

ディーゼル排ガス流量の直接測定法に関する研究

学位論文内容の要旨

ディーゼル車から排出される粒子状物質は、発癌性等の有害性が指摘されている。ディーゼル車の型式認定の粒子状物質の審査は希釈トンネルを用いて行われる。現在、重量車の国内審査運転モードは、定常運転時のみの測定であるが、都市内での実際の交通形態を考慮して、加減速を含む過渡運転状態における規制への変更が必要となっている。ところで、希釈トンネルには、排ガスの全量を希釈する大規模な装置である全量希釈トンネルがある。それに対して、小型で省エネ型の部分希釈トンネルが開発され、現在では国内を問わず世界的に広く普及している。

この部分希釈トンネルでは、排ガス流量の一部をつねに一定比率で、希釈トンネルに導く必要がある。その比率は分割比とも呼ばれ、つねに一定になっていることを確認する必要もある。しかし、その分割比は、直接測定する手段がないため、ディーゼルエンジン（以後、エンジン）への吸入空気量、およびエンジンへ投入した燃料流量等から、排ガス流量を算出し求める。そのため、排気管を通過している排ガス流量との間に時間遅れが発生する。すなわち、分割比は、エンジンが一定条件で運転されている定常状態でしか確認できないため、現状の部分希釈トンネルは、定常運転モードしか対応できない。したがって、現状の部分希釈トンネルを過渡運転モードに対応可能とするには、排ガス流量を直接測定する技術開発が必要不可欠である。

これらの理由から、最初に、エンジンの排気流れを把握するため、エンジンの過渡運転時を想定した脈動流をシミュレートできるエンジン脈動流シミュレータ（以後、シミュレータ）を開発した。そして、流れ場をほぼ決める圧力、温度、そして流速について、シミュレーション結果の実験検証を行った。次に、エンジンの吸入空気流量計として、広く使われてきている超音波流量計に着目し、排ガス流量を直接測定するために、種々の工夫を施し、国内外で規定されている各種排ガス試験モードで、精度確認を行った。さらに、エンジンの車載用吸入空気流量計として用いられてきたカルマン渦流量計（以後、渦流量計）にも着目し、排ガス流量を精度良く測定するには、渦流量計に共鳴箱を付設することが有効であることを、シミュレータを用い確認した。共鳴箱を付設した渦排ガス流量計にて、国内外で規定されている排ガス試験モードで、精度確認を行った。

論文は以下6章から構成した。

第1章においては、本研究の背景と目的、本論文の構成について記述している。

第2章では、ディーゼル排ガス流量の直接測定技術の研究背景を述べるため、多管式部分希釈トンネルによる粒子状物質測定法について記述し、部分希釈トンネルを過渡運転モードに対応可

能とするには、排ガス流量を直接測定する技術開発が必要不可欠であることを論述している。

第3章では、本研究で開発したシミュレータについて記述している。すなわち、定常運転時に限らず、過渡運転時にも対応したエンジンの排気脈動流を、シミュレートするシミュレータを開発するにあたり、管内流れの基礎式、それらを解く各種脈動計算方法を記述するとともに、シリンダ部および境界部の計算方法も記述している。その上で、定常運転時および過渡運転時の計算手順を示している。他方、シミュレータの計算結果について、検証を行うべく、まず理論解が存在する一次元衝撃波管問題において、シミュレータの妥当性を確認した。さらに実験検証を行うべく、脈動流速を多点で測定可能な多点レーザ流速計、および脈動流に対応すべく超音波をV形に同時送信する超音波排ガス流量計を試作し、定常運転下および過渡運転下にて実験を行った。そして得られた実験データと別途シミュレータを用いて得られた計算結果と比較した。その結果、両者は良く一致することを示し、シミュレータは排気流れをシミュレートできることを示した。また、同時に、試作超音波排ガス流量計は、排ガス流速をレーザ流速と同等の応答性で的確にとらえられることも示している。

第4章では、超音波排ガス流量計の開発について論述している。それは第3章で記述した試作超音波排ガス流量計に対し、超音波の伝ば経路を増やし、送信レートを増加させた場合、排気脈動流速の平均流速をとらえられることを、同じく、第3章で示した定常運転時の流速データを用い示している。そして、国内外で規定されている各種排ガス試験モードで、精度確認を行い、良好な結果を得たことを示している。

第5章では、渦排ガス流量計について論述している。それは、渦流量計を用いて、排ガス流量を精度良く測定するには、渦流量計に共鳴箱を付設することが有効であることを、シミュレータを用い確認した。そして、共鳴箱を付設した渦排ガス流量計にて、国内外で規定されている排ガス試験モードで、精度確認を行い、良好な結果を得たことを示している。

第6章は結論であり、本研究で得られた成果を総括してある。

以上、エンジンの過渡運転時における排ガス流量を、超音波流量計を用い直接測定する場合には、超音波を同時送受信することが有効であることを明らかにした。また、渦流量計を用い排ガス流量を直接測定する場合には、共鳴箱を付設することが有効であることを明らかにした。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 近 久 武 美
副 査 教 授 池 川 昌 弘
副 査 教 授 武 田 靖
副 査 教 授 小 川 英 之

学位論文題名

ディーゼル排ガス流量の直接測定法に関する研究

ディーゼル車から排出される粒子状物質は発癌性等の有害性が指摘されているが、その正式な測定は大規模な全量希釈トンネルを用いて行うこととなっている。これに対して排ガスの一部を取り出して希釈を行うタイプの、小型で省エネ型の部分希釈トンネルが開発され、現在では国内外で広く普及している。現在、重量車の国内審査運転モードは定常運転時のみの測定であり、この部分希釈トンネルと全量希釈トンネルとはほぼ同一の計測結果を示す。しかし、今後、都市内における実際の交通形態に合致した条件での計測が求められており、加減速を含む過渡運転状態における規制への変更が必要となっている。

部分希釈トンネルを用いて全量希釈トンネルと同一の計測結果を得るには、排ガス流量の一部をつねに一定比率で希釈トンネルに導く必要がある。その比率は分割比と呼ばれるが、これを直接測定する手段がないため、定常運転モードではエンジンへの吸入空気量、およびエンジンへ投入した燃料流量等から、排ガス流量を算出し求めている。しかし、こうして求めた排ガス流量と排気管を通過している実際の排ガス流量との間には時間遅れが発生するため、非定常運転モードにおいてこの方法を適用することはできない。したがって、現状の部分希釈トンネルを過渡運転モードに対応可能とするには、排ガス流量を直接測定する技術開発が不可欠といえる。また、窒素酸化物や未燃炭化水素は ppm 単位の濃度計測が行われるが、これを過渡運転を含む積算重量に変換する場合においても排ガス流量の直接測定が不可欠となる。

そこで本研究は、エンジン排ガス流量を直接測定する技術の確立を目的としたものである。最初に、エンジンの排気流れを把握するため、過渡運転時を想定した脈動流をシミュレートできるエンジン脈動流シミュレータ（以後、シミュレータ）を開発している。そして、流れ場を決める圧力、温度、そして流速について、実験と対比したシミュレーションの検証を行っている。実験に際し、脈動流速を多点で測定可能な多点レーザ流速計、および脈動流に対応しえる超音波排ガス流量計を試作し、定常運転および過渡運転にて実験を行っている。実験の結果、

シミュレーションと計測値は良く一致することを確認している。また同時に、試作超音波排ガス流量計は、排ガス流速をレーザ流速計と同等の応答性的に捉えられることも示している。

次に、エンジンの吸入空気流量計として広く使われてきている超音波流量計に着目し、上記試作装置に比べて超音波の伝播経路を増やす一方、送信レートを増加させた装置の開発を行っている。実験の結果、同装置による計測結果は排気脈動流速の平均流速を良好にとらえていることを確認している。また、同装置に関して排ガス流量を直接測定する上で必要な装置条件を明らかにし、国内外で規定されている各種排ガス試験モードにおいて、精度確認を行っている。一方、安価で、しかもエンジンの車載用吸入空気流量計として用いられてきたカルマン渦流量計（以後、渦流量計）にも着目し、排ガス流量の直接計測を試みている。実験およびシミュレーション解析の結果、排ガス流量を精度良く測定するには、渦流量計に共鳴箱を付設することが有効であることを明らかにしている。そして、共鳴箱を付設した渦排ガス流量計を実機に適用し、国内外で規定されている排ガス試験モードで、十分な精度を持つことを確認している。

以上、部分希釈トンネルを過渡運転モードに対しても適用するために必要なエンジン排ガス流量の直接測定法に関して研究を行った結果、超音波流量計を用い直接測定する場合には、超音波を同時送受信することが有効であることを明らかにしている。また、渦流量計を用い排ガス流量を直接測定する場合には、共鳴箱を付設することが有効であることを明らかにしている。

これを要するに、著者は部分希釈トンネルを過渡運転モードに対しても適用可能とする上で必要となるエンジン排気ガス流量の直接計測について、精度の良い測定法に関する新知見を得たものであり、流体力学、自動車工学および計測工学の発展に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。