の原理を利用したTEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) 装置が用いられるようになってきた。これは、希釈・フィルター捕集法と同様に、希釈風洞装置内に導入された排気微粒子を一定時間濾紙に捕集して、その堆積重量を振動天秤により連続的に秤量する方式である。

本章では、振動天秤法によるディーゼル排気微粒子の簡易・連続測定の可能性について、実験的な検討を行なった結果について記述した。すなわち、振動天秤法の秤量精度、あるいは濃度検出限界など基本的な性能を明らかにしたほか、モード運転時の過渡応答性、フィルター捕集法との相関、捕集濾紙の温度変化が測定濃度に与える影響などを実験的に解明して、振動天秤法によるディーゼル排気微粒子の簡易・連続測定が可能であることを実証することが出来た。

第5章では、光透過法による低濃度排気煙の連続測定方法について記述した。すなわち、光透過法にもとづく高感度化手法を提示して、排気微粒子の分級測定を行ない、ディーゼル排気微粒子の粒径範囲を特定した。つぎに、これにもとづいた試作スモークメータによる測定実験を行なって、光透過法と重量濃度測定法との比較により両者の相関を明らかにした。

それらの結果、光透過式スモークメータの高感度化手法にもとづき試作した信号重量式スモークメータによって、約 $1\sim 2\text{mg}/\text{m}^3$ 相当までの煙濃度が検出可能となり、低濃度排気煙の簡易・連続計測が可能ながことが実証された。

第6章では、光透過式スモークメータによる捕集効率の簡易・迅速測定方法について記述した。すなわち、高感度型光透過式スモークメータを応用・発展させた、インライン式スモークメータにより過渡運転時に使用することが出来る捕集効率測定装置を開発した。

まず最初に、光透過法を利用したDPF捕集効率の簡易・迅速測定方法を提案し、それにもとづく装置の試作を行なった。つぎに、その基本特性を明らかにするとともに、種々の運転条件下における捕集効率の測定実験を行なった。最後に、その他の方法による捕集効率の測定結果との比較・検討を行なうことにより、今回提示した方法の妥当性を検証した。

それらの結果、インライン式スモークメータを利用した光透過式の捕集効率測定装置によって、排気微粒子濃度、ならびに過渡運転時における捕集効率の迅速かつ簡便な測定が可能となった。そして、このことにより従来では不可能であった低濃度域における瞬時濃度の連続測定、エンジンならびにDPFの過渡的な微粒子排出特性の評価・解析を可能とすることができた。

第7章は結論であり、本研究で得られた成果を総括した。

以上、要するに本論文は、ディーゼル機関から排出される微粒子の濃度を簡易・連続測定するための技術を確立し、光透過法による測定法を開発したものであって、排気微粒子対策技術の研究に対して、有用な計測手段を提供し得るものと考えられる。

学 位 論 文 審 査 の 要 旨

主 査	教 授	村 山	正
副 査	教 授	谷 口	博
副 査	教 授	宮 本	登
副 査	教 授	真 田	雄 三

本論文は、ディーゼル排気微粒子に関する各種対策技術の研究に寄与するために、ディーゼルエンジンから排出される粒子状物質を簡易・連続測定する方法の開発を目的として行なった研究の結果について、論述したものである。

まず最初に、ディーゼル排気微粒子の基準となる測定方法を確立するために、希釈・フィルター捕集法の信頼性向上に関する基礎的な研究を行なっている。つぎに、基準測定における試験手順の煩雑さを解消し、効率的でしかも簡便な計測手段を提供するために微粒子濃度の簡易・連続測定方法の開発を試みている。さらに、光透過式スモークメータによる捕集効率の簡易・迅速測定方法についても一連の研究を実施している。

論文は、7章31節から構成されている。すなわち、

第1章においては、本研究の目的と得られた成果の概要について記述するとともに、ディーゼル排気微粒子の規制、対策技術、成分特性、ならびに計測法の現状および計測技術に関する研究の動向について記述している。

第2章では、微粒子処理装置および微粒子濃度の測定に使用した主な試験設備について記述するとともに、低濃度域での測定試験を行なう際に使用した微粒子トラップの種類ならびに特徴を記述している。

第3章では、基準的な濃度測定方法、すなわち希釈・フィルター捕集法によるディーゼル排気微粒子の重量濃度測定方法について、その手法の確立と信頼性向上とを目的とした、微粒子試料の最適採取・秤量条件、ならびに微粒子濃度の測定試験結果について記述している。すなわち、フィルター捕集法における捕集時間、捕集温度など試料採取条件が測定濃度におよぼす影響について検討を行ない、微粒子試料の最適捕集、ならびに秤量条件を明らかにしている。さらに、種々の運転条件下において濃度

測定試験を行なうとともに、秤量時の濾紙調湿時間、微粒子採取期間、捕集濾紙温度などの最適捕集・秤量条件を明らかにしている。

第4章では、振動天秤法による微粒子濃度の連続測定に関して、振動天秤の原理と特徴、フィルター捕集法との比較測定の結果について記述するとともに、捕集温度条件の影響、ならびにモード運転時における連続測定結果、および過渡応答性に関する検討などの結果について論述している。

すなわち、振動天秤法の秤量精度、あるいは濃度検出限界など基本的な性能を明らかにしたほか、モード運転時の過渡応答性、フィルター捕集法との相関、捕集濾紙の温度変化が測定濃度に与える影響などを実験的に解明して、振動天秤法によるディーゼル排気微粒子の簡易・連続測定が可能であることを実証している。

第5章では、光透過法による低濃度排気煙の連続測定方法について記述している。すなわち、光透過法にもとづく高感度化手法を提示して、排気微粒子の分級測定を行ない、ディーゼル排気微粒子の粒径範囲を特定している。つぎに、これにもとづいた試作スモークメータによる測定実験を行なって、光透過法と重量濃度測定法との比較により両者の相関を明らかにしている。

第6章では、光透過式スモークメータによる捕集効率の簡易・迅速測定方法について記述している。すなわち、高感度型光透過式スモークメータを応用・発展させた、インライン式スモークメータにより過渡運転時に使用することが出来る捕集効率測定装置を開発している。

まず最初に、光透過法を利用したDPF捕集効率の簡易・迅速測定方法を提案し、それにもとづく装置の試作を行なっている。つぎに、その基本特性を明らかにするとともに、種々の運転条件下における捕集効率の測定実験を行なっている。最後に、その他の方法による捕集効率の測定結果との比較・検討を行なうことにより、今回提示した方法の妥当性を検証している。

第7章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

これを要するに、本論文は、ディーゼル機関から排出される微粒子の濃度を簡易・連続測定するための技術を確立し、光透過法による測定法を開発したものであって、排気微粒子対策技術の研究に対して、有用な計測手段を提供し得るものと考えられる。よって本論文は学位論文に値するものと認められる。